

第Ⅲ章 被害予測手法の整理

1. 建物被害の予測
2. 地震火災による建物被害の予測
3. 人的被害の予測
4. ライフライン被害の予測
5. 交通・輸送施設被害の予測
6. 土木構造物被害の予測
7. その他の被害予測項目

1. 建物被害の予測

地震による建物被害にはさまざまな形態があるが、本節では、ゆれによる被害（木造、非木造）、液状化による被害、地盤崩壊による被害、津波による被害について被害予測手法を整理する。なお、地震火災による建物被害については「2. 地震火災による建物被害の予測」で整理する。

建物被害の予測の際には、同じ建物に対し被害要因が重複することがある。被害棟数のダブルカウントを避けるために、いくつかの方法が各自治体でとられている。ゆれによる被害と液状化による被害のダブルカウント除去方法については本章1-2「液状化による被害」の後でまとめているが、中央防災会議・南海トラフ巨大地震モデル検討会等（2013）では「液状化→地震動→急傾斜地崩壊→火災焼失」の順番で被害の要因を割り当てており、この手法を採用する自治体も多くなっている。

ゆれによる建物被害の予測としては、建物の応答解析に基づき被害予測を行う手法（以下「応答解析に基づく手法」）と、過去の地震被害に基づき被害予測を行う手法（以下「被害率曲線を用いる手法」）の2つに大別できる。最近は、被害率曲線を用いる手法を採用する自治体が増加傾向にあるが、その理由としては、適用の簡便性の他に、兵庫県南部地震（1995）で強震動地域の被害データが数多く収集されたこと、それ以降の地震動観測網の整備により大きな地震動の観測記録とその地域の被害データが充実したことなどが考えられる。

応答解析に基づく手法では、建物に作用する地震力と建物耐力（の分布）を比較し被害を予測している。建物耐力は、固有周期や構造耐震指標などの建物振動特性によりモデル化されている。自治体の中には、建物の地域特性を建物耐力に反映させたり、積雪時の荷重増加を作用する地震力に反映させたり、独自の工夫を加えて被害を予測しているところもある。

被害率曲線を用いる手法では、過去の地震被害から建物構造や建築年代別などの切り口で作成した地震動強さと被害率との関係式やテーブル（以下「被害率曲線」）を用いて被害予測を行っている。被害率曲線は、被害地震での地震動強さと建物被害率のデータを分布に当てはめる方法で作成されたものが多い。各自治体においては、そのような方法で作成された既往の被害率曲線をそのまま適用している場合も多いが、近年の被害地震のデータを追加し、独自に再作成している自治体もある。また、最近では、建物の地域特性や想定地震の地震動特性を被害想定に反映するため、応答解析に基づく考え方を加味して被害率曲線を作成している自治体もみられる。

液状化による建物被害の予測は、新潟地震（1964）、日本海中部地震（1983）での液状化による建物被害状況から被害率を設定する手法が多くの自治体で採用されている。また東北地方太平洋沖地震（2011）での被害状況から補正を加えている自治体もある。

表III-1-1にゆれ・液状化による建物被害の代表的な予測手法を示す。

津波による建物被害の予測手法は、これまで首藤の手法を用いる自治体がほとんどであった。しかし東北地方太平洋沖地震（2011）では甚大な津波被害が発生したことから、その被害状況を加味した予測手法がみられ、今後採用自治体数は増加していくと考えられる。

なお、建物の被害予測で問題になる点の一つに、被害程度の判定がある。各自治体により「全壊・半壊」や「大破・中破」などの指標が採用されているが、同じ指標であっても自治体により被害内容の定義が異なる場合がある点に注意が必要である。

また、最近では、生活再建支援法の改正により、災害救助を目的とした被害認定統一基準（内閣府政策統括官（防災担当）通知、平成13年6月28日）の「半壊」の中に、「大規模半壊^(注)」という新たな被害区分（内閣府政策製作統括管（防災担当）通知、平成16年4月1日）が設定されている。本資料の調査対象とした被害想定資料では、まだ大規模半壊を区別して被害を予測しているものは少ないが、今後は予測する自治体も出てくると考えられる。

(注) 被災者生活再建支援法の中で、「大規模半壊世帯」は「居住する住宅が半壊し、構造耐力上主要な部分の補修を含む大規模な補修を行わなければ当該住宅に居住することが困難であると認められる世帯」と定義されている（施行令第2条第3号）。

表III-1-1 主なゆれ・液状化による建物被害の予測手法

	構 造	手法分類	主な予測手法	採用自治体数
ゆれ	木 造	応答解析に基づく手法	□東京都防災会議(1985, 1991)・神奈川県(1993)の手法	9
		被害率曲線を用いる手法	□Miyakoshi et al. (1997)の手法 □村尾・山崎(2000, 2002)の手法 □中央防災会議東海地震対策専門調査会「東海地震に係る被害想定」(2001)・中央防災会議東南海、南海地震等に関する専門調査会「東南海・南海地震に係る被害想定」(2003)・東京都(2006)・中央防災会議首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」(2005)・中央防災会議東南海、南海地震等に関する専門調査会「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定」(2008)・中央防災会議南海トラフの巨大地震モデル検討会等(2013)の手法 □仙台市(2002)の手法 □大阪府(2007) の手法	7 4 17
		応答解析に基づく手法	【RC造】 □東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)の手法 □仙台市(2002)の手法 【S造】 □東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)の手法	7 2 7
		被害率曲線を用いる手法	【RC造】 □Miyakoshi et al. (1997)の手法 □村尾・山崎(2000, 2002) の手法 □大阪府(2007) 【S造】 □Miyakoshi et al. (1997)の手法 □村尾・山崎(2000, 2002)の手法 □大阪府(2007) 【非木造】 □東京都(2006)・中央防災会議 首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」(2005)・中央防災会議 東南海、南海地震等に関する専門調査会 「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定」(2008)の手法	7 4 2 7 4 2 15
	非木造	過去の被害結果	□望月・荏本(1989)の手法	11
	液状化	木 造		

		を用いる手法	<input type="checkbox"/> 東京都(1997)の手法 <input type="checkbox"/> 谷口・飯田(1986)の手法 <input type="checkbox"/> 静岡県(2001)・中央防災会議「東南海, 南海地震等に関する専門調査会（東南海・南海地震に係る被害想定）」(2003)・「首都直下地震対策専門調査会」(2005)・中央防災会議(2008)「東南海, 南海地震等に関する専門調査会（中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定）」の手法 <input type="checkbox"/> 大阪府(1997), 静岡県(2001), 愛知県(2003)の手法 <input type="checkbox"/> 大阪府(1997)の手法 <input type="checkbox"/> 愛知県(2003)の手法 <input type="checkbox"/> 東京都(2012)の手法 <input type="checkbox"/> 損害保険料率算出機構(2006)の手法 <input type="checkbox"/> 中央防災会議・南海トラフ巨大地震モデル検討会等(2013)の手法	3 1 14
非木造		過去の被害結果を用いる手法	【RC造】 <input type="checkbox"/> 望月・荏本(1989)の手法 <input type="checkbox"/> 東京都(1997)の手法 <input type="checkbox"/> 名古屋市(1999)の手法 【S造】 <input type="checkbox"/> 望月・荏本(1989)の手法 <input type="checkbox"/> 東京都(1997)の手法 【非木造】 <input type="checkbox"/> 静岡県(2001)・中央防災会議「東南海, 南海地震等に関する専門調査会（東南海・南海地震に係る被害想定）」(2003)・中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会（首都直下地震に係る被害想定）」(2005)・中央防災会議「東南海, 南海地震等に関する専門調査会（中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定）」(2008)の手法 <input type="checkbox"/> 大阪府(1997)の手法 <input type="checkbox"/> 愛知県(2003)の手法 <input type="checkbox"/> 東京都(2012)の手法 <input type="checkbox"/> 損害保険料率算出機構(2006)の手法 <input type="checkbox"/> 中央防災会議・南海トラフ巨大地震モデル検討会等(2013)	12 3 2 12 3 13 3 3 3 5 3

(注1) 手法が不明の自治体は除外し、一自治体で複数の手法を採用している場合はそれぞれ採用自治体数に加えた

(注2) 自治体独自に手法に変更を加えている場合も、考え方の基本とした手法で分類した

1-1. ゆれによる建物被害（木造）

ゆれによる木造建物の被害予測手法としては、応答解析に基づく手法と被害率曲線を用いる手法の2つに大別できる。過去の地震におけるデータの蓄積から、被害率曲線を用いる手法を採用する自治体が増加している。

応答解析に基づく手法では、ほぼ全ての自治体で東京都防災会議(1985, 1991)・神奈川県(1993)に基づく手法を採用している。被害率曲線を用いる手法は、中央防災会議の手法を採用する自治体が多い。その他、兵庫県南部地震(1995)の被害データに基づく被害率曲線（例えば、Miyakoshi et al. (1997), 山口・山崎(2000), 村尾・山崎(2000, 2002)など）をそのまま用いている自治体や、被害データや既往の被害率曲線を参考に独自に作成している自治体がある。また近年、被害予測の精度向上のために応答解析に基づく考え方を加味して被害率曲線を作成している自治体が出てきているがまだ少数である（例えば、宮城県・山形県・高知県・仙台市など）。

建築年代区分としては、応答解析に基づく手法の採用自治体では、「1950年以前, 1951-60年, 1961-70年, 1971-80年, 1981年以降」の5区分を用いている自治体が多い。被害率曲線を用いる手法の採用自治体では、耐震基準の改正年（1951, 1971, 1981年）と1960年を区切りとして、3～5区分の建築年代別被害率曲線を用いている自治体が多い。

また、日本海側の豪雪地帯を含む自治体の中には、積雪時に地震が発生した場合の建物被害を予測しているところもある。

以下に、各自治体で採用されている次の手法の概略をまとめる。

(1) 応答解析に基づく手法

①東京都防災会議(1985, 1991)・神奈川県(1993)の手法

(2) 被害率曲線を用いる手法

①Miyakoshietal. (1997)の手法

②山口・山崎(2000)の手法

③村尾・山崎(2000, 2002)の手法

④大阪府(1997)の手法

⑤兵庫県(1998)の手法

⑥中央防災会議東海地震対策専門調査会「東海地震に係る被害想定」(2001)・中央防災会議東南海, 南海地震等に関する専門調査会「東南海・南海地震に係る被害想定」(2003)・東京都(2006)・中央防災会議首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」(2005)・中央防災会議東南海, 南海地震等に関する専門調査会「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定」(2008)・中央防災会議南海トラフの巨大地震モデル検討会等(2013)の手法

⑦境ら(2002)・堀江ら(2003)の手法

⑧鳥取県(2005)の手法

⑨仙台市(2002)の手法

⑩大阪府(2007)の手法

⑪長谷川・翠川(1998)の手法

(3) 積雪を考慮した手法

①福井県(1997)の手法

②中央防災会議「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」(2006)の手法

(1) 応答解析に基づく手法

① 東京都防災会議(1985, 1991)・神奈川県(1993)の手法

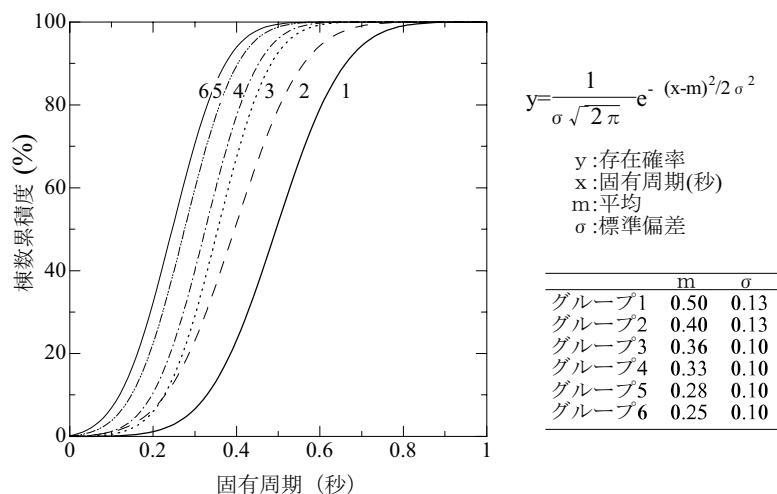
○採用自治体：青森県(97), 新潟県(98), 福井県(97), 長野県(02), 福岡県(12), 宮崎県(07), 京都市(03), 新潟市(07)

応答解析に基づく手法では、建築年代・屋根構造・用途などにより区分した建物グループごとに固有周期を設定し、被害予測を行うことが多い。建物グループの区分と固有周期の設定方法は自治体により異なっている。

a) 建築年代・屋根構造・用途による建物グループ区分

■東京都防災会議(1985)・神奈川県(1993)

東京都防災会議(1985)は、建築年代・屋根構造・用途に注目し、木造建物を5つのグループに分類、それぞれの固有周期分布を設定した。神奈川県(1993)では、東京都防災会議(1985)の建築年代区分に1981年以降の区分（グループ6）を追加している（図III-1-1, 表III-1-2）。



図III-1-1 木造建物の固有周期分布(神奈川県, 1993)

表III-1-2 神奈川県(1993)における木造建物グループ

分類	非瓦屋根	専住平屋	専住2階 非専住平屋	非専住2階	-
	瓦屋根	-	専住平屋	専住2階 非専住平屋	非専住2階
建築年代別	1950年以前	1	1	1	1
	1951-60年	3	2	2	2
	1961-70年	4	4	4	3
	1971-80年	5	5	5	4
	1981年以降	6	6	6	5

■福井県(1997)

福井県(1997)では、兵庫県南部地震(1995)の被害実態を考慮し、神奈川県(1993)による木造建物グループ区分(表III-1-2)の一部について調整を加えている。

表III-1-3 福井県(1997)における木造建物グループ

分類	非瓦屋根	専住平屋	専住2階 非専住平屋	非専住2階	—
	瓦屋根	—	専住平屋	専住2階 非専住平屋	非専住2階
建築年代別	1950年以前	2	1	1	1
	1951-60年	3	2	1	1
	1961-70年	4	3	2	1
	1971-80年	5	4	3	2
	1981年以降	6	5	4	3

(注1)各グループの固有周期分布は神奈川県(1993)のものを使用している

■青森県(1997)

青森県(1997)では、神奈川県(1993)による木造建物グループ(表III-1-2)に3階建てを追加している。

表III-1-4 青森県(1997)における木造建物グループ

分類	非瓦屋根	専住1階	専住2階 非専住1階	専住3階 非専住2階	—
	瓦屋根	—	専住1階	専住2階 非専住1階	専住3階 非専住2階
建築年代別	1950年以前	1	1	1	1
	1951-60年	3	2	2	2
	1961-70年	4	4	4	3
	1971-80年	5	5	5	4
	1981年以降	6	6	6	5

(注1)「専住」とは、用途区分の内、「専用、集合、併用の各住宅」を示す

なお、建築年代区分について、建築基準法などの観点から次のようにまとめている。

- 1950年以前：建築基準法以前の建物
- 1951-60年：建築工法などの近代化が進む時期の建物
- 1961-70年：耐震基準が強化される以前の建物
- 1971-80年：十勝沖地震(1968)を契機に耐震基準が強化された建物
- 1981年以降：宮城県沖地震(1978)を契機に耐震基準が強化された以降の建物

固有周期分布については、建物の地域性として以下の点を考慮して設定している。

- ・木造建物の有効壁率が関東地区より1割多い（窓等の開口部の面積が少ない）
東京都防災会議(1985)による建物の有効壁率と固有周期の関係から、平均で0.012秒だけ固有周期が短くなる（家屋の強度が強くなる）としている
- ・冬期は、屋根に雪が積もっている
屋根の積雪として、豪雪地帯で30cm、特別豪雪地帯で50cmを設定し、建物重量と建物剛性、固有周期の関係式から積雪時の平均固有周期を設定している

表III-1-5 青森県(1997)における木造建物の固有周期分布

グループ	一般的平均周期 (s)	積雪時		標準偏差
		豪雪地帯 平均周期(s)	特別豪雪地帯 平均周期(s)	
1	0.50	0.51	0.55	0.13
2	0.40	0.41	0.44	0.13
3	0.36	0.36	0.38	0.10
4	0.33	0.33	0.35	0.10
5	0.28	0.28	0.33	0.10
6	0.25	0.25	0.27	0.10

(注1) 一般的平均周期と標準偏差は神奈川県(1993)と同じ

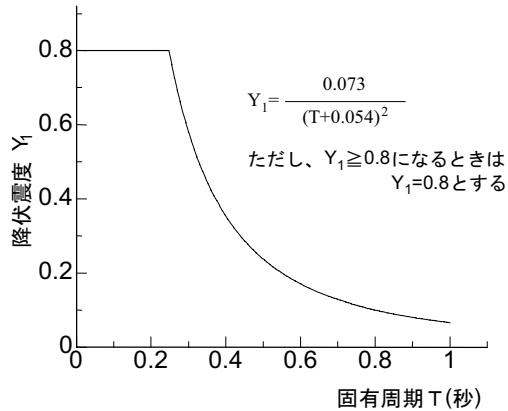
b) 被害程度の設定

■東京都防災会議(1985)

木造建物の降伏震度 Y_1 は次式で設定されている。

$$Y_1 = \frac{0.073}{(T+0.054)^2} \quad Y_1 : \text{降伏震度}, \quad T : \text{建物の固有周期}$$

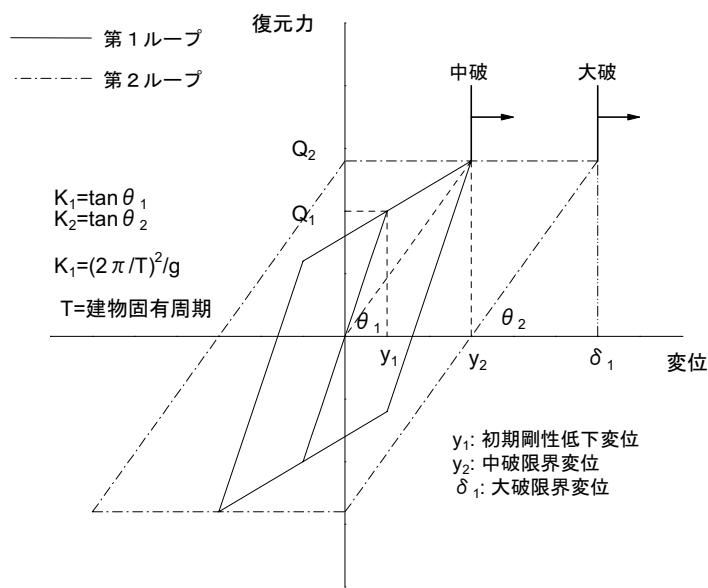
ただし、 $Y_1 \geq 0.8$ になるときは $Y_1 = 0.8$ とする



図III-1-2 木造建物の降伏震度と固有周期の関係(東京都防災会議, 1985)

この式は、関東地震(1923)の被害調査に基づき提案された式である。ただし、 Y_1 は0.8を超えないものとし、0.8で頭打ちとしている。

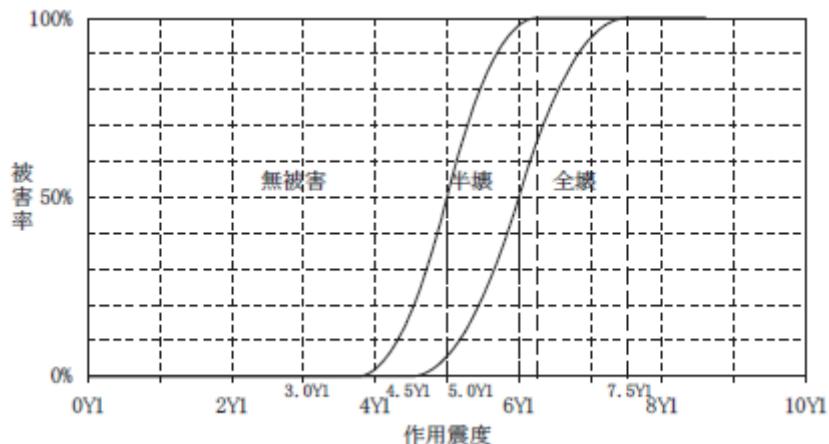
被害程度については、変位と復元力の関係から設定している。1質点系モデルでの重量を単位重量とすると、復元力 Q_1 は降伏震度 Y_1 と同一の値をとる。初期剛性低下変位 y_1 は1質点系モデルでの固有周期 T 別のバネ定数 $K_1(T)$ と降伏震度 Y_1 から、 $y_1 = Y_1 / K_1$ で定まる。応答が完全塑性に移る限界変位 y_2 は y_1 の3倍とする。応答変位がこの限界値を超えた時点で建物は「中破」程度の被害を受けると考える。また、応答変位が y_1 の6倍を超えた場合、その建物は「大破」相当の被害を受けると考える。



図III-1-3 木造建物の復元力特性(東京都防災会議, 1985)

○福岡県(12)では…

降伏強度の設定には東京都防災会議(1985)を用いているが、被害の判定基準は、上記で求めたYを降伏ベースシア係数とし、Yを倍増した作用震度との関係から求めている。日向灘の地震(H8)の実データより基準を求めているが、ばらつきが基準値±25%であると仮定し、以下の評価方法を採用している。



図III-1-4 木造建物に作用する震度と被害率(福岡県, 2012)

■神奈川県(1993)

建物に作用する地震力として、減衰定数5%の加速度応答スペクトルを使用し、被害程度の判定は、建物の応答解析とエネルギー等価理論に基づき、工学的震度 Y_G が降伏震度 Y_1 の何倍になるかによって行う。

$$Y_G = S_A(T)/g$$

Y_G : 工学的震度 (建物に作用する地震力)

T : 建物の固有周期

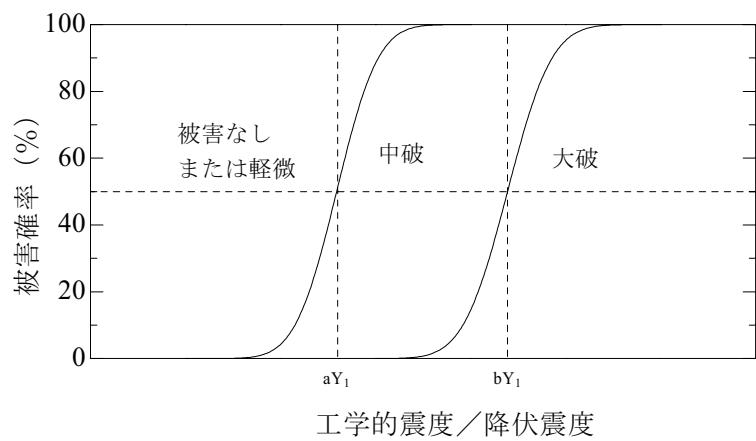
S_A : 加速度応答スペクトル

g : 重力加速度

○新潟県(98)では…

木造建物の減衰定数を7%として評価している。

ただし、工学的震度 Y_G の大きさによって一義的に被害量が決まるとは考えにくいため、図III-1-5に示すような確率関数を適用している。



図III-1-5 木造建物に作用する震度と被害率(神奈川県, 1993)

被害判定の基準となるa, bの値は、各自治体によって下表のように定められている。

表III-1-6 各自治体における被害判定基準

自治体名	a	b	被害程度の比較		
神奈川県(93), 福井県(97)	2.60	4.39			
新潟県(98), 長野県(02)	4	6			

(注) 新潟県は新潟地震(1964), 宮崎県は日向灘の地震(1996)における被害程度により近くなるように係数を決定している。

- : 大破
- : 中破
- : 被害なしまたは軽微

■東京都防災会議(1991)

国土庁(1984)や建設省建築研究所(1981)等の調査結果から、建物の降伏強度 C_y と固有周期 T との関係を以下のように設定している。

$$C_y = 0.25/T$$

一方、地震のゆれで建物の変形が進むと変形特性は弾性領域から塑性領域へ移り、見かけ上の固有周期 T_1 は初期の固有周期 T_0 よりも長くなる。東京都防災会議(1991)では、田治見(1965)による振動周期の延びを採用している。

$$T_1/T_0 = \sqrt{1/\pi \times \cos^{-1}(1 - 2/\mu_0)}$$

μ_0 : 判定基準となる塑性率

木造建物のほとんどは2階建以下であり、一般にその固有周期は0.5秒以下と短い。このように固有周期が短い場合は「歪みーエネルギー一定則」が成り立ち、塑性率 μ は次式で求められる。

$$\mu = 1/2 \left\{ \left(A_e/A_y \right)^2 + 1 \right\}$$

A_e : 弹性応答加速度(gal)

A_y : 降伏加速度($= C_y \times 980$)(gal)

被害を規定する塑性率 μ_{cr} は固有周期によって異なるという考え方から、 μ_{cr} により建物の被災程度を規定する。被害率の算定には、判定塑性率を超える固有周期の範囲を求め、各種建物に対する周期確率分布から周期範囲内にある建物の存在確率を算出し、被害率とみなしている。

$$\mu_{cr} = \mu_0 \sqrt{\frac{0.5}{T}}$$

μ_0 : 判定基準となる塑性率(中破で4、大破で8)

T : 固有周期(s)

(2) 被害率曲線を用いる手法

① Miyakoshi et al. (1997) の手法

○採用自治体：栃木県(04), 千葉県(08), 神奈川県(09), 愛知県(03), 愛媛県(02), 大分県(13), 千葉市(08)

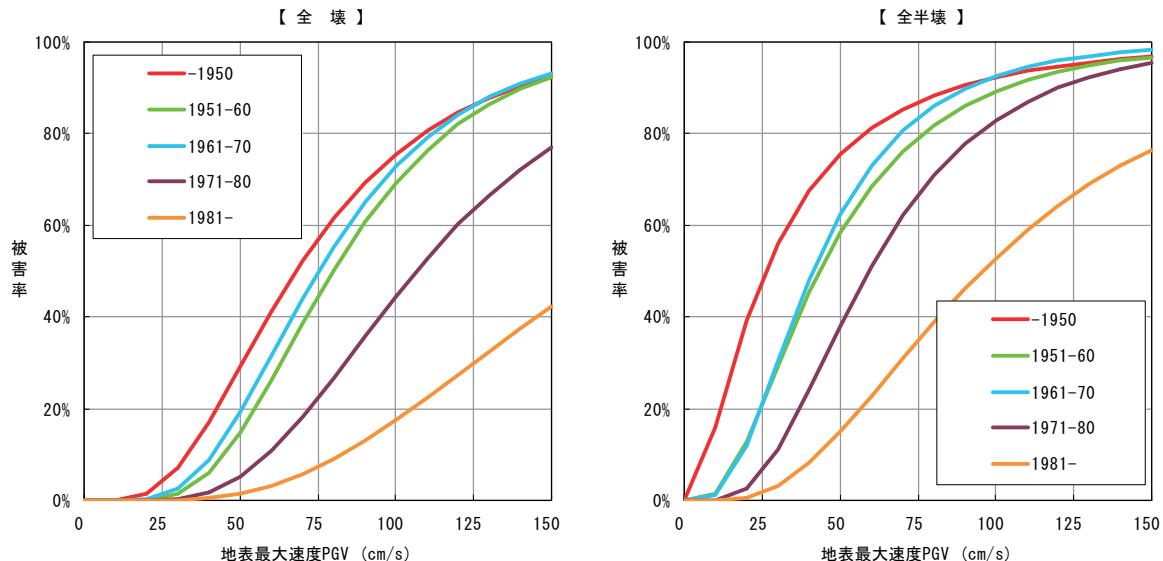
兵庫県南部地震(1995)の西宮市の被害実績から、地表最大速度 PGV と建物被害率の関係を設定している。建物被害率 $P_R(PGV)$ は、標準正規分布の累積確率分布関数 Φ を用いて対数正規分布で表せる仮定し、分布のパラメータを最小二乗法により求めている。

$$P_R(PGV) = \Phi\left(\frac{\ln(PGV) - \lambda}{\zeta}\right)$$

ただし、 λ , ζ は $\ln(PGV)$ の平均値および標準偏差

表III-1-7 木造建物の被害率曲線のパラメータ (Miyakoshi et al. (1997) より作成)

建築年代	全壊			全半壊		
	λ	ζ	R	λ	ζ	R
全年代	4.42	0.538	0.998	3.81	0.721	0.984
-1950	4.22	0.558	0.994	3.26	0.945	0.983
1951-60	4.38	0.445	0.992	3.77	0.674	0.978
1961-70	4.32	0.467	0.990	3.72	0.614	0.965
1971-80	4.67	0.462	0.984	4.08	0.551	0.983
1981-	5.12	0.552	0.966	4.56	0.624	0.950



図III-1-6 木造建物の被害率曲線 (Miyakoshi et al. (1997) より作成)

○愛知県(03)では…

主に以下の点を補正した被害率曲線を作成している。

- ・兵庫県南部地震(1995)での被害事例はゆれの大きい範囲が中心であったため、ゆれの小さい場合にも適用可能なよう、鳥取県西部地震(2000)等の事例により補正した。
- ・ゆれの指標はSI値とし、被害率曲線の適用にあたっては、 $PGV = SI / 1.18$ (童ら, 1994)の関係によりSI値を地表最大速度PGVに換算した。これは、SI値は、一般に震度や地表最大速度PGV、地表最大加速度PGAなどよりも建物被害の相関が高いといわれているためである。

○栃木県(04)では…

上記の愛知県(03)が補正した式を採用している。

$$P_R(PGV) = 0 \quad (PGV < V_0)$$

$$P_R(PGV) = \Phi\left(\frac{\ln(PGV - V_0) - \lambda}{\zeta}\right) \quad (PGV > V_0)$$

ただし、 V_0 ：被害率が0%となる最大速度(cm/s)

$$\lambda^* = \ln[\exp(\lambda) - V_0]$$

$$\xi^* = \{\ln(V' - V_0) - \ln[\exp(\lambda) - V_0]\} / \{\ln(V') - V_0\} * \xi$$

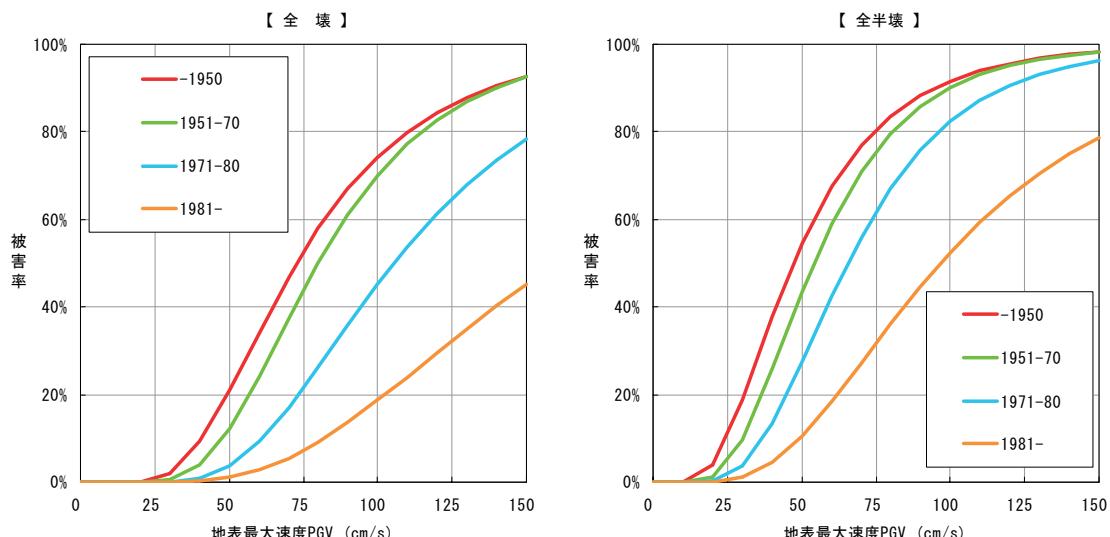
V' ：地域の最大速度(cm/s)

λ, ξ ： $\ln(PGV)$ の平均値および標準偏差

表III-1-8 木造建物の被害率曲線のパラメータ(栃木県(2004)より作成)

建築年代	全壊			全半壊		
	λ^*	ζ^*	下限値	λ^*	ζ^*	下限値
-1950	4.14	0.556	10cm/s	3.74	0.590	5cm/s
1951-70	4.25	0.479	10cm/s	3.89	0.516	5cm/s
1971-80	4.56	0.488	10cm/s	4.10	0.489	5cm/s
1981-	5.01	0.571	10cm/s	4.52	0.571	5cm/s

(注) 下限値とは被害率が0%となる最大速度(cm/s)



図III-1-7 木造建物の被害率曲線(栃木県(2004)より作成)

○大分県(13)では…

上記の愛知県(03)で設定されている式を大破・中破を表すものとし、全壊・半壊を長崎県(06)に基づき以下のようにして換算する

$$\text{大破以上率} = 0.5 \times \text{全壊率} + \text{中破以上率}$$

$$= 0.5 \times \text{全半壊率} \quad (\text{ここで、全半壊率} = \text{全壊率} + \text{半壊率})$$

② 山口・山崎(2000)の手法

○採用自治体：徳島県(05)

兵庫県南部地震(1995)の西宮市の被害データから、地震動強さ（地表最大加速度 PGA 、地表最大速度 PGV 、 SI 値、計測震度 I ）と建物被害率の関係を設定している。建物被害率 $P_R(x)$ は、 $PGA \cdot PGV \cdot SI$ については対数正規分布、計測震度 I については正規分布で表せると仮定し、分布のパラメータを最小二乗法により求めている。

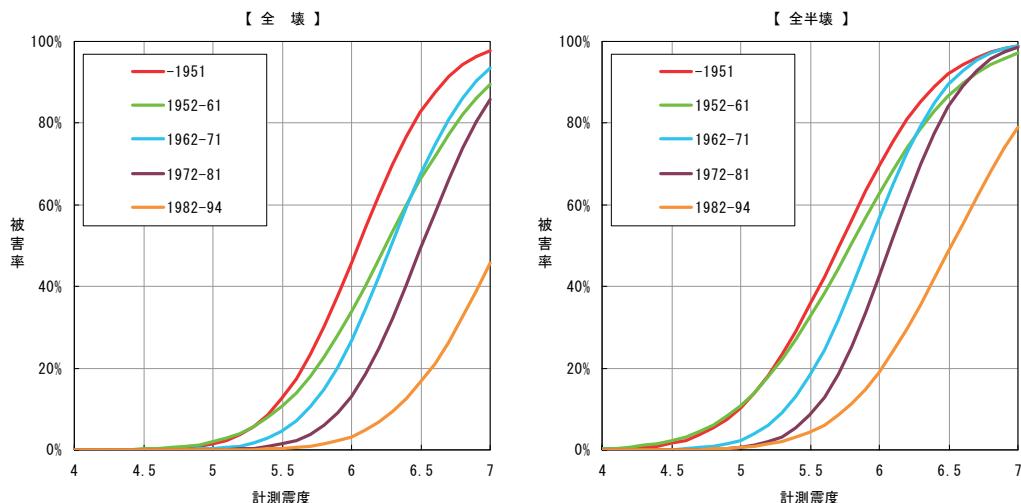
$$\langle PGA, PGV, SI \rangle \quad P_R(x) = \Phi\left(\frac{\ln(x) - \lambda}{\zeta}\right) \quad \lambda, \zeta \text{ は } \ln(x) \text{ の平均値および標準偏差}$$

$$\langle I \rangle \quad P_R(I) = \Phi\left(\frac{I - \lambda}{\zeta}\right) \quad \lambda, \zeta \text{ は } I \text{ の平均値および標準偏差}$$

表III-1-9 木造建物の被害率曲線のパラメータ(山口・山崎(2000)より作成)

	建築年代	PGA (cm/s ²)		PGV (cm/s)		SI (cm/s)		計測震度 I		
		λ	ζ	λ	ζ	λ	ζ	λ	ζ	
木造	全壊	全年代	6.76	0.613	4.60	0.538	4.77	0.568	6.35	0.500
		-1951	6.38	0.571	4.27	0.501	4.42	0.529	6.05	0.477
		1952-61	6.62	0.585	4.48	0.525	4.64	0.554	6.25	0.600
		1962-71	6.67	0.561	4.52	0.493	4.69	0.520	6.29	0.468
		1972-81	6.93	0.547	4.75	0.480	4.93	0.507	6.51	0.455
		1982-94	7.58	0.682	5.32	0.599	5.53	0.632	7.06	0.574
	全半壊	全年代	6.33	0.622	4.22	0.546	4.37	0.576	6.00	0.503
		-1951	5.97	0.673	3.91	0.591	4.04	0.624	5.71	0.562
		1952-61	6.18	0.616	4.08	0.555	4.22	0.585	5.79	0.640
		1962-71	6.22	0.557	4.12	0.489	4.27	0.516	5.92	0.465
		1972-81	6.41	0.508	4.30	0.446	4.45	0.471	6.08	0.422
		1982-94	6.94	0.718	4.76	0.629	4.94	0.665	6.52	0.595
ブ 木 レ 質 系 フ 系	全壊	全年代	8.05	1.01	5.74	0.891	5.97	0.939	7.49	0.880
		-1981	7.63	0.863	5.37	0.759	5.58	0.801	7.11	0.741
		1982-94	8.29	0.993	5.95	0.873	6.19	0.921	7.66	0.836
	全半壊	全年代	7.47	0.839	5.00	0.737	5.20	0.778	6.74	0.698
		-1981	7.08	0.936	4.88	0.820	5.07	0.866	6.62	0.771
		1982-94	7.50	0.948	5.25	0.833	5.46	0.880	6.97	0.784

(注) 太枠内は徳島県(2005)で被害予測に用いられている被害率曲線



図III-1-8 徳島県(2005)における木造建物の被害率曲線(山口・山崎(2000)より作成)

③ 村尾・山崎(2000, 2002)の手法

○採用自治体：山梨県(05), 島根県(12), 札幌市(08), 川崎市(13)

兵庫県南部地震(1995)の神戸市の被害実績から、地表最大速度 PGV と木造建物被害率の関係を設定している。建物被害率 $P_R(PGV)$ は、標準正規分布の累積確率分布関数 Φ を用いて、対数正規分布で表せると仮定し、分布のパラメータを最小二乗法により求めている。

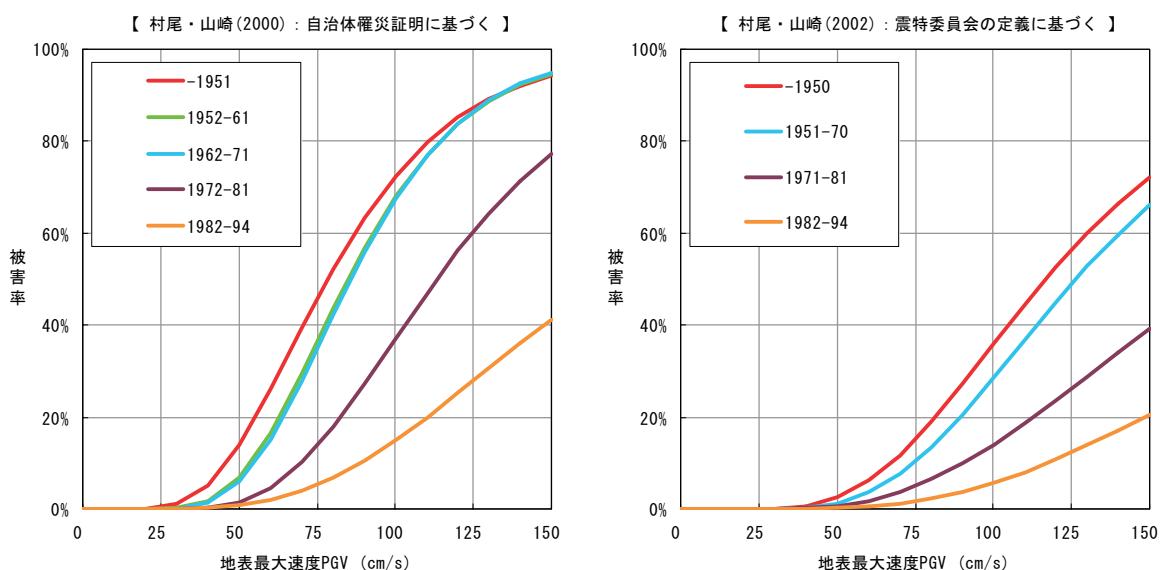
$$P_R(PGV) = \Phi\left(\frac{\ln(PGV) - \lambda}{\zeta}\right)$$

ただし、 λ , ζ は $\ln(PGV)$ の平均値および標準偏差

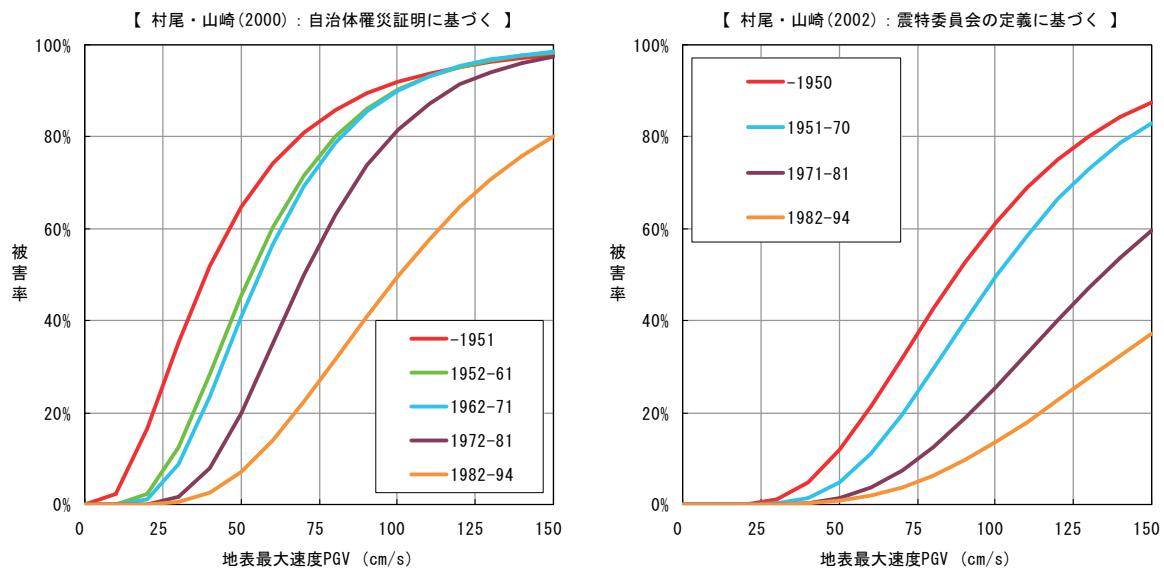
なお、被災程度については、村尾・山崎(2000)は自治体の罹災証明に基づいており、村尾・山崎(2002)は震災復興都市づくり特別委員会（以下「震特委員会」）の定義に基づくものである。

表III-1-10 木造建物の被害率曲線のパラメータ(村尾・山崎(2000, 2002)より作成)

村尾・山崎(2000)：自治体罹災証明に基づく				村尾・山崎(2002)：震特委員会の定義に基づく					
建築年代	全壊		全半壊		建築年代	全壊		全半壊	
	λ	ζ	λ	ζ		λ	ζ	λ	ζ
-1951	4.36	0.411	3.66	0.674	-1950	4.76	0.430	4.47	0.469
1952-61	4.44	0.353	3.97	0.490	1951-70	4.84	0.413	4.61	0.419
1962-71	4.45	0.342	4.02	0.456	1971-81	5.15	0.504	4.90	0.449
1972-81	4.73	0.378	4.25	0.395	1982-94	5.45	0.534	5.18	0.521
1982-94	5.12	0.496	4.61	0.474	全年代	4.90	0.447	4.67	0.478
全年代	4.51	0.410	4.07	0.514					



図III-1-9 木造建物の被害率曲線【全壊】(村尾・山崎(2000, 2002)より作成)



図III-1-10 木造建物の被害率曲線【全半壊】(村尾・山崎(2000, 2002)より作成)

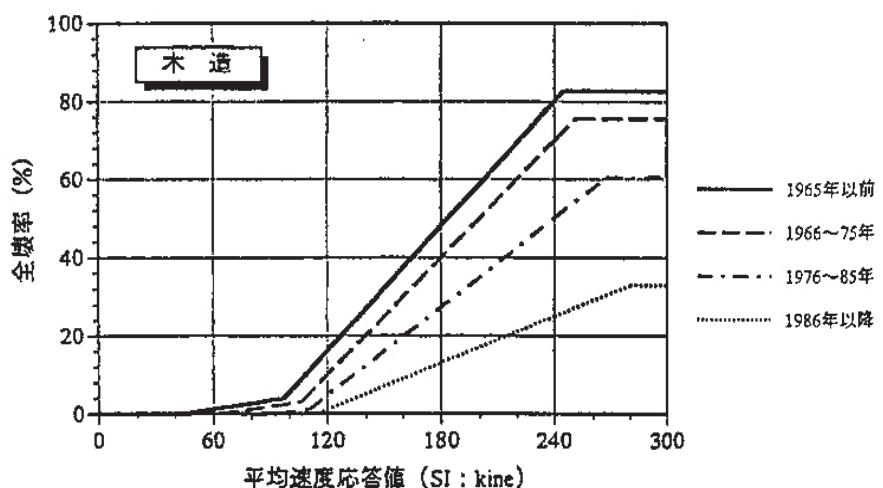
○山梨県(05)では…

自治体罹災証明に基づく被害と震特委員会の定義に基づく被害の両方を予測している。ゆれによる建物被害はSI値と相関が高いといわれているため、波形計算によって得られるSI値を 最大速度=SI/1.18 の関係式により換算した最大速度を用いている。

④大阪府(1997)の手法

○採用自治体：滋賀県(05)

兵庫県南部地震(1995)の被害データをもとに、構造、年代別に平均速度応答値と被害率の関係を設定している。



図III-1-11 平均速度応答値と木造建物全壊率(大阪府, 1997)

⑤兵庫県(1999)の手法

○採用自治体：兵庫県(99)<直下型地震>

嘉嶋・高田(1996)は、兵庫県南部地震(1995)の被災事例を調査し、地表加速度と木造建物被害の関係をまとめている。

兵庫県(1999)では、嘉嶋・高田(1996)に県で調査した建物被害数が一致するようにパラメータを設定している。

■木造建物全壊率 P (%)

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^K e^{-\frac{(k-k_0)^2}{2\sigma^2}} dk \times 100$$

ただし、 K ：地表最大加速度／重力加速度

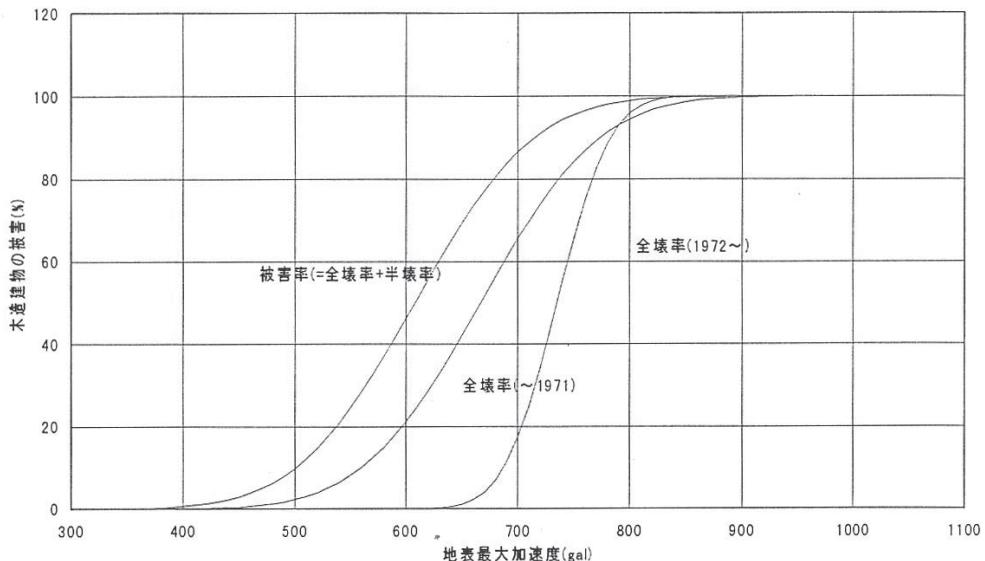
$$K_0, \sigma : K_0 = 0.68 \quad \sigma = 0.085 \quad (\sim 1971\text{年})$$

$$K_0 = 0.75 \quad \sigma = 0.038 \quad (1972\text{年} \sim)$$

■木造建物被害率 (=全壊率+半壊率) Q (%)

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^K e^{-\frac{(k-k_0)^2}{2\sigma^2}} dk \times 100$$

$$K_0, \sigma : K_0 = 0.62 \quad \sigma = 0.085$$



図III-1-12 地表最大加速度と木造建物被害の関係(兵庫県, 1998)

○兵庫県(99)では…

海溝型地震(南海道地震)の場合は、静岡県(1978)で設定された地表加速度別の木造建物被害率を用いている。

⑥中央防災会議 東海地震対策専門調査会「東海地震に係る被害想定」(2001)・中央防災会議 東南海、南海地震等に関する専門調査会 「東南海・南海地震に係る被害想定」(2003)・東京都(2006)・中央防災会議 首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」(2005)・中央防災会議 東南海、南海地震等に関する専門調査会 「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定」(2008)・中央防災会議 南海トラフ巨大地震モデル検討会等(2013) の手法

○採用自治体：岩手県(04), 秋田県(13), 群馬県(12), 埼玉県(07), 東京都(12), 富山県(11), 奈良県(05), 岡山県(13), 広島県(07), 山口県(08), 香川県(13), 高知県(13), 佐賀県(10), 熊本県(13), さいたま市(09), 横浜市(12), 広島市(08)

兵庫県南部地震(1995)における西宮市, 鳥取県西部地震(2000)における鳥取市, 芸予地震(2001)における呉市のデータから計測震度と被害率(全壊率)との関係式を導出し, ゆれによる木造建物被害を算出している.

$$P(I) = \Phi\left(\frac{I - \lambda}{\zeta}\right)$$

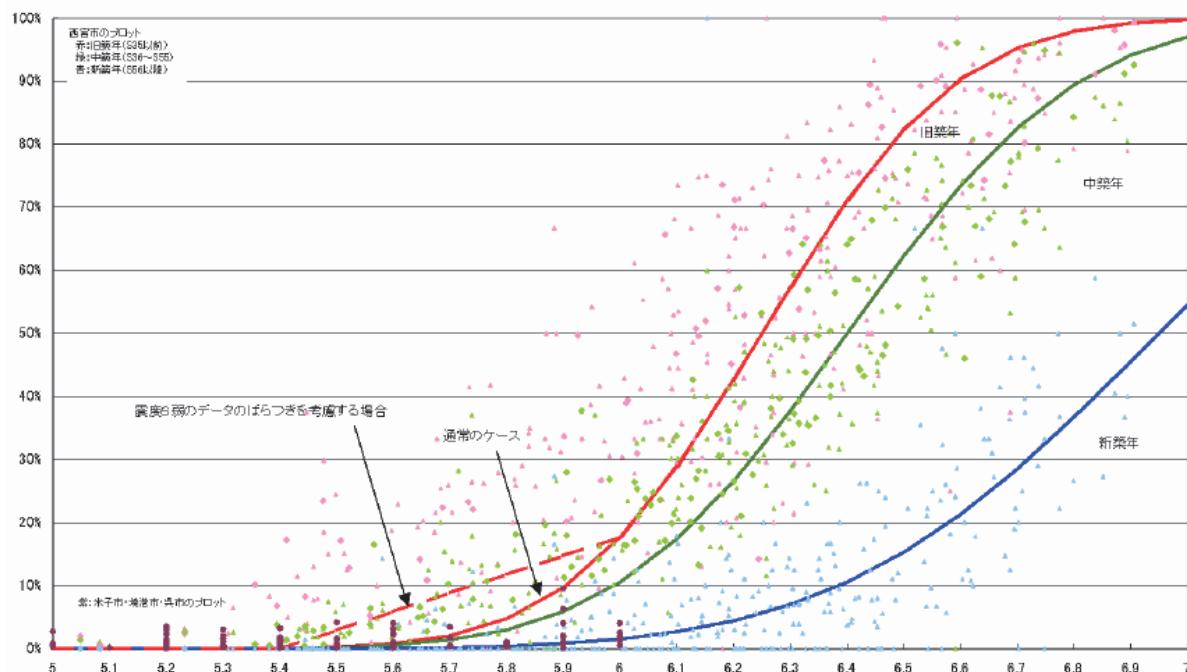
ただし, $P(I)$: 被害が発生する確率

I : 計測震度

$\Phi(x)$: 標準正規分布の累積確率密度関数

λ, ζ : I の平均値および標準偏差

ただし, 中央防災会議(2001)では, 震度6弱の部分のプロットデータに大きなばらつきが見られるため, 部分的に直線を使用してばらつきを考慮した被害率を用いた場合も計算している.



図III-1-13 計測震度と木造建物全壊率の関係(中央防災会議, 2001)

○岩手県(04)では…

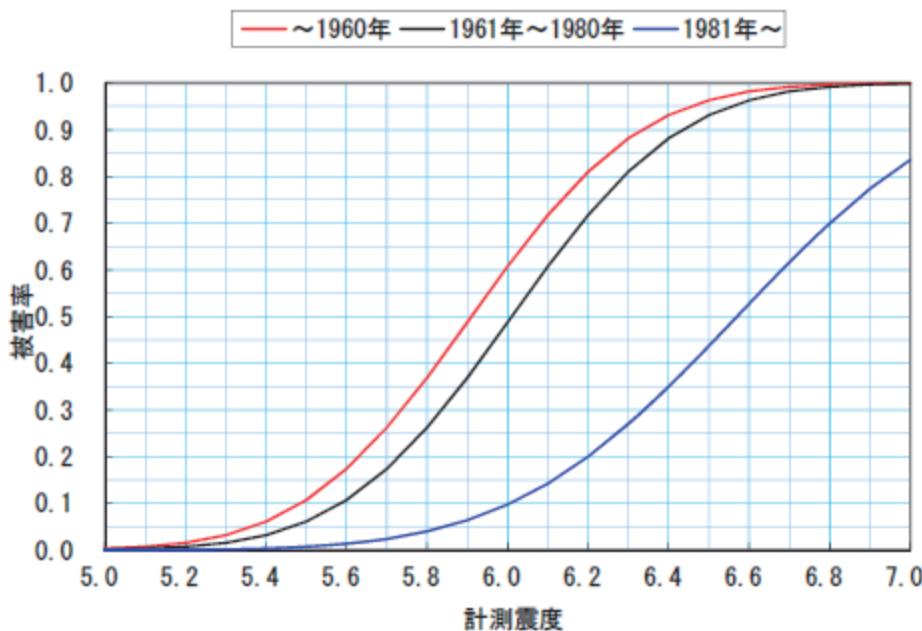
半壊率については、中央防災会議(2003)の手法が公開されていないため、東京都(1997)を参考に全壊率の3倍に設定している。

○奈良県(05)では…

中央防災会議(2003)等の資料を参考に、全壊率、全半壊率の被害率を作成している。

○秋田県(13)、群馬県(12)、埼玉県(07)、富山県(11)、広島県(07)、山口県(08)、さいたま市(09)、横浜市(12)、広島市(08)では…

半壊棟数に関しては、中央防災会議の手法(2006)が公開されていないため、東京都(2006)の震度と半壊率との関係を用いて、半壊棟数を算出している。なお、ここで用いるテーブルは全半壊テーブルであるため、このテーブルを用いて求めた全半壊棟数から、全壊棟数を引いたものを半壊棟数としている。



図III-1-14 全半壊被害率（横浜市、2012）

表III-1-11 被害率曲線の係数（秋田県、2013）

建築年次	λ	ζ
～1960年	5.91	0.33
1961年～1980年	6.01	0.33
1981年～	6.57	0.44

(注1) 係数の値は、埼玉県が東京都(2006)のグラフから推定して設定したものである

○東京都(12)では…

過去の被害を受けた地域の大半を軟弱地盤と仮定し、硬地盤における被害率を以下のように設定する。硬軟の区分は、内閣府DISの被害率テーブルに倣い、卓越周期0.5秒以上を軟地盤、0.5秒未満を硬地盤とする。

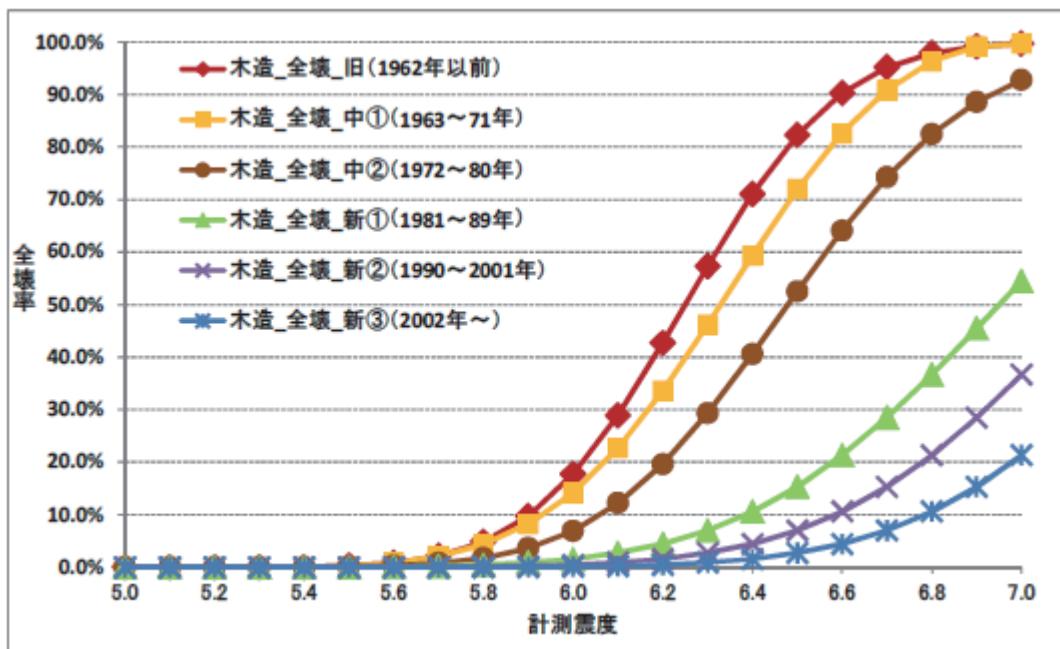
$$\text{硬地盤の被害率} = \text{軟弱地盤} \times \text{内閣府DIS硬軟比}$$

さらに、建築基準法改正のうち建築構造上、重要な年を境目として設定（S36：木造壁率の基準強化／S56：新耐震基準の導入）し、年代区分を 1961 以前／1962-1981／1982 以降としている

○中央防災会議(13), 岡山県(13), 香川県(13), 高知県(13), 熊本県(13)では…

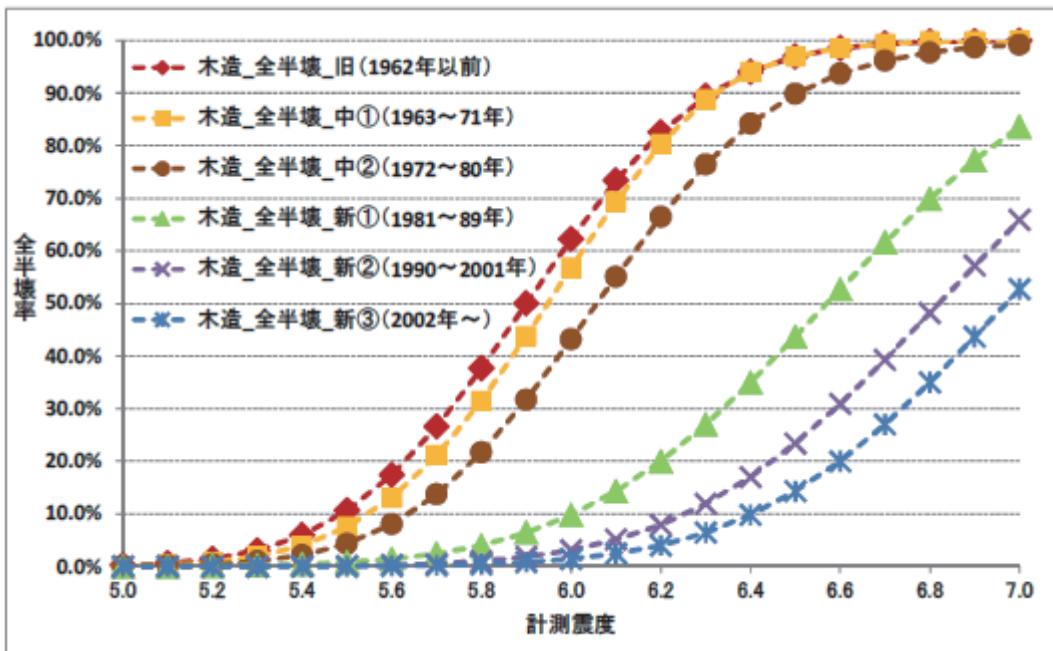
築年数の区分を以下のように細分化し、6区分にした。

- ・新築年の年次区分を新築年①（1981年～89年）、新築年②（1990年～2001年）、新築年③（2002年～）の3区分とする。
- ・木造建物の中築年の年次区分を中築年①（1963年～71年）、中築年②（1972年～80年）の2区分とする。
- ・旧築年、中築年の建物の耐震改修・補強による被害軽減効果を考慮する。



図III-1-15 全壊率曲線（中央防災会議, 2013）

岡山県(13), 香川県(13), 高知県(13), 熊本県(13)では, 全半壊率も示し, 「全半壊—全壊」として半壊を算出している



図III-1-16 木造建物の全壊率曲線（高知県, 2013）

⑦境ら (2002)・堀江ら (2003) の手法

○採用自治体：三重県(06)

境ら (2002) によると、1995 年兵庫県南部地震など建物倒壊が多く発生した地震に対して、地震動の強さと建物被害との関係を検討すると、水平 2 成分ベクトル和による減衰定数 5%の弾性速度応答のうち、周期 1.2~1.5 秒での平均値(等価周期速度応答)が建物被害率と高い相関性を持つという結果が得られている。また、堀江ら (2003) により、兵庫県南部地震の西宮市の被害状況から建築年代別・ダメージグレード別被害関数が求められている。ここでは、境らの被害関数を建物の被害想定時の被害関数に用いることとし、ダメージグレード間、及び年代間の相対的な差は堀江らの知見に基づいて設定している。

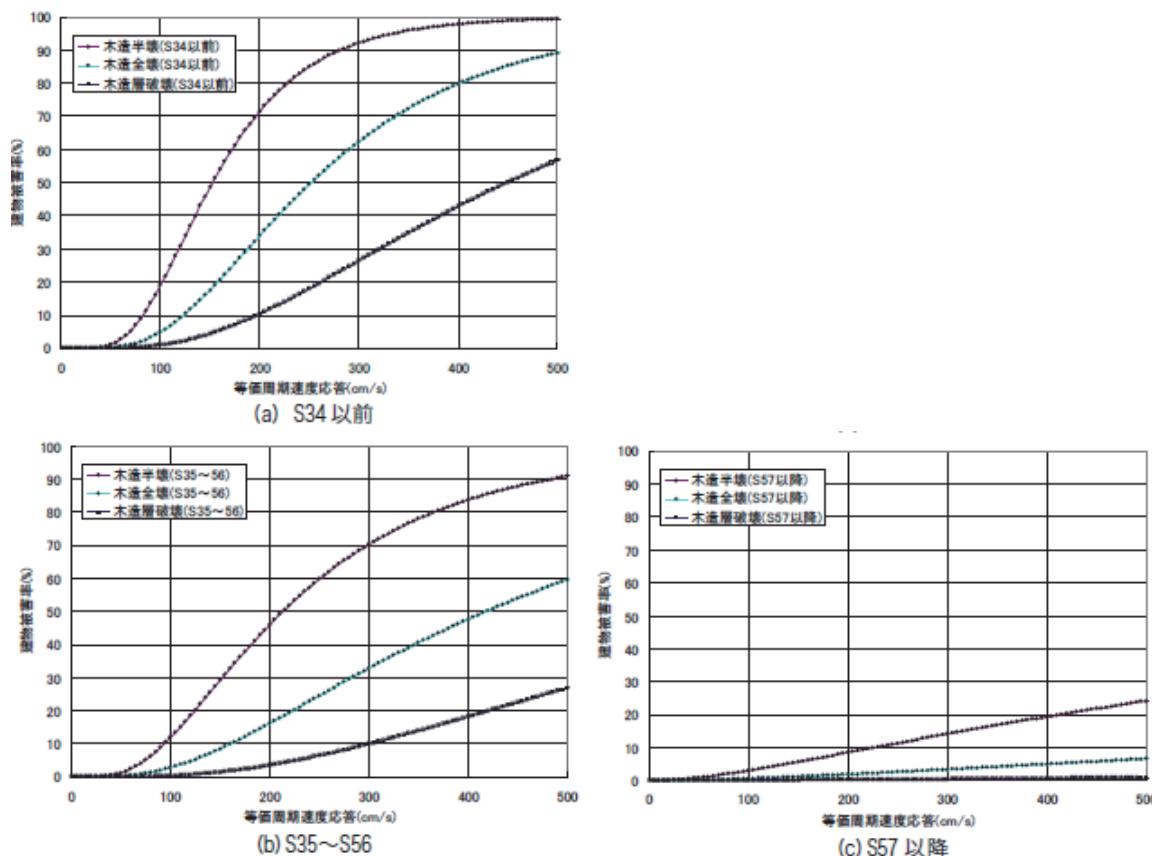


図 III-1-17 木造建物の被害関数(三重県, 2006)

⑧鳥取県(2005)の手法

○採用自治体：鳥取県(05)

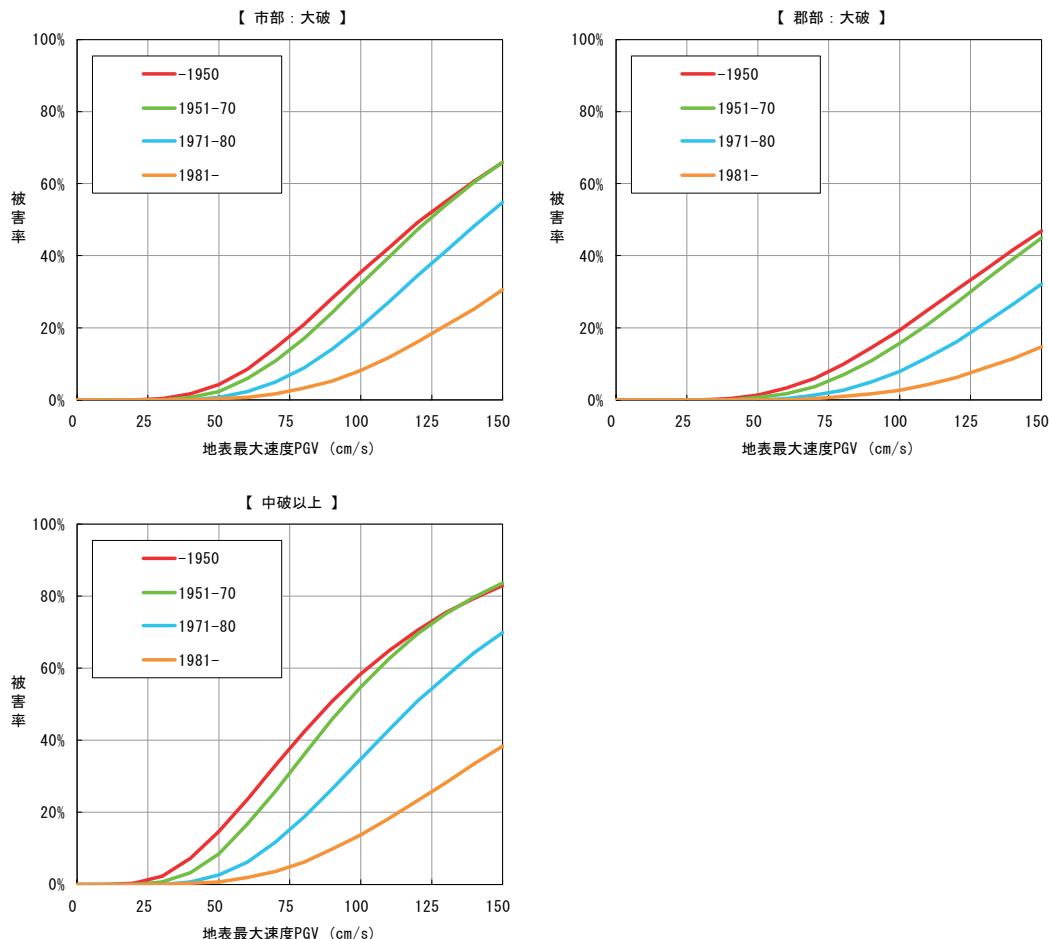
鳥取県(2005)では、過去事例に基づき最大速度と被害率の関係式（被害率曲線）を作成し、大破・中破棟数を予測している。被害率曲線は、想定地震がすべて活断層の地震であることを考慮し、兵庫県南部地震(1995)の実被害による既存の被害率曲線を基に、鳥取県西部地震で全数調査が実施された地区での被害率に整合するように作成されている。

$$P_R(PGV) = \Phi\left(\frac{\ln(PGV) - \lambda}{\zeta}\right)$$

ただし、 λ 、 ζ は $\ln(PGV)$ の平均値および標準偏差

表III-1-12 木造建物の被害率曲線のパラメータ(鳥取県(2005)より作成)

建築年代	大破		中破以上		
	λ		Z	λ	ζ
	市部	郡部			
-1950	4.80	5.05	0.517	4.49	0.550
1951-70	4.82	5.07	0.461	4.55	0.469
1971-80	4.96	5.21	0.428	4.78	0.447
1981-	5.25	5.50	0.466	5.16	0.509



図III-1-18 木造建物の被害率曲線(鳥取県(2005)より作成)

⑨仙台市(2002)の手法

○採用自治体：宮城県(04), 仙台市(02)

仙台市(2002)では、応答解析に基づく手法と過去の地震被害経験に基づく手法（被害率曲線を用いる手法）の両方の長所を取り入れるため、兵庫県南部地震(1995)の被害実績を基礎データとして、以下のような手順で木造建物の被害率曲線を作成している。

- 耐震性能を標準せん断力係数 C_0 で代表させ、被害程度を表す層間変位を確率分布とした。
- 兵庫県南部地震(1995)の被害結果を説明しうる建物群モデルを計算により求めた。変形性能と耐力分布を同時に同定することは困難なため、耐力分布は対数正規分布に従うと仮定し、分布の対数標準偏差を0.4と定めた。

表III-1-13 建築年代毎の木造建物の C_0 分布特性(仙台市, 2002)

年代区分	平均値 λ	標準偏差 ξ
-1950	0.46	0.4
1951-1970	0.55	0.4
1971-1981	0.67	0.4
1982-	0.79	0.4

$$(注) \lambda = E[\ln(C_0)], \xi = \sqrt{Var[\ln(C_0)]}$$

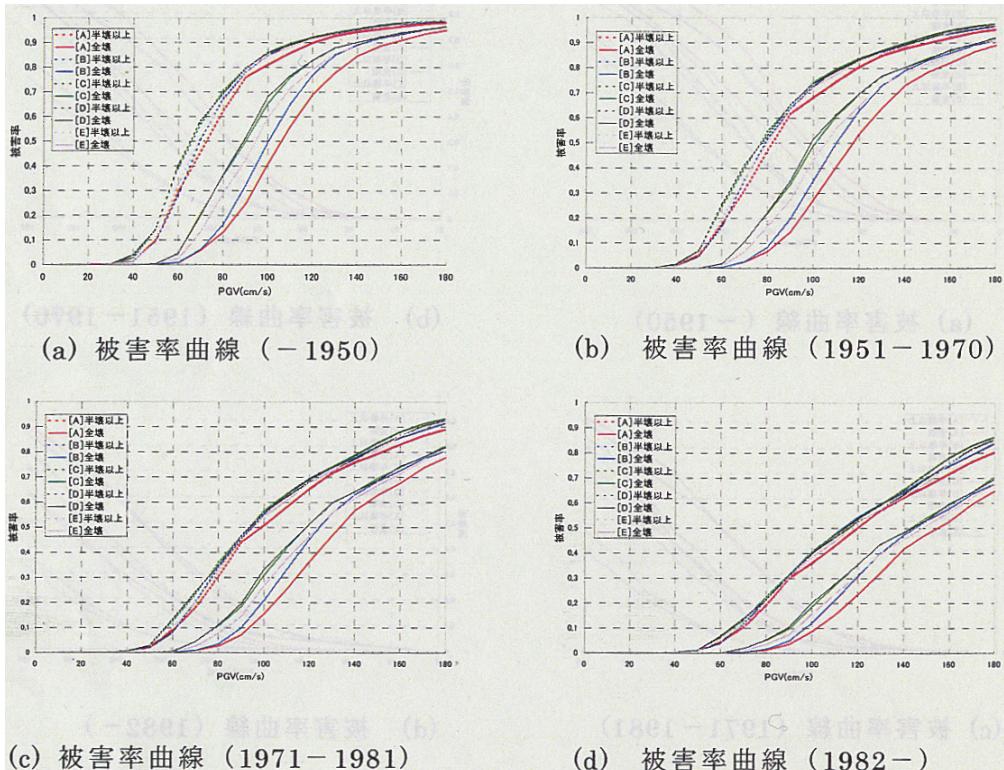
- この建物群モデルに対し、変形性能として4種類の組み合わせに対する被害率曲線を計算し、兵庫県南部地震(1995)の被害率曲線との誤差評価を行った。地震動として大阪ガス葺合供給所で観測された強震動を用いて、建物の非線形時刻歴応答解析を行い、被害率曲線との誤差を最小化するパラメータを同定した。
- 計算結果から、被害判定は、最大層間変位が8cm以上で半壊、14cm以上で全壊とした。
- 地震動の周期特性を反映した被害率曲線を作成するため、表層地質区分を利用し仙台市内を5つの地盤区分に分類した。

表III-1-14 表層地盤分類(仙台市, 2002)

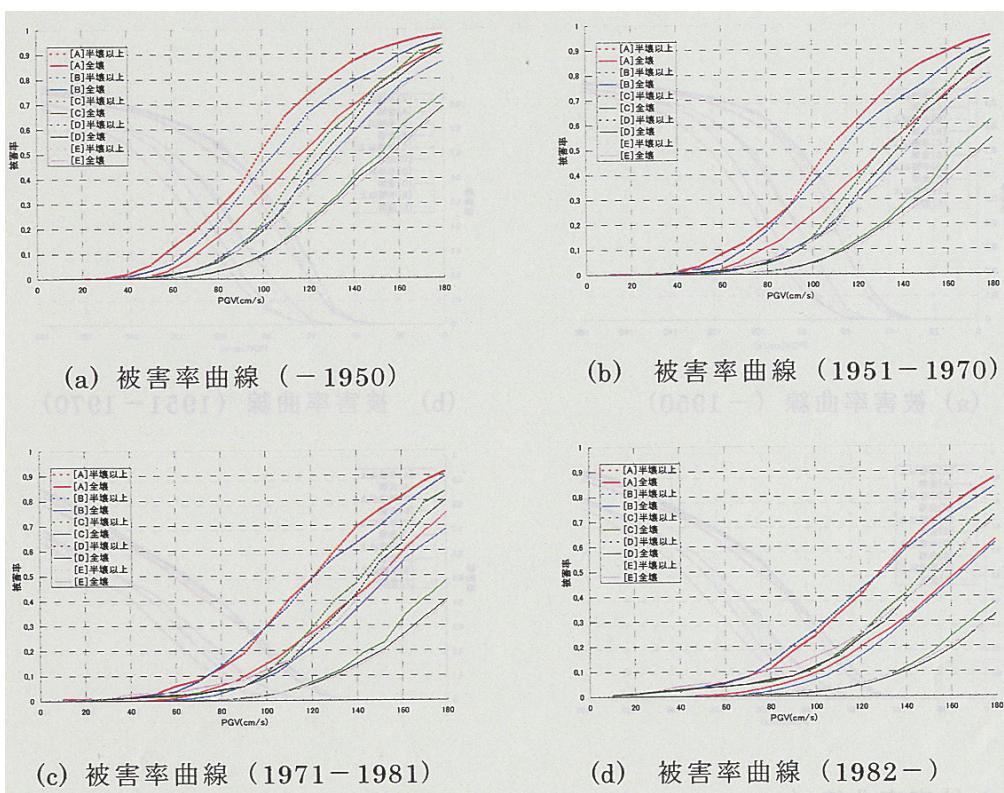
被害想定用土質分類	表層土質
A-Type	沖積腐植土
B-Type	沖積粘性土
	沖積砂質土
	沖積砂礫
C-Type	沖積砂礫
D-Type	岩類
E-Type	盛土

- 宮城県沖地震（単独モデル、連動モデル）、長町一利府断層に対応する地震動の時刻歴波形を地盤区分毎に4～6波ずつ作成し、それらをPGV（地表面の最大速度振幅）で10cm/sずつスケーリングし、被害率曲線を作成した。同じPGVに対する被害率の平均をそれぞれの地盤毎の被害率とした。

■宮城県沖地震（単独モデル、連動モデル）に対する想定被害率曲線



■長町-利府断層に対する想定被害率曲線



図III-1-19 仙台市(2002)における木造建物の被害率曲線

○宮城県(04)では…

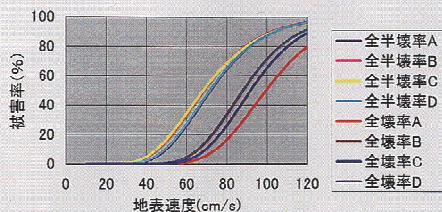
仙台市(2002)による被害率曲線を対数正規分布累積関数に近似し、新たに被害率曲線を作成している。仙台市(2002)では表層土質区分を用いて地盤区分を行っていたが、宮城県(2004)では微地形区分と対応するように設定し直している。

表III-1-15 宮城県(2004)による地盤区分

被害率曲線地盤区分	微地形区分
A-Type	自然堤防及び砂質沖積層 後背湿地、旧河道 谷底平地 浜提
B-Type	段丘及び扇状地
C-Type	山地、新期火山
D-Type	造成地、埋立地

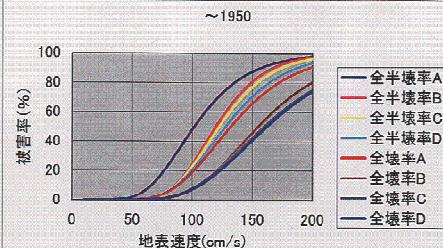
【海洋型】

~1950

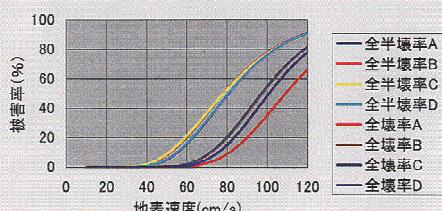


【内陸型】

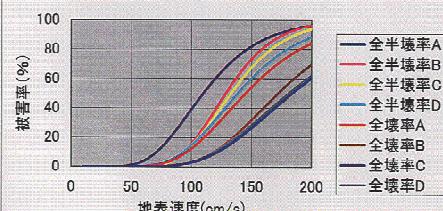
~1950



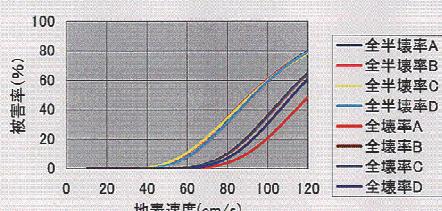
1951~70



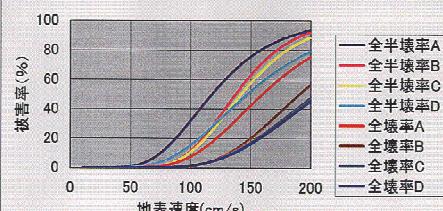
1951~70



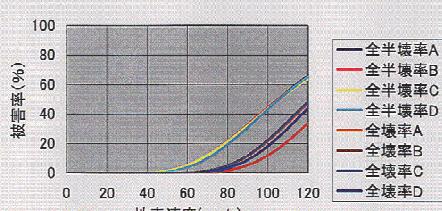
1971~81



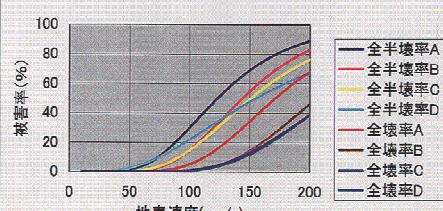
1971~81



1982~



1982~



図III-1-20 宮城県(2004)における木造建物の被害率曲線

⑩大阪府(2007)の手法

○採用自治体：大阪府(07), 堺市(09)

建物の被害率曲線は、式(1)–(3)の対数正規分布の確率密度関数に従うとしている。ここで、地震動に関する横軸指標値 X は、速度応答スペクトルの周期帯に対し、もっとも良い相関を示す値（0.5–3.0 秒の周期帯で計算した相対速度応答の平均値）を採用している。なお、兵庫県南部地震の地震動分布は、松島ら（2000）によって検証された再現地震動（表層応答を補正）を用いた。

$$P(X) = \int_{-\infty}^X \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \zeta \cdot X} \cdot \exp\left\{-\frac{(\ln X - \lambda)^2}{2\zeta^2}\right\} \quad (1)$$

$$\lambda(T) = \lambda(0) \cdot f(T)^\delta \quad (2)$$

$$f(T) = \max\left\{\exp\left(-\alpha \cdot \left(\frac{T}{\beta T_0}\right)^2\right), \gamma\right\} \quad (3)$$

$P(X)$: 確率密度

X : 地震動に係る指標値

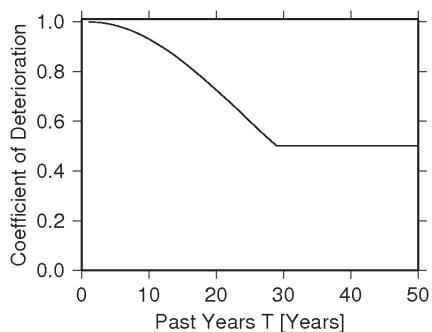
$$\text{平均 } E(X) = \exp\left(\lambda + \frac{\zeta^2}{2}\right)$$

$$\text{分散 } V(X) = \exp(2\lambda + \zeta^2) \left(\exp(\zeta^2) - 1 \right)$$

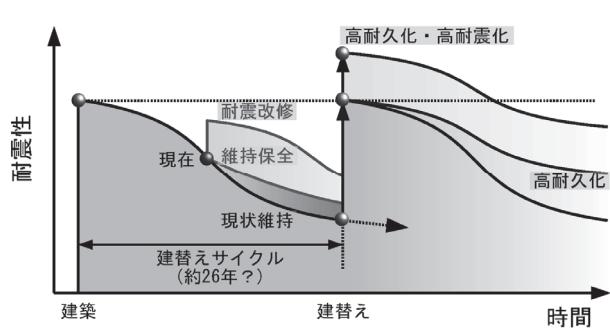
$f(T)$: 経年劣化曲線

δ : $f(T)$ に対する依存度

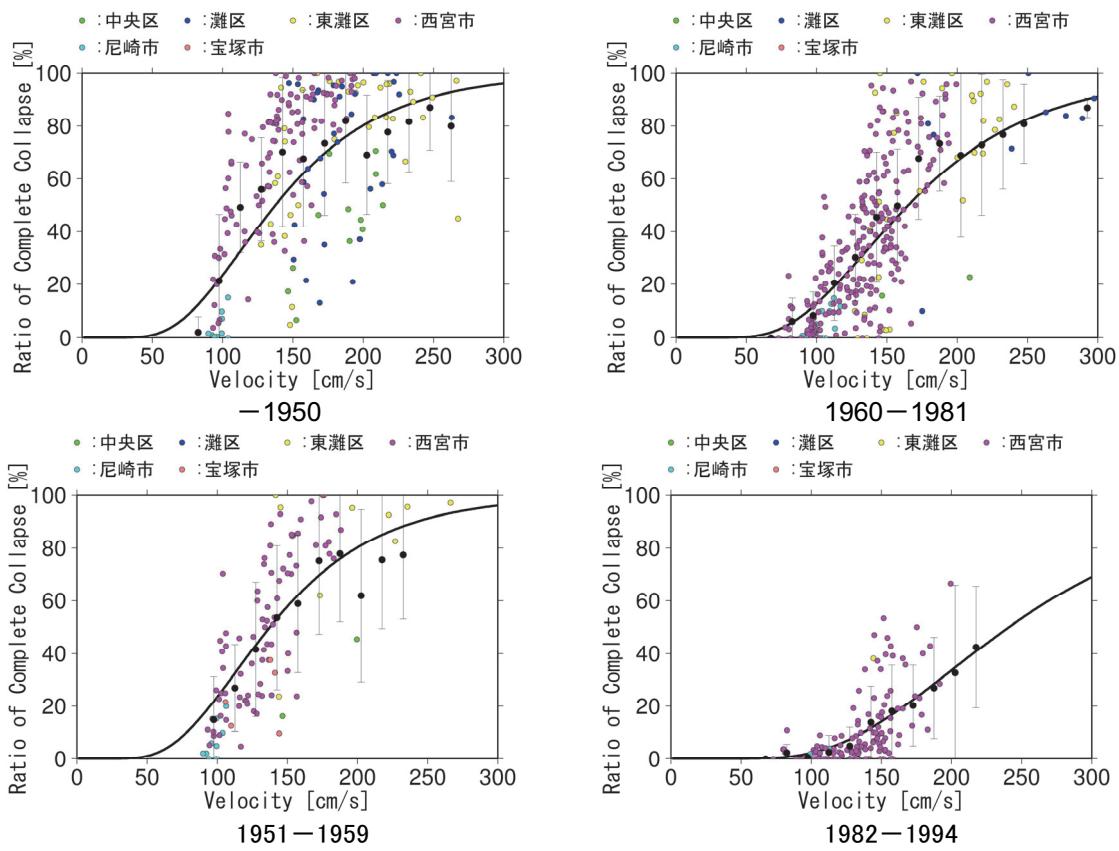
木造建物の被害率曲線は、経年劣化による変形性能の低下が支配的であるとの知見（更谷・他, 2005）に基づき、経年劣化係数を導入している（図III-1-21 参照）。これにより経年劣化係数が下限値となるまで築後 1 年経過ごとに被害率が漸増していく曲線が得られる。経年劣化係数の導入により、メンテナンスや耐震補強、建て替え等による耐震性向上の効果の試算が可能である（図III-1-22 参照）。図III-1-23 に、設定した木造の被害率曲線を示す。この設定は、兵庫県南部地震における神戸・阪神間の建物被害データ（罹災証明）に基づいたものである。



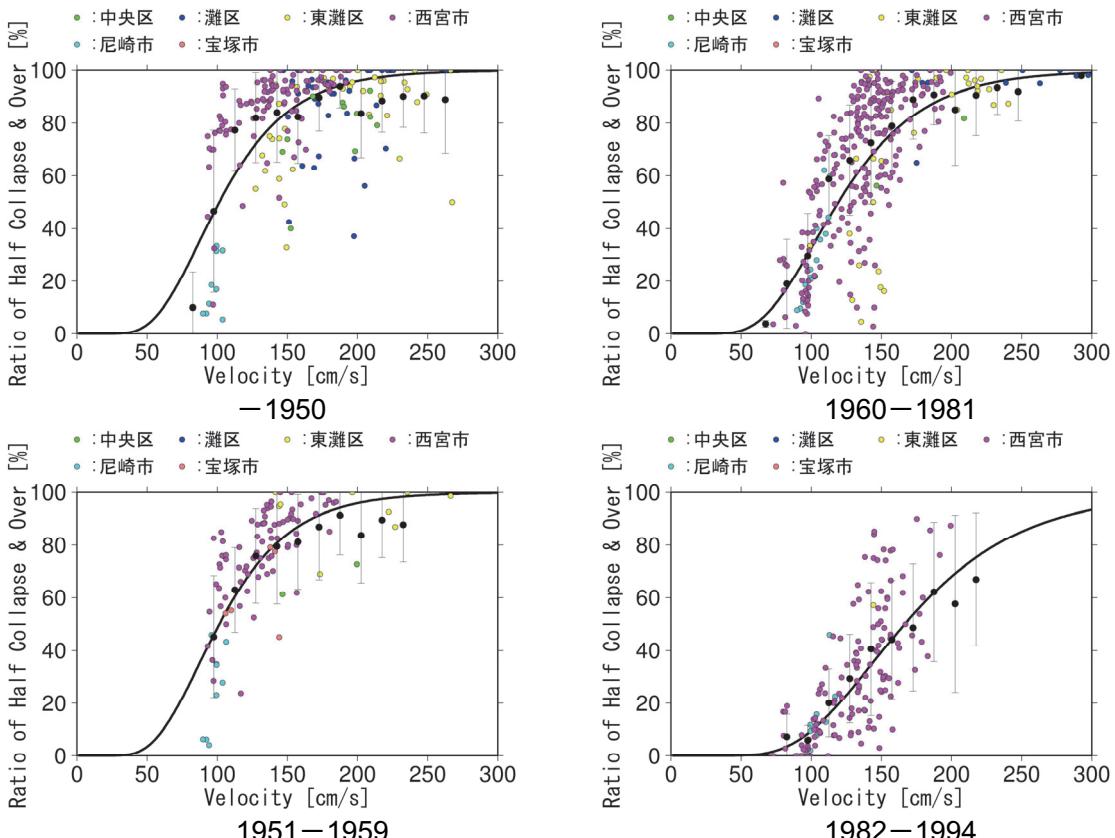
図III-1-21 経年劣化曲線 $f(T)$ (大阪府, 2007)



図III-1-22 個別建物の耐震性の推移 (大阪府, 2007)



図III-1-23(1) 木造建物 全壊率(大阪府, 2007)



図III-1-23(2) 木造建物 全・半壊率(大阪府, 2007)

⑪長谷川・翠川(1998)の手法

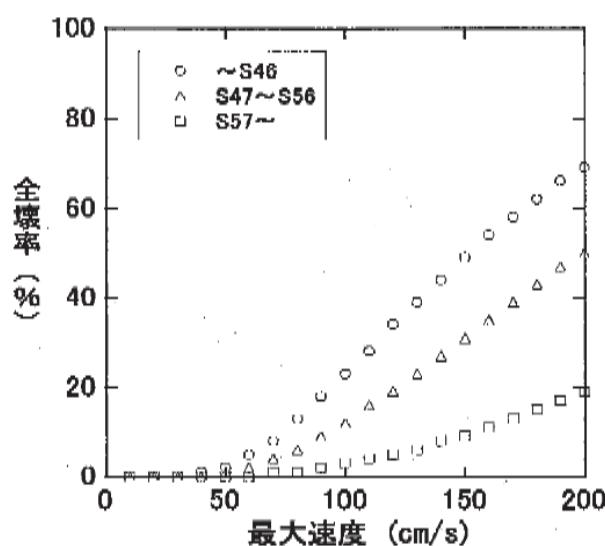
○採用自治体：山形県(06)

年代別構造別建物棟数及び地表最大速度からメッシュ別の木造建物全壊棟数を下式より算出している。

$$(木造建物全壊棟数) = (木造建物全壊率) \times (年代別木造建物棟数)$$

表III-1-16 木造建物全壊率(%) (山形県, 2006)

最大速度(cm/s)	建築年		
	~S46	S47~S56	S57~
~10	0	0	0
~20	0	0	0
~30	0	0	0
~40	1	0	0
~50	2	1	0
~60	5	2	0
~70	8	4	1
~80	13	6	1
~90	18	9	2
~100	23	12	3
~110	28	16	4
~120	34	19	5
~130	39	23	6
~140	44	27	8
~150	49	31	9
~160	54	35	11
~170	58	39	13
~180	62	43	15
~190	66	47	17
~200	69	50	19
200~	69	50	19



図III-1-24 木造建物の全壊率(山形県, 2006)

(3) 積雪を考慮した手法

日本海側の豪雪地帯では、積雪時に地震が発生した場合の建物被害棟数を予測している自治体がある。以下にその概略をまとめる。

①福井県(1997)の手法

○採用自治体：福井県(97)

福井県(1997)による木造建物の被害予測では、通常時については応答解析に基づく手法（神奈川県(1993)の手法、(1)①)を用いて行っているが、別途積雪時についても以下のようない仮定を置いた上で被害を予測している。

- ・全ての木造建物の屋根に1mの積雪があると仮定する。
- ・建築物の設計では固定荷重を積雪1cmにつき 3 kg/m^2 とみているので、積雪1mの荷重は 300 kg/m^2 としている。この荷重により、2階建家屋の基礎にかかる荷重が2倍になり、1階建家屋に対しては2.5倍になるものと考える。このような荷重の増加は、建物の見かけ上の固有周期を長くする効果と、作用する地震力が大きくなる効果の2種類の効果をもたらす。固有周期が延びることによって、外力の応答スペクトル $S_a(T)$ との関係で、作用する加速度の大きさが変わる、あるいは共振しやすくなるなどの影響が生ずる。
- ・建物の降伏強度が積雪によりどの様な影響をうけるのか不明なため、無雪時と変わらないものと仮定し、大破・中破にいたる被害確率も変わらないものと仮定している。

表III-1-17 積雪時の木造建物被害予測のパラメータ(福井県, 1997)

	積雪なし	平屋 積雪1m	2階建 積雪1m
質量	M	$M_1 = 2.5M$	$M_2 = 2M$
固有周期	T	$T_1 = 1.6T$	$T_2 = 1.4T$
地震力	$S_a(T)$	$2.5 S_a(T_1)$	$2 S_a(T_2)$
降伏震度	Y_1	Y_1	Y_1

②中央防災会議「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」(2006)の手法

○採用自治体：秋田県(13), 島根県(12)

木造建物被害と耐震性能の比較調査結果(鈴木, 後藤(1995))によると、寒冷地での建物剛性は、阪神地域のものよりも大きいことが報告されている。これより、寒冷地域、極寒冷地域では、被害率が低くなるように設定している。ただし、積雪した場合には、屋根荷重が変化し耐震性が低下するとして、豪雪地帯、特別豪雪地帯では、冬の被害率を夏に比べ高く設定している。

木造建物地域区分

木造建物地域区分													
極寒冷地	北海道												
寒地	青森県	岩手県	宮城県	秋田県	山形県	福島県	新潟県	富山県	石川県	福井県	長野県	鳥取県	島根県
その他の地域	茨城県	栃木県	群馬県	埼玉県	千葉県	東京都	神奈川県	山梨県	岐阜県	静岡県	愛知県	三重県	滋賀県
	京都府	大阪府	兵庫県	奈良県	和歌山县	鳥取県	島根県	岡山県	広島県	山口県	徳島県	香川県	愛媛県
	高知県	福岡県	佐賀県	長崎県	熊本県	大分県	宮崎県	鹿児島県	沖縄県				

全壊率テーブルの地域区分



積雪を考慮する地域(豪雪地帯対策特別措置法の指定地域)

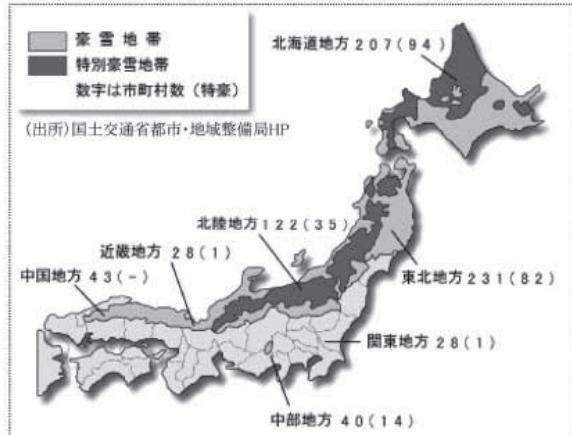
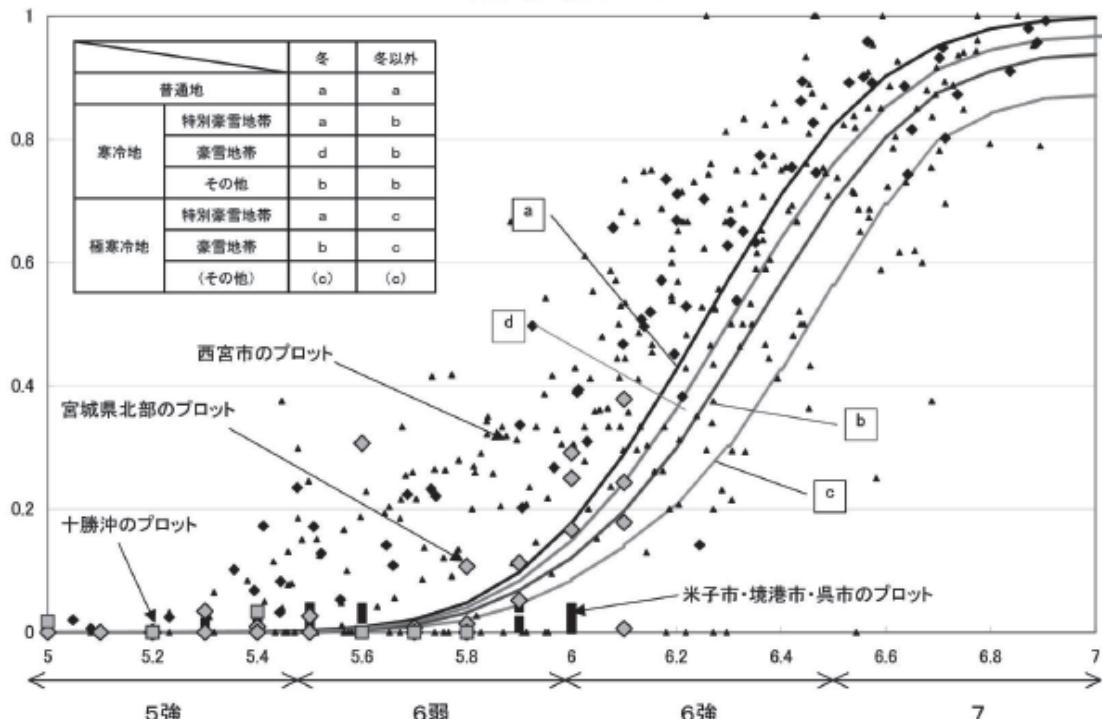


図6.3-5(1) 今回調査で採用する手法の地域区分の資料

(中央防災会議 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係る被害想定手法について(2006.1.23))

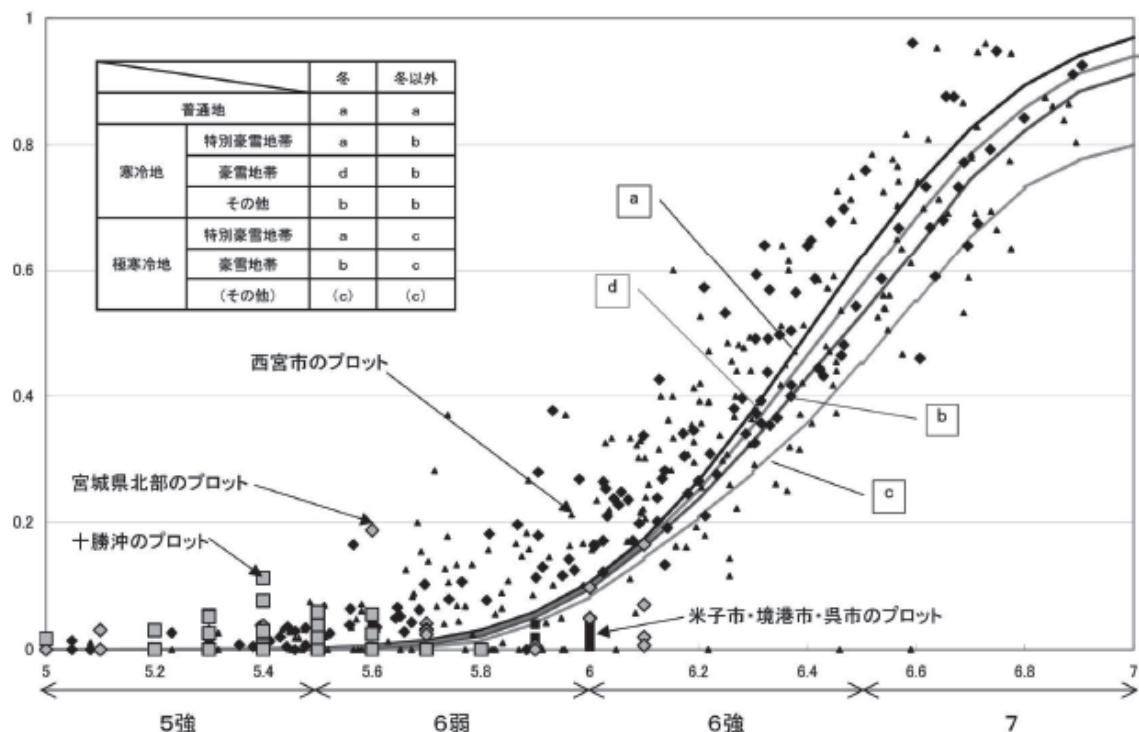
図III-1-25 木造建物地域区分 (中央防災会議, 2006)



※冬季シーンでは、特別豪雪地帯は普通地テーブル、豪雪地帯は対普通地テーブルの比を半分にした被災率テーブルを利用する。

※各プロットの計測震度は、気象庁観測点震度及び観測点震度を用いて面的に推計した震度のデータを用いている。

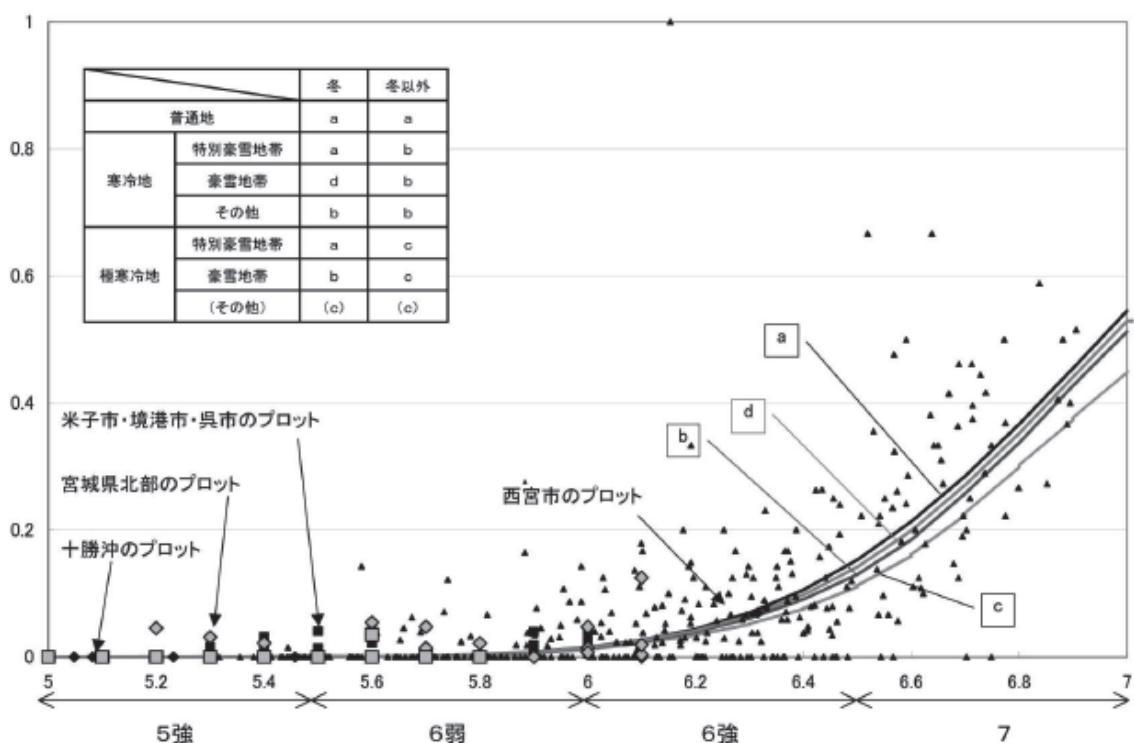
図III-1-26(1) 木造全壊率テーブル (1961年以前) (中央防災会議, 2006)



※冬期シーンでは、特別豪雪地帯は普通地テーブル、豪雪地帯は対普通地テーブルの比を半分にした被害率テーブルを利用する。

※各プロットの計測震度は、気象庁観測点震度及び観測点震度を用いて面的に推計した震度のデータを用いている。

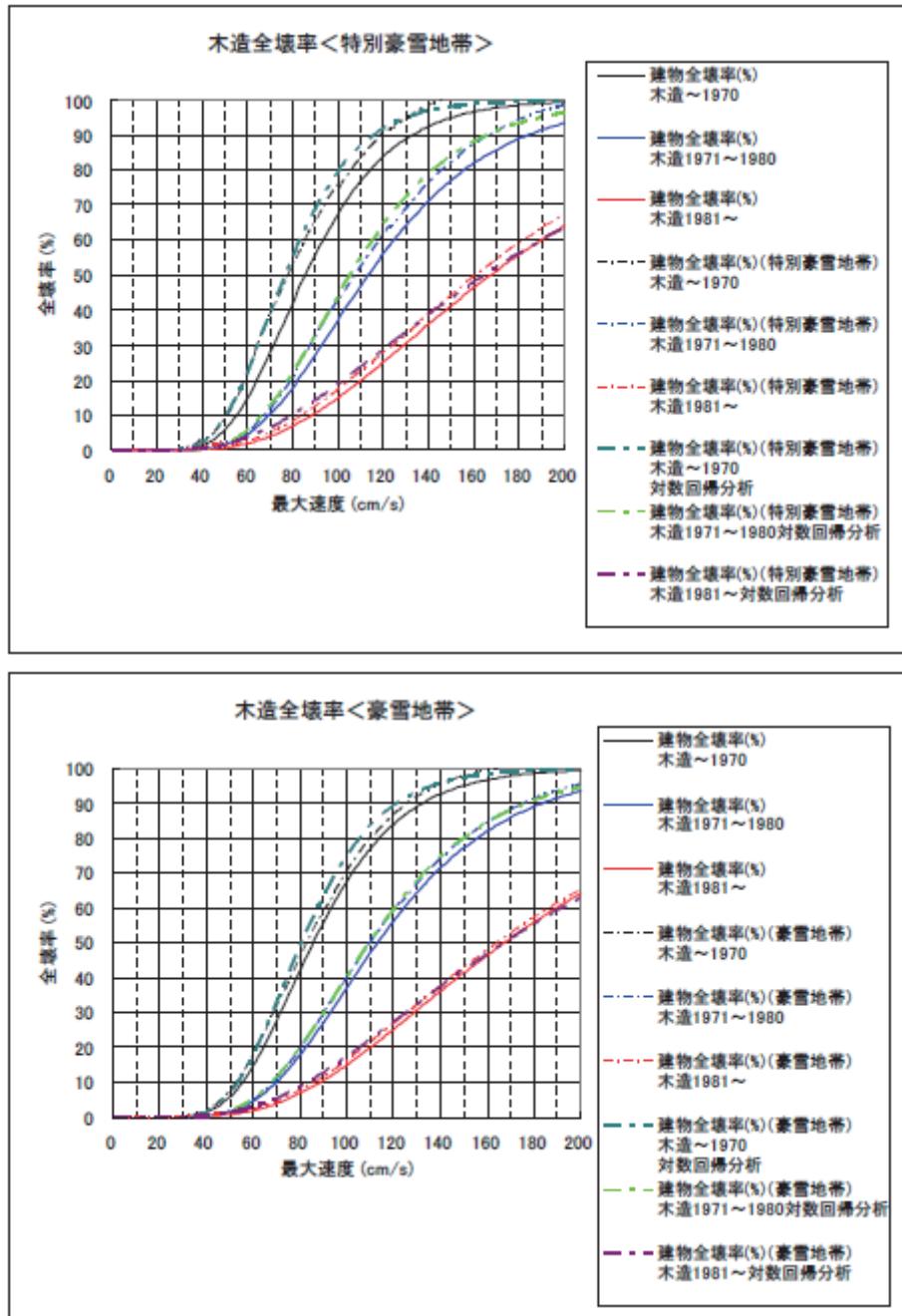
図III-1-26(2) 木造全壊率テーブル (1962~1981年) (中央防災会議, 2006)



図III-1-26(3) 木造全壊率テーブル (1982年以降) (中央防災会議, 2006)

○島根県(12)では…

中央防災会議（2006）より倍率を求め、基本手法で用いている村尾・山崎（2000）に掛け、回帰分析を行って被害曲線を求めている。



図III-1-27 積雪時の木造全壊率曲線（島根県, 2012）

③その他の手法

このほか、青森県(1997)、山形県(2002)等においても積雪を考慮した建物被害予測が行われている。

○青森県(97)では…

神奈川県(1993)の手法を用いて、積雪量を考慮した建物の固有周期分布を設定している
(表III-1-6参照)。

○山形県(02)では…

県内4ブロック別に、定期的に雪下ろしをする場合の平均的な屋根の積雪量を設定し、
応答解析に基づき被害率曲線を作成している。積雪がある場合はない場合と比較して、全
壊率は約1.1～1.3倍となっている。

1-2. ゆれによる建物被害（非木造）

非木造建物については、RC造（SRC造を含む）とS造を区分して被害を予測している自治体が多い。被害予測手法としては、応答解析に基づく手法と被害率曲線を用いる手法の2つに大別でき、応答解析に基づく手法（RC造・S造）では、東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)に基づく手法を採用している自治体が多い。被害率曲線を用いる手法は、RC造とS造を区別せず非木造として扱う、中央防災会議の手法を採用する自治体が、近年増加している。その他には、兵庫県南部地震(1995)の被害データに基づく被害率曲線をそのまま用いている自治体、被害データや既往の被害率曲線を参考に独自に作成している自治体がある。また近年、被害予測の精度向上のために応答解析に基づく考え方を加味して被害率曲線を作成している自治体が出てきているがまだ少数である。

S造については、大規模建物と住家を区別したり、軽量S造を区別して予測している自治体もある。それらのうちS造住家や軽量S造などについては、S造の予測手法をそのまま適用している自治体や、復元力特性が近年の木造住宅とあまり差がないなどの理由から木造の予測手法を適用している自治体が多い。軽量S造を対象とした被害率曲線（例えば、Miyakoshi et al. (1997), 山口・山崎(2000), 村尾・山崎(2000)など）を適用している自治体は少ない。

その他の構造を区別している場合は、コンクリートブロック造が多いという理由などからRC造の手法を適用している自治体と、過去の地震での被害発生状況や低層建物が多いことなどから木造の手法を適用している自治体がある。

建築年代区分としては、RC造では、1971年（十勝沖地震(1968)の教訓を踏まえた建築基準法施行令改正）・1981年（宮城県沖地震(1978)の教訓を踏まえた建築基準法施行令改正、新耐震設計基準導入）前後の3区分が多く、S造は、1981年前後の2区分と1971年・1981年前後の3区分の自治体が多い。また、軽量S造は年代区分をしていない被害率曲線を用いている自治体が多い。

以下に、各自治体で採用されている次の手法の概略をまとめる。

(1) 応答解析に基づく手法

- ①東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)の手法
- ②神奈川県(1985)の手法
- ③損害保険料率算定会(1991)の手法
- ④仙台市(2002)の手法（RC造）

(2) 被害率曲線を用いる手法

- ①東京都(1997)の手法
- ②Miyakoshietal. (1997)の手法
- ③山口・山崎(2000)の手法
- ④村尾・山崎(2000, 2002)の手法
- ⑤境ら(2002)・堀江ら(2003)の手法
- ⑥大阪府(1997)の手法
- ⑦兵庫県(1998)の手法
- ⑧中央防災会議東南海, 南海地震等に関する専門調査会「東南海・南海地震に係る被害想定」(2003)の手法
- ⑨東京都(2006)・中央防災会議首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」(2005)・中央防災会議東南海, 南海地震等に関する専門調査会「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定」(2008)の手法
- ⑩大阪府(2007)の手法

(1) 応答解析に基づく手法

① 東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)の手法

○採用自治体：新潟県(98), 福井県(97), 長野県(02), 福岡県(12), 宮崎県(07), 新潟市(07), 京都市(03)

建物に作用する地震力（ベースシア係数 I_{SO} ）と建物の保有耐力（構造耐震指標 I_S ）を比較することにより被害程度を判定している。

a) 建物の固有周期分布

建物の振動特性を表す固有周期および振動周期は、構造別に以下のように設定されている。

$$RC\text{造固有周期} = 0.06 \times \text{階数}$$

$$S\text{造固有周期} = 0.10 \times \text{階数}$$

$$\text{振動周期} = \text{固有周期} \times \text{建物のゆれ方に対する補正係数}$$

RC造の補正係数=スウェイ・ロッキングの影響 $C_T \times$ ひび割れによる振動周期の伸び(2倍)

S造の補正係数=スウェイ・ロッキングの影響 C_T

$$C_T = 1/\sqrt{1 - (\eta_H + \eta_R)} \quad (\eta_H : \text{スウェイ率}, \eta_R : \text{ロッキング率})$$

○新潟県(98)では…

RC造の補正係数のうち、ひび割れによる振動周期の伸び(2倍)は評価に加味していない。

b) 建物に作用する地震力 I_{SO}

建物に作用する地震力 I_{SO} は、以下の式で求められる。

$$I_{SO} = S_A(T)/g \cdot C_m \cdot C_h$$

$S_A(T)$: 周期 T のときの加速度応答スペクトルの値 (減衰定数 h : RC造 5%, S造 4%)

T : 補正後の振動周期 g : 重力加速度

C_m , C_h は、以下に示す。

モード補正係数 C_m は、建物と地盤の相互作用による振動モードの変化がベースシア係数 I_{SO} におよぼす影響を考慮する係数で、次式で表せる。

$$C_m = {}_1\beta \cdot (\sum U_i)/n$$

$$= {}_1\beta \cdot (1/2n) \{ (n+1) + (n-1) \cdot \eta_H \}$$

$${}_1\beta : 1\text{次モードの刺激係数} \quad \left[= (1 + \eta_H) / \left[2 \cdot \left\{ \eta_H + (1 - \eta_H)^2 \cdot (2n+1)/6n \right\} \right] \right]$$

η_H : スウェイ率 n : 建物階数

U_i : 建物頂部を 1 とした時の i 階の 1 次モードの値

減衰の応答補正係数 C_h は、振動エネルギーの逸散による減衰効果を考慮するための係数で、連成系の減衰定数 h に応じて次式で表される。

i) $h \geq 0.05$ の場合

$$C_h = 1 - \{1 - 2.25/(1.75 + 10h)\} \cdot t$$

$$t = \begin{cases} 0 & (T \leq 0.05) \\ 1/0.30 \cdot (\log T + 1.30) & (0.05 < T \leq 0.1) \\ 1 & (0.1 < T) \end{cases}$$

T : 連成系の周期(s)

ii) $h < 0.05$ の場合

$$C_h = 1 + \{1.5/(1 + 10h) - 1\} \cdot t$$

埼玉県(1998), 新潟県(1998), 宮崎県(1997)などでは応答補正係数 C_m , C_h を個別に評価しているが, 多くの自治体では長島ら(1989)の調査結果に基づき, 補正係数の積 $C_m \times C_h$ がほぼ 1 であるとして処理している.

○京都市(03)では...

R C 造については, 川崎市(1997)の考え方を採用し, $I_{SO} = S_A(T) \times 0.6/g$ としている.

c) 建物の保有耐力分布

ここでは, 建物が本来備えている強度の統計的な特徴として, 保有耐力の分布を与えてい

R C 造については, 建築年代区分を1971年以前, 1972年以降の 2 区分に分けた中埜・岡田(1989)の調査結果を対数正規分布になるようにパラメータ化したものが用いられている(表III-1-18). さらに, 建築年代区分に1982年以降を加え, 3 区分で評価している自治体もある.

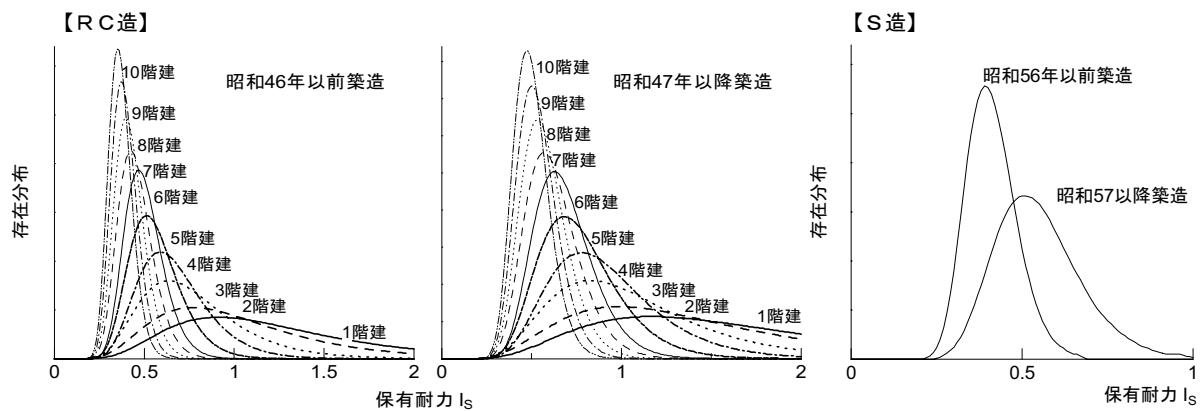
S 造については, その耐力分布に関する調査が見当たらないため R C 造と同じと仮定する自治体(新潟県(1998), 宮崎県(1997), 仙台市(2002)など) や, 神奈川県(1993)による推定値が使用されることが多い.

表III-1-18 R C 造建物の保有耐力分布(埼玉県(1998)より作成)

階数	1971年以前		1972~80年		1981年以降	
	I_s の平均	標準偏差	I_s の平均	標準偏差	I_s の平均	標準偏差
1	1.126	0.464	1.531	0.528	1.865	0.528
2	0.935	0.448	1.272	0.510	1.550	0.510
3	0.723	0.370	0.983	0.421	1.197	0.421
4	0.638	0.299	0.868	0.341	1.057	0.341
5	0.543	0.259	0.739	0.295	0.900	0.295
6	0.486	0.217	0.661	0.247	0.805	0.247
7	0.440	0.217	0.599	0.247	0.730	0.247
8	0.409	0.201	0.556	0.229	0.677	0.229
9	0.381	0.187	0.519	0.214	0.632	0.214
10	0.359	0.177	0.488	0.201	0.594	0.201
11	0.341	0.168	0.463	0.191	0.564	0.191
12	0.327	0.161	0.445	0.183	0.542	0.183
13	0.318	0.156	0.432	0.178	0.526	0.178
14	0.311	0.153	0.422	0.174	0.514	0.174
15	0.304	0.150	0.414	0.170	0.504	0.170

(注1) 太枠内は中埜・岡田(1989)による調査.

