

3.3. 南海トラフの地震を対象とした長周期地震動ハザード評価の検討等

(1) 事業の内容

(a) 事業の題目

南海トラフの地震を対象とした長周期地震動ハザード評価の検討等

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人 防災科学技術研究所	研究部門長	藤原 広行
国立研究開発法人 防災科学技術研究所	主幹研究員	先名 重樹
国立研究開発法人 防災科学技術研究所	主任研究員	森川 信之
国立研究開発法人 防災科学技術研究所	主任研究員	前田 宜浩
国立研究開発法人 防災科学技術研究所	主任研究員	河合 伸一
国立研究開発法人 防災科学技術研究所	契約研究員	岩城 麻子

(c) 事業の目的

サブテーマ1および2の検討結果を踏まえて、平成25年度「長周期地震動予測地図作成等支援事業」成果報告書に提案されている南海トラフ地震の震源モデル及び地下構造モデルの高度化について検討する。

(2) 事業の成果

(a) 事業の要約

平成25年度「長周期地震動予測地図作成等支援事業」で設定された震源モデル及び地下構造モデルについて、

- ・平成27年度までの「長周期地震動ハザードマップ作成等支援事業」を踏まえたすべり量やすべり角、破壊伝播速度の不均質性の適切な与え方の検討
- ・長周期地震動シミュレーションによる震源パラメータのパラメータスタディ
- ・震源域、強震動生成域（アスペリティ）や破壊開始点位置等について、既設定以外のモデル化
- ・既往のボーリングデータや微動観測データ等を用いた濃尾平野の浅部・深部統合地盤初期モデル試行版の作成とサブテーマ2（3.2節）で試作した深部地下構造モデルと結合
- ・中小地震のシミュレーション結果と観測記録との比較により、現状の関東平野の深部・浅部統合地盤モデルの問題点等の把握
- ・上記の震源モデル及び地下構造モデルを用いた長周期地震動シミュレーションによる長周期地震動ハザード評価の試行

を実施し、南海トラフ地震の長周期地震動ハザード評価のための震源モデル、濃尾平野の浅部・深部統合地盤モデル試行版を作成するとともに、浅部・深部統合地盤モデルによる周期1秒まで拡張する上での課題と濃尾平野を対象とした南海トラフ地震の長周期地震動ハザード評価の試行結

果を示した。

(b) 事業の成果

1) 南海トラフ地震の震源モデルの設定

平成 25 年度の「長周期地震動ハザードマップ作成支援事業」にて実施した南海トラフ地震の長周期地震動ハザード評価を対象として作成した震源モデルのうち、「最大クラスの地震」を含み、濃尾平野に大きな影響を及ぼす表 3.3-1 に示した地震に対して、関口・吉見（2006）の方法に基づいて破壊伝播速度および滑り量に対してランダムな不均質性を付与したモデルを設定した。設定した震源モデルと解析ケースは以下の通りである。

震源モデルに対する不均質性の付与の結果として、図 3.3-1 から図 3.3-7 に代表的な 7 ケースの震源モデルの破壊の遅れ時間のコンター図を示す。不均質版の震源モデルでは、破壊伝播速度にランダムな擾乱が乗ったことによって、破壊の遅れ時間のコンター図は細かく歪んだ分布になっていることが確認できる。

平成 25 年度の検討において設定した震源モデルでは、地震調査委員会による南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）（地震調査委員会、2013）で例示されている 15 通りの震源域をモデル化していた。しかしながら、長期評価では、深さ方向に 3、トラフ軸方向に 6 の領域に区分されており、15 通り以外の震源域も考えられる。また、長周期地震動評価試作版（地震調査委員会、2016）では、相模トラフ巨大地震の震源モデルの破壊開始点として、区分された領域の境界に加え、領域の中央付近にも破壊開始点が設定されている。以上より、これまでに設定されていない震源モデルとして考えられる震源域を表 3.3-2 に、破壊開始点位置を図 3.3-8 に示す。

表 3.3-1 破壊伝播の不均質性を付与した南海トラフ地震のケース。震源域、アスペリティ配置、破壊開始点位置は「平成 25 年度長周期地震動ハザードマップ作成等支援事業」報告書の表 3.2-2 と対応。

	震源域	アスペリティ配置	破壊開始点位置	ケース数
①	No. 5	深, 中, 浅	h01~h10	30
②	No. 9	深, 浅	h01, h03, h05	6
③	No.13	深, 中, 浅	h03, h04, h05, h08, h09, h10	18
④	No.15	深, 中, 浅	h03, h04, h05, h08, h09, h10	18
⑤	No. 1	深, 浅	h01, h03, h05	6
⑥	No. 2	深, 浅	h01, h03, h05	6
⑦	No. 7	深, 浅	h01, h03, h05	6
			total	90

