

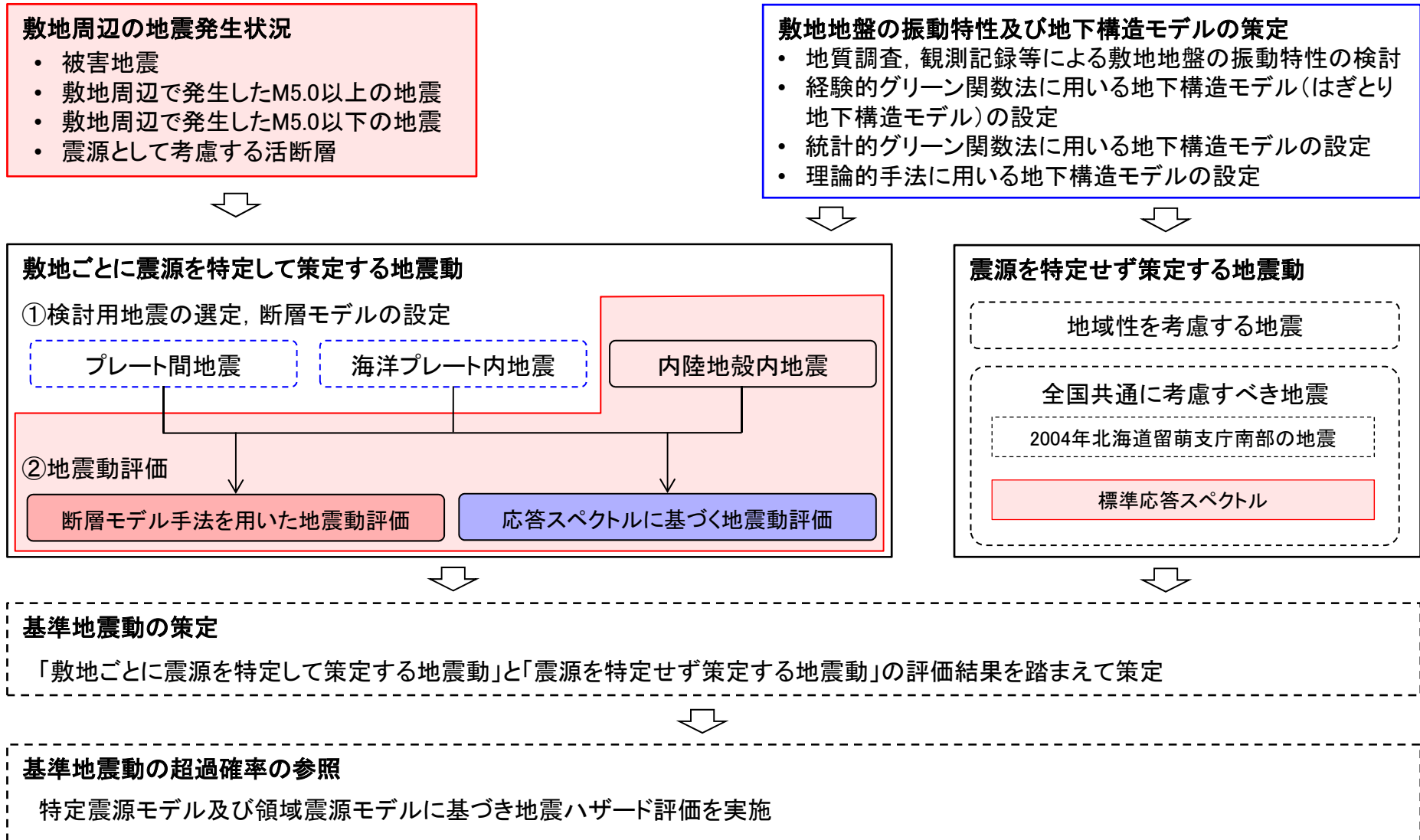
東通原子力発電所 基準地震動の策定のうち
内陸地殻内地震の地震動評価について
(コメント回答)

