

3.4. 長周期地震動ハザード評価結果の活用の検討等

(1) 事業の内容

(a) 事業の題目

長周期地震動ハザード評価結果等の活用の検討等

(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	研究領域長	藤原 広行
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	契約研究員	岩城 麻子

(c) 事業の目的

長周期地震動ハザード評価結果の利活用ならびに長周期地震動に対する防災・減災に資するための方策を提示する。

(2) 事業の成果

(a) 事業の要約

長周期地震動シミュレーション結果から想定される超高層ビル等の被害等を示した。また、平成26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等による成果等に基づいて、長周期地震動ハザード評価結果と長大構造物における耐震基準や規格（例えば、建築基準法及び建築基準法施行令など）との対応について調査・整理した。これらの長周期地震動に関する知見等について一般国民等に広く周知できるウェブページを試作した。

(b) 事業の成果

1) 長周期地震動ハザード評価結果から想定される被害等に関する検討

(A) 4.1 長周期地震動ハザード評価に基づく面的な応答評価の検討

a) 相模トラフの長周期地震動ハザード評価結果による応答スペクトルと解析地震の選定

相模トラフを震源とする地震による長周期地震動の面的評価を行う検討ケースを選択するために、埼玉県庁位置、千葉県庁位置、東京都庁位置及び神奈川県庁位置の4地点における、発生の頻度を念頭に置いて設定した重みを考慮して算定した地震動の平均及び平均+ σ のスペクトルに最も近い特性を有するケースを抽出する。

相模トラフを震源とする地震による長周期地震動の計算ケースは平成26年度に実施した合計274ケース、これらは、10通りの震源域を考慮し、アスペリティ配置と破壊開始点位置等をパラメータとして複数ケースの計算が行われている。想定する震源域ごとにそれぞれ重みが設定されており、その重み係数を表3-4-1に示す。震源域を同じにする評価ケースについては、重み係数は同一とする。

想定した震源域毎の pSv の平均を比較する。参考のため想定震源域を図3-4-1に示す。比較した結果を図3-4-2から図3-4-5に示す。

次に、各地点でのスペクトルの平均及び平均+ σ （標準偏差）、並びに、それぞれに近いスペクトル特性を持つ評価ケースの地震動のスペクトルを図 3-4-6～図 3-4-9 に示す。平均及び平均+ σ のスペクトルに対し、1.5 秒～8 秒の区間で誤差が最少となるケースを平均及び平均+ σ のケースとして選定している。ここで選択された地震動は下表に示す評価ケースのものである。

表 3-4-1 想定する震源域毎に設定した重み係数（地震調査委員会, 2014）。

震源域	Mw	重み	評価ケース数
No. 1	7.9	0.37	20
No. 2	8.2	0.06	12
No. 3	8.0	0.30	20
No. 4	8.3	0.05	12
No. 5	8.4	0.03	18
No. 6	8.5	0.01	72
No. 7	8.5	0.01	18
No. 8	8.6	0.02	72
No. 9	7.9	0.11	12
No.10	8.2	0.04	18
合計		1.00	274

表 3-4-2 選択した評価ケース。

地点	レベル	ケース
SIT 埼玉県庁	平均	AREA09_P2_h7
	平均+ σ	AREA08_s2_P2_h3
CHB 千葉県庁	平均	AREA04_P2_h3
	平均+ σ	AREA08_s2_P1_h1
TKY 東京都庁	平均	AREA03_P2_h3
	平均+ σ	AREA06_s2_P1_h1
KNG 神奈川県庁	平均	AREA08_s2_P3_h6
	平均+ σ	AREA03_P3_h2

陸側+海側 ● →
 浅い領域の付加 ● - - ->
 深い領域の付加 ● - - ->

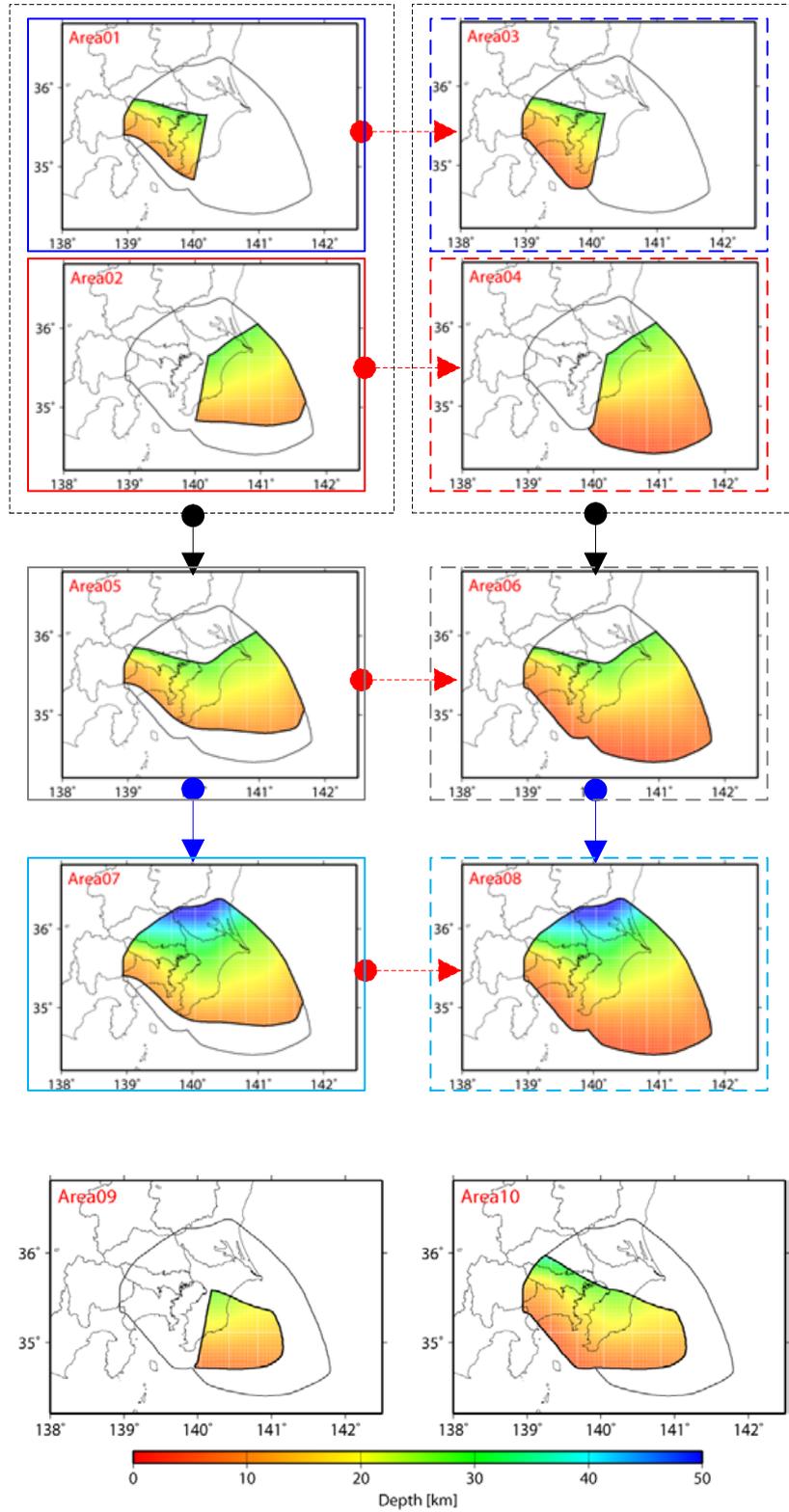


図 3-4-1 検討対象の相模トラフ沿いの M8 クラスの地震の震源域。

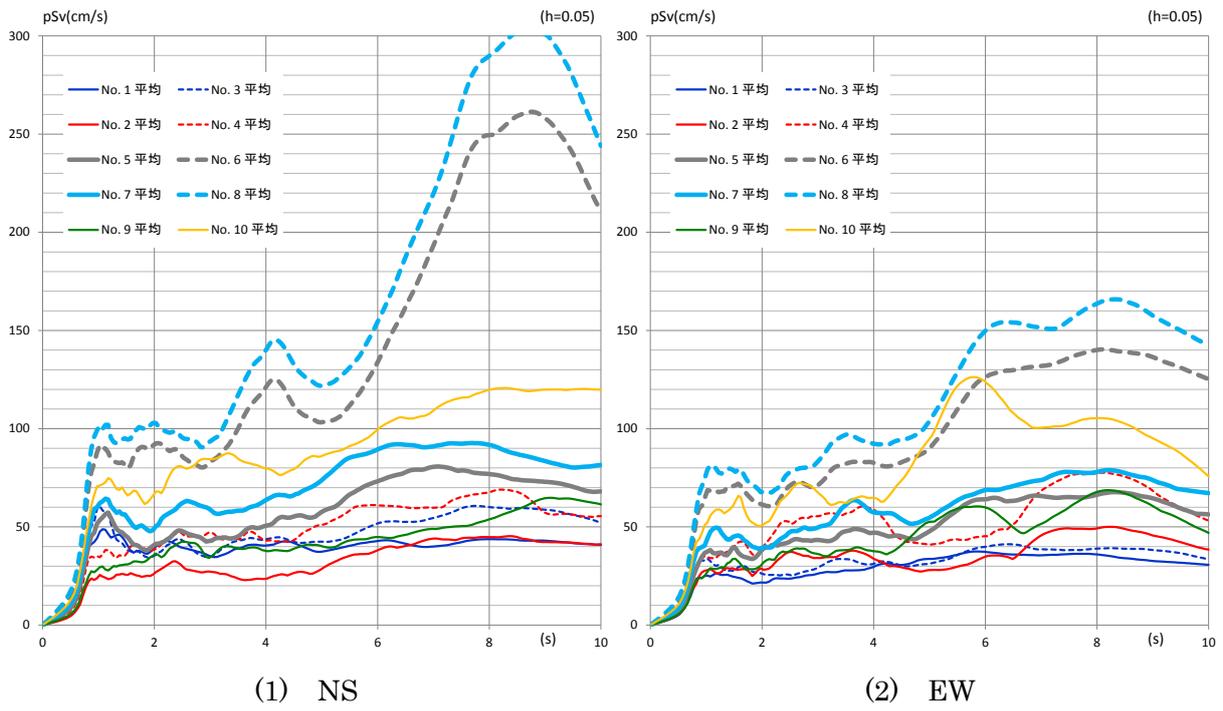


図 3-4-1 想定する震源域毎の平均比較（埼玉県庁）。

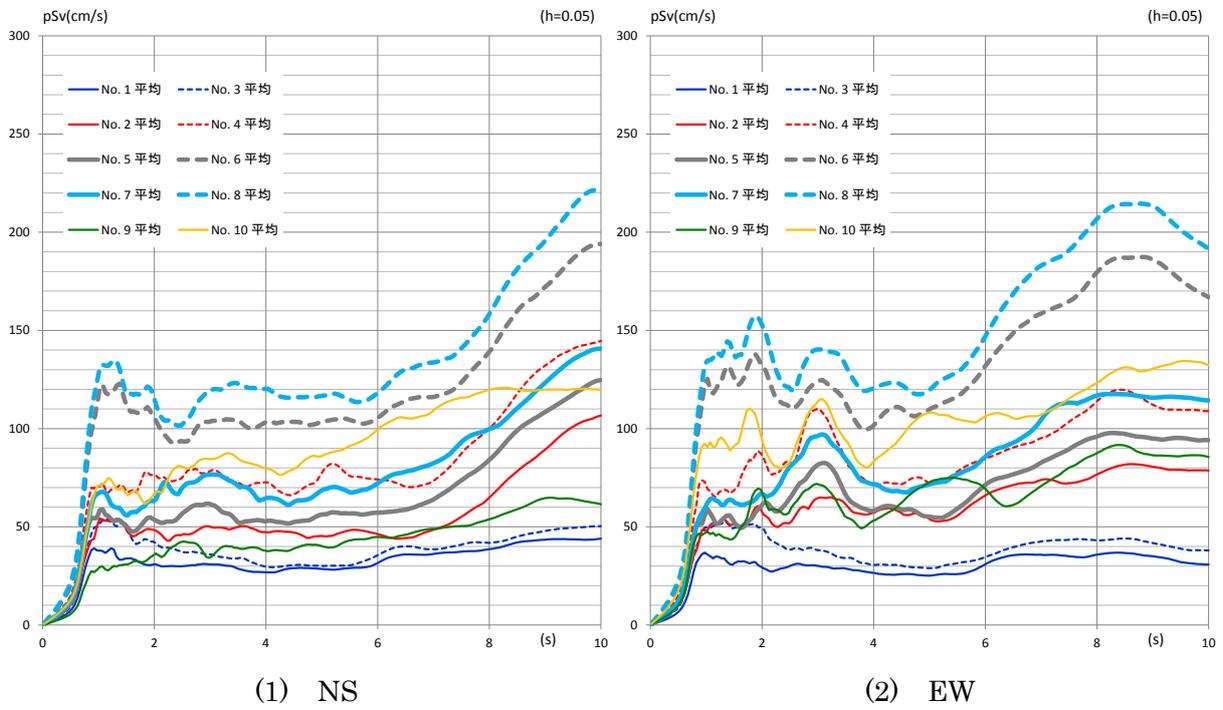


図 3-4-2 想定する震源域毎の平均比較（千葉県庁）

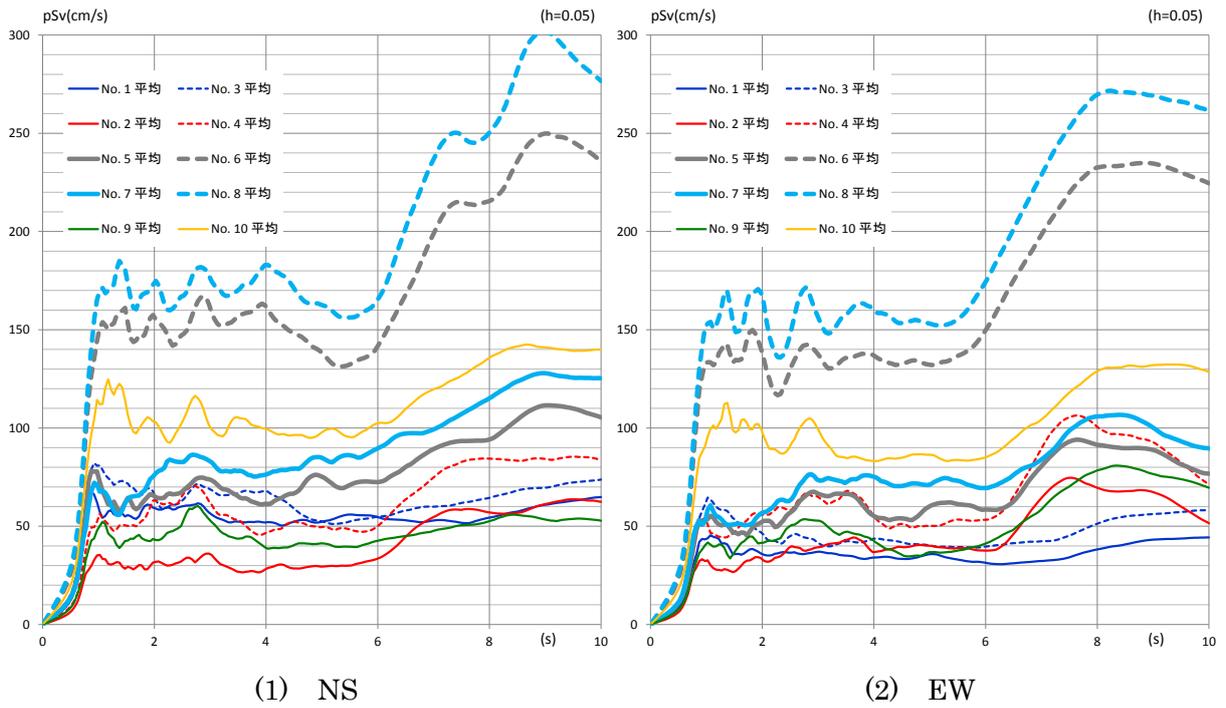


図 3-4-3 想定する震源域毎の平均比較（東京都庁）

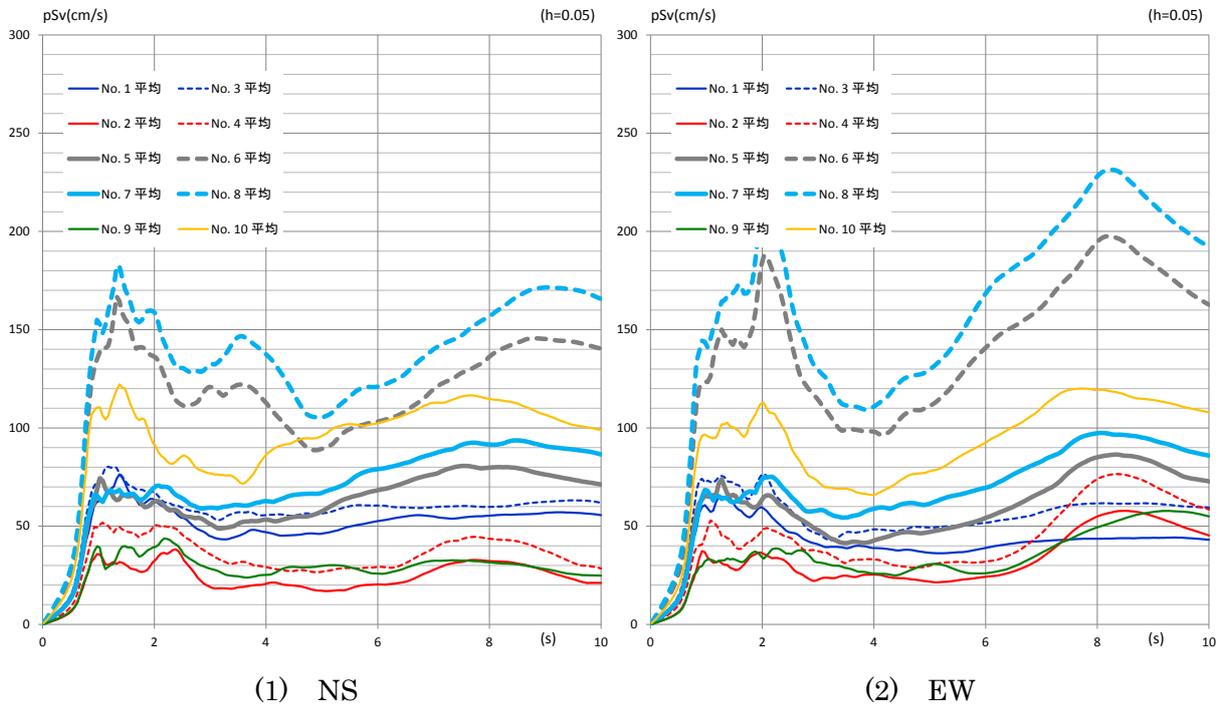


図 3-4-4 想定する震源域毎の平均比較（神奈川県庁）

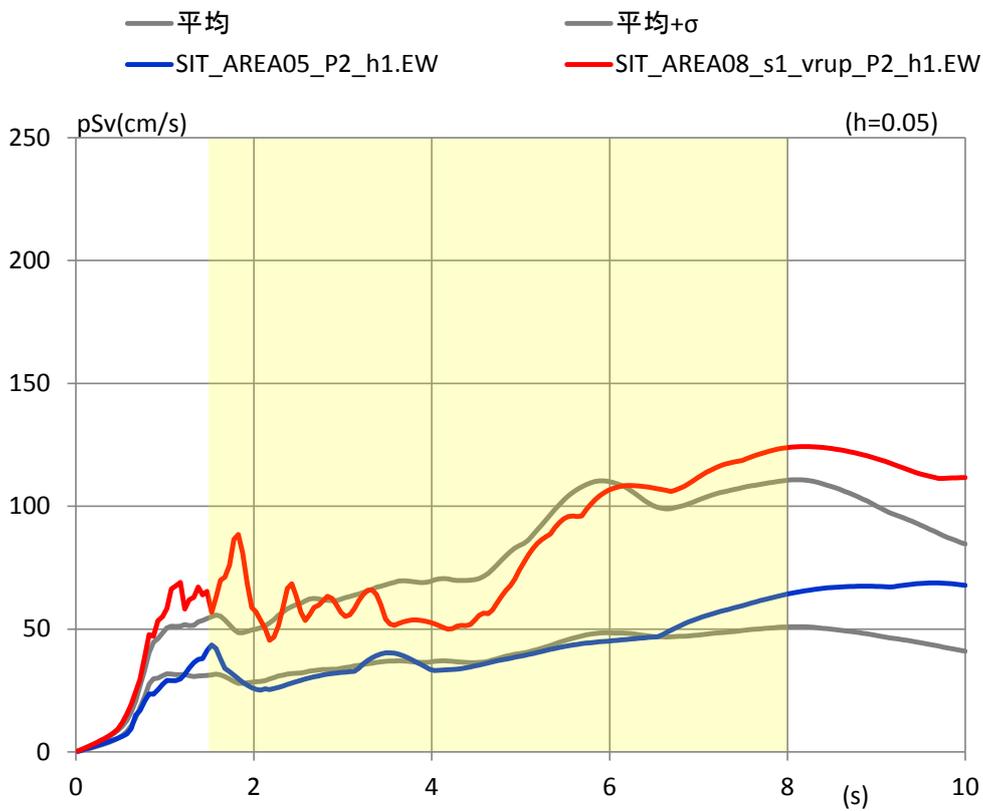
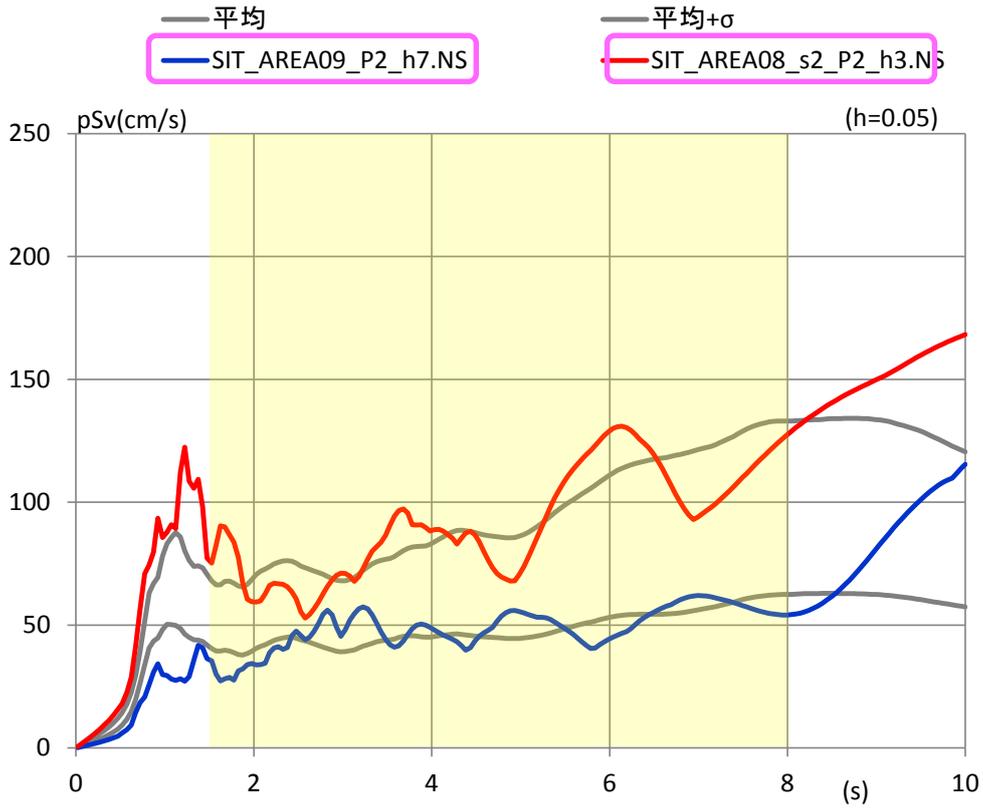