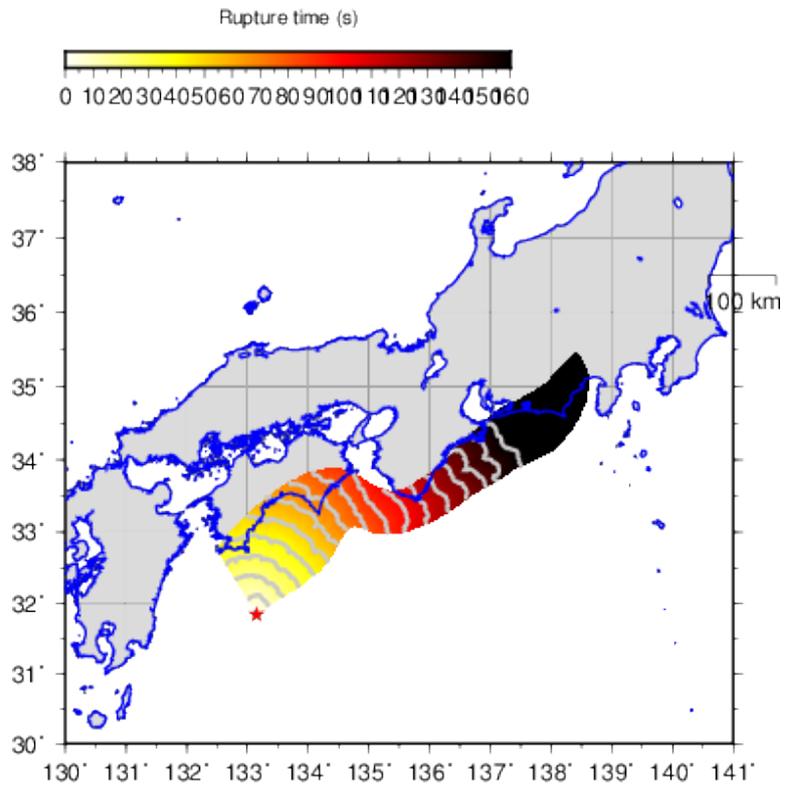


図 3.3-1 不均質性を付与した震源モデルの破壊伝播の例 (①)。

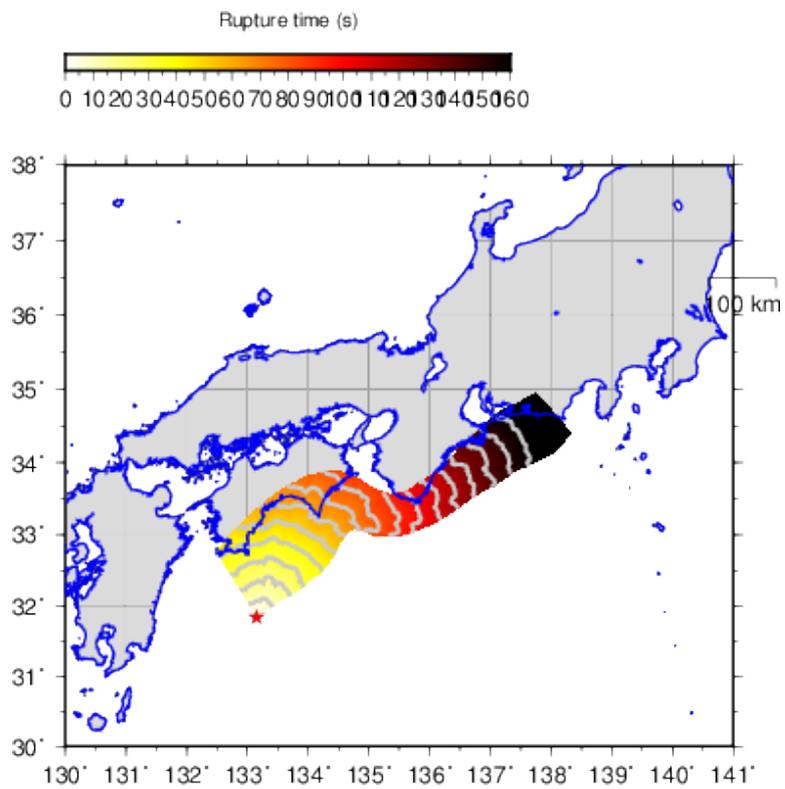


図 3.3-2 不均質性を付与した震源モデルの破壊伝播の例 (②)。

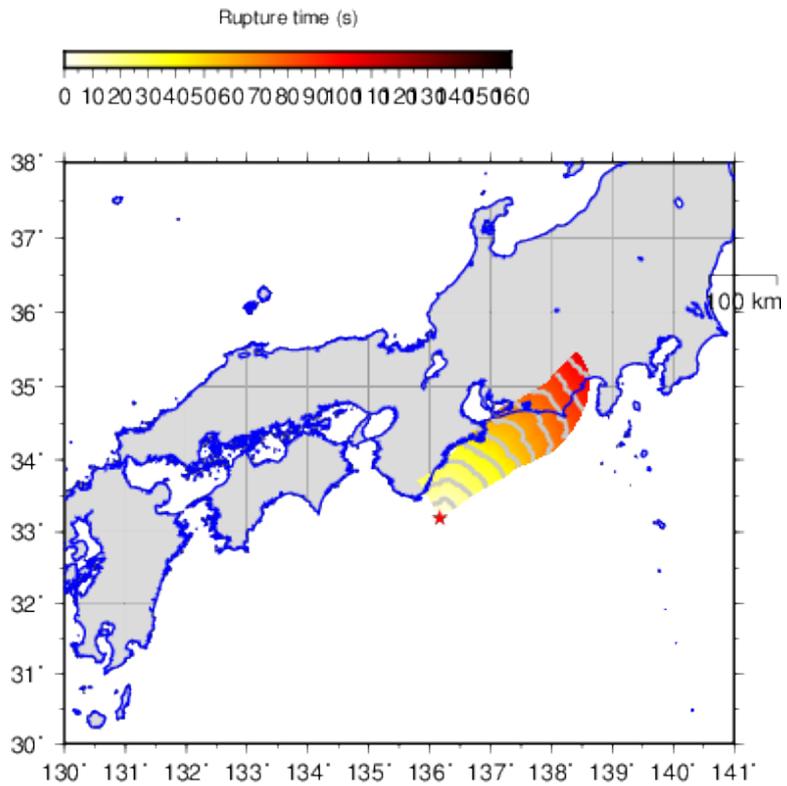


図 3.3-3 不均質性を付与した震源モデルの破壊伝播の例 (③)。

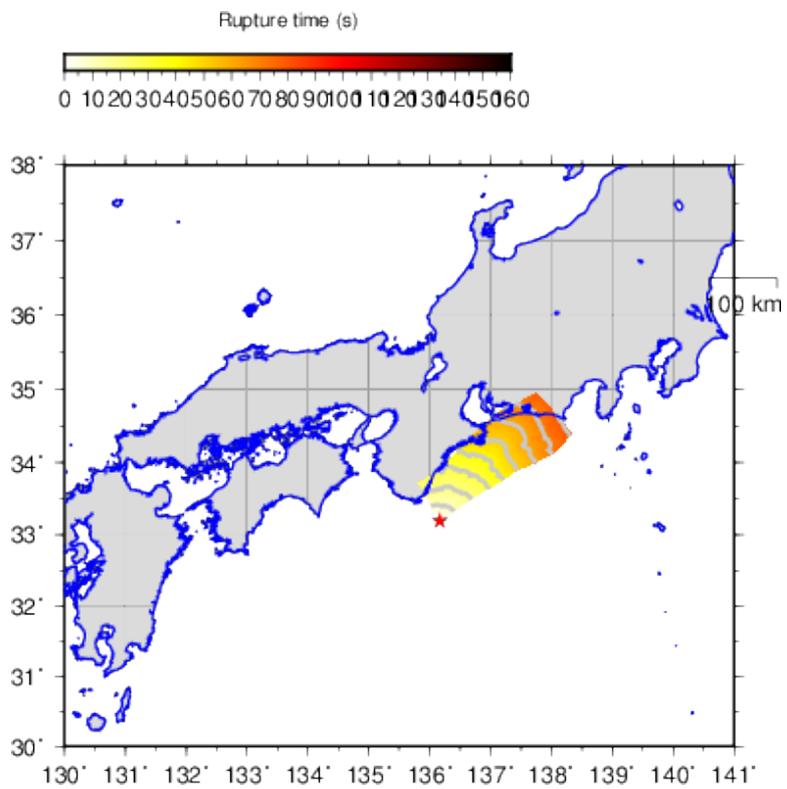


図 3.3-4 不均質性を付与した震源モデルの破壊電波の例 (④)。

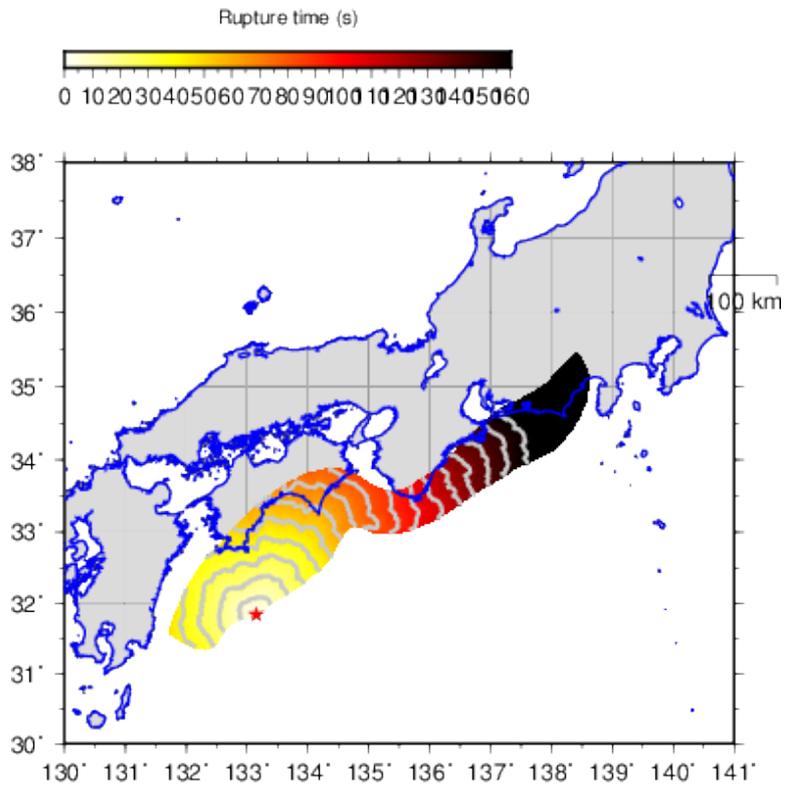


図 3.3-5 不均質性を付与した震源モデルの破壊伝播の例 (⑤)。

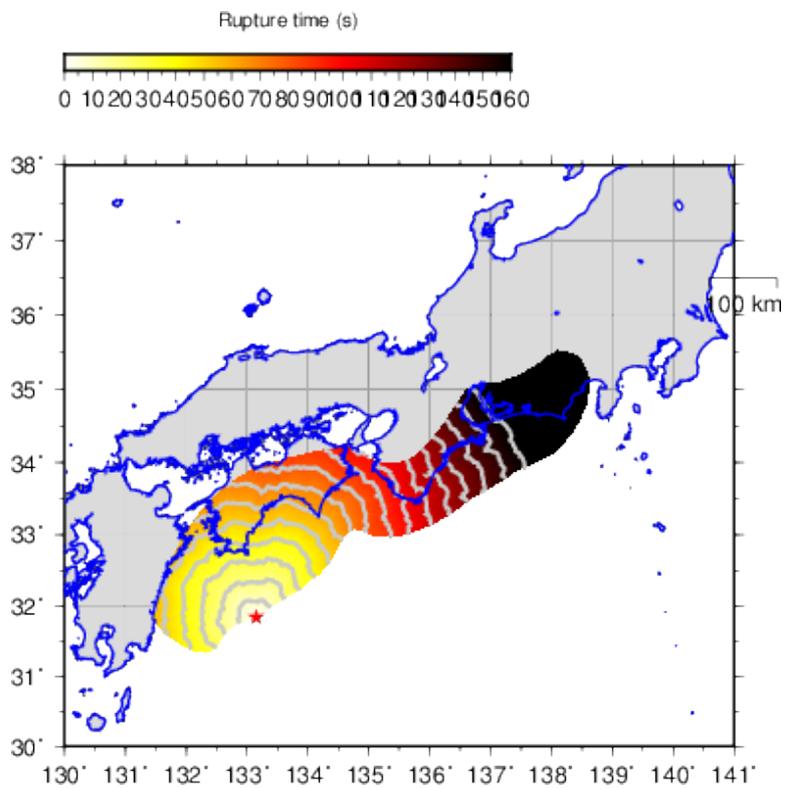


図 3.3-6 不均質性を付与した震源モデルの破壊電波の例 (⑥)。

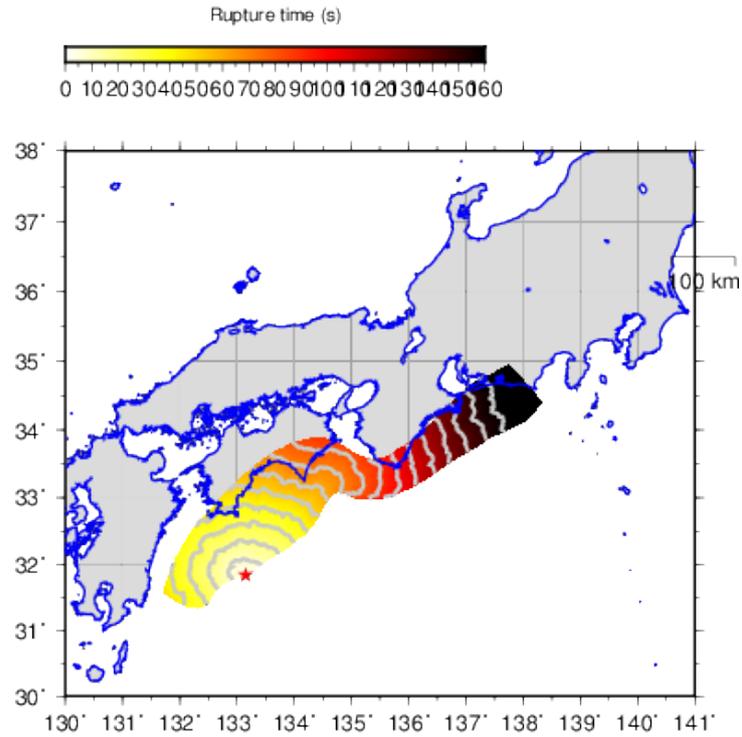


図 3.3-7 不均質性を付与した震源モデルの破壊伝播の例 (⑦)。

表 3.3-2 南海トラフ地震に対して新たな震源域の案。

		Z	A	B	C	D	E	Mw
16	深							
	中							
	浅							
17	深							
	中							
	浅							
18	深							
	中							
	浅							
19	深							
	中							
	浅							

※地震規模 (Mw) は震源域の面積より平均応力降下量を 3.0MPa と仮定して算出

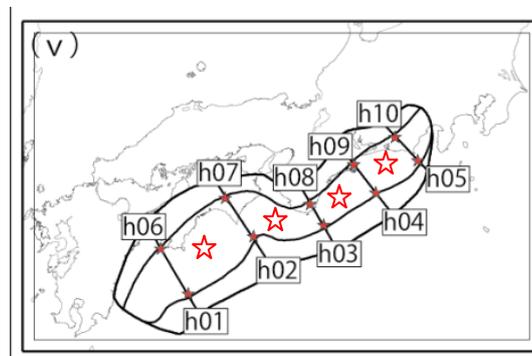


図 3.3-8 南海トラフ地震の震源モデルに対する破壊開始点の追加案 (☆)。

2) 濃尾平野を対象とした浅部・深部統合地盤初期モデルの試作

(1) 既往データの収集と整理

愛知県、三重県、岐阜県においてボーリングデータを収集した。総ボーリング本数は70,009本である。図3.3-9にボーリング分布図を示す。

また、東海層群上面深度や深部地盤構造モデル修正のために反射法地震探査、微動アレイ探査、屈折法地震探査結果のデータを収集した。図3.3-10から図3.3-12に位置図を示す。

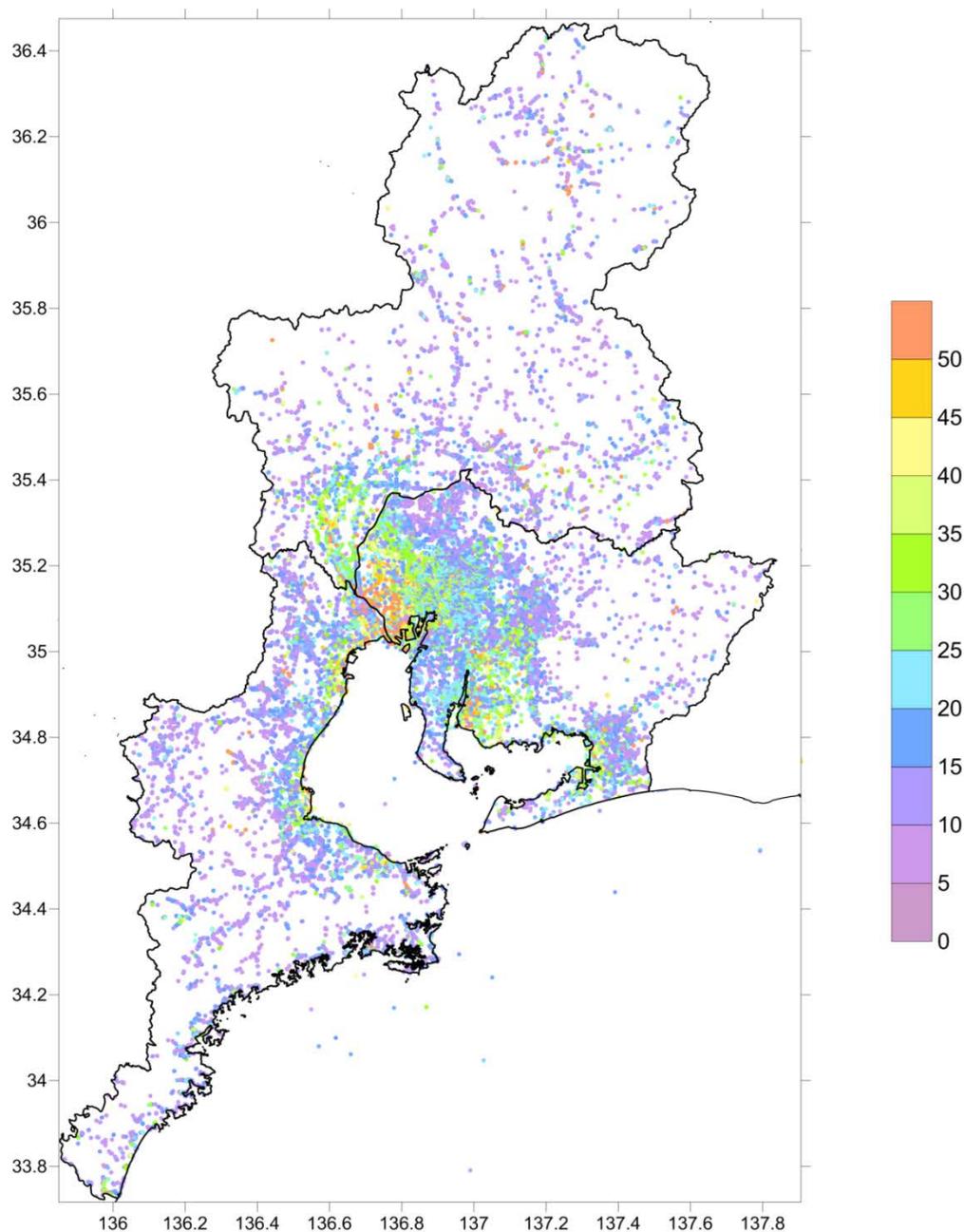
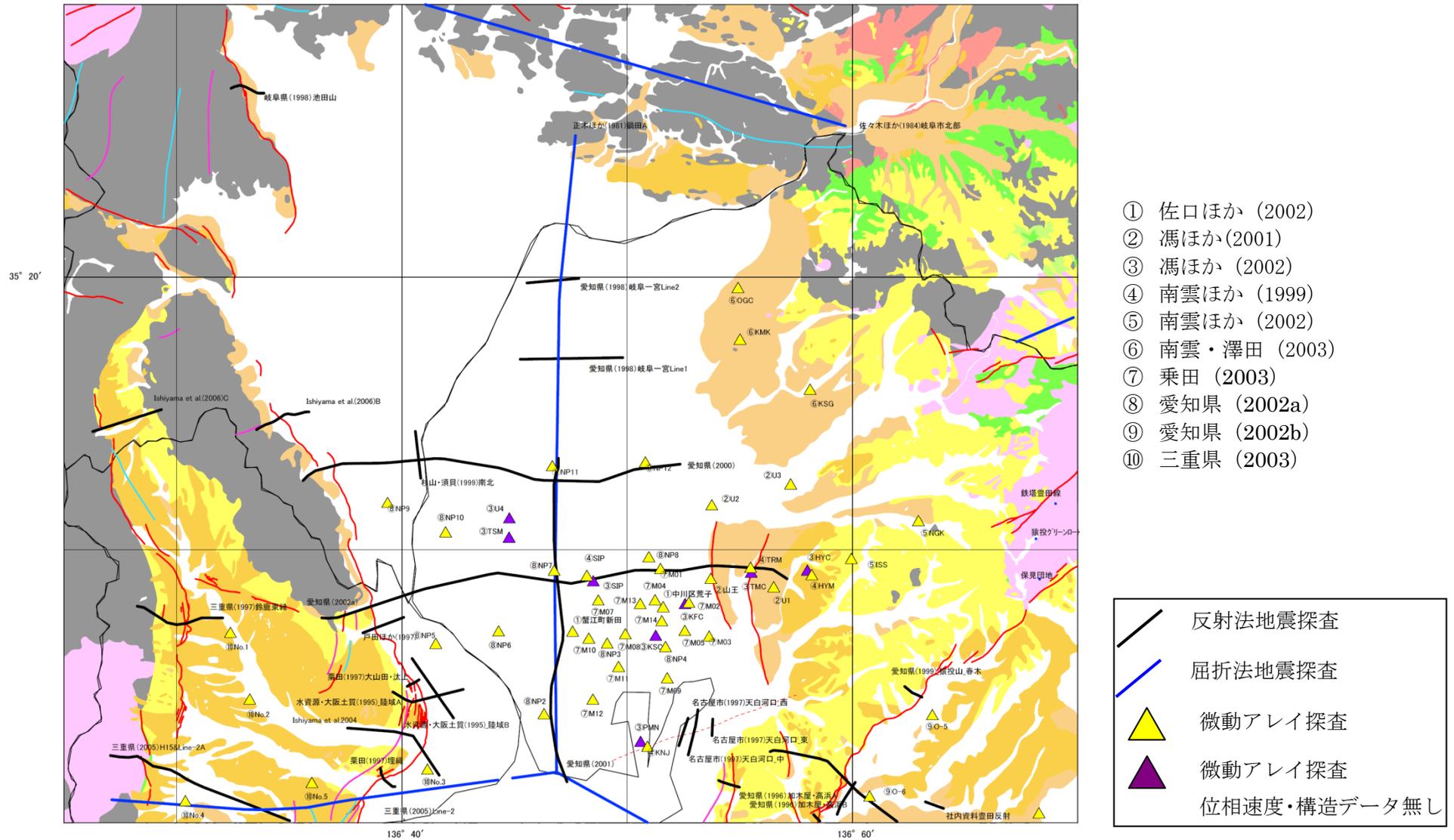


