

国・自治体の地震被害想定  
における被害予測手法の調査  
(2021 年度調査)

令和 4 年 9 月

損害保険料率算出機構



## はじめに

国や自治体で実施している地震被害想定およびその予測手法は、地震被害や調査研究による新たな知見を随時反映し、更新・公表されています。予測手法は地域の災害特性を考慮して検討されており、それらを体系的に整理することは今後のリスク評価手法を検討する上で有益です。そのため、当機構では平成10年（地震保険調査報告28）、平成18年（地震保険研究8）、平成25年（地震保険研究27）に予測手法を調査・整理し報告書としてまとめました。

平成23年の東北地方太平洋沖地震を受けて、国や多くの自治体で地震被害想定の見直しが行われました。そこで、最新の被害想定における予測手法を把握する目的で、資料の調査・整理を実施しました。本報告書は、その結果をまとめたものです。

本書が、防災や保険などの災害にかかわる分野において有益な資料となれば幸いです。

令和4年9月

損害保険料率算出機構





# 目次

<b>第Ⅰ章 概要</b> .....	1
1. 地震被害の想定 .....	1
1-1. 地震被害想定調査の流れ .....	1
1-2. 地震被害想定調査の歴史 .....	2
2. 本資料の概要 .....	5
2-1. 参考とした被害想定資料 .....	5
2-2. 本資料の構成 .....	5
2-3. 本資料の見方 .....	7
<b>第Ⅱ章 ハザード予測手法の整理</b> .....	9
1. 地震動の予測 .....	9
1-1. 工学的基盤面の地震動 .....	9
1-2. 地表面の地震動 .....	14
1-3. 震度（計測震度）の計算 .....	19
2. 液状化危険度の予測 .....	20
2-1. 地盤データを用いる手法 .....	20
2-2. 地形・地盤分類データを用いる手法 .....	24
2-3. 液状化に伴う地盤沈下量の予測 .....	26
3. 地盤崩壊危険性の予測 .....	27
3-1. 斜面崩壊危険度 .....	27
3-2. 宅地造成地の被災危険度 .....	33
4. 津波の予測 .....	35
<b>第Ⅲ章 被害予測手法の整理</b> .....	37
1. 建物被害の予測 .....	37
1-1. ゆれによる建物被害（木造） .....	37
1-2. ゆれによる建物被害（非木造） .....	48
1-3. 液状化による建物被害 .....	52
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 .....	57
1-5. 地盤崩壊による建物被害 .....	58
1-6. ブロック塀等の被害 .....	61
1-7. 津波による建物被害 .....	63
2. 地震火災による建物被害の予測 .....	66
2-1. 出火件数（炎上出火件数） .....	66

2-2. 延焼出火件数	75
2-3. 焼失建物数	78
3. 人的被害の予測	84
3-1. 死傷者数	84
3-2. 要救出者数	100
3-3. 避難者数等	102
3-4. 帰宅困難者数	106
4. ライフライン被害の予測	109
4-1. 電力の被害・復旧	109
4-2. 通信の被害・復旧	118
4-3. 上水道の被害・復旧	123
4-4. 下水道の被害・復旧	131
4-5. 都市ガスの被害・復旧	137
4-6. プロパンガス（LPG）の被害・復旧	141
5. 交通・輸送施設被害の予測	142
5-1. 道路の被害	142
5-2. 鉄道の被害	149
5-3. 港湾・漁港の被害	153
6. 土木構造物被害の予測	154
6-1. 河川堤防・海岸堤防の被害	154
6-2. ため池堤防の被害	156

## 参考文献

# 第 I 章 概要

## 1. 地震被害の想定

防災計画立案のための基礎資料として、国や地方自治体（行政）で地震被害想定調査が行われている。地震被害想定とは、地震が発生したときのゆれの大きさなどを想定し、地震が原因で発生する被害の状況を推定するものである。地震発生時にどのような被害がどの程度発生するかを推定することで、地域の実情や災害特性に即した防災対策の立案・実施につながることを期待されている。

### 1-1. 地震被害想定調査の流れ

行政による地震被害想定報告書を見ると、下図のような流れに沿って被害想定を行うケースが多い。主な想定項目とその内容を表 I-1-1-1 に示す。

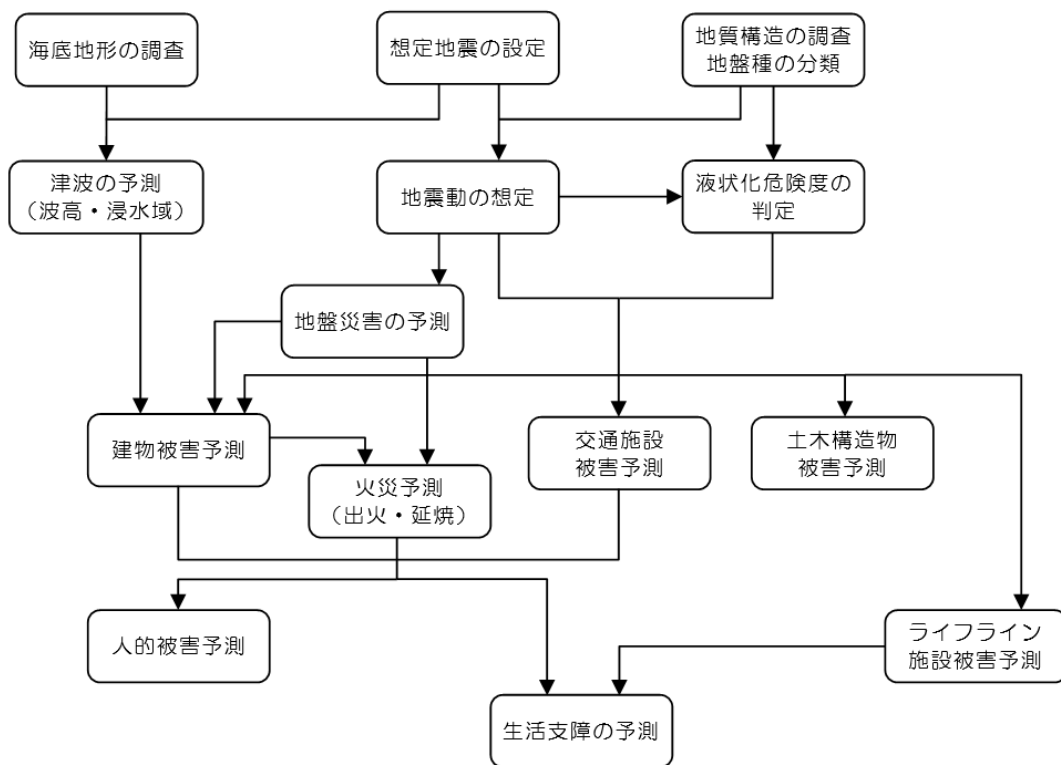


図 I-1-1-1 一般的な地震被害想定の流れ

表 I-1-1-1 地震被害想定のための主な想定項目とその内容

大項目	アウトプット例	大項目	アウトプット例	大項目	アウトプット例
地震動	震度 最大加速度 最大速度	建物被害	全壊(大破)棟数 半壊(中破)棟数	交通施設被害	橋梁・盛土等被害箇所数 通行可能性
液状化危険度	液状化安全率(F <sub>L</sub> ) 液状化指数(P <sub>L</sub> )	火災	出火件数 消火件数 焼失棟数	人的被害	死者数 負傷者数 要救出者数
津波	最大波高 浸水域 浸水家屋数 津波到達時間	ライフライン施設被害	埋設物被害量 支持物被害量 架空線被害量	生活支障	避難者数 罹災者数 ライフライン供給停止状況

## 1-2. 地震被害想定調査の歴史

### (1) 兵庫県南部地震(1995)以前

1970年代後半から1990年代前半までの行政による地震被害想定は、発生が危惧されている「東海地震」や「南関東地震」等を対象に、東京都や静岡県など関東・東海地方の自治体で主に行われてきた。その過程において、関東地震(1923)による地震のゆれと被害の関係が研究・分析され、被害予測手法の開発や検証が行われた。関東地震が対象となった背景は、被害想定の実施地域がほぼ関東から東海地方に限られていたこと、大都市を襲った被害地震で被災資料がある程度そろっていたことなどの理由によると考えられる。

1980年代に入ると、宮城県沖地震(1978)や日本海中部地震(1983)などの被害状況を含めて解析を行う自治体が増えてきた。

### (2) 兵庫県南部地震(1995)以降、東北地方太平洋沖地震(2011)以前

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震は、地震被害想定を語る上で一大転機となった。神戸市・西宮市・芦屋市などで震度7を記録し、これらの周辺を含む地域で甚大な被害が発生した。それまで地震に対して強いと考えられていた構造物や多くの建物が大きな被害を受け、6,000人を超える死者の発生、同時多発火災と延焼被害、ライフラインの供給停止、長期の避難生活等、地震災害の甚大さ、深刻さが再認識された。

このような状況を受け、兵庫県南部地震の直後から数年は、全国的に地域防災計画の見直しやその基礎資料となる地震被害想定の見直しが行われた。そこでは主に内陸の活断層を震源とする地震、いわゆる直下型地震が想定地震として取り上げられた。

一方で、東海地震や東南海・南海地震等の海溝型地震の発生切迫性が注目され、内閣府中央防災会議の専門調査会により東海地震、東南海・南海地震の被害想定が実施・公表された。こうした国の動きを受け、海溝型地震を想定地震とした被害想定を実施する自治体も出てきた。

被害予測手法については、兵庫県南部地震の被害に関する調査研究の成果だけでなく、その後の地震災害に関する調査研究の成果を取り入れ、被害予測の精度向上を図っている。地震動や建物被害の予測においては、詳細な計算を行う手法を採用する自治体と、経験式を用いた比較的簡易な手法を採用する自治体に二極化する傾向がみられた。

### (3) 東北地方太平洋沖地震(2011)以降

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、従前の想定を大きく超えた巨大な地震・津波による被害を発生させた。2011年9月に内閣府中央防災会議「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」が公表した報告書では、従前の被害想定が多くが過去に繰り返し発生し近い将来発生する可能性が高い地震・津波を想定対象としてきたこと、東北地方太平洋沖地震は従前の想定を大きく超えるものであったこと、今後の被害想定ではあらゆる可能性を考慮した最大クラスの巨大な地震・津波を検討していくべきであること等が指摘された。また、2014年に国土交通省「日本海における大規模地震に関する調査検討会」により日本海側の海域断層の想定、想定津波が公表された。

このような状況を受け、多くの自治体で被害想定の見直しが進められた。被害予測手法としては、内閣府中央防災会議による被害想定的手法を採用する自治体が多くなっている。

表 I-1-2-1 主な被害地震と行政による地震被害想定調査(その1)

年代	主な被害地震	行政による被害想定調査(一部)*	備考
1923 1948	関東地震 福井地震		建物耐震研究の開始 震度Ⅶの設定,日本建築学会耐震試験委員会設置
1950 1951 1952 1959	十勝沖地震		建築基準法制定 地震危険度分布の提唱(河角)  建築基準法の改正
1961 1963 1964 1965 1966 1968	新潟地震  十勝沖地震		災害対策基本法公布 東京都地域防災計画策定  第1次地震予知計画がスタート 地震保険制度創設
1971 1974 1978	伊豆半島沖地震 伊豆大島近海地震 宮城県 沖地震	東京都(区部) 静岡県(東海地震)	建築基準法施行令の改正  大規模地震対策特別措置法,特定観測地域・観測強化地域の指定
1981 1982 1983 1984 1985 1986 1987 1988 1989	日本海中部地震 長野県西部地震  千葉県東方沖地震	埼玉県 名古屋市 千葉県  東京都(多摩地区) 神奈川県 福井県 長野県 国土庁(南関東地域) 宮城県 川崎市	建築基準法施行令の改正
1990 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999	釧路沖地震 北海道南西沖地震 北海道東方沖地震 三陸はるか沖地震 兵庫県南部地震  福島県 茨城県 群馬県 東京都 新潟県 大阪府 福岡県 長崎県 熊本県 福島県 埼玉県 石川県 京都府 兵庫県 神奈川県	岐阜県(東海地震) 東京都(全域) 千葉市 三重県(東海地震) 埼玉県 静岡県(東海地震) 神奈川県(神奈川県西部地震) 愛知県(東海地震) 青森県 秋田県 福井県 香川県 島根県 鹿児島県	道路橋示方書Ⅴ耐震設計編 改訂  耐震改修促進法制定 道路橋示方書Ⅴ耐震設計編 改訂
2000 2001 2002 2003 2004 2005	鳥取県西部地震 芸予地震 三陸南地震 宮城県北部地 震 十勝沖地震 新潟県中越地震 福岡県西方沖地震	静岡県 長野県 愛媛県 愛知県 岡山県 岐阜県 高知県  宮城県 岩手県 栃木県 山梨県 奈良県 鳥取県 徳島県 山梨県 三重県 京都府 奈良県 和歌山県	建築基準法の改正  東海地震防災対策強化地域の見直し 東南海・南海地震防災対策推進地域指定  「首都直下地震対策専門調査会」「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」設置

\* 被害想定年代は報告書発行年による

表 I-1-2-1 主な被害地震と行政による地震被害想定調査（その2）

年代	主な被害地震	行政による被害想定調査(一部)*	備考
2006		山形県 東京都 大阪府 広島県 福岡県 長崎県 宮崎県	
2007	能登半島地震 新潟県中越 沖地震	埼玉県 千葉県 山口県 大分県	
2008	岩手県内陸南部地震	神奈川県	
2009		佐賀県 沖縄県	
2010			
2011	東北地方太平洋沖地震 宮城県沖地震	千葉県 富山県	「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・ 津波対策に関する専門調査会」「南海トラフの 巨大地震モデル検討会」設置
2012		群馬県 東京都 福井県 島根県 福岡県	「首都直下地震モデル検討会」設置
2013		秋田県 東京都 静岡県 岐阜県 岡山県	「日本海における大規模地震に関する調査検 討会」設置
2014		広島県 愛媛県 高知県 熊本県 大分県 栃木県 埼玉県 愛知県 三重県 滋賀県 大阪府 兵庫県 和歌山県 岡山県 山口県	
2015		香川県 鹿児島県 沖縄県 栃木県 神奈川県 長野県 佐賀県	「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル 検討会」設置
2016	熊本地震	青森県 山形県 千葉県	
2017		京都府 徳島県	
2018	大阪北部地震 北海道胆振 東部地震	北海道 茨城県 富山県 鳥取県 島根県	
2019	山形県沖地震	岐阜県 大分県	
2020		宮崎県	
2021	福島県沖地震 宮城県沖地 震		

※ 被害想定年代は報告書発行年による

## 2. 本資料の概要

本資料は、国・地方自治体（行政）による地震被害想定調査を対象として、そこで用いられている被害予測手法について整理を行うことを目的としている。

### 2-1. 参考とした被害想定資料

本資料をまとめるにあたり、都道府県・政令指定都市・内閣府を対象に、2021年12月末時点の最新の地震被害想定資料（報告書や委員会資料など）を収集した。資料の入手方法は、各自治体のホームページにおける公開情報のダウンロードを基本とした<sup>(注1,2)</sup>。

表 I-2-1-1 に参考とした被害想定資料を示す。複数の資料を収集した自治体は刊行時期が最新の資料名を記載し、津波の被害想定が地震と別に行われている場合は両者の資料名を併記した。

(注1) 各自治体のホームページで「地震 被害想定」と検索すると、被害想定報告書や資料がリストアップされる。

(注2) 本資料は被害想定を対象としたため、地震防災マップ作成のために地震動を検討した結果などは対象としていない。

### 2-2. 本資料の構成

第Ⅱ章、第Ⅲ章では、以下の想定項目について、各自治体で採用されている主な予測手法の概要をまとめた<sup>(注3-5)</sup>。

第Ⅱ章 ハザード予測手法の整理	第Ⅲ章 被害予測手法の整理
1. 地震動の予測	1. 建物被害の予測
2. 液状化危険度の予測	2. 地震火災による建物被害の予測
3. 地盤崩壊危険性の予測	3. 人的被害の予測
4. 津波の予測	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

(注3) 報告書の中には、予測手法が記載されていないもの、考え方のみ記載されているものがある。その場合は手法の整理に含めていない。

(注4) 本資料は定量的な被害予測手法を整理対象とした。（定性的な被害想定は整理対象としてない。）

(注5) 各自治体の予測手法のうち、採用自治体数が少なく、前回調査の報告書（地震保険研究27）に掲載した手法については、本資料では掲載していない。前回報告書を参照いただきたい。

表 I-2-1-1 参考とした被害想定資料（その1）

No	自治体名	発行年	資料名（報告書等）
1	北海道	2018	平成28年度地震被害想定調査結果報告書
2	青森県	2016	平成27年度青森県地震・津波被害想定調査(日本海側海溝型地震)
3	岩手県	2004	岩手県地震・津波シミュレーションおよび被害想定調査に関する報告書（概要版）
4	宮城県	2004	宮城県地震被害想定調査に関する報告書
5	秋田県	2013	秋田県地震被害想定調査報告書
6	山形県	2006 2016	山形県地震被害想定調査報告書 山形県津波浸水想定・被害想定調査結果の公表について
7	福島県	1998	福島県地震・津波被害想定調査報告書
8	茨城県	2018	茨城県地震被害想定調査報告書
9	栃木県	2014	栃木県地震被害想定調査について
10	群馬県	2012	群馬県地震被害想定調査
11	埼玉県	2014	埼玉県地震被害想定報告書
12	千葉県	2016	平成26・27年度千葉県地震被害想定調査報告書
13	東京都	2012	首都直下地震等による東京の被害想定報告書
14	神奈川県	2015	神奈川県地震被害想定報告書・神奈川県地震被害想定報告書(手法編)
15	新潟県	2022	新潟県地震被害想定調査報告書(縮刷版)

表 I-2-1-1 参考とした被害想定資料（その2）

No	自治体名	発行年	資料名（報告書等）
16	富山県	2018	地震被害想定調査(平成29年度)地震被害想定調査の結果の概要について
17	石川県	1998	石川県地震被害想定調査報告書概要版
18	福井県	2012	平成23年度福井県地震被害予測調査業務報告書
19	山梨県	2005	山梨県東海地震被害想定調査報告書
20	長野県	2015	第3次長野県地震被害想定調査
21	岐阜県	2019	平成30年度岐阜県内陸直下地震等被害想定調査概要版
22	静岡県	2013	静岡県第4次地震被害想定調査
23	愛知県	2014	平成23～25年度 愛知県東海地震・東南海地震・南海地震被害予測調査報告書
24	三重県	2014	地震被害想定結果
25	滋賀県	2014	滋賀県地震被害想定(概要版)
26	京都府	2017	日本海における最大クラスの地震・津波による被害想定
27	大阪府	2014	第4回・5回南海トラフ巨大地震災害対策検討部会
28	兵庫県	2014	兵庫県 南海トラフ巨大地震津波被害想定・被害想定手法
29	奈良県	2005	第2次奈良県地震被害想定調査報告書
30	和歌山県	2014	和歌山県地震被害想定調査報告書(概要版)
31	鳥取県	2018	鳥取県地震・津波被害想定報告書
32	島根県	2018	島根県地震・津波被害想定調査報告書
33	岡山県	2014 2013	断層型地震の被害想定について 岡山県地震・津波被害想定調査報告書
34	広島県	2013	広島県地震被害想定調査報告書
35	山口県	2014	山口県地震・津波被害想定調査報告書
36	徳島県	2017	徳島県中央構造線・活断層地震被害想定の概要
37	香川県	2014	香川県地震・津波被害想定調査報告書
38	愛媛県	2013	愛媛県地震被害想定調査報告書
39	高知県	2013	南海トラフ巨大地震による被害想定
40	福岡県	2012	地震に関する防災アセスメント調査報告書・津波に関する防災アセスメント調査報告書
41	佐賀県	2015	佐賀県地震被害等予測調査業務
42	長崎県	2006	長崎県地震等防災アセスメント調査報告書
43	熊本県	2013	熊本県地震・津波被害想定調査結果の概要について
44	大分県	2019	大分県地震被害想定調査
45	宮崎県	2020	宮崎県地震・津波及び被害の想定について
46	鹿児島県	2014	鹿児島県地震等災害被害予測調査報告書概要版
47	沖縄県	2014	平成25年度沖縄県地震被害想定調査報告書
1	札幌市	2021	第4次地震被害想定
2	仙台市	2002	平成14年度仙台市地震被害想定調査報告書(概要)
3	さいたま市	2014	さいたま市被害想定調査報告書
4	千葉市	2017	千葉市地震被害想定調査報告書
5	横浜市	2012	横浜市地震被害想定調査報告書
6	川崎市	2013	川崎市地震被害想定調査報告書
7	相模原市	2014	相模原市防災アセスメント調査報告書(概要版)
8	新潟市	2015	新潟市防災基礎調査及び業務継続計画(震災対策編)作業業務 防災基礎調査報告書
9	名古屋市	2014	南海トラフ巨大地震の被害想定について
10	京都市	2003	京都市第3次地震被害想定
11	堺市	2009	堺市地震災害想定総合調査報告書
12	岡山市	2013	岡山市地震・津波等被害想定結果(概要版)
13	広島市	2013	広島市地震被害想定報告書
14	熊本市	2014	熊本市防災アセスメント(被害想定)調査業務委託報告書



表 I-2-1-1 参考とした被害想定資料（その3）

No	自治体名	発行年	資料名（報告書等）
1	内閣府 中央防災会議 (注1)	2003	中央防災会議 東海地震対策専門調査会「東海地震に係る被害想定」
2		2003	中央防災会議 東南海・南海地震等に関する専門調査会「東南海・南海地震に係る被害想定」
3		2005	中央防災会議 首都直下地震対策専門調査会「首都直下地震に係る被害想定」
4		2006	中央防災会議 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震の被害想定」
5		2008	中央防災会議 東南海・南海地震等に関する専門調査会「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定」
6		2013	南海トラフの巨大地震モデル検討会 中央防災会議 防災対策推進検討会議 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ「南海トラフ巨大地震の被害想定」
7		2013	首都直下地震モデル検討会 中央防災会議 防災対策推進検討会議 首都直下地震対策検討ワーキンググループ「首都直下地震の被害想定」
8		2021	中央防災会議 防災対策実行会議 日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震対策検討ワーキンググループ「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震の被害想定」

(注1)中央防災会議では同一年に2つの被害想定を公表している年がある(2003,2013)。それらの被害予測手法は概ね同じであるため、本資料では、2003年は「東南海・南海地震に係る被害想定」、2013年は「南海トラフ巨大地震の被害想定」を代表して取り上げた。

(注2)表に掲載していない政令指定都市は、属する府県の被害想定結果を用いている。

### 2-3. 本資料の見方

本資料は、自治体の被害想定で採用されている予測手法を、系統的に整理することを心掛けた。互いの手法の対比を容易にするため、以下の点について各報告書の記載から適宜変更した。


#### ■引用文献について

- ・報告書の作成機関が自治体でない場合があるが、手法が適用された自治体をわかりやすくするため、本文中では自治体名を記した。  
例：佐賀大学低平地防災研究センター・三菱総合研究所(1997) ➡ 佐賀県(1997)として引用
- ・各自自治体の報告書は、文章を見やすくするために、発行年(西暦)の下二桁のみを表示したり、発行年を省略して表示している場合がある。  
例：北海道(2018) ➡ 北海道(18) 北海道 と表示
- ・報告書により、引用内容が同じでも異なる文献を引用している場合がある。本資料では原則として発行年あるいは発表年の古い文献を優先的に記述し引用文献を統一した。参考文献には両者を記載した。  
例：Miyakoshi et al.(1997)、林・宮腰(1998) ➡ Miyakoshi et al.(1997)で記述
- ・報告書の執筆者名を引用対象としているものは、原則として調査実施自治体名に統一した。ただし、報告書中の提案手法が、執筆者名(手法考案者名)で広く認知されている場合は執筆者名を記した。
- ・報告書によっては、引用文献やその詳細(タイトルや掲載論文誌など)が記載されていない場合がある。文献やデータベースを調査し、引用文献を明らかにするよう努めたが、原典を把握できなかったケースも存在すると思われる。各自自治体独自の考え方として記載した手法が、それ以前に論文や報告書の形で既に報告されている場合がある。

#### ■用語の統一について

- ・報告書が異なると同じ内容でも異なる表現を用いている場合があるが、できるだけ用語を統一した。  
例：「RC造」「RC系建物」「RC建物」「RC」 ➡ 「RC造」に統一

## ■手法の採用自治体および補足説明について

- ・第Ⅱ章、第Ⅲ章では、想定項目別に予測手法を整理した。そこでは、手法ごとに採用自治体を記載した。その際、手法の全体を適用している自治体に加えて、手法の一部のみを採用している場合や一部を変更して適用している場合も採用自治体に含めた。
- ・各自治体では、既存の手法に新しい知見を加えることにより、地域に即した被害予測に取り組んでいる場合がある。本資料では、考え方の基となった手法の解説に重きを置き、各自治体で工夫された考え方は、その一部を  内で補足的に紹介した。

## ■地震名について

- ・次の地震については、発生年の記載を原則として省略した。

1923年関東地震（関東大震災）

1943年鳥取地震

1944年東南海地震

1946年南海地震

1948年福井地震

1964年新潟地震

1978年宮城県沖地震

1978年伊豆大島近海地震

1983年日本海中部地震

1995年兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）

2000年鳥取県西部地震

2001年芸予地震

2004年新潟県中越地震

2007年能登半島地震

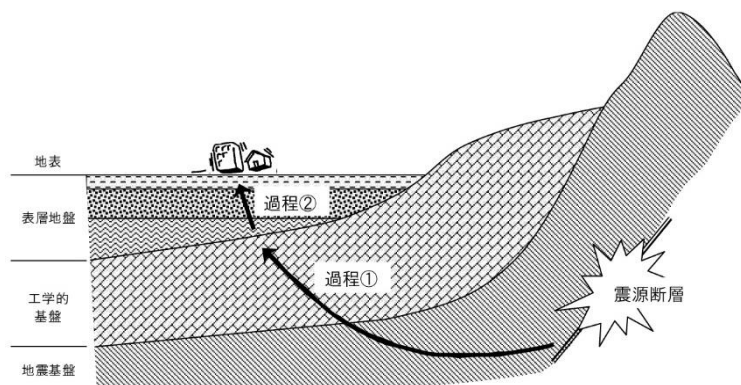
2007年新潟県中越沖地震

2011年東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）

## 第Ⅱ章 ハザード予測手法の整理

### 1. 地震動の予測

地震被害想定 の根幹をなす部分として地震動の予測がある。各自治体の被害想定では、地表面での地震動強さを、下図に示す2つの過程（過程① 地震基盤+工学的基盤、過程② 表層地盤）に分けて予測している場合が多い。それ以外に、地震基盤を設定することにより過程①を2段階で予測する方法もある。



図Ⅱ-1-1 地震基盤・工学的基盤・表層地盤を伝播する地震動の模式図(岩手県, 2004)

#### 1-1. 工学的基盤面の地震動

予測手法としては、以下の3つに大別できる。

- (1) 震源断層の動的パラメータを考慮する手法
- (2) 距離減衰式を用いる手法
- (3) 上記2つの手法の結果を重ね合わせる手法

(1)は、震源断層を複数の小さな断層に分割し、断層破壊の伝播を模式的に行う考え方である。この考え方により、震源断層からの距離が同じであっても、断層の破壊様式にしたがって地震動の大きさが異なる現象を説明できる。ただ、活動していない断層に対し破壊の進行方向等の動的パラメータを決める点において、不確実性が大きいという問題点がある。手法としては、統計的グリーン関数やハイブリッド法を用いる手法が多く採用されている。

(2)は、地震観測記録の統計回帰分析に基づき導かれる距離減衰式を用いる手法である。(1)と比べると計算量が少なく適用が簡便なため、地震動推定の有効な手法として古くから多くの研究がなされている。ただ、実際の地震では震源域（震源断層）の中でも大きな地震エネルギーを放出する場所は限られており、地震動の大きさが距離に応じて一様に減衰するとは限らないため適用に課題もある。手法としては、司・翠川(1999)の手法が多く用いられている。

(3)は(1)と(2)の手法を両方試行し、各地点において大きい震度を採用する手法である。

#### (1) 震源断層の動的パラメータを考慮する手法

##### ① 統計的グリーン関数法

○採用自治体：宮城県(04) 秋田県(13) 茨城県(18) 栃木県(15) 群馬県(12) 埼玉県(14) 神奈川県(15) 新潟県(21) 静岡県(13) 愛知県(14) 滋賀県(14) 島根県(18), 岡山県(14) 広島県(13) 山口県(14) 香川県(14) 愛媛県(13) 佐賀県(15) 長崎県(06) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) 仙台市(02) 千葉市(17) 川崎市(13) 広島市(13)

統計的グリーン関数法は、人工的に作成した地震波を基にグリーン関数を求める手法である。 $\omega^{-2}$ 則を満たす中小地震を数値計算により人工的に作成し、これをグリーン関数として大地震の破壊過程に従って足し合わせ、大地震の波形を合成する。人工地震波の生成にあたっては、乱数から発生させた波形（ホワイト・ノイズ）が $\omega^{-2}$ 則を満たすように周波数領域での調整が行われる(Boore, 1983)。

中央防災会議(2001)では、以下の手順で波形を作成している(図II-1-1-1)。

- 1) 対象とする断層面を小断層に分割し、各小断層ごとに、Boore(1983)の手法により $\omega^{-2}$ 則を満たす振幅スペクトルの形状を求める。このスペクトル形状は以下のとおりである。

$$S_A(\omega) = \frac{R_{\phi\theta}}{4\pi\rho\beta^3} M_0 \cdot \frac{\omega^2}{1+(\omega/\omega_c)^2} \cdot \frac{1}{1+(\omega/\omega_{\max})^2} \cdot \frac{e^{-\omega R/2Q\beta}}{R} \quad (a)$$

ただし、 $\omega_c = 2\pi f_c$  ,  $f_c = 4.9 \times 10^6 \beta (\Delta\sigma/M_0)^{1/3}$

$\omega_{\max} = 2\pi f_{\max}$  ,  $f_{\max}$  は高周波遮断周波数

- 2) (a)式中の $R$ 、 $\phi$ 、 $\theta$ はラディエーション係数であるが、これは、各小断層から計算地点への方位角、射出角により計算する。この時、周波数依存型の放射特性を導入する。また、ここではS波のみを考えているため、SH波、SV波ごとに振幅スペクトルを求める。
- 3) 小断層ごとにすべり量が異なる場合は、それに応じて各小断層の $M_0$ 、 $\Delta\sigma$ を設定する。
- 4) Q値は震源から計算地点までの伝播を考慮して評価する。
- 5) 以上は、振幅スペクトルについてのみ考えてきたが、ここで、Boore(1983)に従ってホワイトノイズに包絡形を施した波形のスペクトルをかけ合わせ、位相を与える。
- 6) 上記手法で作成した計算地点での地震基盤におけるスペクトルに対して、工学的基盤までの地盤構造による増幅を考慮するため、SH波については斜め入射のSH波動場を、SV波については、P-SV波動場の応答計算をHaskell Matrix(線形)で行う。
- 7) 求められた工学的基盤でのTransverse、Radial、UDの波形をNS、EW、UDに射影する。
- 8) 各小断層からの波形をIrikura(1986)および入倉ら(1997)に従って、それぞれの成分ごとに足し合わせる。これにより、工学的基盤での3成分波形を求める。なお、以上の作業は周波数領域で行う。

#### ■ 中央防災会議の地震動データを用いる手法

○採用自治体：山梨県(05) 滋賀県(14) 奈良県(05) 和歌山県(14) 京都市(03) 岡山市(13)

- ・中央防災会議専門調査会では、東海、東南海、南海の各地震の発生状況別に1kmメッシュ別の広域の震度分布予測、液状化危険度予測を行い、地震動データを公開している。上記自治体では、基盤の地震動として加速度波形の公開データを用いている。

#### ②理論地震動計算(三次元有限差分法)

○採用自治体：千葉県(16) 東京都(12) 神奈川県(15) 長野県(15) 鳥取県(18) 大分県(19) 札幌市(21) 横浜市(12) 京都市(03) 堺市(09) 熊本市(14)

理論地震動計算は、波動伝播の理論式を三次元有限差分法によって数値的に解くことにより地震波形を求める手法である。この手法を採用している自治体はすべて、③ハイブリッド法の中でこの手法を利用している。

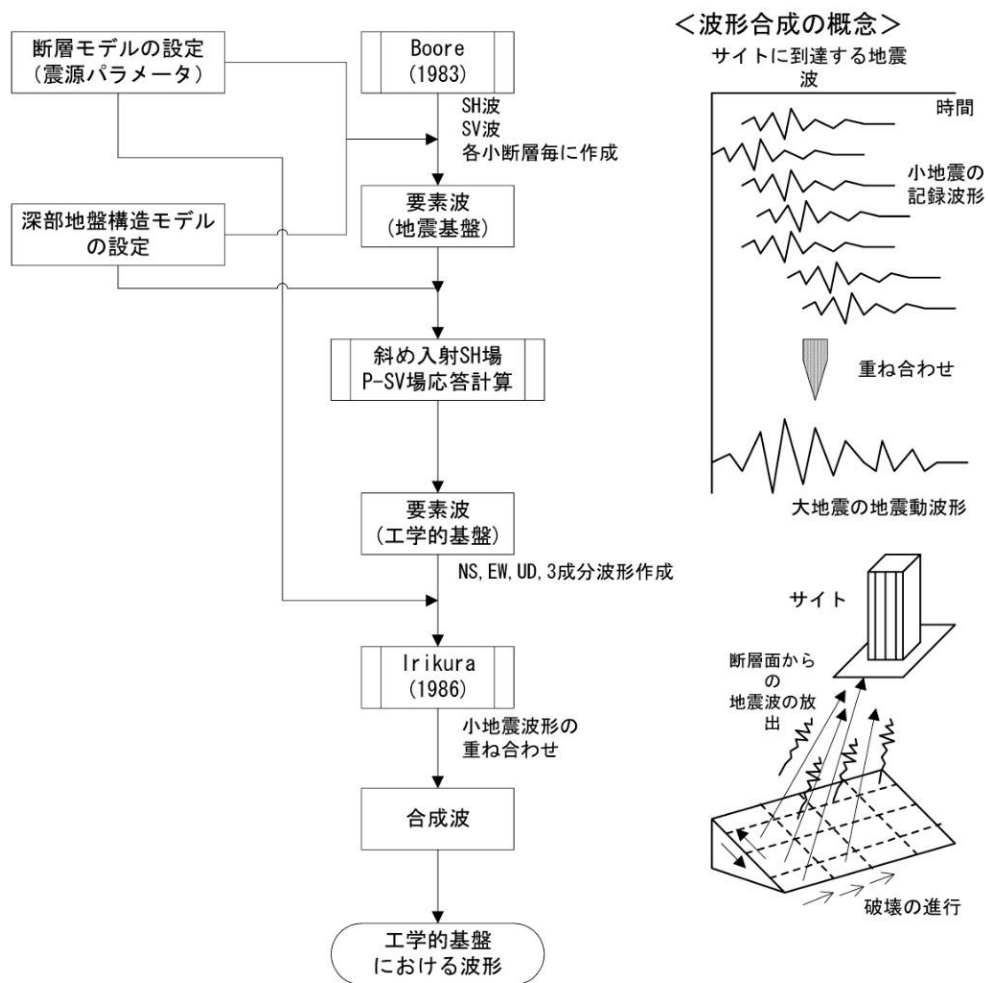


図 II-1-1-1 統計的グリーン関数法による工学的基盤の波形作成手順 (中央防災会議, 2001)

線形等方弾性体中 (linear isotropic elastic media) の三次元波動伝播は、以下の2組の方程式 (運動方程式, 応力-歪関係式) で表現される (Graves, 1996)。

連続体の運動方程式 :

$$\rho \partial_{tt} u_x = \partial_x \tau_{xx} + \partial_y \tau_{xy} + \partial_z \tau_{xz} + f_x$$

$$\rho \partial_{tt} u_y = \partial_x \tau_{xy} + \partial_y \tau_{yy} + \partial_z \tau_{yz} + f_y$$

$$\rho \partial_{tt} u_z = \partial_x \tau_{xz} + \partial_y \tau_{yz} + \partial_z \tau_{zz} + f_z$$

応力-歪関係式 :

$$\tau_{xx} = (\lambda + 2\mu) \partial_x u_x + \lambda (\partial_y u_y + \partial_z u_z)$$

$$\tau_{yy} = (\lambda + 2\mu) \partial_y u_y + \lambda (\partial_x u_x + \partial_z u_z)$$

$$\tau_{zz} = (\lambda + 2\mu) \partial_z u_z + \lambda (\partial_x u_x + \partial_y u_y)$$

$$\tau_{xy} = \mu (\partial_y u_x + \partial_x u_y)$$

$$\tau_{xz} = \mu (\partial_z u_x + \partial_x u_z)$$

$$\tau_{yz} = \mu (\partial_z u_y + \partial_y u_z)$$

ただし,  $u_x, u_y, u_z$  : 変位 (displacement) の  $x, y, z$  成分

$f_x, f_y, f_z$  : 体積力 (body-force) の  $x, y, z$  成分

$\tau_{xx}, \tau_{yy}, \tau_{zz}, \tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$  : 応力 (stress) の独立な 6 成分

$\rho$  : 密度 (density)

$\lambda, \mu$  : Lamé の定数

$\partial_x, \partial_y, \partial_z, \partial_{tt}$  : 微分オペレータでそれぞれ  $\partial/\partial x, \partial/\partial y, \partial/\partial z, \partial^2/\partial t^2$  を意味する。

Graves (1996) では、スタッガード格子 (staggered-grid) を用いた三次元有限差分法を適用するた

め、変位と応力を変数とした方程式に変換した上で差分式を導き、地震動を数値計算する手法を提案している。

### ③ハイブリッド法

○採用自治体：千葉県(16) 東京都(12) 神奈川県(15) 長野県(15) 鳥取県(18) 大分県(19) 札幌市(21) 横浜市(12) 京都市(03) 堺市(09) 熊本市(14)

ハイブリッド法は、広い周期帯を対象とした強震予測手法で、ある特定の周期を境にして短周期帯域と長周期帯域の2つに分け、それぞれの帯域に対して地震動の時刻歴波形を計算し、最後にそれら2つの帯域波形を合成する手法である。

ハイブリッド法の採用自治体には、統計的グリーン関数法（短周期帯）と理論地震動計算（長周期帯）を組み合わせている自治体が多い。

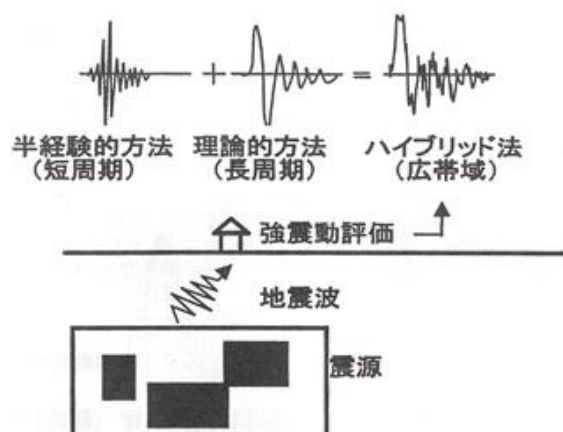


図 II-1-1-2 広域帯ハイブリッド法の模式図(佐藤, 2003)

## (2) 距離減衰式を用いる手法

### ①司・翠川(1999)の手法

○採用自治体：青森県(16) 岩手県(04) 山形県(06) 茨城県(18) 千葉県(16) 福井県(12) 長野県(15) 鳥取県(18) 佐賀県(15) 長崎県(06) 沖縄県(14) さいたま市(14) 新潟市(15)

1968年から1997年までに日本で発生した21地震から得られた強震記録を用いて、最大加速度、最大速度の距離減衰式を作成している。震源特性の影響を評価するために、回帰モデルに震源深さと断層タイプの項を追加している。

$$\log_{10} A = b - \log_{10}(X + c) - kX \quad (\text{断層最短距離を用いる場合})$$

$$\log_{10} A = b - \log_{10} X_{eq} - kX_{eq} \quad (\text{等価震源距離を用いる場合})$$

$$b = aM_w + hD + d_i + e$$

$$c = 0.0055 \cdot 10^{0.50 \cdot M_w} \quad (\text{最大加速度を求める場合})$$

$$c = 0.0028 \cdot 10^{0.50 \cdot M_w} \quad (\text{最大速度を求める場合})$$

ただし、 $A$  : 地震動の最大振幅値 (最大加速度(gal)、最大速度(cm/s))

$X$  : 震源最短距離(km)

$X_{eq}$  : 等価震源距離(km)

$M_w$  : モーメントマグニチュード

$D$  : 震源深さ(km)

$a, h, e, k$  : 係数 (下表)

$d_i$  : 断層タイプに関する係数 (下表)

表 II-1-1-1 距離減衰式にかかる係数(司・翠川, 1999)

	地震動	$a$	$h$	$d_i$			$e$	$k$
				地殻内地震	プレート間地震	プレート内地震		
断層最短距離	最大加速度	0.50	0.0043	0.00	0.01	0.22	0.61	0.003
	最大速度	0.58	0.0038	0.00	-0.02	0.12	-1.29	0.002
等価震源距離	最大加速度	0.50	0.0036	0.00	0.09	0.28	0.60	0.003
	最大速度	0.58	0.0031	0.00	0.06	0.16	-1.25	0.002

(3) 上記2つの手法の結果を重ね合わせる手法

① 中央防災会議(2013)の手法

○採用自治体：愛知県(14) 京都府(17)

強震波形計算による手法(統計的グリーン関数法)と経験的手法(距離減衰式)の両方を試行し、各地点において大きい震度を採用する。

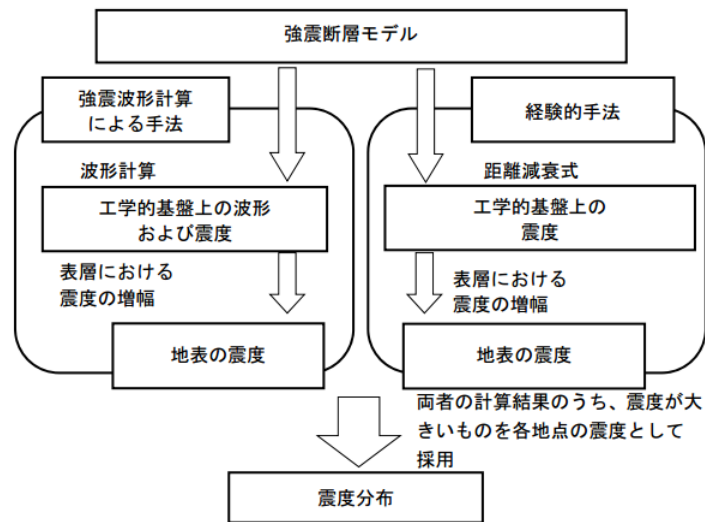


図 II-1-1-3 震度の予測フロー(中央防災会議, 2013)

## 1-2. 地表面の地震動

地表面における地震動の予測手法としては、

- (1) 応答解析を用いる手法
- (2) 表層地盤の増幅度を用いる手法

の2つに大別でき、これら2つを組み合わせた方法もある。

(1)の応答解析を用いる手法は、重複反射理論を基に計算する手法である。重複反射理論の最も基本的な手法である線形解析法は、1950～1960年代初頭に確立された(例えばHaskell(1960))ものである。この手法は、軟弱な地盤でゆれが増幅しやすい点を上手く再現し、入力地震動にかかわらず地盤の増幅特性が決められるという利点がある。しかし、非線形的な特徴を捉えることができず、軟弱な地盤を大きな地震動が襲った場合に地盤中にひずみが蓄積し、硬質な地盤よりもゆれが小さくなるような現象を表現することができない。

そこで、非線形的な振る舞いを評価する手法として、等価線形解析法や逐次非線形解析法が開発されてきた。等価線形解析法は、重複反射理論を基に土の非線形特性を等価な線形の関係に置き換えて非線形的な挙動を表現した方法であり、自治体の被害想定でよく用いられる。等価線形解析法を取り入れた代表的な手法としてはSHAKE(Schnabelほか, 1972)があるが、最近ではひずみの周波数依存を考慮した手法(例えば FDEL(杉戸ら, 1994))なども採用される傾向にある。一方、逐次非線形解析法はパラメータの設定等に課題があるため被害想定で用いられていなかったが、等価線形解析法と比較して大きな地震動にも適用できることなどから、最近では採用する自治体もある。

一部の自治体では、地震基盤上面から工学的基盤面については、線形重複反射理論で増幅特性を求め、表層地盤については、等価線形解析法で地盤の応答特性を求めている。この際には、深部地盤の減衰を示す係数 $Q$ を過去の地盤探査結果から設定する必要がある。

(2)の表層地盤の増幅度を用いる手法は、工学的基盤の最大速度に微地形区分から想定される増幅率を掛け合わせて地表の最大速度を算出する中央防災会議の手法が代表的である。

### (1) 応答解析を用いる手法

#### ① 等価線形解析法の概要

○採用自治体：福島県(97) 群馬県(12) 千葉県(16) 神奈川県(15) 新潟県(21) 福井県(12) 山梨県(05) 長野県(15) 京都府(17) 奈良県(05) 鳥取県(18) 島根県(18) 岡山県(14) 広島県(13) 愛媛県(13) 福岡県(12) 大分県(19) 鹿児島県(14) 札幌市(21) 千葉市(17) 川崎市(13) 広島市(13) 熊本市(14)

一般に、土はせん断ひずみが増大するとせん断弾性定数は減少し、減衰定数は増大する。等価線形解析法による地盤応答計算では、以下のような手順で計算を行う。(図II-1-2-1)

- a) 応答計算に必要な土質パラメータを与え、解析モデルを作成する。この際、ひずみは微小であるとして、せん断弾性定数、減衰定数を求める。
- b) 与えられた入力地震波形を基に応答解析を行う。この際、各層のひずみの時系列変化を求める。
- c) せん断弾性定数および減衰定数のひずみ依存曲線を基に、応答計算で得られた最大ひずみの65%に対応する新しいせん断弾性定数を求める。
- d) 新しいせん断弾性定数および減衰定数によりモデルを修正。
- e) せん断弾性定数および減衰定数が収束するまでb)～d)を繰り返す。

#### ② 逐次非線形解析法の概要

○採用自治体：静岡県(13) 滋賀県(14) 京都市(03) 堺市(09)

逐次非線形解析法は、材料の非線形特性を数学モデルや力学モデルで表現し、材料特性の変化を



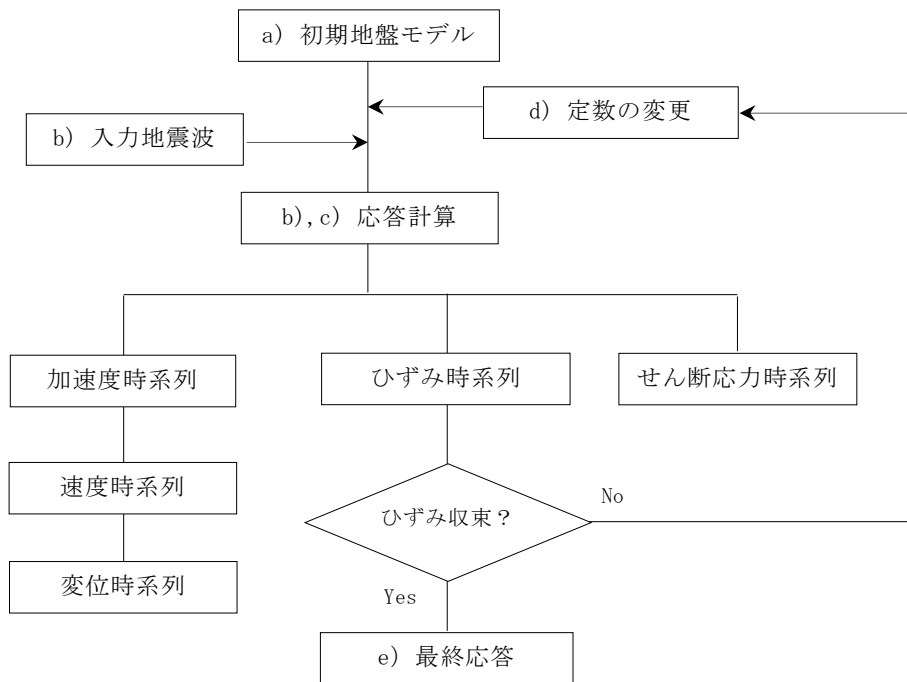


図 II-1-2-1 等価線形解析法による地盤応答計算の流れ

逐次計算しながら挙動を求めようとする方法である。等価線形解析法の適用範囲は、ひずみが 0.1～1%程度の地震動までであるのに対して、逐次非線形解析法ではひずみが1%を超える大きな地震動でも適用が可能であるとされている。その一方で、入力パラメータの設定や算出結果の解釈など、専門的な知識を持って解析に当たることが必要となる(防災科学技術研究所, 2003)。

### ③重複反射理論の概要

○採用自治体：埼玉県(14) 愛知県(14) 仙台市(02)

表のような水平成層地盤モデルを考える。

表 II-1-2-1 水平成層地盤モデル

変位	S波速度	剛性率	密度	層厚	層
$u_1$	$V_1$	$\mu_1$	$\rho_1$	$D_1$	1
$u_2$	$V_2$	$\mu_2$	$\rho_2$	$D_2$	2
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮
$u_m$	$V_m$	$\mu_m$	$\rho_m$	$d_m$	m
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮
$u_{n-1}$	$V_{n-1}$	$\mu_{n-1}$	$\rho_{n-1}$	$d_{n-1}$	n-1
$u_n$	$V_n$	$\mu_n$	$\rho_n$	$d_n$	n

基盤面(第n層上端面)に入射するS波の振幅は、定数 $u_i$ を使用して、

$$u_n = u_i \exp(i\omega t)$$

と表される。任意のm層における変位 $u_m$ は、下降波 $u'_m$ と上昇波 $u''_m$ の和である。この時、m層の変位 $u_m$ およびせん断応力 $\tau_m$ は、時間項 $\exp(i\omega t)$ を省略し、層上面からの深さを $Z$ 、 $h_m = \omega/V_m$ とすれば、以下ようになる。

$$\begin{pmatrix} u_m \\ \tau_m \end{pmatrix}_Z = \begin{pmatrix} \cos(h_m Z) & -i \sin(h_m Z) \\ -h_m \mu_m \sin(h_m Z) & -i h_m \mu_m \cos(h_m Z) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} u'_m + u''_m \\ u'_m - u''_m \end{pmatrix}$$

m層および(m-1)層の境界面(m-1)面での変位・応力の連続条件から、

$$\begin{pmatrix} u_m \\ \tau_m \end{pmatrix}_{m\bar{\text{面}}} = a_m \cdot \begin{pmatrix} u_{m-1} \\ \tau_{m-1} \end{pmatrix}_{m-1\bar{\text{面}}}$$

$$a_m = \begin{pmatrix} \cos(h_m d_m) & (h_m \mu_m)^{-1} \sin(h_m d_m) \\ -h_m \mu_m \sin(h_m d_m) & \cos(h_m d_m) \end{pmatrix} : \text{層マトリクス}$$

この漸化式を順次適用することにより、地表での地震波の変位 $u_0$ および応力 $\tau_0$ を求めることができる。地表では、

$$\begin{pmatrix} u_n \\ \tau_n \end{pmatrix}_{n-1\bar{\text{面}}} = a_{n-1} \cdot a_{n-2} \cdots a_2 \cdot a_1 \cdot \begin{pmatrix} u_0 \\ \tau_0 \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} u_0 \\ \tau_0 \end{pmatrix}$$

地表面での応力はゼロであり、入射波の振幅は $(u_n)_{n-1\bar{\text{面}}} = u_i$ なので、上式を展開して、

$$A_{11} \cdot u_0 = u_i + (u_n)_{n-1\bar{\text{面}}}$$

$$A_{21} \cdot u_0 = -i h_n \mu_n \left( (u_n)_{n-1\bar{\text{面}}} - u_i \right)$$

以上から、周波数領域での地表と基盤入射との比(地盤の周波数伝達関数) $H(\omega)$ が求まる。

$$H(\omega) = \frac{2i h_n \mu_n}{A_{21} + i h_n \mu_n A_{11}}$$

内部減衰 $Q$ を考慮するためには、同様の手続きにおいて、せん断弾性定数 $\mu$ を複素せん断弾性定数 $\mu(1 + i/Q)$ に置換する。

## (2) 表層地盤の増幅度を用いる手法

### ① 中央防災会議(2001)の手法

○採用自治体：茨城県(18) 千葉県(16) 東京都(12) 長野県(15) 滋賀県(14) 山口県(14) 香川県(14) 長崎県(06) 宮崎県(20) 沖縄県(14) さいたま市(14) 横浜市(12) 新潟市(15)

中央防災会議(2001)では、想定東海地震について統計的グリーン関数法により各メッシュの工学的基盤上の波形を求め、これを入射波形として地震応答計算(SHAKE)を行った。そして、計算結果を基に地盤モデルの表層30mの平均S波速度(AVS30)と工学的基盤～地表の震度増分との関係式を以下のように求めた。

$$\Delta I = a - b \cdot \log AVS$$

$\Delta I$  : 工学的基盤～地表の震度増分      AVS : 表層30mの平均S波速度の推定値

a, b : 係数 (下表)

表 II-1-2-2 AVS30と震度増分の関係式の係数(横田ら, 2005)

基盤震度	a	b	基盤震度	a	b
3.0~3.9	2.943	1.034	5.0~5.4	2.715	0.954
4.0~4.4	2.916	1.026	5.5~5.9	2.494	0.876
4.5~4.9	2.888	1.015	6.0~6.4	2.434	0.855

### ② 松岡・翠川(1994)の手法

○採用自治体：青森県(16) 岩手県(04) 宮城県(04) 山形県(06) 長野県(15) 長崎県(06) 横浜市(12)

千葉県東方沖地震(1987)の強震記録から、最大加速度振幅に対する地盤増幅度 $ARA$ および最大速度振幅に対する地盤増幅度 $ARV$ と深さ30mまでの地盤平均S波速度 $AVS30$ (m/s)の関係を調査し、以下の式を求めた。

$$\log_{10} ARA = 1.35 - 0.47 \log_{10} AVS30 \pm 0.18$$

$$\log_{10} ARV = 1.83 - 0.66 \log_{10} AVS30 \pm 0.16$$

AVS30については、地形条件等から以下の式を提案した。

$$\log_{10} AVS30 = a + b \log_{10} h + c \log_{10} D \pm \sigma$$

$h$  : 各メッシュの標高 (m)

$D$  : 主要河川からの距離 (km)

$\sigma$  : 標準偏差

$a, b, c$  : 地形・地質条件により定められる値 (下表)

表 II-1-2-3 地形・地質別の係数(松岡・翠川, 1994)

地形・地質	$a$	$b$	$c$	$\sigma$	データ数
埋立地	2.23	0	0	0.14	132
人工改変地	2.26	0	0	0.09	7
三角州, 後背湿地 ( $D \leq 0.5$ )	2.19	0	0	0.12	36
三角州, 後背湿地 ( $D > 0.5$ )	2.26	0	0.25	0.13	57
自然堤防	1.94	0.32	0	0.13	18
谷底平野	2.07	0.15	0	0.12	26
砂洲、砂丘	2.29	0	0	0.13	13
扇状地	1.83	0.36	0	0.15	20
ローム台地	2.00	0.28	0	0.11	95
砂礫台地	1.76	0.36	0	0.12	12
丘陵	2.64	0	0	0.17	22
その他(火山など)	2.25	0.13	0	0.16	10
第三紀以前	2.87	0	0	0.23	3

### ③地震調査研究推進本部(2008)の手法

○採用自治体：北海道(18) 秋田県(13) 茨城県(18) 佐賀県(15) 岡山市(13)

工学的地盤における最大速度の値に、微地形区分から想定される増幅率を掛け合わせることで地表の最大速度を算出する。微地形区分から想定される増幅率は以下の手順で評価する。

- 1) 全国を網羅した約1kmメッシュの微地形区分データ (例えば 若松ら(2005))、または、約250mメッシュの微地形区分データ (例えば、若松・松岡(2007)) を用いる。
- 2) その区分に次式に示す標高と表層30mの平均S波速度(AVS30)との経験的關係 (例えば 若松ら(2005)) をあてはめる。

$$\log AVS30 = a + b \log E_v + c \log S_p + d \log D_m \pm \sigma$$

$AVS30$  : 表層30mの平均S波速度 (m/s)       $E_v$  : 標高 (m)

$S_p$  : 傾斜\*1000 (傾斜は正弦)

$D_m$  : 先第三系・第三系の山地・丘陵からの距離 (km)

$\sigma$  : 標準偏差       $a, b, c, d$  : 微地形区分ごとに与えられる回帰係数

- 3) 工学的基盤から地表への最大速度の増幅率は、表層30mの平均S波速度(AVS30)との相関性が認められる。そこで次式を用いて、AVS30から最大速度の増幅率を算出する (例えば 藤本・翠川(2006))。

$$\log(\text{amp}) = 2.367 - 0.852 \log AVS30 \pm 0.166 \quad (100 < AVS30 < 1500)$$

amp : 平均S波速度600m/sの工学的基盤を基準とした最大速度増幅率

(3) 上記2つの手法の結果を重ね合わせる手法

○採用自治体：愛知県(14) 岡山県(14)

愛知県や岡山県は、地震応答解析による手法（詳細法）と地表面の増幅度を用いる手法（簡易法）を両方試行し、大きい方を採用している。

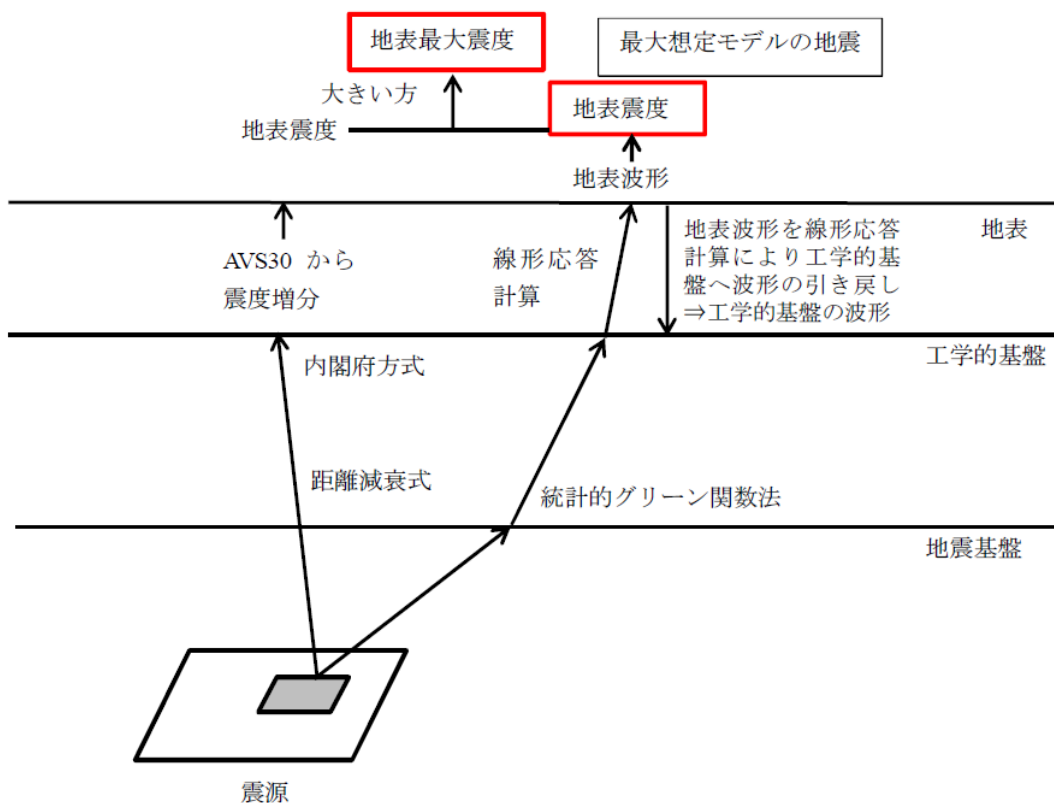


図 II-1-2-2 地震動予測の考え方(愛知県, 2014)

### 1-3. 震度(計測震度)の計算

多くの自治体では、1996年に改訂された気象庁の計算方法にしたがって震度を求めている。ただし、地震動の予測において最大加速度や最大速度のみを予測している自治体では、過去の地震から求められた経験式によって計測震度を求めている。

#### (1) 気象庁(1996)の手法

○採用自治体：秋田県(13) 新潟県(21) 福井県(12) 山梨県(05) 長野県(15) 滋賀県(14) 京都府(17) 奈良県(05) 広島県(13) 愛媛県(13) 福岡県(12) 広島市(13)

官報(1996.2.15, 気象庁告示第4号)に告示された計算方法にしたがって震度を計算する。

#### (2) 童・山崎(1996)の手法

○採用自治体：青森県(16) 宮城県(04) 神奈川県(15) 岡山県(14) 広島県(13) 沖縄県(14) さいたま市(14) 広島市(13)

過去の地震で記録された205地点での加速度時刻歴を用いて計測震度 $I$ を計算し、最大加速度 $PGA$ (gal)、最大速度 $PGV$ (cm/s)との関係式を求めた。

$$I = 2.01 \log_{10}(PGV) + 2.30$$

$$I = 1.89 \log_{10}(PGA) + 0.59$$

#### (3) 翠川ら(1999)の手法

○採用自治体：岩手県(04) 茨城県(18),

地表最大速度 $PGV$ (cm/s)と計測震度 $I$ の関係式は以下のとおり。

$$I = 1.72 \log_{10}(PGV) + 2.68$$

#### (4) 藤本・翠川(2005)の手法

○採用自治体：北海道(18) 茨城県(18) 栃木県(15) 広島県(13) 佐賀県(15) 広島市(13)

近年発生した地震による強震記録を加え、高震度域へも適用できる計測震度を推定するための関係式を提案した。最大加速度 $PGA$ (gal)及び最大速度 $PGV$ (cm/s)と計測震度 $I$ の関係式は以下のとおり。

$$I = 1.905 + 0.381 \cdot \log(PGA) + 0.384 \cdot \log(PGA)^2 \pm 0.379 \quad (I \geq 4)$$

$$I = 2.002 + 2.603 \cdot \log(PGV) - 0.213 \cdot \log(PGV)^2 \pm 0.344 \quad (I \geq 4)$$

## 2. 液状化危険度の予測

自治体の被害想定で採用されている液状化危険度の予測手法は、

- (1) 地盤データを用いる手法
- (2) 地形・地盤分類データを用いる手法

の2つに大別されるが、(1)を採用している自治体が非常に多い。

地盤データを用いる手法では、液状化指数（以下「 $P_L$ 値」）を求め、次の基準に従いその地点の液状化危険度を判定している自治体が多い（ $P_L$ 法）。

$P_L = 0$	… 液状化危険度はかなり低い
$0 < P_L \leq 5$	… 液状化危険度は低い
$5 < P_L \leq 15$	… 液状化危険度が高い
$15 < P_L$	… 液状化危険度が極めて高い

$P_L$ 値は、ボーリングデータ等の地盤データから求められる深さごとの液状化安全率（以下「 $F_L$ 値」）から計算される（ $F_L$ 法）。この時、予測の対象となる地盤は最大で地表面から深度20mまでである。 $F_L$ 値は、土層の液状化に対する安全率を意味する値で、次のように定義される。

$F_L > 1.0$	… その深さでの液状化の可能性が少ない
$F_L \leq 1.0$	… その深さでの液状化の可能性はある

### 2-1. 地盤データを用いる手法

#### (1) $P_L$ 法（岩崎ら(1980)の手法）

○採用自治体：青森県(16) 宮城県(04) 秋田県(13) 福島県(98) 茨城県(18) 栃木県(15) 群馬県(12) 埼玉県(14) 東京都(12) 神奈川県(15) 新潟県(21) 富山県(18) 福井県(12) 山梨県(05) 長野県(15) 岐阜県(19) 静岡県(13) 愛知県(14) 滋賀県(14) 京都府(17) 奈良県(05) 和歌山県(14) 鳥取県(18) 島根県(18) 岡山県(14) 広島県(13) 山口県(14) 香川県(14) 愛媛県(13) 福岡県(12) 佐賀県(15) 長崎県(06) 大分県(19) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) 沖縄県(14) 札幌市(21) 仙台市(02) さいたま市(14) 千葉市(17) 横浜市(12) 川崎市(13) 京都市(03) 堺市(09) 岡山市(13) 広島市(13)

