

2. 建物倒壊危険度

2.1 概要

2.2 測定方法

2.3 測定結果

2.4 測定結果の分析

2. 建物倒壊危険度

2.1 概要

2.1.1 目的

建物倒壊危険度は、地震動に起因する建物倒壊被害の危険性を測定するものであり、そのまちにおいて建物が倒壊する数を表し、木造住宅密集地域整備事業、東京都建築安全条例による新たな防火規制、建物の耐震化助成等の地域の選定に活用することを目的としている。

2.1.2 方針

建物倒壊危険度は、兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）、新潟県中越沖地震及び熊本地震の被害データから導かれた建物全壊率を用い、地盤の揺れやすさと地震に対する建物耐力に基づき、図 2.2-1 に示す測定フローにより測定した。

建物倒壊危険度は、町丁目内の地盤状況ごとに以下の式のとおり 3 つに分け、建物倒壊危険量の合算値を基に測定した。

$\begin{aligned} & \text{建物倒壊危険量 (棟/ha)} \\ = & \left[\begin{array}{l} \text{(1) 一般地盤の地域での地震動による建物倒壊量} \\ + \text{(2) 大規模盛土造成地の地域での地震動による建物倒壊量} \\ + \text{(3) 液状化が発生する地域での建物倒壊量} \end{array} \right] \div \text{測定対象面積} \end{aligned}$
--

2.1.3 変更点

建物倒壊危険度算出における第 9 回調査と第 8 回調査の変更点は、以下の 3 点である。

(1) 木造の建物全壊率の変更

第 9 回調査では、木造の建物全壊率曲線について、最新の知見である熊本地震の建物被害データに基づく研究成果を反映した。これにより、木造の建物全壊率を変更した。なお、非木造建物については、第 8 回調査から変更はない。

(2) 大規模盛土造成地の地域の追加

第 8 回調査では「大規模盛土造成地第二次スクリーニング（モデル調査）」（平成 22 年度）によるデータを使用した。第 9 回調査では「大規模盛土造成地マップ」（令和 2 年 3 月）のデータを使用した。これにより、第 8 回調査から、平成 21 年以降に造成された大規模盛土造成地を追加した。

(3) 超高層建物の倒壊確率の変更

超高層建物（高さ 60m 超の高層建物）については、建築基準法に基づき、個別に構造方法について大臣認定を取得して建築しているため、一定の安全性が確保されているとみなし、倒壊確率を 0 と設定する。

2.2 測定方法

建物倒壊危険度の測定では、兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）、新潟県中越沖地震及び熊本地震被害データから導かれた建物全壊率を用いて算出を行った。地盤状況に応じて建物倒壊危険度を、一般地盤の地域、大規模盛土造成地の地域及び液状化が発生する地域の3つに分けて測定し、合算した上で建物倒壊危険度を測定し、その順位により5段階にランク分けした。

第9回調査における建物倒壊危険度の測定フローを図2.2-1に示す。なお、第8回調査と第9回調査において測定方法に関する変更があった部分を赤字で示している。

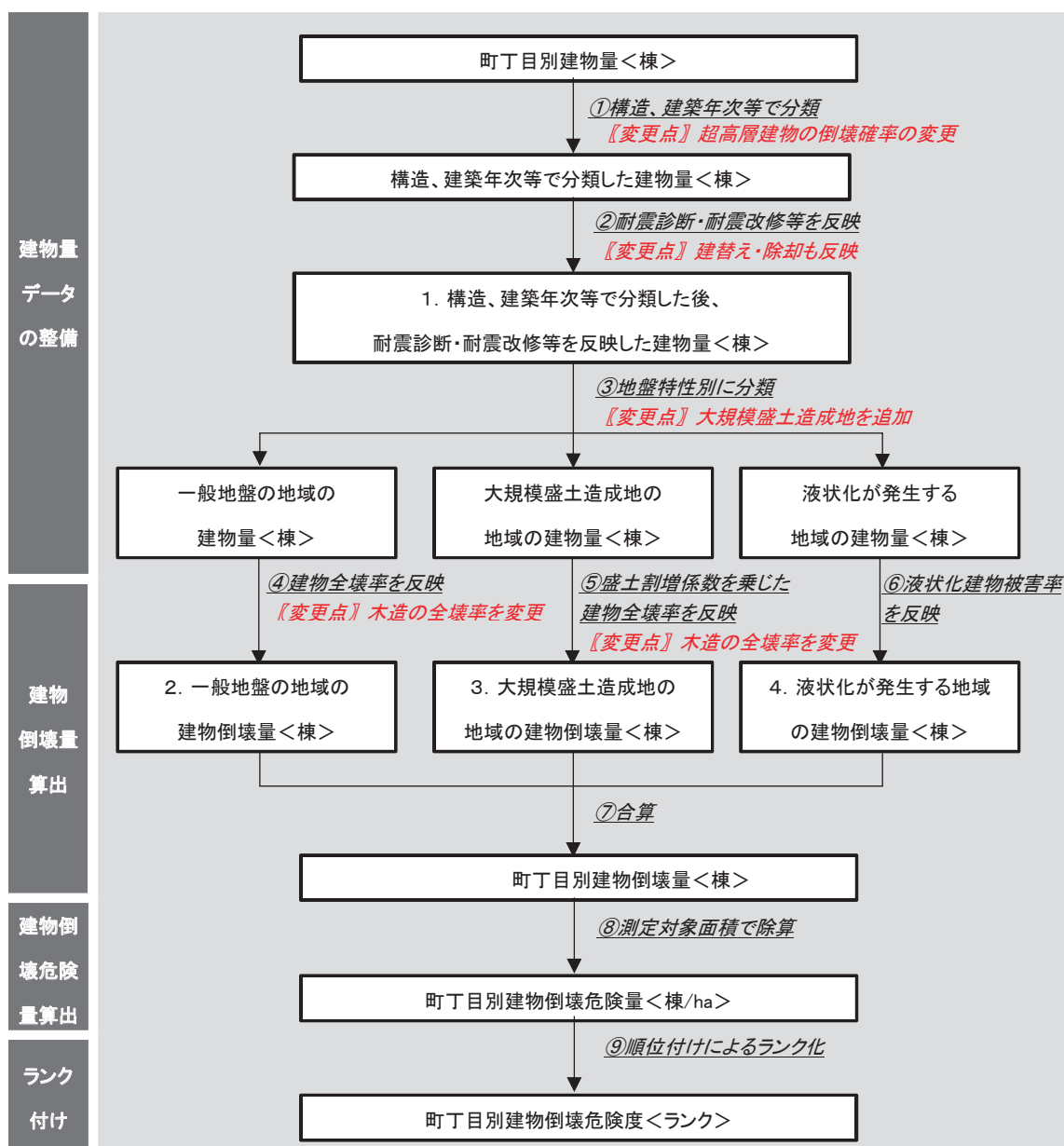


図 2.2-1 建物倒壊危険度測定フロー

表 2.2-1 に測定方法における作業概要、第 9 回調査と第 8 回調査における変更の有無及びその変更内容を示す。なお、表内の項目番号は図 2.2-1 内の番号と対応している。

表 2.2-1 第 9 回調査における測定方法概要と第 8 回調査からの変更内容

項目	概要	第 9 回調査での変更の有無	第 9 回調査における変更点
① 構造、建築年次等で分類	町丁目別に建物を構造、建築年次等で分類	あり	第 9 回調査から、超高層建物の倒壊確率を 0 と設定
② 耐震診断・耐震改修等を反映	耐震診断・耐震改修等を反映し、建築年次が 1980 年以前の建物の中で、耐震性があるとみなされた建物の建築年次を変更	あり	第 8 回調査では耐震診断・耐震改修実績のみを反映していたが、第 9 回調査では平成 29 年度以降の建替え・除却実績も反映
③ 地盤特性別に分類	町丁目内の建物量を地盤特性別面積割合により、①一般地盤の地域の建物量、②大規模盛土造成地の地域の建物量、③液状化が発生する地域の建物量、の 3 つに分類	あり	第 8 回調査後に造成された大規模盛土造成地を追加
④ 建物全壊率を反映	建物全壊率を反映し、建物倒壊量を算出	あり	木造について、2016 年熊本地震における建物被害実態を加味した建物全壊率に変更
⑤ 盛土割増係数を乗じた建物全壊率を反映	盛土割増係数を乗じた建物全壊率を反映し、建物倒壊量を算出	あり	木造について、2016 年熊本地震における建物被害実態を加味した建物全壊率に変更
⑥ 液状化建物被害率を反映	液状化建物被害率を反映し、建物倒壊量を算出	なし	—
⑦ 合算	地盤特性別の建物倒壊量を合算し、町丁目全体としての建物倒壊量を算出	なし	—
⑧ 測定対象面積で除算	町丁目全体の建物倒壊量を測定対象面積で除し、建物倒壊危険量を算出	なし	—
⑨ 順位付けによるランク化	建物倒壊危険量順位によるランク付け	なし	—