図 3.3-9 ボーリング分布図。



- ① 佐口ほか (2002)
- ② 馮ほか(2001)
- ③ 馮ほか (2002)
- ④ 南雲ほか (1999)
- ⑤ 南雲ほか (2002)
- ⑥ 南雲・澤田 (2003)
- ⑦ 乗田 (2003)
- ⑧ 愛知県 (2002a)
- ⑨ 愛知県 (2002b)
- ⑩ 三重県 (2003)

	反射法地震探査
	屈折法地震探査
	微動アレイ探査
	微動アレイ探査 位相速度・構造データ無し

図 3.3-10 伊勢湾および三河湾周辺地域の物理探査データ。

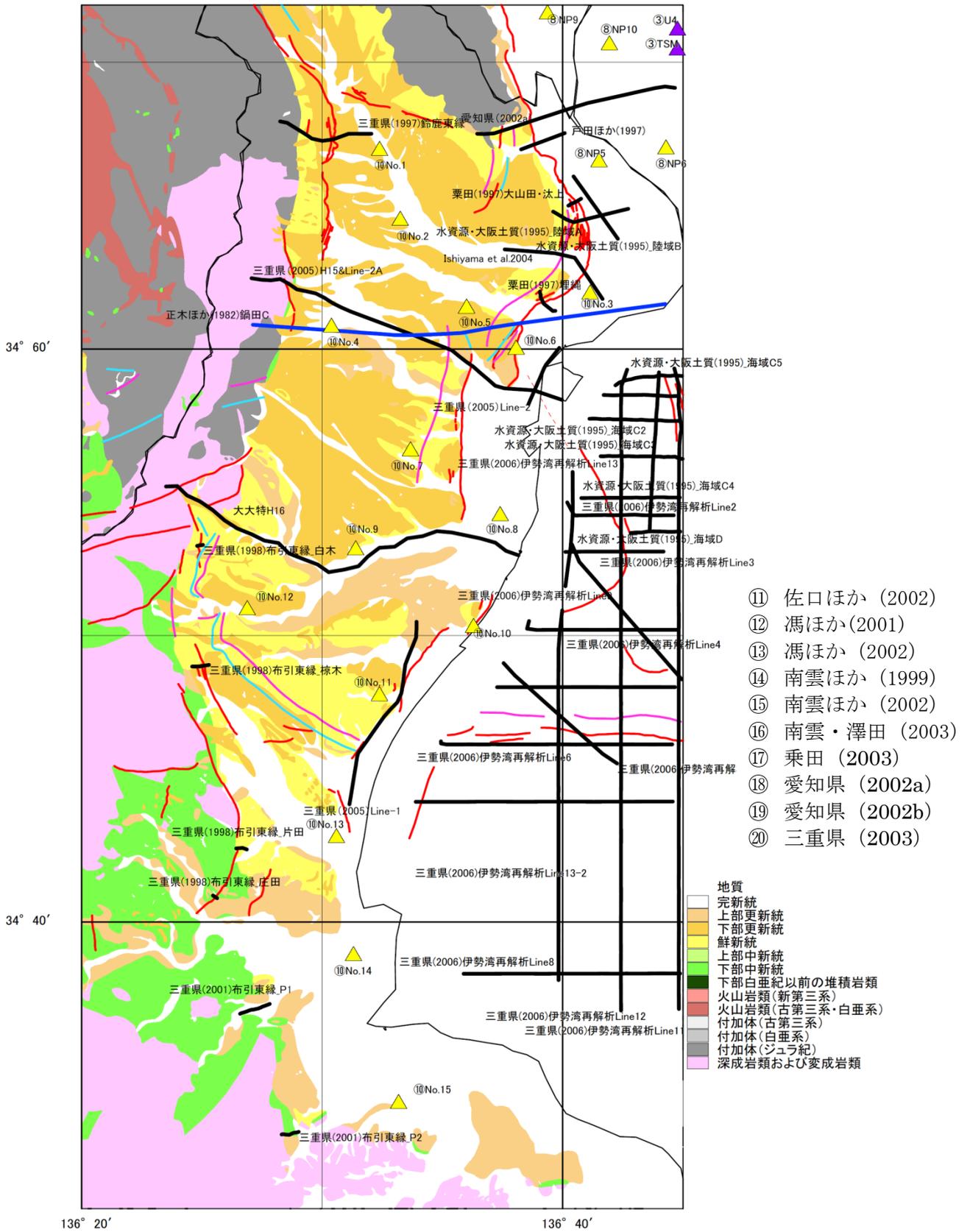


図 3.3-11 伊勢湾および三河湾周辺地域の物理探査データ。

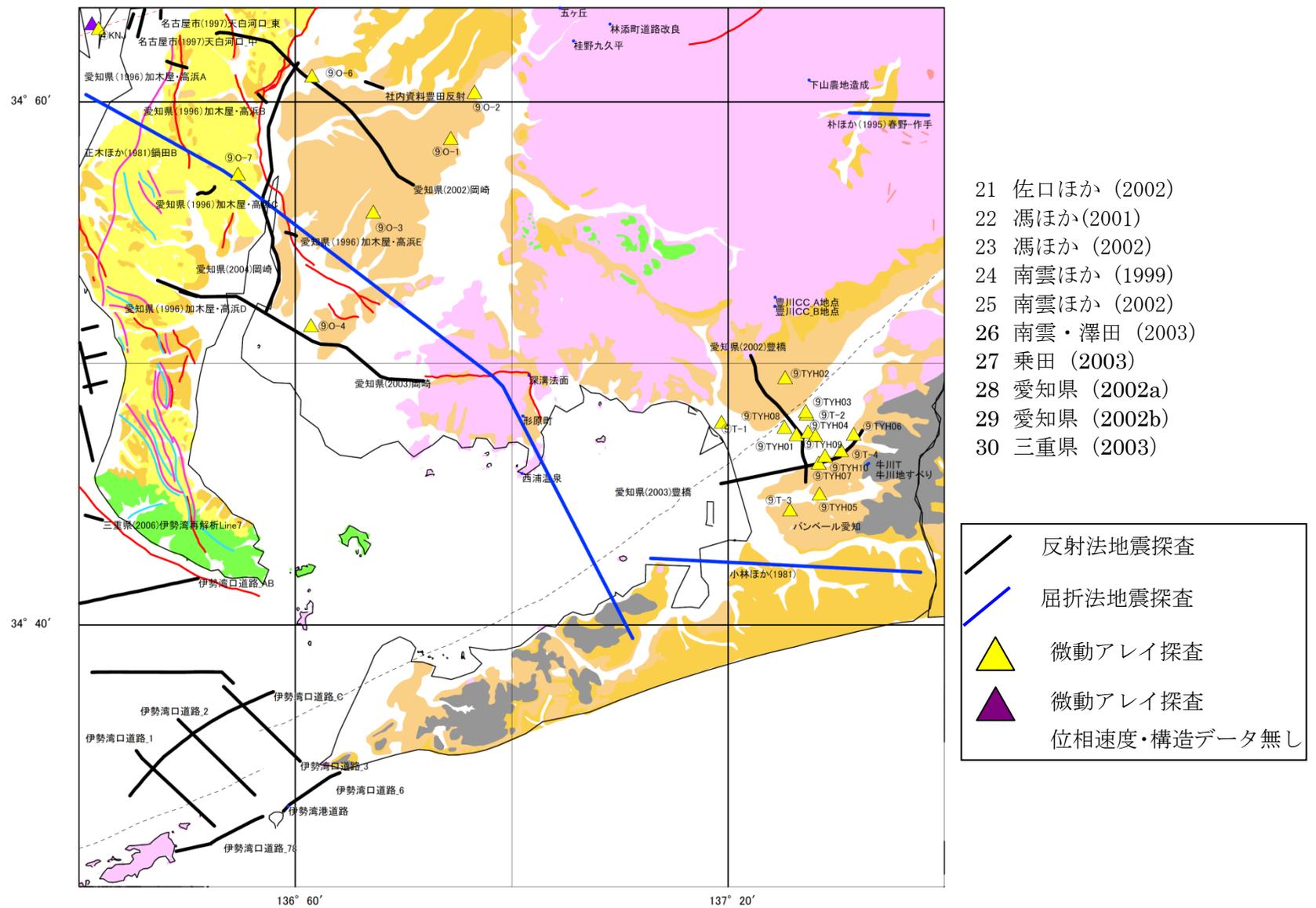


図 3.3-12 伊勢湾および三河湾周辺地域の物理探査データ。

(2) 浅部地質構造を考慮した工学的基盤モデルの試作

工学的基盤上面を作成するために、沖積層基底面、D₀層基底面、D₁層基底面、東海層群上面深度を作成した。図3.3-13に沖積層基底面、図3.3-14にD₀層基底面、図3.3-15にD₁層基底面、図3.3-16に東海層群上面深度を示す。各地層のS波速度をPS検層データから整理し、その結果を表3.3-3に示す。赤線で示した地質を結んで工学的基盤とした。

山地・丘陵を構成する地盤では、地表付近の岩盤の風化、応力解放により、表層部のS波速度が深部に比べて小さくなっている。また、一部では、S波速度の小さい堆積層が表層を覆う。このような地盤は、地質的には被覆層ないし岩盤の「風化部」と「新鮮部」として区分することができる。

地質ごとにPS検層データを整理し、N値10未満を強風化部・N値10～50を弱風化部、N値50以上を新鮮部としてN値とS波速度の関係を調べ、各部分のS波速度と層厚を設定した。得られたS波速度と平野で設定した工学的基盤速度を踏まえ、山地・丘陵における工学的基盤の深度を設定した。

