

女川原子力発電所
基準地震動の策定のうち
海洋プレート内地震について
(補足説明資料)

平成27年1月9日
東北電力株式会社

目次

1. 2011年4月7日宮城県沖の地震の シミュレーションモデルを用いた検討	2
2. 2011年4月7日宮城県沖の地震の はぎとり解析について	24

目次

1. 2011年4月7日宮城県沖の地震の
シミュレーションモデルを用いた検討
2. 2011年4月7日宮城県沖の地震のはざとり解析について

1. 2011年4月7日宮城県沖の地震のシミュレーションモデルを用いた検討

1.1 検討の考え方

■ 2011年4月7日宮城県沖の地震(4.7地震)の不確かさについてシミュレーションモデルに基づき整理を行った。

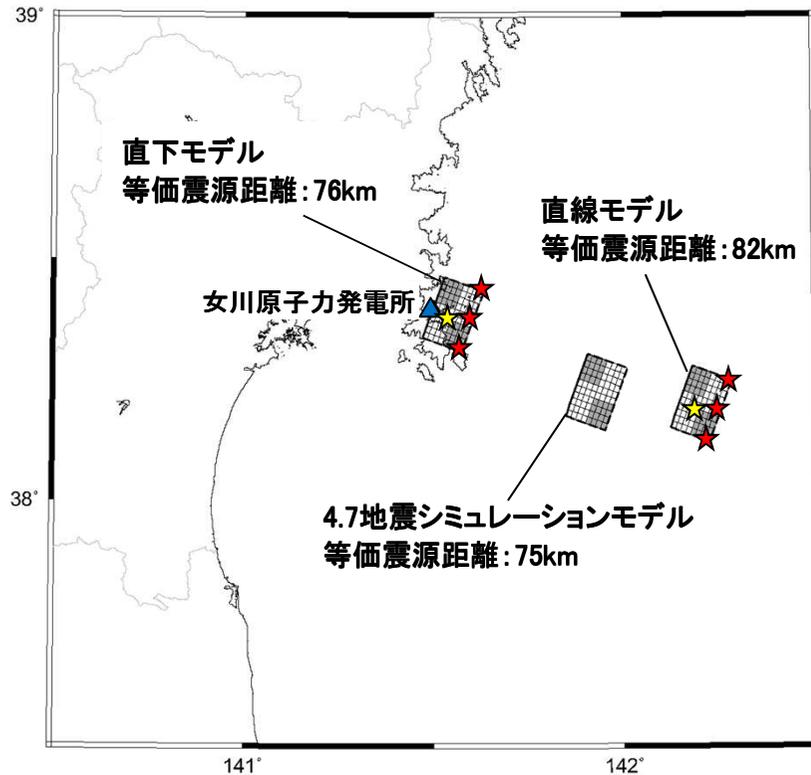
ケース	不確かさ項目					地震動評価 (断層モデルによる 評価)
	地震規模	断層位置	アスペリティ位置	短周期レベル (応力降下量)	破壊開始点	
4.7地震	M7.2	4.7地震シミュレーションモデルの位置	4.7地震シミュレーションモデルの位置	4.7地震シミュレーションモデル(笹谷ほか(2006)の約1.5倍)	4.7地震シミュレーションモデルの位置	観測記録のはぎとり波※を採用
参考ケース1	M7.2	保守的な設定を確認 (①4.7地震は低速度域で発生(Nakajima(2011)), ②4.7地震はサイトに対しディレクティビティ効果が厳しい位置で発生)	4.7地震シミュレーションモデルの位置	4.7地震シミュレーションモデル(笹谷ほか(2006)の約1.5倍)	4.7地震シミュレーションモデルの位置	P.4参照 (4.7地震のSs超過要因分析として実施。シミュレーションモデルの位置が敷地に対して影響が大きいことを確認)
参考ケース2	M7.2	4.7地震シミュレーションモデルの位置	保守的な設定を確認 (①1つはサイト近くのモデル上端に設定されている, ②実際に発生した地震であり実現象を反映)	4.7地震シミュレーションモデル(笹谷ほか(2006)の約1.5倍)	4.7地震シミュレーションモデルの位置	—
参考ケース3	M7.2	4.7地震シミュレーションモデルの位置	4.7地震シミュレーションモデルの位置	保守的な設定を確認 (4.7地震の短周期レベルは地域最大)	4.7地震シミュレーションモデルの位置	—
参考ケース4	M7.2	4.7地震シミュレーションモデルの位置	4.7地震シミュレーションモデルの位置	4.7地震シミュレーションモデル(笹谷ほか(2006)の約1.5倍)	不確かさを考慮 破壊開始点が敷地に対し向かって行く位置に設定するとディレクティビティ効果が大きくなることを確認。	P.17参照 (4.7地震のSs超過要因分析として実施, 結果はSsを下回ることを確認)

※4.7地震による敷地での岩盤上部(O.P.-8.6m)の観測記録について, 表層の影響を除去した地震動。
(O.P.は女川原子力発電所工事用基準面(Onagawa peil)であり, O.P.±0m = T.P.(東京湾平均海面)-0.74m。)

1. 2011年4月7日宮城県沖の地震のシミュレーションモデルを用いた検討

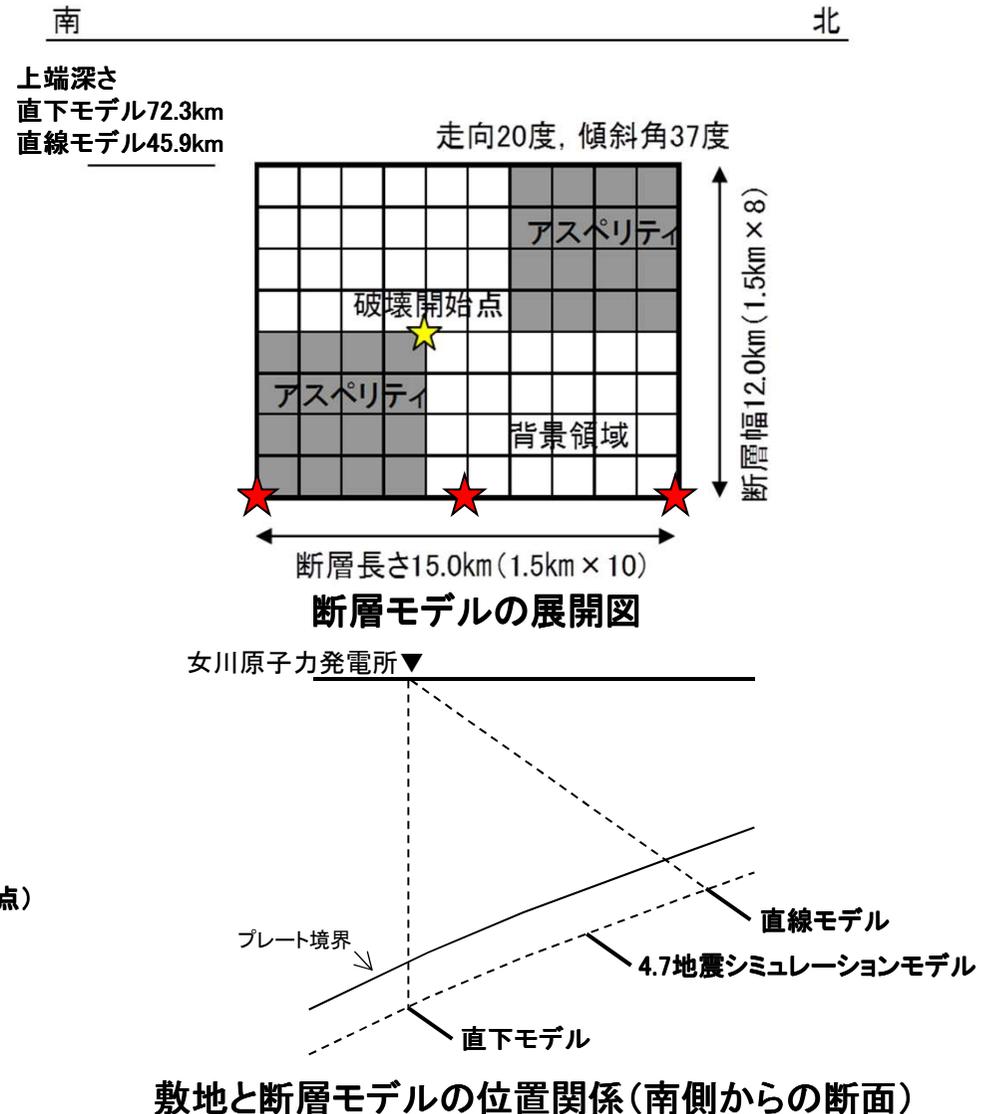
1.2 断層位置の検討(1)

- 断層の位置を敷地直下に配置した場合(直下モデル), 断層モデルの傾斜角(37°)が敷地の方向に一致する位置に配置した場合(直線モデル)について, 統計的グリーン関数法により評価を行い, 4.7地震シミュレーションモデルとの比較を行う。



- ★: 破壊開始点 (黄色は4.7地震シミュレーションモデルでの破壊開始点)
 ■: アスペリティ

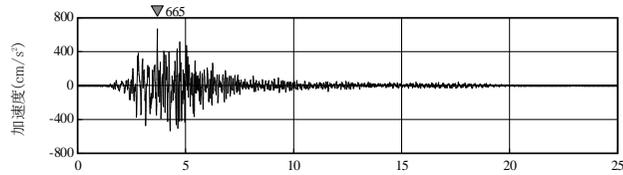
断層モデルの平面図



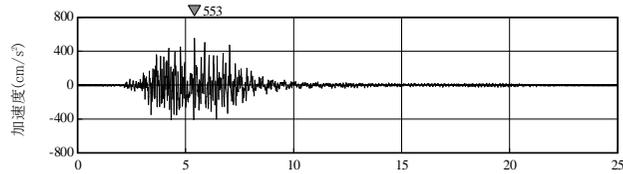
1. 2011年4月7日宮城県沖の地震のシミュレーションモデルを用いた検討

1.2 断層位置の検討(2)

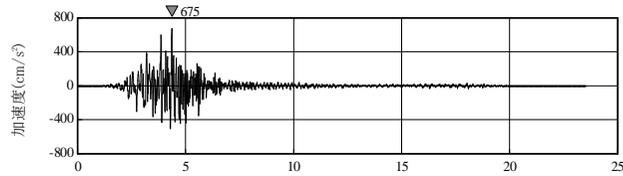
■直下モデルの地震動評価(水平方向) 加速度時刻歴波形



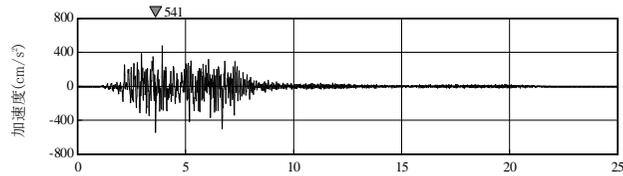
時間(秒)
断層中央



時間(秒)
下端北側

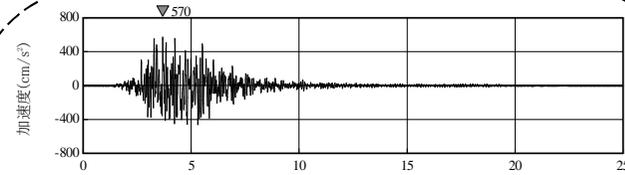


時間(秒)
下端中央

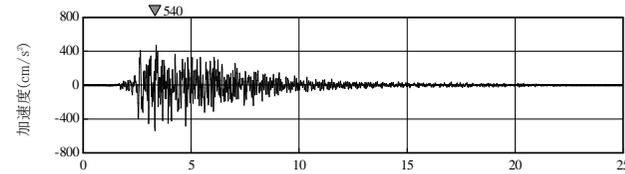


時間(秒)
下端南側

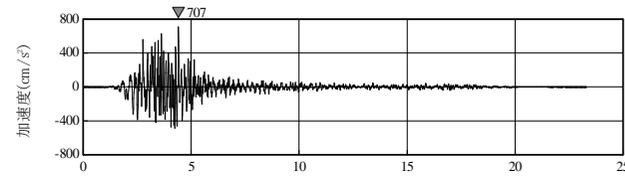
直下モデル



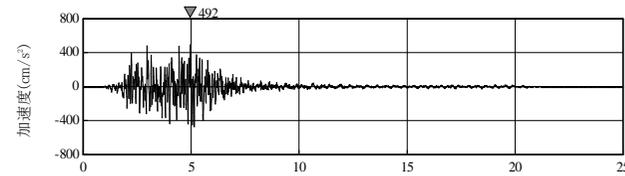
時間(秒)
断層中央



時間(秒)
下端北側



時間(秒)
下端中央



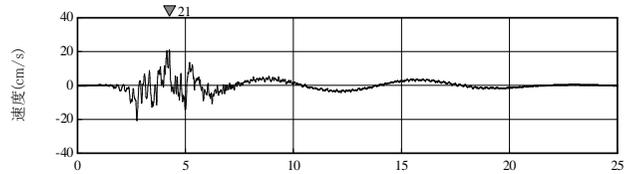
時間(秒)
下端南側

4.7地震シミュレーションモデルの位置

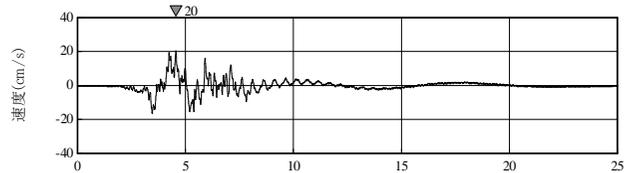
1. 2011年4月7日宮城県沖の地震のシミュレーションモデルを用いた検討

1.2 断層位置の検討(3)

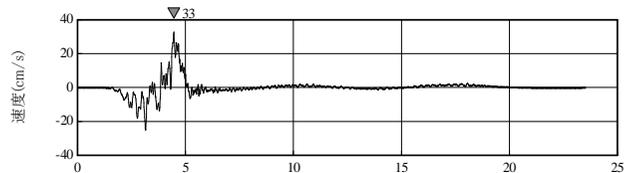
■直下モデルの地震動評価(水平方向) 速度時刻歴波形



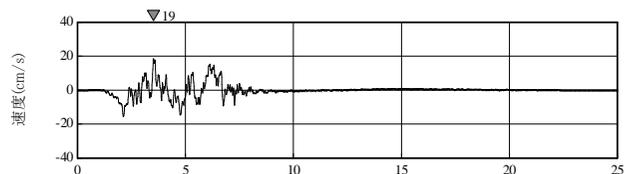
時間(秒)
断層中央



時間(秒)
下端北側

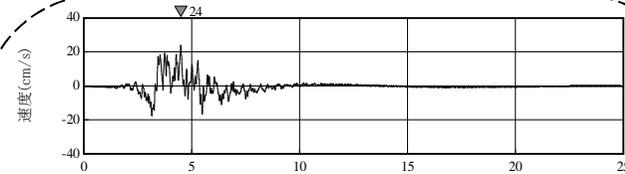


時間(秒)
下端中央

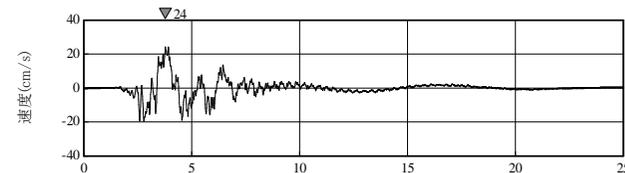


時間(秒)
下端南側

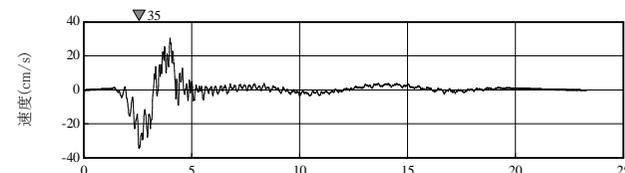
直下モデル



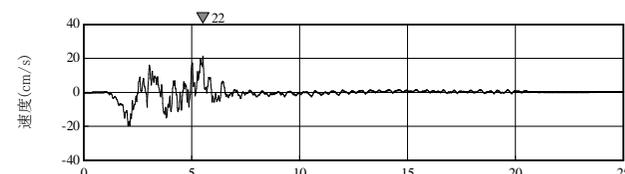
時間(秒)
断層中央



時間(秒)
下端北側



時間(秒)
下端中央



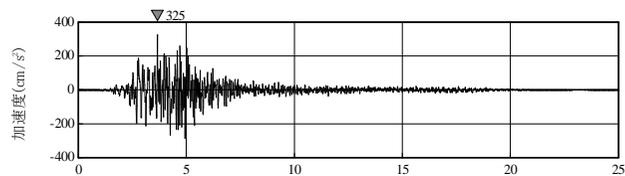
時間(秒)
下端南側

4.7地震シミュレーションモデルの位置

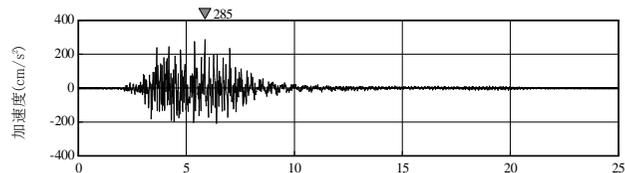
1. 2011年4月7日宮城県沖の地震のシミュレーションモデルを用いた検討

1.2 断層位置の検討(4)