図 3-4-5 平均及び平均+ σ 並びに選択した評価ケースのスペクトル（埼玉県庁位置）。
 (選択ケースは、平均及び平均+ σ のスペクトルと黄色のハッチで示した 1.5 秒～8 秒の区間で
 誤差が最少となるシナリオ地震)

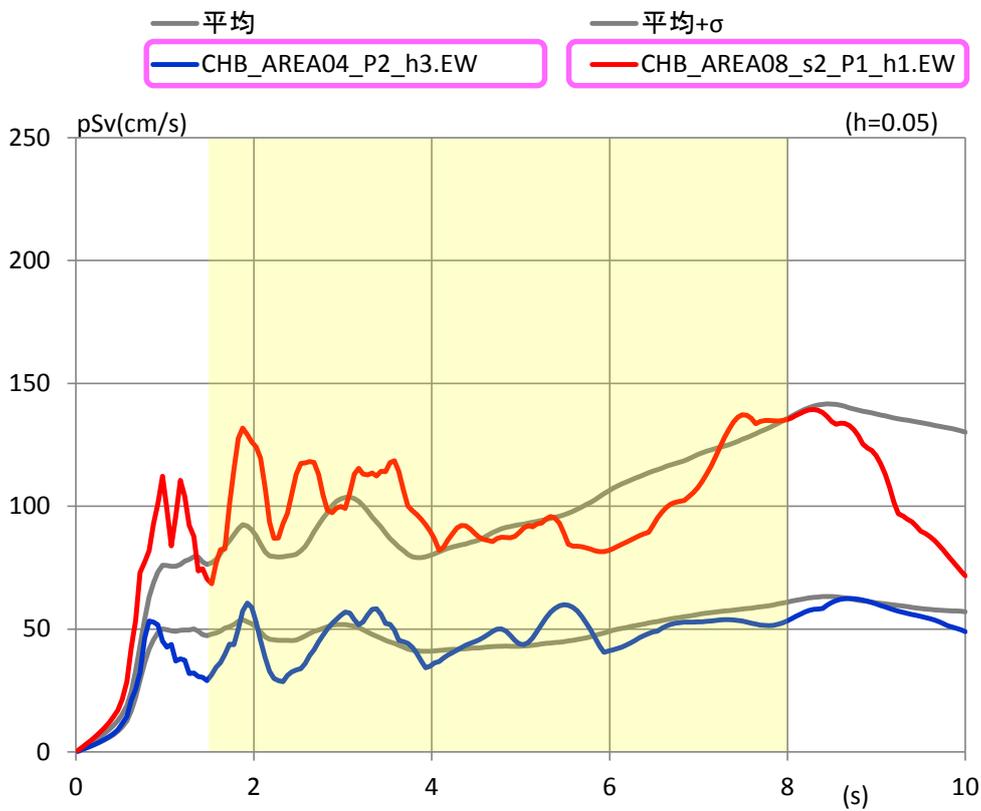
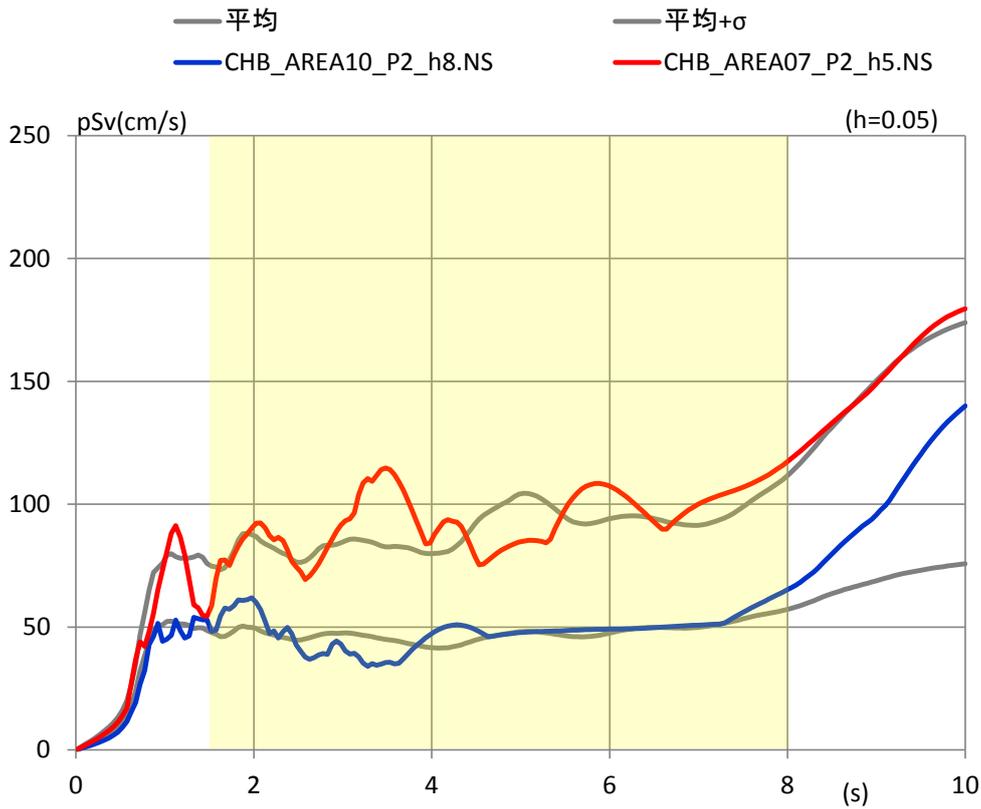


図 3-4-6 平均及び平均+σ並びに選択した評価ケースのスペクトル（千葉県庁位置）。
 (選択ケースは、平均及び平均+σのスペクトルと黄色のハッチで示した1.5秒～8秒の区間で
 誤差が最少となるシナリオ地震)

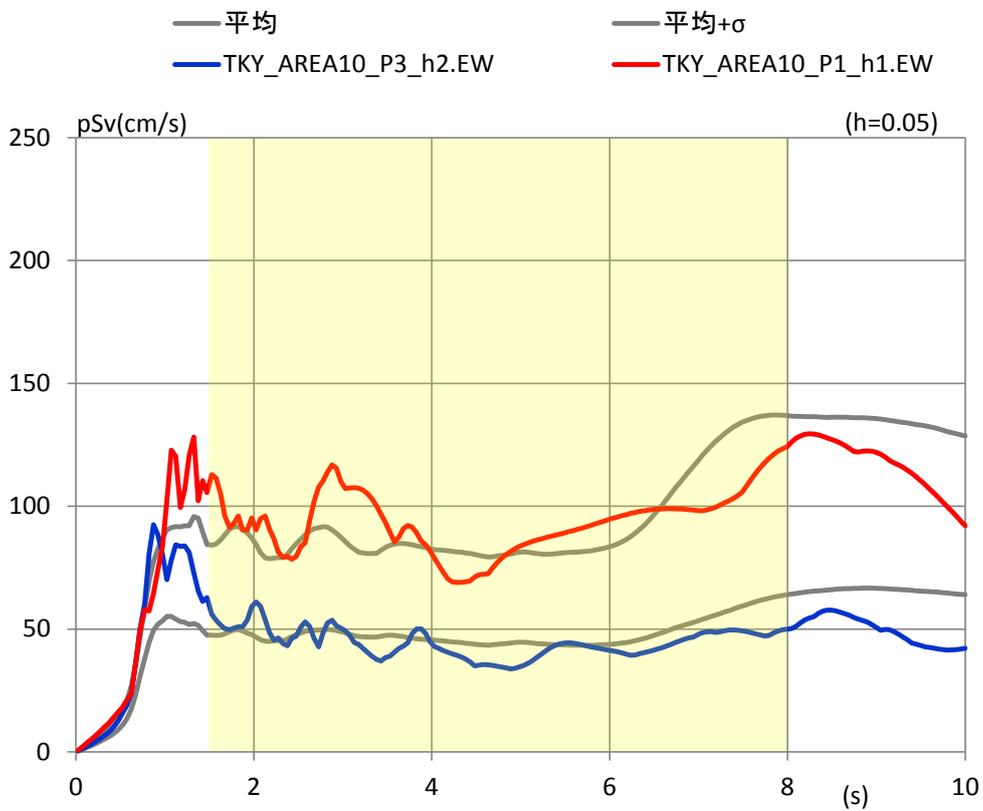
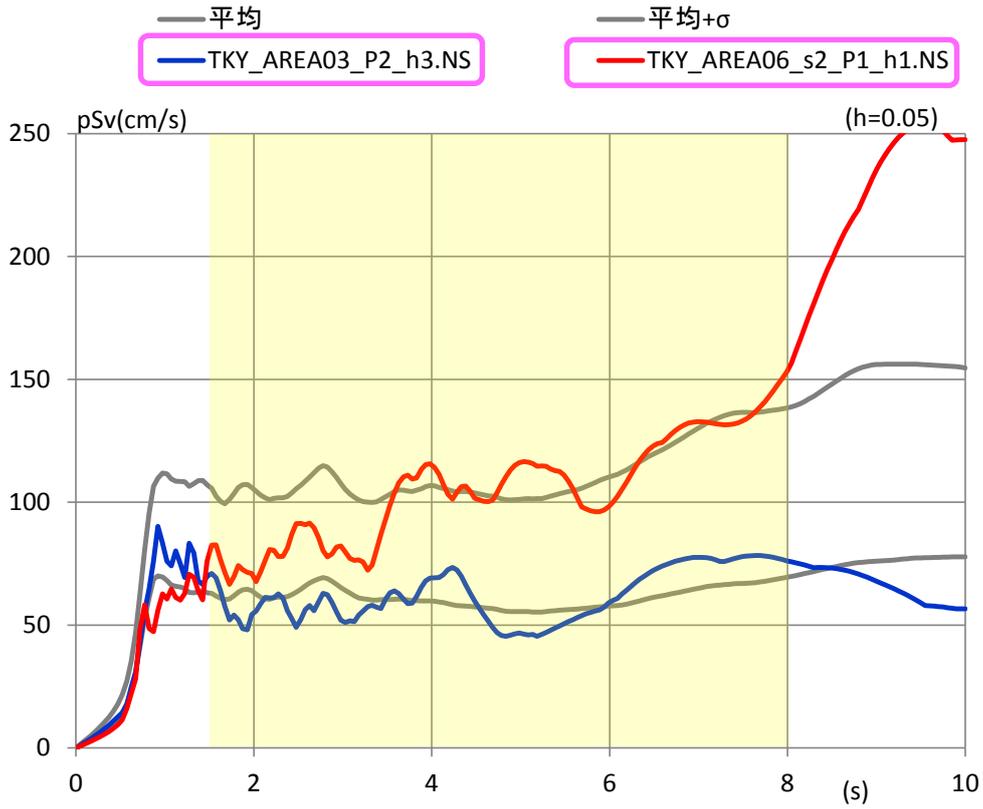


図 3-4-7 平均及び平均+ σ 並びに選択した評価ケースのスペクトル（東京都庁位置）。
 （選択ケースは、平均及び平均+ σ のスペクトルと黄色のハッチで示した 1.5 秒～8 秒の区間で
 誤差が最少となるシナリオ地震）

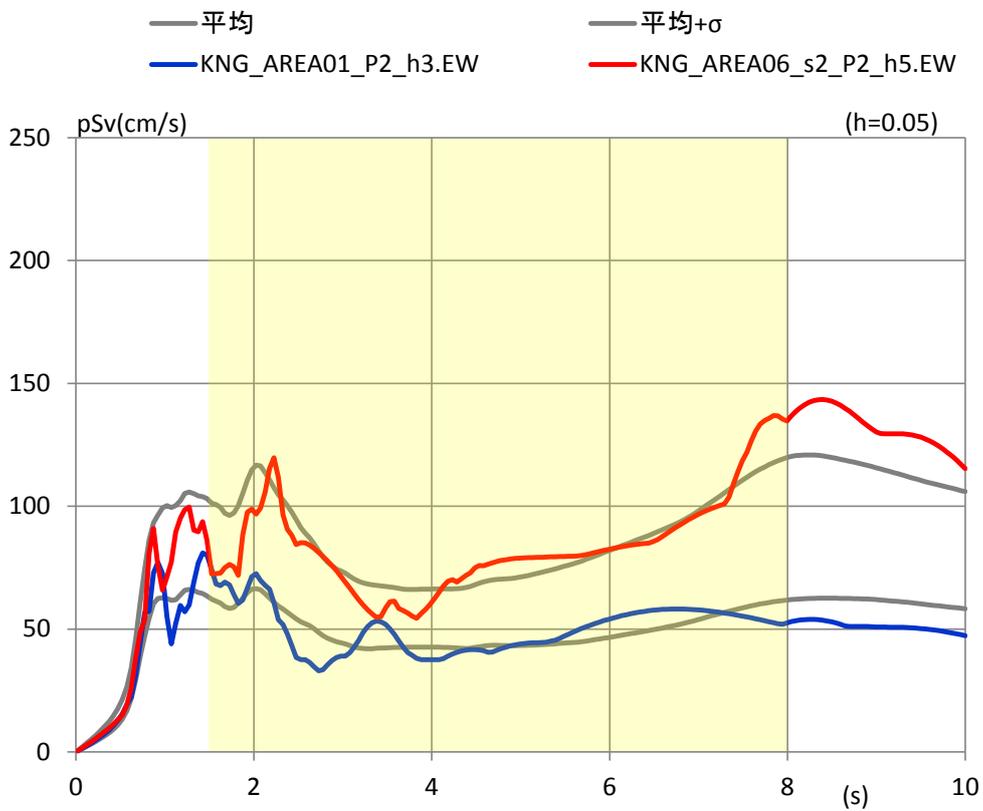
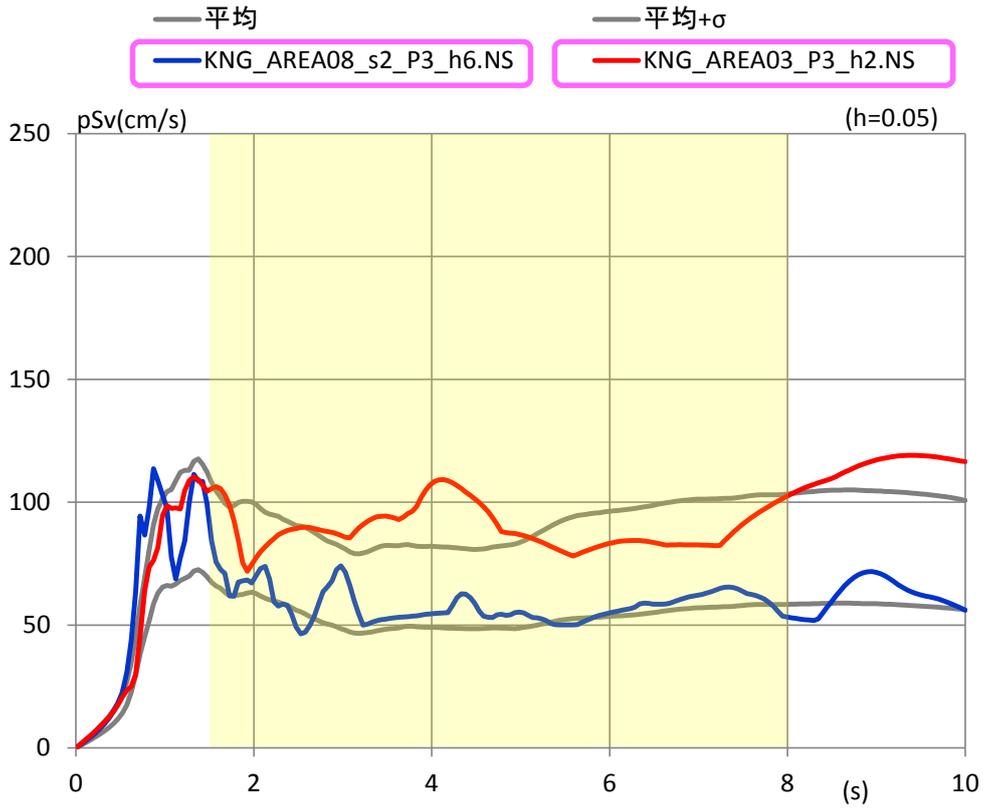


図 3-4-8 平均及び平均+ σ 並びに選択した評価ケースのスペクトル (神奈川県庁位置)。
 (選択ケースは、平均及び平均+ σ のスペクトルと黄色のハッチで示した 1.5 秒~8 秒の区間で
 誤差が最少となるシナリオ地震)

b) 相模トラフ地震の長周期地震動指標の分析

(1) 全ケースによる指標の確率分布

相模トラフ沿いのプレート境界地震について三次元差分法によりシミュレーションされた長周期地震動を用いて、各地の長周期地震動の指標の確率分布について評価を行う。長周期地震動は、10通りの震源域を用い、破壊開始点やアスペリティを変えた全体で274ケースの断層モデルで解析された。評価地点は、首都圏の都庁や県庁位置とし、茨城県庁、栃木県庁、群馬県庁、千葉県庁、埼玉県庁、東京都庁、神奈川県庁、山梨県庁の合計8か所とした。確率分布を求める際には、震源域ごとに与えた重みを用い、それぞれの震源域の中のケースは均等確率と仮定した。

・相対速度応答スペクトル指標

相対速度応答スペクトル($h=5\%$)は、南海トラフの地震による平成26年度までの検討によると1.6秒～7.8秒の0.2秒刻みの値の平均値である指標が超高層建物の最大層間変形角などの最大応答値と最も相関が高いことが示されている。この指標の確率分布を図3-4-10に示す。この指標では100cm/sで超高層建物の最大層間変形角が平均的には1/100を超え、ごく稀の入力地震動に対するクライテリアレベルとなる。1/100となる確率は、東京、神奈川、千葉、埼玉、群馬で1割前後、山梨、茨城、埼玉でゼロに近い。

・長周期地震動階級

気象庁が発表する長周期地震動階級は、絶対加速度応答スペクトル($h=5\%$)1.6～7.8秒の0.2秒刻みの最大値の指標を用いて4段階の階級を判定する。絶対速度応答スペクトルの指標の確率分布を図3-4-11に示す。階級4以上を示す確率は、東京、神奈川、埼玉、群馬で1/3程度あり、千葉が2割強、山梨が1割、茨城、栃木はほとんどないことが分かる。相模トラフでM8クラスの地震が発生すれば、断層モデルに依らず、首都圏全域で1以上の長周期地震動階級が発表されることが想定される。

・長周期指標 I_{L2}

次に、平成26年度まで体感に近い尺度という位置づけで提案してきた計測震度のフィルタ特性を長周期側に拡張して計算する長周期指標について検討する。ここでは、2～10秒の帯域のフィルタを用いた長周期指標 I_{L2} を各地で求め、その確率分布を評価し、図3-4-12に示す。相対速度応答スペクトル指標の100cm/sは $I_{L2}=5.9$ に、10cm/sは $I_{L2}=4.0$ くらいにそれぞれ相当する。