2022年4月11日
東北電力株式会社

審査会合におけるコメント

No.	コメント時期	コメント内容	今回ご説明資料の掲載箇所
S188	2021年2月5日 第943回審査会合	「横浜断層(東傾斜)による地震」は地質調査結果に基づくものではなく、地震動評価上の保守性確保の観点から考慮したものはしているが、検討用地震として選定した考え方、基本ケースおよび不確かさケースの設定においては、その考え方を整理したうえで保守性を考慮し検討すること。	本編資料 p.26～79
S202	2021年9月17日 第1005回審査会合	検討用地震として「横浜断層による地震」を選定し、その不確かさケースとして東傾斜のモデルを設定しているが、東傾斜は下北半島東西断面中央部付近の狭隘な速度構造の高まりを踏まえ設定していることを重視し、評価した地震の概念が分かるような名称として検討用地震の位置づけを明確にすること。	本編資料 p.27, 31～34
S203	2021年9月17日 第1005回審査会合	東傾斜の断層による地震の地震動評価について以下の点を踏まえて再検討すること。 ①検討ケースの位置づけ 東傾斜の断層による地震は地表に活断層が現れないことが前提なので、ケース2 ^{※1} を基本とし、ケース3 ^{※2} は規模の不確かさとして位置づけすることが妥当ではないか。 ②震源モデルの設定 東傾斜の想定位置は敷地に近づけたというよりも、地表痕跡の認められる位置で考慮したという整理の方が適切ではないか。 ③ケース2の更なる不確かさの考え方 ・東傾斜の断層による地震は、不確かさを考慮して地震評価上の保守性を確保していることを踏まえ、基本ケースあるいは不確かさケースの区分を適切に改めること。 ・東傾斜では実体的にL=20kmを基本ケースとしているが、L=20kmが基本ケースとなる根拠が不明確。文献内容も踏まえた考え方の整理が必要。 ・中越沖地震の知見(応力降下量の1.5倍)は、必ずしも地震発生層を飽和する規模以下の地震に適用できないとはされていない。ケース2-2はケース2-1の応力降下量の不確かさケースとしては不十分。 ・M ₀ の小さい不確かさケース2-1では、M ₀ の算定に入倉・三宅式よりもSomerville式を採用した方がM ₀ が大きく評価されることから、評価の適切性について整理・説明が必要。 ・アスペリティ位置の影響について分析・評価を行うこと。	※1:断層長さ20km ※2:断層長さ27km 本編資料 p.31, 32, 52～79 補足説明資料 p.25～29
S204	2021年9月17日 第1005回審査会合	下北半島の地質構造上の特徴を踏まえた東傾斜の地震の評価結果の保守性確認の一環として、「震源を特定せず策定する地震動」と比較することは有益である。解放基盤表面位置における「標準応答スペクトル」の評価結果を速やかに提示すること。	本編資料 p.77, 79 補足説明資料 p.32～38
S205	2021年9月17日 第1005回審査会合	一部のスペクトル図では、線が輻蕩しており視認性が劣るため、表示方法の改善を試みる(第1005回審査会合資料1-2のp.53, 資料1-3のp.27)。	本編資料 p.45, 48, 51, 64, 67, 70, 73, 76, 77

基準地震動の策定全体フローと本資料の説明範囲



凡例 : 本資料の説明範囲 : 説明済の箇所 : 本資料対象範囲外

申請時(2014年6月)からの主な変更点

内陸地殻内地震の地震動評価における申請時(2014年6月)からの主な変更点

		申請時(2014年6月)	第943回適合性審査会合	第1005回適合性審査会合	本資料
地震発生層		・微小地震分布等に基づき、3km～15kmに設定	・同左 ・As-netや海陸統合探査等の結果による検討の追加	・同左	・同左
検討用地震の選定		・横浜断層による地震	・横浜断層(西傾斜)による地震・・・震源として考慮する活断層等から選定される地震 ・横浜断層(東傾斜)による地震・・・地震動評価上の保守性確保の観点から考慮する地震	・検討用地震は「横浜断層による地震」とすることで再度見直した。 ・西傾斜の地震、東傾斜の地震は横浜断層による地震の不確かさケースの位置づけに見直しし、考え方を再整理した。	2つの検討用地震を選定 ①横浜断層による地震・・・震源として考慮する活断層等から選定される地震 ②下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震・・・下北半島東部の地質構造上の特徴から想定する地震
検討用地震の設定	基本	・地質調査結果及び地震調査研究推進本部※に基づく設定	・同左	・同左	・同左
	主な断層パラメータ 不確かさ	・2007年新潟県中越沖地震を踏まえた応力降下量(短周期レベル)(強震動予測レンジ※の1.5倍)等	・同左	・西傾斜、東傾斜の他に、断層長さ、傾斜角、アスペリティの応力降下量(短周期レベル)等に関し、不確かさケースについて再整理した。 ・横浜断層[東傾斜(L=20km)]について、傾斜角45度のケースを追加した。	基本ケースの位置づけの見直しに伴い、再整理 ①横浜断層による地震 ・アスペリティの応力降下量 ②下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震 ・地震規模 ・断層傾斜角 ・アスペリティの応力降下量
地震動評価	応答スペクトルに基づく評価	・Noda et al.(2002)を用いた評価	・同左 ・横浜断層(東傾斜)による地震については各種距離減衰式を適用	・同左	・同左 ・下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震については各種距離減衰式を適用
	断層モデル手法を用いた評価	・統計的グリーン関数法及びハイブリッド合成法	・同左 ・地下構造モデルは地下構造評価を踏まえ見直し	・同左	・同左

※: 申請時には地震調査研究推進本部(2009), 第943回適合性審査会合以降においては地震調査研究推進本部(2020)

目次(1)

1. 敷地周辺の被害地震及び震源として考慮する活断層	6
1. 1 主な被害地震	7
1. 2 敷地周辺における地震の発生状況	9
1. 3 敷地周辺の震源として考慮する活断層	11
1. 4 敷地周辺の被害地震及び震源として考慮する活断層 まとめ	12
2. 検討に用いる地下構造モデル	13
2. 1 統計的グリーン関数法に用いる地下構造モデル	14
2. 2 理論的手法に用いる地下構造モデル	15
3. 敷地周辺の内陸地殻内の地震発生層	16
3. 1 地震発生層に関する検討の基本方針	17
3. 2 微小地震の震源深さ分布	18
3. 3 地震発生層の地球物理学的な知見	21
3. 4 敷地周辺の速度構造	23
3. 5 敷地周辺の地震発生層の設定 まとめ	25
4. 内陸地殻内地震の検討用地震の選定	26
4. 1 検討用地震選定と地震動評価の基本的考え方及び全体フロー	27
4. 2 敷地周辺の被害地震及び震源として考慮する活断層による地震	28
4. 3 下北半島東部の地質構造上の特徴から想定する地震	31
4. 4 内陸地殻内地震の検討用地震	33
4. 5 検討用地震の選定 まとめ	34

目次(2)