2.2.1 建物量

(1) 建物データの集計概要

建物倒壊危険度を測定するために、固定資産課税台帳データを基礎データとして、町丁目単位で棟数の集計を行った。

(2) 建物分類

建物分類については、建物の構造、建築年代、階数などにより表 2.2.1-1 に示す 26 分類とした。建物分類に用いられている建築年代区分は、表 2.2.1-2 に示す法改正等を踏まえて設定した。

(3) 建物量測定方法

区部については東京都主税局から、多摩地域（26 市 2 町）については各市町から固定資産課税台帳を町丁目単位で建物分類別に集計したデータの提供を受け、そのデータを基礎データとした。固定資産課税台帳データは平成 29 年 1 月 1 日時点のものを用いた。なお、この固定資産課税台帳には公共建物等の非課税データも含まれている。

区部の固定資産課税台帳データには建物階数が含まれていないため、本調査では平成 28 年度土地利用現況調査のデータから区部における民間の非木造構造建物の建物階数別の構成割合を算出し、この構成割合を用いることで固定資産課税台帳データにおける建物分類ごとの階数を推計した。計算方法を表 2.2.1-3 に示す。

本調査では、調査対象を町丁目単位とし、町丁目ごとに危険度の測定を行う。対象とする町丁目の行政界は、同様に平成 29 年 1 月 1 日時点での住居表示による町丁目とした。

表 2.2.1-1 建物データの分類

No.	構造	種類		
1	木造	昭和 45 年以前 (~1970 年)		
2		昭和 46 年~55 年 (1971~1980 年)		
3		昭和 56 年~平成 2 年 (1981 年~1990 年)		
4		平成 3 年~平成 12 年 (1991 年~2000 年)		
5		平成 13 年以降 (2001 年~)		
6	RC 造 (SRC 造含む)	昭和 45 年以前 (~1970 年)	1~3F	
7			4~7F	
8			8F~	
9		昭和 46 年~55 年 (1971~1980 年)	1~3F	
10			4~7F	
11			8F~	
12		昭和 56 年以降 (1981 年~)	1~3F	
13			4~7F	
14			8F~	
15		S 造	昭和 45 年以前 (~1970 年)	1~3F
16				4~7F
17				8F~
18	昭和 46 年~55 年 (1971~1980 年)		1~3F	
19			4~7F	
20			8F~	
21	昭和 56 年以降 (1981 年~)		1~3F	
22			4~7F	
23			8F~	
24	軽量 S 造	昭和 55 年以前 (~1980 年)		
25		昭和 56 年以降 (1981 年~)		
26	その他	(石造、ブロック造、土蔵)		

- ※RC 造 : 鉄筋とコンクリートを組み合わせ、相互の短所を補い合って構成された構造
SRC 造 : 鉄骨鉄筋コンクリート造という。H 型鋼などの鉄骨の周囲に鉄筋を配置し、そこにコンクリートを打設して一体化した構造物。マンションなどの高層建築に用いる。
- S 造 : 一般に 4mm を超える厚さの鋼材を用いた構造
軽量 S 造 : 鋼材の板厚が 4mm 以下の軽量型鋼を用いた構造

表 2.2.1-2 主な地震と建物に係わる法改正等

年	地震	法改正等
1919 (大正 9)		市街地建築物法制定 (我が国最初の建築法規、耐震規定無し)
1923 (大正 13)	関東大震災	
1924 (大正 14)		市街地建築物法大改正 (設計震度、耐震規定、地震力規定(0.1)筋交い義務付け)
1948 (昭和 23)	福井地震	
1950 (昭和 25)		建築基準法制定 (構造基準、許容応力度設計、壁量規定、軸組み規定)
1959 (昭和 34)		建築基準法改正 (防火規定強化、壁量規定強化)
1964 (昭和 39)	新潟地震	
1968 (昭和 43)	十勝沖地震	
1971 (昭和 46)		建築基準法施行令改定 (鉄筋のせん断補強筋規定、布基礎)
1978 (昭和 53)	宮城沖地震	
1981 (昭和 56)		建築基準法施行令大改定 (新耐震設計基準、壁量規定見直し)
1995 (平成 7)	兵庫県南部地震	
1995 (平成 7)		耐震改修促進法制定
2004 (平成 16)	新潟県中越地震	
2004 (平成 16)		耐震改修促進法改正
2006 (平成 18)		耐震改修促進法改正 (耐震改修の指示対象の拡大)
2007 (平成 19)	新潟県中越沖地震	
2011 (平成 23)	東北地方太平洋沖地震	
2016 (平成 28)	熊本地震	

表 2.2.1-3 階数区分ごとの建物棟数データ作成方法

構造	階数区分	棟数計算方法 (町丁目単位で計算)
RC 造	1~3F	(耐火造の 1~3F 建棟数比率) × (RC 造棟数)
	4~7F	(耐火造の 4~7F 建棟数比率) × (RC 造棟数)
	8F 以上	(耐火造の 8F 建以上棟数比率) × (RC 造棟数)
S 造	1~3F	(耐火造の 1~3F 建棟数比率) × (S 造棟数)
	4~7F	(耐火造の 4~7F 建棟数比率) × (S 造棟数)
	8F 以上	(耐火造の 8F 建以上棟数比率) × (S 造棟数)

(4) 耐震診断・耐震改修等の反映

耐震診断データについては、旧耐震建築物のうち、耐震診断を実施した結果、**I_w 値 1.0 以上（木造）・I_s 値 原則として 0.6 以上（非木造）**であった建築物について、1981 年以降に建築された建築物と同程度の耐震性を有するものとして建築年代の移行を行った（木造の場合は、1981～1990 年に移行）。

耐震改修データについては、旧耐震建築物のうち、耐震改修を実施し、改修後に **I_w 値 1.0 以上（木造）・I_s 値 原則として 0.6 以上（非木造）**となった建築物について、1981 年以降に建築された建築物と同程度の耐震性を有するものとして、耐震診断の場合と同様の建築年代の移行を行った（表 2.2.1-4）。

非木造建物は、階数によって建物棟数を 3 区分（1～3F、4～7F、8F～）していることから、同じ階数区分で年代の移行を行った。

表 2.2.1-4 耐震診断・耐震改修の反映方法(建築年代の移行)

		反映前					反映後				
		-70	71-80	81-90	91-00	01-	-70	71-80	81-90	91-00	01-
耐震診断・ 耐震改修 実施	木造： I _w 値 1.0 以上										
	非木造： I _s 値 0.6 以上			81-					81-		

第8回調査における耐震診断・耐震改修実績を反映した後、平成28年度以降に耐震診断・耐震改修、除却及び建替えが行われた実績を反映し、建物データの更新を行った。なお、除却及び建替えは、平成29年度以降を考慮するものとした。

平成28年度以降の耐震診断・耐震改修等の実績については、都及び区市町等から提供された各種資料に基づいているが、耐震診断・耐震改修等が実施された建築物の構造・所在地が不記載等により不明なものは対象外とした。ただし、建築年のみ不明なものは、建築年が1971～1980年の建築年代に相当するものとして建築年代の移行を行った。また、非構造部材等の建物躯体以外の耐震補強は対象外とした。

表 2.2.1-5 収集した建物データの種類

種類	構造
特定緊急輸送道路沿道建築物	主に非木造
都営住宅	非木造
区市町営住宅	木造・非木造
都住宅供給公社住宅	非木造
都市再生機構住宅	非木造
防災上重要な建築物（都有建築物）	非木造・一部木造
防災上重要な建築物（区市町有建築物）	主に非木造
災害拠点病院	非木造
社会福祉施設	非木造・一部木造
耐震化助成対象の民間建築物	木造・非木造
定期報告対象建築物	主に非木造

表 2.2.1-6 今回調査における耐震診断・耐震改修等に係るデータ数
(表 2.2.1-5 のデータの平成28年度以降実績分)

構造	棟数 (棟)				
	耐震診断	耐震改修	除却	建替え	合計
木造	22	1,640	2,397	530	4,589
RC造	2,297	3,169	98	37	5,601
S造	25	46	31	10	112
合計	2,344	4,855	2,526	577	10,302