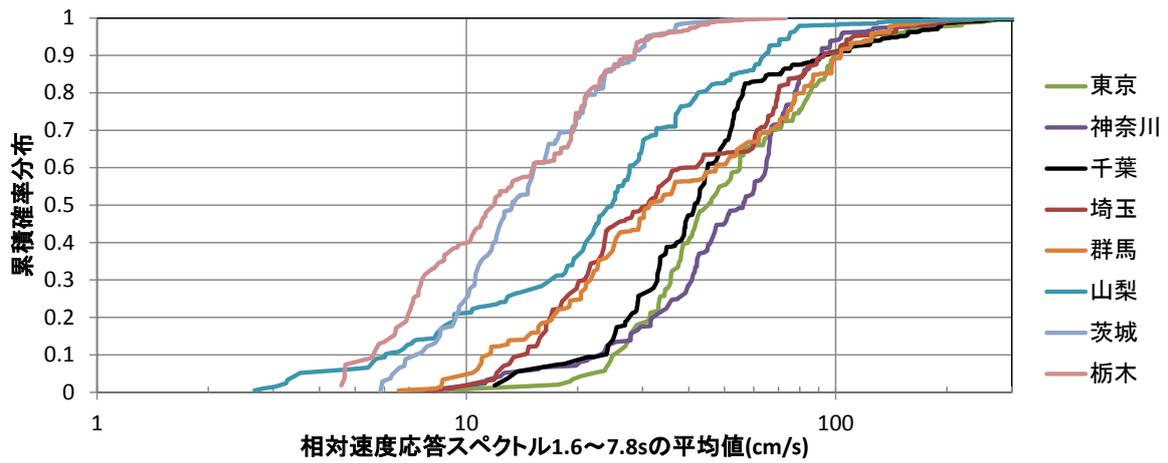


図 3-4-10 相模トラフ地震による相対速度応答スペクトル指標の各地の確率分布。

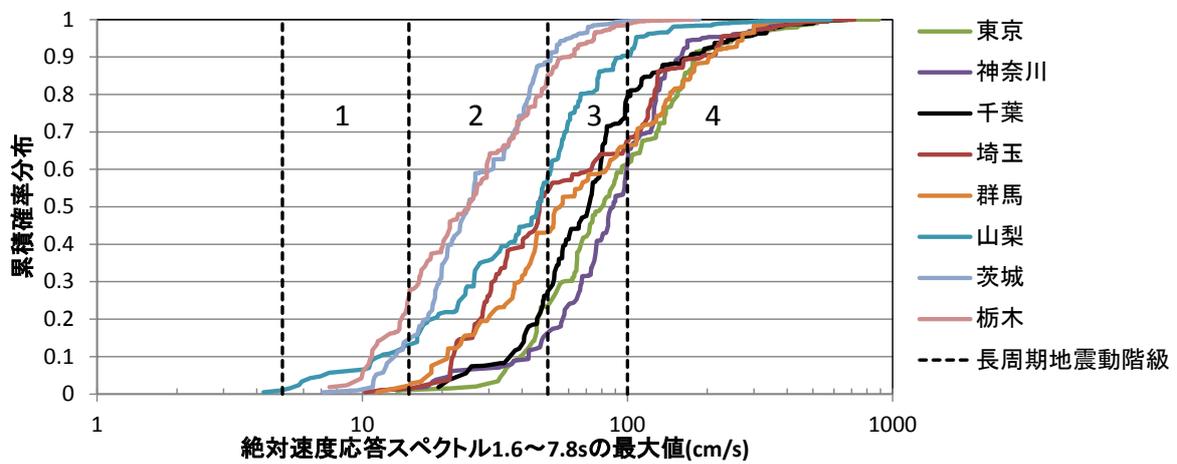


図 3-4-11 相模トラフ地震による絶対速度応答スペクトル指標各地の確率分布。

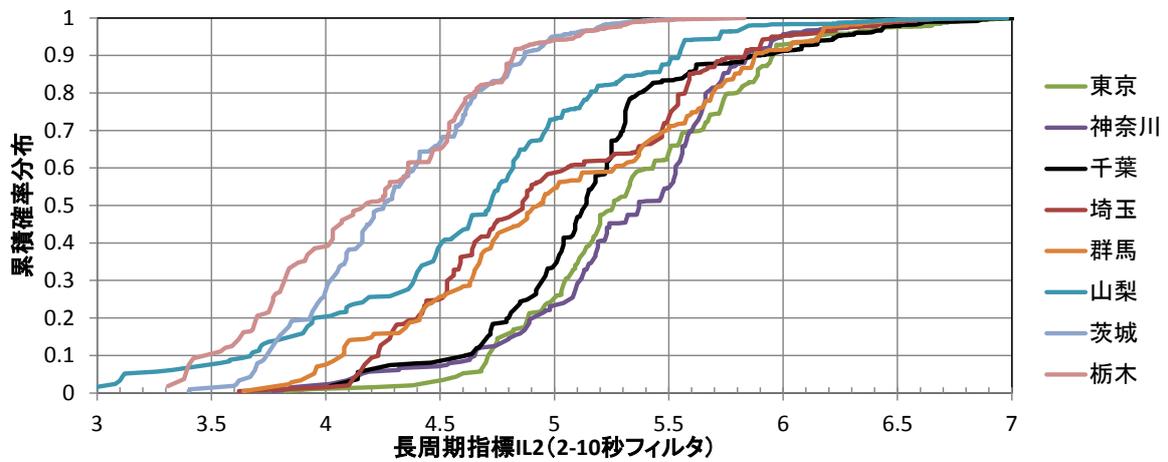


図 3-4-12 相模トラフ地震による長周期指標 I_{L2} の各地の確率分布。

(2) 東京近郊の面的評価による指標の確率分布

埼玉県南部から東京都、神奈川県西部、千葉県北部湾岸部に亘る領域を対象に 2km メッシュで求めた面的長周期地震動から各長周期地震動指標を算定した。メッシュの数は合計 878 点となる。

東京都庁位置では平均と平均+ σ に一番近いケースは図 3-4-13 に示す断層モデルの場合で、それぞれシナリオ①およびシナリオ②と呼ぶことにする。シナリオ①は、大正関東地震の震源域で、アスペリティが東京寄りにあり、破壊開始点が房総沖にあって、破壊が大正関東地震と逆に南東から北西方向に伝播するケースとなっている。シナリオ②は、元禄タイプの震源域で、トラフ沿いにアスペリティを含んでおり、アスペリティおよび破壊開始点は大正関東地震に近い。この 2 ケースについて東京近郊の 2km メッシュに長周期地震動を評価し、スペクトル指標を計算する。

面的評価の相対速度応答スペクトルの 1.6~7.8 秒の 0.2 秒刻みの平均値である指標を求め、その面的分布を図 3-4-14 に示す。

図 3-4-15 に面的評価の速度応答スペクトルによる指標の確率分布を示す。上図に示す絶対速度応答スペクトルの最大値の指標からは長周期地震動階級が評価されるが、概ね階級は 3 から 4 の評価となる。下図に示す相対速度スペクトルの指標によると、シナリオ①（赤）では、すべての地点で 100cm/s を超えず、ごく稀の地震動に対するクライテリアである 1/100 の最大層間変形角を超えない。シナリオ②（青）では 1/100 の最大層間変形角を超える可能性がある。

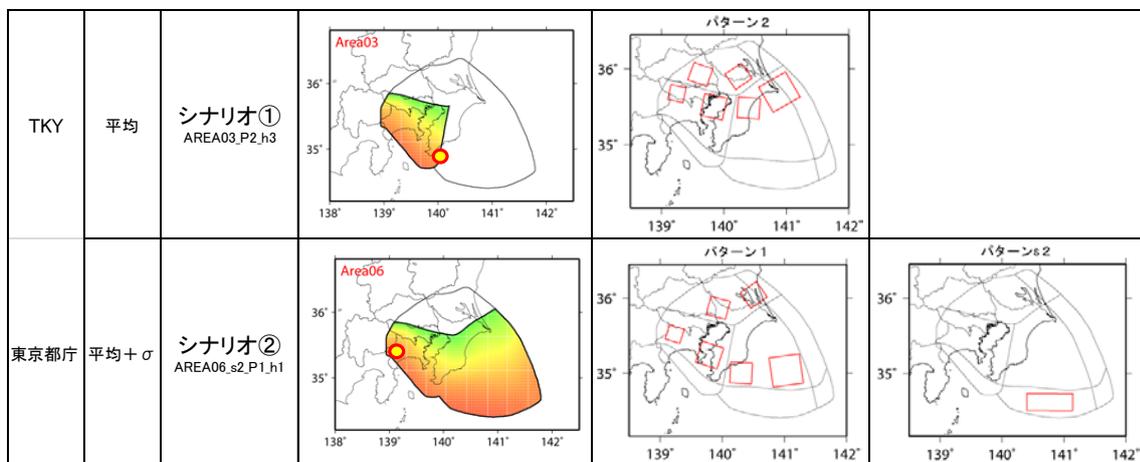
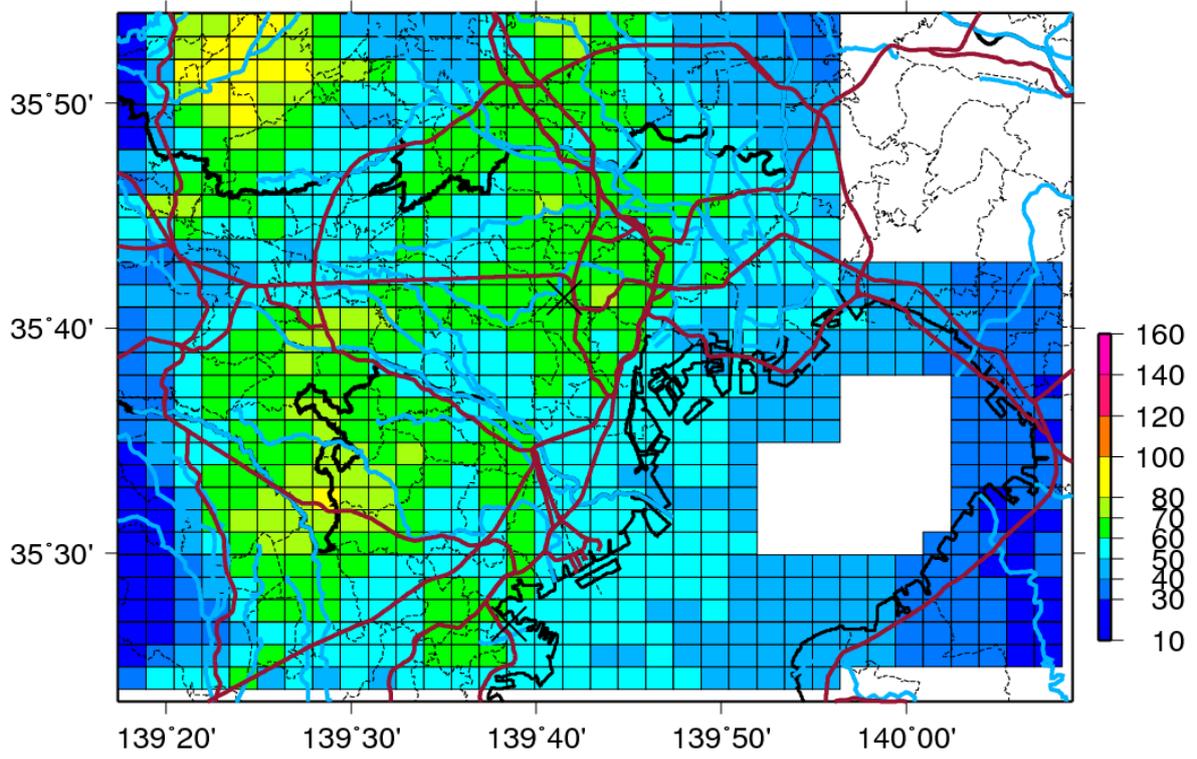
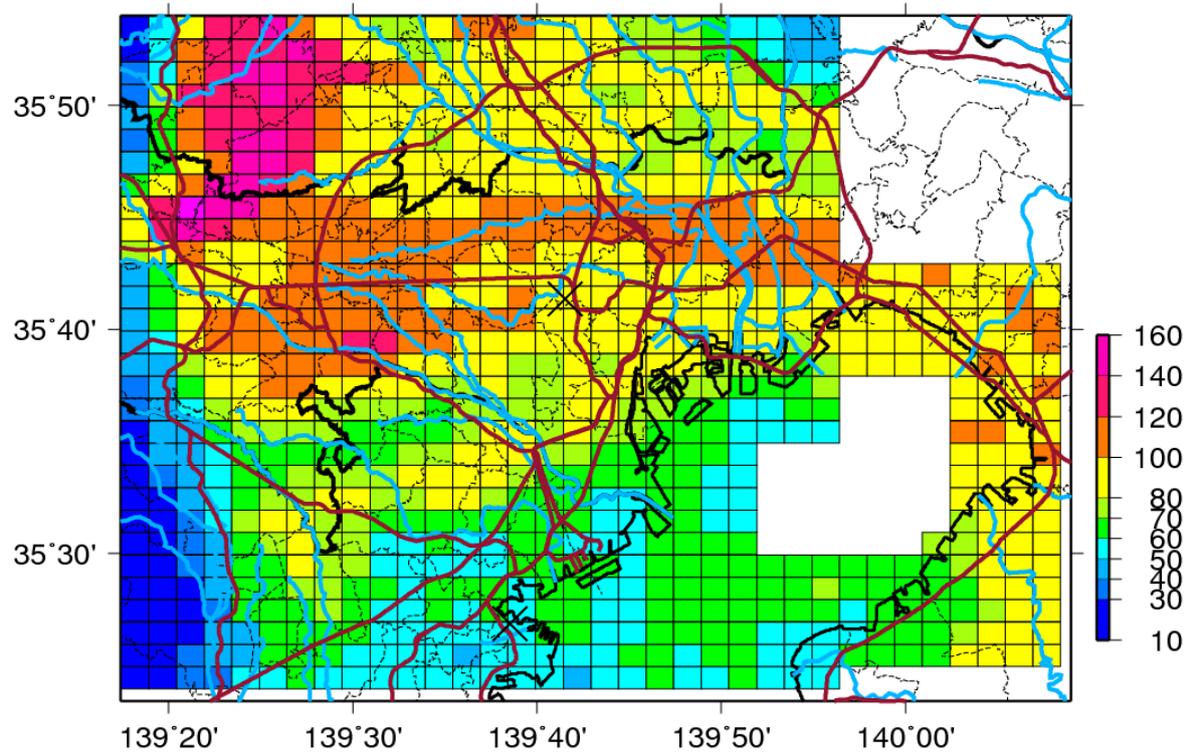


図 3-4-13 東京都庁位置での選択地震（○が破壊開始点）。



(a) シナリオ① (A3_P2_h3)



(b) シナリオ② (A6_s2_P1_h1)

図 3-4-14 相対速度応答スペクトル指標の面的分布(cm/s)。

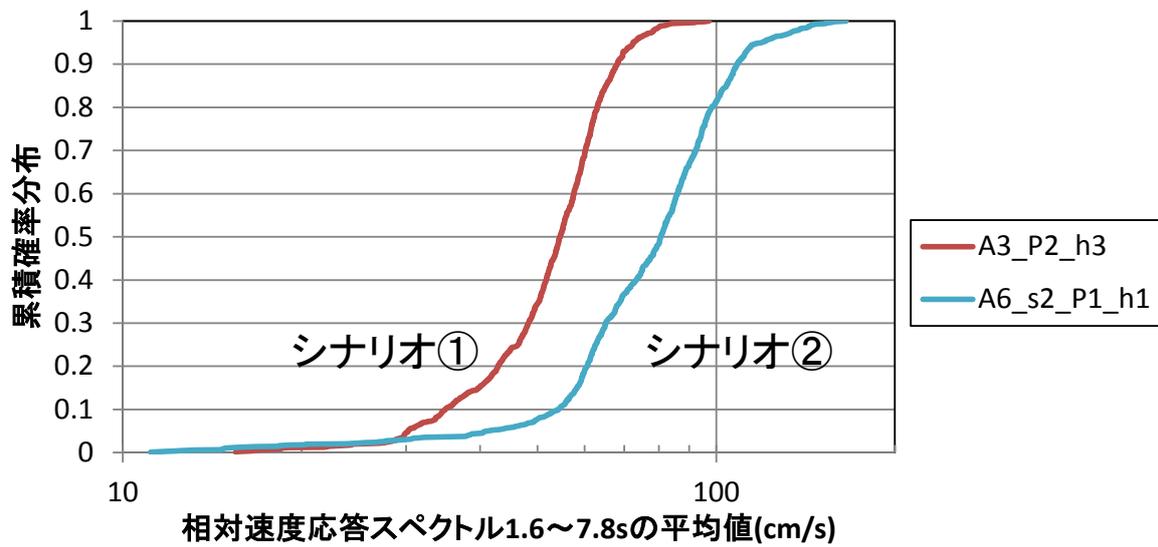
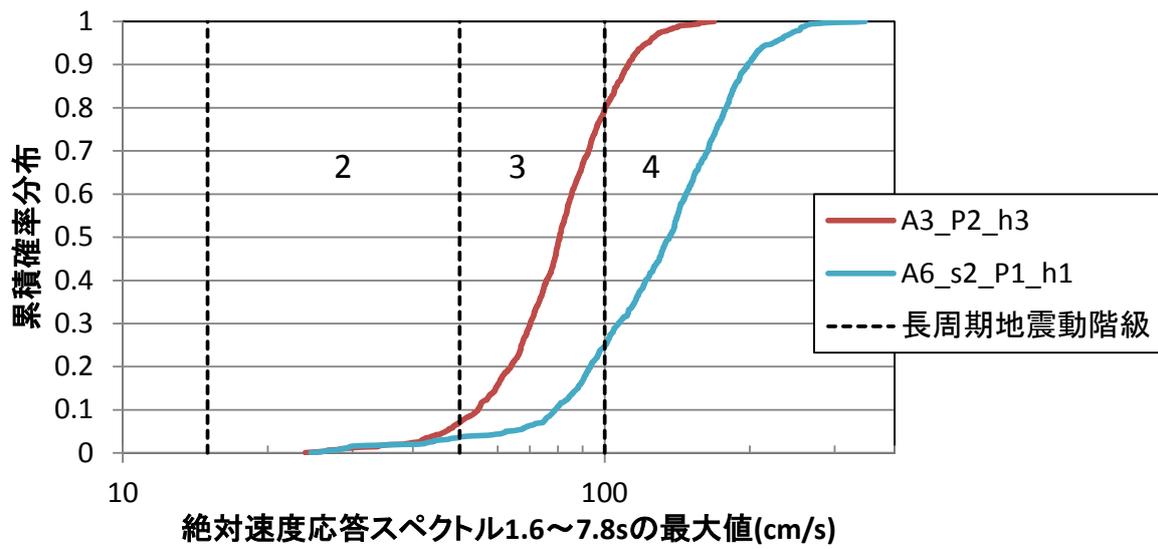


図 3-4-15 東京都庁位置で選択された地震ケースによる速度応答スペクトル指標の面的確率分布。

c) 相模トラフ地震の超高層建物および免震建物の面的応答評価

(1) 検討対象の建物モデル

多様性を考慮した建物モデルとして、本検討では、検討対象周期が短周期側に拡大されたことに対応して S20（鉄骨造 20 階建て）を、免震構造として ISO15（鉄骨造 15 階建て）の 2 種を追加することとした。

建物モデルの一覧を表 3-4-3 に示す。

(2) 入力地震動

東京都庁位置で平均、平均 + σ として選択された、AREA03_P2_h3 及び AREA06_s2_P1_h1 を、多様性を考慮した建物モデルへの入力地震動として選択する。それぞれシナリオ①及びシナリオ②の地震動と称す。

地震動の特性を代表する指標として、代表周期における擬似速度応答スペクトル値の面的分布を図 3-4-16 と図 3-4-17 に示す。

(3) 応答解析結果

超高層建物については最大応答層間変形角を、免震建物については免震層最大変形を採用し、その最大応答値の面的分布を示す（図 3-4-18～図 3-4-21）。

表 3-4-3 建物モデル一覧。

建物モデル	構造	階数	固有周期
S20	鉄骨、純ラーメン	20 階	2.68 秒
S30	鉄骨、純ラーメン	30 階	3.70 秒
S45	鉄骨、純ラーメン	45 階	5.36 秒
S60	鉄骨、純ラーメン	60 階	6.49 秒
S45X	鉄骨、純ラーメン、短スパン	45 階	3.82 秒
S45Y	鉄骨、耐震壁付きラーメン、長スパン	45 階	4.99 秒
RC40	RC、純ラーメン	40 階	3.83 秒
ISO15	免震構造	15 階 +免震層	3.67 秒 (40cm 変形時)

○入力地震動の pSV の面的分布

- ・ 全体的に見ると、NS 方向が EW 方向よりも大きい傾向がある。
- ・ 図 3-4-16 pSV シナリオ①の分布を見ると、NS 方向 6～8 秒の帯域で埼玉県庁周辺などに 100～150cm/s 程度の分布が見られるものの、その他は概ね 50cm/s 程度のレベルである。
- ・ 図 3-4-17 pSV シナリオ②の分布を見ると、NS 方向 3～5 秒の帯域で、埼玉県から東京都北部にかけて 150～250cm/s の分布が見られる。NS 方向 6 秒以上では、150～250cm/s の分布が千葉の湾岸に見られる。また、EW 方向 3～5 秒の帯域で西部の横田基地周辺に 200～300cm/s の分布が見られる。EW 方向については、3 秒や 7～8 秒では千葉周辺で 150cm/s 程度となっている。

○応答最大層間変形角の面的分布

- ・ 図 3-4-18 シナリオ①入力時の面的分布を見ると、概ね 1/100 程度となっている。S60 の NS 方向入力時については、さいたま市東部で 1/100 を超える地域が見られる。これは、同地域の pSV 値が 6 秒以上で比較的大きくなっていることと符合する。S20 は、他の建物に比べて、1/100 程度となる地域が広く分布している。
- ・ 図 3-4-19 シナリオ②入力時の面的分布を見ると、1/75 程度となる地域が多く、横田基地周辺や入間、狭山では、1/50 を超える箇所も見られる。固有周期が 2.5～4 秒の建物 (S20、S30、RC40) では、埼玉県から東京都北部にかけて 1/75 程度となる地域が広く分布しており、これは、同地域の pSV 値の分布に符合する。ただし、S30 に比べて RC40 は、より大きな変形が出る傾向が見られる。これは、履歴特性の差による履歴減衰分の違いといった建物モデル特性が影響していると考えられる。