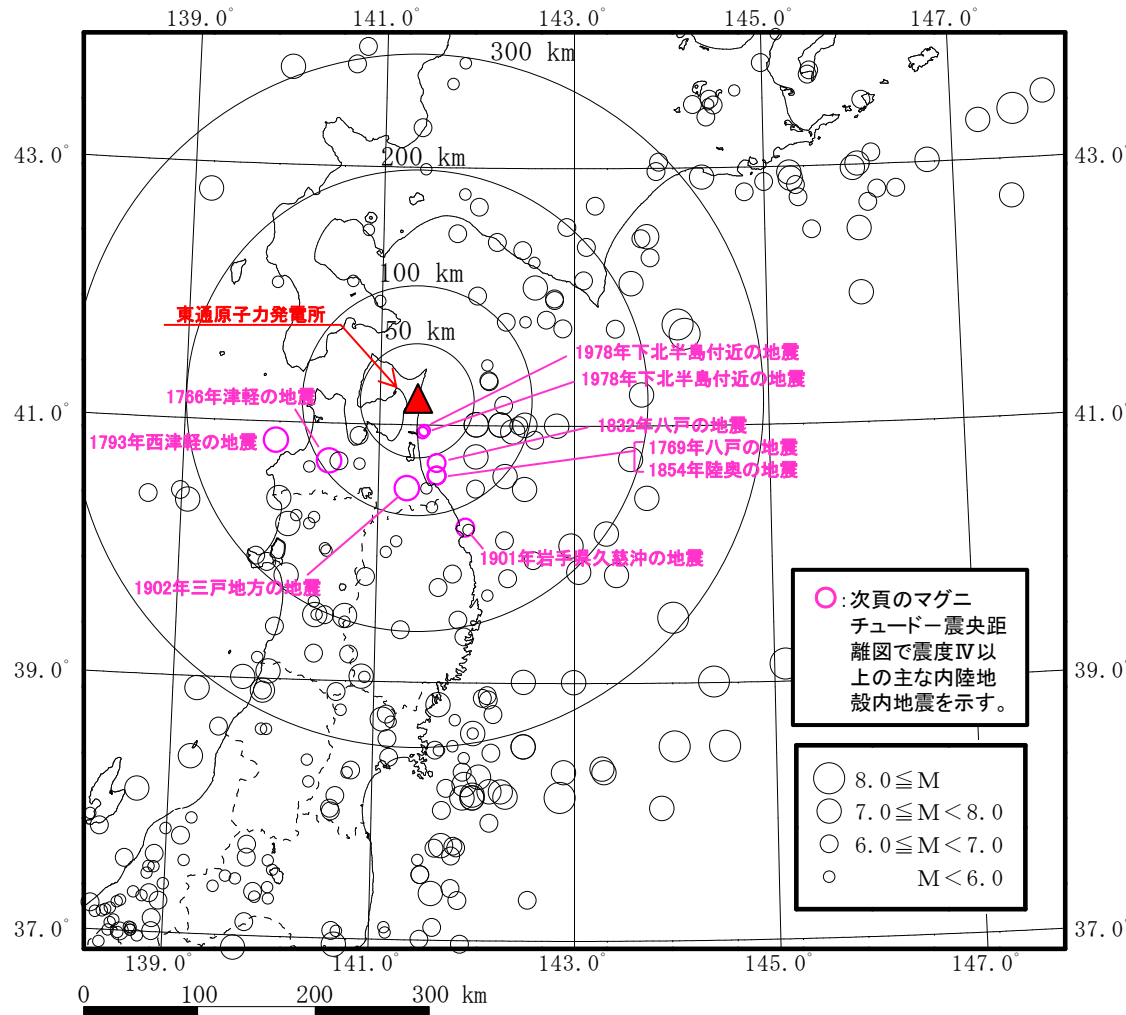
5. 検討用地震の地震動評価	.....	35
5.1 地震動評価の基本方針	.....	36
5.2 横浜断層による地震	.....	37
5.3 横浜断層による地震の地震動評価	.....	44
5.4 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震	.....	52
5.5 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震の地震動評価	.....	63
6. 内陸地殻内地震の地震動評価 まとめ	.....	78
6.1 内陸地殻内地震の地震動評価 まとめ	.....	79
参考文献	.....	80

1. 敷地周辺の被害地震及び震源として考慮する活断層

- 1. 1 主な被害地震
- 1. 2 敷地周辺における地震の発生状況
- 1. 3 敷地周辺の震源として考慮する活断層
- 1. 4 敷地周辺の被害地震及び震源として考慮する活断層 まとめ

1.1 主な被害地震

(1) 敷地周辺における主な被害地震 震央分布図



敷地周辺の主な被害地震の分布
(599年～2021年5月)

1918年以前は宇佐美ほか(2013), 1919年以降は気象庁(2020)による。
2021年2月13日福島県沖の地震, 2021年3月20日宮城県沖の地震及び5月1日宮城県沖の地震は, 気象庁震源リスト
(https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/daily_map/index.html)による。

【敷地周辺における主な被害地震の特徴】

- 敷地に最も近い位置で発生している被害地震は1978年下北半島付近の地震[2地震 (M5.8, Xeq=28km), (M5.8, Xeq=30km)]であり, 地震規模は小さい。
- M7以上の被害地震としては, 陸域の西側で1766年津軽の地震(M7.3, Xeq=94km)等が発生しているが, 敷地からの距離は遠い。
- また, さらに遠方の日本海東縁部では, 1983年日本海中部地震(M7.7)及び1993年北海道南西沖地震(M7.8)が発生している。

