

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

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、津波による被害のほか、ブロック塀等の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。

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。最近では、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自治体で採用されている。

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。

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官(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 ゆれ・液状化による建物被害の代表的な予測手法

| | 構造 | 手法分類 | 代表的な予測手法 | 採用自治体数 |
|-----|-----|---------------|---|---|
| ゆれ | 木造 | 応答解析に基づく手法 | <input type="checkbox"/> 東京都防災会議(1985, 1991)・神奈川県(1993) <input type="checkbox"/> 三重県(1992) | 20 1 |
| | | 被害率曲線を用いる手法 | <input type="checkbox"/> Miyakoshi et al. (1997) <input type="checkbox"/> 大阪府(1997) <input type="checkbox"/> 中央防災会議(2003) <input type="checkbox"/> 仙台市(2002) <input type="checkbox"/> その他 東京都(1997), 山口・山崎(2000), 村尾・山崎(2000, 2002), 嘉島・高田(1996), 鳥取県(2005), 岐阜県(2004), 高知県(2004), 国土庁(1998)など | 3 2 2 2 各1 |
| | 非木造 | 応答解析に基づく手法 | 【RC造】 <input type="checkbox"/> 東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993) <input type="checkbox"/> 神奈川県(1985) <input type="checkbox"/> 仙台市(2002) 【S造】 <input type="checkbox"/> 東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993) <input type="checkbox"/> 神奈川県(1985) <input type="checkbox"/> 損害保険料率算定会(1991) 【非木造】 <input type="checkbox"/> 中村(1997)の手法 | 17 2 1 17 1 1 1 |
| | | 被害率曲線を用いる手法 | 【RC造】 <input type="checkbox"/> 東京都(1997) <input type="checkbox"/> Miyakoshi et al. (1997) <input type="checkbox"/> 大阪府(1997) <input type="checkbox"/> その他 山口・山崎(2000), 村尾・山崎(2000, 2002) 高知県(2004), 仙台市(2002)など 【S造】 <input type="checkbox"/> 東京都(1997) <input type="checkbox"/> Miyakoshi et al. (1997) <input type="checkbox"/> 大阪府(1997) <input type="checkbox"/> 石田・水越(1998) <input type="checkbox"/> その他 山口・山崎(2000), 村尾・山崎(2000, 2002) 高知県(2004)など 【非木造】 <input type="checkbox"/> 中央防災会議(2003), 嘉島・高田(1996), 国土庁(1998) | 2 3 2 各1 2 3 2 2 各1 各1 |
| 液状化 | 木造 | 過去の被害結果を用いる手法 | <input type="checkbox"/> 望月・荏本(1989) <input type="checkbox"/> 東京都(1997) <input type="checkbox"/> 谷口・飯田(1986) <input type="checkbox"/> 中央防災会議(2003) <input type="checkbox"/> 大阪府(1997), 静岡県(2001), 愛知県(2003) | 21 4 4 3 各2 |
| | 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) <input type="checkbox"/> 東京都(1997) <input type="checkbox"/> 愛知県(2003) 【非木造】 <input type="checkbox"/> 中央防災会議(2003) | 22 4 2 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。

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、特定の手法に集中してはいない。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 三重県(1992)の手法

（2）被害率曲線を用いる手法

- ① 東京都(1997)の手法
- ② Miyakoshi et al. (1997)の手法
- ③ 山口・山崎(2000)の手法
- ④ 村尾・山崎(2000, 2002)の手法
- ⑤ 大阪府(1997)の手法
- ⑥ 兵庫県(1999)の手法
- ⑦ 中央防災会議(2003)の手法
- ⑧ 鳥取県(2005)の手法
- ⑨ 岐阜県(2004)の手法
- ⑩ 高知県(2004)の手法
- ⑪ 仙台市(2002)の手法

（3）積雪を考慮した手法

- ① 福井県(1997)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

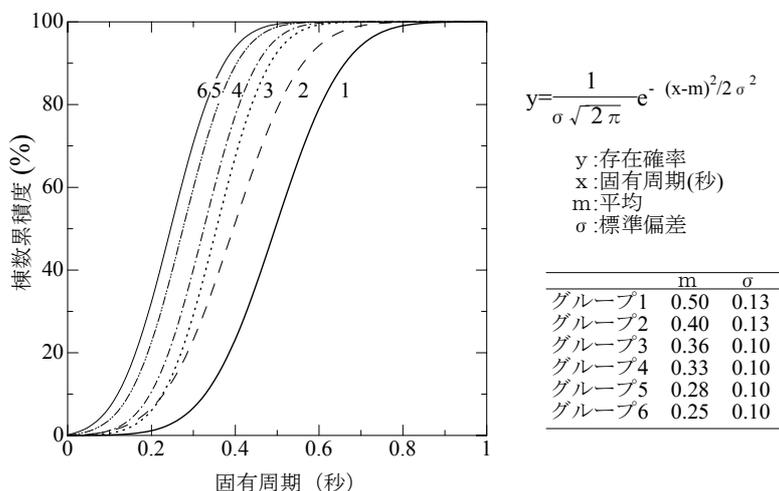
○採用自治体：青森県(97), 秋田県(97), 群馬県(98), 埼玉県(98), 新潟県(98), 福井県(97), 長野県(02), 島根県(97), 岡山県(03), 広島県(97), 香川県(97), 高知県(04), 福岡県(97), 佐賀県(97), 宮崎県(97), 沖縄県(97), 札幌市(97), 千葉市(96), 川崎市(97), 京都市(03), 広島市(97)

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 |

■埼玉県(1998)

埼玉県(1998)では、枠組壁工法の影響も考慮に入れ、神奈川県(1993)による固有周期分布のうち、グループ6の平均固有周期を0.25秒から0.22秒に変更している。

■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)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

■広島市(1997)

広島市(1997)では、神奈川県(1993)の建築年代区分に1991年以降の区分(グループ7)を追加している。固有周期分布については、グループ1～6は神奈川県(1993)と同じとし、グループ7の平均固有周期を0.20秒としている。

表Ⅲ-1-4 広島市(1997)における木造建物グループ

| 区分 | 専住1階 | 専住2階 非専住1階 | 非専住2階 |
|----------|------|---------------|-------|
| 1950年以前 | 1 | 1 | 1 |
| 1951-60年 | 3 | 2 | 2 |
| 1961-70年 | 4 | 4 | 3 |
| 1971-80年 | 5 | 5 | 4 |
| 1981-90年 | 6 | 6 | 5 |
| 1991年以降 | 7 | 7 | 6 |

■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-1-5 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)「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-1-6 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) 一般的平均周期と標準偏差は神奈川県(1993)と同じ

■岡山県(2003)

岡山県(2003)では、神奈川県(1993)による木造建物グループ(表Ⅲ-1-2)の一部について兵庫県南部地震(1995)の知見に基づき修正している。

表Ⅲ-1-7 岡山県(2003)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 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| | 1961-70年 | 4 | 4(3) | 3 | 2 |
| | 1971-80年 | 5 | 5(4) | 5(4) | 3 |
| | 1981年以降 | 6 | 6(5) | 6(5) | 4 |

(注1) ()内は非専住の場合

(注2) 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

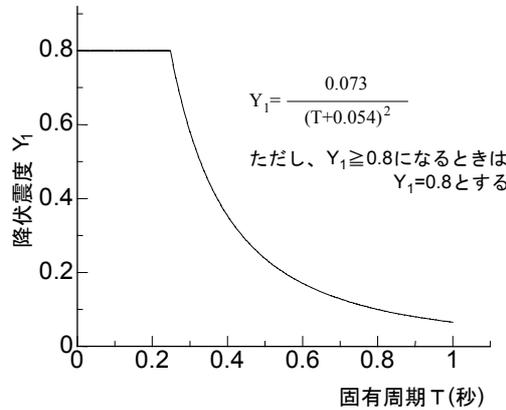
b) 被害程度の設定

■ 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。

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

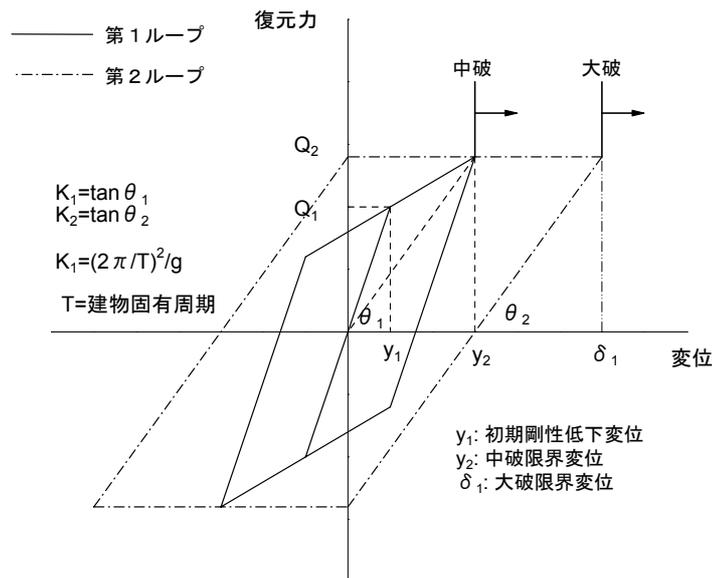
ただし, $Y_1 \geq 0.8$ になるときは $Y_1 = 0.8$ とする



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)

■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値理論に基づき、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)

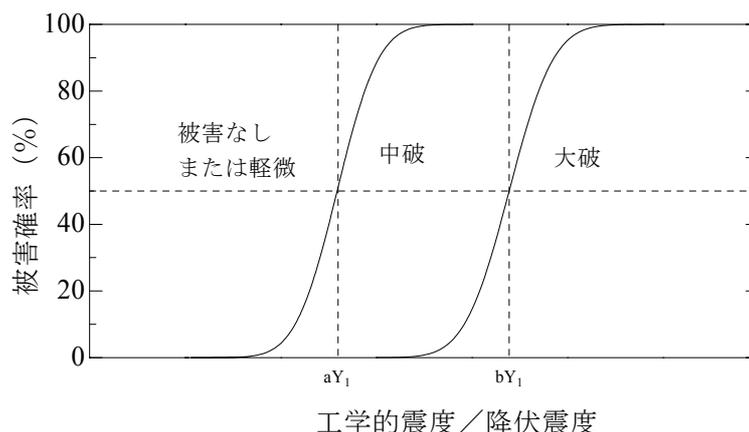
T : 建物の固有周期

S_A : 加速度応答スペクトル

g : 重力加速度

○新潟県(98), 宮崎県(97)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、下図に示すような確率関数を適用している。



図Ⅲ-1-4 木造建物に作用する震度と被害率

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-1-8 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(1993) 秋田県(97), 福井県(97), 香川県(97) 沖縄県(97), 千葉市(96), 川崎市(97) | 2.60 | 4.39 | | | 大破 |
| 広島県(97), 岡山県(03) | 3 | 6 | 被害なし | 中破 | |
| 新潟県(98), 長野県(02), 宮崎県(97) | 4 | 6 | または軽微 | | |
| 福岡県(97) | 5 | 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。

■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)による振動周期の伸びを採用している。

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

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-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。

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

A_e : 弾性応答加速度 (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)

○埼玉県(98)では...

建物の降伏強度 C_y は、東京都防災会議(1985)が設定している $C_y = 0.073/(T+0.054)$ としている。ただし、東京都防災会議(1985)では、降伏強度 C_y は0.8で頭打ちとしていたが、最近の木造建物は強度があがっているものとして、頭打ちとなる制限は設けていない。

また、被災判定の基準となる塑性率 μ_0 を以下のように設定している。

全壊 : $6.0 \leq \mu_0$, 半壊 : $3.5 \leq \mu_0 < 6.0$, 一部損壊 : $2.0 \leq \mu_0 < 3.5$

② 三重県(1992)の手法

○採用自治体：山口県(97)

木造建物の被害率を、作用震度 K (=応答加速度/重力加速度) と降伏震度 Y の関係から求める。

$$\text{全壊率} = \begin{cases} 0 & (K \leq 3Y) \\ \frac{100K}{6Y} - 50 & (3Y < K \leq 9Y) \\ 100 & (9Y < K) \end{cases}$$

$$\text{半壊率} = \begin{cases} 0 & (K \leq 2Y) \\ \frac{100K}{4Y} - 50 & (2Y < K \leq 4Y) \\ \left(\frac{100K}{4Y} - 50\right) - \left(\frac{100K}{6Y} - 50\right) & (4Y < K \leq 6Y) \\ 100\left(\frac{100K}{6Y} - 50\right) & (6Y < K \leq 9Y) \\ 0 & (9Y < K) \end{cases}$$

また、固有周期 T と降伏震度 Y の関係は以下の式で設定している。

$$Y = \frac{(0.340T^{-0.29} - 0.217) \times 2 + \frac{0.073}{(T + 0.054)^2}}{3}$$

(2) 被害率曲線を用いる手法

① 東京都(1997)の手法

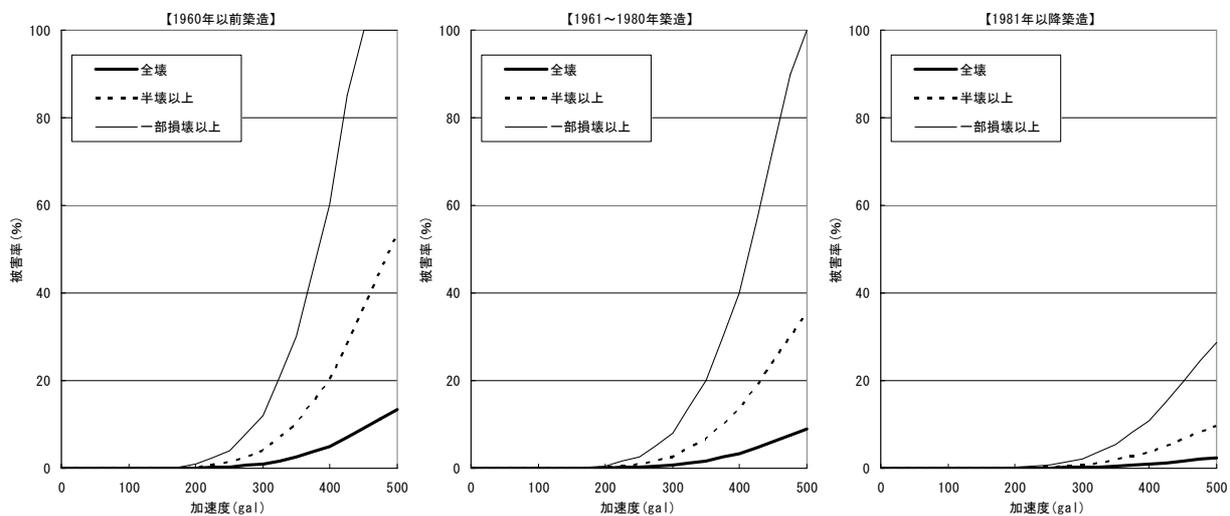
○採用自治体：東京都(97)

兵庫県南部地震(1995)での被害事例から、加速度と建築年代別被害率の関係を設定している。

表Ⅲ-1-9 加速度と木造建物被害率(東京都, 1997)

| 加速度 (gal) | 1960年以前築造 | | | 1961～1980年築造 | | | 1981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 | 0.02 | 0.06 | 0.16 | 0.01 | 0.03 | 0.08 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 200 | 0.07 | 0.21 | 0.56 | 0.04 | 0.12 | 0.32 | 0.01 | 0.03 | 0.08 |
| 225 | 0.20 | 0.60 | 1.60 | 0.13 | 0.39 | 1.04 | 0.04 | 0.12 | 0.32 |
| 250 | 0.33 | 0.99 | 2.64 | 0.22 | 0.66 | 1.76 | 0.06 | 0.18 | 0.48 |
| 275 | 0.67 | 2.01 | 5.36 | 0.44 | 1.32 | 3.52 | 0.12 | 0.36 | 0.96 |
| 300 | 1.00 | 3.00 | 8.00 | 0.67 | 2.01 | 5.36 | 0.18 | 0.54 | 1.44 |
| 325 | 1.75 | 5.25 | 14.00 | 1.17 | 3.51 | 9.36 | 0.32 | 0.96 | 2.56 |
| 350 | 2.51 | 7.53 | 20.08 | 1.67 | 5.00 | 13.36 | 0.45 | 1.35 | 3.60 |
| 375 | 3.76 | 11.28 | 30.08 | 2.50 | 7.50 | 20.00 | 0.68 | 2.04 | 5.44 |
| 400 | 5.01 | 15.03 | 40.08 | 3.33 | 9.99 | 26.64 | 0.90 | 2.70 | 7.20 |
| 425 | 7.10 | 21.30 | 56.80 | 4.72 | 14.16 | 37.76 | 1.28 | 3.84 | 10.24 |
| 450 | 9.19 | 27.57 | 63.24 | 6.11 | 18.33 | 48.88 | 1.65 | 4.95 | 13.20 |
| 475 | 11.27 | 33.81 | 54.92 | 7.49 | 22.47 | 59.92 | 2.03 | 6.09 | 16.24 |
| 500 | 13.36 | 40.08 | 46.56 | 8.88 | 26.64 | 64.48 | 2.40 | 7.20 | 19.20 |

(単位：%)



図Ⅲ-1-5 加速度と木造建物被害率(東京都(1997)より作成)

② Miyakoshi et al. (1997)の手法

○採用自治体：栃木県(04), 愛知県(03), 愛媛県(02)

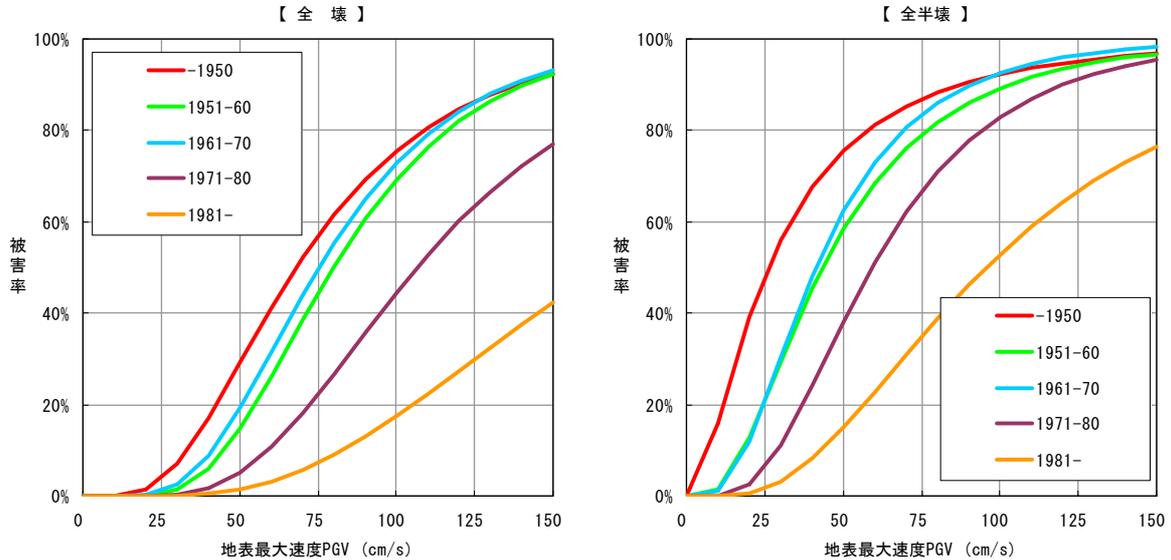
兵庫県南部地震(1995)の西宮市の被害実績から、地表最大速度 PGV と建物被害率の関係を設定している。建物被害率 $P_R(PGV)$ は、標準正規分布の累積確率分布関数 Φ を用いて対数正規分布で表せると仮定し、分布のパラメータを最小二乗法により求めている。

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

ただし、 λ 、 ζ は $\ln(PGV)$ の平均値および標準偏差

表Ⅲ-1-10 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)

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

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

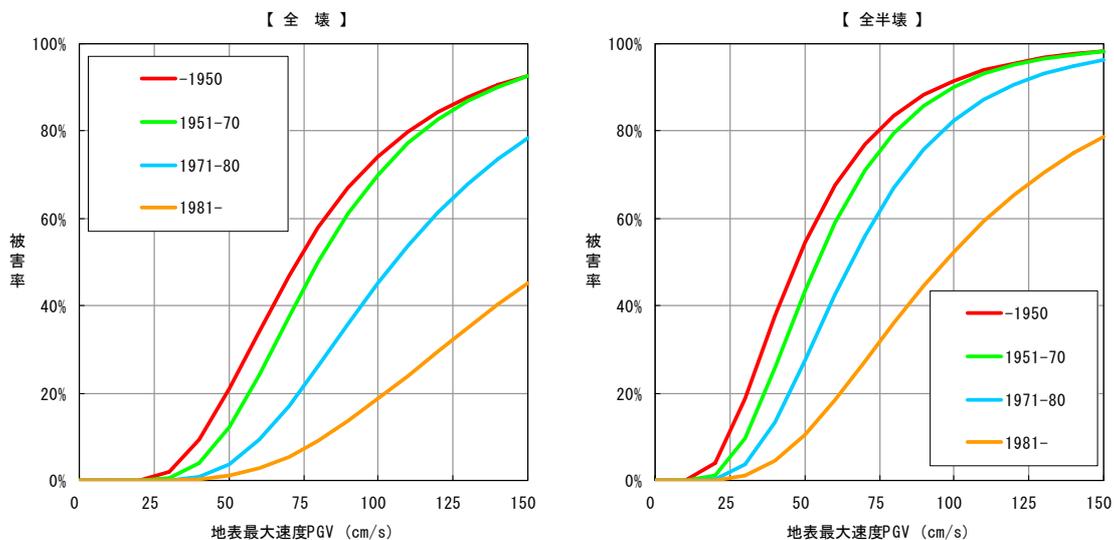
V' : 地域の最大速度(cm/s)

λ, ζ : $\ln(PGV)$ の平均値および標準偏差

表Ⅲ-1-11 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)

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．

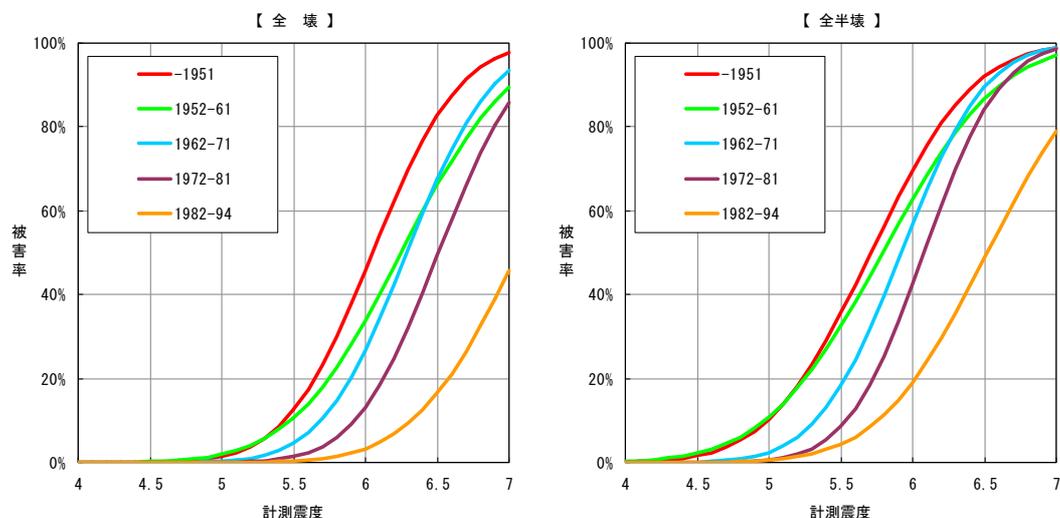
$$\langle PGA, PGV, SI \rangle \quad P_R(x) = \Phi\left(\frac{\ln(x) - \lambda}{\zeta}\right) \quad \lambda, \zeta \text{ は } \ln(x) \text{ の平均値および標準偏差}$$

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

表Ⅲ-1-12 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 | | |
| プレハブ 木質系 | 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)

④ 村尾・山崎(2000, 2002)の手法

○採用自治体：山梨県(05)

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。

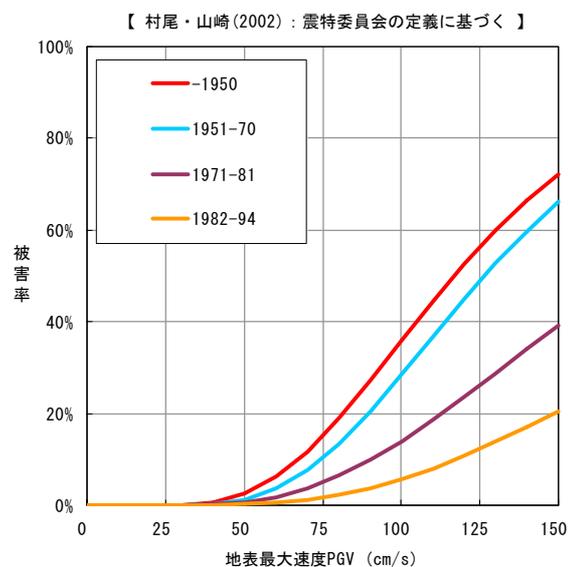
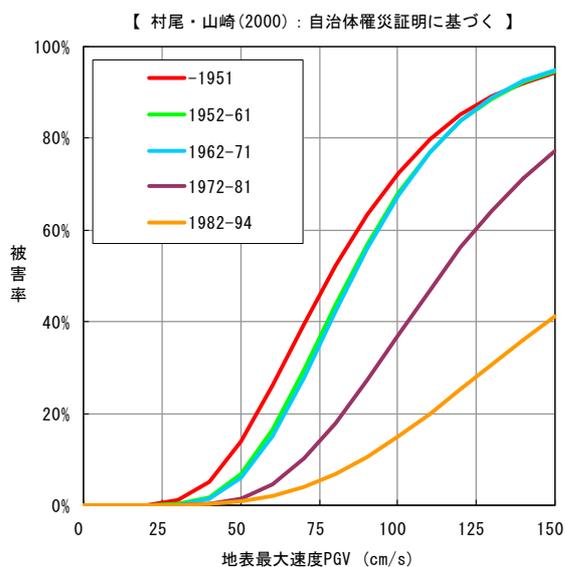
$$P_R(PGV) = \Phi\left(\frac{\ln(PGV) - \lambda}{\zeta}\right)$$

ただし、 λ 、 ζ は $\ln(PGV)$ の平均値および標準偏差

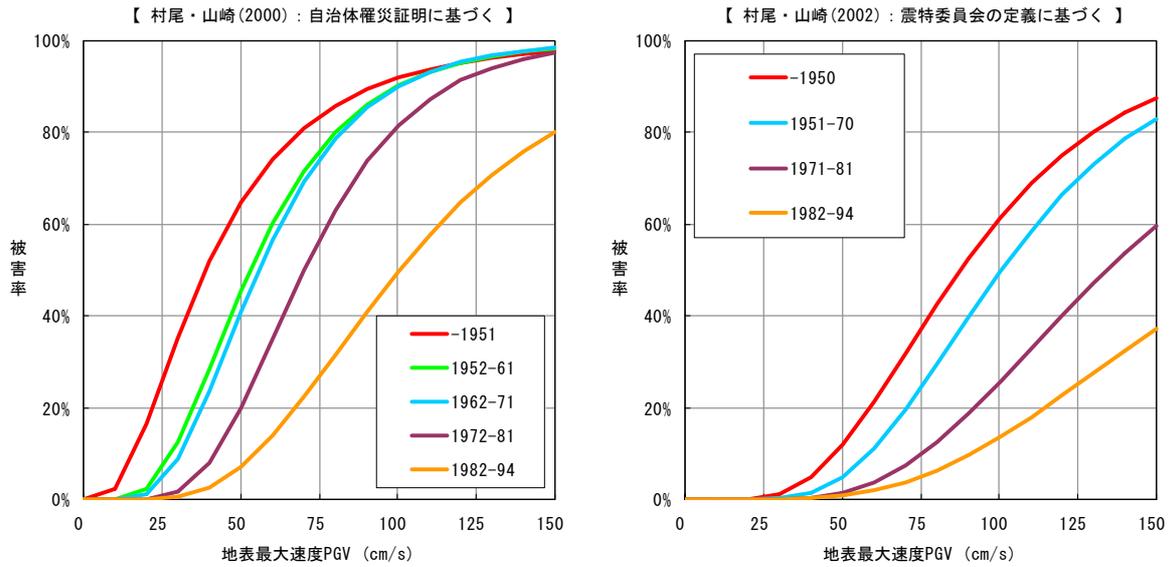
なお、被災程度については、村尾・山崎(2000)は自治体の罹災証明に基づいており、村尾・山崎(2002)は震災復興都市づくり特別委員会(以下「震特委員会」)の定義に基づくものである。

表Ⅲ-1-13 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)

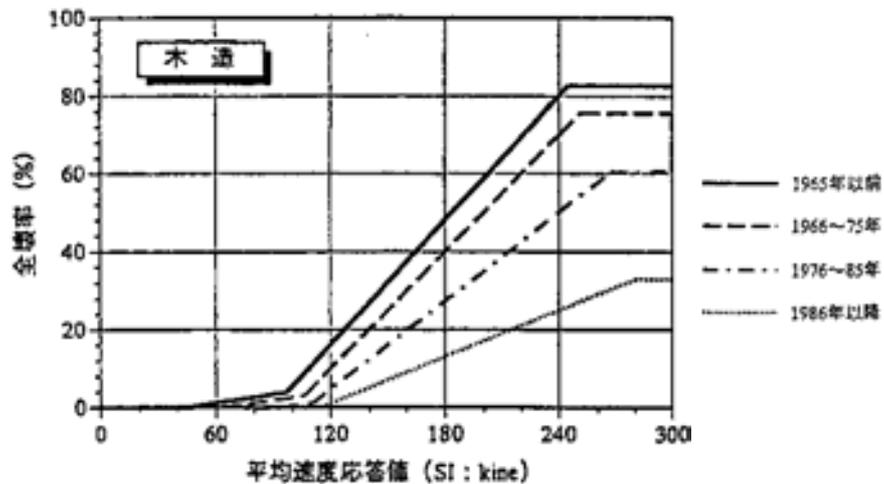
○山梨県(05)では...

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 $\text{最大速度} = SI / 1.18$ の関係式により換算した最大速度を用いている。

⑤ 大阪府(1997)の手法

○採用自治体：滋賀県(05), 大阪府(97)

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)

⑥ 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

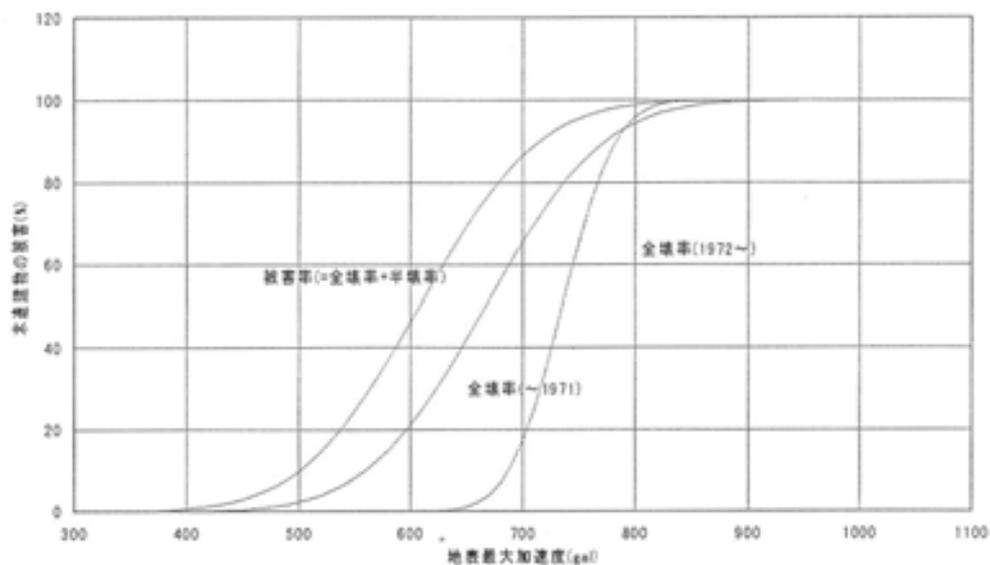
K_0, σ ： $K_0=0.68$ $\sigma=0.085$ (～1971年)

$K_0=0.75$ $\sigma=0.038$ (1972年～)

■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, σ ： $K_0=0.62$ $\sigma=0.085$



図Ⅲ-1-12 地表最大加速度と木造建物被害の関係(兵庫県, 1999)

○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。

⑦ 中央防災会議(2003)の手法

○採用自治体：岩手県(04), 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.

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

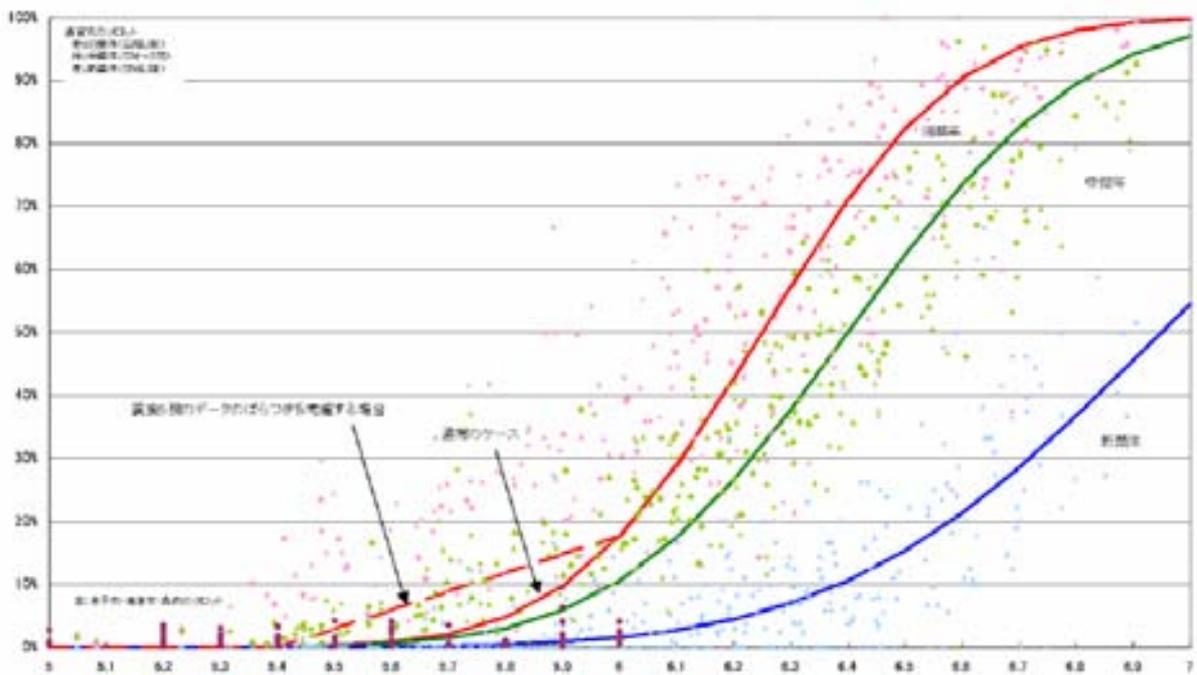
ただし, $P(I)$: 被害が発生する確率

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(2003)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, 2003)

○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.

