

第3章 観測データに基づく長周期地震動の性質

3-1 長周期地震動の回帰式作成に用いるデータと手法

本章では、周期 0.1～10 秒の減衰定数 5%と 1%の加速度応答スペクトルとエネルギースペクトルの回帰式(距離減衰式)、継続時間を特徴づける群遅延時間の平均値と標準偏差の回帰式を作成するための、地震動データと回帰式作成方法について記述する。

(1) データセット

回帰分析は、海溝型地震、地殻内地震それぞれに対して実施する。回帰分析に用いる海溝型地震、地殻内地震の諸元を表 3.1.1、表 3.1.2 に示す。地震数は、海溝型地震、地殻内地震で、それぞれ、33 個、26 個である。地震モーメント及び M_w は、震源インバージョン結果がある場合にはこの値、ない場合には防災科学技術研究所の F-net の推定値、これもない場合にはハーバード大学の推定値を用いる。なお、その他の地震諸元は気象庁発表の値を用いる。また、回帰式作成に用いる断層最短距離は、震源インバージョンがなされている地震(表 3.1.1、表 3.1.2 参照)は、その断層モデルを用いて計算し、他の地震は震源距離を用いた。

地震の選択条件は、以下の通りである。

- 1) 地殻内地震では、 $M_J \geq 6.0$
- 2) 海溝型地震(プレート境界地震とスラブ内地震)では、 $M_J \geq 6.5$
- 3) 震源深さ $\leq 60\text{km}$
- 4) 2007 年 7 月までの地震

また、記録の選択条件は以下の通りである。

- 1) K-NET 観測点、KiK-net 観測点、気象庁 87 型観測点
- 2) 地表の 3 成分の記録
- 3) 福島・田中(1992)の最大加速度の距離減衰式で 2cm/s^2 以上となる距離以内
- 4) 地殻内地震：震源距離 $\leq 350\text{km}$
- 5) 海溝型地震：震源距離 $\leq 400\text{km}$
- 6) 周期 0.1～10 秒で信頼できる記録
- 7) 層別因子を用いた回帰分析に必要な共通の記録

なお、7)の条件を満足させるため、1996 年銚子付近の地震は $M_J 6.4$ であるが追加している。海溝型地震の震央位置を図 3.1.1 に、 M_J と断層最短距離、 M_w と断層最短距離、地震モーメント M_0 と震源距離の関係を図 3.1.2 に示す。地殻内地震に対する同様の図を図 3.1.3、図 3.1.4 に示す。図 3.1.5 には、観測点位置を示す。

観測加速度波形に周期 0.05～10 秒のフィルターをかけ、S 波部以降を切り出した波形を回帰式作成に用いた。S 波到達時間は発震時からの走時が海溝型地震は震源距離/4.2～5 秒、海溝型地震は震源距離/3.6～5 秒とした。

(2) 加速度応答スペクトルとエネルギースペクトルの回帰式作成方法

固有周期 T の関数である減衰定数 1% と 5% の加速度応答スペクトルとエネルギースペクトルを $Y(T)$ とし、 $Y(T)$ を M_j と断層最距離 R (km) をパラメータとする (1) 式と、 M_w と R をパラメータとする (2) 式で表現する。

$$\log_{10} Y(T) = a(T)M_j + b(T)R - \log_{10}(R^{p(T)} + d(T)10^{0.5M_j}) + c(T) + c_j(T) \quad (1)$$

$$\log_{10} Y(T) = a(T)M_w + b(T)R - \log_{10}(R^{p(T)} + d(T)10^{0.5M_w}) + c(T) + c_j(T) \quad (2)$$

ここで、 $a(T)$ 、 $b(T)$ 、 $d(T)$ 、 $p(T)$ 、 $c(T)$ 、 $c_j(T)$ は回帰係数である。 $d(T)10^{0.5M_j}$ 、 $d(T)10^{0.5M_w}$ は震源近傍で地震動強さが頭打ちする現象を表現する項である。 $c(T)$ は周期 1 秒以上で、地盤増幅がなく、地震基盤相当と考えられる KiK-net 観測点 FKSH19 のサイト係数である。図 3.1.6 には、FKSH19 での地盤構造 (防災科学技術研究所強震ネットワーク; <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>) を示す。 $c_j(T)$ は j 観測点での地震基盤から地表までのサイト係数である。したがって、 $10^{c_j(T)}$ は j 観測点における地震基盤から地表までの地盤増幅率となる。なお、減衰定数 1% と 5% の加速度応答スペクトル、エネルギースペクトルとも、NS 成分と EW 成分の幾何平均値と上下成分に対してそれぞれ距離減衰式を作成する。対象とする固有周期 T は、昨年度の検討と同様、56 ポイント (0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4, 2.6, 2.8, 3.0, 3.2, 3.4, 3.6, 3.8, 4.0, 4.2, 4.4, 4.6, 4.8, 5.0, 5.2, 5.4, 5.6, 5.8, 6.0, 6.2, 6.4, 6.6, 6.8, 7.0, 7.2, 7.4, 7.6, 7.8, 8.0, 8.2, 8.4, 8.6, 8.8, 9.0, 9.2, 9.4, 9.6, 9.8, 10.0 秒) である。

(1)、(2) 式の $d(T)$ 、 $p(T)$ は、グリッドサーチにより求めた。サーチするグリッドは、 $d(T)$ は、既往の研究を参考に、0 から 0.02 までを 0.001 刻みの 21 ポイント、幾何減衰を意味する $p(T)$ は、0.5 から 1.0 までを 0.1 刻みで 6 ポイントとした。したがって、各固有周期において $21 \times 6 = 126$ グリッドで回帰分析を行い、回帰誤差 e が最小となる $d(T)$ 、 $p(T)$ を推定している。回帰分析は、佐藤・他 (1994)、片岡・他 (2006) と同じ、二段階回帰分析手法を用いている。

(3) 群遅延時間の平均値と標準偏差の回帰式作成方法

継続時間は、周波数 f (あるいは周期 T) の狭帯域毎の群遅延時間の平均値 $\mu_{\text{tgr}}(f)$ と分散 $\sigma_{\text{tgr}}^2(f)$ の 2 つの指標により定義する (和泉・勝倉, 1985)。群遅延時間は、位相スペクトルの 1 回微分であるから、初期位相を設定すれば、群遅延時間の平均値と標準偏差から正規分布を仮定して位相スペクトルが計算できる。群遅延時間を導入することにより、表面波の分散性など非定常性が考慮できる特徴がある (佐藤・他, 1997)。周期 1~10 秒がターゲットであるため、波形の時間刻みを 0.02 秒にし、観測波形に後続の 0 をつけて 655.36 秒とし、さらに、波形の前に 655.36 秒の 0 をつけた波形から $\mu_{\text{tgr}}(f)$ と $\sigma_{\text{tgr}}^2(f)$ は計算する。なお、最後に、発震時が 0 秒となるように $\mu_{\text{tgr}}(f)$ を補正する。狭帯域の幅は、フーリエ個数が 64 個となる 0.09766Hz とした。図 3.1.7~図 3.1.9 には、例として 2004 年紀伊半島沖地震の大阪平野内の観測点此花 (OSKH02) での観測加速度波形と非定常スペクトル及び群遅延時間の平均値と平均値 \pm 標準偏差を示す。なお、EW 成分の観測波形は、3.3 で回帰式に基づくシミュレーション対象波形である。

$\mu_{\text{tgr}}(f)$ 、 $\sigma_{\text{tgr}}^2(f)$ とも、震源特性、伝播特性、サイト特性の和として表現できる(澤田・他、1998)。そこで、中心周波数 f の関数である $\mu_{\text{tgr}}(f)$ と $\sigma_{\text{tgr}}^2(f)$ (ともに、水平 2 成分の平均と上下成分) を $Y(f)$ とし、 $Y(f)$ を地震モーメント M_0 (dyne-cm) と震源距離 X (km) をパラメータとする (3) 式で表現する。

$$Y(f) = a(f) M_0^{1/3} + b(f) X + c_j(f) \quad (3)$$

ここで、 $a(f)$ 、 $b(f)$ 、 $c_j(f)$ は回帰係数である。 $c_j(f)$ はサイト係数である。(3) 式は、佐藤・他(2004)と同様に、非負条件付き最小自乗法 (Lawson and Hanson, 1974) により求めた。この手法では、海溝型地震と地殻内地震では基準となる観測点を特定できないため、海溝型地震、地殻内地震のサイト係数を平均する操作は行わない。

断層の破壊の継続時間は、断層長さに比例すると考えられ、断層長さは $M_0^{1/3}$ に比例する。したがって、波形の重心を意味する群遅延時間の平均値 $\mu_{\text{tgr}}(f)$ も $M_0^{1/3}$ に比例すると考えられ、 $\sigma_{\text{tgr}}^2(f)$ は $M_0^{2/3}$ に比例すると考えられる。 $\sigma_{\text{tgr}}^2(f)$ は $M_0^{2/3}$ に比例するとしてモデル化して計算すると、 $a(f)$ が 0 となったため、 $\sigma_{\text{tgr}}^2(f)$ も $M_0^{1/3}$ に比例するとしてモデル化した。 $\sigma_{\text{tgr}}^2(f)$ が $M_0^{2/3}$ に比例しない理由として、断層が長くなると、観測点から遠い部分での断層の破壊の影響が小さくなることなどが考えられる。 $\mu_{\text{tgr}}(f)$ に対する $b(f)$ は、波群の重心の伝播速度の逆数を意味する。

参考文献

- 1) 青井真・関口春子(2007). 近地地震動記録による能登半島地震の震源インバージョン(暫定版)、
<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/topics/noto070325/>.
- 2) Asano, K. and T. Iwata (2006). Source process and near-source ground motions of the 2005 West Off Fukuoka Prefecture, Earth Planets Space, Vol. 58, pp. 93-98.
- 3) 福島美光・田中貞二(1992). 新しいデータベースを用いた最大加速度の距離減衰式の改訂、日本地震学会講演予稿集、No. 2、pp. 116.
- 4) Hikima, K. and K. Koketsu (2005). Rupture processes of the 2004 Chuetsu (mid-Niigata prefecture) earthquake, Japan: A series of events in a complex fault system, Geophys. Res. Lett., Vol. 32, L18303, doi:10.1029/2005GL023588.
- 5) Horikawa, H. (2001). Earthquake doublet in Kagoshima, Japan: Rupture of asperities in a stress shadow, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 91, pp. 112-127.
- 6) 岩田知孝・関口春子(2002). 2000年鳥取県西部地震の震源過程と震源域強震動、第11回日本地震工学シンポジウム、CD-ROM、pp. 125-128.
- 7) 和泉正哲・勝倉裕 (1985). 地震動の位相特性に関する基礎的研究、日本建築学会構造系論文集、第327号、pp. 20-26.
- 8) 片岡正次郎・佐藤智美・松本俊輔・日下部毅明(2006). 短周期レベルをパラメータとした地震動強さの距離減衰式、土木学会論文集 A、Vol. 62、No. 4、pp. 740-757.
- 9) Koketsu, K., K. Hikima, S. Miyazaki, and S. Ide (2004). Joint inversion of strong motion and geodetic data for the source process of the 2003 Tokachi-oki, Hokkaido, earthquake,

Earth Planets Space, Vol.56, pp.329-334.

- 10) 国土地理院(2005). 2005年8月16日 宮城県沖の地震に伴う断層モデル(最終解)、http://jishin.go.jp/main/chousa/05sep_miyagi/p09.htm.
- 11) 国土地理院(2008). 震源断層モデルの概念図 : <http://cais.gsi.go.jp/Research/topics/topic080111/images/gsi5.pdf>.
- 12) Lawson, C.L. and Hanson, D.J. (1974). Solving Least squares problems, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- 13) 前田宜浩・一柳昌義・笹谷努(2005). 北海道内陸地震の震源特性、日本地震工学会・大会—2005梗概集、pp.300-301.
- 14) 佐藤俊明・宮腰淳一・佐藤智美・渡辺孝英・植竹富一・田中英朗(1994). 気象庁87型電磁式強震計記録の応答スペクトルの統計解析による各地気象台のやや長周期帯域(周期1~10秒)の揺れやすさ係数について、第9回日本地震工学シンポジウム、pp.607-612.
- 15) 佐藤智美・植竹富一・菅原良次(1997). 群遅延時間を用いたやや長周期地震動の経験的経時特性モデルに関する研究、日本建築学会構造系論文集、第493号、pp.31-39.
- 16) 佐藤智美・巽誉樹(2002). 全国の強震記録に基づく内陸地震と海溝性地震の震源・伝播・サイト特性、日本建築学会構造系論文集、第556号、pp.15-24.
- 17) 佐藤智美・片岡正次郎・奥村俊彦(2002). K-Net 強震記録に基づく工学的基盤における加速度応答スペクトルと経時特性の推定式の検討、第11回日本地震工学シンポジウム、pp.615-620.
- 18) 佐藤智美(2004). 群遅延時間のインバージョンと散乱理論に基づく地震動の経時特性モデルに関する研究、日本建築学会構造系論文集、第586号、pp.71-78.
- 19) 澤田純男・盛川仁・土岐憲三、横山圭樹(1998). 地震動の位相スペクトルにおける伝播経路特性とサイトの分離、第10回日本地震工学シンポジウム論文集、Vol.1、pp.915-920.
- 20) 関口春子・岩田知孝(2002). 2001年芸予地震の破壊過程と強震動、月刊地球 号外No.38、pp.239-246.
- 21) 宇佐美龍夫(1999). 新編日本被害地震総覧[増補改訂版]、東京大学出版会.
- 22) 山中佳子(2005). 9月5日の紀伊半島南東沖の地震(Mj6.9, Mj7.4, Mj6.4 + Mj6.2)、EIC地震学ノート No.152、http://www.eic.eri.u-tokyo.ac.jp/EIC/EIC_News/EIC152.html.

表 3.1.1 海溝型地震の地震諸元

地震番号	発震時		東経			北緯			震源深さ km	M_J	地震名 震源域名	地震規模 (F-net or Harvard)		観測点 数			
	年	月日	時	分	秒	度	分	秒				度	分		M_0	M_r	
101	1996	10月19日	23:44	41.4	132	0	30	31	47	55	34.0	6.9	日向灘	1.43E+26	6.7		149
102	1996	12月3日	7:17	58.1	131	40	50	31	46	11	38.0	6.7	日向灘	1.23E+26	6.7		107
103	1999	1月24日	9:37	6.1	131	17	24	30	34	7	40.0	6.6	種子島近海	6.58E+25	6.5		58
104	2000	1月28日	23:21	8.8	146	44	40	43	0	29	58.5	7.0	根室半島南東沖	1.21E+26	6.7		61
105	2001	3月24日	15:27	54.5	132	41	37	34	7	56	46.5	6.7	平成13年(2001年)芸予地震	1.51E+26	6.7	関口・岩田(2002)	465
106	2001	5月25日	9:40	52.9	148	48	48	44	18	58	30.0	6.9	択捉南東沖	8.71E+25	6.6		12
107	2003	9月26日	4:50	7.4	144	4	43	41	46	43	45.1	8.0	平成15年(2003年)十勝沖地震	8.21E+27	7.9	Koketsu et al.(2004)	375
108	2003	9月26日	6:08	1.8	143	41	29	41	42	35	21.4	7.1	同余震	1.15E+27	7.3		366
109	2003	9月29日	11:36	55.1	144	33	11	42	21	35	42.5	6.5	同余震	4.96E+25	6.4		175
110	2003	10月31日	10:06	30.7	142	41	46	37	49	56	33.3	6.8	宮城県沖	1.42E+26	6.7		258
111	2004	9月5日	19:07	7.5	136	47	52	33	1	59	37.6	7.1	紀伊半島沖(三重県南東沖)	7.54E+26	7.2	山中(2005)	524
112	2004	9月5日	23:57	16.8	137	8	29	33	8	15	43.5	7.4	紀伊半島沖(三重県南東沖)	1.69E+27	7.4	山中(2005)	516
113	2004	9月7日	8:29	36.3	137	17	34	33	12	33	41.0	6.5	紀伊半島沖(三重県南東沖)	6.00E+25	6.5		351
114	2004	9月8日	23:58	23.2	137	17	15	33	7	4	36.1	6.5	紀伊半島沖(三重県南東沖)	1.62E+25	6.1		254
115	2004	11月29日	3:32	14.5	145	16	32	42	56	46	48.2	7.1	根室半島沖	3.36E+26	7.0		208
116	2004	12月6日	23:15	11.8	145	20	34	42	50	52	45.8	6.9	根室半島沖	1.41E+26	6.7		199
117	2005	8月16日	11:46	25.7	142	16	40	38	8	58	42.0	7.2	宮城県沖	5.43E+26	7.1	国土地理院(2005)	427
118	2005	11月15日	6:38	51.4	144	56	41	38	1	38	45.0	7.2	三陸はるか沖	4.06E+26	7.0		95
120	2005	12月2日	22:13	7.9	142	21	13	38	4	22	40.3	6.6	宮城県沖	5.39E+25	6.4		255
121	1989	10月29日	14:25	37.8	143	44	36	39	31	6	0.0	6.5	三陸はるか沖	5.76E+25	6.4		8
122	1989	11月2日	3:25	33.5	143	3	24	39	51	18	0.0	7.1	三陸はるか沖	1.36E+27	7.4		13
123	1990	9月24日	6:13	6.7	138	38	0	33	6	12	60.0	6.6	東海地方南方はるか沖	7.08E+25	6.5		16
124	1993	7月12日	22:17	11.7	139	11	0	42	46	48	35.1	7.8	平成5年(1993年)北海道南西沖地震	4.65E+27	7.7	Mendoza et al.(1993)	9
125	1994	4月8日	10:10	41.2	143	57	24	40	34	6	2.5	6.5	三陸はるか沖	4.62E+25	6.4		6
126	1994	10月4日	22:22	56.9	147	40	42	43	22	18	28.0	8.2	平成6年(1994年)北海道東方沖地震	3.00E+28	8.3	菊地・金森(1995)	3
127	1994	10月9日	16:55	39.0	147	48	24	43	33	18	0.0	7.3	北海道東方沖	9.38E+26	7.2		3
128	1994	12月28日	21:19	20.9	143	44	54	40	25	36	0.0	7.6	平成6年(1994年)三陸はるか沖地震	4.89E+27	7.7	Nakamura et al.(1997)	15
129	1994	12月29日	5:52	26.3	143	1	24	40	6	48	0.0	6.5	岩手県北東沖	2.06E+25	6.1		10
130	1995	1月7日	7:37	37.2	142	18	33	40	13	14	47.8	7.2	岩手県北東沖	3.33E+26	6.9		17
131	1995	4月29日	1:30	0.8	147	53	13	43	42	28	3.0	6.7	北海道東方沖	2.77E+26	6.9		2
136	1995	12月30日	21:11	4.8	143	45	22	40	41	52	0.0	6.5	三陸はるか沖	3.61E+25	6.3		5
137	1996	2月17日	0:22	58.2	142	33	4	37	18	23	58.0	6.8	福島県東方沖	1.33E+26	6.7		17
138	1996	9月11日	11:37	14.3	141	13	1	35	38	20	52.0	6.4	銚子付近	1.97E+25	6.1		167

表 3.1.2 地殻内地震の地震諸元

地震 番号	発震時			東経			北緯			震源深さ km	地震名 震源域名	地震規模 (F-net or Harvard)			地震規模 (震源インバージョン) 文献		観測点 数			
	年	月	日	時	分	秒	度	分	秒			度	分	秒	M_f	M_w		M_0	M_w	
1	1996	8月	11日	3:12	18.0	140	38	1	38	54	29	8.6	6.1	秋田県内陸南部	9.51E+24	5.9	1.61E+26	6.7	岩田・関口 (2002)	431
2	1997	3月	26日	17:31	47.9	130	21	32	31	58	22	11.9	6.6	鹿児島県薩摩地方	1.40E+25	6.0	2.32E+25	6.2	Hotikawa (2001)	332
3	1997	5月	13日	14:38	27.6	130	18	10	31	56	54	9.2	6.4	鹿児島県薩摩地方	1.22E+25	6.0	8.80E+25	6.6	Hikima and Koketsu (2005)	574
4	1997	6月	25日	18:50	12.8	131	39	58	34	26	29	8.3	6.6	山口県北部	5.66E+24	5.8	8.50E+24	5.9	Hikima and Koketsu (2005)	447
5	1998	9月	3日	16:58	17.2	140	54	4	39	48	22	7.9	6.2	岩手県内陸北部	7.53E+24	5.9	4.11E+24	5.7		406
6	2000	6月	7日	6:16	43.2	135	33	47	36	49	35	21.3	6.2	石川県西方沖	5.93E+24	5.8	3.20E+25	6.3	Hikima and Koketsu (2005)	536
7	2000	7月	1日	16:01	56.3	139	11	37	34	11	24	16.1	6.5	新島・神津島近海	2.28E+25	6.2	7.50E+24	5.9	Hikima and Koketsu (2005)	457
8	2000	7月	9日	3:57	44.9	139	13	50	34	12	43	15.4	6.1	新島・神津島近海	7.79E+24	5.9	1.15E+26	6.6	Asano and Iwata (2006)	354
9	2000	7月	15日	10:30	32.0	139	14	31	34	25	24	9.7	6.3	新島・神津島近海	1.24E+25	6.0	1.06E+26	6.6	菅井・関口 (2007)	542
10	2000	7月	30日	9:18	2.3	139	24	7	34	1	49	11.1	6.0	三宅島近海	4.28E+24	5.7	1.43E+26	6.7	国土地理院 (2008)	621
11	2000	7月	30日	21:25	46.6	139	24	39	33	58	16	17.0	6.5	三宅島近海	5.02E+25	6.4	4.00E+25	6.3	Fukuyama et al. (1993)	25
12	2000	8月	18日	10:52	22.6	139	14	26	34	12	5	12.4	6.1	新島・神津島近海	4.65E+24	5.7	7.48E+23	5.2		14
13	2000	10月	16日	13:30	17.9	133	20	56	35	16	27	9.0	7.3	平成12年(2000年)鳥取県西部地震	8.62E+25	6.6	3.30E+26	6.9	Sekiguchi et al. (2002)	25
15	2003	7月	26日	7:13	31.5	141	10	16	38	24	18	11.9	6.4	宮城県北部 [宮城県中部]	1.53E+25	6.1				
16	2004	10月	23日	17:56	0.3	138	52	2	37	17	33	13.1	6.8	平成16年(2004年)新潟県中越地震	7.53E+25	6.5				
17	2004	10月	23日	18:03	12.7	138	59	0	37	21	14	9.4	6.3	同余震	9.33E+24	5.9				
18	2004	10月	23日	18:11	56.8	138	49	46	37	15	11	11.5	6.0	同余震	4.11E+24	5.7				
19	2004	10月	23日	18:34	5.7	138	55	48	37	18	23	14.2	6.5	同余震	2.93E+25	6.2				
20	2004	10月	27日	10:40	50.2	139	2	0	37	17	31	11.6	6.1	同余震	6.34E+24	5.8				
22	2005	3月	20日	10:53	40.3	130	10	35	33	44	21	9.2	7.0	福岡県西方沖	7.80E+25	6.5				
23	2007	3月	25日	9:41	57.9	136	41	10	37	13	14	10.7	6.9	平成19年(2007年)能登半島地震	1.36E+26	6.7				
27	2007	7月	16日	10:13	22.5	138	36	34	37	33	25	16.8	6.8	平成19年(2007年)新潟県中越沖地震	9.30E+25	6.6				
28	1990	2月	20日	15:53	39.8	139	14	0	34	45	36	5.8	6.5	伊豆大島近海	4.33E+25	6.4				
29	1991	10月	28日	10:09	12.8	131	10	0	33	55	12	18.5	6.0	周防灘	7.48E+23	5.2				
30	1993	2月	7日	22:27	43.7	137	18	0	37	39	12	24.8	6.6	能登半島沖	3.41E+25	6.3				
31	1995	1月	17日	5:46	51.9	135	2	16	34	35	43	16.1	7.3	平成7年(1995年)兵庫県南部地震	2.43E+26	6.9				

1、28、29、30、31がHarvard, その他はF-net

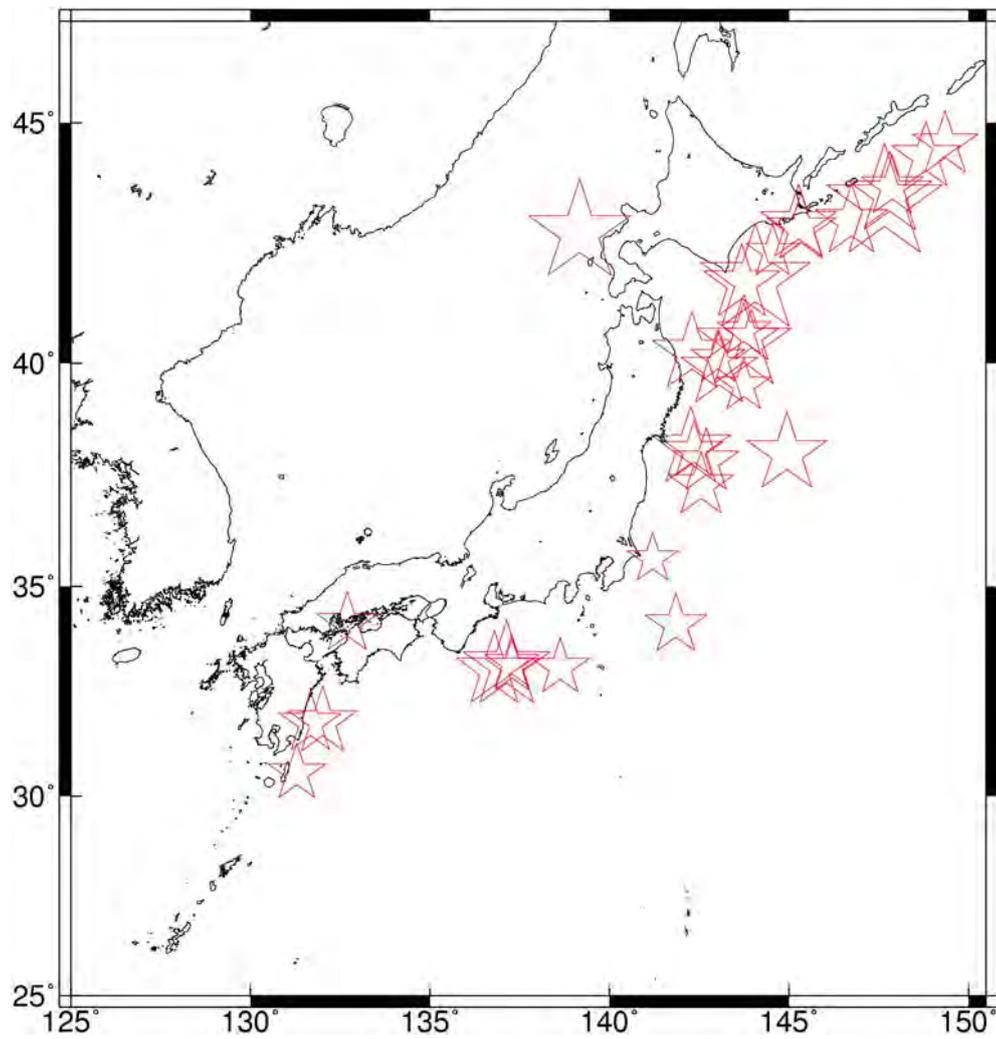


図 3.1.1 海溝型地震の震央位置

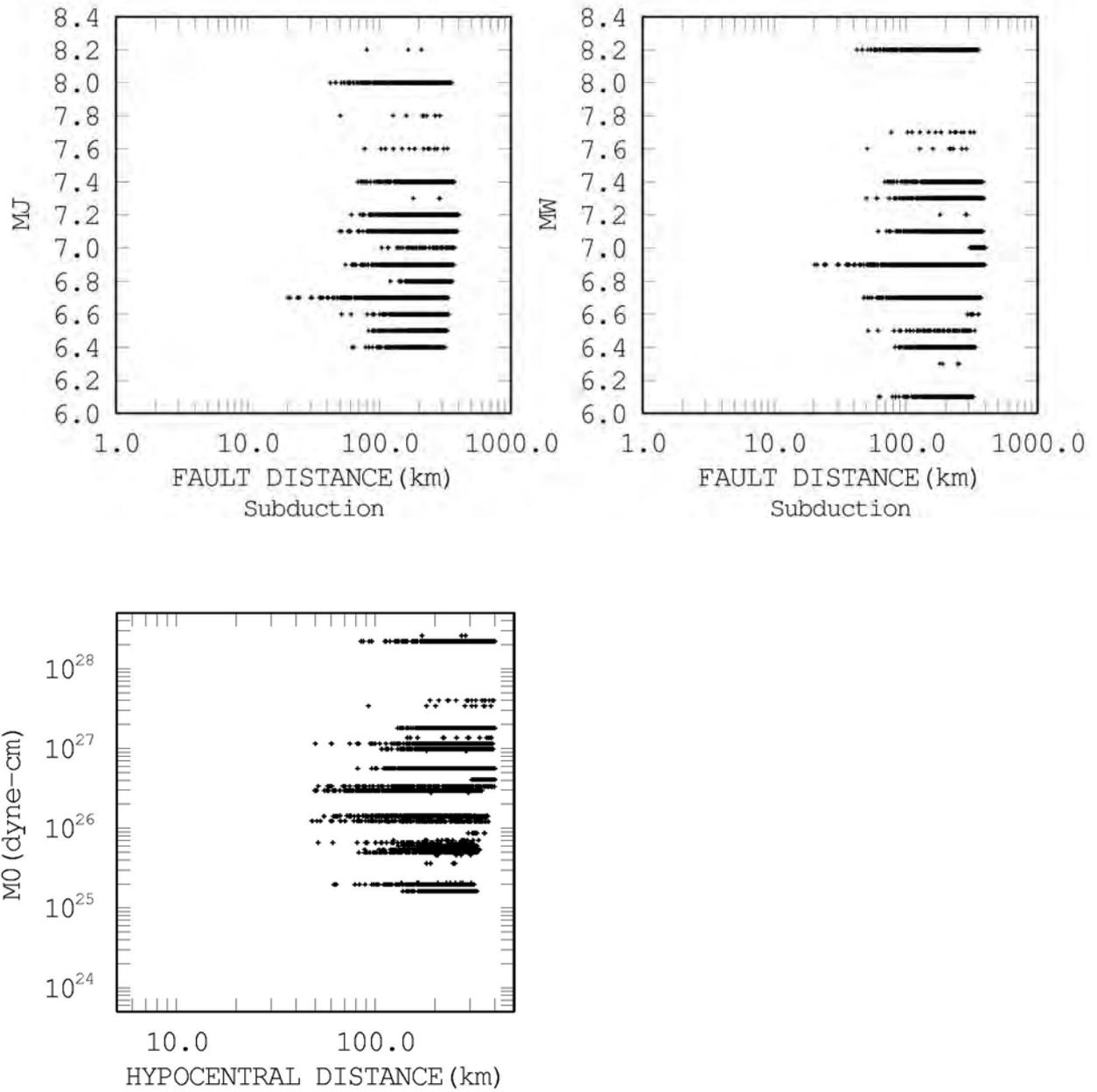


図 3.1.2 海溝型地震の M_J と断層最短距離、 M_w と断層最短距離、地震モーメント M_0 と震源距離の関係

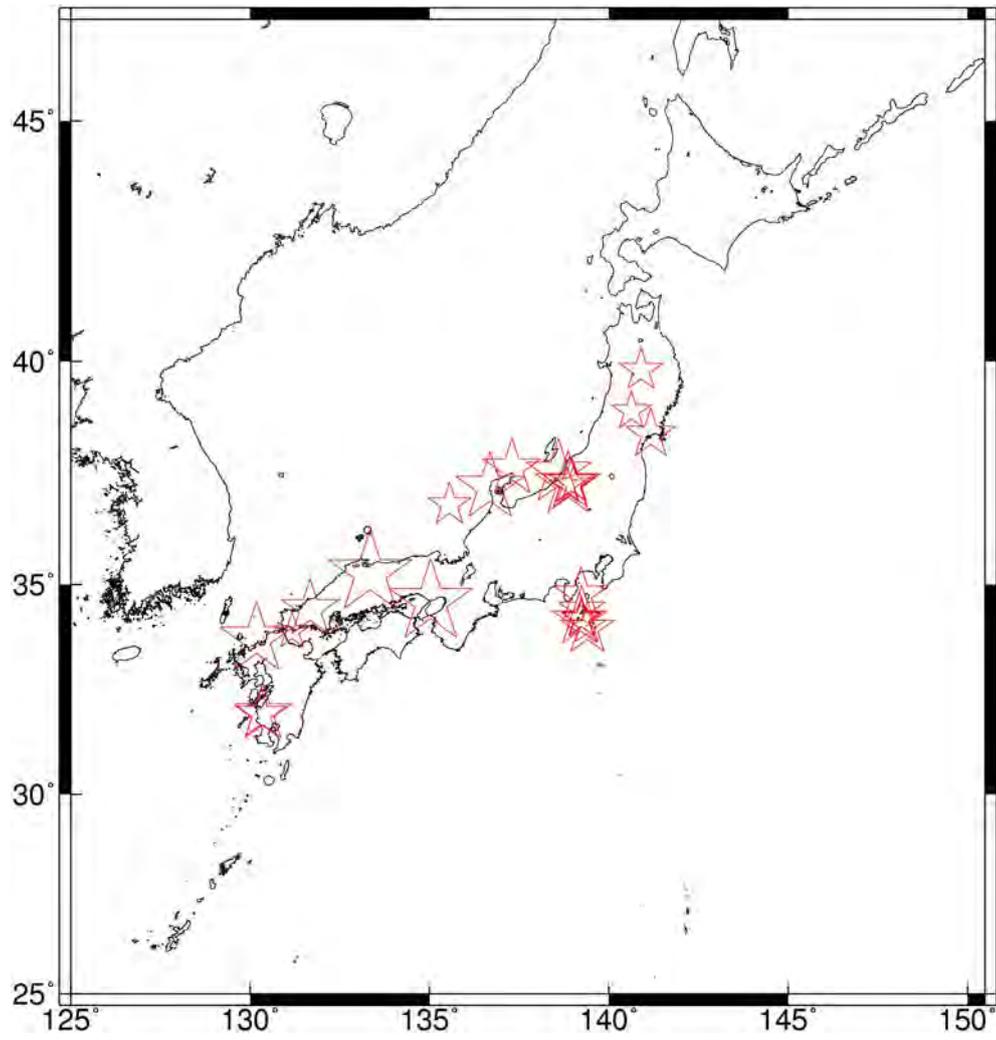


図 3.1.3 地殻内地震の震央位置

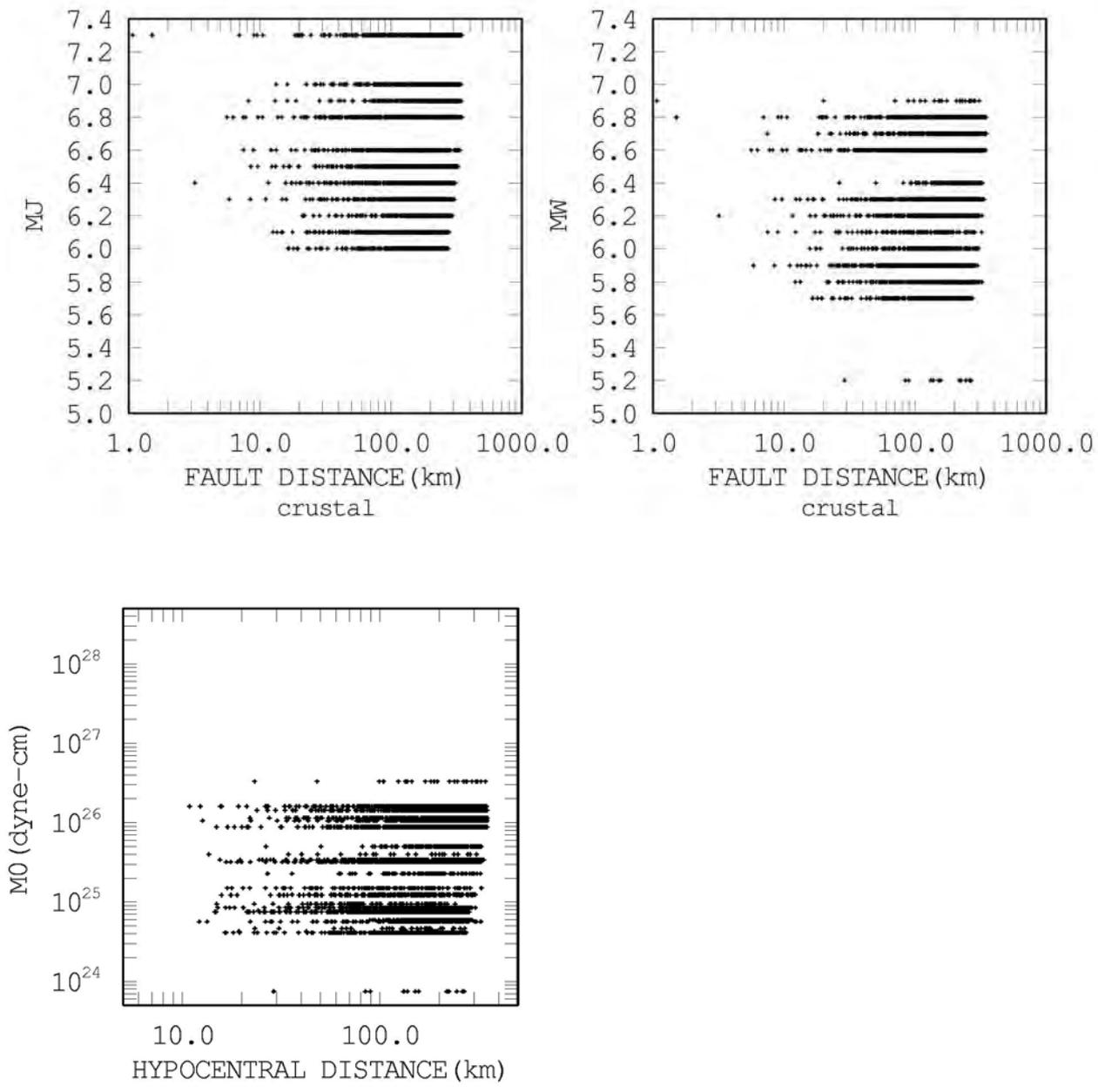
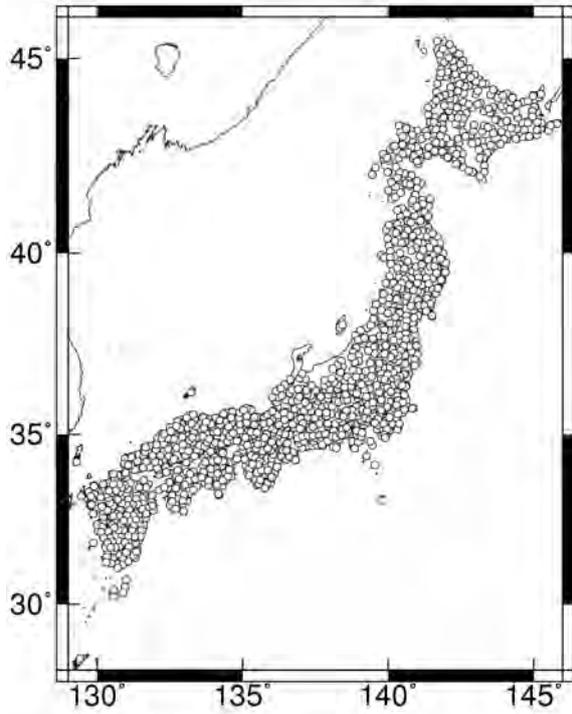
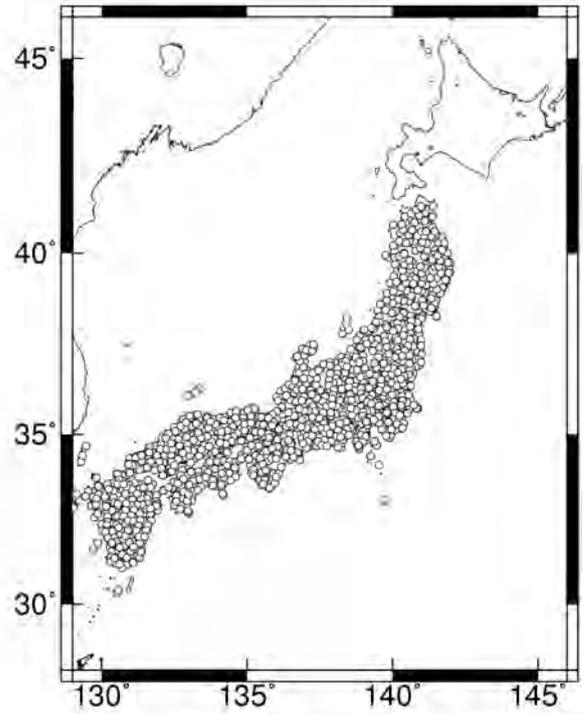


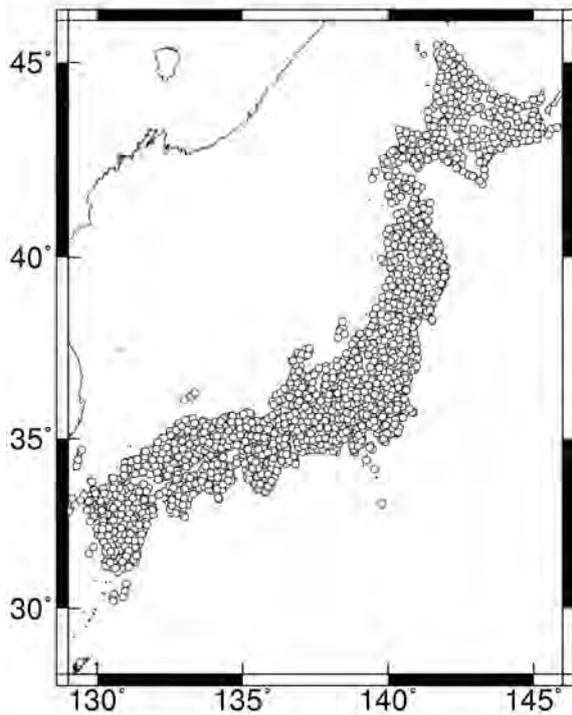
図 3.1.4 地殻内地震の M_J と断層最短距離、 M_w と断層最短距離、地震モーメント M_0 と震源距離の関係



海溝型地震



地殻内地震



全観測点

図 3.1.5 回帰式作成に用いる観測記録が得られている観測点位置

ボーリング柱状図

観測点名： 郡路(みやこじ)
 所在地： 福島県田村郡陸路村大字岩井沢字馬酔木沢230-15
 緯度： 37° 28' 2.0"
 孔口標高： +510m
 観測点コード： FKSH19
 経度： 140° 43' 34.0"
 総掘進長： 103.00m

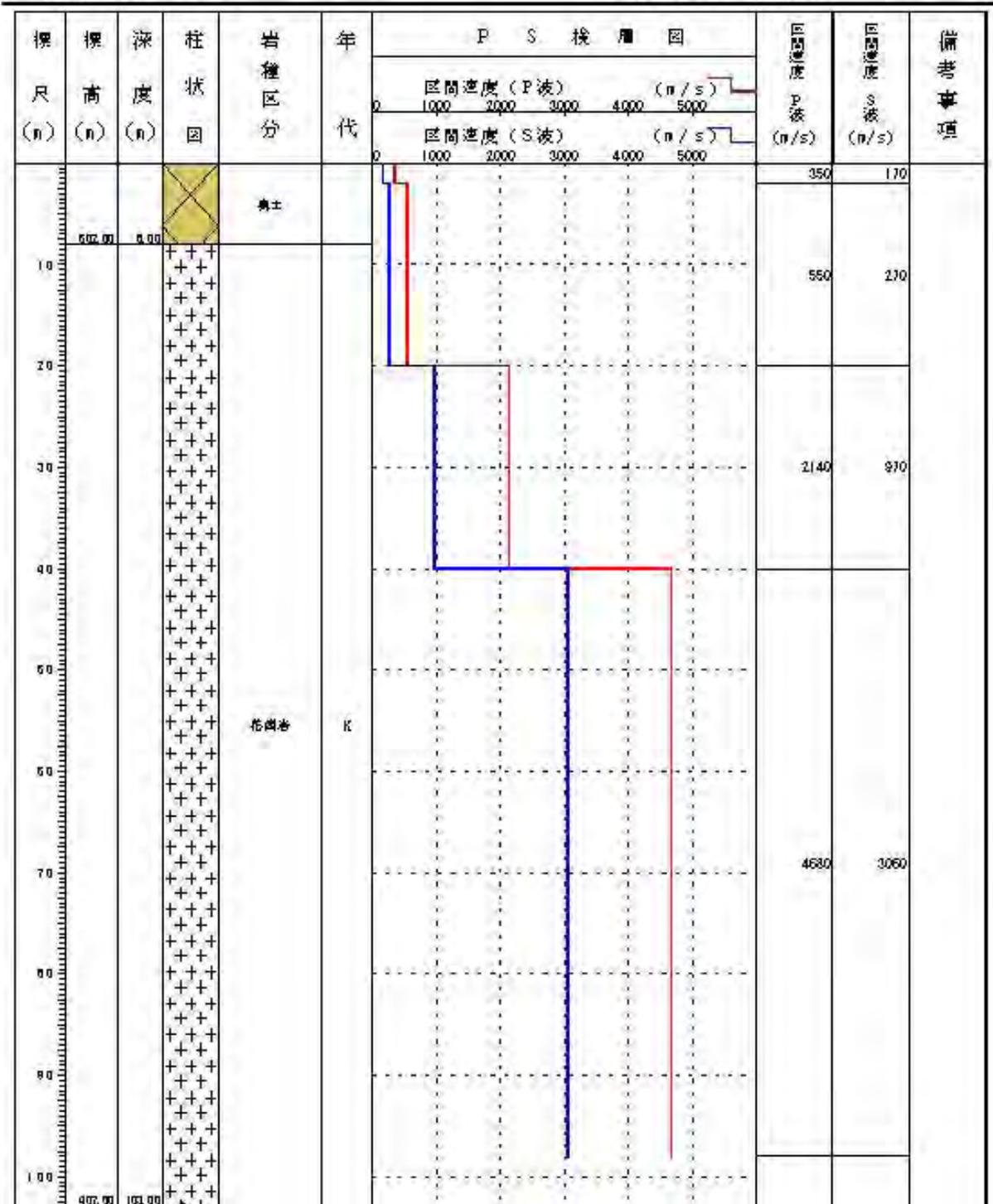


図 3.1.6 基準観測点とした FKSH19 の地盤構造 (防災科学技術研究所)

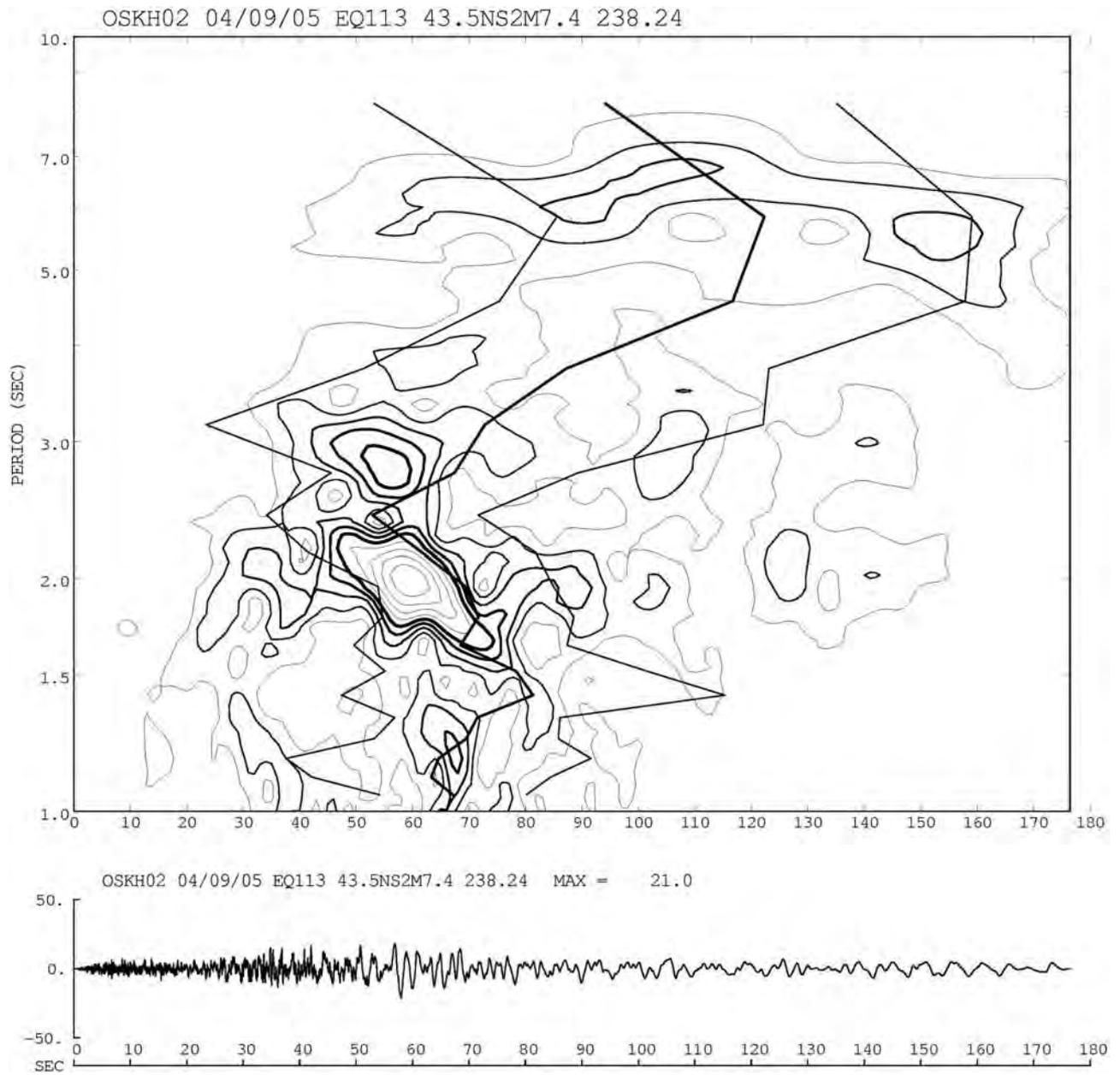


図 3.1.7 2004 年紀伊半島沖地震の大阪平野内の此花(OSKH02)での観測加速度波形 (NS 成分) とその非定常スペクトル及び群遅延時間の平均値 (太線) と平均値±標準偏差 (細線)

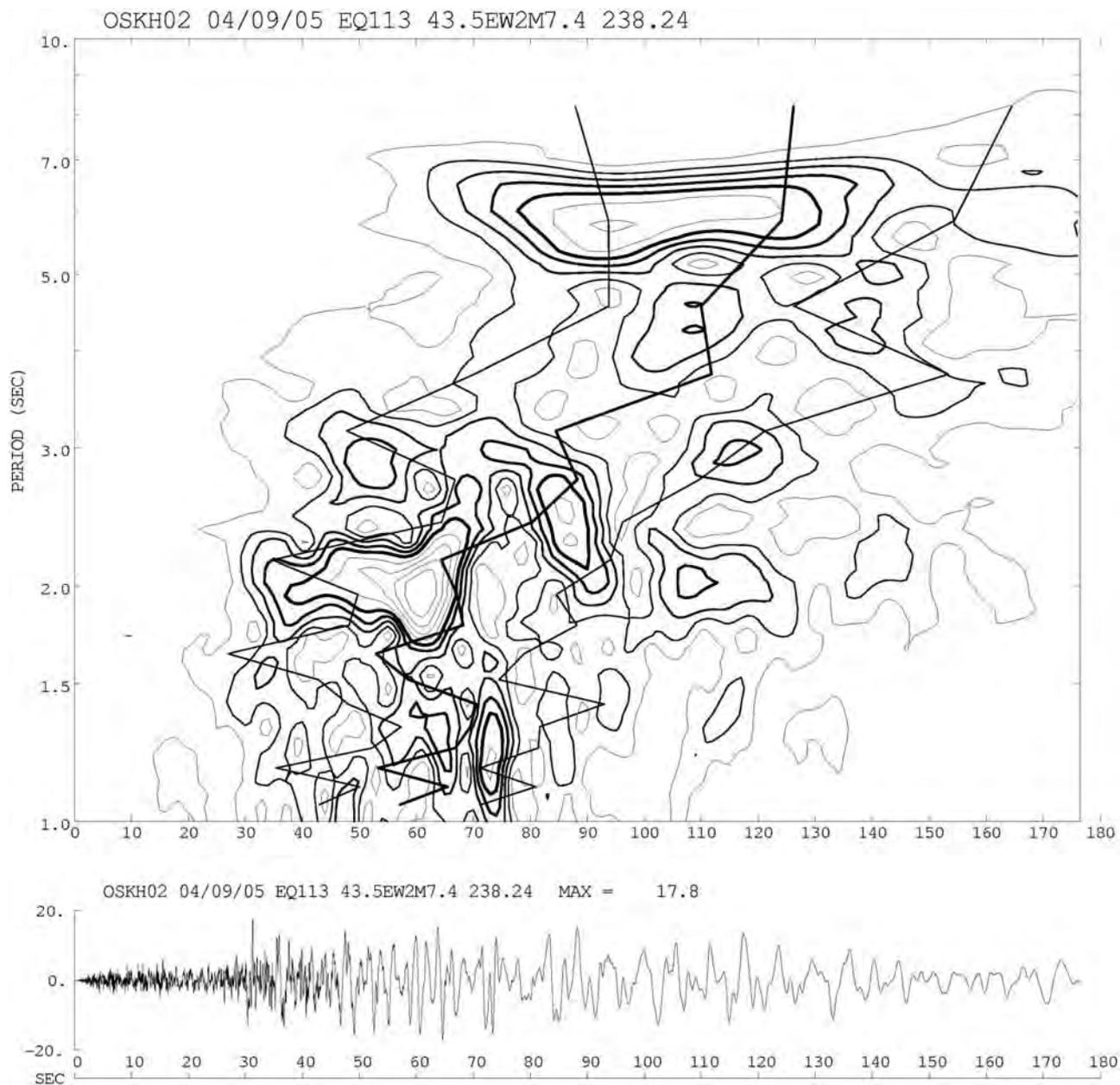


図 3.1.8 2004 年紀伊半島沖地震の大阪平野内の此花(OSKH02)での観測加速度波形 (EW 成分) とその非定常スペクトル及び群遅延時間の平均値 (太線) と平均値±標準偏差 (細線)

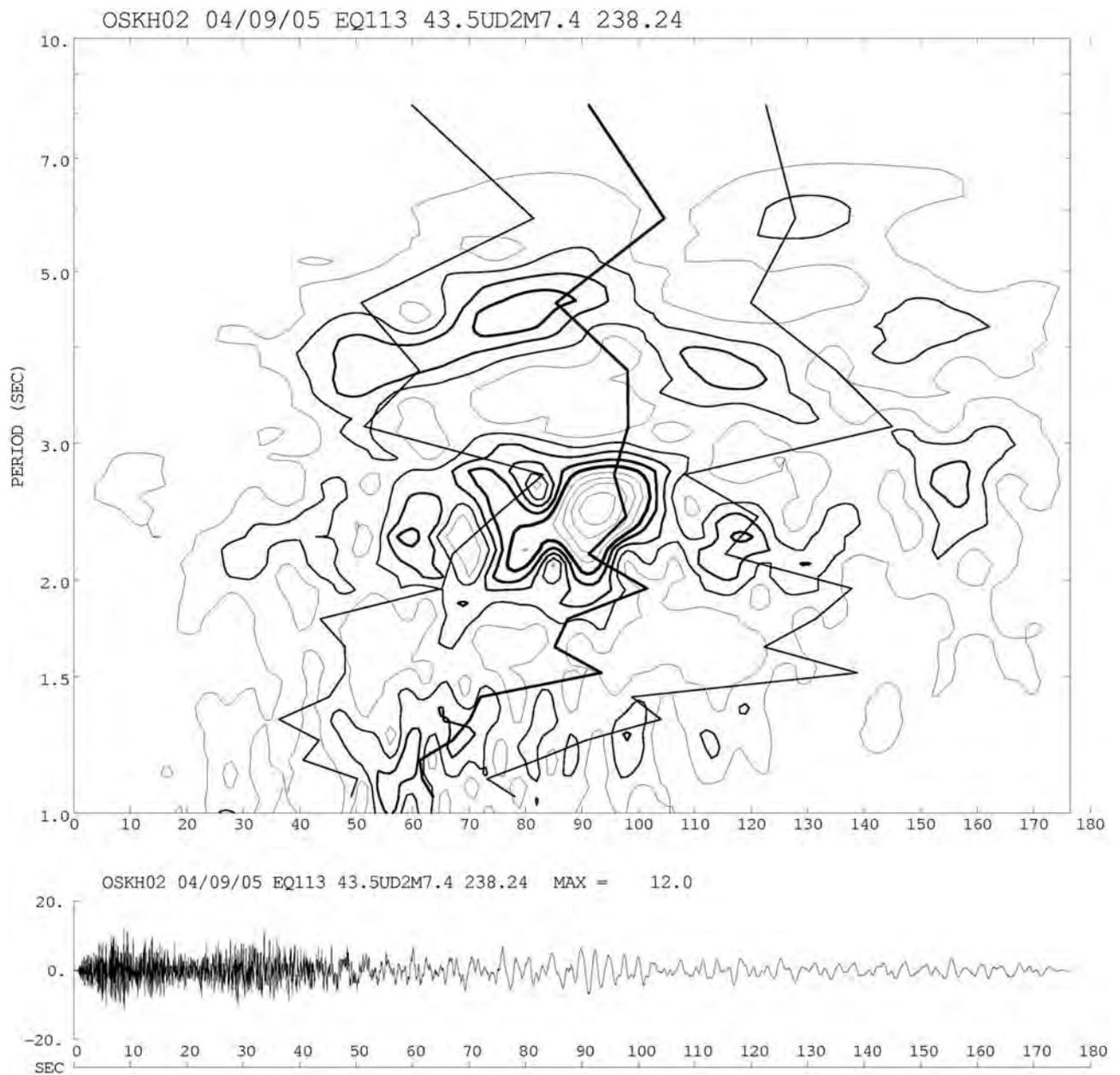


図 3.1.9 2004 年紀伊半島沖地震の大阪平野内の此花(OSKH02)での観測加速度波形 (UD 成分) とその非定常スペクトル及び群遅延時間の平均値 (太線) と平均値±標準偏差 (細線)

3-2 回帰分析に基づく長周期地震動特性の地域依存性の検討

本章では、3-1 で整理したデータセットを用いて、加速度応答スペクトルとエネルギースペクトルの回帰式(距離減衰式)、継続時間を特徴づける群遅延時間の平均値と標準偏差の回帰式を作成する。そして、回帰式のサイト係数に基づき長周期地震動特性の地域依存性について検討する。加速度応答スペクトルとエネルギースペクトルの回帰式には、気象庁マグニチュード M_J を用いた式とモーメントマグニチュード M_w を用いた式があるが、ここでは主に M_w を用いた結果を示し、 M_J を用いた結果は資料に示す。なお、決定周期が 5 秒程度である M_J は飽和するので、 M_w を用いた回帰式の方が巨大地震の長周期地震動を評価する上でよいと考えられる。

(1) 回帰式と回帰係数

加速度応答スペクトルとエネルギースペクトルに対して得られた海溝型地震、地殻内地震の距離減衰式の回帰係数および回帰誤差 e を、それぞれ、図 3.2.1、図 3.2.2 に示す。海溝型地震の水平成分では、 $P(T)$ がごく一部の周期のみ 1 より小さくなり、 $P(T)$ と $b(T)$ にトレードオフがみられたため、 $P(T) = 1$ とした場合の回帰係数を用いることとした。

図 3.2.3 には、海溝型地震と地殻内地震の距離減衰式の回帰係数と片岡・他(2008)のそれらの回帰係数の比較を示す。いずれも水平成分であり、片岡・他(2008)では IWT009(K-NET 大東)でのサイト係数が示されているため、本検討でも IWT009 でのサイト係数を $C+C_{iwt009}$ として示している。本検討の地殻内地震の距離減衰式の回帰係数は、 p を除き片岡・他(2008)の地殻内地震の回帰係数と整合している。海溝型地震では、 a と $C+C_{iwt009}$ にトレードオフの可能性があるが、その他は、本検討の距離減衰式の回帰係数は片岡・他(2008)とほぼ整合している。

図 3.2.4 には、本検討と片岡・他(2008)の海溝型地震と地殻内地震に対する減衰定数 5%と 1%の加速度応答スペクトル(水平成分)の距離減衰式の比較を示す。ともに、IWT009 での加速度応答スペクトルである。片岡・他(2008)で例が示されている $M_w = 7.5$ 、 $R=100\text{km}$ の場合と $M_w = 8.0$ 、 $R=100\text{km}$ の場合である。ただし、地殻内地震の $M_w=8.0$ は外挿である。なお、片岡他(2008)と距離の定義が異なるが、同じとして扱った。また、片岡他(2008)の距離減衰式は、水平 2 成分の応答値のベクトル合成値を用いたものである。K-NET 記録を用いた海溝型地震の減衰定数 5%の加速度応答スペクトルの距離減衰式(佐藤・他、2002)では水平 2 成分の応答値のベクトル合成は、水平成分の幾何平均より周期 2~10 秒で 1.4 倍程度大きいこと、 M_6 、距離 100km の場合には周期 5 秒以上で 1.5 倍程度大きいことが示されている。そこで、本検討の距離減衰式を 1.4 倍したのもも表示した。海溝型地震の加速度応答スペクトルは、片岡・他(2008)と本検討の 1.4 倍がほぼ同じとなっている。地殻内地震の加速度応答スペクトルは、 M_w を用いた場合、本検討の 1.4 倍が片岡・他(2008)より長周期領域でやや小さく、短周期領域でやや大きい。

図 3.2.5、図 3.2.6 には、海溝型地震、地殻内地震の μ_{tgr} と σ_{tgr}^2 の回帰係数および回帰誤差 e を示す。なお、 μ_{tgr} では、 b の逆数をとって V_s として表示した。波群の平均伝搬速度を意味する V_s は、海溝型地震の方が地殻内地震より大きく、伝播経路の違いを反映している。周期 2 秒以上で σ_{tgr}^2 の b

は0であり、 σ_{tgr}^2 は距離に依存しない。 μ_{tgr} 、 σ_{tgr}^2 ともaは、小さいものの正の値をもち、地震規模が大きいくほど大きくなる。例えば、海溝型地震の周期5秒付近に相当する μ_{tgr} が $a=10^{-8}$ 、 σ_{tgr}^2 が $a=3 \times 10^{-7}$ の場合、Mw7.3相当の $M_0=10^{27}$ (dyne-cm)で、震源特性による μ_{tgr} が10秒、 σ_{tgr} が17秒となる。

(2) 全国の地盤増幅率マップと継続時間マップ

水平成分を例に、減衰定数5%と1%の加速度応答スペクトルとエネルギースペクトルの地盤増幅率、 μ_{tgr} 、 σ_{tgr} のサイト係数の推定結果をマップとして示す。上下成分に対する同様の図は資料に示した。図3.2.7、図3.2.8、図3.2.9は、減衰定数5%と1%の加速度応答スペクトルとエネルギースペクトルの地盤増幅率マップである。いずれも、固有周期3、5、7、9秒の例であり、以後の地盤増幅率マップは同様の形式で表示する。関東平野、大阪平野、濃尾平野、新潟平野、石狩平野など、堆積層が厚い地域での増幅率が大きいことがわかる。減衰定数1%の加速度応答スペクトルの地盤増幅率マップの定性的傾向は、減衰定数5%の場合とほぼ同じであるが、絶対値がやや大きい。エネルギーペクトルの地盤増幅率マップも、減衰定数5%の場合とほぼ同じであるが、絶対値がやや小さい。図3.2.10には、本検討と片岡・他(2008)の減衰定数1%の加速度応答スペクトルの地盤増幅率マップの比較を示す。片岡・他(2008)の地盤増幅率は全体の平均値に対する増幅率であり、本検討の増幅率は地震基盤相当の基準観測点からの増幅率であるため、絶対値は本検討とは異なるが、定性的な面的分布は類似している。

図3.2.11には、本検討と片岡・他(2008)の水平成分の最大ピーク周期マップと内閣府(2008)の一次固有周期マップの比較を示す。本検討では、地震基盤から地表までの地盤増幅率の最大値が周期2~10秒で3倍以上となる場合にこれを最大ピーク周期とした。片岡・他(2008)では、平均値に対する増幅率の最大値が周期2~10秒で2倍以上となる場合にこれを卓越周期としている。本検討と片岡・他(2008)の水平成分の最大ピーク周期マップは類似している。一方、内閣府(2008)のマップは一次固有周期であるため、本検討や片岡・他(2008)より周期が長い。

図3.2.12、図3.2.13、図3.2.14には、消防法における従来のスペクトル値(速度応答スペクトル約100cm/s)に対する補正係数(平成15年1月14日技術基準の告示)と本検討の減衰定数1%の加速度応答スペクトルの地盤増幅率の比較を示す。消防法における補正係数は、主に気象庁1倍計の記録に基づいて設定しているため、本検討の地盤増幅率は気象庁87型観測点の値を用いた。本検討の周期1~10秒における地盤増幅率は、地域1-1では全周期で大きく、地域1-2では長周期で大きく、地域1-3では短周期で大きい傾向があり、消防法における補正係数の傾向と定性的に整合している。

図3.2.15、図3.2.16には、海溝型地震の μ_{tgr} 、 σ_{tgr} のサイト係数のコンターマップを示す。 μ_{tgr} のサイト係数が大きいほど、波群の到達時間が遅れることを意味する。関東平野、大阪平野、濃尾平野、新潟平野など、堆積層が厚い平野でサイト係数が大きい。 σ_{tgr} のサイト係数が大きいほど、波群の広がりが大きいことを意味する。平野部で大きく、長周期ほど大きい傾向が顕著である。なお、6章で述べたように富山県、石川県北部では、観測記録が得られていないため、そこでのサイト係数には意味がない。同様に、図3.2.17、図3.2.18には、地殻内地震の μ_{tgr} 、 σ_{tgr} のサイト係数のコンターマッ

プを示す。海溝型地震と地殻内地震の μ_{tgr} 、 σ_{tgr} のサイト係数の地域性は定性的には類似しているが、大阪平野、濃尾平野の μ_{tgr} の絶対値などは異なっている。

(3) 関東平野、大阪平野、濃尾平野における地盤増幅率マップと継続時間マップ

関東平野、濃尾平野、大阪平野に着目して、減衰定数5%の加速度応答スペクトルの地盤増幅率、 μ_{tgr} 、 σ_{tgr} のサイト係数の推定結果をマップとして示す。ここでも、水平成分の結果を示し、上下成分に対する結果は資料に示した。また、減衰定数1%の加速度応答スペクトルとエネルギースペクトルの地盤増幅率も資料に示した。まず、これらの平野での観測点分布図を全国の観測点分布図とともに図3.2.19に示す。なお、図の色は周期5秒での減衰定数5%の加速度応答スペクトルの地盤増幅率に対応している。

地盤増幅率やサイト係数と地盤構造との関係をみるため、図3.2.20には、関東平野の基盤深さ分布(Sato et al., 1999)を示す。房総半島中部が最も深く、東京湾岸、埼玉県東部なども深くなっている。図3.2.21、図3.2.22、図3.2.23には、加速度応答スペクトルの地盤増幅率、 μ_{tgr} のサイト係数、 σ_{tgr} のサイト係数のコンターマップを示す。これらのマップは、基盤深さ分布と相関がみられる。特に、地盤増幅率、 μ_{tgr} のサイト係数と基盤深さ分布との相関が高い。大阪平野、濃尾平野に対する同様の検討結果を図3.2.24～図3.2.31に示す。大阪平野の基盤深さ分布は、岩田・他(2008)で用いられている3つのモデル(堀川・他、2003; Kagawa et al., 2004; Iwata et al., 2008)を、濃尾平野の基盤深さ分布は福和・他(2002)を示している。関東平野の場合と同じように、加速度応答スペクトルの地盤増幅率、 μ_{tgr} のサイト係数は基盤深さ分布との相関が高い。継続時間と関係する σ_{tgr} のサイト係数は、平野の内部で大きい傾向があり、表面波が平野内でたまり継続時間が長くなる現象が表れている可能性が考えられる。

最後に、これらの3つの平野における最大ピーク周期マップを図3.2.32、図3.2.33に示す。図3.2.32、図3.2.33は、それぞれ、減衰定数5%、1%の加速度応答スペクトルの地盤増幅率から求めたものであり、定義は前述の通りである。最大ピーク周期には基盤深さ分布と相関がみられる。なお、最大ピーク周期は1次固有周期ではないため、1次固有周期より短いことに注意が必要である。

(4) まとめ

減衰定数5%と1%の加速度応答スペクトルとエネルギースペクトルの回帰式(距離減衰式)、継続時間を特徴づける群遅延時間の平均値と標準偏差の回帰式作成結果、及びこれらに基づく長周期地震動特性の地域依存性について記述した。減衰定数5%と1%の加速度応答スペクトルとエネルギースペクトルの地盤増幅率、群遅延時間の平均値と標準偏差とも、関東平野、大阪平野、濃尾平野、新潟平野、石狩平野など、堆積層が厚い地域で大きいことがわかった。特に地盤増幅率、群遅延時間の平均値には、基盤深さとの相関性がみられた。また、加速度応答スペクトルの回帰式(距離減衰式)については、類似の既往の研究(片岡・他、2008)とほぼ対応する結果となっていることが確認できた。なお、片岡・他(2008)の距離減衰式は、減衰定数5%と1%の加速度応答スペクトルとフーリエス

ペクトルの水平成分に対する式である。長周期地震動に対する群遅延時間の平均値と標準偏差の回帰式については、これまで全国レベルの検討例はなく、本検討で算出した新しい回帰式は、時刻歴波形作成のために有用であると考えられる。次章では、これらの回帰式を用いて、実際に、長周期波形の作成を行う。

参考文献

- 1) 福和伸夫・佐藤俊明・早川崇・池田善考・野崎京三 (2002). 濃尾平野の地盤調査とそのモデル化、月刊地球 号外 37 号、pp. 108-118.
- 2) 堀川晴央・水野清秀・石山達也・佐竹健治・関口春子・加瀬祐子・杉山雄一・横田裕・末廣匡基・横倉隆伸・岩渕洋・北田奈緒子・Arben Pitarka (2003). 断層による不連続構造を考慮した大阪堆積盆地の 3 次元地盤構造モデルの作成、活断層・古地震研究報告、No. 3、pp. 291-324.
- 3) 岩田知孝・岩城麻子・関口春子・吉見雅行 (2008). 地域特性を反映した長周期地震動、長周期地震動対策に関する公開研究集会、日本建築学会、pp. 1-52.
- 4) Iwata, T., T. Kagawa, A. Petukhin, and Y. Onishi (2008). Basin and crustal velocity structure models for the simulation of strong ground motions in the Kinki area, Japan, J. Seismology, DOI10.1007/s10950-007-9086-7.
- 5) Kagawa, T., B. Zhao, K. Miyakoshi, and K. Irikura (2004). Modeling of 3D basin structures for seismic wave simulations based on available information on the target area: case study of the Osaka basin, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 94, pp. 1353-1368.
- 6) 片岡正次郎・松本俊輔・日下部毅明・遠山信彦 (2008). やや長周期地震動の距離減衰式と全国の地点補正倍率、土木学会論文集、Vol. 64、No. 4、pp. 721-738.
- 7) 内閣府 (2008). 長周期地震動の卓越周期と深部地盤の固有周期、http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai/index_chukin.html、東南海、南海地震等に関する専門調査会.
- 8) 太田外氣晴・座間信作 (2005). 巨大地震と大規模構造物、長周期地震動による被害と対策、共立出版株式会社、pp. 1-287.
- 9) Sato, T., R.W. Graves, and P.G. Somerville (1999). Three-Dimensional Finite-Difference Simulations of Long-Period Strong Motions in the Tokyo Metropolitan Area during the 1990 Odawara Earthquake (Mj 5.1) and the Great 1923 Kanto Earthquake (Ms 8.2) in Japan, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 89, pp. 579-607.
- 10) 佐藤智美・片岡正次郎・奥村俊彦 (2002). K-Net 強震記録に基づく工学的基盤における加速度応答スペクトルと経時特性の推定式の検討、第 11 回日本地震工学シンポジウム、pp. 615-620.
- 11) 鈴木晴彦・増田徹・三宅弘恵・瀨瀬一起 (2005). 首都圏における長周期地震動シミュレーション：関東地震と価値川断層の地震、海溝型巨大地震を考える—広帯域強震動の予測—シンポジウム論文集、pp. 43-48.

- 12) 横田崇・鈴木晴彦・増田徹 (2006). 中央防災会議での長周期地震動調査結果、海溝型巨大地震を考える—広帯域強震動の予測 2—シンポジウム論文集、pp. 19-26.

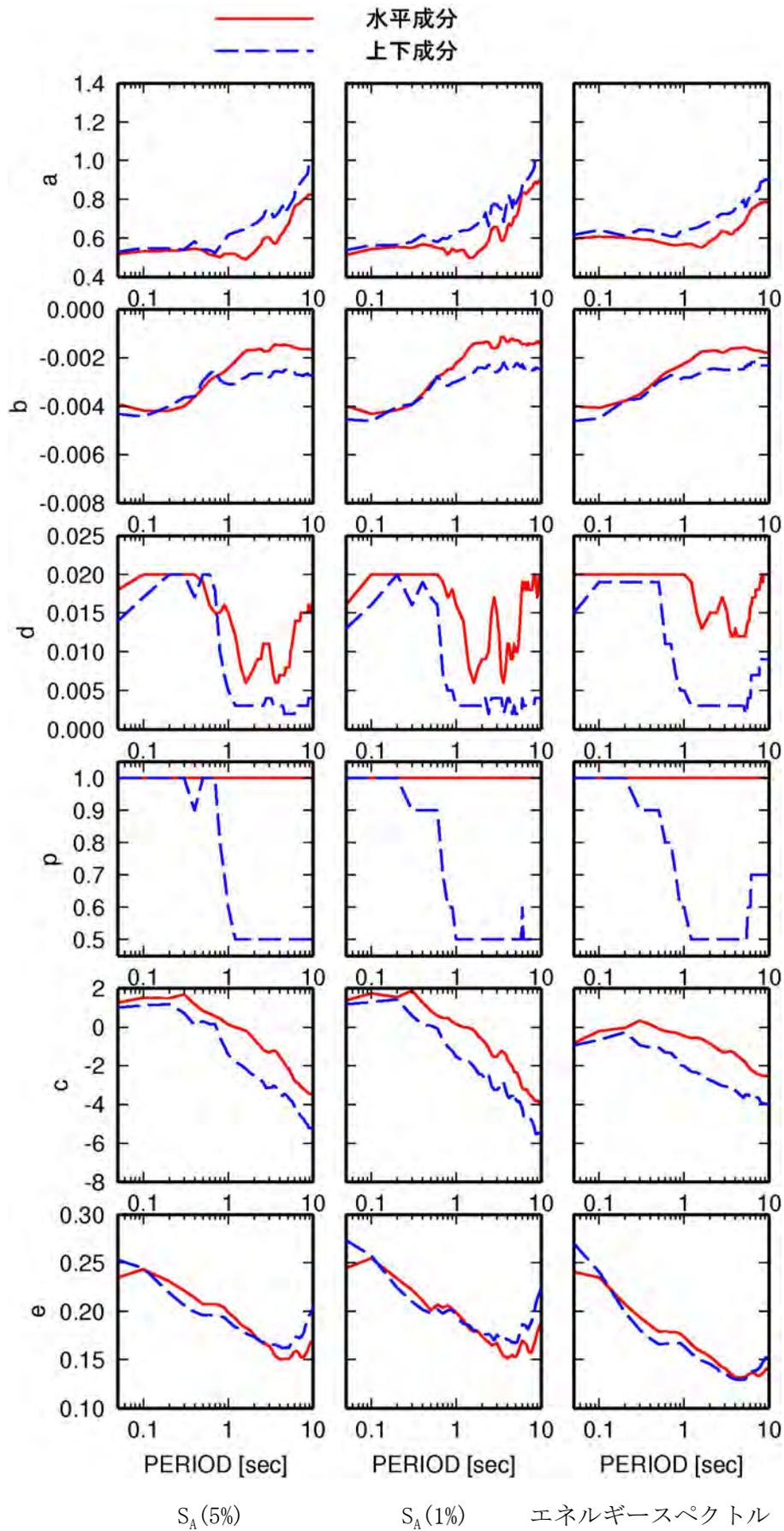


図 3. 2. 1 海溝型地震の回帰係数

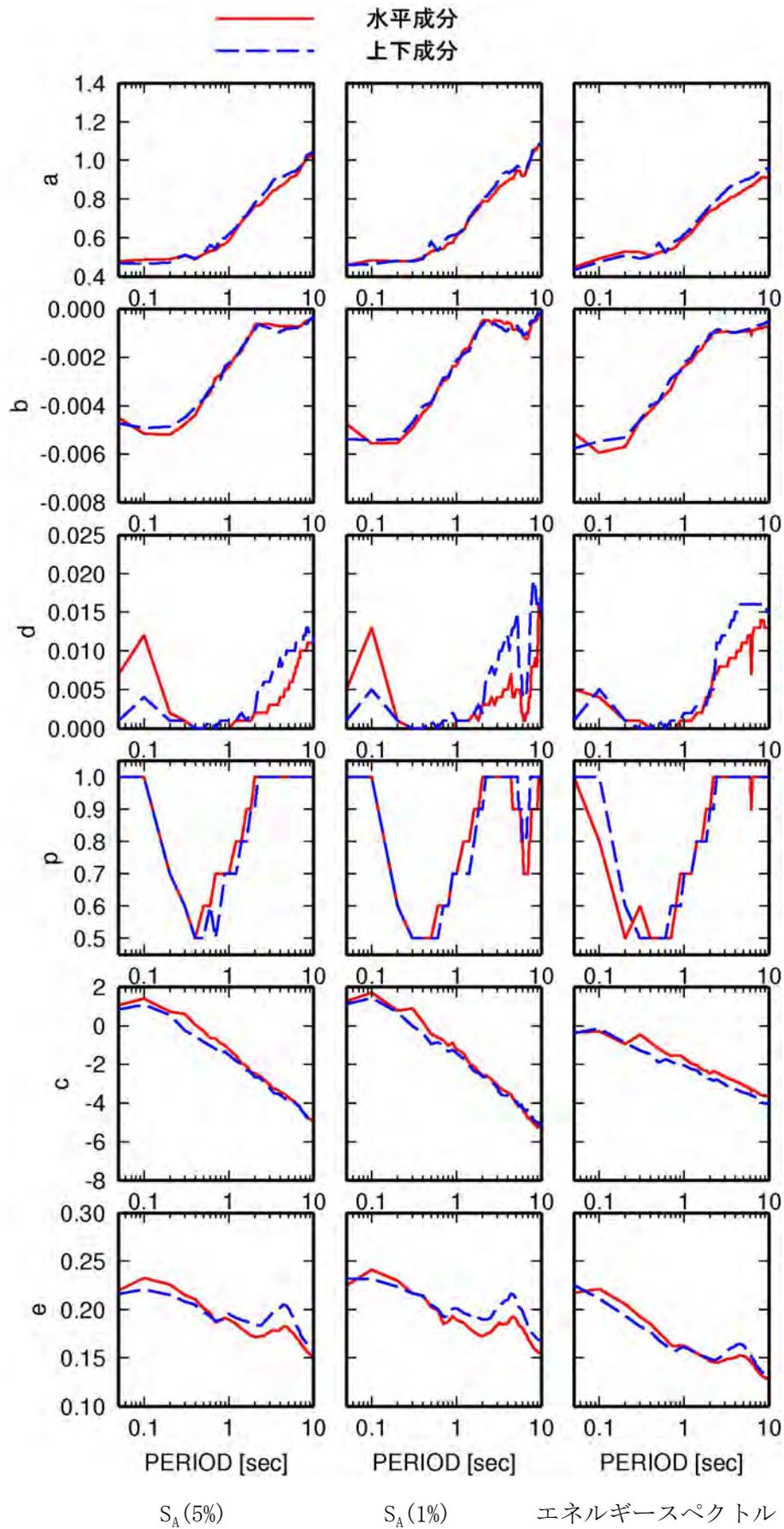


図 3.2.2 地殻内地震の回帰係数

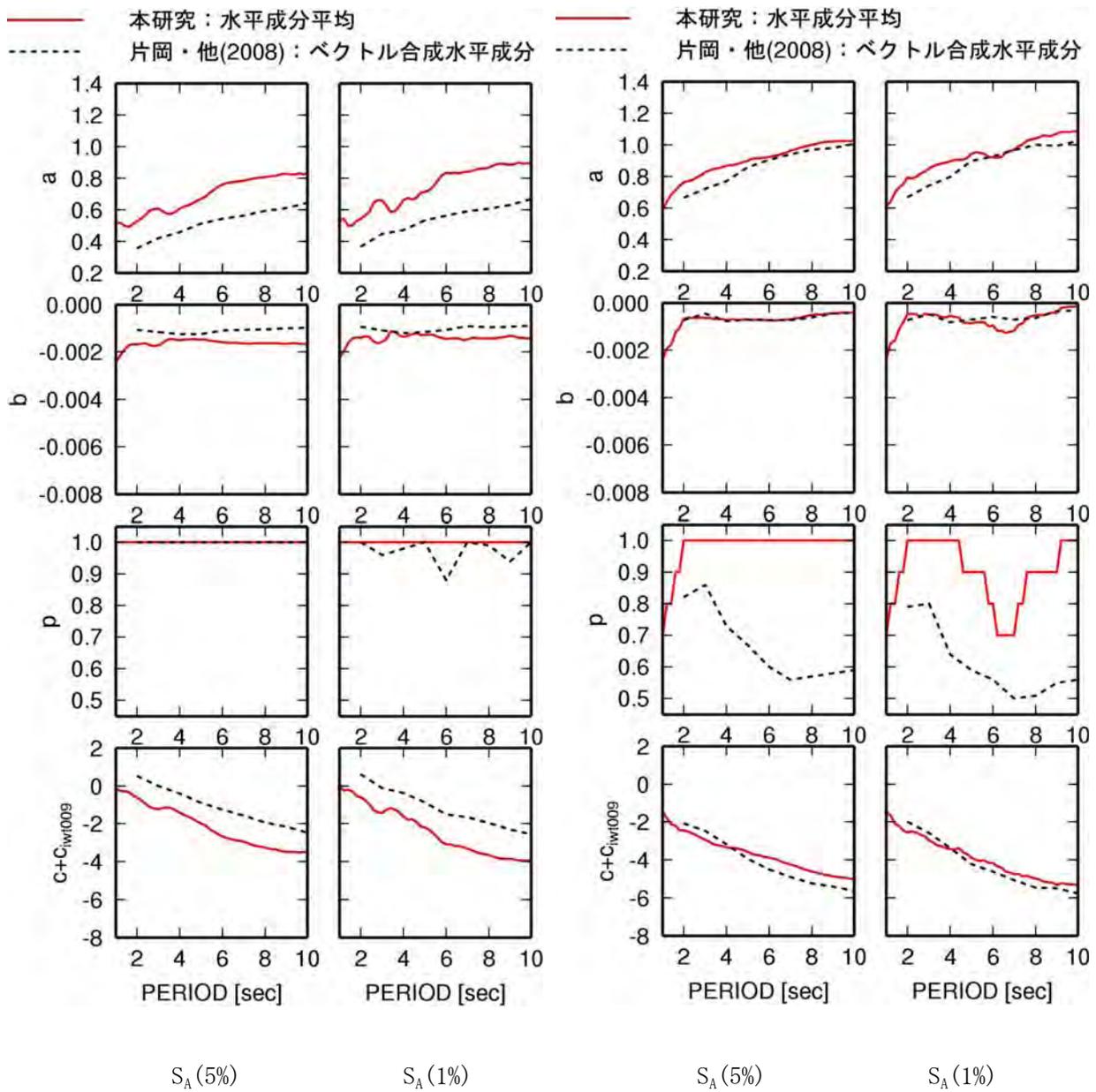


図 3.2.3 本検討と片岡・他(2008)の回帰係数（水平成分）の比較

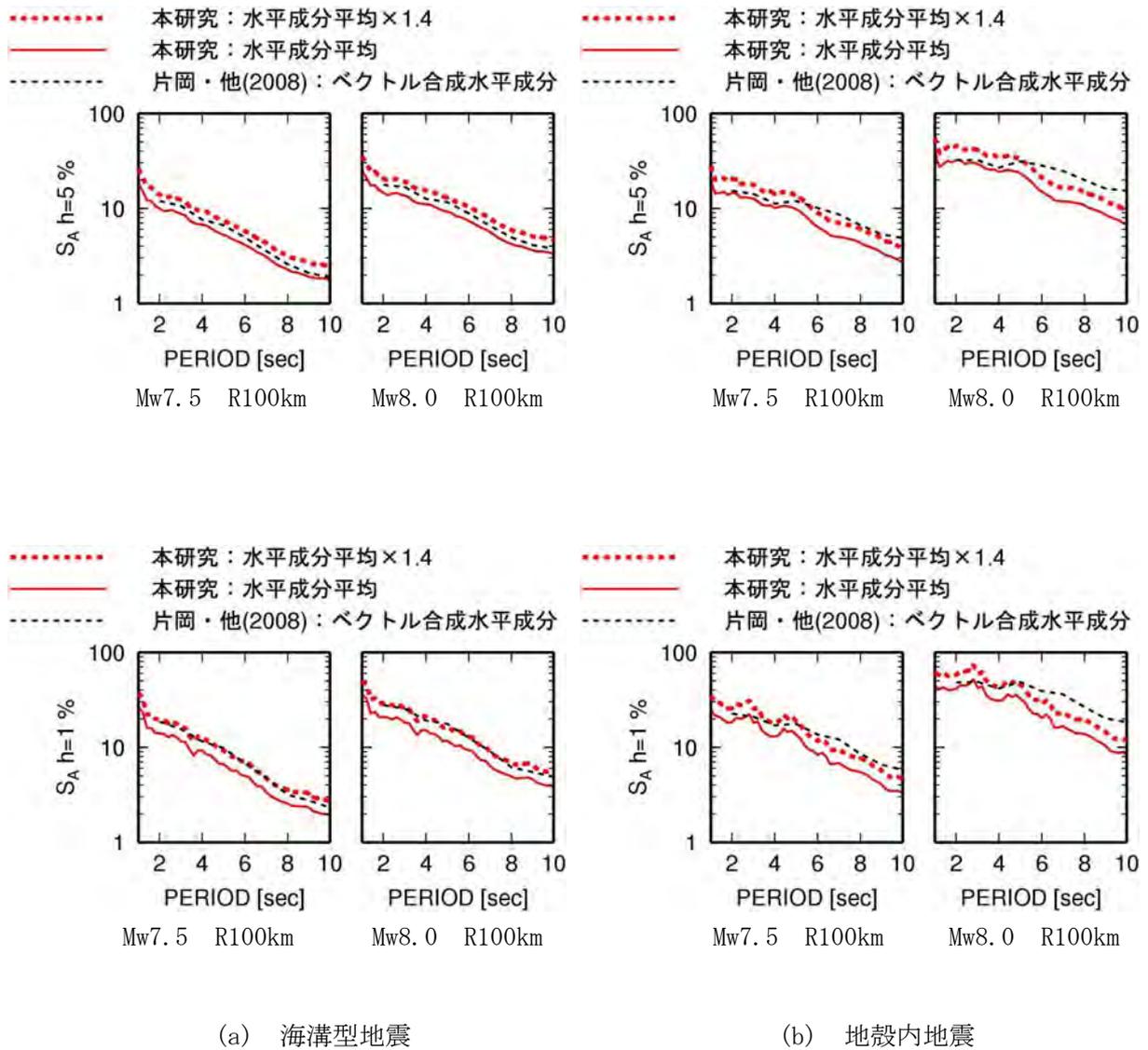
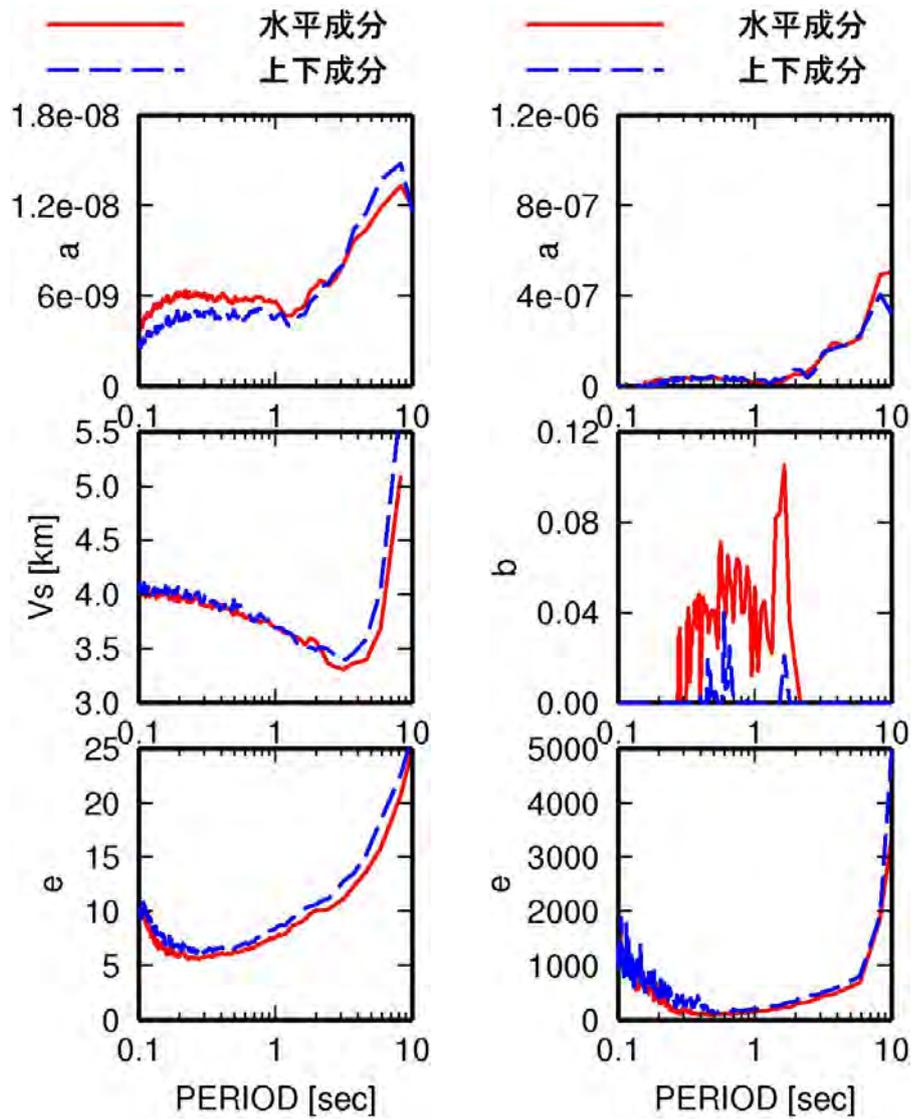


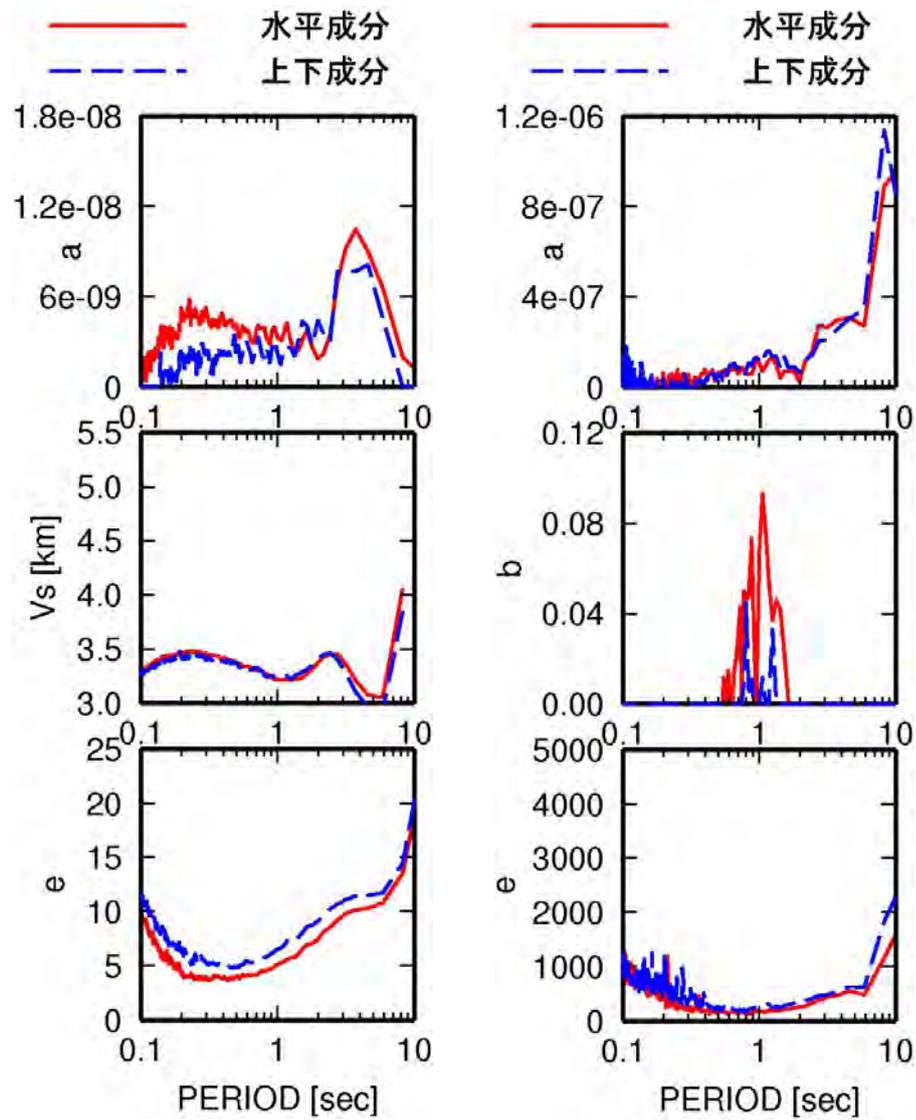
図 3.2.4 本検討と片岡・他(2008)の距離減衰式に基づく IWT009 での水平成分の加速度応答スペクトルの比較



群遅延時間の平均値 $\mu_{t_{gr}}$

群遅延時間の分散 $\sigma_{t_{gr}}^2$

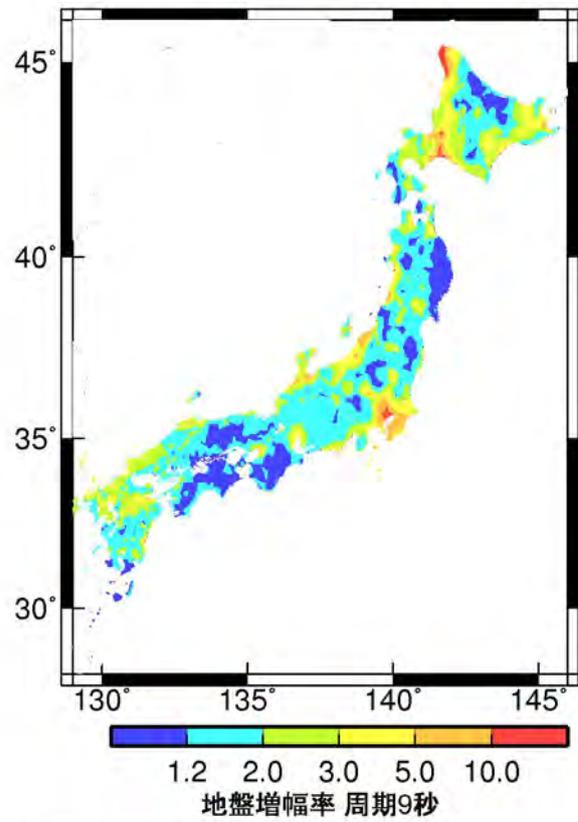
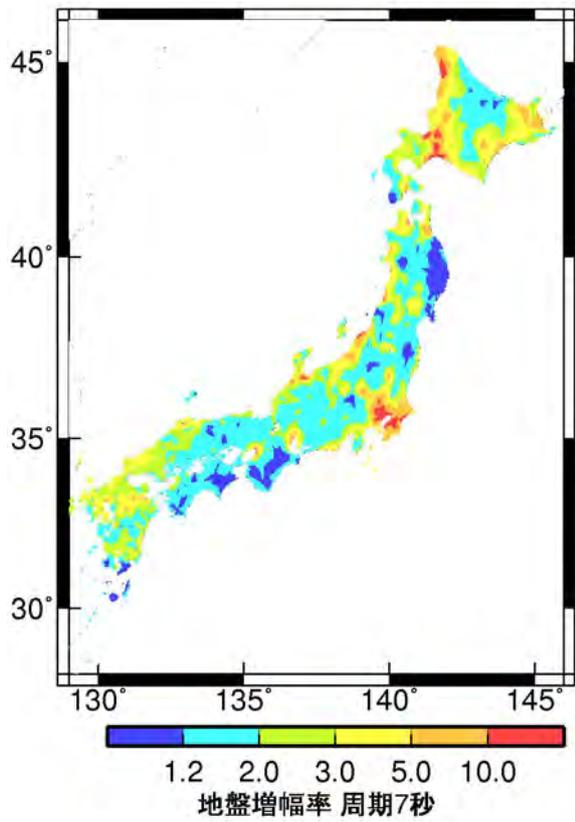
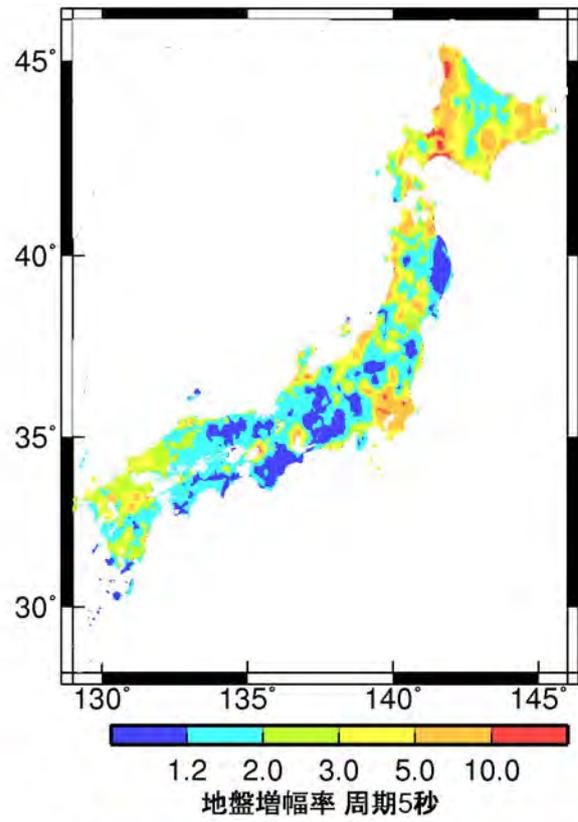
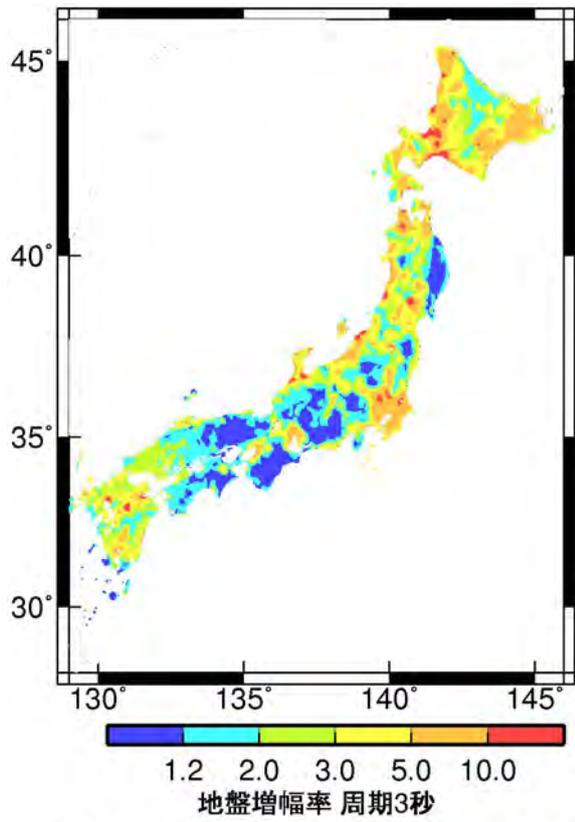
図 3.2.5 海溝型地震の群遅延時間の平均値と分散の回帰係数



群遅延時間の平均値 $\mu_{t_{gr}}$

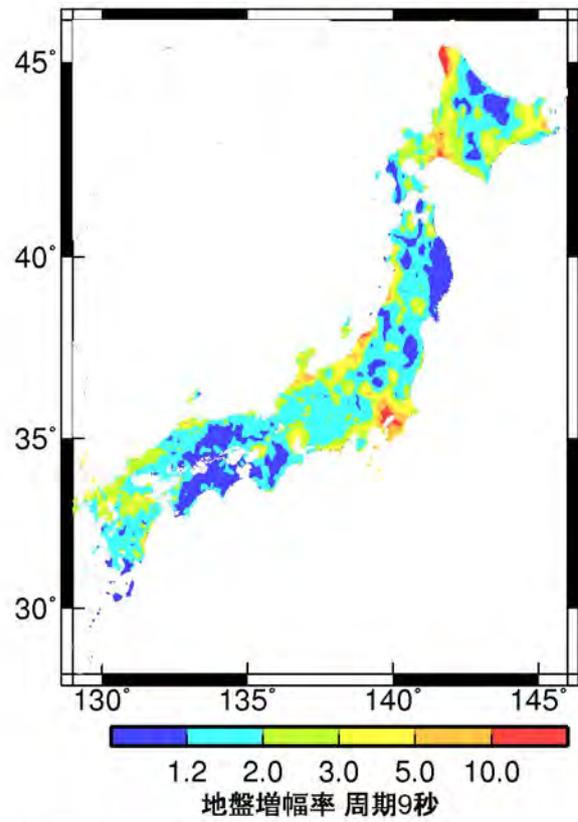
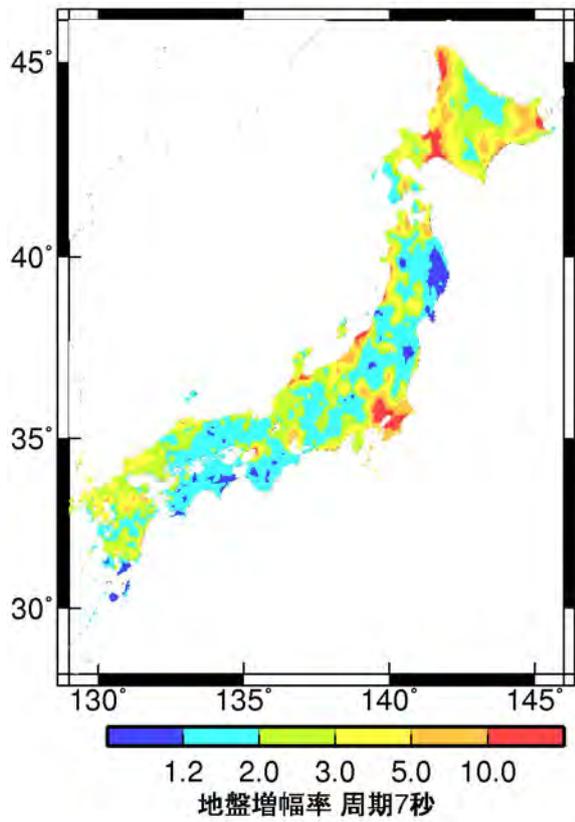
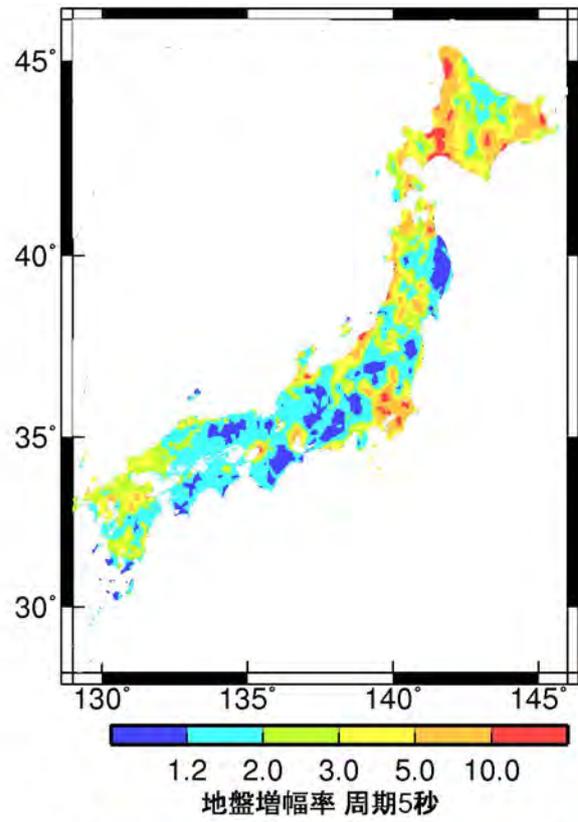
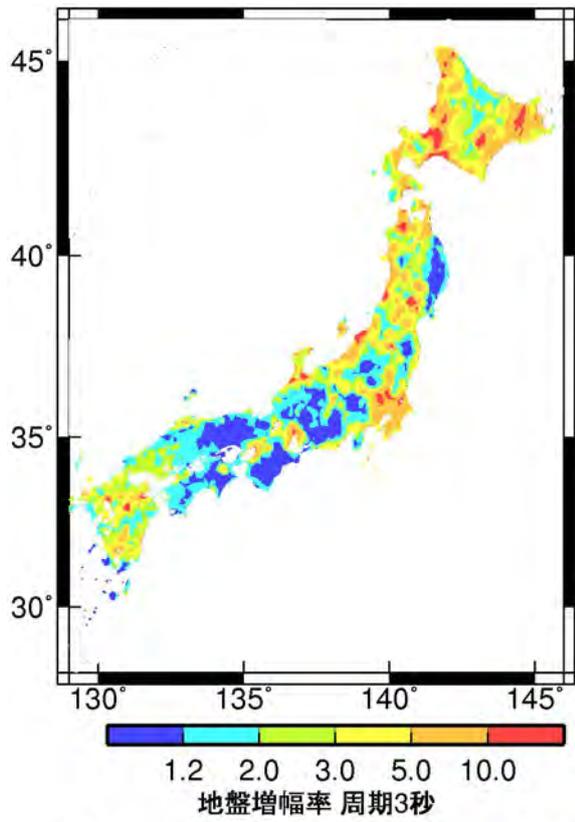
群遅延時間の分散 $\sigma_{t_{gr}}^2$

図 3.2.6 地殻内地震の群遅延時間の平均値と分散の回帰係数



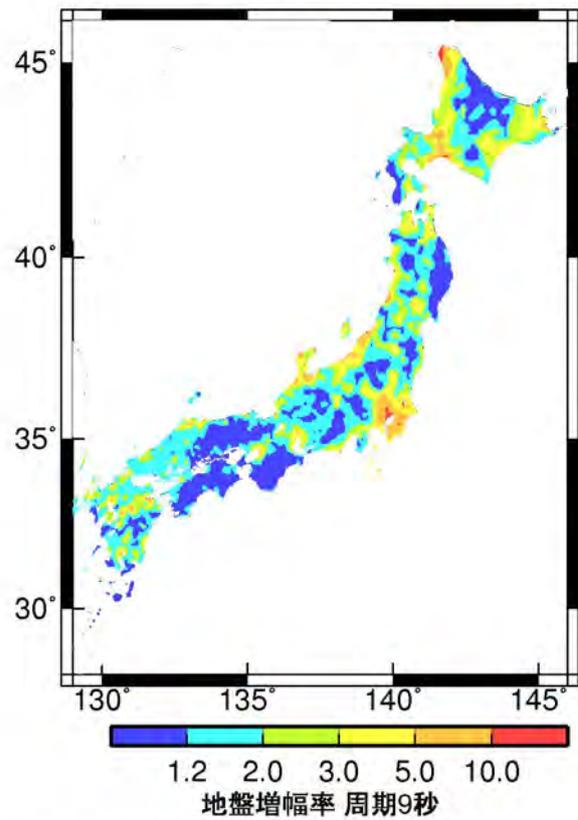
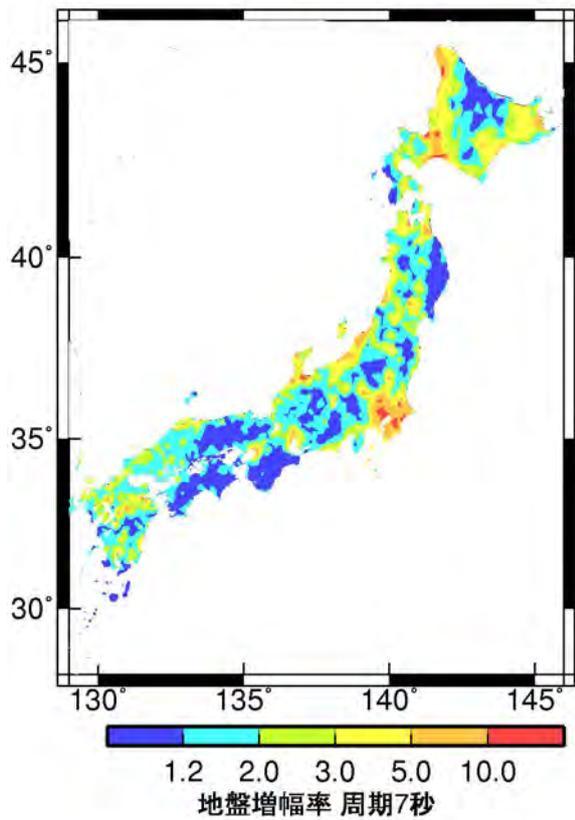
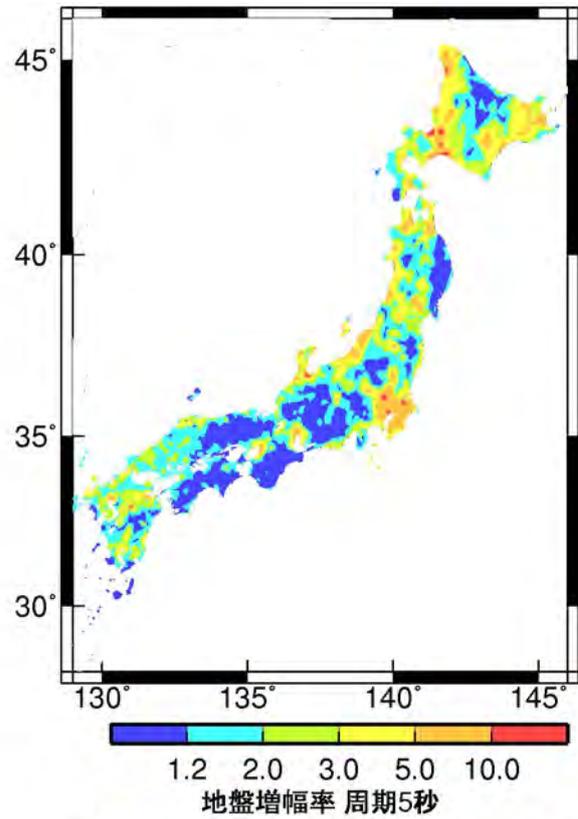
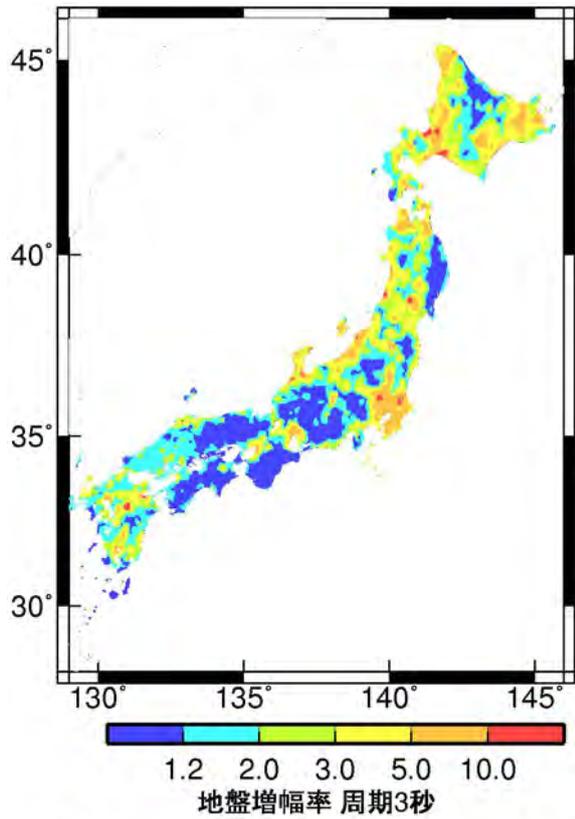
S_A h=5 %: 水平成分