風化部の設定は産業技術総合研究所のシームレス地質図を参照し、地質ごとにとりまとめた。PS検層のデータ分布も踏まえ、下記5種類に地質を分類した。

- 更新世の堆積岩類
- 中新世～鮮新世の堆積岩類
- 三波川変成岩類および付加コンプレックス
- 火山岩類
- 花崗岩・変成岩類

図3.3-17から図3.3-25に各層の上面深度分布図を示す。

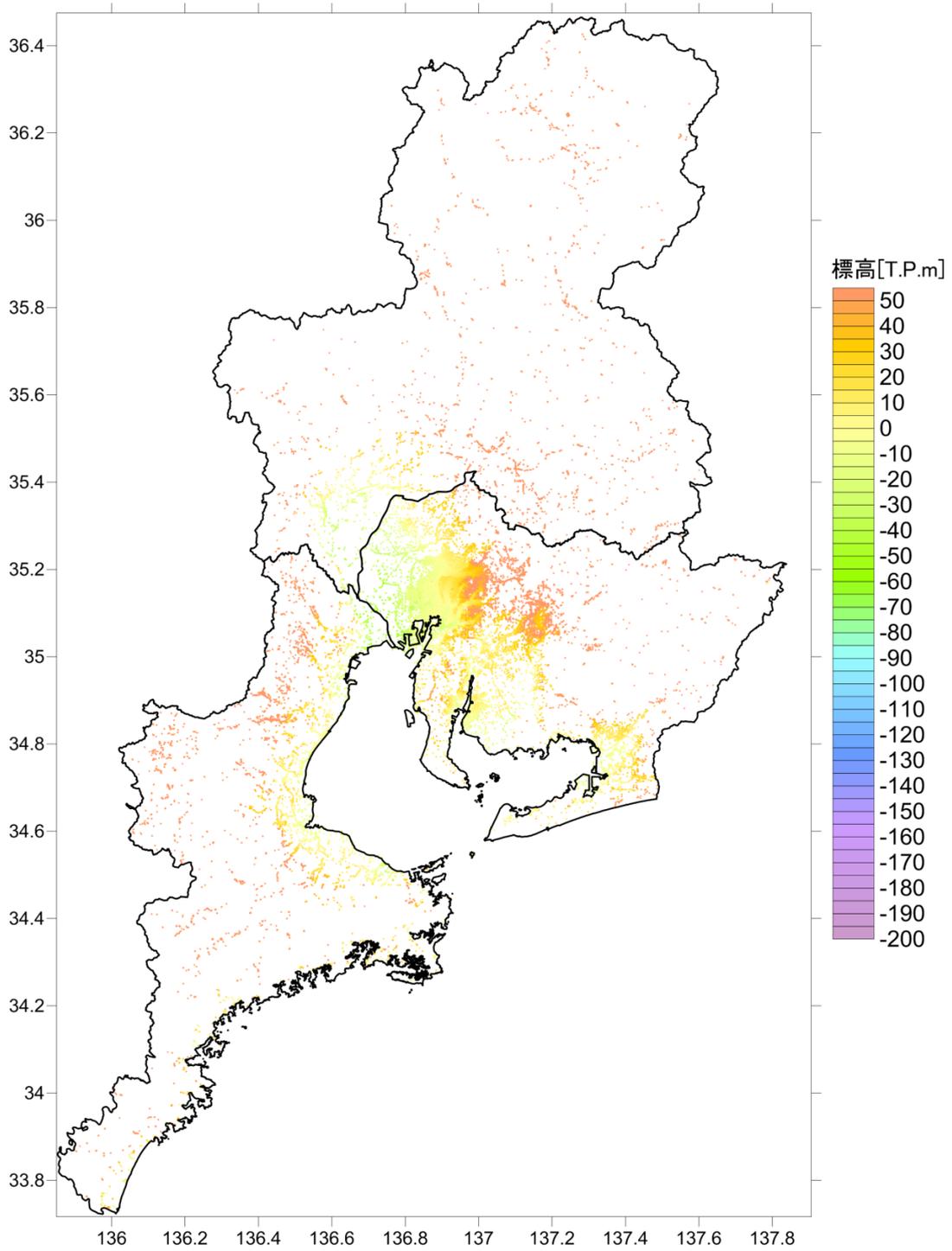


図 3.3-13 ボーリングによる沖積層基底面分布図。

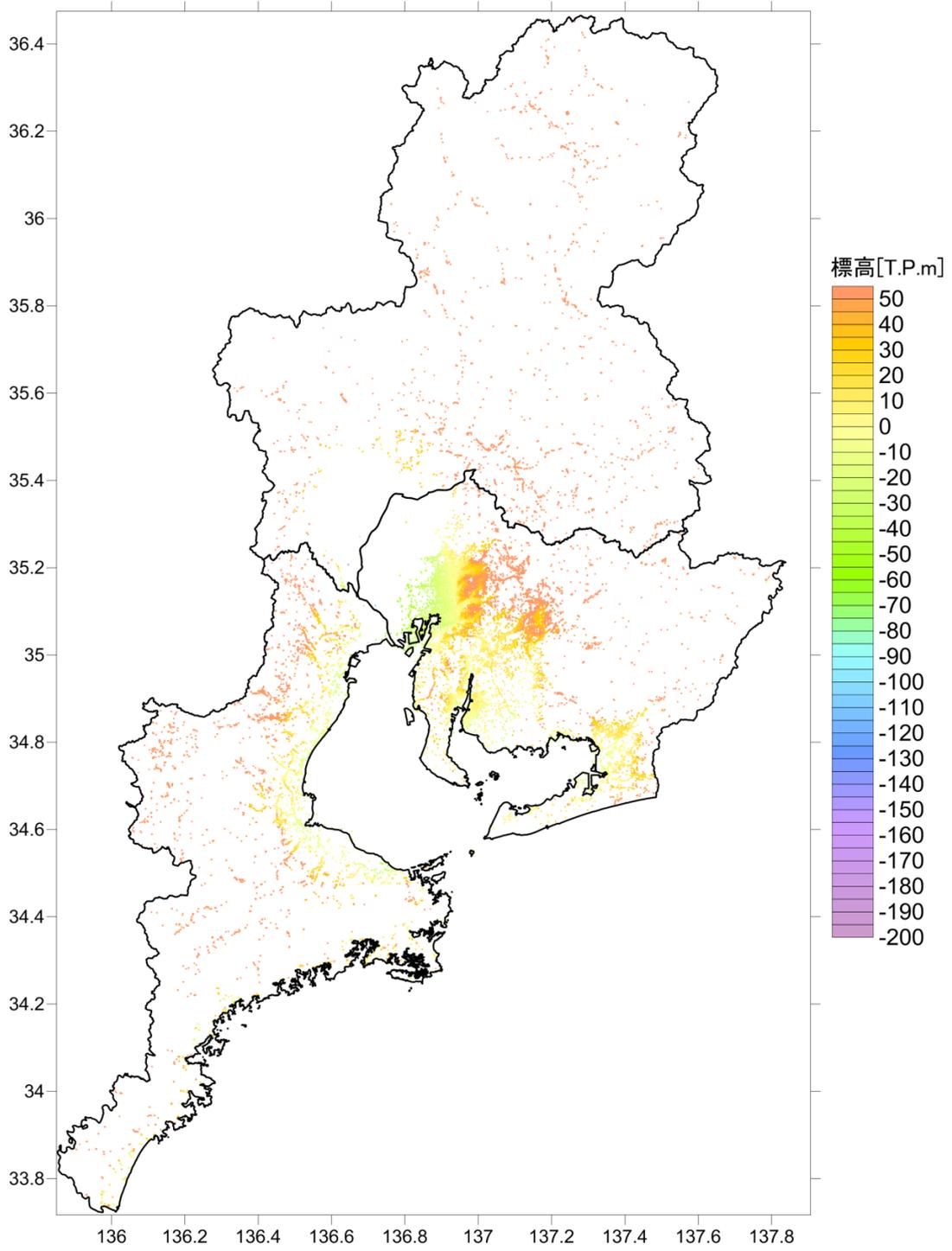


図 3.3-14 ボーリングによる D₀層基底面分布図。

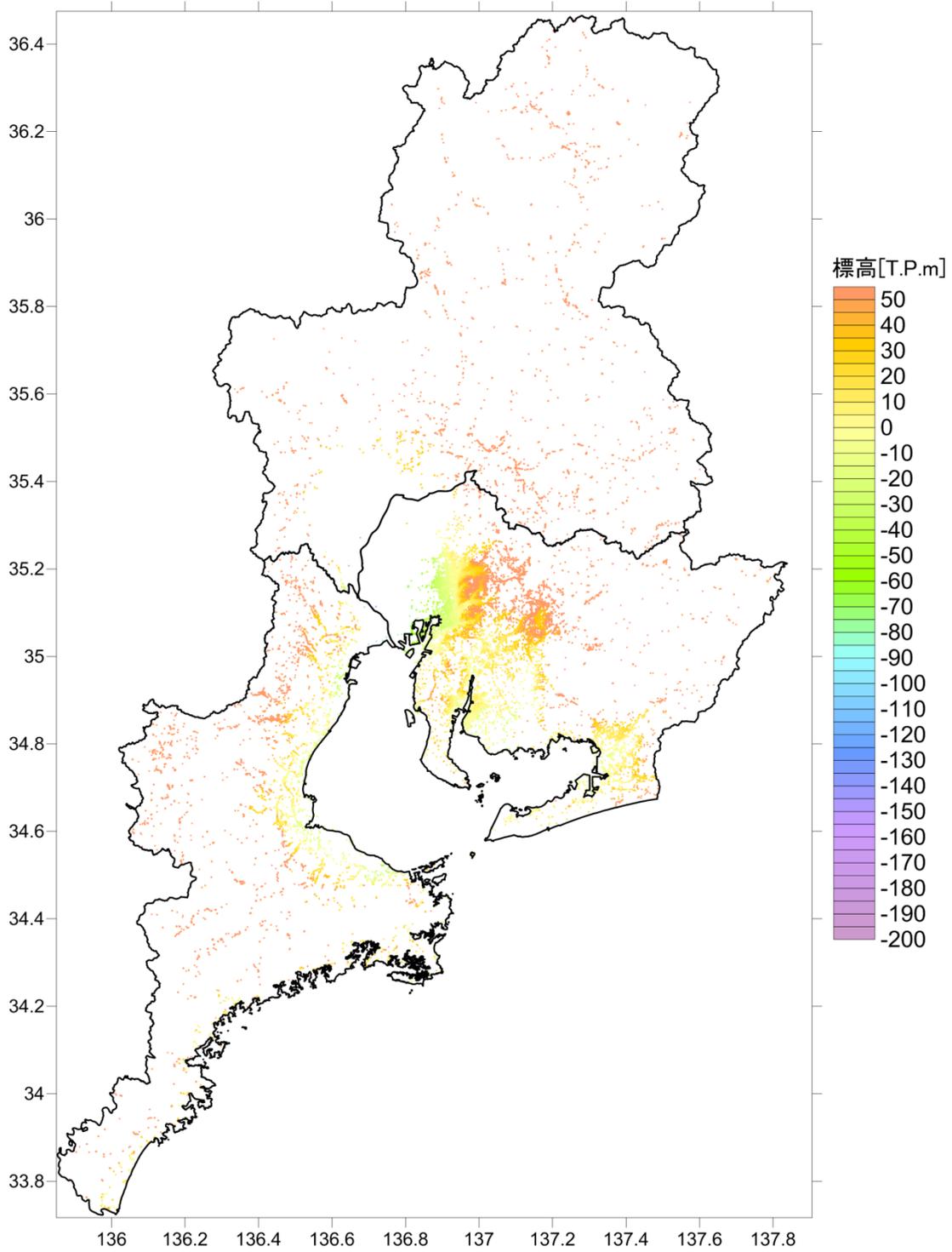


図 3.3-15 ボーリングによる D₁層基底面分布図。

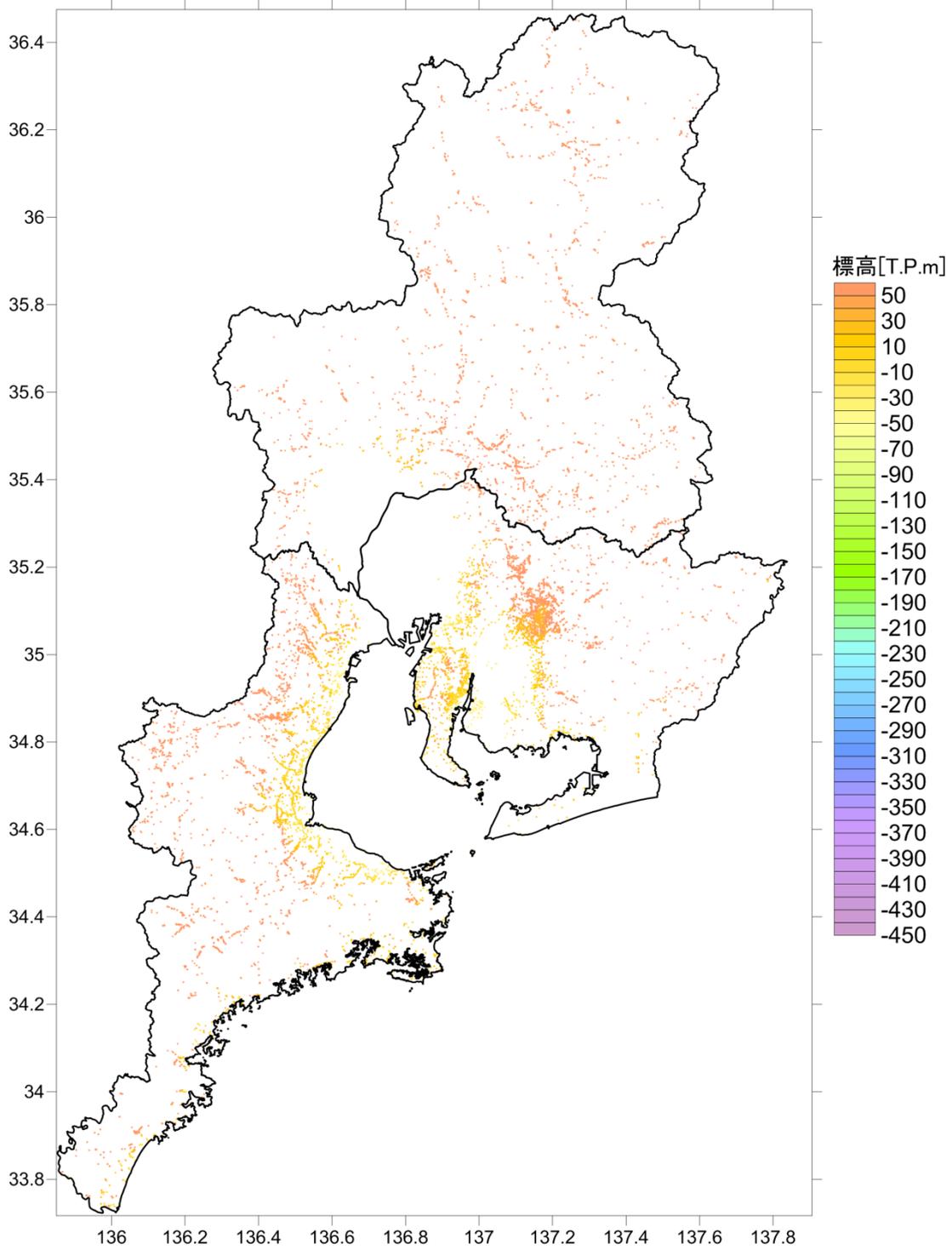


図 3.3-16 ボーリングによる東海層群上面分布図。

表 3.3-3 平野ごとの S 波速度(m/s)。

地質	土質	濃尾平野・伊勢平野				岡崎平野				豊橋平野			
		S波速度 平均値	S波速度 中央値	S波速度 平均値	N値50以上砂 礫のみ平均値	S波速度 平均値	S波速度 中央値	S波速度 平均値	N値50以上砂 礫のみ平均値	S波速度 平均値	S波速度 中央値	S波速度 平均値	N値50以上砂 礫のみ平均値
A	c	153	150	177	279	168	170	182	231	167	160	185	
	s	170	160			177	175			180	180		
	g	208	200			202	170			209	220		
D0	c	253	250	275	322								
	s	260	254										
	g	312	301										
D1	c	269	260	296	309								
	s	290	290										
	g	330	300										
D	c	343	320	384	428	292	290	328	397	333	320	376	463
	s	362	340			307	310			361	350		
	g	447	441			384	370			436	420		
T	c	378	380	416	470	396	400	404	421				
	s	402	400			423	410						
	g	468	450			393	420						