⑧ 鳥取県(2005)の手法

○採用自治体：鳥取県(05)

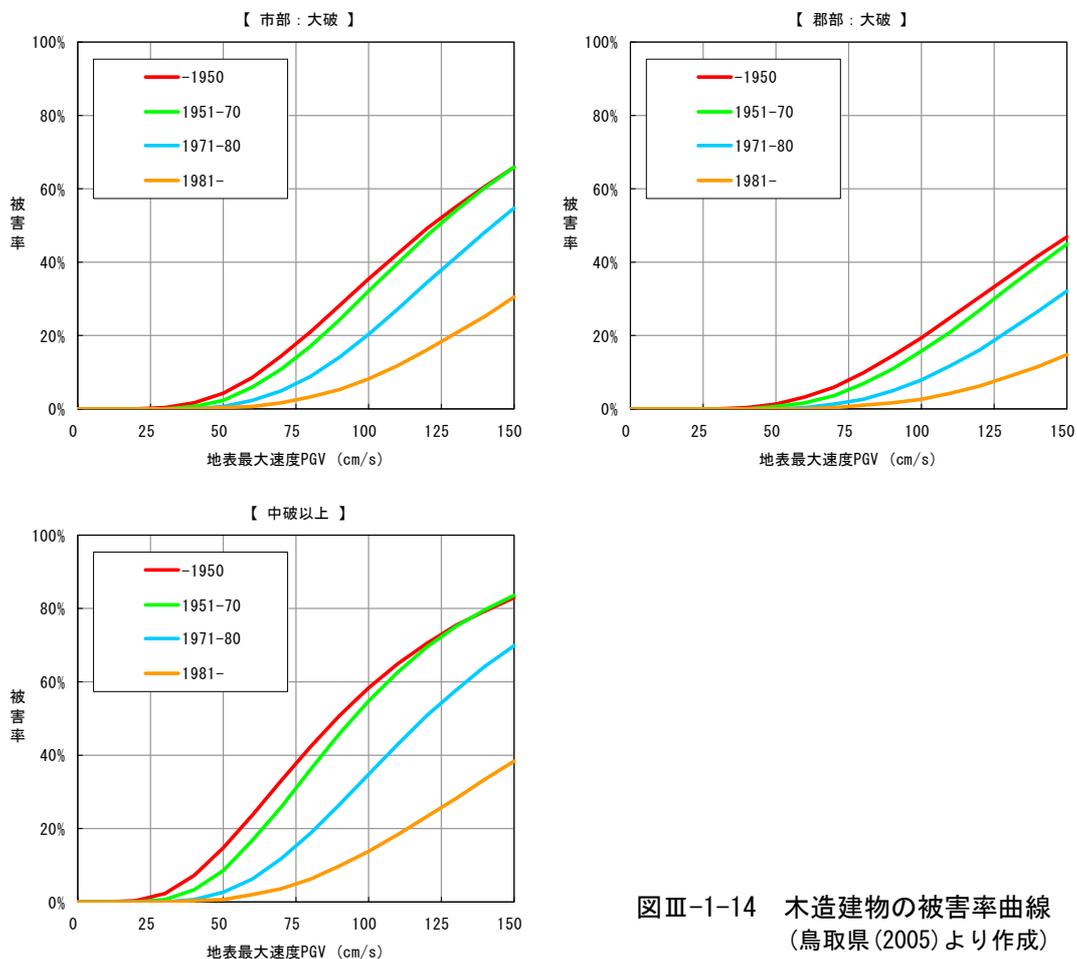
鳥取県(2005)では、過去事例に基づき最大速度と被害率の関係式(被害率曲線)を作成し、大破・中破棟数を予測している。被害率曲線は、想定地震がすべて活断層の地震であることを考慮し、兵庫県南部地震(1995)の実被害による既存の被害率曲線を基に、鳥取県西部地震で全数調査が実施された地区での被害率に整合するように作成されている。

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

ただし、 λ 、 ζ は $\ln(PGV)$ の平均値および標準偏差

表Ⅲ-1-14 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 | | ζ | 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-1-14 木造建物の被害率曲線
(鳥取県(2005)より作成)

⑨ 岐阜県(2004)の手法

○採用自治体：岐阜県(04)

岐阜県(2004)では、兵庫県南部地震(1995)での芦屋市・宝塚市の被害データと濃尾地震(1891)の被害データを参考に、被害率曲線を作成している。

建物グループについては、芦屋市・宝塚市の木造建物系被害データ（木造在来・木造プレハブ）における重量屋根の全壊率が軽量屋根の一時代古いものとよく一致していた点から、下表のような木造建物グループを設定している。

表Ⅲ-1-15 木造建物グループ(岐阜県, 2004)

| 建築年代 | -1950 | 1951-60 | 1961-70 | 1971-80 | 1981- |
|------|-------|---------|---------|---------|-------|
| 軽量屋根 | A | B | C | D | D |
| 重量屋根 | A | A | B | C | D |

関数形としては、以下のようなロジスティック曲線を採用しており、地震動が小さいときの被害率をゼロにするため実効加速度の閾値（被害が発生しはじめる値）を設定している。

$$Y = \frac{100}{1 + m \cdot \exp(-a \cdot x)}$$

ただし、 Y : 全壊率 または 被害率（＝全壊率＋半壊率/2）（％）

x : 実効加速度(gal)

a, m : 関数パラメータ

a : 各木造建物グループ内での建物の一様性を表現しており、値が小さいほど様々な種類の建物が存在することを表す。

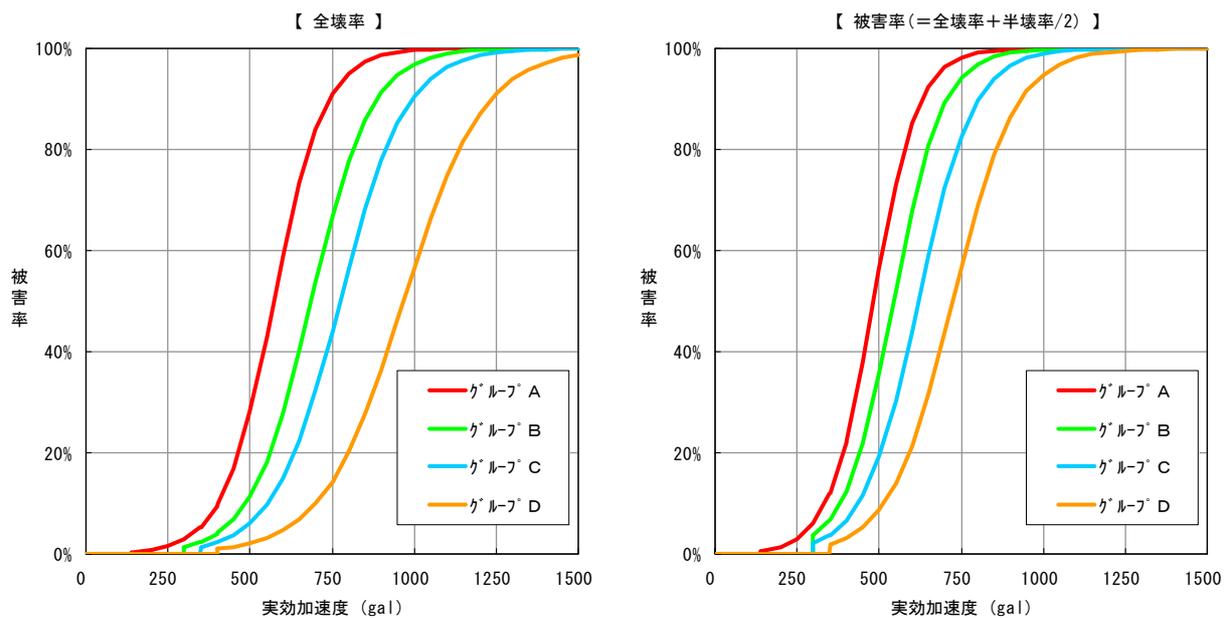
m : 建物が備えている耐力を表現し、値が大きいほど強い建物であることを意味する。

表Ⅲ-1-16 被害率曲線のパラメータ(岐阜県, 2004)

| 建物グループ | | A | B | C | D |
|--------|-----|-------|--------|-------|--------|
| 全壊率曲線 | a | 0.013 | 0.011 | 0.010 | 0.0082 |
| | m | 1700 | 1900 | 2300 | 2800 |
| 被害率曲線 | a | 0.015 | 0.0135 | 0.012 | 0.0105 |
| | m | 1400 | 1550 | 1700 | 2000 |

表Ⅲ-1-17 被害が発生しはじめる実効加速度として設定した閾値(岐阜県, 2004)

| 建物グループ | A | B | C | D |
|--------|---------|---------|---------|---------|
| 全壊率曲線 | 141 gal | 300 gal | 350 gal | 400 gal |
| 被害率曲線 | 91 gal | 250 gal | 300 gal | 350 gal |



図Ⅲ-1-15 木造建物の被害率曲線(岐阜県(2004)より作成)

⑩ 高知県(2004)の手法

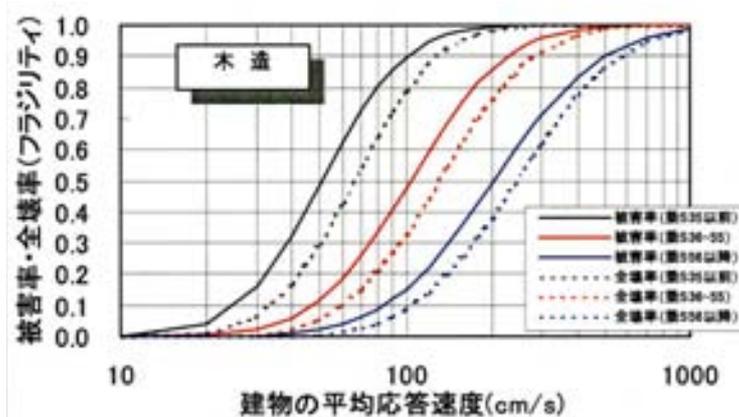
○採用自治体：高知県(04)

高知県(2004)では、兵庫県南部地震(1995)の被害データを参考に応答解析による考え方を加味して被害率曲線を求めている。

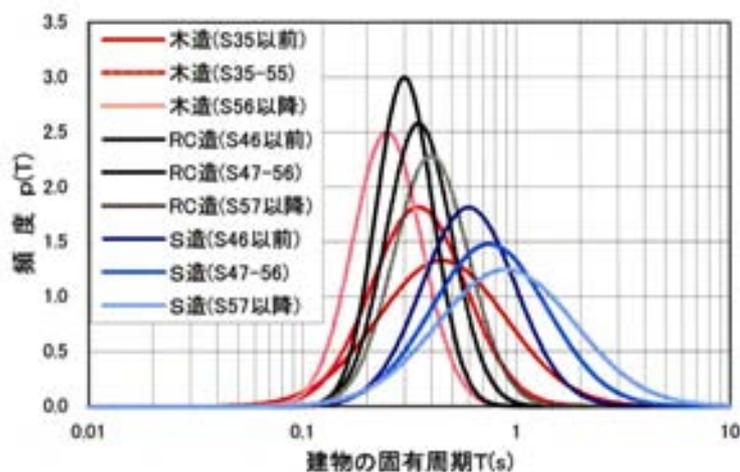
木造建物の固有周期分布は、対数正規分布に従うと仮定し、神奈川県(1993)を参考に建築年代別に設定している。地震動指標としては平均応答速度を採用しており、その理由として、「損傷や破壊を伴う建物の被害は、建物に作用する地震力(加速度に比例)とその作用時間との積に大きく依存し、加速度×時間に相当する建物の揺れの速さが深く関係していると考えられる」ことを挙げている。

被害率曲線は、対数正規分布で表せるとして作成しているが、その留意点として次のような点を指摘している。

- ・兵庫県南部地震(1995)の建物被害データに基づく平均的な全壊率・被害率の近似曲線であり、ばらつきを考えると、上・下(大・小)に倍・半分ほどの差を伴った被害率曲線がありうる
- ・古い木造建物(特に昭和35年以前)については、兵庫県南部地震(1995)での平均的な被害率よりも上に位置するデータに近づけ、被害率が平均的な値より高くなるよう設定した。想定される南海地震は直下型の兵庫県南部地震とは異なり同じ揺れの大きさでも継続時間が長く作用することも考慮したためでもある。



図Ⅲ-1-16 木造建物の被害率曲線(高知県, 2004)



図Ⅲ-1-17 建物の固有周期分布(高知県, 2004)

⑪ 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。

- a) 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。
- b) 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-1-18 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) $\lambda = E[\ln(C_0)]$, $\xi = \sqrt{Var[\ln(C_0)]}$

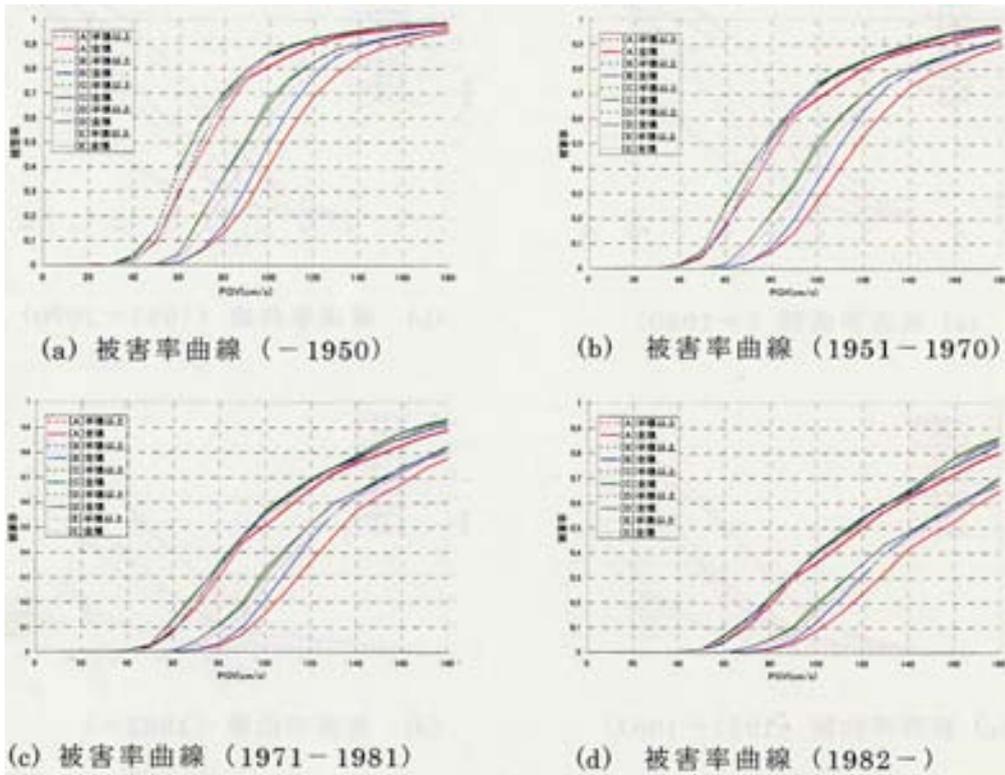
- c) この建物群モデルに対し、変形性能として4種類の組み合わせに対する被害率曲線を計算し、兵庫県南部地震(1995)の被害率曲線との誤差評価を行った。地震動として大阪ガス葺合供給所で観測された強震動を用いて、建物の非線形時刻歴応答解析を行い、被害率曲線との誤差を最小化するパラメータを同定した。
- d) 計算結果から、被害判定は、最大層間変位が8cm以上で半壊、14cm以上で全壊とした。
- e) 地震動の周期特性を反映した被害率曲線を作成するため、表層地質区分を利用し仙台市内を5つの地盤区分に分類した。

表Ⅲ-1-19 表層地盤分類(仙台市, 2002)

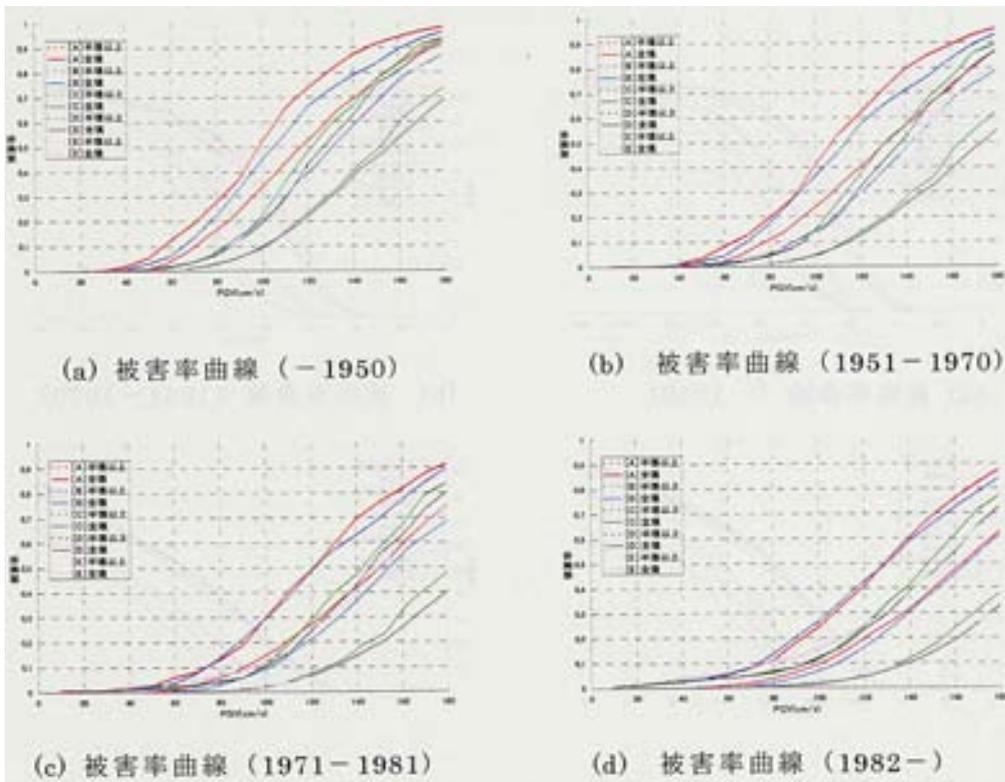
| 被害想定用土質分類 | 表層土質 |
|-----------|------------------------|
| A-Type | 沖積腐植土 |
| B-Type | 沖積粘性土 沖積砂質土 沖積砂礫 |
| C-Type | 沖積砂礫 |
| D-Type | 岩類 |
| E-Type | 盛土 |

- f) 宮城県沖地震（単独モデル，連動モデル），長町ー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ずつスケージングし，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



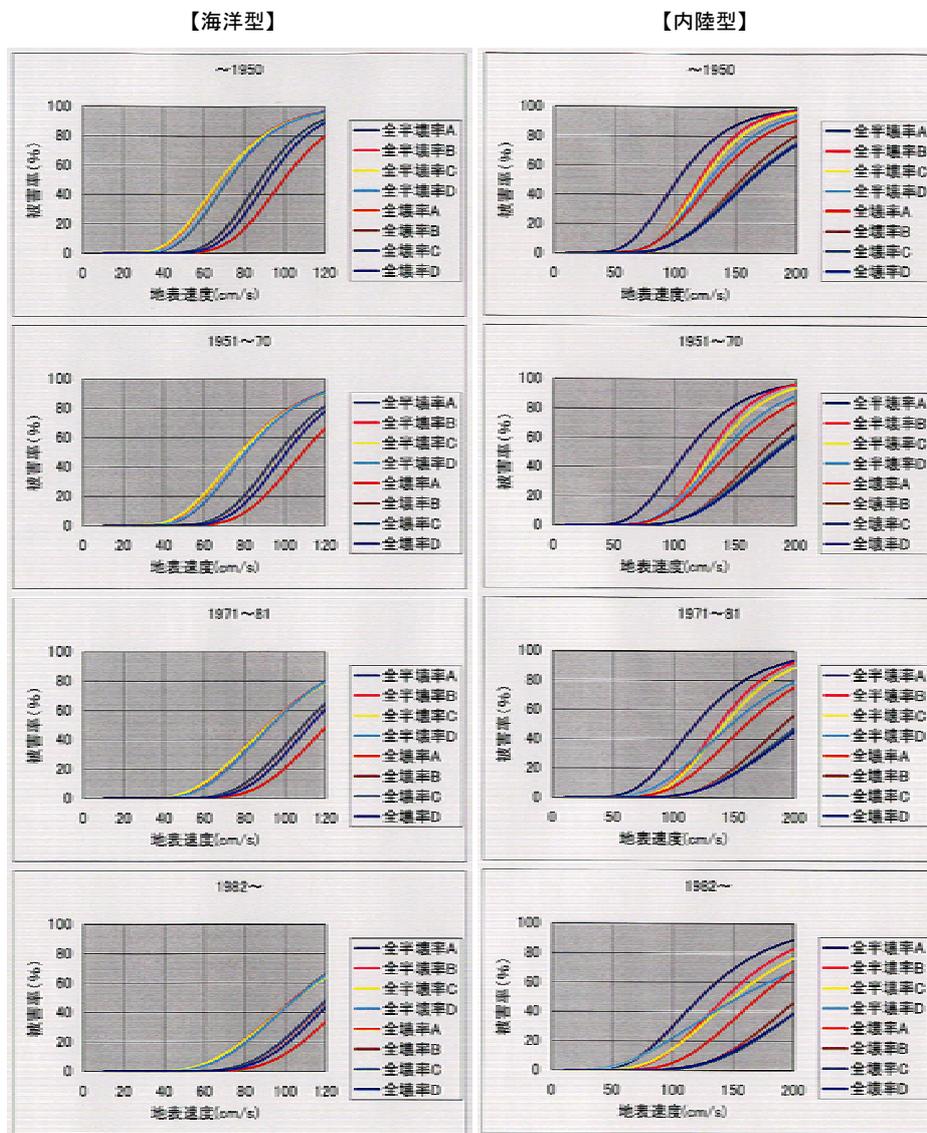
図Ⅲ-1-18 仙台市(2002)における木造建物の被害率曲線

○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-1-20 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 |



図Ⅲ-1-19 宮城県(2004)における木造建物の被害率曲線

(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

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3kg/m²とみているので，積雪1mの荷重は300kg/m²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倍になるものとする。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，無雪時と変らないものと仮定し，大破・中破にいたる被害確率も変らないものと仮定している。

表Ⅲ-1-21 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 1 m | 2階建 積雪 1 m |
|------|----------|----------------|---------------|
| 質量 | M | $M_1 = 2.5M$ | $M_2 = 2M$ |
| 固有周期 | T | $T_1 = 1.6 T$ | $T_2 = 1.4 T$ |
| 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 |

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...

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非常に多い。被害率曲線を用いる手法は、特定の手法に集中してはいない。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>
- ⑤ 中村(1997)の手法

（2）被害率曲線を用いる手法

- ① 東京都(1997)の手法
- ② Miyakoshi et al. (1997)の手法
- ③ 山口・山崎(2000)の手法
- ④ 村尾・山崎(2000, 2002)の手法
- ⑤ 大阪府(1997)の手法
- ⑥ 兵庫県(1999)の手法
- ⑦ 中央防災会議(2003)の手法
- ⑧ 高知県(2004)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：秋田県(97), 群馬県(98), 埼玉県(98), 新潟県(98), 福井県(97), 長野県(02), 岐阜県(04), 島根県(97), 岡山県(03), 広島県(97), 香川県(97), 福岡県(97), 宮崎県(97), 沖縄県(97), 札幌市(97)<S造>, 千葉市(96), 川崎市(97), 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。

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

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

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

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

$$\text{S造の補正係数} = \text{スウェイ・ロッキング}^{\circ} \text{の影響 } C_T$$

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

○埼玉県(98), 新潟県(98), 宮崎県(97)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。

○川崎市(97)では...

RC造の固有周期を日本建築防災協会(1989)などを参考に以下のように設定している。

住家：0.05×階数，非住家：0.08×階数

○岡山県(03)では...

固有周期を階高に応じて以下のように設定している。

$$\text{RC造} : 0.02 \times H$$

$$\text{S造} : 0.03 \times H \quad H : \text{階高 (1階 3.5m, 2階 3.0m)}$$

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。

$$\begin{aligned} C_m &= {}_1\beta \cdot (\Sigma U_i) / n \\ &= {}_1\beta \cdot (1/2n) \{ (n+1) + (n-1) \cdot \eta_H \} \end{aligned}$$

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

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。

$$i) \quad h \geq 0.05 \text{ の場合} \quad C_h = 1 - \{1 - 2.25/(1.75 + 10h)\} \cdot t$$

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

T : 連成系の周期 (s)

$$ii) \quad h < 0.05 \text{ の場合} \quad C_h = 1 + \{1.5/(1 + 10h) - 1\} \cdot t$$

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。

○川崎市(97)では...

被害予測の際に I_{SO} と I_S を対比して使用するが、この I_S は地域ごとにある程度の余裕を見ていると考え、 $I_{SO} = S_A(T) \times 0.6/g$ としている。

○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る。

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-1-22)。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。

○神奈川県(93)では...

次のような仮定のもとにS造建物の保有耐力分布を設定している(図III-1-20. 対数正規分布. 1981年以前築造: 平均 0.300 標準偏差 0.15, 1981年以降築造: 平均 0.408 標準偏差 0.16)。

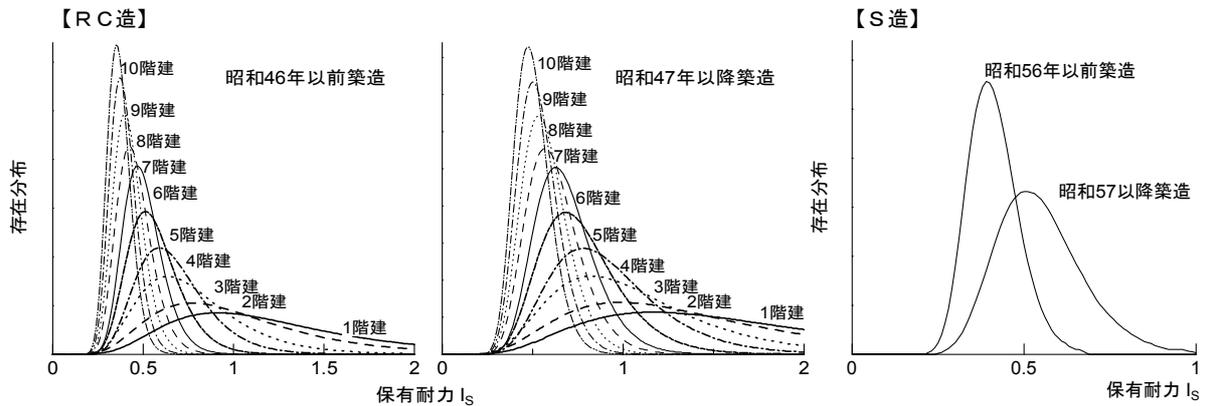
- ・耐震設計基準の変わった1981年前後を境にその耐震性は異なるはず
- ・1981年以前に築造されたS造建物は旧基準の設計震度0.2が採用されている。保有水平耐力には設計震度の1.5倍のゆとりを持たせているものと考え、保有耐力 I_S の平均値として0.3を設定
- ・1981年以降築造のS造建物に対しては、1971年以前築造のR C造建物 I_S 分布と1971年以降築造の分布の関係から推定

表Ⅲ-1-22 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) 太枠内は中野・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-1-20 神奈川県(1993)におけるR C造・S造建物の保有耐力分布(群馬県, 1998)

○埼玉県(98)では...

S造建物の保有耐力分布について、以下の考え方により階層別(低層、中層、高層の3区分)、建築年代別(1971年以前、1972-80年、1981年以降の3区分)の耐力分布を求めている。

- ・まず、神奈川県(1993)で推定された年代のみのS造の設定値とR C造の保有耐力の設定値を参考に、階層別、建築年代別の耐力分布を設定する。
- ・綾瀬川断層と西埼玉地震の2地震について被害予測計算を行い、建築年代別の大破率-加速度の関係を算定する。その結果と、東京都(1997)による建築年代別の大破率-加速度の関係(注)と比較を行い、ほぼ整合するまで耐力分布を再設定し、計算を繰り返す。

(注) 加速度の大きい部分は兵庫県南部地震(1995)、小さい部分は宮城県沖地震(1978)に基づき設定している。

表Ⅲ-1-23 S造建物の保有耐力分布(埼玉県(1998)より作成)

| | 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 |
| 低層 | 0.311 | 0.138 | 0.406 | 0.197 | 0.551 | 0.246 |
| 中層 | 0.192 | 0.085 | 0.250 | 0.122 | 0.340 | 0.152 |
| 高層 | 0.147 | 0.065 | 0.191 | 0.093 | 0.260 | 0.116 |

○福井県(97)では...

R C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。

○沖縄県(97)では...

R C造および大規模S造建物の保有耐力分布について、沖縄県における耐震設計の変遷(天野, 1994)を参考に、神奈川県(1993)による保有耐力分布を修正している。「1971年以前」「1972-1981年」の区分は神奈川県(1993)による「1971年以前」「1972年以降」を I_S の平均・標準偏差ともに0.5倍したものを使用し、「1982年以降」の区分は「1972年以降」を0.7倍したものを使用している。

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)

<RC造> 大破： $I_S/I_{SO} \leq 0.25$ 中破： $0.25 < I_S/I_{SO} \leq 0.5$

■神奈川県(1993)

<RC造> 大破： $I_S \leq (I_{SO} + 0.1)/2$ 中破： $(I_{SO} + 0.1)/2 \leq I_S \leq (2I_{SO} + 0.1)/3$
 <S造> 大破： $I_S/I_{SO} \leq 1/7$ 中破： $1/7 < I_S/I_{SO} \leq 1/5$

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-1-24, 表Ⅲ-1-25に示す。

大破： $I_S/I_{SO} \leq a$ 中破： $a < I_S/I_{SO} \leq b$

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、群馬県(1998)、福井県(1997)<1981年以前>、岡山県(2003)、広島県(1997)、香川県(1997)、沖縄県(1997)、千葉市(1996)、川崎市(1997)などがある。

表Ⅲ-1-24 RC造の被害判定基準パラメータ

| 自治体名 | <i>a</i> | <i>b</i> |
|---|----------|----------|
| 埼玉県(98) | 0.45 | 0.54 |
| 東京都防災会議(1991) 新潟県(98), 長野県(02), 岐阜県(04)〈大破〉, 福岡県(97), 宮崎県(97) | 0.25 | 0.5 |
| 島根県(97) | 0.26 | 0.42 |

表Ⅲ-1-25 S造の被害判定基準パラメータ

| 自治体名 | <i>a</i> | <i>b</i> |
|---|----------|----------|
| 神奈川県(1993) 群馬県(98), 新潟県(98), 福井県(97), 長野県(02), 岐阜県(04)〈大破〉, 岡山県(03), 香川県(97)〈大規模S造〉, 宮崎県(97), 沖縄県(97)〈大規模S造〉, 千葉市(96)〈大規模S造〉, 川崎市(97) | 1/7 | 1/5 |
| 埼玉県(98) | 1/7 | 1.1/7 |
| 島根県(97) | 1/7.5 | 1/6.5 |
| 広島県(97)〈非住宅〉 | 1/8.4 | 1/6 |
| 福岡県(97) | 1/10 | 1/7 |

○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・中破ともに判定基準の閾値を3/4倍している。

○岐阜県(04)では...

RC造(大破)の判定基準として、東京都防災会議(1991)の値 $I_S / I_{SO} \leq 0.25$ を採用し大破率を求めている。さらに、全壊率・半壊率については、東京都防災会議(1991)や小野瀬(1984)を参考に、大破率の30%を全壊率、大破率の70%を半壊率としている。

S造については、神奈川県(1993)の判定基準 $I_S / I_{SO} \leq 1/7$ を採用し大破率を求めている。全壊率・半壊率は、RC造の場合と同様にそれぞれ大破率の30%、70%としている。

② 神奈川県(1985)の手法

○採用自治体：青森県(97)<RC造>, 広島市(97)

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-1-22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<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_{V0} 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.

$$\text{大破} : V_R \leq V_I / 2$$

$$\text{中破} : V_I / 2 < V_R \leq 2V_I / 3$$

④ 仙台市(2002)の手法<RC造>

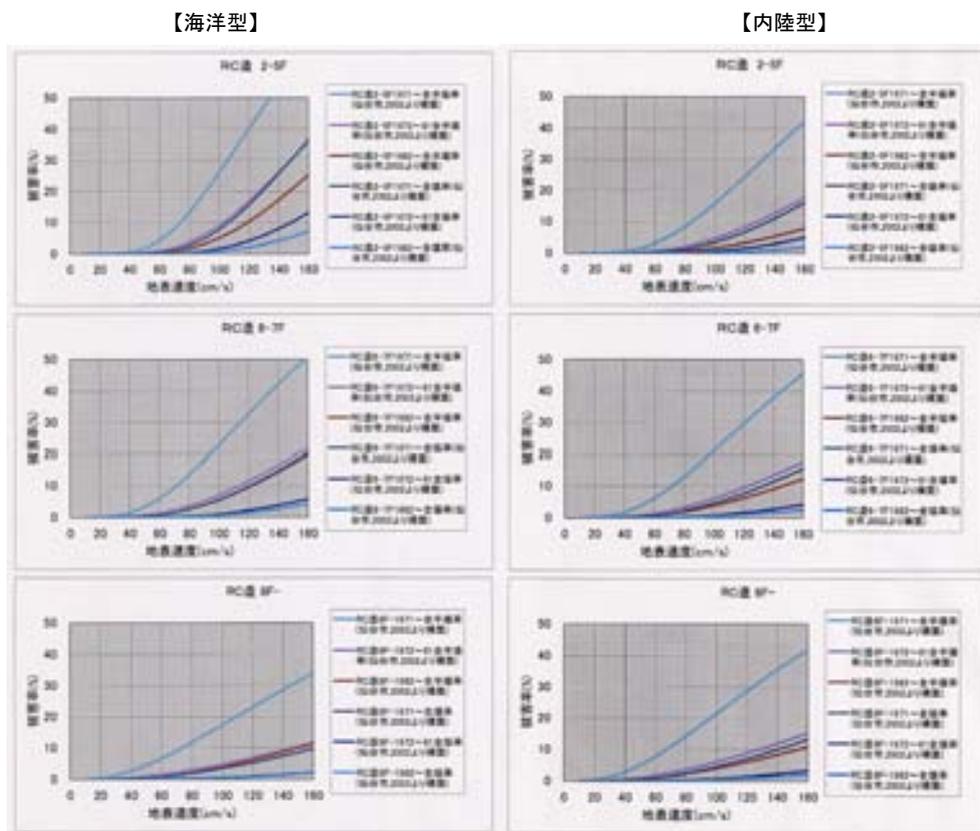
○採用自治体：宮城県(04), 仙台市(02)

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いる。算出手順の概略は以下のとおり。

- 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。
- 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。
- 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-1-21 宮城県(2004)におけるRC造建物の被害率曲線

⑤ 中村(1997)の手法

○採用自治体：山口県(97)

非木造建物の被害率を、作用震度 K (=応答加速度/重力加速度) から求める.

$$\text{大破率} = \begin{cases} 0 & (K \leq 0.9) \\ \frac{1000K}{18} - 50 & (0.9 < K \leq 2.7) \\ 100 & (2.7 < K) \end{cases}$$
$$\text{中破率} = \begin{cases} 0 & (K \leq 0.45) \\ \frac{1000K}{9} - 50 & (0.45 < K \leq 0.9) \\ \left(\frac{1000K}{9} - 50\right) - \left(\frac{1000K}{18} - 50\right) & (0.9 < K \leq 1.35) \\ 100\left(\frac{1000K}{18} - 50\right) & (1.35 < K \leq 2.7) \\ 0 & (2.7 < K) \end{cases}$$

次式を用いて、これらの大破率、中破率を全壊率、半壊率に変換する.

$$\text{全壊率} = \text{大破率}/3$$

$$\text{半壊率} = \text{大破率} \times 2/3 + \text{中破率}/3$$

(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), 東京都(97)

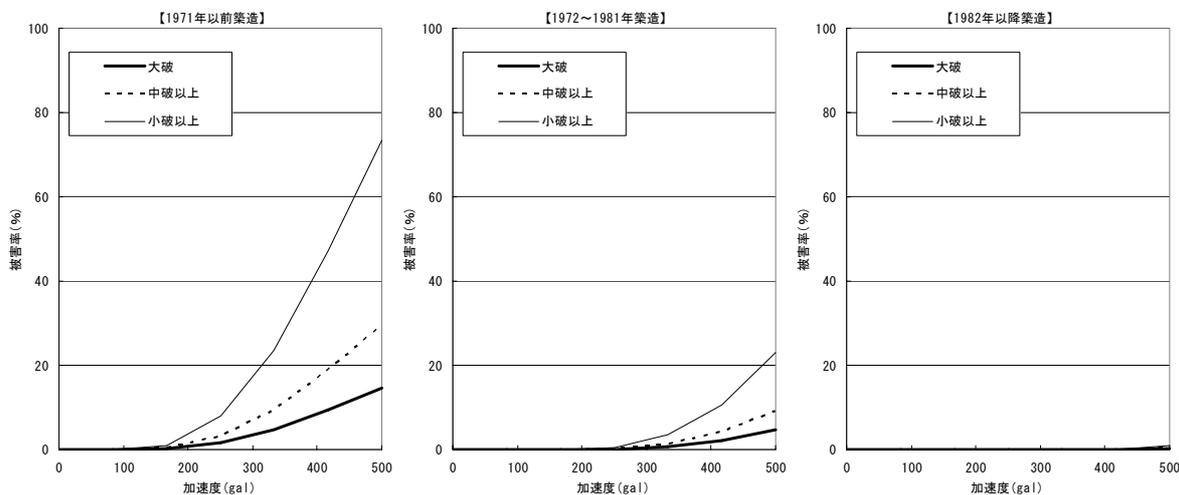
R C造：中埜・岡田(1989)の方法によるシミュレーションに基づき，加速度と被害率の関係を設定。

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-1-26 加速度とRC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：%)

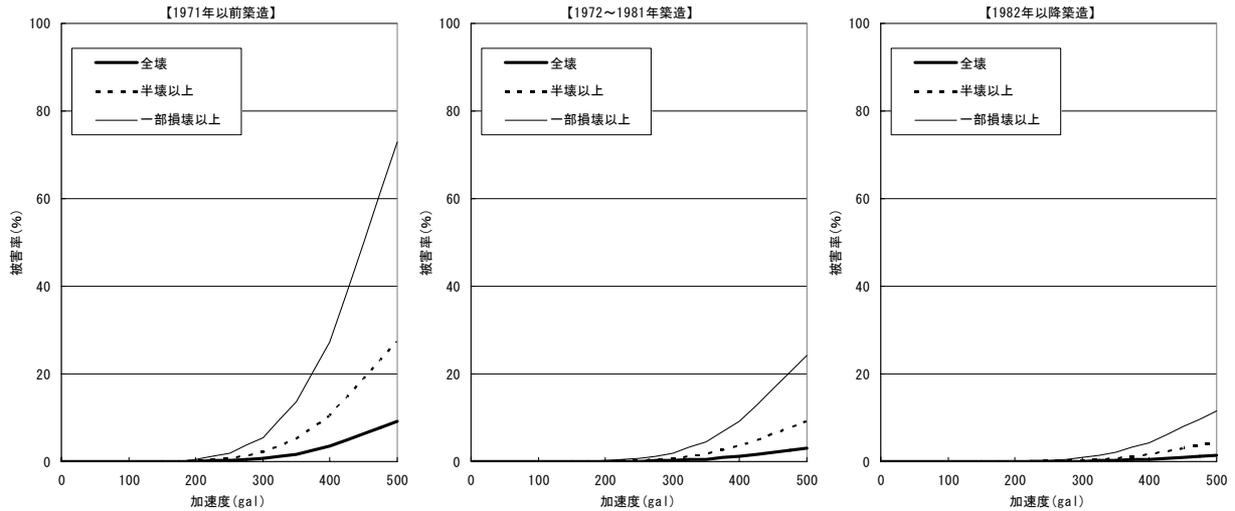


図Ⅲ-1-22 加速度とRC造建物被害率(東京都(1997)より作成)

表Ⅲ-1-27 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-1-23 加速度とS造建物被害率(東京都(1997)より作成)

② Miyakoshi et al. (1997)の手法

○採用自治体：栃木県(04), 愛知県(03), 愛媛県(02)

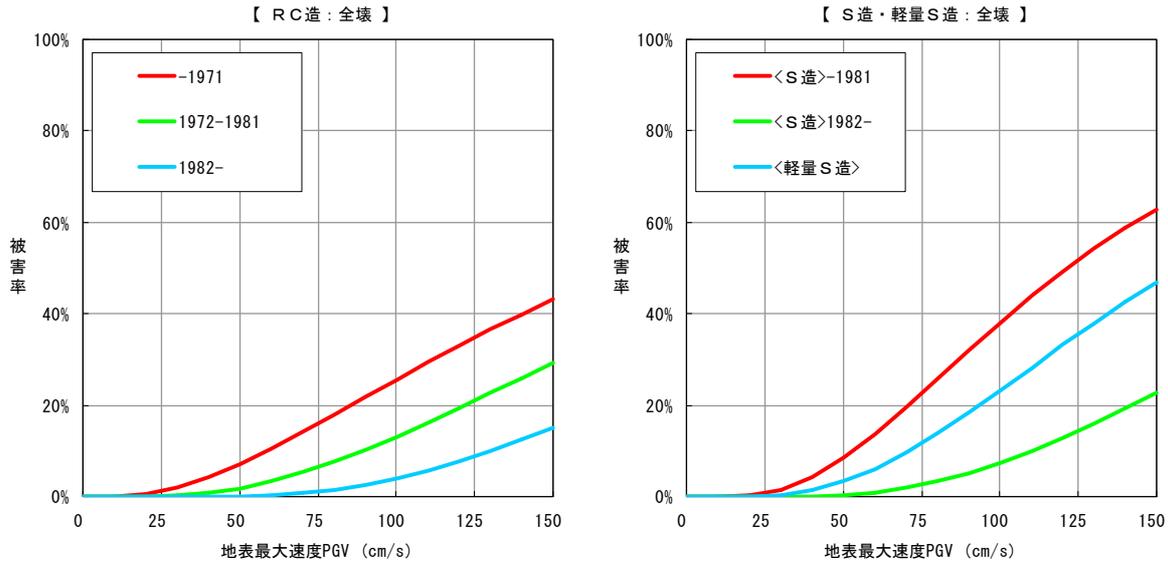
兵庫県南部地震(1995)の神戸市の被害実績から、地表最大速度 PGV と建物被害率の関係を設定している。建物被害率 $P_R(PGV)$ は、標準正規分布の累積確率分布関数 Φ を用いて、対数正規分布で表せると仮定し、分布のパラメータを最小二乗法により求めている。

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

ただし、 λ 、 ζ は $\ln(PGV)$ の平均値および標準偏差

表Ⅲ-1-28 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-1-24 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樣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)

