

平成24年度建築基準整備促進事業

42. 超高層建築物等への長周期地震動の 影響に関する検討

(株)大崎総合研究所

検討実施体制

1. 事業主体

(株)大崎総合研究所

2. 共同研究者

建築研究所

日本建築構造技術者協会(JSCA)

日本免震構造協会(JSSI)

3. 委員会・WG設置

長周期地震動検討委員会(大川出主査)

JSCA長周期地震動WG(北村春幸主査)

JSSI長周期地震動WG(北村佳久主査)

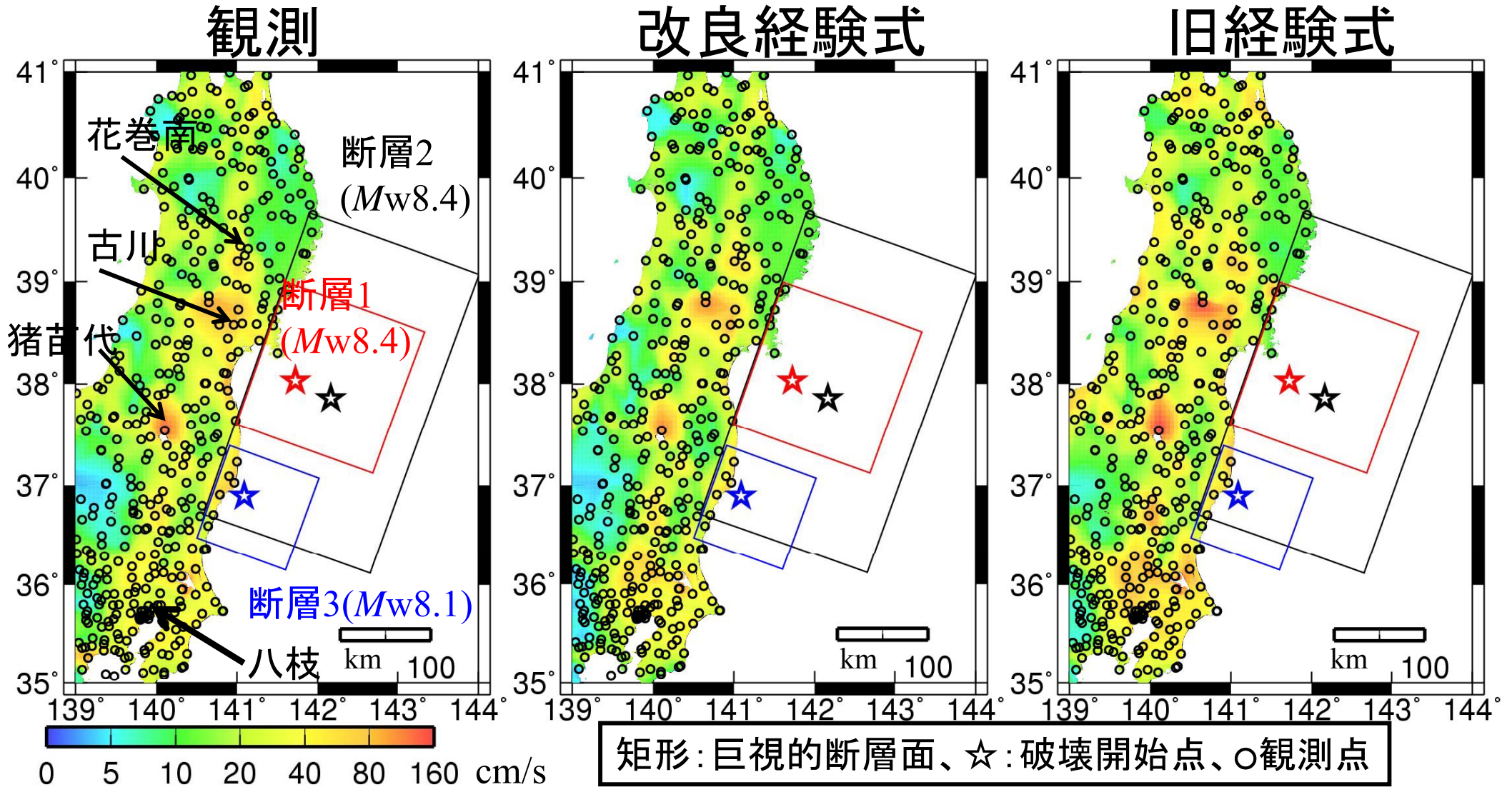
検討項目

(イ) 長周期地震動の作成手法の検証

- 1) 既往の地震動データが無い**任意の建設地点での**長周期地震動を、周囲の地震観測点にて作成された**長周期地震動を補間**、調整等して設定する方法の提案を行う。
- 2) **長周期地震動の作成手法**や建築構造特性の不確定性の影響を抑制するための地震動特性の設定方法に関する提案を行う。
- 3) 連動型の地震に対して、複数の断層を設定する等、本作成手法を適用するための手順と**東北地方太平洋沖地震に対する場合の検証結果**を整理する。
- 4) **南海トラフで発生する他の連動型地震**を想定した場合について、上記手順の検証を行い、結果を整理する。

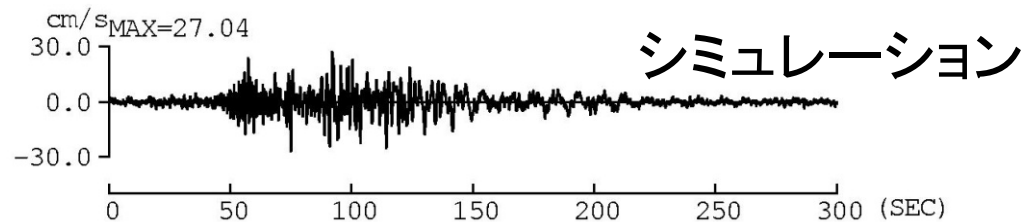
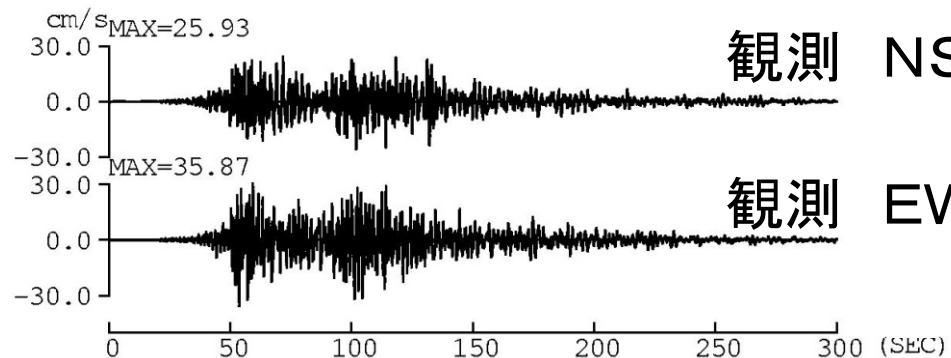
東北地方太平洋沖地震に対する検証

周期3秒での擬似速度応答スペクトル(h=5%)分布

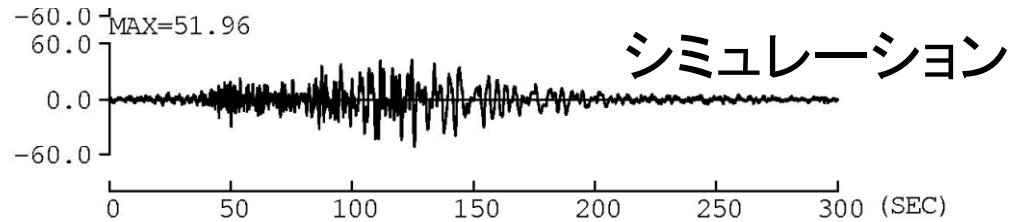
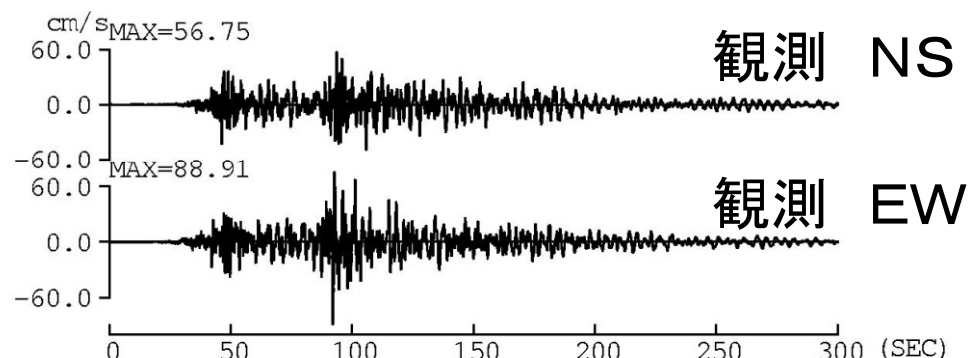


佐藤(2012)の経験的グリーン関数法に基づく強震動生成領域と地震本部(2009)の強震動予測レシビに基づき、静的応力降下量3MPaを仮定して、3連動の震源モデルを設定⁴

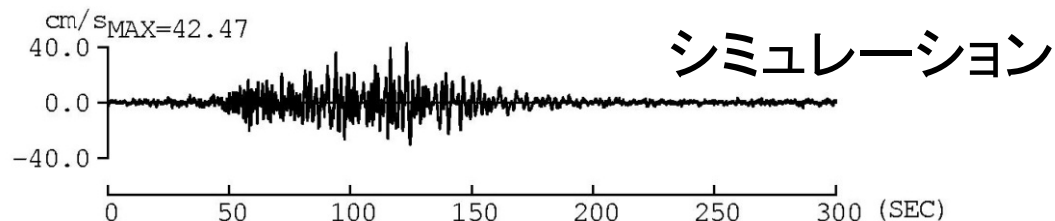
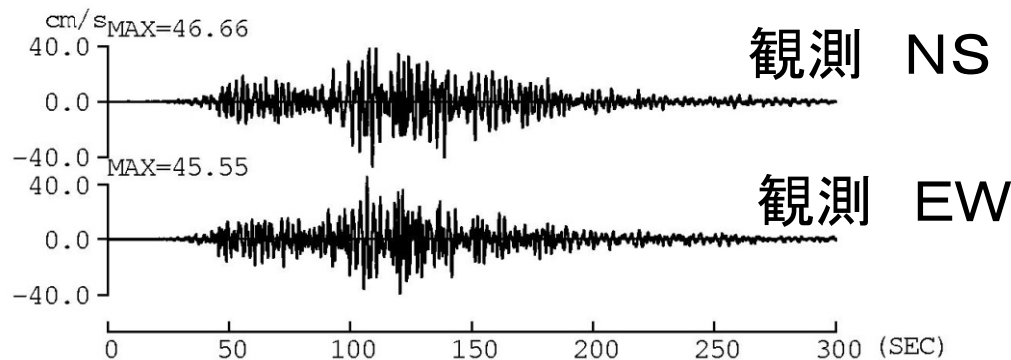
観測とシミュレーションの速度波形(0.1~10秒)



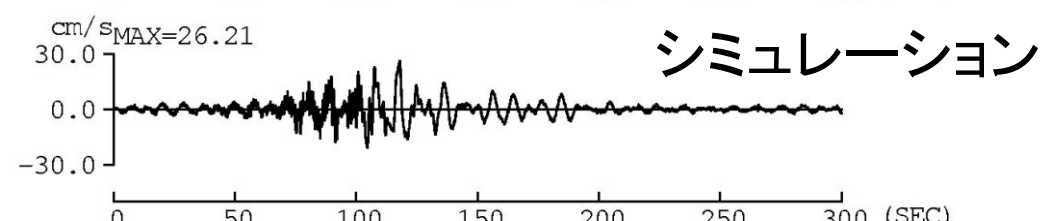
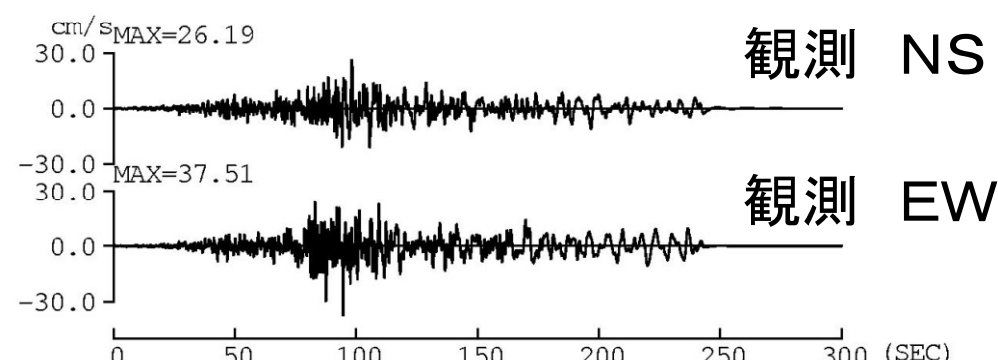
花巻南(IWTH20)



