

第1章 地盤モデル・震源モデルの作成と地震動・液状化・急傾斜地崩壊の想定手法

※ 津波の想定については、平成 27 年 3 月に津波防災地域づくりに関する法律に基づいて実施した津波浸水想定の結果を用いている。

1. 1 地盤モデルの作成方法

地震動計算のためには、地震波の伝播・増幅過程に関連する地盤モデル（速度構造モデル）が必要である。地盤モデルとして、文部科学省地震調査研究推進本部の「強震動予測手法レシピ」※¹に準じて、以下の考え方で地盤モデルを作成した。

※ 1：文部科学省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」）（平成 20 年 4 月 11 日更新）

○震源～地震基盤（ $V_s > 3.1\text{km/sec}$ ）上面まで：Zhao and Hasegawa (1994)※²に基づき設定

○地震基盤上面～工学的基盤（ $V_s 0.3 \sim 0.8\text{km/sec}$ ）上面まで：深部地盤モデルとして作成

○工学的基盤上面～地表面：浅部地盤モデルとして作成

※ 2：Zhao D., A. Hasegawa, and H. Kanamori(1994):Deep structure of Japan subduction zone as derived from local, regional, and teleseismic events, Journal of Geophysical Research, 22, 313-327.

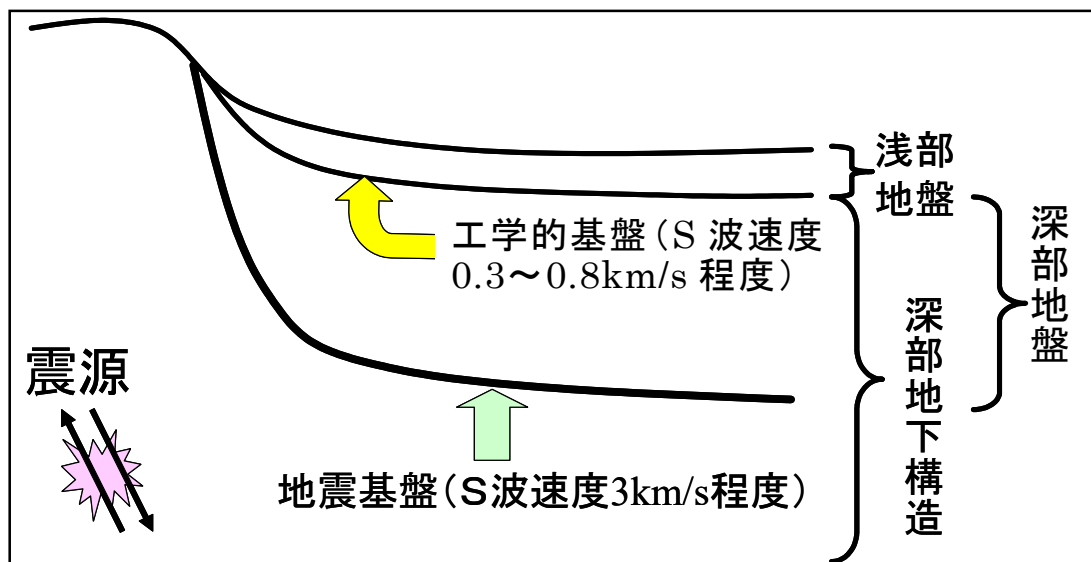


図 1.1 地盤モデルの模式図

(1) 深部地盤モデル

震源から工学的基盤までの地震動計算の深部地盤モデルとして、内閣府の「首都直下地震モデル検討会」において検討された震度分布で用いられた深部地盤モデルを用いた。これは、「南海トラフの巨大地震モデル検討会」で用いた、地震調査委員会による「全国1次モデル（暫定版）」を基に、首都直下及びその周辺における地震観測データを用いて地盤構造の修正を行ったものである。

表 1.1 に各層の物性値を、図 1.2 に各層の上面深度分布を示す。

表 1.1 深部地盤モデルの物性値

	Layer	Vp(km/s)	Vs(km/s)	ρ (g/cm ³)	Qp	Qs
	1	1.7	0.35	1.80	119	70
○	2	1.8	0.5	1.95	170	100
	3	2.0	0.6	2.00	204	120
	4	2.1	0.7	2.05	238	140
	5	2.2	0.8	2.07	272	160
○	6	2.3	0.9	2.10	306	180
	7	2.4	1.0	2.15	340	200
	8	2.5	1.1	2.15	374	220
	9	2.7	1.3	2.20	442	260
○	10	3.0	1.5	2.25	510	300
	11	3.2	1.7	2.30	578	340
	12	3.6	1.8	2.35	612	360
	13	3.7	1.9	2.35	646	380
	14	3.5	2.0	2.35	680	400
○	15	4.2	2.4	2.45	680	400
○	16	5.0	2.9	2.60	680	400
○	17	5.5	3.2	2.65	680	400

(出典) 地震調査委員会 (2012)

(注) ○ : 神奈川県で出現する層

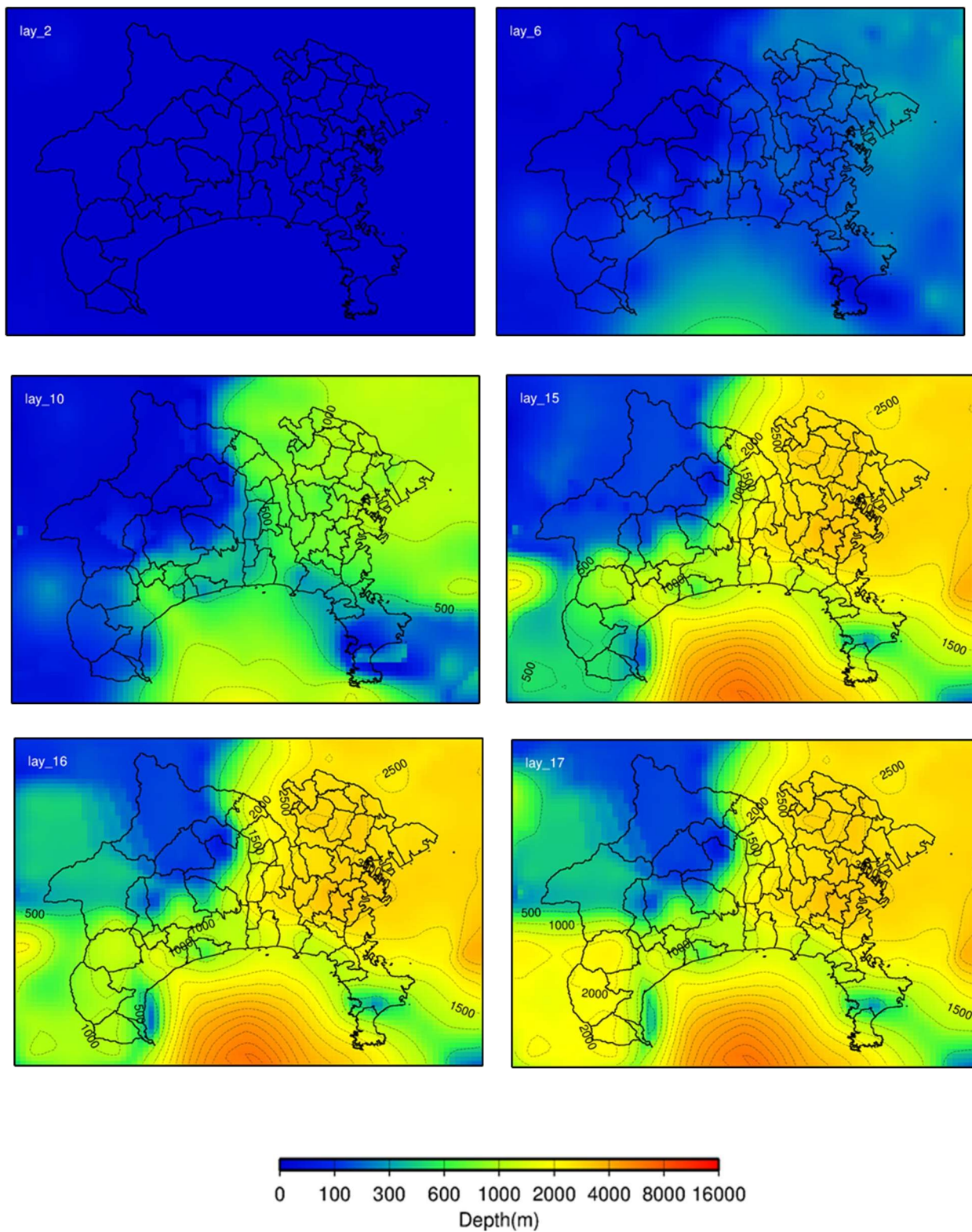


図 1.2 深部地盤モデルの各速度層上面深さ

(2) 浅部地盤モデル

浅部地盤モデル作成作業の考え方と手順は、次のとおりである。

ア ボーリングデータの収集・整理（データ更新）

前回調査で収集したボーリングデータ（図 1.3）に加えて、データを新たに収集してモデル作成に用いた。収集したボーリングデータから、位置、孔口標高、掘進深度、土質・地質区分境界深度、N値頭をデジタル化した。新たに収集したボーリングデータの数、487 本（デジタル化されているデータ）である。以下の作業では、このデータを GIS ソフト上で処理して使用した。

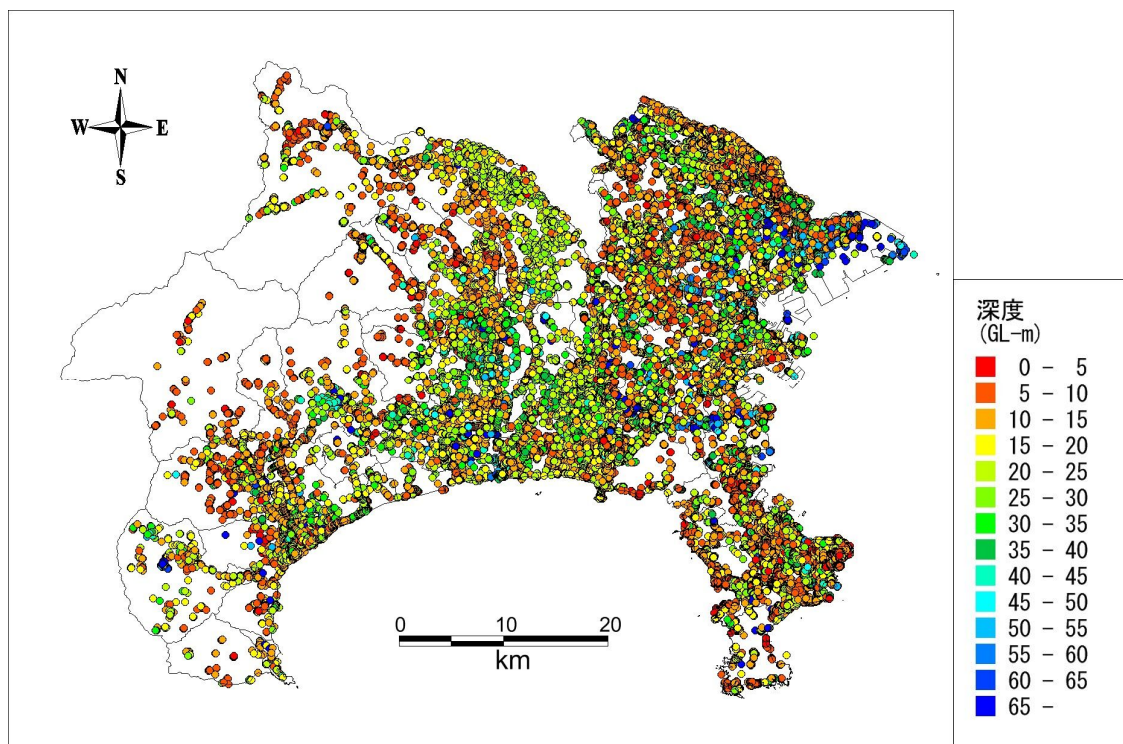


図 1.3 前回調査時に収集したボーリングデータの分布図（計 43,380 本）

イ 平野部・丘陵部の地盤モデル作成

モデル作成のフローを図 1.4 に示す。以下に作業手順を示す。

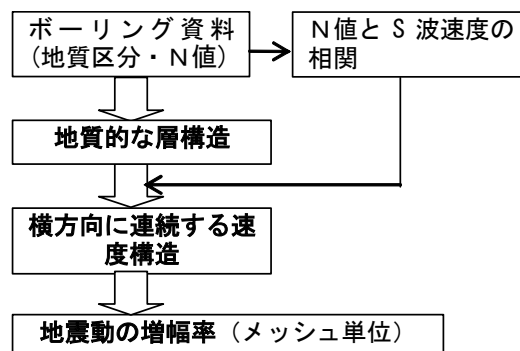


図 1.4 浅部地盤モデル作成のフロー

＜地盤モデル作成の手順＞

- ・ボーリングデータから、地表から深度数 10m 以浅までの範囲での主要な土質・物性値（N 値）境界となっており、かつある程度の広がりを示す地層境界を読み取る。
- ・なお、新たに収集したボーリングデータを基に、一部のメッシュについてモデルの変更を行うとともに、モデルの変更を行ったメッシュについては、水位の変更も行った。新たに収集したボーリングデータは 487 本（図 1.5、デジタル化されているデータ）であり、「浅部地盤モデル」を変更したメッシュは 154 メッシュ（全体の 0.4%）である。ただし、前回調査までにボーリングデータを収集しているメッシュについては、新たに収集したボーリングデータがあっても、基本的に「浅部地盤モデル」は変更しないものとした（該当するメッシュは 72 メッシュ：全体 0.2%）。
- ・地層境界については、既往の地質資料を参考にして、表 1.2 に示した区分を設定した。実際の作業では、地域別に表 1.3 のように区分した。
- ・川崎市から横浜市、横須賀市、三浦半島部の地域にかけての、平野部のいわゆる沖積層の下位には、上総層群相当層ないしそれより古い地層が出現することが多い。これらの地層は、浅部の風化部を除き、おおむね N 値 50 以上を示す。これらの層の上面を、工学的基盤の上面と想定した。
- ・相模川右岸から伊豆半島東方にかけての新第三紀－第四紀の火山岩類が分布する地域、丹沢山地についても、同様に判断できる。
- ・相模川流域には、相模層群と呼称される洪積世（更新統）の地層が複数の段丘面を形成して分布する。相模層群は、砂礫層（おおむね N 値 20 以上）と粘土層（N 値 10～20 以下）の繰り返しから成る。同層群の下部でおおむね N 値 50 以上を示す礫層を工学的基盤と想定した。
- ・なお、相模川沿いの低地部には、相模層群の上位に礫層主体の沖積層が分布しており、これらの礫層も N 値 50 以上を示す場合が多い。このため、土木ボーリングの掘進は、しばしば沖積層の礫層途中で終了しており、地層区分として相模層群を認定し、その中に工学的基盤を想定することが、困難な場合も多々ある。この点を考慮して、沖積層と洪積層の区分にこだわらず、N 値 50 以上の礫層の上面を工学的基盤と想定することも可能ではあるが、上記のように、その下位の相模層群の砂礫層に挟まれる洪積層の粘土でも N 値が小さい場合がある。このような地盤状況を最大限地震動予測に反映させるために、相模層群の下部に工学的基盤を設定する作業を行った。
- ・読み取った地層境界データを基に、250m メッシュ毎に、深度方向での地質区分と N 値区分を設定し、N 値と S 波速度の相関を用いて、各層に S 波速度を与えて層構造として設定した。
- ・ボーリングデータの存在しないメッシュについては、そのメッシュの近傍で、ボーリングデータが存在している同じ微地形区分のメッシュのデータを基に地層区分を設定した。微地形区分については、若松・松岡（2013）による区分（図 1.6）を使用した。また、周辺部も含めて N 値 50 以上を示す「工学的基盤（後述）上面」のコンター