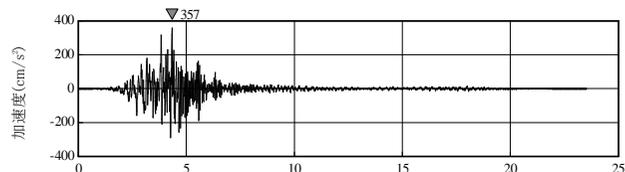
■直下モデルの地震動評価(鉛直方向) 加速度時刻歴波形



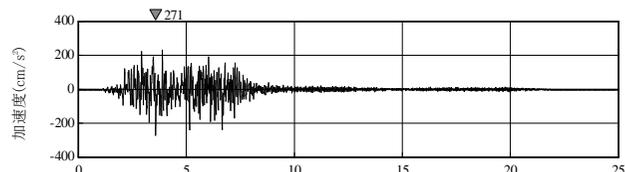
時間(秒)
断層中央



時間(秒)
下端北側

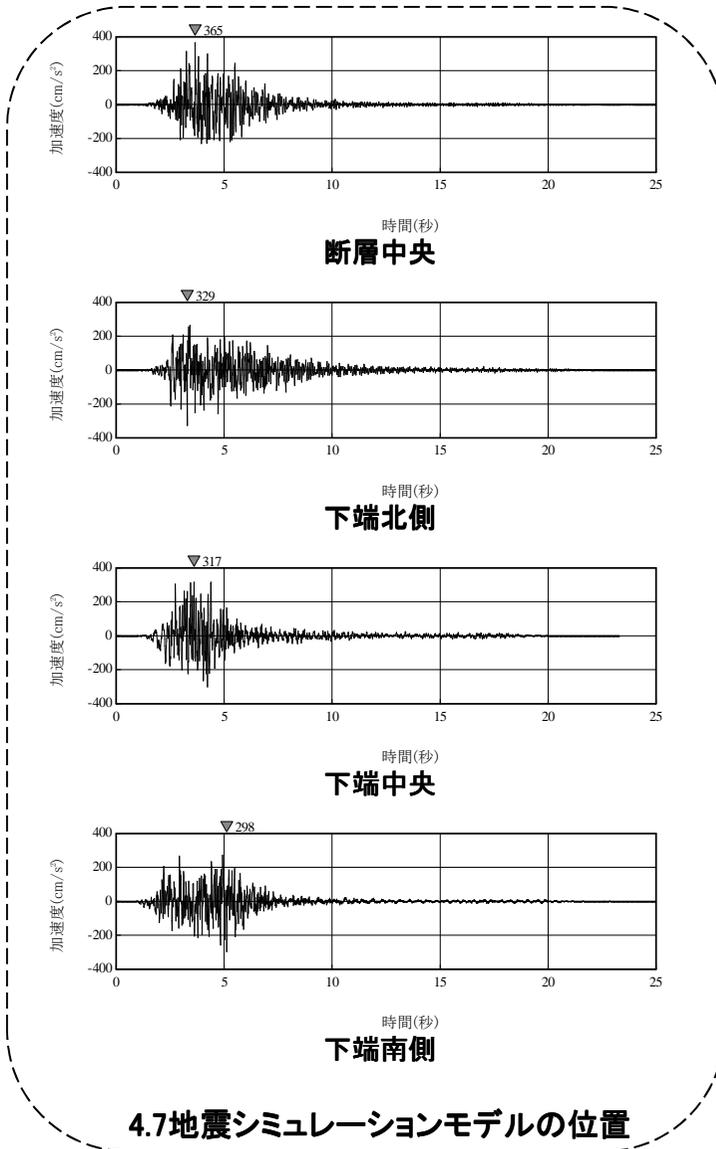


時間(秒)
下端中央



時間(秒)
下端南側

直下モデル

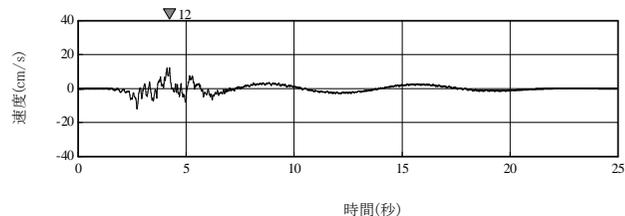


4.7地震シミュレーションモデルの位置

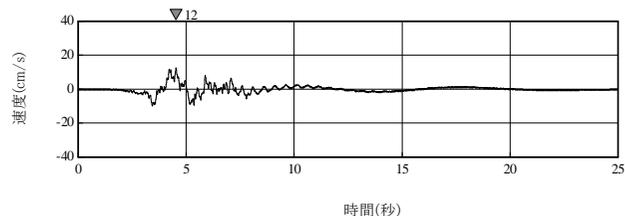
1. 2011年4月7日宮城県沖の地震のシミュレーションモデルを用いた検討

1.2 断層位置の検討(5)

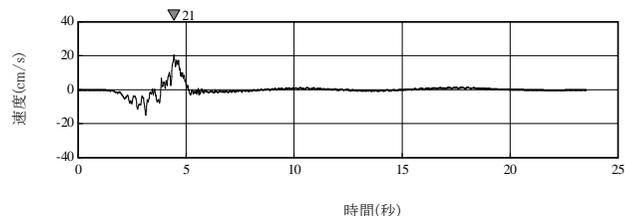
■直下モデルの地震動評価(鉛直方向) 速度時刻歴波形



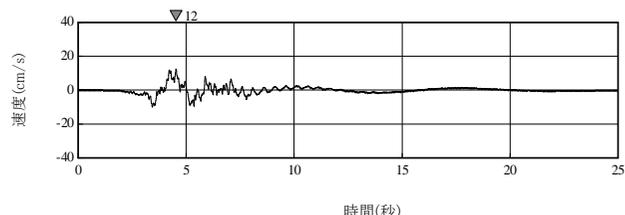
断層中央



下端北側

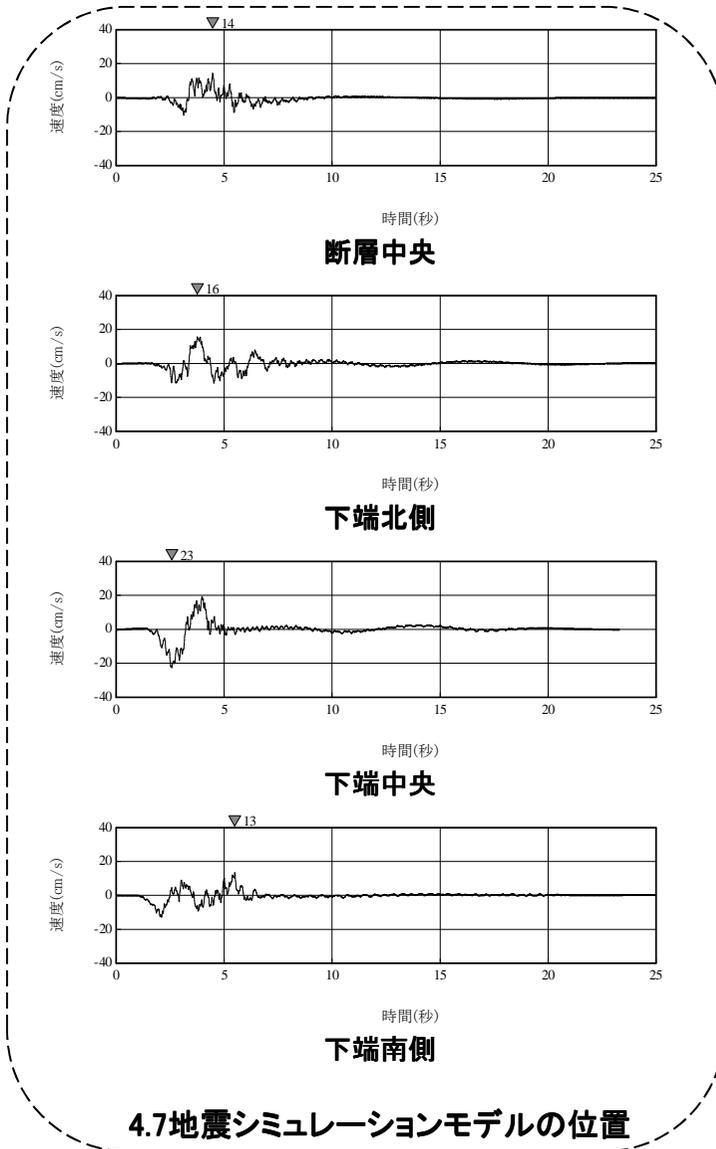


下端中央



下端南側

直下モデル



断層中央

下端北側

下端中央

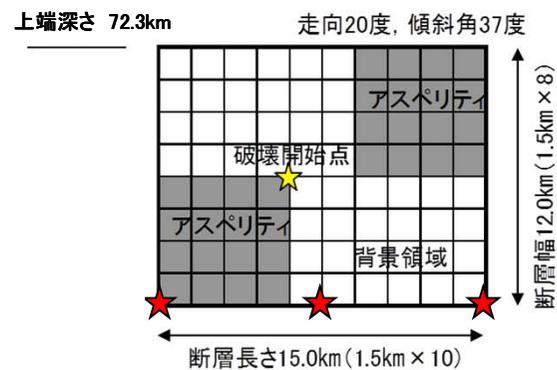
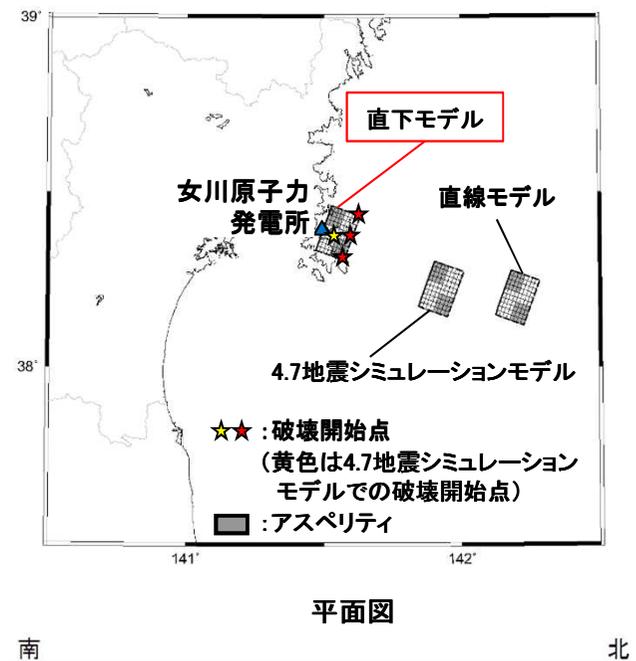
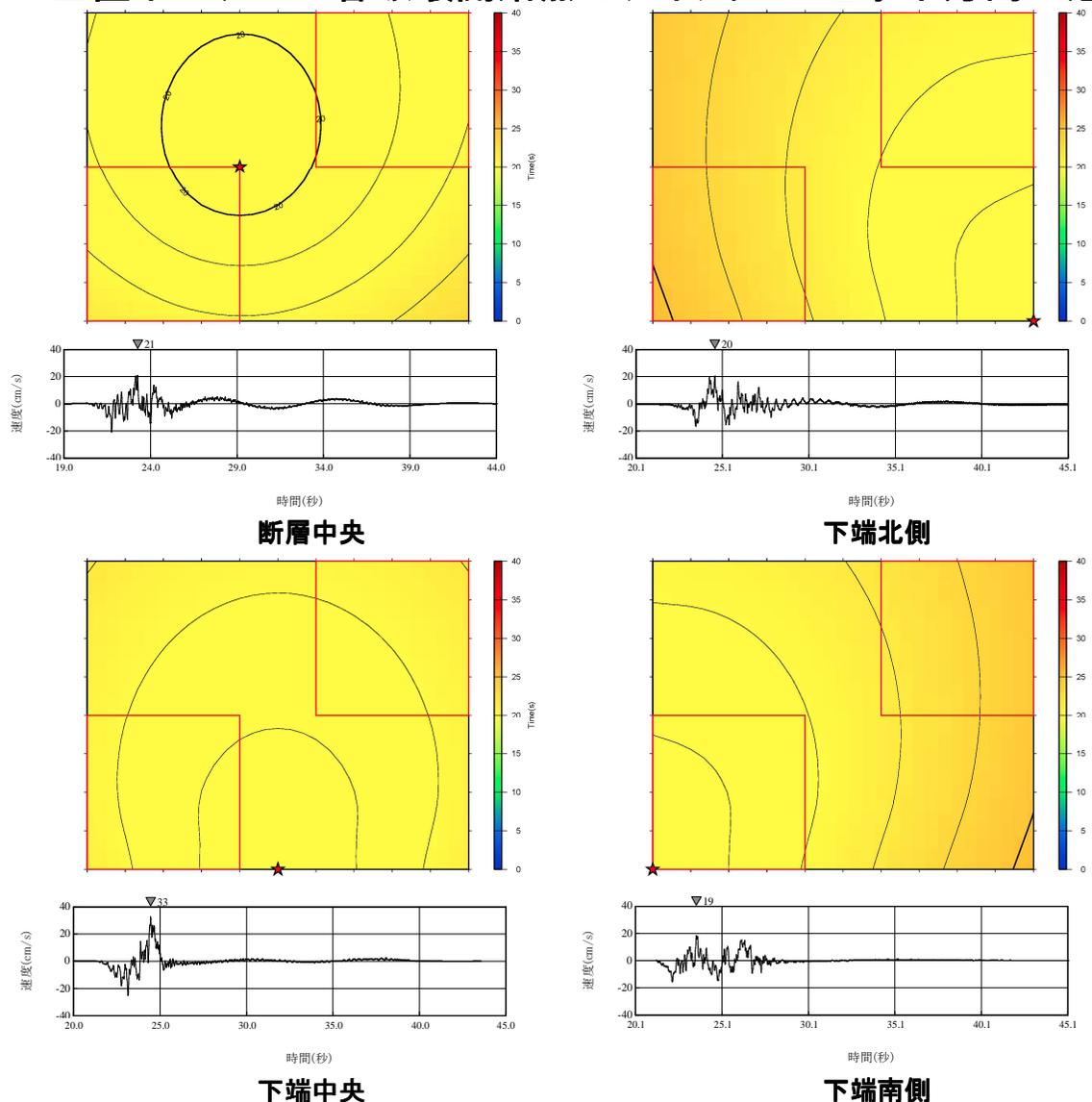
下端南側

4.7地震シミュレーションモデルの位置

1. 2011年4月7日宮城県沖の地震のシミュレーションモデルを用いた検討

1.2 断層位置の検討(6)