古川(MYG006)

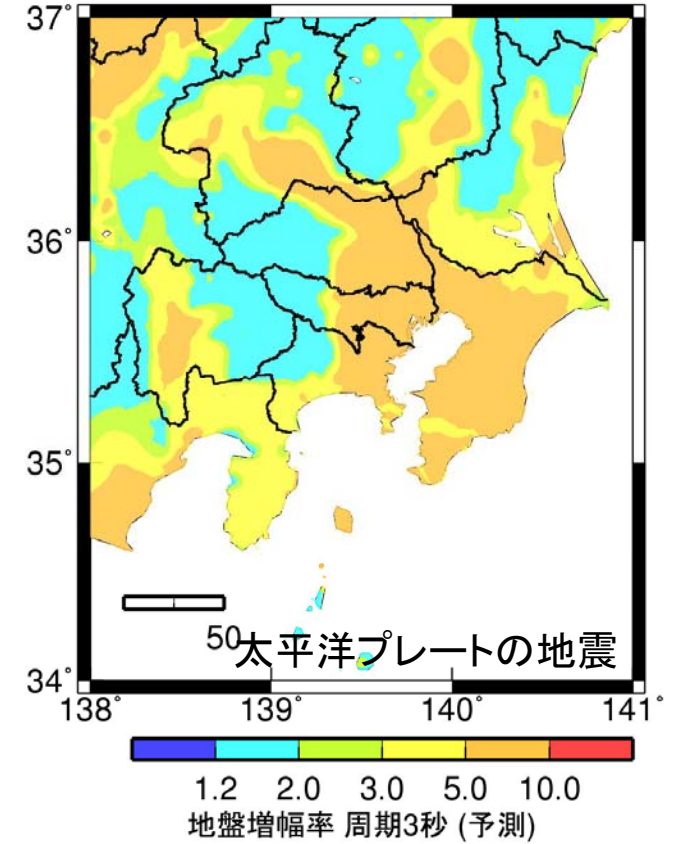
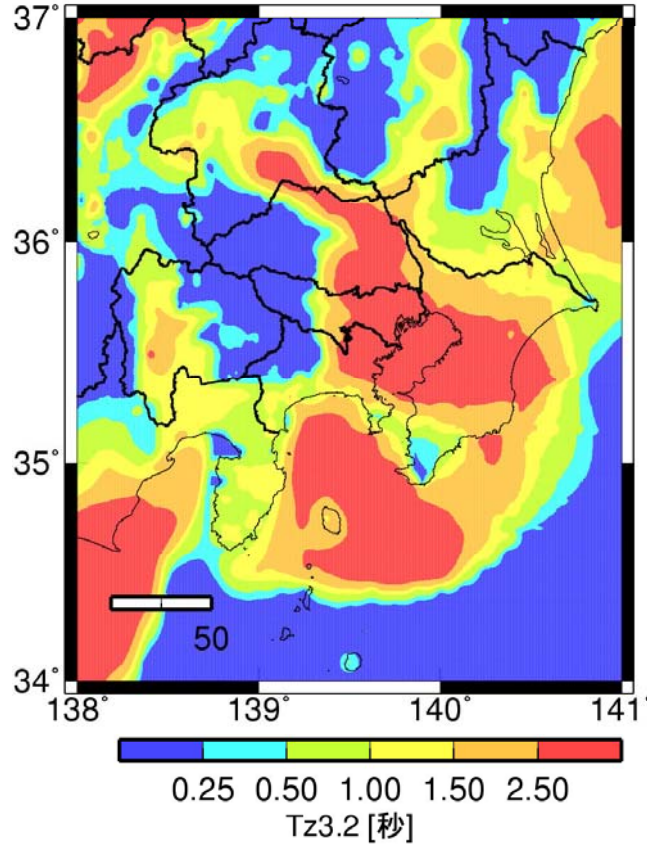
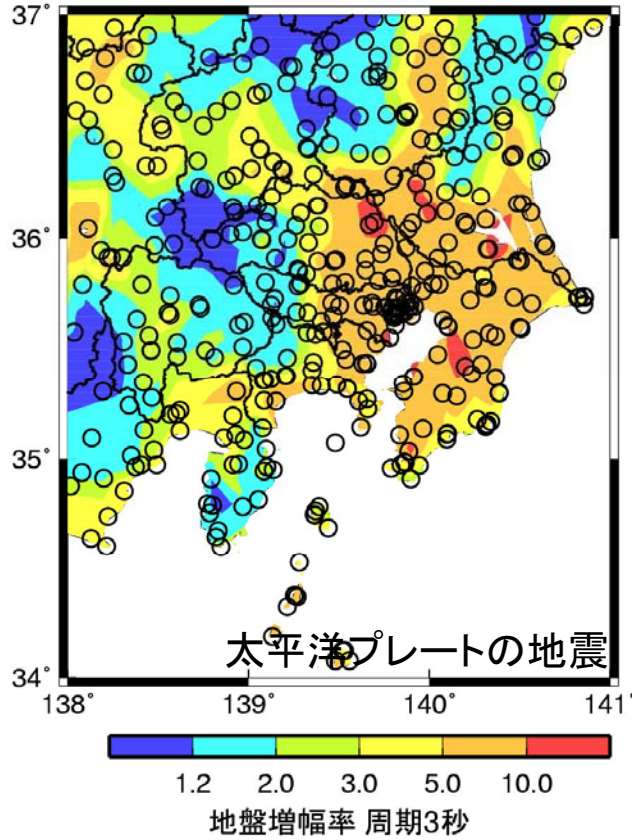


猪苗代(FKS020)



八枝(TKY018)

任意の地点での長周期地震動の補間の概要



地震観測点での
地盤増幅率：
図化で面的補間
(周期3秒の例)

$$Tz = \sum (H_i / Vs_i)$$

Hi: i層の層厚
Vsi: i層のS波速度
地震本部(2009)の約1km間
隔の地下構造モデルを利用

任意地点での
地盤増幅率
(周期3秒の例)

任意の地点での長周期地震動の補間の対象及び手法

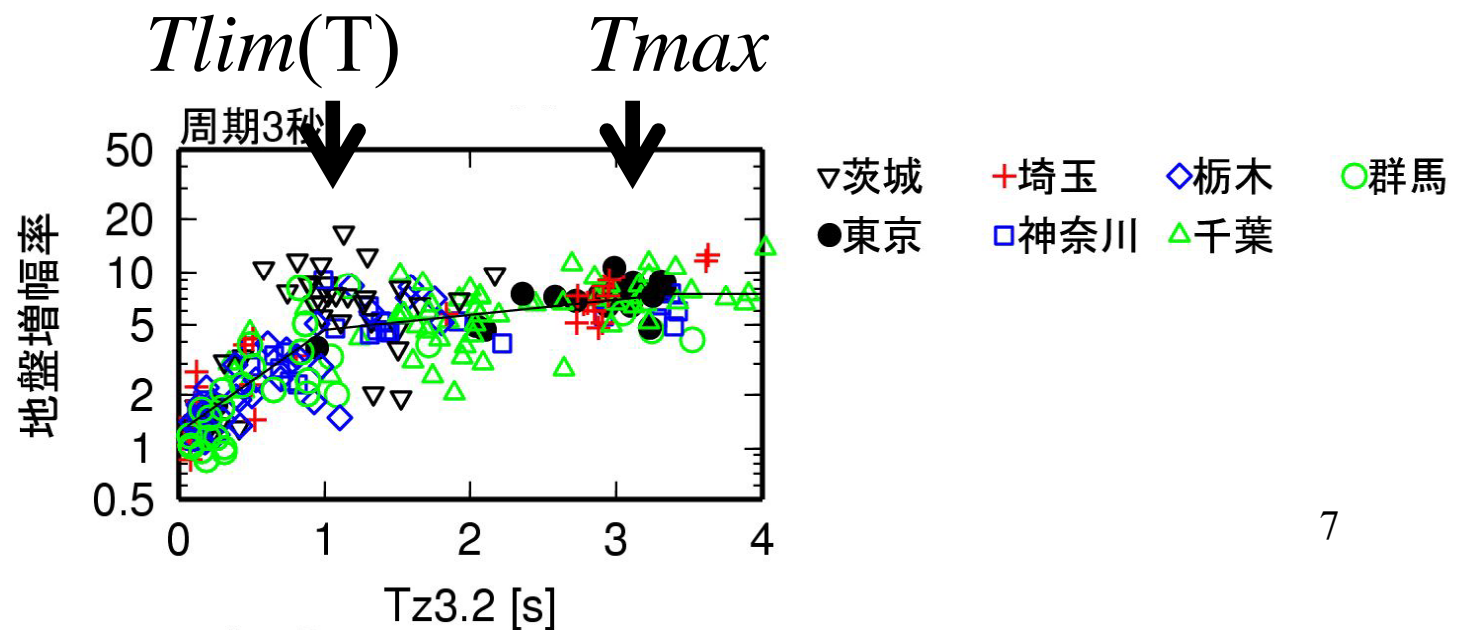
- ・ 関東平野、濃尾平野、大阪平野
- ・ 周期 T の加速度応答スペクトルの地盤増幅率 C