敷地周辺の内陸地殻内で発生した主な被害地震※1

発年月日	震源地名	地震規模	震央距離(km)	等価震源距離※2(km)
1766. 3. 8	津軽	M7.3	93	94
1769. 7. 12	八戸	M6.5	67	68
1793. 2. 8	西津軽	M7.0	127	128
1832. 3. 15	八戸	M6.5	56	57
1854. 8. 28	陸奥	M6.5	67	68
1901. 9. 30	岩手県久慈沖	M6.9	117	118
1902. 1. 30	三戸地方	M7.0	76	78
1978. 5. 16	下北半島付近	M5.8	27	28
1978. 5. 16	下北半島付近	M5.8	28	30

※1: 次頁のマグニチュード-震央距離図により敷地で震度IV以上の主な内陸地殻内地震

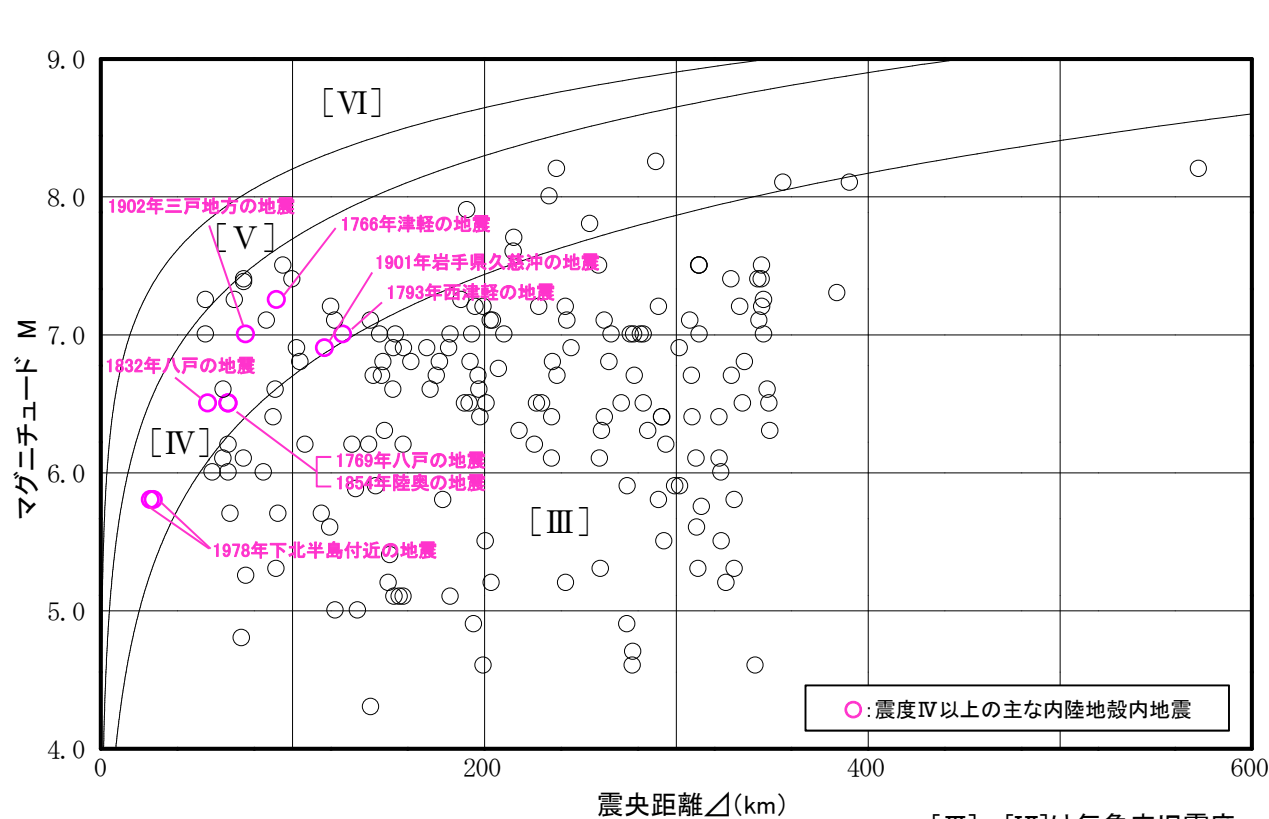
※2: 等価震源距離は地震規模及び震央距離から算定

1.1 主な被害地震

(2) 敷地周辺における主な被害地震 マグニチュード-震央距離図

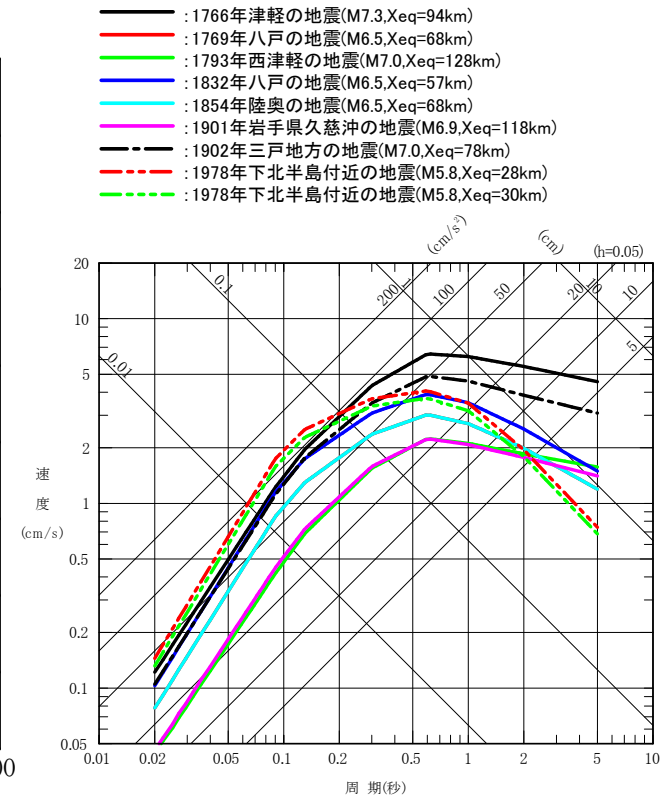