$F_L$ 値はある深度における液状化の発生の可能性を示した値であるが、地盤全体の液状化の発生可能性を評価するものではない。地盤全体の液状化の可能性を把握するには、各層の液状化の可能性を足し合わせる必要がある。そこで、岩崎ら(1980)は、 $F_L$ 値の分布を深さ方向に重み付けして積分した値（ $P_L$ 値）を定義し、地盤全体の液状化の可能性の指標とした。

$$P_L = \int_0^{20} F \cdot w(z) dz$$

$$F = \begin{cases} 1 - F_L & F_L < 1.0 \\ 0 & F_L \geq 1.0 \end{cases}$$

$$w(z) = 10 - 0.5 \cdot z \quad (z: \text{地表面からの深さ(m)})$$

$w(z)$ は深さに対する重み関数であり、浅い部分に対してより大きな重みを与えている。

#### (2) $F_L$ 法

日本道路協会「道路橋示方書V 耐震設計編」の液状化検討手法は、土木分野における最も代表的な手法であり、多くの自治体で採用されている。

## ①日本道路協会(1996)の手法

○採用自治体：青森県(16) 宮城県(04) 秋田県(13) 茨城県(18) 栃木県(15) 群馬県(12) 埼玉県(14) 東京都(12) 神奈川県(15) 富山県(18) 福井県(12) 山梨県(05) 長野県(15) 岐阜県(19) 静岡県(13) 愛知県(14) 滋賀県(14) 京都府(17) 奈良県(05) 鳥取県(18) 島根県(18) 岡山県(14) 広島県(13) 山口県(14) 香川県(13) 愛媛県(13) 福岡県(12) 佐賀県(15) 長崎県(06) 大分県(19) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) 沖縄県(14) 札幌市(21) 仙台市(02) さいたま市(14) 千葉市(17) 横浜市(12) 川崎市(13) 京都市(03) 堺市(09) 岡山市(13) 広島市(13)

日本道路協会(1996)は、兵庫県南部地震による液状化の発生状況をふまえて、日本道路協会(1990)から以下の点を改訂している。

- ・液状化評価の対象土層を沖積砂質土層のみから洪積、礫質土まで範囲を拡大
- ・ $N$ 値の高い部分での強度の過小評価を解消

液状化判定の対象としては、以下の3つの条件を満たす地層としている。

- ・地下水位が現地盤面から10m以内にあり、かつ現地盤面から20m以内の深さに存在する飽和土層
- ・細粒分含有率 $F_C$ が35%以下の土層、または $F_C$ が35%をこえても塑性係数 $I_P$ が15以下の土層
- ・平均(50%)粒径 $D_{50}$ が10mm以下で、かつ10%粒径 $D_{10}$ が1mm以下の土層

ここで、地下水位は、基本的にはボーリングデータから求める。

地盤内の各点における $F_L$ 値は地層が有する動的せん断強度比 $R$ と地層に作用する地震時せん断応力比 $L$ によって定義する。

$$F_L = R/L$$

地盤内の動的せん断応力比 $L$ は地表最大加速度 $\alpha$ から、次式で表される。

$$L = (\alpha/g) \cdot (\sigma_v/\sigma'_v) \cdot \gamma_d$$

ただし、 $\alpha$  : 地表最大加速度 (gal)       $g$  : 重力加速度 (=980gal)  
 $\sigma_v$  : 全上載圧 (kgf/cm<sup>2</sup>)       $\sigma'_v$  : 有効上載圧 (kgf/cm<sup>2</sup>)  
 $\gamma_d$  : 低減係数 =  $1.0 - 0.015z$        $z$  : 地表面からの深さ (m)

地盤内での動的せん断強度比 $R$ は地盤の繰り返し三軸強度比 $R_L$ を用いて、以下の補正式で求める。

$$R = C_w \cdot R_L$$

ただし、 $C_w$ の値は考慮する地震動の性質によって以下のように定められている。

- 1) タイプ I の地震動：発生頻度が低いプレート境界型の大地震による地震動  
 大きな振幅が長時間繰り返して作用する。

$$C_w = 1.0$$

- 2) タイプ II の地震動：発生頻度が極めて低い、規模の大きい内陸直下型地震による地震動

$$C_w = \begin{cases} 1.0 & (R_L \leq 0.1) \\ 3.3R_L + 0.67 & (0.1 < R_L \leq 0.4) \\ 2.0 & (0.4 < R_L) \end{cases}$$

繰り返し三軸強度比 $R_L$ は、以下の式から経験的に定める。

$$R_L = \begin{cases} 0.0882\sqrt{N_a/1.7} & (N_a < 14) \\ 0.0882\sqrt{N_a/1.7} + 1.6 \times 10^{-6}(N_a - 14)^{4.5} & (14 \leq N_a) \end{cases}$$

ただし、埋め立て土の場合はこの式から0.05を減じる

$N_a$  : 粒度の影響を考慮した補正 $N$ 値

砂質土の場合の補正 $N$ 値 $N_a$ は、

$$N_a = C_1 \cdot N_1 + C_2$$

$$C_1 = \begin{cases} 1.0 & (0\% \leq F_C < 10\%) \\ (F_C + 40)/50 & (10\% \leq F_C < 60\%) \\ F_C/20 - 1 & (60\% \leq F_C) \end{cases}$$

$$C_2 = \begin{cases} 0 & (0\% \leq F_C < 10\%) \\ (F_C - 10)/18 & (10\% \leq F_C) \end{cases}$$

$F_C$  : 細粒分含有率(%)

であり、礫質土の場合は以下のとおり。

$$N_a = \{ 1 - 0.36 \cdot \log_{10}(D_{50}/2.0) \} \cdot N_1$$

ただし、 $N_1 (= 1.7N/(\sigma'_v + 0.7))$  : 1 kgf/cm<sup>2</sup>の有効上載圧に対する基準化 $N$ 値  
 $N$  : 標準貫入試験から得られる $N$ 値  
 $D_{50}$  : 平均粒径 (mm)

## ②日本道路協会(2017)の手法

○採用自治体：新潟県(21) 札幌市(21)

以下の3つの条件を満たす地層を液状化判定の対象としている。

- ・地下水位が現地盤面から10m以内にあり、かつ現地盤面から20m以内の深さに存在する飽和土層
- ・細粒分含有率 $F_C$ が35%以下の土層、または $F_C$ が35%をこえても塑性係数 $I_p$ が15以下の土層
- ・平均(50%)粒径 $D_{50}$ が10mm以下で、かつ10%粒径 $D_{10}$ が1mm以下の土層

地盤内の各深度における液状化に対する抵抗率 $F_L$ 値は、地層が有する動的せん断強度比 $R$ と作用する地震時せん断応力比 $L$ により定義し、この値が1.0以下の土層は液状化するとみなした。

$$F_L = R / L$$

$$L = \gamma d \cdot \text{KhgL} \cdot (\sigma_v / \sigma'_v)$$

$\gamma d = 1.0 - 0.015x$  : 地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数

$x$  : 地表面からの深さ (m)

$\text{KhgL}$  : 液状化の判定に用いる地盤面の設計水平震度とされているが、ここではメッシュごとに求まっている地表最大加速度を重力加速度で割った値とする。

$\sigma_v$  : 地表面からの深さ $x$  (m) における全載圧 (kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma'_v$  : 地表面からの深さ $x$  (m) における有効載圧 (kN/m<sup>2</sup>)

$$R = C_w \cdot RL$$

$C_w$  : 地震時特性による補正係数

(プレート境界型地震の場合)  $C_w = 1.0$

$$(内陸直下型地震の場合) \quad C_w = \begin{cases} 1.0 & (R_L \leq 0.1) \\ 3.3R_L + 0.67 & (0.1 < R_L \leq 0.4) \\ 2.0 & (0.4 < R_L) \end{cases}$$

$RL$  : 繰り返し三軸強度比

$$RL = \begin{cases} 0.0082\sqrt{(0.85Na + 2.1)/1.7} (0.4 < R_L)(Na < 14) \\ 0.0082\sqrt{Na/1.7} + 1.6 \times 10^{-6} \cdot (Na - 14)^{4.5} (Na \geq 14) \end{cases}$$



Na : 粒度の影響を考慮した補正 N 値

(砂質土 ( $D_{50} < 2\text{mm}$ ) の場合)

$$Na = C_{FC} \cdot (N_1 + 2.47) - 2.47$$

$$N_1 = 170N / (\sigma_{vb}' + 70)$$

$$C_{FC} = \begin{cases} 1.0 & (0\% \leq F_c < 10\%) \\ (F_c + 20) / 30 & (10\% \leq F_c < 40\%) \\ (F_c - 16) / 12 & (40\% \leq F_c) \end{cases}$$

(礫質土 ( $D_{50} \geq 2\text{mm}$ ) の場合)

$$Na = (1 - 0.36 \log_{10} (D_{50} / 2)) \cdot N_1$$

N : 標準貫入試験から得られる N 値

N<sub>1</sub> : 有効上載圧 100kN/m<sup>2</sup> 相当に換算した N 値

F<sub>c</sub> : 細粒分含有率 (%)

$\sigma_{vb}'$  : 標準貫入試験を行ったときの地表面からの深さにおける有効上載圧 (kN/m<sup>2</sup>)

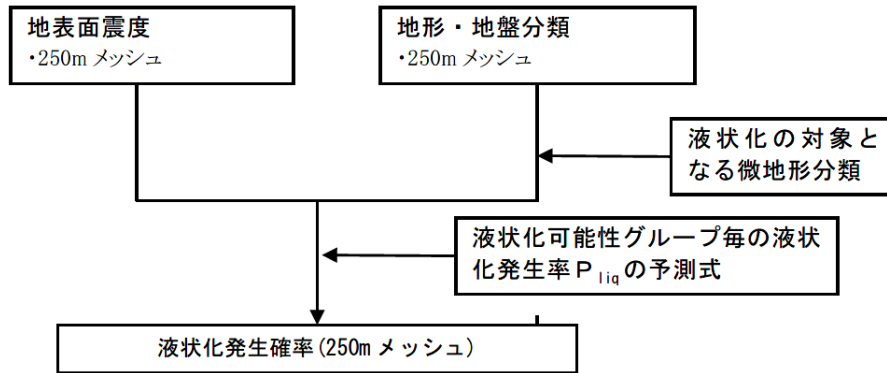
C<sub>FC</sub> : 細粒分含有率による N 値の補正係数

## 2-2. 地形・地盤分類データを用いる手法

### (1) 松岡・若松・橋本(2011)の手法

○採用自治体：北海道(18) 青森県(16)

松岡・若松・橋本は250mメッシュ地形・地盤分類データから液状化危険度を推定する手法を提案した。これは鳥取県中部地震(2000)～岩手宮城内陸地震(2008)の9地震の液状化発生状況に基づく。以下に北海道(2018)の説明を抜粋する。



図Ⅱ-2-2-1 液状化危険度の算定の流れ(北海道, 2018)

#### ①液状化の対象となる地形・地盤分類

液状化発生確率の判定対象とする地形・地盤分類は、発生確率の非常に低い山地・台地(group5)を除いた250mメッシュ(group1～4)とする。

表Ⅱ-2-2-1 グループと地形・地盤分類(北海道, 2018)

グループ	微地形分類					
group1	NTL 自然堤防	LSD 砂丘末端緩斜面	LDB 砂丘間低地	ARC 旧河道	REC 干拓地	FLL 埋立地
group2	ALF 扇状地 (>=1/100)	AFS 扇状地 (<1/100)	BAR 砂州・砂礫州			
group3	BKM 後背湿地	DEL 三角州・海岸低地	DUN 砂丘			
group4	VBP 谷底低地 (>=1/100)	VPS 谷底低地 (<1/100)	GVT 砂礫質台地			
group5	上記以外					

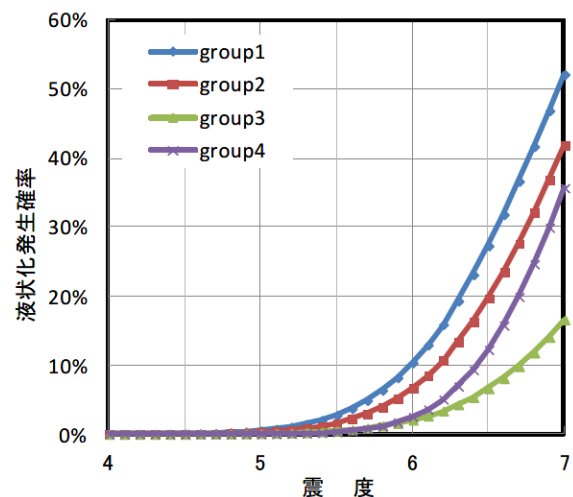
#### ②液状化可能性グループごとの液状化発生確率の予測

液状化発生率 $P_{liq}$ の予測式は次のとおり。

$$P_{liq}(I) = \Phi\left[\frac{I - \mu}{\sigma}\right] \quad \mu \text{ 平均値} \quad \sigma \text{ 標準偏差}$$

group1  $\mu=6.96$   $\sigma=0.761$  group2  $\mu=7.16$   $\sigma=0.773$

group3  $\mu=7.906$   $\sigma=0.933$  group4  $\mu=7.231$   $\sigma=0.628$

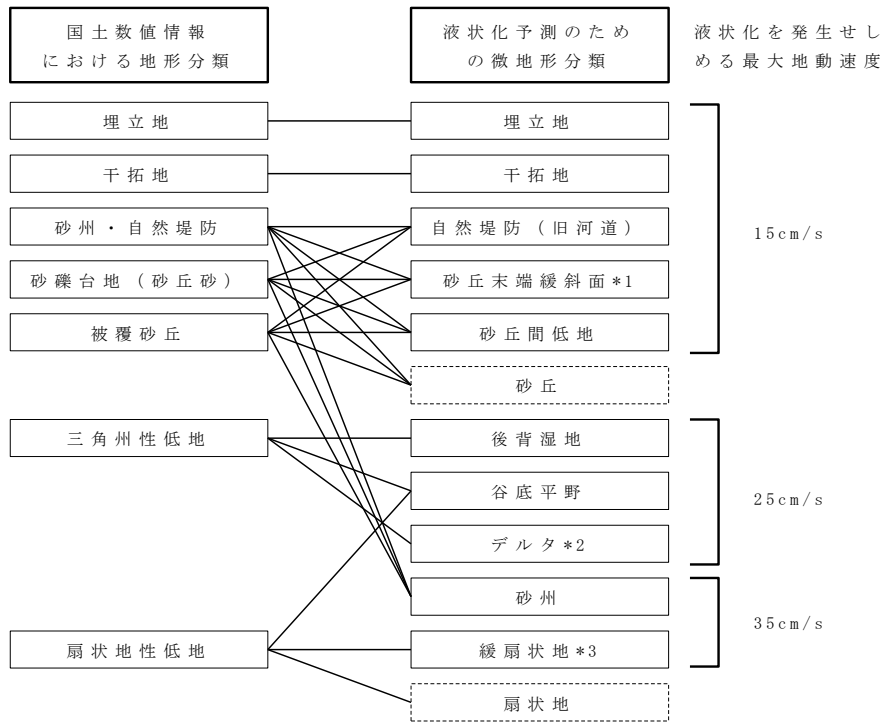


図Ⅱ-2-2-2 震度と液状化発生確率との関係(北海道, 2018)

## (2) 松岡ら(1993)の手法

○採用自治体：岩手県(04) 山形県(06)

松岡ら(1993)は、微地形分類と地表最大速度から液状化危険度を評価する手法を提案した。この手法による千葉県東方沖地震(1987)時の液状化危険度の分布再現結果と、実際の液状化発生地点が比較的良好に対応していることが確認されている。



- \*1 砂丘と低地部との境界付近であり、砂丘縁辺部を含む
- \*2 デルタ地帯と呼ばれる地形分類のうち、埋立地、干拓地などを除いた狭義のデルタを指す
- \*3 扇頂から扇端までの平均縦断勾配が10/1000程度以下の扇状地を指す

図 II-2-2-3 国土数値情報の地形分類と液状化予測のための微地形分類との対応(松岡ら, 1993)

表 II-2-2-2 液状化危険度の評価基準(松岡ら, 1993)

液状化危険度	地表最大速度
	液状化が発生せしめる最大地動速度
高い	1.25以上
やや高い	1.00~1.25
低い	0.75~1.00

## 2-3. 液状化に伴う地盤沈下量の予測

○採用自治体：青森県(16) 秋田県(13) 茨城県(18) 千葉県(16) 長野県(15) 愛知県(14) 広島県(13) 山口県(14) 香川県(14) 千葉市(17) 広島市(13)

東北地方太平洋沖地震の後、地盤沈下量をパラメータとして液状化による建物被害を予測する自治体が出てきている。ここでは、地盤沈下量の予測手法について、秋田県(2013)の説明を抜粋する。

液状化に伴う地盤沈下量は、「建築基礎構造設計指針」(日本建築学会, 2001)に示されている補正N値と繰返しせん断ひずみ $\gamma_{cy}$ の関係をを用いて、補正N値と応力比のプロット点に対応する繰返しせん断ひずみを、隣接する $\gamma_{cy}$ 曲線の対数補間により求める。

### 【補正N値 (Na) の算出方法】

$$N_a = N_l + \Delta N_f$$

$$N_l = C_N \times N$$

$$C_N = \sqrt{98/\sigma'_z}$$

$N_a$  : 補正N値

$N_l$  : 換算N値

$\Delta N_f$  : 細粒分含有率に応じた補正N値の増分 (右図)

$C_N$  : 換算N値係数

$\sigma'_z$  : 検討深さにおける有効土被り圧 (kN/m<sup>2</sup>)

$N$  : 実測N値

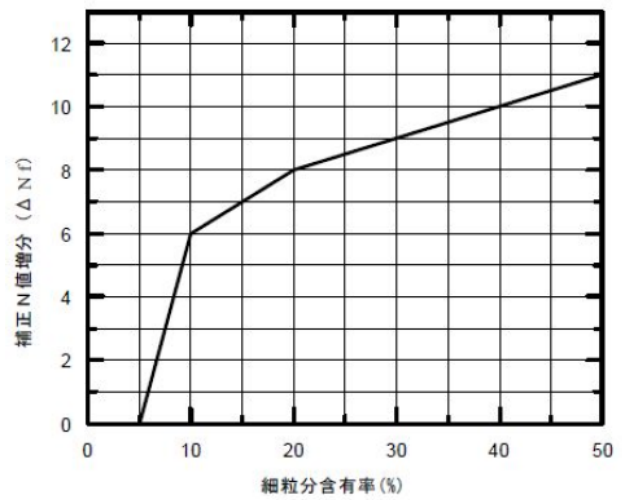


図 II-2-3-1 細粒分含有率 (Fc) と補正N値増分 ( $\Delta N_f$ ) の関係(秋田県, 2013)

### 【沈下量の算出方法】

繰返しせん断ひずみ $\gamma_{cy}$ を下記グラフから読み取る際、繰返しせん断ひずみ8%の曲線より左側にプロットされる場合には $\gamma_{cy}=8\%$ とし、0.5%より右側にプロットされる場合には $\gamma_{cy}=0.5\%$ とする。繰返しせん断ひずみ $\gamma_{cy}$ を体積ひずみ $\varepsilon_v$ として読み替える。そして、沈下量 $S$ を次のようにして推定した。

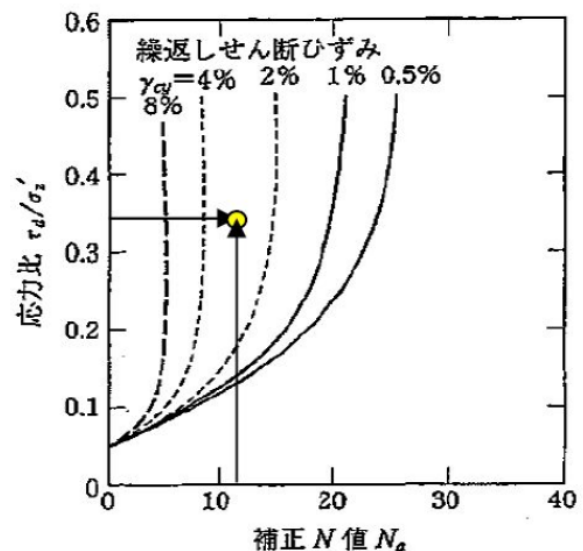
$$S = \sum_{i=0}^n (H_i \times \varepsilon_{vi})$$

ここに、 $S$  : 沈下量

$H_i$  :  $F_L < 1.0$  となる土層  $i$  の層厚

$\varepsilon_{vi}$  :  $F_L < 1.0$  となる土層  $i$  の体積ひずみ

$n$  :  $F_L < 1.0$  となる土層数



※本検討では、図中の縦軸「応力比  $\tau_d/\sigma'_z$ 」に「地震のせん断応力比  $L$ 」を適用する。

図 II-2-3-2 補正N値と繰返しせん断ひずみの関係(秋田県, 2013)

(出典：建築基礎構造設計指針, 2001, 日本建築学会)

### 3. 地盤崩壊危険性の予測

本節では、斜面崩壊危険度と宅地造成地の被災危険度の予測手法について整理する。

#### 3-1. 斜面崩壊危険度

地震時の斜面の崩壊危険性の評価対象には、急傾斜地崩壊危険箇所、土石流危険渓流、地すべり危険箇所などがあるが、ここでは、急傾斜地崩壊危険箇所の予測手法を中心に整理する。

##### (1) 急傾斜地震災対策危険度判定に基づく評価

○採用自治体：青森県(16) 秋田県(13) 栃木県(14) 茨城県(18) 神奈川県(15) 福井県(12) 長野県(15) 静岡県(13) 愛知県(14) 大阪府(13) 鳥取県(18) 島根県(18) 岡山県(14) 広島県(13) 山口県(14) 佐賀県(15) 長崎県(06) 熊本県(13) 大分県(19) 宮崎県(20) 札幌市(21) さいたま市(14) 広島市(13) 熊本市(14)

既往の地震による斜面崩壊事例を統計的に調査した結果にもとづき、急傾斜地震災対策危険度判定基準が作成され、各急傾斜地の危険度判定が行われている。各自治体では、この判定結果を参考に地震力の大きさの違いを考慮した評価基準を設定している。

急傾斜地震災対策危険度判定基準は、「素因要素」「管理要素」「参考要素」から構成されるが、自治体の被害想定で使われるのは、「素因要素」と「管理要素」（あるいは「素因要素」のみ）である。

表Ⅱ-3-1-1 急傾斜地震災対策危険度判定基準(秋田県, 2013)  
(素因要素)

項目	小項目名	点数
①斜面高(H)m	H < 10	3
	10 ≤ H < 30	7
	30 ≤ H < 50	8
	50 ≤ H	10
②斜面勾配(α)	α < 1:1.0	1
	1:1.0 ≤ α < 1:0.6	4
	1:0.6 ≤ α	7
③オーバーハング	構造物のない斜面のオーバーハング	7
	構造物のある斜面のオーバーハング	4
	なし	0
④斜面の地盤	斜面の表面に転石・浮石が多い	10
	切土法面に玉石が多い	7
	風化変質・亀裂の発達した岩	6
	礫混じり土砂	5
	風化変質した岩	4
	亀裂の発達した岩	4
	土砂	4
	粘質土	1
亀裂の発達していない岩	0	
⑤表土の厚さ	0.5m以上	3
	0.5m未満	0
⑥湧水	有	2
	無	0
⑦落石・崩壊頻度	年1回以上	5
	年1回未満	3
	なし	0
合計		

表Ⅱ-3-1-1 急傾斜地震災害対策危険度判定基準(秋田県, 2013) (つづき)  
(管理要素)

項目	小項目名	点数	備考
⑧斜面の異常・変状	あり	a	
	なし	c	
⑨斜面安定工の異常・変状	あり	a	
	なし	c	
⑩家屋等に被害を与えた落石、崩壊	あり	a	
	なし	c	
⑪斜面上の有害行為	顕著である	a	
	若干みられる	b	
	なし	c	
⑫斜面安定工による斜面の安定度	やや低い	a	
	普通	b	
	高い	c	

表Ⅱ-3-1-2 斜面崩壊危険度判定基準(秋田県, 2013)

素因要素7項目の合計		13点以下	14～23点	24点以上
管理要素 ⑧～⑫	aが1つ以上	(A)	(A)	(A)
	bが1つあとはc	(B)	(A)	(A)
	全部がc	(C)	(B)	(A)

(A)、(B)、(C)は、表Ⅱ-3-1-4以降の(A)、(B)、(C)に対応

### ①東京都(2006)の手法

○採用自治体: 福井県(12) 大阪府(13) 鳥取県(18) 岡山県(14) 佐賀県(15) 熊本県(13) 宮崎県(20) さいたま市(14) 岡山市(13) 熊本市(14)

宮城県(1997)の手法を東京都の斜面データに合わせて作成し、素因要素7項目の合計点と想定震度の関係から判定している。

表Ⅱ-3-1-3 急傾斜地震災害対策危険度判定基準(東京都, 2006)

大項目	小項目		
	データ項目	点数	
①斜面高(H)m	・斜面の高さ	$50 \leq H$	10
		$30 \leq H < 50$	8
		$10 \leq H < 30$	7
		$H < 10$	3
②斜面勾配( $\alpha$ )	・傾斜度	$59^\circ \leq \alpha$	7
		$45^\circ \leq \alpha < 59^\circ$	4
		$\alpha < 45^\circ$	1
③オーバーハング	・地表の状況	オーバーハングあり	4
		オーバーハングなし	0
④斜面の地盤	・地表の状況	亀裂が発達、開口しており転石、浮石が点在する	10
		風化、亀裂が発達した岩である	6
		礫混じり土、砂質土	5
		粘質土	1
		風化、亀裂が発達していない岩である	0
⑤表土の厚さ	・表土の厚さ	0.5m以上	3
		0.5m未満	0
⑥湧水	・湧水	有	2
		無	0
⑦落石・崩壊頻度	・崩壊履歴	新しい崩壊地がある	5
		古い崩壊地がある	3
		崩壊地は認められない	0

表Ⅱ-3-1-4 震度による危険度ランク判定基準(東京都, 2006)

震度	基準要素点	13点以下	14~23点	24点以上
6強以上		A	A	A
6弱		B	A	A
5強		C	B	A
5弱		C	C	B
4		C	C	C

出所：宮城県急傾斜地崩壊危険箇所カルテを用いた地震時斜面危険度予測方式(昭和62年、宮城県)  
 ※点数と危険度ランクの関係は、道路震災対策委員会(昭和61年)による法面・斜面耐震判定方法に基づく

②中央防災会議(2006)の手法

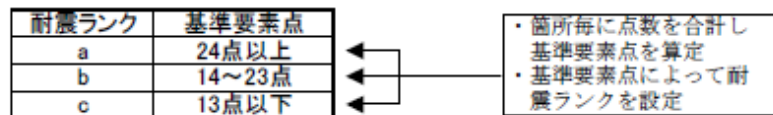
○採用自治体：茨城県(18) 栃木県(14) 京都府(17) 広島県(13) 山口県(14) 広島市(13)

「急傾斜地崩壊危険箇所調査」(2002年度公表)を地形地質状況をもとに点数付けし、その合計点数(基準要素点)に応じて耐震ランクを設定している。

表Ⅱ-3-1-5 耐震ランクの設定手法(広島県, 2007)

大項目	小項目		点数
	データ項目		
①斜面高(H)m	斜面の高さ	$50 \leq H$	10
		$30 \leq H < 50$	8
		$10 \leq H < 30$	7
		$H < 10$	3
②斜面勾配( $\alpha$ )	傾斜度	$59^\circ \leq \alpha$	7
		$30^\circ (45^\circ) \leq \alpha < 59^\circ$	4
		$\alpha < 30^\circ (45^\circ)$	1
③オーバーハング	横断形状	オーバーハングあり	4
		オーバーハングなし	0
④斜面の地盤	地表の状況	亀裂が発達、開口しており転石、浮石が点在する	10
		風化、亀裂が発達した岩である	6
		礫混じり土、砂質土	5
		粘性土	1
		風化、亀裂が発達していない岩である	0
⑤表土の厚さ	表土の厚さ	0.5m以上	3
		0.5m未満	0
⑥湧水	湧水	有	4(2)
		無	0
⑦落石・崩壊頻度	崩壊履歴	新しい崩壊地がある	5
		古い崩壊地がある	3
		崩壊地は認められない	0

※( )内の数値は中央防災会議(2006)で使用された値



表Ⅱ-3-1-6 危険度ランク判定テーブル(広島県, 2007)

震度	耐震ランク	a	b	c
6強以上		A	A	B(A)
6弱		A	B(A)	B
5強		B(A)	B	C
5弱		B	C	C
4		C	C	C

A：発生する可能性が高い  
 B：発生する可能性がある  
 C：発生する可能性は低い

(注) ( )内は中央防災会議(2006)で使用された値

### ③宮城県(1997)の手法

○採用自治体：神奈川県(15) 長野県(15) 静岡県(13) 愛知県(14) 島根県(18)

素因要素(表Ⅱ-3-1-1) 7項目の合計点と想定震度の関係から判定している。

表Ⅱ-3-1-7 震度による判定ランクの振り分け(宮城県, 1997)

震度\基準要素点	13点以下	14~23点	24点以上
6強~7	A	A	A
6弱	B	B	A
5強	C	B	B
5弱		C	B
4			C

A：落石・崩壊の可能性が高い  
B：可能性あり  
C：可能性が低い

### ④大分県(2007)の手法

○採用自治体：青森県(16) 富山県(18) 長崎県(06) 大分県(19)

急傾斜地地震対策危険度判定基準および計測震度を加味した判定ランクを示している。

表Ⅱ-3-1-8 急傾斜地地震対策危険度判定基準(大分県, 2019)

項目	小項目名	点数	備考
①斜面高(H)m	H<10	3	
	10≤H<30	7	
	30≤H<50	8	
	50≤H	10	
②斜面勾配(α)	α<1:1.0	1	
	1:1.0≤α<1:0.6	4	
	1:0.6≤α	7	
③オーバーハング*	構造物のない斜面のオーバーハング*	7	岩の斜面などで一見してオーバーハングと見られるもの
	構造物のある斜面のオーバーハング*	4	
	なし	0	
④斜面の地盤	斜面の表面に転石・浮石が多い	10	上位のものを用いる。例えば、土砂で表面に転石・浮石が多いものは10点とする。
	切土法面に玉石が多い	7	
	風化変質・亀裂の発達した岩	6	
	礫混じり土砂	5	
	風化変質した岩	4	
	亀裂の発達した岩	4	
	土砂	4	
	粘質土	1	
亀裂の発達していない岩	0		
⑤表土の厚さ	0.5m以上	3	表土とは表面の腐植土・表土有機質を指す。但し、表土下に非常にルーズな崩石があれば、それも含める。
	0.5m未満	0	
⑥湧水	有	2	常時見られる湧水を指す。
	無	0	
⑦落石・崩壊頻度	年1回以上	5	道路交通または道路構造物に損傷を与えない程度の軽微な落石・法崩れ等を指す。
	年1回未満	3	
	なし	0	
合計			

表Ⅱ-3-1-9 急傾斜地地盤危険箇所における耐震性危険度判定ランク(大分県, 2019)

耐震性危険度ランク	a	b	c
評価点	24点以上	14~23点	13点以下



表Ⅱ-3-1-10 急傾斜地地盤危険箇所における地震時危険度判定ランク(大分県, 2019)

耐震性危険度ランク	計測震度別危険度ランク			
	～5弱	5強	6弱	6強～
a	C	B	A	A
b	C	C	B	A
c	C	C	B	B

ランクA：地震による崩壊の危険が高い(50%が崩壊の可能性はある)  
 ランクB：地震による崩壊の可能性はある(10%が崩壊の可能性はある)  
 ランクC：地震による崩壊の可能性はほとんどない

⑤川崎市(2010)の手法

○採用自治体:横浜市(12) 川崎市(13)

素因要素(表Ⅱ-3-1-1) 7項目の合計点から定めた斜面の危険度ランクと想定震度の関係から判定している。

表Ⅱ-3-1-11 急傾斜地の斜面及び震度による危険度ランク判定基準(川崎市, 2010)

斜面 震度	斜面の危険度ランク		
	a 24点以上	b 14～23点	c 13点以下
震度6強以上	A	A	A
震度6弱	A	A	B
震度5強	A	B	C
震度5弱	B	C	C

ランクA：相対的に危険が高い  
 ランクB：相対的に危険と考えられる  
 ランクC：相対的に危険性が低い  
 斜面对策工が概成している場合はランクCとする

○横浜市(12)では、川崎市の判定表をもとに、震度4.5未満を追加している(全てランクC)。

⑥千葉県(2008)の手法

○採用自治体：千葉県(16) 東京都(12)

地震時の崖崩れ等の被災危険性を、降雨による危険度判定結果に地震動による影響を加えて評価している。

表Ⅱ-3-1-12 急傾斜地の危険性評価(千葉県, 2008)

斜面の危険度 ランク 計測震度	斜面の危険度ランク		
	3 = (C)	2 = (B)	1 = (A)
6.0以上	A	A	A
5.5以上6.0未満	B	A	A
5.0以上5.5未満	C	B	A
4.5以上5.0未満	C	C	B
4.5未満	C	C	C

<地震時ランクの説明>  
 ランクA：危険性が高い  
 ランクB：危険性がある  
 ランクC：危険性が低い  
 対策工が既成の場合は地震時ランクCとする

(2) 日本道路協会 道路震災対策委員会(1986)の手法

○採用自治体：北海道(18) 宮城県(04) 群馬県(12) 埼玉県(14) 新潟県(21) 愛媛県(13) 鹿児島県(14) 沖縄県(14) 千葉市(17)

日本道路協会 道路震災対策委員会(1986)による法面・斜面耐震判定方法をもとに、各自治体の斜面の特徴を考慮した急傾斜地崩壊危険箇所の地震時崩壊危険度評価を行っている。

下表の7項目の採点基準を定め、合計点数と想定震度の関係から崩壊危険度を判定している。

表Ⅱ-3-1-13 斜面崩壊危険度判定基準（一次判定）（北海道, 2018）

項目	小項目名	点数	
斜面高	50m以上	10	
	30～50m	8	
	10～30m	7	
	10m未満	3	
斜面勾配	60° 以上	7	
	45° ～60°	4	
	45° 未満	1	
オーバーハング 遷急線 縦断形状	オーバーハングあり 遷急線が非常に明瞭	7	
	遷急線が明瞭 凸型斜面	4	
	遷急線は不明瞭 直線型、凹型斜面	0	
地表の状態	亀裂が発達、開口しており、転石・浮石が点在する	10	
	風化、亀裂が発達した岩である	6	
	礫混じり砂、砂質土	5	
	粘性土	1	
	風化、亀裂が発達していない岩	0	
表土の厚さ	0.5m以上	3	
	0.5m未満	0	
湧水	有	2	
	無	1	
崩壊履歴	当該斜面に新しい崩壊地あり	5	
	当該斜面に古い崩壊地あり	3	
	崩壊地は認められない	0	
第一次判定ランク			
合計点数		24以上	a
		14～23	b
		13以下	c

表Ⅱ-3-1-14 斜面崩壊危険度判定基準（二次判定）（北海道, 2018）

二次判定	一次判定ランク		
	a	b	c
対策工なし、未完成	a'	b'	c'
対策工既成	c'	c'	c'

表Ⅱ-3-1-15 地震時の斜面崩壊危険度判定ランク（北海道, 2018）

第二次判定ランク	震度階級				
	～4	5弱	5強	6弱	6強～
a'	C	B	A		
b'	C		B	A	
c'	C			B	

A：危険度が高い、  
B：危険度がやや高い、  
C：危険度は低い

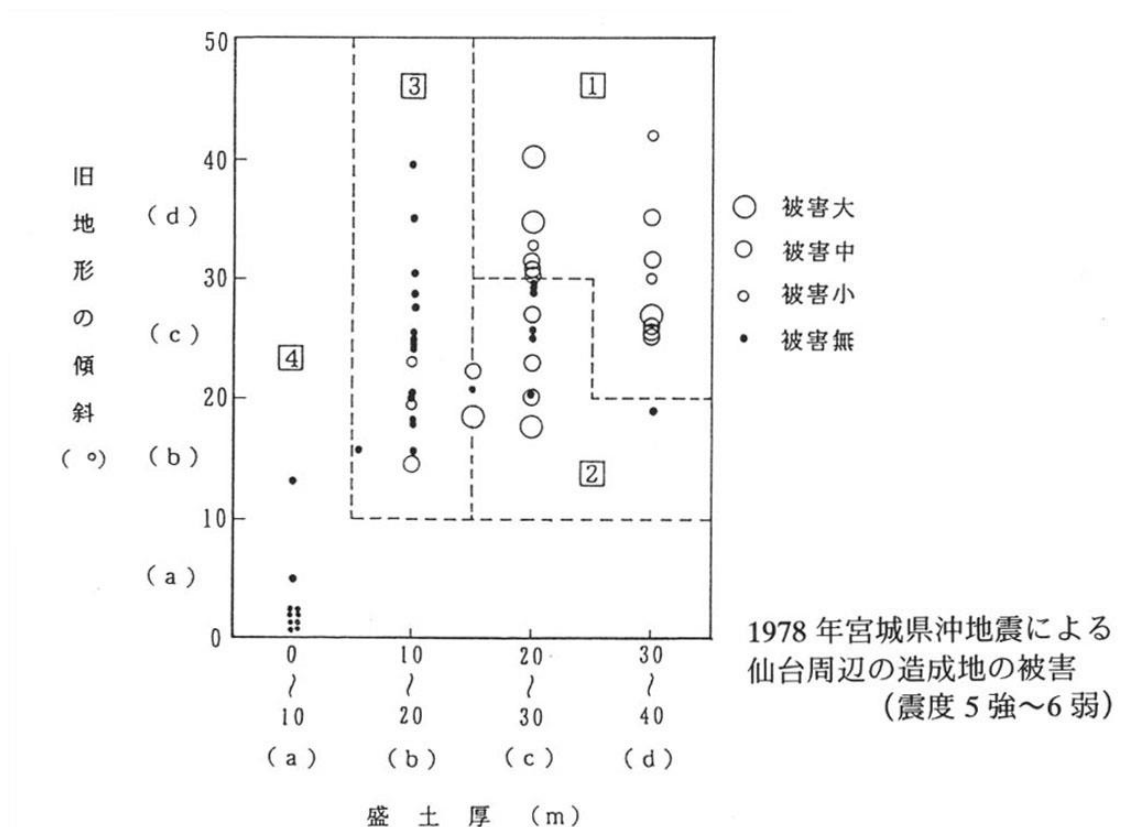
### 3-2. 宅地造成地の被災危険度

宮城県沖地震において仙台市の宅地造成地に大規模な被害が発生し、造成地の地震被害への関心が高まった。兵庫県南部地震でも、神戸市灘区から兵庫区の六甲山麓の宅地造成地で被害が発生している。被害としては、造成地の盛土部分や盛土と切土の境界で発生しやすく、旧地形の傾斜が大きいほど被害が大きいといわれている。

#### (1) 宮城県(2004)の手法

○採用自治体：宮城県(04) 秋田県(13)

面積10ha以上の大規模宅地造成地を想定対象とし、旧地形の傾斜度、盛土厚、震度により被害を予測している。



図Ⅱ-3-2-1 旧地形の傾斜、盛土厚と家屋の被害率の関係(宮城県, 2004)

表Ⅱ-3-2-1 造成地被害の判定基準(宮城県, 2004)

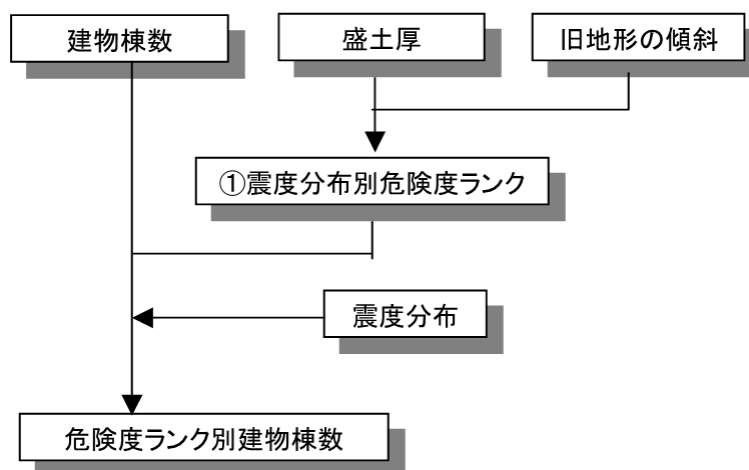
分類	震 度				
	～4弱	4強～5弱	5強	6弱	6強～7
1	C	B	A		
2	C		B	A	
3	C			B	A
4	C				B

(注) □内の数字は図Ⅱ-3-2-1と対応。

表Ⅱ-3-2-2 被害のおよその内容(宮城県, 2004)

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

○中央防災会議(2006)では、下図のフローにしたがい、地震時に危険と判断される宅地造成地上にどれくらいの建物があるか(危険度ランク別建物棟数)を評価している。  
宅地造成地の危険度ランクの評価方法は宮城県(2004)の手法とほぼ同じである。



図Ⅱ-3-2-2 評価フロー(中央防災会議, 2006)

## 4. 津波の予測

津波の予測は、概ね下図のフローに沿った形で行われている。

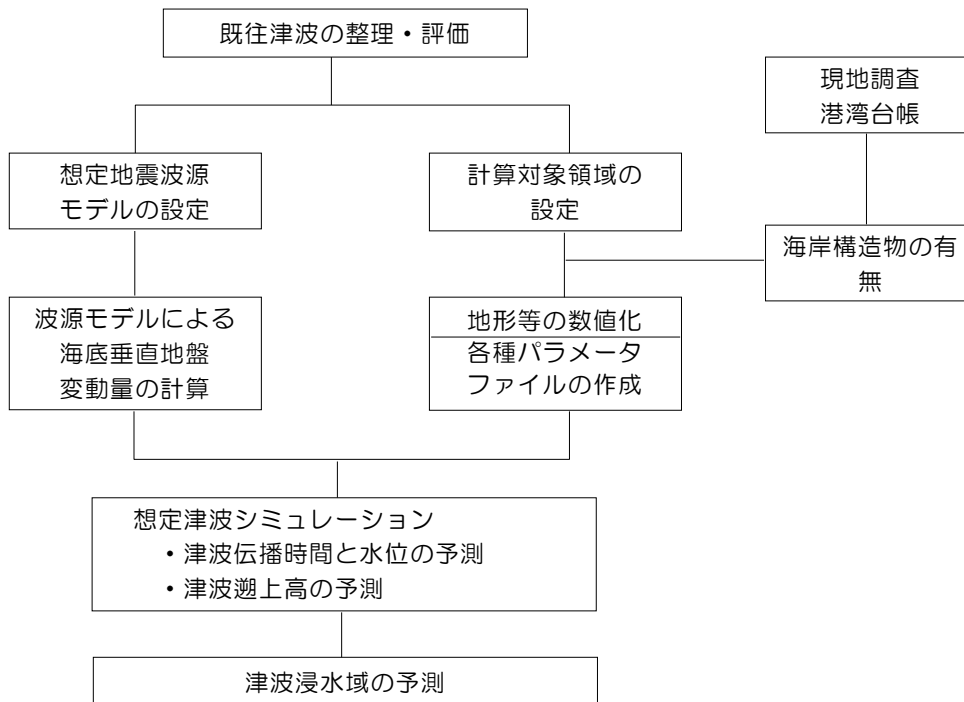


図 II-4-1 津波予測計算の流れ

津波数値シミュレーションは、大きく長波理論と分散波理論の2種類に分けられるが、現在は前者を用いる自治体がほとんどである。河川遡上時の波状段波（波長の長い津波先端部が短周期の複数の波に分裂（ソリトン分裂）しながら段波形状を呈し遡上していく）を考慮した手法として、非線形分散長波式を基本方程式とする手法もあるが、詳細な河川地形を取り入れたモデルを用いた細かい計算時間間隔での解析が必要となるため、実際の被害想定で採用している例はまだない。

### (1) 基礎方程式として長波理論を用いる手法

○採用自治体：岩手県(11) 秋田県(13) 茨城県(12) 埼玉県(14) 東京都(12) 神奈川県(15) 静岡県(13) 京都府(17) 和歌山県(14) 岡山県(13) 広島県(13) 山口県(14) 徳島県(13) 愛媛県(13) 鹿児島県(14) 沖縄県(13) 横浜市(12)

津波の予測では、長波理論に基づく方程式を差分スキームにより展開し、数値的な計算を行っている。津波は水深に比べて波長が長いことから、長波理論によって表される。この時、津波の伝播速度 $C_g(\text{m/s})$ は、

$$C_g = \sqrt{g \times h} \quad g : \text{重力加速度} (\text{m/s}^2) \quad h : \text{水深} (\text{m})$$

で表される。

浅海域の長波を扱う浅水理論は、波高 $H$ と波長 $L$ の比 $H/L$ 、および水深 $h$ と波長 $L$ の比 $h/L$ がいずれも小さいものとして導かれる。この近似では、圧力は静水圧分布となり、水平流速 $(u, v)$ は鉛直方向に一様な分布となる。

津波数値シミュレーションの基礎方程式としては、非線形長波理論式が用いられる傾向にある。

<運動方程式>

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2 M \sqrt{M^2 + N^2}}{D^{7/3}} = 0$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2 N \sqrt{M^2 + N^2}}{D^{7/3}} = 0$$

<連続の式>

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$\eta$  : 水位 (海底地殻変動により変位する水位)

$M, N$  :  $x, y$  方向の流量

$D$  : 全水深 (=水深+水位)

$n$  : マニングの粗度係数

出典 : 鹿児島県 (2014)

これらの式の表記方法は様々であるが、ここでは、鹿児島県(2014)のものに依った。  
マニングの粗度係数 $n$ は、

$$n = \sqrt{\frac{fD^{1/3}}{g}}$$

で定められる。具体的には、粗度係数として以下の2種類を採用している自治体が多い。

表 II-4-1 津波・高潮ハザードマップマニュアル  
(内閣府, 2004) 準抛の粗度係数 (石川県, 2012)

分類	粗度係数
建物用地	0.060
工業地等	0.040
森林林地	0.030
田畑	0.020
海域水域	0.025

表 II-4-2 小谷ら(1998)の粗度係数  
(千葉県, 2011)

分類	粗度係数
水深 150m以深の海底	0.025
水深 150m以浅の海底	0.030
海域水域	0.025
水田	0.020
その他の農園地	0.020
森林	0.030
工場	0.040
建物用用地 (住宅地: 低密度)	0.040
建物用用地 (住宅地: 高密度)	0.080
その他 (空地・緑地)	0.025

また、基本的には非線形長波理論式で計算するが、最外洋域では線形長波理論式を採用している自治体もある。

これらの基礎方程式を差分化することにより数値的な処理を行う。差分化手法としては、Leap-frog法(後藤・小川, 1982)が多く用いられる。これは、水位 $\eta$ 、流量 $M$ 、 $N$ の計算点を空間的に1/2格子、時間的に1/2時間ステップずらして配置する。

## 第三章 被害予測手法の整理

### 1. 建物被害の予測

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、ブロック塀等の被害、津波による被害について予測手法を整理する。

#### 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、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<sup>(注)</sup>を用いる手法」と、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」）の2つに大別できる。最近では、大部分の自治体で前者が採用されている。以下では、被害率曲線を用いる手法についてまとめる。

各自治体では、中央防災会議の手法を採用している場合が多い。その他、兵庫県南部地震の被害データに基づく被害率曲線をそのまま用いる自治体や、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。豪雪地帯を含む自治体では、積雪時に地震が発生した場合の建物被害を予測するところも増加している。

(注)本資料では、過去の地震被害から建物構造や建築年代別などで作成した地震動強さと被害率との関係式やテーブルを被害率曲線と呼ぶ。

#### (1) 中央防災会議(2001)・中央防災会議(2003)・中央防災会議(2005)・東京都(2006)・中央防災会議(2008)・中央防災会議(2013)の手法

○採用自治体：青森県(16) 岩手県(04) 秋田県(13) 茨城県(18) 栃木県(15) 群馬県(12) 埼玉県(14) 東京都(12) 神奈川県(15) 新潟県(21) 富山県(18) 長野県(15) 岐阜県(19) 静岡県(13) 愛知県(14) 三重県(14) 京都府(17) 大阪府(14) 兵庫県(14) 奈良県(05) 鳥取県(18) 岡山県(14) 広島県(13) 山口県(14) 徳島県(17) 愛媛県(13) 香川県(13) 高知県(13) 佐賀県(15) 熊本県(13) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) 沖縄県(14) さいたま市(15) 横浜市(12) 相模原市(14) 新潟市(15) 岡山市(13) 広島市(14) 熊本市(14)

兵庫県南部地震における西宮市、鳥取県西部地震における鳥取市、芸予地震における呉市のデータから計測震度と被害率（木造建物全壊率）との関係式を導出している。

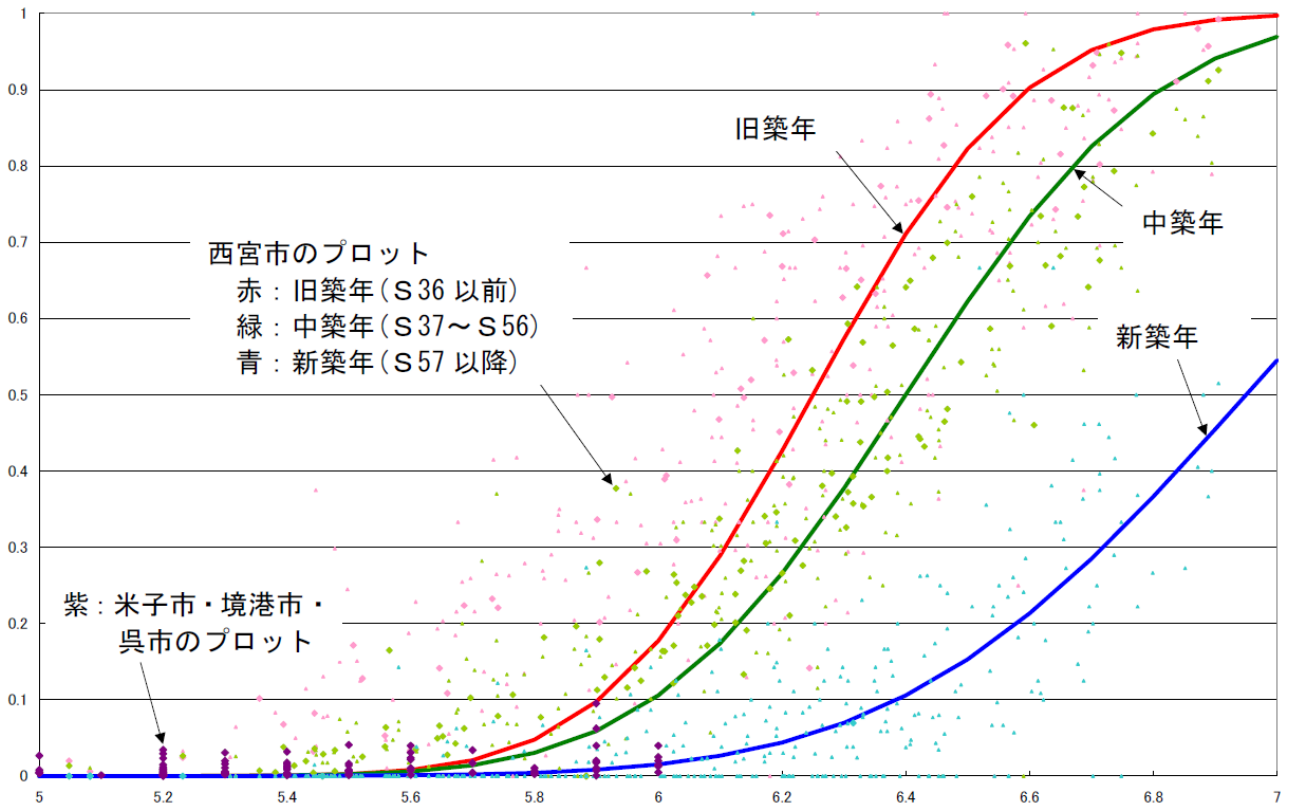
$$P(I) = \Phi\left(\frac{I-\lambda}{\zeta}\right) \quad P(I) : \text{被害が発生する確率} \quad I : \text{計測震度}$$

$\Phi(x)$  : 標準正規分布の累積確率密度関数

$\lambda, \zeta$  :  $I$ の平均値および標準偏差

○中央防災会議では半壊率の手法が公開されていないため、岩手県(04)では東京都(97)を参考に半壊率を全壊率の3倍に設定。秋田県(13) 群馬県(12) 横浜市(12)では、東京都(06)の震度と半壊率との関係を用いて全半壊率を設定

○東京都(12)では、過去の被害を受けた地域の大半を軟弱地盤と仮定し、軟弱地盤には中央防災会議の手法を適用。硬地盤の被害率は軟弱地盤の被害率に内閣府DISの被害率の軟硬の比を掛けることで設定。硬軟の区分は内閣府DISの被害率テーブルに倣い、卓越周期が0.5秒以上で軟地盤、0.5秒未満で硬地盤と判断。



図Ⅲ-1-1-1 計測震度と木造建物全壊率の関係(中央防災会議, 2008)

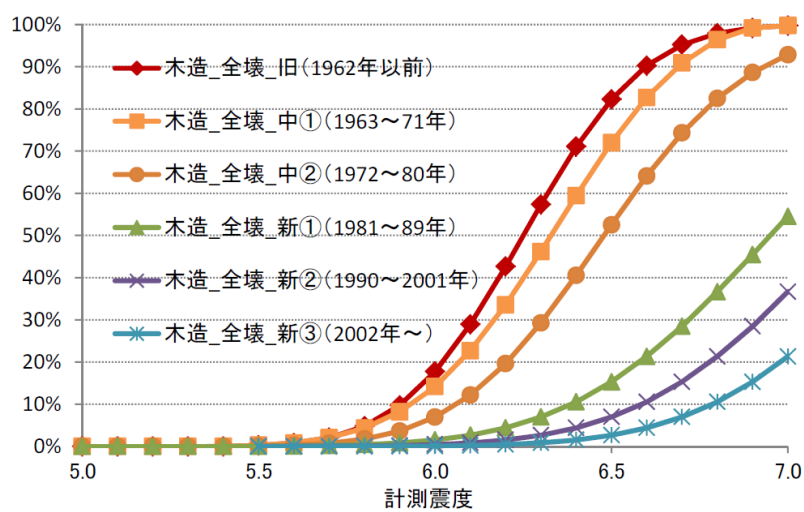
■中央防災会議(2013)

建築年次を次の6区分に分類して全壊率曲線を設定している。旧築年、中築年は建物の耐震改修の効果を検討した手法となっている。

旧築年：1962年以前

中築年：1963～1971年 1972～1980年

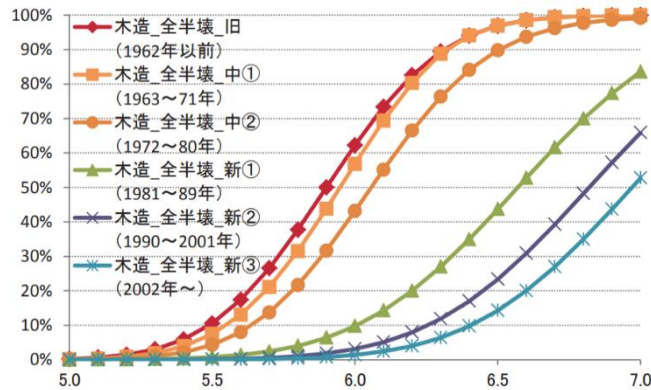
新築年：1981～1989年 1990～2001年 2002年以降



図Ⅲ-1-1-2 全壊率曲線(中央防災会議, 2013)



○自治体の被害想定では、上記の全壊率曲線と同時に、東京都(13)が作成した全半壊曲線(下図)を使用するが多い。



図Ⅲ-1-1-3 全半壊率曲線(東京都, 2013)

## (2) 中央防災会議(2006)の手法

○採用自治体：秋田県(13) 新潟県(21) 福井県(12) 長野県(15) 鳥取県(18) 島根県(18)

中央防災会議(2006)では、以下の基本的な考え方を示した上で、被害を予測している。

- ・建物が全壊するときの震度が正規分布に従うと仮定(全壊率テーブルに正規分布の累積確率密度関数を使用)した。
- ・建物の耐震性に大きな影響を与える建築基準法の耐震基準が改正された年(昭和35年、昭和56年)の前後で木造全壊率テーブルに区分を設けた(3区分)。
- ・阪神・淡路大震災における西宮市、鳥取県西部地震における鳥取市、芸予地震における呉市のプロットデータをもとに設定した。
- ・木造建物被害と耐震性能の比較調査結果(鈴木・後藤, 1995)によると、豪雪地、寒冷地での建物剛性は、阪神地域のものよりも大きいことが報告されている。ここでは、鈴木・後藤(1995)を参考に三区分の地域(極寒冷地、寒冷地、普通地)それぞれの被害率テーブルを設定した。
- ・ただし冬期は、積雪によって屋根荷重が大きくなり、家屋の耐震性能が低下すると考えられるため、特別豪雪地帯については、普通地の被害率テーブルを用い、豪雪地帯については、対普通地テーブルの比率を半分にした被害率テーブルを用いる。

### 木造建物地域区分

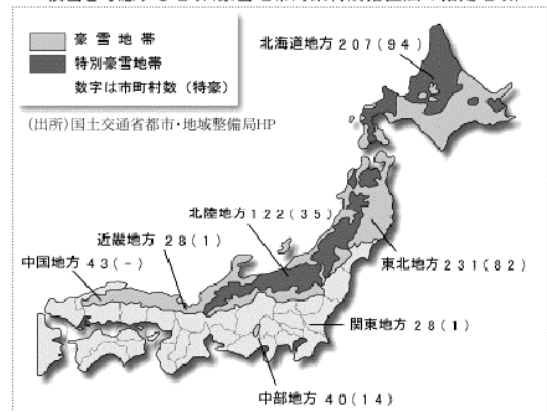
極寒冷地域	北海道												
寒冷地域	青森県	岩手県	宮城県	秋田県	山形県	福島県	新潟県	富山県	石川県	福井県	長野県	鳥取県	島根県
その他の地域	茨城県	栃木県	群馬県	埼玉県	千葉県	東京都	神奈川県	山梨県	岐阜県	静岡県	愛知県	三重県	滋賀県
	京都府	大阪府	兵庫県	奈良県	和歌山県	鳥取県	島根県	岡山県	広島県	山口県	徳島県	香川県	愛媛県
	高知県	福岡県	佐賀県	長崎県	熊本県	大分県	宮崎県	鹿児島県	沖縄県				

全壊率テーブルの地域区分

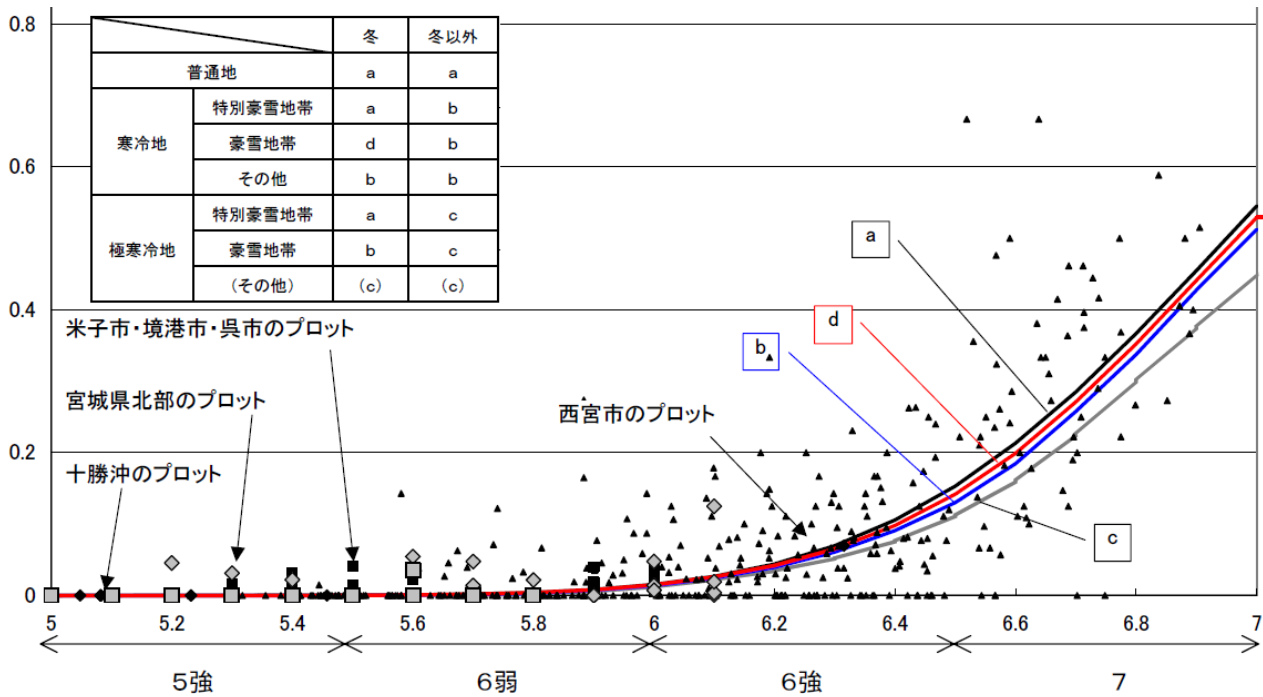


(出典)鈴木、後藤(1995)をもとに作図

積雪を考慮する地域(豪雪地帯対策特別措置法の指定地域)



図Ⅲ-1-1-4 木造建物地域区分(中央防災会議, 2006)



図Ⅲ-1-1-5 木造全壊率テーブル（1982年以降）（中央防災会議, 2006）

○島根県(18)では、村尾・山崎(2000)による自治体判定基準の被害率曲線を用いているが、積雪時の木造被害は、以下の方法で修正した被害率曲線を使用

- 1) 中央防災会議(2006)の積雪時の全壊率曲線について、横軸の計測震度を童・山崎(1996)で最大速度に変換し、特別豪雪地帯・豪雪地帯別に全壊率の倍率を求める。
- 2) この倍率を村尾・山崎(2000)の被害関数に掛け、さらにその数値をもとに対数正規分布の回帰分析を行い、積雪時の特別豪雪地帯及び豪雪地帯の木造建物全壊率曲線を作成

### (3) 村尾・山崎(2000, 2002)の手法

○採用自治体：山梨県(05) 福井県(12) 鳥取県(18) 島根県(18) 川崎市(13)

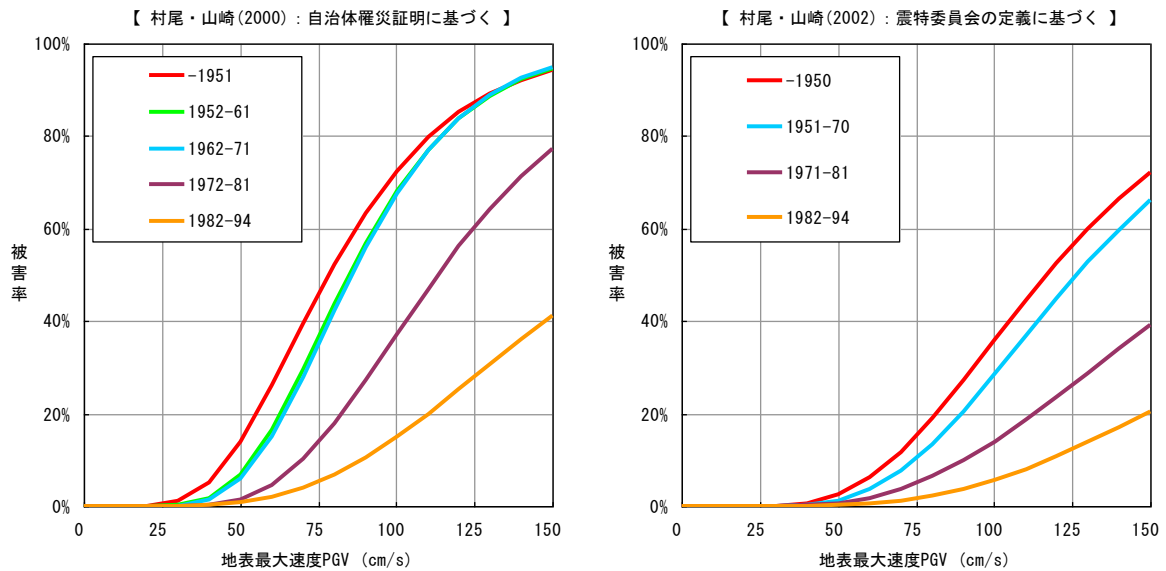
兵庫県南部地震の神戸市の被害実績から、地表最大速度PGVと建物被害率の関係を設定している。建物被害率 $P_R(PGV)$ は、標準正規分布の累積確率密度関数 $\Phi$ を用いて、対数正規分布で表せると仮定し、分布のパラメータを最小二乗法により求めている。