※赤線が工学的基盤を表す

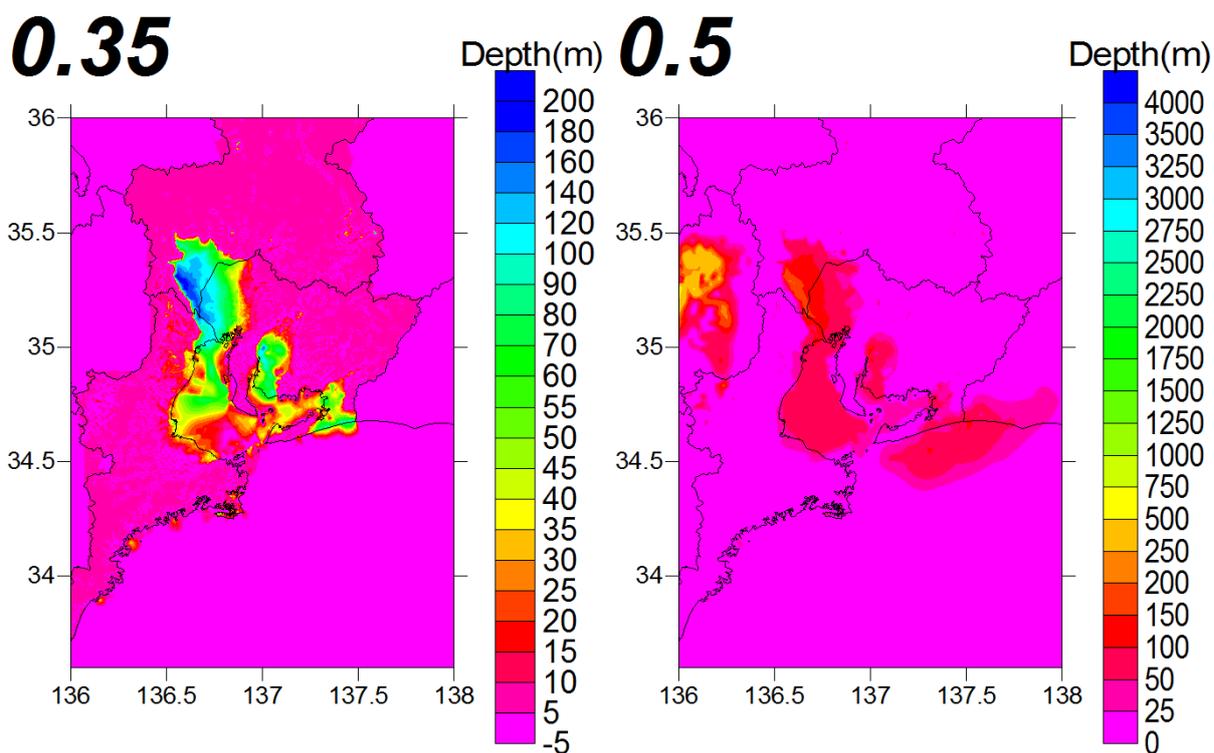


图 3.3-17 (左) S 波速度 0.35 km/s 層上面深度、(右) S 波速度 0.5 km/s 層上面深度。

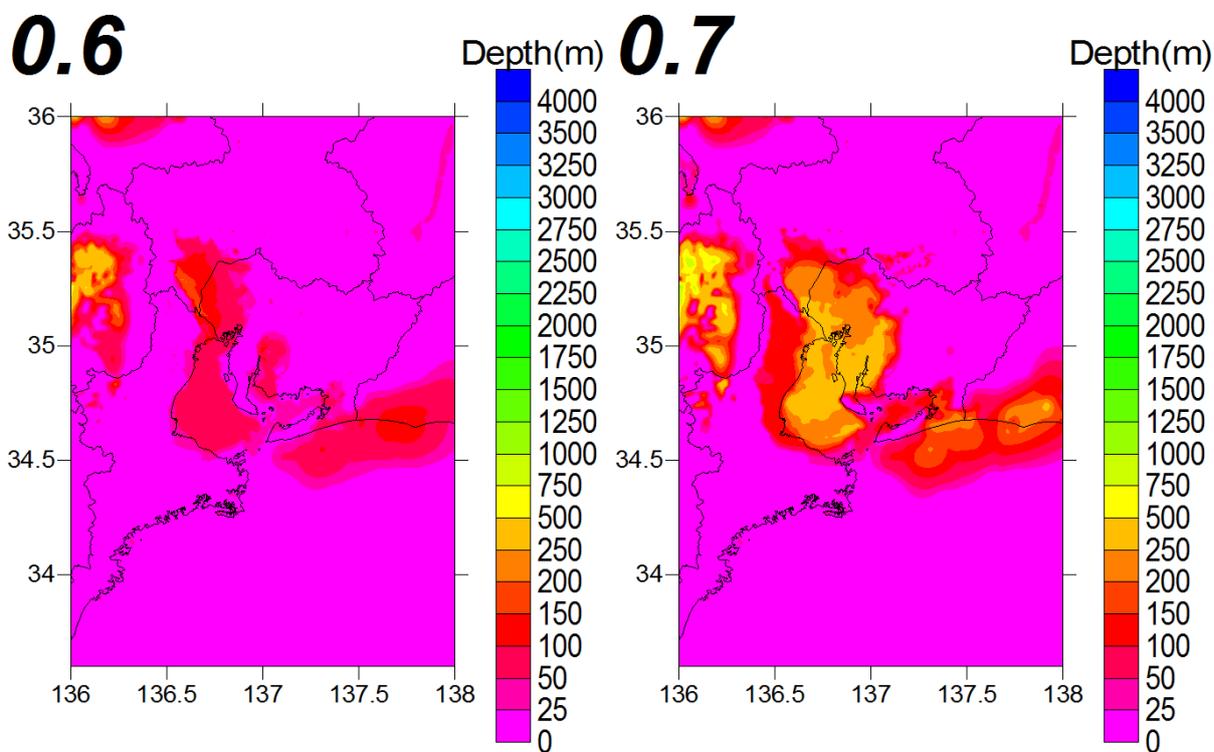


图 3.3-18 (左) S 波速度 0.6 km/s 層上面深度、(右) S 波速度 0.7km/s 層上面深度。

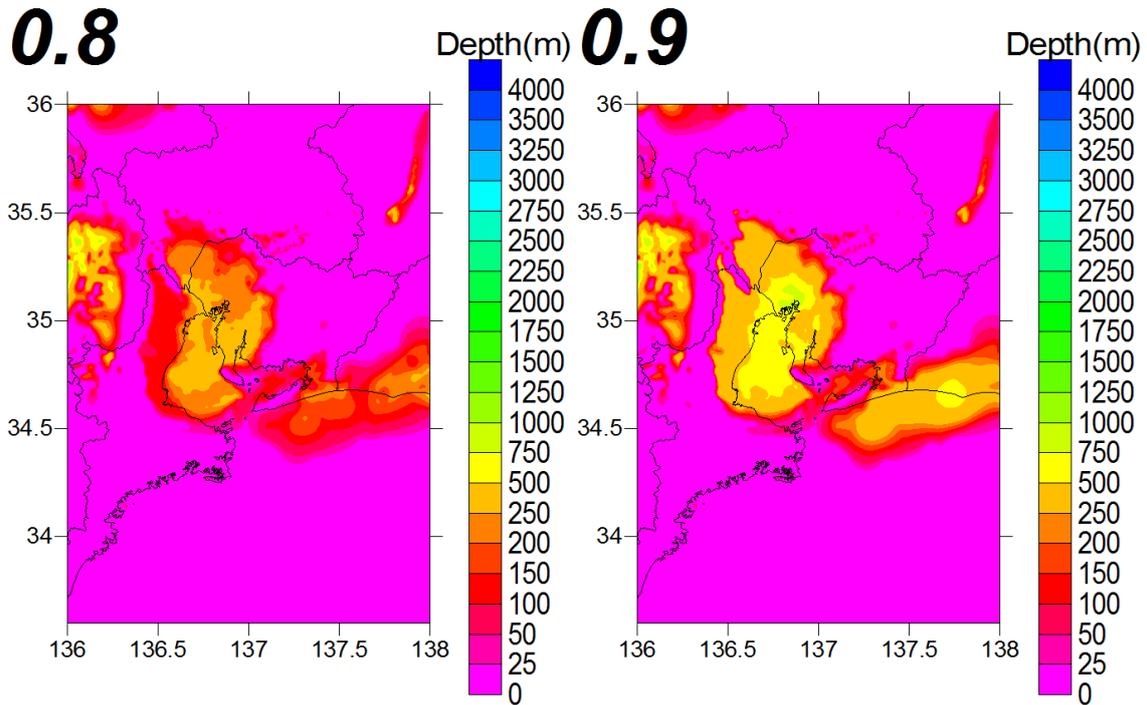


图 3.3-19 (左) S 波速度 0.8 km/s 層上面深度、(右) S 波速度 0.9km/s 層上面深度。

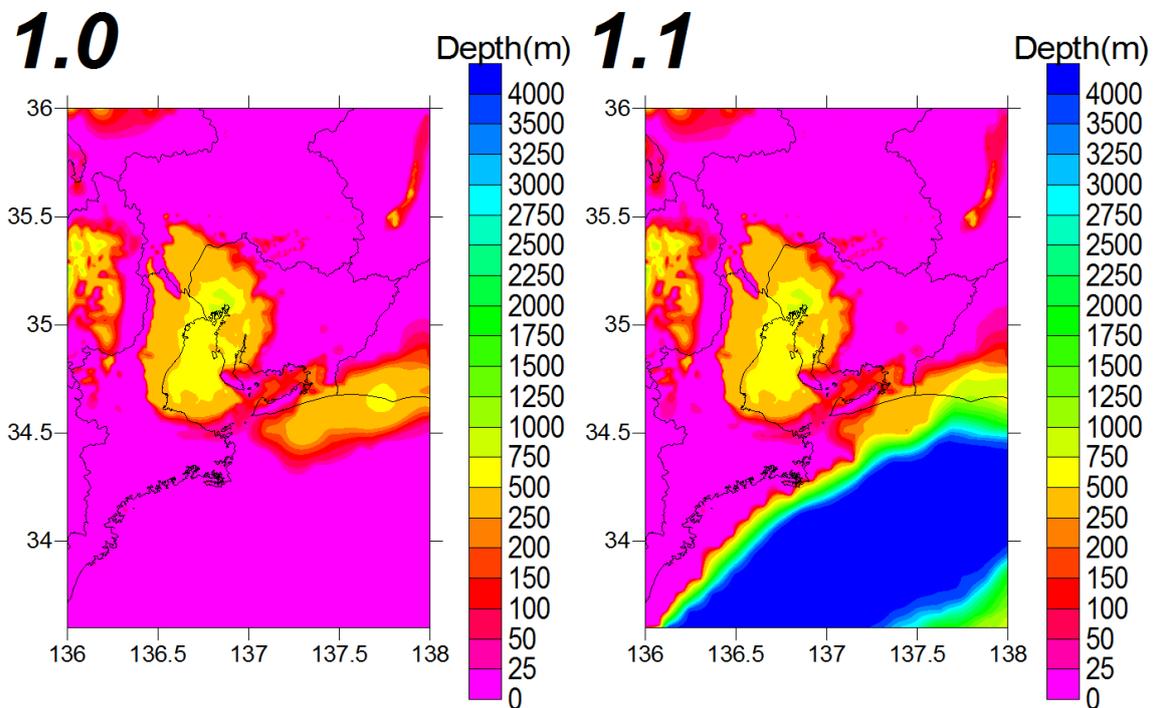


图 3.3-20 (左) S 波速度 1.0 km/s 層上面深度、(右) S 波速度 1.1km/s 層上面深度。

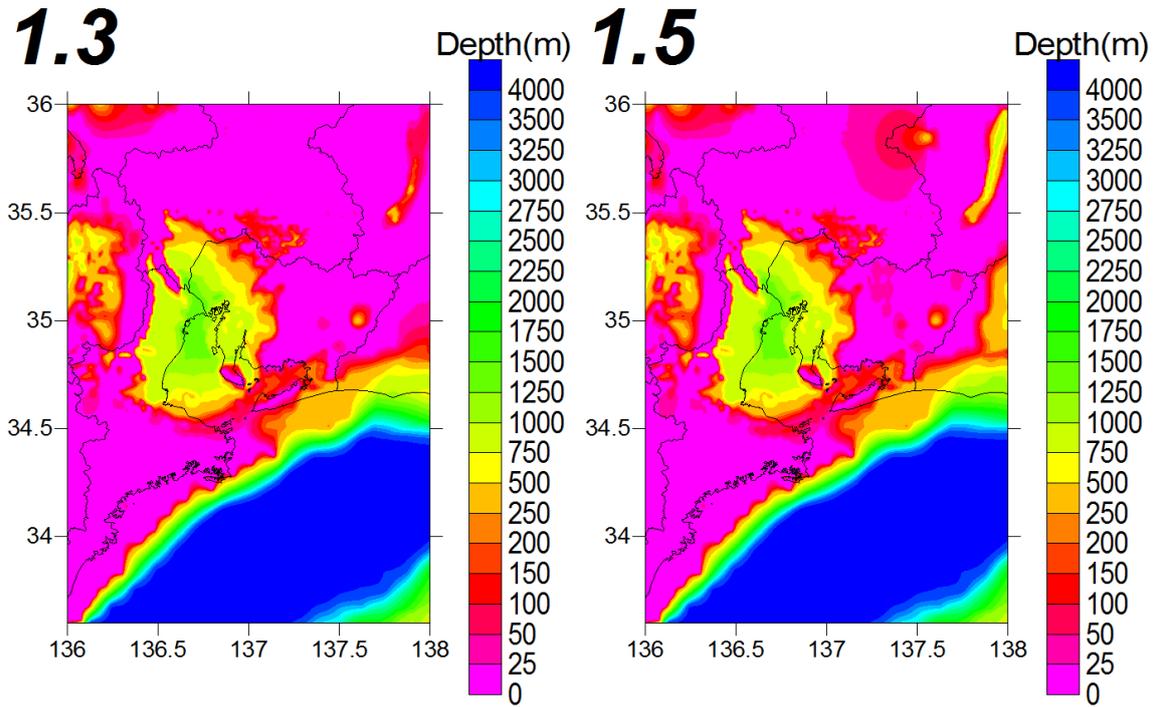


图 3.3-21 (左) S 波速度 1.3 km/s 層上面深度、(右) S 波速度 1.5km/s 層上面深度。

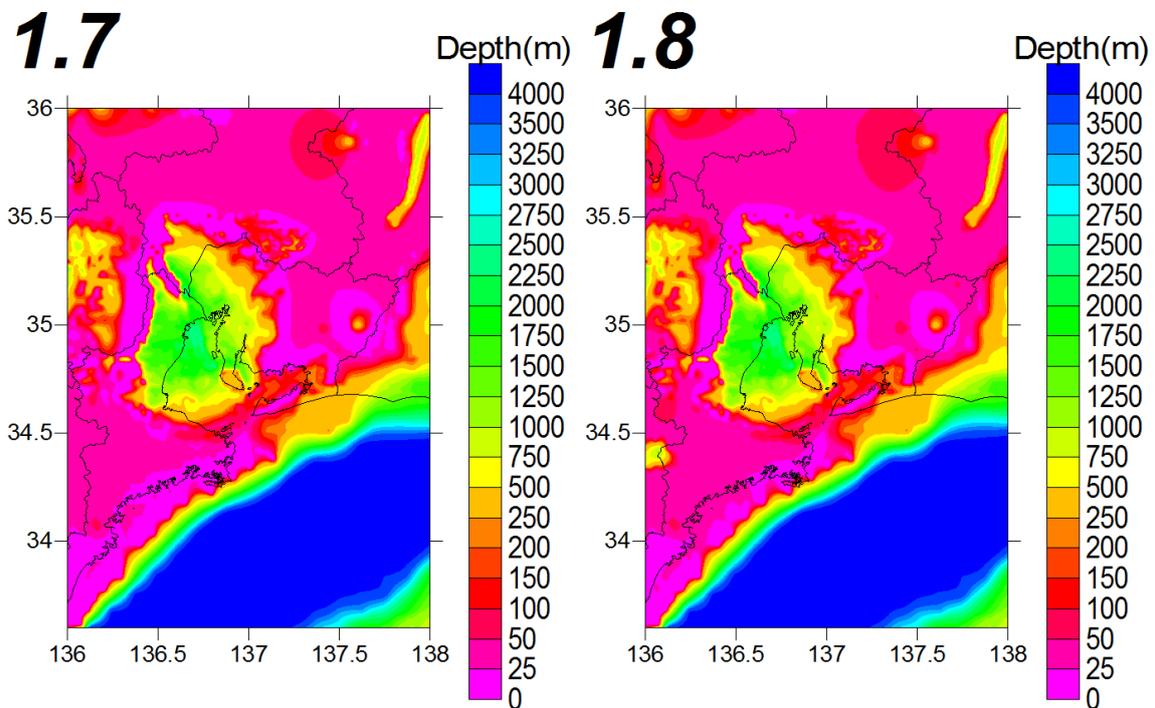


图 3.3-22 (左) S 波速度 1.7 km/s 層上面深度、(右) S 波速度 1.8km/s 層上面深度。

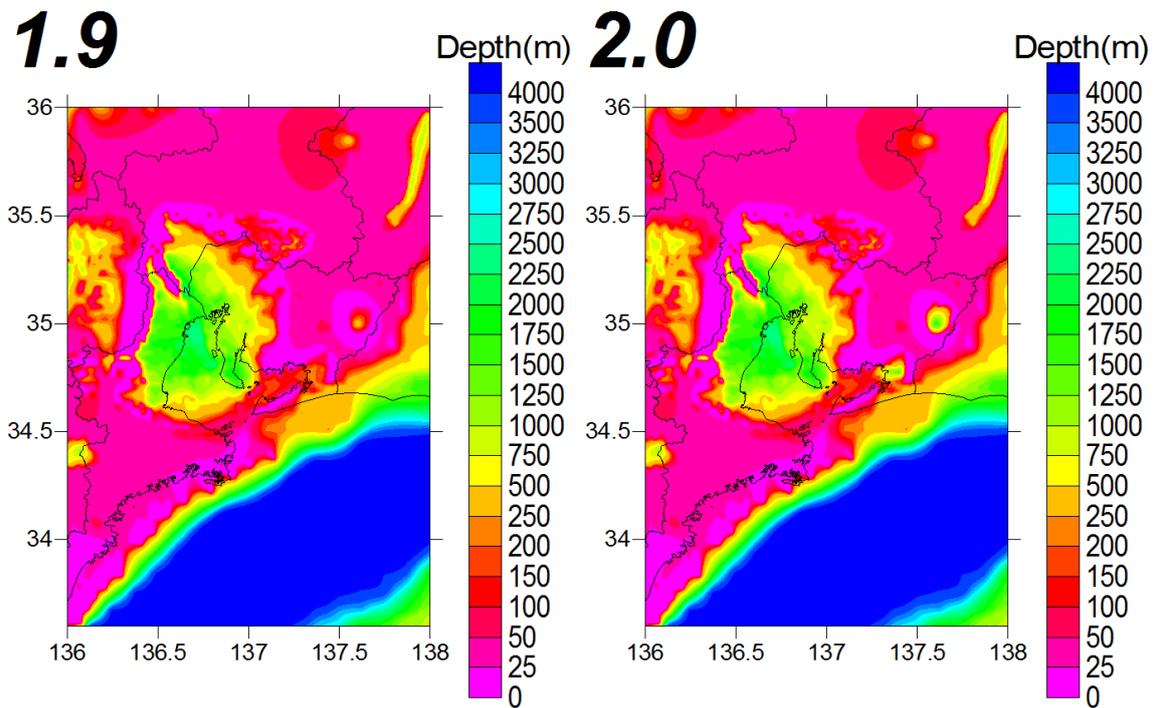


图 3.3-23 (左) S 波速度 1.9 km/s 層上面深度、(右) S 波速度 2.0km/s 層上面深度。

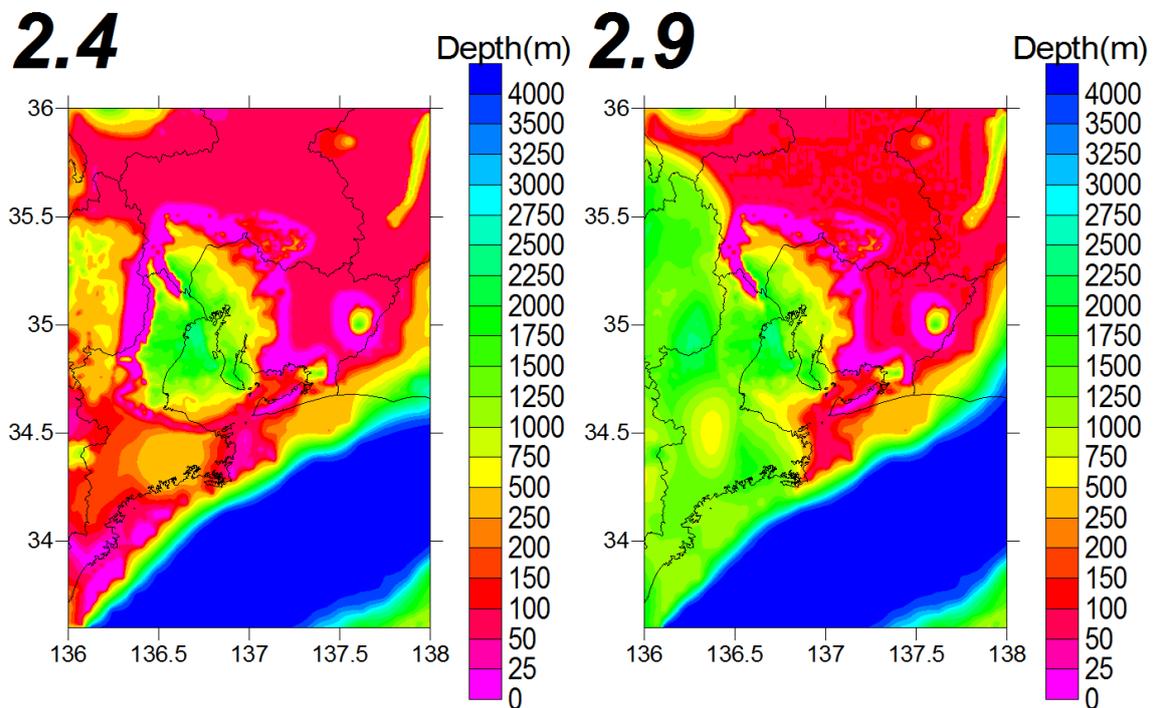


图 3.3-24 (左) S 波速度 2.4 km/s 層上面深度、(右) S 波速度 2.9km/s 層上面深度。

3.2