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

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

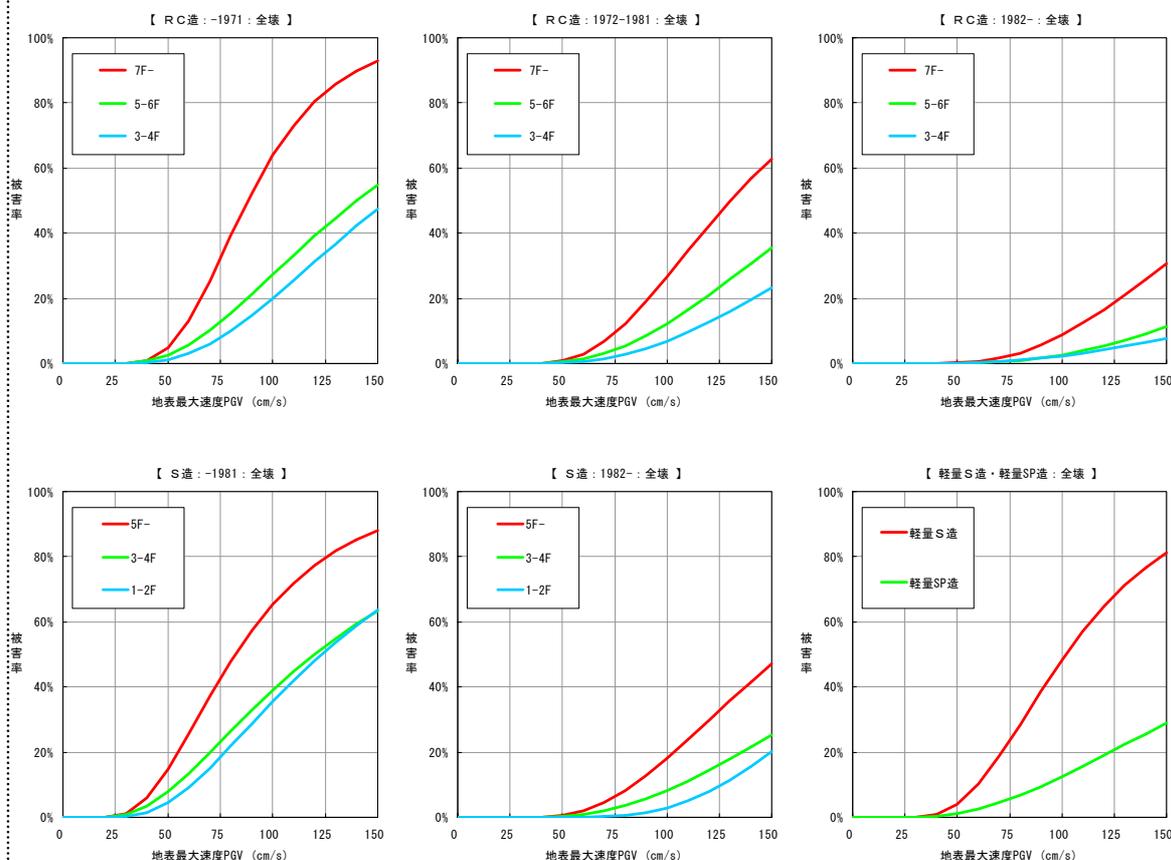
V' : 地域の最大速度(cm/s)

λ, ζ : $\ln(PGV)$ の平均値および標準偏差

表Ⅲ-1-29 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-1-25 非木造建物の被害率曲線【全壊】(栃木県(2004)より作成)

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．

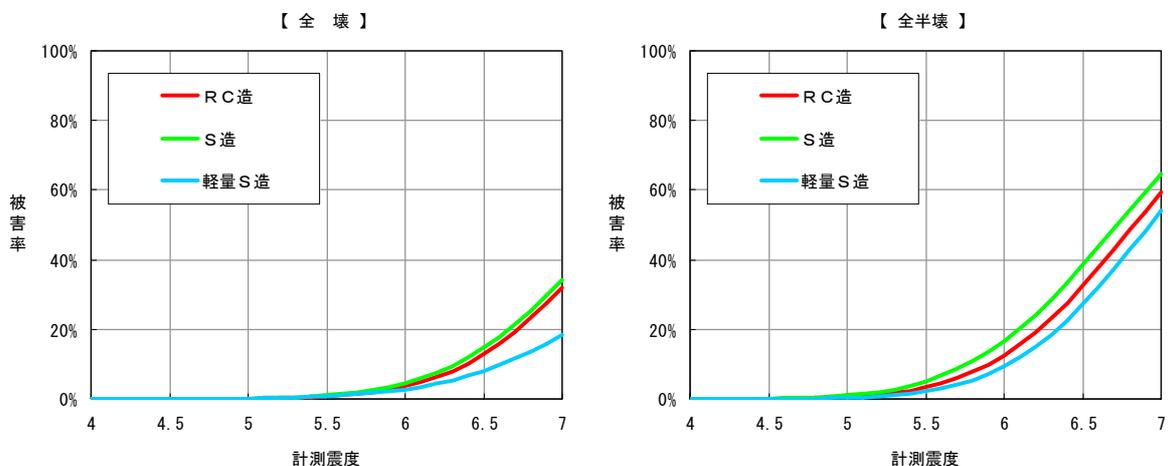
$$\langle PGA, PGV, SI \rangle \quad P_R(x) = \Phi\left(\frac{\ln(x) - \lambda}{\zeta}\right) \quad \lambda, \zeta \text{ は } \ln(x) \text{ の平均値および標準偏差}$$

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

表Ⅲ-1-30 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 |
| 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 |
| 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) 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-1-26 徳島県(2005)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)

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。

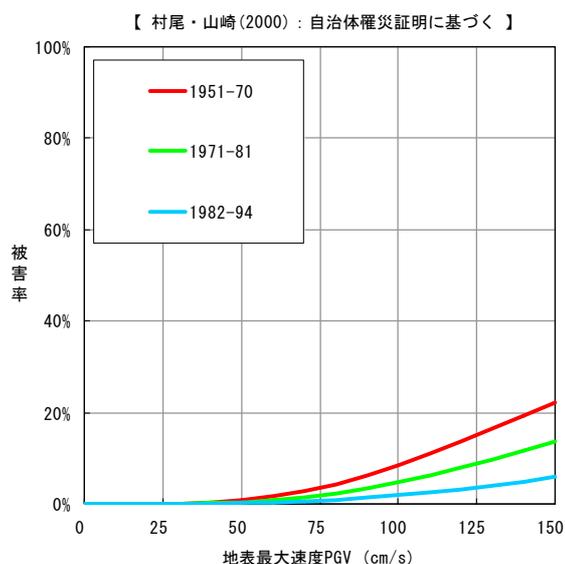
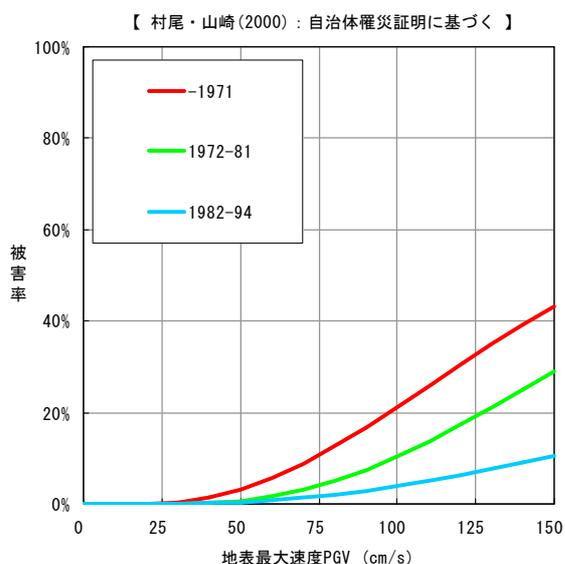
$$P_R(PGV) = \Phi\left(\frac{\ln(PGV) - \lambda}{\zeta}\right)$$

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-1-31 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 | | |
| 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 | | | | | | |

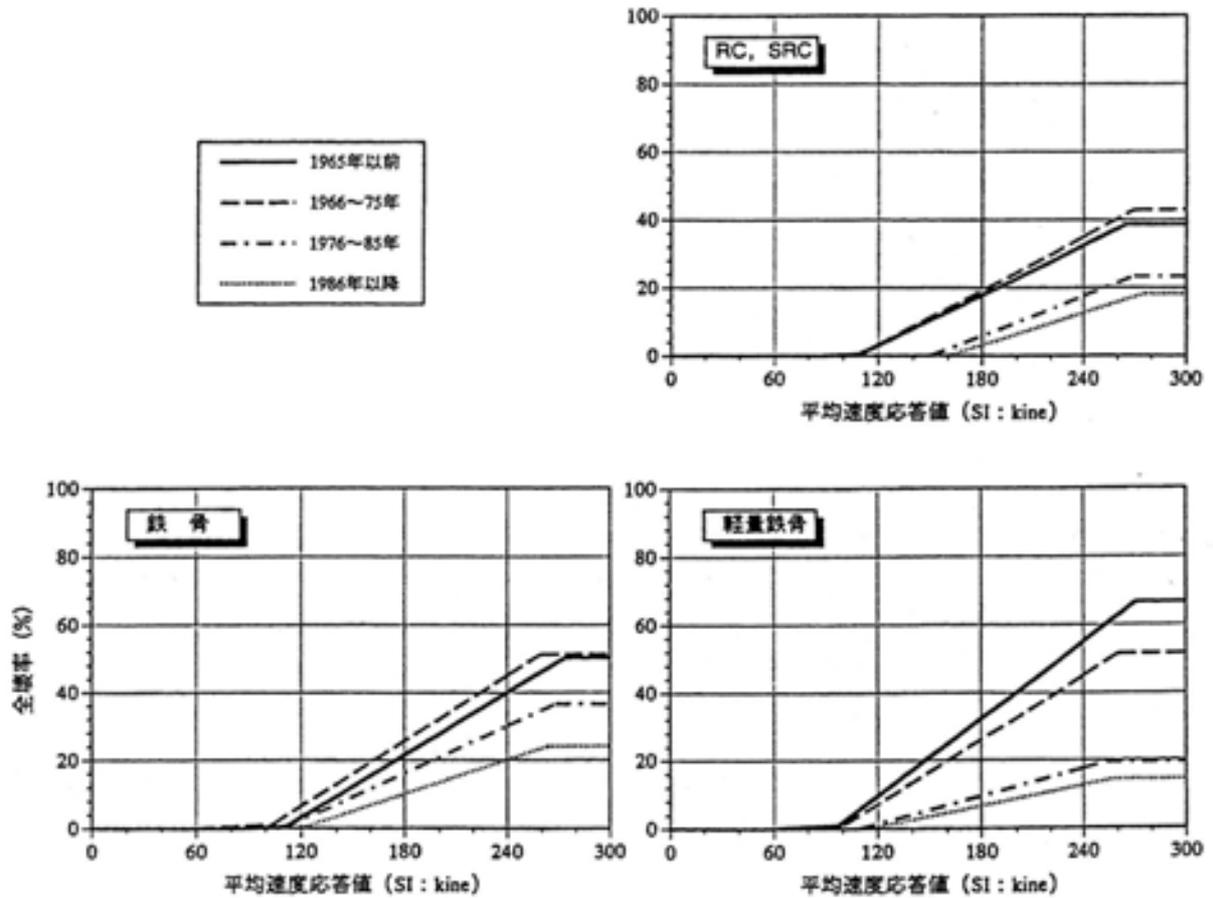


図Ⅲ-1-27 RC造建物の被害率曲線【全壊】(村尾・山崎(2000, 2002)より作成)

⑤ 大阪府(1997)の手法

○採用自治体：滋賀県(05), 大阪府(97)

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-1-28 平均速度応答値と非木造建物全壊率(大阪府, 1997)

⑥ 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 (%)

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

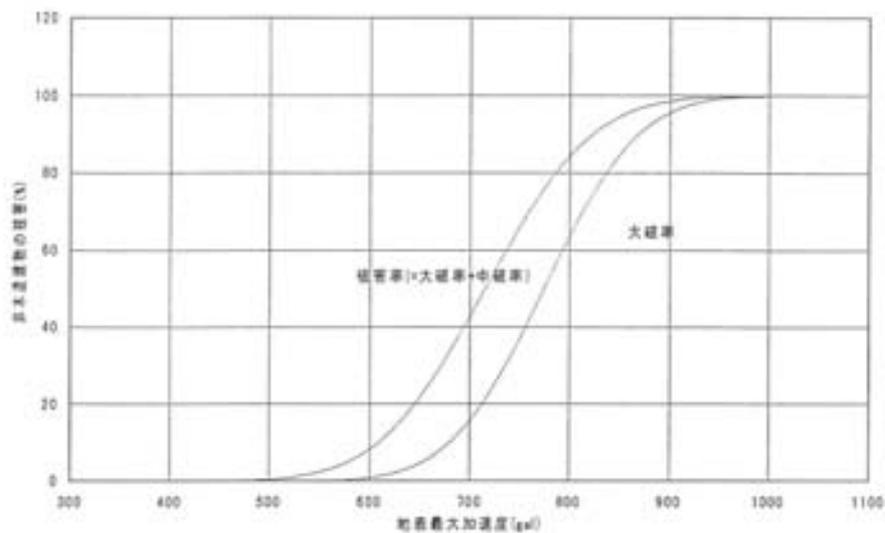
ただし、 K ：地表最大加速度／重力加速度

K_0, σ ： $K_0=0.79$ $\sigma=0.075$

■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, σ ： $K_0=0.73$ $\sigma=0.085$

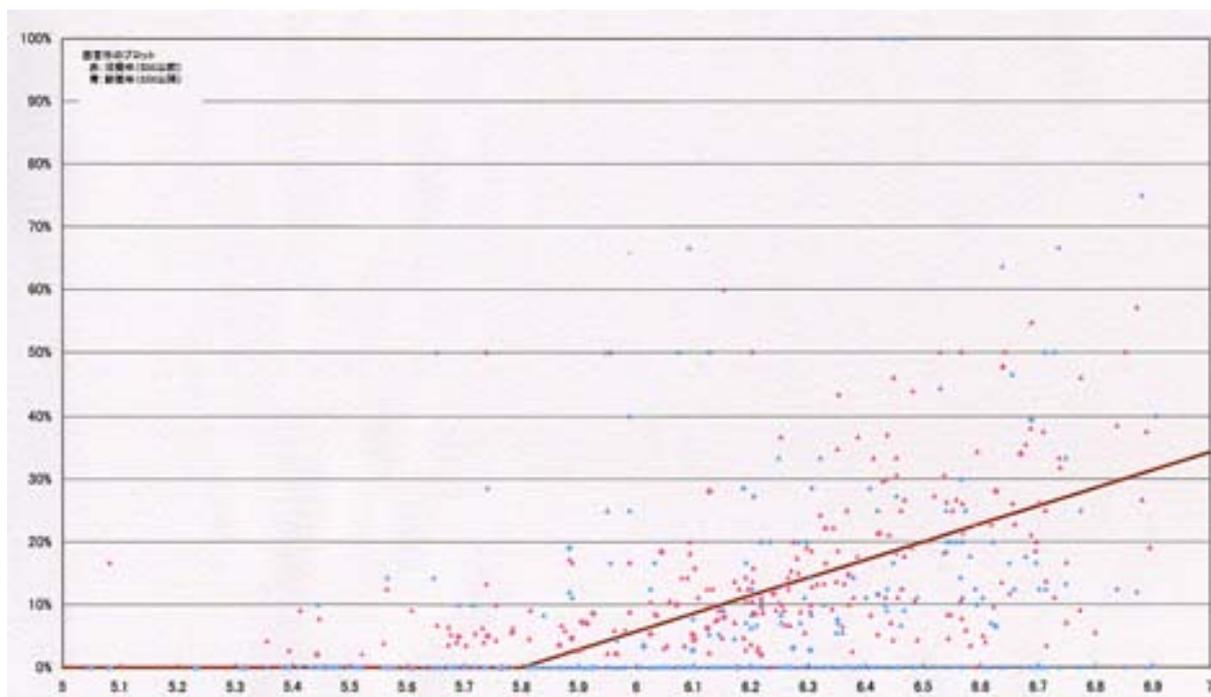


図Ⅲ-1-29 地表最大加速度と非木造建物被害の関係(兵庫県, 1999)

⑦ 中央防災会議(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-1-30 計測震度と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．

⑧ 高知県(2004)の手法

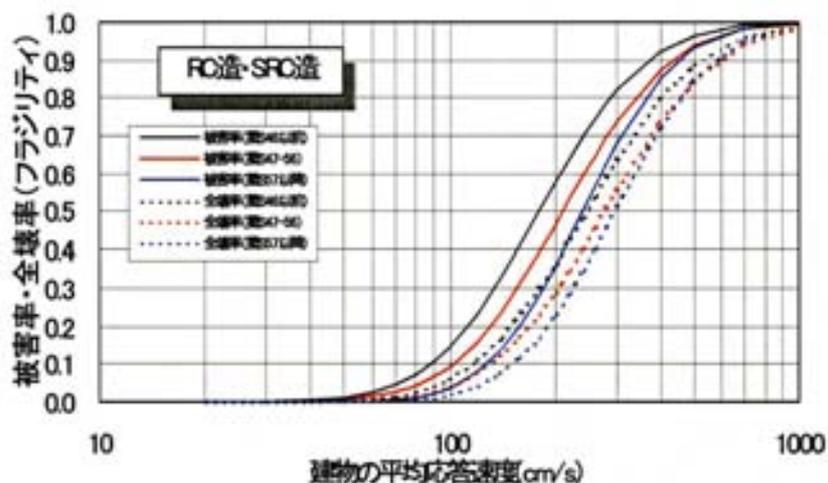
○採用自治体：高知県(04)

高知県(2004)では、兵庫県南部地震(1995)の被害データを参考に応答解析による考え方を加味して被害率曲線を求めている。

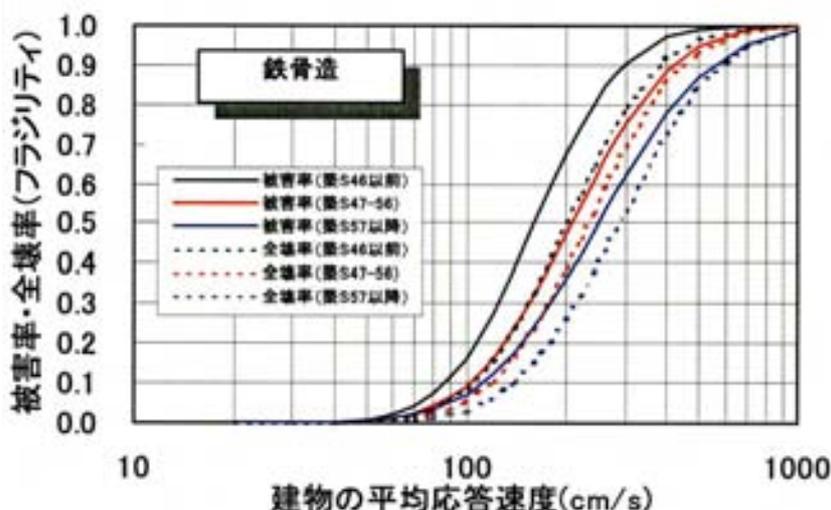
RC造・S造建物の固有周期分布(対数正規分布)は、平均的な高層建物階数、固有周期と建物高さの関係(<RC造> $T=0.02 \cdot h$ <S造> $T=0.03 \cdot h$ h :建物高さ(m))から図Ⅲ-1-17のように設定している。地震動指標としては平均応答速度を採用しており、その理由として、「損傷や破壊を伴う建物の被害は、建物に作用する地震力(加速度に比例)とその作用時間との積に大きく依存し、加速度×時間に相当する建物の揺れの速さが深く関係していると考えられる」ことを挙げている。

被害率曲線は、対数正規分布で表せるとして作成しているが、その留意点として次のような点を指摘している。

- ・兵庫県南部地震(1995)の建物被害データに基づく平均的な全壊率・被害率の近似曲線であり、ばらつきを考えると、上・下(大・小)に倍・半分ほどの差を伴った被害率曲線がありうる



図Ⅲ-1-31 RC造建物の被害率曲線(高知県, 2004)



図Ⅲ-1-32 S造建物の被害率曲線(高知県, 2004)

表Ⅲ-1-32 各自治体のゆれによる建物被害予測手法

| 自治体 | 木造 | 非木造 | | | |
|----------|--|---|---|---|----------------------------|
| | | R C造 | S造 | 軽量S造 | その他 |
| 青森県(97) | (応) 東京都防災会議(1985,1991)・神奈川県(1993)改 〈全壊〉中央防災会議(2003) | (応) 神奈川県(1985) | (応) 損保算定会(1991),天国・望月(1993) | — | — |
| 岩手県(04) | (被) 東京都防災会議(1985,1991)・神奈川県(1993)改 〈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) | S造手法 | S造手法 |
| 秋田県(97) | (応) 東京都防災会議(1985,1991)・神奈川県(1993) | (応) 東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993) | (応) 東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993) | S造手法 | — |
| 山形県(02) | (被-応) 独自 | (被-応) 独自 | (被-応) 独自 | 木造手法(1951-被害率の1/4に設定) | — |
| 福島県(98) | (被-応) (手法不明) | (被-応) (手法不明) | | | |
| 栃木県(04) | (被) 東京都防災会議(1985,1991)・神奈川県(1993)改 〈大破・中破〉宮腰ら(2003) | (被) 東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)改 〈大破・中破〉宮腰ら(2003) | (被) 東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)改 〈大破・中破〉宮腰ら(2003) | 〈全壊・半壊〉Miyakoshi et al(1997)改 〈大破・中破〉宮腰ら(2003) | — |
| 群馬県(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) | (応) 東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993) | 木造手法(固有周期 $T=7-6$) | R C造手法(1971年以前RC造2階建) |
| 埼玉県(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)改 | 木造手法 | — |
| 東京都(97) | (被) 東京都(1997) | (被) 東京都(1997) | (被) 東京都(1997) | — | 木造手法 |
| 神奈川県(99) | (被) 国土庁(1998) 〈中破〉東京都(1997)を参考に全壊率の3倍に設定 | (被) 国土庁(1998) 〈中破〉東京都(1997)を参考に全壊率の2倍に設定 | | | |
| 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) | 木造手法 | 木造手法 |
| 富山県(01) | (応) (手法不明) | (応) (手法不明) | (応) (手法不明) | — | — |
| 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) 東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)改 | 〈S造住宅〉木造手法 | — |
| 山梨県(05) | (被) 東京都防災会議(1985,1991)・神奈川県(1993)改 〈全壊・半壊〉村尾・山崎(2000) 〈大破・中破〉村尾・山崎(2002) | (被) 東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)改 〈全壊・半壊〉村尾・山崎(2000) 〈大破・中破〉村尾・山崎(2002) | (被) 東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)改 〈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) | 木造手法 | 木造手法 |
| 岐阜県(04) | (被) 独自 | (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 〈工場など〉R C造手法 | 木造手法(最も強いグループの被害率) | R C造手法(1970以前2階建の被害率) |
| 静岡県(01) | (被) 独自 | (応) 独自 | (被) 独自 | S造手法 | R C造手法 |
| 愛知県(03) | (被) 東京都防災会議(1985,1991)・神奈川県(1993)改 〈大破・中破〉宮腰ら(2003) | (被) 東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)改 〈大破・中破〉宮腰ら(2003) | (被) 東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)改 〈大破・中破〉宮腰ら(2003) | 〈全壊・半壊〉Miyakoshi et al(1997)改 〈大破・中破〉宮腰ら(2003) | — |
| 三重県(05) | (被) (手法不明) | (被) (手法不明) | (被) (手法不明) | — | — |
| 滋賀県(05) | (被) 大阪府(1997) | (被) 大阪府(1997) | (被) 大阪府(1997) | 大阪府(1997) | — |
| 京都府(98) | (被) (手法不明) | (被) (手法不明) | | | |
| 大阪府(97) | (被) 大阪府(1997) | (被) 大阪府(1997) | (被) 大阪府(1997) | 大阪府(1997) | — |
| 兵庫県(99) | (被) 直下型(高田・高田(1996)改) 海溝型(静岡県(1978)) | (被) 高田・高田(1996)改 | | | |
| 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 | | | |
| 鳥取県(05) | (被) 独自 | (被) 独自 | (被) 独自 | — | — |
| 島根県(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) 東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)改 〈非住家3F〉東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)改 | 〈S造住宅・非住家1-2F〉木造手法 | R C造手法 |
| 岡山県(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 | — | — |
| 広島県(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) 東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)改 | 木造手法(1971以降) | R C造手法(1971以前) |
| 山口県(97) | (応) 三重県(1992) | (応) 中村(1997) | | | |
| 徳島県(05) | (被) 山口・山崎(2000) | (被) 山口・山崎(2000) | (被) 山口・山崎(2000) | 山口・山崎(2000) | — |
| 香川県(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) 東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)改 〈大規模S造〉東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)改 | 〈S造一般住宅〉木造手法(固有周期 $T=7-6$) | R C造手法(1971以前2階建) |
| 愛媛県(02) | (被) Miyakoshi et al(1997) | (被) Miyakoshi et al(1997) | (被) Miyakoshi et al(1997) | S造手法 | 木造手法 |
| 高知県(04) | (被-応) 独自 | (被-応) 独自 | (被-応) 独自 | — | 木造手法 |
| 福岡県(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) 東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)改 〈非住家〉東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)改 | 〈S造住宅〉木造手法 | R C造手法 |
| 佐賀県(97) | (応) 東京都防災会議(1985,1991)・神奈川県(1993) | (応) 志賀(1994)改 | (応) 独自 | 木造手法 | — |
| 長崎県(98) | (応) (手法不明) | (応) (手法不明) | (応) 非住家(手法不明) | 〈S造住宅〉木造手法 | — |
| 宮崎県(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) 東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)改 | 木造手法 | 木造手法 |
| 鹿児島県(97) | (応) (手法不明) | (応) (手法不明) | (応) (手法不明) | — | — |
| 沖縄県(97) | (応) 東京都防災会議(1985,1991)・神奈川県(1993) | (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 〈大規模S造〉東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)改 | 〈S造一般住宅〉木造手法(固有周期 $T=7-5$) | R C造手法(1971以前2階建) |
| 札幌市(97) | (応) 東京都防災会議(1985,1991)・神奈川県(1993) | (被) (手法不明) | (応) (手法不明) | — | — |
| 仙台市(02) | (被-応) 仙台市(2002) | (応) 仙台市(2002) | (被) 石田・水越(1998) | — | Miyakoshi et al(1997)〈RC造〉 |
| 千葉市(96) | (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 〈大規模S造〉東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)改 | 〈S造一般住宅〉木造手法(固有周期 $T=7-6$) | R C造手法(1971以前2階建) |
| 川崎市(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) 東京都防災会議(1991)・神奈川県(1993)改 | S造手法 | R C造手法 |
| 名古屋市(99) | (被) 独自 | (被) 独自 | (被) 独自 | 独自 | — |
| 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 | — | — |
| 広島市(97) | (応) 東京都防災会議(1985,1991)・神奈川県(1993)改 | (応) 神奈川県(1985) | (応) 神奈川県(1985) | S造手法 | — |

(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)

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る。

- (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(1997)の手法
- (5) 中央防災会議(2003)の手法
- (6) 山口県(1997)の手法<非木造>
- (7) 広島市(1997)の手法<非木造>
- (8) 大阪府(1997)の手法
- (9) 愛知県(2003)の手法
- (10) 鳥取県(2005)の手法

(1) 望月・荇本(1989)の手法

① 木造

○採用自治体：青森県(97), 宮城県(04), 新潟県(98), 富山県(01), 福井県(97), 長野県(02), 島根県(97), 岡山県(03), 広島県(97), 山口県(97), 香川県(97), 愛媛県(02), 長崎県(98), 宮崎県(97), 鹿児島県(97), 沖縄県(97), 札幌市(97), 仙台市(02), 千葉市(96), 川崎市(97), 広島市(97)

望月・荇本(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%)

○富山県(01), 札幌市(97), 広島市(97)では...

液状化地域 : P_L 値が15以上の地域 (全壊率 10%, 半壊率 20%)
 P_L 値が5以上の地域 (全壊率 5%, 半壊率 10%)

○宮崎県(97)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), 秋田県(97), 群馬県(98), 新潟県(98), 富山県(01)<RC造>, 福井県(97), 長野県(02), 岐阜県(04), 島根県(97), 岡山県(03), 広島県(97), 香川県(97), 福岡県(97), 長崎県(98), 鹿児島県(97), 沖縄県(97), 札幌市(97), 仙台市(02), 千葉市(96), 川崎市(97)

望月・荇本(1989)は、新潟地震(1964)での液状化による非木造建物(RC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、RC造・S造ともに、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（RC造+SRC造，S造）・階数別の基礎構造の割合を設定している。

表Ⅲ-1-33 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 | |
| RC造+SRC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),札幌市(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-1-34 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 |
| RC造+SRC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-1-35 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 |
| RC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% |

(2) 東京都(1997)の手法

○採用自治体：岩手県(04), 埼玉県(98), 東京都(97), 山梨県(05)

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-1-36 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% |

② RC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をもとに大破率、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-1-37 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-1-38 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：秋田県(97), 群馬県(98), 岐阜県(04), 福岡県(97) <いずれも木造. 岐阜県のみ+S造住宅>

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

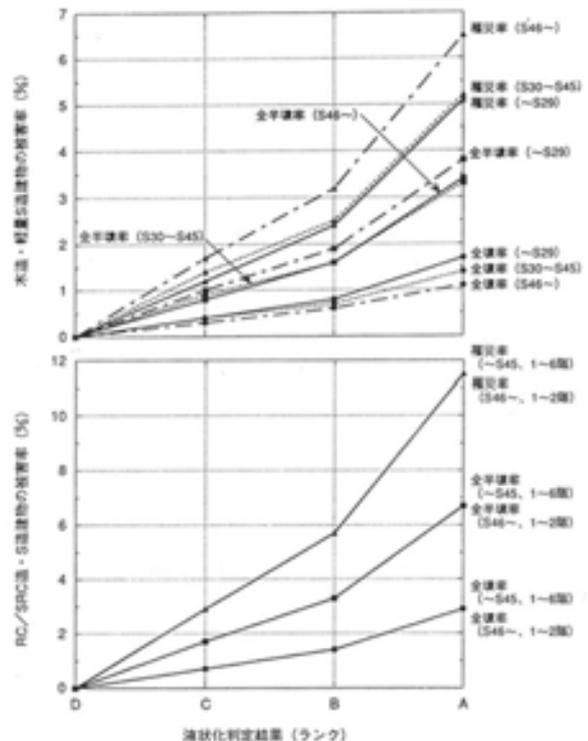
B_1 …独立基礎

B_2 …有鉄筋布基礎

(4) 名古屋市(1997)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-1-33 液状化による建物被害関数
(名古屋市, 1997)

(5) 中央防災会議(2003)の手法

○採用自治体：三重県(05), 奈良県(05), 高知県(04)

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

| | | |
|-----|---------|--------------------------------------|
| ：木造 | 1960年以前 | 13.3% |
| | 1961年以降 | 9.6% |
| 非木造 | 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%) |

液状化面積率：ランクA ($P_L > 15$) 18%
 ランクB ($15 \geq P_L > 5$) 5%
 ランクC ($5 \geq P_L > 0$) 2%

(6) 山口県(1997)の手法<非木造>

非木造建物の液状化による被害率は, 川崎市(1988)から, 建築年代, 加速度に関係なく, 大破率20%, 中破率30%としている. その大破率, 中破率を非液状化地域と同様に以下の式を用いて変換し, 全壊率6.7%, 半壊率23.3%としている.

$$\text{全壊率} = \text{大破率}/3$$

$$\text{半壊率} = \text{大破率} \times 2/3 + \text{中破率}/3$$

(7) 広島市(1997)の手法<非木造>

P_L 値が15以上の地域に存在する非木造建物のうち, 直接基礎の建物の30%が大破の被害を受け, 支持くい建物は無被害としている. 非木造建物の基礎形式については, 建築確認申請の実績に基づき下表のように設定している.

表Ⅲ-1-39 基礎形状別の建物存在率(広島市, 1997)

| | RC造 | | | | S造 | | | 被害判定 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1-2F | 3F | 4-7F | 8F- | 1-3F | 4-7F | 8F- | |
| 支持くい | 5% | 10% | 90% | 100% | 1% | 25% | 100% | 無被害 |
| 直接基礎 | 95% | 90% | 10% | 0% | 99% | 75% | 0% | 大破 |
| 合計 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | |

(8) 大阪府(1997)の手法

○採用自治体：滋賀県(05), 大阪府(97)

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-1-40 【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-1-41 【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)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。

(9) 愛知県(2003)の手法

○採用自治体：栃木県(04), 愛知県(03)

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-1-42 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-1-43 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-1-44 非木造建物の杭打ち率(栃木県, 2004)

| 区分 | RC造(SRC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% |

(10) 鳥取県(2005)の手法

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)によるものを用いている(表Ⅲ-1-44)。

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-1-45 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-1-46 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% |

表Ⅲ-1-47 各自治体の液状化による建物被害予測手法

| 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・荇本(1989)〈地域性〉 | 望月・荇本(1989) | 望月・荇本(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 |
| 宮城県(04) | 望月・荇本(1989) | 望月・荇本(1989) | 望月・荇本(1989) | PL>20 | (詳細不明) |
| 秋田県(97) | 谷口・飯田(1986) | 望月・荇本(1989) | 望月・荇本(1989) | 〈木造〉 PL>0 〈非木造〉 (詳細不明) | 大きい方を採用 |
| 山形県(02) | 独自 | 独自 | R C造と同じ被害率 | 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 |
| 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(98) | 谷口・飯田(1986) | 望月・荇本(1989) | 〈非住宅〉望月・荇本(1989) 〈住宅〉谷口・飯田(1986) | (詳細不明) | 大きい方を採用 |
| 埼玉県(98) | 東京都(1997) | 東京都(1997) | 東京都(1997) | PL>0 | (詳細不明) |
| 東京都(97) | 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 |
| 新潟県(98) | 望月・荇本(1989) | 望月・荇本(1989) | 〈S造〉望月・荇本(1989) 〈軽量S造〉木造手法 | PL>20 | (詳細不明) |
| 富山県(01) | 望月・荇本(1989) | 望月・荇本(1989) | 望月・天国(1986) | PL>5 | 大きい方を採用 |
| 福井県(97) | 望月・荇本(1989) | 望月・荇本(1989) | 望月・荇本(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・荇本(1989) | 望月・荇本(1989) | 〈S造〉望月・荇本(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 |
| 岐阜県(04) | 谷口・飯田(1986) | 望月・荇本(1989) | 望月・荇本(1989) | 〈木造〉 PL>0 〈非木造〉 PL>30 | ゆれ被害は液状化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(05) | 中央防災会議(2003) | 中央防災会議(2003) | | PL>0 | (詳細不明) |
| 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(97) | 大阪府(1997) | 大阪府(1997) | | (詳細不明) | 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) | 独自 | 独自 | 独自 | PL>15 | ゆれ被害は液状化非発生面積を対象とする |
| 島根県(97) | 望月・荇本(1989) | 望月・荇本(1989) | 望月・荇本(1989) | (詳細不明) | (詳細不明) |
| 岡山県(03) | 望月・荇本(1989) | 望月・荇本(1989) | 望月・荇本(1989) | PL>15 | 大きい方を採用 |
| 広島県(97) | 望月・荇本(1989) | 望月・荇本(1989) | 望月・荇本(1989) | PL>15 | 大きい方を採用 |
| 山口県(97) | 望月・荇本(1989) | 川崎市(1988) | | PL>15 | ゆれ被害は液状化非発生地域を対象とする |
| 徳島県(05) | 静岡県(2001) | 静岡県(2001) | | PL>0 | ゆれ被害は液状化非発生面積を対象とする |
| 香川県(97) | 望月・荇本(1989) | 望月・荇本(1989) | 〈非住宅〉望月・荇本(1989) 〈住宅〉木造手法 | PL>15 | 大きい方を採用 |
| 愛媛県(02) | 望月・荇本(1989) | 名古屋市(1997) | 〈S造〉望月・荇本(1989) 〈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(04) | 中央防災会議(2003) | 中央防災会議(2003) | | PL>0 | 別々に評価 |
| 福岡県(97) | 谷口・飯田(1986) | 望月・荇本(1989) | 望月・荇本(1989) | 〈木造〉 PL>0 〈非木造〉 PL>15 | 大きい方を採用 |
| 佐賀県(97) | 独自 | 独自 | | (詳細不明) | (詳細不明) |
| 長崎県(98) | 望月・荇本(1989) | 望月・荇本(1989) | 〈非住宅〉望月・荇本(1989) 〈住宅〉木造手法 | PL>15 | 大きい方を採用 |
| 宮崎県(97) | 望月・荇本(1989) | 望月・荇本(1989) | 〈S造〉望月・荇本(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・荇本(1989) | 望月・荇本(1989) | 望月・荇本(1989) | PL>15 | 大きい方を採用 |
| 沖縄県(97) | 望月・荇本(1989) | 望月・荇本(1989) | 〈大規模〉望月・荇本(1989) 〈住宅〉木造手法 | PL>15 | 〈木造〉大きい方を採用 〈非木造〉(詳細不明) |
| 札幌市(97) | 望月・荇本(1989) | 望月・荇本(1989) | 望月・荇本(1989) | | 大きい方を採用 |
| 仙台市(02) | 望月・荇本(1989) | 望月・荇本(1989) | 望月・荇本(1989) | PL>20 | (詳細不明) |
| 千葉県(96) | 望月・荇本(1989) | 望月・荇本(1989) | 〈非住宅〉望月・荇本(1989) 〈住宅〉木造手法 | PL>15 | 大きい方を採用 |
| 川崎市(97) | 望月・荇本(1989) | 望月・荇本(1989) | 望月・荇本(1989) | PL>15 | 大きい方を採用 |
| 名古屋市(99) | 名古屋市(1997) | 名古屋市(1997) | 〈S造〉R C造手法 〈軽量S造〉木造手法 | PL>0 | 別々に評価 |
| 広島市(97) | 望月・荇本(1989) | 独自 | 独自 | 〈木造〉 PL>5 〈非木造〉 PL>15 | 大きい方を採用 |

(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(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に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-1-47にまとめている。①の考え方を採用している自治体が最も多いが、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)の手法
- ② 東京都(1997)の手法
- ③ 福岡県(1997)の手法

(2) 宅地造成地の被害

- ① 静岡県(2001)の手法<木造家屋>

(1) 斜面崩壊による建物被害

① 静岡県(2001)の手法

○採用自治体：山梨県(05), 静岡県(01), 奈良県(05), 鳥取県(05), 徳島県(05), 高知県(04)

静岡県(2001)では、図Ⅲ-1-34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、対策工の効果を検討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。

- ① 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。
- ② 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。
- ③ 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-1-48 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-1-49 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% |



図Ⅲ-1-34 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-1-50 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-1-51 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% |

② 東京都(1997)の手法

○採用自治体：埼玉県(98), 東京都(97)

東京都(1997)では、急傾斜地崩壊危険箇所（主として高さ5m以上、傾斜30度以上で、周辺に人家5戸以上または公共的建物がある斜面）を対象に、既往地震の調査結果（東京都防災会議(1991), 損害保険料率算定会(1994)など）に基づき設定した加速度別の建物被害率を用いて、斜面崩壊による建物被害を予測している。

表Ⅲ-1-52 加速度別被害率(東京都(1997)より作成)

| 加速度(gal) | 50~100 | 100~200 | 200~ |
|----------|--------|---------|------|
| 建物被害率 | 0.4% | 1.5% | 4.0% |

③ 福岡県(1997)の手法

崩壊土砂流出による人家等への影響を予測している。

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

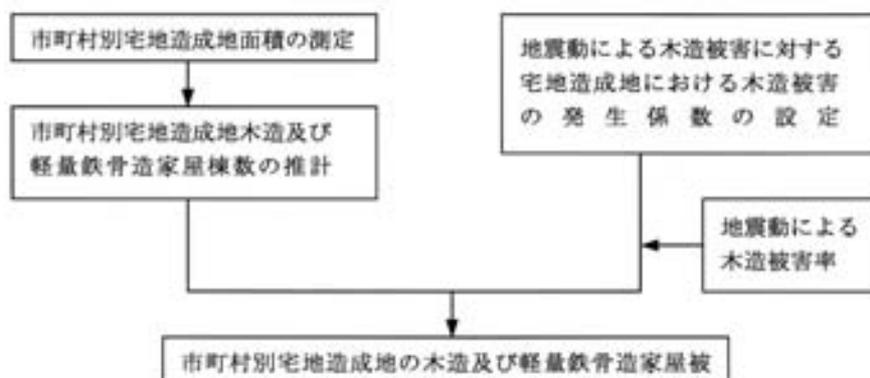
$$\text{ただし, 崩壊面積率}(\%) = 4.2 \times 10^{-8} \times (\text{地表最大加速度})^{2.95}$$

(2) 宅地造成地の被害

① 静岡県(2001)の手法<木造家屋>

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。

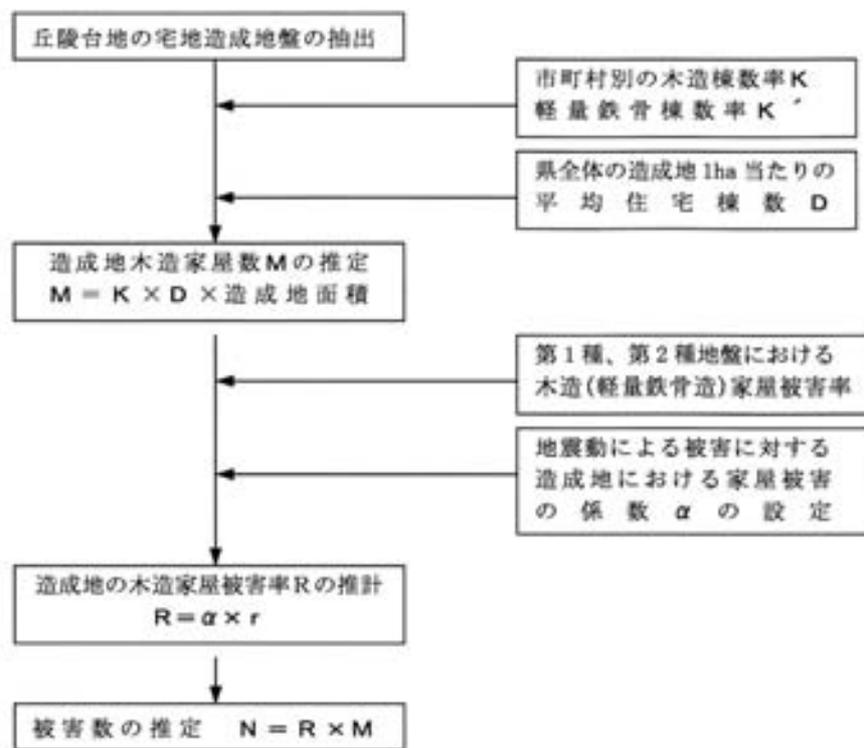
なお、丘陵地における宅地造成地を予測対象としているが、これは、平地部の宅地造成地で被害危険性の高いものは大部分が液状化危険地域に入ると考えられるためである。



図Ⅲ-1-35 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-1-36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、木造家屋数を乘じることにより、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)の際の一般の丘陵地における全・半壊比率を基に設定している。

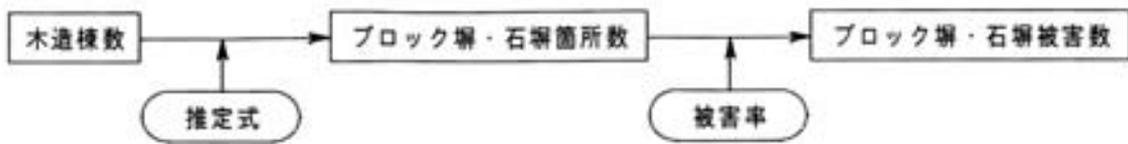


図Ⅲ-1-36 宅地造成地における木造家屋の被害予測の流れ(静岡県, 2001)

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。

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-1-37 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。

- (1) 望月ら(1980)・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

(1) 望月ら(1980)・東京都防災会議(1985)の手法

○採用自治体：青森県(97),埼玉県(98),東京都(97),富山県(01),札幌市(97),広島市(97)

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。

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

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

○東京都(97)では...