○応答最大免震層変形の面的分布

- ・ 図 3-4-20 シナリオ①入力時の面的分布を見ると、30cm 程度である。EW 方向は、相模原南部と座間北部において 30～40cm 程度と比較的大きく、4～5 秒の pSV 値の分布と符合する。
- ・ 図 3-4-21 シナリオ②入力時の面的分布を見ると、埼玉県から東京都北部にかけて 40cm 以上の地域が分布している。クリアランス 50cm を超える地域も見られ、擁壁への衝突などが想定される。

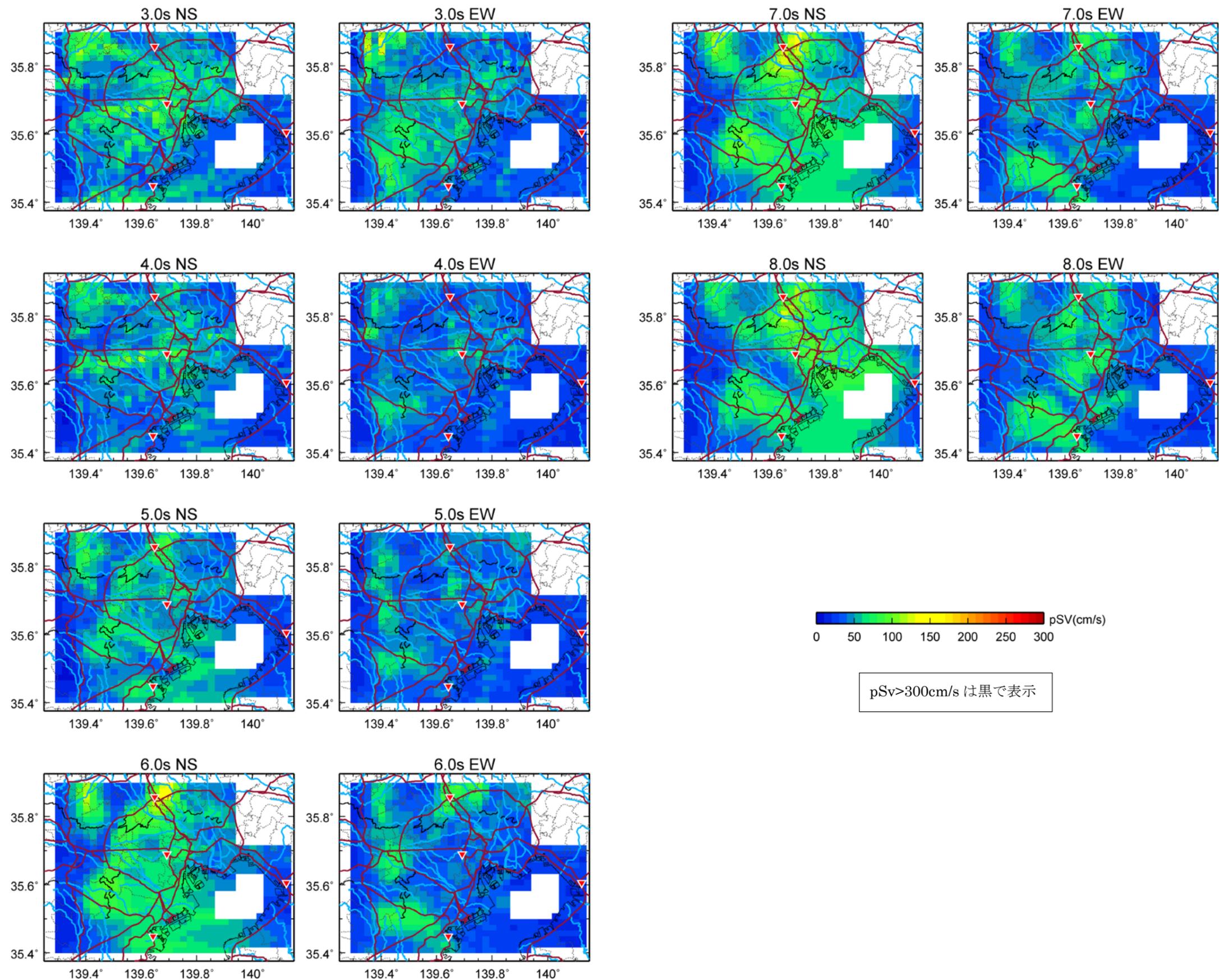


図 3-4-16 特定周期における擬似速度応答スペクトル値の分布 (相模トラフ長周期地震動、シナリオ①)。

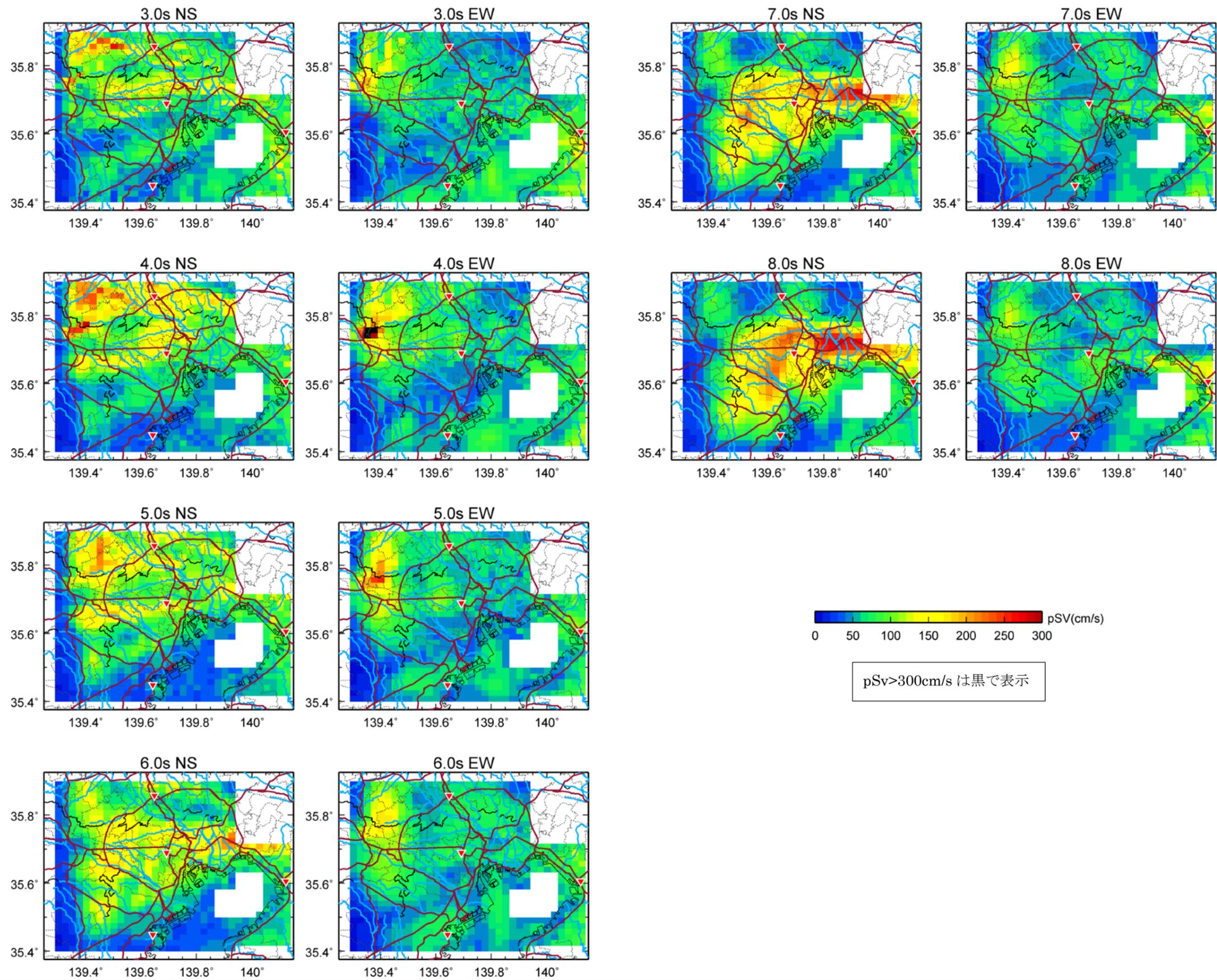


図 3-4-17 特定周期における擬似速度応答スペクトル値の分布 (相模トラフ長周期地震動、シナリオ②)。

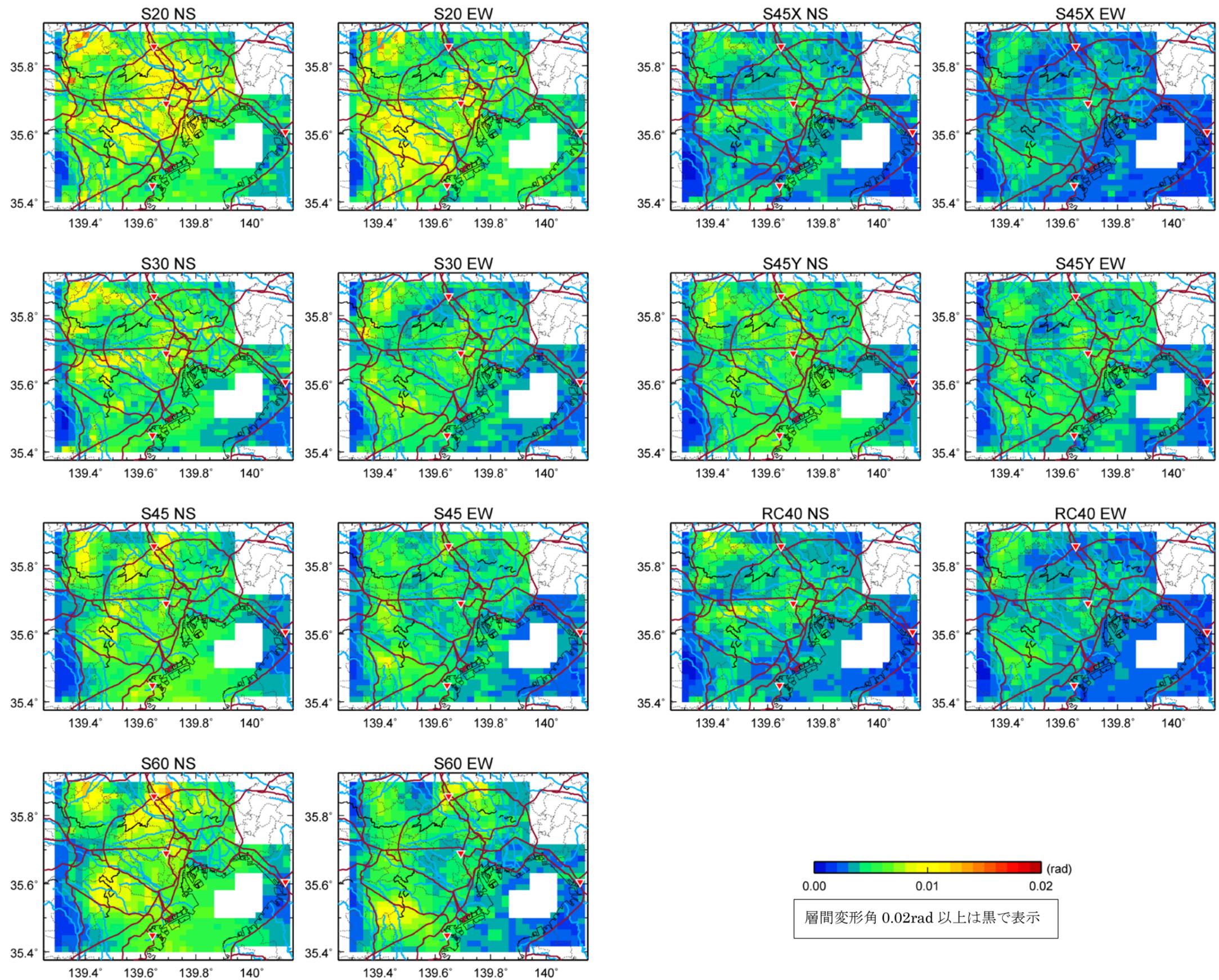


図 3-4-18 超高層建物の最大層間変形角の分布 (相模トラフ長周期地震動、シナリオ①)。

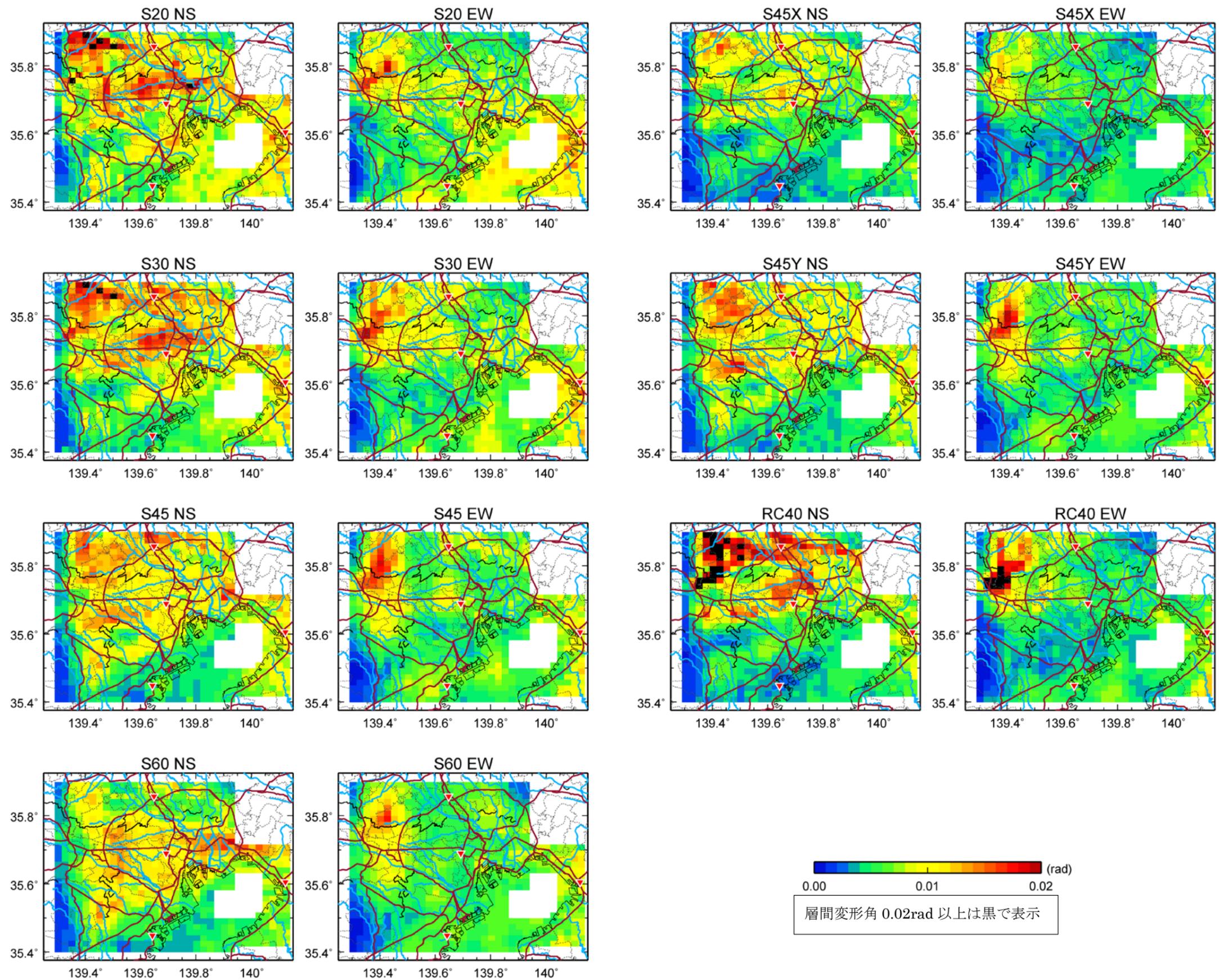


図 3-4-19 超高層建物の最大層間変形角の分布 (相模トラフ長周期地震動、シナリオ②)。

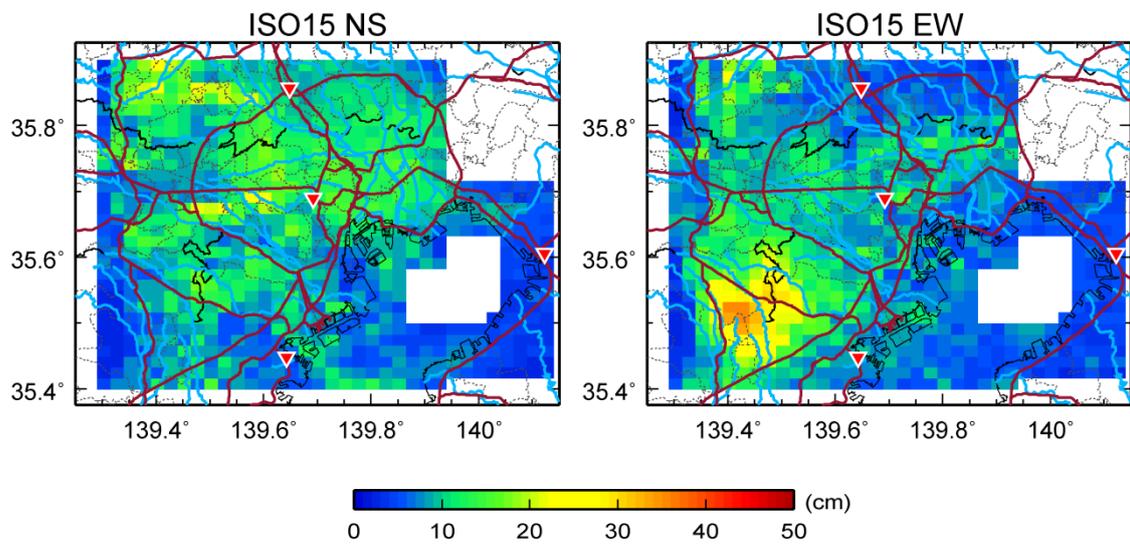


図 3-4-20 免震建物の免震層最大変形の分布 (相模トラフ長周期地震動、シナリオ①)。

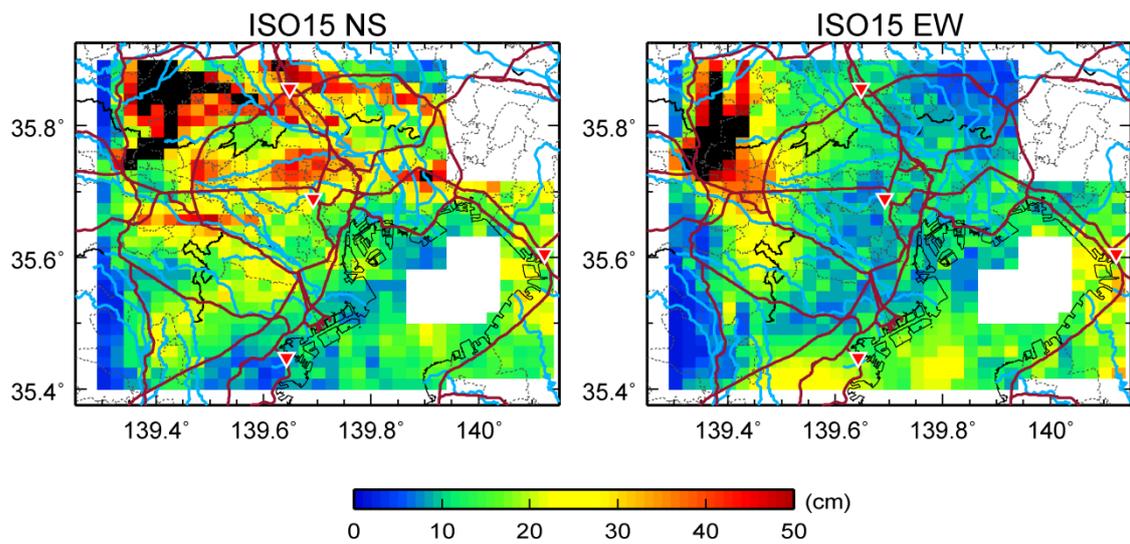


図 3-4-21 免震建物の免震層最大変形の分布 (相模トラフ長周期地震動、シナリオ②)。
(免震層最大変形 50cm 以上は黒で表示)

d) 超高層建物の統計データの分析

(1) 調査対象の資料

①東京都：建築統計年報 2014 年度版

東京都内の超高層建物の一覧が、資料 11-2 に示されている。これにより、全 1159 棟の東京都内の各区に建つ超高層建物数、構造種別、高さ、竣工予定年の統計データが得られる。

②日本建築センター：ビルディンググレート性能評価シート（代表例）

性能評価シートには、代表階平面が示されている。それを用いてスパン長の統計データが得られる。ここに、1980 年代で無作為に 20 棟、1990 年代で 20 棟、2000 年代で 20 棟の計 60 棟について調査した。

(2) 調査結果

東京都内の超高層建物について、高さ、構造種別、竣工予定年の分類を以下の表 3-4-4 に、代表例 60 棟について調査したスパン長を表 3-4-6 に、また、各区の超高層建物の高さ毎の棟数を図 3-4-22 に示す。

表 3-4-4 東京都内超高層建物の高さ・構造種別分類（建築統計年報）。

		高さ(m)						計	
		60以上	80以上	100以上	120以上	140以上	160以上		180以上
構造種別	S	202	165	98	48	39	20	34	606
	RC	131	148	69	43	31	20	11	453
	SRC	55	26	9	2	2	4	2	100
計		388	339	176	93	72	44	47	1159

表 3-4-5 東京都内超高層建物の竣工予定年・構造種別分類（建築統計年報）。

		構造種別			計
		S	RC	SRC	
年代 ※1	～1990年	105	12	52	169
	1990～2000年	185	47	26	258
	2000年～	316	394	22	732
計		606	453	100	1159