(注2) 7~10階は東京都防災会議(1991), 11~15階は埼玉県(1992)による推定値



図III-1-28 神奈川県(1993)におけるRC造・S造建物の保有耐力分布(群馬県, 1997)

○福井県(97)では…

RC造建物の保有耐力分布について、中埜・岡田(1989)による「1971年以前」「1972年以降」のほか、「1982年以降」を推定している。保有耐力 I_s の平均値は「1972年以降」の1.3倍、標準偏差は「1972年以降」と同じとしている。

d) 被害の判定

被害程度の判定は、 I_{so} と I_s の大小比較により行われている。東京都防災会議(1991)、神奈川県(1993)では以下のような被害判定基準が採用されている。

■東京都防災会議(1991)

$$\langle \text{RC造} \rangle \text{ 大破 : } I_s / I_{so} \leqq 0.25 \quad \text{中破 : } 0.25 < I_s / I_{so} \leqq 0.5$$

■神奈川県(1993)

$$\begin{aligned} \langle \text{RC造} \rangle \text{ 大破 : } I_s &\leqq (I_{so} + 0.1) / 2 & \text{中破 : } (I_{so} + 0.1) / 2 \leqq I_s \leqq (2I_{so} + 0.1) / 3 \\ \langle \text{S造} \rangle \text{ 大破 : } I_s / I_{so} &\leqq 1/7 & \text{中破 : } 1/7 < I_s / I_{so} \leqq 1/5 \end{aligned}$$

上記の被害判定基準をそのまま用いている自治体が多いが、兵庫県南部地震(1995)による被害を参考にするなどして修正している自治体もある。

比 I_s / I_{so} によって被害程度を判定している自治体で用いられている下式のパラメータ a , b を表III-1-19, 表III-1-20に示す。

$$\text{大破 : } I_s / I_{so} \leqq a \quad \text{中破 : } a < I_s / I_{so} \leqq b$$

また、神奈川県(1993)のRC造の判定基準をそのまま用いている自治体には、福井県(1997)<1981年以前>などがある。

表III-1-19 RC造の被害判定基準パラメータ

自治体名	a	b
東京都防災会議(1991) 新潟県(98), 長野県(02), 福岡県(12)	0.25	0.5

表III-1-20 S造の被害判定基準パラメータ

自治体名	a	b
神奈川県(1993) 新潟県(98), 福井県(97), 長野県(02), 福岡県(12)	1/7	1/5

○福井県(97)では…

RC造の1981年以前については、神奈川県(1993)の判定基準（大破・中破）を用いているが、1982年以降は兵庫県南部地震(1995)の被害事例を参考に、大破・中破とともに判定基準の閾値を3/4倍している。

②神奈川県(1985)の手法

○採用自治体：青森県(97)〈RC造〉

非木造建物の振動モデル（原点指向型Tri-linearモデル）を用いて、入力地震動による地震応答計算を行い、非線形変位応答スペクトルを作成する。この結果から、最大変位および破壊しないための応答倍率指標を求めている。構造耐震指標は日本建築防災協会による「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震基準」の二次診断を採用し、必要構造耐震指標 E_T は次式で求められる。

$$E_T = C_{TG} \times \alpha \times \beta$$

E_T : 必要構造耐震指標

C_{TG} : その地点の地盤種別およびその建物の固有周期に対応した応答倍率指標

α : 想定される入力加速度の最大値

β : 地下階のある建物 0.8, 地下階のない建物 0.9

建物の保有耐力 I_S の分布は中埜・岡田(1989)の調査結果（表III-1-18太枠内）を使用している。被害の判定は以下の関係による。

$$\text{大破} : I_S \leq (E_T + 0.1)/2 \quad \text{中破} : (E_T + 0.1)/2 \leq I_S \leq (2E_T + 0.1)/3$$

③損害保険料率算定会(1991)の手法

○採用自治体：青森県(97)〈S造〉

損害保険料率算定会(1991)は、既存建物の耐震性能（構造耐震指標 V_R ）と地震時に必要とされる耐震性能（地震入力指標 V_I ）との比較により、S造の被害率の予測手法を検討している。

既存建物の耐震性能は、耐震診断結果をもとにして1981年新耐震基準の前後によって分類し、確率分布モデルを作成している。確率分布モデルは対数正規分布とし、1981年以前築造建物の平均値を100、以後を50、標準偏差は両グループとも0.4と仮定している。

地震時に必要とされる建物の耐震性能は、地盤種別の建物周期および入力地震動から求める。これは、被害を生じさせないための目標値であると考え、以下の式から求められている。

$$V_I = S_V \cdot G$$

S_V : 地震動の非減衰速度応答スペクトルの最大値 ($= Z \cdot M \cdot S_{V0}$) (cm/s)

Z : 地震地域係数

M : 周辺の地形・建物用途に関する補正係数

S_{V0} : 基準非減衰速度応答スペクトルの最大値 (cm/s)

G	：地盤種別スペクトル係数
$T < T_G$ のとき	$G = E \cdot T / T_G$
$T \geq T_G$ のとき	$G = E$
T	：建物の固有周期($=0.03 + 0.09N$) (s)
T_G	：地盤種別により定まる周期(s)
E	：地盤種別によって定まる S_{V_0} の補正值
N	：階数

既往地震に対する検討結果から、被害判定の基準は以下のようにしている。

- 大破 : $V_R \leq V_I / 2$
- 中破 : $V_I / 2 < V_R \leq 2V_I / 3$

④仙台市(2002)の手法<RC造>

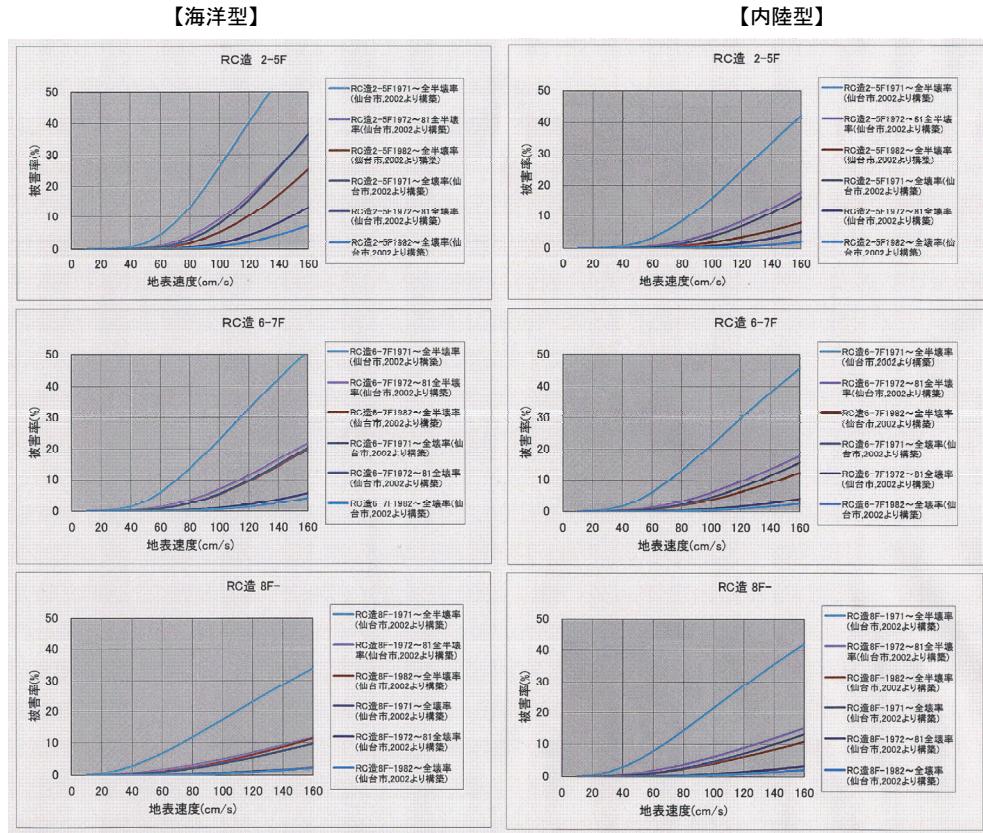
○採用自治体：宮城県(04), 仙台市(02)

仙台市(2002)では、兵庫県南部地震(1995)における地震動強さと建物被害の関係に基づき建物群の耐力・変形性能分布を推定している。次に、宮城県沖地震(1978)のデータを用いてキャリブレーションを行い、等価線形解析により被害率を求めており。算出手順の概略は以下のとおり。

- a) 兵庫県南部地震(1995)の被害に適合するように建物群の耐力・変形性能分布を推定した。変形性能分布は、兵庫県南部地震(1995)で変位一定則が成立したと考えられている中高層建築物(8-12F)の被害関数から推定した。建物への入力地震動は神戸市灘区・東灘区の再現地震動を用いて、1自由度系でモデル化した建物について非線形時刻歴応答解析を行い、応答変形角を求めた。
- b) 宮城県沖地震(1978)の被害結果(仙台市卸町地区の被害率)を対象としてキャリブレーションを行い、卸町地区の被害率に適合する被害想定のための建物群の耐力・変形性能分布を求めた。
- c) 地震動評価で求めた擬似速度応答スペクトルとb)で求めた建物群の耐力・変形性能分布を用いて、等価線形解析により被害率を求めた。

○宮城県(04)では…

仙台市(2002)による地震動とRC造建物の被害予測結果を利用し、対数正規分布累積関数による被害率曲線を作成している。なお、1階建物は2-5階の被害率曲線を用いている。



図III-1-29 宮城県(2004)におけるRC造建物の被害率曲線

(2) 被害率曲線を用いる手法

① 東京都(1997)の手法

○採用自治体：岩手県(04)

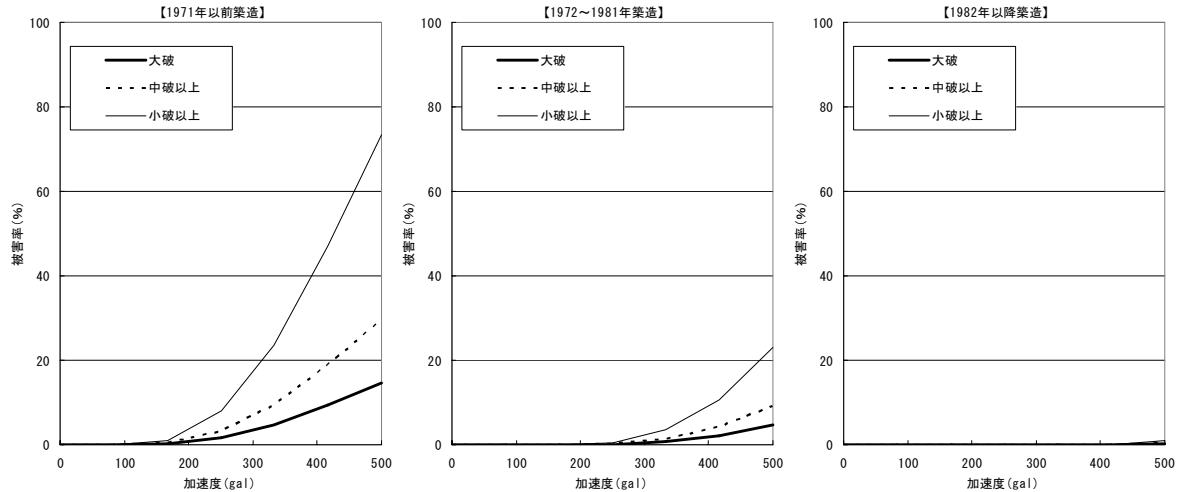
R C 造：中埜・岡田(1989)の方法によるシミュレーションに基づき、加速度と被害率の関係を設定。

S 造：兵庫県南部地震(1995)での被害事例から、加速度と被害率の関係を設定。

表III-1-21 加速度とR C 造建物被害率(東京都, 1997)

加速度 (gal)	1971年以前築造			1972～1981年築造			1982年以降築造		
	大破率	中破率	小破率	大破率	中破率	小破率	大破率	中破率	小破率
~83	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
167	0.2	0.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
250	1.6	1.6	4.8	0.1	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0
333	4.7	4.7	14.1	0.7	0.7	2.1	0.0	0.0	0.0
417	9.4	9.4	28.2	2.1	2.1	6.3	0.0	0.0	0.0
500	14.7	14.7	44.1	4.6	4.6	13.8	0.2	0.2	0.6

(単位 : %)

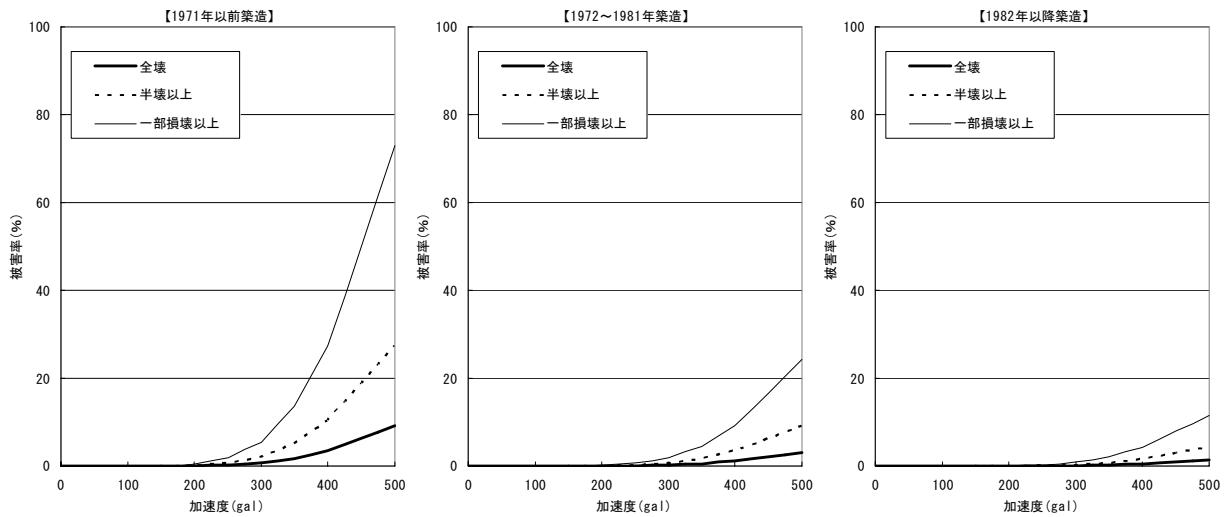


図III-1-30 加速度とR C 造建物被害率(東京都(1997)より作成)

表III-1-22 加速度とS 造建物被害率(東京都, 1997)

加速度 (gal)	1971年以前築造			1972～1981年築造			1982年以降築造		
	全壊率	半壊率	一部損壊	全壊率	半壊率	一部損壊	全壊率	半壊率	一部損壊
~150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
175	0.01	0.02	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
200	0.05	0.10	0.25	0.02	0.04	0.10	0.01	0.02	0.05
225	0.14	0.28	0.70	0.05	0.10	0.25	0.02	0.04	0.10
250	0.23	0.46	1.15	0.08	0.16	0.40	0.04	0.08	0.20
275	0.46	0.92	2.30	0.15	0.30	0.75	0.07	0.14	0.35
300	0.68	1.36	3.40	0.23	0.46	1.15	0.11	0.22	0.55
325	1.20	2.40	6.00	0.40	0.80	2.00	0.19	0.38	0.95
350	1.71	3.42	8.55	0.57	1.14	2.85	0.27	0.54	1.35
375	2.57	5.14	12.85	0.86	1.72	4.30	0.41	0.82	2.05
400	3.42	6.84	17.10	1.14	2.28	5.70	0.54	1.08	2.70
425	4.85	9.70	24.25	1.62	3.24	8.10	0.77	1.54	3.85
450	6.27	12.54	31.35	2.09	4.18	10.45	0.99	1.98	4.95
475	7.70	15.40	38.50	2.57	5.14	12.85	1.22	2.44	6.10
500	9.12	18.24	45.60	3.04	6.08	15.20	1.44	2.88	7.20

(単位 : %)



図III-1-31 加速度とS造建物被害率(東京都(1997)より作成)

②Miyakoshi et al. (1997) の手法

○採用自治体：栃木県(04), 千葉県(08), 神奈川県(09), 愛知県(03), 愛媛県(02), 大分県(13), 千葉市(08)

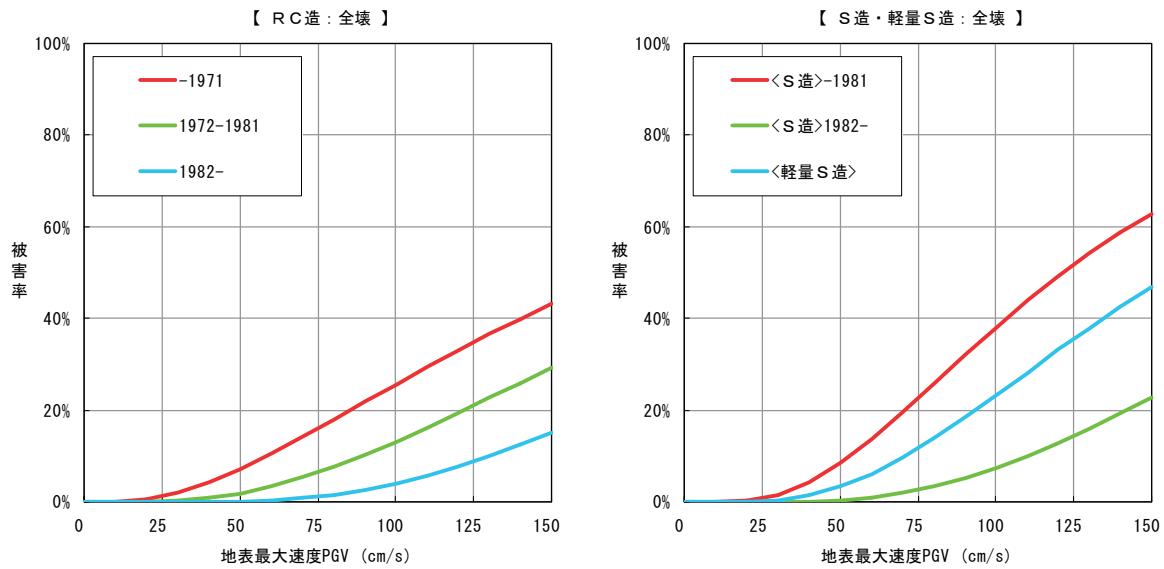
兵庫県南部地震(1995)の神戸市の被害実績から、地表最大速度 PGV と建物被害率の関係を設定している。建物被害率 $P_R(PGV)$ は、標準正規分布の累積確率分布関数 Φ を用いて、対数正規分布で表せると仮定し、分布のパラメータを最小二乗法により求めている。

$$P_R(PGV) = \Phi\left(\frac{\ln(PGV) - \lambda}{\zeta}\right)$$

ただし、 λ , ζ は $\ln(PGV)$ の平均値および標準偏差

表III-1-23 非木造建物の被害率曲線のパラメータ(Miyakoshi et al. (1997) より作成)

構造	建築年代	全壊			全半壊		
		λ	ζ	R	λ	ζ	R
RC造	全年代	5.58	0.863	0.982	5.04	1.077	0.935
	-1971	5.16	0.849	0.961	4.58	1.015	0.908
	1972-1981	5.40	0.710	0.980	4.93	1.120	0.978
	1982-	5.58	0.551	0.983	5.36	0.897	0.924
S造	全年代	5.14	0.695	0.981	4.58	0.937	0.973
	-1981	4.80	0.644	0.982	4.12	0.916	0.980
	1982-	5.44	0.576	0.947	5.00	0.923	0.885
軽量S造	全年代	5.06	0.622	0.971	4.73	0.699	0.962



図III-1-32 非木造建物の被害率曲線【全壊】(Miyakoshi et al. (1997) より作成)

○愛知県(03)では…

主に以下の点を補正した被害率曲線を作成している。

- ・兵庫県南部地震(1995)での被害事例はゆれの大きい範囲が中心であったため、ゆれの小さい場合にも適用可能なよう、鳥取県西部地震(2000)等の事例により補正した。
- ・低層RC造建物では、方向によって耐震性能に大きな差があり、地震動の卓越方向の影響を受けやすいため、想定する地震動の卓越方向が一様だと考えられる場合の被害率曲線に補正した。
- ・ゆれの指標はSI値とし、被害率曲線の適用にあたっては、 $PGV = SI / 1.18$ (童・他, 1994)の関係によりSI値を地表最大速度PGVに換算した。これは、SI値は、一般に震度や地表最大速度PGV、地表最大加速度PGAなどよりも建物被害の相関が高いといわれているためである。

○栃木県(04)では…

上記の愛知県(03)が補正した式を採用している。

$$P_R(PGV) = 0 \quad (PGV < V_0)$$

$$P_R(PGV) = \Phi\left(\frac{\ln(PGV - V_0) - \lambda}{\zeta}\right) \quad (PGV > V_0)$$

ただし、 V_0 ：被害率が0%となる最大速度(cm/s)

$$\lambda^* = \ln[\exp(\lambda) - V_0]$$

$$\xi^* = \{\ln(V' - V_0) - \ln[\exp(\lambda) - V_0]\} / \{\ln(V') - V_0\} \times \xi$$

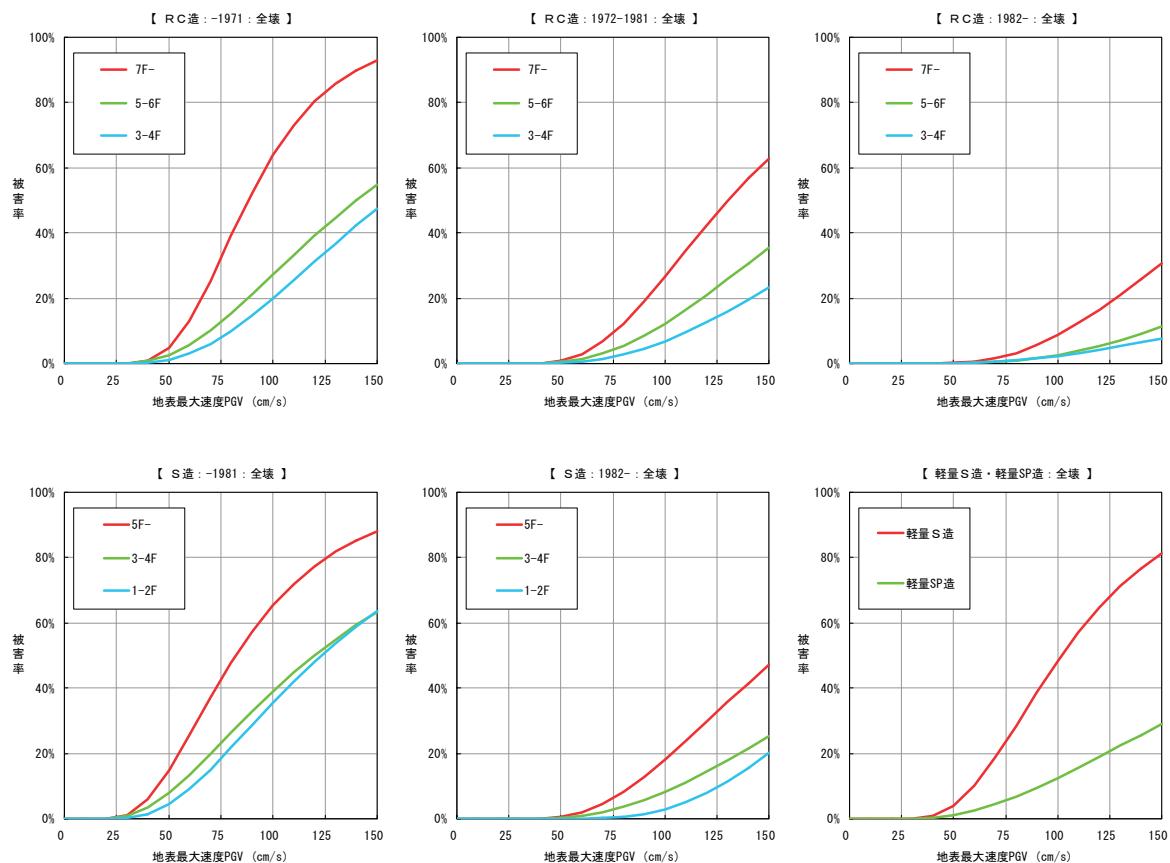
V' ：地域の最大速度(cm/s)

λ, ξ ： $\ln(PGV)$ の平均値および標準偏差

表III-1-24 非木造建物の被害率曲線のパラメータ(栃木県(2004)より作成)

構造	建築年代	階数	全壊			全半壊		
			λ^*	ζ^*	下限値	λ^*	ζ^*	下限値
RC造	-1971	3~4F	4.98	0.568	10cm/s	4.68	0.444	5cm/s
		5~6F	4.87	0.609	10cm/s	4.57	0.579	5cm/s
		7F-	4.36	0.399	10cm/s	4.32	0.430	5cm/s
	1972~1981	3~4F	5.37	0.586	10cm/s	4.95	0.434	5cm/s
		5~6F	5.15	0.560	10cm/s	4.63	0.597	5cm/s
		7F-	4.79	0.464	10cm/s	4.38	0.466	5cm/s
	1982~	3~4F	6.07	0.792	10cm/s	5.41	0.607	5cm/s
		5~6F	5.67	0.604	10cm/s	5.03	0.581	5cm/s
		7F-	5.20	0.514	10cm/s	4.63	0.449	5cm/s
S造	-1981	1~2F	4.73	0.615	10cm/s	4.49	0.620	5cm/s
		3~4F	4.70	0.712	10cm/s	4.05	0.688	5cm/s
		5F-	4.28	0.561	10cm/s	3.94	0.597	5cm/s
	1982~	1~2F	5.29	0.417	10cm/s	5.21	0.671	5cm/s
		3~4F	5.35	0.610	10cm/s	4.86	0.795	5cm/s
		5F-	4.98	0.525	10cm/s	4.30	0.590	5cm/s
軽量S造	全年代		4.52	0.476	10cm/s	4.46	0.561	5cm/s
軽量SP造	全年代		5.35	0.738	10cm/s	4.75	0.656	5cm/s

(注) 下限値とは被害率が0%となる最大速度(cm/s). 軽量SP造は軽量鉄骨プレハブ造.



図III-1-33 非木造建物の被害率曲線【全壊】(栃木県(2004)より作成)

○大分県(04)では...

上記の愛知県(03)で設定されている式を大破・中破を表すものとし、全壊・半壊を長崎県(2006)に基づき以下のようにして換算する

$$\begin{aligned} \text{大破以上率} &= 0.5 \times \text{全壊率} + \text{中破以上率} \\ &= 0.5 \times \text{全半壊率} \quad (\text{ここで, 全半壊率} = \text{全壊率} + \text{半壊率}) \end{aligned}$$

③山口・山崎(2000)の手法

○採用自治体：徳島県(05)

兵庫県南部地震(1995)の西宮市の被害データから、地震動強さ（地表最大加速度 PGA 、地表最大速度 PGV 、SI値、計測震度 I ）と建物被害率の関係を設定している。建物被害率 $P_R(x)$ は、 $PGA \cdot PGV \cdot SI$ については対数正規分布、計測震度 I については正規分布で表せると仮定し、分布のパラメータを最小二乗法により求めている。

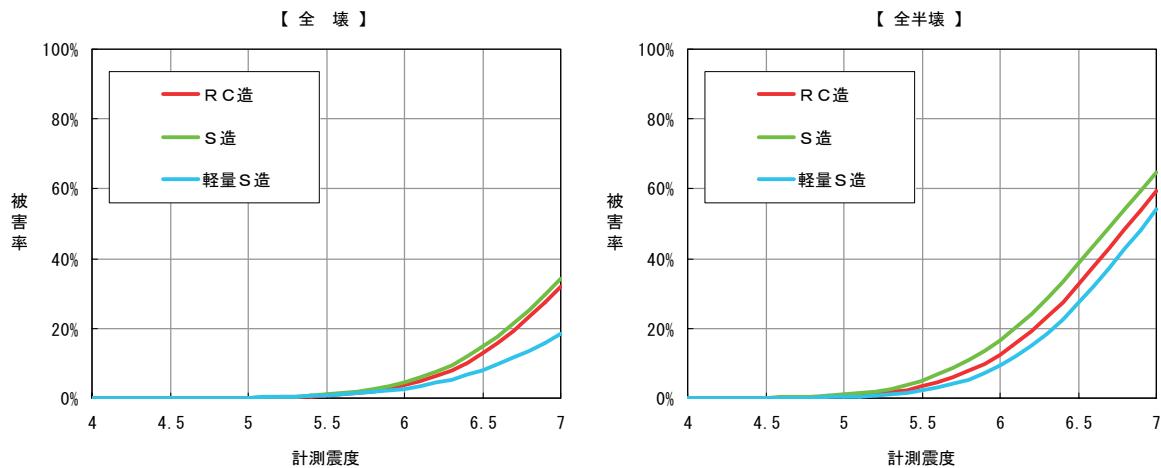
$$\langle PGA, PGV, SI \rangle \quad P_R(x) = \Phi\left(\frac{\ln(x) - \lambda}{\zeta}\right) \quad \lambda, \zeta \text{ は } \ln(x) \text{ の平均値および標準偏差}$$

$$\langle I \rangle \quad P_R(I) = \Phi\left(\frac{I - \lambda}{\zeta}\right) \quad \lambda, \zeta \text{ は } I \text{ の平均値および標準偏差}$$

表III-1-25 非木造建物の被害率曲線のパラメータ(山口・山崎(2000)より作成)

		建築年代	PGA (cm/s ²)		PGV (cm/s)		SI (cm/s)		計測震度 I	
			λ	ζ	λ	ζ	λ	ζ	λ	ζ
RC造	全壊	全年代	8.03	0.970	5.71	0.849	5.94	0.898	7.35	0.750
		-1971	7.75	0.907	5.46	0.789	5.68	0.833	7.22	0.798
		1972-81	7.94	0.996	5.64	0.876	5.86	0.925	7.36	0.847
		1982-94	10.5	1.97	7.89	1.73	8.24	1.83	9.56	1.68
	全半壊	全年代	7.34	0.912	5.11	0.798	5.31	0.844	6.83	0.723
		-1971	7.19	0.947	4.97	0.825	5.16	0.871	6.72	0.821
		1972-81	7.29	1.01	5.06	0.887	5.26	0.936	6.82	0.859
		1982-94	8.05	1.18	5.73	1.04	5.97	1.10	7.45	0.989
S造	全壊	全年代	7.90	0.939	5.60	0.824	5.83	0.870	7.32	0.781
		-1971	7.35	0.731	5.12	0.642	5.32	0.678	6.86	0.607
		1972-81	8.03	1.13	5.71	0.995	5.94	1.05	7.42	0.940
		1982-94	7.86	0.714	5.57	0.627	5.79	0.662	7.29	0.598
	全半壊	全年代	7.18	0.894	4.97	0.784	5.16	0.828	6.72	0.744
		-1971	6.88	0.951	4.71	0.835	4.88	0.882	6.47	0.791
		1972-81	6.99	0.861	4.81	0.755	4.99	0.797	6.56	0.714
		1982-94	7.61	1.08	5.35	0.949	5.56	1.00	7.08	0.904
軽量S造	全壊	全年代	8.61	1.20	6.23	1.05	6.49	1.11	7.88	0.984
		-1981	8.57	1.35	6.18	1.18	6.44	1.25	7.85	1.11
		1982-94	8.84	1.23	6.43	1.08	6.70	1.14	8.09	1.03
	全半壊	全年代	7.45	0.852	5.20	0.747	5.41	0.789	6.93	0.705
		-1981	7.51	1.13	5.26	0.988	5.47	1.04	6.97	0.924
		1982-94	7.77	1.06	5.49	0.927	5.71	0.979	7.21	0.880

(注1) 太枠内は徳島県(2005)で被害予測に用いられている被害率曲線



図III-1-34 徳島県(2004)における非木造建物の被害率曲線(山口・山崎(2000)より作成)

④村尾・山崎(2000, 2002)の手法

○採用自治体：山梨県(05), 島根県(12), 札幌市(08), 川崎市(13)

兵庫県南部地震(1995)の神戸市の被害実績から、地表最大速度 PGV と木造建物被害率の関係を設定している。建物被害率 $P_R(PGV)$ は、標準正規分布の累積確率分布関数 Φ を用いて、対数正規分布で表せると仮定し、分布のパラメータを最小二乗法により求めている。

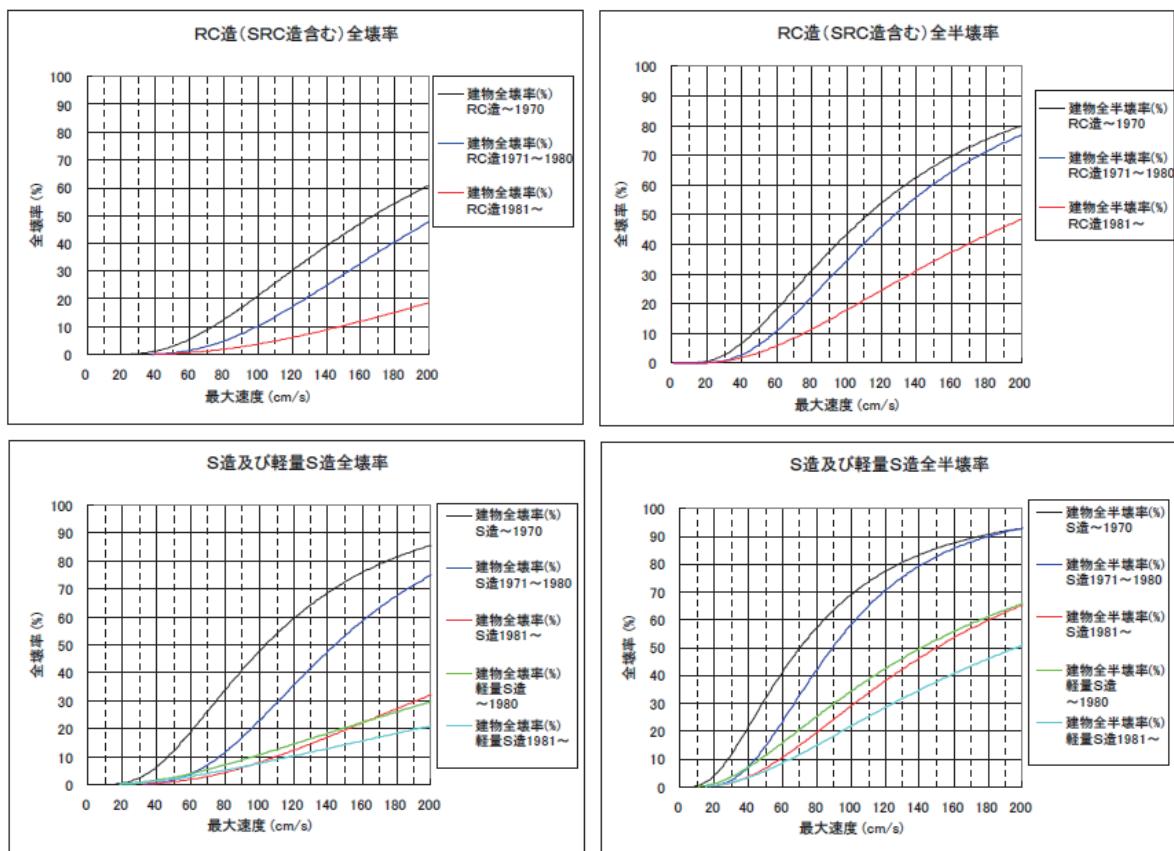
$$P_R(PGV) = \Phi\left(\frac{\ln(PGV) - \lambda}{\zeta}\right)$$

ただし、 λ , ζ は $\ln(PGV)$ の平均値および標準偏差

なお、被災程度については、村尾・山崎(2000)は自治体の罹災証明に基づいており、村尾・山崎(2002)は震災復興都市づくり特別委員会（以下「震特委員会」）の定義に基づくものである。

表III-1-26 非木造建物の被害率曲線のパラメータ(村尾・山崎(2000, 2002)より作成)

村尾・山崎(2000)：自治体罹災証明に基づく					村尾・山崎(2002)：震特委員会の定義に基づく						
構造	建築年代	全壊		全半壊		構造	建築年代	全壊		全半壊	
		λ	ζ	λ	ζ			λ	ζ	λ	ζ
RC造	-1971	5.12	0.646	4.72	0.691	RC造	1951-70	5.52	0.666	5.19	0.707
	1972-81	5.33	0.575	4.85	0.612		1971-81	5.79	0.708	5.42	0.726
	1982-94	6.00	0.789	5.33	0.789		1982-94	6.25	0.792	5.97	0.904
	全年代	5.50	0.705	4.99	0.716		全年代	5.78	0.648	5.52	0.742
S造	-1971	4.64	0.619	4.25	0.712	S造	1951-70	5.39	0.858	4.81	0.799
	1972-81	4.97	0.490	4.49	0.549		1971-81	5.78	0.858	5.27	0.799
	1982-94	5.64	0.731	5.01	0.733		1982-94	6.09	0.858	5.63	0.799
	全年代	5.14	0.628	4.69	0.672		全年代	5.44	0.541	5.26	0.683
軽量S造	-1971	4.70	0.550	4.41	0.504						
	1972-81	5.82	0.972	4.95	0.855						
	1982-94	6.19	1.101	5.28	0.865						
	全年代	5.03	0.564	4.73	0.601						

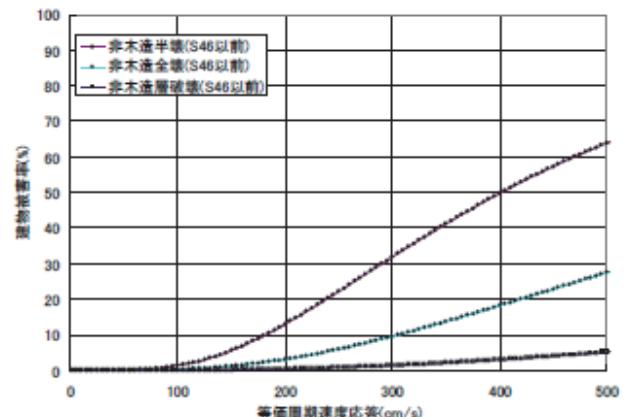


図III-1-35 村尾・山崎(2000)による非木造建物被害率曲線(全壊および全半壊)(島根県, 2012)

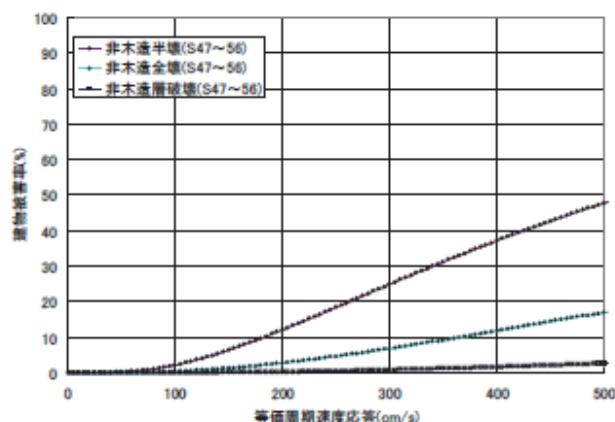
⑤境ら(2002)・堀江ら(2003)の手法

○採用自治体：三重県(06)

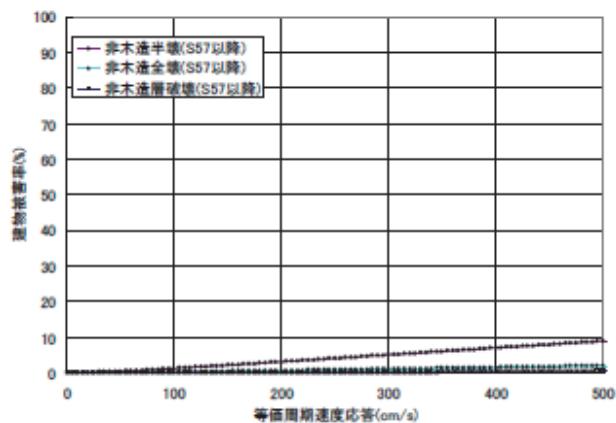
基本的な想定手法は木造建物の被害想定手法と同じである。『第III章1-1 ゆれによる建物被害（2）被害率曲線を用いる手法 ⑦境ら(2002)・堀江ら(2003)の手法』を参照されたい。ここでは非木造建物の年代別被害関数を記載する。



(a) S46 以前



(b) S47～S56



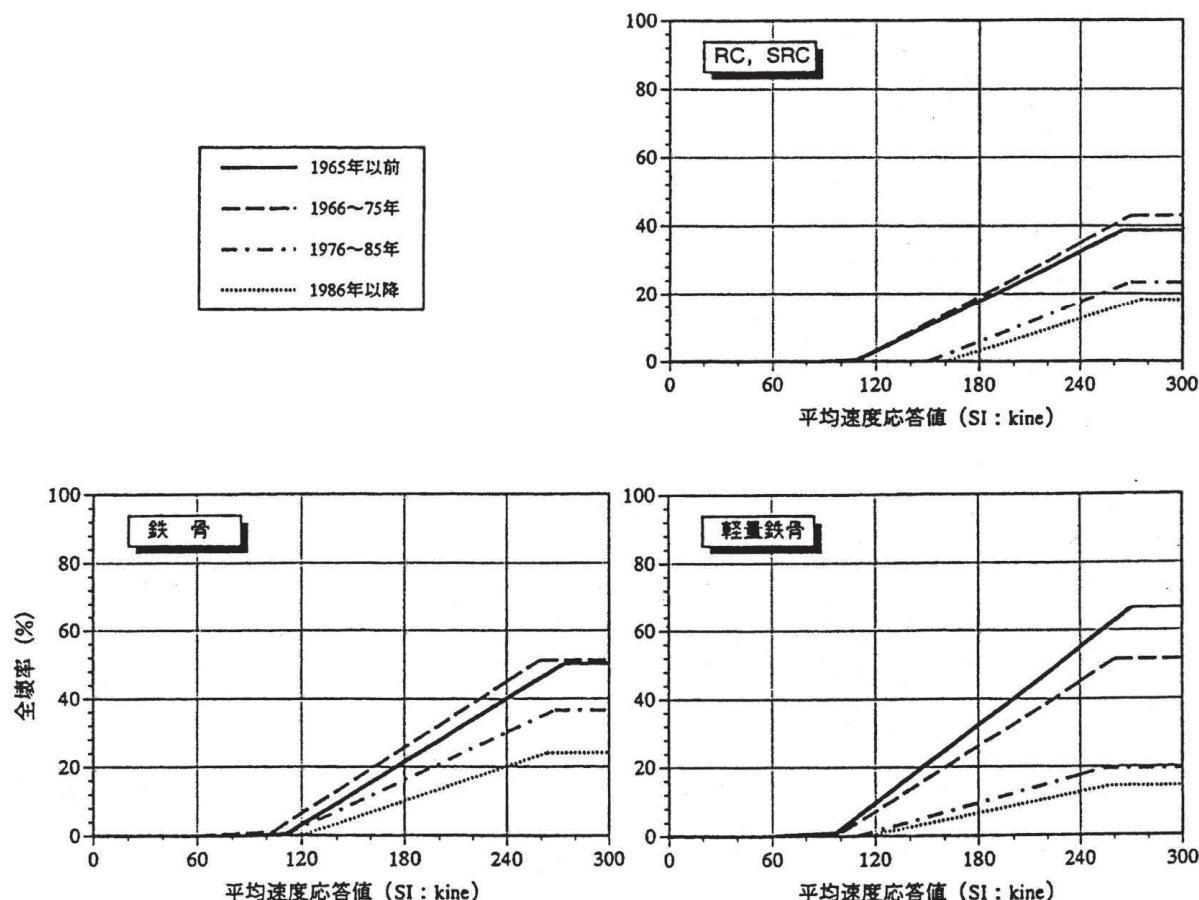
(c) S57 以降

図III-1-36 非木造の被害関数(三重県, 2006)

⑥大阪府(1997)の手法

○採用自治体：滋賀県(05)

兵庫県南部地震(1995)の被害データをもとに、構造、年代別に平均速度応答値と被害率の関係を設定している。



図III-1-37 平均速度応答値と非木造建物全壊率(大阪府, 1997)

⑦兵庫県(1999)の手法

○採用自治体：兵庫県(99)

嘉嶋・高田(1996)は、兵庫県南部地震(1995)の被災事例を調査し、地表加速度と非木造建物被害の関係をまとめている。

兵庫県(1999)では、嘉嶋・高田(1996)に県で調査した建物被害数が一致するようにパラメータを設定している。

■非木造建物全壊率 P (%)

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^K e^{-\frac{(k-k_0)^2}{2\sigma^2}} dk \times 100$$

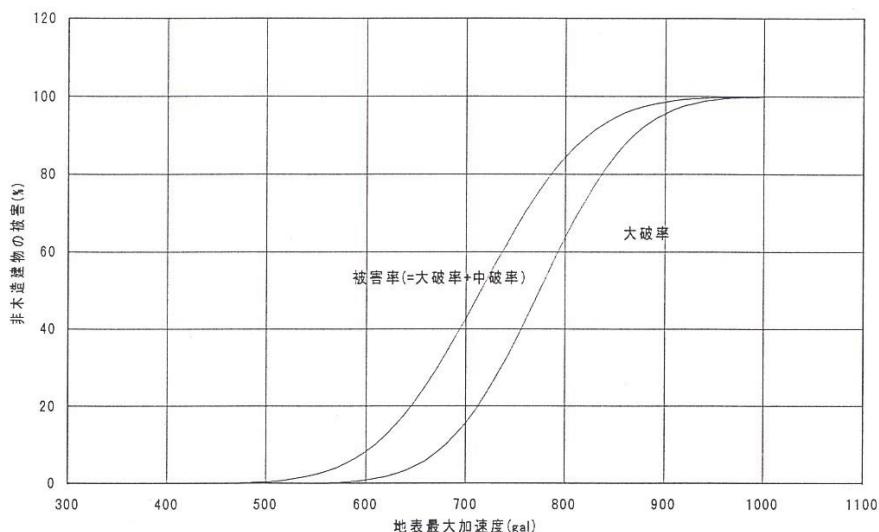
ただし、 K ：地表最大加速度／重力加速度

$$k_0, \sigma : k_0=0.79 \quad \sigma=0.075$$

■非木造建物被害率（＝全壊率+半壊率） Q (%)

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^K e^{-\frac{(k-k_0)^2}{2\sigma^2}} dk \times 100$$

$$k_0, \sigma : k_0=0.73 \quad \sigma=0.085$$

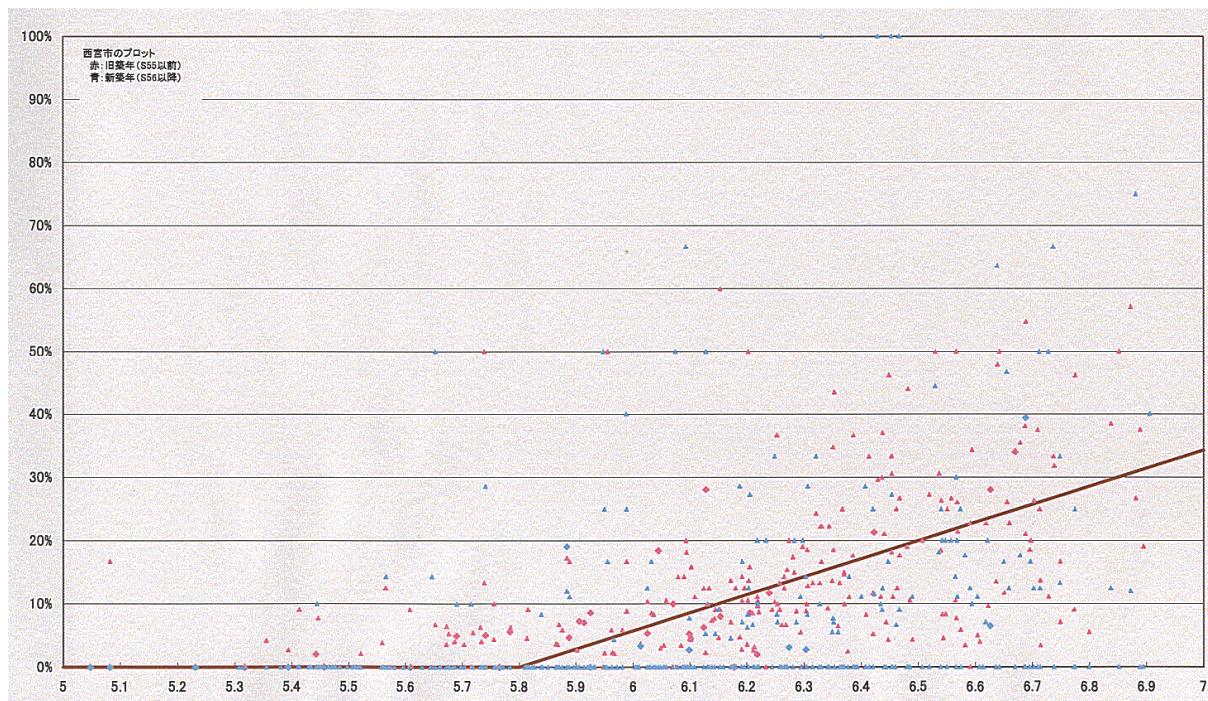


図III-1-38 地表最大加速度と非木造建物被害の関係(兵庫県, 1998)

⑧中央防災会議 東南海、南海地震等に関する専門調査会 「東南海・南海地震に係る被害想定」(2003)の手法

○採用自治体：奈良県(05)

兵庫県南部地震(1995)における西宮市、鳥取県西部地震(2000)における鳥取市、芸予地震(2001)における呉市のデータから計測震度と被害率(全壊率)との関係式を導出し、ゆれによる非木造建物被害を算出している。非木造建物全壊率については、プロットデータの特徴から、被害の出始める震度を切片とした直線を仮定している。



図III-1-39 計測震度と非木造建物全壊率の関係(中央防災会議, 2003)

○奈良県(05)では…

中央防災会議(2003)等の資料を参考に、全壊率、全半壊率の被害率を作成している。

⑨ 東京都(2006)・中央防災会議 首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」
 (2005)・中央防災会議 東南海、南海地震等に関する専門調査会 「中部圏・近畿圏の内陸地震
 に係る被害想定」(2008)の手法

○採用自治体：秋田県(13), 群馬県(12), 埼玉県(07), 東京都(12), 富山県(11), 岡山県(13), 広島県(07), 山口県(08), 香川県(13), 高知県(13), 佐賀県(10), 熊本県(13), さいたま市(09), 横浜市(12), 広島市(08)

○中央防災会議・南海トラフ巨大地震モデル検討会等 (2013) でも採用

中央防災会議（首都直下地震対策専門調査会・東南海、南海地震等に関する専門委員会）では全壊率テーブル（計測震度と全壊率との関係）から全壊棟数を算出している。

・全壊率テーブル：

過去の地震（兵庫県南部地震（1995）における鉄筋コンクリート造に関する西宮市）による被害のプロットデータをもとに設定し、年代区分は S45 以前, S46～S55, S56 以降としている。建物が全壊するときの震度が正規分布に従うと仮定している（全壊率テーブルに正規分布の累積確率密度関数を使用）。

(注 1) 東京都(12)では、建築基準法改正のうち建築構造上、重要な年を境目として設定 (S46 : RC 造帶筋の基準強化/S56 : 新耐震基準の導入) し、年代区分を S46 以前/S47~56/S57 以降としている。

(注 2) 中央防災会議・南海トラフ(2013)では、S46 年以前/S47~S55/S56 以降としている。

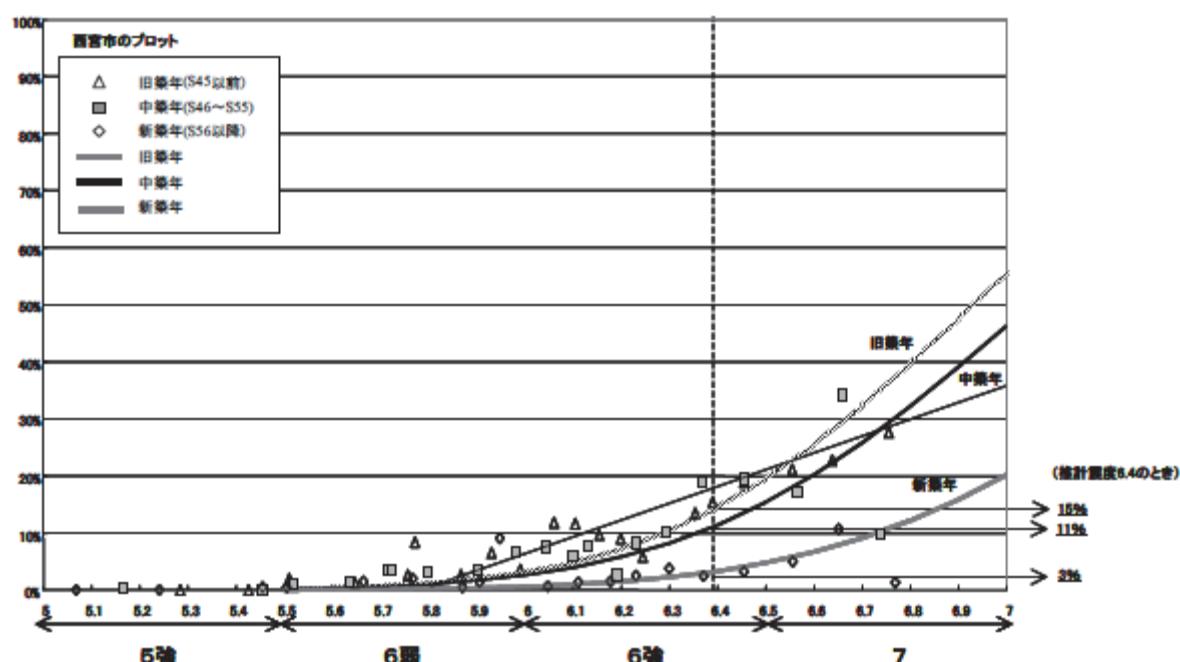
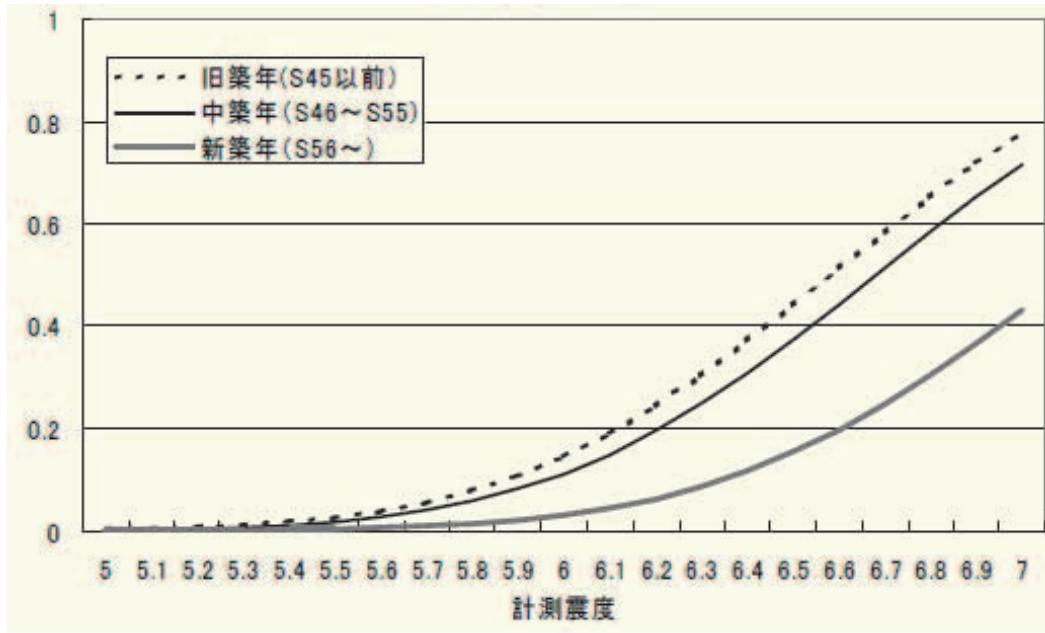


図 III-1-40 非木造建物全壊率(東京都, 2006)

なお、半壊棟数に関しては中央防災会議(06)の手法が公開されていないため、秋田県(13), 群馬県(12), 埼玉県(07), さいたま市(09), 横浜市(12), 山口県(08), 広島県(07), 広島市(08)では東京都(06)のテーブル（計測震度と半壊率との関係）を用いて、半壊棟数を算出している。なお、ここで用いるテーブルは全半壊テーブルであるため、このテーブルを用いて求めた全半壊棟数から全壊棟数を引いたものを半壊棟数としている。



図III-1-41 非木造建物全半壊率(東京都, 2006)

表III-1-27 被害率曲線の係数(秋田県, 2013)

建築年次	λ	ζ
～1970年	6.58	0.53
1971年～1980年	6.67	0.54
1981年～	7.10	0.58

(注1) 係数の値は、埼玉県が東京都(2006)のグラフから推定して設定したものである

○広島県(07), 広島市(08) では...

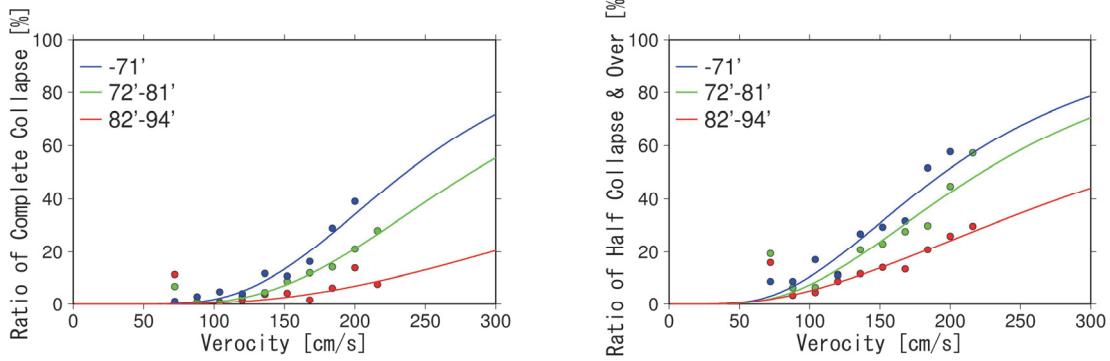
半壊率については中央防災会議の手法(2006)が公開されていないため、東京都(2006)の手法を用いている。丘陵地・台地における被害率は静岡県(2001)の手法を用いている。

⑩大阪府(2007)の手法

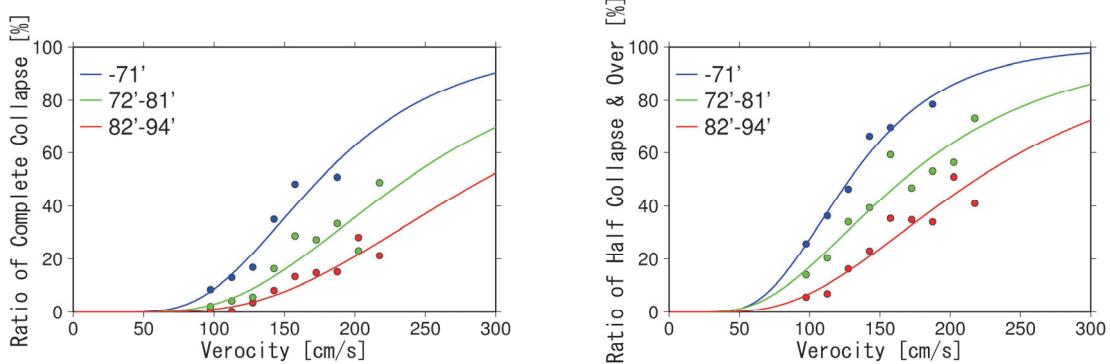
○採用自治体：大阪府(07), 堺市(09)

基本的な想定手法は木造建物の被害想定手法と同じである。『第III章1-1. ゆれによる建物被害 (2) 被害率曲線を用いる手法⑩ 大阪府(2007)の手法』を参照されたい。

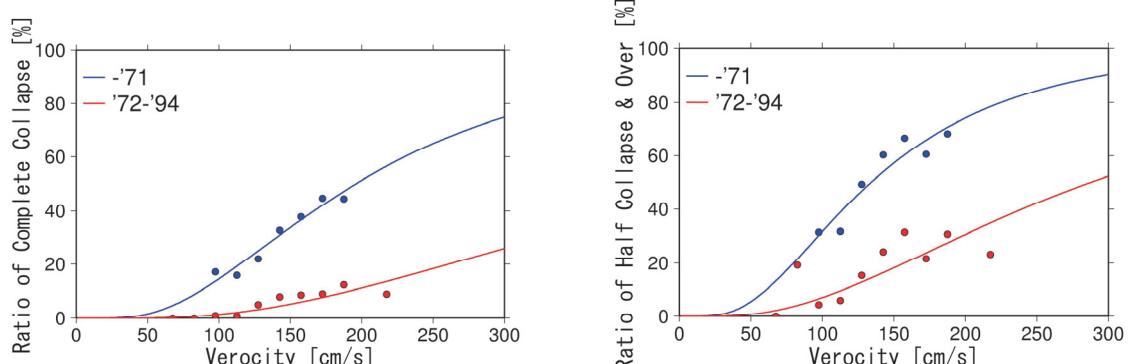
非木造建物の被害率曲線は、耐震設計基準の変遷による差が顕著なので、耐震設計基準ごとに年代区分し、それぞれ独立に被害率曲線を設定している。木造建物と同様に兵庫県南部地震の建物被害データより設定した非木造建物の被害率曲線を図III-1-42～44に示す。



図III-1-42 RC 造建物 全壊率（左）と全・半壊率（右）（大阪府, 2007）



図III-1-43 S 造建物 全壊率（左）と全・半壊率（右）（大阪府, 2007）



図III-1-44 軽量鉄骨造・その他建物 全壊率（左）と全・半壊率（右）（大阪府, 2007）

表III-1-28 各自治体のゆれによる建物被害予測手法(その1)

自治体	木造	非木造				
		RC造		S造		軽量S造
青森県(97)	(応)	東京都防災会議(1985,1991)・神奈川県(1993)改	(応)	神奈川県(1985)	(応)	損保算定会(1991),天國・望月(1993)
岩手県(04)	(被)	<全壊>中央防災会議(2003) <半壊>東京都(1997)を参考に全壊率の3倍に設定	(被)	東京都(1997)	(被)	東京都(1997)
宮城県(04)	(被-応)	仙台市(2002)改	(被-応)	仙台市(2002)改	(被)	石田・水越(1998)
秋田県(13)	(被)	<全壊>中央防災会議(2012) <半壊>東京都(2006)	(被)	<全壊>中央防災会議(2012) <半壊>東京都(2006)	(被)	<全壊>中央防災会議(2012) <半壊>東京都(2006)
山形県(06)	(被)	長谷川・翠川(1998)	(被)	長谷川・翠川(1998)	(被)	長谷川・翠川(1998)
福島県(98)	(被-応)	(手法不明)	(被-応)	(手法不明)		
茨城県(95, 98)	(被-応)	手法不明				
栃木県(04)	(被)	<全壊・半壊>Miyakoshi et al(1997)改 <大破・中破>官腰ら(2003)	(被)	<全壊・半壊>Miyakoshi et al(1997)改 <大破・中破>官腰ら(2003)	(被)	<全壊・半壊>Miyakoshi et al(1997)改 <大破・中破>官腰ら(2003)
群馬県(12)	(被)	<全壊>中央防災会議(2004) <半壊>東京都(2006)	(被)	<全壊>中央防災会議(2004) <半壊>東京都(2006)	(被)	<全壊>中央防災会議(2004) <半壊>東京都(2006)
埼玉県(07)	(被)	<全壊>中央防災会議(2004) <半壊>東京都(2006)	(被)	<全壊>中央防災会議(2004) <半壊>東京都(2006)	(被)	<全壊>中央防災会議(2004) <半壊>東京都(2006)
千葉県(08)	(被)	Miyakoshi et al(1997)改	(被)	Miyakoshi et al(1997)改	(被)	Miyakoshi et al(1997)改
東京都(12)	(被)	中央防災会議(2004)改	(被)	中央防災会議(2004)改	(被)	中央防災会議(2004)改
神奈川県(09)	(被)	<全壊・半壊>Miyakoshi et al(1997)改 <大破・中破>官腰ら(2003)	(被)	<全壊・半壊>Miyakoshi et al(1997)改 <大破・中破>官腰ら(2003)	(被)	<全壊・半壊>Miyakoshi et al(1997)改 <大破・中破>官腰ら(2003)
新潟県(98)	(応)	東京都防災会議(1985,1991)・神奈川県(1993)改	(応)	東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)改	(応)	東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)
富山県(11)	(被)	<全壊>中央防災会議(2004) <半壊>東京都(2006)	(被)	<全壊>中央防災会議(2004) <半壊>東京都(2006)	(被)	<全壊>中央防災会議(2004) <半壊>東京都(2006)
福井県(97)	(応)	東京都防災会議(1985,1991)・神奈川県(1993)改	(応)	東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)改	(応)	<非住家>東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)改
山梨県(05)	(被)	<全壊・半壊>村尾・山崎(2000) <大破・中破>村尾・山崎(2002)	(被)	<全壊・半壊>村尾・山崎(2000) <大破・中破>村尾・山崎(2002)	(被)	<全壊・半壊>村尾・山崎(2000) <大破・中破>村尾・山崎(2002)
長野県(02)	(応)	東京都防災会議(1985,1991)・神奈川県(1993)改	(応)	東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)改	(応)	東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)
岐阜県(13)	(被)	(「内閣府の手法」と記載するが、詳細不明)	(被)	(「内閣府の手法」と記載するが、詳細不明)	(被)	(「内閣府の手法」と記載するが、詳細不明)
静岡県(01)	(被)	静岡県(01)	(応)	静岡県(01)	(被)	静岡県(01)
愛知県(03)	(被)	<全壊・半壊>Miyakoshi et al(1997)改 <大破・中破>官腰ら(2003)	(被)	<全壊・半壊>Miyakoshi et al(1997)改 <大破・中破>官腰ら(2003)	(被)	<全壊・半壊>Miyakoshi et al(1997)改 <大破・中破>官腰ら(2003)
三重県(06)	(被)	堺ら(2002)	(被)	堺ら(2002)	(被)	(手法不明)
滋賀県(05)	(被)	大阪府(1997)	(被)	大阪府(1997)	(被)	大阪府(1997)
京都府(08)	(被)	(手法不明)	(被)	(手法不明)		
大阪府(07)	(被)	大阪府(2007)	(被)	大阪府(2007)	(被)	大阪府(2007)
兵庫県(99)	(被)	<直下型>兵庫県(1999) <海溝型>静岡県(1978)	(被)	兵庫県(1999)		
奈良県(05)	(被)	中央防災会議(2003)を参考に設定	(被)	中央防災会議(2003)を参考に設定		

(注1) (応) 応答解析に基づく手法、(被) 被害率曲線を用いる手法、(被-応) 応答解析の考え方を加味して作成した被害率曲線を用いる手法

(注2) 自治体名の後ろの () 内の数字は報告書等の発行年(西暦)の下二桁を表示

(注3) 自治体独自に手法に変更を加えている場合は、考え方の基本とした手法で分類し、手法名の最後に「改」と記載

(ただし、報告書等の記載内容から判断したため、変更を補足しきれていない場合がある)

表III-1-29 各自治体のゆれによる建物被害予測手法(その2)

自治体	木造	非木造				
		RC造	S造	軽量S造	その他	
鳥取県(05)	(被)	鳥取県(2005)	(被)	鳥取県(2005)	(被)	鳥取県(2005)
島根県(12)	(被)	村尾・山崎(2000,2002) ※積雪考慮	(被)	村尾・山崎(2000,2002)	(被)	村尾・山崎(2000,2002)
岡山県(13)	(被)	中央防災会議(2012)	(被)	中央防災会議(2012)	(被)	中央防災会議(2012)
広島県(07)	(被)	<全壊>中央防災会議(2004) <半壊>東京都(2006)	(被)	<全壊>中央防災会議(2004) <半壊>東京都(2006)	(被)	<全壊>中央防災会議(2004) <半壊>東京都(2006)
山口県(08)	(被)	<全壊>中央防災会議(2004) <半壊>東京都(2006)	(被)	<全壊>中央防災会議(2004) <半壊>東京都(2006)	(被)	<全壊>中央防災会議(2004) <半壊>東京都(2006)
徳島県(05)	(被)	山口・山崎(2000)	(被)	山口・山崎(2000)	(被)	山口・山崎(2000)
香川県(13)	(被)	中央防災会議(2012)	(被)	中央防災会議(2012)	(被)	中央防災会議(2012)
愛媛県(02)	(被)	Miyakoshi et al(1997)	(被)	Miyakoshi et al(1997)	(被)	Miyakoshi et al(1997)
高知県(13)	(被)	中央防災会議(2012)	(被)	中央防災会議(2012)	(被)	中央防災会議(2012)
福岡県(12)	(応)	東京都防災会議(1985,1991)・神奈川県(1993)改	(応)	東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)改	(応)	東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)改
佐賀県(10)	(被)	中央防災会議(2003)	(被)	中央防災会議(2004)	(被)	中央防災会議(2004)
長崎県(06)	(応)	(手法不明)	(応)	(手法不明)	(応)	<非住家>(手法不明)
熊本県(13)	(被)	中央防災会議(2012)	(被)	中央防災会議(2012)	(被)	中央防災会議(2012)
大分県(13)	(被)	<全壊・半壊>長崎県(2006) <大破・中破>Miyakoshi et al(1997)	(被)	<全壊・半壊>長崎県(2006) <大破・中破>Miyakoshi et al(1997)	(被)	<全壊・半壊>長崎県(2006) <大破・中破>Miyakoshi et al(1997)
宮崎県(07)	(応)	東京都防災会議(1985,1991)・神奈川県(1993)改	(応)	東京都防災会議(1985,1991)・神奈川県(1993)改	(応)	東京都防災会議(1985,1991)・神奈川県(1993)改
鹿児島県(97)	(応)	(手法不明)	(応)	(手法不明)	(応)	(手法不明)
札幌市(08)	(被)	村尾・山崎(2000,2002)	(被)	村尾・山崎(2000,2002)	(被)	村尾・山崎(2000,2002)
仙台市(02)	(被-応)	仙台市(2002)	(応)	仙台市(2002)	(被)	石田・水越(1998)
さいたま市(09)	(被)	<全壊>中央防災会議(2004) <半壊>東京都(2006)	(被)	<全壊>中央防災会議(2004) <半壊>東京都(2006)	(被)	<全壊>中央防災会議(2004) <半壊>東京都(2006)
千葉市(08)	(被)	Miyakoshi et al(1997)改	(被)	Miyakoshi et al(1997)改	(被)	Miyakoshi et al(1997)改
横浜市(12)	(被)	<全壊>中央防災会議(2004) <半壊>東京都(2006)	(被)	<全壊>中央防災会議(2004) <半壊>東京都(2006)	(被)	<全壊>中央防災会議(2004) <半壊>東京都(2006)
川崎市(13)	(被)	村尾・山崎(2000,2002)	(被)	村尾・山崎(2000,2002)	(被)	村尾・山崎(2000,2002)
新潟市(07)	(応)	東京都防災会議(1985,1991)・神奈川県(1993)改	(応)	東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)改	(応)	東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)改
名古屋市(99)	(被)	名古屋市(1999)	(被)	名古屋市(1999)	(被)	名古屋市(1999)
京都市(03)	(応)	東京都防災会議(1985,1991)・神奈川県(1993)改	(応)	東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)改	(応)	東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)改
堺市(09)	(被)	大阪府(2007)	(被)	大阪府(2007)	(被)	大阪府(2007)
広島市(08)	(被)	<全壊>中央防災会議(2004) <半壊>東京都(2006)	(被)	<全壊>中央防災会議(2004) <半壊>東京都(2006)	(被)	<全壊>中央防災会議(2004) <半壊>東京都(2006)

(注1) (応) 応答解析に基づく手法、(被) 被害率曲線を用いる手法、(被-応) 応答解析の考え方を加味して作成した被害率曲線を用いる手法

(注2) 自治体名の後の()内の数字は報告書等の発行年(西暦)の下二桁を表示

(注3) 自治体独自に手法を変更を加えている場合は、考え方の基本とした手法で分類し、手法名の最後に「改」と記載

(ただし、報告書等の記載内容から判断したため、変更を補足しきれていない場合がある)

1－3. 液状化による建物被害

液状化による建物被害の予測は、新潟地震(1964)、日本海中部地震(1983)での液状化による建物被害状況から被害率を設定する手法が多くの自治体で採用されている。

以下に、各自治体で採用されている次の手法の概略をまとめた。

- (1) 望月・荏本(1989)の手法
- (2) 東京都(1997)の手法
- (3) 谷口・飯田(1986)の手法
- (4) 名古屋市(1999)の手法
- (5) 静岡県(2001)・中央防災会議東南海、南海地震等に関する専門調査会「東南海・南海地震に係る被害想定」(2003)・中央防災会議首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」(2005)・中央防災会議東南海、南海地震等に関する専門調査会「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定」(2008)の手法
- (6) 大阪府(1997)の手法
- (7) 愛知県(2003)の手法
- (8) 鳥取県(2004)の手法
- (9) 東京都(2012)の手法
- (10) 千葉県(2008)の手法
- (11) 中央防災会議・南海トラフ巨大地震モデル検討会等(2013)の手法

(1) 望月・荏本(1989)の手法

① 木造

○採用自治体：青森県(97), 宮城県(04), 新潟県(98), 福井県(97), 長野県(02), 愛媛県(02), 長崎県(06), 宮崎県(07), 鹿児島県(97), 仙台市(02), 新潟市(07)

望月・荏本(1989)は、新潟地震(1964)・日本海中部地震(1983)での液状化による木造建物の被害発生状況を分析し、以下に示す被害率を設定している。

液状化地域 : 全壊率(大破率) 10%, 半壊率(中破率) 20%

非液状化地域 : 被害なし

液状化地域について、多くの自治体では P_L 値が15以上の地域としているが、宮城県、新潟県、広島県、宮崎県などでは、 P_L 値が20以上の地域を液状化地域としている。

○青森県(97)では…

基礎が深く堅固であるといった県内の家屋構造の特異性を考慮し、以下の被害率を設定している。

液状化地域 : P_L 値が15以上の地域 (全壊率 5%, 半壊率 10%)
 P_L 値が5以上の地域 (全壊率2.5%, 半壊率 5%)

○福井県(97)では…

液状化地域 : P_L 値が15以上の地域 (大破率 10%, 中破率 20%)
 P_L 値が5以上の地域 (大破率2.5%, 中破率 5%)

○宮崎県(07)では…

以下のような理由により液状化地域を P_L 値が20以上の地域とし、そこでの全壊率を10%, 半壊率を20%としている。

- ・過去の地震被害では P_L 値が15以上と判定された地域でも倒壊していない、または液状化が起こっていないところがある。
- ・1996年10月の日向灘沖地震で再現計算を行い、液状化による被害の発生するしきい値を設定した。

② 非木造

○採用自治体：青森県(97), 宮城県(04), 新潟県(98), 福井県(97), 長野県(02), 福岡県(12), 長崎県(06), 宮崎県(07), 鹿児島県(97), 仙台市(02), 新潟市(07)

望月・荏本(1989)は、新潟地震(1964)での液状化による非木造建物(R C造)の被害発生状況を分析し、被害予測方法を設定している。

液状化により半壊以上の被害を受けた木造建物の棟数比率が約30%であった地域を大規模液状化発生地域とし、この地域の被害棟数比率を被害面積比率に置き換えて、建物被害に大きな影響を及ぼす液状化面積は大規模液状化発生地域の30%としている。また、その液状化面積に含まれる建物の被害程度については、R C造・S造とともに、直接基礎の建物は大破、摩擦ぐい基礎は中破、支持ぐい基礎は被害なしとしている。

非木造建物の基礎構造の頻度分布については、液状化の発生が予想される東京都区内下町地区

の建築確認申請データの分析から、構造別（R C造+S R C造、S造）・階数別の基礎構造の割合を設定している。

表III-1-30 非木造建物の階数、基礎と被害判定(望月・荏本(1989)より作成)

構造	基礎	建物階数				被害判定
		1~2階	3階	4~7階	8階以上	
R C造+S R C造	支持ぐい	15%	60%	95%	100%	無被害
	摩擦ぐい	15%	20%	5%	0%	中破
	直接基礎	70%	20%	0%	0%	大破
S造	支持ぐい	0%		30%	100%	無被害
	摩擦ぐい	10%		50%	0%	中破
	直接基礎	90%		20%	0%	大破

○青森県(97)では…

P_L 値が15以上の地域では全面積の30%で液状化が発生し、 P_L 値が5以上15未満の地域では全面積の15%で液状化が発生するとしている。

青森県(1997)で使われた被害率を下表に示す。

表III-1-31 非木造建物の階数と被害率の関係(青森県(1997)より作成)

構造	液状化発生区分	全壊				半壊			
		1~2階	3階	4~7階	8階以上	1~2階	3階	4~7階	8階以上
R C造+S R C造	$15 < P_L$	21.00%	6.00%	0.00%	0.00%	4.50%	6.00%	1.50%	0.00%
	$5 < P_L \leq 15$	10.50%	3.00%	0.00%	0.00%	2.25%	3.00%	0.75%	0.00%
S造	$15 < P_L$	27.0%		6.0%	0.0%	3.0%		15.0%	0.0%
	$5 < P_L \leq 15$	13.5%		3.0%	0.0%	1.5%		7.5%	0.0%

○宮城県(04)では…

P_L 値が20以上の地域を建物被害予測の対象とし、液状化メッシュ内において液状化が発生する面積率は東京都(1997)から一律の18%としている。

宮城県(2004)において基礎種類別の存在割合を考慮して求められた被害率を下表に示す。

表III-1-32 液状化メッシュにおける非木造建物の被害率(宮城県(2004)より作成)

構造	全壊				半壊			
	1~2階	3階	4~7階	8階以上	1~2階	3階	4~7階	8階以上
R C造	2.16%	0.72%	0.036%	0%	4.32%	2.16%	0.27%	0%
S造	3.312%		0.54%	0%	4.968%		2.16%	0%

○福岡県(12)では…

P_L 値が30以上の地域を建物被害予測の対象とし、液状化メッシュ内において液状化が発生する面積率は東京都(1989)より30%と設定した。

(2) 東京都(1997)の手法

○採用自治体：岩手県(04), 山梨県(05), 札幌市(08)

①木造

新潟地震(1964)と日本海中部地震(1983)の被害事例から、液状化地域では全壊率10%, 半壊率20%, 一部損壊率20%と設定している。また、 P_L 値によって、メッシュの液状化面積率を設定している。

表III-1-33 木造建物の液状化可能性別被害率(東京都, 1997)

P_L 値	液状化面積率	全壊率	半壊率	一部損壊率
$15 < P_L$	18%	1.8%	3.6%	3.6%
$5 < P_L \leq 15$	5%	0.5%	1.0%	1.0%
$0 < P_L \leq 5$	2%	0.2%	0.4%	0.4%
$P_L = 0$	0%	0.0%	0.0%	0.0%
対象外	0%	0.0%	0.0%	0.0%

②RC造・S造

新潟地震(1964)による被害では、液状化地域において大破率20%, 中破率30%, 小破率40%であった。この結果と P_L 値から設定する液状化面積率とともに大破率, 中破率, 小破率を求めている。1971年以降築造の建物については、支持杭の増加による被害率の低減を考慮し、被害率を設定している。

表III-1-34 1970年以前築RC造・S造建物の液状化可能性別被害率(東京都, 1997)

P_L 値	液状化面積率	大破率	中破率	小破率
$15 < P_L$	18%	3.6%	5.4%	7.2%
$5 < P_L \leq 15$	5%	1.0%	1.5%	2.0%
$0 < P_L \leq 5$	2%	0.4%	0.6%	0.8%
$P_L = 0$	0%	0.0%	0.0%	0.0%
対象外	0%	0.0%	0.0%	0.0%

表III-1-35 1971年以降築RC造・S造建物の液状化可能性別被害率(東京都, 1997)

構造	P_L 値	1～3階			4階～		
		大破率	中破率	小破率	大破率	中破率	小破率
RC造	$15 < P_L$	2.3%	2.5%	4.7%	0.18%	0.27%	0.36%
	$5 < P_L \leq 15$	0.65%	0.95%	1.3%	0.05%	0.08%	0.1%
	$0 < P_L \leq 5$	0.26%	0.38%	0.52%	0.02%	0.03%	0.04%
	$P_L = 0$	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	対象外	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
S造	$15 < P_L$	3.6%	5.4%	7.2%	2.3%	3.6%	4.7%
	$5 < P_L \leq 15$	1.0%	1.5%	2.0%	0.65%	1.0%	1.3%
	$0 < P_L \leq 5$	0.4%	0.6%	0.8%	0.26%	0.4%	0.52%
	$P_L = 0$	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	対象外	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

(3) 谷口・飯田(1986)の手法

○採用自治体：福岡県(12)〈木造〉

谷口・飯田(1986)は、過去の地震被害を詳細に分析し、地震の継続時間、非液状化層の横移動、家屋の基礎形式の3点を考慮した地震時の地盤液状化による家屋被害の予測法を提案した。

$$Y = 0.667 \cdot \begin{bmatrix} 1.300 & (S_1) \\ 1.000 & (S_2) \\ 0.222 & (S_3) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1.6 & (G_1) \\ 1.0 & (G_2) \\ 0.3 & (G_3) \end{bmatrix} \cdot P_L - 1.995 \cdot \begin{bmatrix} 1.000 & (B_1) \\ 5.000 & (B_2) \end{bmatrix}$$

Y : 被害率(%)

P_L : 液状化危険度

S : 地震の継続時間に関わる係数

S_1 …M7.5以上の海洋性地震

S_2 …M7.0～7.4の海洋性地震、M7.5以上の内陸性地震

S_3 …M6.9以下の海洋性地震、M7.4以下の内陸性地震

G : 非液状化層の横移動(地すべり)に関わる係数

G_1 …横方向への地変大(非液状化層の傾斜が大)

G_2 …横方向への地変小(近い場所で液状化強度がかなり異なる場合など)

G_3 …横方向への地変無(液状化強度が周辺でほぼ同じ)

B : 家屋の基礎形式に関わる係数

B_1 …独立基礎

B_2 …有鉄筋布基礎

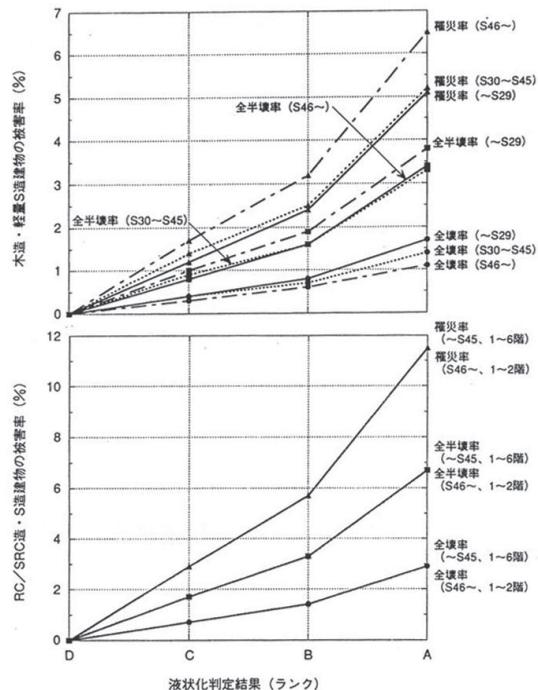
○福岡県では..

望月・荏本(1989)によれば、全壊と半壊の割合は1:2であったとされている。これにより、被害率から全壊率及び半壊率を導き出す

(4) 名古屋市(1999)の手法

○採用自治体：愛媛県(02)<RC造>, 名古屋市(99)

液状化危険度ごとの面積比率を考慮し、木造・軽量S造とRC/SRC造・S造の2つの建物構造区別に被害率を設定している。



図III-1-45 液状化による建物被害関数
(名古屋市, 1999)

(5) 静岡県(2001)・中央防災会議 東南海, 南海地震等に関する専門調査会 「東南海・南海地震に係る被害想定」(2003)・中央防災会議 首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」(2005)・中央防災会議 東南海, 南海地震等に関する専門調査会 「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定」(2008)の手法

○採用自治体：群馬県(12), 埼玉県(07), 富山県(11), 静岡県(01), 三重県(06), 奈良県(05), 広島県(07), 山口県(08), 徳島県(05), 熊本県(13), 大分県(13), さいたま市(09), 広島市(08)

関東地震(1923), 新潟地震(1964), 日本海中部地震(1983)の被害事例をもとに構造別に被害率(全壊率)を設定し, 液状化面積率を考慮して次式により全壊棟数を算出している。

$$\text{液状化による全壊棟数} = \text{建物棟数} \times \text{全壊率} \times \text{液状化面積率}$$

ただし, 全壊率, 液状化面積率は, 以下の表に従う。

表III-1-36 全壊率

		全壊率
木造	1960年以前	13.3%
	1961年以降	9.6%
非木造	造杭なし	23.2%
	杭あり	0.0% (4F以上の建物および1981年以降の1~3Fの建物の20%)

表III-1-37 液状化面積率

液状化ランク	P _L 値	液状化面積
A	P _L > 15	18%
B	15 ≥ P _L > 5	5%
C	5 ≥ P _L > 0	2%

○静岡県(01)では…

中央防災会議の手法とほぼ同じだが、各ランクの液状化面積率をかけていない点で異なる。

表III-1-38 液状化危険度

液状化ランク	液状化危険度ランク	P _L 値	液状化発生可能性
A	大	P _L > 15.0	液状化発生の可能性が高い
B	中	15.0 ≥ P _L > 5.0	液状化発生の可能性がある
C	小	5.0 ≥ P _L > 0.0	液状化発生の可能性が低い
D	なし	P _L = 0.0	液状化発生の可能性がない
E	岩盤	—	対象外

表III-1-39 液状化ランク別被害確率

木造	昭和35年以前の建物	被害確率	
		大破率(%)	中破率(%)
木造	昭和36年以降の建物	9.6	18.0
非木造	杭あり（4階建て以上および昭和55年以降の1～3階建て）	0.0	0.0
	杭なし	23.2	29.7

A:被害確率, B:被害確率/2を乗じる, C・D・E:0を乗じる

○徳島県(05)では…

徳島県(05)では、面積率として以下の式を用いている。被害率は静岡県(01)のものを使っている。

$$\text{液状化発生面積率}(\%) = 0.05 \times PL^2$$

○大分県(13)では…

液状化面積率の考え方は、東京都(06)と同じであるが、被害確率は静岡県のものを大破=全壊、中破=半壊として採用している。

○群馬県(12)では…

液状化面積率は、PL値が15以上の地域のみ設定している。

○群馬県(12), 埼玉県(07), 熊本県(13), さいたま市(09)では…

中央防災会議(2005), 東京都(2006)では, 液状化発生地域内の半壊率が明示されていなかつたため, これらの手法の基となった静岡県(2001), 愛知県(2003)の手法を参照して, 液状化発生地域内の全壊率, 半壊率を設定している. ただし, 静岡県の基準は, 大破・中破であることから, 東京都(2006)を参考にして, 全壊・半壊の7割程度と仮定し, 0.7を割った値で全壊率, 半壊率を設定している.

表III-1-40 液状化発生地域における木造建物の建築年代の被害率(埼玉県, 2007)

建築年代	大破率(%)	中破率(%)	全壊率(%)	半壊率(%)
～1960	13.3	12.9	19.0	18.4
1961～	9.6	18.0	13.7	25.7

表III-1-41 非木造建物の液状化発生地域における被害率(埼玉県, 2007)

杭の有無	大破率(%)	中破率(%)	全壊率(%)	半壊率(%)
無	23	30	23	30
有	0	0	0	0

ただし群馬県(12)では, 半壊率のみ浦安市(2011)を採用しており, 築年代の区別なく40.78%である.

(6) 大阪府(1997)の手法

○採用自治体：滋賀県(05), 大阪府(07), 堺市(09)

兵庫県南部地震(1995)による被害状況を調査した結果、液状化現象が発生した地域では、次の傾向が認められた。

- ・強震地域（地震動が強く被害も急増する地域）…非液状化地域よりも被害が小さい
- ・弱震地域（地震動、被害ともに小さめの地域）…非液状化地域よりも被害が大きい

この結果から、ゆれによる建物被害の予測結果を補正している。

強震地域と弱震地域の境界の目安は、例えば木造建物では断層からの距離10km付近を採用している。

①強震地域

ゆれによる建物被害（液状化を考慮しない被害）に、兵庫県南部地震(1995)の事例から得た下表の低減率を乗じている。

表III-1-42 【強震地域】液状化による建物被害低減率(大阪府, 1997)

建築年代	建物被害の低減率（木造・非木造）	
	全壊	半壊
1965年以前	0.6	1.0
1966～75年	0.6	1.0
1976～85年	0.5	1.0
1986年以降	0.4	1.0

②弱震地域

地震動が小さくても液状化が発生する地域には、兵庫県南部地震(1995)の事例から得た下表の被害率を用いて計算している。

表III-1-43 【弱震地域】液状化による建物被害発生率(大阪府, 1997)

建築年代	全壊率(%)		半壊率(%)	
	木造	非木造	木造	非木造
1965年以前	8.0	2.5	16.0	4.0
1966～75年	6.5	2.5	12.0	4.0
1976～85年	6.0	1.5	10.0	2.5
1986年以降	5.5	1.5	10.0	2.5

○滋賀県(05), 大阪府(07), 堺市(09)では…

耐震基準の変遷を考慮し, 大阪府(1997)で使われている建築年代区分を, 1970年以前, 1971~80年, 1981~90年, 1991年以降の4区分に見直して適用している。

表III-1-44 液状化による建物被害の低減率[強震度地域] (大阪府, 1997)

建築年		建物被害の低減率(木造・非木造)	
1995年時点	今回(2004年)	全壊	半壊
1965年以前	1970年以前	0.6	1.0
1966~75年	1971~80年	0.6	1.0
1976~85年	1981~90年	0.5	1.0
1986年以降	1991~現在	0.4	1.0

表III-1-45 液状化による建物被害の被害発生率[弱震地域] (大阪府, 1997)

建築年		全壊率(%)		半壊率(%)	
1995年時点	今回(2004年)	木造	非木造	木造	非木造
1965年以前	1970年以前	8.0	2.5	16.0	4.0
1966~75年	1971~80年	6.5	2.5	12.0	4.0
1976~85年	1981~90年	6.0	1.5	10.0	2.5
1986年以降	1991~現在	5.5	1.5	10.0	2.5

(7) 愛知県(2003)の手法

○採用自治体：栃木県(04), 愛知県(03), 群馬県(12)(非木造のみ)

①木造

関東地震(1923), 新潟地震(1964), 日本海中部地震(1983)の被害事例をもとに液状化地域の被害率を設定し, 液状化面積率を考慮して被害棟数を算出している.

表III-1-46 液状化による木造建物被害率(栃木県, 2004)

建築年代	全壊率	半壊率	率の根拠	出典
1954年以前	13.0%	13.0%	関東地震	静岡県(1993)
1955~70年	11.0%	15.0%	新潟地震	田治米(1977)
1971年以降	9.0%	21.0%	日本海中部地震	望月他(1983)

②非木造

建築年代や杭打ち状況をもとに液状化地域の被害率を設定し, 液状化面積率を考慮して被害棟数を算出している. なお, 非木造建物の杭打ち率は, 愛知県内で液状化危険性の高い地域における建築確認申請資料(2002年)のサンプリング調査により設定している.

表III-1-47 非木造建物の被害率(愛知県, 2003)

建築年代	全壊率	半壊率
1984年以前	23%	30%
1985年以降	杭あり建物: 0% 杭なし建物: 23%	杭あり建物: 0% 杭なし建物: 30%

表III-1-48 非木造建物の杭打ち率(栃木県, 2004)

区分	R C 造 (S R C 造を含む)			S 造		
	支持杭	摩擦杭	直接基礎	支持杭	摩擦杭	直接基礎
1 ~ 3 階	45%	0%	55%	10%	5%	85%
4 階以上	70%	10%	20%	50%	5%	45%

○群馬県(12)では...

非木造建物の杭打ち率は, 東京都(2006)と同様に, 4階以上の建物すべてと昭和35年以降の1~3階の20%と仮定した.

(8) 鳥取県(2005)の手法

○採用自治体：鳥取県(05)

鳥取県西部地震(2000)における液状化地域の被害データを用いて既存の被害率を修正し、液状化発生地域の被害率を設定している。非木造建物で用いる杭打ち率は、愛知県(2003)によるものを使っている（表III-1-49）。

なお、液状化被害は、液状化危険性が「極めて高い ($P_L > 15$)」と判定されたメッシュで発生するとし、液状化メッシュ内における液状化発生面積率は18%を用いている。

表III-1-49 液状化発生地域における木造建物被害率(鳥取県, 2005)

建築年代	大破以上	中破以上
1954年以前	1.7%	3.3%
1955-70年	1.4%	3.3%
1971年以降	1.2%	3.9%

表III-1-50 液状化発生地域における非木造建物被害率(鳥取県, 2005)

建築年代	大破以上	中破以上
1984年以前	4.0%	10.4%
1985年以降	杭あり建物： 0% 杭なし建物： 4.0%	杭あり建物： 0% 杭なし建物： 10.4%

(9) 東京都(2012)の手法

○採用自治体：東京都(12), 岡山県(13), 横浜市(12)

静岡県(2001)の手法と同様に、液状化危険度ランクに応じて液状化面積率・被害率を設定しているが、東日本大震災の実測値により係数を新たに設定している。

表III-1-51 PL値と液状化面積率（東京都(2012)より作成）

液状化ランク	PL値	液状化発生可能性	液状化面積率
A	$P_L > 15.0$	液状化発生の可能性が高い	65%
B	$15.0 \geq P_L > 5.0$	液状化発生の可能性がある	18%
C	$5.0 \geq P_L > 0.0$	液状化発生の可能性が低い	7%
D	$P_L = 0.0$	液状化発生の可能性がない	0%
E	—	対象外（砂層がない）	0%

表III-1-52 液状化による建物の全壊率・大規模半壊率・半壊率（東京都(2012)より作成）

	全壊率	大規模半壊率	半壊率
被害率	0.60%	7.96%	14.38%

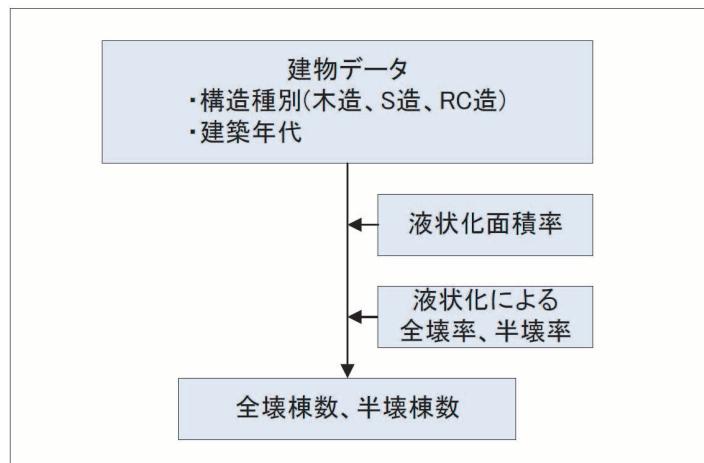
○岡山県(13), 横浜市(12)では..

PL値が5以下では、他地域や既往地震では液状化の発生は稀であり、かつ建物被害は軽微なものにとどまっているので、面積率は従来から用いられている2%, 建物被害率は0%とした。杭支持の建物は液状化被害を受けないとした。杭の有無の情報が不明のため、4階建て以上の建物すべてと昭和35年以降の3階建て以下の20%を「杭あり」と判断した。

(10) 千葉県(2008)の手法

○採用自治体：千葉県(08), 神奈川県(09), 島根県(12), 千葉市(08), 川崎市(13)

液状化による建物被害予測として、液状化危険度予測から得られるPL値および250mメッシュ微地形区分を用いて、以下のフローに従って全壊・半壊棟数を算出している。以下は、千葉県(2008)の説明である。



図III-1-46 被害予測フロー(千葉県, 2008)

液状化面積率については、微地形区分別の1kmメッシュ平均液状化面積率を用いる。PL値のランクにより、 $P_L > 15$ のランクを1.0として相対的な低減係数を設定する。

表III-1-53 微地形区分別の1kmメッシュの平均液状化面積率(千葉県, 2008)

微地形区分	1kmメッシュ 平均液状化 面積率(%)	根拠
埋立地	20	兵庫県南部地震の値
自然堤防	10	日本海中部地震・新潟県中越地震の値
旧河道	25	新潟地震の値
砂丘末端緩斜面	太平洋側: 5 日本海側: 15 (砂丘と同じとする)	日本海中部地震・新潟県中越地震の値
砂丘間低地	太平洋側: 5 日本海側: 5 (砂丘と同じとする)	日本海中部地震・新潟県中越地震の値
砂丘	5	砂州・砂礫洲、砂丘間低地と同程度と仮定
砂州・砂礫洲	5	日本海中部地震・新潟県中越地震の値
後背湿地	3	日本海中部地震・新潟県中越地震の値
三角州・海岸低地	太平洋側: 2 日本海側: 10	千葉県東方沖地震、兵庫県南部地震の値
扇状地型谷底低地	3	日本海中部地震・新潟県中越地震の値
デルタ型谷底低地	3	日本海中部地震・新潟県中越地震の値
急勾配扇状地	1	兵庫県南部地震の値
緩勾配扇状地	1	兵庫県南部地震の値
干拓地	15	日本海中部地震・新潟県中越地震の値

PL値の範囲	PL値による 低減係数
$P_L = 0$	0.0
$0 < P_L \leq 5$	0.2
$5 < P_L \leq 15$	0.6
$15 < P_L$	1.0

木造については、液状化による被害率を年代別に設定する。

表III-1-54 液状化による木造被害率の設定(千葉県、2008)

	液状化の発生状況	住宅基礎の状況	全壊率 (%)	半壊率 (%)	根拠
木造建物	埋立地・ 顯著な流動化が 予測される地域 (日本海側の砂丘末端緩 斜面)	基礎が全般的に強い (1971年以降の住宅)	5	65	1995年兵庫県南部地震(芦屋浜) 2000年鳥取県西部地震(安倍彦名+富益団地) 2007年新潟県中越沖地震(山本団地)
		基礎が全般的に弱い (1970年以前の住宅)	45	45	1983年日本海中部地震(砂丘性平坦地等)
	上記以外の地域	基礎が全般的に強い (1971年以降の住宅)	1	30	2007年新潟県中越沖地震(橋場地区)
		基礎が全般的に弱い (1970年以前の住宅)	25	25	1983年日本海中部地震(砂丘地等)

非木造について、基礎の状況に応じて被害率を設定する。杭ありの建物は、東京都(2006)による仮定と同様に、4階以上の非木造建物すべてと1960年以降の1~3階非木造建物20%と仮定する。

表III-1-55 液状化による非木造被害率の設定(千葉県、2008)

非木造建物	基礎の状況	全壊率 (%)	半壊率 (%)
	杭なし	23	30
	杭あり (4階以上の建物、1960 年以降の1~3階の20% の建物)	0	0

(11) 中央防災会議・南海トラフ巨大地震モデル検討会等(2013)の手法

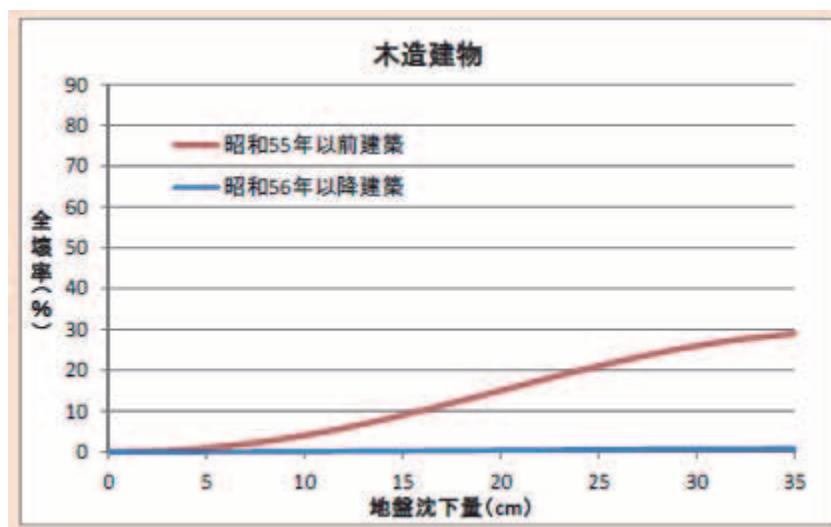
○採用自治体：秋田県(13), 香川県(13), 高知県(13)

東日本大震災における浦安市の調査によれば、液状化による地盤の沈下量が大きくなれば、建物平均傾斜角が大きくなり、全壊率、半壊率に違いが見られるとの結果が得られている。それを踏まえ、液状化による地盤沈下量を指標とする手法である。地盤沈下量の算出は、第Ⅱ章2. 液状化の章を参照されたい。

(注1) 香川県、高知県は全半壊率も示している

① 木造建物

日本海中部地震における八郎潟周辺や能代市などの被害事例（昭和55年以前建築が対象）、東北地方太平洋沖地震における千葉県浦安市や茨城県潮来市日の出地区などの被害事例（昭和56年以降建築が対象）から設定。



図III-1-47 地盤沈下量に対する建物全壊率【木造】（中央防災会議, 2013）

② 非木造建物

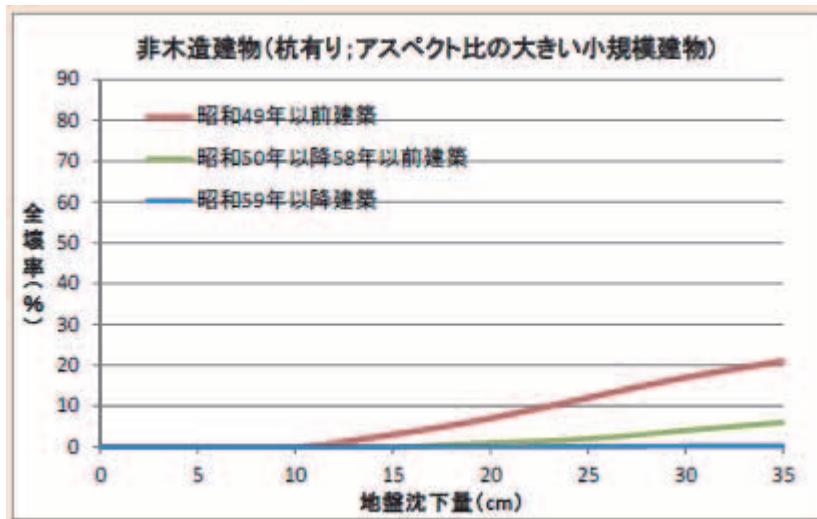
以下の3種類に分類する。

(i) 杭無し

東北地方太平洋沖地震における浦安市の事例を参考すると、ほぼ木造（昭和56年以降建築）と同様の被害傾向であるため、木造（昭和56年以降建築）の被害率を適用。

(ii) 杭有り；アスペクト比の大きい小規模建物（短辺方向スパンが1-2程度）

兵庫県南部地震の事例から設定。埋立地で100棟以上の基礎の被害。基礎被害を受け傾斜したものの多くはアスペクト比の大きい小規模建物（短辺方向スパンが1-2程度の中低層建物）であった。



図III-1-48 地盤沈下量に対する建物全壊率【非木造】（中央防災会議, 2013）

(iii)杭有り；上記以外

半壊以上の被害はないものとする。

○高知県(13)では..

非木造における杭あり建物を3階建て以上、アスペクト比の大きい小規模建物の3階建て以上の建物に占める割合は1割と設定している。

表III-1-56 各自治体の液状化による建物被害予測手法（その1）

自治体	木造	非木造		建物被害予測の対象とする液状化危険度	ゆれによる建物被害と液状化による建物被害の合算方法
		R C 造	S 造		
青森県(97)	望月・荏本(1989)<地域性>	望月・荏本(1989)	望月・荏本(1989)	PL>5	大きい方を採用
岩手県(04)	東京都(1997)	東京都(1997)	東京都(1997)	大, 中	ゆれ被害は液状化被害を受けない建物を対象とするけない建物を対象とする
宮城県(04)	望月・荏本(1989)	望月・荏本(1989)	望月・荏本(1989)	PL>20	(詳細不明)
秋田県(13)	中央防災会議(2013)	中央防災会議(2013)		PL>0	液状化→地震動の順で割り当てる
栃木県(04)	愛知県(2003)	愛知県(2003)	愛知県(2003)	大, 中, 小, 極小	ゆれ被害は液状化非発生面積を対象とする。ただし、杭打ちされた非木造は液状化被害を受けない建物を対象とする
群馬県(12)	静岡県(2001)	愛知県(2003)		PL>15	液状化発生地域については、ゆれによる被害は無いとして仮定
埼玉県(07)	静岡県(2001)	静岡県(2001)		PL>0	ゆれ被害は液状化非発生地域を対象とする
千葉県(08)	千葉県(2008)	千葉県(2008)		PL>0	ゆれ被害は液状化被害を受けない建物を対象とする
東京都(12)	東京都(2012)	東京都(2012)		PL>0	(当該メッシュの ゆれ 及び液状化による全壊率) = { (当該メッシュのゆれ による全壊棟数) + (当該メッシュの液状化による全回答数) } ÷ (当該メッシュの全建物棟数)
神奈川県(09)	千葉県(2008)	千葉県(2008)		(詳細不明)	別々に評価
新潟県(98)	望月・荏本(1989)	望月・荏本(1989)	<S 造>望月・荏本(1989) <軽量 S 造>木造手法	PL>20	(詳細不明)
富山県(11)	静岡県(2001)	静岡県(2001)		A, B, C	(詳細不明)
福井県(97)	望月・荏本(1989)	望月・荏本(1989)	望月・荏本(1989)	PL>5	大きい方を採用
山梨県(05)	東京都(1997)	東京都(1997)	東京都(1997)	PL>0	ゆれ被害は液状化非発生面積を対象とする
長野県(02)	望月・荏本(1989)	望月・荏本(1989)	<S 造>望月・荏本(1989) <軽量 S 造>木造手法	PL>15	液状化被害はゆれ被害を受けない建物を対象とする
静岡県(01)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	木造手法	PL>5	ゆれ被害は液状化被害を受けない建物を対象とする
愛知県(03)	愛知県(2003)	愛知県(2003)	愛知県(2003)	(詳細不明)	(詳細不明)
三重県(06)	中央防災会議(2003)	中央防災会議(2003)		PL>0	別々に評価
滋賀県(05)	大阪府(1997)	大阪府(1997)		PL>5	強震地域は液状化によるゆれ被害の低減を考慮。弱震地域はゆれ被害とは別に液状化被害を計算
大阪府(07)	大阪府(1997)	大阪府(1997)		PL>0	強震地域は液状化によるゆれ被害の低減を考慮。弱震地域はゆれ被害とは別に液状化被害を計算
奈良県(05)	中央防災会議(2003)	中央防災会議(2003)		PL>0	(詳細不明)
鳥取県(05)	鳥取県(05)	鳥取県(05)	鳥取県(05)	PL>15	ゆれ被害は液状化非発生面積を対象とする
島根県(12)	千葉県(2008)	千葉県(2008)		PL>0	ゆれ被害は液状化非発生面積を対象とする
岡山県(13)	東京都(2012)	東京都(2012)		PL>0	液状化→地震動の順で割り当てる
広島県(07)	中央防災会議(2003)	中央防災会議(2003)		PL>0	別々に評価
山口県(08)	中央防災会議(2003)	中央防災会議(2003)		PL>0	<木造>ゆれ被害は液状化非発生地域を対象とする <非木造>液状化被害を受けない建物を対象とする
徳島県(05)	中央防災会議(2003)	中央防災会議(2003)		PL>0	ゆれ被害は液状化非発生地域を対象とする

表Ⅲ-1-56 各自治体の液状化による建物被害予測手法（その2）

自治体	木造	非木造		建物被害予測の対象とする液状化危険度	ゆれによる建物被害と液状化による建物被害の合算方法
		R C造	S造		
香川県(13)	中央防災会議(2013)	中央防災会議(2013)		PL>0	別々に評価
愛媛県(02)	望月・荏本(1989)	名古屋市 (1999)	<S造>R C造手法 <軽量 S造>木造手法	PL>0	ゆれ被害は液状化非発生面積を対象とする
高知県(13)	中央防災会議(2013)	中央防災会議(2013)		PL>0	別々に評価
福岡県(12)	谷口・飯田(1986)	望月・荏本 (1989)	望月・荏本 (1989)	(詳細不明)	大きい方を採用
長崎県(06)	望月・荏本(1989)	望月・荏本 (1989)	<非住宅>望月・荏本(1989) <住宅>木造手法	PL>15	大きい方を採用
熊本県(13)	静岡県(2001)	静岡県(2001)		PL>0	ゆれ被害は液状化非発生地域を対象とする
大分県(13)	静岡県(2001)	静岡県(2001)		PL>0	別々に評価
宮崎県(07)	望月・荏本(1989)	望月・荏本 (1989)	<S造>望月・荏本 (1989) <軽量 S造>木造手法	PL>20	大きい方を採用
鹿児島県(97)	望月・荏本(1989)	望月・荏本 (1989)	望月・荏本 (1989)	PL>15	大きい方を採用
札幌市(08)	東京都(1997)	東京都(1997)	東京都(1997)	PL>0	ゆれ被害は液状化非発生地域を対象とする
仙台市(02)	望月・荏本(1989)	望月・荏本 (1989)	望月・荏本 (1989)	PL>20	(詳細不明)
さいたま市(09)	中央防災会議(2003)	中央防災会議(2003)		PL>0	液状化被害はゆれ被害を受けない建物を対象とする
千葉市(08)	千葉県(2008)	千葉県(2008)		PL>0	(詳細不明)
横浜市(12)	東京都(2012)	東京都(2012)		PL>0	別々に評価
川崎市(13)	千葉県(2008)	千葉県(2008)		PL>0	ゆれ被害は液状化非発生地域を対象とする
新潟市(07)	望月・荏本(1989)	望月・荏本 (1989)	望月・荏本 (1989)	PL>15	液状化被害はゆれ被害を受けない建物を対象とする
名古屋市(99)	名古屋市(1999)	名古屋市(1999)	<S造>R C造手法 <軽量 S造>木造手法	PL>0	別々に評価
堺市(09)	大阪府(1997)	大阪府(1997)		PL>0	強震地域は液状化によるゆれ被害の低減を考慮。弱震地域はゆれ被害とは別に液状化被害を計算
広島市(08)	中央防災会議(2003)	中央防災会議(2003)		PL>0	別々に評価

(注1) 各自治体の報告書より作成（手法不明、予測未実施などの自治体を除く）。考え方の基本とした手法で分類した。

(注2) 自治体名の後ろの（ ）内の数字は報告書等の発行年度(西暦)の下二桁を表示。

1-4. ゆれによる建物被害と液状化による建物被害の関係

1-1～1-3で、ゆれによる建物被害と液状化による建物被害の予測手法について説明してきた。ゆれと液状化の2つの被害量は別々の予測手法で計算された後、両者を足し合わせるという手法がとられている。

このとき、ある建物について、ゆれと液状化の両方の被害数にカウントされることがないような合算処理を行う自治体が多い。合算処理の考え方の主なものとしては、次の3つがある。

- ① ゆれによる被害と液状化による被害のどちらか大きい方をとる。
- ② ゆれによる被害については液状化が発生しない地域（面積）を対象に被害量を計算し、液状化による被害については液状化が発生する地域（面積）を対象に被害量を計算する。
- ③ まず液状化による被害を計算し、ゆれによる被害は液状化被害を受けない建物を対象に被害量を計算する。

各自治体での合算処理の方法は表III-1-56にまとめている。①の考え方を採用している自治体もあるが、最近の被害想定調査では、②や③の考え方を採用する自治体が多くなってきている。

1－5. 地盤崩壊による建物被害

本節では、地盤崩壊による建物被害として、斜面崩壊による建物被害と宅地造成地の被害を取り上げる。

以下に、各自治体で採用されている次の手法の概略をまとめる。

(1) 斜面崩壊による建物被害

①静岡県(2001)・中央防災会議首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」(2005), 中央防災会議東南海, 南海地震等に関する専門調査会「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定」(2008), 中央防災会議・南海トラフ巨大地震モデル検討会等(2013)の手法

②長崎県(2006)の手法

③福岡県(2012)の手法

(2) 宅地造成地の被害

①静岡県(2001)の手法<木造家屋>

②中央防災会議日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の被害想定」(2006)

③東京都(2012)の手法

(1) 斜面崩壊による建物被害

① 静岡県(2001)・中央防災会議 首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」(2005), 中央防災会議 東南海, 南海地震等に関する専門調査会 「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定」(2008), 中央防災会議・南海トラフ巨大地震モデル検討会等 (2013) の手法

○採用自治体：秋田県(13), 群馬県(12), 埼玉県(07), 千葉県(08), 東京都(12), 神奈川県(09), 富山県(11), 山梨県(05), 静岡県(01), 三重県(06), 奈良県(05), 鳥取県(05), 島根県(12), 岡山県(13), 広島県(07), 山口県(08), 徳島県(05), 高知県(13), 熊本県(13), 札幌市(08), 千葉市(08), 横浜市(12), 川崎市(13) (崩壊確率は鳥取県(2005)), 広島市(08)

静岡県(2001)では、図III-1-49のフローにしたがい山・崖崩れによる人家被害戸数を予測している。被害戸数の計算式は以下のとおりである。

$$\text{人家被害戸数} = \text{危険度箇所内の人家戸数} \times \text{危険度ランク別崩壊確率} \\ \times \text{震度別人家被害率}$$

ただし、危険度ランク別崩壊確率：表III-1-48参照

震度別人家被害率 : 表III-1-49参照

危険度ランク別崩壊確率は宮城県沖地震(1978)での被害事例を、震度別人家被害率は宮城県沖地震(1978)と伊豆大島近海地震(1978)での被害事例を参考に設定している。

なお、危険箇所で対策工が行われているもの（急傾斜地危険箇所・地すべり危険箇所の一部）については、対策工の効果を考慮し震度別人家被害率を低減している（対策工が既成・完成の場合は2ランク、着工・部分完成の場合は1ランク改善）。

また、想定対象としている急傾斜地崩壊危険箇所、地すべり危険箇所、大規模崩壊危険箇所の対象地域が重なっている場合は、次のような基準で処理を行っている。

- 危険箇所内の人家戸数は一様に分布しているとし、重複部分の人家戸数は重複部分の面

積割合を用いて配分して求められるものとする。

- b) 重複部分のランクが異なる場合、崩壊危険度ランクが高い方にのみ含める。
- c) 重複部分のランクが同ランクの場合、計算上含まれる人家戸数の多い方を選択する。

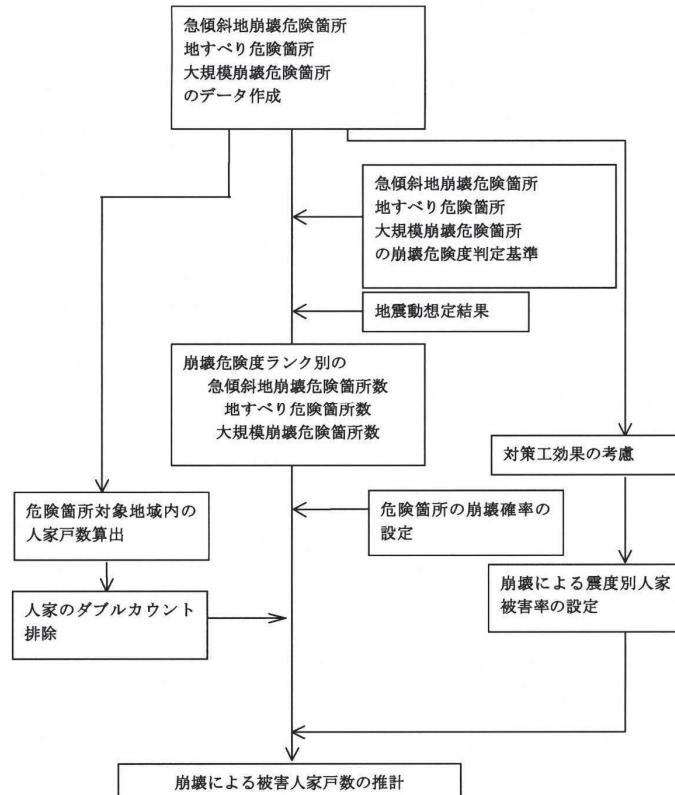
表III-1-57 危険度ランク別の崩壊確率(静岡県(2001)より作成)

危険度ランク	崩壊確率
A (崩壊の可能性が高い)	95%
B (崩壊の可能性がある)	10%
C (崩壊の可能性が低い)	0%

表III-1-58 崩壊箇所の震度別人家被害率(静岡県, 2001)

	～震度4	震度5弱	震度5強	震度6弱	震度6強	震度7
大破率	0%	6%	12%	18%	24%	30%
中破率	0%	14%	28%	42%	56%	70%

※ただし、大破→全壊、中破→半壊と読み替えている自治体が多い



図III-1-49 山・崖崩れによる建築物被害想定フロー(静岡県, 2001)

○鳥取県(05)では…

危険度ランク別崩壊確率は宮城県沖地震(1978)での被害事例を、震度別人家被害率は宮城県沖地震(1978)と伊豆大島近海地震(1978)での被害を再整理し、下表のように設定している。

表III-1-59 危険度ランク別の崩壊確率(鳥取県, 2005)

危険度ランク	崩壊確率
A	59%
B	12%
C	0%

表III-1-60 崩壊箇所の震度別人家被害率(鳥取県, 2005)

	～震度4	震度5弱	震度5強	震度6弱	震度6強	震度7
全壊率	0.0%	2.5%	5.5%	8.0%	11.0%	14.0%
半壊率	0.0%	6.0%	13.0%	19.0%	26.0%	33.0%

○富山県(11)では…

対策工がなされている場合は被害確率0としている。

○中央防災会議(13), 高知県(13)では…

(急傾斜地崩壊による全壊棟数)

$$\begin{aligned} &= (\text{危険箇所内人家戸数}) \times (\text{崩壊確率}) \\ &\quad \times (\text{崩壊地における震度別建物全壊率}) \\ &\quad \times \{ 1 - (\text{都府県別の急傾斜地崩壊危険箇所整備率}) \} \end{aligned}$$

近年発生した直下地震の事例（新潟県中越地震、新潟県中越沖地震、岩手・宮城内陸地震）を踏まえ、崩壊危険度ランク別の崩壊確率は「ランクA=10%」のみ設定する（ランクB,Cの崩壊確率はゼロ）。

○秋田県(13), 岡山県(13), 熊本県(13), 横浜市(12)では…

危険度ランク別崩壊確率は中央防災会議(2013)を採用するが、震度別被害率は示されていないため、中央防災会議(2008)（＝静岡県(2001)の大破→全壊、中破→半壊に置き換える）を用いる。熊本県は大破・中破のまま用いている。

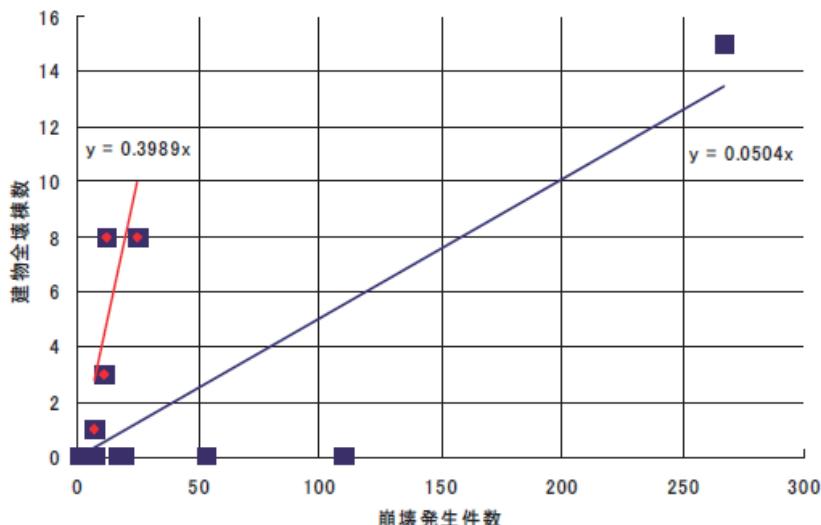
○島根県(12), 川崎市(13)では…

危険度ランク別崩壊確率は鳥取県(05), 震度別被害率は静岡県(01)を採用している。

②長崎県(2006)の手法

○採用自治体：大分県(13)

砂防便覧平成15年度版、国土交通省ホームページほかに示された、最近20年間に急傾斜地・地すべり地で被害をもたらした日向灘地震(1987)から福岡県西方沖地震(2005)までの18地震について、崩壊発生件数と人的被害や家屋被害(下図)を参考にした。



図III-1-50 最近20年間の地震における斜面崩壊件数と建物全壊棟数の関係(長崎県、2005)

18地震のうち、比較的建物被害の多かった4地震のデータ(図III-1-50中赤色で示す)より、崩壊10件あたりの全壊棟数を4棟と求めた。急傾斜地崩壊危険箇所の保全対象人家数の中央値が5棟前後であることより、崩壊1件あたりその8%程度が大破(全壊)することとなる。

$$\text{大破(全壊)戸数(戸)} = 0.08 \times \text{保全対象人家(戸)} \times \text{崩壊発生件数(件)}$$

③福岡県(2012)の手法

○採用自治体：福岡県(12)

以下の式を採用している。

$$\text{被災建物数} = (\text{建物棟数}) \times (\text{崩壊面積率}) \times 2$$

$$\text{ここに、崩壊面積率} = 4.2 \times 10^{-8} \times (\text{加速度})^{2.95}$$

建物被害の算出においては、過去の3地震(えびの地震：1968、新潟地震：1964、大分県中部地震：1975)における平均崩壊発生率を考慮した。

表III-1-61 危険度ランク別の平均崩壊発生率(福岡県、2012)

危険度ランク	3地震での平均崩壊発生率
A	59%
B	12%
C	0%

(2) 宅地造成地の被害

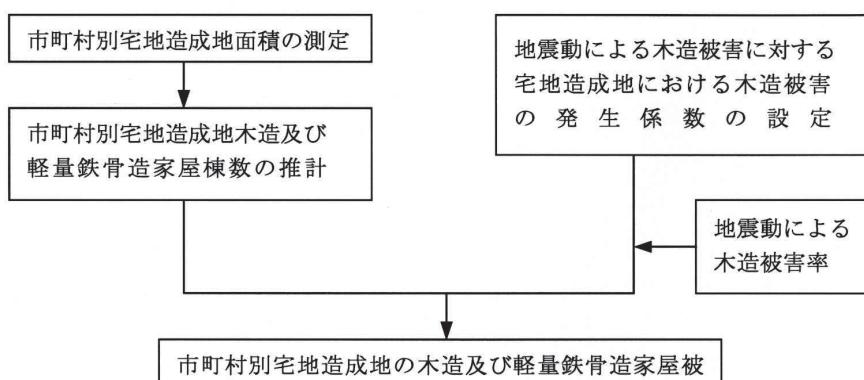
中央防災会議(13), 岡山県(13)では, 定性的な記述にとどまっている.

① 静岡県(2001)の手法<木造家屋>

○採用自治体: 静岡県(01)

静岡県(2001)では, 損害保険料率算定会(1992)の手法に基づき, 宅地造成地の木造建物の被害予測を行っている. また, 軽量S造家屋についても木造と同様の被害が発生すると仮定して, 被害を予測している. 被害予測の単位は市町村レベルである.