- ・ブロック塀, 石塀...上記推定関係式を使用。
- ・コンクリート塀...ブロック塀と同じ被害率推定式を採用。
- ・ブロック塀の耐震性の向上について、実地調査結果から危険度小(外見調査の結果, 現地点では特に改善が必要と思われないもの)の塀の半分は改訂耐震基準を十分に満たしており, 450gal程度の地震では被害を受けないと仮定している。

(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-1-53 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

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(%)

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、ほぼ全ての自治体で、過去の被害事例から浸水深と被害区分との関係を求めた首藤(1988)の手法が採用されている。

表Ⅲ-1-54 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) | $2.0\text{m} \leq H$ | — |
| 床上(中破・半壊) | $1.0\text{m} \leq H < 2.0\text{m}$ | — |
| 床上(軽微) | $0.5\text{m} \leq H < 1.0\text{m}$ | $0.5\text{m} \leq H$ |
| 床下浸水 | $H < 0.5\text{m}$ | $H < 0.5\text{m}$ |

| 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 第二波砕波 | 先端に砕波を伴う ものが増える。 | 第一波でも巻き波砕波を起す。 | |
| | 急斜面 | 速い潮汐 | 速い潮汐 | | | |
| 音響 | 全面砕波による連続音 (海鳴り、暴風雨) | | | | | |
| | | | | 浜での巻き波砕波による大音響 (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・ビト | 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% | | |
| 防網林被害 防網林効果 | 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-1-38 津波高と被害程度(中央防災会議, 2003)

○高知県(04)では...

内陸部における浸水では流速が弱まっており、家屋は破壊には至らないものと考え、全壊・半壊については、海岸線等に接している1km以内の範囲でのみ発生するものとしている。

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。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。

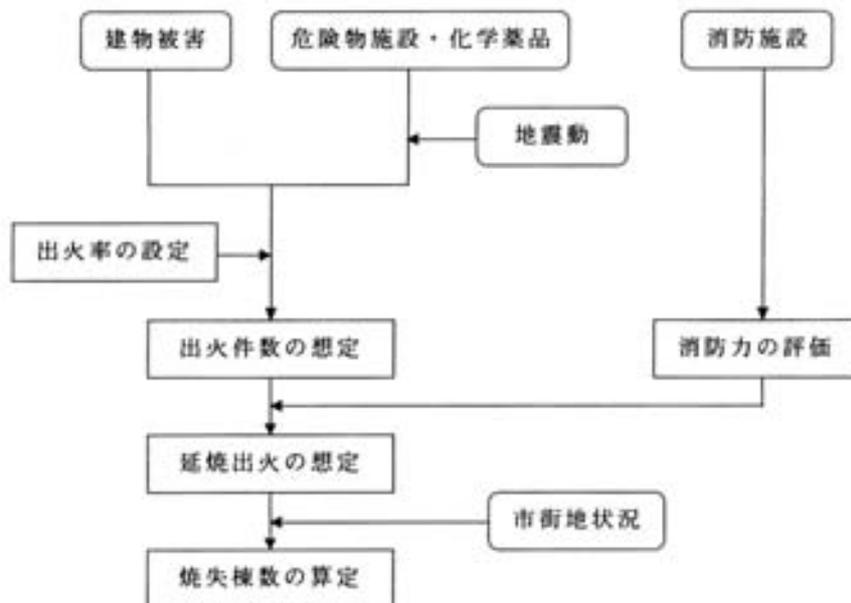
② 消防力を考慮した延焼出火件数の予測

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 出火件数の代表的な予測手法

| 出火原因 | 代表的な予測手法 | 採用自治体数 |
|--------|---|--------|
| 一般火気器具 | <input type="checkbox"/> 水野(1976) | 2 |
| | <input type="checkbox"/> 建設省総合技術開発プロジェクト(1983) | 20 |
| | <input type="checkbox"/> 神奈川県(1986) | 3 |
| | <input type="checkbox"/> 静岡県(2001)・中央防災会議(2003) | 9 |
| | <input type="checkbox"/> 東京消防庁(1987) | 2 |
| | <input type="checkbox"/> 東京消防庁(1997) | 4 |
| 危険物施設 | <input type="checkbox"/> 東京消防庁(1987) | 3 |
| | <input type="checkbox"/> 神奈川県(1993) | 11 |
| 化学薬品 | <input type="checkbox"/> 神奈川県(1986) | 5 |
| | <input type="checkbox"/> 東京消防庁(1987) | 5 |

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）一般火気器具からの出火件数

- ① 水野(1976)の手法
- ② 建設省総合技術開発プロジェクト(1983)の手法
- ③ 神奈川県(1986)の手法
- ④ 愛知県(1995)の手法
- ⑤ 静岡県(2001)・中央防災会議(2003)の手法
- ⑥ 東京消防庁(1987)の手法
- ⑦ 東京消防庁(1997)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）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

（1）一般火気器具からの出火件数

① 水野(1976)の手法

○採用自治体：山口県(97)、佐賀県(97)

水野(1976)は、建物全壊率と一般火気器具（コンロやストーブなど）からの出火率の間に強い相関があることを見出し、以下の関係式を導いている。

$$y_1 = 0.004125 \times \alpha \times \beta \times X^{0.5696} \times N$$

$$y_2 = 0.003152 \times \alpha \times \beta \times X^{0.6041} \times N$$

y_1 : 全出火件数 y_2 : 炎上出火件数

α : 時刻係数 β : 季節係数

N : 木造家屋数 X : 全壊率(%)

表Ⅲ-2-2 時刻係数 α (水野, 1976)

| 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 | | |

表Ⅲ-2-3 季節係数 β (水野, 1976)

| 季節 | β | |
|-----|---------|------|
| | 全出火 | 炎上出火 |
| 夏 | 0.38 | 0.42 |
| 春 秋 | 1.0 | 1.0 |
| 冬 | 2.65 | 2.41 |

② 建設省総合技術開発プロジェクト(1983)の手法

○採用自治体：青森県(97), 秋田県(97), 山形県(02), 群馬県(98), 新潟県(98), 富山県(01), 福井県(97), 京都府(98), 島根県(97), 岡山県(03), 広島県(97), 香川県(97), 福岡県(97), 長崎県(98), 宮崎県(97), 鹿児島県(97), 沖縄県(97), 札幌市(97), 千葉市(96), 広島市(97)

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地震の被害事例をもと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 (表Ⅲ-2-2参照)

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.

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

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

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

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

X : 全壊率

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.

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, 沖縄県, 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

- ・神戸市における全壊率から導いた予測出火件数と実際の出火件数の比 0.25
神戸市で発生した火災のうち, 地震後2時間以内に発生した件数の割合 0.4
これらの積0.1を補正係数として適用 (秋田県)
- ・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, 鹿児島県, 沖縄県, 千葉市)

③ 神奈川県(1986)の手法

○採用自治体：福島県(98), 神奈川県(99), 長野県(02)

関東地震(1923)のデータをもとに、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)

| | 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 |

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)

| | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 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 |

○神奈川県(99)では...

1986年当時と火気の使用状況が異なるため、時刻係数および季節係数の見直しを行っている。

○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。

④ 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

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

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

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

| 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 |

n : その地区の世帯数(世帯)

○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

⑤ 静岡県(2001)・中央防災会議(2003)の手法

○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), 徳島県(05), 愛媛県(02), 高知県(04)

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。

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

ただし, k : 下表の一般火気器具, 電熱器具, 電気機器・配線の合計値

表Ⅲ-2-4 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 | 0.00036 |
| 冬の5時 | 0.00018 | 0.00036 | |
| 秋の12時 | 0.00017 | 0.00035 | |

⑥ 東京消防庁(1987)の手法

○採用自治体：川崎市(97),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-2-5 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 |
| ガスオープン，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-2-6)．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-2-6 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 | 0.1468 |
| | 油鍋不使用 | 0.0002 | 0.0007 | 0.0002 | 0.0007 |
| 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 | 0.0307 |
| | 非木造 | 0.0179 | 0.0153 | 0.0179 | 0.0153 |
| 共同住宅 | 木造 | 0.0006 | 0.0065 | 0.0012 | 0.0108 |
| | 非木造 | 0.0003 | 0.0029 | 0.0006 | 0.0056 |
| 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 | 0.0027 |
| | 非木造 | 0.0005 | 0.0000 | 0.0075 | 0.0000 |
| 事務所 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0004 | 0.0004 | |
| 住宅 | 0.0004 | 0.0040 | 0.0007 | 0.0067 | |

⑦ 東京消防庁(1997)の手法

○採用自治体：宮城県(04), 埼玉県(98), 東京都(97), 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。

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-2-7 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 | 0.060 |
| | 油鍋不使用 | 0.002 | 0.006 | 0.021 | 0.037 | 0.046 |
| 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 | 0.230 |
| | 非木造 | 0.006 | 0.013 | 0.048 | 0.084 | 0.098 |
| 共同住宅 | 木造 | 0.002 | 0.005 | 0.023 | 0.042 | 0.056 |
| | 非木造 | 0.001 | 0.004 | 0.014 | 0.027 | 0.036 |
| 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 | 0.106 |
| | 非木造 | 0.002 | 0.008 | 0.030 | 0.050 | 0.066 |
| 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-2-8 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-2-9 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% |

(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), 大阪府(97), 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-2-10 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) | 大阪府(1997) | 名古屋市(1999) |
|----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 発熱反応工程施設 | 0.0081 | (同) | — | — |
| 製造所 | 0.0011 | (同) | (同) | 0.0099 |
| 屋内貯蔵所 | 2.3×10^{-4} | 3.9×10^{-4} | (同) | (同) |
| 屋外タンク貯蔵所 | 浮屋根式 | (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) | (同) |
| 屋内タンク貯蔵所 | 2.0×10^{-7} | (同) | (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) | (同) |
| 一般取扱所 | 小口・灯油 | 2.5×10^{-7} | 2.5×10^{-4} | (同) |
| | その他 | 3.2×10^{-4} | (同) | (同) |
| 少量危険物施設 | 2.4×10^{-4} | (同) | (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：秋田県(97), 群馬県(98), 神奈川県(99), 新潟県(98), 福井県(97), 長野県(02), 島根県(97), 広島県(97), 香川県(97), 宮崎県(97), 千葉市(96), 川崎市(97)

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-2-11 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) 化学薬品からの出火

① 神奈川県(1986)の手法

○採用自治体：秋田県(97), 群馬県(98), 福井県(97), 香川県(97), 千葉市(96)

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-2-12 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：埼玉県(98), 神奈川県(99), 新潟県(98), 長野県(02), 川崎市(97), 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-2-13 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 | 0.0000 |
| 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 |

○川崎市(97)では...

東京消防庁(1987)では上表に示した350galの場合の出火率しか公表されていない．そこで，他の加速度レベルの出火率は，以下の薬品保管棚等の転倒率の直線回帰式により350galの結果から推計している．ただし，この式は300gal以上に適用するものとし，300gal未満は転倒しないものとしている．

$$\text{転倒率} = 4.0 \times 10^{-4} \times \text{加速度} + 0.16$$

表Ⅲ-2-14 各自治体の出火件数の予測手法

| 自治体 | 一般火気器具 | 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) | — | — | 電熱器具, 配線, 漏洩ガス等(東消, 1987) |
| 秋田県(97) | 総プロ(1983) | 神奈川県(1993) | 神奈川県(1986) | — |
| 山形県(02) | 総プロ(1983) | — | — | — |
| 福島県(98) | 神奈川県(1986) | — | — | — |
| 栃木県(04) | 静岡県(2001) | — | 静岡県(2001) | 電熱器具, 電気機器・配線(静岡県, 2001) |
| 群馬県(98) | 総プロ(1983) | 神奈川県(1993) | 神奈川県(1986) | — |
| 埼玉県(98) | 東消(1997) | — | 東消(1987) | — |
| 東京都(97) | 東消(1997) | 東消(1997) | 東消(1997) | 電熱器具, 電気機器・配線, 自動車, 漏洩ガス, 工業炉, LPガス, 高圧ガス施設(東消, 1987) |
| 神奈川県(99) | 神奈川県(1986) | (詳細不明) | (詳細不明) | 電気器具, LPガス(詳細不明) |
| 新潟県(98) | 総プロ(1983) | 神奈川県(1993) | 東消(1987) | — |
| 富山県(01) | 総プロ(1983) | — | — | — |
| 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) | 電熱器具, 電気機器・配線(静岡県, 2001) |
| 長野県(02) | 神奈川県(1986) | 神奈川県(1993) | 東消(1987) | — |
| 岐阜県(04) | 独自 | — | — | — |
| 静岡県(01) | 静岡県(2001) | (詳細不明) | (詳細不明) | 電熱器具, 電気機器・配線(静岡県, 2001) |
| 愛知県(03) | 静岡県(2001) | — | — | 電熱器具, 電気機器・配線(静岡県, 2001) |
| 滋賀県(05) | 独自 | — | — | — |
| 京都府(98) | 総プロ(1983) | — | — | — |
| 大阪府(97) | 独自 | 東消(1987) | — | — |
| 兵庫県(99) | 独自 | — | — | — |
| 奈良県(05) | 静岡県(2001) | — | — | 電熱器具, 電気機器・配線(一般火気器具に含めて予測) |
| 鳥取県(05) | 静岡県(2001) | — | — | 電熱器具, 電気機器・配線(静岡県, 2001) |
| 島根県(97) | 総プロ(1983) | 神奈川県(1993) | — | — |
| 岡山県(03) | 総プロ(1983) | 通常時の一般火気器具との出火数比で算出 | 通常時の一般火気器具との出火数比で算出 | — |
| 広島県(97) | 総プロ(1983) | 神奈川県(1993) | — | — |
| 山口県(97) | 水野(1976) | — | — | — |
| 徳島県(05) | 静岡県(2001) | — | — | 電熱器具, 電気機器・配線(静岡県, 2001) |
| 香川県(97) | 総プロ(1983) | 神奈川県(1993) | 神奈川県(1986) | — |
| 愛媛県(02) | 静岡県(2001) | — | 静岡県(2001) | 電熱器具, 電気機器・配線等(静岡県, 2001) |
| 高知県(04) | 静岡県(2001) | — | — | 電熱器具, 電気機器・配線(静岡県, 2001) |
| 福岡県(97) | 総プロ(1983) | — | — | — |
| 佐賀県(97) | 水野(1976) | — | — | — |
| 長崎県(98) | 総プロ(1983) | — | — | — |
| 宮崎県(97) | 総プロ(1983) | 神奈川県(1993) | — | — |
| 鹿児島県(97) | 総プロ(1983) | — | — | — |
| 沖縄県(97) | 総プロ(1983) | — | — | — |
| 札幌市(97) | 総プロ(1983) | — | — | — |
| 仙台市(02) | 東消(1997) | — | — | — |
| 千葉市(96) | 総プロ(1983) | 神奈川県(1993) | 神奈川県(1986) | — |
| 川崎市(97) | 東消(1987) | 神奈川県(1993) | 東消(1987) | — |
| 名古屋(99) | 愛知県(1995) | 東消(1987) | 東消(1987) | — |
| 京都市(03) | 東消(1987) | — | — | — |
| 広島市(97) | 総プロ(1983) | — | — | — |

(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，神奈川県(1993)等の手法や東京都(1997)の手法が比較的に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 東京都(1997)の手法
- ③ 福岡県(1997)の手法
- ④ 山梨県(1996)の手法
- ⑤ 広島県(1997)・宮崎県(1997)の手法
- ⑥ 静岡県(2001)の手法

(2) 延焼に至らない出火点の評価

(1) 消火件数の予測

① 神奈川県(1993)等の手法

○採用自治体：秋田県(97), 群馬県(98), 埼玉県(98), 神奈川県(99), 島根県(97), 香川県(97), 佐賀県(97)
 沖縄県(97), 千葉市(96), 川崎市(97), 名古屋市(99)

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いる.

- ・ 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0.5m³/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-2-15 消防車運行速度

| | | 消防署 | 消防団 |
|-------------------------|-------|--------|--------|
| 神奈川県(1993) 秋田県(97) | 主要道路上 | 25km/h | 15km/h |
| | それ以外 | 15km/h | 9km/h |
| 群馬県(98), 島根県(97)川崎市(97) | | 20km/h | 12km/h |
| 埼玉県(98) | | 24km/h | 考慮せず |
| 宮城県沖地震(実績) | | 35km/h | — |
| 日本海中部地震(実績) | | 20km/h | — |

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分間のみの有効)

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) $= 0.87$

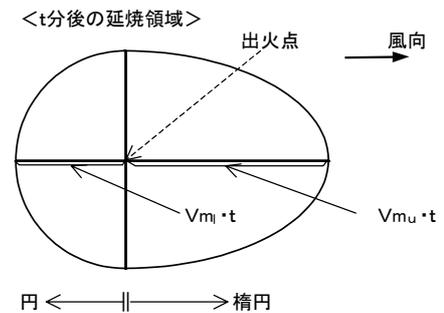
V_m : 防火木造建物延焼速度 (m/分) $= 0.71$

出火と同時に、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楕円、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 $V_{mu} \times t$ の半楕円



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。

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

○埼玉県(98)では...

延焼速度式は、東京消防庁(1997)による東消式97を採用している。

また、風下方向へは風速 u に応じた延焼速度 V_{mu} 、風横方向へは風速 0 に応じた V_{m0} 、風上方向に対しては初期延焼速度 V_0 で火災が拡大すると考えている。火災域の形状は風下・風上方向ともに楕円とみなし、火災域の火面長 $S(t)$ を以下のように定める。

風上方向：短軸 $V_0 \times t$ 、長軸 $V_{m0} \times t$ の半楕円

風下方向：短軸 $V_{m0} \times t$ 、長軸 $V_{mu} \times t$ の半楕円

$$S(t) = 2V_{mu} \cdot t \cdot \int_0^{\pi} \sqrt{1 - \varepsilon_1^2 \sin^2 \theta} d\theta + 2V_0 \cdot t \cdot \int_0^{\pi} \sqrt{1 - \varepsilon_2^2 \sin^2 \theta} d\theta$$

$$\varepsilon_1 = \sqrt{1 - (V_{m0}/V_{mu})^2}, \quad \varepsilon_2 = \sqrt{1 - (V_{m0}/V_0)^2} : \text{楕円の離心率}$$

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
 t_P : 出動準備時間

$\left. \begin{array}{l} t_D : \text{覚知時間} \\ t_P : \text{出動準備時間} \end{array} \right\} \text{消防署 : 10 分, 消防団 : 20 分}$

t_R : 走行時間

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

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

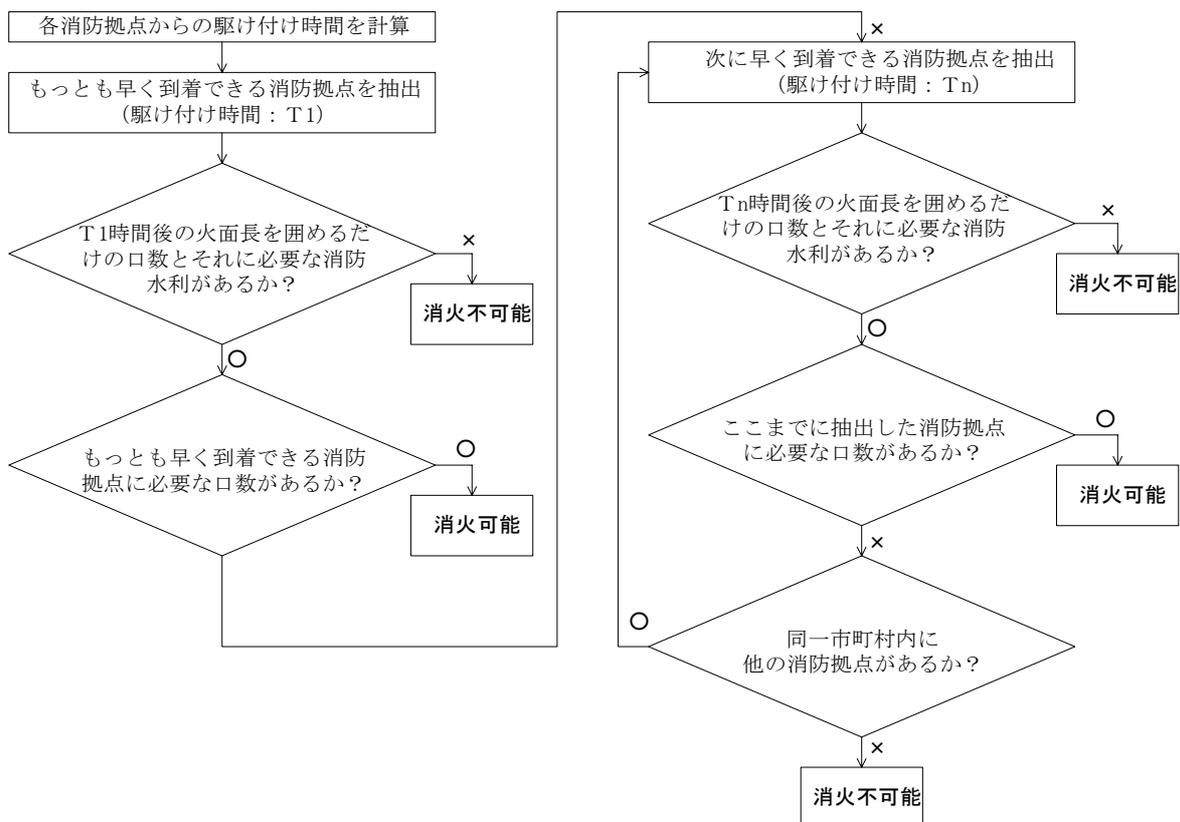
r_H : 消防水利から火災までの距離 (m)

○埼玉県(98)では...

消防署の活動のみを考慮し、出動準備時間を 8 分としている。また、ホース延長時間 t_H を以下の式により求めている。

$$t_H = 25.5 \cdot N_H + 15 \quad (\text{s})$$

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 東京都(1997)の手法

○採用自治体：宮城県(04), 東京都(97), 神奈川県(99), 鳥取県(05), 仙台市(02)

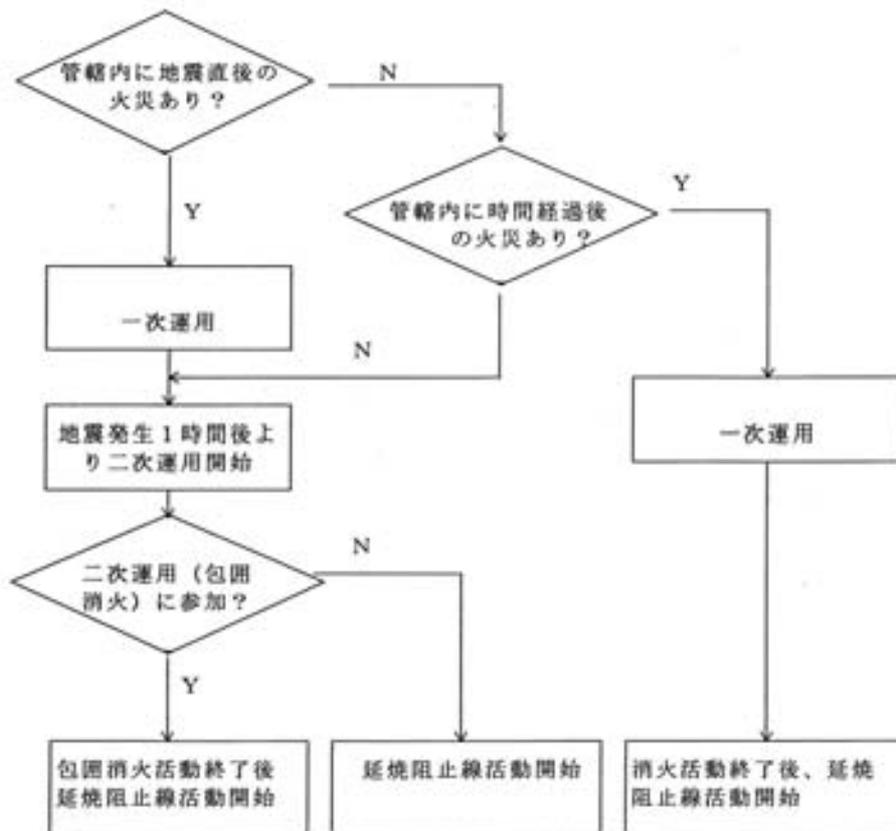
消防力の評価に際して、以下の仮定を設定している。

- ・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-2-16 消防運用想定上の時間区分

| 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），二次運用（延焼阻止線活動）の3段階を考慮している。



図Ⅲ-2-4 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-2-17 消防運用上の前提条件

| 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。

③ 福岡県(1997)の手法

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、 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、 $s_i \times (n_i / s)$ で表せる。

④ 山梨県(1996)の手法

○採用自治体：栃木県(04), 山梨県(05), 愛知県(03), 愛媛県(02)

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 という値を求めている(山梨県(1996)以外の自治体では 140m としている)。この際、1000 m^2 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

$$\begin{aligned} &= 0.70 \times \{ (\text{地震直後出動可能ポンプ車数}/2 + \text{地震直後出動可能小型動力ポンプ積載車数}/4 \\ &\quad + \text{地震直後出動可能手引きポンプ数}/8) \\ &\quad + 1/1.25 \times (\text{30分後出動可能ポンプ車数}/2 \\ &\quad + \text{30分後出動可能小型動力ポンプ積載車数}/4 \\ &\quad + \text{30分後出動可能手引きポンプ数}/8) \\ &\quad + 1/2.75 \times (\text{60分後出動可能ポンプ車数}/2 \\ &\quad + \text{60分後出動可能小型動力ポンプ積載車数}/4 \\ &\quad + \text{60分後出動可能手引きポンプ数}/8) \\ &\quad + 0.71 \} \\ &\times \{ 1 - (1 - 3.14 \times 140^2 / \text{宅地面積}(\text{m}^2)) \text{水利数} \} \end{aligned}$$

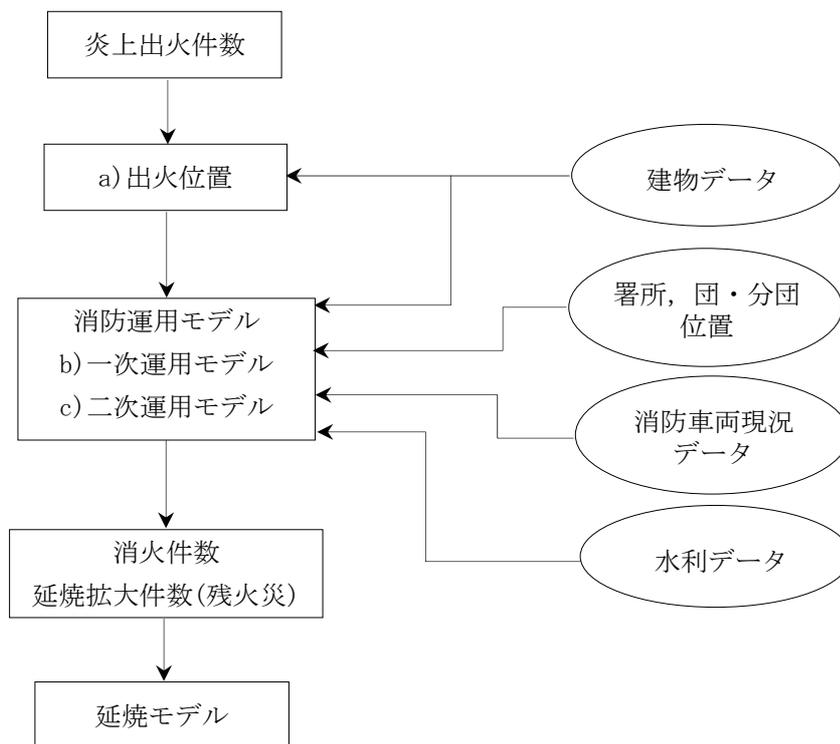
⑤ 広島県(1997)・宮崎県(1997)の手法

○採用自治体：新潟県(98), 長野県(02), 広島県(97), 宮崎県(97)

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。

⑥ 静岡県(2001)の手法

以下のフローにしたがい、消火件数を求めている。



図Ⅲ-2-5 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（出勤までの時間を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。

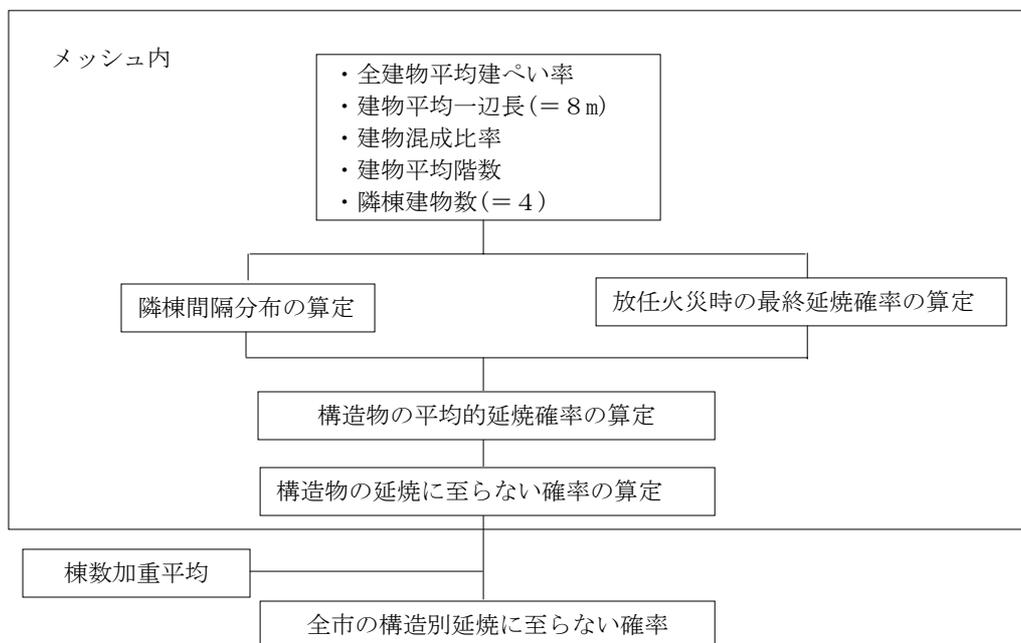
■二次運用

- ・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（ $30本 \times 1本20m / \sqrt{2} \approx 420m$ ）。
- ・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。

(2) 延焼に至らない出火点の評価

○採用自治体：埼玉県(98), 神奈川県(99), 福井県(97), 仙台市(02), 川崎市(97)

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-2-6 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-2-18 放置火災の延焼確率のパラメータ A_{ij} (川崎市, 1997)

| | | 受害側建物 <i>j</i> | | |
|----------------|-----|----------------|----------|----------|
| | | 木造 | 防火造 | 耐火造 |
| 火元側建物 <i>i</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，

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

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，

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

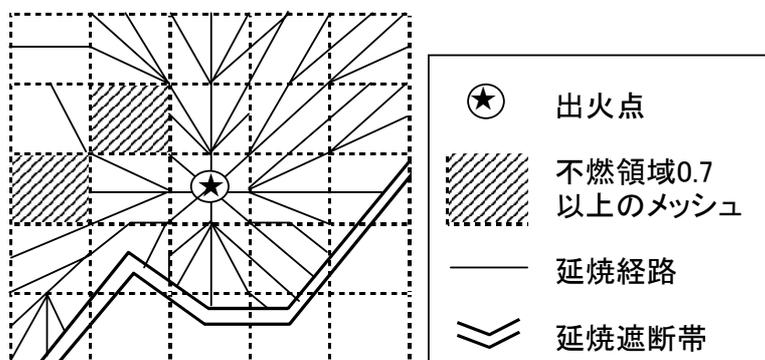
2-3. 焼失建物数

(1) 延焼区域予測の考え方

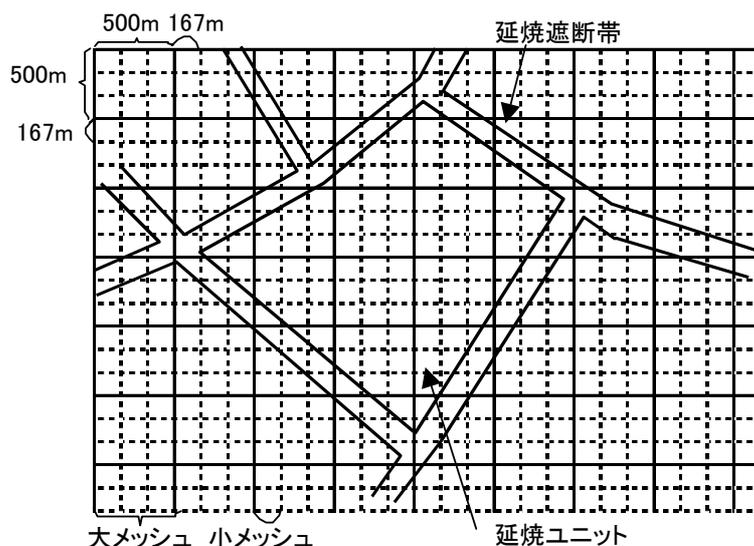
延焼計算では以下の基本事項を設定し，そのもとでシミュレーションを進める自治体が多い。

■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-2-7）。
- ・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随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-2-8）。