※1: 竣工予定年による

表 3-4-6 超高層建物代表例（全 60 棟）のスパン長（ビルディンググレート）。

		スパン長※3		
		長	標準	短
年代 ※2	～1990年	16	22	2
	1990～2000年	19	20	1
	2000年～	26	14	0

※2: 評定取得年による

※3: 調査対象20棟のX・Y方向両スパンの合計

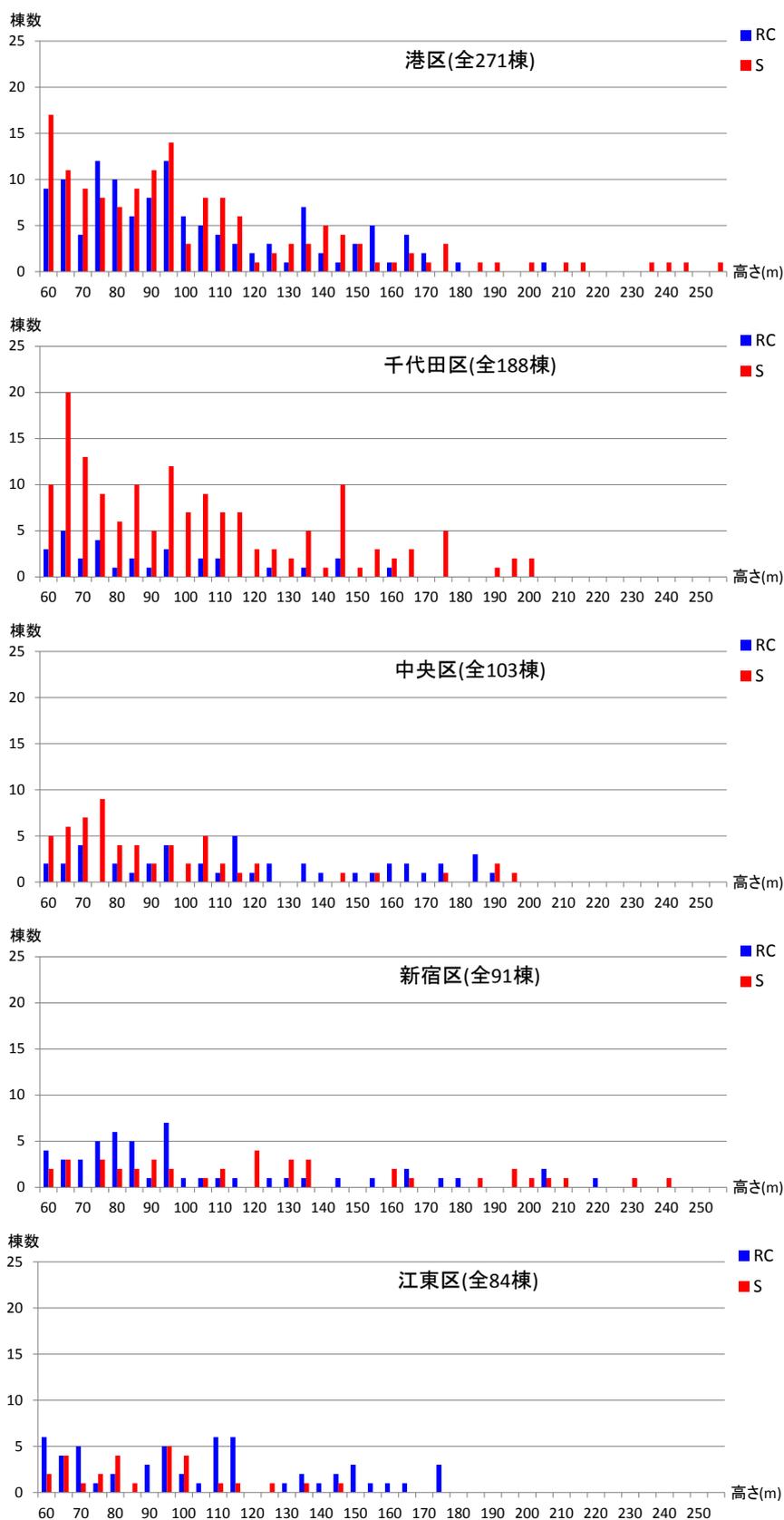


図 3-4-22 (1) 東京都内超高層建物の高さ (その 1)

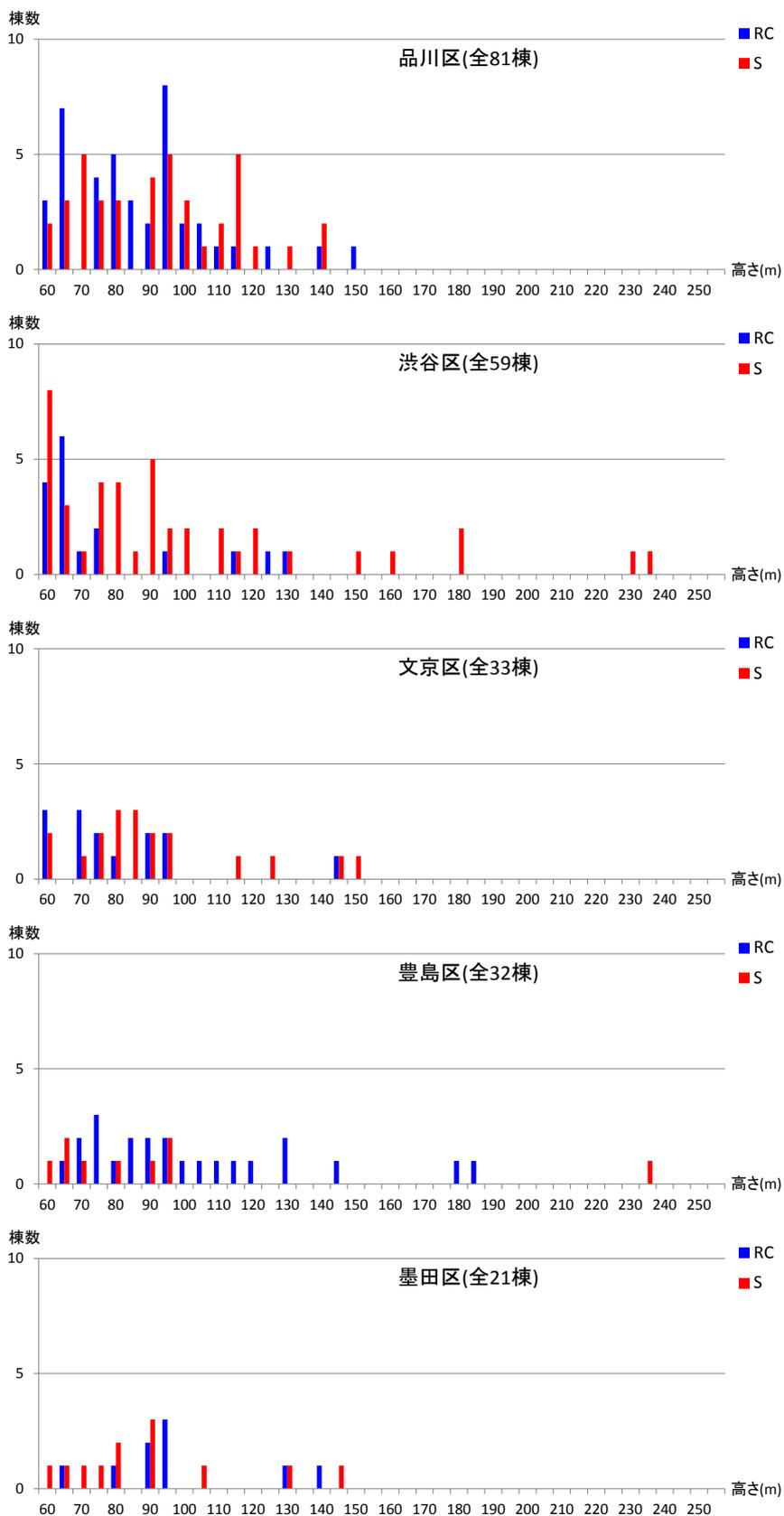


図 3-4-22 (2) 東京都内超高層建物の高さ (その 2)

e) 離散 Sv 値による超高層建物の応答推定

(1) 最大層間変形角の推定

相模トラフの長周期地震動ハザード評価の東京の平均と平均+σケースの面的評価を対象とし、2秒、3秒、5秒、7秒の Sv 値（水平2成分の二乗和平方根）を用いて、表 3-4-7 に示すそれぞれの建物の対象周期の Sv 値を線形補間して求める。推定した対象周期 Sv 値と最大層間変形角（NS 方向と EW 方向の最大値）の関係を分析する。推定した対象周期 Sv 値と層間変形角の関係を建物モデルごとに図 3-4-22 に示す。対象周期 Sv 値と層間変形角とともに常用対数を求めて、(3-4-1) 式のように線形回帰を行う。建物モデルごとに面的評価のすべてのメッシュデータを含めて回帰係数 a, b とばらつきを示す項 ε の標準偏差 β を求めて表 3-4-7 に示す。

$$\log(\phi) = a \log(S_v) + b + \varepsilon \quad (3-4-1)$$

表 3-4-7 Sv と層間変形角の関係の回帰分析結果（相模トラフ、東京圏）。

建物モデル	対象周期(秒)	傾き a	切片 b	残差 ε の標準偏差 β	最大層間変形角に対する Sv(cm)		
					1/200	1/100	1/75
S20	2.7	0.989	-4.012	0.076	53.6	108.0	144.5
S30	3.7	1.042	-4.184	0.081	64.2	124.8	164.5
S45	5.4	0.941	-4.002	0.063	64.3	134.3	182.4
S60	6.5	0.904	-3.955	0.060	67.6	145.5	200.0
S45X	3.8	1.040	-4.342	0.083	91.5	178.1	234.9
S45Y	5.0	0.894	-3.934	0.049	67.1	145.7	200.9
RC40	3.8	1.280	-4.760	0.096	83.3	143.2	179.3
S20~S60		0.949	-3.999	0.082	61.5	127.8	173.0

注) S 造は 1 次周期、RC 造は 1 次周期の約 1.5 倍

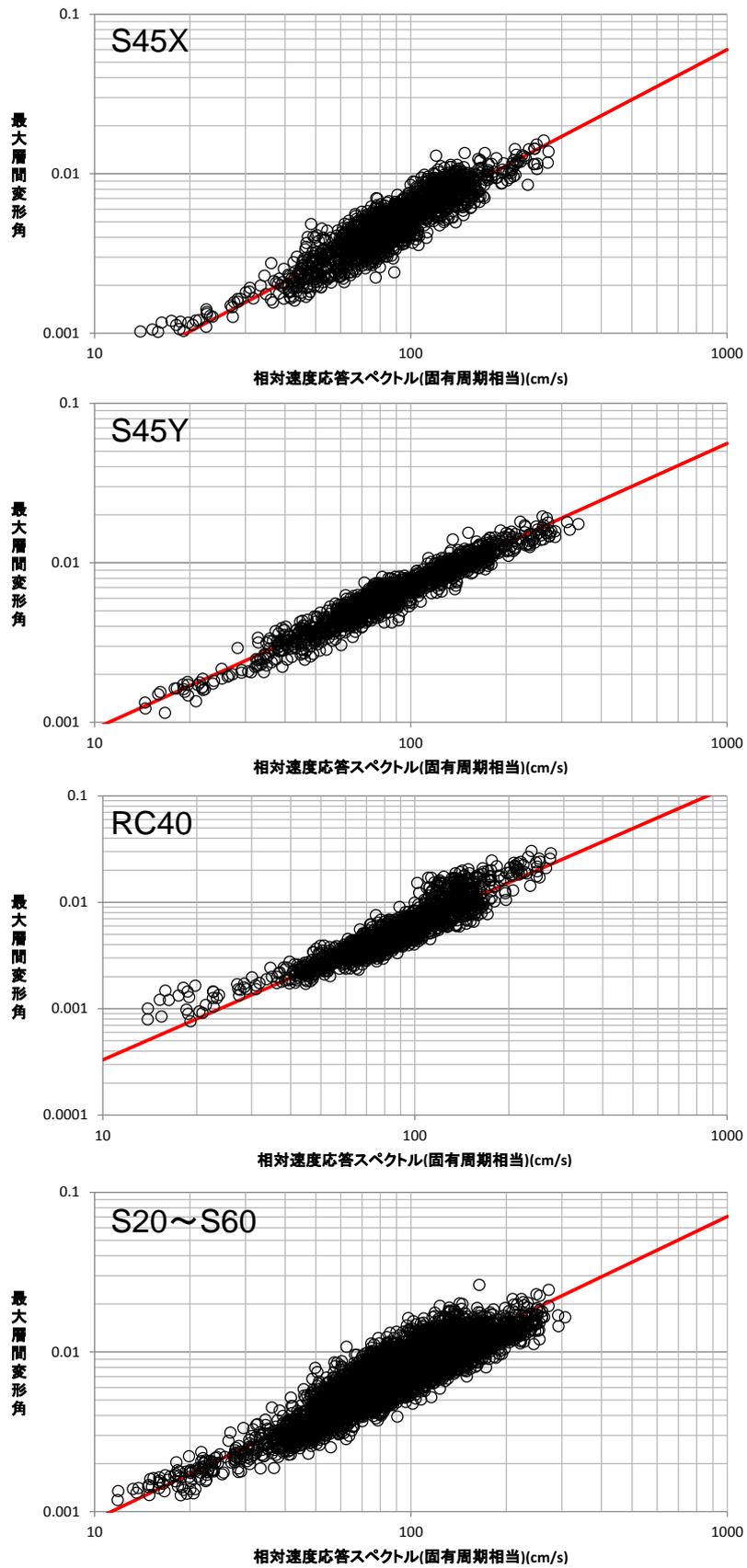


図 3-4-22 評価 Sv と最大層間変形角の関係。

(2) 最大部材塑性率の推定

最大層間変形角の推定と同様に、2秒、3秒、5秒、7秒の Sv 値（水平2成分の二乗和平方根）を用いて、表 3-4-8 に示すそれぞれの建物の対象周期の Sv 値を線形補間して求める。推定した対象周期 Sv 値と最大部材塑性率（NS 方向と EW 方向の最大値）の関係を分析する。推定した対象周期 Sv 値と最大部材塑性率 η の関係を建物モデルごとに図 3-4-23 に示す。対象周期 Sv 値と最大部材塑性率ともに常用対数を求めて、(3-4-2) 式のように線形回帰を行う。建物モデルごとに面的評価のすべてのメッシュデータを含めて回帰係数 a, b とばらつきを示す項 ε の標準偏差 β を求めて表 3-4-8 に示す。

$$\log(\eta) = a \log(S_v) + b + \varepsilon \quad (3-4-2)$$

表 3-4-8 Sv と部材塑性率の関係の回帰分析結果（相模トラフ、東京）。

建物モデル	対象周期(秒)	傾き a	切片 b	残差 ε の標準偏差 β	最大部材塑性率に対する Sv(cm)		
					1	2	3.75
S20	2.7	1.285	-2.307	0.110	62.4	106.9	174.4
S30	3.7	1.275	-2.456	0.115	84.4	145.3	237.8
S45	5.4	1.171	-2.272	0.086	87.1	157.4	269.2
S60	6.5	1.138	-2.220	0.087	89.3	164.1	285.1
S45X	3.8	1.753	-3.240	0.173	70.6	104.9	150.1
S45Y	5.0	1.020	-2.133	0.063	123.3	243.2	450.4
RC40	3.8	1.323	-2.788	0.100	127.9	215.9	347.1
S20~S60		1.184	-2.25	0.129	79.5	142.8	242.8

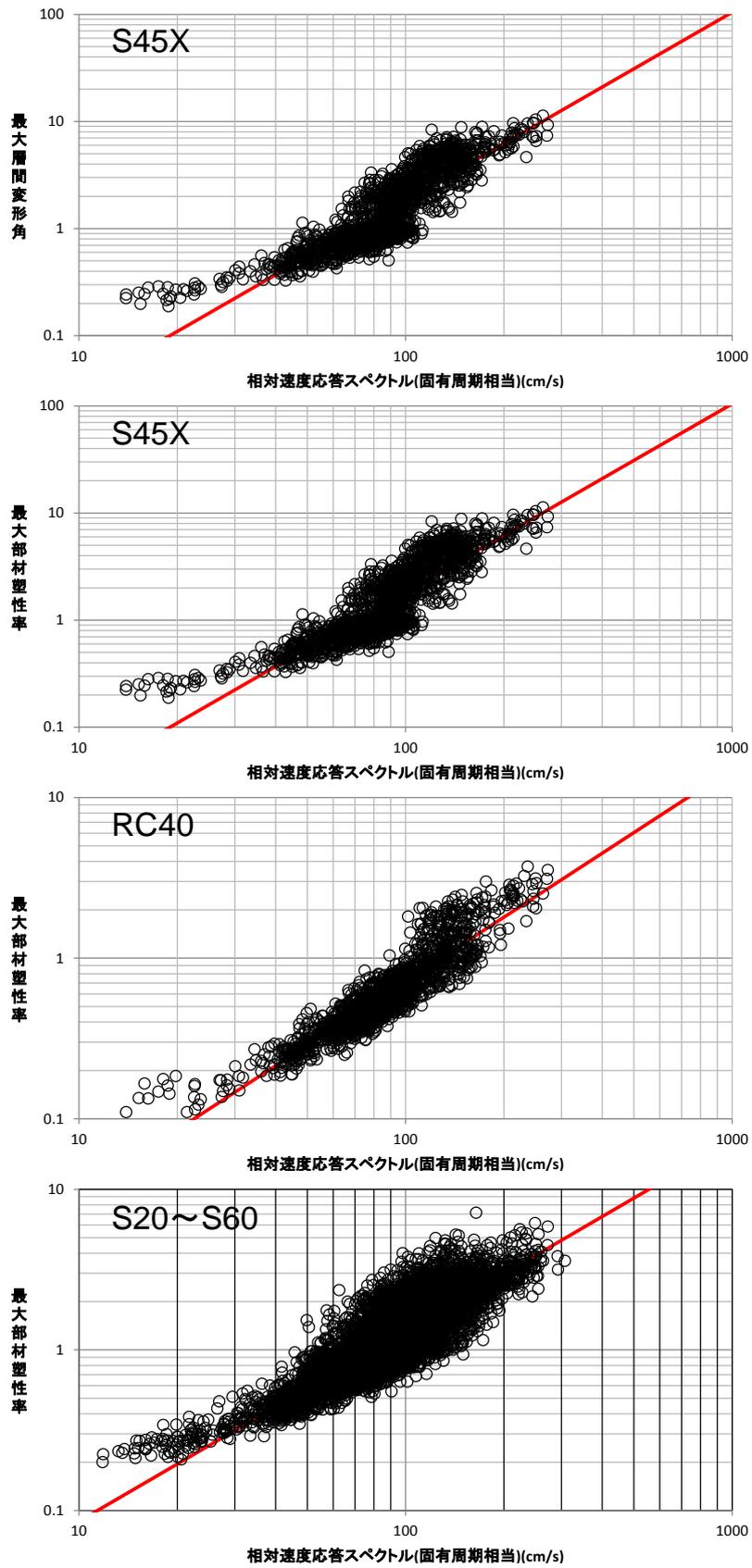


図 3-4-23 評価 Sv と最大部材塑性率の関係。

(3) 補間 Sv 値と層間変形角の相関式の南海トラフと相模トラフの比較

南海トラフおよび相模トラフの地震それぞれにおいて、回帰分析によって得られた補間した固有周期相当の Sv 値と最大層間変形角の相関式について、比較を行う。両方で解析結果があるケースを対象とし、S30, S45, S60 および S45X, S45Y, RC40 に分けて図 3-4-24 に比較して示す。Sv=100cm/s 付近では建物の種類による差および南海トラフと相模トラフの差は比較的小さいことが分かる。これは、設計的な機能限界である層間変形角 1/100 付近でもあり、設計プロセスにおいてクライテリアを満たそうとして人為的にばらつきが小さくなっている可能性もある。