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

被災程度については、村尾・山崎(2000)は自治体の罹災証明に、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。

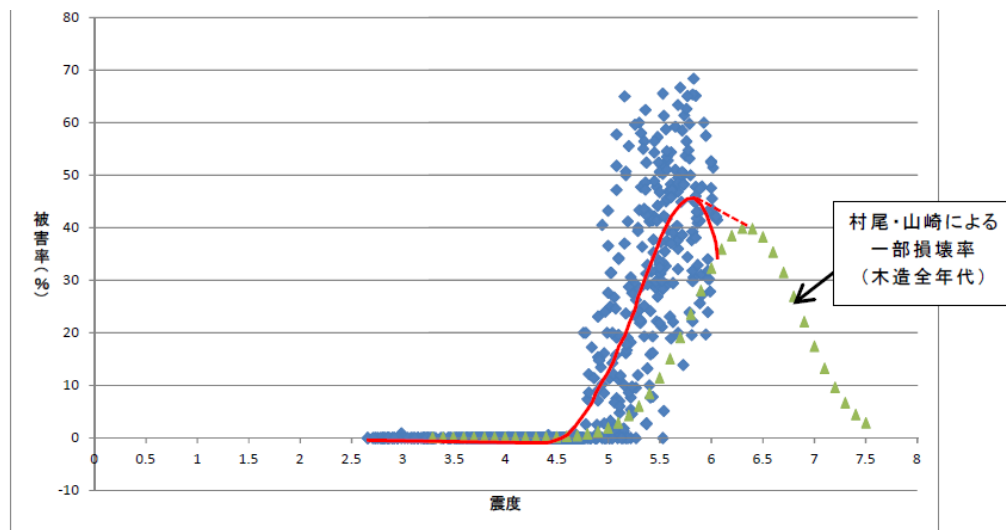
表Ⅲ-1-1-1 木造建物の被害率曲線のパラメータ(村尾・山崎(2000, 2002))

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	
	$\lambda$	$\zeta$	$\lambda$	$\zeta$		$\lambda$	$\zeta$	$\lambda$	$\zeta$
-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-1-1-6 木造建物の被害率曲線【全壊】(村尾・山崎(2000, 2002)より作成)

- 山梨県(05)では、ゆれによる建物被害はSI値と相関が高いといわれているため、波形計算によって得られるSI値を 最大速度=SI/1.18 の関係式により換算した最大速度を用いている。
- 鳥取県(18)では、鳥取県中部地震(2012)における一部損壊データ(実被害)から、一部損壊率の予測式を設定。計測震度6.0以上は村尾・山崎(2002)による一部損害率にすり合わせて設定



<震度の小さい方から、赤実線→赤点線…→緑▲と推移>

(◆：鳥取県中部地震における一部損壊率)

図Ⅲ-1-1-7 木造住宅の一部損壊率(鳥取県, 2018)

#### (4) Miyakoshi et al. (1997)の手法

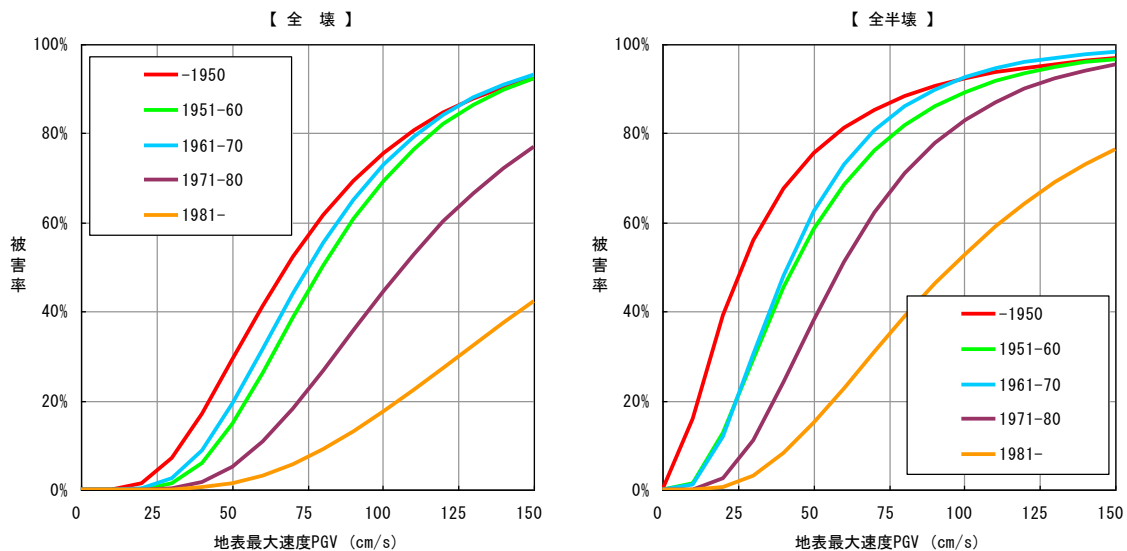
- 採用自治体：千葉県(16) 長崎県(06) 大分県(19) 千葉市(17)

兵庫県南部地震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密度関数 $\Phi$ 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。

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

表Ⅲ-1-1-2 木造建物の被害率曲線のパラメータ (Miyakoshi et al., 1997)

建築年代	全壊			全半壊		
	$\lambda$	$\zeta$	$R$	$\lambda$	$\zeta$	$R$
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-1-1-8 木造建物の被害率曲線 (Miyakoshi et al. (1997) より作成)

○愛知県(03)では、Miyakoshi et al. (1997)の被害率曲線に対して、下限値の設定及び最大速度50cm/s程度以下での建物被害率の修正を実施。長崎県(06) 大分県(19)は、これを最近で最も精細に評価した手法であるとして採用

### (5) 仙台市(2002)の手法

○採用自治体：宮城県(04) 仙台市(02)

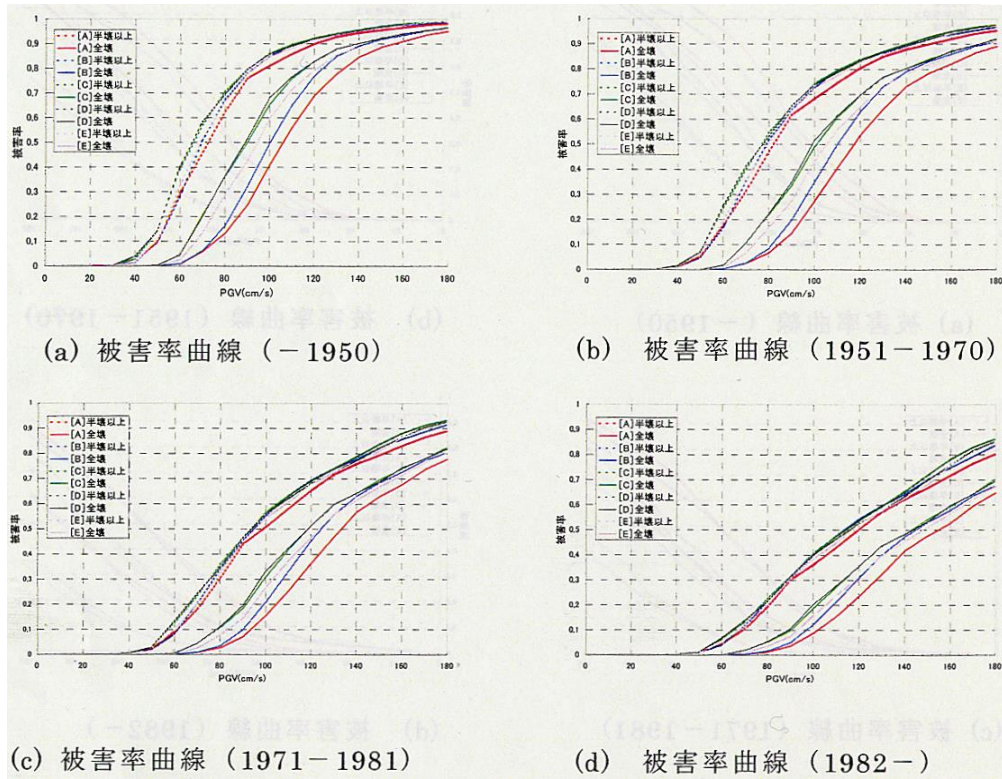
応答解析に基づく手法と過去の地震被害経験に基づく手法の両方の長所を取り入れるため、兵庫県南部地震の被害実績を基礎データとして、以下の手順で木造建物の被害率曲線を作成した。

- 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-1-1-3)
- 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-1-1-4)

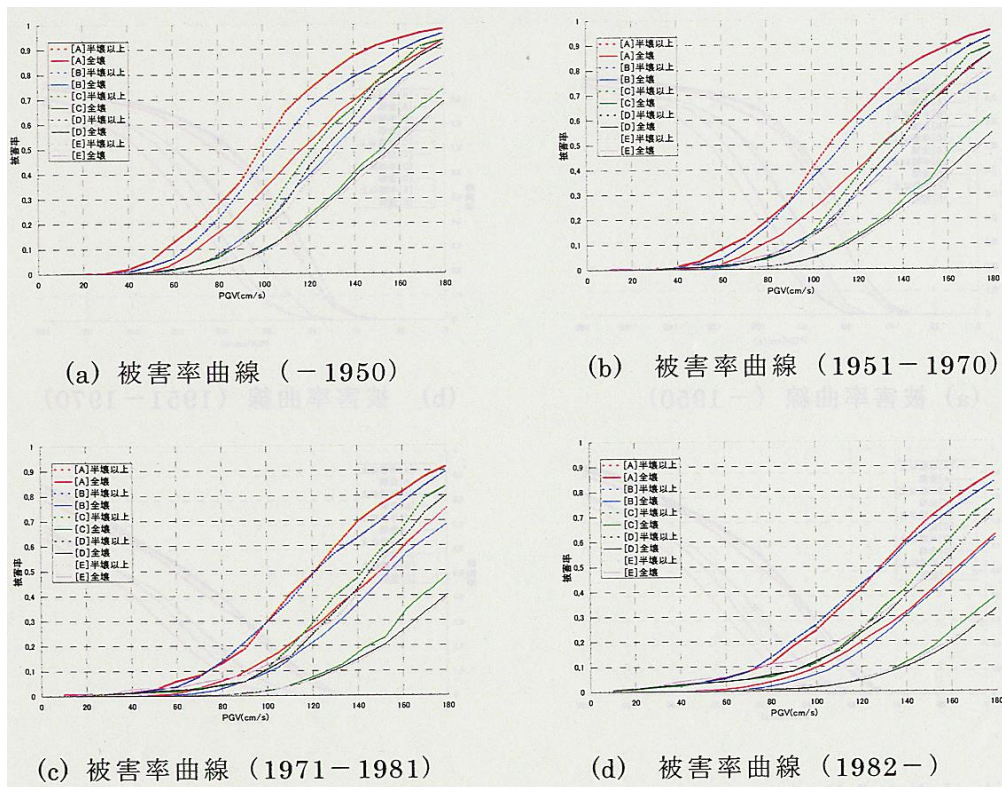


f) 宮城県沖地震（単独モデル、連動モデル）、長町ー利府断層に対応する地震動の時刻歴波形を地盤区分ごとに4～6波ずつ作成し、それらをPGVで10cm/sずつスケーリングし、被害率曲線を作成した。同じPGVに対する被害率の平均をそれぞれの地盤の被害率とした。

■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



■長町ー利府断層に対する想定被害率曲線



図Ⅲ-1-1-9 仙台市(2002)における木造建物の被害率曲線

表Ⅲ-1-1-3 建築年代ごとの木造建物の $C_0$ 分布特性(仙台市, 2002)

年代区分	平均値 $\lambda$	標準偏差 $\xi$
-1950	0.46	0.4
1951-1970	0.55	0.4
1971-1981	0.67	0.4
1982-	0.79	0.4

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

表Ⅲ-1-1-4 表層地盤分類(仙台市, 2002)

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

○宮城県(04)では、仙台市(02)による被害率曲線を対数正規分布の累積確率密度関数に近似し、新たに被害率曲線を作成。仙台市(02)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(04)では微地形区分と対応するように設定し直した。

表Ⅲ-1-1-5 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

## (6) 大阪府(2007)の手法

○採用自治体：堺市(09)

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

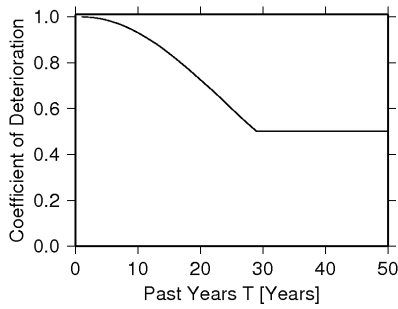
$$P(X) = \int_{-\infty}^X \frac{1}{\sqrt{2\pi}\zeta X} \cdot \exp\left\{-\frac{(\ln X - \lambda)^2}{2\zeta^2}\right\} \quad (1) \quad \lambda(T) = \lambda(0) \cdot f(T)^\delta \quad (2)$$

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

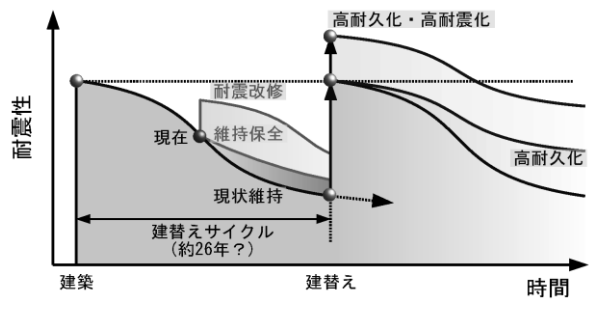
$P(X)$  : 累積確率密度関数     $X$  : 地震動に係る指標値     $f(T)$  : 経年劣化曲線     $\delta$  :  $f(T)$ に対する依存度

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

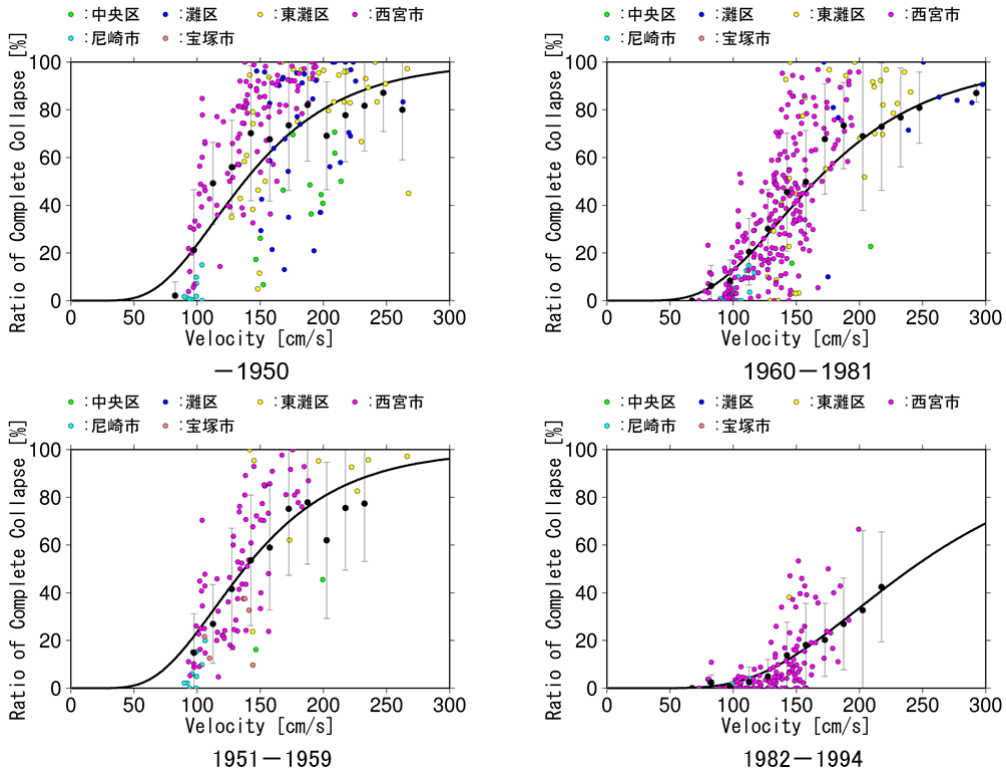
木造の被害率曲線は、経年劣化による変形性能の低下が支配的であるとの知見(更谷ら, 2005)に基づき、経年劣化係数を導入した。これにより経年劣化係数が下限値となるまで築後1年経過するごとに被害率が漸増する曲線が得られる。この設定は、兵庫県南部地震の建物被害データ(罹災証明)に基づく。



図Ⅲ-1-1-10 経年劣化曲線 $f(T)$  (大阪府, 2007)



図Ⅲ-1-1-11 個別建物の耐震性の推移(大阪府, 2007)



図Ⅲ-1-1-12 木造建物全壊率(大阪府, 2007)

(7) 竹内ら(2013)の手法

○採用自治体：北海道(18)

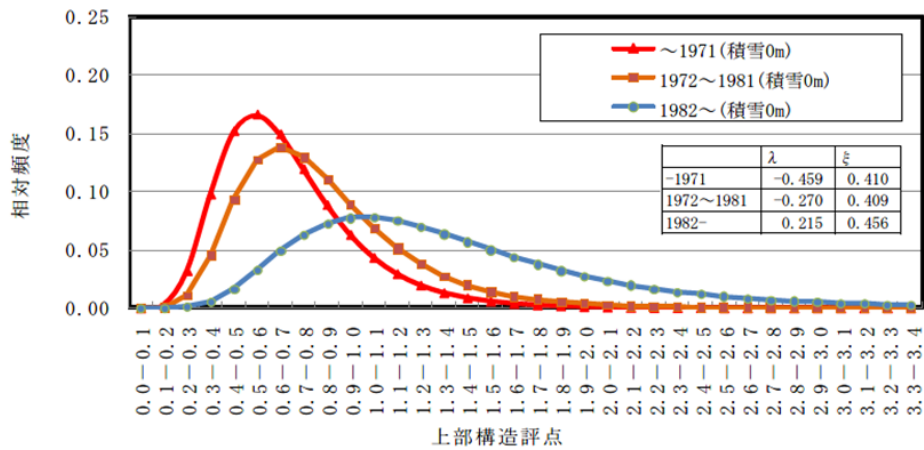
岡田・高井(2004)の損傷度評価手法の考え方を採用し、北海道の木造住宅の耐震診断結果の地域分布を適用することで、北海道の地域性を考慮した被害を評価した。また、積雪荷重を考慮した耐震診断結果と考慮しない場合の診断結果とを適用することで、冬(積雪期)と冬以外(無積雪期)を評価している。

■冬以外の予測手法

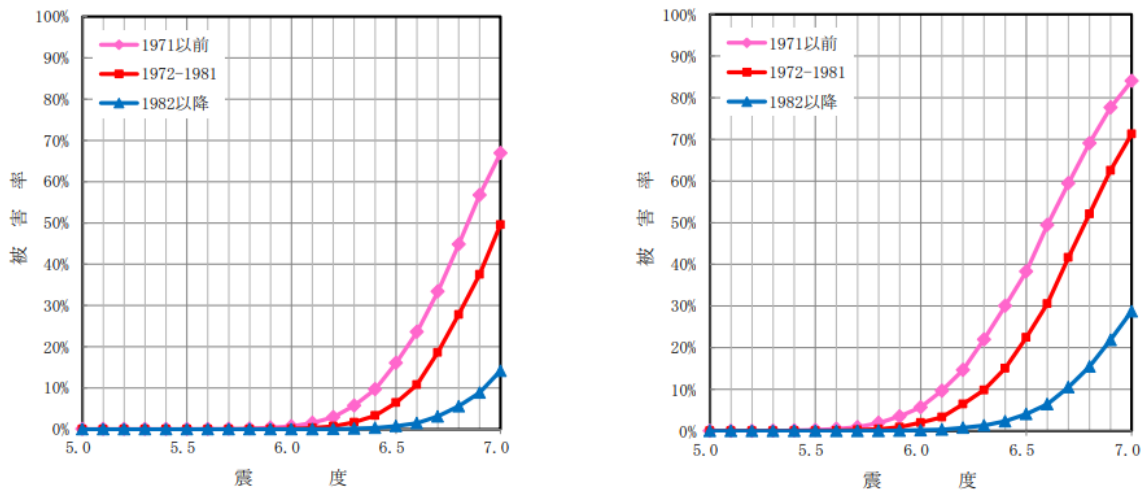
北海道が行った木造住家の耐震結果(評点)をもとに積雪荷重の少ない建築年代別の耐震診断結果の統計分布を推定している。震度と被害率との関係は、道内の木造住家の年代別の耐震診断結果が一様に分布していると仮定し、一般診断法の耐震診断結果を指標とした損傷度関数から計算した。診断結果が少ない1971年以前の診断結果の分布について、件数の少なさによる偏りを補正するため、全国の耐震診断結果※を用いてベイズ更新を行い分布を見直した。

※ 日本木造住宅耐震補強事業者協同組合(木耐協)が全国を対象に実施した一般診断結果





図Ⅲ-1-1-13 建築年代別の耐震診断結果(評点)の分布(北海道, 2018)



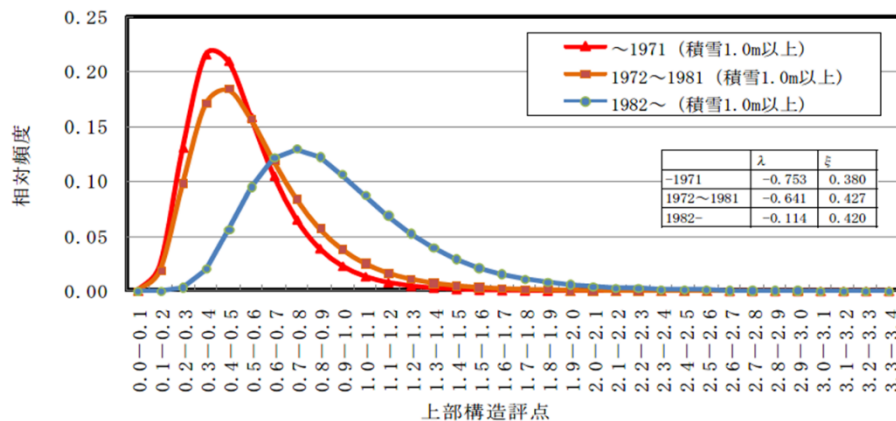
a) 建築年代別の震度と全壊率との関係

b) 建築年代別の震度と全半壊率との関係

図Ⅲ-1-1-14 建築年代別の震度と被害率との関係(北海道, 2018)

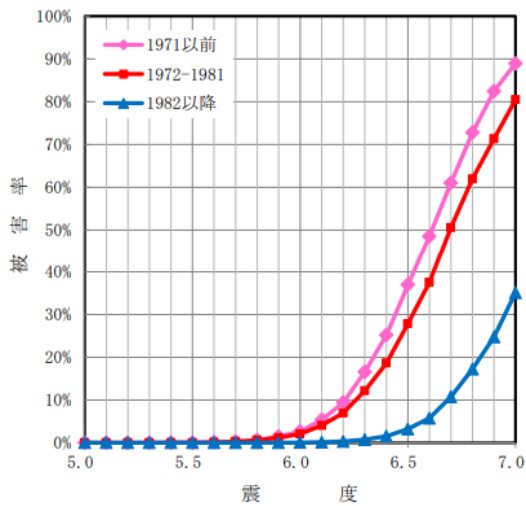
### ■冬の予測手法

多雪地域(垂直積雪量1.0m以上の地域)については、北海道が行った木造住家の耐震診断結果に基づく垂直積雪量を考慮した評点をもとに予測手法を構築した。震度と被害率の関係は、道内の木造住家の年代別の耐震診断結果が一樣に分布していると仮定し、一般診断法の耐震診断結果を指標とした損傷度関数から計算した。1971年以前の診断結果の分布について、冬以外の場合と同様に、全国の耐震診断結果を用いてベイズ更新を行い分布を見直した。

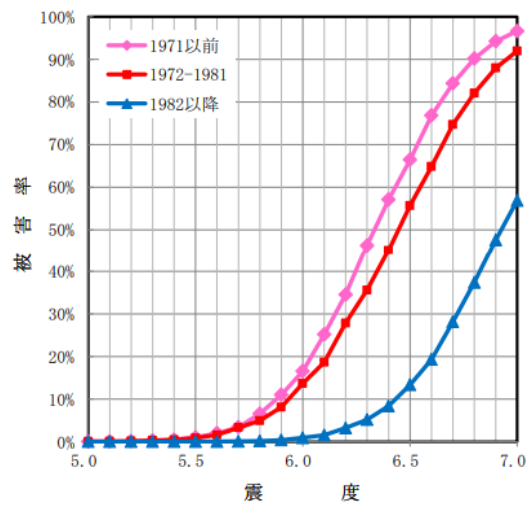


図Ⅲ-1-1-15 建築年代別の耐震診断結果(評点)の分布(垂直積雪量1.0m以上の地域)(北海道, 2018)





a) 建築年代別の震度と全壊率との関係



b) 建築年代別の震度と全半壊率との関係

図Ⅲ-1-1-16 建築年代別の震度と被害率との関係(垂直積雪量1.0m以上の地域)(北海道, 2018)

垂直積雪量1.0m未満地域は、積雪荷重のない場合の年代別の耐震診断結果の分布と同等とし、冬以外の建築年代別の震度と全壊率との関係を適用した。

### (8) 竹内ら(2019)の手法

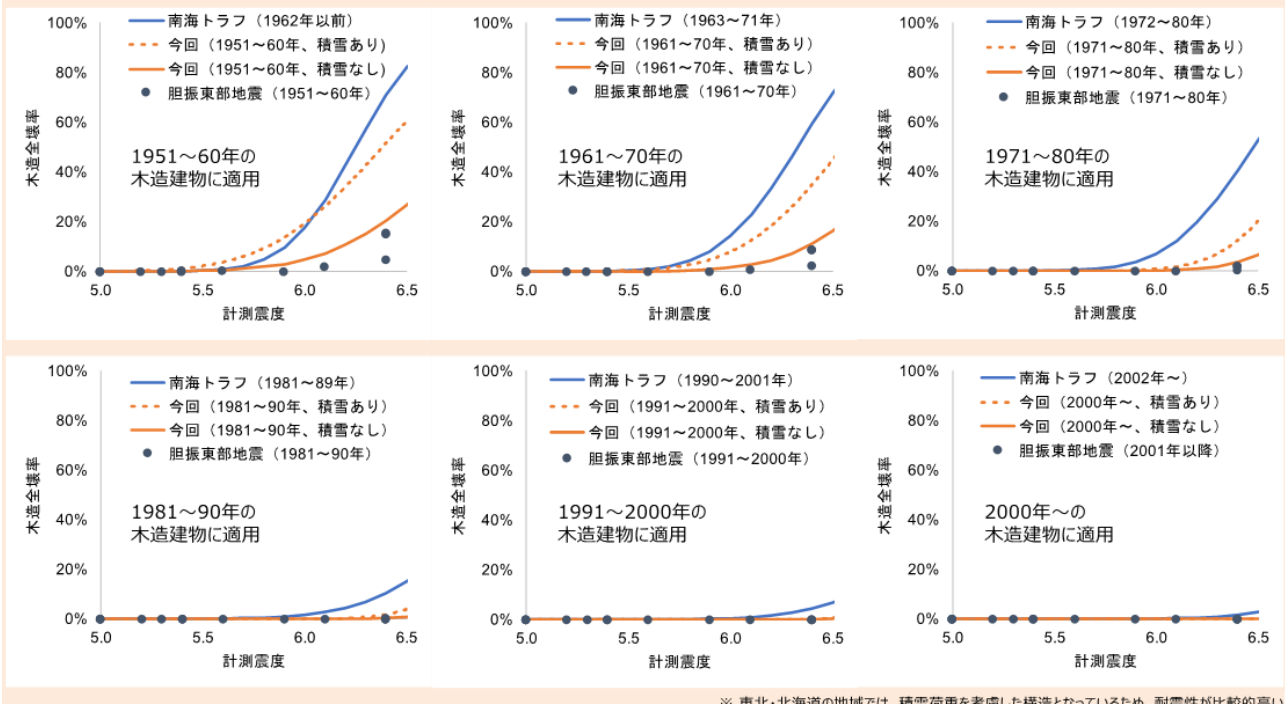
○採用自治体：札幌市(21)

本手法は、(7)竹内ら(2013)の手法について、2018年胆振東部地震を踏まえ、検証・更新したモデルである。本手法を採用している中央防災会議(2021)の公表資料では以下の点を特記している。

- ・南海トラフ巨大地震の被害想定等で用いた被害関数と比較して、耐震性が高いことから被害曲線が緩やかとなっている。
- ・北海道胆振東部地震の被害実績と比較した結果、被害状況を概ね表現できている。

### ■ 木造建物の被害率曲線

※ 比較のため南海トラフ巨大地震の被害想定で使用した建物被害関数を表示



※ 東北・北海道の地域では、積雪荷重を考慮した構造となっているため、耐震性が比較的高い。

図Ⅲ-1-1-17 木造建物の全壊率曲線(中央防災会議, 2021)

## 1-2. ゆれによる建物被害（非木造）

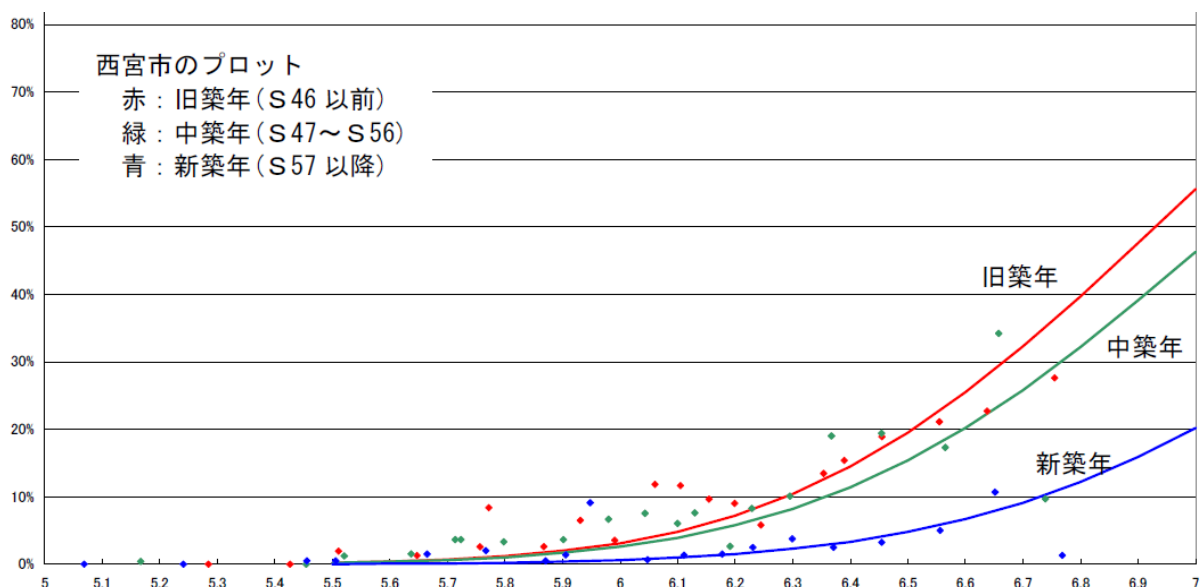
ゆれによる非木造建物の被害予測手法としては、被害率曲線を用いる手法と応答解析に基づく手法の2つに大別できる。最近では、多くの自治体で前者が採用されている。以下では、被害率曲線を用いる手法についてまとめる。

以前はRC造とS造を区分して被害を予測する自治体が多かったが、近年はRC造とS造を区別せず非木造として扱う中央防災会議の手法を採用する自治体が多くなっている。

### (1) 中央防災会議(2005)・東京都(2006)・中央防災会議(2008)・中央防災会議(2013)の手法

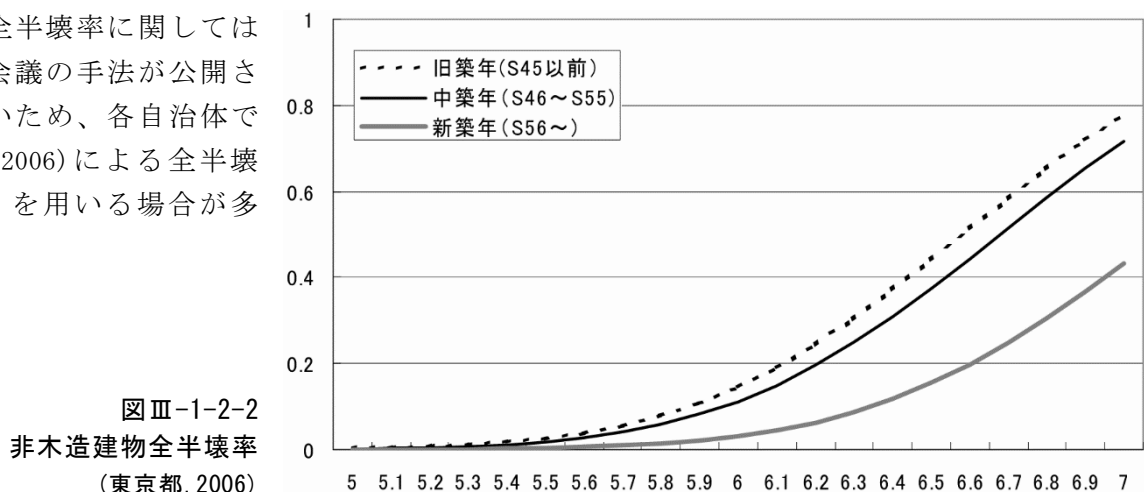
○採用自治体：北海道(18) 青森県(16) 秋田県(13) 茨城県(18) 栃木県(15) 群馬県(12) 埼玉県(14) 東京都(12) 新潟県(21) 長野県(15) 富山県(18) 京都府(17) 大阪府(14) 兵庫県(14) 和歌山県(14) 鳥取県(18) 岡山県(14) 広島県(13) 山口県(14) 徳島県(17) 香川県(13) 愛媛県(13) 高知県(13) 佐賀県(15) 熊本県(13) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) 沖縄県(14) 札幌市(21) さいたま市(09) 横浜市(12) 相模原市(14) 新潟市(15) 岡山市(13) 広島市(14) 熊本市(14)

中央防災会議の全壊率テーブルは、過去の地震（兵庫県南部地震におけるRC造に関する西宮市）の被害データをもとに設定している。



図Ⅲ-1-2-1 非木造建物全壊率(中央防災会議, 2008)

なお、全半壊率に関しては中央防災会議の手法が公開されていないため、各自治体では東京都(2006)による全半壊率(右図)を用いることが多い。



図Ⅲ-1-2-2 非木造建物全半壊率(東京都, 2006)

表Ⅲ-1-2-1 非木造建物全半壊率曲線の係数(秋田県, 2013)

建築年次	$\lambda$	$\zeta$
～1970年	6.58	0.53
1971年～1980年	6.67	0.54
1981年～	7.10	0.58

(注)係数の値は埼玉県が東京都(2006)のグラフから推定したもの

(2)Miyakoshi et al. (1997)の手法

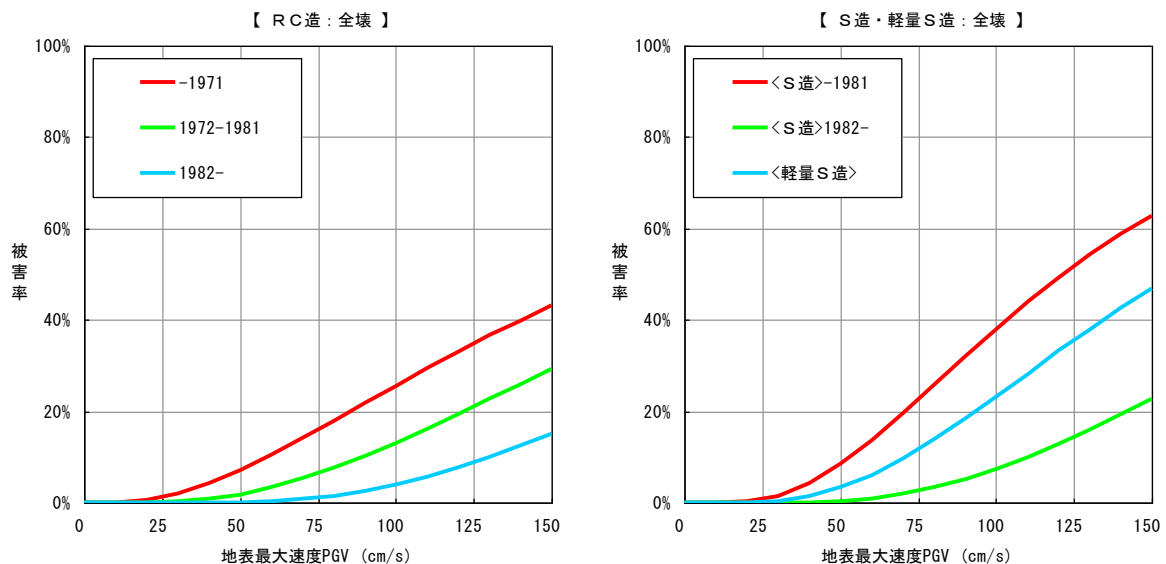
○採用自治体：千葉県(16) 神奈川県(15) 静岡県(13) 愛知県(14) 三重県(14) 大分県(19) 長崎県(06) 千葉市(17)

兵庫県南部地震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密度関数 $\Phi$ 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。

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

表Ⅲ-1-2-2 非木造建物の被害率曲線のパラメータ(Miyakoshi et al., 1997)

構造	建築年代	全壊			全半壊		
		$\lambda$	$\zeta$	R	$\lambda$	$\zeta$	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-1-2-3 非木造建物の被害率曲線【全壊】(Miyakoshi et al. (1997)より作成)

(3)村尾・山崎(2000、2002)の手法

○採用自治体：山梨県(05) 福井県(12) 島根県(18) 川崎市(13)

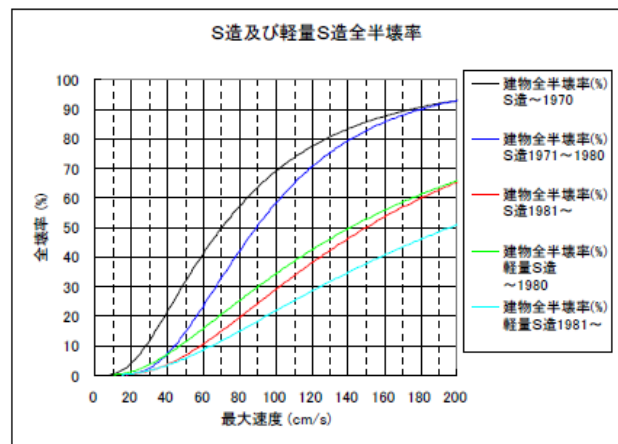
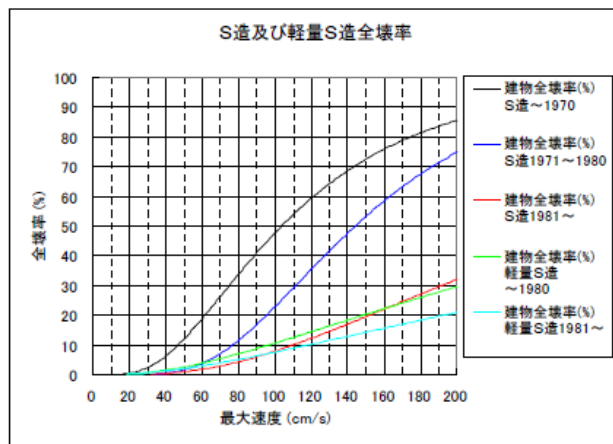
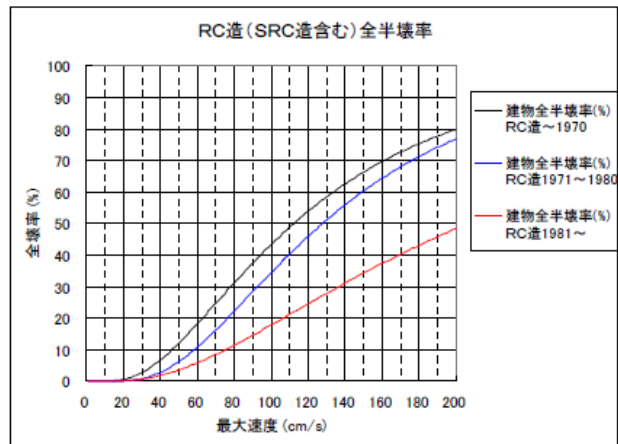
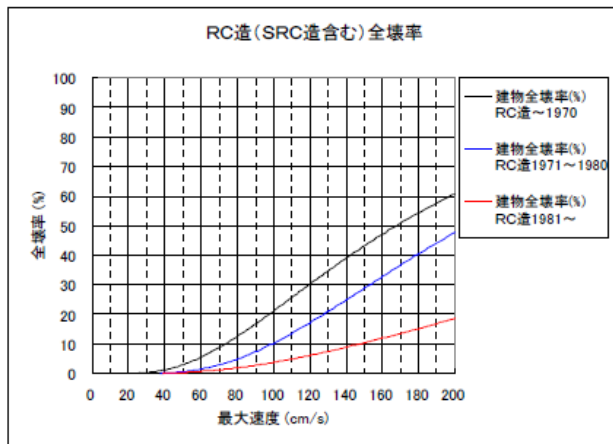
兵庫県南部地震の神戸市の被害実績から、地表最大速度PGVと建物被害率の関係を設定している。

建物被害率 $P_R(PGV)$ は、標準正規分布の累積確率密度関数 $\Phi$ 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。

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

表Ⅲ-1-2-3 非木造建物の被害率曲線のパラメータ(村尾・山崎(2000, 2002))

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	
		$\lambda$	$\zeta$	$\lambda$	$\zeta$			$\lambda$	$\zeta$		
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	軽量S造	1951-70	5.39	0.858	4.81	0.799
	1972-81	5.82	0.972	4.95	0.855		1971-81	5.78	0.858	5.27	0.799
	1982-94	6.19	1.101	5.28	0.865		1982-94	6.09	0.858	5.63	0.799
	全年代	5.03	0.564	4.73	0.601		全年代	5.44	0.541	5.26	0.683

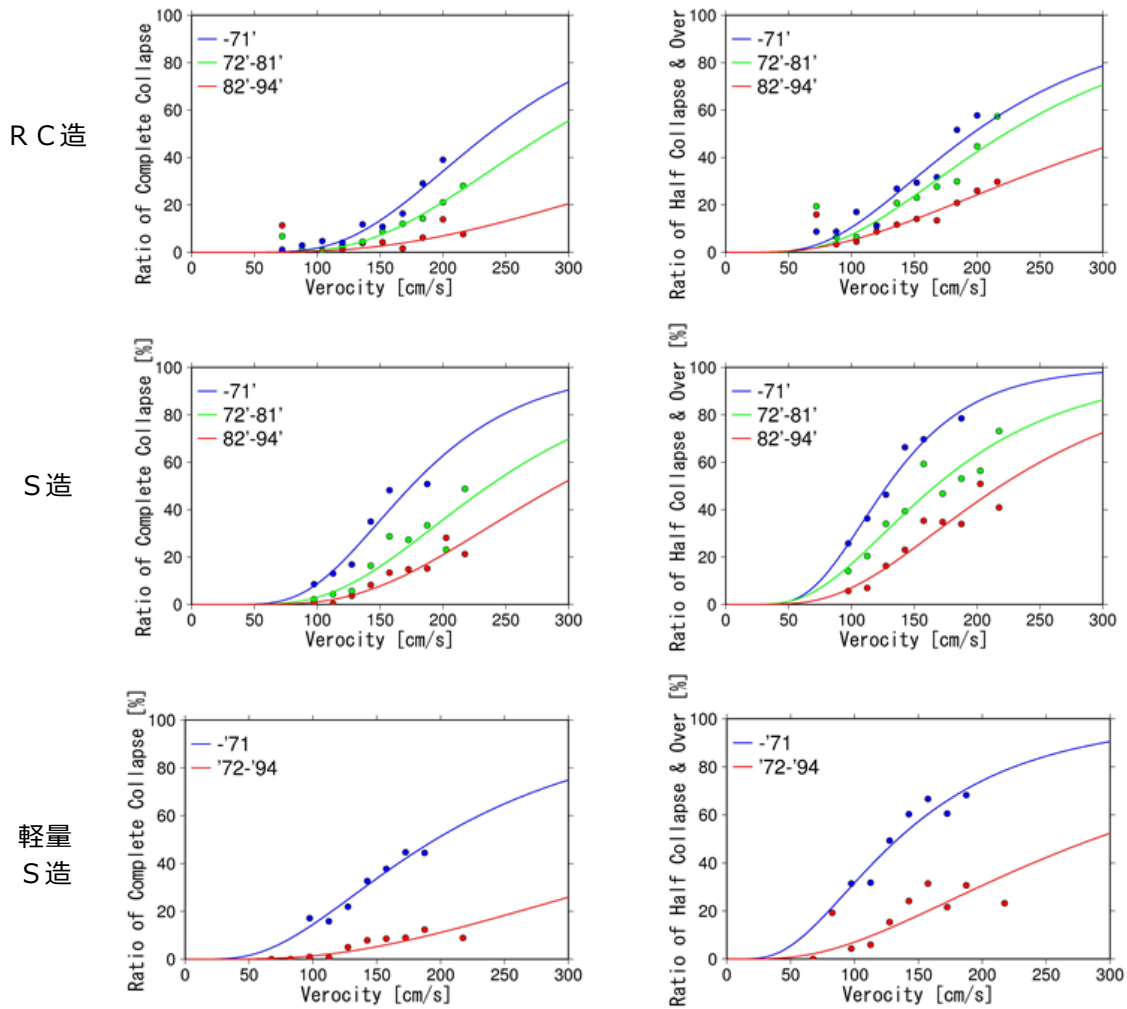


図Ⅲ-1-2-4 村尾・山崎(2000)による非木造建物被害率曲線(全壊、全半壊)(島根県, 2012)

#### (4) 大阪府 (2007) の手法

○採用自治体：堺市 (09)

基本的な想定手法は木造建物と同じである (1-1. (6) を参照)。非木造建物は耐震設計基準の変遷による差が顕著なため、被害率曲線を耐震設計基準ごとに年代区分して設定している (兵庫県南部地震の建物被害データに基づく)。



図Ⅲ-1-2-5 全壊率 (左) と全半壊率 (右) (大阪府, 2007)

## 1-3. 液状化による建物被害

### (1) 中央防災会議(2013)の手法

○採用自治体：青森県(13) 秋田県(13) 茨城県(18) 千葉県(16) 長野県(15) 静岡県(13) 愛知県(14) 三重県(14) 大阪府(14)、鳥取県(18) 広島県(13) 山口県(14) 香川県(14) 高知県(13) 佐賀県(15) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) 千葉市(17) 広島市(13)

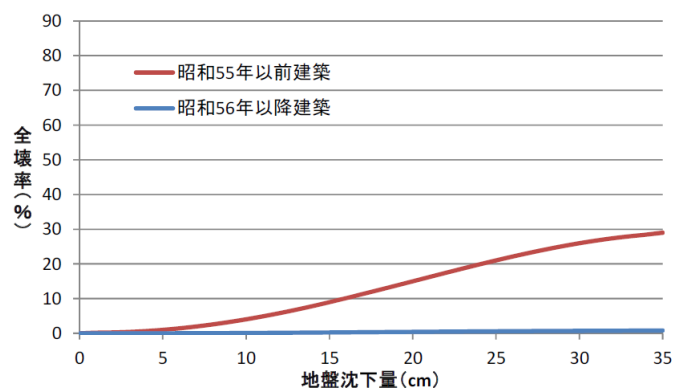
中央防災会議(2013)では、以下の基本的な考え方(1点目)と東北地方太平洋沖地震で得られた知見(2点目)を示した上で、被害を予測している。

- ・液状化による建物被害については、従来手法では、建物棟数に、PL値(液状化しやすさを表す指標)別の液状化面積率と液状化による建物被害率を乗じて求めていたが、今回の想定では、液状化による地盤沈下量と全壊率との関係から求める手法とする。
- ・浦安市での調査によれば、液状化による地盤の沈下量が大きくなれば、建物平均傾斜角が大きくなり、全壊率、半壊率に違いが見られるとの結果が得られている。

予測手法は以下のとおり。地盤沈下量の算出は第Ⅱ章2-3.を参照されたい。

#### ◇木造建物

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



図Ⅲ-1-3-1 地盤沈下量に対する建物全壊率【木造】(中央防災会議, 2013)

#### ◇非木造建物

以下の3種類に分けて被害を予測している。

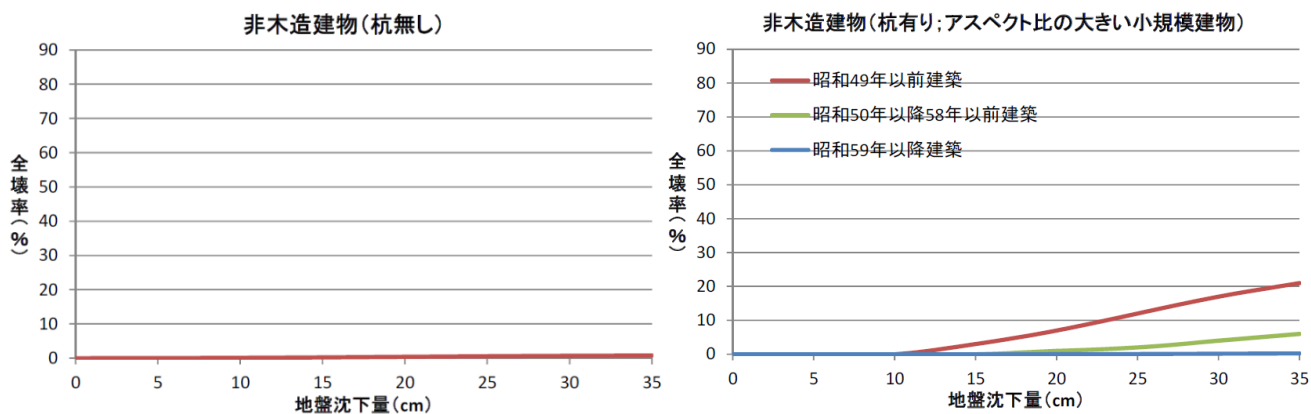
- 杭無し
- 杭有り-アスペクト比の大きい小規模建物(短辺方向スパンが1-2程度)
- 杭有り-(b)以外

(a)は、東北地方太平洋沖地震における浦安市の事例をみると、ほぼ木造(昭和56年以降建築)と同様の被害傾向であるため、その被害率を適用している。

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

(c)は半壊以上の被害はないとしている。





図Ⅲ-1-3-2 地盤沈下量に対する建物全壊率【非木造】(中央防災会議, 2013)

- 千葉県(16) 長野県(15) 愛知県(14) 高知県(13) 佐賀県(15)では、非木造の杭あり建物を3階建て以上、アスペクト比の大きい小規模建物の3階建て以上建物に占める割合は1割と設定
- 静岡県(13) 香川県(14) 高知県(13)では、中央防災会議(2013)のデータを基に全半壊率を設定

## (2) 静岡県(2001)・中央防災会議(2003)・中央防災会議(2005)・中央防災会議(2008)の手法

- 採用自治体：北海道(18) 群馬県(12) 埼玉県(14) 富山県(18) 福井県(12) 京都府(17) 奈良県(05) 広島県(13) 山口県(14) 熊本県(13) 大分県(19) 沖縄県(14) 広島市(13) 熊本市(14)

関東地震、新潟地震、日本海中部地震の被害事例をもとに構造別に全壊率を設定し、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。

液状化による全壊棟数 = 建物棟数 × 全壊率 × 液状化面積率

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%

- 群馬県(12)では、液状化面積率は $P_L$ 値が15以上の地域のみ設定
- 北海道(18) 埼玉県(14) 福井県(12) 広島県(13) 山口県(14) 熊本県(13) 広島市(13) 熊本市(14)：中央防災会議(2005)等では液状化発生地域内の半壊率が明示されていない。そのため、これらの手法の基となった静岡県(01)、愛知県(03)の手法を参照して液状化発生地域内の全壊率・半壊率を設定

## (3) 東京都(2012)の手法

- 採用自治体：東京都(12) 神奈川県(15) 新潟県(21) 兵庫県(14) 岡山県(13) 徳島県(17) 沖縄県(14) 札幌市(21) さいたま市(14) 横浜市(12) 相模原市(14) 新潟市(15) 岡山市(13)

東北地方太平洋沖地震の被害データから液状化面積率・被害率を設定している。

表Ⅲ-1-3-1  $P_L$ 値と液状化面積率(東京都, 2012)

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

表Ⅲ-1-3-2 液状化による建物の全壊率・大規模半壊率・半壊率(東京都, 2012)

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

○新潟県(21) 岡山県(13) 横浜市(12) さいたま市(14)

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

○沖縄県では(14)では、静岡県 of 構造別の液状化による被害率に、東京都の液状化面積率の考え方を組み合わせて下表の被害率を設定

表Ⅲ-1-3-3 液状化による被害率(沖縄県, 2014)

(木造建築物)

液状化危険度	S35以前		S35～S55		S56以降	
	全壊率	半壊率	全壊率	半壊率	全壊率	半壊率
高い	2.39%	2.32%	1.73%	3.24%	1.73%	3.24%
やや高い	0.67%	0.65%	0.48%	0.90%	0.48%	0.90%
低い	0.27%	0.26%	0.19%	0.36%	0.19%	0.36%
なし	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

(非木造建築物 1～3F)

液状化危険度	S45以前		S46～S55		S56以降	
	全壊率	半壊率	全壊率	半壊率	全壊率	半壊率
高い	4.18%	5.36%	4.18%	5.36%	3.34%	4.29%
やや高い	1.16%	1.49%	1.16%	1.49%	0.93%	1.19%
低い	0.46%	0.60%	0.46%	0.60%	0.37%	0.48%
なし	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

(非木造建築物 4F以上)

液状化危険度	S45以前		S46～S55		S56以降	
	全壊率	半壊率	全壊率	半壊率	全壊率	半壊率
高い	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
やや高い	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
低い	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
なし	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

#### (4) 千葉県(2008)の手法

○採用自治体：栃木県(15) 島根県(18) 広島県(13) 川崎市(13) 広島市(13)

液状化危険度予測から得られる  $P_L$  値および250mメッシュ微地形区分を用いて全壊・半壊棟数を算出している。液状化面積率は、微地形区分別の1kmメッシュ平均液状化面積率を用いる。  $P_L$  値の



ランクにより、 $P_L > 15$ のランクを1.0として相対的な低減係数を設定する。木造の被害率は年代別に、非木造は基礎の状況に応じて設定する。杭ありの建物は、東京都(2006)の仮定と同様に、4階以上の非木造建物すべてと1960年以降の1～3階非木造建物20%と仮定する。

表Ⅲ-1-3-4 微地形区分別の1kmメッシュの平均液状化面積率(千葉県, 2008)

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

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

表Ⅲ-1-3-5 液状化による木造被害率(千葉県, 2008)

木造建物	液状化の発生状況	住宅基礎の状況	全壊率 (%)	半壊率 (%)	根拠
	(日本海側の砂丘末端緩斜面)	埋立地・顕著な流動化が予測される地域	基礎が全般的に強い(1971年以降の住宅)	5	65
基礎が全般的に弱い(1970年以前の住宅)			45	45	1983年日本海中部地震(砂丘性平坦地等)
上記以外の地域		基礎が全般的に強い(1971年以降の住宅)	1	30	2007年新潟県中越沖地震(橋場地区)
		基礎が全般的に弱い(1970年以前の住宅)	25	25	1983年日本海中部地震(砂丘地等)

表Ⅲ-1-3-6 液状化による非木造被害率(千葉県, 2008)

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

## (5) 愛知県(2003)の手法

○採用自治体：群馬県(12) 埼玉県(14) 長崎県(06)

### ◇木造

関東地震、新潟地震、日本海中部地震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-1-3-7 液状化による木造建物被害率(愛知県, 2003)

建築年代	全壊率	半壊率	率の根拠
1954年以前	13.0%	13.0%	関東地震
1955-70年	11.0%	15.0%	新潟地震
1971年以降	9.0%	21.0%	日本海中部地震

### ◇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)のサンプリング調査により設定している。

表Ⅲ-1-3-8 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-1-3-9 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%

○群馬県(12)では、非木造建物の杭打ち率は、4階以上の建物すべてと昭和35年以降の1～3階の20%と仮定

## (6) 東京都(1997)の手法

○採用自治体：岩手県(04) 山梨県(05) 愛媛県(13)

### ◇木造

新潟地震と日本海中部地震の被害事例から、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(下表)を設定している。

表Ⅲ-1-3-10 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%

#### ◇RC造・S造

新潟地震による被害では、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-1-3-11 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-1-3-12 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%

#### 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。

最近では、②や③の考え方を採用する自治体が多い。また、中央防災会議(2013)では「液状化→ゆれ→急傾斜地崩壊→津波→火災焼失」の順番で被害の要因を割り当てており、この手法を採用する自治体も増えている。

## 1-5. 地盤崩壊による建物被害

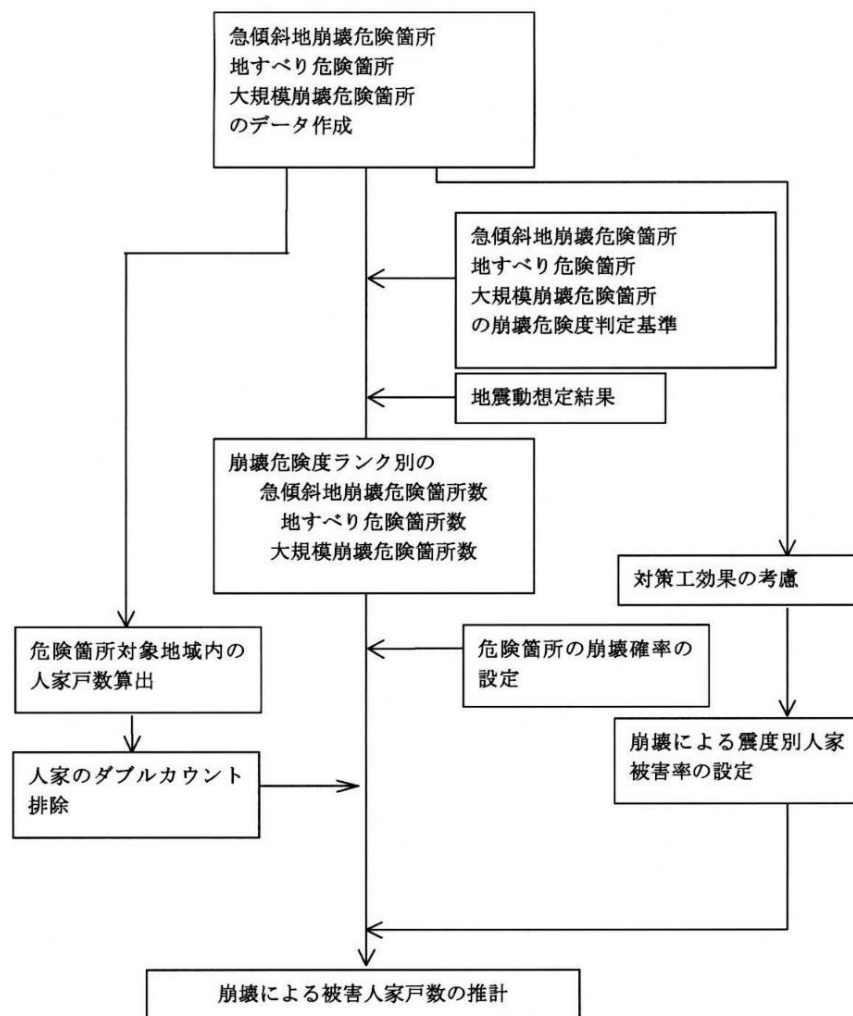
本節では、地盤崩壊による建物被害として、斜面崩壊による被害と宅地造成地の被害を整理する。

### (1) 斜面崩壊による建物被害

#### ① 静岡県(2001)・中央防災会議(2005)・中央防災会議(2008)・中央防災会議(2013)の手法

○採用自治体：北海道(18) 青森県(16) 秋田県(13) 茨城県(14) 栃木県(15) 群馬県(12) 埼玉県(14) 千葉県(16) 東京都(12) 神奈川県(15) 新潟県(21) 富山県(18) 福井県(12) 山梨県(05) 長野県(15) 静岡県(13) 愛知県(14) 三重県(14) 京都府(17) 奈良県(05) 大阪府(14) 兵庫県(14) 鳥取県(18) 島根県(18) 岡山県(14) 広島県(13) 山口県(14) 徳島県(17) 香川県(14) 愛媛県(13) 高知県(13) 佐賀県(15) 熊本県(13) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) 沖縄県(14) 札幌市(21) さいたま市(14) 千葉市(17) 横浜市(12) 川崎市(13) 新潟市(15) 岡山市(13) 広島市(13) 熊本市(14)

静岡県(2001)では、下図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。



図Ⅲ-1-5-1 山・崖崩れによる建築物被害想定フロー(静岡県, 2001)

予測式は以下のとおり。

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

危険度ランク別崩壊確率：表Ⅲ-1-5-1

震度別人家被害率：表Ⅲ-1-5-2

表Ⅲ-1-5-1 危険度ランク別崩壊確率(静岡県, 2001)

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-1-5-2 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%

危険度ランク別崩壊確率は宮城県沖地震、震度別人家被害率は宮城県沖地震と伊豆大島近海地震での被害事例を参考に設定している。危険箇所対策工が行われているものは、対策工の効果を考慮し人家被害率を低減している。また、想定対象の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地域が重なっている場合は、重複を除去している。

### ■中央防災会議(2013)

以下の基本的な考え方を示した上で、被害を予測している。

- ・急傾斜地崩壊の起こりうる箇所の危険度別に崩壊確率を設定
- ・崩壊した個所の被害については斜面崩壊による震度別被害率を適用
- ・崩壊確率と被害率から斜面災害による建物被害を算定

予測式は以下のとおり。

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

崩壊確率：崩壊危険度ランクA＝10%（ランクB、Cの崩壊確率はゼロ）

※近年発生した直下地震の事例（新潟県中越地震、新潟県中越沖地震、岩手・宮城内陸地震）を踏まえて設定

崩壊地における震度別建物全壊率：表Ⅲ-1-5-3

表Ⅲ-1-5-3 崩壊地における震度別建物全壊率(中央防災会議, 2021)

	～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%	6%	12%	18%	24%	30%

○北海道(18) 鳥取県(18)では、危険度ランク別崩壊確率は宮城県沖地震、震度別建物被害率は宮城県沖地震と伊豆大島近海地震での被害を再整理した鳥取県(05)の結果を採用

危険度ランク別崩壊確率：A 59% B 12% C 0%

表Ⅲ-1-5-4 崩壊箇所の震度別建物被害率(鳥取県, 2005)

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

○富山県(18)では、対策工がなされている場合は被害確率0

## ②長崎県(2006)の手法

○採用自治体：長崎県(06) 大分県(19)

急傾斜地・地すべり地で被害をもたらした18地震（1987年日向灘地震から2005年福岡県西方沖地震まで）の被害事例を参考に設定した予測式は以下のとおり※。

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

※18地震のうち比較的建物被害の多かった4地震のデータより、崩壊10件あたりの全壊棟数を4棟と求め、急傾斜地崩壊危険箇所の保全対象人家数の中央値が5棟前後であることより、崩壊1件あたりその8%程度が大破（全壊）と設定

## (2) 宅地造成地の被害

### ①東京都(2012)の手法

○採用自治体：東京都(12)

次の考え方で被害想定を実施している。

- ・造成地における建物被害は、建物自体の特性（構造・年次）によらず発生するため、造成地の特性（造成年代等）が原因となる可能性が高い。
- ・よって、東北地方太平洋沖地震における仙台市内造成地の計測震度と全壊率の相関曲線（全壊率テーブル）を作成し、これを基に建物被害を計算する。

