

咲洲地区における地震動

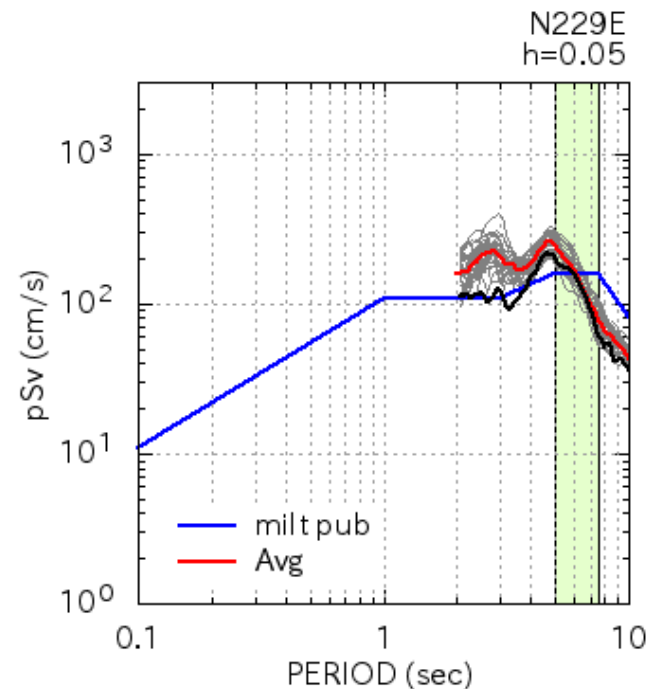
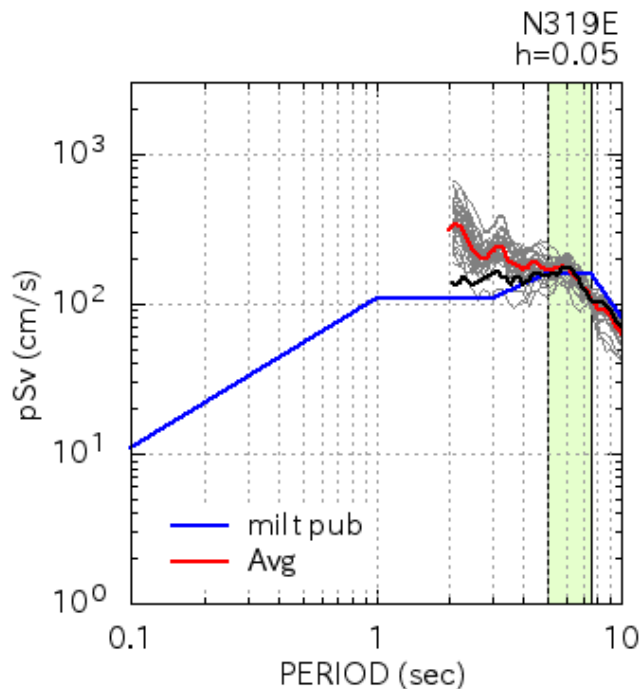
前回ミーティングでのご意見(1)

意見①

地表／地中のフーリエスペクトル比が観測記録と整合しているか？

意見②

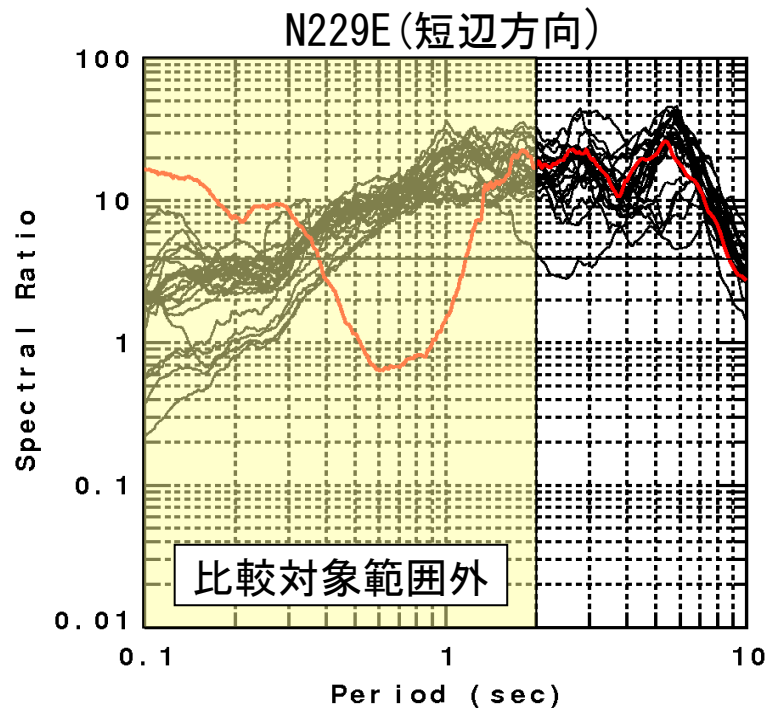
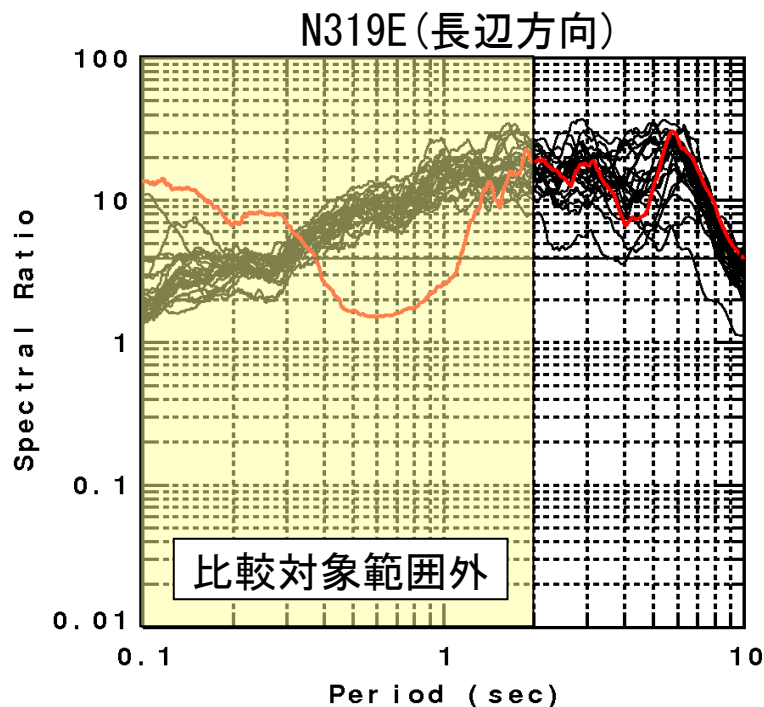
N319E成分とN229E成分の卓越周期の違いが観測記録にもみられるか？



前回ミーティングでのご意見(2)

意見①

地表／地中のフーリエスペクトル比が観測記録と整合しているか？



— : 観測記録 (OSKH02、全23地震)

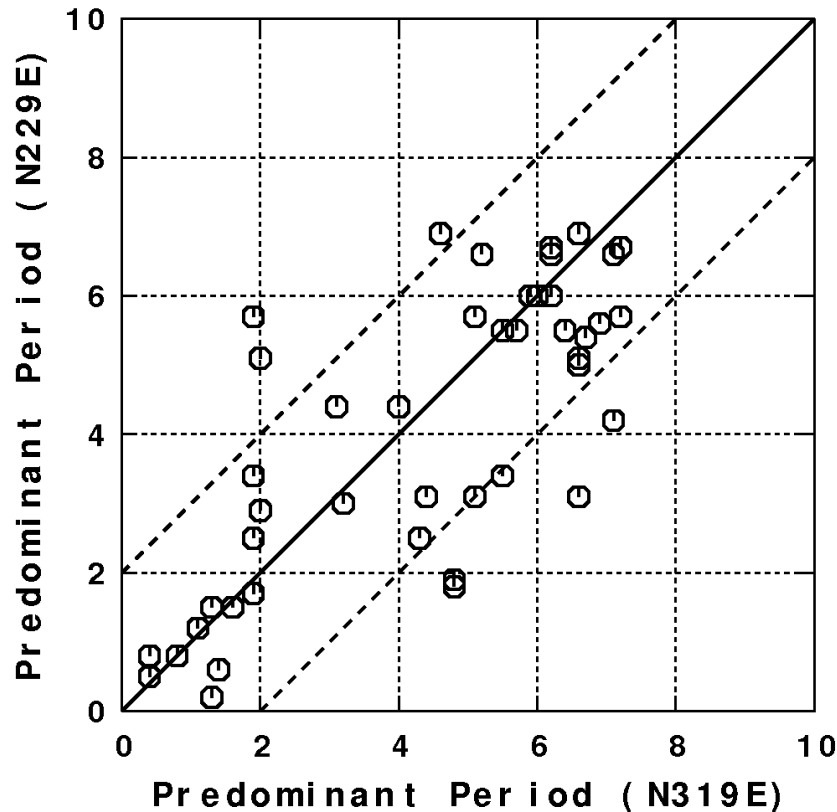
— : 差分計算結果(中央破壊、揺らぎなし)

差分計算によるスペクトル比は周期5~6秒が卓越し、比率は10~20倍程度となる。これらは観測記録のスペクトル比と概ね整合する。

前回ミーティングでのご意見(3)

意見②

N319E成分とN229E成分の卓越周期の違いが観測記録にもみられるか？



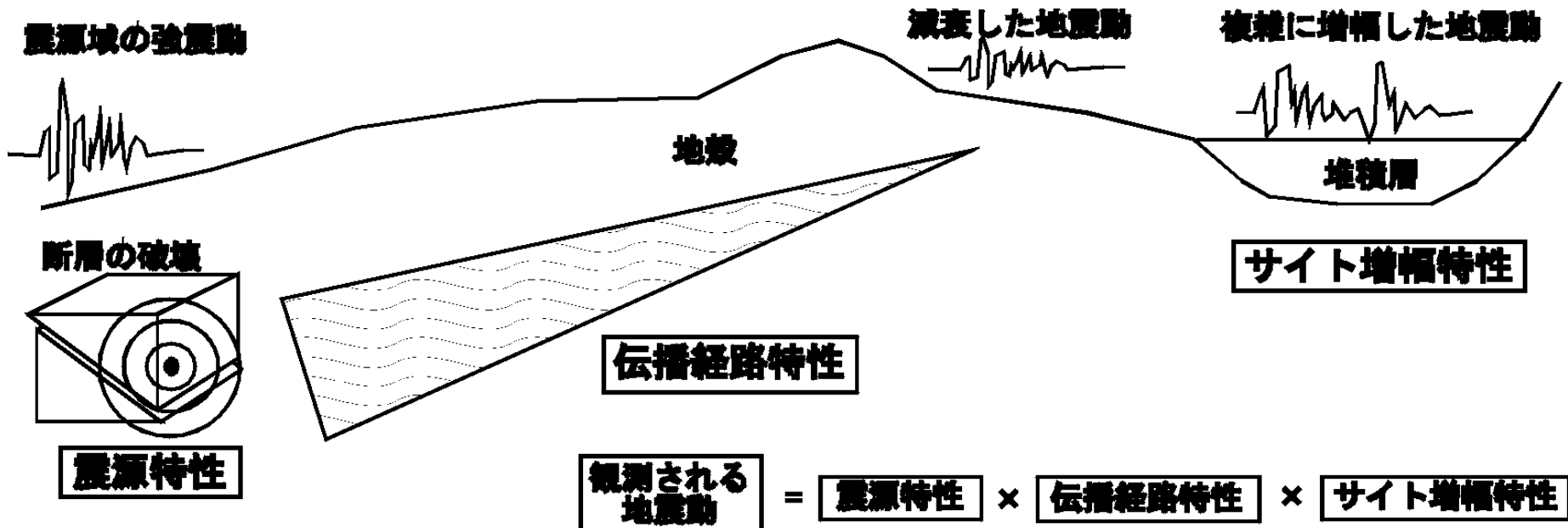
【各方位の卓越周期】

- ・ 横軸：N319E成分の卓越周期
- ・ 縦軸：N229E成分の卓越周期

N319E成分とN229E成分の卓越周期が異なる観測記録もある。

- ：観測記録（全46記録）
（咲洲庁舎1FとOSKH02地表）

地震動の3要素



<震源特性>

- ・ マグニチュード
- ・ 地震モーメント
- ・ 地震タイプ
(横ずれ断層、逆断層)
- ・ 断層すべりの不均一性
- ・ 破壊伝播速度 など

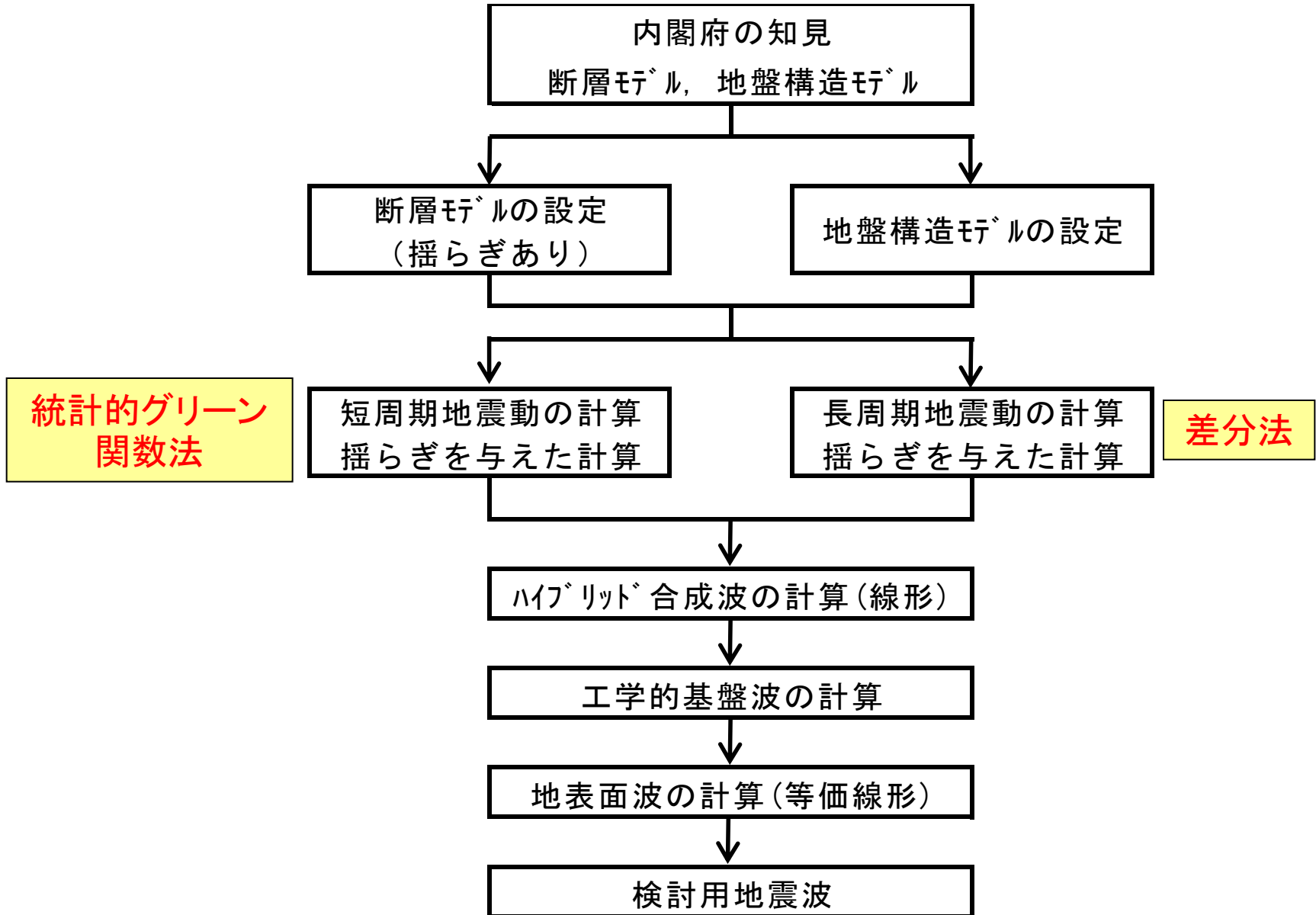
<伝播経路特性>

- ・ 距離減衰
- ・ 内部減衰
- ・ 散乱減衰

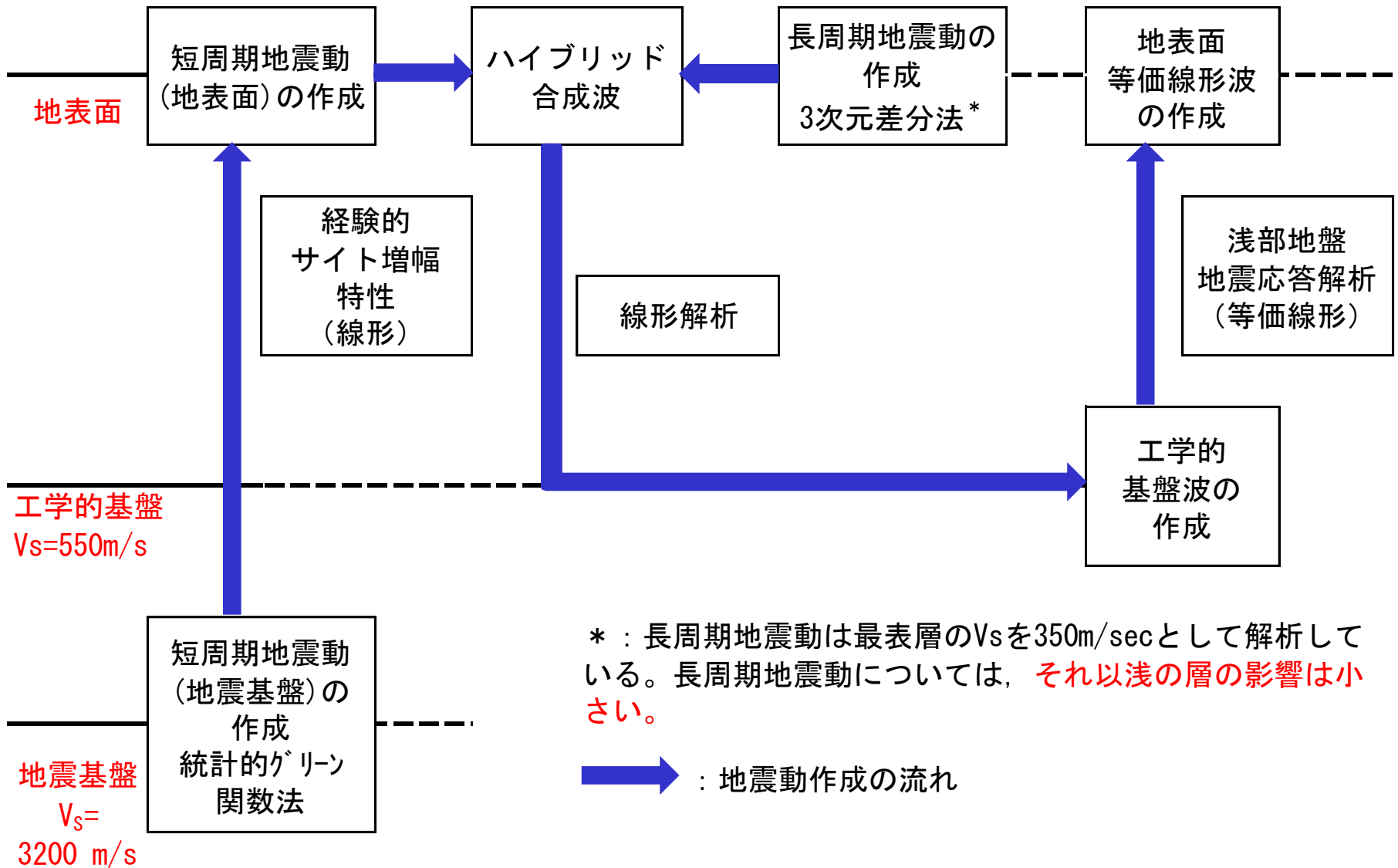
<サイト特性>

- ・ 堆積層による増幅
- ・ 継続時間の延び
- ・ 位相の変化
- ・ 非線形性 など

地震動作成のフロー (1)