$$\log_{10} C(T) = a_1(T) + b_1(T) T_z \quad T_z \leq T_{lim}(T) \quad (1)$$

$$\log_{10} C(T) = a_2(T) + b_2(T) T_z \quad T_{lim}(T) < T_z \quad (2)$$

$$\log_{10} C(T) = a_2(T) + b_2(T) T_{max} \quad T_{max} < T_z \quad (3)$$

- ・ 群遅延時間の平均値と標準偏差のサイト係数 C_{tgr}
(1),(3)式

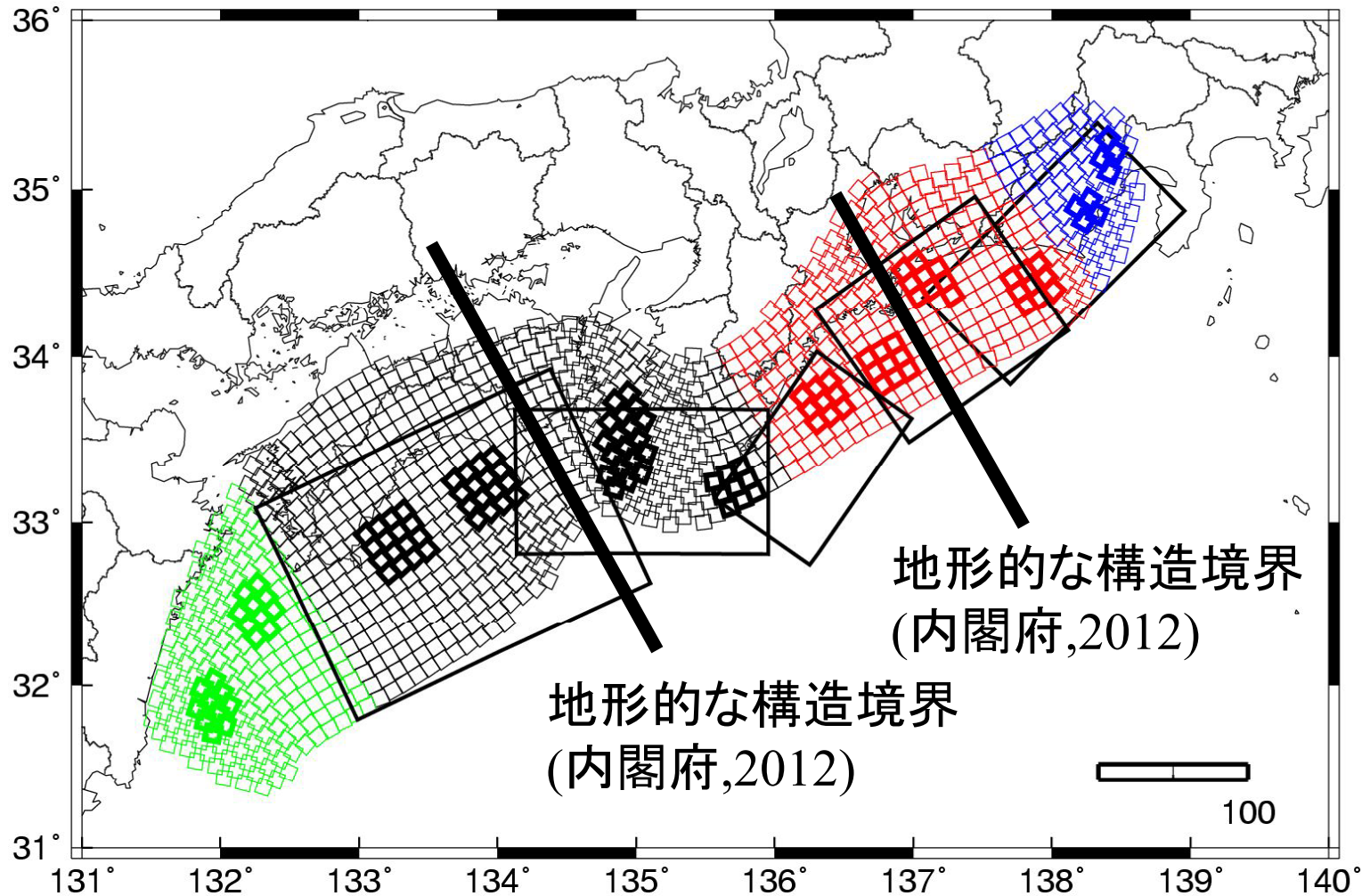


長周期地震動作成手法

以下の3つの方法を検討し、cを選択

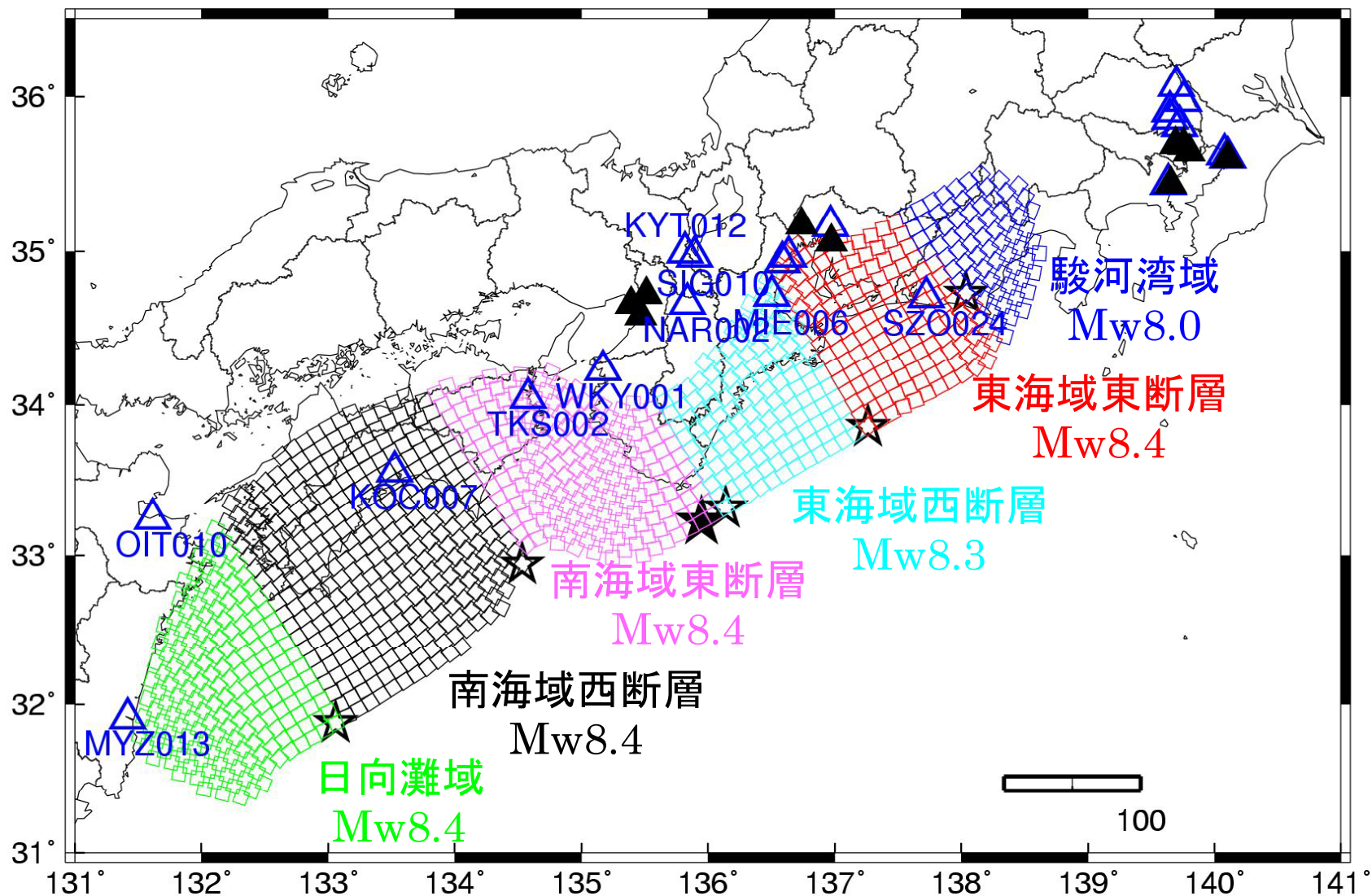
- a. 正規軸の残差が小さい波を選択する方法
(これまでの方法)
- b. 対数軸の残差が小さい波を選択する方法
- c. 三の丸波作成方法(宮腰・他, 2006)と同じ方法
 - 擬似速度応答スペクトルの対数平均値を算出
 - 21波の速度波形のうち、最大速度が中央値の波の位相スペクトルを算出
 - 上記2つを用いて波形を再作成

内閣府のM9.0の震源モデル(基本ケース)と 昨年度用いたM8.7の3連動震源モデル



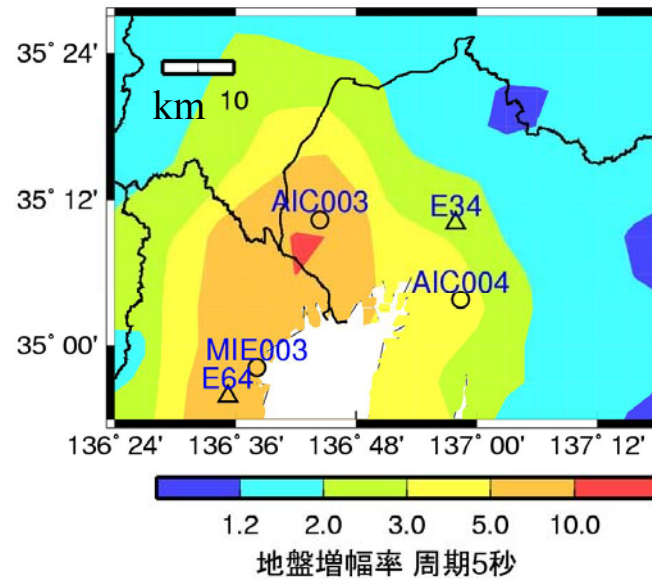
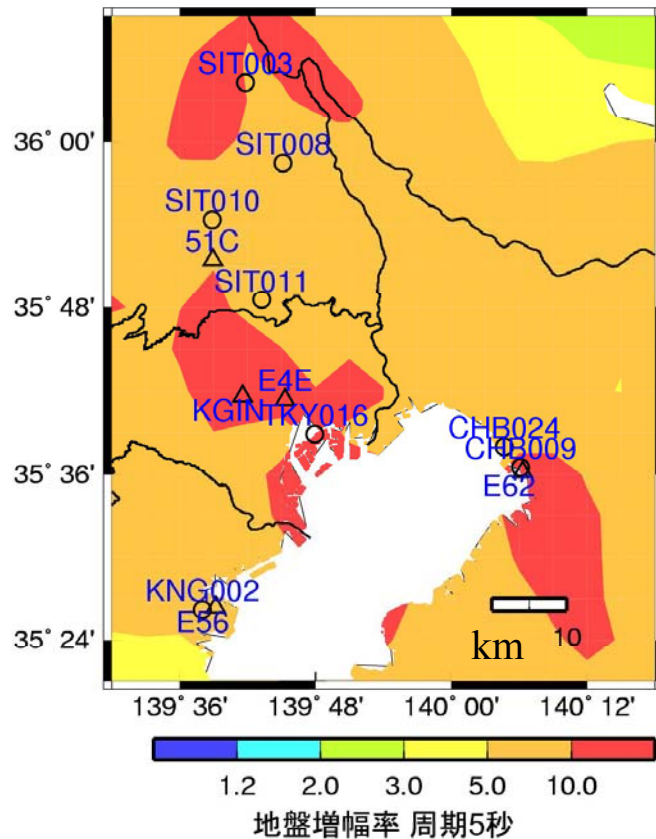
内閣府(2012)のモデル(小さな正方形の濃い方が強震動生成域、薄い方が背景領域)
矩形: 昨年度のモデル(中央防災会議(2003)に基づく鶴来・他(2006)、地震本部(2009))

内閣府に基づき設定した4連動震源モデル (M9.0)と計算地点

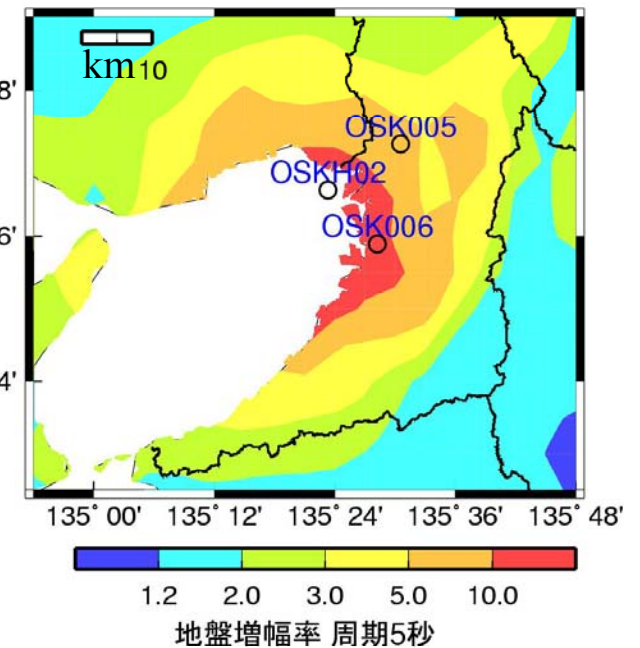


★: 震央位置(第1破壊開始点) ☆: 各セグメントでの破壊開始点
▲と△: 計算地点(このうち▲ではTzによる補間の回帰式に基づく計算も実施)