■直下モデルの各破壊開始点のアイソクロンと水平方向の速度時刻歴波形※



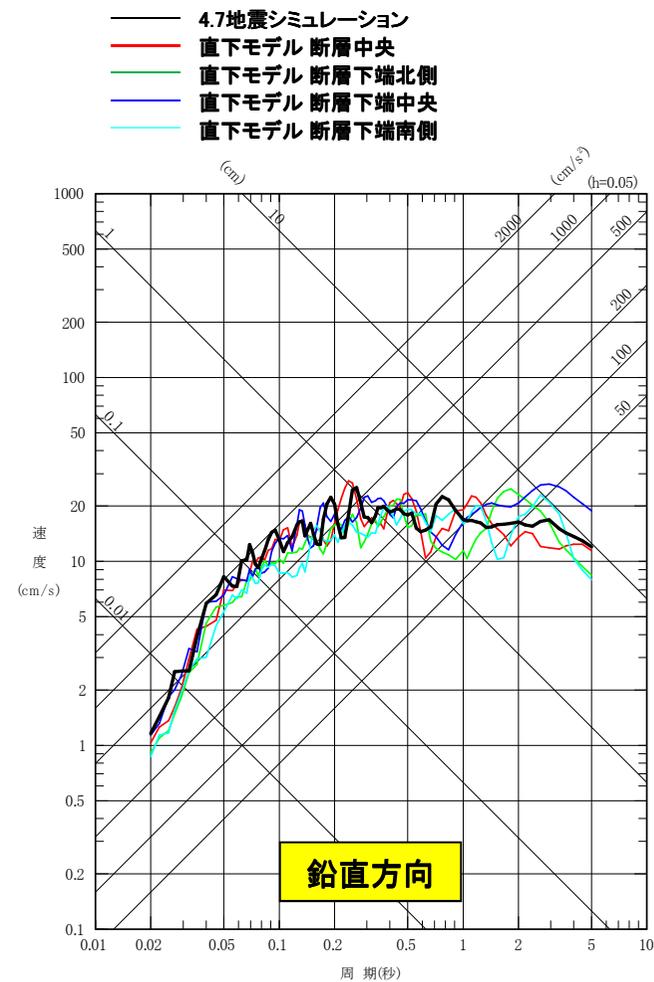
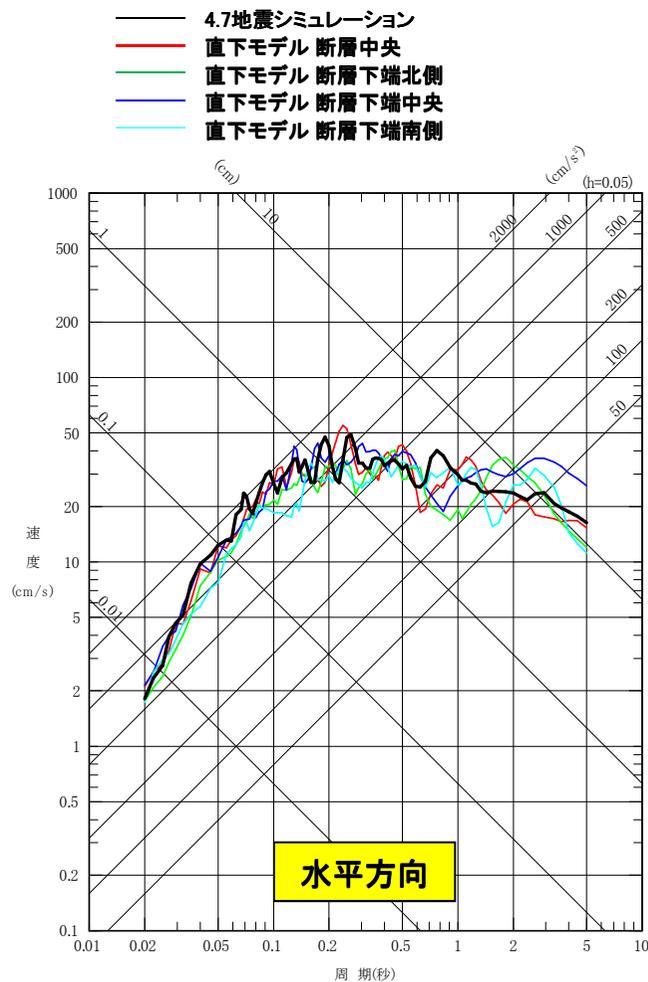
※速度時刻歴波形の横軸は、アイソクロンの時間軸と合わせ、波が評価対象地点に到達するまでの時間を考慮した表記としている。

展開図

1. 2011年4月7日宮城県沖の地震のシミュレーションモデルを用いた検討

1.2 断層位置の検討(7)

■直下モデルの地震動評価 応答スペクトル

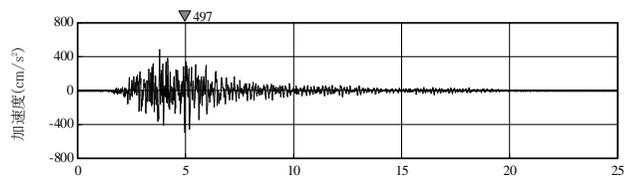


4.7地震シミュレーションモデルは、敷地に対する影響が大きい。

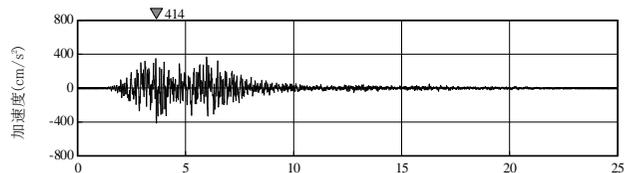
1. 2011年4月7日宮城県沖の地震のシミュレーションモデルを用いた検討

1.2 断層位置の検討(8)

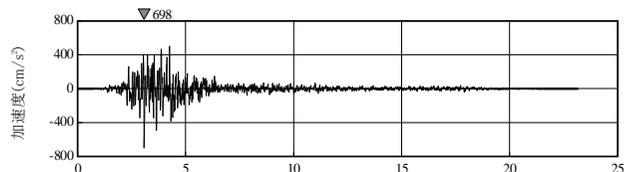
■直線モデルの地震動評価(水平方向) 加速度時刻歴波形



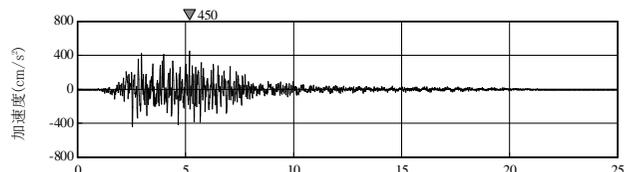
時間(秒)
断層中央



時間(秒)
下端北側

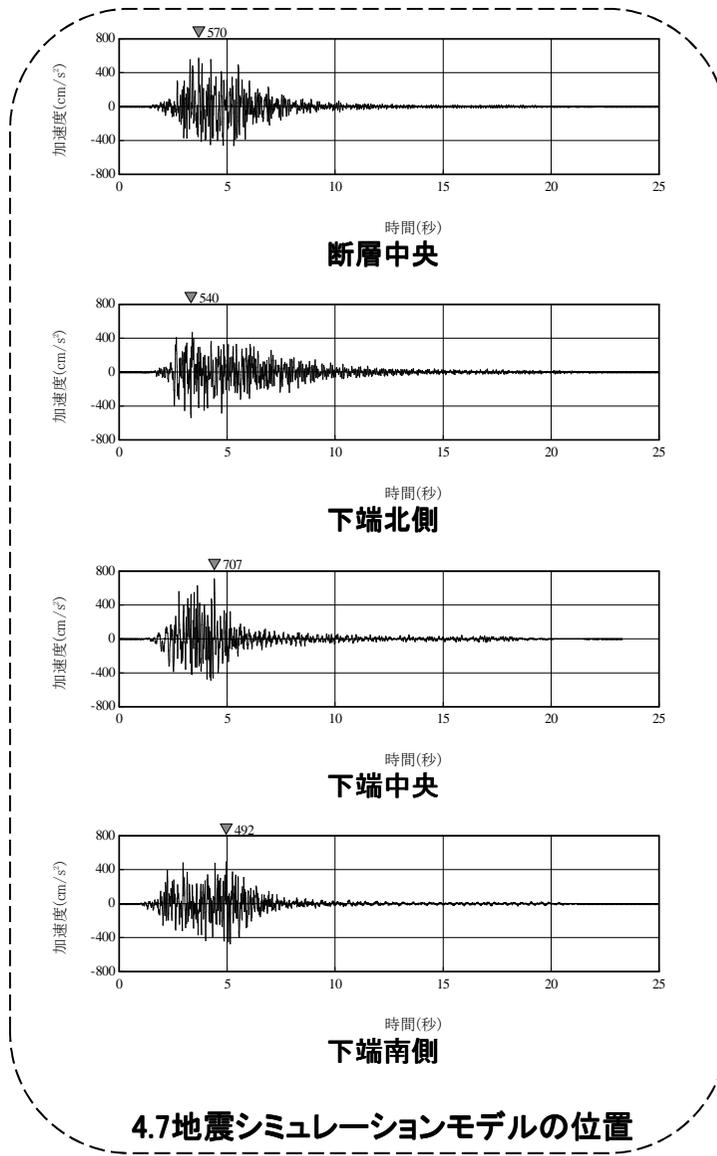


時間(秒)
下端中央



時間(秒)
下端南側

直線モデル

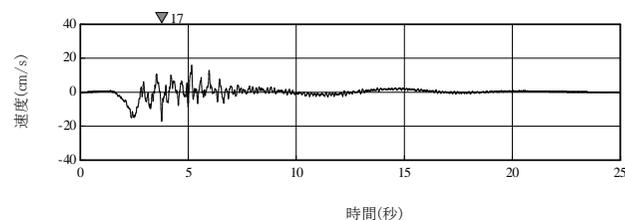


4.7地震シミュレーションモデルの位置

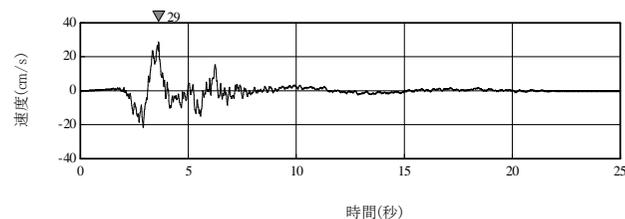
1. 2011年4月7日宮城県沖の地震のシミュレーションモデルを用いた検討

1.2 断層位置の検討(9)

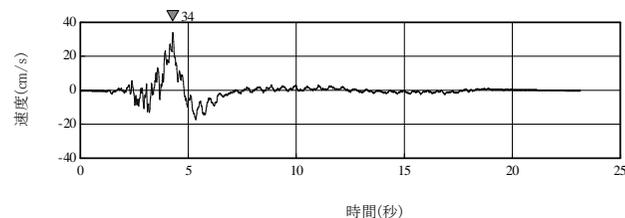
■直線モデルの地震動評価(水平方向) 速度時刻歴波形



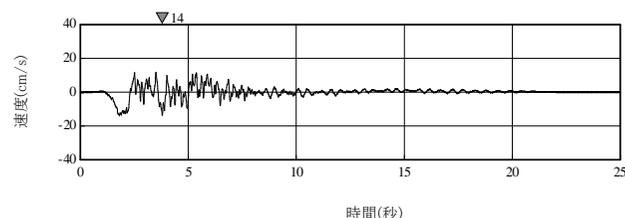
断層中央



下端北側

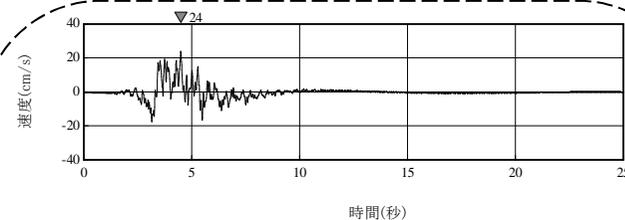


下端中央

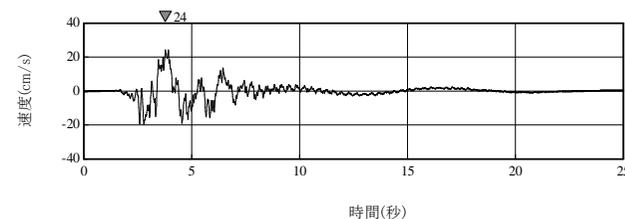


下端南側

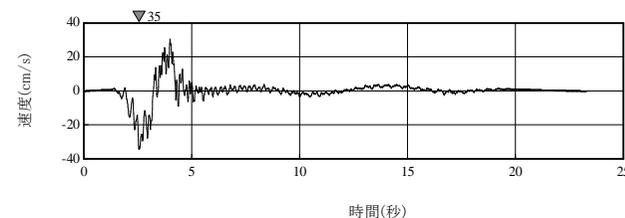
直線モデル



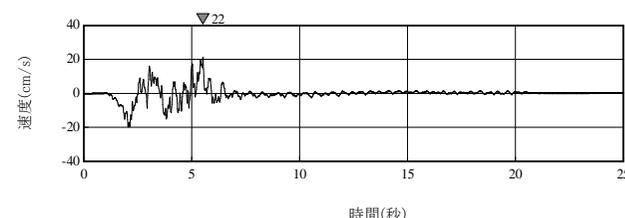
断層中央



下端北側



下端中央



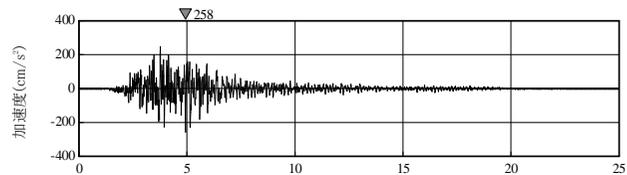
下端南側

4.7地震シミュレーションモデルの位置

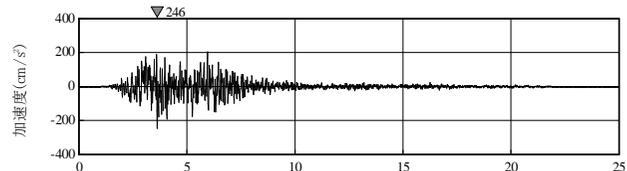
1. 2011年4月7日宮城県沖の地震のシミュレーションモデルを用いた検討

1.2 断層位置の検討(10)

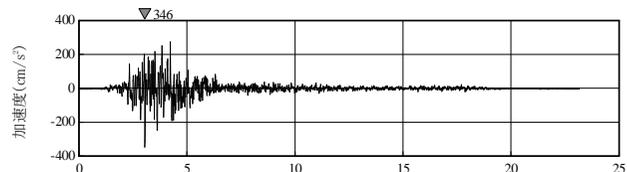
■直線モデルの地震動評価(鉛直方向) 加速度時刻歴波形



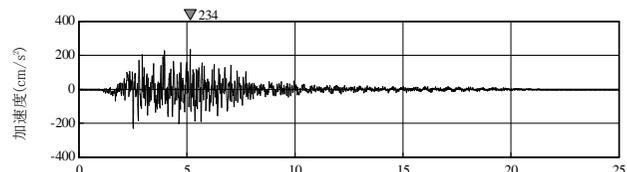
時間(秒)
断層中央



時間(秒)
下端北側

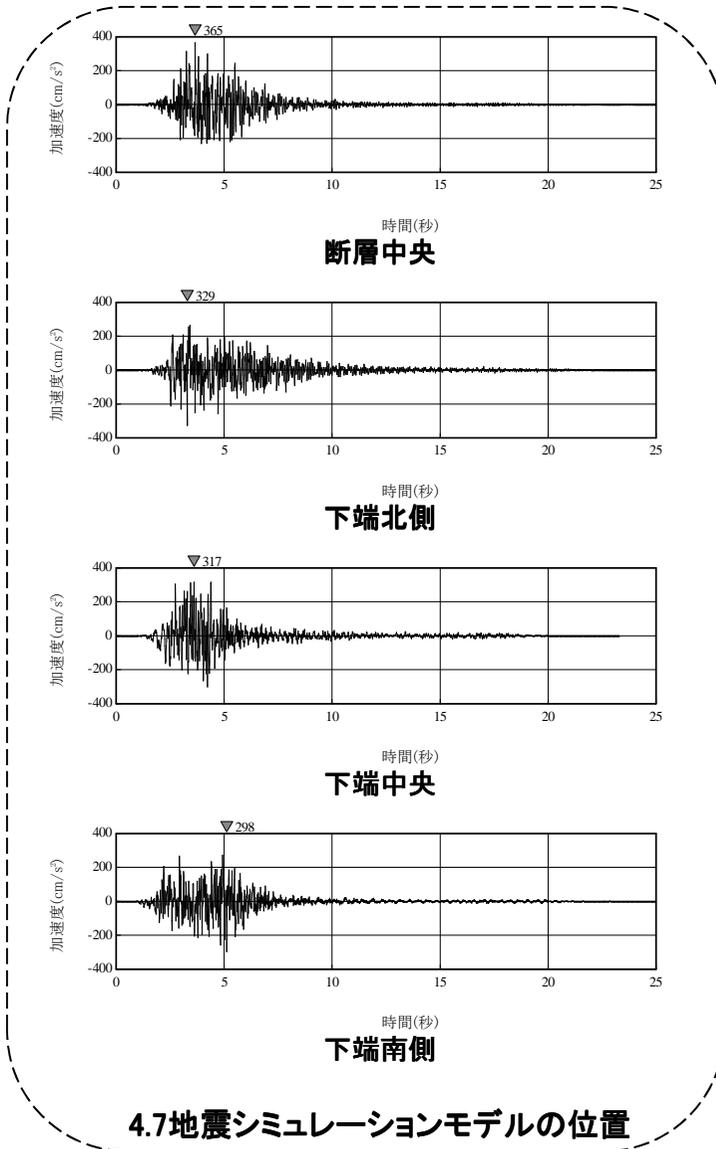


時間(秒)
下端中央



時間(秒)
下端南側

直線モデル

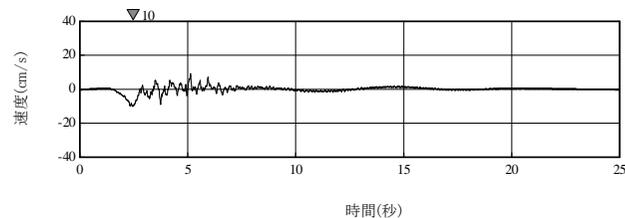


4.7地震シミュレーションモデルの位置

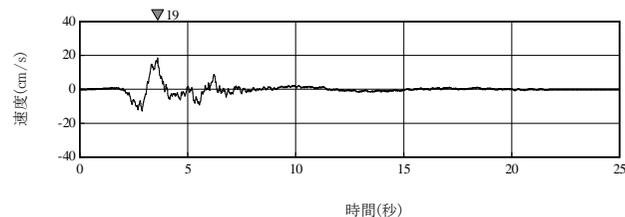
1. 2011年4月7日宮城県沖の地震のシミュレーションモデルを用いた検討

1.2 断層位置の検討(11)