図 3.2.7 減衰定数 5%の加速度応答スペクトルの水平成分の地盤増幅率のコンターマップ



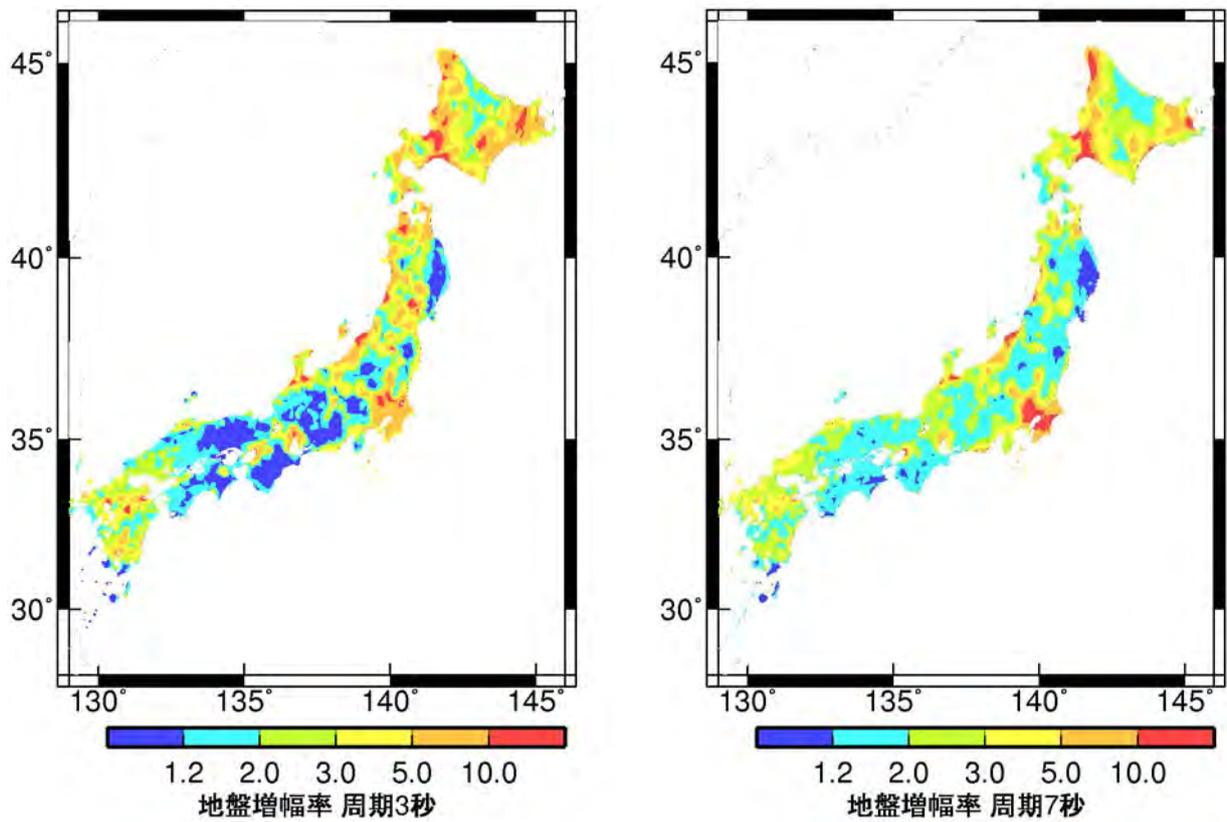
S_A h=1 %: 水平成分

図 3.2.8 減衰定数 1%の加速度応答スペクトルの水平成分の地盤増幅率のコンターマップ

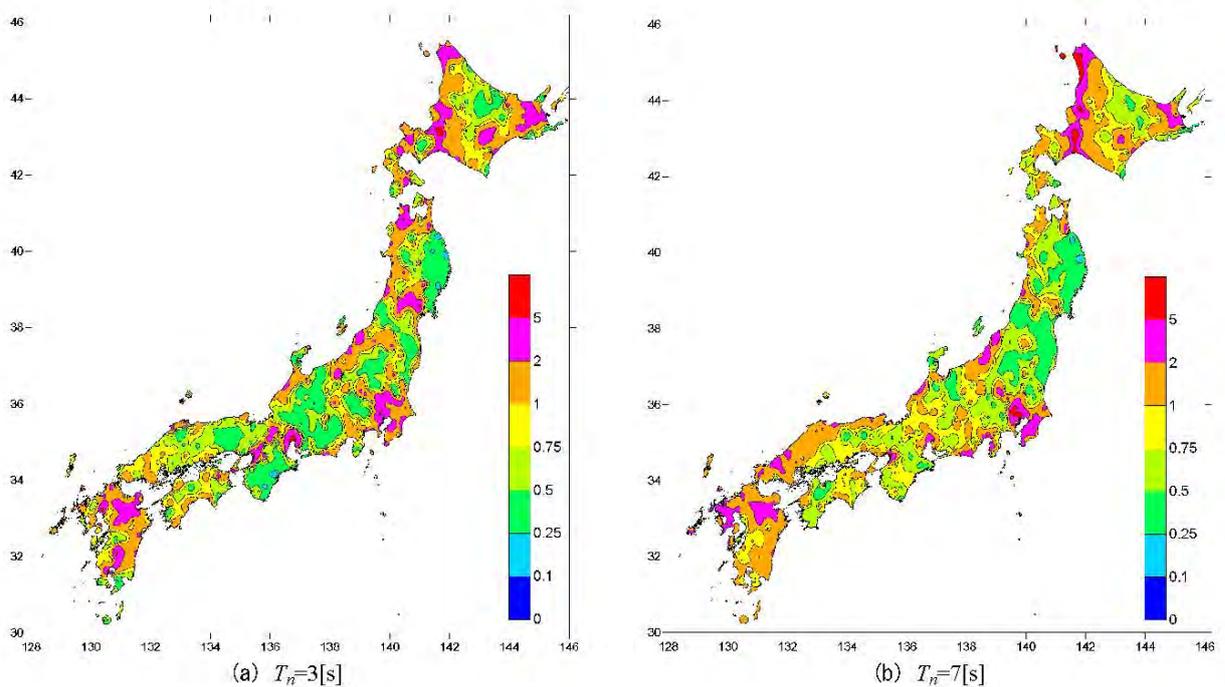


エネルギースペクトル: 水平成分

図 3. 2. 9 エネルギースペクトルの水平成分の地盤増幅率のコンターマップ

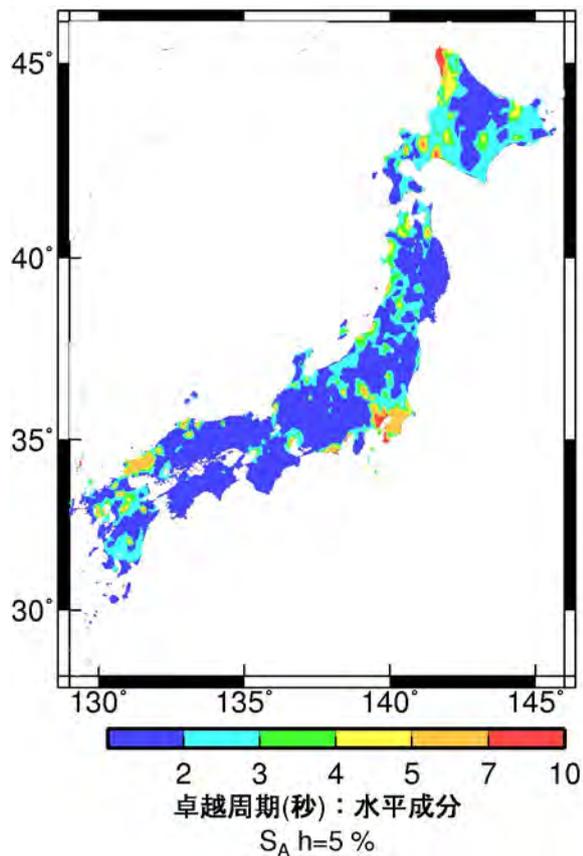


(a) 本検討

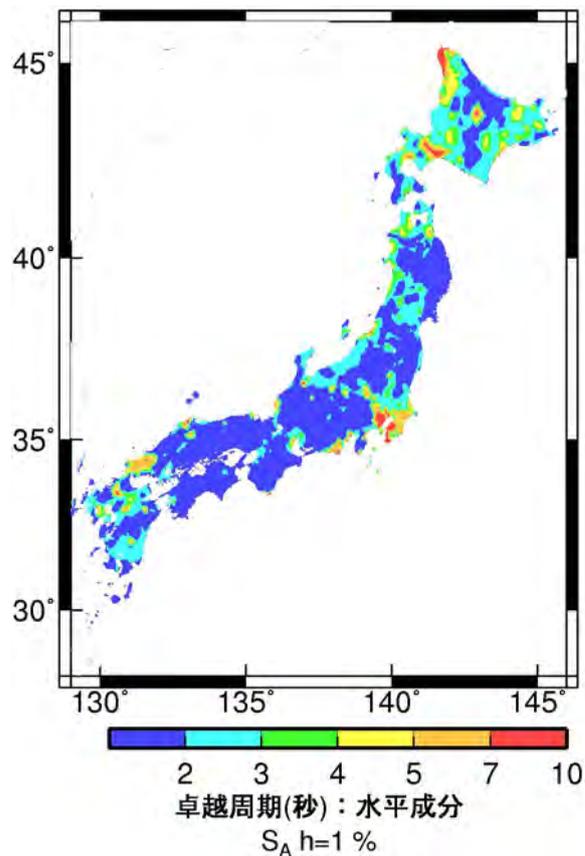


(b) 片岡・他(2008)

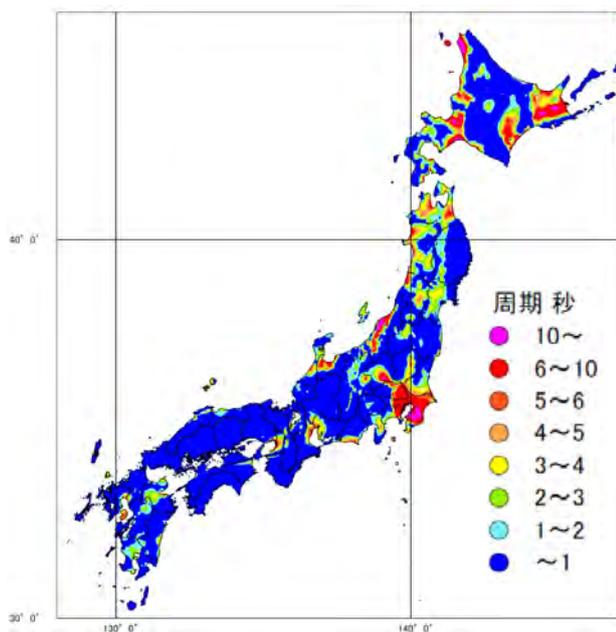
図 3.2.10 減衰定数 1%の加速度応答スペクトルに対する周期 3 秒と 5 秒における本検討の地震基盤からの増幅率と片岡・他(2008)の平均値からの増幅率の比較



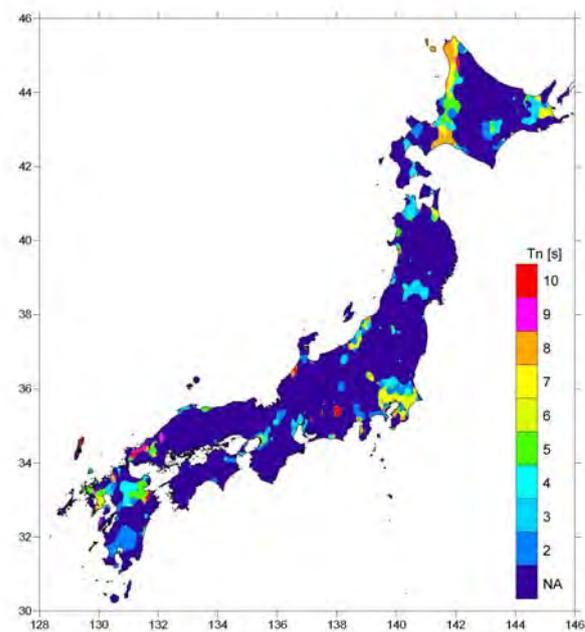
(a) 本検討の S_A ($h=5\%$) の最大ピーク周期



(b) 本検討 S_A ($h=1\%$) の最大ピーク周期



(c) 内閣府(2008)の一次固有周期



(d) 片岡・他(2008)の S_A ($h=1\%$) の最大ピーク周期

図-10 地点補正倍率から評価した地盤の卓越周期

図 3.2.11 本検討と片岡・他(2008)の最大ピーク周期と内閣府(2008)の一次固有周期の比較

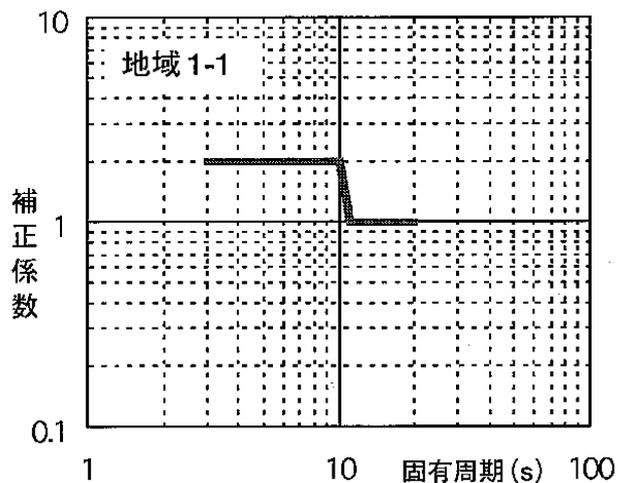
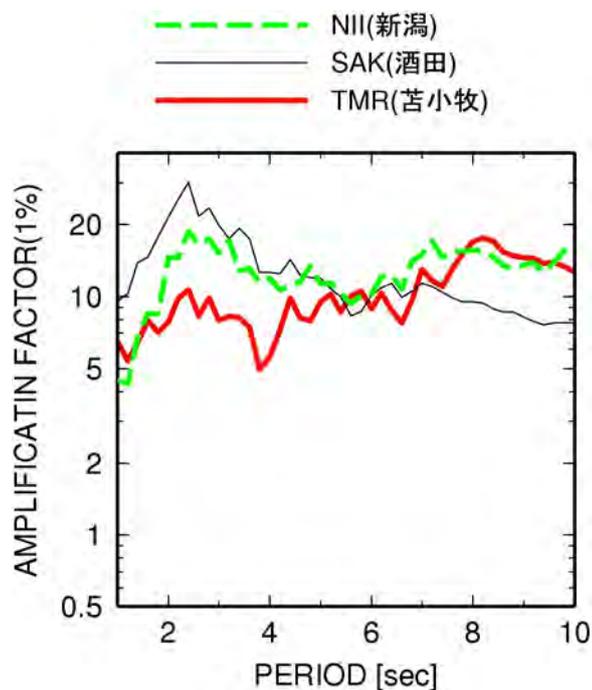


図 7.9(a) 地域 1-1 (苫小牧, 酒田, 新潟) の補正係数 10 秒まで 2 倍, 周期 11 秒で現行の値と一致

(a) 消防法の補正係数 (太田・座間、2005)



(b) 本検討の地盤増幅率

図 3.2.12 地域 1-1 での消防法における従来のスペクトル値に対する補正係数 (平成 15 年 1 月 14 日技術基準の告示) と本検討の減衰定数 1%の加速度応答スペクトルの地盤増幅率の比較。

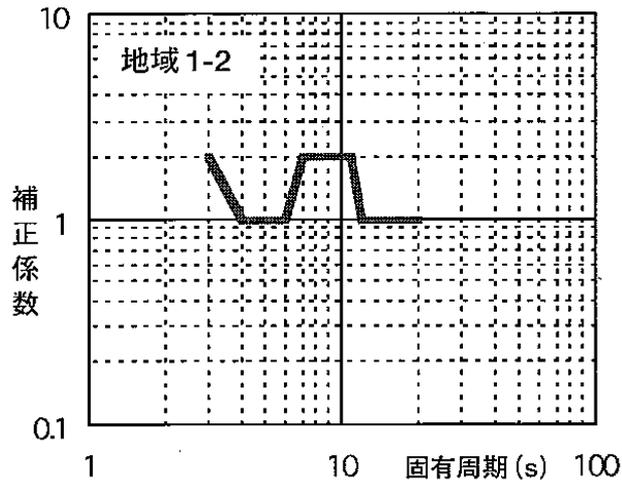
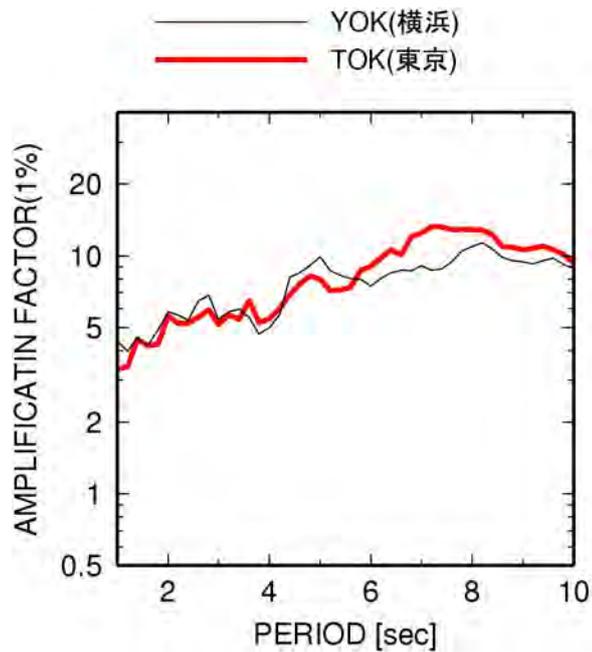


図 7.9(b) 地域 1-2 (東京, 横浜) の補正係数周期
周期 7 ~ 11 秒まで 2 倍

(a) 消防法の補正係数 (太田・座間、2005)



(b) 本検討の地盤増幅率

図 3.2.13 地域 1-2 での消防法における従来のスペクトル値に対する補正係数 (平成 15 年 1 月 14 日技術基準の告示) と本検討の減衰定数 1% の加速度応答スペクトルの地盤増幅率の比較

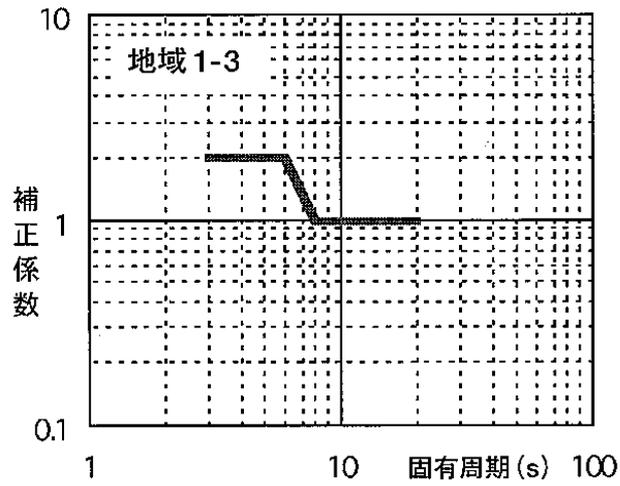
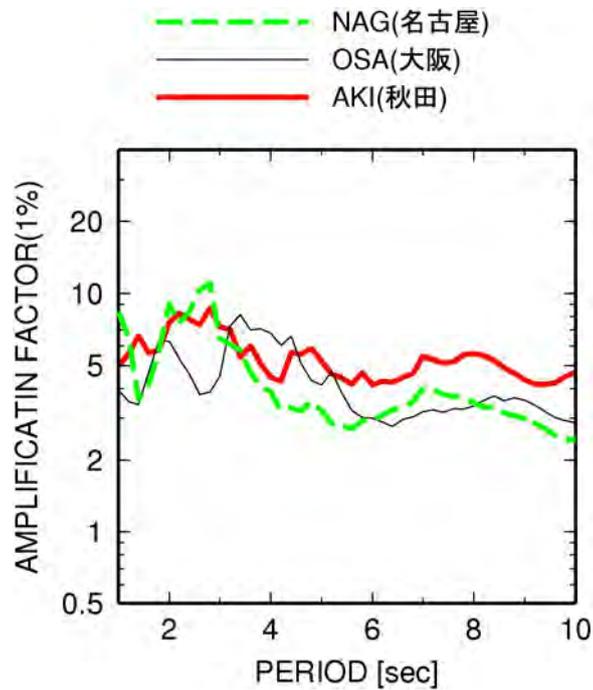


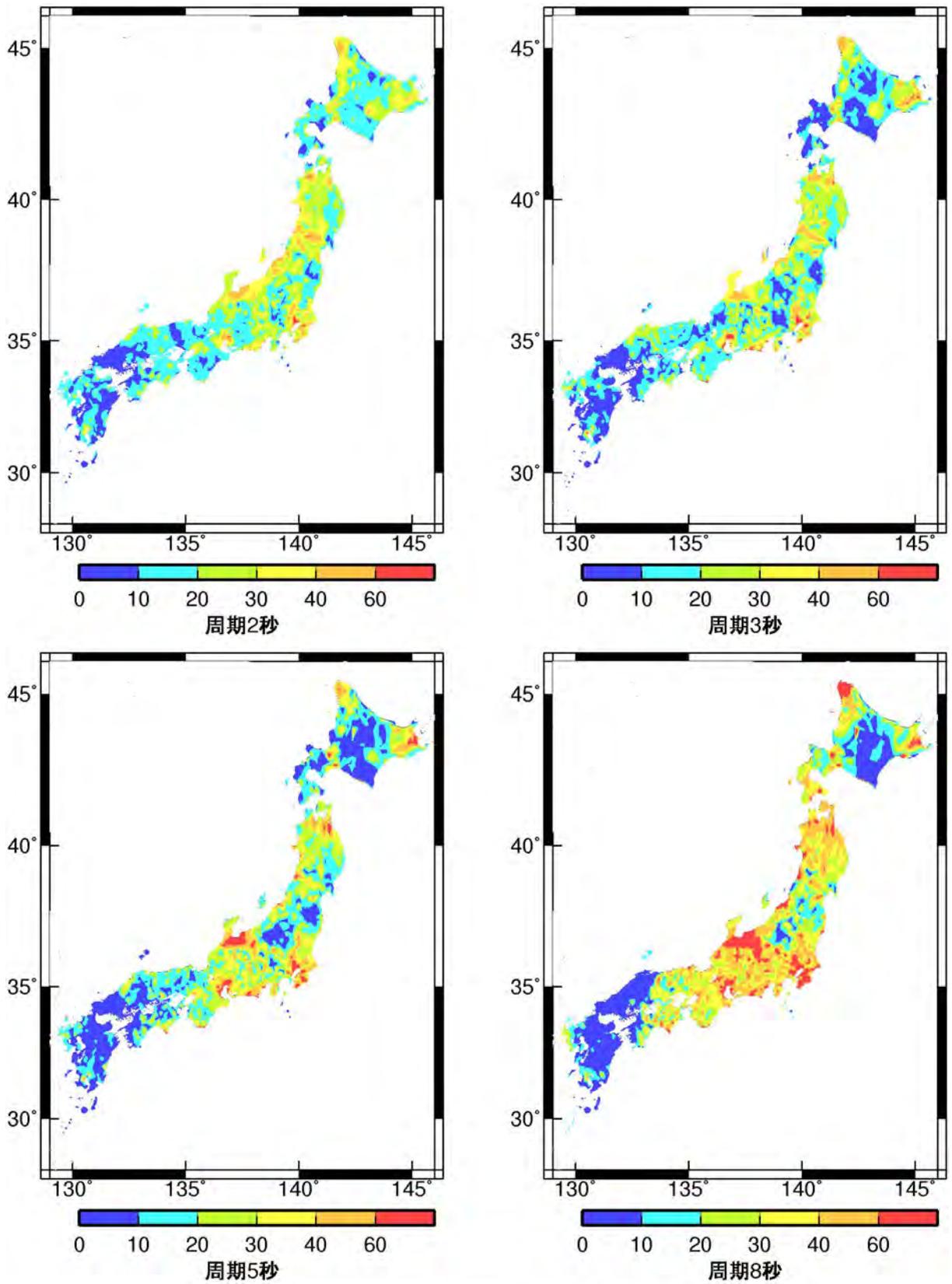
図 7.9(c) 地域 1-3 (秋田, 大阪, 名古屋, 清水, 四日市, 尼崎, 上磯) の補正係数 周期 6 秒まで 2 倍, 周期 8 秒で現行の値と一致

(a) 消防法の補正係数 (太田・座間、2005)



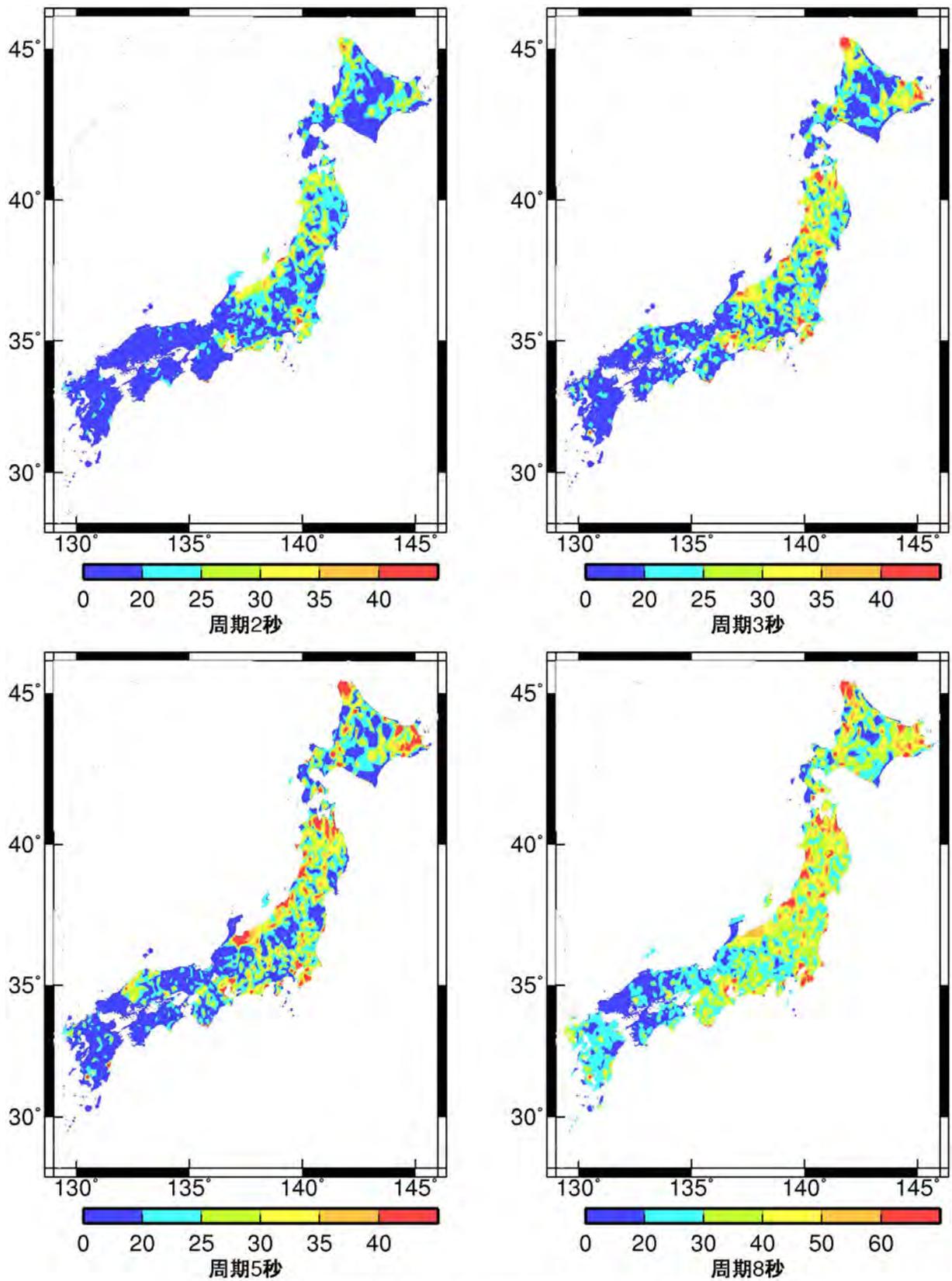
(b) 本検討の地盤増幅率

図 3.2.14 地域 1-3 での消防法における従来のスペクトル値に対する補正係数 (平成 15 年 1 月 14 日技術基準の告示) と本検討の減衰定数 1%の加速度応答スペクトルの地盤増幅率の比較



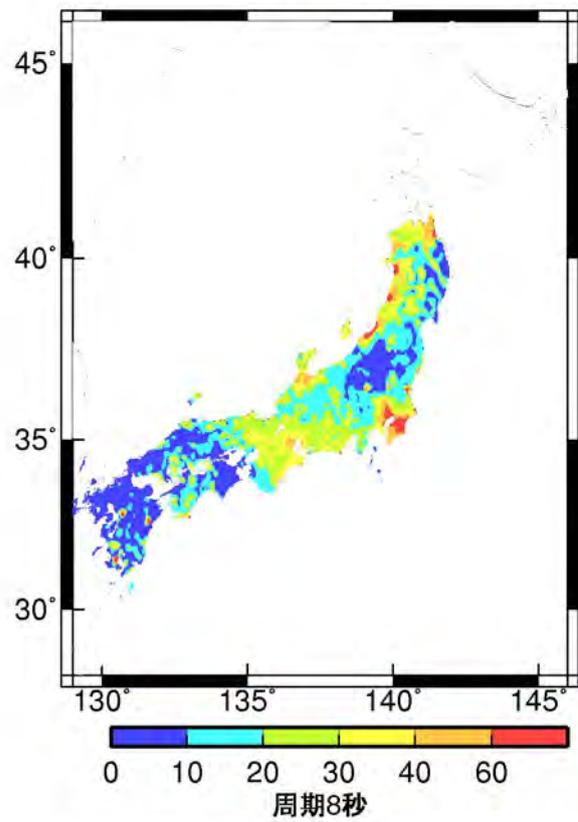
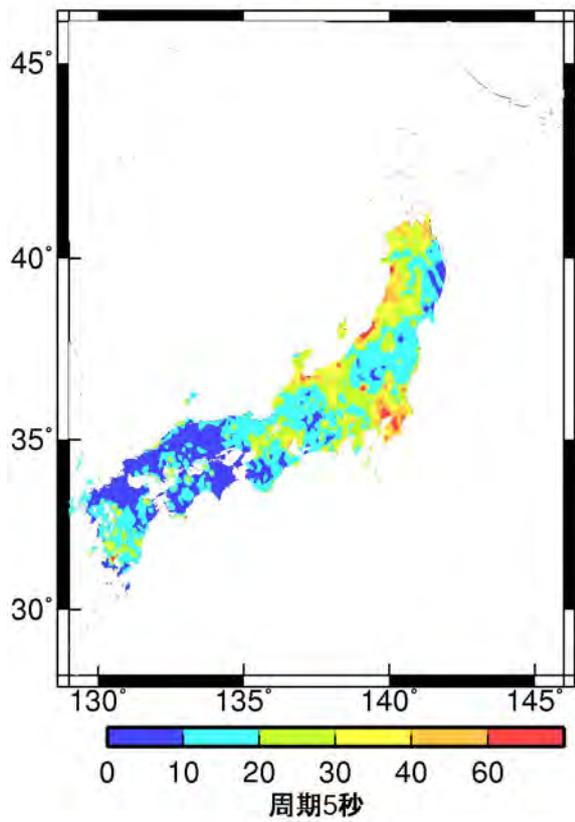
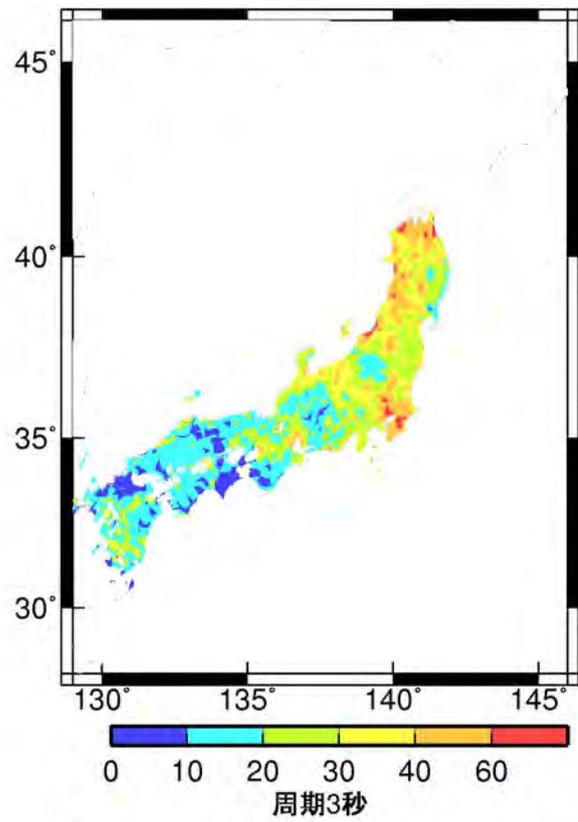
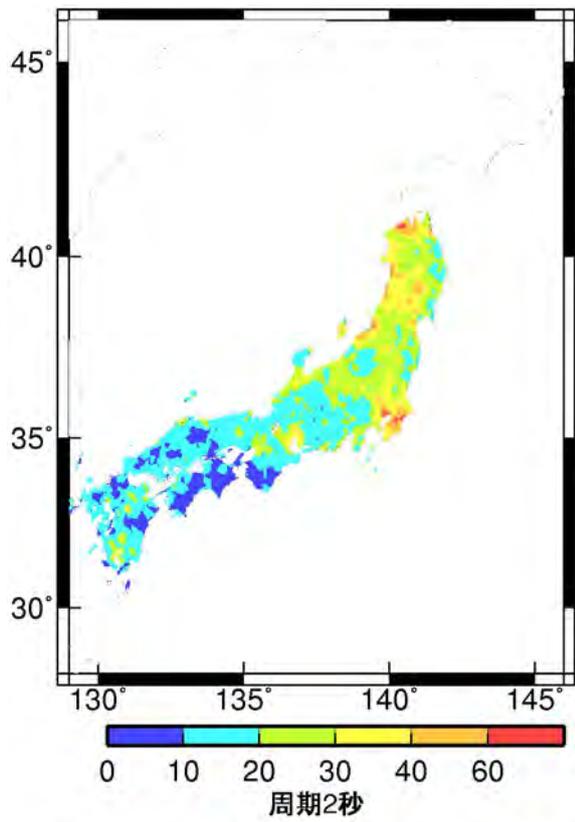
群遅延時間の平均値: 水平成分

図 3.2.15 海溝型地震の群遅延時間の平均値のサイト係数 (単位: 秒)



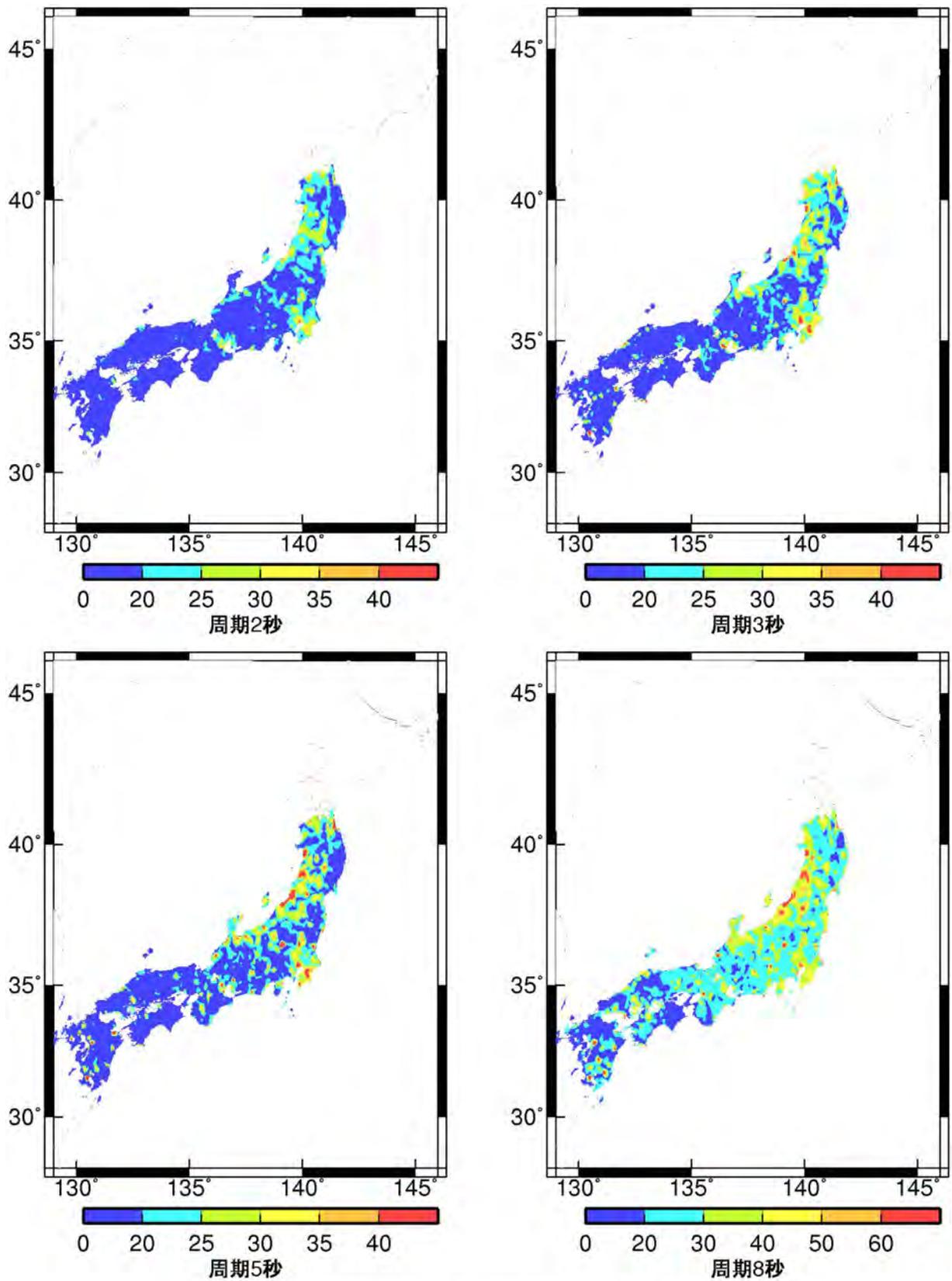
群遅延時間の標準偏差: 水平成分

図 3.2.16 海溝型地震の群遅延時間の標準偏差のサイト係数 (単位: 秒)



群遅延時間の平均値: 水平成分

図 3. 2. 17 地殻内地震の群遅延時間の平均値のサイト係数 (単位: 秒)



群遅延時間の標準偏差: 水平成分

図 3.2.18 地殻内地震の群遅延時間の標準偏差のサイト係数 (単位: 秒)

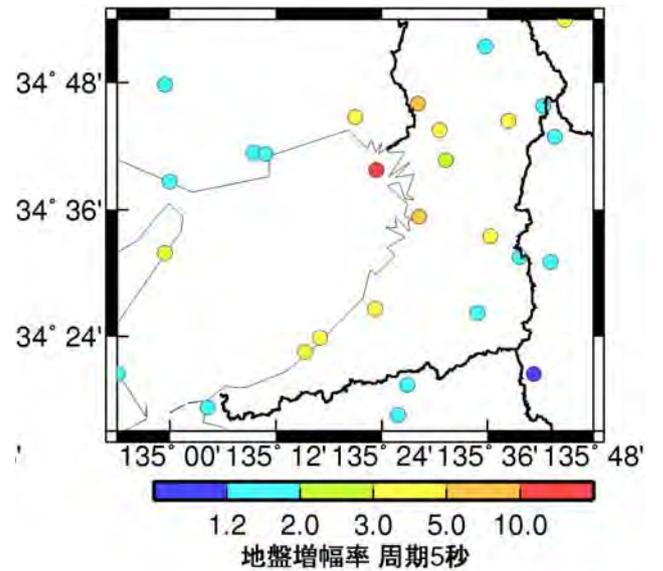
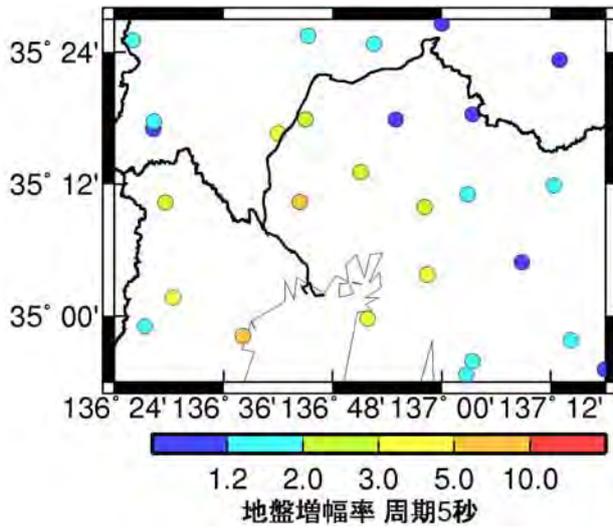
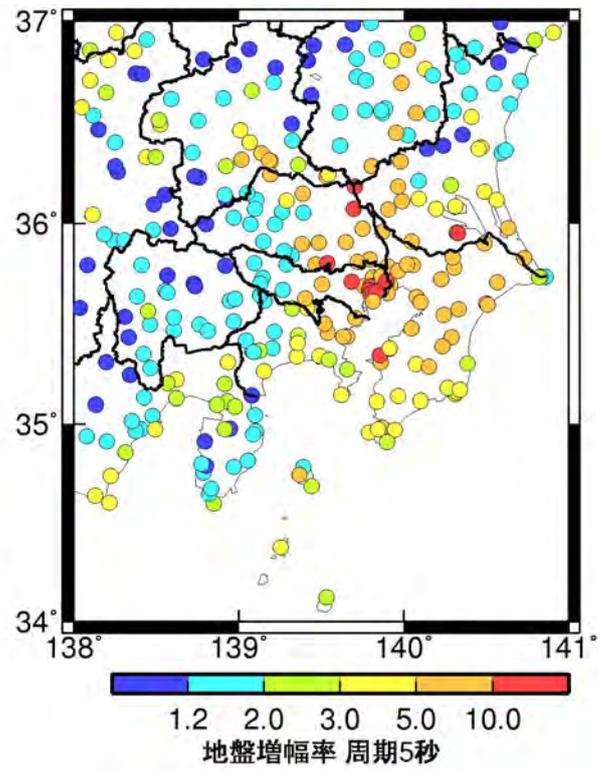
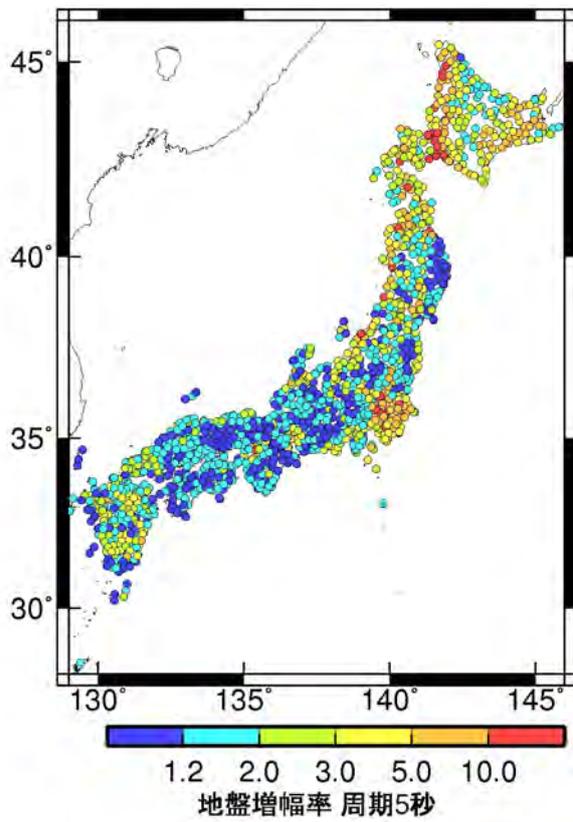
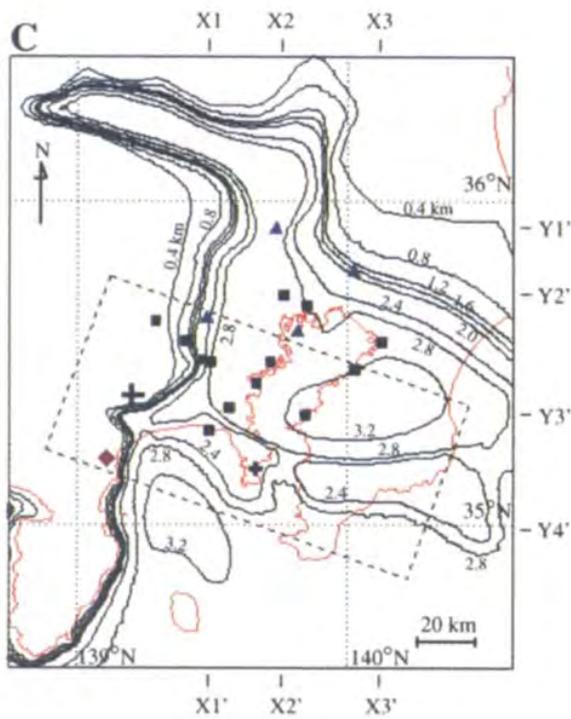
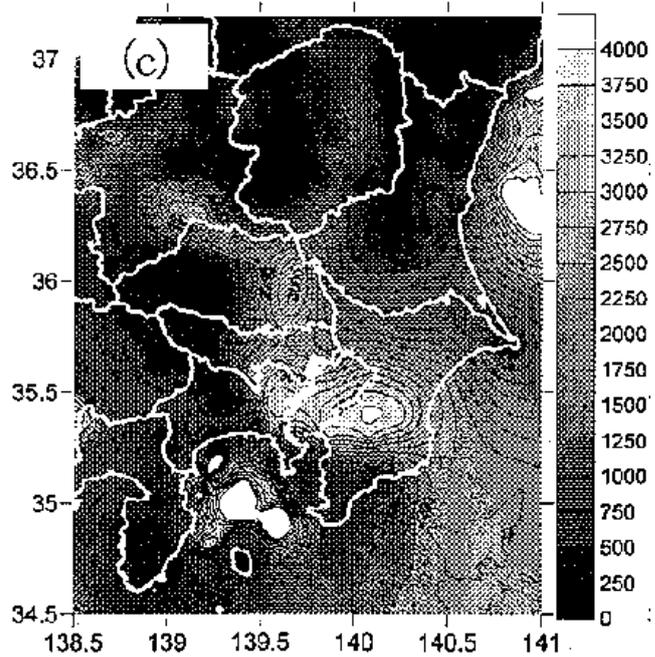


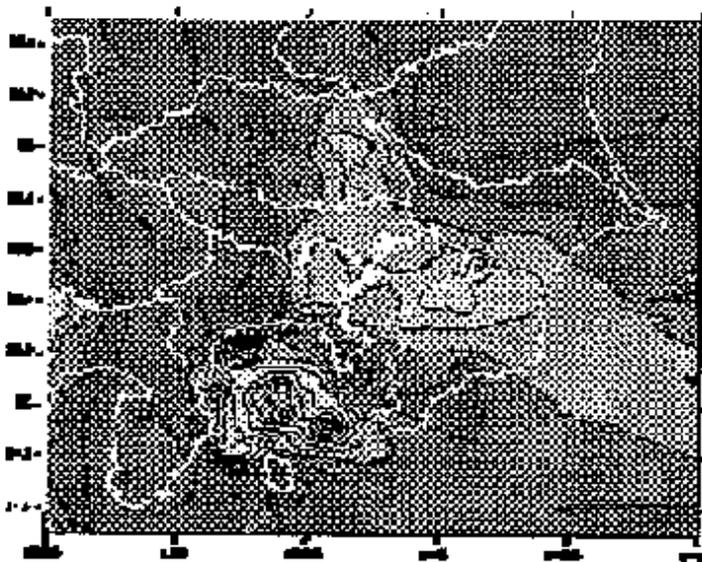
図 3.2.19 全国、関東平野、濃尾平野、大阪平野での観測点位置と減衰定数 5%の加速度応答スペクトルの周期 5 秒での地盤増幅率



(a) Sato et al. (1999)

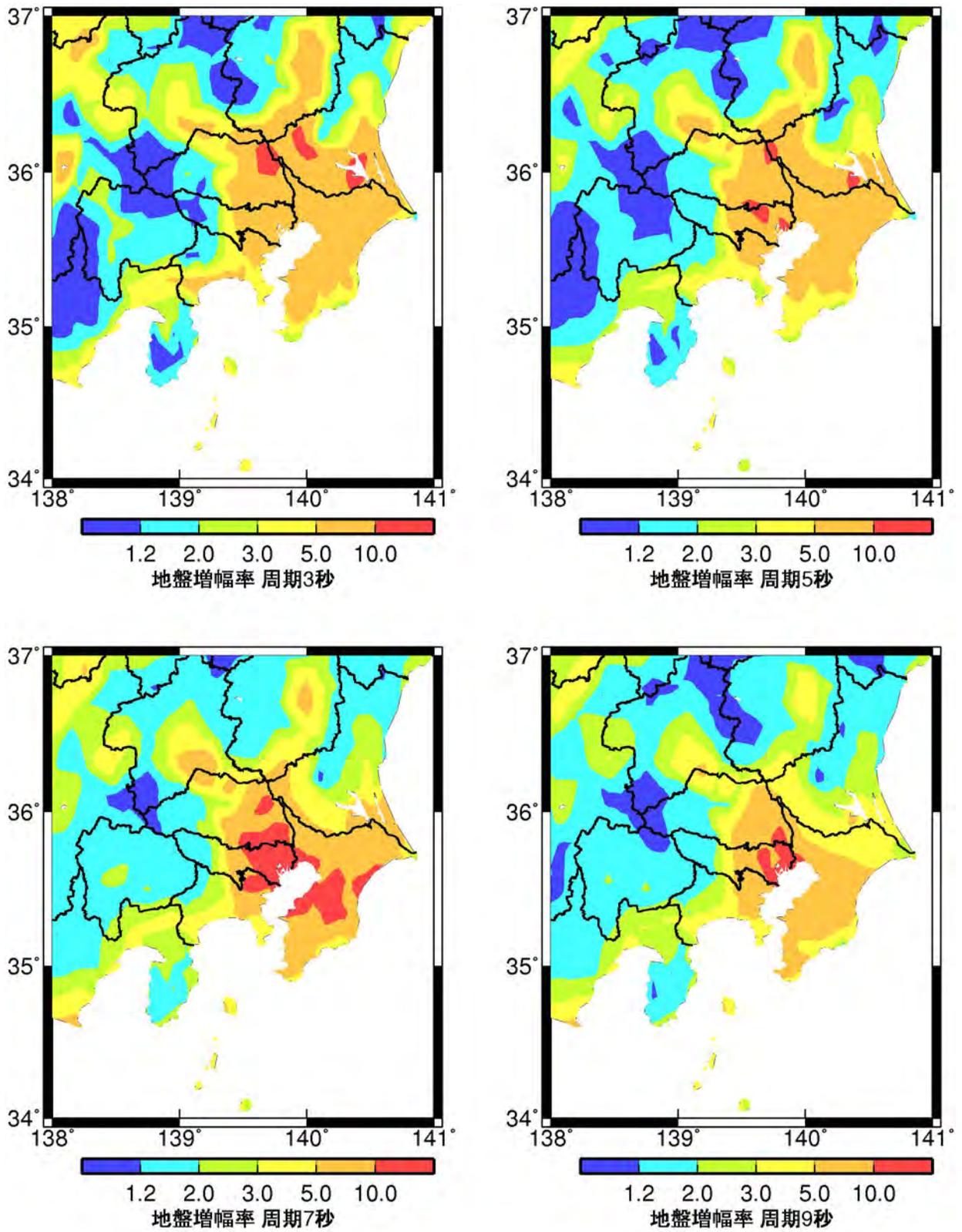


(b) 鈴木・他 (2005)



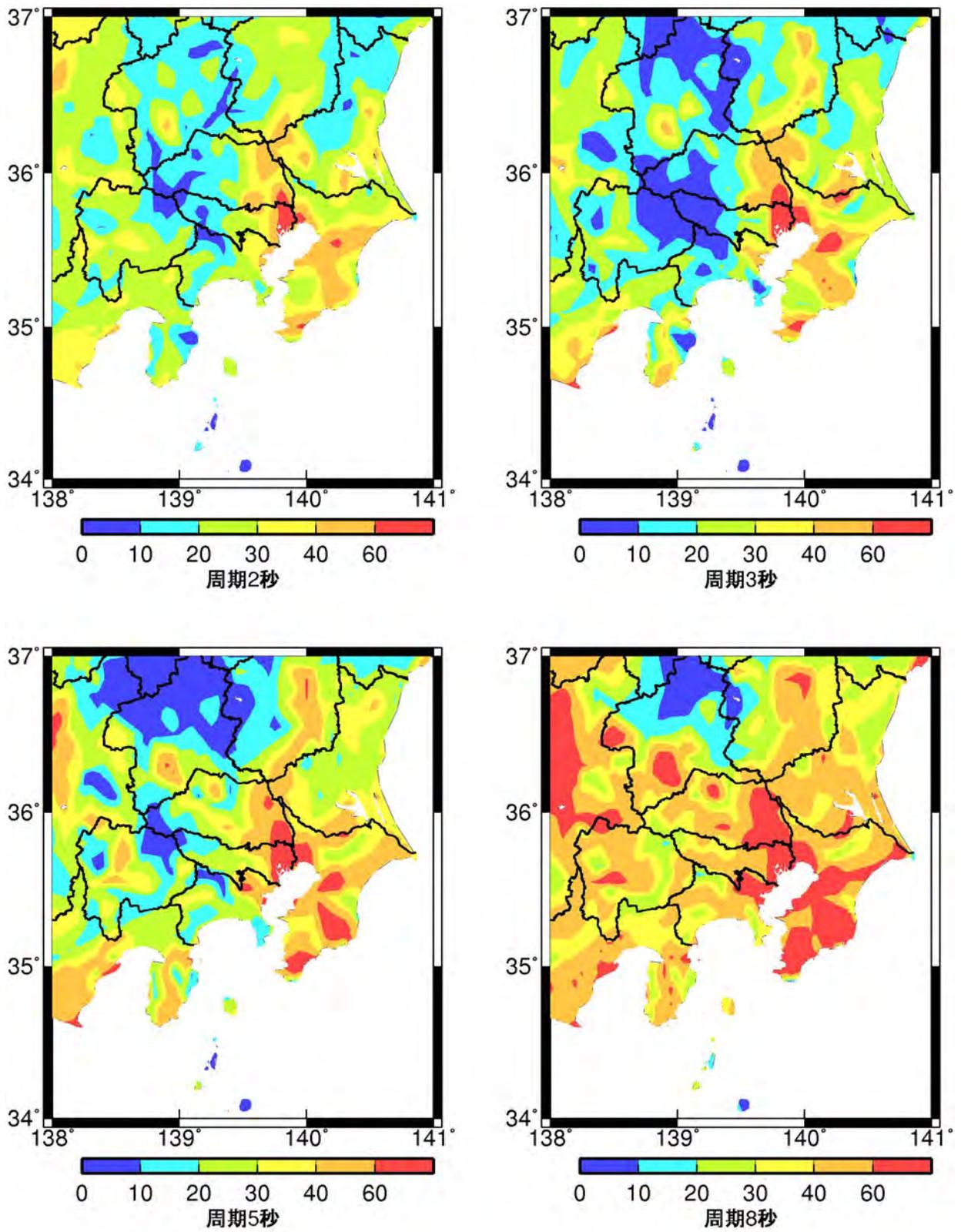
(c) 横田・他 (2006)

図 3.2.20 関東平野の基盤深度分布



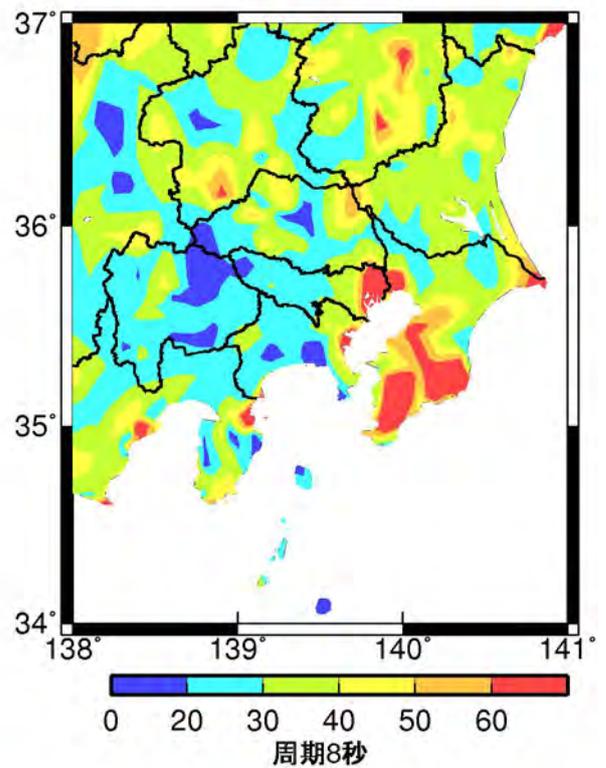
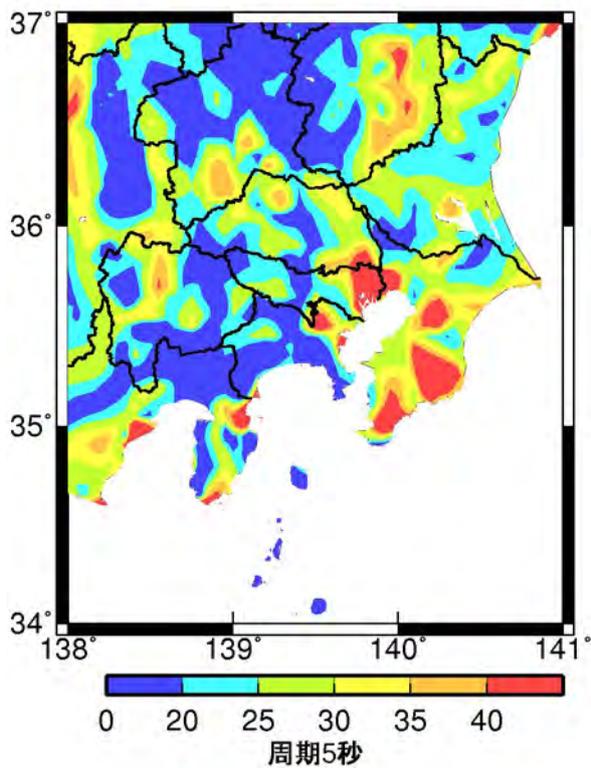
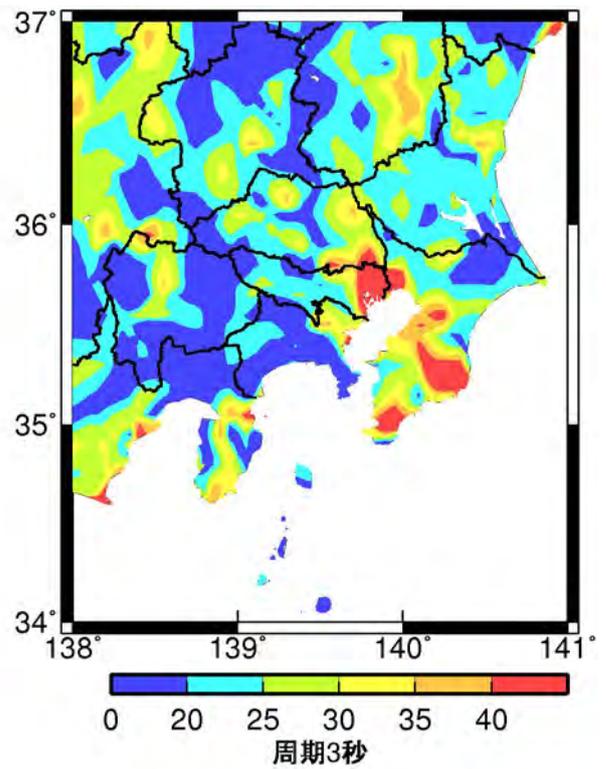
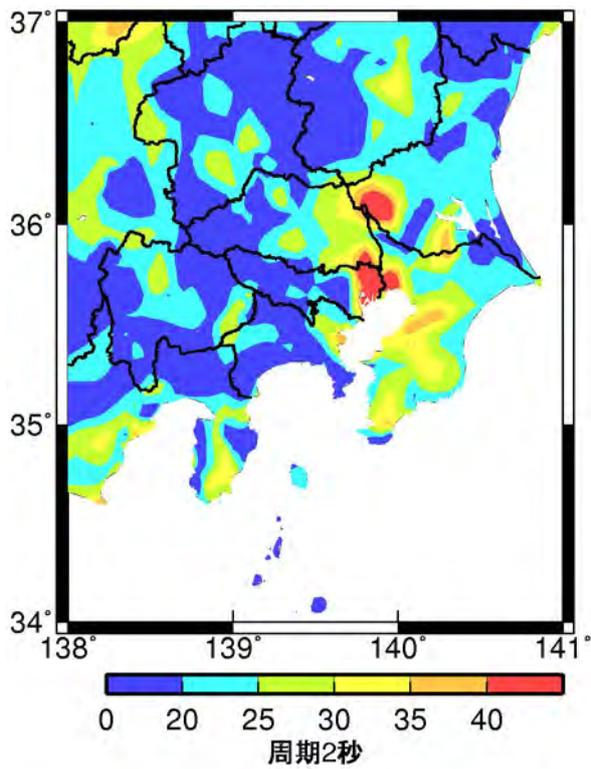
S_A h=5 %: 水平成分

図 3. 2. 21 関東平野における減衰定数 5%の加速度応答スペクトルの地盤増幅率のコンターマップ



群遅延時間の平均値: 水平成分

図 3. 2. 22 関東平野における海溝型地震の群遅延時間の平均値のサイト係数 (単位: 秒)



群遅延時間の標準偏差: 水平成分

図 3. 2. 23 関東平野における海溝型地震の群遅延時間の標準偏差のサイト係数 (単位: 秒)

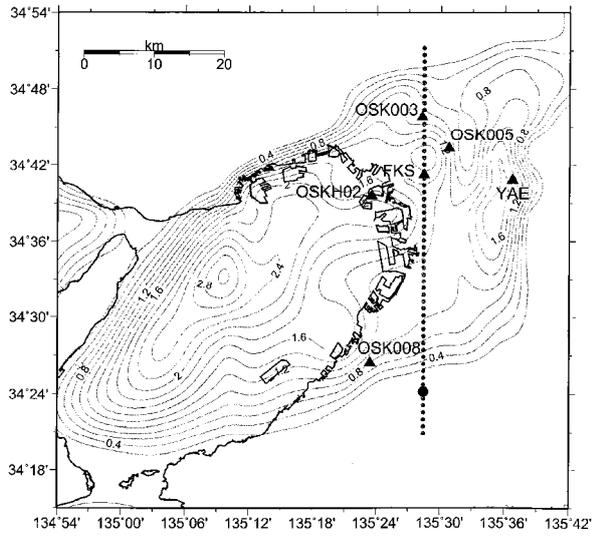


図1-2 鶴来・他の波形測線（盆地構造はKagawa *et al.*, 2004）

(a) Kagawa *et al.* (2004)

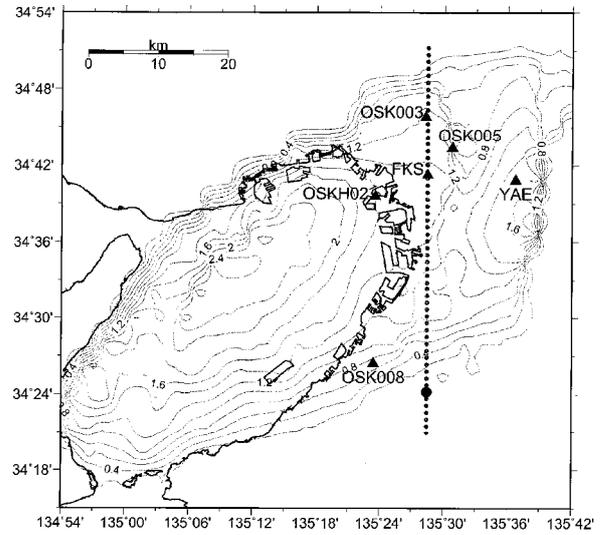


図1-1 産総研(AIST)及び釜江・川辺の波形測線（盆地構造は堀川・他, 2003）

(b) 堀川・他(2003)

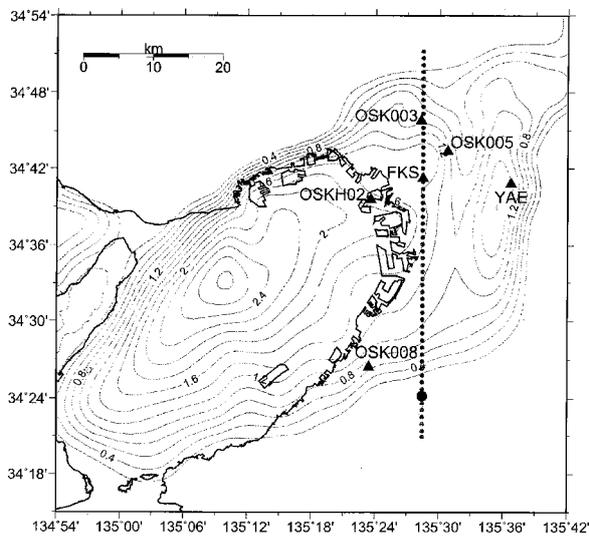


図1-3 岩城・岩田の波形測線（盆地構造はIwata *et al.*, 2008）

(c) Iwata *et al.* (2008)

図 3.2.24 大阪平野の基盤深度分布（岩田・他、2008 より転載）

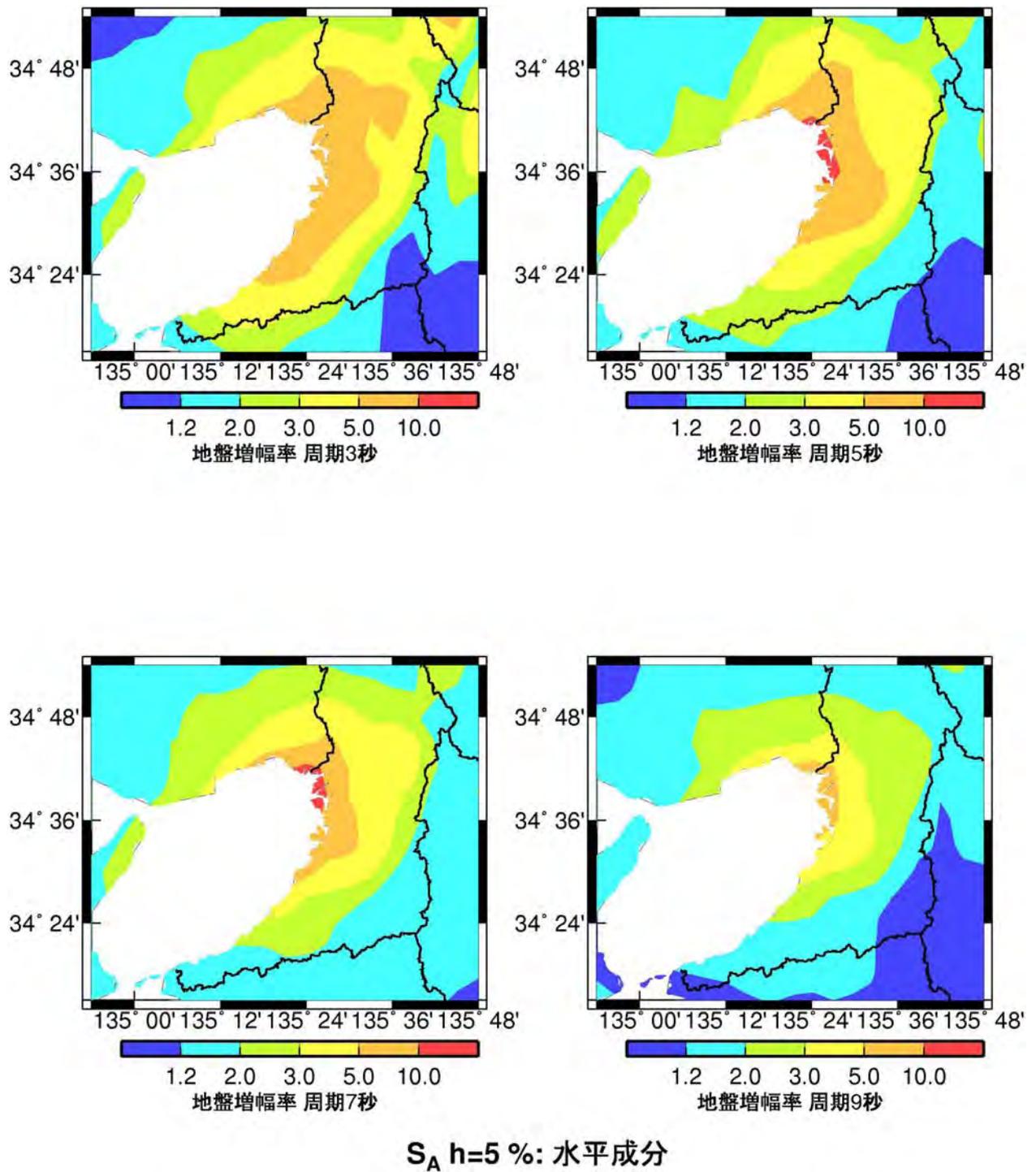
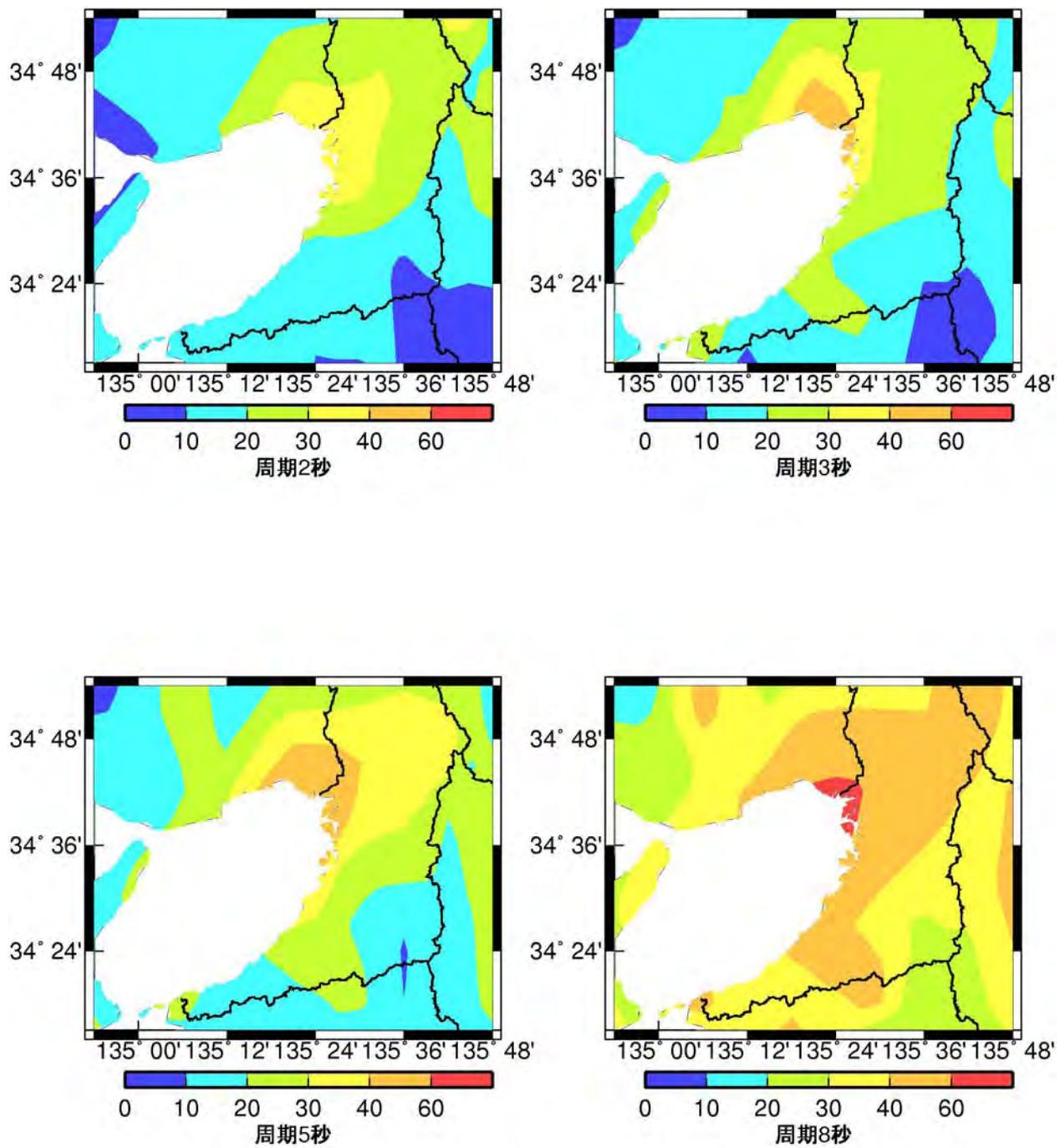
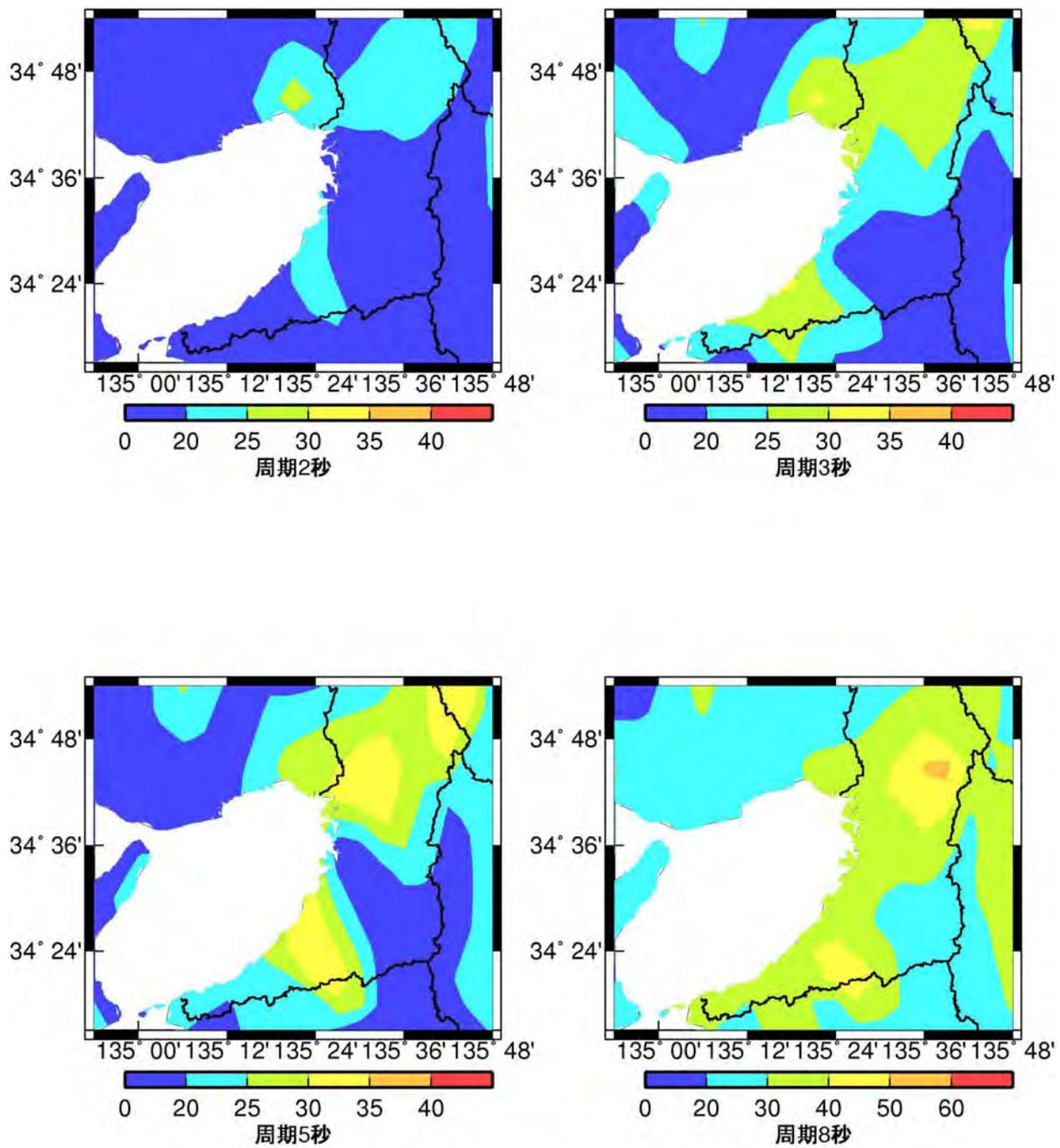


図 3. 2. 25 大阪平野における減衰定数 5%の加速度応答スペクトルの地盤増幅率のコンターマップ



群遅延時間の平均値: 水平成分

図 3. 2. 26 濃尾平野における群遅延時間の平均値のサイト係数のコンターマップ (単位: 秒)

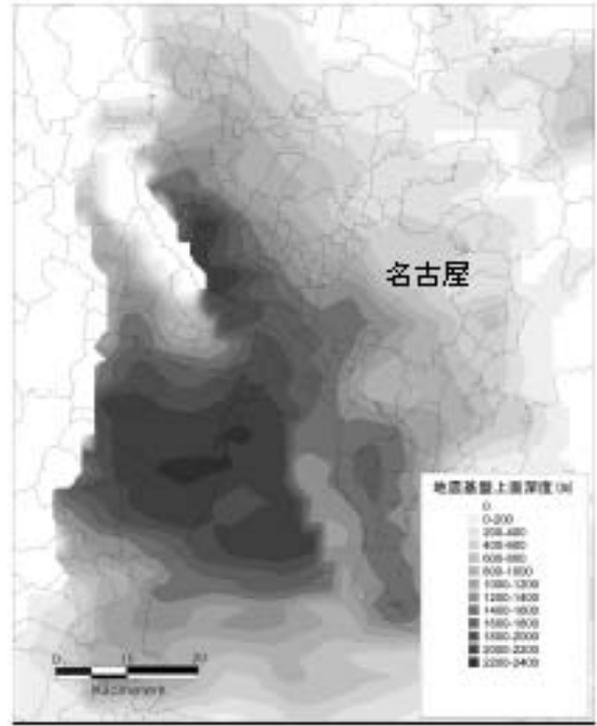


群遅延時間の標準偏差: 水平成分

図 3. 2. 27 濃尾平野における群遅延時間の平均値のサイト係数のコンターマップ (単位: 秒)

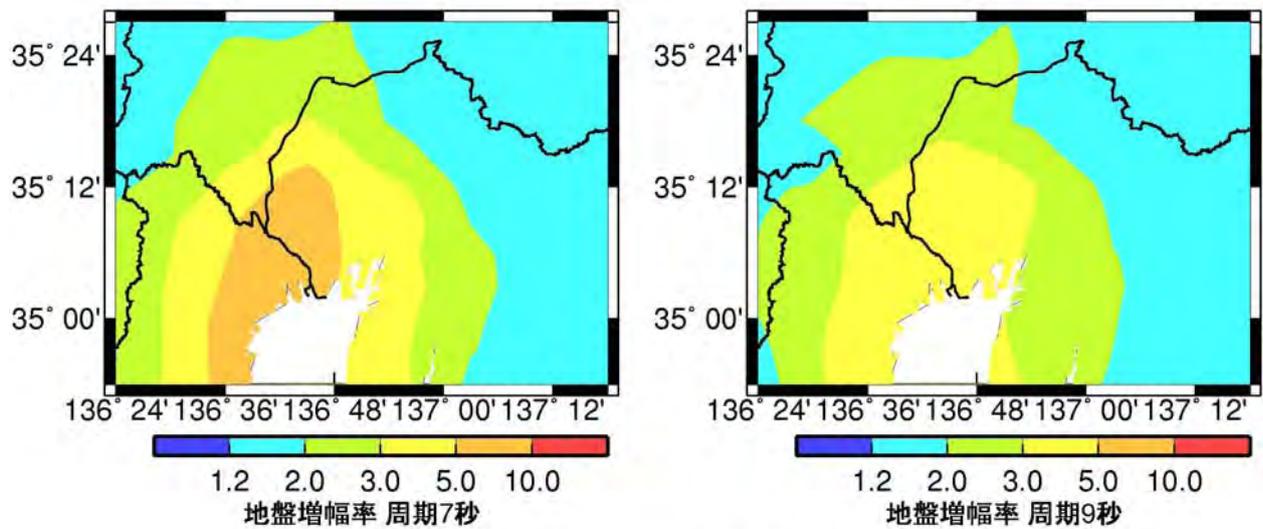
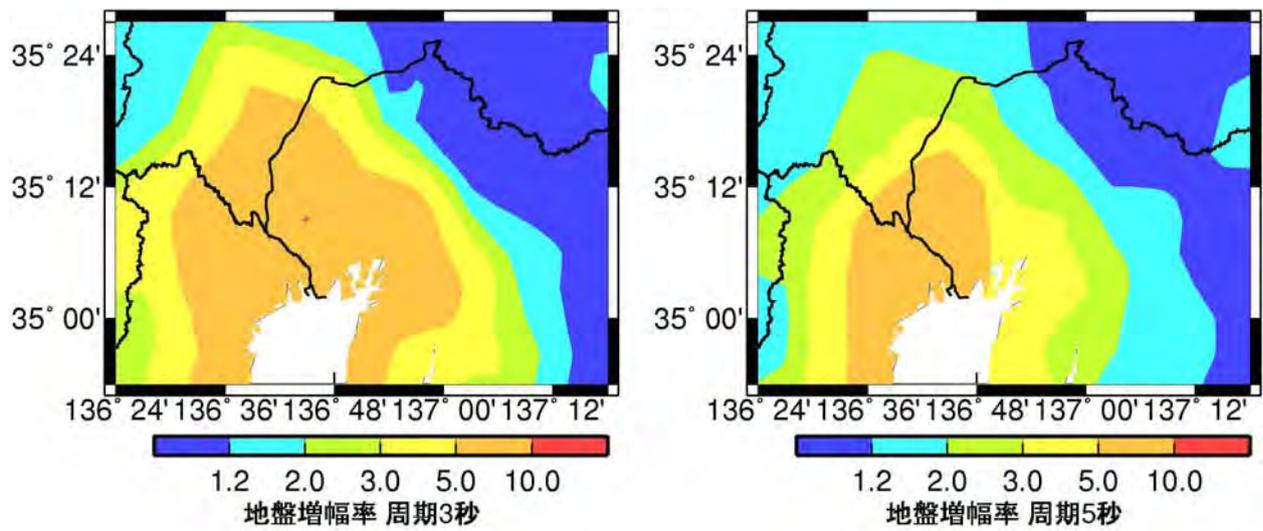


(a) ブーゲー異常



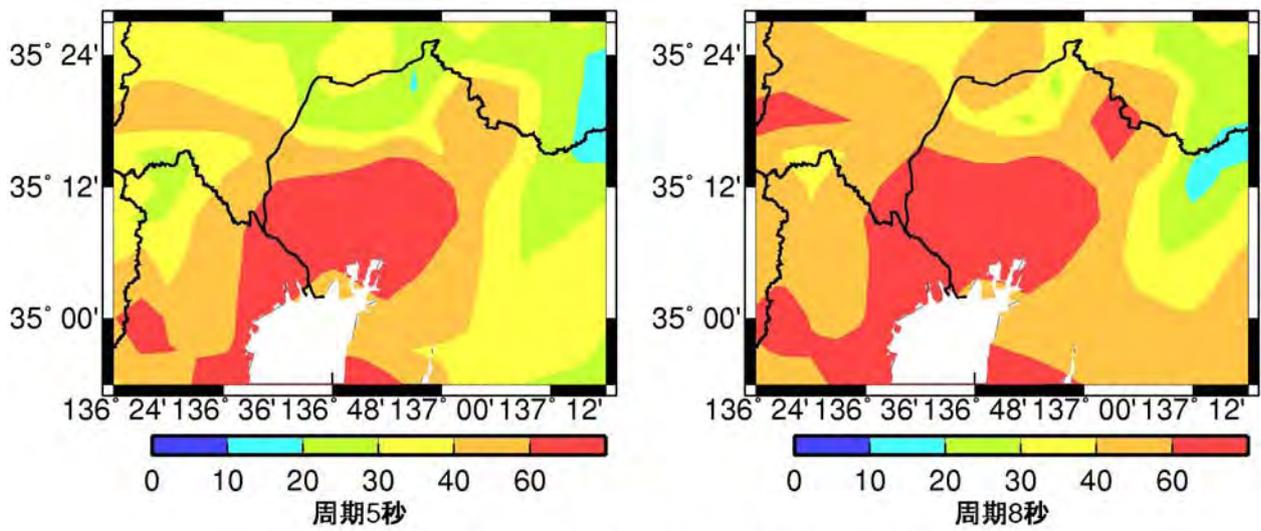
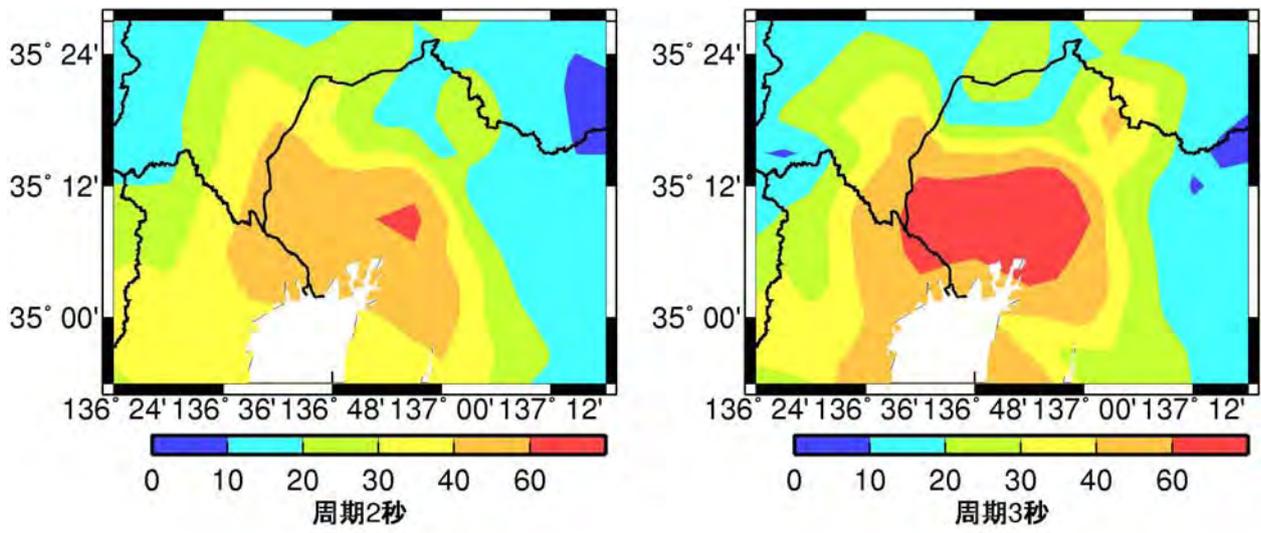
(b) 重力解析に基づく深度分布

図 3.2.28 濃尾平野の基盤深度分布 (福和・他、2002)



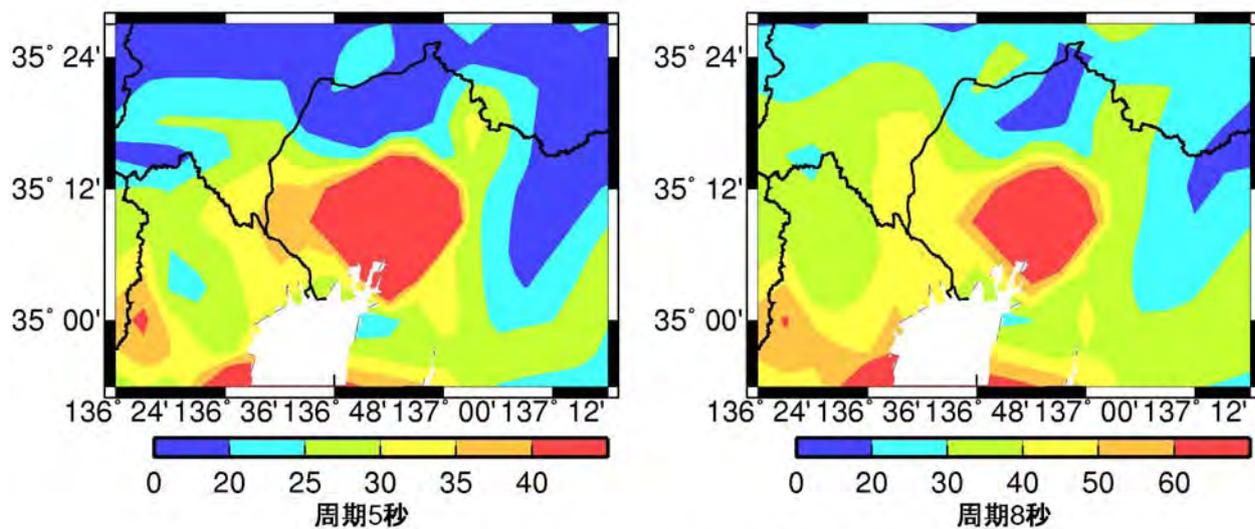
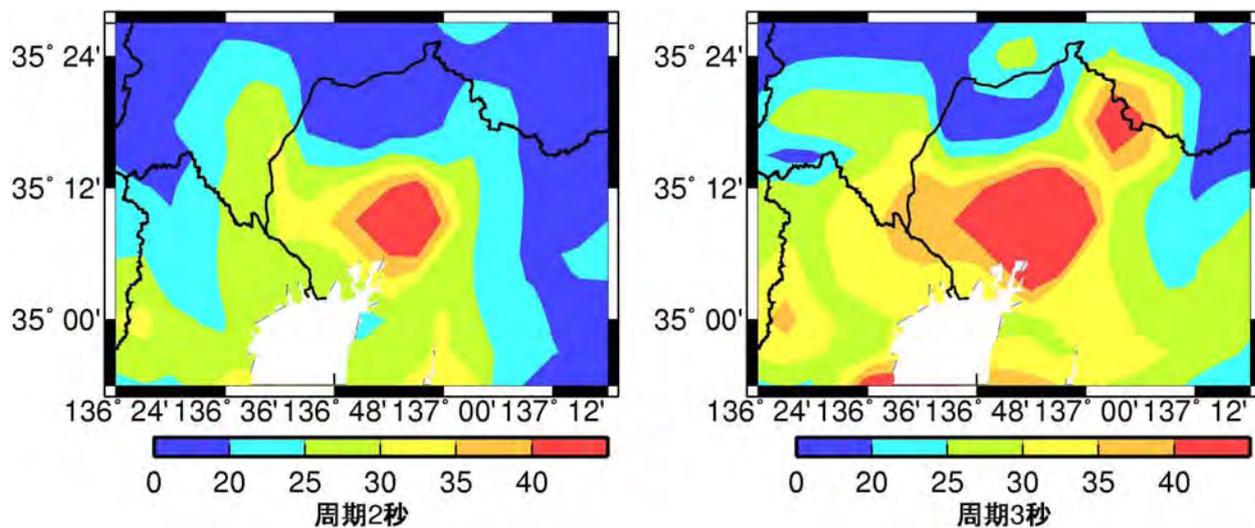
S_A h=5%: 水平成分

図 3.2.29 濃尾平野における減衰定数 5%の加速度応答スペクトルの地盤増幅率のコンターマップ



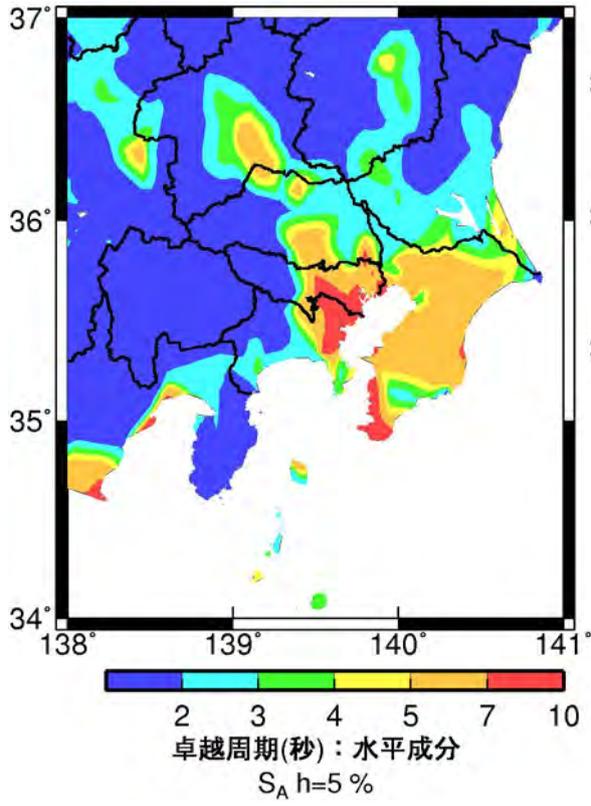
群遅延時間の平均値: 水平成分

図 3. 2. 30 濃尾平野における群遅延時間の平均値のサイト係数のコンターマップ (単位: 秒)

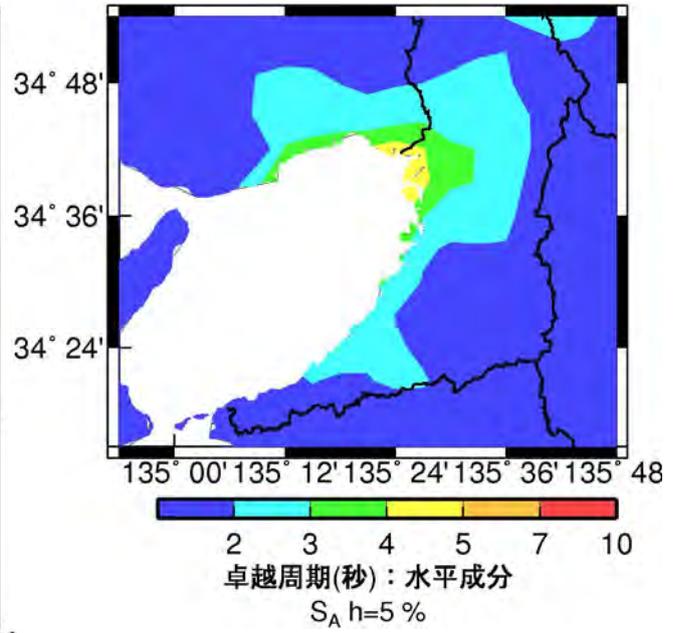


群遅延時間の標準偏差: 水平成分

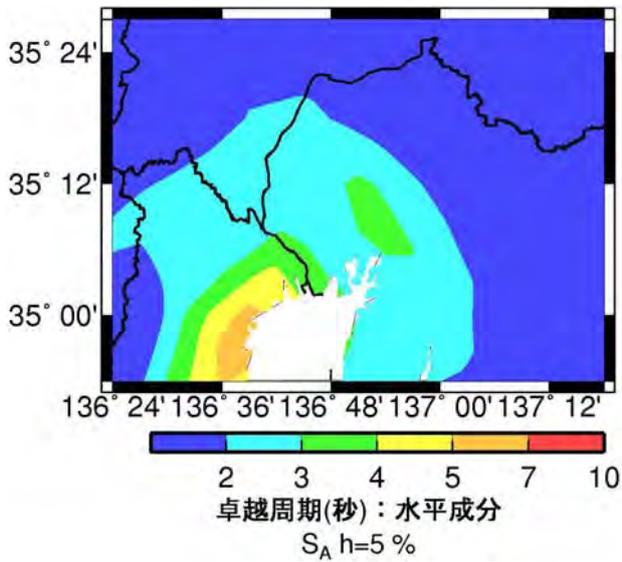
図 3.2.31 濃尾平野における群遅延時間の標準偏差のサイト係数のコンターマップ (単位: 秒)



(a) 関東平野

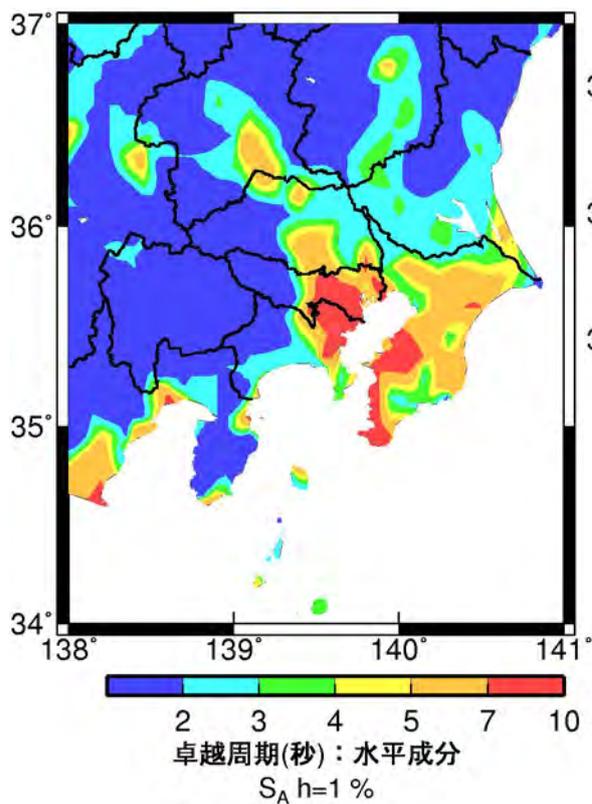


(b) 大阪平野

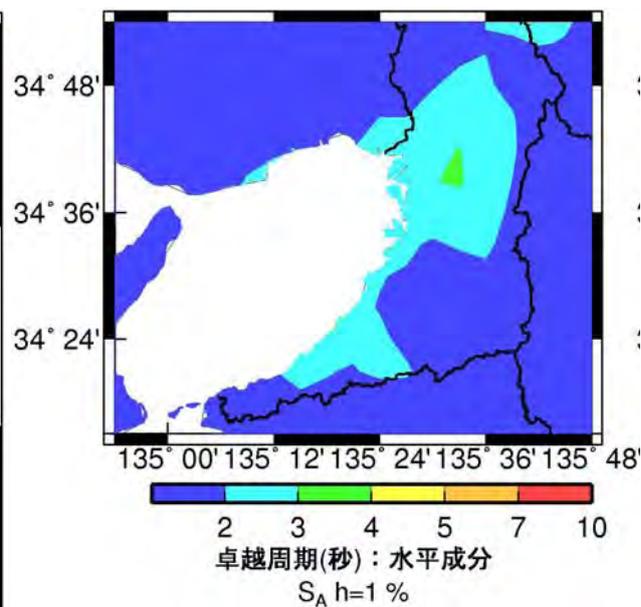


(c) 濃尾平野

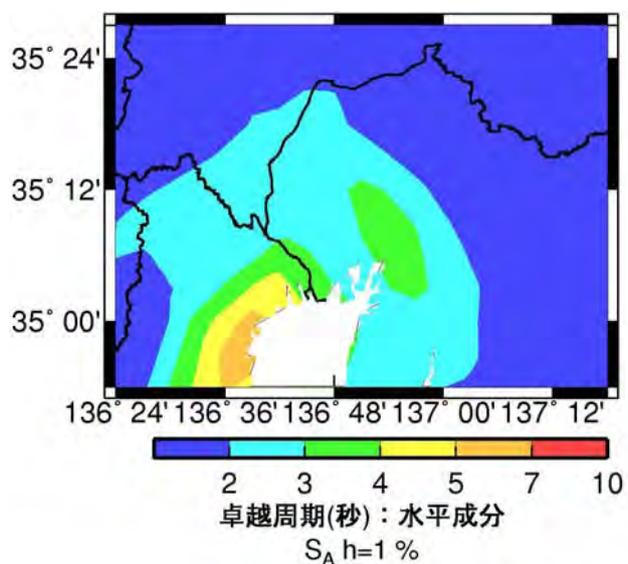
図 3.2.32 減衰定数 5%の加速度応答スペクトルの地盤増幅率に基づく水平成分の最大ピーク周期マップ



(a) 関東平野



(b) 大阪平野



(c) 濃尾平野

図 3.2.33 減衰定数 1%の加速度応答スペクトルの地盤増幅率に基づく水平成分の最大ピーク周期マップ

3-3 巨大海溝型地震による長周期地震波形の作成

本章では、はじめに、3-2 で作成した回帰式を用いて長周期地震波形（時刻歴波形）を作成し、2004 年紀伊半島沖地震の観測波形との比較から、回帰式の妥当性を検証する。そして、想定南海地震の此花（大阪平野）、想定東海・東南海地震の津島（濃尾平野）、想定東海地震の新宿（関東平野）での予測波を作成し、三次元有限差分法や経験的グリーン関数法などに基づく既往の予測波との比較から、回帰式の適用性と今後の課題を整理する。なお、作成する時刻歴波形は水平成分であり、周期範囲は 0.1～10 秒である。

(1) 時刻歴波形作成方法

大崎（1994）などに基づき、本検討の群遅延時間の平均値と標準偏差の回帰式から生成されるフーリエ位相を用いて、回帰式に基づく減衰定数 5% の加速度応答スペクトルにフィッティングするように時刻歴波形を作成する。図 3.3.1 に、時刻歴波形作成フローを示す。なお、断層が複数個ある場合には、複数個の時刻歴波形を断層の破壊開始時間差を考慮して足し合わせる。

例として、作成した回帰式を用いて、2004 年紀伊半島沖地震の此花（OSKH02）での EW 成分をシミュレーションした時のターゲットとした加速度応答スペクトルとフィッティングした加速度応答スペクトルの比較を図 3.3.2 に示す。

これにより作成された加速度波形は図 3.3.10 の (e) である。

波形計算には、計算地点での加速度応答スペクトルの地盤増幅率、 μ_{tgr} 、 σ_{tgr} のサイト係数が必要となる。そこで、図 3.3.3 には、計算地点とする新宿（TKY007）を含む関東平野の代表観測点での加速度応答スペクトルの地盤増幅率、 μ_{tgr} 、 σ_{tgr} のサイト係数（単位：秒）を示す。また、関東平野全体における新宿（TKY007）の特徴をみるために、図 3.3.4 には、周期 5 秒の関東平野の加速度応答スペクトルの地盤増幅率、 μ_{tgr} 、 σ_{tgr} のサイト係数のコンターマップを、Sato et al. (1999) の基盤深さマップとともに示す。大阪平野、濃尾平野に対する同様の検討結果を図 3.3.5～図 3.3.8 に示す。大阪平野、濃尾平野の地下構造として、岩田・他(2006)の基盤深さマップと、福和・他(2002)のブーゲー異常マップを示している。

(2) 2004 年紀伊半島沖地震の波形シミュレーション

2004 年紀伊半島沖地震の此花（OSKH02）、津島（AIC003）での観測波形と、回帰式に基づく計算波形との比較を行う。両地点の観測波形は回帰式作成の際のデータセットに含まれている。なお、TKY007 でも 2004 年紀伊半島沖地震の記録も観測されているが、S 波初動から観測されていないことから、回帰式作成に用いられていないため、シミュレーションは実施していない。図 3.3.9 には、観測記録を用いた減衰定数 5% の加速度応答スペクトルの分布図を周期 3 秒と周期 5 秒の場合について示す。大阪平野、濃尾平野では揺れが大きいことがわかる。

図 3.3.10 には、此花（OSKH02）での観測加速度波形（EW 成分）と計算波形との比較を示す。(b) は、観測加速度波形の応答スペクトルと観測加速度波形の群遅延時間の平均値と標準偏差を用いた計

算波形である。観測波形との違いは、群遅延時間を正規分布で仮定したことによるものである。(c)は観測の応答スペクトルと回帰式の群遅延時間の平均値と標準偏差を用いたもの、(d)は回帰式の応答スペクトルと観測加速度波形の群遅延時間の平均値と標準偏差を用いたもの、(e)は回帰式の応答スペクトルと回帰式の群遅延時間の平均値と標準偏差を用いたものである。回帰式の群遅延時間の平均値と標準偏差を用いた計算波は、観測波形より継続時間がやや短い。(f)は観測加速度波形の応答スペクトルと回帰式の群遅延時間の平均値と標準偏差に+標準偏差(回帰誤差)を考慮したもの、(g)は回帰式の応答スペクトルと回帰式の群遅延時間の平均値と標準偏差に+標準偏差(回帰誤差)を考慮したものである。群遅延時間の平均値と標準偏差に+標準偏差(回帰誤差)を考慮した場合に、ほぼ観測波形の継続時間が表現できる。図 3.3.11 には、同様の検討を津島(AIC003)で行った結果である。津島(AIC003)では、回帰式の群遅延時間の平均値と標準偏差で観測の継続時間がほぼ表現できている。

(3) 想定巨大海溝型地震の震源モデルと波形作成地点

本検討で計算を行う想定巨大海溝型地震と予測地点を比較する既往波とともに表 3.3 に示す。想定地震は、想定東海・東南海地震(Mw8.3)、想定南海地震(Mw8.5)、想定東海地震(Mw8.0)である。断層面は、既往の断層モデルに基づき、複雑なものは矩形化した。震源距離は、各断層の破壊開始点から求めた。なお、位相を算出する際に乱数を用いるため、2つの異なる乱数を用いて予測波を作成した。計算範囲は固有周期 0.1~10 秒であり、本検討で作成した波形にはこのフィルターをかけている。波形の時間軸は、既往の予測波にそろえて表示した。OSKH02 以外は、本検討の予測波作成地点と既往波の作成地点は異なる。したがって、特に、短周期領域では表層地盤の増幅特性が異なることに注意が必要である。なお、本検討の回帰式のデータセットの最大 Mw は 8.2 であるから、これ以上については外挿となる。

表 3.3.1 の最下欄(既往波の特徴)にまとめたように、比較した予測波のうち、宮腰・他(2006)の三の丸における予測波の工学的基盤での計測震度は 5.3、地表での計測震度は 5.7 であるのに対して、1854 年安政東海地震の三の丸における震度は 5 であり、予測波は過去の地震の震度に比べると大きい(香川・年縄、2006)。また、土方・他(2006)の予測波から計算される震度は、1954 年安静東海地震の震度(宇佐美、1999)よりやや大きい(土方・他、2006)という特徴がある。

なお、本検討の予測波の応答スペクトルは、回帰式の平均値を用いた場合と、平均値+標準偏差を用いた場合を示す。また、予測波と工学的基盤での告示波(安全限界)の応答スペクトルとの比較も行う。

図 3.3.12 には、関口・他(2006)、釜江・川辺(2005)、鶴来・他(2005)の想定南海地震の断層モデルと、鶴来・他(2005)に基づき設定した本検討で用いる Mw8.2 と Mw8.4 の 2つの矩形断層からなる断層モデルを示す。図 3.3.13 には、想定東海・東南海地震の断層モデルを示す。(a)は、愛知県設計用入力地震動研究協議会のモデル(佐藤・他、2006)、(b)は 三の丸地区の予測波計算用のモデル(宮腰・他、2006)である。本検討では、(a)の断層モデルと、(b)を簡便化した(c)の断層モデルの 2つを用いた。図 3.3.14 には、本検討による予測地点(AIC003)と佐藤・他(2006)による予測地点(NST)、宮腰・

他(2006)による予測地点(三の丸)を示す。図 3.3.15 には、土方・他(2006)の断層モデルと、矩形に近似した本検討で用いる断層面を示す。比較対象とする予測地点は、土方・他(2006)では KGIN(新宿、工学院大学)、本検討では K-NET 新宿(TKY007)である。

(4) 作成された長周期地震波形

図 3.3.16 には、関口・他(2006)、釜江・川辺(2005)、鶴来・他(2005)と本検討の予測波の擬似速度応答スペクトルの比較を示す。回帰式の平均値を用いた予測波の応答スペクトルは関口・他(2006)の予測波の応答スペクトルと類似している。図 3.3.17 には、関口・他(2006)、釜江・川辺(2005)、鶴来・他(2005)の予測波の速度波形を示す。図 3.3.18 には、図 3.3.17 と同じスケールで、以下の 3 つのケースの本検討の予測波の速度波形を示す。

a) 加速度応答スペクトル(h=5%) = 平均、群遅延時間の標準偏差 = 平均

b) 加速度応答スペクトル(h=5%) = 平均、群遅延時間 = 平均+標準偏差

c) 加速度応答スペクトル(h=5%) = 平均+標準偏差、群遅延時間の標準偏差 = 平均+標準偏差

b) は、2004 年 紀伊半島沖地震の OSKH02 でのシミュレーションでは、群遅延時間の平均値と標準偏差を平均値+標準偏差とした場合に観測波形の継続時間を表現できたことから検討したケースである。

c) は、加速度応答スペクトルの回帰式のばらつきをみるために参考までに検討したケースである。本検討の予測波の速度波形の形状は、関口・他(2006)、鶴来・他(2005)の中間的な特徴をもつ。応答スペクトルの回帰式の平均を用いた場合の本検討の予測波の最大速度は、関口・他(2006)、鶴来・他(2005)と同程度である。図 3.3.19 には、本検討の予測波の加速度波形を示す。

図 3.3.20 には、宮腰・他(2005)と本検討の予測波の加速度応答スペクトルの比較を示す。宮腰・他(2005)では周期 3 秒付近で大きな卓越がみられるが本検討による予測波にはこのようなピークはみられない。図 3.3.21 には、佐藤・他(2006)と本検討の予測波の加速度応答スペクトルの比較を示す。佐藤・他(2006)より本検討の予測波の応答スペクトルは、長周期領域で大きい。図 3.3.20 には、宮腰・他(2005)の予測波と回帰式の平均値を用いた場合の本検討の予測波の比較を示す。予測波は P 波部がないこともありその分やや短い、加速度波形の波形形状は類似している。宮腰・他(2005)の文献には、速度波形が提示されていないため、図 3.3.22 には本検討の予測波の速度波形を加速度波形と同じ継続時間分だけ示している。図 3.3.23 には、佐藤・他(2006)と本検討の予測波の加速度波形、速度波形を示す。速度波形でみると本検討の方が継続時間が長い。

図 3.3.24 には、土方・他(2006)による予測波と本検討の予測波の減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトルとの比較を示す。土方・他(2006)による予測波は、周期 1~5.5 秒が経験的グリーン関数法、周期 5.5 秒以上が理論的方法(三次元有限差分法)によるものである。土方・他(2006)による予測波の周期 3 秒程度のピークは経験的グリーン関数として用いた東扇島の記録の特徴であるため、SNJ(新宿、工学院大学)での予測波に対しては意味のあるものではない。この周期付近を除く長周期領域では、本検討の回帰式の平均値を用いた予測波の応答スペクトルは土方・他(2006)とほぼ同レベルである。また、両者とも、周期 6 秒程度で告示スペクトルを若干超えている。図 3.3.25、図 3.3.26 には、

土方・他(2006)による予測波と本検討の予測波(回帰式の平均値を用いた場合)の加速度波形、速度波形を示す。本検討の予測波の継続時間の方が短い。群遅延時間の回帰式に+標準偏差を考慮しても、観測波の継続時間を再現することはできなかった。これは、回帰式作成に用いたTKY007で観測されている海溝型地震は、1996年銚子付近の地震と2005年宮城県沖地震のみであり、これらの波形の長周期の継続時間が短いためであると考えられる。これは、南海トラフ沿いからの伝播経路と、北からの伝播経路の違いを反映している可能性を示唆している。

(4) まとめ

海溝型地震に対する加速度応答スペクトル(減衰定数1%と5%)と群遅延時間の平均値と標準偏差の回帰式を用いて、2004年紀伊半島沖地震の此花(OSKH02)と津島(AIC003)での観測波形のシミュレーションを行い、回帰式の妥当性を確認した。さらに、想定南海地震の此花(OSKH02)、想定東海・東南海地震の津島(AIC003)、想定東海地震の新宿(TKY007)での予測波形を計算した。応答スペクトルについては、いずれの予測波についても、既往の予測波(既往波)のばらつきを考慮すると既往波とほぼよい対応がみられた。継続時間については、此花(OSKH02)、津島(AIC003)では、本検討の予測波は既往波と同程度であったが、新宿(TKY007)については、本検討の予測波は既往波より継続時間が短かった。これは、回帰式作成のデータセットに含まれる、新宿(TKY007)での海溝型地震の記録は1996年銚子付近の地震と2005年宮城県沖地震のみであり、これらの観測波形の長周期の継続時間が短いためと考えられる。

より信頼性のある予測波作成に向け、今後、新宿の工学院大学の記録、気象庁1倍計の記録、関西地震観測協議会の記録など、十分な継続時間が観測されている記録を用いて回帰式の改良を行ない、予測波を改良することが望ましいと考えられる。

参考文献

- 1) 福和伸夫・佐藤俊明・早川崇・池田善考・野崎京三(2002). 濃尾平野の地盤調査とそのモデル化、月刊地球号外 37号、pp. 108-118.
- 2) 土方勝一郎・植竹富一・金谷淳二・真下貢・早川崇・渡辺基史・佐藤俊明・貫井泰・土田剛(2006). 想定東海地震の関東平野における広帯域地震動予測、海溝型巨大地震を考える—広帯域強震動の予測2—シンポジウム論文集、pp. 83-90.
- 3) 岩田知孝・岩城麻子・関口春子・吉見雅行(2008). 地域特性を反映した長周期地震動、長周期地震動対策に関する公開研究集会、日本建築学会、pp. 1-52.
- 4) 香川敬生・年縄巧(2006). 巨大地震災害への対応検討特別委員会報告書、付録 地震動提供波概説文.
- 5) 釜江克宏・川辺秀憲(2005). 南海地震における近畿圏の強震動予測、第34回地盤震動シンポジウム、日本建築学会、pp. 35-40.
- 6) 川辺秀憲・釜江克宏(2006). 破壊伝播速度が東南海・南海地震の強震動予測結果に与える影響、

海溝型巨大地震を考える—広帯域強震動の予測 2—シンポジウム論文集、pp. 91-94.