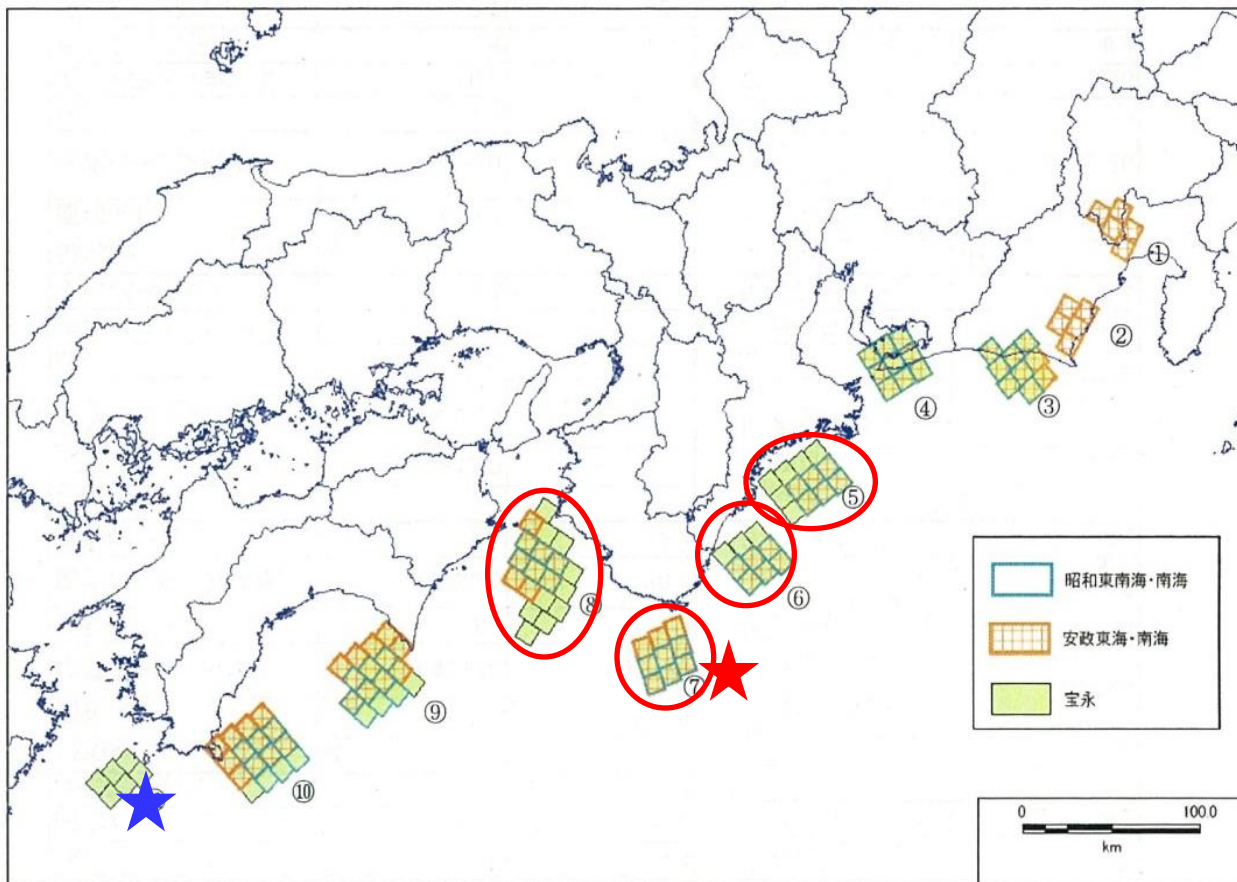


地震動作成のフロー (2)



震源特性(断層モデル) (1)

「南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告」の
最大クラスの地震」に倣う。



11個の強震動生成域 (SMGA) で構成

背景領域は考慮されない

- ★ : 破壊開始点 : 中央
- ★ : 破壊開始点 : 西
- : 大阪に及ぼす影響が大きいSMGA

最大クラスの地震

震源特性(断層モデル) (2)

最大クラスの地震

	南海		東南海	駿河湾
面積(km ²)	6,722		5,077	
地震モーメント(Nm)	3.2E+21		1.9E+21	
SMGA#	⑪	⑦	③	①
面積(km ²)	608.1	929.2	914.0	569.8
地震モーメント(Nm)	1.8E+20	3.5E+20	3.4E+20	1.7E+20
Mw	7.4	7.6	7.6	7.4
応力パラメータ	30.0	30.0	30.0	30.0
ライズタイム(s)	4.6	5.6	5.6	4.4
SMGA#		⑧	④	②
面積(km ²)	-	1,959.9	913.5	515.9
地震モーメント(Nm)	-	1.1E+21	3.4E+20	1.4E+20
Mw	-	8.0	7.6	7.4
応力パラメータ(MPa)	-	30.0	30.0	30.0
ライズタイム(s)	-	8.2	5.6	4.2
SMGA#		⑨	⑤	
面積(km ²)	-	1,612.9	1,237.5	-
地震モーメント(Nm)	-	8.0E+20	5.4E+20	-
Mw	-	7.9	7.8	-
応力パラメータ	-	30.0	30.0	-
ライズタイム(s)	-	7.4	6.5	-
SMGA#		⑩	⑥	
面積(km ²)	-	1,611.5	926.5	-
地震モーメント(Nm)	-	8.0E+20	3.5E+20	-
Mw	-	7.9	7.6	-
応力パラメータ	-	30.0	30.0	-
ライズタイム(s)	-	7.4	5.6	-
破壊伝播速度(km/s)	2.7	2.7	2.7	2.7
fmax	6Hz	6Hz	6Hz	6Hz

【破壊開始点】

中央、西側の2点を配置する。
→ 中央破壊、西破壊と称す。

【破壊伝播の揺らぎ】

関口・ほか(2006)に倣い
* 断層すべり量
* 破壊伝播速度
に揺らぎを与える。

伝播経路及びサイト特性

差分法に計算に用いる地盤構造モデル (1)

内閣府に倣い 「全国一次地下構造モデル(暫定版)」(2012) を一部修正したモデルを用いる。

大阪

広域の東西断面

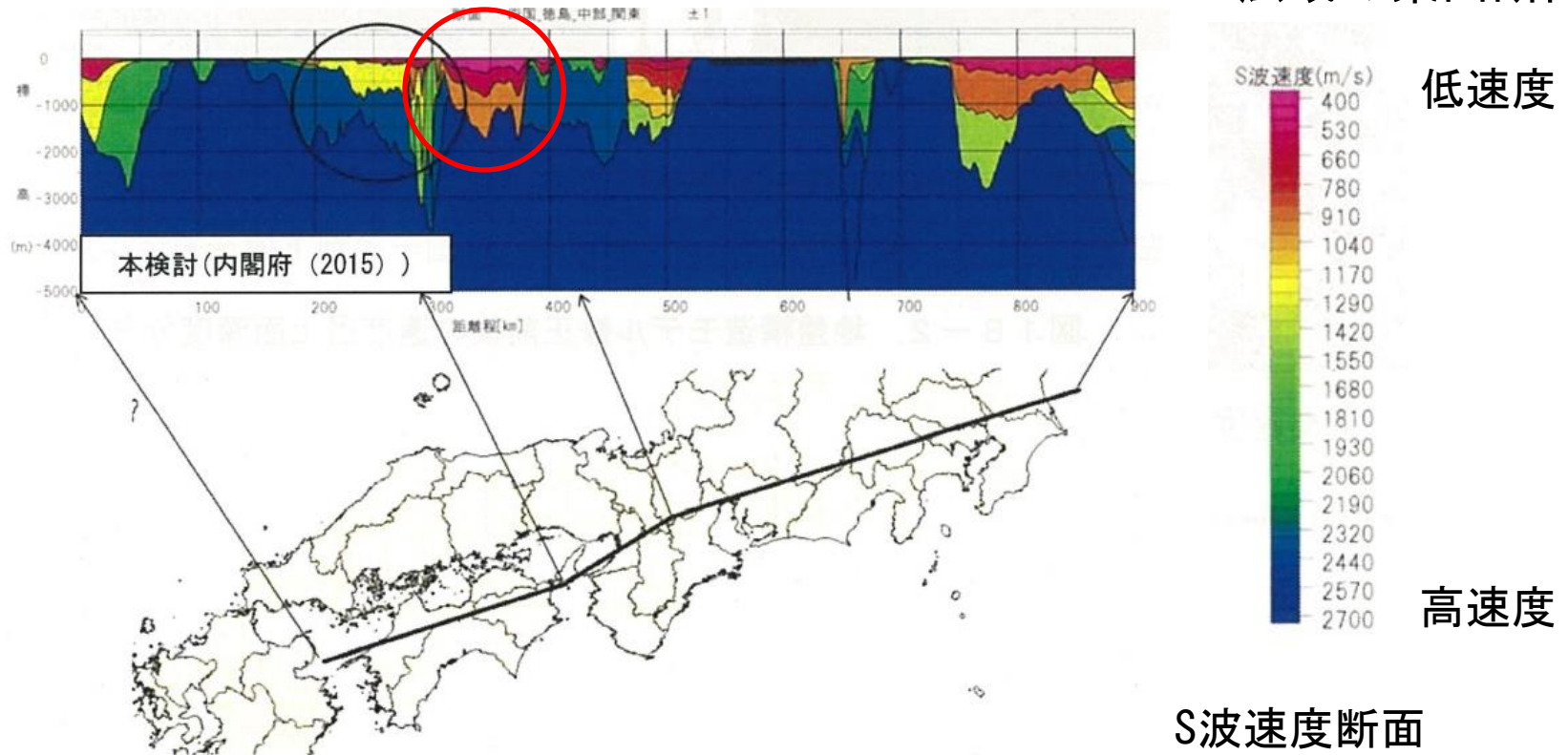
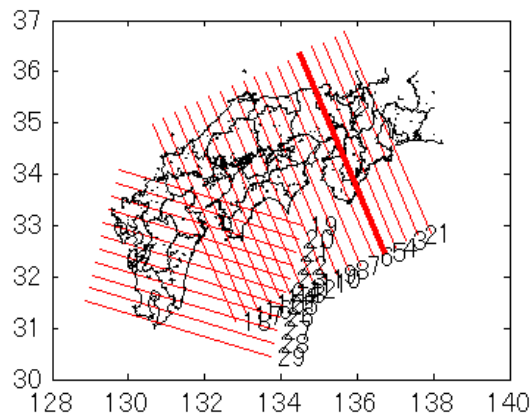


図19-1. 地盤構造モデルの断面図

S波速度断面
深さ5kmまで

伝播経路及びサイト特性

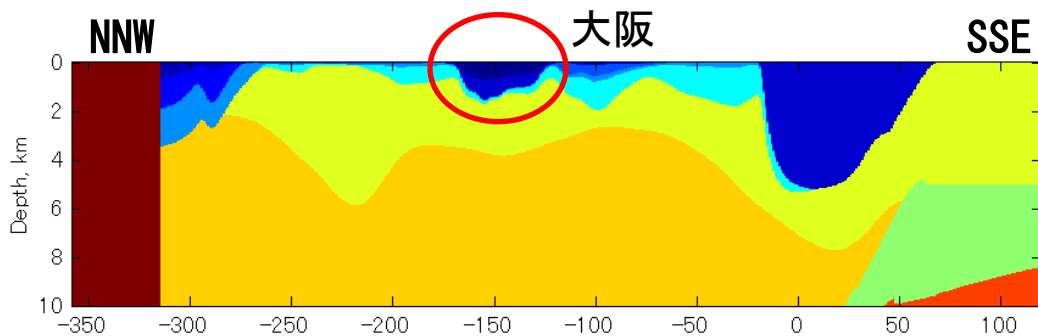
差分法に計算に用いる地盤構造モデル (2)



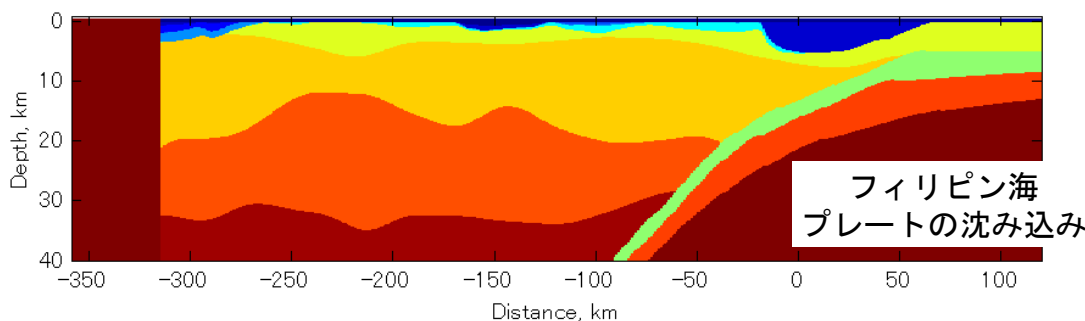
大阪付近の南北断面

P波速度断面図 (第5断面、km/s)

断面位置 (太線)



高速度
 深度10kmまでの拡大速度断面
 低速度



深度40kmまでの速度断面

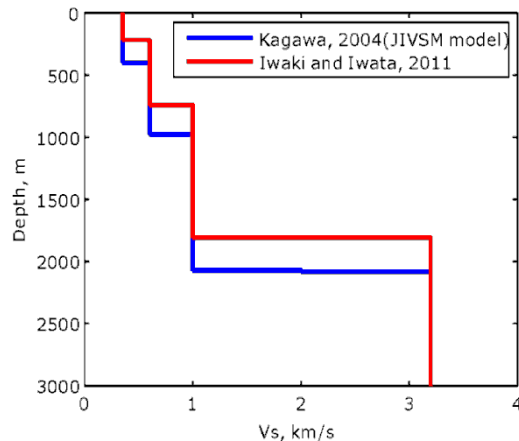
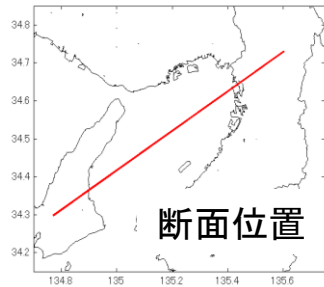
伝播経路及びサイト特性

差分法に計算に用いる地盤構造モデル (3)

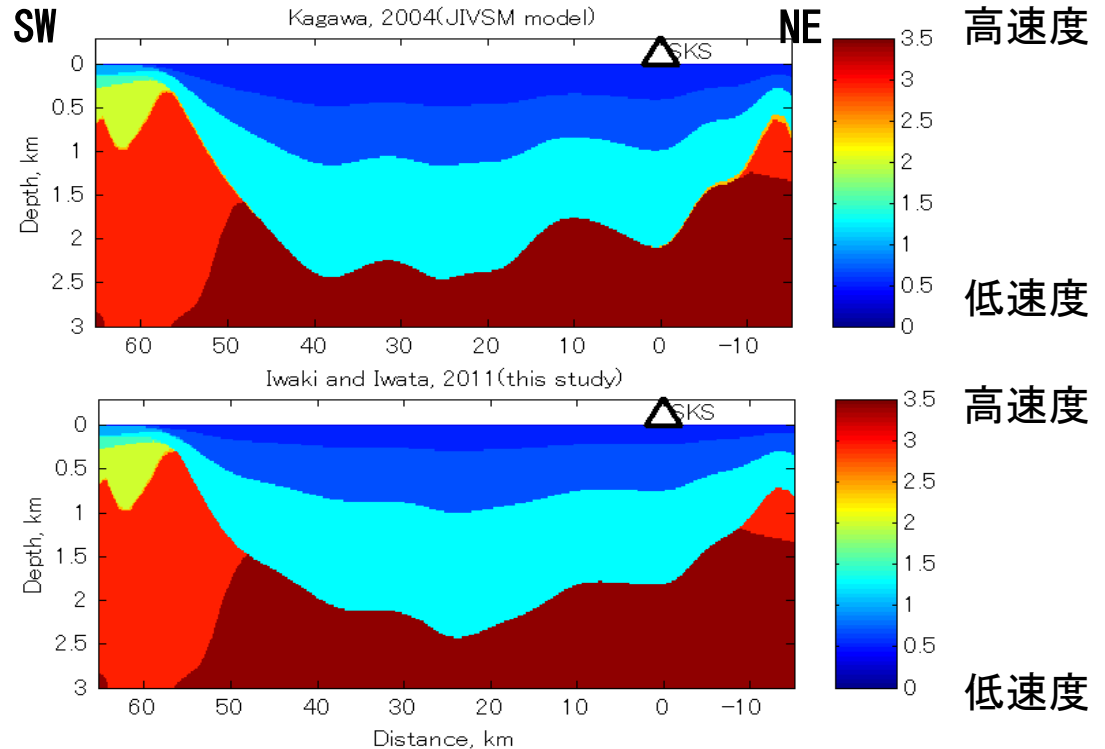
【大阪堆積盆地構造】

「全国一次地下構造モデル(暫定版)」(2012) : Kagawa et al. (2004)

→ 最新のIwaki and Iwata (2011)に置き換える。



1次元構造の比較
(S波速度)

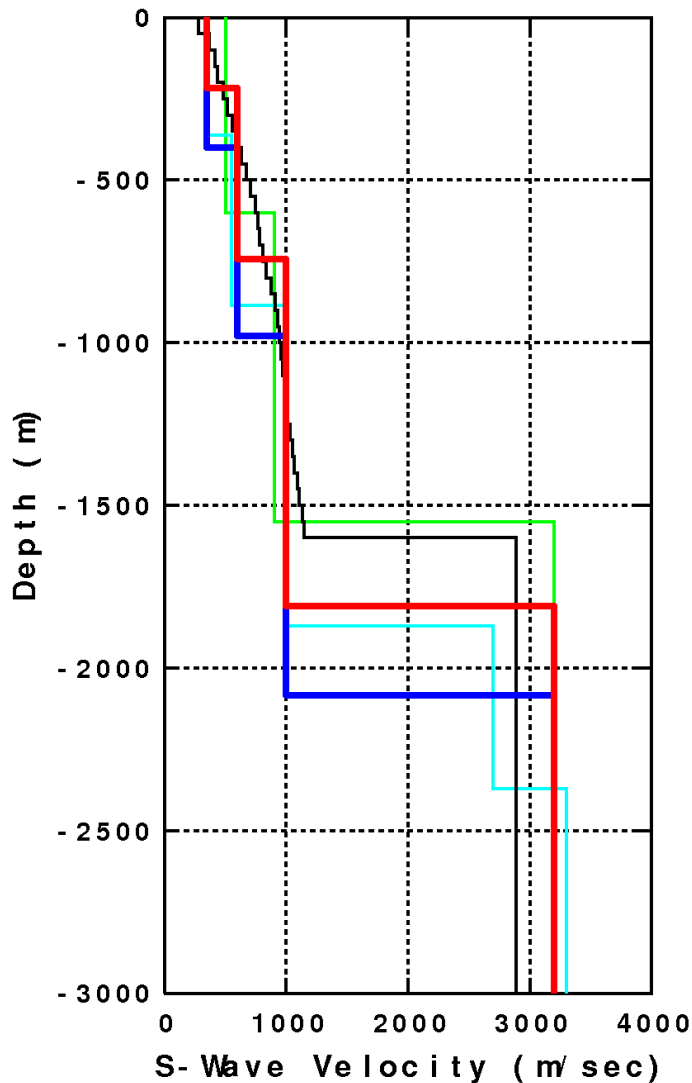


S波速度断面、km/sec

上 : Kagawa et al. (2004) 下 : Iwaki and Iwata (2011)

伝播経路及びサイト特性

差分法に計算に用いる地盤構造モデル (4)



各種モデルによる1次元地下構造の比較
(咲洲庁舎地点とその付近)

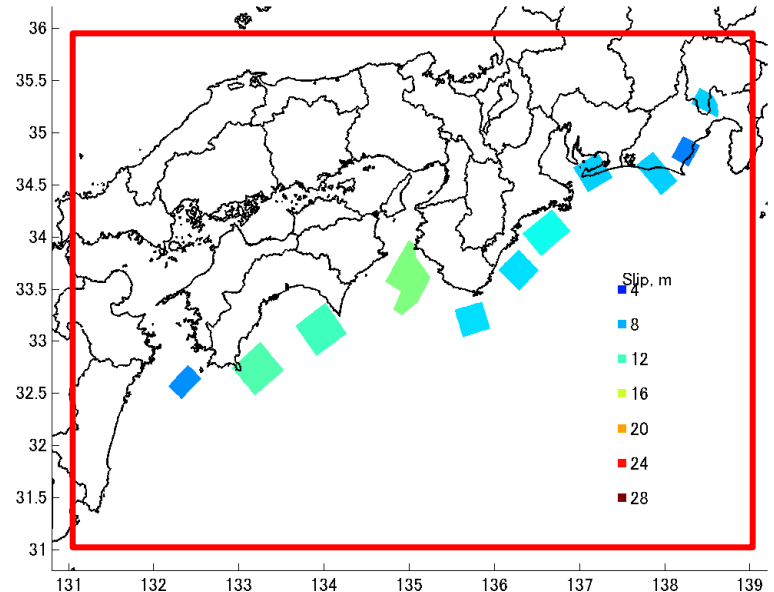
各モデルにおける地震基盤相当層出現深度

	深度 (m)
OSKH02 PS検層	1,550
大阪府(2005)	1,600
Iwaki and Iwata(2011)	1,800
J-SHIS	1,870
Kagawa et al. (2004)	2,080

- : Iwaki and Iwata(2011)
- : Kagawa et al. (2004)
- : 大阪府(2005) ← 産総研モデル
- : J-SHIS
- : OSKH02(舞洲、PS検層)

3次元差分法の解析概要

- * 計算領域：東経131° ～東経139° (右下図 赤枠)
北緯 31° ～北緯 36°
- * 地下構造モデルのグリッド間隔
不等間隔格子を採用
(最浅部)：140m×140m×100m
- * 最表層のせん断波速度：350m/sec
- * 点震源の間隔：280m
- * 有効周期：2秒～10秒
→ ハイブリッド合成することで、
0.1～10秒とする。
- * 時間間隔：0.0145秒
→ ハイブリッド合成する際にRe-sampling して、0.01秒とする。
- * 最終的なタイムステップ数：約34,500ステップ (=500秒間)