【敷地周辺における主な被害地震が敷地に与える影響】

- 敷地周辺で発生した主な被害地震のマグニチュード(M)-震央距離(Δ)図と村松(1969)及び勝又・徳永(1971)の震度区分(気象庁旧震度階級)の関係では、内陸地殻内の被害地震で敷地において震度[V]以上のものは発生していない。
- また、Noda et al.(2002)を用いた応答スペクトルの比較から、敷地への影響が大きい被害地震は、1766年津軽の地震(M7.3, Xeq=94km)及び1978年下北半島付近の地震(M5.8, Xeq=28km)である。



※:2011年東北地方太平洋沖地震のMとΔは、神田ほか(2012)による震度インバージョンによる値(M8.1, Δ=356km)を用いた。

[Ⅲ]~[Ⅵ]は気象庁旧震度階級で、震度の境界線は村松(1969)及び勝又・徳永(1971)による。



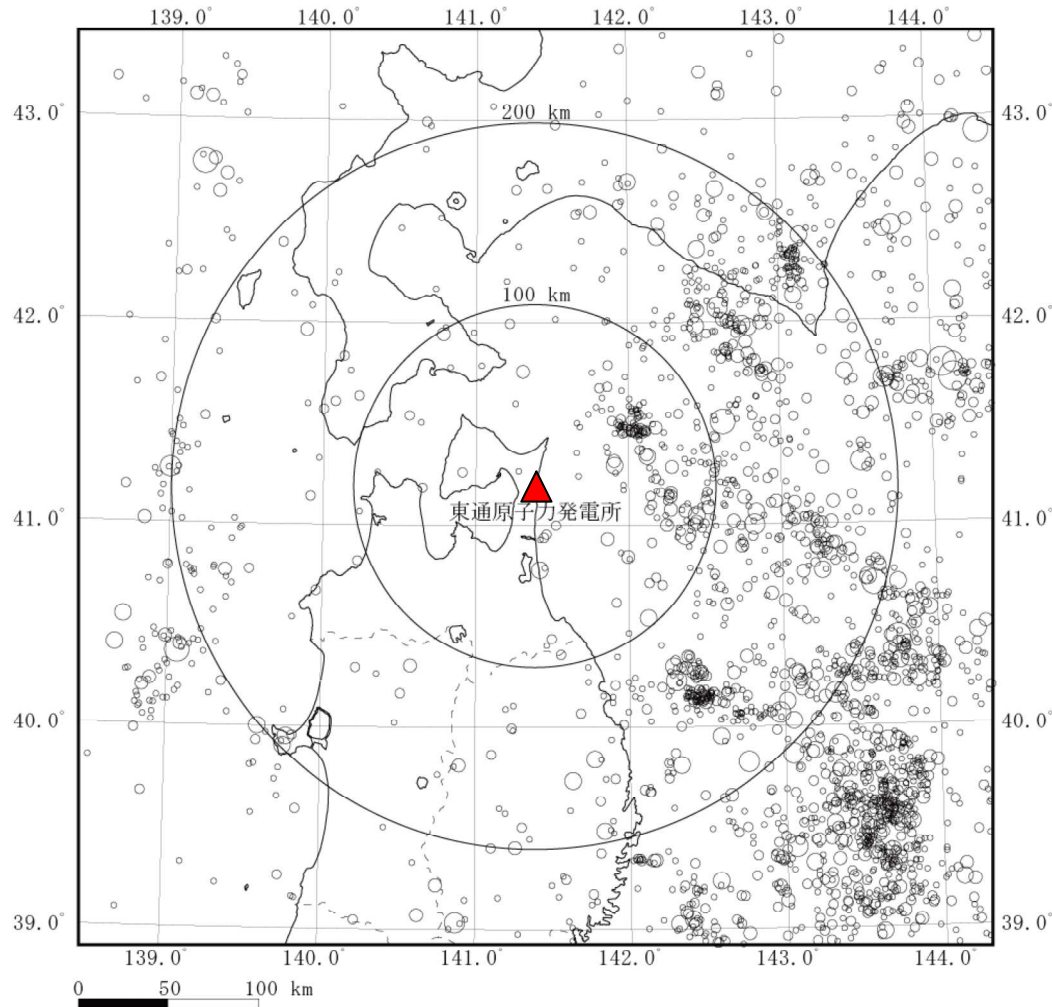
主な被害地震の応答スペクトル(水平方向)
[Noda et al.(2002)]