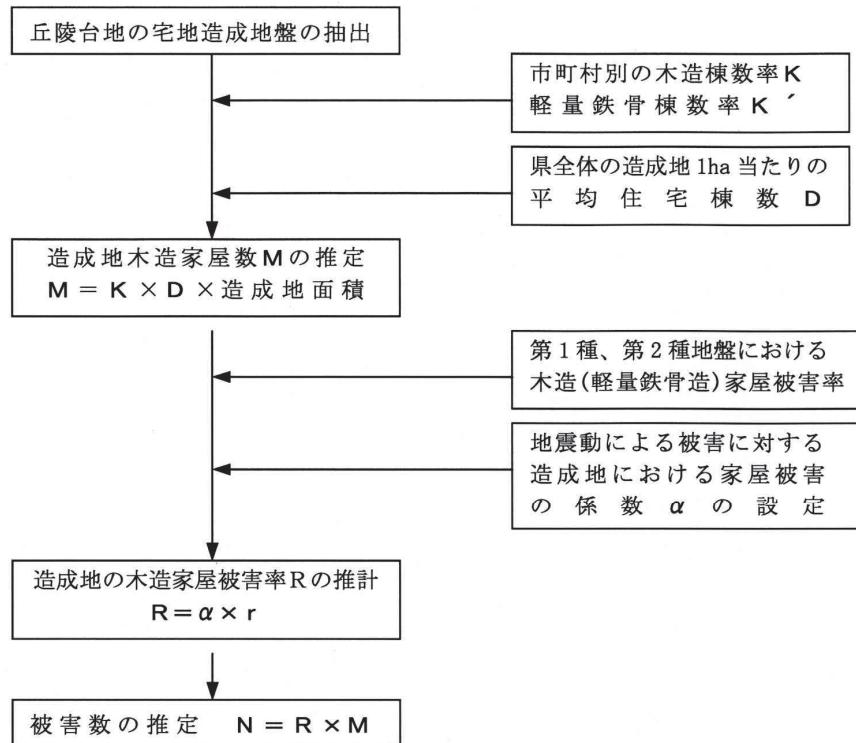
なお, 丘陵地における宅地造成地を予測対象としているが, このは, 平地部の宅地造成地で被害危険性の高いものは大部分が液状化危険地域に入ると考えられるためである.



図III-1-51 宅地造成地における建物被害想定フロー(静岡県, 2001)

具体的な被害予測の流れは図III-1-52のようになっており, 以下のような手順で行われる.

- ① 予測対象とする丘陵地の宅地造成地を選定する.
- ② 宅地造成地における木造・軽量S造家屋数を推定する. まず, 市町村ごとの木造棟数率および軽量S造棟数率を算出し, これを当該市町村に存在する造成地の木造率Rおよび軽量S造率R'とする. 次に, 県内における10ha以上の規模の宅地造成地に関し, 1ha当たりの平均住宅棟数Dを推計する(17.1戸/haと推定). これらと宅地造成地の面積を掛け合わせ, 宅地造成地における家屋数を推定する.
- ③ 市町村ごとに宅地造成地の切土部の地盤を構成している第1種, 第2種地盤における地表加速度別の面積比率を求め, これより, 当該地盤上の建物の平均被害率を推計する.
- ④ 造成地の切土部における地震動による被害に対する被害係数 α (=3.65) を設定し, これを地震動による木造家屋の被害率に乘じることにより造成地における木造家屋被害率を求める. これに, 木造家屋数を乗じることにより, 木造家屋被害数を推定する.
- ⑤ 木造被害率棟数の内訳(全壊・半壊)を推定する. 全壊・半壊の比率については, 宮城県沖地震(1978)の際の一般的な丘陵地における全・半壊比率を基に設定している.

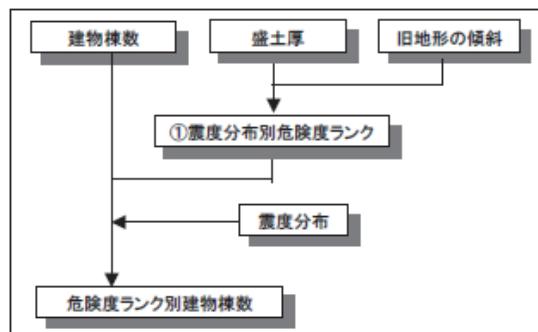


図III-1-52 宅地造成地における木造家屋の被害予測の流れ(静岡県, 2001)

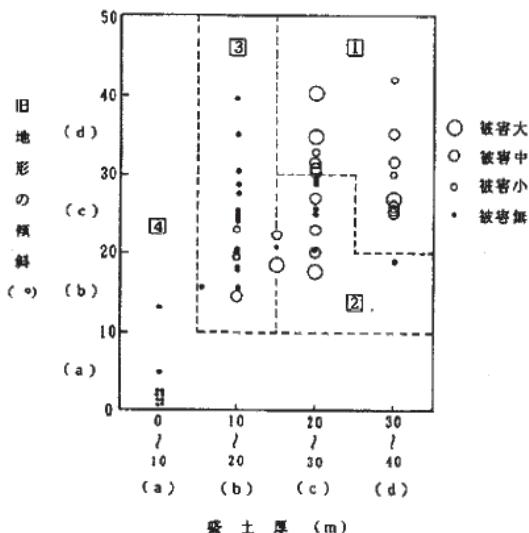
②中央防災会議 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の被害想定」(2006)の手法

○採用自治体：堺市(09)

宅地造成地内の建物について、1978年宮城県沖地震による仙台市周辺の造成地の被害実態に基づいて、盛土厚や旧地形の傾斜角から危険度ランク別に分類している。(平成14年 宮城県第三次地震被害想定より)



図III-1-53 宅地造成地建物被害算出フロー(中央防災会議, 2006)



図III-1-54 旧地形の傾斜・盛土厚と家屋被害率(中央防災会議, 2006)

表III-1-62 判定基準(中央防災会議, 2006)

分類	~4	5弱	5強	6弱	6強~
1	C	B	A	A	A
2	C	C	B	A	A
3	C	C	C	B	A
4	C	C	C	C	B

表III-1-63 判定ランクの内容(中央防災会議, 2006)

判定	家屋	地下埋設物	地盤
A	倒壊する家屋あり	被害あり	崩壊・亀裂などがみられる
B	倒壊する家屋の での可能性あり	被害の可能性あり	小亀裂・小崩壊 などの可能性あり
C	被害の可能性小	被害の可能性小	被害の可能性小

この項目では、被害棟数を算出するのではなく、地震時に危険と判断される宅地造成地上にどれくらいの建物があるかを評価することとしている。

③東京都(2012)の手法

○採用自治体：東京都(12)

造成地における建物被害は、建物自体の特性（構造・年次）によらず発生するため、造成地の特性（造成年代等）が原因となる可能性が高い。よって、東日本大震災における仙台市内造成地の計測震度と全壊率の相関曲線を作成し、これを基に建物被害を計算するとしている。ただし、相関曲線は示されていない。

※大規模造成地に該当するメッシュのみ

$$(\text{盛土にかかる建物棟数}) = (\text{メッシュ内建物棟数}) \times (\text{盛土面積割合})$$

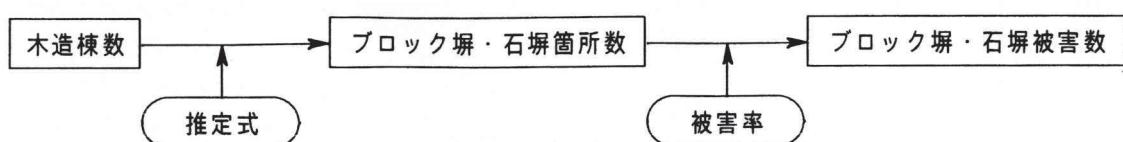
$$(\text{木造 全壊棟数}) = (\text{盛土にかかる木造棟数}) \times (\text{造成地の木造建物全壊})$$

1-6. ブロック塀等の被害

宮城県沖地震(1978)においてブロック塀の倒壊による死者が多数発生して以降、各地の自治体でブロック塀等の点検調査や被害予測が行われるようになった。しかし、ブロック塀等の現況調査が行われている地域はごく限られており、ほとんどの自治体では、塀の種類や延長といった基礎データそのものを経験的に予測せざるを得ない状況にある。

ブロック塀や自動販売機の倒壊数自体を予測している自治体も存在するが、倒壊数は予測せず、人的被害のみを算出している自治体も多い。ブロック塀倒壊による人的被害については、この項目では扱わず、人的被害の項目で記述することとする。

一般的なブロック塀等の被害予測の流れは下図のようになっている。



図III-1-55 ブロック塀等の被害予測の流れ(埼玉県, 1998)

以下に、各自治体で採用されている次の手法の概略をまとめるとする。

- (1) 望月ら(1989)・東京都防災会議(1985)の手法
- (2) 仙台市(2002)の手法
- (3) 福井県(1997)の手法
- (4) 札幌市(2008)の手法

(1) 望月ら(1989)・東京都防災会議(1985)の手法

○採用自治体：青森県(97), 東京都(12), 富山県(11), 広島県(07), 山口県(08), 大分県(07), さいたま市(09)

宮城県沖地震(1978)における被害調査結果に基づき、仙台市における推定加速度とブロック塀・石塀被害率との関係を統計的にまとめ、下式を提案している。

$$\text{ブロック塀の被害率} : y_1 = -12.6 + 0.070 \cdot X$$

$$\text{石塀の被害率} : y_2 = -26.6 + 0.168 \cdot X \quad X : \text{地表加速度}$$

(2)仙台市(2002)の手法

○採用自治体：宮城県(04), 仙台市(02)

宮城県沖地震(1978)における被害調査結果と再現シミュレーションによる推定震度の関係から、ブロック塀・石塀の被害率を設定している。ただし、震度6強以上については、気象庁震度階級関連解説表を参考にしている。

表III-1-64 ブロック塀・石塀の倒壊率、被害率(仙台市, 2002)

塀の分類		5弱		5強		6弱		6強		7	
種類	ランク	倒壊	被害	倒壊	被害	倒壊	被害	倒壊	被害	倒壊	被害
ブロック塀	A	25	50	50	100	100	100	100	100	100	100
	B	0	0	0	4	5	25	50	100	100	100
	C	0	0	0	0	0	0	0	0	5	10
石塀	A	5	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	B	0	5	15	15	40	80	80	100	100	100
	C	0	0	0	0	0	0	0	0	5	10

Aランク：明らかに危険な塀

(単位：%)

Bランク：危険と判断できる塀

Cランク：調査不能な部分もあるが外見上危険と判定できない塀

倒壊：耐力をほとんど失っているもの

被害：部分的な破壊を受けているがまだ耐力が残っているものと倒壊しているものの合計

(3)福井県(1997)の手法

○採用自治体：福井県(97)

兵庫県南部地震(1995)における神戸市東灘区での被害調査で得られたブロック塀の被害事例から、建物全壊率とブロック塀倒壊率の関係を求めている。

$$y = 0.64 \cdot x$$

y : ブロック塀倒壊率(%)

x : 建物全壊率(%)

(4)札幌市(2008)の手法

○採用自治体：札幌市(08)

1995年兵庫県南部地震による建築構造物の被害調査報告（兵庫県南部地震被害に関する大分県速報会実行委員会 1995年2月）によると、ブロック塀の倒壊率 25%に対し建物の倒壊率 33%だったことから、以下の式を設定している。

$$\text{ブロック塀倒壊率} (\%) = \text{木造建物全壊率} (\%) \times 25/33$$

1-7. 津波による建物被害

津波による建物被害の予測手法については、これまでほぼ全ての自治体で首藤(1988)の手法が採用されていた。しかし東日本大震災(2011)での大きな被害を受け、その調査結果をもとにした、より詳細な浸水深との関係を用いる自治体が多くなっている。以下に、各自治体で用いられている主な手法の概要を示す。

- (1) 首藤(1988)の手法
- (2) 中央防災会議・南海トラフ巨大地震モデル検討会等(2013)の手法
- (3) 鳥取県(2012)の手法

(1) 首藤(1988)の手法

○採用自治体：島根県(12), 福岡県(12), 横浜市(12), 川崎市(13)

津波強度		0	1	2	3	4	5	
津波高 (m)		1	2	4	8	16	32	
津波形態	緩斜面	岸で盛上がる	沖でも水の壁 第二波碎波	先端に 碎波を伴う ものが増える。	第一波でも 巻き波碎波を 起こす。			
	急斜面	速い潮汐	速い潮汐					
音響		全面碎波による連続音 (海鳴り、暴風雨)						
				浜での巻き波碎波による大音響 (雷鳴。遠方では認識されない)				
				崖に衝突する大音響 (遠雷、発破。かなり遠くまで聞こえる)				
木造家屋	部分的破壊	全面破壊						
石造家屋	持ちこたえる		(資料無し)	全面破壊				
鉄・コン・ビル	持ちこたえる		(資料無し)	全面破壊				
漁船		被害発生	被害率50%	被害率100%				
防潮林被害 防潮林効果	被害軽微 津波軽減 潮流物阻止		部分的被害 潮流物阻止	全面的被害 無効果				
養殖筏	被害発生							
沿岸集落		被害発生	被害率50%	被害率100%				
打上高(m)		1	2	4	8	16	32	

出所) 首藤伸夫「津波強度と被害」
(1992年、津波工学研究報告第9号 101-136)

図III-1-56 津波高と被害程度(中央防災会議, 2003)

表III-1-65 首藤(1988)による浸水深と被害区分の関係

被害区分	浸水深(H)	
	木造	非木造
床上(大破・全壊)	$2.0m \leq H$	—
床上(中破・半壊)	$1.0m \leq H < 2.0m$	—
床上(軽微)	$0.5m \leq H < 1.0m$	$0.5m \leq H$
床下浸水	$H < 0.5m$	$H < 0.5m$

○横浜市(12)では…

東日本大震災において浸水深1m未満でも全壊・半壊の事例があった（「国土交通省 東日本大震災の津波被災現況調査結果」）ことを反映させて、以下のように見直して用いた。なお、本市における津波の想定浸水深は3m程度以下で、流速も比較的ゆるやかであることを前提としたものである。

表III-1-66 浸水深と建物被害の関係(横浜市, 2012)

被害区分	浸水深 (H)	
	木造	非木造
全壊	$2.0m \leq H$	—
半壊	$0.5m \leq H < 2.0m$	$0.5m \leq H$

○川崎市(13)では…

床上浸水は基礎が腐食するなど半壊と同様のダメージを受けるため、横浜市などを参考に整理しなおし、「床上浸水」を「半壊」に含めたものを採用

表III-1-67 浸水深から予測される被害区分(川崎市, 2013)

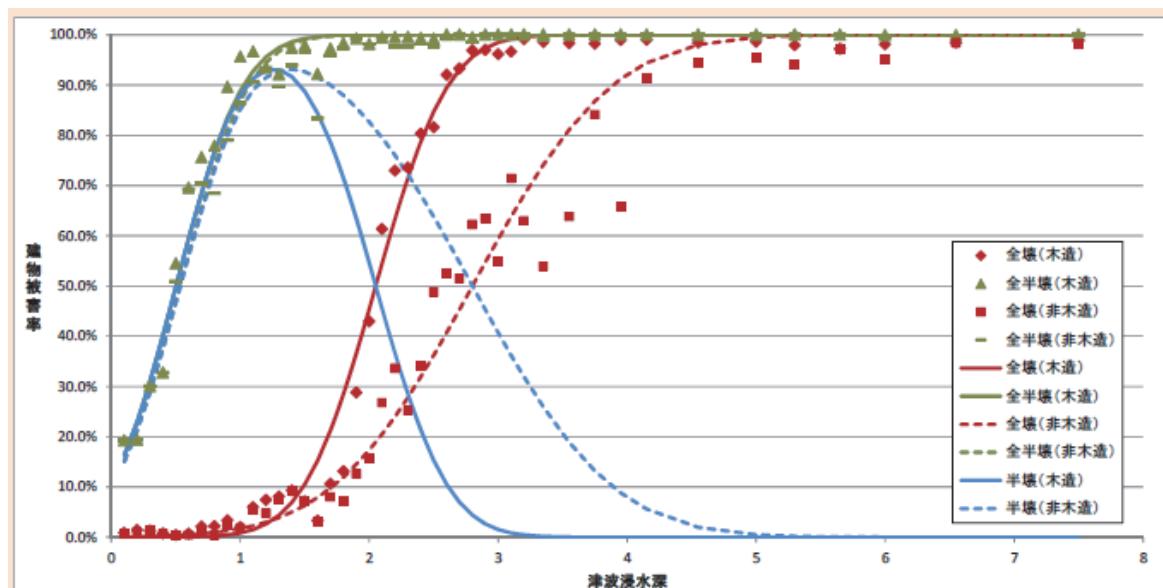
被害区分	浸水深 (H)	
	木造	非木造
全壊	$2.0m \leq H$	—
半壊	$0.5m \leq H < 2.0m$	$0.5m \leq H$
浸水	$H < 0.5m$	$H < 0.5m$

(2) 中央防災会議・南海トラフ巨大地震モデル検討会等（2013）の手法

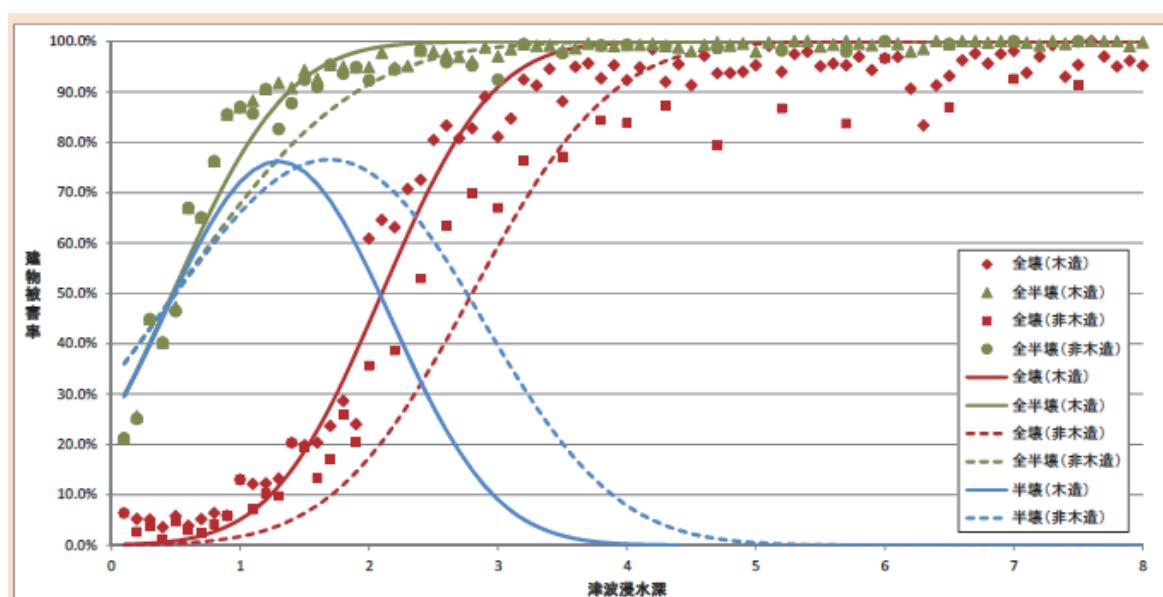
○採用自治体：岡山県(13), 香川県(13), 高知県(13), 熊本県(13), 大分県(13)

東日本大震災における被害（「東日本大震災による被災現況調査結果について（第1次報告）」（国土交通省，平成23年8月4日））を参考に、修正した手法である。

人口集中地区とそれ以外における建物被害率を分けて用い、建物構造別に全壊棟数、半壊棟数を算出する。



図III-1-57 津波浸水深ごとの建物被害率【人口集中地区】（中央防災会議, 2013）



図III-1-58 津波浸水深ごとの建物被害率【人口集中地区以外】（中央防災会議, 2013）

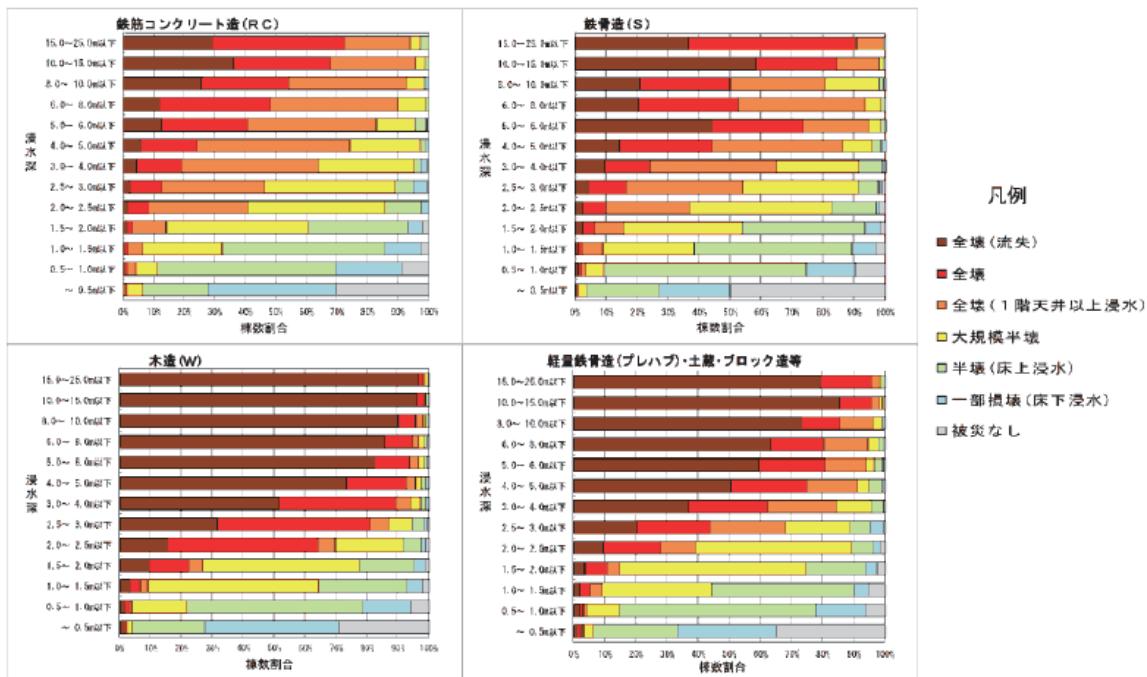
加えて、大分県(13)では、床上・床下浸水も算出している

(3) 鳥取県(2012)の手法

○採用自治体：秋田県(13), 鳥取県(12)

東日本大震災における被害より、浸水深に応じた建物被害数を算出した。

ある浸水深(x)における建物被害の発生する確率P(x)は、標準正規分布の累積確率密度関数を用いて、正規分布で表されると仮定し、建物被害と浸水深の関係を求めた。



※被災現況調査では、現地調査に基づき、被災した建物を「全壊(流失)」「全壊」「全壊(1階天井以上浸水)」「大規模半壊」「半壊(床上浸水)」「一部損壊(床下浸水)」に6区分している。区分の判定は原則として目視調査による。

※8月4日公表の第1次報告では、「全壊(流失)」「全壊」「全壊(1階天井以上浸水)」を全壊と整理したが、このうち「全壊(1階天井以上浸水)」の区分は、生活再建支援制度等に用いられる「災証明書」の被害認定基準を準用したもので、住家について、概ね1階天井まで浸水の建物は「全壊」と認定するものであるが、修繕により再使用可能なものであり、建物が再使用困難な損壊、すなわち浸水階より上の階に人が居た場合に危険な程の損壊は生じていないものとして整理した。

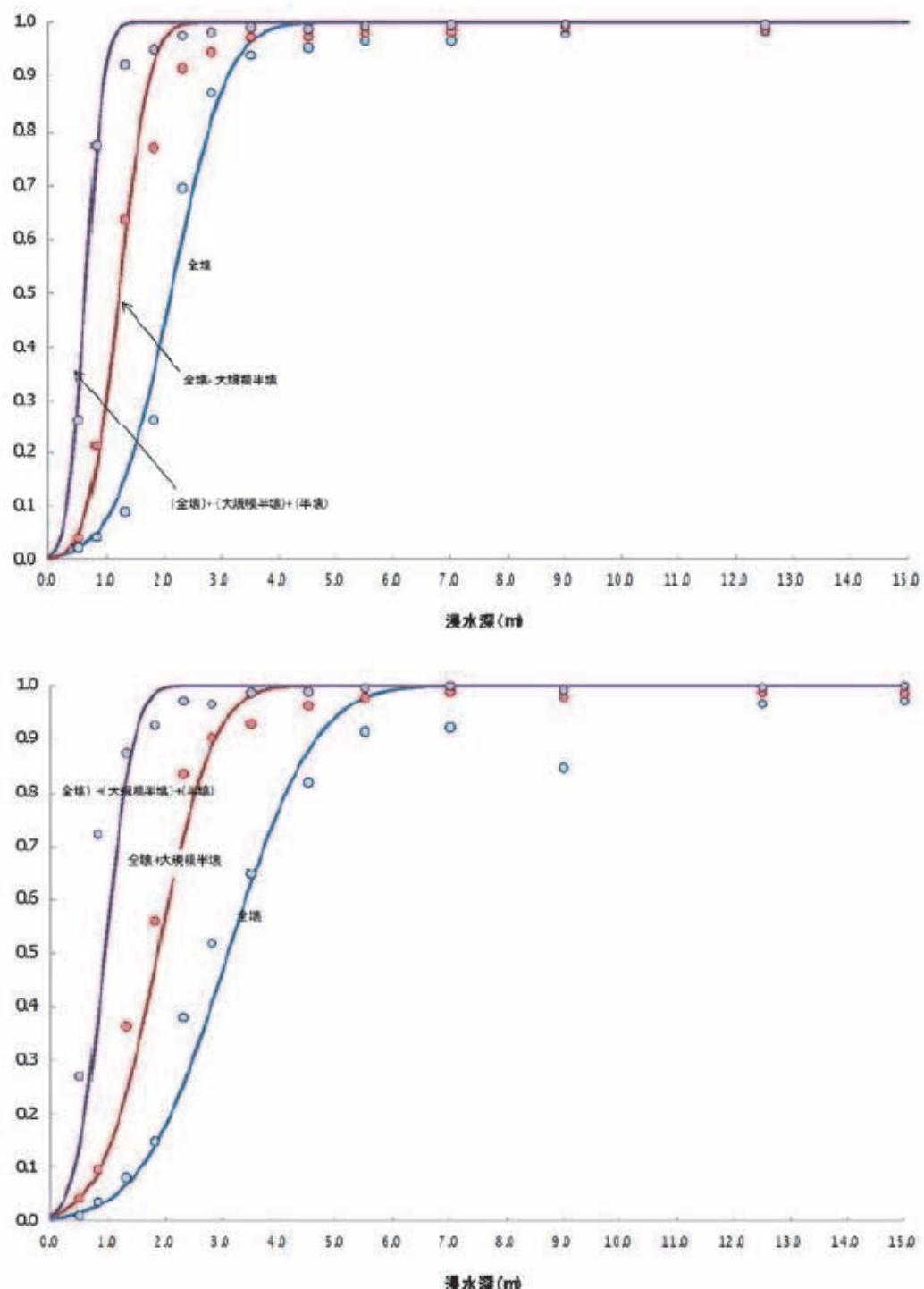
※浸水深は100mメッシュ単位で把握しているため、個々の建物の浸水深が正確に反映されていないところがある。

図III-1-59 建物構造別の浸水深と建物被災状況の関係(国土交通省, 2011)

表III-1-68 建物被害と浸水深の関係(秋田県, 2013)

(単位: %)

浸水深	木造			非木造		
	全壊	大規模半壊以上	半壊以上	全壊	大規模半壊以上	半壊以上
0.5m未満	0.89	1.19	6.43	0.88	1.95	4.46
0.5m以上～1.0m未満	3.63	11.69	61.03	2.28	6.85	28.26
1.0m以上～1.5m未満	12.43	50.00	98.87	5.67	19.87	75.02
1.5m以上～2.0m未満	30.40	88.31	100.00	12.17	41.87	97.29
2.0m以上～2.5m未満	55.10	99.14	100.00	22.66	66.85	99.93
2.5m以上～3.0m未満	77.91	99.98	100.00	36.84	85.92	100.00
3.0m以上～4.0m未満	95.22	100.00	100.00	59.87	97.58	100.00
4.0m以上～5.0m未満	99.84	100.00	100.00	86.07	99.94	100.00
5.0m以上～6.0m未満	100.00	100.00	100.00	97.24	100.00	100.00
6.0m以上～8.0m未満	100.00	100.00	100.00	99.94	100.00	100.00
8.0m以上～10.0m未満	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
10.0m以上～15.0m未満	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
15.0m以上～25.0m未満	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
25.0m以上	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



図III-1-60 建物被害と浸水深の関係（上段：木造、下段：非木造）（秋田県、2013）

2. 地震火災による建物被害の予測

地震火災による建物被害については、以下のような手順で被害予測を行っている自治体が多い。

- ① 出火件数（炎上出火件数）の予測
- ② 消防力を考慮した延焼出火件数の予測
- ③ 延焼火災による焼失建物数の予測

① 出火件数（炎上出火件数）の予測

地震後の出火件数については、過去の地震における建物全壊率と出火率（一般火気器具）の関係をもとに予測されることが多い。一般火気器具のほかに電熱器具、電気機器・配線からの出火件数を用いる自治体もある。また、過去の地震時には火薬や石油など危険物の漏洩による出火や化学薬品の混触による出火が発生したことがあり、これらを原因とする出火件数を予測している自治体もある。

この他、兵庫県南部地震（1995）で注目された漏電やガス漏れを原因とする火災については、地震後しばらくしてからの火災であることや評価手法が確立していない等の理由により予測対象としている自治体は少ない。

延焼火災を予測する上では、住民や自主防災組織などにより初期消火ができずに消防力の運用対象となる出火件数（炎上出火件数）が必要となる。直接炎上出火件数を求める方法を採用している自治体が多いが、まず全ての出火件数を求め、それに初期消火を考慮して炎上出火件数を求める方法を採用している自治体もある。

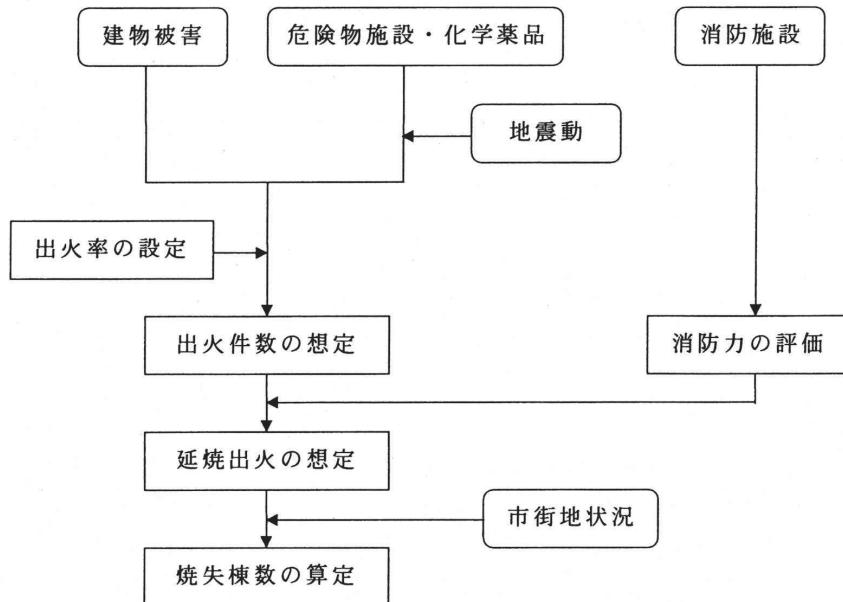
② 消防力を考慮した延焼出火件数の予測

①で予測した炎上出火件数に対して、消防力の運用により消火される（延焼火災とならない）件数を求め、残りを延焼火災となる出火件数としている。消防力による消火件数の予測については、各自治体により様々な考え方が適用されている。

③ 延焼火災による焼失建物数の予測

②で予測した延焼出火件数をもとに、焼失建物数を予測する。焼失建物数は、不燃領域率と焼失棟数との経験則に基づき予測されることが多い。

参考として、多くの自治体で採用されている出火・延焼の被害想定の流れを図III-2-1に示す。また、一般火気器具、危険物施設、化学薬品からの出火件数の代表的な予測手法を表III-2-1に示す。



図III-2-1 出火・延焼の被害想定の流れ(新潟県, 1998)

表III-2-1 主な出火件数の予測手法

出火原因	主な予測手法	採用自治体数
一般火氣器具、電熱器具、電気機器・配線	<input type="checkbox"/> 国土開発技術研究センター(1983)の手法 <input type="checkbox"/> 静岡県(2001)・中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会（東南海・南海地震に係る被害想定）」(2003)・「首都直下地震対策専門調査会」(2005)・「東南海、南海地震等に関する専門調査会（中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定）」(2008)・中央防災会議「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」(2006) <input type="checkbox"/> 東京消防庁(1987)の手法 <input type="checkbox"/> 東京消防庁(1997)の手法 <input type="checkbox"/> 東京消防庁火災予防審議会(2005)・中央防災会議・南海トラフ巨大地震モデル検討会等(2013)の手法	10 23 2 3 7
危険物施設	<input type="checkbox"/> 東京消防庁(1987)の手法 <input type="checkbox"/> 神奈川県(1993)の手法 <input type="checkbox"/> 東京消防庁火災予防審議会(2005)の手法 <input type="checkbox"/> 中央防災会議(2006)「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」の手法	3 3 4 2
化学薬品	<input type="checkbox"/> 神奈川県(1986)の手法 <input type="checkbox"/> 東京消防庁(1987)の手法 <input type="checkbox"/> 中央防災会議「東南海・南海地震に係る被害想定」(2003)・中央防災会議「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」(2006)・中央防災会議「首都直下地震に係る被害想定」(2005)・中央防災会議「中部圏・近畿圏の内陸地震にかかる被害想定手法」(2008)の手法 <input type="checkbox"/> 東京消防庁火災予防審議会(2005)(東京都第16期火災予防審議会答申)の手法	1 4 14 3

2-1. 出火件数（炎上出火件数）

地震後の出火件数（炎上出火件数）の予測手法としては、過去の地震被害から求めた建物全壊率と出火率の経験式を用いる手法と、イベントツリー解析により出火要因別・用途別などで求められた地震動強さと出火率の関係を用いる手法（東京消防庁の手法）の2つに大別できる。

以下に、各自治体で採用されている次の手法の概略をまとめる。

(1) 一般火気器具、電熱器具、電気機器・配線からの出火件数

- ①国土開発技術研究センター(1983)の手法
- ②神奈川県(1986)の手法
- ③愛知県(1995)の手法
- ④静岡県(2001)・中央防災会議東南海、南海地震等に関する専門調査会「東南海・南海地震に係る被害想定」(2003)・中央防災会議首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」(2005)・中央防災会議東南海、南海地震等に関する専門調査会「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定」(2008)・中央防災会議日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の被害想定」(2006)
- ⑤東京消防庁(1987)の手法
- ⑥東京消防庁(1997)の手法
- ⑦東京消防庁火災予防審議会(2005)、中央防災会議・南海トラフ巨大地震モデル検討会等(2013)の手法

(2) 危険物施設からの出火

- ①東京消防庁(1987)の手法
- ②神奈川県(1993)の手法
- ③東京消防庁火災予防審議会(2005)の手法
- ④中央防災会議「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の被害想定」(2006)の手法
- ⑤中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定」(2008)を参考とした手法

(3) 化学薬品からの出火

- ①神奈川県(1986)の手法
- ②東京消防庁(1987)の手法
- ③中央防災会議東南海、南海地震等に関する専門調査会「東南海・南海地震に係る被害想定」(2003)・中央防災会議首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」(2005)・中央防災会議日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の被害想定」(2006)・中央防災会議東南海、南海地震等に関する専門調査会「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定」(2008)の手法
- ④東京消防庁火災予防審議会(2005)（東京都第16期火災予防審議会答申）の手法

(1) 一般火気器具からの出火件数

① 国土開発技術研究センター(1983)の手法

○採用自治体：青森県(97), 新潟県(98), 福井県(97), 岡山県(03), 香川県(97), 福岡県(12), 長崎県(98), 宮崎県(07), 鹿児島県(97), 新潟市(07)

建設省総合技術開発プロジェクト「都市防火対策手法」(国土開発技術研究センター, 1983)は、関東地震(1923)から十勝沖地震(1968)までの12地震の被害事例とともに建物全壊率と一般火気器具からの出火率の関係を定式化している。この際、出火がなかった地域も考慮している点が特徴である。

$$Y = \alpha \cdot N \cdot y$$

Y : 出火件数

α : 時刻補正係数 (下記の表参照)

N : 世帯数 (戸数)

y : 出火率 (全出火率または炎上出火率)

*全出火は出火したもの全て。炎上出火はそのうち市民の初期消火で消されたもの以外。

$$\langle \text{全出火の場合} \rangle (\text{冬}) \log_{10} y = 0.695 \log_{10} X - 1.943$$

$$(\text{夏}) \log_{10} y = 0.443 \log_{10} X - 2.942$$

$$\langle \text{炎上出火の場合} \rangle (\text{冬}) \log_{10} y = 0.728 \log_{10} X - 2.089$$

$$(\text{夏}) \log_{10} y = 0.814 \log_{10} X - 2.818$$

X : 全壊率

表III-2-2 水野(1978)による時刻補正係数

時刻	α	時刻	α
0～4	0.046	16～17	1.30
4～5	0.15	17～19	2.50
5～6	0.98	19～20	1.80
6～8	1.64	20～21	1.10
8～11	1.10	21～23	0.45
11～13	1.52	23～24	0.12
13～16	0.85		

多くの自治体でこの関係式が使用されているが、手法が開発されてから20年以上が経過しており、予測結果が現在の状況とそぐわないことが多くなっている。そこで、各自治体により様々な補正が行われている。以下に主なものをまとめると。

- a) 時刻補正係数の改訂 ⇒ ライフスタイルの変遷による影響を考慮
 - ・ 通常火災の時刻別発生頻度に基づく改訂 (新潟県, 広島県, 宮崎県, 広島市)
- b) 兵庫県南部地震(1995)に基づく補正係数の適用 ⇒ 火気器具等の耐震性の向上を考慮
 - ・ 地震発生後1日間の実際の出火件数と予測出火件数の比0.36を補正係数として適用 (新潟県)
 - ・ 神戸市の実際の出火件数と予測出火件数から求めた補正係数を適用 (香川県, 広島県, 福岡県, 鹿児島県, 千葉市)

② 神奈川県(1986)の手法

○採用自治体：長野県(02)

関東地震(1923)のデータとともに、当時の全壊率と炎上出火率の関係を導き出し、これに火災統計や都市ガス使用量から、時代・季節・時刻に関する補正を行っている。

$$y = \alpha \cdot \beta \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_2$$

y : 想定地震時の炎上出火率

α : 関東地震(1923)時の炎上出火率

$$\log_{10} \alpha = -2.741 + 0.7055 \log_{10} z$$

z : 全壊率

β : 時代係数 (=0.52. 平常時出火率の比より算出)

γ_1 : 季節係数 (夏を1としたときの季節別の都市ガス送出比率から設定)

γ_2 : 時刻係数 (12時を1としたときの時間別の都市ガス送出比率から設定)

表III-2-3 神奈川県(1986)における季節係数

	春・秋	夏	冬
期間	4/1～5/31 11/1～12/15	6/1～10/31	12/16～3/31
季節係数	1.35	1.00	1.72

表III-2-4 神奈川県(1986)における時刻係数

時刻	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
時刻係数	0.43	0.33	0.21	0.19	0.20	0.34	0.77	1.11	1.14	1.12	1.06	1.03
時刻	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
時刻係数	1.00	0.93	0.87	0.91	1.19	1.84	2.29	2.22	1.99	1.70	1.23	0.82

○長野県(02)では...

季節係数 γ_1 は、夏から秋(6月～11月)を1.00とし、冬から春(12月～5月)を1.51とした。

時刻係数 γ_2 については、14時～15時を1.93、18時～19時を1.21としている。

③ 愛知県(1995)の手法

○採用自治体：名古屋市(99)

建設省総合技術開発プロジェクト(1983)と国土庁式を参考に予測式を作成している。

○炎上出火率 P

$$\text{冬 (12/16~3/31)} : P = 0.00815 \cdot x^{0.73}$$

$$\text{夏 (6/1~10/31)} : P = 0.00152 \cdot x^{0.81}$$

x : 木造建物全壊率

○木造建物からの炎上出火件数 y_1 (件)

$$y_1 = \alpha \cdot P \cdot n$$

α : 時刻係数

n : その地区の世帯数 (世帯)

表III-2-5 愛知県(1995)における時刻係数

時刻	α	時刻	α	時刻	α
0-1	0.525	8- 9	0.929	16-17	1.231
1-2	0.474	9-10	1.13	17-18	1.605
2-3	0.525	10-11	1.07	18-19	1.574
3-4	0.727	11-12	1.221	19-20	1.504
4-5	0.656	12-13	1.13	20-21	1.272
5-6	0.535	13-14	1.151	21-22	0.999
6-7	0.555	14-15	1.312	22-23	0.878
7-8	0.747	15-16	1.201	23-24	1.05

○非木造建物からの炎上出火件数 y_2 (件)

$$y_2 = \delta \cdot y_1 \cdot N_2 / N_1$$

δ : 木造建物に対する非木造建物炎上出火率比 ($=0.512$)

* 東京都防災会議(1991)による平常時の木造建物に対する非木造建物炎上出火率比を用いた

N_1 : その地区の木造建物棟数

N_2 : その地区の非木造建物棟数

④静岡県(2001)・中央防災会議 東南海, 南海地震等に関する専門調査会 「東南海・南海地震に係る被害想定」(2003)・中央防災会議 首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」(2005)・中央防災会議 東南海, 南海地震等に関する専門調査会 「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定」(2008)・中央防災会議 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の被害想定」(2006)の手法

○採用自治体：群馬県(12), 栃木県(04), 埼玉県(07), 千葉県(08), 富山県(11), 山梨県(05), 静岡県(01), 愛知県(03), 三重県(06), 奈良県(05), 鳥取県(05), 島根県(12), 広島県(07), 山口県(08), 徳島県(05), 愛媛県(02), 長崎県(06), 熊本県(13), 大分県(13), 札幌市(08), さいたま市(09), 千葉市(08), 広島市(08)

兵庫県南部地震(1995)時の被害実績をもとに出火要因別比率を考慮して、各自治体の火災発生状況に合わせてゆれによる全壊率と出火率との関係を設定している。

$$\text{出火率} = k \times (\text{ゆれによる全壊率})^{0.73}$$

k : 表III-2-7の一般火気器具, 電熱器具, 電気機器・配線の合計値

ただし、係数設定の手法が4系統に分かれているので、その系統別に以下の通り係数設定方法を整理した。

また、全出火数から初期消火件数を除いた、炎上出火件数を求めている場合も多い。

$$\text{炎上出火率} = (1 - \text{初期消火率}) \times \text{全出火数}$$

表III-2-6 初期消火率(中央防災会議, 2005)

	人口集中地区	その他郊外地区
震度5	68.4	78.6
震度6	45.9	51.8
震度7	23.8	43.9

■静岡県(2001)・中央防災会議 東海地震対策専門調査会「東海地震に係る被害想定」(2001)・中央防災会議 東南海、南海地震等に関する専門調査会「東南海・南海地震に係る被害想定」(2003)の係数設定

○採用自治体：栃木県(04), 山梨県(05), 静岡県(01), 愛知県(03), 奈良県(05), 鳥取県(05), 島根県(12), 徳島県(05), 愛媛県(02), 札幌市(08), 大分県(13), 三重県(06)

表III-2-7 出火要因別の出火率の係数(中央防災会議, 2003)

	一般火気器具	電熱器具	電気機器・配線
冬の18時	0.0022	0.0043	
冬の05時	0.00018	0.00036	0.00036
秋の12時	0.00017	0.00035	

○島根県(12), 大分県(13)では…

愛知県(2003)を参考に, 以下の係数を設定

表III-2-8 出火率係数

時期	係数k
冬の18時	0.0069
冬の05時	0.00096
秋の12時	0.0026

また, 初期消火率は以下のように設定

表III-2-9 加速度と初期消火率の関係

加速度(gal)	150	250	350	500	700	1000
初期消火率(%)	67	67	67	44	30	8

東京消防庁火災予防審議会(1997)より作成

■中央防災会議 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の被害想定」(2006)の係数設定

○採用自治体：埼玉県(07), さいたま市(09)

以下のような時刻係数・季節係数・要因別出火率を設定し, 係数を求めている。

$$(出火率) = (\text{要因別出火率}) \times 0.0011 \times (\text{全壊率})^{0.73} \times (\text{時刻係数}) \times (\text{季節係数})$$

表III-2-10 要因別出火率(中央防災会議, 2006)

要因	出火率
a)一般火気器具(ガスコンロ・石油ストーブ等)	16.4%
b)電熱器具(電気ストーブ・電気コンロ等)	32.7%
c)電気機器・配線(電気製品・屋内配線等)	32.6%
d)化学薬品(ベンジン・黄リン等)	6.0%
e)ガス漏洩	12.3%

時刻係数と季節係数は、季節や時間帯によって使用率に差異が生じる a)・b)のみ考慮する。季節係数は、兵庫県南部地震(1995)時の実態と対応させるため、近畿地方・冬の厨房用エネルギー消費量と暖房用エネルギー消費量の合計値を基準にしている。北海道・東北・関東地方における厨房用エネルギー消費量と暖房用エネルギー消費量の季節別合計値との比率をもとに補正している。ただし、冬5時では暖房用のエネルギー消費量で比較する。

表III-2-11 季節係数（中央防災会議, 2006）

	春	夏	秋	冬	
				18時	5時
北海道	2.29	0.14	2.29	3.01	3.33
東北	1.53	0.14	1.53	1.99	2.15
関東	0.46	0.14	0.46	1.12	1.14

(出典) 家庭用エネルギーハンドブック（住環境計画研究所, 1999）エネルギー・経済統計要覧（日本エネルギー経済研究所, 2004）をもとに算出

上記の季節係数に従うと、各要因別出火率の式は以下の通りとなる。

a)一般火気器具

$$\text{出火率} = k \times \text{全壊率}^{0.73}$$

表III-2-12 補正係数kの値（中央防災会議, 2006）

	冬5時	夏12時	冬18時
北海道	0.00060	0.00014	0.00652
東北	0.00039	0.00014	0.00431
関東	0.00020	0.00014	0.00242

b)電熱器具

$$\text{出火率} = k \times \text{全壊率}^{0.73}$$

表III-2-13 補正係数kの値（中央防災会議, 2006）

	冬5時	夏12時	冬18時
北海道	0.00120	0.00028	0.01299
東北	0.00078	0.00028	0.00859
関東	0.00041	0.00028	0.00483

c)電気機器・配線

$$\text{出火率} = 0.00036 \times \text{全壊率}^{0.73}$$

d)ガス漏洩

$$\text{出火率} = \text{ガス配管被害率} \times \{0.0015 \times (\text{半壊以下の建物数}) + 0.013 \times (\text{全壊建物数})\}$$

e)化学薬品

$$\text{出火率} = 0.000066 \times \text{全壊率}^{0.73}$$

■中央防災会議 首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」(2005)の係数設定

○採用自治体：群馬県(12), 千葉県(08), 広島県(07), 千葉市(08), 広島市(08)

補正係数は以下の表の通りに設定する。

ただし、群馬県(12)では夏12時として、秋12時と同じ係数を設定。

表III-2-14 出火率の補正係数(中央防災会議, 2005)

	冬の5時	秋の8時	秋の12時	冬の18時
一般火気器具	0.00018	0.00021	0.00041	0.0022
電熱器具	0.00036	0.00041	0.00082	0.0043
電気機器・配線		0.00036		
化学薬品		0.000066		

■中央防災会議 東南海, 南海地震等に関する専門調査会 「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定」(2008)の係数設定

○採用自治体：富山県(11), 山口県(08), 熊本県(13)

静岡県(2001)の手法を参考にして、兵庫県南部地震(1995)時の建物全壊と出火率の関係から求めた標準出火率を設定している。

季節係数については、火気器具、電熱器具を暖房器具とそれ以外に分けて、暖房器具の冬季の季節係数を1.0, それ以外の季節の暖房器具の季節係数を0.0とした。暖房器具以外の季節係数は、いずれの季節も1.0とした。

時刻係数は、火災予防審議会・東京消防庁(1997)の火気使用環境調査結果を用いて設定している。火災予防審議会・東京消防庁(1997)の兵庫県南部地震(1995)の地震火災の発生状況の分析結果を用いて、火災発生要因の構成比を求めている。

$$\text{出火率} = \Sigma \text{季節係数} \times \text{時刻係数} \times \text{出火要因別構成比} \times \text{標準出火率}$$

$$\text{標準出火率} = 0.0011 \times \text{ゆれによる全壊率}^{0.73}$$

$$\text{ゆれによる全壊率} = \text{ゆれによる全壊棟数} / \text{全建物棟数}$$

表III-2-15 出火率の補正係数(中央防災会議, 2008)

季節変動	時刻変動	構成比	シーン	季節係数	時刻係数	構成比×季節×時刻×0.0011	
○	○	23.4%	冬5時	1.00	1.00	0.000257	
			秋8時	0.00	3.45	0.000000	
			冬12時	1.00	3.77	0.000970	
			冬18時	1.00	2.83	0.000728	
なし	○	12.8%	冬5時	1.00	1.00	0.000141	
			秋8時	1.00	1.45	0.000204	
			冬12時	1.00	1.90	0.000268	
			冬18時	1.00	1.98	0.000279	
なし	なし	63.8%	冬5時	1.00	1.00	0.000702	
			秋8時	1.00	1.00	0.000702	
			冬12時	1.00	1.00	0.000702	
			冬18時	1.00	1.00	0.000702	
合計		100.0%	冬5時			0.001100	
			秋8時			0.000906	
			冬12時			0.001940	
			冬18時			0.001709	

⑤ 東京消防庁(1987)の手法

○採用自治体：茨城県(95), 京都市(03)

過去の地震時の災害事例、平常時の火災事例および各種の実験・調査研究の結果を分析し、モンテカルロシミュレーションにより火気器具ごとに加速度レベル別出火率を設定している。

表III-2-16 地震時における火気器具の出火率の例

火 気 器 具		250gal	1000gal
灯油ストーブ類		0.0114～0.0242	0.0624～0.1479
灯油ストーブ類(ポット型)		0.0025～0.0053	0.0136～0.0321
ガスストーブ		0.0001	0.0003～0.0007
ガス温風暖房機			0.0001以下
灯油温風暖房機		0.0001～0.0040	0.0005～0.0254
ガスコンロ ガステーブル ガスレンジ	油鍋使用時	0.0316～0.0375	0.0316～0.0376
	油鍋不使用	0.0001	0.0001～0.0004
ガスオーブン、炊飯器、壁掛湯沸器			0.0001以下
平かまど	油鍋使用時	0.0031	0.0032
	油鍋不使用		0.0001以下
ガス風呂釜、石油ボイラー、消毒器			0.0001以下

東京消防庁(1987)では、求められた火気器具ごとの出火率をもとに加速度に対する出火確率を建物用途別に求めている(表III-2-16)。建物の応答加速度と建物用途別出火率を掛け合わせて集計することによりメッシュ内の出火件数を求めることができる。

表III-2-17 地震時建物用途別出火率【建物内加速度 350gal の場合】

用 途	季節・時間別出火率(%)			
	夏 昼	夏 夕方	冬 昼	冬 夕方
映画館	0.0004	0.0002	0.0019	0.0010
キャバレーの類	0.0023	0.0697	0.0023	0.0697
料理店	0.0272	0.1007	0.0272	0.1007
飲食店	油鍋使用	0.1319	0.1468	0.1319
	油鍋不使用	0.0002	0.0007	0.0002
百貨店	0.0400	0.0078	0.0405	0.0078
物品販売店	0.0087	0.0042	0.0089	0.0049
旅館・ ホ テ ル	木造	0.0052	0.0307	0.0052
	非木造	0.0179	0.0153	0.0179
共同住宅	木造	0.0006	0.0065	0.0012
	非木造	0.0003	0.0029	0.0006
寄宿舎	0.0043	0.0674	0.0044	0.0678
病院	0.0391	0.0050	0.0449	0.0050
診療所	0.0139	0.0246	0.0139	0.0246
保育園	0.0156	0.0021	0.0194	0.0021
幼稚園	0.0046	0.0000	0.0296	0.0000
小学校	0.0379	0.0000	0.0379	0.0000
大学	0.0007	0.0001	0.0170	0.0074
公衆浴場	0.0078	0.0470	0.0085	0.0490
工場・ 作業所	木造	0.0011	0.0007	0.0142
	非木造	0.0005	0.0000	0.0075
事務所	0.0003	0.0000	0.0004	0.0004
住宅	0.0004	0.0040	0.0007	0.0067

⑥ 東京消防庁(1997)の手法

○採用自治体：茨城県(98), 宮城県(04), 仙台市(02)

東京消防庁(1997)では以下の出火要因を対象としている。

火気器具, 化学薬品, 危険物施設, 工業炉, LPGボンベ, 高圧ガス施設,
電熱器具, 電気機器, 配線, 自動車, 漏洩ガス

以下では、これらのうち火気器具, 電熱器具, 電気機器, 配線, 自動車, 漏洩ガスからの出火件数の予測手法についてその概略をまとめることとする。

a) 火気器具・電熱器具からの出火件数

■全壊建物

全壊建物 1 棟あたりの出火率を兵庫県南部地震(1995)時の火災事例より設定している。なお、時刻に応じた使用率の違いは、東京消防庁による火気使用環境調査に基づき、夕方18時の全壊 1 棟あたりの出火率を0.18%に補正している。

■半壊以下の建物

器具別に地震動から出火に至る出火機構を考えて出火率を求めている。

火気器具や電熱器具の建物の用途別保有率を調査により把握し、それぞれの出火率を積算することにより用途別の出火率を求める。事業所統計等から地域ごとの用途別建物存在状況を把握することにより出火件数が算出できる。

表III-2-18 用途別出火率(%)【冬の夕方】

用途\加速度(gal)	150	250	350	500	700
映画館	0.004	0.010	0.033	0.060	0.077
キャバレー	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005
料理店	0.009	0.020	0.063	0.110	0.135
飲食店	油鍋使用	0.005	0.011	0.030	0.049
	油鍋不使用	0.002	0.006	0.021	0.037
百貨店	0.006	0.013	0.055	0.107	0.143
物品販売店舗	0.002	0.005	0.016	0.023	0.031
旅館	木造	0.010	0.041	0.137	0.226
	非木造	0.006	0.013	0.048	0.084
共同住宅	木造	0.002	0.005	0.023	0.042
	非木造	0.001	0.004	0.014	0.027
病院	0.003	0.009	0.035	0.064	0.075
診療所	0.001	0.005	0.020	0.035	0.040
寄宿舎	0.002	0.005	0.016	0.029	0.036
保育所	0.002	0.009	0.038	0.069	0.086
幼稚園	0.000	0.001	0.005	0.009	0.012
小学校	0.003	0.012	0.048	0.083	0.098
大学	0.002	0.005	0.021	0.037	0.047
公衆浴場	0.001	0.003	0.009	0.017	0.023
工場	木造	0.003	0.014	0.048	0.080
	非木造	0.002	0.008	0.030	0.050
事務所	0.001	0.002	0.009	0.018	0.027
住宅	0.001	0.004	0.014	0.027	0.036

b) 電気機器・配線・自動車からの出火件数

兵庫県南部地震(1995)での町丁目レベルの建物被害率から加速度分布を推定し、この加速度と建物1棟あたりの出火率から予測している。

なお、電気関係の出火は電力が復旧する時刻に出火するものとみなしている。

表III-2-19 電気機器・配線・自動車の出火率(%)

加速度(gal)	150	250	350	500	700
電気機器	0.000	0.000	0.000	0.006	0.014
配 線	0.000	0.000	0.000	0.003	0.010
自 動 車	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

c) 漏洩ガスからの出火件数

兵庫県南部地震(1995)の事例等を参考に、ガス漏洩時の出火危険性を推定している。

表III-2-20 ガス漏洩時の出火率

	ガス漏洩時の出火率
半壊以下の建物	0.15%
全壊建物	1.3%

⑦ 東京消防庁火災予防審議会(2005), 中央防災会議・南海トラフ巨大地震モデル検討会等(2013)の手法

○採用自治体：秋田県(13), 神奈川県(09), 岡山県(13), 香川県(13), 高知県(13), 横浜市(12), 川崎市(13)

この手法では、建物圧壊する場合とそうでない場合を考慮している。

「東京都第16期火災予防審議会答申 地震時における人口密集地域の災害危険要因の解明と消防対策について」(東京消防庁火災予防審議会, 2005)による計測震度と出火率の関係及び全壊率と全出火率の関係を用いて地震別、ケース別に出火件数を想定している。

また、中央防災会議(2013)の手法は、東京消防庁火災予防審議会と係数が若干異なっているが、東日本大震災以降に被害想定を発表した自治体では、採用することが多くなっている。

a) 火気器具・電熱器具からの出火(建物圧壊以外の場合)

建物圧壊以外の場合における、火気器具・電熱器具からの出火件数は、次のようにして求めた。

- まず、震度別初期消火率と用途別初期消火率及び補正係数とをかけあわせて、初期消火を考慮した用途別震度別の出火率を求める。
- 別途、課税台帳から設定したメッシュごとの用途比率を用いて、メッシュ単位で用途別建物棟数を求める。
- メッシュごとの用途別建物棟数と用途別震度別出火率とをかけあわせて、出火件数を求める。

表III-2-21 加速度別と震度階別の初期消火率の補正係数

加速度(gal)	150	250	350	700	1000
震度	5弱	5強	6弱	6強	7
補正係数	1	1	1	0.453	0.229

東京都第16期火災予防審議会答申(2005)より作成

表III-2-22 用途別初期消火率

用途	映画館	キャバレー	飲食店	料理店	物品販売店舗	百貨店	旅館・ホテル木造	旅館・ホテル非木造	寄宿舎	共同住宅
初期消火率	0.67	0.42	0.53	0.51	0.50	0.75	0.45	0.62	0.67	0.67
用途	病院	診療所	保育所	幼稚園	小学校	大学	公衆浴場	工場・作業所	事務所	住宅
初期消火率	0.67	0.62	0.66	0.66	0.56	0.56	0.67	0.50	0.75	0.67

「(火災予防審議会答申)直下の地震を踏まえた新たな出火要因及び延焼性状の解明と対策」
火災予防審議会・東京消防庁(1997)より作成

表III-2-23 用途別の火気器具・電熱器具からの出火率

用途	震度5弱			震度5強			震度6弱			震度6強			震度7		
	夏暑	冬朝	冬夕	夏暑	冬朝	冬夕	夏暑	冬朝	冬夕	夏暑	冬朝	冬夕	夏暑	冬朝	冬夕
映画館	0.0043%	0.0002%	0.0039%	0.0116%	0.0007%	0.0125%	0.0300%	0.0016%	0.0305%	0.0832%	0.0062%	0.1005%	0.1865%	0.0514%	0.2956%
キャバレー	0.0000%	0.0002%	0.0041%	0.0000%	0.0005%	0.0100%	0.00000%	0.0013%	0.0242%	0.0006%	0.0053%	0.0860%	0.0229%	0.0505%	0.2902%
料理店	0.0044%	0.0003%	0.0058%	0.0044%	0.0005%	0.0086%	0.0131%	0.0012%	0.0231%	0.0323%	0.0048%	0.0771%	0.0954%	0.0399%	0.2292%
飲食店	0.0069%	0.0004%	0.0073%	0.0096%	0.0006%	0.0106%	0.0291%	0.0016%	0.0306%	0.0808%	0.0053%	0.0858%	0.2058%	0.0377%	0.2168%
百貨店	0.0271%	0.0011%	0.0211%	0.1000%	0.0041%	0.0774%	0.2513%	0.0101%	0.1928%	0.7232%	0.0353%	0.5694%	1.8200%	0.2796%	1.6071%
物品販売店舗	0.0017%	0.0001%	0.0014%	0.0041%	0.0002%	0.0042%	0.0107%	0.0006%	0.0105%	0.0384%	0.0028%	0.0458%	0.3243%	0.0673%	0.3866%
旅館・ホテル	0.0148%	0.0008%	0.0151%	0.0644%	0.0034%	0.0653%	0.1600%	0.0085%	0.1618%	0.4566%	0.0295%	0.4752%	0.9663%	0.1863%	1.0709%
共同住宅	0.0007%	0.0001%	0.0012%	0.0011%	0.0001%	0.0027%	0.0031%	0.0004%	0.0070%	0.0090%	0.0015%	0.0249%	0.0349%	0.0132%	0.0757%
病院	0.0045%	0.0002%	0.0035%	0.0093%	0.0005%	0.0089%	0.0247%	0.0012%	0.0222%	0.0701%	0.0047%	0.0759%	0.2191%	0.0753%	0.4329%
診療所	0.0013%	0.0001%	0.0014%	0.0013%	0.0002%	0.0034%	0.0040%	0.0004%	0.0082%	0.0106%	0.0017%	0.0282%	0.0495%	0.0218%	0.1250%
寄宿舎	0.0014%	0.0001%	0.0016%	0.0028%	0.0001%	0.0025%	0.0075%	0.0004%	0.0068%	0.0228%	0.0015%	0.0244%	0.1116%	0.0253%	0.1456%
保育所	0.0025%	0.0000%	0.0002%	0.0033%	0.0000%	0.0009%	0.0095%	0.0001%	0.0019%	0.0246%	0.0006%	0.0094%	0.0694%	0.0068%	0.0393%
幼稚園	0.0019%	0.0001%	0.0013%	0.0019%	0.0002%	0.0042%	0.0056%	0.0006%	0.0109%	0.0137%	0.0037%	0.0594%	0.0431%	0.0308%	0.1772%
小学校	0.0083%	0.0001%	0.0022%	0.0136%	0.0003%	0.0058%	0.0374%	0.0007%	0.0142%	0.1002%	0.0038%	0.0612%	0.2989%	0.0378%	0.2175%
大学	0.0037%	0.0000%	0.0007%	0.0062%	0.0001%	0.0020%	0.0170%	0.0003%	0.0050%	0.0458%	0.0010%	0.0155%	0.1263%	0.0105%	0.0604%
公衆浴場	0.0006%	0.0000%	0.0009%	0.0009%	0.0001%	0.0027%	0.0026%	0.0003%	0.0064%	0.0073%	0.0014%	0.0225%	0.0282%	0.0152%	0.0874%
工場・作業場	0.0016%	0.0001%	0.0013%	0.0046%	0.0002%	0.0046%	0.0118%	0.0006%	0.0117%	0.0330%	0.0035%	0.0564%	0.0796%	0.0266%	0.1529%
事務所	0.0024%	0.0001%	0.0012%	0.0069%	0.0002%	0.0038%	0.0176%	0.0005%	0.0095%	0.0496%	0.0019%	0.0307%	0.1208%	0.0171%	0.0980%
住宅	0.0007%	0.0001%	0.0016%	0.0007%	0.0002%	0.0035%	0.0021%	0.0005%	0.0094%	0.0058%	0.0031%	0.0505%	0.0274%	0.0265%	0.1521%

川崎市(2013)より引用(川崎市は東消(2005)に冬朝の値を追加している)

b) 火気器具・電熱器具からの出火(建物圧壊の場合)

建物圧壊の場合における、火気器具・電熱器具から出火件数は、全壊建物からの出火率(圧壊建物の割合は、全壊建物の3割とする)と火気器具の時間帯別使用率から求めた。

表III-2-24 全壊建物からの出火率(*:全壊建物1棟当たりの出火率(%))

	出火率*		出火率*		出火率*		出火率*
灯油ストーブ	0.0033	電気ストーブ	0.0034	投込湯沸器	0.0000	自動車	0.0047
灯油温風暖房機	0.0004	熱帶魚用ヒーター	0.0027	電気トースター	0.0005	都市ガス	0.0094
ガスストーブ	0.0011	電気こんろ	0.0006	電気機器	0.0040	その他	0.0162
ガスコンロ	0.0017	白熱スタンド	0.0009	配線	0.0030	合計	0.0518

東京都第16期火災予防審議会答申(2005)より作成

表III-2-25 火気器具の時間帯別使用率

	使用率(%)		
	5～6時	11～13時	17～19時
灯油ストーブ	4	20.2	60.5
灯油温風暖房機	1.4	25.4	59.9
ガスストーブ	4.8	25.4	60.7
ガスコンロ	3.5	47.5	71.7
電気ストーブ	2.8	11.5	33.2
熱帶魚用ヒーター	100	100	100
電気こんろ	3.5	47.5	71.7
白熱スタンド	0.4	3.8	14.3
投込湯沸器	33.3	83.3	50
電気トースター	1.2	14	7.9

東京都第16期火災予防審議会答申(2005)より作成

c) 電気器具・配線からの出火

次の2つの式から出火件数を求めた。

$$\text{電気機器からの出火件数} = 0.039\% \times \text{全壊棟数}$$

$$\text{配線からの出火件数} = 0.024\% \times \text{全壊棟数}$$

d) 化学薬品からの出火

東京消防庁火災予防審議会(2005)に示された、化学薬品からの震度別出火率を用いて出火件数を求めた。出火率の詳細は、「(3) 化学薬品からの出火 ④ 東京消防庁火災予防審議会(2005)(東京都第16期火災予防審議会答申)の手法」の項で後述。

e) ガス漏洩からの出火

漏洩ガスからの出火率の式と東京消防庁火災予防審議会(2005)に示された震度別のガス配管の被害率を用いて出火件数を求めた。

$$\text{漏洩ガスからの出火率} = \text{全壊以外の建物棟数} \times \text{灯内内管被害率} \times 1\% \times 0.15\% + \text{全壊建物棟数} \times (\text{灯外内管被害率} + \text{灯内内管被害率} \times 1\%) \times 1.3\%$$

表III-2-26 震度別のガス配管の被害率

震度	5弱	5強	6弱	6強	7
灯外内管被害率	0.00%	0.01%	0.04%	0.13%	0.37%
灯内内管被害率	0.00%	0.02%	0.10%	0.35%	1.00%

東京都第16期火災予防審議会答申(2005)より作成

f) 危険物施設からの出火

東京消防庁火災予防審議会(2005)に示された震度別出火率と神奈川県内の市町村別危険物施設分布を用いて出火件数を求めた。出火率の詳細は、「(2) 危険物施設からの出火 ③ 東京消防庁火災予防審議会(2005)の手法」の項で後述。

○中央防災会議(2013), 秋田県(13), 岡山県(13), 香川県(13), 高知県(13)では..

a), b), c)のみ考慮して係数を変更し, 出火件数を評価する際に初期消火成功率を考慮している.
秋田県(13)では, 夏12時のかわりに夏10時を採用している.

a) 火気器具・電熱器具からの出火 (建物圧壊以外の場合)

係数を以下の表のように設定する.

表III-2-27 建物倒壊しない場合の火気器具・電熱器具からの出火率(中央防災会議, 2013)

冬深夜					
建物用途	震度5弱	震度5強	震度6弱	震度6強	震度7
飲食店	0.0003%	0.0009%	0.0047%	0.0188%	0.0660%
物販店	0.0001%	0.0004%	0.0013%	0.0059%	0.0510%
病院	0.0002%	0.0004%	0.0014%	0.0075%	0.1180%
診療所	0.0000%	0.0002%	0.0005%	0.0018%	0.0070%
事務所等その他事務所	0.0000%	0.0001%	0.0004%	0.0020%	0.0110%
住宅・共同住宅	0.0002%	0.0006%	0.0021%	0.0072%	0.0260%
夏12時					
建物用途	震度5弱	震度5強	震度6弱	震度6強	震度7
飲食店	0.0029%	0.0076%	0.0346%	0.1152%	0.3310%
物販店	0.0005%	0.0015%	0.0071%	0.0253%	0.1230%
病院	0.0009%	0.0016%	0.0070%	0.0296%	0.3130%
診療所	0.0004%	0.0004%	0.0016%	0.0050%	0.0230%
事務所等その他事務所	0.0005%	0.0017%	0.0083%	0.0313%	0.1830%
住宅・共同住宅	0.0003%	0.0003%	0.0013%	0.0043%	0.0210%
冬18時					
建物用途	震度5弱	震度5強	震度6弱	震度6強	震度7
飲食店	0.0047%	0.0157%	0.0541%	0.1657%	0.5090%
物販店	0.0007%	0.0020%	0.0085%	0.0302%	0.1580%
病院	0.0008%	0.0017%	0.0072%	0.0372%	0.5290%
診療所	0.0004%	0.0010%	0.0036%	0.0130%	0.0410%
事務所等その他事務所	0.0003%	0.0012%	0.0052%	0.0216%	0.1770%
住宅・共同住宅	0.0010%	0.0034%	0.0109%	0.0351%	0.1150%

b) 火気器具・電熱器具からの出火 (建物圧壊の場合)

- ・阪神・淡路大震災の事例から, 冬における倒壊建物1棟あたり出火率を0.0449%とする.
- ・暖房器具類を使わない夏の場合には, 倒壊建物1棟あたり出火率を0.0286%とする.
- ・時刻補正係数は, 1.0 (深夜), 2.2 (12時), 3.4 (18時) とする.

これらより求めた出火率は, 以下のようになる.

表III-2-28 季節時間帯別の倒壊建物の出火率(中央防災会議, 2013)

冬深夜	夏12時	冬18時
0.0449%	0.0629%	0.1392%

高知県(13)では, 時刻補正係数を過去の実データから独自に設定している.

- ・深夜: 昼: 夕方 = 1.0 : 3.5 : 3.1
- ・夏秋期 (6-11月) : 冬期 (12-3月) = 1.0 : 1.6

これより, 冬深夜: 夏昼: 冬夕方 = 1.0 : 2.2 : 3.1とした.

c) 電気器具・配線からの出火

$$\text{電気機器からの出火件数} = 0.044\% \times \text{全壊棟数}$$

$$\text{配線からの出火件数} = 0.030\% \times \text{全壊棟数}$$

初期消火：

a)～c)で算出した全出火件数より、以下の初期消火成功率を考慮して、出火件数とする。

表III-2-29 震度ごとの初期消火率

震度	6弱以下	6強	7
初期消火成功率	67%	30%	15%

東京消防庁出火危険度測定（第8回、2011）より作成

⑧ その他

その他、以下のような手法も見られた。

- ・大阪府(1997)の兵庫県南部地震における経験式を用いた手法
- ・木造住宅からの出火を神奈川県(1997)の、非木造住宅からの出火を名古屋市(1999)の手法で算出する手法
- ・「東京都の地震時における地域別出火危険度測定(第8回)」(東京消防庁・2011)を根拠とする手法

(2) 危険物施設からの出火

① 東京消防庁(1987)の手法

○採用自治体：青森県(97), 茨城県(95, 98), 名古屋市(99)

危険物施設における出火の過程をイベントツリー解析によって分析するとともに、この中の各事象が起こる確率を技術者や消防職員からの聞き取りによって推定し、危険物施設から出火する確率をまとめている。

表III-2-30 各自治体における危険物施設区分別の平均出火率（炎上）

施設区分		東京消防庁(1987)	青森県(1997)	名古屋市(1999)
発熱反応工程施設		0.0081	(同)	—
製造所		0.0011	(同)	0.0099
屋内貯蔵所		2.3×10^{-4}	3.9×10^{-4}	(同)
屋外タンク貯蔵所	浮屋根式	0.0099	(同)	(同)
	特定	5.5×10^{-5}	(同)	(同)
	非特定	1.2×10^{-4}	(同)	—
地下タンク貯蔵所		0.000	(同)	(同)
屋内タンク貯蔵所		2.0×10^{-7}	(同)	1.2×10^{-4}
給油取扱所	営業用	3.1×10^{-4}	(同)	(同)
	自家用	1.3×10^{-4}	(同)	(同)
販売取扱所		0.0010	(同)	(同)
一般取扱所	小口・灯油	2.5×10^{-7}	2.5×10^{-4}	2.5×10^{-7}
	その他	3.2×10^{-4}	(同)	
少量危険物施設		2.4×10^{-4}	(同)	(同)

(注) 「—」は想定未実施、「(同)」は東京消防庁と同じ値を使用。

② 神奈川県(1993)の手法

○採用自治体：新潟県(98), 福井県(97), 長野県(02)

東京消防庁(1987)によるイベントツリー解析、日本海中部地震(1983)での被害実績から、加速度、液状化危険度別の出火率を設定している。

表III-2-31 危険物施設種別出火率(神奈川県(1993)より抜粋)

危険物施設種	流出から出火に至る確率	全施設数に対する平均出火率					液状化時の出火率
		150 gal	250 gal	350 gal	500 gal	700 gal	
製造所	1.5×10^{-2}	2.2×10^{-4}	5.7×10^{-4}	1.1×10^{-3}	2.2×10^{-3}	3.6×10^{-3}	液状化考慮せず
屋内貯蔵所	4.9×10^{-3}	4.6×10^{-5}	1.2×10^{-4}	2.3×10^{-4}	4.5×10^{-4}	7.5×10^{-4}	液状化考慮せず
屋外タンク貯蔵所	6.4×10^{-3}	7.0×10^{-5}	1.8×10^{-4}	3.5×10^{-4}	6.9×10^{-4}	1.1×10^{-3}	1.0×10^{-4}
屋内タンク貯蔵所	1.9×10^{-5}	4.0×10^{-8}	1.0×10^{-7}	2.0×10^{-7}	3.9×10^{-7}	6.6×10^{-7}	液状化考慮せず
給油取扱所	4.8×10^{-3}	5.2×10^{-5}	1.4×10^{-4}	2.6×10^{-4}	5.1×10^{-4}	8.5×10^{-4}	1.7×10^{-4}
販売取扱所	1.2×10^{-2}	2.0×10^{-4}	5.2×10^{-4}	1.0×10^{-3}	2.0×10^{-3}	3.3×10^{-3}	5.6×10^{-3}
一般取扱所	8.2×10^{-4}	8.4×10^{-6}	2.2×10^{-5}	4.2×10^{-5}	8.2×10^{-5}	1.4×10^{-4}	3.9×10^{-5}
少量危険物取扱所	3.2×10^{-3}	4.8×10^{-5}	1.2×10^{-4}	2.4×10^{-4}	4.7×10^{-4}	7.9×10^{-4}	1.6×10^{-4}

③ 東京消防庁火災予防審議会（2005）の手法

○採用自治体：神奈川県(09), 島根県(12), 横浜市(12), 川崎市(13)

東京消防庁火災予防審議会では危険物施設の出火率を以下のように設定している。

表III-2-32 危険物施設種別出火率(神奈川県, 2009)

施設区分	過程	震度別出火率 (%)				
		震度 5 弱	震度 5 強	震度 6 弱	震度 6 強	震度 7
発熱反応工程施設	停電	0.00000	0.00000	0.18630	0.81000	1.89540
製造所	棚の転倒	0.00000	0.00110	0.06600	0.11000	0.11000
屋内貯蔵所	落下（荷崩れ）	0.00253	0.00989	0.01886	0.02300	0.02369
屋外タンク貯蔵所	浮屋根式	なし	0.99000	0.99000	0.99000	0.99000
	特定	配管損傷	0.00000	0.00022	0.00160	0.00550
	非特定	配管損傷	0.00000	0.00048	0.00348	0.01200
地下タンク貯蔵所	配管損傷	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
屋内タンク貯蔵所	建物全壊	0.00000	0.00000	0.00000	0.00002	0.00012
給油取扱所	営業用	落下	0.00341	0.01333	0.02542	0.03100
	自家用	配管損傷	0.00000	0.00052	0.00377	0.01300
販売取扱所	棚の転倒	0.00000	0.00100	0.06000	0.10000	0.10000
一般取扱所	小口・灯油	配管損傷	0.00000	0.00000	0.00001	0.00003
	その他	棚の転倒	0.00000	0.00032	0.01920	0.03200
少量危険物施設	棚の転倒	0.00000	0.00240	0.01440	0.00240	0.00240

※東京都第16期火災予防審議会答申より

④ 中央防災会議 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の被害想定」(2006)の手法

○採用自治体：埼玉県(07), さいたま市(09)

中央防災会議(2006)「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」では、危険物施設の出火率を以下のように設定している。

表III-2-33 危険物施設の出火率(中央防災会議, 2006)

施設種別	出火率
製造所(発熱反応工程施設を除く)	0.0011
屋内製造所	2.3×10^{-4}
屋外タンク貯蔵所	特定 5.5×10^{-3}
	非特定 1.2×10^{-4}
地下タンク貯蔵所	0
屋内タンク貯蔵所	2.2×10^{-7}
給油取扱所	営業用 3.1×10^{-4}
販売取扱所	0.001
一般取扱所	小口・灯油 2.5×10^{-7}
	その他 3.2×10^{-4}
少量危険物施設	2.4×10^{-4}

⑤ 中央防災会議 東南海・南海地震等に関する専門調査会 「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定」(2008)を参考とした手法

○採用自治体：山口県(08)

石油コンビナート地区ごとの危険物施設数データを収集し、施設別の被害率を用いて被害箇所数を予測している。危険物施設の被害実態は、震度との関係が詳細に分析できるデータが整理されていないため、仮に神戸市を震度6強、大阪府を震度6弱とした場合の震度と施設被害率との関係を用いている。

表III-2-34 兵庫県南部地震(1995)時の危険物施設の被害率実態(山口県, 2008)

製造所等の区分	6弱(大阪府の実態)							6強(神戸市の実態)						
	施設数	被害数			被害率			施設数	被害数			被害率		
		出火	漏洩	破損等	出火	漏洩	破損等		出火	漏洩	破損等	出火	漏洩	破損等
製造所	550	0	1	0	0.0%	0.2%	0.0%	39	0	0	10	0.0%	0.0%	25.6%
屋内貯蔵所	4579	0	24	0	0.0%	0.5%	0.0%	631	0	30	29	0.0%	4.8%	4.6%
屋外タンク貯蔵所	3255	0	1	11	0.0%	0.0%	0.3%	682	0	12	249	0.0%	1.8%	36.5%
屋内タンク貯蔵所	1437	0	1	0	0.0%	0.1%	0.0%	285	1	1	7	0.4%	0.4%	2.5%
地下タンク貯蔵所	4860	0	4	11	0.0%	0.1%	0.2%	848	0	6	29	0.0%	0.7%	3.4%
移動タンク貯蔵所	3319	0	0	0	0.0%	0.0%	0.0%	646	0	0	3	0.0%	0.0%	0.5%
屋外貯蔵所	944	0	0	0	0.0%	0.0%	0.0%	219	0	0	31	0.0%	0.0%	14.2%
給油取扱所	3470	0	0	20	0.0%	0.0%	0.6%	586	0	3	136	0.0%	0.5%	23.2%
移送取扱所	42	0	1	0	0.0%	2.4%	0.0%	12	0	2	7	0.0%	16.7%	58.3%
一般取扱所	3322	0	4	4	0.0%	0.1%	0.1%	585	2	8	81	0.3%	1.4%	13.8%

出典)「兵庫県南部地震による危険物施設の被害調査報告書」自治省消防庁消防研究所(平成7年)

(3) 化学薬品からの出火

① 神奈川県(1986)の手法

○採用自治体：福井県(97)

福井地震(1948)や宮城県沖地震(1978)時の化学薬品からの出火事例を参考に、化学薬品取扱施設の業態別地震出火危険度、住家全壊率と化学薬品からの炎上出火件数の関係を導出している。

炎上出火は木造の化学薬品取扱施設から発生すると考えるため、化学薬品取扱施設のうち34.1%が木造建物(東京消防庁調査結果)であることを用いている。

$$Y = T/W \times 34.1/100$$

Y : 炎上出火件数

T : 市区町村別出火危険度(=各業態別出火危険度×各業態別施設数)

$$W = 4054 - 3200(z/100)$$

W : 化学薬品からの炎上出火1件が発生する危険度

z : 住家全壊率(%)

表III-2-35 業態別出火危険度(神奈川県, 1986)

業態	出火危険度	業態	出火危険度
動植物油脂製造業	146	一般診療所・医薬品・化粧品卸売業	0.2
パルプ・紙・紙加工品製造業	13	歯科診療所	0
油脂加工製品・石鹼・合成洗剤・塗料製造業	17	小学校	0
無機化学工業製品製造業	68	中学校	139
有機化学工業製品製造業	50	高校	11
医薬品製造業	109	大学	120
その他の化学工業	69	自然科学研究機関	92
病院	152	分析・検査所	—

② 東京消防庁(1987)の手法

○採用自治体：茨城県(95, 98), 新潟県(98), 長野県(02), 名古屋市(99)

地震時の薬品棚の転倒, 容器の落下, 破損等について, 過去の災害事例や実験, 調査等に基づき出火率を算定している。これを16の業態に分類整理し, 業態別出火率として設定している。

表III-2-36 棚等が350galで振動した場合の業態別出火率(東京消防庁, 1987)

業態	出火率	業態	出火率
動植物油脂製造業	0.0168	一般診療所・医薬品・化粧品卸売業	0.0003
パルプ・紙・紙加工品製造業	0.0056	歯科診療所	0
油脂加工製品・石鹼・合成洗剤・塗料製造業	0.0098	小学校	0.0087
無機化学工業製品製造業	0.0172	中学校	0.0094
有機化学工業製品製造業	0.0255	高等学校	0.0181
医薬品製造業	0.0467	大学	0.0861
その他の化学工業	0.0111	自然科学研究機関	0.0399
病院	0.0077	分析・検査所	0.0267

③ 中央防災会議 東南海, 南海地震等に関する専門調査会 「東南海・南海地震に係る被害想定」(2003)・中央防災会議 首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」(2005)・中央防災会議 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の被害想定」(2006)・中央防災会議 東南海, 南海地震等に関する専門調査会 「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定」(2008)の手法

○採用自治体：栃木県(04), 群馬県(12), 埼玉県(07), 千葉県(08), 富山県(11), 山梨県(05), 島根県(12), 広島県(07), 山口県(08), 愛媛県(02), 札幌市(08), さいたま市(09), 千葉市(08), 広島市(08)

一般器具の火災(係数×(建物被害率)^{0.73})と同じ手法を用いている。係数設定は一般火気器具からの出火件数の項目にまとめた。

④ 東京消防庁火災予防審議会（2005）（東京都第16期火災予防審議会答申）の手法

○採用自治体：神奈川県(09), 横浜市(12), 川崎市(13)

東京消防庁火災予防審議会（2005）に示された震度別出火率と神奈川県内の市町村別危険物施設分布を用いて出火件数を求めている。

表III-2-37 化学薬品からの震度別出火率

業態	5弱	5強	6弱	6強	7
	4.75	5.25	5.75	6.25	6.75
高校	0.0%	0.6%	4.0%	7.4%	10.8%
大学	0.0%	0.0%	4.3%	30.5%	56.6%
自然科学研究機関	0.0%	0.0%	4.0%	12.4%	20.9%

東京都第16期火災予防審議会答申(2005)より作成

表III-2-38 各自治体の出火件数の予測手法

	一般火気器具	電熱器具	電気機器・配線	危険物施設	化学薬品	その他の予測要因
青森県(97)	総プロ(1983)	—	—	東消(1987)	—	LPガス(東消,1987)
岩手県(04)	(詳細不明)	—	—	—	—	—
宮城県(04)	東消(1997)	東消(1997)	東消(1997)	—	—	漏洩ガス等(東消,1987)
秋田県(13)	東消(2005)	東消(2005)	東消(2005)	—	—	—
山形県(06)	神奈川県(1993)	—	—	—	—	木造建物からの出火、 非木造建物からの出火 (神奈川県,1997)
茨城県(95, 98)	東消(1987), 東消 (1997)	—	—	東消(1987), 東消 (1997)	東消(1987), 東消 (1997)	LPガス(東消)
栃木県(04)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	—	中央防災会議(2003)	—
群馬県(12)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	—	中央防災会議(2003)	—
埼玉県(07)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	中央防災会議(2006)	中央防災会議(2003)	—
千葉県(08)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	—	中央防災会議(2003)	—
東京都(12)	(詳細不明)	(詳細不明)	(詳細不明)	—	—	LPガス
神奈川県(09)	東消(2005)	東消(2005)	東消(2005)	東消(2005)	東消(2005)	ガス漏洩(東消,2005)
新潟県(98)	総プロ(1983)	—	—	神奈川県(1993)	東消(1987)	—
富山県(11)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	—	中央防災会議(2003)	ガス漏洩(中央防災会議,2007)
福井県(97)	総プロ(1983)	—	—	神奈川県(1993)	神奈川県(1986)	—
山梨県(05)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	—	中央防災会議(2003)	—
長野県(02)	神奈川県(1986)	—	—	神奈川県(1993)	東消(1987)	—
岐阜県(13)	独自	—	—	—	—	—
静岡県(01)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	(詳細不明)	(詳細不明)	—
愛知県(03)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	—	—	—
三重県(06)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	—	—	—
滋賀県(05)	独自	—	—	—	—	—
京都府(08)	総プロ(1983)	—	—	—	—	—
大阪府(07)	大阪府(1997)	大阪府(1997)	大阪府(1997)	—	—	ガス漏洩、危険物(大阪府,1997)
奈良県(05)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	—	—	—
鳥取県(05)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	—	—	—
島根県(12)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	東消(2005)	中央防災会議(2003)	—
岡山県(13)	東消(2005)	東消(2005)	東消(2005)	—	—	—
広島県(07)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	—	中央防災会議(2003)	—
山口県(08)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	中央防災会議(2008)	中央防災会議(2003)	—
徳島県(05)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	—	—	—
香川県(13)	東消(2005)	東消(2005)	東消(2005)	—	—	—
愛媛県(02)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	—	中央防災会議(2003)	—
高知県(13)	東消(2005)	東消(2005)	東消(2005)	—	—	—
福岡県(12)	総プロ(1983)	—	—	—	—	—
長崎県(06)	総プロ(1983)	—	—	—	—	—
熊本県(13)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	(詳細不明)	(詳細不明)	—
大分県(13)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	(詳細不明)	(詳細不明)	—
宮崎県(07)	総プロ(1983)	—	—	—	—	—
鹿児島県(97)	総プロ(1983)	—	—	—	—	—
沖縄県(10)	総プロ(1983)	—	—	—	—	—

札幌市(08)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	—	中央防災会議(2003)	※中央防災会議(2006)の補正係数を使用
仙台市(02)	東消(1997)	—	—	—	—	—
さいたま市(05)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	中央防災会議(2006)	静岡県(2001)	ガス漏洩
千葉市(08)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	—	中央防災会議(2003)	—
横浜市(12)	東消(2005)	東消(2005)	東消(2005)	東消(2005)	東消(2005)	—
川崎市(13)	東消(2005)	東消(2005)	東消(2005)	東消(2005)	東消(2005)	ガス漏洩
新潟市(07)	総プロ(1983)	—	—	—	—	—
名古屋市(99)	愛知県(1995)	—	—	東消(1987)	東消(1987)	—
京都市(03)	東消(1987)	—	—	—	—	—
大阪市(10)	—	—	—	—	—	—
堺市(09)	大阪府(1997)	大阪府(1997)	大阪府(1997)	—	—	ガス漏洩、危険物(大阪府,1997)
広島市(08)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	静岡県(2001)	—	中央防災会議(2003)	—

(注1)各自治体の報告書より作成(手法不明,予測未実施などの自治体を除く).考え方の基本とした手法で分類した.

(注2)出火要因の記述がない自治体は一般火気器具に手法名を記載した.

(注3)自治体名の後ろの()内の数字は報告書等の発行年(西暦)の下二桁を表示.

2-2. 延焼出火件数

予測した出火件数（炎上出火件数）に対して、消防力（公設消防、消防団）を適用することにより消火される件数を求め、残りを延焼火災となる出火件数としている自治体が多い。

消防力による消火件数の予測手法については、各自治体により様々な考え方が適用されているが、中央防災会議(2005)等の手法や、中央防災会議(2013)でも採用されている山梨県(1996)の手法が比較的よく採用されている。

以下に、各自治体で採用されている次の手法の概略をまとめる。

(1) 消火件数の予測

- ①神奈川県(1993)等の手法
- ②中央防災会議首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」(2005)・中央防災会議日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の被害想定」(2006)・中央防災会議東南海、南海地震等に関する専門調査会「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定」(2008)の手法
- ③東京都(1997)の手法
- ④福岡県(1997)の手法
- ⑤山梨県(1996)の手法
- ⑥宮崎県(1997)の手法
- ⑦静岡県(2001)の手法
- ⑧神奈川県(2009)の手法

(2) 延焼に至らない出火点の評価

- ①糸井川(1991)の手法

表III-2-39 主な延焼出火件数の予測手法

項目	主な予測手法	採用自治体数
消火件数の予測	<input type="checkbox"/> 神奈川県(1993)等の手法 <input type="checkbox"/> 中央防災会議 首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」(2005)・中央防災会議 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の被害想定」(2006)・中央防災会議 東南海、南海地震等に関する専門調査会「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定」(2008)の手法 <input type="checkbox"/> 東京都(1997)の手法 <input type="checkbox"/> 福岡県(1997)の手法 <input type="checkbox"/> 山梨県(1996)の手法 <input type="checkbox"/> 宮崎県(1997)の手法 <input type="checkbox"/> 神奈川県(2009)の手法	4 8 4 2 7 7 4
延焼に至らない出火点の評価	<input type="checkbox"/> 糸井川(1991)の手法	2

(1) 消火件数の予測

ほとんどの自治体ではポンプ車数や水利数といった設備量から消火可能件数を求めており、設備は十分でもそれを動かす人的資源が不足することを想定した自治体もある。

① 神奈川県(1993)等の手法

○採用自治体：埼玉県(07), 大阪府(07), 名古屋市(99), 堺市(09)

評価には以下のデータを使用する。

- ・消防署（消防団）位置データ
- ・消防車両、消防水利分布データ
- ・住宅構造構成比（普通木造、防火木造、非木造）
- ・建物被害予測結果
- ・出火点位置
- ・気象条件（風向・風速）

消防力の評価をするにあたり、以下の仮定条件を与えており。

- ・火災は地震後一斉に出火するものとする。また、消防力の転戦は考慮しない。
- ・各出火点を消火するために必要な消防力を計算し、出火点に早く到着できる消防拠点から順次消防力を投入する。この際、時間の経過に伴う火災の拡大を考慮する。
- ・消防署の消防力の運用範囲は各市町村あるいは消防組合内とする。消防団の消防力の運用範囲は各市町村内とする。
- ・出火点・消防水利はメッシュの中央にあるものと仮定する。
- ・出火点からホースの届く範囲に消防水利の存在がない場合は、その出火点は消火不能とする。
- ・消防力1口あたりの担当火面長は10mとする。消防ポンプ車は3口、可搬式ポンプは1口とする。
- ・消火栓は使用できないものとする。
- ・放水時間は20分、放水速度は1口当たり $0.5\text{m}^3/\text{分}$ とする。
- ・消防車の走行速度は各自治体によって下表のように設定されている。

表III-2-40 消防車運行速度

	消防署	消防団
埼玉県(07)	15km/h	9km/h
大阪府(07)	15km/h	7km/h
宮城県沖地震（実績）	35km/h	—
日本海中部地震（実績）	20km/h	—

※堺市(09)では消防車運行速度を、健全区間=20km/h、閉塞区間=2km/hと設定している。

消防車両が出火点に到着するまでの時間の経過による延焼拡大の予測には、東京消防庁(1989)による延焼速度式を採用している。これは火災初期段階における延焼距離拡大の様子を算定する式である。

$$L = \delta \cdot r(u) \cdot g(h) \cdot t \cdot (1 - c')$$

L : 風下側延焼距離 (m)

δ : 基本延焼速度

$r(u)$: 風速補正係数 ($= 0.048u + 0.822$), u : 風速 (m/s)

$g(h)$: 湿度補正係数 ($= -0.005h + 1.371$), h : 湿度 (%)

t : 出火後の経過時間 (分) ≤ 40 (この式は出火から40分間のみ有効)

c' : 耐火造混成比率

$$\delta = \frac{a(a' \cdot V_w + b' \cdot V_m)/(a' + b') + d \cdot V_d}{a + d}$$

a : 建物一辺の長さ (m)

d : 建物の隣棟間隔 (m)

a', b', c' : 建物混成比率 (裸木造, 防火造, 耐火造)

V_d : 隣棟へ燃え移る延焼速度 (m/分) = 0.45

V_w : 裸木造建物延焼速度 (m/分) = 0.87

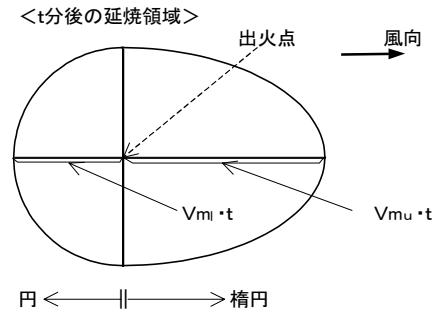
V_m : 防火木造建物延焼速度 (m/分) = 0.71

出火とともに、風下方向へは風速 u に応じた延焼速度 V_{mu} 、風横、風上方向に対しては延焼速度 V_{ml} で火災が拡大すると考える。火災域の形状は風下方向に橍円、風上方向に円とみなし、時刻 t における火災域 (右図) を考える。

このとき、火災域の火面長は以下のようになる。

風上方向 : 半径 $V_{ml} \times t$ の半円

風下方向 : 短軸 $V_{ml} \times t$, 長軸 $V_{mu} \times t$ の半橍円



図III-2-2 火災域拡大の模式図

したがって、時刻 t における火面長 $S(t)$ は以下の式より求めることができる。

$$S(t) = \underbrace{V_{ml} \cdot t \cdot \pi}_{\text{風上側の火面長}} + \underbrace{2V_{mu} \cdot t \cdot \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - \varepsilon^2 \sin^2 \theta} d\theta}_{\text{風下側の火面長}} \quad (\varepsilon : \text{橍円の離心率})$$

一方、消防隊の駆け付け時間は以下の式で設定される。

$$T = t_D + t_P + t_R + t_H$$

t_D	: 覚知時間	}	消防署 : 10 分, 消防団 : 20 分
t_P	: 出動準備時間		

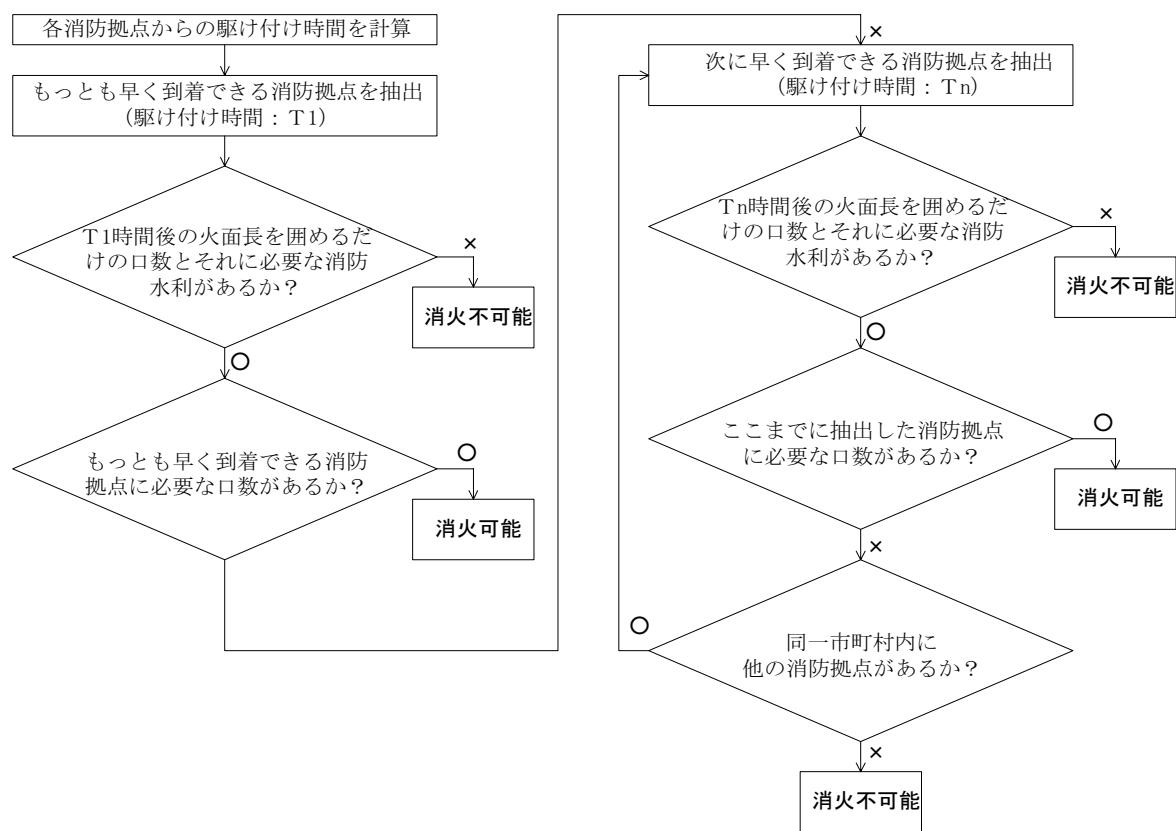
t_R : 走行時間

t_H : ホース延長時間 ($= 0.15N_H + 1.22$ (分))

$$N_H = \frac{\sqrt{2} \cdot r_H}{20} \quad : \text{ホース本数 (ホース 1 本 20m とする)}$$

r_H : 消防水利から火災までの距離 (m)

ある出火点に対する消火の可否に関する判定は下図の手順で行う。なお、消防力による消火活動によっても消すことが出来なかった出火点からの火災は、拡大延焼していくものとする。



図III-2-3 出火点の消火の可否に対する判定のフロー

②中央防災会議 首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」(2005)・中央防災会議 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の被害想定」(2006)・中央防災会議 東南海、南海地震等に関する専門調査会 「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定」(2008)の手法

○採用自治体：秋田県(13), 千葉県(08), 富山県(11), 広島県(07), 山口県(08), 熊本県(13), 千葉市(08), 広島市(08)

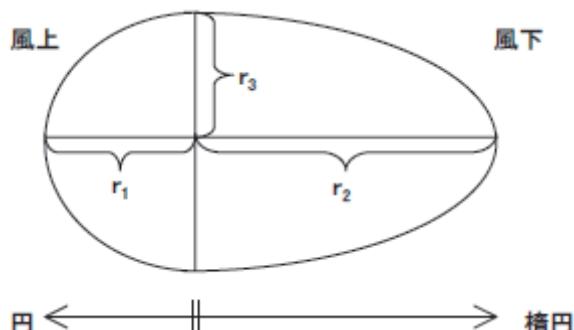
基本的な考え方は神奈川県(1993)の手法と類似している。初期消火率を考慮した上で、火面周長、駆け付け可能な消防車台数、消防車1台あたりの消火可能な火面周長から消火の可否を判定する。火面周長は、東京消防庁の提案式を用いる。以下は中央防災会議「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」の資料による。

$$\text{炎上出火率} = (1 - \text{初期消火率}) \times \text{全出火数}$$

※初期消火率は、出火件数の項に記載した。

出火後、消防車が現場に到着するまでの駆け付け時間を算定し、それまでに燃え広がる広さ(火面周長)を求め、消防車1台辺り消火可能な火面周長から、消火の可否を判定する。ただし、市町村の各出火点に駆けつけることのできる消防車の合計数は、各市町村が所有する消防車台数(消防団所有台数を含む)を上限とする。

$$\text{火面周長} = \pi \sqrt{\frac{1}{2}(r_1^2 + r_3^2)} + \pi \sqrt{\frac{1}{2}(r_2^2 + r_3^2)}$$



※ $r_1 \sim r_3$ の長さは、東京消防庁の提案式に基づき算出

図III-2-4 火面周長(中央防災会議, 2005)

○秋田県(13), 山口県(08), 熊本県(13)では…

駆け付け時間の算定について、中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会(中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定)」(2008)の手法を採用している。以下は、山口県(2008)による。

(a) 火災覚知時間

- ・震度6以上: 10分 (兵庫県南部地震(1995)の実態を踏まえて検討した大阪府被害想定時の条件)
- ・震度5以下: 3分

(b) 出動時間

- ・8分（東京都(1997)の条件）

(c) 走行時間

- ・消防署及び消防団の拠点から出火点までの距離と走行時速から算出。
- ・走行時速は震度6以上：10km/h、震度5以下：15km/hとする。（東京都(1997)の条件）
ただし、秋田県(12)では、冬の走行速度は冬以外の場合の7割程度とする（宗広ほか(2006)の札幌都市圏のタクシー走行軌跡データより）
- ・拠点から出火点までの走行距離を求める際、実際の拠点の位置は特定せず、市区町村別に把握した拠点数から1拠点あたりの平均的な担当面積を求め、各拠点が担当面積の真中に位置していると仮定した場合の走行距離を求める。
 - A. 消防車を有する施設数=消防署数+出張所数
 - B. 1施設あたり担当面積(km²)=市町村面積(km²)／A
 - C. 平均車両走行距離(m)=B^{1/2}×1000

(d) 準備時間

- ・東京都(1997)の検討結果をもとに、現場でのホース設置に要する時間がホース延長と口数に関係すると考える。
 - 震度6以上：準備時間=25.5×ホース本数+15秒
 - 震度5以下：準備時間=17.0×ホース本数+15秒

○富山県(11)では…

富山県に即した消防能力数値を設定している。

表III-2-41 消防車の能力(富山県, 2011)

消防車の放水口	普通車4つ、小型車1つ
包囲可能周長	普通車1台は80m、小型車1台は20m
火災覚知時間	6分
出動時間	4分
火災現場への走行速度	10km/h
放水までの準備時間	1分

※各自治体の被害想定調査から、富山県に即した数値を設定

炎上出火は駆け付け時間(T_{GR})時点での火面周長(L_{FF})が160mを超えていなければ、消火が可能と考える。ただし、炎上出火地域に消防車が到達する時間までは、火災の延焼があると考えられる。残火災件数は、消防力によっても延焼防止ができない件数であり、以下の式で算出している。

$$N_{RF} = F_o - F_{o_1}$$

N_{RF} : 残火災件数

F_o : 炎上出火家数

F_{o_1} : 消防車が炎上出火地点に駆けつける時間(T_{GR})から消火できる件数

③ 東京都(1997)の手法

○採用自治体：宮城県(04), 山形県(06), 鳥取県(05), 仙台市(02)

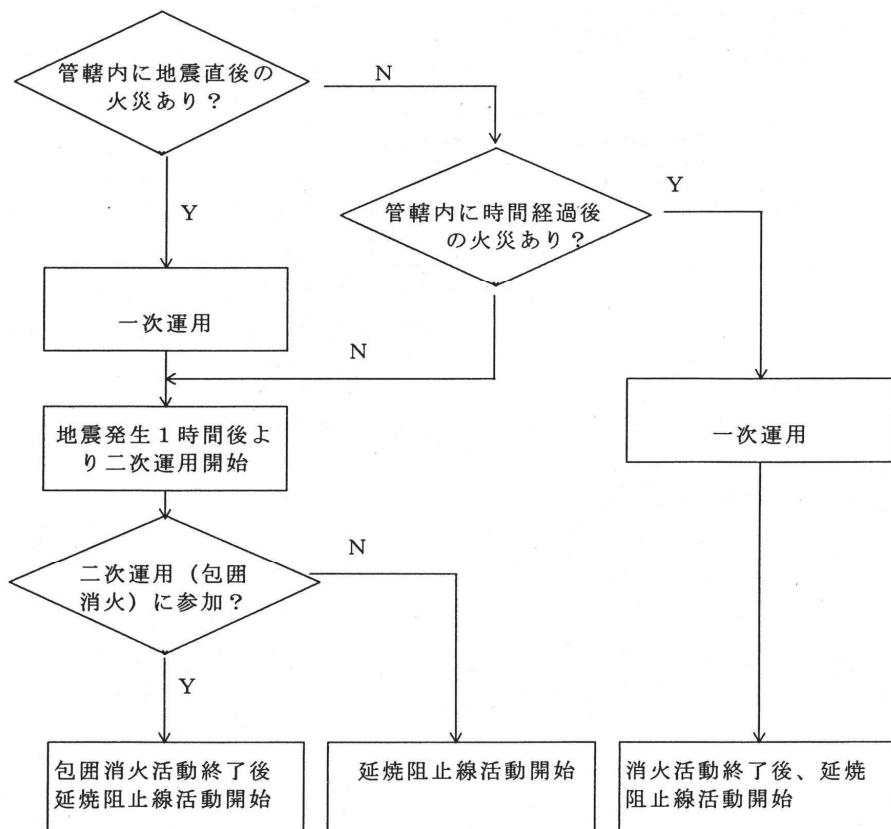
消防力の評価に際して、以下の仮定を設定している。

- ・消防力の評価対象は防災市民組織、消防団、消防隊とする。
- ・まず、防災市民組織が消火活動を行い、ついで消防団と消防隊が消火活動にあたる。
- ・初期の段階で消火できず、拡大した火災については、延焼阻止線活動を行う。
- ・使用できる水利は震災時使用可能水利のみとする。
- ・出火時間については下表に示すとおりとする。

表III-2-42 消防運用想定上の時間区分(東京都, 1997)

出火時間帯	消防運用想定上の出火時間
1時間後までの出火	地震直後に全て出火
1時間後以降3時間後までの出火	地震発生から1時間後に全て出火
3時間後以降の出火	地震発生から3時間後に全て出火

消防隊、消防団については一次運用、二次運用（包囲消火活動）、三次運用（延焼阻止線活動）の3段階を考慮している。



図III-2-5 消防隊、消防団の活動の流れ(東京都, 1997)

a) 防災市民組織

C級またはD級可搬ポンプを持つ防災市民組織の拠点から100m以内で出火し, かつ震災時使用可能水利がある場合は消火可能とする.

b) 消防隊・消防団の一次運用

署の管轄内で延焼危険の高い火災から出動し, 放水を行う. 消防力が到着し, 放水を開始する時間における火面周長と消防力によるホースの包囲可能な火面周長を比較して, 包囲できれば消火可能であるものとする. ただし, 建ぺい率18%以下の地域では, 火面周長の50%を包囲した場合に消火可能であるとする.

消防隊と消防団の放水までの時間

$$= \text{出動所要時間} + \text{移動距離} / \text{走行速度} + \text{ホース延長所要時間}$$

表III-2-43 消防運用上の前提条件(東京都, 1997)

出動所要時間	移動距離	可搬式ポンプ 移動速度	消防車両 走行速度	ホース延長 所要時間	1台の担当 火面周長
8分	ポンプと水利の直 線距離の $\sqrt{2}$ 倍	9 km/h	震度5以下: 15km/h 震度6以上: 10km/h	震度5以下: $17x + 15s$ 震度6以上: $25.5x + 15s$	ポンプ車 : 30m 可搬ポンプ : 20m

x: ホース本数

c) 消防隊・消防団の二次運用 (包囲消火活動)

包囲消火活動については, 署の管轄を越えて活動を行う.

地震発生から1時間経過して消火できなかった火災のうち, 延焼危険の高い火災から優先的に消火活動を行う. この活動は出火から2時間後までを対象としている.

一次運用終了時点で付近にいる消防隊(全て), 消防団(一次運用に出動していないもの)から順に到着して放水を行う. 火面周長と消防力によるホースの包囲可能な火面周長を比較し, 包囲できれば消火可能とする. ただし, 建ぺい率18%以下の地域では, 火面周長の50%を包囲した場合に消火可能であるとする.

周辺水利が不足する場合には, ポンプ車の中継による長距離放水を考慮している.

なお, 火災の延焼拡大の評価には, 東京消防庁(1997)により兵庫県南部地震(1995)等における延焼拡大状況を考慮して作成された延焼速度式(東消式97)を使用している.

d) 消防隊・消防団の二次運用 (延焼阻止線活動)

運用の対象は消防隊と消防団のポンプ車, 可搬ポンプである. この段階では, 他県からの応援を考慮している.

延焼遮断帯のあるメッシュ境界のうち, 遮断帯による延焼阻止が不可能な境界線にポンプ車, 可搬ポンプを集中させ, 他ユニットへの延焼を遮断するものとする. 延焼阻止線の設定優先順位は他ユニットへの突破が早いものからとする. 二次運用の包囲消火にあたったポンプ隊は, 包囲終了から40分後まで延焼阻止線上に転戦できないとする.

延焼阻止線活動の終了時期は, 阻止線に最終到着した部隊が放水してから40分後とし, 阻止線活動が終了した部隊は, 次の阻止線活動に転戦するものとする.

延焼を阻止する境界線の長さを消防力の包囲長が上回り, かつ十分な水利がある場合に遮断すると判定している.

④ 福岡県(1997)の手法

○採用自治体：徳島県(05), 福岡県(12)

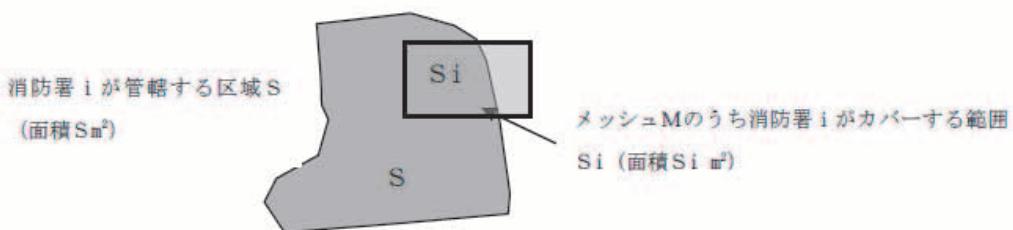
消防力による消火件数を以下のように算出している。

$$\text{消防力による消火件数} = \text{消防水利有効率} \times \text{消防隊の到達件数}$$

メッシュから有効半径 r の円内の水利が使用できるものとし、この範囲内に水利量が W_S 、出火点が n ある場合、出火 1 件の消火に必要な水利量 W_n から、消防水利有効率は $W_S / n / W_n$ で求めることができる。

一方、消防署 i の管轄区域 S (面積 $s \text{ m}^2$) における消火能力は、消防署 i の消火可能件数 (= 消防力の総数/火災 1 件の消火に必要な消防力の数) を n_i として、 n_i / s (件/ m^2) で定義される。

消防隊の到達件数は、該当メッシュのうち消防署 i がカバーする部分の面積を $s_i \text{ m}^2$ として、 $s_i \times (n_i / s)$ で表せる。



図III-2-6 消防署の管轄区域図

⑤ 山梨県(1996)の手法

○採用自治体：栃木県(04), 山梨県(05), 愛知県(03), 岡山県(13), 香川県(13), 高知県(13), 愛媛県(02)

○中央防災会議・南海トラフ巨大地震モデル検討会等(2013)でも採用

火災の発生件数と消防力を比較して、消火可能件数を算出する手法である。

基本的に 1 炎上出火に対して、4 口の放水を必要とし、ポンプ車 1 台の口数を 2 口、小型動力ポンプ 1 台の口数を 1 口としている。

消防水利に関して、水利から放水可能な有効半径について、兵庫県南部地震(1995)での消防隊のポンプ車数、水利数、市街地面積等と消火件数の関係から逆算し 230m という値を求めており(山梨県(1996)以外の自治体では 140m としている)。この際、1000m² 以上の大規模火災に至る前段階で消火された木造火災の件数を消火活動による消火件数としている。

以上から、

$$\text{消火可能件数} = (\text{ポンプ車数}/2 + \text{小型動力ポンプ数}/4) \times \pi \times 230^2 / \text{市街地面積}$$

としている。

○愛知県(03)では…

兵庫県南部地震(1995)の事例および愛知県におけるポンプ車等の出動可能時間に関するアンケートをもとに、以下の式により消火可能な件数を評価している。

消火可能な木造火災件数

$$= 0.70 \times \{ (\text{地震直後出動可能ポンプ車数}/2 + \text{地震直後出動可能小型動力ポンプ積載車数}/4 + \text{地震直後出動可能手引きポンプ数}/8) \}$$

$$\begin{aligned}
& +1/1.25 \times (\text{30分後出動可能ポンプ車数}/2) \\
& \quad + \text{30分後出動可能小型動力ポンプ積載車数}/4 \\
& \quad + \text{30分後出動可能手引きポンプ数}/8 \\
& +1/2.75 \times (\text{60分後出動可能ポンプ車数}/2) \\
& \quad + \text{60分後出動可能小型動力ポンプ積載車数}/4 \\
& \quad + \text{60分後出動可能手引きポンプ数}/8 \\
& \quad + 0.71 \\
& \times \{1 - (1 - 3.14 \times 140^2 / \text{宅地面積}(m^2)) \text{ 水利数}\}
\end{aligned}$$

○中央防災会議・南海トラフ巨大地震モデル検討会等（2013）, 岡山県(13), 香川県(13), 高知県(13)では..

- 消火可能件数（発災直後） = $0.3 \times (\text{消防ポンプ車数}/2 + \text{小型動力ポンプ数}/4)$
 $\times \{1 - (1 - 61,544 / \text{宅地面積}(m^2)) \text{ 水利数}\}$
- ・風速 8m/s の場合, 係数 0.3 (阪神淡路大震災, 平均風速約 3m/s) を 0.2 とする
 - ・消防運用によりすべての炎上出火を消し止められた場合においても, 平均的に 5 棟/件の焼失があるものとして, 1 消火件数あたり 5 棟が焼失するものとする.

⑥宮崎県(1997)の手法

○採用自治体：新潟県(98), 長野県(02), 三重県(04), 宮崎県(07), 札幌市(08), さいたま市(09), 新潟市(07)

炎上出火 1 件の火面周囲長を 80m とし, 既存消防力でこの火面を取り囲めた場合に消火可能であるとしている. 1 台あたりの担当火面長は, 消防ポンプ車が 20m, 小型消防ポンプ積載車および小型動力ポンプが 10m としている.

○三重県(04)では...

- ・市町村の消防ポンプが 4 台に満たなくても最低 1 つの炎上出火は消火できるとした.
- ・消火したとしても, 火面長 80m の場合, 500m² 程度焼失するため, 消火 1 件あたり 5 棟の焼失があるとした.

○札幌市(08)では...