を作成し、それを基にデータの無いメッシュでの工学的基盤上面の地盤深度を推定し、これを用いて地層の層厚を調整した。

- ・作成した地層層序モデルを基に、地表から地下 30m までの平均 S 波速度（AVS30）を算出し、横田らの AVS30 と震度増分の関係を基に、震度増分を求めた。

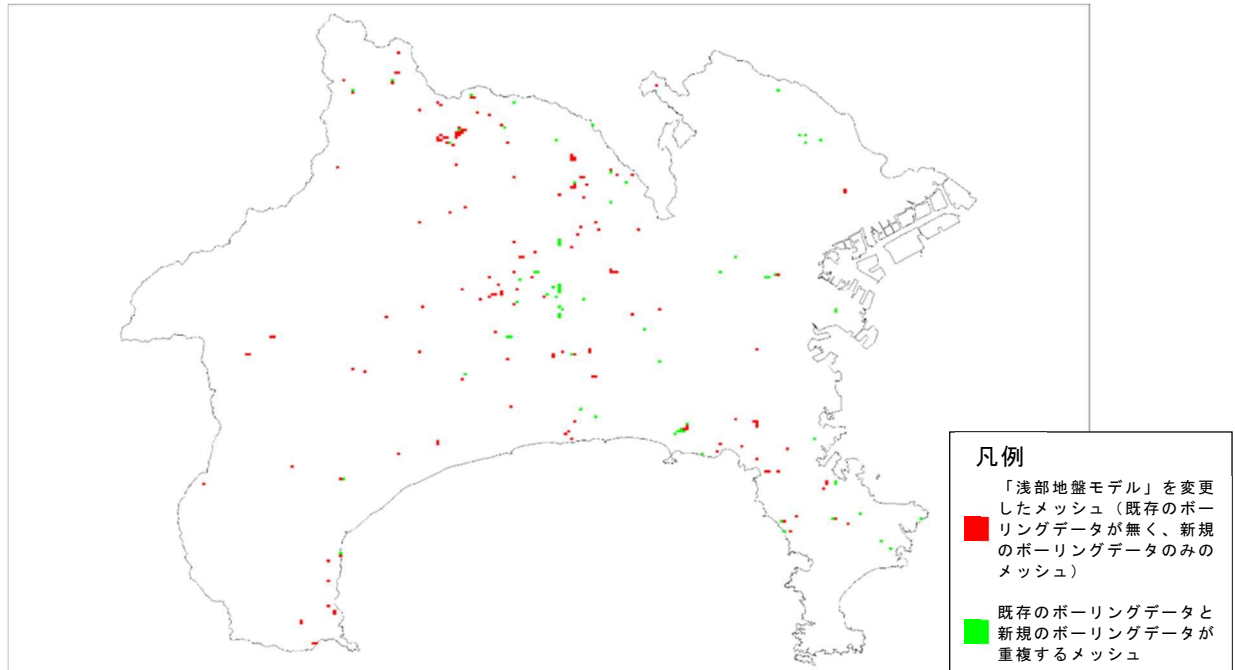


図 1.5 「浅部地盤モデル」を変更したメッシュ (154 メッシュ)

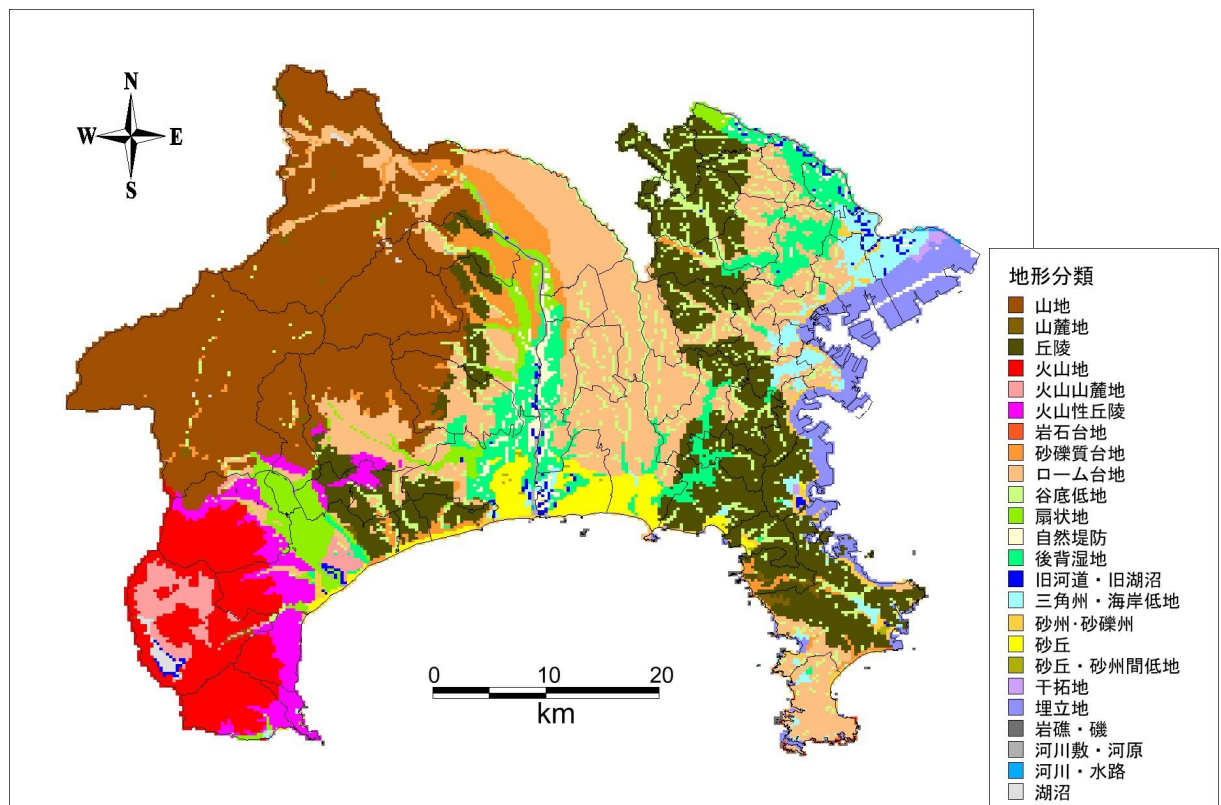


図 1.6 若松ら（2013）による 250m メッシュ地形区分

表 1.2 柱状図の地層区分の概要

地域	地質時代	地層名	地層区分など	N 値	分布状況	
沖積低地	完新世（沖積世）	完新統（沖積層）	最上部の泥炭層，粘土・砂を伴う	< 4 ～ 5		
			河川成礫層			
			粘土層中の礫層を層準で区分，粘土層の一部は泥炭質	粘土層		< 4 ～ 5
				砂礫・砂層		
				粘土層（海岸低地では海成）		<10
				火山灰層		5 ～ 20
				砂礫・砂層		最大 100
				粘土層		<20
			基底礫層相当			50 程度以上
	更新世（洪積世）	相模層群	基底礫層より下位の地層を上から順に区分	粘土層	20～50 以上	確認されたボーリング孔は少ない 相模層群相当層が分布しない地域もある
				砂礫層	<50	
				粘土層		
				砂礫層	>50～100	
	中新世以前	丹沢層群，小仏層群	強風化岩盤	<50		
風化ないし新鮮な岩盤			>50～100			

台地丘陵山地	(洪積世)	相模段丘層群	台地、丘陵の表層を覆うロームないし粘土層	<10	ほぼ全域で確認
			台地、丘陵のローム層の下位の段丘礫層浅部はN値がやや小さい	<50	
				>50～100	
			ローム層ないし段丘礫層下位の粘土	20～50 以上	
			ローム層ないし段丘礫層下位の砂礫	>50～100	
	中新世以前	丹沢層群，小仏層群	強風化岩盤	<50	
			風化ないし新鮮な岩盤	>50～100	

表 1.3 地域別の地層区分

藤沢市付近	横須賀市・三浦半島	横浜市付近	川崎市付近	層相区分	N値
				表土・盛土	
pt-500	pt-500	pt-500	pt-500	泥炭層	4～5以下
dt-600	dt-600	dt-600	dt-600	崖錐堆積層	
cl-800	cl-800	cl-800	cl-800	沖積層粘土層	4～5以下
ss-1000	ss-1000	ss-1000	ss-1000	沖積層砂質土層	10～30
bss-1200	bss-1200	bss-1200	bss-1200	砂丘・浜堤堆積層	10～最大100
cl-1300	cl-1500	cl-1500	cl-1500	沖積層粘土層	10以下
SG-ss-gvl-1400					
cl-1500	cl-2000	cl-2000	cl-2000	沖積層海成粘土層	10以下
ss-5000	ss-5000	ss-3000	ss-3000	沖積層砂質土層	10～50以下
		ss-3500-50	ss-3500-50	沖積層砂質土層	50以上
cl-5500	cl-5500	cl-4000	cl-4000	沖積層海成粘土層	10以下
SG-ss-gvl-7000		ss-5000	ss-5000	沖積層基底礫層	50以上
		cl-6000	cl-6000		
Lm-10000	Lm-10000	Lm-10000	Lm-10000	ローム層	10以下
cl-11000	cl-11000	cl-11000	cl-11000	ローム質粘土層	10以下
tr-12000		g-14000	g-14000	段丘礫層	50以上
	ss-15000				
	ss-17000				
cl-18000	cl-18000				
ss-gvl-20000	ss-20000	ss-20000		相模層群相当層	<工学的基盤相当>粘性土:20～50以上砂質土:50以上
cl-30000	cl-30000	cl-30000			
gvl-ss-40000	ss-40000	gvl-40000			
cl-50000	cl-50000				
ss-hard-60000	ss-60000				
cl-65000					
gvl-70000					
R-90000	R-90000	R-90000	R-90000	強風化岩盤	50未満
R-10000	R-10000	R-10000	R-10000	風化～新鮮な岩盤	50以上
				※岩盤:上総層群を含む。	

- ・読み取った地層境界データを基に、250mメッシュ毎に、深度方向での地質・土質区分とN値分布を設定し、土質区分とS波速度の相関を用いて、各層にS波速度を与えて層構造として設定した。土質とS波速度との関係については、横浜市地震被害想定(2012)による関係（表 1.4）を用いた。

表 1.4 地盤モデルに用いた物性値（横浜市による）

地質区分		地質名		記号	想定物性値				
					N値	平均 N値	密度 ρ (g/cm^3)	S波速度 $V_s(\text{m}/\text{s})$	動的変形 曲線No.
現 世	盛土 およ び埋 立土	内陸造成地 [ローム主体]	B1	1～5	3	1.7	120	Bc	
			B2	6～10	8	1.8	190		
		臨海埋立地 [砂主体]	B3	1～10	5	1.7	140	Bs	
			B4	11～	15	1.8	190	Bs	
第 四 紀	沖 積 世	腐植土	Ap1	0～2	0	1.1	50	Ap	
			Ap2	3～5	3	1.3	100		
		粘性土	Ac1	0～2	1	1.5	100	Ac	
			Ac2	3～5	4	1.6	140		
			Ac3	6～10	8	1.7	200		
			Ac4	11～	12	1.7	250		
		砂質土	As1	1～10	5	1.7	130	As*	
			As2	11～30	20	1.8	210	As*	
			As3	31～50	40	1.9	250	As*	
			As4	51～	50	1.9	300		
		礫質土	Ag1	～20	10	1.9	200	Ag*	
			Ag2	21～50	30	2.0	250		
			Ag3	51～	50	2.0	400		
	洪 積 世	ロームおよび 凝灰質粘土	Lm1	1～5	3	1.3	130	Lm	
			Lm2	6～10	7	1.4	190		
			Lm3	11～	15	1.4	230		
		粘性土	Dc1	～8	5	1.6	190	Dc	
			Dc2	9～15	10	1.7	250		
			Dc3	16～30	20	1.7	300		
			Dc4	31～	40	1.8	400		
		砂質土	Ds1	10～30	20	1.8	250	Ds*	
			Ds2	31～50	40	1.8	300	Ds*	
			Ds3	51～	50	1.9	500	Ds*	
		礫質土	Dg1	～50	30	2.0	300	Dg*	
			Dg2	51～	50	2.1	500	Dg*	
新第三紀		上総層群	T	50～	50	2.1	700	—	