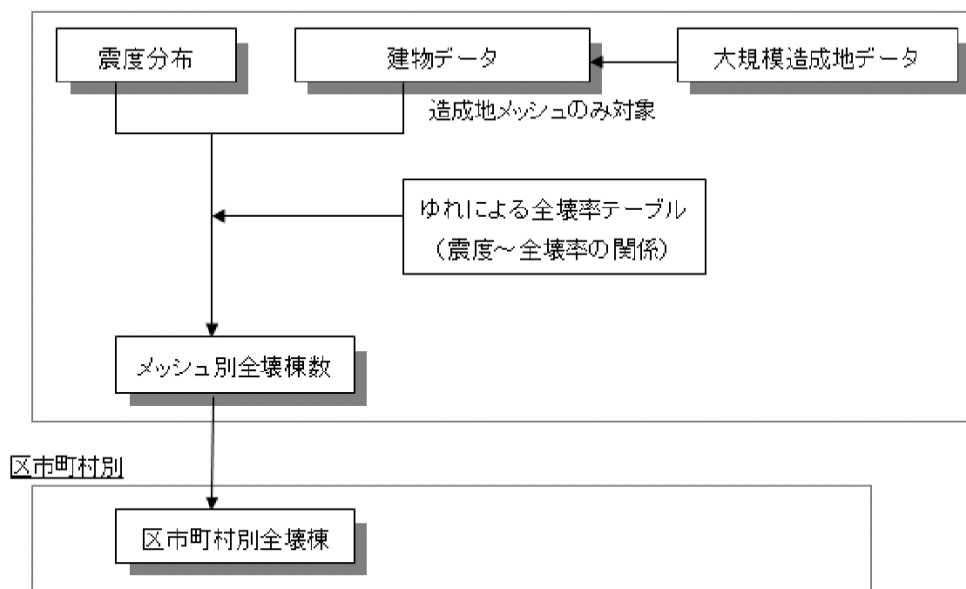
大規模造成地に該当するメッシュにおける予測式は以下のとおり。

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

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

※全壊率テーブルは報告書に未掲載

250mメッシュ別



図Ⅲ-1-5-2 被害想定フロー(東京都, 2012)

## 1-6. ブロック塀等の被害

### (1) 中央防災会議(2013)の手法

○採用自治体：青森県(16) 茨城県(18) 栃木県(15) 埼玉県(14) 東京都(12) 富山県(18) 静岡県(13) 愛知県(14) 三重県(14) 京都府(17) 大阪府(14) 兵庫県(14) 鳥取県(18) 岡山県(14) 広島県(13) 山口県(14) 徳島県(17) 香川県(14) 愛媛県(13) 高知県(13) 佐賀県(15) 大分県(19) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) 沖縄県(14) さいたま市(14) 千葉市(17) 新潟市 岡山市(13) 広島市(13)

以下の基本的な考え方を示した上で、被害を予測している。

- ・東京都(1997)、愛知県(2003)に基づき、建物あたりのブロック塀等の存在割合からブロック塀、石塀等の分布数を求めるとともに、宮城県沖地震における地震動の強さと被害率との関係式を用いて各施設の被害数を求める。

予測式は以下のとおり。

$$\text{ブロック塀・石塀・コンクリート塀被害数} = \text{塀件数} \times \text{倒壊対象となる割合} \times \text{加速度別被害率}$$

#### ◇塀件数

ブロック塀の件数は、愛知県(2003)による県内の木造棟数とブロック塀との関係を用いて求める。石塀・コンクリート塀の件数は、東京都(1997)による木造棟数と塀件数との関係を用いて求める。

表Ⅲ-1-6-1 塀件数の計算式(中央防災会議, 2013)

ブロック塀	石塀	コンクリート塀
$0.16 \times (\text{木造住宅棟数})$	$0.035 \times (\text{木造住宅棟数})$	$0.036 \times (\text{木造住宅棟数})$

#### ◇倒壊対象となる塀の割合

東京都(1997)に基づき下表を設定している。

表Ⅲ-1-6-2 倒壊対象となる塀の割合(中央防災会議, 2013)

塀の種類	外見の調査の結果 特に改善が必要のない塀の比率(A)	倒壊対象となる割合 (1-0.5A)
ブロック塀	0.500	0.750
石塀	0.362	0.819
コンクリート塀	0.576	0.712

#### ◇被害率

宮城県沖地震時の地震動強さとブロック塀等の被害率の関係実態に基づき次式を設定する。

$$\text{ブロック塀被害率}(\%) = -12.6 + 0.07 \times \text{地表最大加速度}(\text{gal})$$

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

$$\text{コンクリート被害率}(\%) = -12.6 + 0.07 \times \text{地表最大加速度}(\text{gal})$$

地表最大加速度：メッシュ別地表最大加速度の市区町村別人口重み付平均値

○大分県(19)では、宮城県沖地震での事例に、兵庫県南部地震の震度7のデータ(神戸市東灘区)を追加して予測式を見直した。

$$\text{ブロック塀被害率} = 20.05 \times \text{計測震度} - 95.09$$

## (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た。震度6強以上は、気象庁震度階級関連解説表を参考にしている。

表Ⅲ-1-6-3 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



## 1-7. 津波による建物被害

津波による建物被害の予測は、以前はほぼ全ての自治体で首藤(1988)の手法が採用されていた。最近では、東北地方太平洋沖地震の被害に基づく中央防災会議(2013)の手法を用いる自治体が多い。

### (1) 中央防災会議(2013)の手法

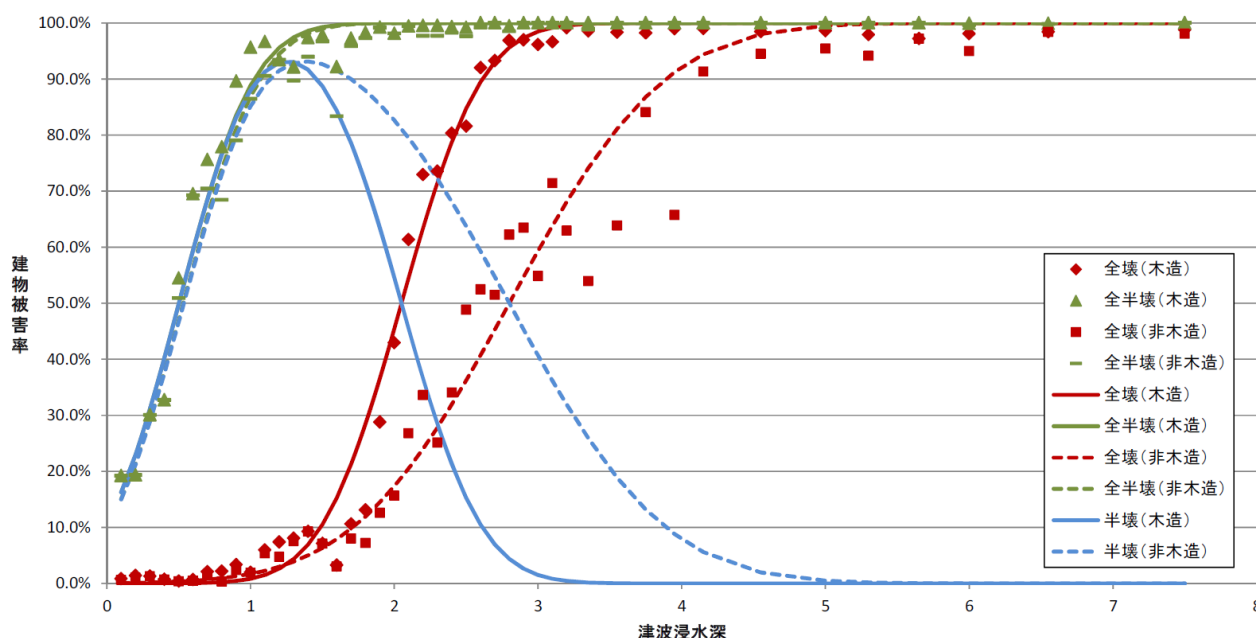
○採用自治体：青森県(16) 茨城県(18) 千葉県(16) 東京都(12) 神奈川県(15) 新潟県(21) 静岡県(13) 愛知県(14) 三重県(14) 京都府(17) 大阪府(14) 兵庫県(14) 鳥取県(18) 広島県(13) 山口県(14) 岡山県(13) 香川県(13) 愛媛県(13) 高知県(13) 熊本県(13) 大分県(19) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) 沖縄県(14) 岡山市(13) 広島市(13) 熊本市(14)

以下の基本的な考え方を示した上で、被害を予測している。

- ・人口集中地区とそれ以外の地区で浸水深別・建物構造別被害率を分析し、浸水深ごとに被害率を設定して算出

予測式は以下のとおり。

$$\text{津波による全壊・半壊棟数} = \text{構造別建物数} \times \text{津波浸水深ごとの建物被害率}$$



図Ⅲ-1-7-1 津波浸水深ごとの建物被害率【人口集中地区】(中央防災会議, 2013)

また、東北地方太平洋沖地震で得られた知見を以下のように整理している。

- ・「東日本大震災による被災現況調査結果について(第1次報告)」(国土交通省、平成23年8月4日)による浸水深ごとの建物被災状況の構成割合を見ると、浸水深2.0mを超えると全壊となる割合が大幅に増加する(従来の被害想定では浸水深2m以上の木造建物を一律全壊としており、全体として大きくは変わらない傾向である)。
- ・一方で、半壊について、従来の被害想定では浸水深1~2mで一律半壊としていたのに対し、今回の地震では浸水深が0.5m超から半壊の発生度合いが大きくなっている。

○中央防災会議(2021)では、寒冷期の流氷漂着地域では流氷により建物被害が増大する可能性があるため、十勝沖地震(1952)の被害を参考に、流氷がある場合の被害率曲線を別途設定した。

(2) 首藤(1988)の手法

○採用自治体：島根県(19) 福岡県(12) 長崎県(06) 横浜市(12) 川崎市(13) 堺市(09)

首藤(1988)は、過去の被害事例から浸水深と被害区分との関係を求めている。

表Ⅲ-1-7-1 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 起こす。	
	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・ビーム	持ちこたえる		(資料無し)	全面破壊		
漁船		被害発生	被害率50%	被害率100%		
防潮林被害 防潮林効果	被害軽微 津波軽減 潮流物阻止		部分的被害 潮流物阻止	全面的被害 無効果		
養殖筏	被害発生					
沿岸集落		被害発生	被害率50%	被害率100%		
打上高(m)	1	2	4	8	16	32

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

図Ⅲ-1-7-2 津波高と被害程度(中央防災会議, 2003)

○横浜市(12)では、東北地方太平洋沖地震において浸水深1m未満でも全壊・半壊の事例があったことを反映させて、浸水深と建物被害の関係を見直した。これは、横浜市における津波の想定浸水深は3m程度以下で、流速も比較的ゆるやかであることを前提としたものである。

表Ⅲ-1-7-2 浸水深と建物被害の関係(横浜市, 2012)

被害区分	浸水深 (H)	
	木造	非木造
全壊	2.0m ≤ H	-
半壊	0.5m ≤ H < 2.0m	0.5m ≤ H

○川崎市(13)では、床上浸水は基礎が腐食するなど半壊と同様のダメージを受けるため、横浜市(12)などを参考に「床上浸水」を「半壊」に含めたものを採用

### (3) 鳥取県(2012)の手法

○採用自治体：秋田県(13)

東北地方太平洋沖地震の津波被災現況調査(国土交通省, 2011)に基づき、浸水深と建物被害の関係(全壊率、大規模半壊以上率、半壊以上率)を求めた。

表Ⅲ-1-7-3 建物被害と浸水深の関係(秋田県, 2013) (単位：%)

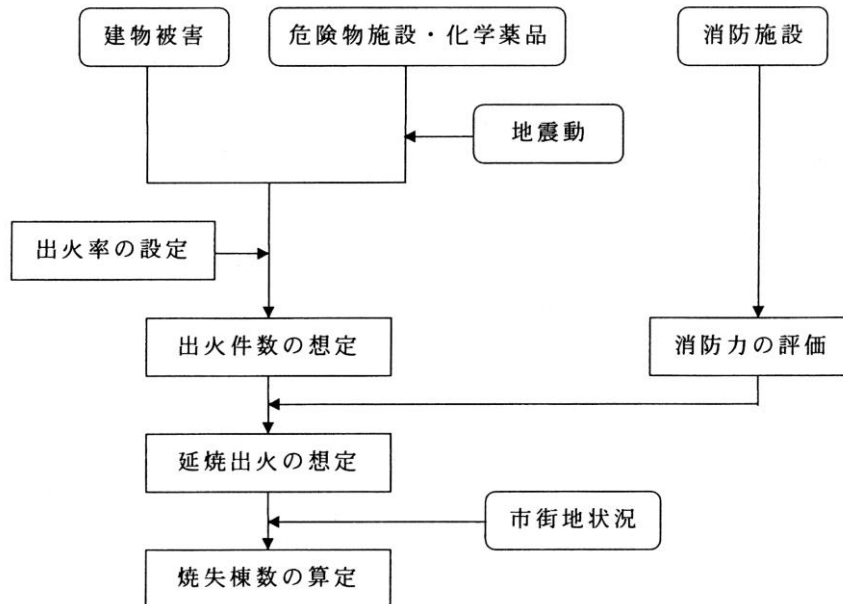
浸水深	木造			非木造		
	全壊	大規模半壊以上	半壊以上	全壊	大規模半壊以上	半壊以上
0.5m未満	0.89	1.19	6.43	0.88	1.95	4.46
0.5m以上～1.0m未満	3.63	11.69	61.03	2.28	6.85	28.26
1.0m以上～1.5m未満	12.43	50.00	98.87	5.67	19.87	75.02
1.5m以上～2.0m未満	30.40	88.31	100.00	12.17	41.87	97.29
2.0m以上～2.5m未満	55.10	99.14	100.00	22.66	66.85	99.93
2.5m以上～3.0m未満	77.91	99.98	100.00	36.84	85.92	100.00
3.0m以上～4.0m未満	95.22	100.00	100.00	59.87	97.58	100.00
4.0m以上～5.0m未満	99.84	100.00	100.00	86.07	99.94	100.00
5.0m以上～6.0m未満	100.00	100.00	100.00	97.24	100.00	100.00
6.0m以上～8.0m未満	100.00	100.00	100.00	99.94	100.00	100.00
8.0m以上～10.0m未満	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
10.0m以上～15.00m未満	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
15.0m以上～25.00m未満	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
25.0m以上	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

(出典：鳥取県津波対策検討業務報告書概要、平成24年3月、鳥取県)

## 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の予測は、以下の手順で行う自治体が多い。

- 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



図Ⅲ-2-1 出火・延焼の被害想定の流れ(新潟県, 1998)

### 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、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を用いる手法（東京消防庁の手法）と、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の2つに大別できる。最近は、前者を採用する自治体が多い。

#### (1) 東京消防庁(2005)・東京消防庁(2011)・中央防災会議(2013)の手法

○採用自治体：青森県(16) 秋田県(13) 茨城県(18) 栃木県(15) 埼玉県(14) 千葉県(16) 神奈川県(15) 新潟県(21) 富山県(18) 静岡県(13) 愛知県(14) 三重県(14) 京都府(17) 広島県(13) 島根県(18) 鳥取県(18) 岡山県(14) 山口県(14) 徳島県(17) 香川県(14) 愛媛県(13) 高知県(13) 佐賀県(15) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) さいたま市(14) 千葉市(17) 横浜市(12) 川崎市(13) 相模原市(14) 新潟市(15) 岡山市(13) 広島市(13)

#### ①火気器具・電熱器具からの出火（建物圧壊以外の場合）

出火件数は次のように求める。

- 1) 用途別・震度別・季節別出火率に用途別初期消火率と補正係数とをかけあわせて、初期消火を考慮した用途別・震度別・季節別出火率を求める。（表Ⅲ-2-1-1～表Ⅲ-2-1-3）
- 2) 課税台帳から設定したメッシュ別の用途比率を用いて、メッシュ単位の用途別建物棟数を求める。
- 3) 用途別・震度別・季節別とメッシュ別・用途別建物棟数をかけあわせて、出火件数を求める。

表Ⅲ-2-1-1 東京消防庁(2005)における火気器具・電熱器具からの出火率(埼玉県, 2014)

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

表Ⅲ-2-1-2 東京消防庁(2005)における用途別初期消火率(埼玉県, 2014)

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

表Ⅲ-2-1-3 東京消防庁(2005)における初期消火率の補正係数(埼玉県, 2014)

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

②火気器具・電熱器具からの出火(建物圧壊の場合)

出火件数は、全壊建物1棟当たりの出火率(圧壊建物の割合は全壊建物の3割とする)と火気器具の時間帯別使用率から求める。

表Ⅲ-2-1-4 東京消防庁(2005)における全壊建物1棟当たりの出火率(埼玉県, 2014) [単位: %]

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

表Ⅲ-2-1-5 東京消防庁(2005)における火気器具の時間帯別使用率(埼玉県, 2014)

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

③電気機器・配線からの出火

電気機器からの出火件数 = 0.039% × 全壊棟数

配線からの出火件数 = 0.024% × 全壊棟数

④化学薬品からの出火

表Ⅲ-2-1-6 東京消防庁(2005)における化学薬品からの出火率(埼玉県, 2014)

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

⑤危険物施設からの出火

表Ⅲ-2-1-7 東京消防庁(2005)における危険物施設種別出火率(埼玉県, 2014)

施設区分	過程	震度別出火率(%)					
		5弱	5強	6弱	6強	7	
発熱反応工程施設	停電	0.00000	0.00000	0.18630	0.81000	1.89540	
製造所	棚の転倒	0.00000	0.00110	0.06600	0.11000	0.11000	
屋内貯蔵所	落下(荷崩れ)	0.00253	0.00989	0.01886	0.02300	0.02369	
屋外タンク貯蔵所	浮屋根式	なし	0.99000	0.99000	0.99000	0.99000	
	特定	配管損傷	0.00000	0.00022	0.00160	0.00550	0.01568
	非特定	配管損傷	0.00000	0.00048	0.00348	0.01200	0.03420
地下タンク貯蔵所	配管損傷	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
屋内タンク貯蔵所	建物全壊	0.00000	0.00000	0.00000	0.00002	0.00012	
給油取扱所	営業用	落下	0.00341	0.01333	0.02542	0.03100	0.03193
	自家用	配管損傷	0.00000	0.00052	0.00377	0.01300	0.03705
販売取扱所	棚の転倒	0.00000	0.00100	0.06000	0.10000	0.10000	
一般取扱所	小口・灯油	配管損傷	0.00000	0.00000	0.00001	0.00003	0.00007
	その他	棚の転倒	0.00000	0.00032	0.01920	0.03200	0.03200
少量危険物施設	棚の転倒	0.00000	0.00240	0.01440	0.00240	0.00240	

⑥ガス漏洩からの出火

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



表Ⅲ-2-1-8 東京消防庁(2005)における震度別のガス配管被害率(埼玉県, 2014)

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

■東京消防庁(2011)

茨城県(2018)における東京消防庁の手法を用いた出火件数予測の概要を記す。

①火気器具・電熱器具からの出火(建物圧壊以外の場合)

東京消防庁(2011)では火気器具・電熱器具など器具別に、兵庫県南部地震時の出火状況や出火に至るイベント生起率、火気使用環境の調査結果などに基づき出火率を設定している。計算過程は非公表のため、東京消防庁(2011)で示された下表の出火率(初期消火成功率考慮前)を利用した。

表Ⅲ-2-1-9 東京消防庁(2011)における火気器具・電熱器具からの出火率【冬18時】(茨城県, 2018)

建物用途		震度5弱	震度5強	震度6弱	震度6強	震度7
映画館	木造	0.0009%	0.0030%	0.0098%	0.0376%	0.298%
	非木造	0.0008%	0.0027%	0.0089%	0.0338%	0.268%
キャバレー	木造	0.0006%	0.0018%	0.0066%	0.0274%	0.253%
	非木造	0.0005%	0.0016%	0.0060%	0.0247%	0.227%
料理店	木造	0.0027%	0.0048%	0.0170%	0.0529%	0.161%
	非木造	0.0024%	0.0043%	0.0153%	0.0476%	0.145%
飲食店	木造	0.0047%	0.0157%	0.0541%	0.1657%	0.509%
	非木造	0.0042%	0.0141%	0.0487%	0.1491%	0.458%
百貨店	木造	0.0020%	0.0064%	0.0255%	0.0930%	0.521%
	非木造	0.0018%	0.0057%	0.0230%	0.0837%	0.469%
物販店	木造	0.0007%	0.0022%	0.0085%	0.0302%	0.158%
	非木造	0.0006%	0.0020%	0.0077%	0.0272%	0.143%
旅館・ホテル	木造	0.0025%	0.0115%	0.0283%	0.0834%	0.548%
	非木造	0.0010%	0.0020%	0.0083%	0.0460%	0.713%
病院	木造	0.0008%	0.0017%	0.0072%	0.0372%	0.529%
	非木造	0.0007%	0.0016%	0.0064%	0.0335%	0.476%
診療所	木造	0.0004%	0.0010%	0.0036%	0.0130%	0.041%
	非木造	0.0003%	0.0009%	0.0032%	0.0117%	0.036%
寄宿舎	木造	0.0008%	0.0022%	0.0082%	0.0291%	0.162%
	非木造	0.0007%	0.0020%	0.0074%	0.0262%	0.146%
保育所	木造	0.0002%	0.0007%	0.0023%	0.0085%	0.033%
	非木造	0.0002%	0.0006%	0.0021%	0.0077%	0.029%
幼稚園	木造	0.0002%	0.0008%	0.0033%	0.0111%	0.038%
	非木造	0.0002%	0.0007%	0.0030%	0.0100%	0.034%
小学校	木造	0.0004%	0.0011%	0.0044%	0.0166%	0.083%
	非木造	0.0004%	0.0010%	0.0040%	0.0149%	0.075%
大学	木造	0.0009%	0.0041%	0.0171%	0.0565%	0.129%
	非木造	0.0008%	0.0037%	0.0154%	0.0509%	0.116%
公衆浴場	木造	0.0004%	0.0011%	0.0040%	0.0129%	0.037%
	非木造	0.0003%	0.0010%	0.0036%	0.0116%	0.033%
工場・作業場	木造	0.0006%	0.0030%	0.0113%	0.0377%	0.109%
	非木造	0.0004%	0.0017%	0.0075%	0.0261%	0.082%
事務所	木造	0.0003%	0.0012%	0.0052%	0.0216%	0.177%
	非木造	0.0003%	0.0011%	0.0046%	0.0194%	0.159%
住宅	木造	0.0010%	0.0034%	0.0109%	0.0351%	0.115%
	非木造	0.0009%	0.0031%	0.0101%	0.0332%	0.104%
共同住宅	木造	0.0004%	0.0011%	0.0052%	0.0180%	0.047%
	非木造	0.0006%	0.0019%	0.0061%	0.0195%	0.064%

表Ⅲ-2-1-10 東京消防庁(2011)における時間帯別補正係数(茨城県, 2018)

1-5時	5-6時	6-7時	7-8時	8-9時	9-11時
0.6	1.0	2.9	2.6	1.2	1.0
11-13時	13-15時	15-17時	17-19時	19-21時	21-1時
2.2	0.9	1.3	3.4	2.8	1.2

## ②火気器具・電熱器具からの出火（建物圧壊の場合）

圧壊建物1棟あたり出火率（表Ⅲ-2-1-4）のうち、漏洩ガスと電気機器・配線は別途検討するため、この分を除いた出火率0.0355%とし、時刻別の補正は住宅の出火要因器具の使用率の合計値で補正した。夏の場合は、出火要因のうち暖房器具類とその他の半数分を除外し0.0192%とした。

## ③電気機器・配線からの出火

電気機器からの出火件数 = 0.044% × 全壊棟数

配線からの出火件数 = 0.030% × 全壊棟数

## ④化学薬品からの出火

表Ⅲ-2-1-11 東京消防庁(2011)における化学薬品からの震度別出火率(茨城県, 2018)  
(上段) 棚転倒による出火率 (下段) 薬品落下による出火率

	5弱	5強	6弱	6強	7
高校	0.00%	0.00%	3.72%	6.20%	6.20%
大学・自然科学研究機関	0.00%	0.00%	2.22%	3.70%	3.70%

	5弱	5強	6弱	6強	7
高校	0.00%	0.06%	0.28%	1.20%	4.60%
大学・自然科学研究機関	0.00%	0.00%	1.78%	8.70%	17.20%

茨城県(2018)では上記①～④のほか、「ガス漏洩からの出火」「LPガスからの出火」「危険物施設からの出火」「高圧ガス施設からの出火」を東京消防庁(2011)の手法を用いて予測している。

## ■中央防災会議(2013)

中央防災会議(2013)では、以下の基本的な考え方を示した上で、出火件数を予測している。

- ・出火要因の多くを占める火気器具、電気関係からの出火を取り扱う。また、停電時には電気関係からの出火はなく、停電復旧後に出火することも考えられるが、ここでは保守側の観点から、電気関係からの出火も地震直後に発生するものとして考える。
- ・建物倒壊しない場合の火気器具・電熱器具からの出火、建物倒壊した場合の火気器具・電熱器具からの出火、電気機器・配線からの出火の3つに分けて出火率を設定する。
- ・建物倒壊しない場合の出火は、震度別・用途別・季節時間帯別の全出火率を設定し、算定する。
- ・震度別の初期消火成功率を考慮して炎上出火件数を算定する。

化学薬品・工業炉・危険物施設等は全体に占める割合が非常に少なくメッシュ別把握は困難であるため、取り扱わないとしている。

### ①火気器具・電熱器具からの出火（建物圧壊以外の場合）

- ・表Ⅲ-2-1-13の出火率を用いている。

### ②火気器具・電熱器具からの出火（建物圧壊の場合）

- ・兵庫県南部地震の事例から、冬における倒壊建物1棟あたり出火率を0.0449%とする。
- ・暖房器具類を使わない夏の場合には、倒壊建物1棟あたり出火率を0.0286%とする。
- ・時刻補正係数は、1.0（深夜）、2.2（12時）、3.4（18時）とする。

表Ⅲ-2-1-12 倒壊建物1棟あたり出火率(中央防災会議, 2013)

冬深夜	夏12時	冬18時
0.0449%	0.0629%	0.1392%



表Ⅲ-2-1-13 火気器具・電熱器具からの出火率(中央防災会議, 2013)

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

③電気機器・配線からの出火

電気機器からの出火件数 = 0.044% × 全壊棟数

配線からの出火件数 = 0.030% × 全壊棟数

初期消火としては、①～③で算出した全出火件数に対して、東京消防庁(2011)における住宅の初期消火成功率を適用している。

表Ⅲ-2-1-14 初期消火率(中央防災会議, 2013)

震度	6弱以下	6強	7
初期消火成功率	67%	30%	15%

(2) 静岡県(2001)・中央防災会議(2003)・中央防災会議(2005)・中央防災会議(2006)・中央防災会議(2008)の手法

○採用自治体：北海道(18) 群馬県(12) 福井県(12) 山梨県(05) 長野県(15) 奈良県(05) 島根県(18) 長崎県(06) 熊本県(13) 大分県(19) 札幌市(21) 熊本市(14)

兵庫県南部地震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。

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

k：一般火気器具、電熱器具、電気機器・配線の出火率の合計値(※設定値は次ページ参照)

また、全出火数から初期消火件数を除いた炎上出火件数を求める場合も多い。

炎上出火件数 = (1 - 初期消火率) × 全出火件数

表Ⅲ-2-1-15 初期消火率(中央防災会議, 2005)

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

■静岡県(2001)・中央防災会議(2001)・中央防災会議(2003)の係数k

表Ⅲ-2-1-16 係数kの値(中央防災会議, 2003)

	冬の5時	秋の12時	冬の18時
一般火気器具	0.00018	0.00017	0.0022
電熱器具	0.00036	0.00035	0.0043
電気機器・配線	0.00036		

■中央防災会議(2005)の係数k

表Ⅲ-2-1-17 係数kの値(中央防災会議, 2005)

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

■中央防災会議(2006)

①一般火気器具 ②電熱器具 出火率 = k × 全壊率<sup>0.73</sup>

表Ⅲ-2-1-18 一般火気器具(左)、電熱器具(右)の係数kの値(中央防災会議, 2006)

	冬5時	夏12時	冬18時		冬5時	夏12時	冬18時
北海道	0.00060	0.00014	0.00652	北海道	0.00120	0.00028	0.01299
東北	0.00039	0.00014	0.00431	東北	0.00078	0.00028	0.00859
関東	0.00020	0.00014	0.00242	関東	0.00041	0.00028	0.00483

③電気機器・配線 出火率 = 0.00036 × 全壊率<sup>0.73</sup>

④ガス漏洩 出火率 = ガス配管被害率  
× {0.0015 × (半壊以下の建物数) + 0.013 × (全壊建物数)}

⑤化学薬品 出火率 = 0.000066 × 全壊率<sup>0.73</sup>

■中央防災会議(2008)

以下の基本的な考え方を示した上で、出火率を設定している。

- ・静岡県(2001)の手法を参考にして、兵庫県南部地震時の建物全壊と出火率の関係から求めた標準出火率を設定
- ・季節係数については、火気器具、電熱器具を暖房器具とそれ以外に分けて、暖房器具の冬季の季節係数を1.0、それ以外の季節の暖房器具の季節係数を0.0と設定
- ・暖房器具以外の季節係数は、いずれの季節も1.0
- ・東京消防庁(1997)の火気使用環境調査結果を用いて、時刻係数を設定
- ・東京消防庁(1997)の兵庫県南部地震の地震火災の発生状況の分析結果を用いて、火災発生要因の構成比を求めた

予測式は以下のとおり。

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

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

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

表Ⅲ-2-1-19 出火率の係数(中央防災会議, 2008)

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

### (3) 建設省総合技術開発プロジェクト(1983)の手法

○採用自治体：兵庫県(14) 福岡県(12)

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式を求めた。

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

$Y$ ：出火件数       $\alpha$ ：時刻補正係数(下表)       $N$ ：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

表Ⅲ-2-1-20 時刻補正係数(水野, 1978)

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

○兵庫県(14) 福岡県(12)では、兵庫県南部地震の出火件数で検証を行い、時刻補正に加えて、補正係数0.1を乗じている。

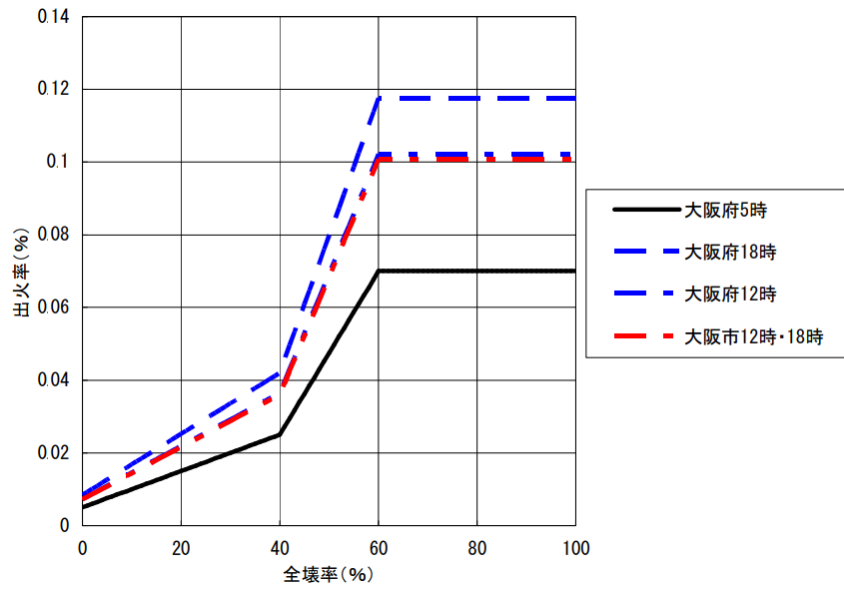
### (4) 大阪府(2007)の手法

○採用自治体：大阪府(14)

兵庫県南部地震に基づく全出火件数(地震後3日間)の予測式は以下のとおり。

$$\text{全出火件数} = \Sigma (\text{町丁目の世帯数} \times \text{3日間の出火率} \times \text{時間補正})$$

出火率 = 早朝 (AM5:00頃)における全出火件数÷世帯数 (下図の黒実線)  
 時間補正 = 早朝モデルの出火件数を想定時間の出火件数に補正するための比率



図Ⅲ-2-1-1 全出火算出モデル(大阪府, 2014)

## 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。

### (1) 中央防災会議(2013)の手法

○採用自治体：北海道(18) 青森県(16) 茨城県(18) 栃木県(15) 千葉県(16) 新潟県(21) 富山県(18) 山梨県(05) 長野県(15) 静岡県(13) 愛知県(14) 三重県(14) 京都府(17) 鳥取県(18) 島根県(18) 岡山県(14) 徳島県(17) 香川県(14) 愛媛県(13) 高知県(13) 佐賀県(15) 大分県(19) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) 札幌市(21) さいたま市(14) 千葉市(17) 新潟市(15) 岡山市(13)

中央防災会議(2013)では、以下の基本的な考え方を示した上で、被害を予測している。

- ・現況の消防力と兵庫県南部地震での消火実績等をもとにしたマクロ式を適用するものとする。
- ・消防ポンプ自動車数、小型動力ポンプ数及び消防水利数をもとに、消防本部・組合ごとに消火可能件数を算定する。

予測式は以下のとおり。

$$\text{消火可能件数（発災直後）} = 0.3 \times \left( \text{消防ポンプ車数} / 2 + \text{小型動力ポンプ数} / 4 \right) \times \left\{ 1 - \left( 1 - 61,544 / \text{宅地面積}(\text{m}^2) \right)^{\text{水利数}} \right\}$$

$$\text{残火災件数} = \text{炎上出火件数} - \text{消火可能件数}$$

- ・各消防本部・組合について求めた消火可能件数と、想定される炎上出火件数を比較し、消火されなかった火災が延焼拡大すると考え、残火災件数（延焼拡大件数）を求める。
- ・上式は、兵庫県南部地震（平均風速約3m/s）のデータに基づき、消防運用による消火可能件数をポンプ車数や消防水利数を用いて表現したもの。風速が大きくなれば発災直後に消防によって消火できる割合が低下する。ここでは、上式における係数0.3は、風速8m/sでは0.2とする。
- ・消防運用によりすべての炎上出火を消し止められた場合においても、平均的に5棟/件の焼失があるものとして、1消火件数あたり5棟が焼失するものとする。

○栃木県(15) 新潟県(21)では、上式の係数0.3を、風速6m/sは0.25、風速7m/sは0.23、風速10m/s以上は0.13と設定

○愛知県(14) 島根県(18) 大分県(19)では、愛知県(03)の手法を参考に下式を設定

$$\begin{aligned} \text{消火可能な木造火災件数} = & 0.70 \times \left\{ (\text{地震直後} \star) + 1/1.25 \times (\text{30分後} \star) \right. \\ & \left. + 1/2.75 \times (\text{60分後} \star) + 0.71 \right\} \\ & \times \left\{ 1 - \left( 1 - 3.14 \times 140^2 / \text{宅地面積}(\text{m}^2) \right)^{\text{水利数}} \right\} \end{aligned}$$

★ = 出動可能ポンプ車数/2 + 出動可能小型動力ポンプ積載車数/4 + 60分後出動可能手引きポンプ数/8

### (2) 中央防災会議(2005)・中央防災会議(2008)の手法

○採用自治体：秋田県(13) 富山県(18) 福井県(12) 大阪府(14) 広島県(13) 山口県(14) 熊本県(13) 札幌市(21) 広島市(14) 熊本市(14)

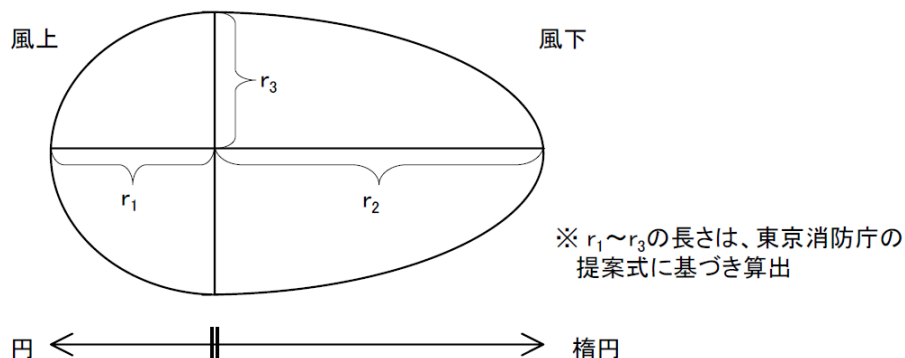
中央防災会議(2005)では、以下の基本的な考え方を示した上で、被害を予測している。

- ・出火後、消防車が現場に到着するまでの駆けつけ時間を算定
- ・それまでに燃え広がる広さ（火面周長）を求め、消防車1台あたり消火可能な火面周長から、消火が可能か否かを判定
- ・ただし、市町村内の各出火点に駆け付けることのできる消防車の合計数は、各市町村が所有する

消防車台数（消防団所有台数を含む）を上限とする

予測式は以下のとおり。

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



図Ⅲ-2-2-1 火面周長(中央防災会議, 2005)

◇中央防災会議(2008)における駆けつけ時間の算定方法は以下のとおり。

$$\text{(出火地点までの駆けつけ時間)} = \text{(a) 火災覚知時間} + \text{(b) 出動時間} + \text{(c) 走行時間} + \text{(d) 準備時間}$$

(a) 火災覚知時間

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

(b) 出動時間

- ・ 8分（東京都(1997)の条件）

(c) 走行時間

- ・ 消防署及び消防団の拠点から出火点（メッシュ中心点）までの距離と走行時速から算定する。
- ・ 走行時速は、震度6以上 10km/h 震度5以下 15km/hとする。（東京都(1997)の条件）
- ・ 拠点から出火点までの走行距離を求める際、実際の拠点の位置は特定しないで、市区町村別に把握した拠点数から、1拠点当りの平均的な担当面積を求め、各拠点が担当面積の真中に位置していると仮定した場合の走行距離を求める。

A. 消防車を有する施設数 = 「消防署数」 + 「出張所数」

B. 1施設あたり担当面積 (km<sup>2</sup>) = 市町村面積 (km<sup>2</sup>) / A

C. 平均車両走行距離 (m) = (√ B) × 1000

(d) 準備時間

- ・ 東京都(1997)から、現場でのホース設置に要する時間がホース延長と口数に関係すると考える。

震度6以上 (準備時間) = 25.5 × (ホース本数) + 15 (秒)

震度5以下 (準備時間) = 17 × (ホース本数) + 15 (秒)

### (3) 神奈川県(2009)の手法

○採用自治体：埼玉県(14) 東京都(12) 神奈川県(15) 横浜市(12) 川崎市(13)

消火率の予測式は以下のとおり。

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

P : 消火率 P<sub>j</sub> : 自主防災組織の消火率 P<sub>D</sub> : 消防団の消火率 P<sub>S</sub> : 公設消防の消火率

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

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

消防団員の充足補正は次の2ケースに分けられる。

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

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

○東京都(12)では、下式で消防管轄区域当たりの消火率を設定

$$P = P_D + (1 - P_D)P_S \quad P : \text{消火率} \quad P_D : \text{消防団の消火率} \quad P_S : \text{公設消防の消火率}$$

○東京都(12) 横浜市(12)では、消防団消火率を公設消防消火率から設定

$$\text{消防団消火率} = \text{公設消防消火率} \times \alpha \quad \alpha = 1/2 \text{ (東京都) 、 } 1/4 \text{ (横浜市)}$$

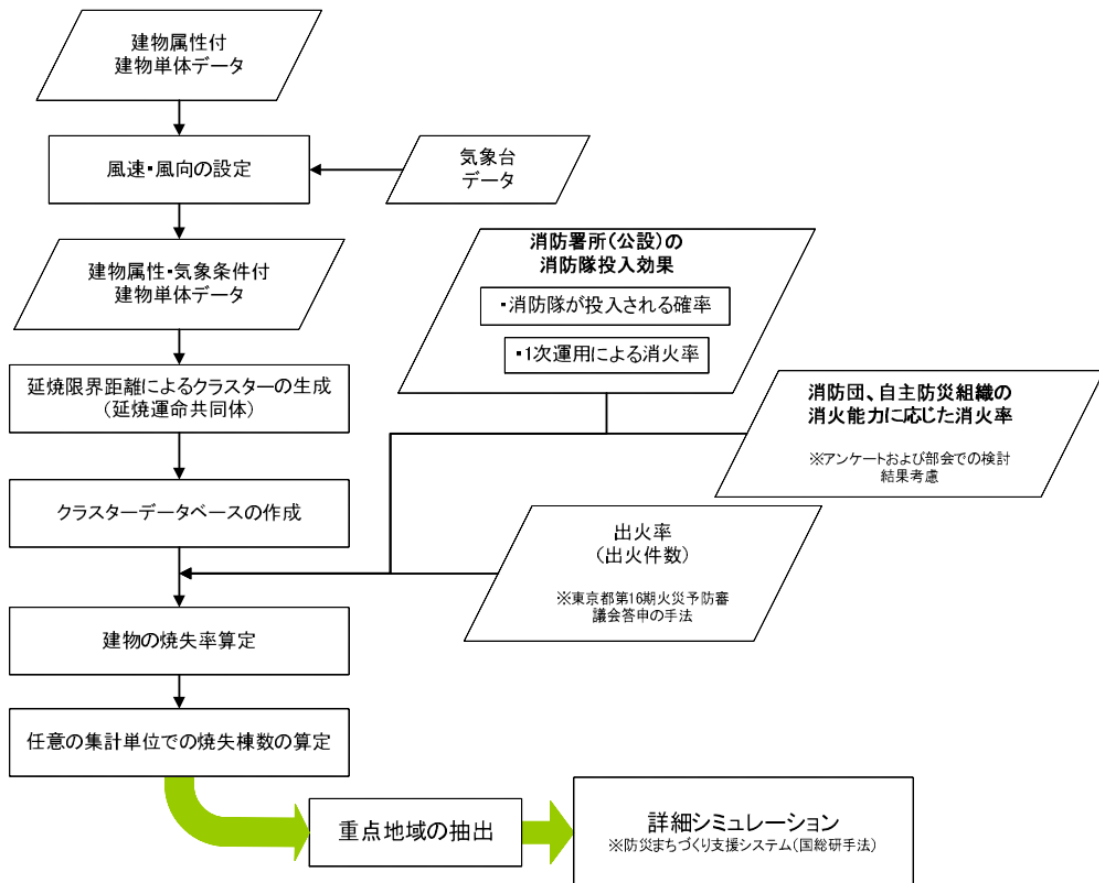
○横浜市(12)では、公設消防消火率について、消火件数が消防ポンプ車の台数を上回る場合、1隊(ポンプ車1台)1件を上回ることはないように修正

## 2-3. 焼失建物数

### (1) 損害保険料率算出機構(2006)・加藤ら(2006)の手法

○採用自治体：北海道(18) 埼玉県(14) 千葉県(16) 東京都(12) 新潟県(21) 静岡県(13) 愛知県(14) 三重県(14) 岡山県(14) 広島県(13) 徳島県(17) 佐賀県(15) 大分県(19) 宮崎県(20) 札幌市(21) さいたま市(14) 千葉市(17) 横浜市(12) 川崎市(13) 岡山市(13)

延焼クラスターに基づく地震火災リスク算定手法である。以下に川崎市(2013)の説明を抜粋する。



図Ⅲ-2-3-1 焼失棟数算出のフロー(川崎市, 2013)

#### ① 建物単体データへの構造属性割り当て

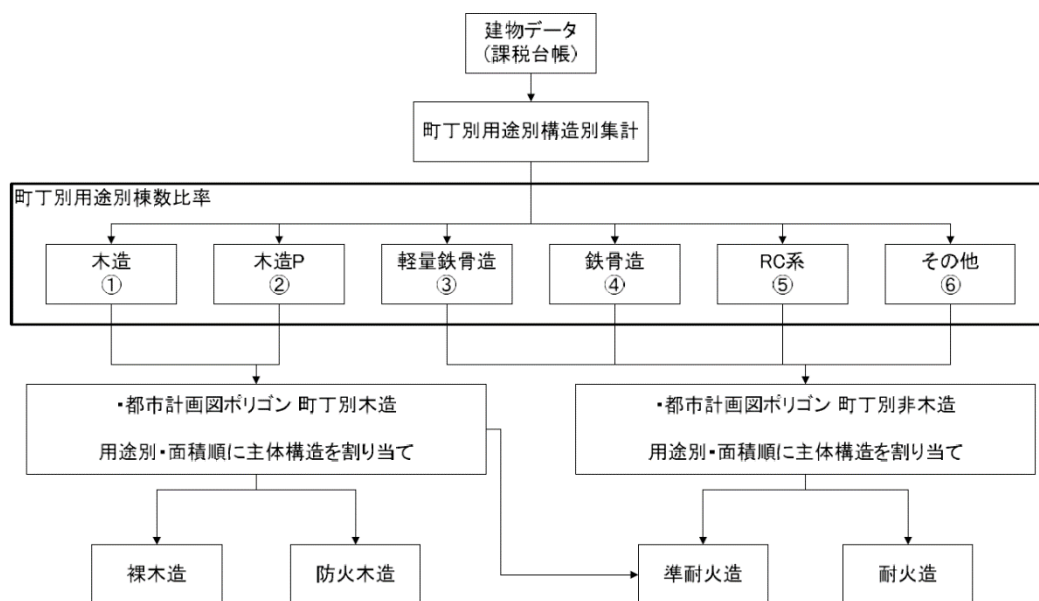
図Ⅲ-2-3-2のフローに沿って、各建物をその主体構造の構造区分に従い、裸木造、防火木造、準耐火造、耐火造に分類する。分類の定義は以下に基づく。

- ・ 建築工法区分のうち、枠組壁構造建物（ツーバイフォー）、プレハブ方式、簡易プレハブ方式は防火木造とする
- ・ 丸太組工法建物（ログハウス）はH14以前を防火木造、H15以降を準耐火造とする
- ・ 木造建物のうち建築工法区分が従来工法の場合は、建築年代に応じて裸木造（S45年以前）と防火木造（S46年以降）、準耐火造（S56年以降、かつ、地上3階以上）に分類

#### ② 建物クラスターデータベースの作成

構造及び気象属性を設定した建物単体データを用いて、延焼限界距離によるクラスターの生成を行う。隣棟間距離と延焼限界距離とを比較し、隣棟間距離が延焼限界距離以下であれば、同じクラスターに属するとして探索する。隣棟間で構造が異なる場合、延焼限界距離は両者の延焼限界距離の平均値とする。冬と夏の気象条件に基づきクラスターデータベースを作成する。





図Ⅲ-2-3-2 建物単体データへの属性割り当ての流れ(川崎市, 2013)

### ③地震火災リスク評価

地震火災リスク評価は次の手順で行う。

- メッシュ別出火件数を建物単体データに割り振り（出火項目ごとに、メッシュ単位における建物棟数で出火件数を除する）、建物単体における出火確率を設定する。
- a) の出火確率に消火率をかけ合わせ、消防効果を加味した建物単体における出火確率とする。
- 建物の焼失確率は、その建物が属するクラスターから1件以上出火する確率に等しいことから、クラスターを構成する建物を  $n$  棟、クラスターに属する建物の出火確率の平均値を  $\bar{p}$  とすると、各建物の焼失確率  $P$  は次の式で求められる。

$$P = 1 - \exp(-n\bar{p})$$

- 集計単位（メッシュ、丁目など）における焼失棟数の平均的な予測値  $x$  は、集計単位に含まれる建物の焼失確率  $P_j$  の総和に等しくなることから、次の式で求められる。

$$x = \sum P_k$$

### (2)大阪府(1997)・中央防災会議(2008)の手法

○採用自治体：秋田県(13) 栃木県(15) 奈良県(05) 三重県(14) 京都府(17) 兵庫県(14) 広島県(13) 山口県(14) 熊本県(13) 堺市(09) 広島市(14) 熊本市(14)

兵庫県南部地震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-2-3-1 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

### ■中央防災会議(2008)

以下の基本的な考え方を示した上で、被害を予測している。

- ・密集市街地が広域に連担している地区の特性や延焼遮断帯による焼け止まり効果を反映させて、隣接メッシュへの延焼拡大の可能性評価を行い、延焼対象領域を想定する。
- ・判断基準は、大阪府(1997)による手法(表Ⅲ-2-3-1)のとおりとする。
- ・延焼対象領域内のメッシュ地区ごとの不燃領域率に基づき、最終的に想定される焼失棟数を算定する。
- ・不燃領域率と焼失率の関係(風速毎秒3mの場合)には、兵庫県南部地震の被害実績や建設省総合技術開発プロジェクトによるシミュレーション結果から求められた大阪府(1997)の式を用いる。

$$\text{焼失率} = (-5/2) \times \text{不燃領域率} + 1 \quad (0 \leq \text{不燃領域率} \leq 0.20)$$

$$= (-2/3) \times \text{不燃領域率} + 19/30 \quad (0.20 < \text{不燃領域率} \leq 0.50)$$

$$= (-1/2) \times \text{不燃領域率} + 55/100 \quad (0.50 < \text{不燃領域率} \leq 0.70)$$

$$= (-1/3) \times \text{不燃領域率} + 13/30 \quad (0.70 < \text{不燃領域率} \leq 1.00)$$

$$\text{焼失棟数} = \text{低層建物数(木造建物} + 1 \cdot 2\text{階の非木造建物)} \times \text{焼失率}$$

また、風速毎秒15mのケースについて、次のように被害を予測している。

- ・延焼規模が拡大する風速毎秒15mのケース(関東大震災時と同様の風速)については、以下に基づき計算する。
  - －建設省総合技術開発プロジェクトによるシミュレーション結果から、風速が異なる場合の不燃領域率と焼失率との関係を比較すると、関東大震災時と同様のケースでは、焼失率が約2倍になると考えられる。
  - －このことから、風速毎秒3mのケースにおける焼失棟数の2倍を風速毎秒15mのケースにおける焼失棟数とする。(ただし、木造建物棟数+低層非木造建物棟数の総数を超えないものとする)
- ・風速毎秒3mのケースでは、各市町村の消防車保有台数と出火地点までの駆けつけ時間に応じた消防力の運用効果の検討を行っているが、以下より、消防力が実質的に全く機能しないものとして計算を行なう。
  - －阪神・淡路大震災時には、情報寸断等に伴い火災覚知が大幅に遅れた。発生後1時間経過しても全出火数の概ね6割程度しか覚知されていなかったことが確認されている。
  - －また、上水道供給停止による消火栓の機能停止や家屋被害等による密集市街地の道路の閉塞等、様々な消火活動支障が生じた。
- ・風速の設定に関する留意事項は次のとおり。
  - －今回は既往地震で火災による被害の大きかった関東大震災のときと同等の設定として、風速15m/sを採用した。
  - －建設省総合技術開発プロジェクトのシミュレーション結果によると、風速8m/s付近でも風速3m/sのときの焼失率の2倍程度になっており、15m/sよりも小さい風速の場合でも延焼被害はかなり大きくなる可能性があることを十分に注意しておく必要がある。

### (3) 神奈川県(1993)の手法

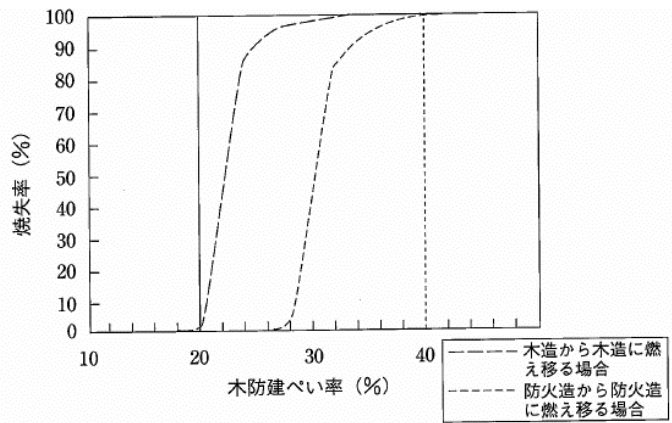
○採用自治体：神奈川県(15) 福井県(12) 鳥取県(18) 島根県(18) 長崎県(06)

延焼を250mメッシュ単位で評価し、木防建ぺい率との関係から求めた焼失率(建設省, 1997)から、メッシュ内での焼失建物棟数を算出する。

まず、消防による消火件数を考慮した後の出火点をメッシュの中心に置き、延焼速度式を用いて延焼地域を算出する。メッシュ間の燃え移りは大阪府(1997)を参照し、延焼しているメッシュの焼失率が30%以上の場合に、隣接メッシュに燃え移るとする。

上記により求めた延焼地域に対し、メッシュ内に存在する建物現況棟数と焼失率から、焼失棟数を求める。焼失率は、建設省(1997)による、木防建ぺい率と焼失率の関係を用いる。

図Ⅲ-2-3-3  
建設省(1997)による木防建ぺい率と焼失率の関係(島根県, 2018)

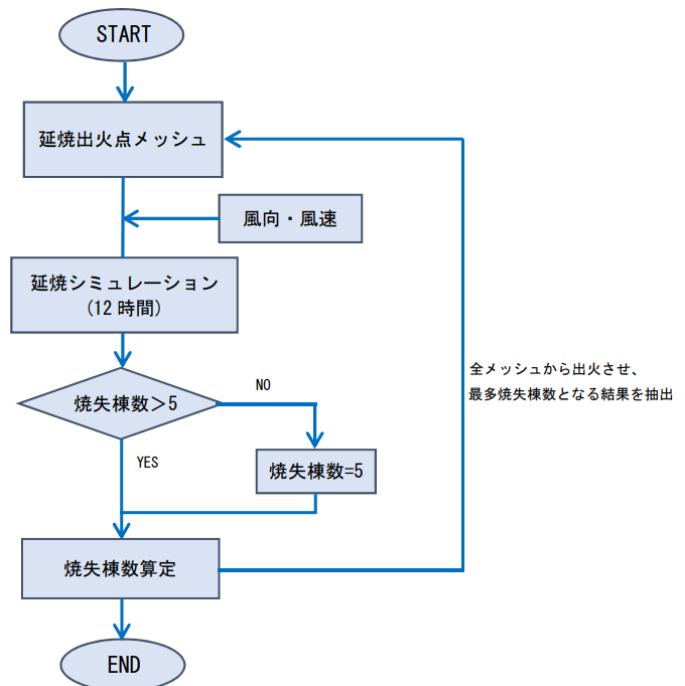


(4) 関沢ら(2001)の手法

○採用自治体：茨城県(18) 群馬県(12) 長野県(15) 鹿児島県(14)

消防庁消防大学校 消防研究センター 消防力最適運用支援情報システム(関沢ほか, 2001)の手法に基づく。建物1棟単位のシミュレーションが可能で、時系列の延焼範囲を予測し、焼失棟数を算定する。

右図に茨城県(2018)における延焼拡大の想定フローを示す。



図Ⅲ-2-3-4  
茨城県(2018)における延焼拡大の想定フロー(茨城県, 2018)

(5) 国土開発技術研究センター(1983)の手法

○採用自治体：宮城県(04) 福岡県(12) 沖縄県(14)

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  $S$  (%) を求める。

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。

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

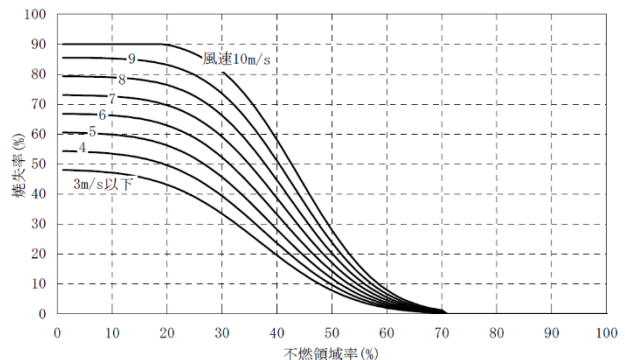
ただし、 $F > 70$  のとき  $S = 0$

$U < 3$  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-2-3-5 不燃領域率・風速と焼失率の関係(福岡県, 2012)

## (6) 富山県(2011)の手法

○採用自治体：青森県(16) 富山県(18) 香川県(14)

各250mメッシュに対して、延焼面積と建物棟数との関係から焼失棟数を算定している。

$$BFL = RFL \times (BW + BNWL)$$

ここで、BFL：焼失棟数

RFL：焼失率（延焼終了時点の延焼面積／メッシュ面積）

BW：メッシュ内の木造建物棟数

BNWL：メッシュ内の低層非木造建物棟数（2階以下）

○香川県(14)では、125mメッシュ単位で評価

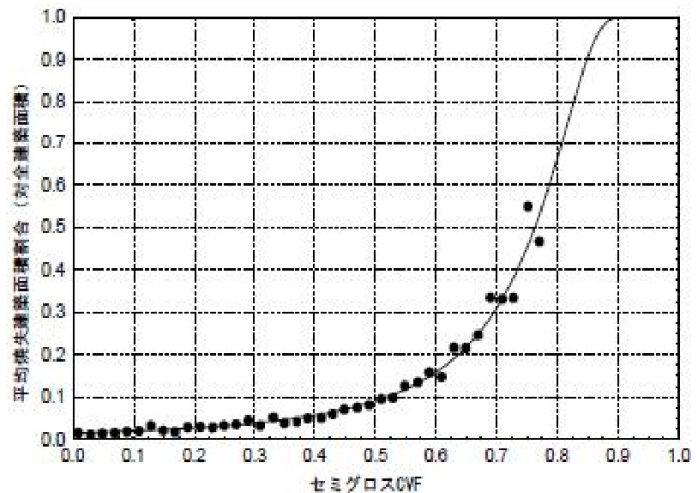
## (7) 国土交通省 防災まちづくり総プロ(2003)の手法

○採用自治体：大阪府(14)

大阪府(2014)では、火災延焼範囲の焼失棟数を、国土交通省「防災まちづくり総プロ」(2003)で開発されたCVF（Convering Volume Factor：燃焼抵抗率）を用いて算出した。延焼範囲内の各メッシュの平均焼失率は、下図に示すセミグロスCVFと平均焼失率の関係から求めた。

CVFは、建築物の周囲に建物構造や規模に応じた延焼限界距離の半分のバッファを発生させた際の面積（建物の防火上の構造や規模に応じて各建物の形状を拡張した部分以外の面積）が地区面積に占める割合を意味し、不燃領域率や木防建ぺい率と同様に、市街地防火性能評価の概ねの傾向を示すマクロ指標である。

セミグロスCVFは、CVF値の算定時に大規模な空地等を除外した市街地面積を用いて算出したものをいう。市街地防火性能はCVFよりセミグロスCVFの方が適切に表現できる。



図Ⅲ-2-3-6 セミグロスCVFと平均焼失率の関係(大阪府, 2014)

## (8) 樋本・田中(2006)の手法

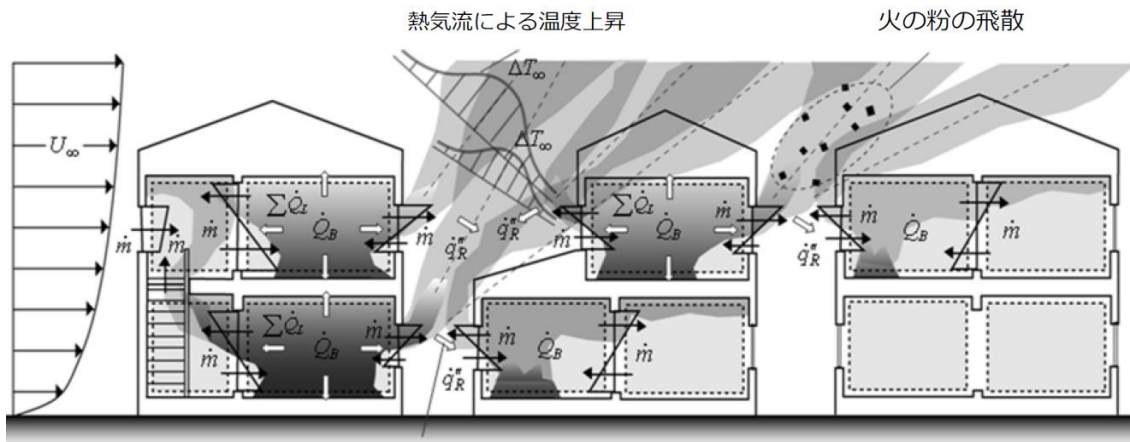
○採用自治体：高知県(13)

以下に高知県(2013)の解説を抜粋する。

ここでは、他の火災建物の熱的な影響下における個々の建物の火災性状を物理的知見に基づき予測することで、市街地全体の火災拡大性状の予測を行う計算モデルを使用する。同モデルの概要を下図に示す。同モデルは、建築火災安全工学の分野で建物内部の火災性状や煙流動性状予測に実績のあるゾーンモデルに、噴出火炎からの放射や対流による熱伝達、ならびに飛び火による延焼の効果を組み込むことで、市街地火災の延焼性状の予測を行う。個々の建物の形態や防火性能、隣接する建物との配置といった条件から、市街地風の風速・風向とその時間変化といった市街地火災性状に影響を及ぼす条件を反映させた計算を行うことができる。

(中略)

こうして全ての建物の燃焼が終わるまで計算を進める。この延焼シミュレーションは、モンテカルロシミュレーション（繰り返し計算）により1,000回の各種条件（出火点、気象条件（風向・風速））の設定を繰り返し行い、全計算結果を平均することで、メッシュごとの焼失リスクを算出する。



火災建物から吹き出した炎の熱が隣の建物に移る(輻射熱伝達)

※  $U_{\infty}$  : 風速 (m/s)     $\dot{m}$  : 酸素や可燃性ガスの流量 (kg/s)     $\dot{Q}_B$  : 発熱速度 (kW)  
 $\Sigma \dot{Q}_L$  : 失熱速度 (kW)     $\dot{q}_R$  : 輻射熱流束 (kW/m<sup>2</sup>)     $\Delta T_{\infty}$  : 熱気流による温度上昇 (K)

図Ⅲ-2-3-7 都市火災性状予測モデルの概念図(高知県, 2013)

### ○津波火災による出火件数の予測

中央防災会議(2021)では、以下の基本的な考え方を示した上で、廣井(2014)の手法により津波による出火件数を予測している。

- ・東日本大震災で発生した津波火災の実績に基づいて、津波による出火件数を定量的に推計

予測式は以下のとおり。

$$\begin{aligned} \text{津波火災件数} &= \text{車両火災件数} + \text{その他の火災件数} \\ \text{車両火災件数} &= \text{世帯当たり所有者台数} \times \text{浸水建物数} \times 0.000024 - 0.798 \\ \text{その他の火災件数} &= \text{浸水建物数} \times 0.000264 + \text{プロパン使用率} \times 1.080 \end{aligned}$$

廣井(2014)の手法は、東北地方太平洋沖地震で発生した津波火災の市町村別実績から作成されたもので、「車両からの出火による津波火災」と「車両火災以外の津波火災」は発生メカニズムが異なるため、出火件数を別々に算出して合算している。

### 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」の予測手法を整理する。

#### 3-1. 死傷者数

死傷者数の予測手法としては、発生要因別に死傷者数を予測し合算する手法と、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の2つに大別できる。近年は、多くの自治体で前者が採用されている。

##### (1) 建物被害による死傷者数

###### ①中央防災会議(2008)・中央防災会議(2013)の手法

○採用自治体：青森県(16) 秋田県(13) 茨城県(18) 栃木県(15) 埼玉県(14) 千葉県(16) 東京都(12) 神奈川県(15) 新潟県(21) 富山県(18) 長野県(15) 静岡県(13) 愛知県(14) 三重県(14) 京都府(17) 大阪府(14) 兵庫県(14) 鳥取県(18) 岡山県(14) 広島県(13) 山口県(14) 徳島県(17) 香川県(14) 愛媛県(13) 高知県(13) 佐賀県(15) 宮崎県(21) 鹿児島県(14) 沖縄県(14) 札幌市(21) さいたま市(14) 千葉市(17) 新潟市(15) 岡山市(13) 広島市(13) 熊本市(14)

###### ◇死者数

中央防災会議(2008)では、以下の基本的な考え方を示した上で、被害を予測している。

- ・木造建物と非木造建物では、死者等の発生の様相が異なることから、木造建物、非木造建物を区別し、それぞれの建物からの死者数・負傷者数を想定する。
- ・300人以上の死者の出た近年の5地震（鳥取地震、東南海地震、南海地震、福井地震、兵庫県南部地震）の被害事例から算出した全壊棟数と死者数との関係を使用