- 7) 宮腰淳一・中田猛・福和伸夫・柴田昭彦・白瀬陽一・斎藤賢二(2006). 名古屋市三の丸地区における耐震改修用の基準地震動の作成、日本地震工学会大会、pp. 394-395.
- 8) 大崎順彦(2004). 新・地震動のスペクトル解析入門、鹿島出版会、pp. 1-299.
- 9) Sato, T., R. W. Graves, and P. G. Somerville (1999). Three-Dimensional Finite-Difference Simulations of Long-Period Strong Motions in the Tokyo Metropolitan Area during the 1990 Odawara Earthquake (Mj 5.1) and the Great 1923 Kanto Earthquake (Ms 8.2) in Japan, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 89, pp. 579-607.
- 10) 佐藤俊明・藤川智・渡辺基史・久保哲夫・福和伸夫(2006). 愛知県設計用入力地震動研究協議会による想定新東海地震に対する強震動予測、海溝型巨大地震を考える—広帯域強震動の予測 2—シンポジウム論文集、pp. 101-107.
- 11) 関口春子・吉見雅行・吉田邦一・堀川晴央(2006). 海溝型巨大地震の広帯域地震動予測のためのマルチスケール不均質モデルと南海地震への適用、海溝型巨大地震を考える—広帯域強震動の予測 2—シンポジウム論文集、pp. 61-73.
- 12) 鶴来雅人・趙伯明・Petukhin Anatoly・香川敬夫(2005). 東南海・南海地震による大阪での強震動予測事例—広帯域強震動の予測—シンポジウム論文集、pp. 73-82.
- 13) 宇佐美龍夫(1999). 新編日本被害地震総覧[増補改訂版]、東京大学出版会.

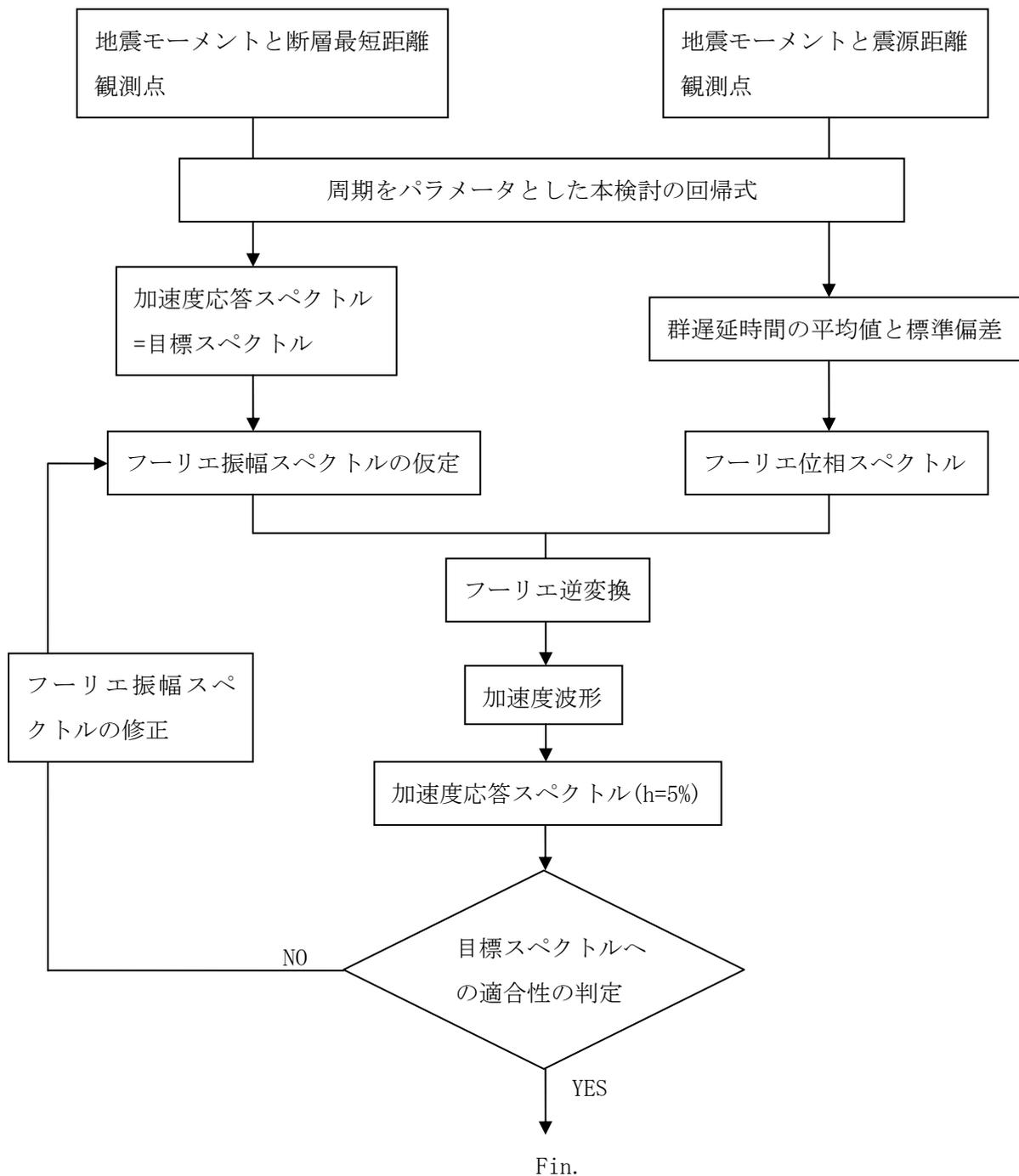


図 3.3.1 加速度応答スペクトルと群遅延時間の平均値・標準偏差の回帰式に基づく時刻歴波形作成フロー（断層が複数個ある場合には、複数個の時刻歴波形を断層の破壊開始時間差を考慮して足し合わせる）

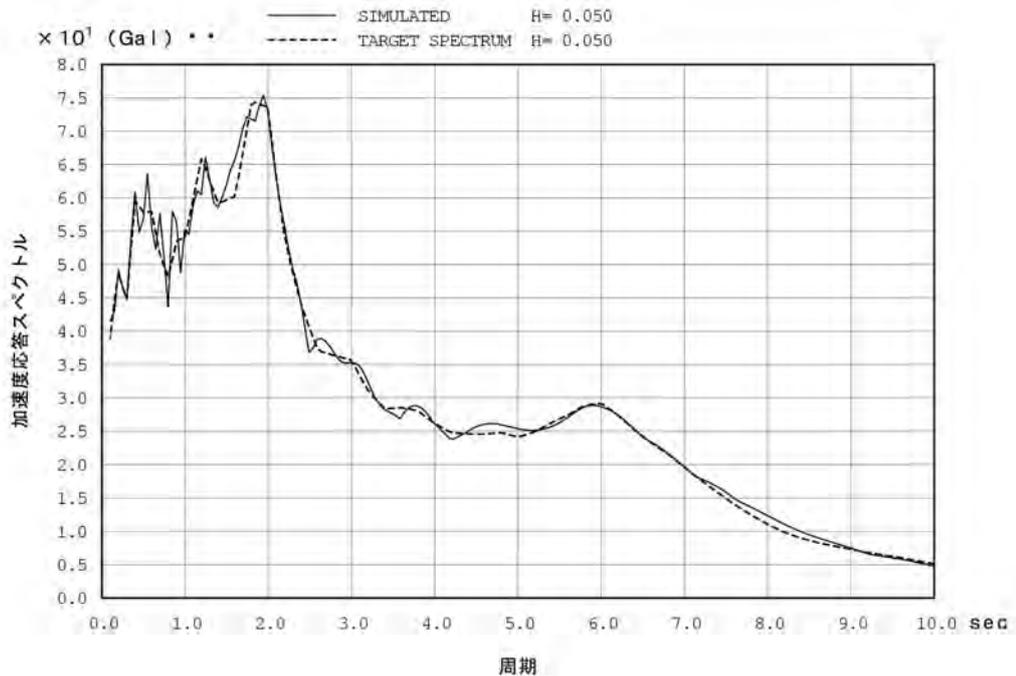
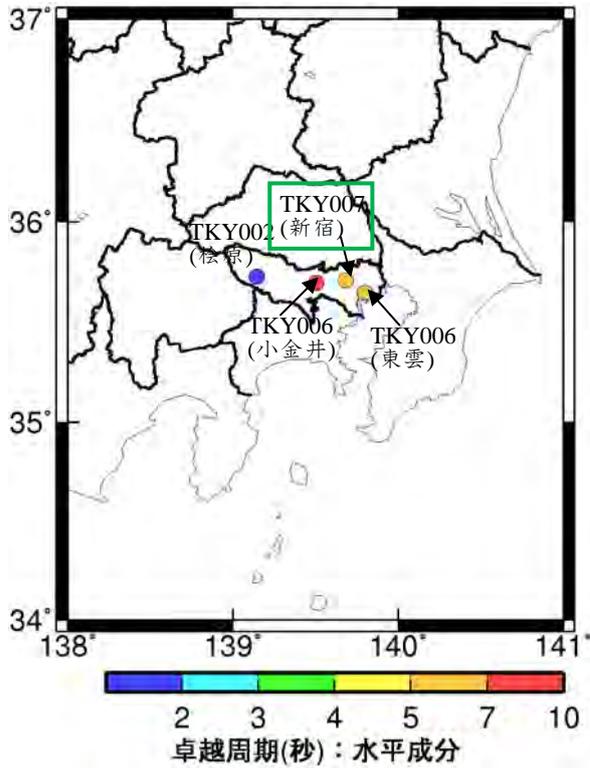
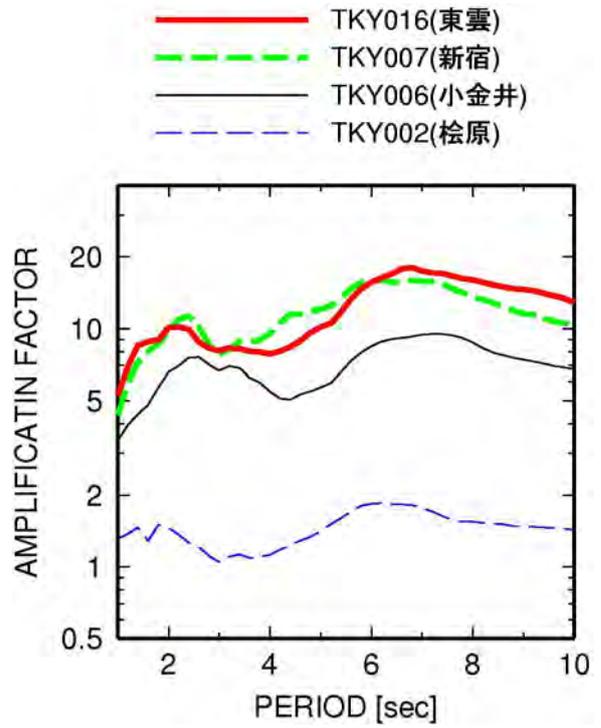


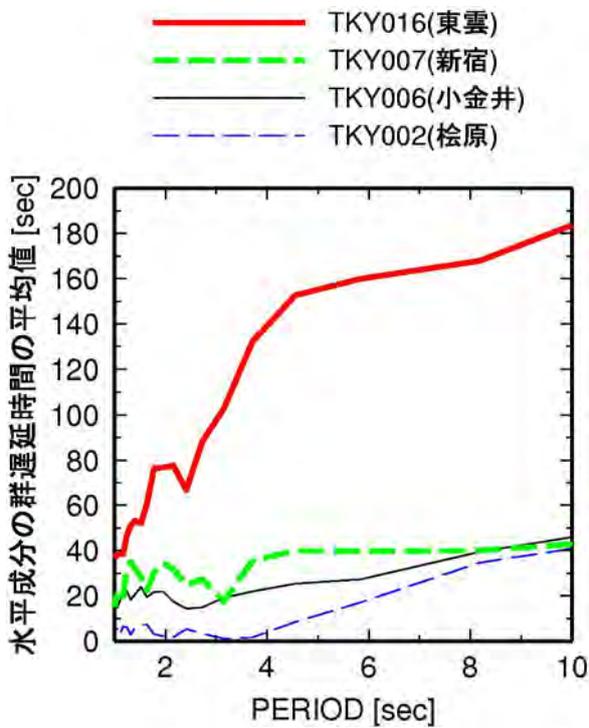
図 3.3.2 減衰定数 5% の加速度応答スペクトルの回帰式に基づくターゲットスペクトルと、群遅延時間の平均値と標準偏差の回帰式に基づく位相スペクトルを用いてターゲットスペクトルにフィッティングした加速度応答スペクトルの比較 (2004 年 紀伊半島沖地震に対する OSKH02 でのシミュレーションの場合)



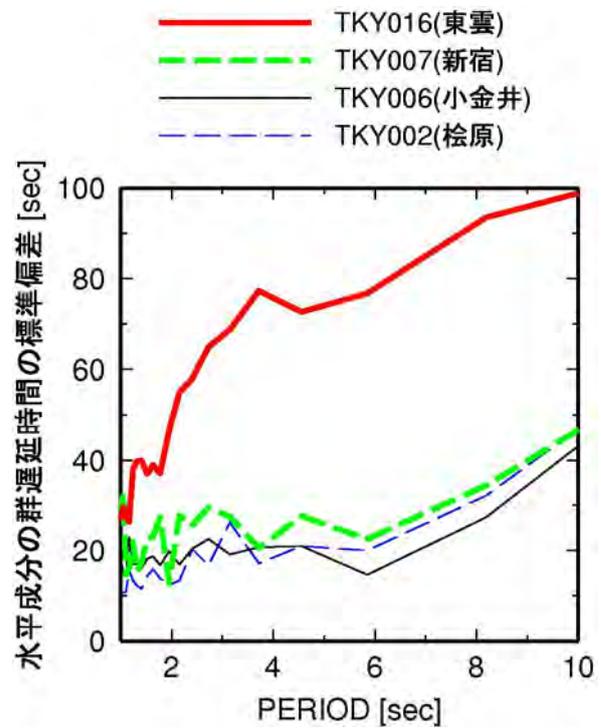
(a) 観測点位置



(b) 加速度応答スペクトルの地盤増幅率



(c) μ_{tgr} のサイト係数

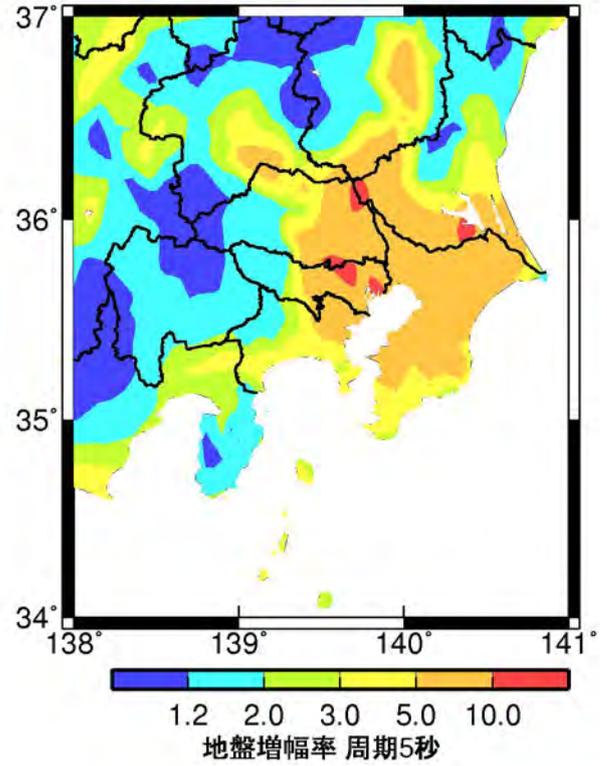


(d) σ_{tgr} のサイト係数

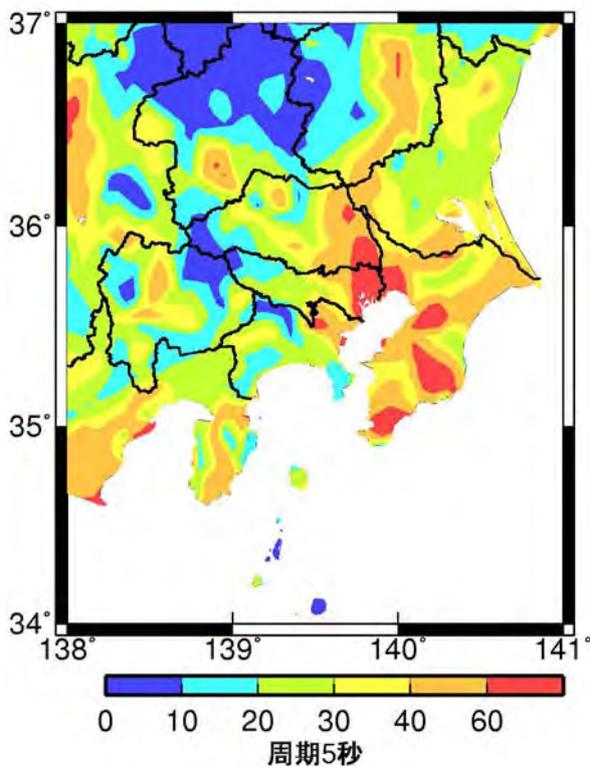
図 3.3.3 関東平野の代表観測点における減衰定数 5% の加速度応答スペクトル、 μ_{tgr} 、 σ_{tgr} のサイト係数 (水平成分) の比較



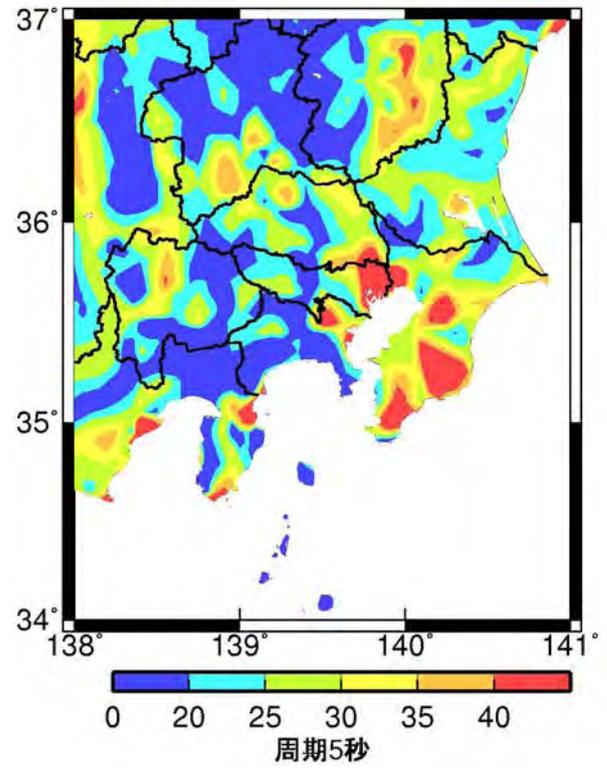
(a) 堆積層厚分布 (Sato et al., 1999)



(b) 加速度応答スペクトルの増幅率

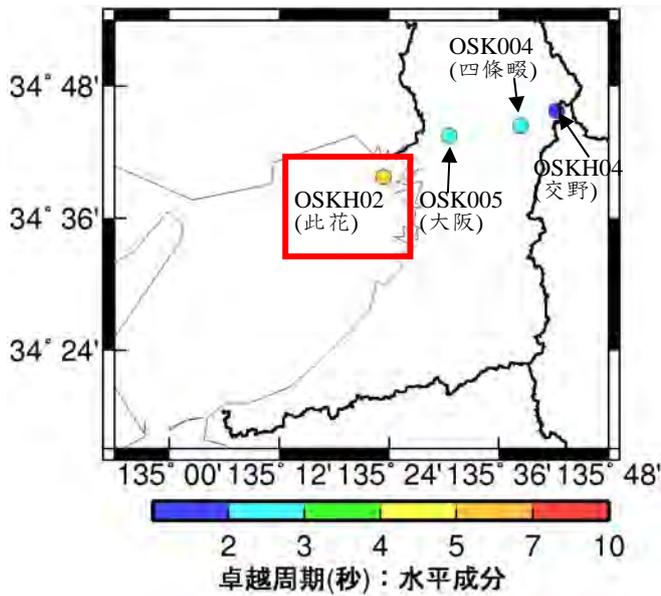


(c) 群遅延時間の平均値のサイト係数

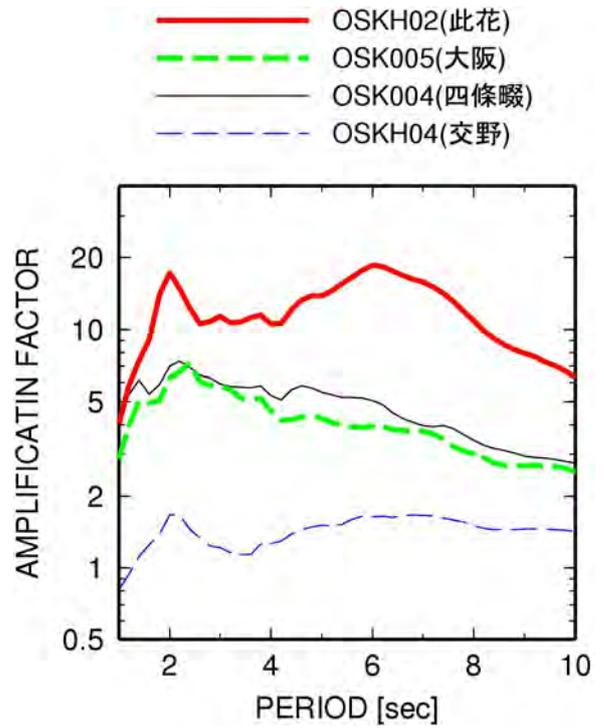


(d) 群遅延時間の標準偏差のサイト係数

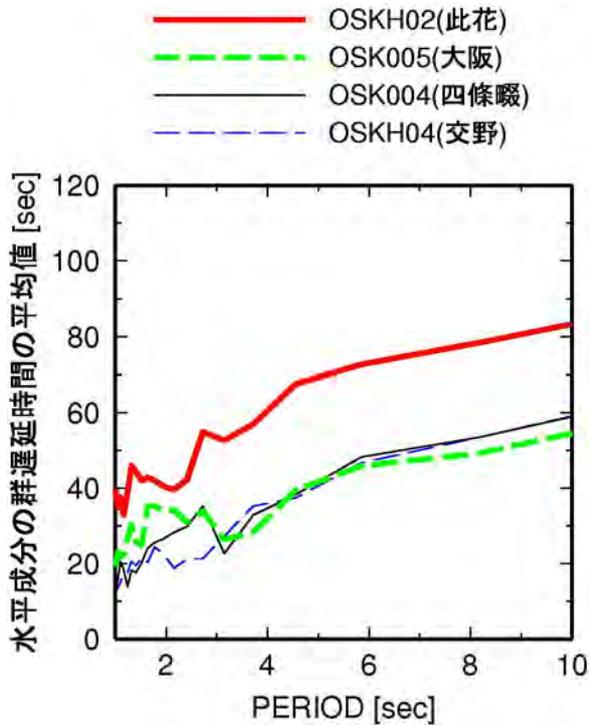
図 3.3.4 関東平野の堆積層分布 (Sato et al., 1999) と周期 5 秒での加速度応答スペクトルの増幅率、群遅延時間の平均値のサイト係数、群遅延時間の標準偏差のサイト係数の比較



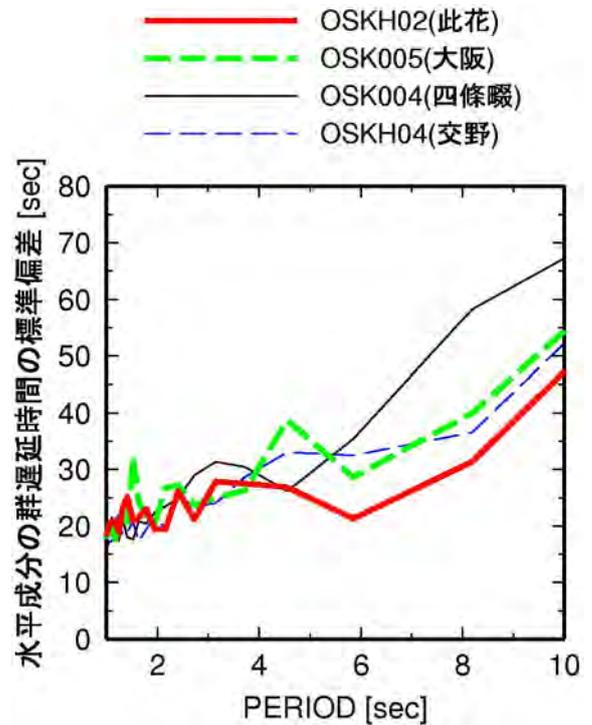
(a) 観測点位置



(b) 加速度応答スペクトルの地盤増幅率



(c) μ_{tgr} のサイト係数



(d) σ_{tgr} のサイト係数

図 3.3.5 大阪平野の代表観測点における加速度応答スペクトル、 μ_{tgr} 、 σ_{tgr} のサイト係数(水平成分)の比較

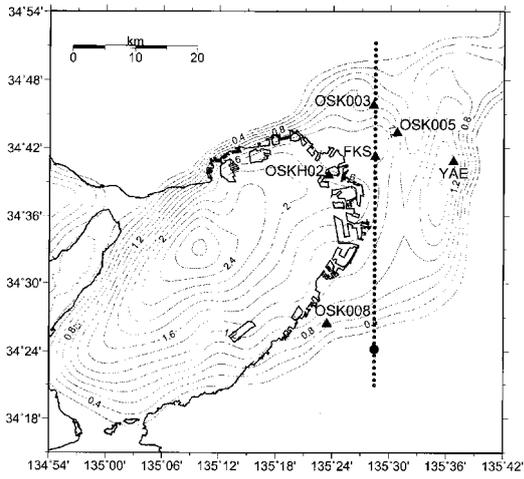
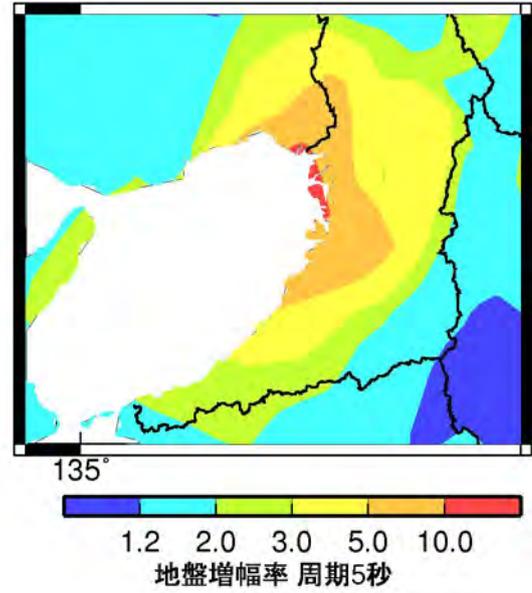
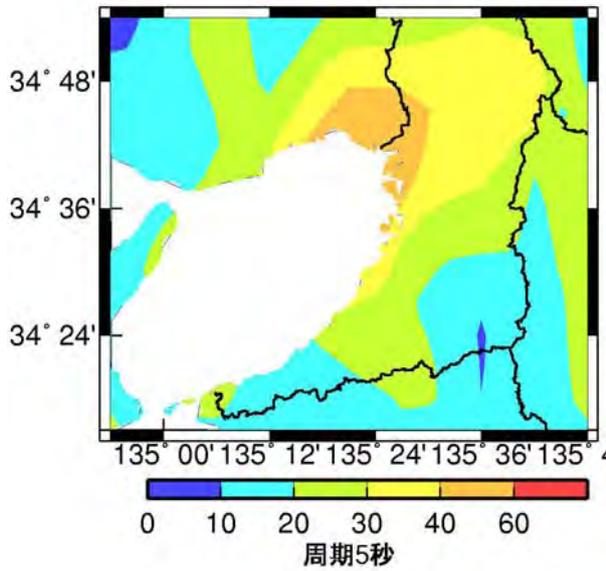


図1-3 岩城・岩田の波形観測 (盆地構造はIwata et al., 2008)

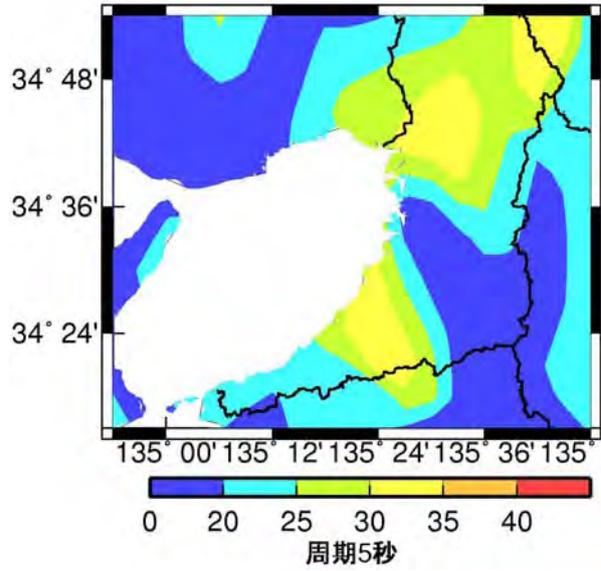


(a) 大阪平野の堆積層厚分布 (岩田・他、2006)

(b) 加速度応答スペクトルの増幅率



(c) 群遅延時間の平均値のサイト係数



(d) 群遅延時間の標準偏差のサイト係数

図 3.3.6 大阪平野の堆積層分布 (岩田・他、2006) と周期 5 秒での加速度応答スペクトルの増幅率、群遅延時間の平均値のサイト係数、群遅延時間の標準偏差のサイト係数の比較

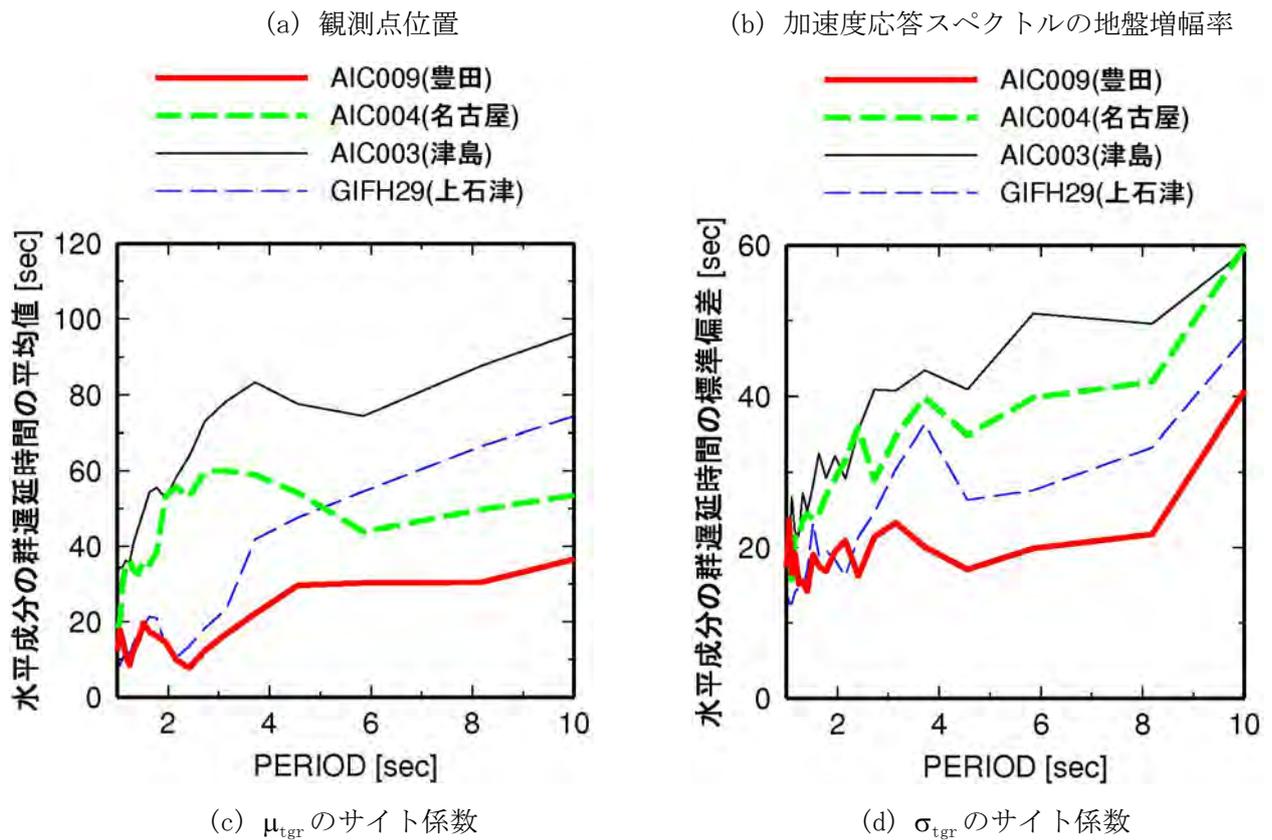
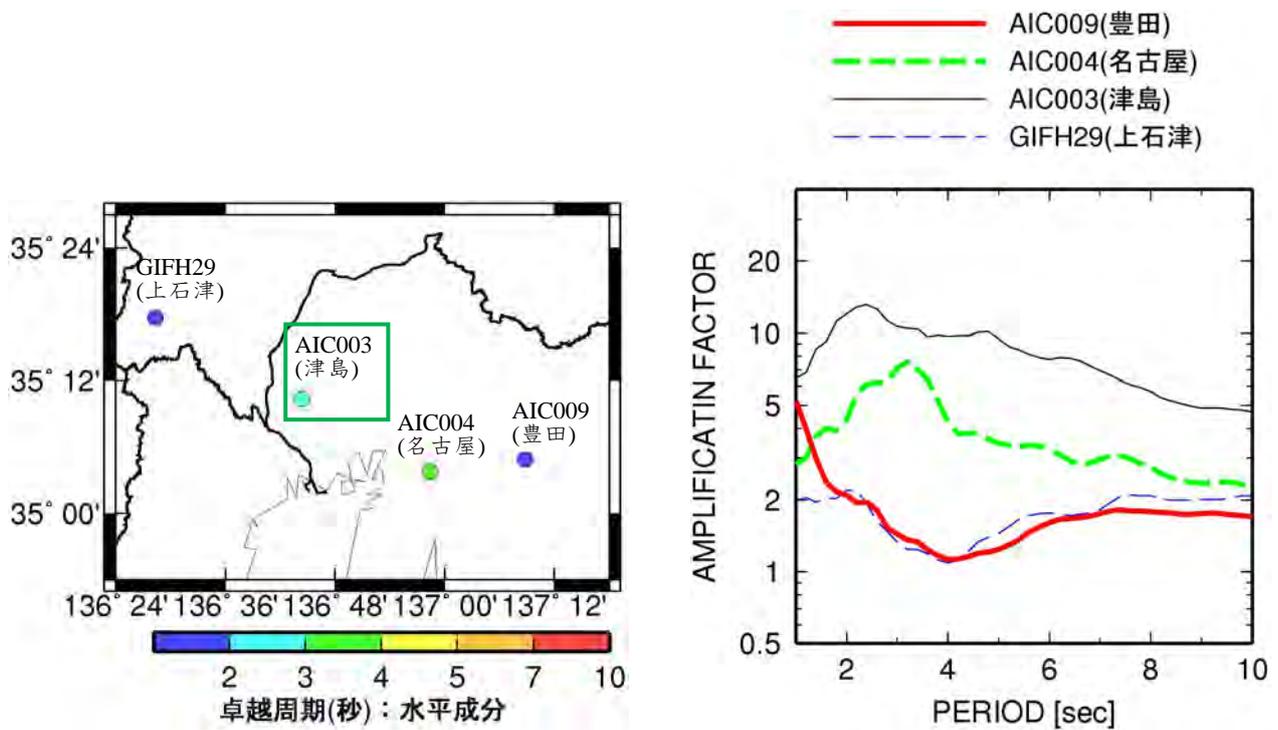
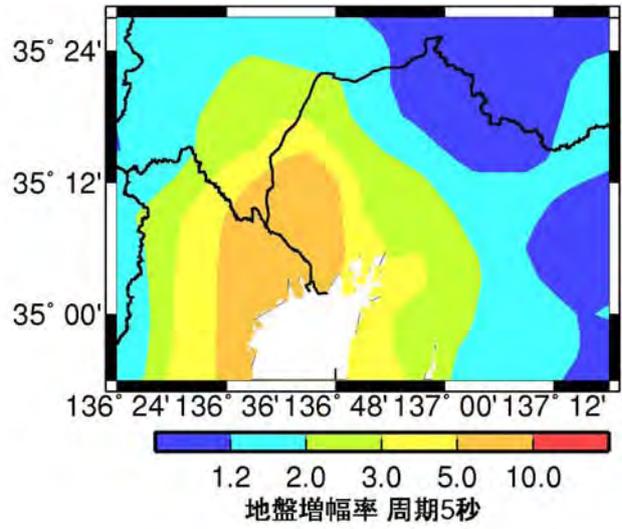


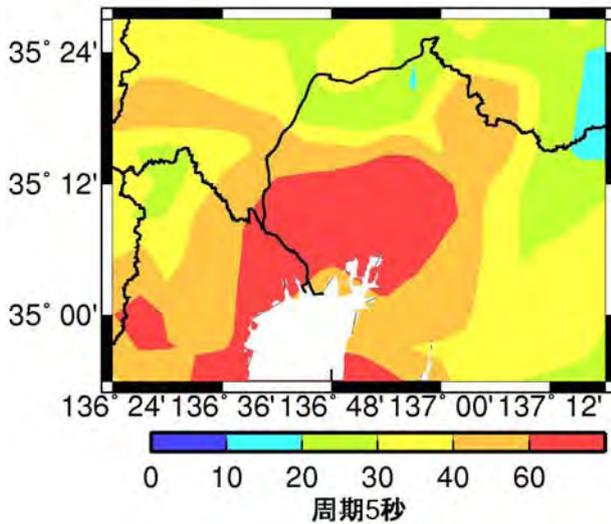
図 3.3.7 濃尾平野の代表観測点における加速度応答スペクトル、 μ_{tgr} 、 σ_{tgr} のサイト係数(水平成分)の比較



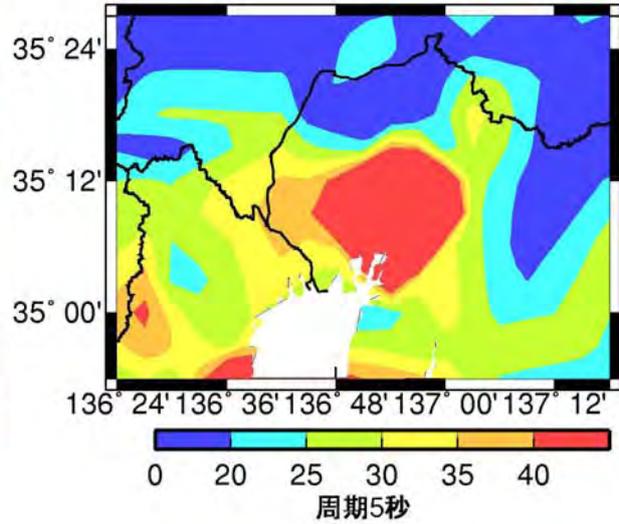
(a) 濃尾平野のブーゲー異常 (福和・他、2002)



(b) 加速度応答スペクトルの増幅率

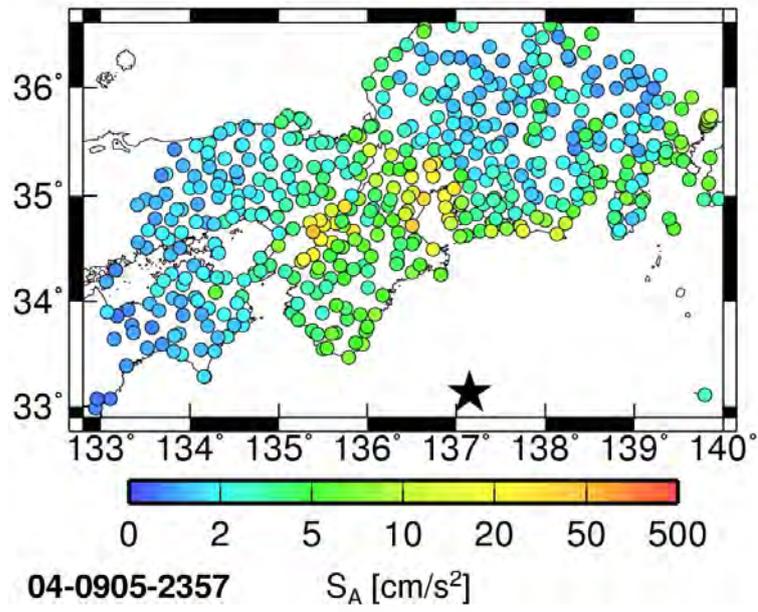


(c) 群遅延時間の平均値のサイト係数

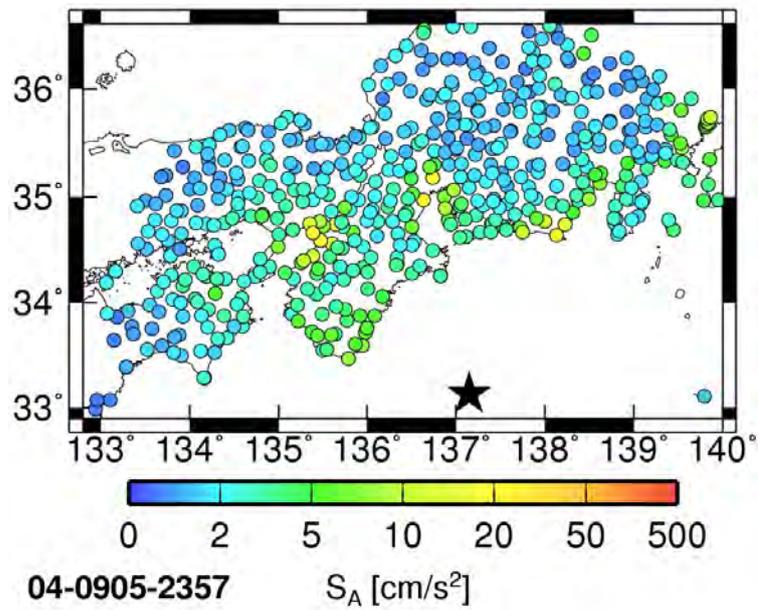


(d) 群遅延時間の標準偏差のサイト係数

図 3.3.8 濃尾平野のブーゲー異常分布 (福和・他、2002) と周期 5 秒での加速度応答スペクトルの増幅率、群遅延時間の平均値のサイト係数、群遅延時間の標準偏差のサイト係数の比較



(a) 周期 3 秒



(b) 周期 5 秒

図 3.3.9 2004 年紀伊半島沖の地震 (M_j 7.4) の減衰定数 5% の加速度応答スペクトルの分布図 (NS 成分)

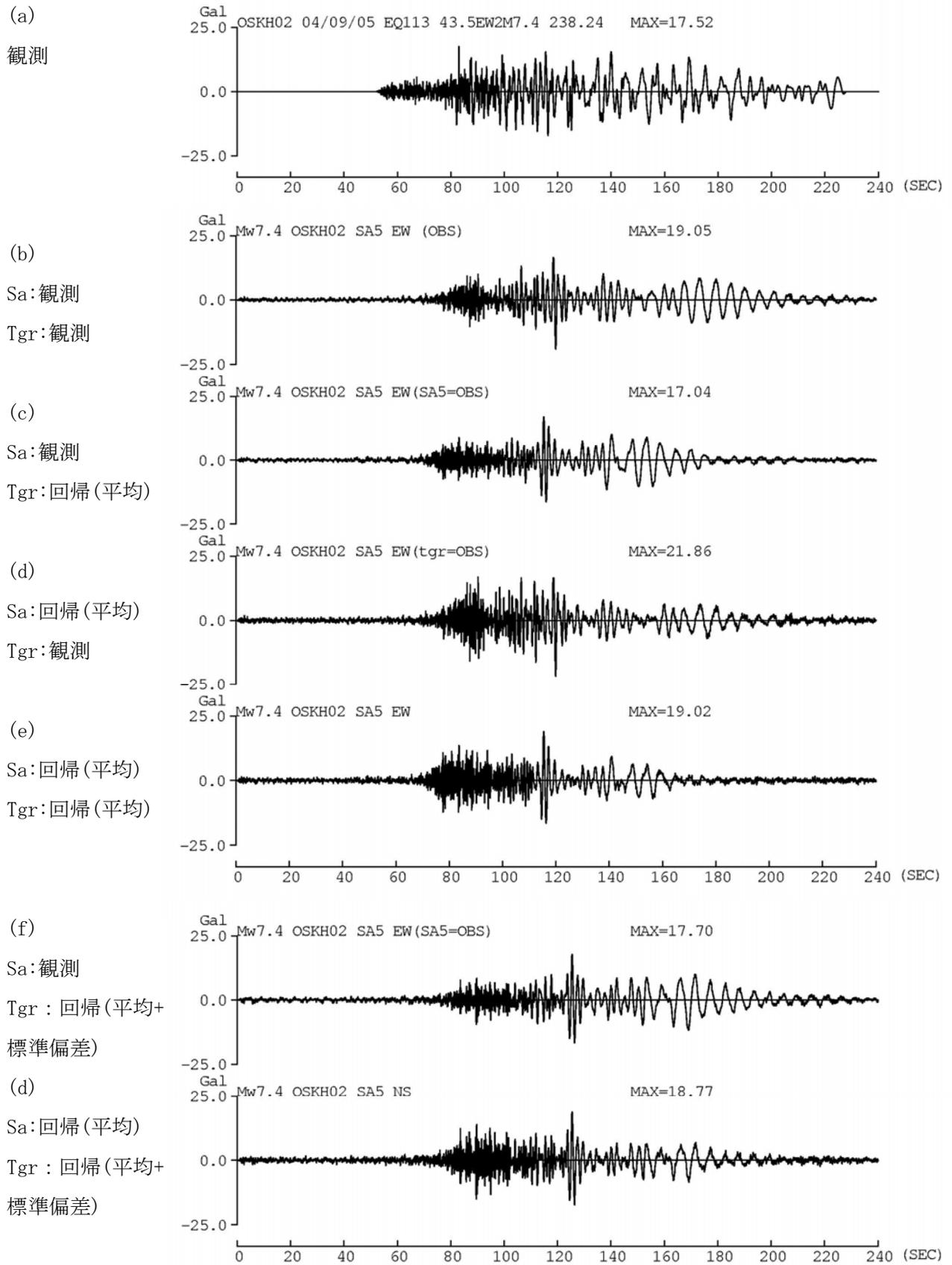


図 3.3.10 此花 (OSKH02) での観測加速度波形 (EW 成分) と計算波形との比較

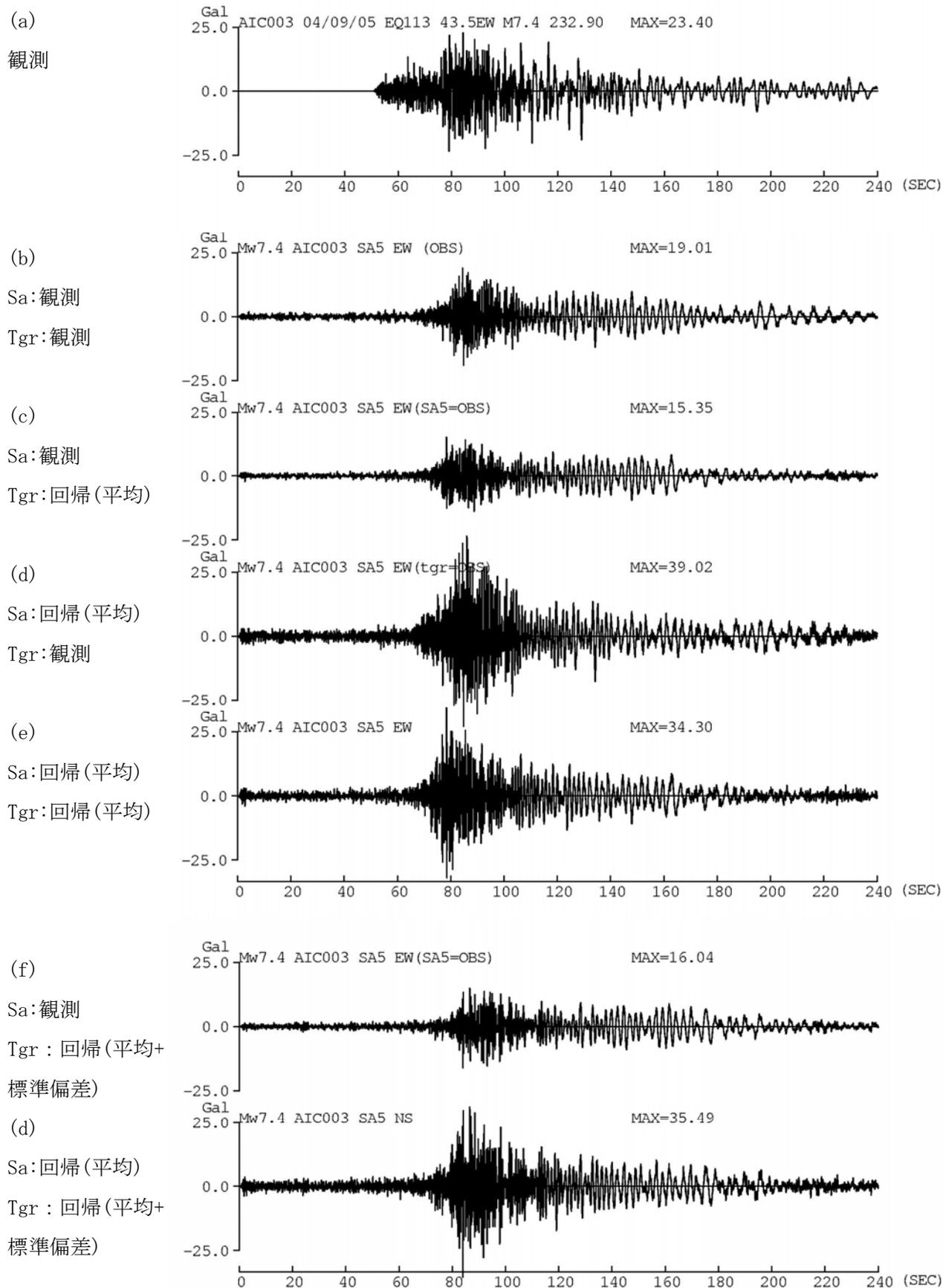
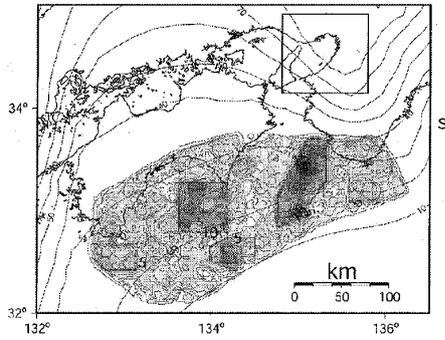


図 3.3.11 津島 (AIC003) での観測加速度波形 (EW 成分) と計算波形との比較

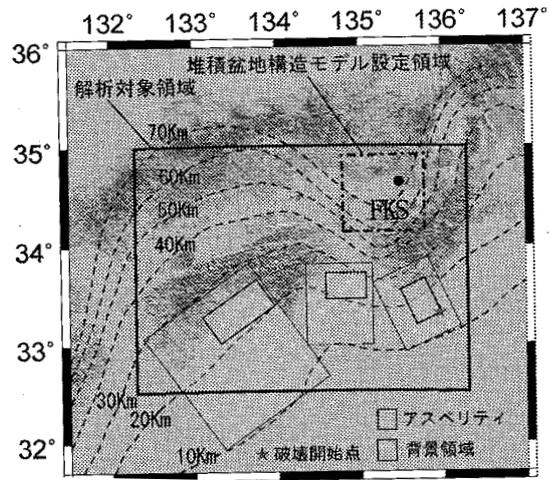
表 3.3.1 想定巨大海溝型地震に対する既往波と本検討での予測波の条件の違い

参考とした震源モデル	東海・東南海地震		南海地震	東海地震
	佐藤・他(2006)	宮腰・他(2006)*		
巨視的断層面の個数	2	2	2	1
全体の地震モーメント (dyne-cm)	4×10^{28}	3.4×10^{28}	8.37×10^{28}	13×10^{28}
全体のMw	8.3	8.3	8.5	8.0
各断層のMw	8.0 (東)、8.2 (西)	8.0 (東)、8.2 (西)	8.2 (東)、8.4 (西)	同上
本業務評価地点	AIC003の地表	AIC003の地表	OSKH02の地表	TKY007 (新宿) の地表
断層最短距離 (km)	67	59	114	108
比較した既往波評価地点	NSTの工学的基盤	三の丸の工学的基盤	OSKH02の地表	工学院大学(新宿) の地表
既往波の作成者	佐藤・他(2006)	宮腰・他(2006)	鶴来・他(2005)	土方・他(2006)
			釜江・川辺(2005)	
			関口・他(2006)	
既往波の特徴		1854年安政東海地震の震度に比べ大きい	鶴来・他と関口・他の破壊伝播速度は2.7km/s、釜江・川辺で	計算した東京湾岸8地点の震度は1854年安政東海地震の震度に比べ大

*宮腰・他(2006)に地震モーメント (Mw) の数値がないため中央防災会議に準拠



(a) 関口・他(2006)のモデル



(b) 釜江・川辺(2005)のモデル

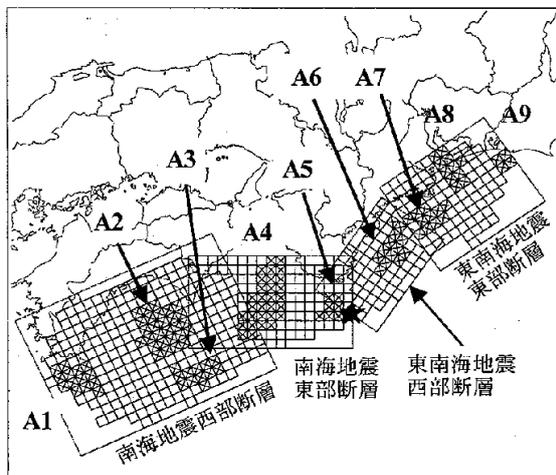
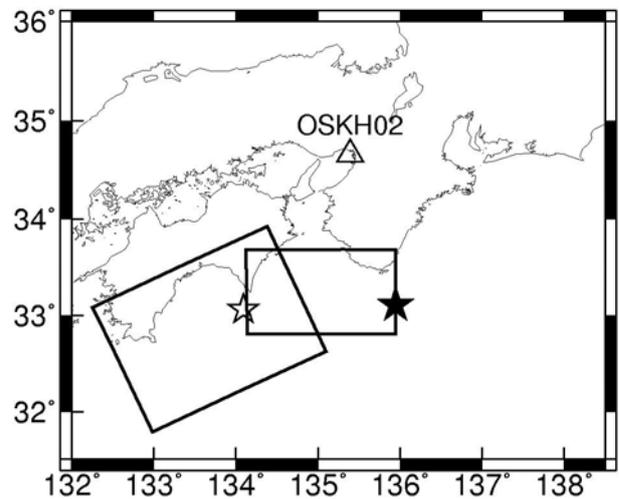


図-2 断層位置図

(×およびA1~A9: アスペリティ, ★: 破壊開始点)

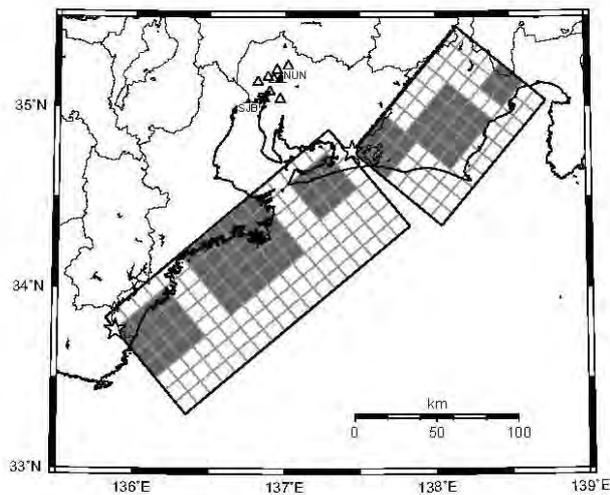
(c) 鶴来・他(2005)のモデル



(d) (c) に基づく本検討のモデル

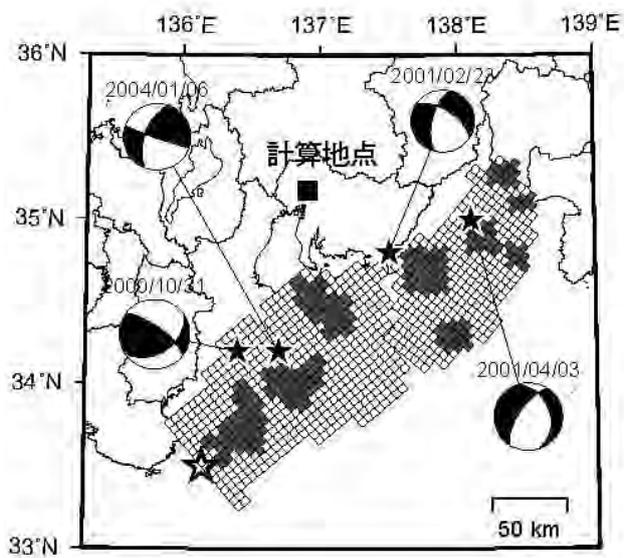
(★が第1破壊開始点、☆が第2破壊開始点)

図 3. 3. 12 想定南海地震の断層モデル

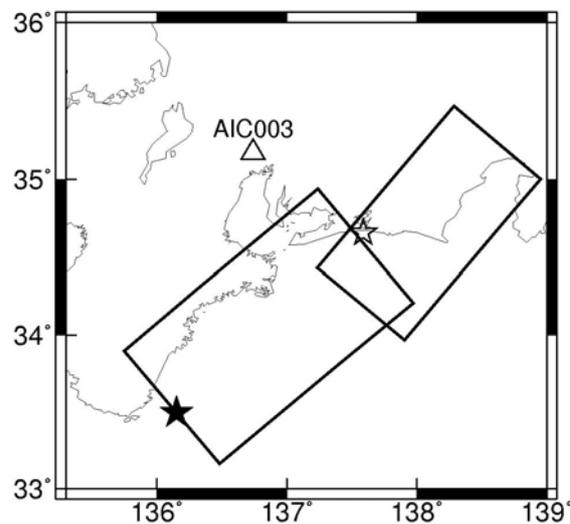


△▲は計算地点、☆は破壊開始点で西側断層から破壊。網がけの矩形はアスペリティ位置。

(a) 愛知県設計用入力地震動研究協議会のモデル(佐藤・他、2006)



(b) 三の丸地区の予測波計算用のモデル
(宮腰・他、2006)



(c) (b)のモデルを矩形化したモデル
(★が第1破壊開始点、☆が第2破壊開始点)

図 3.3.13 想定東海・東南海地震の断層モデル

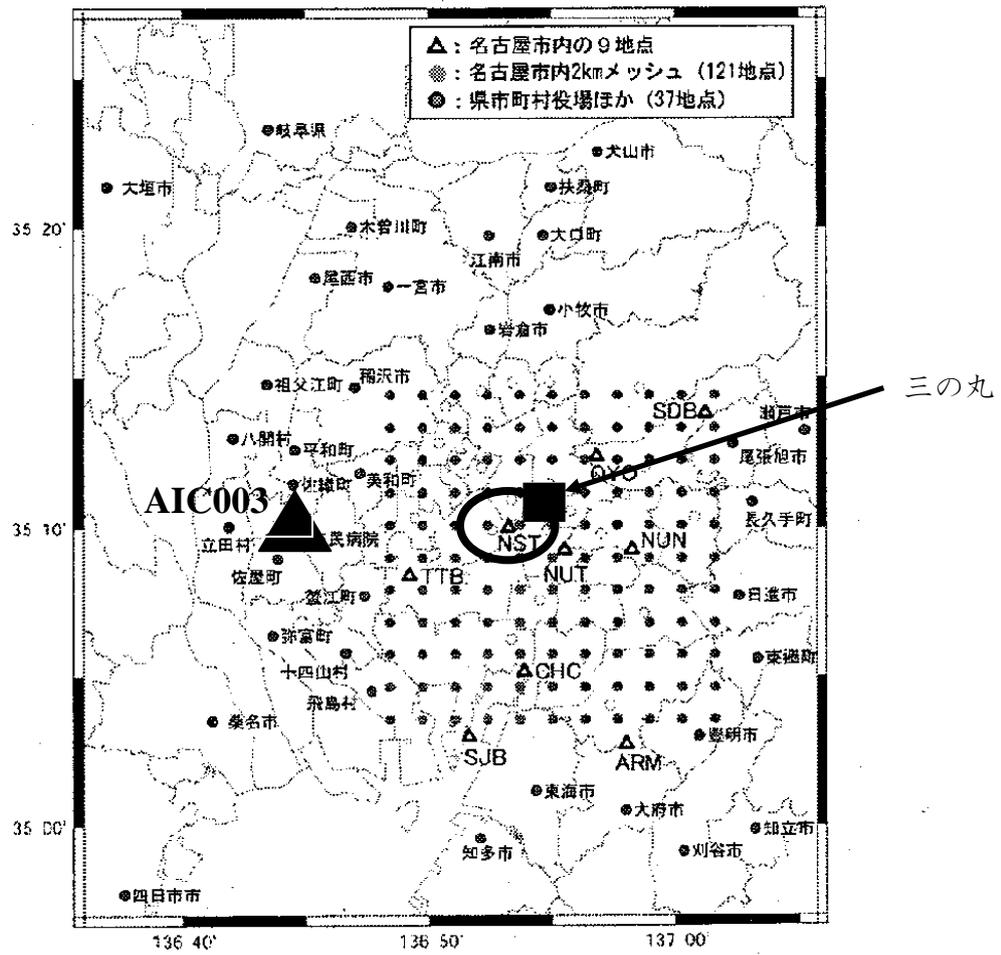


図 3.3.14 予測波計算地点：佐藤・他（2006）に三の丸及び AIC003 を加筆

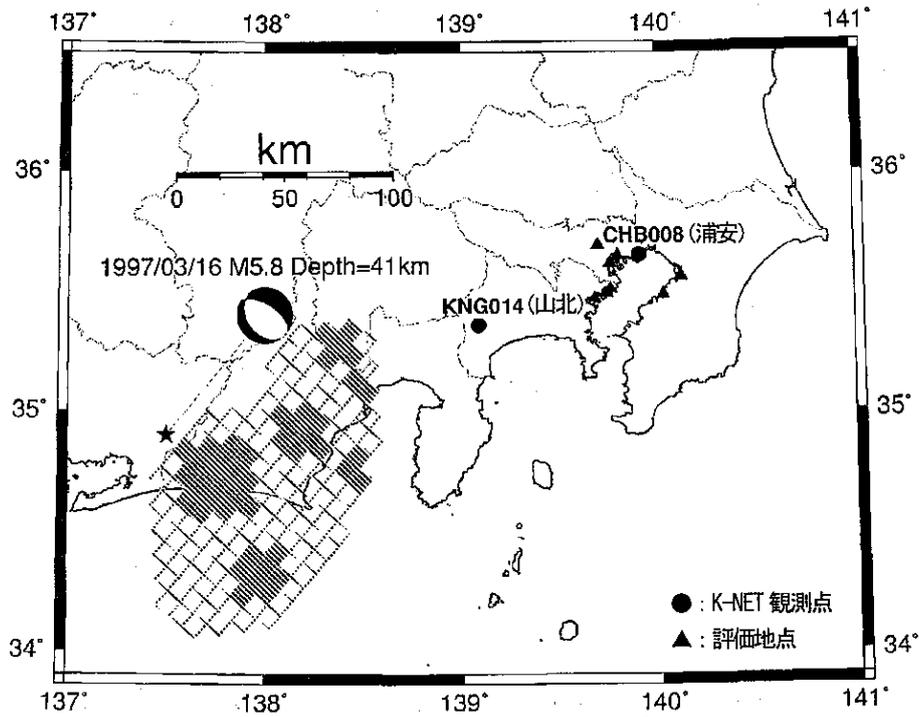
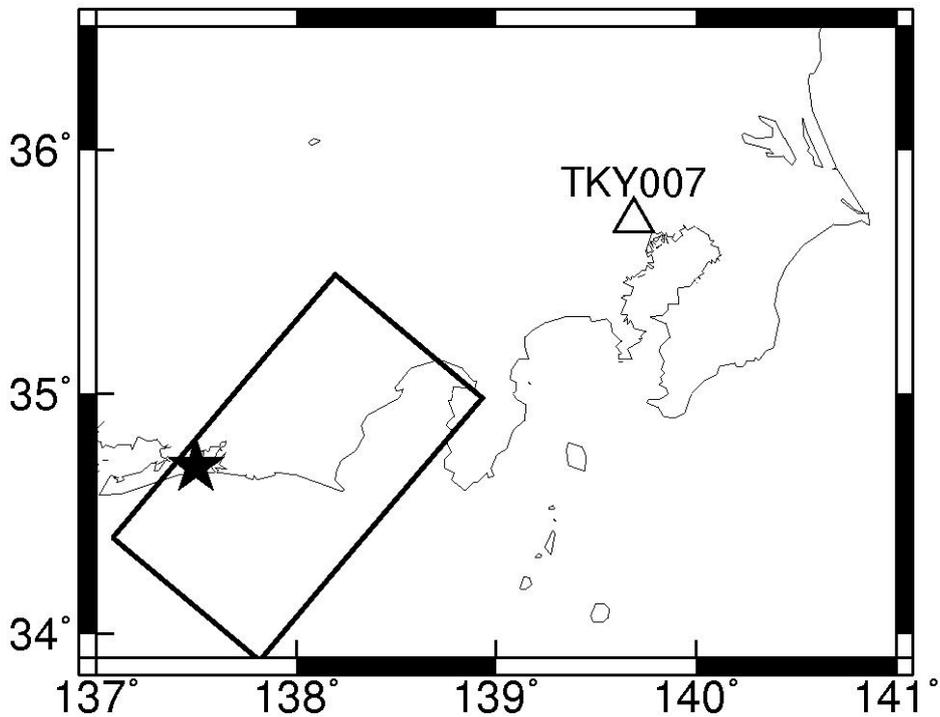


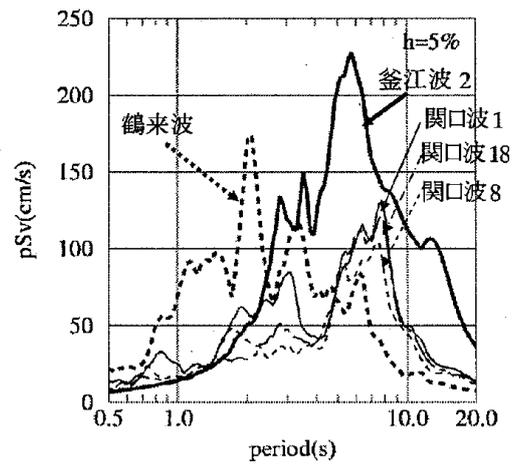
図-2 想定東海地震の震源断層モデルと
1997年3月の愛知県東部の地震

(a) 土方・他(2006)のモデル

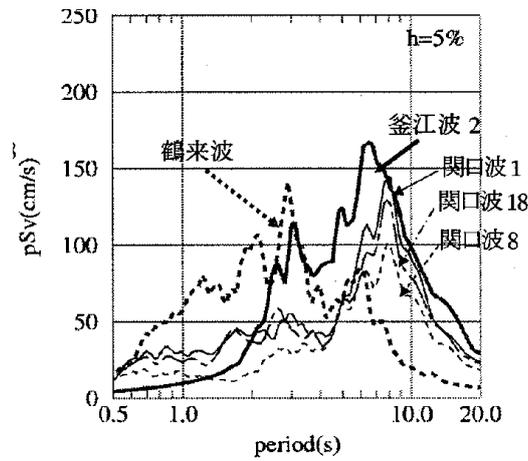


(b) (a)を簡便化した本検討のモデル

図 3. 3. 15 想定東海地震の断層モデル

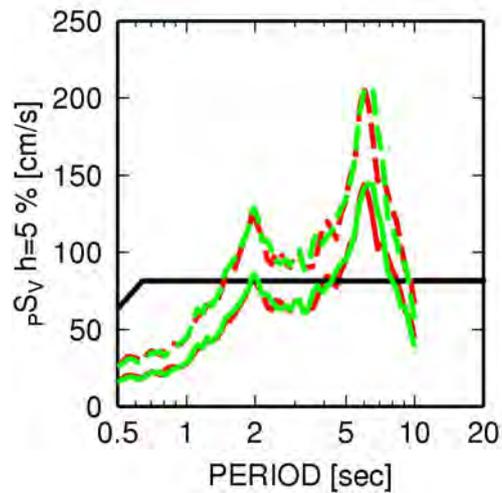


(a) NS



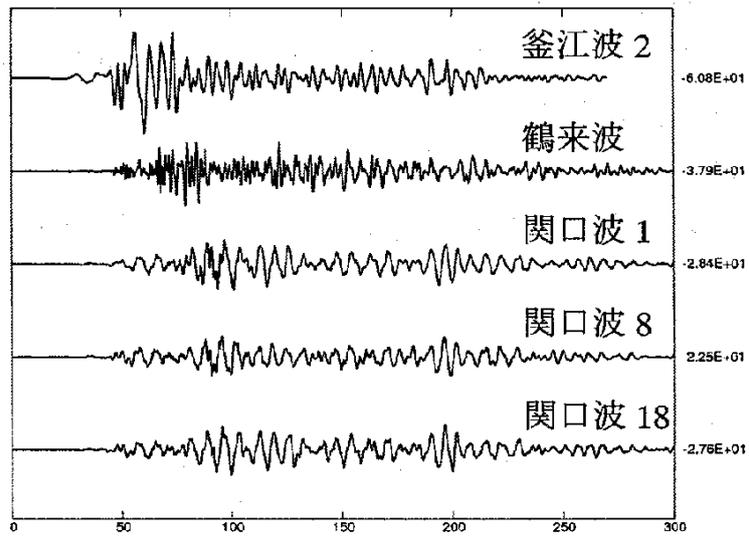
(b) EW

- 告示スペクトル：工学的基盤
- - - OSKH02:乱数2:平均+標準偏差
- - - OSKH02:乱数1:平均+標準偏差
- OSKH02:乱数2:平均
- OSKH02:乱数1:平均

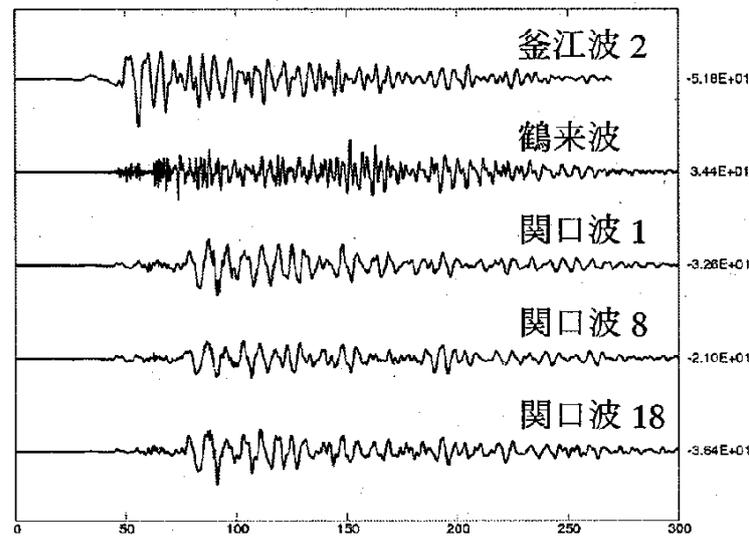


(c) 本検討

図 3. 3. 16 想定南海地震の既往波 (a, b) と本検討の予測波の擬似速度応答スペクトルの比較

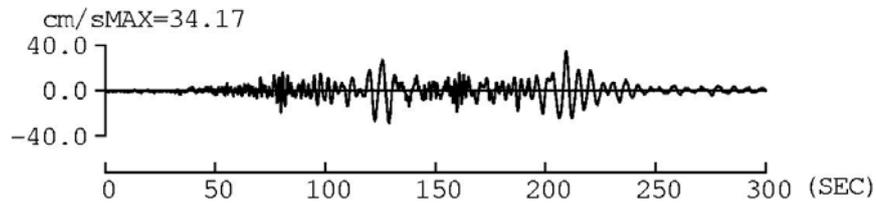
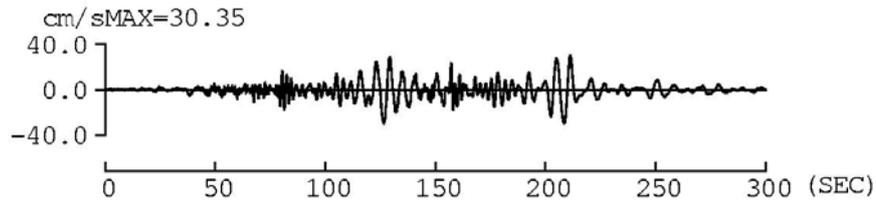


(a) NS

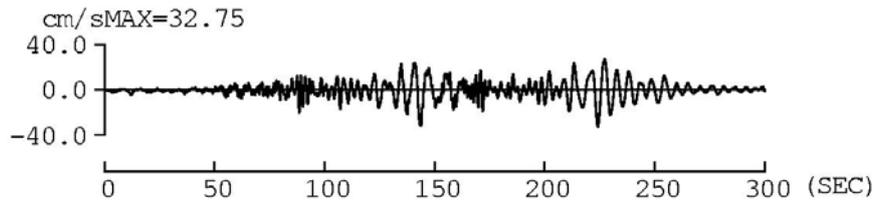
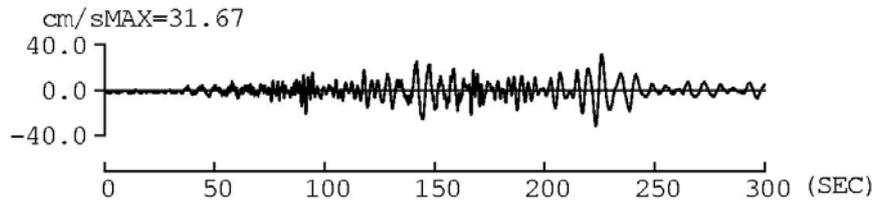


(b) EW

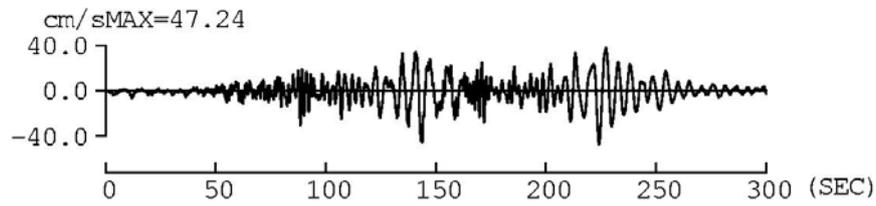
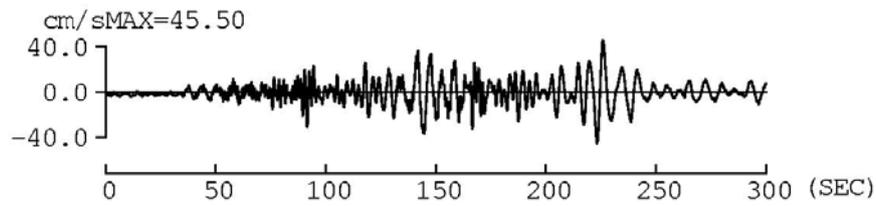
図 3.3.17 想定南海地震の既往波の速度波形 (岩田・他、2008)



(a) 回帰式の平均値を用いた場合の予測波

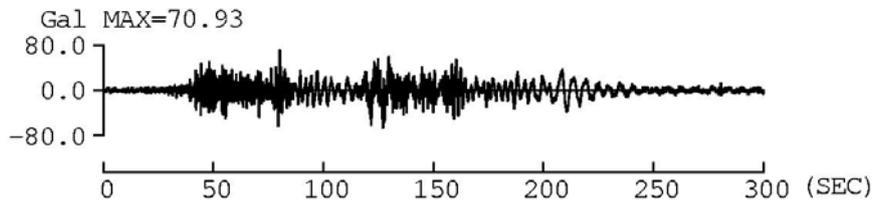
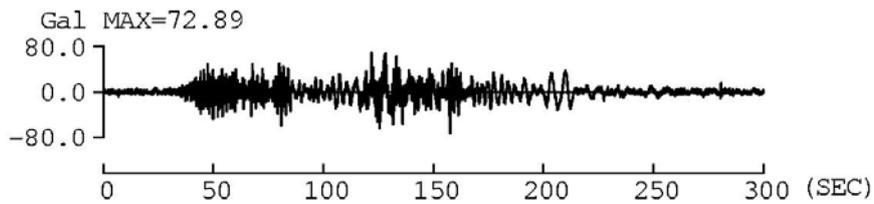


(b) 群遅延時間の回帰式を平均値+標準偏差とした場合の予測波

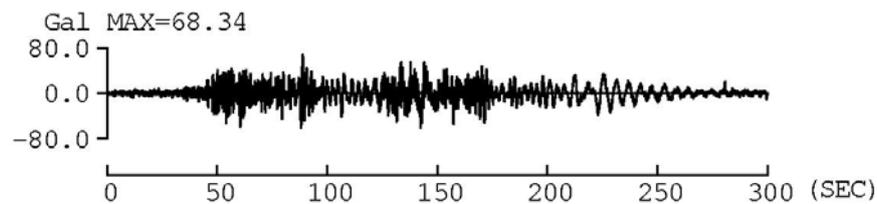
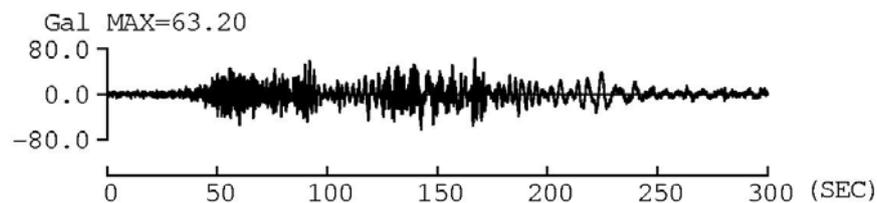


(c) 応答スペクトルの回帰式と群遅延時間の回帰式とも平均値+標準偏差とした場合の予測波

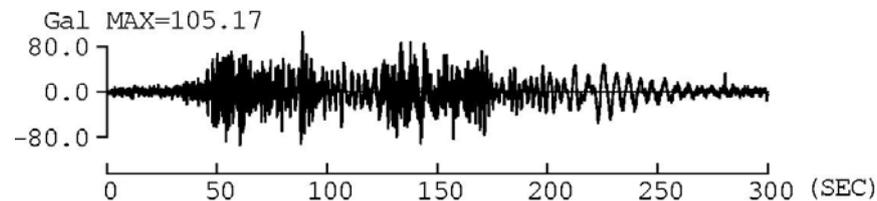
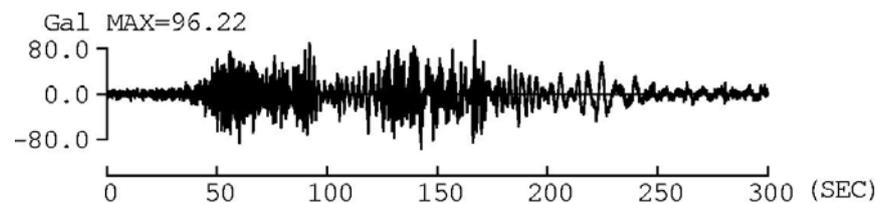
図 3.3.18 本検討の予測波の速度波形



(a) 回帰式の平均値を用いた場合の予測波



(b) 群遅延時間の回帰式を平均値+標準偏差とした場合の予測波



(c) 応答スペクトルの回帰式と群遅延時間の回帰式とも平均値+標準偏差とした場合の予測波

図 3.3.19 本検討の予測波の加速度波形

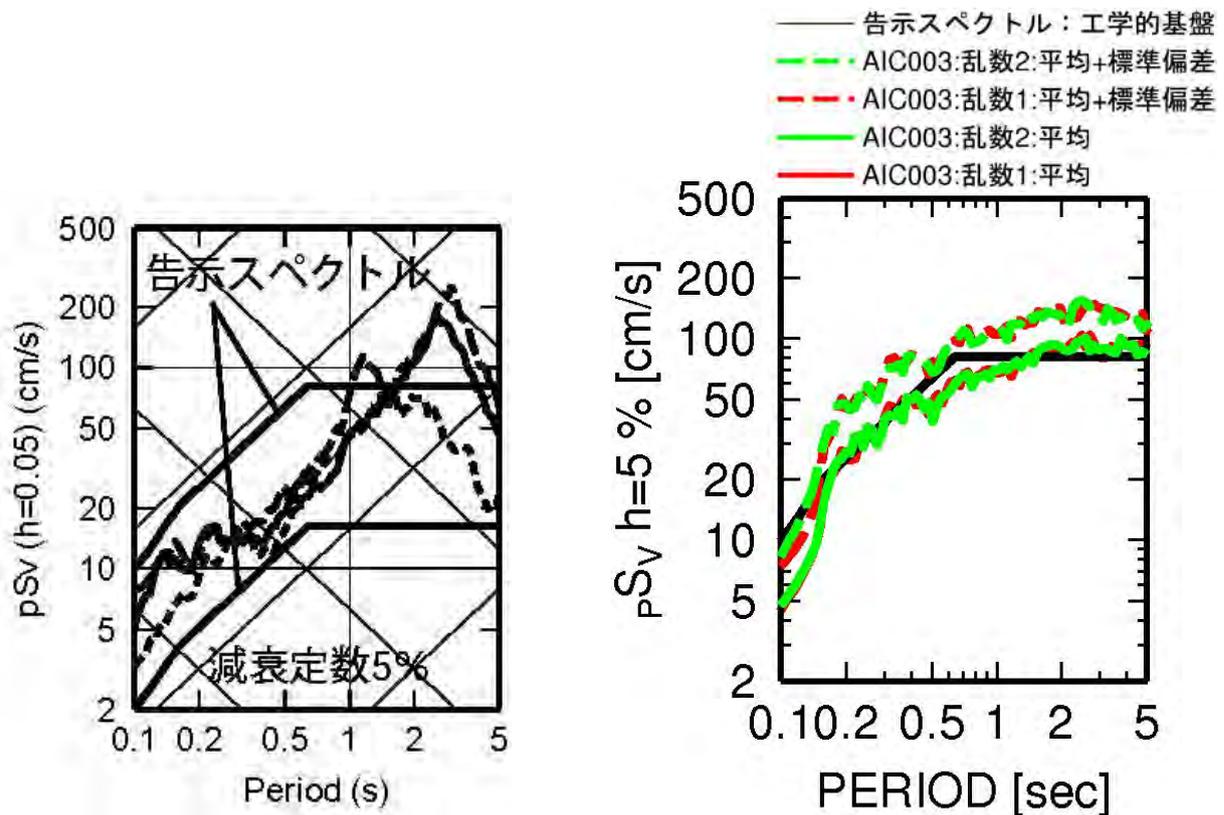


図 3.3.20 宮腰 (2006) による三の丸地区での 3 成分の工学的基盤での予測波(左)と本検討 (震源は宮腰(2006)を簡便化したモデル) による AIC003 での水平成分の予測波(右)の擬似速度応答スペクトルの比較

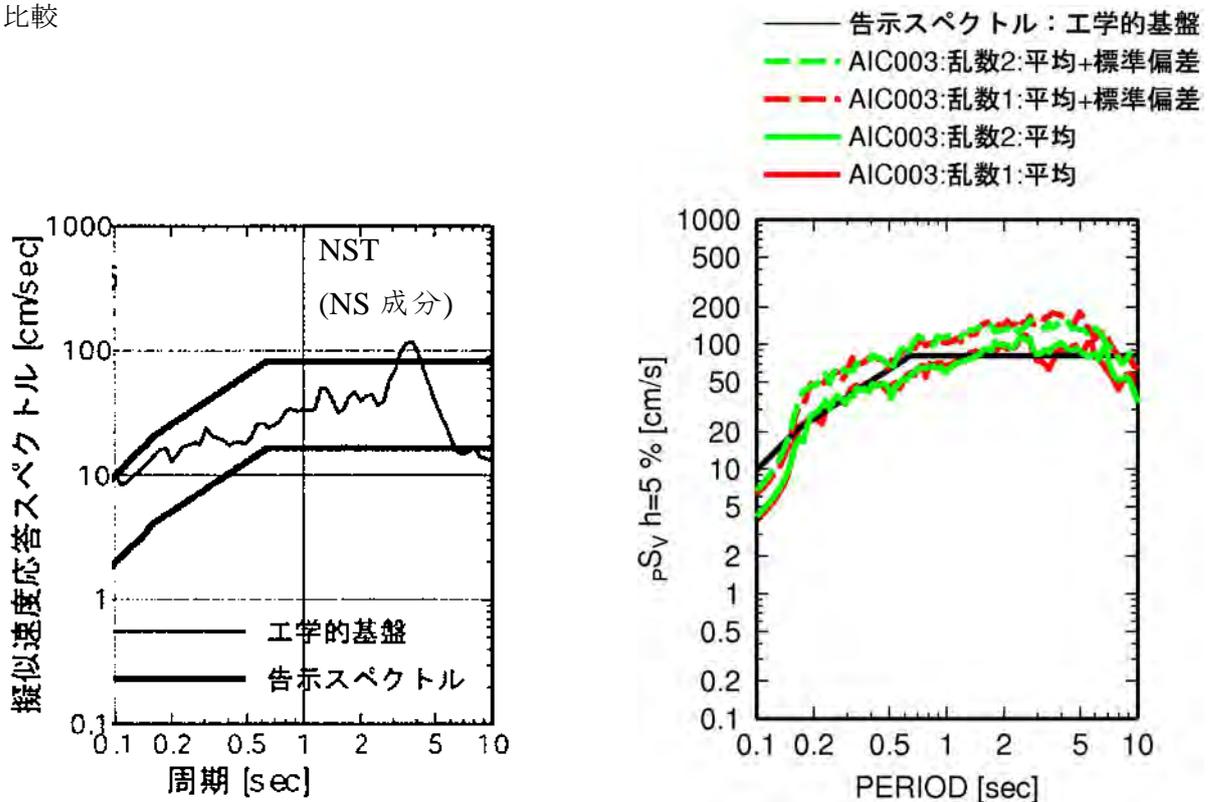
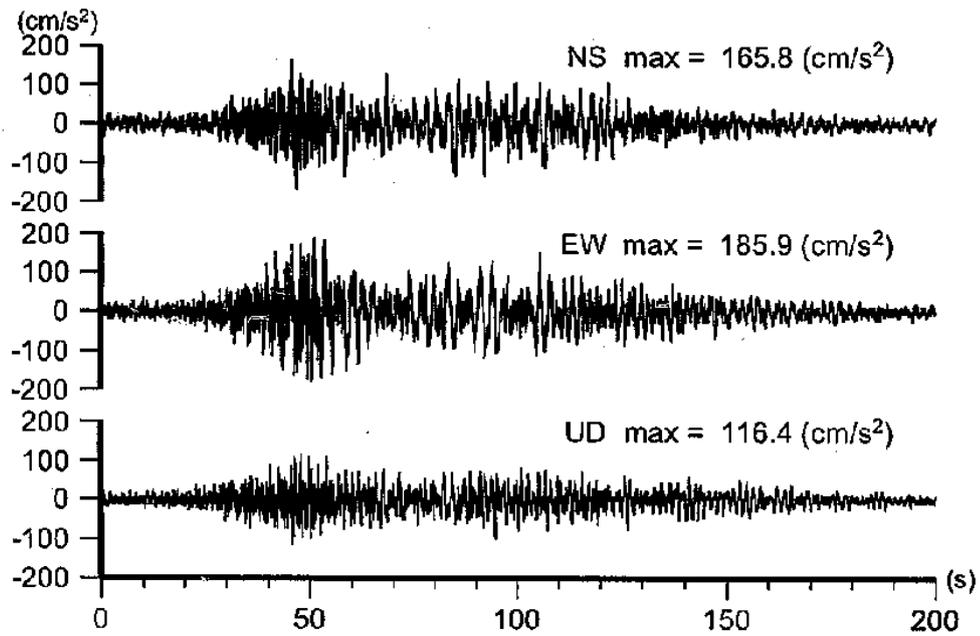
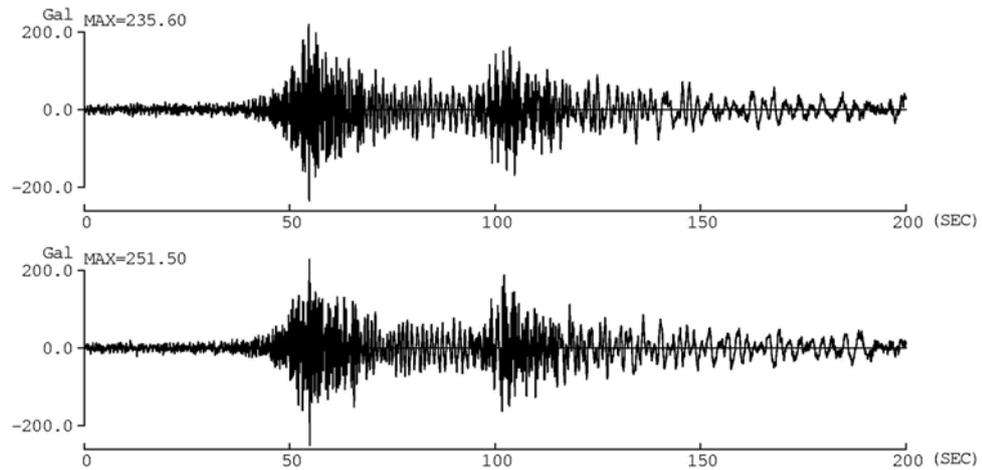


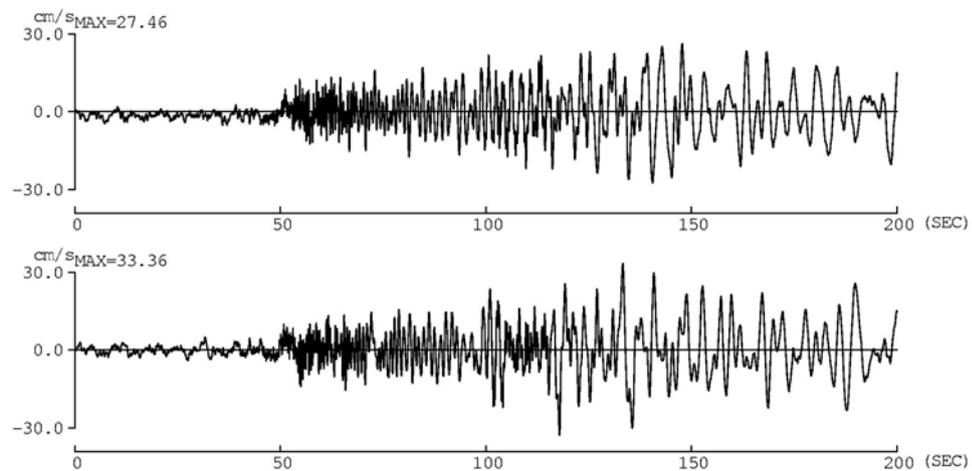
図 3.3.21 佐藤・他(2006)による NST での工学的基盤での予測波(左)と本検討 (震源は佐藤・他(2006)の巨視的断層モデル) による AIC003 での水平成分の予測波(右)の擬似速度応答スペクトルの比較



(a) 宮腰・他(2006)による三の丸の工学的基盤での加速度波形

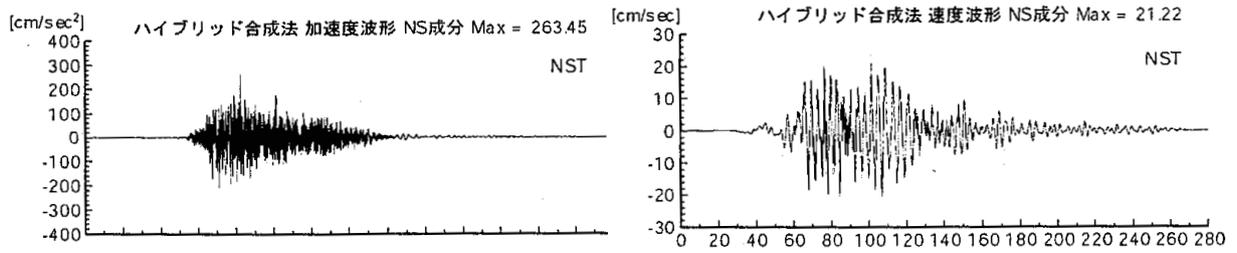


(b) 本検討の加速度波形



(c) 本検討の速度波形

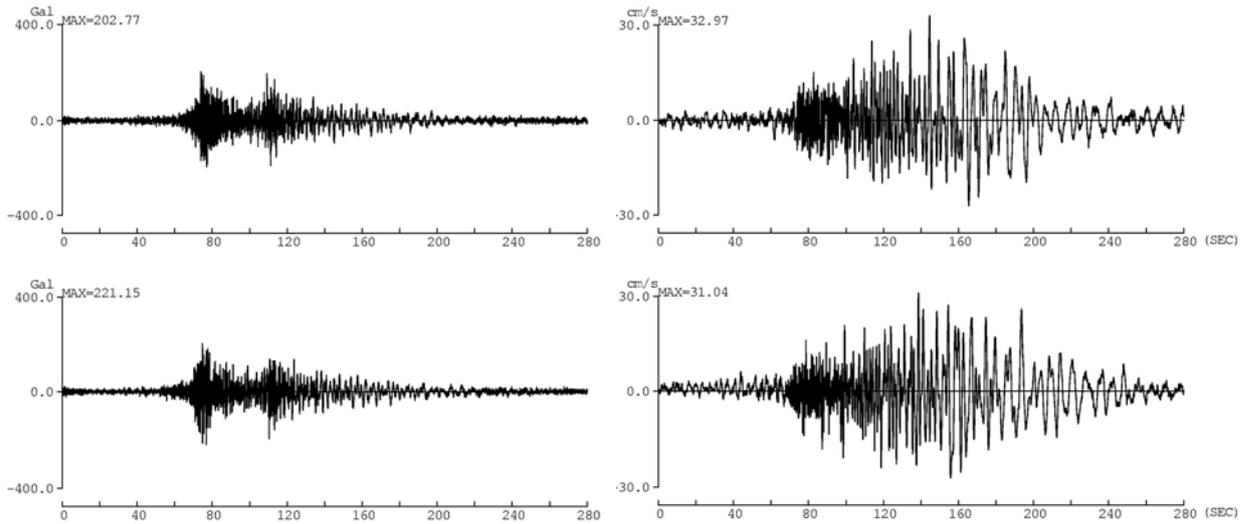
図 3.3.22 宮腰 (2006)による三の丸地区での 3 成分の予測波と本検討による AIC003 での水平成分の予測波 (震源は宮腰(2006)を簡便化したモデル) の比較



加速度波形

速度波形

(a) 佐藤・他(2006)による NST の工学的基盤での加速度波形

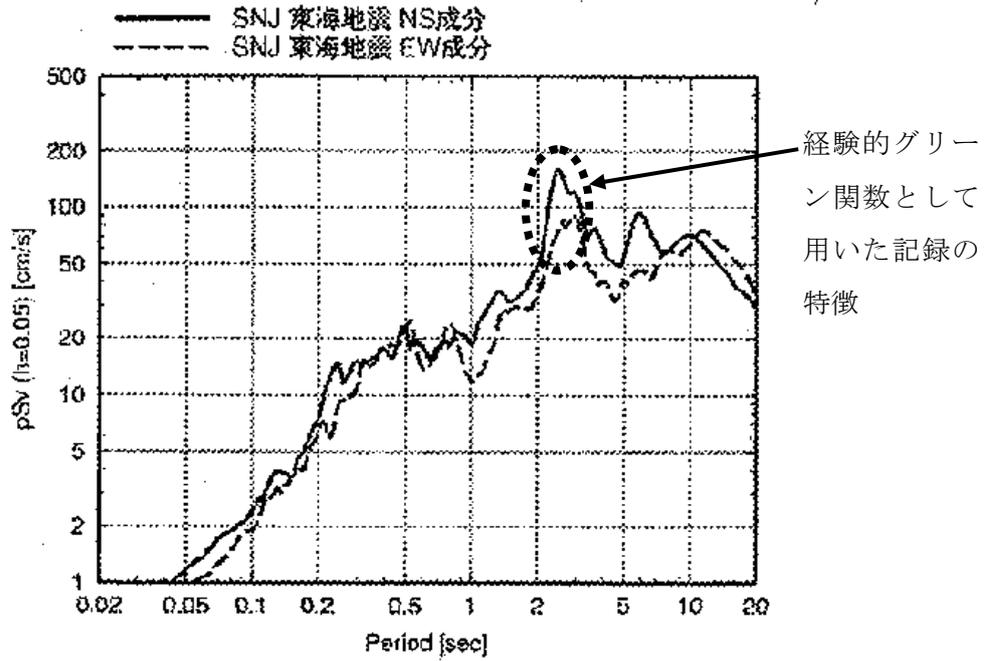


加速度波形

速度波形

(b) 本検討の予測波

図 3.3.23 佐藤・他(2006)による NST での工学的基盤での予測波と本検討（震源は佐藤・他(2006)の巨視的断層モデル）による AIC003 での水平成分の予測波の加速度波形の比較



(4) SNJ (新宿) 地点の評価結果

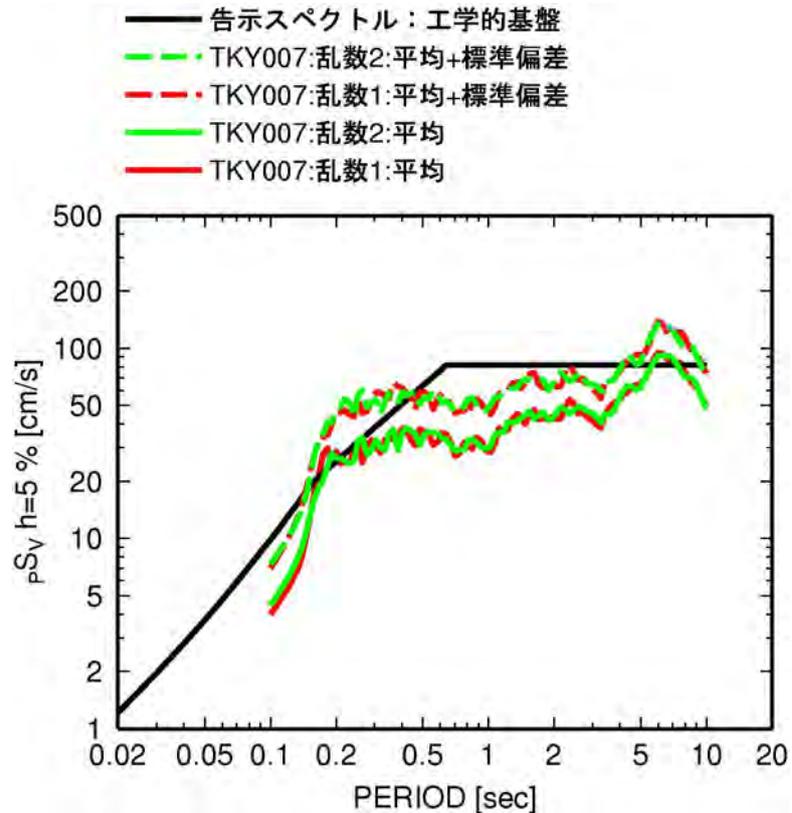
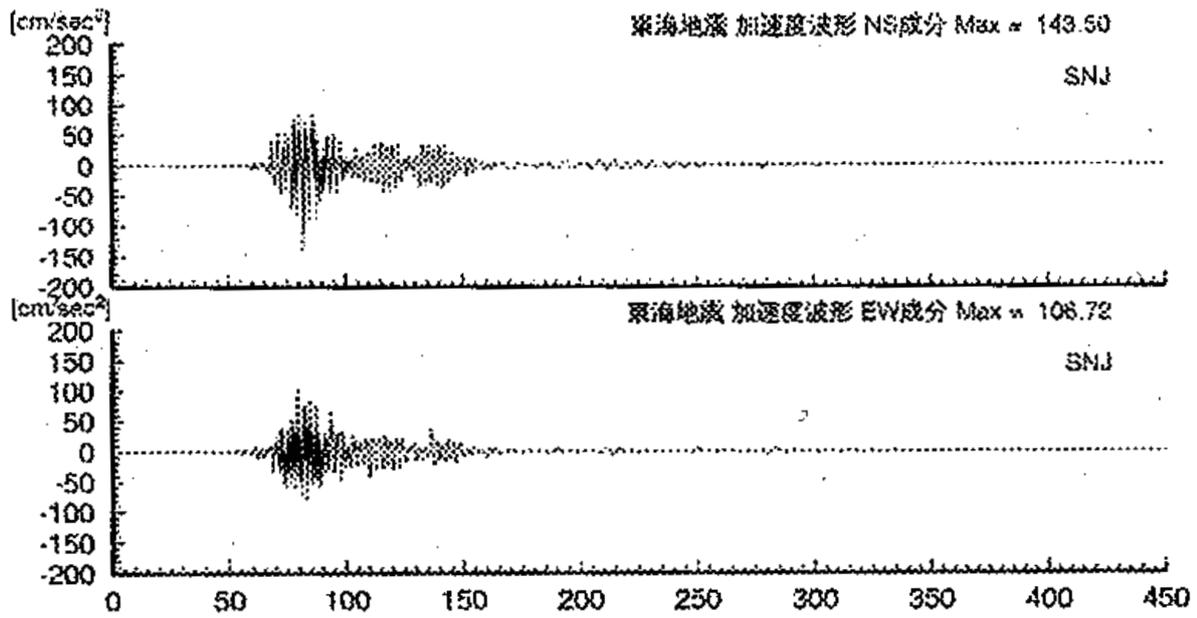
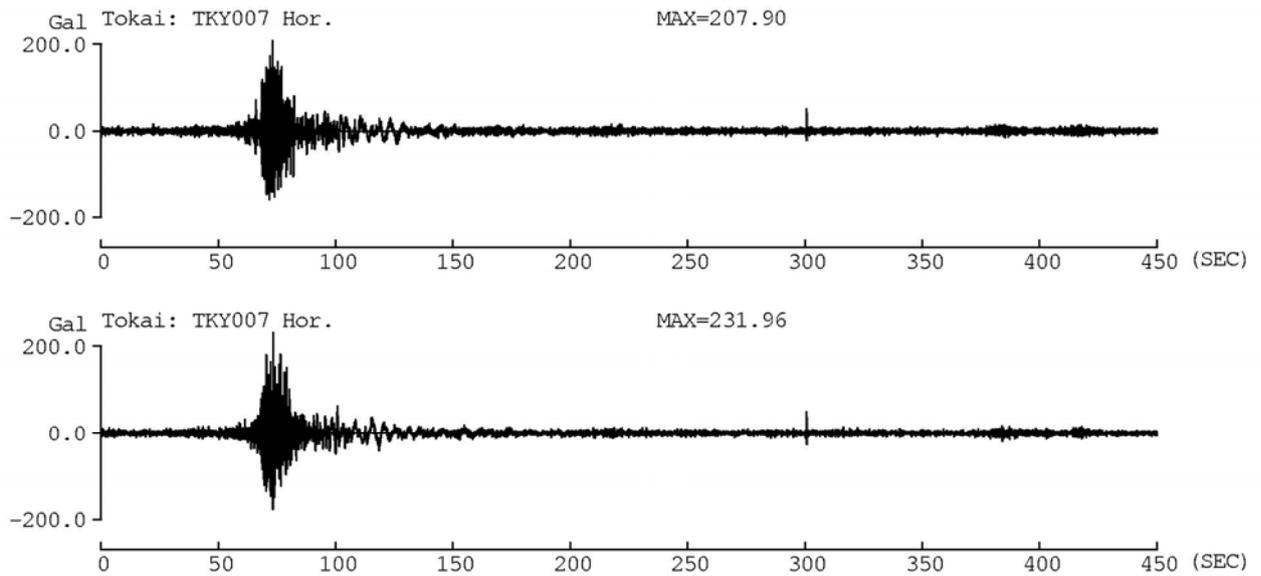


図 3.3.24 土方・他(2006)による予測波（上段）と本検討の予測波（下段）の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルの比較（想定東海地震）

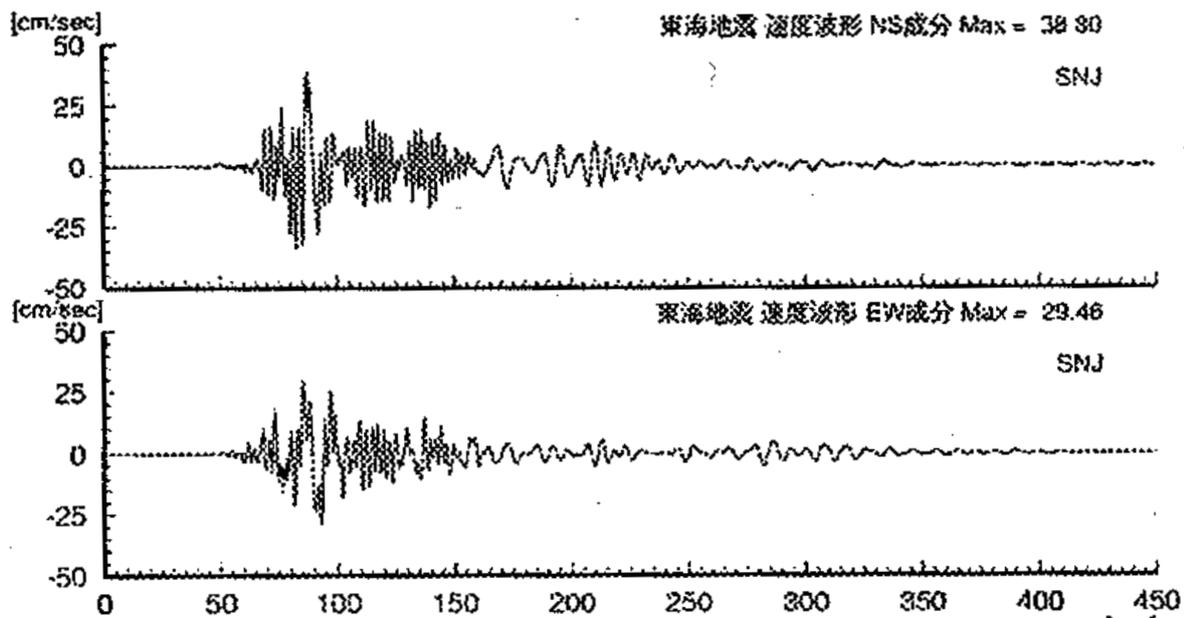


(a) 土方・他(2006)

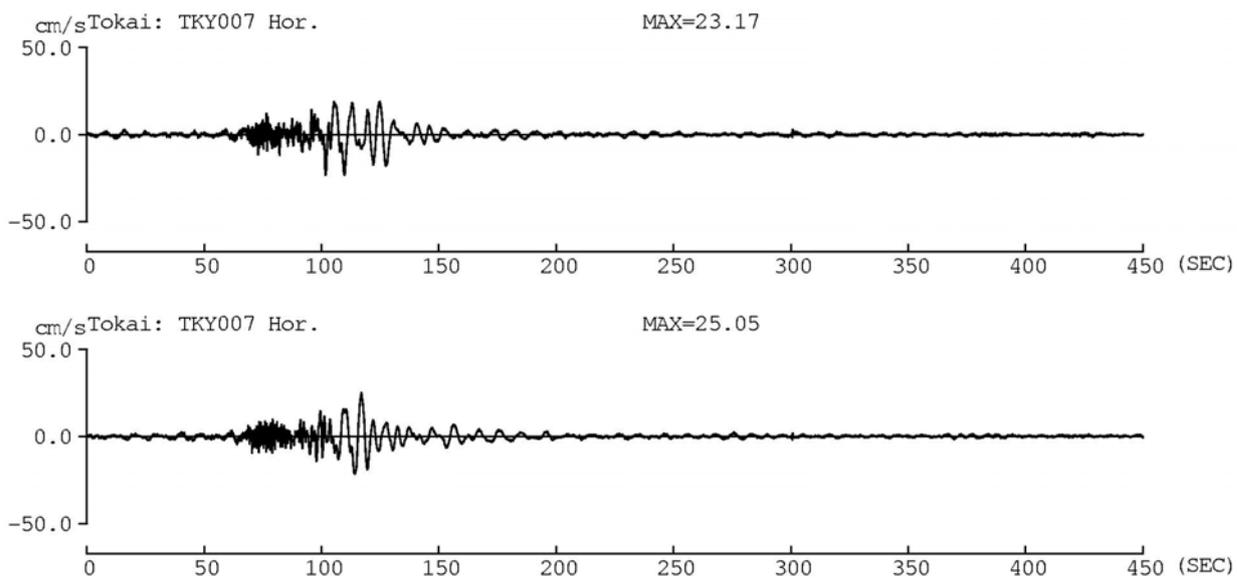


(b) 回帰式の平均値を用いた場合の予測波

図 3.3.25 土方・他(2006)による SNJ での予測波と本検討の TKY007 での予測波の加速度波形の比較 (想定東海地震)



(a) 土方・他(2006)



(b) 回帰式の平均値を用いた場合の予測波

図 3. 3. 26 土方・他(2006)による SNJ での予測波と本検討の TKY007 での予測波の速度波形の比較(想定東海地震)

3-4 サイト係数の改良

H20 年度に作成した地震動の経験式では、関東平野の観測点では、用いた記録の継続時間が短いという問題があった。そこで、記録の追加、選択条件の変更に基づき、サイト係数の改良を行う。なお、2009 年 8 月に駿河湾の地震 ($M_j6.5$) が、想定東海地震の震源域周辺で発生したため、この地震の記録を含めた。駿河湾の地震を含めることにより、これまで海溝型地震の記録がなかった富山県や石川県の観測点での群遅延時間の平均値と標準偏差のサイト係数も求められている。

H21 年度に作成した地震動の水平成分、上下成分の経験式は、図 3.4.1 に示す地震の K-NET、KiK-net、気象庁 87 型の記録を用いて、海溝型地震、地殻内地震それぞれに対して、以下の式で表わされる。

減衰定数 1% と 5% の加速度応答スペクトル S_A とエネルギースペクトルを $Y(T)$ とすると

$$\log_{10} Y(T) = a(T) M_w + b(T) R - \log_{10} (R^{p(T)} + d(T) 10^{0.5M_w}) + c(T) + c_j(T) \quad (3.4.1)$$

ここで、 T は固有周期、 M_w はモーメントマグニチュード、 R は断層最距離 [km]、 $a(T)$ 、 $b(T)$ 、 $d(T)$ 、 $p(T)$ 、 $c(T)$ 、 $c_j(T)$ は回帰係数である。 $c_j(T)$ をサイト係数、周期 1 秒以上での $10^{c_j(T)}$ を地盤増幅率と呼ぶ。

群遅延時間の平均値 $\mu_{\text{tgr}}(f)$ 、分散 $\sigma_{\text{tgr}}^2(f)$ を $Z(f)$ とすると

$$Z(f) = A(f) M_0^{1/3} + B(f) X + C_j(f) \quad (3.4.2)$$

ここで、 M_0 [dyne-cm] は地震モーメント、 X は震源距離 [km]、 $A(f)$ 、 $B(f)$ 、 $C_j(f)$ は回帰係数である。 $C_j(f)$ をサイト係数と呼ぶ。

ここでは、サイト係数以外の回帰係数を用いて、追加、除去した観測点でのサイト係数を算出する。追加、除去したデータは以下の通りである。

(1) 継続時間が比較的長い記録が得られている観測点の追加

- ・ 関東平野 1 都 6 県の気象庁 95 型の観測点
- ・ 新宿の工学院大学 (KGIN)

(2) 2009 年駿河湾の地震 ($M_j6.5$) の記録の追加

(3) 継続時間が短い記録の除去

このうち (3) は以下のような条件で行った。図 3.4.2(a)、図 3.4.2(b) には、経験式作成に用いられている紀伊半島沖地震と宮城県沖地震の観測記録の周期 3 秒での加速度応答スペクトル分布を示す。紀伊半島沖地震は、震源距離の上限 400km の条件などで、関東地方では西側の観測点のみが用いられている。紀伊半島沖地震の記録が用いられている関東地方域の観測点では、紀伊半島沖地震からの震源距離と宮城県沖地震からの震源距離がほぼ同じである。紀伊半島沖地震の M_w は 7.4、宮城県沖地震の M_w は 7.1 であるから、平均的には同一震源距離では、紀伊半島沖地震の方が宮城県沖地震より継続時間が長くなる。したがって、両地震が観測されている観測点の記録継続時間 (S 波部以降) が、紀伊半島沖地震の方が小さい場合には紀伊半島沖地震の記録を除くことにした。図 3.4.3 には、新宿の工学院大学 (KGIN) と K-NET 新宿 (TKY007) での紀伊半島沖地震の