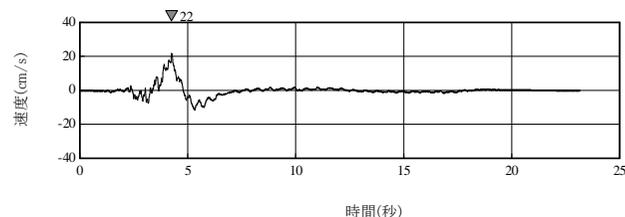
■直線モデルの地震動評価(鉛直方向) 速度時刻歴波形



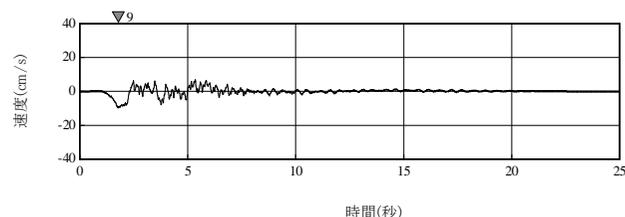
断層中央



下端北側

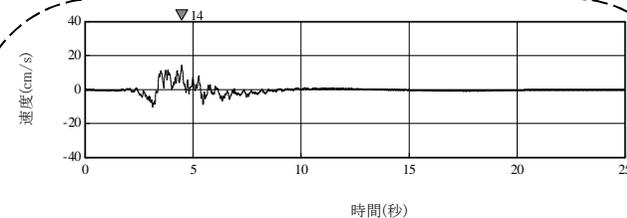


下端中央

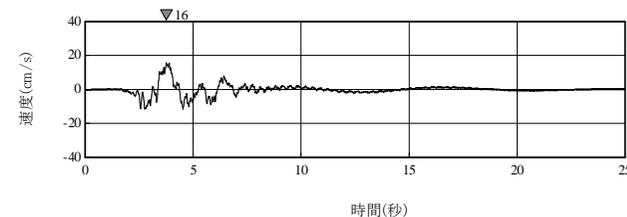


下端南側

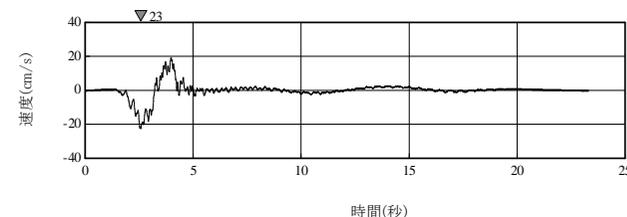
直線モデル



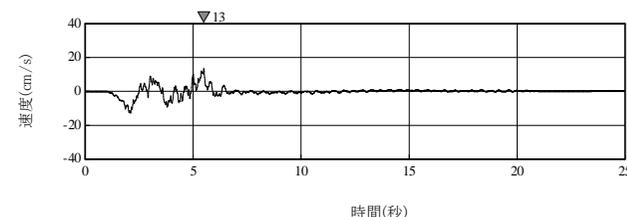
断層中央



下端北側



下端中央



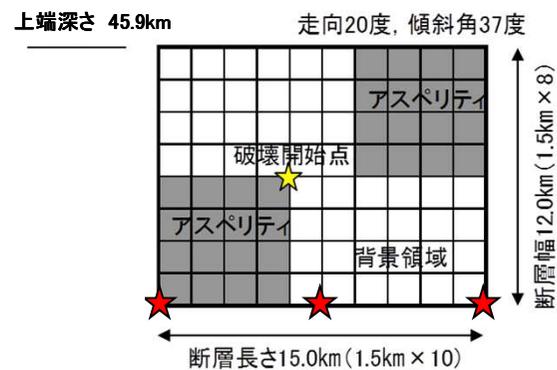
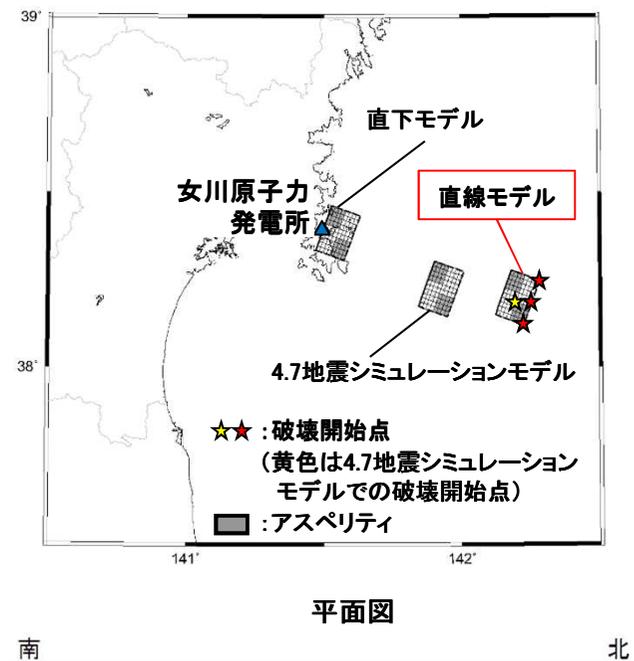
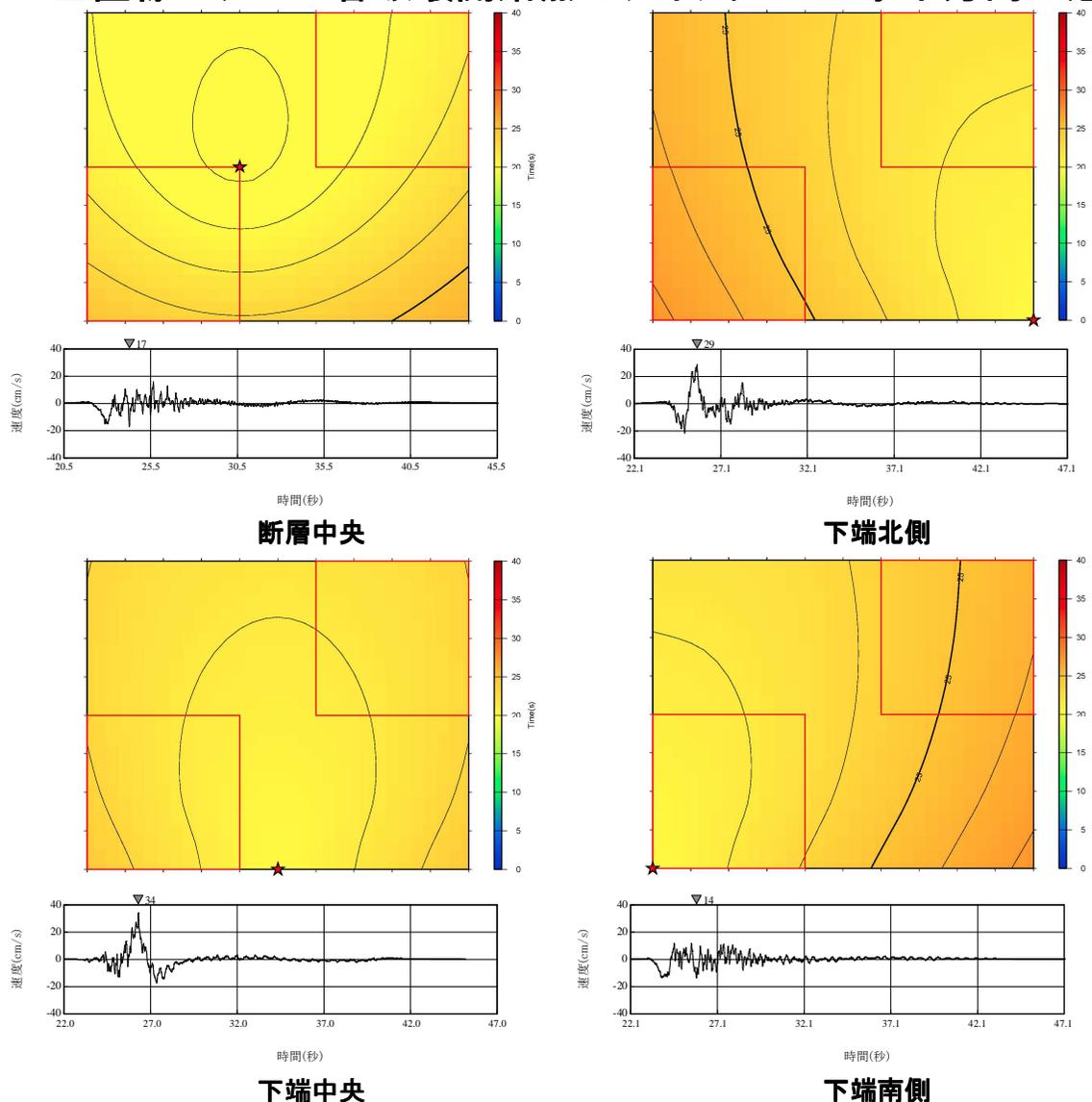
下端南側

4.7地震シミュレーションモデルの位置

1. 2011年4月7日宮城県沖の地震のシミュレーションモデルを用いた検討

1.2 断層位置の検討(12)

■直線モデルの各破壊開始点のアイソクロンと水平方向の速度時刻歴波形※



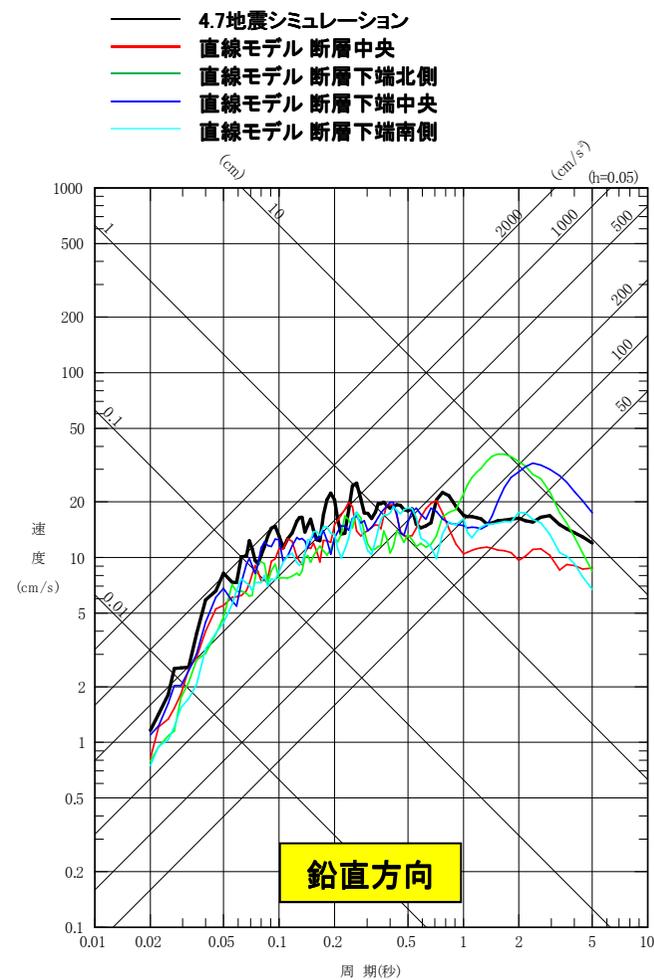
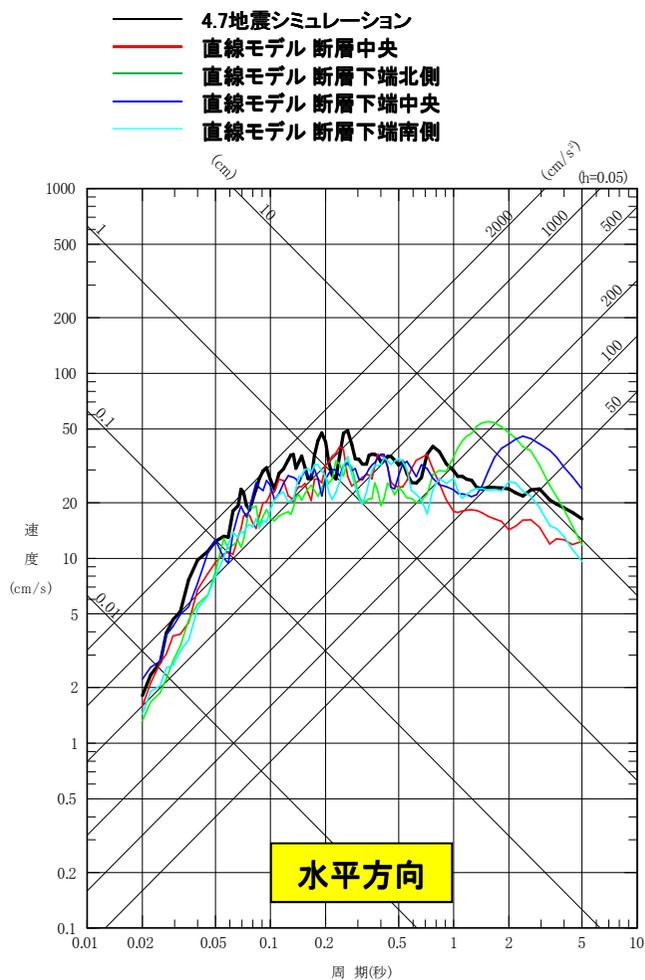
※速度時刻歴波形の横軸は、アイソクロンの時間軸と合わせ、波が評価対象地点に到達するまでの時間を考慮した表記としている。

展開図

1. 2011年4月7日宮城県沖の地震のシミュレーションモデルを用いた検討

1.2 断層位置の検討(13)

■直線モデルの地震動評価 応答スペクトル

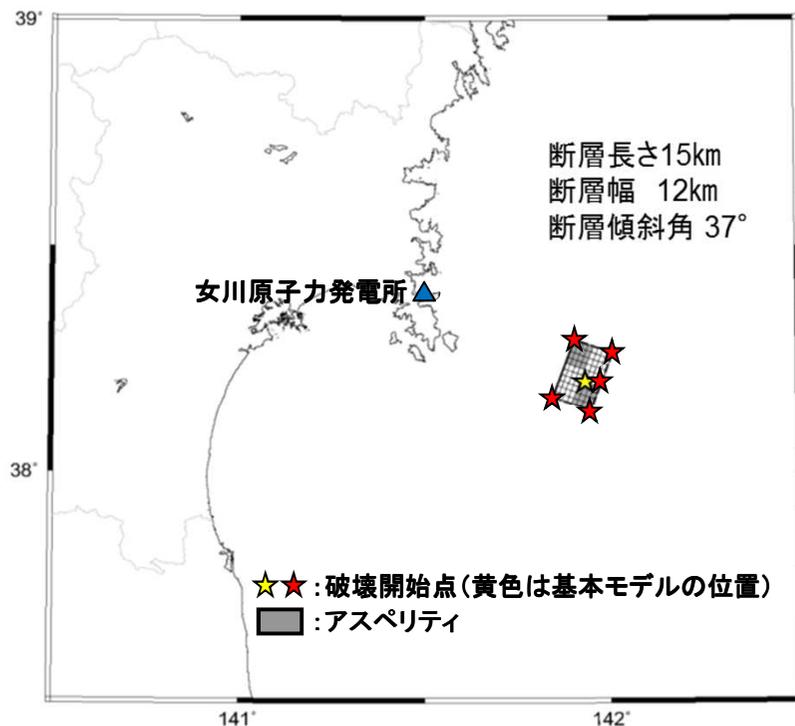


4.7地震シミュレーションモデルは、敷地に対する影響が大きい。

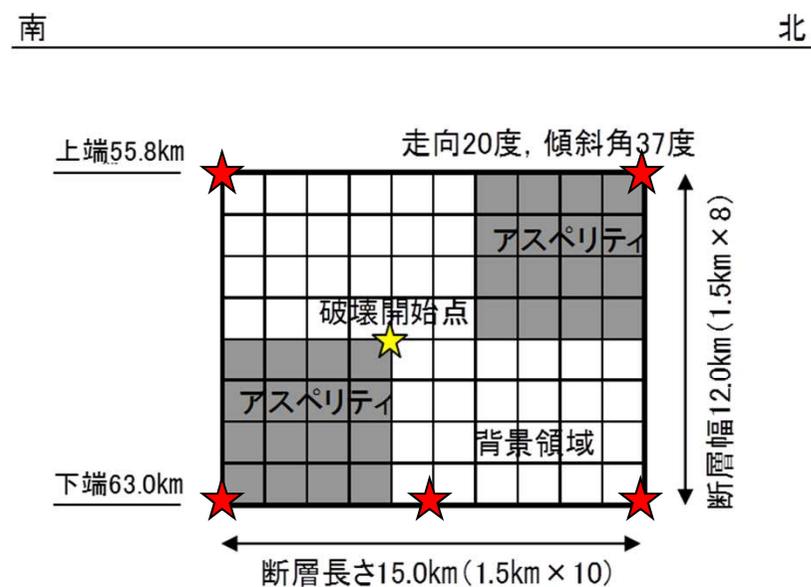
1. 2011年4月7日宮城県沖の地震のシミュレーションモデルを用いた検討

1.3 破壊開始点の検討(1)