注） 動的変形曲線*は拘束圧によって曲線を変更

以上の作業で作成した工学的基盤の上面コンター図を図 1.7 に示す。

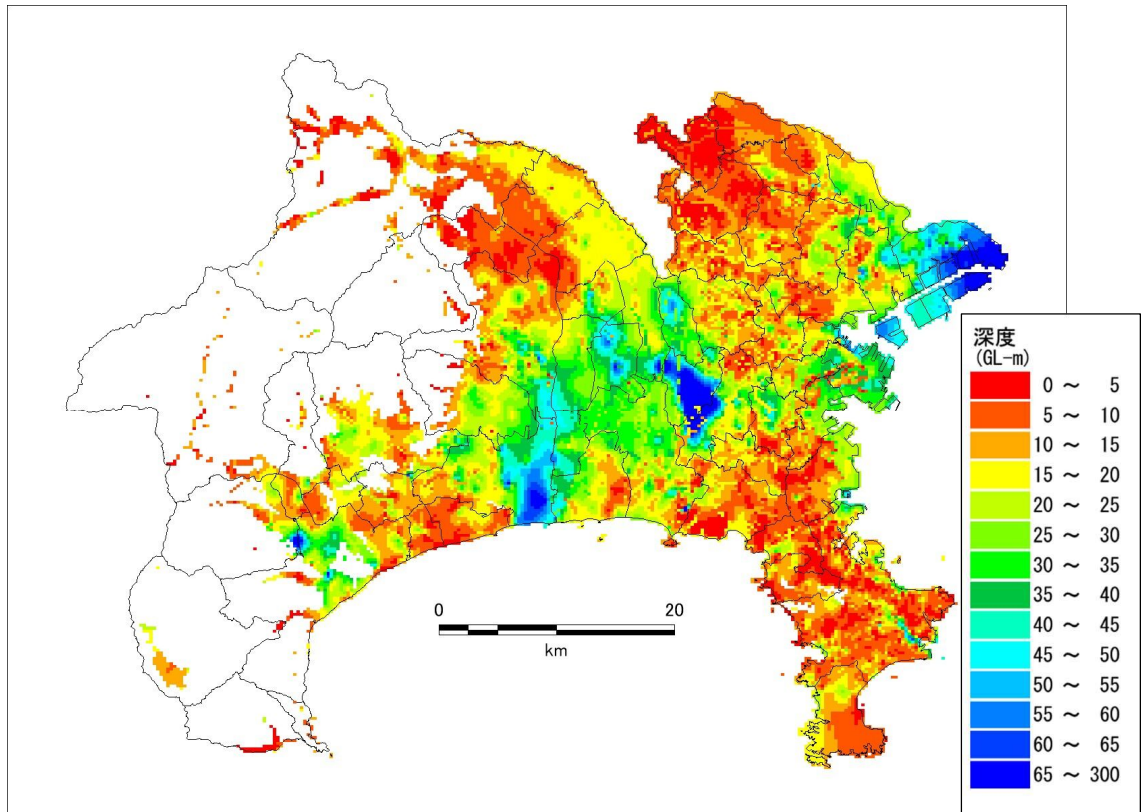


図 1.7 工学的基盤上端深度分布図

ウ 浅部と深部の地盤モデルの接合

以上の手順で作成した平野部・丘陵部の浅部地盤モデルと深部地盤モデルを接合して、各メッシュについて、地震基盤から地表までの速度層構造モデルとした。

両モデルの境界は、工学的基盤とするが、工学的基盤のS波速度の設定に用いることのできるデータは、あまり多くない。本業務においては、深部地盤モデルの最上位層のS波速度を、前出の内閣府（2013）による深部地盤モデルに基づいて、 $V_s=0.3\sim0.6\text{km/s}$ とし、これが工学的基盤に相当すると判断して、両モデルを接合した。

エ AVS30 と震度増分の設定

作成した速度層構造モデルを用いて、地表から地下30mまでの平均S波速度（AVS30）を算出し、横田他（2005）のAVS30と震度増分の関係を基に、震度増分を求めた。

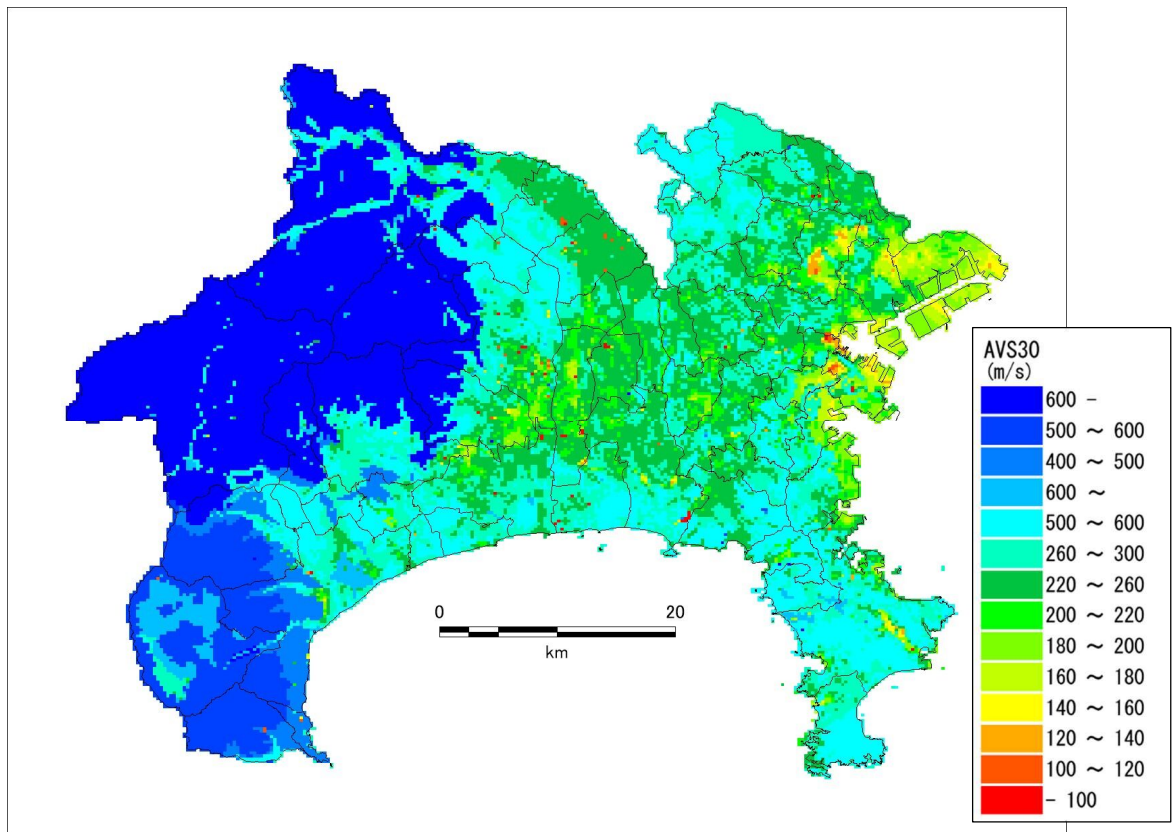


図 1.8 今回の調査で作成した地盤モデルから求めた AVS30

参考文献：

- ・地震調査研究推進本部地震調査委員会(2009)：付録 3 震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）
- ・地震調査研究推進本部地震調査委員会：「長周期地震動予測地図」2012 年試作版、平成 24 年 1 月 13 日
- ・内閣府(2013)：首都直下の M 7 クラスの地震及び相模トラフ沿いの M 8 クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書、首都直下地震モデル検討会、平成 25 年 12 月
- ・若松加寿江・松岡昌志(2011)：世界測地系に準拠した地形・地盤分類 250m メッシュマップの構築，日本地震工学会大会-2011 梗概集，pp. 84-85，2011.11
- ・横浜市(1996)：横浜市地盤図
- ・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），B064，86

1. 2 想定地震の震源モデルの作成

地震動の予測を行う想定地震は、前回調査と同様に、表 1.5 に示す 8 つの地震とした。次頁以降の表 1.6～13 に想定地震の断層パラメータを示し、図 1.9～19 に想定地震の位置図を示す。

表 1.5 想定地震の震源断層モデル

想定地震名	モーメント マグニチュード [*] (M _w)	震源モデル
都心南部直下地震	7.3	内閣府 (2013)
三浦半島断層群の地震	7.0	内閣府 (2013)
神奈川県西部地震	6.7	神奈川県 (2009)
東海地震	8.0	内閣府 (2012)
南海トラフ巨大地震 (東側ケース)	9.0	内閣府 (2012)
大正型関東地震	8.2	内閣府 (2013)
元禄型関東地震 (参考)	8.5	内閣府 (2013)
相模トラフ沿いの最大クラスの地震 (参考)	8.7	内閣府 (2013)

(1) 都心南部直下地震

都心南部直下地震は、「首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書」(H25.12 内閣府：首都直下地震モデル検討会)のモデルを採用した。

この想定地震は、首都圏が直接的なダメージを受けることを想定した地震で、フィリピン海プレート内の地震として、安政江戸地震を参考に規模はMw7.3とし、大正関東地震の前のM7クラスの地震が発生している領域を参考に震源を設定している。

表 1.6 断層パラメータ (内閣府 (2013))

	セグメント	初期モデル	62MPa	備考
断層全体	面積(km ²)	900	900	岩田・浅野(2010)
	平均応力降下量(MPa)	5	10.3	面積と地震モーメントの関係より
	平均すべり量(m)	1.2	2.5	
	地震モーメント(Nm)	5.1E+19	1.1E+20	岩田・浅野(2010)
	Mw	7.1	7.3	
	長さ(km)	28.1	28.1	
	幅(km)	32.1	32.1	
	走向	0°	0°	南北走向
	傾斜	90°	90°	
	すべり角	0°	0°	横ずれ
強震動生成域	応力パラメータ	30	62	岩田・浅野(2010)
	面積(km ²)	150	150	
	面積比	16.7%	16.7%	
	平均すべり量(m)	2.4	5.1	平均すべり量×2
	地震モーメント(Nm)	1.7E+19	3.5E+19	Mos=μ DS
	Mw	6.8	7.0	Δσ × S/Ss
その他	破壊伝播速度(km/s)	2.9	2.9	
	fmax(Hz)	6	6	
	剛性率(Nm ²)	4.6E+10	4.6E+10	

内閣府 (2013) の応力パラメータ 62MPa のモデルを用いた

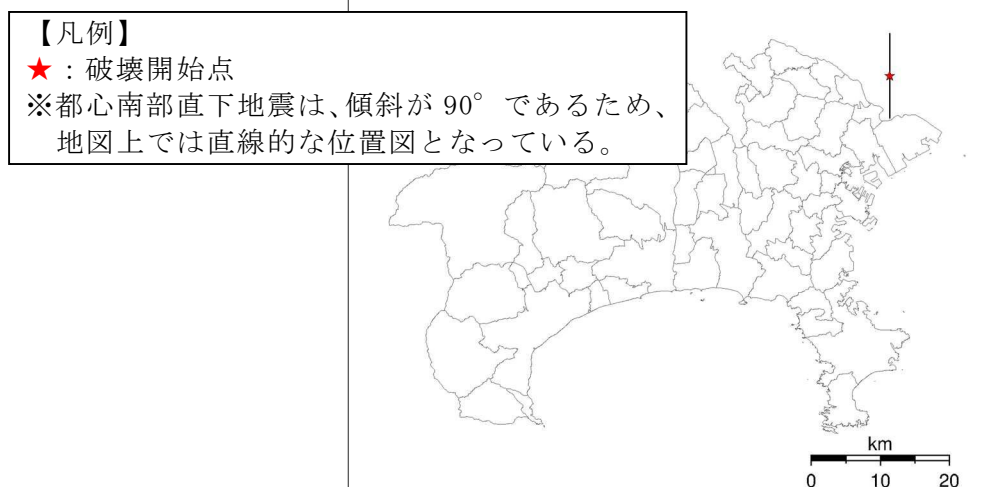


図 1.9 断層位置 (強震動生成域のみ)

※図中★は破壊開始点

(2) 三浦半島断層群の地震

三浦半島断層群の地震の断層モデルは、「首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書」(H25.12 中央防災会議)のモデルを採用した。

表 1.7 断層パラメータ (内閣府 (2013))

			三浦半島	参考文献
地震の規模・断層の大きさ・形状				
モーメントマグニチュード [*]	M _w		6.95	気象研
地震モーメント	M ₀	Nm	3.30E+19	
(マグニチュード)	M		7.2	松田(1976)
面積	S _a	km ²	396	
	S			
長さ	L	km	28	J-SHIS
幅	W	km	14	
断層の位置				
緯度(地表の断層基準点の位置)		°	35.1781	J-SHIS
経度(地表の断層基準点の位置)		°	139.7684	
走向	θ	°	300	
傾斜	δ	°	45	
上端深さ	H _s	km	5	中央防災会議(2004)
下端深さ	H _d	km	15	地震調査研究推進本部
断層の運動				
すべり角	λ	°	180	
すべり量	D	m	2.43	
平均応力パラメータ	Δσ	MPa	3.0	中央防災会議(2006)
破壊伝播速度	V _r	km/s	2.5	
高周波遮断周波数	f _{max}	Hz	6.0	中央防災会議(2006)
基本物理量				
S波速度	V _s	km/s	3.5	中央防災会議(2004)
密度	ρ	kg/m ³	2800	
剛性率	μ	N/m ²	3.4E+10	
強震動生成域				
総面積	S _a	km ²	85	中央防災会議(2006)
すべり量	D _a	m	4.86	
総地震モーメント	M _{0a}	Nm	1.41E+19	
応力パラメータ	Δσ _a	MPa	14.00	
面積	S _{ai}	km ²	—	中央防災会議(2006)
地震モーメント	M _{0ai}	Nm	—	
すべり量	D _{ai}	m	—	
要素断層				
長さ	L _e	km	2.001	中央防災会議(2006)
幅	W _e	km	2.02	
長さの分割数	N _l		7	
幅の分割数	N _w		3	
背景領域				
面積	S _b	km ²	311	
地震モーメント	M _{0b}	Nm	1.88E+19	
すべり量	D _b	m	1.77	
応力パラメータ	Δσ _b	MPa	2.80	

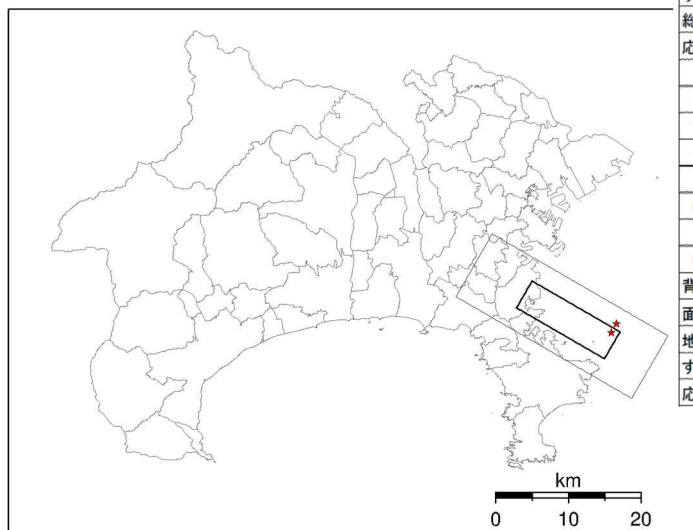


図 1.10 断層位置

【凡例】

太い線内：強震動生成域

細い線内：断層全体

★：破壊開始点

※今回の調査では、強震動生成域で地震動が発生するものとして計算を行っている（以下同じ）。

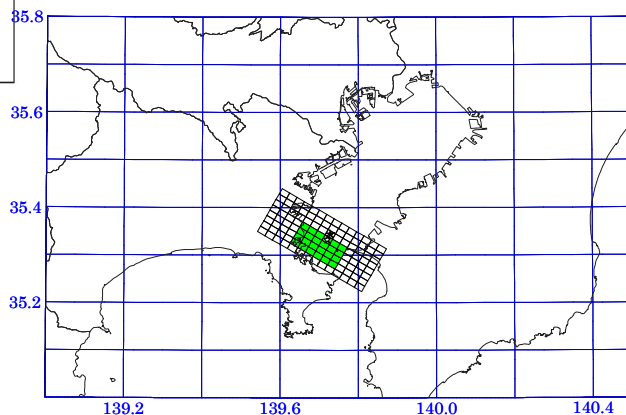


図 1.11 神奈川県 (2009) による断層位置

緑領域：強震動生成域

※図中☆は破壊開始点

(3) 神奈川県西部地震

神奈川県西部地震は、前回調査のモデルを採用した。

この想定地震は、「神奈川県西部地震被害想定調査報告」(1993 神奈川県)で石橋(1988)の「西相模湾断裂」に基づき設定したものである。

表 1.8 断層パラメータ (前回調査)