1.2 敷地周辺における地震の発生状況

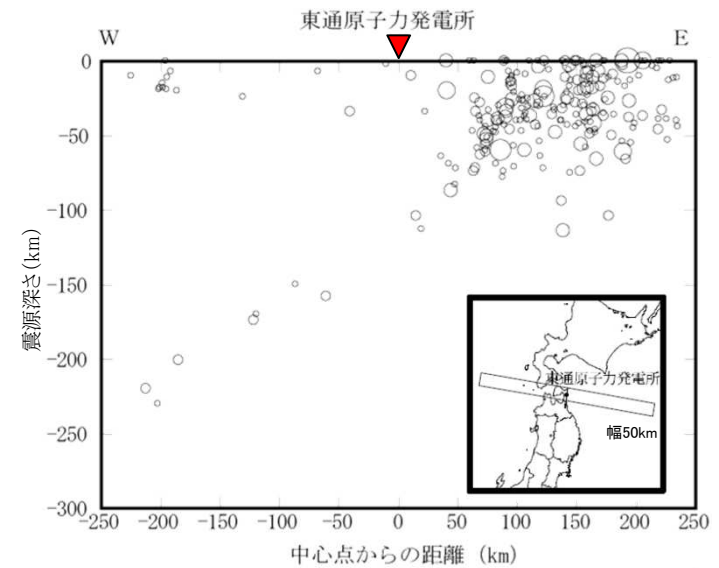
(1) 敷地周辺におけるM5.0以上の地震の発生状況

【気象庁で観測された地震の震源分布の特徴】

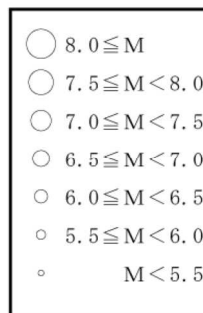
- 内陸での発生頻度は低い。
- 1919年以降、敷地から100km以内ではM7を超える地震は発生していない。



敷地周辺におけるM5.0以上の震央分布
〔1919年1月～2018年12月：気象庁(2020)〕



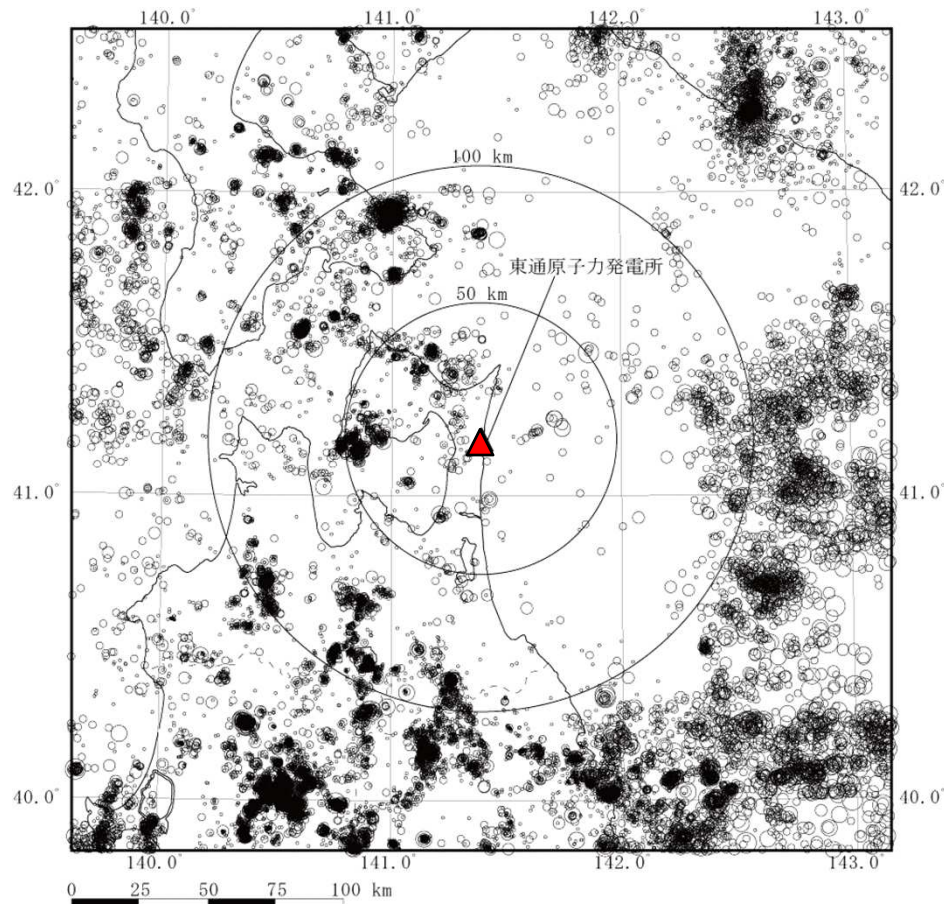
敷地周辺におけるM5.0以上の震源鉛直分布
〔1919年1月～2018年12月：気象庁(2020)〕



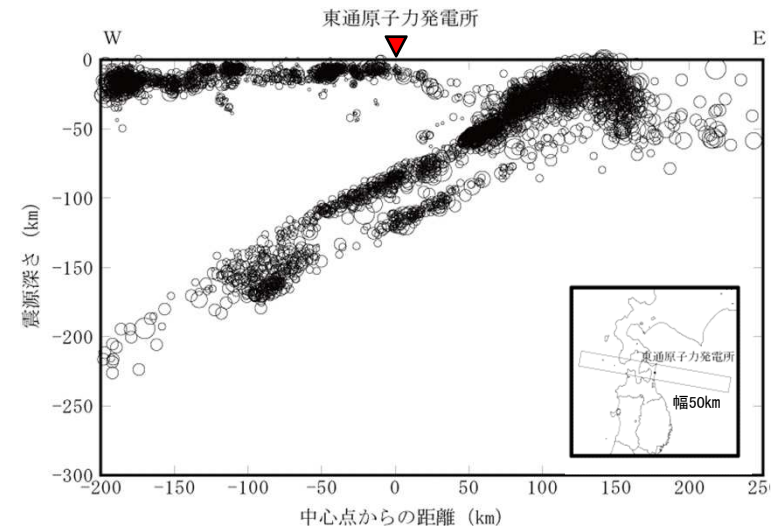
1.2 敷地周辺における地震の発生状況 (2) 敷地周辺におけるM5.0以下の地震の発生状況