伝播経路特性 短周期地震動

【伝播経路特性】

内閣府と同様 $Q(f) = 100 \times f^{0.7}$ を用いる

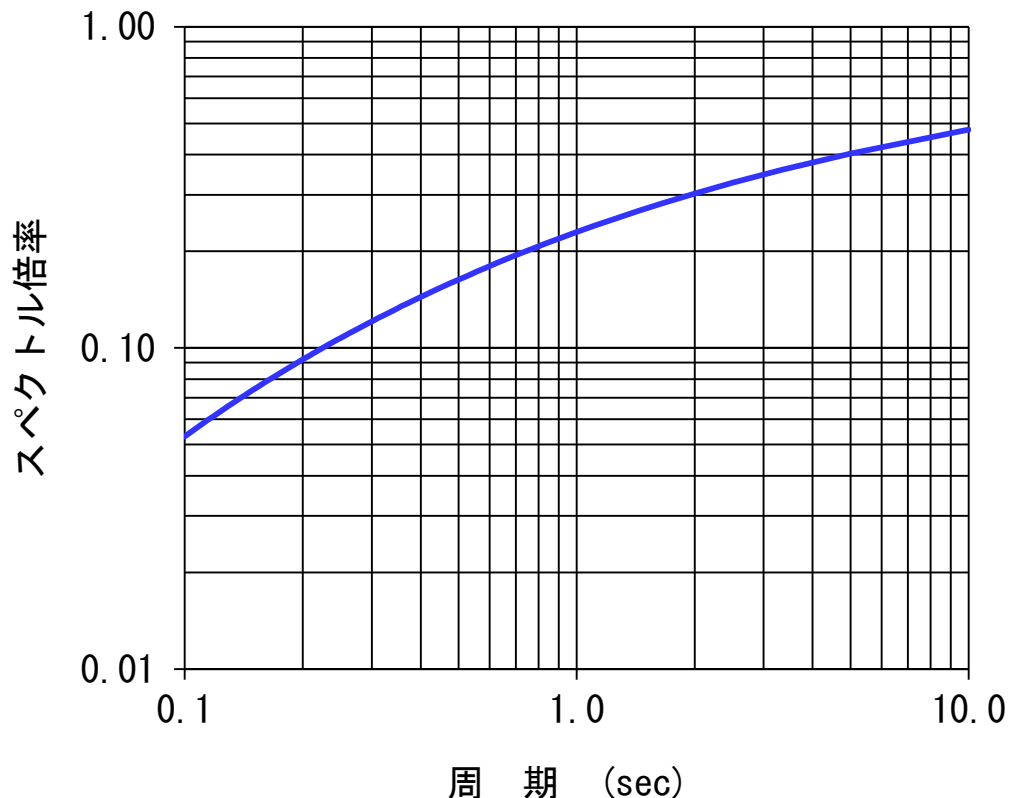


図 $\exp\left(\frac{-\pi fX}{Q(f)\beta}\right)$ の値 ($X=150\text{km}$ 、 $\beta=3.2\text{km/s}$ の例)

$$A(f) = \underset{\substack{\uparrow \\ \text{震源}}}{\text{Source}(f)} \times \underset{\substack{\uparrow \\ \text{伝播経路}}}{\text{Path}(f)} \times \underset{\substack{\uparrow \\ \text{サイト}}}{\text{Site}(f)}$$

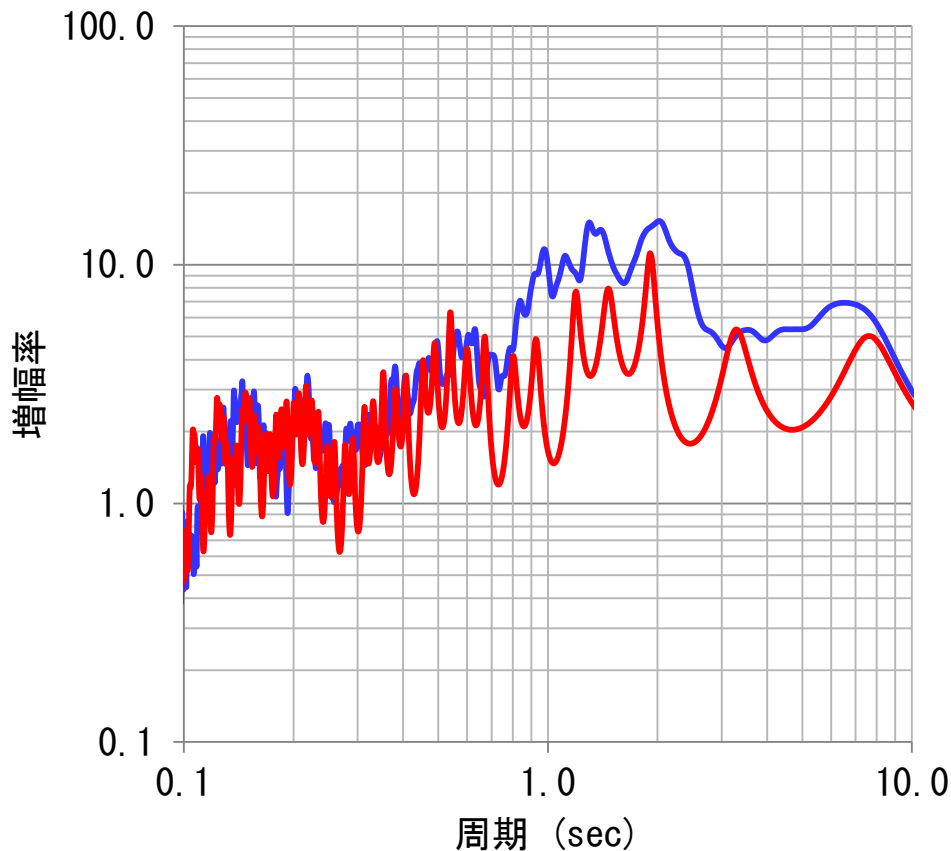
$$\text{Path}(f) = \frac{1}{X} \exp\left(\frac{-\pi fX}{Q(f)\beta}\right)$$

- A(f) : 地震波のフーリエスペクトル
- X : 震源距離
- f : 周波数
- Q(f) : Q値
- β : せん断波速度

サイト特性 短周期地震動(1)

【サイト増幅特性】

川瀬・松尾(2004)によるOSKH02における経験的特性を用いる



— : 経験的特性 [川瀬・松尾(2004)]

— : 理論的特性 [1次元地下構造モデル]
深部 : Iwaki and Iwata(2011)
浅部 : PS検層結果、減衰 : $Q=V_s/5$

【経験的特性】

理論では説明できない特徴が観測記録に含まれているため、有効な手法。

サイト特性 短周期地震動(2)

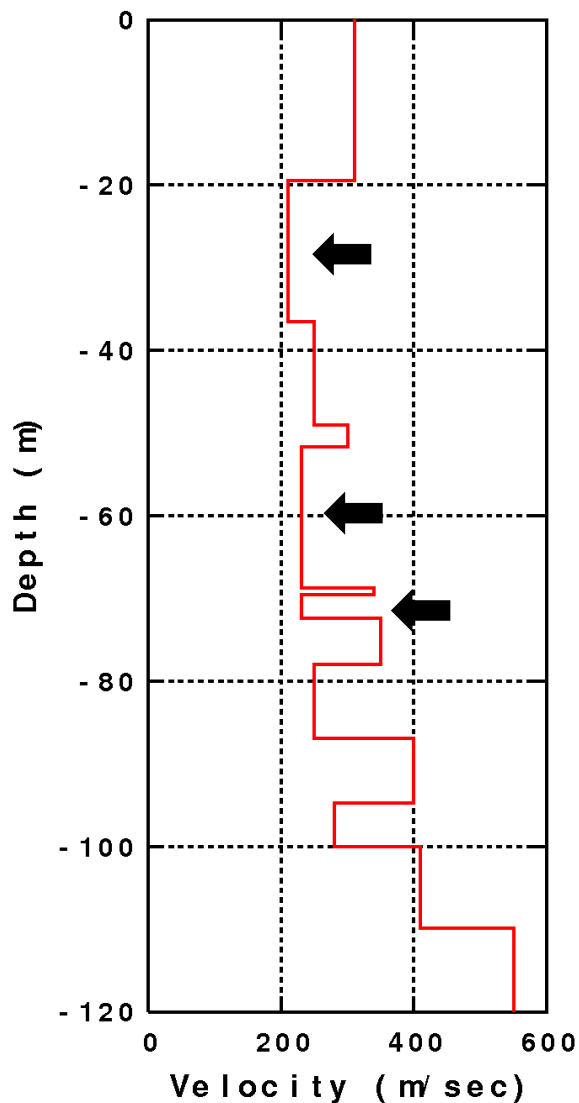
表 咲洲庁舎における地下構造モデル [PS検層+Iwaki and Iwata(2011)]

	No.	地層	深度 (m)	密度 (g/cm ³)	V _s (m/sec)	V _p (m/sec)	h Q=V _s /5	非線形 特性番号
PS検層	1	B	0.00	1.85	310	500	0.0081	6*
	2	B	8.00	1.85	310	700	0.0081	6*
	3	Ac	19.45	1.65	210	1,600	0.0119	2
	4	Aalt	36.55	1.80	250	1,550	0.0100	2*
	5	D(s~g)1	49.00	2.00	300	1,550	0.0083	6*
	6	Dc1	51.65	1.60	230	1,600	0.0109	3
	7	Ds2上	68.70	2.00	340	1,600	0.0074	6
	8	Dc2	69.50	1.75	230	1,500	0.0109	4
	9	Ds2下	72.40	2.00	350	1,600	0.0071	7
	10	Dc3	78.00	1.70	250	1,450	0.0100	5
	11	D(s~g)3	86.90	2.00	400	1,600	0.0063	10
	12	Dc4	94.70	1.70	280	1,500	0.0089	11
	13	Dalt	100.00	1.90	410	1,600	0.0061	12
	14	Ds4	109.90	2.00	550	1,600	0.0045	—
Iwaki and Iwata	15	—	217.1	2.00	600	2,000	0.0042	—
	16	—	741.6	2.15	1000	2,400	0.0025	—
	17	—	1808.8	2.65	3200	5,500	0.0008	—

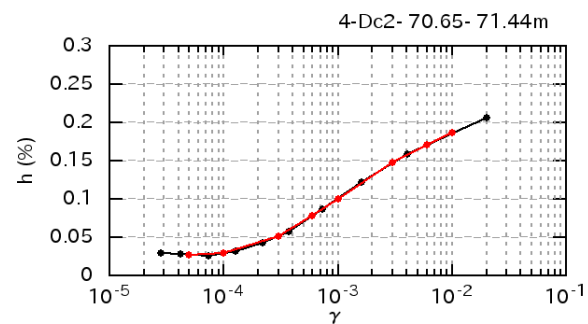
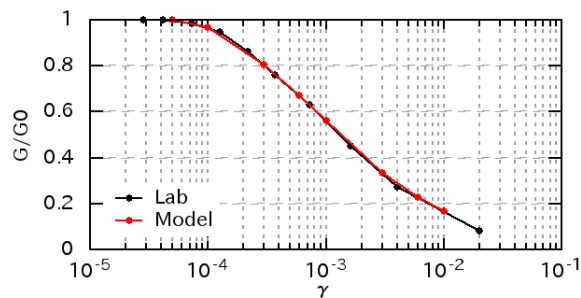
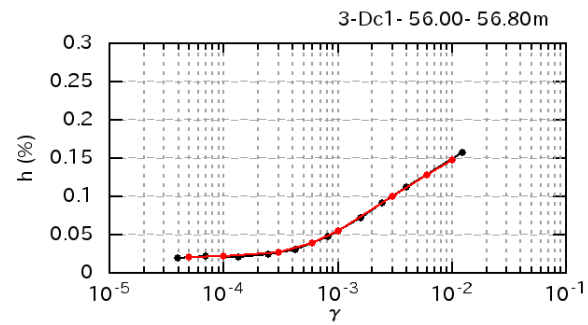
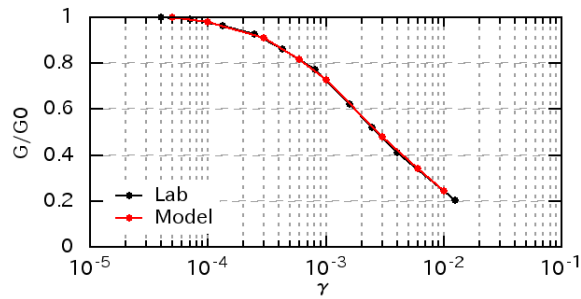
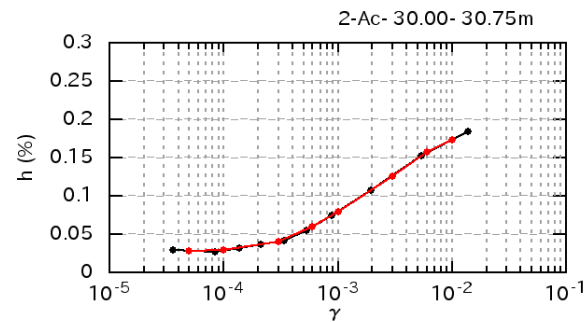
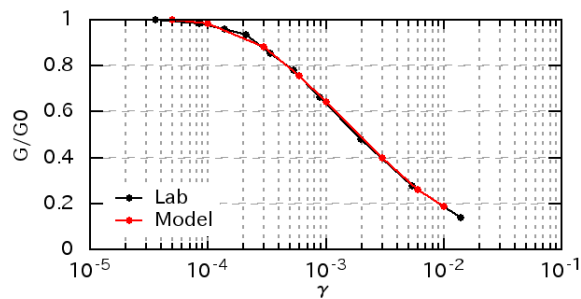
工学的
基盤

* : 対象層では動的変形試験結果がないため、他の層における特性を用いている

サイト特性 短周期地震動(3)



深度120mまでの拡大



左：S波速度構造

右：動的変形特性の例 (← の層)

上層から順に掲載

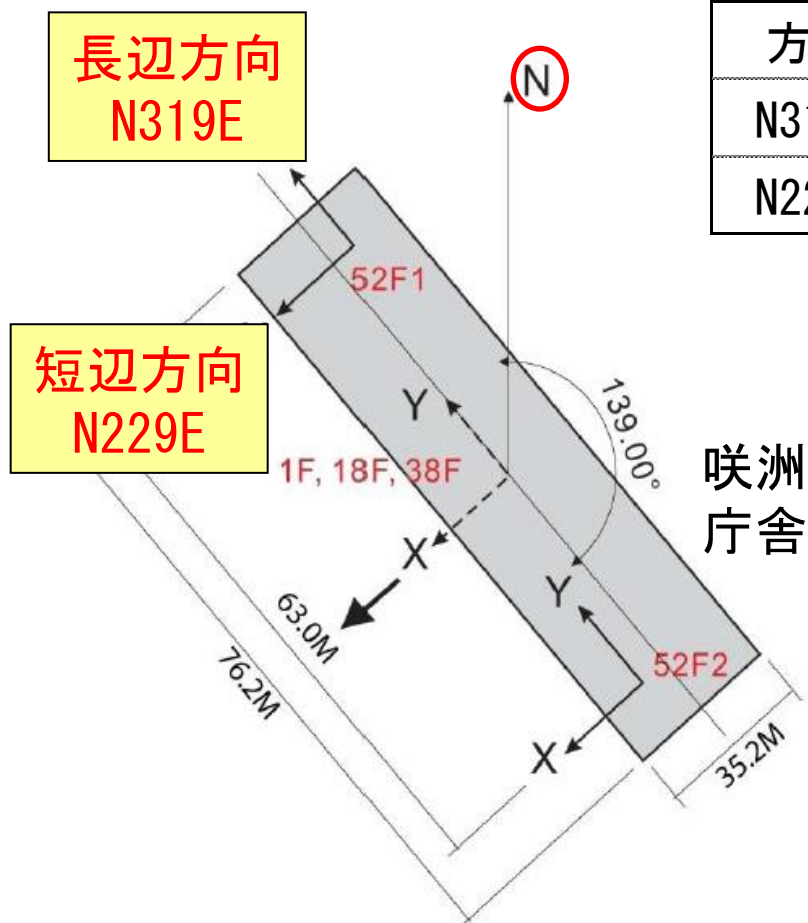
地震動作成手法のまとめ

		内閣府の検討	咲洲地区における地震動作成
手 法		3次元差分法	ハイブリッド法
対象周期		2~10秒	0.1~10秒
震源モデル (最大クラス)	破壊領域	強震動生成域 (SMGA) のみ	同左
	強震動生成域の配置	過去5地震の震度分布を再現する位置を包絡する位置に配置する	同左
	地震モーメント	5.1×10^{21} (N·m) (Mw: 8.4)	同左
	応力降下量	30MPa	同左
	破壊開始点	中央破壊, 東破壊, 西破壊の3通り	中央破壊, 西破壊の2通り
	破壊過程のばらつき	下記2つの方法の試算し, ①を採用 ①破壊伝播速度に揺らぎを与える方法 ②断層すべり量に揺らぎを与える方法 全60ケース 推計値および推計値のばらつきが平均的な範囲に収まる5通りをまず抽出し、さらにその5通りを平均化する	関口・ほか(2006)に倣い、破壊伝播速度、断層すべり量ともに揺らぎを与える 内閣府に準じて検討 内閣府に準じて検討
地下構造モデル	大局的モデル	推本 全国一次地下構造モデル (暫定版) (2012) 一部地域については修正	同左
	大阪堆積盆地	上記に含まれている構造 [Kagawa et al. (2004)]	Iwaki and Iwata (2011)
	地表面のせん断波速度	工学的基盤 (350~700m/sec)	工学的基盤 (350m/sec)

作成する地震動の方位と 建物の固有周期

表 咲洲庁舎の固有周期(秒)

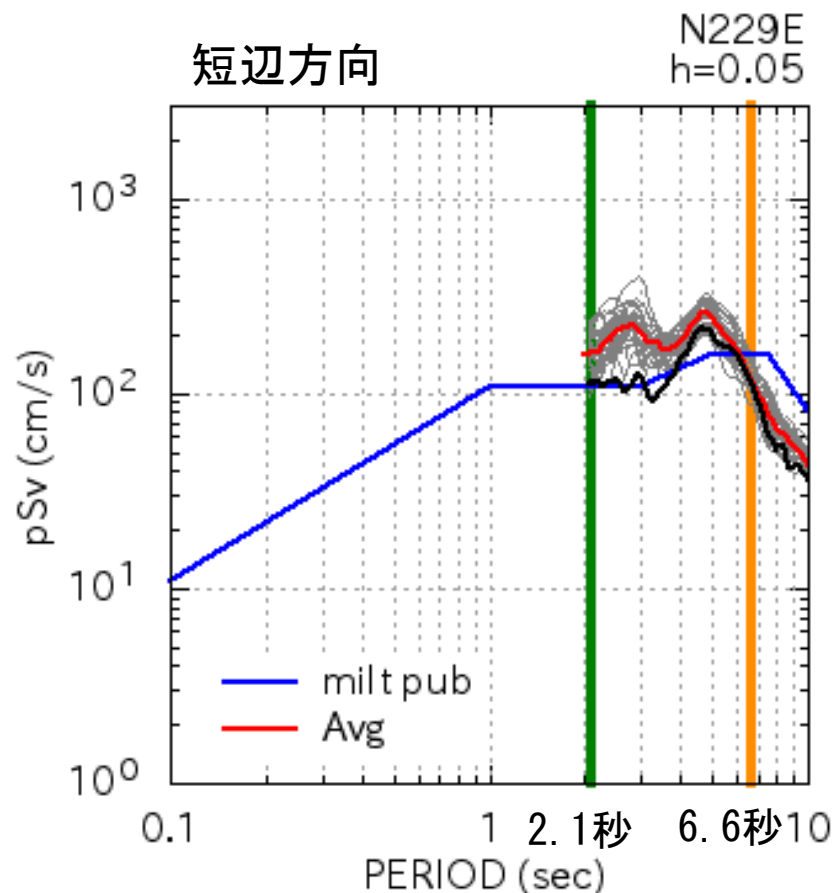
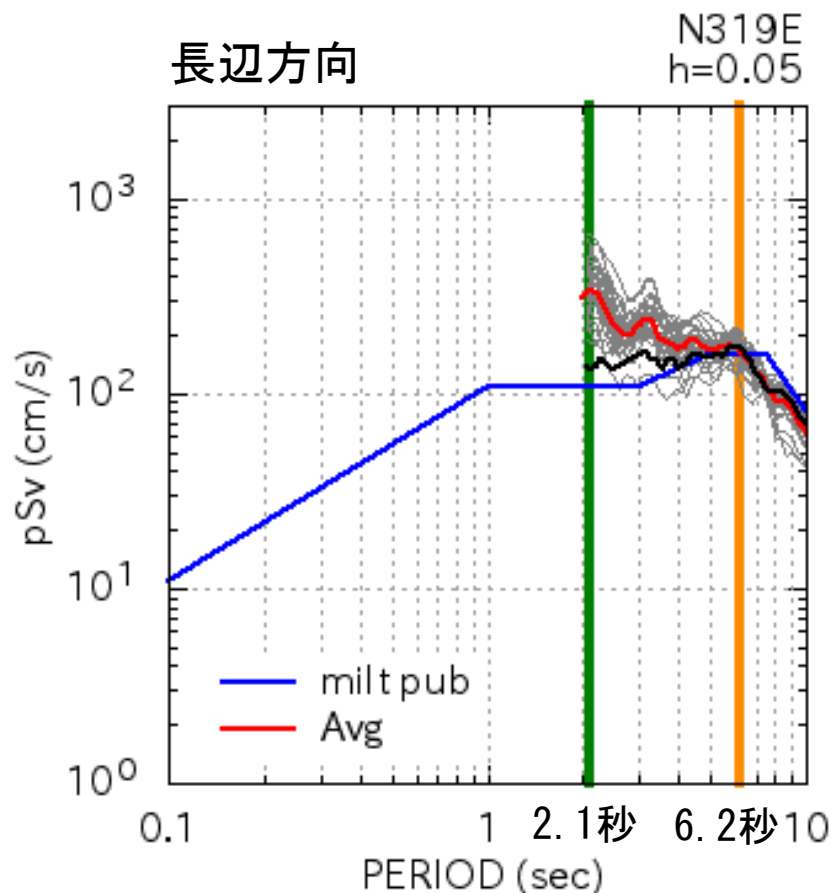
方位	1次固有周期(sec)	2次固有周期(sec)
N319E	6.2	2.0~2.2
N229E	6.6	