地震名		神奈川県西部地震		参考文献
断層位置	経度(°)	139.15	139.17	
	緯度(°)	35.25	35.16	
	上端深さd(km)	2~5	5~8	
	走向θ(°)	167	170	
	傾斜δ(°)	80		
	すべり角λ(°)	90		
	長さL(km)	10	10	
	幅W(km)	12		
マグニチュード M		7.0		松田(1975) logL=0.6M-2.9
モーメントマグニチュード M _W		6.69		中央防災会議(2004) M _W =0.879M+0.536
地震モーメント M ₀ (Nm)		1.37E+19		Kanamori(1977) logM ₀ =1.5M _W +9.1
断層面積S(km ²)		120	120	S=LW
S波速度V _s (km/s)		3.5		笠原(1985)
平均密度ρ(g/cm ³)		2.8		Ludwig et al.(1970)
剛性率μ(N/m ²)		3.4E+10		μ=ρV _s ²
平均的な応力パラメータ Δσ(MPa)		3.0		
すべり量D(m)		1.68		M ₀ =μDS
破壊伝播速度V _r (km/s)		2.5		V _r =0.72V _s
高周波断周波数 f _{max} (Hz)		6.0		鶴来他(1997)
Fmax(Hz)				
アスぺリティ等内部パラメータ				
総面積S _a (km ²)		53		Sの約20%程度
アスぺリティの面積S _{ai} (km ²)				
平均すべり量D _a (m)		3.35		D _a =2D
アスぺリティ内のすべり量D _a (m)				
総モーメントM _{0a} (Nm)		6.01E+18		M _{0a} =μD _a S _a
アスぺリティの個々のモーメントM _{0ai} (N・m)				
総応力パラメータ Δσ _a (MPa)		13.6		Δσ _a =ΔσS/S _a
個数		2		
アスぺリティ第1	面積S _{a1} (km ²)	36		S _{a1} :S _{a2} ≒2:1
	地震モーメントM _{0a1} (Nm)	4.64E+18		M _{0a1} =M _{0a} S _{a1} ^{1.5} /ΣS _{ai} ^{1.5}
	要素断層の平均モーメント(Nm)			
	平均すべり量D _{a1} (m)	3.79		M _{0a1} =μD _{a1} S _{a1}
	応力降下量Δσ _{a1} (MPa)			
アスぺリティ第2	面積S _{a2} (km ²)	16		S _{a1} :S _{a2} ≒2:1
	地震モーメントM _{0a2} (Nm)	1.37E+18		M _{0a2} =M _{0a} S _{a2} ^{1.5} /ΣS _{ai} ^{1.5}
	要素断層の平均モーメント(Nm)			
	平均すべり量D _{a2} (m)	2.53		M _{0a2} =μD _{a2} S _{a2}
	応力降下量Δσ _{a2} (MPa)			
背景領域				
面積S _b (km ²)		187		S _b =S-S _a
すべり量D _b (m)		1.20		M _{0b} =μD _b S _b
応力パラメータΔσ _b (MPa)		2.7		宮武(2002) Δσ _b =0.2Δσ _a

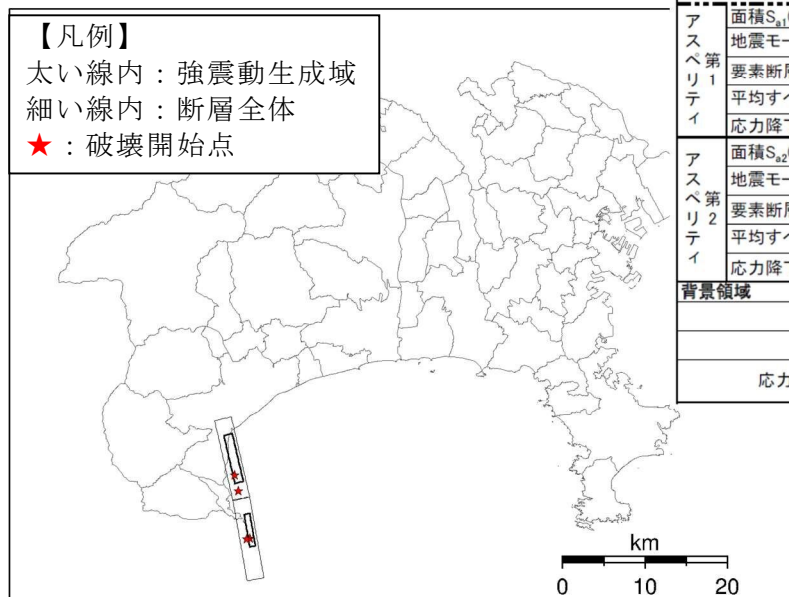


図 1.12 断層位置

太枠内：強震動生成域
 ※図中★は破壊開始点

(4) 東海地震

内閣府（2012）「南海トラフの巨大地震」における東側ケースのうち、「駿河湾域」の断層モデルのみを用いて、地震の揺れを計算した。

※従来の震源モデルからは、強震動生成域に御前崎沖の部分を入れる必要があるが、「東海域」の他の強震動生成域との分離が困難であることから、「駿河湾域」のみを考慮することとした。

表 1.9 断層パラメータ（内閣府（2012））

全体	面積(km ²)	110,150			
	応力パラメータ (MPa)	2.3			
	平均すべり量(m)	7.6			
	地震モーメント(Nm)	3.4E+22			
	Mw	9.0			
各セグメント	セグメント名	日向灘域	南海域	東海域	駿河湾域
	面積(km ²)	19,053	53,790	29,419	7,888
	平均応力降下量(MPa)	4	4	4	4
	平均すべり量(m)	5.5	9.3	6.9	3.6
	地震モーメント(Nm)	4.3E+21	2.0E+22	8.3E+21	1.2E+21
	Mw	8.4	8.8	8.5	8.0
強震動生成域 SMGA	面積(km ²)	2,047	6,109	3,661	853
	面積比	11%	11%	12%	11%
	平均すべり量(m)	11.1	18.6	13.7	7.1
	地震モーメント(Nm)	9.3E+20	4.7E+21	2.1E+21	2.5E+20
	Mw	7.9	8.4	8.1	7.5
強震動生成域 SMGA①	面積(km ²)	1,018	1,953	910	438
	応力パラメータ (MPa)	34.5	46.4	45.4	34.4
	平均すべり量(m)	11.0	20.5	13.7	7.2
	地震モーメント(Nm)	4.6E+20	1.6E+21	5.1E+20	1.3E+20
	Mw	7.7	8.1	7.7	7.3
強震動生成域 SMGA②	面積(km ²)	1,029	1,615	914	415
	応力パラメータ(MPa)	34.5	46.4	45.4	34.4
	平均すべり量(m)	11.1	18.7	13.7	7.0
	地震モーメント(Nm)	4.7E+20	1.2E+21	5.1E+20	1.2E+20
	Mw	7.7	8.0	7.7	7.3
強震動生成域 SMGA③	面積(km ²)		1,612	913	
	応力パラメータ (MPa)		46.4	45.4	
	平均すべり量(m)		18.7	13.7	
	地震モーメント(Nm)		1.2E+21	5.1E+20	
	Mw		8.0	7.7	
強震動生成域 SMGA④	面積(km ²)		929	924	
	応力パラメータ (MPa)		46.4	45.4	
	平均すべり量(m)		14.2	13.8	
	地震モーメント(Nm)		5.4E+20	5.2E+20	
	Mw		7.8	7.7	
背景領域	面積(km ²)	17,006	47,681	25,758	7,035
	応力パラメータ (MPa)	3.7	3.7	3.7	3.7
	平均すべり量(m)	4.9	8.1	5.9	3.1
	地震モーメント(Nm)	3.4E+21	1.6E+22	6.2E+21	9.0E+20
	Mw	8.3	8.7	8.5	7.9
その他	破壊伝播速度(km/s)	2.7	2.7	2.7	2.7
	fmax(Hz)	6Hz	6Hz	6Hz	6Hz
	剛性率(Nm ²)	4.1E+10	4.1E+10	4.1E+10	4.1E+10

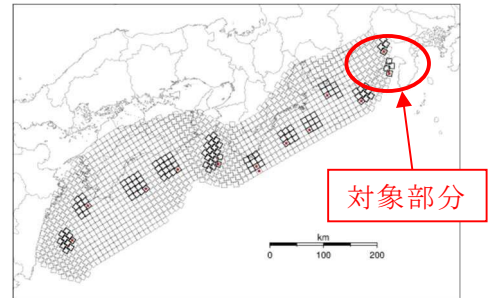


図 1.13 断層位置

【凡例】
 太い線内：強震動生成域
 細い線内：断層全体
 ★：破壊開始点

○：想定震源域
 ★：アスペリティ

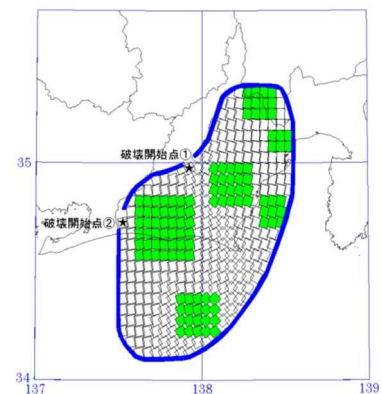


図 1.14 神奈川県（2009）による断層位置

(5) 南海トラフ巨大地震（東側ケース）

南海トラフ巨大地震の断層モデルは、「南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について（第一次報告）」（H24.3.31 内閣府：南海トラフの巨大地震モデル検討会）の複数のモデルのうち、「東側ケース」のモデルを採用している。

この想定地震は、1707 年宝永地震以降の 5 地震（1707 年 宝永地震、1854 年 安政東海地震、1854 年 安政南海地震、1944 年 昭和東南海地震、1946 年 昭和南海地震）の震度を重ね合わせた震度分布を概ね再現するように強震動生成域を設定している。

表 1.10 断層パラメータ（内閣府（2012））

全体	面積(km ²)	110,150			
	応力パラメータ (MPa)	2.3			
	平均すべり量(m)	7.6			
	地震モーメント(Nm)	3.4E+22			
	Mw	9.0			
各セグメント	セグメント名	日向灘域	南海域	東海域	駿河湾域
	面積(km ²)	19,053	53,790	29,419	7,888
	平均応力降下量(MPa)	4	4	4	4
	平均すべり量(m)	5.5	9.3	6.9	3.6
	地震モーメント(Nm)	4.3E+21	2.0E+22	8.3E+21	1.2E+21
強震動生成域 SMGA	Mw	8.4	8.8	8.5	8.0
	面積(km ²)	2,047	6,109	3,661	853
	面積比	11%	11%	12%	11%
	平均すべり量(m)	11.1	18.6	13.7	7.1
	地震モーメント(Nm)	9.3E+20	4.7E+21	2.1E+21	2.5E+20
強震動生成域 SMGA①	Mw	7.9	8.4	8.1	7.5
	面積(km ²)	1,018	1,953	910	438
	応力パラメータ (MPa)	34.5	46.4	45.4	34.4
	平均すべり量(m)	11.0	20.5	13.7	7.2
	地震モーメント(Nm)	4.6E+20	1.6E+21	5.1E+20	1.3E+20
強震動生成域 SMGA②	Mw	7.7	8.1	7.7	7.3
	面積(km ²)	1,029	1,615	914	415
	応力パラメータ(MPa)	34.5	46.4	45.4	34.4
	平均すべり量(m)	11.1	18.7	13.7	7.0
	地震モーメント(Nm)	4.7E+20	1.2E+21	5.1E+20	1.2E+20
強震動生成域 SMGA③	Mw	7.7	8.0	7.7	7.3
	面積(km ²)		1,612	913	
	応力パラメータ (MPa)		46.4	45.4	
	平均すべり量(m)		18.7	13.7	
	地震モーメント(Nm)		1.2E+21	5.1E+20	
強震動生成域 SMGA④	Mw		8.0	7.7	
	面積(km ²)		929	924	
	応力パラメータ (MPa)		46.4	45.4	
	平均すべり量(m)		14.2	13.8	
	地震モーメント(Nm)		5.4E+20	5.2E+20	
背景領域	Mw		7.8	7.7	
	面積(km ²)	17,006	47,681	25,758	7,035
	応力パラメータ (MPa)	3.7	3.7	3.7	3.7
	平均すべり量(m)	4.9	8.1	5.9	3.1
	地震モーメント(Nm)	3.4E+21	1.6E+22	6.2E+21	9.0E+20
その他	Mw	8.3	8.7	8.5	7.9
	破壊伝播速度(km/s)	2.7	2.7	2.7	2.7
	fmax(Hz)	6Hz	6Hz	6Hz	6Hz
	剛性率(Nm ²)	4.1E+10	4.1E+10	4.1E+10	4.1E+10

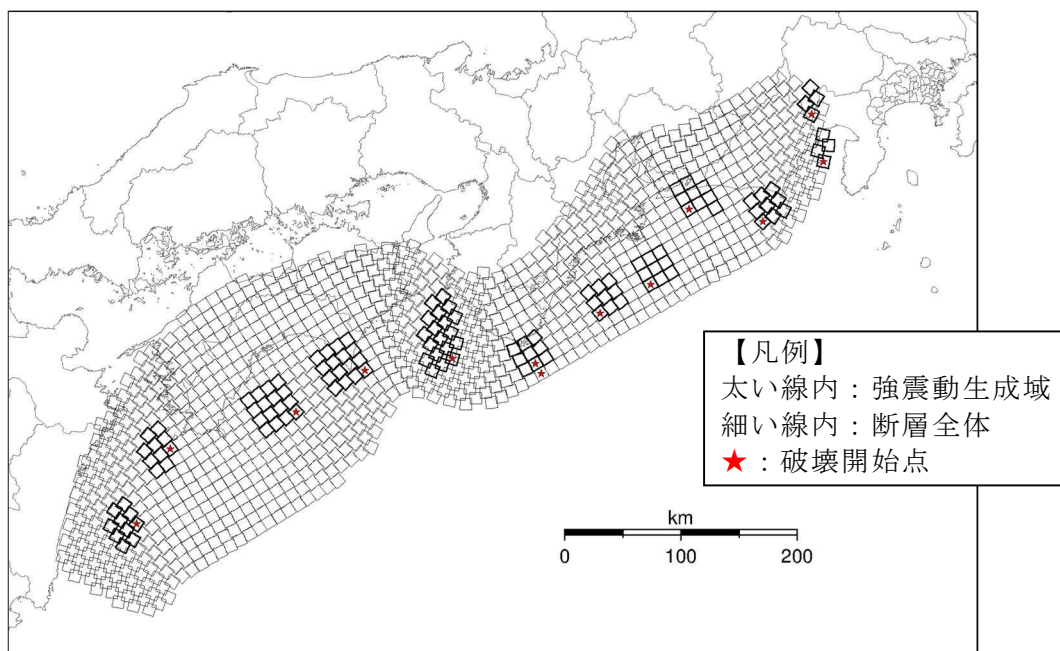


図 1.15 断層位置

(6) 大正型関東地震

大正型関東地震の断層モデルは、「首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書」(H25.12 中央防災会議)のモデルを採用した。