なお、各資料間での建物の重複については、所在地や物件名等を確認し、重複しないようにした。

2.2.2 一般地盤の地域での地震動による建物倒壊量

一般地盤の地域での建物倒壊量の算出は、第8回調査と同様の手法で行った。

(1) 概要

一般地盤の地域での地震動による倒壊量は、以下の式で計算する。

$$\begin{aligned} & \text{一般地盤の地域での地震動による倒壊量} \\ &= \text{町丁目の建物量} \\ & \quad \times \text{一般地盤の地域の面積割合} \\ & \quad \times \text{地盤特性と建物特性を考慮した建物全壊率} \end{aligned}$$

なお、上式に用いている用語の説明は以下のとおりである。

「建物全壊率」とは、地表面の地震の強さ（速度）などによって、建物が全壊する棟数の割合を建物構造、年代ごとに区分して示すものである。

「一般地盤の地域の面積割合」は、町丁目面積から「大規模盛土造成地の地域の面積割合」と「液状化が発生する地域の面積割合」を除いた残りの面積割合であり、町丁目の建物量から「一般地盤の地域」の建物量を求めるために乗じている。

「建物全壊率」は、①工学的基盤での地震動の強さ、②地表面までの地盤特性（地盤増幅率）、③地震動に対する建物特性（建物構造及び年代）の3条件で測定した。

「地震動の強さ」については、都内の全町丁目の工学的基盤に同じ地震動の強さを設定した。「地盤特性」については、地盤分類に応じた地震動の地盤増幅率を設定した。「建物特性」については、全壊被害に相当するものとして、兵庫県南部地震、新潟県中越沖地震及び熊本地震の被害データから導かれた建物被害関数を、建物の構造及び年代の区分ごとに設定した。これらの組合せにより「建物全壊率」を設定した。

建物倒壊危険度の測定における地震動の考え方を、図2.2.2-1に示す。

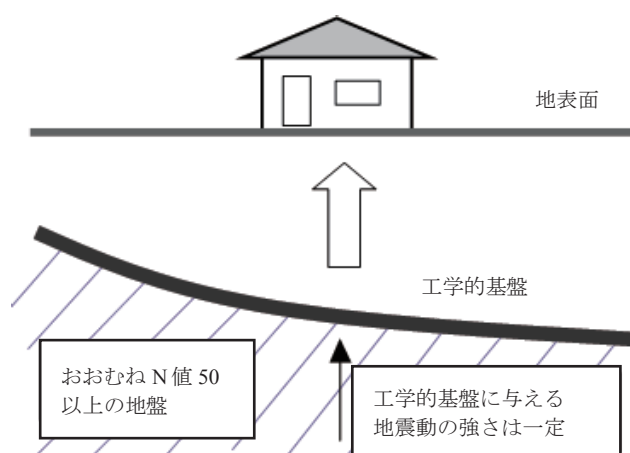


図 2.2.2-1 建物倒壊危険度の測定における地震動の考え方

(2) 工学的基盤での地震動の強さ

地震動の強さの設定に当たっては、一般的に加速度、速度、震度階級などの単位があるが、本調査では、地震時の建物被害との相関性が高い速度を用いることとし、30cm/s (kine)の地震動の強さを与えることとした。

「首都直下地震等による東京の被害想定」(東京都、令和4年5月25日公表)などでは、都心南部直下地震等、対象とする特定の地震を想定して予測を行うのに対し、本調査においては、特定の地震ではなく、都内の全町丁目の工学的基盤に同じ地震動の強さを設定して測定を実施している。これは、本調査では、地震によって影響を受ける建物等の構造や年代、地盤の違いについて地域間の比較を行い、種々の対策につなげるという視点を考慮しているためである。

なお、30cm/s (kine)の地震動の強さを工学的基盤に与えた場合、地盤増幅率が最も高い沖積低地5の地盤において約90cm/s (kine)となり、震度6強の地震に相当する。

(3) 地表面までの地盤特性 (地盤増幅率)

ア 地盤分類

第9回調査は下記の観点より、第8回調査と同様、表2.2.2-1の方法で設定した12種類の地盤分類を用いた。

- ・町丁目単位で東京都全体の測定を行うこと。
- ・地盤の分類数が適当であること。
- ・台地と低地を有する東京都の地盤の特徴をうまく表現できていること。

表 2.2.2-1 地盤分類設定方法

元データ	・「東京区部の地盤区分図(東京都防災会議)」(昭和53年) ・「東京都土木技術研究所、東京都地盤地質図(23区内)」(昭和44年)
分類方法	・地形・地質の特徴から12分類に区分
町丁目への設定	・行政界図にあてはめ、町丁目ごとに占有する面積の最も大きい地盤分類項目をその町丁目を代表とする地盤分類とした。