地震動作成結果（中央破壊）

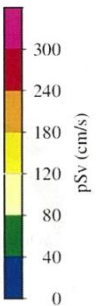
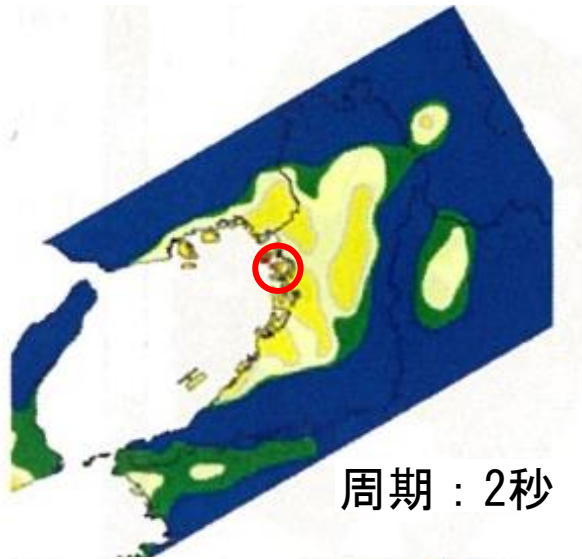
- * 長周期地震動
- * 短周期地震動
- * ハイブリッド合成波（地表面、線形）
- * 工学的基盤波
- * 地表面等価線形波
- * 検討用地震波の詳細（N319E成分と例として）
 - ・ ハイブリッド合成過程
 - ・ 工学的基盤波
 - ・ 地表面等価線形波
 - ・ ひずみの鉛直分布

長周期地震動作成結果 (擬似速度応答)



擬似速度応答スペクトル(長周期地震動、左 : N319E成分、右 : N229E成分、h=5%)
 — : 各ケース、— : 揺らぎなし、— : 平均、— : 国交省パブコメ波(2015)

内閣府の地震動検討結果



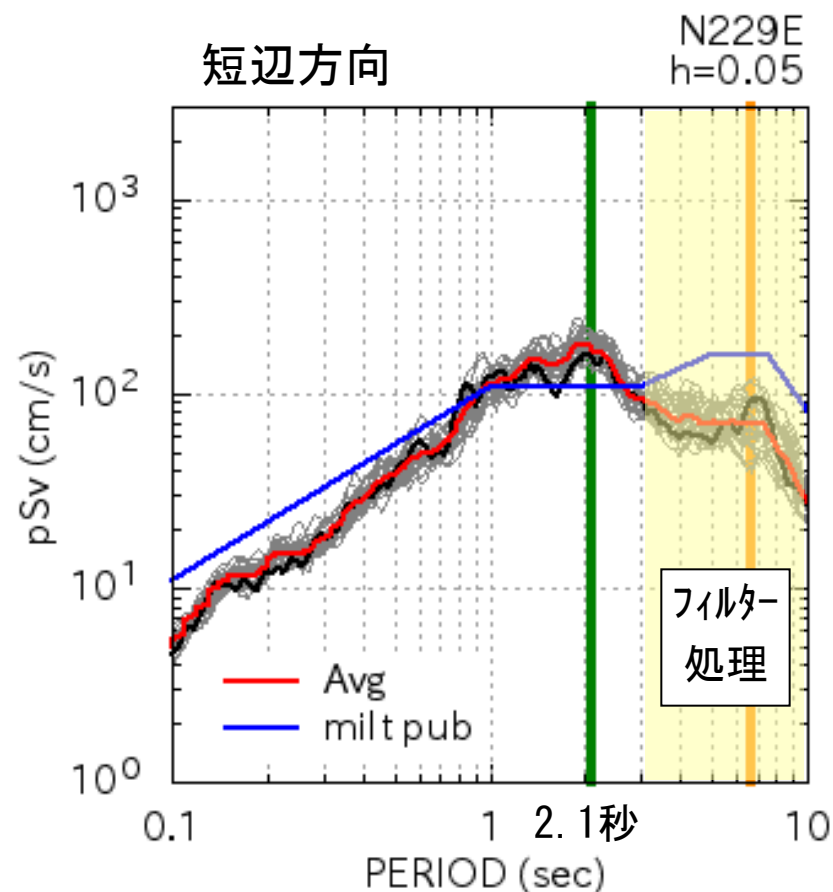
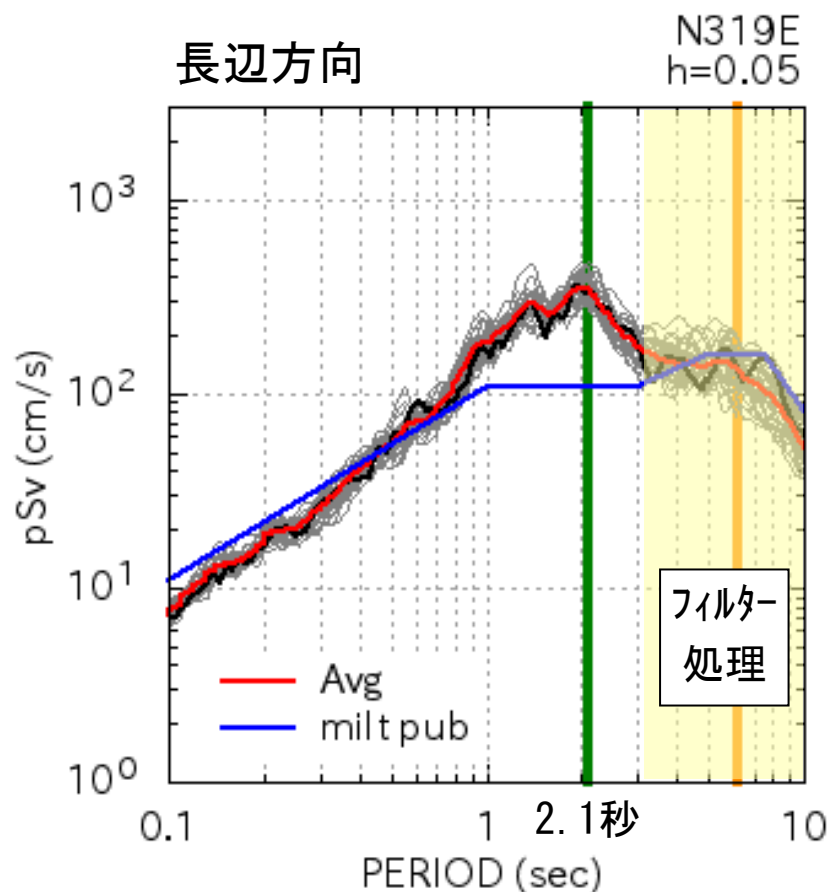
擬似速度応答スペクトル
(減衰定数5%)

最大クラス、中央破壊

○：咲洲庁舎の位置

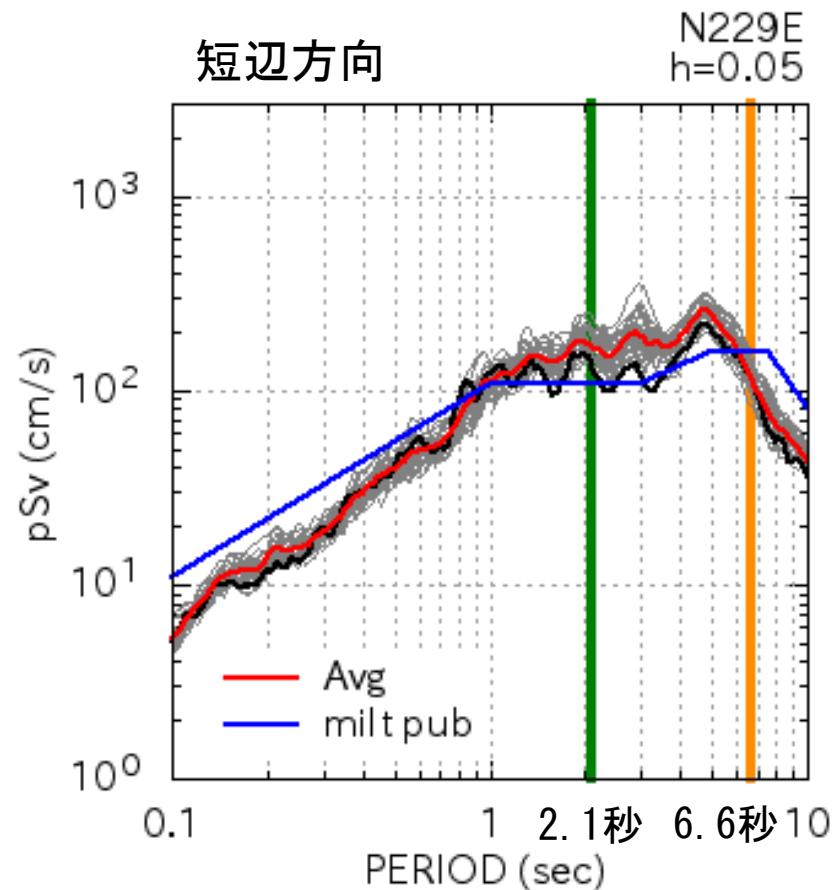
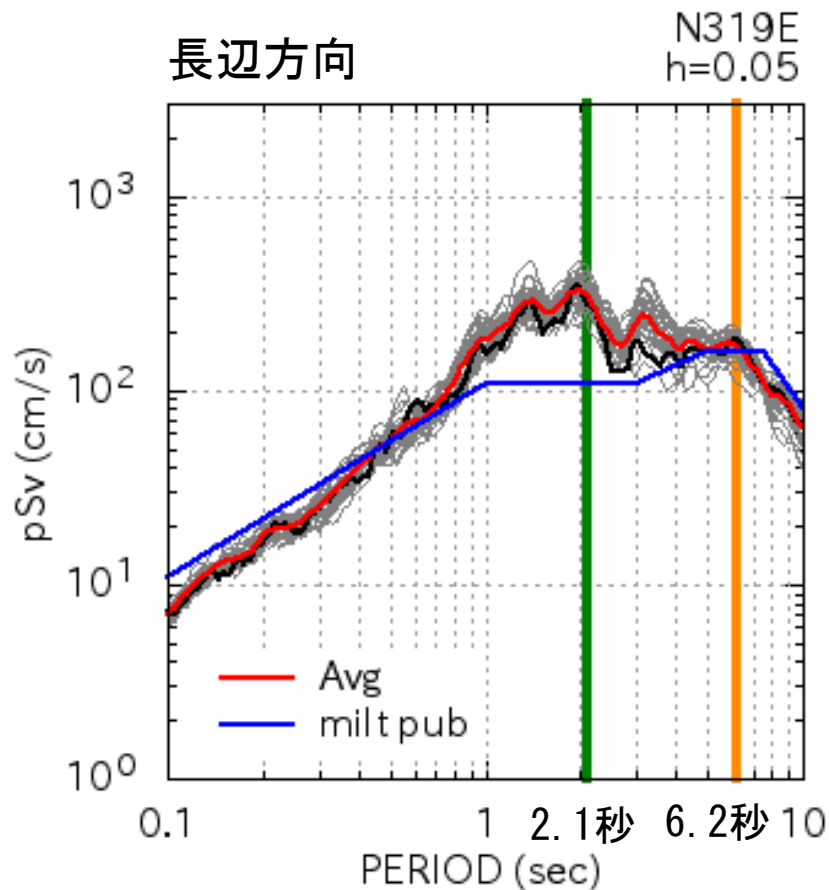
大阪湾岸部では概ね180~240cm/sec

短周期地震動作成結果 (擬似速度応答)



擬似速度応答スペクトル(短周期地震動、左：N319E成分、右：N229E成分、h=5%)
—：各ケース、—：揺らぎなし、—：平均、—：国交省パブコメ波(2015)

ハイブリット合成波作成結果 (擬似速度応答)

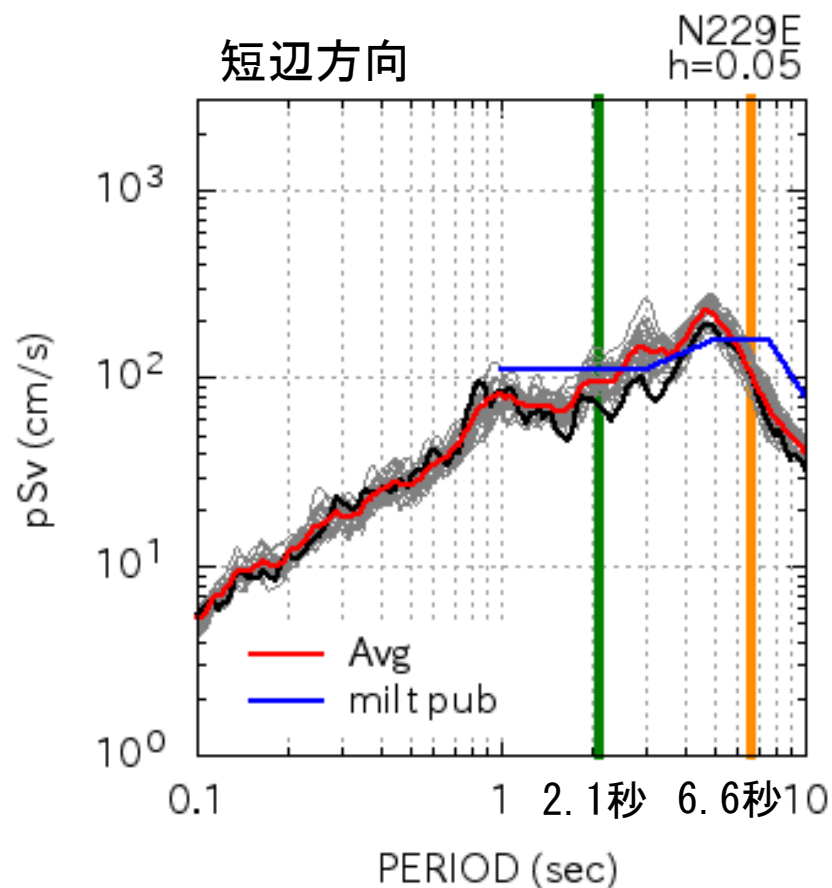
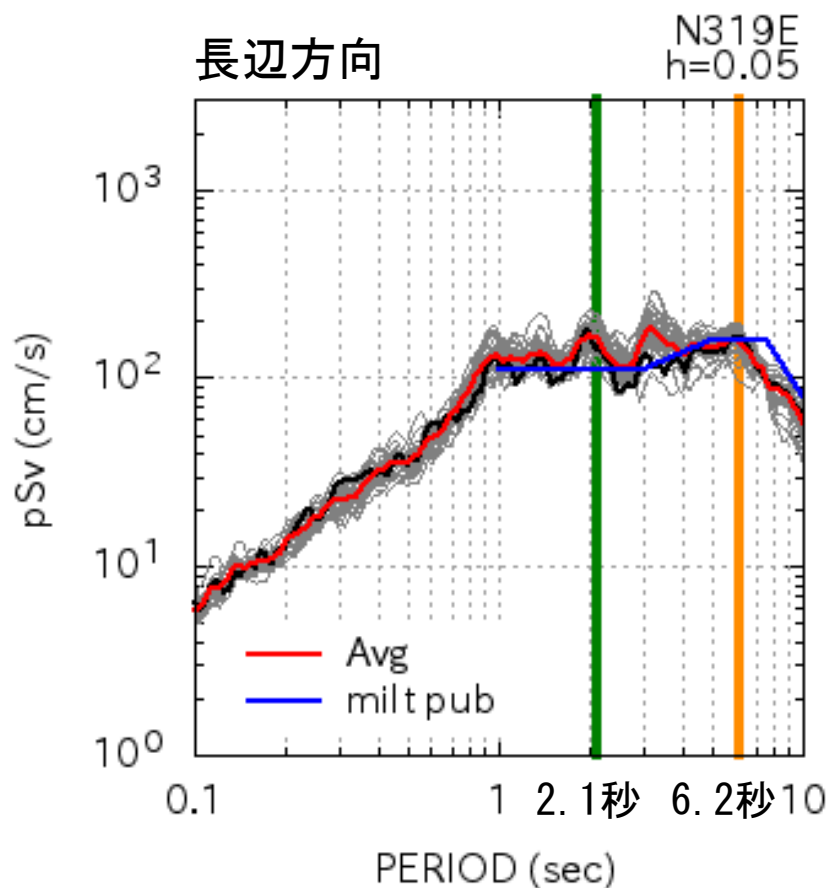


擬似速度応答スペクトル

(ハイブリット合成波、左：N319E成分、右：N229E成分、h=5%)

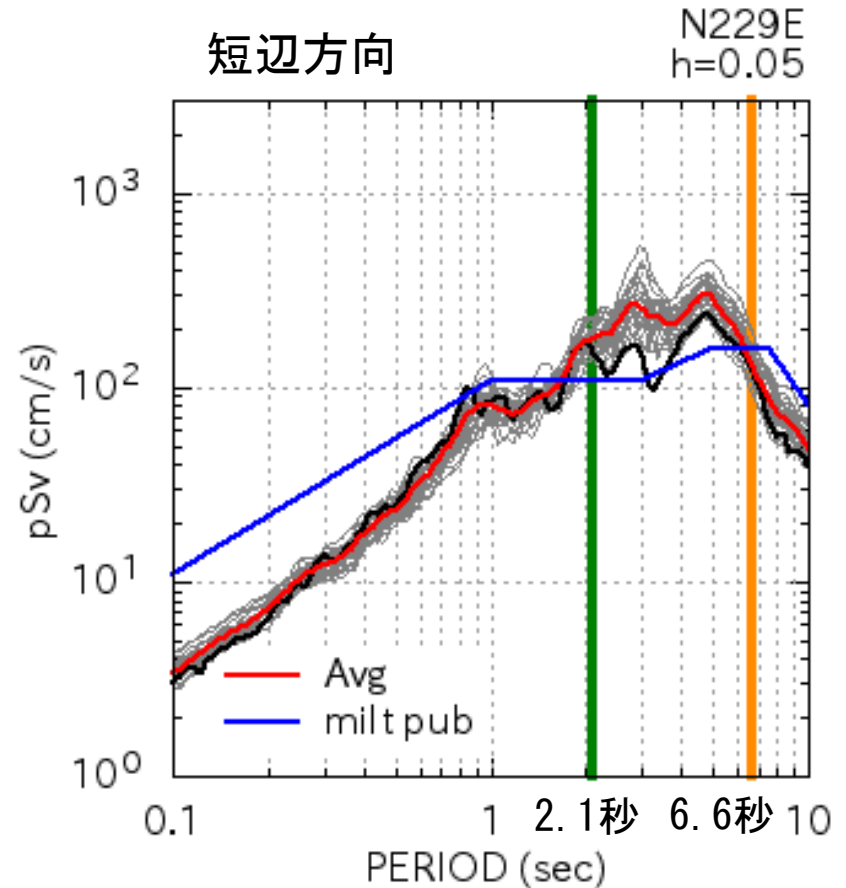
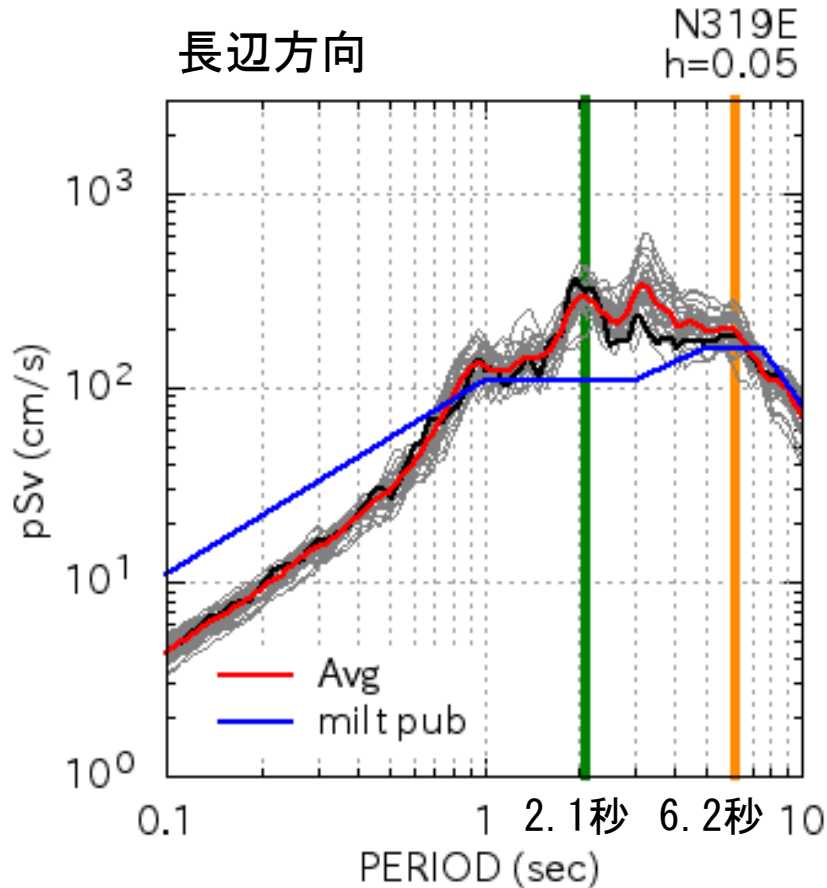
— : 各ケース、— : 揺らぎなし、— : 平均、— : 国交省パブコメ波(2015)

工学的基盤波作成結果 (擬似速度応答)