このモデルは、1923年大正関東地震における建物被害から推計される震度分布と地殻変動の新たな分析結果を再現するように強震動生成域を設定している。

【凡例】

太い線内：強震動生成域
(断層全体の位置は示していない)

★：破壊開始点

表 1.11 断層パラメータ (内閣府 (2013))

		大正関東地震	
SMGA	面積(km ²)	1,764	セグメント内のSMGAの面積の和
強震動生成域①	面積(km ²)	312.8	
	地震モーメント(Nm)	5.7E+19	$M_0=0.41 \times \Delta\sigma \times S^{3/2}$
	Mw	7.1	$\log(M_0)=1.5M_w+9.1$
	応力パラメータ(MPa)	25.0	
	ライズタイム(s)	3.3	$0.5 \times \sqrt{S/V_r}$
強震動生成域②	面積(km ²)	401.1	
	地震モーメント(Nm)	8.2E+19	$0.41 \times \Delta\sigma \times S^{3/2}$
	Mw	7.2	$\log(M_0)=1.5M_w+9.1$
	応力パラメータ(MPa)	25.0	
	ライズタイム(s)	3.7	$0.5 \times \sqrt{S/V_r}$
強震動生成域③	面積(km ²)	314.4	
	地震モーメント(Nm)	5.7E+19	$0.41 \times \Delta\sigma \times S^{3/2}$
	Mw	7.1	$\log(M_0)=1.5M_w+9.1$
	応力パラメータ(MPa)	25.0	
	ライズタイム(s)	3.3	$0.5 \times \sqrt{S/V_r}$
強震動生成域④	面積(km ²)	473.5	
	地震モーメント(Nm)	1.1E+20	$0.41 \times \Delta\sigma \times S^{3/2}$
	Mw	7.3	$\log(M_0)=1.5M_w+9.1$
	応力パラメータ(MPa)	25.0	
	ライズタイム(s)	4.0	$0.5 \times \sqrt{S/V_r}$
強震動生成域⑤	面積(km ²)	262.1	
	地震モーメント(Nm)	4.3E+19	$0.41 \times \Delta\sigma \times S^{3/2}$
	Mw	7.0	$\log(M_0)=1.5M_w+9.1$
	応力パラメータ(MPa)	25.0	
	ライズタイム(s)	3.0	$0.5 \times \sqrt{S/V_r}$
その他	破壊伝播速度 fmax	2.7	$V_r=V_s \times 0.72$
		6Hz	

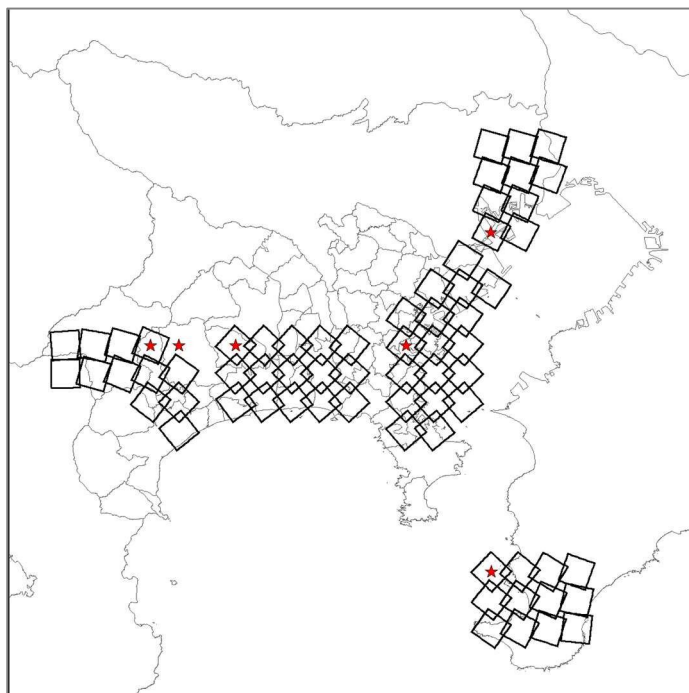


図 1.16 断層位置

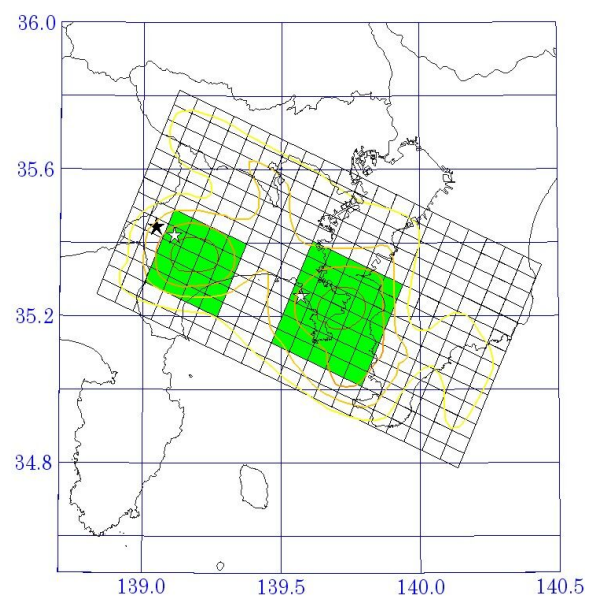


図 1.17 神奈川県 (2009) による断層位置

緑領域：強震動生成域
※図中★は破壊開始点

(7) 元禄型関東地震

元禄型関東地震の断層モデルは、「首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書」(H25.12内閣府：首都直下地震モデル検討会)のモデルを採用している。

この想定地震は、1703年元禄関東地震における震度分布と津波の痕跡を再現するように強震動生成域を設定している。

表 1.12 断層パラメータ (内閣府 (2013))

		元禄関東地震		
SMGA	面積(km ²)		2,384	震源断層内のSMGAの面積の和
強震動生成域①	面積(km ²)	312.8	305.6	
	地震モーメント(Nm)	5.7E+19	5.5E+19	$0.41 \times \Delta\sigma \times S^{3/2}$
	Mw	7.1	7.1	$\log(M_0)=1.5M_w+9.1$
	応力パラメータ(MPa)	25.0	25.0	
	ライズタイム(s)	3.3	3.2	$0.5 \times \sqrt{S/V_r}$
強震動生成域②	面積(km ²)	401.1	314.7	
	地震モーメント(Nm)	8.2E+19	5.7E+19	$0.41 \times \Delta\sigma \times S^{3/2}$
	Mw	7.2	7.1	$\log(M_0)=1.5M_w+9.1$
	応力パラメータ(MPa)	25.0	25.0	
	ライズタイム(s)	3.7	3.3	$0.5 \times \sqrt{S/V_r}$
強震動生成域③	面積(km ²)	314.4	—	
	地震モーメント(Nm)	5.7E+19	—	$0.41 \times \Delta\sigma \times S^{3/2}$
	Mw	7.1	—	$\log(M_0)=1.5M_w+9.1$
	応力パラメータ(MPa)	25.0	—	
	ライズタイム(s)	3.3	—	$0.5 \times \sqrt{S/V_r}$
強震動生成域④	面積(km ²)	473.5	—	
	地震モーメント(Nm)	1.1E+20	—	$0.41 \times \Delta\sigma \times S^{3/2}$
	Mw	7.3	—	$\log(M_0)=1.5M_w+9.1$
	応力パラメータ(MPa)	25.0	—	
	ライズタイム(s)	4.0	—	$0.5 \times \sqrt{S/V_r}$
強震動生成域⑤	面積(km ²)	262.1	—	
	地震モーメント(Nm)	4.3E+19	—	$0.41 \times \Delta\sigma \times S^{3/2}$
	Mw	7.0	—	$\log(M_0)=1.5M_w+9.1$
	応力パラメータ(MPa)	25.0	—	
	ライズタイム(s)	3.0	—	$0.5 \times \sqrt{S/V_r}$
その他	破壊伝播速度	2.7	2.7	$V_r=V_s \times 0.72$
	fmax	6Hz	6Hz	

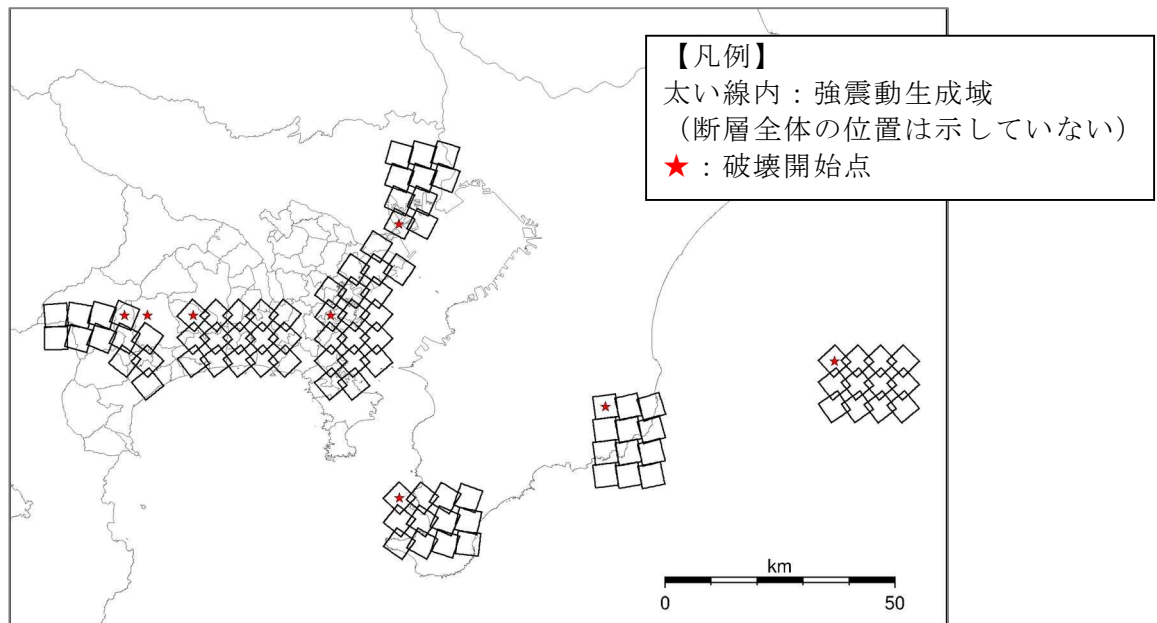


図 1.18 断層位置

(8) 相模トラフ沿いの最大クラスの地震

相模トラフ沿いの最大クラスの地震の断層モデルは、「首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書」(H25.12 内閣府：首都直下地震モデル検討会)のモデルを採用している。

「相模湾で発生する最大規模の巨大地震」として、地震学的に考えられる震源断層域が物理的に連動してほぼ同時に発生する可能性がある領域を設定している。

表 1.13 断層パラメータ (内閣府 (2013))

最大クラス					
SMGA	面積(km ²)	3,024			震源域のSMGAの面積の和
強動成① 震生域	面積(km ²)	312.8	SMGA⑥	面積(km ²)	305.6
	地震モーメント(Nm)	6.8E+19		地震モーメント(Nm)	6.6E+19
	Mw	7.2		Mw	7.1
	応力パラメータ(MPa)	30.0		応力パラメータ(MPa)	30.0
	ライズタイム(s)	3.3		ライズタイム(s)	3.2
強動成② 震生域	面積(km ²)	401.1	SMGA⑦	面積(km ²)	314.7
	地震モーメント(Nm)	9.9E+19		地震モーメント(Nm)	6.9E+19
	Mw	7.3		Mw	7.2
	応力パラメータ(MPa)	30.0		応力パラメータ(MPa)	30.0
	ライズタイム(s)	3.7		ライズタイム(s)	3.3
強動成③ 震生域	面積(km ²)	314.4	SMGA⑧	面積(km ²)	322.7
	地震モーメント(Nm)	6.9E+19		地震モーメント(Nm)	7.1E+19
	Mw	7.2		Mw	7.2
	応力パラメータ(MPa)	30.0		応力パラメータ(MPa)	30.0
	ライズタイム(s)	3.3		ライズタイム(s)	3.3
強動成④ 震生域	面積(km ²)	473.5	SMGA⑨	面積(km ²)	317.1
	地震モーメント(Nm)	1.3E+20		地震モーメント(Nm)	6.9E+19
	Mw	7.3		Mw	7.2
	応力パラメータ(MPa)	30.0		応力パラメータ(MPa)	30.0
	ライズタイム(s)	4.0		ライズタイム(s)	3.3
強動成⑤ 震生域	面積(km ²)	262.1			—
	地震モーメント(Nm)	5.2E+19			—
	Mw	7.1			—
	応力パラメータ(MPa)	30.0			—
	ライズタイム(s)	3.0			—
その他	破壊伝播速度	2.7km/s			Vr=Vs×0.72
	fmax	6Hz			

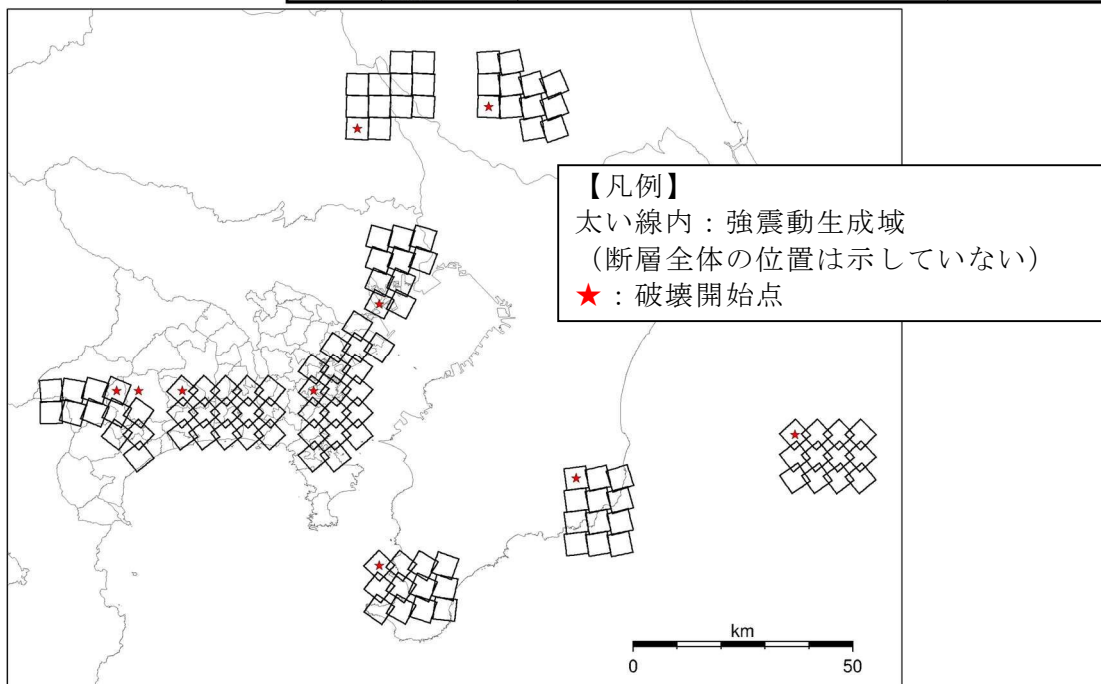


図 1.19 断層位置 (強震動生成域のみ)