観測波形を示す。この条件により、TKY007での記録は除かれている。

図 3.4.4 には、3-5 で長周期時刻歴波形の予測を行う関東平野の観測点を示す。比較的継続時間の長い記録が観測されている観測点を予測地点として選択している。KGIN(新宿:工学院大学)、K-NET の TKY016(東雲)、JMA95 型の E4E(大手町)と E56(横浜)の 4 観測点である。表 3.4.1、表 3.4.2 には、予測地点における、経験式作成(サイト係数の改良も含む)に用いられた海溝型地震、地殻内地震のリストを示す。予測地点としては、関東平野 4 地点の他、H20 年度に予測地点とした大阪平野 2 地点、濃尾平野 2 地点を示している。KGIN(新宿:工学院大学)を除く関東平野 4 地点では、2004 年紀伊半島沖地震、2005 年宮城県沖の地震、2008 年駿河湾の地震が共通に観測されている。図 3.4.5 には、4 予測地点における 2004 年紀伊半島沖地震の速度波形(S 波部以降)を示す。KGIN(新宿:工学院大学)では 1340 秒まで、TKY016(東雲)では 480 秒まで観測されている。E4E(大手町)と E56(横浜)では、KGIN(新宿:工学院大学)、TKY016(東雲)と比べると観測継続時間がやや短い。図 3.4.6 には、これらの記録の擬似速度応答スペクトルを示す。

図 3.4.7 には、追加した観測点(気象庁 95 型と工学院大学)の分布を、新たに求めた加速度応答スペクトル(減衰定数 5%)の地盤増幅率分布として示す。図 3.4.8~図 3.4.13 には、日本全国の旧サイト係数と新サイト係数を示す。図 3.4.14~図 3.4.19 には、関東平野における旧サイト係数と新サイト係数を示す。なお、5%の加速度応答スペクトル S_A では、地盤増幅率を示している。加速度応答スペクトルの地盤増幅率に比べ群遅延時間の平均値、標準偏差は、修正前後での差が大きい。これは、加速度応答スペクトルは、最大値指標のため、観測継続時間の影響が小さいためである。

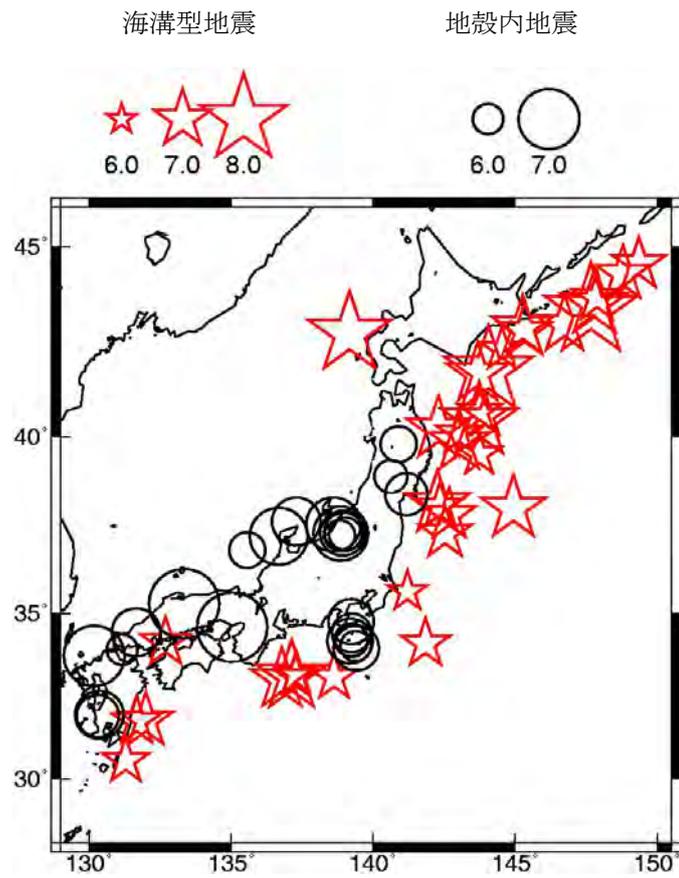
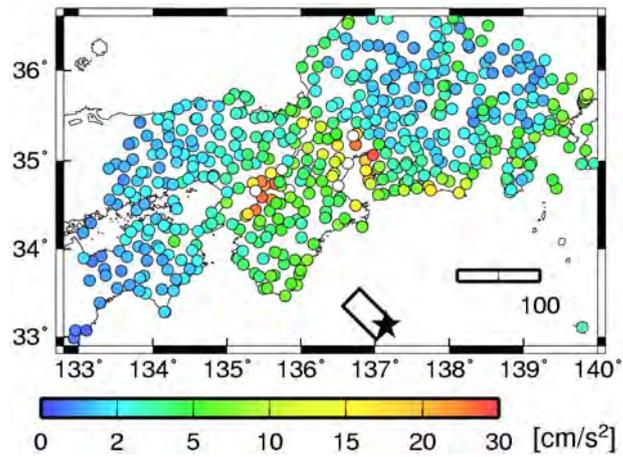
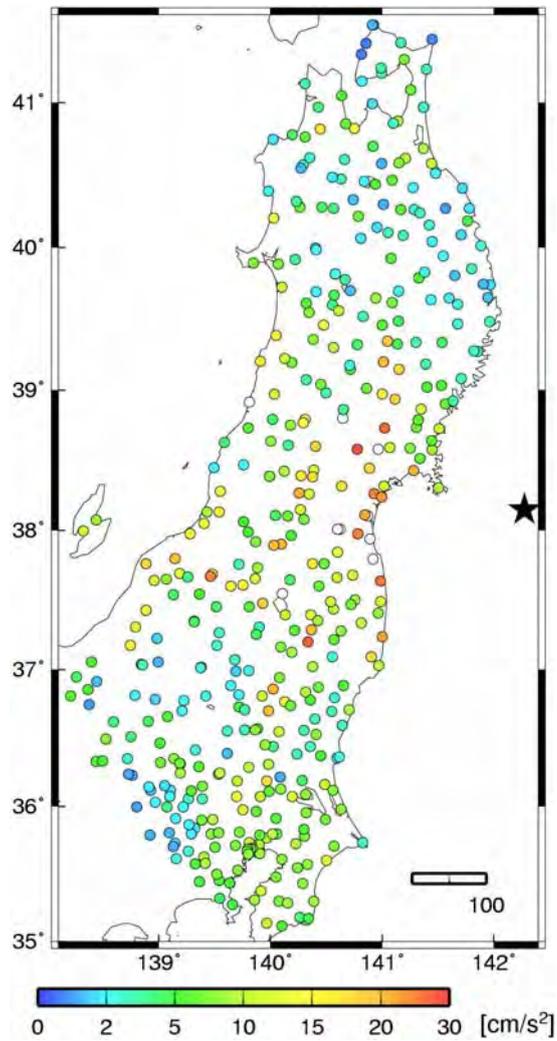


図 3.4.1 経験式作成に用いている地震の震央位置（星＝海溝型地震、丸＝地殻内地震）

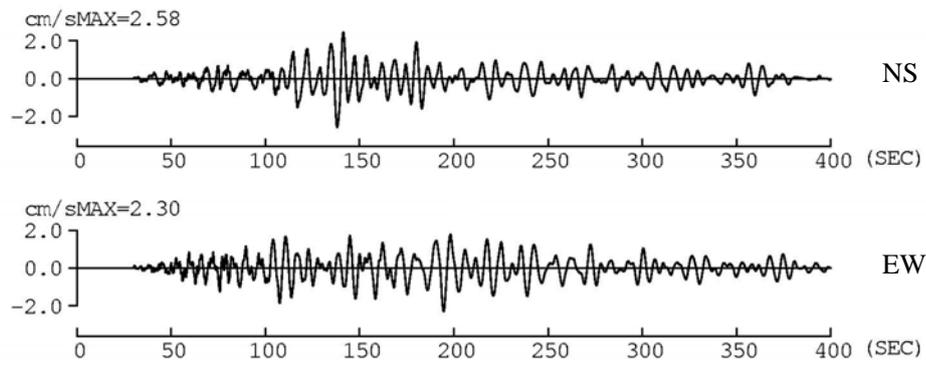


(a) 2004年紀伊半島沖地震

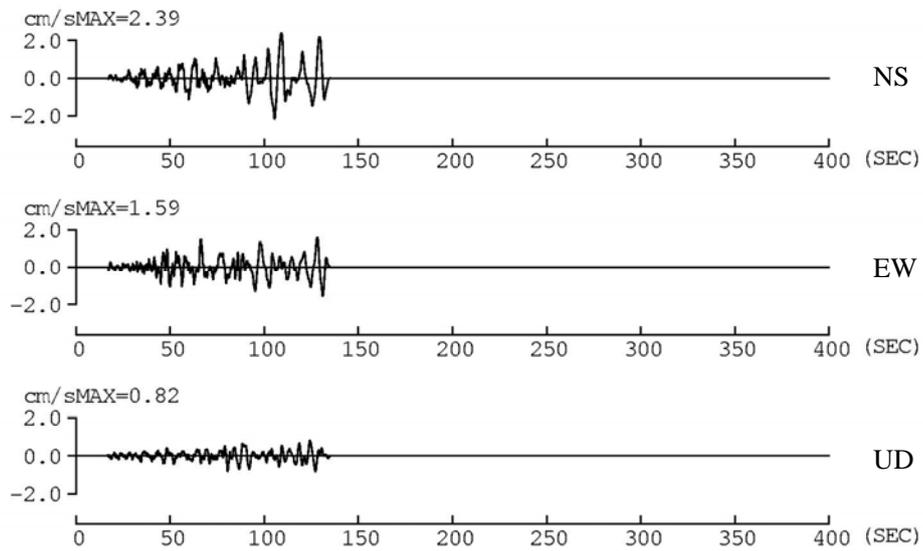


(b) 2005年宮城県沖地震

図 3.4.2 経験式作成に用いた紀伊半島沖地震と宮城県沖地震の周期 3 秒での観測加速度応答スペクトル分布 (NS 成分)



(a) KGIN(新宿:工学院大学)



(c) TKY007(K-NET 新宿)

図 3.4.3 2004 年 9 月の紀伊半島沖地震の観測速度波形



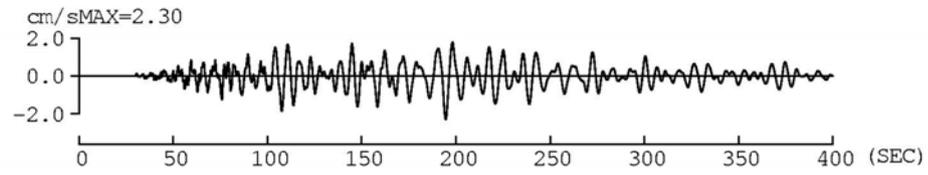
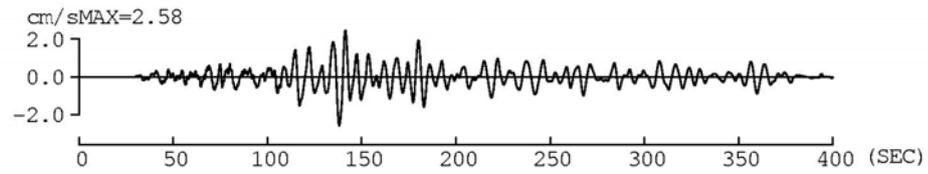
图 3.4.4 予測地点

表 3.4.1 経験式作成に用いられている予測地点における海溝型地震

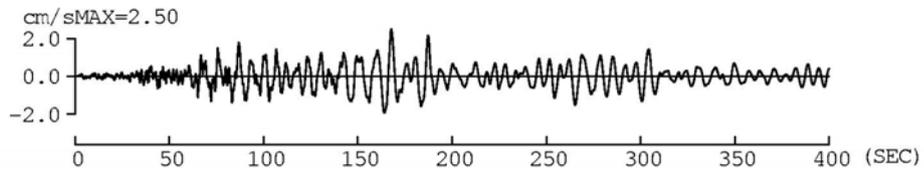
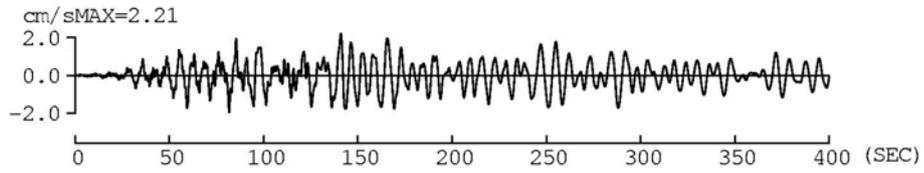
年	発震時		深さ km	M_J	地震名 震源域名	地震規模		OSK005 大阪	OSKH02 此花	AIC003 津島	AIC004 名古屋	TKY016 東雲	KGIN 新宿	E4E 大手町	E56 横浜
	月/日	時:分				M_0 [dyne \cdot cm]	M_w								
1989	10/29	14:25	0.0	6.5	三陸はるか沖	5.76E+25	6.4								
1989	11/2	3:25	0.0	7.1	三陸はるか沖	1.36E+27	7.4								
1990	9/24	6:13	60.0	6.6	東海地方南方はるか沖	7.08E+25	6.5								
1993	7/12	22:17	35.1	7.8	1993年北海道南西沖地震	3.40E+27	7.6								
1994	4/8	10:10	2.5	6.5	三陸はるか沖	4.62E+25	6.4								
1994	10/4	22:22	28.0	8.2	1994年北海道東方沖地震	2.60E+28	8.2								
1994	10/9	16:55	0.0	7.3	北海道東方沖	9.38E+26	7.2								
1994	12/28	21:19	0.0	7.6	1994年三陸はるか沖地震	4.00E+27	7.7								
1994	12/29	5:52	0.0	6.5	岩手県北東沖	2.06E+25	6.1								
1995	1/7	7:37	47.8	7.2	岩手県北東沖	3.33E+26	6.9								
1995	4/29	1:30	3.0	6.7	北海道東方沖	2.77E+26	6.9								
1995	12/30	21:11	0.0	6.5	三陸はるか沖	3.61E+25	6.3								
1996	10/19	23:44	34.0	6.9	日向灘	1.43E+26	6.7								
1996	12/3	7:17	38.0	6.7	日向灘	1.23E+26	6.7								
1996	2/17	0:22	58.0	6.8	福島県東方沖	1.33E+26	6.7								
1996	9/11	11:37	52.0	6.4	銚子付近	1.97E+25	6.1								
1999	1/24	9:37	40.0	6.6	種子島近海	6.58E+25	6.5								
2000	1/28	23:21	58.5	7.0	根室半島南東沖	1.21E+26	6.7								
2001	3/24	15:27	46.5	6.7	2001年芸予地震	2.98E+26	6.9		○						
2001	5/25	9:40	30.0	6.9	択捉南東沖	8.71E+25	6.6								
2003	9/26	4:50	45.1	8.0	2003年十勝沖地震	2.20E+28	8.2								
2003	9/26	6:08	21.4	7.1	同余震	1.15E+27	7.3								
2003	9/29	11:36	42.5	6.5	同余震	4.96E+25	6.4								
2003	10/31	10:06	33.3	6.8	宮城県沖	1.42E+26	6.7					○			
2004	9/5	19:07	37.6	7.1	紀伊半島沖	9.80E+26	7.3	○	○	○	○				○
2004	9/5	23:57	43.5	7.4	紀伊半島沖	1.80E+27	7.4	○	○	○	○	○	○	○	○
2004	9/7	8:29	41.0	6.5	紀伊半島沖	6.00E+25	6.5	○	○	○	○				
2004	9/8	23:58	36.1	6.5	紀伊半島沖	1.62E+25	6.1	○	○		○				
2004	11/29	3:32	48.2	7.1	根室半島沖	3.36E+26	7.0								
2004	12/6	23:15	45.8	6.9	根室半島沖	1.41E+26	6.7								
2005	8/16	11:46	42.0	7.2	宮城県沖	5.62E+26	7.1					○	○	○	○
2005	11/15	6:38	45.0	7.2	三陸はるか沖	4.06E+26	7.0								
2005	12/2	22:13	40.3	6.6	宮城県沖	5.39E+25	6.4								
2009	8/11	5:07	5.7	6.5	駿河湾の地震	2.25E+25	6.2					○		○	○

表 3.4.2 経験式作成に用いられている予測地点における地殻内地震

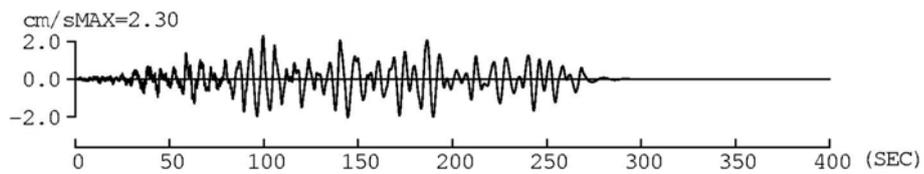
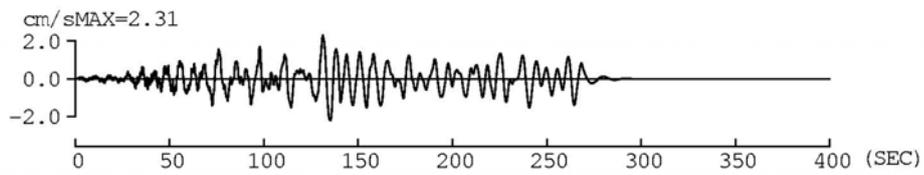
発震時			深さ km	M_j	地震名 震源域名	地震規模		OSK005 大阪	OSKH02 此花	AIC003 津島	AIC004 名古屋	TKY016 東雲	KGIN 新宿	E4E 大手町	E56 横浜	
年	月/日	時:分				M_0 [dyne \cdot cm]	M_w									
1990	2/20	15:53	5.8	6.5	伊豆大島近海	4.00E+25	6.3									
1991	10/28	10:09	18.5	6.0	周防灘	7.48E+23	5.2									
1993	2/7	22:27	24.8	6.6	能登半島沖	3.41E+25	6.3									
1995	1/17	5:46	16.1	7.3	1995年兵庫県南部地震	3.30E+26	6.9									
1996	8/11	3:12	8.6	6.1	秋田県内陸南部	9.51E+24	5.9									
1997	3/26	17:31	11.9	6.6	鹿児島県薩摩地方	1.50E+25	6.1									
1997	5/13	14:38	9.2	6.4	鹿児島県薩摩地方	1.22E+25	6.0									
1997	6/25	18:50	8.3	6.6	山口県北部	5.66E+24	5.8									
1998	9/3	16:58	7.9	6.2	岩手県内陸北部	7.53E+24	5.9									
2000	6/7	6:16	21.3	6.2	石川県西方沖	5.93E+24	5.8		○	○	○					
2000	7/1	16:01	16.1	6.5	新島・神津島近海	2.28E+25	6.2									
2000	7/9	3:57	15.4	6.1	新島・神津島近海	7.79E+24	5.9					○				
2000	7/15	10:30	9.7	6.3	新島・神津島近海	1.24E+25	6.0				○	○	○	○	○	○
2000	7/30	9:18	11.1	6.0	三宅島近海	4.28E+24	5.7					○				
2000	7/30	21:25	17.0	6.5	三宅島近海	5.02E+25	6.4					○				○
2000	8/18	10:52	12.4	6.1	新島・神津島近海	4.65E+24	5.7					○				
2000	10/6	13:30	9.0	7.3	2000年鳥取県西部地震	1.61E+26	6.7	○	○	○	○					
2003	7/26	7:13	11.9	6.4	宮城県北部	2.32E+25	6.2									
2004	10/23	17:56	13.1	6.8	2004年新潟県中越地震	8.80E+25	6.6			○			○	○	○	○
2004	10/23	18:03	9.4	6.3	同余震	8.50E+24	5.9					○			○	○
2004	10/23	18:11	11.5	6.0	同余震	4.11E+24	5.7					○			○	○
2004	10/23	18:34	14.2	6.5	同余震	3.20E+25	6.3					○	○	○	○	○
2004	10/27	10:40	11.6	6.1	同余震	7.50E+24	5.9					○	○	○	○	○
2005	3/20	10:53	9.2	7.0	福岡県西方沖	1.15E+26	6.6									
2007	3/25	9:41	10.7	6.9	2007年能登半島地震	1.06E+26	6.6	○		○					○	○
2007	7/16	10:13	16.8	6.8	2007年新潟県中越沖地震	1.43E+26	6.7			○		○			○	○



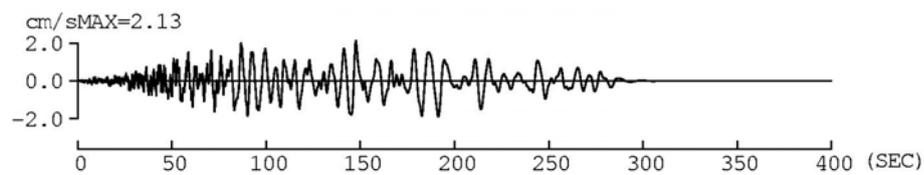
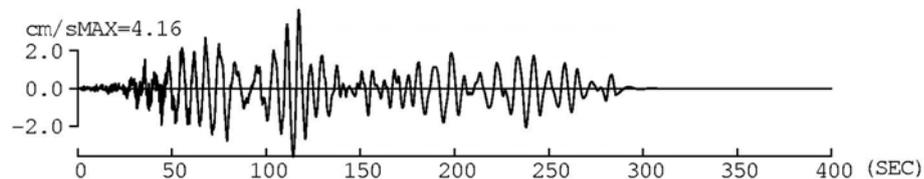
(a) KGIN(新宿:工学院大学)



(b) TKY016(東雲)



(c) E4E(大手町)



(d) E56(横浜)

図 3.4.5 2004 年紀伊半島沖地震の観測速度波形 (上段 NS 成分、下段 EW 成分)

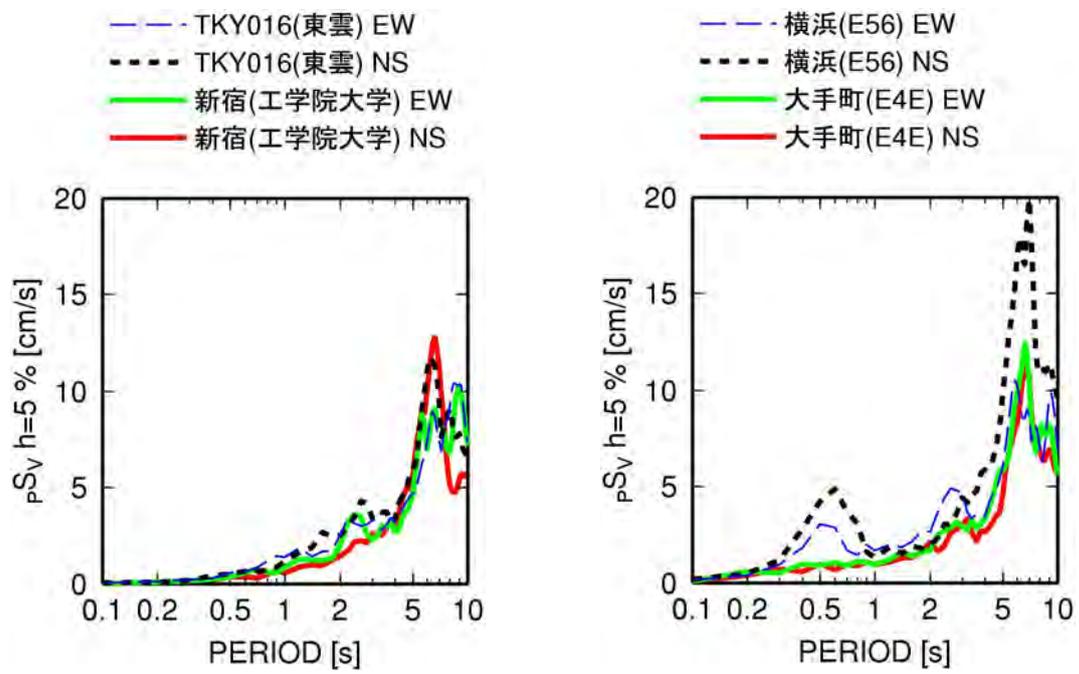
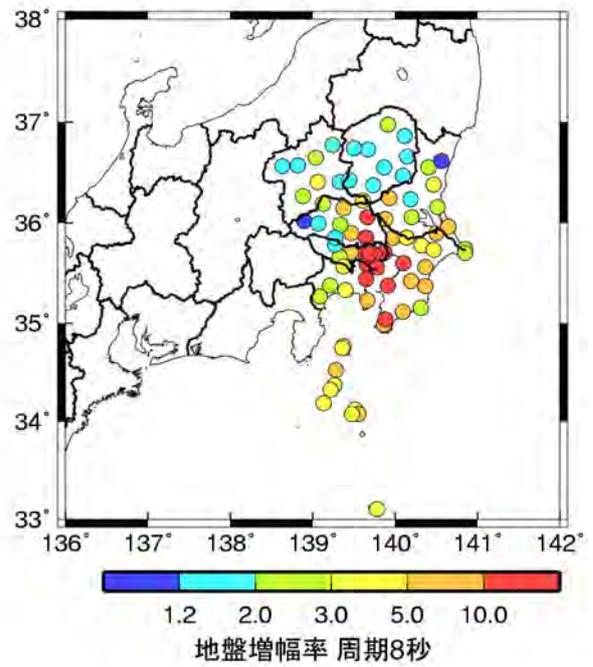
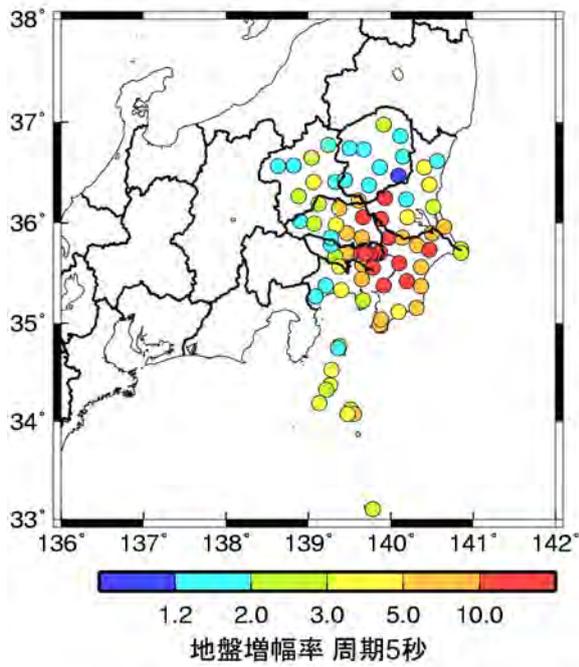
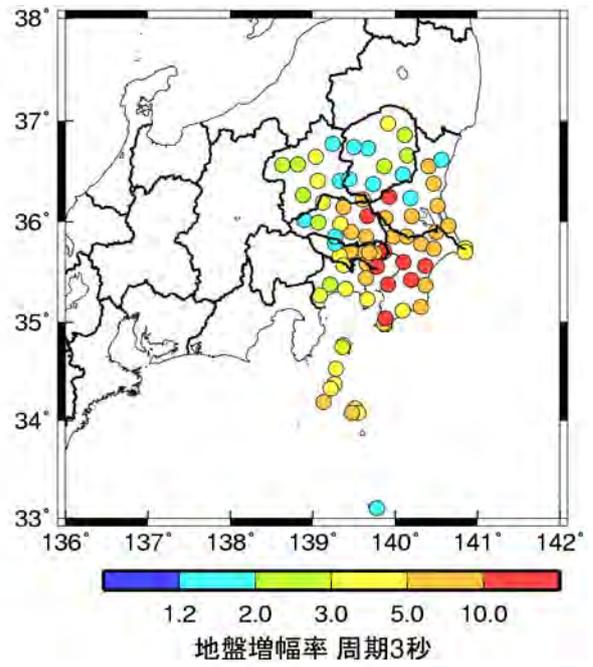
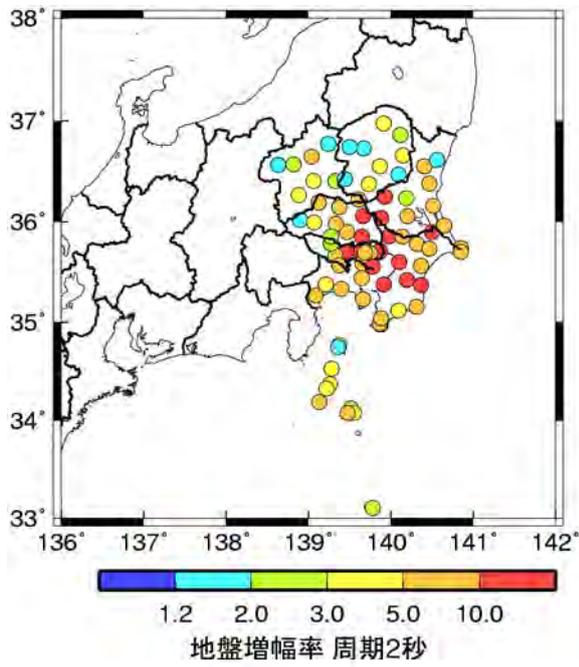
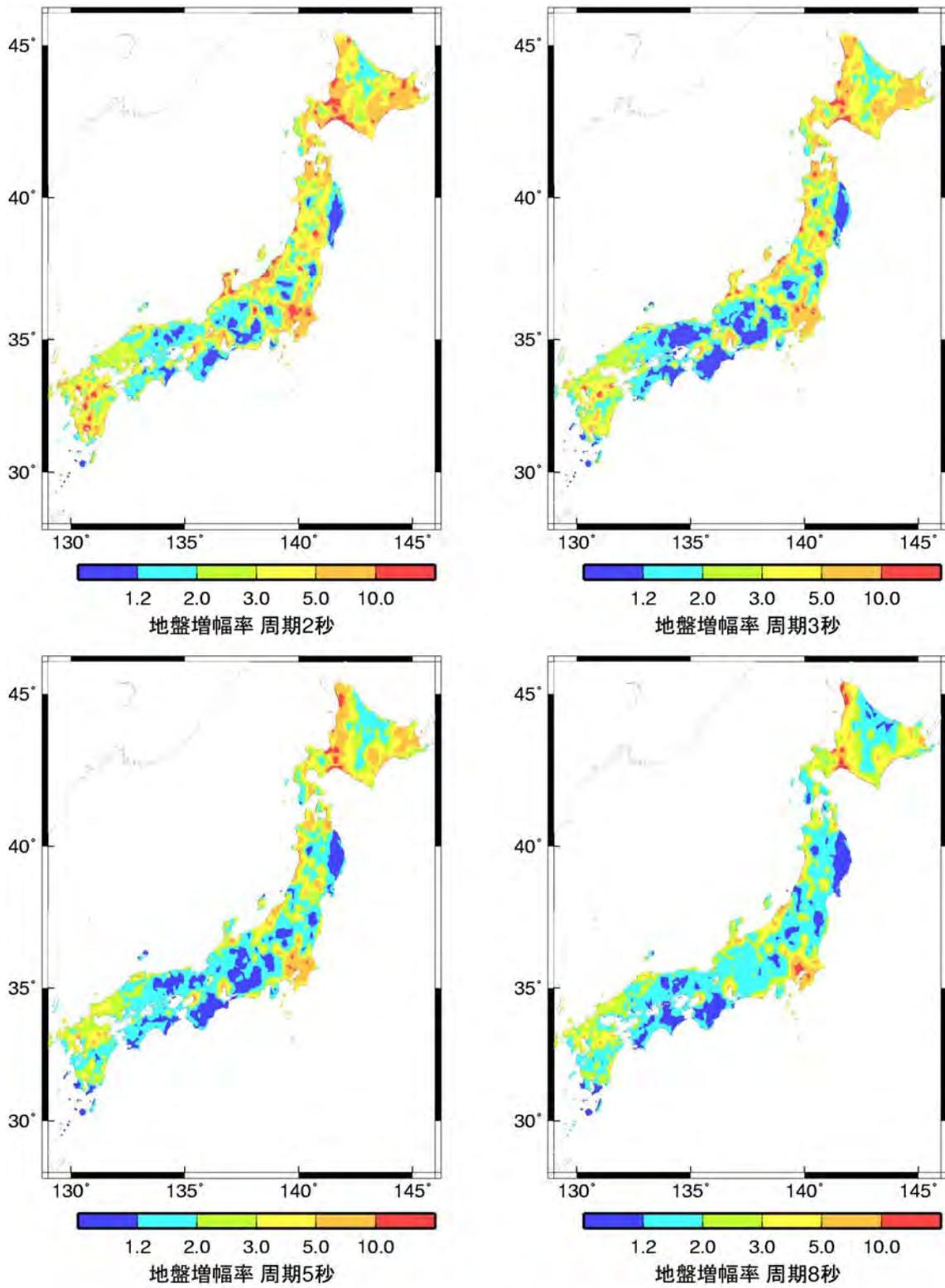


図 3.4.6 4つの予測地点における3つの地震の観測擬似速度応答スペクトル



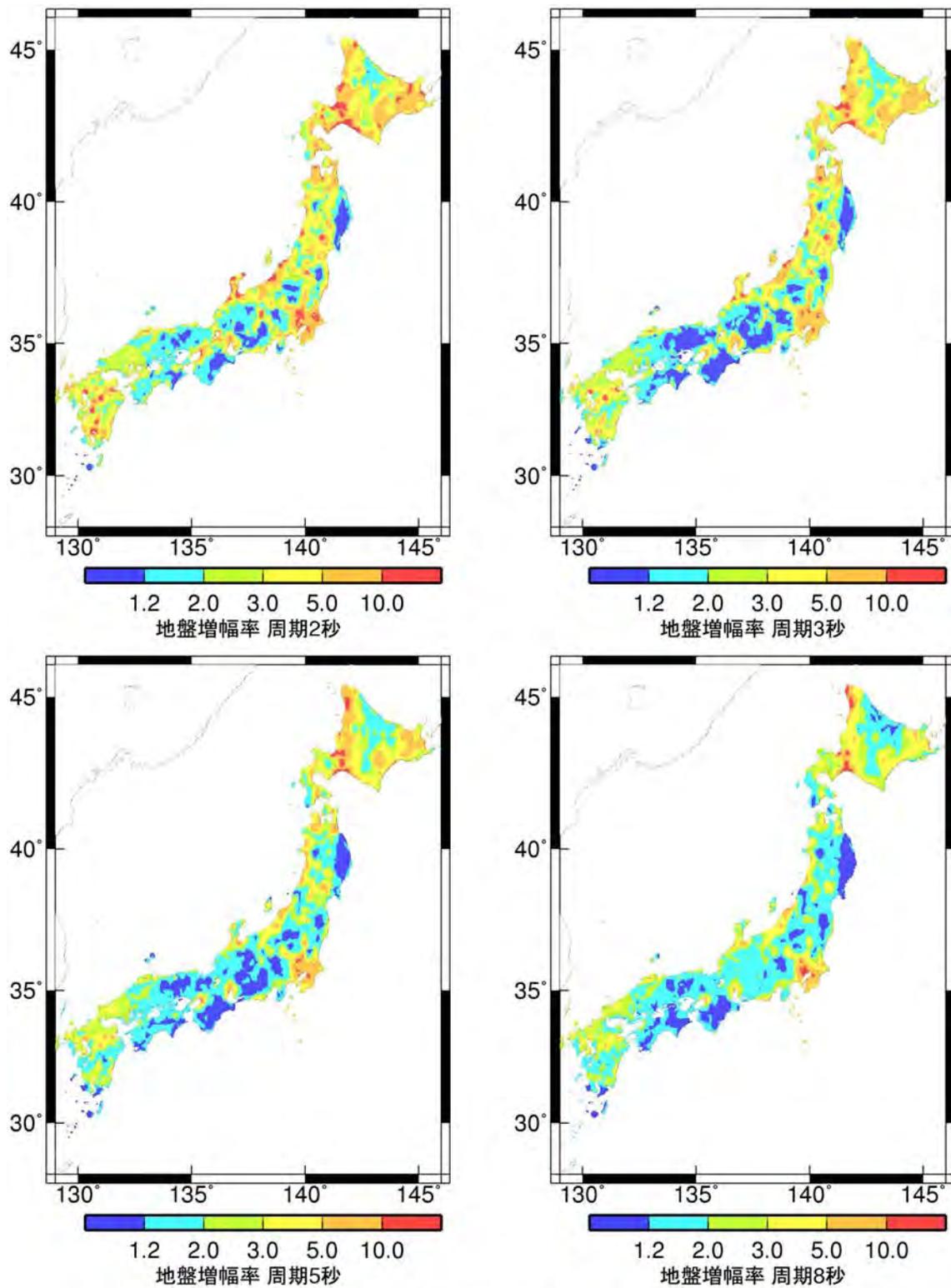
S_A h=5 %: 水平成分(追加した観測点)

図 3. 4. 7 追加した気象庁 95 型観測点及び工学院大学の位置と加速度応答スペクトルの地盤増幅率



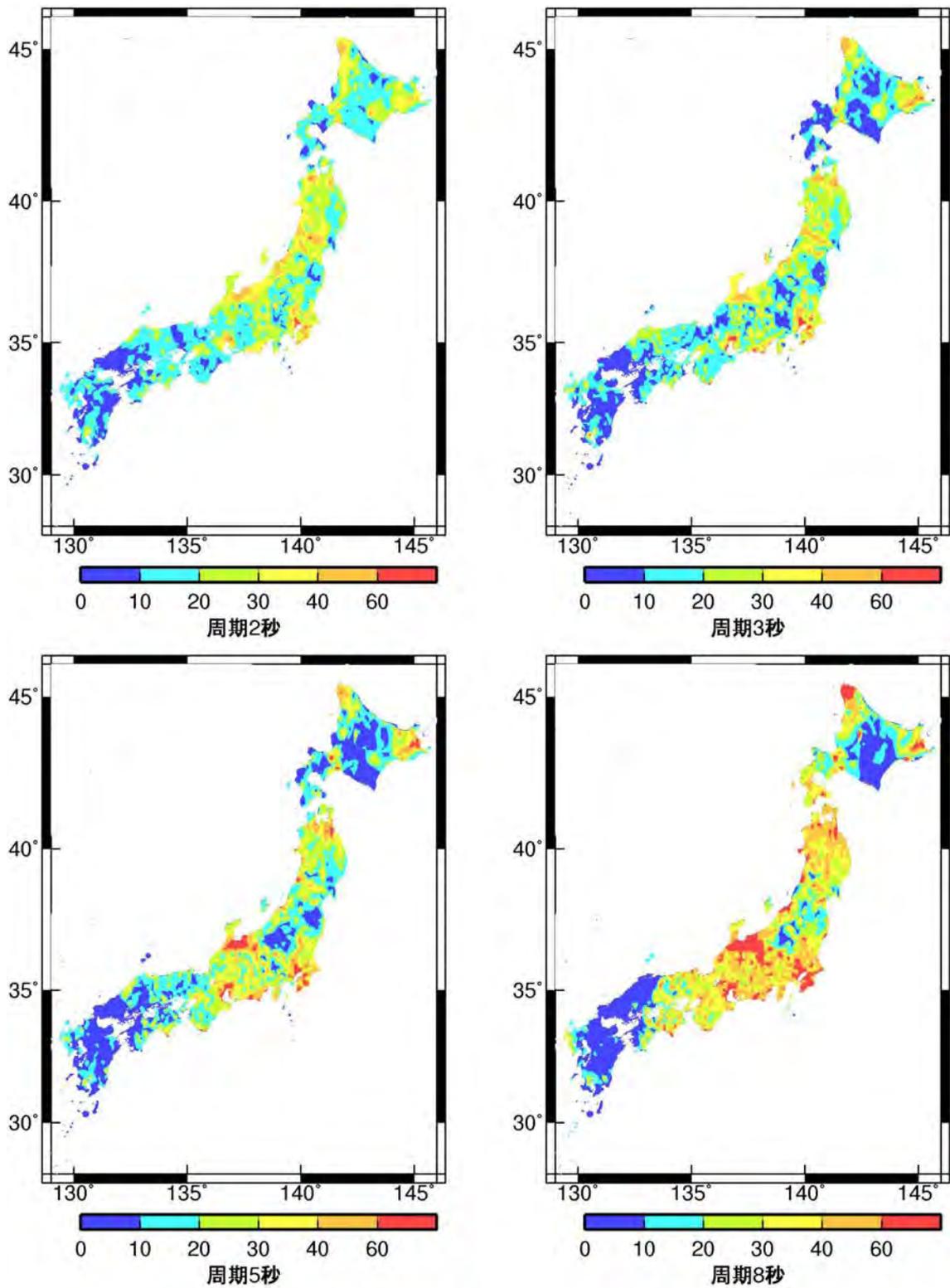
S_A h=5 %: 水平成分

図 3.4.8 日本全国の加速度応答スペクトルの旧地盤増幅率



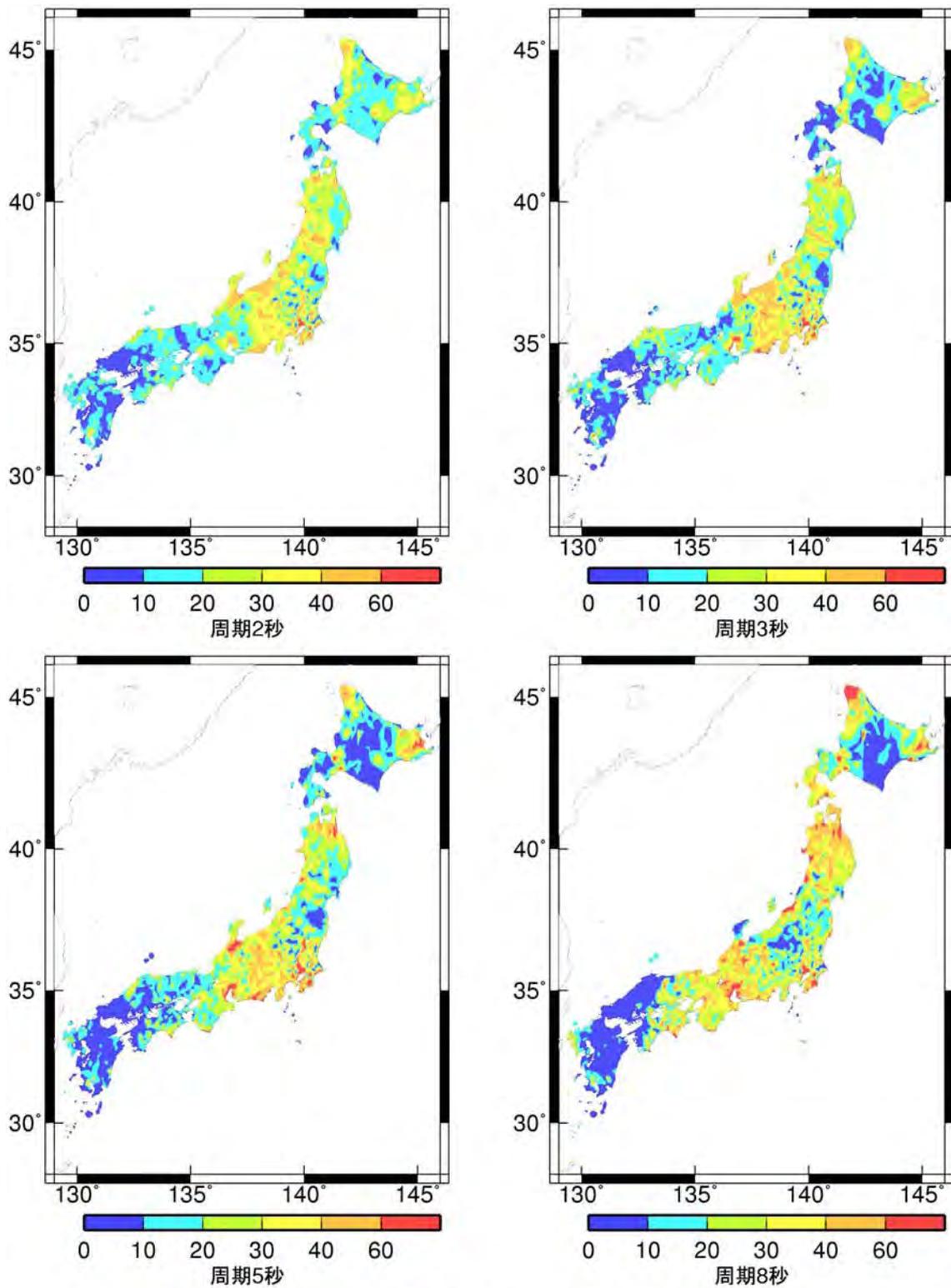
S_A h=5 %: 水平成分(修正後)

図 3. 4. 9 日本全国の加速度応答スペクトルの新地盤増幅率



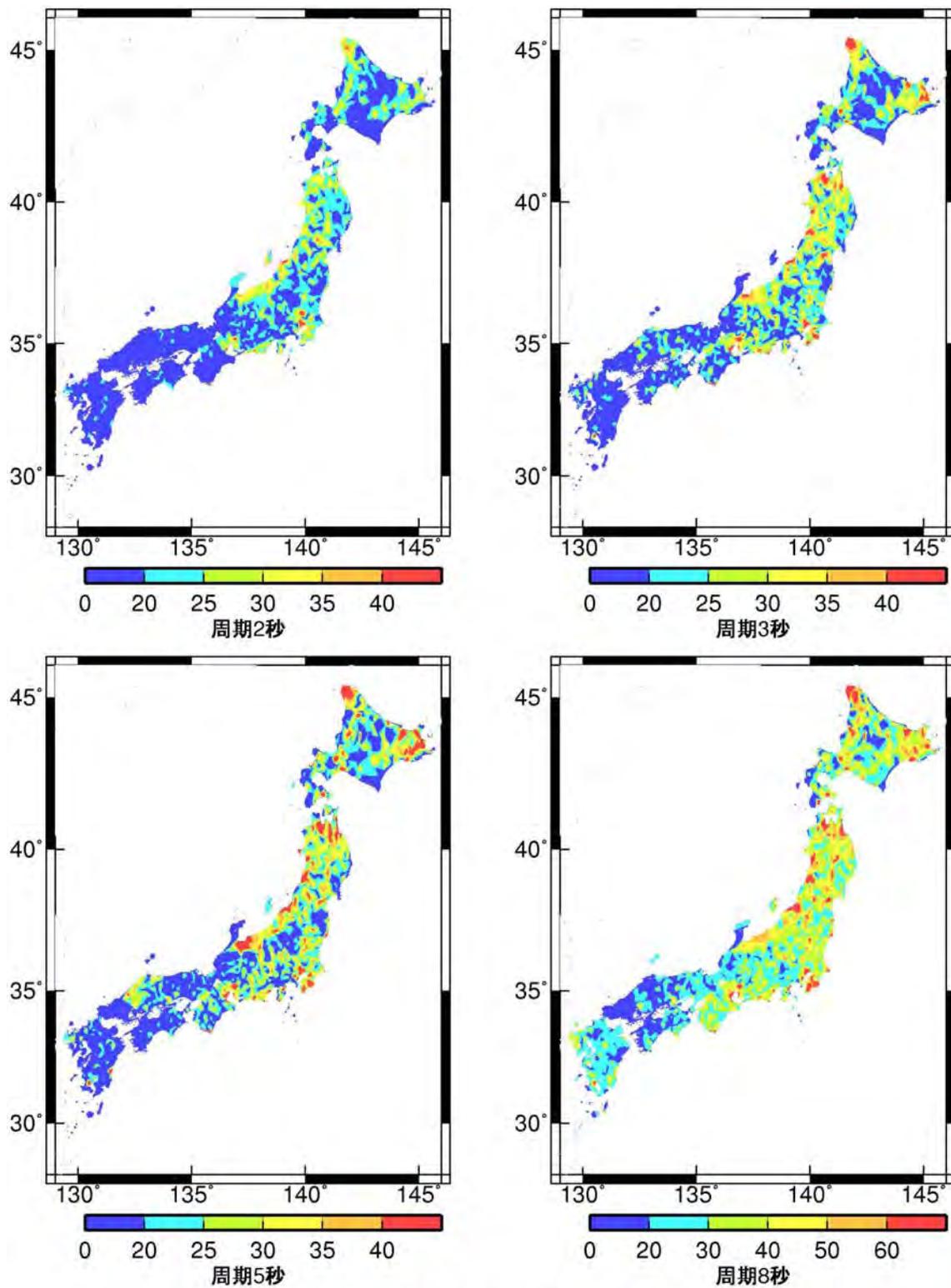
群遅延時間の平均値: 水平成分

図 3.4.10 日本全国の群遅延時間の平均値の旧サイト係数 (海溝型地震)



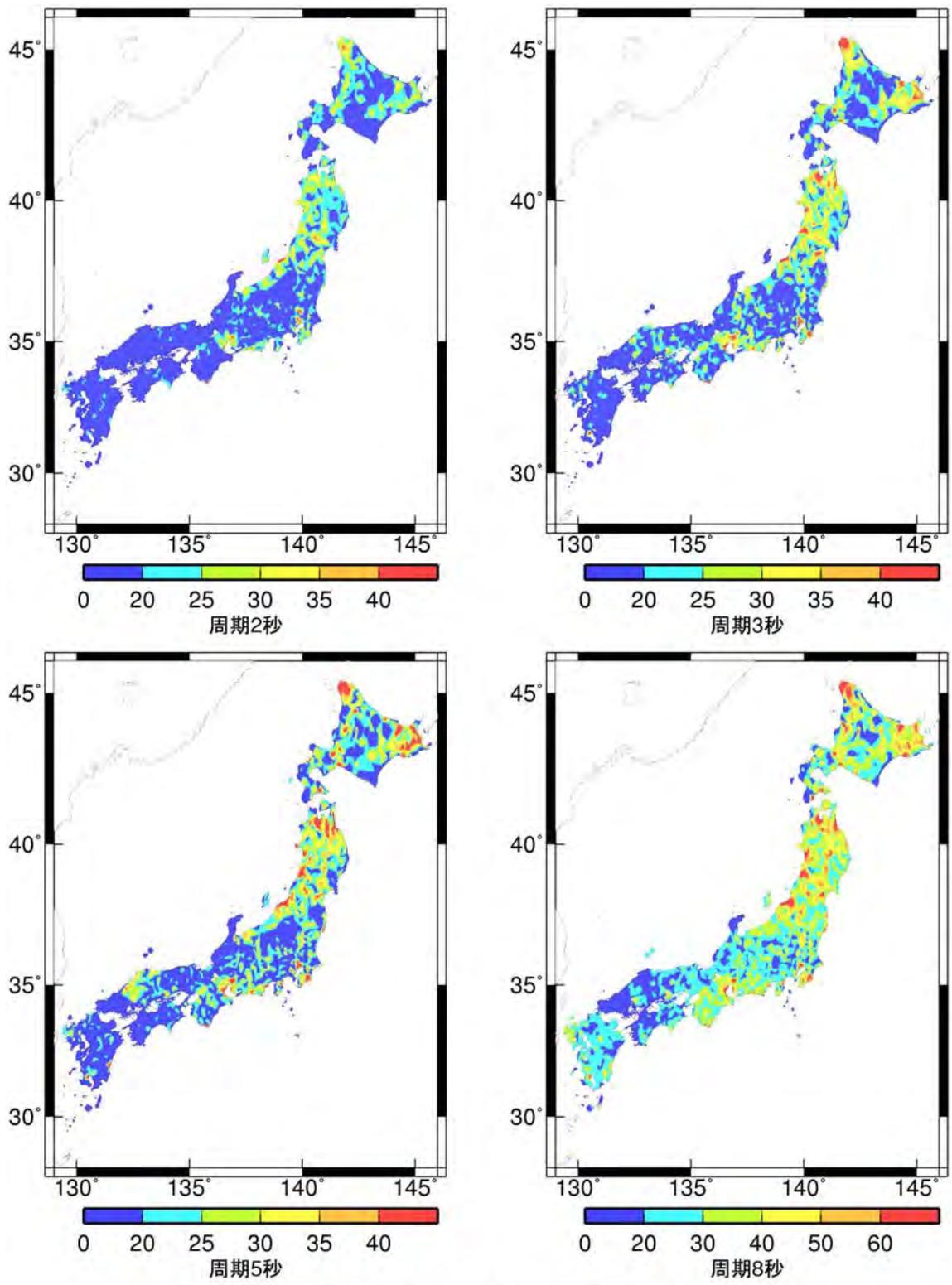
群遅延時間の平均値: 水平成分(修正後)

図 3. 4. 11 日本全国の群遅延時間の平均値の新サイト係数 (海溝型地震)



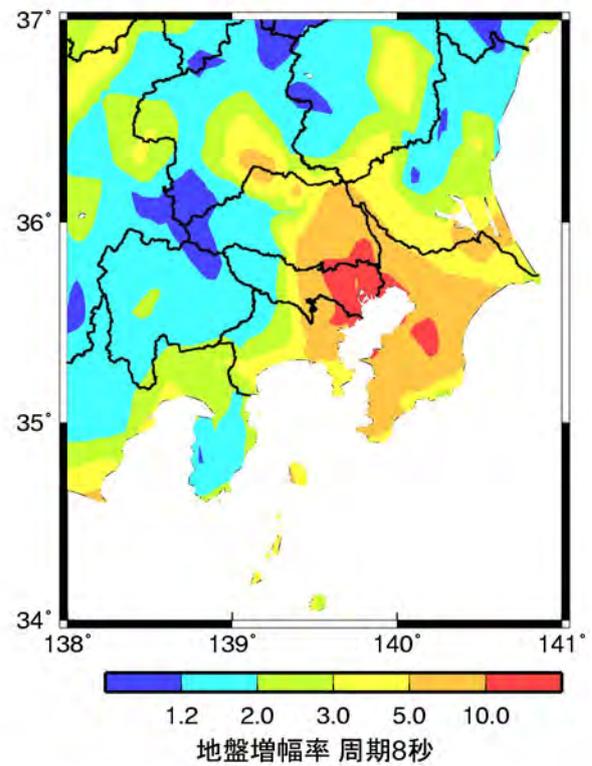
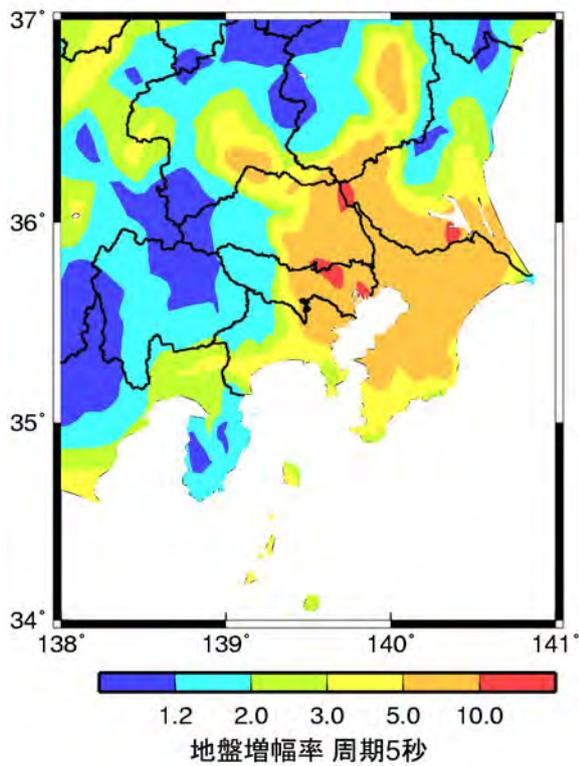
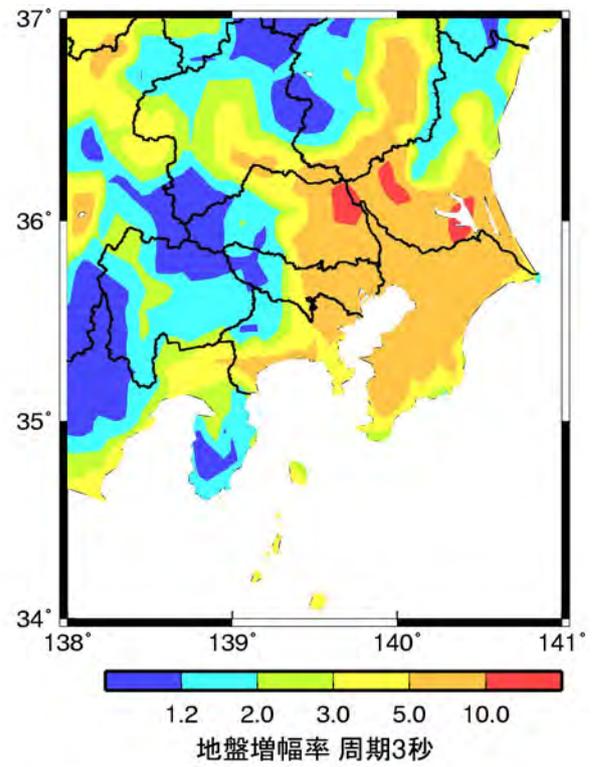
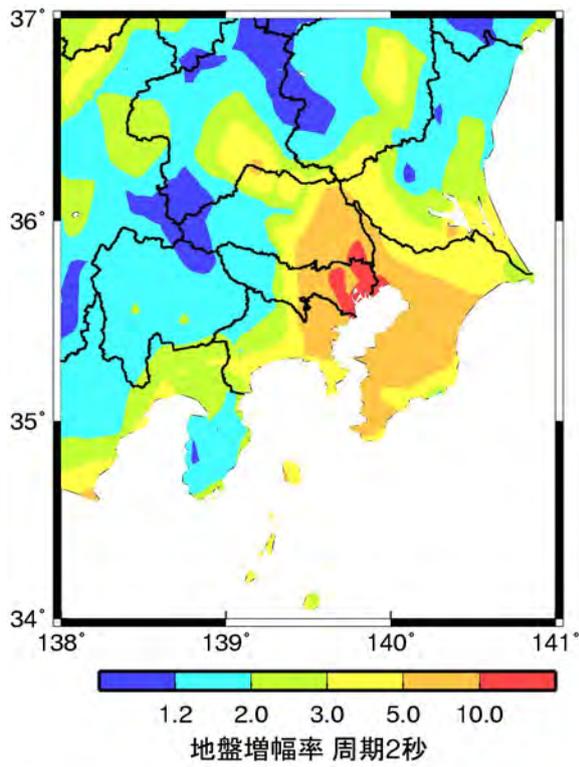
群遅延時間の標準偏差: 水平成分

図 3. 4. 12 日本全国の群遅延時間の標準偏差の旧サイト係数



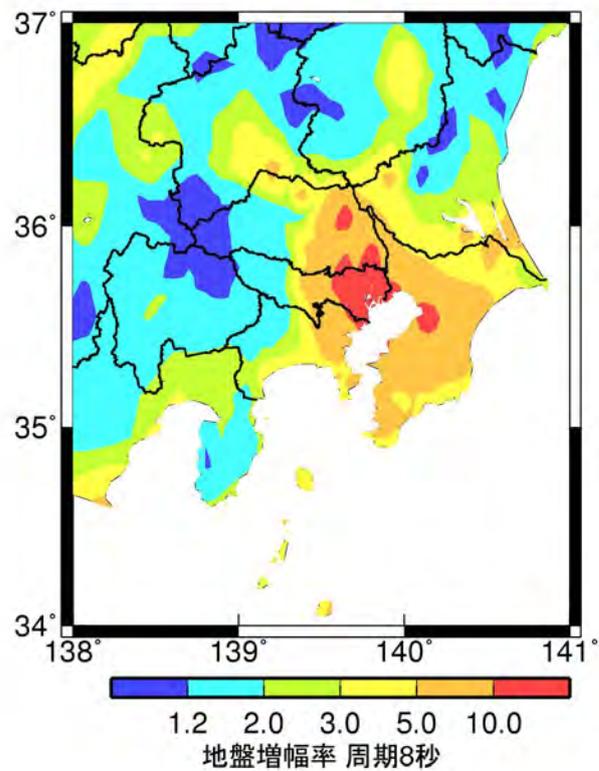
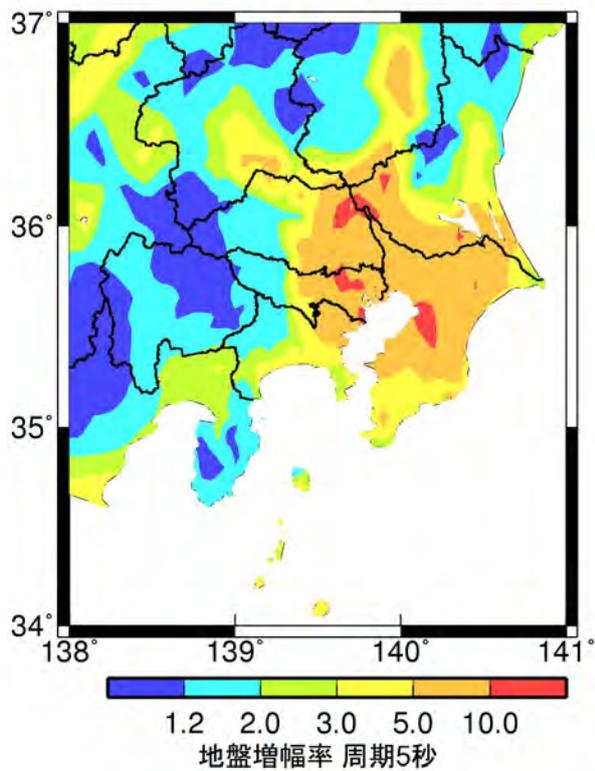
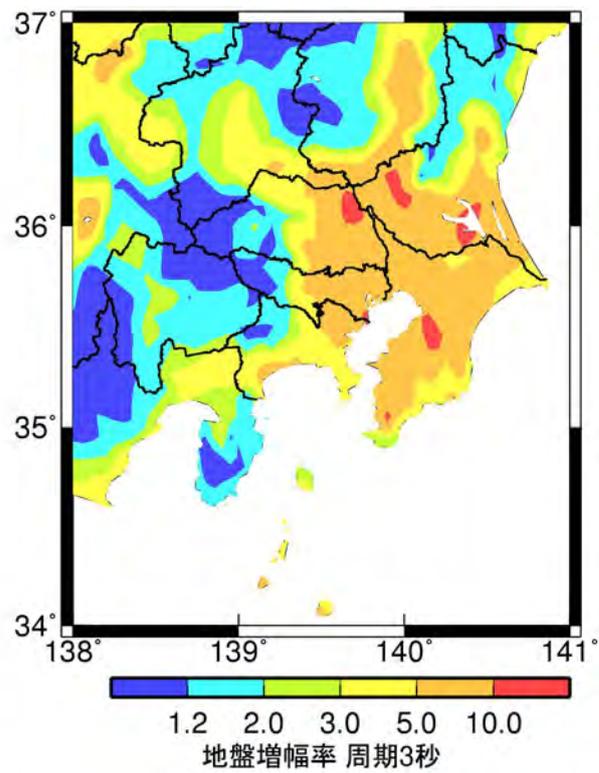
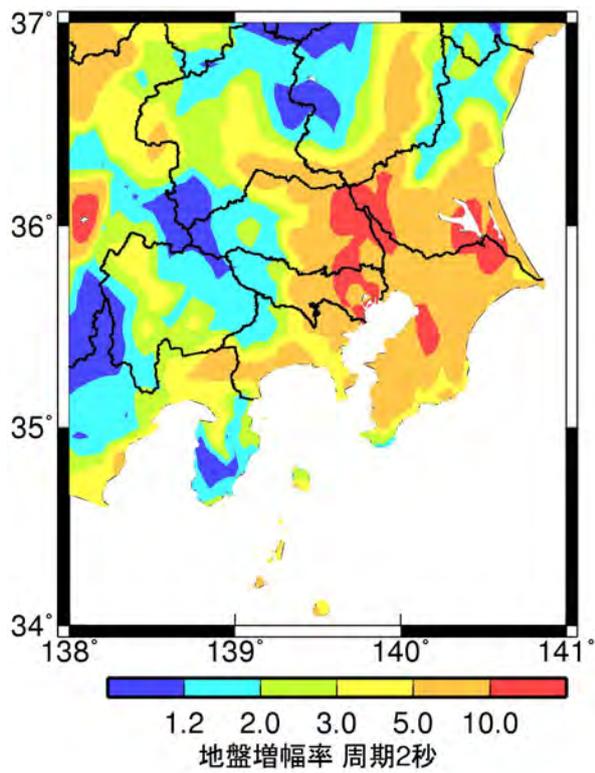
群遅延時間の標準偏差: 水平成分(修正後)

図 3. 4. 13 日本全国の群遅延時間の標準偏差の新サイト係数



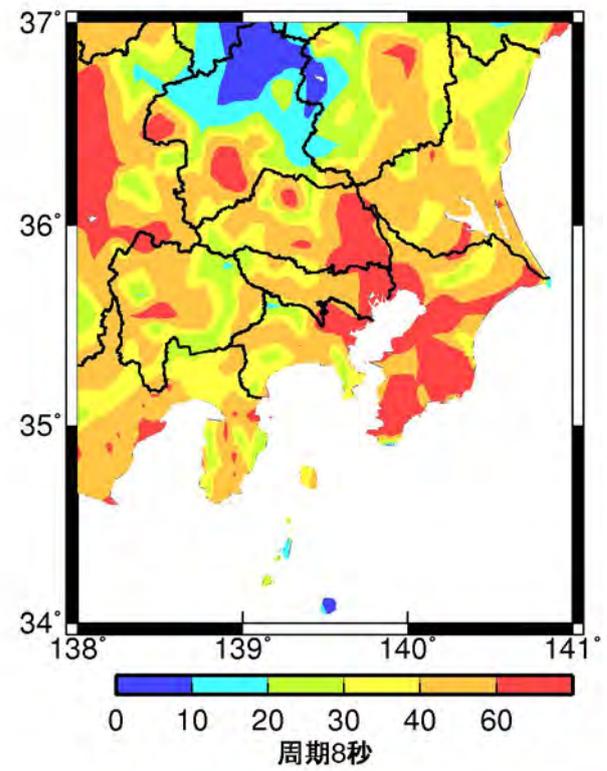
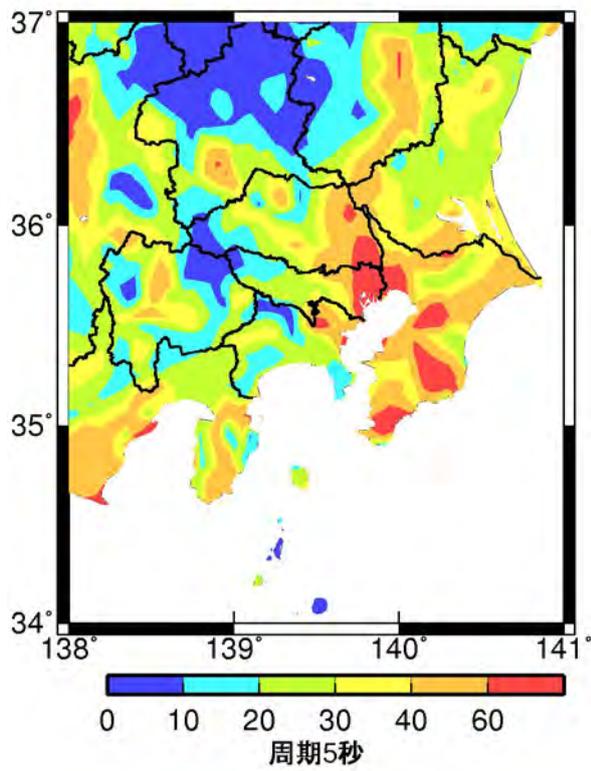
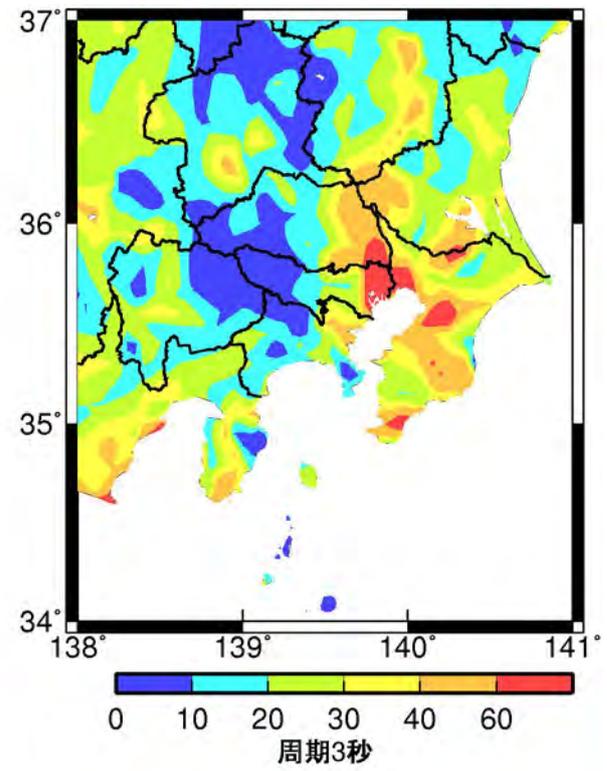
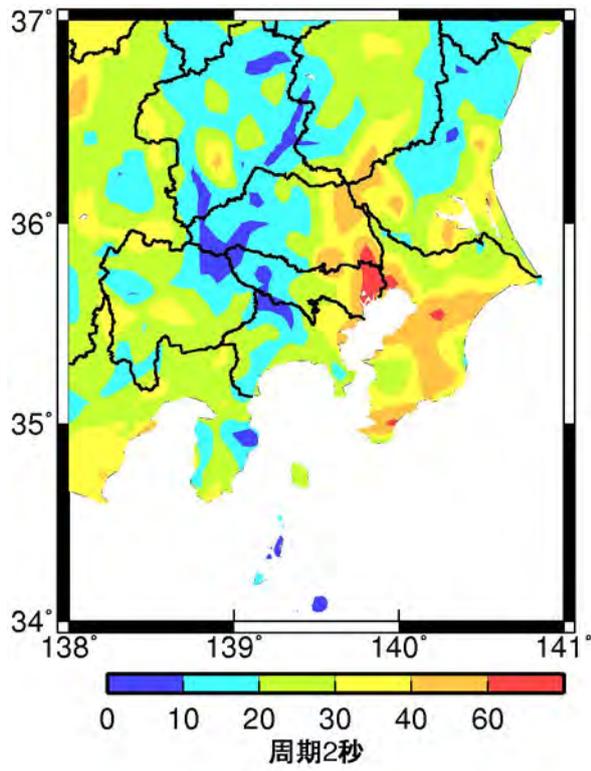
S_A h=5 %: 水平成分

図 3. 4. 14 関東平野での加速度応答スペクトルの旧地盤増幅率



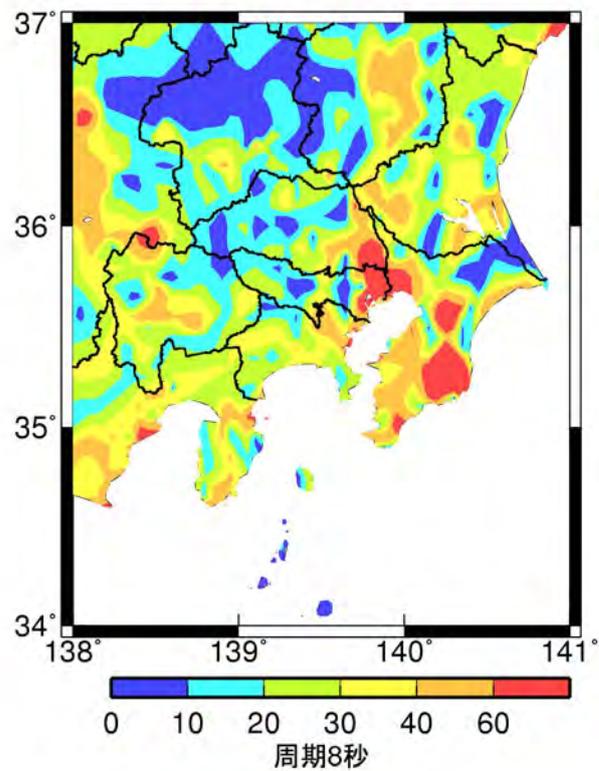
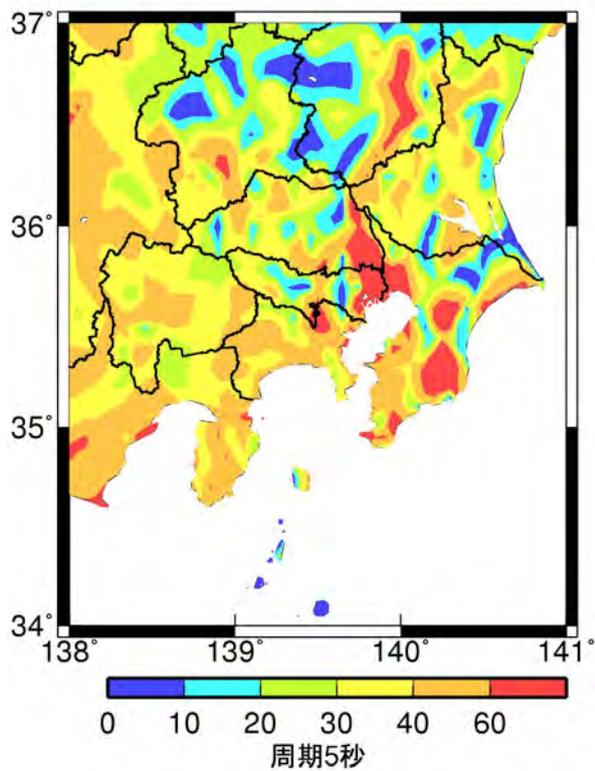
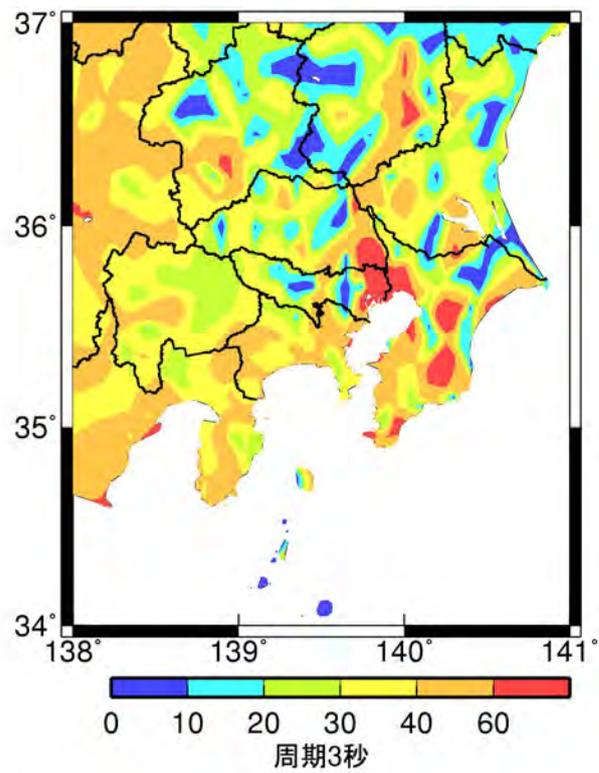
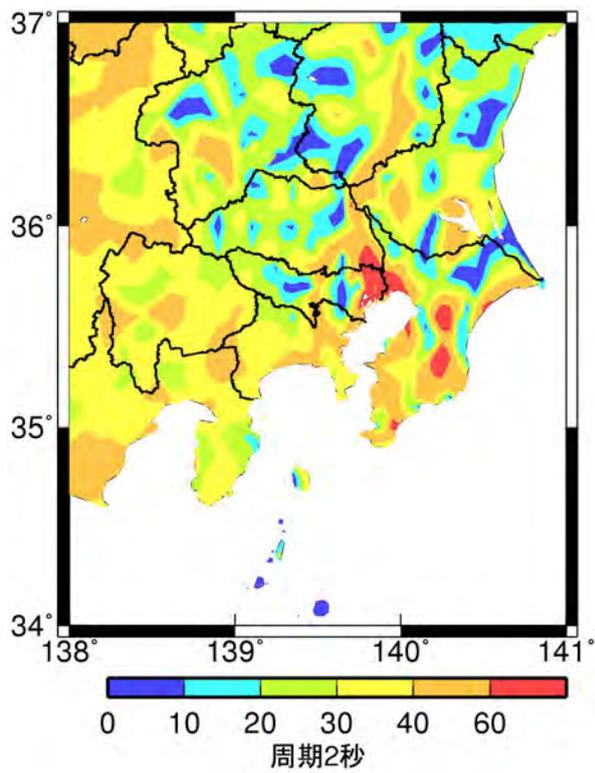
S_A h=5 %: 水平成分(修正後)

図 3. 4. 15 関東平野での加速度応答スペクトルの新地盤増幅率



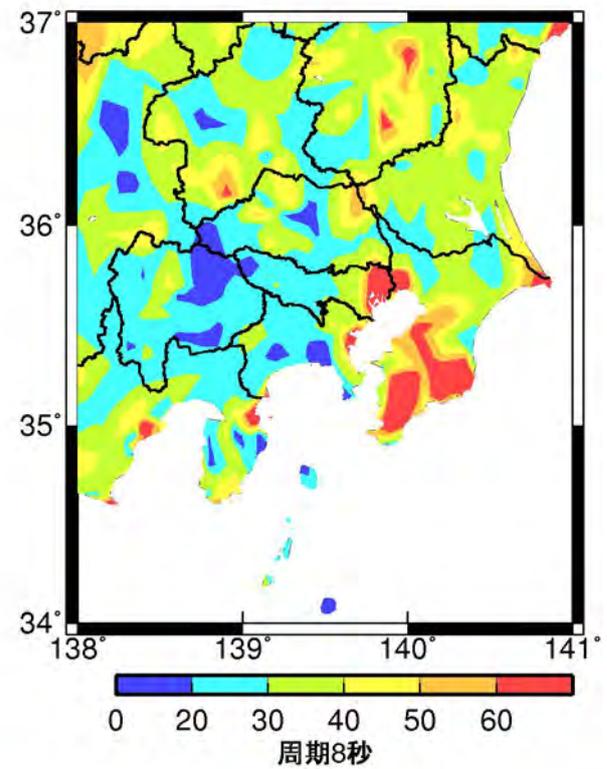
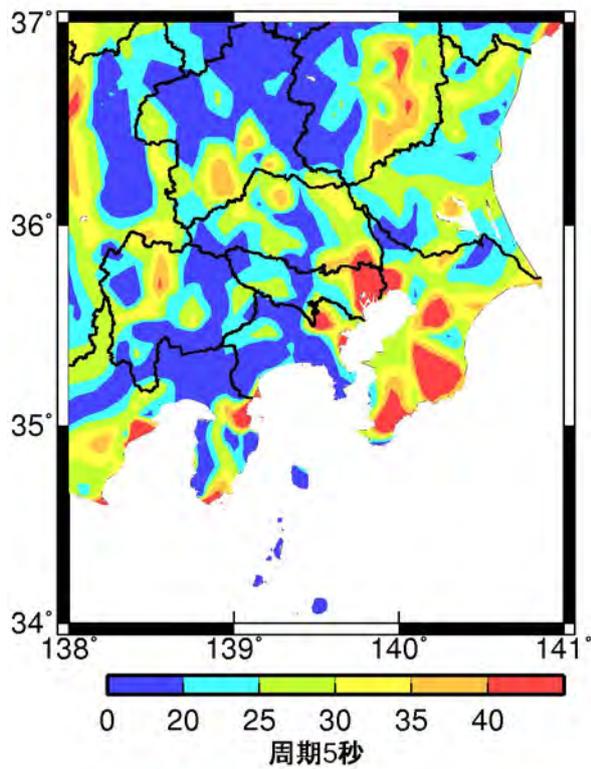
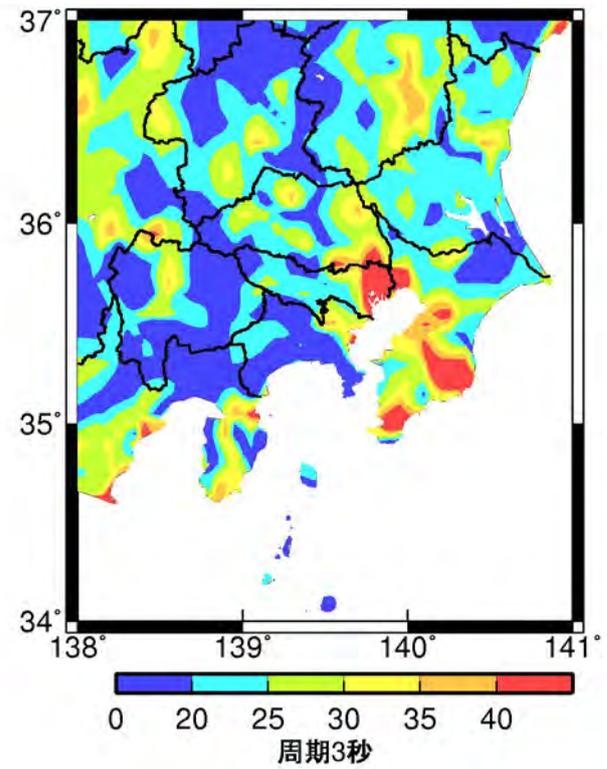
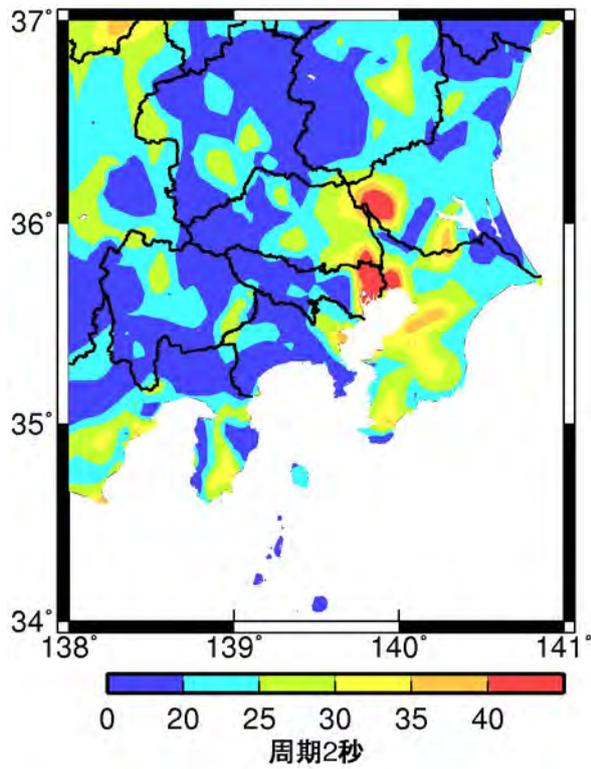
群遅延時間の平均値: 水平成分

図 3. 4. 16 関東平野での群遅延時間の平均値の旧サイト係数



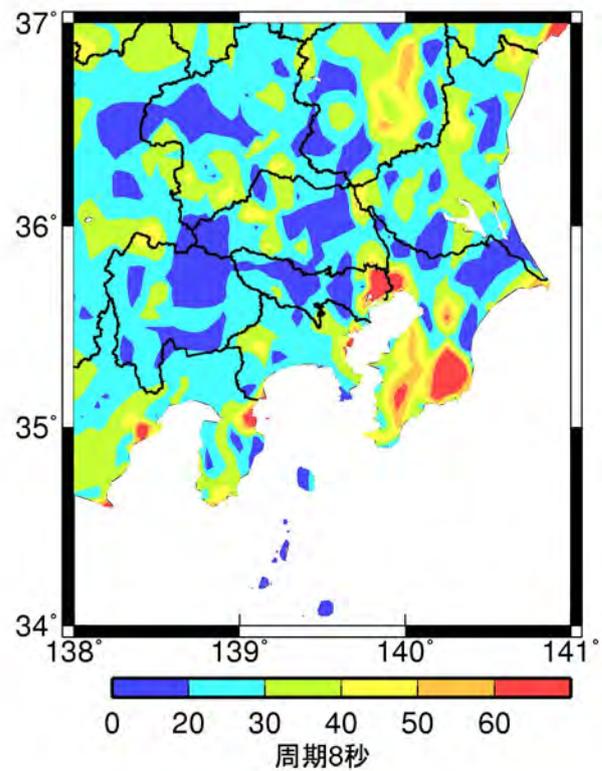
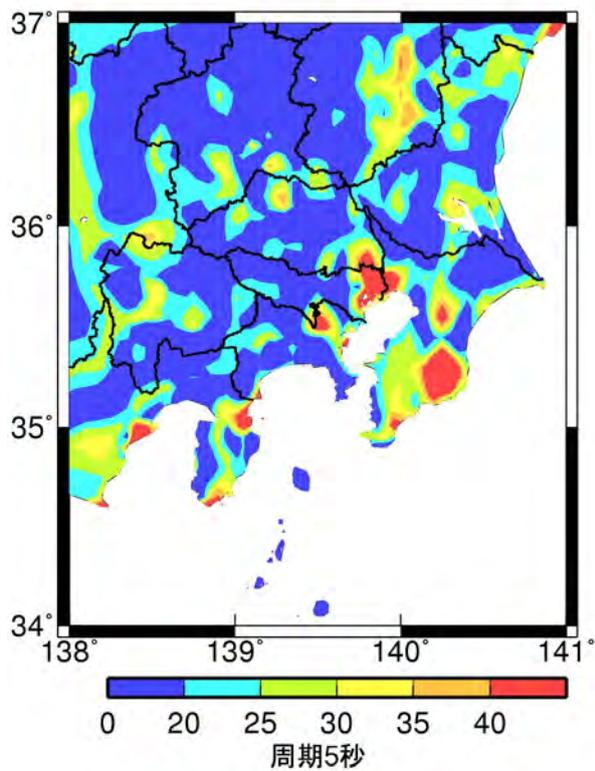
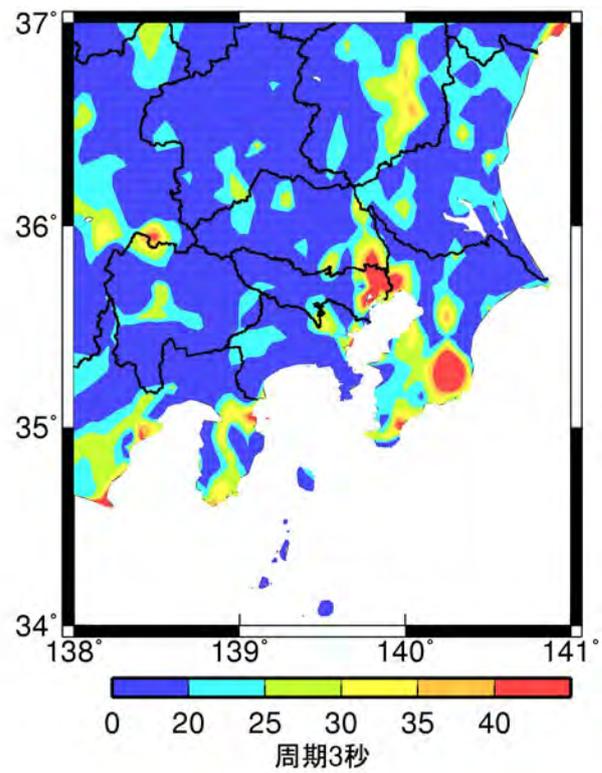
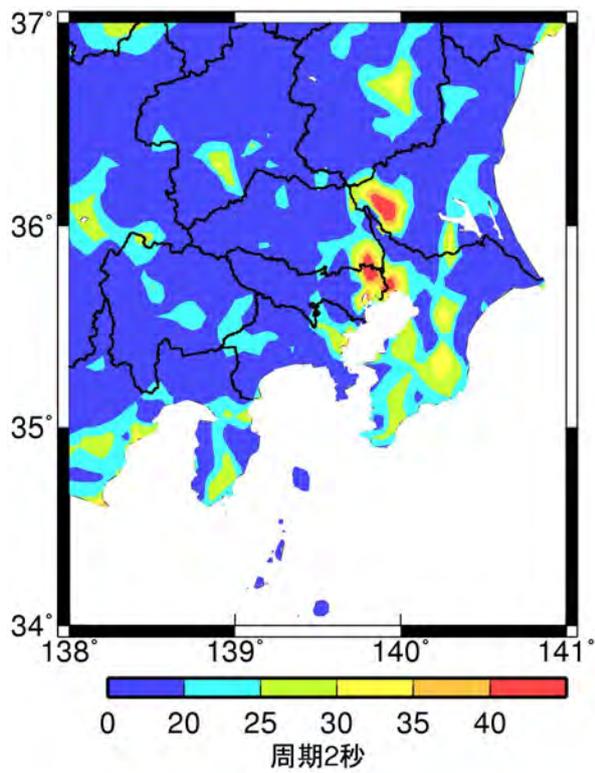
群遅延時間の平均値: 水平成分(修正後)

図 3. 4. 17 関東平野での群遅延時間の平均値の新サイト係数



群遅延時間の標準偏差: 水平成分

図 3. 4. 18 関東平野での群遅延時間の標準偏差の旧サイト係数



群遅延時間の標準偏差: 水平成分(修正後)

図 3. 4. 19 関東平野での群遅延時間の標準偏差の新サイト係数

3-5 巨大海溝型地震に対する長周期時刻歴波形の予測

3-4 で示した改良されたサイト係数を用いた経験式に基づき、巨大海溝型地震に対する長周期時刻歴波形の予測を行う。さらに、ここで計算した予測波形と既往の研究の予測波形との比較を行う。長周期時刻歴波形作成方法については、第3章の3-1の記述及び佐藤・他(2010)を参照されたい。

(1) 震源モデルと予測地点および計算条件

予測地点は、図3.5.1に示した濃尾平野のAIC003(津島)、AIC004(名古屋)、大阪平野のOSKH02(此花)、OSK005(大阪)、関東平野のKGIN(新宿:工学院大学)、K-NETのTKY016(東雲)、気象庁95型のE4E(大手町)とE56(横浜)である。これらの観測点での、減衰定数5%の加速度応答スペクトル $S_A(5\%)$ の地震基盤から地表までの増幅率、群遅延時間の平均値 μ_{tgr} と標準偏差 σ_{tgr} のサイト係数(海溝型地震)を図3.5.2~図3.5.4に示す。なお、図3.5.2~図3.5.4は水平成分に対する結果であり、以降の予測波もすべて水平成分である。

予測の対象とした巨大海溝型地震は、表3.5.1に示す南海地震、東南海地震、南海・東南海地震、東南海・東海地震(新東海地震)の4つである。表3.5.2には、本検討と既往の文献による地震規模をまとめて示す。本検討の南海トラフ沿いの想定地震の震源モデルは、中央防災会議の震源モデルに基づく鶴来・他(2005)、佐藤・他(2006)に基づいている。このように震源モデルを設定した理由は以下の通りである。

- 連動型の地震の破壊開始点の位置や破壊伝播速度が規定されているものは、中央防災会議とこれに準じた鶴来・他(2005)、佐藤・他(2006)、宮腰・他(2005)に限られる。
- 中央防災会議や宮腰・他(2005)の巨視的断層面は、複数の小断層でモデル化された曲面断層であるのに対して、鶴来・他(2005)、佐藤・他(2006)は矩形断層である。矩形断層であれば、断層最短距離の計算は簡単である。
- 鶴来・他(2005)、佐藤・他(2006)の地震規模は、ほぼ中央防災会議の設定したものと同等である。中央防災会議の設定した地震規模は、推本の全国地震動予測地図(確率論的予測地図)で設定した地震規模より、東海・東南海地震のみ0.1小さいが、他は同じか0.1から0.2大きく、設計的には安全側の評価となる。

図3.5.5、図3.5.6には、本検討の想定地震の震源モデルと観測点位置を示す。南海地震、東南海地震、南海・東南海地震の断層モデルは、鶴来・他(2005)の断層モデルの巨視的断層面を矩形化して設定した。第2破壊開始点は、鶴来・他(2005)の断層モデルのアスペリティの破壊開始点としている。想定東南海・東海地震は、佐藤・他(2006)の巨視的断層面を用いた。いずれの想定地震の場合も、それぞれの断層面に対して作成した計算波を、破壊伝播速度から算出した破壊開始点の破壊時間差を考慮して足し合わせるにより、最終的な予測波を作成する。破壊伝播は、同心円状と仮定している。なお、経験式のパラメータの最大 M_w は8.2であるから、これ以

上の M_w については外挿である。各検討では、予測波のばらつきをみるために、 $S_A(5\%)$ 、 μ_{tgr} 、 σ_{tgr} の経験式のいずれも平均を用いたケースと、いずれも平均+回帰誤差を用いたケースの 2 ケースで予測波を計算した。また、1つのケース毎に、初期位相が異なる 2つの乱数(乱数 1、乱数 2)を用いて 2 波づつ予測波を計算した。予測波形には、周期 0.1~10 秒のフィルターを施した。

参考として、図 3.5.7 には本検討の震源モデルの根拠とした既往の研究の震源モデルを、図 3.5.8 には他の既往の研究の震源モデルを示す。また、図 3.5.9 には中央防災会議の震源モデル、図 3.5.10 には推本のシナリオ地震による強震動予測で用いられている震源モデル、図 3.5.11 には推本の全国地震動予測地図(確率論的予測地図)で用いられている震源モデル、図 3.5.12 には推本の長周期地震動予測地図に用いられている震源モデルを示す。

(2) 大阪平野と濃尾平野での予測波形

図 3.5.13~図 3.5.16 には、大阪平野と濃尾平野での南海地震、東南海地震、南海・東南海地震、新東海地震(東南海・東海地震)に対する予測波形の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトル $pS_v(5\%)$ を示す。乱数の違いにより応答スペクトルが異なるのは、複数の断層に対して計算した波形を時刻歴で足し合わせるためである。図 3.5.17~図 3.5.48 には、予測波の加速度波形と速度波形を示す。

図 3.5.49 には、OSKH02 での南海地震、東南海地震、南海・東南海地震、東南海・東海地震に対する予測波の $pS_v(5\%)$ を、図 3.5.50 にはこれらの地震に対する AIC003 での予測波の $pS_v(5\%)$ を示す。OSKH02 では南海・東南海地震で $pS_v(5\%)$ が大きく、AIC003 では南海・東南海地震、想定東南海・東海地震、想定東南海地震の $pS_v(5\%)$ が同程度で大きい。図 3.5.51、図 3.5.52 には、経験式の平均を用いた OSKH02、AIC003 での予測波の速度波形を示す。OSKH02 では、東南海地震の継続時間が南海地震より短く、南海・東南海地震の継続時間は、東南海地震とほとんど変わらない。AIC003 では、南海地震で振幅が小さく、他の 3 地震では継続時間、最大速度とも同程度である。

図 3.5.53~図 3.5.55 には、南海地震に対する本検討の予測波と、長周期が三次元有限差分法により計算されている既往の予測波(鶴来, 2005: 関口・他, 2006: 釜江・川辺, 2006)の擬似速度応答スペクトル、加速度波形、速度波形の比較を示す。本検討の予測波、既往の予測波とも、周期 0.1~10 秒のフィルター波である。関口波は、H20 年度に用いた予測波ではなく 2008 年 2 月の修正版の N12_6 である。なお、釜江波は周期 2.5 秒以上のみの波であるため、加速度波形は示さない。本検討の予測波は、経験式の回帰誤差(標準偏差)を考慮すれば、既往の予測波とほぼ整合している。

次に、東南海・東海地震に対する本検討の予測波と宮腰・他(2005)の予測波との比較を行った。宮腰・他(2005)の予測波は、経験的グリーン関数法に基づき推定された名古屋市三の丸地区における予測波形である。宮腰・他(2005)で用いた断層モデルの地震モーメントは $3.11 \times 10^{28} \text{ dyne} \cdot \text{cm}$ であり、本検討の方が宮腰・他(2005)より 1.3 倍程度大きい。三の丸と AIC004(名古屋)、

AIC003(津島)の位置を図 3.5.56 に示す。基盤深さ(福和・他, 2002)は三の丸と AIC004(名古屋)が近い。そこで、本検討の AIC004(名古屋)での予測波と宮腰・他(2005)の予測波の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルの比較を図 3.5.57 に示す。宮腰・他(2005)の予測波は、周期 3 秒程度で、本検討の予測波の平均+回帰誤差より大きい。図 3.5.58 には、本検討の AIC004(名古屋)での予測波と宮腰・他(2005)の予測波(周期 0.1~10 秒のフィルター波)を示す。本検討の予測波と宮腰・他(2005)の予測波の継続時間は同程度である。

最後に、大阪平野と濃尾平野での本検討と推本の東南海地震の予測波の比較を行う。推本の東南海地震の地震モーメントは、 1.48×10^{28} dyne・cm(山中, 2004)であり、本検討の方が推本の 1.6 倍大きい。周期 10 秒以下はコーナー周期より短いと考えられるため ω^{-2} モデルを仮定すると、スペクトルレベルは $1.6^{1/3}$ 倍=1.2 倍の違いになると換算できる。図 3.5.59、図 3.5.60 には、周期 5 秒、7 秒における推本と本検討の予測波(経験式の平均を用い、乱数 2 の場合)の減衰定数 5%の速度応答スペクトル分布を示す。大阪平野では湾岸で大きく、濃尾平野では愛知県の西側と三重県の北側で大きいという傾向が類似している。また、振幅レベルは、本検討のスペクトルの方がやや大きいか同程度である。図 3.5.61、図 3.5.62 には、乱数 1、乱数 2 を用いた場合の大阪平野での減衰定数 5%の速度応答スペクトル分布を周期 3、5、7、9 秒について示す。同様に、図 3.5.63、図 3.5.64 には、乱数 1、乱数 2 を用いた場合の濃尾平野での減衰定数 5%の速度応答スペクトル分布を周期 3、5、7、9 秒について示す。なお、東南海地震に対する個別の予測地点での比較については、推本と同じ震源モデルを用いた予測結果に基づき 3-6 で詳述する。

(3) 関東平野での予測波形

図 3.5.65~図 3.5.66 には、関東平野での東南海地震、想定東南海・東海地震に対する予測波形の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトル $pS_v(5\%)$ を示す。大手町と横浜での短周期での卓越は、表層地盤での増幅によるものと考えられる。図 3.5.67~図 3.5.82 には、東南海地震、東南海・東海地震に対する加速度波形と速度波形を示す。

(4) 予測波形のまとめ

図 3.5.83 には、4 つの想定地震(南海地震、東南海地震、南海・東南海地震、東南海・東海地震)に対する大阪平野と濃尾平野での予測波形の最大速度を示す。(a)が経験式の平均値を用いた場合、(b)が経験式の平均値+回帰誤差を用いた場合である。いずれの地震の場合でも、大阪平野では、OSKH02(此花)が OSK005(大阪)より最大速度が大きく、濃尾平野では AIC003(津島)が AIC004(名古屋)より最大速度が大きい。これは、図 3.5.2 で示した、 $S_A(5\%)$ の地震基盤から地表までの増幅率と整合する。大阪平野では想定南海・東南海地震の最大速度が大きく、濃尾平野では想定南海・東南海地震、想定東南海・東海地震、想定東南海地震の最大速度が同程度で大きい。濃尾平野では、南海地震の最大速度が小さいため、想定東南海地震と想定南海・東南海地震の最

大速度の差が小さい。同様に、想定東南海・東海地震の東海地震の断層は濃尾平野から離れており、規模も小さいため、想定東南海地震と想定東南海・東海地震の最大速度の差が小さい。同様に、図 3.5.84 には、東南海地震、東南海・東海地震に対する関東平野での予測波形の最大速度を示す。図 3.5.2 で示した、 $S_A(5\%)$ の地震基盤から地表までの増幅率でもわかるように、観測点による違いは大きくない。横浜で最大速度が大きいのは、短周期帯域での地盤増幅の影響である、表 3.5.3～表 3.5.6 に、予測波の最大加速度と最大速度をまとめて示す。黄色で示した波形が、後述する検討用建物モデル応答解析用の入力地震動として使用されたものである。

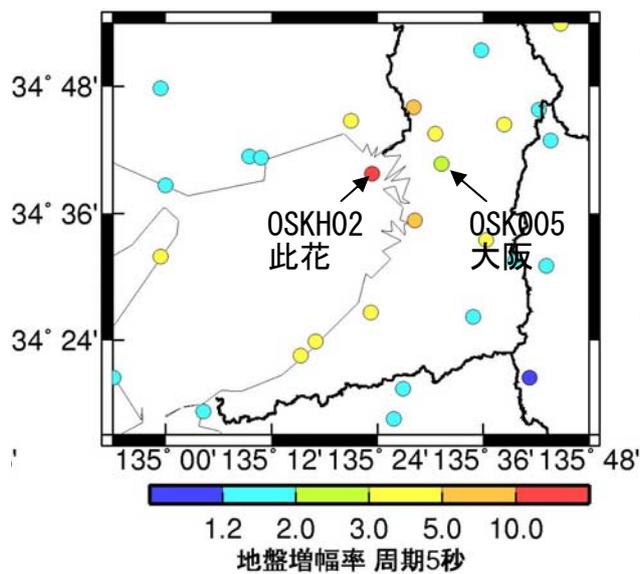
(5) 乱数の違いによる予測波形のばらつきの考察

乱数の違いによる波形の違いについて、南海・東南海地震の此花(OSKH02)での予測波を対象として検討した。図 3.5.85(a)は、前出の経験式の平均を用いた場合と平均+回帰誤差(標準偏差)を用いた場合の減衰定数5%の擬似速度応答スペクトルである。図 3.5.85(b)は、経験式の平均を用いた場合の21個の乱数による予測波の平均と平均+標準偏差である。図 3.5.85(c)は、図 3.5.85(b)の+標準偏差と、経験式の回帰誤差(標準偏差)との比較である。経験式の回帰誤差は周期1～10秒で1.4～1.5倍程度であるのに対して、乱数による標準偏差は1.1～1.2倍程度と小さい。

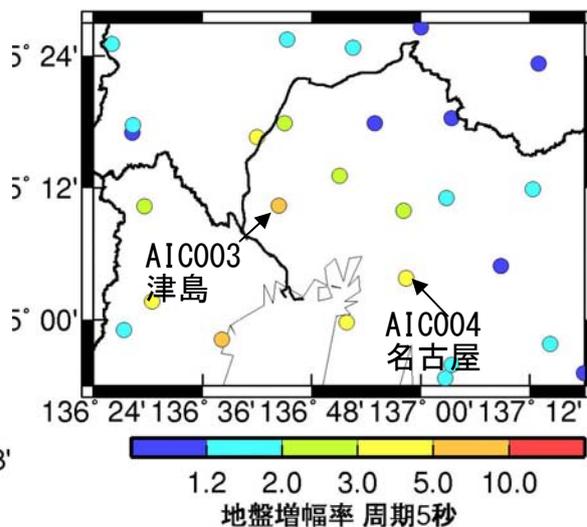
参考文献

- 1) 中央防災会議 東南海，南海地震等に関する専門調査会．第7回資料、
<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai/7/index.html>
- 2) 中央防災会議 東南海・南海地震等に関する専門調査会．第16回、資料3図表集、pp.18-20.
<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai>
- 3) 福和伸夫・佐藤俊明・早川崇・池田善考・野崎京(2002)．濃尾平野の地盤調査とそのモデル化、月刊地球 号外37号、pp.108-118.
- 4) 釜江克宏・川辺秀憲(2006)．南海地震における近畿圏の強震動予測，第34回地盤震動シンポジウム、日本建築学会、pp.35-40.
- 5) 宮腰淳一・中田猛・福和伸夫・柴田昭彦・白瀬陽一・斎藤賢二(2006)．名古屋市三の丸地区における耐震改修用の基準地震動の作成、日本地震工学会大会、pp.394-395.
- 6) 日本建築学会(2007)．各種波形予測手法に基づいた海溝型巨大地震の予測強震動波形収集資料集、日本建築学会、pp.73-82.
- 7) 鶴来雅人・趙伯明・Petukhin A.・香川敬生(2005)．東南海・南海地震による大阪での強震動予測事例ー広帯域強震動の予測ーシンポジウム論文集、pp.73-82.
- 8) Sato, T., R. W. Graves, and P. G. Somerville(1999)．Three-dimensional finitedifference simulation of long-period strong motion in the Tokyo metropolitan area during the 1990

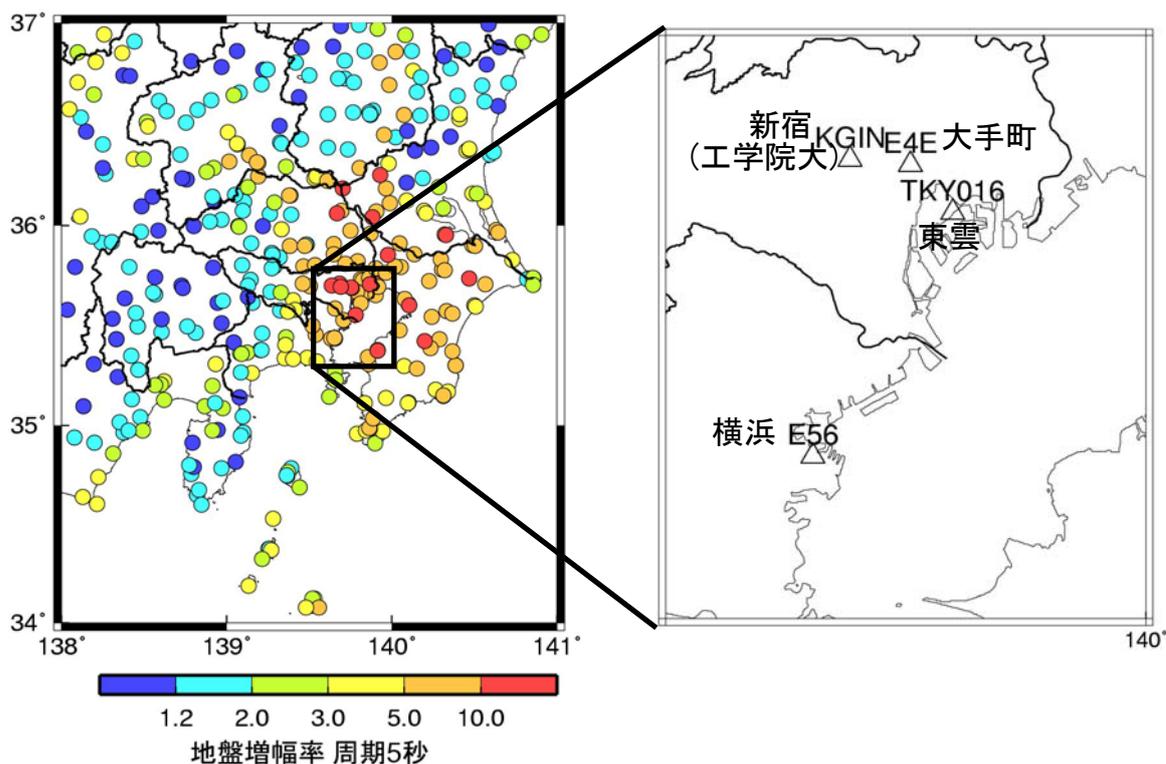
- Odawara earthquake (Mj 5.1) and the great 1923 Kanto earthquake (Ms 8.2) in Japan, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 89, pp. 579- 607.
- 9) 佐藤俊明・藤川智・渡辺基史・久保哲夫・福和伸夫(2006). 愛知県設計用入力地震動研究協議会による想定新東海地震に対する強震動予測、海溝型巨大地震を考えるー広帯域強震動の予測2ーシンポジウム論文集、pp. 101-107.
 - 10) 佐藤智美・大川出・西川孝夫・佐藤俊明・関松太郎(2010). 応答スペクトルと位相スペクトルの経験式に基づく想定地震に対する長周期時刻歴波形の作成、日本建築学会構造系論文集、第 649 号、pp. 521-530.
 - 11) 関口春子・吉見雅行・吉田邦一・堀川晴央(2006). 海溝型巨大地震の広帯域地震動予測のためのマルチスケール不均質モデルと南海地震への適用、海溝型巨大地震を考えるー広帯域強震動の予測2ーシンポジウム論文集、pp. 61-73.
 - 12) Wald, D. J. and P. G. Somerville(1995). Variable-slip rupture model of the great 1923 Kanto, Japan, earthquake, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 85, pp. 159-177.
 - 13) 山中佳子(2004). 1944 年東南海地震と 1945 年三河地震の震源過程、月刊地球、Vol. 26、No. 11、pp. 739-745.
 - 14) 地震調査研究推進本部. 南海トラフの地震を想定した強震動評価手法について (中間報告)、<http://www.jishin.go.jp/main/kyoshindo/pdf/20011207nankai.pdf>
 - 15) 地震調査研究推進本部. 全国地震動予測地図、http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09_yosokuchizu/g_model.pdf
 - 16) 地震調査研究推進本部. 「長周期地震動予測地図」2009 年試作版、http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09_choshuki/choshuki2009_c3.pdf



(a) 大阪平野

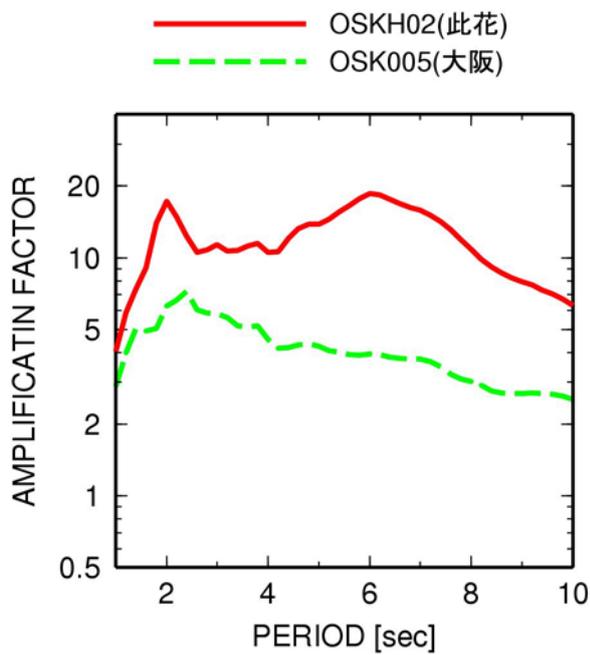


(b) 濃尾平野

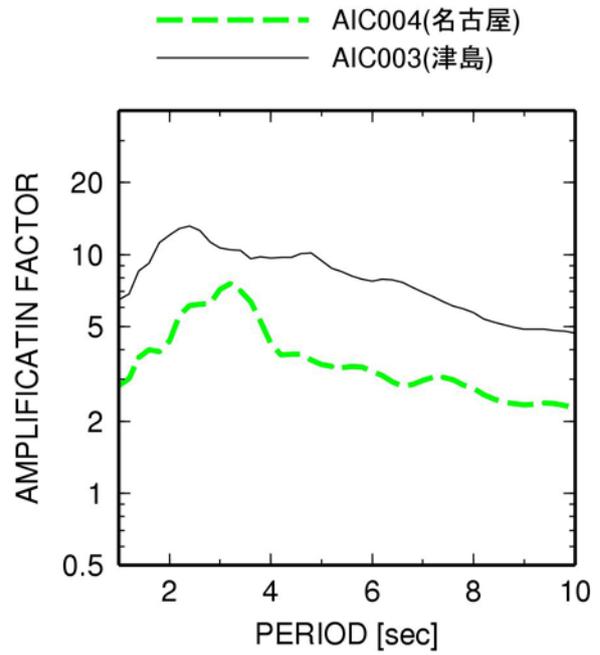


(c) 関東平野

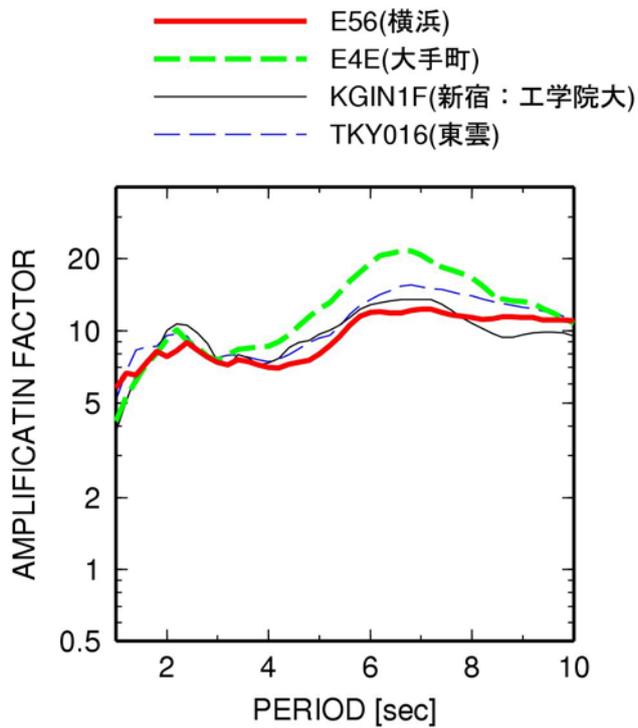
図 3.5.1 大阪平野、濃尾平野、関東平野での予測地点と、減衰定数 5% の加速度応答スペクトルの周期 5 秒における地震基盤からの地盤増幅率