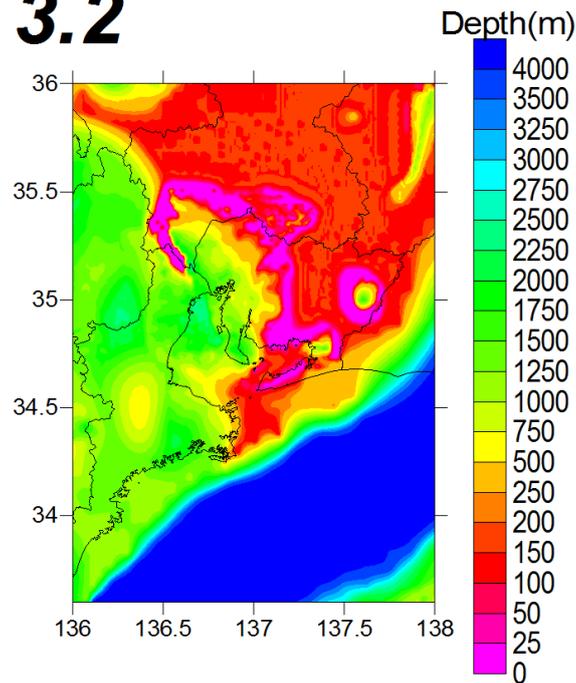


図 3.3-25 S波速度 3.2km/s 層上面深度。

(3) 地下構造モデルとの接合に関する検討

上記で作成した工学的基盤とサブテーマ2 (3.2節) で作成した深部地盤構造モデルを接合させた。このとき、接合部が平野の場合、別々に作成・調整したモデルを段差が生じないよう滑らかになるようにした。本検討では接合するモデルと独立に作成している。このような場合、異なるモデル間で特に平野部で段差が生じうる。モデルの作成および修正にあたっては、接合する隣接地域のモデルを考慮して行う必要がある。このことは、山地・丘陵地で接続する場合には軽減されるものの、風化層の設定方法が地域によって異なる場合は同様の問題が生じることが考えられる。本検討は濃尾平野とその周辺部の接合であったが、将来的に関東地域と東海地域の浅部・深部統合地盤モデルを別々に作成した場合、両者を接合する上で同様の問題が生じうる。

3) 長周期地震動シミュレーションとハザードの試算

上記で作成した破壊伝播の不均質性を付与した震源モデルについて、GMS を用いて長周期地震動シミュレーションを行った。対象周期は 2 秒以上とした。長周期地震動ハザードの試算結果として、地震動シミュレーション結果について、表 3.3-1 に示した①～⑦の震源域ごとに平均した PGV（最大速度）および相対速度応答スペクトル（減衰定数 5%、周期 2 秒、3 秒、5 秒、7 秒、10 秒）の濃尾平野における工学的基盤上の地震動分布を図 3.3-26～図 3.3-30 に示す。

また、確率論的な長周期地震動地震ハザード評価の試算結果として、愛知県庁および大阪府庁位置における条件付き超過確率分布を図 3.3-31 に示す。2 地点における条件付き超過確率分布は、平成 25 年度長周期地震動予測地図作成等支援事業においても作成されており、その結果を図 3.3-32 に示す。今回の結果は、それとほぼ同程度がやや大きい。