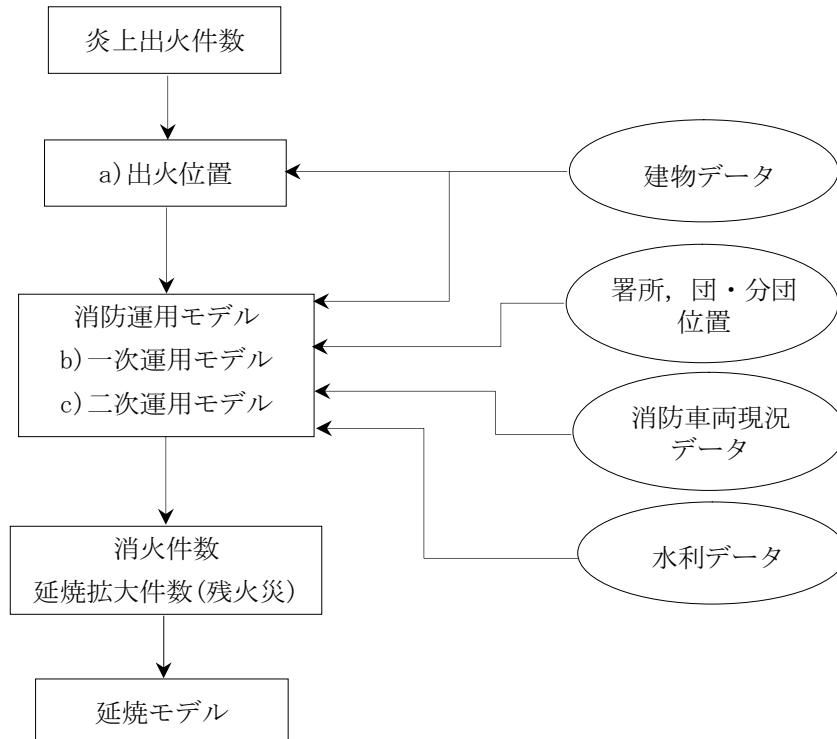
水利存在確率・兵庫県南部地震(1995)での水利利用状況を考慮した補正係数をかけている.

$$\begin{aligned}
\text{消火可能件数} &= 0.7 \times (\text{消防ポンプ自動車数}/2 \times \text{過般ポンプ数}/4) \\
&\quad \times (1 - (1 - 3.14 \times 140 \times 140 / \text{市街地面積})^\wedge \text{ 水利数})
\end{aligned}$$

⑦ 静岡県(2001)の手法

○採用自治体：静岡県(01)

以下のフローにしたがい、消火件数を求めていく。



図III-2-7 消火件数算出のフロー(静岡県, 2001)

a) 出火位置

市町村別炎上出火件数を基に、出火危険性の高い地域（木造からの出火は木造・防火造建物の多い地域、非木造からの出火は耐火造建物の多い地域）から順に炎上出火件数を設定。

b) 一次運用

一次運用は地震発生直後の初動時の対応と、署所や地域ごとに火災の初期鎮圧防御を行うものであり、地震発生から1時間後以内の運用を一次運用とし、2台のポンプ車を1組とする単位を基本として（1台のみの場合は1台で出動）、直近の火災に出動するとしている。

c) 二次運用

二次運用はある程度の時間が経過し延焼火災により市街地大火となる恐れが生じた段階で署所や地域が協力しあって行う集中防御である。

消防力の運用（一次運用、二次運用）では、以下の条件で消火が可能か否かを判定している。

■一次運用

- ・消防隊員および団員は、地震時の混乱から、火災の覚知が平常時より遅れるとする（出動までの時間を8分とする）。
- ・消防車両は通行不能道路や、橋梁の崩落のため、出火地点までの到達は、平常時火災より遅

れるとする（走行速度15km/hとする）。

- ・消防車両が、出火点に到着し、付近の利用可能水利に車両を止め、この水利から出火点までホースを延ばすとする（水利と出火点との距離から、1本20mのホースが何本必要なかを割り出し、一本のホース延長の時間は17秒とする。また、ホースの取り付け等の時間は15秒とする）。
- ・ホース延長後、放水までの放水準備時間は1分とする。
- ・ここまで要した時間内に火災は延焼し、その規模（火面周長）とポンプ車1台当たりの消火可能な火面周長30mを比較することにより包囲できるかを判断する。
- ・火面周長の算定にあたっては、東消式97を用いることとする。

■二次運用

- ・二次運用は出火後1時間以降の集中運用（消火できるまで集結させるもの）とする。
- ・使用できる水利は、二次運用では、100トン以上の防火水槽・耐震性貯水槽および自然水利とする。
- ・走行速度15km/hとする。
- ・消火可否の判定は、延焼力（火面周長）と消防隊または消防団によるホースの包囲率から求めるものとする。
- ・消防ポンプ車から延長するホース本数は30本分とし、活動範囲は水利から420m以内とする（30本×1本20m/ $\sqrt{2}$ ≈420m）。
- ・二次運用では100トン以上の水利または自然水利に近く、全建物建ぺい率の高い残火災を優先的に消火対象とする。なお、一次運用に出場したポンプ車はその場所（一次運用で出場した出火点）を離れ、二次運用に向かうものとする。
- ・非木造火災は1棟火災で鎮火すると考え、二次運用の対象外とする。
- ・火面周長の算定にあたっては、東消式97を用いることとする。

⑧神奈川県(2009)の手法

○採用自治体：東京都(12), 神奈川県(09), 横浜市(12), 川崎市(13)

公設消防、消防団、自主防災組織の投入効果については、下の式で各パラメータのかけあわせにより、市区町村（足柄消防組合については組合単位）あたりの消火率を設定している。

$$P = P_j + (1 - P_j)P_D + (1 - P_j)(1 - P_D)P_S$$

P : 消火率,

P_j : 自主防災組織の消火率

P_D : 消防団の消火率

P_S : 公設消防の消火率

ここで、自主防消火率、消防団消火率、公設消防消火率については、「東京都第16期火災予防審議会答申：地震火災に関する地域の防災性能評価手法の開発と活用方策」（東京消防庁火災予防審議会, 2001）を参照して設定する。自主防災組織と消防団で使用できる機材や組織率、参集率、出動所要時間などについては、県民意識アンケート結果に基づいて設定する。

消火率の算定では、市区町村ごとに建物が存在するメッシュの合計面積を市区町村面積とし、消防ポンプ車や消防水利の密度算定に用いる。

震災時における防火水槽の使用不能率については、震度によって使用可能な水利数を変化させることにより耐震化の効果を加味する。

表III-2-44 防火水槽の使用不能率（川崎市(2013)より作成）

	震度6弱未満	震度6弱	震度6強	震度7
耐震性を有する防火水槽	0%（常時使用可能）			
耐震性がない防火水槽	0%	10%	30%	90%

○東京都(12)では…

公設消防、消防団の投入効果については、下の式で各パラメータのかけあわせにより、消防管轄区域当たりの消火率を設定している。

$$P = P_D + (1 - P_D)P_S$$

P : 消火率

P_D : 消防団の消火率

P_S : 公設消防の消火率

○東京都(12)、横浜市(12)、川崎市(13)では…

自主防消火率、消防団消火率、公設消防消火率を以下のような式としている。

ただし、横浜市では公設消防、消防団のみ（自主防災組織は、初期消火に含める）

$$\begin{aligned} \text{◆自主防消火率} &= \{1 - (1 - 15,400/\text{部隊有効範囲面積})_{\text{水利数}}\} \times \\ &\quad \{(a \times \text{可搬ポンプ訓練経験率} + b)/10\text{分以内に活動開始できる組織率}\} \times \\ &\quad 0.87 / (\text{消火活動所要時間}) \times (1.45 \times \text{可搬ポンプ訓練系県立} + 0.91) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{◆消防団消火率} &= \{1 - (1 - 62,426/\text{部隊有効範囲面積})_{\text{水利数}}\} \times \\ &\quad 20 / \{29 \times (\text{消火活動開始所要時間} + \text{火点までの平均的な駆けつけ時間} + \text{ホース展開時間})/10\} \times (\text{消防団員の充足補正}) \end{aligned}$$

ここで、消防団員の充足補正是次の2ケースに分けられる。

- ① 消防活動に必要な人員 ≥ 消防団構成員現況数 × 消防団員の参考率：充足補正 = 1
- ② 消防活動に必要な人員 < 消防団構成員現況数 × 消防団員の参考率：充足補正 = 0

※東京都(12)、横浜市(12)では、公設消防消火率から求めている

$$\text{消防団消火率} = \text{公設消防消火率} \times \alpha$$

$$\alpha = 1/2 \text{ (東京都)}, 1/4 \text{ (横浜市)}$$

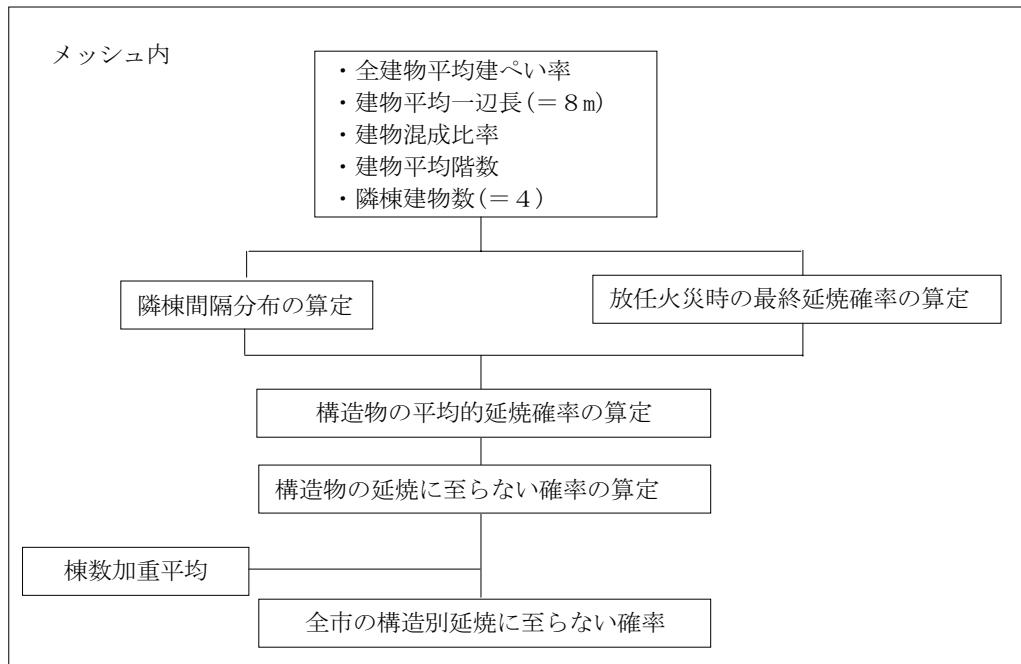
$$\begin{aligned} \text{◆公設消防消火率 (延焼阻止率)} &= \{1 - (1 - 249,705/\text{管轄区域面積})_{\text{水利数}}\} \times \\ &\quad 30 / \{29 \times (\text{消火活動開始所要時間} + \text{火点までの平均的な駆けつけ時間} + \text{ホース展開時間})/10\} \end{aligned}$$

横浜市では、消火件数が消防ポンプ車の台数を上回る場合が生じる場合、1隊（ポンプ車1台）1件を上回ることのないように修正

(2) 延焼に至らない出火点の評価

○採用自治体：福井県(97), 仙台市(02)

上記の自治体では、糸井川(1991)の手法により延焼に至らない確率を求めている。算定フローを下図に示す。



図III-2-8 延焼に至らない確率の算定フローチャート(川崎市, 1997)

a) 隣棟間隔分布 $\Phi(x)$

建物密度の分布をガンマ分布でモデル化する。ある領域全体で、出火建物の周縁部から計って距離 x のところにはじめて隣棟建物の新たな周縁部が現れる確率密度関数 $\Phi(x)$ は、

$$\Phi(x) = \frac{2n\lambda^n}{(\lambda + 2x)^{n+1}}$$

x : 隣棟間隔(m)

n, λ : ガンマ分布の分布形状を決定するパラメータ ($n=3.94$)

$$\lambda = 12.10 \times a^{0.550} \times \left(\frac{1}{\sqrt{m}} - 1 \right)^{0.852}$$

a : 建物平均一辺長(m) (=8mとする)

m : 全建物平均建ぺい率

b) 放任火災時の最終延焼確率 $P_{ij}(x)$

隣棟間隔が x の場合の構造 i から構造 j への延焼確率は、火元火災からの等温面が放物線になり、隣棟間隔の 2 乗で延焼力が減衰するという現象をもとに次式で表される。

$$P_{ij}(x) = 1 - \exp\left(-\frac{A_{ij} \times h}{x^2}\right)$$

A_{ij} : 出火および隣接建物構造 i, j の組み合わせで決定されるパラメータ
 h : 隣接建物の高さ (m) (階高 3m として、メッシュの平均階数を使用)

表III-2-45 放置火災の延焼確率のパラメータ A_{ij} (川崎市, 1997)

		被害側建物 j		
		木造	防火造	耐火造
火元側建物 i	木造	4.738	4.244	0.000874
	防火造	1.711	2.275	0.000292
	耐火造	0.000105	0.000123	0

c) 構造別平均延焼確率 q_{ij}

構造 i の建物と構造 j の建物がある隣棟間隔分布 $\Phi(x)$ をもって隣接している場合、構造 i の放置火災が構造 j に延焼する平均的な確率は次式をもって表される。

$$q_{ij} = \int_0^\infty P_{ij}(x) \times \Phi(x) \times dx$$

d) 構造別の延焼に至らない確率 B_i

出火建物から延焼の判定の対象となる隣接建物の棟数を k とする。出火建物の周囲に普通木造、防火造、耐火造の建物がそれぞれ l 棟、 m 棟、 n 棟 ($l+m+n=k$) 配置される確率 P_{lmn} は、

$$P_{lmn} = \frac{k!}{l! \times m! \times n!} \times \alpha \times \beta \times \gamma$$

α : 普通木造率

β : 防火造率

γ : 耐火造率

k : 出火建物の隣接建物棟数 (= 4 棟)

構造 i の建物から周囲に燃え移らない確率 B_i は、

$$\begin{aligned} B_i &= \sum_{l,m,n} P_{lmn} \times (1-q_{i1})^l \times (1-q_{i2})^m \times (1-q_{i3})^n \\ &= (1-\alpha \times q_{i1} - \beta \times q_{i2} - \gamma \times q_{i3})^k \end{aligned}$$

2-3. 焼失建物数

以下に、各自治体で採用されている次の手法の概略をまとめる。

(1) 延焼区域予測の考え方

(2) 延焼速度式

- ①浜田（1951, 1966）の手法
- ②国土開発技術研究センター（1983）の手法
- ③東京消防庁（1989）の手法＜東消拡張式（1989）＞（糸魚川（1983）・神奈川県（1983）の手法）
- ④東京消防庁（1997）の手法＜東消式（1997）＞
- ⑤東京消防庁（2001）の手法＜東消式（2001）＞
- ⑥建設省総合技術開発プロジェクト（1981）の手法

(3) 延焼遮断帯効果の判定

- ①糸井川（1991）の手法

(4) 焼失建物数

- ①建設省（1982）のシミュレーションを用いる手法
- ②国土開発技術研究センター（1983）の手法
- ③大阪府（1997）の手法
- ④国土庁（1984）の手法
- ⑤富山県（2011）の手法
- ⑥山梨県（2005）の手法
- ⑦神奈川県（1993）の手法
- ⑧香川県（2013）の手法
- ⑨国土交通省「防災まちづくり総プロ」（2003）
- ⑩損害保険料率算出機構（2006）の手法
- ⑪樋本・田中（2006）の手法
- ⑫関沢ら（2001）の手法

表III-2-46 主な焼失建物数の予測手法

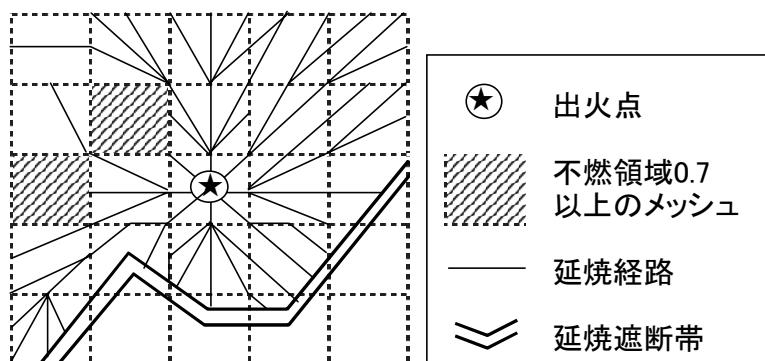
項目	主な予測手法	採用自治体数
延焼速度式	□浜田（1951, 1966）の手法	3
	□国土開発技術研究センター（1983）の手法	2
	□東京消防庁（1989）の手法＜東消拡張式（1989）＞（糸魚川（1983）・神奈川県（1983）の手法）	2
	□東京消防庁（1997）の手法＜東消式（1997）＞	16
	□東京消防庁（2001）の手法＜東消式（2001）＞	5
延焼遮断帯効果の判定	□糸井川（1991）の手法	2
焼失建物数	□国土開発技術研究センター（1983）の手法	7
	□大阪府（1997）の手法	10
	□国土庁（1984）の手法	1
	□損害保険料率算出機構（2006）の手法	5

(1) 延焼区域予測の考え方

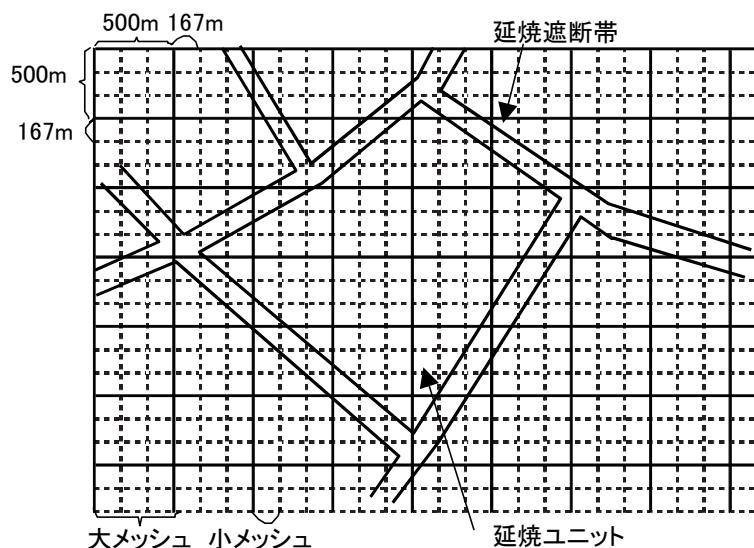
延焼計算では以下の基本事項を設定し、そのもとでシミュレーションを進める自治体が多い。

■基本事項

- ・延焼遮断帯候補で調査地域を「延焼計算ユニット（以下「ユニット」）」に分配する。
- ・延焼速度はメッシュごとに算出する。
- ・延焼拡大計算はメッシュ間の燃え移りをユニットごとに行う（図III-2-9）。
- ・ユニット間の燃え移りは延焼遮断帯効果判定により予測する。
- ・出火点はメッシュの中心に与える。
- ・メッシュ間の燃え移りは、メッシュ各辺の中心および頂点の計8点における延焼着火時刻を隨時求めることにより計算する。
- ・延焼遮断帯はリンクデータを採用する（図III-2-10）。



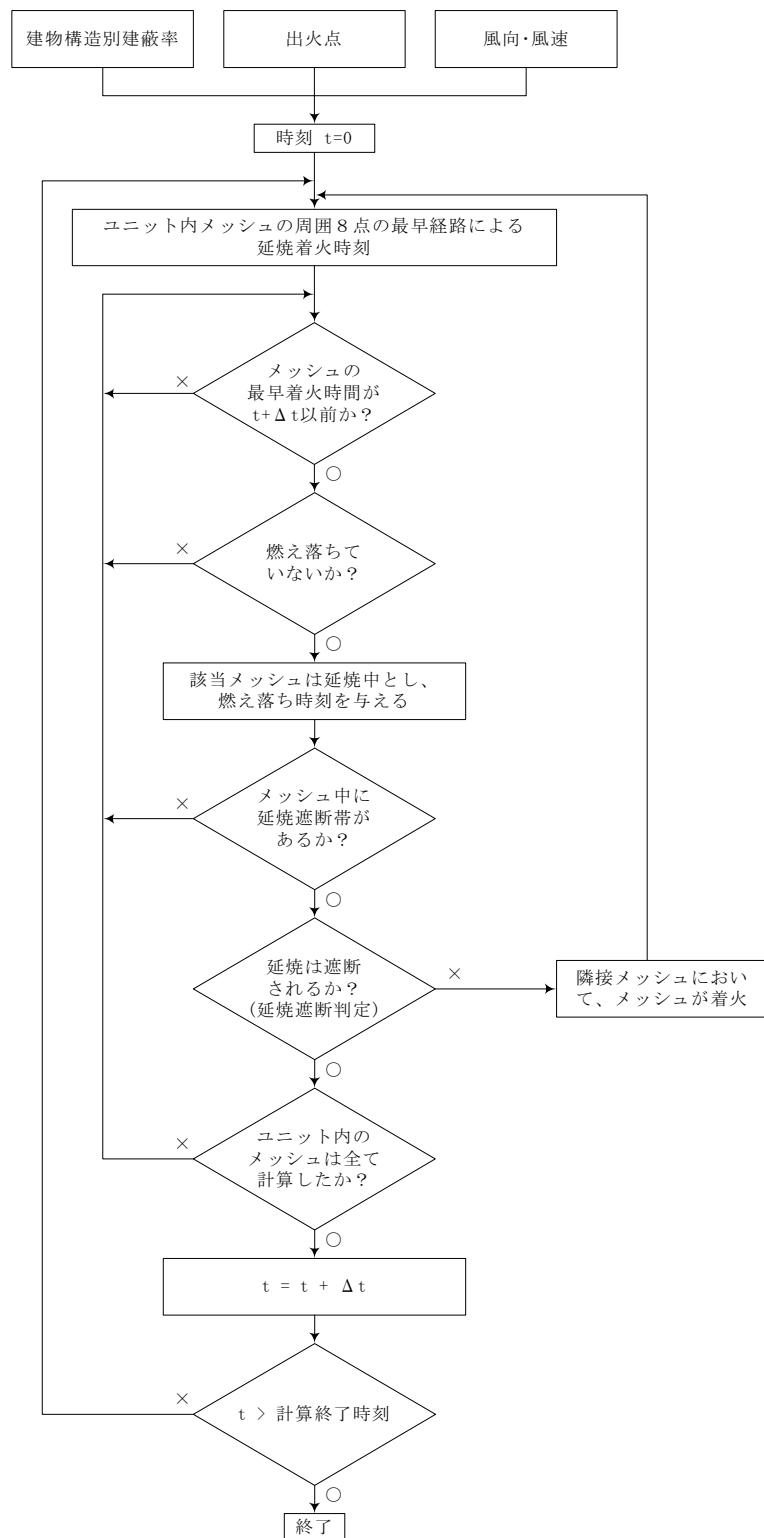
図III-2-9 延焼予測におけるモデルメッシュ間の燃え移り例(群馬県, 1998)



図III-2-10 延焼予測における延焼遮断帯モデルリンクデータの例(群馬県, 1998)

延焼動態シミュレーションでは、地域の建物分布特性をより的確に把握するために、100~167m四方に細分化したメッシュを使用することが多い。

延焼シミュレーションのフローを下図に示す。



図III-2-11 あるユニットにおける延焼シミュレーションのフロー(群馬県, 1998)

(2) 延焼速度式

延焼速度式については、各自治体で採用されている次の手法の概略をまとめる。

消防運用の項目で考慮されている自治体もある

- ① 浜田(1951, 1966)の手法
- ② 国土開発技術研究センター(1983)の手法
- ③ 東京消防庁(1989)の手法<東消拡張式(1989)> (糸井川(1991)・神奈川県(1993)の手法)
- ④ 東京消防庁(1997)の手法<東消式(1997)>
- ⑤ 東京消防庁(2001)の手法<東消式(2001)>
- ⑥ 建設省総合技術開発プロジェクト(1981)の手法

① 浜田(1951, 1966)の手法

○採用自治体：青森県(97), 新潟県(98), 長野県(02)

延焼速度を浜田(1951, 1966)の式から予測する。

$$\text{風下延焼速度} : V = n \cdot K \cdot 1.6 \cdot (t + 14) / (t + 25)$$

$$\text{風横延焼速度} : V' = n \cdot K'$$

$$\text{風上延焼速度} : V'' = n \cdot K''$$

n : 延焼速度比

t : 出火後の時間(分)

$$K = \frac{(a+d)(1+0.1v+0.007v^2)}{3+3a/8+8d/\{1.15(5+v/2)\}}$$

$$K' = \frac{(a+d)(1+0.1v+0.005v^2)}{3+3a/8+8d/\{1.15(5+v/4)\}}$$

$$K'' = \frac{(a+d)(1+0.1v+0.002v^2)}{3+3a/8+8d/\{1.15(5+v/5)\}}$$

a : 正方形と仮定したときの建物の一辺の長さ(m)

d : 平均隣棟間隔(m)

v : 風速(m/s)

ここで、普通木造建物、防火造建物、耐火造建物の建築面積換算の混在比率を $a:b:c$ とすると、

$$n = (a+b) \cdot \frac{1-c}{a+b/0.6}$$

延焼出火点を有するメッシュ内の建物分布は一様であり、建物が平面的に正方形かつ均等に配置されていると仮定することにより、平均隣棟間隔 d を求める。

$$d = (1/\sqrt{\alpha} - 1) \cdot a$$

α : 平均建ぺい率

a : 建物平均幅 ($= \sqrt{\text{建物平均面積}}$)

②国土開発技術研究センター(1983)の手法

○採用自治体：三重県(06), 新潟市(07)

建設省総合技術開発プロジェクトの延焼速度式は、浜田式(浜田, 1951)をもとに延焼状況の経時変化を表現するために開発された延焼シミュレーションモデルを用いて、風速と不燃領域率およびその他の因子を含む数十ケースのシミュレーションの結果導き出されたものである。

$$V = 2.385 - 4.729 \cdot F + 0.2022 \cdot U$$

- V : 風下方向の平均延焼速度 (m/分)
 F : 不燃領域率 (=空地率 + {(1 - 空地率/100) × 耐火率})
 空地率(%) : 短辺又は直径40m以上で、かつ面積が3,000m²以上の公園、運動場、墓地、田畠等の面積および幅員6m以上の道路の面積との合計面積が市街地面積に占める割合。
 耐火率(%) : 耐火造建物の建築面積が全建物の建築面積に占める割合。
 U : 風速(m/s)

風横方向および風上方向への延焼速度については、浜田式における風下方向への延焼速度と風横方向および風上方向への延焼速度との比を、総プロ式の風下方向の延焼速度に乗じて求めている。

③東京消防庁(1989)の手法<東消拡張式(1989)>(糸井川(1991)・神奈川県(1993)の手法)

○採用自治体：福井県(97), 名古屋市(99)

糸井川(1991)は建物間のミクロな延焼確率を算定する手法を考案し、それを実状に即した市街地データに適用した実験値から以下の市街地の延焼速度式を提案した。

$$V_d(t) = (A - B \cdot D) + \frac{B \cdot D}{1 + C \cdot \exp(-D \cdot t)}$$

$V_d(t)$: ある時刻における風下方向延焼速度(m/h)
 t : 炎上出火後時間(分)
 $A \sim D$: 風速、建ぺい率、混成率によって決まるパラメータ
 A : 最終的に一定となる延焼速度
 B : 延焼速度の増減
 C, D : 初期速度から最終速度に至る時間的な早さ

この速度式には飛火による影響なども含まれている。

風横方向や風上方向の延焼速度は、以下に示す式により計算している。

$$\text{風横方向 } V_s = \frac{K_s}{K_d} \cdot \frac{1}{\frac{t+14}{t+25}} \cdot V_d$$

$$\text{風上方向 } V_u = \frac{K_u}{K_d} \cdot \frac{1}{\frac{t+14}{t+25}} \cdot V_d$$

$$K_d = \frac{1.6(a+d)(1+0.1v+0.007v^2)}{3+3a/8+13.91d/(10+v)}$$

$$K_s = \frac{1.6(a+d)(1+0.1v+0.005v^2)}{3+3a/8+ad/\{1.15(5+0.25v)\}}$$

$$K_u = \frac{1.6(a+d)(1+0.002v^2)}{3+3a/8+ad/\{1.15(5+0.2v)\}}$$

t : 出火後の時間(分)
 d : 平均隣棟間隔(m)
 a : 建物の一辺の長さ(m)
 v : 風速(m/s)

ミクロな延焼確率は、隣接建物の時間ごとの延焼確率と飛火による時間ごとの延焼確率を総合的に評価することにより求められている。前者は建物分布状況や建物の高さ分布等を指標としており、後者は飛火発生時間、建物構造別火の粉発散・着火性や風速から導いている。

糸井川(1991)は表III-2-47に示した13のケースに対して4種の建ぺい率と4種の風速、計 $13 \times 4 \times 4 = 208$ パターンに対して、回帰係数を導出している。

市街地属性と風速を与えた場合の延焼速度については、延焼速度式回帰パラメータ(A, B, C, D)を設定すればよい。

表III-2-47 糸井川(1991)で行われた延焼シミュレーションケース

延焼速度比	ケース番号	木造率 (%)	防火造率 (%)	耐火造率 (%)
0.35	CASE 1-①	22.3	25.0	52.7
0.35	CASE 1-②	16.0	35.0	49.0
0.35	CASE 1-③	9.3	45.0	45.7
0.35	CASE 1-④	2.4	55.0	42.6
0.50	CASE 2-①	38.2	25.0	36.8
0.50	CASE 2-②	32.3	35.0	32.6
0.50	CASE 2-③	26.1	45.0	28.9
0.50	CASE 2-④	19.6	55.0	25.4
0.50	CASE 2-⑤	12.8	65.0	22.2
0.50	CASE 2-⑥	5.9	75.0	19.1
0.65	CASE 1-①	36.1	55.0	8.9
0.65	CASE 2-②	29.7	65.0	5.3
0.65	CASE 3-③	23.1	75.0	1.9
建ぺい率	0.25	0.30	0.40	0.55
風速	3 m/s	6 m/s	8 m/s	10 m/s

ただ、糸井川(1991)には限られた市街地属性・風速のケースのみ示されているため、神奈川県(1993)は糸井川(1991)に示されたケースと異なる場合の延焼速度を求める手法を提案している。

- a) 任意のメッシュの普通木造率を α 、防火木造率を β 、建ぺい率を κ 、風速を U とする。

糸井川(1991)による建物混成比率13ケースの中から普通木造率、防火木造率で最も近いものを3つ取り出す。これを α_i 、 β_i とする($i=1 \sim 3$)。

- b) 建ぺい率 κ , 風速 U が内挿できるような, κ_1 , κ_2 , U_1 , U_2 を表III-2-47より抽出する. 適当なものがない場合は, 外挿する.
- c) a)で取り出した3つのケースに対して, 風速 U の場合の延焼速度を風速に関する線形補間で求める. また, 建ぺい率 κ の場合の延焼速度を建ぺい率に関する線形補間で求める.
- d) c)で求めた延焼速度と (α_i, β_i) からなる3点により定義される平面の方程式を求める.

$$V(t, \alpha, \beta, \kappa, U) = \lambda + \mu \cdot \alpha + \nu \cdot \beta$$

$$\begin{bmatrix} \lambda \\ \mu \\ \nu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \alpha_1 & \beta_1 \\ 1 & \alpha_2 & \beta_2 \\ 1 & \alpha_3 & \beta_3 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} V(t, \alpha_1, \beta_1, \kappa, U) \\ V(t, \alpha_2, \beta_2, \kappa, U) \\ V(t, \alpha_3, \beta_3, \kappa, U) \end{bmatrix}$$

④ 東京消防庁(1997)の手法<東消式(1997)>

○採用自治体：秋田県(13)<消防運用時>, 宮城県(04), 山形県(06), 茨城県(98), 埼玉県(07), 千葉県(08), 富山県(11), 静岡県(01), 奈良県(05), 鳥取県(05), 島根県(12), 愛媛県(02), 徳島県(05), 香川県(13), 熊本県(13)<消防運用時>, 仙台市(02)

兵庫県南部地震(1995)における延焼拡大状況を説明できるよう, 全半壊建物の影響を考慮した延焼速度式を作成している.

○風上方向…時間経過によらず, 風下の式における V_0 を使用

○風横方向…風下の式において風速を0m/sとした式を使用

○風下方向

$$V(t) = \frac{V_f}{1 + \{1.3 - 0.3 \exp(-0.3t)\} \{(V_f/V_0) - 1\} \exp[-0.5 \{V_f/(V_f - V_0)\} t]}$$

ただし, V_0 : 初期延焼速度, V_f : 最終延焼速度, t : 経過時間(時)

ここで,

$$V_0 = \delta \cdot g(h) \cdot (1 - c')$$

$$\delta = \frac{\frac{\{r(U)a(a''V_w + b''V_m) + (a + 2.6)d'V_C\}}{(a'' + b'' + d')}}{(a'' + b'' + d'')} + \frac{r(u)\{d(a'' + b'')^2 V_{nn} + (d - 1.3)(a'' + b'')d'(V_{nc} + V_{cn} + (d - 2.6)d'^2 V_{cc})\}}{(a'' + b'' + d'')^2}$$

(ただし, $d - 1.3$, $d - 2.6$ がそれぞれ0より小さくなる場合は0とする.

また, $a + 2.6$ の部分について, d が2.6より小さい場合には, $a + d$ とする.)

$$r(U) = 0.048U + 0.822$$

$$g(h) = 0.005h + 1.371$$

a : 建物一辺の長さ(m)

d : 建物隣棟間隔(m)

- a'' : 全壊していない裸木造混成比率(モルタル被害の影響を考慮したもの)
 b'' : 全壊していない防火木造混成比率(モルタル被害の影響を考慮したもの)
 c' : 耐火造混成比率
 d' : 全壊した木造建物の混成比率
 U : 風速(m/s)
 h : 湿度(%)
 V : 延焼速度(m/h)
 VW : 裸木造建物延焼速度(52.1(m/h))
 Vm : 防火木造建物延焼速度(42.8(m/h))
 Vc : 倒壊建物延焼速度($=98/(-1+3.9 \exp(-0.094U^2))$ (m/h))
 Vnn : 木防建物 → 木防建物延焼速度(32(m/h))
 Vnc : 木防建物 → 倒壊建物延焼速度(37(m/h))
 Vcn : 倒壊建物 → 木防建物延焼速度(12(m/h))
 Vcc : 倒壊建物 → 倒壊建物延焼速度(17(m/h))

$$V_f = \frac{V_u + \exp\{-50(k-0.14)\}V_l}{1 + \exp\{-50(k-0.14)\}}$$

$$k = (1-c')(a'' + 0.85b'')\{m(1-x) - 0.1\}^{1.2}(U - 4.9 - 8x)^{0.33}$$

ただし, $m(1-x) - 0.1 < 0$ または $U - 4.9 - 8x < 0$ のとき $k = 0$

$$V_u = V_0 + 0.46(1-x)^2 \times [a_u V_0 \left\{ (1-c')(a'' + 0.85b'') + 1.6((1-c')(a'' + 0.85b''))^{-0.5} (u + 0.1)^{-0.4} \right\} + b_u] m^{0.2}$$

$$V_l = (1-x)^2 [6a_l V_0 (m^{1.5} - m^2) + b_l] (1-c')(a'' + 0.85b'')(0.1U + 0.1)^{0.5} + V_0$$

$$a_u = \left\{ 1.4(U + 1.0)^{-0.61} + 0.47 \right\} / m + (4.4U^{0.19}) - 5.6$$

$$b_u = \left\{ -8.9U^{0.75} - 8.6 \right\} / m + (0.041U^{3.1}) + 49$$

$$a_l = 0.31/m + 0.52$$

$$b_l = (-0.1u - 1.8) / m + 2.7$$

$$x = \frac{d'}{a' + b' + d'} \quad \left(= \frac{0.54}{1 + 680 \exp(-0.010\alpha)} - 0.0024 \quad \text{とした} \right)$$

$$a'' = a' + 0.0018b'\alpha$$

ただし, $b' - 0.0018b'\alpha < 0$ のとき,

$$a'' = a' + b', b'' = b' - 0.0018b'\alpha (b'' < 0 \text{ のときは } b'' = 0)$$

m : 建築率

a' : 全壊していない裸木造混成比率(モルタル被害の影響の考慮前)

b' : 全壊していない防火木造混成比率(モルタル被害の影響の考慮前)

x : 木造の全壊率

α : 加速度(gal)

⑤東京消防庁(2001)の手法<東消式(2001)>

○採用自治体：大阪府(07), 広島県(07), 山口県(08), 堺市(09), 広島市(08)

東消式 97 を基に準耐火・耐火構造物を考慮した延焼速度式を作成している。以下は、東京消防庁(2001) <東消式(2001)>の解説による。

延焼速度の適用範囲は、風速 $U:0 \sim 10\text{m/s}$ 程度・建ぺい率 $m:0.1 \sim 0.8$ ・耐火構造 $c':0.0 \sim 0.7$ ・準耐火構造 j' ，裸木造率 a' ，防火造率 $b':0.0 \sim 1.0$ ・加速度 $\alpha:0 \sim 1000\text{gal}$ （震度階：震度 0～7 クラス）とする。

$$V(t) = \frac{V_f}{1 + \{1.3 - 0.3 \exp(-0.3t)\} \{V_f / V_0 - 1\} \exp(-\{0.5V_f / (V_f - V_0)\} t)}$$

ただし、 $V(t)$ ：出火から t 分後の延焼速度、 V_0 ：初期延焼速度、 V_f ：最終延焼速度

ここで初期延焼速度 V_0 は次のように表される。

$$V_0 = \delta \cdot g(h)(1 - c')$$

$$\delta = \frac{\frac{r(U)}{a+b+d+j} \{a'V_w + b'V_n + (a+2.6)d'V_e\} + \frac{r(U)}{a+d} d(a+b') \{a'V_m + j'V_n\} + 2(d-1.3)(a+b')d'V_m + (d-2.6)d^2 V_w}{(a+d)(a'+b'+d'+j)^2}$$

$$g(h) = -0.005h + 1.371 \quad r(U) = 0.048U + 0.822$$

ただし、 $(d-1.3) < 0$ のとき、 $(d-1.3) = 0$ とする。
 $(d-2.6) < 0$ のとき、 $(d-2.6) = 0$ とする。
また、 $d < 2.6$ の場合は、 $(a+2.6)$ の部分を $(a+d)$ とする。

最終延焼速度 V_f は次のように表される。

$$V_f = \frac{V_u + \exp\{-50(k-0.14)\}V_i}{1 + \exp\{-50(k-0.14)\}}$$

ここで、

$$k = p \{m(1-x) - 0.1\}^{1.2} (U - 4.9 - 8.0x)^{0.33}$$

ただし、 $\{m(1-x) - 0.1\} < 0$ または、 $(U - 4.9 - 8.0x) < 0$ のとき、 $k = 0$

$$p = \{1 - c' - (1-f)j'\}(a'' + 0.85b'' + f \times j')$$

ただし、

$$f = 0.35$$

$$V_u = 0.46(1-x)^2 \left\{ a_u V_0 \left[p + 1.6p^{-0.5} \times (U + 0.1)^{-0.4} \right] + b_u m^{0.2} + V_0 \right\}$$

$$V_i = (1-x)^2 \left\{ 6a_i V_0 (m^{1.5} - m^2) + b_i \right\} p (0.1U + 0.1)^{0.5} + V_0$$

$$a_u = \frac{\{1.4(U+1.0)^{-0.61} + 0.47\}}{m} + 4.4U^{0.19} - 5.6$$

$$b_u = \frac{(-8.9U^{0.75} - 8.6)}{m} + 0.041U^{3.1} + 49$$

$$a_i = \frac{0.31}{m} + 0.52$$

$$b_i = \frac{-0.1U - 1.8}{m} + 2.7$$

$$a'' = a' + 0.0018b'\alpha$$

$$b'' = a' - 0.0018b'\alpha$$

ただし、 $b' - 0.0018b'\alpha < 0$ のとき、 $a'' = a' + b'$ 、 $b'' = 0$

$$x = \frac{0.54}{1 + 680 \exp(-0.10\alpha)} - 0.0024$$

図III-2-12 東消式 2001 (その 1) (東京消防庁, 2001)

ここでの係数を、以下を示す。

a : 建物一辺の長さ (m)
d : 建物隣棟間隔 (m)
a' : 倒壊していない裸木造建物の建築面積比
b' : 倒壊していない防火造建物の建築面積比
c' : 耐火造建物の建築面積比
j' : 準耐火建物の建築面積比
d' : 倒壊した木造系建物の建築面積比
U : 風速 (m/sec)
h : 湿度 (%)
V : 延焼速度 (m/min)
Vw : 裸木造建物延焼速度 (52.1m/h)
Vm : 防火造建物延焼速度 (42.8m/h)
Vc : 倒壊建物延焼速度 ($98 / \{ 1 + 3.9 \times e \times p \ (-0.094U^2) \}$ m/h)
Vj : 準耐火造建物延焼速度 ($\{(43.5 - 0.0072 \times \alpha) + (0.001 \times \alpha - 2.72) \times b\}m/h$)
Vnn : 木造系建物 - 木造系建物間延焼速度 (32m/h)
Vnc : 木造系建物 - 倒壊した木造系建物間延焼速度 (25m/h)
Vcc : 倒壊した木造系建物 - 倒壊した木造系建物間延焼速度 (17m/h)
Vnj : 準耐火造 - 木造系建物間延焼速度 (0.0051 × α + 11 m/h)
m : 建ぺい率
x : 木造建物の全壊率
α : 加速度 (gal)

図III-2-13 東消式 2001 (その2) (東京消防庁, 2001)

⑥建設省総合技術開発プロジェクト(1981)の手法

○採用自治体：宮崎県(07)

総プロの方法では、延焼予測のための風下方向への延焼速度式として、以下の式が提案されている。

$$V = 2.385 - 4.729 F + 0.2022 U$$

ここに、V : 延焼速度 (m/min)
U : 風速 (m/sec)
F : 不燃領域率

$$F = \text{空地率}(\%) + \{ (1 - \text{空地率}/100) \times \text{耐火率}(\%) \}$$

空地率：短辺もしくは直径 40 m以上かつ面積が 3,000m²以上の公園・墓地・競技場・校庭・田畠等の面積、及び 6 m以上の幅員を有する道路の面積が市街地（メッシュ）面積に占める割合。

耐火率：耐火造建物建築面積が全建物面積に占める割合。

但し、建設省（現・国土交通省）都市防災構造化対策指針では木造建物と不燃領域率は次の関係があるとしている。本調査では、この関係式を用いて不燃領域率を想定した。

$$F = 1.189 - 0.604Pa - 0.00713Pd$$

F : 不燃領域率 [-]
Pa : 木造棟数比 [-]
Pd : 木造建物棟数密度 [棟/ha]

図III-2-14 延焼速度式(建設省総合技術開発プロジェクト, 1981)

(3) 延焼遮断帯効果の判定

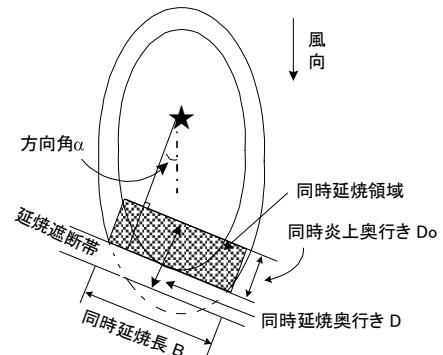
①糸井川(1991)の手法

○採用自治体：茨城県(95), 福井県(97)

延焼を遮断するもの（延焼遮断帯）としては、過去の大火の事例などに基づいて以下のものが採用されている。延焼遮断効果の判定は、糸井川(1991)の手法により行われている。

- 無条件で延焼遮断帯となるもの
 - ・幅員50m以上の道路、河川、空地、鉄道敷地
 - ・不燃領域率0.7以上のメッシュ
- 延焼遮断効果判定を行うもの
 - ・幅員13～50mの道路、河川、空地、鉄道敷地

- 都市防火区画内では市街地は均一であるとし、火災は卵型に広がっていくものとする。
- 延焼遮断帯候補路線に火面が到達したところで、延焼遮断効果を算定するために必要な火災の領域（同時延焼領域）を求める。この場合、領域の形状は延焼遮断帯に接する矩形とする。求めた矩形領域の延焼遮断帯候補路線に沿った長さ（同時延焼長）を B (m), 奥行き（同時延焼奥行き）を D (m) とする。



図III-2-15 火災の規模の設定

- a) 同時延焼領域における可燃物の延焼速度（単位時間当たりどの程度の熱量が出るか）の大小を表す指標として、市街地係数 φ という概念を導入し、炎が合流する可能性がある領域の奥行き（同時延焼奥行き D_0 (m)）を求める。

$$D_0 = \min(D, 50, 1179\varphi^3 + 10)$$

$$\varphi = \kappa(1 - 0.6\gamma)$$

κ : 全建物平均建ぺい率

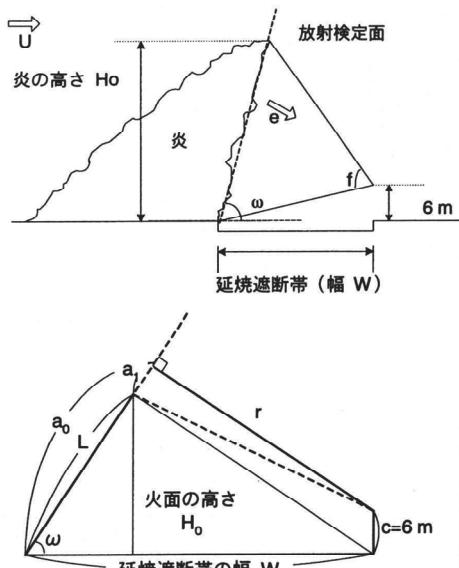
γ : 全建築面積に対する耐火構造建築面積比率

- b) 炎の高さ H_0 (m) を求める。

$$H_0 = 4.7\beta(D_0^3/U)^{0.2}$$

U : 風速 (m/s)

$$\beta = 0.0133(D_0 - 10)(\varphi - 0.1) + (10/D_0)^{0.6}$$



図III-2-16 延焼遮断判定の諸元

c) 炎の風下側傾きを求める.

$$\omega_0 = \sin^{-1}(2/U)^{0.2}$$

$$\omega = \tan^{-1}(\tan \omega_0 / \cos \alpha)$$

α : 風向と遮断帯に直交する軸のなす角度

d) 放射受熱量を求める.

$$R = E_0 \cdot \sqrt{\varphi} \cdot e \cdot f$$

R : 火災域 (放射検定面の基部) からの遮断帯対岸における放射熱

E_0 : 最大放射強度 $1.8 \times 10^8 \text{ J/m}^2\text{h}$ ($= 44,000 \text{ kcal/m}^2\text{h}$)

e : 最大輝面率…近似的に0.5

f : 受熱位置から見える炎全体の形態係数

$$f = 2\{F(a_0) - F(a_1)\}$$

$$F(a) = \frac{1}{2\pi} \left\{ \sin \omega \cdot \left(\frac{a}{\sqrt{a^2 + r^2}} \cdot \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{a^2 + r^2}} + \frac{b}{\sqrt{b^2 + r^2}} \cdot \tan^{-1} \frac{a}{\sqrt{b^2 + r^2}} \right) \right. \\ \left. - \cos \omega \cdot \left(\frac{r}{\sqrt{r^2 + a^2}} \cdot \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{r^2 + a^2}} - \tan^{-1} \frac{b}{r} \right) \right\}$$

$$b = B/2, \quad c = 6$$

$$r = W \sin \omega - c \cos \omega$$

$$a_0 = W \cos \omega + c \sin \omega, \quad a_1 = a_0 - H_0 / \sin \omega$$

H_0 : 炎の高さ (m)

ω : 炎の傾き (rad)

B : 炎の全面長さ (m)

W : 延焼遮断帯の幅 (m)

e) 風下気流温度上昇 $\Delta\theta$ (°C) を求める.

$$\Delta\theta = 209\sqrt{\varphi} \frac{U \cdot D}{W} \left(\frac{\cos \alpha}{W + D/2} \right)^{0.8}$$

f) 延焼危険評価温度 T_0 (°C) を求める.

$$T_0 = R/20 + \Delta\theta + 20$$

以上から、受熱算定軸の全ての点で T_0 が200°C以下であれば、延焼遮断可能であると判定する。それ以外は延焼遮断帯を突破するものとする。

○その他、静岡県、愛知県等においても、延焼遮断帯の効果を判定している。

(4) 焼失建物数

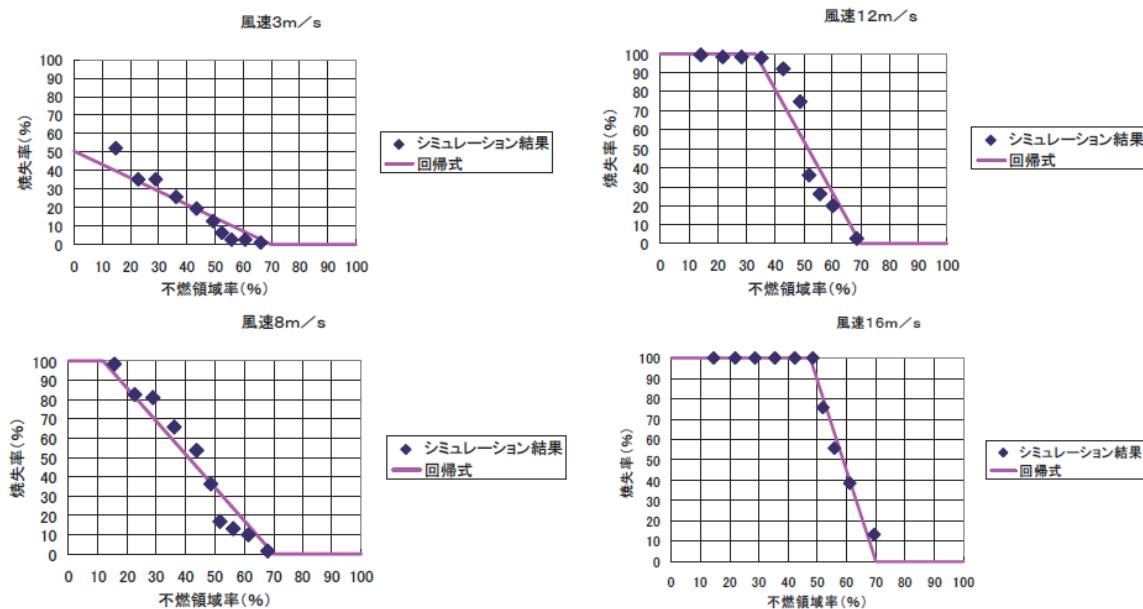
焼失建物数の予測手法については、各自治体で採用されている次の手法の概略をまとめる。

- ① 建設省（1982）のシミュレーションを用いる手法
- ② 国土開発技術研究センター（1983）の手法
- ③ 大阪府（1997）の手法
- ④ 國土庁（1984）の手法
- ⑤ 富山県（2011）の手法
- ⑥ 山梨県（2005）の手法
- ⑦ 神奈川県（1993）の手法
- ⑧ 香川県（2013）の手法
- ⑨ 國土交通省「防災まちづくり総プロ」（2003）
- ⑩ 損害保険料率算出機構（2006）の手法
- ⑪ 樋本・田中（2006）の手法
- ⑫ 関沢ら（2001）の手法

① 建設省（1982）のシミュレーションを用いる手法

○採用自治体：埼玉県（07）

建設省によるシミュレーション結果による風速別の燃領域率－焼失率の関係を参考にして近似式を設定し、不燃領域率および風速の値から焼失率を設定している。



図III-2-17 不燃領域率と焼失率の関係（埼玉県, 2007）

②国土開発技術研究センター(1983)の手法

○採用自治体：宮城県(04), 栃木県(04), 千葉県(08), 兵庫県(99), 福岡県(12), 宮崎県(07), 新潟市(07)

上記自治体では、国土開発技術研究センター(1983)による風速、不燃領域率と焼失率の関係の実験結果にもとづき、延焼領域内にある各メッシュの不燃領域率 F (%) および風速 U (m/s) から焼失率 S (%) を求めている。

$$S = \int_F^{100} S_0 \cdot \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[\frac{-(f-m)^2}{2\sigma^2} \right] df \quad (S \leq 90)$$

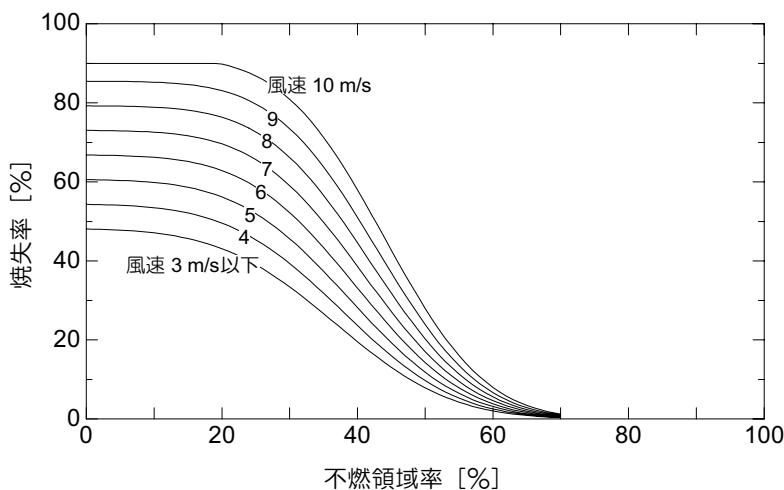
ただし、 $F > 70$ のとき $S = 0$

$U < 3$ のとき $U = 3$

$$S_0 = 6.21 \cdot U + 29.6 \quad (S_0 \leq 100)$$

$$m = 1.03 \cdot U + 33.69$$

$$\sigma = -0.24 \cdot U + 14.17$$



図III-2-18 設定した不燃領域率・風速と焼失率の関係

延焼エリアに存在する各メッシュの焼失率 S (%) にメッシュの存在建物数を掛けることにより、焼失棟数を求めることができる。

○福岡県(12)では..

- ・図から求められる焼失率に、 $6^2/20^2=0.09$ （兵庫県南部地震の西宮市のデータより）を乗じて算出した焼失率を設定
- ・不燃領域率 F は、以下の式で算出

$$F = 1.189 - 0.604Pa - 0.00713Pd$$

F : 不燃領域率 [-]
Pa : 木造棟数比 [-]
Pd : 木造建物棟数密度 [棟/ha]

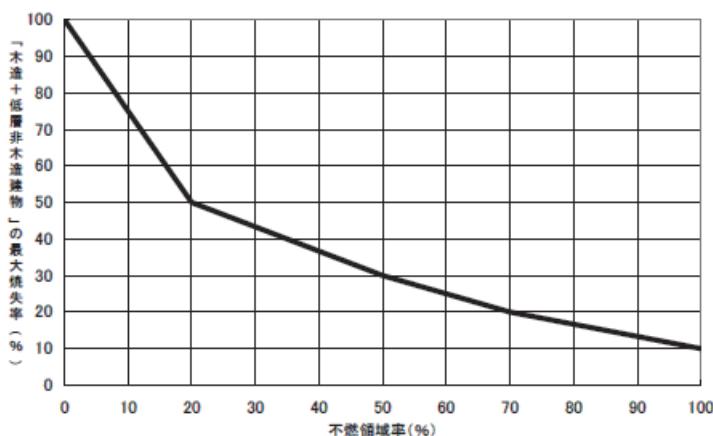
③ 大阪府(1997)の手法

○採用自治体：秋田県(13), 奈良県(05), 三重県(06), 広島県(07), 山口県(08), 熊本県(13), 札幌市(08), 千葉市(08), 堺市(09), 広島市(08)

兵庫県南部地震(1995)における被害実績や建設省総合技術開発プロジェクト(1983)によるシミュレーション結果から、不燃領域率と焼失率の間に以下の関係を設定している。

表III-2-48 不燃領域率と最大焼失率、延焼の可能性(大阪府, 1997)

不燃領域率	最大焼失率(面積比)	隣接地区への延焼可能性
70%以上	10~20%	なし
50~70%	20~30%	なし
20~50%	30~50%	あり
20%未満	50~100%	あり



図III-2-19 最大焼失率と不燃領域率との関係(大阪府(1997)より作成)

$$\begin{aligned}
 \text{焼失率} &= (-5/2) \times \text{不燃領域率} + 1 && (0 \leq \text{不燃領域率} \leq 0.20) \\
 &= (-2/3) \times \text{不燃領域率} + 19/30 && (0.20 < \text{不燃領域率} \leq 0.50) \\
 &= (-1/2) \times \text{不燃領域率} + 55/100 && (0.50 < \text{不燃領域率} \leq 0.70) \\
 &= (-1/3) \times \text{不燃領域率} + 13/30 && (0.70 < \text{不燃領域率} \leq 1.00)
 \end{aligned}$$

$$\text{焼失棟数} = \text{低層建物数} (\text{木造建物} + 1 \cdot 2\text{階の非木造建物}) \times \text{焼失率}$$

○秋田県(13)では..

- ・不燃領域率は、以下の簡便式より算出する

$$\text{不燃領域率} = 1.189 - 0.604 \times \text{木防率} - 0.00713 \times \text{木造建物棟数密度}$$

$$\text{木防率} = \text{木造及び防火木造の棟数} / \text{全棟数}$$

$$\text{木造建物棟数密度} = \text{木造建物棟数} / \text{地区面積} (\text{m}^2)$$

- ・風速15m/sの場合は、中央防災会議(2008)を参考に、焼失棟数を上記の2倍とする。

④ 国土庁(1984)の手法

○採用自治体：仙台市(02)

焼失率と不燃領域率の関係を下表のように設定している。

表III-2-49 メッシュ間の延焼拡大と焼失率(国土庁, 1984)

不燃領域率	隣接からの延焼可能性	隣接地区への延焼可能性	焼失率
0～50%	有	有	100%
50～70%未満	有	無	50%
70～100%	無	無	0%

⑤ 富山県(2011)の手法

○採用自治体：富山県(11)

焼失棟数を、建物域内の延焼面積比に応じて焼失率を算定し、木造および低層非木造建物（2階建て以下）より推定している。

⑥ 山梨県(2005)の手法

○採用自治体：山梨県(05)

新潟地震(1964)、北海道南西沖地震(1993)、兵庫県南部地震(1995)時の火災において、1延焼出火点あたりの焼失面積の平均的な値5.5haを用いて、焼失棟数を予測している。

$$\text{焼失棟数} = \text{メッシュ中の木造建物棟数} \times 5.5\text{ha}/\text{メッシュ面積}$$

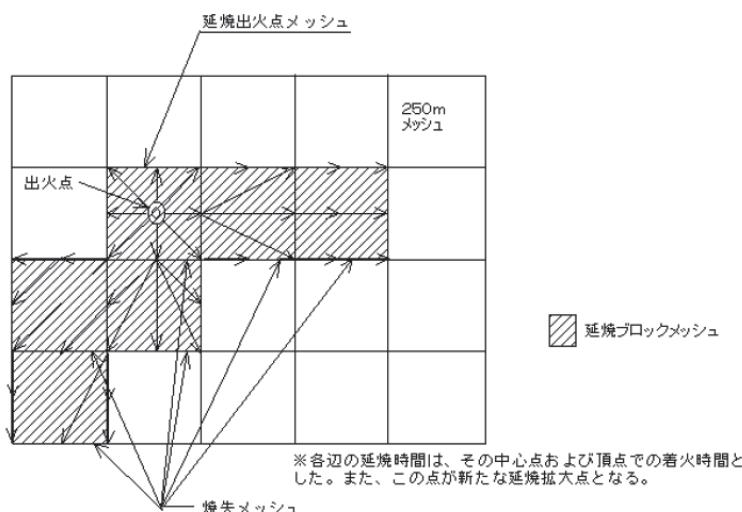
なお、木造建物が密集していない地域では、上式ほどには燃えないと考えられる点についても考慮している。

⑦ 神奈川県(1993)の手法

○採用自治体：島根県(12)

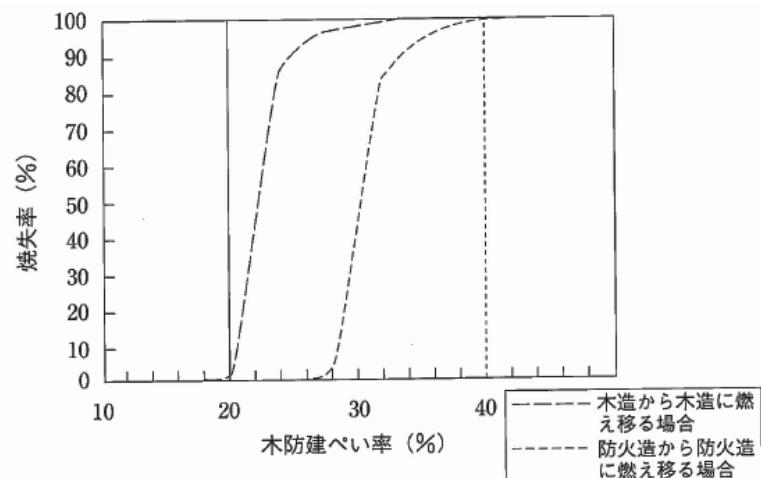
この手法では、延焼を 250m メッシュ単位で評価し、木防建ぺい率との関係から求めた焼失率(建設省、1997)から、メッシュ内での焼失建物棟数を算出している。

まず、消防による消火件数を考慮した後の出火点をメッシュの中心に置き、延焼速度式を用いて延焼地域を算出する。メッシュ間の燃え移りは、大阪府(1997)を参照し、延焼しているメッシュの焼失率が 30%以上のときに、隣接メッシュに燃え移るとする。燃え移りは辺の中心及び頂点とする。以下に概念図を示す。



図III-2-20 メッシュ間の燃え移りの概念図（島根県、2012）

上記により求めた延焼地域に対し、メッシュ内に存在する建物現況棟数と焼失率から、焼失棟数を求める。焼失率は、建設省(1997、都市防災実務ハンドブック地震防災編、ぎょうせい)による、木防建ぺい率と焼失率の関係を用いる。



図III-2-21 木防建ぺい率と焼失率の関係（建設省、1997）

⑧香川県（2013）の手法

○採用自治体：香川県(13)

この手法では、125m メッシュ単位で延焼を評価し、延焼面積から求めた焼失率を用いて、焼失棟数を求めている。

まず、残出火点をメッシュの中心に置く。

経過時間ごとの延焼距離および面積を、延焼速度式を1分単位で数値積分することによって求める。

$$r_{it} = \{V_i(0) + V_i(1/60) + \dots + V_i(t/60)\}/60$$

ここで、 r_{it} ：経過時間 t 時点における延焼距離 (m)

ただし、 $i=1$ ：風上方向、 $i=2$ ：風下方向、 $i=3$ ：風横方向

$V_i(t)$ ：経過時間 t 時点における延焼速度 (m/hr)

t ：経過時間 (min)

延焼速度は、以下の式により推定する。

$$A_{Ft} = \pi \cdot (r_{1t} + r_{2t}) \times r_{2t} / 2$$

ここで、 A_{Ft} ：経過時間 t 時点での延焼面積 (m^2)

地域間の延焼については、延焼先の地域が不燃領域率 70%以上の場合、建物がない場合、すでに炎上している場合には延焼しないものとする。不燃領域率は、次式により推定した。

$$(不燃領域率 Ft) = 空地率 + (1 - 空地率 \div 100) \times 不燃化率$$

空地率は「一定以上の面積を有する公園等と幅員 6m 以上の道路の合計面積の割合」

不燃化率は「建築面積の総数のうち、耐火建築物等が占める面積の割合」

上記の算出に基づき、次式により焼失棟数を算定している。

$$B_{FL} = R_{FL} \times (B_W + B_{NWL})$$

ここで、 B_{FL} ：焼失棟数

R_{FL} ：焼失率（延焼終了時点の延焼面積／メッシュ面積）

B_W ：メッシュ内の木造建物棟数

B_{NWL} ：メッシュ内の低層非木造建物棟数（2階以下）

⑨ 国土交通省「防災まちづくり総プロ」(2003)

○採用自治体：大阪府(07)

火災延焼範囲の焼失棟数は、国交省「防災まちづくり総プロ」(2003)で開発された CVF (Converging Volume Factor: 燃焼抵抗率) を用いて算出している。

CVF は、建築物の周囲に建物構造や規模に応じた延焼限界距離の半分のバッファーを発生させた際の面積〔建物の防火上の構造や規模に応じて各建物の形状を拡張した部分以外（建物を除く）の面積〕が、地区面積に占める割合を意味し、不燃領域率や木防建ぺい率と同様に、市街地防火性能評価の概ねの傾向を示すマクロ指標である。

また、セミグロス CVF は、CVF 値の算定時に大規模な空地等を除外した市街地面積を用いて算出したものをいう。市街地防火性能は CVF よりはセミグロス CVF の方が適切に表現できる。セミグロス CVF と平均焼失面積との相関がシミュレーションで求められている。

【算定手順（簡易式）】

CVF は GIS 上で建物図形情報から計測されるが、それが難しい場合もあるため、既存の市街地指標から CVF を推計する手法が構築されている。今回調査では、その簡易式を用いた。

$$\begin{aligned} \text{セミグロス CVF} = & 3.293 \times \text{セミグロス裸木造建ぺい率} \\ & + 2.136 \times \text{セミグロス防火造建ぺい率} \\ & + 1.340 \times \text{セミグロス準耐火造建ぺい率} \end{aligned}$$

セミグロス裸木造建ぺい率 = 裸木造建築面積 ÷ (市街地面積 - 一定規模以上の空地面積)

セミグロス防火造建ぺい率 = 防火造建築面積 ÷ (市街地面積 - 一定規模以上の空地面積)

セミグロス準耐火造建ぺい率 = 準耐火造建築面積 ÷ (市街地面積 - 一定規模以上の空地面積)

ここで、耐火性能別建築面積については、以下の分類とする。

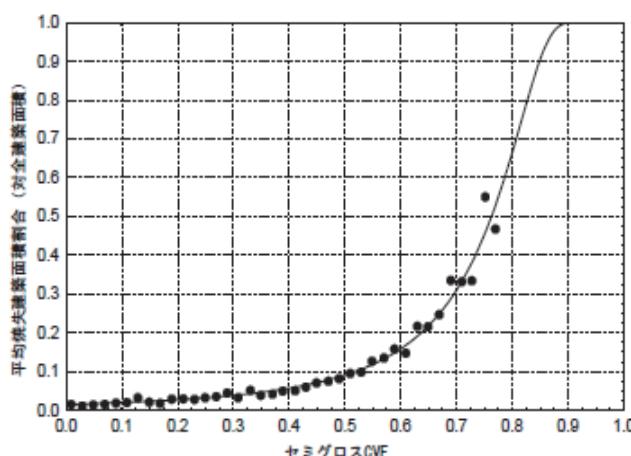
裸木造 … 構造区分が木造のものを住宅統計調査の年代別の防火造比率から配分

防火造 … 上記の配分の残りの木造建物

準耐火 … 軽量鉄骨および鉄骨造

【焼失率の評価】

セミグロス CVF より、平均焼失率が推定される。



図III-2-22 セミグロス CVF と平均焼失率の関係(大阪府, 2007)

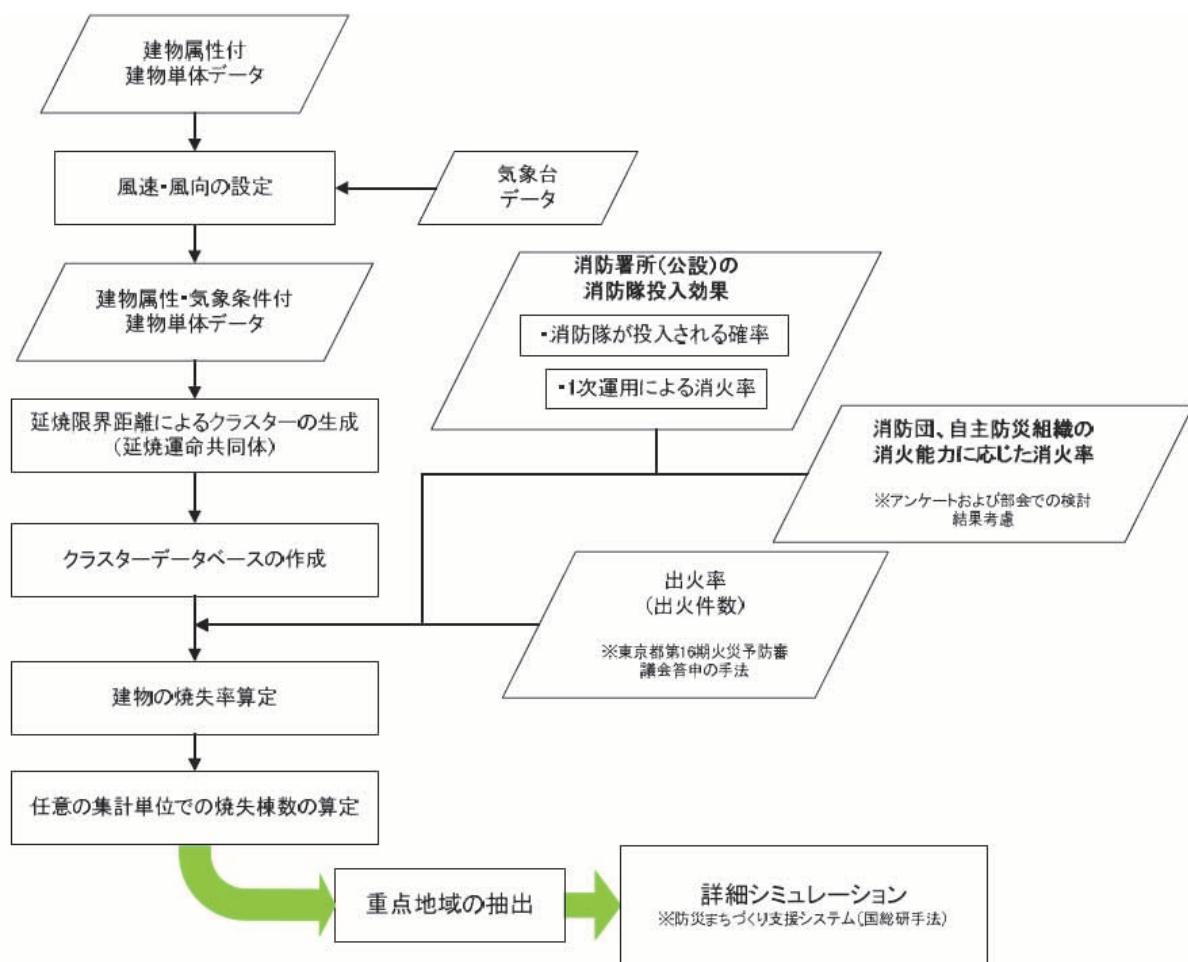
⑩ 損害保険料率算出機構(2006)の手法

○採用自治体：東京都(12), 神奈川県(09), 岡山県(13), 横浜市(12), 川崎市(13)

○中央防災会議・南海トラフ巨大地震モデル検討会等(2013)も採用

延焼クラスターに基づく地震火災リスク算定手法

損害保険料率算出機構は以下のフローにしたがって焼失棟数を求めている。



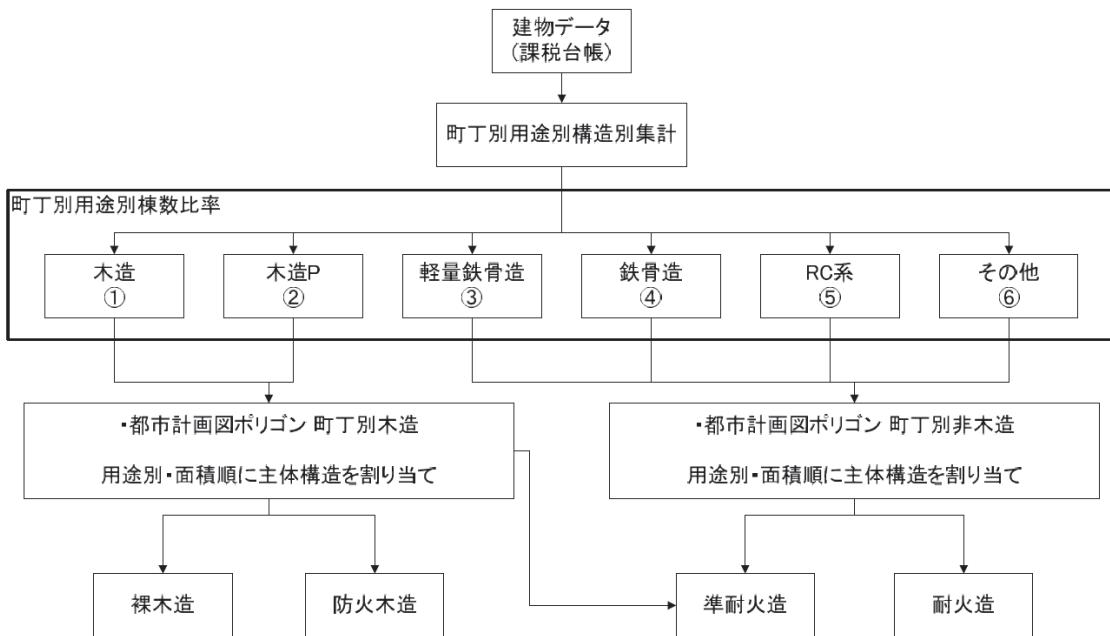
図III-2-23 焼失棟数算出のフロー (川崎市, 2013)

以下、川崎市(2013)の説明である。

(1) 建物単体データへの構造属性割り当て

以下のフローに沿って、各建物をその主体構造の構造区分に従い、裸木造、防火木造、準耐火造、耐火造に分類する。分類の定義は以下に基づく。

- ・建築工法区分のうち、枠組壁構造建物(ツーバイフォー)、プレハブ方式、簡易プレハブ方式は防火木造とする
- ・丸太組工法建物(ログハウス)はH14以前を防火木造、H15以降を準耐火造とする
- ・木造建物のうち建築工法区分が従来工法のものについては、建築年代に応じて裸木造(S45年以前)と防火木造(S46年以降)、準耐火造(S56年以降、かつ、地上3階以上)に分類する



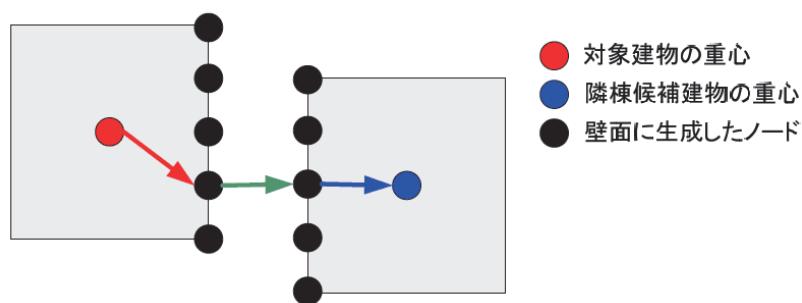
図III-2-24 建物単体データへの属性割り当てる流れ(川崎市, 2013)

(2)建物クラスターデータベースの作成

本手法では、構造及び気象属性を設定した建物単体データを用いて、延焼限界距離によるクラスターの生成を行う必要がある。今回の想定においては、クラスターの算定を繰り返し行い検討する必要があることから、クラスターの作成を容易に行うために、延焼する可能性のある隣棟建物を特定した上で隣棟間距離を計算し、その結果をデータベース化しておく作業を行う。

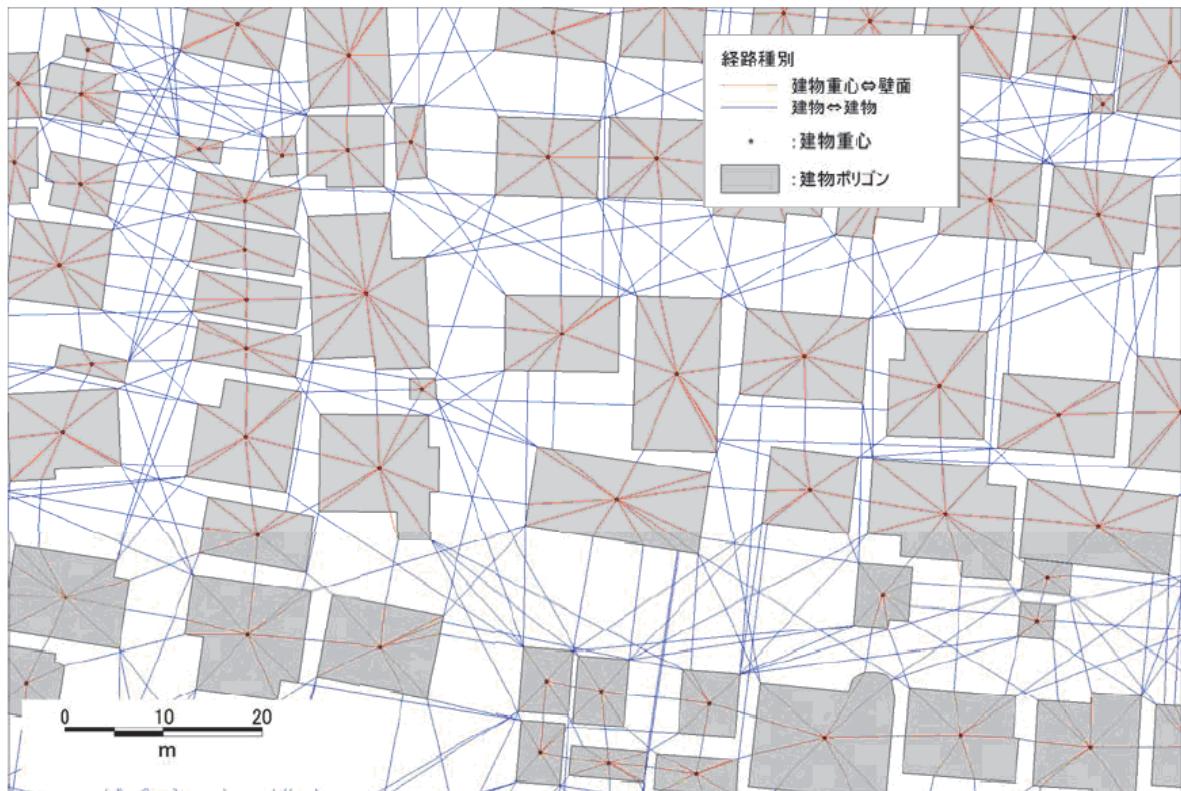
計算アルゴリズムについては、次の手順で行うこととした。

- 対象建物との重心間距離が200m未満の建物を隣棟候補建物とする。
- 対象建物と隣棟候補建物の壁面に20cm間隔でノードを生成し、対象建物単体の重心→壁面ノード→隣棟候補建物の壁面ノード→隣棟候補建物の重心の総ての組み合わせの中から最短となる経路を抽出する。

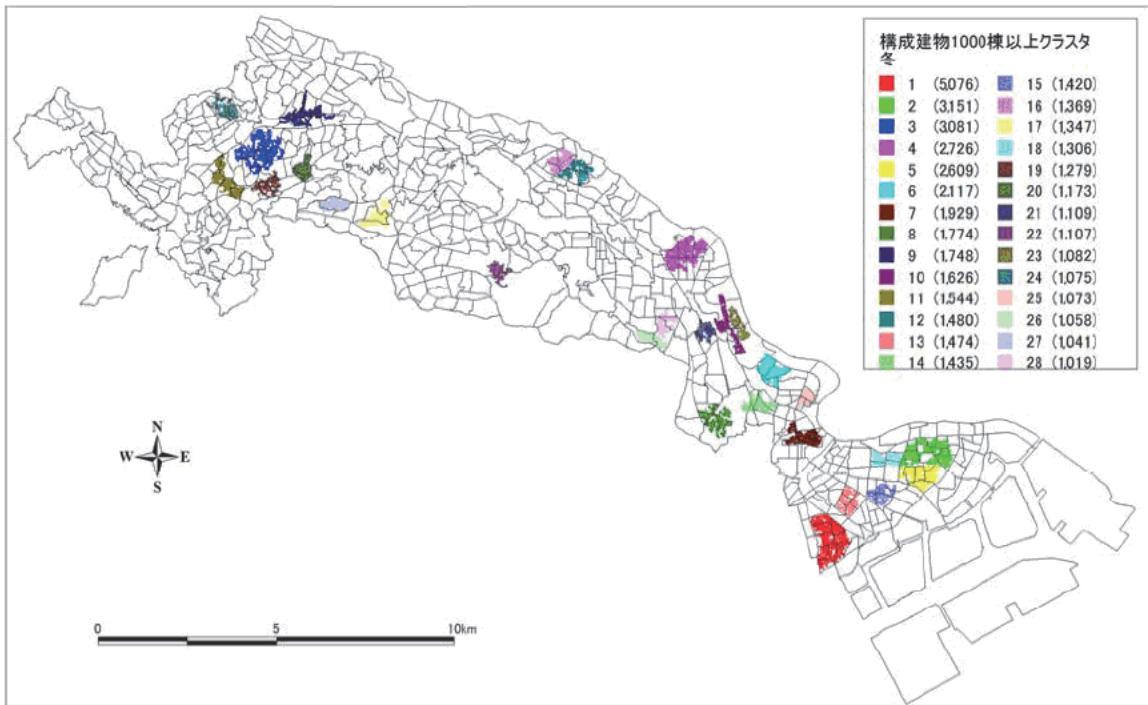


図III-2-25 隣棟候補建物との経路抽出のイメージ(川崎市, 2013)

- c) b)の経路が途中に別の建物の辺に遮られない場合、隣棟建物とする。
- d) 対象建物と隣棟建物の間で、建物単体の重心間の線を描き、その方向を隣棟間の方向とする。
- e) 対象建物と隣棟建物の距離を測定する。相互の位置関係により、頂点を含むb)のノード間の最短距離となる。



クラスター作成の際は、隣棟間距離と延焼限界距離 d^* とを比較し、隣棟間距離が延焼限界距離 d^* 以下であれば、同じクラスターに属するとして探索を行う。なお、隣棟間で構造が異なる場合、延焼限界距離 d^* は、両者の延焼限界距離の平均値とする。このようにして、冬と夏それぞれの気象条件に基づき建物クラスターデータベースを作成した。



図III-2-27 冬の気象条件による建物クラスター分布(構成建物 1000 棟以上) (川崎市, 2013)

(3) 地震火災リスク評価

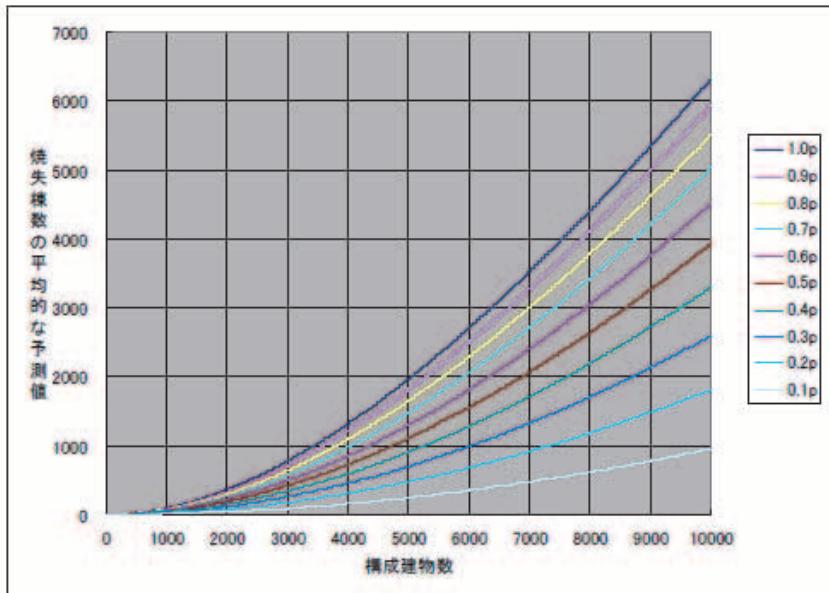
地震火災リスク評価は次の手順で行う。

- メッシュ別出火件数（東京消防庁火災予防審議会（2005）の手法参照）を建物単体データに割り振り（出火項目ごとに、メッシュ単位における建物棟数で出火件数を除する）、建物単体における出火確率を設定する。
- i)で設定した出火確率に対し、消火率(神奈川県(2009)の手法参照)をかけ合わせ、消防効果を加味した建物単体における出火確率とする。
- 建物の焼失確率は、その建物が属するクラスターから 1 件以上出火する確率に等しいことから、クラスターを構成する建物を n 棟、クラスターに属する建物の出火確率の平均値を p とすると、各建物の焼失確率 P は、次の式で求められる。

$$P = 1 - \exp(-np)$$

以下に、クラスター構成建物数 n と、焼失棟数の平均的な予測値（焼失確率 P に n を乗じて得られたもの）との関係を示す。出火確率の平均値 $\bar{p} = 0.0001$ の場合を $1.0\bar{p}$ とし、0.1乗までを求めて比較した。

これによれば、 \bar{p} が半減した場合よりも n が半減した場合のほうが、焼失棟数の平均的な予測値の低減度合が高い。そのため、焼失棟数の平均的な予測値の低減のためには、クラスター構成建物数 n の縮小=クラスター規模の縮小がより効果的であることがわかる。



図III-2-28 \bar{p} と構成建物数、焼失棟数の平均的な予測値の関係(川崎市, 2013)

iv) ⅲで求めた建物の焼失確率に対し、集計単位（メッシュ、あるいは丁目など）における焼失棟数の平均的な予測値 x は、集計単位に含まれる建物の焼失確率 P_j の総和に等しくなることから、次の式で求められる。

$$x = \sum P_k$$

v) i ~ ivの流れに沿って地震別ケース別に焼失棟数を算定し、その上で火災危険度の高い重点地域を抽出する。

○用語説明 (横浜市(2012)より引用

隣棟間の距離が近く延焼して最終的に燃え尽きる可能性のある建物群をクラスターと呼ぶ。このクラスター内のどこかで出火すれば、すべて延焼すると考えるので、クラスターを「運命共同体」とも呼ぶ。

従来の延焼速度式では出火点を設定する必要があり、それによって結果が変わるという問題があった。クラスター法では、全ての建物について出火する可能性を考慮し、確率論的に焼失棟数を算出するので、出火点により値が変わることの問題は生じない。

確率の意味を簡単な例で示す。20棟の建物があり、10棟からなるクラスターがあり、他の10棟は独立（十分な距離がお互いにある）とする。建物の出火確率は、すべて0.05とする。延焼棟数の期待値は、下式となる。独立した建物から出火した場合、焼失棟数は1棟、クラスターから出火した場合、焼失棟数は10棟である。それぞれ、出火確率と建物数を乗じると下記のように、焼失棟数は5.5棟となる。

$$0.05 \times 1 \times 10 \text{ (棟)} + 0.05 \times 10 \times 10 \text{ (棟)} = 5.5 \text{ (棟)}$$

このように、確率として表現するので、10棟のクラスターがあっても、算出される焼失棟数は、それとは一致しない。

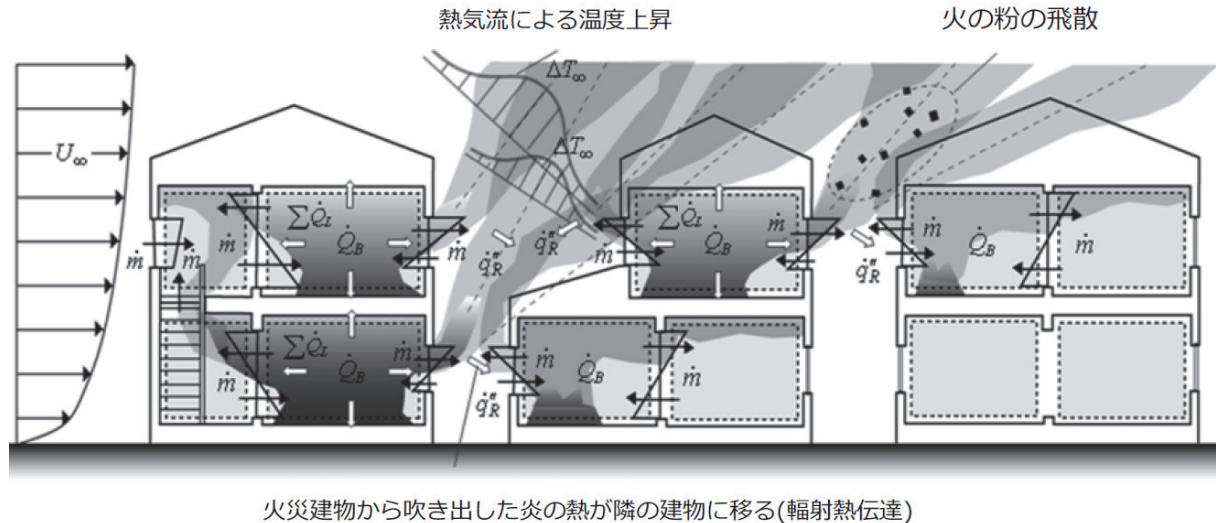
道路拡幅等により、クラスターを5棟ずつの2つに分けたとする。すると、下記のように、6割以下に減らすことができる。このように、防災まちづくりの効果が分かりやすいのも本手法の特徴である。

$$0.05 \times 1 \times 10 \text{ (棟)} + 0.05 \times 5 \times 5 \text{ (棟)} + 0.05 \times 5 \times 5 \text{ (棟)} = 3.0 \text{ (棟)}$$

⑪樋本・田中(2006) の手法

○採用自治体：高知県(13)

「都市火災の物理的延焼性状予測モデルの開発」(樋本・田中, 日本建築学会環境系論文集, 2006)による計算モデルを用いる。建築火災安全工学の分野で建物内部の火災性状や煙流動性状予測に実績のあるゾーンモデルに、噴出火炎からの放射や対流による熱伝導、ならびに飛び火による延焼の効果を組み込むことで、市街地火災の延焼性状の予測を行っている。モデルの概念図を以下に示す。



※ U_{∞} : 風速 (m/s) \dot{m} : 酸素や可燃性ガスの流量 (kg/s) \dot{Q}_B : 発熱速度 (kW)
 $\sum \dot{Q}_L$: 失熱速度 (kW) \dot{q}''_R : 輻射熱流束 (kW/m²) ΔT_{∞} : 熱気流による温度上昇 (K)

図III-2-29 都市火災性状予測モデルの概念図 (高知県, 2013)

この手法の概要を以下に示す。

建物内部の延焼は、任意の部屋における質量、熱エネルギー、化学種の質量分率の各保存式、並びに気体の状態方程式を連立して解くことにより求める。

一方、建物間の火災拡大は、火災建物からの輻射による熱伝導、熱気流による延焼、飛び火による延焼の3つに大別して求める。

これらの計算を、すべての建物の燃焼が終わるまで進める。
 さらにモンテカルロシミュレーション（繰り返し計算）により、1000回の各種条件（出火点、気象条件（風向・風速））の設定を繰り返し行い、全計算結果を平均することで、メッシュごとの焼失リスクを算出する。

項目	内閣府手法	高知県手法
出火	震度別用途別出火率と用途別の対象物数の数から出火件数を算出し、初期消火成功率、消火活動による消火を評価して、炎上する出火件数を算出。	計算の流れは内閣府手法に同じ。
消防力	出火の評価に加味する。出火件数を抑止する際に震度によらず地域の公設消防力（消防ポンプ自動車数と小型動力ポンプ数）に応じて一定の値を導入。	計算の流れは内閣府手法に同じ。
気象	アメダスデータの統計値を基に時間帯ごとの最頻の風向と平均風速・悪条件の風速（風速8m/s）を与える。すなわち一定の風向・風速の風が吹き続けるという設定。	アメダスデータの時別値を基に時間帯ごとの風向・風速を抽出し、計算回数ごとに与える。平均的な風、最悪条件の風という区分は行わない。
延焼 出火点からの延焼評価	<p><1. クラスター（運命共同体）の設定></p> <p>建物構造種別に応じて、燃え移るかどうかの距離（延焼限界距離）が設定されており、全建物間の距離が延焼限界距離より短ければ、全て延焼すると判定している。</p> <p>この延焼限界距離内にある建物同士の群をクラスターと呼び、クラスター内の1戸が燃焼すれば、同一クラスター内の建物は同時に全て延焼して焼失するということになる。</p> <p><2. 焼失棟数の算出></p> <p>一棟ごとの出火確率からクラスター内の1棟当たりの焼失リスクを算出し、これを集計して焼失棟数を算出。</p>	<p><1. 建物単体の燃焼判定></p> <p>可燃物の熱分解～火災室内での発熱～開口部を経由した質量移動～開口部と区画境界部材を経由した熱移動～燃え抜けを考慮して、実際の火災性状を再現する。</p> <p>開口部の大きさや火炎物密度、部材特性などは木造・非木造に応じて仮定の値を割り当てる。</p> <p><2. 建物間の延焼判定></p> <p>輻射熱、熱気流、火の粉の影響を考慮し、各現象の物理的知見に基づく建物間の火災性状を定式化し、全建物間個々燃え広がるかどうかの評価を行なっている。</p> <p><3. 焼失棟数の算出></p> <p>1、2の延焼シミュレーション結果から焼失した建物数を合計して計算回数で割った数値を焼失棟数として算出。</p>
計算過程と結果	時間帯・気象条件ごとの各1回の計算結果を評価結果として提示。気象条件、出火件数は時間帯ごとに固定の値が設定される。気象条件は、平均的な風と、悪条件の風に分かれる。	時間帯ごとに繰り返し計算を行い（モンテカルロシミュレーション）、焼失した回数／計算回数の値をその建物の焼失期待値として算出する。
特徴	○どのように燃えるかではなく、出火確率を持った建物同士がつながるかどうかの判定を行なっている。	○実際の火災による延焼動態の再現に努めており、都市構造に基づきどのように燃え広がるかを表現する事ができる。

図III-2-30 内閣府手法との比較（高知県, 2013）

⑫ 関沢ら(2001)の手法

○採用自治体：群馬県(12)

消防庁消防大学校 消防研究センター 消防力最適運用支援情報システム（関沢ほか, 2001）の手法に基づく。建物1棟単位のシミュレーションが可能である。

3. 人的被害の予測

本節では、「死傷者数」「要救出者数」「避難者数等」「帰宅困難者数」について、その予測手法を整理する。

3-1. 死傷者数

過去の地震災害における死傷者を見ると、その発生要因は、建物の倒壊、ブロック塀の倒壊、地震火災、崖崩れ、高架橋の落下など様々である。ただし、死傷者の発生状況は、地震発生時点の人口動態に大きく依存するため、地震の発生時刻や季節、曜日など種々の要因によって大きく左右されると考えられる。したがって、死傷者の被害想定では、前提条件の設定が非常に重要となる。

死傷者の予測手法としては、発生要因を個別に考慮せずに死傷者数全体を予測する手法（以下「死傷者数全体の予測手法」）と、発生要因別に死傷者数を予測し合算する手法（以下「発生要因別の予測手法」）に大別できる。死傷者数全体の予測手法では、建物全壊棟数や焼失棟数を指標として予測している。発生要因別の予測手法では、建物倒壊、火災、津波、斜面災害などの要因別に死傷者を予測し、これらの人数の合計を地震全体の死傷者数としている。近年の傾向としては、死傷者数全体の予測手法を用いない自治体が徐々に増えてきている。

以下に、各自治体で採用されている手法の概略を次の区別別にまとめる。

(1) 死傷者数全体の予測手法

- ①太田ら(1983)の手法
- ②太田・後藤(1985)の手法
- ③東京都防災会議(1978)・埼玉県(1982)の手法
- ④大阪府(1997)の手法
- ⑤国土庁(1997)の手法
- ⑥塩野・小坂(1989)の手法
- ⑦東京都防災会議(1991)の手法
- ⑧埼玉県(1992)の手法
- ⑨呂・宮野(1995)の手法

(2) 発生要因別の予測手法

- ①建物被害による死傷者数
- ②地震火災による死傷者数
- ③津波による死傷者数
- ④斜面崩壊による死傷者数
- ⑤鉄道災害による死傷者数
- ⑥道路災害による死傷者数
- ⑦ブロック塀の倒壊・落下物等による死傷者数

(1) 死傷者数全体の予測手法

発生要因を個別に考慮せずに死傷者数全体を予測する手法をまとめる。ほとんどの手法は、建物被害を地震の強さの指標として採用している。

① 太田ら(1983)の手法

○採用自治体：群馬県(12), 新潟県(98), 長野県(02), 宮崎県(07), 新潟市(07)

浜田地震(1872)から宮城県沖地震(1978)までの35地震を解析し、以下の関係を得ている。主に、建物被害と地震火災による死者を対象としている。

$$D = 1.45 \times H^{0.93} \times F \times T \times E$$

D : 死者数

H : 全壊棟数

$$F(\text{火災係数}) = \begin{cases} 1.00 & (\text{大規模火災} \dots 1.0 \leq \text{全焼数}/\text{全壊数}) \\ 0.32 & (\text{中規模火災} \dots 0.1 \leq \text{全焼数}/\text{全壊数} < 1.0) \\ 0.12 & (\text{小規模火災または火災なし} \dots \text{全焼数}/\text{全壊数} < 0.1) \end{cases}$$

$$T(\text{時間帯係数}) = \begin{cases} 1.00 & (\text{夜} \dots 23:00 \sim 6:30) \\ 0.73 & (\text{昼} \dots 6:30 \sim 23:00) \end{cases}$$

$$E(\text{時代係数}) = \begin{cases} 1.00 & (1930\text{年以前}) \\ 0.96 & (1930\text{年} \sim 1955\text{年}) \\ 0.22 & (1955\text{年以降}) \end{cases}$$

○新潟県(98)では…

塩野・小坂(1989)の調査結果から、火災係数 F を以下のように設定している。

市町村の想定延焼棟数が2,500棟を超える場合 0.32 (中規模火災)

市町村の想定延焼棟数が2,500棟以下の場合 0.12 (小規模火災)

② 太田・後藤(1985)の手法

○採用自治体：青森県(97), 福井県(97)

明治以降の被害地震のうち、死者が数名をこえる35の地震に対して、家屋倒壊数、焼失家屋数と死者数との関係を得ている。

$$D = 0.543 \times H^{0.69} \times F^{0.29} \times \begin{bmatrix} 1.00 \\ 0.64 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1.00 \\ 0.33 \end{bmatrix}$$

時間帯 時代

D : 死者数

H : 全壊棟数

F : 焼失棟数

時間帯：上段は深夜(23:00～6:30), 下段はそれ以外

(時間帯については、寝ている、起きているとの区別によって定義する)

時代：上段は1955年以前、下段はそれ以降

(1950年に建築基準法が制定されることにより、その施行の効果が現れるために必要な期間を考慮して区分する)

③ 東京都防災会議(1978)・埼玉県(1982)の手法

○採用自治体：〈負傷者のみ〉宮城県(04), 栃木県(04), 山梨県(05), 静岡県(01), 愛知県(03), 奈良県(05), 鳥取県(05)

主に建物倒壊と延焼火災による死傷者数を想定している。

東京都防災会議(1978)は、関東地震(1923)や北丹後地震(1927)など過去の大地震の被害データから、建物被害(全半壊、焼失)と死者数の関係を導出している。

$$\log_{10}(\text{死者数}) = 0.9598 \log_{10}(\text{全壊} + \text{半壊} \times 0.5 + \text{焼失}) - 1.0291$$

$$\log_{10}(\text{負傷者数}) = 0.93242 \log_{10}(\text{全壊棟数} + \text{半壊棟数}/2 + \text{焼失棟数}) - 0.6630$$

ただし、この式は延焼火災が発生しない場合に大きな誤差が発生する。そこで、埼玉県(1982)は、東京都防災会議(1978)の考え方に基づき、新潟地震(1964)と十勝沖地震(1968)の被害データから延焼火災が発生しない場合に対する関係式を新たに導出している。

$$\log_{10}(\text{死者数}) = 0.3132 \log_{10}(\text{全壊} + \text{半壊} \times 0.5 + \text{焼失}) + 0.0783$$

④ 大阪府(1997)の手法

○採用自治体：滋賀県(04), 大阪府(07), 堺市(09)

〈負傷者のみ〉埼玉県(07), 神奈川県(09), 富山県(11), 三重県(06), 広島県(07), 山口県(08), 徳島県(05), 佐賀県(10), 札幌市(08), 広島市(08)

兵庫県南部地震(1995)における町丁目または市区別の建物被害率と死者・負傷者の割合から予測式を設定している。

$$\text{死者数} = \Sigma \text{町丁目の屋内人口} \times \text{死者率}$$

$$\text{負傷者数} = \text{市町村の屋内人口} \times \text{負傷者率}$$

$$\text{重傷者数} = \text{市町村の負傷者数} \times \text{重傷者比率}$$

$$\text{死者率}(\%) = \begin{cases} 0.000287x^2 - 0.00780x + 0.0506 & (x \geq 25\%) \\ 0.00156x - 0.00389 & (2.5\% \leq x < 25\%) \\ 0 & (0\% \leq x < 2.5\%) \end{cases}$$

$$\text{負傷者率}(\%) = \begin{cases} 1 & (x \geq 37.5\%) \\ 7 - 0.16x & (25\% \leq x < 37.5\%) \\ 0.12x & (0\% \leq x < 25\%) \end{cases}$$

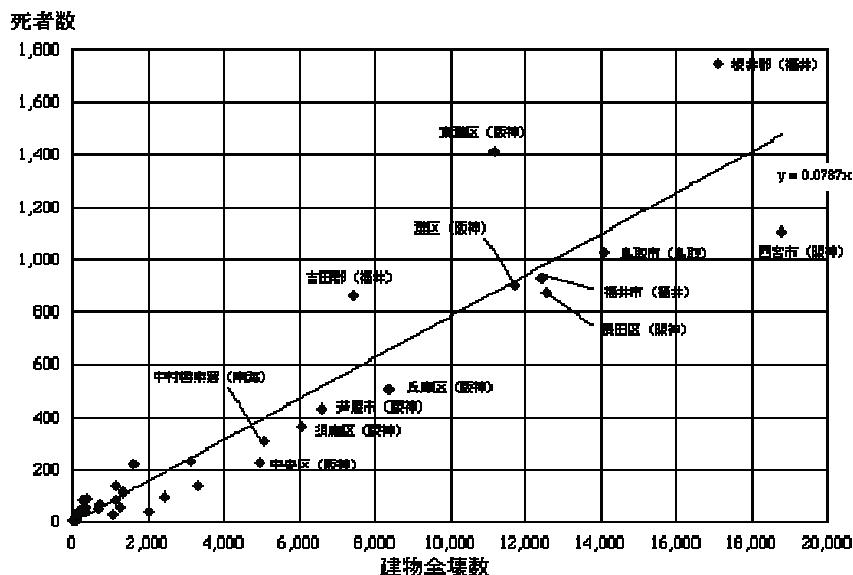
$$\text{重傷者比率}(\%) = \begin{cases} 5 & (x \geq 20\%) \\ 15 - 0.5x & (10\% \leq x < 20\%) \\ 10 & (0\% \leq x < 10\%) \end{cases}$$

x : 建物被害率(%)

⑤ 国土庁(1997)の手法

○採用自治体：福島県(98)

国土庁(1997)は300人以上の死者が発生した東南海地震(1944), 福井地震(1948), 兵庫県南部地震(1995)等から、建物全壊数と死者数の関係を求めている。このとき、倒壊の被害を受けた建物は全て木造と仮定している。



図III-3-1 過去の地震時における建物全壊数と死者数との関係(国土庁, 1997)

昼間は、学校や勤め先への移動等により、木造住宅内の滞留率が低くなると考えられることから、パーソントリップ調査から求められた平均的な住宅滞留率 0.35 を乗じている。

$$\text{木造建物被害による死者数} = \begin{cases} 0.0787 \times \text{木造建物大破棟数} & (\text{夜間}) \\ 0.0276 \times \text{木造建物大破棟数} & (\text{昼間}) \end{cases}$$

兵庫県南部地震(1995)では、5～10階建ての非木造建物で特定の1つの階が崩壊した事例が多いいため、倒壊する非木造建物は5～10階建ての建物に限られると仮定し、その平均が7階であることから、1/7を係数として掛けている。また、ある特定のフロアの倒壊による死者発生率を、韓国の三豊デパートの崩壊事故事例から0.3と設定し、係数としている。

$$\begin{aligned} &\text{非木造建物被害による死者数} \\ &= 0.3 \times 1/7 \times \text{夜間または昼間人口} \times \text{非木造建物倒壊棟数} / \text{全建物棟数} \end{aligned}$$

以上から、

$$\text{死者数} = \text{木造建物被害による死者数} + \text{非木造建物被害による死者数}$$

⑥ 塩野・小坂(1989)の手法

○採用自治体：岩手県(04), 群馬県(12), 新潟県(98), 長野県(02), 愛媛県(02), 福岡県(12), 宮崎県(07), 新潟市(07), さいたま市(09), 名古屋市(99)

負傷程度別の予測ができる数少ない予測式であり、広く採用されている。

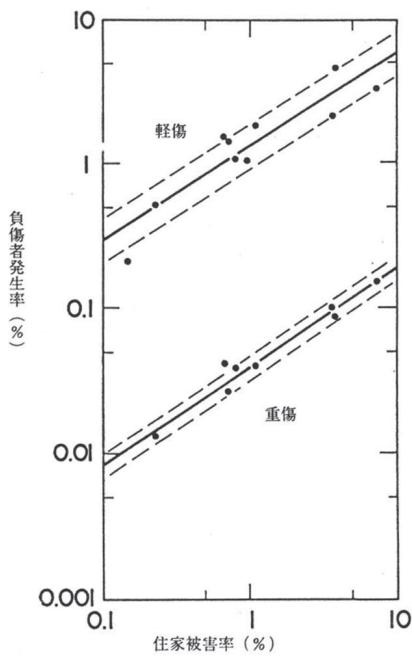
宮城県沖地震(1978)後のアンケート調査等に基づき、以下の回帰式を作成している。

$$(\text{重傷者}) \quad \log_{10} R = 0.676 \log_{10} H + 1.409$$

$$(\text{軽傷者}) \quad \log_{10} R = 0.660 \log_{10} H + 0.105$$

R : 負傷者発生率(%)

H : 住家被害率(%)



図III-3-2 住家被害率と負傷者発生率の関係(塩野・小坂, 1989)

○新潟県(98)では…

住家被害率を

(住宅全壊・大破棟数+住宅半壊・中破棟数／2+焼失棟数)／全住宅棟数
としている。

○名古屋市(99)では…

宮城県沖地震(1978)の既往調査結果(望月ら(1982), 近江(1980))において、負傷者の発生場所および地震発生時にいた場所別負傷者の割合が調査されている。これに基づき、地震発生時にいた場所による補正係数を求めている。

$$\text{重傷者(軽傷者)} = 6/5 \times \text{在宅人口から求めた重傷者数(軽傷者数)}$$

$$+ 3/4 \times \text{非在宅人口から求めた重傷者数(軽傷者数)}$$

○福岡県(12)では…

2500棟以下の焼失では、火災のあるなしによる死者数の変化はほとんどないということで、直接的には、焼失による死者は考慮していない。

⑦ 東京都防災会議(1991)の手法

○採用自治体：仙台市(02)

建物被害、ブロック塀・石塀・コンクリート塀の転倒、落下物、屋内収容物の移動・転倒による負傷者を予測対象とした手法である（地震火災による負傷者は別に予測している）。

ここでは、宮城県沖地震(1978)の負傷者実態調査による負傷者発生率を参考にしている。負傷程度については、入院を要する患者を重傷者、入院は要しないが受診の必要な患者を軽傷者と定義している。ただし、1日通院者（宮城県沖地震(1978)では軽傷者の5.7%）を極めて軽い軽傷とみなし、ここでは除外している。

$$\begin{aligned} \text{重傷者数} &= 10^{(0.871 \times H - 1.571)} / 100 \times \text{人口} \\ \text{軽傷者数} &= 10^{(0.746 \times H - 0.418)} / 100 \times 0.943 \times \text{人口} \end{aligned}$$

H : 震害率 ($= (\text{全壊棟数} + 0.5 \times \text{半壊棟数} + 0.01 \times \text{一部損壊棟数}) / \text{全建物棟数, \%}$)

震害率 H は、加速度を指標として以下の式により計算できるとしている。

$$H = (0.07 \times A - 14.3) / 2.37$$

A : 地表加速度 (gal)

⑧ 埼玉県(1992)の手法

○採用自治体：青森県(97), 山形県(06), 福井県(97)

太田・後藤(1985)が整理した複数の地震による被災データをもとに作成された回帰式である。指標として死者数を用いており、様々な原因による負傷者を評価対象としている。

$$\log_{10}(\text{負傷者数}) = 0.667 \log_{10}(\text{死者数}) + 1.667$$

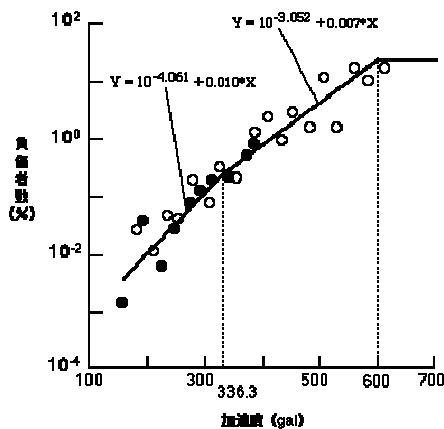
⑨ 呂・宮野(1995)の手法

○採用自治体：福島県(98), 京都市(03)

呂・宮野(1995)は、近年の主要地震である関東地震(1923), 東南海地震(1944), 福井地震(1948), 十勝沖地震(1968), 伊豆大島近海地震(1978), 宮城県沖地震(1978)等, 10 の地震から、負傷者率と地表最大加速度の関係式を求めている。

$$\text{負傷者率}(\%) = \begin{cases} 10^{-4.061+0.010 \times (\text{地表最大加速度})} & (336.3\text{gal以下}) \\ 10^{-3.052+0.007 \times (\text{地表最大加速度})} & (336.3\text{gal以上}) \end{cases}$$

ただし、600gal 以上は一定



図III-3-3 既往地震時の最大加速度と負傷者数との関係(呂・宮野, 1995)

(2) 発生要因別の予測手法

① 建物被害による死傷者数

兵庫県南部地震(1995)では、死者全体の約8割を家屋の倒壊などによる圧死が占めていた(中央防災会議, 2003)。以下では、建物被害を主因とする死傷者数の予測手法をまとめる。なお、各自治体では、屋内人口の時間的変化を考慮して発生時刻別の死傷者数を予測しているものが多い。

以下に、各自治体で採用されている手法の概略を次の区別別にまとめる。

- a) 東京都(1997)の手法
- b) 静岡県(2001)の手法
- c) 中央防災会議東海地震対策専門調査会「東海地震に係る被害想定」(2001)の手法
- d) 村上(1996)・名古屋市(1999)の手法
- e) 池田・中林(1996)の手法
- f) 福岡県(2006)の手法
- g) 山形県(2006)の手法
- h) 東京都(2006)・中央防災会議首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」(2005)の手法
- i) 中央防災会議東南海・南海地震等に関する専門調査会(2008)の手法
- j) 太田(2004)の手法
- k) さいたま市(2009)の手法
- l) 損害保険料率算出機構(2001)の手法

a) 東京都(1997)の手法

○採用自治体：宮城県(04), 栃木県(04), 千葉県(08), 愛知県(03), 鳥取県(05), 愛媛県(02), 大分県(13), 仙台市(02), 横浜市(12)

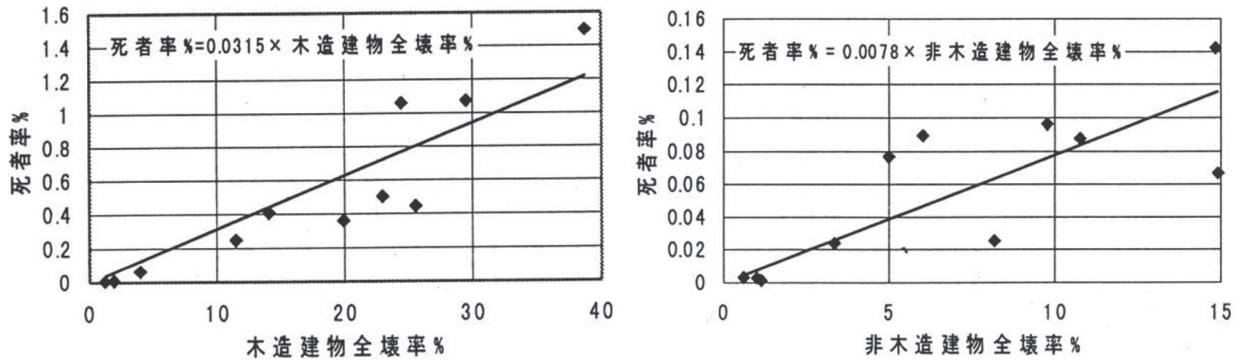
兵庫県南部地震(1995)による被害事例をもとに、木造・非木造別に死者数を予測している。ここでは、建物倒壊によって閉じ込められ、火災により亡くなる人は含んでいないが、屋内収容物(家具類)の移動・転倒による死者を含んでいる。

$$\text{木造建物被害による死者率}(\%) = 0.0315 \times \text{木造建物全壊率}(\%)$$

$$\text{非木造建物被害による死者率}(\%) = 0.0078 \times \text{非木造建物大破率}(\%)$$

なお、予測式には以下の仮定が含まれている。

- ・非木造建物による死者数は、兵庫県南部地震(1995)でのマンションと同じ割合で発生する。
- ・低層建築物は木造、中高層建築物は非木造である。



図III-3-4 建物全壊率と死者率の関係(東京都, 1997)

○愛知県(03), 栃木県(04)では…

建築物の構造的被害を日本建築学会基準により評価しているため、東京都の手法（震災復興都市づくり特別委員会による被災調査結果を使用）とは基準が異なる。そこで、

日本建築学会基準による大破率 = $0.7 \times$ 震災復興都市づくり特別委員会基準による大破率として、日本建築学会基準による大破率と死者率との関係式を構築している。

$$\begin{aligned} \text{木造建物倒壊による死者数(人)} &= 0.0450 \times \text{木造建物大破率(%) } \times \text{木造屋内人口(人)} \\ \text{非木造建物倒壊による死者数(人)} &= 0.0111 \times \text{非木造建物大破率(%) } \times \text{非木造屋内人口(人)} \end{aligned}$$

○大分県(13)では…

大阪府(1997)より

$$\text{建物被害率} = (\text{全壊率} + 1/2 \times \text{半壊率})$$

$$\text{負傷者数} = 0.01 \times \text{屋内人口} (X \geq 37.5\%)$$

$$\text{負傷者数} = (7 - 0.16X) \times \text{屋内人口} (25\% \leq X < 37.5\%)$$

$$\text{負傷者数} = 0.12 \times \text{屋内人口} (0\% \leq X < 25\%)$$

$$\text{重傷者比率(負傷者に占める割合)(%)} = 5 (X \geq 20\%)$$

$$\text{重傷者比率(%)} = 15 - 0.5X (10\% \leq X < 20\%)$$

$$\text{重傷者比率(%)} = 10 (0\% \leq X < 10\%)$$

とし、大阪大学入院患者調査による入院患者数- 建物大破率の関係を用い、かつ入院患者に占める重篤者の割合を 17%と設定している。

b) 静岡県(2001)の手法

○採用自治体：静岡県(01), <非木造建築のみ>徳島県(05)

兵庫県南部地震(1995)による被害事例をもとに、木造・非木造別に死者数を予測している。

$$\text{木造建物倒壊による死者数} = 0.0629 \times \text{木造建物全壊率} \times \text{木造屋内人口}$$

$$\text{非木造建物倒壊による死者数} = 0.0155 \times \text{非木造建物全壊率} \times \text{非木造屋内人口}$$

上式は、午前 5 時に地震が発生した場合の式のため、昼間（午後 0 時、午後 6 時）の場合は、上式で得られる死者数よりも 10% 少ないと仮定している。

また、警戒宣言が発令された場合には、適切な行動をとる人^(注)は被害を受ける可能性がなく

なると考え、(1－警戒宣言時対応係数(0.739))を乗じたものを死者数としている。

(注) 静岡県によるアンケート調査(東海地震についての県民意識調査、2000.2)の結果に基づき、警戒宣言発令時に適切な行動をとる人の割合(警戒宣言時対応係数)を0.739と設定している。

c) 中央防災会議 東海地震対策専門調査会「東海地震に係る被害想定」(2001)の手法

○採用自治体：山梨県(04), 三重県(06), 奈良県(05)

〈木造建築のみ〉徳島県(05)

中央防災会議 東南海、南海地震等に関する専門調査会 「東南海・南海地震に係る被害想定」(2003)でも採用

300人以上の死者を出した5地震(鳥取地震(1943), 東南海地震(1944), 南海地震(1946), 福井地震(1948), 兵庫県南部地震(1995))の被害事例をもとに、木造全壊棟数と死者数の関係式を求めていく。

非木造建物による死者数については、この関係と静岡県(1999)において兵庫県南部地震(1995)の被害から求められている死者率／全壊率の値(木造 0.0629, 非木造 0.0155)を補正係数に用いて算出している。

$$\begin{aligned} \text{死者数(木造)} &= 0.0676 \times \text{木造全壊棟数} \times \text{木造建物内滞留人口} / \text{夜間人口} \\ \text{死者数(非木造)} &= 0.0167 \times \text{非木造全壊棟数} \times \text{非木造建物内滞留人口} / \text{夜間人口} \end{aligned}$$

○山梨県(04)では…

非木造建物による死者数について、中央防災会議(2005)で用いられている以下の式により算出している。

$$\text{死者数(非木造)} = 0.0240 \times \text{非木造全壊棟数} \times \text{非木造建物内滞留人口} / \text{夜間人口}$$

中央防災会議(2005)では、「非木造については、全壊に占める倒壊の割合が木造よりも小さいため、木造の係数(0.0676)の概ね1/3程度の係数としている」と説明している。

d) 村上(1996)・名古屋市(1999)の手法

○採用自治体：岩手県(04), 名古屋市(99)

村上(1996)は、兵庫県南部地震(1995)における芦屋市の人的被害集計データ(55町名別)を用い、重回帰式により住民の被災人員と死者数の関係を分析し、以下の関係を導出している。

$$D = -2.14 + 0.036 \times WS + 0.058 \times WM + 0.0058 \times NWM$$

D : 死者数

WS : 木造一戸建 倒壊建物内人口

WM : 木造共同 倒壊建物内人口

NWM : 非木造共同 倒壊建物内人口

名古屋市(1998)は、村上(1996)の成果をふまえ、倒壊家屋がない場合死者は発生しないとの考え方から、以下の式を設定している。

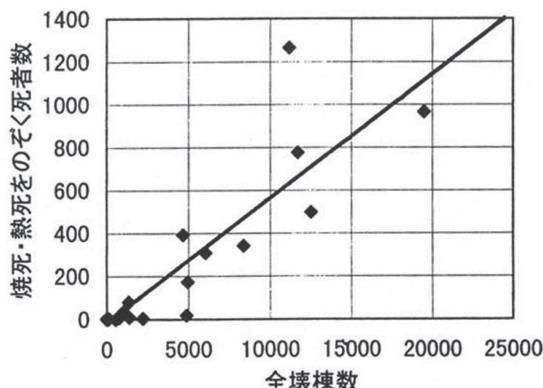
$$D = 0.028 \times WS + 0.062 \times WM + 0.0058 \times NWM$$

e) 池田・中林(1996)の手法

○採用自治体：福岡県(12)

兵庫県南部地震(1995)における建物全壊棟数と死者数に関して相関解析を行い、以下の式を求めてている。

$$\text{死者数} = 0.0569 \times \text{全壊棟数}$$



図III-3-5 死者数と建物全壊棟数の関係 (池田・中林, 1996)

f) 福岡県(2006)の手法

○採用自治体：<負傷者数のみ>福岡県(12)

兵庫県南部地震(1995), 鹿児島県北西部地震(1997)による建物全壊棟数と負傷者数の相関解析を行い、次の式を得ている。なお、兵庫県南部地震(1995)の実績から、重傷者数は負傷者数のほぼ1割程度としている。

$$\text{負傷者数} = 20 \times \text{全壊棟数}^{0.6}$$

g) 山形県(2006)の手法

○採用自治体：山形県(06)

木造建物内滞留人口、非木造建物内滞留人口をそれぞれ求めた上で、木造建物被害による死者数、非木造建物被害による死者数を以下の式で求めている。

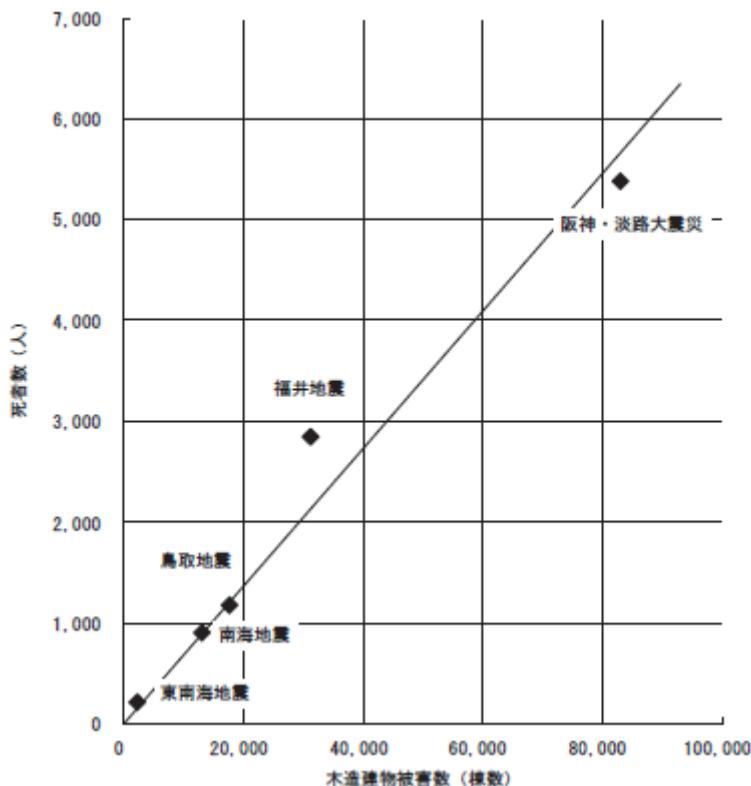
$$(\text{木造建物死者数}) = (\text{木造建物内滞留人口}) \times 0.0359 \times (\text{木造建物全壊率})$$

$$(\text{非木造建物死者数}) = (\text{非木造建物内滞留人口}) \times 0.0073 \times (\text{非木造建物全壊率})$$

h) 東京都(2006)・中央防災会議 首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」(2005)の手法

○採用自治体：群馬県(12), 埼玉県(07), 岐阜県(13), 広島県(07), 佐賀県(10), 熊本県(13), 札幌市(08), 千葉市(08), 広島市(08)

300人以上の死者を出した鳥取地震(1943), 東南海地震(1944), 南海地震(1946), 福井地震(1948), 兵庫県南部地震(1995)の5つの地震から回帰式を作っている。



図III-3-6 最近の5地震と全壊棟数の関係(中央防災会議, 2005)

- ・非木造建物からの死者数は、非木造の木造に対する、全壊に占める倒壊の割合を概ね 1/3 程度とし、以下の式によって求める。

$$\begin{aligned} \text{木造建物死者数} &= 0.0676 \times \text{木造建物全壊棟数} \times \text{木造建物内滞留率} \\ \text{非木造建物死者数} &= 0.0240 \times \text{非木造建物全壊棟数} \times \text{非木造建物内滞留率} \end{aligned}$$

- ・重傷者率は兵庫県南部地震(1995)時における市区別の(ゆれ・液状化による)建物全壊率と重傷者率との関係を用いて、以下の式により算出する。

$$\text{重傷者率} = 0.0309 \times \text{建物全壊率}$$

i) 中央防災会議 東南海、南海地震等に関する専門調査会 「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定」(2008)の手法

○採用自治体：秋田県(13), 東京都(12), 富山県(11), 岡山県(13), 山口県(08), 香川県(13), 高知県(13)

○中央防災会議 南海トラフ巨大地震モデル検討会等 (2013) でも採用

$$(\text{死者数}) = (\text{木造 死者数}) + (\text{非木造 死者数})$$

$$(\text{木造 死者数})$$

$$= t_w \times (\text{市区町村別のゆれによる木造全壊棟数}) \times (\text{木造建物内滞留率})$$

(非木造 死者数)

$$= t_n \times (\text{市区町村別のゆれによる非木造全壊棟数}) \times (\text{非木造建物内滞留率})$$

(木造建物内滞留率)

$$= (\text{発生時刻の木造建物内滞留人口}) \div (\text{朝 5 時の木造建物内滞留人口})$$

(非木造建物内滞留率)

$$= (\text{発生時刻の非木造建物内滞留人口}) \div (\text{朝 5 時の非木造建物内滞留人口})$$

$$t_w = 0.0676$$

$$t_n = 0.00840 \times \frac{P_{n0}}{P_{w0}} \times \frac{B_w}{B_n}$$

P_{w0} : 夜間人口 (木造)

P_{n0} : 夜間人口 (非木造)

B_w : 建物棟数 (木造)

B_n : 建物棟数 (非木造)

※負傷者数は大阪府(1997)の手法で算出

※群馬県に関しては、非木造建物の死者数の係数を木造の係数の概ね 1/3 程度と仮定

※岡山県(13), 香川県(13)に関して、負傷者数と重傷者数の関係式は、近年の地震の鳥取県西部地震、新潟県中越地震、能登半島地震、岩手・宮城内陸地震の主な被災市町村、東北地方太平洋沖地震の内陸被災市町村の建物被害棟数 (全壊棟数、全半壊棟数) と負傷者数・重傷者数との関係から設定されたものから算出

※香川県(13)は、時間帯別・建物構造別の屋内滞留人口も考慮している。

j) 太田(2004)の手法

○採用自治体：<木造>神奈川県(09)

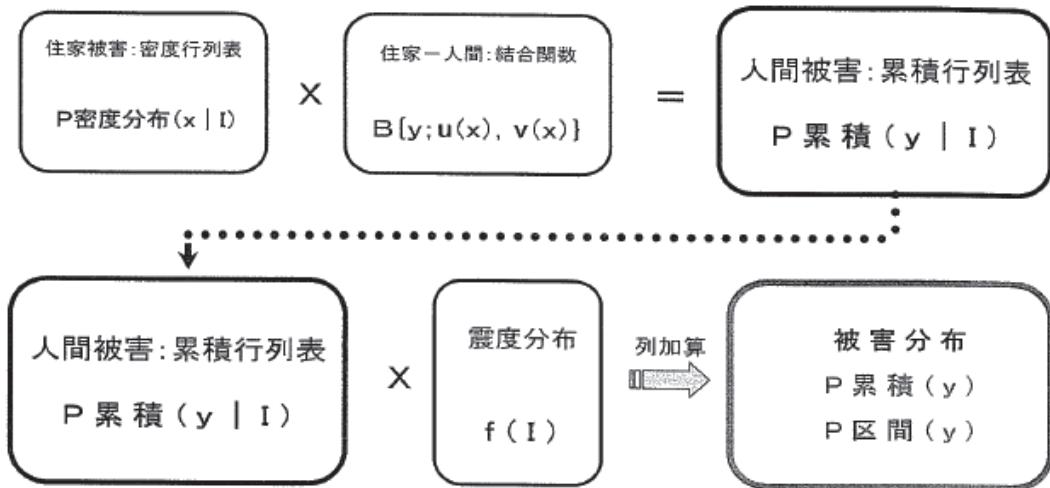
住家被害度 x と人間被害度 y の関係式を設定し、震度を指標に被害なし・軽傷から死亡までの人的被害度を一貫的に評価している。

表III-3-1 住家被害指標一覧(太田, 2004)

名義尺度	なし～小破	中 破	大 破	全 壊	崩 壊
離散値(D)	$0.0 \leq D \leq 0.2$	$0.2 \leq D \leq 0.4$	$0.4 \leq D \leq 0.6$	$0.6 \leq D \leq 0.8$	$0.8 \leq D \leq 1.0$
連続量(x)	$x = 0.0 \sim 1.0$				
関数形	Beta(密度)分布関数				

表III-3-2 人間被害指標一覧(太田, 2004)

名義尺度	なし～ごく軽微	軽 傷	中(等)傷	重 傷	死 亡
離散値(C)	$0.0 \leq C \leq 0.2$	$0.2 \leq C \leq 0.4$	$0.4 \leq C \leq 0.6$	$0.6 \leq C \leq 0.8$	$0.8 \leq C \leq 1.0$
連続量(y)	$y = 0.0 \sim 1.0$				
関数形	複合Beta(密度)分布関数				



図III-3-7 人間被害危険度算定の一般手順(太田, 2004)

太田(2004)は、人間被害の確率分布関数を以下のパラメータ $[u(x), v(x)]$ をもつBeta分布関数で表現している。

$$u(x) = 4.48 \cdot x^{1.5}, \quad v(x) = 8 - 4.48 \cdot x^{1.5} \quad (x: \text{住家被害度})$$

このとき、震度(I)固定条件下の人間被害(y_i) (密度、累積)分布関数は

$$P_c(y_j | I_k) = [B_d\{x_i; \alpha(I_k), \beta(I_k)\} \cdot B_c\{y_j; u(x_i), v(x_i)\}]$$

の形に離散化表示できる。

さらに、震度分布 $[f(I_k), k=1, 2, 3, \dots, N]$ が既知ならば

$$\begin{aligned} P_c(y_j) &= \sum_{k=1}^N P_c(y_j | I_k) \cdot f(I_k) \cdot \Delta I \\ &= \sum_{k=1}^N [B_d\{x_i; \alpha(I_k), \beta(I_k)\} \cdot B_c\{y_j; u(x_i), v(x_i)\}] \cdot f(I_k) \cdot \Delta I \end{aligned}$$

となる。

表III-3-3 人間被害算定用行列表 (太田, 2004)

震度 (I)	y = 0.0	y = 0.1	y = 0.2	y = 0.3	y = 0.4	y = 0.5	y = 0.6	y = 0.7	y = 0.8	y = 0.9	y = 1.0
4	0	0.991	0.998	0.999	1	1	1	1	1	1	1
4.1	0	0.988	0.997	0.999	1	1	1	1	1	1	1
4.2	0	0.984	0.996	0.999	1	1	1	1	1	1	1
4.3	0	0.98	0.994	0.998	1	1	1	1	1	1	1
4.4	0	0.974	0.993	0.998	0.999	1	1	1	1	1	1
4.5	0	0.967	0.99	0.997	0.999	1	1	1	1	1	1
4.6	0	0.958	0.987	0.996	0.999	1	1	1	1	1	1
4.7	0	0.947	0.983	0.995	0.999	1	1	1	1	1	1
4.8	0	0.934	0.979	0.993	0.998	0.999	1	1	1	1	1
4.9	0	0.919	0.972	0.991	0.997	0.999	1	1	1	1	1
5	0	0.9	0.964	0.988	0.996	0.999	1	1	1	1	1
5.1	0	0.878	0.954	0.983	0.994	0.998	1	1	1	1	1
5.2	0	0.852	0.942	0.977	0.992	0.998	0.999	1	1	1	1
5.3	0	0.823	0.926	0.97	0.989	0.996	0.999	1	1	1	1
5.4	0	0.789	0.907	0.96	0.984	0.995	0.999	1	1	1	1
5.5	0	0.751	0.884	0.948	0.978	0.992	0.998	1	1	1	1
5.6	0	0.71	0.857	0.932	0.971	0.989	0.996	0.999	1	1	1
5.7	0	0.665	0.825	0.913	0.96	0.984	0.995	0.999	1	1	1
5.8	0	0.618	0.79	0.89	0.947	0.978	0.992	0.998	1	1	1
5.9	0	0.569	0.75	0.863	0.931	0.969	0.989	0.997	0.999	1	1
6	0	0.519	0.708	0.832	0.911	0.959	0.984	0.995	0.999	1	1
6.1	0	0.469	0.662	0.797	0.888	0.945	0.978	0.993	0.999	1	1
6.2	0	0.42	0.615	0.759	0.862	0.93	0.97	0.99	0.998	1	1
6.3	0	0.373	0.586	0.718	0.832	0.911	0.96	0.987	0.997	1	1
6.4	0	0.329	0.517	0.674	0.799	0.89	0.949	0.982	0.996	1	1
6.5	0	0.287	0.47	0.63	0.764	0.866	0.936	0.976	0.995	1	1
6.6	0	0.249	0.423	0.585	0.727	0.84	0.921	0.97	0.993	0.999	1
6.7	0	0.215	0.378	0.539	0.687	0.812	0.904	0.962	0.991	0.999	1
6.8	0	0.182	0.334	0.491	0.644	0.779	0.883	0.952	0.988	0.999	1
6.9	0	0.15	0.286	0.436	0.591	0.735	0.854	0.938	0.983	0.998	1
7	0	0.115	0.23	0.366	0.519	0.674	0.811	0.915	0.975	0.997	1
7.1	0	0.079	0.166	0.283	0.429	0.593	0.753	0.883	0.964	0.996	1
7.2	0	0.047	0.108	0.203	0.34	0.511	0.692	0.849	0.952	0.995	1
7.3	0	0.026	0.066	0.143	0.272	0.448	0.644	0.822	0.942	0.993	1
7.4	0	0.014	0.041	0.108	0.231	0.409	0.615	0.804	0.936	0.993	1
7.5	0	0.007	0.028	0.088	0.208	0.387	0.598	0.795	0.932	0.992	1

○神奈川県(09)では…

非木造建物被害による人的被害に関して、死者数については愛知県（2003）が用いた係数を使って補正。重傷者については東京都（2006）の手法で算出。

k) さいたま市(2009)の手法

○採用自治体：さいたま市(09)

木造建物死者数=木造建物屋内人口×0.0359×木造建物全壊率

非木造建物死者数=非木造建物屋内人口×0.0073×非木造建物全壊率

※負傷者数の想定は塩野・小坂(1989)の手法を用いている。

l) 損害保険料率算出機構(2001)の手法

○採用自治体：島根県(12), 川崎市(13)

損害保険料算出機構による「地震による死傷者数及び負傷に対する治療費用の評価方法」では、震災特別委員会基準と自治体基準それぞれの建物被害と死傷者率の関係を整理している。死者・重傷などの大きな被害には震災特別委員会、軽傷には自治体基準の相関が良いとしており、以下のようにその関係をまとめている。

表III-3-4 建物被害と死傷者率(川崎市、2013)

建物被害x 人的被害y	死者率	死者+入院率	死者+重傷率	死者+重軽傷率
震災特別委員会低層 建物全壊・大破率(N=13)	$y=0.0223x$ (R=0.939)	$y=0.0305x$ (R=0.946)	$y=0.0495x$ (R=0.918)	$y=0.0950x$ (R=0.304)
自治体 罹災証明 (N=42)	全壊率	$y=0.0155x$ (R=0.903)	$y=0.0207x$ (R=0.886)	$y=0.0342x$ (R=0.875)
	全半壊率	$y=0.0070x$ (R=0.798)	$y=0.0094x$ (R=0.789)	$y=0.0158x$ (R=0.789)

※Nは対象としている市区町村数、Rは相関係数

$$\text{死者数} = 0.0223 \times \text{旧耐震大破率} \times \text{旧耐震人口}$$

$$\text{入院者数} = 0.0305 \times \text{全年代大破率} \times \text{全人口} - \text{死者数}$$

$$\text{重傷者数} = 0.0495 \times \text{全年代大破率} \times \text{全人口} - \text{死者数}$$

$$\text{軽傷者数} = (0.0464 - 0.0158) \times \text{全建物全半壊率} \times \text{全人口}$$

② 地震火災による死傷者数

「(1) 死傷者数全体の予測手法」においても地震火災の影響を加味しているものがいくつか見られたが、建物損壊による死傷者と地震火災による死傷者を別々に評価している自治体も多い。

以下に、各自治体で採用されている手法の概略を次の区別別にまとめるとする。

- a) 静岡県(2001)平常時火災に基づく手法
- b) 東京都(1997)の手法
- c) 大阪府(2007)の手法
- d) 山形県(2006)の手法
- e) 中央防災会議(2005)および諸井・武村(2004)の手法

a) 静岡県(2001)平常時火災に基づく手法

○採用自治体：宮城県(04)<負傷者>、栃木県(04)、山梨県(04)、静岡県(01)、愛知県(03)、三重県(06)、奈良県(05)、鳥取県(05)、島根県(12)、徳島県(05)、愛媛県(02)、大分県(13)、札幌市(08)

○中央防災会議 南海トラフ巨大地震モデル検討会等(2013)でも採用

現在の都市構造では、市街地延焼火災に囲まれて焼死するということは極めて起こりにくいと考えられる。そこで、火災による死者は出火元での逃げ遅れによるものと考え、平常時の火災による死者発生状況に基づき予測している。

$$\text{死傷者数} = \text{平常時火災 1 件あたりの死傷者数} \times \text{焼失棟数} \times \text{時刻補正}$$

表III-3-5 各自治体の平常時火災 1 件あたり死傷者数と時刻補正(静岡県、2001)

自治体名	平常時火災 1 件あたりの死傷者数		時刻補正
	死者	負傷者	
栃木県(04)	0.016	0.062(5.3:13.7)	あり
静岡県(01)	0.055	0.21(5.3:13.7)	
愛知県(03)	0.036	重篤者 0.012 重傷者数 0.058 中等傷者数 0.18	
奈良県(05)	0.055	0.21	
鳥取県(05)	0.078	0.22(5.3:13.7)	
島根県(12)	0.051	0.173(5.3:13.7)	
宮城県(04)	—	0.21(5.3:13.7)	なし
山梨県(04)	0.042	0.19(5.3:13.7)	
愛媛県(02)	0.066	0.212(21:40)	
三重県(06)	0.055	0.21	
中央防災会議(03)			
札幌市(08)	0.041	0.26	
大分県(13)	0.067	0.202(5.3:13.7)	
徳島県(05)	0.049	0.147(5.3:13.7)	

(注) 負傷者の()内の数字は重傷と中等傷(または軽傷)の比率を表す

b) 東京都(1997)の手法

○採用自治体：宮城県(04)<死者>, 群馬県(12), 埼玉県(07), 千葉県(08), 東京都(12), 神奈川県(09), 富山県(11), 広島県(07), 山口県(08), 仙台市(02), さいたま市(09), 千葉市(08), 横浜市(12), 川崎市(13), 広島市(08)

火災を出火直後の火災と延焼火災に区分し, それぞれの火災による死傷者数を予測している.