(a) 大阪平野

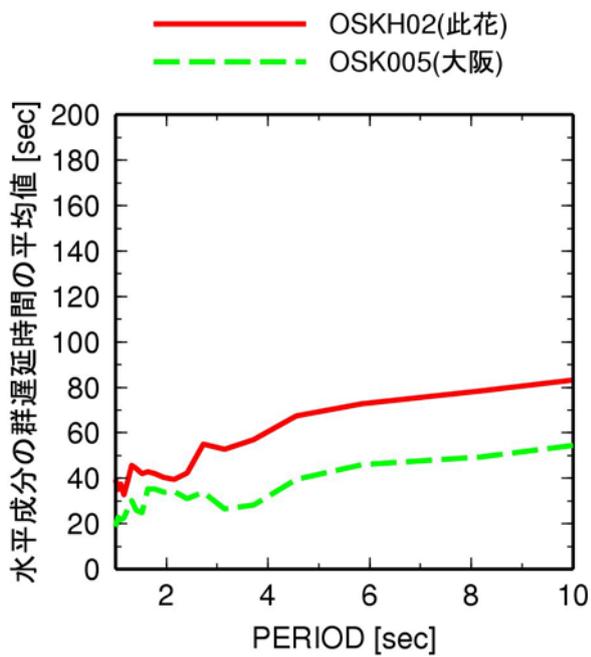


(b) 濃尾平野

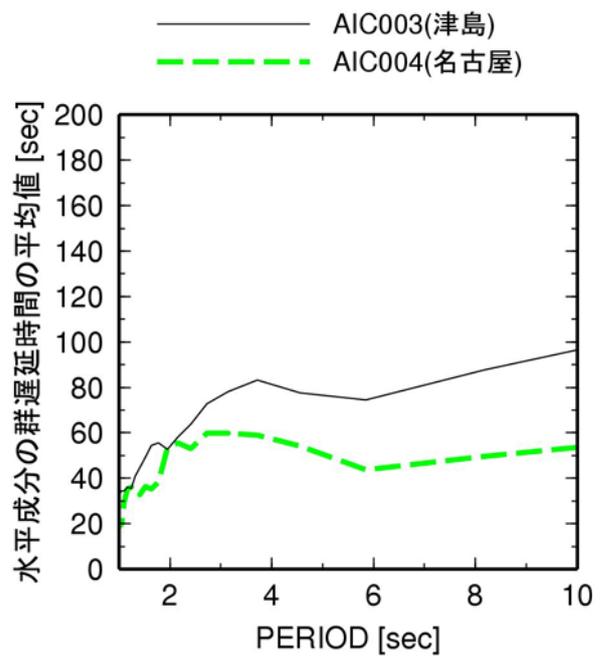


(c) 関東平野

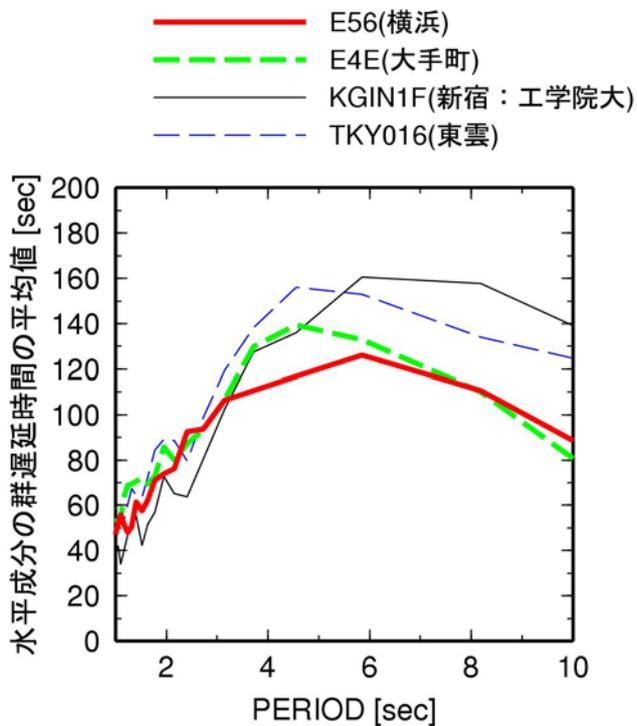
図 3.5.2 加速度応答スペクトル(減衰定数 5%)の地盤増幅率



(a) 大阪平野

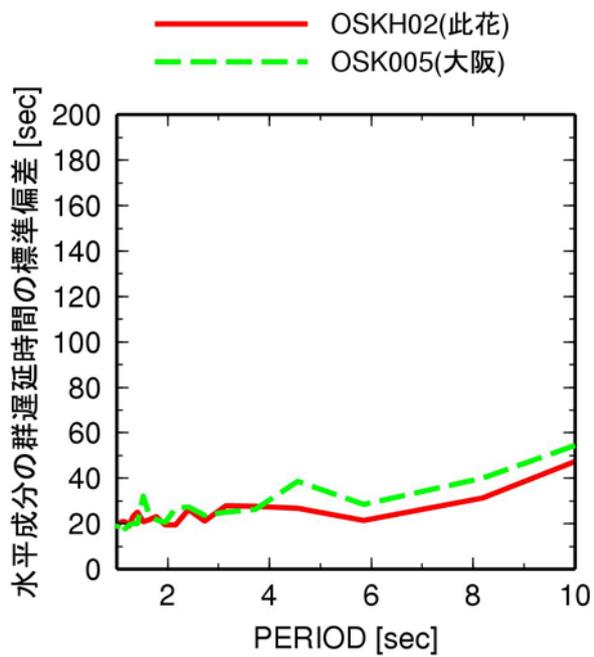


(b) 濃尾平野

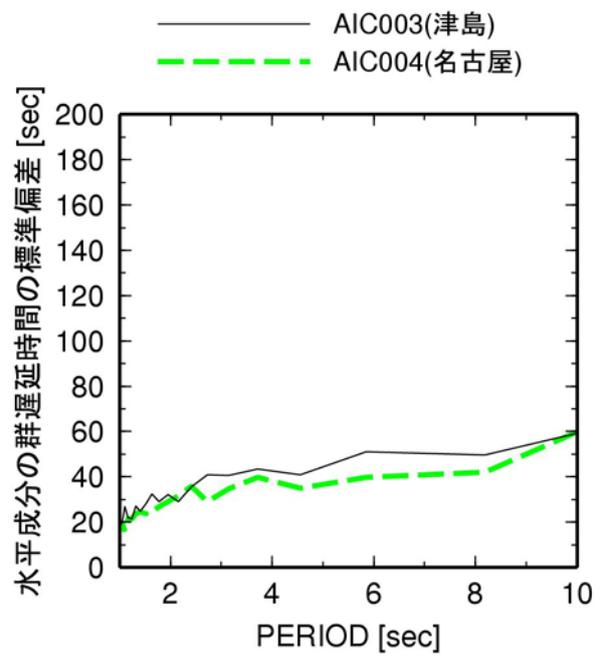


(c) 関東平野

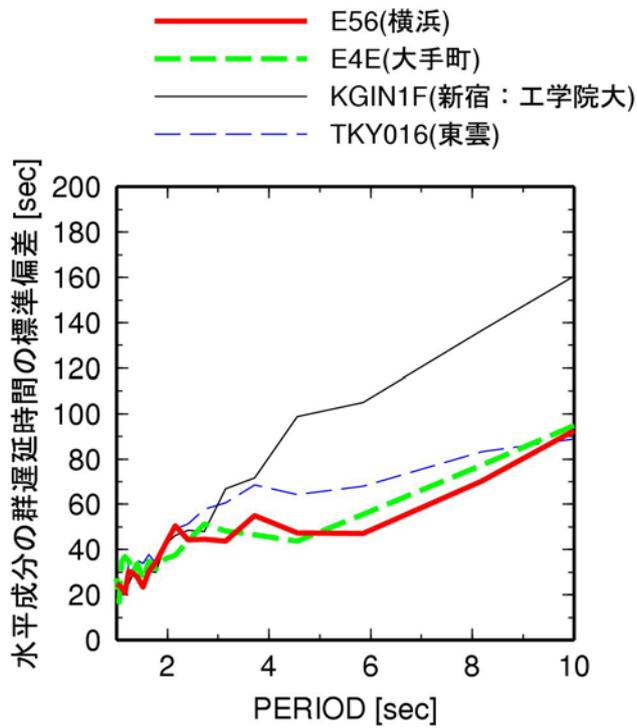
図 3.5.3 群遅延時間の平均値のサイト係数



(a) 大阪平野



(b) 濃尾平野



(c) 関東平野

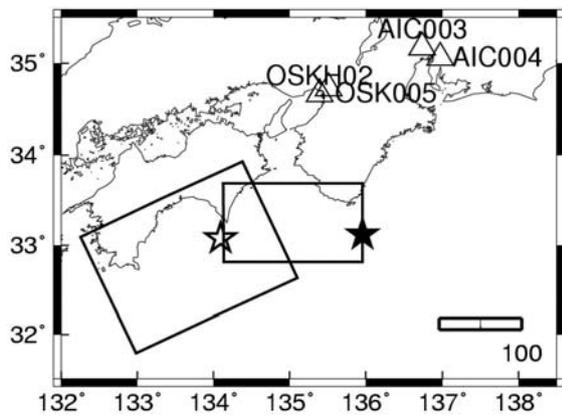
図 3.5.4 群遅延時間の標準偏差のサイト係数

表 3.5.1 本検討で用いた巨大海溝型地震の震源モデルとその地震規模

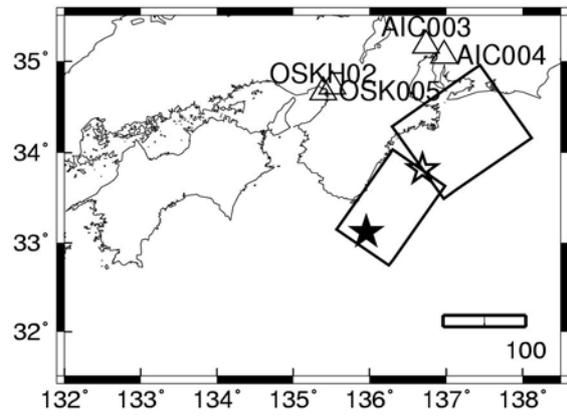
	M_0 (Mw)					断層モデル
	全体	西断層	東断層	西断層	東断層	
南海地震	8.37×10^{28} (8.6)	5.46×10^{28} (8.4)	2.91×10^{28} (8.2)			鶴来・他(2005)
東南海地震	2.38×10^{28} (8.2)			9.01×10^{27} (7.9)	1.48×10^{28} (8.0)	鶴来・他(2005)
南海・東南海地震	1.075×10^{29} (8.6)	5.46×10^{28} (8.4)	2.91×10^{28} (8.2)	9.01×10^{27} (7.9)	1.48×10^{28} (8.0)	鶴来・他(2005)
東南海・東海地震	4.00×10^{28} (8.3)	2.89×10^{28} (8.2)	1.11×10^{28} (8.0)			佐藤・他(2006)

表 3.5.2 本検討と既往の研究の想定地震の震源モデルと地震規模

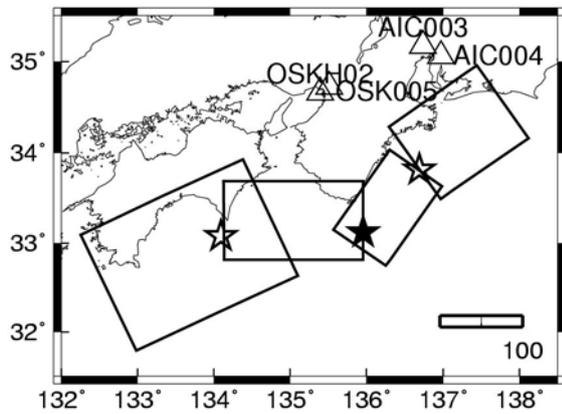
	地震モーメント dyne・cm (Mw)						
	南海	東南海	南海・東南海	東南海・東海	東海・東南海・南海	南海	関東
本検討	東断層					2.91×10 ²⁸ (8.2)	
	西断層					5.46×10 ²⁸ (8.4)	
	東断層		1.48×10 ²⁸ (8.0)			1.48×10 ²⁸ (8.0)	
	西断層		9.01×10 ²⁷ (7.9)			9.01×10 ²⁷ (7.9)	
東海						1.11×10 ²⁸ (8.0)	
全体	8.37×10 ²⁸ (8.55)	2.38×10 ²⁸ (8.2)	1.075×10 ²⁹ (8.6)	4.00×10 ²⁸ (8.3)	なし	7.8×10 ²⁷ (7.9)	
参考文献	鶴来・他	鶴来・他	鶴来・他	佐藤・他			
参考文献中での引用	中央防災会議	中央防災会議	中央防災会議	中央防災会議			Wald and Somerville
南海	8.76×10 ²⁸ (8.6)		8.76×10 ²⁸ (8.6)			8.76×10 ²⁸ (8.6)	
東南海					2.30×10 ²⁸ (8.2)	2.30×10 ²⁸ (8.2)	
東海		2.45×10 ²⁸ (8.2)	2.45×10 ²⁸ (8.2)		1.10×10 ²⁸ (8.0)	1.10×10 ²⁸ (8.0)	
全体	8.76×10 ²⁸ (8.6)	2.45×10 ²⁸ (8.2)	1.12×10 ²⁹ (8.6)	3.40×10 ²⁸ (8.3)		1.22×10 ²⁹ (8.7)	
推本・長期評価	[8.4前後]	[8.1前後]	[8.5前後]				
推本・確率論的予測地図	(8.4)	(8.1)	(8.5)	(8.4)	(8.5)	(8.5)	(7.9)
全体		1.51×10 ²⁸ (8.1)					
参考文献		山中(2004)					
備考		波形インバージョン					
全体	8.34×10 ²⁸ (8.5)	2.15×10 ²⁸ (8.2)					
参考文献	長期評価(M8.4前後)	長期評価(M8.1前後)					
全体	8.34×10 ²⁸ (8.55)						
参考文献	推本・シナリオ地震						
全体	8.75×10 ²⁸ (8.6)						
参考文献	中央防災会議						
全体						3.11×10 ²⁸ (8.3)	
参考文献	中央防災会議						



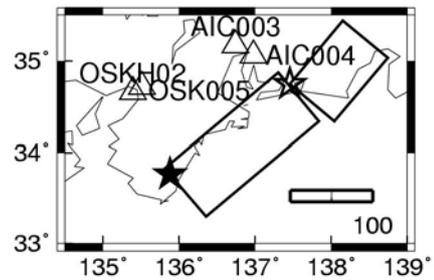
(a) 南海地震:鶴来・他(2005)に準拠



(b) 東南海地震:鶴来・他(2005)に準拠



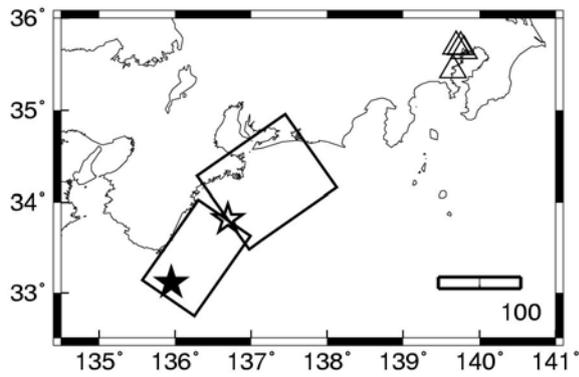
(c) 南海・東南海地震:鶴来・他(2005)に準拠



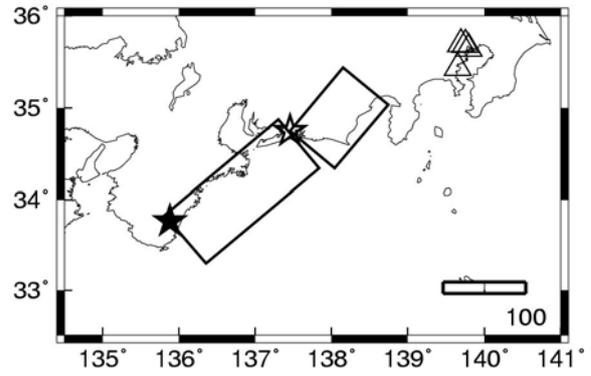
(d) 東南海・東海地震:佐藤・他(2006)

図 3.5.5 想定地震の震源モデルと大阪平野・濃尾平野での予測地点

(★は第1破壊開始点、☆は第2破壊開始点、△は予測地点)



(a) 東南海地震: 鶴来・他(2005)に準拠



(b) 東海・東南海地震: 佐藤・他(2006)

図 3.5.6 想定地震の震源モデルと関東平野での予測地点
 (★は第1破壊開始点、☆は第2破壊開始点、△は予測地点)

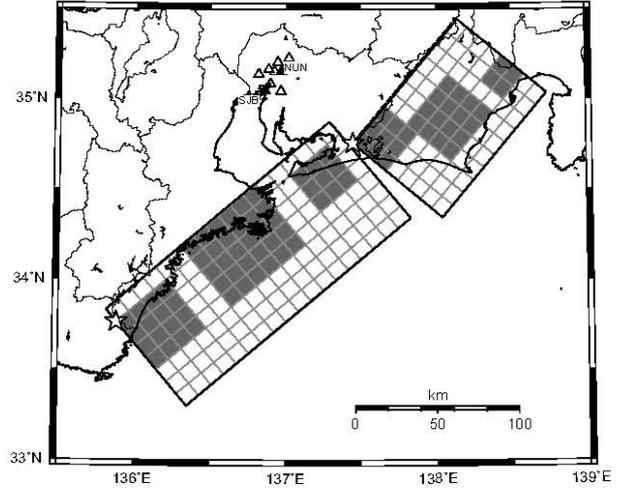
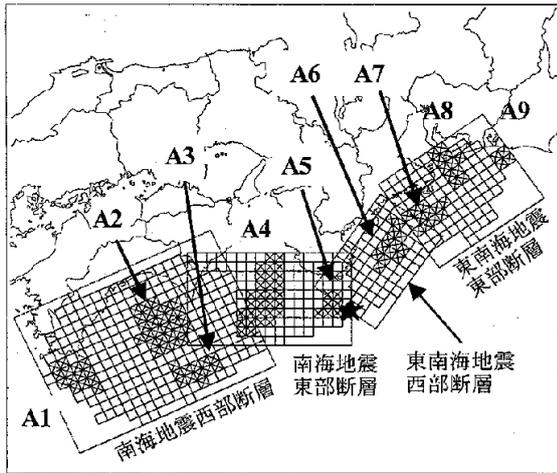


図-2 断層位置図

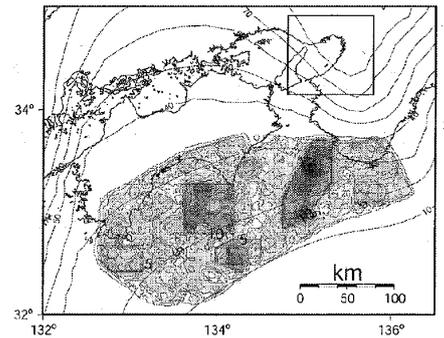
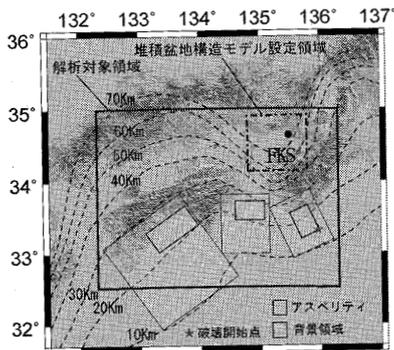
(×およびA1~A9:アスペリティ, ★:破壊開始点)

△▲は計算地点, ☆は破壊開始点で西側断層から破壊, 網がけの矩形はアスペリティ位置.

(a) 南海地震、東南海地震、南海・東南海地震：
鶴来・他(2005)

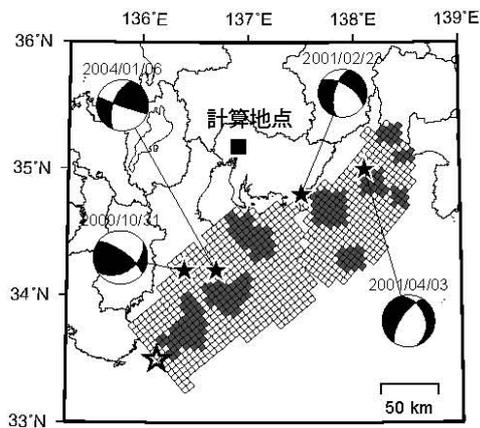
(b) 東海・東南海地震：
佐藤・他(2006)

図 3.5.7 本検討の震源モデルの参考とした既往の研究の震源モデル



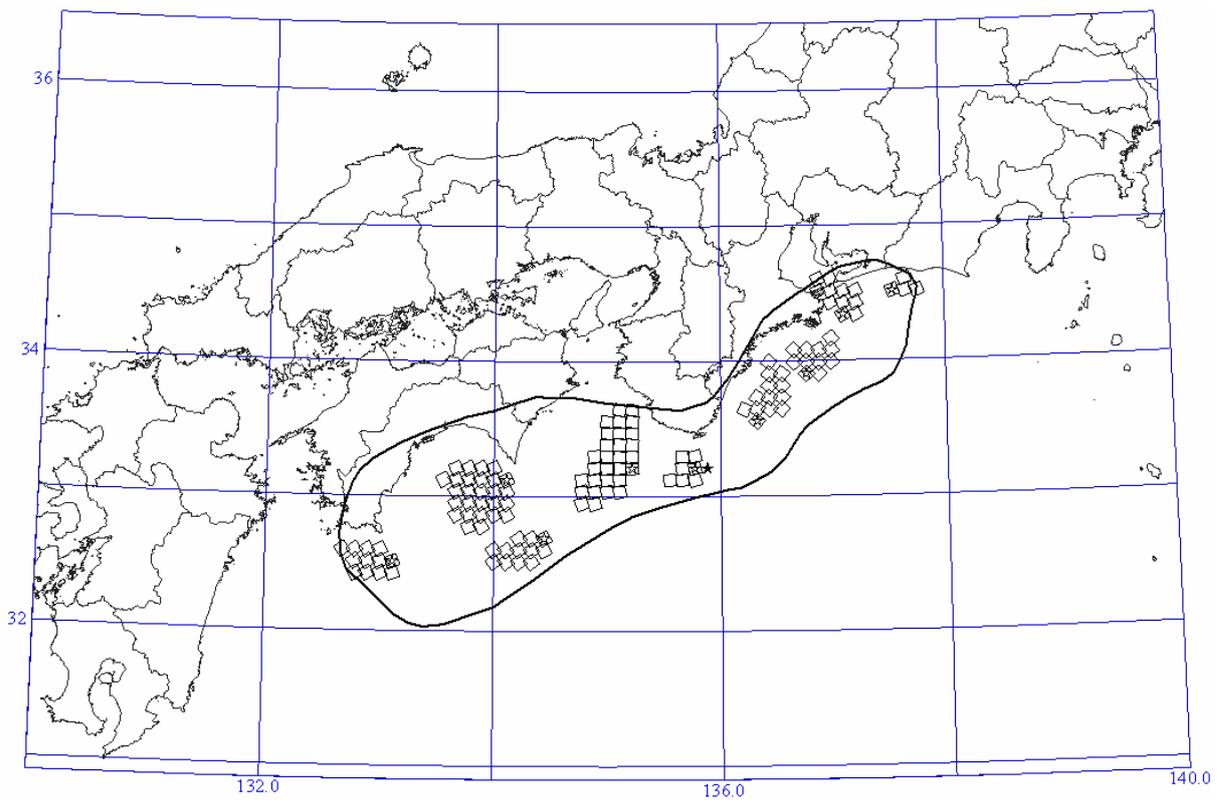
(a) 釜江・川辺(2005)：南海地震

(b) 関口・他(2006)：南海地震

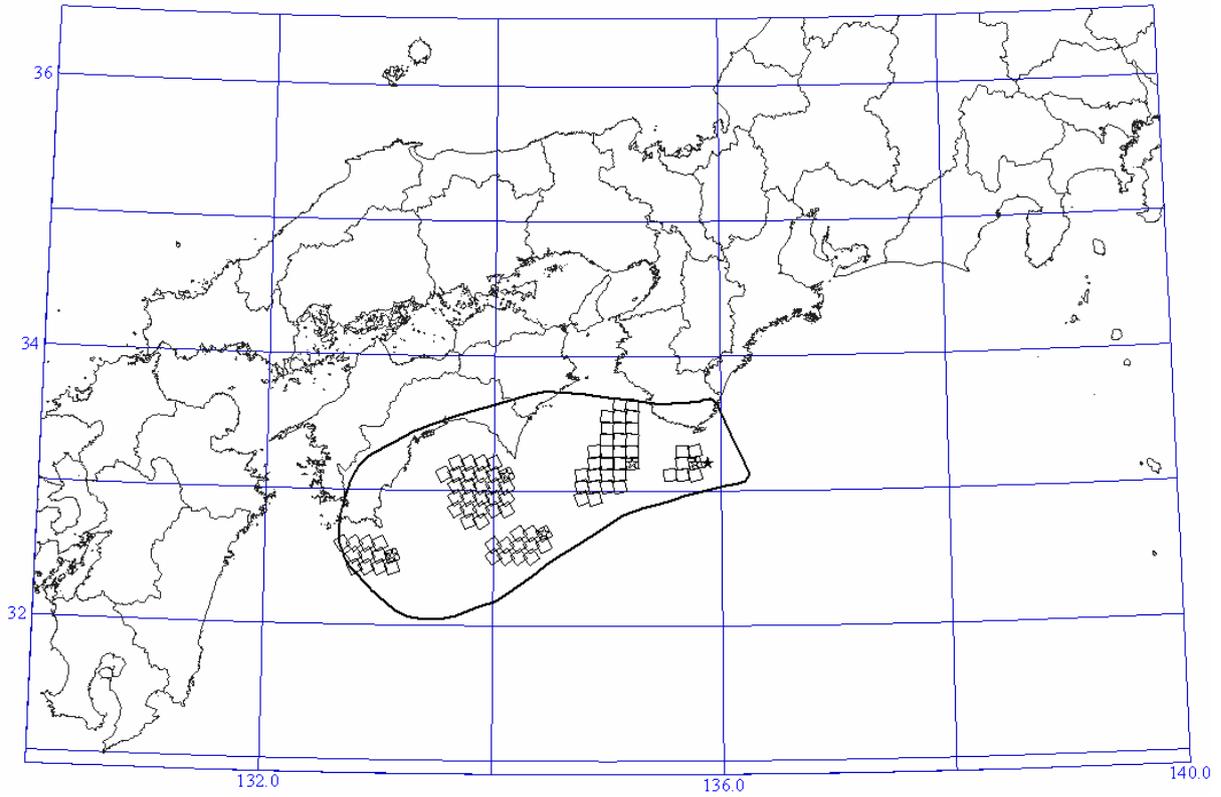


(c) 宮腰・他(2005)：東海・東南海地震

図 3.5.8 既往の研究の震源モデル

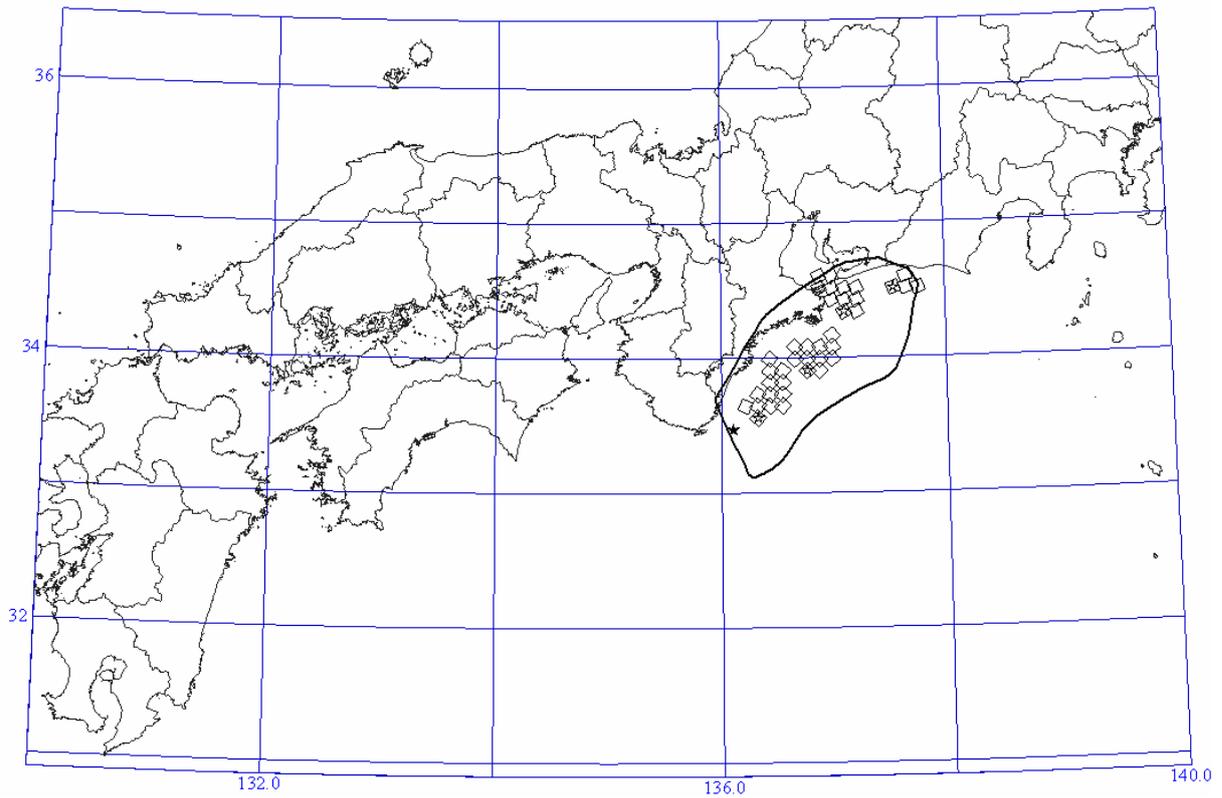


東南海+南海地震

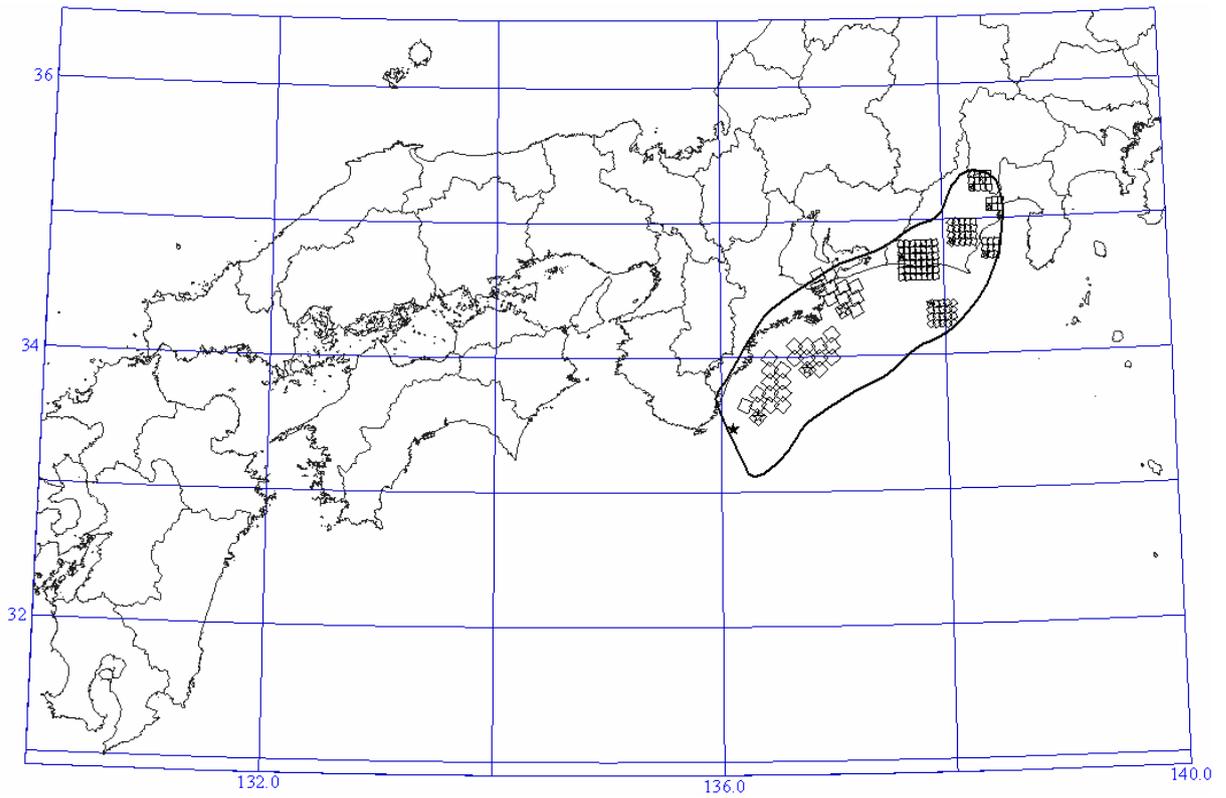


南海地震

図 3.5.9 中央防災会議の震源モデル

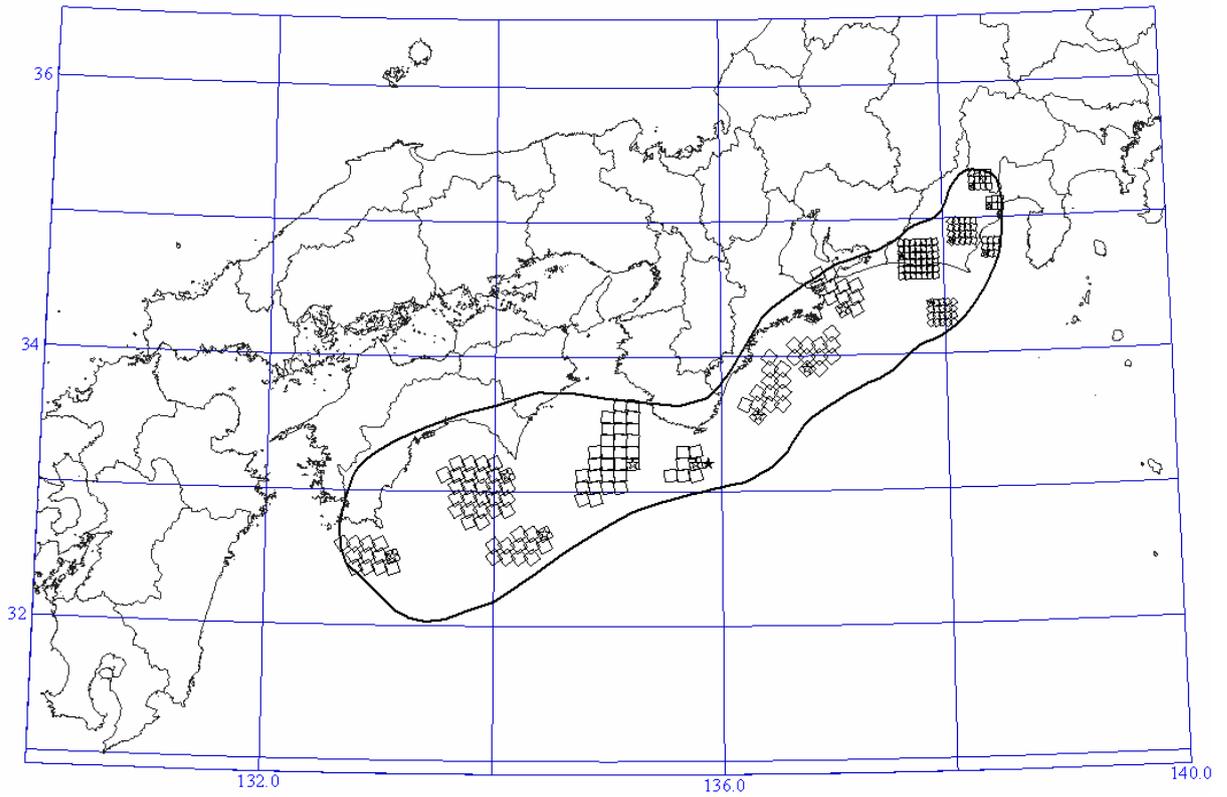


東南海地震

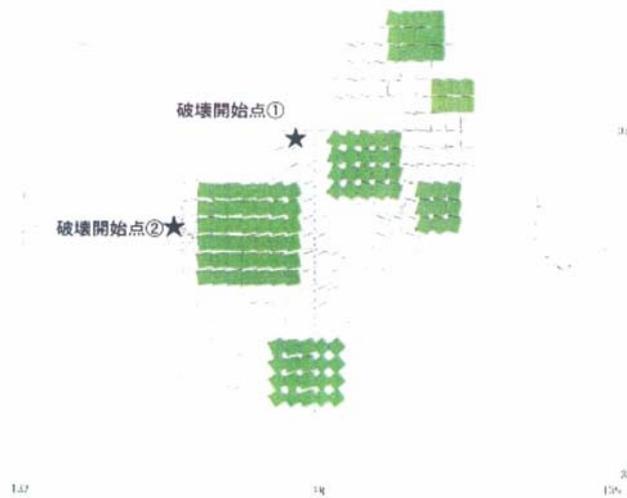


東海+東南海地震

図 3.5.9 中央防災会議の震源モデル (続き)



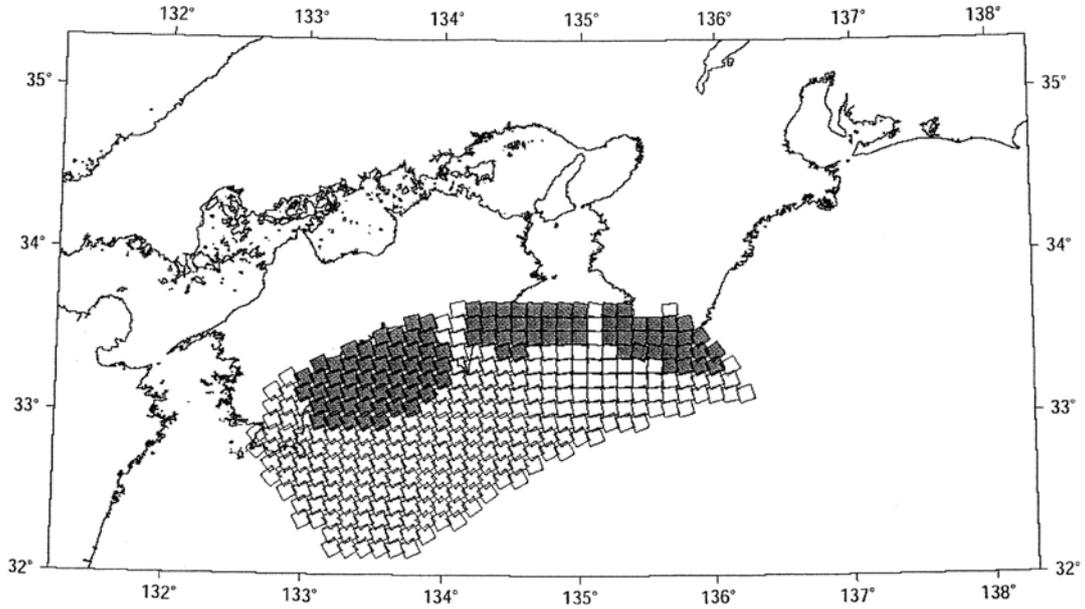
東海+東南海+南海地震



東海地震

図 3.5.9 中央防災会議の震源モデル (続き)

ケース 1



ケース 2

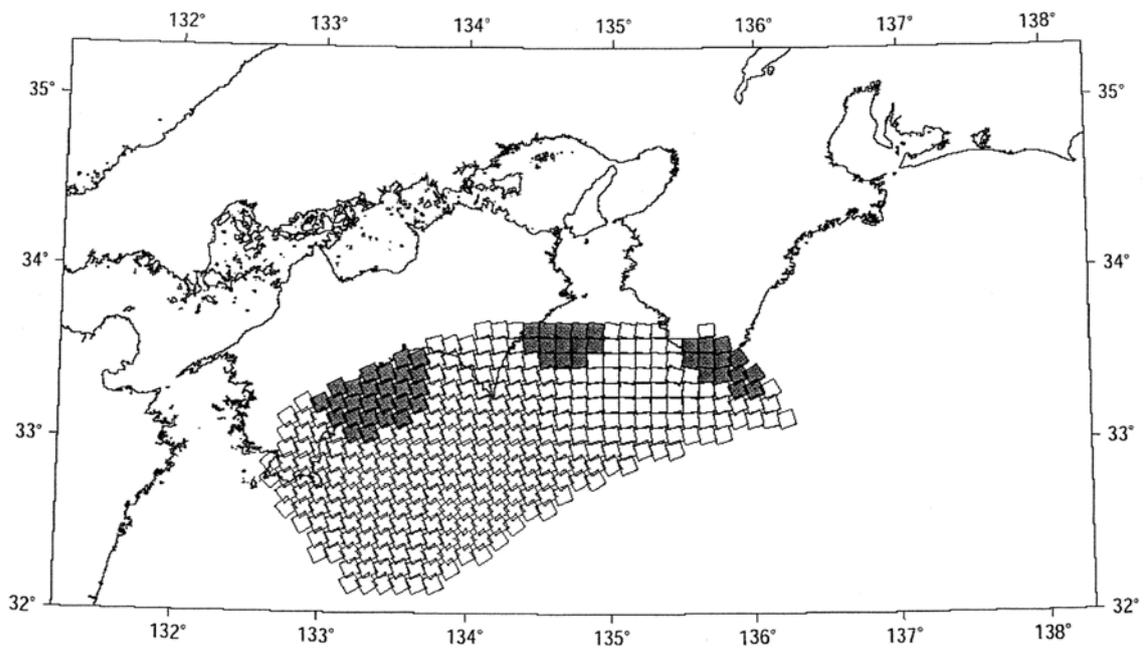


図 11-2 想定南海地震における強震動予測のための計算用震源モデル

図 3.5.10 推本のシナリオ地震による強震動予測のための震源モデル

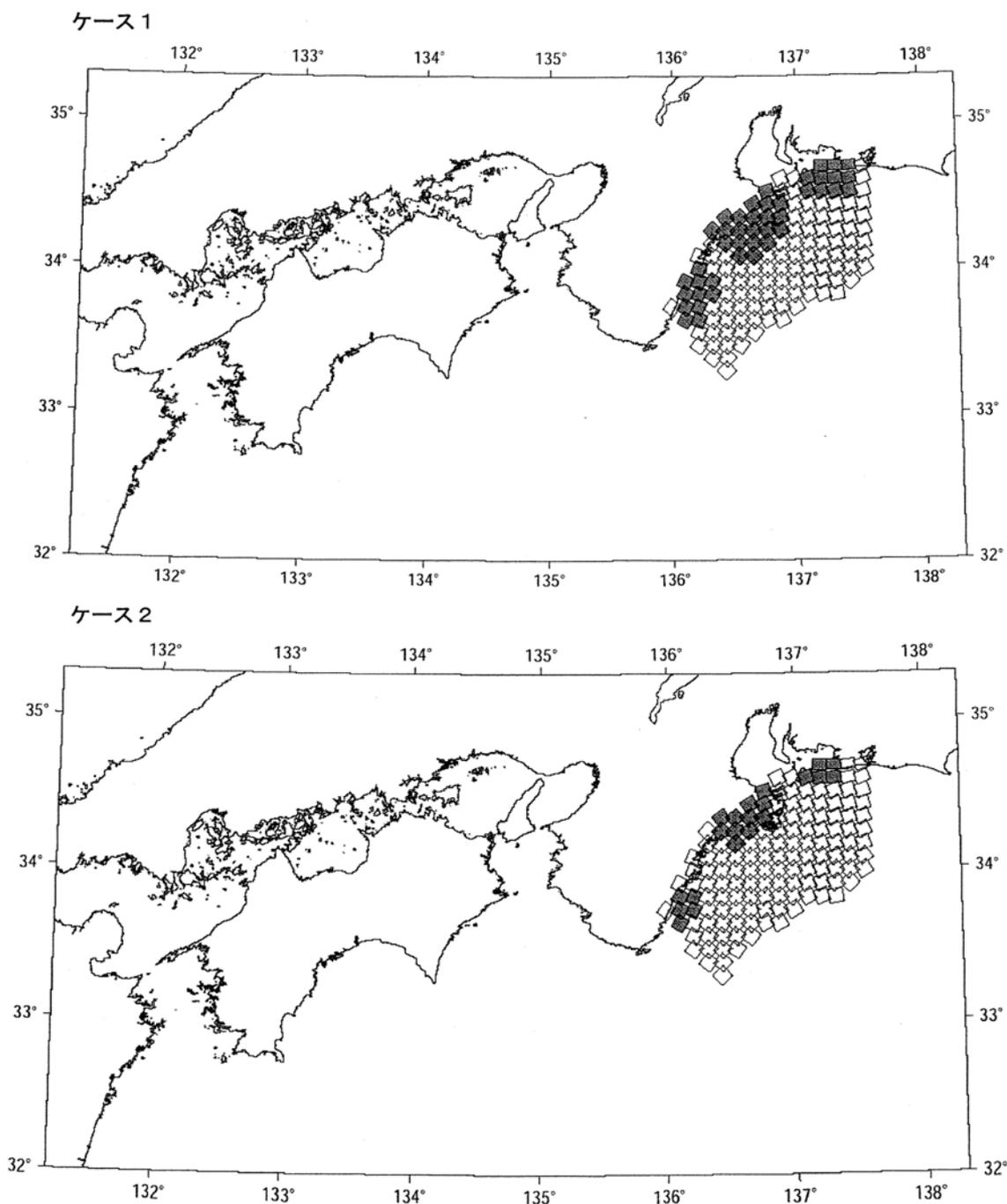


図 11-1 想定東南海地震における強震動予測のための計算用震源モデル

図 3.5.10 推本のシナリオ地震による強震動予測のための震源モデル (続き)

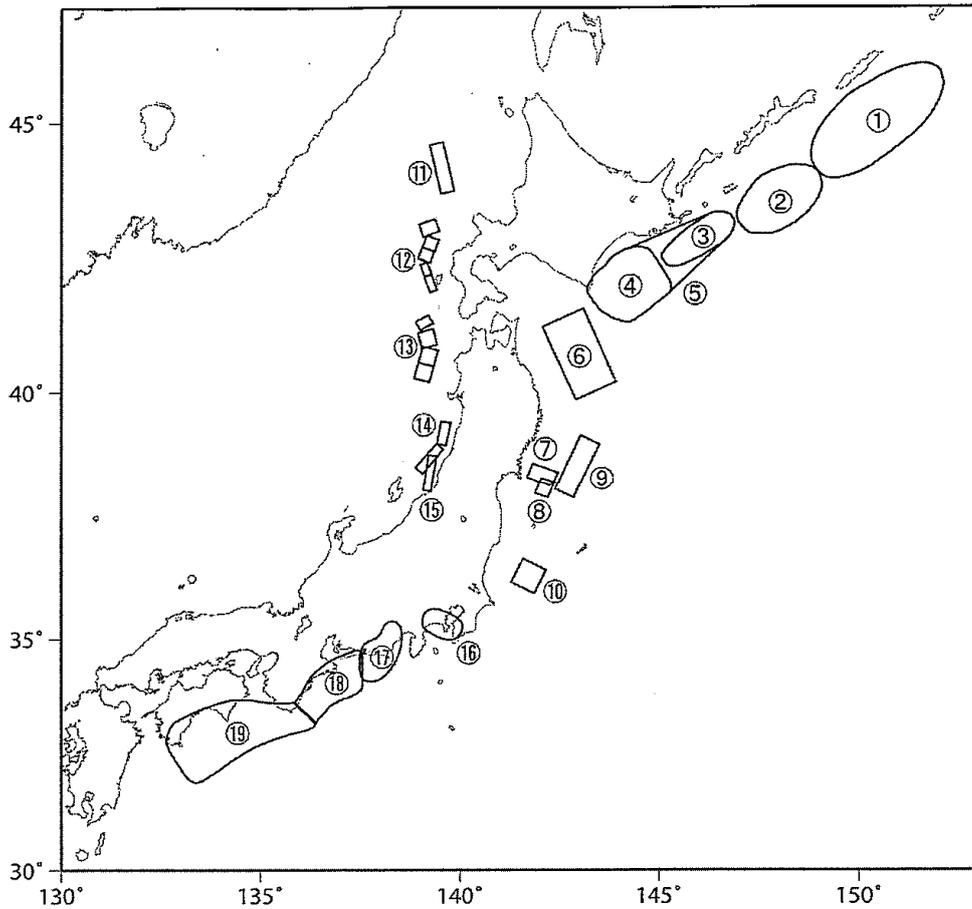
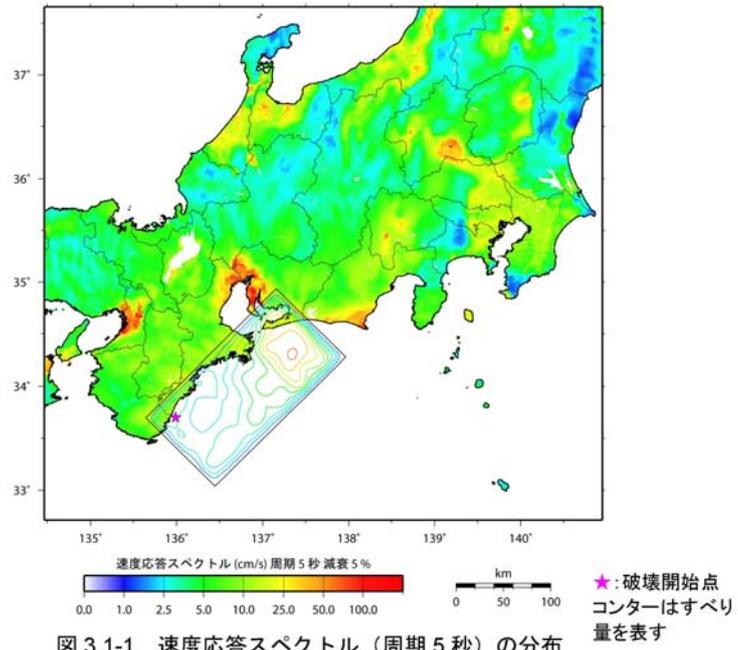


図 2.2-1 海溝型及び日本海東縁の固有地震の震源断層位置。番号の対応は表 2.2-1 を参照のこと。

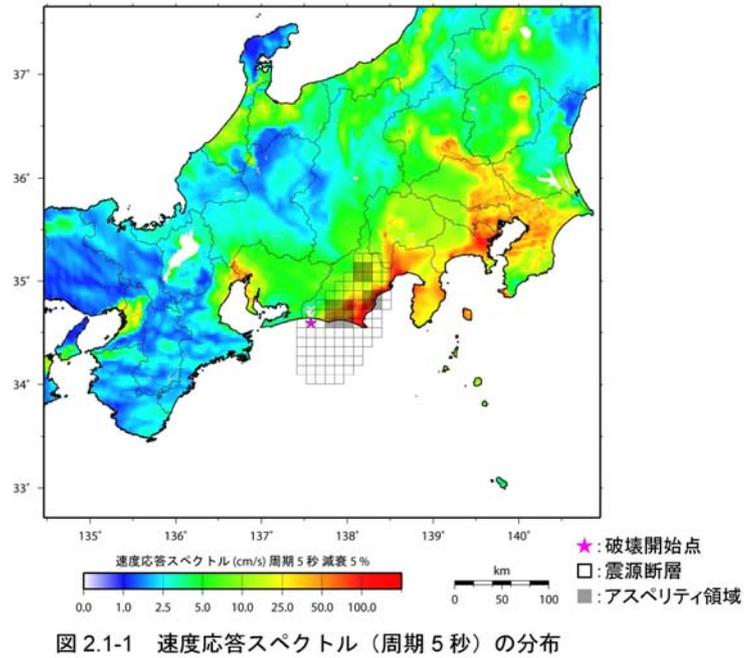
表 2.2-1 海溝型及び日本海東縁の固有地震の対応領域と地震規模（モーメントマグニチュード； M_w ）。

領域	地震	M_w	領域	地震	M_w
①	択捉島沖の地震	8.1	⑪	北海道西方沖の地震	7.5
②	色丹島沖の地震	7.8	⑫	北海道南西沖の地震	7.8
③	根室沖の地震	7.9	⑬	青森県西方沖の地震	7.7
④	十勝沖の地震	8.1	⑭	山形県沖の地震	7.7
⑤	十勝沖～根室沖の連動地震	8.3	⑮	新潟県北部沖の地震	7.5
⑥	三陸沖北部のプレート間大地震	8.3	⑯	大正型関東地震	7.9
⑦	宮城県沖地震 (A1)	7.6	⑰	想定東海地震	8.0
⑧	宮城県沖地震 (A2)	7.4	⑱	東南海地震	8.1
⑨	三陸沖南部海溝寄りの地震 (B)	7.8	㉑	南海地震	8.4
⑦⑨	宮城県沖地震 (A1+B)	7.9	⑰⑱	東南海～想定東海の連動地震	8.4
⑧⑨	宮城県沖地震 (A2+B)	7.9	⑱⑲	南海～東南海の連動地震	8.5
⑦⑧⑨	宮城県沖地震 (A1+A2+B)	8.0	⑰⑱⑲	南海～東南海～想定東海の連動地震	8.5
⑩	茨城県沖のプレート間地震 (固有)	7.0			

図 3.5.11 推本の全国地震動予測地図（確率論的予測地図）作成に用いた震源モデル



(a) 東南海地震



(b) 東海地震

図 3.5.12 推本の長周期地震動予測地図の震源モデル

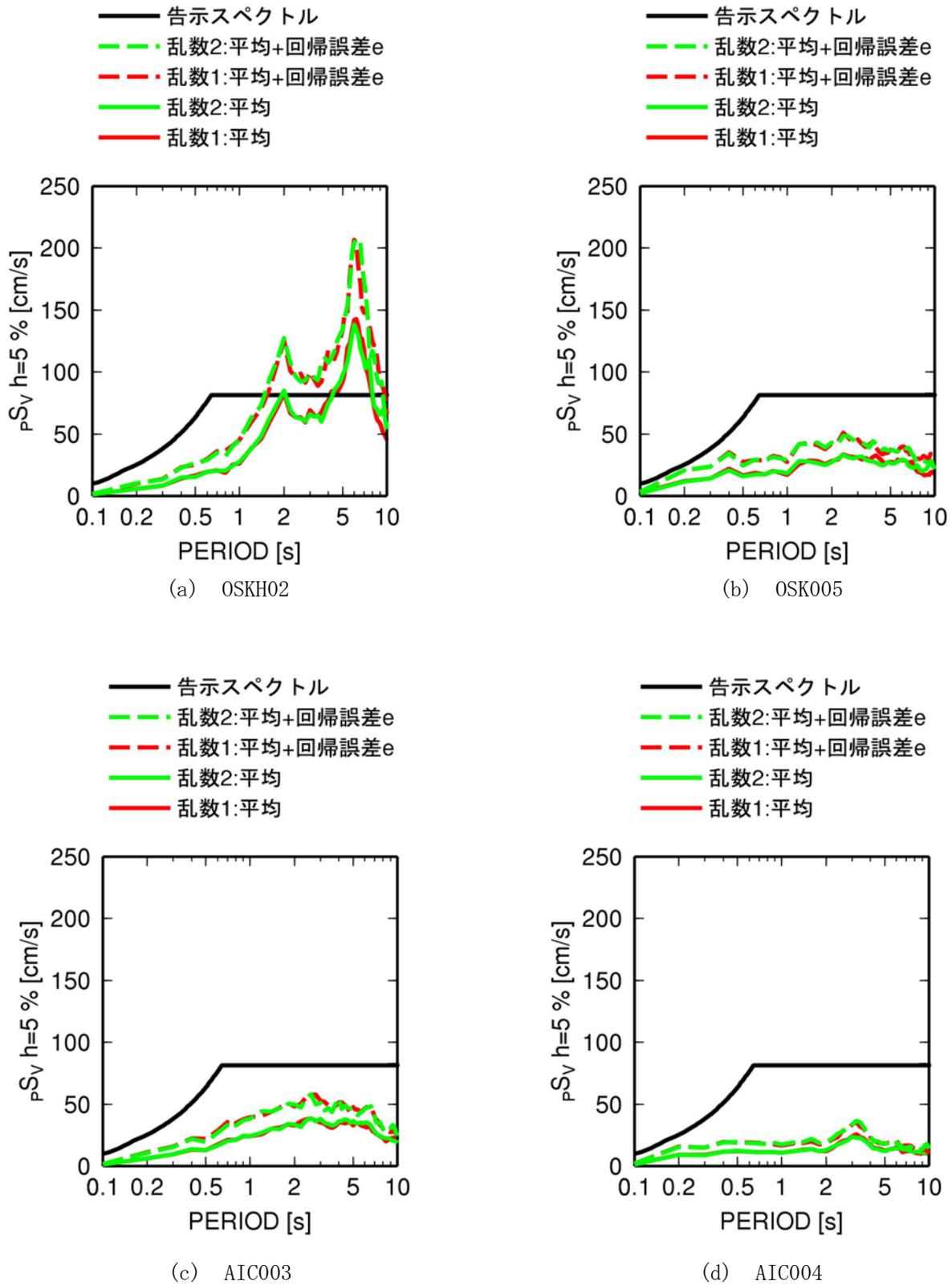


図 3.5.13 南海地震の予測波の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトル

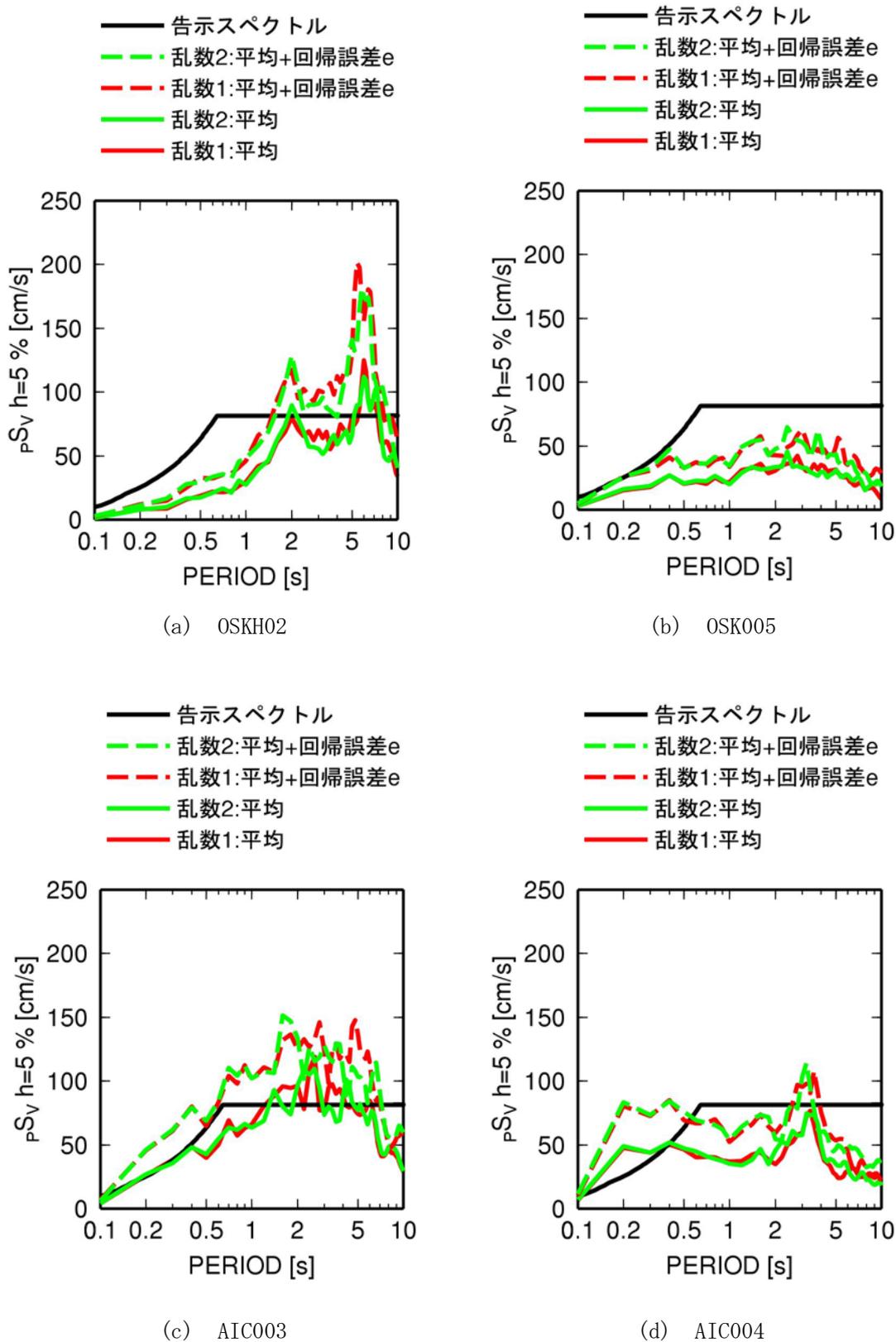


図 3.5.14 東南海地震の予測波の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトル

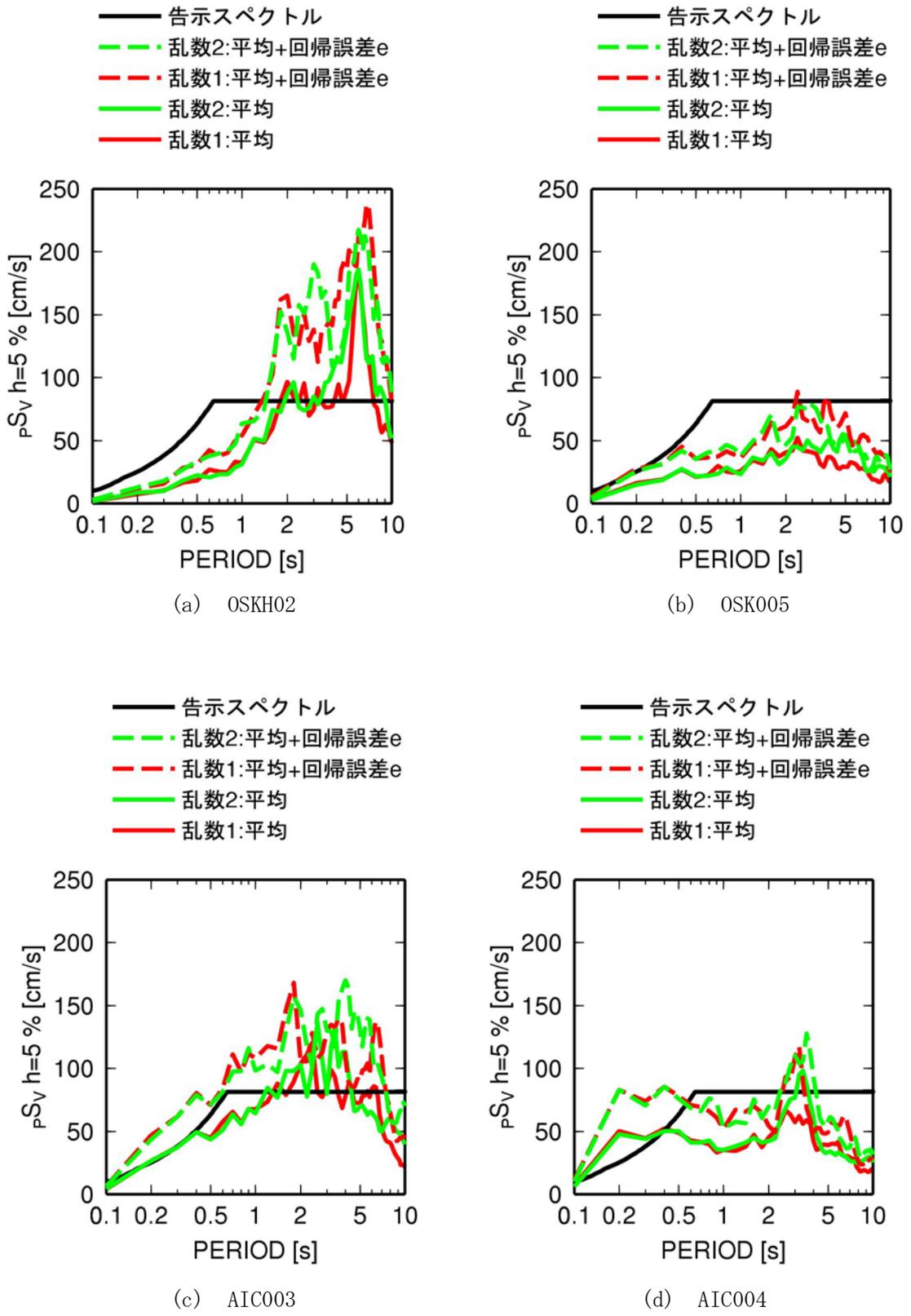


図 3. 5. 15 南海・東南海地震の予測波の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトル

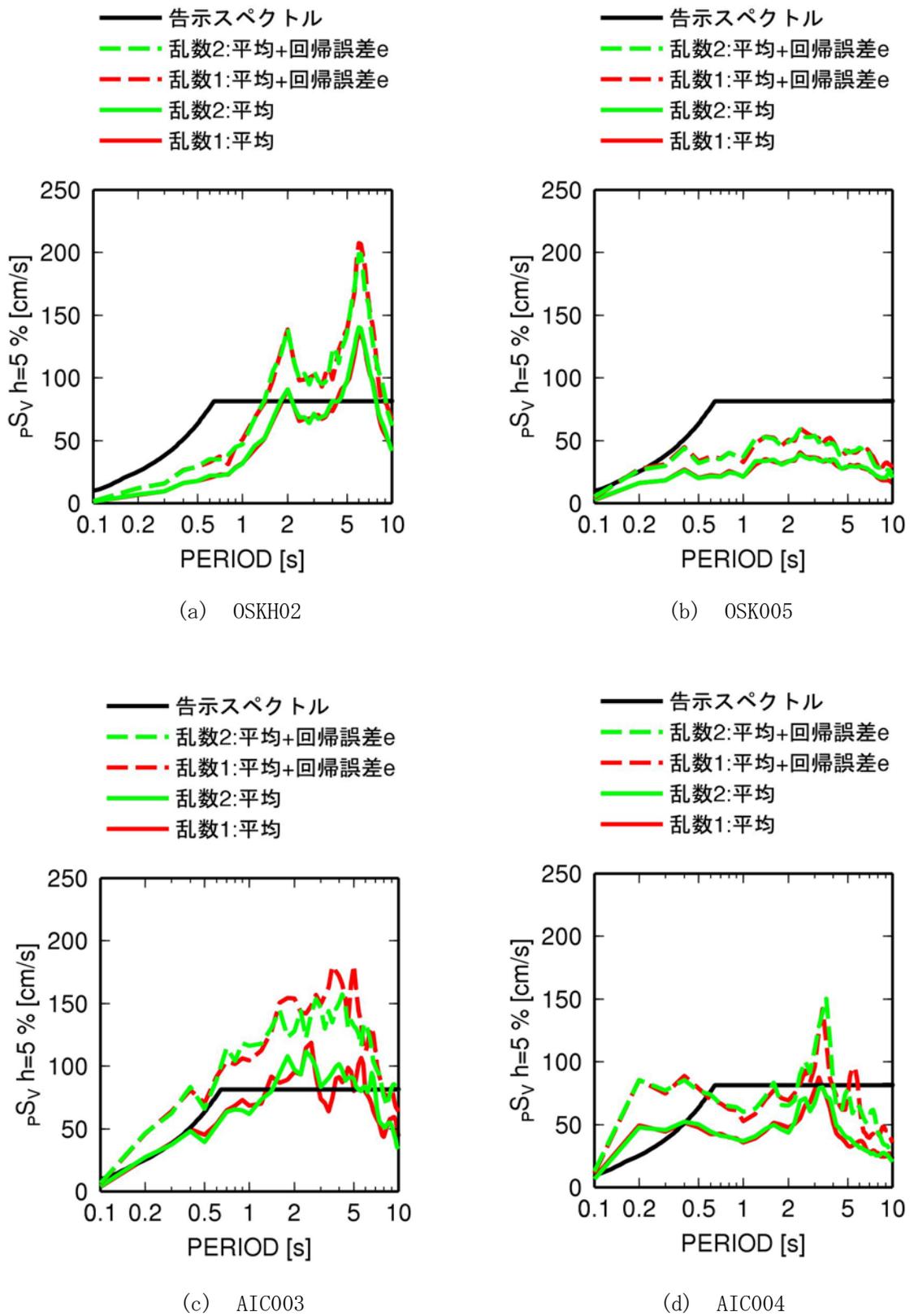


図 3.5.16 東南海・東海地震の予測波の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトル

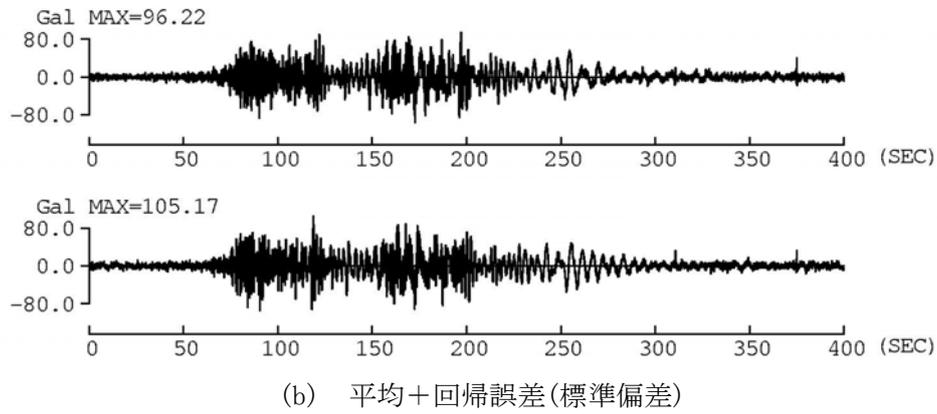
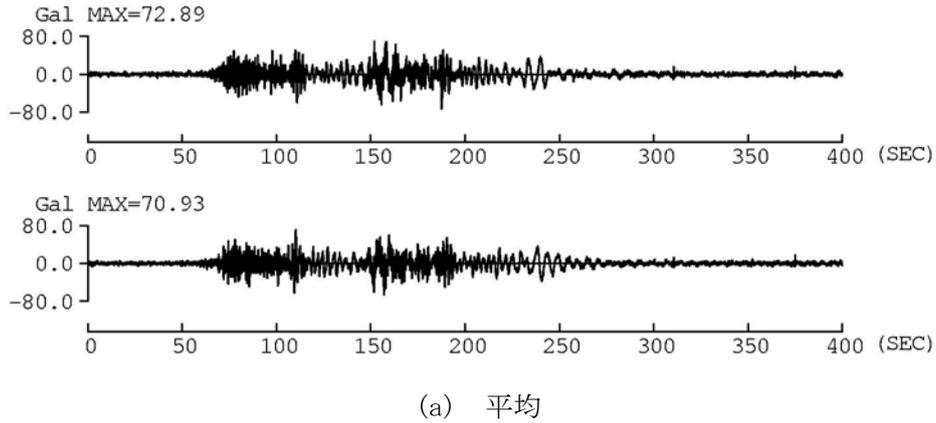


図 3.5.17 南海地震の OSKH02 での加速度波形

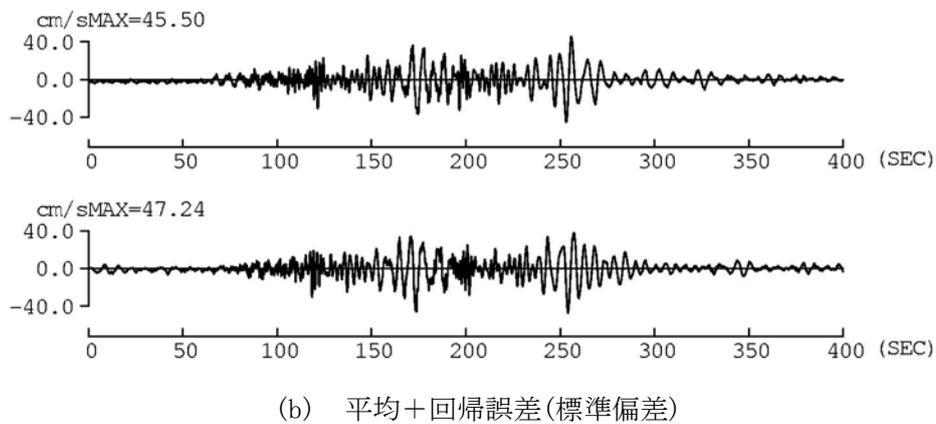
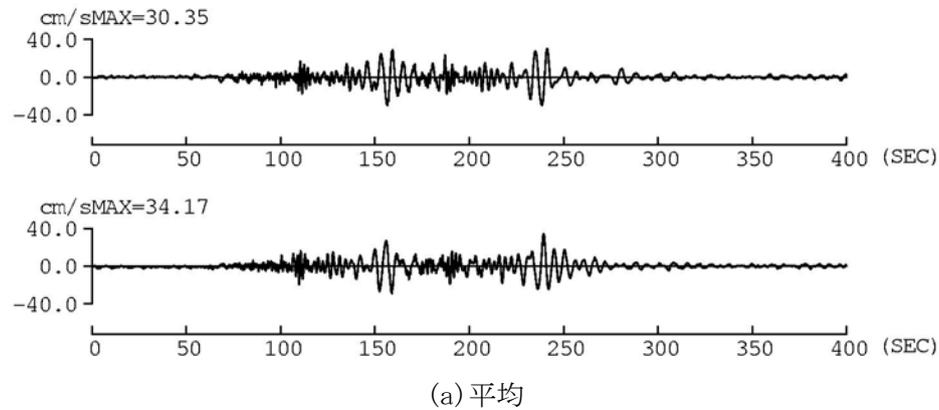
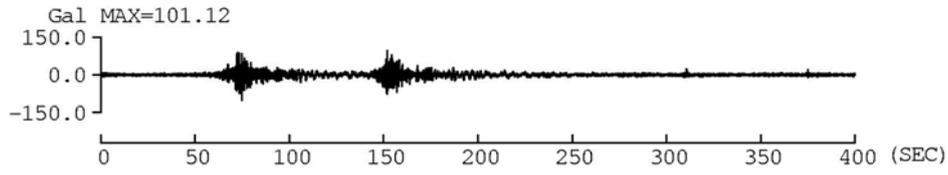
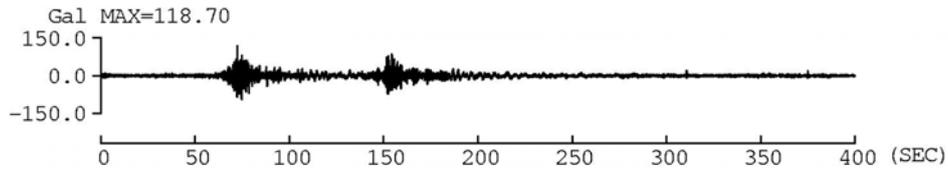
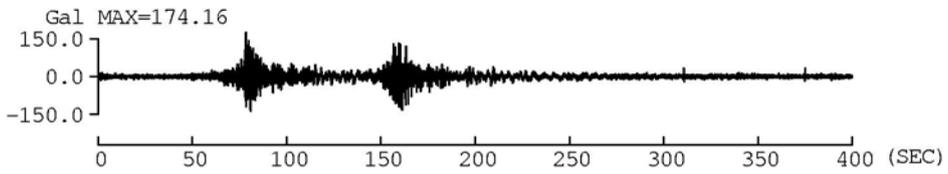
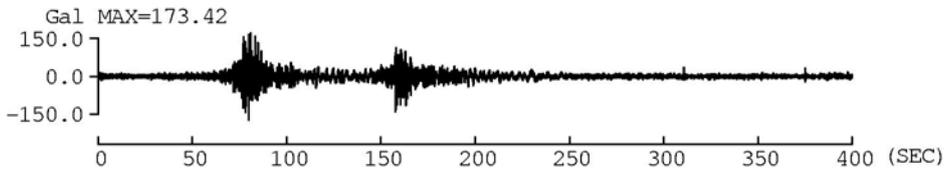


図 3.5.18 南海地震の OSKH02 での速度波形

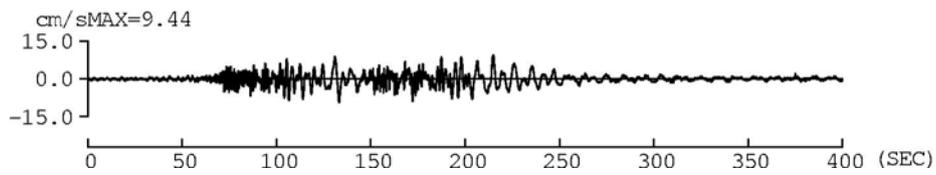
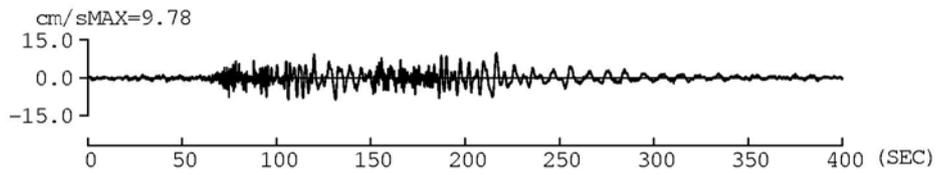


(a) 平均

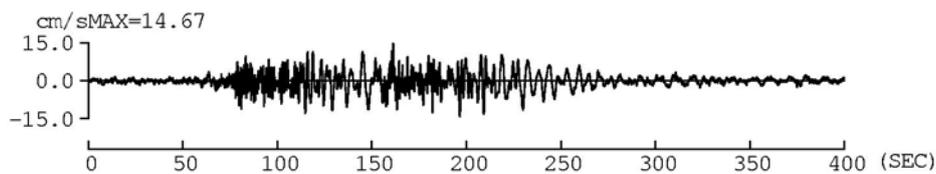
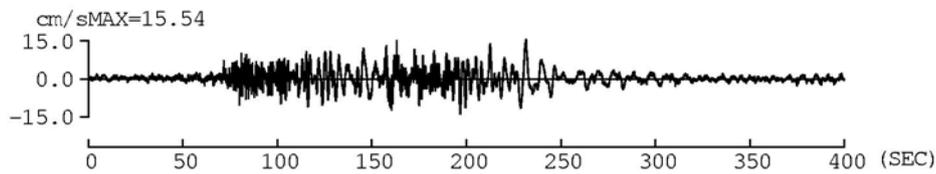


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.5.19 南海地震の OSK005 での加速度波形

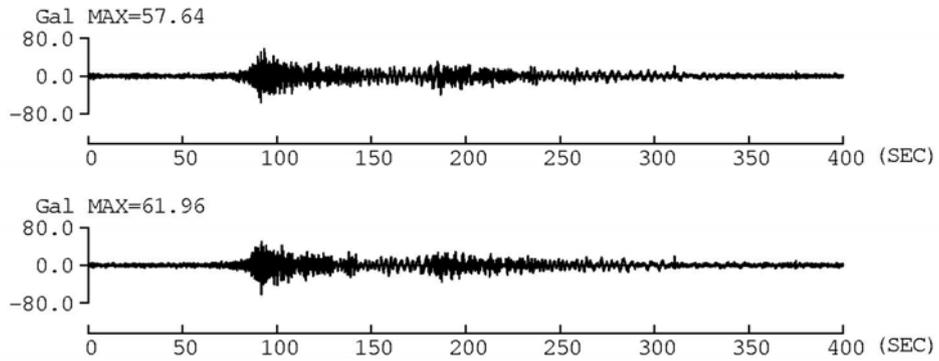


(a) 平均

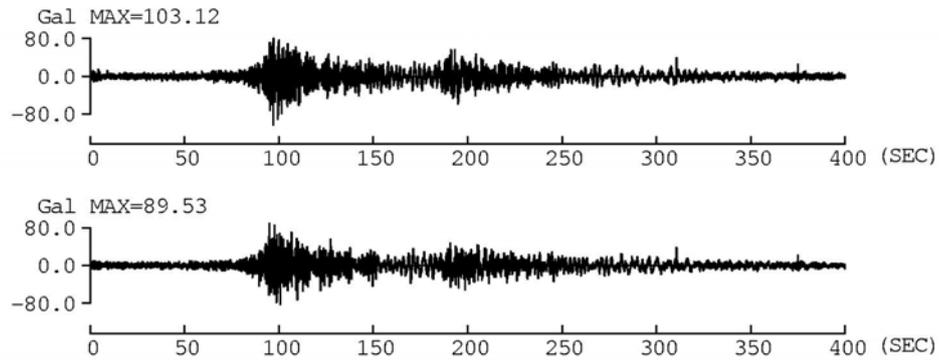


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.5.20 南海地震の OSK005 での速度波形

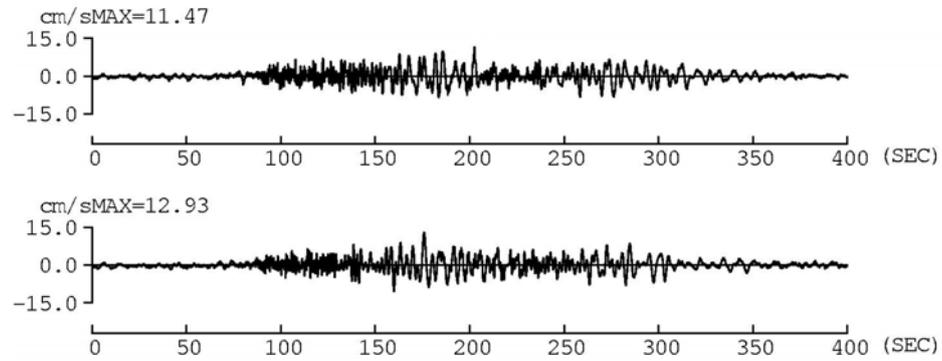


(a) 平均

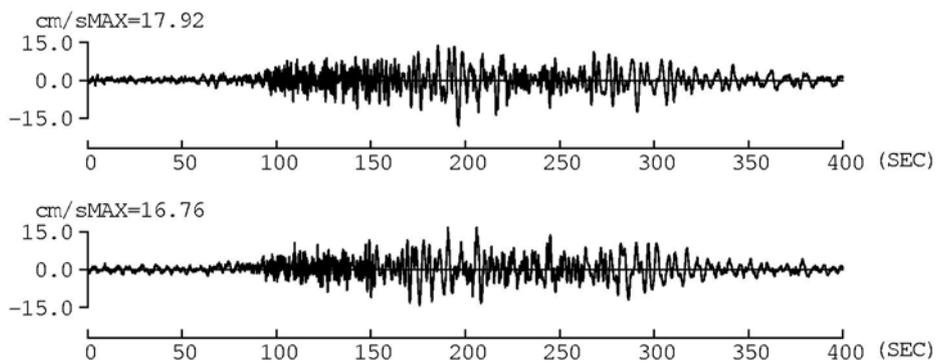


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.5.21 南海地震の AIC003 での加速度波形

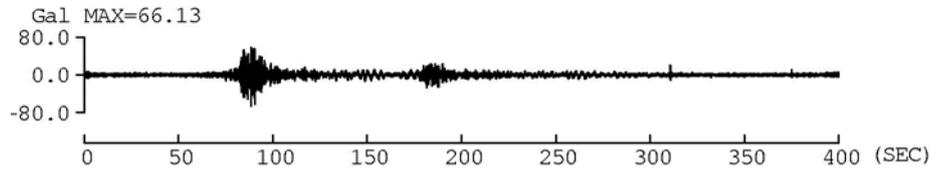
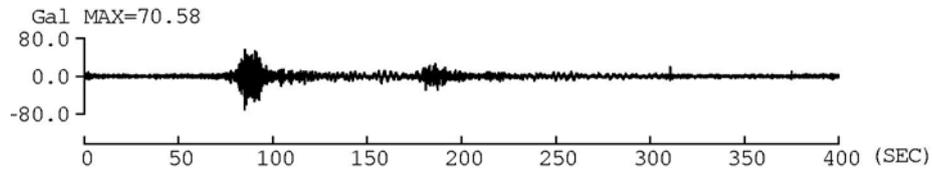


(a) 平均

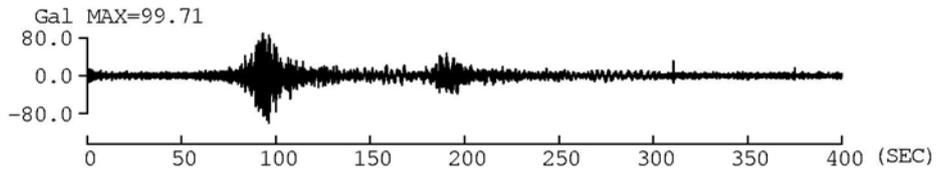
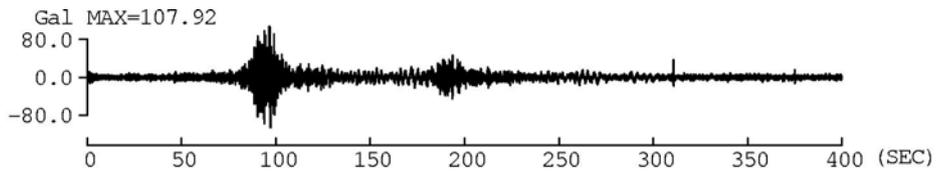


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.5.22 南海地震の AIC003 での速度波形

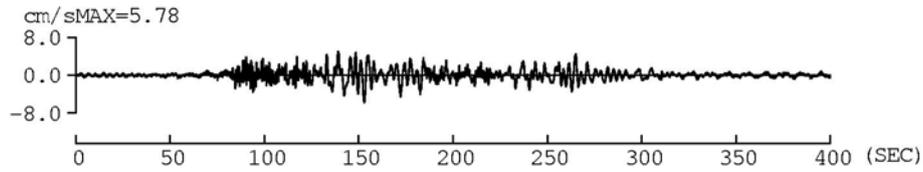
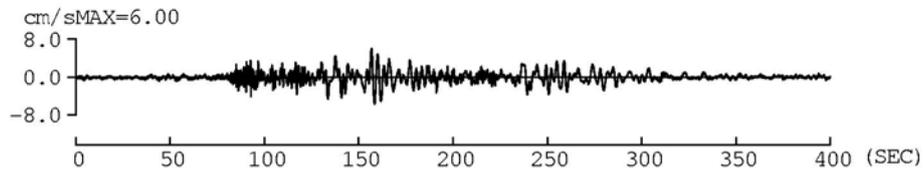


(a) 平均

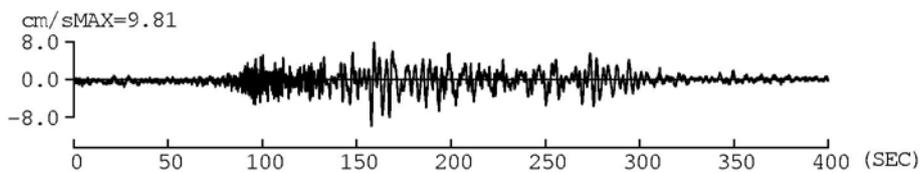
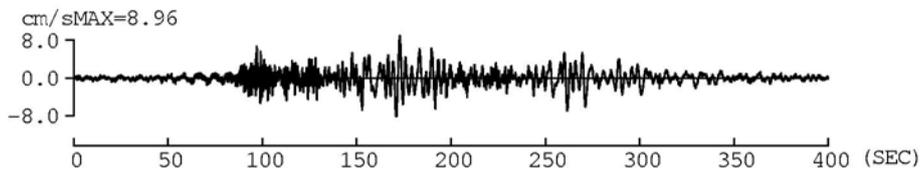


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.5.23 南海地震の AIC004 での加速度波形

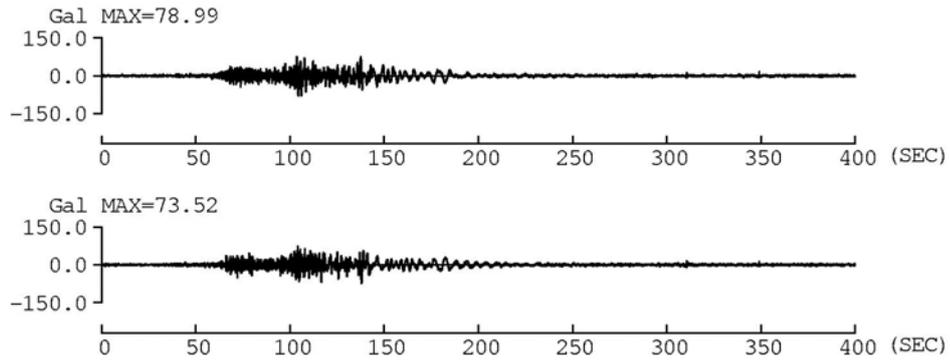


(a) 平均

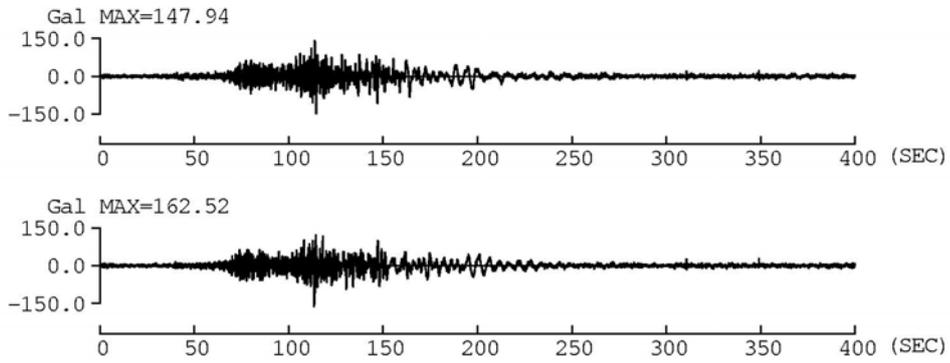


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.5.24 南海地震の AIC004 の速度波形

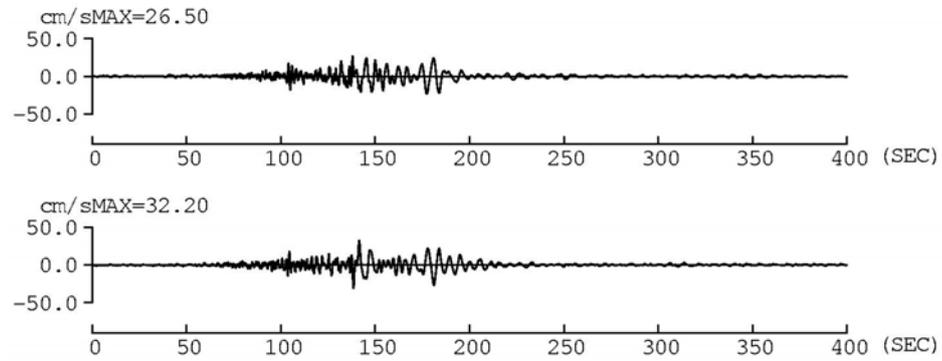


(a) 平均

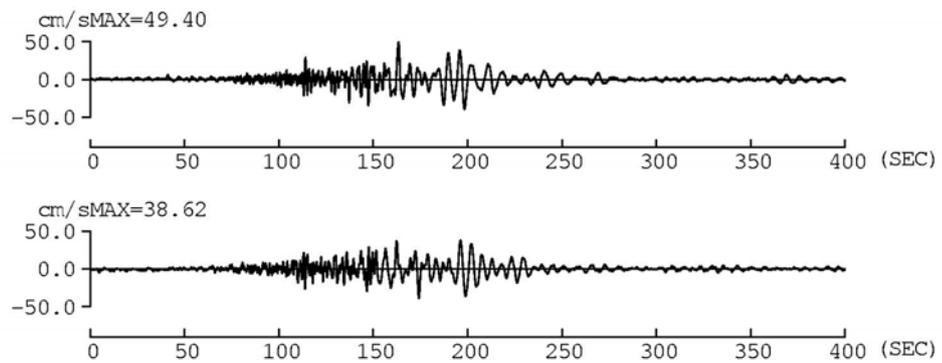


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.5.25 東南海地震の OSKH02 での加速度波形

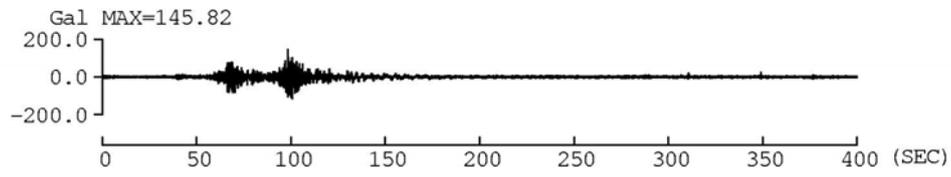
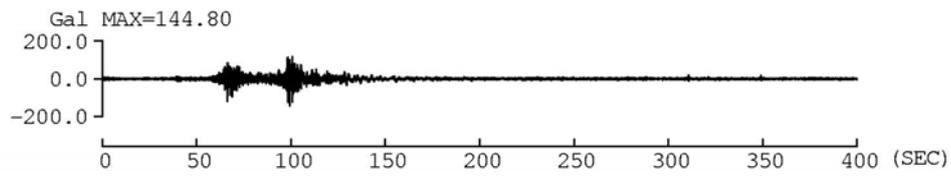


(a) 平均

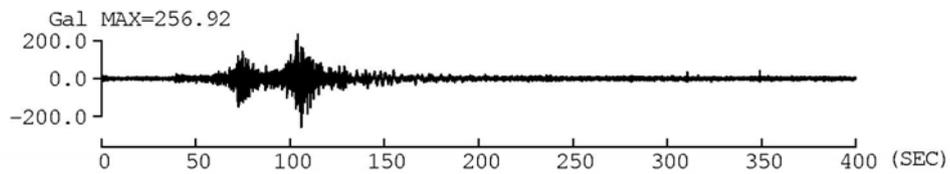
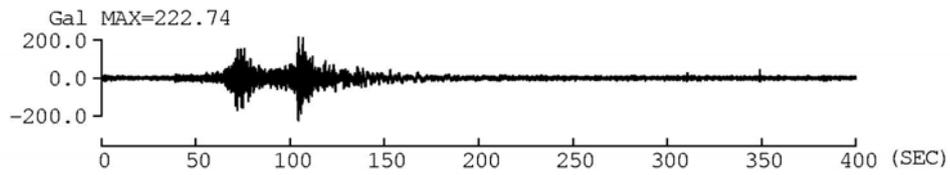


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.5.26 東南海地震の OSKH02 での速度波形

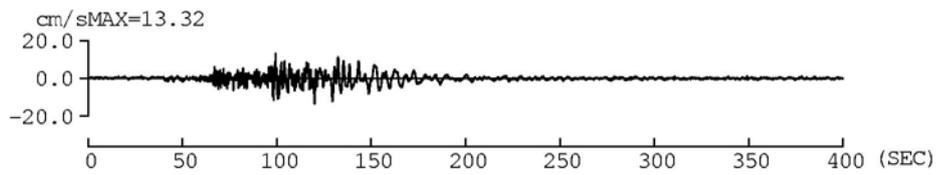
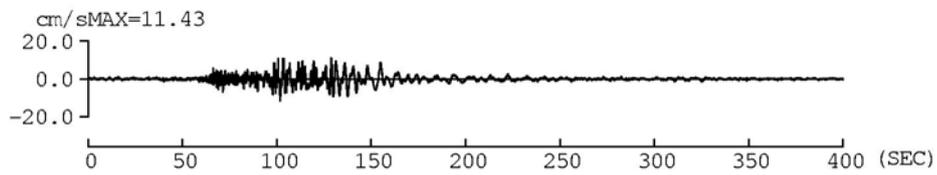


(a) 平均

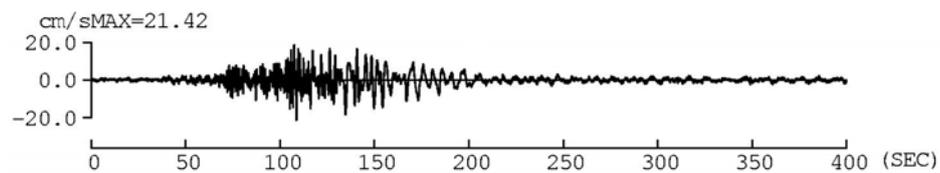
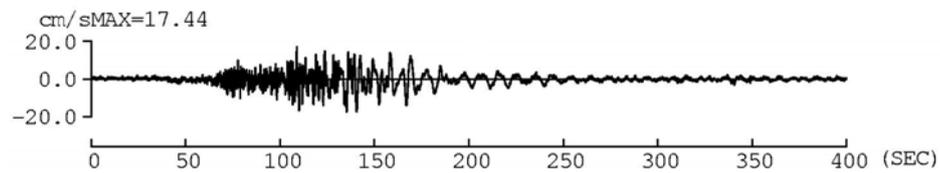


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.5.27 東南海地震の OSK005 での加速度波形

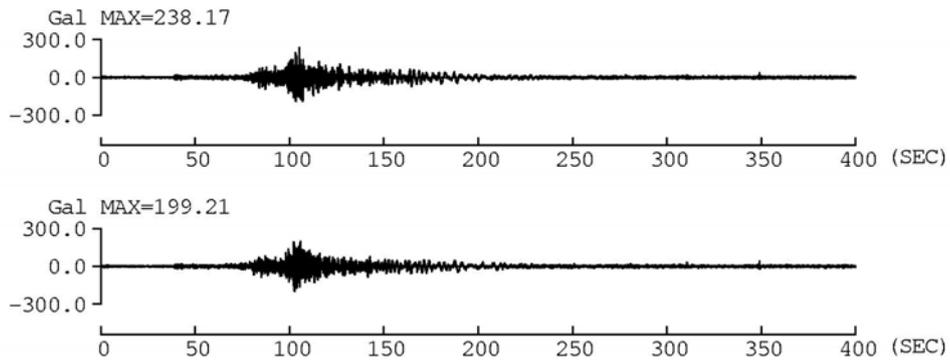


(a) 平均

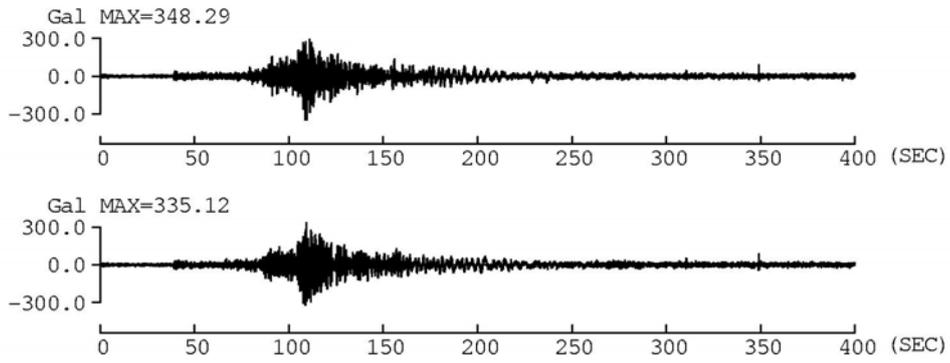


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.5.28 東南海地震の OSK005 での速度波形

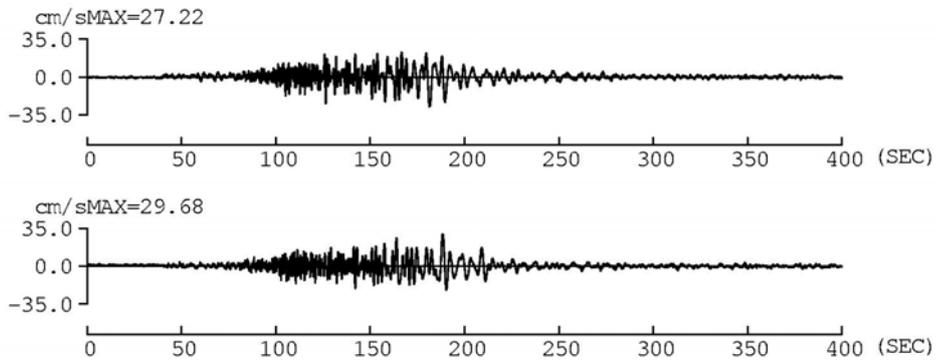


(a) 平均

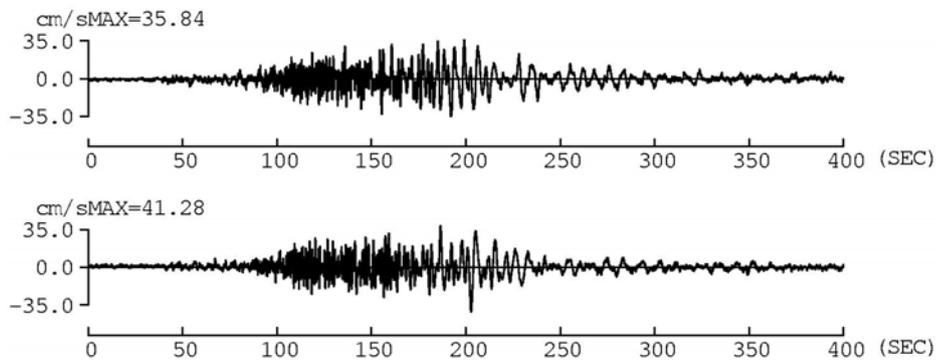


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.5.29 東南海地震の AIC003 での加速度波形

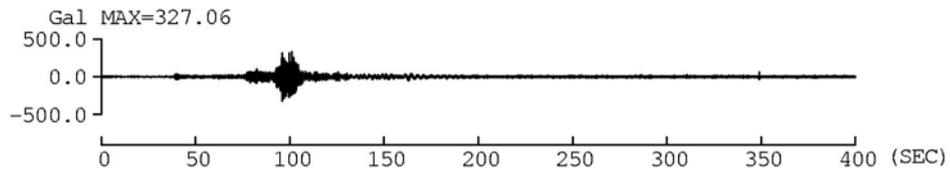
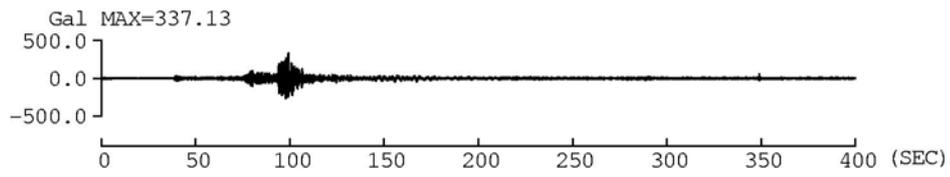


(a) 平均

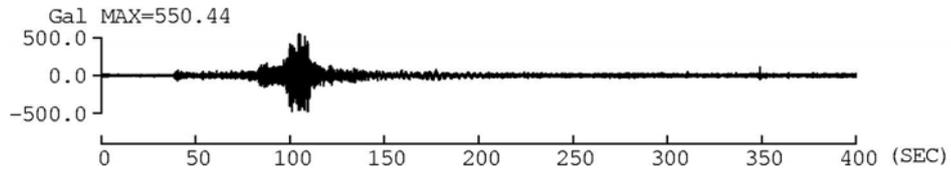
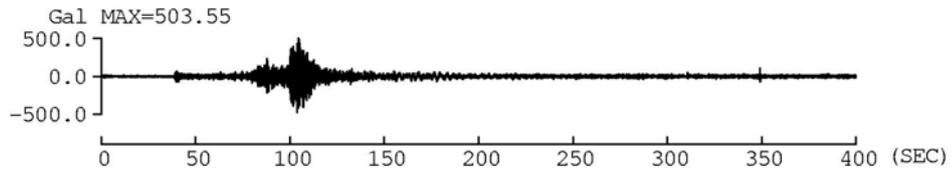


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.5.30 東南海地震の AIC003 での速度波形

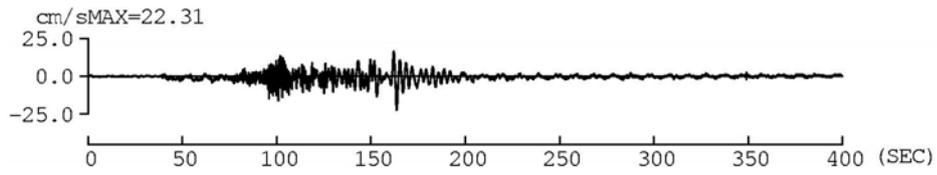
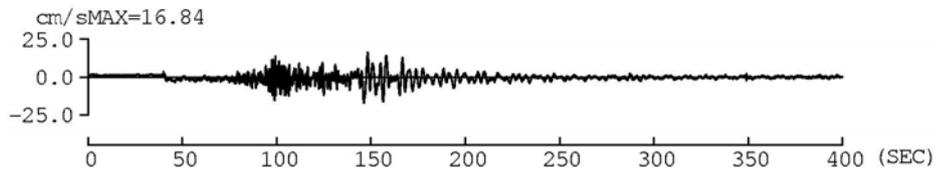


(a) 平均

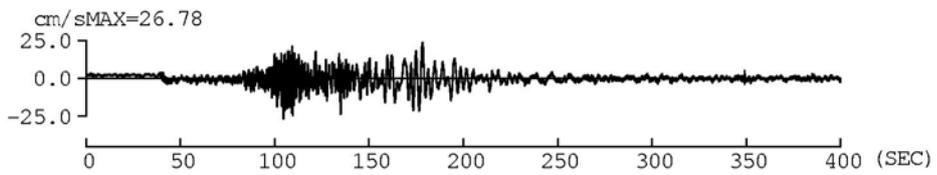
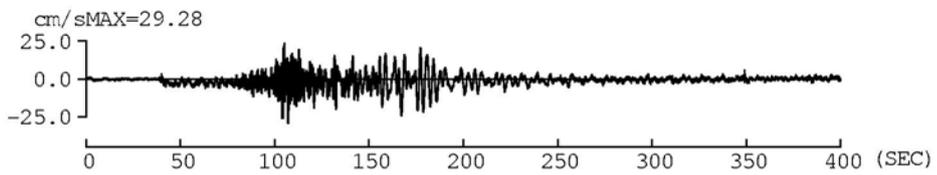


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.5.31 東南海地震の AIC004 での加速度波形

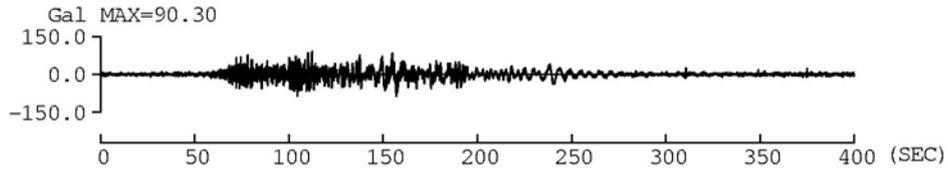
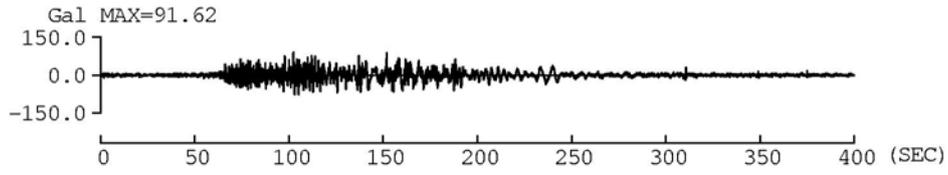


(a) 平均

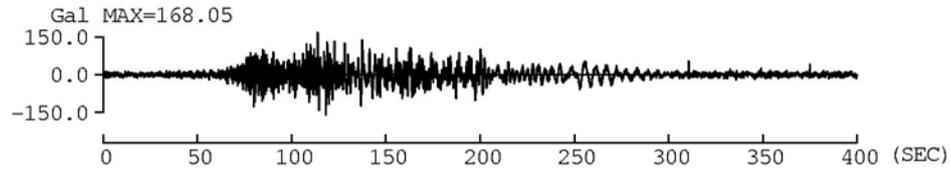
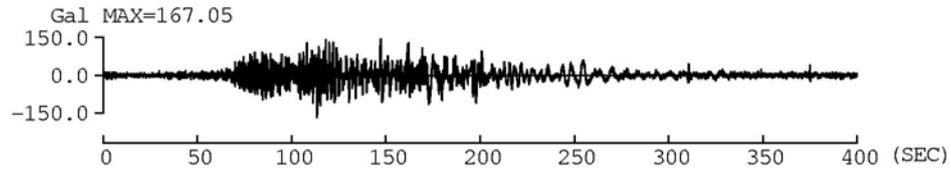


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.5.32 東南海地震の AIC004 での速度波形

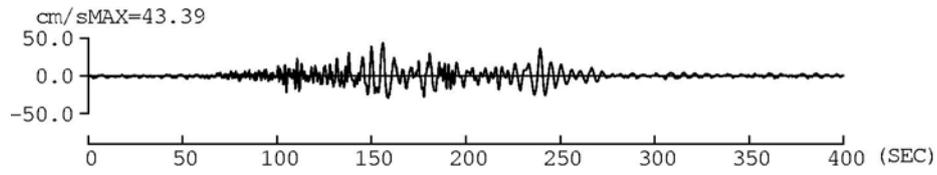
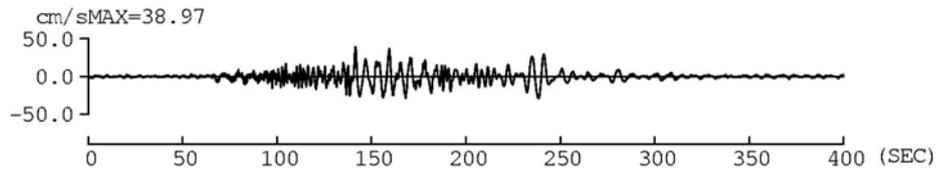


(a) 平均

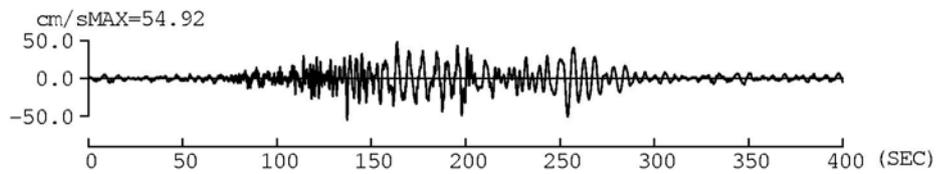
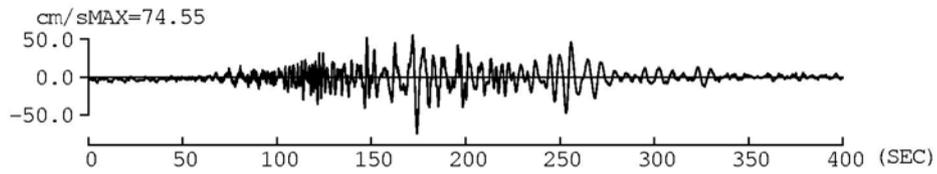


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.5.33 南海・東南海地震の OSKH02 での加速度波形



(a) 平均



(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.5.34 南海・東南海地震の OSKH02 での速度波形

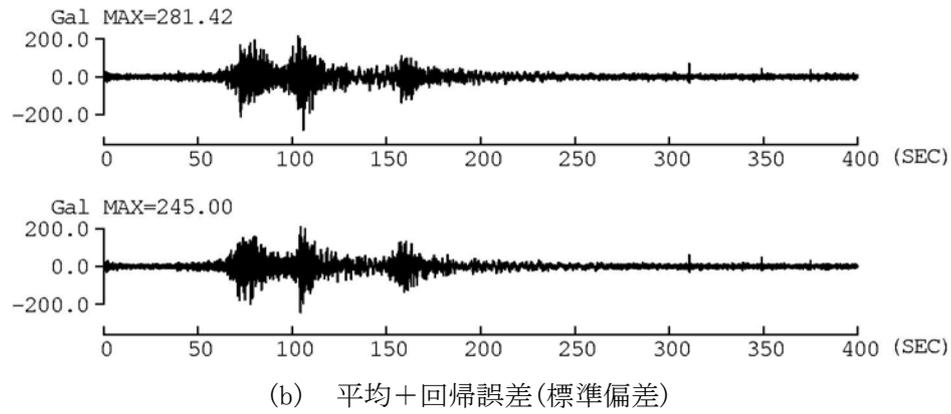
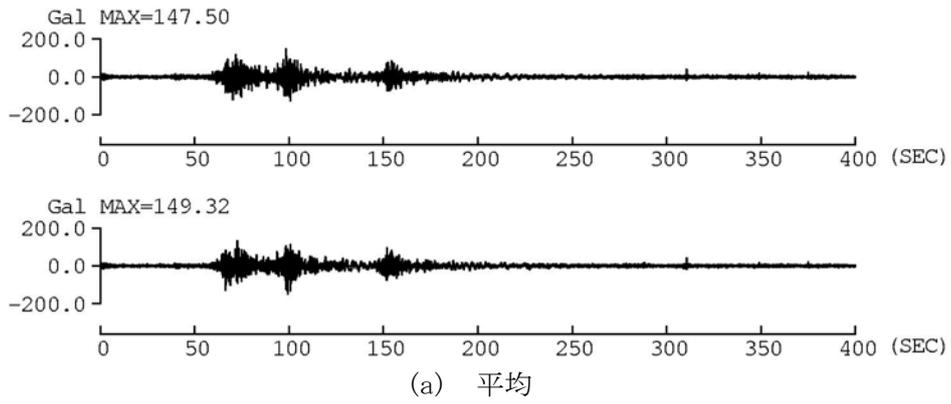