- 破壊開始点について、4.7地震シミュレーションモデルでの破壊開始点である断層中央の他に、断層上端の北端および南端、断層下端の北端、中央および南端に設定。



(a)断層モデルの平面位置

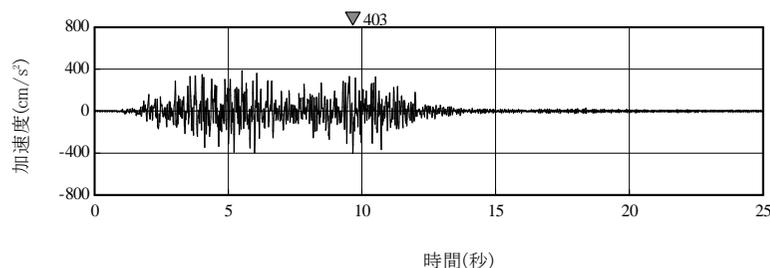


(b)展開図

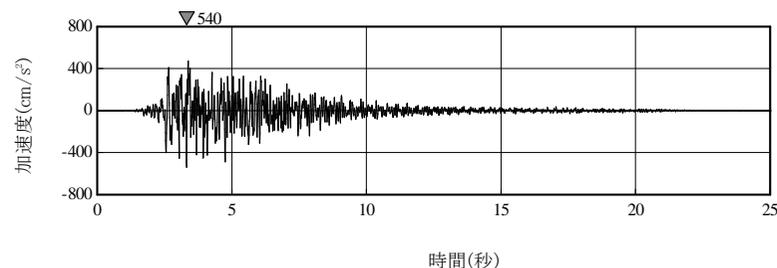
1. 2011年4月7日宮城県沖の地震のシミュレーションモデルを用いた検討

1.3 破壊開始点の検討(2)

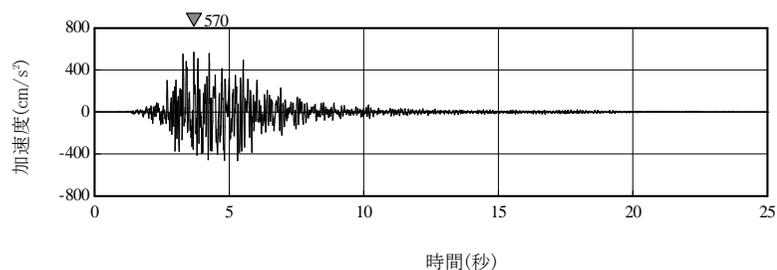
■地震動評価(水平方向) 加速度時刻歴波形



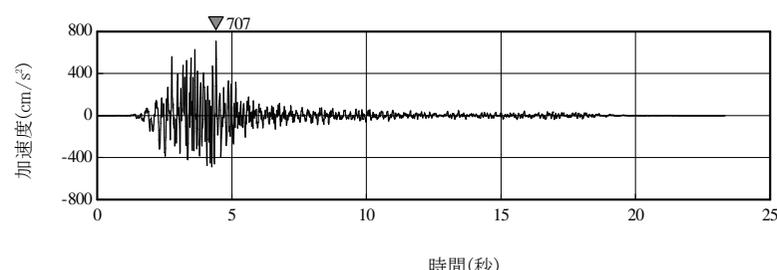
上端北側



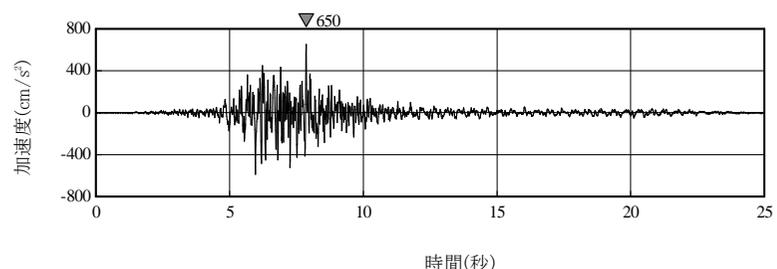
下端北側



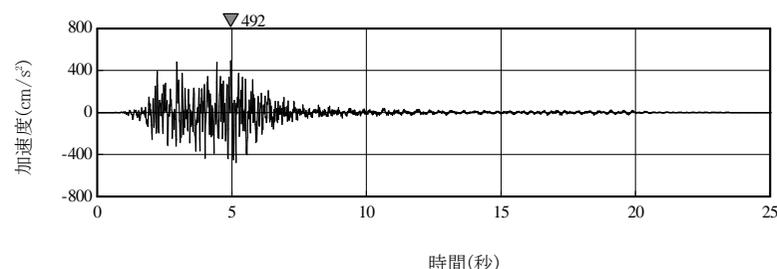
断層中央



下端中央



上端南側

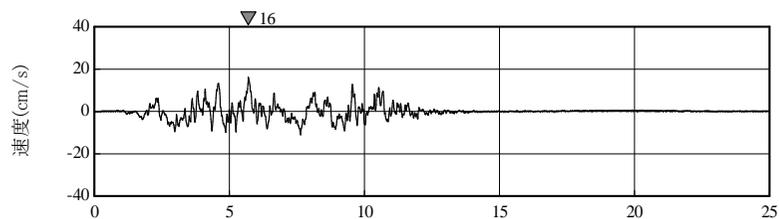


下端南側

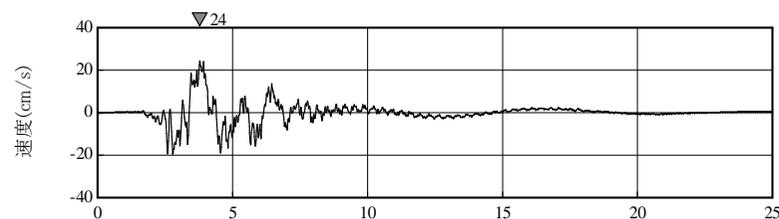
1. 2011年4月7日宮城県沖の地震のシミュレーションモデルを用いた検討

1.3 破壊開始点の検討(3)

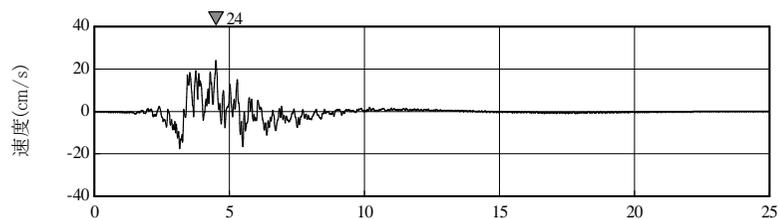
■地震動評価(水平方向) 速度時刻歴波形



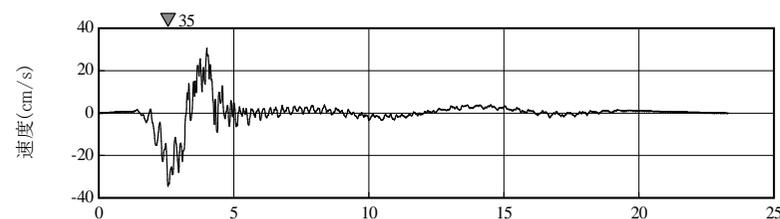
時間(秒)
上端北側



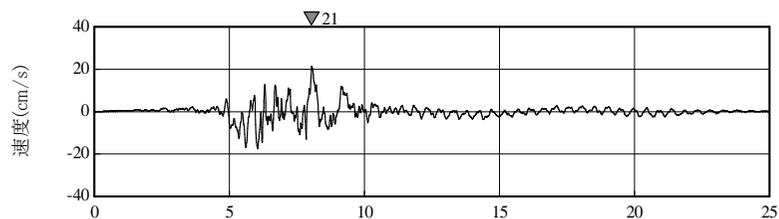
時間(秒)
下端北側



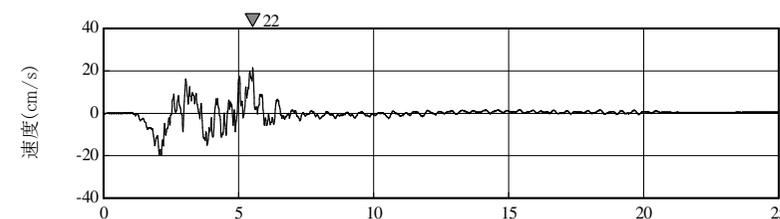
時間(秒)
断層中央



時間(秒)
下端中央



時間(秒)
上端南側

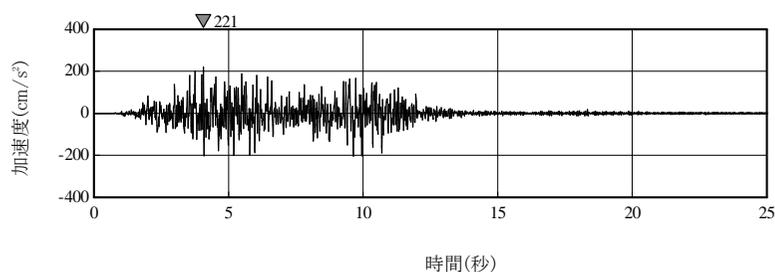


時間(秒)
下端南側

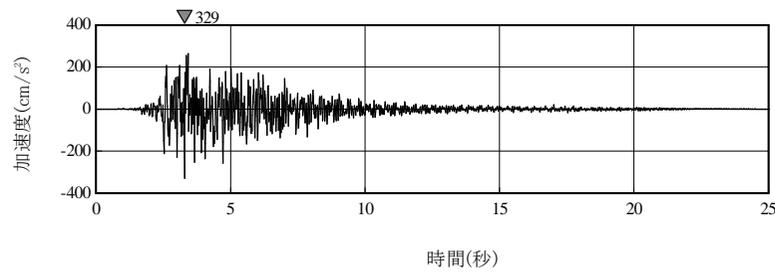
1. 2011年4月7日宮城県沖の地震のシミュレーションモデルを用いた検討

1.3 破壊開始点の検討(4)

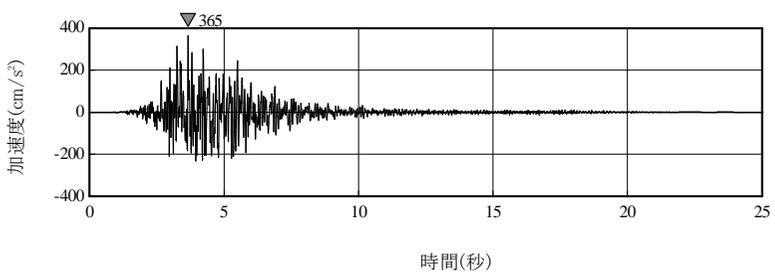
■地震動評価(鉛直方向) 加速度時刻歴波形



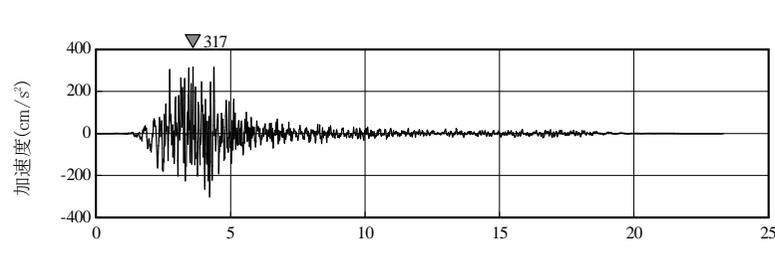
上端北側



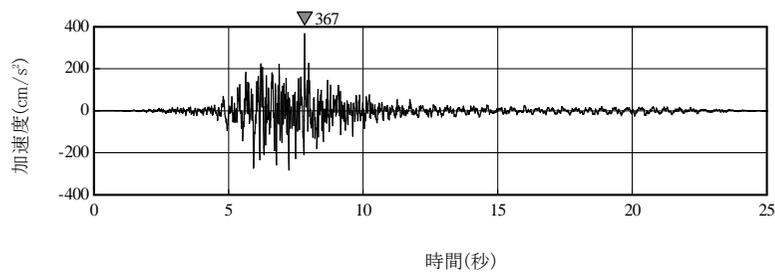
下端北側



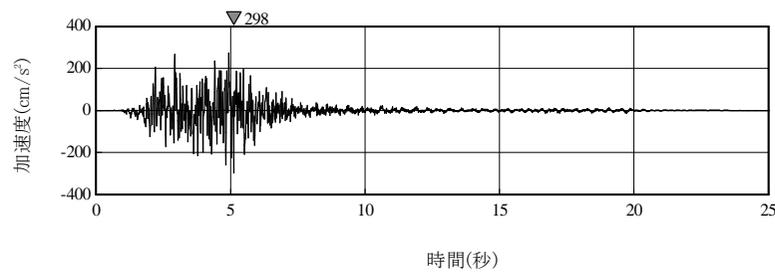
断層中央



下端中央



上端南側

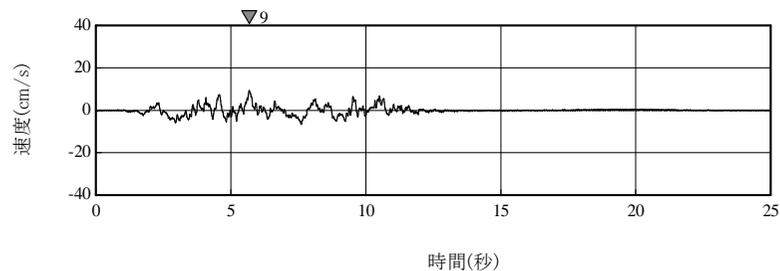


下端南側

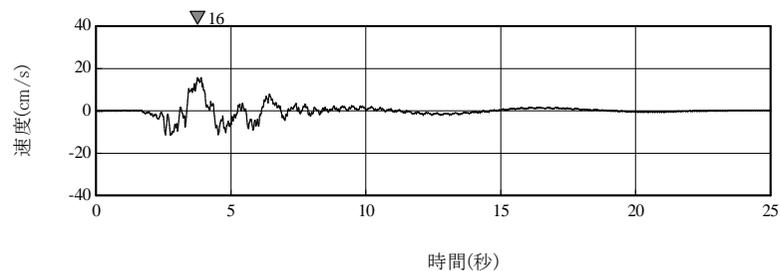
1. 2011年4月7日宮城県沖の地震のシミュレーションモデルを用いた検討

1.3 破壊開始点の検討(5)