予測式は以下のとおり。

死者数 = 木造死者数 + 非木造死者数

木造死者数 =  $t_w$  × 市区町村別のゆれによる木造全壊棟数 × 木造建物内滞留率

非木造死者数 =  $t_n$  × 非木造全壊棟数 × 非木造建物内滞留率

木造建物内滞留率 = 発生時刻の木造建物内滞留人口 ÷ 朝5時の木造建物内滞留人口

非木造建物内滞留率 = 発生時刻の非木造建物内滞留人口 ÷ 朝5時の非木造建物内滞留人口

$$t_w = 0.0676 \quad t_n = 0.00840 \times \frac{P_{n0}}{P_{w0}} \times \frac{B_w}{B_n}$$

$P_{w0}$ : 夜間人口(木造)     $P_{n0}$ : 夜間人口(非木造)     $B_w$ : 建物棟数(木造)     $B_n$ : 建物棟数(非木造)

###### ◇負傷者数

中央防災会議(2008)では、以下の基本的な考え方を示した上で、被害を予測している。

- ・兵庫県南部地震時における建物被害率と負傷者率との関係を用いた大阪府(1997)の手法に従い、負傷者数を算出する。

予測式は以下のとおり。

負傷者数 = 木造負傷者数 + 非木造負傷者数

木造負傷者数 = 木造建物内滞留人口 × 負傷者率(木造)

非木造負傷者数 = 非木造建物内滞留人口 × 負傷者率(非木造)

負傷者率 = 0.12 × 揺れによる建物被害率 (0 ≤ 建物被害率 < 0.25)

負傷者率 = 0.07 - 0.16 × 揺れによる建物被害率 (0.25 ≤ 建物被害率 < 0.375)

負傷者率 = 0.01 (0.375 ≤ 建物被害率)



※負傷者率は木造／非木造別に算出  
 揺れによる建物被害率 = 揺れによる全壊率 + 1/2 × 揺れによる半壊率

◇重傷者数

中央防災会議(2008)では、以下の基本的な考え方を示した上で、被害を予測している。

- ・兵庫県南部地震時における市区別の（揺れ・液状化による）建物全壊率と重傷者率との関係を用いて重傷者数を算出する。
- ・その際、市区別建物全壊率は、旧建設省建築研究所による調査データを活用した。

予測式は以下のとおり。

$$\begin{aligned} \text{重傷者数} &= \text{木造重傷者数} + \text{非木造重傷者数} \\ \text{木造重傷者数} &= \text{木造建物内滞留人口} \times \text{重傷者率(木造)} \\ \text{非木造} &= \text{非木造} \times \text{重傷者率(非木造)} \\ \text{重傷者率} &= 0.0309 \times \text{揺れによる建物全壊率} \\ &\text{※重傷者率は木造／非木造別に算出} \end{aligned}$$

■中央防災会議(2013)

以下の基本的な考え方を示した上で、負傷者数・重傷者数の予測式を更新した。

- ・近年の地震の鳥取県西部地震、新潟県中越地震、新潟県中越沖地震、能登半島地震、岩手・宮城内陸地震の主な被災市町村、東北地方太平洋沖地震の内陸被災市町村の建物被害数（全壊棟数、全半壊棟数）と負傷者数・重傷者数との関係を使用する。

予測式は以下のとおり。

◇負傷者数

$$\begin{aligned} \text{木造建物における負傷者数} &= 0.177 \times \text{揺れによる木造全半壊棟数} \times \alpha_w \times \beta_w \\ \text{非木造建物} &= 0.177 \times \text{揺れによる非木造全半壊棟数} \times \alpha_n \times \beta_n \\ \text{木造建物内滞留率} \alpha_w &= \text{発生時刻の木造建物内滞留人口} \div \text{朝5時の木造建物内滞留人口} \\ \text{非木造建物内滞留率} \alpha_n &= \text{発生時刻の非木造建物内滞留人口} \div \text{朝5時の非木造建物内滞留人口} \\ \beta_w &= \text{建物1棟当たり滞留人口の全建物に対する木造建物の比率時間帯別} \\ &= \text{木造建物1棟あたりの滞留人口} / \text{全建物1棟あたりの滞留人口} \\ \beta_n &= \text{建物1棟当たり滞留人口の全建物に対する非木造建物の比率時間帯別} \\ &= \text{非木造建物1棟あたりの滞留人口} / \text{全建物1棟あたりの滞留人口} \end{aligned}$$

◇重傷者数 ・ 負傷者数の係数0.177を0.1に変更

○千葉県(16) 静岡県(13)では、堀江ら(2003)、山口・山崎(2000)を参考に、死者数の予測式の係数を見直し（木造の係数  $t_w$  0.0676⇒0.225 非木造の係数  $t_n$  0.00840⇒0.056）

②中央防災会議(2005)の手法

○採用自治体：群馬県(12) 福井県(12) 山梨県(05) 岐阜県(13) 山梨県(05) 熊本県(13)

◇死者数

300人以上の死者が発生した5地震（鳥取地震、東南海地震、南海地震、福井地震、兵庫県南部地震）の被害事例から求められた全壊棟数と死者数との関係を使用している。非木造は、全壊に占める倒壊の割合が木造よりも小さいため、木造の係数の概ね1/3程度の係数としている。

予測式は以下のとおり。

$$\begin{aligned} \text{死者数 (木造)} &= 0.0676 \times \text{木造全壊棟数} \times (\text{木造建物内滞留人口} / \text{夜間人口}) \\ \text{〃 (非木造)} &= 0.0240 \times \text{非木造} \quad \text{〃} \quad \times (\text{非木造} \quad \text{〃} \quad / \quad \text{〃} \quad ) \end{aligned}$$

#### ◇重傷者数

兵庫県南部地震時における市区別の建物全壊率と重傷者率との関係より算出している。各市区別の建物全壊率データは、旧建設省建築研究所の調査結果を利用した。

予測式は以下のとおり。

$$\text{重傷者率} = 0.0309 \times \text{建物全壊率}$$

### ③東京都(1997)の手法

○採用自治体：宮城県(04) 長崎県(06) 大分県(19) 横浜市(12)

兵庫県南部地震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。建物倒壊によって閉じ込められ、火災により亡くなる人は含んでいないが、屋内収容物（家具類）の移動・転倒による死者を含んでいる。

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

$$\text{非木造} \quad \text{〃} \quad (\%) = 0.0078 \times \text{非木造建物大破率(\%)}$$

なお、予測式には以下の仮定が含まれている。

- ・非木造建物による死者数は、兵庫県南部地震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。

### ④中央防災会議(2006)の手法

○採用自治体：北海道(19)

#### ◇死者数

以下の基本的な考え方を示した上で、被害を予測している。

- ・本被害想定で対象とする地震は、過去の事例において数千人規模の死者が出ていない。このため、本検討においては、大規模な地震の被害実態に基づく従来手法ではなく、中小規模の地震の被害実態に基づく全壊棟数と建物倒壊による死者数の関係を採用する。
- ・1952年以降発生した全壊棟数50棟以上5,000棟未満の地震のうち、揺れ以外の要因（液状化、土砂崩れ、津波等）による被害の大きい地震および建物倒壊による死者がない地震を除外
- ・7地震（1952年十勝沖地震、1968年十勝沖地震、1978年宮城県沖地震、1993年釧路沖地震、1994年三陸はるか沖地震、2001年芸予地震、2004年新潟県中越地震）における全壊棟数と建物倒壊による死者数の関係を使用
- ・建物倒壊による死者数は、揺れによる建物全壊に伴う死者だけではなく、屋内落下物や外壁、ベランダの倒壊による死者を含む（但し、土砂災害による建物倒壊に伴う死者は除外）
- ・地震による全壊棟数の要因別内訳を把握することは困難であるが、1978年宮城県沖地震と2004年新潟県中越地震については、下記のとおり全壊棟数を補正している。
  - 1) 宮城県沖地震は、宮城県地震被害想定調査における再現計算の揺れと液状化による全壊棟数の比率を考慮して、揺れによる全壊棟数を抽出
  - 2) 新潟県中越地震は、全壊棟数と建物倒壊による死者数を市町村別に分類し、土砂災害による全壊棟数を差し引いた値を採用。建物倒壊による死者がない市町村は除外
- ・従来手法では小数第4位まで算出しているが、本検討では安全側の想定により小数第3位を切り上げている。
- ・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、木造の係数の概ね1/3程



度の係数としている。

予測式は以下のとおり。

$$\begin{aligned} \text{死者数 (木造)} &= 0.01 \times \text{木造全壊棟数} \times (\text{木造建物内滞留人口} / \text{夜間人口}) \\ \text{〃 (非木造)} &= 0.003 \times \text{非木造} \times (\text{非木造} / \text{〃}) \end{aligned}$$

※重傷者数の予測式は前記の中央防災会議(2005)と、負傷者数は中央防災会議(2008)と同じ。

### ⑤損害保険料率算出機構(2001)の手法

○採用自治体：島根県(18) 川崎市(13)

震災特別委員会基準と自治体基準それぞれの建物被害と死傷者率の関係を整理している。死者・重傷などの大きな被害には震災特別委員会、軽傷には自治体基準の相関が良いとしている。

表Ⅲ-3-1-1 建物被害による人的被害の回帰式(損害保険料率算出機構, 2001)

人的被害y 建物被害x		死亡率	死亡+ 入院率	死亡+ 重傷率	死亡+ 重軽傷率
震災特別委員会低層 建物全壊・大破率(N=13)		y=0.0223x (R=0.939)	y=0.0305x (R=0.946)	y=0.0495x (R=0.918)	y=0.0950x (R=0.304)
自治体 罹災証明 (N=42)	全壊率	y=0.0155x (R=0.903)	y=0.0207x (R=0.886)	y=0.0342x (R=0.875)	y=0.0900x (R=0.700)
	全半壊率	y=0.0070x (R=0.798)	y=0.0094x (R=0.789)	y=0.0158x (R=0.789)	y=0.0464x (R=0.753)

・Nは対象としている市区町村数、Rは相関係数

### ⑥田畑・岡田(2007)の手法

○採用自治体：北海道(18)

木造低層建物の死者数の予測式は次のとおり。

$$Dr(x, y) = ae^{bx} + cxy^2$$

x：損傷度 (0.6未満の半壊以下では死者は発生しないとしてカウントしない)

y：周辺全壊率      a b c：住宅形式ごとの係数(下表)

表Ⅲ-3-1-2 予測式の係数(北海道, 2018)

住宅形式	木造独立	木造集合(長屋・共同建)
a	0.0104	0.000580
b	6.68	9.32
c	11.0	6.69

## (2)地震火災による死傷者数

### ①中央防災会議(2013)の手法

○採用自治体：北海道(18) 青森県(16) 秋田県(13) 茨城県(18) 栃木県(15) 埼玉県(14) 千葉県(16) 神奈川県(15) 新潟県(21) 富山県(18) 長野県(15) 静岡県(13) 愛知県(14) 三重県(14) 京都府(17) 大阪府(14) 鳥取県(18) 岡山県(14) 広島県(13) 山口県(14) 徳島県(17) 香川県(14) 愛媛県(13) 高知県(13) 佐賀県(15) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) 沖縄県(14) 札幌市(21) さいたま市(14) 千葉市(17) 新潟市(15) 岡山市(13) 広島市(13)

#### ◇死者数

以下の3つのシナリオの死者数を予測している。(ダブルカウントは除去)

##### (ア)炎上出火家屋からの逃げ遅れ

炎上出火家屋内から逃げ遅れた死者数 = 0.046 × 出火件数 × 屋内滞留人口比率

屋内滞留人口比率 = 発生時刻の屋内滞留人口 ÷ 屋内滞留人口の24時間平均

※係数0.046は、平成17～22年の5年間の全国における1建物出火(放火を除く)当たりの死者数

##### (イ)倒壊後に焼失した家屋内の救出困難者

閉込めによる死者数 = 倒壊かつ焼失家屋内の救出困難な人 × (1 - 生存救出率(0.387))

倒壊かつ焼失家屋内の救出困難な人 = (1 - 早期救出可能な割合(0.72))

× 倒壊かつ焼失家屋内の要救助者数

〃 の要救助者数 = 建物倒壊による自力脱出困難者数

× (倒壊かつ焼失の棟数 / 倒壊建物数)

##### (ウ)延焼拡大時の逃げまどい

$\log \{ (\text{全潰死者数} + \text{火災死者数}) / (\text{全潰死者数}) \} = 1.5 \times \text{世帯焼失率}$

※諸井・武村(2004)による関東大震災における「火災による死者の増加傾向」に係る推定式

#### ◇負傷者数

以下の2つのシナリオの負傷者数を予測している。

##### (ア)炎上出火家屋からの逃げ遅れ

出火直後の火災による重傷者数 = 0.075 × 出火件数 × 屋内滞留人口比率

〃 軽傷者数 = 0.187 × 〃 × 〃

屋内滞留人口比率 = 発生時刻の屋内滞留人口 ÷ 屋内滞留人口の24時間平均

##### (イ)延焼拡大時の逃げまどい

延焼火災による重傷者数 = 0.0053 × 焼失人口

〃 軽傷者数 = 0.0136 × 〃

焼失人口 = 市区町村別焼失率 × 発生時刻の市区町村別滞留人口

#### ②東京都(1997)の手法

○採用自治体：北海道(18) 宮城県(04) 群馬県(12) 東京都(12) 福井県(12) 長崎県(06) 仙台市(02) 横浜市(12) 川崎市(13) 熊本市(14)

出火直後の火災と延焼火災に区分して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。

出火直後の火災による死者数 = 0.078 × 出火件数

〃 重傷者数 = 0.238 × 〃

〃 軽傷者数 = 0.596 × 〃

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。

延焼火災による死者数 = 0.8423 × 単位時間あたりの焼失棟数 - 158.96

〃 重傷者数 = 0.053 × (0.5206 × 焼失棟数 - 253.37)

〃 軽傷者数 = 0.137 × (〃)

### ③静岡県(2001)の手法

○採用自治体：宮城県(04) 山梨県(05) 奈良県(05) 島根県(18) 大分県(19)

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事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-3-1-3 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	
奈良県(05)	0.055	0.21	あり
島根県(18)	0.051	0.173(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)	
大分県(19)	0.067	0.202(5.3:13.7)	

(注) 負傷者の( )内の数字は重傷と中等傷(または軽傷)の比率を表す

### ④兵庫県(2010)の手法

○採用自治体：兵庫県(14)

焼死者の予測式は以下のとおり。

$$\text{(風速が6m/s以上の場合)} \quad \text{焼死者} = 0.12 \times \text{焼失棟数}$$

$$\text{(風速が6m/s未満の場合)} \quad \text{焼死者} = 0.06 \times \text{焼失棟数}$$

係数の設定理由について、以下のように説明している。

- ・兵庫県南部地震で火災が起きた地域では全壊率は多く見積もっても3割程度なので、仮に1,000棟あった地域では300棟が全壊したことになる。この場合、兵庫県南部地震では約10万棟全壊して約5,000人が倒壊死しているの、この地域では15人が倒壊で死亡したことになる。
- ・一方、火災が発生した地域では約7,000棟が焼失して550人が死亡したということなので、この1,000棟の地域では80人が死亡したことになる。
- ・その80人と15人の差が火災による焼死者ということになるので、1,000棟焼失あたり65人が焼死者という結果が出る。つまり、1棟あたり0.065人ということになる。なお、誤差の大きい推定でもあることから、ここでは0.06とする。
- ・風速が6m/s以上の場合については、過去の地震被害による事例(関東大震災、北丹後地震、善光寺地震、庄内地震の酒田等)では、焼失1棟あたり0.1~0.5人程度焼死している。
- ・また、取り囲まれ型は、閉じ込められ型の2倍程度の焼死者が出ると想定されている。
- ・これらのことから、取り囲まれ型が発生し始める風速が6m/s以上の場合では、風速が6m/s未満の場合の約2倍として、1棟あたり0.12人の焼死者率とした。

### (3)津波による死傷者数

ここでは、東北地方太平洋沖地震の知見を反映した津波による死傷者数の予測手法をまとめる。

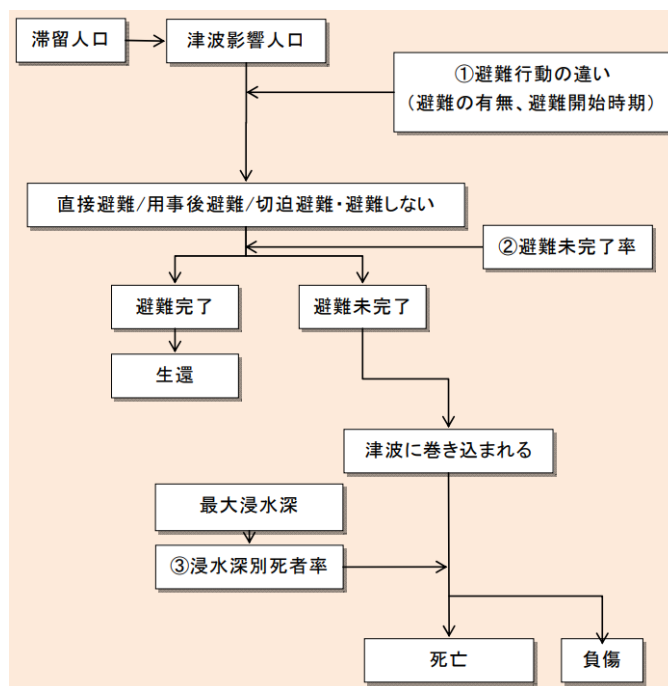
#### ①中央防災会議(2013)の手法

○採用自治体：青森県(16) 秋田県(13) 茨城県(18) 千葉県(16) 神奈川県(15) 新潟県(21) 静岡県(13) 愛知県(14) 三重県(14) 京都府(17) 大阪府(14) 兵庫県(14) 鳥取県(18) 岡山県(14) 広島県(13) 山口県(14) 香川県(14) 愛媛県(13) 高知県(13) 大分県(19) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) 横浜市(12) 岡山市(13) 広島市(13)

以下の基本的な考え方を示した上で、被害を予測している。

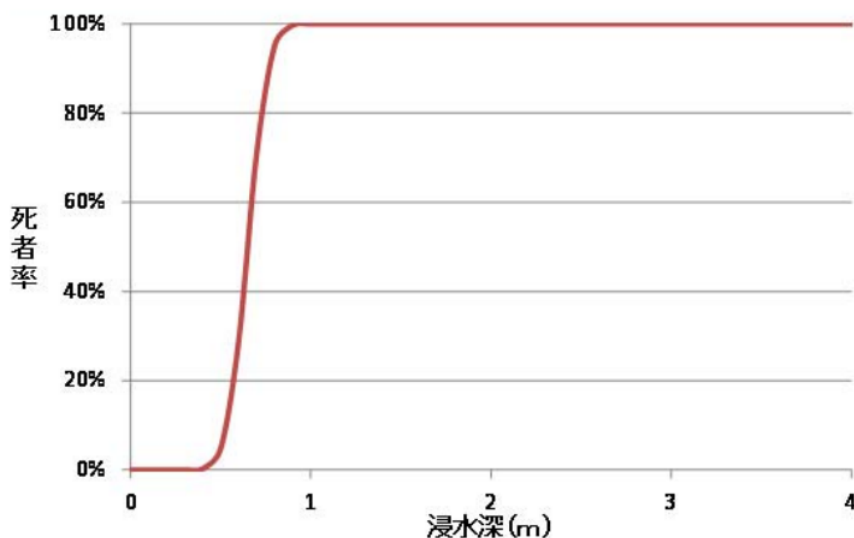
- ・ 津波浸水域において津波が到達する時間（浸水深30cm以上）までに避難が完了できなかった者を津波に巻き込まれたものとし、そこでの浸水深をもとに死亡か負傷かを判定する。
- ・ 避難行動（避難の有無、避難開始時期）、津波到達時間までの避難完了可否、津波に巻き込まれた場合の死者発生度合、の3つに分けて設定
- ・ なお、揺れによる建物倒壊に伴う自力脱出困難者は津波からの避難ができないものとする。

被害予測フローは以下のとおり。



図Ⅲ-3-1-1 被害予測フロー(中央防災会議, 2013)

また、津波に巻き込まれた際の死者率（浸水深別死者率）は下図のとおり。なお、生存した人も全員が負傷するものと仮定する。負傷者における重傷者と軽傷者の割合は、北海道南西沖地震の奥尻町の事例を参考に、重傷者数：軽傷者数＝34：66とする。

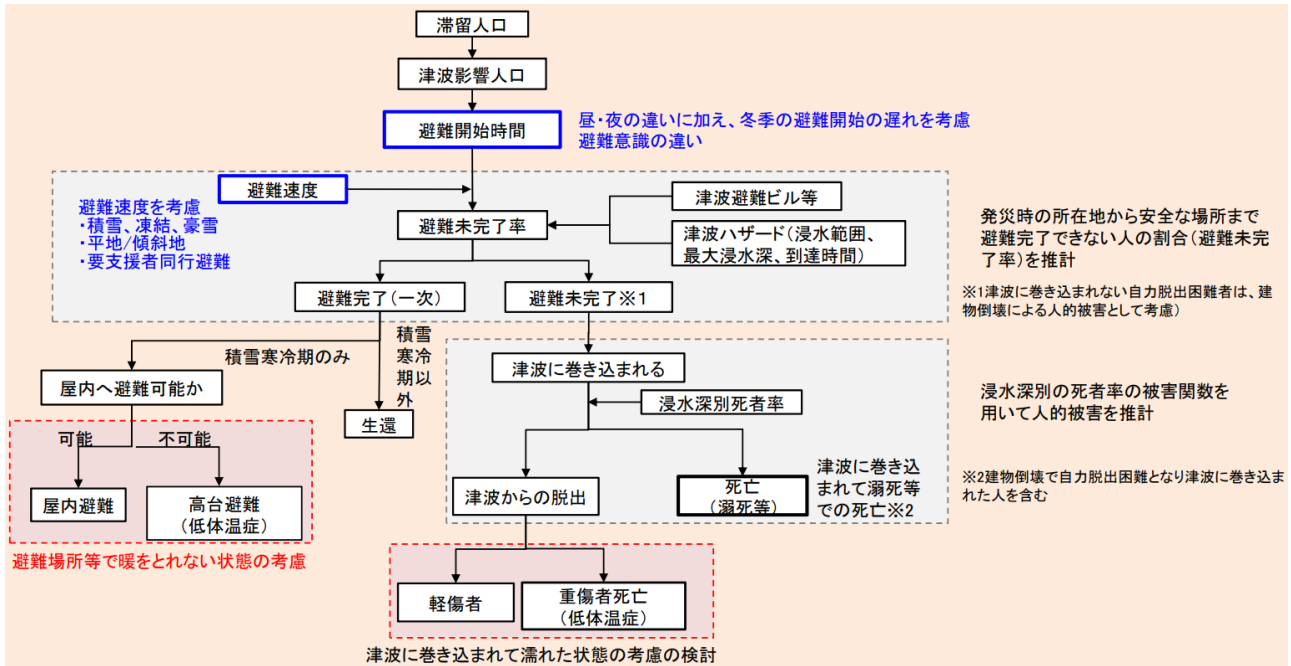


図Ⅲ-3-1-2 津波に巻き込まれた際の死者率(中央防災会議, 2013)

## ②中央防災会議(2021)の手法

以下の基本的な考え方を示した上で、被害を予測している。

- ・津波浸水域において津波が到達する時間（浸水深30cm以上）までに避難が完了できなかった者を津波に巻き込まれたものとし、そこでの浸水深をもとに死亡か負傷かを判定する。
- ・避難行動（避難の有無、避難開始時期）、津波到達時間までの避難完了可否、津波に巻き込まれた場合の死者発生度合の3つに分けて設定
- ・津波に巻き込まれて脱出した場合や屋内に避難できなかった場合に、低体温症となるリスクが高まる点も考慮する。
- ・なお、揺れによる建物倒壊に伴う自力脱出困難者は津波からの避難ができないものとする。



図Ⅲ-3-1-3 被害予測フロー(中央防災会議, 2021)

## (4)斜面崩壊による死傷者数

### ①東京都防災会議(1991)・中央防災会議(2013)の手法

○採用自治体：北海道(19) 青森県(16) 秋田県(13) 茨城県(18) 栃木県(15) 群馬県(12) 埼玉県(14) 千葉県(16) 東京都(12) 神奈川県(15) 新潟県(21) 富山県(18) 福井県(12) 長野県(15) 岐阜県(18) 静岡県(13) 愛知県(14) 三重県(14) 京都府(17) 奈良県(05) 大阪府(14) 兵庫県(14) 鳥取県(18) 島根県(18) 岡山県(14) 広島県(13) 山口県(14) 徳島県(17) 香川県(14) 愛媛県(13) 高知県(13) 佐賀県(15) 熊本県(13) 鹿児島県(14) 沖縄県(14) 札幌市(21) さいたま市(14) 千葉市(17) 横浜市(12) 川崎市(13) 新潟市(15) 岡山市(13) 広島市(13) 熊本市(14)

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。ここで対象とし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。

崖崩れによる死者数 =  $0.098 \times$  被害棟数

崖崩れによる負傷者数 =  $1.25 \times$  崖崩れによる死者数

※負傷者のうち重傷と軽傷は50%ずつ発生するものとしている。

### ■中央防災会議(2013)

以下の基本的な考え方を示した上で、崖崩れによる死傷者数を予測している。

- ・揺れにより引き起こされた斜面の崩壊（崖崩れ）により家屋が倒壊し、それに伴って死者が発生する場合を想定する。
- ・地震発生時刻の建物内滞留状況について考慮する。

予測式は以下のとおり。

$$\begin{aligned} \text{死者数} &= 0.098 \times \text{急傾斜地崩壊による全壊棟数} \times 0.7 \times \text{木造建物内滞留者人口比率} \\ \text{負傷者数} &= 1.25 \times \text{死者数} \\ \text{重症者数} &= \text{負傷者数} \div 2 \\ \text{木造建物内滞留者人口比率} &= \text{発生時刻の木造建物内滞留人口} \end{aligned}$$

## ②静岡県(2001)の手法

○採用自治体：山梨県(05) 大分県(19)

伊豆大島近海地震での東伊豆町・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は、望月ら(1982)による新潟地震、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。

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

- 山梨県(05)では、上式のもととなったデータの補正として、[山梨県における1世帯当たり屋内人員 / 伊豆大島近海地震時における1世帯当たり人員(3.51人)]を乗じた。警戒宣言時対応係数は0.653
- 大分県(19)では、上式のもととなったデータの補正として、[(県内の市町村別の時間帯別1世帯当たり住宅内人員) / (伊豆大島近海地震時における1世帯当たり人員(3.51人))]を乗じた。時間帯別1世帯当たり住宅内人員は、国勢調査・事業所統計データより、急傾斜地地点における人口動態と時間別人口から求めた。

## ③福岡県(2012)の手法

○採用自治体：福岡県(12)

斜面崩壊による被災建物棟数に一棟当りの人口に、在宅率、死亡率（死傷者のうち死者の割合）・負傷者率（同負傷者の割合）を乗じて予測している。

$$\begin{aligned} \text{死者数} &= \text{被災建物棟数} \times \text{一棟当たり人口} \times 0.42 \times 0.8 \\ \text{負傷者数} &= \quad \quad \quad \times \quad \quad \quad \times 0.42 \times 0.2 \end{aligned}$$

NHK放送文化研究所(1996)の生活時間調査より夕方5時～6時の九州地区の平均在宅率は、約42%である。被災建物における在宅者のすべてが死傷するものとした。斜面崩壊による人的被害の状況（下表）から 死者数：負傷者数＝8：2 とした。

表Ⅲ-3-1-4 過去の地震時の斜面崩壊による死傷者数(福岡県, 2012)

地震名	地区名	全壊	死者	負傷	出典
北海道南西沖(1993年)	奥尻町奥尻地区	6	28	13	全国消防長会(1994)
長野県西部(1984年)	大滝村	14	29	5*1	宇佐美(1987)
伊豆大島近海(1978年)	河津町見高入谷	4	7	2*2	土木研究所(1982)
伊豆半島沖(1974年)	南伊豆町中木	16	27	8*3	宇佐美(1987)

負傷者注) \*1: 大滝村の重軽傷者数  
\*2: 河津町の重傷者数  
\*3: 中木地区の負傷者

(5) 鉄道災害による死傷者数

①河田ら(1996)・東京都(1997)の手法

○採用自治体: 東京都(12)

東京都(1997)では、兵庫県南部地震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ら(1996)などの研究を参考に被害を予測している。鉄道被害の発生率(=鉄道被害数/運行列車数)は、兵庫県南部地震の被害事例から下表のように設定した。

表Ⅲ-3-1-5 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%

予測式は以下のとおり。

$$\text{区市町村別列車被害本数} = \text{区市町村別総列車本数} \times \text{震度}i\text{域における鉄道脱線発生率} \\ \times \text{震度}i\text{域の面積} / \text{区市町村総面積}$$

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。

$$\text{死者数} = [\star] \times \text{死亡率}(0.084\%)$$

$$\text{負傷者数} = [\star] \times \text{負傷率}(5.209\%)$$

$$[\star] = [\text{列車被害本数(上り)} \times 1 \text{本あたり乗客数(上り)} \\ + \text{列車被害本数(下り)} \times 1 \text{本あたり乗客数(下り)}]$$

- ・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から設定
- ・重傷者数と軽傷者数の割合は、兵庫県南部地震から1:4として配分

②中央防災会議(2008)の手法

以下の基本的な考え方を示した上で、死傷者数を予測している。

- ・駅間滞留人口に兵庫県南部地震時の脱線事故発生率及び過去の列車事故時の死傷者発生率を乗じて、死傷者数を算出する。

予測式は以下のとおり。

$$\text{死傷者数} = \sum \text{駅間滞留人口} \times \text{列車脱線率} \times \text{死傷者発生率}$$

◇駅間滞留人口



- ・大都市交通センサス及びパーソントリップ調査の結果を用いて、鉄道で移動中の人数を時間帯別（5時台、8時台、12時台、18時台）に求める。

#### ◇列車脱線率

- ・JR在来線・私鉄・地下鉄については、震度6強以上のエリア内の全路線における、地震発生の瞬間の乗車人数を対象として算出する。
- ・脱線予測においては、比較的深度の浅い地下鉄は、地表と同じ震度を受けるものと想定。その他の比較的深部を通る地下鉄は地表震度より1ランク差し引く。
- ・JR新幹線の脱線条件については、十分な事態把握あるいは研究成果が得られていないため、ここでは仮にJR在来線と同じ脱線発生率とする。

表Ⅲ-3-1-6 列車脱線率(中央防災会議, 2008)

震度	阪神・淡路大震災時の実態		脱線率
	運行列車本数	脱線数	
7	14	13	92.9%
6強	13	3	23.1%
6弱	65	0	0

(出典)「地震発生時における人命危険要因の解明と対策」火災予防審議会、東京消防庁 (H11)

#### ◇死傷者率

- ・JR在来線、私鉄は、過去の列車脱線事故、列車衝突事故における死傷者数の分布から求める。
- ・新幹線は、「1998年ドイツのICE脱線事故(エシュデ事故)の死傷者数」「新潟県中越地震の上越新幹線の脱線事故事例の死傷者数」「JR在来線・私鉄の過去の列車脱線事故・衝突事故における死傷者数の分布」から求める3パターンの死傷者率により検討する。ICE脱線事故の事例は約200km/hで走行中の場合の想定であるため、被害想定の対象範囲における震度6強エリア区間の新幹線のスピードと比較して、死傷率を設定する。
- ・地下鉄の死者率、負傷者率、重傷者率については、在来線列車の半分と仮定する。

表Ⅲ-3-1-7 死傷者率(中央防災会議, 2008)

列車種別	死者率	負傷者率 (重傷者含む)	重傷者率
ア. 在来線、私鉄	0.18%	11.8%	1.9%
イ. 新幹線			
ドイツICE事故	34%	66%	26%
上越新幹線脱線事故	0%	0%	0%
在来線、私鉄	0.18%	11.8%	1.9%
ウ. 地下鉄 (=ア÷2)	0.09%	5.9%	0.95%

### (6) 道路災害による死傷者数

#### ① 中央防災会議(2008)の手法

○採用自治体：兵庫県(14)

以下の基本的な考え方を示した上で、死傷者数を予測している。

- ・道路被害は、「揺れによるドライバーのハンドル操作ミスによる交通事故に伴う死傷者数」と、「橋梁の落橋・倒壊に伴う事故による死傷者数」より算定する。



- ・震度6強以上の地域にて、道路交通による人的被害が発生すると仮定する。

(ア) 揺れによるドライバーのハンドル操作ミスによる交通事故に伴う死傷者数

予測式は以下のとおり。

$$\text{死傷者数} = \text{事故1件当り死傷者数} \times \text{震度6強以上エリア内走行自動車台数} \\ \times \text{人身事故発生率}$$

◇事故1件当り死傷者数

- ・揺れによるハンドル操作ミスによる被害は一定の速度以上で発生すると考えられること及び一般道における死傷者発生率を算出できるデータが無いことを踏まえ、平常時の高速道路における重傷者以上の事故1件あたりの死傷者数を算定

表Ⅲ-3-1-8 高速道路における重傷者が発生した事故1件あたりの死傷者数(中央防災会議, 2008)

西暦年	重傷者が発生した事故件数	死者		負傷者		重傷者	
		人数 (人)	事故1件 あたり (人/件)	人数 (人)	事故1件 あたり (人/件)	人数 (人)	事故1件 あたり (人/件)
1997	1,033	397	0.38	18,471	17.88	1,278	1.24
1998	1,063	366	0.34	19,259	18.12	1,304	1.23
1999	1,155	323	0.28	21,079	18.25	1,423	1.23
2000	1,194	367	0.31	23,181	19.41	1,444	1.21
2001	1,165	389	0.33	23,888	20.50	1,428	1.23
2002	1,193	338	0.28	22,875	19.17	1,469	1.23
2003	1,077	351	0.33	22,661	21.04	1,378	1.28
2004	1,003	329	0.33	22,119	22.05	1,273	1.27
2005	931	285	0.31	21,931	23.56	1,119	1.20
2006	860	262	0.30	22,007	25.59	1,040	1.21
合計	10,674	3,407	<b>0.32</b>	217,471	<b>20.37</b>	13,156	<b>1.23</b>

(出典) 交通統計 平成18年版

◇震度6強以上エリア内走行自動車台数

- ・道路交通センサス「箇所別基本表」を用いて、路線別・各時間帯別の一時間あたり交通量を算出
- ・求めた路線別・時間帯別の一時間あたり交通量に、震度6強以上エリアの通過時間をかけて、震度6強地域内の走行自動車台数を算出

◇人身事故発生率

- ・危険を感じた人のうち傷害を起こす人の割合は0.114%と設定(「新版自動車事故工学」江守一郎)
- ・ドライバーが危険を感じる条件として、震度6強以上と仮定

(イ) 橋梁の落橋・倒壊に伴う事故による死傷者数

予測式は以下のとおり。

$$\text{死傷者数} = \text{自動車事故件数} \times \text{平均乗車人数} \times \text{死傷者率} \\ \text{自動車事故件数} = \text{被害箇所数} \times \{ \text{平均橋梁延長} + \text{自動車停止距離} \} \\ \times \text{単位距離あたりの交通量}$$

◇平均乗車人数、死傷者率

- ・平均乗車人数は1人とした。
- ・死傷者率は、兵庫県南部地震時の被害率実態を踏まえて設定された大阪府(1997)の方法を利用(死者率 2.6% 負傷者率 14.2% 重傷者率 5.6%)

◇被害箇所数

- ・兵庫県南部地震の被害実態をふまえ、震度6強以上のエリアで道路施設被害が発生するとした。
- ・耐震補強の有無別被害率は、兵庫県南部地震時における準拠基準年次別の被災度から推定

(被害箇所数) = (橋脚・橋梁数)

× [ (旧基準準拠橋脚被害率) × { 1 - (新基準に該当する橋脚の割合) } ]

+ (新基準準拠橋脚被害率) × (新基準に該当する橋脚の割合) ]

#### ◇平均橋梁延長

・国土交通省道路局資料をもとに、高速道路、国道・主要地方道・都道府県道、市町村道の三区分で集計して1箇所あたりの平均橋梁延長を算出する。

#### ◇自動車停止距離

・計算対象車両は、地震発生時における橋梁上の車両だけでなく、その手前の停止距離分に位置するものも含める。

・停止距離は38m (全日本交通安全協会「交通の教則」における20km/h、40km/h、60km/h、80km/hの停止距離の平均値) とする。

#### ◇単位距離あたりの交通量

・道路交通センサスより、路線ごとに単位距離あたりの交通量を求める。

・各路線の結果を、高速道路及び一般道路 (国道、主要地方道、都道府県道、市町村道) の二区分で平均した値を利用する。

### (7) ブロック塀・自動販売機等の倒壊による死傷者数

#### ①東京都(1997)・中央防災会議(2013)の手法

○採用自治体：青森県(16) 茨城県(18) 栃木県(15) 群馬県(12) 埼玉県(14) 千葉県(16) 東京都(12) 神奈川県(15) 新潟県(21) 富山県(18) 福井県(12) 長野県(15) 岐阜県(13) 静岡県(13) 愛知県(14) 三重県(14) 京都府(17) 大阪府(14) 兵庫県(14) 鳥取県(18) 島根県(18) 岡山県(14) 広島県(13) 山口県(14) 徳島県(17) 香川県(14) 愛媛県(13) 高知県(13) 佐賀県(15) 大分県(19) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) 沖縄県(14) 札幌市(21) さいたま市(14) 千葉市(17) 横浜市(12) 川崎市(13) 新潟市(15) 岡山市(13) 広島市(13)

宮城県沖地震におけるブロック塀・石塀の転倒による死者発生率から予測する。この際、大被害を受けた塀の中に転倒したものが半分含まれていたものと仮定している。

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

ただし、1689.16：宮城県沖地震当時の仙台市の屋外人口密度

○東京都(12)では、自動販売機の転倒による死傷者を同様の手法で求めている。東京都においてブロック塀の長さは最大でおよそ12.2mであるとし、自動販売機の幅は最大でおよそ1mとすると死者数はおよそ1/12.2となるとして補正している。

#### ■中央防災会議(2013)

以下の基本的な考え方を示した上で、死傷者数を予測している。

##### 〈ブロック塀の倒壊〉

- ・東京都(1997)、静岡県(2001)に基づき、宮城県沖地震(1978)時のブロック塀等の被害件数と死傷者数との関係から死傷者率を設定
- ・地震発生時刻の建物内滞留状況について考慮

##### 〈自動販売機の転倒〉

- ・既往災害等による被害事例や被害想定手法の検討例は存在しないため、ブロック塀の倒壊による死傷者算定式を適用。ただし、ブロック塀と自動販売機の幅の違いによる死傷者率の違いを考慮
- ・自動販売機の転倒による死傷者については、ブロック塀等と同じ死傷者率とし、自動販売機とブ

ロック塀の幅の平均長の比 (1 : 12.2) によって補正

予測式は以下のとおり。

$$\begin{aligned} \text{死傷者数} &= \text{死傷者率} \times \text{市区町村別の被害件数} \\ &\quad \times \text{市区町村別時刻別移動者数} / \text{市区町村別18時移動者数} \\ &\quad \times \text{市区町村別屋外人口密度} / 1689.16 [\text{人}/\text{km}^2] \end{aligned}$$

ただし、死傷者率(=倒壊1件当たり死傷者数)はブロック塀倒壊と自動販売機転倒で共通  
死者率 0.00116 負傷者率 0.04 重傷者率 0.0156

## ②静岡県(2001)の手法

○採用自治体：秋田県(13)

宮城県沖地震時の仙台市、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。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：宮城県沖地震当時の仙台市の屋外人口密度 重傷比率は39%

## (8)屋内落下物の移動・転倒による死傷者数

### ①中央防災会議(2005)・中央防災会議(2013)の手法

○採用自治体：青森県(16) 秋田県(13) 茨城県(18) 栃木県(15) 群馬県(12) 埼玉県(14) 千葉県(16) 東京都(12) 神奈川県(15) 新潟県(21) 福井県(12) 長野県(15) 静岡県(13) 愛知県(14) 三重県(14) 京都府(17) 大阪府(14) 兵庫県(14) 鳥取県(18) 岡山県(14) 広島県(13) 山口県(14) 徳島県(17) 香川県(14) 愛媛県(13) 佐賀県(15) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) 札幌市(21) さいたま市(14) 千葉市(17) 横浜市(12) 岡山市(13) 広島市(13)

- ・中央防災会議(2005)は「家具類等の転倒による死傷者」と「屋内落下物による死傷者」に分けて予測。中央防災会議(2013)はそれらに加えて「屋内ガラス被害による死傷者」を予測
- ・予測結果は、建物被害による死傷者数の予測結果の内数の取り扱い
- ・死傷者率は、中央防災会議(2005)が東京消防庁(1999)、中央防災会議(2013)が東京消防庁(2005)を適用

表Ⅲ-3-1-9 中央防災会議(2005)における死傷者率

家具類等の転倒による死傷者				屋内落下物による死傷者			
震度	死亡率		負傷率(重傷率)	震度区分	死亡率		負傷率(重傷率)
	1、2階	3階以上			1、2階建物	3階以上建物	
■全壊の場合				■全壊の場合			
震度7	0.095%	0.019%	1.29%(0.348%)	震度7	0.024%	0.0047%	0.620%(0.0682%)
震度6強	0.024%	0.0048%	0.32%(0.0864%)	震度6強	0.0059%	0.0012%	0.152%(0.0167%)
震度6弱	0.00095%	0.00020%	0.0129%(0.00348%)	震度6弱	0.00023%	0.000051%	0.00601%(0.000661%)
震度5強	$3.8 \times 10^{-6}\%$	0	$5.08 \times 10^{-3}\%$ ( $1.37 \times 10^{-3}\%$ )	震度5強	$9.0 \times 10^{-7}\%$	0	0.0000234%( $2.57 \times 10^{-6}\%$ )
震度5弱	0	0	0(0)	震度5弱	0	0	0
■その他の場合				■全壊以外の場合			
震度7	0.0040%	0.00080%	0.0540%(0.0146%)	震度7	0.0011%	0.00023%	0.0295%(0.00325%)
震度6強	0.0038%	0.00062%	0.0515%(0.0139%)	震度6強	0.0010%	0.00018%	0.0280%(0.00308%)
震度6弱	0.0024%	0.00037%	0.0328%(0.00886%)	震度6弱	0.00065%	0.00011%	0.0174%(0.00191%)
震度5強	0.0013%	0.00020%	0.0182%(0.00491%)	震度5強	0.00036%	0.000058%	0.00958%(0.00105%)
震度5弱	0.00077%	0.00012%	0.0105%(0.00284%)	震度5弱	0.00021%	0.000035%	0.00559%(0.000615%)

表Ⅲ-3-1-10 中央防災会議(2013)における死傷者率(屋内転倒物)

表 屋内転倒物による死者率(大破の場合)			表 屋内転倒物による死者率(中破以下の場合)		
	木造建物	非木造建物		木造建物	非木造建物
震度7	0.314%	0.192%	震度7	0.00955%	0.000579%
震度6強	0.255%	0.156%	震度6強	0.00689%	0.000471%
震度6弱	0.113%	0.0688%	震度6弱	0.00343%	0.000208%
震度5強	0.0235%	0%	震度5強	0.000715%	0.0000433%
震度5弱	0.00264%	0%	震度5弱	0.0000803%	0.00000487%

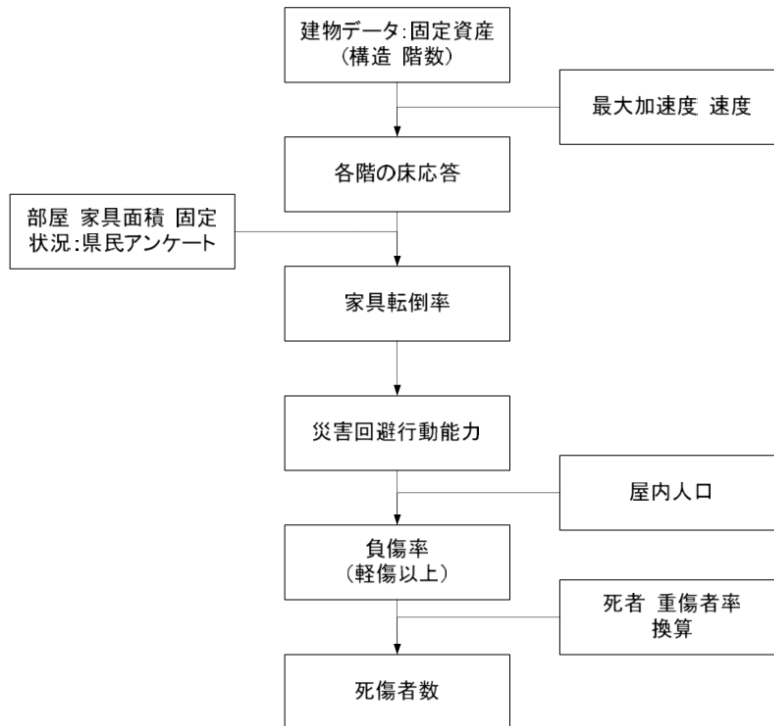
表 屋内転倒物による負傷者率(大破の場合)			表 屋内転倒物による負傷者率(中破以下の場合)		
	負傷者率	重傷者率		負傷者率	重傷者率
震度7	3.69%	0.995%	震度7	0.112%	0.0303%
震度6強	3.00%	0.809%	震度6強	0.0809%	0.0218%
震度6弱	1.32%	0.357%	震度6弱	0.0402%	0.0109%
震度5強	0.276%	0%	震度5強	0.00839%	0.00226%
震度5弱	0.0310%	0%	震度5弱	0.000943%	0.000255%

※ 木造大破率=木造全壊率×0.7 非木造大破率=非木造全壊率

## ②床応答から算出する手法

○採用自治体：島根県(18) 川崎市(13)

屋内収容物(家具)の転倒率を床応答から算出し、家具転倒による室内閉塞率を加味して死傷者数を予測している。被害予測の流れを下図に示す。



図Ⅲ-3-1-4 被害予測フロー(川崎市, 2013)

## (9)屋外落下物による死傷者数

### ①静岡県(2001)・中央防災会議(2013)の手法

○採用自治体：青森県(16) 秋田県(13) 茨城県(18) 栃木県(15) 群馬県(12) 埼玉県(14) 千葉県(16) 東京都(12) 神奈川県(15) 新潟県(21) 富山県(18) 福井県(12) 静岡県(13) 愛知県(14) 三重県(14) 京都府(17) 大

阪府(14)、兵庫県(14) 鳥取県(18) 島根県(18) 岡山県(14) 広島県(13) 山口県(14) 徳島県(17) 香川県(14) 愛媛県(13) 高知県(13) 佐賀県(15) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) 札幌市(21) さいたま市(14) 千葉市(17) 横浜市(12) 川崎市(13) 新潟市(15) 岡山市(13) 広島市(13)

宮城県沖地震における屋外落下物による死者発生率から予測する。地震発生が警戒宣言発令後の場合は、(1-警戒宣言時対応係数(0.97))を乗じる。

死傷者数 = 死傷者率

× { 市町村別の落下危険性のある落下物を保有する建物棟数 / 市町村別建物棟数  
 × 市町村別時刻別移動者数 } × { 市町村別屋外人口密度 / 1689.16 (人/km<sup>2</sup>) }

ただし、1689.16 : 宮城県沖地震当時の仙台市の屋外人口密度

表Ⅲ-3-1-11 静岡県(2001)における死傷者率

	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%

表Ⅲ-3-1-12 中央防災会議(2013)によるおける死傷者率

	死者率	負傷者率	重傷者率
震度7	0.00504%	1.69%	0.0816%
震度6強	0.00388%	1.21%	0.0624%
震度6弱	0.00239%	0.700%	0.0383%
震度5強	0.000604%	0.0893%	0.00945%
震度5弱	0%	0%	0%
震度4以下	0%	0%	0%

出典) 火災予防審議会・東京消防庁「地震時における人口密集地域の災害危険要因の解明と消防対策について」(平成17年)における屋外落下物(壁面落下)と屋外ガラス被害による死者率の合算値

※震度7を計測震度6.5相当、震度6強以下を各震度階の計測震度の中間値として内挿補間する。

## 3-2. 要救出者数

### (1) 中央防災会議(2013)の手法

○採用自治体：青森県(16) 茨城県(18) 栃木県(15) 埼玉県(14) 千葉県(16) 新潟県(21) 長野県(15) 静岡県(13) 愛知県(14) 三重県(14) 京都府(17) 大阪府(14) 兵庫県(14) 鳥取県(18) 広島県(13) 山口県(14) 徳島県(17) 愛媛県(13) 佐賀県(15) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) 沖縄県(14) 札幌市(21) さいたま市(14) 新潟市(15) 岡山市(13)

中央防災会議(2013)では、「揺れによる建物被害に伴う要救助者(自力脱出困難者)」と「津波被害に伴う要救助者・要搜索者」を予測している。

#### ①揺れによる建物被害に伴う要救助者(自力脱出困難者)

以下の基本的な考え方を示した上で、被害を予測している。

- ・兵庫県南部地震時における建物全壊率と救助が必要となる自力脱出困難者の数との関係を用いた静岡県(2000)や東京都(1997)の手法を参考にして、自力脱出困難者数を算定する。

予測式は以下のとおり。

$$\text{自力脱出困難者数(木造・非木造別)} = 0.117 \times \text{揺れによる建物全壊率} \times \text{屋内人口}$$

#### ②津波被害に伴う要救助者・要搜索者

以下の基本的な考え方を示した上で、被害を予測している。

- ・津波の最大浸水深より高い階に滞留する者を要救助者として推定する。
  - ・また、津波による死傷者を初期の要搜索需要と考える。
- ・予測手法は以下のとおり。

##### ◇要救助者数

- ・津波による人的被害の想定においては、津波の最大浸水深よりも高い階に滞留する者は避難せずにその場にとどまる場合を考慮しており、その結果、中高層階に滞留する人が要救助対象となると考え、下表の考え方に沿って、要救助者数を算出する。
- ・ただし、最大浸水深が1m未満の場合には中高層階に滞留した人でも自力で脱出が可能であると考え、中高層階滞留に伴う要救助者は最大浸水深1m以上の地域で発生するものとする。
- ・また、津波到達時間が1時間以上ある地域では中高層階滞留者の3割が避難せずにとどまるとして要救助対象とする。

表Ⅲ-3-2-1 中高層階滞留に伴う要救助者の設定の考え方(中央防災会議, 2013)

最大浸水深	中高層階滞留に伴う要救助者の設定の考え方
1m未満	(自力脱出可能とみなす)
1m以上6m未満	3階以上の滞留者が要救助対象
6m以上15m未満	6階以上の滞留者が要救助対象
15m以上	11階以上の滞留者が要救助対象

##### ◇要搜索者数

- ・「津波に巻き込まれた人(避難未完了者=津波による死傷者)」を津波被害に伴う初期の要搜索者とする(搜索が進むにつれ、行方不明者が死亡者や生存者として判明していくため、時系列でみた場合、津波に巻き込まれた人が要搜索者の最大値として想定される)

$$\text{津波被害に伴う要搜索者数(最大)} = \text{津波による漂流者数(=死傷者数)}$$

- 千葉県(16) 静岡県(13)では、中央防災会議(2013)で自力脱出困難者予測式の説明変数を建物全壊率としているところを、生き埋め等の自力脱出困難者は死者と同様に倒壊建物を中心に発生すると考え、説明変数を倒壊建物とした予測式とした。
- 静岡県(13) 愛知県(14) 三重県(14)では、最大浸水深別の中高層滞留者に伴う要救助者の設定の考え方を中央防災会議(2013)より細分化している。
- 札幌市(21)では、凍死も算出している。

## (2) 東京都(1997)の手法

○採用自治体：宮城県(04) 東京都(12) 福井県(12) 岡山県(14) 香川県(14) 大分県(19) 川崎市(13)

東京都(1997)では、木造建物の倒壊による下敷き・生き埋め者数の予測式を、兵庫県南部地震の被害事例(神戸市の区別全壊棟数と下敷き・生き埋め者数のデータ)から求めた。予測は、消防、警察、自衛隊、親戚・近所の人などによる救出および遺体搬出された人数が対象である。

予測式は以下のとおり。

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

## (3) 神奈川県(2015)の手法

○採用自治体：神奈川県(15)

想定手法は、兵庫県南部地震時における建物被害と要救出者数の発生状況の関係から設定した。

### ① 木造建物倒壊による自力脱出困難者

自力脱出困難者数 =  $0.3 \times \text{崩壊建物数} \times \text{木造建物1棟あたりの屋内滞留人口}$

崩壊建物数 =  $\text{全壊建物数} \times \text{崩壊率}$

崩壊率 =  $0.4 \times \text{計測震度} - 2.1$

係数0.3：兵庫県南部地震における閉じ込め発生事例の分析から、崩壊する建物に滞在する人の30%が閉じ込められる(自力脱出困難)とする

崩壊率：兵庫県南部地震におけるデータから算出

### ② 非木造建物倒壊による自力脱出困難者

自力脱出困難者数 =  $0.3 \times \text{倒壊建物数} \times \text{非木造建物1階当たりの滞在人数}$

倒壊建物数 =  $\text{全壊建物数} \times \text{倒壊率}$

倒壊率：兵庫県南部地震以前の地震による建物被害データから旧国土庁が設定した値

倒壊：全壊のうち建物全体や特定の階層が完全に崩壊した被害

表Ⅲ-3-2-2 非木造倒壊率(神奈川県, 2015)

建築年	昭和56年以前	昭和57年以降
震度5強以下	0.0%	0.0%
震度6弱	0.8%	0.0%
震度6強	2.9%	0.7%
震度7	7.3%	2.6%

### ③ 崖崩れによる自力脱出困難者(木造)

崖崩れの自力脱出困難者数 =  $0.3 \times \text{崖崩れ被害を受ける木造建物数}$

$\times \text{木造建物1棟あたりの屋内滞留人口}$

係数0.3：崖崩れによる建物被害は非常に大きい(崩壊)ため、閉じ込め率を0.3とした



### 3-3. 避難者数等

#### (1) 中央防災会議(2013)の手法

○採用自治体：青森県(16) 茨城県(18) 栃木県(15) 埼玉県(14) 千葉県(16) 新潟県(21) 静岡県(13) 長野県(15) 愛知県(14) 三重県(14) 大阪府(14) 兵庫県(14) 鳥取県(18) 岡山県(13) 広島県(13) 山口県(14) 徳島県(17) 香川県(13) 愛媛県(13) 佐賀県(15) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) 沖縄県(14) 札幌市(21) さいたま市(14) 千葉市(17) 相模原市(15) 新潟市(15) 岡山市(13) 広島市(13)

中央防災会議(2013)では、以下の基本的な考え方を示した上で、被害を予測している。

- ・津波浸水地域(沿岸部)と、津波の影響を受けない範囲(内陸部)の避難者数を区分して算出する。
  - 津波被災地の場合は、建物が全壊に至っていない場合でも、①浸水被害により屋内では生活が困難、②津波警報等に伴う避難指示・勧告の発令等、建物被害やライフライン途絶以外に避難を決定づける要因があると考えられる。さらに、自宅に戻れない人の中でも、③自ら住宅を確保、親戚宅への疎開といった形で避難所を離れるケースが多数発生することが予想される。

予測手法は以下のとおり。

#### ①内陸部(津波浸水域外)における避難者数

$$\text{全避難生活者数} = (\text{全壊建物棟数} + 0.13 \times \text{半壊棟数}) \times \text{1棟当たり平均人員数} \\ + \text{断水人口} \times \text{断水時生活困窮度}$$

※1 断水人口は、自宅建物被害を原因とする避難者を除く断水世帯人員を示す。

※2 断水時生活困窮度とは、自宅建物は大きな損傷をしていないが、断水が継続されることにより自宅での生活し続けることが困難となる度合を意味する。時間とともに数値は大きくなる。兵庫県南部地震の事例によると、水が手に入れば自宅の被害がひどくない限りは自宅で生活しているし、半壊の人でも水道が復旧すると避難所から自宅に帰っており、逆に断水の場合には生活困窮度が増す。

(当日・1日後)0.0 ⇒ (1週間後)0.25 ⇒ (1か月後)0.90

- ・兵庫県南部地震の実績及び南海トラフ巨大地震による被害の甚大性・広域性を考慮して、発災当日・1日後、1週間後、1か月後の避難所避難者と避難所外避難者の割合を以下のように想定(避難所避難者:避難所外避難者)

(当日・1日後)60:40 ⇒ (1週間後)50:50 ⇒ (1か月後)30:70

#### ②津波浸水地域における避難者数

地震発生後(3日間)の避難者数と、4日目以降の避難者数を分けて想定している。

##### a)地震発生直後(3日間)における避難者数

###### ◇全壊建物、半壊建物

- ・全員が避難(半壊建物も、屋内への漂流物等により、自宅では生活不可)

###### ◇一部損壊以下の被害建物(床下浸水を含む)

- ・津波警報に伴う避難指示・勧告により全員が避難する。

###### ◇避難所避難者と避難所外避難者・疎開者等

- ・東日本大震災における浸水範囲の全人口は約60万人(総務省統計局の集計より)
- ・内閣府の集計より、東日本大震災における最大の避難所避難者数は約47万人(3月14日)である。沿岸部の避難所避難者数は約40万人であることから、以下のように設定

避難所避難者：避難所外避難者 = 40 : (60-40) = 2 : 1

避難所避難者数(発災当日～発災2日後) = 津波浸水地域の居住人口 × 2/3

##### b)地震発生後4日目以降の避難者数の想定手法

$$\text{全避難生活者数} = (\text{全壊建物棟数} + 0.13 \times \text{半壊棟数}) \times \text{1棟当たり平均人員数} \\ + \text{断水人口} \times \text{断水時生活困窮度}$$

ここで、断水時生活困窮度は、(1週間後)0.25 ⇒ (1か月後)0.90

- ・東日本大震災の実績及び南海トラフ巨大地震による被害の甚大性・広域性を考慮して、発災当日・1日後、1週間後、1か月後の避難所避難者と避難所外避難者の割合を次のように想定  
避難所避難者と避難所外避難者の割合：(1週間後)90：10 ⇒ (1か月後)30：70

○札幌市(21)では

- ・生活困窮度による避難率は、積雪寒冷地である札幌市の地域特性を考慮して設定
- ・ペット同行避難者数、車中泊避難者(避難所外避難者)数も想定

## (2)東京都(1997)の手法

○採用自治体：北海道(18) 秋田県(13) 群馬県(12) 東京都(12) 富山県(18) 福井県(12) 山梨県(05) 島根県(18) 熊本県(13) 大分県(19) 横浜市(12) 熊本市(14)

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か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： 〃 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)

兵庫県南部地震の事例を踏まえ、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。

避難人口 = 1.000 × 全壊・焼失人口 + 0.503 × 半壊人口 + 0.362 × 断水率 × 被害なし人口

\* 兵庫県南部地震では、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

避難所生活者数 = 0.65 × 避難人口

疎開者数 = 0.35 × 避難人口

\* 兵庫県南部地震では、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およそ65:35であった

### ②発災4日後・1か月後

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か月後では、水道機能は100%復旧しているとしている。

◇発災4日後

避難人口 = 全壊・焼失人口 + 0.503 × 半壊人口  
+ 0.362 × 発災4日後の断水率 × 被害なし人口  
+ 0.91 × (1 - 0.362) × 発災4日後の断水率 × 被害なし人口

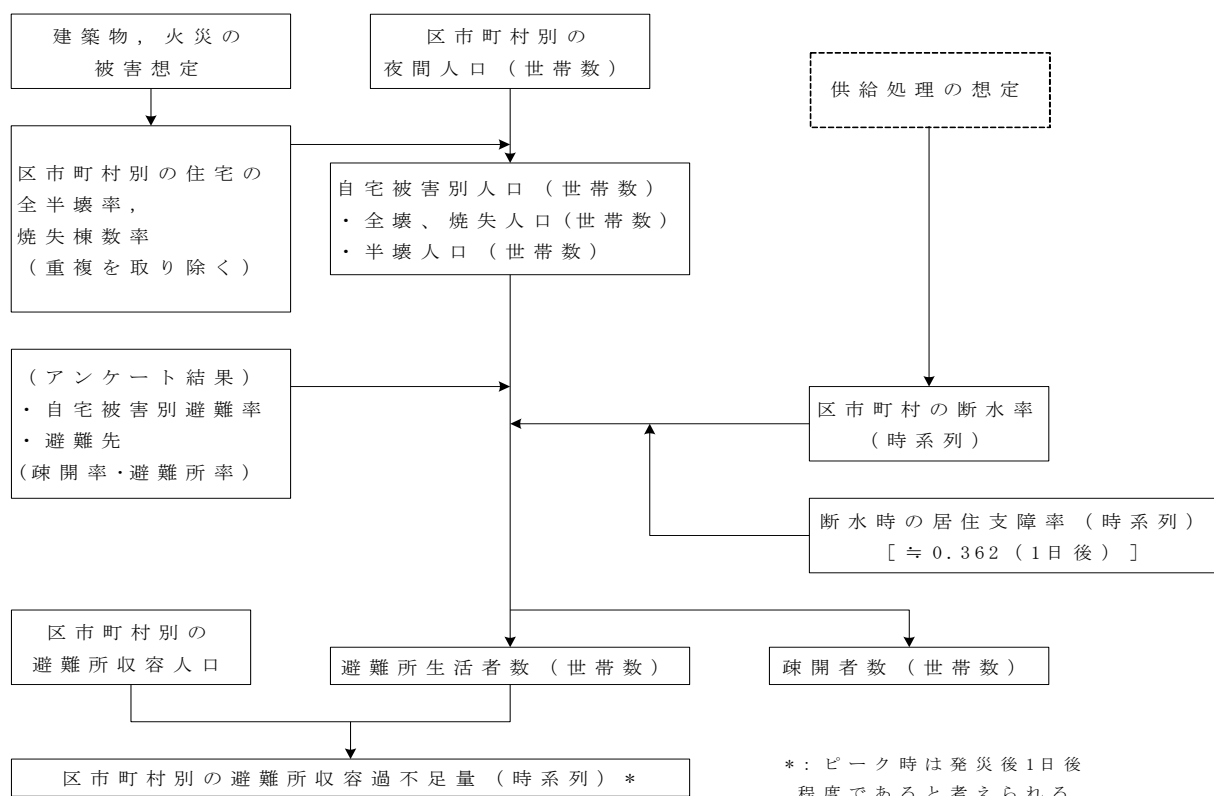
避難所生活者数 = 0.65 × 避難人口

疎開者数 = 0.35 × 避難人口

◇発災1か月後

避難所生活者数 = 0.65 × (全壊・焼失人口 + 0.503 × 半壊人口)

疎開者数 = 0.35 × (全壊・焼失人口 + 0.503 × 半壊人口)



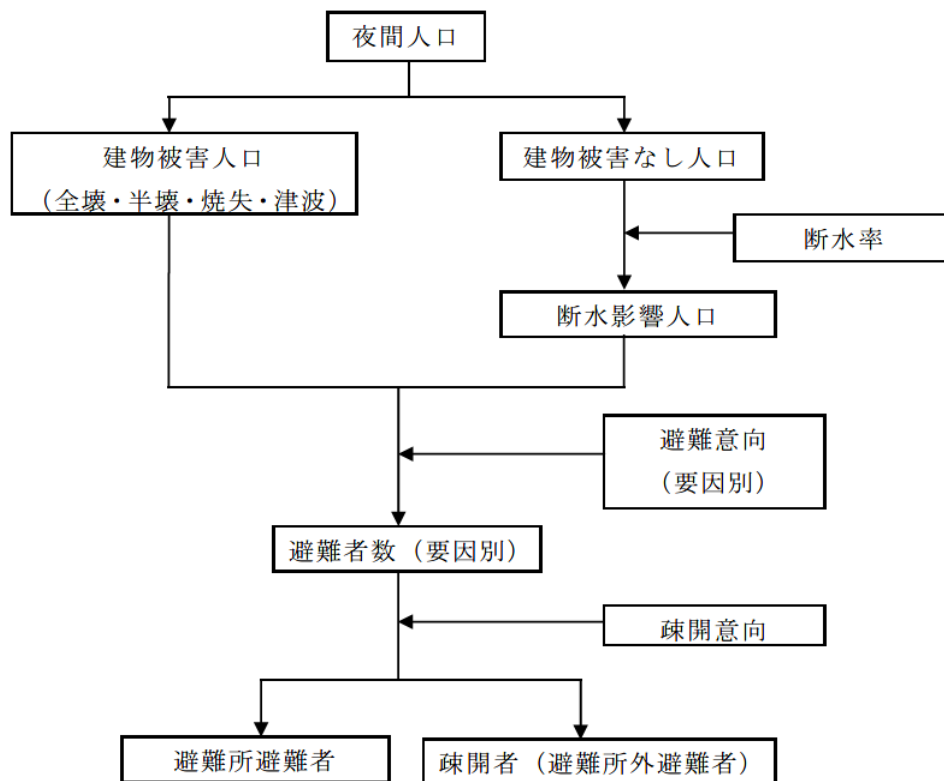
図Ⅲ-3-3-1 避難所生活者数・疎開者数の推計フロー(東京都, 1997)