図 3.5.35 南海・東南海地震の OSK005 での加速度波形

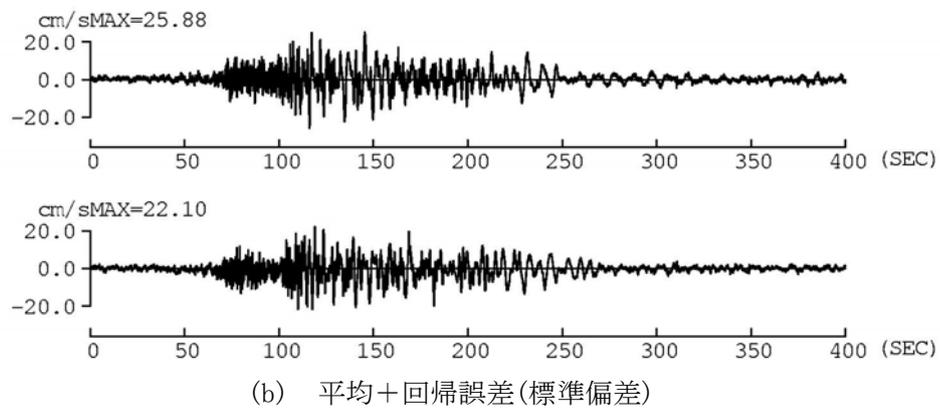
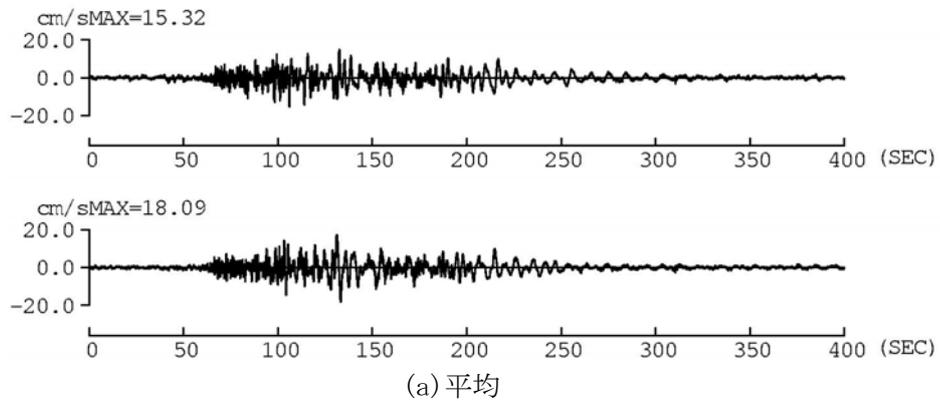


図 3.5.36 南海・東南海地震の OSK005 での速度波形

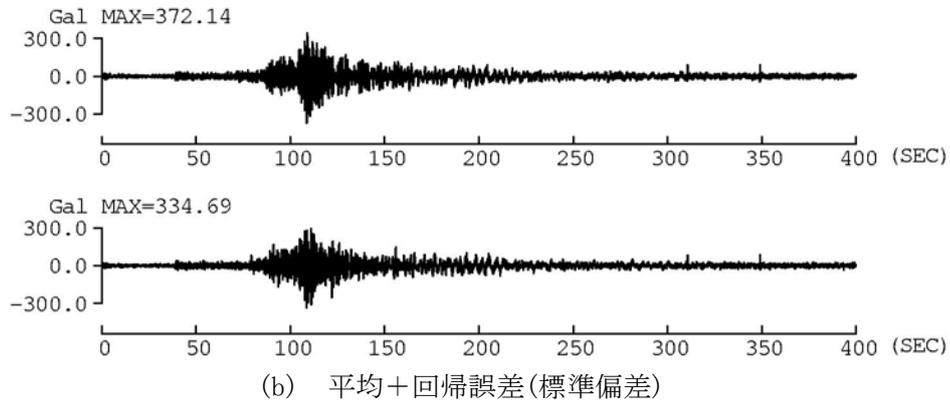
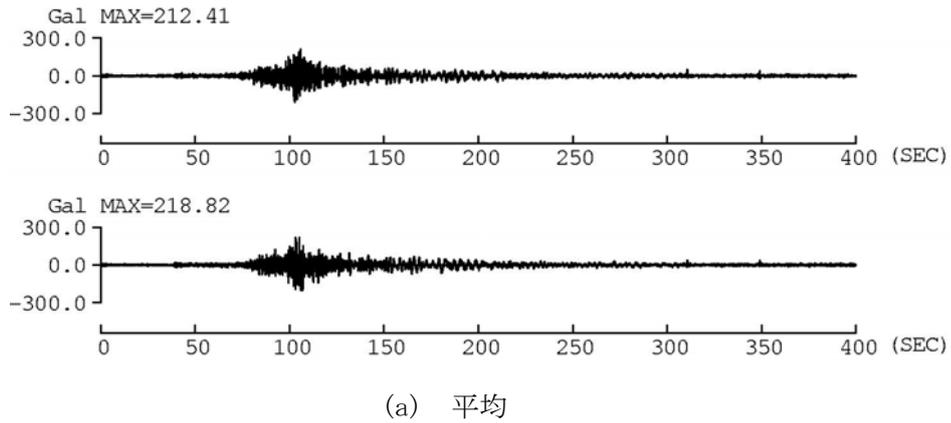


図 3.5.37 南海・東南海地震の AIC003 での加速度波形

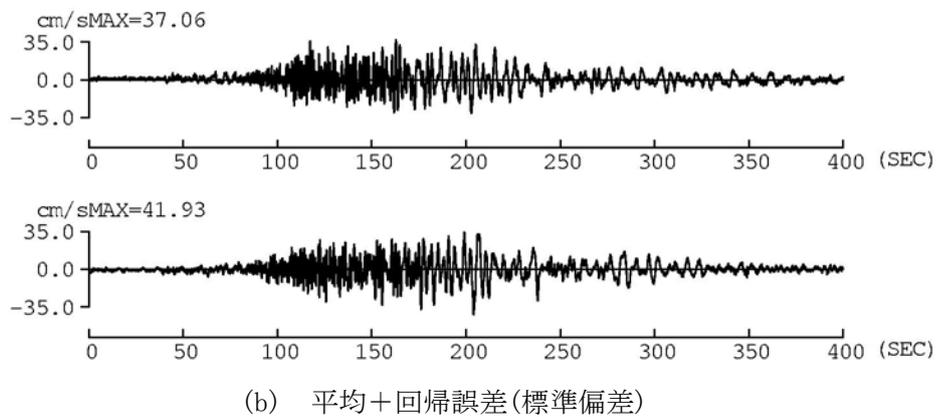
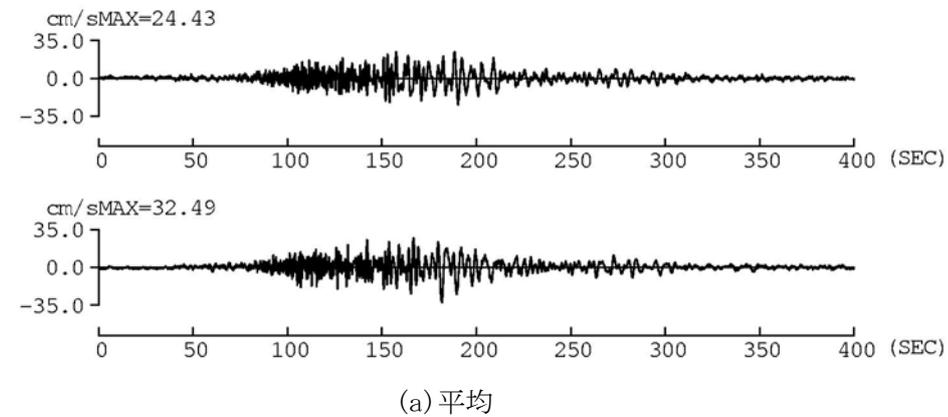


図 3.5.38 南海・東南海地震の AIC003 での速度波形

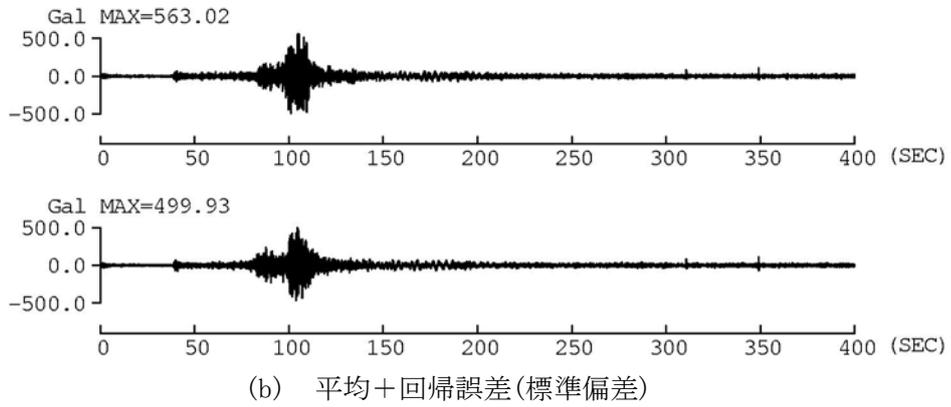
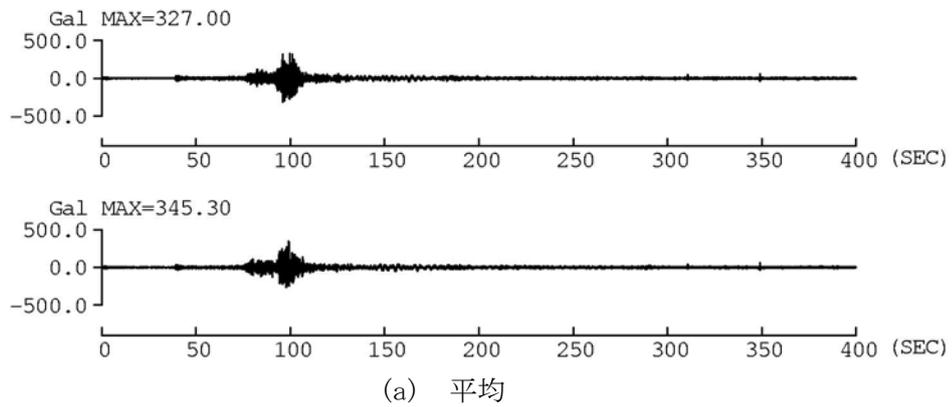


図 3.5.39 南海・東南海地震の AIC004 での加速度波形

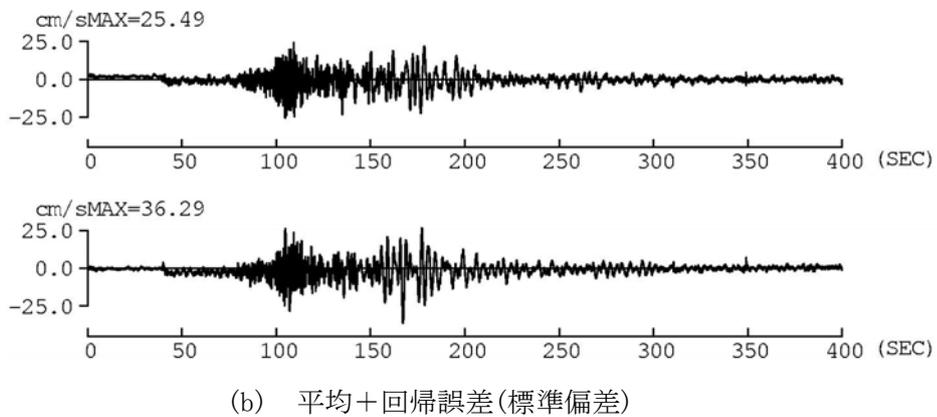
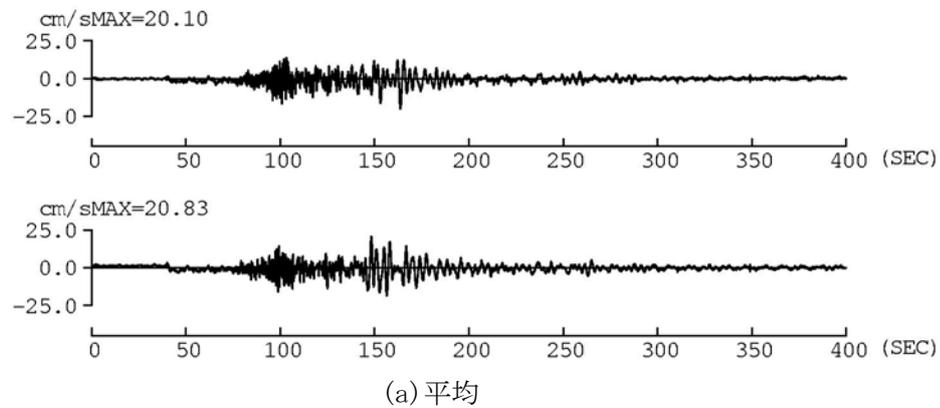
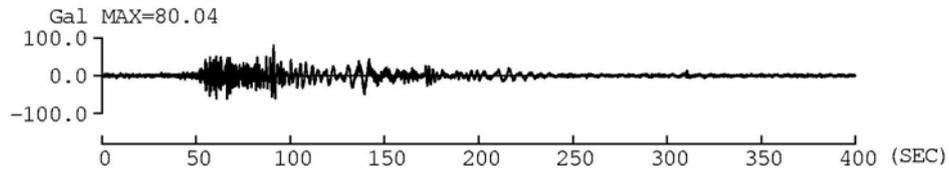
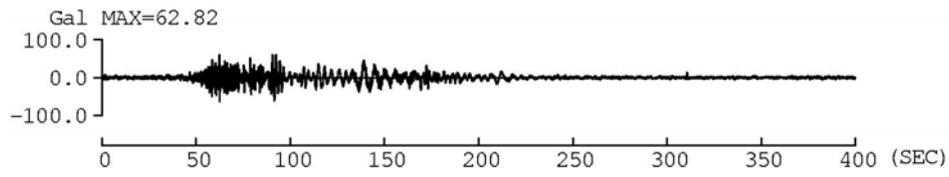
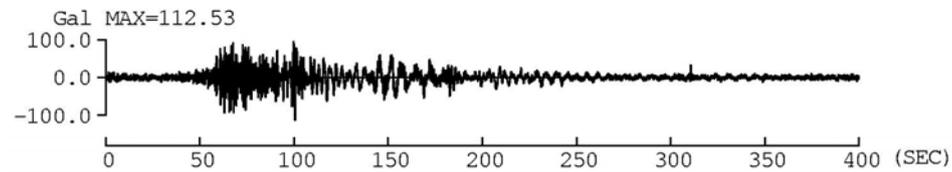
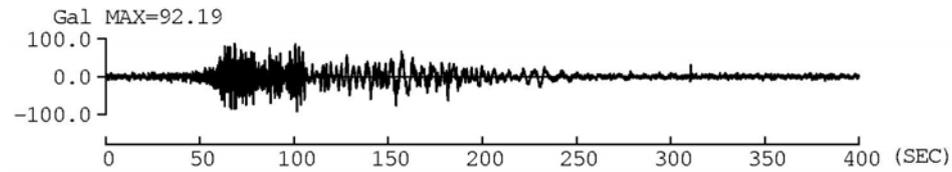


図 3.5.40 南海・東南海地震の AIC004 での速度波形

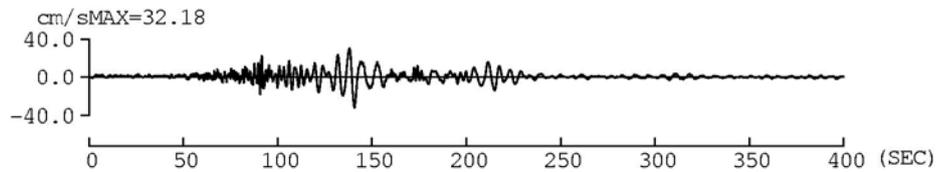
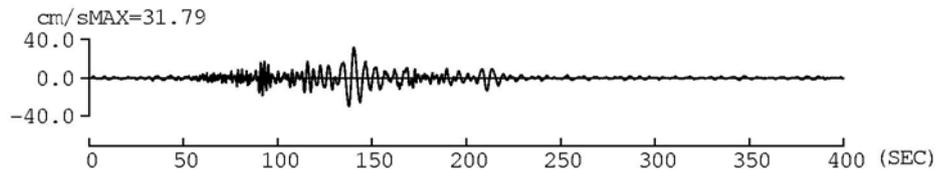


(a) 平均

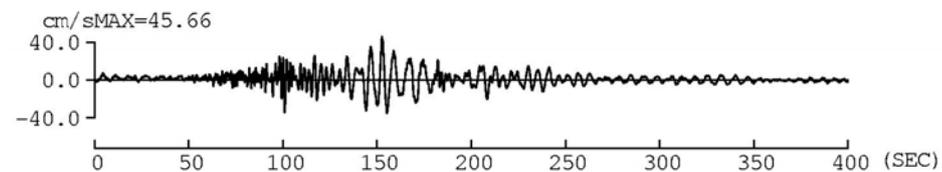
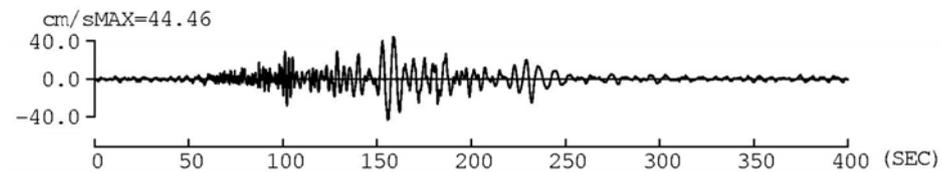


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.5.41 東南海・東海地震の OSKH02 での加速度波形

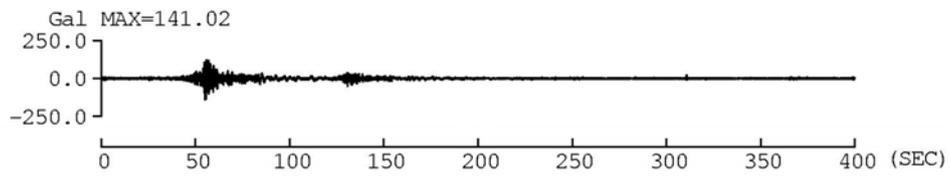
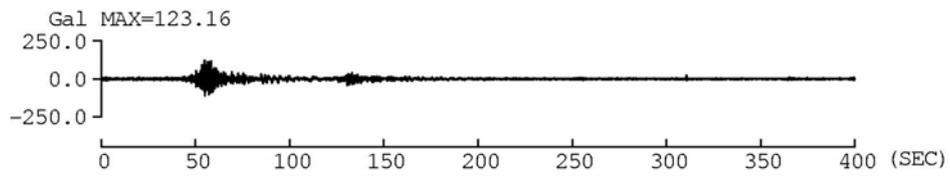


(a) 平均

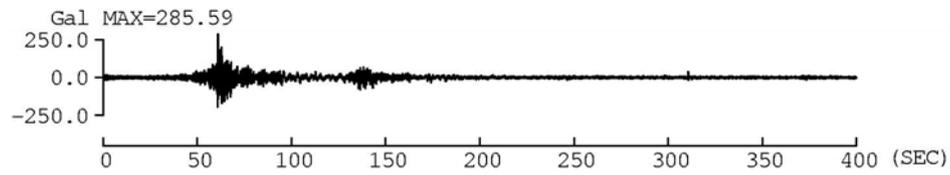
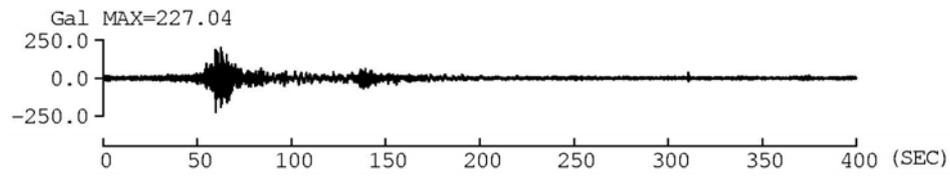


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.5.42 東南海・東海地震の OSKH02 での速度波形

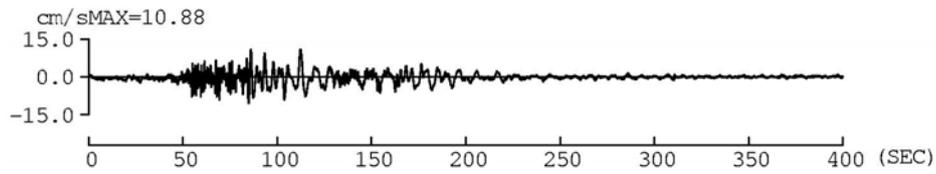
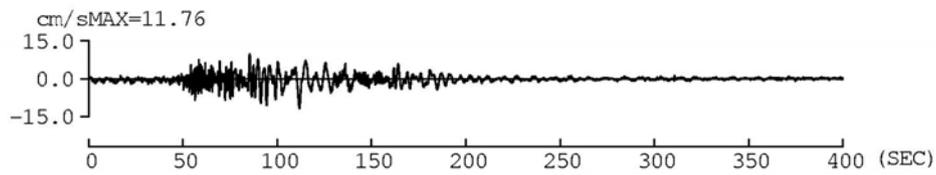


(a) 平均

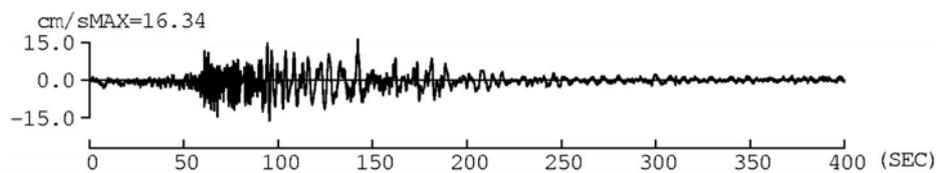
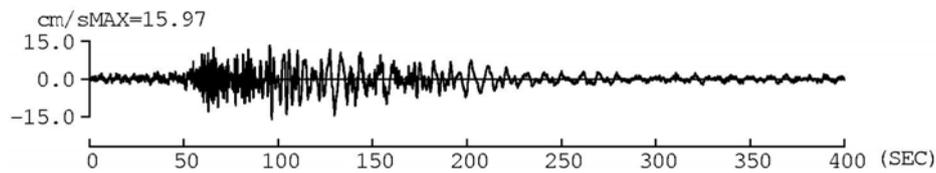


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.5.43 東南海・東海地震の OSK005 での加速度波形

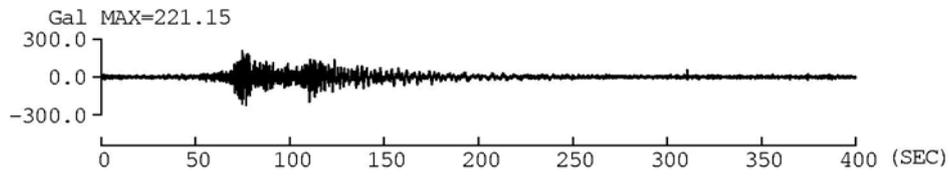
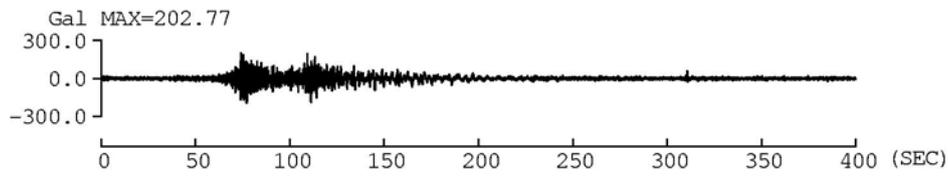


(a) 平均

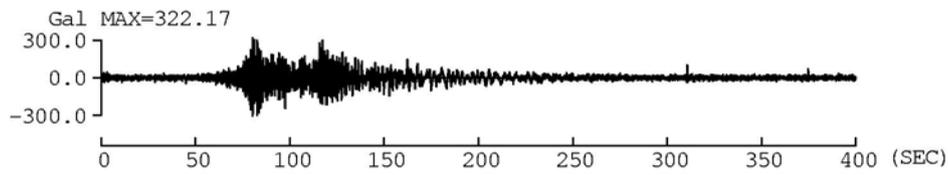
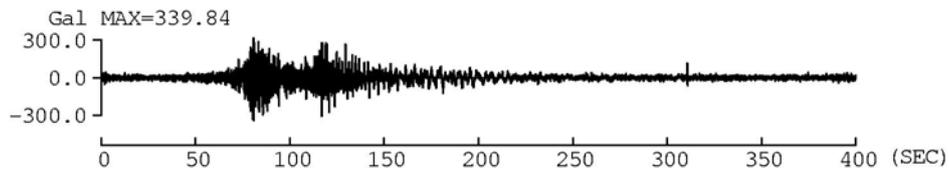


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.5.44 東南海・東海地震の OSK005 での速度波形

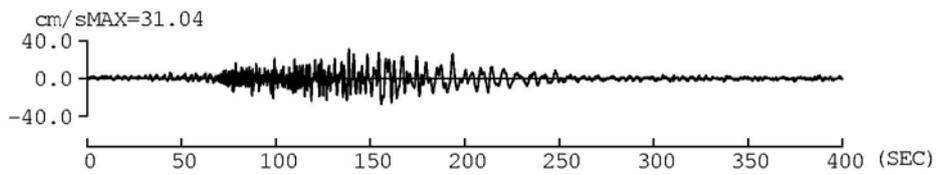
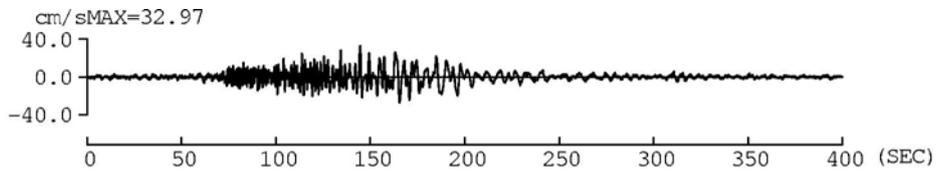


(a) 平均

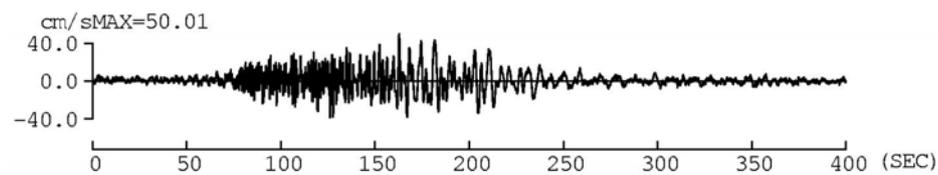
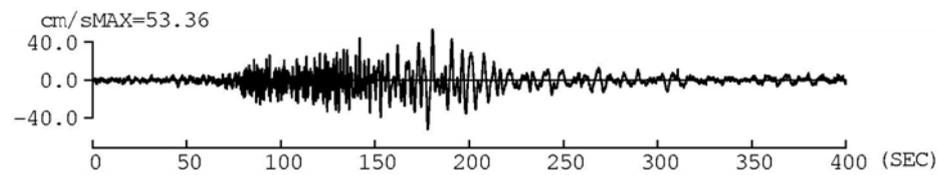


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.5.45 東南海・東海地震の AIC003 の加速度波形



(a) 平均



(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.5.46 東南海・東海地震の AIC003 での速度波形

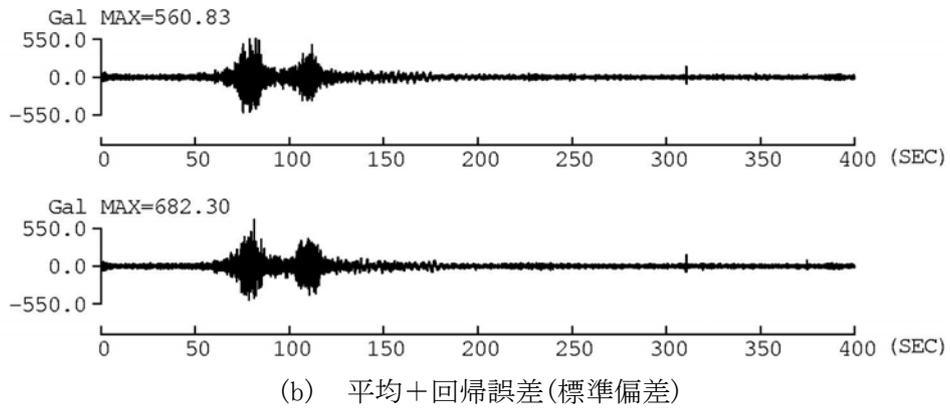
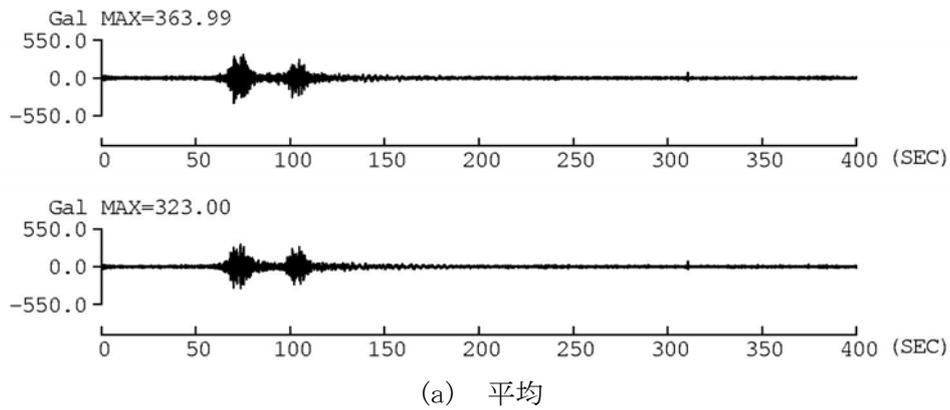


図 3.5.47 東南海・東海地震の AIC004 での加速度波形

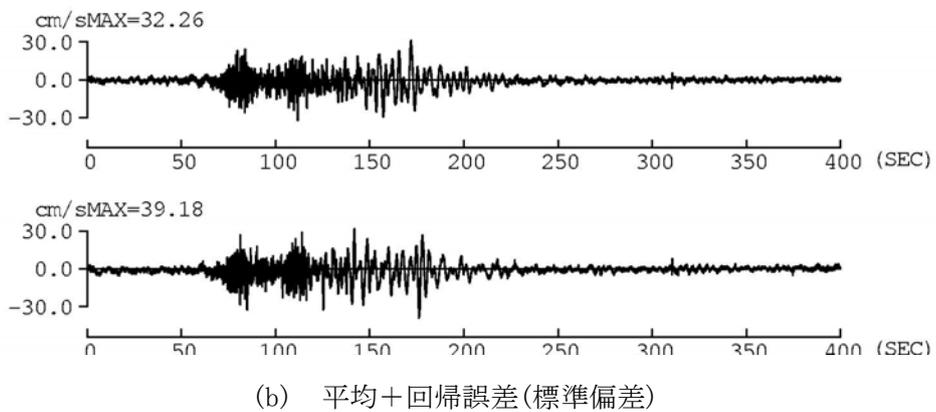
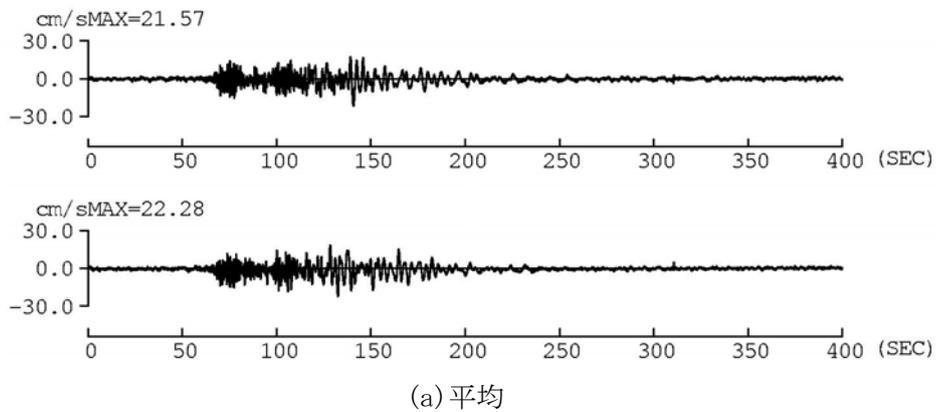


図 3.5.48 東南海・東海地震の AIC004 での速度波形

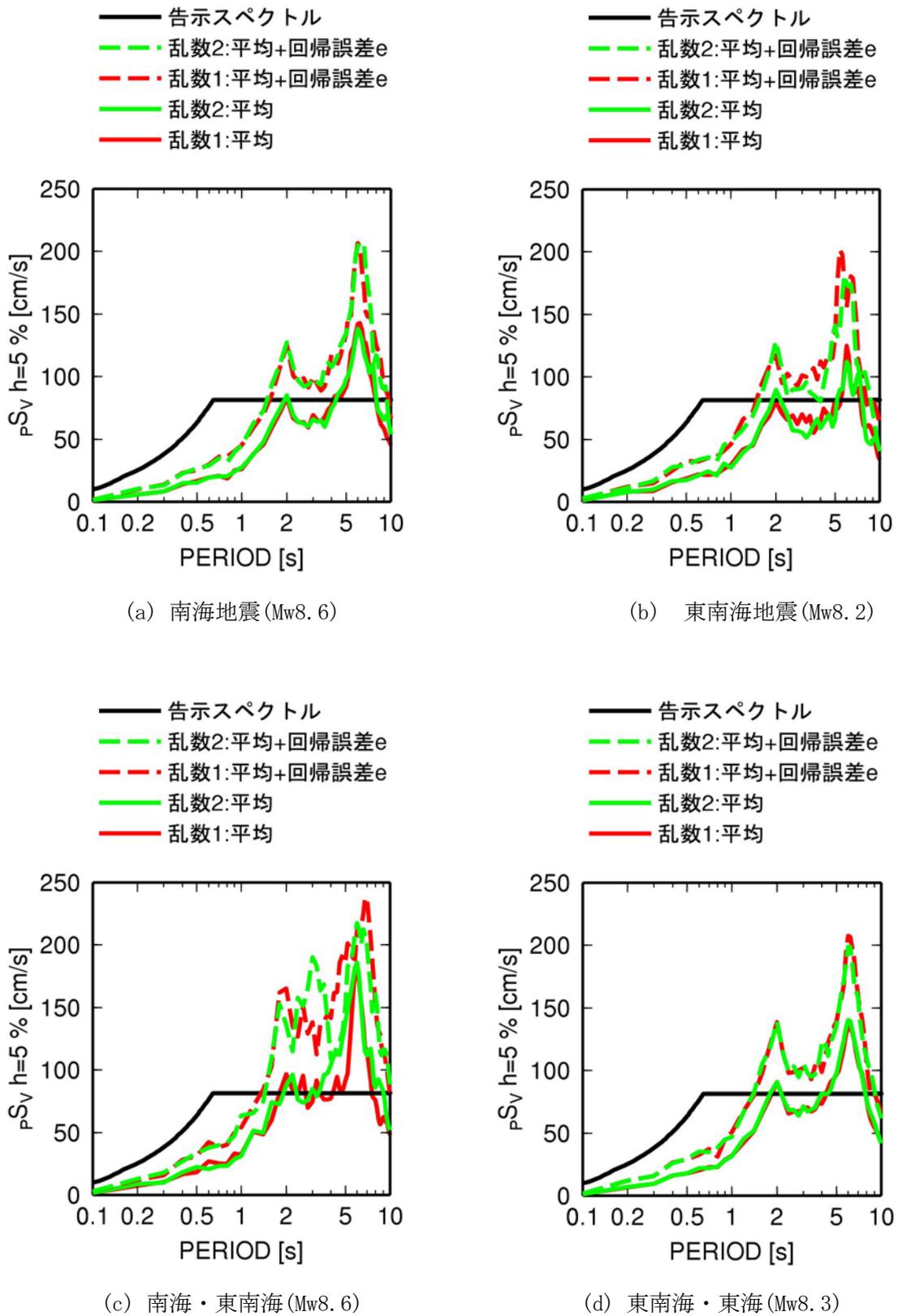


図 3.5.49 OSKH02 での 4 つ地震に対する予測波の減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトルの比較

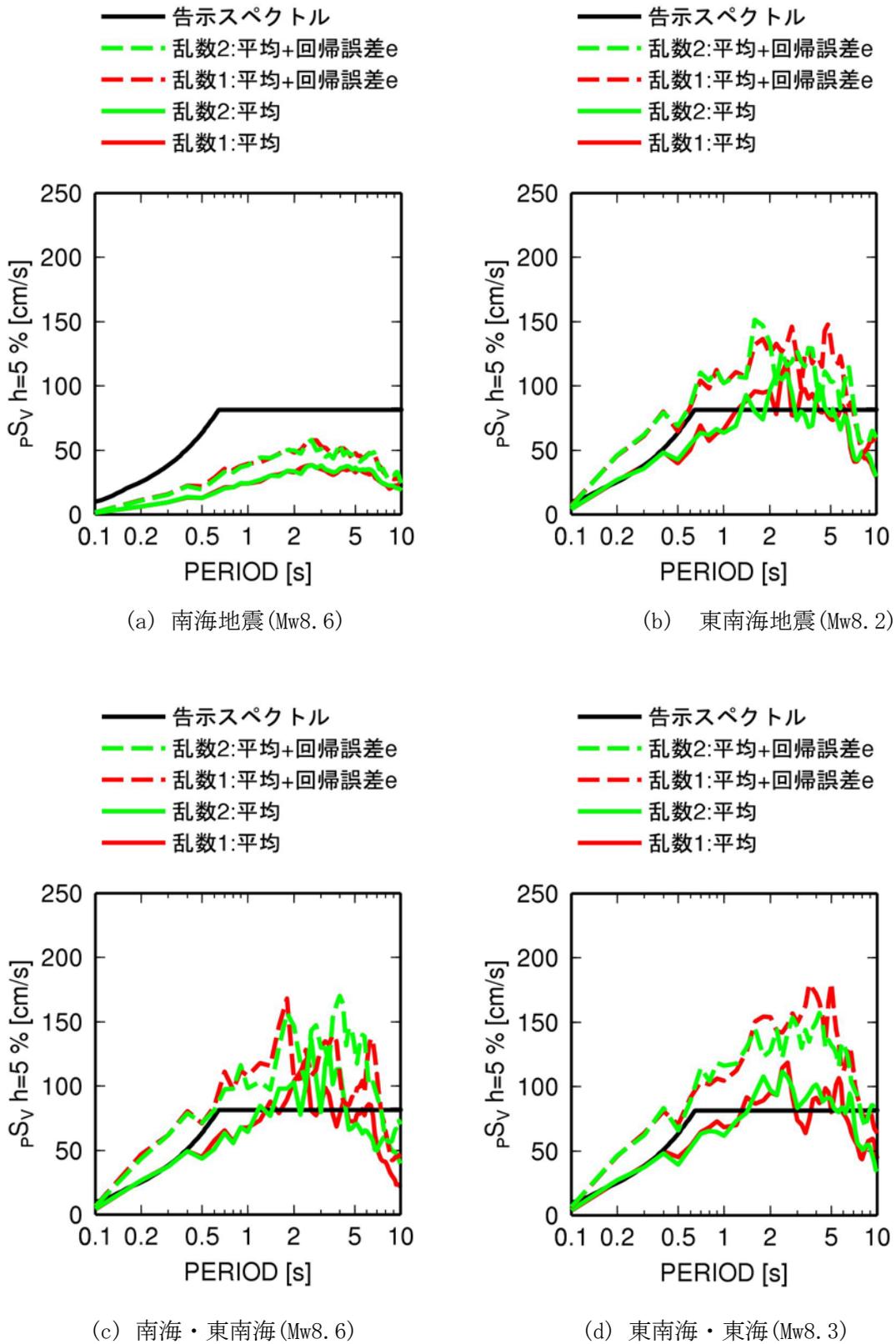
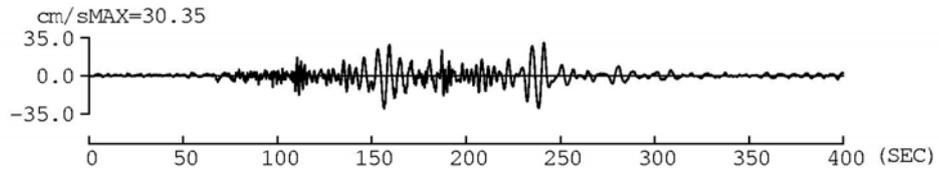
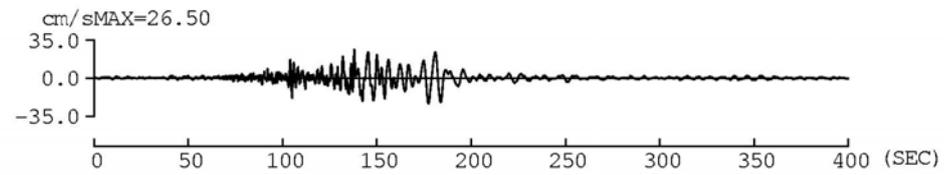
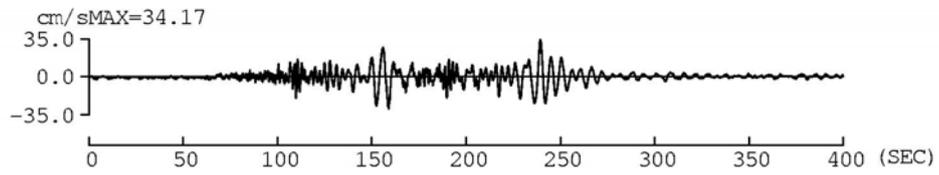


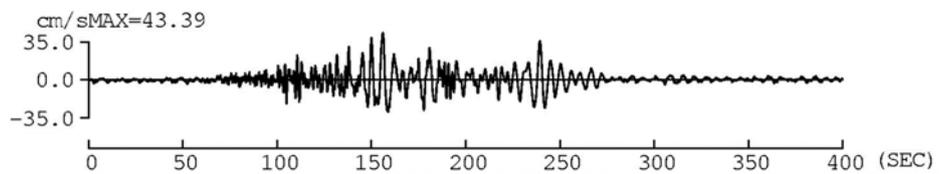
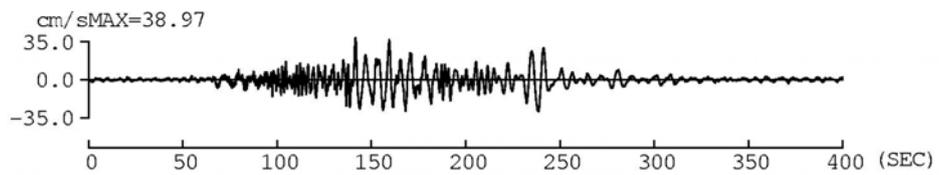
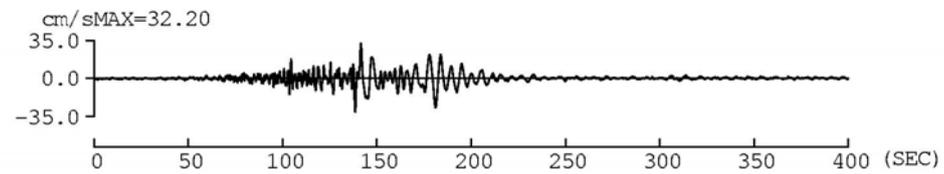
図 3.5.50 AIC003 での 4 つ地震に対する予測波の減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトルの比較



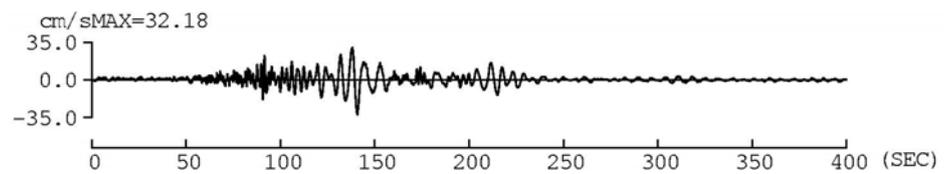
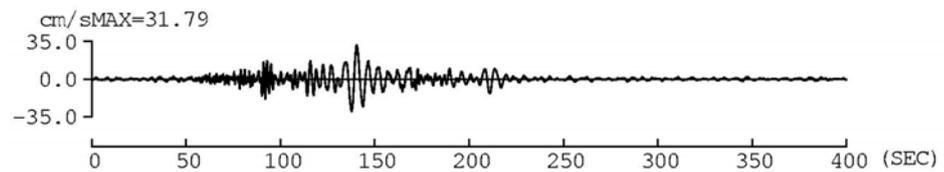
(a) 南海地震



(b) 東南海地震

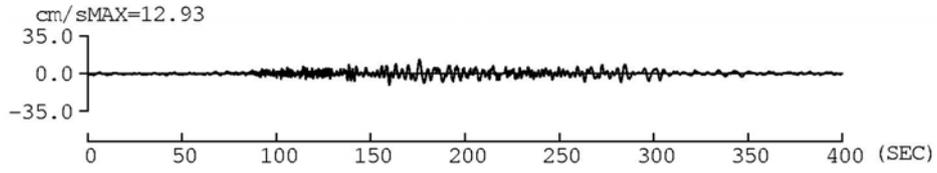
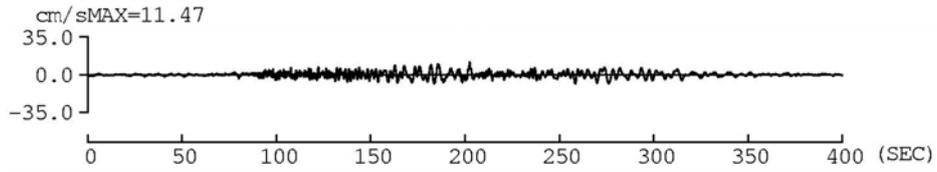


(c) 南海・東南海地震

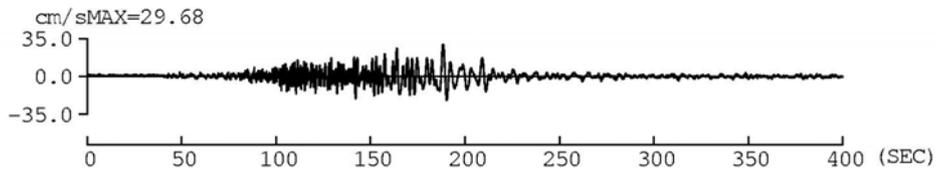
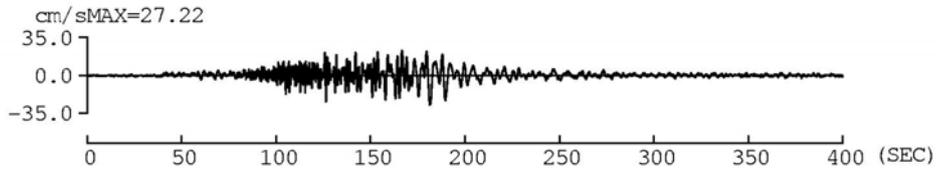


(d) 東南海・東海地震

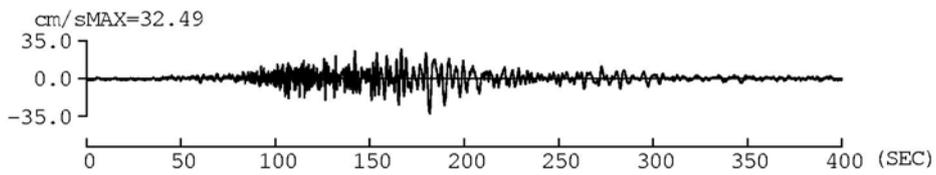
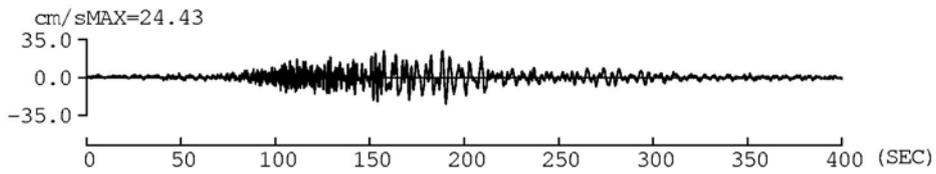
図 3.5.51 OSKH02 での速度波形(平均)



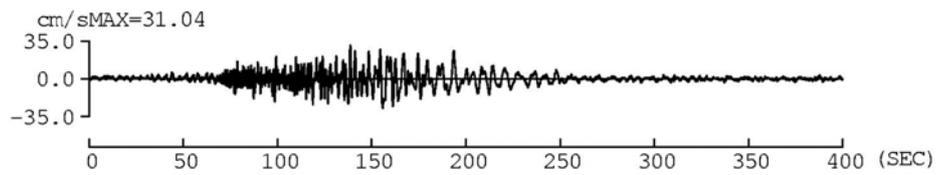
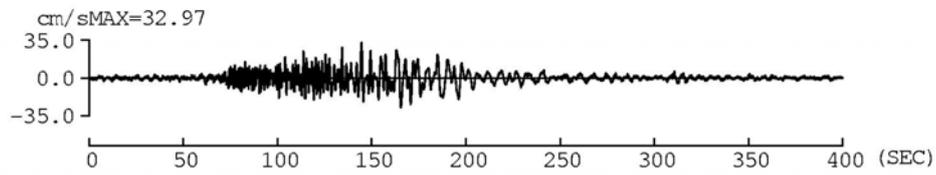
(a) 南海地震



(b) 東南海地震



(c) 南海・東南海地震



(d) 東南海・東海地震

図 3.5.52 AIC003 での速度波形(平均)

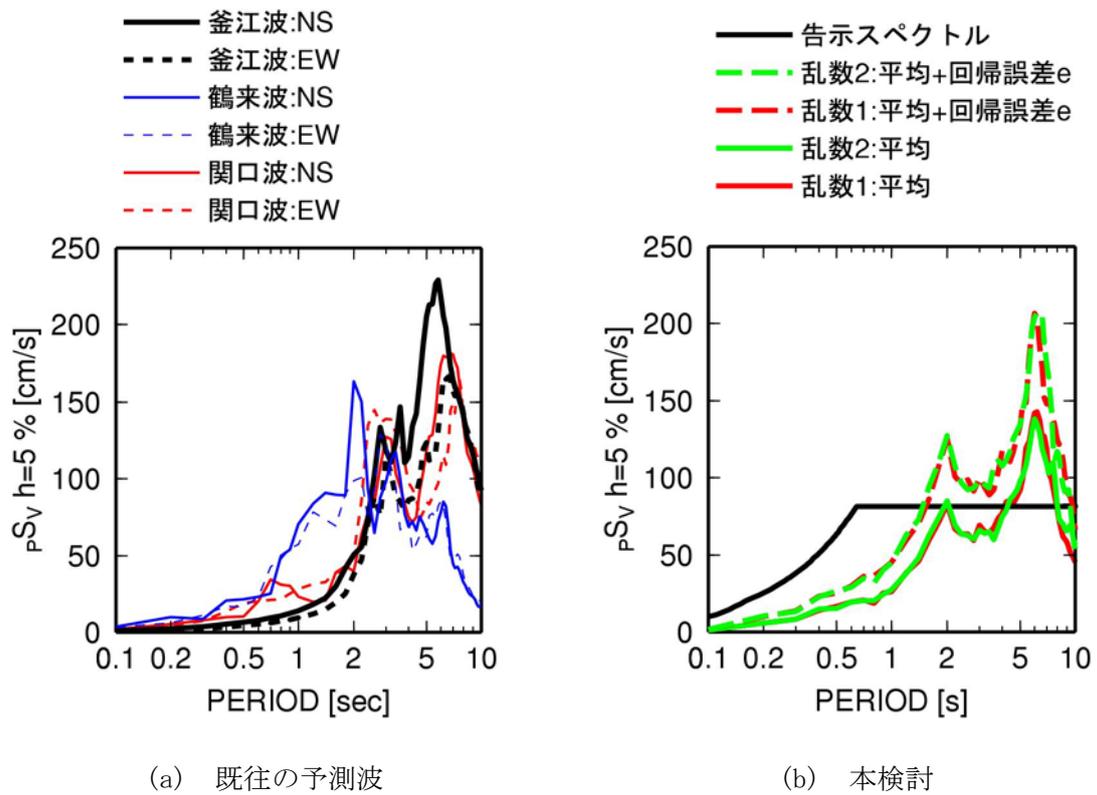


図 3.5.53 南海地震に対する既往の予測波と本検討の予測波の擬似速度応答スペクトルの比較

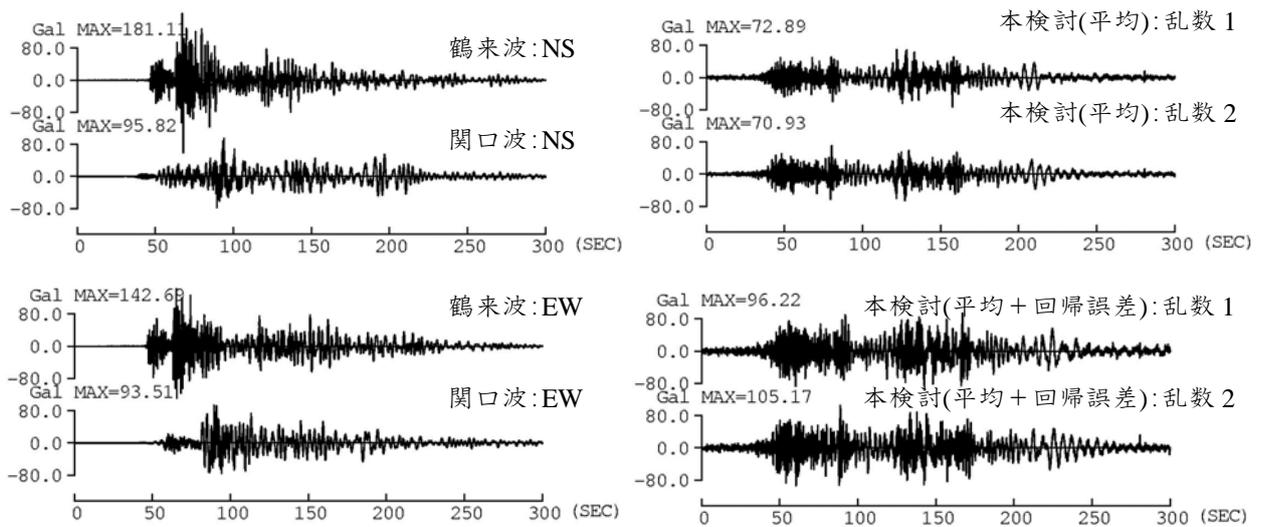


図 3.5.54 南海地震に対する既往の予測波と本検討の予測波の加速度波形(周期 0.1~10 秒のフィルター波)の比較

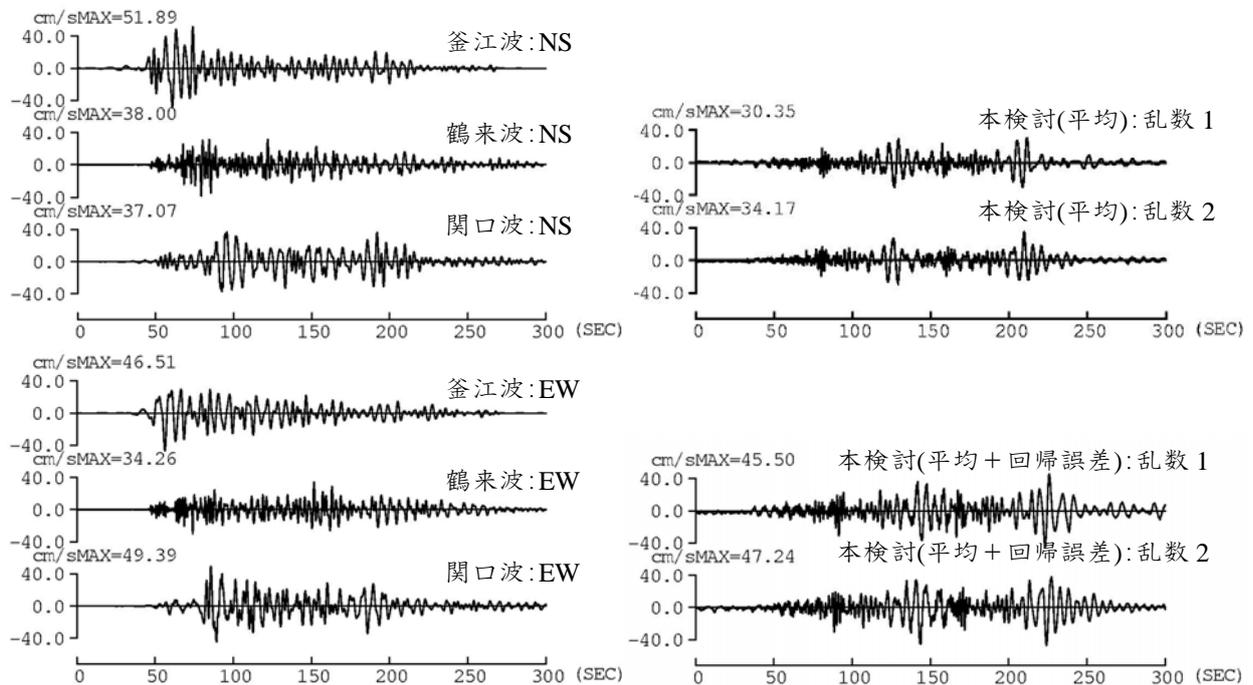


図 3.5.55 南海地震に対する既往の予測波と本検討の予測波の速度波形(周期 0.1~10 秒のフィルター波)の比較

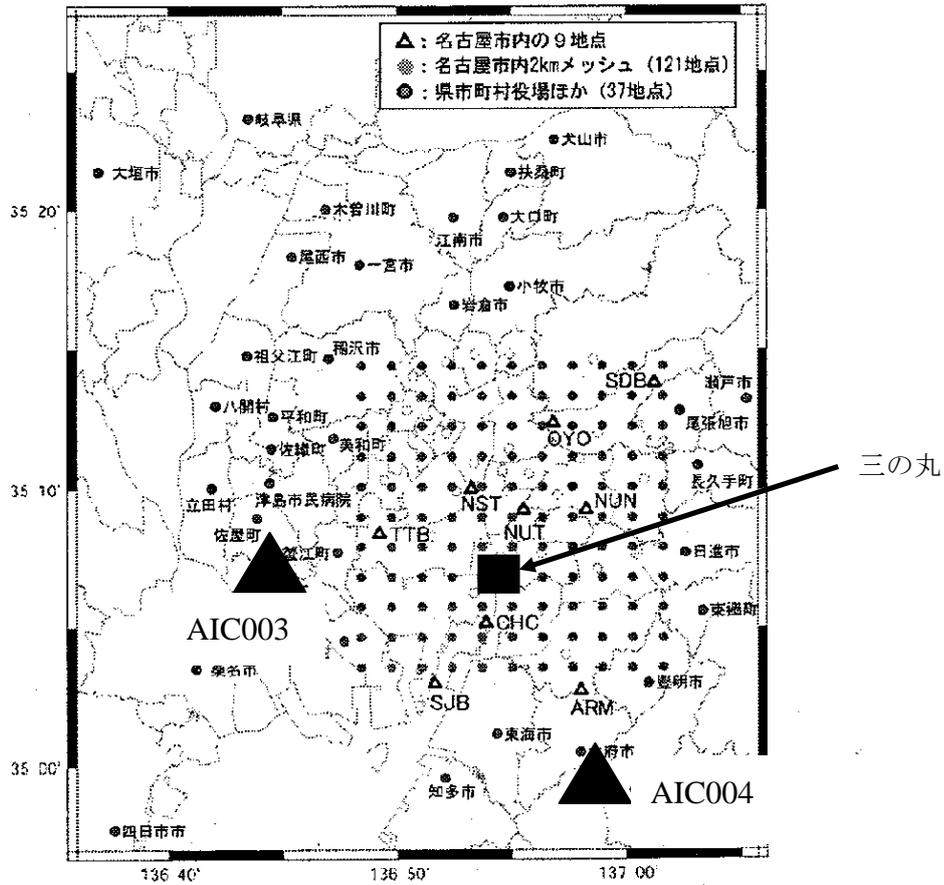


図 3.5.56 三の丸サイトと名古屋(AIC004)、津島(AIC003)の位置(佐藤・他, 2006)に加筆

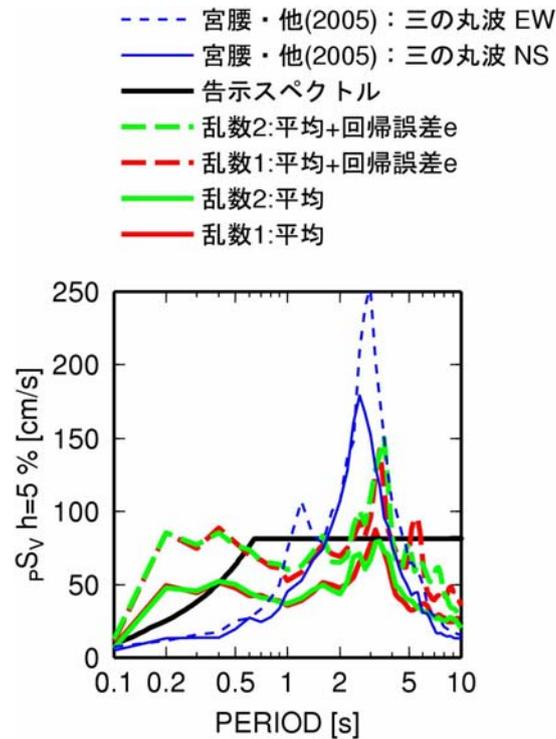
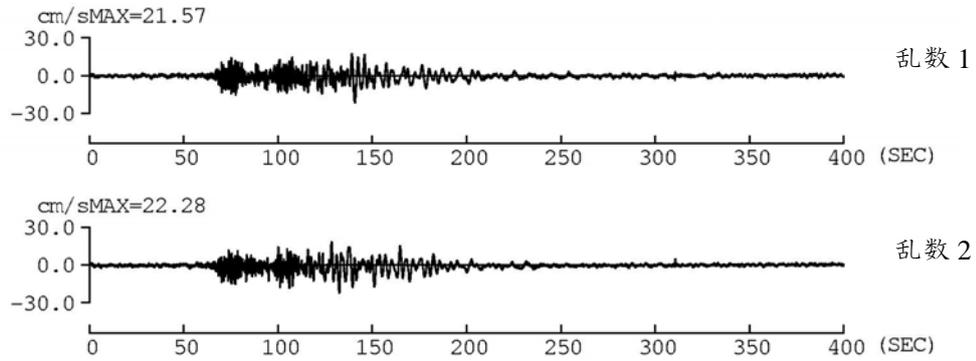
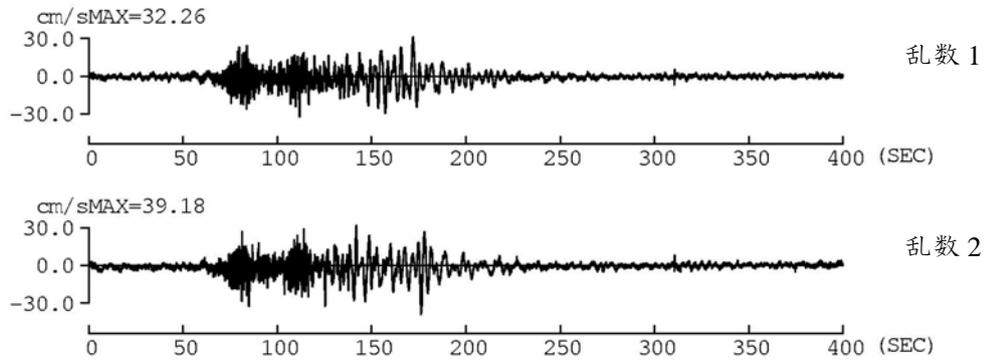


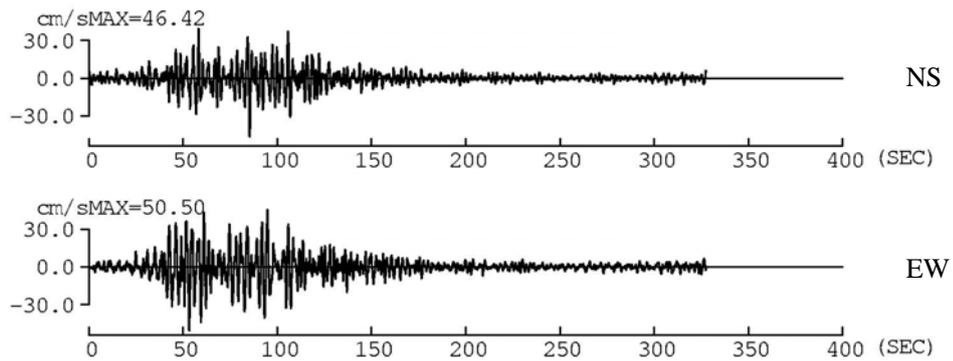
図 3.5.57 東南海・東海地震に対する本検討の名古屋(AIC004)での予測波と宮腰・他(2005)の予測波(通称 三の丸波)との比較



(a) 本検討（平均）名古屋(AIC004)：周期 0.1～10 秒のフィルター波

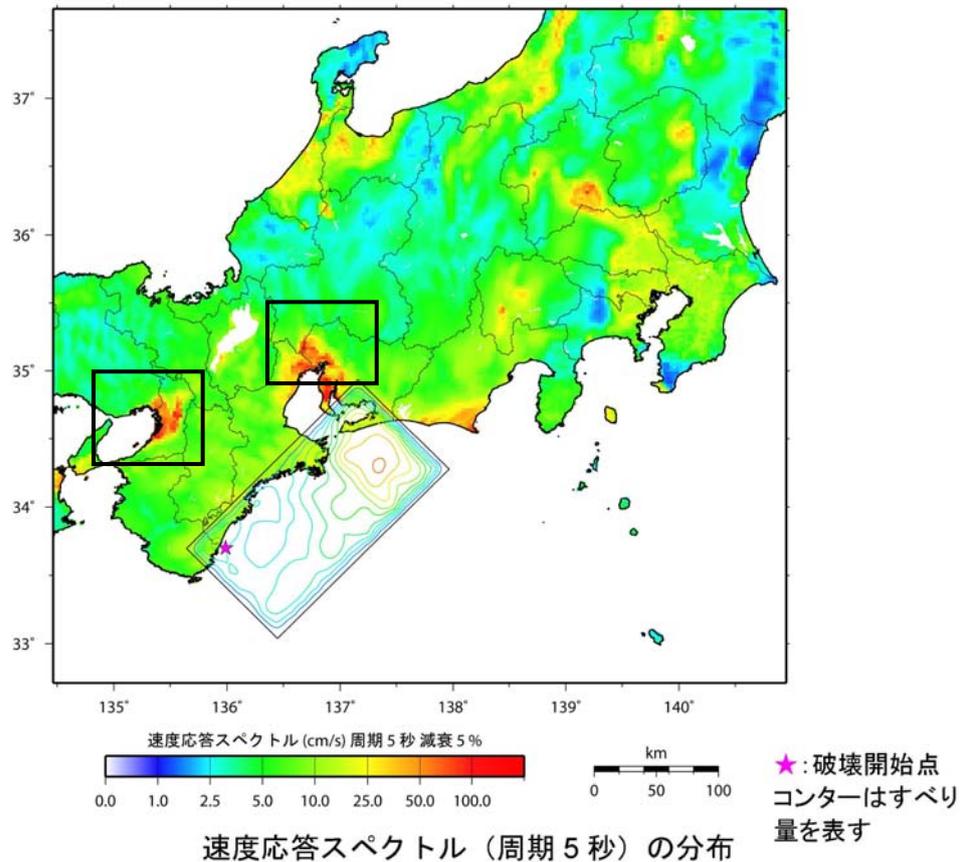


(b) 本検討（平均+標準偏差）名古屋(AIC004)：周期 0.1～10 秒のフィルター波

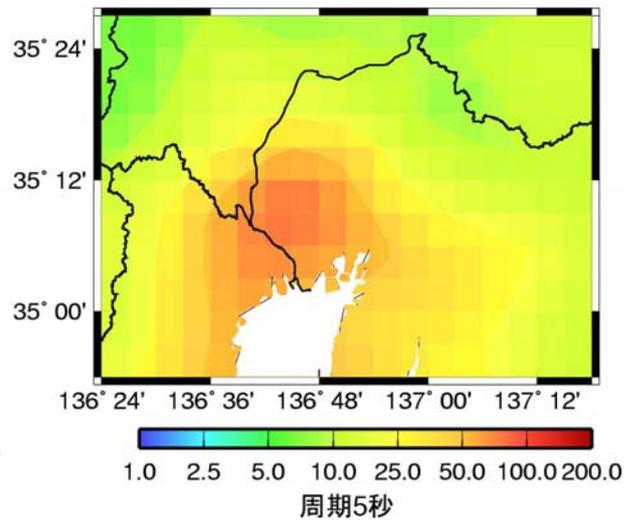
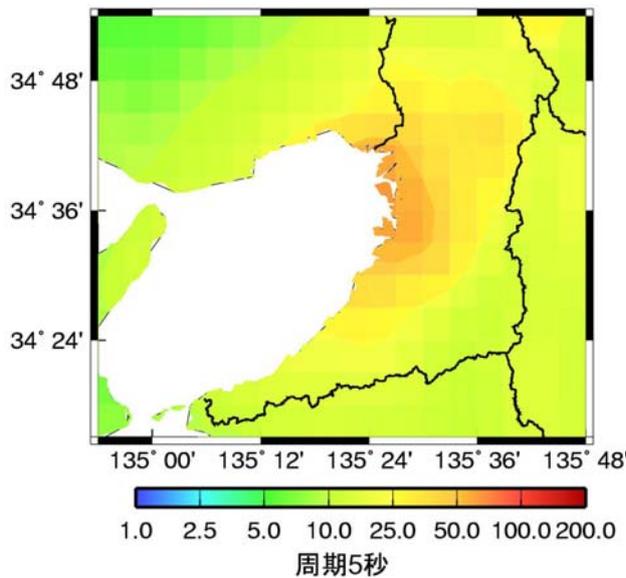


(c) 宮腰・他(2005)：周期 0.1～10 秒のフィルター波

図 3.5.58 東南海・東海地震に対する名古屋(AIC004)における本検討の予測波と宮腰・他(2005)の予測波（三の丸波）の速度波形(周期 0.1～10 秒のフィルター波)



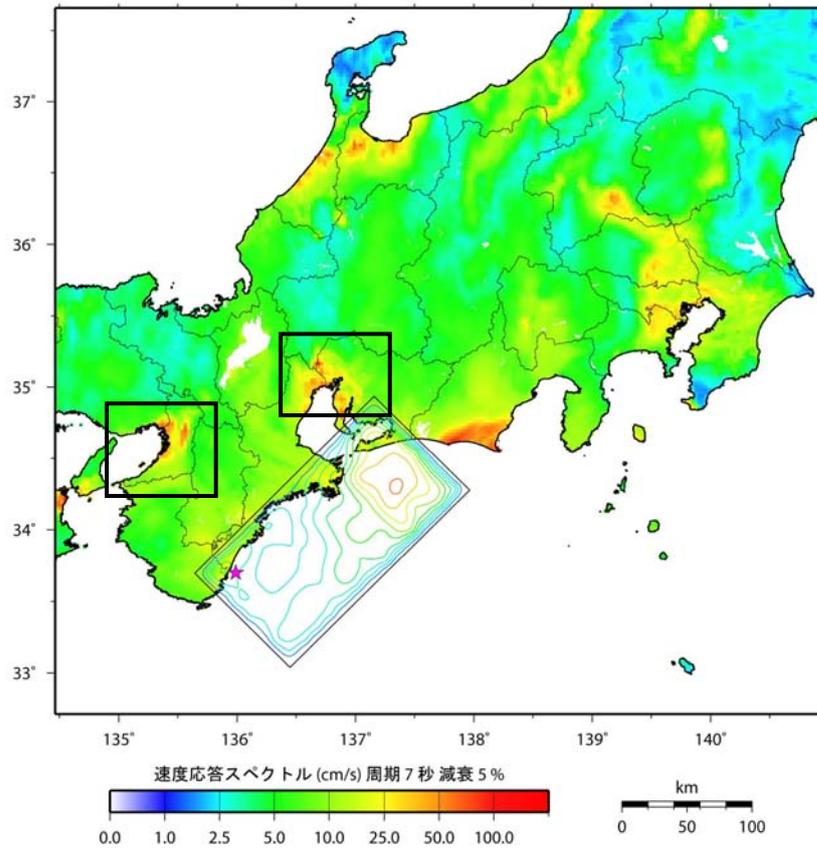
(a) 推本 (Mw8.1)



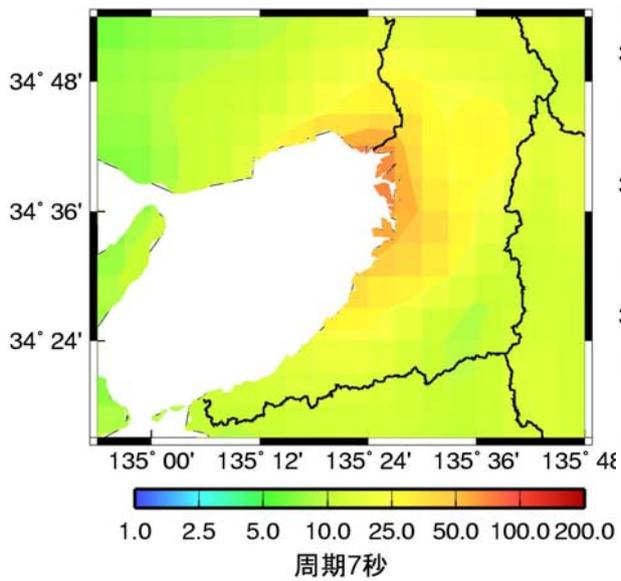
(b) 本検討 (Mw8.2) の大阪平野

(c) 本検討 (Mw8.2) の濃尾平野

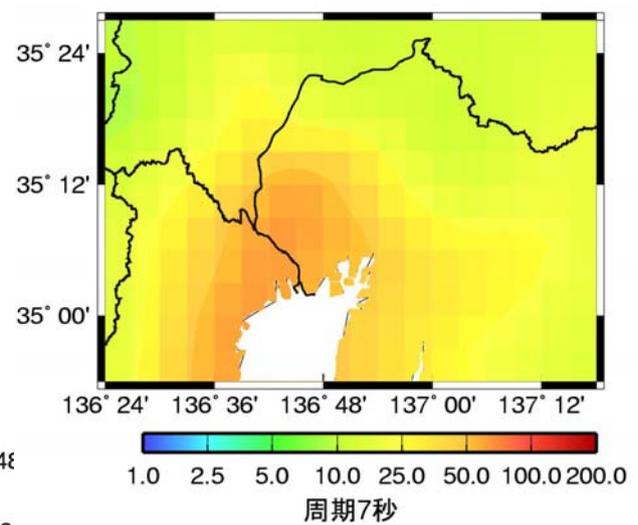
図 3.5.59 東南海地震に対する本検討(乱数 2)と推本の予測波の周期 5 秒での速度応答スペクトル(減衰定数 5%)の分布



(a) 推本

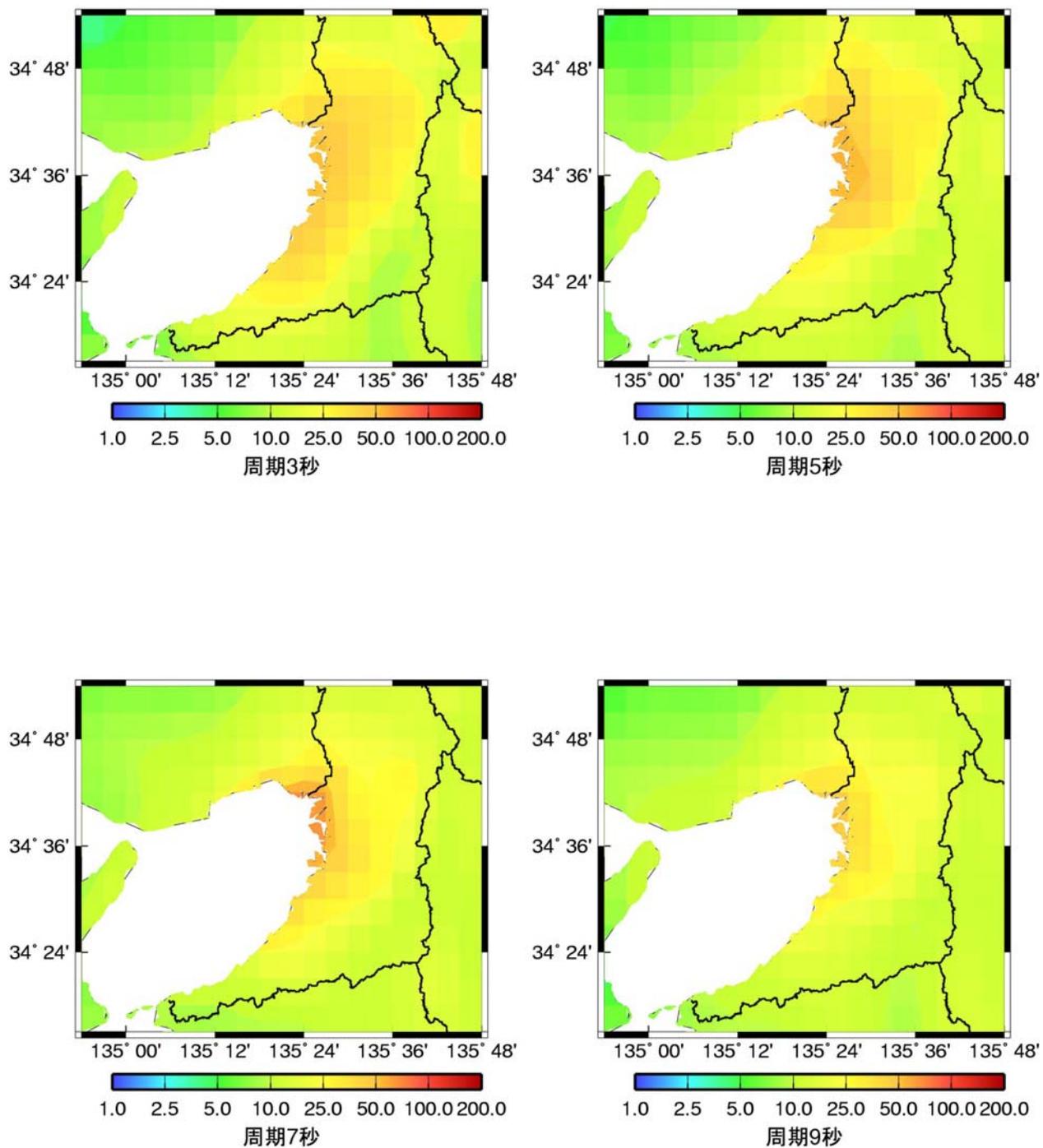


(b) 本検討 (Mw8.2) の大阪平野



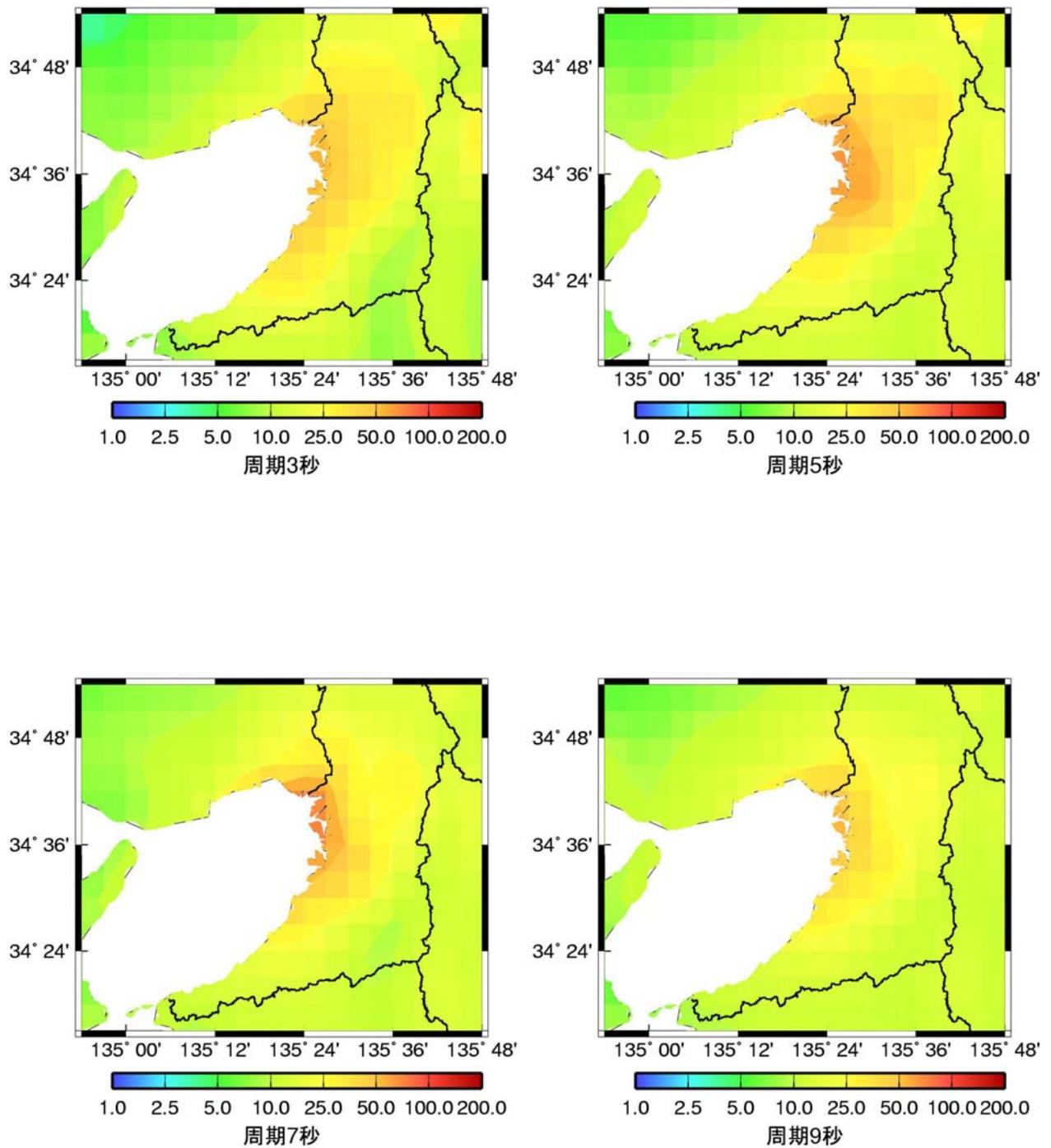
(c) 本検討 (Mw8.2) の濃尾平野

図 3.5.60 東南海地震に対する本検討(乱数2)と推本の予測波の周期7秒での速度応答スペクトル(減衰定数5%)の分布



S_V [cm/s] $h=5\%$: 東南海地震：水平成分

図 3.5.61 乱数 1 を用いた本検討の東南海地震の予測波の大阪平野における減衰定数 5% の速度応答スペクトル分布



S_v [cm/s] h=5 %: 東南海地震：水平成分

図 3.5.62 乱数 2 を用いた本検討の東南海地震の予測波の大阪平野における減衰定数 5% の速度応答スペクトル分布

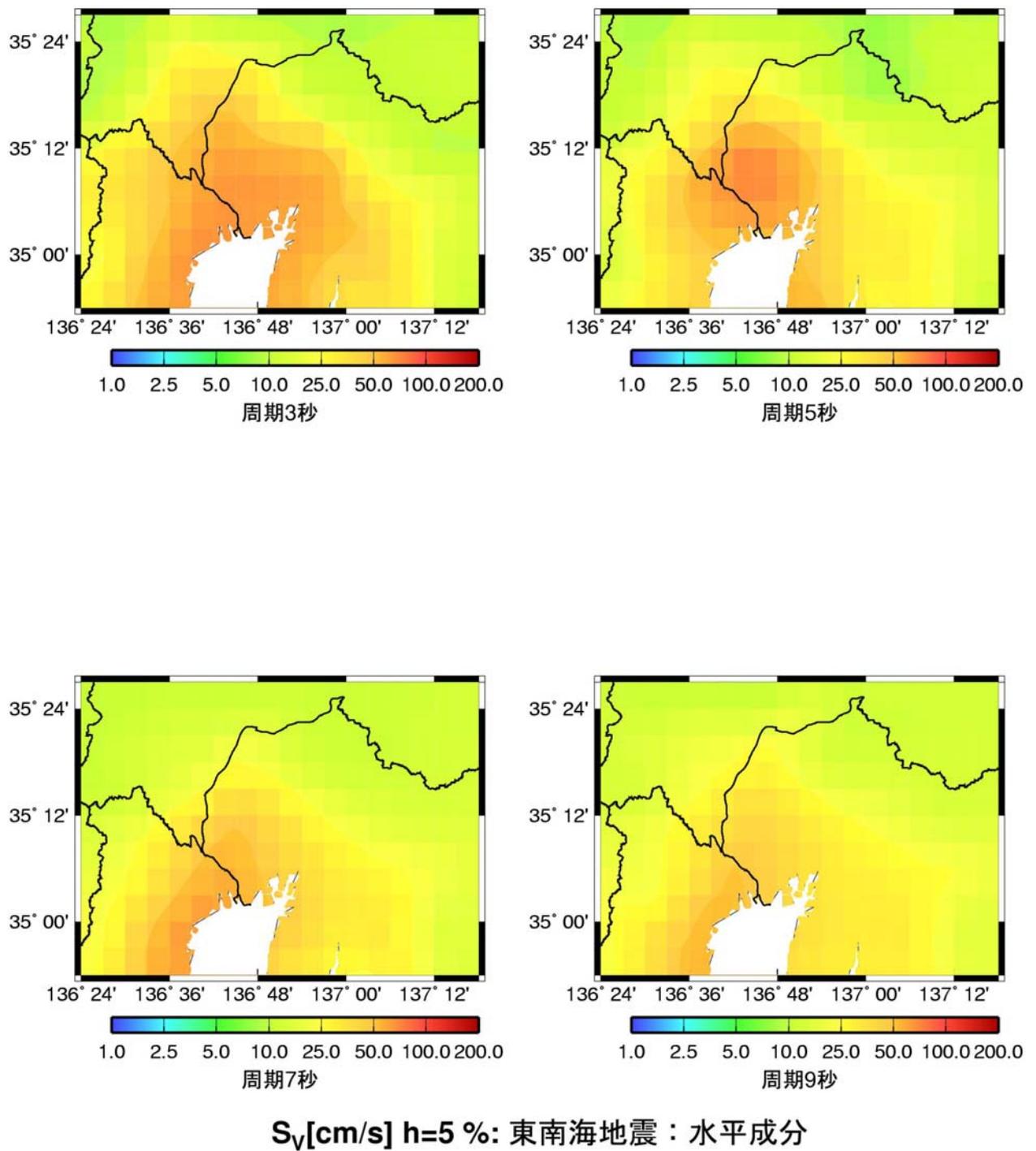


図 3. 5. 63 乱数 1 を用いた本検討の東南海地震の予測波の濃尾平野における減衰定数 5% の速度応答スペクトル分布

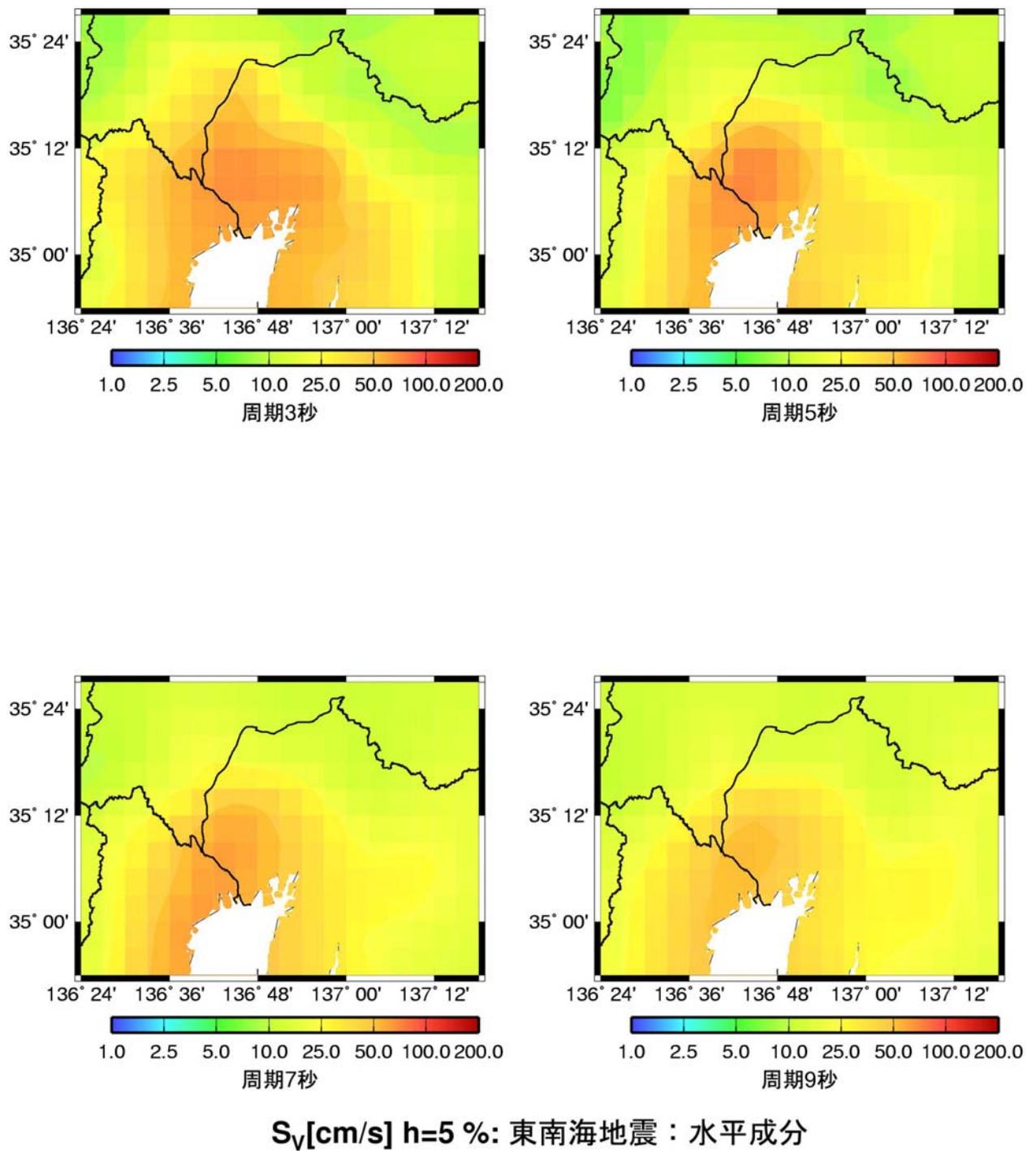


図 3.5.64 乱数 2 を用いた本検討の東南海地震の予測波の濃尾平野における減衰定数 5% の速度応答スペクトル分布

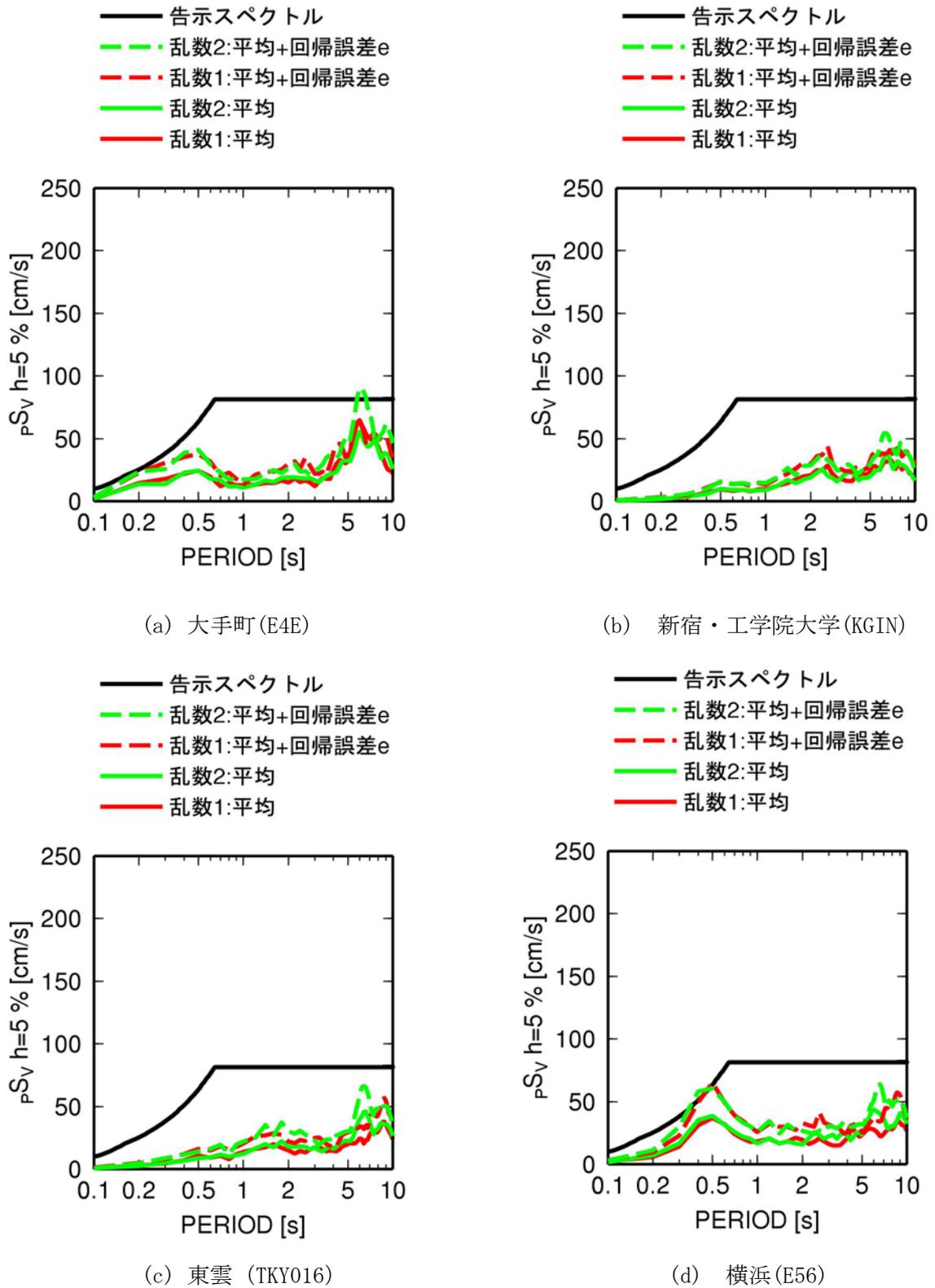
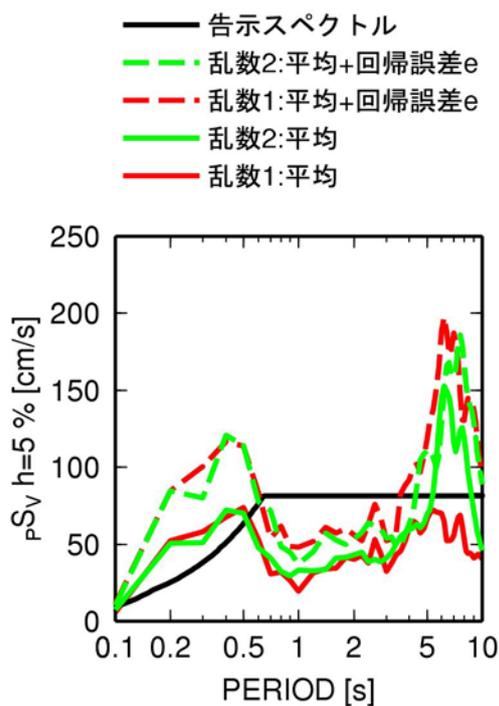
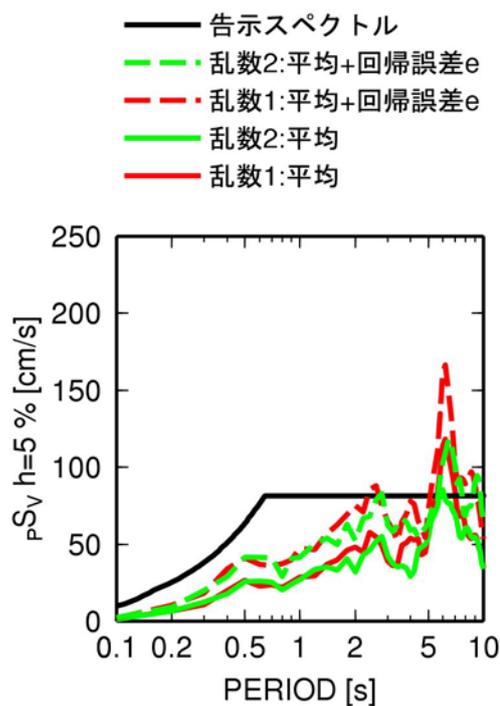


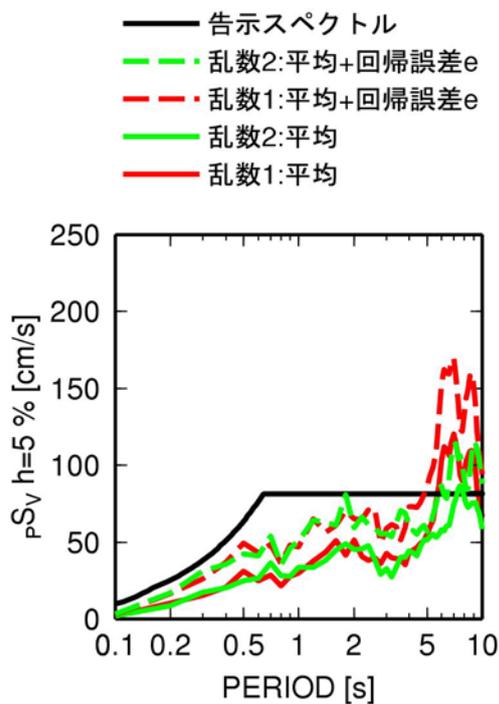
図 3.5.65 東南海地震の予測波の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトル



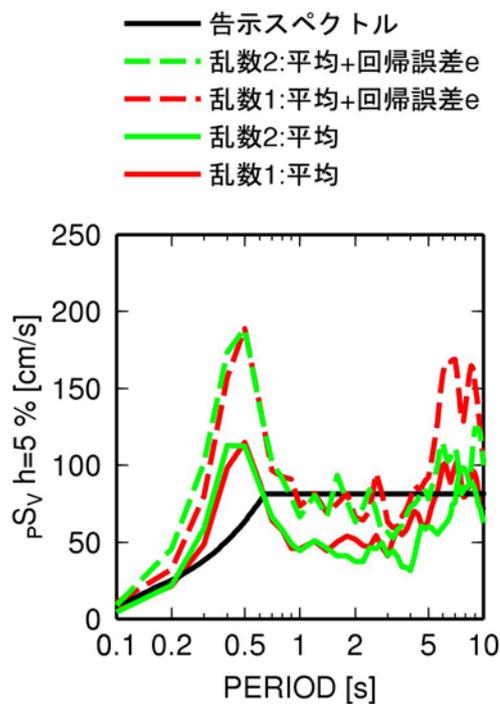
(a) 大手町 (E4E)



(b) 新宿・工学院大学 (KGIN)

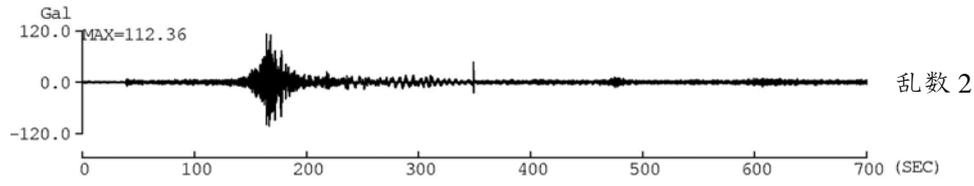
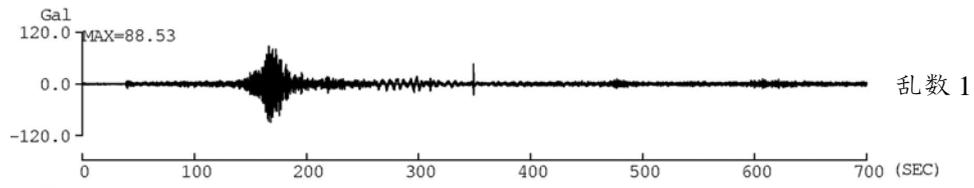


(c) 東雲 (TKY016)

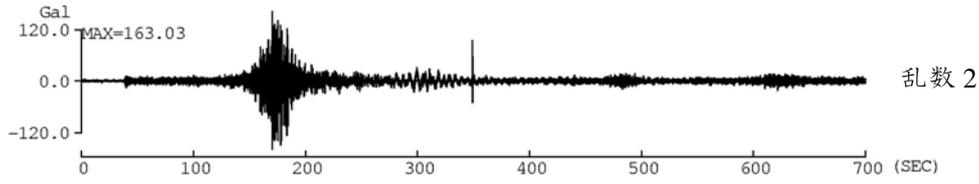
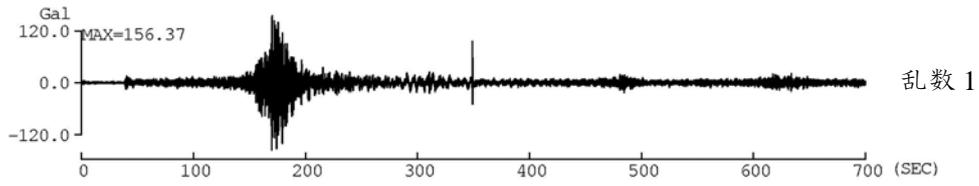


(d) 横浜 (E56)

図 3.5.66 東南海・東海地震の予測波の減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトル

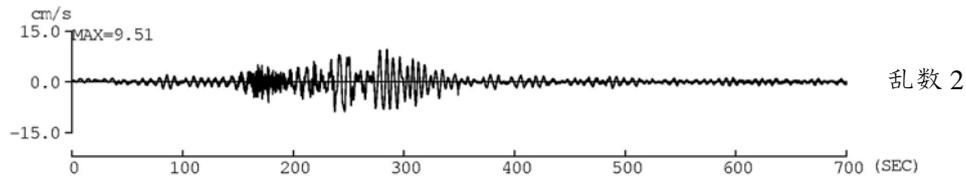
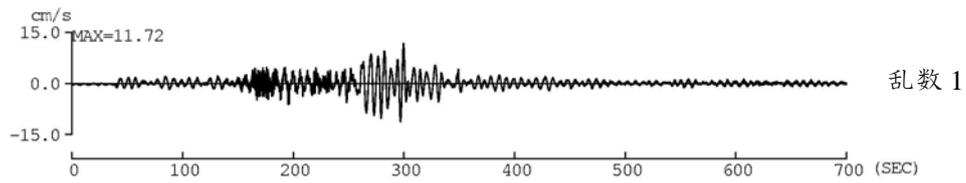


(a) 平均

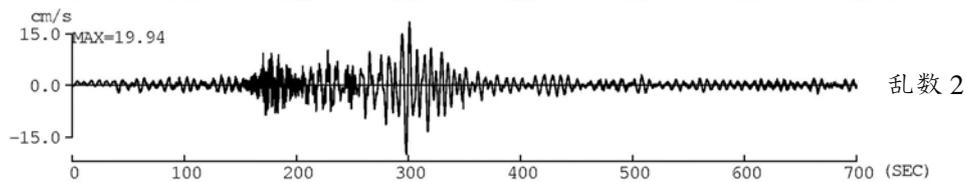
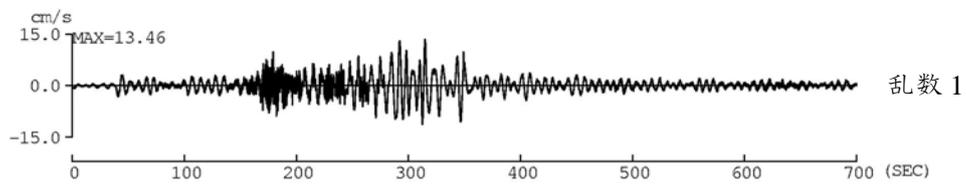


(b) 平均+回帰誤差

図 3.5.67 東南海地震による大手町(E4E)における周期 0.1~10 秒の加速度波形

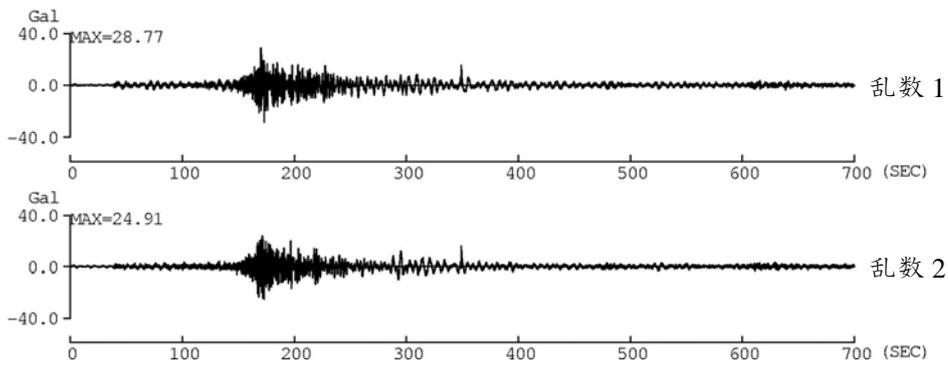


(a) 平均

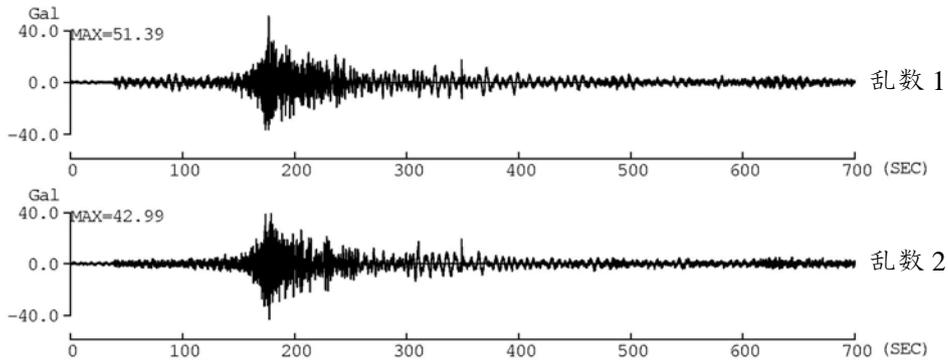


(b) 平均+回帰誤差

図 3.5.68 東南海地震による大手町(E4E)における本周期 0.1~10 秒の速度波形

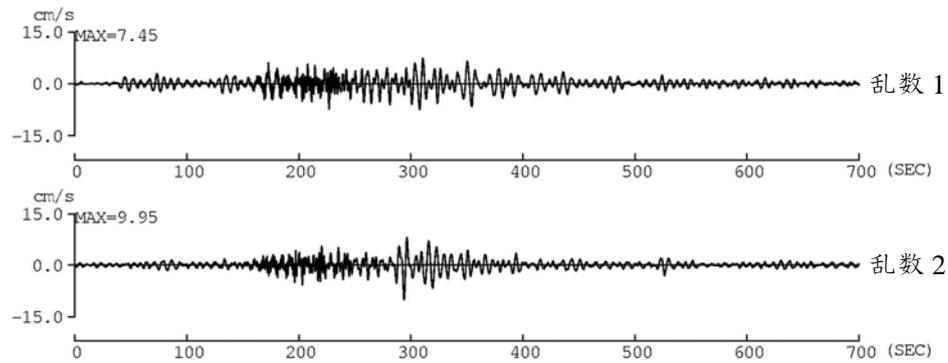


(a) 平均

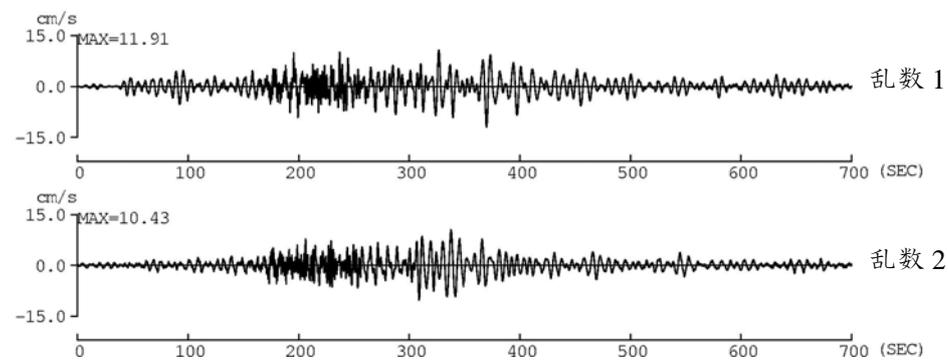


(b) 平均+回帰誤差

図 3.5.69 東南海地震による新宿・工学院大学(KGIN)における周期 0.1~10 秒の加速度波形



(a) 平均



(b) 平均+回帰誤差

図 3.5.70 東南海地震による新宿・工学院大学(KGIN)での本検討の周期 0.1~10 秒の速度波形

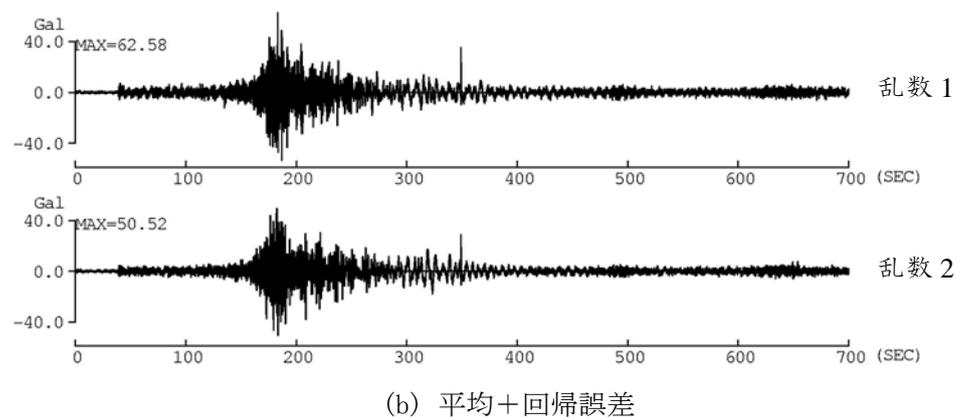
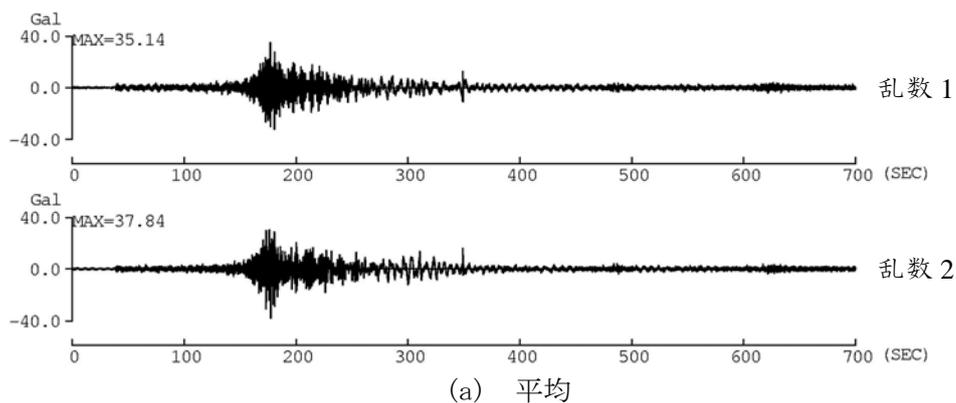


図 3.5.71 東南海地震による東雲(TKY016)における本検討の周期 0.1~10 秒の加速度波形

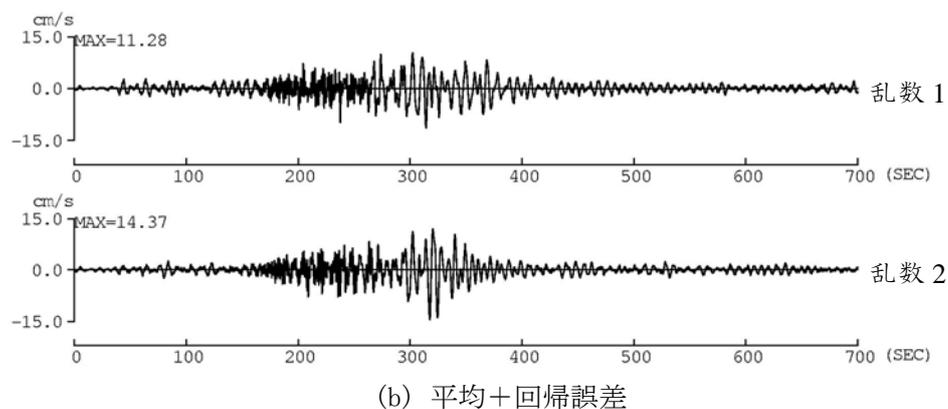
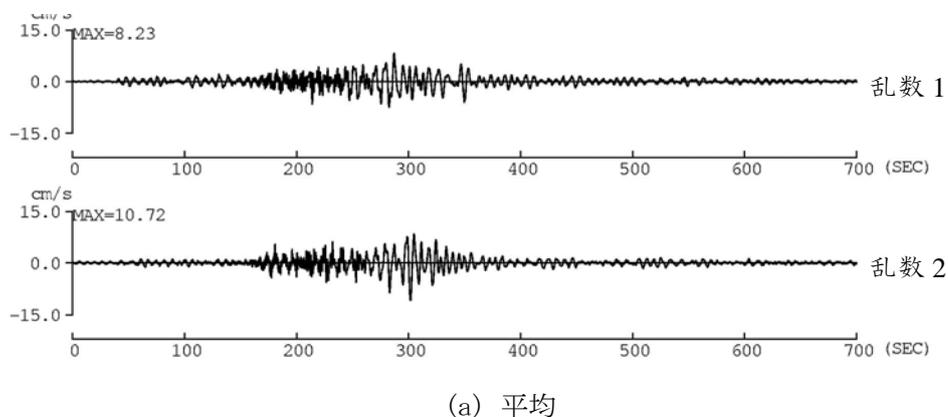