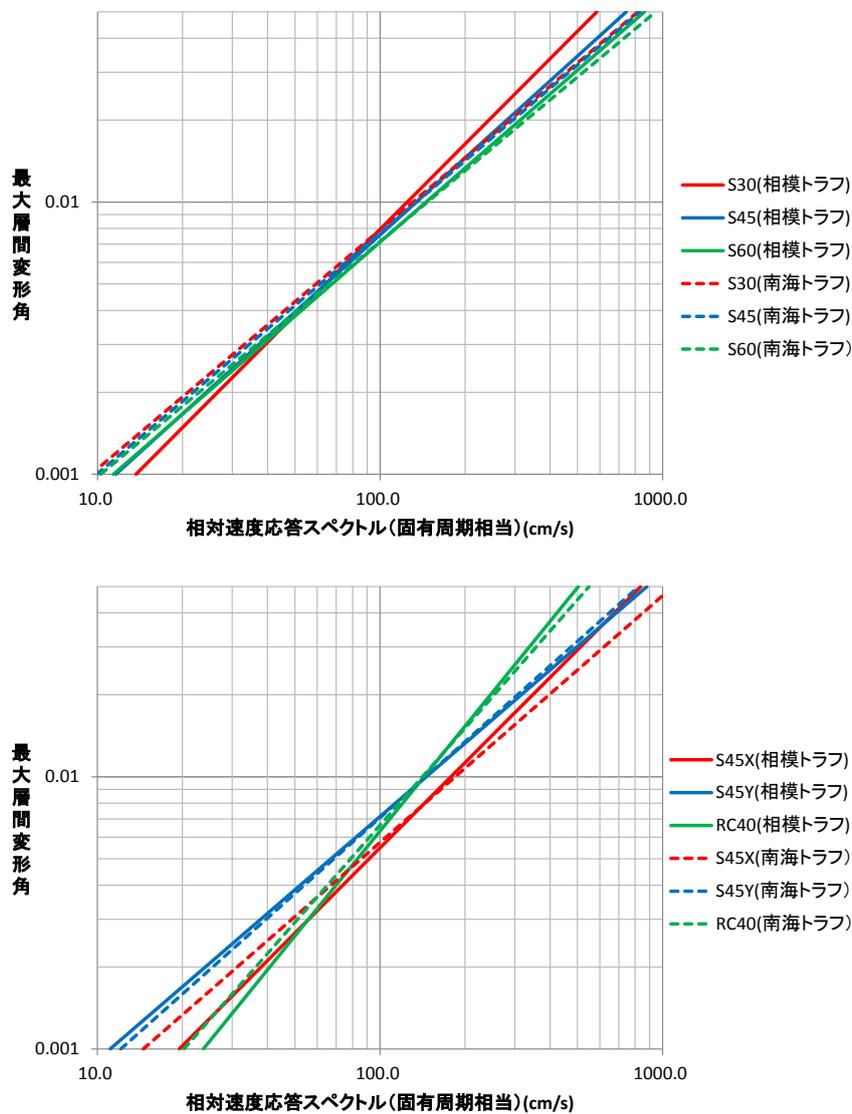
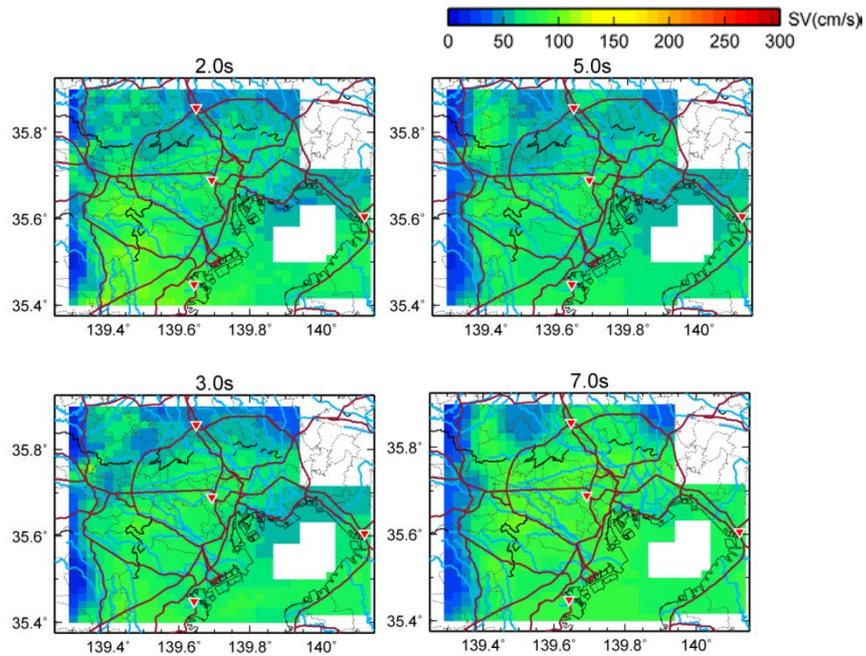


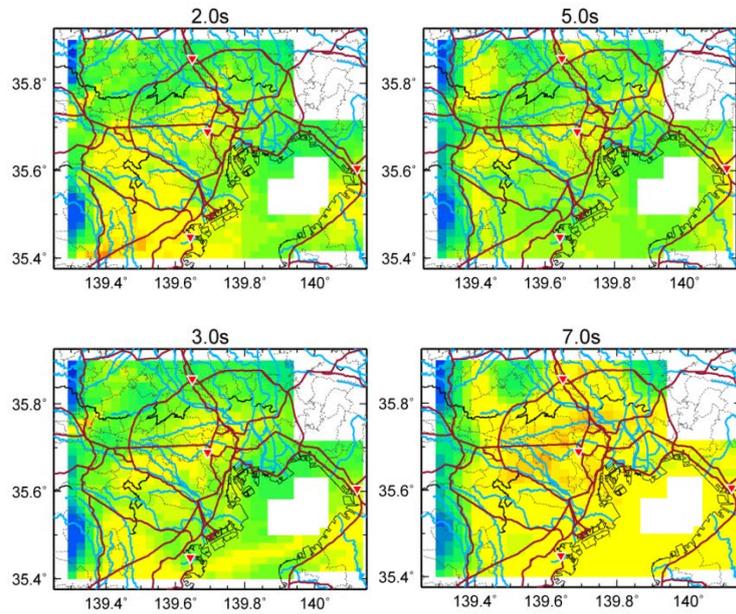
図 3-4-24 Sv と最大層間変形角との関係式。

(4) ハザード評価に基づく離散 Sv 値の平均と平均+ σ の分布

全てのケースの全メッシュの2秒、3秒、5秒、7秒の Sv 値は求められているので、ハザード評価により重みを掛けて Sv 値の確率分布を評価して、その50%に当たる「平均」および84.1%に当たる「平均+ σ 」の分布を求めて、それぞれ図3-4-25に示す。



(a) 相模トラフ長周期地震動、平均レベル



(b) 相模トラフ長周期地震動、平均+ σ レベル

図3-4-25 各メッシュにおける Sv 値の分布。

f) 頻度分布を考慮した首都圏の超高層建物の被災度評価

東京都内の超高層建物の統計情報と、想定した相模トラフの各ケースの重み係数、応答スペクトル振幅（1,2,3,5,7 秒の離散値）より、東京都内に建つ超高層建物の被災可能性を評価する。

ここでは超高層建物の多く建つ 10 区を選択し、その区ごとに超高層建物の被災可能性を評価した結果を示す。

これらによれば、各区での応答層間変形角を示す棟数の頻度はそれほど変わらず、1/200 以下となる建物が約 3/4、逆に大きな被害の想定される 1/100 となる建物が約 5%程度である。そのうち半分程度で 1/75 以上の大きな層間変形角が想定される。

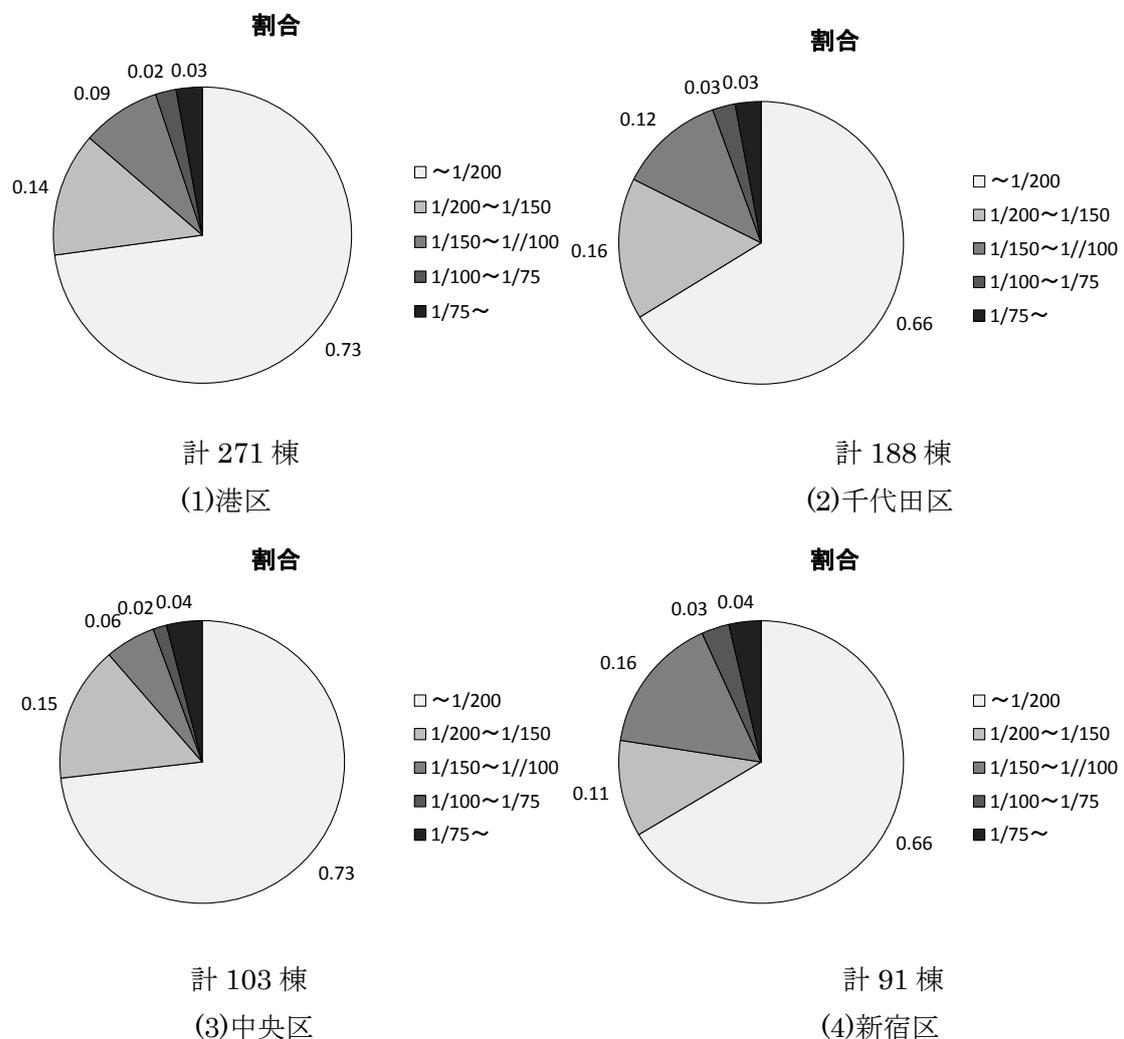
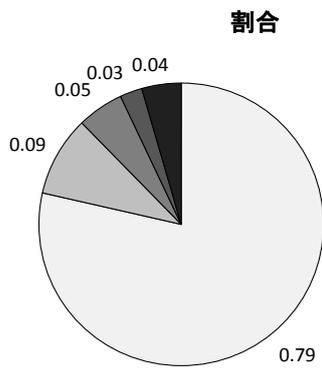
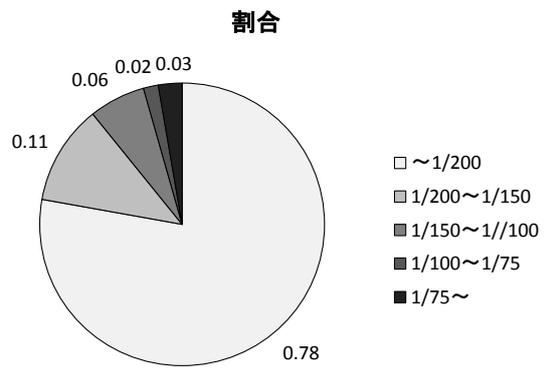


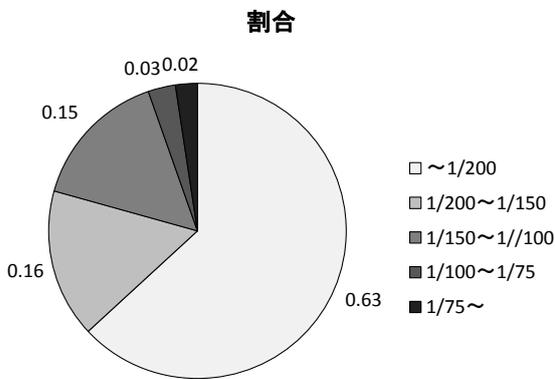
図 3-4-26 (1) 区内の超高層建物の層間変形角頻度分布。



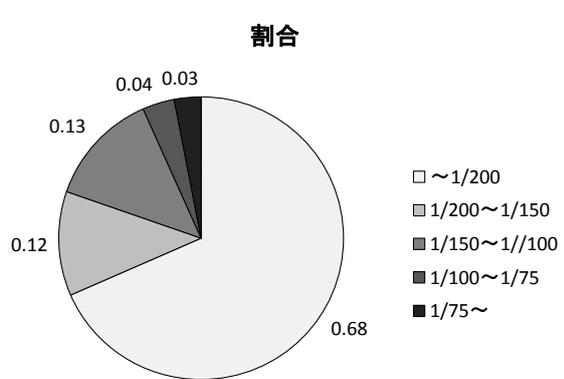
計 84 棟
(5)江東区



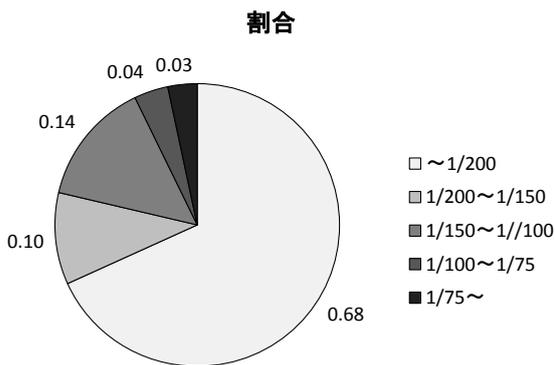
計 81 棟
(6)品川区



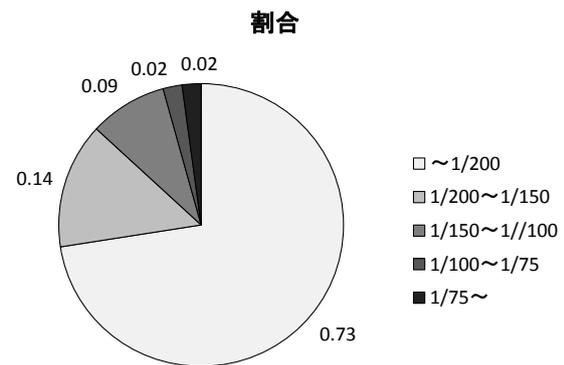
計 59 棟
(7)渋谷区



計 33 棟
(8)文京区



計 32 棟
(9)豊島区



計 21 棟
(10)墨田区

図 3-4-26 (2) 区内の超高層建物の層間変形角頻度分布。

(B) 長周期地震動ハザード評価結果と耐震基準等との比較検討

a) 相模トラフ地震を対象とした長周期地震動ハザード評価と既存の基準や距離減衰式の比較分析

(1) 距離減衰式と長周期ハザード評価結果の比較

相模トラフ地震に対する長周期ハザード評価に用いた三次元差分法（以降、FDM）の評価結果と、距離減衰式（佐藤・他、2010、2012）による評価結果を比較することにより、差分法の結果の妥当性を検証する。対象地点は関東1都7県庁の8点として、水平2成分の幾何平均で比較する。FDMによる地震動は、図3-4-1に示す10通りの震源域に、破壊開始点やSMGA位置などを変えた複数のケースを想定して評価されている。FDMによる評価波の平均応答スペクトルを各震源域で求め、距離減衰式の予測値と比較する。

東京都庁におけるFDMによる評価波の平均応答スペクトルと、距離減衰式による応答スペクトルの比較を図3-4-27に示す。FDM（青線）は距離減衰式（赤線、橙線）よりも振幅レベルが小さいケースが多い。スペクトル形状の比較において、距離減衰式には約6秒に卓越周期がみられるが、FDMの評価結果は6秒付近に谷に近い形状がみられる。

距離減衰式の評価結果にサイト係数の寄与も大きく、東京都庁の卓越周期とサイト係数のピーク周期は一致している。距離減衰式の特徴は、回帰に使用されている地震に依存するが、図3-4-1に示す震源域で発生した地震は含まれていない。距離減衰式の増幅特性が相模トラフで発生する地震に必ずしも対応するとは限らない。距離減衰式の基になっている地震と相模トラフの地震に違いがあるため、ずれが生じていると考えられる。

震源規模との関係性を調べるために、距離減衰式の予測値に対するFDMによる評価波の応答スペクトル比の周期2～10秒の平均をArea01～10に対して求め、Mwとの関係を図3-4-28（佐藤・他（2010）に対する比）に示す。図には、評価地点と震源の位置関係で区別してプロットしている。神奈川県庁の評価結果は直上にある場合がそれ以外の場合よりも大きく評価されているが、その他の評価地点ではそのような傾向は見られなかった。

群馬県庁を除くほとんどの観測点で1よりも小さく評価され、FDMによる評価結果が距離減衰式よりも小さい結果となった。違いが生じる要因の一つとして、距離減衰式の回帰に相模トラフの地震が含まれていないことが考えられる。

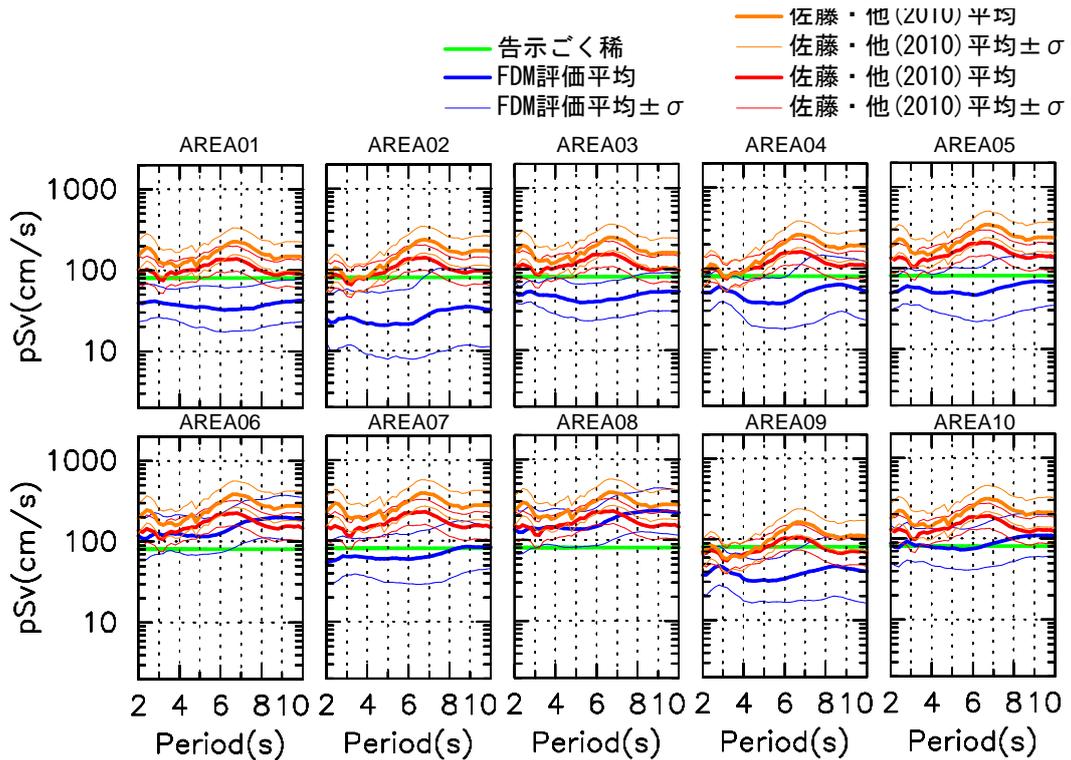


図 3-4-27 東京都庁における FDM による応答スペクトルと佐藤・他（2010、2012）の距離減衰式による評価の比較。

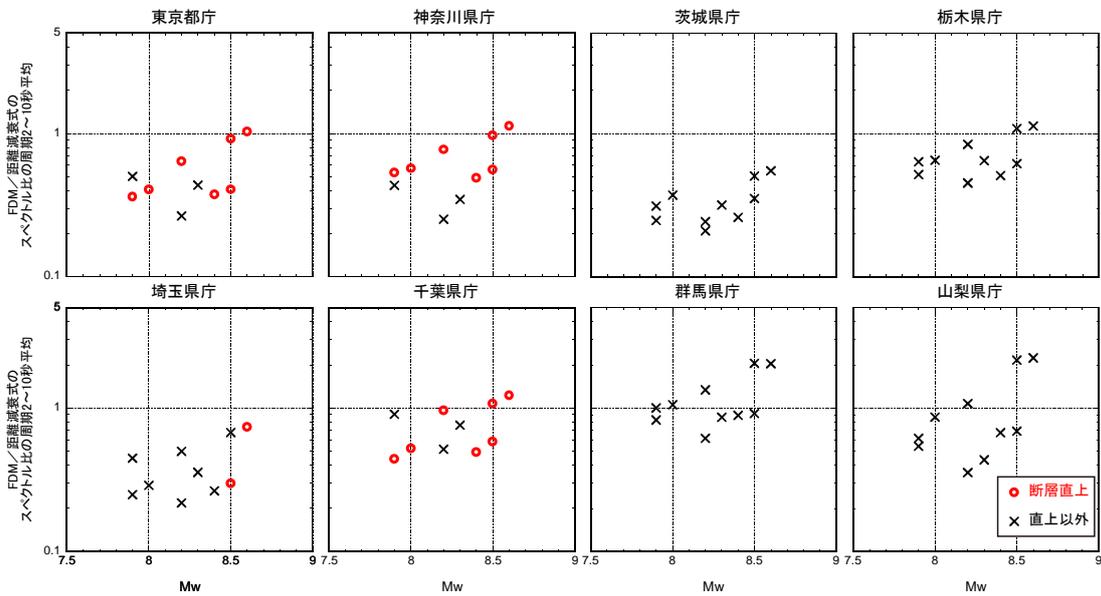


図 3-4-28 各評価地点における FDM/佐藤・他（2010）の距離減衰式の周期 2～10 秒の平均と断層モデルの Mw の関係。

(2) 耐震基準と長周期ハザード評価結果の比較

相模トラフ地震が発生した時の地震動レベルが耐震基準を超える確率を求める。ここでは、超高層建築物（以降、建築物と呼ぶ）に対する基準と、石油タンクに対する基準を対象とする。それらの基準レベルと各ケースの評価結果を比較し、基準を超えるケースの起こりうる確率を積算して評価する。

建築物の耐震基準は、建築物に水平方向に作用する地震動として加速度応答スペクトルが定められており、ここでは極めて稀に発生する地震動（以降、ごく稀と呼ぶ）を対象とする。ここでは周期 2 秒以上を対象としているので、基準値は $pSv=5*1.024/2\pi$ (m/s) の一定の値となる。告示ごく稀との比較は 8 都県庁を対象とする。