- 札幌市(21)では、冬の場合、断水の代わりに停電を考慮
- 大分県(19)では、発生4日後ではなく1週間と仮定。自宅建物に被害のなかった避難所生活者や避難所外避難者は、ライフライン(水道)が復旧することで帰宅行動をとると仮定

### (3) 神奈川県(2015)の手法

○採用自治体：神奈川県(15)

建物やライフライン、津波浸水の被害による避難者数を想定した。避難者数は、避難所へ避難する人(避難所避難者)及び避難所以外のところへ避難する人(避難所外避難者)に分けて算出した。被害想定フローを下図に示す。避難者数は「発災(1日目)から3日目」、「4日目から1週間後」、「1か月後」の3段階に分けて算出している。



図Ⅲ-3-3-2 被害想定フロー(神奈川県, 2015)

#### (4) 京都府(2017)の手法

○採用自治体：京都府(17)

避難者数は、建物被害により避難生活または疎開を必要とする人数として、短期避難者数と長期避難者数を算定している。

短期避難者：地震直後に避難所で過ごす避難者

避難所におけるピーク時の就寝者数

長期避難者：建物が全滅または焼失し、仮設住宅を必要とする避難者

想定を行うにあたり、兵庫県南部地震での神戸市における避難状況と建物被害から推定した人数および建設した仮設住宅数を照らし合わせて、次式により避難人口に対する比率を推定した。

短期避難者数 = 住家人口 × (全半壊率 + 焼失率 - 全半壊率 × 焼失率)

長期避難者数 = 住家人口 × (全壊率 + 焼失率 - 全壊率 × 焼失率) × 65%

### 3-4. 帰宅困難者数

#### (1) 中央防災会議(2013)の手法

○採用自治体：栃木県(15) 埼玉県(14) 千葉県(16) 神奈川県(15) 新潟県(21) 愛知県(14) 大阪府(14) 兵庫県(14) 岡山県(14) 広島県(13) 山口県(14) 徳島県(17) 愛媛県(13) 佐賀県(15) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) さいたま市(14) 千葉市(17) 新潟市(15) 岡山市(13) 広島市(13)

中央防災会議(2013)では、以下の基本的な考え方を示した上で、主要な都市部について、外出者数・帰宅困難者数を予測している。(平日の日中に地震が発生した場合を想定)

- ・居住ゾーン外への外出者は、発災後、むやみに移動を開始せず、少なくともしばらくの間は待機する必要があることから、これらの外出者数を算出する。
- ・東日本大震災における当日帰宅困難状況も踏まえ、帰宅困難者数(地震後しばらくして混乱等が収まり、帰宅が可能となる状況になった場合において、遠距離等の理由により徒歩等の手段によっても当日中に帰宅が困難となる人)を算出する。

-従来手法は、帰宅距離10km以内の人は全員が帰宅可能、20km以上の人は全員が帰宅困難、その間は1km長くなるごとに帰宅可能率が10%ずつ低減するものとして計算(これは1978年宮城県沖地震のデータにより、20km以遠では午後5時頃の地震発生後、翌朝までに徒歩で帰宅した人はなかったとの結果に基づくもので、被災後の路面歩行の困難性や群衆の通行状況、疲労などを考え、「帰宅困難」は徒歩帰宅で9時間以上かかる程度の困難性として定義されたものであり、東日本大震災発生当日に帰宅できなかった人に相当)

-人口稠密地域で大規模地震が発生した場合の混乱防止等の観点から、首都直下地震のおそれが危惧されている首都圏では「むやみに移動を開始しない」という基本原則の下、政策的な一時待機の検討が進められている。公共交通機関が復旧しない段階においては、一斉帰宅は抑制されることが考えられるものの、安全が確認され次第、徒歩等による自力での帰宅が可能の人が順次帰宅していくことが想定される。しかし、実際に帰宅可能かどうかは置かれた状況等に依って大きく異なると考えられることから、ここでは、東日本大震災における実績に基づく推定手法と、従来手法とで幅を持たせた推定結果とする。

予測手法は以下のとおり。

#### ◇居住ゾーン外への外出者数

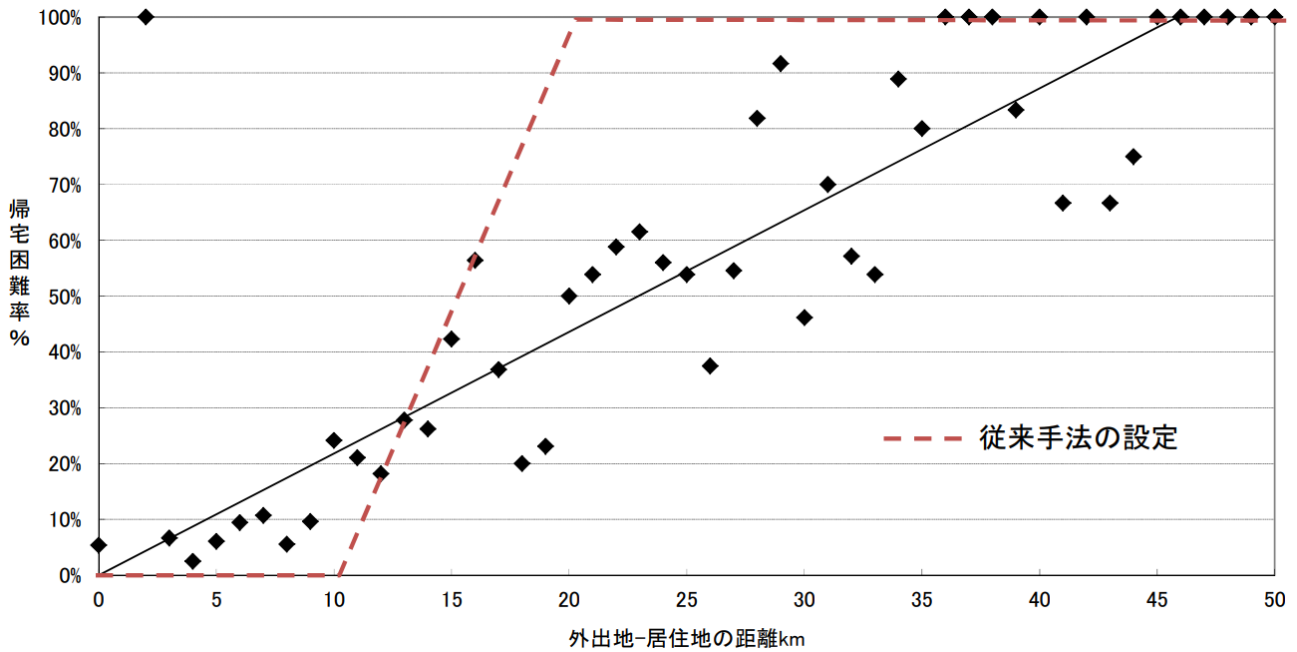
- ・居住ゾーンの外へ外出している人を、地震後の混乱の中で安全確保等のために少なくともしばらくの間は待機する必要がある人として算定

#### ◇帰宅困難者数

- ・代表交通手段が徒歩・自転車の場合、災害時においても徒歩・自転車で帰宅すると考え、全員が「帰宅可能」とみなす。
- ・代表交通手段が鉄道、バス、自動車、二輪車の場合、公共交通機関の停止、道路等の損壊・交通規制の実施等のため、これら交通手段による帰宅は当面の間は困難であり、比較的近距離の場合は徒歩で帰宅し、遠距離の場合は帰宅が難しい状況となると考えられる。この点は、従来手法に加え、東日本大震災発災当日の状況も踏まえるものとする。
- ・具体的には、東日本大震災の帰宅実態調査結果に基づく外出距離別帰宅困難率※を設定し、パーソントリップ調査に基づく代表交通手段が鉄道、バス、自動車、二輪車の現在地ゾーン別居住地ゾーン別滞留人口(=帰宅距離別滞留人口)に対して適用し、帰宅困難者数を算定

$$\text{帰宅困難率}\% = (0.0218 \times \text{外出距離km}) \times 100$$

※東日本大震災当日は道路の交通規制がかからなかったことから自動車・二輪車等での帰宅が可能であった点を踏まえ、帰宅困難率は、代表交通手段が鉄道である外出者のデータをもとに当日に帰宅できなかった人の割合として設定



図Ⅲ-3-4-1 東日本大震災発災当日における外出距離別の帰宅困難者 (中央防災会議, 2013)  
(代表交通手段が鉄道の場合を抽出して分析)

○埼玉県(14)では

- ・帰宅困難率は、内閣府(2013)と埼玉県(2007)の2種の手法により幅を持った想定を実施
- ・外出先、居住地の両方も震度5強以上の場合、帰宅困難者率をそのまま採用
- ・外出先、居住地の両方も震度5弱以上の場合、帰宅困難者数を0
- ・外出先、居住地のどちらかが震度5弱以下の場合、他方の市町村に最も近い震度5弱以下のエリアまで交通機関で移動できるものとし仮定

○兵庫県(14)の予測式は次のとおり。

$$\text{帰宅困難者数} = \Sigma(\text{自宅までの距離別滞留者}) \times (\text{自宅までの距離別帰宅困難率}) \times (\text{帰宅先の公共交通機関利用率})$$

※自宅までの距離は、便宜上、各市町の役場間の距離とする

※兵庫県外からの滞留者については、帰宅困難率を100%とする

## (2) 東京都(1997)の手法

○採用自治体：群馬県(12) 東京都(12) 福井県(12) 島根県(18) 岡山県(14) 高知県(13) 福岡県(12) 熊本県(13) 大分県(19) 札幌市(21) 横浜市(12) 川崎市(13) 熊本市(14)

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る。

- ・ 帰宅距離10km以内の人は全員「帰宅可能」
- ・ 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
- ・ 帰宅距離20km以上の人は全員「帰宅困難」

- 岡山県(14)では、従来の帰宅困難者率と東日本大震災発災当日における実績を基に設定された新しい帰宅困難者率の双方で計算
- 川崎市(13)では、川崎市を通り川崎市近郊の市区に徒歩で帰宅する人のうち川崎市内で力尽きる人数も考慮
- 横浜市(12)では、観光客の統計データを用いて、休日における帰宅困難者も推計
- 札幌市(21)では、冬季の帰宅困難者は歩行能力が7割に低下すると想定。また、帰宅困難者になる可能性のある観光客についても想定

### (3) 三重県(2006)の手法

○ 採用自治体：三重県(14)

三重県では、隣の市町村へは比較的帰宅が容易でありそれ以外の遠方へは帰宅が困難であるとし、隣の市町村への帰宅率と、隣の市町村以外からの帰宅率を設定して帰宅困難者数を算出している。

表Ⅲ-3-4-1 帰宅率(%) (三重県, 2006)

震度	隣の市町村から	隣の市町村以外から
4以下	100	100
5弱～5強	100	50
6弱以上	50	25



## 4. ライフライン被害の予測

本節では、「電力」「通信」「上水道」「下水道」「都市ガス」「プロパンガス」について、被害および復旧の予測手法を整理する。

### 4-1. 電力の被害・復旧

以下に、機能支障の予測、施設被害の予測、復旧期間の予測について整理する。

#### (1) 機能支障の予測（停電）

##### ① 東京都(2006)の手法

○採用自治体：青森県(16) 秋田県(13) 茨城県(18) 栃木県(15) 群馬県(12) 埼玉県(14) 千葉県(16) 東京都(12) 神奈川県(15) 新潟県(21) 福井県(12) 山梨県(05) 長野県(15) 島根県(18) 岡山県(14) 広島県(13) 山口県(14) 徳島県(17) 香川県(14) 愛媛県(13) 高知県(13) 佐賀県(15) 熊本県(13) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) 沖縄県(14) 札幌市(21) さいたま市(14) 横浜市(12) 川崎市(13) 広島市(13) 熊本市(14)

東京都(2006)では、以下の基本的な考え方を示した上で被害を予測している。

- ・ 停電率は、焼失面積率（焼失建物棟数率）及び電柱被害数より算出した停電軒数と電灯軒数（地中供給電灯軒数含む）より求める。
- ・ 火災延焼のあるエリアは、全面的に停電が生じると想定する。
- ・ 非延焼エリアは、電柱被害から停電が生じると想定する。電柱被害の発生要因は、「ゆれ」及び「建物倒壊への巻き込まれ」と想定する。
- ・ 地下エリアは、地中設備につながる路上設置機器の損壊により停電が生じると想定する。路上設置機器の損壊要因は、「建物倒壊への巻き込まれ」と想定する。
- ・ 発電設備については、複数の発電所で被害があったとしても、地震発生直後に相当量の負荷脱落量があるために電源量不足にはならないとする。
- ・ 変電設備については、過酷側の評価を行い、一部の変電所で被害が発生し、一旦、全ての設備が停止するものとした。停止変電所が供給している配電用変電所の供給軒数から、当該地域の配電線被害による停電軒数を引いたものを変電所被害による軒数とした。

【延焼エリア】 停電軒数＝電灯軒数×焼失建物棟数率  
焼失棟数率＝焼失建物棟数／（木造建物棟数＋非木造建物棟数）

【非延焼エリア】 停電軒数＝電柱被害本数×電柱被害一本当たりの停電軒数（事業所別）  
電柱被害一本当たりの停電軒数は、兵庫県南部地震時の電柱被害一本当たりの停電軒数実態に基づき、神戸三宮事業所と東京電力の各事業所との配電線数の比で補正した値を採用

#### ◇ゆれによる電柱被害

電柱被害本数 ＝ 電柱本数 × ゆれによる電柱折損率

ゆれによる電柱折損率（兵庫県南部地震時の被害実態に基づく）

震度 7 0.8% 震度 6 以上 0.056% 震度 5 以上 0.00005%

#### ◇建物倒壊への巻き込まれによる電柱被害

電柱被害本数 ＝ 電柱本数 × 建物全壊による電柱折損率

建物全壊による電柱折損率＝0.17155×建物全壊率（兵庫県南部地震時の被害実態に基づく）

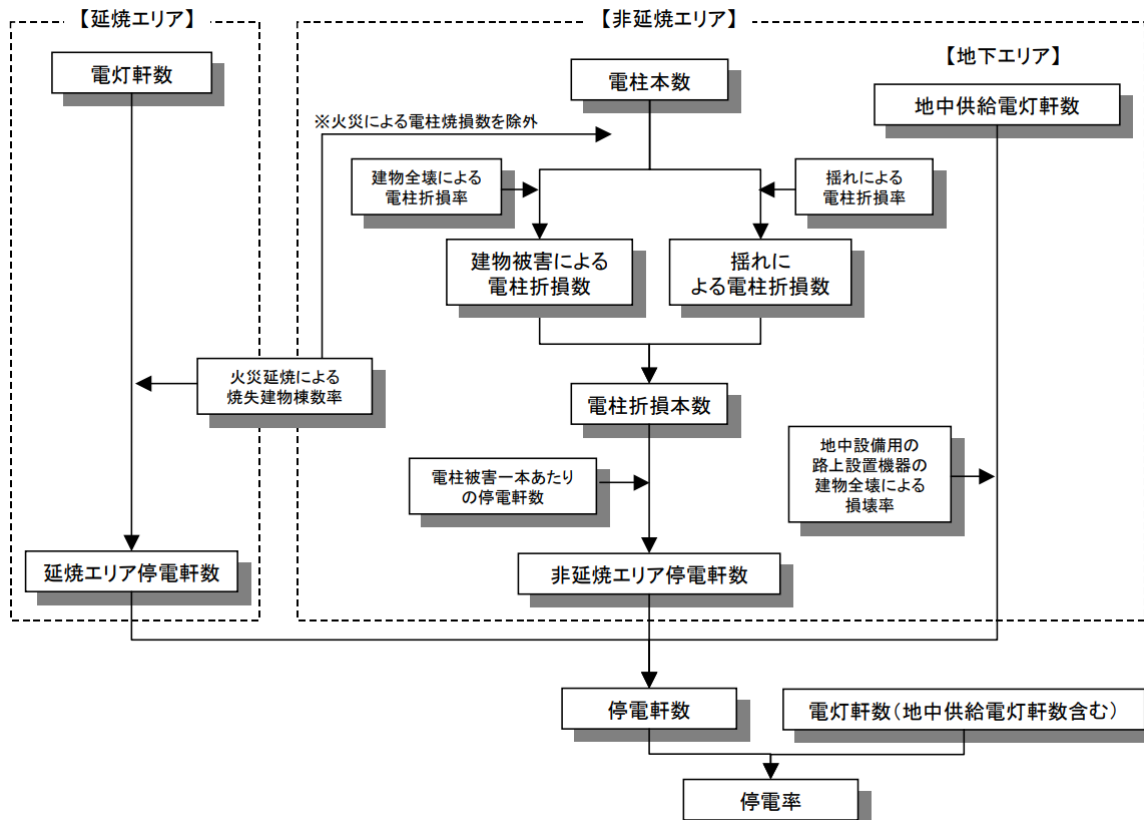
建物全壊率＝木造建物全壊棟数／木造建物棟数

※兵庫県南部地震時の実態は戸建住宅の全壊率を対象としている

【地下エリア】 停電軒数 ＝ 地中供給電灯軒数 × 路上設置機器損壊率

路上設置機器損壊率 = 建物全壊率 × 損壊係数 (0.005)  
 建物全壊率 = 木造建物全壊棟数 / 木造建物棟数  
 (電柱地中化率を考慮する。)

- 群馬県(12)では、停電軒数は、建物焼失によるもの、電柱被害によるもの、地中供給に係る路上設置機器の損壊によるものの総和。東京都(12)はさらに津波浸水による停電軒数を加算
- 神奈川県(15) 島根県(18) 熊本市(14)では、以下のように設定
- 停電件数 = 電柱1本あたりの停電件数  
 × (建物被害による電柱折損本数+揺れ・液状化による電柱折損本数)
- 電柱1本あたりの停電件数 = 電灯件数/電柱基数×10.975
- 熊本県(13) 熊本市(14)では、地中線被害による停電軒数を算出。また、250mメッシュの浸水分布図をもとに、津波により「浸水の可能性がある施設数」を算定



図Ⅲ-4-1-1 停電率の算出フロー(東京都, 2006)

## ②中央防災会議(2013)の手法

- 採用自治体：青森県(16) 神奈川県(15) 新潟県(21) 長野県(15) 静岡県(13) 愛知県(14) 三重県(14) 鳥取県(18) 岡山県(14) 広島県(13) 山口県(14) 香川県(14) 愛媛県(13) 高知県(13) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) 沖縄県(14) さいたま市(14) 広島市(13)

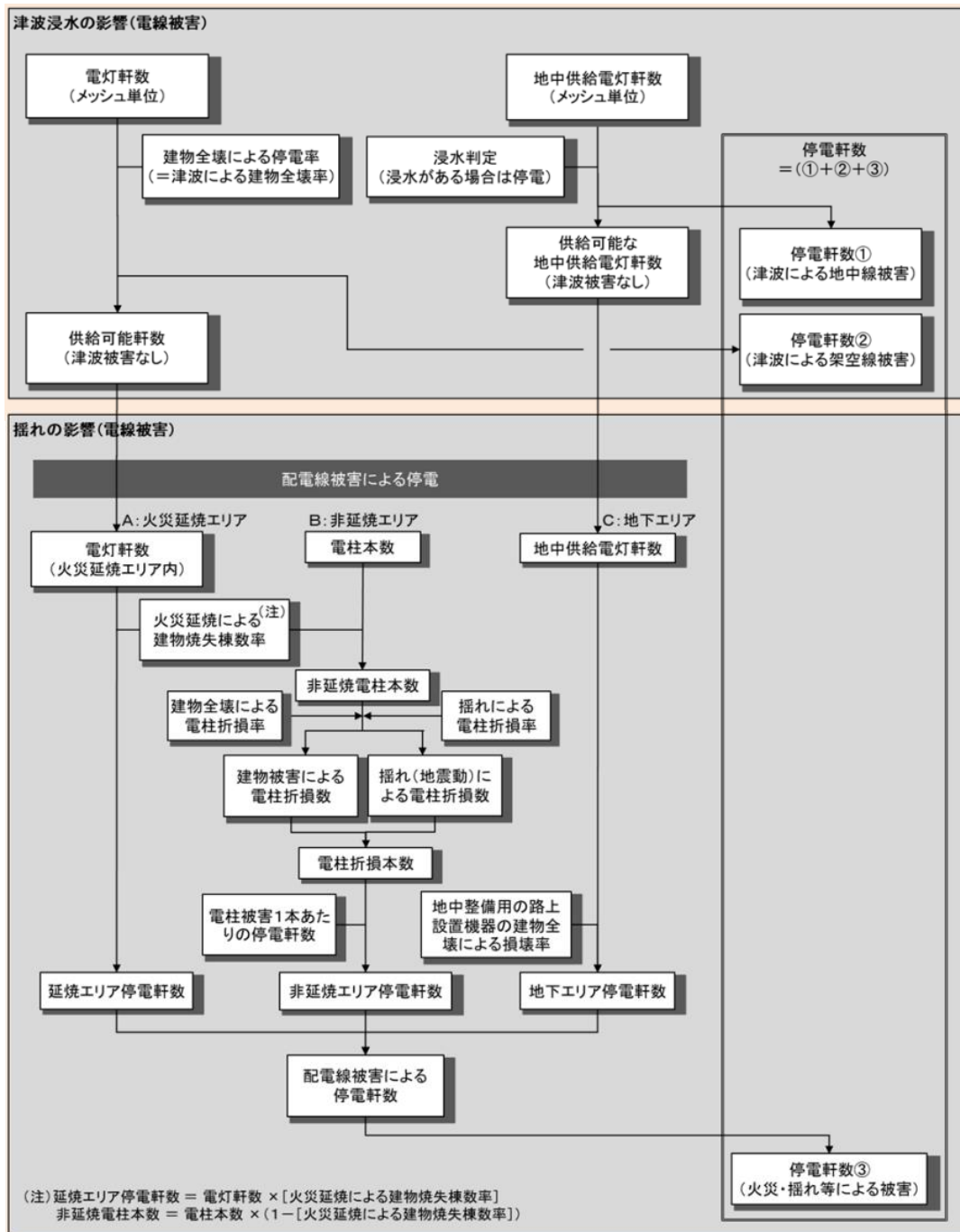
中央防災会議(2013)では、以下の基本的な考え方を示した上で被害を予測している。

- ・揺れ等による電線被害等の影響を考慮して、停電軒数を算出する。
- ・揺れの影響として、火災による延焼と電柱折損、供給側設備の被災に起因した停電を考慮する。
- ・復旧予測は、停電軒数と東日本大震災等での復旧状況を考慮する。

(注)復旧予測は、津波浸水により建物全壊した需要家数に相当する停電軒数を別途算出し、復旧対象から除く。

停電件数の予測式は次のとおり。

停電軒数 = 津波による地中線被害 + 津波による架空線被害 + 火災・揺れ等による被害



図Ⅲ-4-1-2 停電軒数の被害想定フロー(中央防災会議, 2013)

※中央防災会議(2013)の公表資料には、詳しい計算方法や数値等が記載されていないため、揺れの影響の部分は①東京都(2006)の手法を採用している自治体が多い。

③神奈川県(1993)の手法

○採用自治体：宮城県(04) 山形県(06) 福島県(98) 愛媛県(13) 長崎県(06)、大分県(19) 沖縄県(14)

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た結果から回帰式を作成した。

$$Y = 19.5X^{0.35} \quad Y: \text{機能支障率}(\%) \quad X: \text{架空線の被害率}(\%)$$

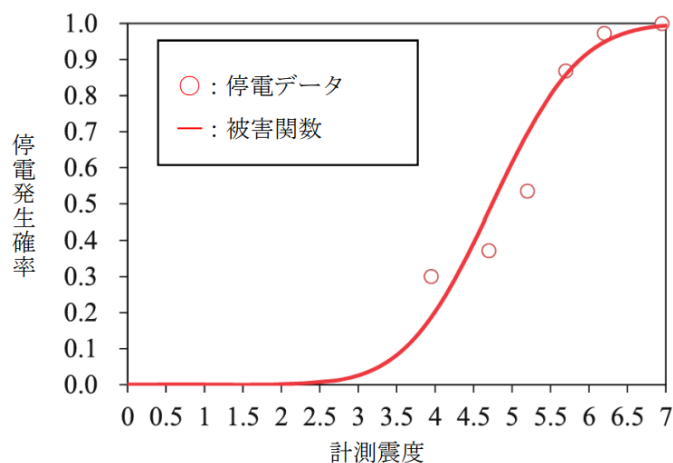
④Shoji(2011)の手法

○採用自治体：茨城県(18)

東日本大震災の被害に基づく予測式は以下のとおり。

$$(\text{停電発生確率 } P_f) = \int_0^x \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right\} dx$$

ただし、 $x$  は市町村別の最大計測震度、期待値  $\mu = 4.63$ 、標準偏差  $\sigma = 1.13$



図Ⅲ-4-1-3 Shoji (2011)による計測震度に対する停電発生率(茨城県, 2018)

※茨城県(2018)では、電力の停電軒数の予測について、電柱折損本数を中央防災会議(2013)の手法の一部を用いて予測し、それを用いて停電軒数をShojiほか(2011)の手法で予測

#### ⑤首都直下地震防災・減災プロジェクト(2011)の手法

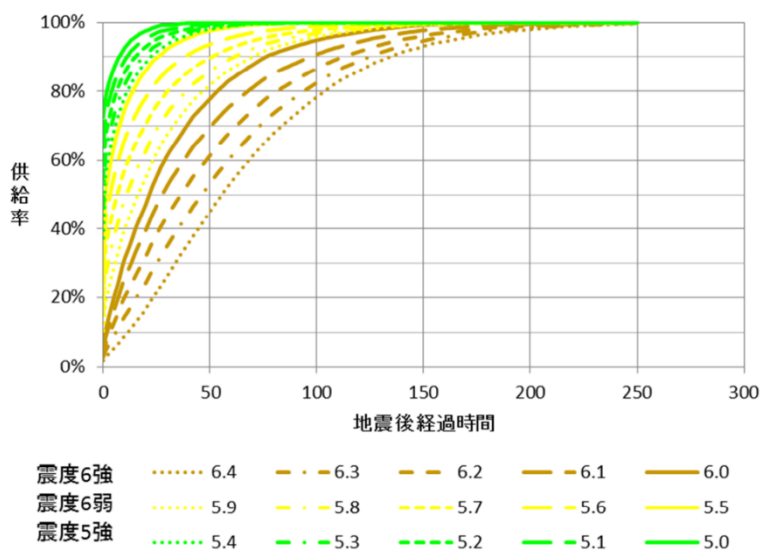
○採用自治体：千葉市(17)

予測式は以下のとおり。

揺れ・火災による配電線の被害による停電軒数 = 電灯件数 × (1 - 供給率)

電灯件数：千葉市(2017)では、東京電力パワーグリッド(株)から提供を受けたデータを基に町丁目ごとの件数を設定

供給率：震度の大きさに応じて設定される供給率曲線(下図)



図Ⅲ-4-1-4 首都直下地震防災・減災プロジェクト(2011)による電力供給率曲線(千葉市, 2017)

## ⑥川崎市(2013)の手法

○採用自治体：川崎市(13)

川崎市(2013)では、「東日本大震災を発端とする関東地方各地で発生した停電率、復旧日数、各地の計測震度及び液状化被害について整理し、その結果を基に予測を行う」との方針を示した上で被害を予測している。具体的には、庄司ら(2012)による東日本大震災における関東地方の各市町村の停電率と復旧日数のデータをもとに、計測震度と停電率・復旧日数の関係式を求めている。

$$R(v) = C\Phi((\ln v - \lambda)/\zeta)$$

$R(v)$ ：標準被害率評価式       $\Phi(x)$ ：標準正規分布の確率分布関数       $v$ ：計測震度

表Ⅲ-4-1-1 被害率曲線の回帰係数(川崎市, 2013)

	PL 値	回帰係数		
		C	$\lambda$	$\zeta$
停電率	-	93.41	5.51	1.35
復旧日数	$15 < P_L$	5.62	5.65	1.27
	$P_L \leq 15$	4.23	5.82	1.11

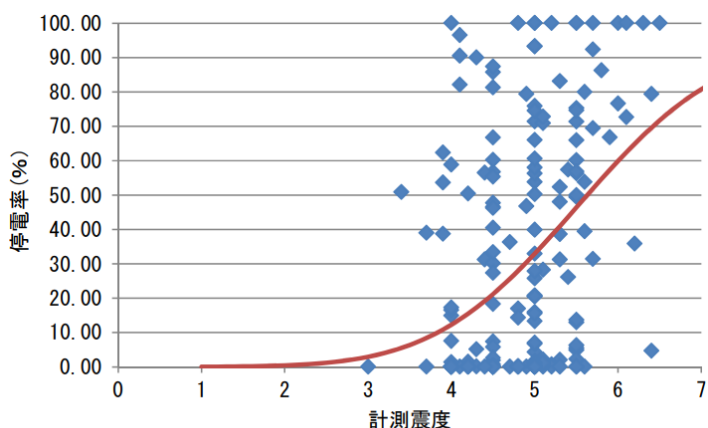


図 8.4-1 計測震度と停電率(N=198)

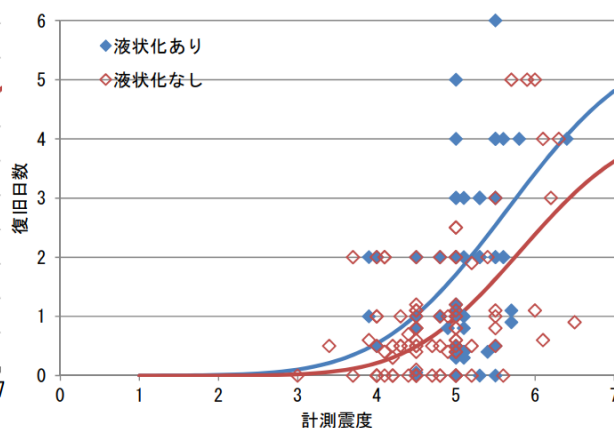


図 8.4-2 計測震度と復旧日数(N=198)

図Ⅲ-4-1-5 計測震度と停電率(左図) 計測震度と復旧日数(右図)(川崎市, 2013)

### (2) 施設被害の予測

電力施設の被害予測は、①電柱 ②架空線(配電線) ③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。

#### ①電柱の被害

##### a) 東京都(2006)の手法

(1) ①を参照

##### b) 東京都(1997)等の手法

○採用自治体：宮城県(04) 山形県(06) 山梨県(05) 長崎県(06) 大分県(19) 横浜市(12)

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、日本海中部地震の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)は、延焼区域の施設が全て被災する自治体や、 $N_f$  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-4-1-2 電柱の標準被害率 (単位: %)

震度	5強以下	6弱	6強	7
宮城県(04) 山形県(06) 大分県(19) 長崎県(06)	0.00	0.55		6.68
横浜市(12)	0.0	0.5		6.7

表Ⅲ-4-1-3 液状化条件による補正係数

$P_L$ 値ランク	$P_L=0$	$0 < P_L \leq 5$	$5 < P_L \leq 15$	$15 < P_L$
横浜市(12)	1.0	1.1	1.3	2.1

○大分県(19) 横浜市(12)では、焼失率を考慮しない。

○大分県(19)では、液状化による補正係数 $C_l$ を日本海中部地震における電柱の液状化地域と非液状化地域の被害率比により次のように算出

$$C_l = \text{液状化被害率} (=7) \times \text{液状化発生面積率} + 1 \times (1 - \text{液状化発生面積率})$$

## ②架空線(配電線)の被害

### a) 香川県(2013)の手法

○採用自治体: 青森県(16) 愛知県(14) 香川県(14) 愛媛県(13) 高知県(13) 鹿児島県(14)

津波と火災による被害を想定している。

◇津波による被害 : 津波による建物全壊率と同じ割合で停電が発生すると想定  
 津波による架空線停電率 = 津波による建物全壊率

◇火災による被害 : 火災による建物焼失棟数率と同じ割合で停電が発生すると想定  
 火災による架空線停電率 = 火災延焼による建物焼失棟数率

### b) 山梨県(2005)・山形県(2006)の手法

○採用自治体: 山形県(06) 山梨県(05)

兵庫県南部地震の被害データに基づく予測式は次のとおり。

$$\text{被害延長} = a \times b \times N_{dp}$$

a : 兵庫県南部地震における架空線断線径間/電柱被害本数 (=0.4)

b : 架空配電線の径間互長(km/径間)       $N_{dp}$  : 電柱被害本数(本)

## ③地下ケーブルの被害

### a) 東京都(2006)の手法

○採用自治体: 青森県(16) 群馬県(12) 神奈川県(15) 新潟県(21) 福井県(12) 長野県(15) 鳥取県(18) 広島県(13) 山口県(14) 香川県(14) 愛媛県(13) 佐賀県(15) 宮崎県(20) 沖縄県(14) 広島市(13)

地下エリアは、地中設備につながる路上設置機器の損壊により停電が生じると想定し、路上設置機器の損壊要因は、「建物倒壊への巻き込まれ」と想定している。

$$\begin{aligned} \text{停電軒数} &= \text{地中供給電灯軒数} \times \text{路上設置機器損壊率} \\ \text{路上設置機器損壊率} &= \text{建物全壊率} \times \text{損壊係数 (0.005)} \\ \text{建物全壊率} &= \text{木造建物全壊棟数} / \text{木造建物棟数} \end{aligned}$$

### b) 東京都(1997)等の手法

○採用自治体：宮城県(04) 山形県(06) 山梨県(05) 横浜市(12)

兵庫県南部地震の被害データに基づく予測式は次のとおり。

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

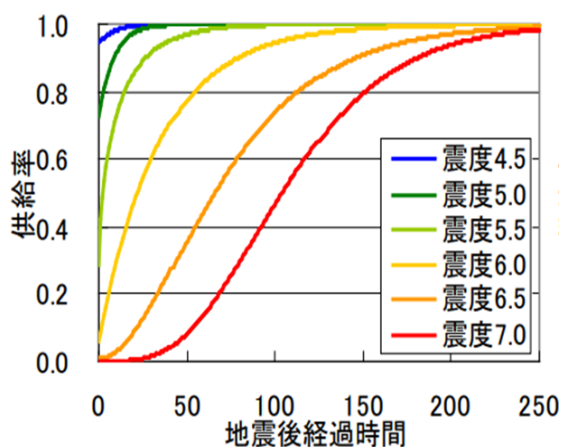
$N_d$  : 被害量(km)       $C_l$  : 液状化条件による補正係数  
 $R$  : 標準被害率(%)       $L$  : 設備量(km)

### (3) 復旧期間の予測

#### ①能島ら(2012)の手法

○採用自治体：青森県(16) 栃木県(15) 長野県(15) 広島県(13) 徳島県(17) 香川県(14) 愛媛県(13) 佐賀県(15) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) 沖縄県(14) 千葉市(14) 相模原市(14) 新潟市(15) 広島市(13)

兵庫県南部地震の被災事例に基づくモデルを東日本大震災の事例で改良したモデルである。



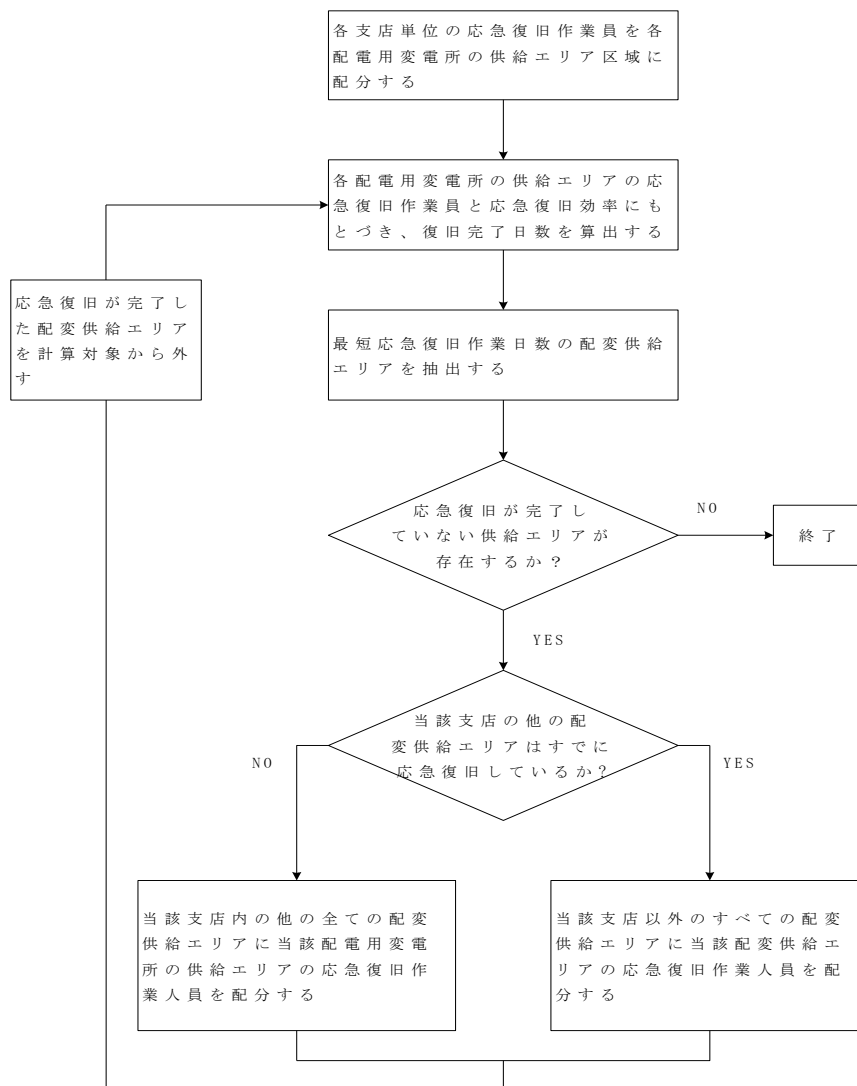
図Ⅲ-4-1-6 能島ら(2012)による電力の供給率曲線(青森県, 2016)

#### ②東京都防災会議(1991)等の手法

○採用自治体：宮城県(04) 群馬県(12) 埼玉県(14) 福井県(12) 山口県(14) 札幌市(21) さいたま市(14)

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。





図Ⅲ-4-1-7 応急復旧想定フロー(東京都, 1997)

表Ⅲ-4-1-4 単位被害あたりの応急復旧人員・日数(東京都, 1997)

区分	作業効率	条件等
電柱	3.6(人日/基)	・標準仕様のコンクリート柱(14~15m)を仮設する ・変圧器、開閉器類を平均して加算する
架空線	4.6(人日/径間)	・高低圧本数とし、仮設する ・電線支持の腕金類を含む
地中電線 (フィーダー線含む)	2.0(人日/10m)	・路上にケーブル設置する

○山口県(14)では、復旧日数を次式から算出

$$\text{復旧日数} = \left\{ (\text{電柱被害本数} \times \text{電柱1本当たりの作業時間}) \div (\text{該当営業所数} \times \text{復旧作業架線班数}) \right\} \div \text{1日当たり作業時間}$$

電柱1本当たりの作業時間：120分/班      1日当たり作業時間：12時間

○群馬県(12)では、配電設備の復旧作業は1日後から開始とする。実際のオペレーションとしては、復旧が即時可能な地域は、直後から復旧作業を開始とする。作業効率は電柱のみを考慮

○さいたま市(14)では、応急復旧を次のように設定

応急復旧作業効率：3本/班・日      投入班数：10班/区

応急復旧開始時期：2日後から本格的に応急復旧の体制が取れると想定

### ③秋田県(2013)の手法

○採用自治体：秋田県(13) 新潟県(21)

電力の復旧日数は、電力の被害想定による非延焼エリアの電柱被害本数と復旧作業人数及び復旧作業効率から算出する。復旧作業効率は新潟県中越地震を参考に設定した。

【冬季以外】 電力復旧日数 = (電柱被害本数(非延焼エリア) + 電線被害数) / (0.56(基/人日) × 復旧作業人数) + 1

【冬季】 電力復旧日数 = (電柱被害本数(非延焼エリア) + 電線被害数) / (0.56(基/人日) × 復旧作業人数) / 0.7 + 1

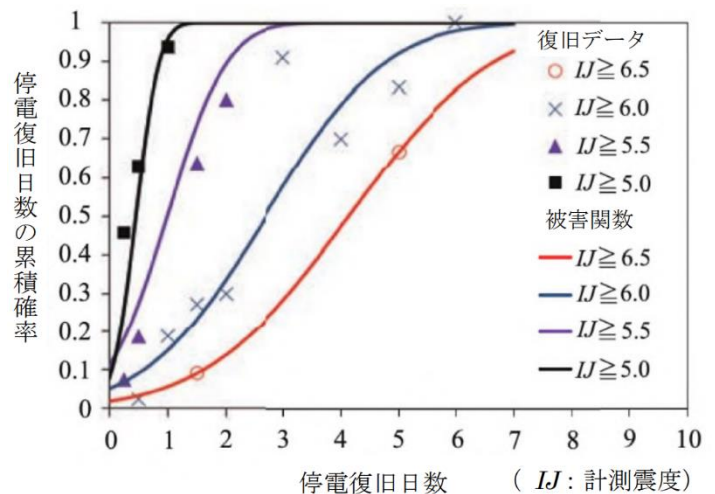
電線被害数 = 電柱被害本数(非延焼エリア) × 0.7535\*

※0.7535 = 新潟県中越地震の被害率(電線被害数/電柱被害数)

### ④Shojiら(2011)の手法

○採用自治体：茨城県(18)

東日本大震災の復旧状況に基づく予測式は右図のとおり。



図Ⅲ-4-1-8 計測震度に対する停電復旧日数 (shojiら, 2011)

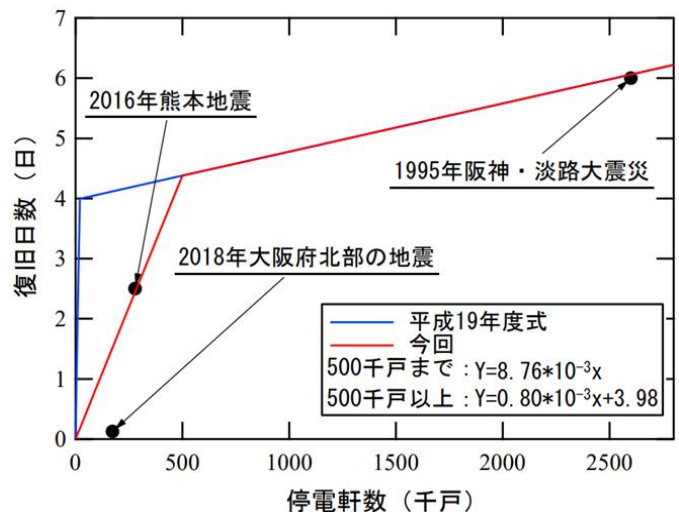
### ⑤札幌市(2021)の手法

○採用自治体：札幌市(21)

過去の災害事例から求めた予測式は次のとおり。

$y = 0.00876x$  : 50万戸まで  
 $y = 8.0 \times 10^{-4}x + 3.98$  : 50万戸以上  
 y : 復旧日数(日) x : 停電戸数(千戸)

図Ⅲ-4-1-9 停電軒数と復旧日数の関係 (札幌市, 2021)



### ⑥川崎市(2013)の手法

(1)⑥を参照

## 4-2. 通信の被害・復旧

以下に、機能支障の予測、復旧期間の予測について整理する。

### (1) 機能支障の予測

#### ① 東京都(2006)の手法

○採用自治体：青森県(16) 栃木県(15) 埼玉県(14) 東京都(12) 神奈川県(15) 島根県(18) 広島県(13) 山口県(14) 徳島県(17) 熊本県(13) 川崎市(13) 広島市(13) 熊本市(14)

東京都(2006)では、以下の基本的な考え方を示した上で被害を予測している。

- ・都内の加入電話の回線数を対象とする。
- ・不通率は、焼失面積率（焼失建物棟数率）及び電柱被害数より算出した不通回線数と需要家回線数より求める。
- ・火災延焼のあるエリアは、全面的に通信寸断が生じると想定する。
- ・非延焼エリアは、電柱被害から通信寸断が生じると想定する。電柱被害は、被害発生要因を「ゆれ」及び「建物倒壊への巻き込まれ」と想定する。
- ・地下エリアは、対象としていない。
- ・停電による端末機の利用不能は対象としない。通信設備拠点は、耐震化及びバックアップ設備や多重化が施され、兵庫県南部地震時にも電力供給停止に伴う交換機能の停止以外では、機能支障にいたる被害は発生していないことから、拠点施設の被災による機能停止は対象としない。

【延焼エリア】 不通回線数＝需要家回線数×焼失建物棟数率  
焼失棟数＝焼失建物棟数／（木造建物棟数＋非木造建物棟数）

【非延焼エリア】 不通回線数＝電柱被害本数×電柱被害一本当たりの不通回線数  
電柱被害一本当たりの不通回線数＝電柱被害一本当たりの不通配電線数  
×配電線一本当たりの契約回線数  
電柱被害一本当たりの不通配電線数は、東京都(1997)による「電柱被害一本当たりの不通に係る配電線数(0.396)」を採用  
配電線一本当たりの契約回線数＝需要家回線数／配電線数  
＝需要家回線数／（電柱本数×電柱一本当たりの配電線数）  
※電柱一本当たりの配電線数を1と仮定

#### ◇ゆれによる電柱被害

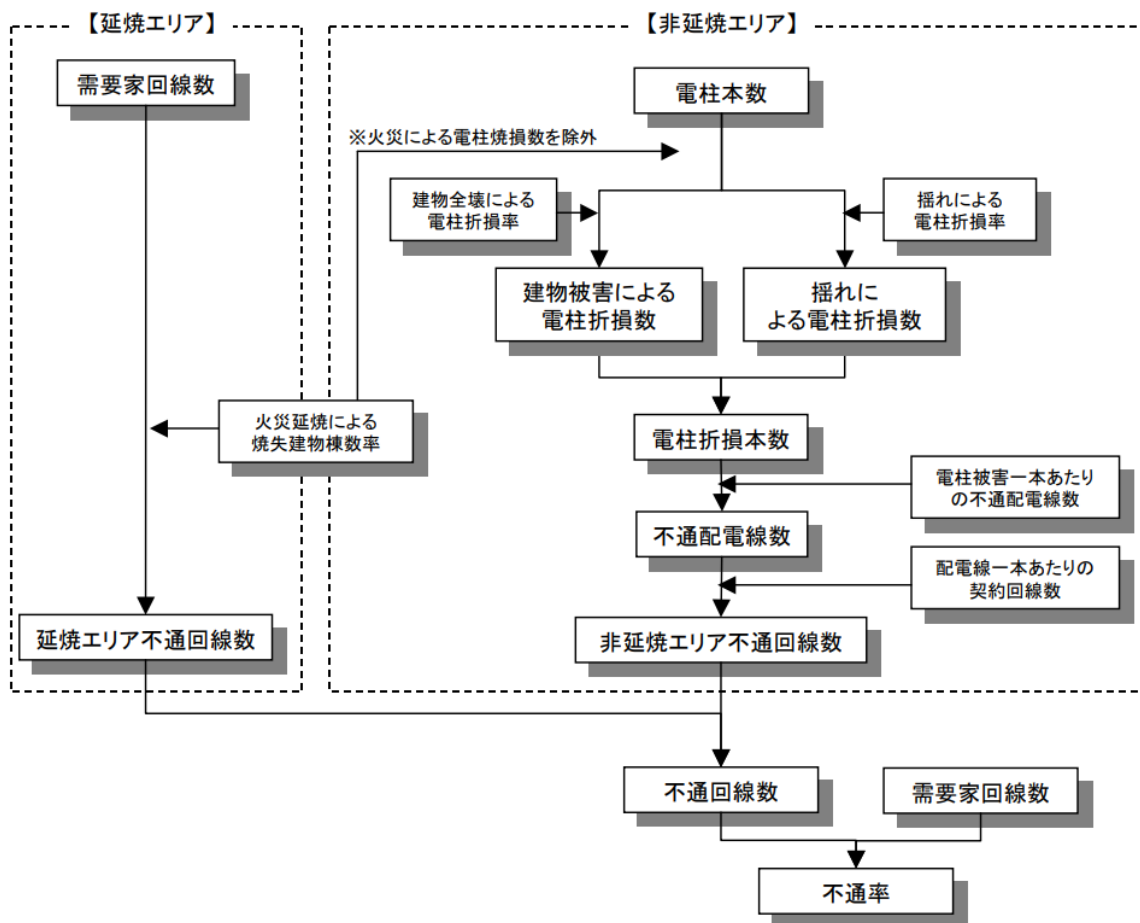
電柱被害本数＝電柱本数×ゆれによる電柱折損率  
ゆれによる電柱折損率（兵庫県南部地震時の被害実態に基づく）  
震度7 0.8% 震度6以上 0.056% 震度5以上 0.00005%

#### ◇建物倒壊への巻き込まれによる電柱被害

電柱被害本数＝電柱本数×建物全壊による電柱折損率  
建物全壊による電柱折損率＝0.17155×建物全壊率（兵庫県南部地震時の被害実態に基づく）  
建物全壊率＝木造建物全壊棟数／木造建物棟数  
※兵庫県南部地震時の実態は戸建住宅の全壊率を対象としている

- 埼玉県(14)では、延焼による電柱被害も予測 被害本数＝焼失率×総本数  
○東京都(12)では、新たに津波浸水エリアを設定  
【津波浸水エリア】 不通回線数＝需要家回線数×浸水エリアカバー率  
○島根県(18)では、ゆれによる電柱折損率は兵庫県南部地震の被害調査結果を基に設定  
震度7 6.7% 震度6以上 0.5% 震度5以上 0.0%

- 島根県(18) 徳島県(17)では、電柱1本あたりの停電件数は神奈川県(09)の値(10.975)を採用
- 熊本県(13) 熊本市(14)では、津波浸水分布図をもとに「浸水の可能性がある施設数」を算定



図Ⅲ-4-2-1 不通率の算出フロー(東京都, 2006)

## ②中央防災会議(2013)の手法

- 採用自治体：青森県(16) 茨城県(18) 千葉県(16) 神奈川県(15) 新潟県(21) 長野県(15) 静岡県(13) 愛知県(14) 三重県(14) 大阪府(14) 広島県(13) 鳥取県(18) 広島県(13) 山口県(14) 香川県(14) 愛媛県(13) 高知県(13) 佐賀県(15) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) 沖縄県(14) さいたま市(14) 千葉市(14) 広島市(13)

中央防災会議(2013)では、以下の基本的な考え方を示した上で被害を予測している。

- ・固定電話は、津波浸水\*1、停電\*2、揺れの影響による屋外設備（電柱・架空ケーブル）の被害を考慮して、不通回線数を算出する。
  - －津波浸水の影響として、建物被害による架空ケーブル被害を考慮する。（建物全壊したエリアの架空ケーブルが流失したものと仮定）
  - －停電の影響は、各エリアの被害想定結果から算出する。
  - －揺れの影響は、火災延焼エリアにおける架空ケーブルの焼失と非延焼エリアにおける電柱折損から算出する。
- ・携帯電話は、固定電話の不通回線率と停電の影響を考慮して、停波基地局率、携帯電話不通リンクを算出する。
  - －停電の影響は、基地局の停電の予測結果と非常用発電機の整備状況を考慮する。
- ・復旧予測は、不通回線数と東日本大震災等での復旧状況を考慮する。
  - \*1 交換機と需要家端末はほぼ同一地域にあり、交換機設置環境を考慮した場合、屋外設備（架空ケーブル）被害の影響の方が大きいと考えられる。

\*2 固定電話は給電を要するため、非常用発電機を有する交換機と比較した場合、停電の影響は需要家端末のほうが大きいと考えられる。

(注1) 復旧予測にあたっては、津波浸水により建物全壊した需要家数に相当する停電軒数を別途算出し、復旧対象から除くものとする。

(注2) 回線が物理的につながっているかを評価するため、輻輳の影響は考慮しない。

予測式は次のとおり。

固定電話の不通回線数 = 津波による電線被害 + 火災・揺れ等による被害 + 停電の影響  
携帯電話の停波基地局率：停電率と固定電話の不通回線率から算出  
携帯電話の不通ランク：停電率と固定電話の不通回線率から判定

津波浸水、停電、ゆれの影響による屋外設備被害から、固定電話の不通回線数を算出する。固定電話の不通回線数、停電による停波基地局率から、停波基地局率、携帯電話不通ランクを算出する。通信の被害想定フローを図Ⅲ-4-2-2に示す。

### ③秋田県(2013)の手法

○採用自治体：秋田県(13)

不通回線数は、電柱被害本数と電柱1本あたりの回線数を乗じる。

不通回線数 = 電柱被害本数 × 電柱1本あたりの回線数

不通回線率 = 不通回線数 / 建物数

電柱1本あたりの回線数 = 建物数 / 電柱本数

### ④兵庫県(2014)の手法

○採用自治体：兵庫県(14)

兵庫県(2014)では、固定電話の発災直後における不通回線数を以下のとおり予測している。

発災直後の不通回線数 = (a) + (b) + (c)

#### (a) 津波浸水の影響

建物全壊による架空ケーブル・電柱被害からの不通回線数 = 回線数(市区町村別) × 建物全壊率

※上記の数字において、津波浸水エリア(浸水深2m以上)は、街そのものが甚大な被害を受けると想定されることから、早期復旧困難エリアとする。

#### (b) 揺れの影響

揺れの影響による不通回線数 = 火災延焼エリアにおける不通回線数  
+ 非延焼エリアにおける不通回線数

火災延焼エリアにおける不通回線数 = 通話可能回線数<sup>※1</sup> × 火災延焼による建物焼失棟数率

非延焼エリアにおける不通回線数 = 電柱本数 × 揺れによる電柱折損率<sup>※2</sup>  
× 電柱1本あたりの回線数

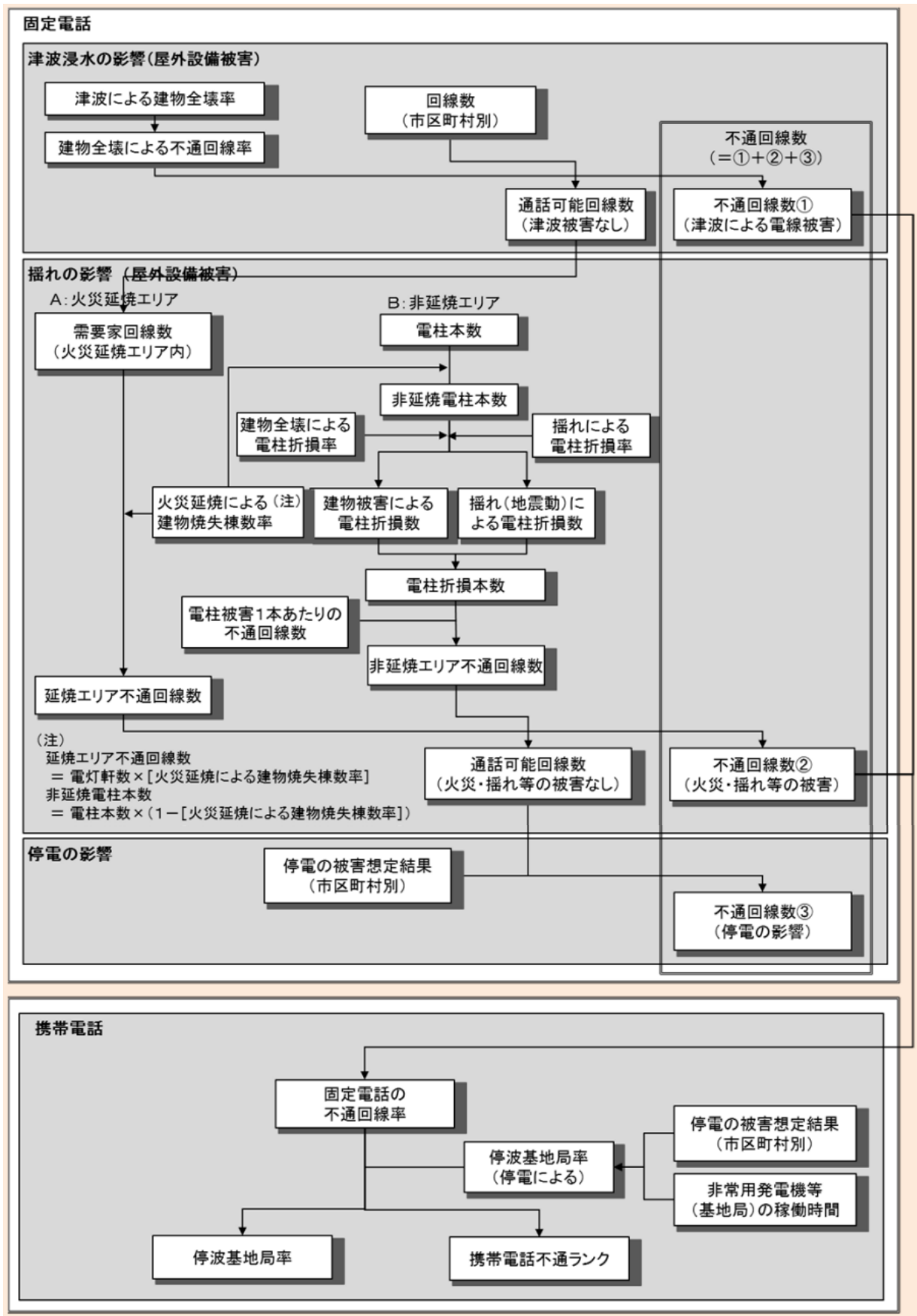
※1 (a) 津波浸水の影響を受けなかった回線数

※2 液状化等、地域特性を考慮した数字を適用

#### (c) 停電の影響

停電率 × 通話可能回線数<sup>※3</sup>

※3 上記(a)(b)の被害を受けなかった回線数



図Ⅲ-4-2-2 通信の被害想定フロー(中央防災会議, 2013)

※中央防災会議(2013)の公表資料には、詳しい計算方法や数値等が記載されていないため、揺れの影響の部分は①東京都(2006)の手法を採用している自治体が多い。

## (2) 復旧期間の予測

### ①能島ら(2012)の手法

○採用自治体：茨城県(18) 長野県(15) 鳥取県(18) 佐賀県(15) 宮崎県(20)

供給率曲線として、 $4 - 1 \cdot (3)$ ①能島ら(2012)の手法と同じモデルを用いる。

### ②東京都防災会議(1991)等の手法

○採用自治体：青森県(16) 埼玉県(14) 新潟県(21) 香川県(14)

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-4-2-1 単位被害あたりの応急復旧人員・日数(東京都防災会議, 1991)

区分	作業効率	条件等
支持物	0.9(人日/本)	新設または建入直し
架空ケーブル	4.7(人日/条・スパン)	ケーブル36m新設・切替接続2カ所
地下ケーブル	51(人日/条・スパン)	ケーブル120m新設・切替接続2カ所

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。

### ③神奈川県(2015)の手法

○採用自治体：神奈川県(15)

揺れによる屋外施設被害：発災直後の1日は復旧しない。

電柱の被害本数が100本未満の場合は7日間、1,000本未満の場合は12日間、津波浸水による被害が大きい場合は50日間で復旧  
(東日本大震災における復旧状況から設定)

停電による不通回線：電力の復旧に合わせて復旧する。

### ④山口県(2014)の手法

○採用自治体：山口県(14)

- ・東日本大震災等での復旧状況を考慮し、津波浸水により建物全壊した需要家数に相当する不通回線数は、応急復旧対象から除くこととした。
- ・南海トラフ巨大地震における復旧については(株)NTT西日本-山口の協力により、地震発生直後から3~10日後に復旧するとの検討結果を参考にする。

表Ⅲ-4-2-2 通信の復旧日数と作業日数に投入する人員数(山口県, 2014)

電柱被害本数	復旧	
	日数	人員(人/日)
86	3~10	516

### ⑤川崎市(2013)の手法

○採用自治体：川崎市(13)

通信の復旧について、兵庫県南部地震時の地震1日後の停電件数(約40万件)からの復旧曲線をベースに、回線系統の切り替えなどで支障件数の多くが復旧し、残りが電柱の復旧とともに回復すると仮定して試算している。



### 4-3. 上水道の被害・復旧

以下に、機能支障の予測、埋設管被害箇所数の予測、復旧期間の予測について整理する。

#### (1) 機能支障の予測 (断水)

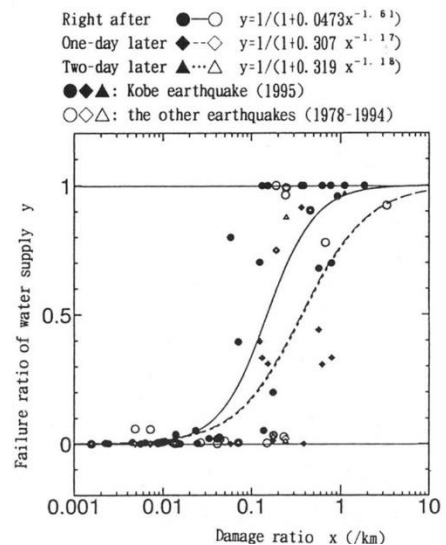
##### ① 川上(1996)の手法

○採用自治体：北海道(18) 青森県(16) 秋田県(13) 山形県(06) 福島県(98) 栃木県(15) 埼玉県(14) 神奈川県(15) 新潟県(21) 福井県(12) 山梨県(04) 静岡県(13) 愛知県(14) 三重県(14) 大阪府(14) 兵庫県(14) 奈良県(05) 鳥取県(18) 島根県(18) 岡山県(14) 広島県(13) 山口県(14) 徳島県(17) 香川県(14) 愛媛県(13) 高知県(13) 長崎県(06) 熊本県(13) 大分県(19) 鹿児島県(14) 沖縄県(14) 札幌市(21) さいたま市(14) 横浜市(12) 川崎市(13) 岡山市(13) 広島市(13) 熊本市(14)

川上(1996)は、兵庫県南部地震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、右図の関係を得た。

$$\begin{aligned} \text{直後} : y &= 1 / ( 1 + 0.0473x^{-1.61} ) \\ \text{1日後} : y &= 1 / ( 1 + 0.307x^{-1.17} ) \\ \text{2日後} : y &= 1 / ( 1 + 0.319x^{-1.18} ) \end{aligned}$$

$y$  : 断水世帯率  
 $x$  : 配水管被害率(箇所/km)



図Ⅲ-4-3-1 断水率と配水管被害率の関係(川上, 1996)

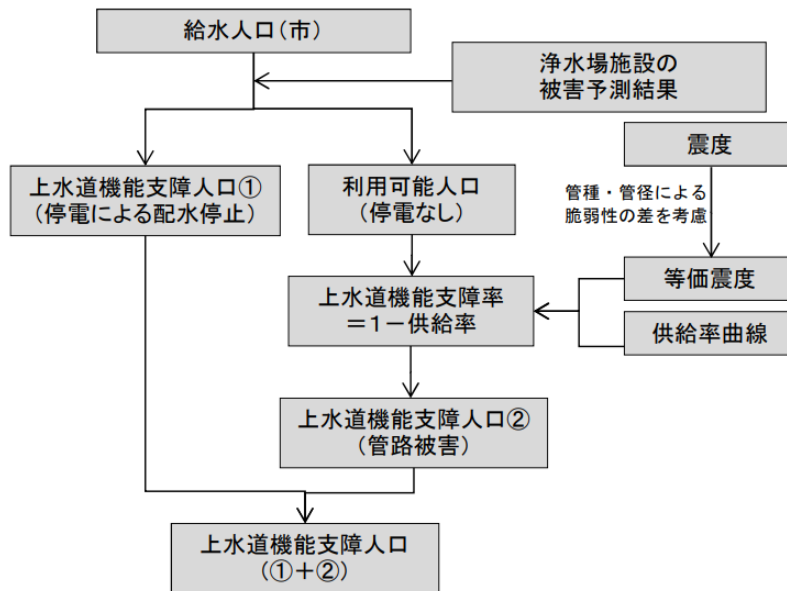
- 横浜市(12) 香川県(14)では、1日後のみを想定
- 横浜市(12)では、φ75mm以上の配水管の被害率を使用
- 熊本県(13)では、津波浸水分布図をもとに浸水の可能性がある施設数を算定
- 島根県(18) 大分県(19)では、兵庫県南部地震時の実態に基づき、制水弁閉止後(発災7日後)の上水道の断水率も算出 発災7日後の断水率=地震直後の断水率×0.5