擬似速度応答スペクトル (工学的基盤波、左 : N319E成分、右 : N229E成分、h=5%)
 — : 各ケース、— : 揺らぎなし、— : 平均、— : 国交省パブコメ波(2015)

地表面等価線形波作成結果 (擬似速度応答)

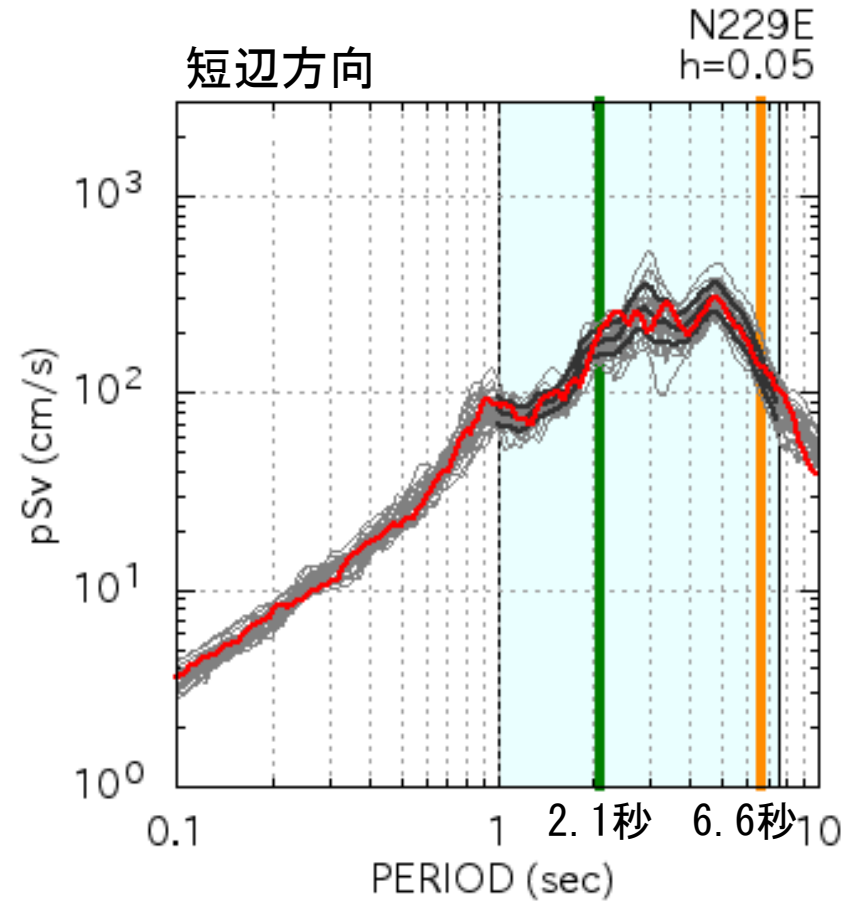
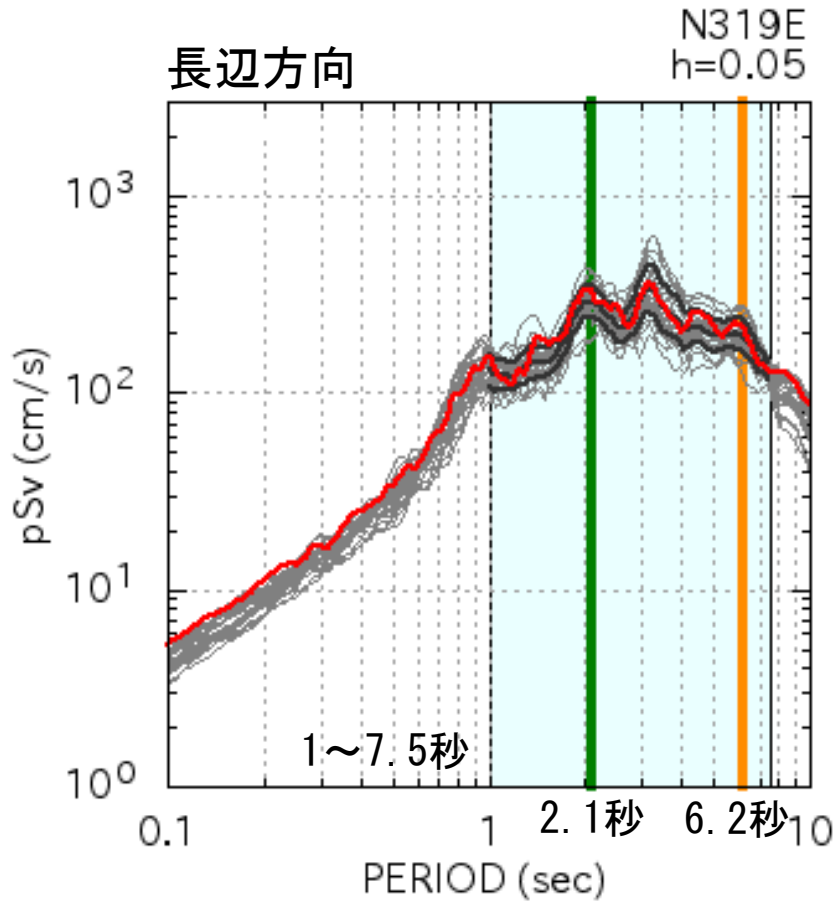


擬似速度応答スペクトル

(地表面等価線形波、左：N319E成分、右：N229E成分、h=5%)

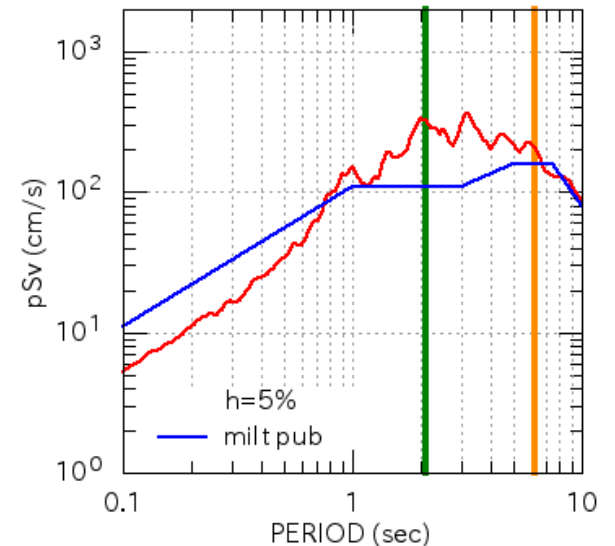
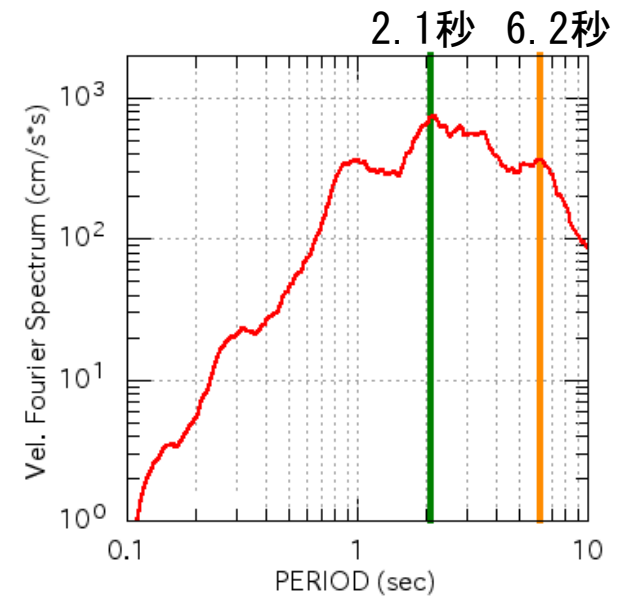
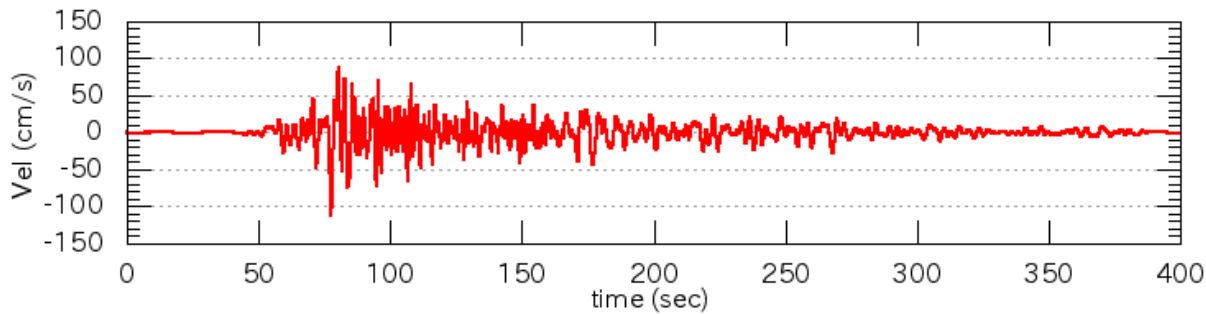
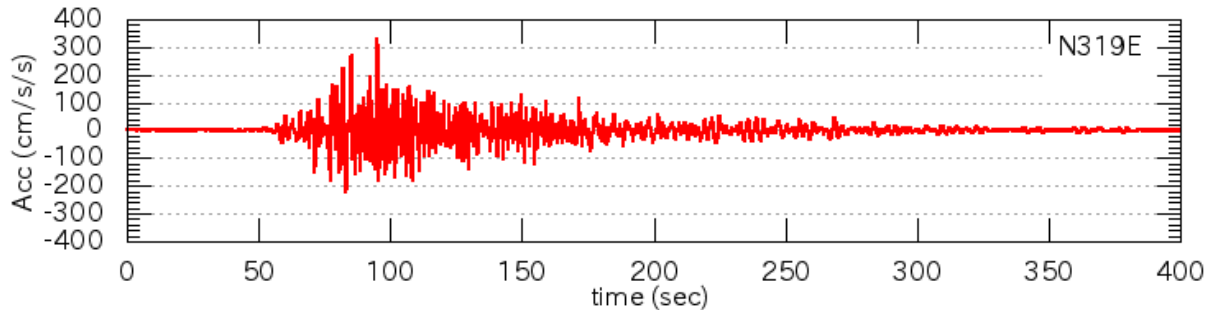
— : 各ケース、— : 揺らぎなし、— : 平均、— : 国交省パブコメ波(2015)

検討用地震波



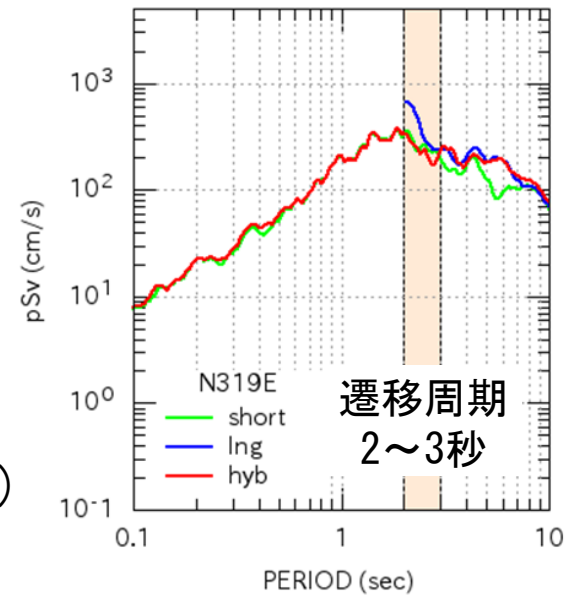
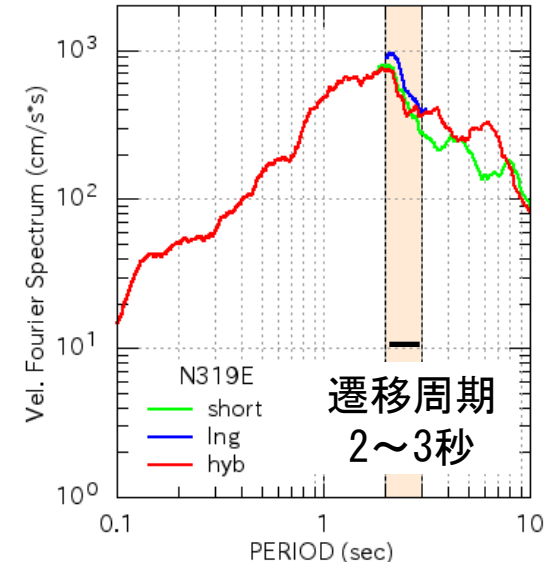
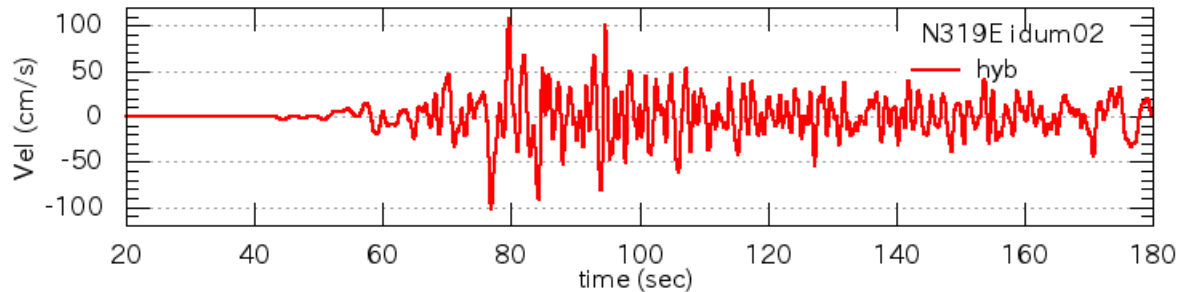
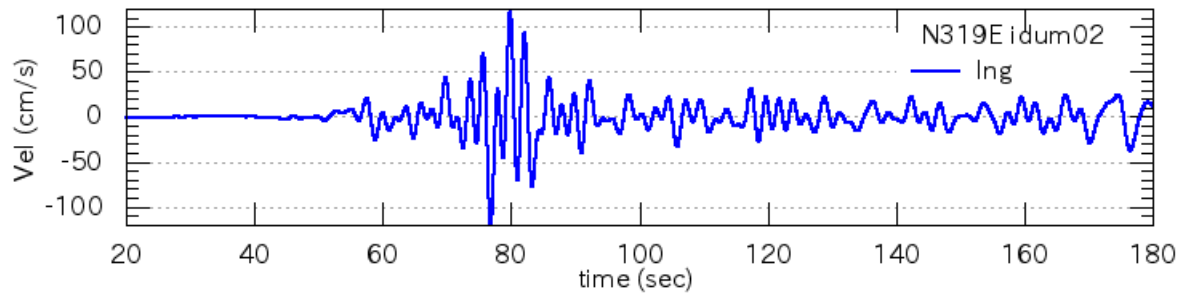
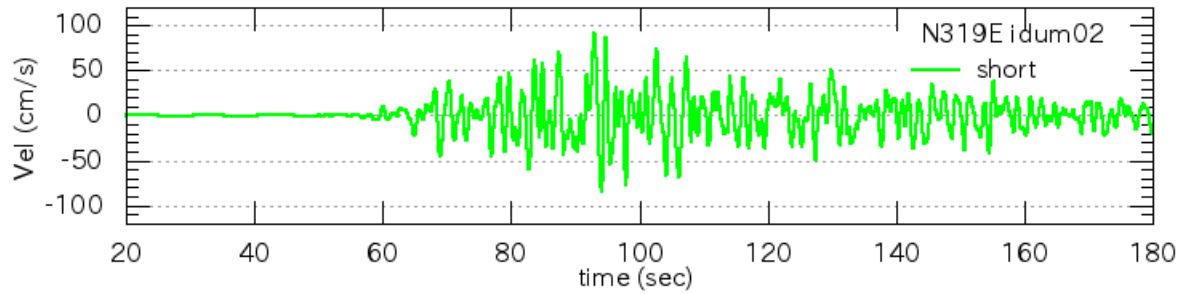
- : 各ケース (断層破壊過程の揺らぎ : 30通り)
- : 平均、平均±標準偏差
- : 検討用地震波

波形及びスペクトル (検討用地震波、N319E)



検討用地震波の波形と
フーリエスペクトル、擬似速度応答スペクトル
(地表面等価線形波、N319E)
— : 検討用地震波、— : 国交省パブコメ波 (2015)

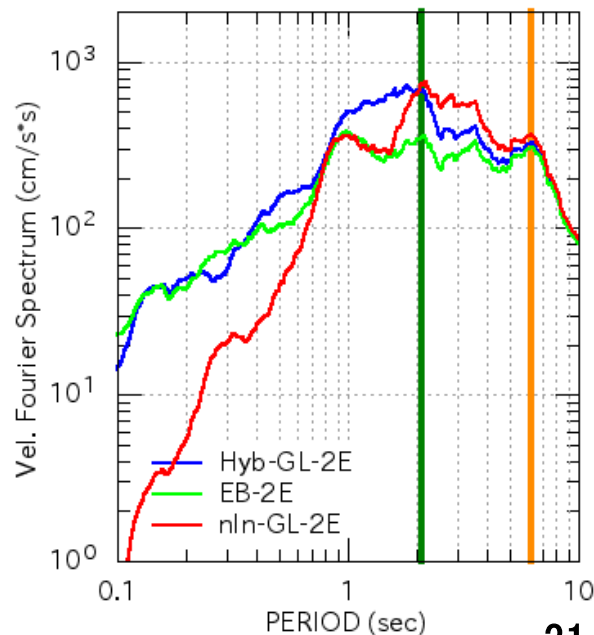
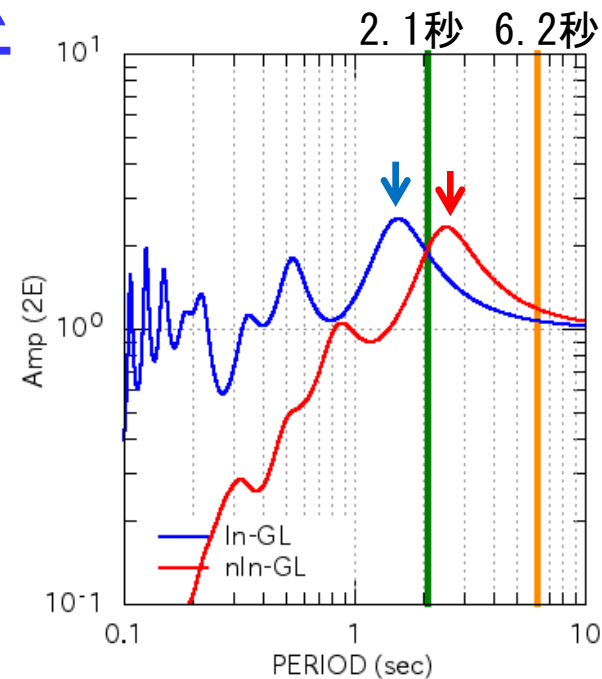
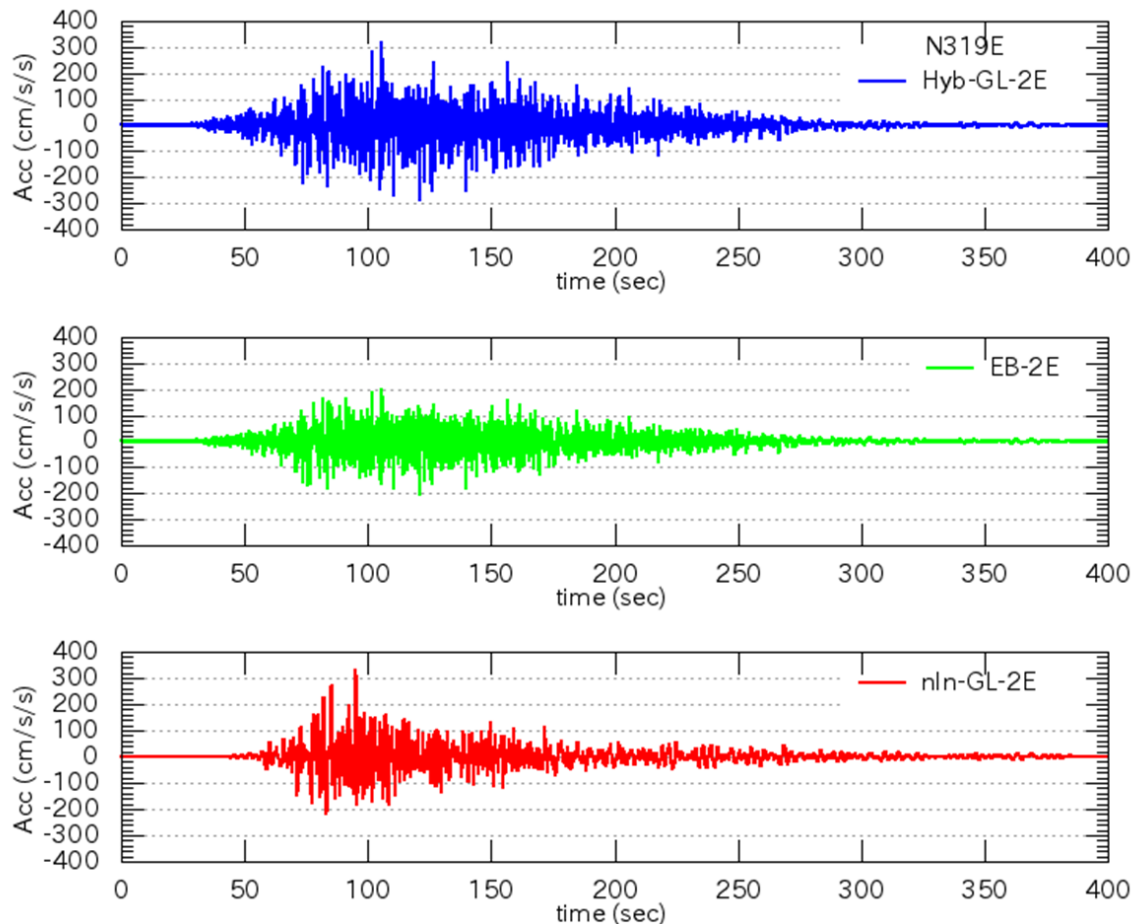
ハイブリッド合成過程 (検討用地震波、N319E)