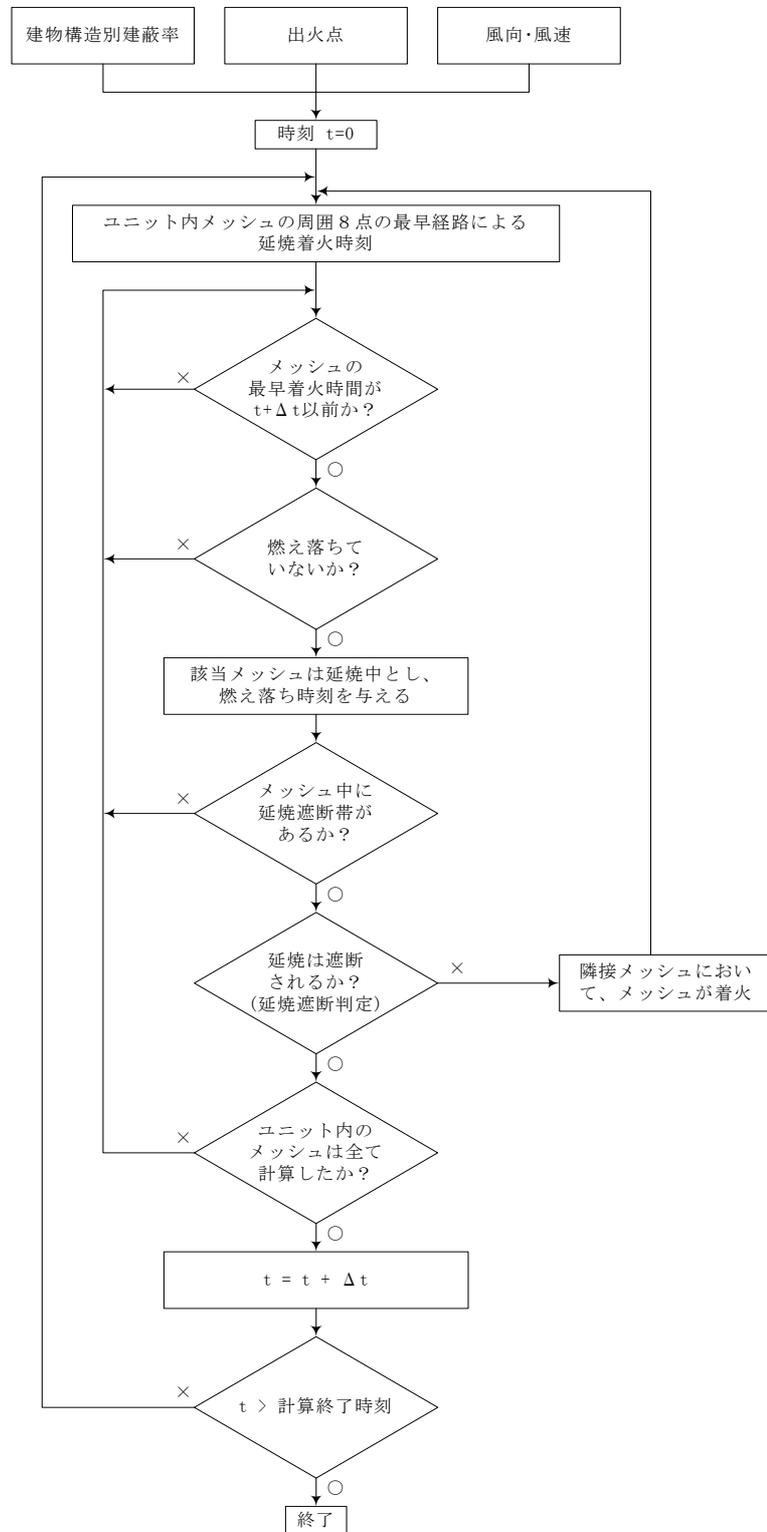
図Ⅲ-2-7 延焼予測におけるモデルメッシュ間の燃え移り例(群馬県, 1998)



図Ⅲ-2-8 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の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-2-9 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。

- ① 浜田(1951, 1966)の手法
- ② 建設省総合技術開発プロジェクト(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97>

① 浜田(1951, 1966)の手法

○採用自治体：青森県(97), 新潟県(98), 富山県(01), 長野県(02), 宮崎県(97)

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 建設省総合技術開発プロジェクト(1983)の手法

○採用自治体：秋田県(97),群馬県(98),島根県(97),広島県(97),香川県(97),沖縄県(97),千葉市(96)

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、田畑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(1999)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：神奈川県(99),福井県(97),川崎市(97),名古屋市(99)

糸井川(1991)は建物間のマイ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-2-19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13×4×4=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-2-19 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($i=1\sim3$)。

- 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-2-19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．

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

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

④ 東京消防庁(1997)の手法<東消式97>

○採用自治体：宮城県(04)，埼玉県(98)，東京都(97)，神奈川県(99)，静岡県(01)，奈良県(05)，鳥取県(05)，愛媛県(02)，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，

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

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

(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(-0.094U²))(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 $k = 0$

$$V_u = V_0 + 0.46(1-x)^2 \times \left[a_u V_0 \left\{ (1-c')(a'' + 0.85b'') + 1.6 \left((1-c')(a'' + 0.85b'') \right)^{-0.5} (u + 0.1)^{-0.4} \right\} + b_u \right] m^{0.2}$$

$$V_l = (1-x)^2 \left[6a_l V_0 (m^{1.5} - m^2) + b_l \right] (1-c')(a'' + 0.85b'')(0.1U + 0.1)^{0.5} + V_0$$

$$a_u = \left\{ 1.4(U + 1.0)^{-0.61} + 0.47 \right\} / m + (4.4U^{0.19}) - 5.6$$

$$b_u = \left\{ -8.9U^{0.75} - 8.6 \right\} / m + (0.041U^{3.1}) + 49$$

$$a_l = 0.31/m + 0.52$$

$$b_l = (-0.1u - 1.8) / m + 2.7$$

$$x = \frac{d'}{a' + b' + d'} \left(= \frac{0.54}{1 + 680 \exp(-0.010\alpha)} - 0.0024 \text{ とした} \right)$$

$$a'' = a' + 0.0018b'\alpha$$

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 : 建ぺい率

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)

(3) 延焼遮断帯効果の判定

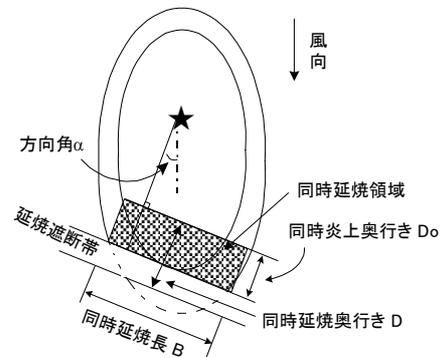
○採用自治体：秋田県(97), 群馬県(98), 埼玉県(98), 神奈川県(99), 福井県(97), 島根県(97), 沖縄県(97), 千葉市(96), 川崎市(97)

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-2-10 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）の大きさを表す指標として，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

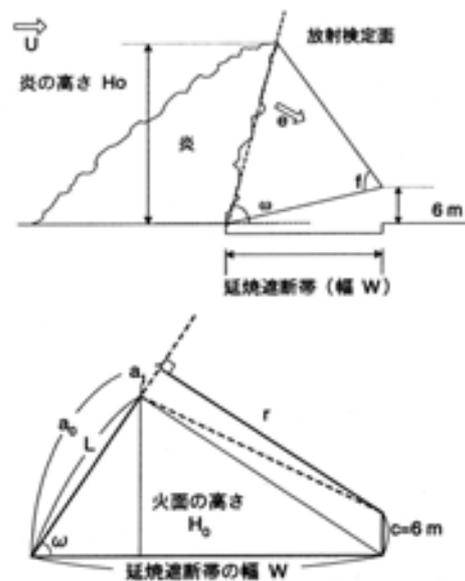
γ : 全建築面積に対する耐火構造建築面積比率

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-2-11 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

$$f = 2\{F(a_0) - F(a_1)\}$$

$$F(a) = \frac{1}{2\pi} \left\{ \sin \omega \cdot \left(\frac{a}{\sqrt{a^2 + r^2}} \cdot \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{a^2 + r^2}} + \frac{b}{\sqrt{b^2 + r^2}} \cdot \tan^{-1} \frac{a}{\sqrt{b^2 + r^2}} \right) - \cos \omega \cdot \left(\frac{r}{\sqrt{r^2 + a^2}} \cdot \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{r^2 + a^2}} - \tan^{-1} \frac{b}{r} \right) \right\}$$

$$b = B/2, \quad c = 6$$

$$r = W \sin \omega - c \cos \omega$$

$$a_0 = W \cos \omega + c \sin \omega, \quad a_1 = a_0 - H_0 / \sin \omega$$

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、東京都、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 建設省総合技術開発プロジェクト(1983)の手法
- ② 大阪府(1997)の手法
- ③ 福岡県(1997)の手法
- ④ 国土庁(1984)の手法
- ⑤ 富山県(2001)の手法
- ⑥ 山梨県(2005)の手法

① 建設省総合技術開発プロジェクト(1983)の手法

○採用自治体：宮城県(04), 秋田県(97), 栃木県(04), 群馬県(98), 埼玉県(98), 兵庫県(99), 広島県(97), 香川県(97), 沖縄県(97), 千葉市(96), 広島市(97)

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。

$$S = \int_F^{100} S_0 \cdot \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(f-m)^2}{2\sigma^2}\right] df \quad (S \leq 90)$$

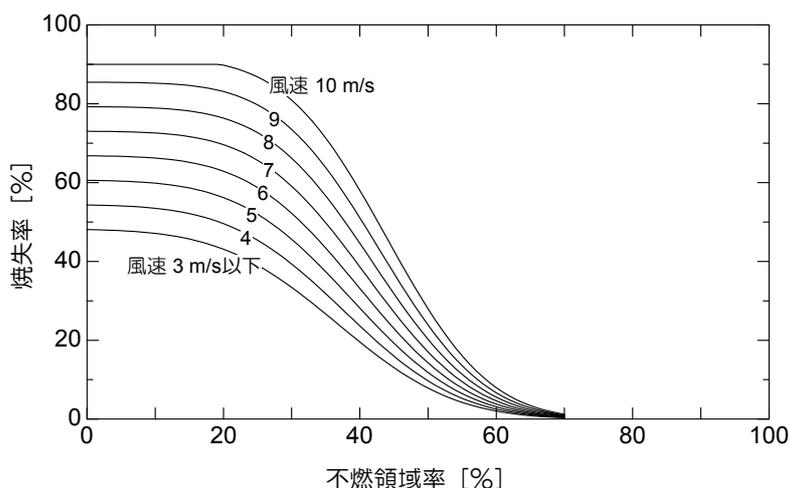
ただし、 $F > 70$ のとき $S = 0$

$U < 3$ 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-2-12 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。

② 大阪府(1997)の手法

○採用自治体：大阪府(97), 奈良県(05), 高知県(04)

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-2-20 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 |

③ 福岡県(1997)の手法

福岡県(1997)では、以下の式によりメッシュごとに焼失棟数を算出している。

$$\text{焼失棟数} = \text{建物棟数} \times \text{焼失率} \times \text{消火不能出火件数}$$

焼失率については、建設省総合技術開発プロジェクト(1983)による不燃領域率・風速と焼失率の関係(図Ⅲ-2-12)を使用している。この関係は出火後20時間の焼失面積を示したものであるが、一方、兵庫県南部地震(1995)時の西宮市では平均延焼時間は約6時間であった。そこで、西宮市における時間経過の比率を勘案して、焼失率に係数 $6^2/20^2=0.09$ を掛けて補正している。

不燃領域率については、建設省都市防災構造化対策指針の関係式を使用している。

$$F = 1.189 - 0.604Pa - 0.00713Pd$$

F : 不燃領域率

Pa : 木造棟数比

Pd : 木造建物棟数密度(棟/ha)

④ 国土庁(1984)の手法

○採用自治体：島根県(97), 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-2-21 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(2001)の手法

延焼シミュレーションにて求められた焼失面積を用いて、以下の式に基づいて焼失棟数を予測している。

$$\text{焼失棟数(棟)} = \text{焼失面積(m}^2\text{)} \times \left(\frac{\text{普通木造棟数(棟)} + \text{防火造棟数(棟)}}{\text{市街地面積(m}^2\text{)}} \right)$$

⑥ 山梨県(2005)の手法

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。

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）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」と）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。実際には、多くの発生要因のうち建物被害と地震火災について被害を予測している自治体が多い。

以下に、各自治体で採用されている手法の概略を次の区分別にまとめる。

- (1) 死傷者数全体の予測手法
- (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(98), 新潟県(98), 長野県(02), 広島県(97), 山口県(97), 宮崎県(97), 広島市(97)

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

$$F(\text{火災係数}) = \begin{cases} 1.00 & (\text{大規模火災...} 1.0 \leq \text{全焼数/全壊数}) \\ 0.32 & (\text{中規模火災...} 0.1 \leq \text{全焼数/全壊数} < 1.0) \\ 0.12 & (\text{小規模火災または火災なし... 全焼数/全壊数} < 0.1) \end{cases}$$

$$T(\text{時間帯係数}) = \begin{cases} 1.00 & (\text{夜...} 23:00 \sim 6:30) \\ 0.73 & (\text{昼...} 6:30 \sim 23:00) \end{cases}$$

$$E(\text{時代係数}) = \begin{cases} 1.00 & (1930\text{年以前}) \\ 0.96 & (1930\text{年} \sim 1955\text{年}) \\ 0.22 & (1955\text{年以降}) \end{cases}$$

○新潟県(98), 広島県(97), 宮崎県(97)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), 秋田県(97), 富山県(01), 福井県(97), 島根県(97), 岡山県(03), 札幌市(97), 川崎市(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。

$$D = 0.543 \times H^{0.69} \times F^{0.29} \times \begin{matrix} \begin{bmatrix} 1.00 \\ 0.64 \end{bmatrix} \\ \text{時間帯} \end{matrix} \times \begin{matrix} \begin{bmatrix} 1.00 \\ 0.33 \end{bmatrix} \\ \text{時代} \end{matrix}$$

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)

○富山県(01)では...

この式から火災による死者数を算出している.

③ 東京都防災会議(1978)・埼玉県(1982)の手法

○採用自治体: 香川県(97), 沖縄県(97), 千葉市(96)

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(05), 大阪府(97)

<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), 高知県(04)

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.

死者数 = Σ 町丁目の屋内人口 \times 死者率

負傷者数 = 市町村の屋内人口 \times 負傷者率

重傷者数 = 市町村の負傷者数 \times 重傷者比率

$$\text{死者率}(\%) = \begin{cases} 0.000287x^2 - 0.00780x + 0.0506 & (x \geq 25\%) \\ 0.00156x - 0.00389 & (2.5\% \leq x < 25\%) \\ 0 & (0\% \leq x < 2.5\%) \end{cases}$$

$$\text{負傷者率}(\%) = \begin{cases} 1 & (x \geq 37.5\%) \\ 7 - 0.16x & (25\% \leq x < 37.5\%) \\ 0.12x & (0\% \leq x < 25\%) \end{cases}$$

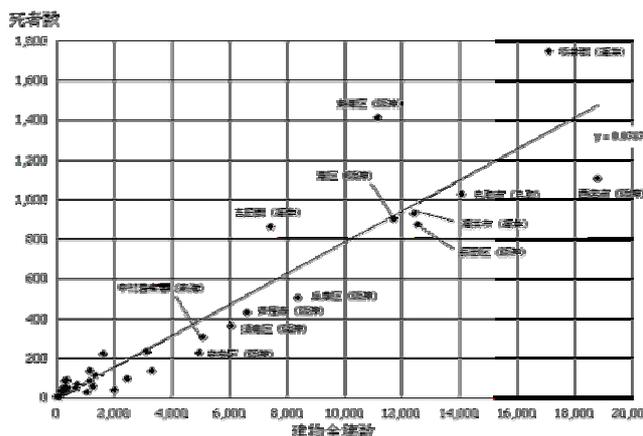
$$\text{重傷者比率}(\%) = \begin{cases} 5 & (x \geq 20\%) \\ 15 - 0.5x & (10\% \leq x < 20\%) \\ 10 & (0\% \leq x < 10\%) \end{cases}$$

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)、秋田県(97)、群馬県(98)、新潟県(98)、長野県(02)、広島県(97)、山口県(97)、愛媛県(02)、宮崎県(97)、千葉市(96)、名古屋市(99)、広島市(97)

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。

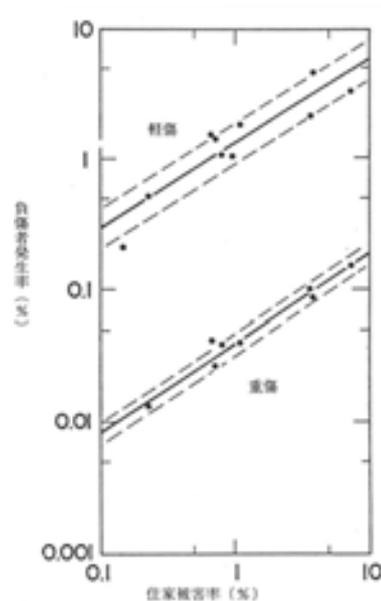
$$(\text{重傷者}) \log_{10} R = 0.676 \log_{10} H + 1.409$$

$$(\text{軽傷者}) \log_{10} R = 0.660 \log_{10} H + 0.105$$

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), 広島県(97)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。

○山口県(97)では…

重傷者数を入院患者数, 軽傷者数を受診患者数(医療機関で診察を受ける人数)と想定して
いる。

$$\text{(入院患者)} \log_{10} R = 0.676 \log_{10} H - 1.534$$

$$\text{(受診患者)} \log_{10} R = 0.676 \log_{10} H - 0.473$$

○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。

$$\begin{aligned} \text{重傷者(軽傷者)} = & 6/5 \times \text{在宅人口から求めた重傷者数(軽傷者数)} \\ & + 3/4 \times \text{非在宅人口から求めた重傷者数(軽傷者数)} \end{aligned}$$

⑦ 東京都防災会議(1991)の手法

○採用自治体: 埼玉県(98), 東京都(97), 富山県(01), 札幌市(97), 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。

$$\text{重傷者数} = 10^{(0.871 \times H - 1.571)} / 100 \times \text{人口}$$

$$\text{軽傷者数} = 10^{(0.746 \times H - 0.418)} / 100 \times 0.943 \times \text{人口}$$

$$H : \text{震害率} (= (\text{全壊棟数} + 0.5 \times \text{半壊棟数} + 0.01 \times \text{一部損壊棟数}) / \text{全建物棟数}, \%)$$

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。

$$H = (0.07 \times A - 14.3) / 2.37$$

$$A : \text{地表加速度 (gal)}$$

○東京都(97)では…

軽傷者に1日通院者も含むものとし, 係数0.943(=1-0.057)は考慮していない。

⑧ 埼玉県(1992)の手法

○採用自治体：青森県(97), 富山県(01), 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。

$$\log_{10}(\text{負傷者数}) = 0.667 \log_{10}(\text{死者数}) + 1.667$$

○富山県(01)では...

火災による負傷者(火傷)とゆれによる負傷者(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)を分けて予測している。

火災による負傷者数は, 上式の死者数に焼死者数を適用することにより求めている。ゆれによる負傷者数は, 東京都防災会議(1991)の手法により求めている。

⑨ 川崎市(1997)の手法

太田・後藤(1985)による死者と負傷者の関係を参考に, 負傷者数を死者数から予測している。

$$\log_{10} I = \frac{1}{6}(\log_{10} D)^2 + \frac{1}{12} \log_{10} D + 2$$

I : 負傷者数(人)

D : 死者数(人)

なお, 負傷者の内訳は以下のとおりとしている。

重症：負傷者の20%, 3週間以上の入院を必要とするもの。

軽症：負傷者の50%, 入院を必要としないもの。

中等症：負傷者の30%, 重症, 軽症以外のもの。

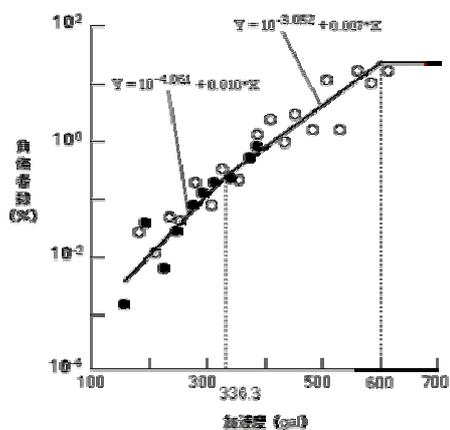
⑩ 呂・宮野(1995)の手法

○採用自治体：福島県, 京都市

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。

a) 東京都(1997)の手法

○採用自治体：宮城県(04), 栃木県(04), 埼玉県(98), 愛知県(03), 鳥取県(05), 愛媛県(02), 仙台市(02)

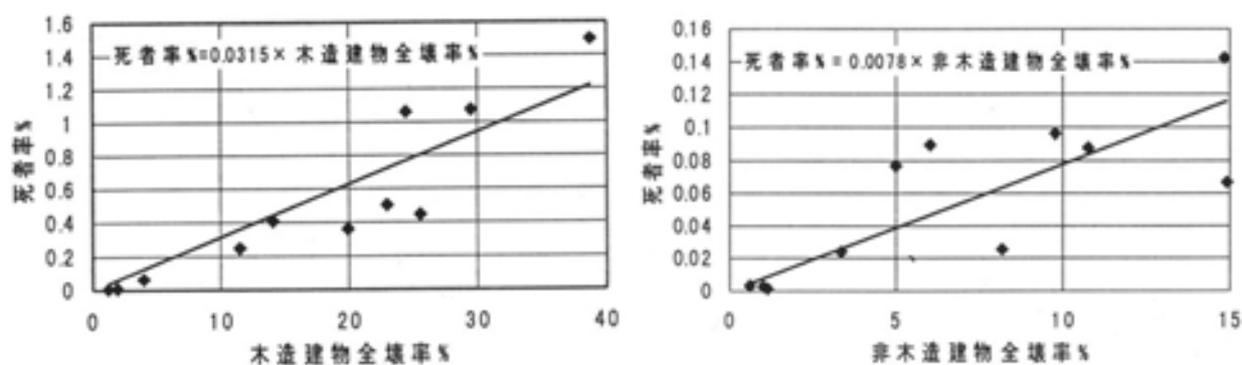
兵庫県南部地震(1995)による被害事例をもとに、木造・非木造別に死者数を予測している。ここでは、建物倒壊によって閉じ込められ、火災により亡くなる人は含んでいないが、屋内収容物(家具類)の移動・転倒による死者を含んでいる。

木造建物被害による死者率(%) = $0.0315 \times$ 木造建物全壊率(%)

非木造建物被害による死者率(%) = $0.0078 \times$ 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。

木造建物倒壊による死者数(人) = $0.0450 \times$ 木造建物大破率(%) \times 木造屋内人口(人)

非木造建物倒壊による死者数(人) = $0.0111 \times$ 非木造建物大破率(%) \times 非木造屋内人口(人)

b) 静岡県(2001)の手法

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、 $(1 - \text{警戒宣言時対応係数}(0.739))$ 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(2003)の手法

○採用自治体：山梨県(05), 奈良県(05), 高知県(04)

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る。

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。

$$\text{死者数(木造)} = 0.0676 \times \text{木造全壊棟数} \times \text{木造建物内滞留人口/夜間人口}$$

$$\text{死者数(非木造)} = 0.0167 \times \text{非木造全壊棟数} \times \text{非木造建物内滞留人口/夜間人口}$$

○山梨県(05)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。

$$\text{死者数(非木造)} = 0.0240 \times \text{非木造全壊棟数} \times \text{非木造建物内滞留人口/夜間人口}$$

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(1997)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(1997)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) 富山県(2001)の手法

関東地震(1923)における市町村別の木造家屋被害数と死者数の関係を示す以下の式を用いている。

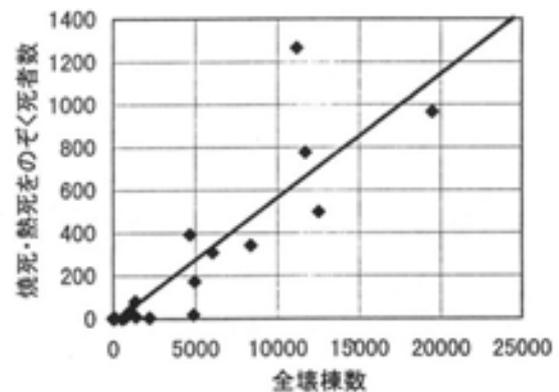
$$\text{死者数} = 0.0225 \times \text{振動による全壊棟数}$$

f) 池田・中林(1996)の手法

○採用自治体：福岡県(97)

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 (福岡県, 1997)

g) 福岡県(1997)の手法

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。

$$\text{負傷者数} = 20 \times \text{全壊棟数}^{0.6}$$

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。

a) 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(05), 静岡県(01), 愛知県(03), 奈良県(05), 鳥取県(05), 愛媛県(02), 高知県(04)

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-3-1 各自治体の平常時火災 1 件あたり死傷者数と時刻補正

| 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) | |
| 宮城県(04) | — | 0.21(5.3:13.7) | なし |
| 山梨県(05) | 0.042 | 0.19(5.3:13.7) | |
| 愛媛県(02) | 0.066 | 0.212(21:40) | |
| 高知県(04) | 0.055 | 0.21 | |

(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〉, 埼玉県(98), 東京都(97), 仙台市(02)

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。

$$\begin{aligned} \text{出火直後の火災による死者数} &= 0.078 \times \text{出火件数} \\ \text{重傷者数} &= 0.238 \times \text{出火件数} \\ \text{軽傷者数} &= 0.596 \times \text{出火件数} \end{aligned}$$

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。

$$\begin{aligned} \text{延焼火災による死者数} &= 0.8423 \times \text{単位時間あたりの焼失棟数} - 158.96 \\ \text{重傷者数} &= 0.053 \times (0.5206 \times \text{焼失棟数} - 253.37) \\ \text{軽傷者数} &= 0.137 \times (0.5206 \times \text{焼失棟数} - 253.37) \end{aligned}$$

○埼玉県(98)では...

■死者：以下の2ケースに分けて想定している。

- ・出火元で平常時の出火と全く同じ要因で亡くなるケースは、東京都(1997)の手法(出火直後の火災による死者数)を採用。
- ・木造の倒壊家屋に閉じ込められた人々が火災に巻き込まれて死亡するケースは、兵庫県南部地震(1995)時の低層建物の独立・集合住宅の火災損傷による死者に着目して、以下の仮定を設定している。
 - ・焼失地域の木造全壊建物の3割で死者が発生
 - ・その死者率は屋内居住人口の50%

■負傷者：東京都(1997)の手法(延焼火災による死傷者数)を採用

c) 札幌市(1997)の手法

地震火災による負傷者数については、過去の大火事例に基づく推定式から予測している。

$$\text{重傷者数} = 0.053 \times (\text{焼失棟数} - 176.19)$$

$$\text{軽傷者数} = 0.137 \times (\text{焼失棟数} - 176.19)$$

○札幌市(97)では...

地震火災による死者は、太田・後藤(1985)の手法により建物倒壊による死者と一緒に求めている。

d) 大阪府(1997)の手法

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。

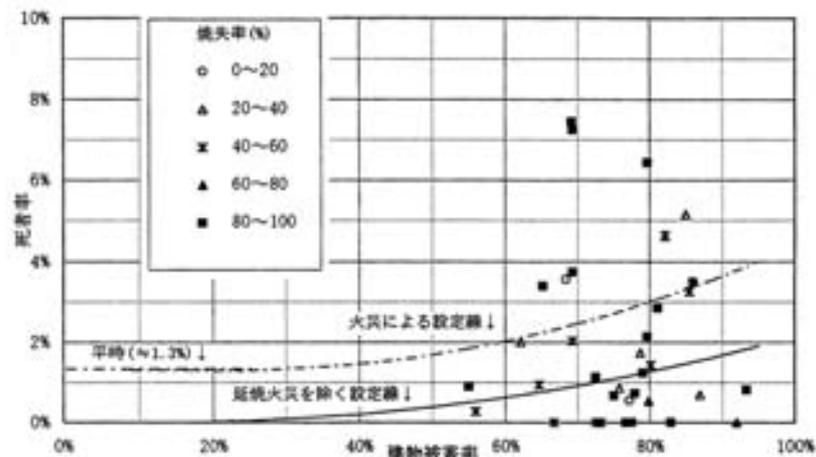
$$\text{死者数} = \text{焼失対象人口} \times (\text{延焼死者率} - \text{建物死者率})$$

$$\text{焼失対象人口} = \text{町丁目屋内人口} \times \text{町丁目焼失棟数} / \text{町丁目建物棟数}$$

$$\text{延焼死者率} = \text{死者数} / \text{焼失対象人口} \quad (\text{下図参照})$$

$$\text{負傷者数} = \text{火災死者数} \times \text{平時の死傷者比率} (\approx 5.4)$$

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-3-6 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, 1997)

③ 津波による死者数

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。

a) 宮野・呂(1992)の手法

○採用自治体：青森県(97), 新潟県(98), 宮崎県(97)

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。

$$\begin{aligned} \text{死者数} &= 0.072 \times (\text{全壊} + \text{流出})^{1.018} \\ \text{重傷者数} &= 1.074 \times 10^{-4} \times (\text{全壊} + \text{流出})^{1.961} \\ \text{中等傷者数} &= 4.510 \times 10^{-4} \times (\text{全壊} + \text{流出})^{1.961} \end{aligned}$$

○青森県(97), 新潟県(98), 宮崎県(97)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), 静岡県(01), 愛知県(03), 鳥取県(05), 愛媛県(02), 高知県(04)〈死者〉

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 $=0.0424 \times \exp\{0.1763 \times (\text{津波による大破}+1/2\text{中破棟数率}[\%])\} / 100 \times \text{人口}$

* 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 $=0.0340 \times (\text{津波による大破}+1/2\text{中破棟数率}[\%]) / 100 \times \text{人口}$

中等傷者数 $=0.0822 \times (\text{津波による大破}+1/2\text{中破棟数率}[\%]) / 100 \times \text{人口}$

■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

$$\begin{aligned} \text{死者数} &= \text{基本式} \times [(5-1) \times 60 \times \text{北海道南西沖地震時の早期避難率}(54\%)] \\ &\quad / [(\text{津波到達時間}[\text{分}] - 1) \times 60 \times \text{静岡県での早期避難意識率}(54\%)] \end{aligned}$$

■避難ビルの効果

$$\begin{aligned} \text{死者数} &= \text{基本式} \times (1 - \text{対策実施率}) \\ \text{対策実施率} &= \text{避難ビル収容可能人数} / (\text{中破以上被害棟数} \times 1 \text{棟あたり人員}) \end{aligned}$$

■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。

$$\begin{aligned} &\text{危険地指定率} \times [1 - \text{警戒宣言時対応係数A}(85\%)] \\ &\quad + (1 - \text{危険地指定率}) \times [1 - \text{警戒宣言時対応係数B}(73\%)] \end{aligned}$$

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.

a) 東京都防災会議(1991)の手法

○採用自治体: 奈良県(05), 高知県(04)

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のほか, 降雨によるものも含まれている.

$$\begin{aligned} \text{崖崩れによる死者数} &= 0.098 \times \text{被害棟数} \\ \text{崖崩れによる負傷者数} &= 1.25 \times \text{崖崩れによる死者数} \end{aligned}$$

なお, 重傷と軽傷は50%ずつ発生するものとしている.

b) 東京都(1997)の手法

○採用自治体: 東京都(97), 鳥取県(05), 愛媛県(02)

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.

$$\begin{aligned} \text{崖崩れによる死者数} &= 0.087 \times \text{被災戸数} \times (\text{木造建物 1 棟あたり存在者数}/3.51) \\ \text{崖崩れによる重傷者数} &= 0.148 \times \text{被災戸数} \times (\text{木造建物 1 棟あたり存在者数}/3.51) \\ \text{崖崩れによる軽傷者数} &= 0.474 \times \text{被災戸数} \times (\text{木造建物 1 棟あたり存在者数}/3.51) \end{aligned}$$

ただし, 3.51: 東伊豆町・河津町における1世帯あたり人員

c) 静岡県(2001)の手法

○採用自治体: 山梨県(05), 静岡県(01), 愛知県(03)

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.

$$\begin{aligned} \text{崖崩れによる死者数} &= 0.181 \times \text{大破棟数} \times (1 \text{ 世帯あたり人員}/3.51) \\ \text{崖崩れによる重傷者数} &= 0.306 \times \text{大破棟数} \times (1 \text{ 世帯あたり人員}/3.51) \\ \text{崖崩れによる中等傷者数} &= 2.4 \times \text{重傷者数} \times (1 \text{ 世帯あたり人員}/3.51) \end{aligned}$$

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) 神奈川県(1993)の手法

○採用自治体：大阪府(97)

■人家の被害

死者数 = 被災対象人家数 × 崩壊危険率 × 1世帯あたりの屋内人口 × 死者率

重傷者数 = 被災対象人家数 × 崩壊危険率 × 1世帯あたりの屋内人口 × 重傷者率

軽傷者数 = 被災対象人家数 × 崩壊危険率 × 1世帯あたりの屋内人口 × 軽傷者率

被災対象人家数 = 危険箇所崖下人家数 × 被災比率

危険箇所崖下人家数：崩壊をおこす崖に面した人家 (= $\sqrt{\text{危険箇所人家数}}$)

被災比率：危険崖の全延長において一部が崩壊すると仮定(=0.15)

死者率=0.5, 重傷者率=軽傷者率=0.25 (豪雨時の被害事例による)

■通過車両の被害

危険崖を通過する車両数から車両被害による死傷者数を予測している.

死者数 = 被災車両数 × 乗車人員数 × 0.5

重傷者数 = 被災車両数 × 乗車人員数 × 0.25

軽傷者数 = 被災車両数 × 乗車人員数 × 0.25

被災車両数 = 0.15 (崖崩れの崩壊距離の比率) × 危険崖を通行する車両数

危険崖を通行する車両数：対象区間の12時間交通量と車両の平均速度等から推定

e) 福岡県(1997)の手法

斜面崩壊による被災建物棟数に1棟あたりの人口と在宅率および人的被害発生率をかけることにより、斜面崩壊による死者数を予測している.

斜面崩壊による死者数 = 被災建物棟数 × 1棟あたり人口 × 在宅率 × 0.8

斜面崩壊による負傷者数 = 被災建物棟数 × 1棟あたり人口 × 在宅率 × 0.2

ここで、在宅率にはNHK放送文化研究所(1996)による生活時間調査結果を使用している。また、伊豆半島沖地震(1974)、伊豆大島近海地震(1978)、長野県西部地震(1984)、北海道南西沖地震(1993)における斜面崩壊による人的被害状況から死亡率=0.8、負傷率=0.2と設定している。

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。

a) 河田ら(1996)・東京都(1997)の手法

○採用自治体：埼玉県(98), 東京都(97), 神奈川県(99)

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-3-2 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

○埼玉県(98)では...

死亡率・負傷率の値は、東京都(1997)で設定された0.084%・5.209%と河田ら(1996)のモデルの値を比較して、小さい方の値を採用している。

b) 大阪府(1997)の手法

○採用自治体：大阪府(97), 兵庫県(99)

まず、駅間ごとに鉄道滞留人口を推計する。

$$\text{駅間滞留人口} = \text{各時間帯の駅間断面交通量(人/時)} \times \text{駅間移動時間(時)}$$

$$\text{ピーク時間帯交通量} = \text{1日断面交通量} \times \text{ピーク率} \times \text{ピーク時間帯幅補正係数}$$

$$\text{夕刻の交通量} = \text{1日断面交通量} \times \text{夕刻時間集中度}$$

* 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

⑥ 道路災害による死傷者数

a) 静岡県(2001)の手法

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: 埼玉県(98), 大阪府(97), 兵庫県(99)

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.

⑦ ブロック塀の倒壊・落下物等による死傷者数

a) 東京都防災会議(1991)の手法

○採用自治体：富山県(01)

■ブロック塀の倒壊

宮城県沖地震(1978)における仙台市のブロック塀・石塀の転倒による死者発生率に基づく。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、転倒だけが死者の発生につながると考えている。

$$\text{塀の転倒による死者数} = 1/1140 \times \text{ブロック塀の倒壊件数} + 1/512.5 \times \text{石塀の倒壊件数}$$

b) 東京都(1997)の手法

○採用自治体：埼玉県(98), 東京都(97)

■ブロック塀の倒壊

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。

$$\text{塀の転倒による死者数} = 0.00116 \times \text{塀の被害件数} \times \text{屋外人口密度} / 1689.16 (\text{人}/\text{km}^2)$$

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

○埼玉県(98)では...