出火直後の火災による死傷者数は, 東京都で発生した過去の建物火災による死傷者発生率をもとに算出している.

$$\text{出火直後の火災による死者数} = 0.078 \times \text{出火件数}$$

$$\text{重傷者数} = 0.238 \times \text{出火件数}$$

$$\text{軽傷者数} = 0.596 \times \text{出火件数}$$

延焼火災による死傷者数は, 過去の大火被害事例をもとに燃え広がりの速さを考慮した単位時間あたりの焼失棟数を用いて予測している.

$$\text{延焼火災による死者数} = 0.8423 \times \text{単位時間あたりの焼失棟数} - 158.96$$

$$\text{重傷者数} = 0.053 \times (0.5206 \times \text{焼失棟数} - 253.37)$$

$$\text{軽傷者数} = 0.137 \times (0.5206 \times \text{焼失棟数} - 253.37)$$

中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」(2005), 中央防災会議「東南海, 南海地震等に関する専門調査会(中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定)」(2008), 中央防災会議「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」(2006)では, 延焼火災による死傷者数算出の際に消失棟数によって場合分けを加えており, 一部の自治体はその式を用いている.

単位時間当たりの焼失棟数<192.7 のとき

(延焼火災による死者数) = $0.0173 \times (\text{単位時間当たりの焼失棟数}) \times (\text{屋内滞留人口比率})$
焼失棟数<650 のとき

$$(\text{延焼火災による重傷者数}) = 0.053 \times 0.1308 \times (\text{焼失棟数}) \times (\text{屋内滞留人口比率})$$

$$(\text{延焼火災による軽傷者数}) = 0.137 \times 0.1308 \times (\text{焼失棟数}) \times (\text{屋内滞留人口比率})$$

c) 大阪府(2007)の手法

○採用自治体：大阪府(07), 堺市(09)

以下の式により火災延焼による死傷者数を予測している.

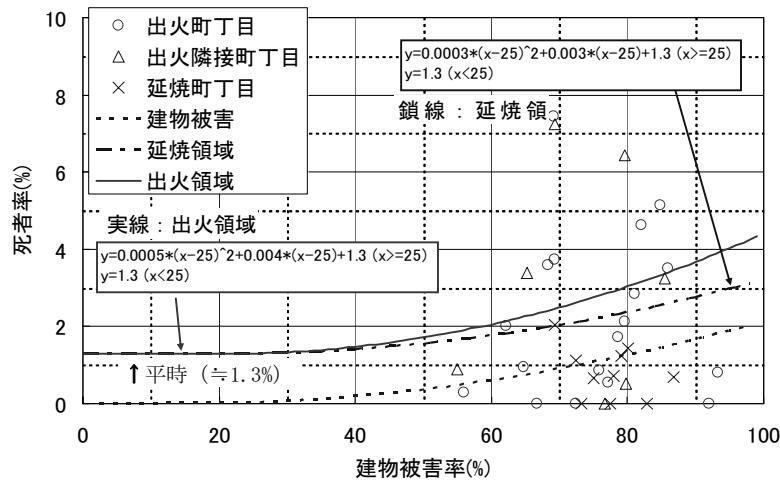
$$\text{死者数} = \text{焼失対象人口} \times (\text{延焼死者率} - \text{建物死者率})$$

$$\text{焼失対象人口} = \text{町丁目屋内人口} \times \text{町丁目焼失棟数} / \text{町丁目建物棟数}$$

$$\text{延焼死者率} = \text{死者数} / \text{焼失対象人口}$$

$$\text{負傷者数} = \text{火災死者数} \times \text{平時の死傷者比率} (\approx 5.4)$$

平時の死傷者比率(負傷者数/死者数)は大阪府域の過去10年間の火災死者・負傷者数から算出



図III-3-8 兵庫県南部地震(1995)における火災町丁目の死者率と設定線(大阪府, 2007)

d) 山形県(2006)の手法

兵庫県南部地震(1995)の事例に基づき、以下の式を用いて算出している。

$$(火災死者数) = 0.14 \times (\text{消失棟数}) \times (\text{人口}) / (\text{夜間人口})$$

e) 中央防災会議(2005)および諸井・武村(2004)の手法

○採用自治体:秋田県(13), 高知県(13), 岡山県(13), 香川県(13)

○中央防災会議 南海トラフ巨大地震モデル検討会等(2013)でも採用

次の3つの火災による死者発生シナリオに基づき想定する。

炎上出火家屋からの逃げ遅れた死者数 = 1 建物出火当たりの死者数 0.046

\times 出火件数 \times (屋内滞留人口比率)

1 建物出火当たりの死者数を、秋田県(13)は 0.046, 高知県(13)は 0.074 としている。

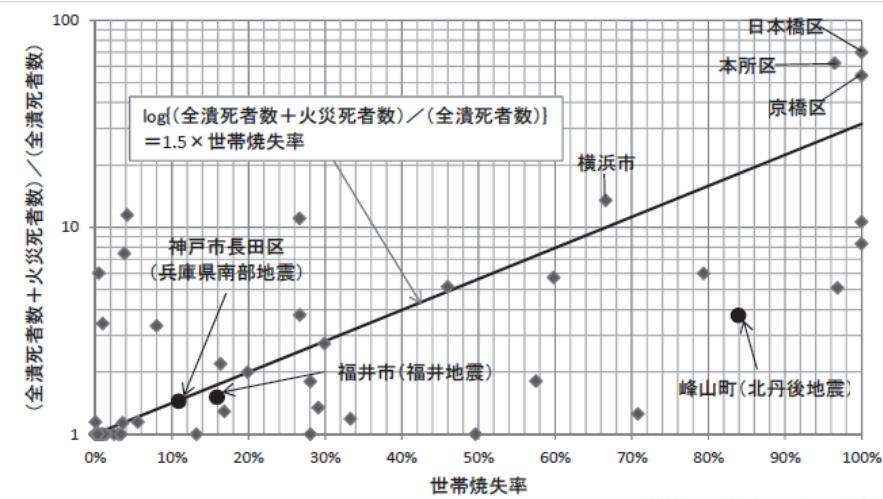
倒壊後に焼失した家屋内の救出困難者

閉込めによる死者数 = (倒壊かつ焼失家屋内の救出困難な人)

\times (1 - 生存救出率 (0.387))

延焼拡大時の逃げまどい 諸井・武村(2004)による関東大震災における「火災による死者の増加傾向」に係る推定式を適用する。

$\log \{(\text{全潰死者数} + \text{火災死者数}) / (\text{全潰死者数})\} = 1.5 \times \text{世帯焼失率}$



図III-3-9 火災による死者の増加傾向（香川県, 2013）

出典：「南海トラフの巨大地震 建物被害・人的被害の被害想定項目およびその手法の概要」
 (中央防災会議, 2013)

③ 津波による死傷者数

日本は四方を海に囲まれており、北海道南西沖地震(1993)や日本海中部地震(1983)をはじめ、有史以来幾度も津波による被害を受けてきた。

以下に、各自治体で採用されている手法の概略を次の区別にまとめる。

- a) 宮野・呂(1992)の手法
- b) 静岡県(2001)の手法
- c) 中央防災会議東海地震対策専門調査会「東海地震に係る被害想定」(2001)の手法・中央防災会議東南海、南海地震等に関する専門調査会「東南海・南海地震に係る被害想定」(2003)の手法
- d) 中央防災会議「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」(2006)の手法
- e) 中央防災会議 南海トラフ巨大地震モデル検討会等(2013)の手法
- f) 河田ら(1996)の手法

a) 宮野・呂(1992)の手法

○採用自治体：青森県(97)、新潟県(98)、宮崎県(07)

東南海地震(1944)の被害から、津波による死傷者数と建物被害棟数（全壊+流出）の関係式を導いている。

$$\text{死者数} = 0.072 \times (\text{全壊} + \text{流出})^{1.018}$$

$$\text{重傷者数} = 1.074 \times 10^{-4} \times (\text{全壊} + \text{流出})^{1.961}$$

$$\text{中等傷者数} = 4.510 \times 10^{-4} \times (\text{全壊} + \text{流出})^{1.961}$$

○青森県(97)、新潟県(98)では…

現在の建物強度の向上を考慮し、（全壊+流出）を（大破+1/2中破）と読み替えている。

b) 静岡県(2001)の手法

○採用自治体：岩手県(04), 千葉県(08), 静岡県(01), 愛知県(03), 鳥取県(05), 愛媛県(02) <死者>, 徳島県(05)

北海道南西沖地震(1993)の被害データを用いて、以下のように設定している。

【基本式】 死者数 = $0.0424 \times \exp\{0.1763 \times (\text{津波による大破+1/2 中破棟数率} [\%])\} / 100 \times \text{人口}$

* ただし、死者率は北海道南西沖地震(1993)の最大である 4.5% を上限値とした

重傷者数 = $0.0340 \times (\text{津波による大破+1/2 中破棟数率} [\%]) / 100 \times \text{人口}$

中等傷者数 = $0.0822 \times (\text{津波による大破+1/2 中破棟数率} [\%]) / 100 \times \text{人口}$

■時間補正

基本式は午後 10 時に発生した北海道南西沖地震(1993)のデータに基づく式のため、かなりの人が起きていたと考えられる。そこで、時間帯の補正のため、午前 5 時に発生した場合は死者数が基本式よりも 10%多いと仮定している。

■避難に関する普及啓発効果、津波到達時間差

死者数 = 基本式 × [(5-1) × 60 × 北海道南西沖地震時の早期避難率(54%)]

／ [(津波到達時間[分]-1) × 60 × 静岡県での早期避難意識率(54%)]

■避難ビルの効果

死者数 = 基本式 × (1-対策実施率)

対策実施率 = 避難ビル収容可能人数 / (中破以上被害棟数 × 1 棟あたり人員)

■警戒宣言が発令された場合

警戒宣言が発令された場合として、警戒宣言時の避難程度を考慮し、上式で得られた値に以下の係数を乗じている。

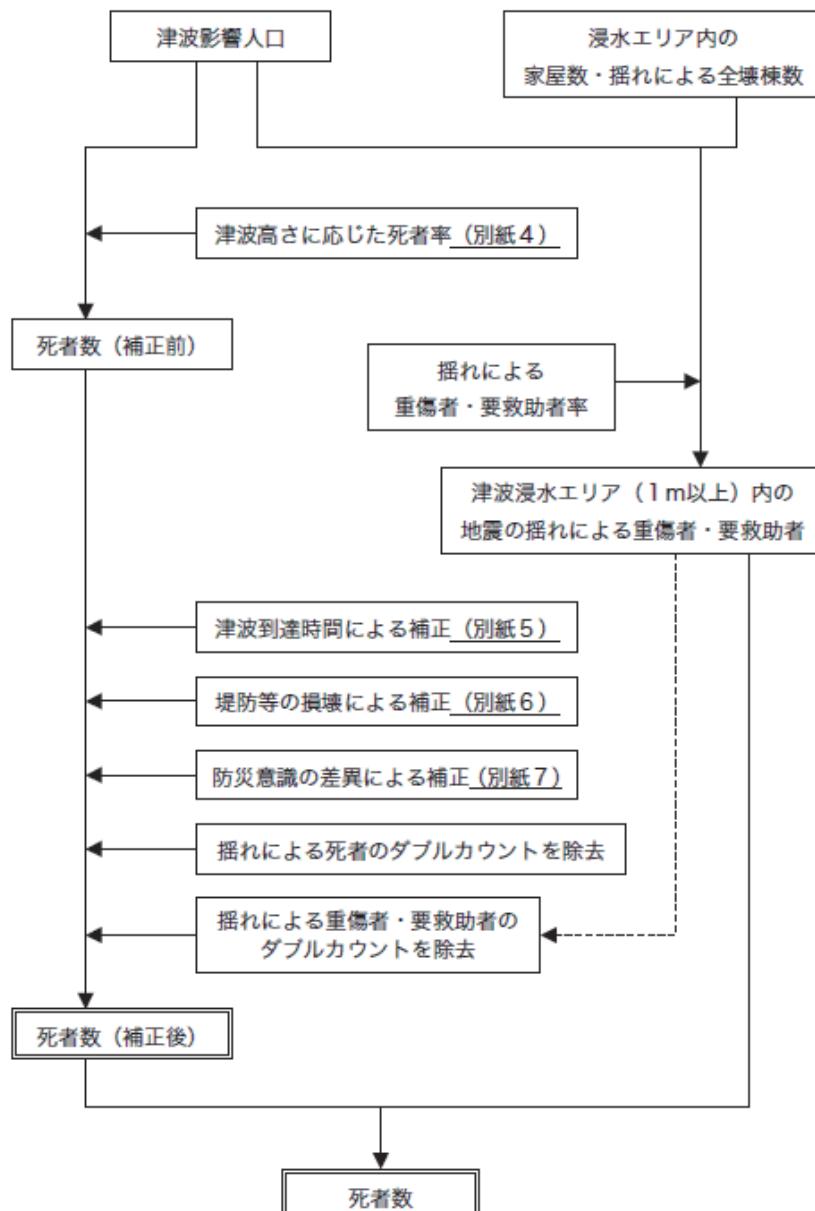
危険地指定率 × [1-警戒宣言時対応係数 A (85%)]

+ (1-危険地指定率) × [1-警戒宣言時対応係数 B (73%)]

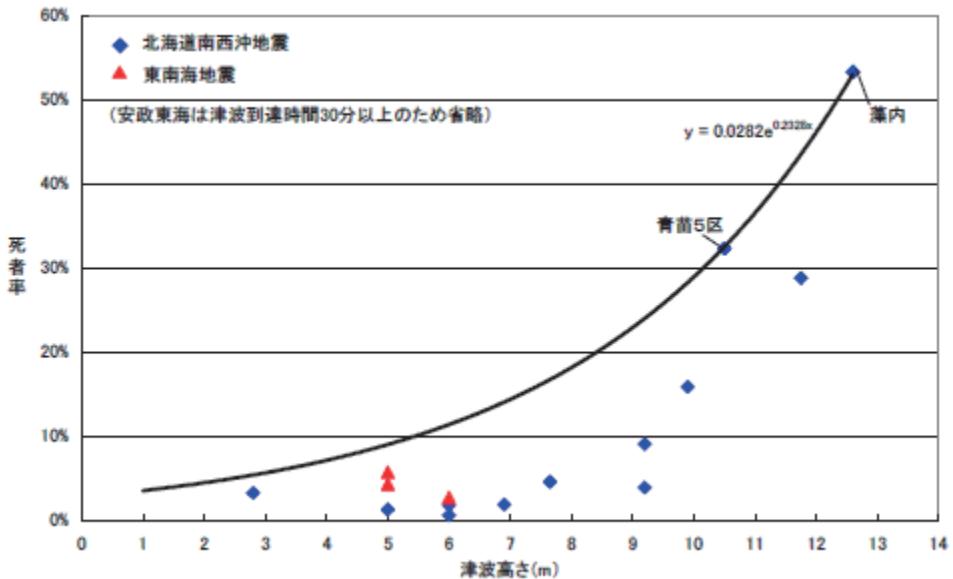
c) 中央防災会議 東海地震対策専門調査会「東海地震に係る被害想定」(2001)の手法・中央防災会議 東南海、南海地震等に関する専門調査会 「東南海・南海地震に係る被害想定」(2003)の手法

○採用自治体：神奈川県(09), 三重県(06), 島根県(12), 広島県(07), 山口県(08), 福岡県(12), 熊本県(13), 川崎市(13), 広島市(08)

以下は中央防災会議東海地震対策専門調査会「東海地震に係る被害想定」(2001)の資料による。水深が 1m以上となるエリア内の滞留人口を「津波影響人口」とし、過去の津波被害のデータから得た津波高さと死傷者の関係式データを用いて、津波到達時間・堤防等の損壊・防災意識の差異による補正津波による死者数を求めている。



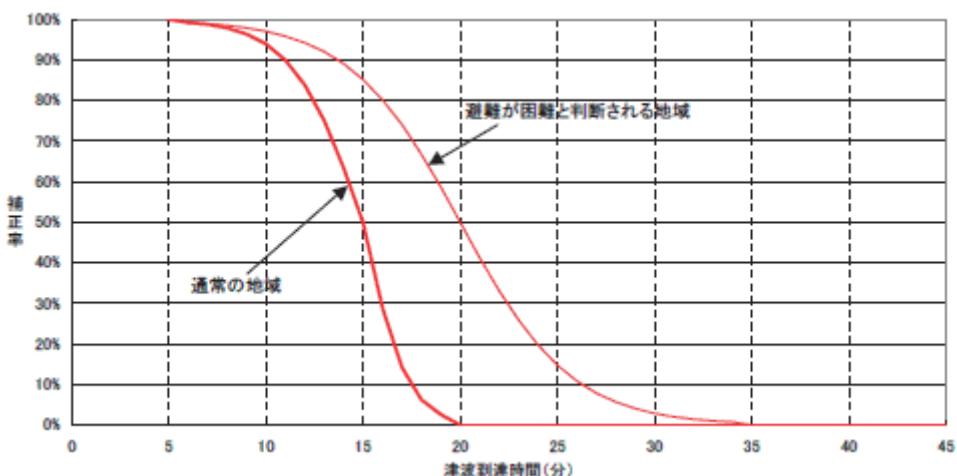
図III-3-10 津波による死者数の算出フロー(中央防災会議, 2003)



図III-3-11 津波高さに応じた死者率(中央防災会議, 2003)

上記の手法によって算出した死者数は、地震後すぐに津波が到達する場合を想定しているが、実際は津波到達時間が遅くなるほど、避難場所への避難が可能となる人数が多くなるため、津波到達時間による補正率を設定した。また、避難意識が低い場合の避難時間の補正率も設定した。

ゆれを感じ、避難行動に移るまでの時間を 5 分と仮定し、一般的な一次避難所までの所要時間を勘案し、避難が完了するまでに要する時間を 15 分程度と仮定する。ただし、震度が 6 弱以上であり、道路が閉塞したり周囲の地形により通常よりも避難が困難で時間を要すると判断される地域については、避難開始から避難完了までに 30 分程度を要するものと仮定する。なお、昼及び夕方については、これより早く避難行動を開始できると考えられるが、条件の厳しい早朝の場合に条件を合わせるものとした。（北海道南西沖地震(1993)では、5 分でも相当数の人が逃げている）地震後すぐに避難を完了できる人は少ないと想定し、最初は津波到達時間が長くなるにつれて徐々に減少の度合が大きく（上に凸）なり、最後はゼロに漸近（下に凸）するような曲線を仮定する。



図III-3-12 津波到達時間と補正率の関係(中央防災会議, 2003)

なお、ゆれによる被害のため、道路が閉塞され、津波避難時の逃げ遅れが発生する場合がある。北海道南西沖地震は、地震発生後 5 分で津波が到達したケースであるため、人々が避難行動を行うことが可能であったが、これより津波到達時間が短い場合、全く避難行動をとれないまま津波に襲われる事が考えられる。奥尻町での未避難率が 28. 9%（後述）であることから、ここでは、地震と同時に津波が襲った場合（津波到達時間 0 分）は、未避難率が 28. 9%から 100%に上がるものと仮定し、 $100/28.9 = 3.46$ 倍の被害が発生するものとした。（津波到達時間が途中の 1~4 分の場合は線形に補完）

震度 6 弱以上の地域では、堤防に亀裂が発生したり、水門の機能支障が発生するなど、海岸構造物が十分な機能を発揮しない場合も考えられる。これを踏まえ、震度 6 強以上のエリアでは 1/2、震度 6 弱のエリアでは 1/3 の割合で水門等の機能支障や堤防等が損壊すると仮定し、その割合分は海岸構造物の効果がないものとして、被害の補正を行った。

d) 中央防災会議「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」(2006)の手法

○採用自治体：北海道(10), 福島県(07), 富山県(12)

以下は、中央防災会議「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」(2006)の資料による。

避難しない人、避難しようとする人を計算した上で、中央防災会議 東海地震対策専門調査会「東海地震に係る被害想定」(2001)の手法・中央防災会議 東南海、南海地震等に関する専門調査会「東南海・南海地震に係る被害想定」(2003)で用いられた浸水別死者率を掛け合わせ求めている。

$$\text{避難しない人の死者数} = \text{津波影響人口} \times \text{浸水深別死者率}$$

$$\text{避難しようとする人の死者数} = \text{津波影響人口} \times \text{避難未完了率} \times \text{浸水深別死者率}$$

1) 避難行動の違い

津波影響人口を避難意識の高さで以下のように分類する。

A 地震直後に避難しようとする人

-避難意識が低い場合（日本海中部地震(1983)と同等のケース）の想定では 20%, 避難意識が高い場合（北海道南西沖地震(1993)と同等のケース）の想定では 70%とする。

B 津波警報を入手した時に避難しようとする人

C 何があっても避難行動をとらない人

-ゆれで早期避難しない人（A 以外の人）は、避難意識が低い場合の想定では 80%, 避難意識が高い場合の想定では 30%であるが、そのうち、津波警報が出された場合でも逃げない人（逃げられない人）を全く避難しない人（C）とする。

- ここで、十勝沖地震(2003)・紀伊半島南東沖地震(2004)で、避難しなかった人に対してその理由を聞いたアンケート調査（下記）から、津波警報が出された場合でも逃げない人（逃げられない人）（C）の、地震直後に避難しようしない人（A 以外の人）に対する割合を下記 I（約 25%），II（約 42%）のように仮定。

- しかし、意識が高まれば、この割合は 6%程度（III）のみになると仮定。

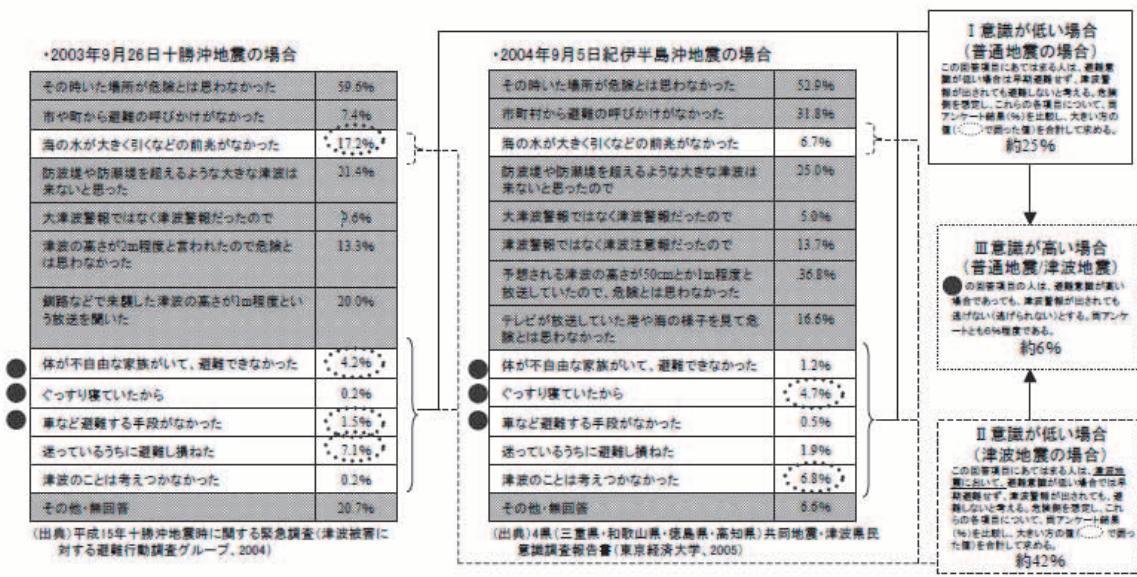


図 III-3-13 避難意識の違いによる分類(中央防災会議, 2006)

地震のタイプと住民の避難意識の高さの違う4ケースについて、下記のように3パターンの避難行動の割合を設定する。

表 III-3-6 避難意識の高さの違いによる避難行動の割合(中央防災会議, 2006)

		普通の地震の場合		津波地震の場合	
意識の高さ		低い場合 (1983年日本海中部地震時程度)	高い場合 (1993年北海道南西沖地震時程度)	低い場合	高い場合
避難しようとする人	A地震直後に避難しようとする人	20%	70%	5%	15%
	B津波警報入手した時に避難しようとする人	60%	28%	55%	80%
	C全く避難しない人	20% (※)	2%	40%	5%

(※)例えば、地震直後に避難しようしない人は $100 - 20 = 80\%$ で、そのうち 25% 程度が全く避難しない人なので $80 \times 0.25 = 20\%$ となる。残りの $100 - 20 - 20 = 60\%$ は、津波警報入手した時に避難しようとする人と考える。

2) 津波警報の入手可否

過去の事例から、津波警報または注意報入手できる人の割合を80%，入手できない人の割合を20%とする。

表 III-3-7 避難警報を聞いた人の割合(中央防災会議, 2006)

	1983年日本海中部地震	2003年十勝沖地震	2003年紀伊半島南東沖地震
聞いた人	87.8%	87.9%	80.8%
聞かなかった人	12.2%	12.1%	19.2%

(注)その他・無回答を除く

(出典)昭和58年日本海中部地震調査報告書(消防庁 1983)

4県(三重県・和歌山県・徳島県・高知県)共同地震・津波県民意識民意調査報告書(東京経済大学 2004)

2003年十勝地震時における津波危険区住民の避難行動実態(東京経済大学 2004)

- ・「B 津波警報を入手した時に避難しようとする人」の避難行動を、津波警報の入手の可否により、さらに分類する。
- ・1)・2)より、避難意識と津波警報の入手可否を組み合わせて、地震のタイプと住民の避難意識の高さの違う以下の4ケースについて、それぞれ4パターンの避難行動の割合を設定し、これをもとに津波影響人口を分類する。

表III-3-8 潜在意識と津波警報の入手可否別の避難行動の割合(中央防災会議, 2006)

		普通の地震の場合		津波地震の場合	
意識の高さ		低い場合 (1983年日本海中部地震時程度)	高い場合 (1993年北海道南西沖地震時程度)	低い場合	高い場合
避難しようとする人	A地震直後に避難しようとする人	20%	70%	5%	15%
	B津波警報を入手した時に避難しようとする人	48%	28%	44%	80%
避難しない人	B'津波警報を入手できない人	12% (※)	0%	11%	0%
	全く避難しない人	20%	2%	40%	5%

(※)例えば、津波警報を聞いて避難する人は全体の60%であるが、そのうち20%程度が津波警報を入手できないと考え、 $60 \times 0.20 = 12$ より全体の12%となる。この人を避難しない人に含めて考える。

3) 避難未完了率

○避難開始時刻

1), 2)の分類に基づき、避難する人は、普通の地震の場合は5分後(a・b・c・d)、津波地震の場合は15分後(e・f)に避難開始とする。

○避難完了に要する時間

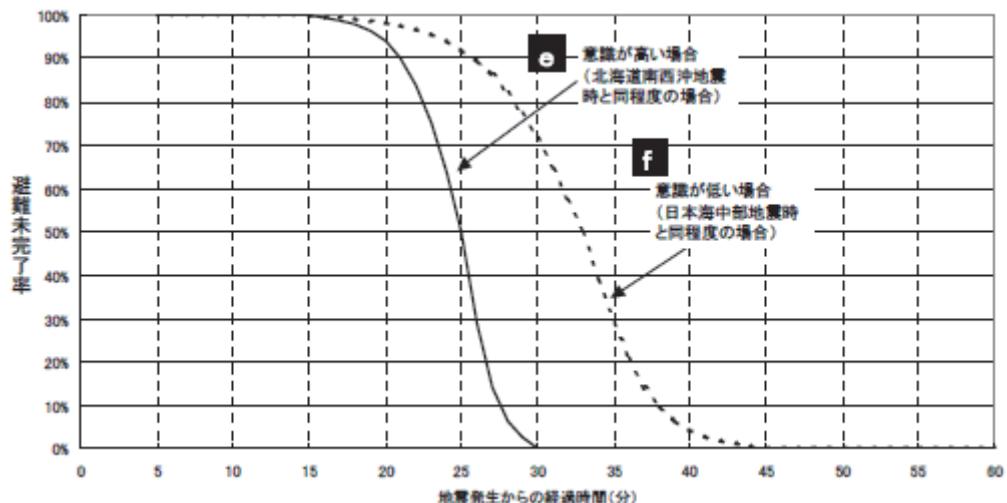
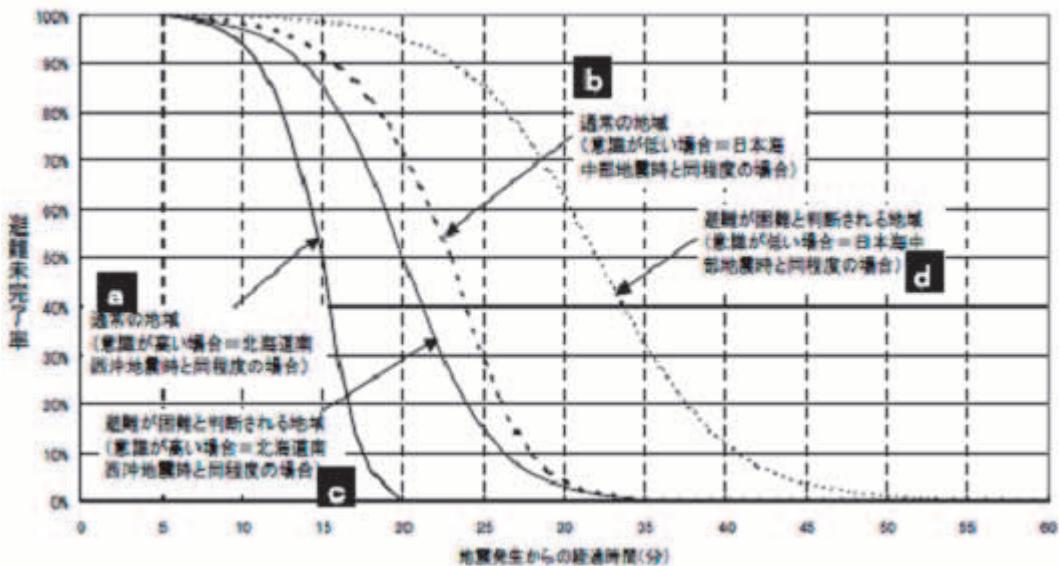
通常の地域では、避難開始後15分で該当メッシュ内の全員が避難完了(a・e)とするが、意識が低い場合は該当メッシュ内全員の避難が完了する時間も長くなると考え、避難開始後30分で避難完了(b・f)とする。

地震動が強いところ(震度6弱以上)は、瓦礫の散乱等により避難困難なことが予想されるため、避難に要する時間が長くなると考える(倍程度になるとする)(c・d)。

また冬期は、地域によっては路面凍結の影響により、避難に要する時間が長くなると考える(意識の高い場合は倍程度になるとする)。

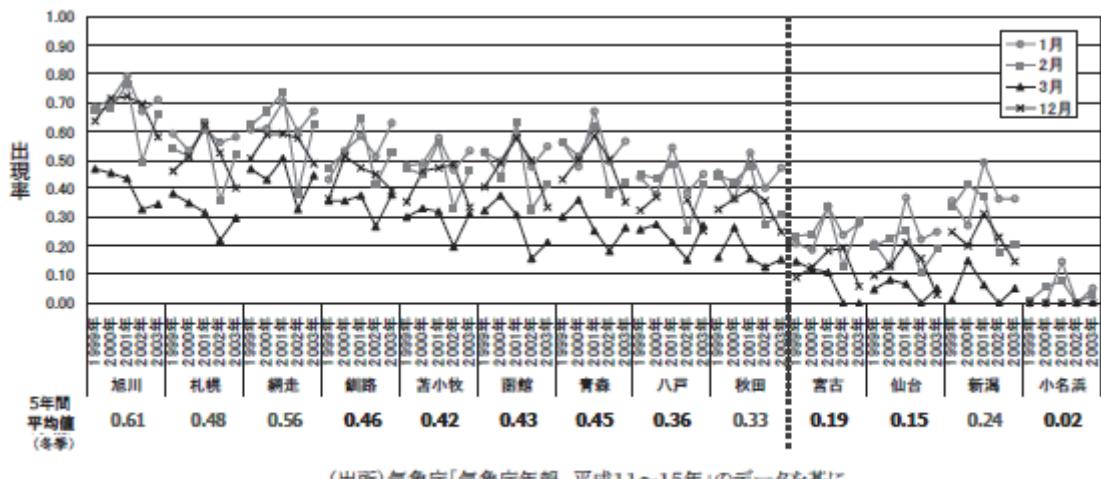
(冬期の路面凍結が考えられる地域は、a・b→b, c・d→d, e・f→f)

以上より、避難開始時刻の違いと避難所要時間の違いを考慮した、地震発生からの経過時間ごとの各メッシュにおける避難未完了率を、普通地震の場合と津波地震の場合それぞれについて、次ページのように設定する。



<参考>冬期における圧雪・凍結路面の出現率

- 北海道、青森県では、冬期の圧雪・凍結路面の出現率が3割を超える。これらの地域では、冬期シーンにおいて圧雪・凍結の影響により避難に要する時間が長くなると想定する。



(出所) 気象庁「気象庁年報 平成11~15年」のデータを基に、
北海道開発土木研究所が作成した圧雪・凍結路面の出現率の算定式を用いて算出

図III-3-16 冬期における圧雪・凍結路面の出現率(中央防災会議, 2006)

4) 浸水別死者率

浸水別死者率は、中央防災会議 東海地震対策専門調査会「東海地震に係る被害想定」(2001) の手法・中央防災会議 東南海、南海地震等に関する専門調査会 「東南海・南海地震に係る被害想定」(2003) が用いている死者率カーブを用いている。

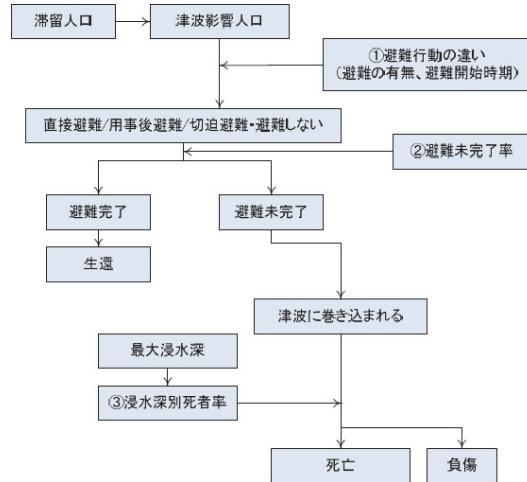
ある地点における津波到達時間での避難未完了率より求められる避難未完了の人、および避難しない人に対しては、その場所（浸水深 30cm の波が到達した時点）における最大浸水深から決まる死者率を乗じて死者数を算出している。

e) 中央防災会議 南海トラフ巨大地震モデル検討会等（2013）の手法

○採用自治体：秋田県(13), 岡山県(13), 香川県(13), 高知県(13), 大分県(13), 横浜市(12)

津波浸水域において津波が到達する時間（浸水深 30cm 以上）までに避難が完了できなかつた者を津波に巻き込まれたものとし、そこでの浸水深をもとに死亡か負傷かを判定する。

1) 避難行動（避難の有無、避難開始時期），2) 津波到達時間までの避難完了可否，3) 津波に巻き込まれた場合の死者発生度合の 3 つに分けて設定。



図III-3-17 津波による死傷者数の想定手順(高知県 2013)

1) 避難行動の違い（避難の有無、避難開始時期）

東日本大震災の被災地域での調査結果（「津波避難等に関する調査結果」（内閣府・消防庁・気象庁））及び過去の津波被害（北海道南西沖地震、日本海中部地震）の避難の状況を踏まえ、次表のような 4 つの避難パターンを設定する。

表III-3-9 避難の有無、避難開始時期の設定（中央防災会議、2013）

	避難行動別の比率		
	避難する		切迫避難あるいは 避難しない
	すぐに避難する (直接避難)	避難するがすぐに は避難しない (用事後避難)	
全員が発災後すぐに避難を開始した場合 (避難開始迅速化)	100%	0%	0%
早期避難者比率が高く、さらに津波情報の伝達や避難の呼びかけが効果的に行われた場合 (早期避難率高+呼びかけ)	70% (※1)	30% (※2)	0% (※3)
早期避難者比率が高い場合 (早期避難率高)	70% (※1)	20% (※2)	10% (※4)
早期避難者比率が低い場合 (早期避難率低)	20% (※5)	50% (※2)	30% (※6)

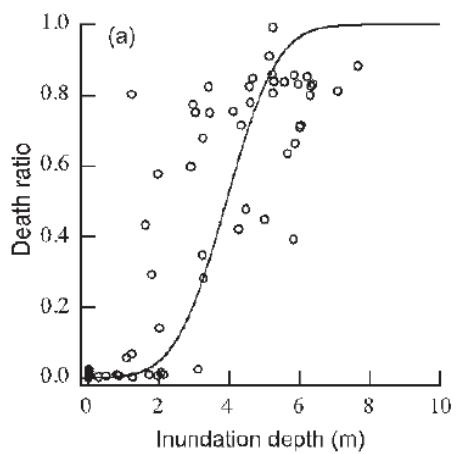
※1:すぐに避難した人の割合が最も高い市で約67%であった。また、従来の被害想定では北海道南西沖地震の事例から意図の高いケースとして70%としている。これらを踏まえて、従来想定どおりの70%と設定
 ※2:全体から「すぐに避難する」+「切迫避難あるいは避難しない」の割合を引いた数値として設定
 ※3:津波情報や避難の呼びかけを見聞きしている中でそれをもって避難のきっかけとなった場合、切迫避難の割合が一番低い市で0%である。また、従来の被害想定では意図が高い場合に2%としている。
 ※4:従来の被害想定では意図が高い場合に避難しない人の割合を2%としているが、東日本大震災では意図の高い地域でも6.5%の人が避難しなかった(死者含む)ことを踏まえて設定。
 ※5:すぐに避難した人の割合が最も低い市で約35%であった。また、従来の被害想定では日本海中部地震の事例から意図の低いケースとして20%としている。この市は避難意図の高い地域と考えられるが、それでも予想を超えて津波浸水の被害を受けた地区が多いこと等もあり、早期避難率は低い。他の地域は相対的に意図の低い地域が多いと考えられることから、以上を踏まえて、従来想定どおりの20%と設定
 ※6:切迫避難(死者含む)の割合が高い市で25%～約27%であった。また、従来の被害想定では意団が低い場合に32%としている。これらを踏まえて30%と設定

2) 避難未完了率

発災時の所在地から安全な場所まで避難完了できない人の割合、避難未完了率を定義して算出する。

3) 浸水深別死者率

津波に巻き込まれた際の死者率については、図III-3-18 の死者率を適用する。なお、生存した人も全員が負傷するものと仮定する。負傷者における重傷者と軽傷者の割合については、北海道南西沖地震における奥尻町の人的被害の事例を参考にし、重傷者数：軽傷者数=34：66とする。

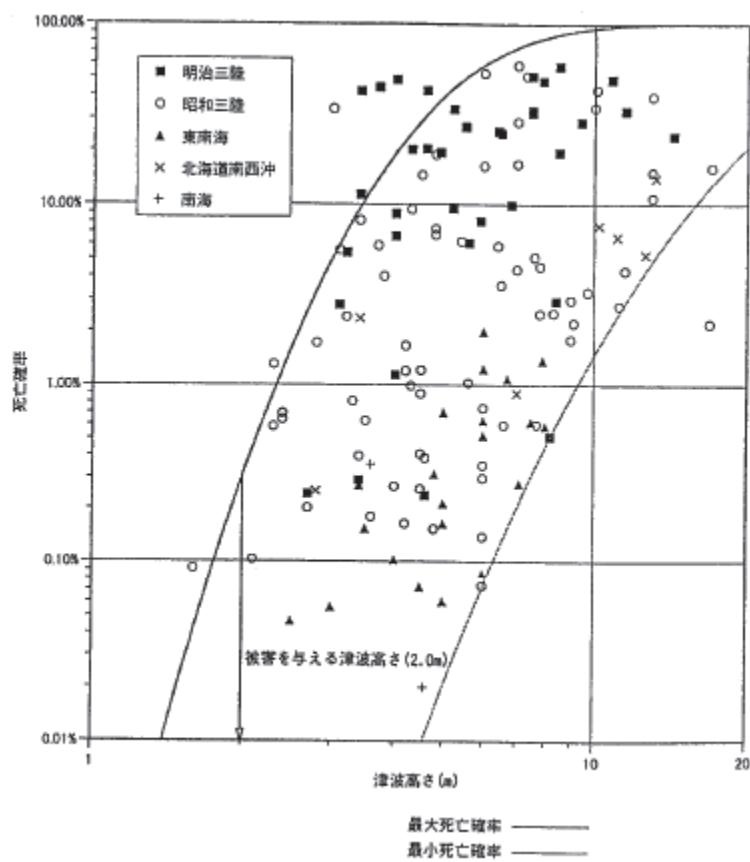


図III-3-18 越村ら(2009)による人的被害関数

f) 河田ら(1996)の手法

○採用自治体：佐賀県(10)

人命損失と津波高の関係を、以下のように求めている。



図III-3-19 津波高さと死亡者数率の関係(佐賀県, 2010)

④ 斜面崩壊による死傷者数

長野県西部地震(1984)や北海道南西沖地震(1993), 兵庫県南部地震(1995)など, 過去の多くの地震で斜面崩壊が発生し, それに伴う死傷者が発生してきた.

以下に, 各自治体で採用されている手法の概略を次の区別にまとめる.

- a) 東京都防災会議(1991)の手法
- b) 東京都(1997)の手法
- c) 静岡県(2001)の手法
- d) 福岡県(2006)の手法

a) 東京都防災会議(1991)の手法

○採用自治体 : 秋田県(13), 群馬県(12), 埼玉県(07), 千葉県(08), 東京都(12), 富山県(11), 岐阜県(12), 三重県(06), 奈良県(05), 島根県(12), 岡山県(13), 広島県(07), 山口県(08), 徳島県(05), 香川県(13), 高知県(13), 熊本県(13), 千葉市(08), 横浜市(12), 川崎市(13), 広島市(08)

※中央防災会議 南海トラフ巨大地震モデル検討会等 (2013) でも採用

1967年から1981年までの崖崩れに対し, 崖崩れによる被害棟数と死者数の比および負傷者数と死者数の比を求めることにより, 崖崩れによる死傷者数を予測している. ここで対象となった崖崩れには地震によるものほか, 降雨によるものも含まれている.

$$\text{崖崩れによる死者数} = 0.098 \times \text{被害棟数}$$

$$\text{崖崩れによる負傷者数} = 1.25 \times \text{崖崩れによる死者数}$$

なお, 重傷と軽傷は50%ずつ発生するものとしている.

※川崎市(13)では夜間人口を基に時間帯により補正をかけている.

b) 東京都(1997)の手法

○採用自治体 : 鳥取県(05), 愛媛県(02), 大分県(13)

伊豆大島近海地震(1978)での崖崩れによる建物被害での人的被害発生率から予測している.

$$\text{崖崩れによる死者数} = 0.087 \times \text{被災戸数} \times (\text{木造建物1棟あたり存在者数}/3.51)$$

$$\text{崖崩れによる重傷者数} = 0.148 \times \text{被災戸数} \times (\text{木造建物1棟あたり存在者数}/3.51)$$

$$\text{崖崩れによる軽傷者数} = 0.474 \times \text{被災戸数} \times (\text{木造建物1棟あたり存在者数}/3.51)$$

ただし, 3.51: 東伊豆町・河津町における1世帯あたり人員

※大分県(13)では, 負傷者数は静岡県(2001)における数値を採用している.

c) 静岡県(2001)の手法

○採用自治体 : 山梨県(04), 静岡県(01), 愛知県(03), 札幌市(08)

伊豆大島近海地震(1978)での東伊豆町・河津町における崖崩れによる建物被害での人的被害発生率から予測している. 中等傷者数と重傷者数の比については, 望月ら(1982)による新潟地震(1964), 十勝沖地震(1968)の調査結果に基づき設定している.

$$\text{崖崩れによる死者数} = 0.181 \times \text{大破棟数} \times (1\text{世帯あたり人員}/3.51)$$

$$\text{崖崩れによる重傷者数} = 0.306 \times \text{大破棟数} \times (1\text{世帯あたり人員}/3.51)$$

$$\text{崖崩れによる中等傷者数} = 2.4 \times \text{重傷者数} \times (1\text{世帯あたり人員}/3.51)$$

ただし、 3.51：東伊豆町・河津町における 1 世帯あたり人員

なお、警戒宣言が発令された場合として、警戒宣言時の避難程度を考慮し、上式で得られた値に以下の係数を乗じている。

$$\begin{aligned} & \text{危険地指定率} \times [1 - \text{警戒宣言時対応係数 A (85\%)}] \\ & + (1 - \text{危険地指定率}) \times [1 - \text{警戒宣言時対応係数 B (73\%)}] \end{aligned}$$

d) 福岡県(2006)の手法

○採用自治体：福岡県（12）

被災建物における在宅者が全て死傷するとして、以下の式によって求めている。

崖崩れによる死者数 = 被災建物棟数 × 一棟あたり人口 × 在宅率 × 死者率
在宅率は NHK 放送文化研究所(1996)より 42%とし、死者率を 80%としている。

⑤ 鉄道災害による死傷者数

通勤時間帯などに地震が発生した場合は、鉄道で多くの死傷者が発生することが懸念される。

以下に、各自治体で採用されている手法の概略を次の区別別にまとめるとする。

- a) 東京都(2006)の手法
- b) 大阪府(1997)の手法
- c) 河田ら(1996)・東京都(1997)の手法

a) 東京都(2006)の手法

○採用自治体：大阪府(07)

東京都(2006)では、駅間滞留人口に兵庫県南部地震(1995)時の脱線事故発生率及び過去の列車事故時の死傷率を乗じて、死傷者数を算出している。

表III-3-10 列車脱線率(東京都, 2006)

震度	阪神・淡路大震災時の実態		脱線率
	運行列車本数	脱線数	
7	14	13	92.9%
6強	13	3	23.1%
6弱	65	0	0%

出所：地震発生時における人命危険要因の解明と対策（平成11年、火災予防審議会・東京消防庁）

この表をもとに、以下の考え方で鉄道の被害本数を求めていく。

1) 新幹線

新幹線の死傷者発生予測については、ドイツの ICE (高速列車 InterCityExpress の略称) 脱線事故事例※と同様の事故が発生した場合を想定する。

※ ICE 脱線事故：1998年6月3日にドイツ・ニューザクセン州エシェデ村で起きた列車脱線事故。ドイツ鉄道のICEが時速200kmで走行中、陸橋手前約6kmで先頭から2両目、1号客車車輪の1つの外輪が車輪からはずれ、脱線転覆、一部が道路橋脚に激突し、死者は101名、負傷者は200名に達した。二重構造の車輪の外輪が金属疲労で破損したことが直接の原因であった。ただし、この事例はトップスピード(250km/h)で走行中の場合の想定であり、震度6強エリアの地域では200km/h未満となる今回の想定にはそのまま適用できない。そこで、ドイツのICE脱線事故事例の死傷率と、在来線の場合の死傷率との中间値を用いるものとした。

2) JR在来線、私鉄、地下鉄

JR在来線、私鉄、地下鉄の死傷率は下表のとおりである。

表III-3-11 死傷率(東京都, 2006)

列車種別	死者率	負傷者率 (重傷者含む)	重傷者率
在来線、私鉄 ※1	0.47%	11.5%	1.9%
地下鉄 ※2	0.23%	5.8%	0.94%
新幹線 ※3	17%	39%	14%

※1 大阪府地震被害想定調査」(平成9年)に基づき、危険側と安全側のそれぞれの死傷率の中間値(12%)を採用。また、死傷者に占める死者の割合は、国土交通省鉄道局による過去15年間の列車脱線事故・列車衝突事故の実績(踏切事故における自動車側の死傷者を除く)にJR福知山線脱線事故(平成17年)の被害結果((出典)<http://www.mlit.go.jp/fukuchiyama/index.html>)を加算し、(53+107)/(3,468+656)=160/4,124(=3.9%)とした。

※2 在来線列車の半分の死傷率を仮定

※3 静岡県第3次被害想定調査(平成13年)によるドイツICE脱線事故事例に新潟中越地震における新幹線脱線事故事例を加味して、在来線列車の死傷率との中間値を採用

b) 大阪府(1997)の手法

○採用自治体：兵庫県(99)

まず、駅ごとに鉄道滞留人口を推計する。

$$\begin{aligned} \text{駅間滞留人口} &= \text{各時間帯の駅間断面交通量(人/時)} \times \text{駅間移動時間(時)} \\ \text{ピーク時間帯交通量} &= \text{1日断面交通量} \times \text{ピーク率} \times \text{ピーク時間帯幅補正係数} \\ \text{夕刻の交通量} &= \text{1日断面交通量} \times \text{夕刻時間集中率} \end{aligned}$$

* 断面交通量とピーク率は、大都市交通センサスによる。

兵庫県南部地震(1995)での被災データおよび通常時の鉄道事故による死者発生率(古市ら, 1996)に基づき、死傷者数を推計する。

- ・兵庫県南部地震(1995)による被害率=50%(400gal以上), 9%(400-250gal)
- ・通常時の鉄道事故(衝突、脱線、転覆など)による死者発生率
ラッシュ時…死傷率=4~20% 死亡率=0.4~2%
平均乗車時…死傷率=5~35% 死亡率=0.5~3.5%

(仮定)

- ・事故発生危険率は兵庫県南部地震(1995)の5割増し
- ・地下鉄は地表震度を1ランク低減して評価

c) 河田ら(1996)・東京都(1997)の手法

○採用自治体：東京都(12), さいたま市(09)

東京都(1997)では、兵庫県南部地震(1995)における鉄道被害をもとに人的被害の予測をしている河田・林・古市(1996)などの研究を参考に、鉄道被害による人的被害を想定している。

鉄道被害の発生率（＝鉄道被害数／運行列車数）は、兵庫県南部地震(1995)の被害事例から、下表のように設定している。

表III-3-12 震度別鉄道被害率(東京都, 1997)

震 度	7	6 強	6 弱以下
鉄道被害発生率	92.9%	23.1%	0%

この表をもとに、次式を用いて鉄道の被害本数を求めている。

$$\text{区市町村別列車被害本数} = \text{区市町村別総列車本数} \times \text{震度} i \text{域における鉄道脱線発生率} \\ \times \text{震度} i \text{域の面積} / \text{区市町村総面積}$$

人的被害は、東京都の対象地域を複数のブロックに分割し、同一ブロック内で運行する列車の乗客数は同じであるとの仮定のもとに、加速度の面積比率と列車の本数から予測する。

$$\text{死者数} = [\text{列車被害本数(上り)} \times 1 \text{本あたり乗客数(上り)} \\ + \text{列車被害本数(下り)} \times 1 \text{本あたり乗客数(下り)}] \times \text{死亡率}(0.084\%)$$

$$\text{負傷者数} = [\text{列車被害本数(上り)} \times 1 \text{本あたり乗客数(上り)} \\ + \text{列車被害本数(下り)} \times 1 \text{本あたり乗客数(下り)}] \times \text{負傷率}(5.209\%)$$

- ・死亡率は1979年3月～1995年1月までの列車重大事故のデータから設定
- ・負傷率は兵庫県南部地震(1995)から設定
- ・重傷者数と軽傷者数の割合は、兵庫県南部地震(1995)から1:4として配分

⑥ 道路災害による死傷者数

以下に、各自治体で採用されている手法の概略を次の区別別にまとめる。

- a) 静岡県(2001)の手法
- b) 大阪府(1997)の手法<高速道路>
- c) 中央防災会議 首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」(2005)の手法

a) 静岡県(2001)の手法

○採用自治体：静岡県(01)

静岡県(2001)では、地震時の道路上の自動車への落石・崩土による死傷者数を予測している。

静岡県内では伊豆大島近海地震(1978)で被害が発生しており、そこでの死者数と危険地走行台キロとの関係や、負傷者と死者の比、重傷者数と中等傷者数の比などから基本式を作成した。

$$\text{死者数} = 5.2 \times 10^{-4} \times \text{走行台キロ}$$

$$\text{重傷者数} = 0.2625 \times \text{死者数}$$

$$\text{中等傷者数} = 0.4375 \times \text{死者数}$$

なお、地震動の大きさによる被害の違いを考慮するため、上の基本式に補正係数（市町村別崩壊確率(%)／18%）を掛けている。また、警戒宣言が発令された後に地震が発生した場合は、死傷者は発生しないとしている。

b) 大阪府(1997)の手法<高速道路>

○採用自治体：兵庫県(99), さいたま市(09)

まず、高速道路の滞留人口を出入り区間毎に推定する。

$$\text{区間滞留人口} = \text{各時間帯の区間交通量(台/時)} \times \text{乗車率(人/台)} \times \text{区間通過時間(時)}$$

乗車率は、乗用車・トラック等=1.5(人/台), バス等=30(人/台), 二輪車=1(人/台)と仮定している。

兵庫県南部地震(1995)による阪神高速3号神戸線の被災データに基づき、死傷者数を推計する。

$$\text{死傷者数} = \text{滞留人口} \times \text{事故発生危険率} \times \text{死傷者発生率}$$

被害の発生は震度6弱から7の地域とし、震度6弱の地域は事故発生危険率を震度6強以上の地域の1/5としている。

事故発生危険率は、耐震対策の実施を考慮して、兵庫県南部地震(1995)時の阪神高速道路における被害率30%の1/10と仮定している。

また、兵庫県南部地震(1995)時の3号神戸線での死者発生状況から、死者率2.6%, 負傷者率14.2%を設定している。

○さいたま市(09)では…

負傷者のうち、重傷者と軽傷者の比率を1:1.5としている。

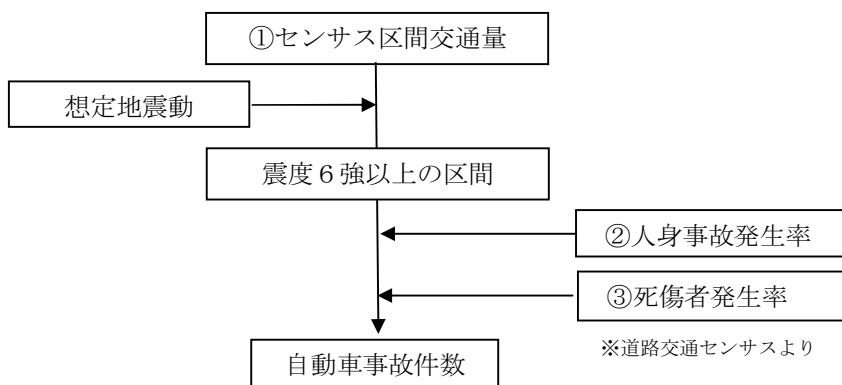
c) 中央防災会議 首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」(2005)の手法

○採用自治体：大阪府(07)

道路の人的被害（死傷者数）は、「首都直下地震に係る被害想定手法について（内閣府、2005）」をもとに想定する。①ゆれによるハンドル操作ミスの事故と、②落橋、桁折、大変形に伴う事故の2項目より死傷者数を想定した。以下は、大阪府(2007)による。

a. ゆれによるハンドル操作ミスによる事故

ゆれによるドライバーのハンドル操作ミスによって、交通事故が発生する際の死傷者数を想定した。対象道路は、大阪府内の道路交通センサス区間とした。図III-3-20に、道路の人的被害に関するゆれによるハンドル操作ミスによる事故の想定フローを示す。



図III-3-20 ゆれによるハンドル操作ミスによる事故の想定フロー(大阪府, 2007)

① 道路交通量

道路交通センサスによる時間帯別交通量を利用する対象時間帯:8, 12, 18 時台.

② 人身事故発生率

江守一郎「新版 自動車事故工学」より、危険を感じた人のうち、傷害を起こす人の割合は0.114%と設定する。ドライバーが危険を感じる条件として、震度6強以上と仮定する。

③ 死傷者発生率

比較的厳しい状況を仮定し、平常時の高速道路における重傷者以上の事故1件当たりの死傷者数より、死傷者発生率を設定する。

表III-3-13 死傷者発生率(大阪府, 2007)

西暦年	重傷者が発生した 事故件数	死者		負傷者			
		人数	率	人数	率	重傷者数	軽傷者数
1994	1,067	402	0.38	18,319	17.17	1,366	16,953
1995	1,101	416	0.38	17,715	16.09	1,404	16,311
1996	1,091	413	0.38	18,256	16.73	1,371	16,885
1997	1,033	397	0.38	18,471	17.88	1,278	17,193
1998	1,063	366	0.34	19,259	18.12	1,304	17,955
1999	1,155	323	0.28	21,079	18.25	1,423	19,656
2000	1,194	367	0.31	23,181	19.41	1,444	21,737
2001	1,165	389	0.33	23,888	20.50	1,428	22,460
2002	1,193	338	0.28	22,875	19.17	1,469	21,406
2003	1,077	351	0.33	22,661	21.04	1,378	21,283
合計	11,139	3,762	0.34	205,704	18.47	13,865	191,839

④ 承測式

ハンドル操作ミス事故発生件数 = 0.114% × 震度 6 強以上の区間ににおける走行自動車台数

$$\text{死傷者数} = \text{平常時の事故当りの死傷者数} \times \text{ハンドル操作ミス事故発生件数}$$

$$\text{死傷者数} = 0.34 (\text{人}/\text{件}) \times \text{ハンドル操作ミス事故発生件数}$$

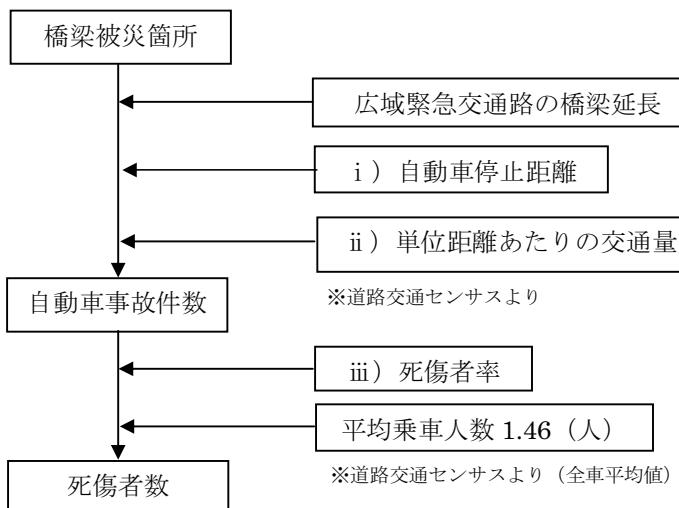
$$\text{負傷者数} = 18.47 (\text{人}/\text{件}) \times \text{ハンドル操作ミス事故発生件数}$$

$$\text{重傷者数} = 1.24 (\text{人}/\text{件}) \times \text{ハンドル操作ミス事故発生件数}$$

なお、重傷者数は、負傷者数における内数である。

b. 落橋、桁折、大変形に伴う事故

交通施設被害で算定した橋梁の損傷確率及び橋脚本数より、道路交通センサスの交通量を用いて死傷者数を想定した。図III-3-21に、道路の人的被害に関する落橋、桁折、大変形に伴う事故の想定フローを示す。



図III-3-21 落橋、桁折、大変形に伴う事故の想定フロー(大阪府, 2007)

① 自動車停止距離

計算の対象とする車両については、地震発生時における橋梁上の車両だけでなく、その手前の停止距離分に位置するものも含めるものとする。

停止距離は 38m (全日本交通安全協会「交通の教則」における 20, 40, 60, 80km/h の各停止距離の平均値) とする。

② 単位距離あたりの交通量

対象時間帯は 8 時台, 12 時台, 18 時台とする。

時間帯別交通量 (台/h) / 混雑時旅行速度 (km/h) により算出する。

③ 死傷者率

兵庫県南部地震(1995)時の道路被災による死傷者数の実態に基づき死傷者率を設定する。

$$\text{死者率} = 2.6\% , \text{負傷者率} = 14.2\% , \text{重傷者率} = 5.6\%$$

(出典) 大阪府地震被害想定調査 (1997) より

④ 予測式

$$\text{自動車事故台数} = \Sigma \{ (\text{橋梁延長} + \text{自動車停止距離}) \times \text{単位距離あたりの交通量} \}$$

$$\text{死傷者数} = \text{自動車事故台数} \times \text{平均乗車人数 } 1.46 (\text{人}) \times \text{死傷者率}$$

⑦ブロック塀の倒壊・落下物による死傷者数

ブロック塀・落下物などの予測手法には、発生要因を個別に考慮せずに同様の算出式で求める手法と、発生要因別に求める手法がある。

以下に、各自治体で採用されている手法の概略を次の区別別にまとめた。

ア) 発生要因を個別に考慮せずに同様の算出式で求める手法

a) 大阪府(1997)の手法

イ) 発生要因を個別に求める手法

I) ブロック塀・自動販売機等の倒壊による死傷者数

a) 東京都(1997)の手法

b) 静岡県(2001)の手法

c) 宮城県(2004)の手法

d) 岡山県(2013)の手法

II) 屋内落下物の移動・転倒による死傷者数

a) 静岡県(2001)の手法

b) 東京都(2006)の手法

c) 中央防災会議首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」(2005)
・中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会（中部圏・近畿圏の内陸地震
に係る被害想定）」(2008)・中央防災会議「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関
する専門調査会」(2006)の手法

d) 床応答から算出する手法

III) 屋外落下物による死傷者数

a) 静岡県(2001)の手法

b) 岡山県(2013)の手法

ア) 発生要因を個別に考慮せずに同様の算出式で求める手法

a) 大阪府(1997)の手法

○採用自治体：兵庫県(99)

宮城県沖地震(1978)の被災事例に基づき、東京都防災会議(1985)や静岡県(1993)を参考に、死傷者数の予測手法を設定している。なお、負傷者数は道路・鉄道災害などを参考に死者数の5倍と仮定している。

死者数 = 被災対象箇所数 × 倒壊・落下被害率 × 死者率(0.003人/箇所)

× 想定時間帯の屋外人口密度／1689(人/km²)

被災対象箇所数：ブロック塀箇所数 = 木造棟数 × 箇所率(0.03)

石塀箇所数 = 木造棟数 × 箇所率(0.04)

落下物危険建物数 = 3F以上非木造棟数 × 危険箇所率(0.25)

* 箇所率は東京都防災会議(1985)、危険箇所率は静岡県(1993)による

倒壊・落下被害率：東京都防災会議(1985)による以下の式で設定

ブロック塀・落下物 = -12.6 + 0.070 × 地表最大加速度(ga1)

石塀 = -26.6 + 0.168 × 地表最大加速度(ga1)

1689 : 宮城県沖地震(1978)当時の仙台市の屋外人口密度(人/km²)

負傷者数 = 死者数 × 5

○兵庫県(99)では…

死者率を 0.002 としている。負傷者数については、建物被害による人的被害想定結果の死傷者比率に基づいて設定している。

イ) 発生要因を個別に求める手法

I) ブロック塀・自動販売機等の倒壊による死傷者数

a) 東京都(1997)の手法

○採用自治体：群馬県(12), 埼玉県(07), 千葉県(08), 東京都(12), 神奈川県(09), 富山県(11), 岐阜県(13), 島根県(12), 広島県(07), 山口県(08), 高知県(13), 横浜市(12), 川崎市(13), 広島市(08)

※中央防災会議 南海トラフ巨大地震モデル検討会等 (2013) でも採用。

宮城県沖地震(1978)におけるブロック塀・石塀の転倒による死者発生率から予測する。この際、大被害を受けた塀の中に、転倒したものが半分含まれていたものと仮定している。

塀の転倒による死者数 = $0.00116 \times \text{塀の被害件数} \times \text{屋外人口密度} / 1689.16 (\text{人}/\text{km}^2)$

ただし、1689.16 : 宮城県沖地震(1978)当時の仙台市の屋外人口密度

○東京都(12), 千葉県(08)などでは…

自動販売機の転倒による死傷者を、同様の手法で求めている。東京都においてブロック塀の長さは最大でおよそ 12.2m であるとし、自動販売機の幅は最大でおよそ 1m とすると死者数はおよそ $1/12.2m$ となるとして補正をかけている。

※富山ではブロック塀の長さの最大値を 13.3m としている。

○高知県(13), 中央防災会議 南海トラフ巨大地震モデル検討会等 (2013) の手法では…

(死傷者数)=死傷者率×(市町村別のブロック塀等被害件数)×(市町村別時刻別移動者数)
/(市町村別 18 時移動者数)×((市町村別屋外人口密度)/1689.16 (人/km²))

死傷者率 (=倒壊 1 件当たり死傷者数) (高知県, 2013)

死者率	負傷者率	重傷者率
0.00116	0.04	0.0156

b) 静岡県(2001)の手法

○採用自治体：静岡県(01), 愛媛県(02), 秋田県(13), 香川県(13), 大分県(13)

<負傷者数>埼玉県(07), 千葉県(08), 神奈川県(09), 富山県(11), 広島県(07), 山口県(08)

宮城県沖地震(1978)時の仙台市, 泉市におけるブロック塀・石塀の転倒による死傷者発生率から予測する。なお, 地震発生が警戒宣言発令後の場合は, (1-警戒宣言時対応係数(0.97))を乗じている。

死者数 = $0.003 \times \text{ブロック塀・石塀倒壊件数} \times \text{屋外人口密度} / 1689.16 (\text{人}/\text{km}^2)$

負傷者数 = $0.04 \times \text{ブロック塀・石塀倒壊件数} \times \text{屋外人口密度} / 1689.16 (\text{人}/\text{km}^2)$

ただし、1689.16 : 宮城県沖地震(1978)当時の仙台市の屋外人口密度重傷比率は 39%

※香川県(13)に関して、「南海トラフの巨大地震 建物被害・人的被害の被害想定項目及びその手法の概要」より、死傷者率は 0.00116 としている

c) 宮城県(2004)の手法

○採用自治体：宮城県(04)

ブロック塀倒壊による死者は、1978年当時の仙台市の屋外人口密度との違いを補正し、次式によりメッシュ別に評価している。

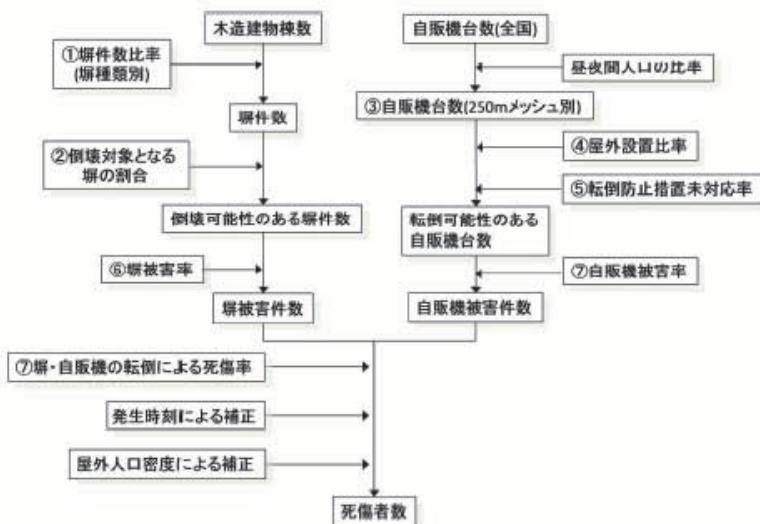
$$\text{死者数} = 0.00174 \times \text{ブロック塀倒壊数} \times \text{メッシュ内屋外人口密度} / 544.28$$

ただし、544.28は1978年当時の仙台市の屋外推定人口密度

d) 岡山県(2013)の手法

○採用自治体：岡山県(13)

図III-3-22に、屋外転倒物に伴う死者、負傷者、重傷者の想定フローを示す。



図III-3-22 屋外転倒物による人的被害の予測フロー(岡山県, 2013)

ここで①～⑧の比率として以下を用いる。

- ① 塀件数比率 ブロック塀については、愛知県(H15)による県内の木造棟数とブロック塀数との関係を、また、石塀・コンクリート塀については、東京都(H9)による木造棟数と塀件数との関係を基に求められた比率を用いる。
- ② 倒壊対象となる塀の割合 東京都(H9)による倒壊対象となる塀の割合を用いる。
- ③ 自販機台数(250mメッシュ別) 自動販売機台数は、全国の台数5,084,340台(※日本自動販売機工業会調べ:平成23年末時点)を、夜間人口と昼間人口を用いて配分する。
- ④ 屋外設置比率(中央防災会議南海トラフ巨大地震モデル検討会等(2013))に基づき、自動販売機のうち、屋外に設置されている比率を6割とする。
- ⑤ 転倒防止措置未対応率(中央防災会議南海トラフ巨大地震モデル検討会等(2013))に基づき、自動販売機の転倒防止措置未対応率を1割とする。
- ⑥ 塀被害率 東京都(H9)による塀の被害率(転倒率)を用いる。これは、1978年宮城県沖地震の際の地震動の強さとブロック塀等の被害率との関係に基づいたものである。
- ⑦ 自販機被害率 自動販売機の被害率については、阪神・淡路大震災時の震度6弱以上の地域における転倒率20.9%(25,880台/124,100台)を用いる。
- ⑧ 塀・自販機の転倒による死傷率 塀・自販機の転倒による死傷率(=倒壊1件あたりの死傷者数)を用いる。

II) 屋内落下物の移動・転倒による死傷者数

a) 静岡県(2001)の手法

○採用自治体：静岡県(01), 高知県(13)

東京消防庁・火災予防審議会(1999)の想定手法を参考に、兵庫県南部地震(1995)のデータを用いて、屋内収容物の転倒率と死傷率との関係を求めている。この際、家具等の転倒防止措置の効果も考慮している。なお、地震発生が警戒宣言発令後の場合は、(1-警戒宣言時対応係数(0.88))を乗じている。

$$\text{木造死傷者数} = (1 - \text{木造全壊率}) \times \text{パラメータ} \times \text{木造建物での転倒率}$$

×木造半壊以下建物の屋内人口

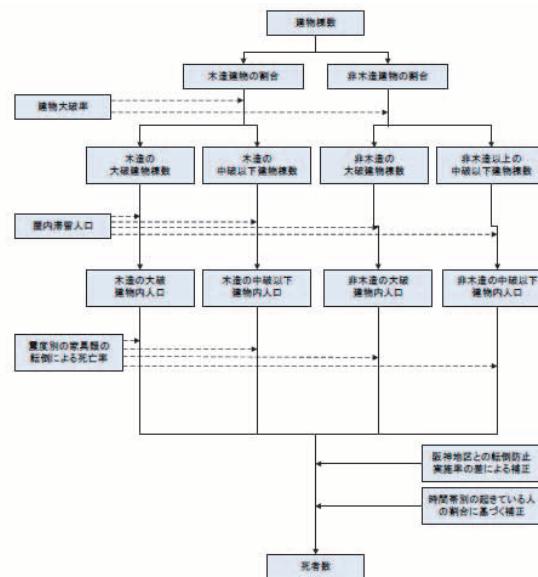
$$\text{非木造死傷者数} = (1 - \text{非木造全壊率}) \times \text{パラメータ} \times \text{非木造建物での転倒率}$$

×非木造半壊以下の建物の屋内人口

ただし、パラメータ：震度別・建物構造別に異なり、また死亡と負傷でも異なる

転倒防止措置率：県民意識調査結果から約 18%

重傷者比率（重傷者／負傷者）は 27%



図III-3-23 屋内収容物の移動・転倒による人的被害の想定手順(死者数)(高知県, 2013)

b) 東京都(2006) の手法

○採用自治体：千葉県(08)

宮城県沖地震(1978)や兵庫県南部地震(1995)における負傷実態を基に示された、屋内収容物の転倒等による負傷者率・重傷者率を用いる(表III-3-14)。

表III-3-14 屋内収容物の転倒等による負傷者率(東京都, 2006)

	負傷者率	重傷者率
震度 7	0.0648%	0.0175%
震度 6 強	0.0648%	0.0175%
震度 6 弱	0.0396%	0.0107%
震度 5 強	0.00839%	0.00226%
震度 5 弱	0.000943%	0.000255%

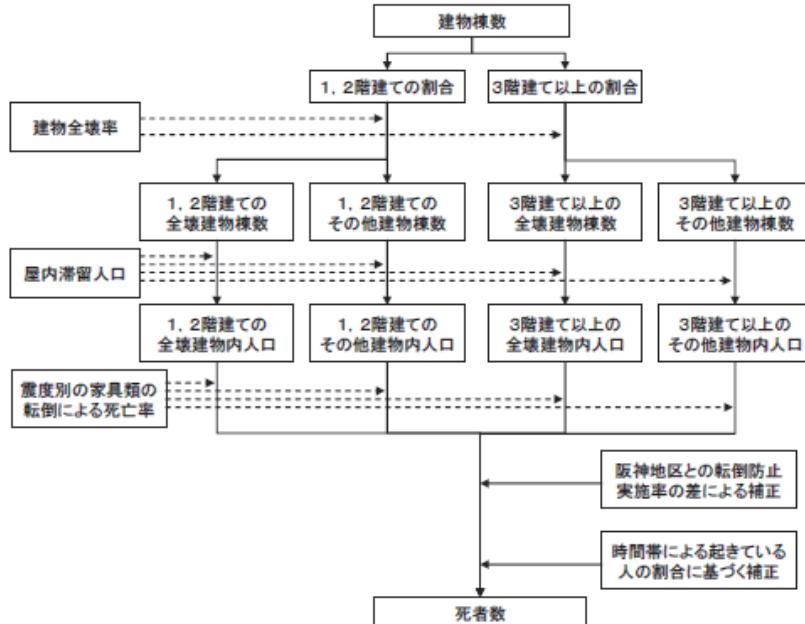
出所：「地震時における人口密集地域の災害危険要因の解明と消防対策について」(平成17年3月、火災予防審議会、東京消防庁)

- c) 中央防災会議 首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」(2005)・中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会（中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定）」(2008)・中央防災会議「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」(2006)の手法

○採用自治体：秋田県(13), 埼玉県(07), 東京都(12), 大阪府(07), 岡山県(12), 広島県(07), 山口県(08), 横浜市(12)

※中央防災会議 南海トラフ巨大地震モデル検討会等(2013)でも採用

家具類の転倒による死傷者・屋内落下物による死傷者に分類して求めている。



図III-3-24 家具類の転倒による死者算定フロー(中央防災会議, 2005)

家具類等の転倒による死傷者

- ・兵庫県南部地震(1995)時の実態に基づき、家屋全壊の場合とその他の場合の死傷率を設定している。

表III-3-15 死傷率(中央防災会議, 2005)

■全壊の場合

震度	死亡率		負傷率(重傷率)
	1、2階	3階以上	
震度7	0.095%	0.019%	1.29% (0.348%)
震度6強	0.024%	0.0048%	0.32% (0.0864%)
震度6弱	0.00095%	0.00020%	0.0129% (0.00348%)
震度5強	$3.8 \times 10^{-6}\%$	0	$5.08 \times 10^{-5}\% (1.37 \times 10^{-5}\%)$
震度5弱	0	0	0(0)

■その他の場合

震度	死亡率		負傷率(重傷率)
	1、2階	3階以上	
震度7	0.0040%	0.00080%	0.0540% (0.0146%)
震度6強	0.0038%	0.00062%	0.0515% (0.0139%)
震度6弱	0.0024%	0.00037%	0.0328% (0.00886%)
震度5強	0.0013%	0.00020%	0.0182% (0.00491%)
震度5弱	0.00077%	0.00012%	0.0105% (0.00284%)

- 評価対象地域と当時の阪神地区の家具転倒防止実施率との比を補正係数として乗じる。

表III-3-16 阪神地区・東京都民の転倒防止実施率(中央防災会議, 2005)

阪神地区の転倒防止実施率	5%
東京都民の転倒防止実施率	27.8%

※ 北浦ほかの研究(1996)、廣井らの研究、東京都アンケートによる

- 起きている人の11%が家具を支える等の行動により被災を回避する。

(出典) 「地震発生時における人命危険要因の解明と対策」火災予防審議会・東京消防庁(1999)による

表III-3-17 起きている人の割合(時間帯別)(中央防災会議, 2005)

5時	8時	12時	18時
6%	88%	94%	98%

※「データブック 国民生活時間調査1995」NHKによる

屋内落下物による死傷者

- 家具転倒と同様、兵庫県南部地震(1995)時の実態に基づき死傷率を設定している。

表III-3-18 死傷率(中央防災会議, 2005)

■全壊の場合

震度区分	死亡率		負傷率(重傷率)
	1、2階建物	3階以上建物	
震度7	0.024%	0.0047%	0.620%(0.0682%)
震度6強	0.0059%	0.0012%	0.152%(0.0167%)
震度6弱	0.00023%	0.000051%	0.00601%(0.000661%)
震度5強	$9.0 \times 10^{-7}\%$	0	0.0000234%(2.57 $\times 10^{-6}\%$)
震度5弱	0	0	0

■全壊以外の場合

震度区分	死亡率		負傷率(重傷率)
	1、2階建物	3階以上建物	
震度7	0.0011%	0.00023%	0.0295%(0.00325%)
震度6強	0.0010%	0.00018%	0.0280%(0.00308%)
震度6弱	0.00065%	0.00011%	0.0174%(0.00191%)
震度5強	0.00036%	0.000058%	0.00958%(0.00105%)
震度5弱	0.00021%	0.000035%	0.00559%(0.000615%)

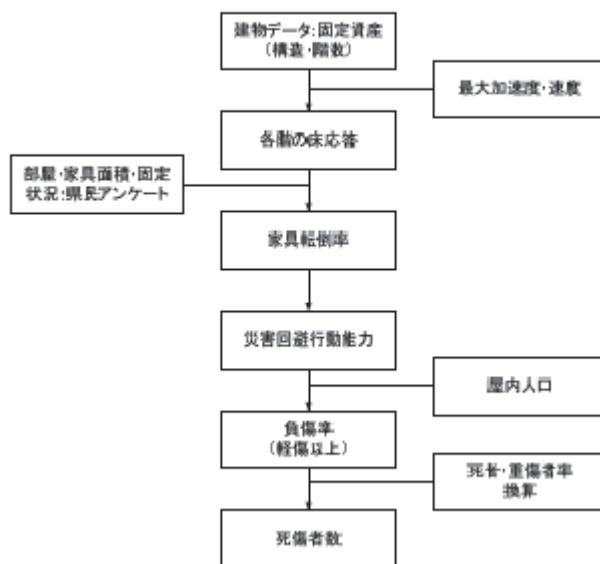
(出典)「地震発生時における人命危険要因の解明と対策」火災予防審議会・東京消防庁(平成11年)

- ・家具転倒と同様、評価対象地域と当時の阪神地区の家具転倒防止実施率との比を補正係数として乗じる。

d) 床応答から算出する手法

○採用自治体：神奈川県(09), 島根県(12), 香川県(13), 川崎市(13)

以下のような被害予測フローに従って算出を行っている。



図III-3-25 被害予測フロー(川崎市, 2013)

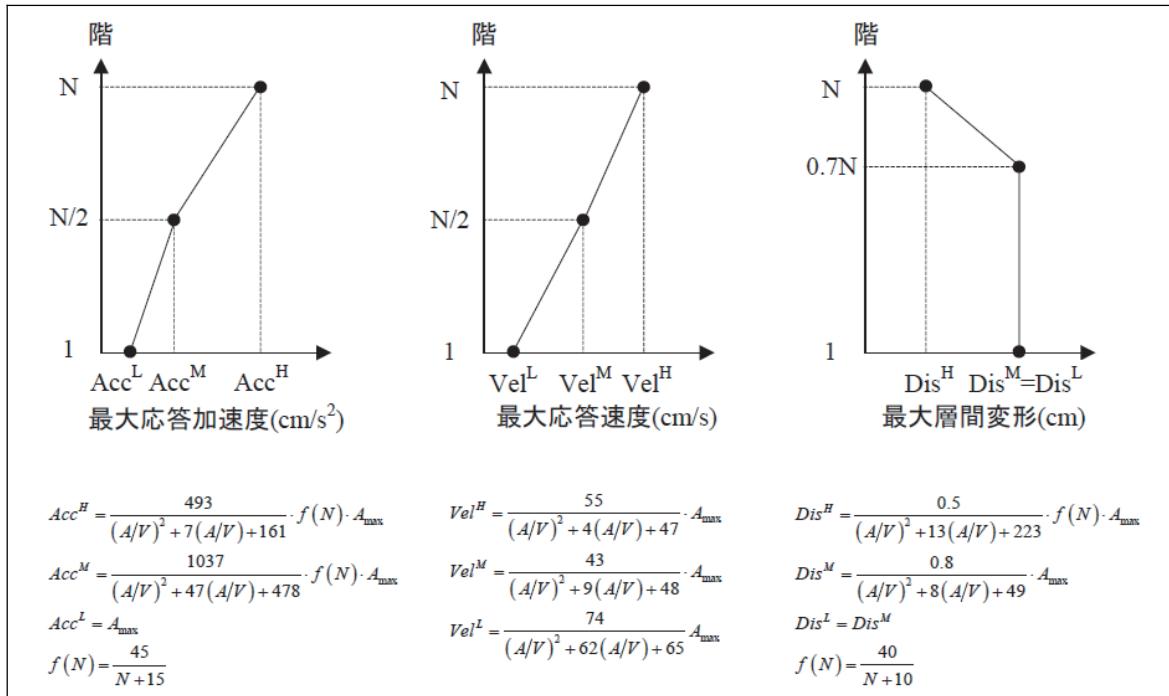
以下は川崎市(2013)の説明である。屋内収容物の転倒による死傷者数を算出した転倒率は床応答から算出し、床応答は簡易応答評価式（大大特研究(2002～2007)）から算出している。家具転倒による室内閉塞率をパラメータ（翠川・佐伯(1995)）とし、住宅・非住宅別に算出している。

床応答

床応答には大大特の研究成果を利用し、簡易応答評価式を採用した。この方法は地震動を震度や最大加速度、建物を規模と構造種別で表して地震時の建物応答を簡易に評価する方法について検討した結果である。少ない情報で建物応答を評価できることから、多数の施設を同時に評価するときなど、簡易に応答を評価したい場合に有用である。

非木造建物には以下 RC 構造物の評価式を適用し、木造建物には地表の最大地震動を適用した。

規模 N (階)	5, 10, 15, 25, 20, 30, 40, 50
周期 T (秒)	T=0.07N
建物重量	各階一様
剛性分布	台形分布（最上階に対する1階の剛性比を3.0）
減衰	3%



図III-3-26 RC構造物の応答評価式(川崎市, 2013)

家具の転倒危険度の判定

住家における固定効果考慮前のパソコン、冷蔵庫、テレビの転倒・落下確率は、損害保険料算出機構(1998)の被害関数を用いて算定した。その際、床応答速度を童・山崎(1996)の速度-震度で変換した。

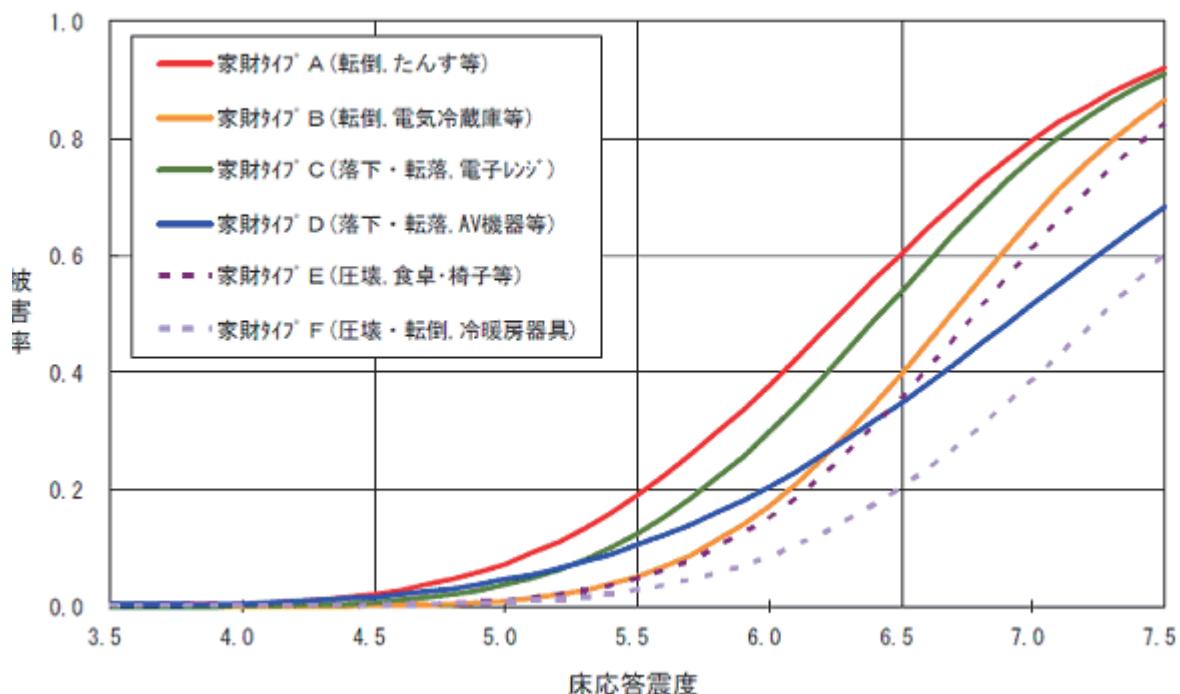
非住宅についての家具の転倒率は翠川・佐伯(1995)の曲線を用いることとする。

家具の固定効果は、実験結果を基に、固定していない場合の転倒確率を、次の式で固定した場合の転倒確率 R^* に変換することにより考慮した。

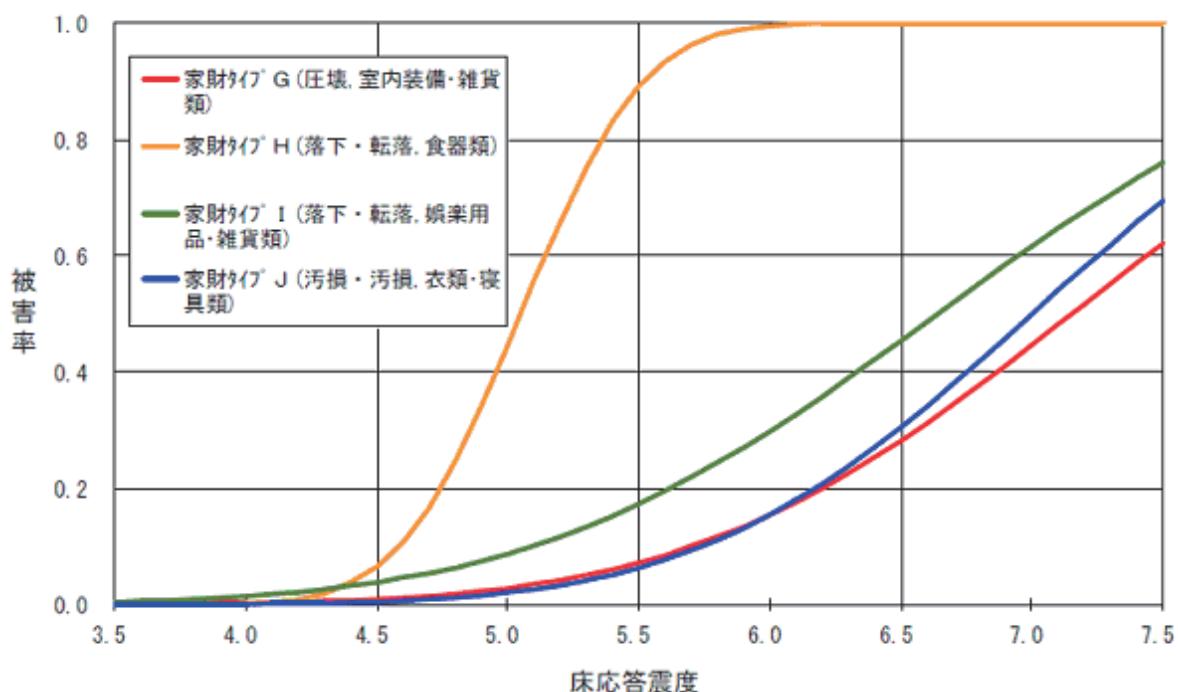
$$R^* = ((1-\kappa) + \kappa\gamma) R$$

ここで、 κ は固定家具の割合、 γ は固定方法に依存するパラメータである。住宅の家具固定状況については、県民アンケート調査結果により設定する。 κ は固定家具の割合であるが、アンケート調査では固定家具の割合を調査していないため、 $\kappa=1$ として扱った。

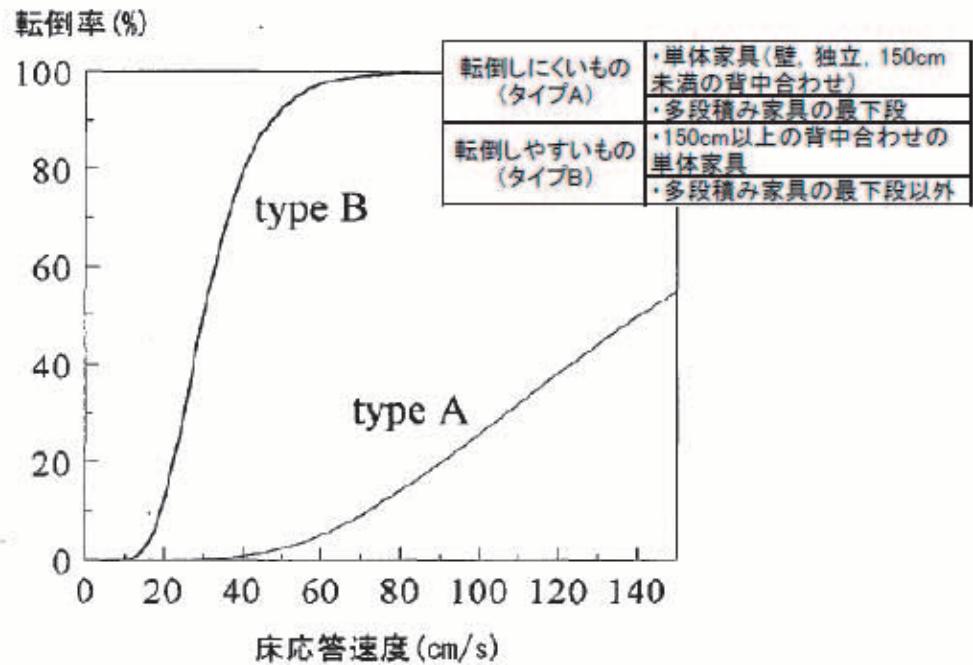
【耐久財：家財タイプ A～F】



【非耐久財：家財タイプ G～J】



図III-3-27 家財の被害関数(川崎市, 2013)



図III-3-28 オフィス用品の被害関数(川崎市, 2013)

表III-3-19 γ の値(川崎市, 2013)

	固定方法	γ
テレビ・パソコン以外	壁固定(ベルト/金具)	全ての床応答震度 : 0.1
	天井固定(ポール)	床応答震度6.5未満 : 0.1 床応答震度6.5以上 : 1.0
	簡易な床固定	床応答震度5.5未満 : 0.3 床応答震度5.5以上 : 1.0
	固定治具なし	全ての床応答震度 : 1.0
テレビ・パソコン	壁/足元固定	全ての床応答震度 : 0.1
	固定治具なし	全ての床応答震度 : 1.0

負傷者数算出

負傷率は翠川・佐伯(1995)に基づき、部屋床面積、常時及び転倒時家具占有面積、家具転倒率、災害回避行動能力から次式により算出し、屋内滞留人口を乗じて負傷者数を算出した。

$$\text{負傷率} = \Sigma (\text{家具転倒率} \cdot \text{転倒時家具占有面積}) / (\text{部屋床面積} - \text{常時家具占有面積}) \\ \times (1 - \text{災害時回避行動能力})$$

$$\text{負傷者数} = \text{負傷率} \times \text{屋内滞留人口}$$

このために必要となる部屋・家具の状況、固定状況は住宅・非住宅別に設定した。

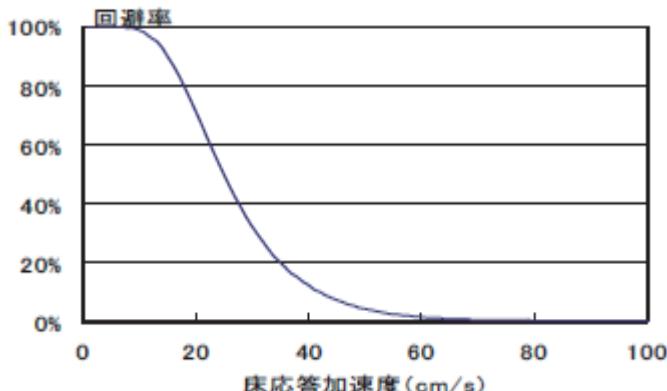
住宅については、既往の研究による平均的な部屋の広さ、家具の種類・個数を設定し、家具の固定割合を県民アンケートから設定した。

非住宅については、翠川・佐伯によるオフィスの建物規模別・年代別のパラメータを参考に表のように設定した。

災害回避行動能力については岡田・鏡味(1991)の曲線を用いることとする。

表III-3-20 オフィスにおける建物属性による重み付け表(川崎市, 2013)

建築年代	常時占有率 (平均:27.7%)	タイプA (平均:20.0%)	タイプB (平均:5.3%)
新しい(1982-)	-	-1.8	-2.3
中程度(1960-1981)	-	-1.8	-0.1
古い(-1959)	-	3.4	1.7



図III-3-29 災害回避行動能力(川崎市, 2013)

● 県民アンケート及び既往の研究に基づくパラメータの設定

① 家具の個数と配置傾向

一般的な家庭における居間及び寝室における家具の種類及び個数について、佐藤ら(2005)の研究を基に以下の表に整理した。

表III-3-21 家具の種類及び個数(佐藤ら, 2005)

居間(LDK): 19.24m ²	平均設置数	寸法(m)		
		幅	奥行	高さ
雑収納家具	1.96	0.67	0.43	0.93
食器棚	1.15	0.9	0.44	1.69
冷蔵庫	1.02	0.62	0.59	1.76
ダイニングテーブル	0.9	1.37	0.88	0.69
ダイニングチェア	3.38	0.49	0.47	0.43
休息用いす(ソファー)	0.67	1.36	0.77	0.37
テレビ	0.63	0.56	0.43	0.5
その他家電機器	0.56	0.62	0.36	0.26

寝室: 13.29m ²	平均家具数	寸法(m)		
		幅	奥行	高さ
タンス	1.75	0.93	0.5	1.78
収納家具	0.68	0.67	0.43	0.93
楽器以外のその他の家具	0.44	0.72	0.44	0.57
テレビ	0.29	0.56	0.43	0.5

② 家具の占有面積

常時占有面積及び転倒時占有面積について、以下に示す。なお、ダイニングチェア及び休憩用いす(ソファー)については、それらの上も居住スペースであることから、常時占有面積に含めないものとした。

表III-3-22 家具の占有面積(川崎市, 2013)

単位: m ²		
居間(LDK): 19.24 m ²	常時占有面積	転倒時占有面積
雑収納家具	0.56	1.22
食器棚	0.46	1.75
冷蔵庫	0.37	1.11
ダイニングテーブル	1.09	—
ダイニングチェア	—	—
休息用いす(ソファー)	—	—
(キッチン台)	1.30	—
合計	3.78	4.08

寝室: 13.29 m ²	常時占有面積	転倒時占有面積
タンス	0.81	2.90
収納家具	0.20	0.42
楽器以外のその他の家具	0.14	0.18
合計	1.15	3.50

● 負傷率の確認

以上より得られる全転倒時の負傷率は、

$$\text{全転倒時負傷率(居間)} = 4.08 / (19.24 - 3.78) = 0.264$$

$$\text{全転倒時負傷率(寝室)} = 3.50 / (13.29 - 1.15) = 0.288$$

であり、また、家具の固定対策を考慮しない場合、居間に比べ寝室の負傷危険度が高いことが分かる。

一方、志賀ら(1989)は1978年宮城県沖地震の際の高層住宅の調査結果を基に、負傷率Fと家具の転倒率Tの関係式を次式で表している。

$$F = \alpha \cdot T$$

ここで、 $\alpha (=0.238)$ は変換係数を表す。

今回設定したモデルでの全転倒時負傷率(居間: 0.264, 寝室: 0.288)は α (0.238)と調和した値であり、モデルは妥当であると考えられる。ただし、志賀らによる α はアンケートから求められており、軽微な負傷者も含んでいると判断した。よって、今回設定した負傷率は軽微以上負傷率と考えられ、重傷率及び死者率への換算を行うこととした。

● 死傷率への換算

火災予防審議会・東京消防庁(1999)で設定された震度別の死者率(木造), 重傷者率, 負傷者(軽傷以上)率を用いて軽微以上負傷率から死傷率への換算を行う。1995年兵庫県南部地震の被害事例を基に設定された死傷率であるため、死傷者の大体数は寝室で発生したと考えられる。また、震度7ではほぼ全ての家具が転倒したと考えられる。

以上より、震度7の死傷率及び今回設定した全転倒時軽微以上負傷率(寝室)(=28.8%)の比を換算された死傷率として扱う。ここで、今回の想定では建物被害を考慮していないため、火災予防審議会・東京消防庁(1999)の中破以下の場合の係数を用いることとする。また、火災予防審議会・東京消防庁(1999)では死者率が木造, 非木造別になっているが、安全側の想定を行うこととし、木造の死者率を用いることとする。

表III-3-23 火災予防審議会・東京消防庁(1999)による死傷率(川崎市, 2013)

大破の場合

震度	死亡率(%)		重傷率(%)	負傷率(%) (軽傷以上)
	木造	非木造		
震度7	0.095	0.019	0.348	1.29
震度6強	0.024	0.0048	0.0864	0.32
震度6弱	0.00095	0.0002	0.00348	0.0129
震度5強	3.8×10^{-6}	0	1.37×10^{-5}	5.08×10^{-5}
震度5弱	0	0	0	0

中破以下の場合

震度	死亡率(%)		重傷率(%)	負傷率(%) (軽傷以上)
	木造	非木造		
震度7	0.0040	0.00080	0.0146	0.054
震度6強	0.0038	0.00062	0.0139	0.0515
震度6弱	0.0024	0.00037	0.00886	0.0328
震度5強	0.0013	0.00020	0.00491	0.0182
震度5弱	0.00077	0.00012	0.00284	0.0105

今回設定した換算後の死傷率

$$\begin{aligned} \text{死者率} &= 0.00004 / 0.288 \times \text{軽微以上負傷率} \\ \text{重傷率} &= 0.000146 / 0.288 \times \text{軽微以上負傷率} \\ \text{負傷率} &= 0.00054 / 0.288 \times \text{軽微以上負傷率} \end{aligned}$$

● 家具の固定率

県民アンケート結果から、住宅における寝室及び居間における家具種類ごとの固定率を設定した。

- 回答が不明なものは除く。
- 家具の設置状況において、平均設置個数を用いているため、「家具なし」については値から除く。
- 建築年代別、住宅構造・建物階数別、居住階数別とともに、大きな相関が見られないため、特に分類別に固定率を設定しない。

表III-3-24 家具の固定率(川崎市, 2013)

	造り付け	しっかりした固定	簡易固定	固定なし
家具の固定率	7%	11%	13%	69%

ここで、表III-3-19との対応付けは、しっかりした固定は壁固定、簡易固定は天井固定、床固定半数ずつとした。

III) 屋外落下物による死傷者数

a) 静岡県(2001)の手法

○採用自治体：秋田県(13), 埼玉県(07), 千葉県(08), 東京都(12), 神奈川県(09), 富山県(11), 静岡県(01), 島根県(12), 岡山県(13), 山口県(08), 香川県(13), 高知県(13), 横浜市(12), 川崎市(13)

※中央防災会議 南海トラフ巨大地震モデル検討会等(2013)でも採用

宮城県沖地震(1978)における屋外落下物による死者発生率から予測する。なお、地震発生が警戒宣言発令後の場合は、(1-警戒宣言時対応係数(0.97))を乗じる。

$$(死傷者数) = (死傷者率)$$

$$\times \{ (\text{市町村別の落下危険性のある落下物を保有する建物棟数}) / (\text{市町村別建物棟数}) \\ \times (\text{市町村別時刻別移動者数}) \} \times ((\text{市町村別屋外人口密度}) / 1689.16 (\text{人}/\text{km}^2))$$

表III-3-25 屋外落下物による死傷者率(=死傷者数÷屋外人口)(高知県, 2013)

	死者率	負傷者率	重傷者率
震度7	0.00504%	1.69%	0.0816%
震度6強	0.00388%	1.21%	0.0624%
震度6弱	0.00239%	0.700%	0.0383%
震度5強	0.000604%	0.0893%	0.00945%
震度5弱	0%	0%	0%
震度4以下	0%	0%	0%

表III-3-26 落下物による被害率(静岡県, 2001)

	死者率	負傷者率	重傷者率
壁面落下	0.0046%	0.34%	0.036%
ガラス落下	0.0023%	0.36%	0.0023%

○東京都(12)では...