速度波形 (上)、フーリエ (右上) と疑似速度応答スペクトル (右下)

- : 短周期地震動、 — : 長周期地震動、
- : ハイブリット合成地震動 (線形応答)

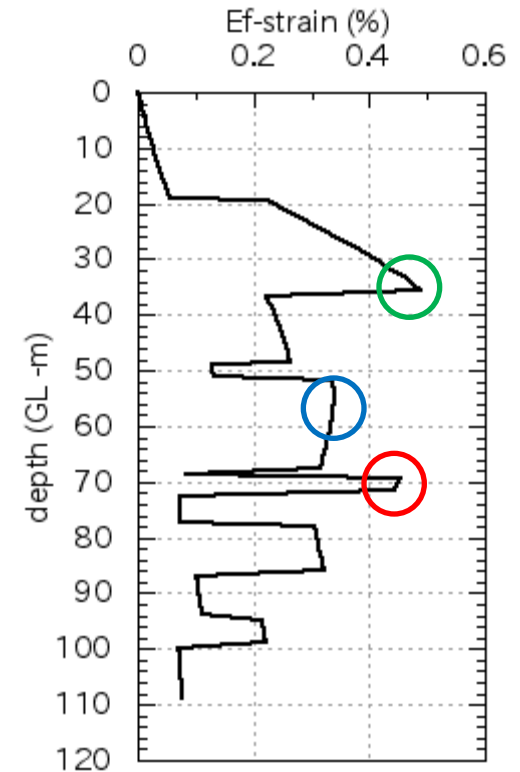
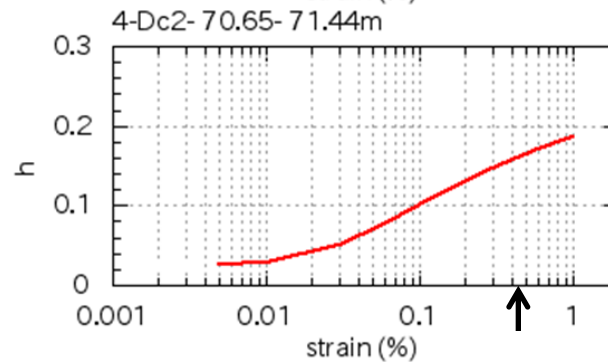
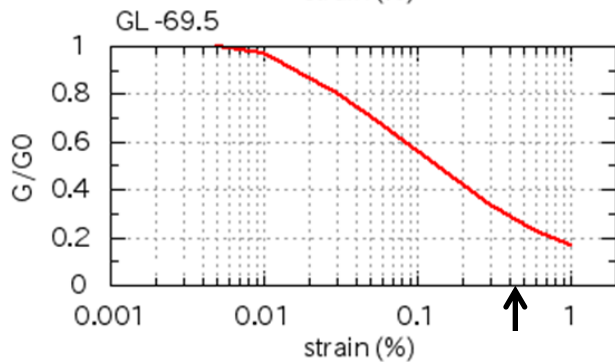
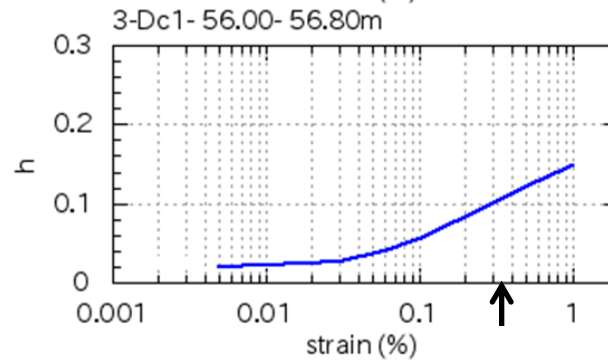
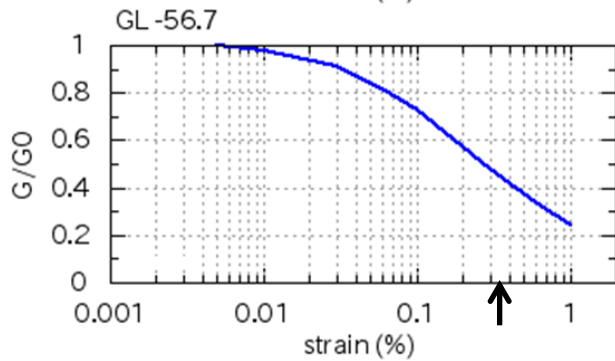
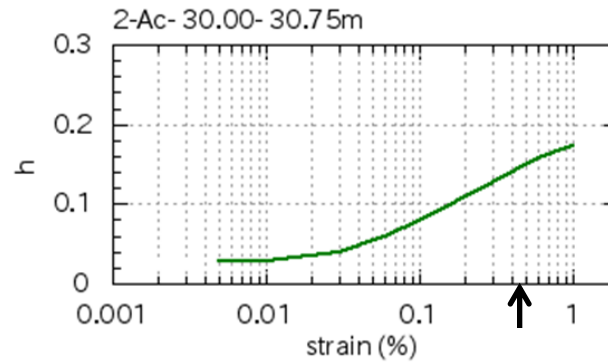
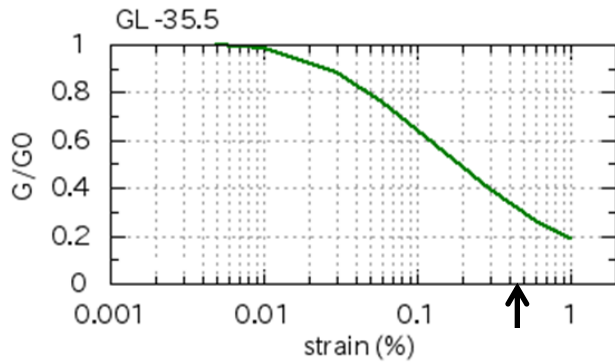
浅部地盤の地震応答解析 (検討用地震波、N319E)



地震動波形(上)と伝達関数(右上)、フーリエスペクトル(右下)

- : 地表線形応答、 — : 工学的基盤線形応答、
- : 地表等価線形応答

浅部地盤の地震応答解析 (検討用地震波、N319E)

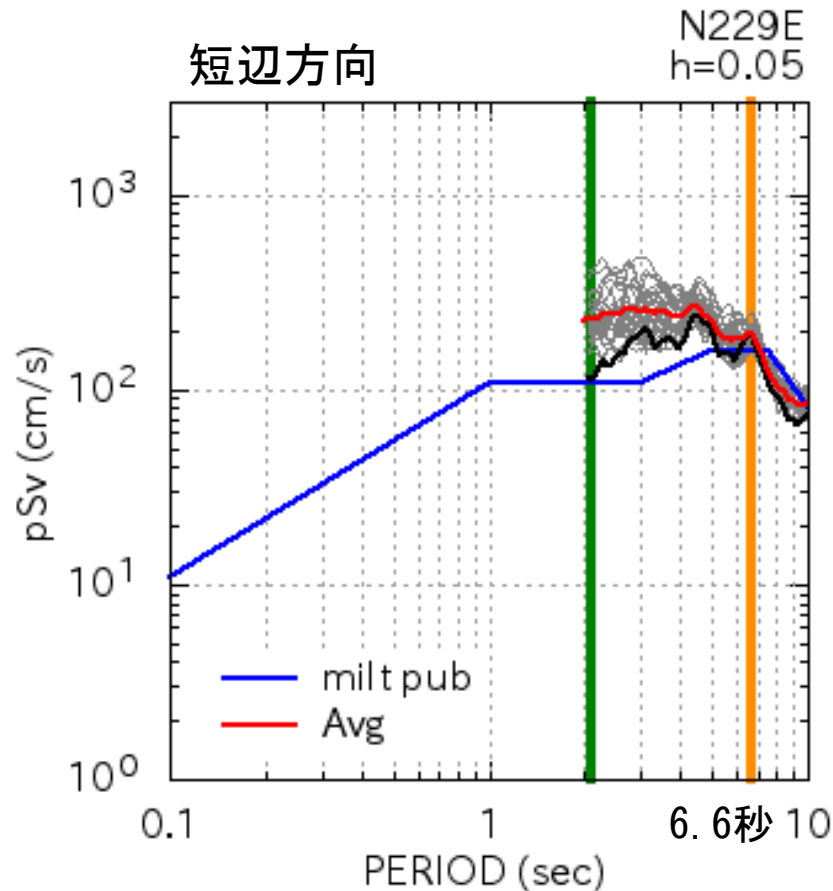
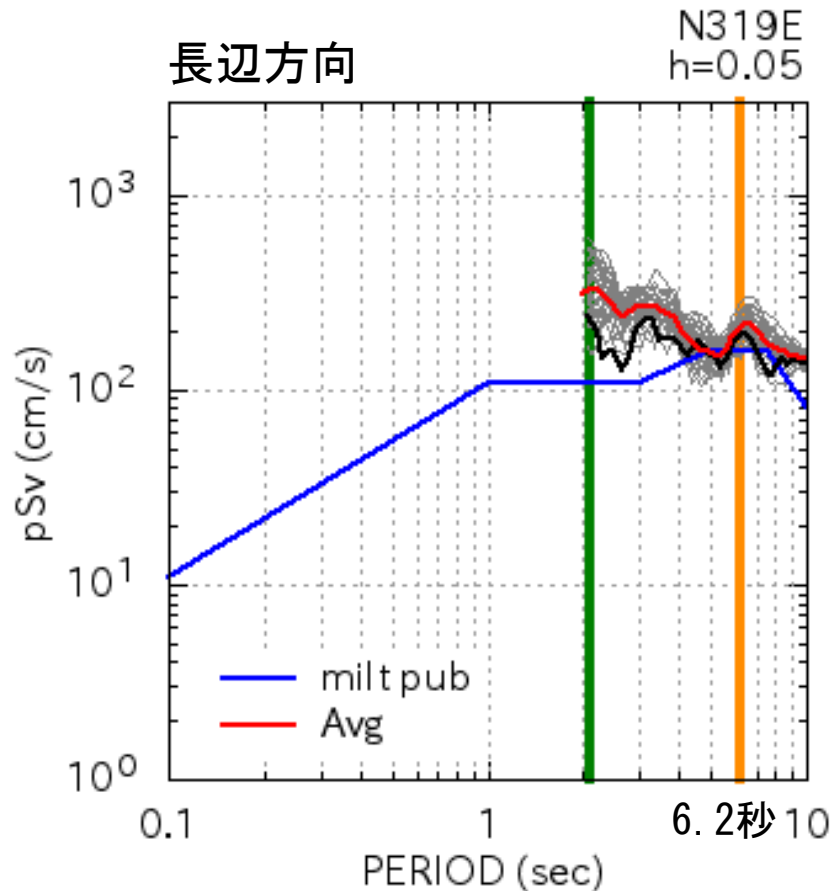


有効ひずみ分布と繰り返しせん断特性 (↑:有効ひずみ)

地震動作成結果（西破壊）

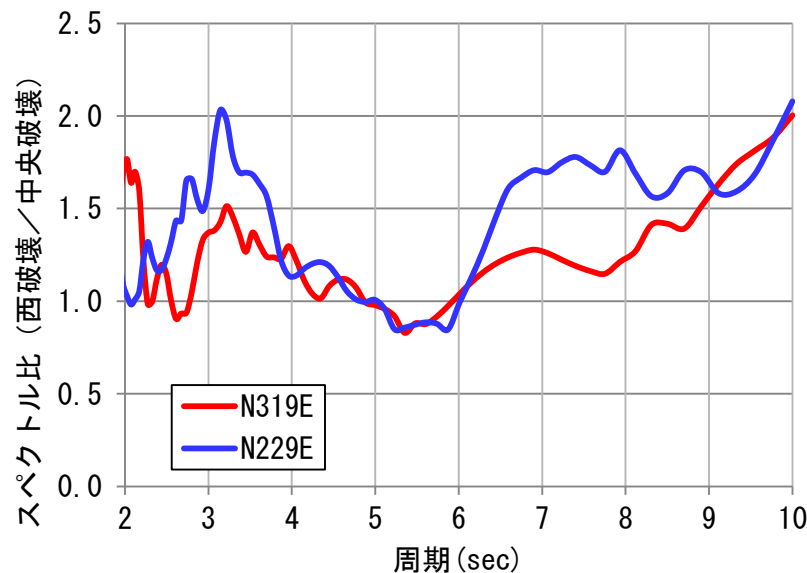
- * 長周期地震動（中央破壊とのスペクトル比）
 - 内閣府の結果との比較
- * 短周期地震動
- * ハイブリッド合成波（地表面、線形）
- * 工学的基盤波
- * 地表面等価線形波
- * 検討用地震波の詳細（N319E成分と例として）
 - ・ ハイブリッド合成過程
 - ・ 工学的基盤波
 - ・ 地表面等価線形波
 - ・ ひずみの鉛直分布

長周期地震動作成結果 (擬似速度応答)

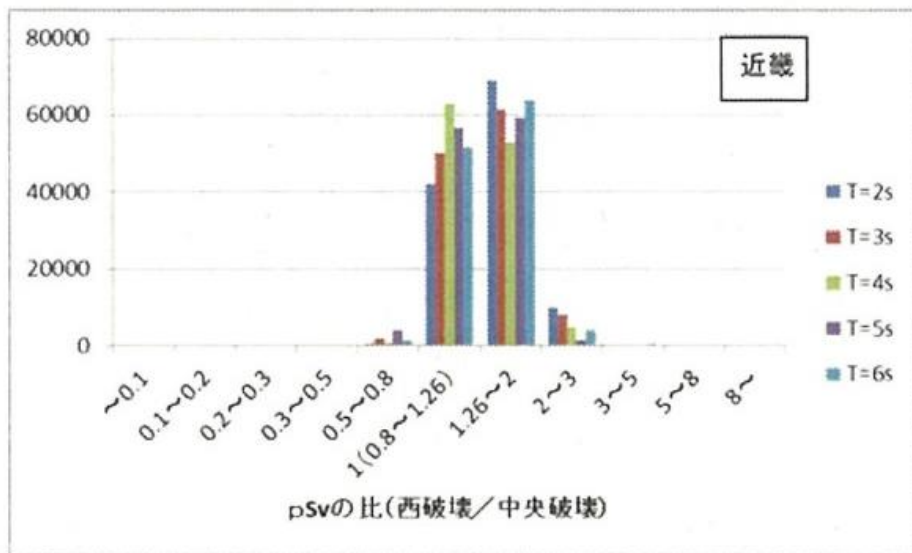


擬似速度応答スペクトル(長周期地震動、左 : N319E成分、右 : N229E成分、h=5%)
 — : 各ケース、— : 揺らぎなし、— : 平均、— : 国交省パブコメ波(2015)

中央破壊とのスペクトル比



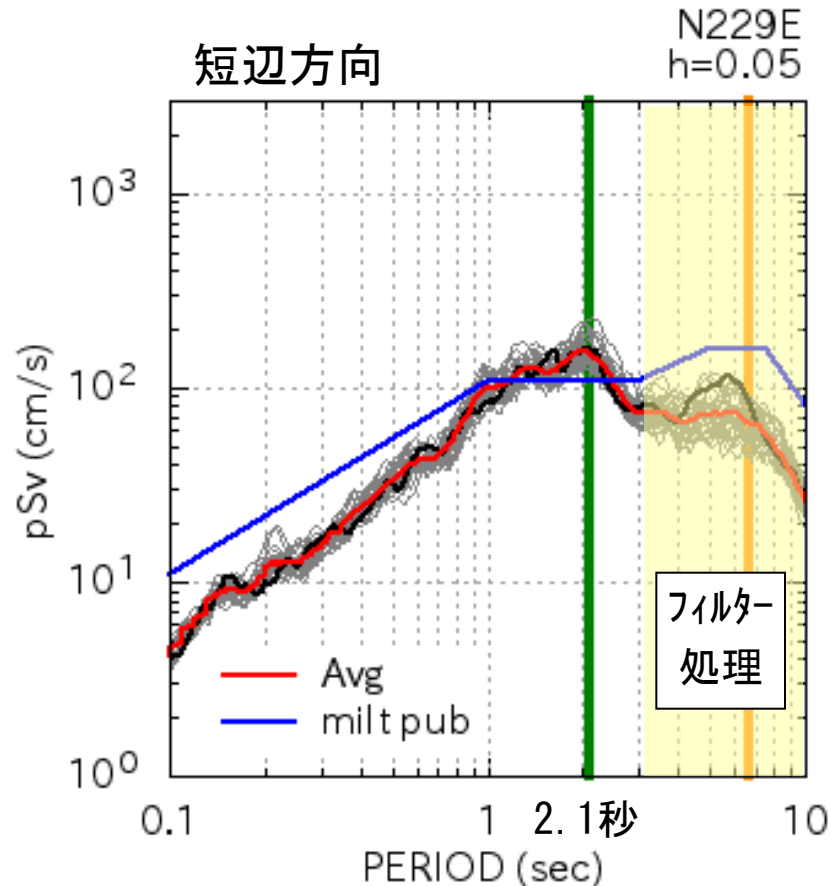
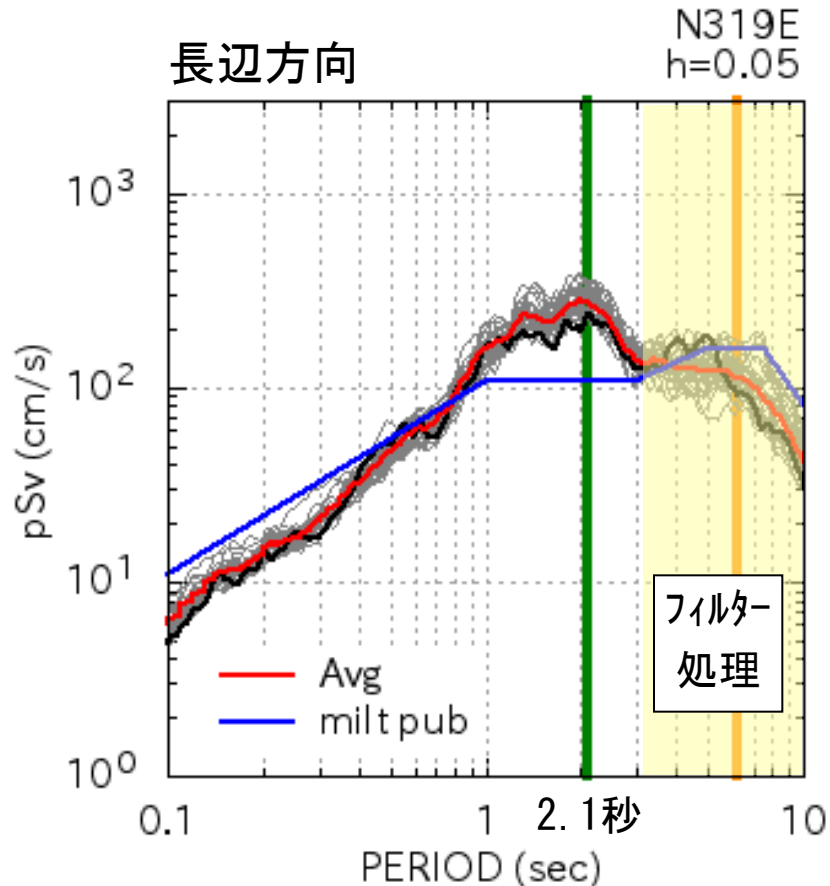
揺らぎなしモデル
の例