参考文献：

- ・内閣府(2012)：南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について（第一次報告）、南海トラフの巨大地震モデル検討会平成 24 年 3 月 31 日
- ・内閣府(2012)：南海トラフの巨大地震モデル検討会（第二次報告） 強震断層モデル編
ー強震断層モデルと震度分布についてー、南海トラフの巨大地震モデル検討会、平成 24 年 3 月 31 日
- ・内閣府(2013)：首都直下のM 7 クラスの地震及び相模トラフ沿いのM 8 クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書、首都直下地震モデル検討会、平成 25 年 12 月

1. 3 地震動の予測手法

(1) 地震動予測手法

地震動の予測手法は、内閣府の首都直下地震モデル検討会による手法を用いた。工学的基盤における強震波形を統計的グリーン関数法により算出し、表層の震度増分を加えることで地表の震度分布を算出した。

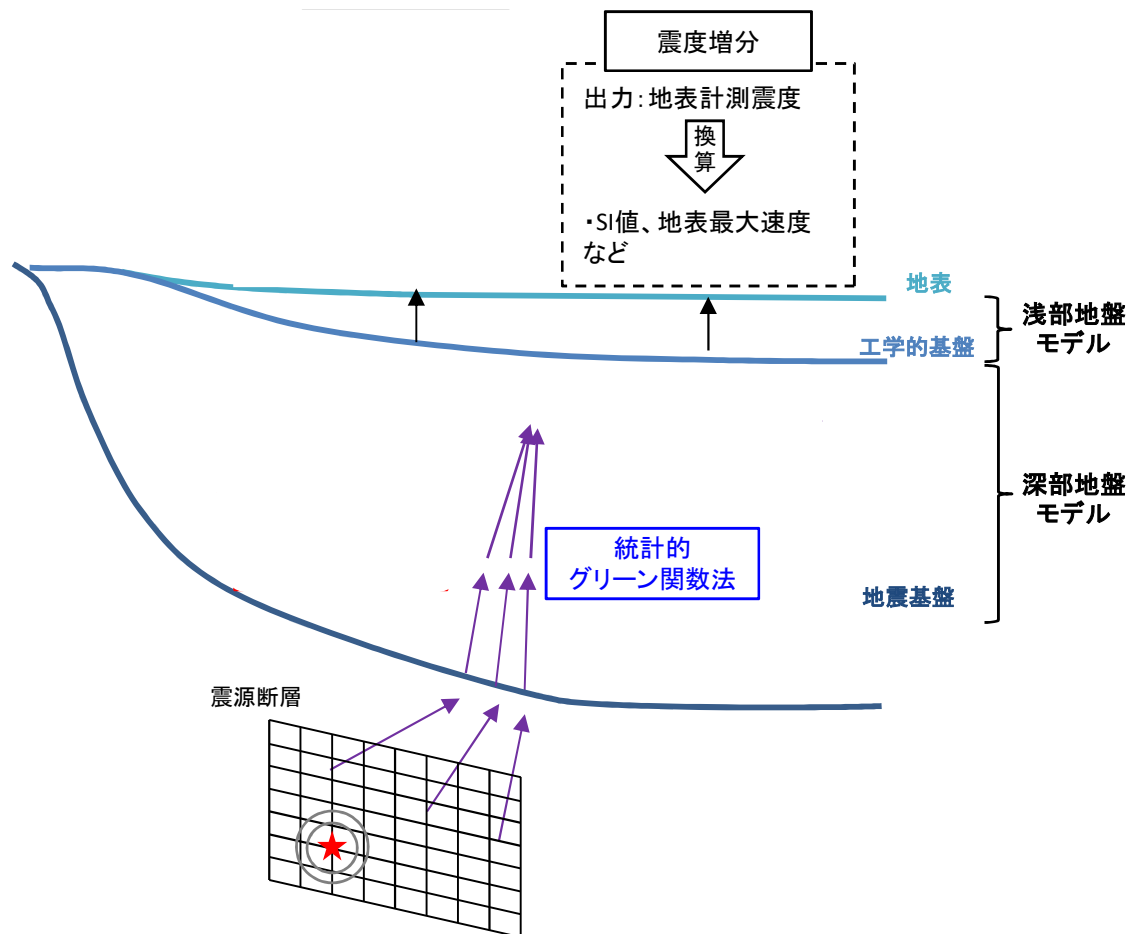


図 1.20 地震動予測の概念図

工学的基盤上における波形は統計的グリーン関数法を用いて計算した。統計的グリーン関数法では、グリーン関数として、 ω^{-2} 則に従う震源特性に従うスペクトルモデル (Boore, 1983) を考え、これに経験的な位相特性を与えたものを使用する。深部地盤構造は一次元成層構造として Haskell Matrix により地盤応答を考慮する。この波形をグリーン関数と考え、Irikura (1986) に従い波形合成を行い、大地震の地震動波形を求める。以下に具体的な作業内容を示す。

- ①対象とする断層面を小断層に分割し、小断層毎に、Boore (1983) の手法により ω^{-2} 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。

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

ここで $\omega_c = 2\pi f_c$, $f_c = 4.9 \times 10^6 \beta (\Delta\sigma/Mo)^{1/3}$

$\omega_{\max} = 2\pi f_{\max}$, $f_{\max} = 6\text{Hz}$ [鶴来・他(1997)、兵庫県南部地震の解析値]

なお、Mo は地震モーメント、 ρ は密度、 β は媒質の S 波地震波速度である。

- ②上式中の $R_{\phi\theta}$ 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、Kamae and Irikura (1992) と同様に、周波数依存型の放射特性を導入した。これは、周波数 0.25Hz 以下では理論的放射特性に従い、2.0Hz 以上では等方的な放射特性となるものである。ここでは S 波のみを考えているため、SH 波、SV 波毎に振幅スペクトルを求める。

- ③小断層毎にすべり量・モーメント解放量が異なる場合は、それに応じて各小断層の Mo、 $\Delta\sigma$ を設定する。

- ④Q 値は木下 (1993) により、 $Q=100 f^{0.7}$ ($f > 1\text{Hz}$)、 $Q=100$ ($f < 1\text{Hz}$) とする。

- ⑤以上は、振幅スペクトルについて考えているが、南海トラフの地震（最大クラス、東海地震）においては Boore (1983) に従い、首都直下の地震（都心南部直下、三浦半島断層群、神奈川県西部、大正型関東、元禄型関東、相模トラフ沿いの最大クラス）については佐藤に従って、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。

なお、全ての小断層に対して共通の位相波形を使用する。

- 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行う。

- ⑦求められた工学的基盤での Transverse、Radial、UD 波形を NS、EW、UD に射影する。

- ⑧工学的基盤での各小断層からの波形を Irikura (1986) 及び入倉他 (1997) に従って、それぞれの成分毎に足し合わせる。これより、工学的基盤での 3 成分波形を求める。なお、計算のメッシュ単位は基準地域メッシュ（約 1 km メッシュ）とした。

- ⑨工学的基盤の 3 成分波形から、気象庁の計測震度の考え方に則って、計測震度を算出する。

- ⑩ 4 分の 1 地域メッシュ（約 250m メッシュ）での震度への変換は、中央防災会議 (2003) による方法をとった。ある 250m メッシュを囲む 4 点の 1 km メッシュでの震度を以下の式で内挿して 250m メッシュの震度を求めた。

$$A(x, y) = ax + by + cxy + d$$

- ⑪小断層からの波形（要素波）作成時の位相の設定に乱数を用いることから、前回調査で使用した 5 種類の乱数を用いて 5 種類の要素波を作成して工学的基盤の波形を求め、これから 5 種類の工学的基盤の震度分布を作成し、メッシュごとに平均した震度を最終的な工学的基盤の震度とした。

- ⑫工学的基盤の計測震度に、250m メッシュごとの震度増分を加えて、250m メッシュごとの地表の計測震度を算出する。計測震度から最大加速度、最大速度、SI 値への算出は、計測震度から童・山崎 (1996) による換算式によって算出した。工学的基盤の計

測震度に、4分の1地域メッシュ（約250mメッシュ）ごとの震度増分を加えて、250mメッシュごとの地表の計測震度を算出する。

なお、計測震度から最大加速度、最大速度、SI 値への算出は、童・山崎による換算式による。

図 1. 21 に統計的グリーン関数法による工学的基盤における波形計算の流れを示す。

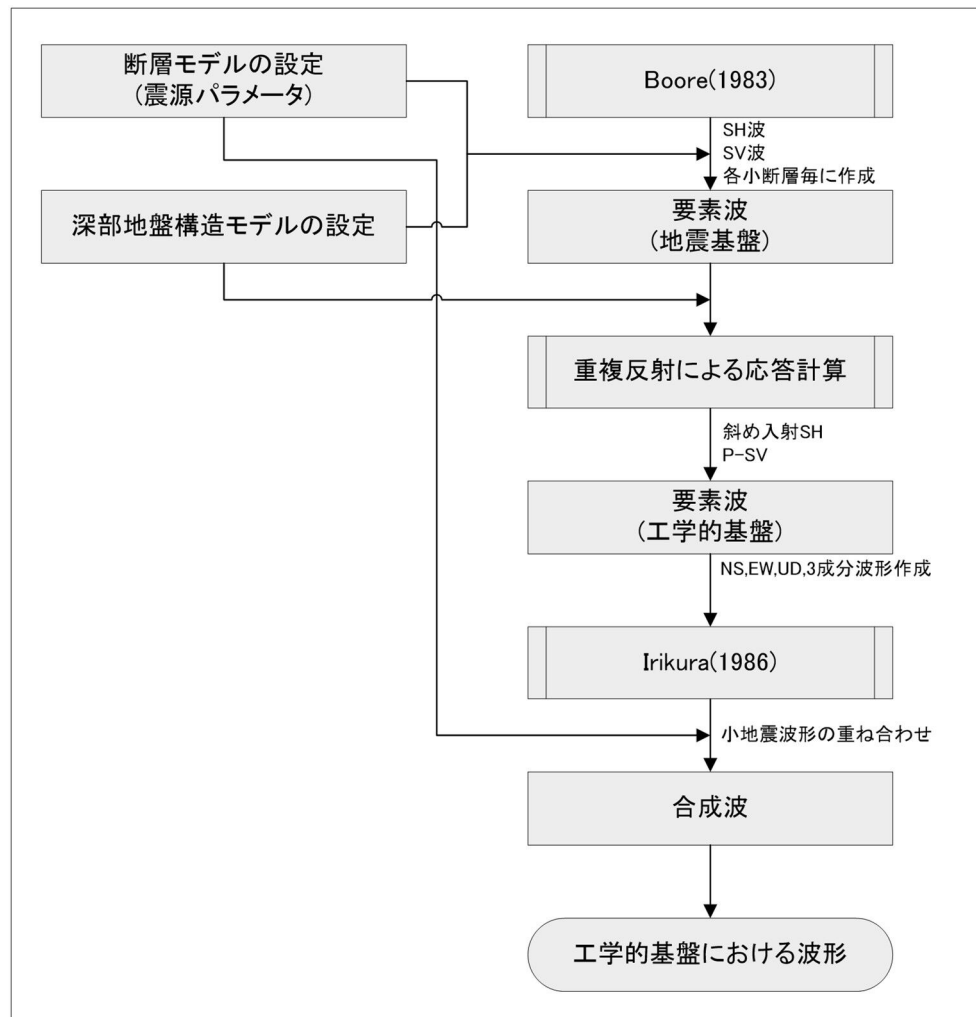


図 1. 21 統計的グリーン関数法の計算の流れ

(2) 長周期地震動を含む広帯域の地震動の予測手法

神奈川県で別途実施している危険物タンクのスロッシングによる被害想定（石油コンビナートの被害想定）に用いるため、長周期地震動を含む広帯域の地震動を検討した。

スロッシング（液面揺動）とは、地震波と容器内の液体が共振して液面が大きく揺れる現象である。これにより、特に浮き屋根式の危険物タンクでは、浮き屋根の損傷、内容物の溢流、火災の発生といった重大な被害が生じる危険性があり、このような被害の発生は、スロッシングによる揺れの大きさ（スロッシング最大波高）にある程度依存することが示されている。

スロッシング最大波高は、周期 T_s における速度応答スペクトルが得られれば容易に計算することができることから、従ってスロッシング最大波高の推定には、想定地震による長周期地震動特性（速度応答スペクトル）を予測することが重要になる。

ア 長周期地震動の予測対象地震

地震の規模が大きい以下の地震について、長周期地震動の予測を行う。

- ・南海トラフ巨大地震
- ・大正型関東地震
- ・元禄型関東地震（参考）
- ・相模トラフ沿いの最大クラスの地震（参考）

イ 長周期地震動予測のモデル

ハイブリット法による長周期地震動の予測を行うため、強震動を想定した際に用いた震源モデルを用いた。

ウ 予測対象箇所

石油タンクのスロッシングの検討を行う基礎資料とするため、石油コンビナートの所在メッシュを対象とした。また、県庁、市役所、区役所、町村役場の所在メッシュについても、計算を行った。

エ 長周期地震動の計算方法

強震動を予測した際に用いた「統計的グリーン関数法」の計算結果と「差分法」による地震動の計算結果を「マッチング・フィルター」を施し、足し合わせて長周期地震動を作成した（ハイブリッド法）。

波形を足し合わせる際には、両計算法でのS波初動を合わせて、波形を足し合わせた。「マッチング・フィルター」は、差分法と統計的グリーン関数の計算結果の振幅の構成が、周期4秒で1:0、周期3.4秒で0.5:0.5、周期3.0秒で0:1となる特性を有する。