12種類の地盤分類の分布を図2.2.2-2に示し、その地盤の特徴を表2.2.2-2に示す。

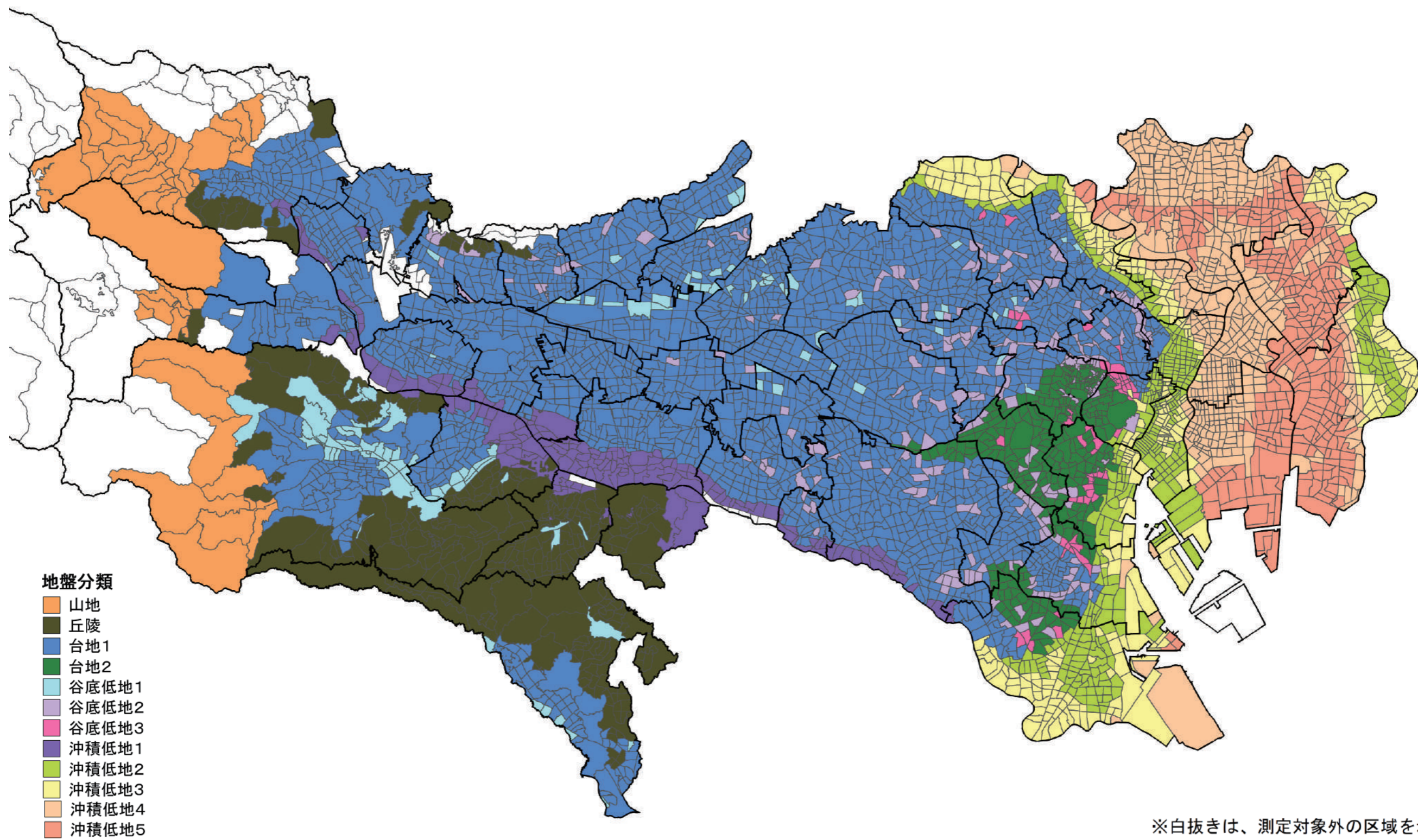


図 2.2.2-2 地盤分類図

表 2.2.2-2 地盤分類と地盤の特徴

No	分類	地形・地質の特徴	地震動及び地震被害に対する特徴
1	山地	山地	主に岩盤が露出した地区で、地震動の増幅は1倍で地震動の基準となる地区である。
2	丘陵	主に丘陵地	固結した砂・泥層が地下の浅いところに存在するため、他の地盤分類に比べると地震動の増幅は極めて小さい。
3	台地 1	河成れき層の上に関東ローム層を乗せる台地（武蔵・山の手台地の西側に当たる。）	ローム層の下に砂れき層が分布する地域。過去の被害地震時にも低地に比べて被害は少なかった。低地に比べて地盤の卓越周期は短い傾向にある。
4	台地 2	海や河口付近に堆積した粘土・砂層の上に関東ローム層を乗せる台地（山の手台地の東縁に当たる。）	台地 1 と似ているが、ローム層が厚く、その下に比較的締まった粘土・砂層が分布する地域。台地の中では被害が発生しやすい。
5	谷底低地 1	軟弱な沖積層の厚さが 3m 未満	凹地及び浅い谷にほぼ対応し、軟弱層が薄いことから、谷底低地の中では地震動による被害の発生がしにくい地域である。
6	谷底低地 2	軟弱な沖積層の厚さが 3m 以上 8m 未満	沖積層の層厚は厚くないが、粘土やシルトからなる軟弱な堆積物が存在する。谷底低地 1 や周辺の台地に比べると地震動による被害が発生しやすい。
7	谷底低地 3	軟弱な沖積層の厚さが 8m 以上	台地を刻む谷が沖積低地へと流下する出口に当たり、泥炭層や有機質シルトを含む地層からなる軟弱な堆積物（沖積層）が比較的厚く分布する。関東地震の際に、沖積低地における軟弱層の厚い地域と同様、被害が大きく発生した。
8	沖積低地 1	沖積層が主に河成れきからなるところ（多摩川の中流域）	多摩川の中流域であり、地盤は主に砂れきから構成されていることから、地震動による被害も生じにくい。
9	沖積低地 2	軟弱な沖積層の厚さが 10m 未満	沖積低地の中でも台地よりの地域で、軟弱な層が薄く、関東地震でも建物被害が少なかったことから、沖積低地の中では地震動による被害が発生しにくい地域である。
10	沖積低地 3	軟弱な沖積層の厚さが 1m 以上 25m 未満	軟弱な層の厚さがやや厚い地域であり、沖積低地 2 に比べると地盤の卓越周期は相対的に長く、地震動による被害も発生しやすい。
11	沖積低地 4	軟弱な沖積層の厚さが 25m 以上 40m 未満	沖積低地の中で、2 番目に軟弱層が厚い地域である。したがって、地盤の卓越周期は、相対的に長い傾向があり、地震動による被害が最も発生しやすい。
12	沖積低地 5	軟弱な沖積層の厚さが 40m 以上	沖積低地の中で、最も軟弱層が厚い地域。軟弱な層が厚く堆積していることから、地盤の卓越周期は相対的に長い傾向にあり、地震動による被害が最も発生しやすい。

イ 地盤増幅率

地盤増幅率は、「地表面の揺れの大きさ（最大速度）÷工学的基盤の揺れの大きさ（最大速度）」で表わされる。

地盤増幅率は、J-SHIS や東京ガスの地盤データから推定される増幅率や、2010年度までの地震記録を基に設定した。

表 2.2.2-3 地盤分類別の地盤増幅率

No	地盤分類	地盤増幅率
1	山地	1.0
2	丘陵	1.4
3	台地 1	1.6
4	台地 2	1.7
5	谷底低地 1	1.5
6	谷底低地 2	1.8
7	谷底低地 3	2.0
8	沖積低地 1	1.5
9	沖積低地 2	2.3
10	沖積低地 3	2.6
11	沖積低地 4	2.9
12	沖積低地 5	2.9

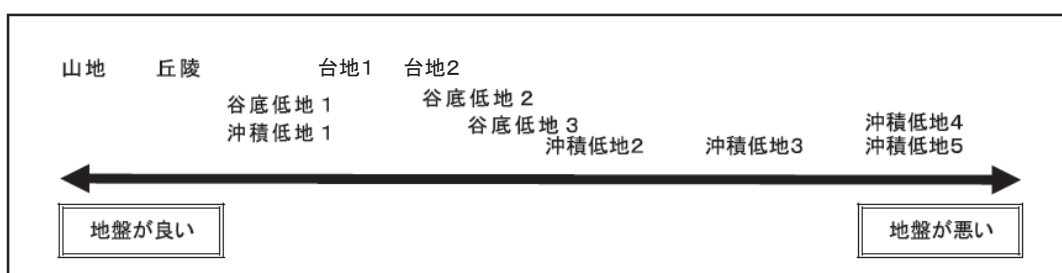


図 2.2.2-3 地盤増幅率に着目した地盤の比較

(4) 地震動に対する建物特性（建物全壊率）

1995年兵庫県南部地震における神戸市灘区の建物被害統計に基づいて、村尾・山崎ほか(2000)^{*1}に示された信頼性解析^{*}の考え方を導入して設定した建物被害関数を用い、地盤分類ごとの地表面での揺れの速度に応じた建物全壊に至る確率（建物全壊率）を用いた。ただし、木造の建物全壊率については、近年に建築された木造建物の耐震性の高さを考慮し、1981年から1990年まで、1991年から2000年まで、2001年以降の3つの年代に区分し、異なる数値を設定した。

設定に当たっては、兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）の被害データを踏まえて、2007年新潟県中越沖地震における柏崎市の建物被害データの分析結果（長尾・山崎(2011)^{*2}及び2016年熊本地震における益城町の建物被害データの分析結果（須藤・山崎ほか(2019)^{*3}から導かれた被害関数を基に、新しい被害関数を算出した。

なお、建物全壊率は、図2.2.2-4に示すように、地盤ごとの地表面の最大速度による外力と建物耐力を確率密度関数（対数正規分布）で表現し、地表面の最大速度による外力が建物耐力を上回る場合に建物が全壊する前提で算定している。

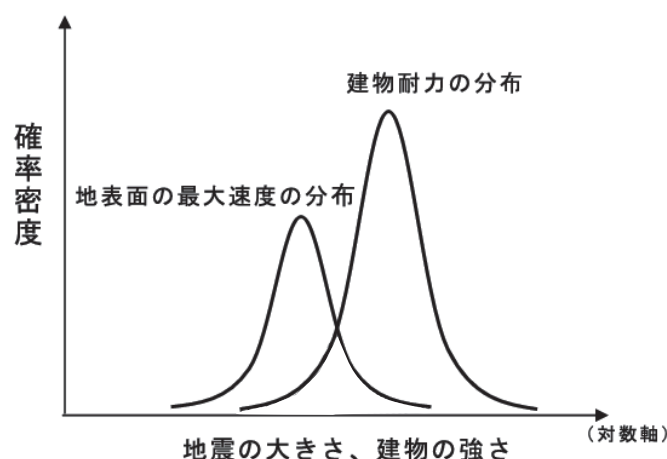


図 2.2.2-4 地表面の最大速度分布、建物耐力の分布の関係

*信頼性解析とは、確率・統計的手法として、損傷の発生のしやすさを確率的に分散する仮定で算出する手法のこと。

^{*1}村尾修、田中宏幸、山崎文雄、若松加寿枝（2000）：兵庫県南部地震の被害データに基づく建物倒壊危険度評価法の提案、日本建築学会構造系論文集、pp.197-204, 2000.

^{*2}長尾拓真、山崎文雄（2011）：2007年新潟県中越沖地震における柏崎市の建物被害分析、地域安全学会論文集、No. 15、pp. 249-254, 2011.

^{*3}須藤巧哉、山崎文雄、松岡昌志、井ノ口宗成、堀江啓、劉ウエン（2019）：益城町の罹災証明データに基づく2016年熊本地震に対する建物被害関数の構築、日本地震工学会論文集、Vol.19,No.4、pp.13-31、2019.