屋外人口密度 = 移動中の人口 / 敷地面積

とし、移動中の人口は時間帯別の人口動態モデルから推定している。

c) 静岡県(2001)の手法

○採用自治体：静岡県(01), 愛媛県(02)〈ブロック塀〉

■ブロック塀

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。

$$\text{死者数} = 0.003 \times \text{ブロック塀・石塀倒壊件数} \times \text{屋外人口密度} / 1689.16 (\text{人}/\text{km}^2)$$

$$\text{負傷者数} = 0.04 \times \text{ブロック塀・石塀倒壊件数} \times \text{屋外人口密度} / 1689.16 (\text{人}/\text{km}^2)$$

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%

■落下物

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。

表Ⅲ-3-3 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% |

■屋内収容物の移動・転倒

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。

$$\text{木造死傷者数} = (1 - \text{木造全壊率}) \times \text{パラメータ} \times \text{木造建物での転倒率} \\ \times \text{木造半壊以下建物の屋内人口}$$

$$\text{非木造死傷者数} = (1 - \text{非木造全壊率}) \times \text{パラメータ} \times \text{非木造建物での転倒率} \\ \times \text{非木造半壊以下の建物の屋内人口}$$

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%

d) 宮城県(2003)の手法

■ブロック塀

ブロック塀倒壊による死者は、次式によりメッシュ別に評価している。宮城県沖地震(1978)当時の仙台市の屋外人口密度との違いを補正している。

$$\text{死者数} = 0.00174 \times \text{ブロック塀倒壊数} \times \text{メッシュ内屋外人口密度} / 544.28 \\ \text{ただし、} 544.28 : \text{宮城県沖地震(1978)当時の仙台市の屋外推定人口密度}$$

e) 大阪府(1997)の手法

○採用自治体：大阪府(97), 兵庫県(99)

■ブロック塀・石塀の倒壊，落下物

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。

$$\text{死者数} = \text{被災対象箇所数} \times \text{倒壊・落下被害率} \times \text{死者率}(0.003 \text{人/箇所}) \\ \times \text{想定時間帯の屋外人口密度} / 1689 \text{(人/km}^2\text{)}$$

$$\text{被災対象箇所数} : \text{ブロック塀箇所数} = \text{木造棟数} \times \text{箇所率}(0.03)$$

$$\text{石塀箇所数} = \text{木造棟数} \times \text{箇所率}(0.04)$$

$$\text{落下物危険建物数} = 3 \text{ F 以上非木造棟数} \times \text{危険箇所率}(0.25)$$

* 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

$$\text{ブロック塀・落下物} = -12.6 + 0.070 \times \text{地表最大加速度}(\text{gal})$$

$$\text{石塀} = -26.6 + 0.168 \times \text{地表最大加速度}(\text{gal})$$

1689：宮城県沖地震(1978)当時の仙台市の屋外人口密度(人/km²)

$$\text{負傷者数} = \text{死者数} \times 5$$

○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。

3-2. 要救出者数

(1) 東京都(1997)の手法

東京都(1997)では、木造建物の倒壊による下敷き・生理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・生理め者数のデータを用いて、木造建物の全壊率と下敷き・生理め者率の関係を求め、下敷き・生理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。

$$\text{下敷き・生理め者率}_{\text{消防団}}(\%) = 0.0164 \times \text{木造全壊率}(\%)$$

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、

$$\text{下敷き・生理め者率}(\%) = 0.0164 \times \text{木造全壊率}(\%) / 0.14 = 0.117 \times \text{木造全壊率}(\%)$$

(2) 静岡県(2001)の手法

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。

$$\begin{aligned} \text{木造建物における要救助者数} &= 0.117 \times \text{木造全壊率}(\%) / 100 \times \text{木造屋内人口} \\ \text{非木造建物における要救助者数} &= 0.5 \times \text{非木造全壊率}(\%) / 100 \times \text{非木造屋内人口} \end{aligned}$$

(3) 福岡県(1997)の手法

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。

$$\begin{aligned} \text{要救出現場数} &= \text{全壊建物棟数} \times 0.4 \\ \text{要救出者数} &= \text{要救出現場数} \times 1 \text{棟あたり人口} \times \text{在宅率} \times \text{逃げ遅れ率} \\ &\quad \text{逃げ遅れ率: 100\%としている} \end{aligned}$$

■斜面崩壊による要救出者数.

$$\text{要救出者数} = \text{斜面崩壊による被災建物数} \times 1 \text{棟あたり人口} \times \text{在宅率}$$

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。東京都(1997)や愛知県(2003)などでは避難所生活者数の時間的推移についても議論している。

各自治体で用いられている建物被害棟数に対する避難者数等の予測式を下表に示す。

表Ⅲ-3-4 各自治体の避難者数等の算定式

| 自治体 | 想定項目 | 算定式 |
|--|--------------------|---|
| 青森県(97), 福島県(98) 神奈川県(99) 広島県(97), 札幌市(97) | 罹災者数 | 被害棟数×1棟あたり世帯数×平均世帯人員 |
| 富山県(01), 香川県(97) | 罹災者数 | 被害棟数×人口/家屋総棟数 |
| 福井県(97) | 罹災者数 | 被害棟数×平均世帯人員 |
| 島根県(97) | 罹災者数 | 大破または焼失した木造建物と非木造建物に住む人数 |
| 山口県(97) | 罹災者数 | 被害棟数×1棟あたり人口 |
| 川崎市(97) | 罹災者数 | (木造・軽量鉄骨造被害棟数+RC造・S造被害棟数×1棟あたり世帯数) ×平均世帯人員 |
| 広島市(97) | 罹災者数 | (木造住宅被害棟数+非木造住宅被害棟数)×(夜間人口/世帯数) |
| 岩手県(04) | 避難者数 | 人口×被害率 |
| 秋田県(97) | 避難者数 | (木造被害棟数+非木造被害棟数×1棟あたり世帯数)×平均世帯人員 |
| 群馬県(98) | 避難者数 | 1世帯あたりの人口×住宅大破棟数 1世帯あたりの人口×(木造・S系住宅焼失棟数) |
| 宮城県(04), 埼玉県(98) 鳥取県(05), 仙台市(02) | 避難者数 | 被害建物居住人口 |
| 新潟県(98), 宮崎県(97) | (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 |
| 長野県(02) | 避難者数 | 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) |
| 滋賀県(05) | 避難者数 | 0.29×世帯数×(建物全壊率+建物半壊率)×平均世帯人口 |
| 福岡県(97), 沖縄県(97) 鹿児島県(97) | 避難者数 | 被害棟数×1棟あたり人口 |
| 佐賀県(97) | 避難者数 | 被害家屋数×1世帯あたりの平均人数 |
| 栃木県(04) | 避難所生活者数 | 時系列係数(人/棟)×全壊・焼失棟数 |
| 東京都(97), 山梨県(05) 愛知県(03), 愛媛県(02) | 避難所生活者数 (発災1日後) | 大破・焼失人口+0.503×中破人口+0.362×断水人口 |
| 静岡県(01), 奈良県(05) 高知県(04) | 避難所生活者数 (発災1日後) | 大破(全壊)焼失人口+中破(半壊)人口+断水人口 |
| 名古屋市(99) | 被災者数 | 全壊家屋に住む人口+半壊家屋に住む人口×0.8 ^(*1) +焼失家屋に住む人口-(全壊率+半壊率×0.8)×焼失家屋内人口 |

(*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。

「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-3-5にその概要をまとめるが、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。

表Ⅲ-3-5 自治体ごとの被害棟数算定方法

| 自治体名 | 全壊(大破)建物 | 半壊(中破)建物 | 焼失棟数 | |
|--|-----------|-----------|-------------|---|
| 青森県 宮城県 秋田県 埼玉県 新潟県 長野県 静岡県 [†] 滋賀県 奈良県 [†] 鳥取県 広島県 山口県* 香川県 高知県 [†] 宮崎県 仙台市 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | |
| 神奈川県** 群馬県 栃木県 富山県 福井県 福岡県 川崎市 | | — | | |
| 奈良県 | | 1.0 | | — |
| 岩手県 | | 0.5 | | — |
| 東京都 [†] 山梨県 [†] 愛知県 [†] 愛媛県 [†] | 1.0 | 0.503 | 1.0 | |
| 福島県 | 1.0(木造のみ) | — | — | |
| 札幌市 | 1.0(住宅のみ) | 1.0(住宅のみ) | 1.0(住宅のみ) | |
| 広島市 | | — | 1.0(木造住宅のみ) | |
| 名古屋市 | | 0.8(住宅のみ) | 1.0(住宅のみ) | |
| 山梨県 佐賀県 | | 0.5(住宅のみ) | | |
| 鹿児島県 沖縄県 | | — | | |

1.0, 0.8, 0.5, 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。

* : 山口県では、焼失棟数を求めておらず、かわりに出火家屋数を適用している。

** : 神奈川県では、崖崩れによる被災も含めている。

† : この他、断水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)における避難者数の予測手法を概説する。

(1) 東京都(1997)の手法

○採用自治体：東京都(97)、山梨県(05)、愛知県(03)、愛媛県(02)

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。

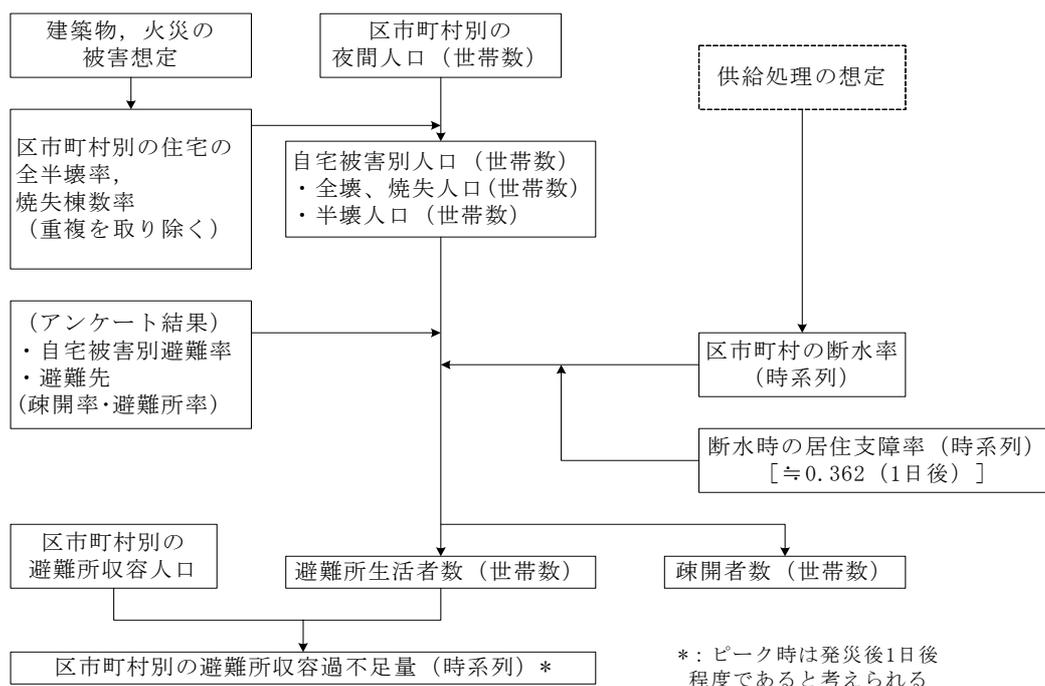
$$\text{避難人口} = 1.000 \times \text{全壊・焼失人口} + 0.503 \times \text{半壊人口} + 0.362 \times \text{断水率} \times \text{被害なし人口}$$

* 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-3-7 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

$$\text{避難所生活者数} = 0.65 \times (\text{全壊・焼失人口} + 0.503 \times \text{半壊人口})$$

$$\text{疎開者数} = 0.35 \times (\text{全壊・焼失人口} + 0.503 \times \text{半壊人口})$$

(2) 埼玉県(1998)の手法

○採用自治体：宮城県(04), 埼玉県(98), 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。

(3) 大阪府(1997)の手法

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-3-6 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 | |

3-4. 帰宅困難者数

(1) 東京都(1997)の手法

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以上の人は全員「帰宅困難」とする。

(2) 埼玉県(1998)の手法

埼玉県(1998)では、以下の仮定を設定し、地震発生後の帰宅困難者数を予測している。

- ・ 定期券を使用して、通勤・通学している人を対象とする。
- ・ 震度6以上では物的被害が発生するため、地域の鉄道は停止し、この区間を通る交通（バス・タクシーなど）は遮断される。
- ・ 帰宅は最短経路とするが、鉄道による合理的代替経路は使用する。
- ・ 帰宅距離10km以内の場合は徒歩帰宅が可能とし、帰宅困難者とはしない。
- ・ 帰宅距離10~20kmの場合は、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以上の場合は、全員帰宅不可能とする。

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。

表Ⅲ-4-1 ライフライン被害予測に用いられる地震動指標

| | 地震動指標 | 採用自治体数 |
|--------|--|--------|
| 電力・通信 | <input type="checkbox"/> 震度 | 19 |
| | <input type="checkbox"/> 地表最大加速度 | 8 |
| | <input type="checkbox"/> 建物全壊率 | 2 |
| 上水道 | <input type="checkbox"/> 地表最大加速度 | 18 |
| | <input type="checkbox"/> 地表最大速度 | 16 |
| | <input type="checkbox"/> SI値 | 3 |
| | <input type="checkbox"/> 建物全壊率 | 1 |
| 下水道 | <input type="checkbox"/> 地表最大加速度 | 16 |
| | <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） | 13 |
| | <input type="checkbox"/> SI値 | 3 |
| | <input type="checkbox"/> 建物全壊率 | 1 |
| 都市ガス | <input type="checkbox"/> 地表最大加速度 | 12 |
| | <input type="checkbox"/> 地表最大速度 | 10 |
| | <input type="checkbox"/> SI値 | 10 |
| | <input type="checkbox"/> 建物全壊率 | 2 |
| プロパンガス | <input type="checkbox"/> 地表最大加速度 | 2 |
| | <input type="checkbox"/> 震度 | 1 |

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。

① 電柱の被害

a) 東京都(1997)等の手法

○採用自治体：青森県(97)、宮城県(04)、栃木県(04)、東京都(97)、神奈川県(99)、山梨県(05)、静岡県(01)、愛知県(03)、鳥取県(05)、愛媛県(02)、札幌市(97)、川崎市(97)

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。

$$N_d^P = C_l \cdot R / 100 \cdot N + N_f \cdot N$$

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 |
| 東京都(97) | 0.00 | 0.55 | | 設定せず |
| 宮城県(04), 栃木県(04), 愛知県(03) | 0.00 | 0.55 | | 6.68 |
| 札幌市(97) | 0.00 | 0.47 | 2.86 | 6.68 |
| 川崎市(97) | 0.00 | 0.47 | | 設定せず |

(注)川崎市(1997)は東京都の中間報告(1996)をもとに被害予測を実施している。

東京都(1997)は、新たにデータを付加して係数を設定し直したものと考えられる。

表Ⅲ-4-3 東京都(1997)における液状化条件による補正係数 C_l

| P_L 値ランク | $P_L=0$ | $0 < P_L \leq 5$ | $5 < P_L \leq 15$ | $15 < P_L$ |
|------------|---------|------------------|-------------------|------------|
| 補正係数 C_l | 1.0 | 1.1 | 1.3 | 2.1 |

b) 神奈川県(1986)の手法

○採用自治体：秋田県(97), 埼玉県(98), 富山県(01), 福井県(97), 宮崎県(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-4-4 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 |

○富山県(01)では...

全てをコンクリート柱と仮定し、被害量を予測している。

○埼玉県(98)では...

神奈川県(1986)による被害率をベースに、地表最大加速度が400gal以上の被害率については、金沢市(1997)で兵庫県南部地震(1995)の被害状況を基に設定された被害率を用いている。

表Ⅲ-4-5 埼玉県(1998)における電柱100基あたりの被害本数(折損・倒壊)

| | 150gal 以下 | 151gal~ 300gal | 301gal~ 400gal | 401gal~ 600gal | 601gal~ 800gal | 801gal 以上 | 液状化 地域 |
|---------|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------|-----------|
| コンクリート柱 | 0.0 | 0.0 | 0.04 | 0.13 | 1.0 | 3.2 | 4.3 |
| 木柱 | 0.0 | 0.0 | 0.02 | 0.05 | 0.4 | 1.3 | 1.1 |

c) 広島県(1997)の手法

○採用自治体：新潟県(98), 広島県(97)

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-4-6 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% |

d) 福岡県(1997)の手法

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-4-7 電柱の被害率(単位: %)

| 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 | $0.99+0.006 P_L$ | $0.49+0.0029 P_L$ |

e) 仙台市(2002)の手法

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-4-8 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% |

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), 東京都(97), 神奈川県(99), 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亘長(km)

b) 神奈川県(1986)の手法

○採用自治体: 秋田県(97), 埼玉県(98), 福井県(97), 宮崎県(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)

○埼玉県(98)では...

神奈川県(1986)による被害率をベースに、地表最大加速度が400gal以上の被害率については、金沢市(1997)で兵庫県南部地震(1995)の被害状況を基に設定された被害率を用いている。

表Ⅲ-4-10 埼玉県(1998)における架空配電線の被害率(折損・倒壊)

| | 150gal 以下 | 151gal～ 300gal | 301gal～ 400gal | 401gal～ 600gal | 601gal～ 800gal | 801gal 以上 | 液状化 地域 |
|---------|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------|-----------|
| コンクリート柱 | 0.0 | 0.01 | 0.32 | 1.20 | 8.5 | 27.0 | 11.0 |
| 木柱 | 0.0 | 0.002 | 0.05 | 0.18 | 1.3 | 4.1 | 2.6 |

(単位：条・スパン/電柱 100基あたり)

○秋田県(97)では...

焼失被害として、延焼メッシュにおいてメッシュ内の架空線支持物および配電線のうち、焼失面積率が焼損および熔断するとしている。

c) 札幌市(1997)の手法

$$N_d^C = L \cdot N_d^P / N + N_f \cdot L$$

N_d^C : 架空線被害延長(km)

L : 架空線延長(km)

N_d^P : 電柱被害本数(本)

N : 電柱本数(本)

N_f : 建物の焼失率

d) 川崎市(1997)の手法

$$N_d^C = a \cdot N_d^P \cdot l$$

N_d^C : 架空線被害延長(km)

a : 支持物1本当り架空線の被害径間(箇所/本)

N_d^P : 支持物被害量(本)

l : 1条・スパン当りの延長(km)

過去の地震被害事例から $a = 0.5$ とし、全国平均の1条・スパン当りの延長から $l = 0.0267$ km としている。

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), 栃木県(04), 東京都(97), 神奈川県(99), 静岡県(01), 愛知県(03), 愛媛県(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。

$$N_d = C_l \cdot R / 100 \cdot L$$

- 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-4-11 地下線の標準被害率 R

| 震度 | 5強以下 | 6 | 7 |
|--------------------------------------|------|------|------|
| 東京都(97) | 0.00 | 0.30 | 設定せず |
| 宮城県(04), 栃木県(04) 愛知県(03), 愛媛県(02) | 0.00 | 0.30 | 4.70 |

b) 東京都防災会議(1991)の手法

○採用自治体：埼玉県(98), 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 地盤種 | $3.5 \leq f_o \leq 4.5$ 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、埼玉県(1998)、福井県(1997)ともに、上水道管被害予測と同じもの(表Ⅲ-4-22, 表Ⅲ-4-23)を使用している。

c) 仙台市(2002)の手法

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% |

(2) 機能支障の予測(停電)

① 神奈川県(1993)の手法

○採用自治体: 秋田県(97), 栃木県(04), 新潟県(98), 福井県(97), 愛知県(03), 広島県(97), 宮崎県(97)

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(%)

② 東京都(1997)の手法

一つの配電用変電所供給エリア内の高圧配電線数(系統数)を設定し, これらがエリア内で均一に分布していると仮定し, モデル化している。

架空線の被害については電柱間分の被害互長を, 地中線被害についてはマンホール区間分の被害互長を1箇所の被害とする。任意の配電用変電所の供給エリアにおける架空線, 地中線, それ

ぞれの亘長 1 kmあたりの平均被害箇所数 v_o , v_u は、以下の式で与えられる。

$$\text{架空線 } v_o = (a \times N_d^P) / L_o \quad (\text{箇所/km})$$

v_o : 亘長 1 kmあたりの平均被害箇所数

N_d^P : 当該供給エリアの電柱被害量

a : 支持物 1 本あたりの架空線の被害径間 (=0.396箇所/基)

L_o : 当該供給エリアの架空線亘長 (km)

$$\text{地中線 } v_u = (d_u / S_u) / L_u \quad (\text{箇所/km})$$

v_u : 地中線の亘長 1 kmあたりの平均被害箇所数

d_u : 当該供給エリアの地中線の被害亘長 (km)

S_u : マンホール区間長 (=0.2km)

L_u : 当該供給エリアの地中線亘長 (km)

各モデル要素における任意の 1 区間の被害箇所数は、

$$e'_u = v_u \cdot L'_u \quad (\text{フィーダー線})$$

$$e_o = v_o \cdot L_o \quad (\text{架空線})$$

$$e_u = v_u \cdot L_u \quad (\text{地中線})$$

である。各系統の配電線の被害が、それぞれ配電線に沿ってポアソン過程に従って発生すると仮定すると、モデルにおける任意の 1 区間で被害が発生する確率は、

$$P'_u = 1 - \exp(-v_u \cdot L'_u) \quad (\text{フィーダー線})$$

$$P_o = 1 - \exp(-v_o \cdot L_o) \quad (\text{架空線})$$

$$P_u = 1 - \exp(-v_u \cdot L_u) \quad (\text{地中線})$$

架空系統モデルにおける停電需要家数の期待値は、

$$E_o^o = P'_u \cdot 3C_o + (1 - P'_u) \cdot E_A^o$$

$$E_A^o = P_o \cdot 3C_o + (1 - P_o) \cdot E_B^o$$

$$E_B^o = P_o \cdot 2C_o + (1 - P_o) \cdot E_C^o$$

$$E_C^o = P_o \cdot C_o$$

C_o : 架空系統の各区間に割り当てられた需要家数

地中系統モデルにおける停電需要家数の期待値は、

$$E_o^u = P'_u \cdot 2C_u + (1 - P'_u) \cdot E_A^u$$

$$E_A^u = P_u^2 \cdot 2C_u$$

C_u : 各地中線に割り当てられた需要家数

これらの停電需要家数期待値および当該配電用変電所の供給エリアにおける配電線数により、

ある配電用変電所の供給エリアの停電需要家件数 $D_d(i)$ は、

$$D_d(i) = n_o \cdot E_o^o + n_u \cdot E_o^u$$

となる。

ある市町村での停電率 $P_5(i)$ は

$$P_5(i) = D_d(i) / D(i)$$

$D(i)$: 市町村の需要家数

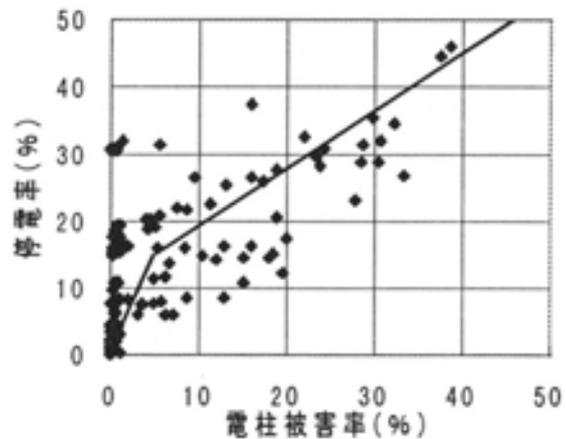
なお、延焼区域では全ての需要家が停電に至るものと仮定する。

③ 埼玉県(1998)の手法

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る。

$$Y = \begin{cases} 3X & (X \leq 5\%) \\ \frac{6}{7}X + \frac{75}{7} & (5\% < X) \end{cases}$$

Y : 停電率(%)
 X : 電柱被害率(%)



図Ⅲ-4-1 電柱被害率と電力の機能支障率の関係(埼玉県, 1998)

(3) 復旧期間の予測

① 神奈川県(1986, 1993)の手法

○採用自治体：秋田県(97), 新潟県(98), 広島県(97), 宮崎県(97)

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)等を参考に各自自治体で以下の値を設定している。

表Ⅲ-4-15 配電線復旧効率

| | 秋田県(97), 新潟県(98) 宮崎県(97) | 神奈川県(1993) | 広島県(97) |
|--------|-----------------------------|------------|---------|
| 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 | — |

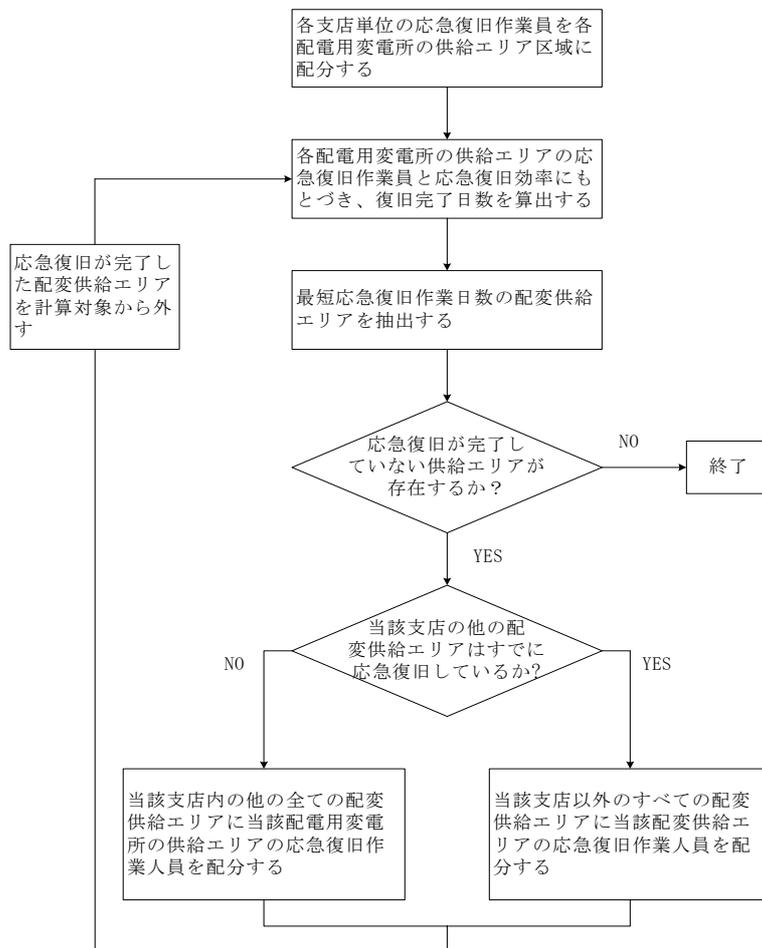
② 東京都防災会議(1991)等の手法

○採用自治体：埼玉県(98), 東京都(97)

発災1日後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。東京都(1997)の予測フローを下図に示す。

表Ⅲ-4-16 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) | <ul style="list-style-type: none"> 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) | <ul style="list-style-type: none"> 高低圧本数とし, 仮設する 電線指示の腕金類を含む |
| 地中電線 (フィーダー線含む) | 2.0(人日/10m) | <ul style="list-style-type: none"> 路上にケーブル設置する |



図Ⅲ-4-2 応急復旧想定フロー(東京都, 1997)

4-2. 通信の被害・復旧

(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

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-4-17 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

$$N_d = C_l \cdot R / 100 \cdot L$$

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-4-18 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% |

c) 札幌市(1997)の手法

兵庫県南部地震(1995)による被害に基づいて予測している。

$$N_d = C_l \cdot R / 100 \cdot L$$

N_d : 被害延長(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 : 地中ケーブル延長(km)

表Ⅲ-4-19 地下ケーブルの標準被害率(札幌市, 1997)

| 震度5以下 | 震度6弱 | 震度6強 | 震度7 |
|-------|-------|-------|-------|
| 0.00% | 0.30% | 2.00% | 4.70% |

(2) 機能支障の予測

① 神奈川県(1993)の手法

○採用自治体：秋田県(97), 新潟県(98), 宮崎県(97)

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...

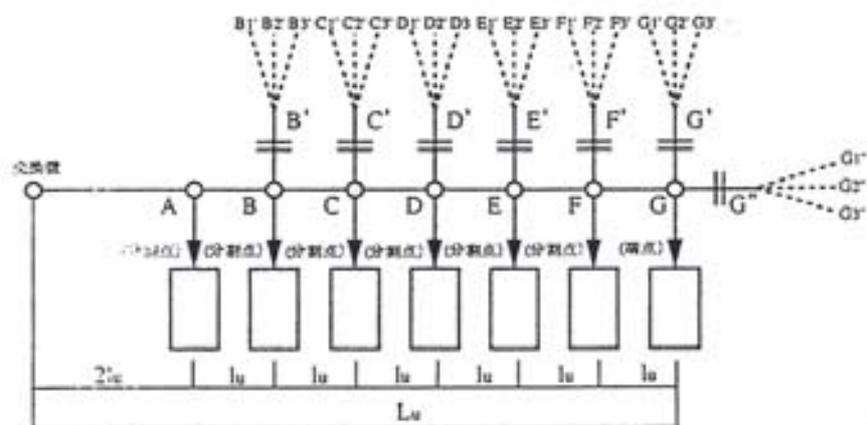
上記の架空線被害による機能支障率に加えて, 地下ケーブル被害による機能支障率を推定し, 両者のうちの高い方の値を採用している.

$$Y = 19.9X$$

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

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, 架空線をモデル化したものが下図である.



図Ⅲ-4-3 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.

$$v_o = (a \times N_d^P) / L_o \quad (\text{箇所/km})$$

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)

$$v_u = (d_u / S_u) / L_u \quad (\text{箇所/km})$$

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(=0.12km)

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区間当りの被害確率および架空ケーブル1区間当りの被害確率は、

$$P_u = 1 - \exp(-v_u \cdot L'_u) \quad (\text{基線ケーブル: 分割点を結ぶケーブル})$$

$$P_u = 1 - \exp(-v_u \cdot 2L_u) \quad (\text{基線ケーブル: 端局に直接つながるケーブル})$$

$$P_o = 1 - \exp(-v_o \times 0.036) \quad (\text{架空ケーブル})$$

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。

$$\begin{aligned} E_o = & P_o \cdot 10C_o + (1 - P_o) \cdot P_o \cdot 9C_o \\ & + (1 - P_o)^2 \cdot P_o \cdot 8C_o + (1 - P_o)^3 \cdot P_o \cdot 7C_o \\ & + (1 - P_o)^4 \cdot P_o \cdot 6C_o + (1 - P_o)^5 \cdot P_o \cdot 5C_o \\ & + (1 - P_o)^6 \cdot P_o \cdot 4C_o + (1 - P_o)^7 \cdot P_o \cdot 3C_o \\ & + (1 - P_o)^8 \cdot P_o \cdot 2C_o + (1 - P_o)^9 \cdot P_o \cdot C_o \end{aligned}$$

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

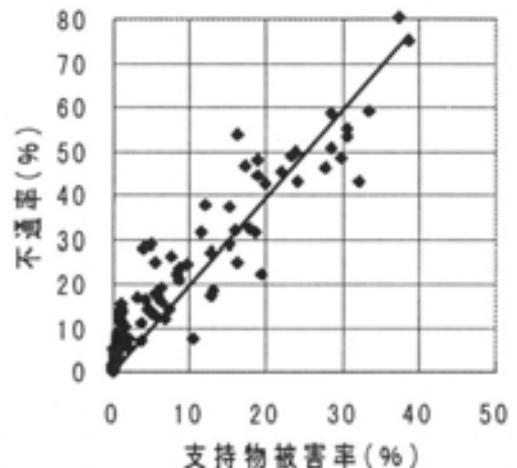
東京都(1997)の結果を利用し、ネットワークを簡易モデル化することによって、電柱被害率と供給支障率の関係を求めている。

$$Y = 2.26985X$$

Y : 不通率(%)

X : 支持物被害率(%)

図Ⅲ-4-4 支持物被害率と電話の不通率の関係
(埼玉県, 1998)



(3) 復旧期間の予測

① 神奈川県(1993)等の手法

○採用自治体：秋田県(97), 新潟県(98), 宮崎県(97)

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-4-20 電話施設復旧効率一覧

| | 神奈川県(93) | 秋田県(97) | 宮崎県(97) | 新潟県(98) |
|--------|-----------|----------|----------|-----------|
| 電 柱 | 0.9人日/基 | 0.53人日/基 | 0.53人日/基 | 0.53人日/基 |
| 電 線 | 0.13人日/条 | 0.14人日/条 | 0.40人日/条 | 0.40人日/条 |
| 地下ケーブル | 51人日/120m | — | — | 2.0人日/10m |

○新潟県(98), 宮崎県(97)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(98), 東京都(97)

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-4-21 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ヵ所 |
| 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ヵ所 |

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てられ, 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.

4-3. 上水道の被害・復旧

(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。

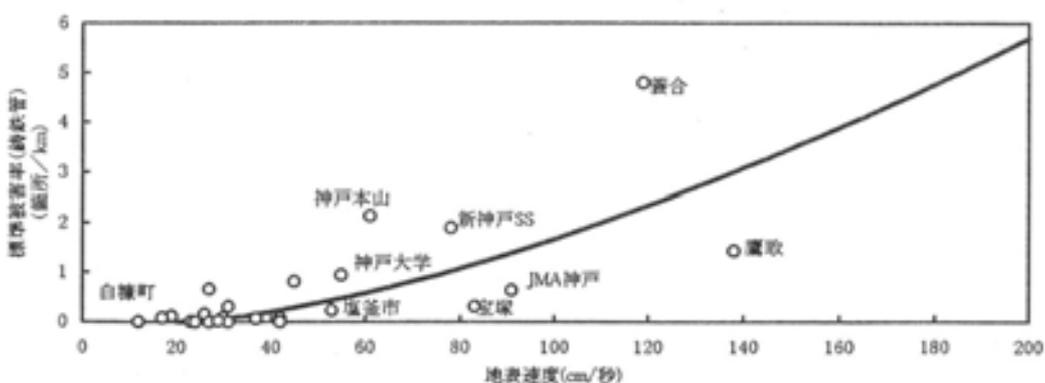
(7) 地表最大速度 V を指標とする手法

○採用自治体：栃木県(04)、東京都(97)、神奈川県(99)、山梨県(05)、静岡県(01)、愛知県(03)、奈良県(05)、鳥取県(05)、徳島県(05)、愛媛県(02)、札幌市(97)、川崎市(97)

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-4-5 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：宮城県(04), 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。

$$R_f = \begin{cases} 0 & (V < 15\text{cm/s}) \\ 3.11 \times 10^{-3} (V - 15)^{1.30} & (V \geq 15\text{cm/s}) \end{cases}$$

○採用自治体：岩手県(04), 岐阜県(04)

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、 $V \leq 110$ (cm/s), $R_f \leq 1.23$ (箇所/km)

(イ) SI 値を指標とする手法

○採用自治体：群馬県, 長野県, 福岡県

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。

$$R_f = 0.025 \times SI - 0.51 \quad \text{ただし、} R_f \geq 1.5 \text{ のとき } R_f = 1.5$$

(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)

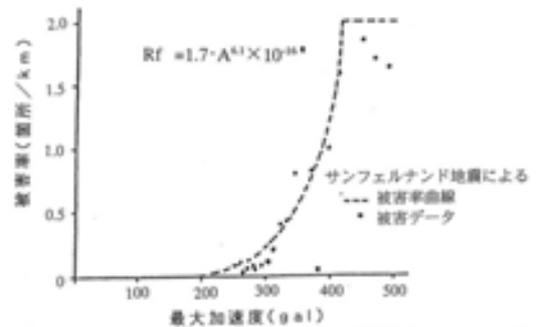
○採用自治体：青森県(97), 秋田県(97), 福島県(98), 埼玉県(98), 新潟県(98), 富山県(01), 福井県(97), 島根県(97), 広島県(97), 山口県(97), 香川県(97), 高知県(04), 佐賀県(97), 宮崎県(97), 鹿児島県(97), 沖縄県(97), 千葉市(96), 広島市(97)

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。

$$R_f = 1.7A^{6.1} \times 10^{-16}$$

ただし、 $R_f \geq 2.0$ のとき $R_f = 2.0$

A : 地表最大加速度(gal)



図Ⅲ-4-6 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)

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

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(2004)と仙台市(2002)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-4-22 各自治体における地盤係数

| 地盤分類 | 秋田県(97), 新潟県(98) 広島県(97), 宮崎県(97) | 地盤分類 | 宮城県(04) 仙台市(02) | 地盤分類 | 青森県(97) 埼玉県(98) |
|------|--------------------------------------|----------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| 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 |
| 台地 | 0.5 | 段丘平坦地 ・丘陵地 | 1.5 | ローム | 0.9 |
| 沖積平野 | 1 | 旧河道・ 平地部造成地 | 3.2 | 粘土・砂など (沖積) | 1 |
| 軟弱低地 | 2 | 軟弱低地・造成地 | 1 | 腐植土(沖積) | 1.2 |
| 地盤分類 | 山口県(97) | 広島市(97) | 地盤分類 | 福井県(97) | |
| 1種 | 0.6 | 0.43 | 洪積世 | 0.5 | |
| 2種 | 1.3 | 0.93 | 沖積世 | 1 | |
| 3種 | 1.3 | 0.93 | 沖積世(腐植土) | 2 | |
| 4種 | 1.9 | 1.36 | | | |
| 地盤境界 | 2.5 | 1.79 | | | |

(注) 1種：第三紀以前の地盤, or 岩盤までの洪積層の厚さが10m未満
 2種：岩盤までの洪積層の厚さが10m以上, or 岩盤までの沖積層の厚さが10m未満
 3種：沖積層の厚さが10m未満でかつ軟弱層の厚さが5m未満
 4種：上記以外の地盤
 地盤境界：洪積層との境界付近の沖積層

表Ⅲ-4-23 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), 秋田県(97) 埼玉県(98), 広島県(97) | — | — | 2.9 | | 4.7 |
| 宮城県(04) | — | 1.0 | 2.0 | | 2.4 |
| 新潟県(98) | — | | — | | 3.0 |
| 福井県(97) | — | — | 2.5 | | 3.5 |
| 宮崎県(97) | — | 1.0 | 2.9 | | 4.7 |
| 仙台市(02) | — | 1.0 | 2.0 | | 2.5 |

(イ) 液状化係数のみを考慮している自治体

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-4-24 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 |
| 東京都(97), 川崎市(97) | 1 | 1.2 | 1.5 | | 3 |
| 山梨県(05) | 1 | 1.2 | 1.5 | | 2.8 |
| 札幌市(97) | 1 | 1.1 | 1.3 | | 2.1 |

○福岡県(97)では...