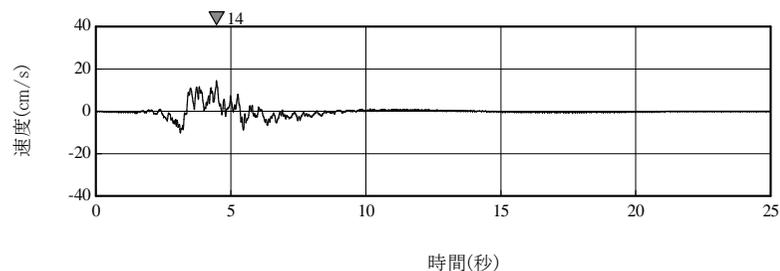
■地震動評価(鉛直方向) 速度時刻歴波形



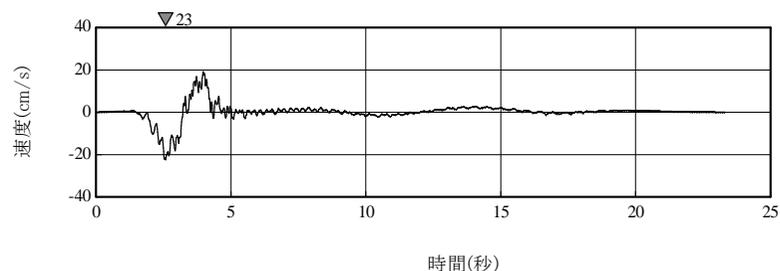
上端北側



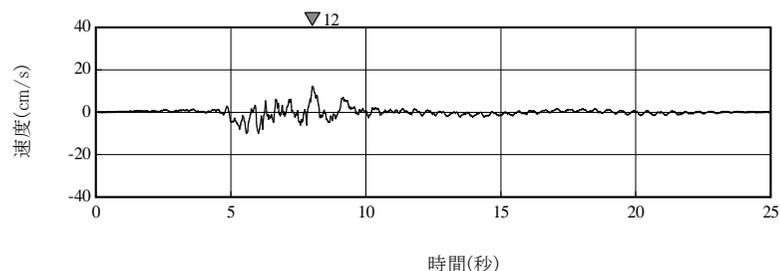
下端北側



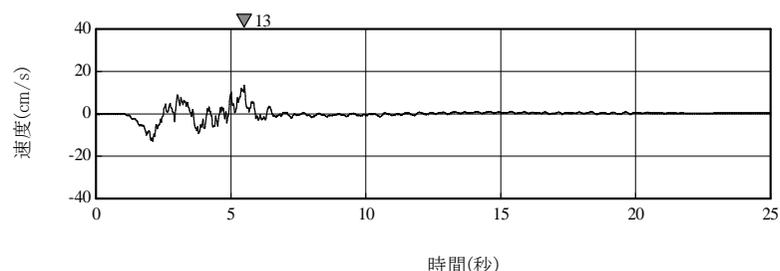
断層中央



下端中央



上端南側

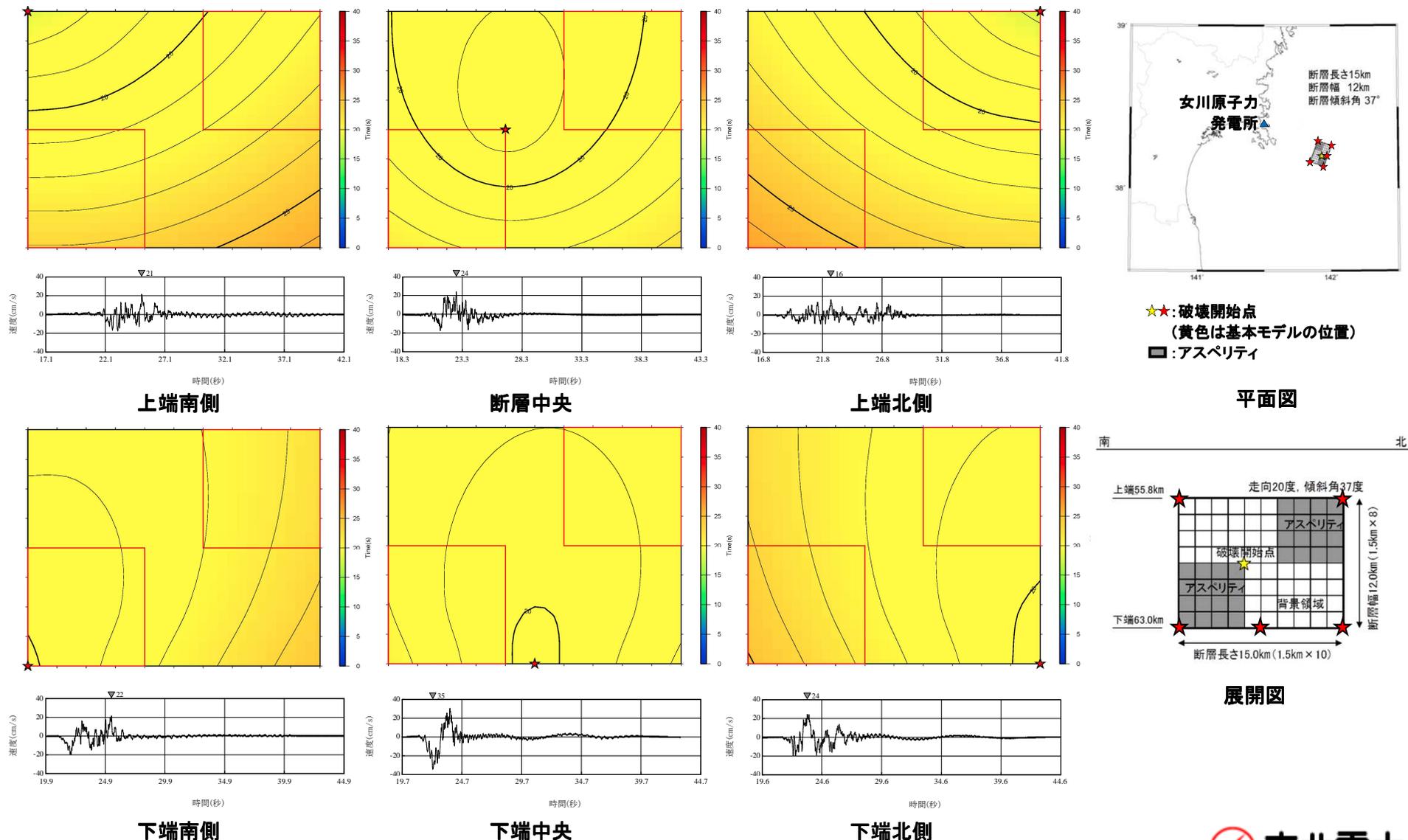


下端南側

1. 2011年4月7日宮城県沖の地震のシミュレーションモデルを用いた検討

1.3 破壊開始点の検討(6)

■4.7地震シミュレーションモデルの各破壊開始点のアイソクロンと水平方向の速度時刻歴波形*

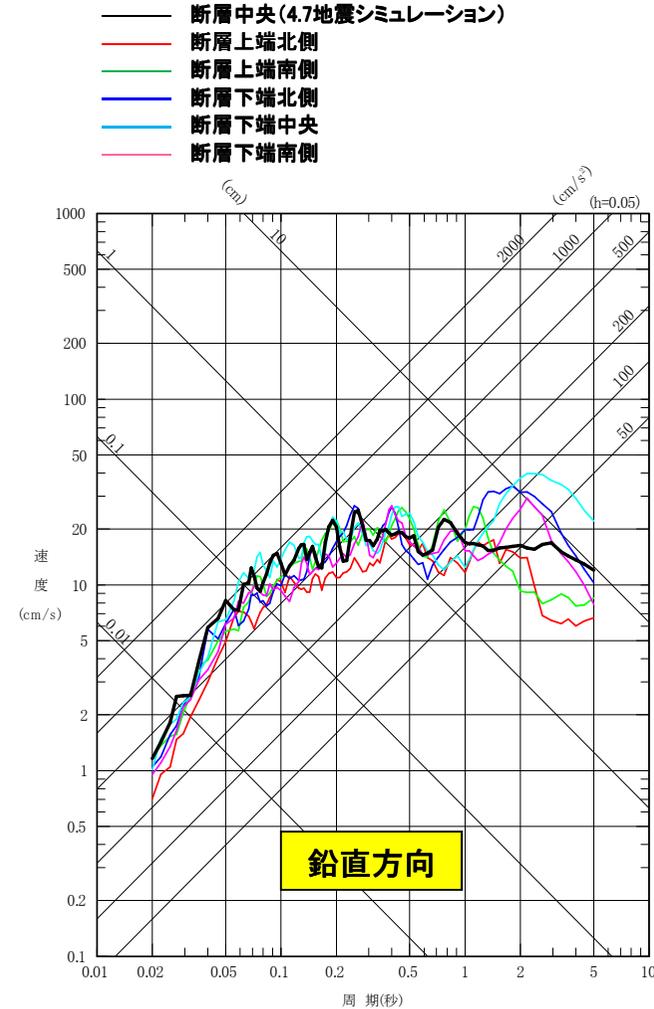
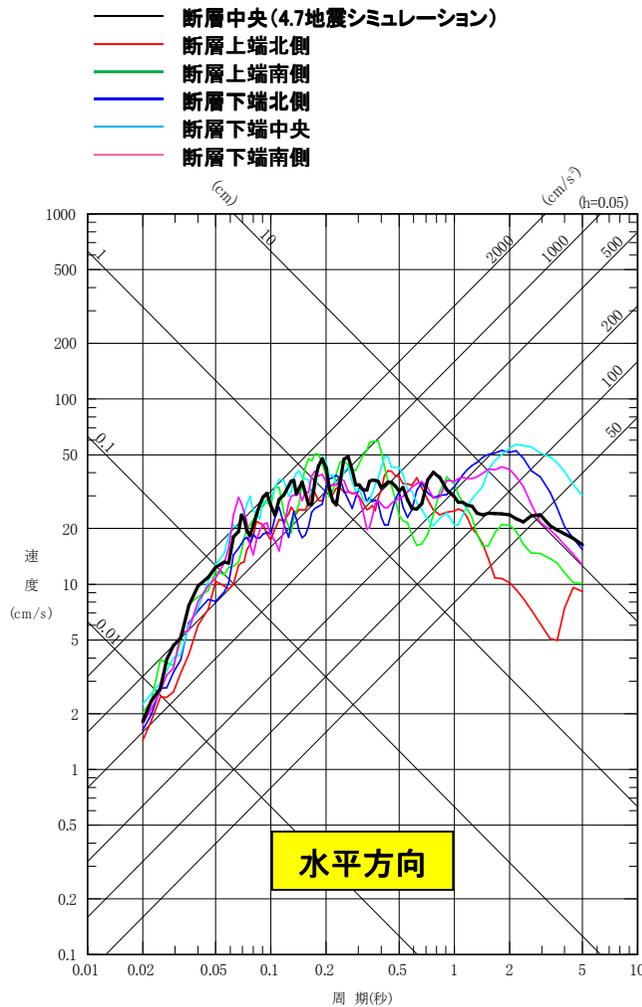


*速度時刻歴波形の横軸は、アイソクロンの時間軸と合わせ、波が評価対象地点に到達するまでの時間を考慮した表記としている。

1. 2011年4月7日宮城県沖の地震のシミュレーションモデルを用いた検討

1.3 破壊開始点の検討(7)

■地震動評価 応答スペクトル



断層中央の破壊開始点(4.7地震シミュレーションでの破壊開始点位置)は、敷地に向かう位置に設定されており、短周期側においては、敷地に対する影響が大きい。

目次

1. 2011年4月7日宮城県沖の地震の

シミュレーションモデルを用いた検討

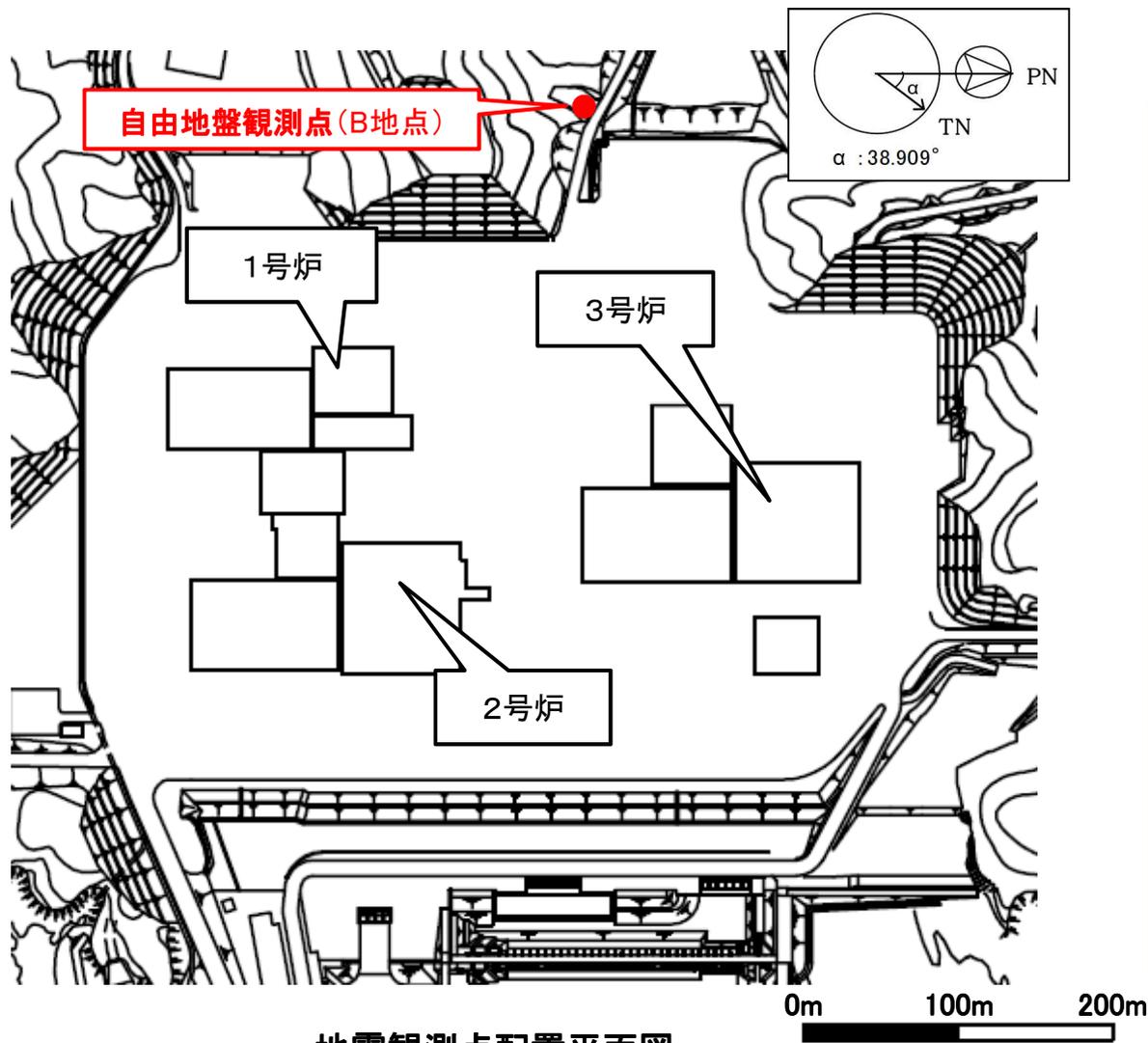
2. 2011年4月7日宮城県沖の地震のはざとり解析について※

※第128回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合 資料2-2「女川原子力発電所敷地の地質・地質構造及び地盤の振動特性について(補足説明資料)」を一部加筆

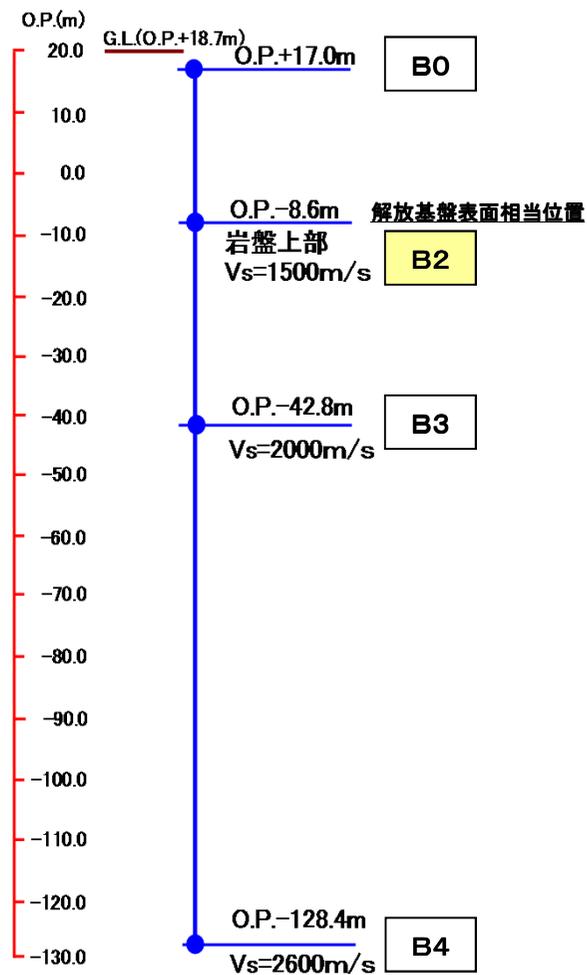
2. 2011年4月7日宮城県沖の地震のはぎとり解析について

2.1 敷地における地震観測点

■敷地においては、図の位置で自由地盤の地震観測を行っている。



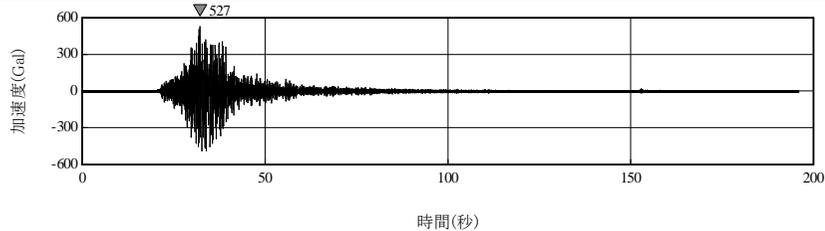
地震観測点配置平面図



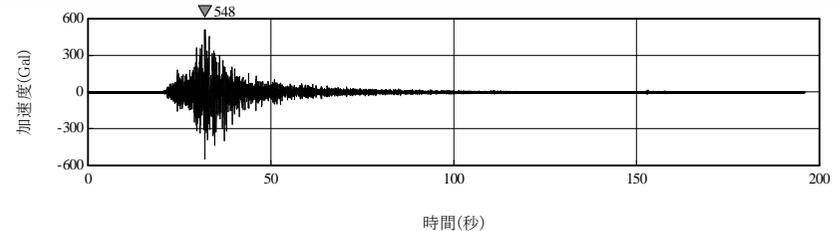
断面図

2. 2011年4月7日宮城県沖の地震のはぎとり解析について

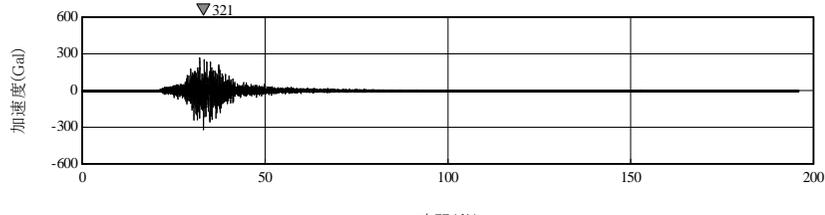
2.2 敷地地盤における観測記録(水平方向)