本調査で用いた被害関数式は、次式である。

$$P_f = \frac{1}{\sqrt{2\pi\xi_z}} \int_0^1 \frac{1}{z} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln z - \lambda_z}{\xi_z}\right)^2} dz$$

P_f 被害が発生する確率

z $Z = R / S$

S : 地盤の最大速度での外力

R : 地盤の最大速度での建物耐力

λ_z $\lambda_z = \lambda_r - \lambda_s$

ξ_z $\xi_z = \sqrt{\xi_r^2 + \xi_s^2}$

λ_s, ξ_s : 建物被害関数の回帰係数 (地盤分類ごとに設定)

λ_r, ξ_r : 上記と同じ (地盤分類ごとに設定)

λ_s は、基盤の振動レベルの速度を 30 cm/s(kine)と設定したときの $\lambda_s = 3.40$ とおき、地盤増幅率の設定値に応じて λ_s を設定した。また、 ξ_s については、Molas and Yamazaki (1995) ※1による最大速度の回帰式における地域内の変動成分を使用し、 λ_r, ξ_r は、表 2.2.2-4 の λ, ξ を利用した。

図 2.2.2-5(1)から図 2.2.2-5(4)は建物分類別の建物被害関数であり、表 2.2.2-5 は工学的基盤に 30cm/s(kine)を地盤分類ごとに当てはめた場合の建物全壊率を示す。

図 2.2.2-6 に第 8 回調査と第 9 回調査の被害関数の比較図を示す。全壊率は、おおむね、1990 年以前に建てられた建物については、第 9 回調査の方が第 8 回調査よりも小さく、1991 年以降に建てられた建物については、第 9 回調査の方が第 8 回調査よりも大きい傾向となっている。

※1 Gilbert L. Molas and Fumio Yamazaki, 1995, Attenuation of Earthquake Ground Motion in Japan Including Deep Focus Events, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 85, No. 5, 1343-1358.

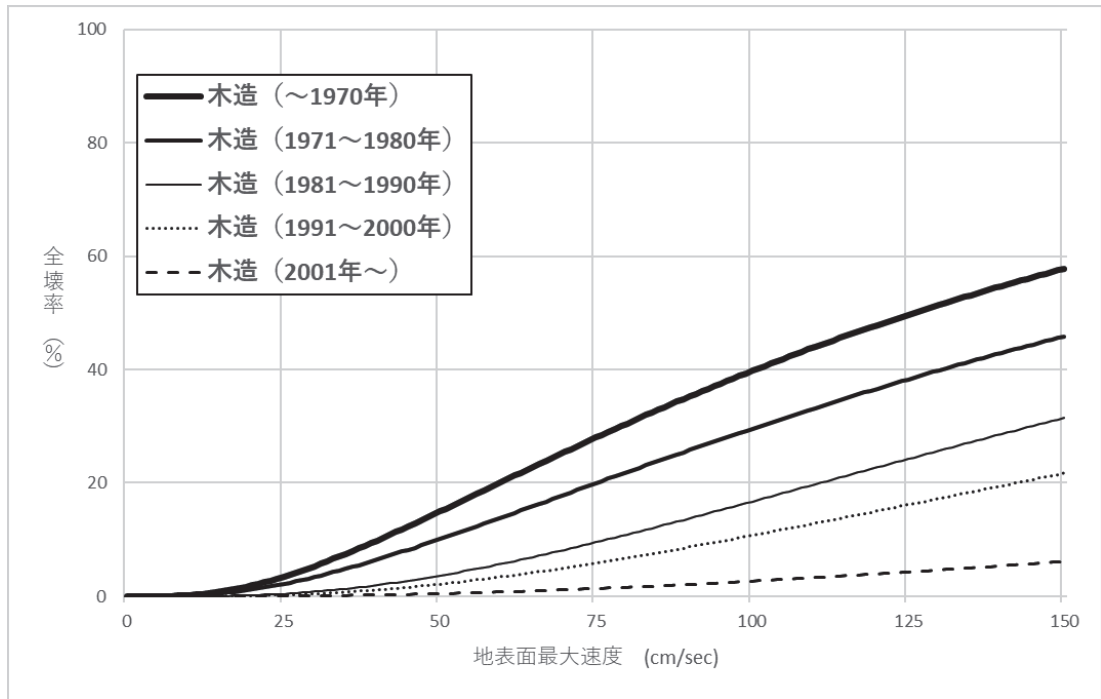


図 2.2.2-5(1) 建物分類別の建物被害関数(木造)

(注：木造の被害率曲線は今回調査において更新している)

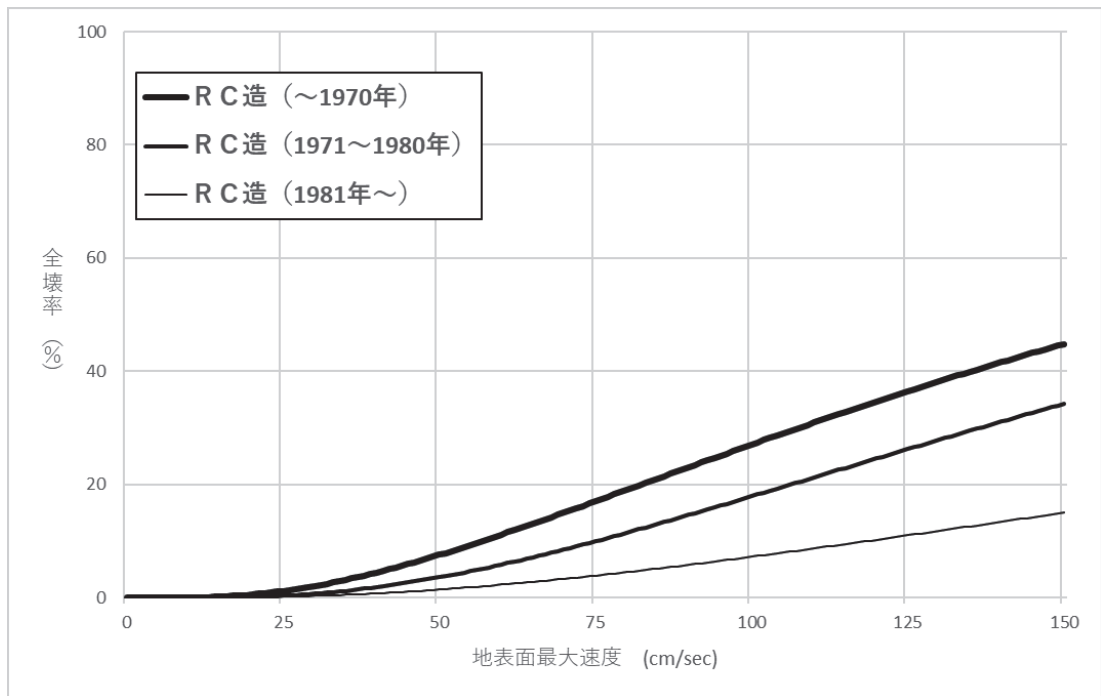


図 2.2.2-5(2) 建物分類別の建物被害関数(RC造)

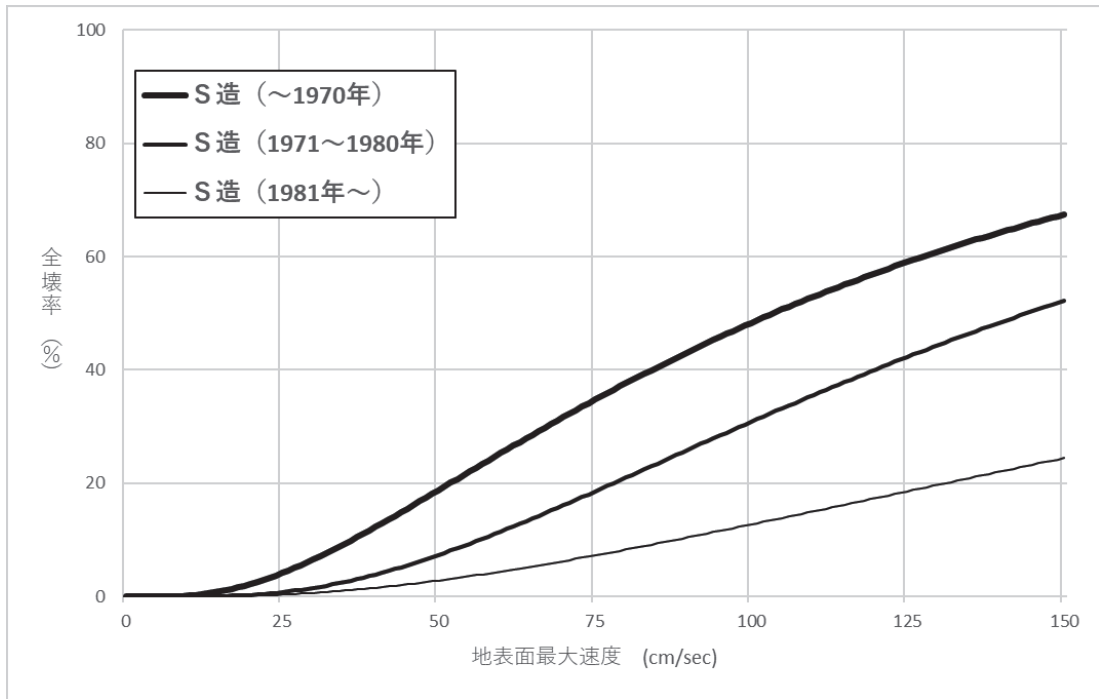


図 2.2.2-5(3) 建物分類別の建物被害関数(S造)