##### ② 首都直下地震防災・減災プロジェクト(2011)の手法

○採用自治体：千葉県(16) 千葉市(14)

以下に、千葉市(2014)における予測手法の概要を記す。

- ・上水道の機能支障(=上水道の施設被害等によって断水するなど、供給能力が低下することで日常生活等に支障が生じる状況。)について予測を行った。
- ・首都直下地震防災・減災プロジェクト(2011)で岐阜大学能島教授らのグループが提案している兵庫県南部地震のデータ(兵庫県8市、大阪府17市2町)を踏まえた予測手法を基に算出した。
- ・まず、停電による配水の停止が発生することを考慮して、浄水場別の停電被害を予測し、停電による上水道機能支障人口(図中の①)を求めた。
- ・次に、停電が発生していない人口(利用可能人口)について、震度ごとの供給率曲線から算出した機能支障率(=1-供給率)を利用可能人口に掛け合わせて管路被害による機能支障人口(②)を求めた。



図Ⅲ-4-3-2 上水道機能支障人口の予測フロー(千葉市, 2014)

- ・ ①と②を足し合わせるにより、上水道の機能支障人口を求めた。
- ・ 供給率曲線は兵庫県南部地震のデータを基に定義されたものであるため、千葉市内における管種・管径による脆弱性と兵庫県南部地震時の脆弱性との差を補正した供給率曲線を用いた。
- ・ 復旧想定も同様に、発災後の日数における停電による上水道機能支障人口と管路被害による機能支障人口とを足し合わせた機能支障人口を給水人口から引くことにより、復旧率を求めた。

### ③断水人口の求め方

○新潟県(21) 広島県(13) 山口県(14) 愛媛県(13) 沖縄県(14) 広島市(13)

全断水人口 = 浄水場の停止による断水人口 + 配水管の被害による断水人口

◇津波浸水の影響

浄水場の停止による断水人口 = 機能停止浄水場数 / 全浄水場数 × 給水人口

◇揺れによる影響

配水管の被害による断水人口 = 断水率 × 利用可能人口

利用可能人口 = 給水人口 - 浄水場の停止による断水人口

断水率は川上(1996)の手法を改良した神奈川県(2009)の手法を使用

○青森県(16) 香川県(14)

◇揺れと液状化の影響

断水人口 = 断水率 × 夜間人口

◇管路被害による断水人口

断水人口 = 管路被害による断水人口 + 浄水場等の施設被害による断水人口

− 浄水場等の施設被害地区の管路被害による断水人口

浄水場等の施設の浸水による断水人口 = 津波浸水域にある処理場等の処理人口

浄水場等の施設被害の断水人口に管路被害の断水人口が含まれる場合はこれを除去

○栃木県(15)

◇停電の影響

浄水場停止による断水人口 = 機能停止浄水場 / 全浄水場 × 給水人口

◇揺れによる影響

配水管の被害による断水人口＝断水率×利用可能人口  
 利用可能人口＝給水人口－浄水場の停止による断水人口  
 断水率は川上(1996)の手法を改良した神奈川県(2009)の手法を使用

○兵庫県(14)

断水人口＝津波で浸水する浄水場の給水人口＋管路被害による断水人口  
 ー津波で浸水する浄水場の給水区域内の管路被害による断水人口  
 管路被害による断水人口＝断水率(川上, 1996)×給水人口

○鹿児島県(14)

断水人口は以下の合計 ※暖水率、給水人口、建物全壊率、停電率、管路被害率はメッシュごとの値

◇津波浸水の影響

- ・浄水場が浸水する場合：津波浸水エリアの断水人口＝断水率(100%)×給水人口
- ・浄水場が浸水しない場合：津波浸水エリアの断水人口＝断水率(建物全壊率)×給水人口

◇停電の影響 断水人口＝断水率(停電率)×給水人口

◇揺れの影響 断水人口＝断水率(管路被害率)×給水人口

(2)埋設管被害箇所数の予測

上水道埋設管被害については、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。最も多く採用されている送水管・配水管の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、それ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下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

①標準被害率

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を用いる自治体がほとんどである。

○採用自治体：茨城県(18) 栃木県(15) 神奈川県(15) 新潟県(21) 兵庫県(14) 島根県(18) 岡山県(14) 広島県(13) 愛媛県(13) 徳島県(17) 高知県(13) 宮崎県(20) 沖縄県(14) 札幌市(21) さいたま市(14) 川崎市(13) 岡山市(13) 広島市(13)

兵庫県南部地震、新潟県中越地震、能登半島地震、新潟県中越沖地震の配水管被害データを用いて提案された丸山・山崎(2009)の関係式を用いている。

$$R(v) = C\Phi((\ln v - \lambda)/\zeta)$$

表Ⅲ-4-3-1 確率分布関数のパラメータ(丸山・山崎, 2009)

管種	$\zeta$	$\lambda$	C
CIP・VP	0.860	5.00	2.06
DIP	0.864	6.04	4.99

○採用自治体：北海道(18) 青森県(16) 福島県(98) 埼玉県(14) 東京都(12) 山梨県(05) 大阪府(14) 奈良県(05)

山口県(14) 香川県(14) 大分県(19)

兵庫県南部地震などによる送配水管の被害事例から標準被害率を設定している。

$$R_f = 2.24 \times 10^{-3}(V - 20)^{1.51} \quad V: \text{地表最大速度 (cm/s)}$$

○採用自治体：宮城県(04) 秋田県(13) 福井県(12) 熊本県(13) 鹿児島県(14) 仙台市(02) 熊本市(14)

日本水道協会などによる兵庫県南部地震の被害データの分析による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) 長崎県(06) 横浜市(12)

高田ら(2001)により兵庫県南部地震の被害分析から提案された関係式を採用している。

$$R_f = 6.33 \times 10^{-5} \times V^{2.10} \quad \text{ただし、} V \leq 110 \text{ (cm/s)、} R_f \leq 1.23 \text{ (箇所/km)}$$

○採用自治体：愛知県(14) 鳥取県(18)

管路の属性情報(管種・継手、口径、布設されている箇所の微地形分類)と地表最大速度から、地震発生時の管路の被害率を算出する。

表Ⅲ-4-3-2 管路被害予測式(愛知県, 2014)

地震による管路被害予測式	
液状化の情報を有していない場合、又は液状化の可能性がない場合の被害予測式	液状化の情報を有しており、かつ液状化の可能性ありの場合の被害予測式 (PL>15の場合)
$X = C_p \times C_a \times C_d \times C_g \times R(v)$ <p>X: 推定被害率 [件/km]                      C<sub>p</sub>: 管種・継手補正係数                      C<sub>d</sub>: 口径補正係数                      C<sub>g</sub>: 微地形補正係数                      R(v): 標準被害率 [件/km]  <math display="block">R(v) = 9.92 \times 10^{-3} \times (v - 15)^{1.14}</math>                     v: 地震動の地表最大速度(cm/s)                      (ただし、15 ≤ v &lt; 120)</p>	$X = C_p \times C_a \times RL$ <p>X: 推定被害率 [件/km]                      C<sub>p</sub>: 管種・継手補正係数                      C<sub>d</sub>: 口径補正係数                      RL: 標準液状化被害率 [件/km]                      RL = 5.5</p>

(出典) 水道技術研究センター「地震による管路被害予測の確立に向けた研究報告書【概要版】」(平成25年3月)

## ②地盤・液状化係数

地盤・液状化係数は、各自治体の地域特性に基づき設定されており、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パターンに大別できる。各自治体で採用している係数の値は多様である。

○地盤係数と液状化係数を個別に考慮している自治体：宮城県(04) 秋田県(13) 栃木県(15) 神奈川県(15) 新潟県(21) 福井県(12) 兵庫県(14) 島根県(18) 岡山県(14) 広島県(13) 徳島県(17) 愛媛県(13) 高知県(13) 熊本県(13) 鹿児島県(14) 札幌市(21) 仙台市(02) さいたま市(14) 川崎市(13) 岡山市(13) 広島市(13) 熊本市(14)

○液状化係数のみを考慮している自治体：青森県(16) 岩手県(04) 山形県(06) 福島県(98) 茨城県(18) 東京都(12) 埼玉県(14) 山梨県(05) 大阪府(14) 鳥取県(18) 山口県(14) 香川県(14) 長崎県(06) 横浜市(12)

## ③管種係数・管径係数

○採用自治体：北海道(18) 青森県(16) 岩手県(04) 宮城県(04) 山形県(06) 秋田県(13) 福島県(98) 茨城県

(18) 栃木県(15) 埼玉県(14) 東京都(12) 新潟県(21) 山梨県(04) 福井県(12) 長野県(15) 大阪府(14) 鳥取県(18) 島根県(18) 岡山県(14) 広島県(13) 山口県(14) 徳島県(17) 香川県(14) 愛媛県(13) 高知県(13) 福岡県(12) 佐賀県(15) 長崎県(06) 熊本県(13) 大分県(19) 宮崎県(20) 札幌市(21) 仙台市(02) 横浜市(12) 川崎市(13) 岡山市(13) 広島市(13) 熊本市(14)

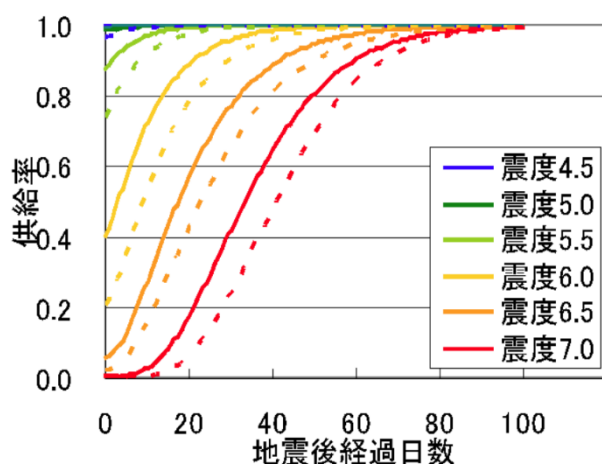
管種係数・管径係数は過去の様々な地震被害を分析することにより設定されている。管種係数・管径係数を別個に設定している自治体と両者の積として管種・管径係数を設定している自治体がある。各自治体で採用している管種・管径区分と係数の値は多様である。

### (3) 復旧期間の予測

#### ① 能島ら(2012)の手法

○採用自治体：青森県(16) 茨城県(18) 栃木県(15) 千葉県(16) 長野県(15) 兵庫県(15) 鳥取県(18) 広島県(13) 山口県(14) 徳島県(17) 香川県(14) 愛媛県(13) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) 沖縄県(14) 千葉市(14) 新潟市(15) 広島市(13)

兵庫県南部地震の被災事例に基づくモデルを東日本大震災の事例で改良したモデルである。



図Ⅲ-4-3-3 能島ら(2012)による上水道の供給率曲線(青森県, 2016)  
(破線：オリジナル、実線：改良モデル)

#### ② 東京都(1997)の手法

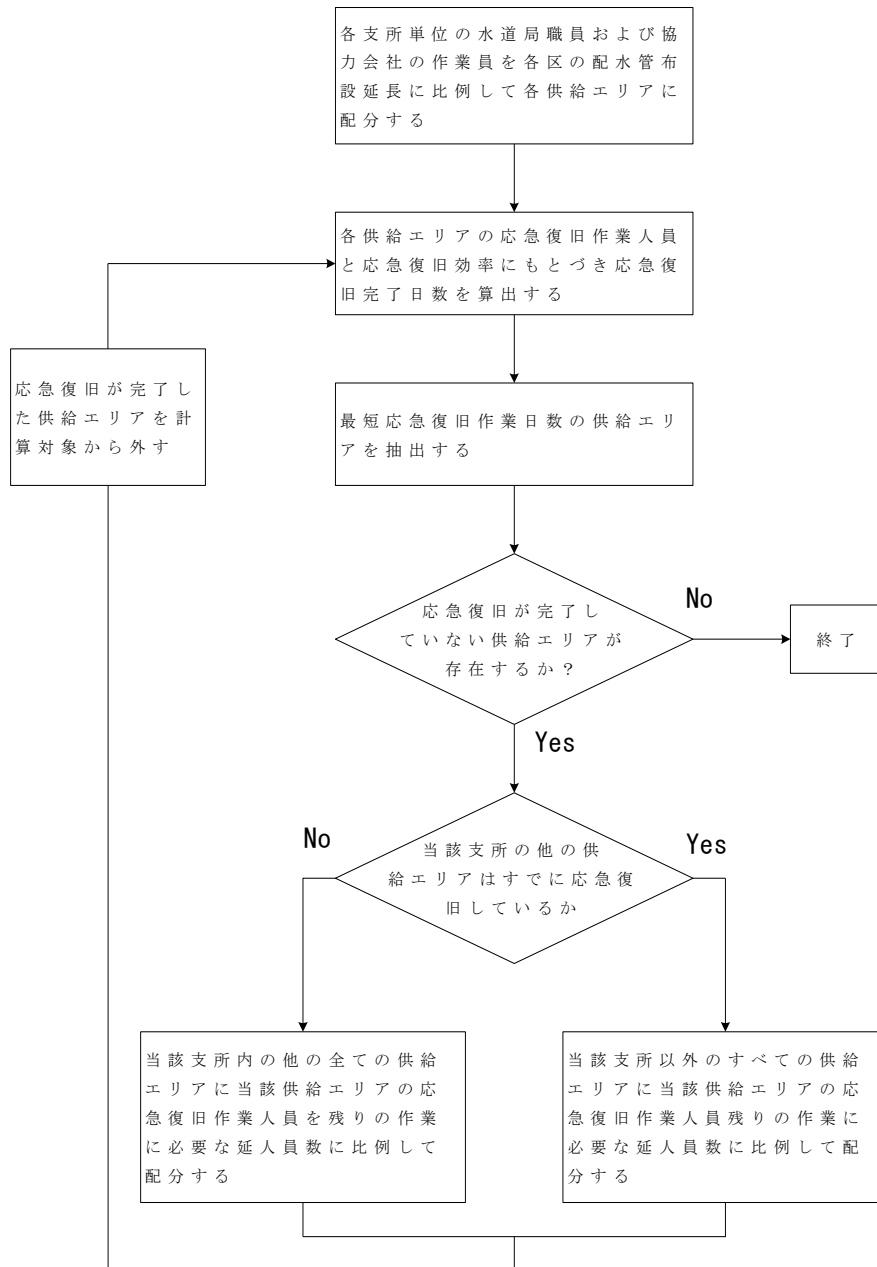
○採用自治体：秋田県(13) 埼玉県(14) 新潟県(21) さいたま市(14)

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-4-3-3 班および日あたりの必要人員と応急復旧作業効率(東京都, 1997)

	1班あたりの必要人員	応急復旧作業効率	
配水本管	局職員2人, 作業員16人	0.5件/日	
配水小管	局職員2人, 作業員8人	区部直下の地震	1.09件/日
		多摩直下の地震	1.16件/日
		神奈川県境直下の地震	1.10件/日
		埼玉県境直下の地震	1.09件/日

○埼玉県(14)では、中央防災会議(2005)の検討を参考に復旧日数の目標(30日)を定め、東京都(1997)の係数を用いて必要人員を求めた。また、排水系統の切り替え作業などで、地震発生から4日後に断水人口の7割が回復すると仮定



図Ⅲ-4-3-4 応急復旧想定フロー(東京都, 1997)

○秋田県(13) 新潟県(21)では、地震発生直後は、被害状況の調査・復旧体制の整備を行い、1日後から復旧開始とする。復旧日数は以下の式から求める。

【冬季以外】配水管復旧日数 = 配水管被害箇所数 / (復旧作業人数 × 0.0568) + 1

【冬季】配水管復旧日数 = 配水管被害箇所数 / (復旧作業人数 × 0.0568) / 0.7 + 1

復旧作業効率は中央防災会議(2008)の下表を参考に設定。配水本管と配水小管の割合が等しいと仮定すると、1日あたり28人で1.59件の復旧をすることが可能である。よって、1日あたりの処理能力は  $1.59 \div 28 = 0.0568$  件/人日と仮定

表Ⅲ-4-3-4 水道の復旧作業に必要な人員及び作業効率(中央防災会議, 2008)

	1班あたりの必要人数	応急復旧作業効率
送水管・配水本管	職員2人、作業員16人	0.5件/班・日
配水小管	職員2人、作業員 8人	1.09件/班・日



### ③中央防災会議(2005)の手法

○採用自治体：群馬県(12) 福井県(12)

#### ◇復旧曲線

- ・地震発生直後は被害状況の調査を行い、1日後からの復旧スタートとする（被災直後の変電所被災による一時的な広範囲の断水は想定しない）。ただし、人口の集中する一部地域については4日後までは制水弁閉止とバックアップルートの確保による断水範囲縮小作業を行い、その後、修理作業を行うこととする。
- ・制水弁閉止とバックアップルートの確保による断水範囲の縮小による効果は、地震発生4日後に東京都では、1日目の断水人口の8割が回復すると想定。それ以外の県は、上記のしくみがある地域とない地域があることを勘案し、県全体で断水人口の7割が回復すると想定

#### ◇復旧作業に投入する人員数

- ・東京都(1997)を参考に、復旧に必要な人員数等を下表のように設定
- ・送水管および配水管被害箇所数の予測結果から、必要となる班数は下式より求まる。  

$$\text{送水管・配水本管復旧必要班数} = \text{送水管・配水本管被害箇所数} / (0.5 \times 26 \text{日})$$

$$\text{配水小管復旧必要班数} = \text{配水小管被害箇所数} / (1.09 \times 26 \text{日})$$
- ・これより必要となる人員数は下式より求まる。  

$$\text{必要人員数} = \text{送水管・配水本管復旧必要班数} \times 20 \text{人} + \text{配水小管復旧必要班数} \times 10 \text{人}$$

表Ⅲ-4-3-5 上水道の復旧に必要な人員数・作業効率(中央防災会議, 2005)

	1班あたりの必要人員	応急復旧作業効率
送水管・配水本管	職員2人、作業員16人	0.5件/班・日
配水小管	職員2人、作業員8人	1.09件/班・日

### ④札幌市(2021)の手法

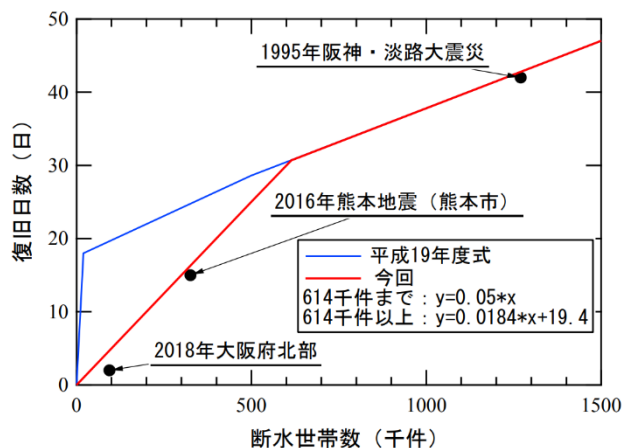
○採用自治体：札幌市(21)

過去の災害事例から求めた予測式は次のとおり。

$$y = 0.05x \quad : 614 \text{千件まで}$$

$$y = 0.0184x + 19.4 \quad : 614 \text{千件以上}$$

y : 復旧日数(日)    x : 断水世帯数(千件)



図Ⅲ-4-3-5 断水世帯数と復旧日数の関係(札幌市, 2021)



## ⑤神奈川県(2015)の手法

○採用自治体：神奈川県(15)

予測式は以下のとおり。

$$Y = a ( X - ds ) + b$$

Y : 断水率

a : 配水管の被害箇所数によって決まる復旧速度(断水率/日)(下表)

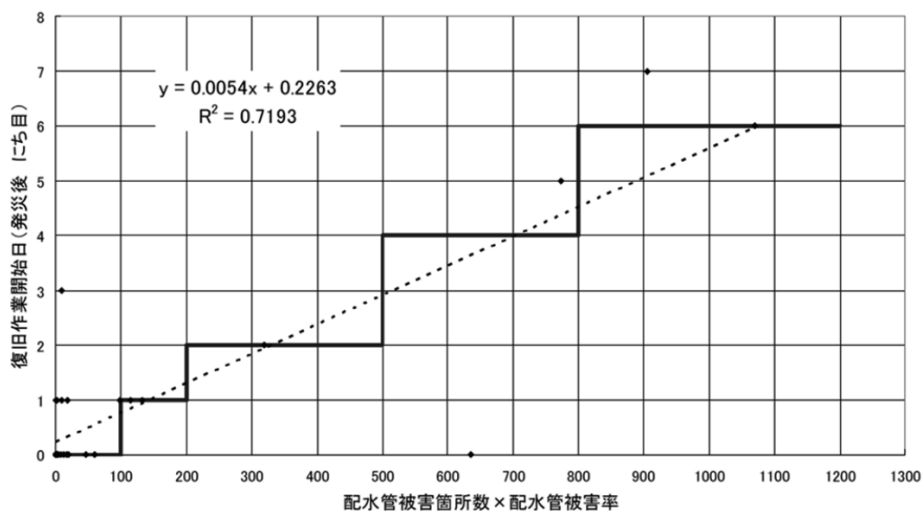
X : 地震発生からの経過日数(地震発生日において X=0)

ds : 下図から決まる復旧作業開始までに必要な日数(復旧作業開始日)

b : 地震直後の断水率

表Ⅲ-4-3-6 配水管の被害箇所数と復旧速度(神奈川県, 2015)

配水管被害箇所数	復旧速度a
1000箇所以上	-0.023
100箇所以上	-0.0354
100箇所未満	-0.125



※予測関数は、阪神・淡路大震災の事例より設定(前回調査(2009)の手法)

図Ⅲ-4-3-6 復旧作業開始日の予測関数(神奈川県, 2015)

## ⑥川崎市(2013)の手法

○採用自治体：川崎市(13)

送水管と配水管の被害箇所数、復旧速度、復旧人員から応急復旧日数を予測する。

- ・送水管や400mm以上の基幹管路から復旧に取り掛かる(⇒完了時点で応急給水拠点は使用可能)
- ・基幹管路は、2日後までに復旧作業を完了し、基幹管路以外は3日目より復旧作業を開始する。
- ・投入班数は、要領に基づき自前で編成可能な最大32班を基準として、首都が被害を受けると考えられる元禄型関東地震では、他都市からの応援が期待できないことや参集する職員の状況を考慮し、80%の25班、H24川崎市直下の地震では、他地域からの応援が期待できるため、150%の48班とする。
- ・3日目以降の復旧速度はNagataら(2008)に基づき、1日0.5箇所/班とする。
- ・3日目以降の断水世帯数の算出は、ブロックごとに初期の被害箇所数と復旧に応じた被害箇所数の割合により算出

#### 4-4. 下水道の被害・復旧

以下に、被害延長・被害箇所数の予測、機能支障および復旧期間の予測について整理する。

##### (1) 被害延長・被害箇所数の予測

###### ①国土交通省(2006)の手法

○採用自治体：北海道(18) 秋田県(13) 群馬県(12) 千葉県(14) 神奈川県(15) 福井県(12) 長野県(15) 愛知県(14) 大阪府(14) 兵庫県(14) 島根県(18) 岡山県(14) 山口県(14) 徳島県(17) 香川県(14) 佐賀県(15) 熊本県(13) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) 札幌市(21) さいたま市(14) 千葉市(14) 横浜市(12) 岡山市(13) 熊本市(14)

兵庫県南部地震、新潟県中越地震、日本海中部地震の被害から求めた平均管きよ被害率(下表)を用いて予測する。

$$\text{下水道被害延長} = \text{平均管きよ被害率} \times \text{管きよ延長}$$

表Ⅲ-4-4-1 平均管きよ被害率(国土交通省, 2006)

管種	液状化危険度	PL値 計測震度基準値	震度階級				
			5-	5+	6-	6+	7
			4.75	5.25	5.75	6.25	6.75
塩ビ管 陶管	A~D	ALL	1.0%	2.3%	5.1%	11.3%	24.8%
その他の管	A	15<PL	0.6%	1.3%	3.0%	6.5%	14.5%
	B	5<PL≤15	0.5%	1.0%	2.2%	4.8%	10.7%
	C	0<PL≤5	0.4%	0.9%	2.0%	4.5%	9.8%
	D	PL=0	0.4%	0.9%	1.9%	4.2%	9.2%

###### ②東京都(2006)の手法

○採用自治体：青森県(16) 栃木県(15) 埼玉県(14) 東京都(12) 新潟県(21) 鳥取県(18) 広島県(13) 愛媛県(13) 沖縄県(14) 広島市(13)

予測式は次のとおり。

$$\text{下水道被害延長} = \text{平均管きよ被害率} \times \text{管きよ延長}$$

表Ⅲ-4-4-2 平均管きよ被害率(東京都, 2006) (単位：%)

管種	震度		震度階				
	液状化	PL値	5弱	5強	6弱	6強	7
塩ビ管 陶管	PL値	すべて	19.0	30.8	39.3	48.6	57.0
その他の管	PL値	15<PL	11.4	17.4	23.1	28.0	33.4
		5<PL≤15	8.7	13.6	17.0	20.8	24.6
		0<PL≤5	8.0	12.6	15.6	19.1	22.5
		PL=0	7.6	12.1	14.6	18.1	21.2

- ①液状化地盤 塩ビ管・陶管：兵庫県南部地震及び新潟県中越地震被害実態に基づく  
 その他：日本海中部地震被害実態に基づく  
 ②非液状化地盤 塩ビ管・陶管：兵庫県南部地震及び新潟県中越地震被害実態に基づく  
 その他：兵庫県南部地震被害実態に基づく

###### ③東京都防災会議(1991)等の手法

○採用自治体：山形県(06) 福島県(98) 山梨県(05) 長崎県(06) 大分県(19)

支線管きよの土砂堆積被害を対象としている。土砂堆積被害とは、液状化により管きよの接合部

等において発生した損傷部から土砂が流入し、管きよ内に土砂が堆積することを指す。

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

$N_d$  : 枝線管きよの土砂堆積延長 (km)

$R$  : 液状化危険度ランクごとの標準被害率

\* 日本海中部地震(1983)の能代市の被害データ(標準被害率=6.8%)から設定

$C_4$  : 土被り深さによる補正係数 (10m以浅のとき 1.0、10m以深のとき 0.0)

$L$  : 管きよ延長 (km)

○山形県(06) 山梨県(05) 大分県(19)では、能代市の下水処理区域はすべて液状化危険度が最大 (=液状化発生面積率18%) として、液状化危険度ランクごとの標準被害率を以下としている。

$$\text{液状化ランクごとの標準被害率} = 6.8\% \times \text{液状化発生面積率}(\%) / 18\%$$

#### ④永田ら(2010)の手法

○採用自治体：茨城県(18) 高知県(13)

大規模地震による下水道被害想定検討委員会(国土交通省, 2006)における永田ら(2010)の評価モデルを基に、250mメッシュ単位で管路の被害箇所数を予測する。管路の分布は、領域内の延長を管路の管種・管径別に、建物の分布を基に250mメッシュに分配した。

$$D = \sum L \cdot R(v)$$

$$R(v) = C \Phi\left(\frac{\ln v - \lambda}{\zeta}\right)$$

$D$  : 総被害件数(件)     $L$  : 管路延長 (km)     $R(v)$  : 標準被害率評価式 (km/km)

$\Phi(x)$  : 標準正規分布の確率分布関数     $v$  : 地表最大速度 (cm/s)

表Ⅲ-4-4-3 確率分布関数の回帰係数(高知県, 2013)

液状化	$\zeta$	$\lambda$	$C$
液状化あり ( $PL \geq 15$ )	0.072	3.680	0.216
液状化あり ( $0 < PL < 15$ )	0.004	3.652	0.289

#### ⑤川崎市(2013)の手法

○採用自治体：川崎市(13)

◇下水道管きよ

兵庫県南部地震の被害データに基づく予測式(庄司ら, 2011)を用いる。

$$D_1 = \sum_i \sum_j L_{ij} \cdot R_{ij}$$

$$R_{ij} = C_{gij} \cdot C_{pij} \cdot C_{dij} \cdot R(v)$$

$$R(v) = C \Phi\left(\frac{\ln v - \lambda}{\zeta}\right)$$

ここで、 $D_1$  : 総被害延長 (km)、 $L_{ij}$  : 管路延長 (km)、 $R_{ij}$  : 被害率、 $R(v)$  : 標準被害率評価式、

$C_{pij}$  : 管種補正係数(表 8.2-6)、 $C_{dij}$  : 管径補正係数(表 8.2-7)、 $C_{gij}$  : 地盤補正係数(表 8.2-8)、

$\Phi(x)$  : 標準正規分布の確率分布関数、 $v$  : 地表最大速度 (cm/s)、添え字  $ij$  は管種、管径

表Ⅲ-4-4-4 確率分布関数の回帰係数(川崎市, 2013)

	PL 値	回帰係数			制約条件
		C	λ	ζ	
機能的被害	15 < P <sub>L</sub>	0.14	5.02	0.42	ζ ≥ 0.42
	5 < P <sub>L</sub> ≤ 15	0.08	4.62	0.35	ζ ≥ 0.35
	P <sub>L</sub> ≤ 5	0.13	4.99	0.44	ζ ≥ 0.44

◇下水道人孔

新潟県中越地震、新潟県中越沖地震の被害データに基づく予測式(永田ら, 2010)を用いる。

$$R(V) = C\Phi\{(\ln V - \lambda)/\zeta\}$$

R(V) : 標準被害率評価式      Φ(x) : 標準正規分布の確率分布関数

V : 地表最大速度 (cm/s)

表Ⅲ-4-4-5 確率分布関数の回帰係数(川崎市, 2013)

	P <sub>L</sub> 値	回帰係数			制約条件
		C	λ	ζ	
物的被害	-	0.103	4.066	0.283	なし
機能支障	5 ≤ P <sub>L</sub>	0.049	4.190	0.291	なし
	P <sub>L</sub> < 5	0.024	4.163	0.347	なし

物的被害 : 蓋・受枠の破損、壁のずれ・亀裂・破損、底板の亀裂・破損、その他破損が発生した人孔

機能支障 : 浮上・沈下が発生した人孔

(2) 機能支障および復旧期間の予測

① 管きよ土砂堆積延長から算出する手法

○採用自治体 : 北海道(18) 埼玉県(14) 神奈川県(15) 兵庫県(14) 愛媛県(13) 岡山県(14) 徳島県(17) 大分県(19) 沖縄県(14) さいたま市(14) 横浜市(12)

機能支障人口の予測式は次のとおり。

下水道機能支障人口 = 下水道管きよ物的被害率 × 下水道処理区域人口

下水道管きよ物的被害率 = 土砂堆積延長 / 管きよ延長

復旧期間の予測は、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。復旧期間としては、非延焼区域の応急復旧が完了するまでの日数を使用している。

表Ⅲ-4-4-6 高圧洗浄車1台当たりの応急復旧作業人員と作業効率(埼玉県, 2014)

1台当たり必要人員	応急復旧作業効率
清掃技師 1人	200m/(班・日)
作業員 3人	
特殊運転手 1人	
普通運転手 1人	
計 6人	

東京都(1997)より

○岡山県(14) 徳島県(17)では、1週間後から下水道管路の復旧が開始されるとし、中央防災会議(2008)に基づき、応急復旧作業の1班あたりの作業量は400m/日・班を想定

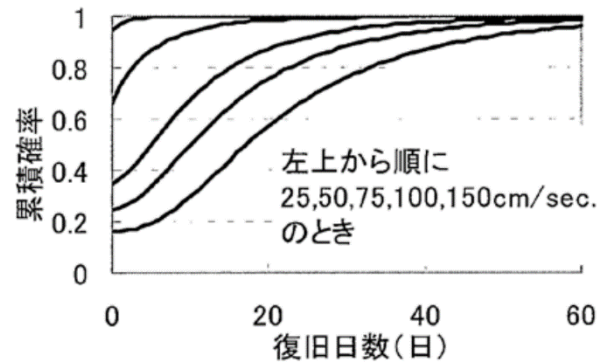
○横浜市(12)では、市内の下水道普及率は99.8%(平成22年度現在)に達しているため、世帯数に被害率を乗じて機能支障世帯数とした。

○北海道(18)では、作業員のうちすべてが災害後に作業を行うことは難しいことから、総数のうち上水道の復旧に当たることのできる割合を作業人員の1/4、または1/2と想定した場合の復旧日数を算出。管工事業者は上水道作業員数としても見込んでいるが、作業員の上下水道への配分は行っていない。(下水道は上水道が復旧しなければ使用できないことから、復旧工事は基本的に上水道が優先され、上水道の復旧後に下水道の復旧が戦略的に行われると想定されるため。)  
 冬季の復旧工事遅延の影響は、復旧効率が夏季の7割とする(札幌市, 2012)。

## ②日下ら(2011)の手法

○採用自治体：茨城県(18) 長野県(15) 鳥取県(18) 佐賀県(15) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) 千葉市(14)

復旧予測は、機能支障人口と東日本大震災等での復旧状況を考慮している。



図Ⅲ-4-4-1  
 日下ら(2011)による下水道の供給率復旧曲線  
 (長野県, 2015)

## ③広島県(2013)の手法

○採用自治体：新潟県(21) 大阪府(14) 広島県(13) 愛媛県(13) 沖縄県(14) 広島市(13)

機能支障人口は、処理場別停止判定結果と管路被害から推計する機能支障率を考慮して算定した。

### ◇津波浸水の影響

機能支障人口 = 機能停止処理場の処理人口

### ◇揺れ・液状化の影響

機能支障人口 = 処理人口 × 機能支障率

機能支障率 = 管渠被害延長 ÷ 管渠延長

管渠被害延長 = 管種別管渠延長 × 管種別被害率

復旧予測は、東日本大震災等での処理場の復旧状況を考慮した。

### ◇津波浸水の影響による被害の復旧予測

- ・東日本大震災の実績によると、津波浸水による被害を受けた処理場は、復旧に長時間(大規模な処理場では数年)かかることとされていることから、津波浸水の影響による機能支障人口は、避難者を想定する最長期間である1か月を経過しても復旧しないものとした。

### ◇揺れ・液状化の影響

- ・揺れ・液状化の影響による管渠被害の復旧は、上水道の復旧に合わせて実施されると考えられることから、復旧作業単位の設定は困難である。
- ・よって、下水道の復旧は中央防災会議(2006)を参考に、30日で完了すると仮定し、地震発生1日後から等比級数的に回復すると仮定した。
- ・ただし、下水道の復旧は、過去の実績から上水道の復旧が優先される可能性が高いため、上水道の復旧が完了した時点から復旧を開始するものとした。

#### ④秋田県(2013)の手法

○採用自治体：青森県(16) 秋田県(13) 新潟県(21)

下水道機能支障人口の予測式は以下のとおり。

下水道機能支障人口 = 下水道管きょ被害率(市町村別) × 下水道処理人口

下水道管きょ被害率 = 下水道被害延長(市町村集計) / 管きょ延長(市町村集計)

復旧日数の予測式および基本的な考え方は以下のとおり。

【冬季以外】 下水道復旧日数 = 下水道被害延長(km) / 6.75km / 作業人数 × 11(人/日)  
+ 下水道被害延長(km) / 1km / 作業人数 × 14(人/日) + 1

【冬季】 下水道復旧日数 = 下水道被害延長(km) / 6.75km / 作業人数 × 11(人/日) / 0.7  
+ 下水道被害延長(km) / 1km / 作業人数 × 14(人/日) / 0.7 + 1

- ・下水道においては、応急的に行われるマンホール切り下げや仮設配管の設置、マンホール内の土砂の浚渫の応急復旧作業にかかる日数を算出する。
- ・応急復旧工事は、管路施設の機能を暫定的に確保するために行うものである。応急復旧工事の項目には、可搬式ポンプによる下水の排除、管きょ及びマンホール内の土砂浚渫、部分補修工事、仮排水管の設置等がある。
- ・地震発生直後は、被害状況の調査・復旧体制の整備を行い、1日後から復旧開始とする。
- ・冬季は、積雪の影響により作業等の効率が7割に低下すると仮定する。

復旧作業効率の設定根拠は以下のとおり(秋田県, 2013)。

##### 【東日本大震災の下水道復旧事例】

・1次調査の対象区間：27km、期間：4日間、従事者人数：44人	<u>6.75km/日、11人/日</u>
・埋塞土砂の撤去の対象区間：10km、期間：10日間、従事者人数：140人	<u>1km/日 14人/日</u>
・管渠・マンホールの著しい破損の補修箇所：37件、期間：130日、従事者人数：300人	<u>0.28件/日、2.3人/日</u>
・取付管・公設柵の補修箇所：40件、期間：110日、従事者人数：120人	<u>0.36件/日、1.09人/日</u>

(出典：千葉県災害記録誌(下水道災害復旧編) 2013年3月)

#### ⑤群馬県(2012)の手法

○採用自治体：群馬県(12) 福井県(12)

応急復旧件数のうち最も件数が多い取付管の修理が完了する日数を想定し、兵庫県南部地震の神戸市の被害・復旧状況から以下の条件で応急復旧日数を予測する。

- ・神戸市では、取付管の応急修理が完了するのに概ね130日(平成7年5月末)を要している。
- ・神戸市における被災人口は、当時の処理区域人口1,426,200人より被災率1.9%を用いて、約27,000人と推定した。
- ・群馬県内における下水道の応急復旧日数は、被災人口に比例すると仮定して次式で予測する。

応急復旧日数 = 130日 / 27,000人 × 群馬県内の被災人口(人)

#### ⑥神奈川県(2015)の手法

○採用自治体：神奈川県(15)

機能支障人口の予測式は以下のとおり。

機能支障人口 = 管きょ被害率 × 処理人口



応急復旧日数の想定は以下のとおり。

- ・管きよの被害延長、復旧速度、復旧人員から応急復旧日数を想定
- ・応急復旧速度は、東京都(1997)を参考に 0.2 (km/班・日) とし、復旧にかかる作業班数は、神奈川県全域で100 (班・日) とする。なお、復旧は、県外からの応援も含める。

## ⑦兵庫県(2014)の手法

○採用自治体：兵庫県(14)

機能支障人口の予測式は以下のとおり。

機能支障人口 = 津波で浸水する浄水場の処理人口 + 管路被害による機能支障人口

− 津波で浸水する浄水場の給水区域内の管路被害による機能支障人口

管路被害による機能支障人口 = 断水率 (川上(1996)の手法) × 処理人口

復旧予測の考え方は以下のとおり。

◇管路被害からの復旧

- ・東日本大震災の実例 (国交省：東日本大震災における下水道管路施設震災被害復旧対応・平成25年2月より) を踏まえて、1週間後から復旧が開始すると想定
- ・復旧速度は、内閣府等にならい400m/人/日とし、復旧人数は各市の技術系職員数に加えて、応援人数 (兵庫県全体で340人、東日本大震災における日本下水道管路管理業協会の実例より) を考慮

◇津波浸水からの復旧

- ・東日本大震災での復旧が平均18日であった (内閣府へのヒアリングより) ことから、18日を平均、4.2日を分散とした正規分布の確率密度関数で計算 (中央防災会議(2013)と同様の手法)

## ⑧川崎市(2013)の手法

○採用自治体：川崎市(13)

下水道管きよの被害による機能支障の被害想定は、各メッシュにおいて以下の考え方で実施した。

- ・一般に下水道は、各世帯から枝線を通じて幹線に至り各処理センターへ流下する。そのため、枝線の被害であればその枝線周辺の世帯のみの機能支障ですむが、幹線の被害の場合は少なくともその幹線に連なる世帯すべてに影響を及ぼすと考えられる。
- ・そのため、幹線と考えられるΦ500mm以上の管路については、滞留延長1mを超える場合にはその管路があるメッシュの世帯すべてが機能支障世帯となるとした。
- ・一方、Φ500mm以上の管路の滞留延長が1mを超えない場合には、Φ500mm未満の管路の被害率とメッシュごとの世帯数を乗じて機能支障世帯数としている。

応急復旧日数の予測は、次の原則に基づいて想定した。

- ・滞留延長、復旧班数から応急復旧日数を予測
- ・被害算出は下水独自のものを採用
- ・処理区内において処理場から近い順に復旧に取り掛かる。
- ・投入班数はH24川崎市直下の地震で48班、元禄型関東地震で25班とし、処理区ごとに等分割して割り振り、各処理区で応急復旧が終了した班から順次まだ終了していない処理区へ助勢するとした。
- ・復旧速度は、永田ら(2012)に基づき 300m/(班・日 Φ500mm以下) 150m/(班・日 Φ500mm以上)とした。
- ・復旧日数は移動、準備を含めて半日単位で積算
- ・応急復旧は、発災後8日目以降から行うとし、汚水管及び合流管の管きよについてのみ想定



## 4-5. 都市ガスの被害・復旧

以下に、埋設管被害率の予測、機能支障の予測、復旧期間の予測について整理する。

### (1) 埋設管被害率の予測(揺れによる影響)

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多い。地震動に対する標準的な被害率を設定し、これ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下式に沿った考え方である。

$$R_{fm} = R_f \cdot C_g \cdot C_p \cdot C_d$$

$R_{fm}$  : 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

標準被害率は地震動の大きさによって決められる。

○採用自治体：岩手県(04) 宮城県(04) 秋田県(13) 島根県(18) 福岡県(12) 大分県(19) 仙台市(02)

・兵庫県南部地震による都市ガス導管の被害事例から標準被害率を設定

○採用自治体：宮城県(04) 秋田県(13) 島根県(18) 仙台市(02)

$$R_f = \begin{cases} 0.0 & (SI < 25\text{cm/s}) \\ 3.5 \times 10^{-2}(SI - 25)^{0.97} & (25 \leq SI < 80\text{cm/s}) \\ 1.7 & (SI \geq 80\text{cm/s}) \end{cases}$$

○採用自治体：岩手県(04) 福岡県(12) 大分県(19)

$$R_f = 3.89 \times 10^{-3}(V - 20)^{1.51} \quad V : \text{地表最大速度(cm/s)}$$

○採用自治体：神奈川県(15)

・中圧管・低圧導管

$$R_{gp} = C_p \cdot C_g \cdot C_l \cdot R_{gps}$$

$$D_{gp} = L_{gp} \cdot R_{gp}$$

$$R_{gp} = \begin{cases} 0.0 & (SI < 25\text{cm/s}) \\ 3.5 \times 10^{-2}(SI - 25)^{0.97} & (25 \leq SI < 80\text{cm/s}) \\ 1.7 & (SI \geq 80\text{cm/s}) \end{cases}$$

・供給管

$$R_{sp} = C_g \cdot C_l \cdot R_{sps}$$

$$D_{sp} = L_{sp} \cdot R_{sp}$$

$$R_{sps} = \begin{cases} 0.0 & (SI < 25\text{cm/s}) \\ 2.0 \times 10^{-4}(SI - 25)^{1.16} & (25 \leq SI < 110\text{cm/s}) \\ 0.0346 & (SI \geq 110\text{cm/s}) \end{cases}$$

$D_{gp}$  : 中圧管・低圧本支管の被害件数(箇所)、 $L_{gp}$  : 中圧管・低圧本支管の延長(km)、

$R_{gp}$  : 中圧管・低圧本支管の被害率(箇所/km)、

$R_{gps}$  : 中圧管・低圧本支管の標準被害率(箇所/km)、

$D_{sp}$  : 供給管の被害件数(箇所)、 $L_{sp}$  : 供給管の本数(本)、

$R_{sp}$  : 供給管の被害率(%、本/本)、 $R_{sps}$  : 供給管の標準被害率(%、本/本)、

$C_g$  : 地盤補正係数、 $C_p$  : 管種補正係数、 $C_l$  : 液状化補正係数、 $SI$  : 地表面  $SI$  値(cm/s)

#### ②地盤・液状化係数

ほとんどの自治体で上水道管と同じ係数が採用されている。

### ③管種係数・管径係数

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。また、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。

### (2)機能支障の予測（供給停止）

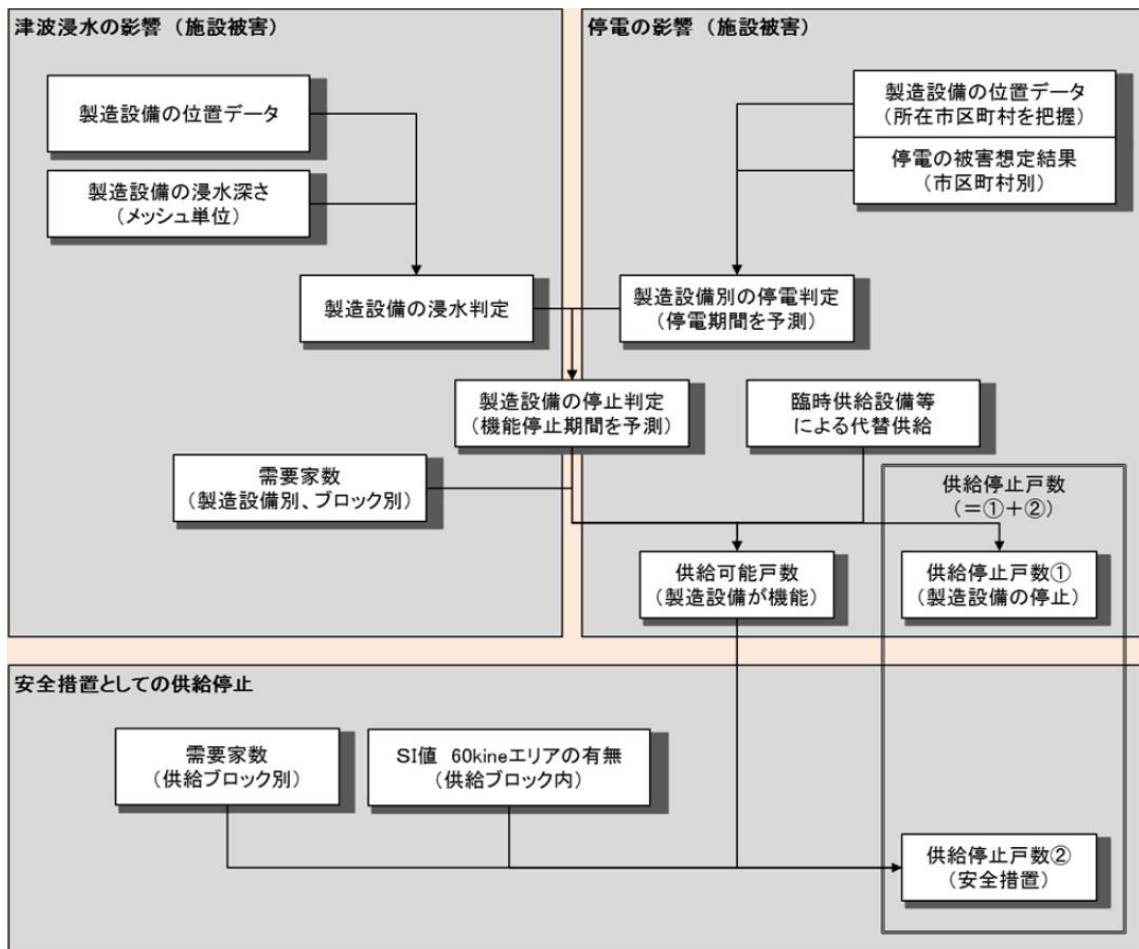
兵庫県南部地震後、資源エネルギー庁により発行された「ガス地震対策検討会報告書」（1996年）において、地震発生時にはSI値が60kine以上の場合に速やかに低圧ブロックのガス供給を停止する即時供給停止判断基準（第1次緊急停止判断基準）の導入が提言され、全国の都市ガス事業者の供給停止判断基準として採用されている。近年は、以下のような供給停止措置がとられている。

- ・地震計により値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
- ・30kine以上の場合、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上で総合的に考慮し、必要と判断した地域は大ブロックまたは小ブロック単位で供給停止

都市ガスの供給停止予測では、上記の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に推定する場合が多い。

### ①中央防災会議(2013)の手法

○採用自治体：青森県(16) 茨城県(18) 栃木県(15) 千葉県(16) 新潟県(21) 長野県(15) 静岡県(13) 愛知県(14) 三重県(14) 大阪府(14) 鳥取県(18) 岡山県(14) 広島県(13) 山口県(14) 香川県(14) 愛媛県(13) 高知県(13) 佐賀県(15) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) 沖縄県(14) さいたま市(14) 広島市(13)



図Ⅲ-4-5-1 都市ガス・埋設管被害箇所数の予測フロー(中央防災会議, 2013)

中央防災会議(2013)では、以下の基本的な考え方を示した上で被害を予測している。

- ・地震動の強いエリアを中心として、安全措置としての供給停止を考慮して、都市ガスの供給停止戸数を算出する。
- ・津波浸水の影響として、製造設備の浸水被害を考慮する。(製造設備による供給ができない場合の臨時供給設備による代替供給を考慮する。)
- ・停電の影響は、製造設備の停電の予測結果から算出する。(短時間の停電の場合、非常用発電設備で供給継続される。)
- ・安全措置としての供給停止率は、各供給ブロック内のSI値に基づき判定する。
- ・復旧予測は、供給停止戸数と東日本大震災等の過去の地震における復旧状況を考慮する。

予測式は以下のとおり。

$$(\text{供給停止戸数}) = (\text{①製造設備の停止による供給停止戸数}) + (\text{②安全措置による供給停止戸数})$$

$$(\text{①製造設備の停止による供給停止戸数}) = (\text{津波浸水・停電による製造設備停止が影響する戸数})$$

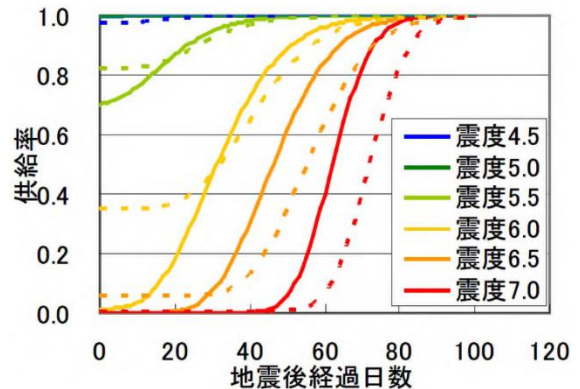
$$(\text{②安全措置による供給停止戸数}) = (\text{製造設備停止の影響を受けない戸数}) \times (\text{SI値に基づく停止率})$$

### (3) 復旧期間の予測

#### ①能島ら(2012)の手法

○採用自治体：青森県(16) 茨城県(18) 栃木県(15) 広島県(13) 徳島県(17) 香川県(14) 佐賀県(15) 相模原市(14)

兵庫県南部地震の被災事例に基づくモデルを東日本大震災の事例で改良したモデルである。



図Ⅲ-4-5-2  
能島ら(2012)による都市ガスの供給率曲線  
(茨城県, 2018)

#### ②日本ガス協会(1997)の手法

○採用自治体：宮城県(04) 秋田県(13) 新潟県(21)

日本ガス協会「地震時ガス導管復旧作業の手引き」の推定手法にしたがい復旧日数を想定する。

供給管・灯内外管の場合

$$P = n / \alpha$$

$$\alpha = 18.6 / r - 1.6 \quad (n \geq 100,000 \text{ の場合})$$

$$\alpha = (18.6 / r - 1.6) \times 0.8 \quad (100,000 > n \geq 10,000 \text{ の場合})$$

$$\alpha = (18.6 / r - 1.6) \times 0.6 \quad (n < 10,000 \text{ の場合})$$

P : 必要管修繕班数(班)      n : 供給停止件数(件)

α : 復旧効率      r : 供給管・灯内外管被害率(箇所/km)

開閉栓作業は1人/班体制として、以下の班数が必要となる。

$$Q = n / \beta \quad Q : \text{必要開閉栓班数(班)} \quad \beta : \text{復旧効率(=15 件/班・日)}$$

灯内管の修繕は2人/班体制として、以下の班数が必要となる。

$$R = n \times s / \gamma$$

R : 必要灯内管修繕班数 (班)       $\gamma$  : 復旧効率 (=2.5 件/班・日)

s : 灯内管被害率 (=兵庫県南部地震実績11件/千戸)

### ③千葉県(2008)の手法

○採用自治体：群馬県(12) 福井県(12)

導管被害件数、復旧速度、復旧人員から応急復旧日数を予測している。

復旧日数 = 復旧対象戸数 / 復旧歩掛 / 投入班数

復旧対象戸数 = (調停停止戸数 - 消失戸数) × 0.8

消失戸数：火災で焼失した戸数

0.8 : 兵庫県南部地震の供給停止戸数に対する復旧戸数の割合

復旧歩掛：1班数・1日当たりの復旧戸数

台地が多く差し水の影響が少ない地域は41.6

差し水の影響が考えられる地域は21.4

投入班数：1日当たりの復旧班数 (自社班数 + 他ガス事業者の復旧応援班数)

○群馬県(12)では、復旧歩掛は差し水の影響が少ない地域が多いことから41.6、投入班数は過去の実績から110班としている。

### ④埼玉県(2014)の手法

○採用自治体：埼玉県(14)

都市ガスの復旧日数予測を以下の方針で行っている。

- ・中央防災会議(2004)で設定されている復旧目標日数は東京湾北部地震で5日である。
- ・兵庫県南部地震における、ガス管被害率と応急復旧作業効率の関係をを用いて復旧日数の算定。なお、兵庫県南部地震の実態より、応急復旧完了を機能支障実態数の80%が回復するまでとした。
- ・復旧作業は1日目から被害率の高いブロックより順次復旧作業を開始
- ・復旧作業効率 (復旧件数/班・日) は、中央防災会議(2004)を参考に 21.4 と設定

### ⑤札幌市(2021)の手法

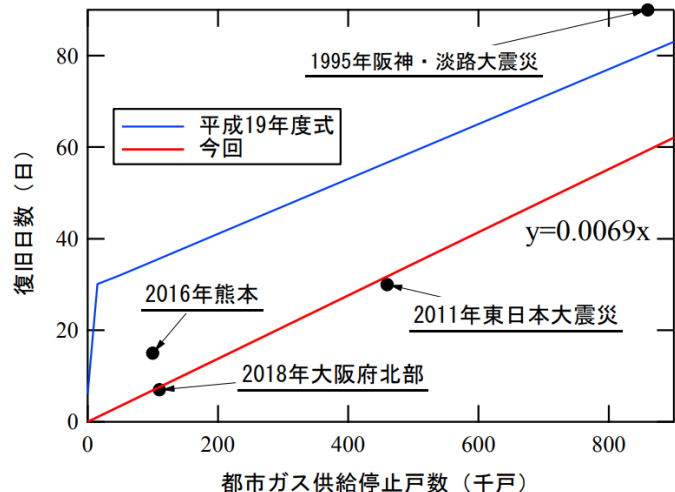
○採用自治体：札幌市(21)

過去の災害事例から求めた予測式は次のとおり。

$$y = 0.069x$$

y : 復旧所要日数 (日)

x : 供給停止戸数 (千戸)



図Ⅲ-4-5-3  
都市ガス供給停止戸数と復旧日数の関係  
(札幌市, 2021)

#### 4-6. プロパンガス（LPG）の被害・復旧

兵庫県南部地震では、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。このため、プロパンガスの被害・復旧を予測している自治体は多くない。

##### (1) 関沢ら(2003)の手法

○採用自治体：秋田県(13) 栃木県(15) 群馬県(12) 神奈川県(15) 新潟県(21) 福井県(12) 鳥取県(18) 島根県(18) 佐賀県(15) 熊本県(13) 川崎市(13) 熊本市(14)

予測式は以下のとおり。

$$\text{供給支障数} = \text{LPガスボンベ漏洩率(重量別)} \times \text{LPガスボンベ消費者数(重量別)}$$

表Ⅲ-4-6-1 関沢ら(2003)によるLPガスボンベの漏洩率(秋田県, 2013)

ガスボンベ重量	計測震度			
	～5.5未満	5.5～6.0	6.0～6.5	6.5以上～
10kg	0.000	0.000	0.356	0.356
20kg	0.000	0.048	0.096	0.321
50kg	0.000	0.010	0.013	0.021

○秋田県(13)では、

- ・兵庫県南部地震では、LPガス消費世帯 235,800世帯のうち、危険箇所からのLPガス容器の撤収や安全点検の必要のある162,700世帯の復旧を発災から12日後までに完了していることから、復旧速度を1万件/日と仮定して応急復旧日数を予測
- ・冬季は積雪の影響により作業等の効率が7割に低下すると仮定

【冬季以外】LPガス復旧日数 = LPガス被害数/1万(箇所/日) + 3

【冬季】 LPガス復旧日数 = LPガス被害数/1万(箇所/日)/0.7 + 3

##### (2) 愛知県(2003)の手法

○採用自治体：山形県(06) 茨城県(18) 千葉県(16) 山梨県(05) 静岡県(13) 愛知県(14) 高知県(13) 札幌市(21)

兵庫県南部地震では建物が全半壊した世帯はほぼ全てがLPガスの安全点検を実施しないと使用できない世帯であったため、これを基に機能支障率を算出している。

予測式は以下のとおり。

$$\text{機能支障世帯数} = \text{全半壊率} \times \text{総需要世帯数}$$

$$\text{LPガス機能支障率} = \text{機能支障世帯数} \div \text{総需要世帯数}$$

## 5. 交通・輸送施設被害の予測

本節では、「道路」「鉄道」「港湾」について、被害予測手法を整理する。

### 5-1. 道路の被害

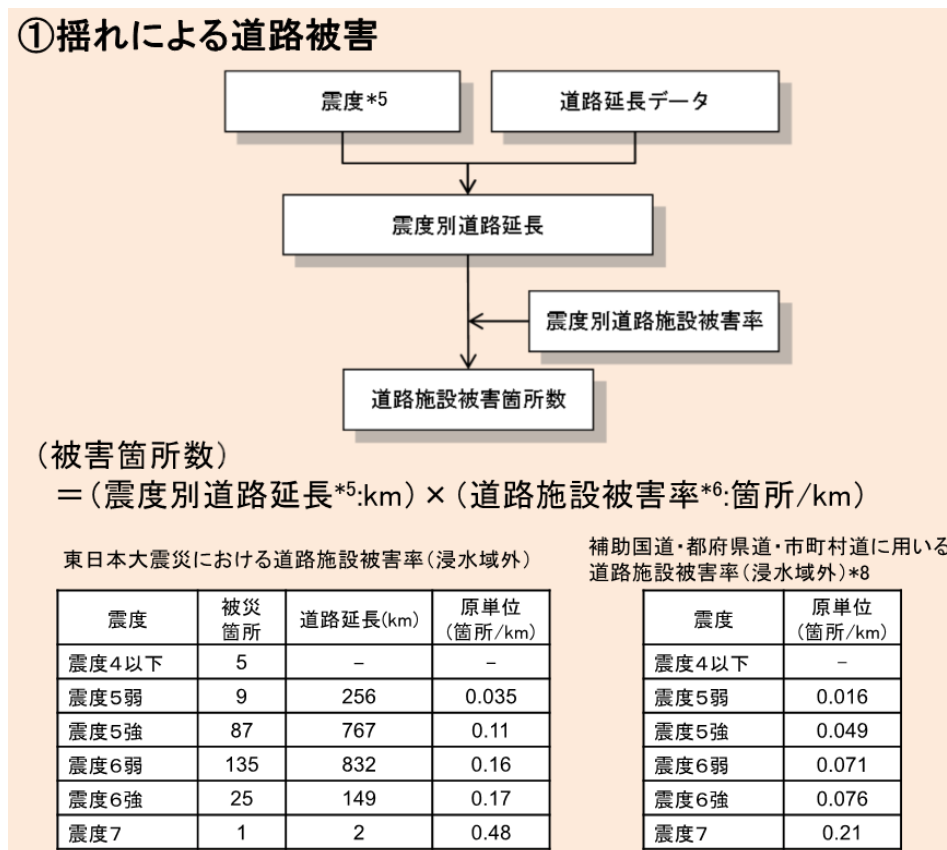
以下に、道路・橋梁の被害、トンネルの被害、盛土の被害、切土・斜面被害、区間被害確率、通行可能性・交通支障、倒壊建物による道路閉塞について整理する。

#### (1) 道路・橋梁の被害

##### ①中央防災会議(2013)の手法

○採用自治体：青森県(16) 茨城県(18) 栃木県(15) 千葉県(16) 長野県(15) 大阪府(14) 兵庫県(14) 岡山県(14) 広島県(13) 山口県(14) 徳島県(17) 香川県(14) 愛媛県(13) 高知県(13) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) 沖縄県(14) 岡山市(13) 広島市(13) 熊本市(14)

東北地方太平洋沖地震の被害実績を踏まえ、揺れと津波による道路被害箇所数を算出している。



図Ⅲ-5-1-1 道路の被害箇所数の予測方法(中央防災会議, 2013)

##### ②東京都(2006)・中央防災会議(2008)の手法

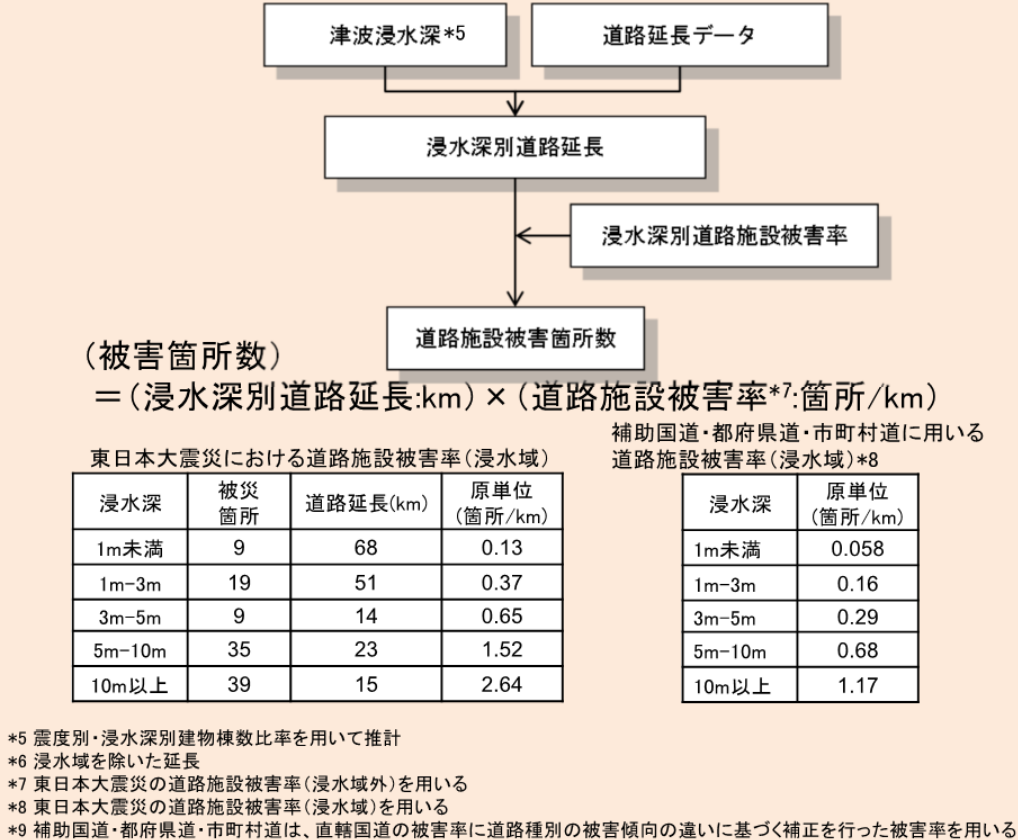
○採用自治体：秋田県(13) 埼玉県(14) 東京都(12) 熊本県(13) さいたま市(14) 新潟市(13) 熊本市(14)

東京都(2006)では、以下の基本的な考え方を示した上で被害を予測している。

- ・道路構造物の被害は、高速道路は橋脚の被害を算出し、一般道路は橋梁の被害を算出することとし、落橋・倒壊を大被害(機能支障あり)、亀裂・損傷を中小被害(機能支障なし)とする。
- ・国内で唯一広域的で大規模な被害の出た兵庫県南部地震を対象事例とする。兵庫県南部地震では、震度6強以上エリアで被害が発生しているので、今回の想定では震度6強エリアを対象とする。