2015 年 12 月に国交省から「超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策案（以降、国交省試案、2015 と呼ぶ）」が示され、現在意見募集を行っている。将来的に、超高層建築物を設計する際に考慮すべき地震動となりうると考えられるので、関東地域で設定されている地震動レベル KA1 も対象とする。東京都庁、神奈川県庁、千葉県庁、埼玉県庁が指定地域内にあるので、KA1 の超過確率は 4 地点を対象とする。

石油タンクの液面揺動に対する地震外力は、以下の式のように整理できる。

$$Sv(T_{sl}) = 105.4 \cdot v_5 \text{ (cm/s)} \quad (3-4-3)$$

v_5 は石油コンビナートがある各地域で定められており、東京湾岸は神奈川県、千葉県沿岸の指定地域に設定されている。それらの地域の近傍に位置する神奈川県庁、千葉県庁の 2 地点を対象とした。なお、減衰は 0.5% の速度応答スペクトルで規定する。

相模トラフ沿いのプレート境界地震の発生確率は、図 3-4-1 に示す各震源域に設定された値を用い、それぞれの震源域内のケースは均等確率を仮定した。東京都庁における応答スペクトルの振幅と、各周期の累積確率分布を図 3-4-29 に示す。寒色が 2 秒付近の短周期の値を表し、暖色が 10 秒付近の長周期の値を表す。また約 80cm/s に示す灰色の線は告示ごく稀の基準値を表す。

告示ごく稀のレベルを上回る確率を図 3-4-30 に示す。東京都庁の超過確率が高く、約 25～45% で推移しており、長周期ほど確率が高くなっている。茨城県庁、栃木県庁の確率は低くほぼ 0 を示している。神奈川県庁、千葉県庁、埼玉県庁、群馬県庁は約 20～40% の範囲で推移している。同様に国交省試案（2015）の KA1 のレベルを上回る確率を図 3-4-31 に示す。基準のレベルが小さくなっている 6 秒より短い周期で値が大きくなっている。KA1 の基準は南海トラフで発生する安政東海地震 (Mw8.6) を対象とする評価結果に基づいており、南海トラフは関東から震源距離が離れているため、短周期では減衰し振幅レベルが下がっている。一方、相模トラフで発生する地震では、図 3-4-27 に示すように周期 2 秒付近でも振幅は下がっていない。相模トラフと南海トラフの評価されるスペクトル形状の違いにより、基準が下がっている周期で超過確率が大きくなる結果となっている。

各県庁での液面揺動の耐震基準に対する超過確率を図 3-4-32 に示す。国交省試案（2015）の KA1 との比較時と同様に、基準の値が小さくなる 5 秒付近で確率が高くなっており、そ

の周期で約 40%を示している。周期 10 秒程度の長い周期に対しては神奈川県庁で 10%、千葉県庁で 20%と評価された。

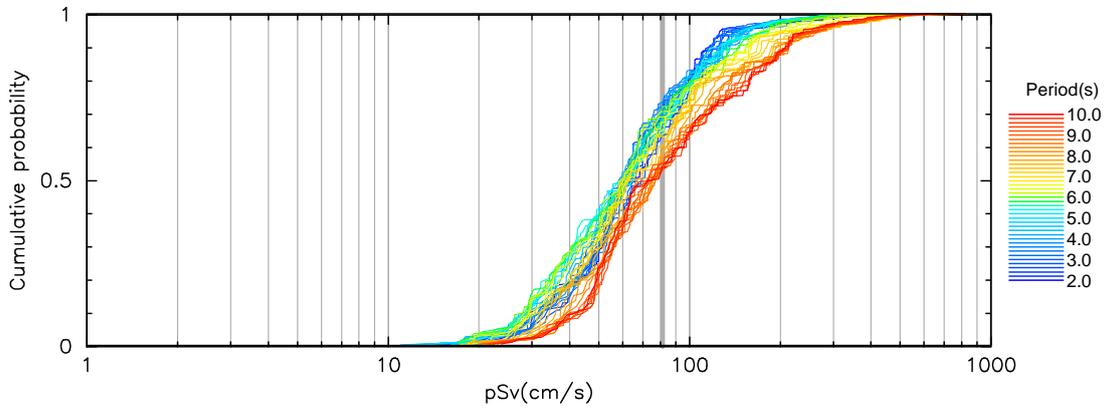


図 3-4-29 相模トラフ地震が発生した時の東京の擬似速度応答スペクトルの累積確率分布 (灰太線は建設省 1461 号告示 Lv2)。

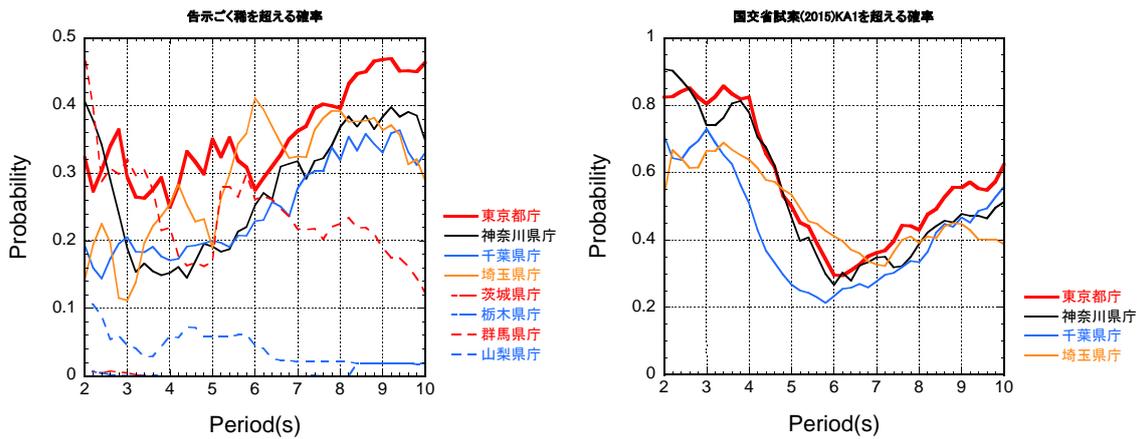


図 3-4-30 建設省告示 Lv2 の超過確率。 図 3-4-31 国交省試案(2015)KA1 の超過確率。

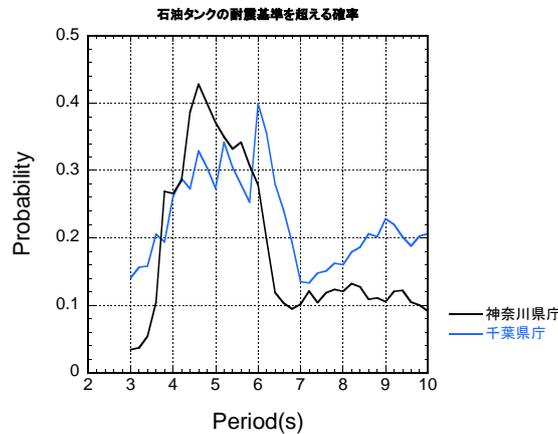


図 3-4-32 石油タンクの液面揺動の耐震基準を超える確率。

b) 関東平野における地盤増幅率の検討

(1) FDM による評価結果に基づく増幅率と距離減衰式のサイト係数の比較

相模トラフ地震に対する FDM による評価において、関東平野の堆積層による増幅率の妥当性を検証するため、距離減衰式のサイト係数や震源域付近で発生した地震の記録に基づく増幅率と比較する。また FDM による増幅率の性質を把握するため、1 次元増幅率、南海トラフ地震を対象とした時の増幅率と比較し、さらに相模トラフ震源域内での記録に基づく増幅率の違いを調査した。各種評価法の増幅率は以下のように定義した。

- ・「FDM」は、地震基盤の評価波に対する関東地盤モデルの評価波の応答スペクトル比
- ・「距離減衰式」は、サイト係数の真数（対数の底は 10）
- ・「記録に基づく増幅率」は、地震基盤に近い観測点で残差補正した距離減衰式の予測値に対する観測記録の応答スペクトル比

まず FDM と距離減衰式による増幅率の比較の例を図 3-4-33 に示す。距離減衰式の増幅率を黒線と灰線、FDM による南海トラフを対象とした時の増幅率を青線（昨年度の検討結果）、相模トラフを対象とした時の増幅率を橙線で表す。4 観測点とも相模トラフを対象とした FDM による増幅率は、距離減衰式による増幅率よりも小さく、4 観測点以外でも同様の結果が得られた。TKY004（八王子）を除く 3 点では相模トラフ地震時の増幅率より、南海トラフ地震時の増幅率が距離減衰式の増幅率に近い。距離減衰式の回帰に用いられている地震の中に関東直下の地震は含まれておらず、南海トラフ付近で発生した地震は 2004 年紀伊半島沖の地震等が含まれている。相模トラフ地震時の増幅率よりも南海トラフ地震時の増幅率に近いことは、回帰に用いている地震の特性を表していることに調和している。それは、相模トラフの地震時の評価に対して、距離減衰式を用いると増幅率が過大となるため、振幅の絶対値も過大評価になる可能性がある。

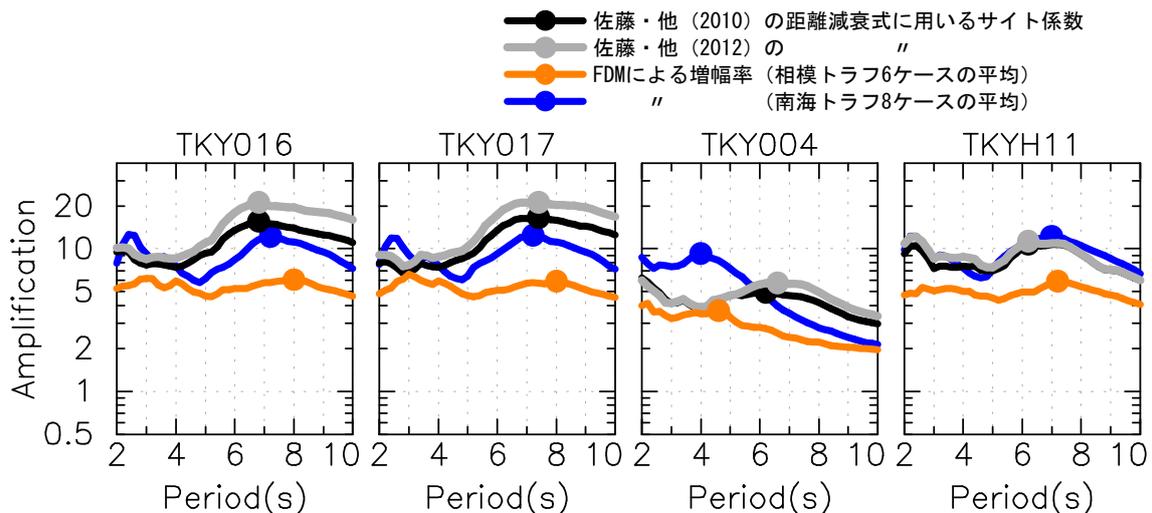


図 3-4-33 FDM の評価結果（相模トラフの結果、南海トラフの結果（昨年度成果））と距離減衰式の増幅率の比較。

(2) FDMによる評価結果に基づく増幅率と観測記録に基づく増幅率の比較

相模トラフの地震の震源域に近い位置で発生した地震を選定し、それらの記録に基づき増幅率を評価した。解析に使用する地震として、震央が北緯 34.5~36.5 度、東経 139.0~141.0 度、 M_j 5.0 以上、かつ地震基盤に近い観測点で 3 点以上記録が得られていることを条件として 46 地震を選定した。まず、地震基盤に近い観測点で、距離減衰式の予測値と観測記録の残差を地震毎に求めた後、各観測点で、残差を加えた地震基盤の予測値に対する観測記録の応答スペクトル比を求め、複数の地震の応答スペクトル比の平均値を記録に基づく増幅率とした。

各種評価法の増幅率の比較の例を図 3-4-34 に示す。相模トラフの地震を対象とした FDM による増幅率を橙線、距離減衰式によるサイト係数を黒線と灰線、記録に基づく増幅率を赤線で示す。TKY004 (八王子) では記録に基づく増幅率は FDM による増幅率よりも、距離減衰式特性の増幅率によく対応する。一方、それ以外の 3 観測点では、記録に基づく増幅率は、距離減衰式の増幅率よりも、FDM による増幅率とよく対応する。

関東平野上にある 1 都 6 県の K-NET、KiK-net 観測点に対して、記録に基づく増幅率に、距離減衰式か FDM による増幅率のどちらが近いかを、増幅率比の対数の L1 ノルムを基準にして求めた。記録に基づく増幅率に近い評価法の分布を図 3-4-35 に示す。橙色の観測点は FDM による評価が、黒色は佐藤・他 (2010) が、灰色は佐藤・他 (2012) が、記録に基づく増幅率に近い観測点を表している。東京湾岸など基盤が深い地域は、FDM の評価が記録の増幅率に近いことが確認できた。関東平野周辺の観測点で、FDM の評価と記録に基づく増幅率に違いが生じた原因として、盆地端部付近の地下構造モデルの精度が地震動を説明するほど高くないことなどがあげられる。

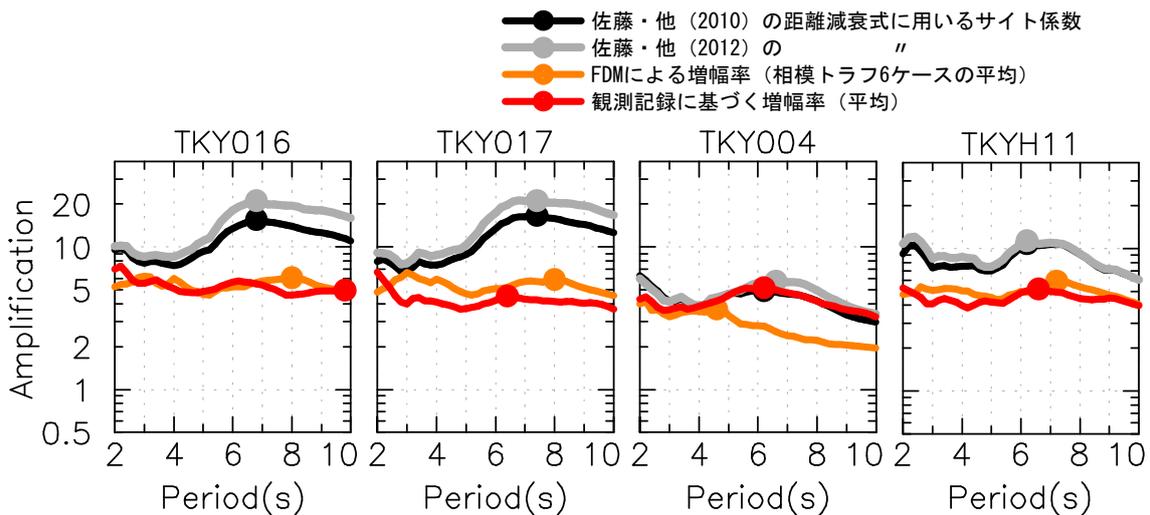


図 3-4-34 観測記録に基づく増幅率、FDM による増幅率、および距離減衰式のサイト係数の比較。

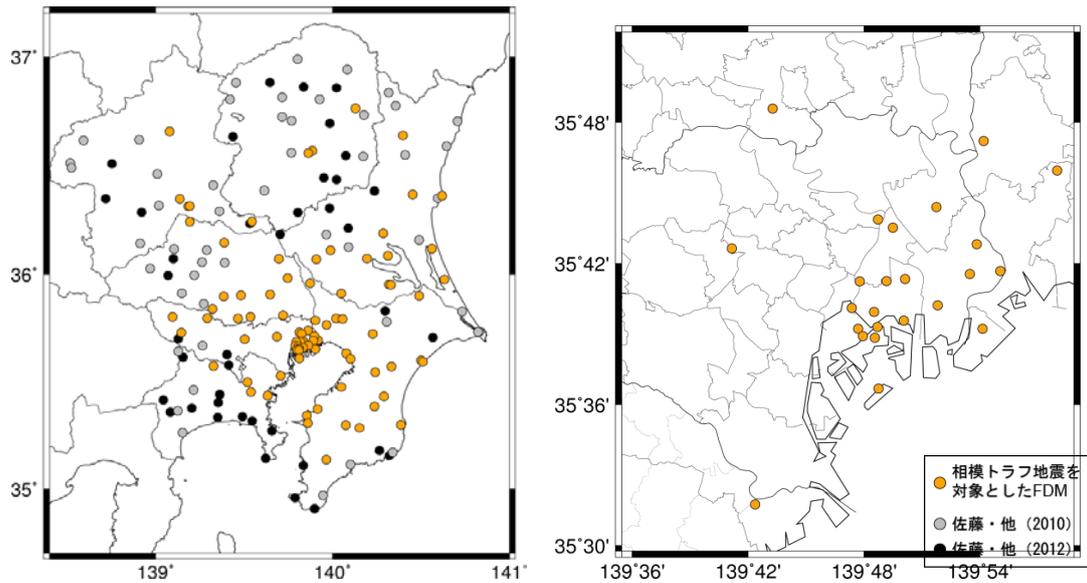


図 3-4-35 観測記録に基づく増幅率に、最も近い増幅率の評価分類。

(3) FDMによる評価結果に基づく増幅率と1次元増幅率の比較

相模トラフの地震の震源域は関東直下に位置し、直下から入射する地震波に対しては、表面波の影響が小さく実体波で説明ができる可能性がある。そこで、直下の1次元地下構造モデルに基づく地盤増幅率とFDMによる増幅率を比較した。

鉛直下方から入射した時の地表面の評価波の、入射波に対する応答スペクトル比(1次元増幅率)と、3次元FDMによる増幅率の比較を図3-4-36に示す。TKY004では周期5秒以上で両者は対応するものの、その他の3観測点では周期2~10秒で3次元増幅率が1次元増幅率よりも2倍大きい結果となった。

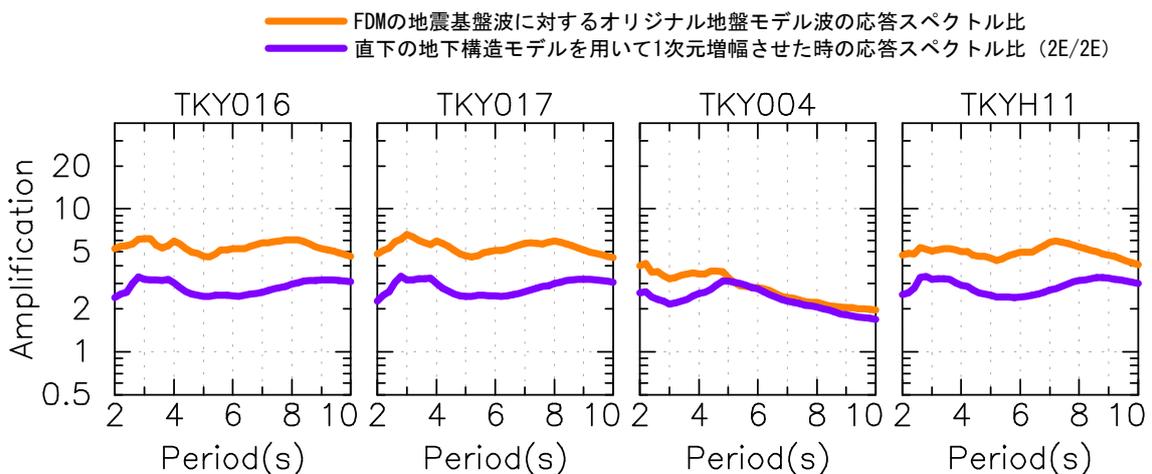


図 3-4-36 観測点直下の地盤モデルを用いて1次元増幅させた時の入力波に対する応答スペクトル比と、FDMによる増幅率の比較。

(4) 震源域毎の増幅率の分布検討

記録に基づく増幅率の解析対象にしている地震は、広い範囲を対象としているため、震央位置によって増幅率に違いが現れる可能性が考えられる。ここでは地震域による増幅率の違いを調べるため、各観測点で全地震の増幅率の平均に対する、各地震の増幅率の比を求めた。ここでは、周期 2~5 秒と周期 5~10 秒の二つの帯域に分けて、各帯域の幾何平均の値で調べた。

TKY007 における増幅率の平均に対する比の分布を図 3-4-37 に示す。左図が周期 2~5 秒、右図が周期 5~10 秒の平均を表す。増幅率の比には、各地域によって違いが明瞭に現れており、例えば、図 3-4-37 右図の青破線で囲った地域は増幅率が小さく、赤破線で囲った地域は増幅率が大きくなることを表している。残差に対して偶然的な不確実性が支配的であれば、図 3-4-37 のように、特性が類似する地震が地域ごとに固まって分布するとは考えにくいため、地震の発生場所によって増幅率に違いがあると推察される。

他の観測点でも地域ごとに増幅率の比が分布する結果が得られたが、観測点による分布の特性は異なる結果が得られた。増幅率が異なる要因として、地下構造の不整形性、震源の放射特性の違い、減衰の地域性などがあげられるが、その解析については、今後の課題としたい。

ここでは、FDM と記録の比較において平均で比較して、増幅率が対応する結果を得ているが、必ずしも震源の場所は一致していない。震源の場所によって異なる結果が得られているため、相模トラフの地震（特に神奈川県直下に対して）に対して、説明性を高めるためには、震源を合わせて解析することが有効であると考えられる。