落下危険のある落下物を保有する建物棟数比率を求め、建物改修率を考慮している。

ア 落下危険のある落下物を保有する建物棟数比率

表III-3-27 落下危険のある落下物を保有する建物棟数比率(東京都, 2006)

建築年代	飛散物(窓ガラス、壁面等)	非飛散物(吊り看板等)
～昭和45年	30%	17%
昭和46年～55年	6%	8%
昭和56年～	0%	3%

出所：東京都被害想定報告書(平成9年8月)

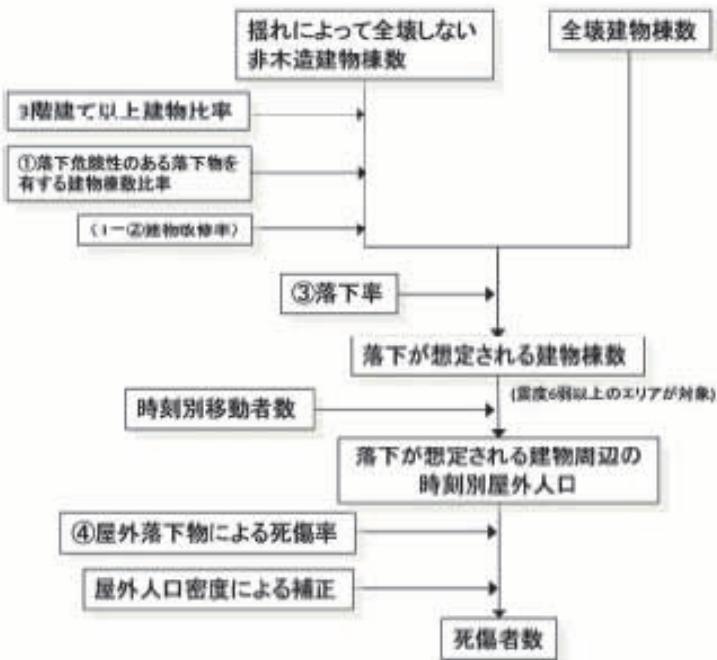
イ 建物改修率(落下対策実施率)

平均回収率 87% (平成9年想定) → 回収率 97.15% (平成3月31日現在)

b) 岡山県(2013)の手法

○採用自治体：岡山県(13)

図III-3-30に、屋外落下物に伴う死者、負傷者、重傷者の想定フローを示す。同図に示すように、落下が想定される建物棟数をゆれによる全壊棟数と落下率から推計し、屋外落下物による死傷者数を人口データ及び屋外人口密度を用いて、落下が想定される建物棟数と死者数、負傷者数、重傷者数との関係式より推計する。



図III-3-30 屋外落下物による人的被害の想定フロー（岡山県, 2013）

ここで、①～④の比率として以下を用いる。

- ① 落下危険性のある落下物を有する建物棟数比率 屋外落下物を保有する建物棟数比率は、東京都の調査結果（東京都(97)）をもとに、対象となる建物の築年別に設定する。
- ② 建物改修率 建物改修率には、東京都(97)で用いている平均改修率 87%を用いる。
- ③ 落下率 落下物の発生が想定される建物のうち落下が生じる建物の割合（落下率）には、東京都(H9)で設定したブロック塀の被害率を用いる。
- ④ 屋外落下物による死傷率 屋外落下物による死傷者率には、火災予防審議会・東京消防庁「地震時における人口密集地域の災害危険要因の解明と消防対策について」（平成 17 年）における屋外落下物（壁面落下）と屋外ガラス被害による死者率の合算値を用いる。

3-2. 要救出者数

要救助者数は、建物の全壊率から算出している自治体が多い。以下に、代表的な要救助者数算出方法をまとめた。高知県については、津波被害による要救出者数も算出している。

(1) 東京都(1997)の手法

○採用自治体：千葉県(08), 東京都(12), 神奈川県(09), 山口県(08), 徳島県(05), 岡山県(13), 香川県(13), 高知県(13), 大分県(13), 川崎市(13)

東京都(1997)では、木造建物の倒壊による下敷き・生埋め者数を兵庫県南部地震(1995)の被害事例を参考に想定している。

具体的には、神戸市の区別全壊棟数と下敷き・生埋め者数のデータを用いて、木造建物の全壊率と下敷き・生埋め者率の関係を求め、下敷き・生埋め者が兵庫県南部地震(1995)と同じ割合で発生すると仮定している。ただし、想定結果には自己脱出者を含んでおらず、消防、警察、自衛隊や親戚・近所の人などによって救出および遺体搬出された人数が対象である。

消防団により救助（遺体搬出）された人の割合は次式で表現される。

$$\text{下敷き・生埋め者率} = 0.0164 \times \text{木造全壊率}(\%)$$

東灘区の事例(宮野ら, 1996)より、消防によって救出された人は14%程度なので、

$$\text{下敷き・生埋め者率} = 0.0164 \times \text{木造全壊率}(\%) / 0.14 = 0.117 \times \text{木造全壊率}(\%)$$

○千葉県(08)では…

要救助者の項目は設けていないが、火災による人的被害算出の際に上記の手法を用いて要救助者を算出している。

○大分県(13)では…

東京都(1997(2008))を宮野ら(1996)で補正した手法を用いている。

○香川県(13)では…

(自力脱出困難者数) = (自力脱出困難者率) × (屋内滞留人口) (自力脱出困難者率=0.117) の式を用い、求めている。

○中央防災会議 南海トラフ巨大地震モデル検討会等(2013)の手法では…

自力脱出困難者(木造, 非木造別) = 0.0117 × (ゆれによる建物全壊率) × 屋内人口 の式を用いている。

(2) 静岡県(2001)の手法

○採用自治体：静岡県(01)

兵庫県南部地震(1995)の神戸市の被害事例から要救出者数を予測している。ただし、自己脱出者は含んでおらず、消防・警察・自衛隊や親戚・近所の人などによって救出および遺体搬出された人数を対象としている。

$$\text{木造建物における要救助者数} = 0.117 \times \text{木造全壊率}(\%) / 100 \times \text{木造屋内人口}$$

$$\text{非木造建物における要救助者数} = 0.5 \times \text{非木造全壊率}(\%) / 100 \times \text{非木造屋内人口}$$

(3) 福岡県(2006)の手法

○採用自治体：福岡県(12)

建物倒壊（ゆれ）による要救出者数と斜面崩壊による要救出者数を予測している。

■建物倒壊（ゆれ）による要救出者数

建物が完全に倒壊した現場数を要救出現場数と解釈し、兵庫県南部地震(1995)の際の建物被害程度から、全壊建物の約40%が倒壊すると考える。

$$\text{要救出現場数} = \text{全壊建物棟数} \times 0.4$$

$$\text{要救出者数} = \text{要救出現場数} \times 1\text{棟あたり人口} \times \text{在宅率} \times \text{逃げ遅れ率}$$

逃げ遅れ率：100%としている

■斜面崩壊による要救出者数

$$\text{要救出者数} = \text{斜面崩壊による被災建物数} \times 1\text{棟あたり人口} \times \text{在宅率}$$

(4) 札幌市(2008)の手法

○採用自治体：札幌市(08)

a) 木造建物における要救助者数

(ゆれによる要救助者数)

自力脱出できなかった人の割合を、全壊家屋住民の約7.3%(河田(1997))とし、要救助者数を以下のように推定している。

$$\text{要救助者数} = 0.073 \times \text{木造全壊率} (\%) / 100 \times \text{木造屋内人口}$$

ここで、上式の木造全壊率は、罹災証明全壊率である。

(斜面崩壊による要救助者数)

斜面崩壊による大破建物内の要救助者数は次式で表される。

$$\text{要救助者数} = \text{斜面崩壊による大破棟数} \times 1\text{棟当たり屋内存在者数} \times 0.15$$

ここで大破棟数=全壊棟数×0.5とする。また、大破建物のうち、15%が閉じこめられ、自力脱出困難とする。

b) 非木造建物における要救助者数

兵庫県南部地震(1995)の事例から、倒壊した建物での閉じこめ率(閉じこめ者数/非木造建物内人口)は約50%であった(岐阜県地震被害想定参照)。この事例をもとに次式にて非木造建物における要救助者数を求める。

$$\text{要救助者数} = \text{非木造建物倒壊率} (\%) / 100 \times 0.5 \times \text{非木造屋内人口}$$

(※上式の倒壊率は、非木造建物のうち倒壊・崩壊した建物の割合を意味する。建築研究所の「平成7年兵庫県南部地震被害調査中間報告書」での記載によれば、大破以上に占める「1階層崩壊」「中間層崩壊」の割合はRC造系で46%，S造系で18%であり、ここでは構造的大破のうち平均的に約3割が崩壊・倒壊と換算する。)

(5) 香川県(2013)の手法

○採用自治体：香川県(13)

香川県(2013)では、津波の最大浸水深よりも高い階の滞留者より、津波被害に伴う要救助者の算出も行っている。

津波による人的被害の想定においては、津波の最大浸水深よりも高い階に滞留する者は避難せずにその場にとどまる場合とし、中高層階に滞留する人が要救助対象となると考え、下表の条件に沿って、要救助者数を算出した。ただし、最大浸水深が1m未満の場合には中高層階に滞留した人でも自力で脱出が可能であると考え、中高層階滞留に伴う要救助者は最大浸水深1m以上の地域で発生するものとした。また、津波到達時間が1時間以上ある地域では中高層階滞留者の3割が避難せずにとどまるとして要救助対象とした。

$$(要救助者数) = (\text{津波高 } 1\text{m 以上 } 6\text{m 未満の地域での } 3 \text{ 階以上の滞留者人口})$$

(6) 高知県(2013)の手法

○採用自治体：高知県(13)

東日本大震災においては、防衛相・自衛隊、警察庁、消防庁および海上保安庁により救助活動が行われ、救出等の総数は27,157人(浸水域外での孤立者や海上船舶漂流者等を含む)となっている。総務省統計局による「浸水範囲概況にかかる人口・世帯数(平成22年国勢調査人口集計結果による)」によれば、津波浸水範囲の人口は約60万人であり、浸水範囲人口の約4.5%が救助された計算となる。

この結果をもとに、概ねの救助需要を見積もると、次式により津波被害に伴う要救助者数が算出される。

$$\text{津波被害に伴う要救助者数} = 0.045 \times \text{津波浸水域人口}$$

一方、津波による人的被害の想定においては、津波の最大浸水深よりも高い階に滞留する者は避難せずにその場にとどまる場合を考慮しており、その結果、中高層階に滞留する人が要救助対象となる。これより下表の考え方へ沿って、要救助者数を算出した。ただし、最大浸水深が1m未満の場合には中高層階に滞留した人でも自力で脱出が可能であるとし、中高層階滞留に伴う要救助者は最大浸水深1m以上の地域で発生するものとした。また、津波浸水時間が1時間以上ある地域では中高層階滞留者の3割が避難せずにとどまるとして要救助対象とした。

表III-3-28 中高層階滞留に伴う要救助者の設定の考え方(高知県, 2013)

最大浸水深	中高層階滞留に伴う要救助者対象者
1m未満	(自力脱出可能とみなす)
1m以上6m未満	3階以上の滞留者が要救助対象
6m以上15m未満	6階以上の滞留者が要救助対象
15m以上	11階以上の滞留者が要救助対象

3-3. 避難者数等

自治体により「避難者」や「罹災者」などの用語や建物の損壊程度の採用基準に多少の違いが存在する。ここでは、想定した地震により住宅を失い、避難所で生活する人の数を求める手法を対象にまとめる。

避難者数の算出方法は大まかに

- (1) 被災状況別に建物内の住民が避難するか否かを定め、避難者数を求める手法
- (2) 建物の被災状況別に避難者の割合を定義し、その割合に建物数・1棟当たりの人口を乗じたものを被災状況別に求め、足し合わせる手法
- (3) その他の手法

に分類される。

(1) 被災状況別に建物内の住民が避難するか否かを定め、避難者数を求める手法

以下の自治体では、建物の被災状況別に建物内の住民が避難するか否かを定め、対象建物内の人口を足し合わせることで避難者数を求めている。建物内の住民が避難するとされている被災状況は自治体によって異なる。

表III-3-29 各自治体の避難者数等の算定式

自治体	想定項目	算 定 式	全壊(大破) 建物	半壊(中破) 建物	焼失建物
青森県(97)	罹災者数	被害棟数×1棟あたり世帯数×平均世帯人員	○	○	○
福島県(98)		木造のみ	×	×	
福井県(97)		被害棟数×平均世帯人員	○	×	○
宮崎県(06)	(長期) 避難者数	メッシュ内被害棟数／メッシュ内建物数×メッシュ内人口	○	○	○
新潟県(98)		○	○	○	
岩手県(04)	避難者数	人口×被害率	○	○	×
鳥取県(05)		○	○	○	
仙台市(02)		被害建物居住人口	○	○	○
宮城県(04)		○	○	○	
長野県(02)		メッシュ内人口×(メッシュ内中破・半壊以上の被害棟数) ／(メッシュ内建物棟数)	○	○	○
鹿児島県(97)		被害棟数×1棟あたり人口	住宅のみ	×	住宅のみ
福岡県(12)		(全壊建物棟数+消失建物棟数)×一棟あたり人口	○	×	○
新潟市(07)		・長期避難者数=町丁目内人口×(町丁目内(半壊・中破以上の被害棟数+焼失棟数))／町丁目内全棟数	○	○	○
栃木県(04)	避難所 生活者数	時系列係数(人／棟)×全壊・焼失棟数	○	×	○
静岡県(01)	避難所 生活者数(発災1日後)		○	○	○
奈良県(05)		大破(全壊)焼失人口+中破(半壊)人口+断水人口	○	○	○

「避難を要する」として評価している建物の損壊程度は自治体によって異なる。表III-3-29にその概要をまとめると、各自治体で採用している「全壊」「半壊」「大破」「中破」といった被害の基準そのものにも差がある場合があることに留意しなければならない。福岡県(12)でも引き続き採用している。

(2) 建物の被災状況別に避難者の割合を定義し、その割合に建物数・1棟当たりの人口を乗じたものを被災状況別に求め、足し合わせる手法

以下の自治体では、建物の被災状況別に避難者の割合を定義し、その割合に建物数・1棟当たりの人口を乗じたものを被災状況別に求めた上で、それを合計することで被災者数を求めている。各自治体が定める避難者の割合は以下。

表III-3-30 避難者の割合

自治体名	想定項目	全壊(大破) 建物	半壊(中破) 建物	焼失建物
埼玉県† 東京都* 山梨県† 広島県† 徳島県† 大分県† 札幌市** 千葉市†	千葉県* 富山県† 愛知県† 山口県† 愛媛県† さいたま市† 広島市†	避難人口 避難所生活者数 疎開者数 避難者数 ・直後の避難者 ・1日後の避難者 ・4日後の避難者 ・1月後の避難者	1.0	0.503 1.0
神奈川県*	川崎市*	避難者数、避難所生活者数、知人宅などへの疎開者数 (直後、1日後、4日後、1ヶ月後)	0.7	1.0
岩手県	避難者数		0.5	—
名古屋市	被災者数	1.0 (住宅のみ)	0.8 (住宅のみ)	1.0 (住宅のみ)

1.0, 0.8, 0.5, 0.7, 0.503 : 被害棟数の対象としている割合

— : 被害棟数の対象とはしていない。

† : この他、断水人口を考慮している。

* : この他、断水人口、エレベーター停止による避難人口も考慮している。

** : この他、断水人口、停電人口を考慮している。

以下では、東京都(1997)、埼玉県(1998)、大阪府(1997)、神奈川県(2009)の手法における避難者数の予測手法を概説する。

a) 東京都(1997)の手法

○採用自治体：秋田県(13), 群馬県(12), 千葉県(08), 東京都(12), 富山県(11), 山梨県(05), 愛知県(03), 広島県(07), 山口県(08), 徳島県(05), 愛媛県(02), 熊本県(13), 大分県(13), 札幌市(08), さいたま市(09), 千葉市(08), 横浜市(12), 広島市(08)

東京都(1997)では、避難所生活者数と疎開者数を以下のように定義し、発災1日後、4日後、1ヶ月後における人数を想定している。

避難所生活者数：建物被害やライフライン被害により避難所生活を強いられる住居制約者数
疎開者数 : 建物被害やライフライン被害により疎開を強いられる住居制約者数
(避難所以外への避難者)

ここでは、兵庫県南部地震(1995)の事例を踏まえ、自宅建物に被害がない人でも、ライフラインの途絶によって避難するとし、住居制約者は全て避難所生活者か疎開者に分類している。

① 発災 1 日後

室崎・流郷(1996)による住民へのアンケート調査をもとに係数を設定している。建物被害が生じていない世帯の避難者数は断水を指標として推定する。

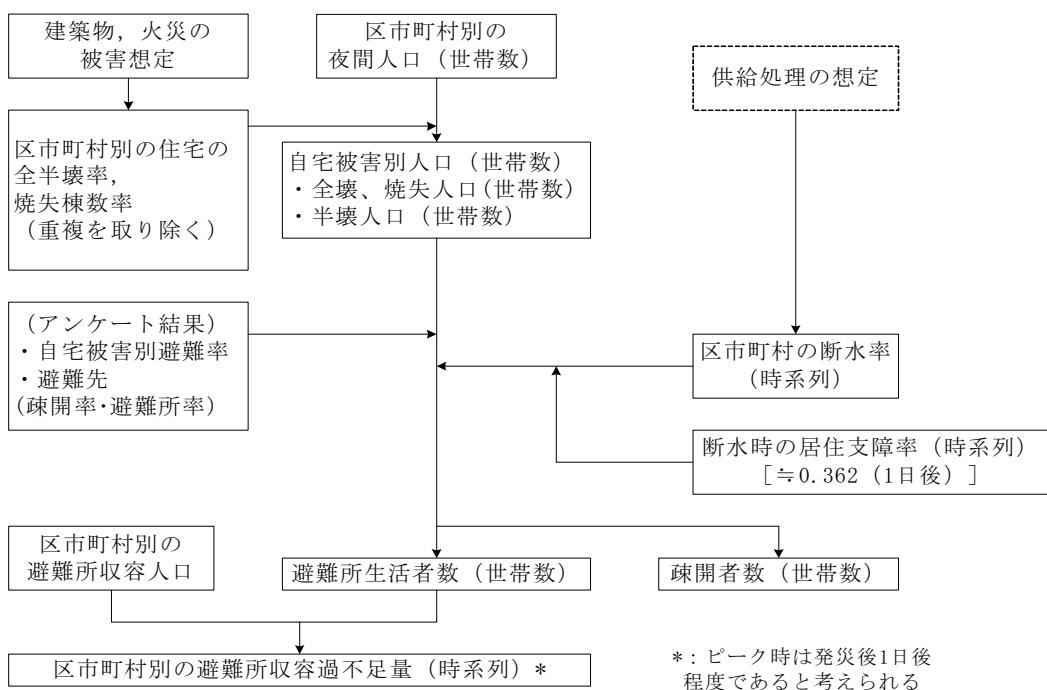
$$\text{避難人口} = 1.000 \times \text{全壊・焼失人口} + 0.503 \times \text{半壊人口} + 0.362 \times \text{断水率} \times \text{被害なし人口}$$

* 兵庫県南部地震(1995)では、翌日に住宅から避難所へ避難する人は、全壊・大破が 100%，半壊・中破が 50.3%，被害軽微・被害なししが 36.2% であった

$$\text{避難所生活者数} = 0.65 \times \text{避難人口}$$

$$\text{疎開者数} = 0.35 \times \text{避難人口}$$

* 兵庫県南部地震(1995)では、避難所へ避難する人と避難所以外へ疎開・避難する人の割合はおよそ 65:35 であった



図III-3-31 避難所生活者数・疎開者数の推計フロー(東京都, 1997)

② 発災 4 日後・1ヶ月後

この段階では、ライフライン復旧による帰宅行動およびライフライン途絶が継続することによる生活困窮度の増加を考慮している。

発災 4 日後における断水時の居住支障率を 0.91 とし、発災 1 ヶ月後では、水道機能は 100% 復旧しているとしている。

■発災 4 日後

$$\begin{aligned} \text{避難人口} &= \text{全壊・焼失人口} + 0.503 \times \text{半壊人口} \\ &\quad + 0.362 \times \text{発災 4 日後の断水率} \times \text{被害なし人口} \\ &\quad + 0.91 \times (1 - 0.362) \times \text{発災 4 日後の断水率} \times \text{被害なし人口} \end{aligned}$$

$$\text{避難所生活者数} = 0.65 \times \text{避難人口}$$

$$\text{疎開者数} = 0.35 \times \text{避難人口}$$

■発災 1 ヶ月後

$$\text{避難所生活者数} = 0.65 \times (\text{全壊・焼失人口} + 0.503 \times \text{半壊人口})$$

$$\text{疎開者数} = 0.35 \times (\text{全壊・焼失人口} + 0.503 \times \text{半壊人口})$$

○千葉県(08)では…

エレベーターの停止による避難者数も求めている。

エレベーター停止による避難者数 = 0.107 × 残りの人口^{*} × エレベーター停止率

* 残りの人口 = (被害なし人口 - ライフライン支障により避難する人口)
× 6階以上の住宅に住んでいる人の割合

○徳島県(05)では…

発災 1 ヶ月後における避難者は自宅建物被害を受ける人だけとしている。

○札幌市(08)では…

冬の場合、断水の代わりに停電を考慮している。

○大分県(13)では…

発生 4 日後ではなく 1 週間と仮定し、自宅建物に被害のなかった避難所生活者や避難所外避難者は、ライフライン(水道)が復旧することによって帰宅行動をとると仮定している。

b) 埼玉県(1998)の手法

○採用自治体：宮城県(04), 鳥取県(05), 仙台市(02)

埼玉県(1998)では、以下の仮定を設定し、避難所における就寝者数を予測している。

- ・避難所におけるピーク時の就寝者数は、全壊+半壊+焼失世帯の居住人口とする。
- ・避難所の推移は、1～5日後まではピークの値を維持し、その後徐々に減少し、1ヶ月後には全壊+焼失世帯の65%が避難所に避難しているものとする。
- ・1ヶ月後の避難世帯数が仮設住宅供給数と一致するものとする。
- ・1ヶ月後以降、避難者数の推移は仮設住宅建設の状況に依存するため、定量的な想定は行っていない。

c) 大阪府(1997)の手法

○採用自治体：滋賀県(05), 大阪府(07), 堺市(09)

大阪府(1997)では、様々な項目の想定結果を使用して、罹災者と避難所生活者の推計を行っている。

表III-3-31 罹災者と避難所生活者の推計手法(大阪府(1997)より作成)

要因項目	罹災者	避難所生活者
① 建物被害	全壊・半壊住宅の世帯人口	避難所生活者 = 罹災者数 × 避難所生活者率 罹災者数：左記の推計値 避難所生活者率：兵庫県南部地震(1995) の兵庫県におけるピーク時の比率(29%)
② 地震火災	最大焼失住宅の世帯人口(①を除く)	
③ 危険物災害	考慮しない	
④ 津波災害	浸水範囲の津波床上浸水の世帯人口	
⑤ 斜面災害	全・半壊人家の世帯人口(斜面崩壊)	
⑥ ライフライン機能障害	考慮しない	

d) 神奈川県(2009)の手法

○採用自治体：神奈川県(09), 川崎市(13)

県内で実施したアンケート結果を用いて、避難者数、避難所生活者数、知人宅などへの疎開者数を直後、1日後、4日後、1ヵ月後に分けて用いている。

表III-3-32 疎開者の割合(神奈川県, 2009)

避難の要因	直後	1日後	4日後	1ヵ月後	うち疎開の割合
無被害(余震に対する不安等)	0%	25%	0%	0%	0%
自宅が半壊、一部破損	70%	70%	70%	70%	13%
自宅が全壊、全焼	100%	100%	100%	100%	13%
断水	0%	59%	59%	59%	13%
エレベータ停止	0%	39%	39%	0%	13%

e) その他の手法

○採用自治体：三重県(06), 香川県(13), 名古屋市(99), 川崎市(13)

その他にも、以下のように被災者数等を求めている自治体もある。

○名古屋市(1999)

$$\text{被災者数} = \text{全壊家屋に住む人口} + \text{半壊家屋に住む人口} \times 0.8^{\text{(注1)}}$$

$$+ \text{焼失家屋に住む人口} - (\text{全壊率} + \text{半壊率} \times 0.8) \times \text{焼失家屋内人口}$$

(注1) 兵庫県南部地震(1995)における神戸市内の住家の全半壊家屋に住む推定人口とピーク時被災者数(避難者数)の関係から、全壊家屋に住む全人口に半壊家屋に住む人口の8割を加算している。

○三重県(2006)

$$\text{避難所への避難者数} = \text{全壊・焼失人口} \times 623 / 1029$$

○香川県(2013)

津波の影響を受けない範囲(津波浸水域外)

$$(\text{全避難者数}) = (\text{全壊住宅棟数} + 0.13 \times \text{半壊住宅棟数}) \times (1 \text{ 棟当たりの平均居住者数}) + \\ (\text{断水人口}^{\text{(注2)}}) \times (\text{断水時生活困窮度}^{\text{(注3)}})$$

津波の影響を受ける範囲(津波浸水域内)

$$(\text{全避難者数}) = (\text{津波浸水深 } 30\text{cm} \text{ 以上の地区の全人口})^{\text{(注4)}}$$

(注1) 断水人口は、自宅建物被害を原因とする避難者を除く断水世帯人員を示す

(注2) 断水時生活困窮度とは、自宅建物は大きな損傷をしていないが、断水が継続されることにより自宅での生活し続けることが困難となる度合を意味する。時間とともに数値は大きくなる。阪神・淡路大震災の事例によると、水が手に入れば自宅の被害がひどくない限りは自宅で生活しているし、半壊の人でも水道が復旧すると避難所から自宅に帰っており、逆に断水の場合には生活困窮度が増す

(注3) 発生後3日間における、津波の影響を受ける範囲の避難者数は、津波浸水深30cm以上の全人口とする

(3) その他の手法

a) 山形県(2006)の手法

○採用自治体：山形県(06)

山形県(2006)は地表最大速度を指標に避難者率を定め、避難者数を求めている。

$$(避難者数) = (避難者率) \times (発災時の人口 : 昼間または夜間)$$

表III-3-33 避難者率(山形県, 2006)

地表最大速度(cm/s)	避難者率(%)
~20	0.0
20~30	1.0
30~40	5.0
40~50	5.0
50~60	5.0
60~70	10.0
70~80	10.0
80~90	10.0
90~	15.0

b) 岡山県(2013)の手法

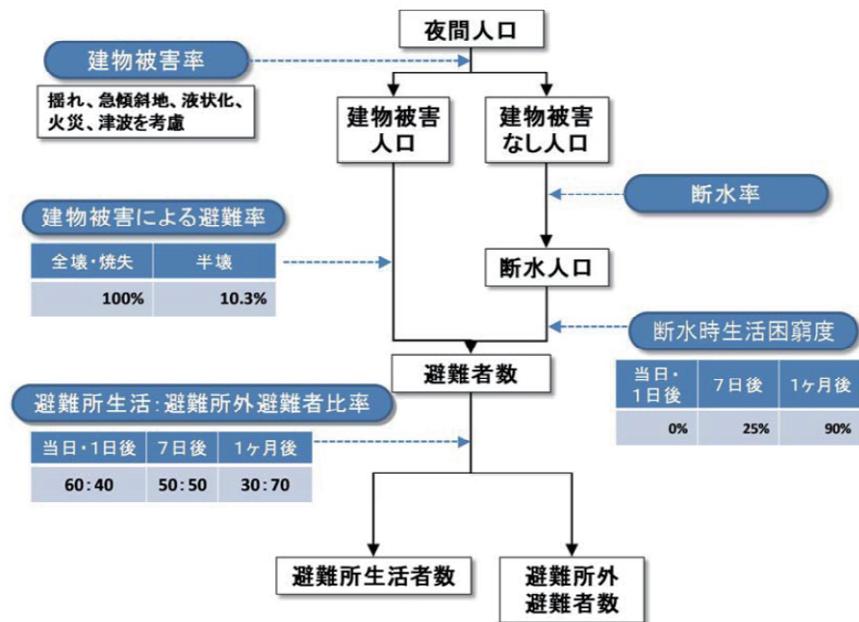
○採用自治体：岡山県(13)

岡山県(2012)は津波浸水区域内・浸水区域外に分けて想定を行っている。

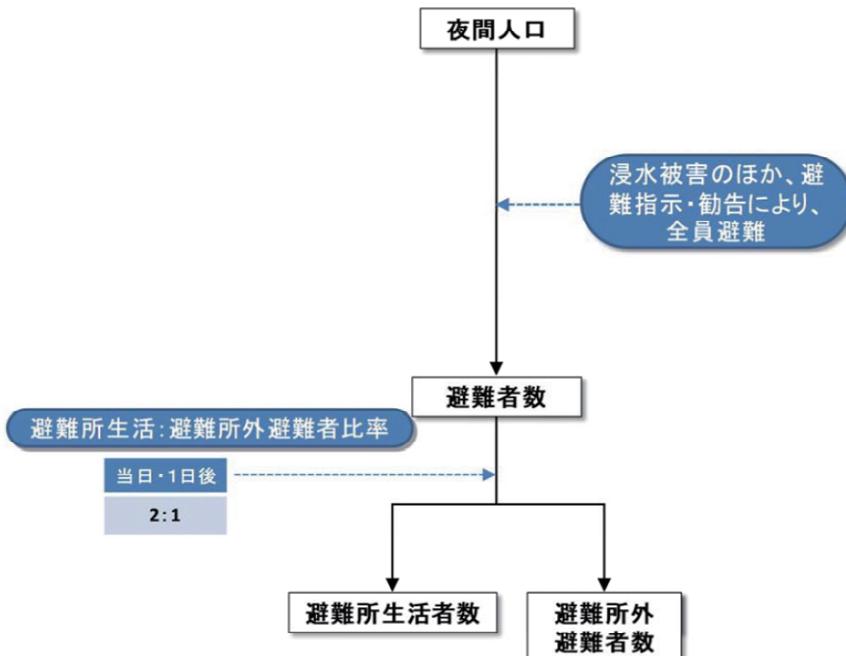
図III-3-32～図III-3-34に、それぞれ、津波浸水区域内・浸水区域外における想定フローを示す。同図に示すように、浸水区域内では、当日・1日後において、浸水被害の他、避難指示・勧告によって、全員が避難するとしている。また、浸水区域内(4日目以降)、及び浸水区域外における避難者は、建物被害による避難者と、ライフライン被害による避難者に分けて計算を行う。ライフラインの復旧程度を表す指標として、水道の断水率を用いる。なお、避難所生活者と避難所外避難者数の比率(表III-3-34)、建物被害による避難率、断水時生活困窮度は(中央防災会議南海トラフ巨大地震モデル検討会等(2013))を用いる。

表III-3-34 避難所生活者：避難所外避難者の比率(岡山県, 2013)

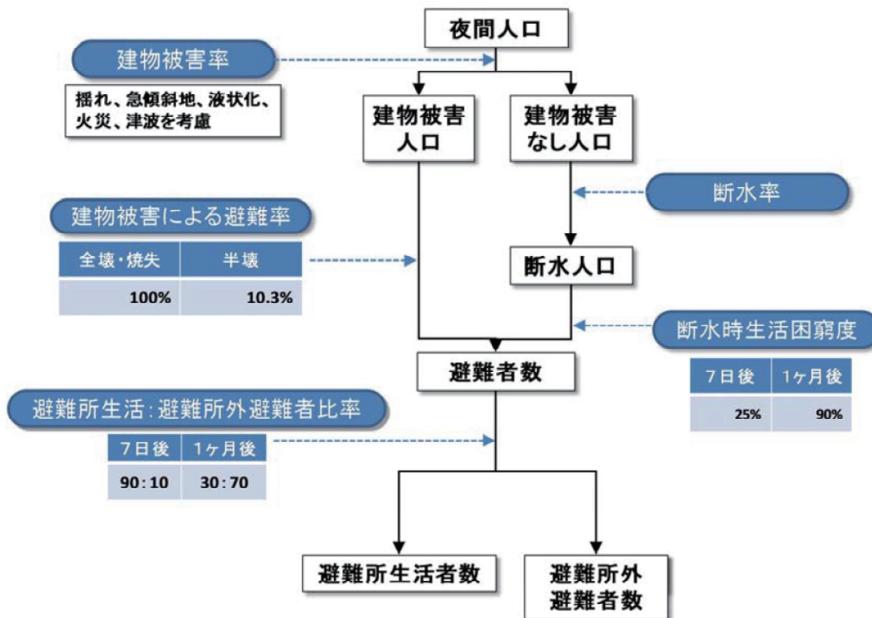
	当日・1日後	1週間後	1か月後
浸水区域内	2:1	90:10	30:70
浸水区域外	60:40	50:50	



図III-3-32 避難者数の想定フロー(①津波浸水区域外)(岡山県, 2013)



図III-3-33 避難者数の想定フロー(②津波浸水区域内 : 3日目まで)(岡山県, 2013)



図III-3-34 避難者数の想定フロー(③津波浸水区域内：4日目以降)(岡山県, 2013)

c)高知県(2013)の手法

○採用自治体：高知県(13)

各市町村の避難生活者数は、津波の影響を受けない範囲(内陸部)と、津波浸水地域(沿岸部)の避難生活者数を区分して算出した。津波浸水地域(沿岸部)については、被害を受けた建物棟数から地震発生後(3日間)の避難生活者数と4日目以降の避難生活者数を分けて想定した。

1)内陸部(津波浸水域外)における避難生活者数の算出

$$\begin{aligned} \text{全避難生活者数} = & (\text{全壊建物棟数} + 0.13 \times \text{半壊棟数}) \times \text{市町村別の1棟当たり平均人員数} \\ & + \text{断水人口} \times \text{断水時生活困窮度}^{\ast\ast} \end{aligned}$$

※生活困窮度：(当日・1日後)0.0 ⇒ (1週間後)0.25 ⇒ (1か月後)0.90

阪神・淡路大震災の実績及び南海トラフ巨大地震による被害の甚大性・広域性を考慮して、発災当日・1日後、1週間後、1か月後の避難所避難者と避難所外避難者の割合を以下のように想定する。

避難所避難者と避難所外避難者の割合：

$$(\text{当日・1日後})60:40 \Rightarrow (\text{1週間後})50:50 \Rightarrow (\text{1か月後})30:70$$

2)津波浸水域における避難生活者数の算出

① 地震発生直後(3日間)における避難生活者数の算出

ア)全壊建物、半壊建物

全員が避難する。(半壊建物も、屋内への漂流物等により、自宅では生活不可)

イ)一部損壊以下の被害建物(床下浸水を含む)

津波警報に伴う避難指示・勧告により全員が避難する。

ウ) 避難所避難者と避難所外避難者・疎開者等

東日本大震災における浸水範囲の全人口は約 60 万人(総務省統計局の集計より)内閣府の集計より、東日本大震災における最大の避難所避難者数は約 47 万人(3月 14 日)である。沿岸部の避難所避難者数は約 40 万人であることから、以下のように設定する。

避難所避難者：避難所外避難者 = 40 : (60 - 40) = 2 : 1

避難所避難者数(発災当日～発災 2 日後) = 津波浸水地域の居住人口 × 2/3

② 地震発生後 4 日目以降の避難者数の算出

$$\begin{aligned} \text{全避難生活者数} &= (\text{全壊建物棟数} + 0.13 \times \text{半壊棟数}) \times \text{市町村別の 1 棟当たり平均人員数} \\ &\quad + \text{断水人口} \times \text{断水時生活困窮度} \end{aligned}$$

東日本大震災の実績及び南海トラフ巨大地震による被害の甚大性・広域性を考慮して、発災当日・1 日後、1 週間後、1 か月後の避難所避難者と避難所外避難者の割合を以下のように想定する。

避難所避難者と避難所外避難者の割合 : (1 週間後) 90 : 10 ⇒ (1 か月後) 30 : 70

3-4. 帰宅困難者数

(1) 東京都(1997)の手法

○採用自治体：群馬県(12), 埼玉県(07), 千葉県(08), 東京都(12), 神奈川県(09), 大阪府(07), 岡山県(13), 広島県(07), 山口県(08), 高知県(13), 福岡県(12), 熊本県(13), 大分県(13), さいたま市(09), 横浜市(12), 川崎市(13), 広島市(08)

外出者、帰宅困難者を以下のように定義し、地震発生後の帰宅困難者数を予測している。

外出者：地震発生直後、交通機関の停止により自宅がある区市町村以外で足止めされた人々
帰宅困難者：外出者のうち徒歩で帰宅することが困難な人々

ここでは、就業者や学生だけでなく、私事目的による移動者も考慮している点が特徴である。
人口動態の基礎データとして、国勢調査やパーソントリップ調査の結果を使用している。

震度5以上のゆれで交通機関は点検等のため停止する。夜間に入ると運行再開に時間がかかる点を考慮し、帰宅手段としては徒歩のみを想定する。自宅までの帰宅距離は、滞留している所在地と帰宅先の区市町村庁舎間の距離を代表させている。

帰宅困難者の判定は以下の基準によっている。

- ・帰宅距離 10km以内の人は全員「帰宅可能」とする。
- ・帰宅距離 10~20kmでは、被災者個人の運動能力の差から、1kmごとに「帰宅可能」者が10%ずつ低減していくものとする。
- ・帰宅距離 20km以上の人には全員「帰宅困難」とする。

○大阪府(07)では…

大阪府と他府県間の流動については大阪府境界を跨ぐ流動を帰宅困難トリップとし、大阪府内々の流動について代表地点（市町村役場の所在地）間距離による帰宅困難割合を考慮して帰宅困難者数を算定している。

○岡山県(13)では…

従来の帰宅困難者率と東日本大震災発災当日における実績を基に設定された新しい帰宅困難者率の双方で計算し、幅を持たせた推定結果としている。

○川崎市(13)では…

川崎市を通り川崎市近郊の市区に徒歩で帰宅する人のうち川崎市内で力尽きる人数も考慮している。

○横浜市(12)では…

観光客の統計データを用いて、休日における帰宅困難者も統計。

(2) 三重県(2006)の手法

○採用自治体：三重県(06)

三重県では、隣の市町村へは比較的帰宅が容易でありそれ以外の遠方へは帰宅が困難であるとし、隣の市町村への帰宅率と、隣の市町村以外からの帰宅率を設定して帰宅困難者数を算出している。

表III-3-35 帰宅率(%) (三重県, 2006)

震度	隣の市町村から	隣の市町村以外から
4以下	100	100
5弱～5強	100	50
6弱以上	50	25

4. ライフライン被害の予測

本節では、「電力」「通信」「上水道」「下水道」「ガス」について、被害および復旧の予測手法を整理する。

電力・通信の被害については、電柱・架空線・地下ケーブルなどを対象に地震動の大きさや液状化の発生状況から、経験的な被害発生傾向に基づき被害を予測している。例えば、電柱の場合は、震度や地表最大加速度に対する標準被害率を設定し、液状化の状況に応じて補正係数を掛け合わせて予測している自治体が多い。

上水道・下水道・都市ガスの被害については、埋設管を対象に、地表最大加速度・地表最大速度・SI値などの指標を用いて標準被害率を設定し、液状化の状況、管種や管径の条件に応じて補正係数を掛け合わせる手法が広く用いられている。ただし、下水道の予測手法においては、地震動の指標が用いられず、液状化危険度による指標を用いて評価する場合もある。

こうした経験的手法による被害予測結果には相当の不確定性を伴う反面、少ないパラメータで被害率を算定できることから、マクロな被害予測には大変有効な手法である。なお、標準被害率や各種補正係数は、自治体によって様々な値が採用されている。

各自治体の被害想定において、ライフラインの被害予測に用いられている地震動指標を下表にまとめる。ただし、電力・通信については評価項目が複数あるため集計していない。

表III-4-1 主なライフライン被害予測に用いられる地震動指標

	主な地震動指標	採用自治体数
電力（電柱）	<input type="checkbox"/> 震度 <input type="checkbox"/> 最大加速度 <input type="checkbox"/> 震度と建物全壊率を併用	17 1 15
上水道	<input type="checkbox"/> 地表最大速度V <input type="checkbox"/> SI値 <input type="checkbox"/> 地表最大加速度A	32 3 5
下水道	<input type="checkbox"/> 地表最大速度V <input type="checkbox"/> SI値 <input type="checkbox"/> 地表最大加速度A <input type="checkbox"/> 震度階 <input type="checkbox"/> 地震力の指標なし（液状化危険度を用いて土砂堆積延長を算出する手法）	7 3 9 8 10
都市ガス※	<input type="checkbox"/> 地表最大速度V <input type="checkbox"/> SI値 <input type="checkbox"/> 地表最大加速度A	9 9 5
プロパンガス	<input type="checkbox"/> 計測震度 <input type="checkbox"/> 全半壊率	6 3

(注1) 近年、SI値によって機能支障を直接予測する手法を採用する自治体が増加しているため、被害予測手法自体の採用自治体は減少傾向にある。

4-1. 電力の被害・復旧

(1) 施設被害の予測

電力施設の被害予測は、電柱、架空線（配電線）、地下ケーブルの3つに分けて実施している自治体が多い。

電柱と架空線については、電力施設の被害予測を実施しているほぼ全ての自治体で行われているが、地下ケーブルについては総延長が短い等の理由により予測を実施していない自治体もある。

以下に、各自治体で採用されている手法の概略を次の区別別にまとめる。

①電柱の被害

- a) 東京都(1997)等の手法
- b) 広島県(1997)の手法
- c) 福岡県(2006)の手法
- d) 仙台市(2002)の手法
- e) 神奈川県(1986)の手法
- f) 東京都(2006)の手法

②架空線（配電線）の被害

- a) 東京都(1997)等の手法
- b) 神奈川県(1986)の手法
- c) 山形県(2006)・札幌市(2008)等の手法
- d) 香川県(2013)の手法

③地下ケーブルの被害

- a) 東京都(1997)等の手法
- b) 東京都防災会議(1991)の手法
- c) 仙台市(2002)の手法
- d) 東京都(2006)の手法

④ その他の手法

- a) 中央防災会議 南海トラフ巨大地震モデル検討会等(2013)の手法

① 電柱の被害

a)～d)は震度、e)は最大加速度、f)は震度と建物全壊率を併用して、地震動指標としている。

a) 東京都(1997)等の手法

○採用自治体：青森県(97), 宮城県(04), 山形県(06), 栃木県(04), 山梨県(05), 静岡県(01), 愛知県(03), 三重県(06), 鳥取県(05), 愛媛県(02), 大分県(13), 札幌市(08), 横浜市(12), 新潟市(07)

火災を考慮しない場合の被害率の予測（下式右辺第1項）では、兵庫県南部地震(1995), 日本海中部地震(1983)による被害に基づく標準被害率 R を設定している。

火災に関する項（下式右辺第2項）に関しては、延焼区域の施設が全て被災するとする自治体や、 N_f は建物の焼失率に等しいとする自治体がある。なお、大分県(13), 横浜市(12)は焼失率を考慮しない。また、横浜市(12)では津波による電柱流失は生じないと判定している。

$$N_d^P = C_l \cdot R / 100 \cdot N + N_f \cdot N$$

N_d^P : 被害量(基)

C_l : 液状化条件による補正係数

R : 標準被害率(%)

N : 設備量(基)

N_f : 焼失率

表III-4-2 電柱の標準被害率 R (単位: %)

震度	5 強以下	6 弱	6 強	7
青森県(97)	0.00	0.47		6.68
宮城県(04), 栃木県(04), 愛知県(03) 山形県(06), 大分県(13), 三重県(06)	0.00	0.55		6.68
新潟市(07), 横浜市(12)	0.0	0.5		6.7
札幌市(08)	0.0	0.3		4.7

表III-4-3 液状化条件による補正係数 C_l

P_L 値ランク	$P_L=0$	$0 < P_L \leq 5$	$5 < P_L \leq 15$	$15 < P_L$
横浜市(12)	1.0	1.1	1.3	2.1
札幌市(08)	1.0	1.2	1.5	2.8

大分県(13)では、液状化による補正係数 C_l を日本海中部地震における電柱の液状化地域と非液状化地域の被害率比により次のように算出している。

$$C_l = \text{液状化被害率} (=7) \times \text{液状化発生面積率} + 1 \times (1 - \text{液状化発生面積率})$$

b) 広島県(1997)の手法

○採用自治体：新潟県(98)

兵庫県南部地震(1995)における架空配電線の被害事例より被害率を設定している。延焼メッシュでは、メッシュ内の支持物数のうち焼失面積率分が焼損するものとしている。

表III-4-4 架空配電線支持物の被害率

震度	非液状化地域 ($P_L \leq 15$)	液状化地域 ($15 < P_L$)
5 強以下	0.0%	0.00%
6 弱～6 強	0.5%	0.65%
7	6.7%	8.71%

c) 福岡県(2006)の手法

○採用自治体：福岡県(12)

日本海中部地震(1983), 兵庫県南部地震(1995)による被害事例に基づき被害率を設定している。なお, 建物倒壊や火災によって被災する数量は考慮していない。

表III-4-5 電柱の被害率(単位: %) (福岡県, 2006)

震度	標準被害率 a	液状化係数 b	被害率 a×b
5 強以下	無被害	—	無被害
6 弱	0.13	$0.98 + 0.014 P_L$	$0.13 + 0.0018 P_L$
6 強以上	0.49	$0.99 + 0.006 P_L$	$0.49 + 0.0029 P_L$

d) 仙台市(2002)の手法

○採用自治体：仙台市(02)

兵庫県南部地震(1995)での被害事例から被害率を設定している。折損, 倒壊, 傾斜, 焼失などを対象としている。

表III-4-6 架空配電線設備の被害率(仙台市, 2002)

震度	非液状化地域	液状化地域
6 弱～6 強	3.7%	6.0%
7	19.0%	19.0%

e) 神奈川県(1986)の手法

○採用自治体：福井県(97)

神奈川県(1986)では、新潟地震(1964)と宮城県沖地震(1978)の被害事例に基づき下表のような電柱の被害率を設定している。

表III-4-7 電柱 100 基あたりの被害本数(神奈川県, 1986)

		地表最大加速度				液状化地域 ($15 < P_L$)
		150gal 以下	151gal～ 300gal	301gal～ 400gal	400gal 以上	
折 損	コンクリート柱	0.00	0.00	0.01	0.03	0.9
	木柱	0.00	0.00	0.01	0.02	0.2
倒 壊	コンクリート柱	0.00	0.00	0.03	0.10	3.4
	木柱	0.00	0.00	0.01	0.03	0.9

f) 東京都(2006)の手法

○採用自治体：秋田県(13), 群馬県(12), 埼玉県(07), 千葉県(08), 神奈川県(09), 島根県(12), 岡山県(13), 広島県(07), 山口県(08), 香川県(13), 高知県(13), 熊本県(13), さいたま市(09), 川崎市(13), 広島市(08)

中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」(2003-2004)・中央防災会議「東南海, 南海地震等に関する専門調査会」(2006), 中央防災会議「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定」(2008)も採用

建物全壊の巻き込まれによる電柱折損本数と, ゆれによる電柱折損本数を算出している.

$$\text{電柱被害本数} = \text{地震動による電柱折損本数} + \text{建物全壊による電柱折損本数}$$

- 建物全壊による電柱折損本数=電柱本数×0.17155×木造建物全壊率
(兵庫県南部地震(1995)の実態による)
- ゆれによる電柱折損本数=電柱本数×ゆれによる電柱折損率

表III-4-8 ゆれによる電柱折損率(中央防災会議, 2005)

	揺れによる電柱折損率
震度7	0.8%
震度6	0.056%
震度5	0.00005%

○島根県(12), 川崎市(13)では...

ゆれによる電柱折損率は1995年阪神・淡路大震災被害調査結果を基に設定している.

- | | |
|-------|------|
| 震度7 | 6.7% |
| 震度6以上 | 0.5% |
| 震度5以上 | 0.0% |

○中央防災会議「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定」(2008), 秋田県(13)では...

加えて, 延焼による電柱被害を, その被害率が焼失率に一致するものとして算出する.

$$\text{延焼による電柱折損本数} = \text{電柱本数} \times \text{焼失率}$$

② 架空線（配電線）の被害

a) 東京都(1997)等の手法

○採用自治体：宮城県(04), 栃木県(04), 静岡県(01), 愛知県(03), 愛媛県(02)

過去の地震被害事例をもとに、下式により被害を予測している。

$$n_d^C = a \cdot N_d^P / L$$

n_d^C : 架空線平均被害率(箇所/km)

a : 支持物 1 本当り架空線の被害径間(箇所/本)

* 兵庫県南部地震(1995)の被害事例から、東京都は0.396, 愛知県は0.4としている

N_d^P : 支持物被害量(本)

L : 当該供給エリアの架空線直長(km)

b) 神奈川県(1986)の手法

○採用自治体：福井県(97)

過去の地震被害事例に基づき被害率を設定している。

表III-4-9 架空配電線の被害率(神奈川県, 1986)

地表最大加速度	150gal 以下	151gal～ 300gal	301gal～ 400gal	401 gal 以上	液状化地域 ($15 < P_L$)
コンクリート柱	0	0.01	0.32	1.2	11.0
木柱	0	0.002	0.05	0.18	2.6

(単位：条・スパン／電柱 100基あたり)

c) 山形県(2006)・札幌市(2008)等の手法

○採用自治体：山形県(06), 札幌市(08)

電柱被害本数から、被害延長を求めている。

架空配電線の物的被害量は、電柱と架空配電線の被害量との関係式を用いて被害直長を算出する。これは、兵庫県南部地震(1995)の被害データをもとに定量化した手法である。

架空配電線の物的被害量(被害直長)は次式により算出される。

$$\text{被害直長} = a \times b \times N_{dp}$$

(被害率 = 被害直長 / 架空配電線の直長)

a : 兵庫県南部地震(1995)における架空線断線径間 / 電柱被害本数 (=0.4)

b : 架空配電線の径間直長(km / 径間)

N_{dp} : 電柱被害本数(本)

d) 香川県(2013)の手法

○採用自治体：香川県(13), 高知県(13)

津波・火災による被害を想定している。

(a) 津波による被害

津波による建物全壊率と同じ割合で停電が発生すると想定した。

$$(津波による架空線停電率) = (津波による建物全壊率)$$

(b) 火災による被害

火災による建物焼失棟数率と同じ割合で停電が発生するものと想定した。

$$(火災による停電率) = (火災延焼による建物焼失棟数率)$$

③ 地下ケーブルの被害

a) 東京都(1997)等の手法

○採用自治体：宮城県(04), 山形県(06), 栃木県(04), 静岡県(01), 愛知県(03), 三重県(06), 愛媛県(02), 札幌市(08), 横浜市(12)

兵庫県南部地震(1995)による被害事例に基づき被害率を設定している。

$$N_d = C_l \cdot R / 100 \cdot L$$

N_d : 被害量(km)

C_l : 液状化条件による補正係数

R : 標準被害率(%)

L : 設備量(km)

表III-4-10 地下線の標準被害率 R

震度	5強以下	6	7
宮城県(04), 栃木県(04) 愛知県(03), 愛媛県(02) 札幌市(08), 三重県(06), 山形県 (06)	0.00	0.30	4.70

表III-4-11 地下線の標準被害率 R (横浜市, 2012)

震度	液状化危険度	
	高い	低い
5強以下	被害なし	被害なし
6弱, 6強	1.5	0.3
7	7.4	7.4

b) 東京都防災会議(1991)の手法

○採用自治体：福井県(97)

$$L_c = C_{gl} \cdot R(A) \cdot L$$

$$R(A) = \begin{cases} 0 & (A < 200) \\ 0.002A - 0.4 & (200 \leq A < 300) \\ 0.2 & (A \geq 300) \end{cases}$$

L_c : 地下ケーブルの被害総延長(km)

C_{gl} : 地盤・液状化補正係数

A : 地表最大加速度(gal)

L : 地下ケーブルの延長(km)

表III-4-12 地盤・液状化補正係数(東京都, 1991)

		地盤による補正		
		A	B	C
液状化 可能性	大	6.90	6.57	6.42
	中	4.80	4.14	3.84
	小	2.00	0.90	0.40

表III-4-13 地盤補正の区分(東京都, 1991)

f_o, σ_f による 分類	$3.5 \leq f_o \leq 4.5$ かつ $\sigma_f \geq 1.15$	$1.5 \leq f_o < 3.5$	$4.5 \leq f_o ;$ $3.5 \leq f_o < 4.5$ かつ $\sigma_f \leq 1.15$
3種地盤	A	A	B
2, 4種地盤	A	B	C
1種地盤	B	C	C

f_o : メッシュの平均的な卓越振動数

σ_f : f_o のばらつき

地盤・液状化補正係数については、上水道管被害予測と同じもの（後述の表III-4-30, 表III-4-31）を使用している。

c) 仙台市(2002)の手法

○採用自治体：仙台市(02)

兵庫県南部地震(1995)による被害事例に基づき被害率を設定している。

表III-4-14 地中配電設備の被害率(仙台市, 2002)

震度	非液状化地域
6 弱～6 強	6.0%
7	16.0%

d) 東京都(2006)の手法

○採用自治体：群馬県(12), 広島県(07), 山口県(08), 香川県(13), 広島市(08)

建物全壊率より算出している。

建物全壊による地中設備の路上設置機器の損壊率 = 建物全壊率×損壊係数 (=0.005)

○香川県(13)では...

津波による被害も想定している。

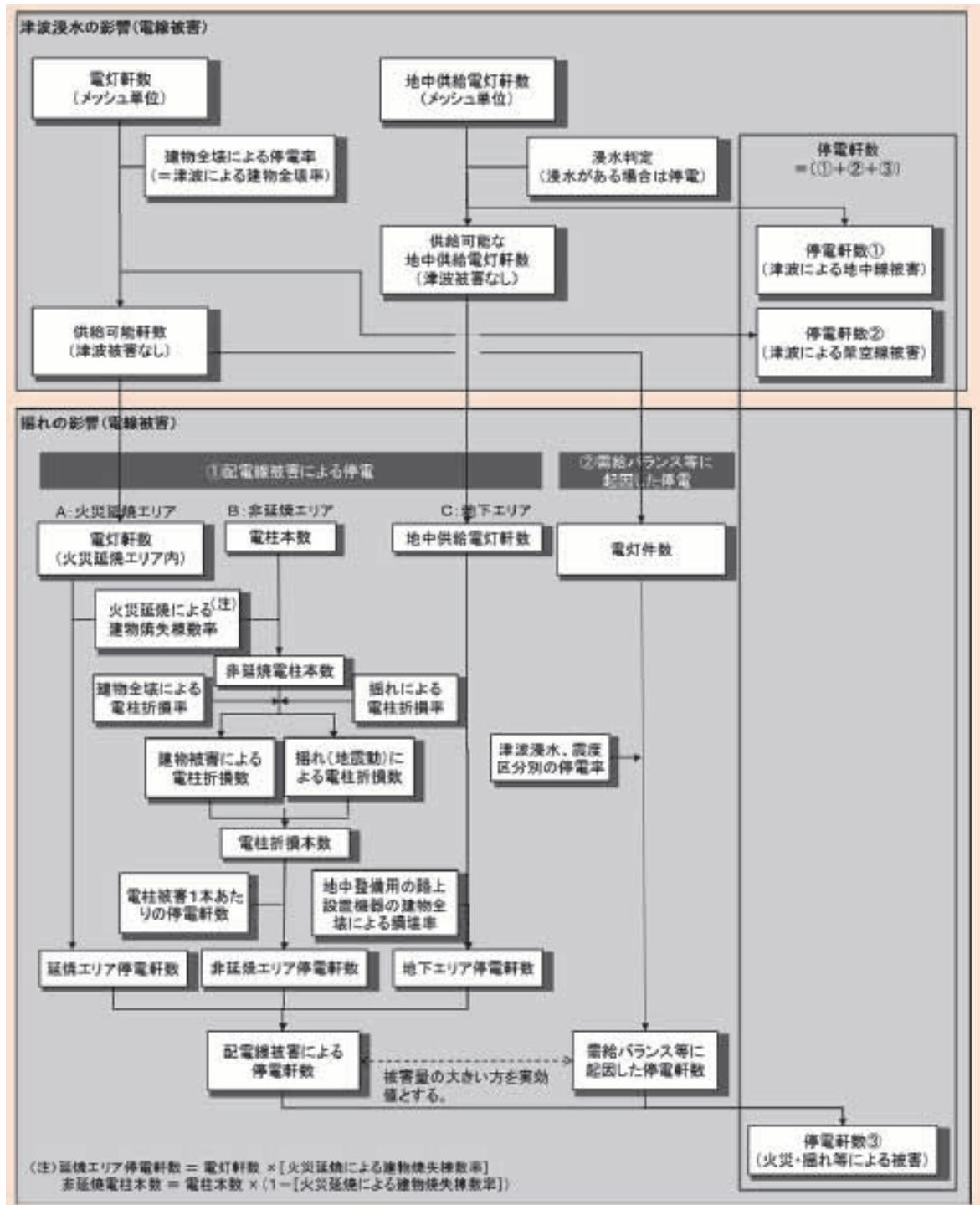
(津波による地中線停電率) = (津波浸水エリア) ÷ (全地中線エリア)

④その他の手法

a) 中央防災会議 南海トラフ巨大地震モデル検討会等(2013)の手法

○採用自治体：高知県(13)

・ 津波浸水及びゆれによる電線被害から、停電軒数を算出する。



図III-4-1 電力に関する被害想定フロー(中央防災会議, 2013)

注) 復旧予測にあたっては、津波浸水により建物全壊した需要家数に相当する停電軒数を別途算出し、復旧対象から除くものとする。

(2) 機能支障の予測（停電）

以下に、各自治体で採用されている手法の概略を次の区別別にまとめる。

- ①神奈川県(1993)の手法
- ②埼玉県(1998)の手法
- ③東京都(2006)の手法
- ④中央防災会議 東海地震対策専門調査会「東海地震に係る被害想定」(2001)の手法・中央防災会議 東南海・南海地震等に関する専門調査会「東南海・南海地震に係る被害想定」(2003)の手法
- ⑤央防災会議 首都直下地震対策専門調査会「東海地震及び東南海・南海地震に係る被害想定」(2005)の手法
- ⑥中央防災会議 東南海・南海地震等に関する専門調査会(2006)の手法
- ⑦中央防災会議「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定」(2008)の手法
- ⑧川崎市(2013)の手法

①神奈川県(1993)の手法

○採用自治体：山形県(06), 栃木県(04), 新潟県(98), 福井県(97), 愛知県(03), 三重県(06), 広島県(07), 山口県(08), 大分県(13), 札幌市(08), 新潟市(07), 広島市(08)

配電ツリーモデルにより物的被害と機能支障率の関係を計算し、その結果から回帰式を作成している。

$$Y = 19.5X^{0.35}$$

Y : 機能支障率(%)

X : 架空線の被害率(%)

○広島県(07), 山口県(08)では…

中央防災会議 首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」(2005)と同様、延焼エリアは全面的に停電するとしている

②埼玉県(1998)の手法

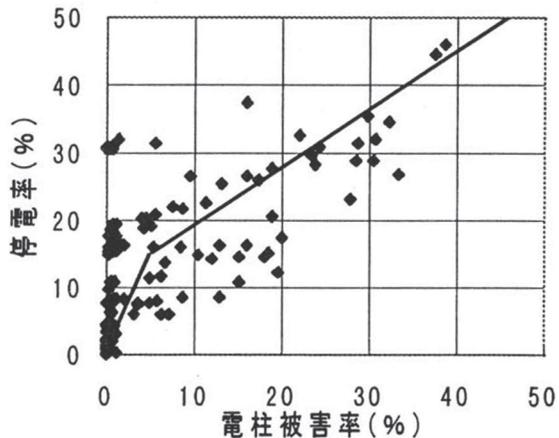
○採用自治体：さいたま市(09)

埼玉県(1998)は、東京都(1997)の結果を利用し、配電網を簡易モデル化することによって、電柱被害率と供給支障率の関係を求めていた。

$$Y = \begin{cases} 3X & (X \leq 5\%) \\ \frac{6}{7}X + \frac{75}{7} & (5\% < X) \end{cases}$$

Y : 停電率(%)

X : 電柱被害率(%)

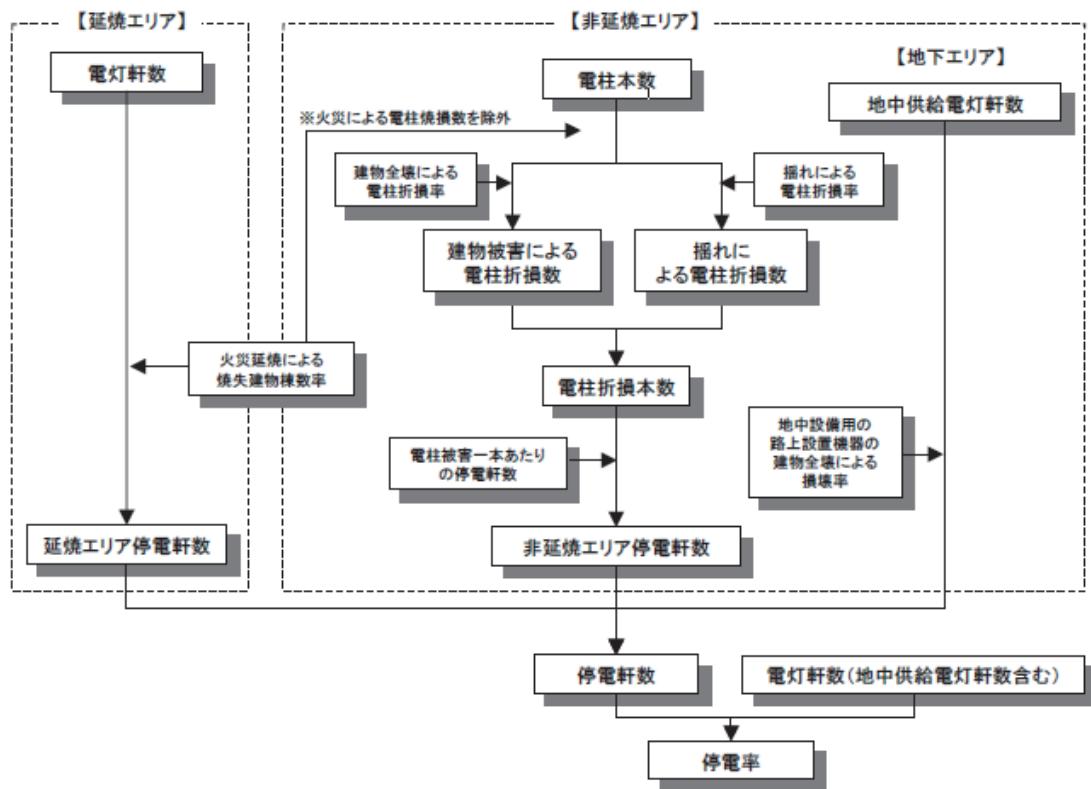


図III-4-2 電柱被害率と電力の機能支障率の関係(埼玉県, 1998)

③東京都(2006)の手法

○採用自治体：群馬県(12), 千葉県(08), 東京都(12), 神奈川県(09), 島根県(12), 熊本県(13), 横浜市(12)

東京都(2006)では、以下のように停電の予測を行っている。



図III-4-3 停電率の算出フロー(東京都, 2006)

- 停電率は、焼失面積率（焼失建物棟率）及び電柱被害数より算出した停電軒数と電灯軒数（地中供給電灯軒数含む）より求める。
- 火災延焼のあるエリアは、全面的に停電が生じると想定する。

- c) 非延焼エリアは、電柱被害から停電が生じると想定する。電柱被害の発生要因は、「ゆれ」及び「建物倒壊への巻き込まれ」と想定する。
- d) 地下エリアは、地中設備につながる路上設置機器の損壊により停電が生じると想定する。路上設置機器の損壊要因は、「建物倒壊への巻き込まれ」と想定する。
- e) 発電設備については、複数の発電所で被害があったとしても、地震発生直後に相当量の負荷脱落量があるために電源量不足にはならないとする。
- f) 変電設備については、過酷側の評価を行い、一部の変電所で被害が発生し、一旦、すべての設備が停止するものとした。停止変電所が供給している配電用変電所の供給軒数から、当該地域の配電線被害による停電軒数を引いたものを変電所被害による軒数とした。

【延焼エリア】

- i) 停電軒数=電灯軒数×焼失建物棟数率
- ii) 焼失棟数率=焼失建物棟数／(木造建物棟数+非木造建物棟数)

【非延焼エリア】

- i) 停電軒数=電柱被害本数×電柱被害一本当たりの停電軒数（事業所別）
- ii) 電柱被害一本当たりの停電軒数は、兵庫県南部地震(1995)時の電柱被害一本当たりの停電軒数実態に基づき、神戸三宮事業所と東京電力の各事業所との配電線数の比で補正した値を採用する。

○千葉県(08)では…

以下のように変数設定を行っている。

「対象地域における電柱被害に関する停電比」

$$\begin{aligned}
 &= \text{停電回線比} \times \text{配電係数} \times \text{電灯軒数} / \text{配電線数} \\
 &= 0.143 \times ((\text{配電線数} / \text{電柱基數}) / 1.303 \times 100) \times \text{電灯軒数} / \text{配電線数} \\
 &= 0.143 \times \text{電灯軒数} / \text{電柱基數} / 1.303 \times 100 \\
 &= \text{電灯軒数} / \text{電柱基數} \times 10.975
 \end{aligned}$$

○東京都(12), 群馬県(12)では…

停電軒数は、建物焼失による停電軒数と、電柱被害による停電軒数と、地中供給に係る路上設置機器の損壊による停電軒数の総和とする。東京都(12)ではさらに津波浸水による停電軒数を加えている。

【地下エリア】 停電軒数=地中供給電灯軒数×路上設置機器損壊による停電率

津波浸水エリアは全面的に停電が生じると想定し、以下の算定式を設けている。

【津波浸水エリア】 停電件数=電灯軒数×浸水エリアカバー率

○熊本県(13)では…

地中線被害による停電軒数を算出している。

【地下エリア】 停電軒数=地中供給電灯軒数×路上設置機器損壊による停電率

また、250m メッシュの浸水分布図をもとに、津波により「浸水の可能性がある施設数」を算定している。

④中央防災会議 東海地震対策専門調査会「東海地震に係る被害想定」(2001)の手法・中央防災会議 東南海、南海地震等に関する専門調査会 「東南海・南海地震に係る被害想定」(2003)の手法

○採用自治体：徳島県(05)

兵庫県南部地震(1995)の実態に基づき、ゆれ・液状化による全壊棟数に対する停電世帯の比率を用いて、各市町村の停電世帯数・人口を求めている。

$$(停電世帯数) = (全壊棟数 1 棟に対する停電世帯数比率) \times (全壊棟数)$$

表III-4-15 全壊棟数 1 棟に対する停電世帯数の比率(中央防災会議, 2003)

直後	1 日後	1 週間後	1 カ月後
25.0 世帯	3.8 世帯	2.0 世帯	0.0 世帯

⑤中央防災会議 首都直下地震対策専門調査会「東海地震及び東南海・南海地震に係る被害想定」(2005)の手法

○採用自治体：秋田県(13)

停電世帯数は、延焼エリアと非延焼エリアに分けて算出する。

停電世帯数=延焼エリアの停電世帯数+非延焼エリアの停電世帯数

【延焼エリア】

延焼エリアの停電世帯数は、以下の式で算出する。

延焼エリアの停電世帯数=延焼エリア世帯数×焼失率

【非延焼エリア】

非延焼エリアの停電世帯数は、阪神・淡路大震災の実態に基づき、ゆれ・液状化による全壊棟数に対する停電世帯の比率を用いて停電世帯数を求める。

非延焼エリアの停電世帯数=全壊棟数 1 棟に対する停電世帯数比率×全壊棟数

表III-4-16 全壊棟数 1 棟に対する停電世帯数の比率(中央防災会議, 2005)

直後	1 日後	1 週間後	1 カ月後
25.0 世帯	3.8 世帯	2.2 世帯	0.0 世帯

○秋田県(13)では...

【停電世帯数について】

阪神・淡路大震災の電力復旧について調査した結果、震災発生から7日後には応急送電完了の状態まで復旧していることが判明した(関西電力資料)。

中央防災会議(2005)の手法では、全壊棟数1棟に対する停電世帯数比率が下表のように示されているが、1週間後の値は阪神・淡路大震災の実態と異なるため、「直後」のみを使用することとしている。

表III-4-17 全壊棟数 1 棟に対する停電世帯数の比率(中央防災会議, 2005)

日数	停電世帯数
地震直後	25.0

⑥中央防災会議 東南海・南海地震等に関する専門調査会(2003)の手法

○採用自治体：岡山県(13), 高知県(13)

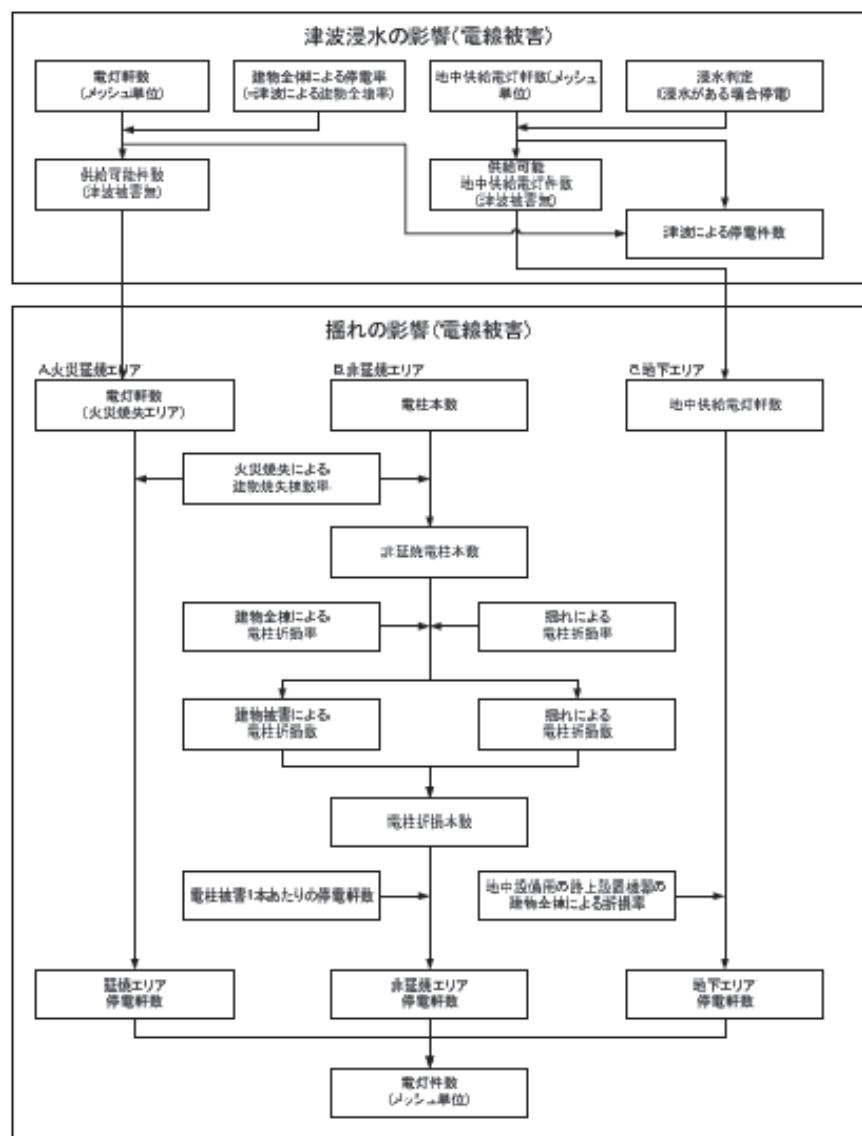
中央防災会議 南海トラフ巨大地震モデル検討会等（2013）も採用

(1)電柱等の被害, (2)火災による被害, (3)津波による被害による停電軒数を合計して、総停電件数としている。

⑦中央防災会議「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定」(2008)の手法

○採用自治体：香川県(13)

以下のように津波浸水による電線被害とゆれによる電線被害から停電軒数を算出している。



図III-4-4 電力の被害予測フロー

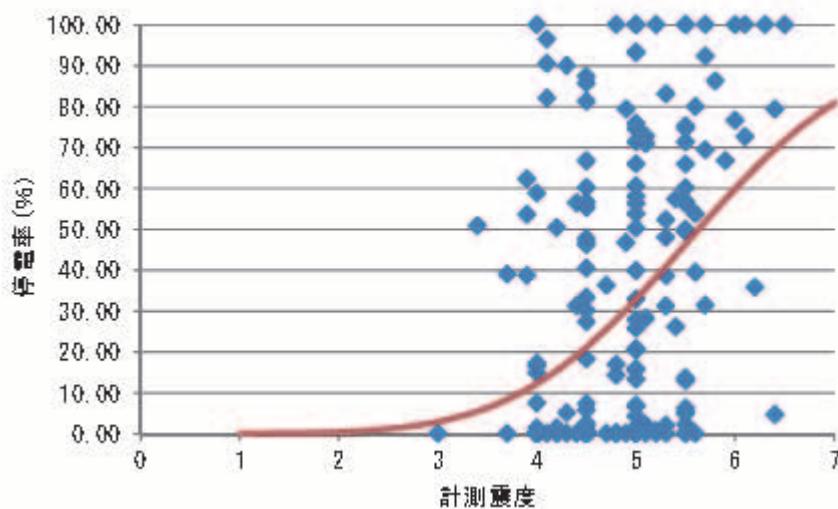
(中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定手法(案)について, 中央防災会議, 2008. 05)

$$(停電軒数) = (津波による停電軒数) + (ゆれ・火災による停電軒数)$$

⑧川崎市(2013)の手法

○採用自治体：川崎市(13)

庄司ら「2011年東北地方太平洋沖地震における1都5県の停電分析」(2012)で記載された東日本大震災時の関東地方の停電率を整理した。計測震度と停電率の関係を下図に示す。



(3) 復旧期間の予測

以下に、各自治体で採用されている手法の概略を次の区別別にまとめる。

- ①神奈川県(1986, 1993)の手法
- ②東京都防災会議(1991)等の手法
- ③札幌市(2008)の手法
- ④秋田県(2013)の手法
- ⑤岡山県(2013)の手法
- ⑥高知県(2013)の手法
- ⑦川崎市(2013)の手法

①神奈川県(1986, 1993)の手法

○採用自治体：新潟県(98), さいたま市(09), 新潟市(07)

これらの自治体で応急復旧の対象としている被害は、地震動・液状化により被害を受けた配電線支持物・配電線と、火災により被害を受けた配電線支持物・配電線のうち20%である。

復旧効率は、神奈川県(1986, 1993)等を参考に各自治体で以下の値を設定している。

表III-4-19 配電線復旧効率

	新潟県(98), 新潟市(07)	さいたま市(09)
電柱	0.53人日/基	3.6人日/基
電線	0.14人日/条	4.6人日/径間
変圧器	0.73人日/台	—
地下ケーブル	—	2.0人日/10m

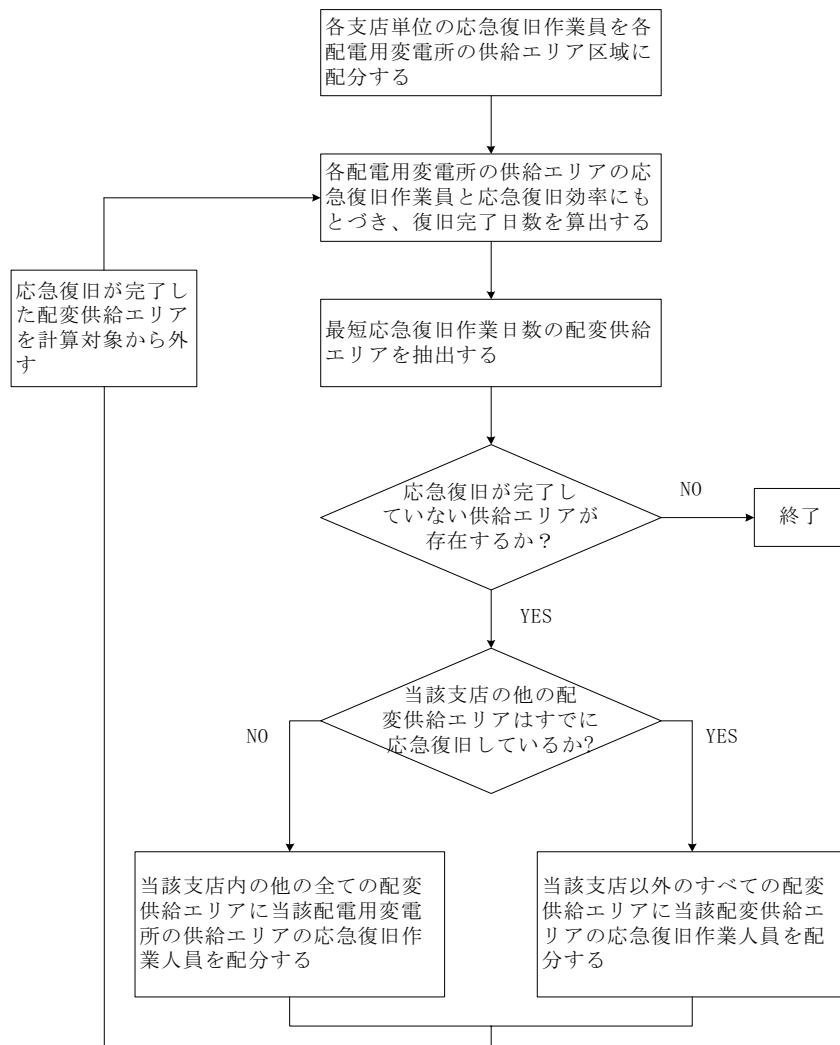
②東京都防災会議(1991)等の手法

○採用自治体：群馬県(12), 埼玉県(07), 千葉県(08), 広島県(07), 山口県(08), 札幌市(08), 広島市(08)

発災1日後までは被害調査等に当たられ、実質的な作業は発災2日目から行われると仮定している。東京都(1997)の予測フローを下図に示す。

表III-4-20 単位被害あたりの応急復旧人員・日数(東京都, 1997)

区分	作業効率	条件等
電柱	3.6(人日/基)	・標準仕様のコンクリート柱(14~15m)を仮設する ・変圧器、開閉器類を平均して加算する
架空線	4.6(人日/径間)	・高低圧本数とし、仮設する ・電線支持の腕金類を含む
地中電線 (フィーダー線含む)	2.0(人日/10m)	・路上にケーブル設置する



図III-4-6 応急復旧想定フロー(東京都, 1997)

○広島県(07), 山口県(08), 広島市(08)では…

復旧日数を次式から算出している。

$$\text{復旧日数} = \frac{(\text{電柱被害本数} \times \text{電柱1本当たりの作業時間})}{(\text{該当営業所数} \times \text{復旧作業架線班数})} / 1\text{日当たり作業時間}$$

電柱1本当たりの作業時間： 120 分/班

1日当たり作業時間： 12 時間

○群馬県(12)では…

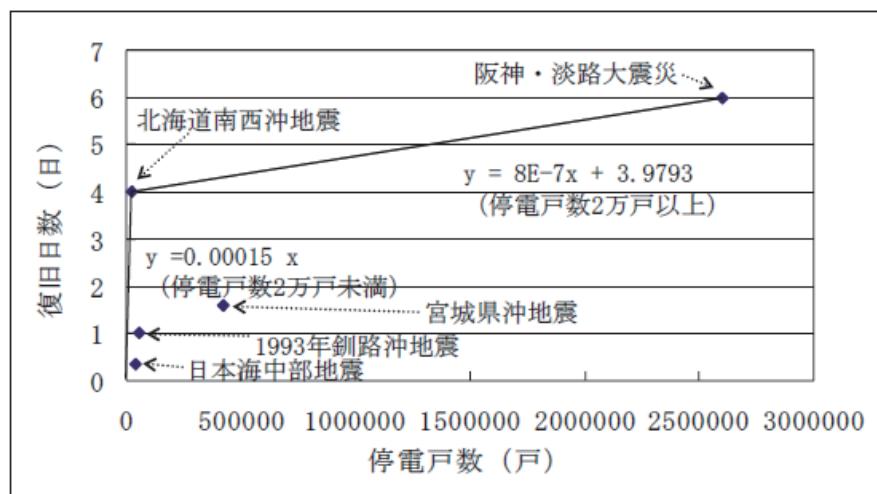
配電設備の復旧作業は、1日後から開始されるとする。ただし、実際のオペレーションとしては、復旧が即時可能な地域については、直後からの復旧作業を開始している。また、作業効率は電柱のみを考慮している。

③札幌市(2008)の手法

○採用自治体：札幌市(08)

札幌市(2008)では以下のように復旧日数を予測している。

兵庫県南部地震(1995), 北海道南西沖地震(1993), 釧路沖地震(1993), 日本海中部地震(1983)及び宮城県沖地震(1978)における停電戸数と復旧日数との関係から上限値を考慮した近似直線で復旧見込みを想定している。積雪期の復旧見込みはこれを0.7で割ったものとする。



図III-4-7 過去の地震における停電戸数と電力復旧日数との関係(札幌市, 2008)

④秋田県(2013)の手法

○採用自治体：秋田県(13)

電力の復旧日数は、電力の被害層想定による非燃焼エリアの電柱被害本数と復旧作業人数及び復旧作業効率から算出する。復旧作業効率は新潟県中越地震を参考に設定した。

【冬季以外】

$$\text{電力復旧日数} = (\text{電柱被害本数(非燃焼エリア)} + \text{電線被害数}) \\ / (0.56(\text{基/人日}) \times \text{復旧作業人数}) + 1$$

【冬季】

$$\text{電力復旧日数} = (\text{電柱被害本数(非燃焼エリア)} + \text{電線被害数}) \\ / (0.56(\text{基/人日}) \times \text{復旧作業人数}) / 0.7 + 1$$

$$\text{電線被害数} = \text{電柱被害本数(非燃焼エリア)} \times 0.7535^*$$

*0.7535=新潟県中越地震の被害率(電線被害数/電柱被害数)

⑤岡山県(2013)の手法

○採用自治体：岡山県(13)

地震発生直後、1日後、1週間後、1ヶ月後、の4段階での復旧を予測している。

【地震発生直後】震度に基づき停電率を想定する。ただし、震度6弱以上であれば停電率を100%とする。

【1日後】1日後の停電軒数は電柱被害に基づく推定式によるものとする。

【1週間後、1ヶ月後】1班3本/日程度の復旧効率を想定して矛盾しないことを確認しつつ想定する。

⑥高知県(2013)の手法

○採用自治体：高知県(13)

兵庫県南部地震(1995)の電気復旧の実績を参考とし、下記の条件を設定して復旧日数を予測している。

＜復旧作業の条件＞

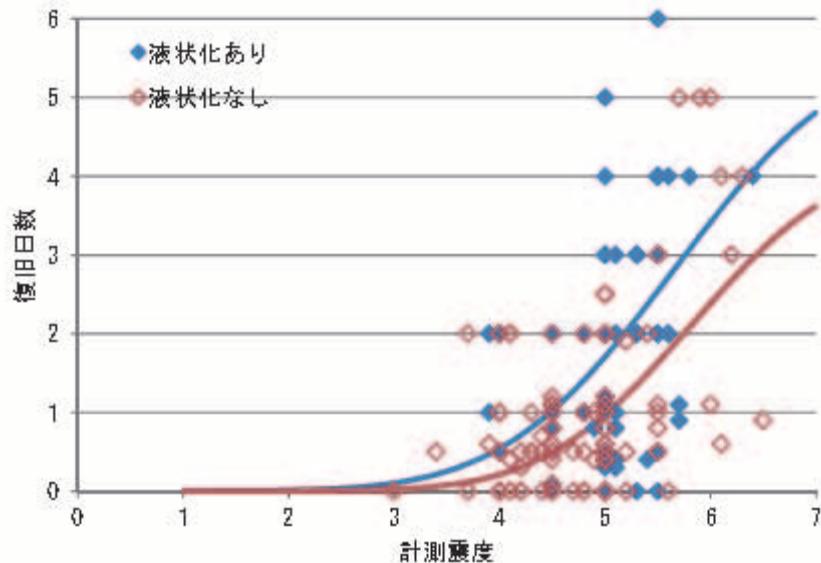
対象：

- ・四国電力株管理の電柱本数
- ・系統の切り替えなどにより支障件数の80%が復旧
- ・津波浸水域及び延焼範囲は応急復旧対象外
- ・電柱復旧作業に取り掛かるのは2日目から
- ・投入班数は200班と仮定
- ・復旧速度は3本/(班・日)
- ・長期湛水エリアは考慮しない

⑦川崎市(2013)の手法

○採用自治体：川崎市(13)

庄司ら「2011年東北地方太平洋沖地震における1都5県の停電分析」(2012)で記載された東日本大震災時の関東地方の復旧日数を整理した。計測震度と復旧日数の関係を下図に示す。



図III-4-8 計測震度と復旧日数(N=198)(川崎市, 2013)

上の図から最小二乗法に基づき、被害率曲線を構築した。

$$R(v) = C\Phi((\ln v - \lambda) / \zeta)$$

$R(v)$:標準被害率評価式 $\Phi(x)$:標準正規分布の確率分布関数

v :計測震度

表III-4-21 被害率曲線の回帰係数(川崎市, 2013)

PL値	C	λ	ζ
$15 < P_L$	5.62	5.65	1.27
$P_L \leq 15$	4.23	5.82	1.11

4-2. 通信の被害・復旧

以下に、各自治体で採用されている手法の概略を次の区別別にまとめる。

(1) 施設被害の予測

① 地下ケーブルの被害

- a) 新潟県(1998)の手法
- b) 青森県(1997)の手法

(2) 機能支障の予測

① 神奈川県(1993)の手法

② 東京都(1997)の手法

③ 埼玉県(1998)の手法

④ 愛知県(2003)の手法

⑤ 東京都(2006)の手法

⑥ 中央防災会議東海地震対策専門調査会「東海地震に係る被害想定」(2001)の手法

⑦ 中央防災会議南海トラフの巨大地震モデル検討会等(2013)の手法

⑧ 高知県(2013)の手法

⑨ NTT の手法

(3) 復旧期間の予測

① 神奈川県(1993)等の手法

② 東京都防災会議(1991)等の手法

③ 札幌市(2008)の手法

④ 群馬県(2012)の手法

⑤ 川崎市(2013)の手法

(1) 施設被害の予測

電話・通信施設については、電力施設の場合と同様に、電柱、架空線（配電線）、地下ケーブルの3つに分けて被害予測を実施している自治体が多い。予測手法についても電力施設と同様の手法や考え方が採用されている自治体が非常に多い。以下では、地下ケーブルについて電力施設の被害予測手法と異なる手法を採用している自治体についてまとめる。

① 地下ケーブルの被害

a) 新潟県(1998)の手法

○採用自治体：新潟市(07)

兵庫県南部地震(1995)による被害事例から、以下の被害率を震度階に応じて設定している。

表III-4-22 地下ケーブル被害率(新潟県, 1998)

	震度5強以下	震度6弱～6強	震度7
非液状化地区	0.00%	0.30%	4.70%
液状化地区	0.00%	1.50%	4.70%

b) 青森県(1997)の手法

○採用自治体：青森県(97), 横浜市(12)

$$N_d = C_l \cdot R / 100 \cdot L$$

N_d : 被害量(km)

C_l : 液状化条件による補正係数（上水道被害予測に同じ）

R : 被害率(%)

L : 設備量(km)

表III-4-23 地下ケーブル被害率(青森県, 1997)

震度5以下	震度6	震度7
0.00%	0.30%	4.70%

(2) 機能支障の予測

①神奈川県(1993)の手法

○採用自治体：新潟県(98), 新潟市(07)

電話施設の市内設備ツリーモデル化により物的被害と機能支障率の関係を計算し、回帰式を作成している。

$$Y = 11.1X$$

Y : 機能支障率(%) X : 架空線の被害率(%)

○新潟県(98)では...

上記の架空線被害による機能支障率に加えて、地下ケーブル被害による機能支障率を推定し、両者のうちの高い方の値を採用している。

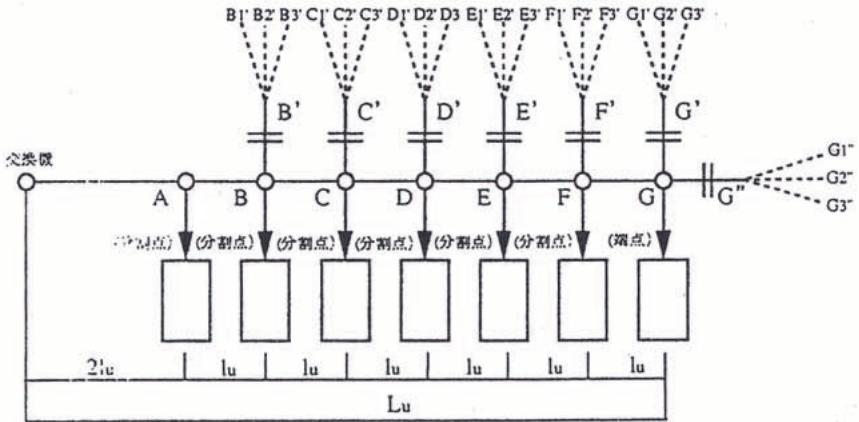
$$Y = 19.9X$$

Y : 機能支障率(%) X : 地下ケーブルの被害率(%)

②東京都(1997)の手法

○採用自治体：山形県(06), 札幌市(08)

端局から引き出された任意の一本の基線ケーブル、および基線ケーブルからのびる地中線、架空線をモデル化(図III-4-9)している。



図III-4-9 任意の1条のケーブルモデル(東京都, 1997)

地下ケーブルについてはマンホール1区間分を、架空ケーブルについては支持物1区間分の被害延長を1箇所の被害とする。それぞれの単位長さ当たりの平均被害箇所数は、以下の式で表される。

$$v_o = (a \times N_d^P) / L_o \quad (\text{箇所}/\text{km})$$

v_o : 単位長さあたりの平均被害箇所数

N_d^P : 当該供給エリアの支持物被害率

a : 支持物1本あたりの架空線の被害区間($=0.396$)

L_o : 当該供給エリアの架空線延長(km)

$$v_u = (d_u / S_u) / L_u \quad (\text{箇所}/\text{km})$$

v_u : 地下ケーブルの単位長さあたりの平均被害箇所数

d_u : 基線ケーブルの被害延長(km)

S_u : マンホール区間長($=0.12\text{km}$)

L_u : 当該収用区域の基線(地下)ケーブル延長(km)

基線ケーブル1区間当たりの被害確率および架空ケーブル1区間当たりの被害確率は、

$$P_u = 1 - \exp(-v_u \cdot L'_u) \quad (\text{基線ケーブル} : \text{分割点を結ぶケーブル})$$

$$P_u = 1 - \exp(-v_u \cdot 2L_u) \quad (\text{基線ケーブル} : \text{端局に直接つながるケーブル})$$

$$P_o = 1 - \exp(-v_o \times 0.036) \quad (\text{架空ケーブル})$$

であり、10スパンを単位とする架空ケーブル1本あたりの不通加入者数期待値 E_o は、以下の式によって求められる。

$$\begin{aligned} E_o &= P_o \cdot 10C_o + (1 - P_o) \cdot P_o \cdot 9C_o \\ &\quad + (1 - P_o)^2 \cdot P_o \cdot 8C_o + (1 - P_o)^3 \cdot P_o \cdot 7C_o \\ &\quad + (1 - P_o)^4 \cdot P_o \cdot 6C_o + (1 - P_o)^5 \cdot P_o \cdot 5C_o \\ &\quad + (1 - P_o)^6 \cdot P_o \cdot 4C_o + (1 - P_o)^7 \cdot P_o \cdot 3C_o \\ &\quad + (1 - P_o)^8 \cdot P_o \cdot 2C_o + (1 - P_o)^9 \cdot P_o \cdot C_o \end{aligned}$$

C_o : 各ケーブル1スパン(1スパン= 0.036km)につながる加入者数

例えば、D点につながる架空ケーブルによる不通加入者数の期待値は、

$$E_o^D = m_D \cdot E_o \quad m_D : D \text{ 点につながる架空ケーブル本数}$$

であり、 DE 間の基線ケーブルが被害を受けることによる機能支障加入者数の期待値

$$E_u^{DE} = P_o \cdot N^E \quad P_o : DE \text{ 間の基線ケーブルの被害確率}$$

$$N^E : E, F, G \text{ 点につながる加入者数}$$

で表される。以上から、 D 点における機能支障加入者数の期待値は以下の式で表せる。

$$E^D = E_o^D + E_u^{DE} + (1 - P_o)E^E$$

③ 埼玉県(1998)の手法

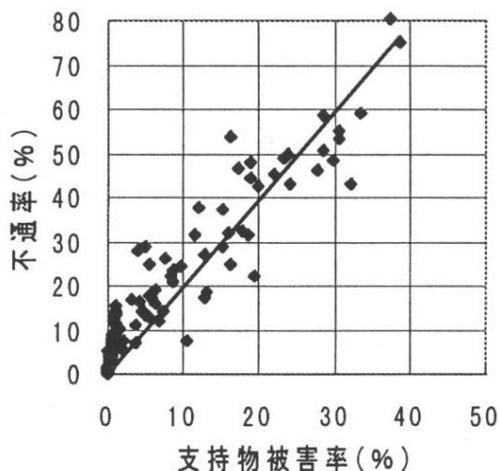
○採用自治体：さいたま市(09), 横浜市(12)

東京都(1997)の結果を利用し、ネットワークを簡易モデル化することによって、電柱被害率と供給支障率の関係を求めている。

$$Y = 2.26985X$$

Y : 不通率(%)

X : 支持物被害率(%)



図III-4-10 支持物被害率と電話の不通率の関係(埼玉県, 1998)

④愛知県(2003)の手法

○採用自治体：愛知県(03), 三重県(06)

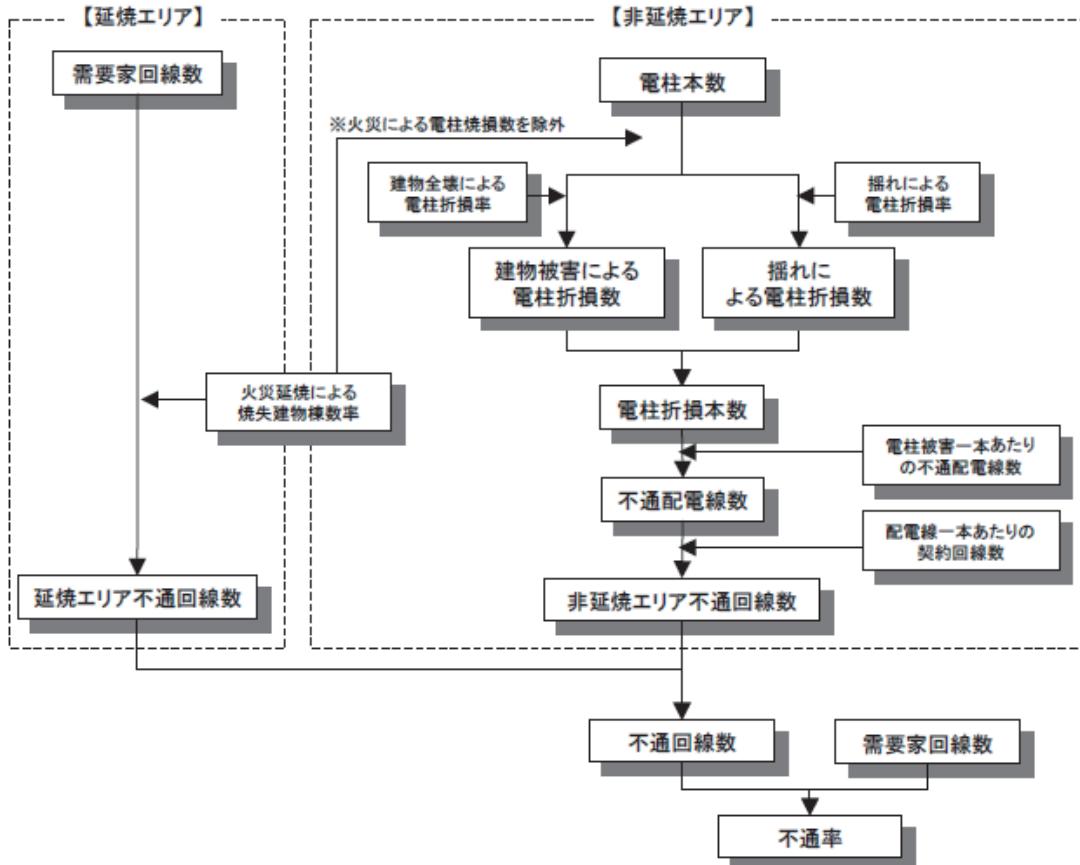
愛知県(2003)では、東京都(1997)の結果より、以下の式を用いて算出している。

$$\text{一般電話の機能支障率 (\%)} = 12.026 \times \text{電柱被害率 (\%)}$$

⑤ 東京都(2006)の手法

○採用自治体：埼玉県(07), 東京都(12), 神奈川県(09), 島根県(12), 広島県(07), 山口県(08), 熊本県(13), 川崎市(13), 広島市(08)

東京都(2006)では、以下のように通信の機能支障の予測を行っている。



図III-4-11 通信機能支障算出フロー(東京都, 2006)

- 都内の加入電話の回線数を対象とする。
- 不通率は、焼失面積率（焼失建物棟数率）及び電柱被害数より算出した不通回線数と需要家回線数より求める。
- 火災延焼のあるエリアは、全面的に通信寸断が生じると想定する。
- 非延焼エリアは、電柱被害から通信寸断が生じると想定する。電柱被害は、被害発生要因を「ゆれ」及び「建物倒壊への巻き込まれ」と想定する。
- 地下エリアは、対象としていない。
- 停電による端末機の利用不能は、対象としていない。通信設備拠点は、耐震化及びバックアップ設備や多重化が施され、兵庫県南部地震(1995)時にも電力供給停止に伴う交換機能の停止以外では、機能支障にいたる被害は発生していないことから、拠点施設の被災による機能停止は対象としていない。

【延焼エリア】

- 不通過回線数 = 需要家回線数 × 焼失建物棟数率

ii) 焼失棟数=焼失建物棟数／(木造建物棟数+非木造建物棟数)

【非延焼エリア】

- i) 不通回線数=電柱被害本数×電柱被害一本当たりの不通回線数
- ii) 電柱被害一本当たりの不通回線数=電柱被害一本当たりの不通配電線数×配電線一本当たりの契約回線数
- iii) 電柱被害一本当たりの不通配電線数は、東京都被害想定（平成9年8月）による「電柱被害一本当たりの不通に係る配電線数（0.396）」を採用
- iv) 配電線一本当たりの契約回線数
=需要家回線数／配電線数
=需要家回線数／(電柱本数×電柱一本当たりの配電線数)
※ 電柱一本当たりの配電線数を1と仮定

ア. ゆれによる電柱被害

- ・電柱被害本数=電柱本数×ゆれによる電柱折損率
- ・ゆれによる電柱折損率（兵庫県南部地震（1995）時の被害実態に基づく。）
 - 震度7 0.8%
 - 震度6以上 0.056%
 - 震度5以上 0.00005%

イ. 建物倒壊への巻き込まれによる電柱被害

- ・電柱被害本数=電柱本数×建物全壊による電柱折損率
 - ・建物全壊による電柱折損率=0.17155×建物全壊率（兵庫県南部地震（1995）時の被害実態に基づく）
 - ・建物全壊率=木造建物全壊棟数／木造建物棟数
- ※兵庫県南部地震（1995）時の実態は戸建住宅の全壊率を対象としている。

○東京都(12)では…

新たに津波浸水エリアを設定している。

【津波浸水エリア】 不通回線数=需要家回線数×浸水エリアカバー率

○熊本県(13)では…

250m メッシュの浸水分布図をもとに、津波により「浸水の可能性がある施設数」を算定している。

⑥中央防災会議東海地震対策専門調査会「東海地震に係る被害想定」（2001）の手法

○採用自治体:徳島県(05)

兵庫県南部地震（1995）の被害実態に基づき、以下のように設定している。

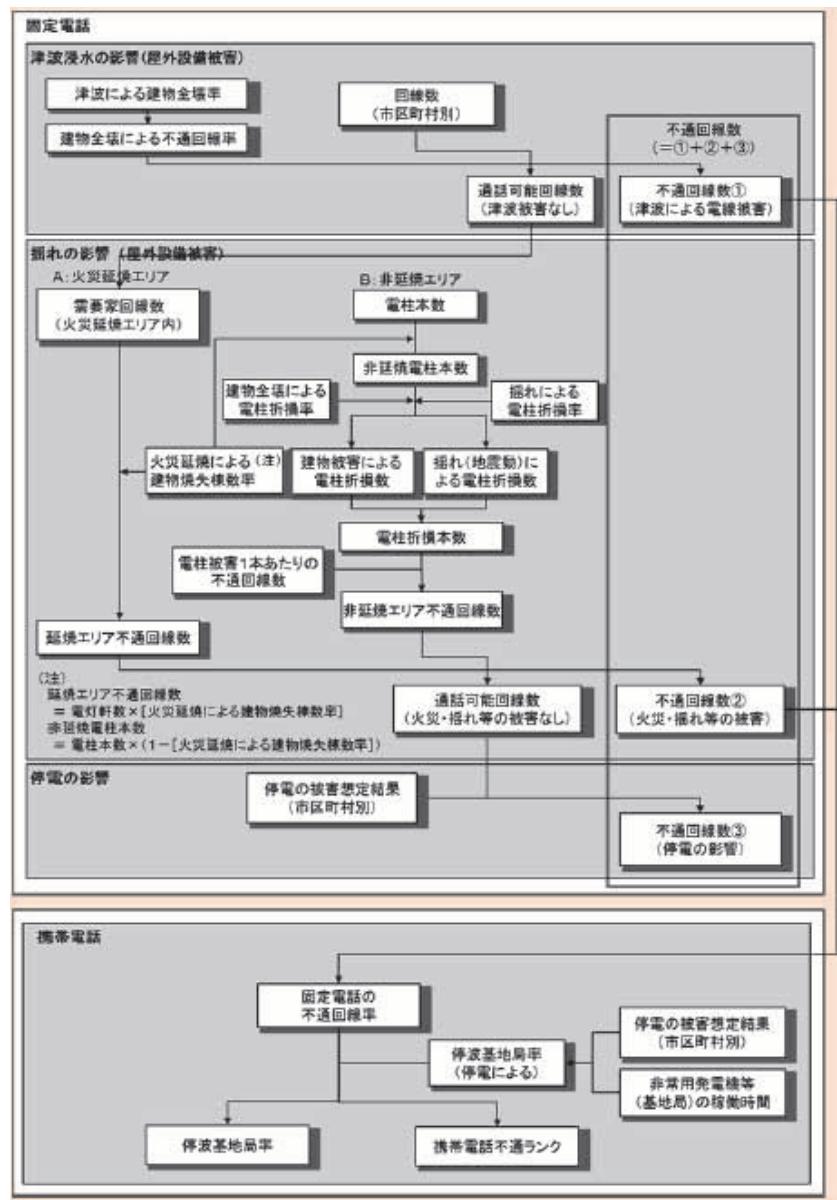
表III-4-24 電話使用不能率(中央防災会議 2003)

直後	1週間後	2週間後
14%	10%	7%

⑦中央防災会議南海トラフの巨大地震モデル検討会等(2013)の手法

○採用自治体：高知県(13)

津波浸水、停電、ゆれの影響による屋外設備被害から、固定電話の不通回線数を算出する。固定電話の不通回線数、停電による停波基地局率から、停波基地局率、携帯電話不通ランクを算出する。



図III-4-12 通信の被害想定フロー(中央防災会議2013)

(注1)復旧予測にあたっては、津波浸水により建物全壊した需要家数に相当する不通回線数を別途算出し、復旧対象から除くものとする。

(注2)回線が物理的につながっているかを評価するため、輻輳の影響は考慮しない。

⑧秋田県(2013)の手法

○採用自治体：秋田県(13)

不通回線数は、電柱被害本数と電柱1本あたりの回線数を乗じる。

不通回線数＝電柱被害本数×電柱1本あたりの回線数

不通過回線率 = 不通過回線数 / 建物数
電柱 1 本あたりの回線数 = 建物数 / 電柱本数

⑨NTT の手法

○採用自治体：大分県(13)

NTT の所有する被災想定を算出する計算ロジックに基づき算出している。このシステムは距離・マグニチュード・深さ・震度などをパラメータとして被災設備数・影響人口を算出するものである。

(3) 復旧期間の予測

① 神奈川県(1993)等の手法

○採用自治体：新潟県(98), 三重県(06), 新潟市(07)

各自治体では、下表に示す復旧作業効率を設定している。

表III-4-25 電話施設復旧効率一覧

	三重県(06)	新潟県(98)	新潟市(07)
電柱	1.9 人日／本	0.53 人日／基	0.53 人日／基
電線	2.5 人日／径間	0.40 人日／条	0.14 人日／条
地下ケーブル	—	2.0 人日／10m	—

○新潟県(98)では…

応急復旧対象被害として、地震動・液状化により被害を受けた配電線支持物・配電線のほか、火災により被害を受けた配電線支持物・配電線のうち20%を対象としている。

なお、新潟県(1998)では地下ケーブルの仮復旧（路上にケーブルを設置）を考慮している。

② 東京都防災会議(1991)等の手法

○採用自治体：埼玉県(07)

東京都防災会議(1991)は、下表に示す復旧作業効率を設定している。

表III-4-26 単位被害あたりの応急復旧人員・日数(東京都防災会議, 1991)

区分	作業効率	条件等
支持物	0.9(人日/本)	新設または建入直し
架空ケーブル	4.7(人日/条・スパン)	ケーブル36m新設・切替接続 2 カ所
地下ケーブル	51(人日/条・スパン)	ケーブル120m新設・切替接続 2 カ所

なお、東京都防災会議(1991)では、発災 2 日目までは被害調査等に当たられ、実質的な作業は

発災 3 日目から行われると仮定している。一方、東京都(1997)では、発災 1 日目までは被害調査等に当てられ、実質的な作業は発災 2 日目から行われると仮定している。

③札幌市(2008)の手法

○採用自治体：札幌市(08)

阪神・淡路大震災、新潟中越地震での被害事例をもとに復旧見込みを想定する。阪神・淡路大震災では 28 万 5000 回線の復旧に 14 日間を要し、新潟県中越地震では 3250 回線の復旧に 3 日間を要しており、これを参考とし、線形で復旧するものと仮定して復旧見込みを算出する。なお、積雪期の復旧見込みはこれを 0.7 で割ったものとする。

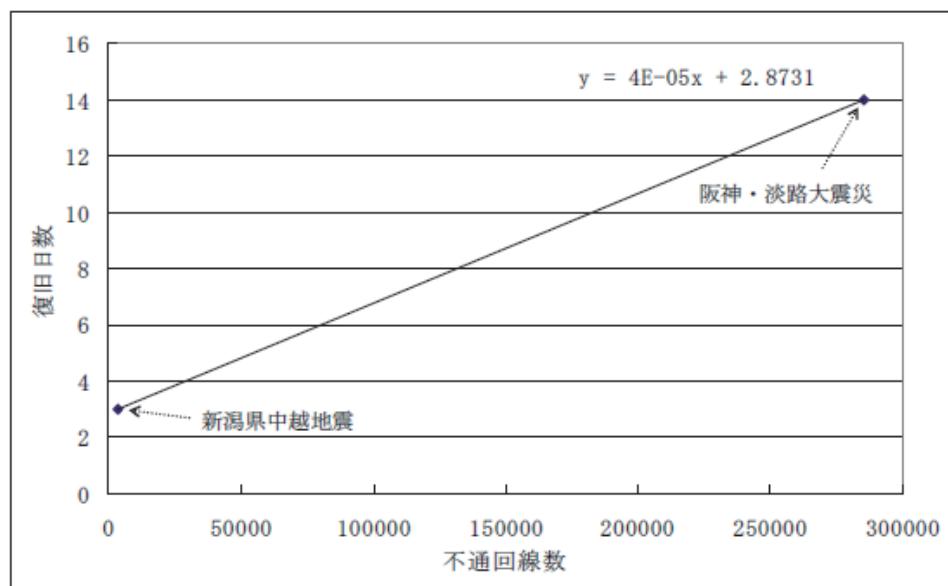


図 III-4-13 不通回線数と復旧日数の関係(札幌市, 2008)

④群馬県(2012)の手法

○採用自治体：群馬県(12)

千葉県(2008)でとりまとめた最近の被害地震による電話の輻輳時間と機能被害の状況（下表）を踏まえ、輻輳時間と回線復旧日数を定量的に評価する。

表III-4-27 最近の被害地震による電話の輻輳時間と機能被害 (千葉県, 2008)

	発生日時	震源	地震規模	最大震度	概要	NTTの被災状況	輻輳	ピークトラヒック	停電等による機能被害復旧(回線)	停電等による機能被害復旧(日)	屋外設備等による機能被害復旧(回線)	屋外設備等による機能被害復旧(日)
新潟県中越沖地震	2007年7月16日午前10時13分	新潟県上中越沖	6.8	震度6強	柏崎市、刈羽村周辺で特に大きな被害があり、11人が死亡、約2,000人が重軽傷を負った。	地下下設備の被害が大きく、通信管路・地下ケーブルの一部損傷、どう道の一部破損が発生。 商用電源の停電により、通信ビルの6ビル、加入者回線収容装置(RSBM)の箇所(10ユニット)が停電。停電により、加入者回線収容装置(RSBM)の3箇所(3ユニット)約830加入で、一時サービス中断となる。 電話転換器が約3時間30分にわたって発生。 全国から新潟県に向けた通信・平常時の約16倍 新潟県内の通信・平常時の約4倍	3.5	16	830	0.7	不明	不明
宮城県南部地震	2005年8月16日11:46頃	宮城県沖	7.2	震度6弱	最大震度は6弱(宮城県川崎町)。100名が重軽傷を負った。死者は出でていない。志津川町(現南三陸町)で40cmの津波を観測した。仙台市営地下鉄、東北・秋田・山形新幹線が全線で運行停止。仙台市のスポーツ施設「アスパーグ松森」の屋内プールで天井が9割方崩落、20人以上が負傷。	地震直後から通信規制を実施していた固定電話事業者各社及び携帯電話事業者各社は、それぞれ16日14時20分及び同日17時までに解除。	2.75	不明	不明	不明	不明	不明
福岡県西方沖地震	2005年3月20日10:53頃	福岡県西方沖	7.0	震度6弱	福岡県およびその隣接県を含めた人の被害は、死者が1名(福岡県)、負傷者が71名	・九州地方への通信に輻輳が発生していたため、固定電話、携帯電話とも通信規制を実施していたが、固定電話については20日15時45分までにすべて解除。 ・携帯に被害なし。 ・NTT西日本では、3月20日11時30分から災害用伝言ダイヤルを稼動(31日12時までの運用状況(録音・再生件数):約95,200件)。	4	不明	0	不明	0	不明
新潟県中越地震	2004年10月23日午後5時56分	新潟県中越地方	6.8	震度7	小千谷市、十日町市周辺で特に大きな被害があり、51人が死亡、約4,800人が重軽傷を負った。	59ビル停電(新潟県内:57ビル、長野県内:2ビル) 伝送路の被災等により、(旧)山古志村等3地区が通信孤立となる。また、固定電話が約4,500回線不通。 電話転換器が約6時間にわたって断続的に発生。(ピークトラヒックは平常時の50倍)	6	50	不明	不明	4500	60
三陸南地震	2003年5月26日18:24頃		7.1	震度6弱	死者なし。負傷者は重傷11人を含む104人。仙台市内で火災あり。	被害詳細不明	8	不明	0	0	0	0
芸予地震	2001年3月24日15時27分頃	安芸灘深さ48km	6.7	震度6弱	広島・愛媛両県を中心とした中国・四国地方で以下の被害が発生した。 死者2名、重傷者43名、軽傷者245名、住家全壊70棟、住家半壊774棟、住家一部損壊49,232棟	通信サービスへの影響は、専用回線4回線のみに発生し、伝送装置のコネクタからのみによる不通(3回線)、とお客様への引込みケーブル断による不通(1回線)であった。	7	13	0	0	5	0
鳥取県西部地震	2000年10月6日13時30分	鳥取県西部	7.3	震度6強	負傷者182名、	通信ケーブル・変電所の鳥取県日野郡内4ヶ所で座崩れにより通信ケーブルが被災計125回線が不通となったが、8日正午までにすべて復旧 故障修理: 家屋損傷等により、利用者宅への電話引込み線、宅内配線などの故障が約600件発生。8日夕刻までに復旧	10	10	600	2	125	2
兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)	1995年1月17日午前5時46分	淡路島北部	7.3	震度7	神戸市を中心に特に大きな被害があり、6,434人が死亡、約43,800人が重軽傷を負った。	神戸市内の交換機停止により、固定電話が約285,000回線不通。 火災により、固定電話が約193,000回線不通。 5日間にわたり電話輻輳が継続。(ピークトラヒックは平常時の50倍)	120	50	285000	1	193000	14
北海道南西沖地震	1993年7月12日午後10時17分	北海道南沖	7.8	震度5	夷浜島を中心に入ざな被害があり、201人が死亡、約330人が重軽傷を負った。 また、この地震では30mに及ぶ津波も発生している。	奥尻島を中心、固定電話が約1,450回線不通。					1450	
宮城県沖地震	1978年6月12日午後5時14分	宮城県東方沖	7.4	震度5	仙台市を中心に特に大きな被害があり、28人が死亡、約10,000人が重軽傷を負った。	仙台市を中心に、固定電話が約4,000回線不通。	48		1429	1		
十勝沖地震	1968年5月16日午前9時48分	三陸沖	7.9	震度5	北海道から東北北部で揺れや津波の被害があり、52人が死亡、330人が重軽傷を負った。	本州と北海道を結ぶ海底通信ケーブル及び無線区間が切斷され、北海道が一時通信孤立。 青森県を中心に固定電話が約4,500回線不通。	0				4500	

⑤川崎市(2013)の手法

○採用自治体：川崎市(13)

通信の復旧のみを想定することとし、兵庫県南部地震時の地震1日後の停電件数「約40万件」からの復旧曲線をベースに検討している。

上水道と同様に被害箇所数、復旧速度、復旧人員から応急復旧日数を予測する。

- ・東日本電信電話㈱、東京電力㈱管理の電柱を合算
- ・系統の切り替えなどにより支障件数の多くが復旧
- ・契約件数の多い箇所より作業を行う
- ・電柱復旧作業に取り掛かるのは2日目から
- ・投入班数は200班
- ・復旧速度は3本/(班・日)

4－3. 上水道の被害・復旧

以下に、各自治体で採用されている手法の概略を次の区別別にまとめる。

(1) 埋設管被害箇所数の予測

①送水管・配水管被害箇所数の予測

a) 標準被害率 R_f

(ア) 地表最大速度 V を指標とする手法

(イ) SI 値を指標とする手法

(ウ) 地表最大加速度 A を指標とする手法 (久保・片山(1975)の手法)

(エ) 想定加速度 g を指標とする手法

b) 地盤・液状化係数

(ア) 地盤係数と液状化係数を個別に考慮している自治体

(イ) 液状化係数のみを考慮している自治体

c) 管種係数 C_p ・管径係数 C_d

②給水管被害箇所数の予測

a) 東京都(1997)の手法

(2) 機能支障の予測(断水)

①川上(1996a)の手法

②川上(1996b)の手法

③川崎市(1988)の手法

④名古屋市(1997)の手法

(3) 復旧期間の予測

①東京都(1997)の手法

②神奈川県(1986)等の手法

③能島らの手法

④中央防災会議(2005)の手法

⑤川崎市(2013)の手法

⑥その他の手法

(1) 埋設管被害箇所数の予測

上水道埋設管被害に対しては、ある地盤でのある管の被害量と地震動の強さの関係と、液状化や管種・管径による被害の発生状況の違いから経験的な被害発生傾向を評価している。

なお、浄水場等の基幹施設は、地震によって供給停止にいたるような被害を受けた事例は少なく、被害想定を行っている事例はほとんどない。

①送水管・配水管被害箇所数の予測

最も多く採用されている被害箇所数の予測手法は、地震動に対する標準的な被害率を設定し、この被害率に地盤による被害発生の違いや管種・管径の違いによる耐震性の違いを加味した補正係数を適用する以下の式に沿った考え方である。

$$R_{fm} = R_f \cdot C_g \cdot C_p \cdot C_d$$

R_{fm} : 水道管被害率(箇所/km)

R_f : 標準被害率(箇所/km)

C_g : 地盤・液状化係数

C_p : 管種係数

C_d : 管径係数

a) 標準被害率 R_f

標準被害率は地震動の大きさによって決められている。以前は、地表最大加速度を指標として標準被害率を算出する自治体が多かったが、最近では、地表最大速度、SI値を指標として算出する自治体が増えてきている。

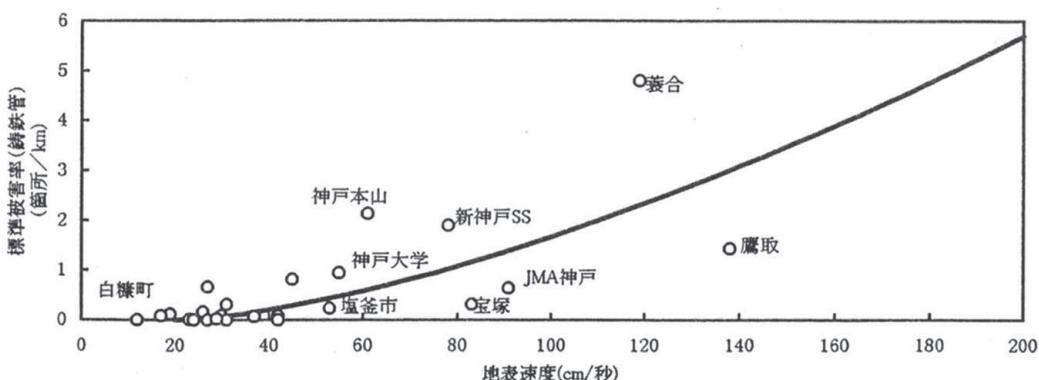
(7) 地表最大速度 V を指標とする手法

○採用自治体：栃木県(04), 埼玉県(08), 東京都(12), 山梨県(05), 静岡県(01), 愛知県(03), 奈良県(05), 鳥取県(05), 広島県(07), 山口県(08), 徳島県(05), 香川県(13), 愛媛県(02), 大分県(13)札幌市(08), 広島市(08)

兵庫県南部地震(1995)などによる送配水管の被害事例から標準被害率 R_f を設定している。

$$R_f = 2.24 \times 10^{-3} (V - 20)^{1.51}$$

V : 地表最大速度(cm/s)



図III-4-14 上水道の標準被害率と地表最大速度の関係(東京都, 1997)

○採用自治体：さいたま市(09)

$$R_f = 2.4 \times 10^{-3} (V - 20)$$

○採用自治体：宮城県(04), 秋田県(13), 千葉県(08), 大阪府(07), 熊本県(13), 仙台市(02)

日本水道協会などによる兵庫県南部地震(1995)の被害データの分析により提案された関係式を採用している。

$$R_f = \begin{cases} 0 & (V < 15 \text{cm/s}) \\ 3.11 \times 10^{-3} (V - 15)^{1.30} & (V \geq 15 \text{cm/s}) \end{cases}$$

※秋田県(13)では $V \geq 15 \text{cm/s}$ のみを使用

○採用自治体：岩手県(04), 兵庫県(99), 横浜市(12)

高田ら(2001)により兵庫県南部地震(1995)の被害分析から提案された関係式を採用している。

$$R_f = 6.33 \times 10^{-5} \times V^{2.10}$$

ただし, $V \leq 110 \text{ (cm/s)}$, $R_f \leq 1.23 \text{ (箇所/km)}$

○採用自治体：神奈川県(09), 島根県(12), 岡山県(13), 高知県(13), 川崎市(13)

兵庫県南部地震(1995), 新潟県中越地震(2004), 能登半島地震(2007), 新潟県中越沖地震(2007)の配水管被害データを用いて提案された丸山・山崎(2009-2012)の関係式を用いている。

$$R(v) = C\Phi((\ln v - \lambda)/\zeta)$$

表III-4-28 $\Phi(x)$:確率分布関数(丸山・山崎, 2009)

管種	ζ	λ	C
CIP・VP	0.860	5.00	2.06
DIP	0.864	6.04	4.99

○採用自治体：山形県(06)

山崎他(1995)による兵庫県南部地震(1995)の被害事例から導いた算出式によって速度係数を与えることで標準被害率を設定している。

表III-4-29 速度係数(山形県, 2006)

地表最大速度	速度係数
~20cm/s	0.00
~40cm/s	0.23
~60cm/s	0.66
~80cm/s	1.23
~100cm/s	1.91
~120cm/s	2.69
~140cm/s	3.57
~160cm/s	4.52
~180cm/s	5.55
~200cm/s	6.66

(1) SI値を指標とする手法

○採用自治体：長野県(02), 福岡県(12), 新潟市(07)

兵庫県南部地震(1995)における上水道埋設管の被害事例から標準被害率 R_f を設定している。

$$R_f = 0.025 \times SI - 0.51 \quad \text{ただし, } R_f \geq 1.5 \text{ のとき } R_f = 1.5$$

※福岡県(12)では普通鉄管(口径100~125mm)以外の条件での被害想定については管種管径係数Cp, 液状化補正係数CLを, 過去の地震被害資料に基づいて設定し, 被害想定を行っている。

(2) 地表最大加速度 A を指標とする手法 (久保・片山(1975)の手法)

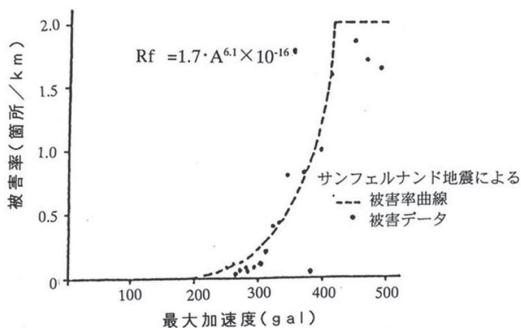
○採用自治体：青森県(97), 茨城県(95・98), 新潟県(98), 福井県(97), 鹿児島県(97)

久保・片山(1975)は, アメリカ・サンフェルナンド地震(1971)による地下埋設管被害をもとに標準被害率 R_f を設定している。

$$R_f = 1.7 A^{6.1} \times 10^{-16}$$

$$\text{ただし, } R_f \geq 2.0 \text{ のとき } R_f = 2.0$$

A : 地表最大加速度(gal)



図III-4-15 サンフェルナンド地震(1971)時の地表最大加速度と水道管被害率の関係(久保・片山, 1975)

(I) 想定加速度gを指標とする手法

○採用自治体：三重県(06)

大阪府(1996)⁵では、加速度換算率を導入したうえで一律の平均被害率を設定している。

$$R_f = C1_j \times C2_j \times C3_j \times 0.972 \text{ (平均被害率)}$$

C1j : 管種換算率	管種	C1j
	塩化ビニル管	1.887
	ダクタイル鋳鉄管	0.700
	鋳鉄管	1.989
	鋼管	0.689
	石綿セメント管	2.351
	コンクリート管	2.076
	その他	2.076

C2j : 液状化換算率	液状化の有無	C2j
	なし	0.761
	あり	1.818

C3j : 加速度換算率	液状化の有無	C3j
	なし	0.0015291 × g
	あり	0.0022543 × g

g : 想定加速度 (gal)

図III-4-16 各種換算率(三重県, 2006)

⁵ 大阪府水道地震対策基本方策

b) 地盤・液状化係数 C_g

地盤・液状化係数 C_g は、各自治体の地域特性に基づき係数が設定されており、大きく分類すると、地盤係数と液状化係数を個別に考慮する場合と液状化係数のみを考慮する場合の 2 パターンに分類できる。

(ア) 地盤係数と液状化係数を個別に考慮している自治体

○採用自治体：青森県(97), 宮城県(04), 秋田県(13), 新潟県(98), 福井県(97), 島根県(12), 岡山県(13), 熊本県(13), 仙台市(02), 川崎市(13)

以下の自治体では、地盤係数と液状化係数を個別に考慮して被害量を算出している。なお、宮城県(04), 仙台市(02), 川崎市(13)以外は、地盤係数と液状化係数を比較し、大きい値を地盤・液状化係数 C_g として採用している。

表III-4-30 各自治体における地盤係数

地盤分類	新潟県 (98)	地盤分類	宮城県 (04), 仙台市 (02)	地盤分類	青森県(97)	地盤分類	福井県 (97)
丘陵地	0.5	山地・ 山地部造成地	1.1	洪積地盤以上の 良好地盤	0.5	洪積世	0.5
台地	0.5	段丘平坦地 ・丘陵地	1.5	ローム	0.9	沖積世	1
沖積平野	1	旧河道・ 平地部造成地	3.2	粘土・砂など (沖積)	1	沖積世 (腐植土)	2
軟弱低地	2	軟弱低地・造 成地	1	腐植土(沖積)	1.2		
地盤分類	秋田県 (13), 島根 県(12), 熊 本県(13)	地盤分類	岡山県 (13)	地盤分類	川崎市(13)		
沖積平野	1.0	良質地盤	0.4	改變山地	1.1		
良質地盤	0.4	沖積平野	1.0	段丘	1.5		
山地(人工改 変)	1.1	谷・旧水部	3.2	谷・旧水部	3.2		
丘陵地(人工改 変)	1.5	段丘	1.5	沖積平野	1.0		
谷・旧水部	3.2			良質地盤	0.4		
				人工造成(盛土)	3.2		

表III-4-31 各自治体における液状化係数

液状化指数(P_L 値)	0	5	10	15	20
青森県(97)	—	—	2.9	4.7	
宮城県(04), 岡山県(13)	—	1.0	2.0		2.4
新潟県(98)	—	—	—		3.0
福井県(97)	—	—	2.5	3.5	
仙台市(02)	—	1.0	2.0	2.5	
秋田県(13)	—	1.0	2.0	2.4	

○島根県(12), 川崎市(13)では...

液状化指数でなく、以下の危険度に応じた係数を用いている。

表III-4-32 島根県(2012)における液状化係数(島根県, 2012)

危険度	液状化補正係数 C_f
液状化なし	1.0
液状化危険度小	1.0
液状化危険度中	2.0
液状化危険度大	2.4

(イ) 液状化係数のみを考慮している自治体

○採用自治体：岩手県(04), 東京都(12), 埼玉県(07), 山梨県(05), 山口県(08), 香川県(13), 高知県(13), 札幌市(08), 横浜市(12), 広島市(08)

以下の自治体では、 P_L 値に基づいて液状化係数のみを考慮して被害量を算出している。

表III-4-33 液状化係数のみを考慮している自治体の液状化係数

液状化指数(P_L 値)	0	5	10	15	20
岩手県(04)		1	2		2.4
山口県(08), 埼玉県(07), 広島市(08), 香川県(13)	1	1.2	1.5		3
山梨県(05), 札幌市(08)	1	1.2	1.5		2.8
東京都(12)	1	1.8	3.2		8.8

表III-4-34 高知県(2013)における液状化係数

	管が布設されている微地形	C_g
液状化の情報を有していない場合または、液状化の可能性がない場合	山地、山麓地、丘陵、火山地、火山山麓地、火山性丘陵	0.4
	砂礫質台地、ローム台地	0.8
	谷底低地、扇状地、後背湿地、三角州、海岸低地	1.0
	自然堤防、旧河道、砂州・砂礫洲、砂丘	2.5
	埋立地、干拓地、湖沼	5.0
液状化の情報を有しており、かつ液状化の可能性ありの場合	全微地形分類	6.0

表III-4-35 横浜市(12)における液状化係数(高田・宮島の式(1997))

液状化指数(P_L 値)	0	5	10	15	20
埋立地	1.0	1.0	2.7		4.0
その他	1.0	1.0		2.0	2.4

○採用自治体：福岡県(12)

液状化補正係数は液状化指標 P_L を適用して以下の式から求めている。

$$C_g = 0.925 + 0.025 \times P_L$$

○採用自治体：大分県(13)

液状化による補正係数は1983年日本海中部地震における都市ガス導管の液状化地域と非液状化地域の被害率比(約11倍)より算出している。

液状化による補正係数 = $11 \times \text{液状化発生面積率} + 1 \times (1 - \text{液状化発生面積率})$

c) 管種係数 C_p ・管径係数 C_d

○採用自治体：青森県(97), 岩手県(04), 宮城県(04), 秋田県(13), 埼玉県(07), 東京都(12), 新潟県(98), 山梨県(04), 福井県(97), 長野県(02), 島根県(12), 岡山県(13), 山口県(08), 香川県(13), 高知県(13), 福岡県(12), 熊本県(13), 大分県(13), 札幌市(08), 仙台市(02), 横浜市(12)

管種係数・管径係数は過去の様々な地震被害を分析することにより設定されている。なお、管種係数・管径係数を別個に設定している自治体と両者の積として管種・管径係数を設定している自治体がある。

表III-4-36 長野県(2002)における管種・管径係数

管種	管径(mm)	75以下	100-125	150-350	400-
石綿セメント管	10.2	5.3	3.9	3.3	
塩化ビニール管	2.6	1.9	1.9	—	
普通鋳鉄管	1.4	1.0	0.8	0.3	
ダクタイル鋳鉄管	1.1	0.5	0.5	0.1	
ネジ付鋼管	10.5	5.5	4.0	3.4	
溶接鋼管	0.5	0.3	0.2	0.1	

表III-4-37 山梨県(2005)における管種係数・管径係数

管種	管種係数	管径係数		管種	管種係数	管径係数		
ダクタイル鋳鉄管 (耐震性継手あり)	0.0	—	—	塩化ビニール管	1.5	150mm未満	1.1	
ダクタイル鋳鉄管 (耐震性継手なし)	0.25	600mm未満	1.3			150mm以上	0.9	
普通・ねずみ鋳鉄管		600mm以上 1200mm未満	0.3	石綿セメント管	3.0	150mm未満	2.3	
		1200mm以上	0.15			150mm以上 350mm未満	0.9	
		350mm未満	1.5			350mm以上	0.4	
鋼管(溶接結合)	1.0	350mm以上 1200mm未満	0.3	ポリエチレン管	0.1	1200mm未満	1.0	
		1200mm以上	0.15			1200mm以上	0.5	
		1200mm未満	1.0			1200mm未満	1.0	
鋼管(締合)	0.1	1200mm以上	0.5	ステンレス管	0.1	1200mm以上	0.5	
		150mm未満	1.3			350mm未満	1.5	
		150mm以上	0.75			350mm以上 1200mm未満	0.3	
				コンクリート管	1.0	1200mm以上	0.15	

(注) ポリエチレン管・ステンレス管は鋼管(溶接接合), コンクリート管・その他管種および不明の場合は普通・ねずみ鋳鉄管と同様とした。

表III-4-38 島根県(2012)における管種・管径係数

管種	管種補正係数 C_p	管径	管径補正係数 C_d
鋼管溶接継手 (SUS 含む)	0.1	$\Phi 75$	1.6
鋼管その他継手	2.0	$\Phi 100 - 150$	1.0
ダクタイル鉄管 (耐震継手)	0.0	$\Phi 200 - 450$	0.8
ダクタイル鉄管 (K形継手)	0.3	$\Phi 500 -$	0.5
ダクタイル鉄管 (上記以外)	0.3		
鉄管	1.0		
硬質塩化ビニル管	1.0		
ポリエチレン管・多層パリアパイプ	0.1		
その他・不明	0.3		

表III-4-39 各自治体における管種係数

管種	宮城県 (04) 仙台市 (02)	青森県 (97)	秋田県 (13)	新潟県 (98)*	福井県 (97)
普通鉄管		1			
ダクタイル鉄管	0.3		0.2		0.3
钢管	—		2		
溶接钢管	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2
ネジ付钢管	2	—	—		2.8
钢管ソケット管		—			0.8
鉛管		—		1	—
塩化ビニル管	1		1.5	1	1.2
石綿セメント管	1.2		4	1	2.8
ポリエチレン管	0.1	—	0.1		0.2
コンクリート管		—		1	—

表III-4-40 各自治体における管径係数

管径 (mm)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100
宮城県 (04) 仙台市 (02)	1.6	1.0	—	0.8	—			0.5			
青森県 (97)	1.2		0.6			0.4					0.2
新潟県 (98)	2.0	—*	—	0.6	—		0.4		—		0.2
福井県 (97)	1.0		0.6	—		0.4			—		0.2

(注1) 新潟県 : 100~125mmの管径係数は1.5

(注2) 「—」はその管径での係数が設定されていないことを示す。

表III-4-41 岩手県(2004)における管種係数・管径係数(高田他, 2001)

管種(継手)	管種係数	管径	管径係数
石綿セメント管	2.5	75mm	1.6
塩化ビニル管	1.0	100～150mm	1.0
普通鋳鉄管	1.0	200～250mm	0.9
ダクタイル鋳鉄管	0.3	300～450mm	0.7
ダクタイル鋳鉄管(耐震継手)	0	500～600mm	0.5
鋼管(ねじ継手)	4.0		
鋼管(溶接)	0.3		

表III-4-42 埼玉県(2007), 東京都(2012), 山口県(2008), 香川県(2013)における管種係数・管径係数
(中央防災会議, 2005)

	75mm 以下	100mm ～250mm	300mm ～450mm	500mm ～900mm	1000mm 以上
ダクタイル鋳鉄管 (耐震継手あり)	0.00				
ダクタイル鋳鉄管 (耐震継手なし)	0.60	0.30	0.09	0.05	
鋳鉄管	1.70	1.20	0.40	0.15	
鋼管	0.84	0.42		0.24	
塩化ビニール管	1.50		1.20		
石綿セメント管	6.90	2.70		1.20	

(注1) 香川県(13)(中央防災会議, 2008)ではその他の管を1.00としている.