【内閣府の結果（左）】
擬似速度応答スペクトル比
（西破壊／中央破壊）
の地点数分布

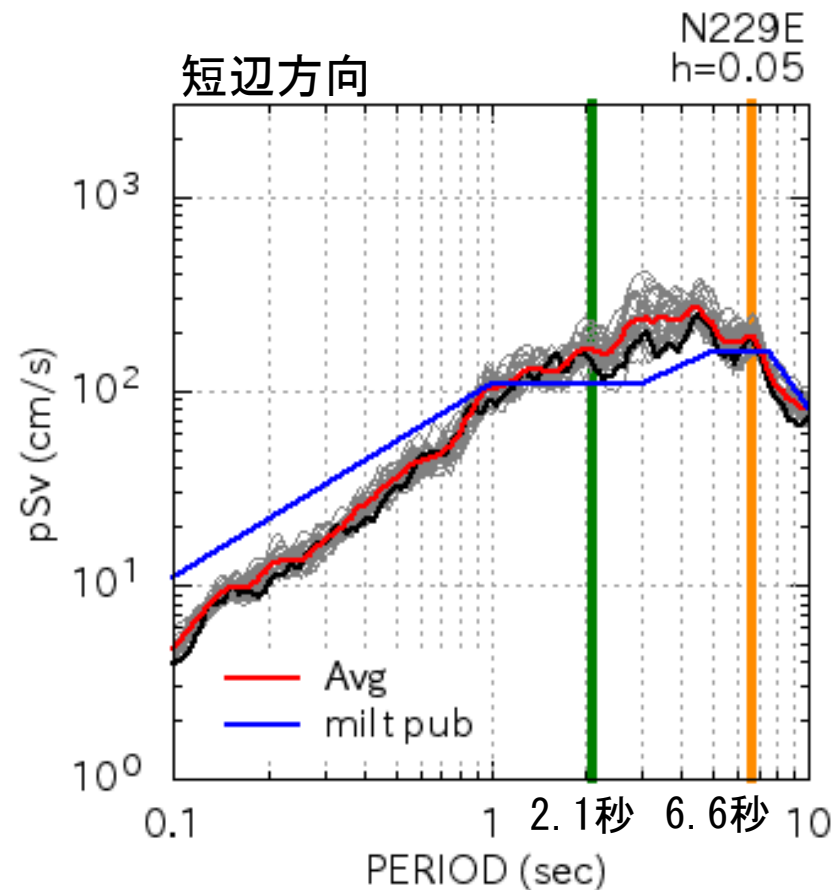
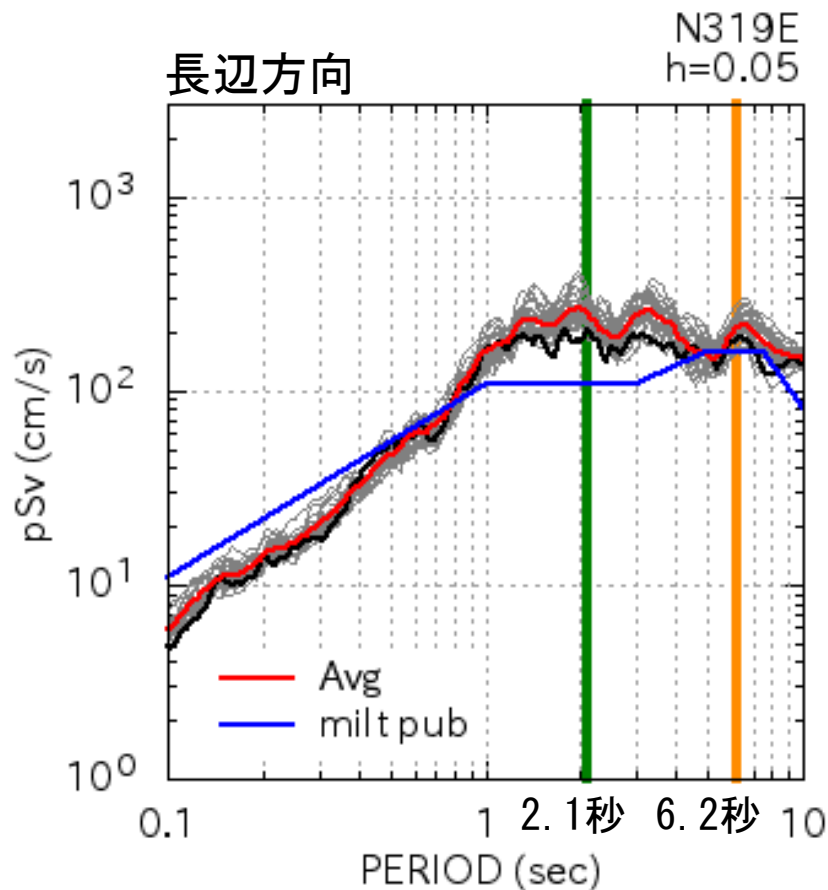
横軸：スペクトル比
縦軸：地点数
色：応答スペクトルの周期

短周期地震動作成結果 (擬似速度応答)



擬似速度応答スペクトル(短周期地震動、左：N319E成分、右：N229E成分、h=5%)
 —：各ケース、—：揺らぎなし、—：平均、—：国交省パブコメ波(2015)

ハイブリット合成波作成結果 (擬似速度応答)

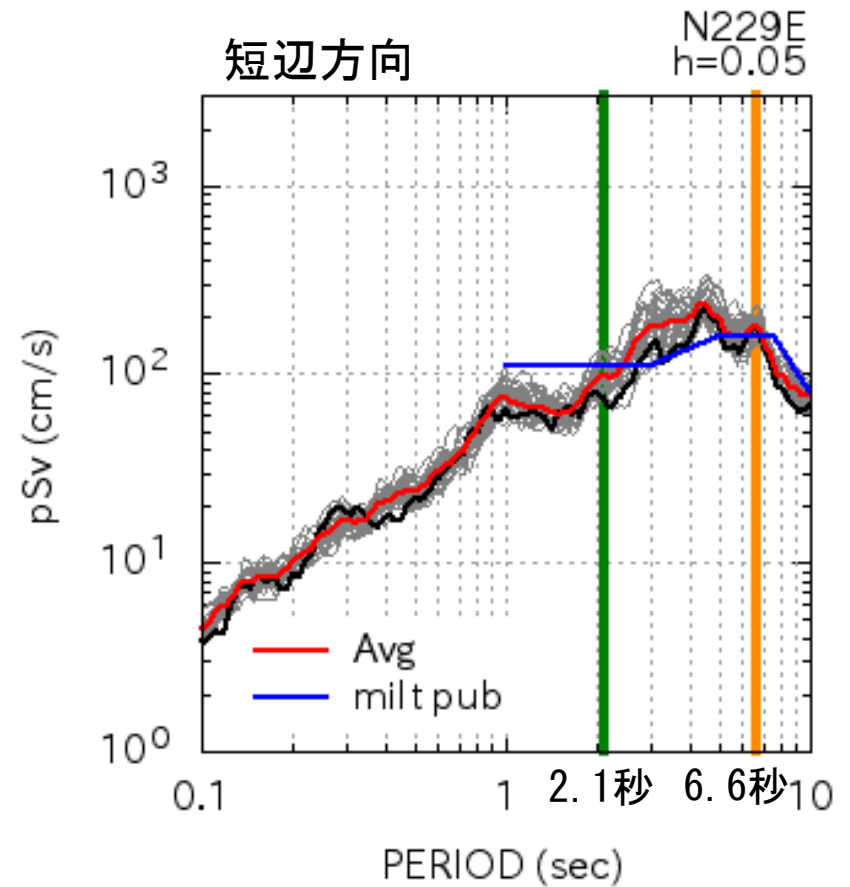
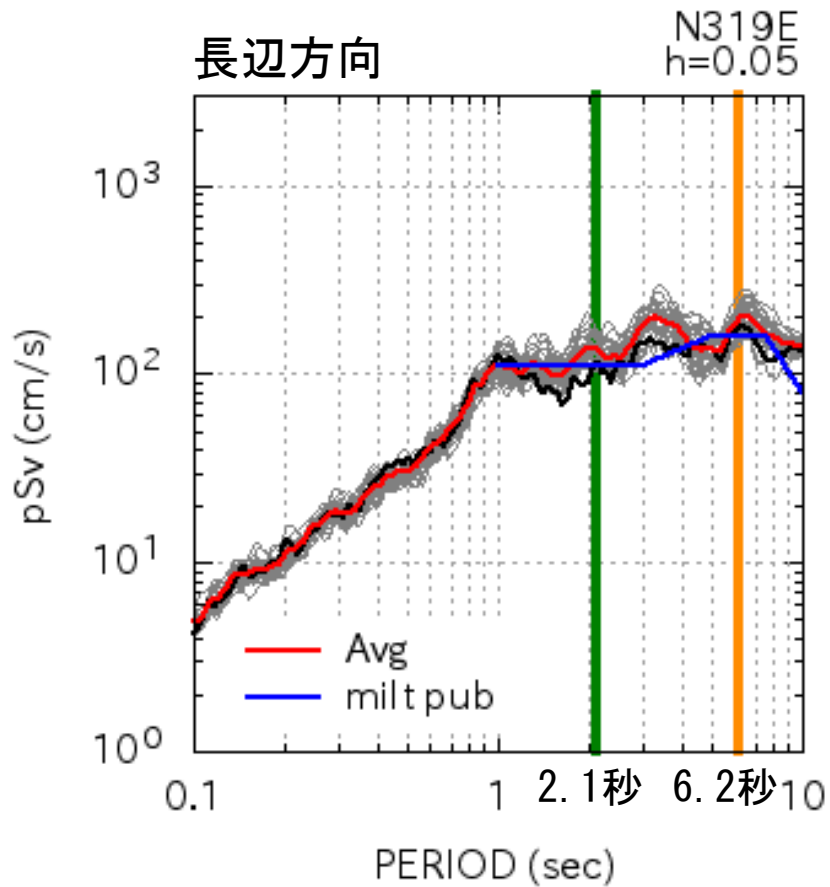


擬似速度応答スペクトル

(ハイブリット合成波、左：N319E成分、右：N229E成分、h=5%)

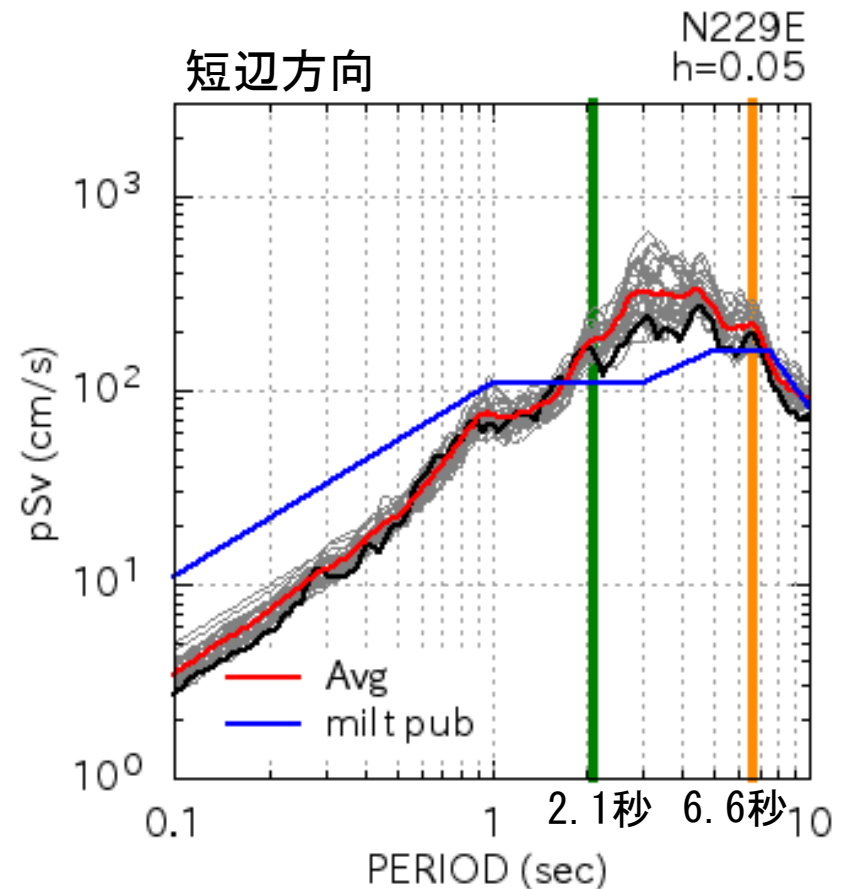
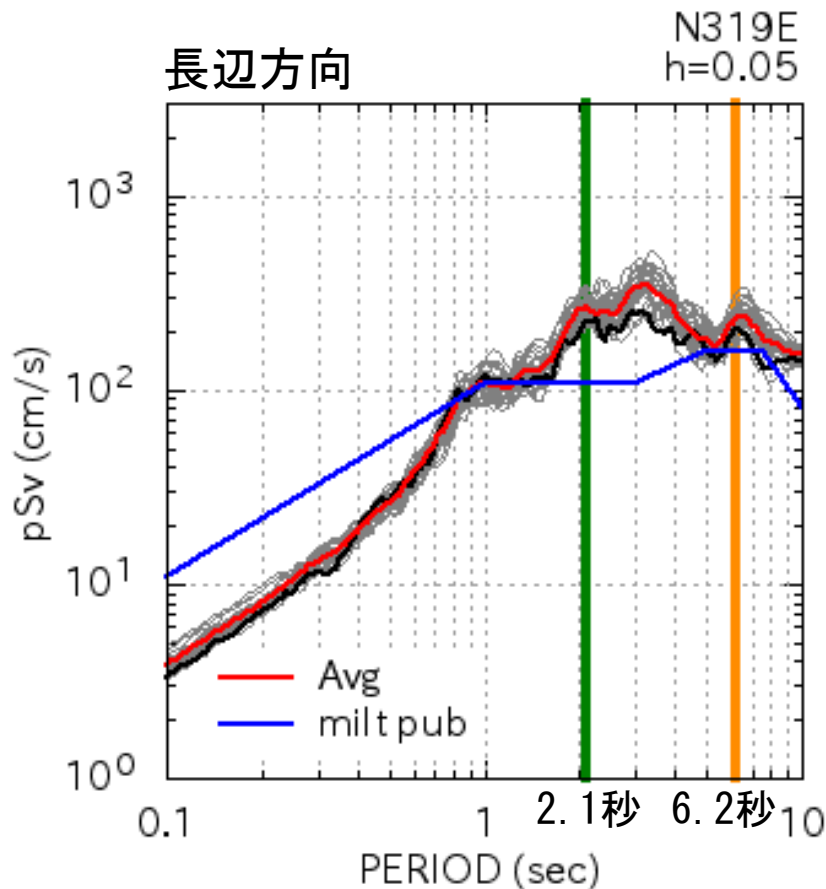
— : 各ケース、— : 揺らぎなし、— : 平均、— : 国交省パブコメ波(2015)

工学的基盤波作成結果 (擬似速度応答)



擬似速度応答スペクトル (工学的基盤波、左 : N319E成分、右 : N229E成分、h=5%)
— : 各ケース、— : 揺らぎなし、— : 平均、— : 国交省パブコメ波(2015)

地表面等価線形波作成結果 (擬似速度応答)

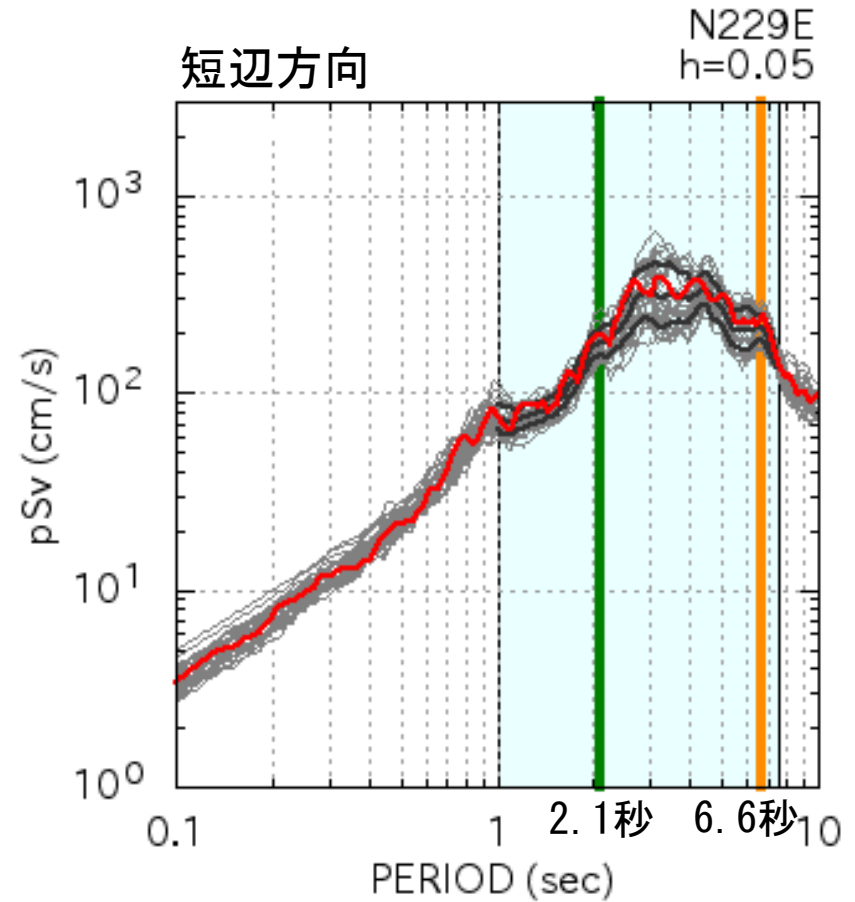
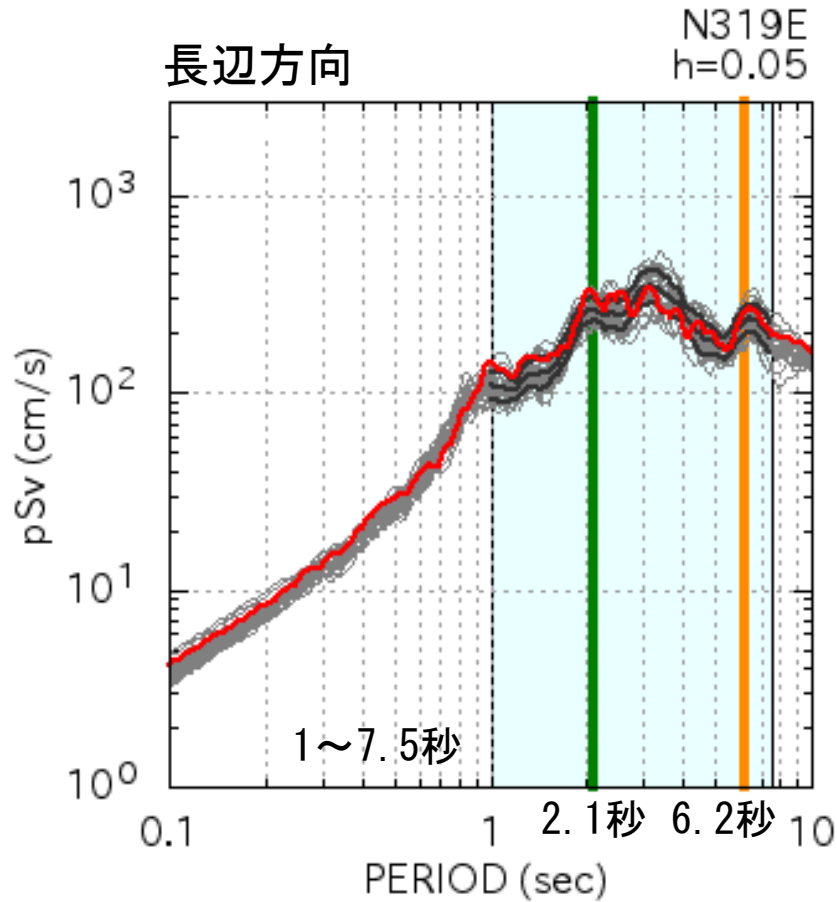


擬似速度応答スペクトル

(地表面等価線形波、左：N319E成分、右：N229E成分、h=5%)

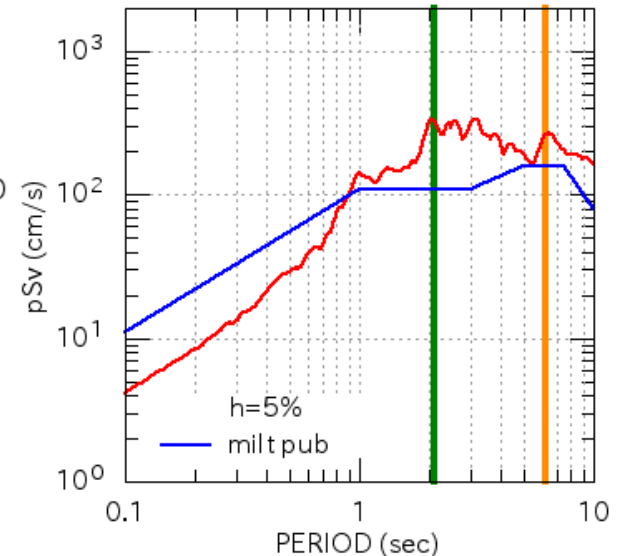
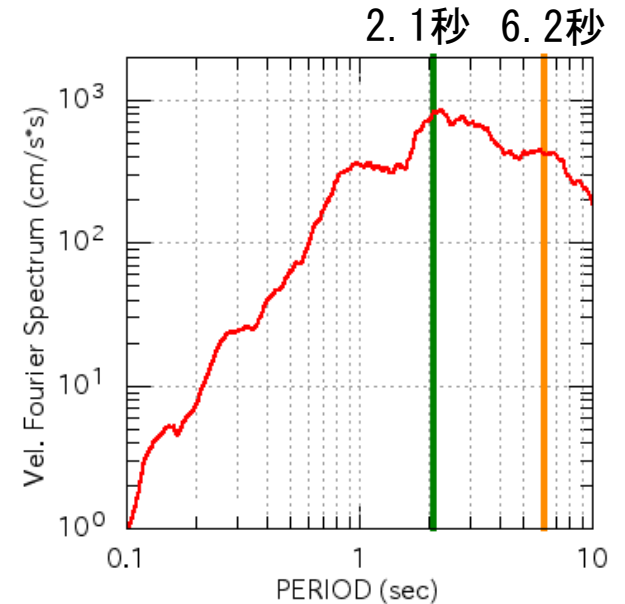
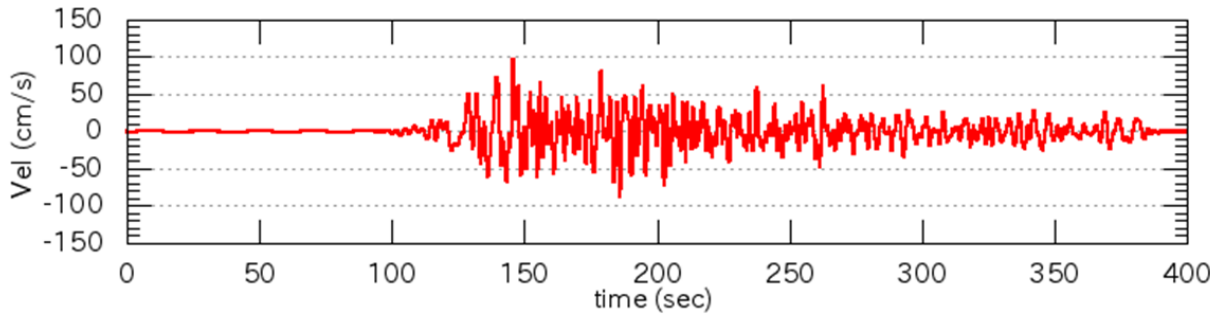
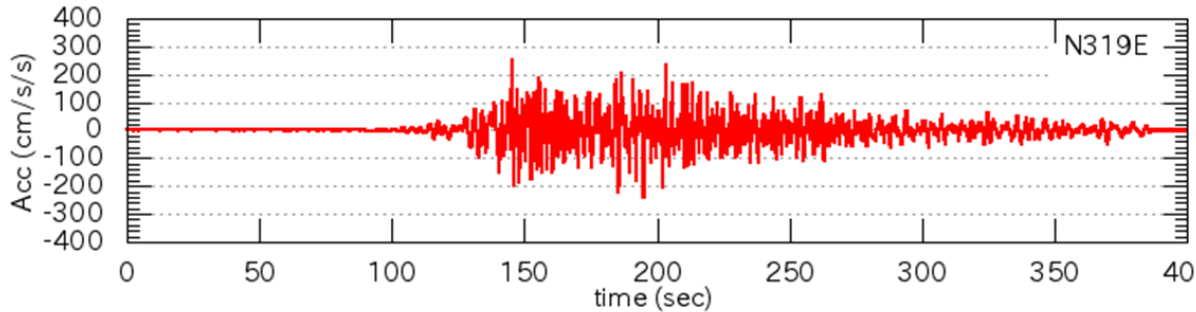
—：各ケース、—：揺らぎなし、—：平均、—：国交省パブコメ波(2015)