3連動(M8.7)と4連動(M9.0)の関東平野・濃尾平野・大阪平野の計算地点



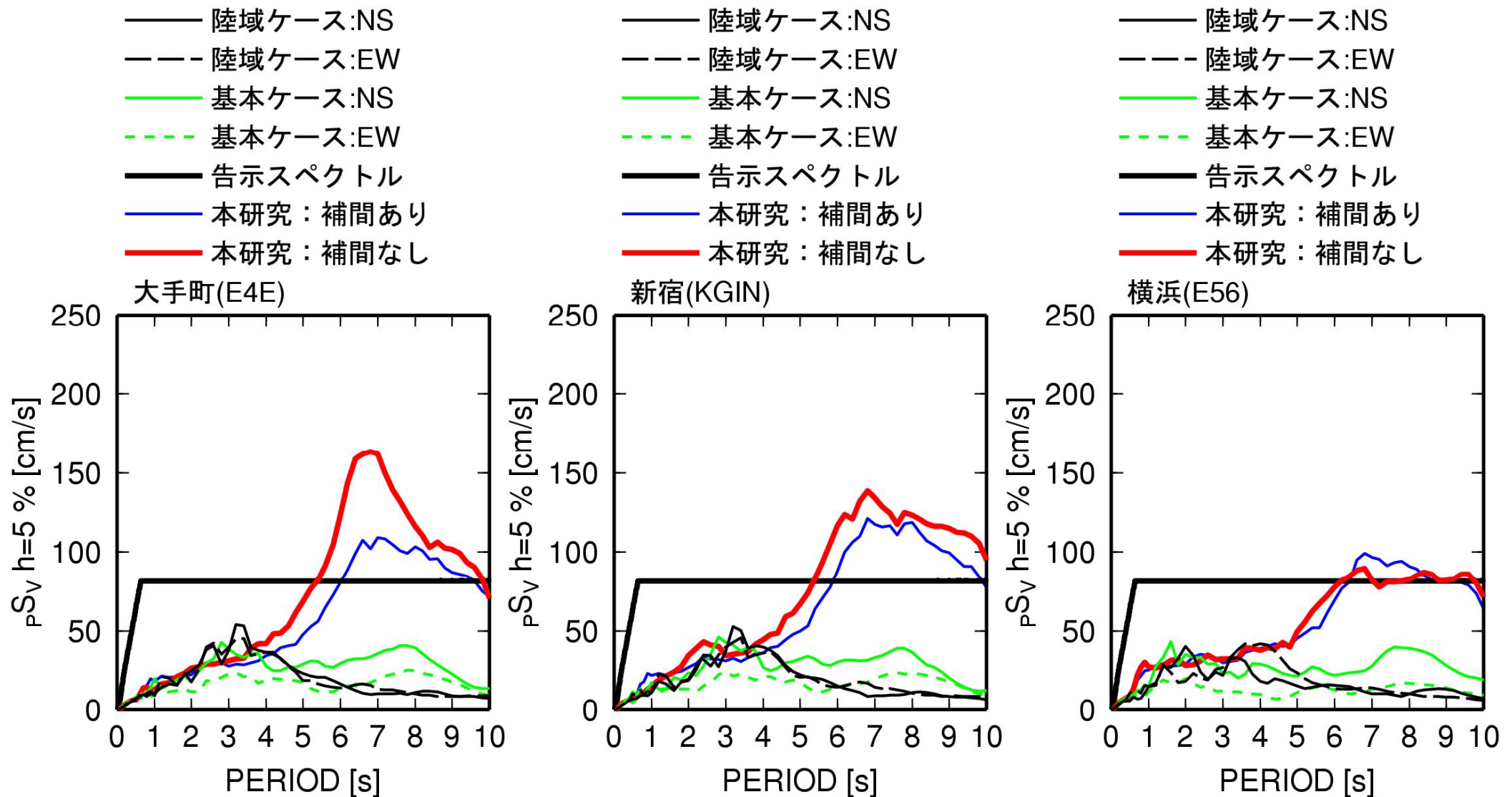
濃尾平野では
AIC003(津島)が
最も地盤増幅率
が大きい地点



大阪平野では
OSKH02(此花)
が最も地盤増幅
率が大きい地点

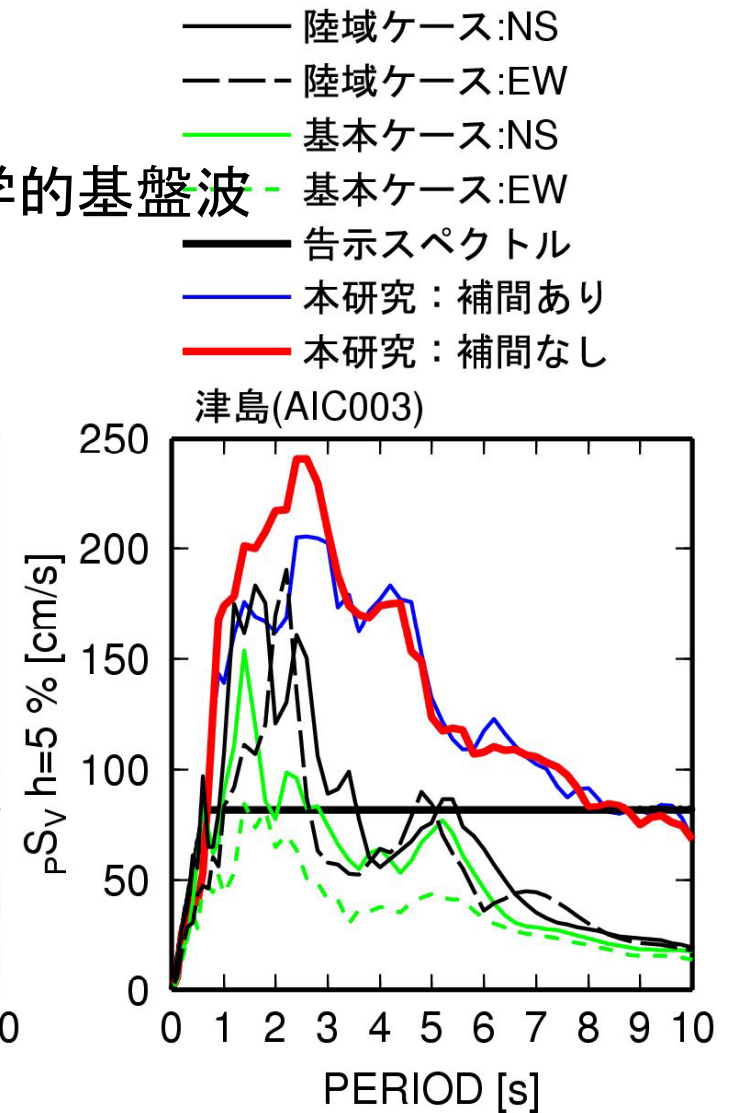
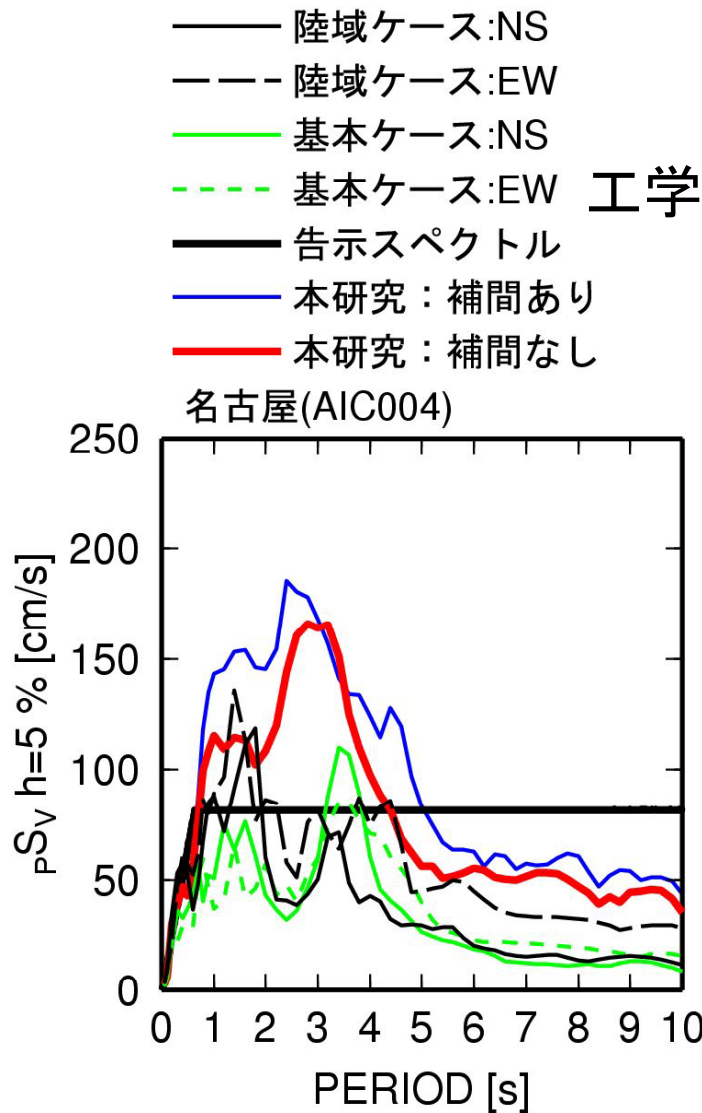
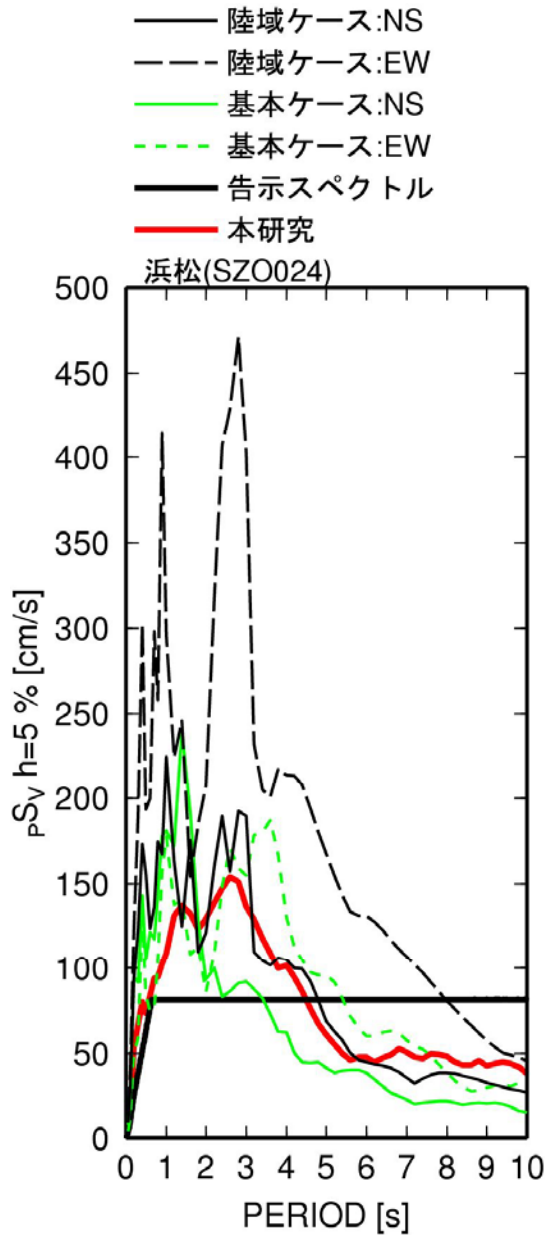
4連動地震(M9.0)の内閣府(2012)と本業務の 工学的基盤波のpSv: 関東平野

統計的グリーン関数法に基づく内閣府(2012)の計算波の有効周期は3秒以下



4連動地震(M9.0)の内閣府(2012)と本業務の 工学的基盤波のpSv: 浜松と濃尾平野

統計的グリーン関数法に基づく内閣府(2012)の
計算波の有効周期は3秒以下



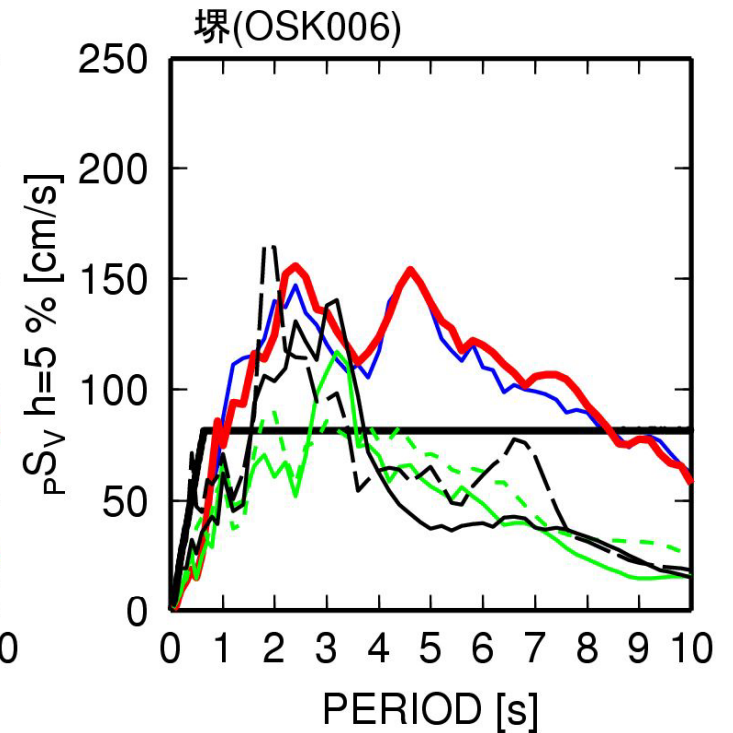
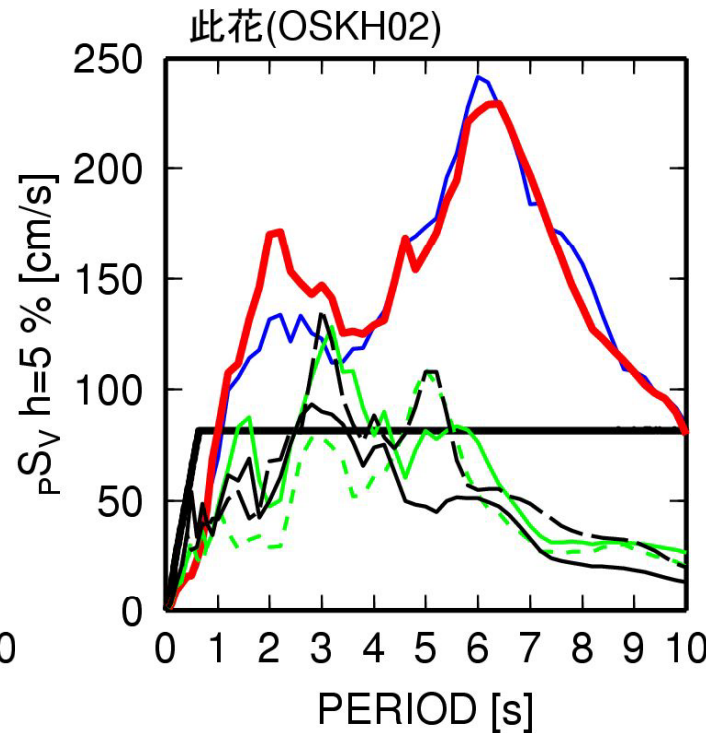
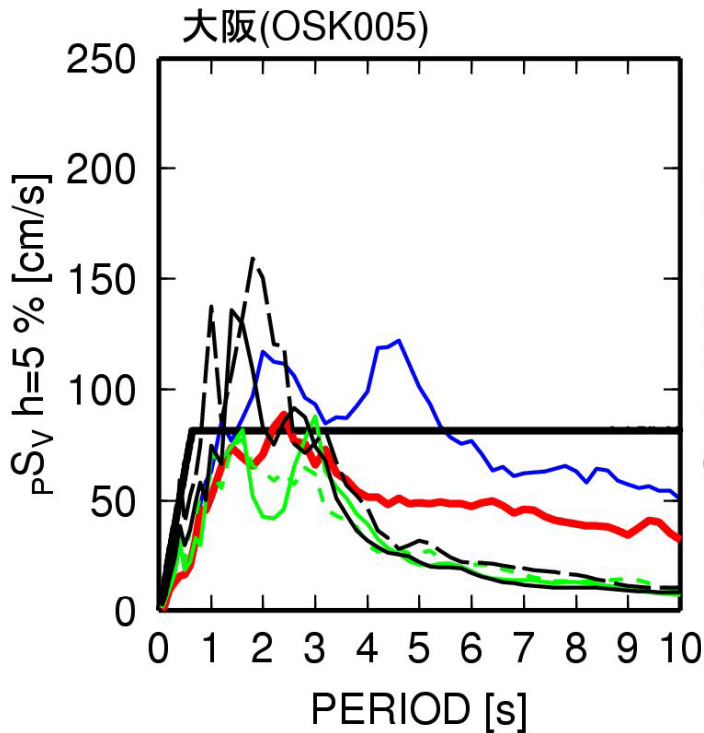
4連動地震(M9.0)の内閣府(2012)と本業務の 工学的基盤波のpSv: 大阪平野