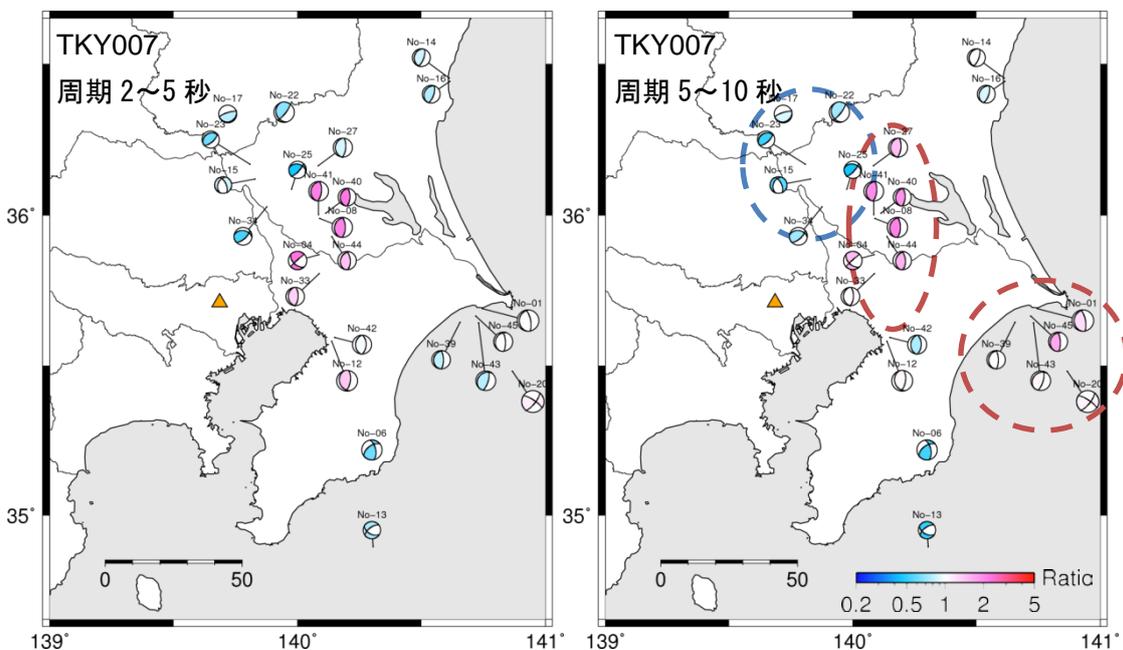


図 3-4-37 増幅率の平均に対する、各地震の増幅率の比の分布 (▲: TKY007、青は増幅率が小さくなる地震を、赤は増幅率が大きくなる地震を表す)。

(5) 距離減衰式のサイト係数を観測記録に基づく増幅率とした時の再評価した結果と長周期ハザード評価結果の比較

距離減衰式による評価が FDM に対して振幅が大きい結果が得られ、増幅率の検討の結果、距離減衰式の回帰に用いている地震の違いにより、増幅率が過大評価していると考察した。ここでは、記録に基づく増幅率を用いて、距離減衰式の予測値を再評価した。

距離減衰式の予測値を再評価した結果に対する FDM の応答スペクトルの比を求め、周期 2~10 秒の帯域で平均した値の M_w との関係を図 3-4-38 に示す。左図にもとのサイト係数を、右図に記録に基づく増幅率を使用した時の評価結果を示す。元のサイト係数時ではスペクトル比は 1 を下回るケースが多かったが、記録に基づく増幅率を使用した時は、スペクトル比は 1 に近づくケースが増えている。

サイト係数の変更前後の応答スペクトル比の違いを図 3-4-39 に示す。群馬県庁を除いた評価地点で 1 に近づいている。FDM の評価結果が距離減衰式の予測値より小さく評価された要因は、距離減衰式のサイト係数と関東直下で発生した時の増幅率が異なることによると考えられる。

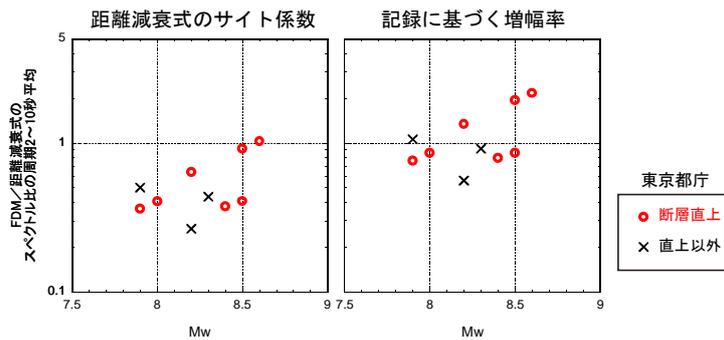


図 3-4-38 サイト係数の変更前後の、東京都庁における FDM/佐藤・他 (2010) の距離減衰式の周期 2~10 秒の平均と断層モデルの M_w の関係。

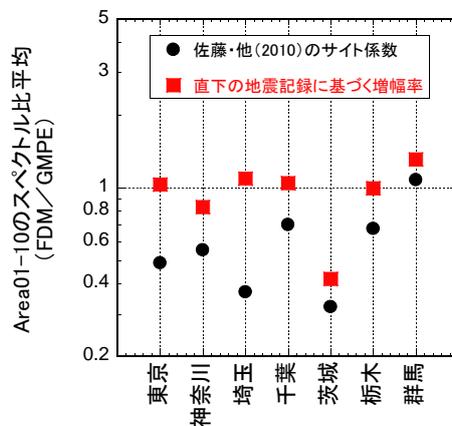


図 3-4-39 増幅率を距離減衰式のサイト係数 (黒色) から記録に基づく増幅率に変更したとき (赤色) の、Area01 から Area10 の周期 2~10 秒のスペクトル比平均の違い。

2) 長周期地震動の事例等に関するウェブページの試作

平成 26 年度までの「長周期地震動予測地図作成等支援事業」および「長周期地震動ハザードマップ作成等支援事業」における検討により、長周期地震動そのものや被害に関する事例、ハザード評価に基づく超高層建物の応答等に関する知見などが蓄積されてきた。そこで、これらの成果を説明するウェブページを試作した。

(A) 事例等に関する解説ページの試作

平成 24 年度から平成 26 年度までに実施してきた、長周期地震動ハザード評価結果の活用に関する検討について、ウェブページは、各年度の検討内容ごとにまとめた（図 3-4-40）。内容の例を図 3-441〇に示す。作成した上記ウェブページの HTML のソースファイルについては、付録の CD-ROM に納めている。

(B) 長周期地震動に関するインタラクティブウェブ教材ページの試作

長周期地震動による超高層建物の応答を視覚的に見せるため、長周期地震動ハザード評価実施地点において、波形の種類や対象とする建物（階数）を選択することで、アニメーション表示するウェブページを試作した。階数の違いによる応答の違いを同時に 3 種類の階数を表示するようにしている。平成 24 年度および平成 25 年度に実施した南海トラフ地震および相模トラフ地震を対象とした長周期地震動ハザード評価の試算結果における、「平均」および「最大」に近いケースの波のいずれかを選択できるようにしている。建物応答については、ビルを模したアニメーション表示だけでなく、応答波形も表示される。

表示画面の例を図 3-4-42 に示す。なお、階数の上限は 100 階であり、応答計算は質点系モデルにより減衰定数 5%として行っている。

(C) 長周期地震動ハザードカルテの試案

防災科学技術研究所では、地震調査研究推進本部より公表されている全国地震動予測地図の情報をもとに、各評価地点における確率論的地震動ハザード評価に関する情報を A4 サイズ 1 枚の紙にまとめた「地震ハザードカルテ」を公開している。ここでは、長周期地震動ハザード評価を対象とした「長周期地震動ハザードカルテ」の作成に関する検討を行った。以下の情報をまとめたものを「カルテ」の試案とした（図 3-4-43）。

1. 地点情報
2. 総合評価（レーダーチャートにまとめた表示）
3. 代表的な長周期地震動ハザード
4. 地下構造情報（地震基盤深さ）
5. 長周期地震動ハザードカーブ（南海トラフ地震および相模トラフ地震）
6. 長周期地震動継続時間の分布

平成 24 年度

長周期地震動予測地図の利活用に関する検討支援のまとめ

目次

1. 長周期地震動に対する超高層ビルの応答解析検討
 - 1.1 [南海トラフ地震に対する超高層ビルの応答](#)
 - 1.2 [相模トラフ地震に対する超高層ビルの応答](#)
2. 長周期地震動に対する被害と指標
 - 2.1 [長周期地震動により生じる想定被害と防災・減災対策](#)
 - 2.2 [長周期地震動の強さの指標と被害の関係](#)
3. 超高層ビルに対する簡易被害推定法
 - 3.1 [簡易被害推定法と耐震診断](#)
 - 3.2 [超高層ビルの簡易被害推定と長周期地震動指標](#)

平成 25 年度

長周期地震動ハザード評価の利活用に関する検討支援

目次

1. 超高層建物の応答と被害
 - 1.1 [南海トラフ地震に対する超高層建物の応答](#)
 - 1.2 [相模トラフで想定される地震動に対する応答解析](#)
2. 長周期地震動の大きさの尺度
 - 2.1 [観測波の分析](#)
 - 2.2 [長周期地震動の尺度と超高層建物の応答値](#)
 - 2.3 [長周期地震動の尺度の比較](#)
3. 超高層建物の多様性の検討
 - 3.1 [構造形式の異なる超高層建物の応答](#)
 - 3.2 [超高層建物のフレンジの脆弱性の評価](#)
4. 揺れの継続時間の影響
 - 4.1 [距離継続時間とエネルギースペクトル](#)
 - 4.2 [最大梁累積塑性変形倍率](#)

平成 26 年度

長周期地震動ハザード評価の利活用に関する検討支援

目次

1. 長周期地震動ハザード評価に基づく超高層建物の面的な応答評価の検討
 - 1.1 [面的評価に用いる長周期地震動ハザード評価結果の選定](#)
 - 1.2 [大阪平野の面的評価](#)
 - 1.3 [濃尾平野の面的評価](#)
 - 1.4 [東京近傍の面的評価](#)
 - 1.5 [地域的な違いの考察](#)
2. 超高層建物の被害に関する検討
 - 2.1 [長周期地震動指標分布と超高層建物](#)
 - 2.2 [広帯域地震動による超高層建物の応答への影響](#)
 - 2.3 [最大応答値と被害の関係の整理と解説](#)
3. 超高層建物等における耐震基準等の調査・整理
 - 3.1 [距離減衰式と長周期地震動ハザード評価の比較](#)
 - 3.2 [距離減衰式と長周期地震動ハザード評価の地盤増幅率の比較](#)
 - 3.3 [長周期地震動に関連した超高層建物等の基準などの調査・整理](#)

図 3-4-40 試作した長周期地震動ハザード解説ウェブページのトップ画面。

- 1. 超高層建物の応答と被害
 - 1.1 南海トラフ地震に対する超高層建物の応答
 - 1.2 相模トラフで想定される地震動に対する応答解析
- 2. 長周期地震動の大きさの尺度
 - 2.1 観測波の分析
 - 2.2 長周期地震動の尺度と超高層建物の応答値
 - 2.3 長周期地震動の尺度の比較
- 3. 超高層建物の多様性の検討
 - 3.1 構造形式の異なる超高層建物の応答
 - 3.2 超高層建物のフラジリティの評価
- 4. 揺れの継続時間の影響
 - 4.1 距離継続時間とエネルギースペクトル
 - 4.2 最大梁累積塑性変形倍率

2.2 長周期地震動の尺度と超高層建物の応答値

2011年東北地方太平洋沖地震の観測値

2011年東北地方太平洋沖地震において観測された記録の最大応答値が公開されているもの(日本建築学会、2012)からのデータを用いて、超高層建物の最大変形角と長周期指標の関係をFigure 2.2-1に示す。2次部材や家具什器に被害が発生した東京、大阪の超高層建物においては、長周期指標は5前後だったことが分かる。各長周期指標に対する最大変形角 ϕ について直線回帰して(2.2-1)式～(2.2-3)式の関係式を得た。

$$\log \phi = 0.41I_{L1} - 4.68 \quad (2.2-1) \text{式}$$

$$\log \phi = 0.46I_{L2} - 4.92 \quad (2.2-2) \text{式}$$

$$\log \phi = 0.51I_{L2} - 5.20 \quad (2.2-3) \text{式}$$

Figure 2.2-1に相関係数の一番大きい I_{L2} に対する回帰式((2.2-2)式)を実線で示すが、外挿して考えると最大変形角1/100となるには長周期指標が6を超えると推定される。

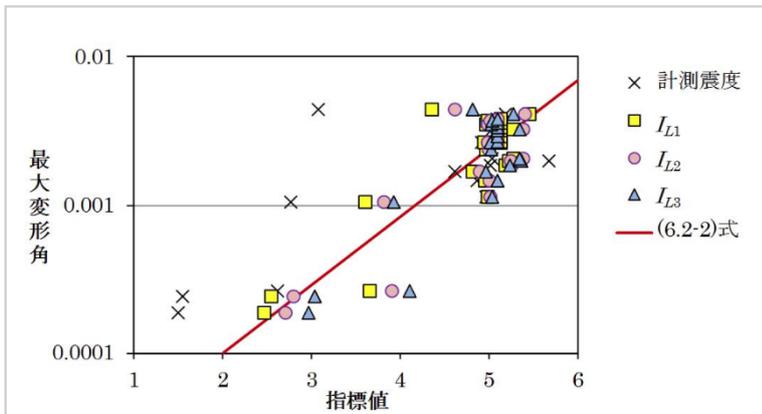


Figure 2.2-1: 超高層建物の最大変形角(日本建築学会、2012)と震度及び長周期指標の関係(2011年東北地方太平洋沖地震)

南海トラフの想定波の東京付近での長周期の尺度

地震調査委員会強震動評価部会(2001)および地震調査委員会(2009)を参照して作成されたFigure 2.2-2に示す南海トラフ沿いの東海・東南海・南海の3連動震源モデル(深部アスベリティ、紀伊半島沖から破壊: ANNI3d-c、以後「南海トラフ3連動」と称する)と全国1次地下構造モデル(暫定版)(地震調査委員会、2012)を用いて3次元差分法で解析された東京近傍の範囲の2kmメッシュの周期2秒以上の長周期シミュレーション波形(Maeda et al., 2012)から長周期地震動の尺度を計算し、応答解析による超高層建物の最大応答値との関係を検討した。

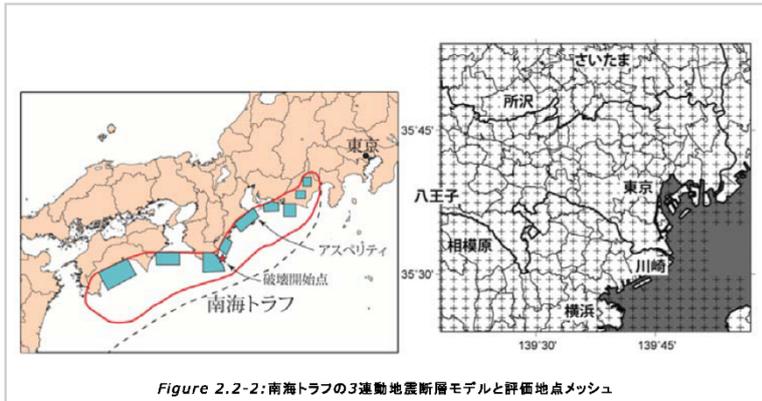


Figure 2.2-2: 南海トラフの3連動地震断層モデルと評価地点メッシュ

Figure 2.2-3に長周期指標 I_{L2} と長周期地震動階級に用いられている周期1.6-7.8秒の絶対速度応

図 3-4-41 超高層建物の応答解析に関する検討部分の表示例。

Web教材

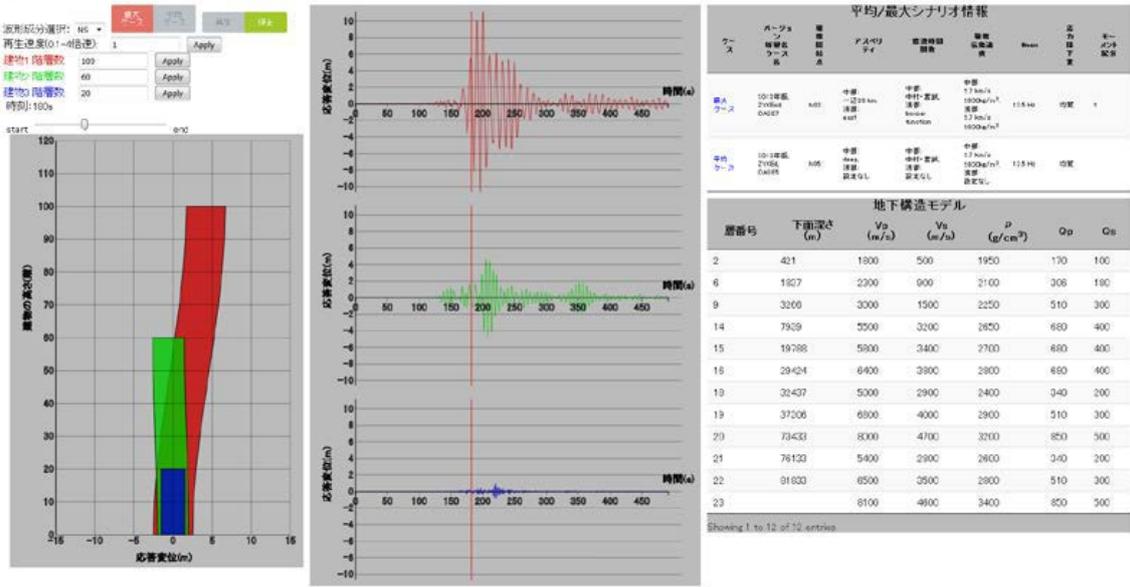


図 3-4-42 試作した長周期インタラクティブ教材の画面例。

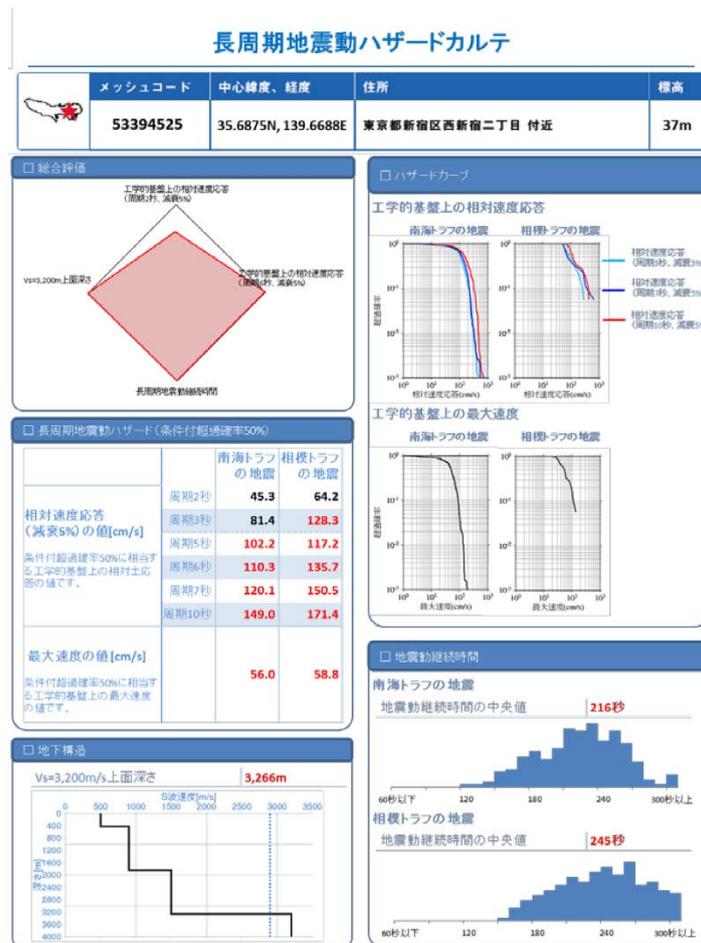


図 3-4-43 「長周期地震動ハザードカルテ」のイメージ。

(c) 結論および今後の課題

長周期地震動ハザード評価結果等の活用に資するための以下の検討を実施した。

- ・平成 26 年度に実施した相模トラフ地震の長周期地震動ハザード評価に基づいて、東京圏の面的最大応答分布を評価した。
- ・長周期地震動ハザード評価に基づいて、長周期地震動指標の確率分布を推定し、首都圏の被害の概要を推定した。
- ・長周期地震動ハザード評価結果と建築基準の告示波、国土交通省による長周期地震動に関する対策試案、石油タンクの耐震基準との比較から、耐震基準を超える地震動に見舞われる確率を推定した。

また、長周期地震動に関する知見の普及に資するため、平成 26 年度までの検討内容について説明するウェブページ、超高層建物の応答に関するウェブインタラクティブ教材を試作し、長周期地震動ハザードカルテの試案を示した。

一方で、これまでの検討は超高層建物そのものの被害に着目したものであるが、より被害が多区の被害が発生する、天井や家具什器などの 2 次部材の被害評価を行う必要がある。さらに、これまでは制震装置を考慮していないモデルを対象とした検討であった。従って、ダンパーなどの対策を付したモデルによる応答評価を行い、対策の有効性の検証も進めていくべきである。また、長周期地震動に関する知見をより一般社会に普及していくためには、本検討で試作したウェブやハザードカルテのコンテンツを充実させていくことが必要である。

(d) 引用文献

地震調査委員会, 2014: 全国地震動予測地図 2014 年版～全国の地震動ハザードを概観して～ 付録 1, http://www.jishin.go.jp/main/chousa/14_yosokuchizu/f1.pdf.

国土交通省, 2015, 「超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策案について」に関するご意見募集について, http://www.milt.go.jp/report/press/house05_hh_000601.html.

佐藤智美・大川出・西川孝夫・佐藤俊明・関松太郎, 2010, 応答スペクトルと位相スペクトルの経験式に基づく想定地震に対する長周期時刻暦波形の作成, 日本建築学会構造系論文集, 649, 521-530.

佐藤智美・大川出・西川孝夫・佐藤俊明, 2012, 長周期地震動の経験式の改良と 2011 年東北地方太平洋沖地震の長周期地震動シミュレーション, 日本地震工学会論文集, 第 12 巻第 4 号, 354-373.