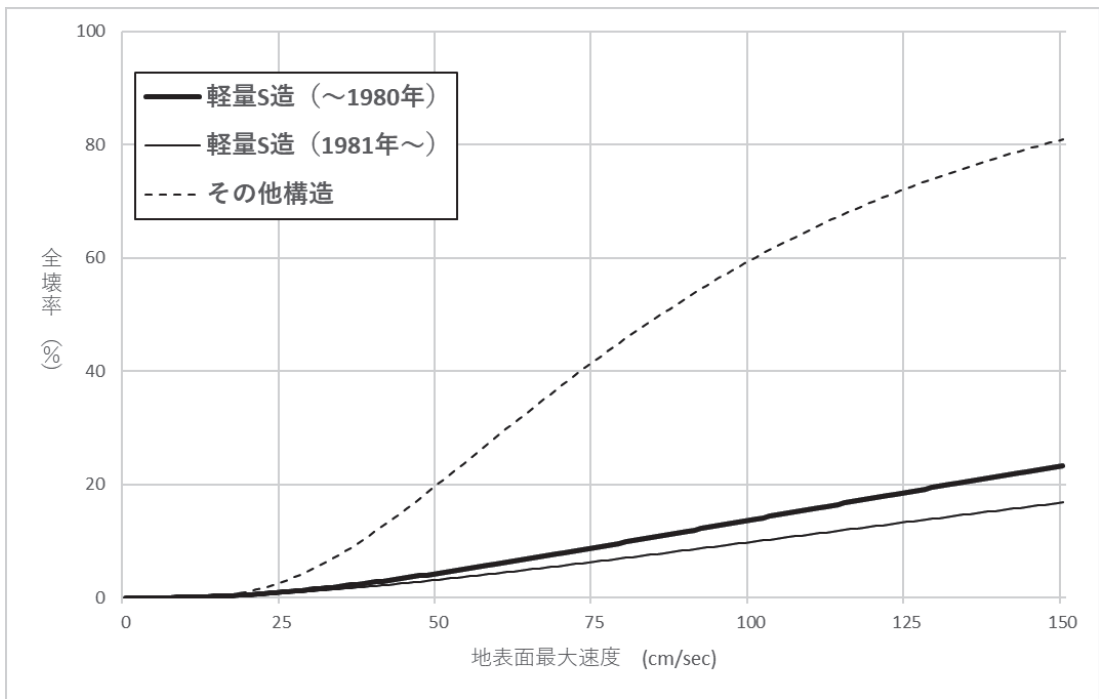


図 2.2.2-5(4) 建物分類別の建物被害関数(軽量 S 造とその他構造)

表 2.2.2-4 建物分類ごとの建物被害関数の回帰係数

No.	構造	種類		被害関数の回帰		
				λ	ξ	
1	木造	昭和 45 年以前 (~1970 年)		4.84	0.706	
2		昭和 46~55 年 (1971~1980 年)		5.11	0.764	
3		昭和 56 年~平成 2 年 (1981~1990 年)		5.41	0.640	
4		平成 3 年~平成 12 年 (1991~2000 年)		5.70	0.698	
5		平成 13 年以降 (2001 年~)		6.62	0.894	
6	RC 造 (SRC 造含む)	昭和 45 年以前 (~1970 年)	1~3F	5.12	0.646	
7			4~7F			
8			8F~			
9		昭和 46 年~55 年 (1971~1980 年)	1~3F	5.33	0.575	
10			4~7F			
11			8F~			
12		昭和 56 年以降 (1981 年~)	1~3F	6.00	0.789	
13			4~7F			
14			8F~			
15		S 造	昭和 45 年以前 (~1970 年)	1~3F	4.64	0.619
16				4~7F		
17				8F~		
18			昭和 46 年~55 年 (1971~1980 年)	1~3F	4.97	0.490
19				4~7F		
20	8F~					
21	昭和 56 年以降 (1981 年~)		1~3F	5.64	0.731	
22			4~7F			
23			8F~			
24	軽量 S 造	昭和 55 年以前 (~1980 年)		5.82	0.972	
25		昭和 56 年以降 (1981 年~)		6.19	1.101	
26	その他	(石造, ブロック造, 土蔵)		4.45	0.342	

出典：村尾・山崎（2000）^{*1}の方法を 26 建物分類に適用したもの

- ※RC 造 : 鉄筋とコンクリートを組み合わせ、相互の短所を補い合って構成された構造
- SRC 造 : 鉄骨鉄筋コンクリート造という。H 型鋼などの鉄骨の周囲に鉄筋を配置し、そこにコンクリートを打設して一体化した構造物。マンションなどの高層建築に用いる。
- S 造 : 一般に 4mm を超える厚さの鋼材を用いた構造
- 軽量 S 造 : 鋼材の板厚が 4mm 以下の軽量型鋼を用いた構造

^{*1}村尾修、山崎文雄（2000）：自治体の被害調査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、pp.189-196、2000.

表 2.2.2-5 地盤・建物種別ごとの建物全壊率(%)

No.	構造	種類	山地	丘陵	台地 1	台地 2	谷底 低地 1	谷底 低地 2	谷底 低地 3	沖積 低地 1	沖積 低地 2	沖積 低地 3	沖積 低地 4	沖積 低地 5	盛土 (山 地)	盛土 (丘陵 地)
分類 1	木造	～1970年	5.33	10.84	13.90	15.46	12.35	17.04	20.21	12.35	24.92	29.49	33.86	33.86	7.95	15.15
分類 2		1971～ 1980年	3.42	7.17	9.33	10.45	8.23	11.60	13.95	8.23	17.54	21.12	24.65	24.65	5.17	10.23
分類 3		1981～ 1990年	0.81	2.27	3.28	3.84	2.75	4.45	5.76	2.75	7.95	10.35	12.89	12.89	1.44	3.73
分類 4		1991～ 2000年	0.46	1.31	1.91	2.26	1.60	2.63	3.45	1.60	4.84	6.40	8.10	8.10	0.83	2.19
分類 5		2001年～	0.10	0.29	0.42	0.50	0.35	0.59	0.78	0.35	1.11	1.50	1.95	1.95	0.18	0.48
分類 6、7、8	RC造	～1970年	2.07	5.05	6.92	7.93	5.96	8.98	11.18	5.96	14.66	18.25	21.88	21.88	3.24	7.72
分類 9、10、11		1971～ 1980年	0.73	2.19	3.23	3.83	2.68	4.47	5.88	2.68	8.26	10.88	13.69	13.69	1.35	3.71
分類 12、13、14		1981年～	0.33	0.90	1.30	1.53	1.09	1.78	2.32	1.09	3.25	4.29	5.44	5.44	0.58	1.48
分類 15、16、17	S造	～1970年	6.59	13.62	17.49	19.45	15.54	21.42	25.34	15.54	31.08	36.52	41.62	41.62	9.94	19.06
分類 18、19、20		1971～ 1980年	1.58	4.57	6.61	7.75	5.55	8.95	11.52	5.55	15.67	20.04	24.49	24.49	2.88	7.52
分類 21、22、23		1981年～	0.69	1.82	2.59	3.02	2.19	3.47	4.46	2.19	6.11	7.91	9.84	9.84	1.19	2.93
分類 24	軽量 S造	～1980年	1.48	3.06	3.99	4.48	3.52	4.99	6.04	3.52	7.70	9.42	11.18	11.18	2.22	4.38
分類 25		1981年～	1.15	2.28	2.94	3.28	2.60	3.64	4.38	2.60	5.54	6.75	8.00	8.00	1.68	3.21
分類 26	その他	(石造、 ブロック 造、土 蔵)	5.07	13.29	18.29	20.91	15.74	23.57	28.92	15.74	36.80	44.21	50.99	50.99	8.79	20.38