統計的グリーン関数法に基づく内閣府(2012)の計算波の有効周期は3秒以下)

- 陸域ケース:NS
- - - 陸域ケース:EW
- 基本ケース:NS
- - - 基本ケース:EW
- 告示スペクトル
- 本研究:補間あり
- 本研究:補間なし

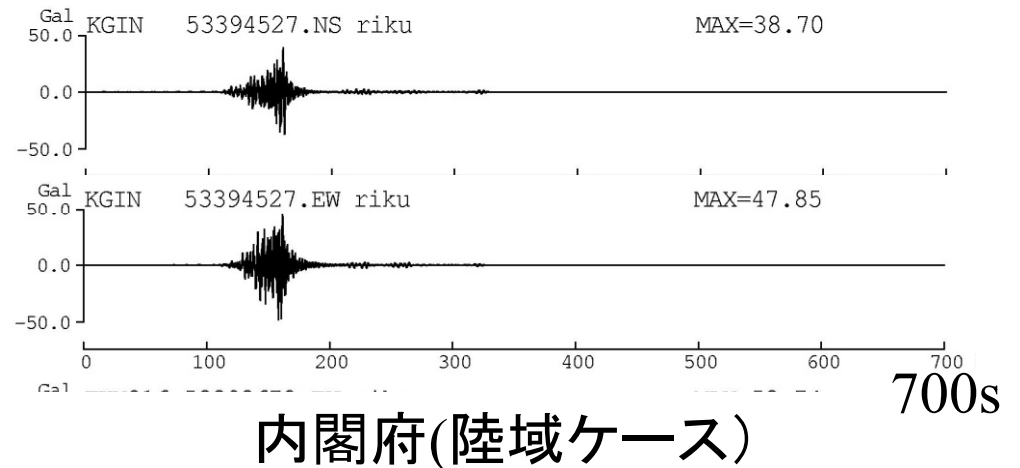
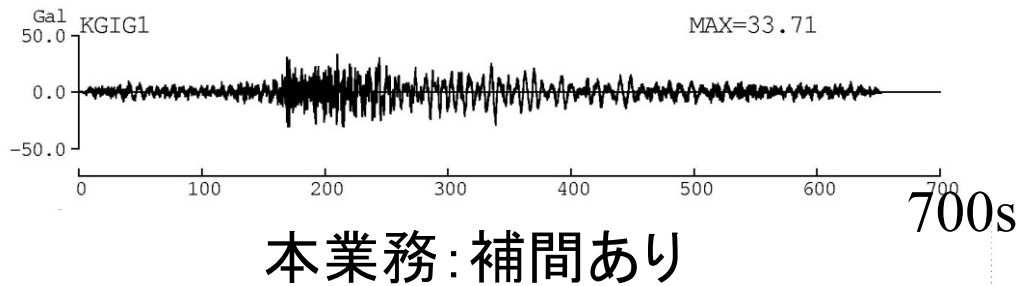
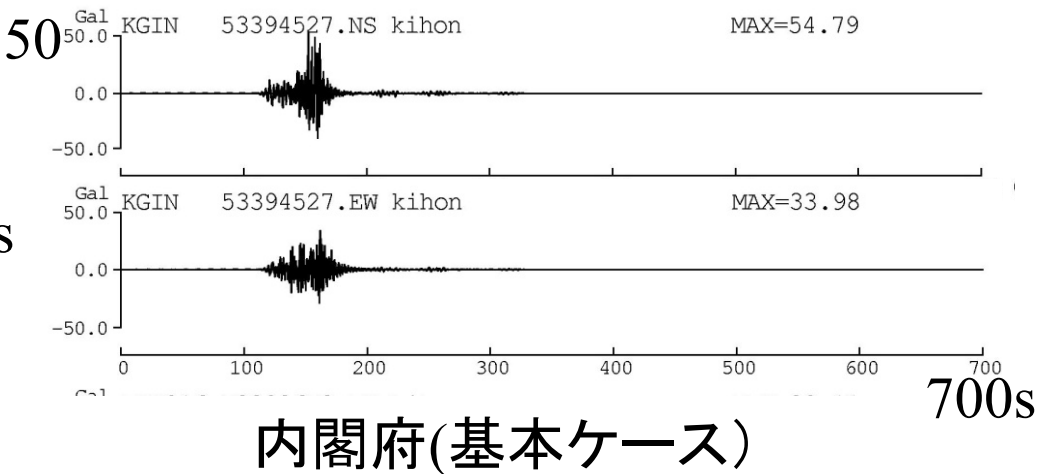
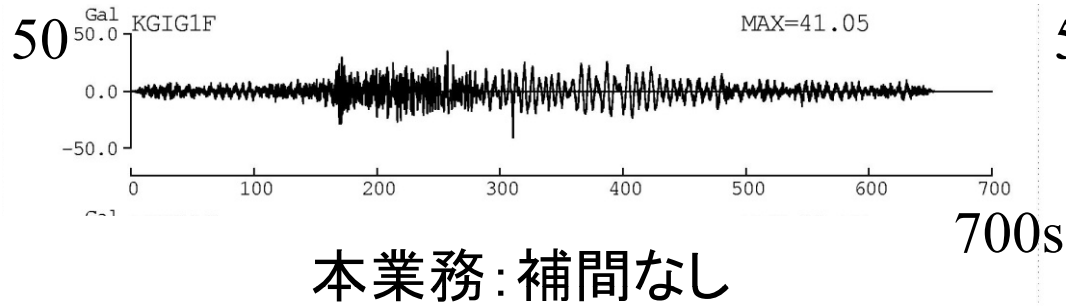
- 陸域ケース:NS
- - - 陸域ケース:EW
- 基本ケース:NS
- - - 基本ケース:EW
- 告示スペクトル
- 本研究:補間あり
- 本研究:補間なし

- 陸域ケース:NS
- - - 陸域ケース:EW
- 基本ケース:NS
- - - 基本ケース:EW
- 告示スペクトル
- 本研究:補間あり
- 本研究:補間なし



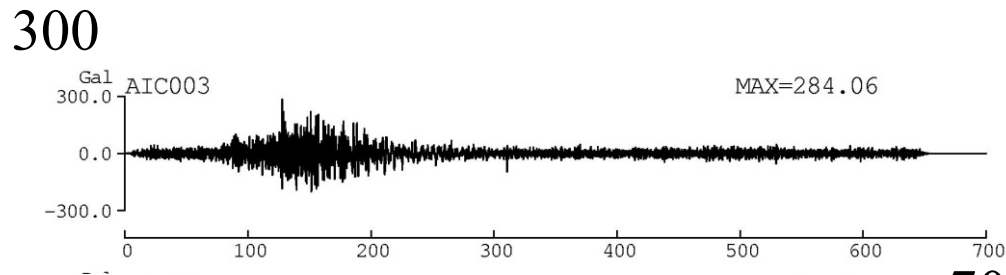
4連動地震(M9.0)の内閣府(2012)と本業務の 工学的基盤波の加速度波形:新宿(KGIN)

統計的グリーン関数法に基づく内閣府(2012)の計算波の有効周期は3秒以下)



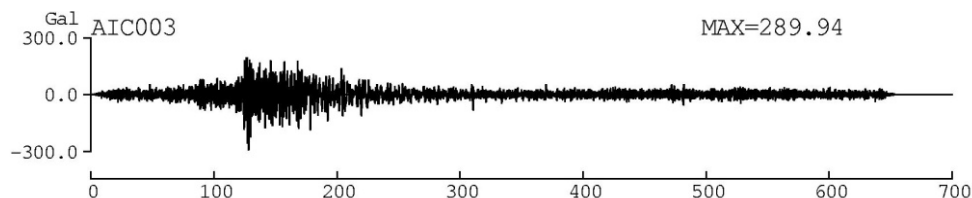
4連動地震(M9.0)の内閣府(2012)と本業務の 工学的基盤波波の加速度波形:津島(AIC003)

統計的グリーン関数法に基づく内閣府(2012)の計算波の有効周期は3秒以下)



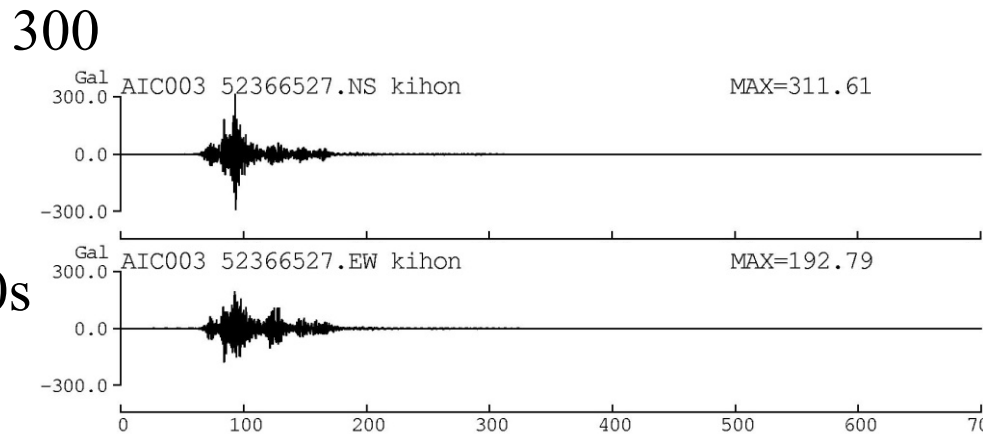
本業務:補間なし

700s



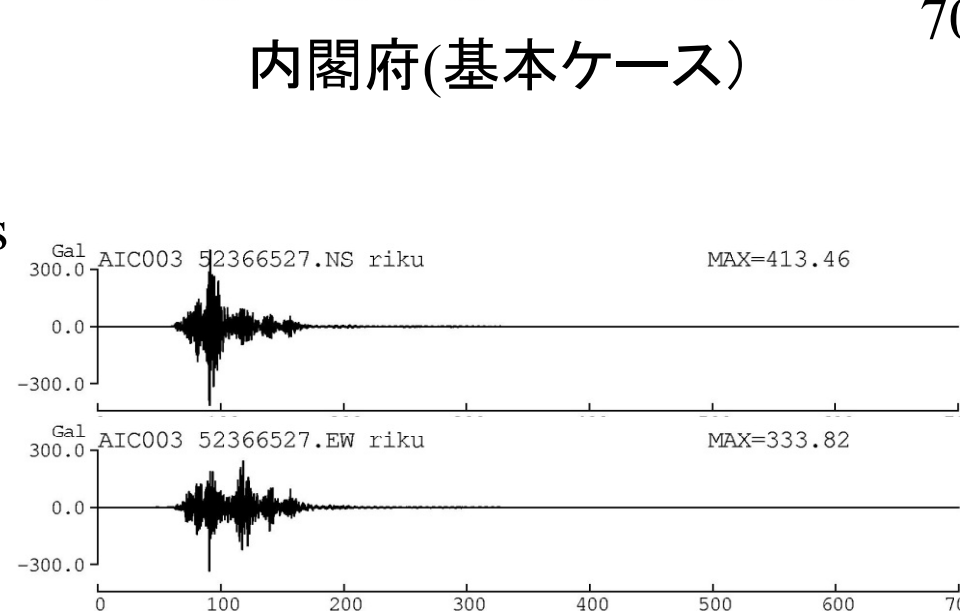
本業務:補間あり

700s



内閣府(基本ケース)