図 3.5.72 想定東南海地震による東雲(TKY016)における本検討の周期 0.1~10 秒の速度波形

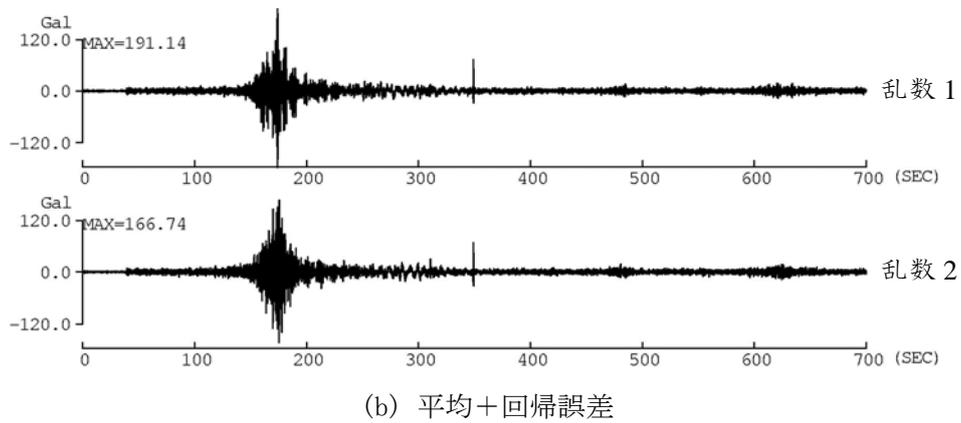
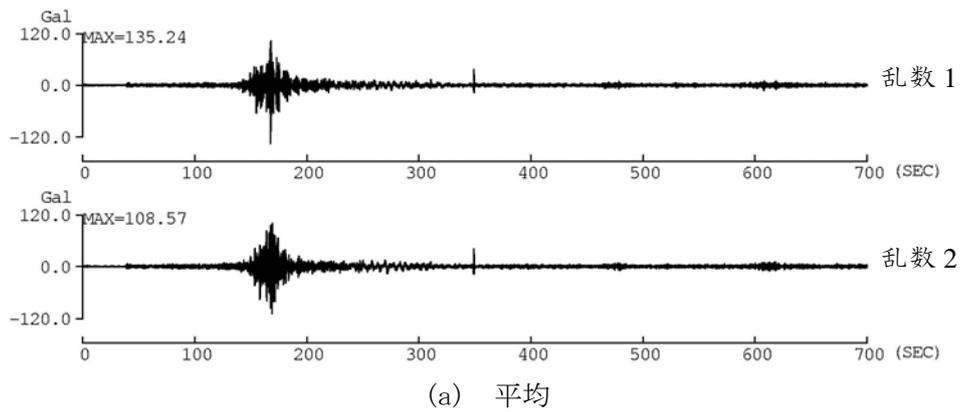


図 3.5.73 東南海地震による横浜 (E56) における本検討の周期 0.1~10 秒の加速度波形

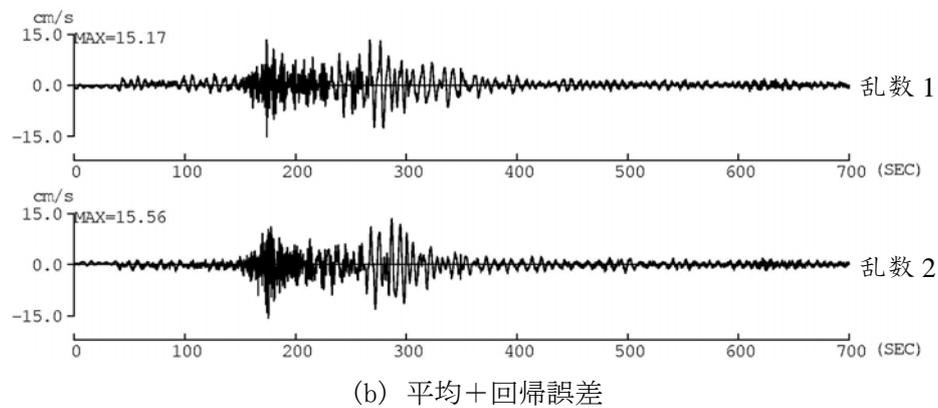
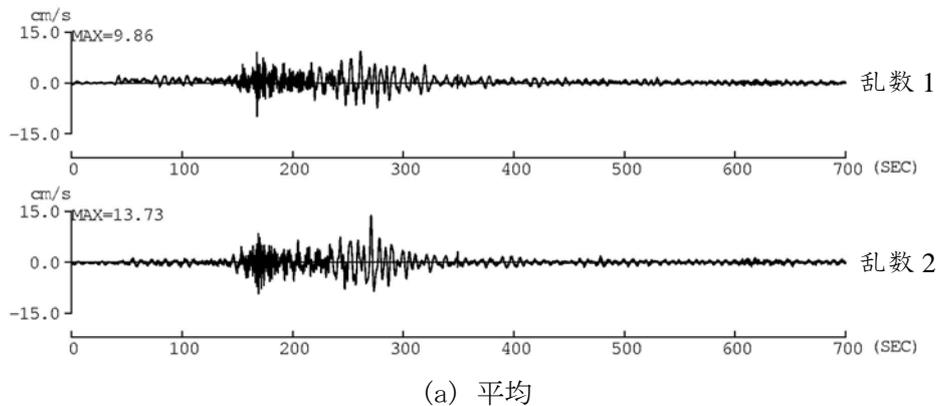


図 3.5.74 東南海地震による横浜 (E56) における本検討の周期 0.1~10 秒の速度波形

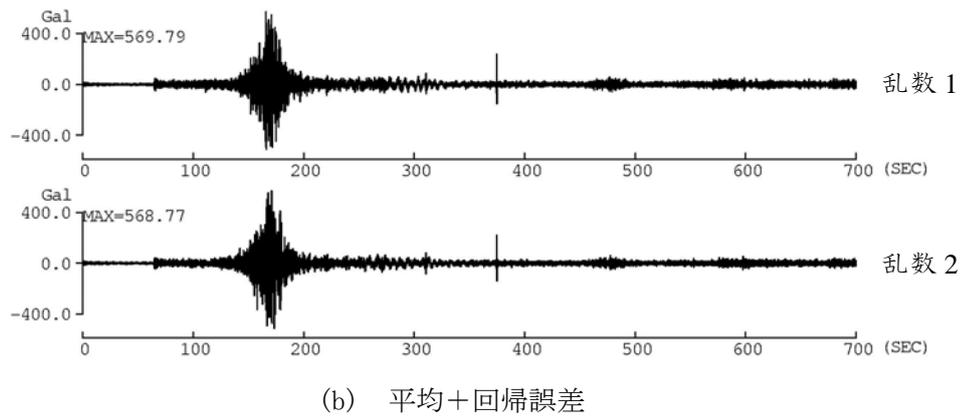
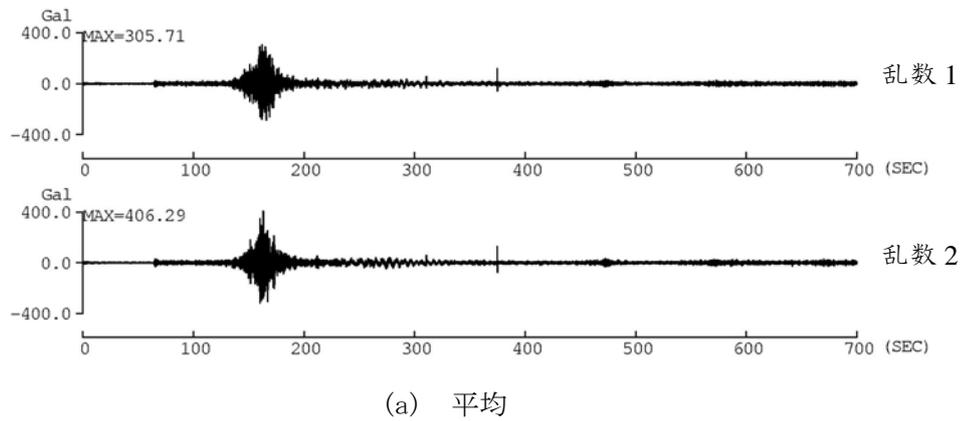


図 3.5.75 東南海・東海地震による大手町(E4E)における周期 0.1~10 秒の加速度波形

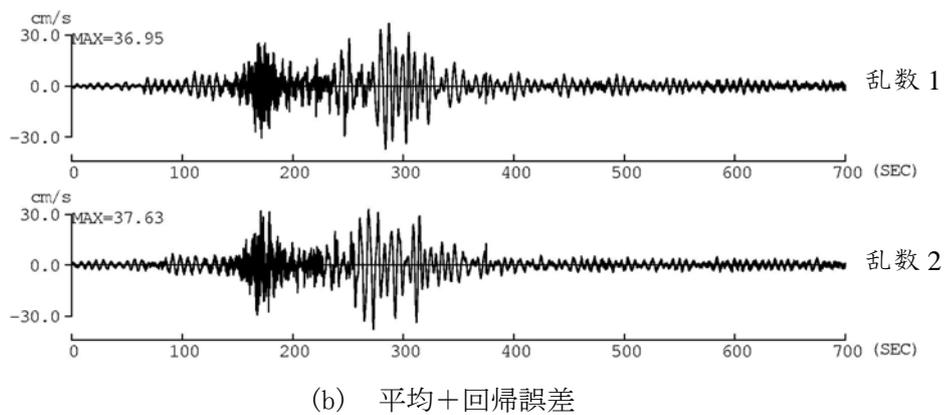
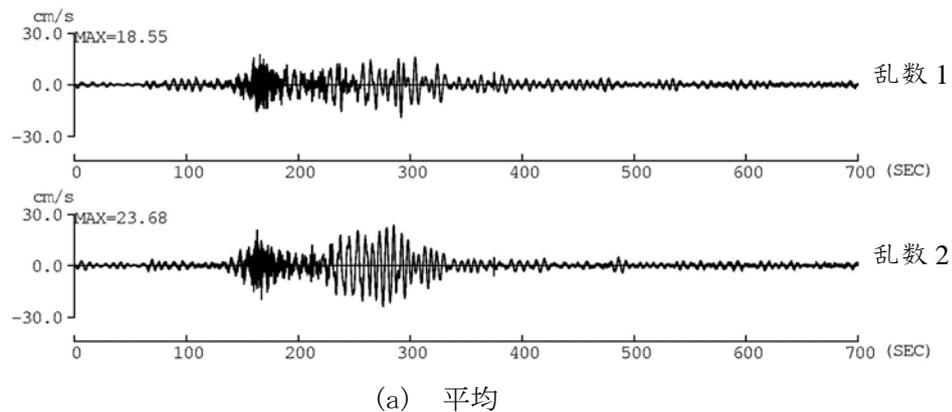
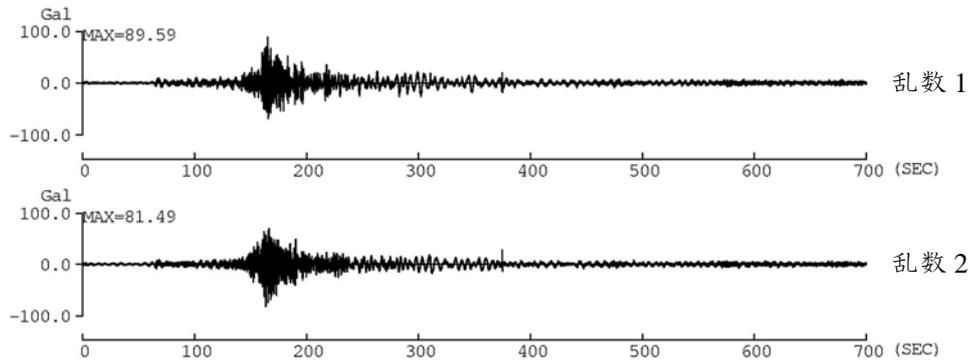
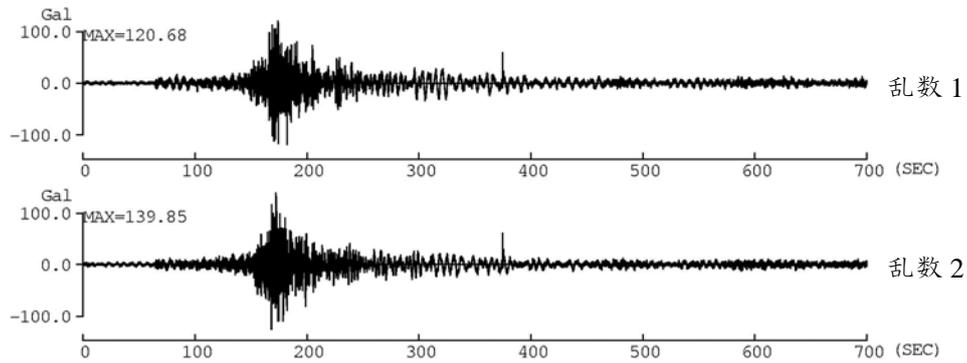


図 3.5.76 東南海・東海地震による大手町(E4E)における周期 0.1~10 秒の速度波形

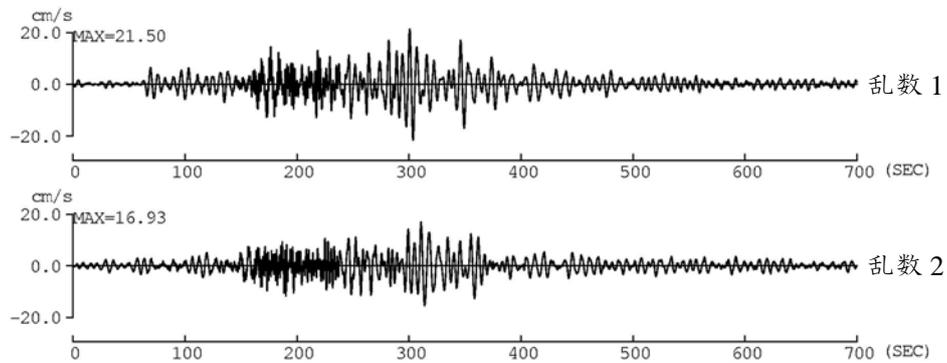


(a) 平均

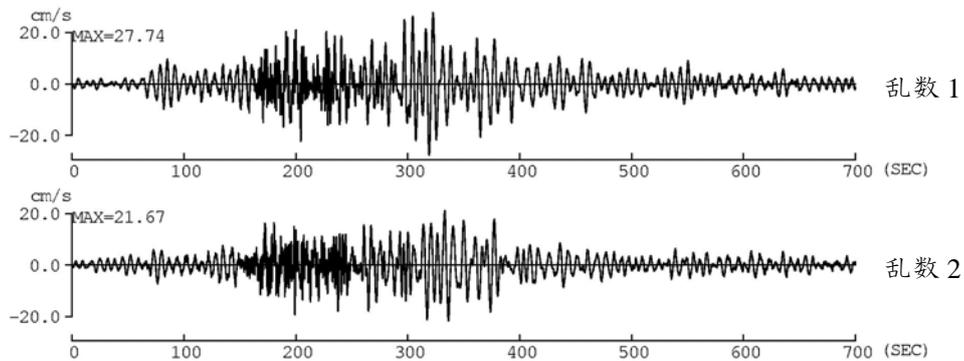


(b) 平均+回帰誤差

図 3.5.77 東南海・東海地震による新宿・工学院大学(KGIN)での周期 0.1~10 秒の加速度波形

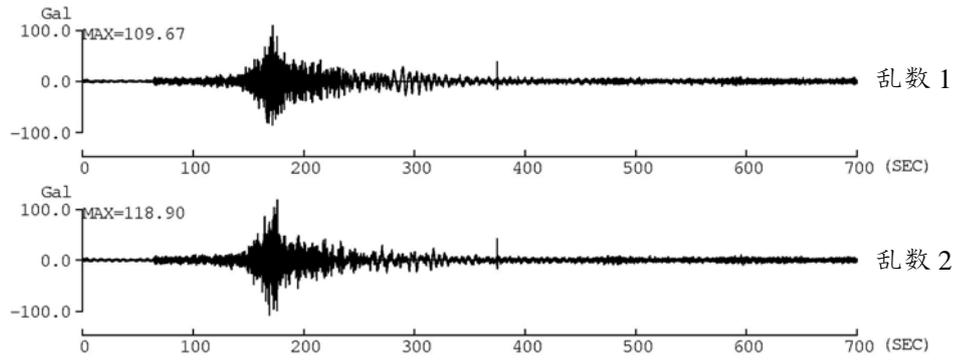


(a) 平均

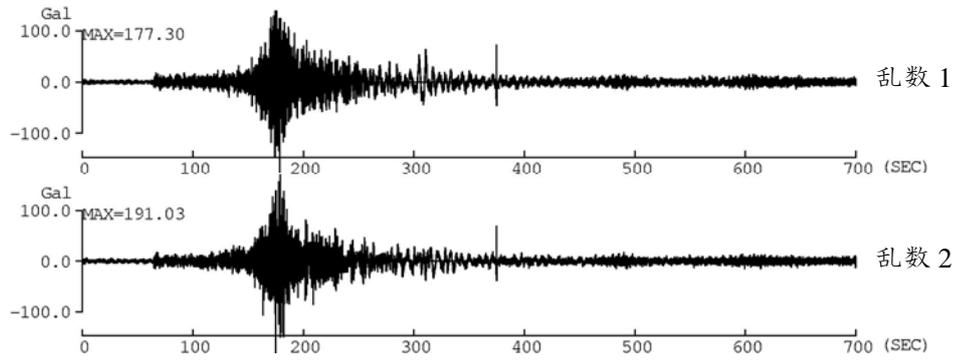


(b) 平均+回帰誤差

図 3.5.78 東南海・東海地震による新宿・工学院大学(KGIN)における周期 0.1~10 秒の速度波形

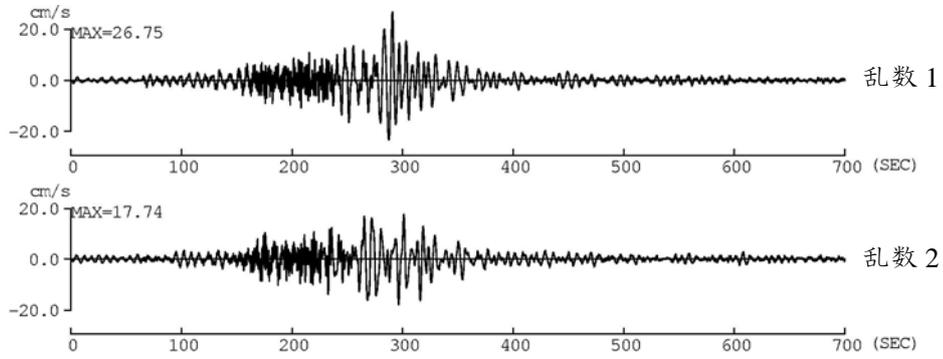


(a) 平均

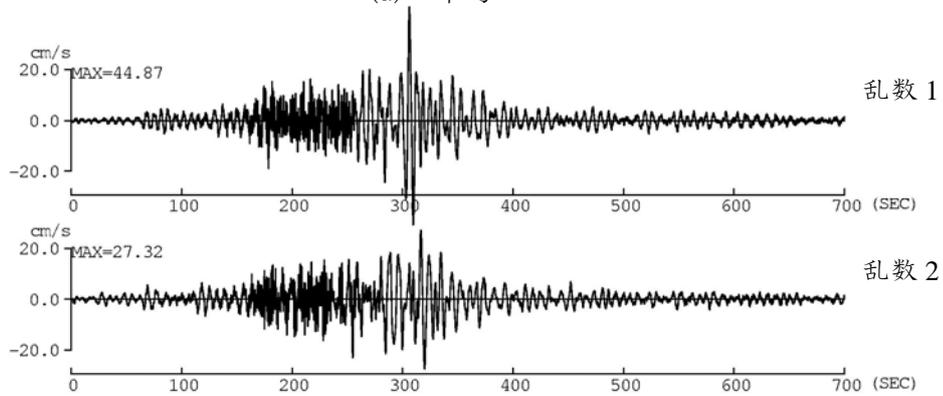


(b) 平均+回帰誤差

図 3.5.79 東南海・東海地震による東雲(TKY016)における本検討の周期 0.1~10 秒の加速度波形

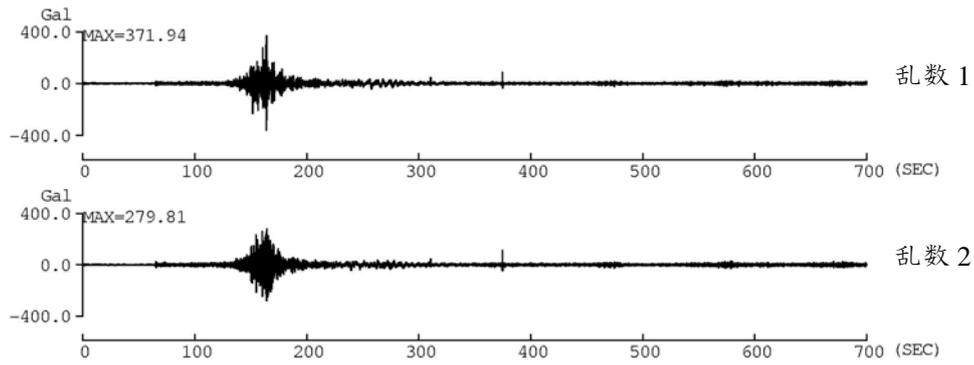


(a) 平均

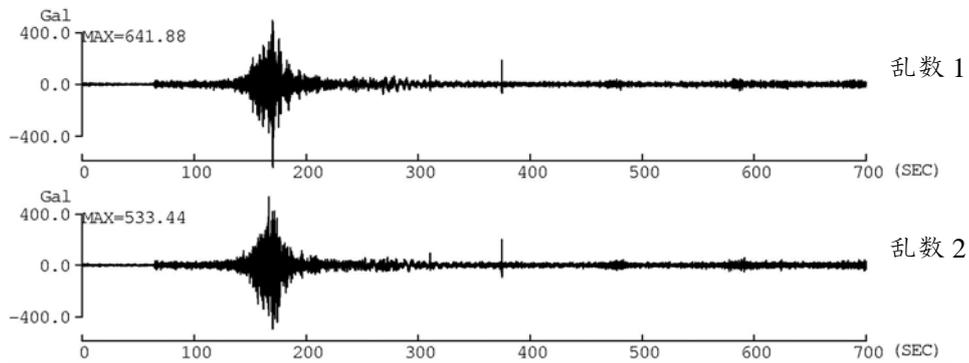


平均+回帰誤差

図 3.5.80 南海・東海地震による東雲(TKY016)における本検討の周期 0.1~10 秒の速度波形

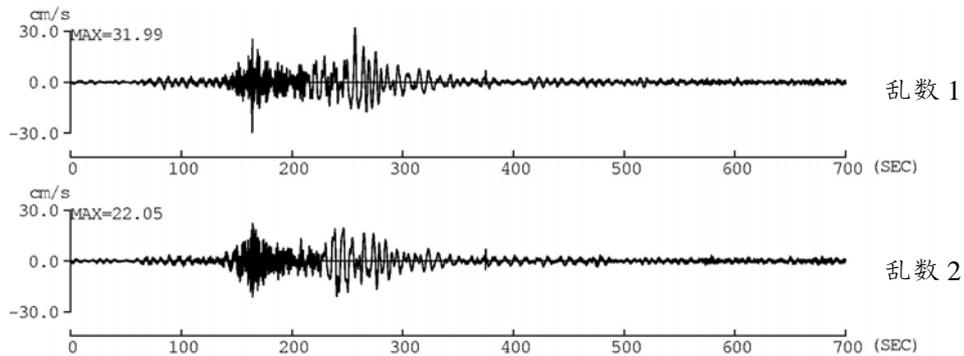


(a) 平均

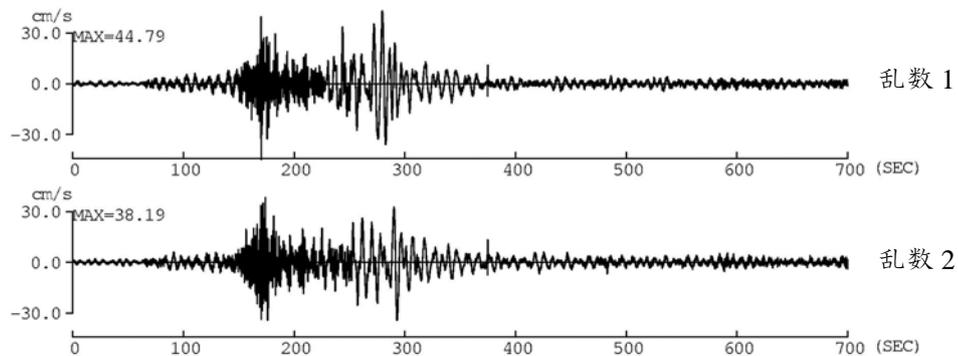


(b) 平均+回帰誤差

図 3.5.81 東南海・東海地震による横浜(E56)における本検討の周期 0.1~10 秒の加速度波形



(a) 平均



(b) 平均+回帰誤差

図 3.5.82 東南海・東海地震による横浜(E56)における本検討の周期 0.1~10 秒の速度波形

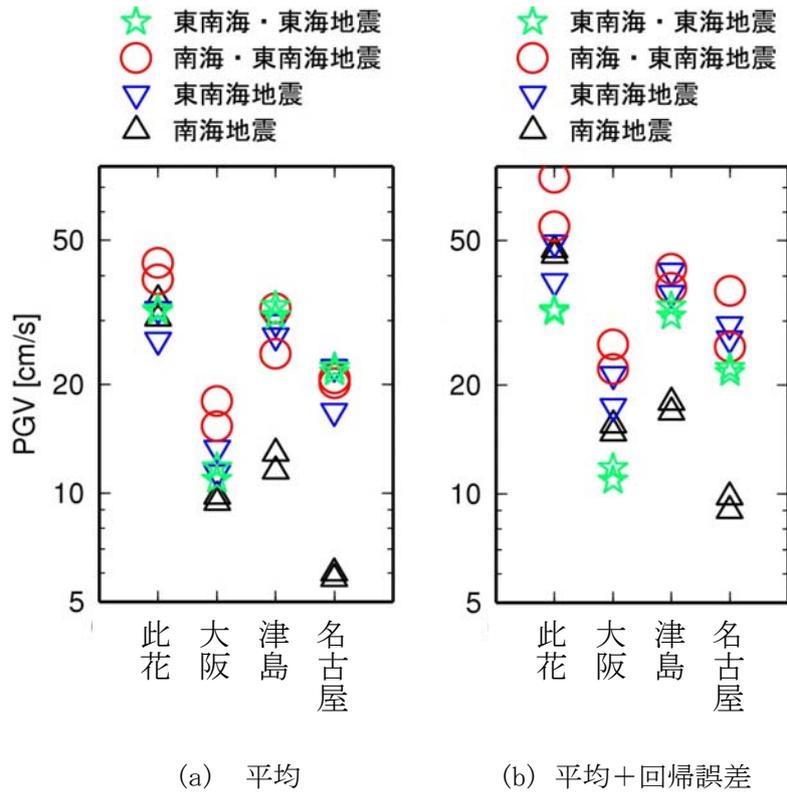


図 3.5.83 大阪平野、濃尾平野の予測地点での予測波の最大速度

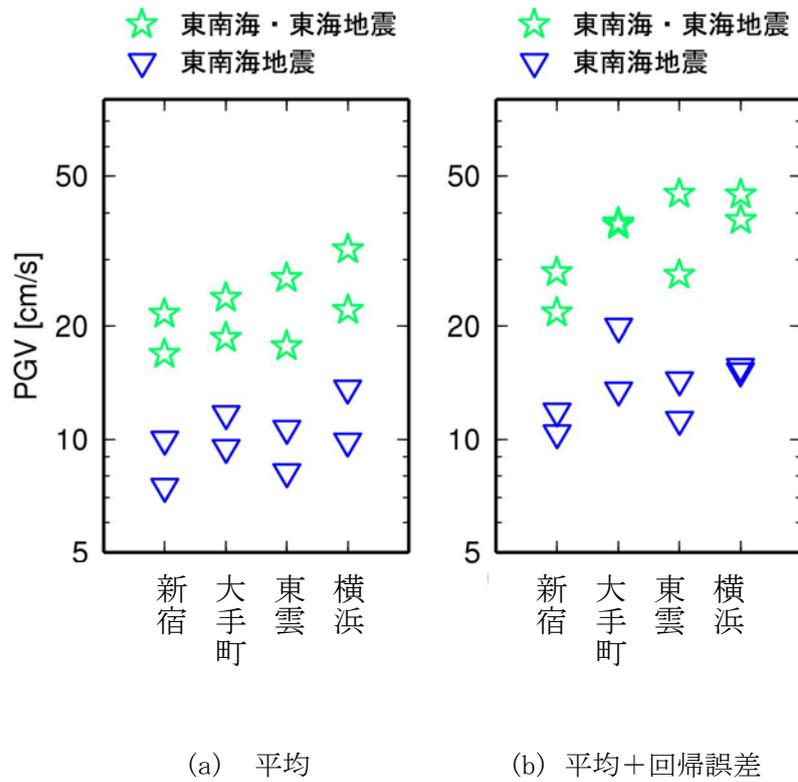


図 3.5.84 関東平野の予測地点での予測波の最大速度

表 3.5.3 大阪平野と濃尾平野での予測波の最大加速度 (cm/s²)

		大阪平野				濃尾平野			
		OSKH02(此花)		OSK005(大阪)		AIC003(津島)		AIC004(名古屋)	
		平均	平均+回帰誤差	平均	平均+回帰誤差	平均	平均+回帰誤差	平均	平均+回帰誤差
南海地震 (Mw8.5)	乱数1	72.9	96.2	118.7	173.4	57.6	103.1	70.6	107.9
	乱数2	70.9	105.2	101.2	174.1	62.0	89.5	66.1	99.7
東南海地震 (Mw8.2)	乱数1	79.0	147.9	144.8	227.7	238.2	348.3	337.1	503.6
	乱数2	73.5	162.5	145.8	256.9	199.2	335.1	327.1	550.4
南海・東南海地震 (Mw8.6)	乱数1	91.6	167.1	147.5	281.4	212.4	372.1	327.0	563.0
	乱数2	90.3	168.1	149.3	245.0	218.8	334.7	345.3	499.9
東南海・東海地震 (Mw8.3)	乱数1	62.8	92.2	123.2	227.0	202.8	339.8	364.0	560.8
	乱数2	80.0	112.5	141.0	285.6	221.1	322.2	323.0	682.3

表 3.5.4 大阪平野と濃尾平野での予測波の最大速度 (cm/s)

		大阪平野				濃尾平野			
		OSKH02(此花)		OSK005(大阪)		AIC003(津島)		AIC004(名古屋)	
		平均	平均+回帰誤差	平均	平均+回帰誤差	平均	平均+回帰誤差	平均	平均+回帰誤差
南海地震 (Mw8.5)	乱数1	30.4	45.5	9.8	15.5	11.5	17.9	6.0	9.0
	乱数2	34.2	47.2	9.4	14.7	12.9	16.8	5.8	9.8
東南海地震 (Mw8.2)	乱数1	26.5	49.4	11.4	17.4	27.2	35.8	16.8	29.3
	乱数2	32.2	38.6	13.3	21.4	29.7	41.3	22.3	26.8
南海・東南海地震 (Mw8.6)	乱数1	39.0	74.6	15.3	25.9	24.3	37.1	19.3	25.2
	乱数2	43.4	54.9	18.0	22.1	32.5	41.9	21.6	34.6
東南海・東海地震 (Mw8.3)	乱数1	31.8	44.5	11.8	16.0	33.0	55.4	21.6	32.3
	乱数2	32.2	45.7	10.9	16.3	31.0	50.0	22.3	39.2

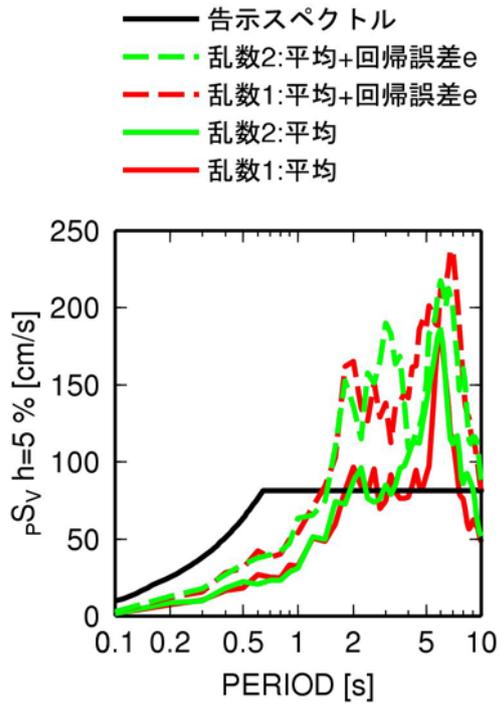
表 3.5.5 関東平野での予測波の最大加速度 (cm/s²)

		関東平野							
		E4E(大手町)		工学院大学(新宿)		TKY016(東雲)		E56(横浜)	
		平均	平均+回帰誤差	平均	平均+回帰誤差	平均	平均+回帰誤差	平均	平均+回帰誤差
東南海地震 (Mw8.2)	乱数1	88.5	156.4	28.8	51.4	35.1	62.6	135.2	191.1
	乱数2	112.4	163.0	24.9	43.0	37.8	50.5	108.6	166.7
東南海・東海地震 (Mw8.3)	乱数1	305.7	569.8	85.6	120.7	109.7	177.3	371.9	641.9
	乱数2	406.3	568.8	81.5	139.9	118.9	191.0	279.8	533.4

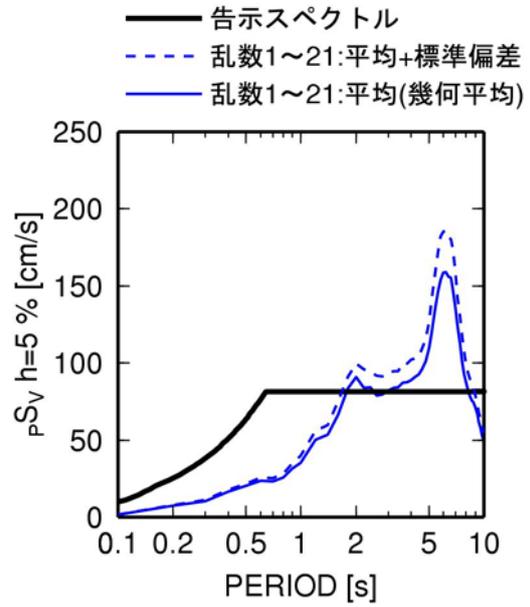
表 3.5.6 関東平野での予測波の最大速度 (cm/s)

		関東平野							
		E4E(大手町)		工学院大学(新宿)		TKY016(東雲)		E56(横浜)	
		平均	平均+回帰誤差	平均	平均+回帰誤差	平均	平均+回帰誤差	平均	平均+回帰誤差
東南海地震 (Mw8.2)	乱数1	11.7	13.5	7.5	11.9	8.2	11.3	9.9	15.2
	乱数2	9.5	19.9	10.0	10.4	10.7	14.4	13.7	15.6
東南海・東海地震 (Mw8.3)	乱数1	18.6	37.0	21.5	27.7	26.8	44.9	32.0	44.8
	乱数2	23.7	37.6	16.9	21.7	17.7	27.3	22.0	38.2

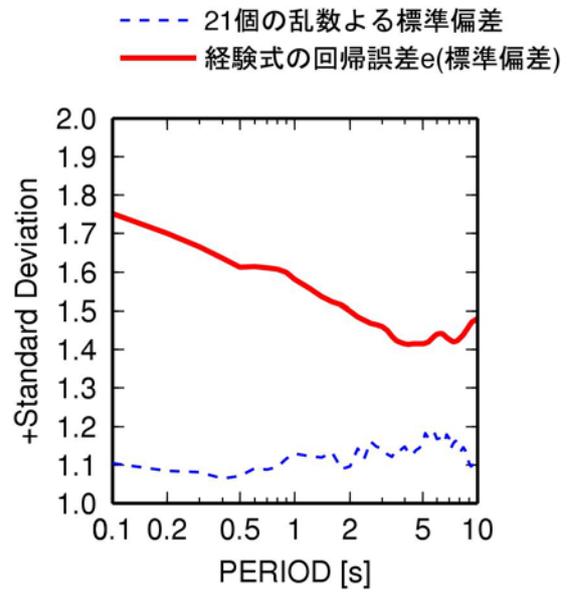
黄色は、建物応答の入力波とした予測波



(a) 2つの乱数を用いた場合



(b) 21個の乱数を用いた場合



(c) 21個の乱数によるバラツキと
経験式の回帰誤差(標準偏差)

図 3. 5. 85 乱数の違いによる南海・東南海地震の此花(OSKH02)での予測波のばらつき

3-6 地震調査研究推進本部の長周期地震動との比較

地震調査研究推進本部（推本）では、東南海地震、宮城県沖地震、想定東海地震の長周期地震動を推定している。このうち、東南海地震、宮城県沖地震による予測では、それぞれ、1944年東南海地震、1978年宮城県沖地震に対する震源インバージョン結果(山中、2004：Wu et al., 2008, 2009)を震源モデルとして用いている。一方、想定東海地震については、このような観測記録に基づく震源モデルがないため、地震調査委員会が公表したレシピ(2008)に基づく特性化震源モデルを用いている。しかしながら、海溝型地震の特性化震源モデルに関しては、地殻内地震に比べて、さらなる研究が必要な部分が残っているということが、推本の公表文書に記載されている。そこで、ここでは、東南海地震、宮城県沖地震に対する推本の長周期地震動と、本検討の経験式に基づく長周期地震動との比較を行った。表 3.6.1 には、推本で用いている東南海地震、宮城県沖地震の震源モデルを示す。図 3.6.1 には、東南海地震に対する推本の震源モデルと本検討の震源モデルおよび予測地点を示す。宮城県沖地震に対する同様の図を図 3.6.2 に示す。本検討の震源モデルは、推本で用いた震源インバージョンに基づく震源モデルの巨視的断層面と破壊開始点を用いたものである。図 3.6.1、図 3.6.2 に黒字で示した予測地点は、推本から時刻歴波形のデジタル値が公表されている地点である。

図 3.6.3 には、東南海地震に対する本検討の予測波と推本の予測波の擬似速度応答スペクトル(h=5%)とエネルギースペクトルを示す。推本では前イベントの再来を仮定していることから、本検討の予測波は経験式の平均を用いたもの(乱数は2つのケース)とした。本検討の予測波の擬似速度応答スペクトル(h=5%)は、推本の予測波のそれより大きいか同程度である。擬似速度応答スペクトル(h=5%)よりエネルギースペクトルの方において両者の差が小さいのは、図 3.6.4 に示したように継続時間が本検討の予測波の方が推本の予測波より短いためと考えられる。なお、推本の予測波は周期 3.5 秒以上のみの成分を含む波形であるため、図 3.6.4 の本検討の予測波、推本の予測波とも周期 3.5~10 秒の速度フィルター波となっている。

図 3.6.5 には、大手町における本検討の予測波と推本の予測波および Midorikawa et al. (2006) の復元波の速度応答スペクトルの比較を示す。本検討の予測波の方が推本の予測波および復元波より大きい。なお、推本の資料には、大手町における推本の予測波および Midorikawa et al. (2006) の復元波の速度波形の比較も掲載されている。しかし、その波形には周期 10 秒以上の波も含まれており、図からわかるように周期 10 秒以上の波の振幅が大きいことから、周期 10 秒以下を対象とした本検討の速度波形とは直接比較していない。

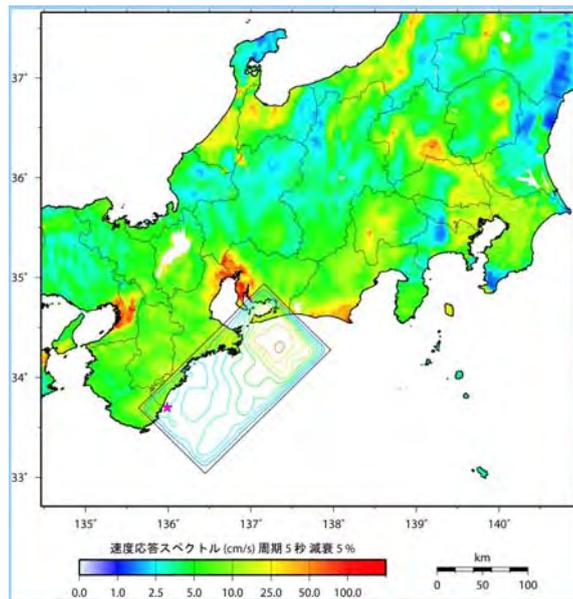
同様に、宮城県沖地震に対する本検討の予測波と推本の予測波の擬似速度応答スペクトル(h=5%)、エネルギースペクトル、速度波形(周期 3.5~10 秒のバンドパスフィルター波)の比較を図 3.6.6、図 3.6.7 に示す。図 3.6.7 において、本検討の予測波と推本の予測波の振幅レベルはほぼ同じである。波形の継続時間も、仙台市や福島市では両者はよく合っている。これは、経験式のデータセットに、ほぼ同じ震源域で発生した 2005 年宮城県沖の地震(M_J7.2, M_w7.1)の記録が含まれていることによる寄与が大きいと考えられる。

参考文献

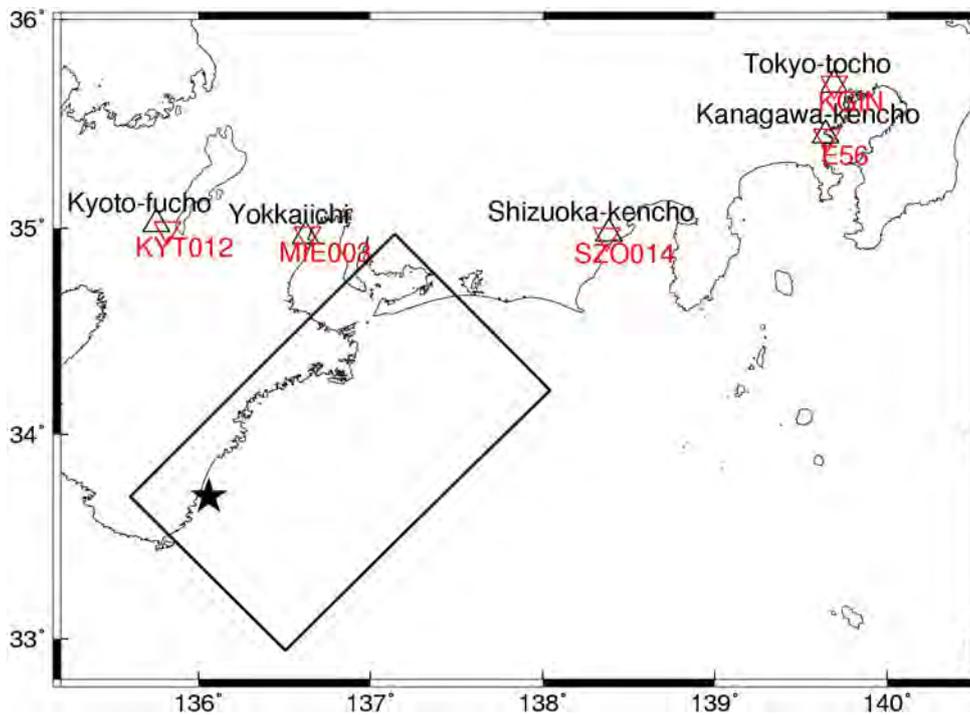
- 1) Midorikawa, S., Akiba, S., Muira, H., and T., Masatsuki (2006). Long-period ground motion at Tokyo during the 1944 Tonankai, Japan earthquake Third International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion, Grenoble, France, 30 August - 1 September 2006, Paper Number 149.
- 2) Wu, C., K. Koketsu, and H. Miyake (2008). Source processes of the 1978 and 2005 Miyagi-oki, Japan, earthquakes: Repeated rupture of asperities over successive large earthquakes, *J. Geophys. Res.*, Vol. 113, B08316, doi:10.1029/2007JB005189.
- 3) Wu, C., K. Koketsu, and H. Miyake (2009). Correction to "Source processes of the 1978 and 2005 Miyagi-oki, Japan, earthquakes: Repeated rupture of asperities over successive large earthquakes", *J. Geophys. Res.*, Vol. 114, B04302, doi:10.1029/2009JB006419.
- 4) 山中佳子 (2004). 1944 年東南海地震と 1945 年三河地震の震源過程、月刊地球、Vol. 26、No. 11、pp. 739-745.
- 5) 地震調査研究推進本部. 「長周期地震動予測地図」2009 年試作版、
http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09_choshuki/choshuki2009_c3.pdf
- 6) 地震調査委員会 (2008) 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)
http://www.jishin.go.jp/main/kyoshindo/08apr_kego/recipe.pdf

表 3.6.1 推本の震源モデル

	M_0 [dyne · cm]	M_w	備考	震源モデルの参考
東南海地震	1.48×10^{28}	8.1	1944年東南海地震の再現	山中(2004)
宮城県沖地震	2.80×10^{27}	7.6	1978年宮城県沖地震の再現	Wu et al. (2008, 2009)

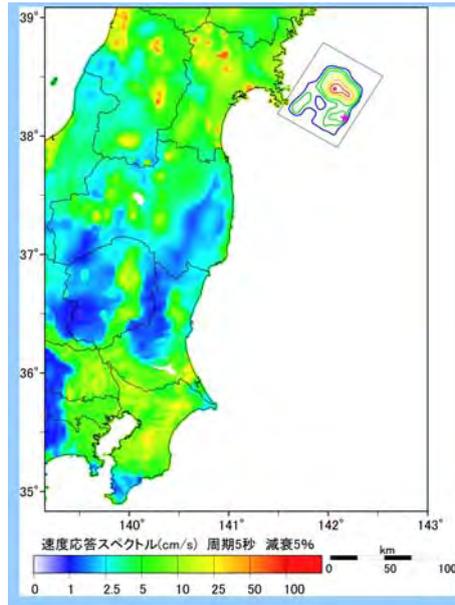


(a) 推本の震源モデル

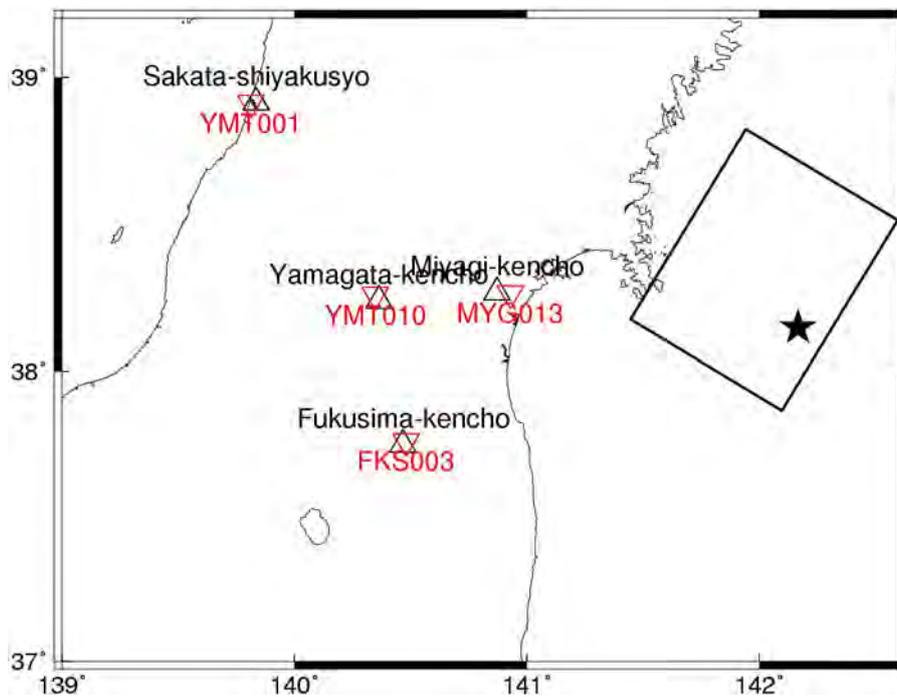


(b) 推本の震源モデルに基づく本検討の震源モデルと計算地点
 黒文字：推本の公開計算地点、赤文字：本検討の計算地点、★：破壊開始点

図 3.6.1 東南海地震の震源モデルと計算地点



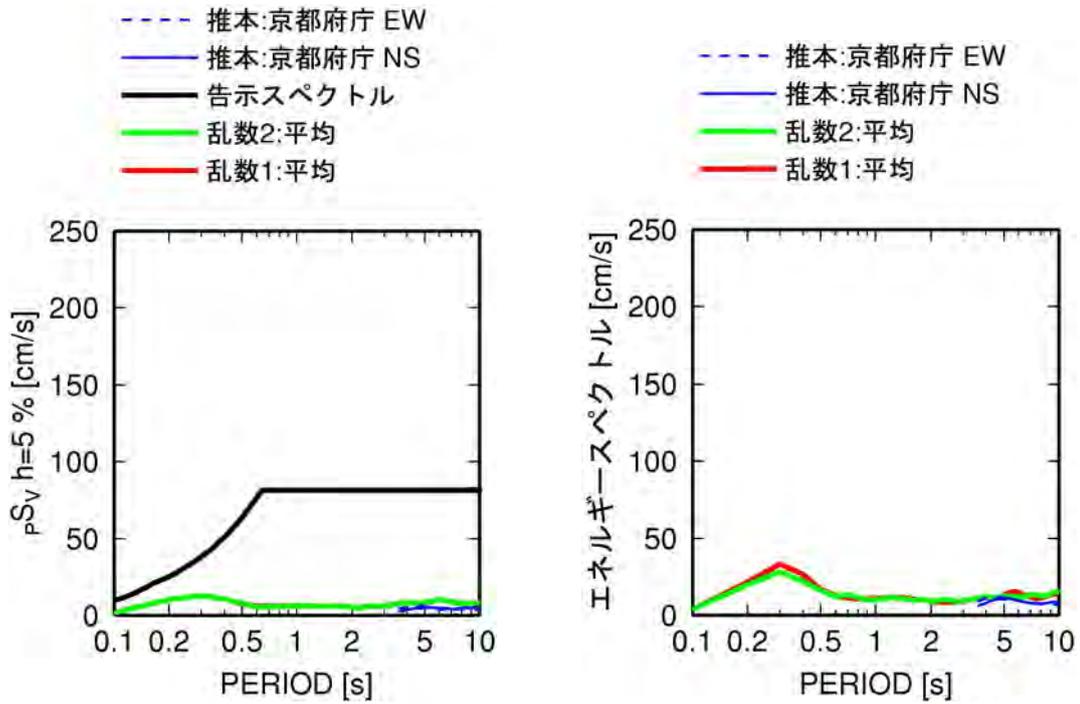
(a) 推本の震源モデル



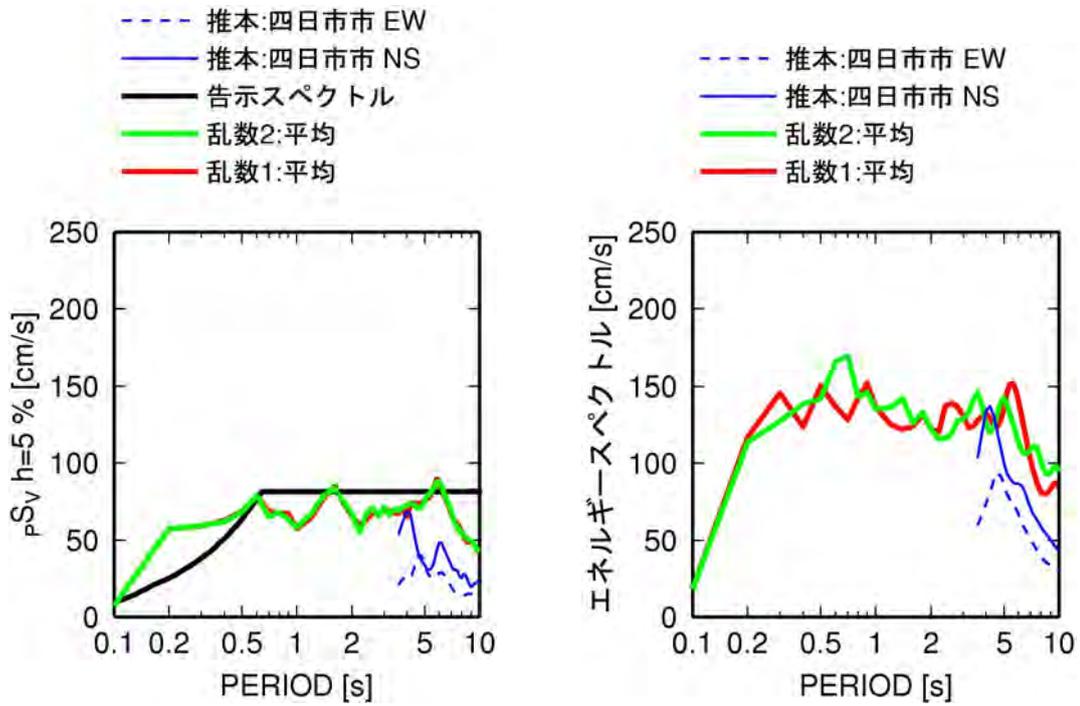
(b) 推本の震源モデルに基づく本検討の震源モデルと計算地点

黒文字：推本の公開計算地点、赤文字：本検討の計算地点、★：破壊開始点

図 3.6.2 宮城県沖地震の震源モデルと計算地点

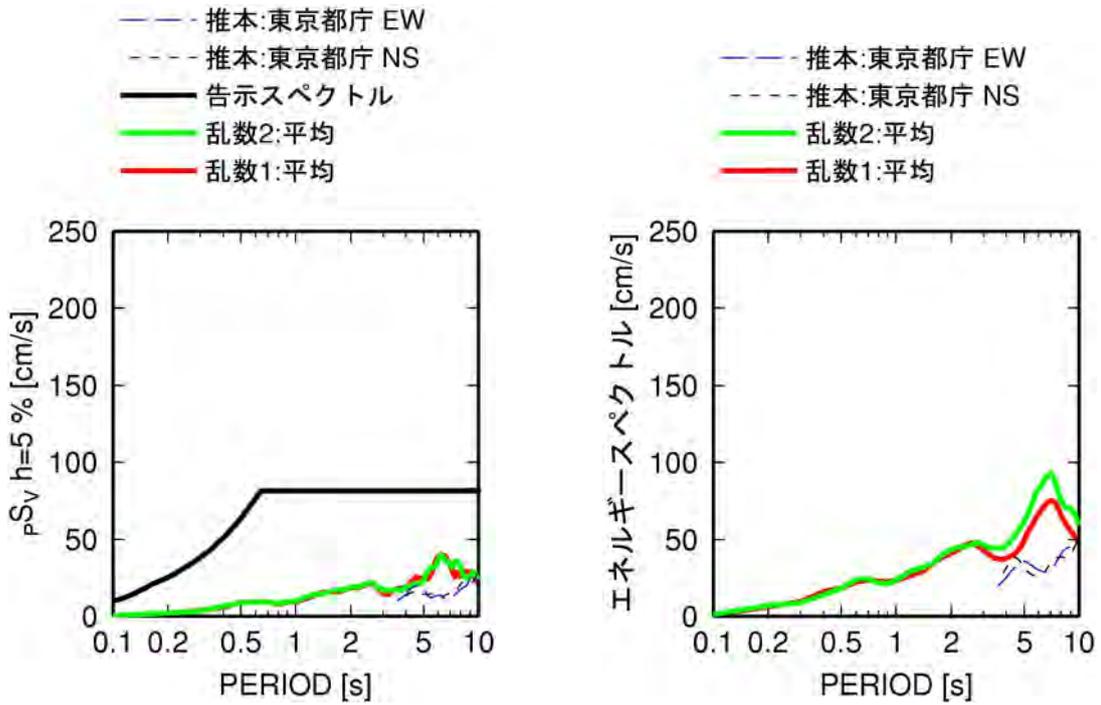


(a) KYT012(京都)

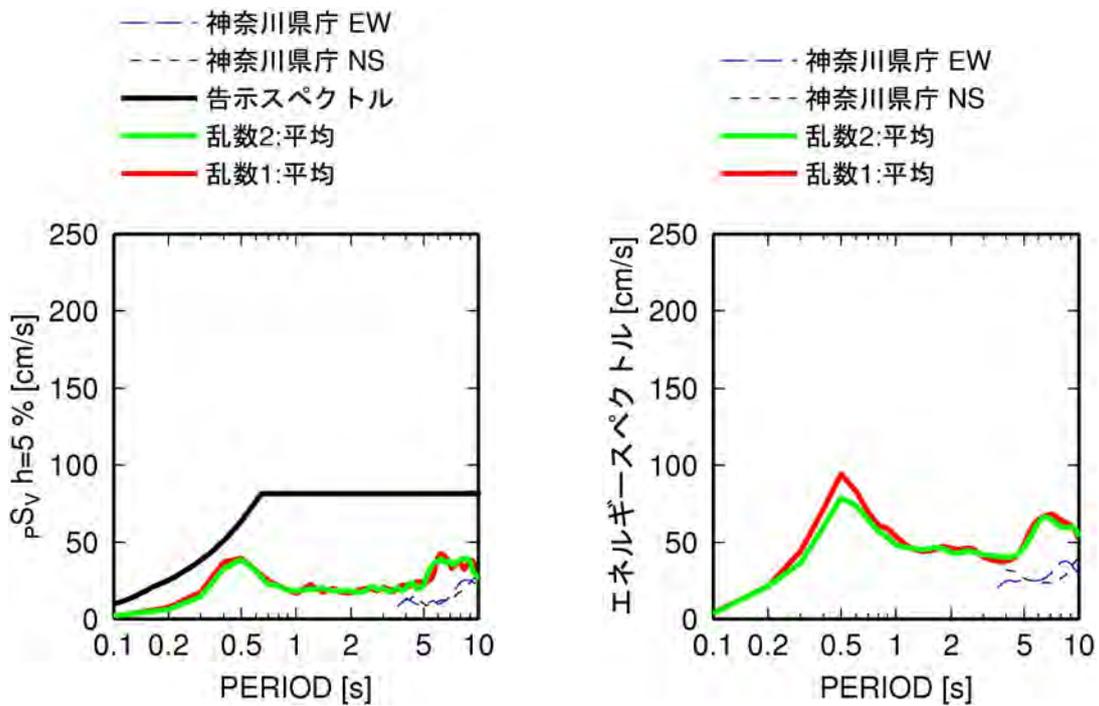


(b) MIE003(四日市)

図 3.6.3 東南海地震による推本の震源モデルを用いた本検討の予測波と推本波の減衰定数5%の擬似速度応答スペクトルの比較

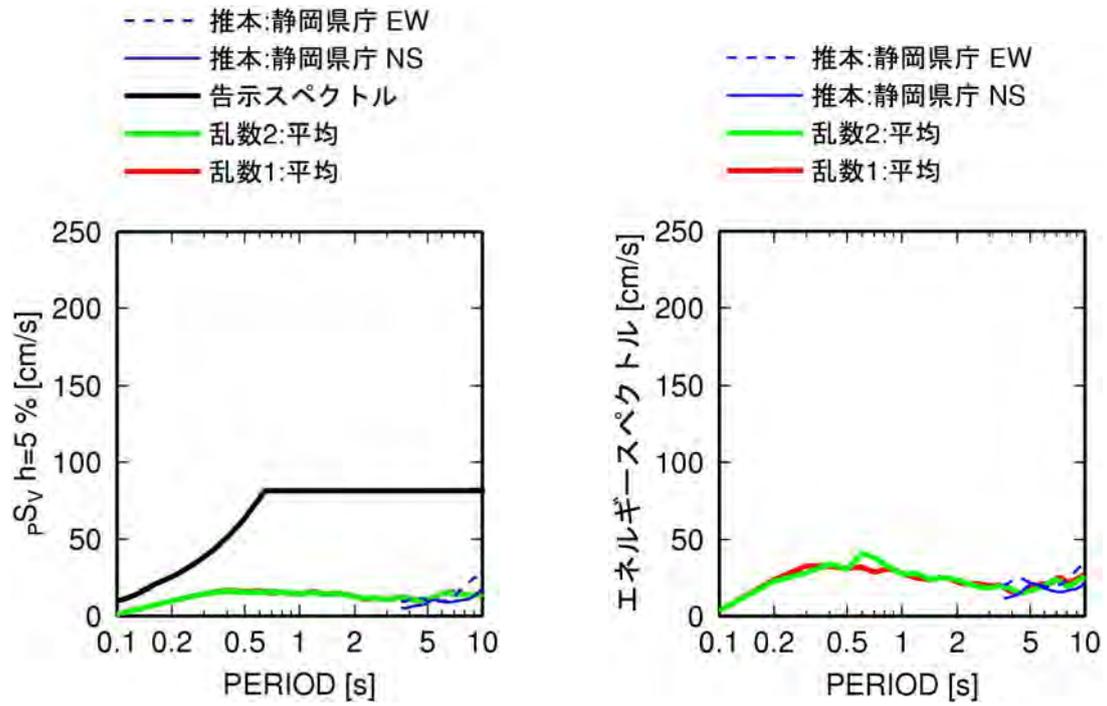


(c) KGIN (新宿・工学院大学)



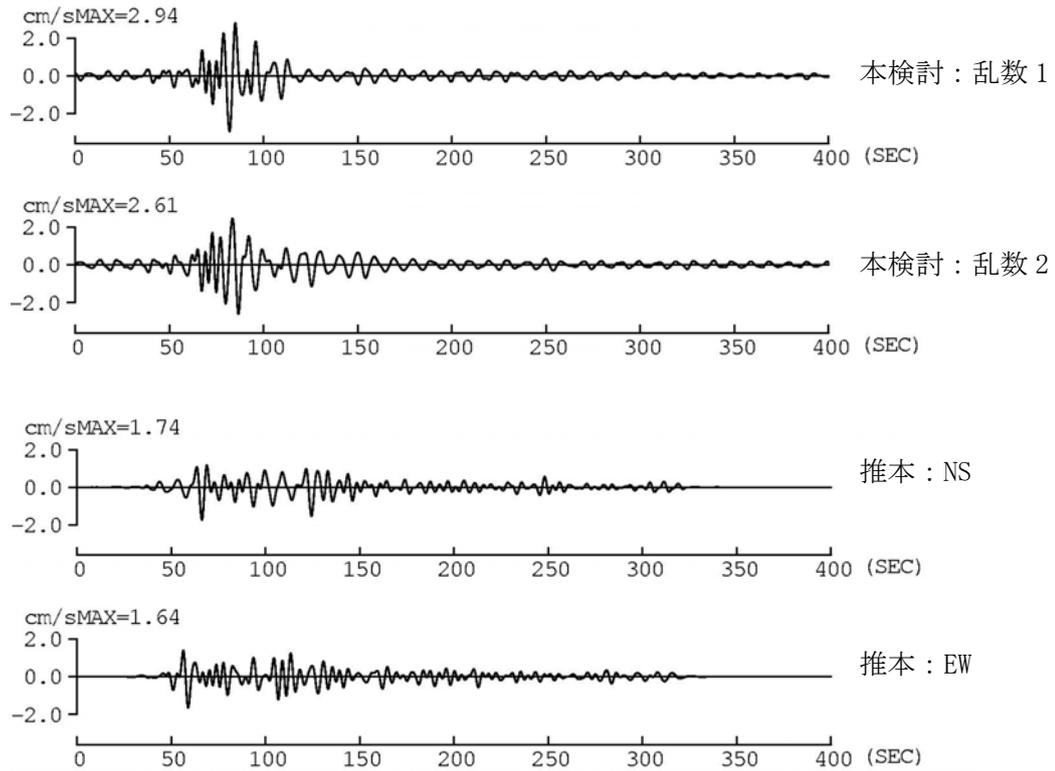
(d) E56 (横浜)

図 3.6.3 東南海地震による推本の震源モデルを用いた本検討の予測波と推本波の減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトルとエネルギースペクトルの比較(続き)

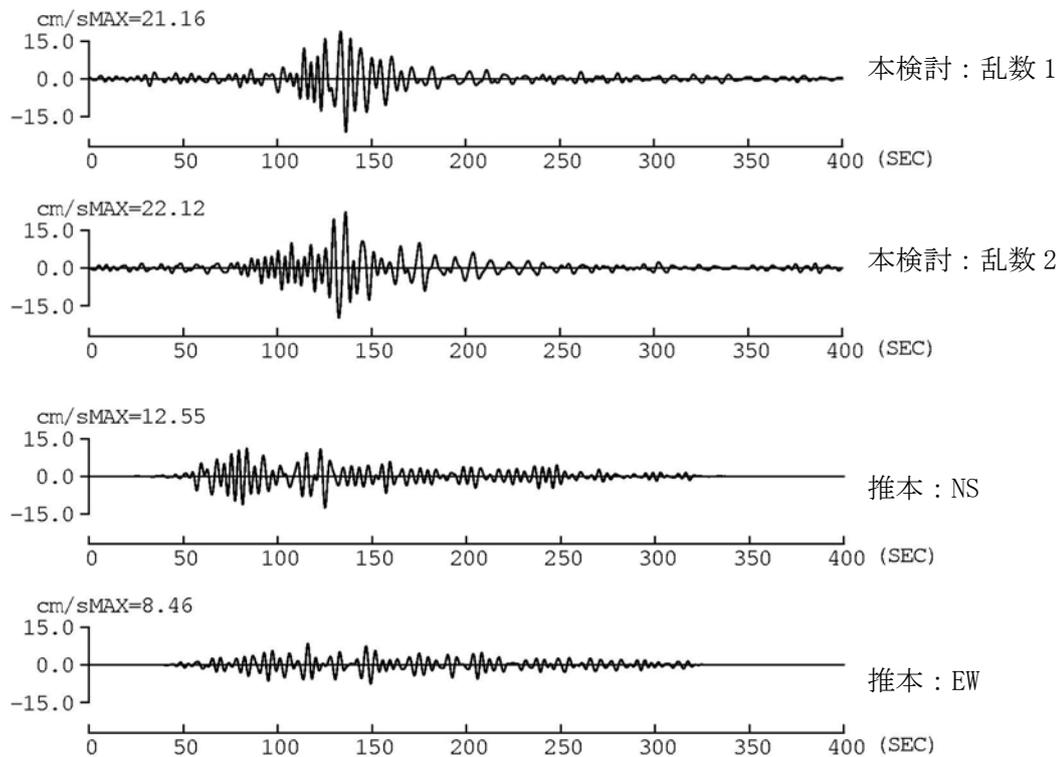


(e) SZ0014 (静岡)

図 3.6.3 東南海地震による推本の震源モデルを用いた本検討の予測波と推本波の減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトルとエネルギーースペクトルの比較(続き)

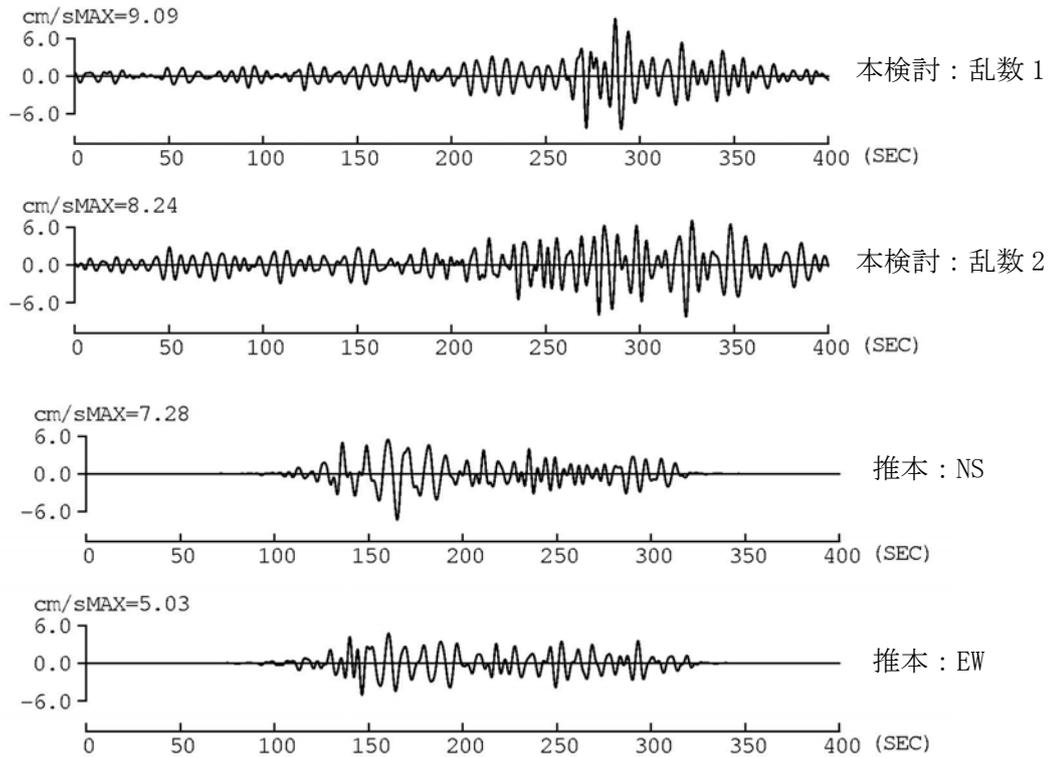


(a) 京都市

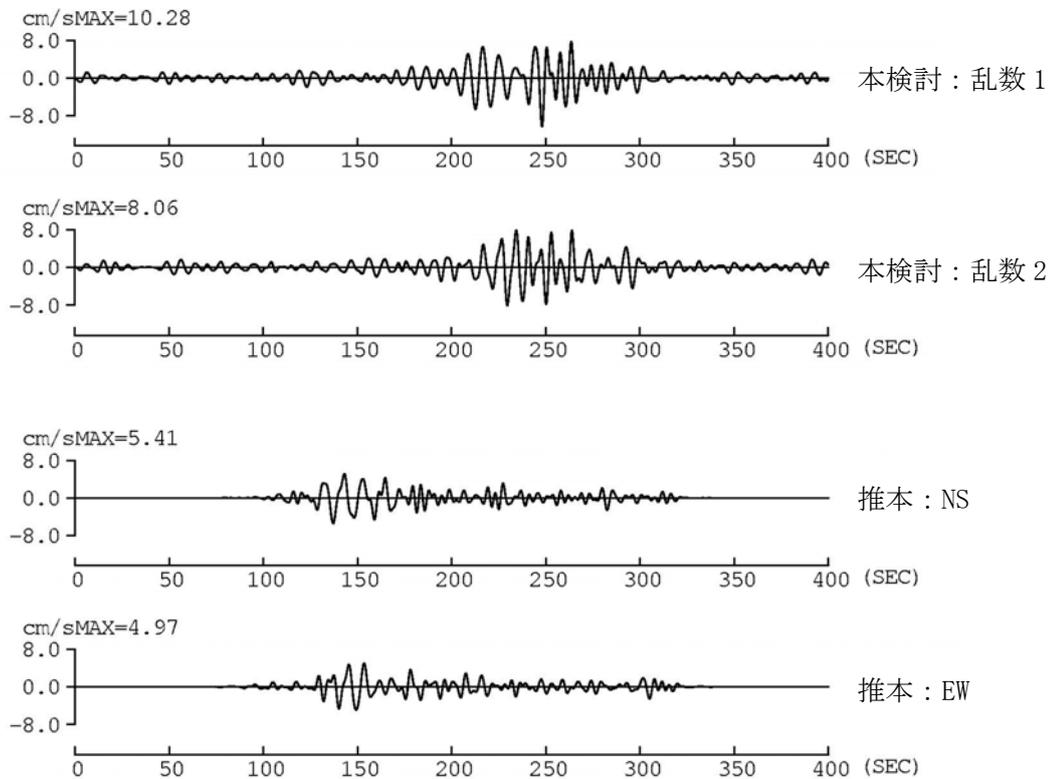


(b) 四日市

図 3.6.4 東南海地震による推本の震源モデルを用いた本検討の予測波と推本の予測波の比較(周期 3.5~10 秒の速度フィルター波)

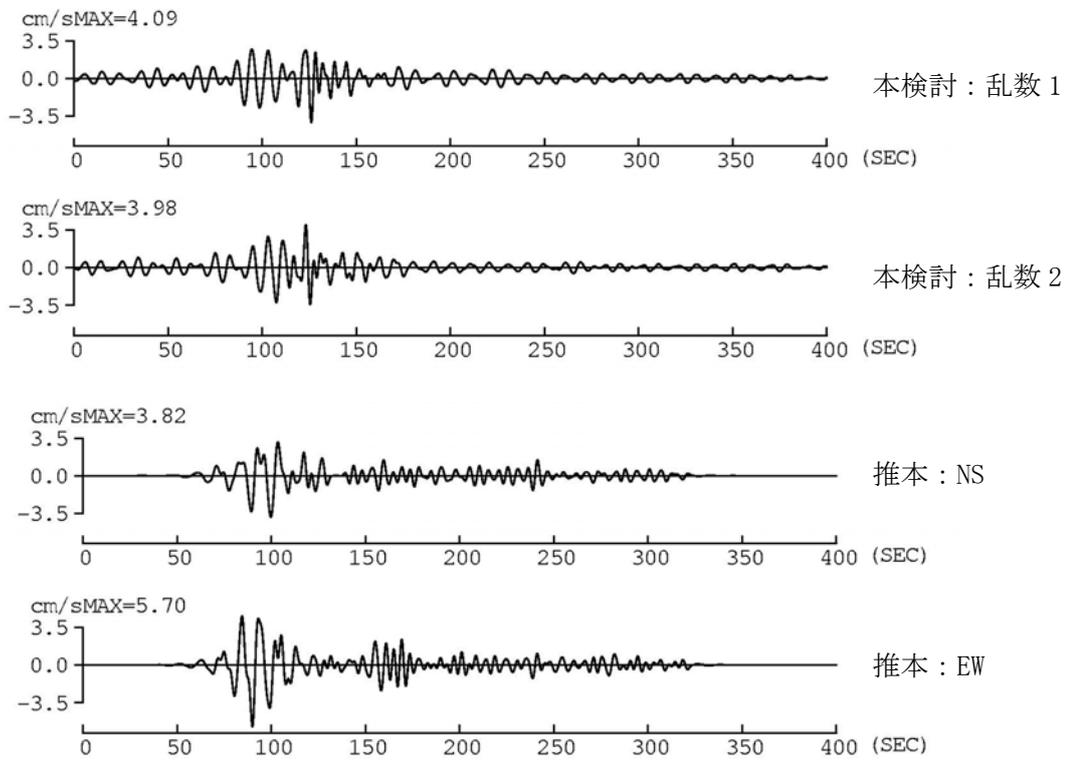


(c) 新宿



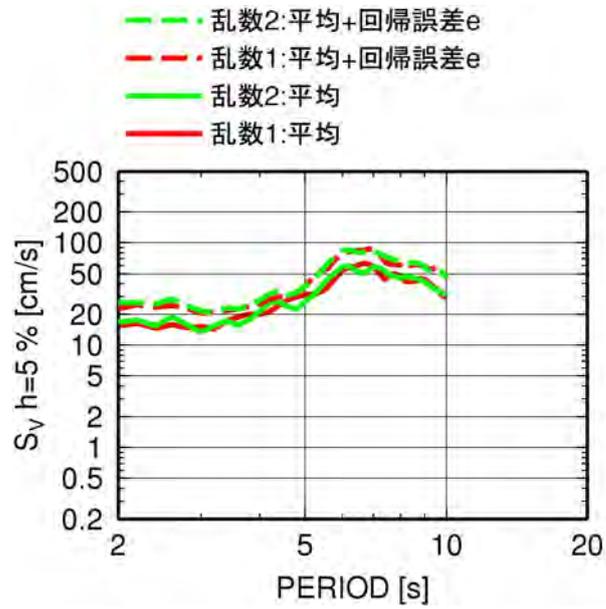
(d) 横浜市

図 3.6.4 東南海地震による推本の震源モデルを用いた本検討の予測波と推本の予測波の比較(周期 3.5~10 秒の速度フィルター波) (続き)

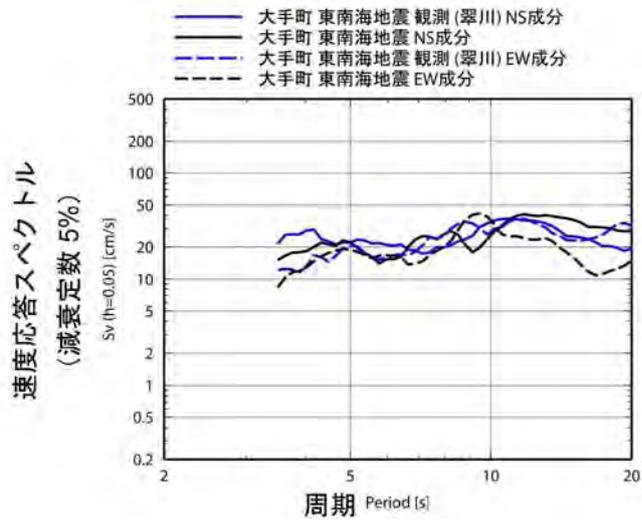


(e) 静岡市

図 3.6.4 東南海地震による推本の震源モデルを用いた本検討の予測波と推本の予測波の比較(周期 3.5~10 秒の速度フィルター波) (続き)

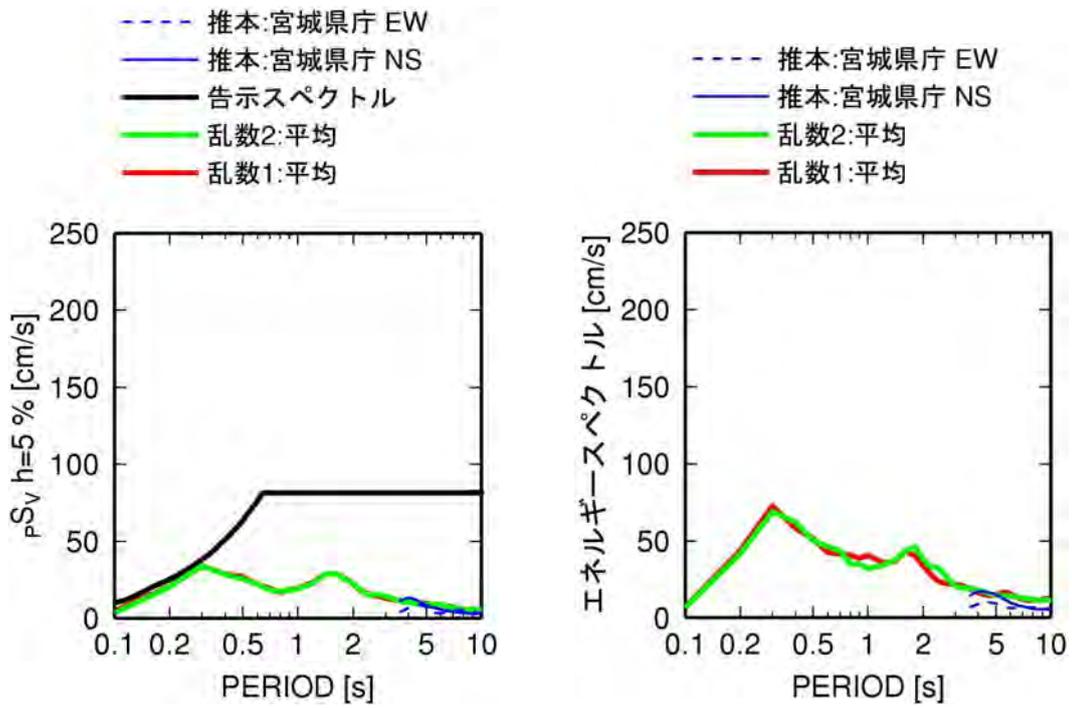


(a) 本検討の予測波

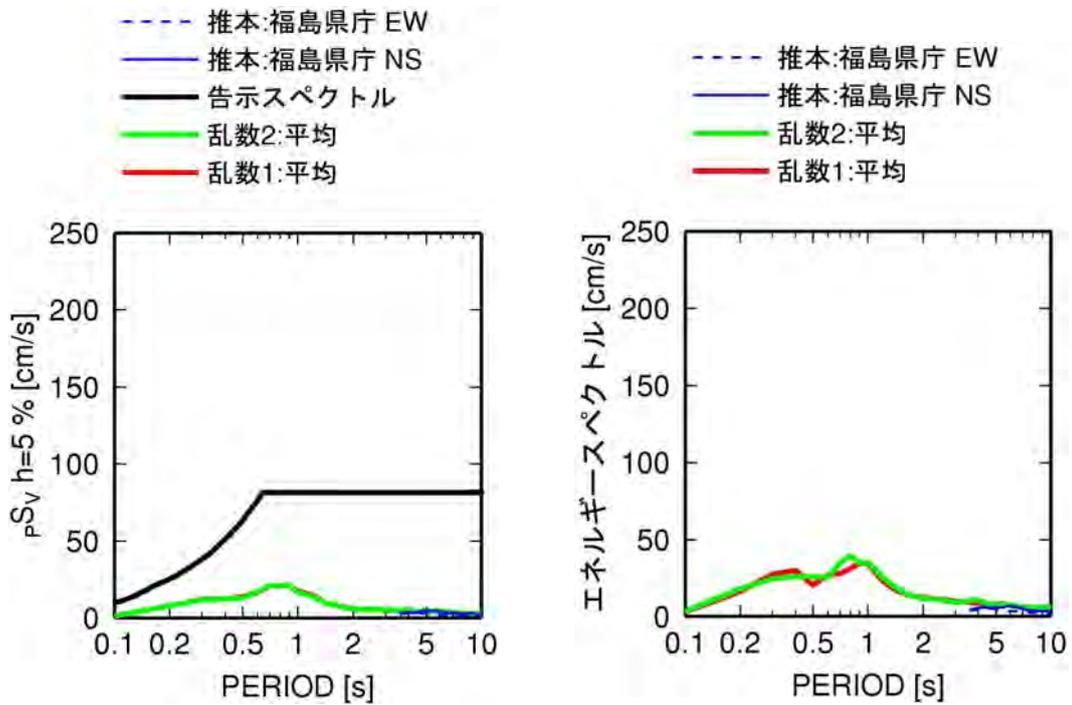


(b) 推本の予測波と Midorikawa et al. (2006) の再現波

図 3.6.5 東南海地震による推本の震源モデルを用いた本検討の予測波と推本の予測波と再現波の速度応答スペクトルの比較

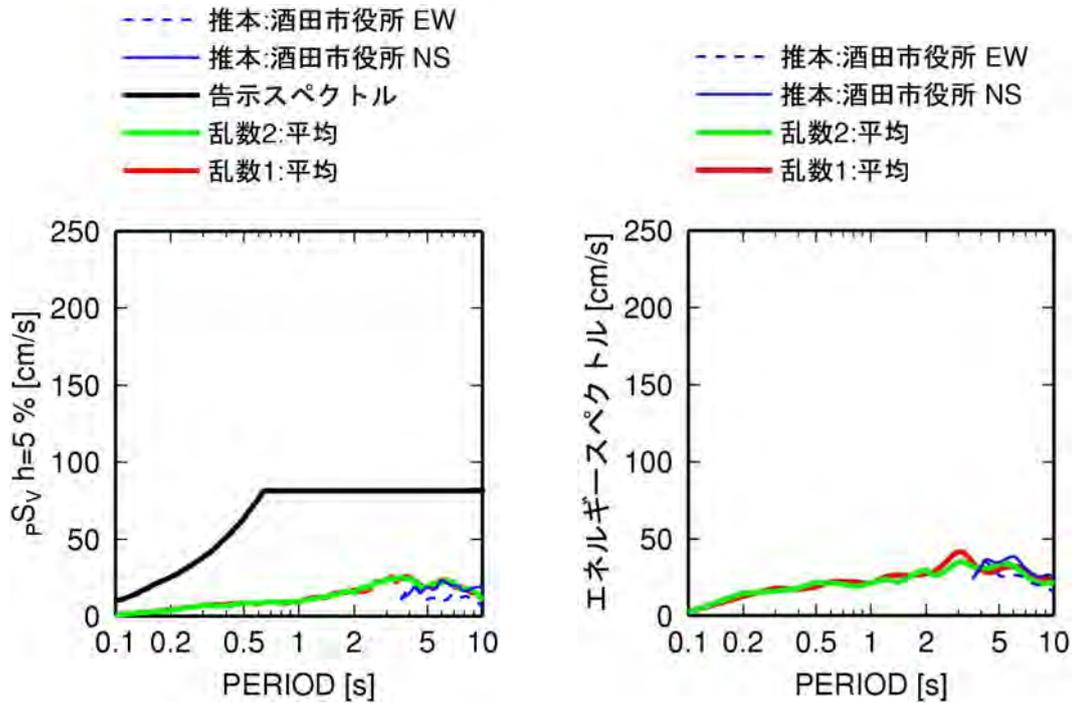


(a) 仙台 (MYG013)

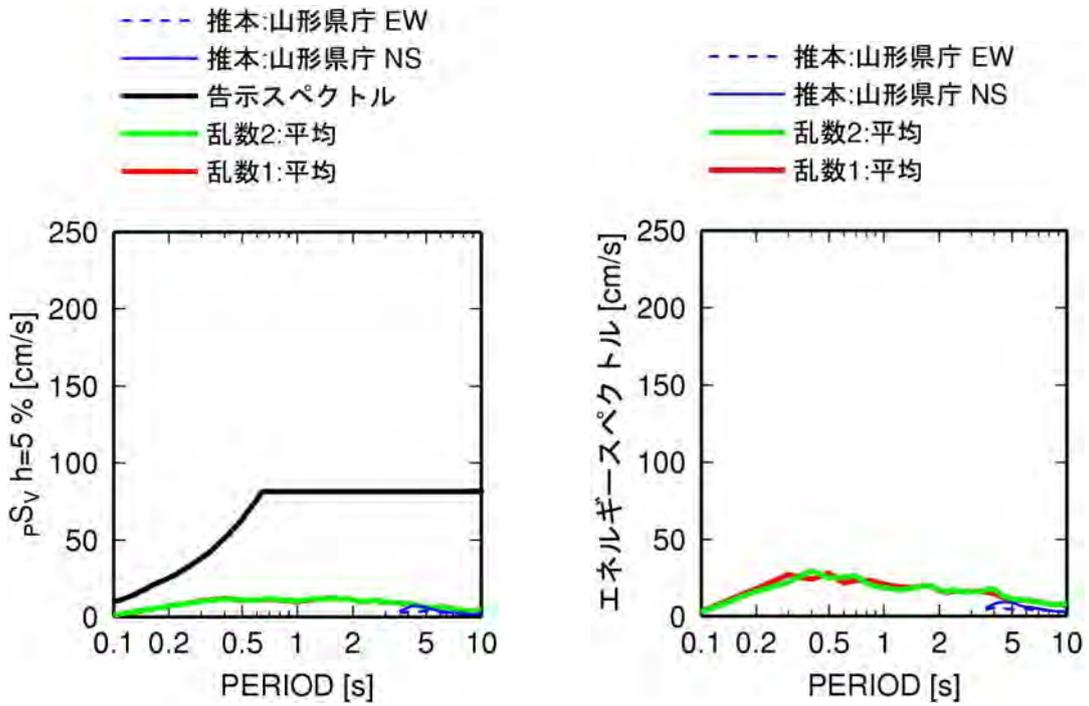


(b) 福島 (FKS003)

図 3.6.6 宮城県沖地震による推本の震源モデルを用いた本検討の予測波と推本波の減衰定数5%の擬似速度応答スペクトルとエネルギーースペクトルの比較

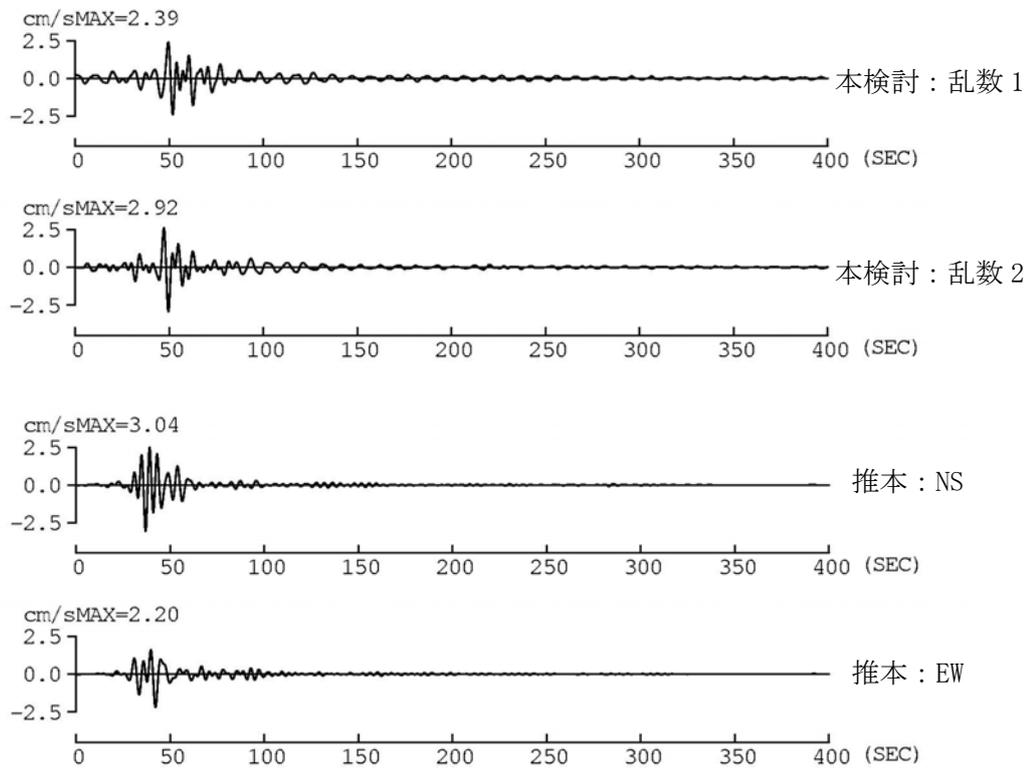


(c) 酒田 (YMT001)

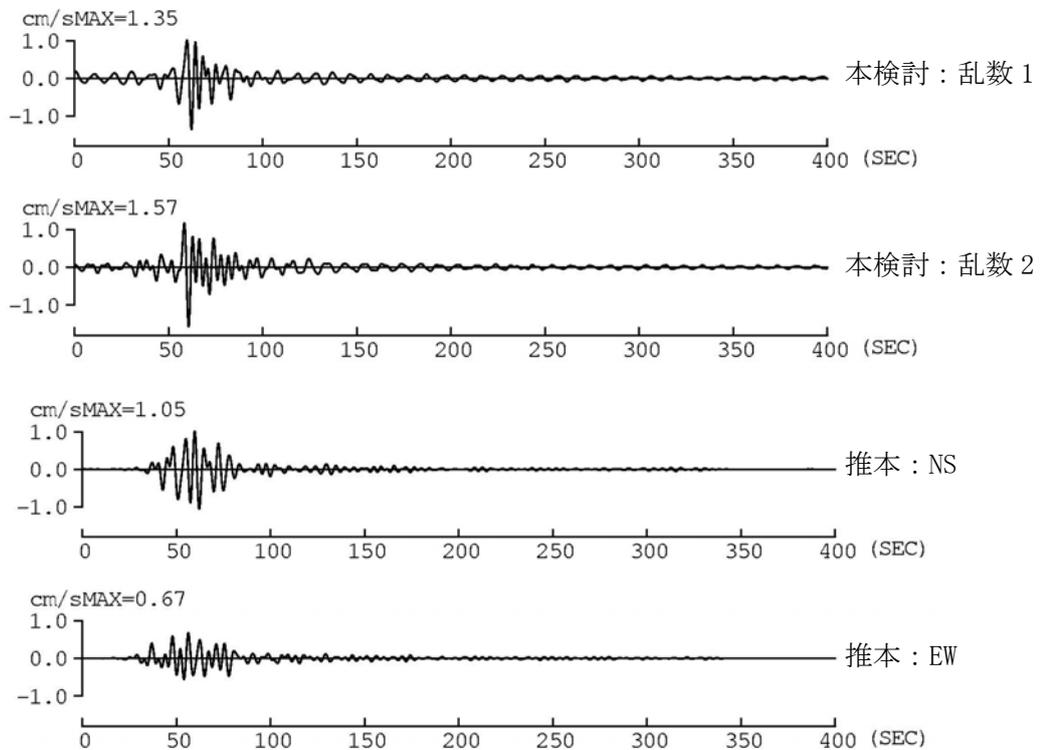


(d) 山形 (YMT010)

図 3.6.6 宮城県沖地震による推本の震源モデルを用いた本検討の予測波と推本波の減衰定数5%の擬似速度応答スペクトルとエネルギースペクトルの比較(続き)



(a) 仙台市



(b) 福島市

図 3.6.7 宮城県沖地震による推本の震源モデルを用いた本検討の予測波と推本の予測波の比較 (周期 3.5~10 秒の速度フィルター波)

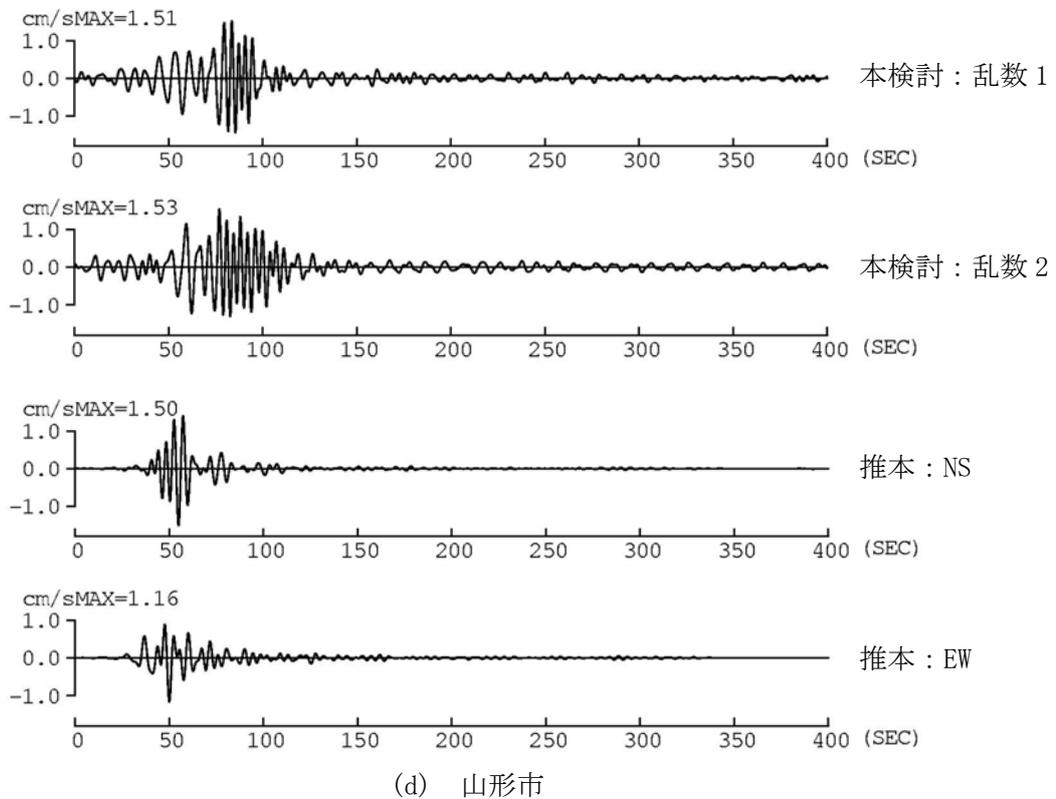
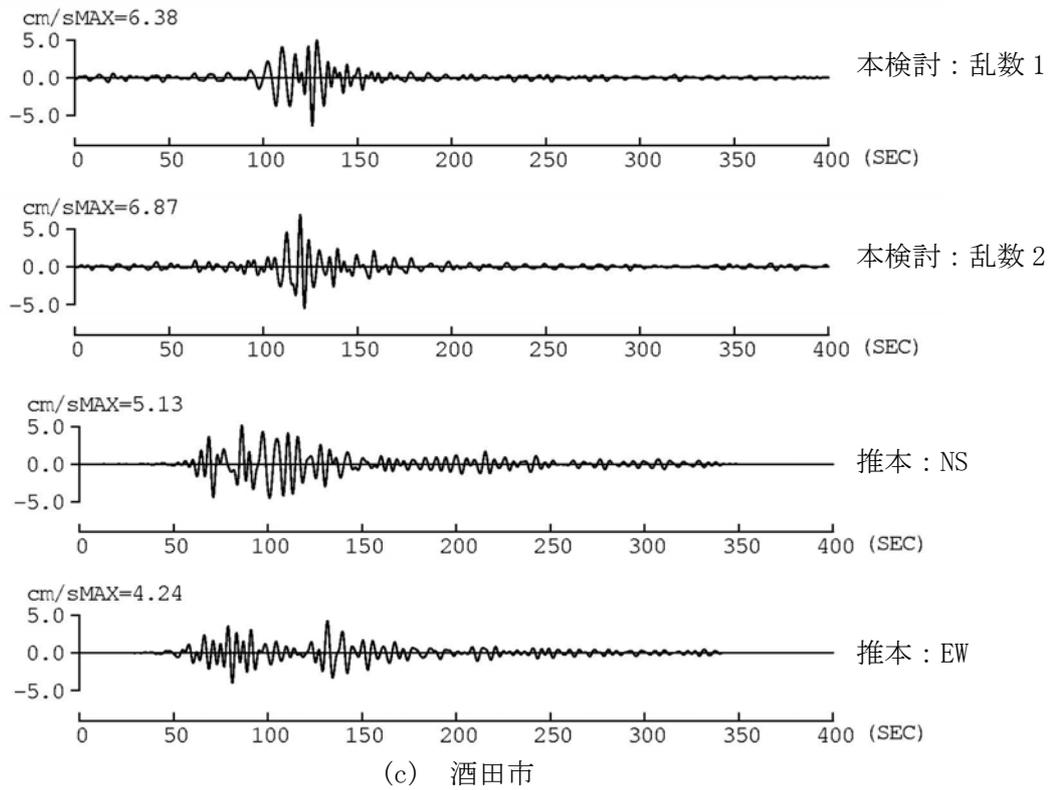


図 3.6.7 宮城県沖地震による推本の震源モデルを用いた本検討の予測波と推本の予測波の比較 (周期 3.5~10 秒の速度フィルター波) (続き)

3-7 工学的基盤でのサイト係数の検討と地盤増幅率の面的補間の検討

(1) 工学的基盤でのサイト係数

これまで算出している観測点毎の地盤増幅率や、群遅延時間の平均値・標準偏差のサイト係数は、地表でのものである。そこで、K-NET、KiK-net 観測点での S 波検層結果を用いて、工学的基盤での地盤増幅率・サイト係数の算出を試みた。そして、短周期領域をこの工学的基盤での地盤増幅率・サイト係数を用いて補正し、東海・東南海地震の関東平野の 4 観測点での工学的基盤での予測波形の作成を行った。

はじめに、K-NET、KiK-net 観測点での S 波検層結果に S 波速度 400m/s 以上の基盤が存在し、この層上面からの 1 次周期が 0.067 秒以下 (15Hz 以上) の観測点を工学的基盤の観測点として選択した。これは、本検討では 0.1~10Hz を対象としていることから、この範囲では工学的基盤から地表までの増幅がほとんど無視できると考えられるためである。図 3.7.1 には、加速度応答スペクトル、エネルギースペクトルの地盤増幅率が求められている観測点の全観測点と工学的基盤の観測点の分布を示す。全 1860 観測点のうち 329 観測点が工学的基盤として選択されている。図 3.7.2 には、海溝型地震に対する群遅延時間の平均値・標準偏差のサイト係数が求められている全観測点と工学的基盤の観測点の分布を示す。全 1716 観測点のうち 308 観測点が工学的基盤として選択されている。図 3.7.3、図 3.7.4、図 3.7.5 には、関東平野、濃尾平野、大阪平野での加速度応答スペクトル、エネルギースペクトルの地盤増幅率が求められている観測点の全観測点と工学的基盤の観測点の分布を示す。関東平野、濃尾平野、大阪平野などでは、工学的基盤として選択された観測点が少ない。これは、工学的基盤が深く、工学的基盤からの増幅が 10Hz 以下の周波数まで及んでいるためと考えられる。

工学的基盤の観測点として選択された観測点での地盤増幅率、群遅延時間の平均値・標準偏差のサイト係数の平均値を工学的基盤での地盤増幅率、サイト係数とした。図 3.7.6、図 3.7.7 には、工学的基盤での地盤増幅率、サイト係数の平均値を±標準偏差とともに示す。図 3.7.8、図 3.7.9、図 3.7.10 には、関東平野、濃尾平野、大阪平野での代表観測点での減衰定数 5% の加速度応答スペクトルの地盤増幅率、群遅延時間の平均値のサイト係数、群遅延時間の標準偏差のサイト係数と、工学的基盤での地盤増幅率、サイト係数の比較を示す。個別の観測点での地盤増幅率やサイト係数が長周期帯域で工学的基盤より大きいのは、深い堆積層の影響であると考えられる。個別の観測点での地盤増幅率やサイト係数が短周期領域でも大きいのは、主に工学的基盤から地表までの増幅によるものと考えられる。そこで、周期 0.5~1 秒をマッチング周期帯域 (両者を滑らかにつなぐために平均操作をする遷移周期帯域) として、1 秒以上では観測点固有の地盤増幅率・サイト係数、周期 0.5 秒以下で工学的基盤での地盤増幅率・サイト係数になるように補正することとした。

この工学的基盤に補正した地盤増幅率・サイト係数を用いて、想定東南海・東海地震に対する時刻歴波形を作成し、補正のない時刻歴波形との比較を行う。震源モデルは、3-5 で用いた佐藤・

他(2006)に基づくモデルである。経験式の平均を用いた場合と平均+標準偏差(回帰誤差)を用いた計算を、それぞれ2つの乱数を用いて行なった。図3.7.11には、補正のない地表での地盤増幅率・サイト係数を用いた予測波の減衰定数5%の擬似速度応答スペクトル、図3.7.12には工学的基盤に補正した予測波の擬似速度応答スペクトルを示す。補正のない地表での予測波では、大手町や横浜において短周期で告示を越える振幅レベルであったが、工学的基盤に補正することにより告示以下になっている。図3.7.13、図3.7.14には、地表、工学的基盤での新宿・工学院大学での加速度波形(周期0.1~10秒のフィルター波)を示す。工学的基盤に補正することで短周期成分が小さくなり最大加速度も小さくなっている。同様の比較を速度波形で行った結果を図3.7.15、図3.7.16に示す。長周期帯域は補正していないため、地表と工学的基盤での速度波形の違いは小さいことがわかる。同様の加速度波形での比較を大手町、東雲、横浜で行った結果を図3.7.17~図3.7.22に示す。

(2) 地盤増幅率の面的補間の検討

推本の東海地震、東南海地震計算用地下構造モデルが、近畿~関東の範囲において約1km間隔で公開されている。この地下構造モデルを用いて、加速度応答スペクトル(h=5%)の地盤増幅率、群遅延時間の平均値のサイト係数、群遅延時間の標準偏差のサイト係数の面的補間の検討を行った。検討対象は図3.7.23に示す大阪平野である。図3.7.24、図3.7.25、図3.7.26には、それぞれ、加速度応答スペクトル(h=5%)の地盤増幅率、群遅延時間の平均値のサイト係数、群遅延時間の標準偏差のサイト係数を示す。これらは、図3.7.23の観測点間の地点での各係数値を保持しながら中間点で観測点からの距離に応じて補間したものである。(検討した補間方法によるものではない)

図3.7.27には、推本の地下構造モデルの地震基盤($V_s=3.2\text{km/s}$)上面の深さと、この地震基盤上面から地表までの卓越周期分布を示す。図3.7.27(a)は、海域まで含めた地震基盤上面の深さ分布にコンター線を表示したものであり、図3.7.27(b)は、海域を除いた地震基盤上面の深さ分布を表示したものである。卓越周期 T は、(3.7.1)式により求めた。

$$T = \sum_{i=1}^n \frac{4H_i}{V_{s_i}} \quad (3.7.1)$$

はじめに、このデータから、観測点を囲む4地点での推本データによる地下構造の各共通層の層厚による重み付け平均でその観測点での地下構造を算出する。図3.7.28には、このようにして算出されたOSK005とOSKH02でのS波速度構造を示す。KiK-net観測点であるOSKH02では、防災科学技術研究所によるPS検層結果が公開されているため、図3.7.29には、S波検層結果と推本の地下構造モデルに基づくS波速度構造との比較を示す。両者はほぼ整合していることが確認できる。図3.7.30には、地震基盤深さと加速度応答スペクトル(h=5%)の地盤増幅率の関係を、図3.7.31には、卓越周期と加速度応答スペクトル(h=5%)の地盤増幅率の関係を示す。両図とも、和

歌山県の観測点を除き、正の相関がみられる。和歌山県の観測点がはずれているのは、地下構造モデルが山地を埋め込んで作成されているためと考えられる。これにより、山地にある和歌山県の観測点の地震基盤深さが深くなっているものと考えられる。

加速度応答スペクトル(h=5%)の地盤増幅率 C_{SA} は、地震基盤深さより卓越周期の方が相関がよいため、卓越周期 T をパラメータとして、(3.7.2)式により回帰分析を行った。

$$\log_{10} C_{SA} = a + bT \quad (3.7.2)$$

ここで、 a 、 b は回帰係数である。 a 、 b は、周期 1~10 秒の加速度応答スペクトルの算出ポイント(46 ポイント)毎に求めている。なお、この際、和歌山県の観測点は除いた。図 3.7.32 は、図 3.7.31 の卓越周期と加速度応答スペクトル(h=5%)の地盤増幅率の関係に、(3.7.2)式に基づく回帰式を加えたものである。全般に、回帰式はデータをほぼ表現しているものの、周期 6 秒以上では、最も卓越周期の長い 10.2 秒である OSKH02 での地盤増幅率を過小評価している。一方、卓越周期が 7.4 秒の OSK005 での地盤増幅率は過大評価している。図 3.7.33 には、回帰係数 a 、 b を示す。この回帰式を用いて、OSKH02、OSK005 での地盤増幅率を推定した結果と、元の地盤増幅率との比較を図 3.7.34 に示す。上述のように、OSKH02 は、周期 6 秒以上で過小評価であり、OSK005 では全周期帯域で過大評価である。図 3.7.35、図 3.7.36 には、(3.7.2)式に基づき推定した地盤増幅率分布を示す。図 3.7.35 は、図 3.7.24 と同じ条件で図化したものであり、図 3.7.36 は 1km メッシュが表現できるように図化したものである。図 3.7.36 と図 3.7.24 を比較すると、全体の傾向は類似している。また、図 3.7.36 では、図 3.7.27 の地震基盤深さや卓越周期分布にみられる上町台地の影響も反映されていることがわかる。

地震基盤深さと群遅延時間の平均値の関係を図 3.7.37 に、卓越周期と群遅延時間の平均値のサイト係数の関係を図 3.7.38 に示す。同様に、地震基盤深さと群遅延時間の標準偏差のサイト係数の関係を図 3.7.39 に、卓越周期と群遅延時間の標準偏差の関係を図 3.7.40 に示す。和歌山県の観測点を除くと、群遅延時間の平均値は、卓越周期が最も長い OSKH02 が、全体の傾向からはずれている。群遅延時間の標準偏差は、地震基盤深さや卓越周期との相関が小さい。このような理由により、回帰分析は行わなかった。

以上のように、加速度応答スペクトル(h=5%)の地盤増幅率は、地下構造モデルに基づく卓越周期をパラメータとした回帰式により面的補間が可能となった。しかし、観測点により過大評価、過小評価されるケースもみられた。群遅延時間の平均値のサイト係数、群遅延時間の標準偏差のサイト係数については、卓越周期や地震基盤深さとの相関が小さく、回帰式作成は行わなかった。今後、他の平野での検討も行った上で、加速度応答スペクトル(h=5%)の地盤増幅率、群遅延時間の平均値のサイト係数、群遅延時間の標準偏差のサイト係数の面的補間について再検討する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部. 「長周期地震動予測地図」2009 年試作版、http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09_choshuki/choshuki2009_c3.pdf

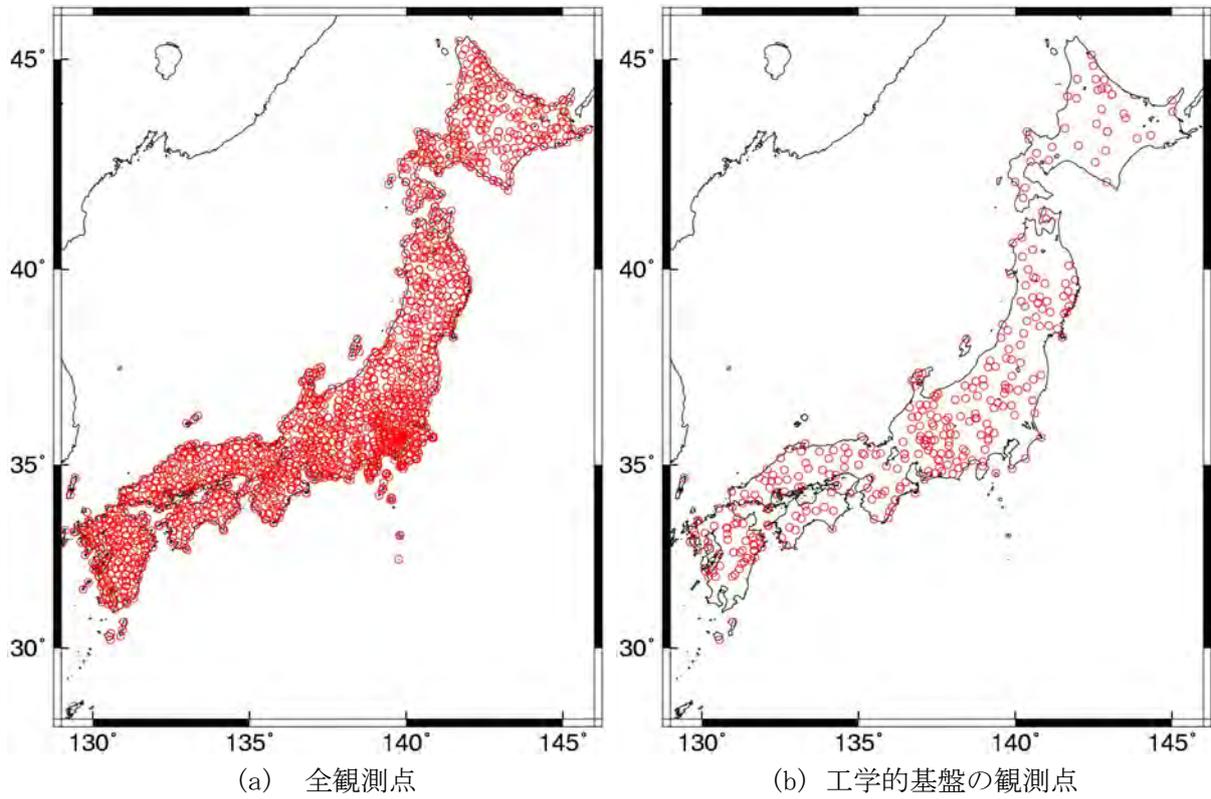


図 3. 7. 1 加速度応答スペクトル、エネルギースペクトルの地盤増幅率が求められている観測点

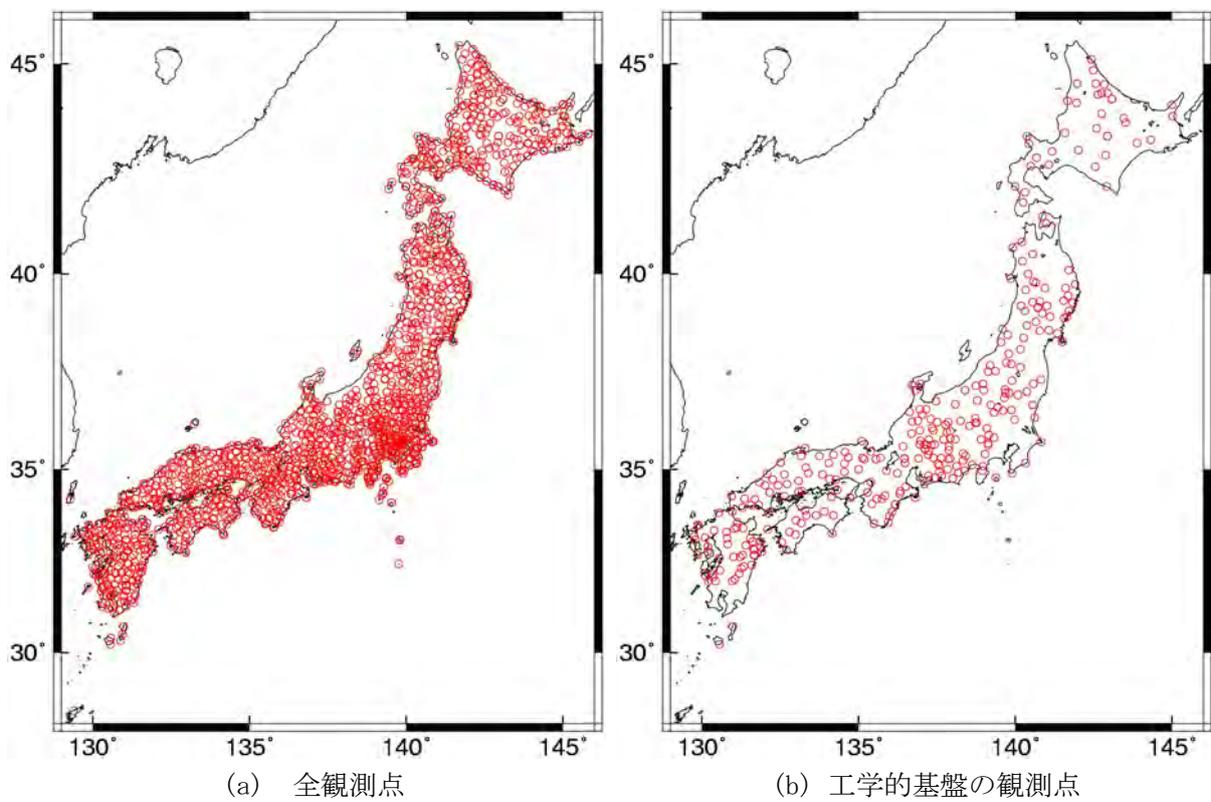
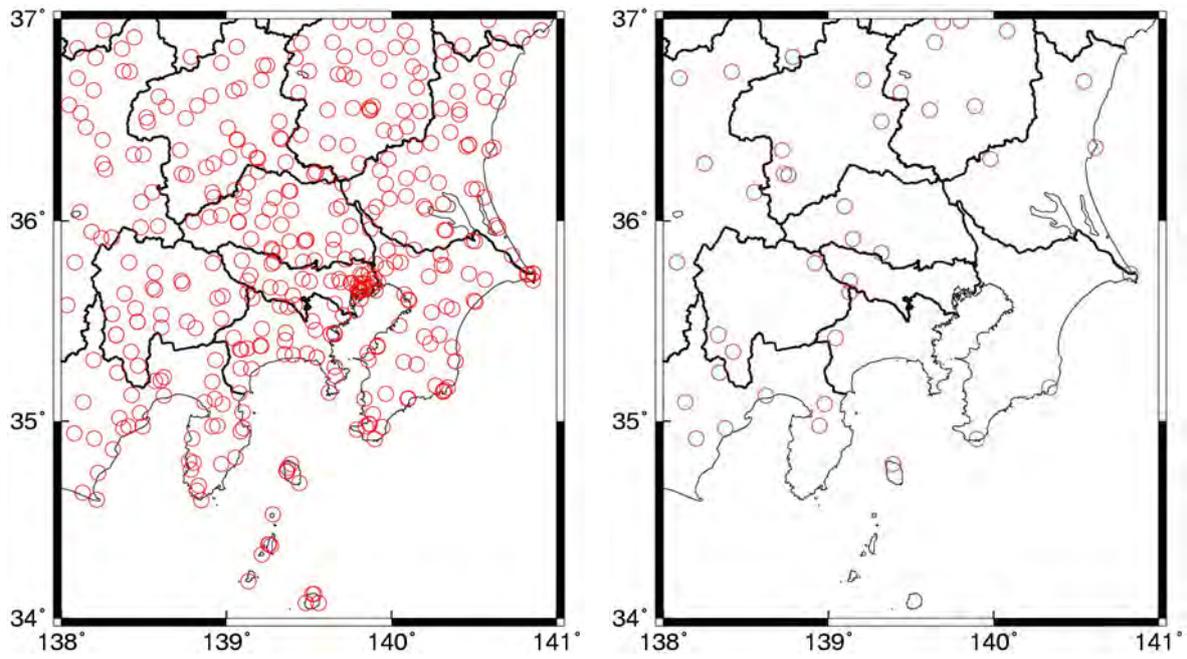