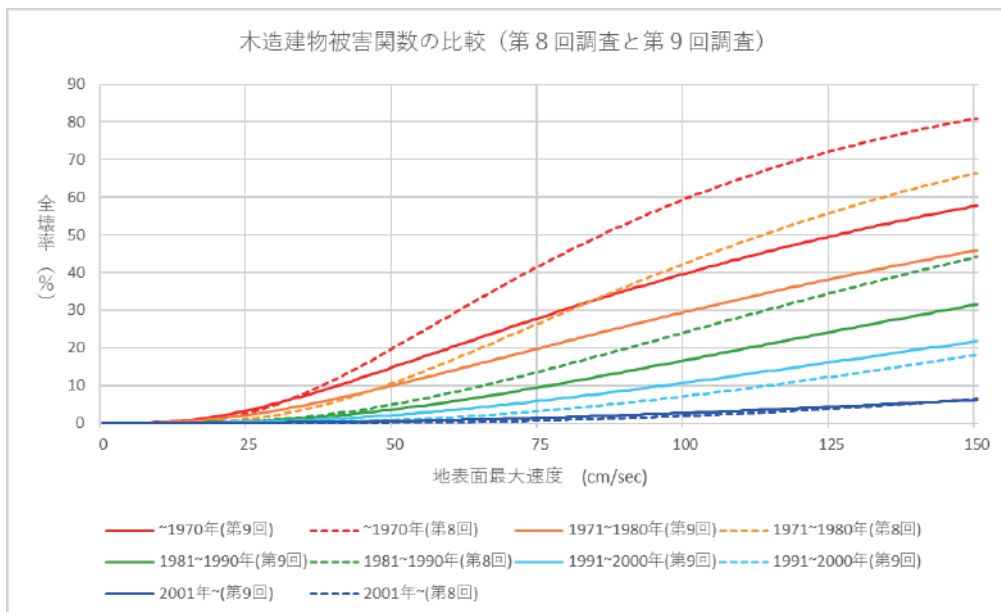


図 2.2.2-6 木造建物被害関数の比較(第8回調査と第9回調査)

2.2.3 大規模盛土造成地の地域での地震動による建物倒壊量

大規模盛土造成地の地域での地震動による建物倒壊量は、以下の式で計算する。

$$\begin{aligned} & \text{大規模盛土造成地の地域での地震動による建物倒壊量} \\ & = \text{町丁目の建物量} \times \text{町丁目内における盛土面積割合} \\ & \quad \times \text{地盤増幅率の盛土割増係数} \\ & \quad \times \text{地盤特性と建物特性を考慮した建物全壊率} \end{aligned}$$

また、大規模盛土造成地の地域での地震動の考え方を、図 2.2.3-1 に示す。

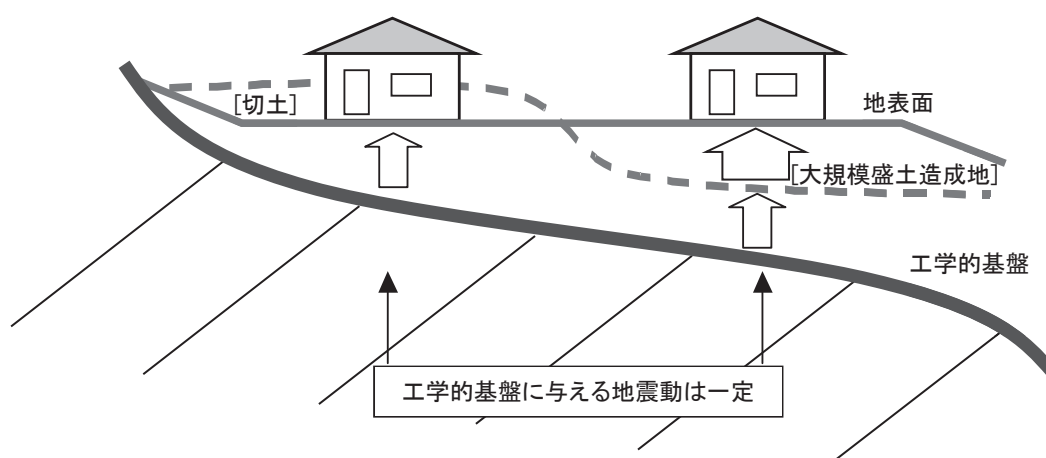


図 2.2.3-1 大規模盛土造成地の地域での地震動の強さの考え方

盛土面積について、第 8 回調査では「大規模盛土造成地第二次スクリーニング（モデル調査）」（平成 22 年度）における大規模盛土造成地分布図を使用して集計していた。第 9 回調査では「大規模盛土造成地マップ」（令和 2 年 3 月）を使用し、平成 21 年以降に造成された大規模盛土造成地の面積を加え、盛土面積割合を算出した。大規模盛土造成地の分布を図 2.2.3-2 に示す。

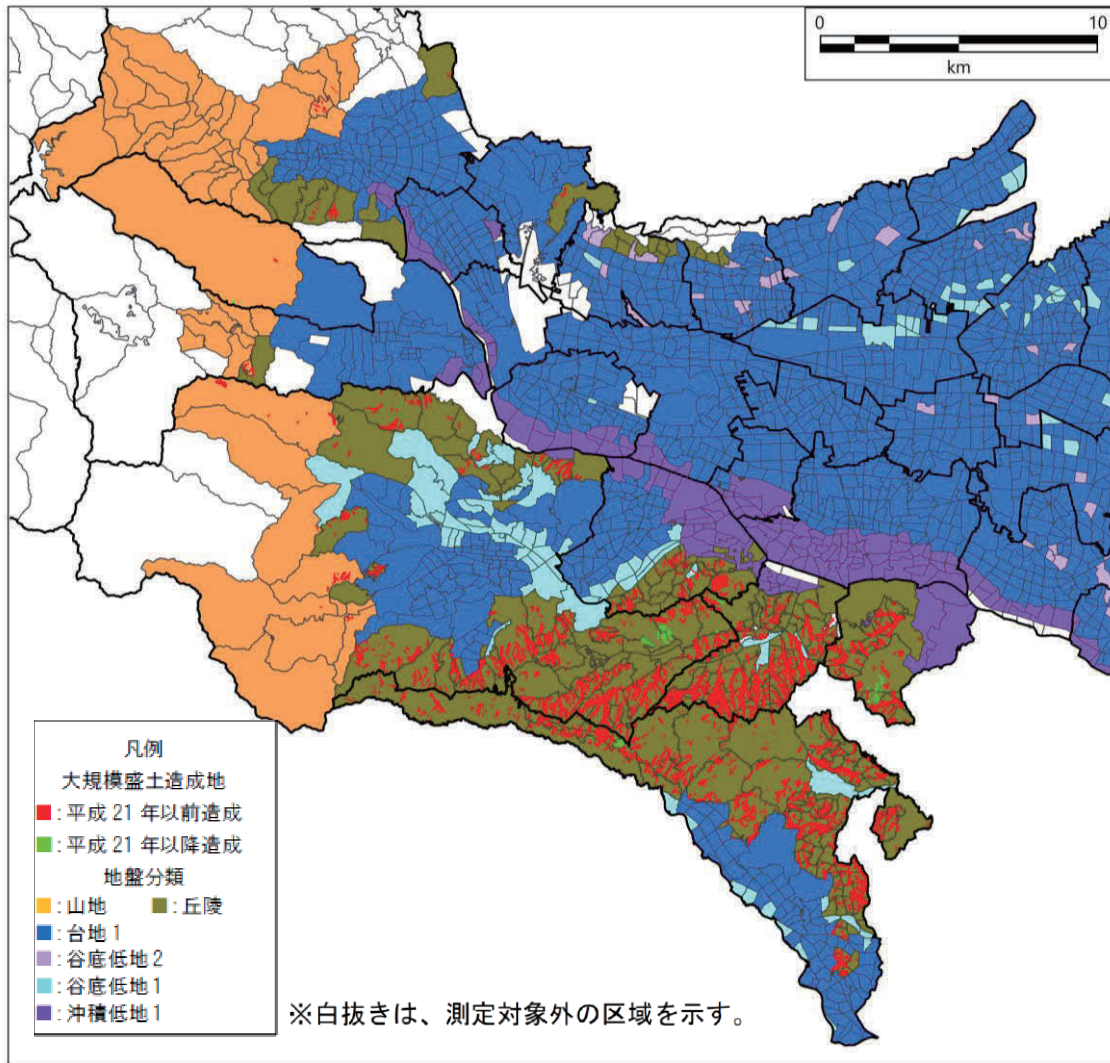


図 2.2.3-2 大規模盛土造成地データ分布図
 (町丁目別地盤分類で山地・丘陵の町丁目中存在するもののみ抽出)