700s

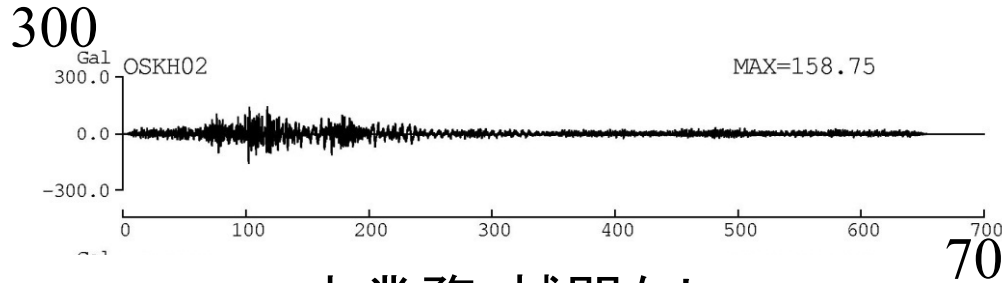


内閣府(陸域ケース)

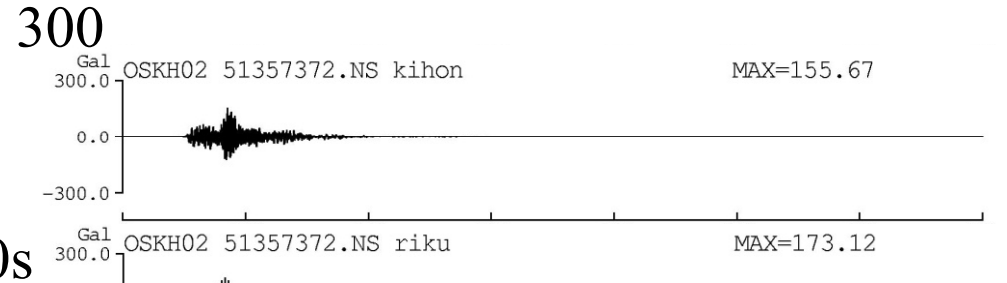
700s

4連動地震(M9.0)の内閣府(2012)と本業務の 工学的基盤波の加速度波形:此花(OSKH02)

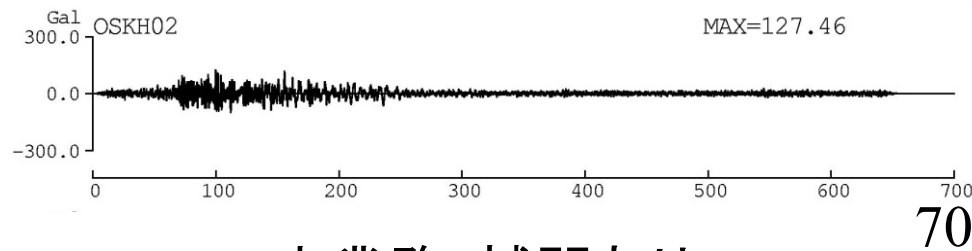
統計的グリーン関数法に基づく内閣府(2012)の計算波の有効周期は3秒以下)



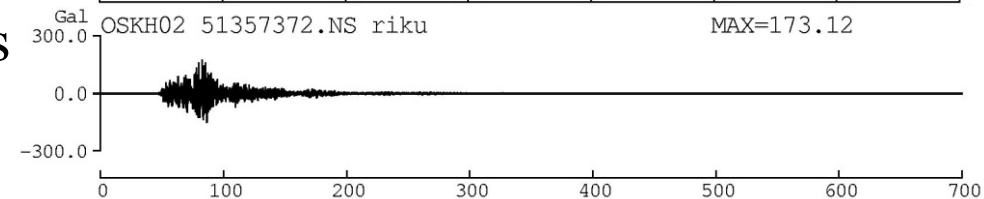
本業務:補間なし



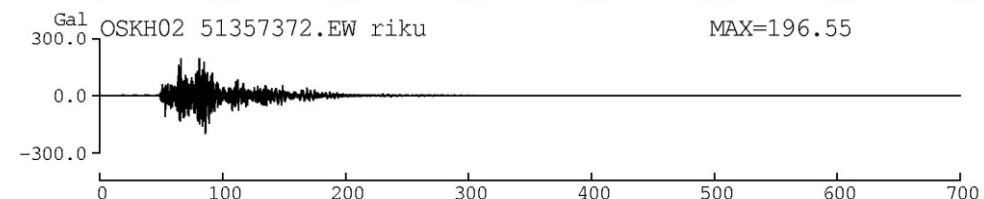
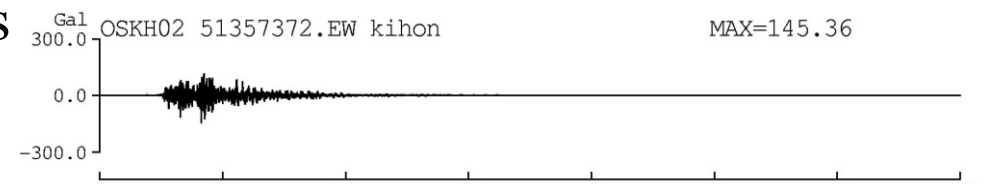
内閣府(基本ケース)



本業務:補間あり



700s

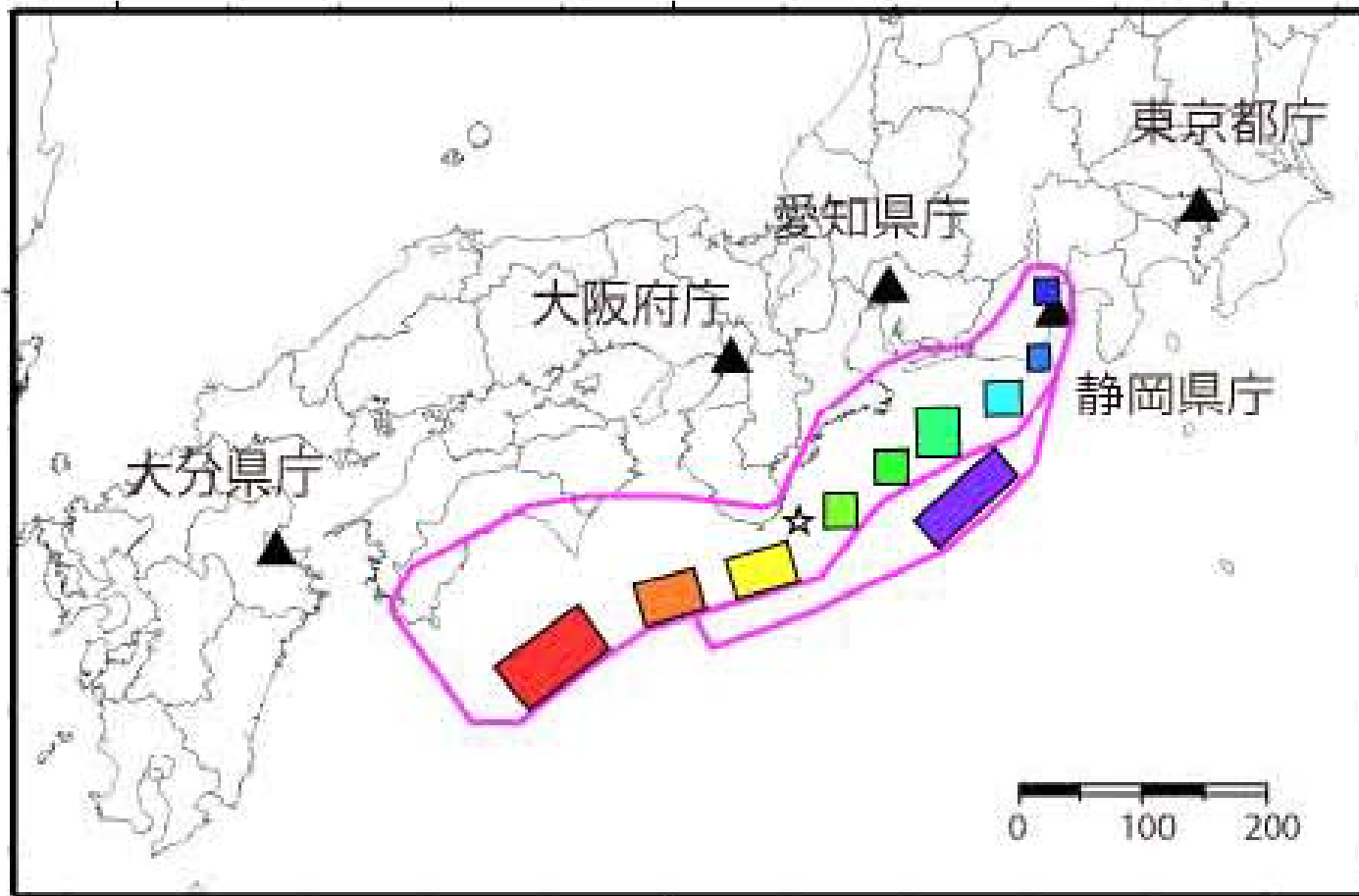


内閣府(陸域ケース)

700s

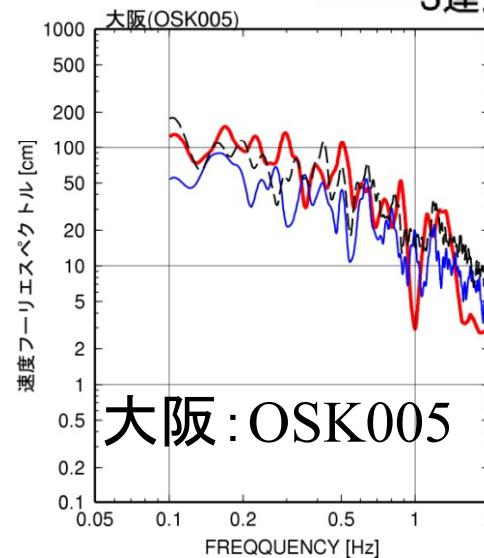
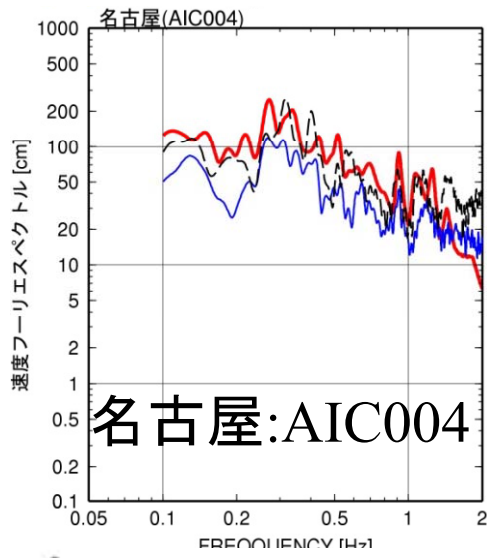
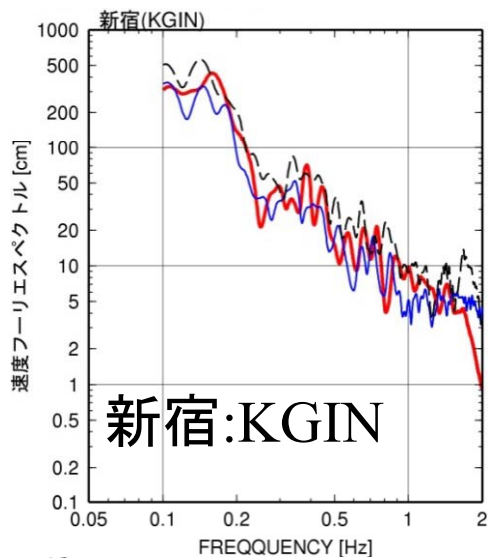
藤原・他(2012)の南海トラフ沿いの震源モデルの1例(M9.0,3連動+トラフ沿い)と計算地点