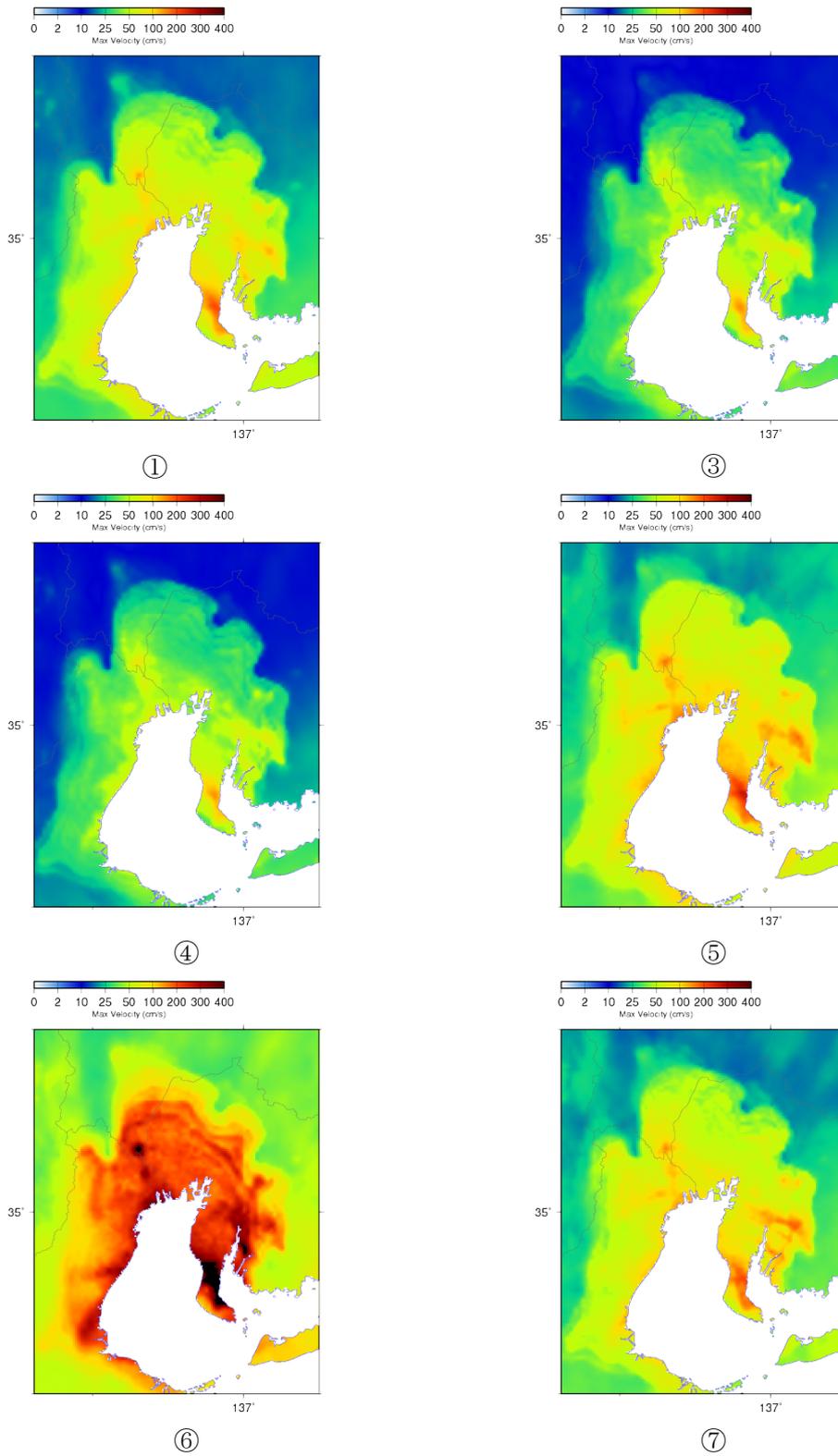


図 3.3-25 震源域ごとの平均の最大速度分布。

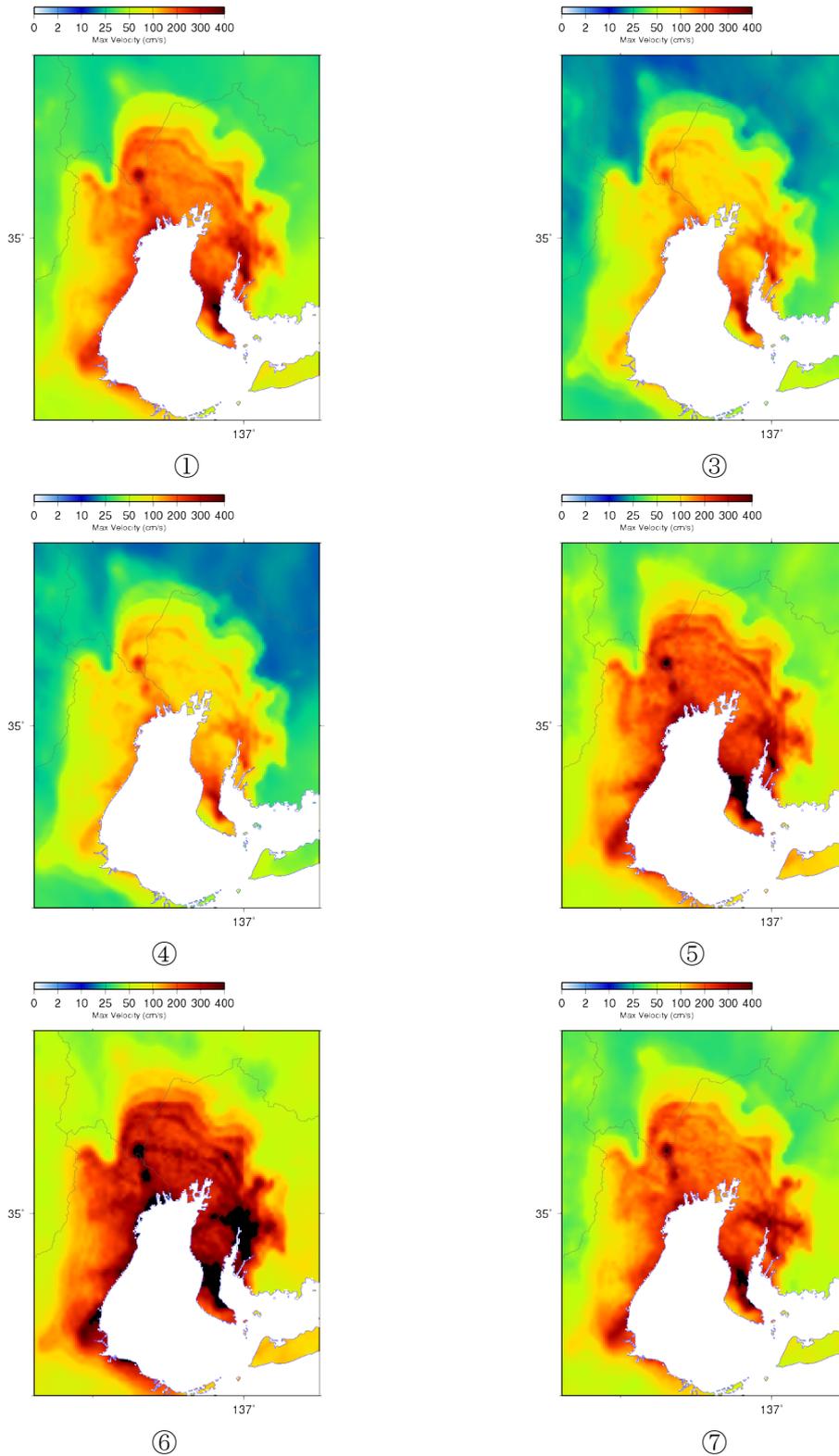


図 3.3-26 震源域ごとの平均の速度応答スペクトル分布（減衰定数 5%、周期 2 秒）。

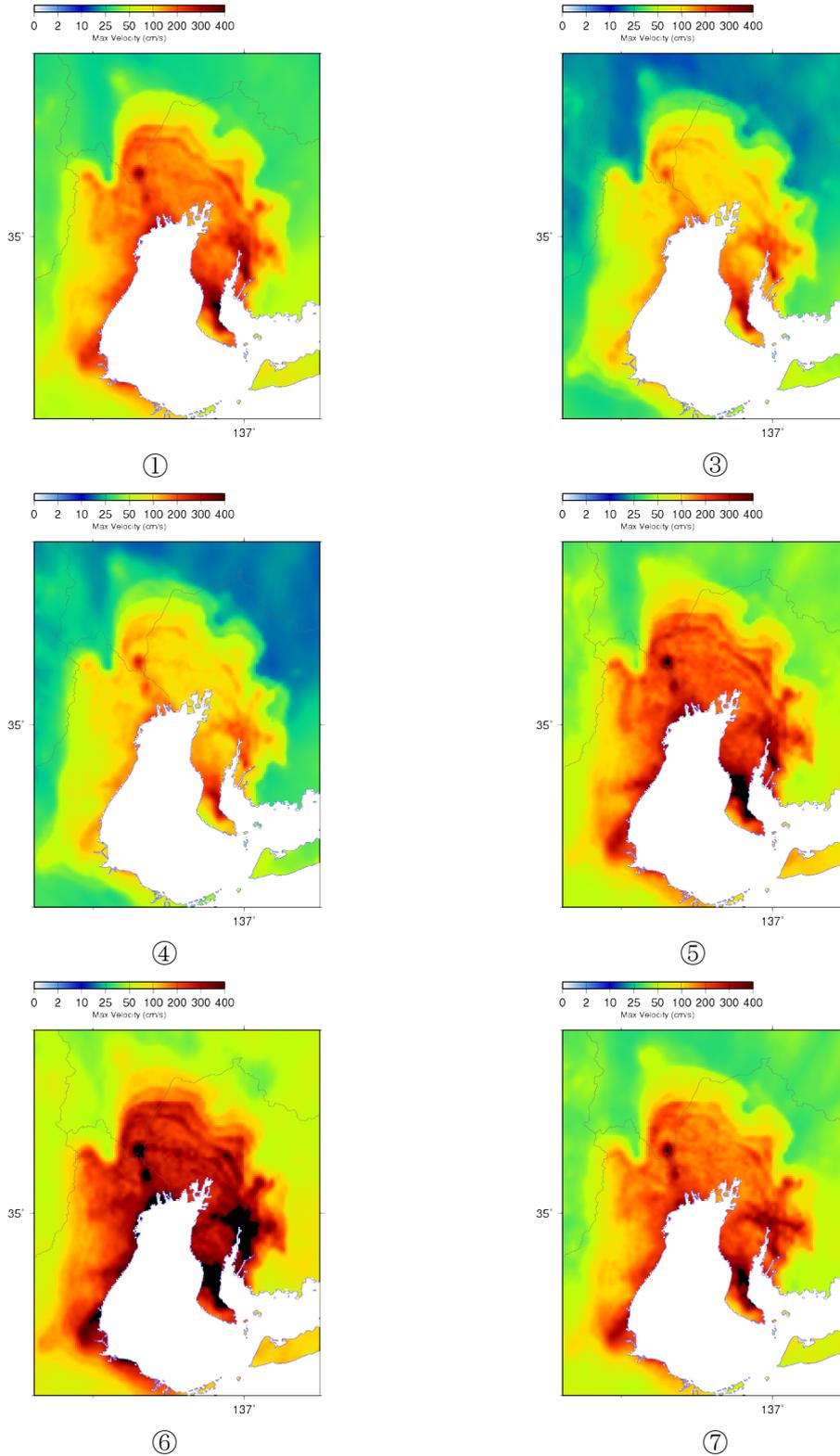


図 3.3-27 震源域ごとの平均の速度応答スペクトル分布（減衰定数 5%、周期 3 秒）。

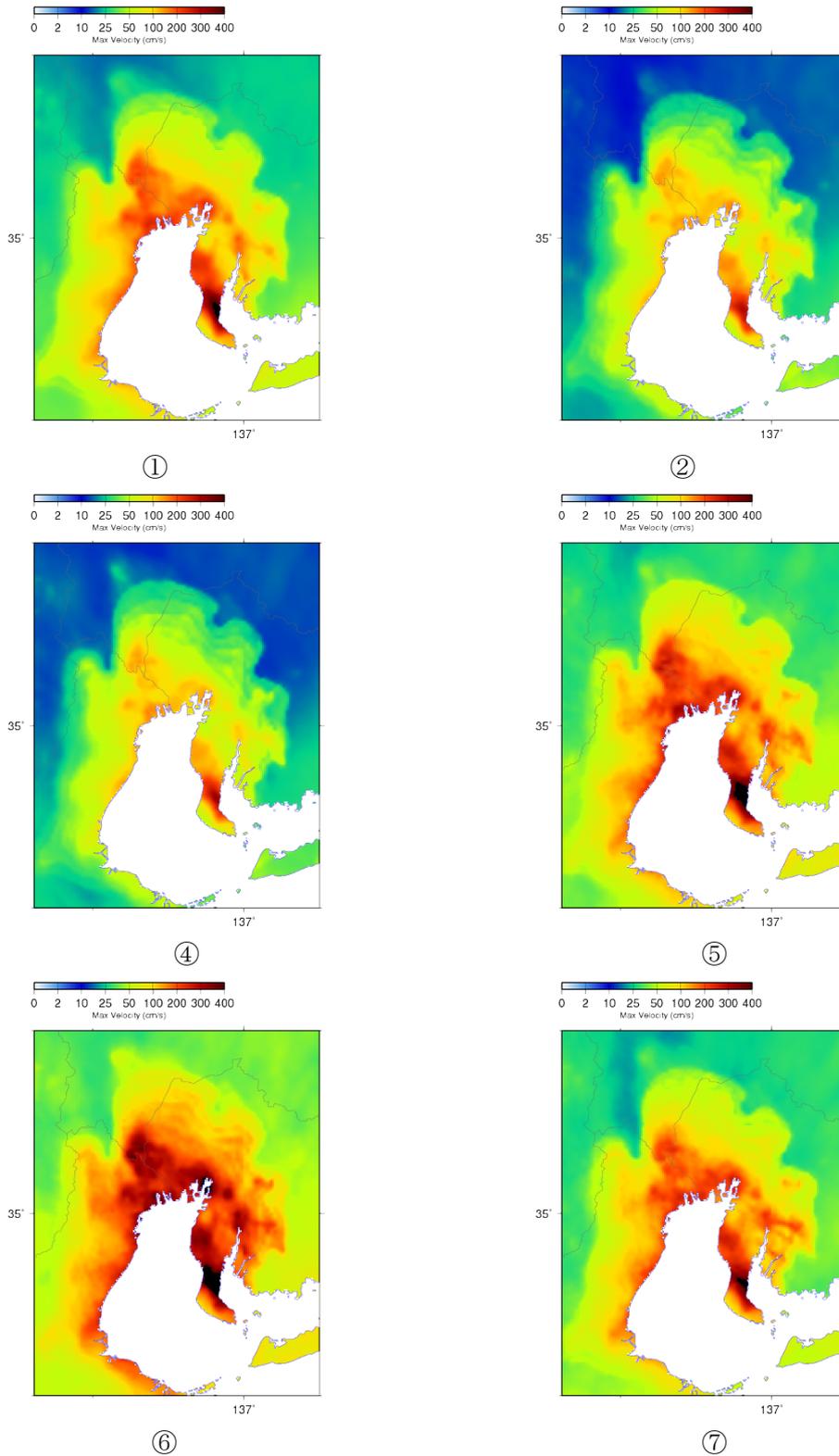


図 3.3-28 震源域ごとの平均の速度応答スペクトル分布（減衰定数 5%、周期 5 秒）。

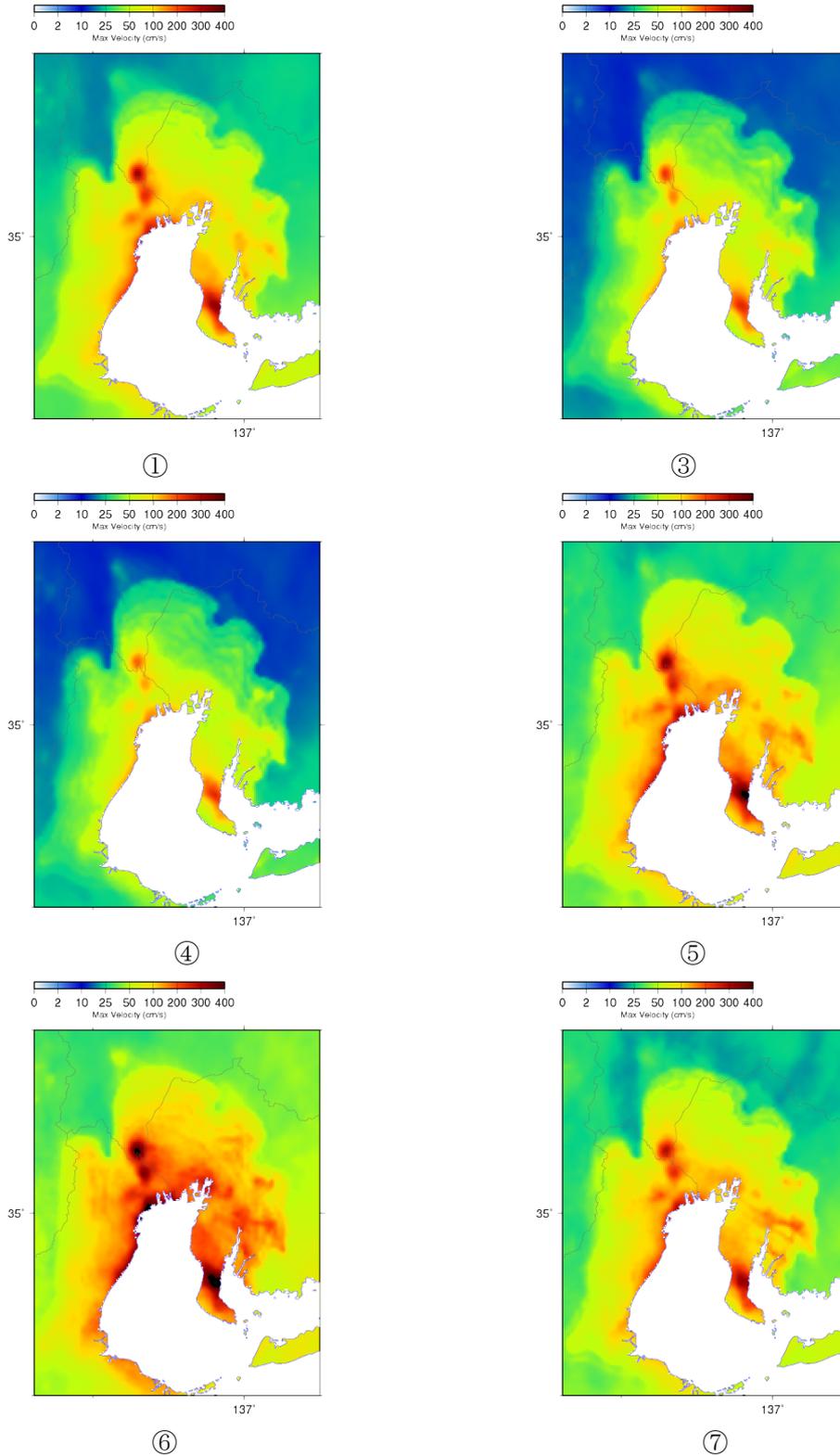


図 3.3-29 震源域ごとの平均の速度応答スペクトル分布（減衰定数 5%、周期 7 秒）。

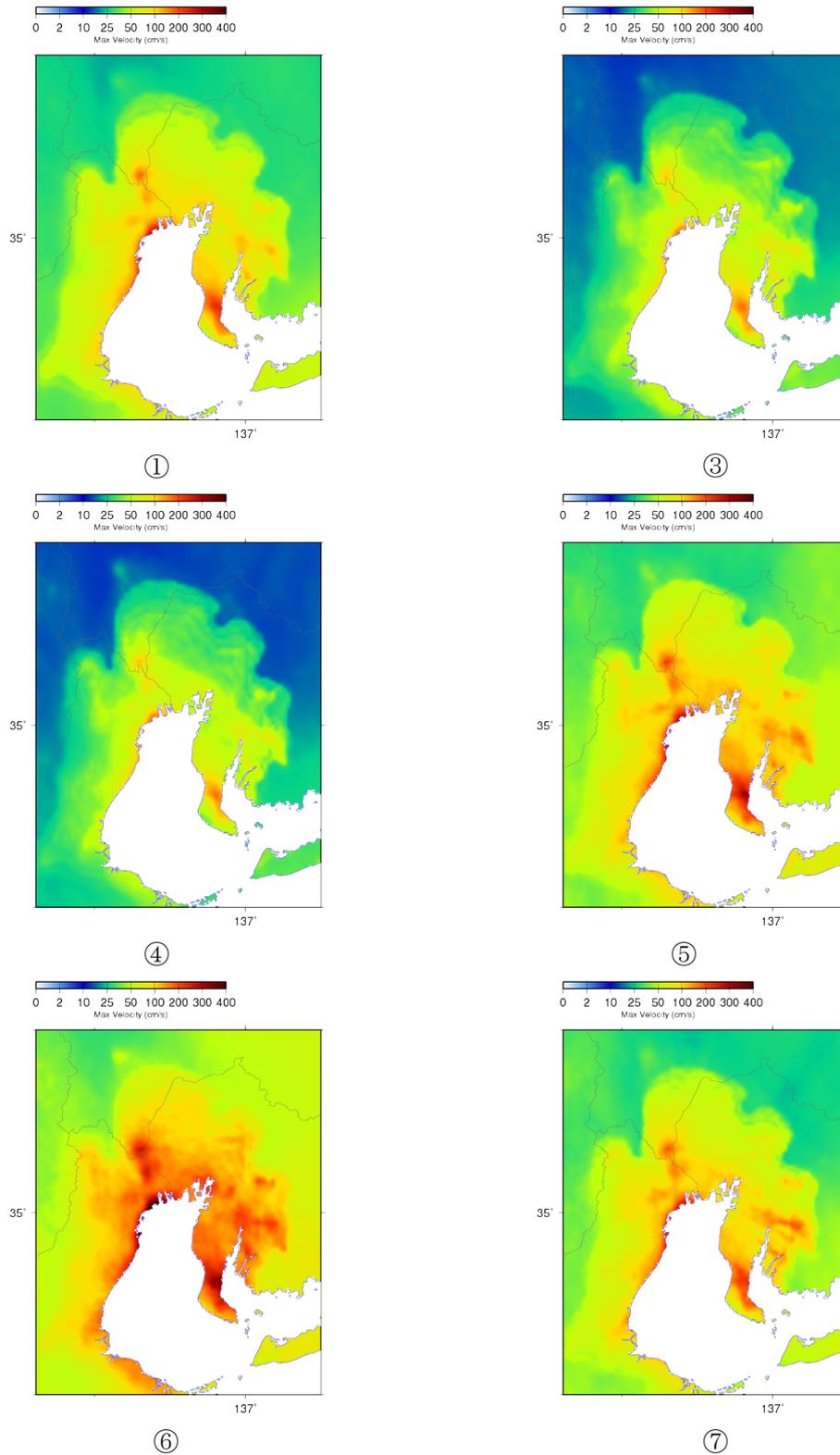
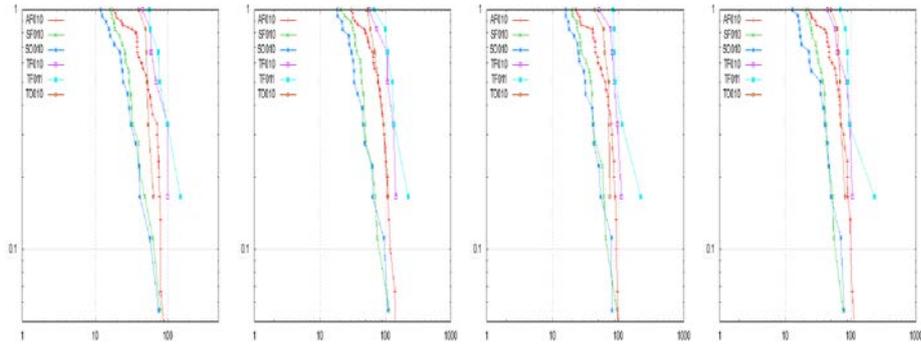


図 3.3-30 震源域ごとの平均の速度応答スペクトル分布（減衰定数 5%、周期 10 秒）。

愛知県庁



大阪府庁

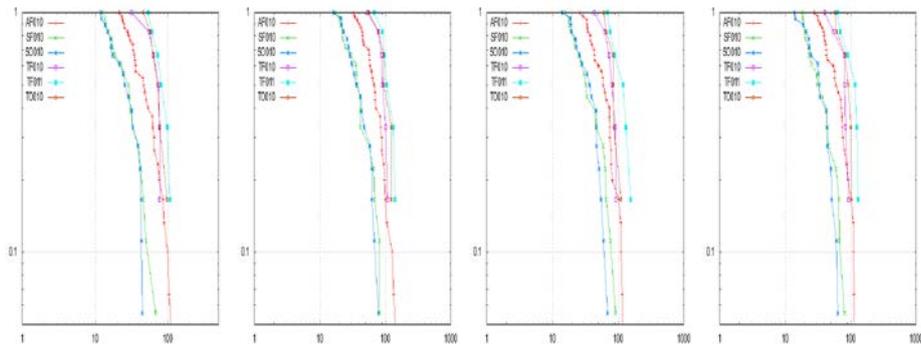


図 3.3-31 破壊不均質を付与した震源モデル群の長周期地震動シミュレーション結果より求められた条件付きハザードカーブ。

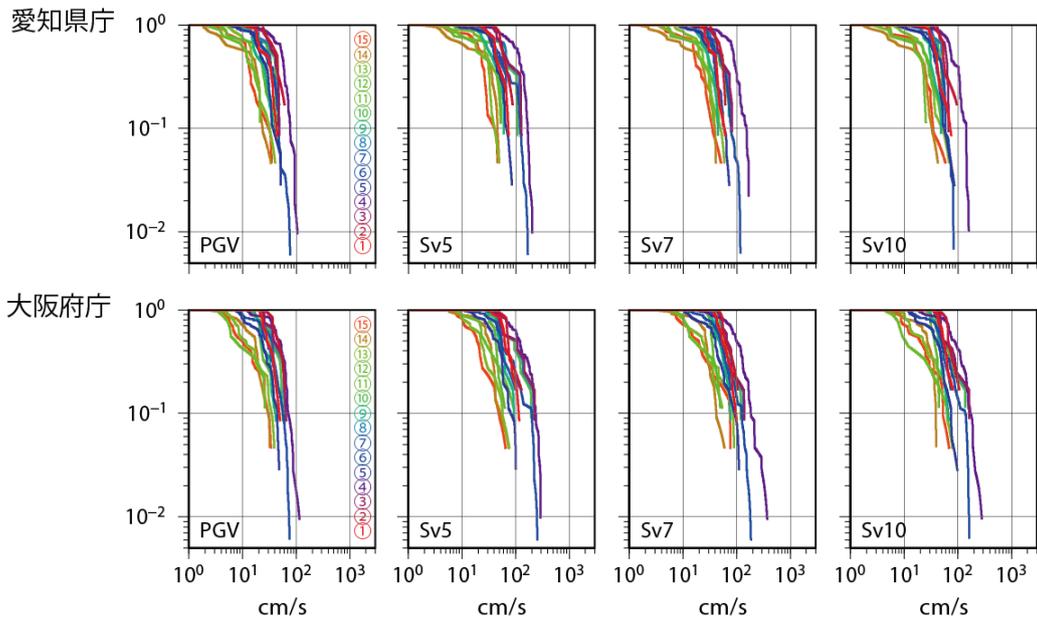


図 3.3-32 「平成 25 年度長周期地震動ハザードマップ作成等支援事業」において求められた条件付きハザードカーブ（文部科学省研究開発局・防災科学技術研究所，2014 より抜粋）。

(c) 結論ならびに今後の課題