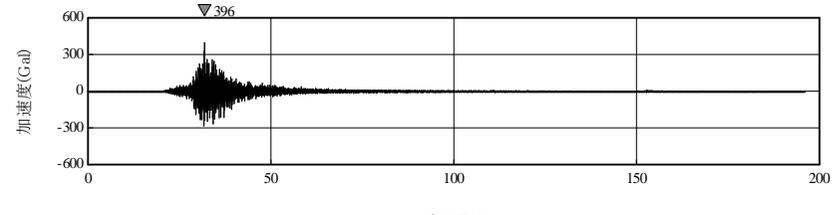
O.P.+17.0mの加速度波形 Amax = 527Gal



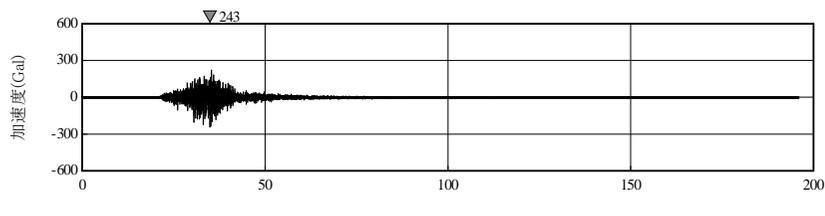
O.P.+17.0mの加速度波形 Amax = 548Gal



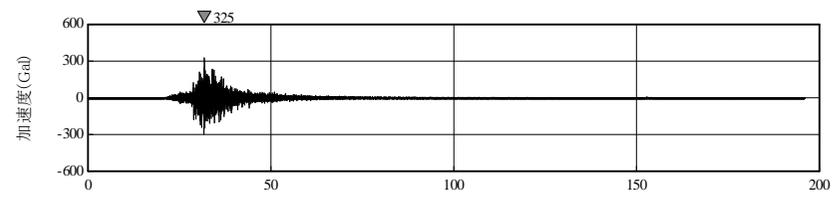
O.P.-8.6m(岩盤上部)^{※1}の加速度波形 Amax = 321Gal



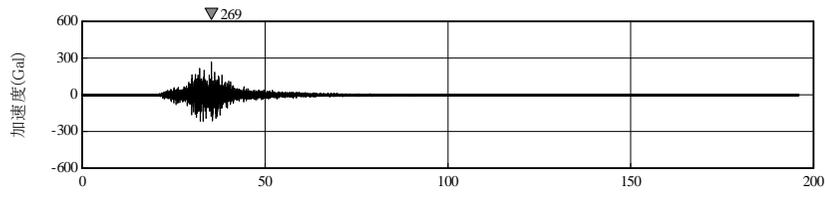
O.P.-8.6m(岩盤上部)^{※1}の加速度波形 Amax = 396Gal



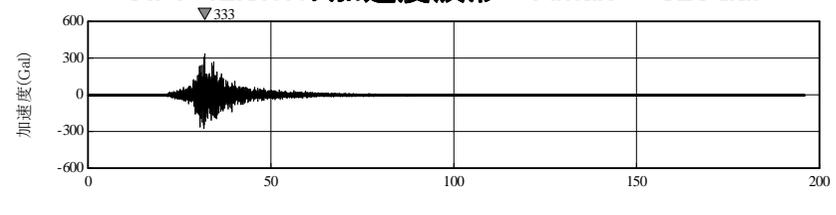
O.P.-42.8mの加速度波形 Amax = 243Gal



O.P.-42.8mの加速度波形 Amax = 325Gal



O.P.-128.4mの加速度波形 Amax = 269Gal



O.P.-128.4mの加速度波形 Amax = 333Gal

NS方向^{※2}

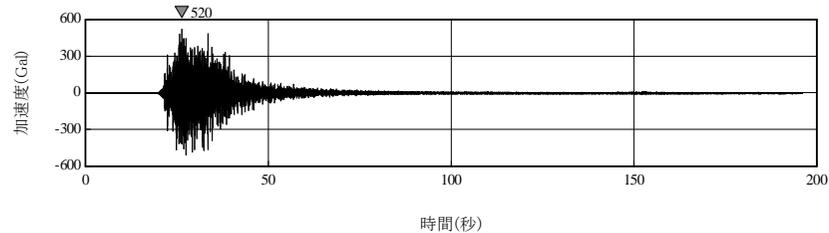
EW方向^{※2}

※1 解放基盤表面相当

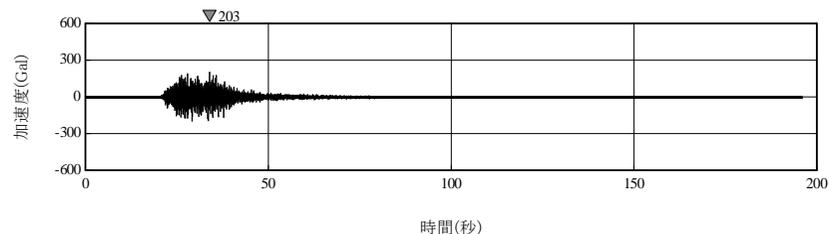
※2 NS,EWは、プラントノースを基準として記載している。プラントノースは真北に対し、反時計回りに38.909° の方向。

2. 2011年4月7日宮城県沖の地震のはぎとり解析について

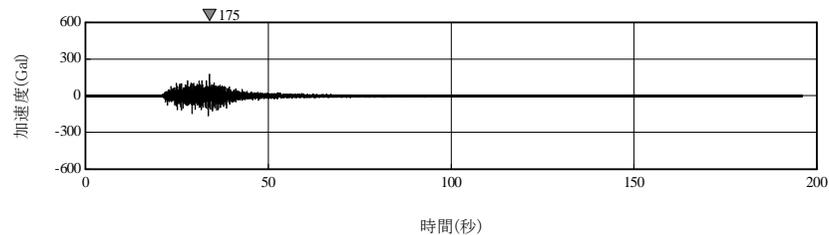
2.2 敷地地盤における観測記録(鉛直方向)



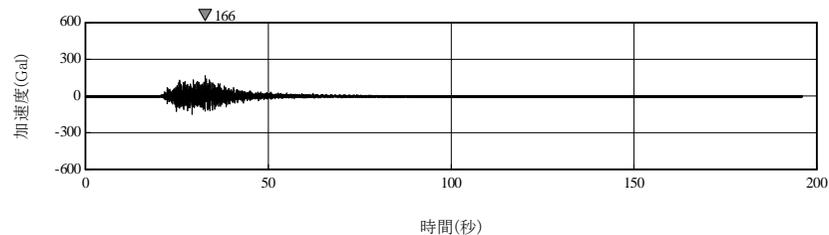
O.P.+17.0mの加速度波形 $A_{max}=520\text{Gal}$



O.P.-8.6m (岩盤上部)※の加速度波形 $A_{max}=203\text{Gal}$



O.P.-42.8mの加速度波形 $A_{max}=175\text{Gal}$



O.P.-128.4mの加速度波形 $A_{max}=166\text{Gal}$

UD方向

※解放基盤表面相当

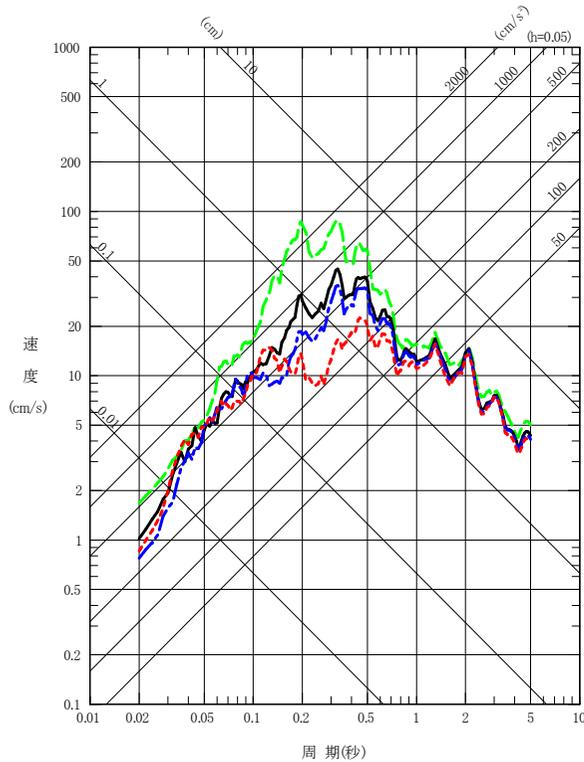
2. 2011年4月7日宮城県沖の地震のはぎとり解析について

2.3 地盤における観測記録 深度別応答スペクトル

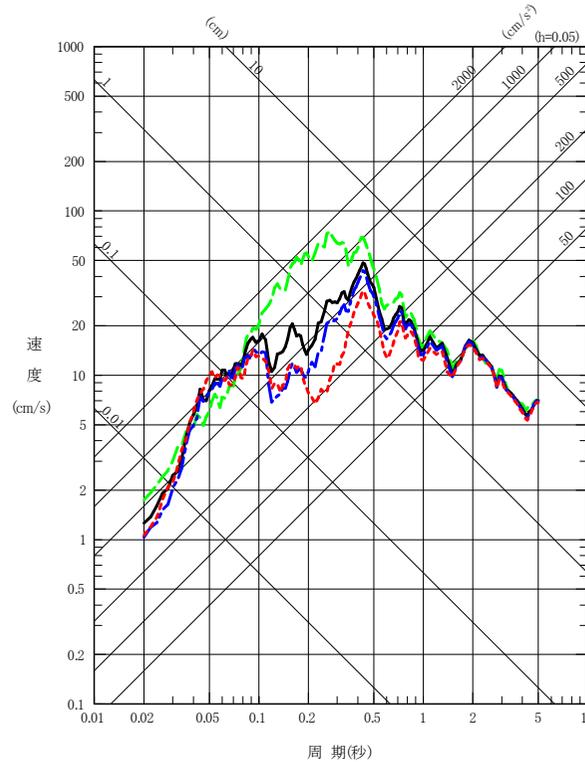
- 0. P. + 17.0m の観測記録 (NS 方向)
- 0. P. - 8.6m の観測記録 (NS 方向)
- 0. P. - 42.8m の観測記録 (NS 方向)
- 0. P. -128.4m の観測記録 (NS 方向)

- 0. P. + 17.0m の観測記録 (EW 方向)
- 0. P. - 8.6m の観測記録 (EW 方向)
- 0. P. - 42.8m の観測記録 (EW 方向)
- 0. P. -128.4m の観測記録 (EW 方向)

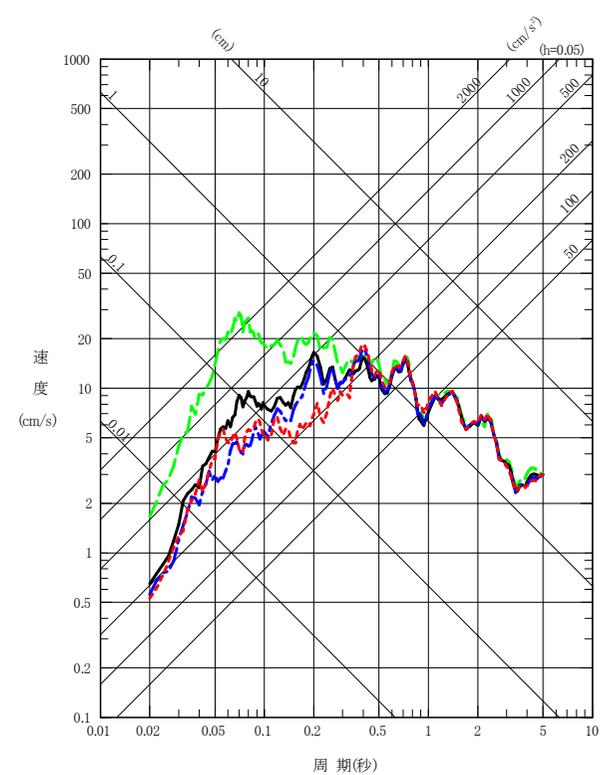
- 0. P. + 17.0m の観測記録 (UD 方向)
- 0. P. - 8.6m の観測記録 (UD 方向)
- 0. P. - 42.8m の観測記録 (UD 方向)
- 0. P. -128.4m の観測記録 (UD 方向)



NS方向



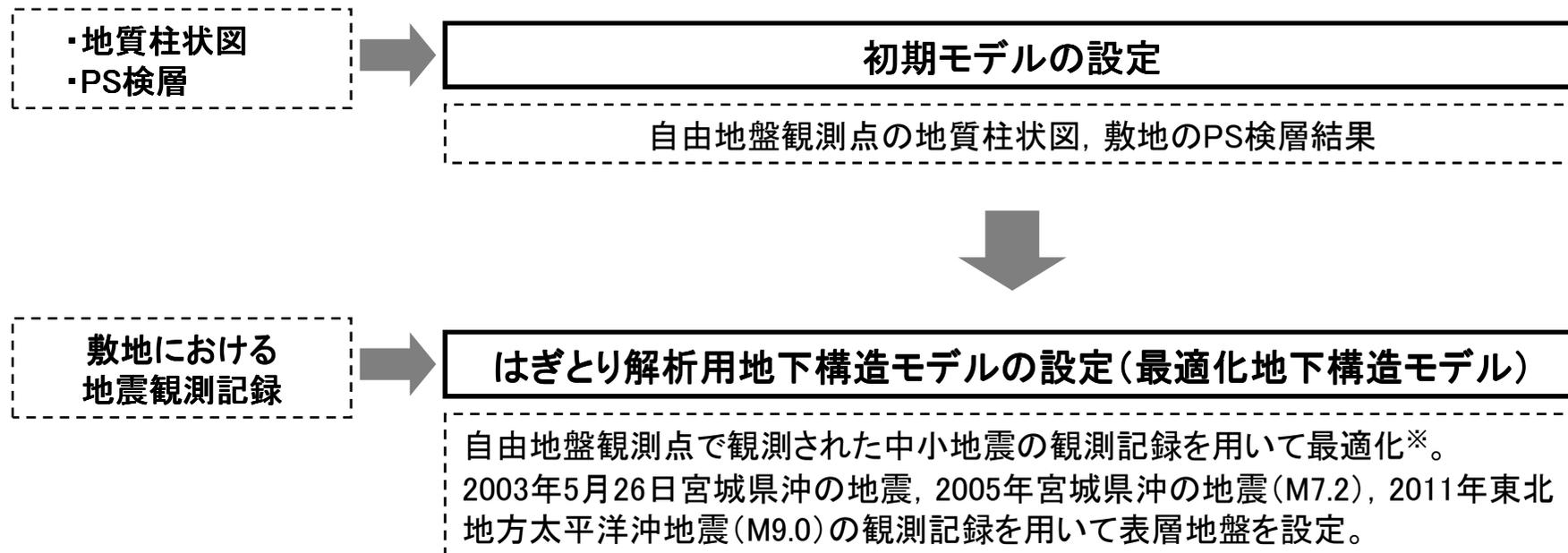
EW方向



UD方向

2.4 自由地盤のはぎとり解析用地下構造モデル

➤ 自由地盤地下構造モデルの設定の流れ



※ 遺伝的アルゴリズム(GA)を用いて各層の層厚および減衰, 表層の速度を最適化。

2. 2011年4月7日宮城県沖の地震のはぎとり解析について

2.5 自由地盤地下構造モデル(はぎとり解析用)

2003年5月26日宮城県沖の地震, 2005年8月16日宮城県沖の地震,
2011年東北地方太平洋沖地震(3.11地震)での観測記録に基づき設定した地下構造モデル

上端深さ		層厚 (m)	密度 (t/m ³)	V _S (m/s)	V _P (m/s)	減衰定数 $h(f)=h_0f^{-\alpha}$			
G.L.(m)	O.P.(m)					水平		鉛直	
						h_0	α	h_0	α
0	18.7								
-1.7	17.0	1.7	2.10	204 (112)*	467	0.10 (0.44)*	0.00 (0.38)*	0.50	0.51
-5.0	13.7	3.3							
-21.6	-2.9	16.6							
-27.3	-8.6	5.7	2.55	1500	2882	0.20	1.00	0.50	0.51
-34.5	-15.8	7.2							
-61.5	-42.8	27.0	2.66	2000	4101	1.00	0.87	1.00	0.62
-81.8	-63.1	20.3	2.68	2200	4503	0.77	1.00		
-147.1	-128.4	65.3						2600	5300
—	—	∞							