藤原・他(2012) http://www.jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/choshuki_shien/h23/3_4.pdf

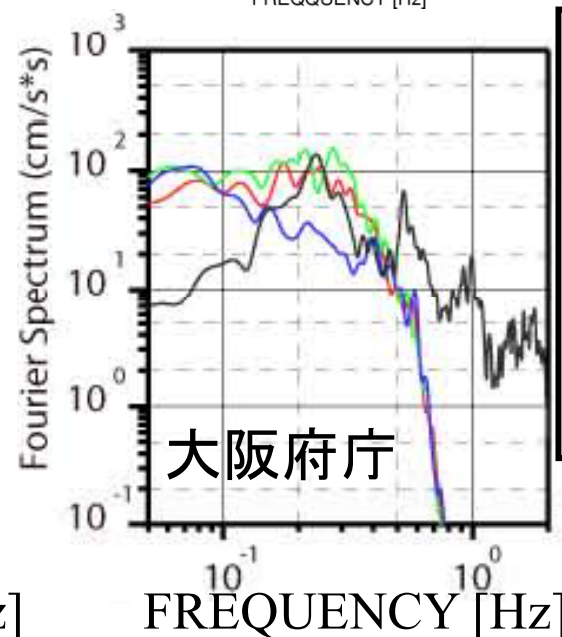
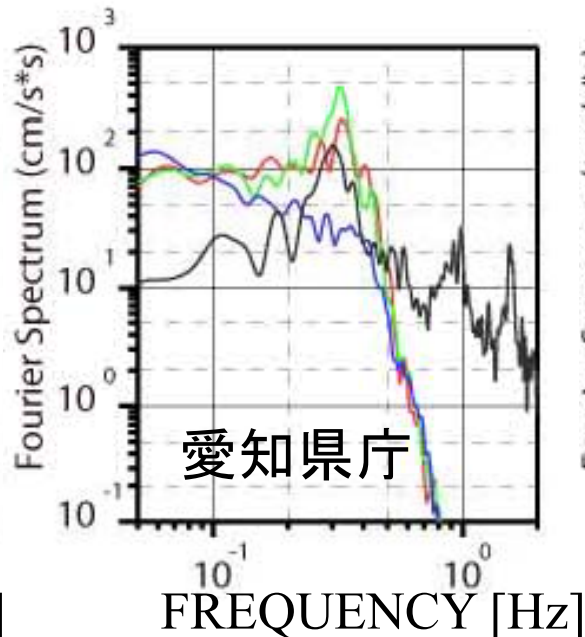
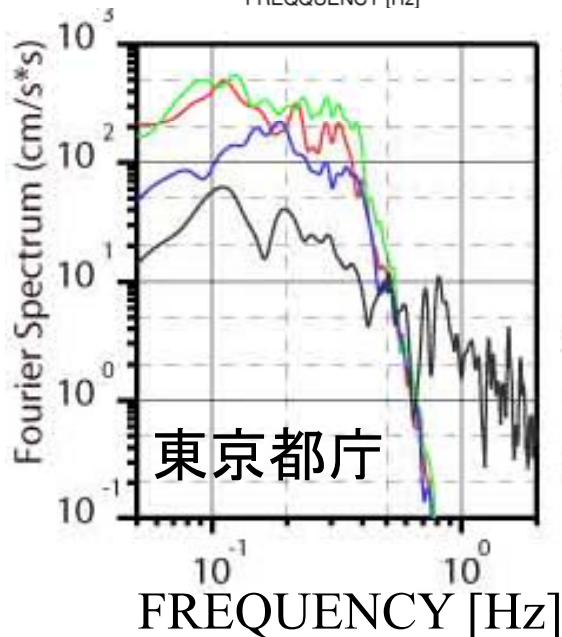


藤原・他(2012)と本業務の 計算波の速度フーリエスペクトル

- 4連動Mw9.0:平均
- - - 3連動Mw8.7:平均+標準偏差
- 3連動Mw8.7:平均



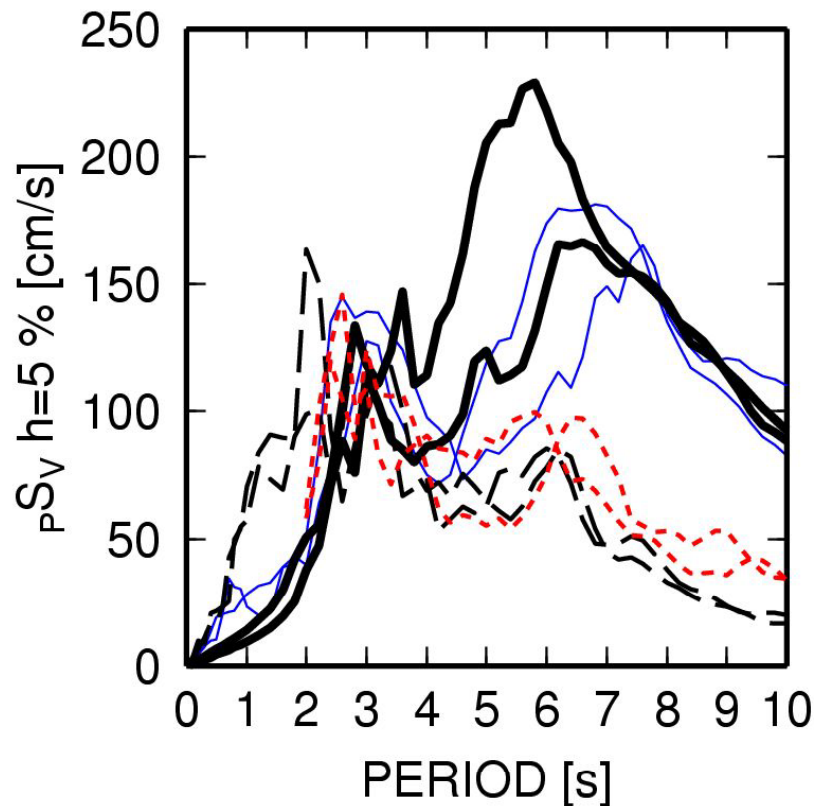
本業務



- 藤原・他(2012)
- 差分法NS
 - 差分法EW
 - 差分法UD
 - 統計的G関数法

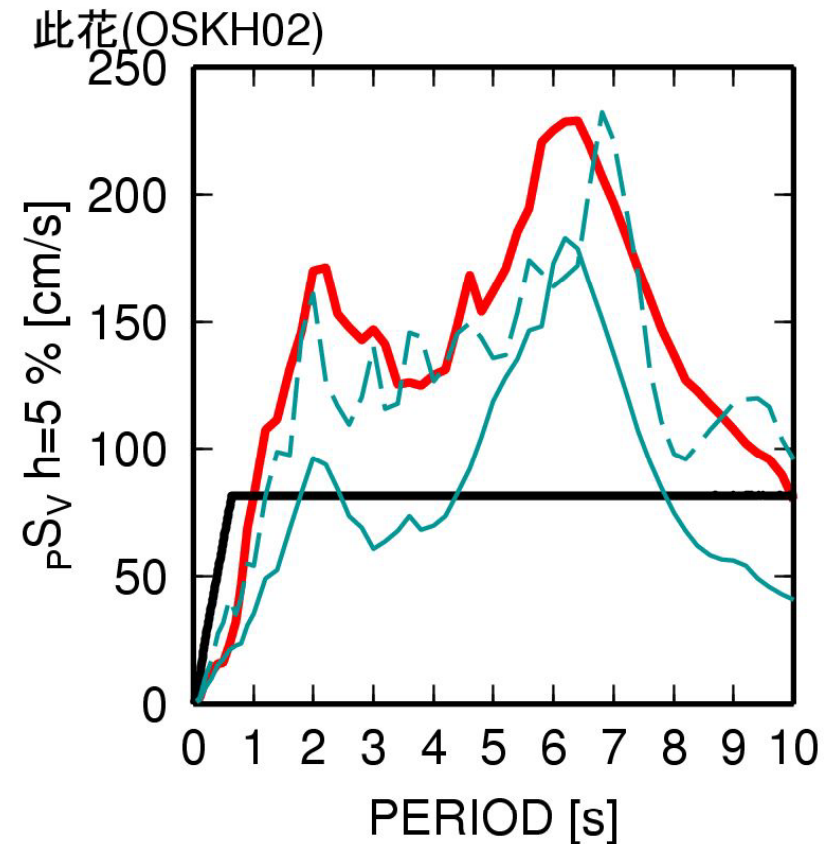
大阪平野で最大のOSKH02(此花)での 南海トラフ沿いの地震の既往波との比較

- 地震本部(2012):M8.4(舞洲)
- 釜江波:M8.4(OSKH02)
- - - 鶴来波:M8.55(OSKH02)
- 関口波(平均のケース):M8.55(OSKH02)



南海地震単独の既往波

- - - M8.7の平均+標準偏差波(Okawa et al.,2012)
- M8.7の平均波(Okawa et al.,2012)
- 告示スペクトル
- M9.0の平均波(本研究)



3連動、4連動の本業務の計算波

検討用超高層S造モデル建物

S造	高さ	階	架構形式	平面形状 代表スパン	一次固有周期	柱代表断面(最大厚) 梁代表断面(最大厚)	鋼材種	特徴他
100m級	102m	25	純ラーメン構造	43.2m×43.2m 3.6m, 16.8m	X方向: 2.3sec Y方向: 2.8sec	□-700×700(50) H-800×350(40)	SM490 SM520	センターコア 外周 X@3600Y@4200 チューブ型
120m級	120m	26	制振部材付ラーメン構造	56.0m×27.0m 6.4m, 15.8m	X方向: 2.6sec Y方向: 2.9sec	□-700×700(60) H-900×350(40)	SN490	片コア 低降伏点鋼壁パネル・H型間柱
140m級	142m	35	ブレース付きラーメン構造	36.0m×72.0m 7.2m, 14.4m	X方向: 3.7sec Y方向: 3.8sec	□-700×700(70) H-800×300(28)	SM490 SM490	センターコア コア・外壁面に連層 K型ブレース
200m級	200m	46	制振部材付ラーメン構造	53.5m×68.0m 7.2m, 17.5m	X方向: 5.7sec Y方向: 5.1sec	□-800×800:CFT (60) H-900×400(40)	HBL355 SN490	センターコア (コの字型プラン) 座屈拘束ブレース, 粘性系ダンパー
230m級	240m	53	制振部材付ラーメン構造	54.0m×75.6m 7.2m, 19.8m	X方向: 6.5sec Y方向: 5.5sec	□-800×800:CFT (80) H-1000×400(36)	SN490 SM520 SA440	センターコア (ロの字型プラン) アンボンドブレース, 粘性系ダンパー 36階で構造切替
250m級	256m	55	X; 純ラーメン構造 Y; ブレース付きラーメン構造	35.0m×70.0m 3.2m, 9.6m	X方向: 5.8sec Y方向: 5.3sec	□-650×800 (70) H-900×400(40)	SM490 SM520	センターコア 一部に大組的な架構
80m級	81m	21	純ラーメン構造 制振部材付ラーメン構造	30.0m×24.0m 6.0m, 9.0m	耐震: 2.41sec 制振: 1.75sec	□-600×600(40) H-800×200(32)	SM490	耐震、制振架構の検討用建物 座屈拘束ブレース