南海トラフの巨大地震（M8クラス以上）を対象として、長周期地震動評価2016年試作版で導入された破壊伝播速度、すべり量、すべり角の不均質性を付与した震源モデルを作成した。また、平成25年度事業で検討した震源域及び破壊開始点に対して、長期評価で例示されていない震源域や相模トラフ巨大地震の長周期地震動ハザード評価における設定を考慮した震源モデルの追加を試みた。

濃尾平野を対象とした浅部・深部統合地盤初期モデルの試作では、ボーリングデータや反射法地震探査、微動アレイ探査などを収集し、浅部地質構造を考慮した工学的基盤モデルの試作を行った。工学的基盤と深部地盤構造モデルを接合することにより両者を統合したモデルを作成した。試作した地下構造モデルに関する確認として、差分法により2004年7月4日紀伊半島沖の地震の前震のシミュレーションを実施した。後続位相の振幅がやや過大評価であることが確認され、付加体や観測点周辺の地下構造モデルの修正の必要性が確認された。ただし、同時に震源の破壊過程や震源深さの検討も必要であると考えられる。また、別途モデル化がなされている関東地域や九州東部とのモデルとは山地で接続することである程度不連続性を回避することが可能であるものの、山地部の風化層の設定が地域によって異なる場合があり、この点に配慮する必要がある。

破壊伝播不均質性を付与した震源モデルに対して長周期地震動シミュレーションを行った結果、周期2秒程度まで計算を実施できた。一方、平成25年度に実施したシミュレーション結果と比べると、周期5秒以上地震動については同程度かやや大きくなっている。

(d) 引用文献

文部科学省研究開発局・防災科学技術研究所（2014）：平成25年度長周期地震動ハザードマップ作成等支援事業成果報告書。

関口春子・吉見雅行（2006）：広帯域地震動予測のための海溝型巨大地震アスペリティモデルのマルチスケール不均質化，月刊地球／号外 No. 55，103-109。