日本海中部地震(1983), 兵庫県南部地震(1995)の事例と液状化面積率を考慮している。

$$C_g = 0.925 + 0.025 \times P_L \quad P_L : \text{液状化指数}$$

c) 管種係数 C_p ・ 管径係数 C_d

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-4-25 福岡県(1997)・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 |
| 塩化ビニル管 | 2.6 | 1.9 | 1.9 | — |
| 普通铸铁管 | 1.4 | 1.0 | 0.8 | 0.3 |
| ダクタイル铸铁管 | 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-4-26 東京都(1997)・札幌市(1997)・川崎市(1997)における管種・管径係数

| 管種 | 管径 φ (mm) | 係数 | 管種 | 管径 φ (mm) | 係数 |
|--------------|---------------|-------|---------|---------------|--------|
| ダクタイル 铸铁管 | φ ≤ 75 | 0.6 | 鋼管 | φ ≤ 75 | 0.84 |
| | 100 < φ ≤ 450 | 0.3 | | 100 < φ ≤ 250 | 0.42 |
| | 500 < φ ≤ 900 | 0.09 | | 300 < φ | 0.24 |
| | 1000 < φ | 0.045 | | 塩化ビニル管 | φ ≤ 75 |
| 铸铁管 | φ ≤ 75 | 1.7 | 100 < φ | | 1.2 |
| | 100 < φ ≤ 250 | 1.2 | 石綿セメント管 | φ ≤ 75 | 6.9 |
| | 300 < φ ≤ 900 | 0.4 | | 100 < φ ≤ 250 | 2.7 |
| | 1000 < φ | 0.15 | | 300 < φ | 1.2 |

表Ⅲ-4-27 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 | |
|-----------------------|------|---------------------|------|---------|------|---------------------|------|
| ダクタイル铸铁管 (耐震性継手あり) | 0.0 | — | — | 塩化ビニル管 | 1.5 | 150mm未満 | 1.1 |
| ダクタイル铸铁管 (耐震性継手なし) | 0.25 | 600mm未満 | 1.3 | | | 150mm以上 | 0.9 |
| | | 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 |
| 普通・ねずみ铸铁管 | 1.0 | 350mm未満 | 1.5 | | | 350mm以上 | 0.4 |
| | | 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 |
| 鋼管(溶接結合) | 0.1 | 1200mm未満 | 1.0 | ステンレス管 | 0.1 | 1200mm未満 | 1.0 |
| | | 1200mm以上 | 0.5 | | | 1200mm以上 | 0.5 |
| 鋼管(ネジ) | 1.0 | 150mm未満 | 1.3 | コンクリート管 | 1.0 | 350mm未満 | 1.5 |
| | | 150mm以上 | 0.75 | | | 350mm以上 1200mm未満 | 0.3 |
| | | | | | | 1200mm以上 | 0.15 |

(注) ポリエチレン管・ステンレス管は鋼管(溶接結合)、コンクリート管・その他管種および不明の場合は普通・ねずみ铸铁管と同様とした。

表Ⅲ-4-28 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) 埼玉県(98) | 秋田県(97) | 広島県(97) | 新潟県(98)* 宮崎県(97) | 山口県(97) | 福井県(97) |
|----------|--------------------|--------------------|---------|---------|---------------------|---------|---------|
| 普通铸铁管 | 1.0 | | | | | | |
| ダクタイル铸铁管 | 0.3 | 0.2 | | | | | 0.3 |
| 鋼管 | - | | 2.0 | | | | |
| 溶接鋼管 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 |
| ネジ付鋼管 | 2.0 | - | | | | | 2.8 |
| 鋼管ソケット管 | - | | | | | | 0.8 |
| 鉛管 | - | | | | 1.0 | - | |
| 塩化ビニル管 | 1.0 | 1.5 | | | 1.0 | 0.8 | 1.2 |
| 石綿セメント管 | 1.2 | 4.0 | | 2.0 | 1.0 | 1.3 | 2.8 |
| ポリエチレン管 | 0.1 | - | 0.1 | | | - | 0.2 |
| コンクリート管 | - | | | | 1.0 | - | |

* 新潟県では鉛管は設定されていない

表Ⅲ-4-29 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 | | | | | | |
| 秋田県(97) 広島県(97) | 1.2 | 0.6 | - | 0.4 | | | | | | | 0.2 | |
| 青森県(97) | 1.2 | 0.6 | | 0.4 | | | | | | | | 0.2 |
| 埼玉県(98) | 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 |
| 宮崎県(97) | 1.0 | | 0.5 | | | 0.4 | | | | 0.2 | | |
| 山口県(97) | 1.0 | 0.8 | 0.6 | - | 0.4 | - | 0.3 | | - | 0.1 | | |
| 広島市(97) | 1.0 | - | 0.6 | - | 0.4 | - | 0.3 | | - | 0.1 | | |

(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-4-30 岩手県(2004)における管種係数・管径係数

| 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 |
| 普通铸铁管 | 1.0 | 200～250mm | 0.9 |
| ダクタイル铸铁管 | 0.3 | 300～450mm | 0.7 |
| ダクタイル铸铁管(耐震継手) | 0 | 500～600mm | 0.5 |
| 鋼管(ねじ継手) | 4.0 | | |
| 鋼管(溶接) | 0.3 | | |

(出典) 高田ほか(2001)

② 給水管被害箇所数の予測

a) 東京都(1997)の手法

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 東京都(1997)の手法

地震直後と地震発生4日後時点での断水の状況を予測している。

■地震発生直後

水道管路幹線域の機能支障予測では、主要幹線に対しネットワーク解析を適用している。管路要素のある地点から L の距離において被害が発生する確率密度関数 $P(L)$ は、

$$P(L) = R^e \exp(-R^e L) \quad \begin{array}{l} R^e : \text{管路要素 } e \text{ の平均被害率} \\ L : \text{管路要素 } e \text{ のある地点からの距離(km)} \end{array}$$

であり、管路要素 e の起点から終点までの間に被害が全く発生しない確率 P_a は、

$$P_a = 1 - \int_0^{L^e} R^e \exp(-R^e L) dL = \exp(-R^e \cdot L^e) \quad L^e : \text{管路要素の延長(km)}$$

で表される。

全ての要素で被害が発生しない確率 P_b は次式で表現される。

$$P_b = \prod_{e=1}^n (\exp(-R^e \cdot L^e)) = \exp\left(-\sum_{e=1}^n R^e \cdot L^e\right) \quad n : \text{当該道路における管路要素数}$$

したがって、管路に1カ所以上の被害が発生する確率 P_3 は、

$$P_3 = 1 - \exp\left(-\sum_{e=1}^n R^e \cdot L^e\right)$$

である。

得られた被害確率に基づき、乱数を用いてコンピュータ上で被災パターンを導出する。ネットワークの連結性および需要・供給のバランスを考慮したネットワークの解析手法により需要接点で水が得られるかどうか評価する。

断水率 $P_3(i)$ は、以下の式で算出する。これにより、供給エリア内の断水件数を求める。

$$P_3(i) = N_i / M \quad \begin{array}{l} N_i : \text{需要接点 } i \text{ に水が供給されない回数} \\ M : \text{シミュレーションの回数} \end{array}$$

支線では、過去の震災データから導き出された物的被害率と断水率の関係式を使用する。

$$P_5 = 1 / (1 + 0.307 R_{fm}^{-1.17}) \quad P_5 : \text{支線の断水率}$$

$$R_{fm} : \text{配水小管の物的被害率(箇所/km)}$$

給水管では、被害率と断水率は等しいと仮定する。

$$P_7 = R_2 \quad P_7 : \text{給水管の断水率} \quad R_2 : \text{給水管被害率(箇所/km)}$$

以上から、地震発生直後の断水率 P は、

$$P = P_3 + (1 - P_3) \times P_5 + (1 - (P_3 + (1 - P_3) \times P_5)) \times P_7$$

となる。

■発災4日後

発災4日後には、制水弁の閉止が行われていると考えられる。各領域での供給支障予測手法は以下のとおりである。

幹線：1日後と同様にネットワーク解析を行う。

支線：制水弁閉止後は、物的被害箇所はネットワークから切り離される。

配水小管被害箇所数を供給エリア内の制水弁個数で除し、エリア内の断水率を算出する。

$$p(i) = \frac{N_d(i)}{B(i)} \quad p(i) : \text{供給エリア } i \text{ における断水率}$$

$N_d(i)$: 供給エリア i における配水小管の被害箇所数

$B(i)$: 供給エリア i における制水弁の個数

給水管：1日後と同様の手法で評価する。

断水率：1日後と同様の手法で評価する。

② 川上(1996a)の手法

○採用自治体：埼玉県(98)、山梨県(05)、愛知県(03)、奈良県(05)

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。

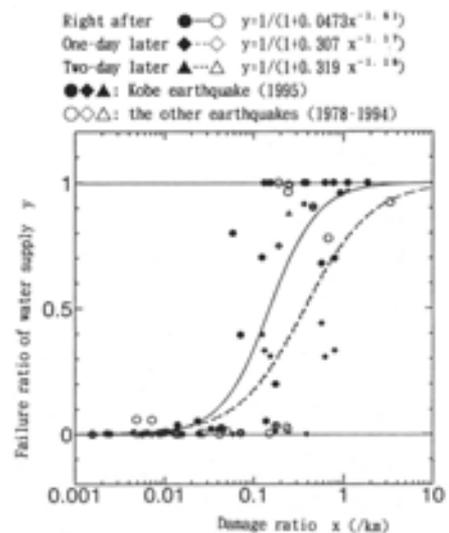
$$\text{直後} : y = 1 / (1 + 0.0473x^{-1.61})$$

$$\text{1日後} : y = 1 / (1 + 0.307x^{-1.17})$$

$$\text{2日後} : y = 1 / (1 + 0.319x^{-1.18})$$

y : 断水世帯率

x : 配水管被害率(箇所/km)



図Ⅲ-4-7 断水率と配水管被害率の関係 (川上, 1996a)

○埼玉県(98)では...

停電の影響が少なくなると考えられる地震発生1日後の回帰曲線を用いて供給支障を予測している。

③ 川上(1996b)の手法

○採用自治体：新潟県(98), 長野県(02), 広島県(97),
山口県(97), 宮崎県(97)

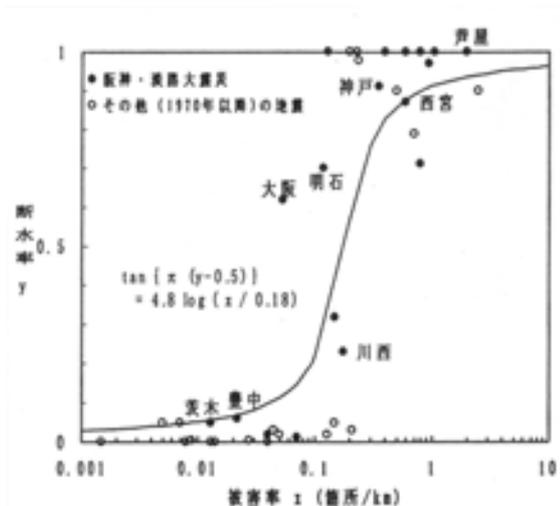
過去の地震後の断水率は、ネットワークの形状などの影響をあまり受けず、0.1箇所/km付近を境に値が上昇している。

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-4-8 断水率と配水管被害率の関係(川上, 1996b)

④ 川崎市(1988)の手法

○採用自治体：秋田県(97), 福井県(97), 島根県(97), 仙台市(02)

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(%)

x₁ : 供給面積(km²)

x₂ : 幹線(口径400mm以上)の延長(km)

x₃ : 総被害箇所数(箇所)

⑤ 福岡県(1998)の手法

宮城県沖地震(1978), 日本海中部地震(1983), 千葉県東方沖地震(1987), 兵庫県南部地震(1995)による被害事例から、上水道管被害率と断水率の関係を設定している。

$$\text{断水率(\%)} = 200 \times \text{管被害率(箇所/km)} \quad (\leq 100)$$

⑥ 名古屋市(1997)の手法

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。

$$\text{想定断水戸数} = \text{給水装置の被害数} + \text{配水管の被害による断水戸数} / 2$$

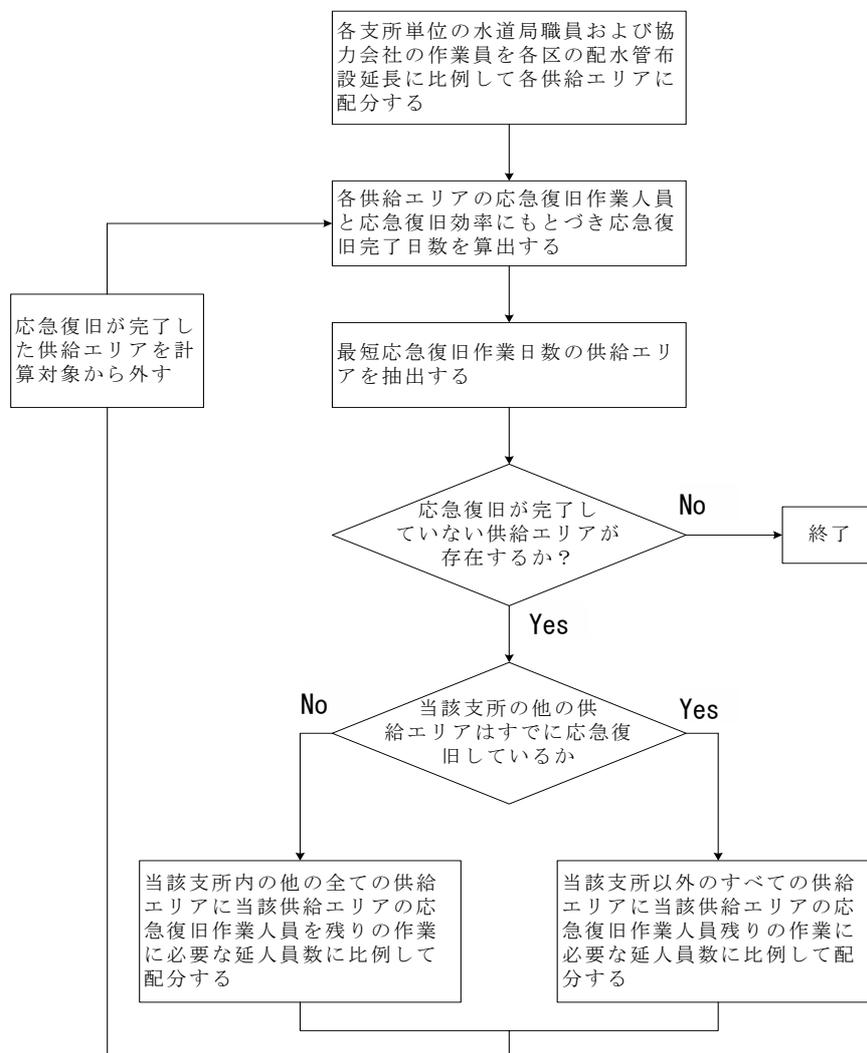
小口径配水管, 配水管の被害箇所1ヵ所につき1断水区間を想定している。平均的に止水栓1.5箇所, 仕切弁3箇所を使用して1断水区間とし, 管路延長, 止水栓, 仕切弁設置数から断水区間の管路延長を求めている。

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

想定フローを下図に示す。



図Ⅲ-4-9 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-4-31 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 |

② 神奈川県(1986)等の手法

○採用自治体：秋田県(97), 埼玉県(98), 新潟県(98), 広島県(97), 宮崎県(97)

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-4-32 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 φ400mm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 φ100~350mm | 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 φ100mm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-4-33 設定した水道管復旧効率

| 自治体名 | 秋田県(97) | 埼玉県(98) | 新潟県(98) 宮崎県(97) | 広島県(97) | 復旧効率 |
|------|---------|------------|--------------------|----------|---------|
| 区分 | — | φ400mm以上 | — | — | 72人日/件 |
| | 導・送水管 | φ150~350mm | — | φ400mm以上 | 6人日/件 |
| | 配水本枝管 | φ100mm以上 | 配水管 | φ400mm未満 | 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

(4) 機能信頼度の予測

① 広島市(1997)の手法

水道管ネットワークシステムにおける機能の信頼度をモンテカルロ・シミュレーション法により評価している。

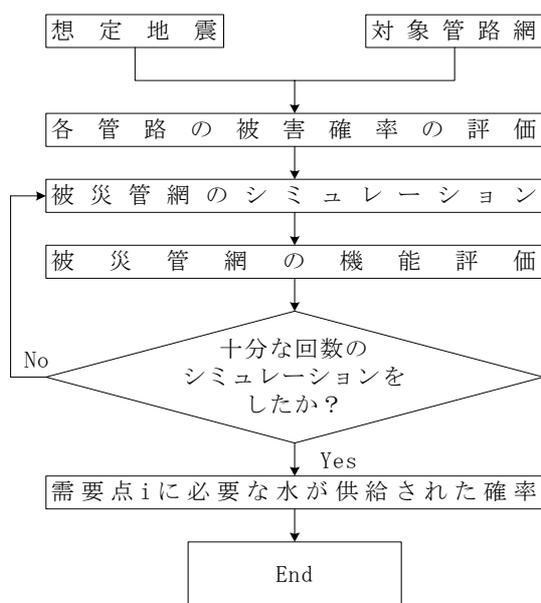
管路の被害確率をまず求め、各管路の被害確率に基づき乱数を使用し被害ネットワークのサンプルを発生させる。

次に、この被害ネットワークの機能を連結性および(供給の総量) ≥ (需要の総量)という評価基準によって評価し、各需要点の需要が満足されるか否かを判断している。

$$\text{需要点の信頼度} = \frac{\text{供給が満足された回数}}{\text{シミュレーション繰り返し回数}}$$

このシミュレーションを行うにあたって、以下の仮定を設定している。

- ・各浄水場からの給水量は保たれる。
- ・被害が生じた節点の両側での給水量は落ちない。



図Ⅲ-4-10 モンテカルロ・シミュレーション法による水道管網の信頼度評価手順(広島市, 1997)

4-4. 下水道の被害・復旧

(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 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), 秋田県(97), 新潟県(98), 富山県(01), 福井県(97), 島根県(97), 広島県(97), 香川県(97), 宮崎県(97), 鹿児島県(97), 沖縄県(97), 札幌市(97), 仙台市(02), 千葉市(96), 広島市(97),

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・広島県・宮崎県・札幌市は、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・秋田県・新潟県・広島県・宮崎県では、上水道の被害予測で使用したのと同じ係数（表Ⅲ-4-22, 表Ⅲ-4-23）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-4-38）。

表Ⅲ-4-34 各自治体における地盤係数

| 地盤分類 | 宮城県(04) 仙台市(02) | 地盤分類 | 札幌市(97) |
|-----------------------------|--------------------|------|---------|
| 山地・丘陵地, 段丘平坦地 | 0.4 | 洪積層 | 0.5 |
| 沖積平野, 旧河道, 谷底平野, 自然堤防 | 1.0 | 沖積層 | 1.0 |
| 軟弱地盤, 後背湿地 | 2.0 | 泥炭層 | 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-4-35 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 |
|---------------------------|---|-----|----|----|-----|----|
| 秋田県(97) | — | 2.9 | | | 7.0 | |
| 青森県(97), 広島県(97), 札幌市(97) | — | | | | 7.0 | |
| 新潟県(98), 宮崎県(97) | — | | | | 7.0 | |

表Ⅲ-4-36 各自治体における管種係数 C_p

| 管種 | 青森県(97) 秋田県(97) 広島県(97) 宮崎県(97) | 札幌市(97) | 新潟県(98) | 福井県(97) | 宮城県(04) 仙台市(02) |
|---------------|--|---------|---------|---------|--------------------|
| 陶管 | 2.0 | — | | 1.6 | 2.0 |
| ヒューム管 | 0.5 | | — | 0.5 | 2.0 |
| 塩化ビニル管 | 1.5 | | | 1.2 | 1.5 |
| ボックス・カルバート | 0.2 | | | | — |
| シルド管 | 0.1 | | — | 0.1 | — |
| 無筋コンクリート管 | 1.5 | | — | 1.2 | 6.0 |
| 現場打ち鉄筋コンクリート管 | 0.2 | | | | — |
| ダクタイル鉄管 | — | 0.2 | | — | — |
| 溶接鋼管 | — | 0.1 | | — | — |
| 鋼管 | — | | 2.0 | — | 2.0 |
| プラスチック管 | — | | 1.5 | — | 1.0 |
| 普通鉄管 | — | 1.0 | | — | 1.0 |
| ポリエチレン管 | — | | 0.1 | — | — |
| 石綿セメント管 | — | | 1.0 | — | — |
| 不明 | 1.0 | — | 1.0 | — | — |

表Ⅲ-4-37 各自治体における管径係数 C_d

| 管径 | 青森県(97), 秋田県(97) 広島県(97), 宮崎県(97) 札幌市(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-4-38 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 |

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(97)

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-4-39 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 |
| ダクタイル鋳鉄管 | 0.2 | | |

③ 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：埼玉県(98), 東京都(97), 神奈川県(99), 山梨県(05), 岐阜県(04), 静岡県(01), 愛知県(03), 鳥取県(05), 徳島県(05), 愛媛県(02), 川崎市(97), 名古屋市(99)

支線管渠の土砂堆積被害を対象としている。土砂堆積被害とは、液状化により管渠の接合部等において発生した損傷部から土砂が流入し、管渠内に土砂が堆積することを指す。

$$N_d = C_4 \cdot R \cdot L$$

N_d : 枝線管渠の土砂堆積延長(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 : 管渠延長(km)

表Ⅲ-4-40 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 |
|---------------------------|------|--------|--------|--------|
| 埼玉県(98), 東京都(97), 川崎市(97) | 0.00 | 0.008 | 0.019 | 0.068 |
| 名古屋市(99) | 0.00 | 0.0064 | 0.0126 | 0.0254 |

(注)名古屋市(99)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。

(2) 機能支障および復旧期間の予測

① 秋田県(1997)・宮崎県(1997)の手法

○採用自治体：秋田県(97), 新潟県(98), 宮崎県(97)

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)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。

$$\text{復旧工事開始月(月)} = \begin{cases} 10.24 \log_{10}(\text{被害箇所数}) - 27.25 & (\text{被害箇所数が1,000以上の場合}) \\ 0.0034 \times (\text{被害箇所数}) & (\text{被害箇所数が1,000未満の場合}) \end{cases}$$

② 東京都(1997)の手法

枝線管渠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、枝線管渠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。

③ 埼玉県(1998)の手法

幹線管渠は枝線管渠に比べ、管渠断面・掃流力が大きく、堆積した土砂は押し流されると考えられるため、流下機能に影響はないとし、想定対象としていない。

枝線管渠については、土砂堆積被害率を流下機能支障率とし、これに市町村ごとの世帯数を乗じて機能支障世帯数を求めている。

応急復旧については、東京都(1997)の手法を採用している。

④ 広島県(1997)の手法

兵庫県南部地震(1995), 日本海中部地震(1983)によ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を使用している。

$$D = 0.0084 \cdot Nh$$

$$M = \begin{cases} 10.24 \log_{10} Nh - 27.25 & (Nh > 1000 \text{の場合}) \\ 0.0034 \cdot Nh & (Nh < 1000 \text{の場合}) \end{cases}$$

D : 応急復旧対処日数

M : 復旧工事開始月（ヶ月後、ただし半月きざみ）

Nh : 下水道管被害箇所数

4-5. 都市ガスの被害・復旧

(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。これまでは、地表最大加速度を指標に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。

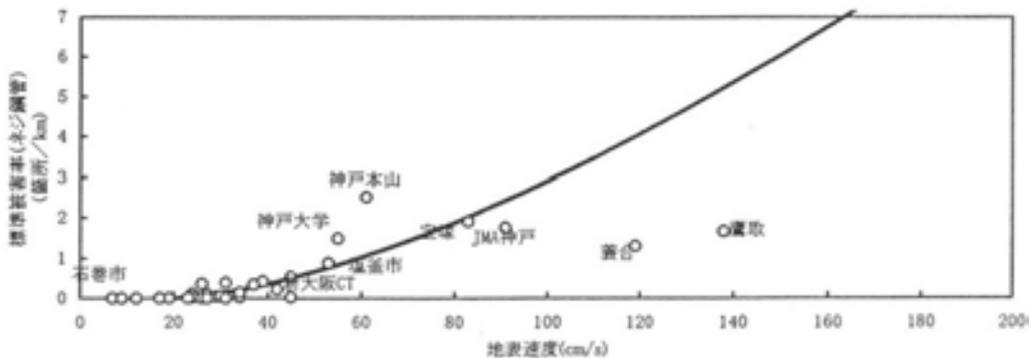
a) 地表最大速度 V を指標とする手法

○採用自治体：栃木県(04)、東京都(97)、神奈川県(99)、山梨県(05)、静岡県(01)、愛知県(03)、鳥取県(05)、愛媛県(02)、札幌市(97)、川崎市(97)

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。なお、札幌市(1997)は中・高压管のみを被害予測の対象としている。

$$R_f = 3.89 \times 10^{-3} (V - 20)^{1.51}$$

V : 地表最大速度(cm/s)



図Ⅲ-4-11 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), 群馬県(98), 新潟県(98), 長野県(02), 広島県(97), 福岡県(97), 仙台市(02), 広島市(97)

兵庫県南部地震(1995)による都市ガス導管の被害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), 群馬県(98), 岐阜県(04), 福岡県(97)

$$R_f = 0.025SI - 0.76 \quad (\text{ただし、} 0 \leq R_f \leq 1.8)$$

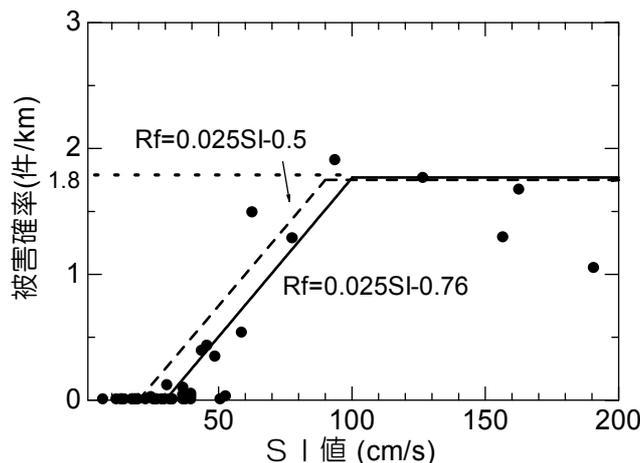
SI : SI 値 (cm/s)

○採用自治体：新潟県(98), 長野県(02), 広島県(97), 広島市(97)

$$R_f = 0.025SI - 0.5 \quad (\text{ただし、} 0 \leq R_f \leq 1.75)$$

○採用自治体：宮城県(04), 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-4-12 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), 秋田県(97), 埼玉県(98), 富山県(01), 福井県(97), 島根県(97), 香川県(97), 佐賀県(97), 宮崎県(97), 鹿児島県(97), 沖縄県(97), 千葉市(96)

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 (図Ⅲ-4-6)。

$$R_f = 1.7A^{6.1} \times 10^{-16} \quad \text{ただし、} R_f \geq 2.0 \text{ のとき、} R_f = 2.0$$

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-4-22～表Ⅲ-4-24）が採用されている。

○新潟県(98), 長野県(02)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

○広島県(97)では...

管種別に液状化補正係数を設定している。

表Ⅲ-4-41 広島県(1996)における液状化補正係数

| 管種 | 非液状 ($P_L < 15$) | 液状化 ($P_L \geq 15$) |
|------------|--------------------|-----------------------|
| 鋼管(溶接) | 1.0 | 1.00 |
| 鋼管(SGM) | 1.0 | 2.53 |
| 鋼管(ネジ付) | 1.0 | 5.00 |
| 铸铁管(メカニカル) | 1.0 | 3.05 |
| 铸铁管(ガス) | 1.0 | 4.00 |
| 铸铁管(印ろう) | 1.0 | 4.30 |

* 地層境界部では、上記係数を2.5倍する

○宮城県(04), 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)では低圧管のみを予測対象としている。

表Ⅲ-4-42 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-4-43 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 |

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。

表Ⅲ-4-44 各自治体における管種係数（中圧管）

| 管種 | 秋田県(97) 埼玉県(98) 宮崎県(97) | 福井県(97) | 新潟県(98) 長野県(02) | 東京都(97) 川崎市(97) | 広島県(97) | 福岡県(97) |
|----------|-------------------------------|---------|--------------------|--------------------|---------|---------|
| ネジ式鋼管 | 1 | 1.4 | 0.5 | 0.01 | 1 | — |
| 溶接鋼管 | 0.05 | | 0.025 | 0.01 | 0 | 0.01 |
| マンホール鋼管 | 0.1 | 0.125 | 0.05 | 0.01 | — | 0.01 |
| 鋼管SGM | — | | | 0.01 | 0.055 | — |
| マンホール铸铁管 | 0.1 | | 0.05 | 0.02 | 0.029 | 0.13 |
| ガス型铸铁管 | — | | | 0.02 | 0.087 | 0.3 |
| 水道型铸铁管 | 0.5 | | 0.25 | 0.02 | — | 0.3 |
| ダクタイル铸铁管 | 0.1 | — | 0.05 | 0.02 | — | |
| 印ろう铸铁 | — | | | 0.02 | 0.391 | — |
| ポリエチレン管 | 0.05 | 0.1 | 0 | — | | |
| 塩化ビニル管 | 0.75 | — | 0.375 | — | | |
| 石綿管 | 2 | — | 1 | — | | |
| 不明・その他 | 0.5 | — | 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-4-45 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) | 秋田県(97) 埼玉県(98) 宮崎県(97) | 福井県(97) | 青森県(97) | 福岡県(97) | 東京都(97) 川崎市(97) 岩手県(04) | 新潟県(98) 長野県(02) | 広島県(97) |
|----------|--------------------|-------------------------------|---------|---------|---------|-------------------------------|--------------------|---------|
| 溶接鋼管 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.12 | 0.02 | 0.05 | 0 |
| マンホール鋼管 | 0.05 | 0.2 | 0.25 | — | 0.07 | 0.02 | 0.1 | — |
| 鋼管SGM | — | — | — | — | | | | 0.055 |
| ネジ式鋼管 | 1 | | 2.8 | 0.5 | 1 | | | — |
| マンホール铸铁管 | — | 0.2 | 0.3 | — | 0.33 | — | 0.1 | 0.029 |
| 水道型铸铁管 | — | 1 | | 1 | 0.74 | — | 0.5 | — |
| ダクタイル铸铁管 | 0.4 | 0.2 | — | 0.2 | — | 0.05 * 0.02 * | 0.1 | — |
| ポリエチレン管 | 0.02 | 0.1 | 0.2 | — | 0.12 | 0 | | — |
| 塩化ビニル管 | — | 1.5 | — | 1.5 | 3.2 | 0.7 | 0.75 | — |
| 石綿管 | — | 4 | — | 4 | 1 | — | 2 | — |
| ガス型铸铁管 | — | — | — | — | 0.5 | 0.23 | — | 0.087 |
| 印ろう铸铁 | 1 | — | — | — | | 0.46 | — | 0.391 |
| 不明・その他 | — | 1 | — | — | | | 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。

* ダクタイル铸铁管(ガス型) 0.05, ダクタイル铸铁管(マンホール) 0.02

表Ⅲ-4-46 ガス管の管種係数・管径係数(香川県, 1997)

| 圧力 | 管種(管種係数) | 管径(管径係数) | | | |
|--------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|----------------|
| | | 100未満 (1.7) | 100~200 (1.0) | 200~400 (0.8) | 400以上 (0.5) |
| 中圧 | 鋳鉄(水道型)(0.58) | 0.99 | 0.58 | 0.46 | 0.29 |
| | 鋳鉄(ガス型)(0.48) | 0.82 | 0.48 | 0.39 | 0.24 |
| | 鋳鉄(メカニカル)(0.21) | 0.35 | 0.21 | 0.17 | 0.10 |
| | 鋼(メカニカル)(0.55) | 0.93 | 0.55 | 0.44 | 0.27 |
| | 鋼(溶接)(0.09) | 0.16 | 0.09 | 0.08 | 0.05 |
| 低圧 | 鋳鉄(水道型)(1.00) | 1.70 | 1.00 | 0.80 | 0.50 |
| | 鋳鉄(ガス型)(0.83) | 1.42 | 0.83 | 0.67 | 0.42 |
| | 鋳鉄(メカニカル)(0.31) | 0.53 | 0.31 | 0.25 | 0.16 |
| | 鋼(ねじ)(10.58) | 17.99 | 10.58 | 8.46 | 5.29 |
| | 鋼(メカニカル)(0.58) | 0.99 | 0.58 | 0.47 | 0.29 |
| | 鋼(溶接)(0.10) | 0.17 | 0.10 | 0.08 | 0.05 |
| | 石綿セメント(3.00) | 5.10 | 3.00 | 2.40 | 1.50 |
| | 硬質塩化ビニル(2.85) | 4.85 | 2.85 | 2.28 | 1.43 |
| ポリエチレン(0.10) | 0.17 | 0.10 | 0.08 | 0.05 | |

(2) 機能支障の予測(供給停止)

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す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-4-47 都市ガスの供給支障判定基準(その1)

| 自治体 | 判定基準 | 備考 |
|-------------------------------|---|---|
| 秋田県(97) 新潟県(98) 宮崎県(97) | SI値が60kine以上 | 市町村単位で供給停止 |
| 栃木県(04) | 震度6弱以上の地域 | 兵庫県南部地震(1995)の事例を参考 |
| 群馬県(98) 福岡県(97) | SI値が60kine以上 あるいは、震度5弱以上 (マイコンメータによる停止) | マイコンメータによるガス供給遮断はガス使用中に震度5弱以上の揺れを感知したときに生じる。これは、各家庭での復帰が可能であるが、一部の家庭で復帰できないと仮定している。 |

表Ⅲ-4-47 都市ガスの供給支障判定基準（その2）

| 自治体 | 判定基準 | 備考 |
|---------|---|---------------|
| 埼玉県(98) | 市町村の平均SI値が30kineをこえた場合 | 市町村単位で供給停止 |
| 東京都(97) | 低圧ブロック内の一定以上の区域における地表速度が60kine以上 | 低圧ブロック単位で供給停止 |
| 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(97) | 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 | |
| 仙台市(02) | SI値が60kineを超えた場合 | |

(注) 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

(3) 復旧期間の予測

① 東京都(1997)の手法

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るとした。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 神奈川県(1986)の手法

○採用自治体：埼玉県(98)

a) 作業立ち上がり…準備期間として概ね1日を費やすとしている。

b) 基幹中圧管修理…ガス送出源から区間ごとに昇圧、ガス漏洩箇所探知(FID調査)を行う。

$$\text{日数} = \frac{\text{送出源からの延長}}{\text{投入作業組数} \times \text{FID調査能力}} + \frac{\text{基幹中圧導管被害箇所数}}{\text{投入作業組数} \times \text{修理能力}}$$

FID調査能力 : 15km/組・日
修理能力 : 3カ所/組・日

c) その他の中圧管修理

$$\text{日数} = \frac{\text{中圧管延長}}{\text{投入作業組数} \times \text{FID調査能力}} \text{または} \frac{\text{中圧管被害箇所数}}{\text{投入作業組数} \times \text{修理能力}} \text{のうち大きい方}$$

FID調査能力 : 15km/組・日
修理能力 : 3カ所/組・日

d) 低圧管修理

$$\text{日数} = \frac{\text{低圧管被害箇所数}}{\text{投入作業組数} \times \text{修理能力}}$$

修理能力 : 1.3カ所/組・日

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)、島根県(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-4-48 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% | 35.6% |
| | 20 キロ | — | 6.2% | 6.2% | 6.6% | 6.6% | 9.4% |
| | 50 キロ | 0.65% | 1.1% | 1.1% | 1.2% | 1.2% | 2.5% |

○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-4-49 青森県(1997)における加速度別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 神奈川県(1993)の手法

○採用自治体：福岡県(97)

神奈川県(1993)では、東京消防庁(1987)の結果をもとに、震動により取付部からガスが漏洩する割合を設定している。福岡県(1997)では、福岡県でのゴム管使用率と東京消防庁(1987)の調査時の使用率との比を用いて、現在の状況を反映させている。

表Ⅲ-4-50 加速度別LPガスボンベ漏洩率

| 地表最大加速度 (gal) | | ～175 | 175～225 | 225～325 | 325～425 | 425～ |
|---------------|------------|------|---------|---------|---------|------|
| 漏洩率 (%) | 神奈川県(1993) | 0.0 | 1.7 | 3.1 | 3.4 | 5.3 |
| | 福岡県(1997) | 0.0 | 0.23 | 0.43 | 0.45 | 0.71 |

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 |

(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)、埼玉県(98)、富山県(01)、福井県(97)、島根県(97)、川崎市(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) 埼玉県(98) | 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) 島根県(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) |
| 川崎市(97) | 35点以上 … 落橋可能性大 34～26点 … 落橋可能性あり 25点以下 … 落橋可能性なし |

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 | 0.8 | A = 実距離, D = A/60(地盤1~3種) D = A/70(地盤4種) |
| | | D < 1 | 1.2 | |
| 震 度 階 | 5 | 1.0 | | |
| | 5.5 | 1.7 | | |
| | 6 | 2.4 | | |
| | 6.5 | 3.0 | | |
| | 7 | 3.5 | | |
| 基 礎 工 | パイルベント以外 | 1.0 | 摩擦杭など明らかに弱体なものは1.4とする | |
| | パイルベント | 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〉, 広島県(97), 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, 広島県(1997), 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 | | | | |
| 下部工の変形 | ③上部構造材料 | 1.2:RC・PC | 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 | | |
| Pa = ①×②×③×④ | | | | | | |
| 主鉄筋段落し部強度 | ⑤下部構造形式 | 2.0:単列パイルベント, 独立した基礎に指示されたRC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 | | |
| 下部工の変状 | 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 | | | |
| Pb = ⑤×⑥×⑦×⑧ | | | | | | |
| 評価点 | 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 | | | | |
| Pc = ⑨×⑩×⑪×⑫×⑬ | | | | | | |
| 評価点 | 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 | | | |
| Pd = ⑭×⑮×⑯×⑰×⑱ | | | | | | |
| 変形に関する評価点: X=Pa×Pb 強度に関する評価点: Y=Pc×Pd | | | | | | |

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

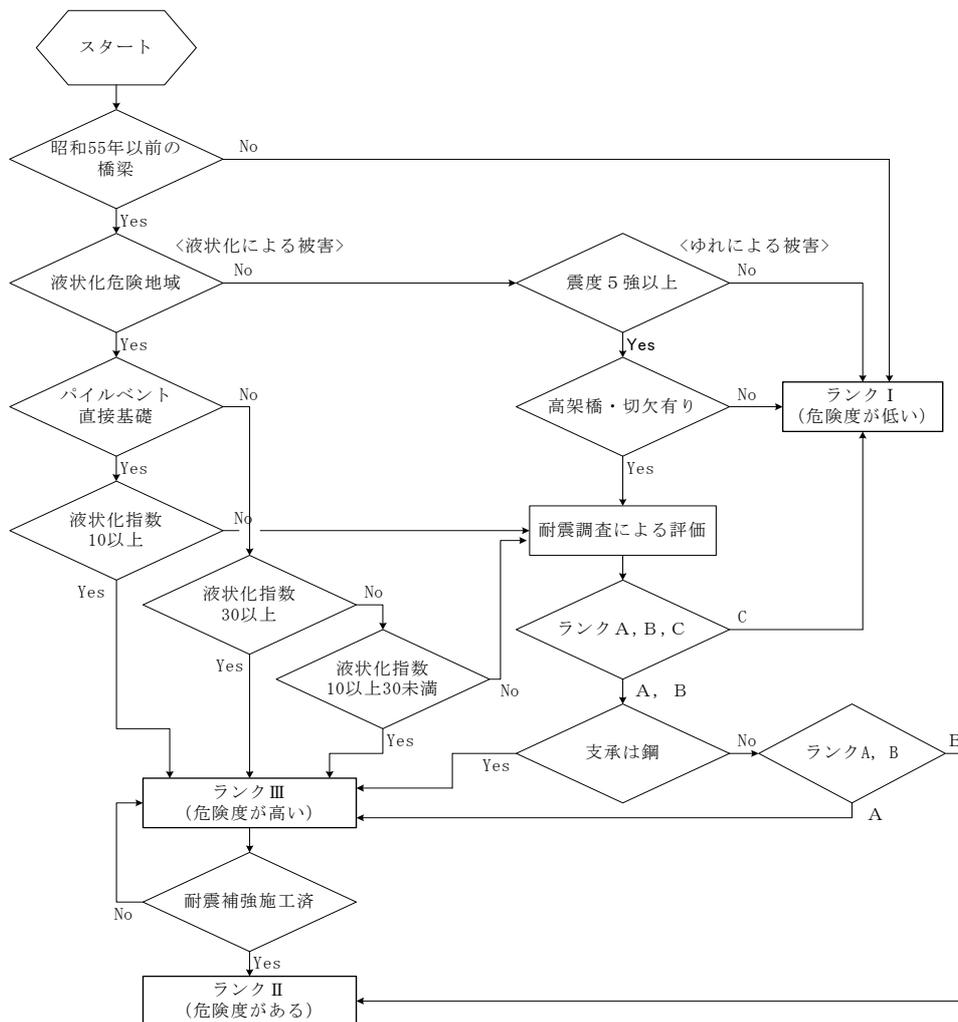
○新潟県(98)では...

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 札幌市(1997)・広島市(1997)の手法

以下のフローにしたがって被害予測を行っている.



図Ⅲ-5-1 橋梁危険度評価フロー(札幌市(1997)より作成)

○札幌市(97)では...

耐震調査による評価として, 日本道路協会(1988)に記載されている「橋梁耐震調査」を使用している.

○広島市(97)では...

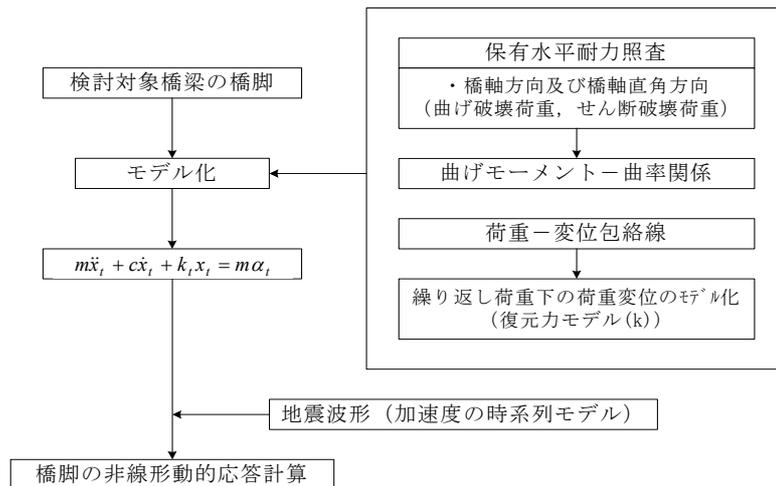
1981年以降の橋梁は評価対象外としている.