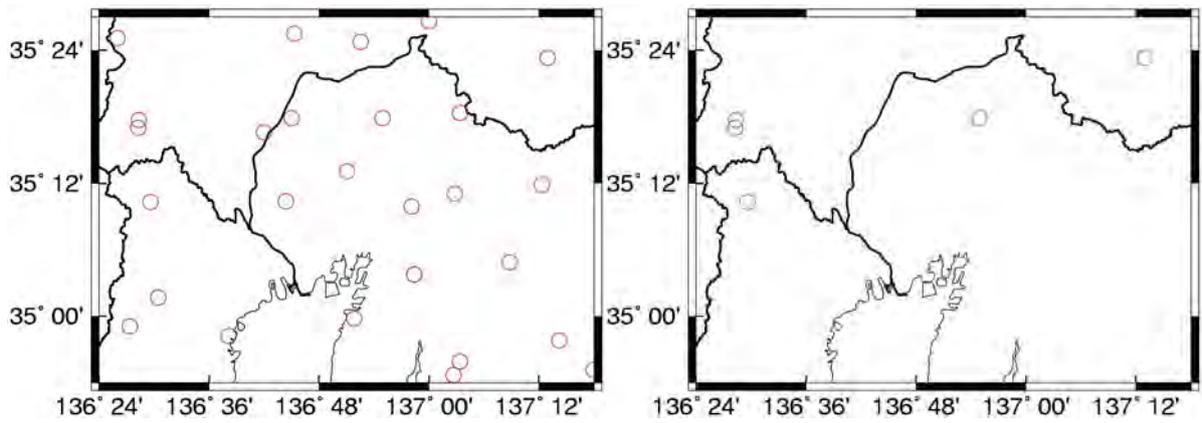
図 3. 7. 2 群遅延時間の平均値・標準偏差のサイト係数が求められている観測点



(a) 全観測点

(b) 工学的基盤の観測点

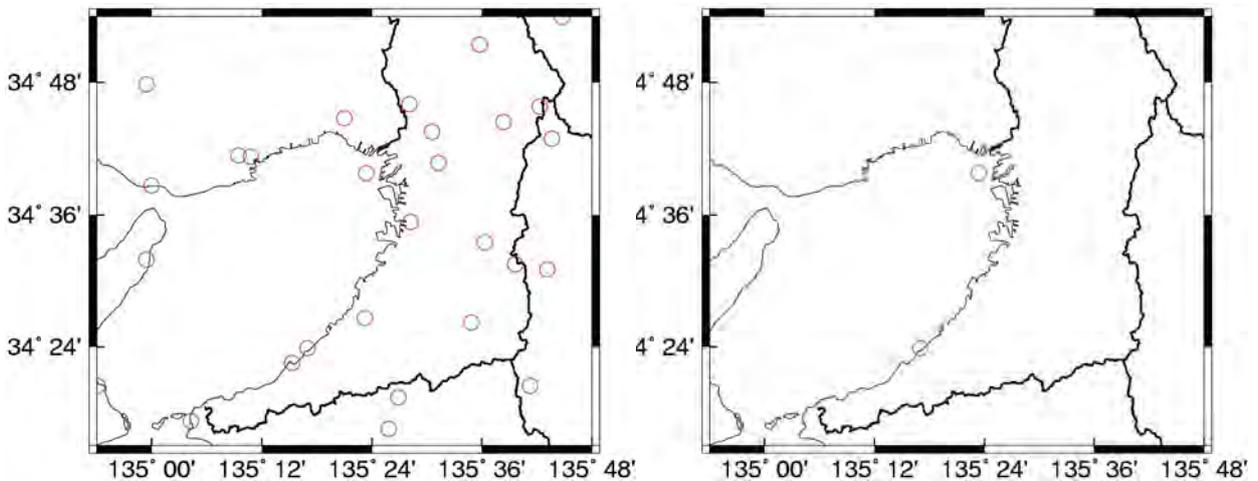
図 3.7.3 加速度応答スペクトル、エネルギースペクトルの地盤増幅率が求められている関東平野周辺の観測点



(a) 全観測点

(b) 工学的基盤の観測点

図 3.7.4 加速度応答スペクトル、エネルギースペクトルの地盤増幅率が求められている濃尾平野周辺の観測点



(a) 全観測点

(b) 工学的基盤の観測点

図 3.7.5 加速度応答スペクトル、エネルギースペクトルの地盤増幅率が求められている大阪平野周辺の観測点

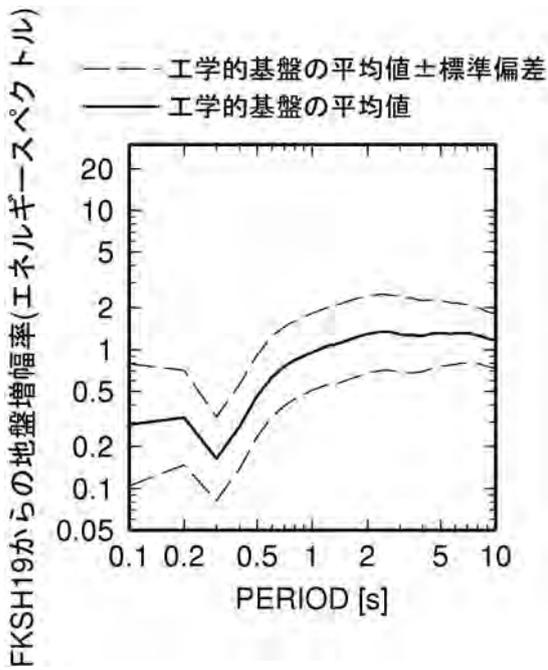
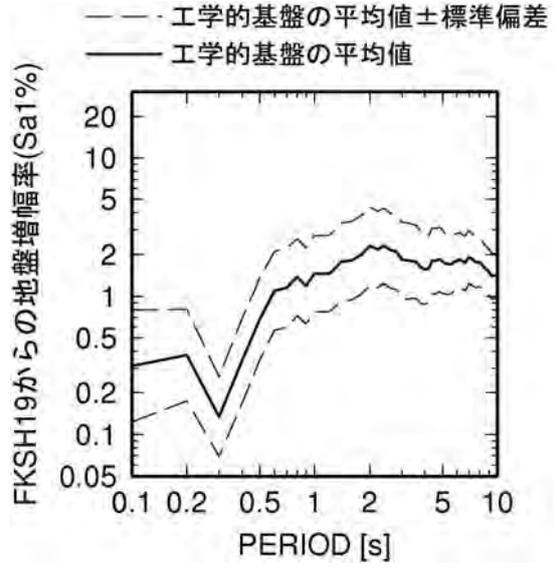
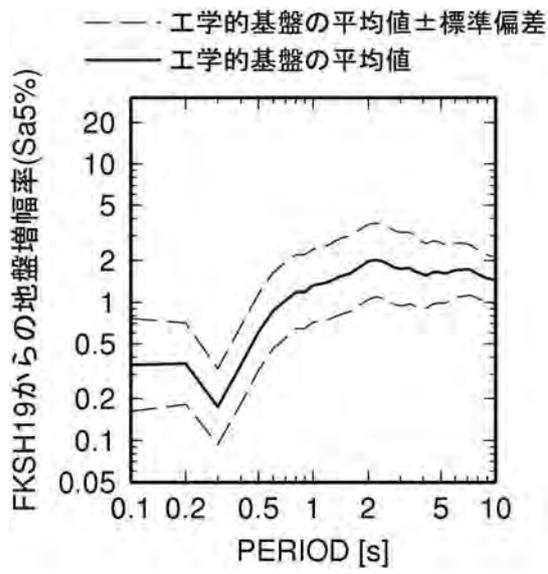


図 3.7.6 減衰定数 5%と 1%の加速度応答スペクトルとエネルギースペクトルの工学的基盤での地盤増幅率

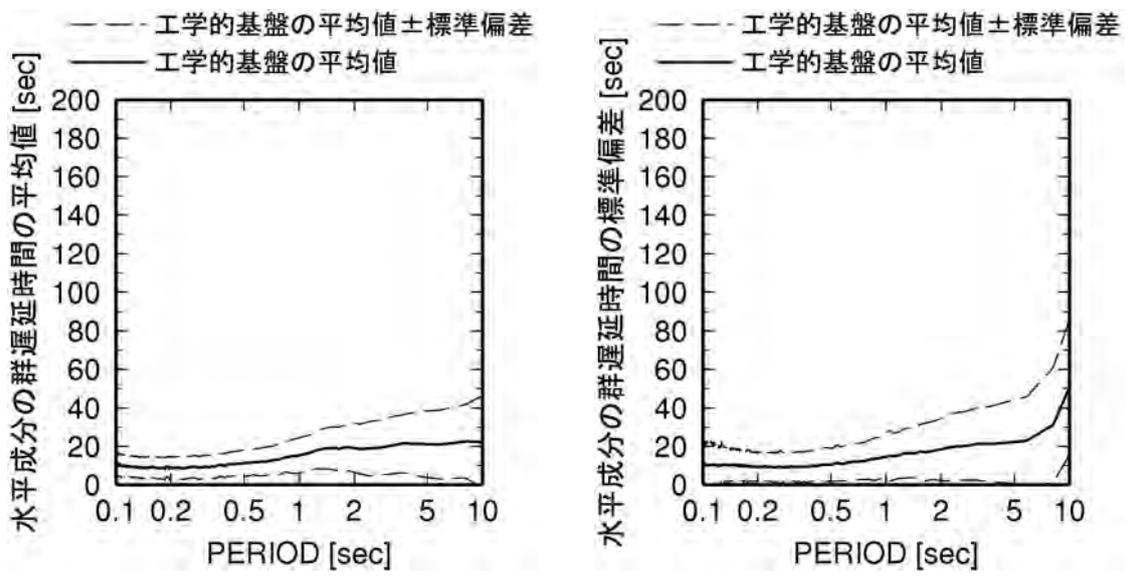
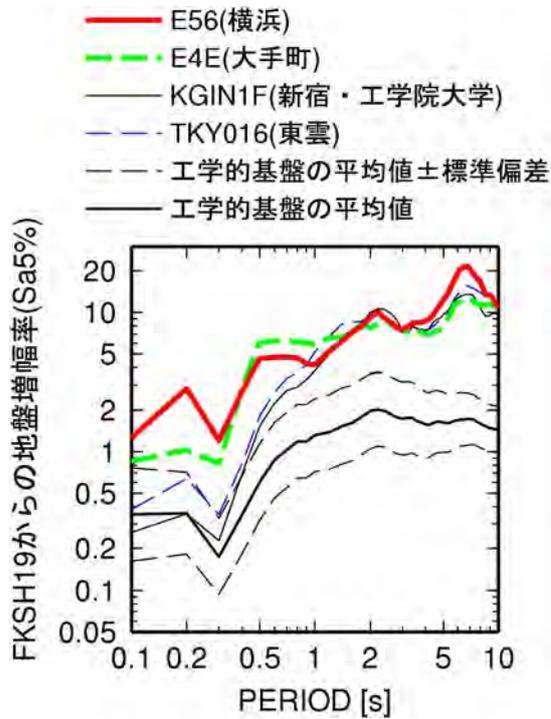
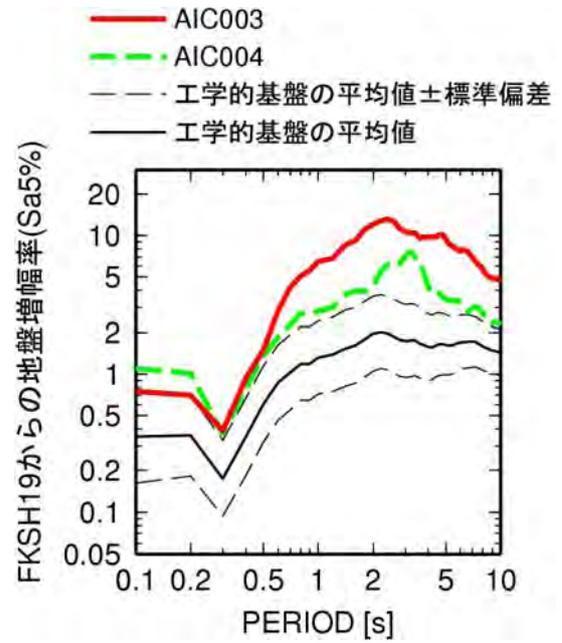


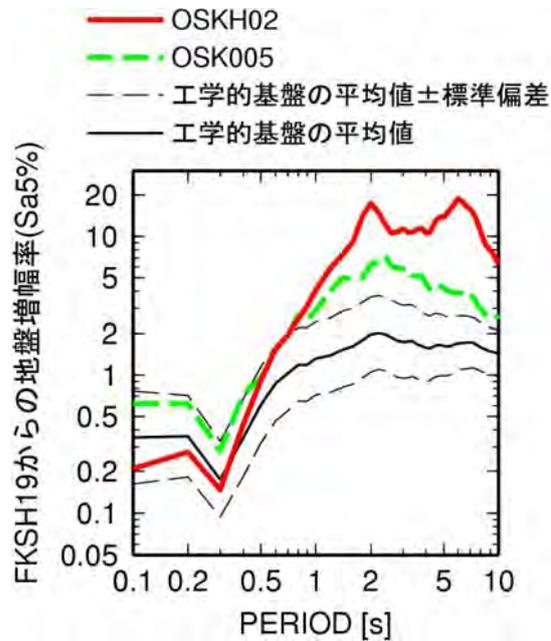
図 3.7.7 工学的基盤での群遅延時間の平均値と標準偏差のサイト係数（海溝型地震）



(a) 関東平野

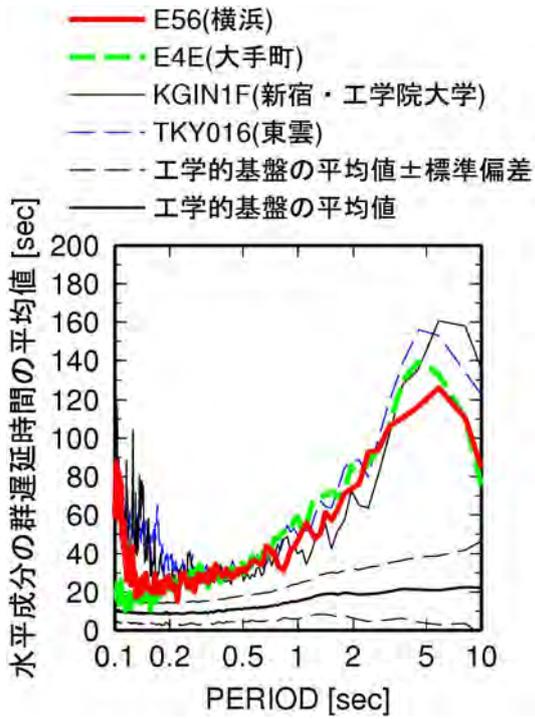


(b) 濃尾平野

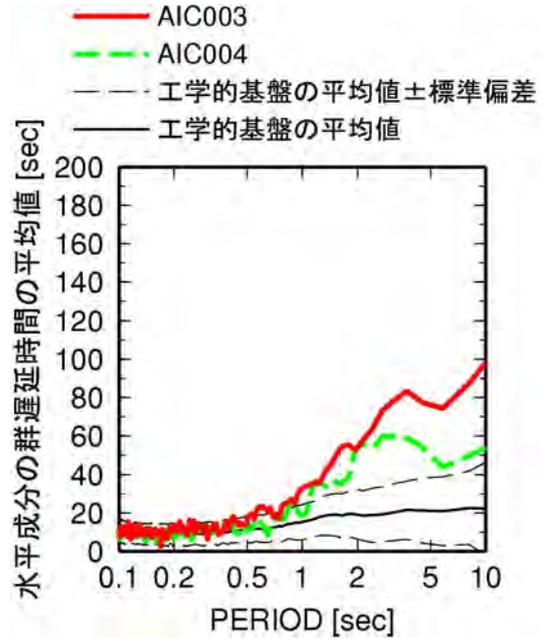


(c) 大阪平野

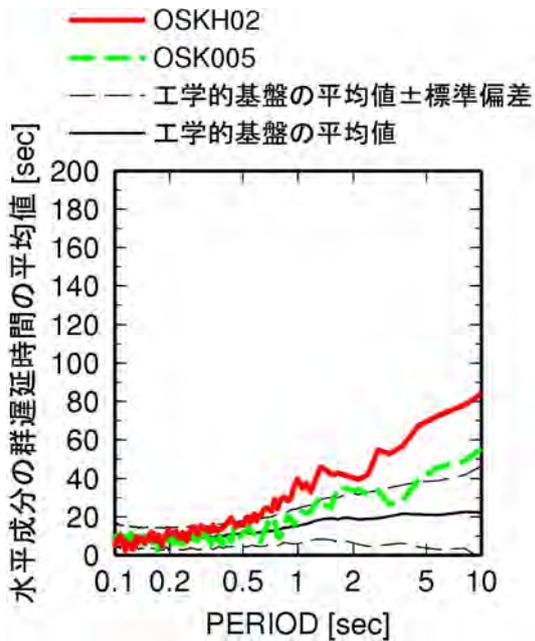
図 3.7.8 関東平野、濃尾平野、大阪平野の代表観測点における減衰定数 5%の加速度応答スペクトルの地盤増幅率と工学的基盤での地盤増幅率の比較



(a) 関東平野

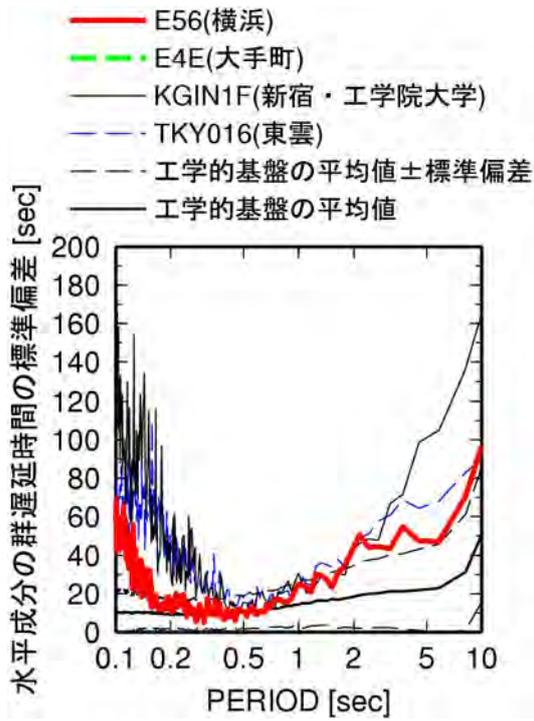


(b) 濃尾平野

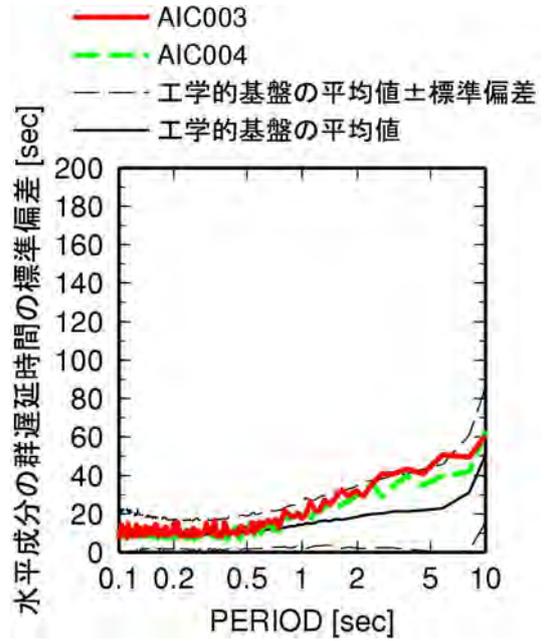


(c) 大阪平野

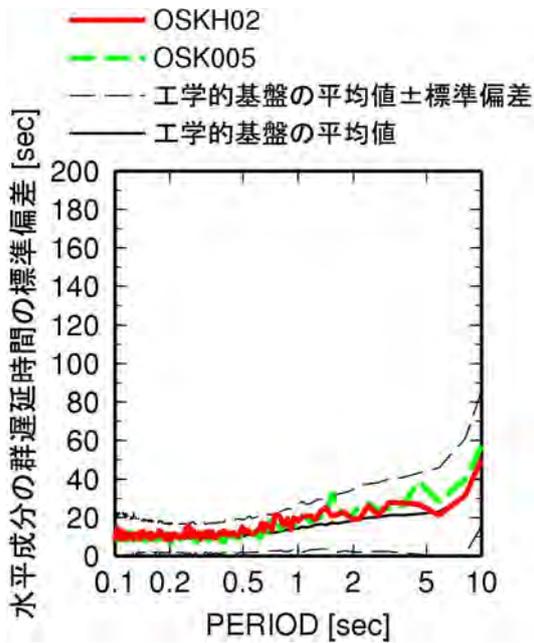
図 3.7.9 関東平野、濃尾平野、大阪平野の代表観測点における群遅延時間の平均値のサイト係数と工学的基盤でのサイト係数の比較



(a) 関東平野

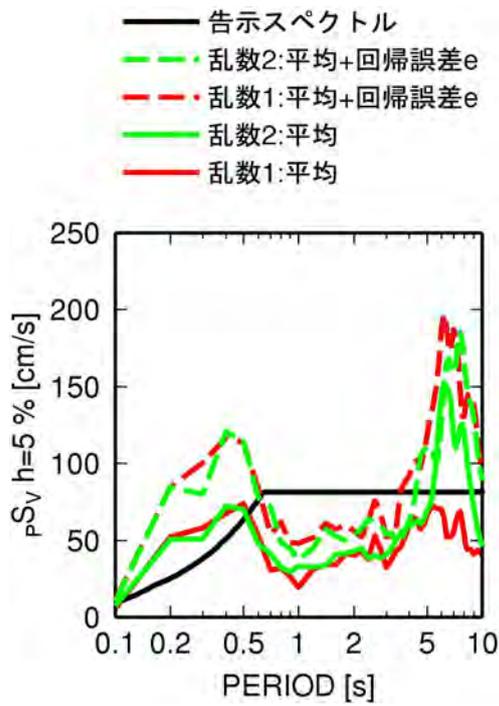


(b) 濃尾平野

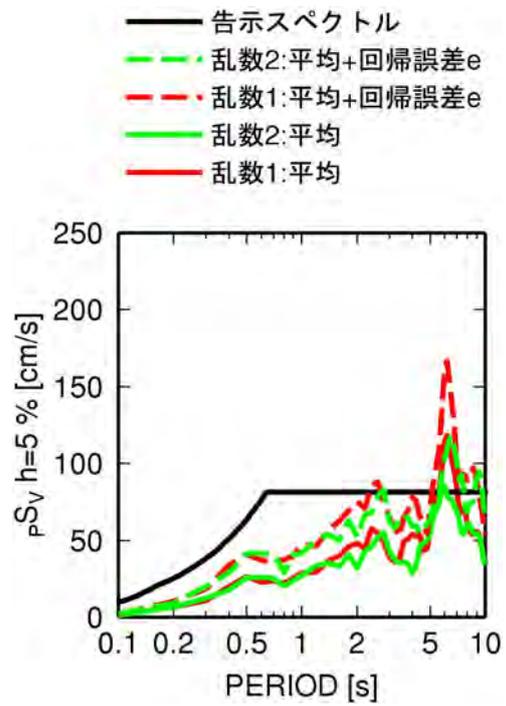


(c) 大阪平野

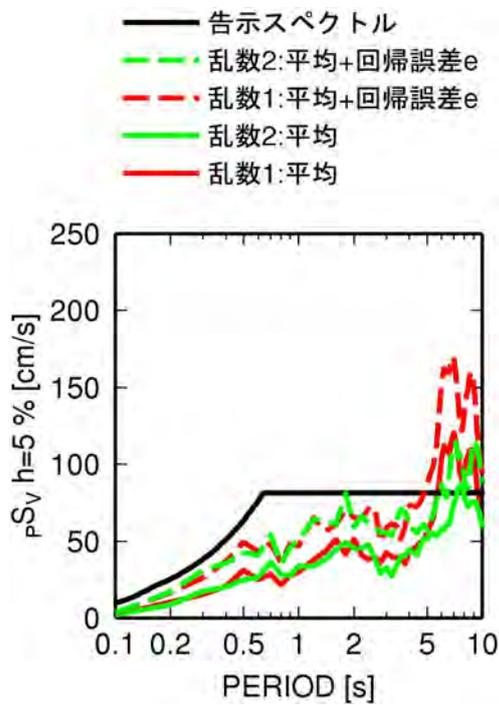
図 3.7.10 関東平野、濃尾平野、大阪平野の代表観測点における群遅延時間の標準偏差のサイト係数と工学的基盤でのサイト係数の比較



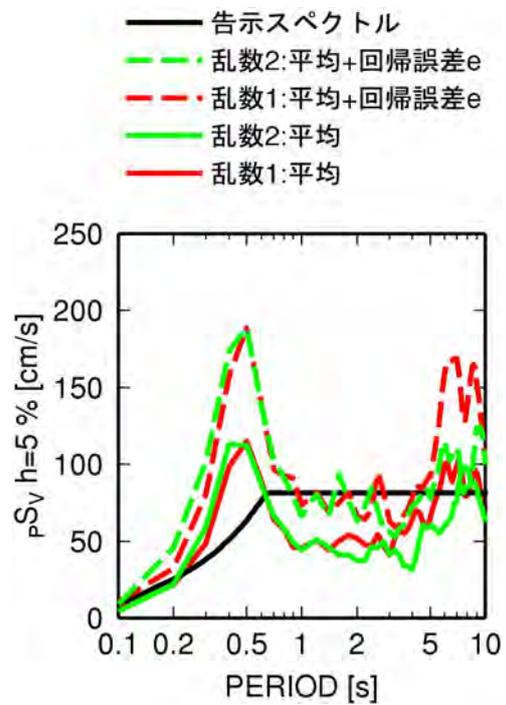
(a) 大手町 (E4E)



(b) 新宿・工学院大学 (KGIN)



(c) 東雲 (TKY016)



(d) 横浜 (E56)

図 3.7.11 地表での東南海・東海地震の予測波の減衰定数 5% の擬似速度応答スペクトル

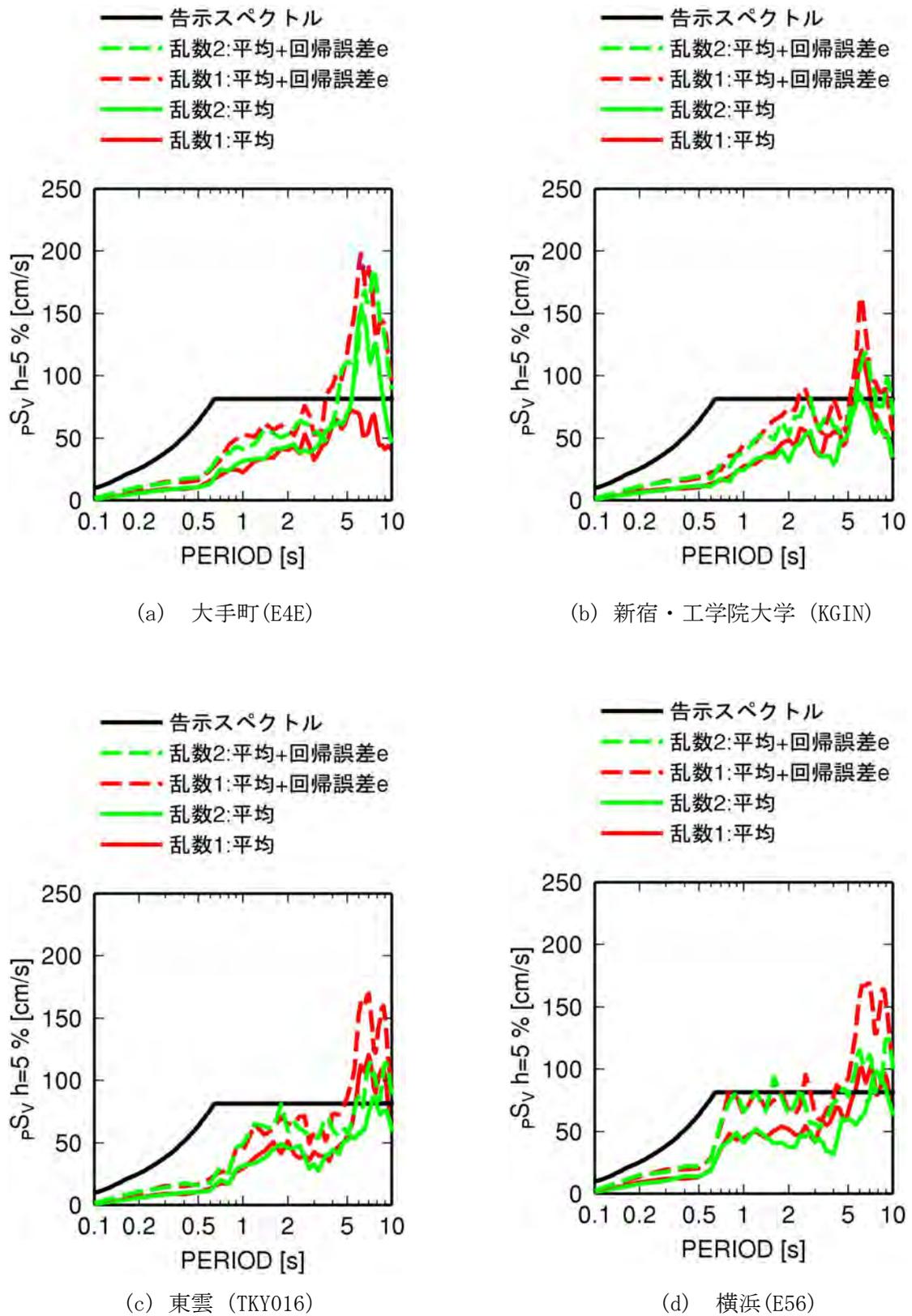
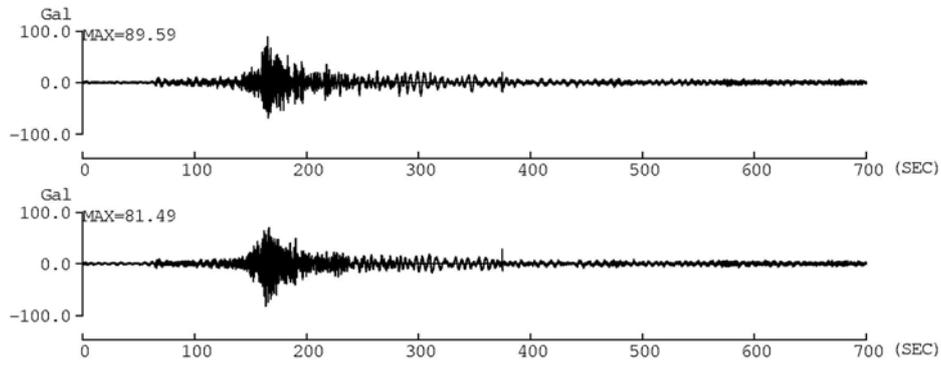
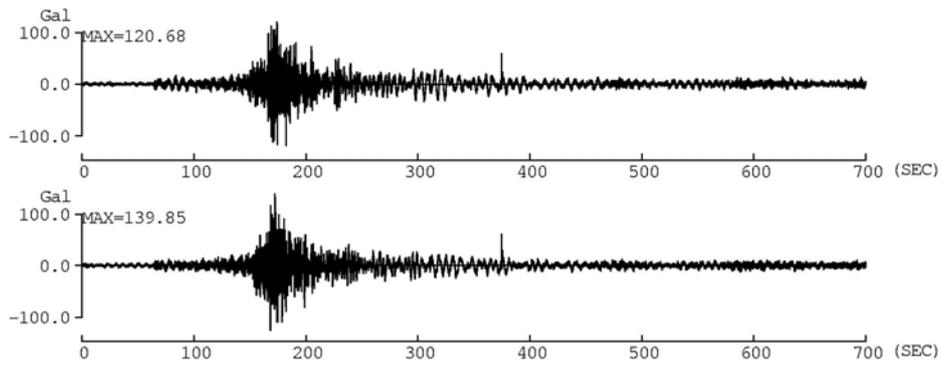


図 3.7.12 工学的基盤での東南海・東海地震の予測波の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトル

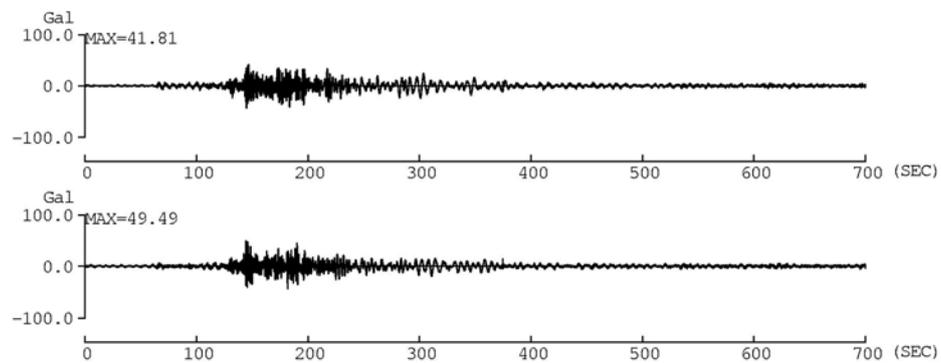


(a) 平均

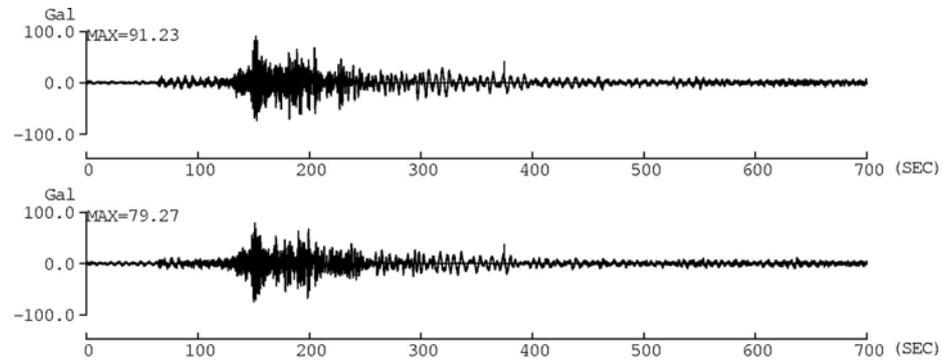


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.7.13 東南海・東海地震に対する新宿・工学院大学の地表での加速度波形

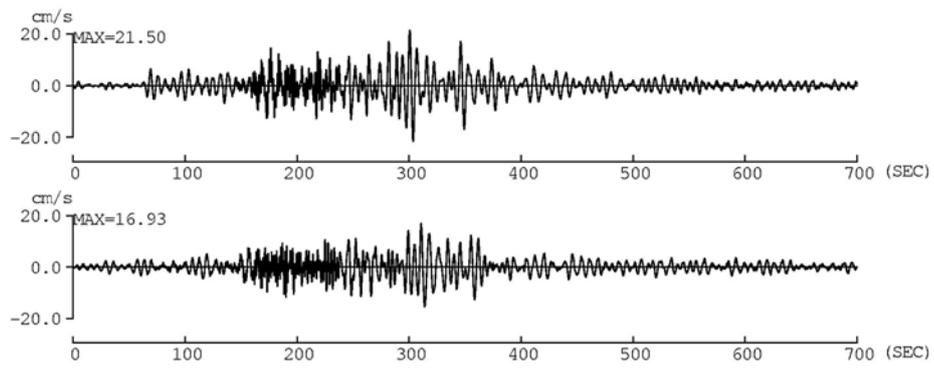


(a) 平均

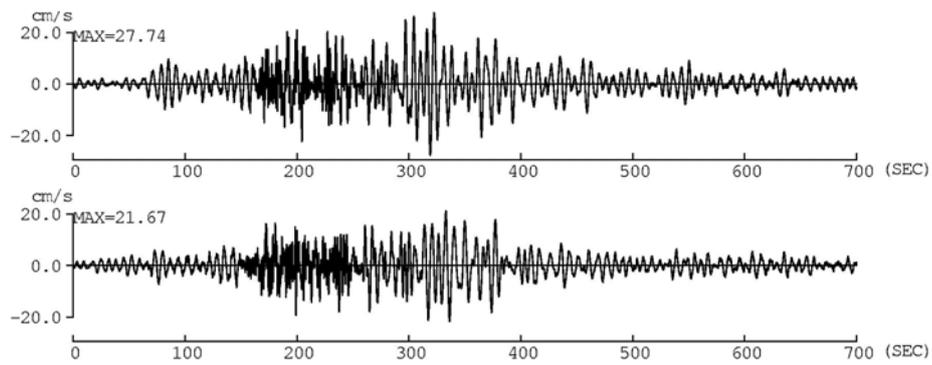


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.7.14 東南海・東海地震に対する新宿・工学院大学の工学的基盤での加速度波形

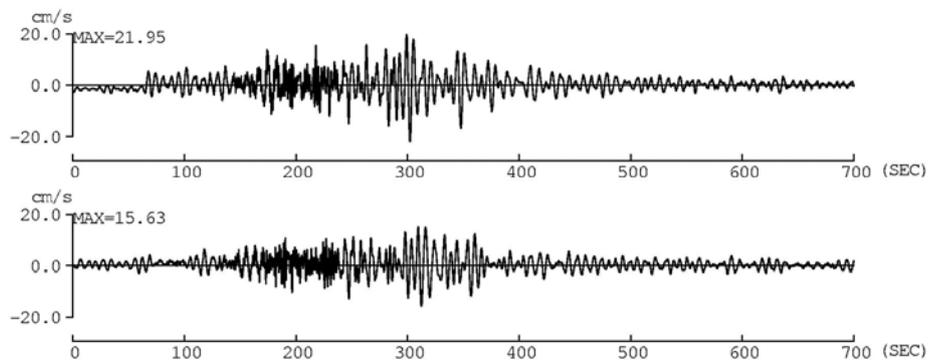


(a) 平均

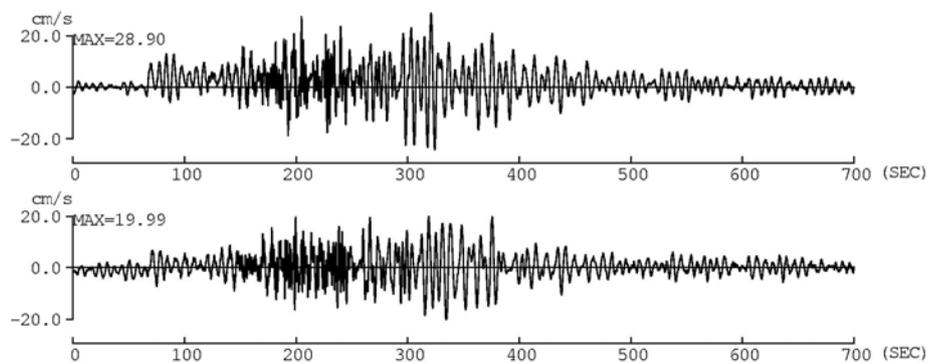


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.7.15 東南海・東海地震に対する新宿・工学院大学の地表での速度波形

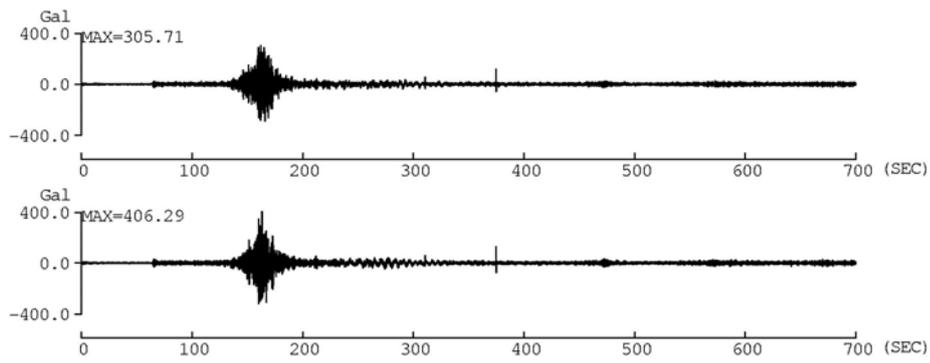


(a) 平均

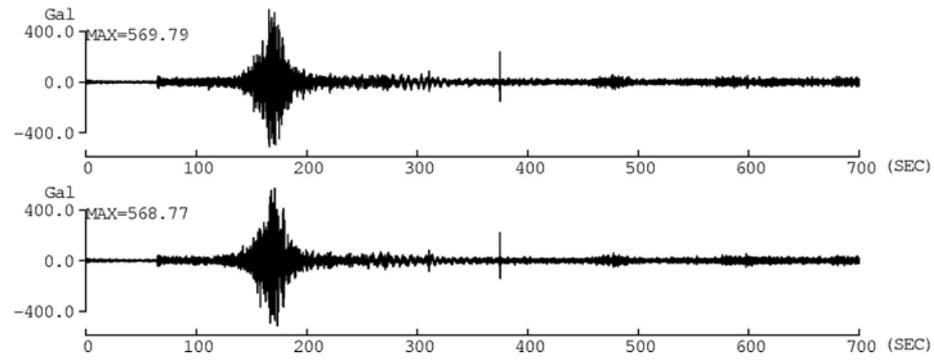


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.7.16 東南海・東海地震に対する新宿・工学院大学の工学的基盤での速度波形

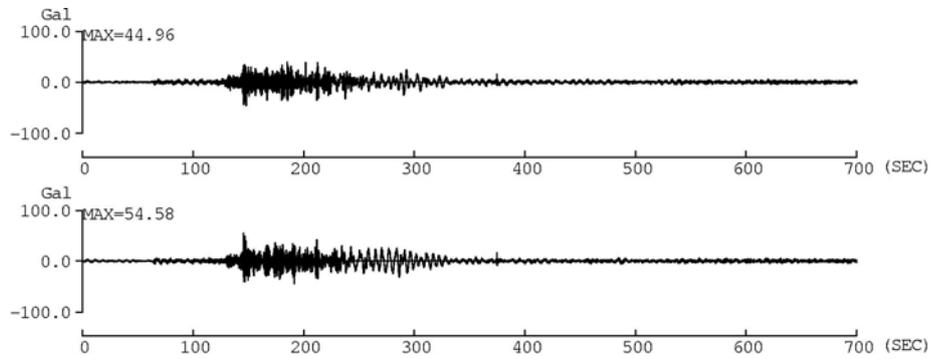


(a) 平均

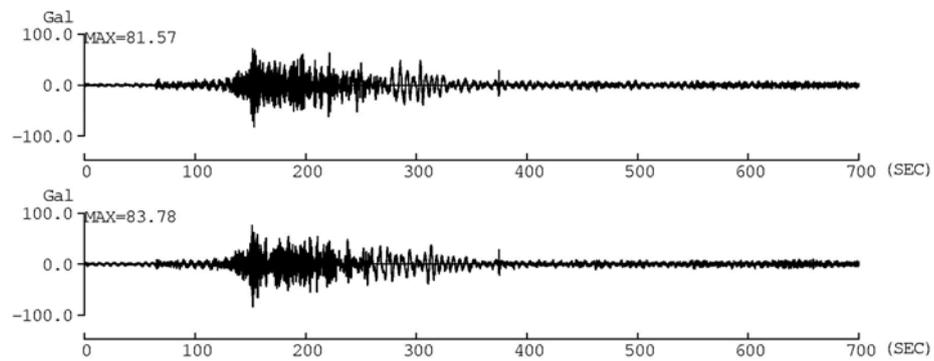


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.7.17 東南海・東海地震に対する大手町の地表での加速度波形

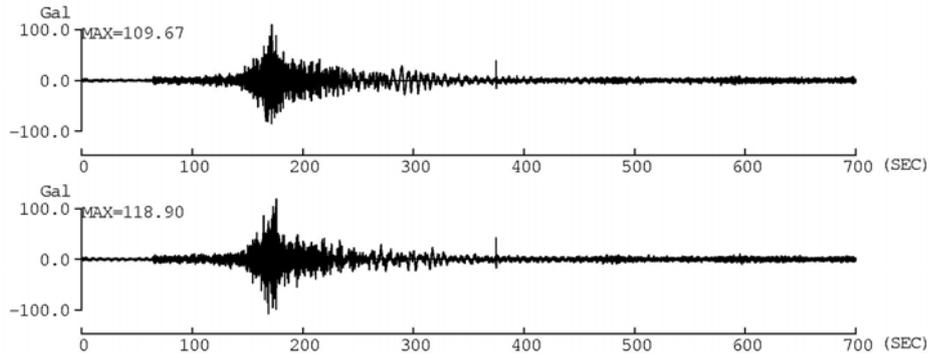


(a) 平均

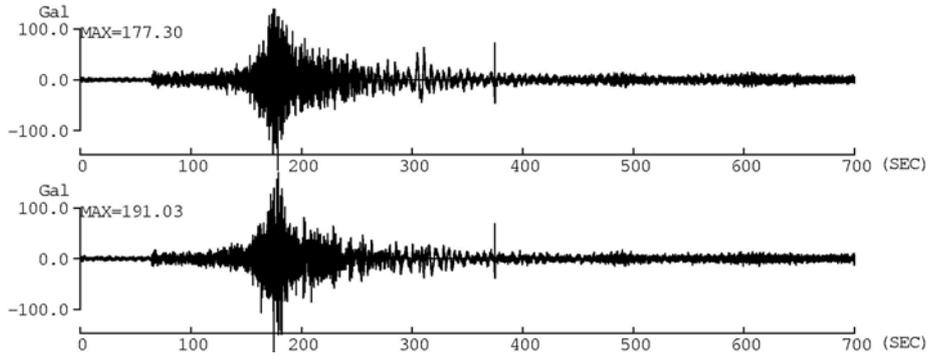


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.7.18 東南海・東海地震に対する大手町の工学的基盤での加速度波形

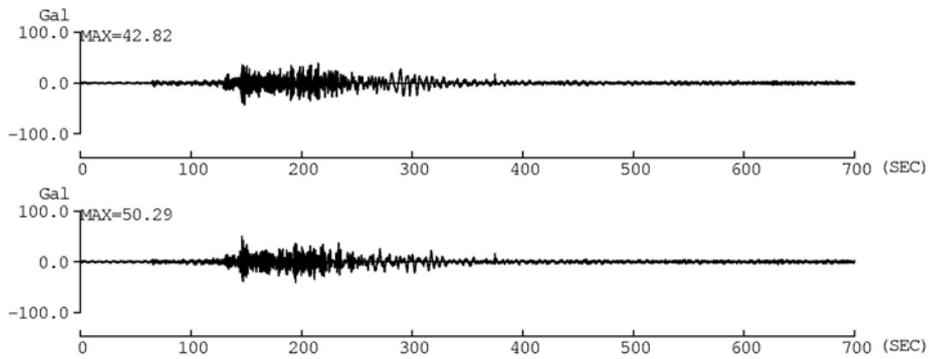


(a) 平均

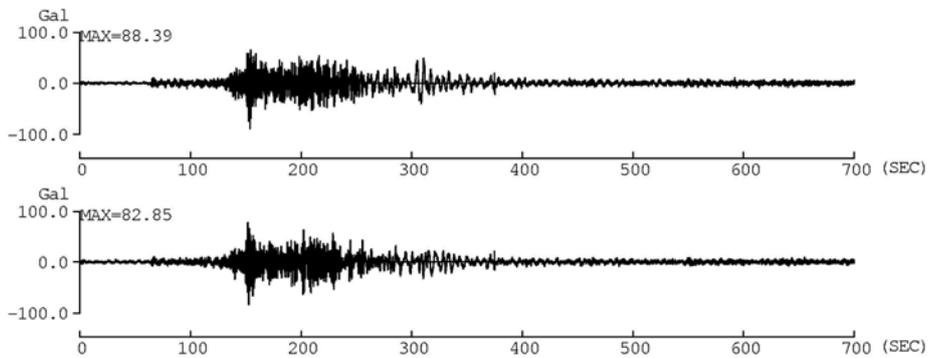


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.7.19 東南海・東海地震に対する東雲の地表での加速度波形

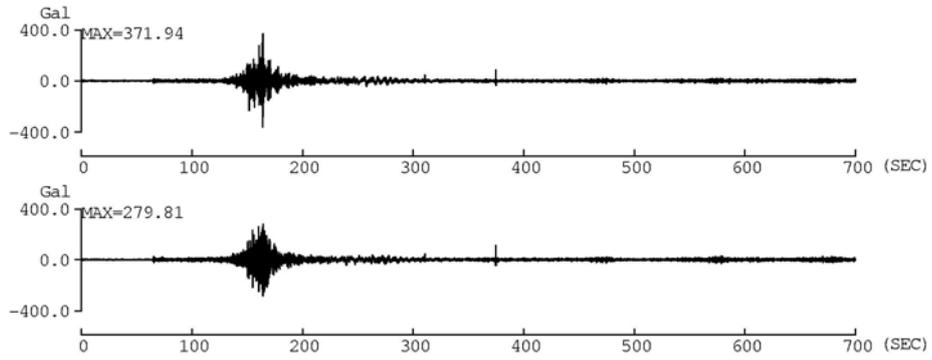


(a) 平均

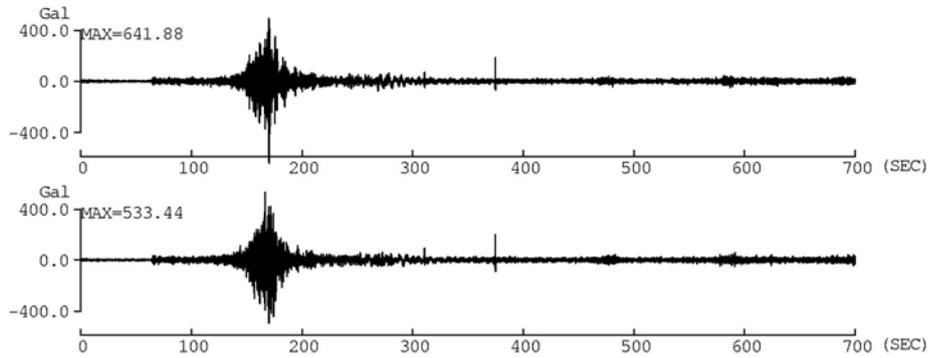


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.7.20 東南海・東海地震に対する東雲の工学的基盤での加速度波形

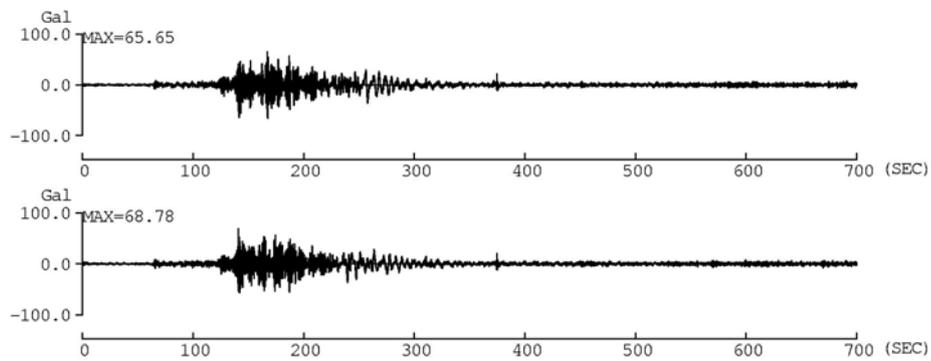


(a) 平均

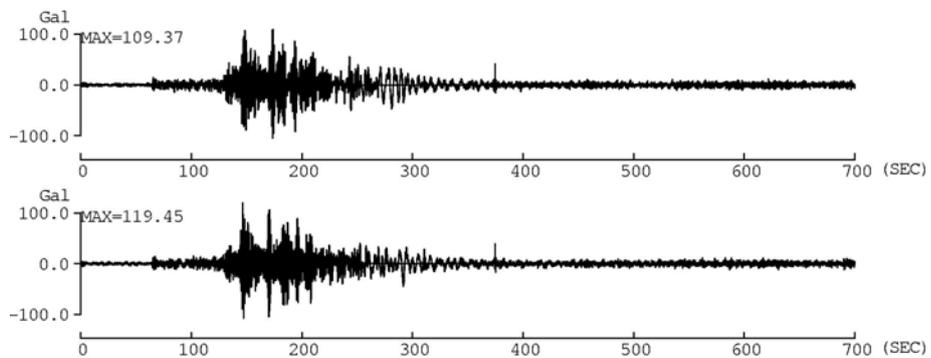


(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.7.21 東南海・東海地震に対する横浜の地表での加速度波形



(a) 平均



(b) 平均+回帰誤差(標準偏差)

図 3.7.22 東南海・東海地震に対する横浜の工学的基盤での加速度波形

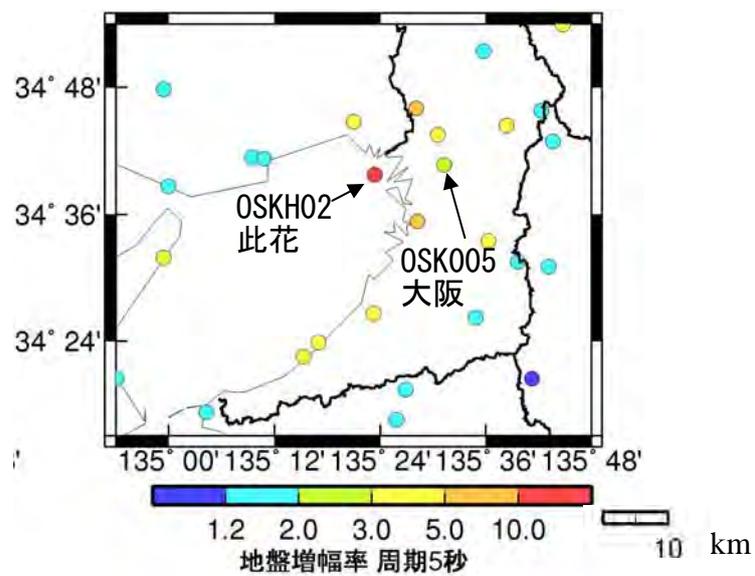
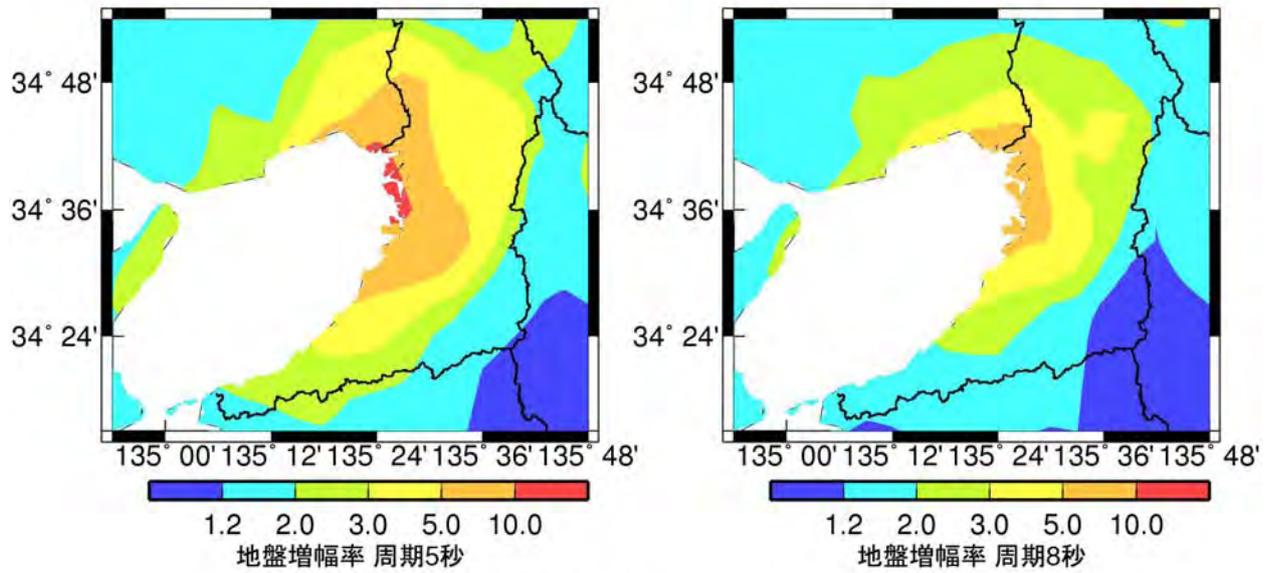
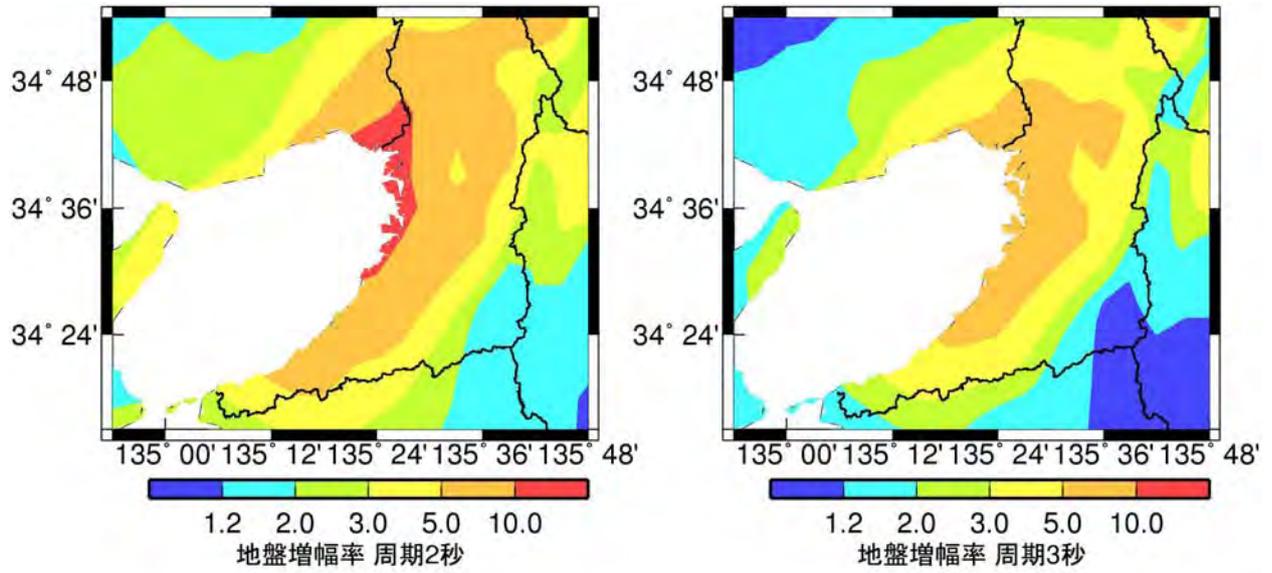
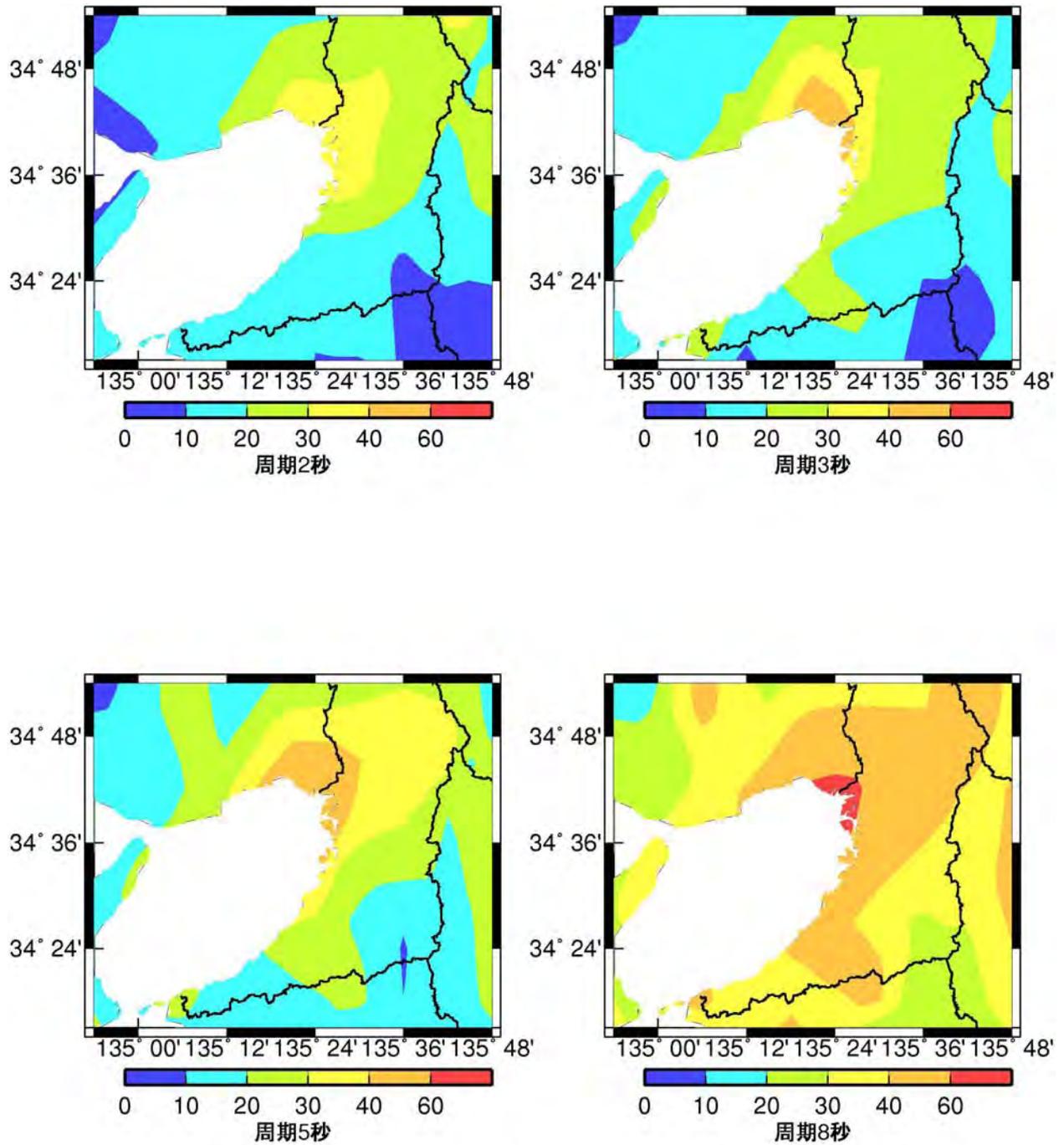


図 3.7.23 検討対象とした大阪平野の範囲及び観測点と、考察に用いた OSKH02 と OSK005 の位置



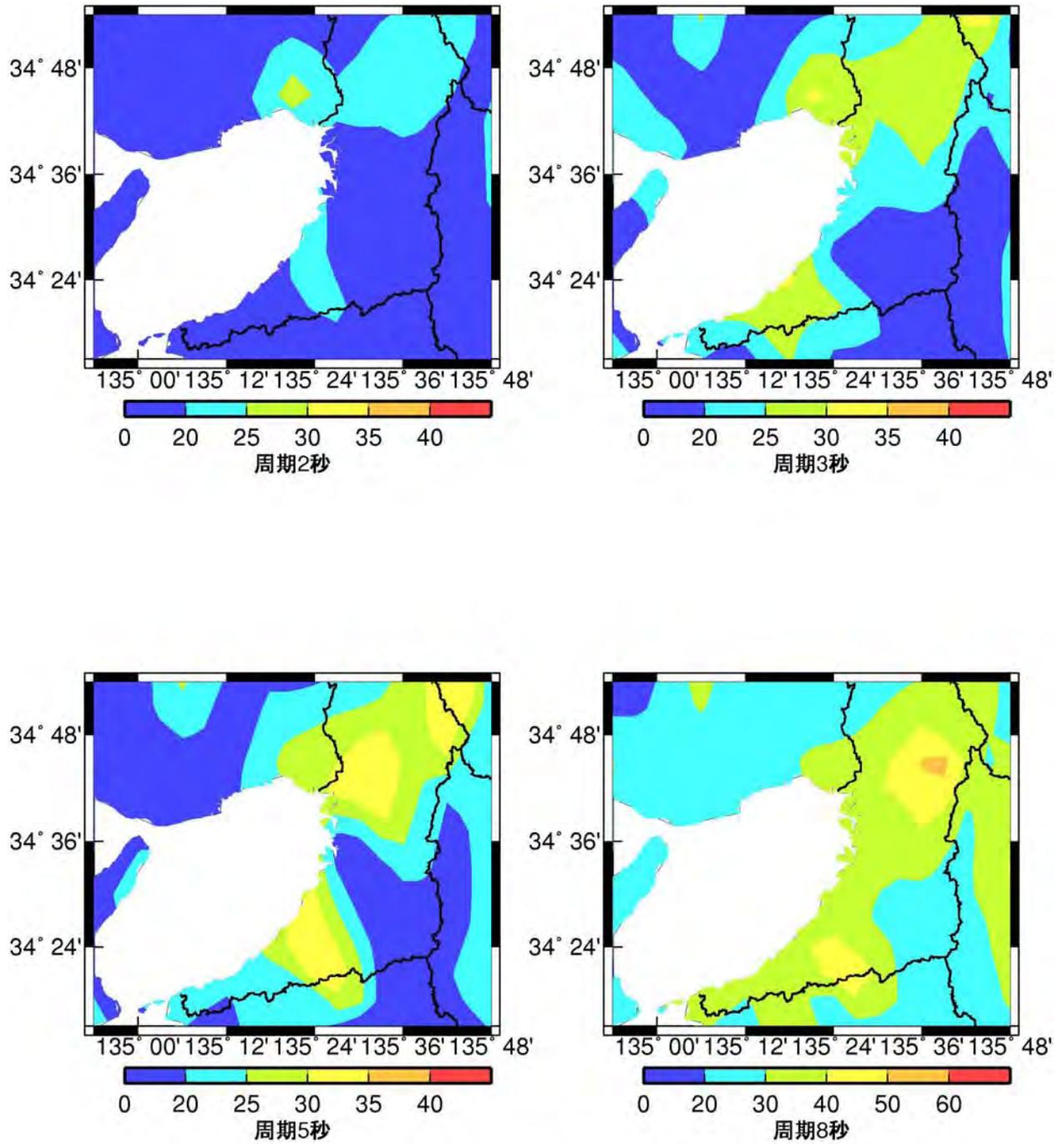
S_A h=5%: 水平成分

図 3.7.24 大阪平野での加速度応答スペクトル(h=5%)の地盤増幅率分布



群遅延時間の平均値: 水平成分

図 3.7.25 大阪平野での群遅延時間の平均値のサイト係数分布



群遅延時間の標準偏差: 水平成分

図 3.7.26 大阪平野での群遅延時間の標準偏差のサイト係数分布

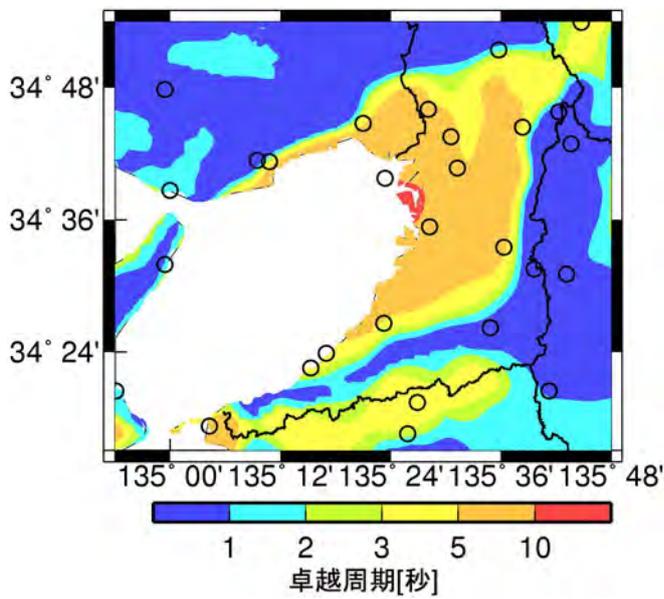
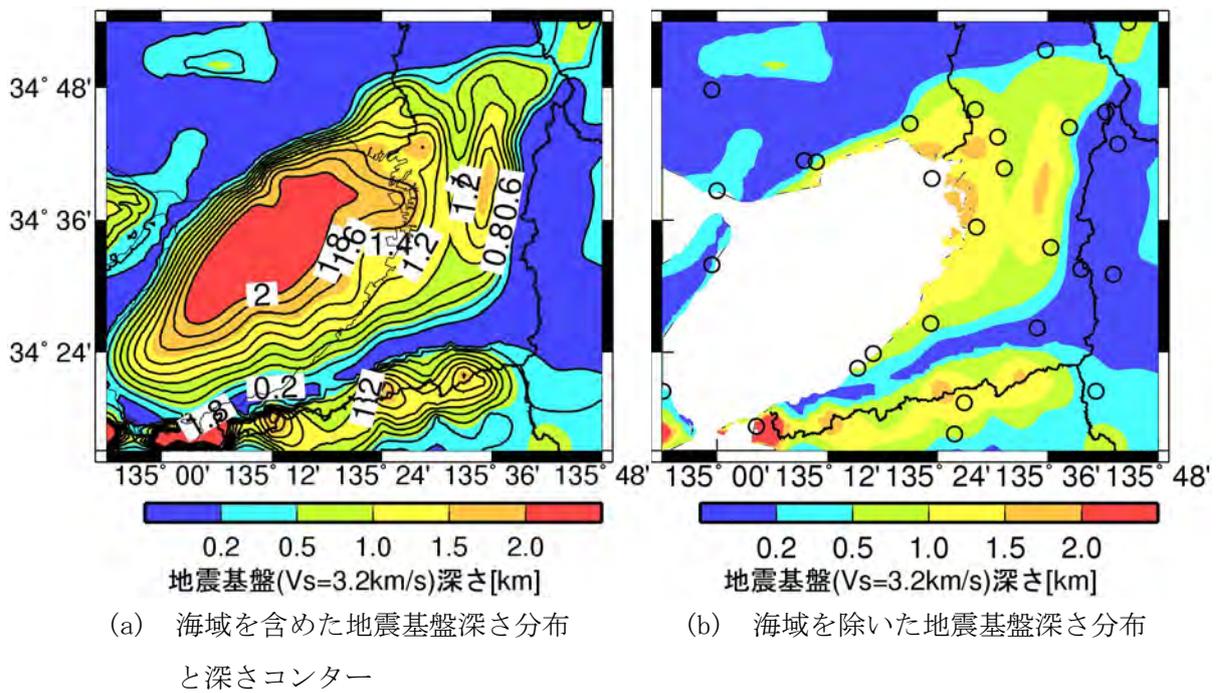


図 3. 7. 27 推本の地下構造モデルの地震基盤($V_s=3.2\text{km/s}$)上面の分布と卓越周期分布

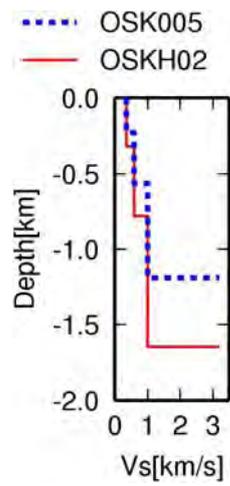


図 3.7.28 推本の地下構造モデルに基づく OSKH02 と OSK005 での S 波速度構造

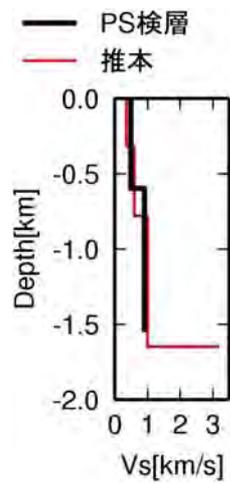


図 3.7.29 OSKH02 での S 波検層結果(防災科学技術研究所)と推本の地下構造モデルに基づく S 波速度構造の比較

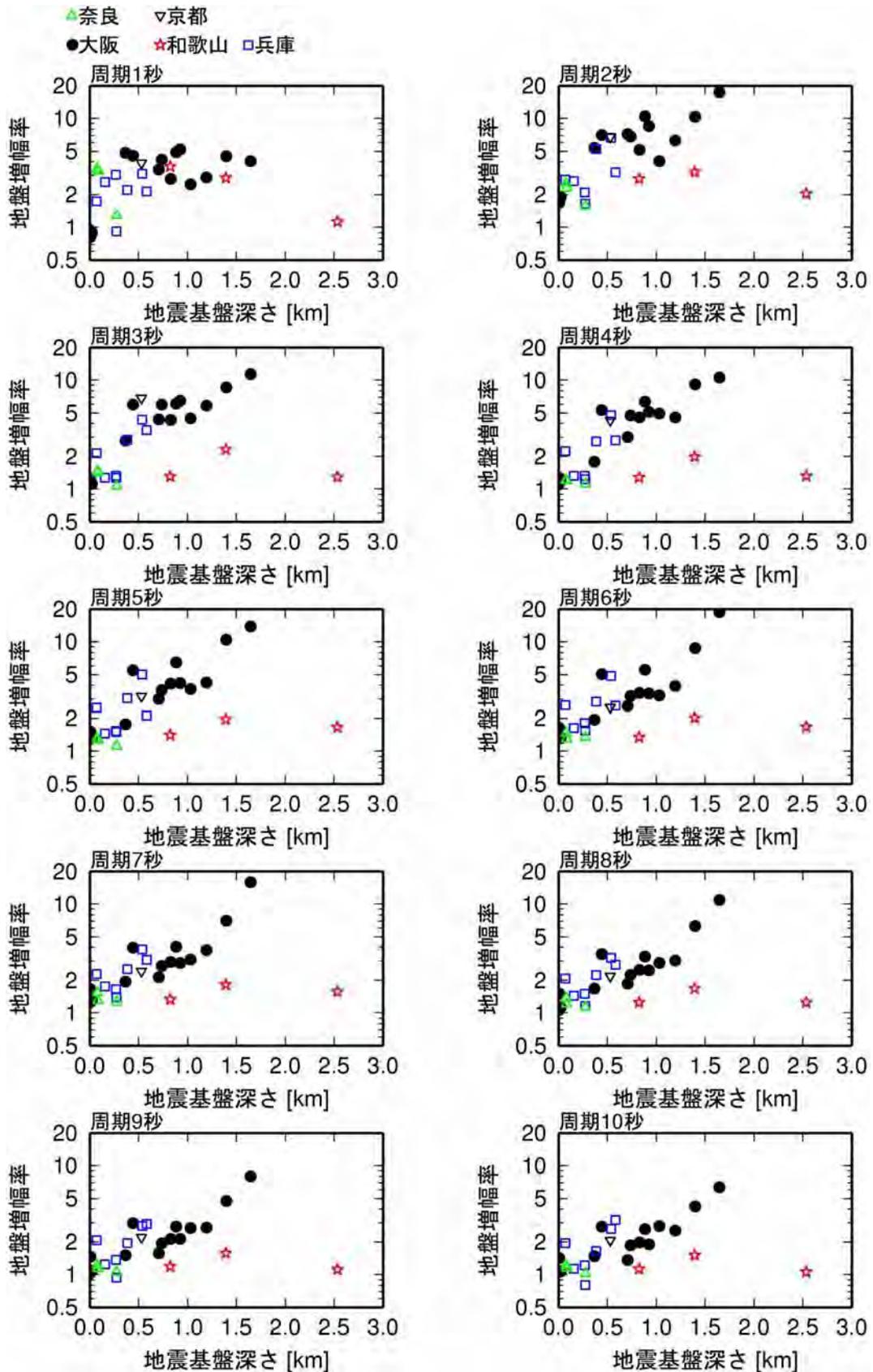


図 3. 7. 30 地震基盤深さと加速度応答スペクトル(h=5%)の地盤増幅率の関係

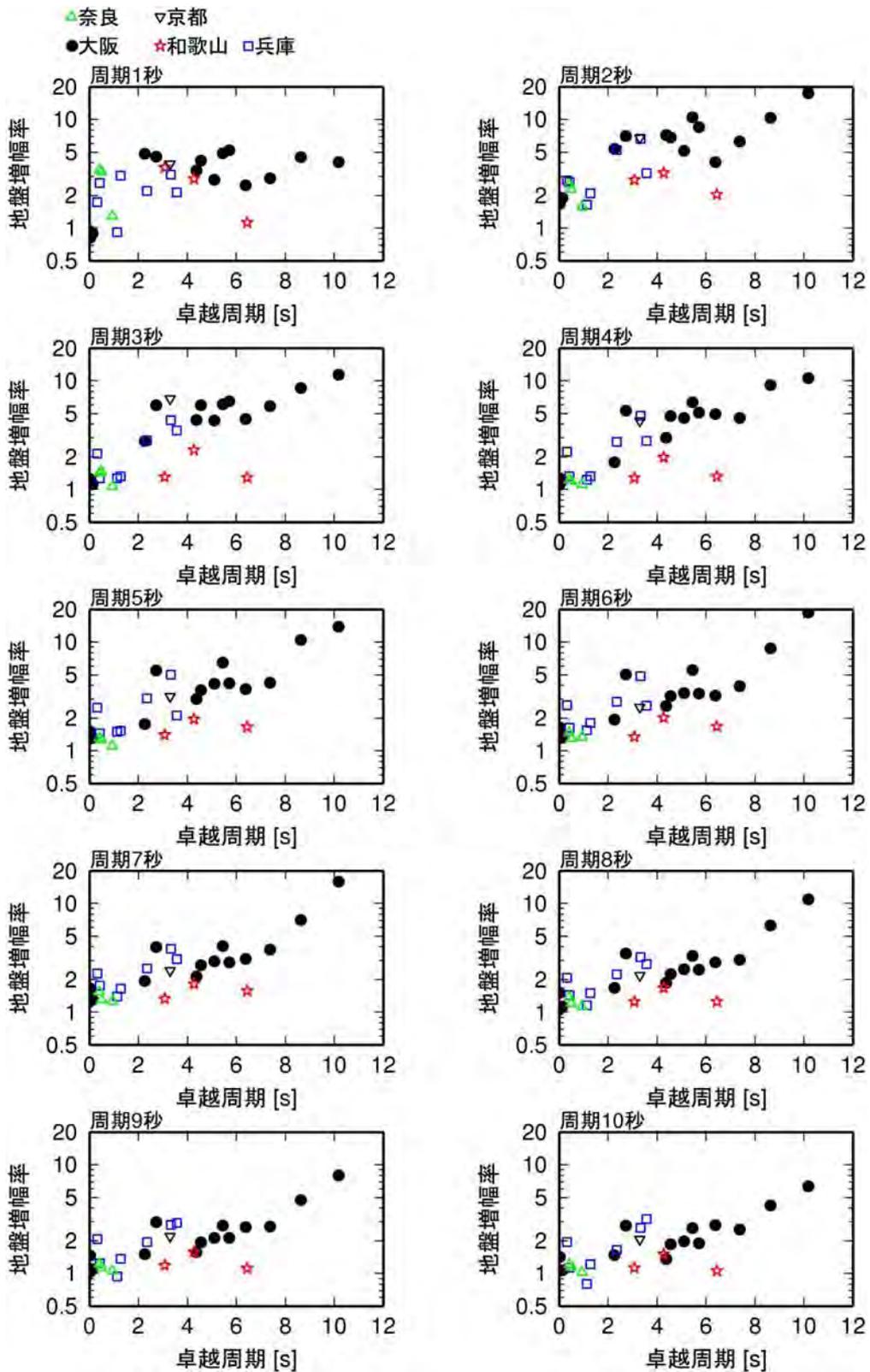


図 3.7.31 卓越周期と加速度応答スペクトル(h=5%)の地盤増幅率の関係

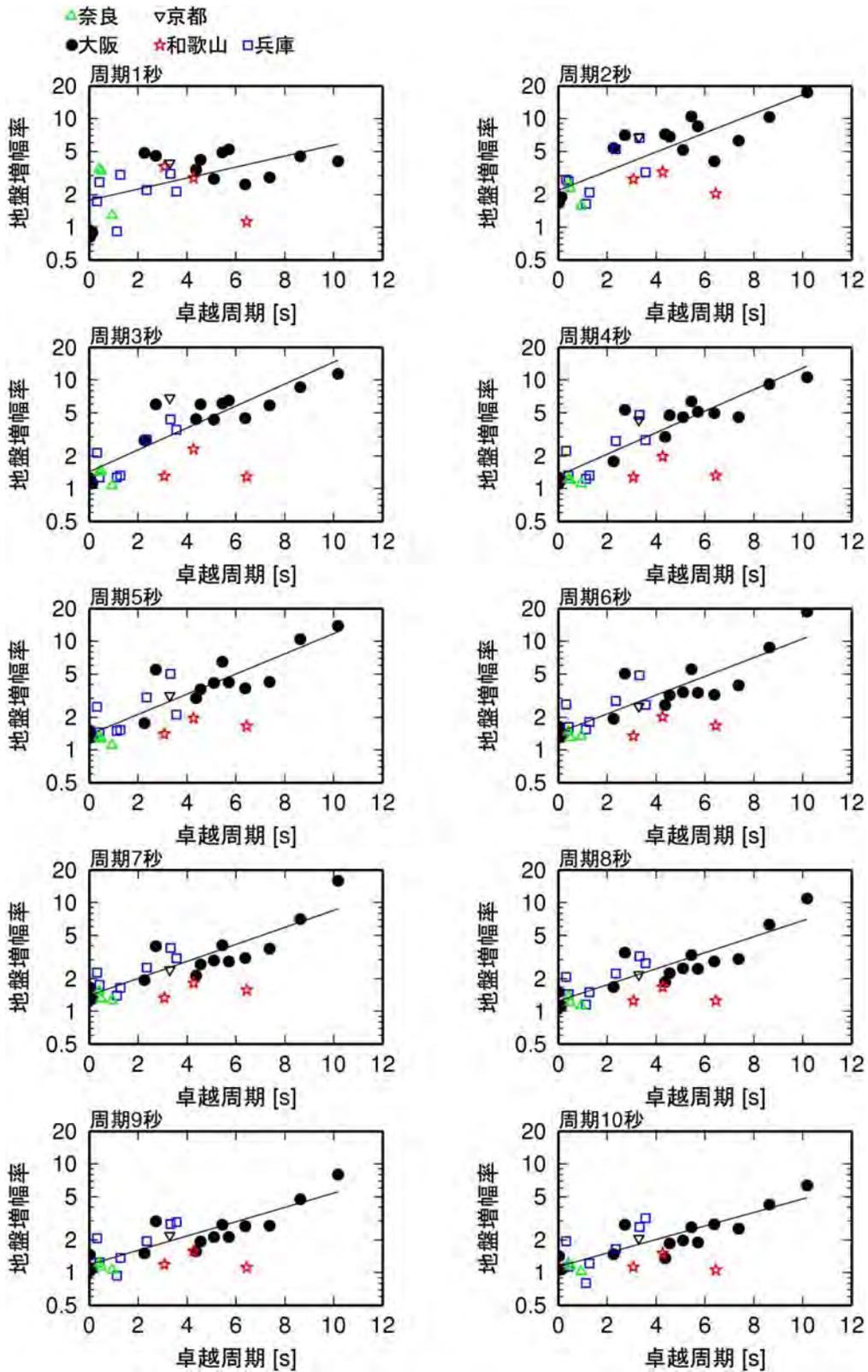


図 3.7.32 卓越周期と加速度応答スペクトル(h=5%)の地盤増幅率の関係及び回帰式

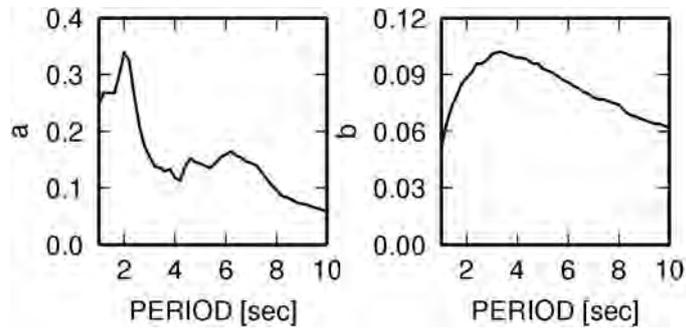


図 3.7.33 卓越周期と加速度応答スペクトル(h=5%)の地盤増幅率の回帰式の回帰係数

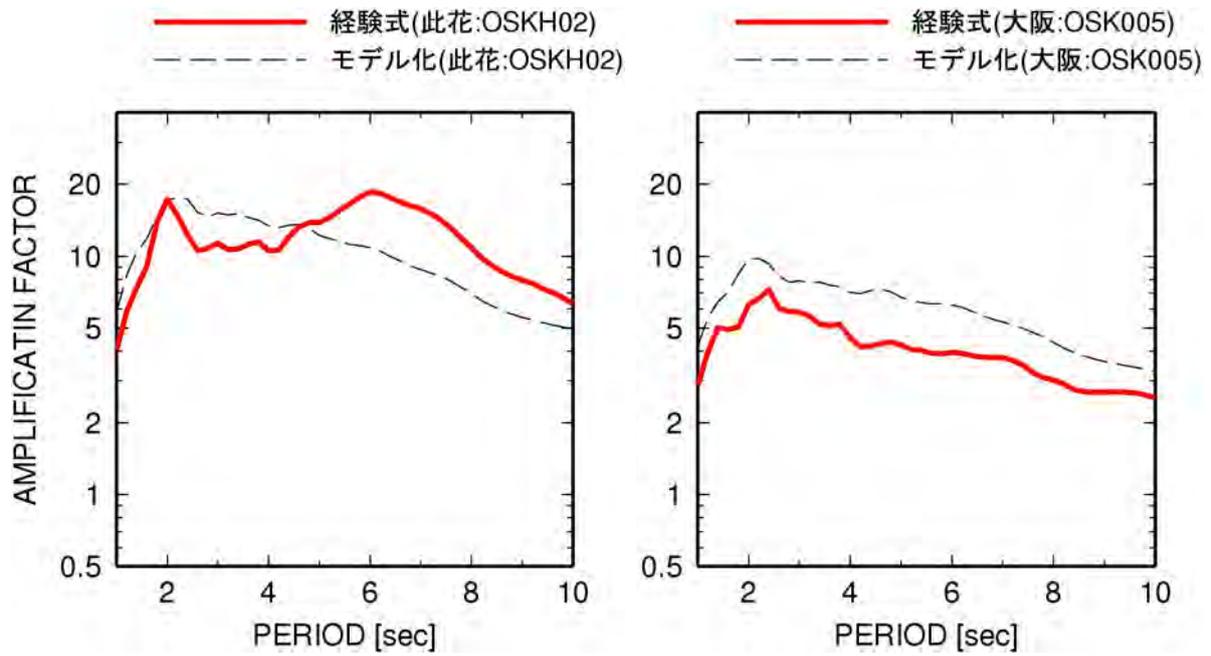
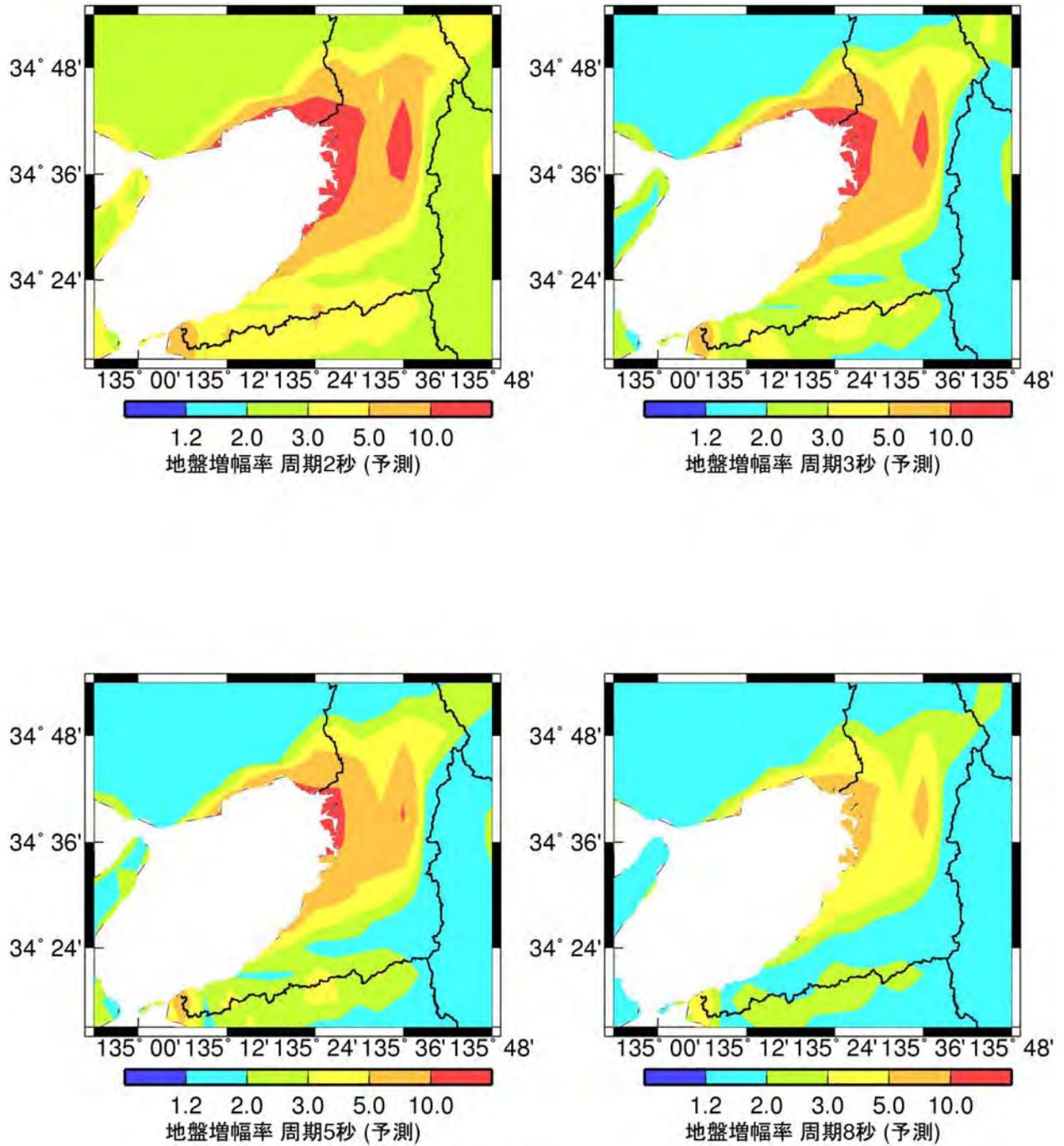
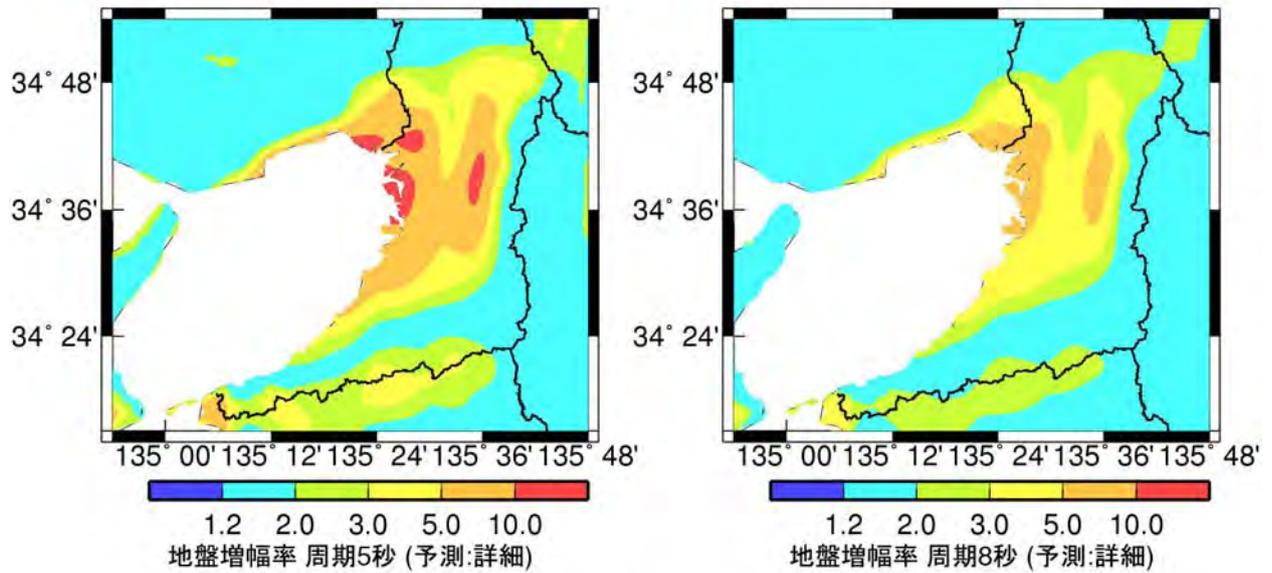
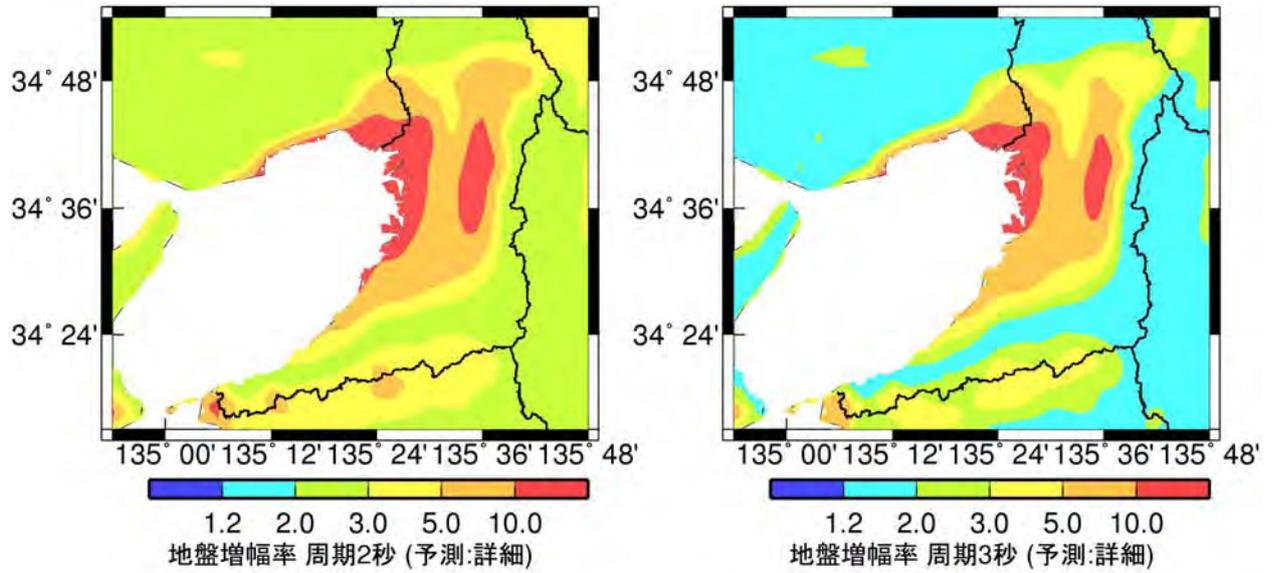


図 3.7.34 回帰式でモデル化された加速度応答スペクトル(h=5%)の地盤増幅率と元の経験式に基づく地盤増幅率の比較



S_A h=5 %: 水平成分

図 3.7.35 回帰式でモデル化された加速度応答スペクトル(h=5%)の地盤増幅率
(図 3.7.24 と同じ条件での図化の結果)



S_A h=5 %: 水平成分

図 3.7.36 回帰式でモデル化された加速度応答スペクトル(h=5%)の地盤増幅率
(1kmメッシュが表現できる細かい図化の結果)

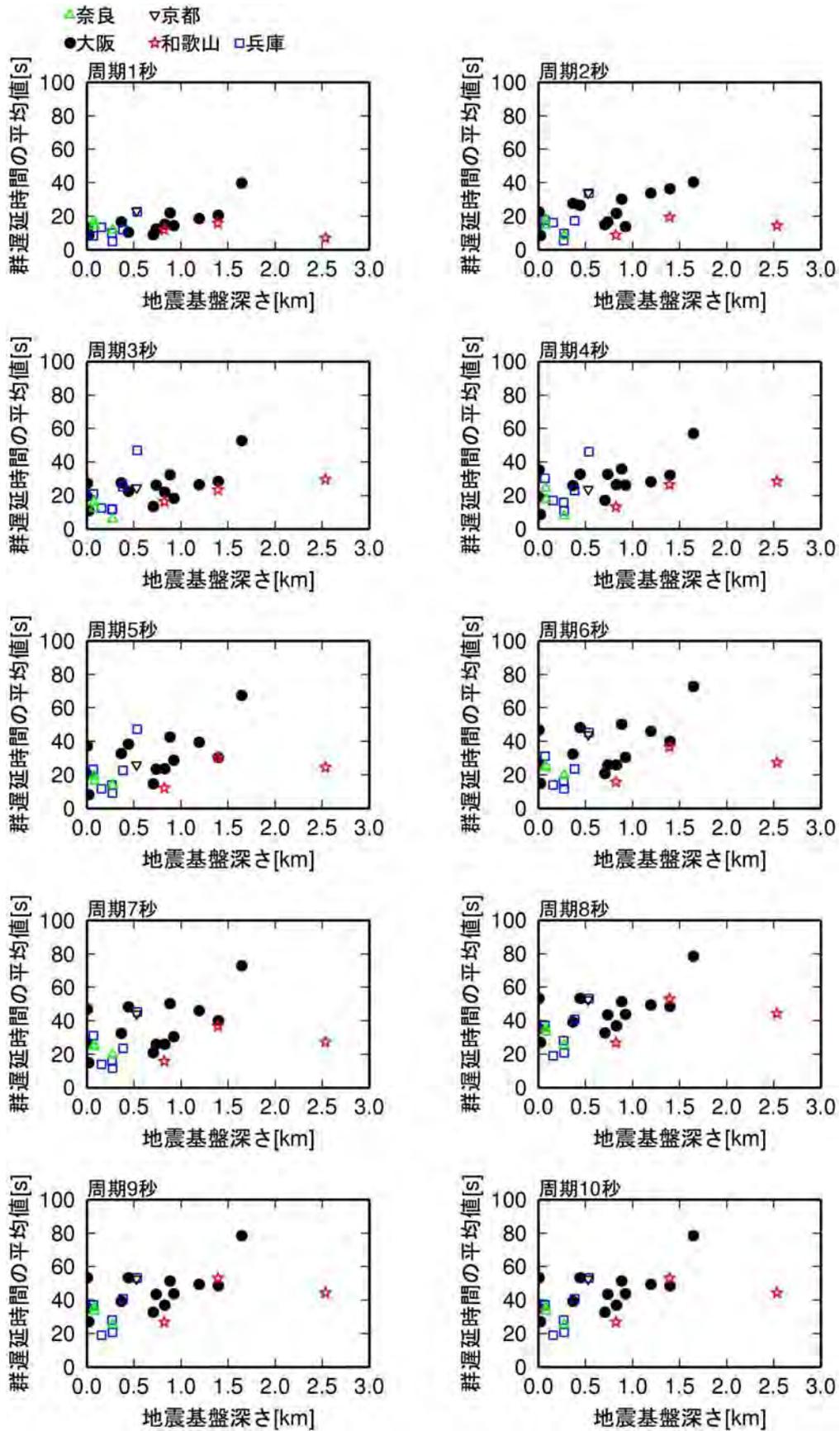


図 3.7.37 地震基盤深さと群遅延時間の平均値の関係

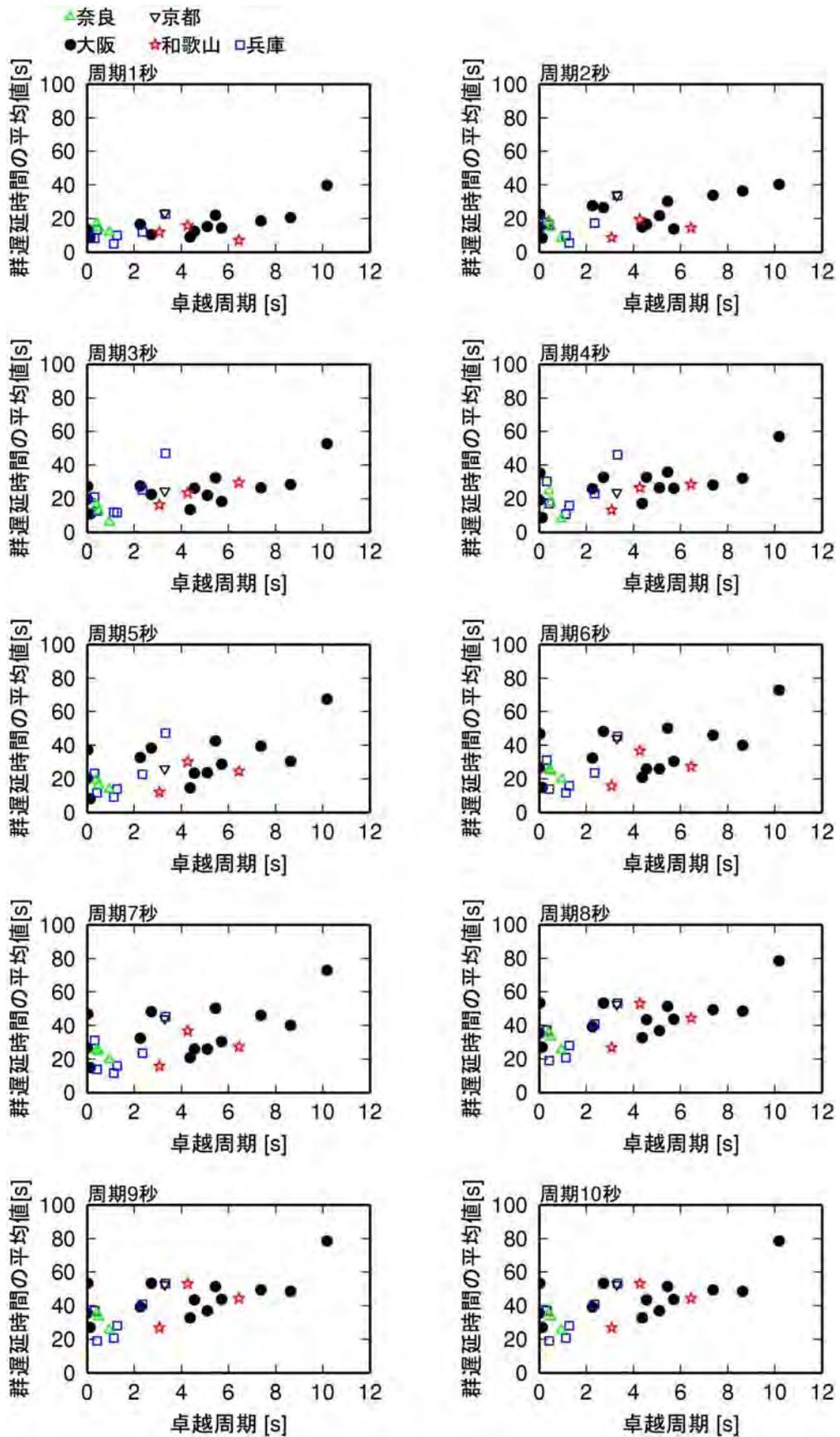


図 3.7.38 卓越周期と群遅延時間の平均値の関係

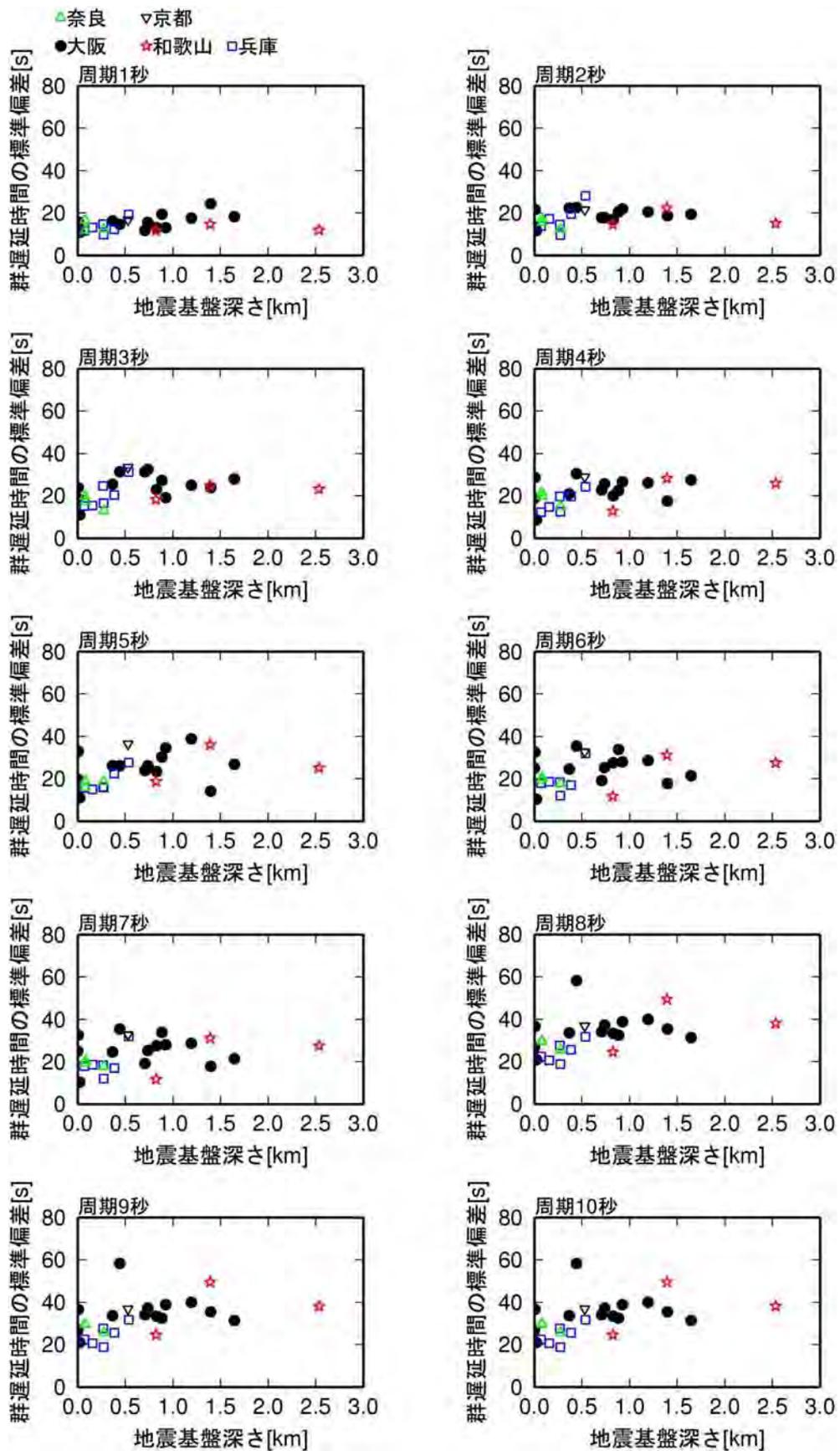


図 3.7.39 地震基盤深さと群遅延時間の標準偏差の関係

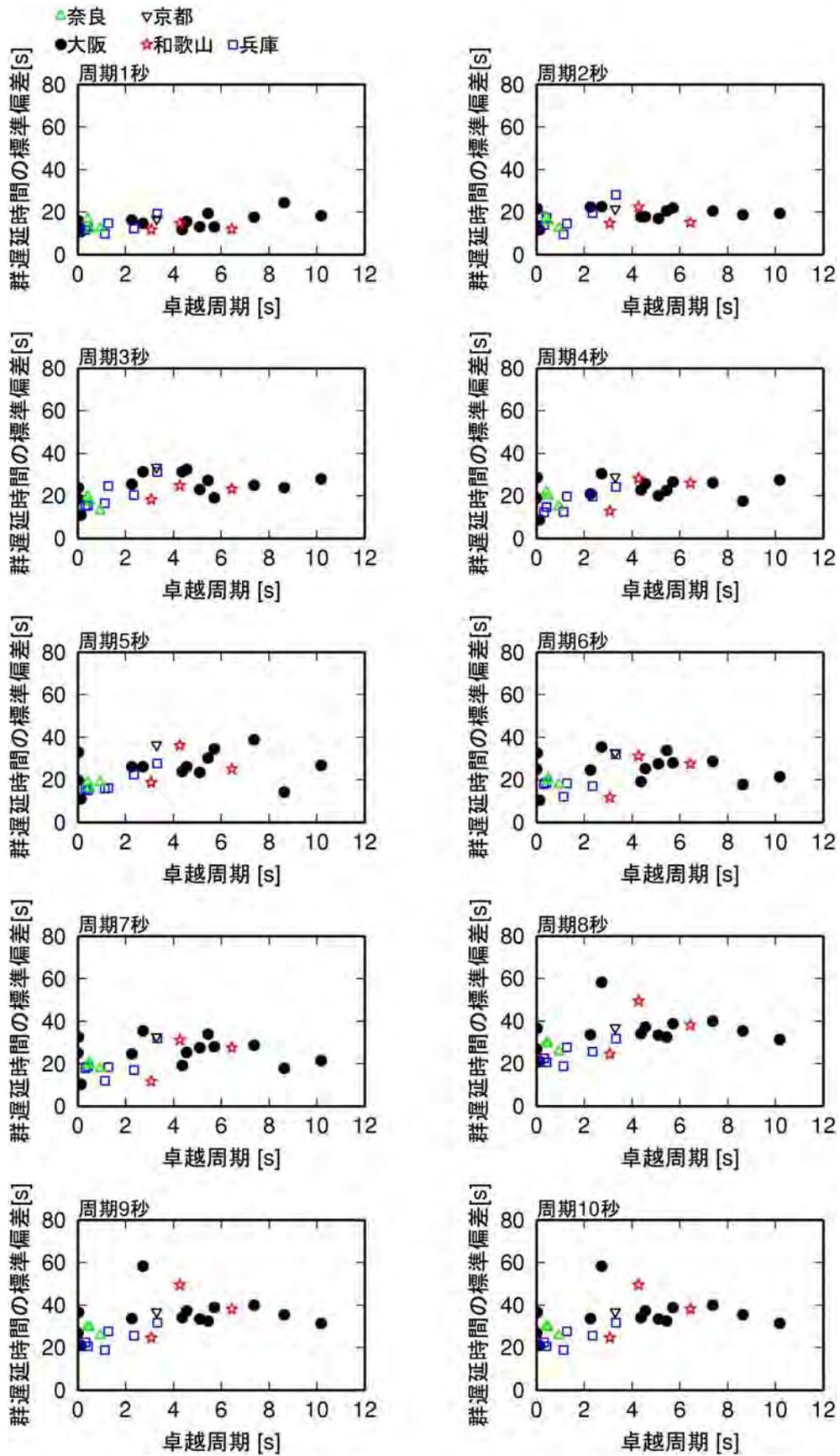


図 3. 7. 40 卓越周期と群遅延時間の標準偏差の関係