【気象庁で観測された微小地震の震源分布の特徴】

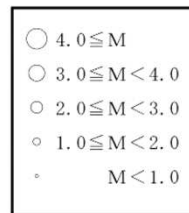
- 敷地周辺の微小地震分布(M \leq 5.0)では、敷地付近において特に集中は見られない。



敷地周辺における微小地震の分布(震源深さ \leq 30km)
[2011年1月~2018年12月:気象庁(2020)]

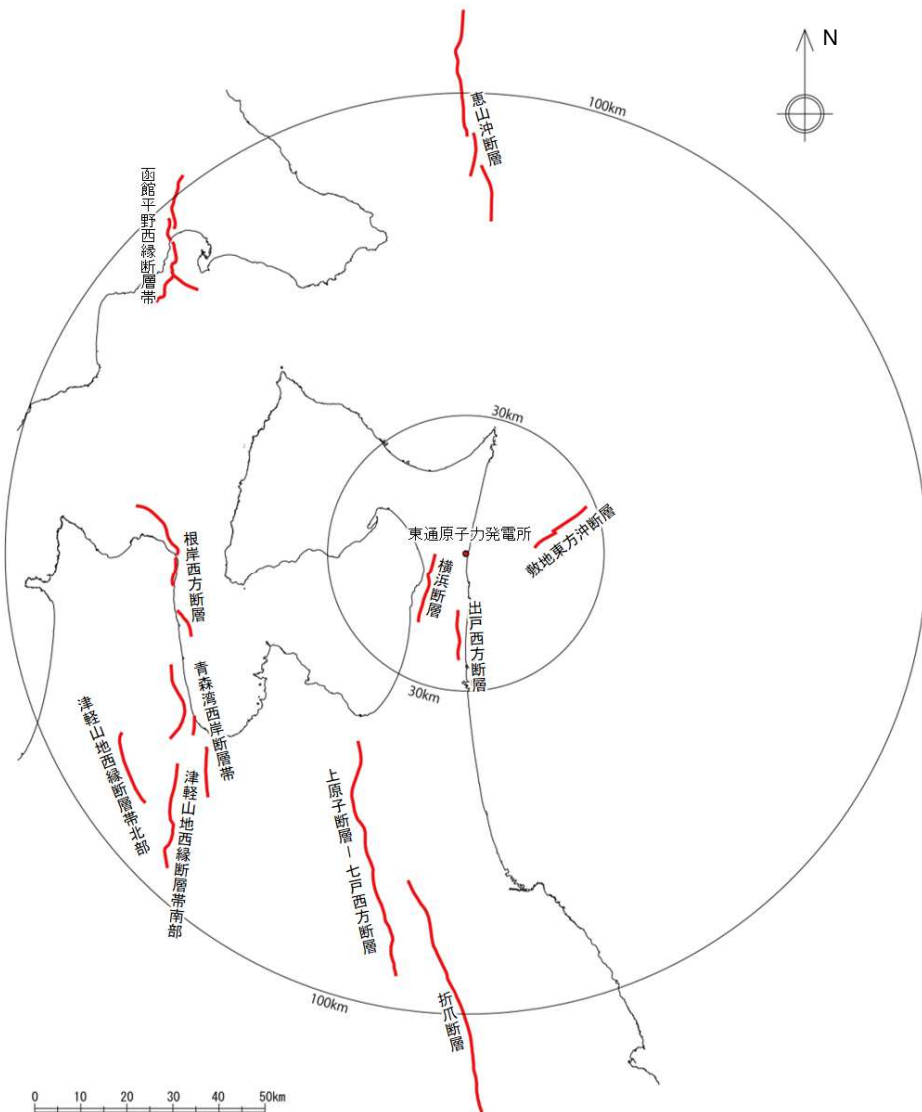


敷地周辺における微小地震の震源鉛直分布
[2011年1月~2018年12月:気象庁(2020)]



1.3 敷地周辺の震源として考慮する活断層

- 地質調査による震源として考慮する活断層(第878回適合性審査会合 資料1-1 p.7-3) に示したとおり, 半径30km以内には, 横浜断層〔断層長さ(L)=約15.4km〕, 出戸西方断層(L=約11km)及び敷地東方沖断層(L=約14.5km)がある。



震源として考慮する活断層

断層名		評価長さ
陸域	横浜断層	約15.4km
	出戸西方断層	約11km
	上原子断層	約51km
	七戸西方断層	
	折爪断層	約53km
	根岸西方断層	約38km
	青森湾西岸断層帯	約31km
	津軽山地西縁断層帯北部	約16km
	津軽山地西縁断層帯南部	約23km
	函館平野西縁断層帯	海域南東延長部を含む 函館平野西縁断層帯	約26km
海域南西延長部を含む 函館平野西縁断層帯		約28km
海域	敷地東方沖断層	約14.5km
	恵山沖断層	約47km