また、工学的基盤から地表面までは、浅部地盤モデルを考慮した応答計算を行った。

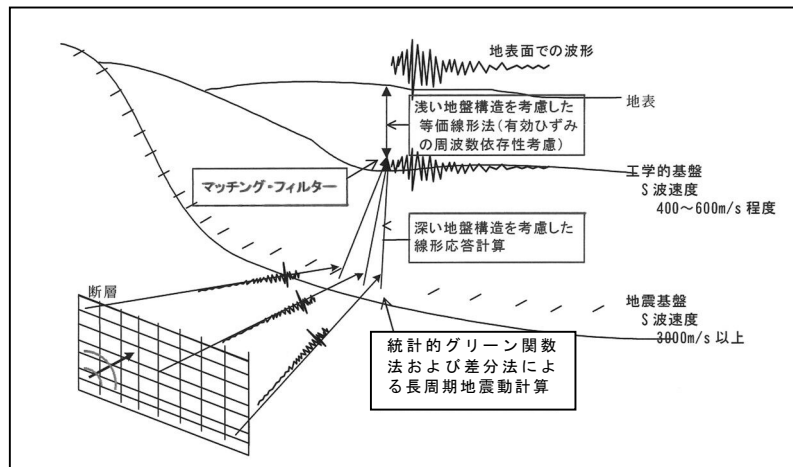


図 1.22 長周期地震動予測の概念図

参考文献：

- Boore, D.M. (1983): Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, Bull. Seism. Soc. Amer., 73, 1865-1894.
- 佐藤智美・川瀬博・佐藤俊明(1994b)：表層地盤の影響を取り除いた工学的基盤波の統計的スペクトル特性，仙台地域のボアホールで観測された多数の中小地震記録を用いた解析，日本建築学会構造系論文集，462，79-89
- Haskell, N. A. (1964): Radiation pattern of surface waves from point sources in a multi-layered medium, Bull. Seism. Soc. Amer., 54, 377-393.
- Irikura, K. (1986): Prediction of strong acceleration motions using empirical Green's function, Proc. 7th Japan Earthq. Eng. Symp., 151-156
- 鶴来雅人・香川敬生・入倉孝次郎・古和田明(1997)：近畿地方で発生する地震の f_{max} に関する基礎的検討，地球惑星科学関連学会合同大会予稿集，103.
- Kamae and Irikura (1992): Prediction of site-specific strong ground motion using semi-empirical methods, Proc. 10th WCEE, Vol.2, 801-806
- 木下繁夫(1993)：地震観測に基づく観測点特性と経路減衰特性の評価，地震 2，46，161-170.
- 入倉孝次郎・香川敬生・関口春子(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，No. 2，B25.
- 中央防災会議(2003)：東南海、南海地震等に関する専門調査会 第 16 回 強震動と津波の高さの検討に関する資料集
- 童華南・山崎文夫(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、31-34

1. 4 液状化の予測手法

(1) 液状化地域の抽出

若松・松岡（2013）による250mメッシュ微地形区分を用いて、液状化の可能性がある沖積層や盛土などのゆるい砂質土層が分布するメッシュを抽出した。微地形区分の中で液状化の可能性がある微地形を表1. 14に示す。

表1. 14 液状化の可能性がある微地形

微地形区分	微地形区分
1 山地	13 後背湿地
2 山麓地	14 旧河道
3 丘陵	15 三角州・海岸低地
4 火山地	16 砂州・砂礫州
5 火山山麓地	17 砂丘
6 火山性丘陵	18 砂州・砂丘間低地
7 岩石台地	19 干拓地
8 砂礫質台地	20 埋立地
9 ローム台地	21 岩礁・礫
10 谷底低地	22 河川敷・河原
11 扇状地	23 河川・水路
12 自然堤防	24 湖沼

若松・松岡(2013)の微地形区分中で、10～20と22が液状化の可能性がある地層が分布する微地形である。

(2) 液状化予測計算に用いる地下水位の設定

液状化計算に用いる地下水位については、ボーリングデータの孔内水位より地下水位コンターを作成して求めた。ただし、ボーリングデータの孔内水位をそのまま用いると危険性を過大に評価にする可能性があることから、以下の手順で250mメッシュ地下水位を設定した。

- ① ボーリングデータの孔内水位データを基に地下水位コンターを作成し、250mメッシュ中心における地下水位を求めた。
- ② (1)で用いたデータについて、安田他（2009）を参照して標高と孔内水位との関係をグラフにプロットし、両者の関係式を求めた。

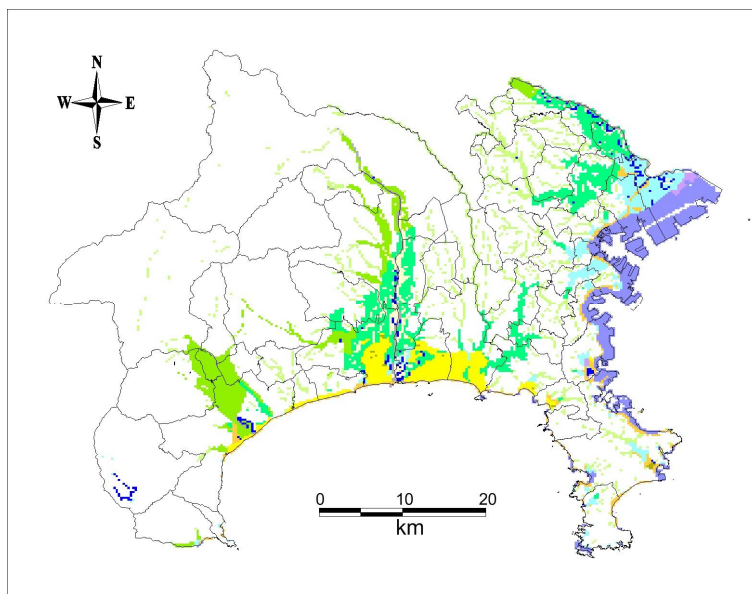
※安田 進、石田栄介、細川直行（2009）：液状化のハザードマップにおける作成方法の現状と今後の有り方，土木学会論文集A1（構造・地震工学），Vol. 65，No. 1，（地震工学論文集第30巻），pp. 188-194.

- ③ ②のグラフにおけるデータのばらつきを考慮し、①の地下水位が②の関係式による地下水位+ σ の値よりも大きくなる場合は、②の関係式による地下水位+ σ の値を採用した。すなわち、①と②+ σ の値を比較して浅い方を250mメッシュの地下水位とした。
- ④ 細粒分含有率（Fc）の設定

前回調査において、土質試験結を基に設定した、以下の式を用いた。

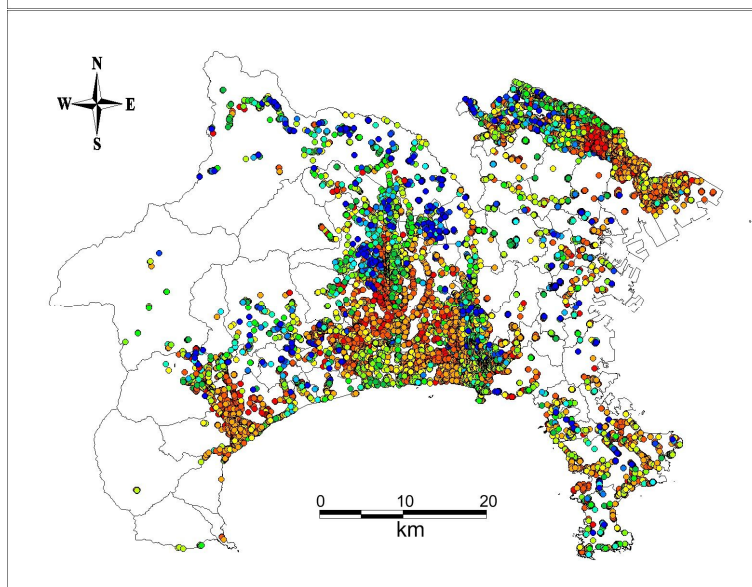
$$Fc(\%) = 3978 / (N + 47.3) - 38.5$$

N: N値



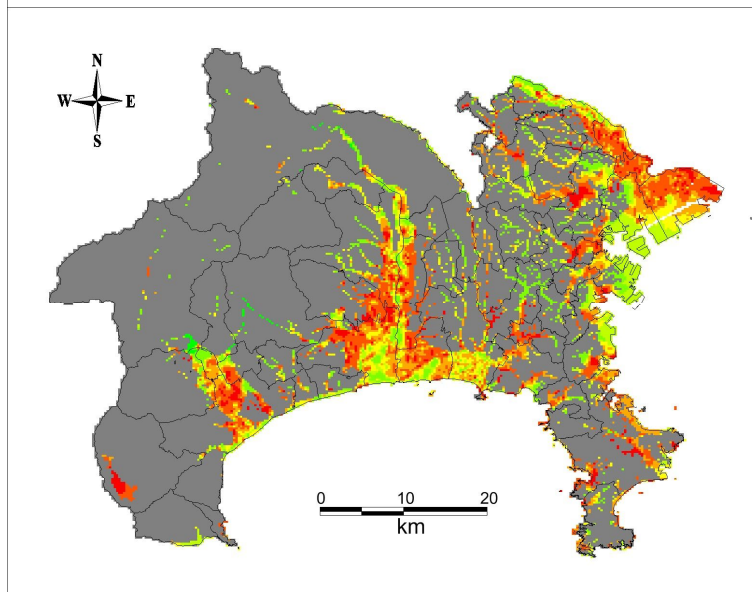
- 地形分類
- 谷底低地
 - 扇状地
 - 自然堤防
 - 後背湿地
 - 旧河道・旧湖沼
 - 三角洲・海岸低地
 - 砂州・砂礫州
 - 砂丘
 - 砂丘・砂州間低地
 - 干拓地
 - 埋立地
 - 河川敷・河原

図1.23
250mメッシュ微地形区分
(若松・松岡, 2013)



- 深度
(GL-m)
- 0 - 1
 - 1 - 2
 - 2 - 3
 - 3 - 4
 - 4 - 5
 - 5 - 6
 - 6 - 7
 - 7 - 8
 - 8 - 9
 - 9 - 10
 - 10 - 11
 - 11 - 12
 - 12 - 13
 - 13 -

図1.24
収集したボーリングデータの
の孔内水位



- 深度
(GL-m)
- 0 - 1
 - 1 - 2
 - 2 - 3
 - 3 - 4
 - 4 - 5
 - 5 - 6
 - 6 - 7
 - 7 - 8
 - 8 - 9
 - 9 - 10
 - 10 - 11
 - 11 - 12
 - 12 - 13
 - 13 -

図1.25
今回設定した250mメッシュ
の地下水位

参考文献：

- ・若松加寿江，松岡昌志(2013)：全国統一基準による地形・地盤分類 250m メッシュマップの構築とその利用，日本地震工学会誌，No. 19， pp. 33-38.
- ・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今後の有り方，土木学会論文集 A1 (構造・地震工学)，Vol. 65，No. 1，(地震工学論文集第 30 巻)， pp. 188-194.
- ・(社)日本道路協会(2014)：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編
- ・岩崎 敏男、龍岡 文夫、常田 賢一、安田 進(1980)：地震時地盤液状化の程度の予測について、土と基礎, 28, 4, 23-29.

(3) 液状化予測

液状化危険度の計算は、道路橋示方書の方法に準じて、FL法及びこれを深度方向に重み付けして積分したPL法を用いて計算し、液状化による被害を想定した。また、液状化による建物被害の想定に用いるため、地盤の沈下量を内閣府（2012）の方法に従って計算した。

① FL法及びPL法による危険度判定

液状化予測計算は、前節の地震動予測結果及び上記の地盤モデルを用いて、「道路橋示方書」（道路協会，2014）に代表されるFL法及びこれを深度方向に積分したPL法により行った。予測単位は、250mメッシュとし、予測結果は、岩崎他(1980)による液状化危険度判定（PL値によるランク判定）を基にメッシュ単位で整理した。表1.15にPL値による液状化危険度判定区分を示す。

※(社)日本道路協会(2014):道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編

※岩崎 敏男、龍岡 文夫、常田 賢一、安田 進(1980):地震時地盤液状化の程度の予測について、土と基礎, 28, 4, 23-29.

表1.15 PL値による液状化危険度判定区分（岩崎ら，1980）

	PL=0	0<PL≤5	5<PL≤15	PL<15
PL値による液状化危険度判定	液状化危険度はかなり低い。液状化に関する詳細な調査は不要。	液状化危険度は低い。特に重要な構造物に対して、より詳細な調査が必要。	液状化危険度が高い。重要な構造物に対してはより詳細な調査が必要。液状化対策が一般に必要。	液状化危険度が極めて高い。液状化に関する詳細な調査と液状化対策は回避。

② 沈下量の推計

内閣府（2012）の方法に従って、液状化に伴う地盤の沈下量を求めた。

液状化に伴う地盤の沈下量 S は、建築基礎構造設計指針(2001)に示されている補正 N 値と繰返しせん断ひずみの関係（図 1.26）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 γ_{cy} 曲線の対数補間により求めた。

このとき、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、 $\gamma_{cy}=0.5\%$ とした。

繰返しせん断ひずみ γ_{cy} を体積ひずみ ε_v として読み替えた。その上で、沈下量 S を次のようにして推定した。

$$S = \sum_{i=1}^n (H_i \times \varepsilon_{vi})$$

ここに、

S : 沈下量

H_i : $F_L < 1.0$ となる砂質土層 i の層厚

ε_{vi} : $F_L < 1.0$ となる砂質土層 i の体積ひずみ

n : $F_L < 1.0$ となる砂質土層数

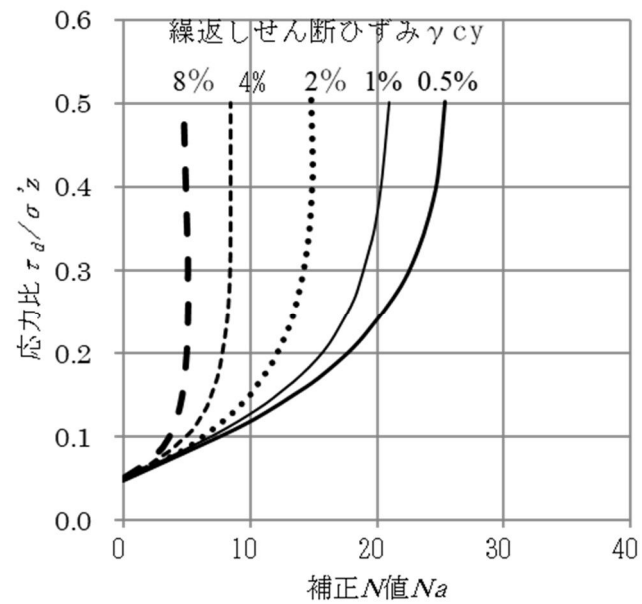


図 1.26 補正 N 値と繰返しせん断ひずみの関係

(建築基礎構造設計指針(2001), p66, 図 4.5.7 補正 N 値と繰返しせん断ひずみの関係に加筆)

1. 5 急傾斜地崩壊の予測手法（更新手法）

(1) 概要

崖崩れ等の被害については、土砂災害警戒区域を対象として、国土地理院地震時地盤災害推計システム（SGDAS）の手法（中埜・大野 2021）を参考にした手法で危険度を想定した。

中埜・大野（2021）では、DEM データから計算した傾斜・曲率と地表最大加速度から斜面崩壊危険度を求める。土砂災害警戒区域内に含まれる 10mDEM データ全てについて計算した斜面崩壊危険度の平均値を、各警戒区域の危険度とする。手法の流れを図 1.27 に示した。