地盤分類が「山地」及び「丘陵」の町丁目について、町丁目内の盛土面積割合を以下の式で算定する。

$$\text{町丁目内における盛土面積割合} = \text{大規模盛土造成地の盛土面積} \div \text{町丁目面積}$$

大規模盛土造成地の地域の地盤増幅率は、第8回調査と同様、盛土により地盤増幅率が1.2倍（東京都防災会議1985年）となるように設定する。地表面での最大速度は以下のとおりである。

$$\text{(山地)} \quad 30\text{cm/s} \times 1.0 \text{ (地盤増幅率)} \times 1.2 \text{ (盛土割増係数)} = 36.0\text{cm/s}$$

$$\text{(丘陵)} \quad 30\text{cm/s} \times 1.4 \text{ (地盤増幅率)} \times 1.2 \text{ (盛土割増係数)} = 50.4\text{cm/s}$$

2.2.4 液状化が発生する地域での建物倒壊量

液状化による建物被害は、地震動そのものによる被害とは異なるため、一般地盤の地域とは別に町丁目ごとに測定する。

液状化が発生する地域での地震動による建物倒壊量

$$= \text{町丁目の建物量} \times \text{液状化発生面積割合} \times \text{液状化建物被害率}$$

ここで、液状化建物被害率は、建物分類ごとに建物の支持杭の有無に着目し、(A) 支持杭の存在しない建物の割合と (B) 支持杭が存在しない建物のうち液状化被害を受ける建物の割合との積とした。第 8 回調査以降、「支持杭が存在しない建物の割合」については法改正等による杭に関する基準の変更がないため、液状化建物被害率は第 8 回調査と同じ被害率を用いることとした。

建物分類別の液状化建物被害率を表 2.2.4-1 に示す。

表 2.2.4-1 建物分類別の液状化建物被害率

No.	構造	種類	(A) 支持杭の存在しない建物の割合 (%)	(B) 支持杭の存在しない建物のうち液状化被害を受ける建物の割合 (%)	
1	木造	昭和 45 年以前 (~1970 年)	100		
2		昭和 46~55 年			
3		昭和 56 年~平成 2 年 (1981 年~1990 年)			
4		平成 3 年~平成 12 年 (1991 年~2000 年)			
5		平成 13 年以降 (2001 年~)			
6	RC 造 (SRC 造含む)	昭和 45 年以前 (~1970 年)	1~3F		70
7			4~7F		5
8			8F~		0
9		昭和 46 年~55 年 (1971~1980 年)	1~3F		70
10			4~7F		5
11			8F~		0
12		昭和 56 年以降 (1981 年~)	1~3F		55
13			4~7F		5
14			8F~		0
15	S 造	昭和 45 年以前 (~1970 年)	1~3F		100
16			4~7F		60
17			8F~		0
18		昭和 46 年~55 年 (1971~1980 年)	1~3F		100
19			4~7F		60
20			8F~		0
21		昭和 56 年以降 (1981 年~)	1~3F		95
22			4~7F		45
23			8F~		0
24	軽量 S 造	昭和 55 年以前 (~1980 年)	100		
25		昭和 56 年以降 (1981 年~)			
26	その他	(石造、ブロック造、土蔵)	100		

液状化発生面積割合の算出については、第8回調査と同様に、「東京の液状化予測図」（東京都建設局・港湾局、2013年）（図2.2.4-1）を利用した。液状化が生ずる区域を、同図において「液状化の可能性が高い地域（以下「可能性大」という。）」又は「液状化の可能性がある地域（以下「可能性小」という。）」に区分された地域とした。ただし、実際に液状化する面積の割合は、液状化判定の「大」「小」によって異なるとされ、その割合は、新たに有効な調査研究成果が得られていないことなどから、第8回調査と同様1983年日本海中部地震や1964年新潟地震における液状化発生状況を踏まえて「東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書」（東京都、1997年）において設定された値を用いており、具体的には表2.2.4-2に示す値を使用した。

液状化発生面積割合については、以下の算定方式を用いて町丁目別に算定した。

$$\text{液状化発生面積割合} = (\text{町丁目内の可能性大の面積} \times \text{液状化判定大の液状化面積率} + \text{町丁目内の可能性小の面積} \times \text{液状化判定小の液状化面積率}) \div \text{町丁目面積}$$

表 2.2.4-2 液状化判定別の液状化面積率

液状化判定	液状化面積率
大	18%
小	5%
なし	0%

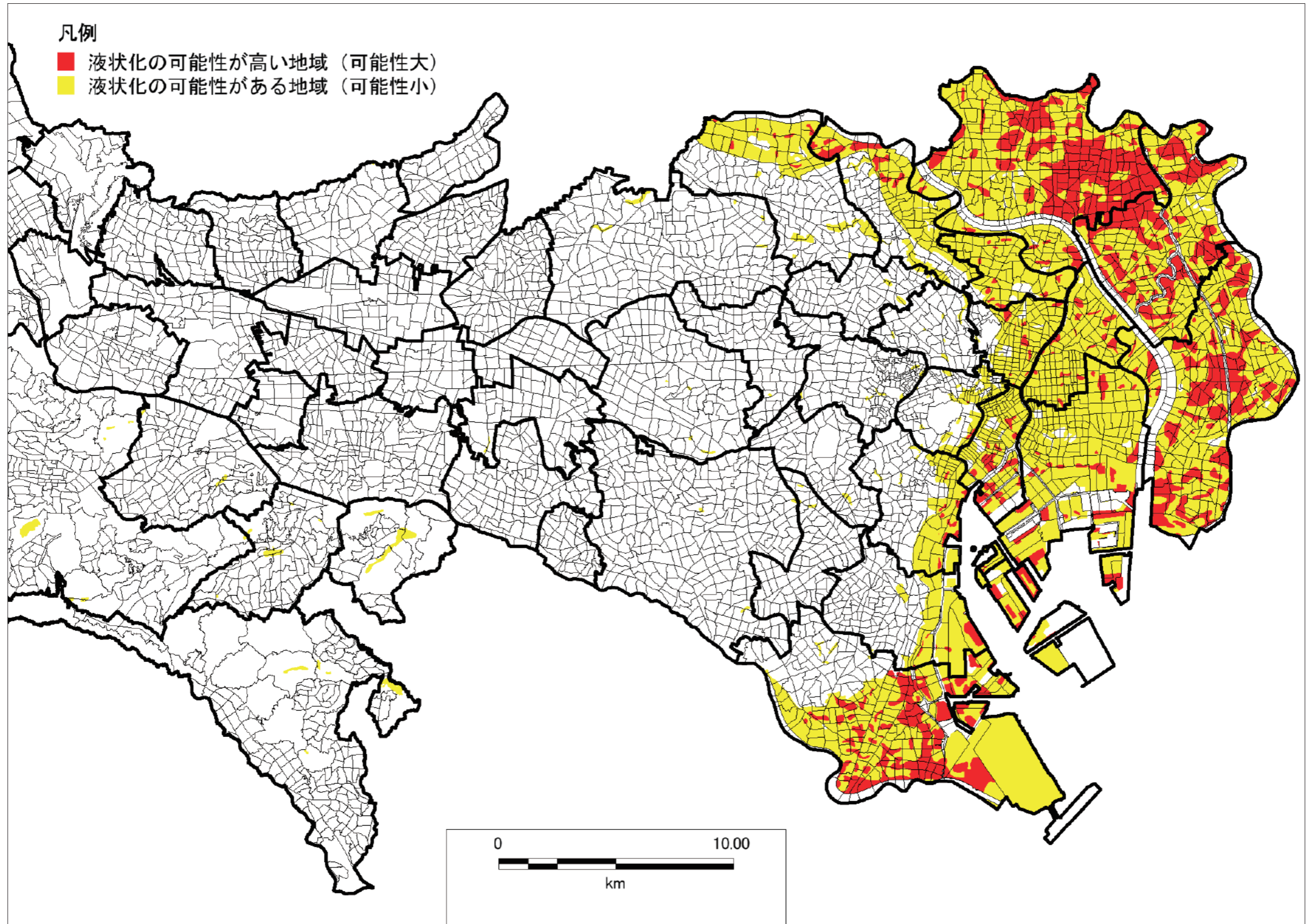


図 2.2.4-1 液状化予測図(東京都建設局・港湾局、2013 年)