## ②津波による道路被害



図Ⅲ-5-1-1 道路の被害箇所数の予測方法(中央防災会議, 2013) (つづき)

予測式は次のとおり。

$$\begin{aligned} \text{被害箇所数} &= \text{震度6強エリア内の橋梁・橋脚数} \\ &\quad \times [ \text{旧基準準拠橋脚被害率} \times \{ 1 - \text{新基準に該当する橋脚の割合} \} \\ &\quad + \text{新基準準拠橋脚被害率} \times \text{新基準に該当する橋脚の割合} ] \\ \text{震度6強エリア内の橋梁・橋脚数} &= \text{橋梁・橋脚数(区市町村別)} \\ &\quad \times \text{区市町村内の震度6強エリア内の建物数割合} \end{aligned}$$

表Ⅲ-5-1-1 道路橋梁・橋脚被害率(東京都, 2006)

	大被害 (機能支障あり)	中小被害 (機能支障なし)
旧基準に準拠(耐震性低)	8.2%	33.9%
新基準に準拠(耐震性高)	0.0%	16.3%

出所：兵庫県南部地震における道路橋の被災に関する調査報告書(平成7年)をもとに作成

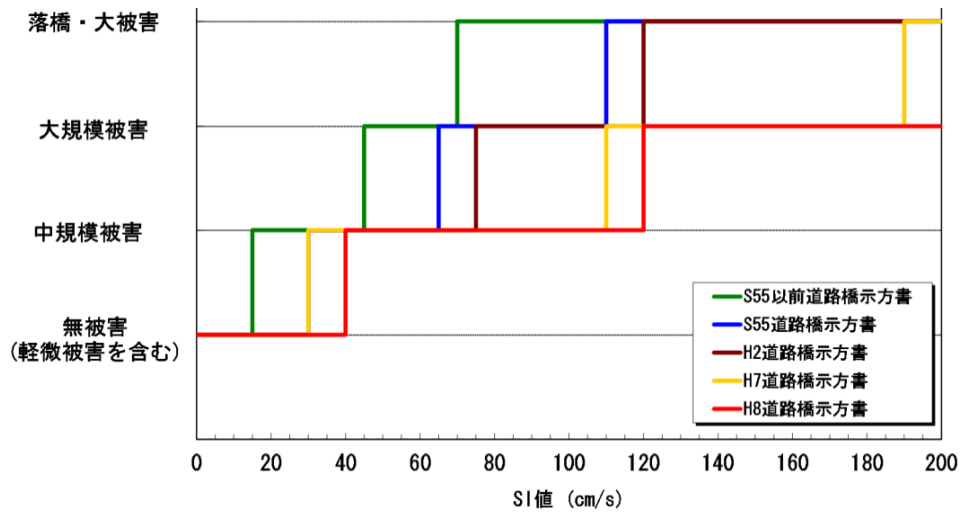
- ※ 高速道路、国道、都道、区市町村道に共通。
- ※ 旧基準：昭和54年度より前の基準に準拠しているもの。  
新基準：昭和55年度以降の基準に準拠しているもの。
- ※ 耐震補強済みの道路については、新基準に準拠するものとする。
- ※ 大被害：崩壊、倒壊、変形の大きな亀裂・座屈・鉄筋破断などの損傷。通行可能とする修復に長期間を要し、短期的には救助活動や緊急物資の輸送路としての機能等を回復できない程度の損傷。
- ※ 中小被害：部分的または局所的な亀裂・座屈、鉄筋の一部破断、コンクリートの剥離などの損傷。限定的な損傷であり、修復をすることなく、または応急修復程度で救助活動や緊急物資の輸送路としての機能を回復できる程度の損傷。



### ③日下部ら(2004)の手法

○採用自治体：群馬県(12) 神奈川県(15) 福井県(12) 鳥取県(18) 島根県(18) 高知県(13) 千葉市(17) 川崎市(13)

橋梁の被害は、その所在地におけるSI値に応じた被害率で生じると想定する。



図Ⅲ-5-1-2 日下部ら(2004)によるSI値と被災レベルの関係(群馬県, 2012)

### ④茨城県(2018)の手法

○採用自治体：茨城県(18)

津波浸水域の道路被害箇所数を平面道路と橋梁に分けて予測している。

平面道路は、丸山ら(2016)の手法を用いて、地形区分ごとの浸水深別の被害率により計算する。

$$(\text{被害箇所数}) = (\text{道路延長}) \times (\text{被害率})$$

$$(\text{被害率}) = \Phi((\ln \text{津波浸水深} - \lambda) / \zeta)$$

被害率：浸水深別の道路延長に対する被害箇所数

$\Phi(x)$ ：標準正規分布の確率分布関数

橋梁は、Shojiほか(2016)の手法を用い下式により計算する。

$$(\text{被害箇所数}) = (\text{橋梁数}) \times (\text{被害率})$$

$$(\text{被害率}) = \Phi((\ln \text{津波浸水域} - 3.01) / 0.44)$$

被害率：当該津波浸水深の津波にさらされる橋梁総数に対する被害橋梁数

### ⑤奈良県(2005)の手法

○採用自治体：奈良県(05) 岡山市(13)

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-5-1-2 橋梁の地震時確認優先度ランク(奈良県, 2005)

道路橋示方書発行年度	5弱以下	5強	6弱	6強	7
～1979	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ
1980～1995	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ
1996	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ

(注) Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの順番に確認優先度が高い

## ⑥宮崎県(1997)の手法

○採用自治体：北海道(18) 新潟県(21) 沖縄県(14)

兵庫県南部地震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-5-1-3 震度と橋梁被害率の関係(新潟県, 2021) (単位：箇所/箇所)

震度階	被害程度 示方書年	通行制限		不通	
		昭和39年 昭和46年	昭和55年 平成2年	昭和39年 昭和46年	昭和55年 平成2年
5弱		0.00	0.00	0.00	0.00
5強		0.00	0.00	0.00	0.00
6弱		0.03	0.00	0.03	0.00
6強		0.13	0.02	0.12	0.00
7		0.14	0.04	0.14	0.02

○新潟県(21)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
- ・液状化による影響については、神奈川県(1993)による設定値を考慮することとし、地震動による被害率と液状化による被害率の大きい方を採用
- ・震災点検資料が得られなかった橋梁は神奈川県(1986)の手法を適用

## (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、被害を予測していない自治体が多い。

## ①埼玉県(1998)の手法

○採用自治体：宮城県(04) 新潟県(21) 長崎県(06)

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、下表のトンネル被害率を設定している。

表Ⅲ-5-1-4 トンネルの被害率(新潟県, 2021)

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秋田県(1997)の手法

○採用自治体：宮城県(04) 長崎県(06) 大分県(19)

過去の地震の盛土崩壊事例を参考に、震度と液状化指数を指標として被害確率を設定した。

表Ⅲ-5-1-5 盛土の被害確率(秋田県, 1997) (単位：箇所/km)

$P_L$ 値	震度					
	4	5弱	5強	6弱	6強	7
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

## ②神奈川県(1986)の手法

○採用自治体：新潟県(21) 沖縄県(14)

過去の地震の盛土崩壊事例を参考に被害確率を設定している。耐震ランクは、道路防災点検における評価ランクⅠ、Ⅱ、ⅢをそれぞれA、B、Cとしている。

表Ⅲ-5-1-6 盛土の震度階別被害確率(新潟県, 2021)

耐震ランク 震度階	被害程度			通行制限			不 通		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
5弱	0.25	0.28	0.00	0.16	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00
5強	0.29	0.33	0.22	0.18	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00
6弱	0.37	0.42	0.28	0.23	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00
6強	0.45	0.52	0.34	0.29	0.00	0.00	0.29	0.00	0.00
7	0.56	0.80	0.53	0.44	0.00	0.00	0.44	0.00	0.00

## (4)切土・斜面被害

### ①秋田県(1997)の手法

○採用自治体：宮城県(04) 長崎県(06) 大分県(19)

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。

表Ⅲ-5-1-7 切土・斜面の被害確率(秋田県, 1997) (単位：箇所/km)

震度	4	5弱	5強	6弱	6強	7
被害確率	0.05	0.16	0.28	0.50	0.89	1.59

### ②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(21) 沖縄県(14)

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としている。切土・斜面の被害確率は、神奈川県(1986)で伊豆大島近海地震の被害事例に基づき設定した数値を準用している。

表Ⅲ-5-1-8 切土・斜面の震度別被害確率(神奈川県, 1986) (単位：箇所/km)

震度	不 通			通行制限		
	A(Ⅰ)	B(Ⅱ)	C(Ⅲ-Ⅳ)	A(Ⅰ)	B(Ⅱ)	C(Ⅲ-Ⅳ)
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

### ③佐賀県(2015)の手法

○採用自治体：佐賀県(15)

緊急輸送道路近傍の急傾斜地や地すべり地の崩壊による道路被害の可能性を想定した。急斜面地は、地震時に危険度ランクA(危険性が相対的に高い)と想定される斜面のうち、緊急輸送道路の近傍(道路からの最短距離が100m以内)に位置する地点の位置と数量を想定地震ごとにまとめた。

地すべり地は、揺れが震度5強以上となる場合を危険度ランクAとした。危険度ランクAの急斜面地・地すべり地の地震時の崩壊確率は、中央防災会議(2013)による10%とした。

## (5) 区間被害確率

### ① 震度と地盤種別による評価

○採用自治体：北海道(18) 福井県(12) 福岡県(12)

過去の被害地震で発生した路面亀裂、法面崩壊などと地盤種別との関係から被害確率を設定した。

表Ⅲ-5-1-9 震度別・地盤種別道路被害確率 (単位：箇所/km)

地盤種別	北海道(18) 福岡県(12)			福井県(12)		
	1種2種	3種	4種	1種2種	3種	4種
震度7、6強	0.11	0.16	0.25	0.24	0.34	0.55
6弱	0.09	0.13	0.20	0.11	0.15	0.24
5強	0.06	0.09	0.14	0.07	0.10	0.16
5弱	0.03	0.04	0.06	0.04	0.05	0.08
～4	0.00	0.00	0.00	—	—	—

## (6) 通行可能性・交通支障

### ① 伊藤・庄司(2017)の手法

○採用自治体：茨城県(18)

茨城県(2018)では、伊藤・庄司(2017)の手法を用いて平面道路の通行可能性の評価している。

伊藤・庄司(2017)の手法は、東北地方太平洋沖地震時の津波による平面道路ならびに橋梁の被害率をあらわす既往のモデルに基づき、平面道路の津波による被害確率をポアソン分布でモデル化して、道路のリンクごとの通行可能性を評価する。

$$D_r(n|v) = \frac{(v)^n}{n!} e^{-v}$$

$$R_r \equiv D(n|v)$$

1：1リンクあたりの長さ (km)       $D(n|v)$ ：平面道路の被害確率

$R_r$ ：平面道路の各リンクのリンク信頼性

※リンク信頼性が0.8の場合、その道路リンク間の通行可能確率が80%であるという意味

### ② 宮崎県(1997)の手法

○採用自治体：新潟県(21)

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)であるとし、その地点を通過できる確率を定義する。

$$P_p = 1 - S_p \quad P_p : \text{道路構造物・施設地点を通過できる確率} \quad S_p : \text{不通確率}$$

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。

$$P_l = \prod_{i=1}^N P_{p_i} \quad P_l : \text{交差点間を通過できる確率}$$

$N$ ：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。

$$P_N = \prod_{i=1}^m P_{p_i} \quad P_N : \text{ある2点間を通過できる確率}$$

$m$ ：2点間に存在するリンク数

### ③埼玉県(2014)の手法

○採用自治体：埼玉県(14)

渋滞による交通支障と橋梁被害による交通支障を評価している。

#### ◇渋滞による交通支障

- ・平成22年度道路センサスによる平常時の渋滞状況から交通支障の可能性のある道路区間を抽出
- ・警視庁の定める渋滞は、「走行速度が時速20km以下の時」であるが、時速20kmとするとほとんどの道路で渋滞が発生することになるため、「走行速度が時速15km以下」も算出
- ・算出した平常時の「走行速度が時速20km以下の道路」と「走行速度が時速15km以下の道路」について、地震ごとに震度別延長を集計

#### ◇橋梁被害による交通支障

- ・橋梁被害による交通支障の発生する可能性のある橋梁を抽出
  - ・震度6強以上のエリアにある橋梁のうち、耐震性の低い橋梁を被害可能性のある橋梁とし抽出
  - ・ $P_L$ 値15以上のエリアにある橋梁のうち、耐震性の低い橋梁を被害可能性のある橋梁とし抽出
- ※耐震性の高い橋梁：昭和55年以降の設計基準で架設された、あるいは昭和55年以降の基準で補強が行われたもの。  
※耐震性の低い橋梁：昭和54年以前の設計基準で架設され、その後補強が行われていないもの。

## (7)倒壊建物による道路閉塞

### ①中央防災会議(2005)・中央防災会議(2013)の手法

○採用自治体：青森県(16) 秋田県(13) 栃木県(15) 群馬県(12) 埼玉県(14) 東京都(12) 神奈川県(15) 福井県(12) 岐阜県(13) 大阪府(14) 広島県(13) 山口県(14) 愛媛県(13) 高知県(13) 宮崎県(20) さいたま市(14) 千葉市(17) 川崎市(13) 新潟市(15) 堺市(09)

中央防災会議(2005)では、以下の基本的な考え方を示した上で被害を予測している。

- ・幅員13m未満の狭い道路を対象に、倒壊した周辺家屋の倒れ込みによる道路閉塞の発生率をメッシュ別に算出する。
- ・兵庫県南部地震時の調査データに基づき、道路リンク閉塞率を揺れ・液状化による建物被災率(=全壊率+1/2×半壊率)との統計的な関係から算定

家田ら(1997)をもとに設定した予測式は次のとおり。

【幅員3.5m未満の道路】 道路閉塞率(%) =  $0.9009 \times \text{建物被災率} + 19.845$

【幅員3.5m以上5.5m未満の道路】 道路閉塞率(%) =  $0.3514 \times \text{建物被災率} + 13.189$

【幅員5.5m以上13m未満の道路】 道路閉塞率(%) =  $0.2229 \times \text{建物被災率} - 1.5026$

### ■中央防災会議(2013)

家田ら(1997)をもとに設定した予測式は次のとおり。

【幅員3m未満の道路】 道路閉塞率(%) =  $1.28 \times \text{建物被災率(%)}$

【幅員3m以上5.5m未満の道路】 道路閉塞率(%) =  $0.604 \times \text{建物被災率(%)}$

【幅員5.5m以上13m未満の道路】 道路閉塞率(%) =  $0.194 \times \text{建物被災率(%)}$

## 5-2. 鉄道の被害

以下に、施設の被害、区間被害確率、運行可能性について整理する。

### (1) 施設の被害

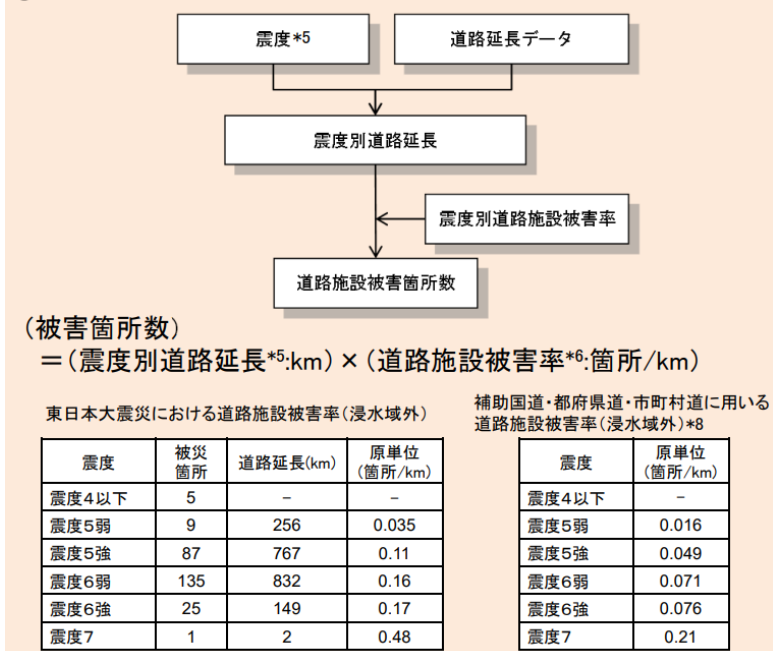
#### ① 中央防災会議(2013)の手法

○採用自治体：茨城県(18) 栃木県(15) 千葉県(16) 新潟県(21) 長野県(15) 大阪府(14) 兵庫県(14) 鳥取県(18) 岡山県(14) 広島県(13) 山口県(14) 徳島県(17) 香川県(14) 愛媛県(13) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) さいたま市(14) 岡山市(13) 広島市(13)

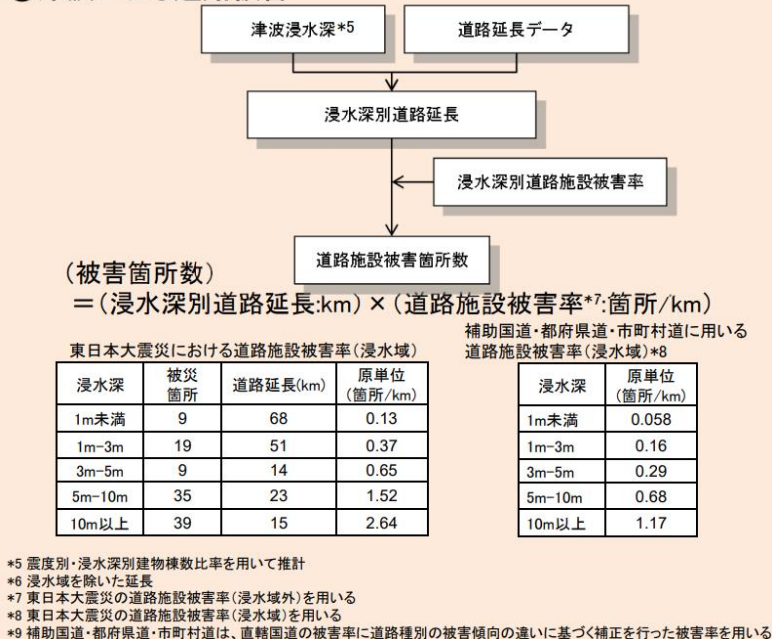
以下の基本的な考え方を示した上で被害を予測している。

- ・揺れ、津波浸水による鉄道施設被害箇所数を算出する。
- ・鉄道施設被害率(揺れ・津波)について、東日本大震災の実績を踏まえて設定する。

#### ① 揺れによる道路被害



#### ② 津波による道路被害



図Ⅲ-5-2-1 想定フロー(中央防災会議, 2013)

## ②東京都(2006)の手法

○採用自治体：秋田県(13) 群馬県(12) 東京都(12) 福井県(12) 熊本県(13) 熊本市(14)

以下の基本的な考え方を示した上で被害を予測している。

- ・鉄道施設の被害は、橋脚・橋梁の被害を算出することとし、落橋・倒壊を大被害（機能支障あり）、亀裂・損傷を中小被害（機能支障なし）とする。
- ・地下部については、シールドトンネルが耐震構造であり、開削トンネルも概ね全ての区間で耐震補強済のため、交通支障にいたる被害は発生しないとする。
- ・国内で唯一広域的で大規模な被害の出た兵庫県南部地震を対象事例とする。兵庫県南部地震では、震度6強以上エリアで被害が発生しているため、今回の想定では震度6強エリアを対象とする。

### ◇新幹線

- ・震度別（7及び6強）の鉄道延長と、兵庫県南部地震時の延長当たり落橋・倒壊率から大被害の箇所数を算出。
- ・中小被害（機能支障なし）の箇所数は、兵庫県南部地震時の大被害と中小被害の割合がおおよそ1：9であることから、大被害箇所数の約9倍とする。
- ・耐震補強後の橋脚は、落橋・倒壊が発生せず、全て損傷・亀裂程度に抑えられるものとする。
- ・上記から、耐震補強後は大被害ゼロとするが、中小被害の発生割合は、耐震補強前の大被害＋中小被害の発生割合とする。

表Ⅲ-5-2-1 新幹線の橋脚被害率(東京都, 2006)

	震度	耐震補強前	耐震補強後
大被害（機能支障あり） の発生率 [箇所/km]	7	5.71	0
	6強	2.67	0
中小被害（機能支障なし） の発生率 [箇所/km]	7	51.4	57.1
	6強	24.0	26.7

出所：東京都被害想定(平成9年8月)をもとに集計

### ◇在来線・私鉄線

- ・兵庫県南部地震の実態から、駅間の最大震度が6強以上となるエリア内での大被害（落橋・倒壊）箇所数、中小被害（亀裂・損傷）箇所数を算出
- ・耐震補強後の橋脚は、落橋・倒壊が発生しないとし、全て損傷・亀裂程度に抑えられるとする。
- ・上記から、耐震補強後は大被害ゼロとするが、中小被害の発生割合については、耐震補強前の大被害＋中小被害の発生割合とする。

表Ⅲ-5-2-2 在来線の橋脚被害率(東京都, 2006)

	震度	耐震補強前	耐震補強後
大被害（機能支障あり）	6強以上	0.00293	0
中小被害（機能支障なし）	6強以上	0.0315	0.0344

※ 橋脚被害率＝被害橋脚数／橋脚数

出所：運輸省鉄道局「よみがえる鉄路」をもとに集計



### ③東京都(1997)の手法

○採用自治体：千葉市(17) 川崎市(13)

兵庫県南部地震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。列車の脱線本数の予測式は次のとおり。

$$\text{列車脱線本数} = 23.1\% (\text{震度} 6 \text{強}^*) \times \text{区市町村内の震度} 6 \text{強} \text{地域の面積比} \\ \times \text{想定時間帯に区市町村内を走る列車の本数}$$

※東京都(1997)の被害想定では震度7の地域は発生しない

表Ⅲ-5-2-3 兵庫県南部地震での震度別新幹線被害率(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-5-2-4 兵庫県南部地震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	-

## (2) 区間被害確率

### ①震度と地盤種別による評価

○採用自治体：宮城県(04) 長崎県(06) 横浜市(12)

宮城県沖地震の鉄道被害(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-5-2-5 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	1.71
5	0.41	0.66	1.13
4	0.01	0.02	0.04

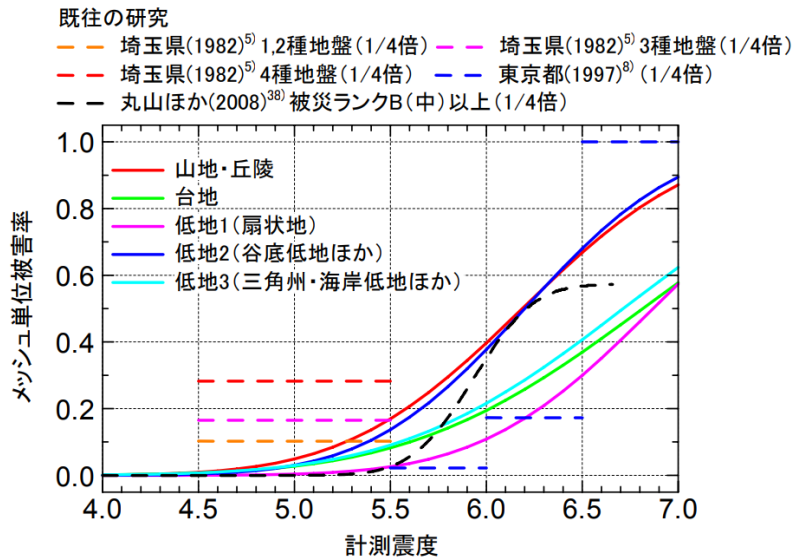
表Ⅲ-5-2-6 各自治体の鉄道被害率 (単位：箇所/km)

震度	宮城県(04) 長崎県(06)			横浜市(12)		
	1-2種	3種	4種	1種	2種	3種
6強、7	0.89	1.48	2.51	0.89	1.48	2.51
6弱	0.62	1	1.71	0.62	1	1.71
5強	0.41	0.66	1.13	0.41	0.66	1.13
5弱				0	0	0
4	0.01	0.02	0.04			

## ②高浜・翠川(2009)の手法

○採用自治体：大分県(19)

宮城県沖地震、兵庫県南部地震、新潟県中越地震による鉄道構造物の被害データに基づき、計測震度と鉄道構造物の被害率の関係式(被害関数)を構築した。



図Ⅲ-5-2-2 計測震度と鉄道構造物の被害率の関係式(高浜・翠川, 2009)

## (3) 運行可能性

### ①東京都(1997)の手法

○採用自治体：山形県(06) 神奈川県(15) 島根県(18) 千葉市(17) 川崎市(13)

兵庫県南部地震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-5-2-7 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%単位で丸めている

### 5-3. 港湾・漁港の被害

#### (1) 東京都(2006)の手法

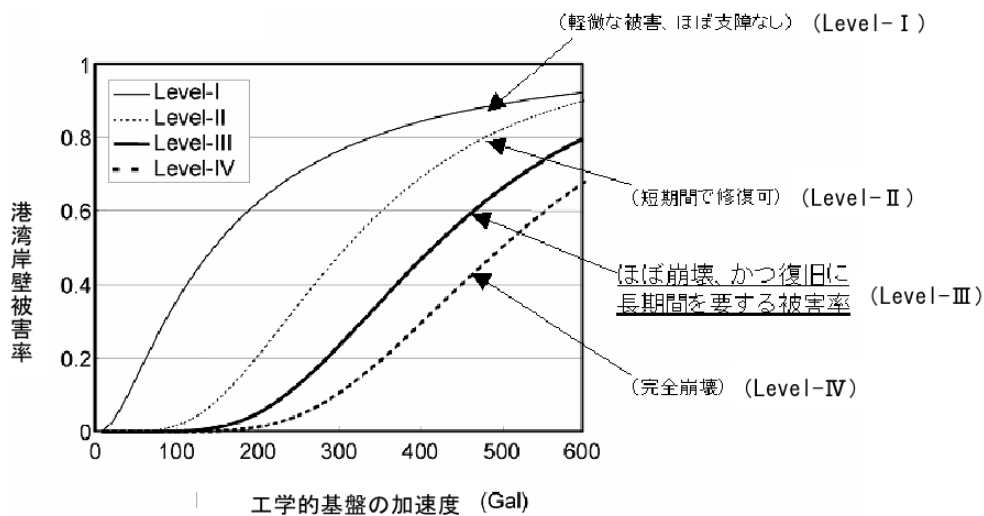
○採用自治体：青森県(16) 秋田県(13) 千葉県(16) 東京都(12) 神奈川県(15) 新潟県(21) 福井県(12) 大阪府(14) 鳥取県(18) 島根県(18) 広島県(13) 岡山県(14) 徳島県(17) 香川県(14) 愛媛県(13) 高知県(13) 佐賀県(15) 熊本県(13) 大分県(19) 宮崎県(20) 鹿児島県(14) 沖縄県(14) 川崎市(13) 新潟市(15) 広島市(13) 熊本市(14)

東京都(2006)では、以下の基本的な考え方を示した上で被害を予測している。

- ・地震発生に伴い復旧に長期間を要する被害バース数を算出する。
  - ・東京港内の地区別に港湾岸壁被害について検討する。
- ※バース：岸壁・栈橋等のけい船施設において、一隻の船が占める施設の単位

予測式は次のとおり。

$$\text{被害バース数} = \text{非耐震バース数} \times \text{港湾岸壁被害率}$$



出所：Koji ICHII : FRAGILITY CURVES FOR GRAVITY-TYPE QUAY WALLS BASED ON EFFECTIVE STRESS ANALYSIS, 13<sup>th</sup> WCEE, 2004

図Ⅲ-5-3-1 港湾岸壁被害率の累積分布関数(東京都, 2006)

(注)・兵庫県南部地震における神戸港及び釧路沖地震(1993)における釧路港の被害実態に基づく  
 ・港湾岸壁がほぼ崩壊かつ復旧に長期間を要する場合(Level-III)の港湾岸壁被害率を想定

#### (2) 福井県(1997)の手法

○採用自治体：茨城県(18) 愛知県(14) 長崎県(06) 横浜市(12)

兵庫県南部地震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-5-3-1 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

## 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、ため池の堤防などが対象となっている。

### 6-1. 河川堤防・海岸堤防の被害

#### (1) 山梨県(2005)の手法

○採用自治体：山梨県(05) 札幌市(21)

山梨県(2005)では次の点を指摘し、河川の支障影響度を評価している。

- ・兵庫県南部地震の淀川での堤防被害など過去の地震被害事例を見ても、河川堤防に大きな被害が発生しているのは液状化地域のため、液状化危険度判定結果をもとに河川被害危険性を評価
- ・新潟県中越地震でも見られたように、斜面崩壊の影響を受けて河道閉塞が発生する可能性もあるため、急傾斜地崩壊危険箇所及び地すべり危険箇所の危険度判定結果をもとに評価

表Ⅲ-6-1-1 支障影響度の総合判定(山梨県, 2005)

判定基準	支障影響度
液状化	危険度大→被害可能性あり
急傾斜地崩壊危険箇所及び地すべり危険箇所	危険度A→被害可能性あり

#### (2) 秋田県(1997)の手法

○採用自治体：秋田県(13)

日本海中部地震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-6-1-2 河川堤防の被災ランク(秋田県, 1997)

被災ランク	被災状況
A	天端沈下量1m以上
B	天端沈下量10cm以上1m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、 $P_L$ 値に応じて以下の割合で被災延長を求めている。

表Ⅲ-6-1-3 被災ランクの判定基準と被災ランク別延長(秋田県, 1997)

$P_L$ 値	被災ランク別延長		
	A	B	C
15以上	0.1 L	0.2 L	0.7 L
5~15	—	0.1 L	0.9 L
5未満	—	—	1.0 L

L：メッシュ内を通る堤防延長

### (3) 埼玉県 (1992) の手法

○採用自治体：福井県(12)

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-6-1-4 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	$\gamma$	$\beta$	$\alpha$		$\alpha$	
B	$\gamma$		$\beta$	$\alpha$	$\alpha$	
C	$\gamma$			$\beta$	$\beta$	$\alpha$

ランク  $\alpha$  : 危険性が高い  $\beta$  : 危険性がある  $\gamma$  : 危険性が低い

### (4) 千葉県 (2008) の手法

○採用自治体：千葉県(14)

海岸堤防について、以下の手順で地震後の沈下量の定性的検討を行っている。

- ①Ishihara & Yoshimine(1992)による液状化による体積圧縮ひずみとFL値の関係図を用いた。
- ②さらにIshihara & Yoshimine(1992)による1964年新潟地震での新潟市川岸町付近の6地点の沈下量検討結果から $P_L$ 値を算出した。
- ③液状化による体積圧縮ひずみから算出した地盤の沈下量とこの $P_L$ 値の関係を検討した。
- ④一般に堤防の地震による沈下は、液状化による浮力が働くため、最大 $0.75H$  ( $H$ は堤防の高さ)といわれている。
- ⑤この $0.75H$ を最大沈下量として、 $P_L$ 値と堤防沈下量の関係を下表のようにとりまとめた。
- ⑥海岸堤防の被害予測では、この表の関係を基に、堤防高さだけを使用して、地震後の沈下量の定性的検討を行った。

表Ⅲ-6-1-5  $P_L$ 値と堤防沈下量の目安(千葉県, 2008)

$P_L$ 値	沈下量の目安( $H$ は堤防の高さ)	被害程度の目安
$0 < P_L \leq 5$	$0.0H$	堤防沈下は生じないと考えられる
$5 < P_L \leq 15$	$0.25H$	小規模な堤防沈下が生じると考えられる
$15 < P_L \leq 20$	$0.50H$	中規模な堤防沈下が生じると考えられる
$20 < P_L$	$0.75H$	詳細検討必要であると考えられる

## 6-2. ため池堤防の被害

### (1) 建設省河川局(1978)の手法

○採用自治体：秋田県(13) 栃木県(15) 新潟県(21) 長野県(15) 島根県(18) 広島県(13) 山口県(14) 香川県(14) 愛媛県(13) 広島市(14)

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、これらの組合せから耐震性ランクを判定している。

表Ⅲ-6-2-1 堤防の耐震性の一次判定(秋田県, 2013)

基礎地盤の耐震性 \ 堤体の耐震性	1	2	3
①	a	a	b
②	a	b	c
③	b	c	c

堤体の耐震性

- 1…堤防高(H) ≥ 6mかつ平均幅 ≤ 3Hかつアースダム
- 3…堤防高(H) < 3mかつ平均幅 ≤ 6Hもしくは重力式ダム
- 2…上記以外のもの

基礎地盤の耐震性

- ①…旧河道、旧湖沼などの地震時に液状化しやすい地域、地震応答解析結果より液状化の可能性が高い地域、設定した地盤種の $T_G$ 値(地盤の特性値)が1.5以上
- ②…①以外の3種地盤
- ③…1種地盤、2種地盤

※液状化の可能性が高い地域： $P_L > 15$  のメッシュ

※ $T_G$ ：地盤の特性値。耐震設計上の地盤種別をⅠ～Ⅲ種で分類する際に用いる指標

表Ⅲ-6-2-2 ため池の危険度評価(秋田県, 2013)

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) 千葉県(2008)の手法

○採用自治体：群馬県(12) 福井県(12)

6-1.(4)と同じ。

## 参考文献

### 【行政の地震被害想定調査報告書など】

- 北海道(2018) 平成28年度地震被害想定調査結果報告書、平成30年2月
- 青森県(1997) 平成8年度青森県地震・津波被害想定調査 報告書、平成9年3月
- 青森県(2016) 平成27年度青森県地震・津波被害想定調査(日本海側海溝型地震)、平成28年9月
- 岩手県(2004) 岩手県地震・津波シミュレーション及び被害想定調査に関する報告書(概要版)、平成16年11月
- 宮城県(2004) 宮城県地震被害想定調査に関する報告書、平成16年3月
- 秋田県(1997) 秋田県地震被害想定調査報告書、平成9年3月
- 秋田県(2013) 秋田県地震被害想定調査報告書、平成25年8月
- 山形県(2002) 山形盆地断層帯被害想定調査報告書、平成14年12月
- 山形県(2006) 山形県地震被害想定調査報告書、平成18年3月
- 山形県(2016) 山形県津波浸水想定・被害想定調査結果の公表について、平成28年3月
- 福島県(1996) 福島県地震・津波被害想定調査業務(Ⅰ)-調査業務報告書-、平成8年3月
- 福島県(1997) 平成8年度福島県地震・津波被害想定調査 -報告書-、平成9年3月
- 福島県(1998) 平成9年度 福島県地震・津波被害想定調査 -報告書-、平成10年3月
- 福島県(1998) 福島県地震・津波被害想定調査-概要版-、平成10年3月
- 茨城県(2018) 茨城県地震被害想定調査詳細報告書、平成30年12月
- 栃木県(2004) 地震被害予測・対策予測システム設計(被害想定) 成果報告書
- 栃木県(2014) 栃木県地震被害想定調査について、平成26年5月
- 群馬県(1998) 群馬県地震被害想定調査報告書、平成10年3月
- 群馬県(2012) 群馬県地震被害想定調査報告書、平成24年6月
- 埼玉県(1982) 埼玉県地震被害想定策定調査報告書、昭和57年3月
- 埼玉県(1998) 埼玉県地震被害想定調査報告書、平成10年3月
- 埼玉県(2007) 平成19年度埼玉県地震被害想定調査、平成19年9月
- 埼玉県(2014) 埼玉県地震被害想定調査報告書、平成26年3月
- 千葉県(2008) 平成19年千葉県地震被害想定調査結果報告書、平成20年3月
- 千葉県(2016) 平成26・27年度千葉県地震被害想定調査報告書、平成28年3月
- 東京都防災会議(1985) 多摩地域における地震被害の想定に関する報告書、昭和60年5月
- 東京都防災会議(1991) 東京における地震被害の想定に関する調査研究、平成3年9月
- 東京都防災会議(1991) 東京における地震被害の想定に関する調査研究(手法・提言編)、平成3年9月
- 東京都(1997) 東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書、平成9年8月
- 東京都(1997) 東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書(被害想定手法編)、平成9年8月
- 東京都(2006) 首都直下地震による東京の被害想定報告書、平成18年5月
- 東京都(2012) 首都直下地震等による東京の被害想定報告書、東京都防災会議、平成24年4月
- 東京都(2013) 南海トラフ巨大地震等による東京の被害想定報告書、平成25年5月
- 神奈川県(1993) 神奈川県西部地震被害想定調査報告書、平成5年3月
- 神奈川県(1993) 神奈川県西部地震被害想定調査-手法編報告書-、平成5年3月
- 神奈川県(1999) 神奈川県地震被害想定調査報告書、平成11年3月
- 神奈川県(1999) 神奈川県地震被害想定調査報告書-概要版-、平成11年3月
- 神奈川県(2009) 神奈川県地震被害想定調査、平成21年3月
- 神奈川県(2015) 神奈川県地震被害想定調査報告書、平成27年3月
- 新潟県(1998) 新潟県地震被害想定調査報告書、平成10年3月
- 新潟県(1998) 新潟県地震被害想定調査報告書(縮刷版)、平成10年3月
- 新潟県(2021) 新潟県地震被害想定調査報告書(案)、新潟県地震被害想定調査検討委員会 第9回、令和3年9月
- 新潟県(2021) 新潟県地震被害想定調査報告書(縮刷版)、令和4年3月
- 富山県(2011) 富山県地震被害想定等調査業務報告書、平成23年5月



富山県(2017) 地震被害想定調査(平成29年度)地震被害想定調査の結果の概要について  
石川県(1998) 石川県地震被害想定調査報告書(概要版)、平成10年3月  
福井県(1997) 福井県地震被害予測調査報告書、平成9年3月  
福井県(2012) 平成23年度福井県地震被害予測調査業務報告書、平成24年3月  
山梨県(1996) 山梨県地震被害想定調査報告書、株式会社三菱総合研究所、平成8年3月  
山梨県(2005) 山梨県東海地震被害想定調査報告書、平成17年公開  
長野県(2015) 第3次長野県地震被害想定調査報告書、平成27年3月  
岐阜県(2019) 平成30年度岐阜県内陸直下地震等被害想定調査(概要版)、平成31年2月  
静岡県(2001) 第3次地震被害想定結果、平成13年5月  
静岡県(2013) 静岡県第4次地震被害想定調査(第一次報告)、平成25年6月  
静岡県(2013) 静岡県第4次地震被害想定調査(第二次報告)、平成25年11月  
愛知県(2003) 愛知県東海地震・東南海地震等被害予測調査報告書 ー想定地震に基づく被害想定一、平成15年3月  
愛知県(2014) 平成23年度～25年度愛知県東海地震・東南海地震・南海地震等被害予測調査報告書、平成26年3月  
三重県(2006) 三重県地域防災計画被害想定調査報告書、平成18年3月  
三重県(2014) 地震被害想定調査結果の概要、平成26年3月  
滋賀県(2005) 琵琶湖西岸断層帯等による地震被害予測調査、平成17年4月  
滋賀県(2013) 平成24年度滋賀県地震被害想定調査業務報告書、平成25年3月  
滋賀県(2014) 平成25年度滋賀県地震被害想定調査業務  
滋賀県(2014) 滋賀県地震被害想定(概要版)、平成26年3月  
滋賀県(2016) 湖底断層の変位を仮定した琵琶湖における津波の高さの考察について、平成28年3月  
京都府(2017) 日本海における最大クラスの地震・津波による被害想定、平成29年5月  
京都府(2017) 地震動及び被害の想定手法(日本海における最大クラスの地震・津波による被害想定)、平成29年5月  
大阪府(1997) 大阪府地震被害想定調査報告書、平成9年3月  
大阪府(2007) 大阪府自然災害総合防災対策検討(地震被害想定)報告書、平成19年3月  
大阪府(2014) 第4回南海トラフ巨大地震災害対策等検討部会、平成25年10月  
大阪府(2014) 第5回南海トラフ巨大地震災害対策等検討部会、平成26年1月  
兵庫県(1999) 兵庫県地震被害想定調査報告書、平成11年3月  
兵庫県(2010) 兵庫県の地震(内陸型活断層)、平成22年  
兵庫県(2014) 兵庫県の地震・津波被害想定(南海トラフ)、平成26年6月  
奈良県(2005) 第2次奈良県地震被害想定調査報告書、平成17年3月  
和歌山県(2006) 和歌山県地震被害想定調査報告書(概要版)、平成18年3月  
和歌山県(2014) 和歌山県地震被害想定調査報告書(概要版)、平成26年3月  
鳥取県(2005) 鳥取県地震防災調査研究報告書、平成17年3月  
鳥取県(2018) 鳥取県地震・津波被害想定調査報告書、平成30年12月  
島根県(2018) 鳥取県地震・津波被害想定調査報告書、平成30年3月  
岡山県(2013) 岡山県地震・津波被害想定調査報告書、平成25年7月  
岡山県(2014) 断層型地震の被害想定について、平成26年5月  
広島県(2007) 広島県地震被害想定調査報告書、平成19年3月  
広島県(2013) 広島県地震被害想定報告書、平成25年10月  
山口県(2008) 山口県地震被害想定調査報告書、平成20年3月  
山口県(2014) 山口県地震・津波被害想定調査報告書、平成26年3月  
徳島県(2017) 徳島県中央構造線・活断層地震被害想定公表について、平成29年7月  
徳島県(2005) 平成16年度徳島県地震動被害想定調査報告書、平成17年3月  
徳島県(2005) 徳島県地震動被害想定調査 説明資料、平成17年3月  
香川県(2014) 香川県地震・津波被害想定調査報告書、平成26年6月  
愛媛県(2013) 愛媛県地震被害想定調査 最終報告、平成25年12月  
高知県(2013) 南海トラフ巨大地震による被害想定、平成25年5月  
福岡県(1997) 地震に関する防災アセスメント調査報告書、平成9年12月  
福岡県(2012) 地震に関する防災アセスメント調査報告書、平成24年3月

佐賀県(2015) 佐賀県地震被害等予測調査業務 報告書概要版(平成26年度)、平成27年3月

長崎県(2006) 長崎県地震等防災アセスメント調査報告書、平成18年3月

長崎県(2012) 海溝型地震津波想定に関する報告、長崎県地域防災計画見直し検討委員会、平成24年3月

熊本県(2013) 熊本県地震・津波被害想定調査【被害想定：詳細版】、平成25年3月

大分県(2008) 大分県地震被害想定調査報告書、平成20年3月

大分県(2019) 地震被害想定調査結果、平成31年3月

宮崎県(1997) 宮崎県地震被害想定調査報告書、平成9年3月

宮崎県(2007) 平成18年度地震減災計画策定に係る地震・津波被害想定調査、平成19年3月

宮崎県(2020) 宮崎県地震・津波及び被害の想定について、令和2年3月

鹿児島県(1997) 鹿児島県地震被害予測調査報告書、平成9年3月

鹿児島県(2014) 鹿児島県地震等災害被害予測調査報告書概要版、平成26年2月

沖縄県(2014) 平成25年度 沖縄県地震被害想定調査 報告書、平成26年3月

札幌市(2008) 地震動及び被害の評価事業報告書、平成20年3月

札幌市(2012) 第3次地震被害想定調査報告書、平成24年3月

札幌市(2021) 札幌市地震被害想定検討等業務報告書、令和3年3月

札幌市(2021) 第4次地震被害想定、令和3年8月

仙台市(2002) 平成14年度仙台市地震被害想定調査報告書、平成14年12月

仙台市(2002) 平成14年度仙台市地震被害想定調査報告書(概要)、平成14年11月

さいたま市(2014) さいたま市被害想定調査 報告書、平成26年3月

千葉市(2017) 千葉市地震被害想定調査 報告書、平成29年3月

横浜市(2012) 横浜市地震被害想定調査報告書、平成24年10月

川崎市(1997) 川崎市地震被害想定調査報告書 近距離地震の追加検討 プレート間地震 立川断層による地震、平成9年3月

川崎市(2010) 川崎市地震被害想定調査報告書、平成22年3月

川崎市(2013) 川崎市地震被害想定調査報告書、平成25年3月

相模原市(2014) 相模原市防災アセスメント調査 報告書(概要版)、平成26年5月

新潟市(2007) 平成18年度防災基礎調査報告書、平成19年3月

新潟市(2015) 新潟市防災基礎調査及び業務継続計画(震災対策編)作成業務 防災基礎調査報告書、平成27年3月

名古屋市(1997) 名古屋市地震被害想定調査報告書、平成9年3月

名古屋市(1999) 名古屋市地震被害想定調査報告書修正版、平成11年3月

名古屋市(2014) 南海トラフ巨大地震について、平成26年2月

京都市(2003) 京都市第3次地震被害想定、平成15年10月

堺市(2009) 堺市地震災害想定総合調査、平成21年3月

岡山市(2013) 岡山市地震・津波等被害想定結果(概要版)ー南海トラフ巨大地震編ー、平成25年11月

岡山市(2013) 平成23年度岡山市災害危険度判定地震・津波被害想定調査業務委託報告書、平成25年9月

広島市(2013) 広島市地震被害想定報告書、平成25年12月

熊本市(2014) 熊本市防災アセスメント(被害想定)調査業務委託報告書、平成26年3月

中央防災会議(2003) 東海地震対策専門調査会「東海地震に係る被害想定」

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

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

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

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

中央防災会議(2013) 南海トラフの巨大地震モデル検討会、防災対策推進検討会議 南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ「南海トラフ巨大地震の被害想定」

中央防災会議(2013b) 首都直下地震モデル検討会、中央防災会議 防災対策推進検討会議 首都直下地震対策検討ワーキンググループ「首都直下地震の被害想定」

中央防災会議(2021) 防災対策実行会議 日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震対策検討ワーキンググループ「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震の被害想定」

## 【その他】

各自治体のホームページ（被害想定説明資料、地域防災計画など）

内閣府防災担当のホームページ：<http://www.bousai.go.jp/>

国土交通省(2003) 国土交通省総合技術開発プロジェクト まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発（防災まちづくり総プロ）報告書、平成15年3月

損害保険料率算定会(1998) 地震被害想定資料集、地震保険調査報告28

損害保険料率算出機構(2006) 自治体の地震被害想定における被害予測手法の調査、地震保険研究8、

損害保険料率算出機構(2014) 国・自治体の地震被害想定における被害予測手法の調査（平成25年度調査）、地震保険研究27、[http://giroj.or.jp/publication/earthquake\\_research/](http://giroj.or.jp/publication/earthquake_research/)

## 【各自治体の被害想定における主な参考文献】（※上記以外の文献を記載）

### ○地震動の予測

#### ・統計的グリーン関数法

Boore, D.M. (1983) Stochastic Simulation of High-frequency Ground Motions Based on Seismological Models of the Radiated Spectra, Bull. Seism. Soc. Am.、Vol. 73、1865-1894

Kamae, K and K. Irikura(1992) Prediction of site-specific strong ground motion using semi-empirical methods, Proc. 10th WCEE、Vol. 2、801-806

Irikura, K. (1986) Estimation of near-field ground motion using empirical Green's function, Proc. of Ninth World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo-Kyoto, JAPAN、8、37-42

入倉他(1997) 経験的グリーン関数を用いた強震動予測方法の改良、日本地震学会講演予稿集、No2、B25

Graves, R. W. (1996) Simulating seismic wave propagation in 3D elastic media using staggered-grid finite-differences, Bull. Seism. Soc. Am.、86、1091-1106

#### ・その他の手法

気象庁(1996) 気象庁告示第4号、平成8年2月15日官報、第1831号

防災科学技術研究所(2003) 糸魚川-静岡構造線断層帯の地震を想定した地震動予測地図作成手法の検討、防災科学技術研究所研究資料 第245号

地震調査研究推進本部(2008) 「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（レシピ）」

佐藤俊明(2003) ハイブリッド強震動予測手法、強震動予測 - その基礎と応用 第2回講習会資料、日本地震学会、49-79

翠川三郎・小林啓美(1979) 地震断層を考慮した地震動スペクトルの推定、日本建築学会論文報告集、

大野 晋・高橋 克也・尾内 俊夫(1994) 硬質地盤地震動の平均特性に基づく各種地盤の地震動予測

Sugito, M. and H. Kameda(1985) Prediction of nonstationary earthquake motion on rock surface, Proc. of Japan Society of Civil Engineers, SE/EE, Vol. 2, No. 2

司宏俊・翠川三郎(1999) 断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式、日本建築学会構造系論文集、第523号

翠川 三郎・大竹 雄(2002) 地震動強さの距離減衰式にみられるバラツキに関する基礎的分析、日本地震工学会論文集、第3巻、第1号

Fukushima, Y. and T. Tanaka(1990) A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan, Bull. Seism. Soc. Am.、84

Haskell, N. A. (1960) Crustal reflection of plane SH waves, J. Geophys. Res.、65

杉戸真太・合田尚義・増田民夫(1994) 周波数特性を考慮した等価ひずみによる地盤の地震応答解析法

松岡昌志・翠川三郎(1994) 国土数値情報とサイスミックマイクロゾーニング、第22回地盤震動シンポジウム、日本建築学会

横田崇・稲垣賢亮・増田徹(2005) 数値実験による地盤特性と増幅率の関係、日本地震学会講演予稿集、2005年度秋季大会

童華南・山崎文雄(1996) 地震動強さ指標と新しい気象庁震度との対応関係、生産研究、48

- 翠川三郎・藤本一雄・村松郁栄(1999) 計測震度と旧気象庁震度および地震動強さの指標との関係, 地域安全学会論文  
文集、No. 1
- 藤本一雄・翠川三郎(2005) 近年の強震記録に基づく地震動強さ指標による計測震度推定法、地域安全学会論文  
文集、  
No. 7

## ○液状化危険度の予測

- 日本道路協会(1990) 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編
- 日本道路協会(1996) 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編
- 日本道路協会(2002) 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編
- 日本道路協会(2017) 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編
- 日本建築学会(1988) 建築基礎構造設計指針
- 日本建築学会(2001) 建築基礎構造設計指針
- 国土交通省北陸地方整備局(2012) 液状化しやすさマップ
- 岩崎敏男・龍岡文夫・常田賢一・安田進(1980) 地震時地盤液状化程度の予測について、土と基礎、28
- 童華南・山崎文雄(1996) 地震動強さ指標と新しい気象庁震度との対応関係、生産研究48巻11号
- 亀井祐総ら(2002) 東京低地における沖積砂質土の粒度特性と細粒分が液状化強度に及ぼす影響、地盤工学会論文報  
告集、Vol. 42、No. 4
- 安田進・石田栄介・細川直行(2009) 液状化のハザードマップにおける作成方法の現状と問題点、第30回土木学会地  
震工学研究発表会論文集
- 時松孝次・吉見吉昭(1983) Empirical Correlation of Soil Liquefaction Based on SPTN-value and Fines  
Content、土質工学会論文報告集、Vol. 23、No. 4
- 安田進・吉川洋一・牛島和子・石川利明(1993) SI値を用いた液状化予測手法、第28回土質工学研究発表会
- 松岡昌志・若松加寿江・橋本光史(2011) 地形・地盤分類250mメッシュマップに基づく液状化危険度の推定手法、日  
本地震工学会論文集、第11巻、第2号
- 松岡昌志・若松加寿江(2011) 全国を網羅した地形・地盤分類250mメッシュマップの構築
- 草野郁・小川好・関根淳(2001) 任意震源に対する領域表示による液状化予測法、第26回地震工学研究発表会講演論  
文集
- 松岡昌志・翠川三郎・若松加寿江(1993) 国土数値情報を利用した広域液状化危険度予測、日本建築学会構造系論文  
報告集、第452号

## ○地盤崩壊危険性の予測

- 林野庁(2006) 山腹崩壊危険地区調査実施要領、山地災害危険地区調査要領、平成18年7月
- 日本道路協会 道路震災対策委員会(1986) 道路の震災対策に関する調査報告―道路構造物の耐震調査および震災対  
策工法に関する研究―
- 損害保険料率算定会(1994) 斜面・急傾斜地の地震時の崩壊被害に関する研究、地震保険調査研究37

## ○津波の予測

- 国土交通省(2019) 津波浸水想定の設定の手引き、Ver. 2.10、国土交通省水管理・国土保全局海岸室、国土交通省国  
土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室、平成31年4月
- 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫(1998) GISを利用した津波遡上計算と被害推定法、海岸高層論文集第45巻、平成  
10年11月
- 後藤智明・小川由信(1982) Leap-frog法を用いた津波の数値計算法、東北大学土木工学科資料

## ○建物被害の予測

- 国土交通省(2011) 東日本大震災による被災現況調査結果について(第1次報告)、2011. 8.
- 国土交通省(2011) 東日本大震災の津波被害現況調査結果(第2次報告)、2011. 10.
- Miyakoshi, J., Y. Hayashi, K. Tamura and N. Fukuwa, (1997) Damage Ratio Functions of Building using Damages

Data of the 1995 Hyogo-Ken Nanbu Earthquake, Proceedings of the 7th International Conference on the Structural Safety and Reliability

宮腰淳一・神原浩・福和伸夫・山口司(2003) 構造的な被災度判定基準に基づく被害率曲線、日本建築学会学術講演梗概集、B-2、構造II

村尾修・山崎文雄(2000) 自治体の被害調査結果に基づく兵庫県南部地震の建物被害関数、日本建築学会構造系論文集、527

岡田成幸・高井伸雄(2004) 木造建築物の損傷度関数の提案と地震防災への適用—地震動入力を確定的に扱う場合—、日本建築学会構造系論文集第582号

竹内慎一・岡田成幸・戸松誠・南慎一・石井旭(2013) 北海道の木造住宅の診断結果を考慮した建物被害予測手法の検討、日本建築学会北海道支部研究報告集、No. 83

竹内慎一・戸松誠・千葉隆史・川村壮(2019) 積雪寒冷期の大規模地震に対応した建物リスク評価手法の基礎的研究、北海道立総合研究機構 調査研究報告、No. 393

山口直也・山崎文雄(2000) 西宮市の被災度調査に基づく建物被害関数の構築、地域安全学会論文集、No. 2

境有紀・額綱一起・神野達夫(2002) 建物被害率の予測を目的とした地震動の破壊力指標の提案、日本建築学会構造系論文集、第555号

堀江啓・林春男・田中聡・長谷川浩一・牧紀男・沖村孝(2003) 地震による木造建築物の損傷度を反映する被害関数の構築、地域安全学会論文集、No. 5

望月利男・荻本孝久(1989) 建築物および付帯施設の被害想定手法、総合都市研究、38

谷口仁士・飯田汲事(1986) 地震時住家被害予測法定式化への試み—主として、地盤液状化に起因する被害を中心に、日本建築学会構造系論文報告集、365

首藤伸夫(1988) 津波災害の変遷と対策上の問題点、海岸工学講演会論文集、35

松島信一・川瀬博(2000) 1995年兵庫県南部地震の複数アスペリティモデルの提案とそれによる強震動シミュレーション、日本建築学会構造系論文集、第534号

長島一郎・宇賀田健・河村壮一・岡田恒男(1989) 地盤と建物の相互作用を考慮した耐震判定指標(その3) 周期補正係数・応答補正係数と判定値、日本建築学会大会学術講演梗概集

中埜良昭・岡田恒男(1989) 信頼性理論による鉄筋コンクリート造建築物の耐震安全性に関する研究、日本建築学会構造系論文報告集、406

損害保険料率算出機構(2006) 微地形区分データを用いた広域の液状化発生予測手法に関する研究、地震保険研究15

## ○地震火災による建物被害の予測

建設省(1997) 都市防災実務ハンドブック 地震防災編、ぎょうせい

東京消防庁(1987) 地震時における地域別の総合出火危険予測と対策、火災予防審議会答申

東京消防庁(1989) 震災時の延焼シミュレーションシステムの調査研究

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

東京消防庁(2001) 東京都第16期火災予防審議会答申：地震火災に関する地域の防災性能評価手法の開発と活用方策

東京消防庁(2005) 地震時における人口密集地域の災害危険要因の解明と消防対策について、火災予防審議会答申

東京消防庁(2011) 出火危険度測定(第8回)

国土開発技術研究センター(1983) 建設省総合技術開発プロジェクト 都市防火対策手法 成果集成版

糸井川栄一(1990) 都市火災における出火・延焼危険評価手法に関する基礎的研究

糸井川栄一(1991) 市街地における出火・延焼危険評価手法に関する基礎的研究、東京工業大学博士論文

加藤孝明・程洪・重力坤玉素甫・山口亮・名取晶子(2006) 建物単体データを用いた全スケール対応・出火確率統合型の地震火災リスクの評価手法の構築、地域安全学会論文集、No. 8

関沢ほか(2001) 消防庁消防大学校 消防研究センター 消防力最適運用支援情報システム(詳細文献不明)

浜田稔(1951) 火災の延焼速度について、火災の研究、1、日本損害保険協会

浜田稔(1966) 東京都大震災火災時に関する研究(1)、東京都防災会議

廣井悠(2014) 津波火災に関する東日本大震災を対象とした質問紙調査の報告と出火件数予測手法の提案、地域安全学会論文集、No. 24

樋本・田中(2006) 都市火災の物理的延焼性状予測モデルの開発、日本建築学会環境系論文集

## ○人的被害の予測

国土庁(1997) 地震被害想定支援マニュアル

文部科学省(2002~2007) 大都市大震災軽減化特別プロジェクト(大大特)

東京消防庁(1983) 日本海中部地震調査報告書、昭和58年8月

東京消防庁(1999) 地震発生時における人命危険要因の解明と対策、火災予防審議会

太田裕・後藤典俊・大橋ひとみ(1983) 地震時の死者発生数予測に関する実験式の一構成、地震2、36

太田裕・後藤典俊(1985) 地震時の死者の発生に関する統計整理、世帯を基本とする総合安全性診断システムの開発、昭和59年度科学研究費補助〔試験(1)〕研究成果報告書

塩野計司・小坂俊吉(1989) 地震による死者・負傷者の予測、総合都市研究、38

恒俊・宮野道雄(1995) 地震時の人的被害と地震加速度の関係に関する検討、自然災害科学、14

村上ひとみ(1996) 1995年阪神・淡路大震災における構造物倒壊と人的被害の要因分析、平成7年兵庫県南部地震の被害調査に基づいた実証的分析による被害の検証報告書

池田浩敬・中林一樹(1996) 震災時の建物被害と人的被害の関連分析、地域安全学会論文報告集

諸井・武村(2004) 関東大震災における「火災による死者の増加傾向」に係る推定式(文献詳細不明)

望月利男・宮野道雄・松田磐余(1982) 比較的最近の地震による人的被害の実態、総合都市研究、17

宮野道雄・呂恒俊(1992) 既往の災害調査に基づく地震時の人的被害に関する検討、地域安全学会論文報告集

河田恵昭・林春男・古市秀徳(1996) 大都市の地震災害による人的被害予測に関する研究、平成8年度関西支部年次学術講演会講演概要

越村俊一・行谷佑一・柳澤英明(2009) 津波被害関数の構築、土木学会論文集B、vol. 65、No. 4

東京流通大学(2005) 4県(三重県・和歌山県・徳島県・高知県)共同地震津波県民意識調査報告書、平成17年3月

NHK放送文化研究所(1996) データブック国民生活時間調査1995

翠川三郎・佐伯琢磨(1995) オフィスビル群における地震時の室内負傷者発生予測、日本建築学会構造系論文集、第476号

董華南・山崎文雄(1996) 地震動強さ指標と新しい気象庁震度との対応関係、生産研究、48巻11号

岡田成幸・鏡味洋史(1991) 震度による地震被害系統評価のためのバルナラビリティ関数群の構成、地震2、第44巻  
佐藤博臣・栗岡均・佐藤寛(2005) 住宅の家具配置実態と初期火災拡大危険評価モデル、日本建築学会環境系論文集、第595号

損害保険料率算出機構(1998) 地震時の家財被害予測に関する研究、地震保険調査研究46

損害保険料率算出機構(2001) 地震による死傷者数および負傷に対する治療費用の評価方法、RISK、No. 62

## ○ライフライン被害の予測

文部科学省(2012) 首都直下地震防災・減災プロジェクト、③広域的危機管理・減災体制の構築に関する研究、平成23年度成果報告書、ライフライン施設被害の相関性と復旧過程の実態解明

国土交通省(2006) 大規模地震による下水道被害想定検討委員会、都市・地域整備局下水道都下水道企画課

総務省総合通信基盤局(2011) 東日本大震災における通信の被災状況、復旧などに関する取り組み状況、東日本大震災における災害応急対策に関する検討会、第4回

東京消防庁(1987) 地震時における地域別の総合出火危険予測と対策、火災予防審議会答申

ガス地震対策検討会(1996) ガス地震対策検討会報告書

日本ガス協会(1997) 地震時ガス導管復旧作業の手引き

日本水道協会(1996) 一九九五年兵庫県南部地震による水道管路の被害と分析

水道技術研究センター(2013) 地震による管路被害予測の確立に向けた研究報告書(概要版)、平成25年3月

Shoji et.al.(2011) Damage Assessment of Electric Power Failures During the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

能島暢呂・加藤宏紀(2012) 供給系ライフラインの地震時機能評価モデルの検証 - 東日本大震災の被災事例に基づく -、地域安全学会論文集、No. 18

丸山喜久・山崎文雄(2009) 近年の地震データを考慮したマクロな配水管被害予測式

- 高田至郎・宮島昌克(1997) 水道配水管の被害予測手法について、(財)災害科学研究所
- 久保慶三郎・片山恒雄(1975) 地下埋設管の被害予測、川崎市の震災予防に関する報告書、川崎市防災会議地震専門部会
- 川上英二(1996) 道路交通システムの形状と連結確率との関係、第1回都市直下地震災害総合シンポジウム
- 永田ら(2010) 大規模地震による下水道被害想定検討委員会における評価モデル
- 日下彰宏・石田寛・永田茂(2011) 下水道重要拠点施設の地震被害による機能停止からの復旧日数の検討、第7回 構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム、平成23年10月
- 関沢・座間・細川・畑山・新井場・久保田・鄭・遠藤(2003) 地方自治体の災害対策本部における応急対応支援システムの開発、大都市大震災軽減化特別プロジェクトH14年度成果報告書\_IV 耐震研究の地震防災への反映、平成15年5月
- 東京大学地震研究所・防災科学技術研究所・京都大学防災研究所(2012) 文部科学省委託研究 首都直下地震防災・減災特別プロジェクト 総括成果報告書、平成24年3月

## ○交通・輸送施設被害の予測

- 日下部毅明・谷屋秀一・吉澤勇一郎(2004) 道路施設に対する地震の防災投資効果に関する研究、国土技術政策総合研究所資料、第160号
- 伊藤詩織・庄司学(2017) 道路ネットワークの津波災害時における機能支障の定量評価、第37回地震工学研究発表会
- 家田ら(1997) 阪神・淡路大震災における「街路閉塞現象」に着目した街路網の機能的障害とその影響、土木学会論文集、No. 576/IV-37
- 板山治・丸山喜久(2016) 東北沖地方太平洋沖地震による平面道路被害の分析、土木学会論文集A1(構造・地震工学)、Vol. 72、No.4. (地震工学論文集第35巻)、I\_82-I\_89、2016I
- 高浜勉・翠川三郎(2009) 地盤条件を考慮した地震による鉄道構造物の被害関数の構築 日本地震工学論文集、第9巻、第5号
- 上部達生(1983) 地震被災事例に基づく重力式および矢板式係船岸の被災変形量と被害額の推定、港湾技研資料、473
- 一井ら(1999) 重量式岸壁の地震時残留変形量の簡易評価、第25回地震工学研究発表会後援論文集
- koji ICHII(2004) FRAGILITY CURVE FOR GRAVITY-TYPE QUAY WALLS BASED ON EFFECTIVE STRESS ANALYSIS、13TH WCEE
- Shoji et. al. (2016) Damage Assessment of Road Bridges Subjected to the 2011 Tohoku Pacific Earthquake Tsunami

## ○土木構造物被害の予測

- 建設省河川局(1978) 河川・海岸施設の耐震性調査要領
- 建設省河川局(1995) 河川堤防耐震点検マニュアル



地震保険研究37  
国・自治体の地震被害想定  
における被害予測手法の調査  
(2021年度調査)

2022年9月発行

発行 損害保険料率算出機構（損保料率機構）

〒163-1029 東京都新宿区西新宿3-7-1

TEL 03-6758-1300（代表）

URL <https://www.giroj.or.jp>