④ 名古屋市(1997)の手法

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。

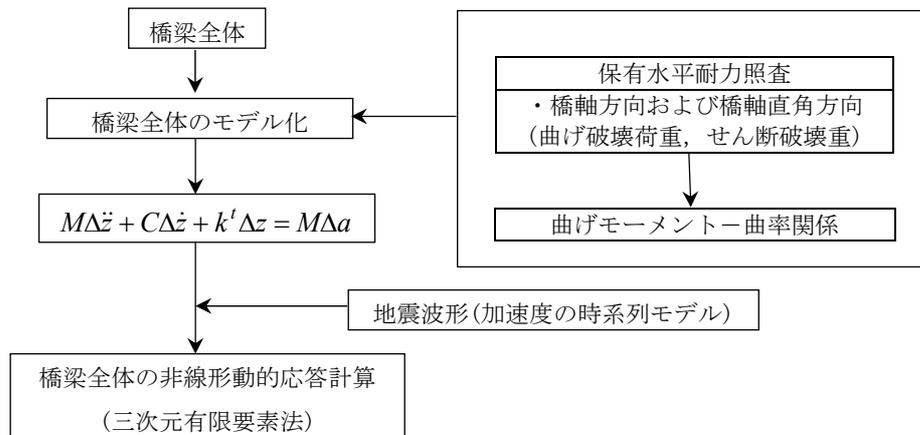


m : 質量 c : 粘性減衰係数 k_t : 剛性 α_t : 地震加速度 $x_t, \dot{x}_t, \ddot{x}_t$: 質点の変位, 速度, 加速度

図Ⅲ-5-2 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-5-3 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)

⑤ 東京都防災会議(1991)の手法

○採用自治体：秋田県(97), 福岡県(97)

東京都防災会議(1991)は、新潟地震(1964)、宮城県沖地震(1978)における被害事例を参考に、震度ごとの不通率を設定した。

秋田県(1997)は、十勝沖地震(1968)、日本海中部地震(1983)、兵庫県南部地震(1995)などの被害事例を評価し、震度と被害率の関係を求めた。

福岡県(1997)は、東京都防災会議(1991)が設定した被害率と兵庫県南部地震(1995)の被災事例から、液状化指数を考慮した被害率を設定した。

表Ⅲ-5-7 震度と橋梁被害率(不通率)の関係

| 自治体 | 耐震ランク | 震度 | | | | | |
|-----------|-------|------|-------|------|------|-------|------|
| | | 4 | 5弱 | 5強 | 6弱 | 6強 | 7 |
| 東京都(1991) | A | — | 0.208 | | 0.26 | 0.408 | — |
| | B | — | 0.048 | | 0.06 | 0.248 | — |
| | C | — | 0.008 | | 0.01 | 0.208 | — |
| 秋田県(1997) | A | 0.00 | 0.08 | 0.15 | 0.26 | 0.43 | 0.76 |
| | B | 0.00 | 0.02 | 0.03 | 0.06 | 0.43 | 0.76 |
| | C | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.11 | 0.20 |

(単位：箇所/箇所)

耐震ランク A：施設の被災の程度又は確率が高いと想定される範囲

B：施設の被災の程度又は確率がやや高いと想定される範囲

C：施設について局部的に被災するが被災の程度または確率がやや低いと想定される範囲

表Ⅲ-5-8 福岡県(1997)における震度と橋梁被害率の関係

| 耐震ランク | 液状化指数 | 震度 | | | | |
|-------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 5弱 | 5強 | 6弱 | 6強 | 7 |
| A | $P_L \geq 15$ | 0.058 | 0.104 | 0.185 | 0.330 | 0.587 |
| | $P_L < 15$ | 0.000 | 0.046 | 0.081 | 0.145 | 0.258 |
| B | $P_L \geq 15$ | 0.043 | 0.077 | 0.137 | 0.244 | 0.433 |
| | $P_L < 15$ | 0.000 | 0.034 | 0.060 | 0.107 | 0.190 |
| C | $P_L \geq 15$ | 0.007 | 0.013 | 0.023 | 0.041 | 0.073 |
| | $P_L < 15$ | 0.000 | 0.006 | 0.010 | 0.018 | 0.032 |

(単位：箇所/箇所)

⑥ 東京都(1997)の手法

兵庫県南部地震(1995)による路線延長あたりの施設被害率を適用している。

表Ⅲ-5-9 兵庫県南部地震(1995)による震度別高速道路・高架道路の被害(東京都, 1997)

| 震度 | 落橋 倒壊 | 支承 損傷 | 橋脚 損傷 | 路線総延 (km) | 落橋・倒壊率 (箇所/km) | その他被害率 (箇所/km) |
|----|----------|----------|----------|--------------|-------------------|-------------------|
| 7 | 19 | | 1 | 18.8 | 1.010 | 0.053 |
| 6強 | 5 | 5 | 7 | 58.2 | 0.086 | 0.206 |
| 6弱 | 1 | 1 | 4 | 347.3 | 0.003 | 0.014 |
| 計 | 25 | 6 | 12 | 424.3 | — | — |

⑦ 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), 宮崎県(97)

兵庫県南部地震(1995)の被災事例をもとに、道路橋示方書準拠年別に被害確率を設定している。

表Ⅲ-5-10 震度と橋梁被害率の関係(宮崎県, 1997)

| 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。

液化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。

⑧ 奈良県(2005)の手法

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-5-11 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

⑨ 大阪府(1997)の手法

兵庫県南部地震(1995)での被害率と地盤条件, 設計年(耐震基準), 構造形式に基づいて, 機能障害度を設定している。対象となる施設は跨線橋である。なお, 震度5以下の地域については, 全てCランクとしている。

表Ⅲ-5-12 橋梁の機能障害度ランク・震度6以上(大阪府, 1997)

| 完成年 | 構造 *1 | 地盤種別 *2 | | |
|---------|----------|---------|------|------|
| | | 埋立地 | 沖積地盤 | 洪積地盤 |
| 1980年以前 | 単純桁, 1本柱 | A | A | B |
| | 上記以外 | A | B | C |
| 1981年以降 | 単純桁, 1本柱 | A | B | B |
| | 上記以外 | B | C | C |

*1 大阪府管轄の1本柱については補強工事が実施されたものは判断基準から除外

*2 激しい液状化の発生が予想される場合は, 危険度を1ランク上昇

表Ⅲ-5-13 機能障害度と橋梁被害率の目安(大阪府, 1997)

| 機能障害度 | | 被害率の目安(%) |
|-------|---------------|-----------|
| ランクA | 機能障害の可能性が高い | 29 |
| ランクB | 機能障害の可能性がやや高い | 0~6 |
| ランクC | 機能障害の可能性は低い | 0 |

⑩ 群馬県(1998)の手法

○採用自治体: 岩手県(04), 群馬県(98)

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-5-14 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。

(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 秋田県(1997)の手法

十勝沖地震(1968)，宮城県沖地震(1978)，北海道南西沖地震(1993)，兵庫県南部地震(1995)などを参考に，震度ごとの被害率を推定している。

表Ⅲ-5-15 震度とトンネル被害率の関係(秋田県, 1997)

| 震 度 | 4 | 5弱 | 5強 | 6弱 | 6強 | 7 |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|
| 落石危険ランク1. 2. 3. 4 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.05 | 0.10 | 0.17 |
| その他 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

(単位：箇所/箇所)

② 大阪府(1997)の手法

兵庫県南部地震(1995)時の被害状況に基づき，震源断層との交差や距離の関係に留意しながら，機能障害度を設定している。なお，震度5以下の地域については，全てCランクとしている。

表Ⅲ-5-16 トンネルの機能障害度ランク・震度6以上(大阪府, 1997)

| 震源断層距離 | 危険度ランク* | 被害率 |
|--------------|---------|-----|
| 0～3km | B | 12% |
| 0～3km(断層と交差) | A | 67% |
| 3～6km | B | 11% |
| 6km以遠 | C | 0% |

* A：機能障害の可能性高い B：やや高い C：低い

③ 埼玉県(1998)の手法

○採用自治体：宮城県(04)，埼玉県(98)

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-5-17 トンネルの被害率(埼玉県, 1998)

| 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% | 12% | 0% |
| 6km以遠 | 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), 広島県(97), 高知県(04), 宮崎県(97)

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-5-18 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) 長野県(02) 高知県(04) | 5弱 | 0.16 | 0.00 | 0.00 | 0.25 | 0.28 | 0.00 |
| | 5強 | 0.18 | | | 0.29 | 0.33 | 0.22 |
| | 6弱 | 0.23 | | | 0.37 | 0.42 | 0.28 |
| | 6強 | 0.29 | | | 0.45 | 0.52 | 0.34 |
| | 7 | 0.44 | | | 0.56 | 0.80 | 0.53 |
| 宮崎県(97) | 5弱 | 0.156 | 0.00 | 0.00 | 0.246 | 0.282 | 0.186 |
| | 5強 | 0.182 | | | 0.287 | 0.329 | 0.217 |
| | 6弱 | 0.234 | | | 0.369 | 0.423 | 0.279 |
| | 6強 | 0.286 | | | 0.451 | 0.517 | 0.341 |
| | 7 | 0.442 | | | 0.697 | 0.799 | 0.527 |
| 広島県(97) | 5弱 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | X | | |
| | 5強 | 0.18 | | | | | |
| | 6弱 | 0.23 | | | | | |
| | 6強 | 0.29 | | | | | |
| | 7 | 0.44 | | | | | |

(注1) 宮崎県の数値は、神奈川県(1986)による震度Ⅵの場合の被害確率に震度階別の補正係数を掛けた値を表示

(注2) 高知県は不通のみ評価している

② 秋田県(1997)・福岡県(1997)の手法

○採用自治体：宮城県(04), 秋田県(97), 福岡県(97)

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：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

福岡県：宮城県沖地震(1978), 日本海中部地震(1983)

表Ⅲ-5-19 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) 秋田県(97) | 15以上 | 0.16 | 0.51 | 0.89 | 1.59 | 2.84 | 5.04 |
| | 15未満 | 0.06 | 0.18 | 0.32 | 0.57 | 1.02 | 1.81 |
| 福岡県(97) | 15以上 | 0.00 | | 0.89 | 1.58 | 2.82 | 5.01 |
| | 15未満 | 0.00 | | 0.32 | 0.56 | 1.01 | 1.80 |

③ 群馬県(1998)の手法

千葉県(1996)により設定された被害確率を、以下のように適用している。

- ・日本海中部地震(1983)より算出した盛土被害確率： P_L 値が15以上で震度5強に対応する被害確率
- ・宮城県沖地震(1978)より算出した盛土被害確率： P_L 値が15未満で震度5強に対応する被害確率

上記の被害確率はある震度に限定したものであるため、震度に対応する加速度（実効加速度）の割合により補正して用いている。また、群馬県板倉町で震度5弱を記録した1996年12月21日の地震で、道路施設被害や液状化発生が報告されていない点も考慮している。

表Ⅲ-5-20 盛土の被害確率(群馬県, 1998)

| | 震度 | 5弱 | 5強 | 6弱 | 6強 | 7 |
|----------------------|-------|------|------|------|------|------|
| | 実効加速度 | 79～ | 141～ | 251～ | 447～ | 794～ |
| 液状化危険度 (P_L 値) | 15以上 | 0.00 | 0.89 | 1.58 | 2.82 | 5.01 |
| | 15未満 | 0.00 | 0.32 | 0.56 | 1.01 | 1.80 |

(単位：箇所/km)

④ 大阪府(1997)の手法

○採用自治体：埼玉県(98), 大阪府(97)

日本道路協会耐震調査表の耐震診断判定ランクをもとに盛土の被害確率を設定している。なお、震度5以下の地域の被害率は一律に5%としている。

表Ⅲ-5-21 盛土の機能障害度ランク・震度6以上(大阪府, 1997)

| 地盤種 | 粘性土地盤* | 砂質土地盤* | 危険度ランク | 被害確率(不通) |
|---------|----------------|-----------------|--------|----------|
| 沖積地盤 | $N < 4$ | $N < 6$ | A | 38% |
| | $4 \leq N < 8$ | $6 \leq N < 10$ | B | 20% |
| | $8 \leq N$ | $10 \leq N$ | C | 5% |
| 洪積地盤・岩盤 | — | — | C | 5% |

* 層厚5m以上を対象とする。

○埼玉県(98)では...

震度5強および震度5弱以下の地域について下表の被害率を設定している。また、液状化危険度が高い地域($P_L \geq 15$ の地域)では、被害率を1ランク上げて想定を行っている。

表Ⅲ-5-22 盛土の被害率(埼玉県, 1998)

| 地盤種 | 粘性土地盤 | 砂質土地盤 | 被害率 | | |
|---------|----------------|-----------------|-------|----|------|
| | | | 震度6以上 | 5強 | 5弱以下 |
| 沖積地盤 | $N < 4$ | $N < 6$ | 38% | 5% | 0% |
| | $4 \leq N < 8$ | $6 \leq N < 10$ | 20% | 2% | 0% |
| | $8 \leq N$ | $10 \leq N$ | 5% | 0% | 0% |
| 洪積地盤・岩盤 | — | — | 5% | 0% | 0% |

(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), 広島県(97), 愛媛県(02), 宮崎県(97)

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-5-23 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) 長野県(02) 高知県(04) | 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 |
| | 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 |
| | 7 | 0.54 | 0.12 | 0.02 | 0.31 | 0.05 | 0.03 |
| 宮崎県(97) | 5弱 | 0.192 | 0.042 | 0.006 | 0.108 | 0.018 | 0.012 |
| | 5強 | 0.224 | 0.049 | 0.007 | 0.126 | 0.021 | 0.014 |
| | 6弱 | 0.288 | 0.063 | 0.009 | 0.162 | 0.027 | 0.018 |
| | 6強 | 0.352 | 0.077 | 0.011 | 0.198 | 0.033 | 0.022 |
| | 7 | 0.544 | 0.119 | 0.017 | 0.306 | 0.051 | 0.034 |
| 広島県(97) | 5弱 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | X | | |
| | 5強 | 0.22 | 0.05 | 0.01 | | | |
| | 6弱 | 0.29 | 0.06 | 0.01 | | | |
| | 6強 | 0.35 | 0.08 | 0.01 | | | |
| | 7 | 0.54 | 0.12 | 0.02 | | | |

(注1) 宮崎県の数値は、神奈川県(1986)による震度Ⅵの場合の被害確率に震度階別の補正係数を掛けた値を表示

(注2) 高知県は不通のみ評価している

② 秋田県(1997)・福岡県(1997)の手法

○採用自治体：宮城県(04), 秋田県(97), 福岡県(97)

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

福岡県：宮城県沖地震(1978), 日本海中部地震(1983)

表Ⅲ-5-24 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) 秋田県(97) | 0.05 | 0.16 | 0.28 | 0.50 | 0.89 | 1.59 |
| 福岡県(97) | 0.00 | | 0.16 | 0.28 | 0.51 | 0.90 |

③ 大阪府(1997)の手法

○採用自治体：埼玉県(98), 大阪府(97)

日本道路協会耐震調査表の耐震診断判定ランクをもとに切土・斜面の被害確率を設定している。判定は、耐震調査表の基準要素点の採点方法にしたがって行うが、大阪府(1997)では、道路防災点検の斜面高と斜面勾配のデータのみから機能障害度を検討している。なお、震度5以下の地域の被害率は一律に1%としている。

表Ⅲ-5-25 切土・斜面の機能障害度ランク・震度6以上(大阪府, 1997)

| 点数 | 危険度ランク | 被害確率(不通) |
|-------|--------|----------|
| 10点以上 | A | 32% |
| 7~9点 | B | 7% |
| 6点以下 | C | 1% |

表Ⅲ-5-26 斜面高と斜面勾配の基準要素点(大阪府, 1997)

| 項目 | H (m) | 点数 | 項目 | α | 点数 |
|-----|------------------|----|----------------------|-----------------------------|----|
| 斜面高 | $H < 10$ | 3 | 斜面勾配 (α) | $\alpha < 1:1.0$ | 1 |
| | $10 \leq H < 30$ | 7 | | $1:1.0 \leq \alpha < 1:0.6$ | 4 |
| | $30 \leq H < 50$ | 8 | | $1:0.6 \leq \alpha$ | 7 |
| | $50 \leq H$ | 10 | | オーバーハング* | 7 |

○埼玉県(98)では...

震度5強および震度5弱以下の地域について下表の被害率を設定している。

表Ⅲ-5-27 切土・斜面の被害率(埼玉県, 1998)

| 点数 | 被害率 | | |
|-------|-------|----|------|
| | 震度6以上 | 5強 | 5弱以下 |
| 10点以上 | 32% | 1% | 0% |
| 7~9点 | 7% | 0% | 0% |
| 6点以下 | 1% | 0% | 0% |

(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), 富山県(01), 福井県(97), 島根県(97), 愛媛県(02), 札幌市(97), 川崎市(97)

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-5-28 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) | | | 福井県(97), 島根県(97) | | | 富山県(01) | | | 青森県(97), 札幌市(97) 川崎市(97) | | |
|------|----------|------|------|------------------|------|------|----------|------|------|-----------------------------|------|------|
| | 1種 2種 | 3種 | 4種 | 1種 2種 | 3種 | 4種 | 1種 2種 | 3種 | 4種 | 1種 2種 | 3種 | 4種 |
| 7 | 0.11 | 0.16 | 0.25 | 0.24 | 0.34 | 0.55 | 0.11 | 0.16 | 0.25 | 0.11 | 0.16 | 0.25 |
| 6強 | | | | | | | 0.08 | 0.12 | 0.18 | 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 | 0.04 | 0.06 | 0.09 | 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 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

(6) 通行可能性の予測

① 東京都(1997)の手法

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-5-29 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 広島県(1997)の手法

路線区間ごとの被害度を評価している。

ある路線区間内に存在する橋梁, 盛土, 斜面といった道路構造物・施設の被害確率を S_b , S_m , S_c とする。ある路線区間が被害を受けない確率 P_f を以下の式から求めている。

$$P_f = \prod_{i=1}^{N_b} (1 - S_{b_i}) \cdot \prod_{j=1}^{N_m} (1 - S_{m_j}) \cdot \prod_{k=1}^{N_c} (1 - S_{c_k})$$

N_b, N_m, N_c : 構造物形態ごとの区間内に存在する構造物数

③ 宮崎県(1997)の手法

○採用自治体：新潟県(98), 長野県(02), 宮崎県(97)

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、区間内に存在する道路構造物・施設の導通率の積で表される。

$$P_l = \prod_{i=1}^N P_{p_i}$$

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

④ 埼玉県(1998)の手法

埼玉県(1998)における道路閉塞による交通障害の想定は以下の手順で行われている。

- a) 市町村別の道路データを、500mメッシュに振り分け、想定に必要なパラメータであるパスの幅員別構成比、パス数、Link/Node比を推定する。
- b) 予測した建物被害、電柱被害とa)で設定したパラメータからメッシュごとの閉塞パス率を算定する。
- c) Link/Node比別に簡易な街路モデルによるシミュレーション計算を行い、閉塞パス率－走行速度の遅れ(平常時の走行速度に対する割合)の関係を算定する。
- d) メッシュごとのLink/Node比と閉塞パス率より、c)の関係を用いてメッシュごとに走行速度の低減を予測する。

ここで、
 道路パス : 交差点から交差点までの道路の単位
 閉塞パス率 : 地域内の建物のうち、建物の倒壊や電柱の破損等により閉塞してしまう道路パスの割合
 Link/Node比 : 交差点をNode、道路パスをLinkとした時の両者の比。

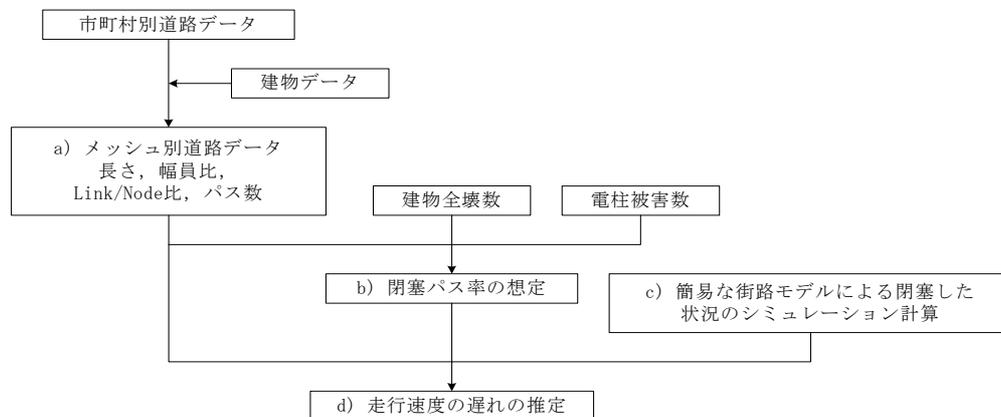


図 III-5-4 交通障害の想定の流れ(埼玉県, 1998)

(7) 支障影響度の総合的判定

○採用自治体：栃木県(04), 山梨県(05), 静岡県(01), 愛知県(03), 鳥取県(05)

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自治体ともほぼ表Ⅲ-5-30にしたがっている。

表Ⅲ-5-30 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 |
|--------|--|
| AA | 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-5-31 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 | |
| 揺れ | 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-5-32 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-5-33 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」ともに高速道路ではCとする。

表Ⅲ-5-34 山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 | B | C | C |

表Ⅲ-5-35 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-5-36 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-5-37 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 | |
| 揺れ | 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-5-38 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-5-39 支障影響度の総合検討(鳥取県, 2005)

| | 支障影響度 | | | | 備 考 |
|-------|-------|---|---|---|---|
| | AA | 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50 m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-5-40 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 ($5.0 \leq I < 5.5$) | 6弱 ($5.5 \leq I < 6.0$) | 6強 ($6.0 \leq I < 6.5$) | 7 ($6.5 \leq I$) |
| 液状化あり ($15 < P_L$) | 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

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。

(1) 施設の被災確率の予測

① 東京都(1997)の手法

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-5-41 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-5-42 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-5-43 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 広島県(1997)の手法<橋梁・トンネル>

宮城県沖地震(1978)をはじめとする既往の地震被害事例により、震度別の被害確率を設定している。震度6強以上の被害確率は道路橋の被害確率を参考にしている。

表Ⅲ-5-44 震度別の橋梁・トンネルの被害確率(広島県, 1997) (単位: 箇所/箇所)

| 震度 | | 4 | 5弱 | 5強 | 6弱 | 6強 | 7 |
|------|--------|------|------|------|------|------|------|
| 橋梁 | 大規模な被害 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.08 | 0.16 |
| | 軽微な被害 | 0.00 | 0.04 | 0.09 | 0.12 | 0.28 | 0.34 |
| | 被害計 | 0.00 | 0.05 | 0.11 | 0.15 | 0.36 | 0.50 |
| トンネル | | 0.00 | 0.01 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.07 |

(注)「大規模な被害」とは、応急復旧に長時間を有し、本格的な復旧工事を行うような被害(橋台や橋脚の大きな亀裂、桁移動、支承部圧潰など)。「軽微な被害」とは短時間で復旧が可能な被害(橋脚、橋台、支承部の小さな亀裂、僅かな桁のズレなど。)

(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), 富山県(01), 福井県(97), 島根県(97), 愛媛県(02), 宮崎県(97), 川崎市(97)

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-5-45 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-5-46 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) | | | 青森県(97), 富山県(01) 川崎市(97) | | | 新潟県(98) | | | 福井県(97), 島根県(97) | | | 宮崎県(97) | | |
|-----|------------------|------|------|-----------------------------|------|------|---------|------|------|------------------|------|------|---------|----|------|
| | 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 | 1-2種 | 3種 | 4種 |
| 6強- | 0.89 | 1.48 | 2.51 | 0.62 | 1 | 1.71 | 0.62 | 1 | 1.71 | 1.34 | 1.58 | 2.26 | 0.62 | 1 | 1.71 |
| 6弱 | 0.62 | 1 | 1.71 | | | | | | | 0.82 | 0.97 | 1.39 | | | |
| 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 | 0 | 0 |
| 5弱 | | | | | | | | | | 0.32 | 0.38 | 0.55 | | | |
| 4 | 0.01 | 0.02 | 0.04 | 0.01 | 0.02 | 0.04 | 0 | 0 | 0 | 0.015 | 0.02 | 0.04 | | | |

(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

(注2)宮崎県は、1996年10月、12月の日向灘沖の地震で計測震度5強、5弱が観測されたが運休を要するような被害は出ていないことから、震度5強以下については、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

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-5-47 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

② 広島県(1997)の手法

「(1) 施設の被災確率の予測」で予測した被害確率は、ある区間内に存在する複数の施設で被害が発生する割合を表すものであると解釈し、主要都市を結ぶ駅間を単位とした区間内被害箇所数を推定し、運行支障評価を行っている。

$$B = \sum_{i=1}^{N_B} P_{B_i} + \sum_{j=1}^{N_T} P_{T_j}$$

B : 区間内の被害箇所数

P_{B_i} : 橋梁 i の被害確率

P_{T_j} : トンネル j の被害確率

N_B : 区間内の橋梁数

N_T : 区間内のトンネル数

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-5-48 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状が認められるもの。 | |
| II | 本体にかなりの変状が起ったもの。 | 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。 | |

(1) 上部(1983)の手法

○採用自治体：秋田県(97), 福岡県(97), 千葉市(96), 川崎市(97)

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関係を示している。

表Ⅲ-5-49 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) | エブロン沈下量 (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、附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ったもの

III：形はとどめているが、構造物本体に破壊が起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。

$$K_e = \begin{cases} \alpha/g & (\alpha < 200\text{galの場合}) \\ 1/3 \cdot (\alpha/g)^{1/3} & (\alpha \geq 200\text{galの場合}) \end{cases}$$

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-5-50 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) | $D_x = -113.8 + 124.4 F_c$ |
| | 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) | $D_a = -127.5 + 148.5 F_c$ |
| 矢板式 | 最大はらみだし量(cm) | $D_x = -1.6 + 34.9 F_c$ |
| | 平均はらみだし量(cm) | $D_m = -15.9 + 9.5 F_c$ |
| | エプロン沈下量(cm) | $S_e = -5.3 + 14.7 F_c$ |
| | はらみだし量/構造物高(%) | $R = -1.5 + 5.8 F_c$ |
| | 加算変位(cm) | $D_a = -2.0 + 44.0 F_c$ |

○川崎市(97)では...

重力式について以下の式(上部, 1983)を使用している。

表Ⅲ-5-51 被災変形量と危険度の回帰分析結果<重力式>

| 目的変数 | 回帰式 |
|----------------|--------------------------|
| 最大はらみだし量(cm) | $D_x = -74.2 + 98.2 F_c$ |
| 天端沈下量(cm) | $S_p = -16.5 + 32.9 F_c$ |
| はらみだし量/構造物高(%) | $R = -0.7 + 10.9 F_c$ |
| 加算変位(cm) | $D_a = -37.6 + 87.3 F_c$ |

○福岡県(97)では...

1995年10月の喜界島の地震による港湾の被害状況から以下の補正を加味している。

- ・140gal未満では変形量がゼロ。
- ・140gal以上250gal未満では、140galと250galの両者の変位量を加速度比で内分した変形量が生じる。

液状化が発生すると岸壁の安定性は著しく低下することから、 PL 値が30以上のメッシュに位置する岸壁は、破壊震度 K_c を15%低減している。建築年代と破壊震度 K_c の関係は、千葉県(1993)の係数を参考にし、地域別震度をもとに設定している。

表Ⅲ-5-52 建築年代と破壊震度 K_c (福岡県, 1997)

| 構造形式 | 地区 | 破壊震度 | | | |
|------|------|--------|---------|-------------|---------|
| | | 建築年代不明 | 1949年以前 | 1950年～1959年 | 1960年以降 |
| 矢板式 | 第一地区 | 0.12 | 0.12 | 0.16 | 0.20 |
| | 第三地区 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.07 |
| 重力式 | 第一地区 | 0.12 | 0.12 | 0.16 | 0.18 |
| | 第三地区 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.06 |

(注) 地区については、「港湾施設の技術上の基準・同解説」により規程されている地区地震の危険性の高い地区から第一地区(千葉, 東京, 静岡など), 第二地区(宮城, 茨城, 石川など), 第三地区(島根, 福岡, 佐賀など)が設定されている。

(2) 広島県(1997)の手法

重要港湾施設の耐震点検マニュアルの考え方に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 Ke に換算

$$Ke = \begin{cases} \alpha/g & (\alpha \leq 200\text{galの場合}) \\ 1/3 \cdot (\alpha/g)^{1/3} & (\alpha > 200\text{galの場合}) \end{cases}$$

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-5-53 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)

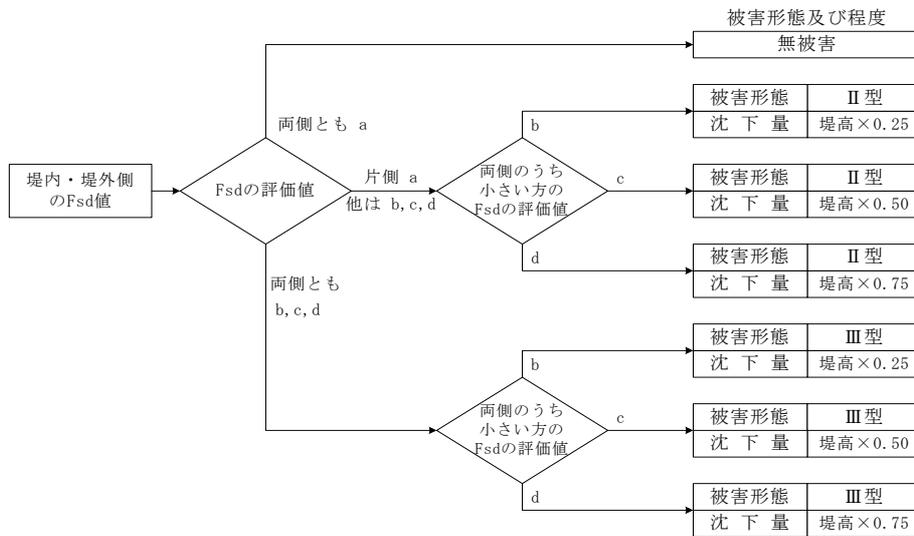
L' : 既往の設計震度により求められた地震時せん断応力比

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 $a \sim d$ は、下図の評価値に対応している。

表Ⅲ-5-54 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-5-5 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

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 Ke 」「設計震度 Kh 」「限界震度 Kc 」に区分している。

作用震度 Ke : 構造物に作用する震度 $Ke = \text{地表加速度}/980$

設計震度 Kh : 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 Kc : 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 Kh と Kc 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-5-55 被害ランク(青森県, 1997)

| 危険度評価 | Ke と Kh | Ke と Kc |
|-------|-------------|-------------|
| A | $Ke > Kh$ | $Ke > Kc$ |
| B | $Ke < Kh$ | $Ke < Kc$ |

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-5-56 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_h 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 | |
| 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), 宮崎県(97)

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。

$$K_e = \begin{cases} \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{\alpha}{g} \right)^{1/3} & (\alpha \geq 200\text{galの場合}) \\ \frac{\alpha}{g} & (\alpha < 200\text{galの場合}) \end{cases}$$

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)

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-5-57 港湾・漁港の被害状況(福井県, 1997)

| 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0, 被害小は被災程度Ⅰ, 被害中は被災程度Ⅱ, 被害大は被災程度Ⅲ以上と対応する。

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

(1) 建設省河川局(1995)に準ずる手法

○採用自治体：新潟県(98), 宮崎県(97)

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。

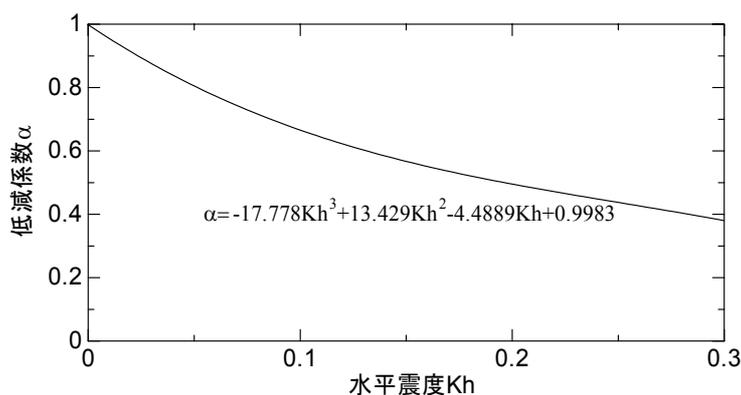
① 慣性力用震度のみを考慮した場合の安全率 $Fsd(Kh)$

$$Fsd(Kh) = \alpha \cdot Fso$$

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), 宮崎県(97)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 : 構造物特性格別補正係数 (=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)

$$B/H \leq 10 \quad \dots 1.0$$

$$10 < B/H \leq 20 \quad \dots 0.9$$

$$20 < B/H \quad \dots 0.8$$

- 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 (宮崎県, 1997)

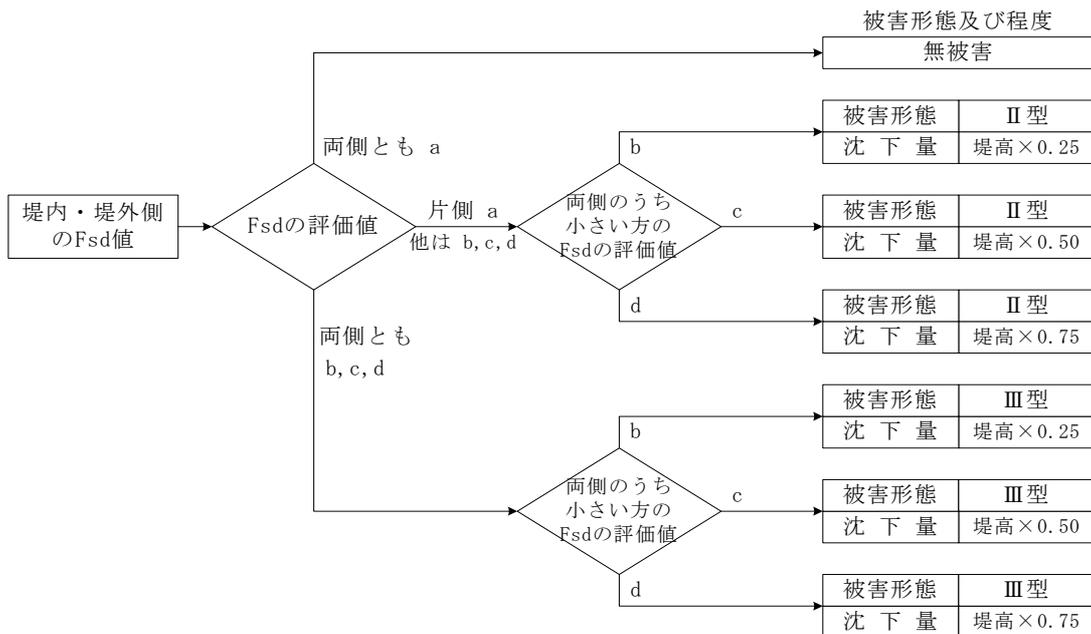
| 液状化抵抗率 F_L | Aタイプ | Bタイプ | 備考 |
|-----------------------|------|------|--|
| $F_L \leq 1.0$ | 0.25 | 0.40 | Aタイプ：砂地盤 Bタイプ：多層地盤かつ 粘性土で Fso が最小 |
| $1.0 < F_L \leq 1.1$ | 0.45 | 0.60 | |
| $1.1 < F_L \leq 1.25$ | 0.70 | 0.85 | |
| $1.25 < F_L \leq 1.5$ | 0.90 | 0.95 | |
| $1.5 < F_L$ | 1.00 | 1.00 | |

- ③ 地震時の被害程度

地震時の安全率は上記①②を比較し、小さい方を採用する。下表より Fsd 評価値を求め、下図のフローにしたがい被害を判定する。

表Ⅲ-6-2 Fsd 評価値 (宮崎県, 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-6-2 被害形態・被害程度の想定フロー (宮崎県, 1997)

(2) 秋田県(1997)の手法

○採用自治体：秋田県(97), 埼玉県(98)

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(埼玉県, 1998)

| 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(埼玉県, 1998)

| 液状化指数 P_L | 被災ランク別延長 | | |
|----------------|----------|------|------|
| | A | B | C |
| 15以上 | 0.1L | 0.2L | 0.7L |
| 5~15 | — | 0.1L | 0.9L |
| 5未満 | — | — | 1.0L |

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), 島根県(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

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) 札幌市(1997)の手法

過去の地震において発生した堤防の被害率を調査・分析し、地盤種別、震度別に評価を行っている。

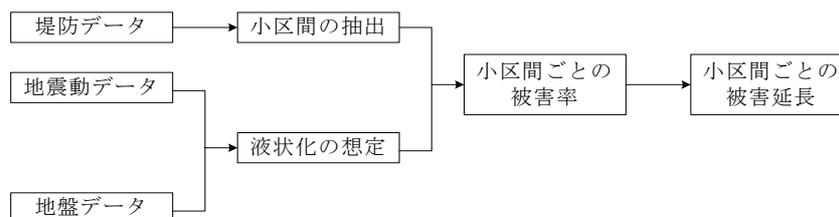
表Ⅲ-6-7 堤防の被害率(札幌市, 1997)

| 震度 | 地盤種別 | | |
|----|------|------|------|
| | 1～2種 | 3種 | 4種 |
| 4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 5 | 0.06 | 0.10 | 0.39 |
| 6 | 0.09 | 0.16 | 0.61 |

(単位: 箇所/km)

(6) 川崎市(1997)の手法

兵庫県南部地震(1995)を始めとする過去の地震による被害事例の分析から、地盤の液状化が被害の原因であると考え、 P_L 値を指標として予測している。



図Ⅲ-6-3 堤防被害予測の流れ(川崎市, 1997)

(7) 名古屋市(1997)の手法

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-6-8 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 | | |
| | 栈橋 | 2 | | |
| 建設年代 | ～S43 | 2 | | |
| | S44～ | 1 | | |
| 地盤改良 | 有 ○ 一部載荷 △ 無 × | 液状化判定区分* | | |
| | | A | B | C |
| | | 2 | 1 | 0 |
| | | 5 | 3 | 1 |
| | | 7 | 4 | 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-6-9 被災程度判定基準(名古屋市, 1997)

| 合計点数 | 要素点ランク | 要素点ランク | | | |
|------|--------|----------|----|----|----|
| | | 加速度(gal) | C' | B' | A' |
| 14～ | A' | 460～ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅲ |
| 9～13 | B' | 160～459 | Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ |
| ～8 | C' | ～159 | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ |

| 総合危険度 | 被災程度 | |
|-------|------|-----------------------------------|
| Ⅲ | 被害大 | 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 |
| Ⅱ | 被害中 | ある程度補修工事を施せば機能は果たせる状態 |
| Ⅰ | 被害小 | 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 |

6-2. ため池の被害

(1) 建設省河川局(1978)の手法

○採用自治体：新潟県(98), 長野県(02), 広島県(97), 宮崎県(97)

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-6-10 堤防の耐震性の一次判定(広島県, 1997)

| 基礎地盤の耐震性 \ 堤防の耐震性 | 1 | 2 | 3 |
|-------------------|---|---|---|
| | ① | a | |
| ② | | b | c |
| ③ | b | | |

堤防の耐震性

- 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_0 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

表Ⅲ-6-11 ため池の危険度評価(広島県, 1997)

| 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

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-6-12 ため池被害の判定基準(青森県, 1997)

| 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

(3) 埼玉県(1998)の手法

新潟地震(1964)時のアースダムの被害にもとづき、以下の基準により判定を行っている。

表Ⅲ-6-13 判定要因項目別ランクと判定基準(埼玉県, 1998)

| 基準要因項目 ランク | 地質 | 堤防 | 震度 判定要因 ランク | IV | V以上 |
|---------------|--------|-------|-------------------|----|-----|
| a | 第四紀沖積層 | 15m以上 | aが2ケ | B | A |
| b | 上記以外 | 15m未満 | aが1ケ | C | B |
| | | | aがなし | C | C |

- A：顕著な被害の可能性あり
- B：被害の可能性あり
- C：被害なし