検討用地震波



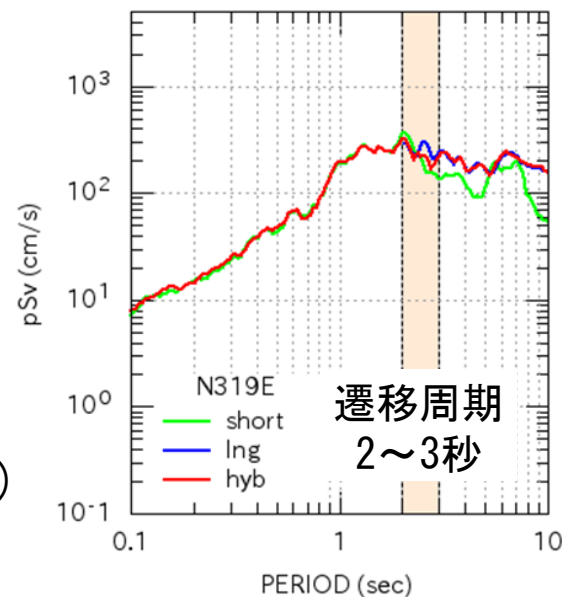
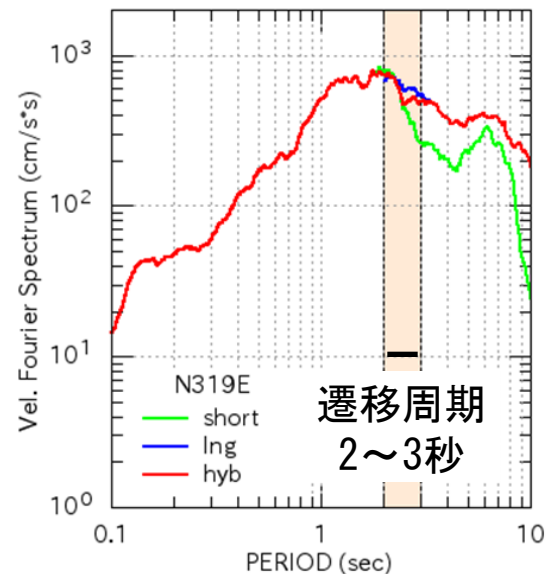
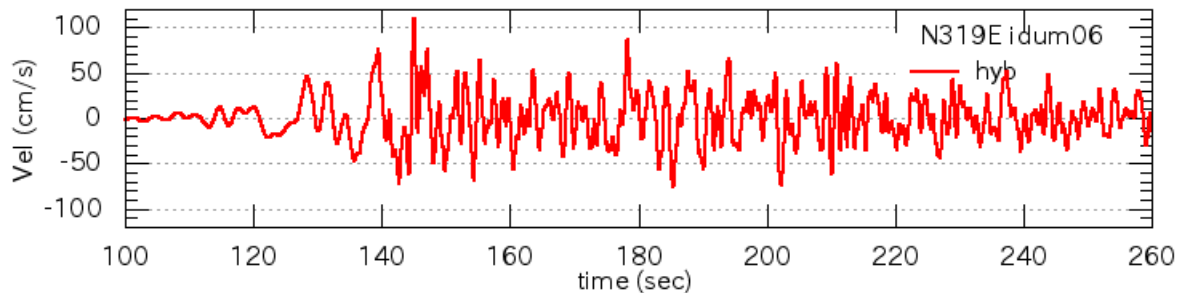
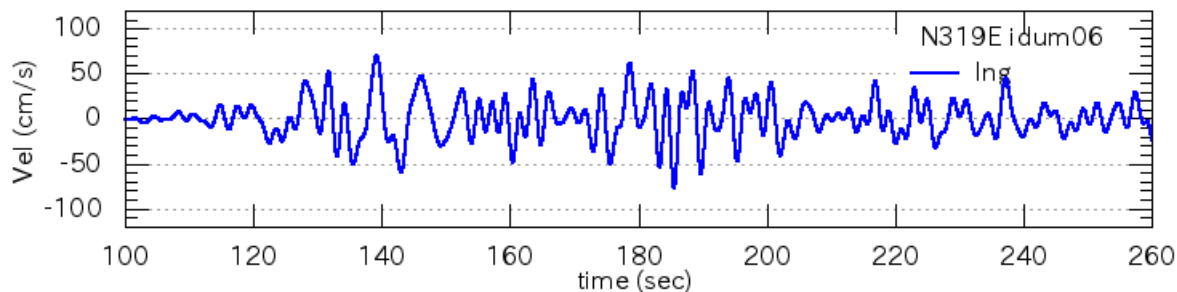
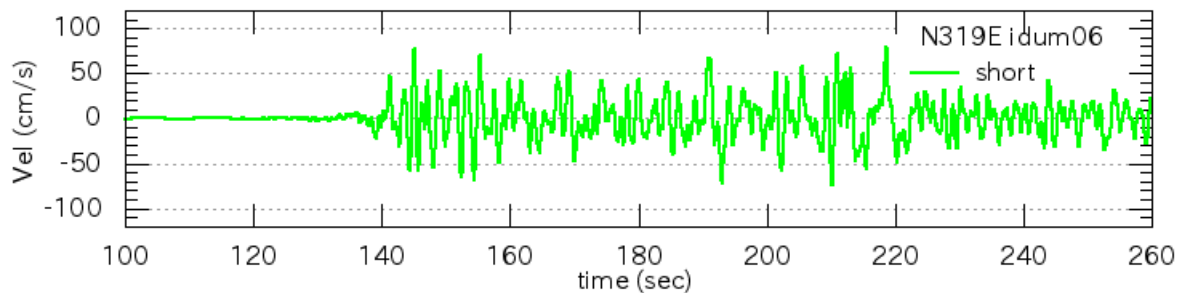
- : 各ケース（断層破壊過程の揺らぎ：30通り）
- : 平均、平均±標準偏差
- : 検討用地震波

波形及びスペクトル (検討用地震波、N319E)



検討用地震波の波形と
フーリエスペクトル、擬似速度応答スペクトル
(地表面等価線形波、N319E)
— : 検討用地震波、— : 国交省パブコメ波(2015)

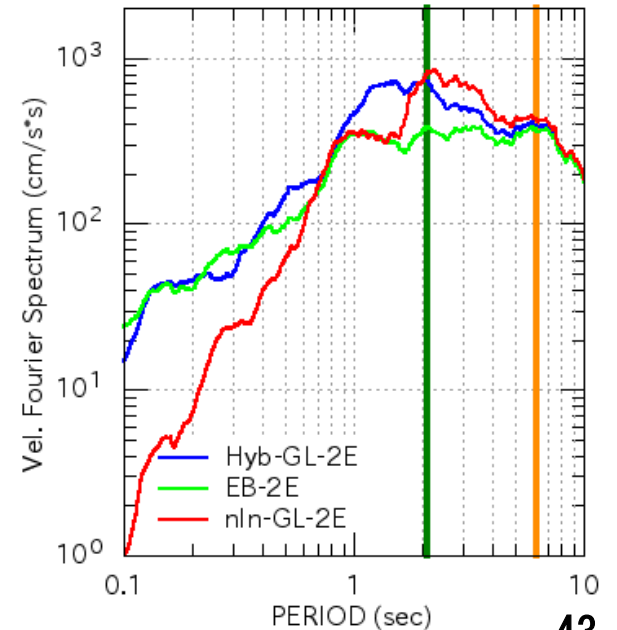
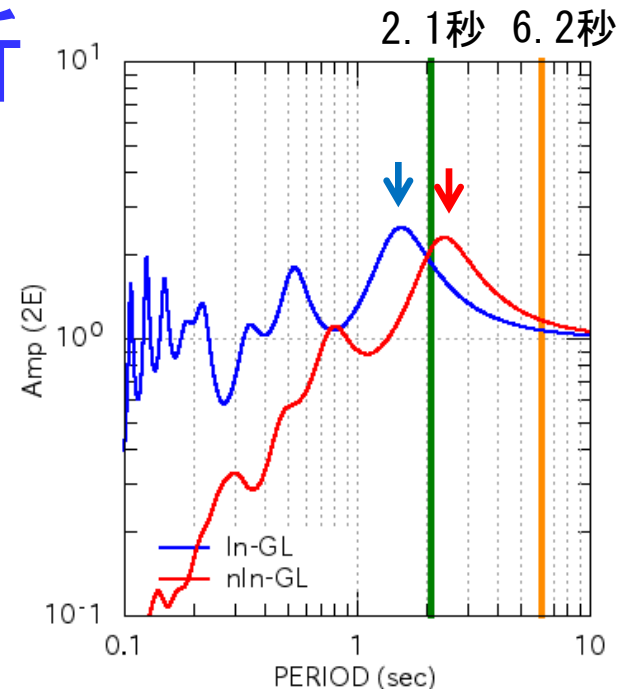
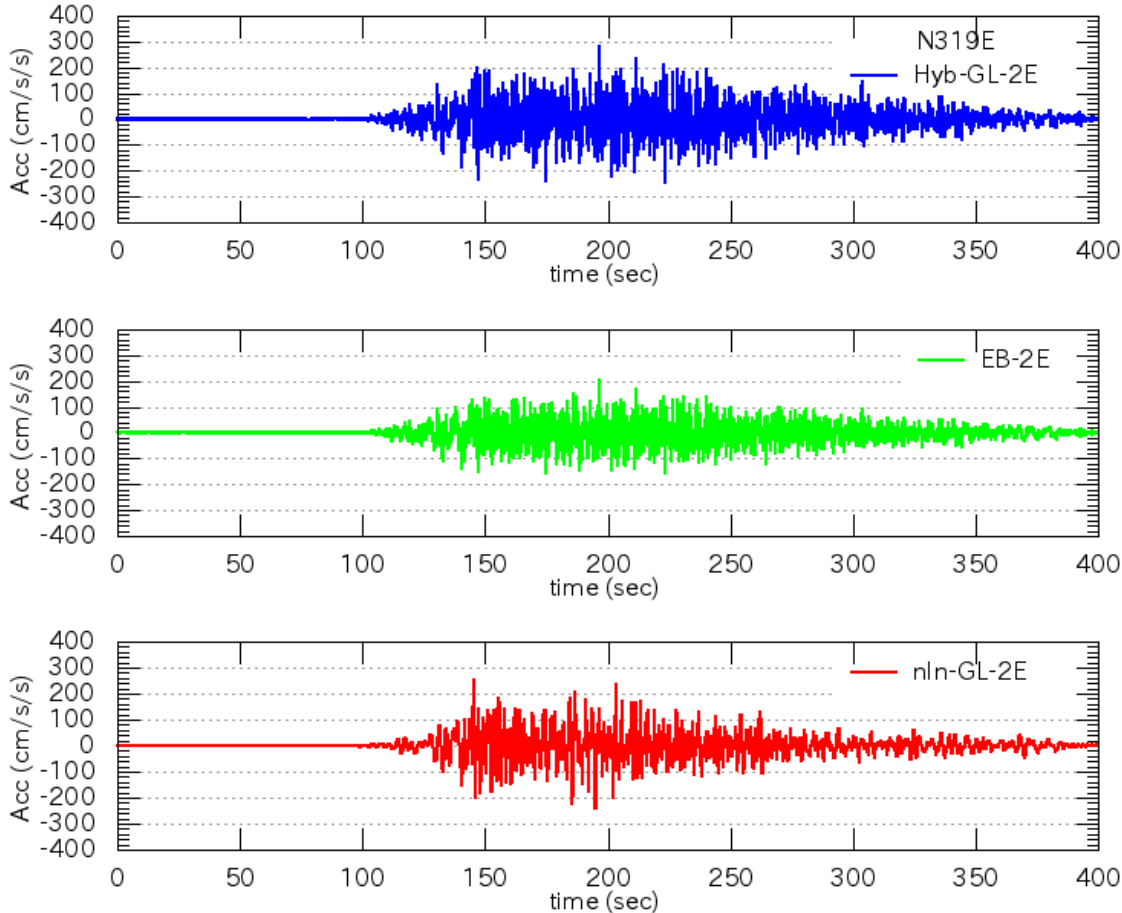
ハイブリッド合成過程 (検討用地震波、N319E)



速度波形 (上)、フーリエ (右上) と疑似速度応答スペクトル (右下)

- : 短周期地震動、— : 長周期地震動、
- : ハイブリッド合成地震動 (線形応答)

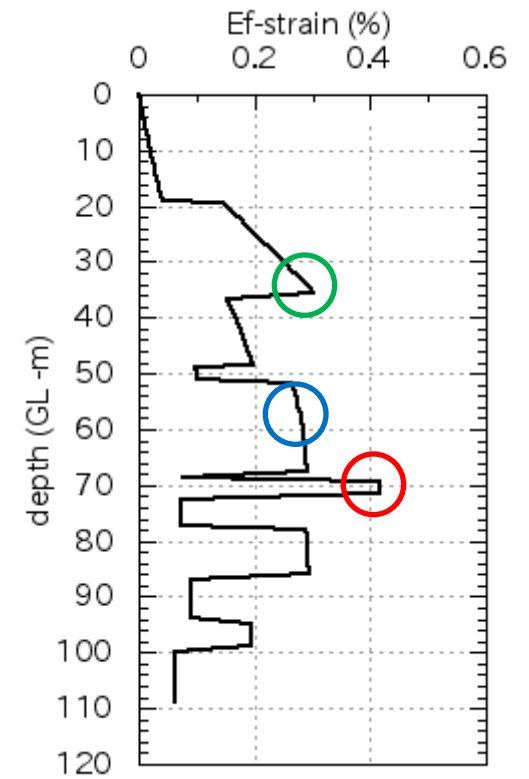
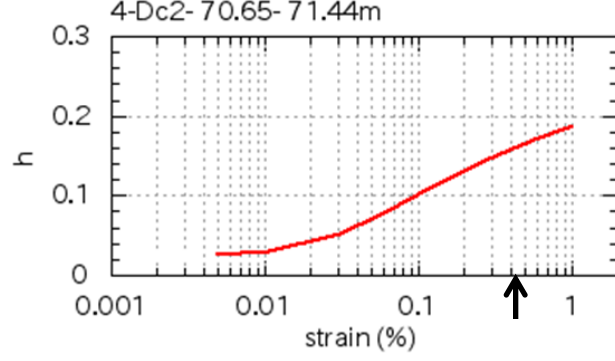
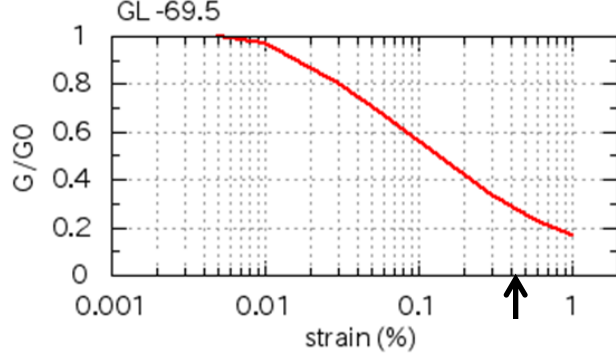
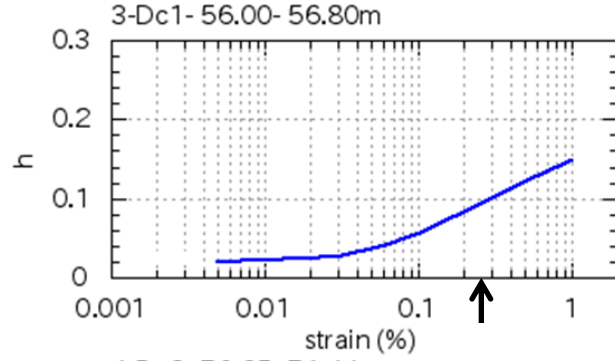
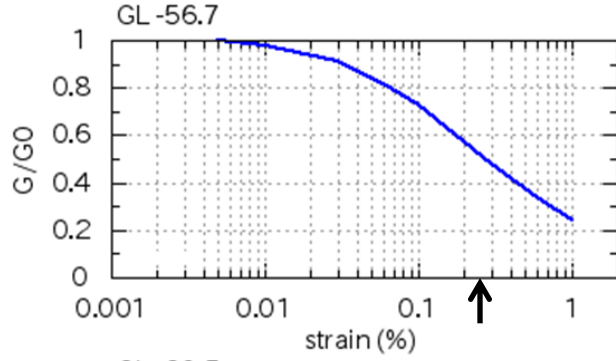
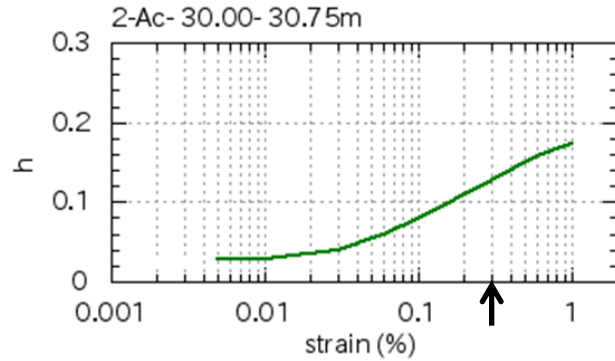
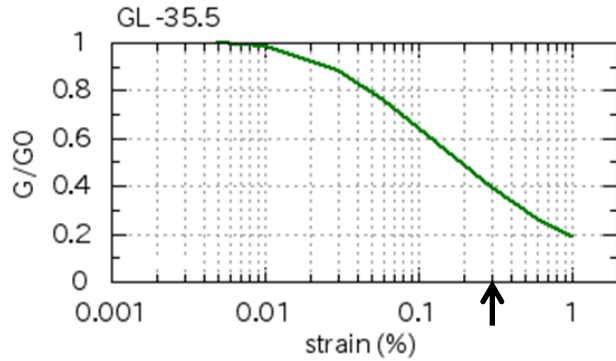
浅部地盤の地震応答解析 (検討用地震波、N319E)



地震動波形(上)と伝達関数(右上)、フーリエスペクトル(右下)

- : 地表線形応答、 — : 工学的基盤線形応答、
- : 地表等価線形応答

浅部地盤の地震応答解析 (検討用地震波、N319E)



有効ひずみ分布と繰り返しせん断特性 (↑:有効ひずみ)

まとめ (1)

- * 内閣府の知見に基づき、断層および地盤構造モデルを作成した。
- * 大阪堆積盆地構造については、複数モデルの比較や観測記録とシミュレーションの地中／地表スペクトル比の整合性からIwaki and Iwata (2011)を採用した。
- * 関口・ほか(2006)に倣い、断層すべり量および破壊開始時刻に揺らぎを与えたモデルを作成した。
- * ハイブリッド法(統計的グリーン関数法+3次元差分法)により、地震動を作成した。(破壊開始点：中央と西側)
- * 差分計算による擬似速度応答スペクトルの平均は内閣府の検討結果と概ね調和的である。
- * 差分計算による地表/地中スペクトル比は周期5～6秒が卓越し、10～20倍程度となる。これらは観測記録のスペクトル比と概ね整合する。

まとめ (2)

- * N319E成分とN229E成分の卓越周期が異なる観測記録もある。
- * 中央破壊に対する西破壊の擬似速度応答スペクトル比は、内閣府の検討結果と調和的である。
- * 断層すべり量および破壊開始時刻に揺らぎを与えた結果のうち、平均的なものを建物の検討用地震波とした。
- * 建物の検討用地震波は、国土交通省のパブコメ波の擬似速度応答スペクトルを、1秒以上の周期帯で上回っている。
- * 浅部地盤について地震応答解析を行った結果、0.5%程度の有効ひずみが生じ、伝達関数の卓越周期の長周期化、短周期成分の減衰および長周期成分の増幅が確認された。

終了