表III-4-43 札幌市(2008)における管種係数・管径係数

管種	C_2	C_3	
ダクトイル鉄管 (耐震性継手有り)	0.0	—	—
ダクトイル鉄管 (耐震性継手無し)	0.25	600mm 未満	1.3
		600mm 以上 1200mm 未満	0.3
		1200mm 以上	0.15
普通・ねずみ鉄管	1.0	350mm 未満	1.5
		350mm 以上 1200mm 未満	0.3
		1200mm 以上	0.15
钢管(メニカル継手)	0.0	—	—
钢管(溶接接合)	0.1	1200mm 未満	1.0
		1200mm 以上	0.5
钢管(ネジ)	1.0	150mm 未満	1.3
		150mm 以上	0.75
塩化ビニル管	1.5	150mm 未満	1.1
		150mm 以上	0.9
石綿セメント管	3.0	150mm 未満	2.3
		150mm 以上 350mm 未満	0.9
		350mm 以上	0.4
鉛管	1.5	150mm 未満	1.1
		150mm 以上	0.9
ポリエチレン管	0.1	1200mm 未満	1.0
		1200mm 以上	0.5
ステンレス管	0.1	1200mm 未満	1.0
		1200mm 以上	0.5
コンクリート管	1.0	350mm 未満	1.5
		350mm 以上 1200mm 未満	0.3
		1200mm 以上	0.15

表III-4-44 秋田県(2013)・熊本県(2013)における管種係数・管径係数

管種	管種係数	管径	管径係数
ダクトイル鉄管	0.3	75mm	1.6
鉄管	1.0	100~150mm	1.0
硬化塩化ビニール管	1.0	200~450mm	0.8
钢管	0.3	500~800mm	0.5
石綿セメント管	1.2	900mm~ *	0.5
ポリ管・ステンレス管 *	0.1		
その他 **	0.3		

* : 秋田県(2013)のみ

** : 熊本県(2013)のみ

表III-4-45 岡山県(2013)における管種係数・管径係数
(「首都直下地震 防災・減災プロジェクト」丸山・山崎の式, 2012)

管種	管種係数	管径	管径係数
ACP(石綿セメント管)	1.2	75mm	1.6
CIP(鉄管)	1.0	100~150mm	1.0
VP(塩化ビニル管)	1.0	200~450mm	0.8
SP(鋼管)	2.0	500~800mm	0.5
PEP(ポリエチレン管)	0.1		
CP(コンクリート管)	1.0		
LP(鉛管)	1.0		
OP(その他管)	1.0		

表III-4-46 高知県(2013)における管種係数・管径係数

管種・管径(Cp)	Φ75 mm以下	Φ100~150 mm	Φ200~450 mm	Φ500 mm以上
DIP	0.6	0.3	0.3	0.09
CIP	1.7	1.2	0.8	0.4
SP	0.84	0.42	0.36	0.24
VP	1.5	1.2	1.2	1.2
ACP	6.9	2.7	2.0	1.2
その他	0.3	0.3	0.3	0.3

表III-4-47 福岡県(2012)における管種係数・管径係数

管種 (継手)	管径 (mm)			
	75 以下	100~125	150~350	400 以上
鋼管 (ねじ)	10.5	5.5	4.0	3.4
石綿セメント管	10.2	5.3	3.9	3.3
塩化ビニール管	2.6	1.9	1.9	—
普通鉄管	1.4	1.0	0.8	0.3
ダクタイル鉄管	1.1	0.5	0.5	0.1
鋼管 (溶接)	0.5	0.3	0.2	0.1

表III-4-48 大分県(2013)における管種係数・管径係数

管種	管種係数	管径	管径係数
普通鋳鉄管	1.0	75mm以下	1.2
ダクタイル鋳鉄管	0.1	100~125mm	1.0
鋼管	1.0	150~350mm	0.6
ネジ付鋼管	1.0	400mm以上	0.4
メカ継手鋼管	0.1		
溶接鋼管	0.1		
ライニング鋼管	1.0		
ガス鋼管	1.0		
塩化ビニル管	1.5		
鉛管	1.5		
硬質塩化ビニル管	1.5		
ポリエチレン管	0.1		
ステンレス管	0.1		
石綿セメント管	3.0		

表III-4-49 横浜市(2012)における管種係数・管径係数(高田:宮島の式, 1997)

管種	管種係数	管径	管径係数
DIP(A, K, T)	0.3	75mm	1.6
DIP(S, SII)	0.0	100~150mm	1.0
CIP	1.0	200~250mm	0.9
SP	(0.3)	300~450mm	0.7
VP	1.1	500~600mm	(0.5)
SGP(ねじ継手)	(4.0)		
ACP	(2.5)		

②給水管被害箇所数の予測

a) 東京都(1997)の手法

○採用自治体: 神奈川県(09)

東京都(1997)では、配水管の被害箇所数を指標として、給水管の被害箇所数を求めている。

$$\text{給水管被害率 } R_2 = R_1 \cdot a \cdot (b + (1 - b) \cdot (1 - c))$$

R_1 : 配水小管被害(箇所/km)

$a (= 4.886)$: 配水小管の被害 1 カ所あたりの給水管被害率

$b (= 7/12)$: ステンレス管以外の給水管の延長比

c : ステンレス給水管整備率

(2) 機能支障の予測（断水）

① 川上(1996a)の手法

○採用自治体：秋田県(13), 山形県(06), 埼玉県(07), 千葉県(08), 山梨県(04), 愛知県(03), 三重県(06), 大阪府(07), 奈良県(05), 島根県(12), 岡山県(13), 広島県(07), 山口県(08), 徳島県(05), 香川県(13), 高知県(13), 熊本県(13), 大分県(13), 札幌市(08), さいたま市(09), 横浜市(12), 広島市(08)

川上(1996a)は、兵庫県南部地震(1995)を含む近年の地震による各市町村の配水管の物的被害率と地震直後の断水率の関係を調べ、右図に示す関係を得ている。図中の曲線は、地震直後・地震1日後・2日後における被害率と断水戸数の関係から求められた回帰曲線である。

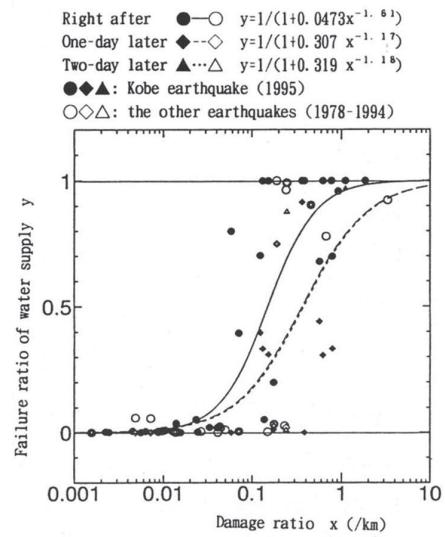
$$\text{直後} : y = 1/(1 + 0.0473x^{-1.61})$$

$$1\text{日後} : y = 1/(1 + 0.307x^{-1.17})$$

$$2\text{日後} : y = 1/(1 + 0.319x^{-1.18})$$

y : 断水世帯率

x : 配水管被害率(箇所/km)



図III-4-17 断水率と配水管被害率の関係
(川上, 1996a)

横浜市(12), 香川県(13)では、1日後のみを想定している。また、横浜市(12)ではφ75mm以上の配水管の被害率を用いている。

○熊本県(13)では...

250m メッシュの浸水分布図をもとに、津波により「浸水の可能性がある施設数」を算定している。

○大分県(13)では...

1995年兵庫県南部地震時の実態に基づき、制水弁閉止後(発災7日後)の上水道の断水率も算出している。

(断水率) = 地震直後の断水率 × 0.5 [1週間後]

②川上(1996b)の手法

○採用自治体：新潟県(98), 長野県(02)

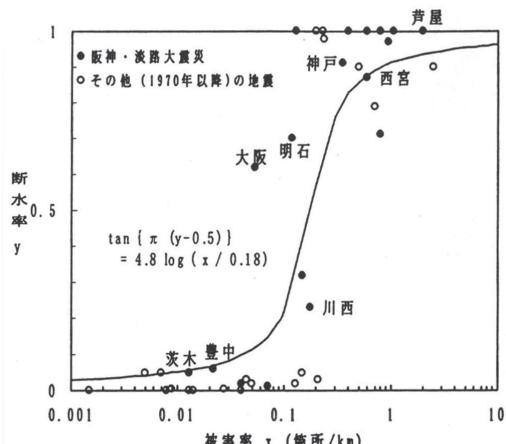
過去の地震後の断水率は、ネットワークの形状などの影響をあまり受けず、0.1箇所/km付近を境に値が上昇している。

川上(1996b)は、配水管の被害率と地震直後の断水率の間に以下の関係があると考え、配水管被害率から断水率を予測する式を提案している。

$$\tan \{ \pi (Y - 0.5) \} = 4.8 \log_{10} (X / 0.18)$$

Y : 断水率

X : 配水管被害率(箇所/km)



図III-4-18 断水率と配水管被害率の関係(川上, 1996b)

③川崎市(1988)の手法

○採用自治体：福井県(97), 仙台市(02), 新潟市(07)

宮城県沖地震(1978)をはじめとする過去の地震による供給支障率の回帰分析により、以下の式を求めている。

$$y = 3.373 \cdot x_1^{-0.432} \cdot x_2^{-0.892} \cdot x_3^{1.159}$$

y : 供給支障率(%)

x_1 : 供給面積(km^2)

x_2 : 幹線(口径400mm以上)の延長(km)

x_3 : 総被害箇所数(箇所)

④名古屋市(1997)の手法

○採用自治体：名古屋市(97)

配水管の被害による断水区域内に給水管被害による断水家屋が重複するものとして断水戸数を予測している。

$$\text{想定断水戸数} = \text{給水装置の被害数} + \text{配水管の被害による断水戸数} / 2$$

小口径配水管、配水管の被害箇所1箇所につき1断水区間を想定している。平均的に止水栓1.5箇所、仕切弁3箇所を使用して1断水区間とし、管路延長、止水栓、仕切弁設置数から断水区間の管路延長を求めている。

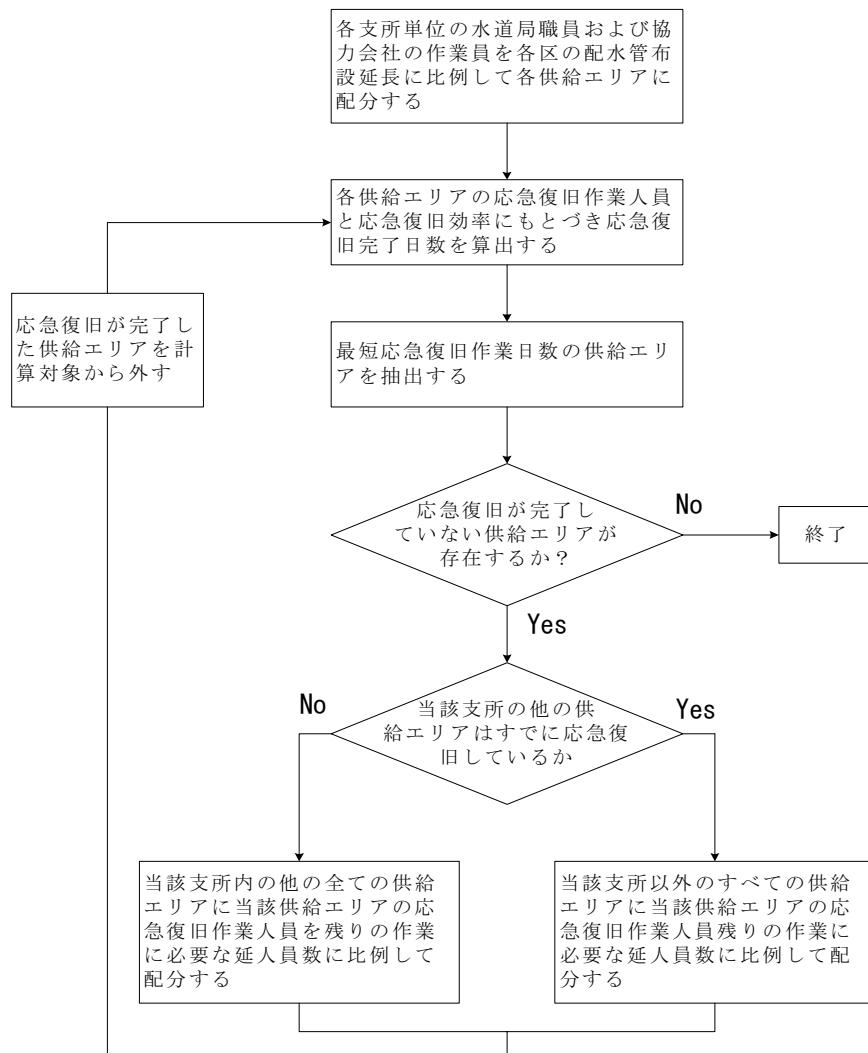
被害箇所1箇所あたりの配水管被害による断水戸数は、給水栓数を小口径配水管と配水管の合計延長で割り、単位m当たりの給水栓数を計算、断水区間延長との積により求めている。

(3) 復旧期間の予測

① 東京都(1997)の手法

○採用自治体：秋田県(13), 埼玉県(07), 千葉県(08), 広島県(07), 山口県(08), 札幌市(08), 広島市(08)

想定フローを下図に示す。



図III-4-19 応急復旧想定フロー(東京都, 1997)

応急復旧作業1班の必要人員と1日あたりの応急復旧件数を以下のように設定している。

表III-4-50 班および日あたりの必要人員と応急復旧作業効率(東京都, 1997)

	1班あたりの必要人員	応急復旧作業効率	
配水本管	局職員2人, 作業員16人	0.5件/日	
配水小管	局職員2人, 作業員8人	区部直下の地震	1.09件/日
		多摩直下の地震	1.16件/日
		神奈川県境直下の地震	1.10件/日
		埼玉県境直下の地震	1.09件/日

○埼玉県(07), 広島県(07), 山口県(08), 広島市(08)では...

中央防災会議の検討を参考に復旧日数の目標(30日)を定め, 東京都(1997)の係数を用いて必要人員を求めている。

排水系統の切り替え作業などで, 地震発生から4日後に断水人口の7割が回復すると仮定している。

○秋田県(13)では...

地震発生直後は, 被害状況の調査・復旧体制の整備を行い, 1日後から復旧開始とする。復旧日数は以下の式から求める。

【冬季以外】

配水管復旧日数=配水管被害箇所数/(復旧作業人数×0.0568)+1

【冬季】

配水管復旧日数=配水管被害箇所数/(復旧作業人数×0.0568)/0.7+1

復旧作業効率は中央防災会議(2008)を参考に設定した。

表III-4-51 水道の復旧作業に必要な人員及び作業効率(中央防災会議, 2008)

	1班あたりの必要人数	応急復旧作業効率
送水管・配水本管	職員2人, 作業員16人	0.5件/班・日
配水小管	職員2人, 作業員8人	1.09件/班・日

上記表より, 配水本管と配水小管の割合が等しいと仮定すると, 1日あたり28人で1.59件の復旧をすることが可能である。よって, 1日あたりの処理能力は $1.59 \div 28 = 0.0568$ 件/人日と仮定した。

②神奈川県(1986)等の手法

○採用自治体：新潟県(98)

水道管の復旧効率を設定し、これと予測された管の被害箇所数および各自治体で動員可能な復旧作業人員から復旧期間を予測している。なお、多くの自治体では、上水道事業および管工事業の従業者の5割が復旧作業に従事すると仮定している。

表III-4-52 上水道の復旧予測に関する係数(埼玉県, 1998)

区分	復旧作業必要人員(1組)	1件あたり 復旧作業日数	1件あたり 作業人員
大口径管 $\phi 400\text{mm}$ 以上	2~3班で昼夜兼行作業, 局職員4人、作業員12人	2.7日 63時間	72人・日
中口径管 $\phi 100\sim 350\text{mm}$	1班構成で昼のみ施工, 局職員2人、作業員6人	1.0日 13時間	6人・日
小口径管 $\phi 100\text{mm}$ 未満	1班構成で昼のみ施工, 局職員0.5人、作業員3人	0.5日 4時間	3人・日

表III-4-53 設定した水道管復旧効率

自治体名	新潟県(98)	復旧効率
区分	—	72人日/件
	—	6人日/件
	配水管	3人日/件
	給水管	1.5人日/件

1日あたりの復旧件数 R_i は、以下の式で求められる。

$$R_i = \frac{1}{\alpha} \times \beta_i \times \frac{r_i}{100}$$

α : 1組の復旧作業員が1件の被害箇所を工事するのに要する日数

β_i : i 市町村における組編成可能数

r_i : i 市町村における施工率

③能島らの手法

○採用自治体：岡山県(13), 千葉市(09)

能島らは、上水道の復旧状況の進捗を、以下のガンマ分布の確率密度関数で仮定している。
 $f(t | I)$ は、 t 日経過後、計測震度 I のときの復旧率（非超過確率）を表す。

$$f(t | I) = \frac{t^{\alpha(I)-1} \exp\left(-\frac{t}{\beta(I)}\right)}{\beta(I)^{\alpha(I)} \Gamma(\alpha(I))}$$

パラメータ $\alpha(I)$ と $\beta(I)$ は平均値 $\mu(I)$ と標準偏差 $\sigma(I)$ を用いて以下のように表される。

$$\alpha(I) = \left(\frac{\mu(I)}{\sigma(I)} \right)^2, \quad \beta(I) = \frac{(\sigma(I))^2}{\mu(I)}$$

$$\mu(I) = a_0 + a_1 \times I + a_2 \times I^2$$

$$\sigma(I) = c_0 + c_1 \times I + c_2 \times I^2$$

$$a_n : \text{定数} (a_0=228.93, a_1=-89.82, a_2=9.04)$$

$$c_n : \text{定数} (c_0=5.12, c_1=-6.94, c_2=1.36)$$

④中央防災会議(2005)の手法

○採用自治体：群馬県(12)

配水管と給水管の被害箇所数、復旧速度、復旧人員から以下の式により応急復旧日数を予測する。

復旧日数=配水管総被害件数／(1日あたり作業人数×1日あたりの処理能力)

ここで、

- ・復旧日数：復旧日数とは、復旧作業が開始してから完了するまでの日数とする。(地震発生直後の被害状況の調査日数は含めないものとする。)
- ・1日あたりの作業人数：表III-4-54より、2,000人とする。
- ・1日あたりの処理能力：表III-4-55より、配水本管と配水小管の割合が等しいと仮定すると、1日あたり人員28人で1.59件の復旧をすることが可能である。よって、1日あたりの処理能力は $1.59 \div 28 = 0.0568$ 件／人日と仮定する。

さらに、

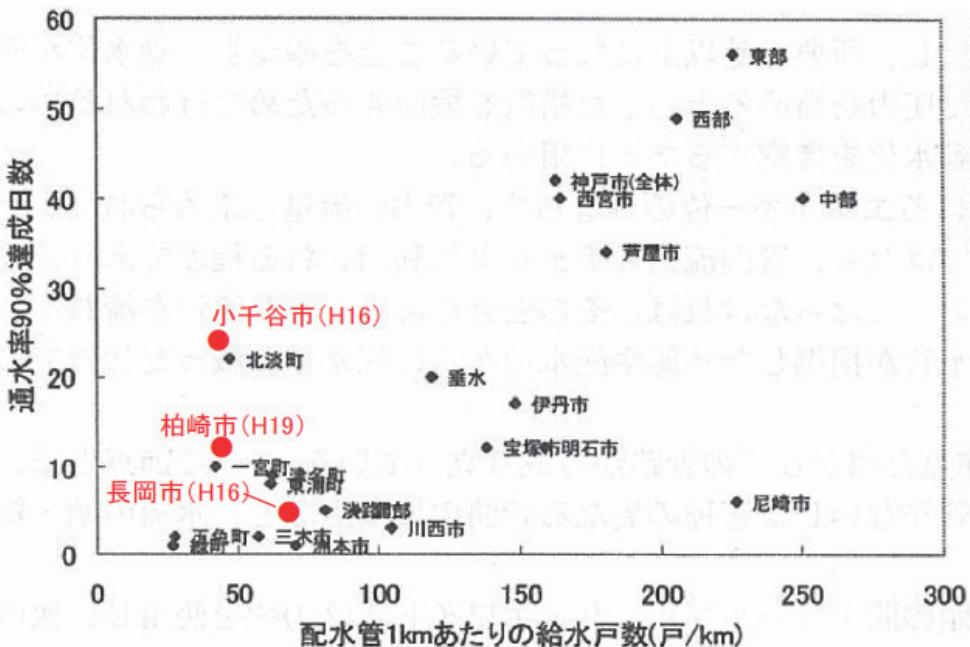
- ・表III-4-54より、4日後に1日目の断水人口の7割が回復するものとする。
- ・復旧作業の完了をもって、断水世帯数が0になるものとする。

表III-4-54 上水道の復旧の仮定(中央防災会議, 2005)

※上水道復旧に関する算定	
①復旧目標日数（首都地域における政策目標）	30日（阪神・淡路大震災の実態：42日）
②復旧曲線	<ul style="list-style-type: none"> ・地震発生直後は被害状況の調査を行い、1日後からの復旧スタートとする(被災直後の変電所被災による一時的な広範囲の断水は想定しない)。ただし、人口の集中する一部地域については4日後までには制水弁閉止とバックアップルートの確保による断水範囲縮小作業を行い、その後、修理作業を行うこととする。 ・制水弁閉止とバックアップルートの確保による断水範囲の縮小による効果は、地震発生後4日後に東京都では、1日目の断水人口の8割が回復すると想定。それ以外の県については、上記のしきみがある地域とない地域があることを勘案し、県全体で断水人口の7割が回復すると想定。
③復旧作業に投入する人員数	<ul style="list-style-type: none"> ・東京都被害想定手法(H9)を参考に、復旧に必要な人員数等を右記のように設定。 ・本検討では、送水管及び配水管被害箇所数の予測結果から、必要となる班数は下式より求まる。 $(送水管\cdot配水本管復旧必要班数) = (送水管\cdot配水本管被害箇所数) / (0.5 \times 26\text{日})$、 $(配水小管復旧必要班数) = (配水小管被害箇所数) / (1.09 \times 26\text{日})$、 これより上記の表から必要となる人員数は下式より求まる。 $(必要人員数) = (送水管\cdot配水本管復旧必要班数) \times 20(\text{人}) + (配水小管復旧必要班数) \times 10(\text{人})$ <p><参考> (応援班数) = (必要班数) - (首都地域内で編成可能な班数(※)) ※東京都：約2,300人/日(東京都被害想定H9)、埼玉県：約2,000人/日(埼玉県被害想定H10)等より、各都県概ね2,000人/日程度は確保可能と設定。</p>

表III-4-55 上水道の復旧に必要な人員(中央防災会議, 2005)

	1班あたりの必要人員	応急復旧作業効率
送水管・配水本管	職員2人、作業員16人	0.5件/班・日
配水小管	職員2人、作業員8人	1.09件/班・日



図III-4-20 事業体規模と復旧日数の関係 (川崎市(2010), 高田ほか(2003)に加筆)

⑤川崎市(2013)の手法

○採用自治体：川崎市(13)

送水管と配水管の被害箇所数、復旧速度、復旧人員から応急復旧日数を予測する。

- ・送水管や400mm 以上の基幹管路から復旧に取り掛かる。

⇒完了時点で応急給水拠点は使用可能

- ・基幹管路は、2日後までに復旧作業を完了し、基幹管路以外は3日目より復旧作業を開始する。
- ・投入班数については、要領に基づき自前で編成可能な最大32班を基準として、首都が被害を受けると考えられる元禄型関東地震では、他都市からの応援が期待できることや参集する職員の状況を考慮し、80%の25班、H24川崎市直下の地震では、他地域からの応援が期待できるため、150%の48班とする。
- ・3日目以降の復旧速度はNagataら(2008)に基づき、1日0.5箇所／班とする。
- ・3日目以降の断水世帯数の算出は、ブロックごとに初期の被害箇所数と復旧に応じた被害箇所数の割合により算出している。

⑥その他の手法

以下の自治体では、以下のように復旧効率を設定している。

大阪府…作業効率=0.1箇所／人・日 (復旧人員：大阪府の上水道事業従事人数の1/3)

三重県…作業効率=3.2 人日／箇所 (復旧人員：三重県内の上水・工業用水道従業者の半数)

4－4. 下水道の被害・復旧

以下に、各自治体で採用されている手法の概略を次の区別別にまとめる。

(1) 埋設管被害箇所数の予測

- ①最大地表速度Vを指標とする手法
 - a)国土交通省(2006)の手法
 - b)川崎市(2013)の手法
 - c)永田ら(2010)の手法
- ②SI値を指標とする手法
 - a)福岡県(1997)の手法
- ③地表最大加速度Aを指標する手法
 - a)久保・片山(1975)に基づく手法
- ④震度階を指標とする手法
 - a)東京都(2006)の手法
 - b)国土交通省(2006)の手法
- ⑤液状化危険度と土被り厚から土砂堆積距離を算出する手法
 - a)東京都防災会議(1991)等の手法
 - b)徳島県(2005)の手法

(2) 機能支障および復旧期間の予測

- ①被害箇所数から算出する手法
 - a)秋田県(1997)の手法
- ②管きょ土砂堆積延長から算出する手法
 - a)東京都(1997)の手法
- ③秋田県(2013)の手法
- ④群馬県(2012)の手法
- ⑤川崎市(2013)の手法

(1) 埋設管被害箇所数の予測

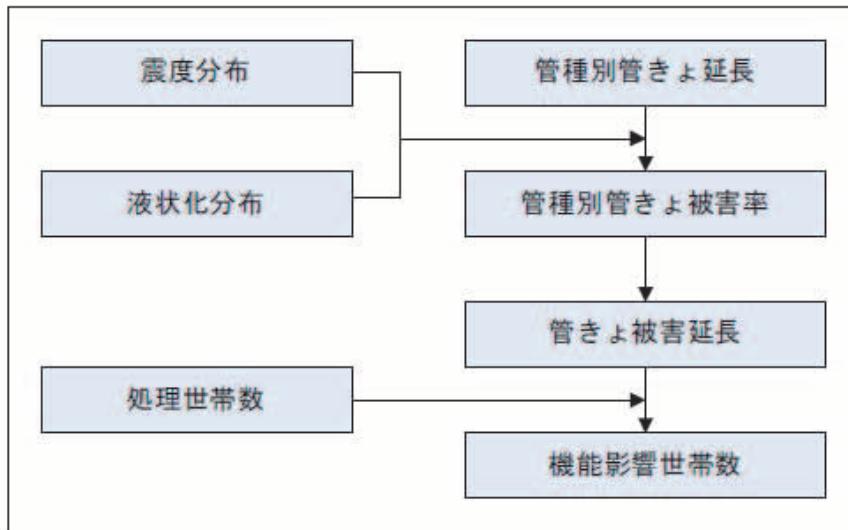
下水道施設（下水道埋設管）は近年急速に普及しているが、経験的な被害予測手法が確立しているとはいえないのが現状で、多くの自治体は、上水道埋設管と同様の考え方で被害量を予測している。

①最大地表速度Vを指標とする手法

a) 国土交通省(2006)の手法

○採用自治体：群馬県(12), 千葉県(08), 神奈川県(09), 島根県(12), 熊本県(13)

管きょの被害率、被害延長を 250m メッシュ単位で予測している。管きょの被害率関数から予測した管種別の管きょ被害率に各メッシュの管種別の延長を乗じて被害延長、さらに管種別の被害延長から各メッシュの総被害延長を予測する。



図III-4-21 下水道施設の被害予測方法(千葉県, 2008)

管種別の被害予測関数は以下の通りである。

$$D_i = \sum_i \sum_j L_{ij} \cdot R_{ij}$$

D_i : 総被害件数(km)

L_{ij} : 管路延長(km)

R_{ij} : 表III-4-56に示した平均被害率(%)

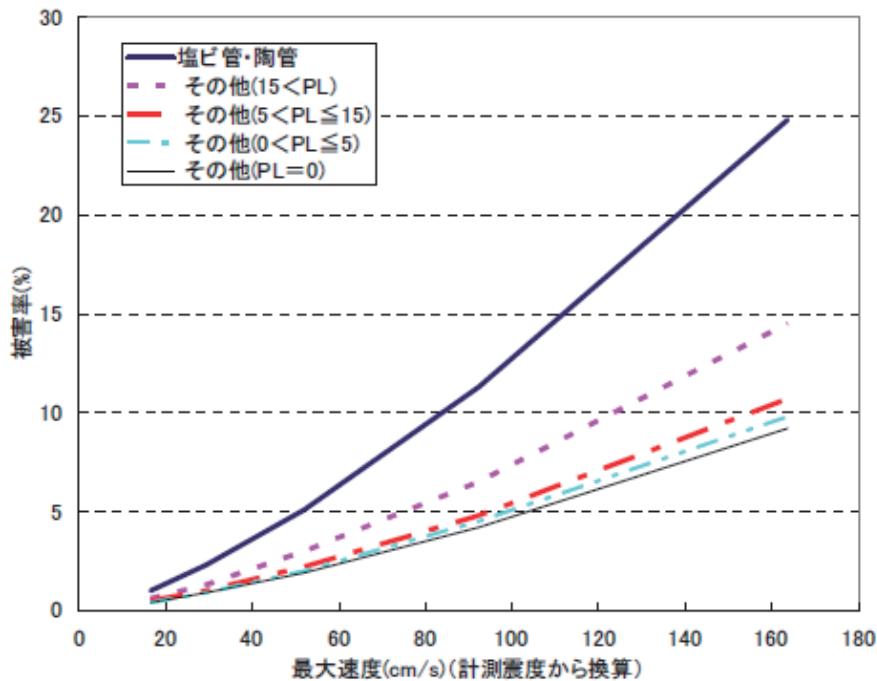
※添え字 i と j は、それぞれ管種、関係を表す

表III-4-56 下水道管きょの平均被害率(%) (千葉県, 2008)

管種	計測震度(上段)、地表最大速度(下段)				
	4.75	5.25	5.75	6.25	6.75
	16.6	29.4	52.0	92.3	163.7
塩ビ管・陶管	1.0%	2.3%	0.5%	11.3%	24.8%
その他(15<PL)	0.6%	1.3%	3.0%	6.5%	14.5%
その他(5<PL≤15)	0.5%	1.0%	2.2%	4.8%	10.7%
その他(0<PL≤5)	0.4%	0.9%	2.0%	4.5%	9.8%
その他(PL=0)	0.4%	0.9%	1.9%	4.2%	9.2%

○熊本県(13)では…

250m メッシュの浸水分布図をもとに、津波により「浸水の可能性がある施設数」を算定している。



図III-4-22 管きよの平均被害率関数(千葉県, 2008)

b) 川崎市(2013)の手法

○採用自治体：川崎市(13)

下水道管きよと、下水道人孔に分けて算出している。

(1) 下水道管きよ

兵庫県南部地震の被害データを基に下水の滞留延長と液状化の影響を考慮した庄司ら(2011)が機能的被害率としてモデル化した式を使用している。

$$D_1 = \sum_i \sum_j L_{ij} \cdot R_{ij}$$

$$R_{ij} = C_{gij} \cdot C_{p_{ij}} \cdot C_{d_{ij}} \cdot R(v)$$

$$R(v) = C\Phi((\ln v - \lambda)/\zeta)$$

ここで、 D_1 ：総被害延長(km)、 L_{ij} ：管路延長(km)、 R_{ij} ：被害率、 $R(v)$ ：標準被害率評価式、 $C_{p_{ij}}$ ：管種補正係数(表8.2-6)、 $C_{d_{ij}}$ ：管径補正係数(表8.2-7)、 C_{gij} ：地盤補正係数(表8.2-8)、 $\Phi(x)$ ：標準正規分布の確率分布関数、 v ：地表最大速度(cm/s)、添え字 ij は管種、管径を表す。

表III-4-57 下水道管きよの標準被害率曲線の回帰係数（川崎市, 2013）

	PL 値	回帰係数			制約条件
		C	λ	ζ	
機能的被害	$15 < P_L$	0.14	5.02	0.42	$\zeta \geq 0.42$
	$5 < P_L \leq 15$	0.08	4.62	0.35	$\zeta \geq 0.35$
	$P_L \leq 5$	0.13	4.99	0.44	$\zeta \geq 0.44$

(2) 下水道人孔

新潟県中越地震及び新潟県中越沖地震の被害データを基に永田ら(2010)が示した人孔の被害率曲線を使用する。下水道人孔の被害想定は、物的被害と機能支障の2つについて行う。このうち、物的被害とは蓋や壁などが破損する物理的な被害を、機能支障とは人孔自体が浮上・沈下した被害を表す。

$$R(V) = C\Phi\{(\ln V - \lambda)/\zeta\}$$

$R(V)$: 標準被害率評価式

$\Phi(x)$: 標準正規分布の確率分布関数

V : 地表最大速度 (cm/s)

表III-4-58 人孔の被害率曲線の回帰係数（川崎市, 2013）

	P _L 値	回帰係数			制約条件
		C	λ	ζ	
物的被害	-	0.103	4.066	0.283	なし
機能支障	$5 \leq P_L$	0.049	4.190	0.291	なし
	$P_L < 5$	0.024	4.163	0.347	なし

物的被害：蓋・受枠の破損、壁のずれ・亀裂・破損、底板の亀裂・破損、その他破損が発生した人孔

機能支障：浮上・沈下が発生した人孔

c) 永田ら(2010)の手法

○採用自治体：高知県(13)

大規模地震による下水道被害想定検討委員会における永田ほか(2010)の評価モデルを基に、250mメッシュ単位で管路の被害を予測する。管路の分布は、領域内の延長を管路の管種・管径別に、建物の分布を基に250mメッシュに分配し、これを用いて被害箇所数を算出した。

$$D = \sum L \cdot R(v)$$

$$R(v) = C\Phi\left(\frac{\ln v - \lambda}{\zeta}\right)$$

D : 総被害軒数(件) L : 管路延長(km)

$R(v)$: 標準被害率評価式(km/km)

$\Phi(x)$: 標準正規分布の確率分布関数 v : 地表最大速度(cm/s)

表III-4-59 管路の機能支障率の回帰係数(高知県, 2013)

液状化	ζ	λ	C
液状化あり (PL ≥ 15)	0.072	3.680	0.216
液状化あり (0 < PL < 15)	0.004	3.652	0.289

② SI 値を指標とする手法

a) 福岡県(1997)の手法

○採用自治体：長野県(02), 福岡県(12), 新潟市(07)

宮城県沖地震(1978)での上水道管被害と下水道管被害の割合から、下水道の標準被害率 R_f を設定している。

$$R_{fm} = R_f \cdot C_L \cdot C_p$$

R_{fm} : 被害率(箇所/km)

$R_f (= 0.0083 \times SI - 0.25, \text{ただし、 } R_f \geq 0.5 \text{ のとき、 } R_f = 0.5)$: 標準被害率(箇所/km)

C_L : 液状化係数…日本海中部地震(1983)を参考に設定

$$C_L = 0.85 + 0.05 \times P_L \quad P_L : \text{液状化指数}$$

C_p : 管種係数,

表III-4-60 福岡県(1997)における管種係数 C_p

管種	係数	管種	係数
陶管	2.0	シールド管	0.5
塩化ビニル管	1.5	ボックスカルバート	0.5
ヒューム管	1.0	鋼管(溶接)	0.1
ダクタイル鉄管	0.2		

※福岡県(12)ではヒューム管以外の条件での被害想定については管種管径係数 C_p , 液状化補正係数 C_L を、過去の地震被害資料に基づいて設定し、被害想定を行っている。

③地表最大加速度 A を指標する手法

a) 久保・片山(1975)に基づく手法

○採用自治体：青森県(97), 宮城県(04), 茨城県(95・98), 新潟県(98), 福井県(97), 三重県(06), 鹿児島県(97), 仙台市(02), さいたま市(09)

上水道管の被害予測で用いられている久保・片山(1975)による被害率推定式を改訂し, 下水道予測に使用している。

$$R_{fm} = R_f \cdot C_g \cdot C_p \cdot C_d \cdot C_v$$

R_{fm} : 被害率(箇所/km)

$R_f (= 1.7A^{6.1} \times 10^{-16}$, ただし、 $R_f \geq 2.0$ のとき、 $R_f = 2.0$) : 標準被害率(箇所/km)

A : 地表最大加速度(gal)

C_g : 地盤・液状化係数

C_p : 管種係数

C_d : 管径係数

C_v : 埋設工法係数

地盤・液状化係数 C_g については、地盤係数と液状化係数の両方が設定されている自治体では、いずれか大きい方を採用している。ただし、新潟県は、液状化地域では液状化係数を採用している。また、福井県・青森県・新潟県では、上水道の被害予測で使用したものと同じ係数(表III-4-30, 表III-4-31)を用いている。

埋設工法係数 C_v を評価している自治体はごく限られている(表III-4-65)。

表III-4-61 各自治体における地盤係数

地盤分類	宮城県(04), 仙台市(02)
山地・丘陵地, 段丘平坦地	0.4
沖積平野, 旧河道, 谷底平野, 自然堤防	1.0
軟弱地盤, 後背湿地	2.0
平地部造成地, 山地部造成地	2.0
液状化地盤($5 < P_L \leq 20$)	2.9
液状化地盤($20 < P_L$)	4.7

表III-4-62 各自治体における液状化係数

液状化指数(P_L 値)	5	10	15	20	25	30
青森県(97)	—			7.0		
新潟県(98)		—			7.0	

表III-4-63 各自治体における管種係数 C_p

管種	青森県 (97)	新潟県 (98)	福井県 (97)	宮城県 (04)
	仙台市 (02)			
陶管	2	—	1.6	2
ヒューム管	0.5	—	0.5	2
塩化ビニル管	1.5	—	1.2	1.5
ポックス・カルバート	0.2	—	—	—
シールド管	0.1	—	0.1	—
無筋コンクリート管	1.5	—	1.2	6
現場打ち鉄筋コンクリート管	0.2	—	—	—
ダクトイル鉄管	—	0.2	—	—
溶接鋼管	—	0.1	—	—
鋼管	—	2	—	2
プラスチック管	—	1.5	—	1
普通鉄管	—	1	—	1
ポリエチレン管	—	0.1	—	—
石綿セメント管	—	1	—	—
不明	1	1	—	—

表III-4-64 各自治体における管径係数 C_d

管径	青森県(97)	福井県(97)	管径	宮城県(04), 仙台市(02)
150mm未満	1.2	1	150mm未満	1.2
150~500mm	0.6	—	150~400mm	0.6
500~1000mm	0.4	—	400~1000mm	0.4
1000~2000mm	0.2	—	1100~2000mm	0.2
2000~4000mm	0.1	—	2000~4000mm	0.1
4000mm以上	0.05	—	4000mm以上	0.05
不明	1	—	不明	—

表III-4-65 各自治体における埋設工法係数 C_v

地盤分類	宮城県(04), 仙台市(02)
推進・シールド	0.1
開削	1.0

○三重県(06)では...

同じ久保・片山(1978) の手法を用いて被害数、復旧日数も算出している。

被害数 N_g (箇所)

$$N_g = R_{fm} \times L_g$$

L_g : 施設延長(Km)

復旧日数 $D_g 1$ (日), 本格復旧工事開始月 $D_g 1$ (月)

$$D_g 1 = N_g \times 0.0084$$

$$D_g 2 = N_g \times 0.0034$$

④震度階を指標とする手法

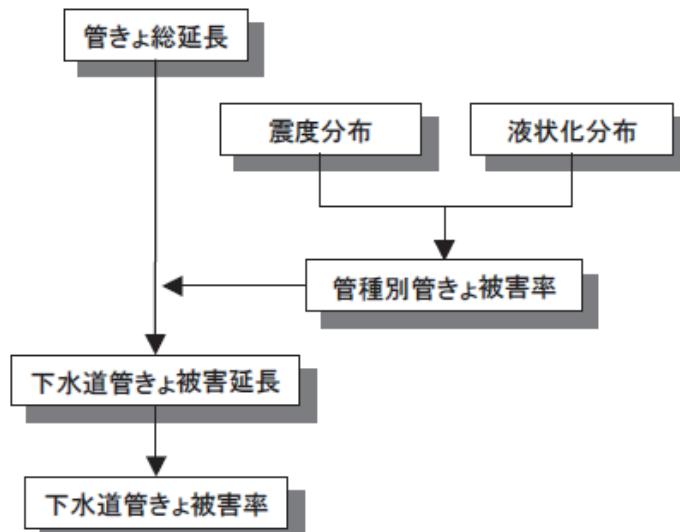
a) 東京都(2006)の手法

○採用自治体：埼玉県(07), 東京都(12), 広島県(07), 山口県(08)

震度階を指標とする手法である。下水道管きよ被害率を、震度分布と液状化分布などにより設定した管きよの管種別被害率から算出した管きよの被害延長と管きよ総延長により求めている。

下水道管きよ被害率 = 管きよの被害延長 / 管きよ総延長

下水道の拠点施設（ポンプ場、処理場）の被災は、想定の対象としていない。



図III-4-23 下水管管きよ被害率算出フロー(東京都, 2006)

表III-4-66 下水管管きよ被害率(%) (東京都, 2006)

管種	震度		震度階				
			5弱	5強	6弱	6強	7
塩ビ管 陶管	PL値	すべて	19.0	30.8	39.3	48.6	57.0
その他の管	PL値	15<PL	11.4	17.4	23.1	28.0	33.4
		5<PL≤15	8.7	13.6	17.0	20.8	24.6
		0<PL≤5	8.0	12.6	15.6	19.1	22.5
		PL=0	7.6	12.1	14.6	18.1	21.2

- ①液状化地盤 塩ビ管・陶管：兵庫県南部地震及び新潟県中越地震被害実態に基づく
その他：日本海中部地震被害実態に基づく
- ②非液状化地盤 塩ビ管・陶管：兵庫県南部地震及び新潟県中越地震被害実態に基づく
その他：兵庫県南部地震被害実態に基づく

b) 国土交通省(2006)の手法

○採用自治体：秋田県(13), 岡山県(13), 香川県(13), 横浜市(12)

国土交通省(2006)の下水道管路施設の被害想定手法により算出。

この手法では、過去の地震による被害の実態から導いた被害率曲線によって下水道被害延長を予測している。

下水道被害延長 = 液状化危険度・震度別平均管きよ被害率 × 管きよ延長

表III-4-67 液状化危険度・震度別平均管きよ被害率
(大規模地震による下水道被害想定検討委員会,
国土交通省都市・地域整備局下水道都下水道企画課, 2006)

管種	液状化危険度	PL値	震度階級				
			5-	5+	6-	6+	7
	計測震度基準値	4.75	5.25	5.75	6.25	6.75	
塩ビ管 陶管	A～D	ALL	1.0%	2.3%	5.1%	11.3%	24.8%
その他 の管	A	15 < PL	0.6%	1.3%	3.0%	6.5%	14.5%
	B	5 < PL ≤ 15	0.5%	1.0%	2.2%	4.8%	10.7%
	C	0 < PL ≤ 5	0.4%	0.9%	2.0%	4.5%	9.8%
	D	PL = 0	0.4%	0.9%	1.9%	4.2%	9.2%

⑤液状化危険度と土被り厚から土砂堆積距離を算出する手法

a) 東京都防災会議(1991)等の手法

○採用自治体：山梨県(04), 静岡県(01), 愛知県(03), 鳥取県(05), 徳島県(05), 愛媛県(02), 大分県(13), 札幌市(08), 名古屋市(99)

支線管きよの土砂堆積被害を対象としている。土砂堆積被害とは、液状化により管きよの接合部等において発生した損傷部から土砂が流入し、管きよ内に土砂が堆積することを指す。

$$N_d = C_4 \cdot R \cdot L$$

N_d : 支線管きよの土砂堆積延長(km)

R : 液状化危険度ランクごとの標準被害率

* 日本海中部地震(1983)の能代市の被害データ(標準被害率 = 6.8%)から設定

C_4 : 土被り深さによる補正係数(10m以浅のとき 1.0, 10m以深のとき 0.0)

L : 管きよ延長(km)

表III-4-68 液状化危険度ランクごとの標準被害率 R

液状化指数(P_L 値)	0	5	10	15
名古屋市(99)	0.00	0.0064	0.0126	0.0254

(注)名古屋市(1999)では、 R のかわりに液状化による土砂堆積率(0.2)と液状化面積比率係数の積が採用されている。表中にはこの値を示した。

※大分県(13)では能代市の市街地は沖積平野で軟弱地盤であるため、能代市の下水処理区域はすべて液状化危険度が最大 (=液状化発生面積率 18%) として、液状化危険度ランクごとの標準被害率を以下としている。

$$\text{液状化ランク毎の標準被害率} = 6.8\% \times \text{液状化発生面積率 (\%)} / 18\%$$

b) 徳島県(2005)の手法

○採用自治体：徳島県(05)

i) 被害延長算定式

被害延長（土砂堆積延長）を次式で算定している。

$$\text{被害延長 (土砂堆積延長)} = A \times B \times L \text{ (km)}$$

A : 液状化による土砂堆積率 ($=0.2$)

B : 液状化発生面積率

L : 管きよの延長 (km)

・液状化による土砂堆積率 A

液状化地盤における液状化による土砂堆積率は、日本海中部地震(1983)における能代市の被害事例(以下表参照)に基づいて設定している。

表III-4-69 日本海中部地震による能代市の下水道管きよの被害 (土木研究所, 1985)

構造物	全延長又は全箇所数	被害状況	被害延長又は箇所数	被害率
管渠	約 60,000m	管破損	8,705.6m	14.5%
		管目地ずれ	1,048 箇所	17.4 箇所/km
		土砂堆積	4,100.33m	6.8%
マンホール	1,260 箇所	マンホール被害	135 箇所	10.7%
取付管	不明	破損・突出	1,117 箇所	—

日本海中部地震(1983)において、能代市内で液状化が発生した地域と発生しなかった地域の面積比は次のようにあった。

$$(液状化地域面積) : (非液状化地域面積) = 37 : 63$$

能代市の全管きよ延長は 60km であるので、液状化地域を通過する下水道管きよは

$$\begin{aligned} (\text{液状化地域の下水道管きよ}) &= (\text{能代市全管きよ延長}) \times (\text{液状化面積}) \\ &= 60\text{km} \times 0.37 = 22.2\text{km} \end{aligned}$$

このうち、土砂堆積被害のあった管きよは(約 4.1km)であることから、液状化地域にある管路が機能障害にいたる比率は以下のように求められる。

$$4.1\text{km} / 22.2\text{km} = 18\% \rightarrow 20\%$$

よって、液状化による土砂堆積率は、0.2と設定した。

・液状化発生面積率 B

液状化発生面積率は、当該メッシュの P_L 値より、次のように設定した。

$$\text{液状化発生面積率 (\%)} = 0.05 \times P_L^2 \quad (\text{埋立地} \leq 100\%, \text{埋立地以外} \leq 18\%)$$

ii) 被害率

下水道の被害率は次式で計算した。

$$\text{被害率} = \text{被害延長} / \text{管きょ延長}$$

(2) 機能支障および復旧期間の予測

排水困難人口の算出は下水道の物的被害率（土砂堆積延長/管きょ延長）に処理区域人口をかけあわせることで求めている自治体が多い。復旧期間の予測に関しては、被害箇所数から算出している自治体と、管きょ土砂堆積延長から算出している自治体がある。

①被害箇所数から算出する手法

a) 秋田県(1997)の手法

○採用自治体：新潟県(98), さいたま市(09), 新潟市(07)

兵庫県南部地震(1995), 日本海中部地震(1983)における被害箇所数と応急復旧および復旧工事開始時期までにかかった日数の関係から評価している。

$$\text{応急措置対処日数(日)} = \text{被害箇所数} \times 0.0084$$

$$\text{本復旧工事開始月(月)} = \text{被害箇所数} \times 0.0034$$

○新潟県(98), さいたま市(09), 新潟市(07)では…

復旧工事開始月を下水道管の被害箇所数に応じて以下のように設定している。

復旧工事開始月(月)

$$= \begin{cases} 10.24 \log_{10}(\text{被害箇所数}) - 27.25 & (\text{被害箇所数が} 1,000 \text{以上の場合}) \\ 0.0034 \times (\text{被害箇所数}) & (\text{被害箇所数が} 1,000 \text{未満の場合}) \end{cases}$$

②管きょ土砂堆積延長から算出する手法

a) 東京都(1997)の手法

○採用自治体：埼玉県(07), 神奈川県(09), 岡山県(13), 大分県(13), 横浜市(12)

枝線管きょの物的被害率に普及人口を乗じることにより、機能支障人口を算出している。

また、枝線管きょの応急復旧作業期間を予測している。発災1日後までは被害状況調査、2日後から応急復旧作業が開始されるとし、作業効率は200m/班（1班6人, 管径400mm堆積厚20%を仮定）としている。

なお、応急復旧作業期間として、非延焼区域の応急復旧が完了するまでの日数を使用している。

表III-4-70 高圧洗浄車1台当たりの応急復旧作業人員と作業効率（埼玉県, 2007）

1台当たり必要人員	応急復旧作業効率
清掃技師 1人	
作業員 3人	
特殊運転手 1人	
普通運転手 1人	
計 6人	200m/(班・日)

○岡山県(13)では…

1週間後から下水道管路の復旧が開始されるとし、中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」(2008)に基づき、応急復旧作業の1班あたりの作業量は、400m/日・班を想定する。

○横浜市(12)では…

世帯数に被害率を乗じている。

③秋田県(2013)の手法

○採用自治体：秋田県(13)

下水道機能支障人口は、市町村ごとに集計した下水道管きょ被害率に市町村別の下水道処理人口を乗じて算出する。

下水道機能支障人口 = 下水道管きょ被害率(市町村別) × 下水道処理人口

下水道管きょ被害率(市町村別) = 下水道被害延長(市町村集計) / 管きょ延長(市町村集計)

下水道の復旧日数は、下水道被害による被害延長と、応急復旧するための調査及び土砂浚渫等に係る復旧作業人数、復旧作業効率から算出する。

【冬季以外】

下水道復旧日数 = 下水道被害延長(km) / 6.75km / 作業人数 × 11(人/日)

+ 下水道被害延長(km) / 1km / 作業人数 × 14(人/日) + 1

【冬季】

下水道復旧日数 = 下水道被害延長(km) / 6.75km / 作業人数 × 11(人/日) / 0.7

+ 下水道被害延長(km) / 1km / 作業人数 × 14(人/日) / 0.7 + 1

④群馬県(2012)の手法

○採用自治体：群馬県(12)

応急復旧件数のうち最も件数が多い取付管の修理が完了する日数を想定し、神戸市の被害・復旧状況から以下の条件で応急復旧日数を予測する。

- ・神戸市では、取付管の応急修理が完了するのに概ね130日（平成7年5月末）を要している。
- ・神戸市における被災人口は、当時の処理区域人口1,426,200人より被災率1.9%を用いて、約27,000人と推定した。
- ・群馬県内における下水道の応急復旧日数は、被災人口に比例すると仮定して次式で予測する。

応急復旧日数=130 日／27,000 人×群馬県内の被災人口(人)

⑤川崎市(2013)の手法

○採用自治体：川崎市(13)

枝線と幹線の被害を分けて考えて算出している。

幹線と考えられるΦ500 mm以上の管路については、滞留延長1 mを超える場合にはその管路があるメッシュの世帯すべてが機能支障世帯となるとした。一方、Φ500 mm以上の管路の滞留延長が1 mを超えない場合には、Φ500 mm未満の管路の被害率とメッシュごとの世帯数を乗じて機能支障世帯数としている。

応急復旧日数の予測は、次の原則に基づいて想定した。

【復旧予測】

上水道と同様に滞留延長、復旧班数から応急復旧日数を予測した。

- ・被害算出は下水独自のものを採用。
- ・処理区内において処理場から近い順に復旧に取り掛かる。
- ・投入班数はH24 川崎市直下の地震で48 班、元禄型関東地震で25 班とし、処理区ごとに等分割して割り振り、各処理区で応急復旧が終了した班から順次まだ終了していない処理区へ助勢することとした。
- ・復旧速度は、永田ら(2012)に基づき、300m/（班・日、Φ500mm 以下）, 150m/（班・日、Φ500mm 以上）とした。
- ・復旧日数は移動、準備を含めて半日単位で積算した。
- ・応急復旧は、発災後8日目以降から行うとし、汚水管及び合流管の管きょについてのみ想定した。

4-5. 都市ガスの被害・復旧

以下に、各自治体で採用されている手法の概略を次の区別別にまとめる。

(1) 埋設管被害箇所数の予測

① 標準被害率 R_f

- a) 地表最大速度 V を指標とする手法
- b) SI 値を指標とする手法
- c) 地表最大加速度 A を指標とする手法

② 地盤・液状化係数 C_g

③ 管種係数 C_p ・管径係数 C_d

(2) 機能支障の予測（供給停止）

① 地震動の大きさを用いる手法

② ゆれ・液状化による全壊棟数に対するガス供給支障世帯の比率を用いる手法

- a) 中央防災会議 東海地震対策専門調査会「東海地震に係る被害想定」(2001)・中央防災会議 東南海、南海地震等に関する専門調査会「東南海・南海地震に係る被害想定」(2001)の手法

③ 島根県(2012)の手法

④ 中央防災会議 南海トラフ巨大地震モデル検討会等(2013)の手法

(3) 復旧期間の予測

① 東京都(1997)の手法

② 大阪府(2007)の手法

③ 三重県(2006)の手法

④ 埼玉県(2007)・広島県(2007)・山口県(2008)の手法

⑤ 日本ガス協会の手法

⑥ 千葉県(2008)の手法

⑦ 岡山県(2013)の手法

(4) その他

① 東京ガスの手法

(1) 埋設管被害箇所数の予測

都市ガス埋設管については、上水道と同様の考え方で被害を予測する自治体がほとんどである。地震動に対する標準的な被害率を設定し、この被害率に地盤による被害発生の違いや管種・管径の違いによる耐震性の違いを加味した補正係数を適用する以下の式に沿った考え方である。なお、ガス管の被害予測では、管径係数は考慮しない場合が多い。

$$R_{fm} = R_f \cdot C_g \cdot C_p \cdot C_d$$

R_{fm} : ガス管被害率(箇所/km)

R_f : 標準被害率(箇所/km)

C_g : 地盤・液状化係数

C_p : 管種係数

C_d : 管径係数

① 標準被害率 R_f

標準被害率 R_f は地震動の大きさによって決められる。地震動を表す指標としては、地表最大加速度や地表最大速度、SI値が使用されている。これまでには、地表最大加速度を指標とした手法が多く採用されていたが、最近では、上水道の被害予測と同様に地表最大速度やSI値を指標とした手法を採用する自治体が多くみられる。

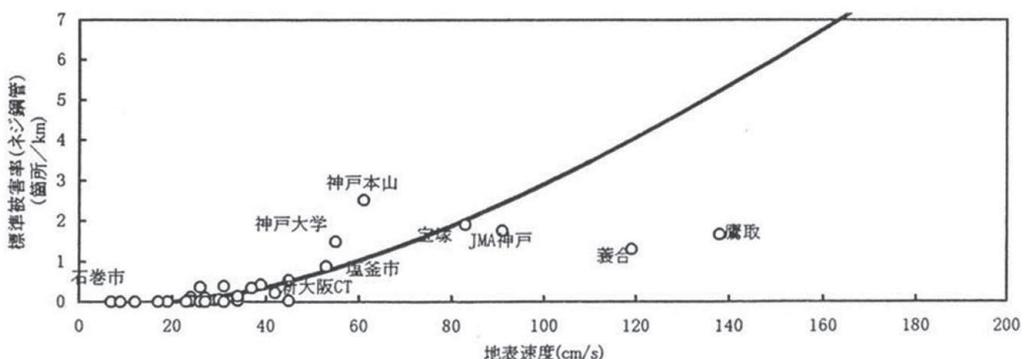
a) 地表最大速度 V を指標とする手法

○採用自治体：山形県(06), 栃木県(04), 山梨県(04), 静岡県(01), 愛知県(03), 三重県(06), 鳥取県(05), 愛媛県(02), 大分県(13)

兵庫県南部地震(1995)での都市ガス導管の被災事例から標準被害率 R_f を設定している。

$$R_f = 3.89 \times 10^{-3} (V - 20)^{1.51}$$

V : 地表最大速度(cm/s)



図III-4-24 地表最大速度と標準被害率の関係(東京都, 1997)

b) SI値を指標とする手法

○採用自治体：岩手県(04), 宮城県(04), 秋田県(13), 新潟県(98), 長野県(02), 島根県(12), 福岡県(12), 仙台市(02), 新潟市(07)

兵庫県南部地震(1995)による都市ガス導管の被災事例から標準被害率 R_f を設定している。

○採用自治体：岩手県(04), 福岡県(12)

$$R_f = 0.025SI - 0.76 \quad (\text{ただし, } 0 \leq R_f \leq 1.8)$$

SI : SI値(cm/s)

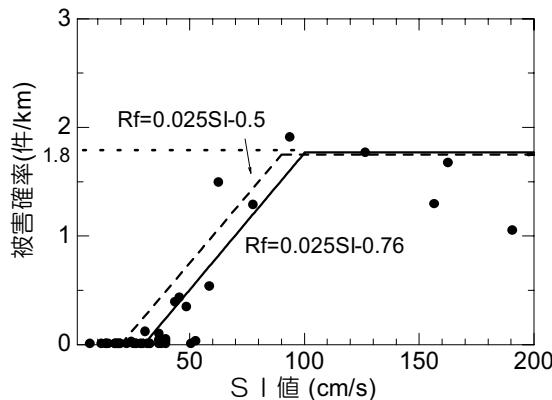
※福岡県(12)では鋼管(ねじ継手)以外の条件での被害想定については管種管径係数Cp, 液状化補正係数CLを, 過去の地震被害資料に基づいて設定し, 被害想定を行っている。

○採用自治体：新潟県(98), 長野県(02), 新潟市(07)

$$R_f = 0.025SI - 0.5 \quad (\text{ただし、} 0 \leq R_f \leq 1.75)$$

○採用自治体：宮城県(04), 秋田県(13), 島根県(12), 仙台市(02)

$$R_f = \begin{cases} 0.0 & (SI < 25\text{cm/s}) \\ 3.5 \times 10^{-2}(SI - 25)^{0.97} & (25 \leq SI < 80\text{cm/s}) \\ 1.7 & (SI \geq 80\text{cm/s}) \end{cases}$$



図III-4-25 兵庫県南部地震(1995)による地表SI値と鋼管ねじ継手の被害率の関係
(ガス地震対策検討会(1996)の資料に基づく)

c) 地表最大加速度 A を指標とする手法

○採用自治体：青森県(97), 茨城県(95・98), 福井県(97), 鹿児島県(97), さいたま市(09)

久保・片山(1975)は、アメリカ・サンフェルナンド地震(1971)による地下埋設管被害をもとに地表最大加速度に対する標準被害率 R_f を設定している。

$$R_f = 1.7A^{6.1} \times 10^{-16} \quad (\text{ただし、} R_f \geq 2.0 \text{ のとき、} R_f = 2.0)$$

A : 地表最大加速度(gal)

② 地盤・液状化係数 C_g

地盤・液状化係数 C_g は、ほとんどの自治体で上水道管と同じ係数（表III-4-29～表III-4-34）が採用されている。

○新潟県(98), 長野県(02), 新潟市(07)では..

以下の地盤種別による係数が採用されている。

1種 : 1.0, 2種 : 1.0, 3種 : 1.0, 4種 : 1.0,

液状化(新潟県 $P_L > 20$, 長野県 : $P_L > 15$) : 1.5

○宮城県(04) ,島根県(12), 仙台市(02)では. . .

仙台市(2002)では、低圧管・供給管別に補正係数を設定している。宮城県(2004), 島根県(2012)では低圧管のみを予測対象としている。

表III-4-71 仙台市(2002)における地盤補正係数

地盤種別	低圧管	供給管
山地・段丘平坦地・丘陵地	1.0	1.0
山地部造成地	1.9	1.4
旧河道・後背湿地・谷底平地・扇状地・崖	1.2	1.2
自然堤防・浜堤	1.6	1.2
平地造成地	1.7	1.1
液状化地盤	1.0	1.0

表III-4-72 仙台市(2002)における液状化補正係数

液状化地盤種別	低圧管	供給管
$0 \leq P_L \leq 5$	1.0	1.0
$5 < P_L \leq 20$	2.0	1.6
$20 < P_L$	2.4	1.6

○秋田県(13)では. . .

地盤補正係数を上水道管とは別に定めている。

表III-4-73 秋田県(2013)における地盤補正係数(秋田県, 2013)

地盤種別	係数値
山地・丘陵地	1.0
旧河道・後背湿地・谷底低地・扇状地	1.2
自然堤防・浜堤	1.6
平地造成地	1.7

③ 管種係数 C_p ・管径係数 C_d

管種・管径係数は、過去の様々な地震被害を分析することにより設定されている。なお、管種係数だけを設定している自治体と管種係数・管径係数を両者の積として設定している自治体がある。秋田県(13), 島根県(12)では市単位で管種係数を定めている。

表III-4-74 各自治体における管種係数（中圧管）

管種	福井県(97)	新潟県(98) 長野県(02) 新潟市(07)	山形県(06)	大分県(13)	福岡県(12)
ネジ式鋼管	1.4	0.5	0.01	—	—
溶接鋼管	0.05	0.025	0.01	0	0.01
メニカル鋼管	0.125	0.05	0.01	—	0.01
鋼管SGM	—	—	0.01	—	—
メニカル鋳鉄管	—	0.1	0.05	0.1	0.13
ガス型鋳鉄管	—	—	0.02	—	0.30
水道型鋳鉄管	0.5	0.25	0.02	0	0.30
ダクタイル鋳鉄管	—	0.1	—	0.05	—
印ろう鋳鉄	0.02	—	0.02	—	—
ポリエチレン管	—	0	0.02	0.02	—
塩化ビニール管	—	0.75	0.375	—	—
石綿管	0.1	1	—	0	—
不明・その他	—	0.05	—	—	—

(注) 同じ係数を使用している自治体をまとめて表示したため、自治体によっては実際に敷設されていない管種に係数が記入されている場合がある。

表III-4-75 各自治体における管種係数（低圧管）

管種	宮城県(04) 仙台市(02)	福井県(97)	青森県(97)	福岡県(12)	岩手県(04) 山形県(06)	新潟県(98) 長野県(02) 新潟市(07)	大分県(13)
溶接鋼管	0.05	0.2	0.1	0.12	0.02	0.05	0.2
メニカル鋼管	0.05	0.25	—	0.07	0.02	0.1	0.2
鋼管SGM	—	—	—	—	—	—	—
ネジ式鋼管	1	2.8	0.5	1.00	1	1	0.2
メニカル鋳鉄管	—	0.3	—	0.33	—	0.1	0.1
水道型鋳鉄管	—	1	1	0.74	—	0.5	—
ダクタイル鋳鉄管	0.4	—	0.2	—	0.05 * 0.02 *	0.1	—
ポリエチレン管	0.02	0.2	—	0.12	—	0	0
塩化ビニール管	—	—	1.5	3.20**	0.7	0.75	—
石綿管	—	—	4	1.00***	—	2	3.0
ガス型鋳鉄管	—	—	—	0.50	0.23	—	—
印ろう鋳鉄	1	—	—	—	0.46	—	—
不明・その他	—	—	—	—	—	1	—

(注) 同じ係数を使用している自治体をまとめて表示したため、自治体によっては実際に敷設されていない管種に係数が記入されている場合がある。

* ダクタイル鋳鉄管(ガス型) 0.05, ダクタイル鋳鉄管(メニカル) 0.02

** 硬質塩化ビニール管

*** 石綿セメント管

表III-4-76 ガス管の管種補正係数(三重県, 2006)

	管種	C2a		管種	C2a
高圧	鋼管	0.000	低圧	鋼管	1.000
中圧	鋼管	0.500		ダクタイル鋳鉄管	0.050
	ダクタイル鋳鉄管	0.020		球状黒鉛鋳鉄管	0.000
	球状黒鉛鋳鉄管	0.000		鋳鉄管	0.300
	鋳鉄管	0.150		ねずみ鋳鉄管(印ろう)	0.460
	硬質塩化ビニル管	0.375		ねずみ鋳鉄管(ガス)	0.260
	ポリエチレン管	0.000		硬質塩化ビニル管	0.750
	ステンレス管	0.250		ポリエチレン管	0.000
供給	鋼管	1.000		ステンレス管	0.500
	ポリエチレン管	0.000			

(2)機能支障の予測（供給停止）

①地震動の大きさを用いる手法

阪神・淡路大震災後、資源エネルギー庁により発行された「ガス地震対策検討会報告書(1996年)」において、地震発生時にはSI値が60kine以上の場合に速やかに低圧ブロックのガス供給を停止する即時供給停止判断基準（第1次緊急停止判断基準）の導入が提言され、全国の都市ガス事業者の供給停止判断基準として採用されている。したがって、近年では、地震が発生した場合、地震動の大きさによって以下のような都市ガスの供給停止措置がとられる。

- ・ 地震計により SI 値60kine以上が記録された地域にあたる大ブロックは、即座に供給停止
- ・ SI 値30kine以上が記録された場合には、建物の被害状況、火災発生状況、ガス導管の被害状況の情報を収集したうえで総合的に考慮し、必要と判断した地域については大ブロックあるいは小ブロック単位で供給停止とする。

都市ガスの供給停止予測では、上記のようなガス会社が保安上とる供給停止措置をもって供給支障としていることが多い。ただし、ブロック区分や地震計設置位置が明らかになることは少ないため、市町村単位で供給停止を判断するなど概略的な推定を行っているものが多い。各自治体で採用されている都市ガスの供給支障判定基準を下表にまとめる。

表III-4-77 都市ガスの供給支障判定基準

自治体	判定基準	備 考
新潟県(98) 新潟市(07)	SI値が60kine以上	市区町村単位で供給停止
山形県(06) 栃木県(04) 三重県(06) 札幌市(08)	震度 6 弱以上の地域	宮城県(04), 山梨県(04)の手法を参考 (山形県(06)) 兵庫県南部地震(1995)の事例を参考 (栃木県(04))
群馬県(12)	各低圧ブロックに設置しているSI センサーが60kine を超えた場合に当該ブロック全域で供給停止	
埼玉県(07) 千葉県(08) 山口県(08) 広島県(07) 広島市(08)	低圧導管ブロックの全域が 6 強を超過した場合は、ブロック内の全ての地域でSI値が60kine(cm/s)を超過しているものとみなし、即時停止とする。また、6 弱の地域においては、SI値が60kine(cm/s)を超過しているとみられる地域のみ供給停止とする。	
山梨県(05)	SI値が60kine以上. あるいは, SI値が30~60kineでガス導管に被害が生じた場合	
福井県(97)	市町村の 5 割以上の地域で震度 5 以上	市町村単位で供給停止
大阪府(07) 熊本県(13) 岡山県(13)	SI値が60kine以上	ブロック単位で供給停止
奈良県(05)	震度 6 弱以上の地域	
さいたま市(09) 秋田県(13)	最大SI値が60kineを超えたメッシュ内のすべての需要家の供給を停止するものとする。	メッシュはガスの事業者ごとに決定。
仙台市(02) 高知県(13)	SI値が60kineを超えた場合	
東京都(12) 横浜市(12)	低圧ブロック内全域で60kineを超過した場合は低圧ガスの供給停止を行う。ブロック内のある程度の範囲で60kineを超え、更に二次被害発生の危険性がある場合、追加で供給停止を実行する。	計測震度を、童・山崎 (1996) による計測震度とSI値との関係式から、メッシュごとでSI値に換算し、東京ガスの低圧ブロック内の換算SI値分布を確認した上で、都市ガス供給停止の被害想定を実施した。
大分県(13)	SI値が60kine以上	供給エリア全域で供給停止

②ゆれ・液状化による全壊棟数に対するガス供給支障世帯の比率を用いる手法

a) 中央防災会議 東海地震対策専門調査会「東海地震に係る被害想定」(2001)・中央防災会議 東南海、南海地震等に関する専門調査会 「東南海・南海地震に係る被害想定」(2003)の手法

○採用自治体：徳島県(05)

兵庫県南部地震(1995)の実態に基づき、ゆれ・液状化による全壊棟数に対するガス供給支障世帯の比率を用いて、各市町村のガス供給支障世帯数・人口を求める。

$$(ガス供給支障世帯数) = (全壊棟数 1 棟に対するガス供給支障世帯数比率) \times (全壊棟数)$$

表III-4-78 全壊棟数 1 棟に対するガス供給支障世帯数の比率(徳島県、2005)

直後～1週間	2週間後	1ヶ月後	2ヶ月後
6.9世帯	6.3世帯	4.7世帯	0.7世帯

③島根県(2012)の手法

○採用自治体：島根県(12)

被害箇所より算出している。

$$D = L \cdot R$$

D : 中圧管・低圧本支管の被害軒数(箇所)

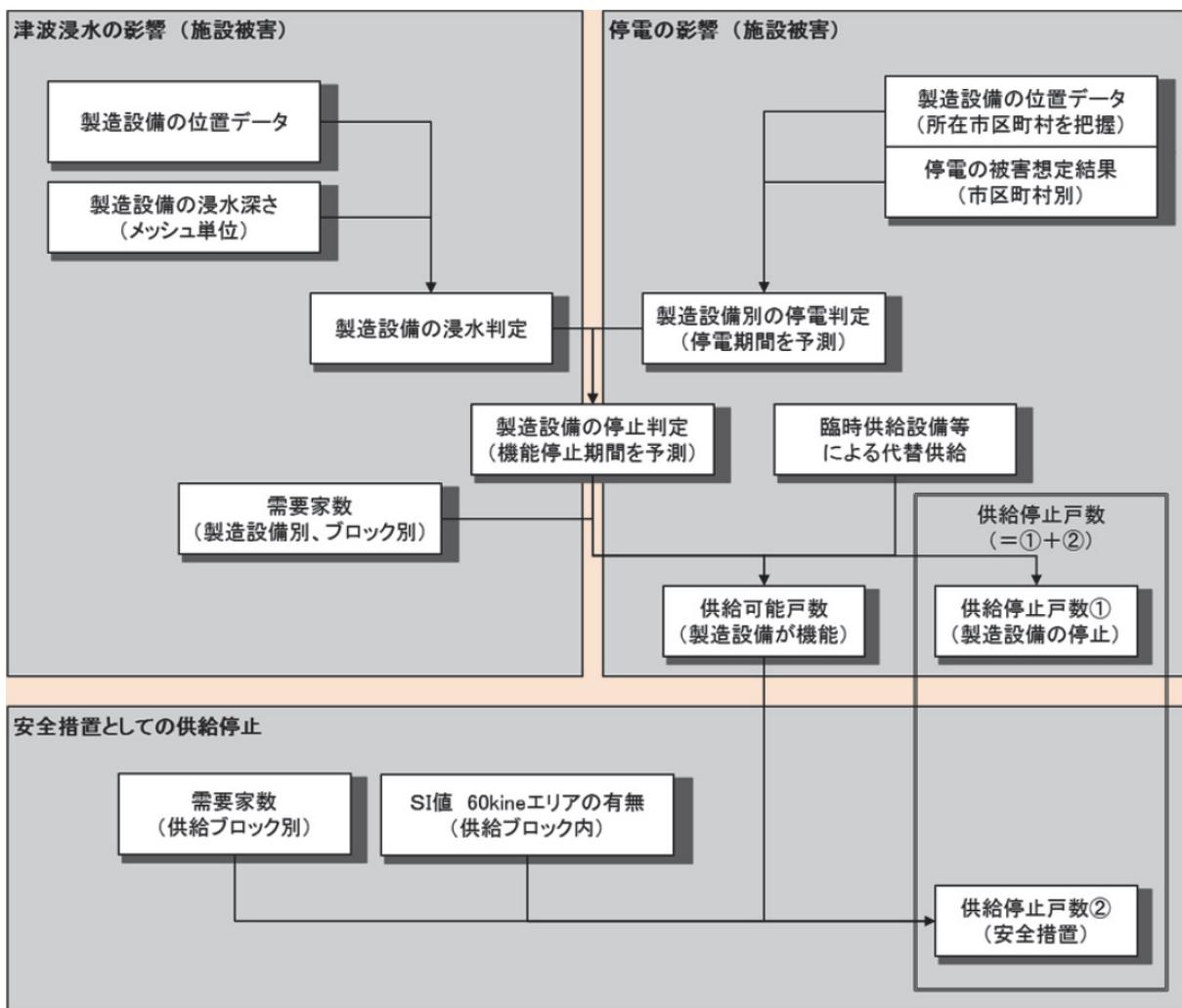
L : 中圧管・低圧本支管の延長(km)

R : 中圧管・低圧本支管の被害率(箇所/km)

④中央防災会議 南海トラフ巨大地震モデル検討会等(2013)の手法

○採用自治体：香川県(13), 高知県(13)

津波浸水・停電による製造設備の停止判定を行い、これに起因する供給停止戸数を算出している。また、ゆれにより安全措置が作動して供給停止となる戸数を算出し、全体の供給停止戸数を推定した。



図III-4-26 都市ガス・埋設管被害箇所数の予測フロー(中央防災会議, 2013)

1) 津波の影響

各製造設備が浸水する場合には、供給エリアでのガス供給が停止するものとし、各製造設備の位置と津波浸水域より、供給停止となる設備を判定し、その供給停止戸数を算定した。また、津波浸水域と供給エリアより、津波浸水域の世帯は、供給停止として算出した。

2) 停電の影響

電力事業者からの電力供給が停止(停電)する期間、および非常用発電機の稼働時間を踏まえて、都市ガスの製造設備施設が停電した場合、供給エリアでのガス供給が停止するものとした。この時、停電期間を予測し、津波被害と合わせて、製造設備の停止判定を行い、津波浸水と停電による供給停止戸数を推定した。

3) 安全措置による供給停止

予測ケースの地震動予測解析で求められる SI 値が 60 カインを超過する場合には、安全措置が稼働すると仮定して供給停止を判定した。中圧管等の耐震性の高いガス管が施設されているエリア等では、安全措置としての供給停止が行われない場合もある。

(供給停止戸数)

$$= (\text{津波浸水による供給停止戸数}) + (\text{安全措置による供給停止戸数})$$

(3) 復旧期間の予測

① 東京都(1997)の手法

○採用自治体：札幌市(08)

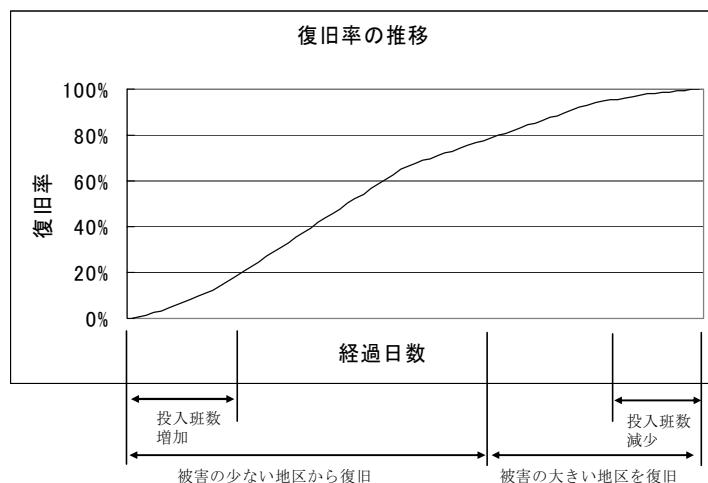
供給停止ブロック内の低圧導管の応急復旧作業を対象としている。発災5日後までは、応急復旧作業の準備等に費やされるとし、発災6日後から実質的な作業が開始されたとした。予測には、兵庫県南部地震(1995)による被害実績から、物的被害率と応急復旧作業効率の関係式を導出して使用している。

$$\text{復旧歩掛(件/組・日)} = 18.6 / \text{本支管被害率(箇所/km)} - 1.6$$

② 大阪府(2007)の手法

○採用自治体：大阪府(07)

復旧対象戸数は、供給停止戸数より建物被害戸数と火災による被害戸数を除外し、兵庫県南部地震時の復旧ペースをもとに、現時点における復旧人員等から類推している。



図III-4-27 ガスの復旧曲線（大阪府, 2007）

③ 三重県(2006)の手法

○採用自治体：三重県(06)

復旧日数 Da(日)

$$Da = Na2/Ej$$

Na2:復旧作業量(人日)

Ej :復旧人員(人)

ここでは復旧人員を256人(H13年事業所・企業統計調査における三重県内のガス事業者数の半数としている。)

④埼玉県(2007)・広島県(2007)・山口県(2008)の手法

○採用自治体：埼玉県(07), 広島県(07), 山口県(08)

兵庫県南部地震(1995)におけるガス管被害率と応急復旧作業効率の関係を用いて、復旧日数の算定を行っている。

○埼玉県(07)では…

復旧作業効率を、中央防災会議(2005)を参考に以下の通り設定している。

$$\text{復旧作業効率 (復旧件数/班・日)} = 21.4$$

⑤日本ガス協会の手法

○採用自治体：秋田県(13), さいたま市(09), 新潟市(07)

日本ガス協会「地震時ガス導管復旧作業の手引き」の推定手法にしたがい、想定地震における復旧日数を想定している。

この手法は、導管・供給管・灯内外管の修繕作業と開閉栓作業、灯内内管修繕作業毎に、被害数に作業歩掛りを乗じて延べ必要作業班(人)数を算定する方法である。

復旧にかかる作業歩掛り(1班・日当たりの復旧戸数)は、兵庫県南部地震(1995)や宮城県沖地震(1978)などの経験から導き出されているガス導管被害率及び供給停止件数に応じた値を用いた。秋田県(13)では冬季は積雪の影響により作業等の効率が7割に低下すると仮定している。

供給管・灯内外管の場合

$$P = n / \alpha$$

$$\alpha = 18.6 / r - 1.6 \quad (n \geq 100,000 \text{ の場合})$$

$$\alpha = (18.6 / r - 1.6) \times 0.8 \quad (100,000 > n \geq 10,000 \text{ の場合})$$

$$\alpha = (18.6 / r - 1.6) \times 0.6 \quad (n < 10,000 \text{ の場合})$$

P : 必要管修繕班数(班)

n : 供給停止件数(件)

α : 復旧効率

r : 供給管・灯内外管被害率(箇所/km)

供給管・灯内外管被害率は、先に求めた導管被害率とした。また、1班当たり7人編成とする。

開閉栓作業は1人/班体制として、以下の班数が必要となる。

$$Q = n / \beta$$

Q : 必要開閉栓班数(班)

β : 復旧効率(=15件/班・日)

灯内管の修繕は2人/班体制として、以下の班数が必要となる。

$$R = n \times s / \gamma$$

R : 必要灯内管修繕班数(班)

s : 灯内管被害率(=兵庫県南部地震(1995)実績11件/千戸)

γ : 復旧効率(=2.5件/班・日)

⑥千葉県(2008)の手法

○採用自治体：千葉県(08) , 群馬県(12)

導管被害件数、復旧速度、復旧人員から応急復旧日数を予測している。

復旧日数=復旧対象戸数／復旧歩掛／投入班数

復旧対象戸数= (調停停止戸数-消失戸数) ×0.8

消失戸数：火災で焼失した戸数

0.8 : 兵庫県南部地震(1995)の供給停止戸数に対する復旧戸数の割合

復旧歩掛：1班数・1日当たりの復旧戸数

ガス地震対策検討報告書(1996)

復旧隊の「復旧歩掛」のデータを元に設定した。

台地が多く差し水の影響が少ない地域については41.6

差し水の影響が考えられる地域については平均値である21.4

投入班数：1日当たりの復旧班数（自社班数+他ガス事業者の復旧応援班数）

○群馬県(12)では…

復旧歩掛は差水の影響が少ない地域が多いことから41.6，投入班数は過去の実績から110班としている。

⑦岡山県(2013)の手法

○採用自治体：岡山県(13)

供給停止戸数と東日本大震災等の過去の地震における復旧状況を考慮して予測した中央防災会議、防災対策推進検討会議、中央防災会議 南海トラフ巨大地震モデル検討会等(2013)の予測結果に基づき設定している。

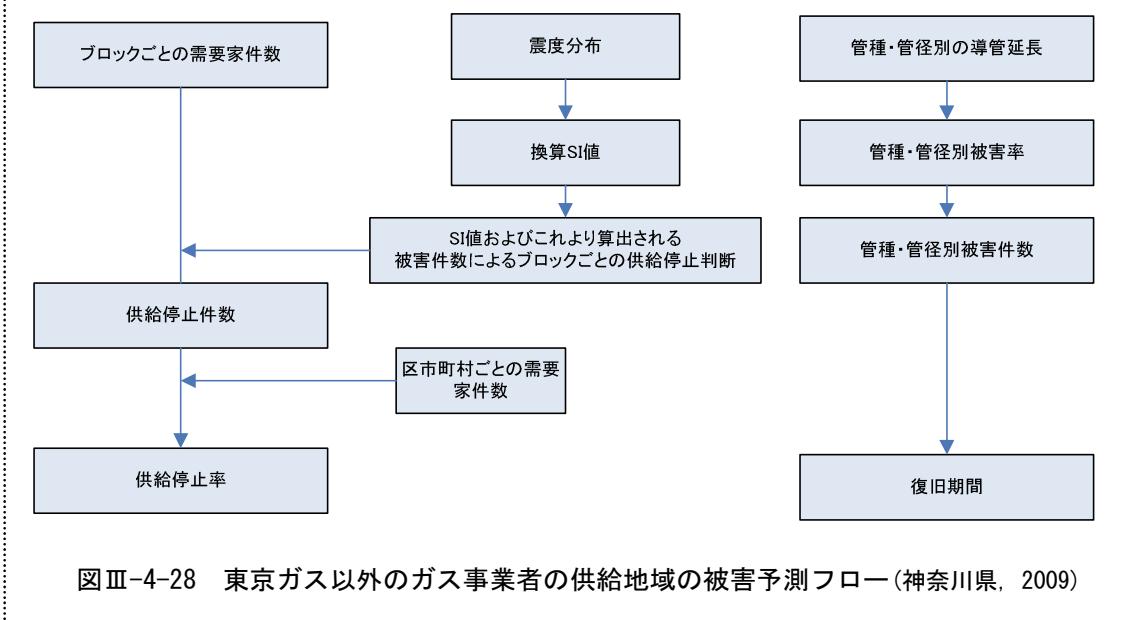
(4)その他

①東京ガスの手法

○採用自治体：神奈川県(09)

○神奈川県(09)では..

東京ガス以外の事業者の供給地域では、SI値分布から供給停止軒数を予測し、これに加えて、高坂ほか(1998)による被害関数を用いてガス導管の被害軒数を予測している。



図III-4-28 東京ガス以外のガス事業者の供給地域の被害予測フロー(神奈川県, 2009)

4-6. プロパンガス (LPG) の被害・復旧

兵庫県南部地震(1995)では、プロパンガスの復旧は非常に早く、地震後2週間程度でほぼ100%の復旧作業が完了した。このような点から、プロパンガスの被害・供給支障、復旧を予測している自治体は非常に少ない。

なお、プロパンガスの被害は、ガスボンベ漏洩率に消費者数を乗じて算出されているため、被害件数が供給支障数となる。

(1) 被害の予測

①東京消防庁(1987)の手法

○採用自治体：青森県(97)

東京消防庁(1987)は、ガスボンベの容量と地表最大加速度ごとのLPG容器漏洩率の関係を実験および実態調査に基づき設定している。

表III-4-79 加速度別 LP ガスボンベ漏洩率(東京消防庁, 1987)

地表最大加速度 (gal)	200	250	300	350	400	450
容量	10キロ	—	4.3%	35.6%	35.6%	35.6%
	20キロ	—	6.2%	6.2%	6.6%	6.6%
	50キロ	0.65%	1.1%	1.1%	1.2%	1.2%

○青森県(97)では…

上表を震度に読み替えて使用している。

表III-4-80 青森県(1997)における震度別 LP ガスボンベ漏洩率

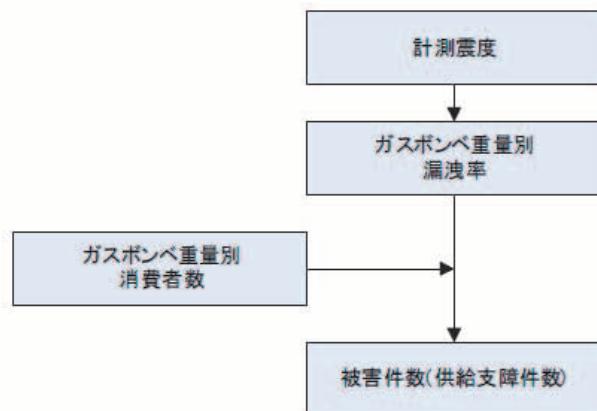
容量	震度5弱	震度5強	震度6弱	震度6強～
20キロ	3.4%	6.2%	6.2%	9.4%
50キロ	0.6%	1.1%	1.2%	2.5%

②関沢ら(2003)の手法

○採用自治体：秋田県(13), 群馬県(12)千葉県(08), 神奈川県(09), 島根県(12), 熊本県(13)

供給地域の計測震度からガスボンベ重量別漏洩率を求め、これにガスボンベ重量別の消費者数を乗ずることによって被害件数(=供給支障数)を求めている。

$$\text{供給支障数} = \text{ガスボンベ重量別漏洩率} \times \text{ガスボンベ重量別消費者数}$$

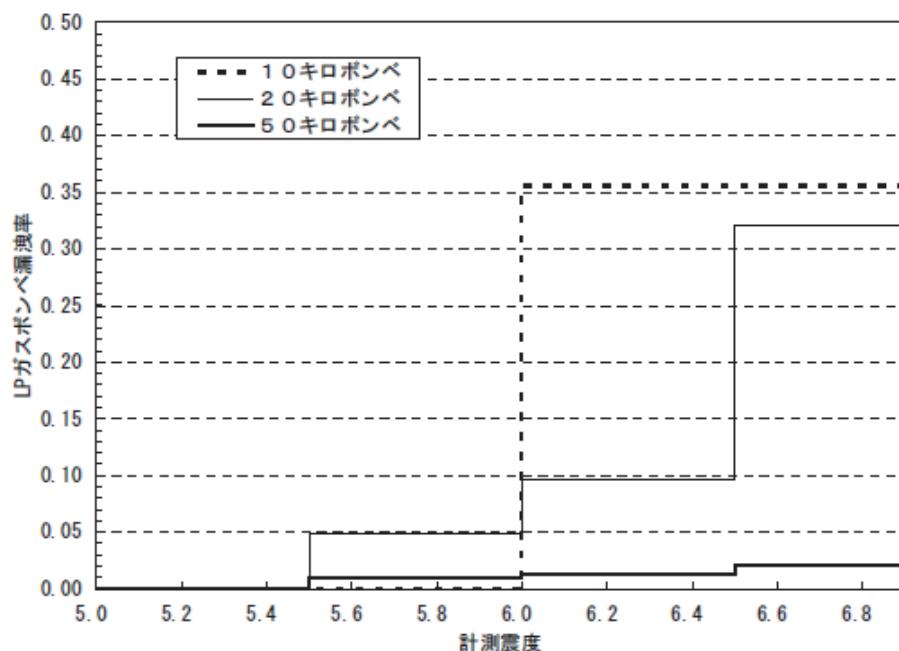


図III-4-29 LP ガスの地震被害予測フロー(千葉県, 2008)

関沢らが取りまとめた漏洩率関数は以下の通りである。

表III-4-81 LP ガスボンベの漏洩率(千葉県, 2008)

ガスボンベ重量	計測震度			
	~5.5未満	5.5~6.0未満	6.0~6.5未満	6.5以上~
10キロ	0.000	0.000	0.356	0.356
20キロ	0.000	0.048	0.096	0.321
50キロ	0.000	0.010	0.013	0.021



図III-4-30 LP ガスボンベ漏洩率関数(千葉県, 2008)

○秋田県(13)では…

兵庫県南部地震(1995)を参考に、復旧速度を1万件/日と仮定して応急復旧日数を予測している。冬季は積雪の影響により作業等の効率が7割に低下すると仮定している。

$$\text{LPガス復旧日数} = \text{LPガス被害数}/1\text{万(箇所/日)} + 3$$

③山形県(2006)・札幌市(2008)の手法

○採用自治体：山形県(06), 高知県(13), 札幌市(08)

兵庫県南部地震(1995)における事例から要点検供給（需要）世帯数を想定している。

$$\text{要点検供給世帯数} = \text{全半壊率} \times \text{供給世帯} \quad (\text{山形県(2006), 高知県(2013)})$$

$$\text{要点検需要家数} = 1.88 \times (\text{全半壊率} \times \text{LPガス世帯数}) \quad (\text{札幌市(2008)})$$

また、山形県は供給支障率も以下のように設定している。

$$\text{LPガス供給支障率} = \text{要点検世帯数} / \text{供給世帯数}$$

④香川県(2013)の手法

○採用自治体：香川県(13)

地震発生直後の主な被害について、定性的評価により記載している。

5. 交通・輸送施設被害の予測

交通・輸送施設の被害予測は、主に道路、鉄道、港湾を対象として行われている。評価方法や予測結果の表現方法（絶対的評価、相対的評価）は多様である。また、過去の地震被害を参考に定性的な評価を行っている自治体も多い。

5-1. 道路の被害

高速道路・一般国道・主要地方道等を評価対象路線とし、橋梁・トンネルの被災確率（箇所数）や盛土・切土斜面の崩壊発生確率（箇所数）の予測が行われている。また、これら評価対象施設の被災程度あるいは過去の地震での路線被災程度から、路線通行可能性の評価が行われている。

なお、評価の際によく用いられる1種～4種の地盤種別の定義は下表のとおりである。

表III-5-1 地盤種別(日本道路協会, 1990)

区分	地盤種別
1種	(1)第三紀以前の地盤(以下、岩盤と称する) (2)岩盤までの洪積層の厚さが10m未満
2種	(1)岩盤までの洪積層の厚さが10m以上 (2)岩盤までの沖積層の厚さが10m未満
3種	沖積層の厚さが25m未満かつ軟弱層の厚さが5m未満
4種	上記以外の地盤

以下に、各自治体で採用されている手法の概略を次の区別別にまとめた。この他、中央防災会議 南海トラフ巨大地震モデル検討会等(2013)では、ゆれによる道路被害・津波による道路被害について被害予測を行っている。

(1) 橋梁の被害

- ①東京都防災会議(1978)の手法
- ②神奈川県(1986)の手法
- ③名古屋市(1997)の手法
- ④宮崎県(1997)の手法
- ⑤奈良県(2005)の手法
- ⑥群馬県(1998)の手法
- ⑦東京都(2006)の手法
- ⑧日下部ら(2004)の手法
- ⑨三重県(1997)の手法
- ⑩大阪府(2007)の手法
- ⑪新潟市(2007)の手法
- ⑫大分県(2007)の手法

(2) トンネルの被害

- ①埼玉県(1998)の手法

(3) 盛土の被害

- ①震度と道路防災点検耐震ランクによる評価
- ②秋田県(1997)の手法
- ③神奈川県(1986)の手法

(4) 切土・斜面被害の予測

- ①震度と道路防災点検耐震ランクによる評価
- ②秋田県(1997)の手法

(5) 区間被害確率の予測

- ①震度と地盤種別による評価
- ②中央防災会議 南海トラフの巨大地震モデル検討会等(2013)の手法

(6) 通行可能性の予測

- ①東京都(1997)の手法
- ②宮崎県(1997)の手法
- ③和歌山県(2006)の手法
- ④山形県(2006)の手法

(7) 支障影響度の総合的判定

(8) 細街路の閉塞率

- ①家田ら(1997)

(9) 津波による道路被害

- ①神奈川県(2009)
- ②中央防災会議 南海トラフの巨大地震モデル検討会等 (2013)

(1) 橋梁の被害

① 東京都防災会議(1978)の手法

○採用自治体：青森県(97), 宮城県(04), 福井県(97)

関東地震(1923), 福井地震(1948), 新潟地震(1964)による橋梁被害（30箇所）の分析結果から重み係数を設定（表III-5-3）し, 評価点の積が26点を超えると落橋の可能性があるとしている。判定基準は各自治体により下表のように設定されている。

表III-5-2 各自治体における橋梁被害（落橋）の判定基準

自治体	判定基準
宮城県(04)	道路橋耐震設計指針が改訂された1981年以降と以前で基準を設定。 1980年以前完成で55点以上, 1981年以降完成で100点以上の橋梁において通行に支障をきたす被害が生じる。
青森県(97) 福井県(97)	30点以上 … 被害大(落橋の危険性が高い) 26点以上 … 被害中(落橋の危険性がある)

表III-5-3 上部構造の落下に重点を置いた橋梁の耐震性判定基準(東京都防災会議, 1978)

項目	範囲	重み係数	備考
地盤	1種	0.5	地盤種別は「道路橋耐震設計指針」4.3.(2)の区分による
	2種	1.0	
	3種	1.5	
	4種	1.8	
液状化	無	1.0	「道路橋耐震設計指針」3.7による
	おそれあり	1.5	
	有	2.0	
桁構造	アーチ・ラーメン	1.0	
	連続桁	2.0	
	単純・ゲルバー	3.0	
支承	落下防止あり	0.6	ゲルバーに添接があれば落下防止。MMは同一橋脚上の2つの可動支承の意味
	普通	1.0	
	M・M	1.15	
橋台・橋脚の高さ	≤5m	1.0	高さは橋台・橋脚の地表面高の最大値
	5~10m	補間値	
	≥10m	1.7	
径間数	=1	1.0	連続桁は1連が1径間。ゲルバーは吊スパン、アンカーアームスパンの和
	≥2	1.75	
天端幅	広い(A/S ≥ 1)	0.8	A=実距離, S=「道耐震」5.2.2の値
	狭い(A/S < 1)	1.2	
	ゲルバーの かけ違い	D ≥ 1	A=実距離, D=A/60(地盤1~3種) D=A/70(地盤4種)
		D < 1	
震度階	5	1.0	
	5.5	1.7	
	6	2.4	
	6.5	3.0	
	7	3.5	
基礎工	パイルメント以外	1.0	摩擦杭など明らかに弱体なものは1.4とする
	パイルメント	1.4	
橋台・橋脚の材料	レンガ・無筋コンクリート	1.4	
	上記以外	1.0	

②神奈川県(1986)の手法

○採用自治体：新潟県(98)<橋梁震災点検資料が得られた橋梁>, 愛媛県(02)

神奈川県(1986)は、新潟地震(1964)から宮城県沖地震(1978)について無被害の橋梁を含む467橋の耐震性を判定した実際の被害率から被害確率を設定している(表III-5-4)。耐震ランクの設定には日本道路協会(1986)による耐震性評価表(表III-5-5, 表III-5-6)を用いている。

なお、愛媛県(2002)は不通確率のみ評価し、これを被害確率としている。

表III-5-4 橋梁の震度階別被害確率(神奈川県, 1986)

耐震ランク	通行制限			不 通		
	A	B	C	A	B	C
震度5弱	0.28	0.16	0.02	0.00	0.00	0.00
震度5強	0.31	0.19	0.02	0.03	0.01	0.00
震度6弱	0.31	0.24	0.02	0.14	0.03	0.00
震度6強	0.20	0.25	0.03	0.37	0.08	0.01
震度7	0.11	0.34	0.08	0.63	0.16	0.05

表III-5-5 橋梁の耐震性評価表(日本道路協会, 1986)

上部工	①適用示方書	4.0 : 昭和39年以前	3.0 : 昭和46年	2.0 : 昭和55年	1.0 : 平成2年
	②上部構造	3.0 : ゲルバー桁・2径間以上の単純桁 1.5 : 1径間単純支持(1.5m以上) 2連以上の連続桁 1.0 : 上路, 中路アーチ, ラーメン, 1連の連続桁, 斜張			
	③上部構造材料	1.2 : R C・P C	1.0 : 鋼		
	④落橋防止構造	2.0 : なし	1.5 : 可動支承における移動制限装置	1.0 : 落橋防止装置	
	P a =①×②×③×④				
下部工の変形	⑤下部構造形式	2.0 : 単列パイアルベント, 独立した基礎に支持されたR Cラーメン 無筋コンクリート, レンガ・石造 1.0 : その他			
	⑥橋面高	2.0 : 10m以上	1.5 : 5~10m	1.0 : 5m未満	
	⑦地盤	2.5 : 3種	1.5 : 2種	1.0 : 1種	
	⑧液状化の影響	2.0 : あり	1.0 : なし		
P b =⑤×⑥×⑦×⑧					
主鉄筋段落し部強度	⑨せん断支間比	2.0 : h/D≤2	1.0 : h/D>2		
	⑩段落し部の曲引張りひびわれ	2.0 : 円形または辺比1.4未満の矩形一本柱あるいはラーメン橋脚 1.0 : その他			
	⑪基部と段落し部の安全率	3.0 : 1.2未満	1.0 : 1.2以上		
	⑫主筋段落し部の降伏強度に対する安全率	3.0 : 1.2未満	1.0 : 1.2以上		
	⑬せん断応力度	3.0 : 許容応力度以上	1.0 : 許容応力度未満		
	P c =⑨×⑩×⑪×⑫×⑬				
下部工の変状	⑭支承部の変状	5.0 : 上下部構造の異常な変状	2.0 : その他の変状	1.0 : なし	
	⑮軸体の変状	5.0 : 異常あり	1.0 : なし		
	⑯基礎の異常	2.0 : 異常あり	1.0 : なし		
	⑰桁等の変状	2.0 : 異常あり	1.0 : なし		
	⑱下部構造形式	1.5 : R Cラーメン	1.0 : その他		
P d =⑭×⑮×⑯×⑰×⑱					
評価点	変形に関する評価点 : X=P a×P b	強度に関する評価点 : Y=P c×P d			

表III-5-6 ランク判定基準(日本道路協会, 1986)

ランク	X	Y		判 定
		Pc=1.0	Pc≠1.0	
A	60以上	10以上	100以上	被災の程度または確率が高いと予想される橋梁
B	20~60	5~10	50~100	被災の程度または確率がやや高いと予想される橋梁
C	20未満	5未満	50未満	局部的には被災するが被災の程度または確率がやや低いと予想される橋梁

X, Yの評価点で得られるランクのうち, いずれか高い方を採用する

○新潟県(98)では...

震災点検資料が得られた橋梁を対象にこの手法を適用している。

液状化による影響については, 神奈川県(1993)による設定値 (通行制限 0.60, 不通 0.10)

から考慮することとし, これと上記の地震動による被害率の大きい方を採用している。

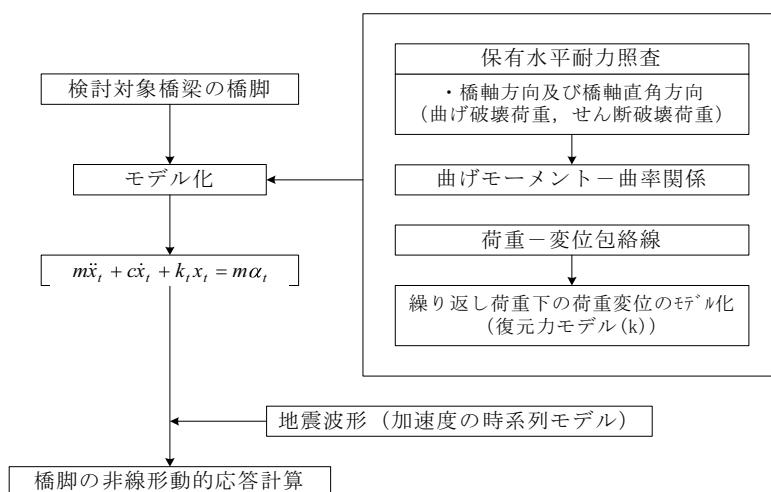
③名古屋市(1997)の手法

○採用自治体: 名古屋市(97)

橋梁の橋脚基礎位置における地震波形想定結果に基づき, 地震動の時系列波形を考慮した動的応答解析を行っている。動的応答解析では1質点系モデルを用いているが, 1橋梁についてのみ三次元有限要素法モデルを用いて1質点系モデルの妥当性を検討している。

a) 1質点系モデルによる動的応答解析

橋脚を1質点として1自由度系にモデル化し, 時系列的に地震波形を与えることにより, これに対応する応答変位を計算するモデルである。

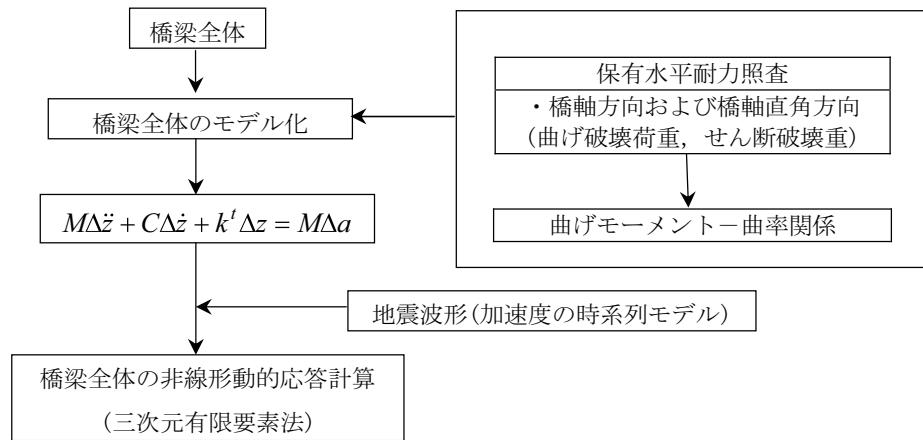


m : 質量 c : 粘性減衰係数 k_t : 剛性 α_t 地震加速度 $x_t, \dot{x}_t, \ddot{x}_t$: 質点の変位, 速度, 加速度

図III-5-1 1質点系モデルによる動的応答解析フローチャート(名古屋市, 1997)

b)三次元有限要素法モデルによる動的応答解析

橋脚、橋桁を集中質量、梁要素として離散化したモデルで、橋脚の剛性として橋軸方向と曲り剛性を考慮する1質点系より厳密なモデルである。



M : 質量マトリクス C : 減衰マトリクス k^t : 時刻 t から $t + \Delta t$ までの接線剛性ベクトル
 Δa : 入力地震加速度増分ベクトル $\Delta z, \Delta \dot{z}, \Delta \ddot{z}$: 質点の変位、速度、加速度増分ベクトル

図III-5-2 三次元有限要素法モデルによる動的応答解析フローチャート(名古屋市, 1997)

④宮崎県(1997)の手法

○採用自治体：新潟県(98)<橋梁震災点検資料が得られなかった橋梁>、長野県(02)

兵庫県南部地震(1995)の被災事例とともに、道路橋示方書準拠年別に被害確率を設定している。

表III-5-7 震度と橋梁被害率の関係(新潟県, 1998)

被害程度 示方書年	通行制限		不通	
	1964, 1971年	1980, 1990年	1964, 1971年	1980, 1990年
震度5強以下	0.00	0.00	0.00	0.00
震度6弱	0.03	0.00	0.03	0.00
震度6強	0.13	0.02	0.12	0.00
震度7	0.14	0.04	0.14	0.02

(単位：箇所/箇所)

○新潟県(98)では…

震災点検資料が得られなかった橋梁を対象にこの係数を適用している。

液状化による影響については、神奈川県(1993)による設定値から考慮することとし、この被害率と上記地震動による被害率の大きい方の値を採用している。

⑤ 奈良県(2005)の手法

○採用自治体：奈良県(05)

橋梁の設計基準を規定する道路橋示方書の発行年度と当該橋梁における想定震度の2つの指標から、地震の際の「被害状況の確認優先度ランク」を評価する。

表III-5-8 橋梁の地震時確認優先度ランク(奈良県, 2005)

道路橋示方書発行年度	5弱以下	5強	6弱	6強	7
～1979	III	II	II	I	I
1980～1995	III	III	III	II	I
1996	III	III	III	III	III

(注) I, II, IIIの順番に確認優先度が高い

⑥ 群馬県(1998)の手法

○採用自治体：岩手県(04)

震度と液状化可能性および橋梁建設時に準拠した道路橋示方書の年次から、被災危険度ランクを設定している。

表III-5-9 被災危険度ランク(群馬県, 1998)

道路橋示方書の 準拠年次	震度(非液状化区間)				液状化区間
	5弱	5強	6弱	6強以上	
1971年以前	D	C	B	A*	A
1980年以降	D	D	D	D	C

* 岩手県ではBランク評価

○岩手県(04)では...

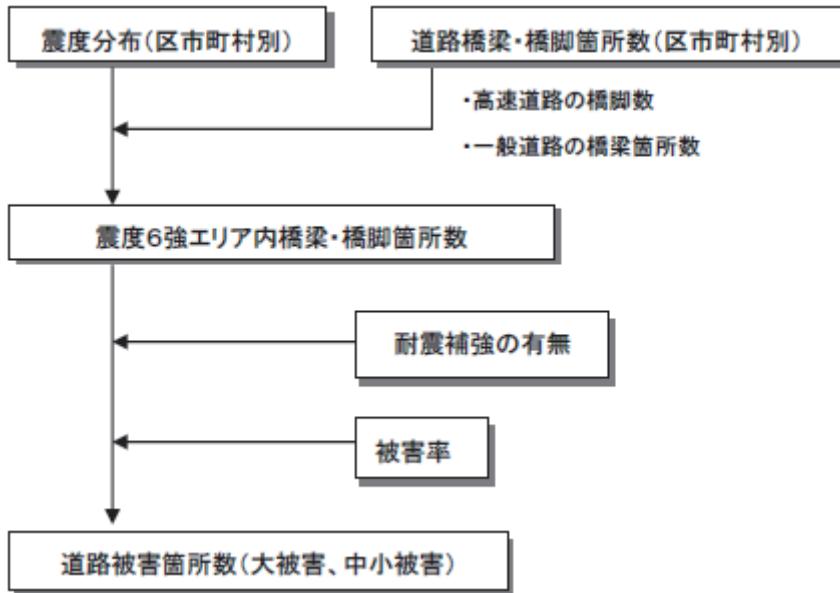
緊急輸送路(第1次～3次)上の施設で、1996・1997年度道路防災総点検時に「要対策」(評価ランクC)または「今後長期的に対策検討」(評価ランクB)と判断されたもののうち、2002年度末での未対策施設を対象に被害予測を実施している。

⑦ 東京都(2006)の手法

○採用自治体：秋田県(13), 埼玉県(07), 東京都(12), 熊本県(13)

高速道路は橋脚の被害を、一般道路については橋梁の被害を算出し、落橋・倒壊を大被害(機能支障あり)、亀裂・損傷を中心被害(機能支障なし)としている。また、兵庫県南部地震(1995)では震度6以上のエリアにおいて被害が発生しているので、震度6強のエリアを対象にしている。

道路被害箇所数(大被害、中小被害)を以下のフローにしたがって算出している。



図III-5-3 道路橋梁・橋脚被害箇所数算出フローチャート(東京都, 2006)

- 震度 6 強エリア内の橋梁・橋脚数を以下の式によって求める。

震度 6 強エリア内の橋梁・橋脚数

$$= \text{橋梁・橋脚数 (区町村別)} \times \text{区市町村内の震度 6 強エリア内の建物数割合}$$

表III-5-10 道路橋梁・橋脚被害率(東京都, 2006)

	大被害 (機能支障あり)	中小被害 (機能支障なし)
旧基準に準拠(耐震性低)	8.2%	33.9%
新基準に準拠(耐震性高)	0.0%	16.3%

出所：兵庫県南部地震における道路橋の被災に関する調査報告書（平成 7 年）をもとに作成

- ※ 高速道路、国道、都道、区市町村道に共通
- ※ 旧基準：昭和 54 年度より前の基準に準拠しているもの
- 新基準：昭和 55 年度以降の基準に準拠しているもの
- ※ 耐震補強済みの道路については、新基準に準拠するものとする。
- ※ 大被害：崩壊、倒壊、変形の大きな亀裂・座屈・鉄筋破断などの損傷。通行可能とする修復に長期間を要し、短期的には救助活動や緊急物資の輸送路としての機能等を回復できない程度の損傷
- ※ 中小被害：部分的または局所的な亀裂・座屈、鉄筋の一部破断、コンクリートの剥離などの損傷。限定的な損傷であり、修復をすることなく、または応急修復程度で救助活動や緊急物資の輸送路としての機能を回復できる程度の損傷

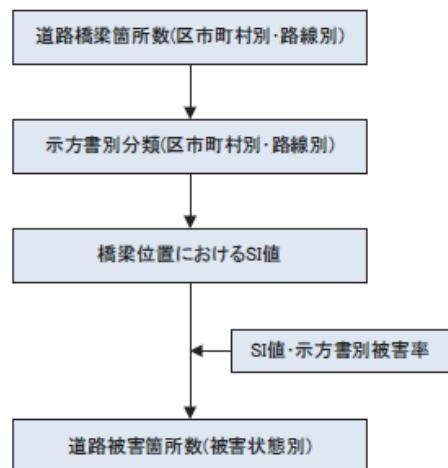
- 耐震性の有無は、兵庫県南部地震(1995)時における準拠基準年次別から推定する（新基準に準拠する橋梁・橋脚は耐震性ありとする。）。
- 耐震補強の有無毎に大被害・中小被害それぞれの被害率（表III-5-10 参照）を乗じて、被害箇所数を算出する。

○埼玉県(07)では…
震度6強エリアとは別に、PL値15以上のエリア内の橋梁・橋脚も被害予測の対象としている。

⑧日下部ら(2004)の手法

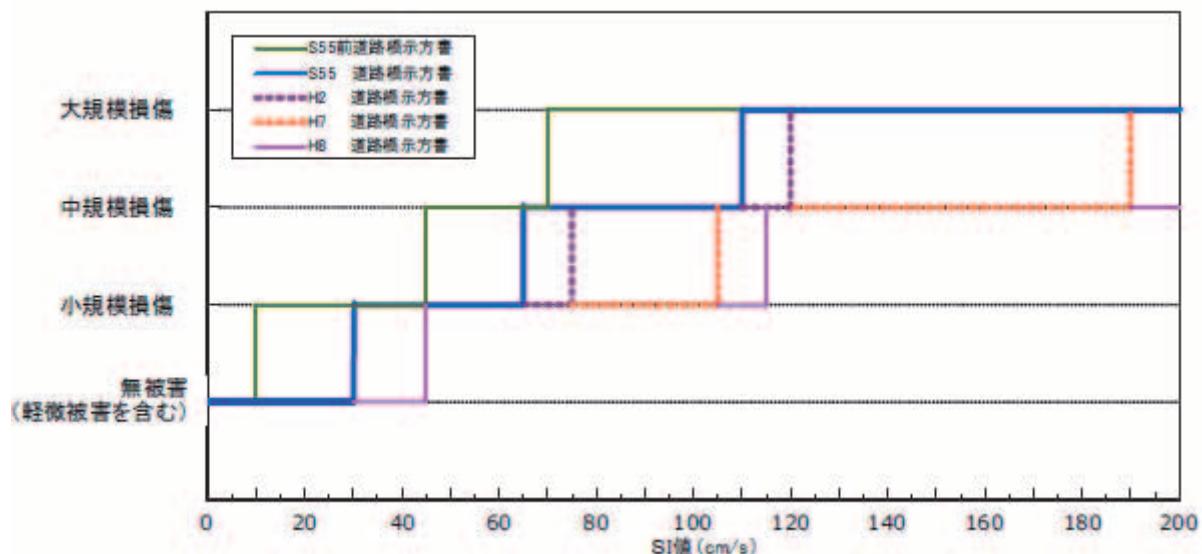
○採用自治体：千葉県(08), 神奈川県(09), 島根県(12), 川崎市(13)

橋梁には、橋梁の所在地における SI 値に応じた被害が生じると想定している。被害予測フローは以下の通りである。



図III-5-4 道路橋梁被害予測フローチャート(千葉県, 2008)

SI 値と被害率の関係は図及び表に示すとおりである。



図III-5-5 SI 値と被災レベルの関係 (千葉県, 2008)

表III-5-11 SI値別の被害状態及び被害率(千葉県, 2008)

SI値 示方書	昭和55年以前	昭和55年	平成2年	平成7年	平成8年
10以下	無被害	無被害	無被害	無被害	無被害
10	軽微な被害	軽微な被害	軽微な被害	軽微な被害	軽微な被害
15					
30	小規模損傷	小規模損傷	小規模損傷	小規模損傷	小規模損傷
40					
45	中規模損傷	中規模損傷	中規模損傷	中規模損傷	中規模損傷
65					
70	大規模損傷 (落橋)	中規模損傷	中規模損傷	中規模損傷	中規模損傷
75					
105		中規模損傷	中規模損傷	中規模損傷	中規模損傷
110					
115		大規模損傷 (落橋)	大規模損傷 (落橋)	大規模損傷 (落橋)	大規模損傷 (落橋)
120					
190以上					

なお、表III-5-11に併示している落橋とは、橋脚がある施設のみ生じる被害とし、橋脚がない施設についてはそのSI値において大被害が生じるものとする。また、耐震補強が施されている場合、耐震補強の実施年度を示方書年に読み替えるものとする。

さらに橋脚の被害状況別の影響率を設定している。影響率とは、橋梁に被害が生じた場合の交通容量の減少率を表す。地震後の交通状態の影響率は、通行止めの場合は1.0、幅員規制となる場合は、0.5を設定し、橋梁の被災度に対応した経過時間ごとの交通状態の影響率は表III-5-12の通りである。

表III-5-12 橋梁の被災度と交通状況(千葉県, 2008)

被災度 経過時間	軽微な損傷 規制なし	中規模損傷 通行規制 (1か月)	大規模損傷 通行止め (1か月)	大被害 通行止め (2.5か月)	落橋 通行止め (10か月)
発災 $\leq t \leq$ 3日	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3日 < $t \leq$ 7日	0.0	0.5	1.0	1.0	1.0
7日 < $t \leq$ 1か月	0.0	0.5	1.0	1.0	1.0
1か月 < $t \leq$ 2か月	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0
2か月 < $t \leq$ 2.5か月	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0
2.5か月 < $t \leq$ 4か月	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
4か月 < $t \leq$ 10か月	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
10か月 < $t \leq$ 18か月	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

経過時間に記載する数値は発災日からの日・月数

(日下部ら(2004)に加筆)

⑨三重県(1997)の手法

○採用自治体：三重県(06)

三重県(1997)の数値を準用して、道路橋示方書の年代及び補強の有無による被害率の区分を行っている。また、示方書の年代区分に関して、兵庫県南部地震(1995)における被害の差異に着目し、年代区分のひとつに昭和54年以前と昭和55年以降を挙げている。

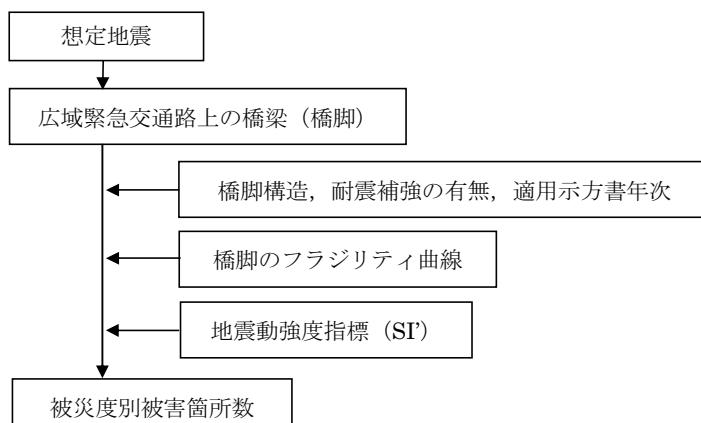
表III-5-13 一般道路陸橋の被害率と地震動の関係(三重県, 2006)

道路橋示方書 年代／補強の有無	被害率 (%)				
	震度5弱	震度5強	震度6弱	震度6強	震度7
昭和54年以前 かつ補強なし	0.0	3.2	4.0	16.7	43.0
昭和55年以降 かつ補強なし	0.0	0.4	0.5	11.0	26.0
平成7年度以降 または補強済み	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4

⑩大阪府(2007)の手法

○採用自治体：大阪府(07)

想定手法は、以下のとおりである。想定フローを図に示す。



図III-5-6 道路施設の被害想定フロー(大阪府, 2007)

- 既往資料 [阪神高速道路公団・土木学会, 2005] と兵庫県南部地震(1995)における被災状況等を参考に、橋脚構造 (RC, 鋼製), 耐震設計法 (耐震補強の有無) 別の被害率曲線を設定する。
- 被災度の区分は、次の 3 区分とする。

- ①長期にわたり通行支障の可能性あり (橋脚の倒壊等)
- ②短期的に通行支障の可能性あり
- ③部分的な被害を受けるが当面の通行は可能

- 橋脚の倒壊等 (被災度①) に至るには、地震動の強さだけではなく、様々な要因による複合的

な影響も考えられるため、地震動指標による被害率曲線のみから算定することとはせず、兵庫県南部地震(1995)の橋脚被災データより、被災度②以上 (①+②) の橋脚数に占める被災度①の橋脚数の比率 (33.2%) を考慮して想定を行う。

表III-5-14 構造と設計法による分類(大阪府, 2007)

i) 橋脚構造による分類
・RC 橋脚, 鋼製橋脚
ii) 耐震設計法 (耐震補強の有無) による分類
・震度法耐震設計 (且つ, 耐震補強なし), 保有耐力法耐震設計 (又は, 補強あり)

以下は被害率の設定手法の詳細である。

a) 被害率曲線の検討

i) 地震動強度評価指標 (SI')

構造物の損傷に相関のある地震強度の指標についてはいくつかの提案があり、代表的なものとしては最大加速度、SI値、最大応答加速度等があげられる。ここでは、応答塑性率と最も相関のよい地震強度の指標としてSI値を用いた整理を行う。都市内高速道路高架橋に着目した場合、固有周期が0.2~1.2secの間に集中しているため、応答速度の積分範囲を周期T=0.2~1.2secに絞った修正スペクトル強度SI'を設定する。

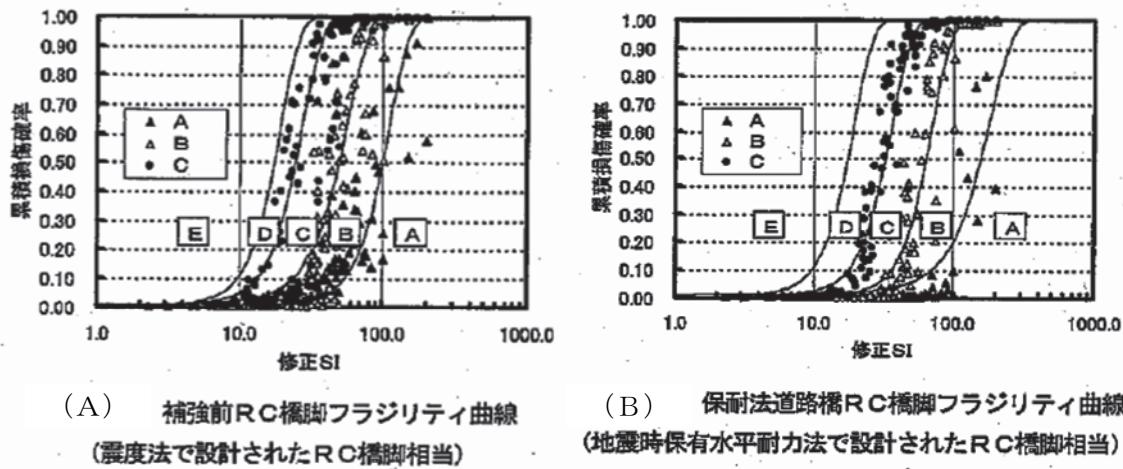
$$\text{修正スペクトル強度 : } SI' = \int_{0.2}^{1.2} S_v(T, h = 20\%) dT$$

ii) 非線形応答解析による橋脚の被害率曲線

前記既往資料では、RC橋脚のデータセットと地震動データセットを元に、非線形解析により橋脚の応答塑性率を求め、統計処理して累積損傷確率曲線を求めている。(図III-5-7)

表III-5-15 被災程度と地震応答の関係 (μr : 応答塑性率, μu : じん性率) (大阪府, 2007)

ランク	被害程度	判定基準
E	無被害	
D	伸縮装置、支承等の一部が損傷する可能性あり	上部工加速度 Acc>300gal
C	構造物が損傷中	$\mu r > 1.0$
B	構造物の損傷大 (要補修)	$\mu r > 2$
A	構造物の損傷大 (要補修・補強)	$\mu r > \mu u$



図III-5-7 RC道路橋の被害率曲線（標準正規分布・対数表示、阪神高速道路公団・土木学会、2005）

iii) 被害率曲線の立ち上がり部の形状に関する参考データ

兵庫県南部地震における阪神高速3号神戸線、5号湾岸線の橋脚の被災状況と沿線でのSI'値より、実際の被害と当該地点のSI'値の関係から、被害率曲線の立ち上がり部（当該水準の被害が発生する地震動SI'値の目安）に関する参考として下記の検討を行った。

表III-5-16 検討ケース別 被害・区分表 (大阪府、2007)

検討ケース	被害	区分
ケース1	ランクA以上	震度法耐震設計（耐震補強なし）
ケース2	"	保有耐力法耐震設計（耐震補強あり）
ケース3	ランクB以上	震度法耐震設計（耐震補強なし）
ケース4	"	保有耐力法耐震設計（耐震補強あり）

<ランクA以上の被害率曲線の立ち上がりに関する参考SI'値>

- ・ケース1：阪神高速3号神戸線のうち、ランクA以上の被害が発生しなかったエリアである西宮市～尼崎市（武庫川）付近から数箇所抽出し、SI'の最大値を求めた。（SI' ≈ 60）
- ・ケース2：阪神高速5号湾岸線で、ランクA以上の被害が発生しなかったエリアの主な5橋梁を対象として、SI'の最大値を求めた。（SI' ≈ 100）

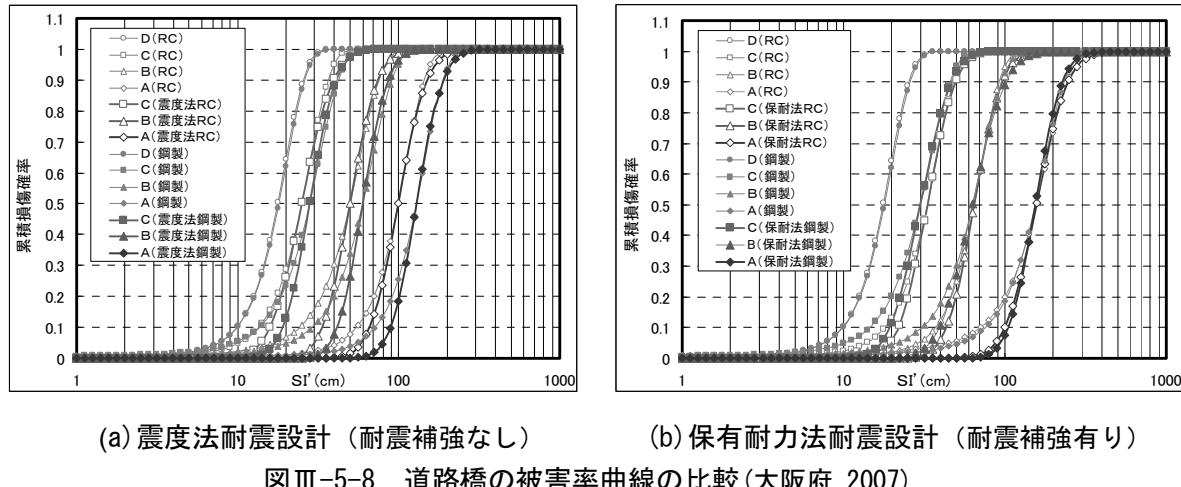
<ランクB以上の被害率曲線の立ち上がりに関する参考SI'値>

- ・ケース3：阪神高速3号神戸線のうち、大阪地区でランクB以上の被害が発生しなかったエリアである大和田～姫島間を対象として、SI'の最大値を求めた。（SI' ≈ 35）
- ・ケース4：阪神高速5号湾岸線のうち、ランクB以上の被害が発生しなかったエリアである新淀川橋を対象として、SI'の最大値を求めた。（SI' ≈ 45）

「立ち上がり部が図III-5-7に比べ過小傾向にある」→「本被害想定では対数正規分布に修正」

iv) 被害率曲線の設定

前記既往資料及び兵庫県南部地震の被災データをもとに、RC 橋脚の被災度ランク A 以上、B 以上、C 以上の累積損傷確率を、修正スペクトル強度 SI' に対し、常用対数 ($X = \log_{10}SI'$) の正規分布曲線により描画した（図III-5-8(a), (b)）。なお、鋼製橋脚については、淡路大震災の被災データをもとに、RC 橋脚と鋼製橋脚のランク別被災を比較して、適切に設定した。図中、RC の薄黒細線は、前記既往資料による。



v) 道路橋の被害率曲線

本編に示したフラジリティ曲線の被災度②以上、被災度③以上の曲線は、上記ランク A 以上、B 以上の曲線に対応している。被災度①の橋脚被害については、地震動強度との一義的対応付けは適切ではないと考え、兵庫県南部地震時の橋梁被害のランク As と A 以上 (As+A) の被害橋脚数の比率 (33.2%) を考慮して求めることとした。

⑪新潟市(2007)の手法

○採用自治体：新潟市(07), さいたま市(09)

地震動による被害と液状化の影響を考慮して想定している。

a) 地震動による被害

地震動による橋梁被害は、兵庫県南部地震(1995)事例を参考にして、各橋梁の準拠した示方書に応じた被害確率を設定している。

表III-5-17 橋梁の震度別被害確率(新潟市, 2007)

被害程度 示方書年 震度	不 通		通行制限		通行可	
	S 39 年 S 46 年	S 55 年 H 2 年	S 39 年 S 46 年	S 55 年 H 2 年	S 39 年 S 46 年	S 55 年 H 2 年
5 弱	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00
5 強	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00
6 弱	0.03	0.00	0.03	0.00	0.94	1.00
6 強	0.12	0.00	0.13	0.02	0.75	0.98
7	0.14	0.02	0.14	0.04	0.72	0.94

b)液状化による影響

表III-5-18に示す道路橋の液状化地域での被害確率を用いて通行支障率を求めている。

表III-5-18 液状化による橋梁の被害確率(新潟市, 2007)

被害程度	不通	通行制限	通行可
確 率	0.10	0.60	0.30

a), b)の被害確率を比較し、大きい方の値をその橋梁の被害確率としている。

⑫大分県(2007)の手法

○採用自治体：大分県(13)

過去の被害事例を参照して、適用示方書、補強の有無と計測震度から支障影響度を評価している。

表III-5-19 橋梁・高架橋の被害率(大分県, 2007)

①落橋防止がない場合

震度	完成年	
	1979以前	1980以降
7	A	B
6強	A	C
6弱	B	C
5強以下	C	C

S55道路橋示方書を境に区別

②落橋防止、固定橋脚の補強がある場合

震度	完成年	
	1979以前	1980以降
7	B	C
6強	C	C
6弱	C	C
5強以下	C	C

表III-5-20 橋梁・高架橋の被害による支障影響度のランク分類(大分県, 2007)

A	大破。施設に重大な被害が生じ、機能を喪失する。復旧に長時間をする。被災1.0箇所とした。
B	中破。施設に被害を生ずるが、機能は維持するか、短時間で復旧する。被災0.5箇所とした。
C	小破または無被害。被害は小さいか発生せず、機能に支障はない。

(2) トンネルの被害

トンネル（坑口）については、過去の大規模な地震においてほとんど被害が生じていないことから、無被害として取り扱っている自治体が多い。

① 埼玉県(1998)の手法

○採用自治体：宮城県(04), 長崎県(06), 横浜市(12)

埼玉県(1998)では、大阪府(1997)によるトンネルの被害率（通行に支障をきたす被害の発生率）を参考に、下表のようなトンネル被害率を設定している。

表III-5-21 トンネルの被害率(宮城県, 2004)

震源断層距離	震度 6 以上		震度 5 以下
	内陸直下型の地震	プレート境界付近の地震	
0~6km	12%		
6km以遠	0%	12%	0%

(3) 盛土の被害

① 震度と道路防災点検耐震ランクによる評価

○採用自治体：新潟県(98), 長野県(02)

道路防災点検で取り上げられている盛土を対象とし、耐震性評価は、道路防災点検における評価ランク I, II, III~IVをそれぞれA, B, Cとした。盛土の被害確率については、神奈川県(1986)において新潟地震(1964), 十勝沖地震(1968), 大分県中部地震(1975), 宮城県沖地震(1978)の被害事例に基づき設定された数値を準用している。

表III-5-22 盛土の震度別被害確率 (単位：箇所/km)

自治体名	震度	不通			通行制限		
		A (I)	B (II)	C (III-IV)	A (I)	B (II)	C (III-IV)
新潟県 (98)	5弱	0.16			0.25	0.28	0.00
	5強	0.18			0.29	0.33	0.22
長野県 (02)	6弱	0.23			0.37	0.42	0.28
	6強	0.29			0.45	0.52	0.34
高知県 (04)	7	0.44			0.56	0.80	0.53

(注1) 高知県は不通のみ評価している

② 秋田県(1997)の手法

○採用自治体：宮城県(04), 長崎県(06), 大分県(13)

過去の地震の盛土崩壊事例を参考に、震度と液状化指数(P_L 値)を指標として被害確率を設定している。被害確率設定の根拠とした主な地震は以下のとおりである。

秋田県・宮城県・大分県：新潟地震(1964), 十勝沖地震(1968), 宮城県沖地震(1978), 日本海中部地震(1983), 兵庫県南部地震(1995)など

表III-5-23 盛土の被害確率

(単位：箇所/km)

自治体名	P_L 値	震 度					
		4	5弱	5強	6弱	6強	7
宮城県(04)	15以上	0.16	0.51	0.89	1.59	2.84	5.04
長崎県(06)	15未満	0.06	0.18	0.32	0.57	1.02	1.81
大分県(13)							

③ 神奈川県(1986)の手法

○採用自治体：三重県(06), 新潟市(07)

過去の地震の盛土崩壊事例を参考に被害確率を設定している。被害確率設定の根拠とした主な地震は新潟地震(1964), 十勝沖地震(1968), 宮城県沖地震(1978)である。耐震性評価は、道路防災総点検においての評価ランク I, II, IIIをそれぞれA, B, Cとしている。

表III-5-24 盛土の震度階別被害確率(新潟市, 2007)

震度階 耐震ランク	不 通			通 行 制 限			通 行 可		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
5弱	0.16	0.00	0.00	0.25	0.28	0.00	0.59	0.72	1.00
5強	0.18	0.00	0.00	0.29	0.33	0.22	0.53	0.67	0.78
6弱	0.23	0.00	0.00	0.37	0.42	0.28	0.40	0.58	0.72
6強	0.29	0.00	0.00	0.45	0.52	0.34	0.26	0.48	0.66
7	0.44	0.00	0.00	0.56	0.80	0.53	0.00	0.20	0.47

○三重県(06)では…

秋田県(1977)の数値を参考に震度と液状化指数(P_L 値)を指標として被害率を設定している。

表III-5-25 盛土の震度階別被害率(三重県, 2006)

震度階	被 害 率	
	P_L 値 15未満	P_L 値 15以上
~4	0%	0%
5弱	6%	16%
5強	6%	18%
6弱	8%	23%
6強	10%	29%
7~	16%	44%

(4) 切土・斜面被害の予測

① 震度と道路防災点検耐震ランクによる評価

○採用自治体：新潟県(98), 長野県(02), 三重県(06), 愛媛県(02), 新潟市(07)

道路防災点検で取り上げられている切土・斜面を対象とし, 耐震性評価は, 道路防災点検における評価ランク I, II, III~IVをそれぞれA, B, Cとした。切土・斜面の被害確率については, 神奈川県(1986)で伊豆大島近海地震(1978)の被害事例に基づき設定した数値を準用している。

表III-5-26 切土・斜面の震度別被害確率

(単位：箇所/km)

自治体名	震度	不通			通行制限		
		A(I)	B(II)	C(III-IV)	A(I)	B(II)	C(III-IV)
新潟県 (98)	5弱	0.19	0.02	0.00	0.11	0.02	0.00
	5強	0.22	0.05	0.00	0.13	0.02	0.01
長野県 (02)	6弱	0.29	0.06	0.01	0.16	0.03	0.02
	6強	0.35	0.08	0.01	0.20	0.03	0.02
新潟市 (07)	7	0.54	0.12	0.02	0.31	0.05	0.03

○三重県(06)では...