3連動(M8.7)と4連動地震(M9.0)の地表での 計算波による超高層S造の層間変形角

3連動平均波

3連動平均+ σ 波

4連動平均波

	方向	周期 (s)	2011 平均波				2011 平均+ σ 波				2012 波			
			此花	津島	浜松	新宿	此花	津島	浜松	新宿	此花	津島	浜松	新宿
S100m 級	X	2.3	1/137	1/125	1/120	1/276	1/121	1/96	1/82	1/249	1/93	1/88	1/104	1/238
	Y	2.8	1/159	1/115	1/106	1/333	1/87	1/87	1/69	1/186	1/94	1/68	1/80	1/222
S120m 級	X	2.6	1/247	1/220	1/153	1/475	1/147	1/138	1/93	1/318	1/164	1/64	1/114	1/375
	Y	2.9	1/264	1/220	1/147	1/414	1/132	1/147	1/114	1/311	1/134	1/91	1/128	1/368
S140m 級	X	3.7	1/135	1/125	1/119	1/341	1/73	1/118	1/75	1/171	1/95	1/66	1/104	1/274
	Y	3.8	1/136	1/113	1/104	1/291	1/68	1/101	1/75	1/176	1/88	1/63	1/93	1/262
S200m 級	X	5.7	1/81	1/155	1/156	1/115	1/78	1/111	1/100	1/97	1/70	1/85	1/156	1/107
	Y	5.1	1/92	1/155	1/148	1/170	1/56	1/88	1/104	1/122	1/88	1/68	1/129	1/153
S230m 級	X	6.5	1/69	1/185	1/144	1/135	1/69	1/104	1/122	1/72	1/62	1/83	1/163	1/95
	Y	5.5	1/66	1/123	1/141	1/97	1/62	1/101	1/83	1/74	1/62	1/68	1/149	1/75
S250m 級	X	5.8	1/65	1/148	1/180	1/84	1/52	1/100	1/104	1/69	1/51	1/51	1/173	1/80
	Y	5.3	1/70	1/127	1/127	1/122	1/64	1/79	1/81	1/83	1/75	1/58	1/119	1/88

※網掛け：1/100 をこえるもの
22

検討用超高層RC造モデル建物

RC造	高さ	階	架構形式	平面形状 代表スパン	一次固有周期	柱代表断面 梁代表断面	Fc	主筋強度 せん断補強筋強度	特 徴 他
90m級	93.1m	30	チューブ構造	27.6m×31.8m 6.1m, 6.4m	X方向：1.99sec Y方向：1.86sec	1000×1000～1100×1100 900×900～1000×650	Fc30～Fc60	SD345～SD685 SD390～SPR785	センターコア
115m級	114.5m	36	ラーメン構造	30.0m×30.0m 6.0m	X方向：2.16sec Y方向：2.16sec	900×900～1000×1000 550×800～550×900	Fc30～Fc60	SD490 SD295～KSS785	検討建物
130m級	132.0m	43	ラーメン構造	32.5m×32.5m 3.25m, 6.5m	X方向：3.12sec Y方向：3.04sec	750×850～1200×1200 440×850～680×1200	Fc30～Fc70	SD345～SD685 SD295～KSS785	中ボイド
150m級 (その1)	150.5m	47	ラーメン構造	22.6m×62.0m 5.7m, 5.1m	X方向：2.37sec Y方向：3.48sec	1000×1000 700×1100、700×850	Fc30～Fc100	SD345～SD685 SD295～SD785	中廊下 タワー、
150m級 (その2)	151.5m	44	ラーメン構造 一部耐震壁	31.2m×45.0m 6.5m, 6.1m, 9.5m	X方向：2.92sec Y方向：3.28sec	1000×1000～1200×1200 700×900～650×1200	Fc30～Fc80	SD390～SD490 SD295～KSS785	センターコア
180m級	180.8m	54	ラーメン構造	44.0m×42.4m 6.0m, 8.4m, 10.0m	X方向：4.23sec Y方向：4.31sec	900×900～1000×1000 650×750～650×1400	Fc30～Fc160	SD390, SD490, USD685A SBPD1275/1420	中ボイド
240m級	242.3m	70	チューブ構造	48.0m×48.0m 4.0m, 5.0m	X方向：5.44sec Y方向：5.44sec	900×900 600×850～600×1000	Fc48～Fc120	SD490, SD685 SD390～SPR785	中ボイド 試設計建物

3連動(M8.7)と4連動地震(M9.0)の地表での 計算波による超高層RC造の層間変形角

3連動平均波

3連動平均+ σ 波

4連動平均波

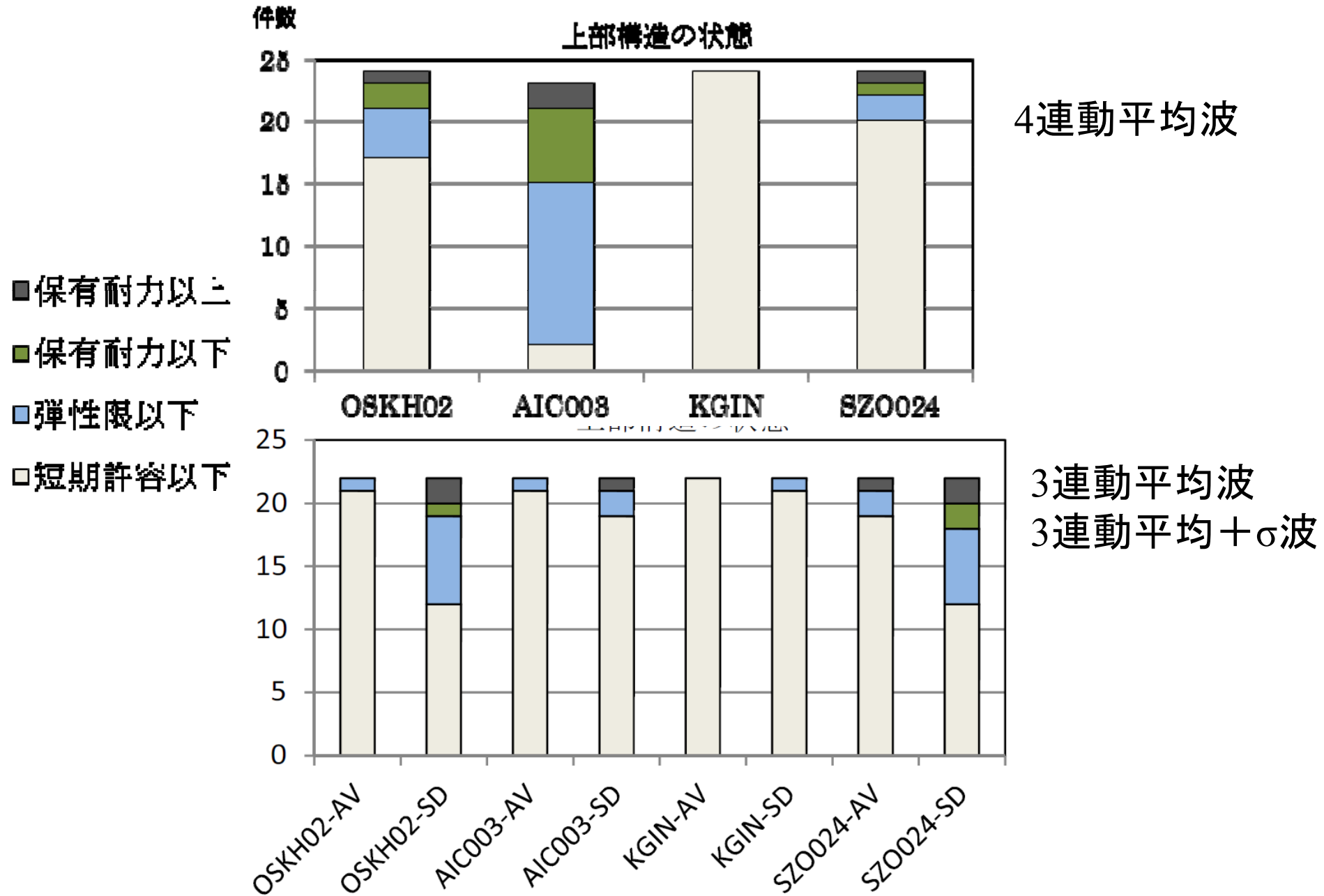
	方向	周期 (s)	2011 平均波				2011 平均+ σ 波				2012 波			
			此花	津島	浜松	新宿	此花	津島	浜松	新宿	此花	津島	浜松	新宿
RC90m 級	X	2.0	1/231	1/215	1/151	1/649	1/121	1/115	1/79	1/347	1/142	1/74	1/106	1/402
	Y	1.9	1/247	1/221	1/159	1/745	1/142	1/136	1/89	1/386	1/134	1/66	1/108	1/467
RC115m 級	X,Y	2.2	1/191	1/193	1/138	1/450	1/64	1/127	1/68	1/323	1/111	1/48	1/82	1/388
RC130m 級	X	3.1	1/101	1/101	1/141	1/244	1/48	1/53	1/99	1/161	1/49	1/53	1/116	1/182
RC150m 級 (1)	X	2.4	1/213	1/183	1/183	1/559	1/63	1/164	1/94	1/303	1/84	1/47	1/332	1/108
	Y	3.5	1/104	1/164	1/142	1/375	1/59	1/92	1/125	1/167	1/64	1/42	1/212	1/162
RC150m 級 (2)	X	2.9	1/93	1/158	1/140	1/444	1/51	1/77	1/97	1/208	1/52	1/78	1/159	1/261
	Y	3.3	1/99	1/125	1/128	1/455	1/62	1/99	1/96	1/192	1/61	1/63	1/132	1/288
RC180m 級	X	4.2	1/67	1/199	1/179	1/101	1/48	1/101	1/91	1/51	1/46	1/72	1/183	1/65
	Y	4.3	1/68	1/195	1/172	1/95	1/53	1/104	1/84	1/51	1/47	1/51	1/181	1/61
RC240m 級	X,Y	5.4	1/133	1/199	1/163	1/123	1/91	1/142	1/106	1/77	1/70	1/90	1/166	1/74

※網掛け：1/100 をこえるもの

応答解析用免震建物

記号	分類	軒高 (m)	設計年	構造種別	免震システム	固有周期	
						基礎固定 (s)	200%ひずみ時 (s)
A-1	低層第1世代	13.4	1987	RC	LRB+NR	0.41	1.77
A-3	中高層第3世代	34.6	2003	RC	HDR+NR	0.73	3.25
B-3	低層第3世代	13.1	2000	RC	NR+SL+OD	0.217	3.36
B-4	超高層第3世代	120.9	2006	RC	NR+SL+OD	3.16	6.19
C-2	中高層第1世代	36.1	1994	SRC、S	LRB	0.82	2.99
C-4	超高層第3世代	88.5	2008	RC	LRB+NR	2.27	4.93
D-2	中高層第3世代	29.9	2007	RC	LRB+NR	0.863	3.45
D-4	超高層第3世代	144.0	2006	RC	LRB+CLB+OD	3.45	6.43
E-1	中高層第2世代	30.6	1996	RC	LRB+NR	0.79	3.4
E-2	中高層第2世代	26.1	1996	RC	NR+鉛D+鋼棒D	0.68	2.56
E-3	超高層第3世代	67.4	2004	RC	LRB+CLB	1.78	5.24
E-4	中高層第3世代	34.0	2004	RC	LRB	0.87	3.87
F-3	中高層第3世代	31.0	2006	S	NR+SL	1.81	4.3
F-4	超高層第3世代	140.0	2006	RC	NR+SL	3.49	5.55
G-3	中高層第2世代	28.7	1997	CFT+S	NR+OD	1.32	4.027
G-4	中高層第3世代	24.2	2001	S	NR+OD	1.039	3.573
H-1	低層第1世代	11.9	1990	RC	NR+鉛D	0.27	2.23
H-4	超高層第3世代	60.4	2002	S	NR+鉛D+鋼D	1.82	4.02
I-1	中高層第2世代	31.3	1996	RC	HDR	1.1	4.27
I-2	中高層第3世代	41.2	2000	RC	NR+SL+鉛D+鋼D	1.57	5.09
J-1	中高層第2世代	44.3	1999	RC	NR+CLB+鋼D+OD	0.5	3.04
J-3	中高層第2世代	29.2	1998	RC	LRB+SL	0.095	2.75
K-1	中高層第3世代	60.0	2001	RC	NR+LRB+鋼棒D	1.05	3.67
K-2	中高層第3世代	56.6	2010	RC	LRB+NR+SL+CL+OD	0.97	4.85

3連動(M8.7)と4連動地震(M9.0)の地表での 計算波による免震建物の上部構造の状態



まとめ

- 1) 関東平野、濃尾平野、大阪平野の任意の建設地点での長周期地震動を補間する方法を提案した。
- 2) 異なる乱数によりばらつく計算波から、平均的な波を作成する手法を提案した。
- 3) 東北地方太平洋沖地震への適用に基づく、改良経験式の妥当性の検証結果を整理した。
- 4) 内閣府(2012)の南海トラフ沿いのM9.0の巨大地震(4連動地震)を想定した場合について、長周期地震動を計算した。周期3秒程度以下が有効である内閣府(2012)の統計的グリーン関数法による計算波や、藤原・他(2012)の差分法の計算波とスペクトルレベルは同程度であった。
- 5) 4連動地震は昨年度検討した3連動地震(M8.7)の平均+標準偏差波と同程度か地点によってはやや大きいレベルであった。
- 6) 4)で作成した波を用いて、超高層建物と免震建物の応答解析を行った。地点によっては、クライテリアを超えるケースもあった。