▽岩盤上部

(解放基盤表面相当)

▽地震基盤相当

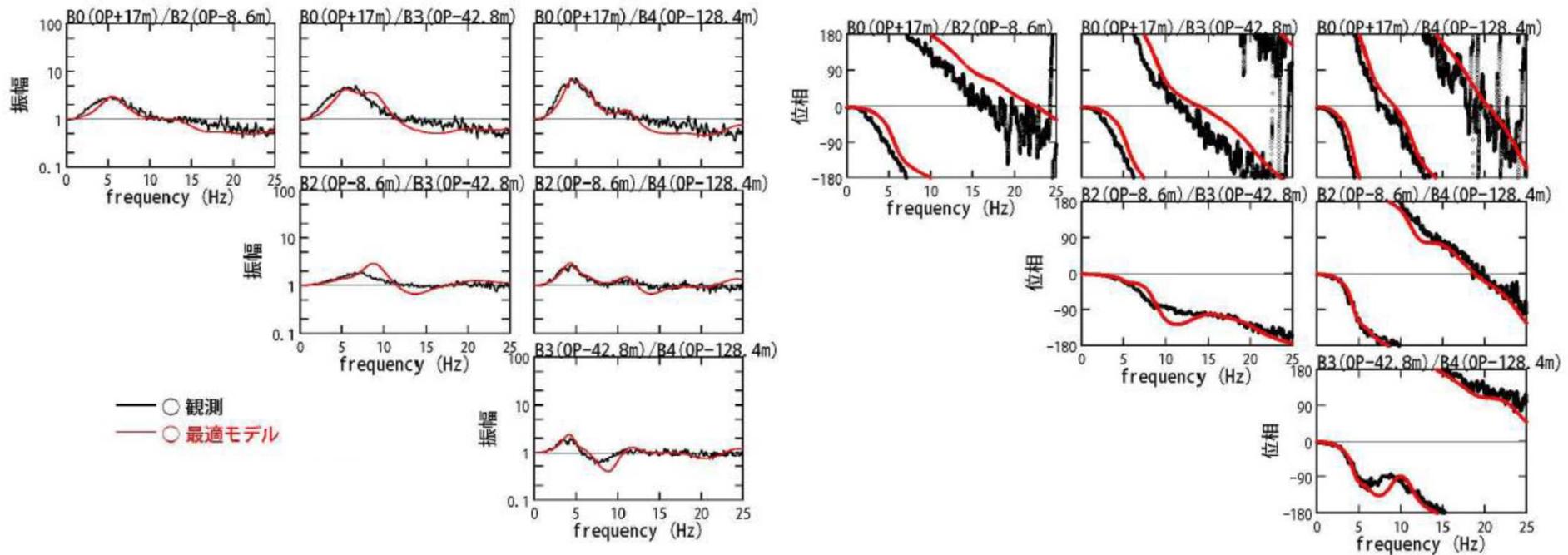
* () の数値は, 3.11地震および4.7地震の解析に使用。

2. 2011年4月7日宮城県沖の地震のはぎとり解析について

2.6 自由地盤地下構造モデル(はぎとり解析用)の理論伝達関数と3.11地震観測記録の伝達関数の比較

地盤モデルの最適化の検討

最適化地盤モデルの地盤伝達関数と3.11地震の伝達関数との比較



水平方向

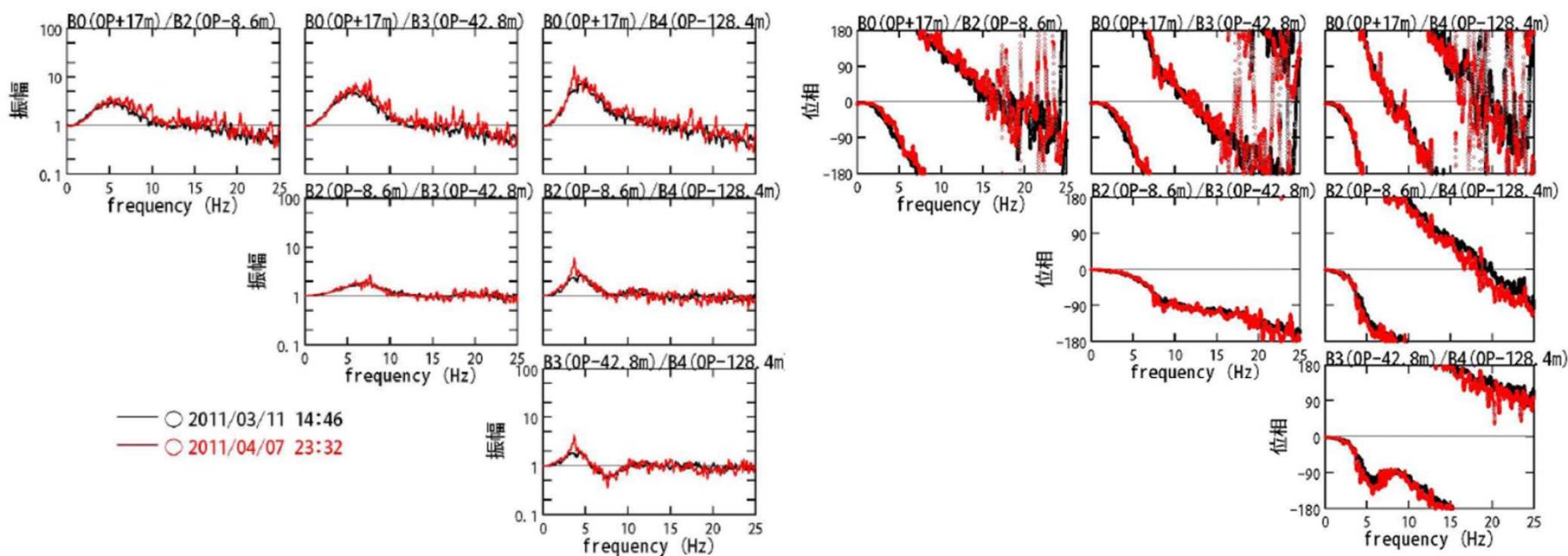
最適化地盤モデルの地盤伝達関数と3.11地震の地盤伝達関数との比較

2. 2011年4月7日宮城県沖の地震のはぎとり解析について

2.7 4.7地震観測記録の伝達関数と3.11地震観測記録の伝達関数の比較

4.7地震の地盤伝達特性

2011年3月11日東北地方太平洋沖地震(M9.0)の観測記録の伝達関数との比較(水平)



2011年4月7日宮城県沖の地震と2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の観測記録の伝達関数との比較

3.11地震と4.7地震の観測記録の伝達関数は振幅スペクトル、位相スペクトルのいずれについてもほぼ一致。

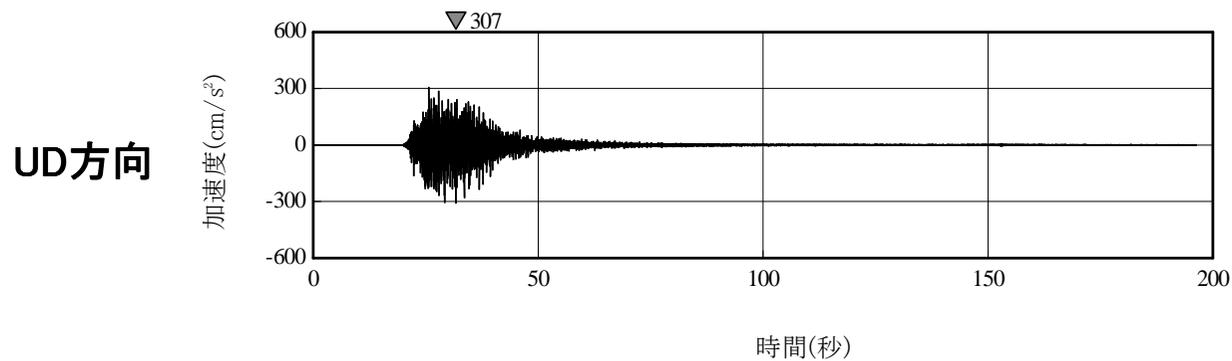
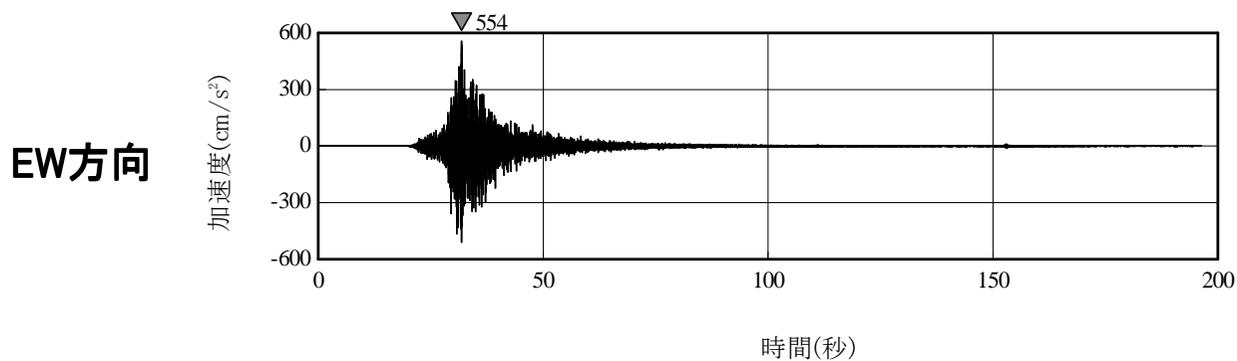
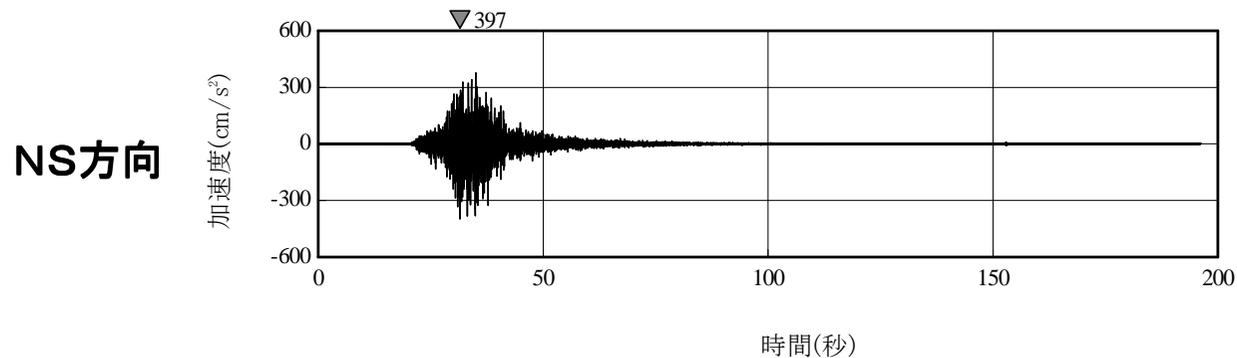


3.11地震と同様に今回の最適化地盤モデルを用いる。

2. 2011年4月7日宮城県沖の地震のはぎとり解析について

2.8 はぎとり解析結果※(加速度時刻歴波形)

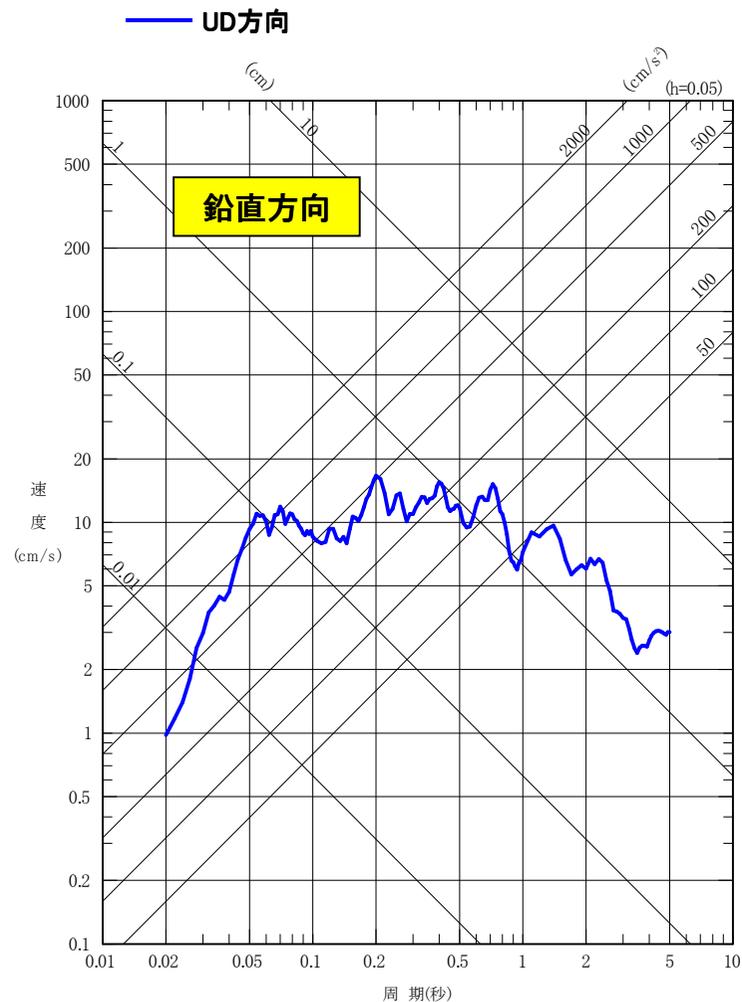
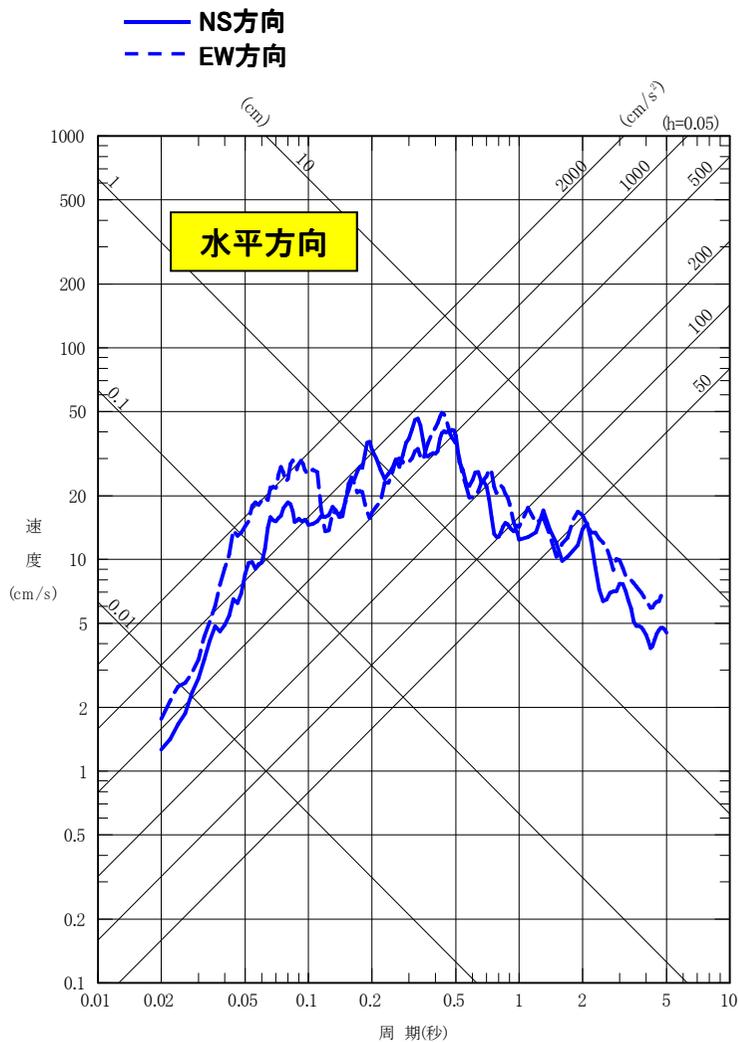
※岩盤上部(O.P.-8.6m)の観測記録のはぎとり解析結果



2. 2011年4月7日宮城県沖の地震のはぎとり解析について

2.9 はぎとり解析結果※(応答スペクトル)

※岩盤上部(O.P.-8.6m)の観測記録のはぎとり解析結果



参考文献

1. Nakajima, J., A. Hasegawa, and S. Kita (2011) : Seismic evidence for reactivation of a buried hydrated fault in the Pacific slab by the 2011 M9.0 Tohoku Earthquake, Geophys.Res. Lett., 38,L00G06, doi:10.1029/2011GL048432, 2011.
2. 笹谷努, 森川信之, 前田宜浩(2006) : スラブ内地震の震源特性, 北海道大学地球物理学研究報告, No.69