秋田県(1977)の数値を参考にして被害率を設定している。

表III-5-27 盛土の震度階別被害率(三重県, 2006)

震度階	被害率
~4	0%
5弱	7%
5強	8%
6弱	10%
6強	13%
7~	19%

② 秋田県(1997)の手法

○採用自治体：宮城県(04), 長崎県(06), 大分県(13)

過去の地震による切土・斜面崩壊事例を参考に, 震度を指標として被害確率を設定している。被害確率設定の根拠とした主な地震は以下のとおりである。

秋田県・宮城県：新潟地震(1964), 十勝沖地震(1968), 宮城県沖地震(1978), 日本海中部地震(1983), 兵庫県南部地震(1995)など

表III-5-28 切土・斜面の被害確率

(単位：箇所/km)

自治体名	震 度					
	4	5弱	5強	6弱	6強	7
宮城県(04) 長崎県(06) 大分県(13)	0.05	0.16	0.28	0.50	0.89	1.59

(5) 区間被害確率の予測

① 震度と地盤種別による評価

○採用自治体：青森県(97), 福井県(97), 愛媛県(02), 福岡県(12)

宮城県沖地震(1978)をはじめとする過去の被害地震で発生した路面の亀裂, 法面の崩壊などと地盤種別の関係から被害確率を設定している。

表III-5-29 震度別・地盤種別道路被害確率

(単位：箇所/km)

自治体名	愛媛県(02), 福岡県(12)			福井県(97)			青森県(97)		
	地盤 種別	1種 2種	3種	4種	1種 2種	3種	4種	1種 2種	3種
7	0.11	0.16	0.25	0.24	0.34	0.55	0.11	0.16	0.25
6強							0.09	0.13	0.20
6弱	0.09	0.13	0.20	0.11	0.15	0.24	0.07	0.10	0.16
5強	0.06	0.09	0.14	0.07	0.10	0.16	0.05	0.07	0.12
5弱	0.03	0.04	0.06	0.04	0.05	0.08	0.03	0.04	0.06
～4	0.00	0.00	0.00	—	—	—	0.00	0.00	0.00

② 中央防災会議 南海トラフの巨大地震モデル検討会等(2013)の手法

○採用自治体：高知県(13)

道路の被害箇所数の予測は、高速道路、国道及び主要地方道を対象とした。被害想定を行うにあたり、国道と補助国道・主要地方道に分け、それらの位置をデジタル化して250m メッシュで分割し、各メッシュにおける予測ケースでの震度で区分し、東北地方太平洋沖地震(2011)における道路の被害率から設定された震度別道路施設被害率を用いて、メッシュ毎の被害箇所数を算出した。

表III-5-30 東北地方太平洋沖地震(2011)における道路施設被害率(浸水域外)(中央防災会議, 2013)

震度	被災箇所	道路延長(km)	原単位(箇所/km)
震度4以下	5	—	—
震度5弱	9	256	0.035
震度5強	87	767	0.11
震度6弱	135	832	0.16
震度6強	25	149	0.17
震度7	1	2	0.48

表III-5-31 補助国道・都府県道に用いる道路施設被害率（浸水域外）（中央防災会議, 2013）

震度	原単位（箇所/km）
震度4以下	-
震度5弱	0.016
震度5強	0.049
震度6弱	0.071
震度6強	0.076
震度7	0.21

（6）通行可能性の予測

① 東京都(1997)の手法

○採用自治体：福岡県(12)（高速道路など）

高速道路を対象にインターチェンジ（あるいはランプ）間の不通率の予測を行っている。不通率が0.5以上ならばその区間は不通であるとしている。

表III-5-32 兵庫県南部地震(1995)における高速道路の不通率(東京都, 1997)

震度	総延長(km)	不通区間延長(km) (1日後)	不通率(%) (1日後)
7	18.8	18.8	100
6強	58.2	58.2	100
6弱	347.3	242.0	70
計	424.3	319.0	75

(注) 不通率は5%単位で丸めてある

② 宮崎県(1997)の手法

○採用自治体：新潟県(98), 長野県(02)

構造物・施設の地点を通過できない確率は不通となる被害が発生する確率（不通率）であるととらえ、その地点を通過できる確率を定義する。

$$P_P = 1 - S_P$$

P_P : 道路構造物・施設地点を通過できる確率 S_P : 不通確率

2交差点間の導通率 P_l は、区間に存在する道路構造物・施設の導通率の積で表される。

$$P_l = \prod_{i=1}^N P_{l_i}$$

P_l : 交差点間を通過できる確率
 N : 交差点間に存在する道路構造物・施設

P_l を広域のネットワークへ適用することにより、2点間の不通確率を評価する。

$$P_N = \prod_{i=1}^m P_{l_i}$$

P_N : ある2点間を通過できる確率
 m : 2点間に存在するリンク数

③和歌山県(2006)の手法

○採用自治体：広島県(07), 山口県(08), 広島市(08)

路線区間ごとの被害度を評価している。

ある路線区間に存在する橋梁, 盛土, 斜面といった道路構造物・施設の震度ごとの被害確率を過去の地震から設定している。

表III-5-33 (a) 橋梁の被害率(単位：箇所／橋梁Ⅰ橋)(広島県, 2007)

震度	4	5弱	5強	6弱	6強	7
耐震ランクA	0.00	0.08	0.15	0.26	0.43	0.76
耐震ランクB	0.00	0.02	0.03	0.06	0.43	0.76
耐震ランクC	0.00	0.00	0.00	0.01	0.11	0.20

表III-5-34 (b) 橋梁の耐震ランクの分類(広島県, 2007)

耐震ランク	概要
A	・昭和39年以前の道路橋示方書による設計のもの ・適用示方書の年次が不明のもの
B	・昭和46年の道路橋示方書による設計のもの
C	・昭和55年以降の道路橋示方書による設計のもの ・適用示方書の年次によらず耐震対策が完了したもの

表III-5-35 (c) トンネルの被害率(単位：箇所／トンネル箇所)(広島県, 2007)

震度	4	5弱	5強	6弱	6強	7
被害率	0.01	0.02	0.03	0.05	0.10	0.17

表III-5-36 (d) 盛土の被害率(単位：箇所／盛土km)(広島県, 2007)

震度	4	5弱	5強	6弱	6強	7
液状化危険度 PL値>15	0.16	0.51	0.89	1.59	2.84	5.04
液状化危険度 PL値≤15	0.06	0.18	0.32	0.57	1.02	1.81

表III-5-37 (e) 切土・斜面の被害率(単位：箇所／(切土・斜面)km)(広島県, 2007)

震度	4	5弱	5強	6弱	6強	7
被害率	0.05	0.16	0.28	0.50	0.89	1.59

道路の対象区間における被害箇所数は、次の式により求める。

$$P = \sum_{i=1}^{n1} Pbr_i + \sum_{i=1}^{n2} Pt_i + \sum_{i=1}^{n3} Ib_i \cdot Pb_i + \sum_{i=1}^{n4} Ic_i \cdot Pc_i$$

P : 対象区間の被害箇所数（箇所）

Pbr_i : 対象区間内の i 番目の橋梁の被害率（箇所/箇所）

Pt_i : 対象区間内の i 番目のトンネルの被害率（箇所/箇所）

Pb_i : 対象区間内の i 番目の盛土の被害率（箇所/km）

Pc_i : 対象区間内の i 番目の切土・斜面の被害率（箇所/km）

Ib_i : 対象区間内 i 番目の盛土の延長(km)

Ic_i : 対象区間内の i 番目の切土・斜面の延長(km)

$n1$: 対象区間内の橋梁の全箇所数（箇所）

$n2$: 対象区間内のトンネルの全箇所数（箇所）

$n3$: 対象区間内の盛土の全箇所数（箇所）

$n4$: 対象区間内の切土・斜面の全箇所数（箇所）

④山形県(2006)の手法

○採用自治体：山形県(06)

県内の指定緊急輸送道路を区間ごとに分割し、その区間ごとについて

- 1) 液状化による路面変状
- 2) ゆれ・断層による路面変状
- 3) 落石崩壊による通行支障
- 4) 橋梁の損傷による通行支障

の項目ごとの評価結果に基づき通行支障の可能性を推定している。道路区間の分割は、市町村の主な地点・重要拠点・緊急輸送道路の交差点位置で行っている。

a. 「液状化」に伴う通行支障の可能性

(「液状化に伴う通行支障の発生可能性の点数」 =

(区間内の液状化危険度 (A) 以上のメッシュ数) × 0.25)

b. 「ゆれ・断層」に伴う通行支障の可能性

兵庫県南部地震(1995)では震度6以上の領域で道路に大きな被害を生じた。

(「ゆれ・断層」に伴う通行支障の発生可能性の点数) =

(区間内の震度6強以上 (計測震度6.0以上) のメッシュ数) × 0.5)

c. 「落石等」による通行支障の可能性

急傾斜地の危険箇所を基に震度の大きさによって地震時崩壊危険度を算出.

$$(\text{「落石等」に伴う通行支障の可能性の点数}) =$$

$$(\text{区間内の急傾斜危険箇所における震度6強以上 (計測震度6.0以上) のメッシュ数}) \times 1.0$$

$$+ (\text{震度6弱 (計測震度5.5以上6.0未満) のメッシュ数}) \times 0.5$$

d. 「橋梁」被災した場合の通行支障の可能性

区間内の橋梁の耐震未対策箇所数および一部未着手箇所数に対して被災可能性を点数付けしている.

$$(\text{「橋梁」の被災による通行支障の発生可能性の点数}) =$$

$$(\text{区間内の橋梁の耐震対策未着工・一部未着工箇所の震度6弱以上のメッシュ数}) \times 1.0$$

最終的に区間ごとに評価項目（4項目）の評価点の合計が20点を超えた場合と、1メッシュあたりの点数が0.5点を超えた区間に關して、地震による被害の可能性が高い道路と想定している.

(7) 支障影響度の総合的判定

○採用自治体：栃木県(04), 山梨県(04), 静岡県(01), 愛知県(03), 鳥取県(05), 徳島県(05), 長崎県(06), 札幌市(08), 横浜市(12)

要因別の支障影響度の判定結果をもとに、各区間の支障影響度を総合的に判定する手法である。支障影響度のランクの意味は各自治体ともほぼ表III-5-38にしたがっている。

表III-5-38 個別要因の影響度判定におけるランク分類(栃木県, 2004)

影響度ランク	意味
A A	極めて大規模な被害が発生する可能性があり、復旧にも長期間を要し、緊急輸送に重大な影響が発生する可能性がある区間。
A	大規模な被害が発生する可能性がある区間、あるいはかなりの確率で緊急輸送に大きな支障が発生すると想定される区間。
B	軽微な被害が発生する可能性がある区間、あるいはまれに被害が発生する可能性がある区間。
C	被害が発生する可能性がほとんどない区間。

表III-5-39 支障影響度の総合判定(栃木県, 2004)

		支障影響度				備 考	
		AA	A	B	C		
ゆれ	橋梁・高架					建設年度と震度で評価 耐震補強済みは被害無し	
	建物倒壊等						
						震度7, 6強の地域→A 震度6弱の地域→B	
液状化						危険度が極めて高い→B	
山崖崩れ						標高と震度で評価	

注)各要因とも被害が小さくAA, A, Bに該当しない場合はCとなる。

表III-5-40 橋梁・高架の被害による支障影響度のランク分類(栃木県, 2004)

分 類		震度 6 弱	震度 6 強	震度 7
耐震補強前	1979年以前の示方書	B	A	AA
	1980年以降の示方書	—	C	B
耐震補強済み		—	—	—

表III-5-41 建物倒壊における判定の内訳(栃木県, 2004)

	震度 5 強以下	震度 6 弱	震度 6 強	震度 7
高層建物倒壊	C	B	A	A
他の工作物倒壊	C	B	—	—

注1)「高層建物倒壊」は、高層建物エリア(50事業所/km²以上のエリア)を対象とする。

注2)「他の工作物倒壊」は、エリアを限定しない。ただし、最大の被害でもBまでとする。

注3)「高層建物倒壊」および「他の工作物倒壊」とともに高速道路ではCとする。

表III-5-42 山崖崩れによる支障影響度ランク(栃木県, 2004)

分類	震度 5 強以下	震度 6 弱	震度 6 強	震度 7
標高500m以上	C	B	A	A
標高500m未満	C	C	C	C

表III-5-43 支障影響度の総合判定(山梨県, 2005)

判定基準	支障影響度
震 度	震度7 → AA 震度6強 → A 震度6弱 → B
液状化	危険度大 → B
急傾斜地崩壊危険箇所	危険度A → A 危険度B → B
地すべり危険箇所	危険度A → AA 危険度B → A

(注)各要因とも被害が小さくAA, A, Bに該当しない場合はCとする

表III-5-44 影響度の総合評価(静岡県, 2001)

項目	影響度設定の根拠。				影響度設定。
	支障影響度。 AA A B C	支障期間。 ~1D 3D 1W~			
地盤変位(橋梁)	—	+	—	—	あり→AA。
液状化影響度。	+	—	+	—	影響度大→B。
山崖崩れ	大規模崩壊。	+	—	+	ランクA→A。 ランクB→B。
	地滑り。	+	—	—	ランクA→AA。 ランクB→A。
	急傾斜地。	+	—	—	ランクA→A。 ランクB→B。
揺れによる被害。	+	—	+	—	(高速道路) 震度7・跨道橋あり→A。 震度7・跨道橋なし→B。 (一般道)震度7→A。
津波浸水。	+	—	+	—	あり→B。
総合評価。				上記影響度の最大値。	

表III-5-45 支障影響度の総合検討<道路・鉄道>(愛知県, 2003)

		支障影響度				備 考
		AA	A	B	C	
ゆれ	橋梁・高架					建設年度と震度で評価 耐震補強済みは被害無し
	跨道橋					震度7の地域 → AA 震度6強の地域 → A 震度6弱の地域 → B
	建物倒壊等					震度7, 6強の地域 → A 震度6弱の地域 → B
	液状化					危険度が極めて高い → B
	山崖崩れ					ランクA→A ランクB→B
	津波浸水					あり→B

表III-5-46 被害レベルの判定基準<港湾>(愛知県, 2003)

	地表最大加速度(gal)				
	0~150	150~200	200~300	300~450	450~
液状化あり	なし	小	中	大	大
液状化なし	なし	なし	小	中	大

(注1) 液状化は危険度が「極めて高い」の場合に液状化ありと判定した

(注2) 「大」の場合にのみ利用可能になるものとして判定した

表III-5-47 支障影響度の総合検討(鳥取県, 2005)

	支障影響度				備 考
	A A	A	B	C	
橋 梁					建設年度と震度で評価 耐震補強済みは被害なし
盛 土					盛土下の地盤条件による評価
切土・斜面					斜面高と斜面勾配による評価および 50mメッシュ傾斜度による評価(危 険性がある(a)ランクを支障度Bと する)
トンネル					震源断層からの距離により評価
津波浸水					津波浸水ありをBランクとする

表III-5-48 被害レベルの判定基準<港湾>(鳥取県, 2005)

	震度 (計測震度)				
	5 弱 (I < 5. 0)	5 強 (5. 0 ≤ I < 5. 5)	6 弱 (5. 5 ≤ I < 6. 0)	6 強 (6. 0 ≤ I < 6. 5)	7 (6. 5 ≤ I)
液状化あり ($P_L < 15$)	なし	小	中	大	大
液状化なし ($P_L \leq 15$)	なし	なし	小	中	大

(注) 耐震バースは地震後も利用可能と判断される

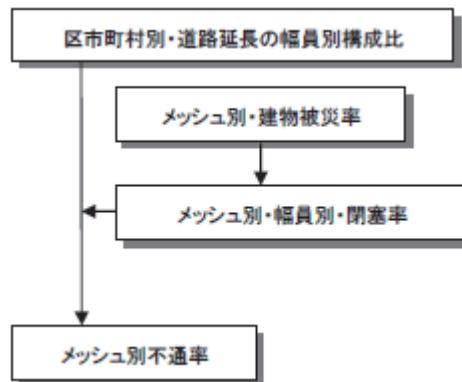
(8) 細街路の閉塞率

① 家田ら(1997)

○採用自治体：群馬県(12), 千葉県(08), 東京都(12), 神奈川県(09), 岐阜県(13), さいたま市(09), 川崎市(13), 埼玉市(09)

中央防災会議 東南海, 南海地震等に関する専門調査会「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定」(2008), 中央防災会議 南海トラフの巨大地震モデル検討会等(2013)も採用.

- ・幅員13m 未満の狭い国道, 都道及び市町村道を細街路とする.
- ・対象となる細街路を道路幅員別に3つに区分（幅員3.5m 未満の道路・幅員3.5m以上5.5m 未満の道路・幅員5.5m 以上13m 未満の道路）し, それぞれの道路閉塞率を算出・集計後, 250m メッシュごとの道路閉塞率を算出している.
- ・ここでいう道路閉塞率とは, メッシュ内における道路結節点（交差点から交差点）を結ぶ区間を道路の区間として, 道路区間総数のうち閉塞する区間数の割合である.
- ・以上により算出したメッシュごとの道路閉塞率を集計し, 都全体（及び区部・多摩）で, どの程度道路閉塞が発生しているかということを, 道路閉塞の程度により3つに区分（道路閉塞率15%未満・15~20%未満・20%以上）し, 算出する.



図III-5-9 細街路の閉塞率算出フロー(東京都, 2006)

建物被災によりどの程度道路が閉塞したかということを道路幅員別に算出した兵庫県南部地震(1995)時の調査データ（表III-5-46参照）に基づき, 以下の式を設定し, 道路閉塞率を算出する.

【幅員3.5m 未満の道路】

$$\text{道路閉塞率} (\%) = 0.9009 \times \text{建物被災率} + 19.845$$

【幅員3.5m 以上5.5m 未満の道路】

$$\text{道路閉塞率} (\%) = 0.3514 \times \text{建物被災率} + 13.189$$

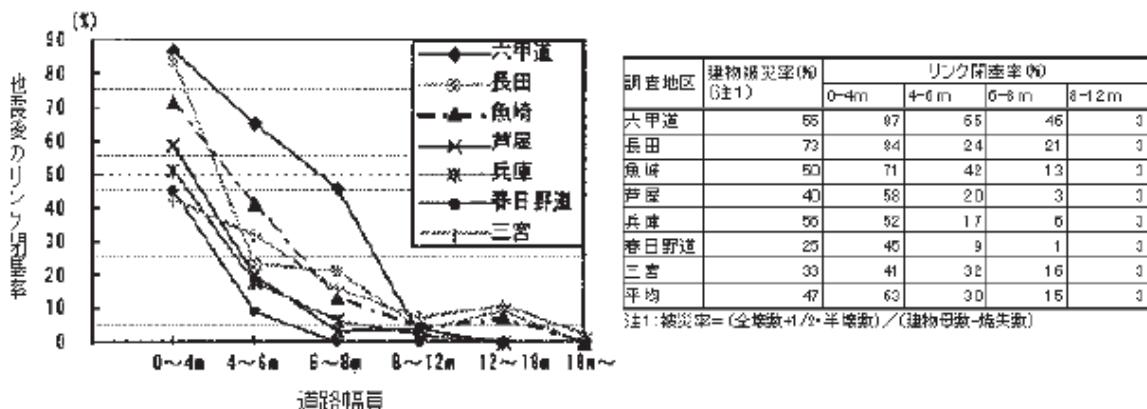
【幅員5.5m 以上13m 未満の道路】

$$\text{道路閉塞率} (\%) = 0.2229 \times \text{建物被災率} - 1.5026$$

- ・メッシュごとの建物被災率は, ゆれと液状化の被害を対象として, 以下の式により算出する.

$$\text{建物被災率} = \text{全壊率} + 1 / 2 \times \text{半壊率}$$

表III-5-49 兵庫県南部地震(1995)時における道路幅員と道路閉塞率の実態(東京都, 2006)



出所：家田ら「阪神・淡路大震災における「街路閉塞現象」に着目した街路網の機能的障害とその影響」
土木学会論文集 No. 576/IV-37, 69-82, 1997, 10

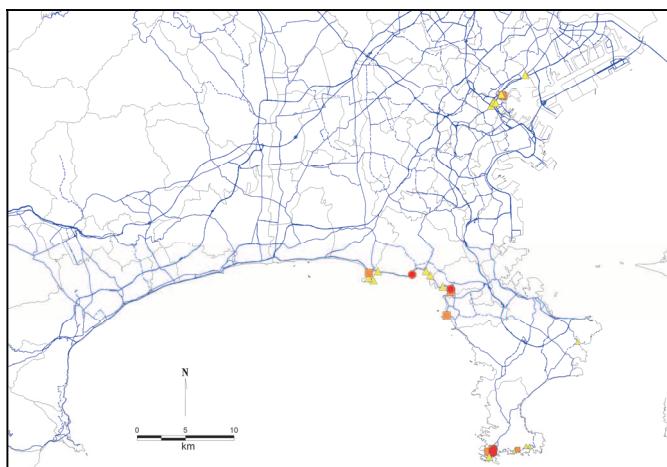
※道路施設の台帳データにおける幅員別区分との整合のため、上記の0~4m道路閉塞率を幅員3.5m未満の道路、4~6m道路閉塞率を幅員3.5m以上5.5m未満の道路、6~8m道路及び8~12m道路閉塞率の平均値を幅員5.5m以上13m未満の道路データとして代用した。

(9) 津波による道路被害

① 神奈川県(2009)の手法

○採用自治体：神奈川県(09)

津波の浸水予測範囲のメッシュデータに道路のラインデータを重ね合わせ、重なった区間を津波による被災区間としている。



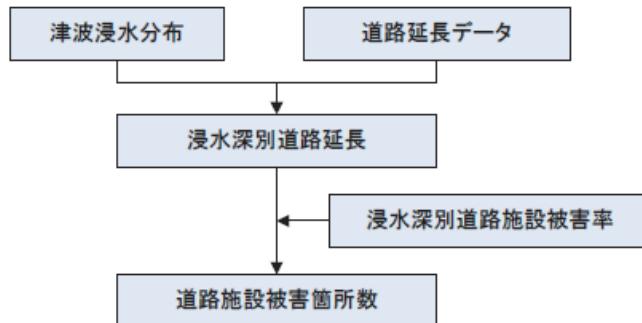
図III-5-10 緊急輸送道路の浸水箇所：東海地震（堤防が機能する場合）(東京都, 2006)

②中央防災会議 南海トラフの巨大地震モデル検討会等(2013)の手法

○採用自治体：高知県(13)

津波浸水域の道路の被害箇所数については、中央防災会議・南海トラフの巨大地震モデル検討会等(2013)の手順に沿って予測している。橋梁への津波の影響は、既往災害事例の報告が少なく詳細が不明なため、各予測ケースでの津波浸水深を橋梁位置に重ね影響を検討している。

$$\text{被害箇所数} = \text{浸水深別道路延長(km)} \times \text{道路施設被害率(箇所/km)}$$



図III-5-11 津波による道路被害の予測手順(中央防災会議, 2013)

表III-5-50 東日本大震災における道路施設被害率（浸水域）（中央防災会議, 2013）

浸水深	被災箇所	道路延長(km)	原単位(箇所/km)
1m未満	9	68	0.13
1m~3m	19	51	0.37
3m~5m	9	14	0.65
5m~10m	35	23	1.52
10m以上	39	15	2.64

表III-5-51 補助国道・都府県道に用いる道路施設被害率（浸水域）（中央防災会議, 2013）

浸水深	原単位(箇所/km)
1m未満	0.058
1m~3m	0.16
3m~5m	0.29
5m~10m	0.68
10m以上	1.17

③ その他

横浜市(12)では、浸水域内（浸水深>0m）であれば、浸水深の値に関係なく、浸水被害の影響を受けるものとした。区間全体が高架形式の場合は、浸水の影響を受けないものとした。また、大分県(13), 長崎県(06)では、津波による浸水深が1.0m以上となる路線の抽出を行い、これらの地域は、流出物により通行に支障をきたす等の被害がありえる、としている。

5-2. 鉄道の被害

鉄道線路沿いの盛土・切土・橋梁・トンネル等の被害確率は、前節「5-1. 道路の被害」と同じものを採用している自治体が多いが、一部の自治体では過去の地震による鉄道施設の被災事例から、被害確率を新たに設定している。

以下に、各自治体で採用されている手法の概略を次の区別別にまとめる。この他、中央防災会議 南海トラフ巨大地震モデル検討会等（2013）では、ゆれによる鉄道被害・津波による鉄道被害についても予測を行っている。

（1）施設の被災確率の予測

- ①東京都(1997)の手法
- ②東京都(2006)の手法
- ③三重県(2006)の手法
- ④徳島県(2005)の手法
- ⑤札幌市(2008)の手法
- ⑥埼玉県(2007)の手法
- ⑦茨城県(1995, 1998)の手法
- ⑧大阪府(2007)の手法

（2）区間被害確率の予測

- ①震度と地盤種別による評価

（3）運行可能性の予測

- ①東京都(1997)の手法

（1）施設の被災確率の予測

① 東京都(1997)の手法

○採用自治体：神奈川県(09), 川崎市(13)

兵庫県南部地震(1995)の鉄道被害事例を分析し、路線延長あたりの施設被害率を設定している。

表III-5-52 兵庫県南部地震(1995)での震度別在来線鉄道施設の被害箇所数(東京都, 1997)

震度	落橋 ・倒壊	橋脚被災程度(本)			桁ずれ	橋台損傷	アーチ橋損傷	盛土 土留壁	路線総 延長 (km)	落橋 ・倒壊 率 (箇所 /km)	その他 被害率 (箇所 /km)
		破壊	破損	損傷							
7	20	1,088	795	682	28	18	2	21	62.0	0.323	4.091
6強	4		1	1	17	7	10	14	69.7	0.057	0.692
6弱			10	10	10	5	1	14	371.4	0	0.088
計	24	1,088	806	693	55	30	13	49	503.1	-	-

表III-5-53 兵庫県南部地震(1995)での震度別新幹線の被害箇所数(東京都, 1997)

震度	落橋・倒壊	路線総延長(km)	落橋・倒壊率(箇所/km)
7	4	0.7	5.71
6強	4	1.5	2.67
6弱	0	25.0	0
計	8	27.2	-

表III-5-54 兵庫県南部地震(1995)での震度別鉄道被害率(東京都, 1997)

震度	運行列車本数	脱線列車本数	列車脱線率
7	14	13	92.9%
6強	13	3	23.1%
6弱以下	65	0	0.0%
計	92	16	-

なお、列車の脱線本数を以下の式から求めている。

$$\text{列車脱線本数} = 23.1\% \text{ (震度6強)} \times \text{区市町村内の震度6強地域の面積比} \\ \times \text{想定時間帯に区市町村内を走る列車の本数}$$

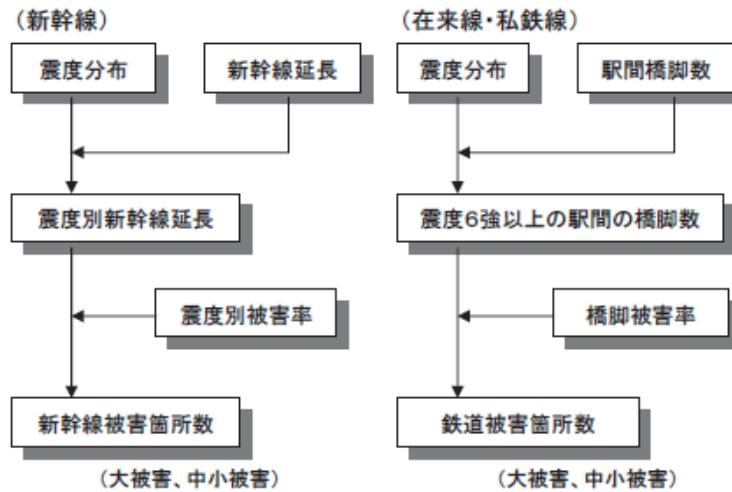
*東京都(1997)の被害想定では震度7の地域は発生しない

②東京都(2006)の手法

○採用自治体：秋田県(13), 千葉県(08), 東京都(12), 広島県(07), 山口県(08), 熊本県(13), 広島市(08)

中央防災会議首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」(2005)・東南海・南海地震等に関する専門調査会「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定」(2008)・南海トラフの巨大地震モデル検討会等(2013)も採用

兵庫県南部地震(1995)の被害状況をもとに、震度6強エリアにおける鉄道の被害を新幹線・在来線に分け被害箇所数を予測している。



図III-5-12 鉄道施設被害箇所数算出フロー(東京都, 2006)

ア 新幹線

- 震度別（7及び6強）の鉄道延長と、兵庫県南部地震(1995)時の延長当たり落橋・倒壊率から大被害の箇所数を算出。
- 中小被害（機能支障なし）の箇所数は、兵庫県南部地震(1995)時の大被害と中小被害の割合がおよそ1:9であることから、大被害箇所数の約9倍とする。
- 耐震補強後の橋脚については、落橋・倒壊が発生しないものとし、全て損傷・亀裂程度に抑えられるものとする。
- 上記から、耐震補強後は大被害ゼロとするが、中小被害の発生割合については、耐震補強前の大被害+中小被害の発生割合とする。

表III-5-55 新幹線の橋脚被害率 (東京都, 2006)

	震度	耐震補強前	耐震補強後
大被害（機能支障あり） の発生率【箇所/km】	7	5.71	0
	6強	2.67	0
中小被害（機能支障なし） の発生率【箇所/km】	7	51.4	57.1
	6強	24.0	26.7

出所：東京都被害想定(平成9年8月)をもとに集計

イ 在来線・私鉄線

- 兵庫県南部地震(1995)の実態から、駅間の最大震度が6強以上となるエリア内での大被害（落橋・倒壊）箇所数、中小被害（亀裂・損傷）箇所数を算出。
- 耐震補強後の橋脚については、落橋・倒壊が発生しないものとし、全て損傷・亀裂程度に抑えられるものとする。
- 上記から、耐震補強後は大被害ゼロとするが、中小被害の発生割合については、耐震補強前の大被害+中小被害の発生割合とする。

表III-5-56 在来線の橋脚被害率(東京都, 2006)

	震度	耐震補強前	耐震補強後
大被害（機能支障あり）	6強以上	0.00293	0
中小被害（機能支障なし）	6強以上	0.0315	0.0344

※橋脚被害率=被害橋脚数／橋脚数

出所：運輸省鉄道局「よみがえる鉄路」をもとに集計

③三重県(2006)の手法

○採用自治体：三重県(06)

鉄道の被害は、兵庫県南部地震(1995)における地震発生後1日目の被害率を用いた。以下に、鉄道の被害率を示す。

表III-5-57 兵庫県南部地震(1995)における地震動による被害率(三重県, 2006)

施設 \ 震度	5(弱)	5(強)	6(弱)	6(強)	7
鉄道	0%	0%	10%	65%	100%

④徳島県(2005)の手法

○採用自治体：徳島県(05)

道路の支障影響度の総合判定と同じ手法で施設の利用可能性を評価している。

⑤札幌市(2008)の手法

○採用自治体：札幌市(08)

道路の支障影響度の総合判定と同じ手法はあるが、支障影響度のランクを1ランク下げ、地下鉄はさらにもう1ランク下げ評価している。

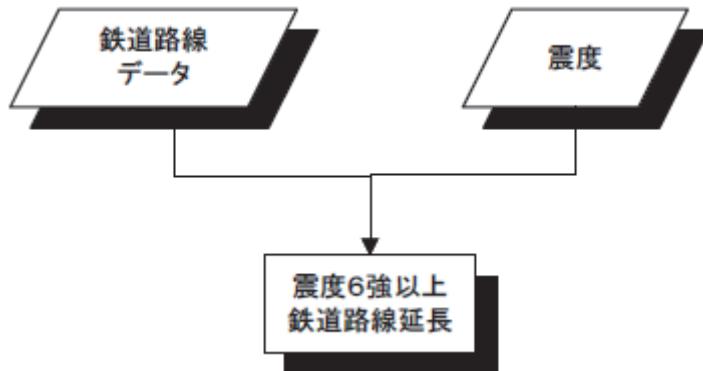
表III-5-58 支障影響度の総合判定（鉄道）(札幌市, 2008)

地下/地上	工法	支障要因別基準											
		震度				液状化		急傾斜地崩壊危険箇所			地すべり危険箇所		
		震度7	震度6強	震度6弱	震度5強以下	PL>15	PL≤15	危険度 ランクA	危険度 ランクB	危険度 ランクC	危険度 ランクA	危険度 ランクB	危険度 ランクC
地上	-	A	A	B	C	B	C	A	B	C	AA	A	C
地下	開削	A	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	シールド・山岳	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C

⑥埼玉県(2007)の手法

○採用自治体：埼玉県(07)

- ・鉄道の被害は、地震によって脱線し、被害が発生することを想定している。
- ・兵庫県南部地震(1995)の被害実態では、脱線は震度6強以上のエリアで発生することから、本調査では、震度予測結果と鉄道路線を重ねて、震度6強以上となる延長を算定して、鉄道被害の危険性を評価している。



図III-5-13 鉄道被害危険性評価フロー(埼玉県, 2007)

- ・鉄道路線位置のデータを、250m メッシュで分割し、250m メッシュごとの延長を算定した。
- ・250m メッシュごとの震度予測結果から、震度6強以上となるメッシュを抽出し、そのメッシュ内に存在する鉄道延長を集計した。

⑦茨城県(1995, 1998)の手法

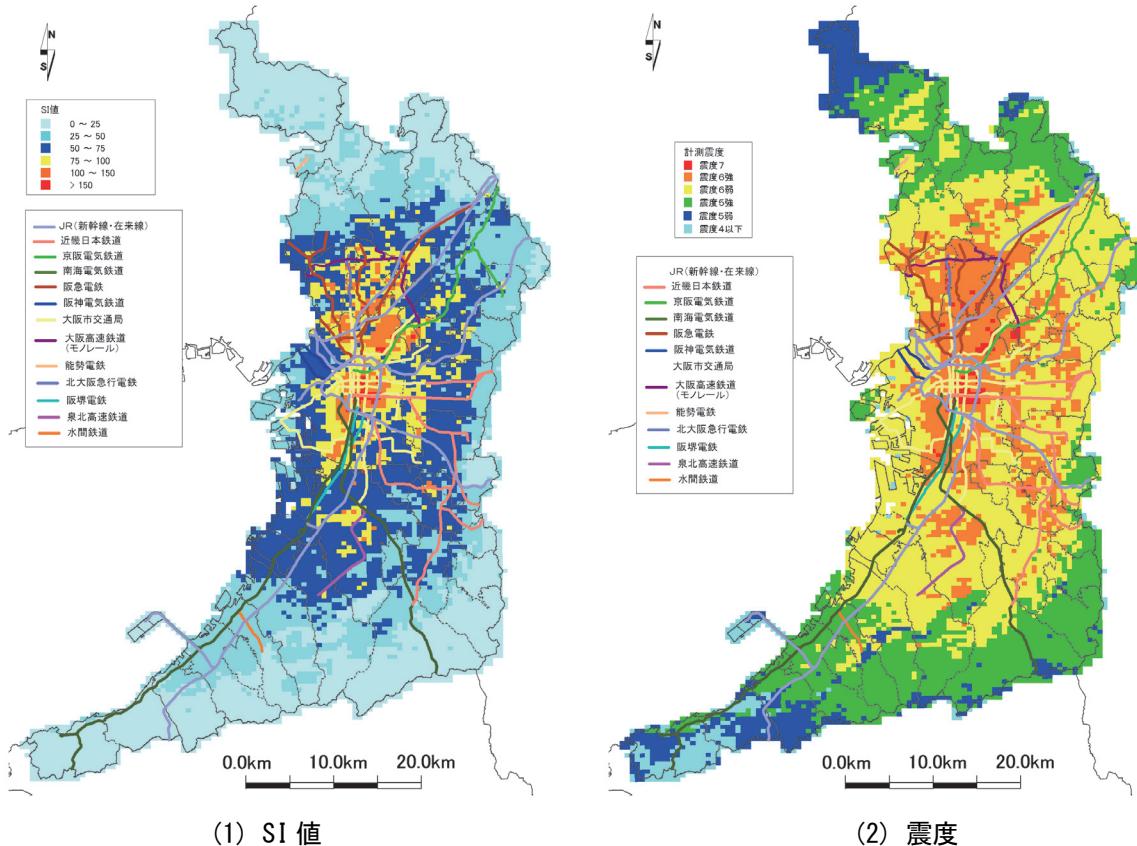
○採用自治体：茨城県(95, 98)

震度と地盤種から被害を予測している（詳細不明）。

⑧大阪府(2007)の手法

○採用自治体：徳島県(05)

鉄道網とS I値の分布を照らし合わせ、鉄道網の脆弱箇所の把握を行っている。



図III-5-14 鉄道網と想定地震動の分布【上町断層帯地震 A】(大阪府, 2007)

(2) 区間被害確率の予測

① 震度と地盤種別による評価

○採用自治体：青森県(97), 宮城県(04), 新潟県(98), 福井県(97), 愛媛県(02), 福岡県(12), 長崎県(06), 大分県(13), さいたま市(09), 横浜市(12)

宮城県沖地震(1978)の鉄道被害（軌道）に基づき、埼玉県(1982)により震度と地盤種別を考慮して設定された被害率をもとに、被害率を設定している自治体が多い。

表III-5-59 埼玉県(1982)における軌道被害率 (単位: 箇所/km)

震度	地盤種別		
	1～2種	3種	4種
6	0.62	1.00	1.71
5	0.41	0.66	1.13
4	0.01	0.02	0.04

表III-5-60 各自治体の鉄道被害率 (単位:箇所/km)

震度	宮城県(04), 愛媛県(02), 長崎県(06)			青森県(97)			新潟県(98)			福井県(97)			横浜市(12)		
	1-2種	3種	4種	1-2種	3種	4種	1-2種	3種	4種	1-2種	3種	4種	1種	2種	3種
6強 一	0.89	1.48	2.51	0.62	1	1.71	0.62	1	1.71	1.34	1.58	2.26	0.89	1.48	2.51
6弱	0.62	1	1.71							0.82	0.97	1.39	0.62	1.00	1.71
5強	0.41	0.66	1.13	0.41	0.66	1.13	0.41	0.66	1.13	0.69	0.81	1.16	0.41	0.66	1.13
5弱										0.32	0.38	0.55			
4	0.01	0.02	0.04	0.01	0.02	0.04				0.015	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00

(注1) 新潟県は、近年の計測震度5弱が観測された地震では運休を要するような被害は出でていないことから、震度5弱以下については、被害が出ない(被害率0%)としている。

(3) 運行可能性の予測

① 東京都(1997)の手法

○採用自治体：山形県(06), 島根県(12), 川崎市(13)

兵庫県南部地震(1995)での鉄道被害事例を分析し、路線延長あたりの不通率を設定している。駅間の不通率の平均値が0.5以上であれば、その区間は「不通」と判定している。

表III-5-61 鉄道の不通率(東京都, 1997)

震度	総延長(km)	不通区間延長(km)(1日後)	不通率(1日後)
7	62.0	62.0	100%
6強	69.7	54.8	80%
6弱	371.4	54.2	15%
計	503.1	171.0	35%

(注) 不通率は5%単位で丸めてある

5-3. 港湾・漁港の被害

運輸省（現 国土交通省）では、岸壁の被災程度を以下の5段階にランク分けしている。

表III-5-62 港湾被害程度のランク分け

ランク	被災の状況	被災の程度
0	無被害	
I	本体には異状が無いが、附属構造物に破壊や変形が認められるもの。	
II	本体にかなりの変形が起ったもの。	簡単な手直しですぐに供用に耐えうる。
III	形はとどめているが、構造物本体に破壊が起ったと認められるもの。	機能をまったく喪失している。
IV	全壊して形をとどめていないもの。	

以下に、各自治体で採用されている手法の概略を次の区別別にまとめるとする。

- (1) 上部(1983)の手法
- (2) 広島県(1997)の手法
- (3) 青森県(1997)の手法
- (4) 宮崎県(1997)の手法
- (5) 福井県(1997)の手法
- (6) 東京都(2006)の手法
- (7) 一井ら(1999)の手法
- (8) その他の手法

(1) 上部(1983)の手法

○採用自治体：福岡県(12)

上部(1983)は、地震時に構造物に作用する震度（作用震度 K_e ）と現行港湾構造物の設計法の安定計算より求まる安全率が1を切る限界震度の最小震度（破壊震度 K_c ）の比 F_c ($= K_e / K_c$) から被災変形量を推定する手法を導いている。これは、関東地震(1923)から宮城県沖地震(1978)までの17地震による港湾施設の被害事例を回帰分析した結果に基づくものである。

上部(1983)は、被災程度と被災変形量の間で以下のようないくつかの関係を示している。

表III-5-63 被災程度の被災変形量の範囲(上部, 1983)

	被災程度	最大はらみだし量(cm)	平均はらみだし量(cm)	天端沈下量(cm)	エプロン沈下量(cm)	傾斜角(°)
重力式	0	0	0	0	0	0
	I	25以下	25以下	30以下	50以下	5以下
	II	25~70	40以下	50以下	50~80	1~8
	III	70~200	40~200	100以下	80~100	2~15
	IV	200以上	200以上	100以上	100以上	15以上
矢板式	0	0	0	0	0	0
	I	0~30	10以下	30以下	20以下	3以下
	II	30~100	10~60	40以下	50以下	5以下
	III	100~200	60~120	50以下	50~100	10以下
	IV	200以上	120以上	50以上	100以上	10以上

被災程度 0 : 無被害

I : 本体に異常はないが、付属構造物に破壊や変状が認められるもの

II : 本体にかなり変状の起こったもの

III : 形はとどめているが、構造物体に破壊が起こったものと認められるもの

IV : 全壊して形をとどめないもの

各施設位置での地表面加速度から作用震度 K_e が求まる。

$$K_e = \begin{cases} \alpha/g & (\alpha < 200\text{gal}) \\ 1/3 \cdot (\alpha/g)^{1/3} & (\alpha \geq 200\text{gal}) \end{cases}$$

K_e : 作用震度 α : 各施設位置での地表面加速度(gal)

g : 重力加速度(=980gal)

以上より、被災変形量を回帰分析式に基づいて推定し、得られた F_c を用いて下表に掲げた各種の被災変形量を求め、そのうち最大の被災程度が予測されるものを採用している。

表III-5-64 被災変形量と危険度の回帰分析結果(上部, 1983)

	目的変数	回帰式
重力式	最大はらみだし量(cm)	$Dx = -113.8 + 124.4 F_c$
	天端沈下量(cm)	$S_p = -50.9 + 57.1 F_c$
	はらみだし量/構造物高(%)	$R = -12.7 + 14.5 F_c$
	加算変位(cm)	$Da = -127.5 + 148.5 F_c$
矢板式	最大はらみだし量(cm)	$Dx = -1.6 + 34.9 F_c$
	平均はらみだし量(cm)	$Dm = -15.9 + 9.5 F_c$
	エプロン沈下量(cm)	$Se = -5.3 + 14.7 F_c$
	はらみだし量/構造物高(%)	$R = -1.5 + 5.8 F_c$
	加算変位(cm)	$Da = -2.0 + 44.0 F_c$

(2) 広島県(1997)の手法

○採用自治体：広島県(07), 広島市(08)

重要港湾施設の耐震点検マニュアルの考え方を準拠した評価を行っている。

①作用震度への換算

各施設位置での地表面加速度を作用震度 K_e に換算

$$K_e = \begin{cases} \alpha/g & (\alpha \leq 200\text{gal}) \\ 1/3 \cdot (\alpha/g)^{1/3} & (\alpha > 200\text{gal}) \end{cases}$$

α : 各施設位置での地表面加速度(gal)

g : 重力加速度(=980gal)

②慣性力のみを考慮した安定性評価

$$Fsd(Ke) = \alpha \cdot Fso$$

$Fsd(Ke)$: 慣性力のみを考慮した場合の安全率

α : 慣性力に対する安全率の低減係数

Fso : 施設の静的安全率 (施設ごとに求められている)

③過剰間隙水圧のみを考慮した安定性評価

$$Fsd(\Delta u) = \beta \cdot Fso$$

$Fsd(\Delta u)$: 過剰間隙水圧のみを考慮した場合の安全率

β : 過剰間隙水圧に対する安全率の低減係数

Fso : 施設の静的安全率 (施設ごとに求められている)

表III-5-65 過剰間隙水圧に対する安全率の低減係数(広島県, 1997)

液状化抵抗率 F_L	Aタイプ (砂地盤)	Bタイプ (粘性土で Fso が最小)
$F_L \leq 1.0$	0.25	0.4
$1.0 < F_L \leq 1.1$	0.45	0.6
$1.1 < F_L \leq 1.25$	0.7	0.85
$1.25 < F_L \leq 1.5$	0.9	0.95
$1.5 < F_L$	1.0	1.0

液状化安全率 P_L を判断するための液状化判定用震度 Ks は、以下の式により求めている。

$$Ks = Ke \times (kso/ko)$$

Ke : 作用震度

ko : 慣性力用標準震度 0.20

kso : 液状化用標準震度 0.15

F_L は、以下の式により求めている。

$$F_L = R/L$$

$$L = L' \cdot (Ks/Kso)$$

R : 動的せん断強さ比 (施設ごとに求められている)

L : 動的せん断応力比 (想定される地震ごとに求める)

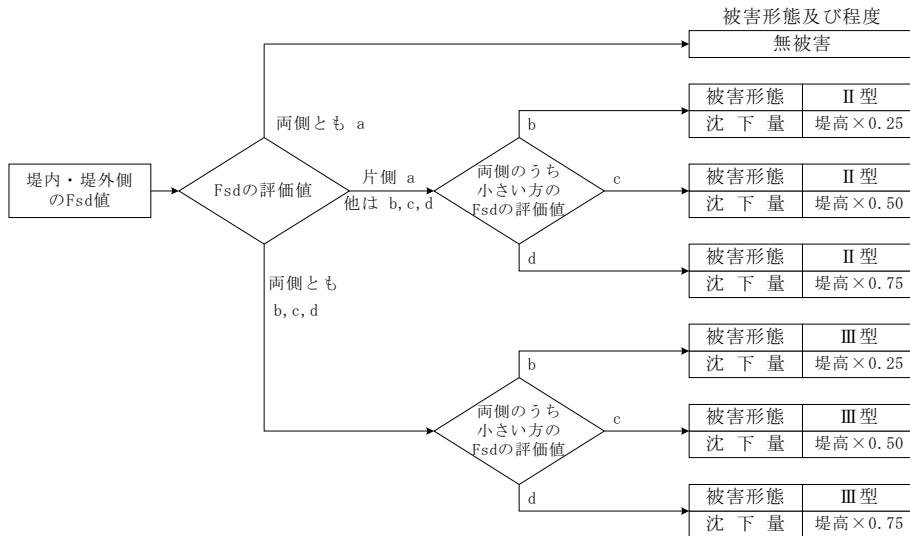
L' : 既往の設計震度により求められた地震時せん断応力比

④地震時の安定性評価

解析を実施している地点 (区間) において前述の慣性力のみを考慮した場合の安全率 $Fsd(Ke)$ と過剰間隙水圧のみを考慮した場合の安全率 $Fsd(\Delta u)$ を比較し、小さい方を採用している。なお、下表の a ~ d は、下図の評価値に対応している。

表III-5-66 Fsd 評価値(広島県, 1997)

Fsd 評価値	$Fsd(kh)$	$Fsd(\Delta u)$
a	$1.0 < Fsd$	
b	$0.8 < Fsd \leq 1.0$	
c	$Fsd \leq 0.8$	$0.6 < Fsd \leq 0.8$
d	—	$Fsd \leq 0.6$



図III-5-15 被害形態・被害程度の想定フロー(広島県, 1997)

(3) 青森県(1997)の手法

○採用自治体：青森県(97)

地震時に構造物に作用する力は、構造物の自重に震度を乗じて算出している。ここでいう震度は、「作用震度 K_e 」「設計震度 K_h 」「限界震度 K_c 」に区分している。

作用震度 K_e ：構造物に作用する震度 $K_e = \text{地表加速度}/980$

設計震度 K_h ：設計時に用いられる震度

地域や地盤種ごとに設定される。青森県内では0.1～0.5

限界震度 K_c ：構造物が破壊される極限状態の震度

宮城県沖地震(1978)等の港湾被害データから K_h と K_c の関係を設定

危険度は、以下のランクを基準に判定されている。

表III-5-67 被害ランク(青森県, 1997)

危険度評価	K_e と K_h	K_e と K_c
A	$K_e > K_h$	$K_e > K_c$
B	$K_e < K_h$	$K_e < K_c$

A：施設の一部において、被害を受ける可能性がある。

B：施設の一部において、被害を受ける可能性が少ない。

最終的な判定は、下表のクロス評価に基づいている。なお、液状化の可能性が高い(P_L 値が15以上)場合は、総合評価のランクを1ランク危険側に上げて評価している。

表III-5-68 港湾・漁港の総合評価ランク表(青森県, 1997)

K_e と K_h の比較結果	K _e と K _c の比較結果		被害の内容
	重力式	矢板式	
B	B	B	被害を受ける可能性がかなり低い
A	B	B	被害を受ける可能性が低い
A	B	A	被害を受ける可能性が高い
A	A	B	被害を受ける可能性がかなり高い
A	A	A	被害を受ける可能性がかなり高い

(4) 宮崎県(1997)の手法

○採用自治体：新潟県(98)

各施設位置での地表面加速度を検討対象施設への作用震度に換算する。

$$K_e = \begin{cases} \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{\alpha}{g} \right)^{1/3} & (\alpha \geq 200\text{gal} \text{の場合}) \\ \frac{\alpha}{g} & (\alpha < 200\text{gal} \text{の場合}) \end{cases}$$

K_e : 作用震度

α : 地表面加速度の最大値(gal)

g : 重力加速度(=980gal)

港湾施設の技術上の基準から、両県の地域別震度は0.10とされている。これと、上記の作用震度 K_e の比較から、以下の指標により判断する。

A : 設計震度が想定震度を上回り、液状化の可能性が極めて高い。

B : 設計震度が想定震度を上回るが、液状化の可能性が低い。または、設計震度が想定震度を上回らないが、液状化の可能性が極めて高い。

C : 設計震度が想定震度を下回り、液状化の可能性も低い。

(5) 福井県(1997)の手法

○採用自治体：福井県(97), 愛知県(03), 長崎県(06), 横浜市(12)

兵庫県南部地震(1995)をはじめとする過去の地震における港湾の被害事例をもとに加速度の大きさ、液状化発生の有無と港湾被害との関係を設定している。

表III-5-69 港湾・漁港の被害状況(福井県, 1996)

加速度(gal)	0~150	150~200	200~300	300~450	450~
液状化あり	なし	小	中	大	大
液状化なし	なし	なし	小	中	大

(注) 被災程度は表III-5-47を参照。被害なしは被災程度Ⅰ、被害小は被災程度Ⅱ、被害中は被災程度Ⅲ、被害大は被災程度Ⅳ以上と対応する。

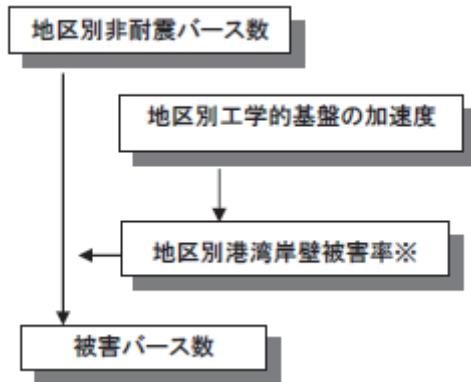
(6) 東京都(2006)の手法

○採用自治体：秋田県(13), 千葉県(08), 東京都(12), 神奈川県(09), 島根県(12), 高知県(13), 熊本県(13), 川崎市(13)

地震発生に伴い復旧に長時間を要する被害パース数を算出している。

※パース…船舶が荷役のために停泊する岸壁・桟橋の船舶けい留場所で、岸壁等の数を表す単位としても用いられる。

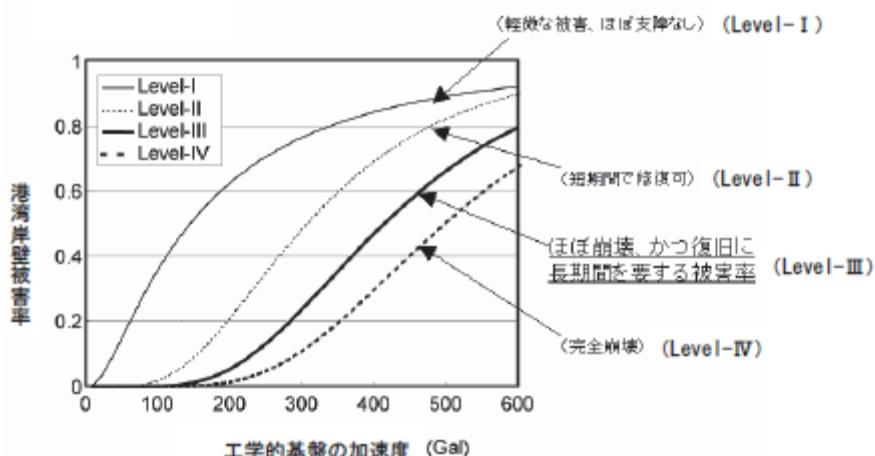
$$\text{被害パース数} = \text{非耐震パース数} \times (\text{加速度別}) \text{ 港湾岸壁被害率}$$



図III-5-16 港湾岸壁被害算出フロー（東京都, 2006）

※港湾岸壁被害率

- ・兵庫県南部地震(1995)における神戸港及び釧路沖地震(1993)における釧路港の被害実態に基づき、港湾岸壁被害率を算出する（下図参照）。
- ・今回の想定では、港湾岸壁がほぼ崩壊かつ復旧に長期間を要する場合（Level-III）の港湾岸壁被害率を想定している。



出所 : koji ICHII:FRAGILITY CURVE FOR GRAVITY-TYPE QUAY WALLS BASED ON EFFECTIVE STRESS ANALYSIS, 13TH WCEE, 2004

図III-5-17 港湾岸壁被害確率の累積分布関数 (ICHII, 2004)

(7) 一井ら(1999)の手法

- 採用自治体：山口県(08)
- ・各施設（重力式岸壁、桟橋式岸壁、矢板式岸壁）の工学的基盤の最大加速度より、被害程度を判定する。
- ・工学的基盤における最大加速度はメッシュの工学的基盤における最大速度から換算する。

$$I = 2.68 + 1.72 \cdot \log PGV$$

$$I = 0.26 + 1.84 \cdot \log PGA$$

PGV：地表最大速度(cm/s)

PGA：地表最大加速度(Gal)

I : 計測震度

- 工学的基盤における最大加速度はSMAC相当波（港湾施設の設計用）とする必要がある。このため、地震タイプごとに地盤モデルの增幅率の評価に用いた加速後波形をSMAC相当波に変換し、最大加速度の低減率を求めた。この低減率を上記のPGAに乗じる。

表III-5-70 地震タイプごとの低減率（山口県, 2008）

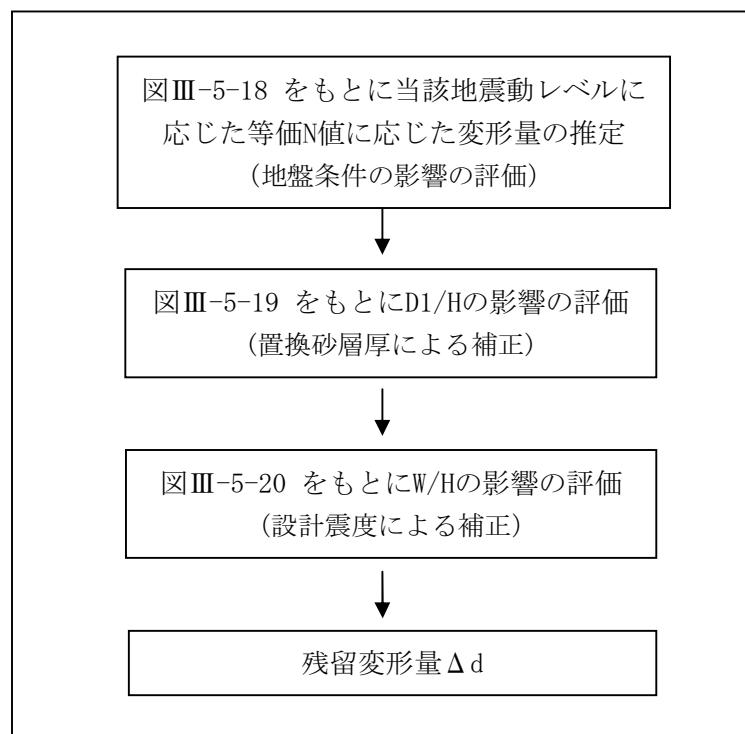
地震タイプ	低減率
プレート間地震 (東南海・南海地震)	0.66
スラブ内（プレート内）地震 (安芸灘～伊予灘の地震)	0.69
内陸（地殻内）地震 (大竹断層等の活断層地震)	0.81

〈重力式岸壁〉

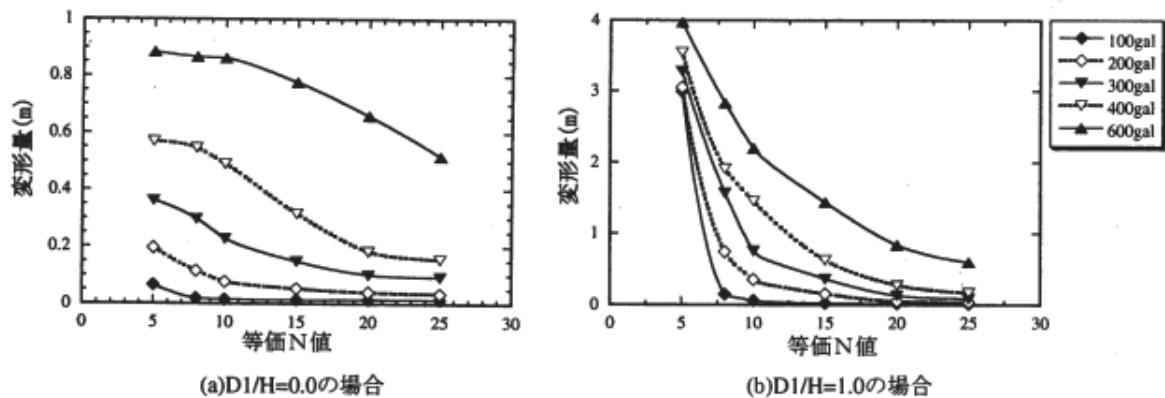
- 一井, 佐藤, 井合, 劇による「重量式岸壁の地震時残留変形量の簡易評価」(1999)に記載のチャートを参考して岸壁の被災変形量 Δd を算定する。
- チャートを利用するためには必要な岸壁の諸元は次のとおりである。

表III-5-71 重力式岸壁の諸元(一井ら, 1999)

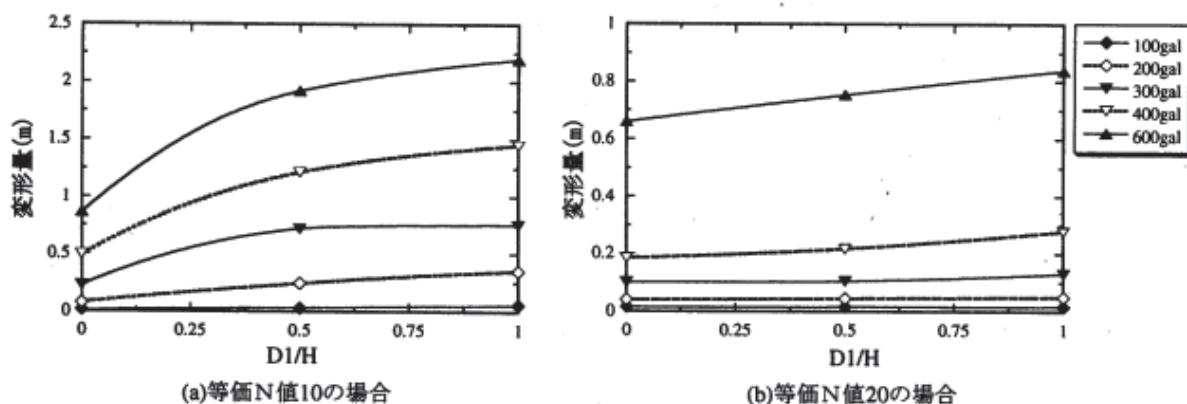
岸壁の諸元	内容
ケーソン等の寸法	高さH(単位:m)および幅W(単位:m)
岸壁の水深(h)	岸壁の設計水深(単位:m)
地盤条件(N_{65})	埋立土およびケーソン等の下の砂質土層(置換砂等)の等価 N 値
液状化層厚(D1)	等価 N 値20以下であるケーソン等の下の砂質土層(置換砂等)の層厚(単位:m)



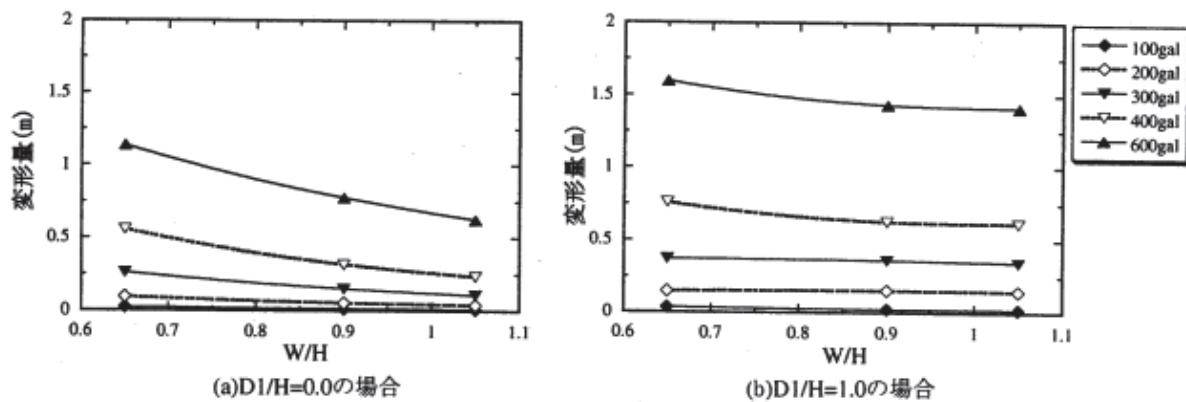
図III-5-18 残留変形量の評価フロー (一井ら, 1999)



図III-5-19 地盤の等価N値の影響 ($W/H=0.9$) (一井ら, 1999)



図III-5-20 置換砂の層厚の影響 ($W/H=0.9$) (一井ら, 1999)



図III-5-21 設計震度の影響（等価N値1.5）（一井ら, 1999）

- 被害程度の判定は、被災変形量 Δd によって次の条件により行う。

表III-5-72 判定条件（一井ら, 1999）

ランク	判定条件
I	$\Delta d < 0.30\text{m}$ (水深hが7.5m未満では0.2m)
II	$\Delta d < 1.00\text{m}$ (水深hが7.5m未満では0.5m)
III	被害程度がIIでもない場合は、被害程度IIIとする。

〈桟橋式岸壁〉

- 「港湾の施設の技術上の基準・同解説」(1999)にある桟橋式岸壁の標準照査震度のチャートを参照して照査震度を地盤固有周期(T_g)、桟橋固有周期(T_s)及び基盤最大加速度から推定する。
- 一方、施設別に構造物の弾性限界震度、降伏状態震度および終局状態震度を求め、照査震度と比較して被害程度を判定する。

表III-5-73 浅橋式岸壁の諸元（一井ら, 1999）

岸壁の諸元	内容
構造形式	「直杭式」、「斜杭式」「たな式」、「その他」
岸壁の水深(h)	岸壁の設計水深（単位：m）
設計震度(Kh)	桟橋式岸壁の設計震度
地盤固有周期(T_g)	地盤のN値から推定
桟橋固有周期(T_s)	一般に2秒以下である場合が多く、ここでは一律に1秒とする。
弾性限界震度	鋼管杭の縁部初降伏
降伏状態震度	桟橋の弾性限界
終局状態震度	鋼管杭の地中部における初塑性ヒンジ化

〈矢板式岸壁〉

- 「矢板式岸壁の簡易耐震性能照査用チャート（改訂版）」に記載されているチャートを参照して、被災変形量 Δd を算定する。

- ・チャートを利用するためには必要な岸壁の諸元は次のとおりである。

表III-5-74 矢板式岸壁の諸元(一井ら, 1999)

岸壁の諸元	内容
構造形式	「自立式」, 「控え直杭式」, 「控え斜杭式」, 「控え鋼矢板式」, 「その他」
壁高(H)	岸壁天端の海底面からの高さ (単位: m)
岸壁の水深(h)	岸壁の設計水深 (単位: m)
設計震度(Kh)	矢板式岸壁の設計震度
地盤条件(N_{65})	埋立土および原地盤の等価N値
液状化層厚(D1)	海底面下の等価N値20以下の砂質土層の層厚 (単位: m)

(8) その他の手法

港湾がある場所の液状化危険度と、震度から港湾の危険性を評価している自治体もある。(山形県(2006), 三重県(2006))

5-4. その他の交通・輸送施設の被害

(1) ヘリポートの被害

○採用自治体：神奈川県(09)

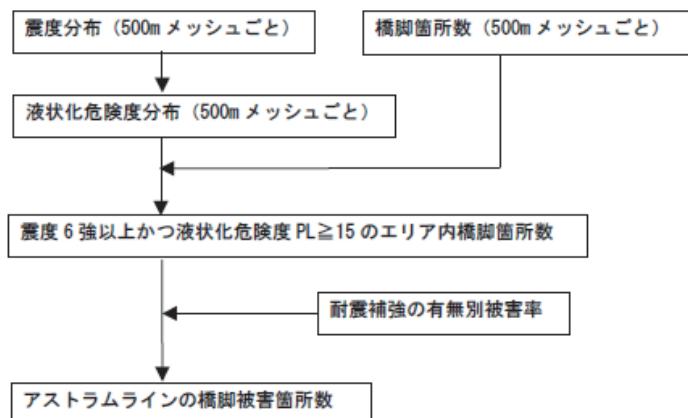
緊急輸送道路の通行機能支障の予測結果を用いて、主要拠点とヘリポートを結ぶアクセス性・連絡性を定性的に評価している。交通師匠想定図からの読み取りで評価したものであるので、定量的な評価ではないとしている。

(2) 新交通システムの被害

○採用自治体：広島市(08)

市内の新交通システムであるアストラムラインを対象として、高架橋の橋脚被害箇所数を想定している。

想定手法は、中央防災会議 首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」(2005)を用いている。



図III-5-22 アストラムラインの橋脚被害箇所数の算定フロー(広島市, 2008)

- ・耐震補強の有無別被害率は、兵庫県南部地震(1995)時における準拠基準年次別の被災度から推定する。
- ・耐震補強済の道路は、新基準に準拠するものとする。

表III-5-75 道路橋脚の被害率(中央防災会議, 2005)

[]の数字は表「橋脚の準拠年次別被災数」の集計値	大被害 (機能支障あり)	中・小被害 (機能支障無し)	被害なし	合計
旧基準に準拠(耐震性低)	8.2% [250]	33.9% [1033]	57.9% [1765]	100.0% [3048]
新基準に準拠(耐震性高)	0.0% [0]	16.3% [57]	83.7% [293]	100.0% [350]

(出典) 兵庫県南部地震における道路橋の被災に関する調査報告書(平成7年)等をもとに作成

※旧基準：昭和55年よりも前の基準に準拠しているもの

新基準：昭和55年以降の基準に準拠しているもの

※大被害：崩壊, 倒壊, 変形の大きな亀裂・座屈・鉄筋破断などの損傷

－通行可能とする修復に長時間を要し, 短期的には救助活動や緊急物資の輸送路としての機能等を回復できない程度の損傷

※中小被害：部分的または局所的な亀裂・座屈, 鉄筋の一部破断, コンクリートの剥離などの損傷

－限定的な損傷であり, 修復をすることなく, または応急修復程度で救助活動や緊急物資の輸送路としての機能を回復できる程度の損傷

表III-5-76 橋脚の準拠年次別の被災度(中央防災会議, 2005)

道路種別		橋脚の被災度					合計
		大被害		中・小被害		被害なし	
		A _s	A	B	C	D	
旧基準	昭和39年以前	82	166	152	744	1612	2756
	昭和46年	1	1	29	108	153	292
新基準	昭和55年	0	0	12	41	241	294
	平成2年	0	0	2	2	52	56

※対象地域：川西市, 宝塚市, 伊丹市, 尼崎市, 西宮市, 芦屋市, 神戸市内

(出典) 兵庫県南部地震における道路橋の被災に関する調査報告書(平成7年)

6. 土木構造物被害の予測

土木構造物の被害予測では、主に河川や海岸の堤防、ため池などが対象となっている。交通・輸送施設と同様に予測手法は多様である。

6-1. 河川堤防・海岸堤防の被害

以下に、各自治体で採用されている手法の概略を次の区別別にまとめるとする。

- (1)建設省河川局(1995)に準ずる手法
- (2)秋田県(1997)の手法
- (3)埼玉県(1992)の手法
- (4)青森県(1997)の手法
- (5)名古屋市(1997)の手法
- (6)山梨県(2005)の手法
- (7)千葉県(2008)の手法

(1)建設省河川局(1995)に準ずる手法

○採用自治体：新潟県(98), 新潟市(07)

建設省河川局(1995)による河川堤防の耐震点検手法を準用して評価している。これは、作用する地震力のみを慣性力として考慮した安定性評価と過剰間隙水圧の上昇のみを考慮した安定性評価から、被害形態と被害程度を想定するものである。

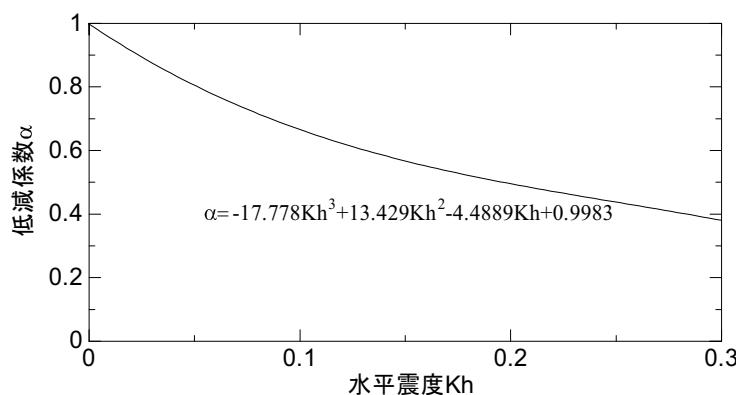
①慣性力用震度のみを考慮した場合の安全率 $Fsd(Kh)$

$$Fsd(Kh) = \alpha \cdot Fso$$

Fso ：堤防の静的安全率（堤防ごとに設定）

$\alpha(-17.778Kh^3 + 13.429Kh^2 - 4.4889Kh + 0.9983)$ ：慣性力に対する安全率の低減係数

Kh ：水平震度



図III-6-1 慣性力に対する安全率の低減係数(建設省河川局, 1995)

○新潟県(98), 新潟市(07)では…

慣性力用震度 Kh は加速度 α , 重力加速度 g より求められる.

$$Kh = Ci \times Cs \times Cb \times \alpha / 980$$

Ci : 重要度別補正係数 (=1.0)

Cs : 構造物特性別補正係数 (=0.75)

Cb : 堤防規模別補正係数(堤防幅 B と堤防高さ H の比で設定)

$$\begin{aligned} B/H &\leq 10 & \cdots 1.0 \\ 10 < B/H &\leq 20 & \cdots 0.9 \\ 20 < B/H & & \cdots 0.8 \end{aligned}$$

②過剰間隙水圧のみを考慮した場合(液状化を考慮した場合)の安全率 $Fsd(\Delta u)$

過剰間隙水圧のみを考慮した場合の安全率 $Fsd(\Delta u)$ を以下の式から求める.

$$Fsd(\Delta u) = \beta \cdot Fso$$

Fso : 堤防の静的安全率

β : 過剰間隙水圧に対する安全率の低減係数

表III-6-1 過剰間隙水圧に対する安全率の低減係数 β (新潟市, 2007)

液状化抵抗率 F_L	Aタイプ	Bタイプ	備 考
$F_L \leq 1.0$	0.25	0.40	
$1.0 < F_L \leq 1.1$	0.45	0.60	Aタイプ: 砂地盤
$1.1 < F_L \leq 1.25$	0.70	0.85	Bタイプ: 多層地盤かつ粘性土で Fso が最小
$1.25 < F_L \leq 1.5$	0.90	0.95	
$1.5 < F_L$	1.00	1.00	

③地震時の堤防被害

地震時の安全率は上記①②を比較し, 堤内側, 堤外側それぞれにおいて小さい方を採用する. 河川堤防の想定沈下量は, 地震時安全率を基に下図による Fsd 評価値を求め, 堤内側, 堤外側の想定沈下率の高い方を採用し, 平均堤高に沈下率を乗じて堤防沈下量を想定した.

表III-6-2 Fsd 評価値及び想定沈下量(新潟市, 2007)

Fsd 評価値	想定沈下量	$Fsd(Kh)$	$Fsd(\Delta u)$
a	なし	$1.0 < Fsd$	
b	堤高 $\times 0.25$	$0.8 < Fsd \leq 1.0$	
c	堤高 $\times 0.50$	$Fsd \leq 0.8$	$0.6 < Fsd \leq 0.8$
d	堤高 $\times 0.75$	—	$Fsd \leq 0.6$

④地震時の水害危険度

沈下後の堤防高と対象水位（朔望満潮位もしくは堰上流の平常時最高水位）及び堤内地盤高を比較し、次のような評価を行っている。

- A：沈下後の堤防高さが対象水位より低くなり、堤内地盤高が対象水位より低い箇所（越水、浸水の危険性が高い）
- B：沈下後の堤防高さが対象水位 + 1 m より低くなり、堤内地盤高が対象水位 + 1 m より低い箇所（越水、浸水の危険性がある）
- C：沈下後の堤防高さが朔望満潮位 + 1 m より高い箇所（越水、浸水の危険性が小さい）

(2) 秋田県(1997)の手法

○採用自治体：秋田県(13)

日本海中部地震(1978)時の河川堤防被害事例の調査結果をもとに、 P_L 値と堤防の被災ランクの関係を求めている。

表III-6-3 河川堤防の被災ランク(秋田県, 1997)

被災ランク	被災状況
A	天端沈下量 1 m 以上
B	天端沈下量 10cm 以上 1 m 未満
C	無被害または天端沈下量 10cm 未満

被災ランクは液状化危険度により判定されるが、メッシュ内の全ての地域が液状化するわけではないため、液状化指数 P_L に応じて以下の割合で被災延長を求めている。

表III-6-4 被災ランクの判定基準と被災ランク別延長(秋田県, 1997)

液状化指数 P_L	被災ランク別延長		
	A	B	C
15以上	0.1 L	0.2 L	0.7 L
5～15	—	0.1 L	0.9 L
5未満	—	—	1.0 L

L : メッシュ内を通る堤防延長

(3) 埼玉県(1992)の手法

○採用自治体：福井県(97)

重要水防区域では堤防高や堤防断面などの指標に対してある基準を設定し、洪水発生時に水害が発生する危険性のある河川堤防の区間を判定している。この結果と地震時における河川堤防被害の発生危険度判定を整合させることにより、危険度評価のための係数を設定している。

表III-6-5 河川堤防の地震時被害危険度判定基準(埼玉県, 1992)

水防 重要度	震度				液状化	
	~4	5弱	5強	6~	$5 < P_L \leq 15$	$15 < P_L$
A	γ	β	α		α	
B		γ	β	α	α	
C		γ		β	β	α

ランク α : 危険性が高い

β : 危険性がある

γ : 危険性が低い

(4) 青森県(1997)の手法

○採用自治体: 青森県(97)

青森県(1997)では、水防重要度に基づいた係数を設定している。ただし、建設省(現国土交通省)管理の堤防と県管理の堤防について、異なる評価手法を与えている。

表III-6-6 河川堤防の地震時被害危険度判定表(青森県, 1997)

堤防	水防 重要度	震度				液状化		危険度ランクの内容
		~4	5弱	5強	6~	$5 < P_L \leq 15$	$15 < P_L$	
建設省 管理	A	2	2	1	1	2	1	1 : 被害を受ける可能性大 2 : 被害を受ける可能性小
	B	2	2	2	1	2	1	
県管理	A	3	2	1	1	1	1	1 : 被害を受ける可能性大 2 : 被害を受ける可能性やや大 3 : 被害を受ける可能性中 4 : 被害を受ける可能性小 5 : 被害を受ける可能性ほとんどなし
	B	3	3	2	1	2	1	
	C	4	3	3	2	3	2	
	D	5	5	4	3	4	3	
	E	5	5	5	4	5	4	

(5) 名古屋市(1997)の手法

○採用自治体: 名古屋市(97)

設計震度、構造形式、建設年代、地盤改良の4つを基準要素として、日本海中部地震(1983)、釧路沖地震(1993)による被害事例を踏まえた点数づけを行い、最終的には基準要素点と地震動の大きさから危険度ランクの形で相対的な被害危険度を表している。耐震バースについては、兵庫

県南部地震(1995)において神戸港でもほとんど被害はみられなかったことから、安全であると判断している。

表III-6-7 基準要素点(名古屋市, 1997)

要素	区分	点数
設計震度	0.10	5
	0.15	3
	0.20	1
構造形式	ケーソン	3
	矢板	2
	セル	2
	棚	2
	桟橋	2
建設年代	～S43	2
	S44～	1
地盤改良	液状化判定区分*	
	A	B
	有 ○	2
	一部載荷 △	5
	無 ×	7
	C	0
		1
		2

注) 液状化判定区分
A : 液状化による危険度が極めて高い
B : 液状化による危険度が高い
C : 液状化による危険度が低い

表III-6-8 被災程度判定基準(名古屋市, 1997)

合計点数	要素点ランク	加速度(gal)	要素点ランク	C'	B'	A'
			460～	II	III	III
14～	A'	160～459	I	II	III	III
9～13	B'	～159	I	I	II	II
～8	C'					

総合危険度	被災程度		
III II I	被害大 被害中 被害小	岸壁としての機能が果たせない状態。改修工事が必要である ある程度補修工事を施せば機能は果たせる状態 被災していないか、あるいは被災しているが特に機能的に支障はない状態	

(6) 山梨県(2005)の手法

○採用自治体：山梨県(05), 札幌市(08)

過去の地震被害事例を参考にして、液状化危険度判定結果と急傾斜崩壊危険箇所及び地すべり危険箇所の危険度判定結果をもとに河川被害危険性を評価している。

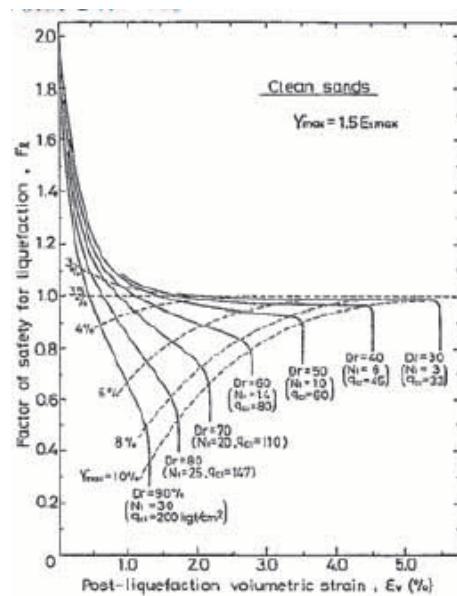
表III-6-9 支障影響度の総合判定(山梨県, 2005)

判定基準	支障影響度
液状化	危険度大→被害可能性あり
急傾斜地崩壊危険箇所及び 地すべり危険箇所	危険度 A→被害可能性あり

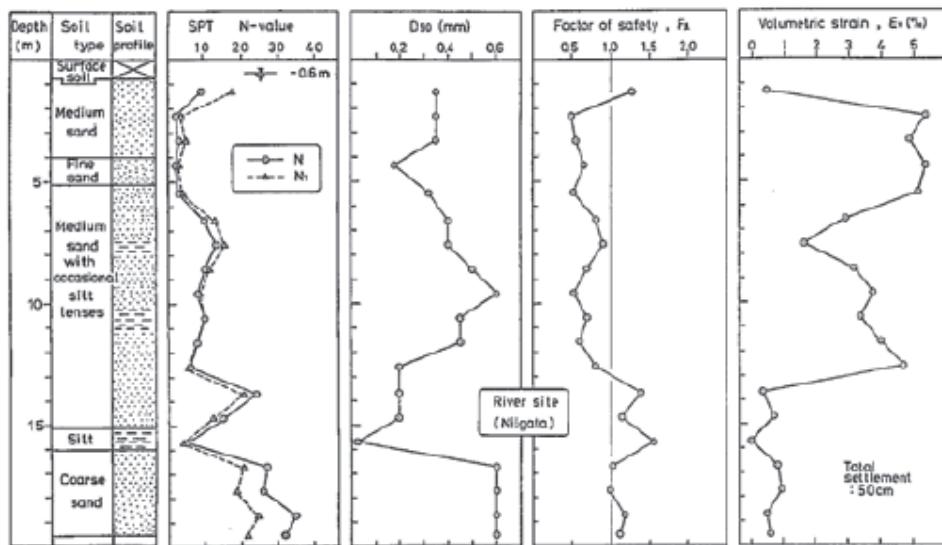
(7) 千葉県(2008)の手法

○採用自治体：千葉県(08)

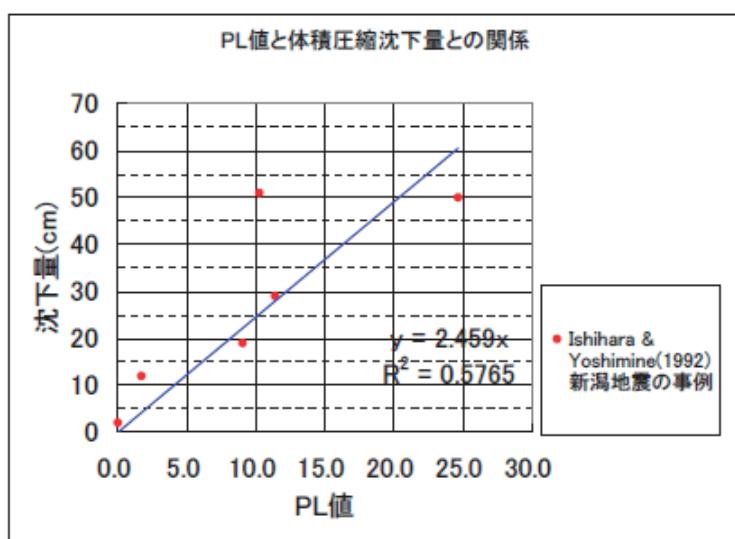
- ① Ishihara&Yoshimine(1992)による液状化による体積圧縮ひずみと FL 値の関係図(図III-6-2)を用いた。
- ② さらに図III-6-3 に一例を示す Ishihara&Yoshimine(1992)による 1964 年新潟地震での新潟市川岸町付近の 6 地点の沈下量検討結果から, PL 値を算出した。
- ③ 図III-6-4 に示すように, 液状化による体積圧縮ひずみから算出した地盤の沈下量とこの PL 値の関係を検討した. 図III-6-4 は 6 地点の最大沈下量=51cm で基準化した図である。
- ④ 図III-6-5 に示すように, 一般に堤防の地震による沈下は, 液状化による浮力が働くため, 最大 0.75H (H は堤防の高さ) といわれている。
- ⑤ この 0.75H を最大沈下量として, 図III-6-4 の関係を基に, PL 値と堤防沈下量の関係を表III-6-10 のようにとりまとめた。
- ⑥ 海岸堤防の被害予測では, この表III-6-10 の関係を基に, 堤防高さだけを使用して, 地震後の沈下量の定性的検討を行った.



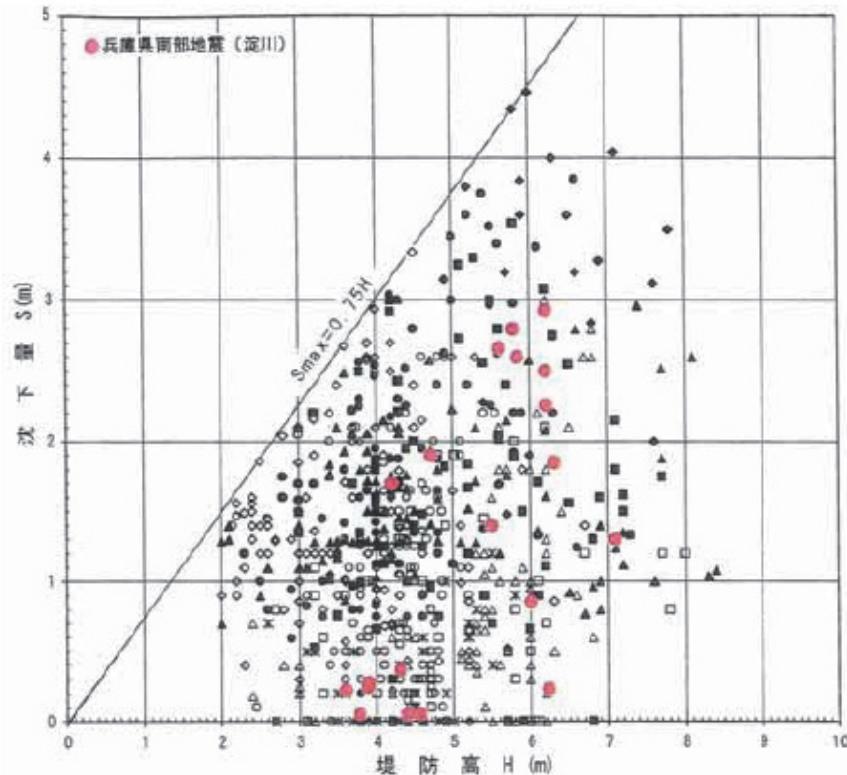
図III-6-2 Ishihara & Yoshimine(1992)による体積圧縮ひずみと FL 値の関係(千葉県, 2008)



図III-6-3 Ishihara & Yoshimine(1992)による新潟地区的土性図と解析した沈下量 (No. 1 地区)
(千葉県, 2008)



図III-6-4 PL 値と液状化による体積圧縮ひずみ沈下量比の関係(千葉県, 2008)



出典：国土技術研究センター(2002)：河川堤防の構造検討の手引き
 (※ 図中の各種プロット点は被害地震ごとの区別を示す)

図III-6-5 既往の地震に堤防の沈下量と堤防高さの関係 (千葉県, 2008)

表III-6-10 PL値と堤防沈下量の目安 (千葉県, 2008)

PL値	沈下量の目安(H は堤防の高さ)	被害程度の目安
0<PL<=5	0.0H	堤防沈下は生じないと考えられる
5<PL<=15	0.25H	小規模な堤防沈下が生じると考えられる
15<PL<=20	0.50H	中規模な堤防沈下が生じると考えられる
20<PL	0.75H	詳細検討必要であると考えられる

(※図III-6-3 と図III-6-4 より設定した)

6-2. ため池の被害

(1) 建設省河川局(1978)の手法

○採用自治体：秋田県(13), 新潟県(98), 長野県(02), 広島県(07), 山口県(08), 新潟市(07), 広島市(08)

建設省河川局(1978)の手法を参考に、堤防の高さ、平均幅、堤体の締め固め度、地盤種別などの要因から堤体の危険度ランクと基礎地盤の危険度ランクを定め、これらの組み合わせから耐震性ランクを判定している。

表III-6-11 堤防の耐震性の一次判定(広島県, 2007)

基礎地盤の耐震性 \ 堤体の耐震性	1	2	3
①	a	a	b
②	a	b	c
③	b	c	c

堤体の耐震性

1…堤防高(H) \geq 6mかつ平均幅 \leq 3Hかつアースダム

3…堤防高(H) < 3mかつ平均幅 \leq 6Hもしくは重力式ダム

2…上記以外のもの

基礎地盤の耐震性

①…旧河道、旧湖沼などの地震時に液状化しやすい地域、地震応答解析結果より液状化の可能性が高い地域、設定した地盤種の T_G 値(地盤の特性値)が1.5以上

②…①以外の3種地盤

③…1種地盤、2種地盤

※液状化が高い地域：PL>15 のメッシュ

※ T_G ：地盤の特性値であり、耐震設計上の地盤種別をI～III種で分類する際に用いる指標

地盤種別	地盤の特性値 T_G (s)	該当する一般的な地盤
I 種	$T_G < 0.2$	岩盤
II 種	$0.2 \leq T_G < 0.6$	洪積層
III 種	$0.6 \leq T_G$	沖積層

表III-6-12 ため池の危険度評価(広島県, 2007)

一次判定	～震度5弱	震度5強	震度6弱	震度6強～
a	C	B	A	
b	C		B	A
c	C			B

A：ため池の破壊による災害発生の危険性が高い

B：ため池の破壊による災害発生の危険性がやや高い

C：ため池の破壊による災害発生の危険性は低い

(2) 青森県(1997)の手法

○採用自治体：青森県(97)

新潟地震(1964)時のアースダムの被害事例をもとに、地質、堤防高、震度を判定項目として予測を行っている。

表III-6-13 ため池被害の判定基準(青森県, 1996)

判定要因の内容	震度4以下	震度5	震度6
基盤が第四紀沖積層でかつ、堤防高が15m以上	2	1	1
基盤が第四紀沖積層か、または、堤防高が15m以上	3	2	1
基盤が第四紀沖積層以外かつ、堤防高が15m未満	3	3	2

1：被害を受ける可能性大

2：被害を受ける可能性小

3：被害を受ける可能性なし

7. その他の被害予測項目

東日本大震災以降、自治体における被害予測項目が多岐にわたり、これまであまり一般的でなかった被害項目について新たに取り上げられる例が散見される。また、中央防災会議 南海トラフ巨大地震モデル検討会等（2013）において取り上げられた項目については、各自治体でも多く取り上げられているが、定性的な記述（被害様相の記述）のみに限定されている場合が多い。以下、第Ⅲ章1～6に含まれなかつた項目について、被害予測項目と採用自治体を整理する。

表Ⅲ-7-1 その他の予測項目と採用自治体一覧

予測項目種別	詳細項目	採用自治体
地震動	長周期地震動	東京都(12), 横浜市(12), 川崎市(13)
	時間差での地震発生	香川県(13)
	余震	横浜市(12)
火災	津波火災	秋田県(13), 香川県(13), 横浜市(12)
施設被害	漁船、船舶、水産関連施設	高知県(13), 香川県(13)
	重要施設の使用性	秋田県(13), 島根県(12), 福岡県(12)
	大規模集客施設等	香川県(13)
	防災活動機能支障	福岡県(12)
	避難施設被害	熊本県(13)
	天井崩落による被害	横浜市(12)
	石油コンビナート	横浜市(12)
	危険物・コンビナート施設	秋田県(13), 香川県(13), 高知県(13), 熊本県(13), 川崎市(13)
	エレベーター閉じ込め・停止	秋田県(13), 東京都(12), 島根県(12), 香川県(13), 高知県(13), 福岡県(12), 横浜市(12), 川崎市(13)
人的被害	文化財被災	群馬県(12)
	災害時要援護者の死者数・率	秋田県(13), 東京都(12)
	長周期地震動、渋滞、震災関連死	香川県(13)
	孤立集落数・世帯数	秋田県(13), 群馬県(12), 島根県(12), 高知県(13), 大分県(13)
	被災者数	川崎市(13)
	地下街の死傷者数	東京都(12)
交通	空港被害	島根県(12), 高知県(13), 長崎県(06)
	鉄道事故等	横浜市(12)
	地下街における被災	横浜市(12)
	移動・輸送の制約	福岡県(12)
インフラ	電気の制約	福岡県(12)
	情報通信の制約	福岡県(12)
震災廃棄物		秋田県(13), 群馬県(12), 東京都(12), 島根県(12), 岡山県(13), 香川県(13), 高知県(13), 熊本県(13), 横浜市(12), 川崎市(13)
物資不足	生活必需品不足量	秋田県(13), 島根県(12), 高知県(13)
	食料・給水不足量	島根県(12), 福岡県(12)
医療機能支障		秋田県(13), 島根県(12), 岡山県(13), 高知県(13), 川崎市(13)
	要転院患者数	大分県(13)
	医療対応不足数	大分県(13)
	医療の制約	福岡県(12)

予測項目種別	詳細項目	採用自治体
地盤沈下による長期湛水		高知県(13), 香川県(13)
住機能支障		秋田県(13), 福岡県(12)
	中長期的住機能支障	大分県(13)
保健衛生	保健衛生	高知県(13)
	清掃・衛生機能支障	秋田県(13)
	瓦礫・ごみ発生量	大分県(13)
	防疫, 遺体処理等	香川県(13)
	災害用トイレ需要量	島根県(12), 大分県(13), 川崎市(13)
原子力施設の影響		秋田県(13)
経済被害額		秋田県(13), 群馬県(12), 岡山県(13), 香川県(13), 高知県(13), 川崎市(13)
	直接経済被害	島根県(12), 福岡県(12), 大分県(13), 横浜市(12)
	間接経済被害	島根県(12), 福岡県(12), 大分県(13)
治安		香川県(13)
教育		福岡県(12)

第III章 1～6に含まれない新たに設定された項目について、中央防災会議 南海トラフ巨大地震モデル検討会等（2013）における被害予想手法を以下に簡単に整理する。なお、第二次報告において提出された『南海トラフ地震の被害想定項目及び手法の概要ライフライン、交通施設被害、被害額など(資料4)』による。

（1）物資不足量

①物資不足量

「被災都府県内の物資不足量」

= 「需要量」 - 「供給量」（「被災地域内の市町村の供給量」 + 「被災地域内外の市町村からの応援量*」 + 「都府県の供給量」）

*市町村の供給余剰の半分を不足市町村への応援量として拠出するものとする

②食料不足量

食料需要は阪神・淡路大震災の事例に基づき、避難所避難者の1.2倍を対象者として、1日1人3食を原単位と考える。食料の供給は、都府県・市町村の持つ自己所有備蓄量及び家庭内備蓄量を想定する。対象とする備蓄食料は、乾パン、即席めん、米、主食缶詰とする。需要量と供給量との差より、不足量を算出する。

③飲料水不足量

断水人口を給水需要者として、1日1人3リットルを原単位とする。飲料水供給量は都府県・市町村によるペットボトルの自己所有備蓄量・家庭内備蓄量及び給水資機材による応急給水量を想定する。需要量と供給量との差より、不足量を算出する。

④生活必需品不足量

生活必需品は毛布を対象とし、住居を失った避難所避難者の需要（1人2枚）を算出し、備蓄量との差から不足数を想定する。

（2）医療機能に関する予測

①患者数の算出

被災した医療機関からの転院患者数を以下の手法により算出する。

平常時在院患者数をベースに、医療機関建物被害率、ライフライン機能低下による医療機能低下率、転院を要する者の割合を乗じて算出する。

医療機関建物被害率は、全壊・焼失率+1/2×半壊率とする。

ライフライン機能低下による医療機能低下率は、阪神・淡路大震災の事例データを参考とし、断水あるいは停電した場合、震度6強以上地域では医療機能の60%がダウンし、それ以外の地域では30%がダウンすると仮定する。

転院を要する者の割合は50%と設定する。

②医療対応力不足数

医療対応力不足数（入院）は重傷者及び一部の死者への対応、医療対応力不足数（外来）は軽傷者への外来対応の医療ポテンシャルの過不足数を求める。

入院需要は、震災後の新規入院需要発生数として、重傷者+医療機関で結果的に亡くなる者（全死者数の10%にあたる）+被災した医療機関からの転院患者の数を想定する。外来需要は、軽傷者を想定する。

医療供給数は、医療機関の病床数、外来診療数をベースとして、医療機関建物被害率（全壊・焼失率+1/2×半壊率）、空床率、ライフライン機能低下による医療機能低下率を乗じて算出する。需要数と供給数との差より、不足数を算出する。

（3）災害廃棄物等

①災害廃棄物

- 環境省「震災廃棄物処理指針」におけるがれき発生量の推定式を用いることとする。

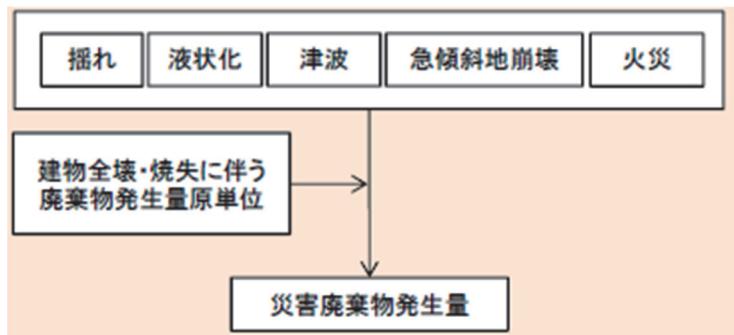
$$Q_1 = s \times q_1 \times N_1$$

Q1：がれき発生量 (t)

s : 1棟当たりの平均延床面積（平均延床面積） ($m^2/\text{棟}$)

q1 : 単位延床面積当たりのがれき発生量（原単位） (t/m^2)

N1 : 解体建築物の棟数（解体棟数=全壊棟数）（棟）



図III-7-1 災害廃棄物発生量算出のフロー（中央防災会議, 2013）

表III-7-2 阪神・淡路大震災における廃棄物発生量原単位(t/m²)（中央防災会議, 2013）

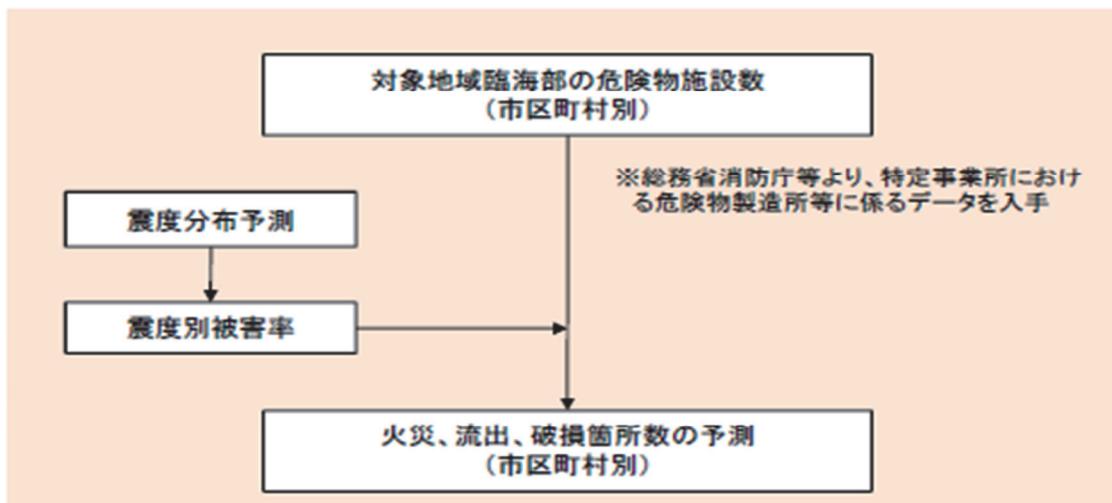
	本造可燃	本造不燃	鉄筋可燃	鉄筋不燃	鉄骨可燃	鉄骨不燃
神戸市	0.206	0.599	0.117	0.854	0.053	0.358
尼崎市	0.193	0.425	0.000	0.877	0.079	0.726
西宮市	0.180	0.395	0.140	1.426	0.140	1.131
芦屋市	0.179	0.392	0.148	1.508	0.139	1.125
伊丹市	0.134	0.373	0.108	1.480	0.106	1.136
宝塚市	0.179	0.392	0.053	1.321		
川西市	0.174	0.392	0.098	1.426		
明石市	0.264	0.430	0.140	1.330	0.140	1.130
三木市	0.225	0.489				
淡路地域	0.179	0.468	0.129	1.388	0.140	1.123
合計	0.194	0.502	0.120	0.987	0.082	0.630

②津波堆積物

- 東北地方太平洋沖地震津波における測定結果より津波堆積物の堆積高を2.5cm～4cmに設定し、それに浸水面積を乗じて津波堆積物の体積量を推定する。なお、堆積高の分布状況が把握できており平均堆積高の推定が困難であること等から、津波堆積高は幅を持たせて設定することとする。
- 推定された体積量に対して、汚泥の体積重量換算係数を用いて津波堆積物の重量を推定する。ここでは、体積重量換算係数として、国立環境研究所の測定結果（体積比重2.7g/cm³、含水率約50%）を用いて $(2.7+2.7)/(1.0+2.7)=1.46$ により算出した1.46 t/m³、ならびに産業廃棄物管理票に関する報告書及び電子マニフェストの普及について（通知）『（別添2）産業廃棄物の体積から重量への換算係数（参考値）』（環境省、2006）で示された汚泥1.10 t/m³を用いることとする。なお、体積重量換算係数は、時間経過や堆積土砂の圧密により変化すると考えられることから、幅を持たせて設定することとする。

『津波堆積物処理指針（案）』（一般社団法人廃棄物資源循環学会、2011）より引用

(4) 危険物・コンビナート施設



図III-7-2 危険物・コンビナート施設の被害箇所数算出のフロー（中央防災会議, 2013）

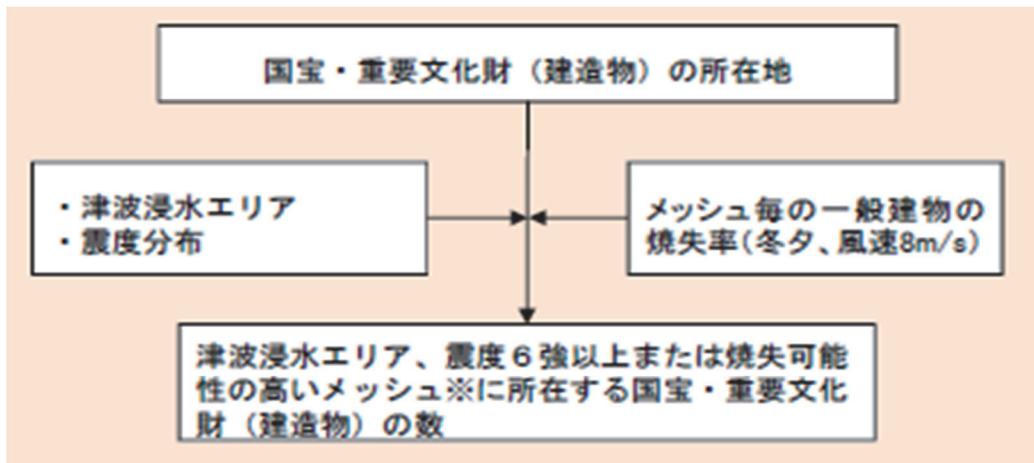
表III-7-3 危険物施設の震度別被害率（中央防災会議, 2013）

製造所等の区分	震度6弱						震度6強							
	施設数	被害数			被害率			施設数	被害数			被害率		
		火災	流出	破損等	火災	流出	破損等		火災	流出	破損等	火災	流出	破損等
製造所	918	0	1	54	0.0%	0.1%	5.9%	177	0	0	17	0.0%	0.0%	9.6%
屋内貯蔵所	7,160	0	27	24	0.0%	0.4%	0.3%	2,918	0	35	60	0.0%	1.2%	2.1%
屋外タンク貯蔵所	6,988	0	10	254	0.0%	0.1%	3.6%	3,051	0	13	301	0.0%	0.4%	9.9%
屋内タンク貯蔵所	1,758	0	1	1	0.0%	0.1%	0.1%	578	1	1	8	0.2%	0.2%	1.4%
地下タンク貯蔵所	10,043	0	7	36	0.0%	0.1%	0.4%	5,176	0	16	98	0.0%	0.3%	1.9%
移動タンク貯蔵所	6,970	0	0	0	0.0%	0.0%	0.0%	3,850	0	0	3	0.0%	0.0%	0.1%
屋外貯蔵所	1,573	0	0	0	0.0%	0.0%	0.0%	904	0	0	33	0.0%	0.0%	3.7%
給油取扱所	6,799	0	1	245	0.0%	0.0%	3.6%	3,572	0	5	329	0.0%	0.1%	9.2%
移送取扱所	104	0	3	14	0.0%	2.9%	13.5%	29	0	2	8	0.0%	6.9%	27.6%
一般取扱所	6,805	0	7	82	0.0%	0.1%	1.2%	3,556	4	14	153	0.1%	0.4%	4.3%

注) 阪神・淡路大震災と東日本大震災の被害数を合算して被害率を求めた。

(5) 文化財

国宝・重要文化財(建造物)の位置データと、津波浸水エリア、震度6強以上または焼失可能性の高いメッシュとを重ね合わせ、当該メッシュに所在する重要文化財(建造物)の数を被害数とする。ここで、焼失可能性の高いメッシュとは、震度6強の下限値における旧築年の木造建物の全壊率(=約20%)に相当する焼失率となるメッシュとする。

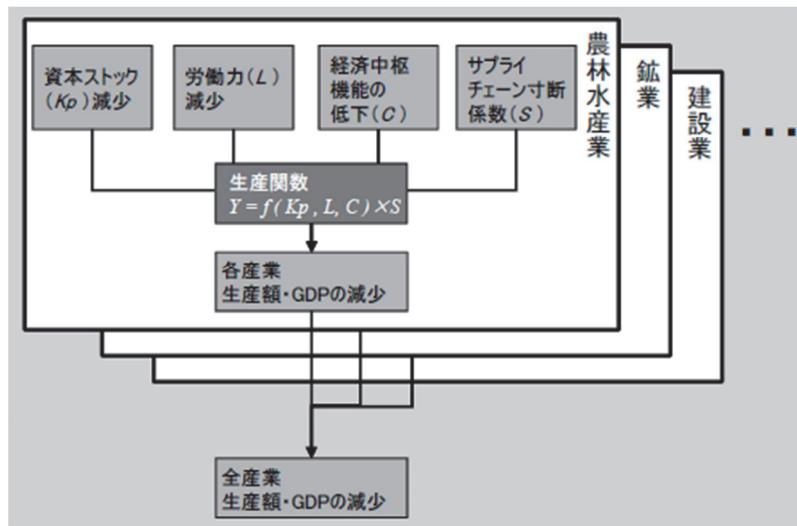


図III-7-3 被害を受ける文化財数算出のフロー（中央防災会議, 2013）

(6) 被害額

①生産・サービス低下による影響

- ・今回の手法では、サプライチェーンの寸断による影響度を指数化(S)してモデルに組み込む。
- ・全国では、経済中枢機能(C)の低下とともに、サプライチェーンの寸断(S)によって生産量が減少すると考え、その大きさを推計する。
- ・上記方針に基づき、産業別に推計を行う。



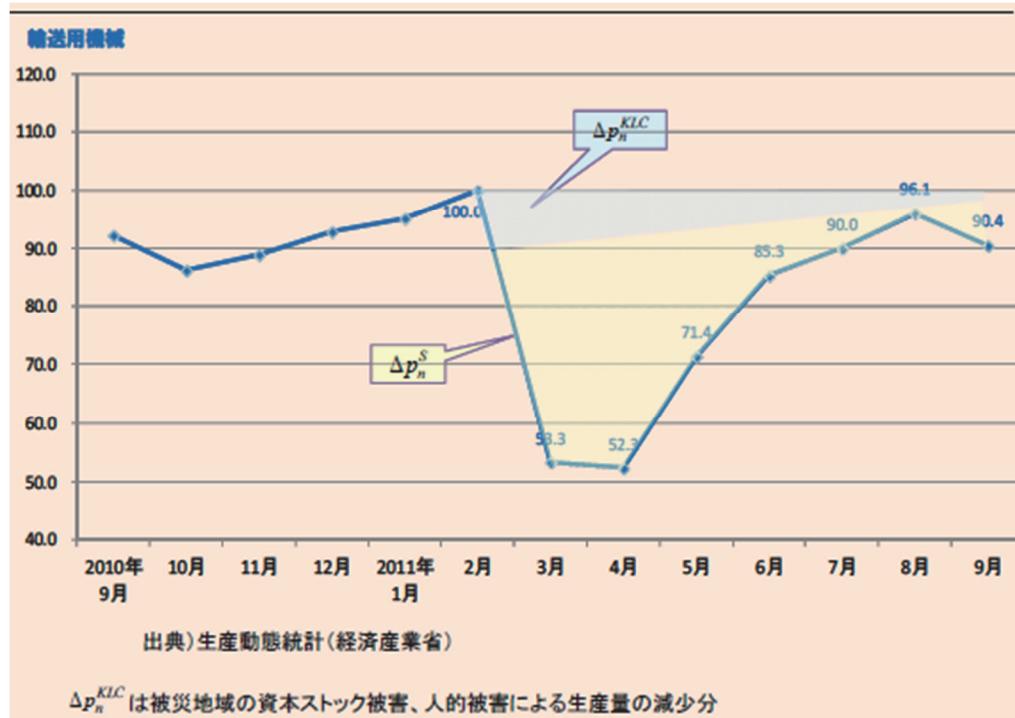
図III-7-4 被害額算出のフロー（中央防災会議, 2013）

サプライチェーン寸断影響の指数化手法

・各産業において、下式によりサプライチェーン寸断影響 (S) の指数化を行う。

$S = \text{サプライチェーン寸断による生産減少率}$

$$= 1 - \frac{\text{サプライチェーン寸断による生産量の減少分} (\Delta p_n^S)}{\text{地震が発生しなかった場合の生産量}}$$



図III-7-5 東日本大震災前後における鉱工業指数の変化例