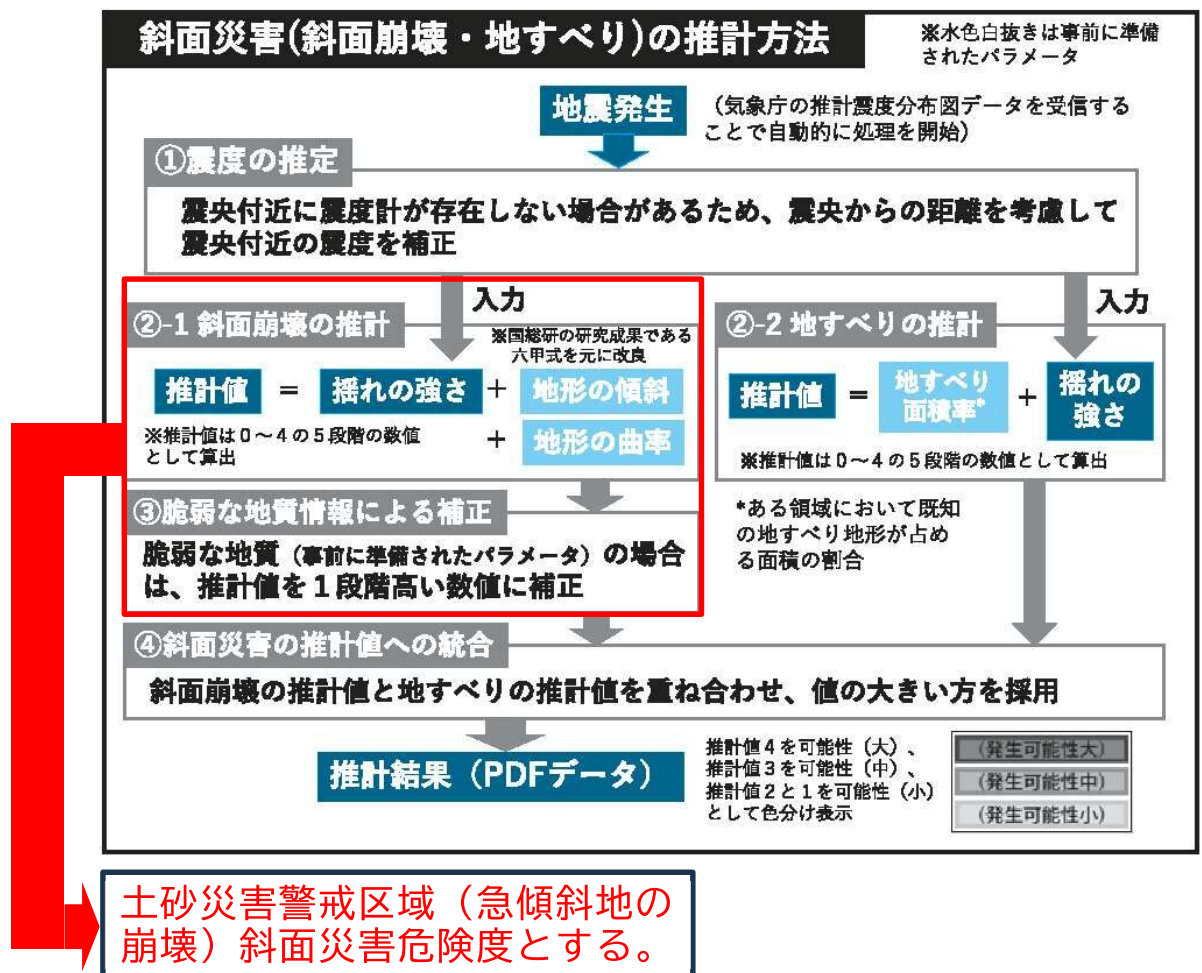


図 1.27 地滑り等の斜面災害危険度想定の流れ（中埜・大野（2021）に加筆）

①震度の推計

震度については、各想定地震について計算された 250m メッシュの計測震度を採用した。地表最大加速度については、童・山崎（1996）による震度と加速度との関係式を用いて計算した。

②斜面崩壊の推計

斜面崩壊については、神谷他（2013）の修正六甲式による手法により危険度を判定した。

これは、土砂災害警戒区域内の DEM データをもとに 10m メッシュ単位で崩壊/非崩壊を「修正六甲式」により判定し、これを積算して斜面（イエローゾーン）ごとの危険度を判定する手法である。修正六甲式は、国総研（2004）による六甲地域における斜面崩壊の推計式を改良したものである。

詳細については、「(2) 斜面崩壊の推計」で述べる。

③脆弱な地質情報による補正

当該メッシュの地形が脆弱である場合は、斜面崩壊の推計値を 1 段階高い値に補正した。

詳細については「(3) 脆弱な地質情報による補正」で述べる。

(2) 斜面崩壊の推計

斜面崩壊の危険度については、以下の流れで計算した。

- ① 次式により、10m メッシュ単位で崩壊/非崩壊を判定した。

$$G = 4.38 \cdot \log_{10}(s - 119c) + 3.93 \log_{10}a - 15.27$$

ここで、

G : 修正六甲式（神谷他 2013）による斜面崩壊危険度判定式（ $G > 0$: 崩壊、 $G < 0$: 非崩壊）

s : 地表面の傾斜（°）（計算方法については西田他（1997）による）（図 1.28）

c : 曲率（ m^{-1} ）（計算方法については西田他（1997）による）（図 1.28）

a : 地表面最大加速度（gal）

- ② 斜面内の各メッシュの修正六甲式の値を G_i としたとき、 $G_i > 0$ となるメッシュについて、 G_i の平均値から表 1.16 により危険度を求めた。2004 年中越地震における検証結果（神谷 2013）を図 1.29 に示した。

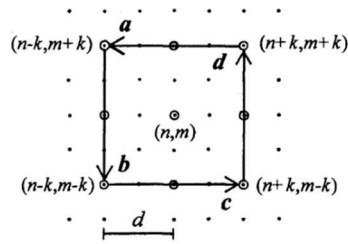


図-5 斜度の計算に用いた節点配置

(n, m) は節点の座標番号。黒点は節点の位置。白円は近傍節点。 d は近傍節点の距離。 k はそのメッシュ数 (この図の場合は2)。 a, b, c, d は近傍節点同士を結ぶベクトル。

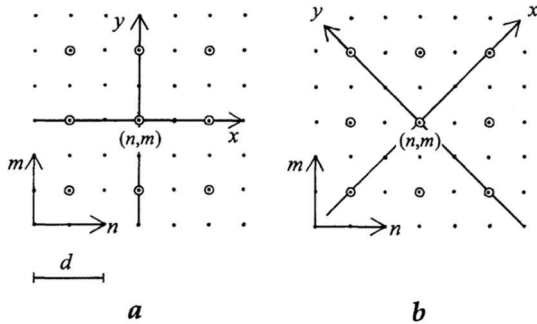


図-6 平均曲率の計算に用いた節点配置
記号は図-5 と同じ。

斜度 θ は、図-5 に示すように、対象節点を取り囲む4つの節点の標高値から算出した。具体的には、この4節点を2つの3角形に分けて、それぞれの3角形の単位法線ベクトルを計算し、その平均を斜面の法線ベクトルとみなした。この法線ベクトルが鉛直方向となす角が、斜度である。すなわち、

$$\theta = \cos^{-1} \left[\frac{(\mathbf{a} \times \mathbf{b} + \mathbf{c} \times \mathbf{d}) \cdot \mathbf{e}_z}{|\mathbf{a} \times \mathbf{b} + \mathbf{c} \times \mathbf{d}|} \right] \quad \dots\dots\dots(2)$$

θ : 斜度 (度)

a, b, c, d : 4 節点を結ぶベクトル (図-5 参照)

$\mathbf{e}_z$: 鉛直上向きの単位ベクトル

平均曲率 H は、次の式によって、斜面の一階微分量と二階微分量から計算できる。

$$H = \frac{h_{xx}(1 + h_y^2) + h_{yy}(1 + h_x^2) - 2h_x h_y h_{xy}}{2(1 + h_x^2 + h_y^2)^{3/2}}$$

$$h_x = \frac{\partial h}{\partial x}, h_y = \frac{\partial h}{\partial y}, h_{xx} = \frac{\partial^2 h}{\partial x^2}, h_{yy} = \frac{\partial^2 h}{\partial y^2},$$

$$h_{xy} = \frac{\partial^2 h}{\partial x \partial y} \quad \dots\dots\dots(3)$$

図 1.28 斜度、曲率の計算方法 (西田他 (1997))

実際の計算においては、精度を高めるために、図-6 a, b に示すような2通りの節点配置で各微分量を計算し、それぞれの結果で H を求め、それを平均した。 $h(n, m)$ を節点 (n, m) における標高値、 d を近傍節点との距離、 k を近傍節点との間のメッシュ数として、図-6 a の節点配置では、各微分量は、

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{h(n+k, m) - h(n-k, m)}{2d}$$

$$\frac{\partial h}{\partial y} = \frac{h(n, m+k) - h(n, m-k)}{2d}$$

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = \frac{h(n+k, m) - 2h(n, m) + h(n-k, m)}{d^2}$$

$$\frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{h(n, m+k) - 2h(n, m) + h(n, m-k)}{d^2}$$

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x \partial y} = \frac{1}{4d^2} \{h(n+k, m+k) - h(n-k, m+k) - h(n+k, m-k) + h(n-k, m-k)\} \quad \dots\dots\dots(4)$$

となり、図-6 b の節点配置では、

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{h(n+k, m+k) - h(n-k, m-k)}{2\sqrt{2}d}$$

$$\frac{\partial h}{\partial y} = \frac{h(n-k, m+k) - h(n+k, m-k)}{2\sqrt{2}d}$$

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = \frac{h(n+k, m+k) - 2h(n, m) + h(n-k, m-k)}{2d^2}$$

$$\frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{h(n-k, m+k) - 2h(n, m) + h(n+k, m-k)}{2d^2}$$

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x \partial y} = \frac{h(n, m+k) - h(n-k, m) - h(n+k, m) + h(n, m-k)}{2d^2} \quad \dots\dots\dots(5)$$

となる。

表 1.16 修正六甲式による手法における危険度ランク (中埜他 (2013))

危険度ランク	0 (小)	1	2	3	4 (大)
G_i の平均値	0.0~0.2	0.2~0.4	0.4~0.8	0.8~1.6	1.6~

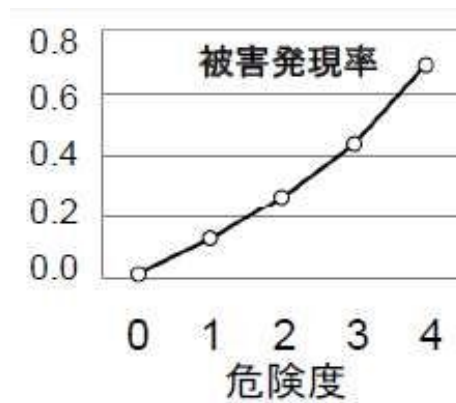


図 1.29 2004 年中越地震における検証結果（神谷（2013））

(3) 脆弱な地質情報による補正

神谷（2013）で挙げられている脆弱な地質のうち、以下の項目について該当するメッシュを抽出し、斜面崩壊の危険度を 1 ランク高くした。

- ① 超苦鉄質岩
- ② 高圧型変成岩
- ③ 火砕流堆積物
- ④ 新第三紀以降の堆積岩類
- ⑤ いわゆるグリーンタフ
- ⑥ メランジュ

以上については、産総研による 20 万分の 1 シームレス地質図を用いて抽出した。抽出した脆弱な地質に該当する範囲を図 1.30 に示した。

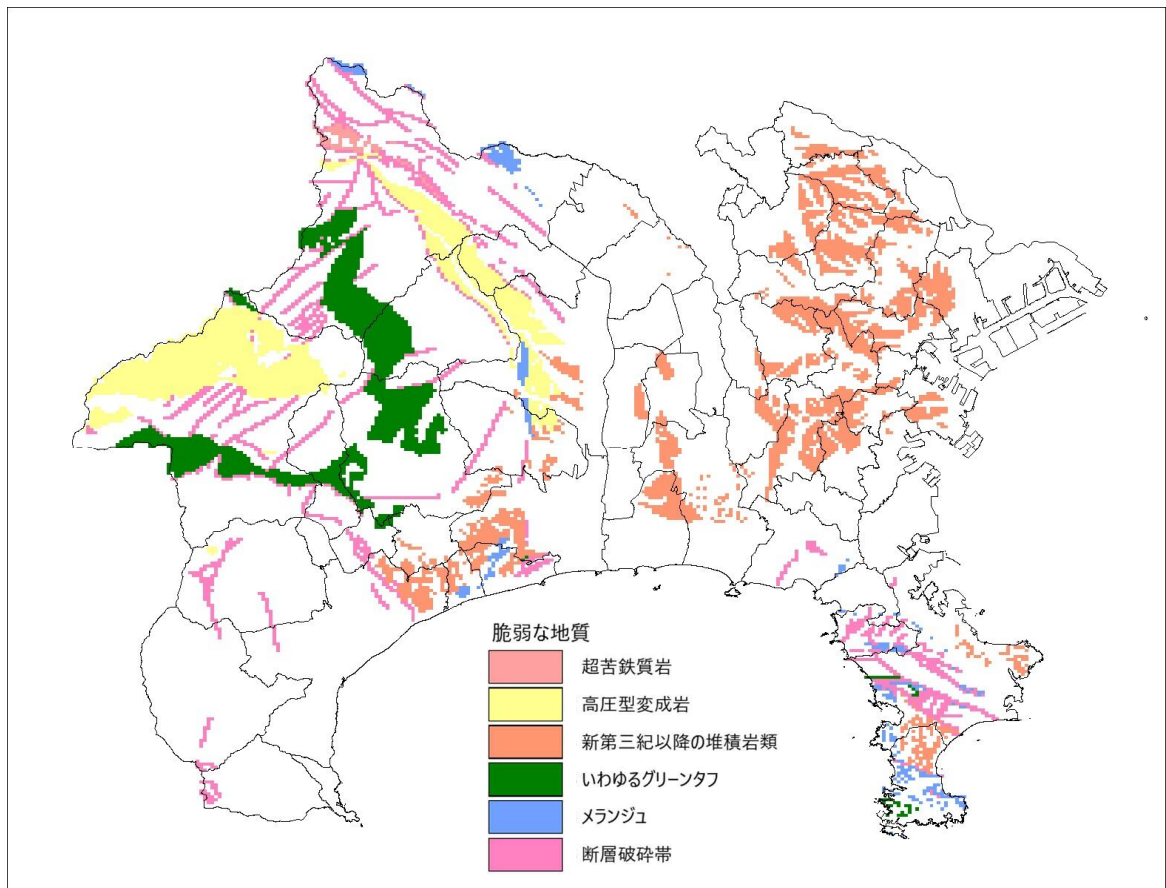


図 1.30 20 万分の 1 シームレス地質図を用いて抽出した「脆弱な地質」の分布