1.4 敷地周辺の被害地震及び震源として考慮する活断層 まとめ

- 敷地に最も近い被害地震として1978年下北半島付近の地震が発生しているが、地震規模はM5.8と小さい。一方、M7以上の被害地震では1766年津軽の地震(M7.3)等が発生しているが、敷地からの距離は遠く、これらの地震が敷地に与える影響は震度IV程度である。過去の被害地震では、これらの2つの地震が敷地に与える影響が最も大きい。
- 気象庁で観測された地震及び微小地震の震源分布では、敷地付近に集中は認められない。
- 地質調査結果から、敷地から30km以内の震源として考慮する活断層としては、横浜断層〔断層長さ(L)=約15.4km〕、出戸西方断層(L=約11km)及び敷地東方沖断層(L=約14.5km)がある。

2. 検討に用いる地下構造モデル

- 2. 1 統計的グリーン関数法に用いる地下構造モデル
- 2. 2 理論的手法に用いる地下構造モデル

2.1 統計的グリーン関数法に用いる地下構造モデル

- 内陸地殻内地震の断層モデル手法を用いた地震動評価では統計的グリーン関数法を採用しており、算定に当たっては下表の地下構造モデル(第902回適合性審査会合 資料2-1-2 p.117)を採用している。

T.P. (m)	層厚 (m)	密度 (t/m ³)	V _s (m/s)	V _p (m/s)	Q _s	Q _p	
+2.0	—	—	—	—	—	—	▽岩盤上部の地震観測点 (解放基盤表面の振動特性)
-7.0	9.0	2.24	1300	2250	1.23f ^{0.74}	2.33f ^{0.50}	
-62.0	55.0	2.24	1790	3060	1.23f ^{0.74}	2.33f ^{0.50}	
-82.8	20.8	2.72	1800	3340	1.23f ^{0.74}	2.33f ^{0.50}	
-106.0	23.2	2.72	1800	3340	1.23f ^{0.74}	2.33f ^{0.50}	
-166.0	60.0	2.30	1910	3350	8.91f ^{0.94}	5.55f ^{0.50}	
-190.0	24.0	2.30	2030	3360	8.91f ^{0.94}	5.55f ^{0.50}	
-252.0	62.0	2.30	2100	3390	8.91f ^{0.94}	5.55f ^{0.50}	
-282.8	30.8	2.33	2090	3690	8.91f ^{0.94}	5.55f ^{0.50}	
-574.8	292.0	2.44	2390	3690	100	100	
-1495.8	921.0	2.45	2460	3750	100	100	▽地震基盤
-2441.8	946.0	2.48	2590	3960	100	100	
-2987.8	546.0	2.50	2680	4160	100	100	
	∞	2.63	3340	5800	150	150	

【青文字】地震観測点位置を示す。

※: 解放基盤表面の地震動評価として採用する観測点はT.P.+2.0m, 地盤のせん断波速度はV_s=1300m/s。

2.2 理論的手法に用いる地下構造モデル

- 内陸地殻内地震の断層モデル手法を用いた地震動評価では、一部のケースにおいてハイブリッド合成法を採用しており、このうち理論的手法の算定に当たっては下表の地下構造モデル(第902回適合性審査会合 資料2-1-2 p.119)を採用している。

T.P. (m)	層厚 (m)	密度 (t/m ³)	V _S (m/s)	V _P (m/s)	Q	
+2.0	—	—	—	—	—	▽岩盤上部の地震観測点
-7.0	9.0	2.24	1300	2250	100	(解放基盤表面の振動特性)
-62.0	55.0	2.24	1790	3060	100	
-82.8	20.8	2.72	1800	3340	100	
-106.0	23.2	2.72	1800	3340	100	
-166.0	60.0	2.30	1910	3350	100	
-190.0	24.0	2.30	2030	3360	100	
-252.0	62.0	2.30	2100	3390	100	
-282.8	30.8	2.33	2090	3690	100	
-574.8	292.0	2.44	2390	3690	100	
-1495.8	921.0	2.45	2460	3750	100	
-2441.8	946.0	2.48	2590	3960	150	
-2987.8	546.0	2.50	2680	4160	150	▽地震基盤
-3000.0	12.2	2.63	3340	5800	150	
-15000.0	12000.0	2.69	3580	6180	300	
-25000.0	10000.0	2.80	3700	6400	300	
	∞	3.20	4100	7100	500	

【青文字】地震観測点位置を示す。

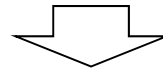
3. 敷地周辺の内陸地殻内の地震発生層

- 3. 1 地震発生層に関する検討の基本方針
- 3. 2 微小地震の震源深さ分布
- 3. 3 地震発生層の地球物理学的な知見
- 3. 4 敷地周辺の速度構造
- 3. 5 敷地周辺の地震発生層の設定 まとめ

3.1 地震発生層に関する検討の基本方針

【地震発生層に関する主な既往知見】

- 伊藤(2002)によると、地震発生層には上限及び下限が存在し、D10%※¹を上限、D90%※²を下限の目安として用いることができるとしている。
- 入倉・三宅(2001)によると、微小地震の浅さの限界は、 $V_p=5.8\sim 5.9\text{km/s}$ 層の上限と良い関係があるとされている。
- 木下・大竹(2000)によると、地殻内の地震はコンラッド面より浅い上部地殻で発生し、下部地殻では流動性に富み、地震を発生させるほどの歪エネルギーを蓄積することができないとされている。



敷地周辺の地震発生層は、微小地震の震源深さ分布(D10%及びD90%)、速度構造、コンラッド面の深さ等を踏まえ設定する。

※1:D10%:その値より震源深さが浅い地震数が全体の10%となるときの震源深さ。

※2:D90%:その値より震源深さが浅い地震数が全体の90%となるときの震源深さ。

3. 2 微小地震の震源深さ分布

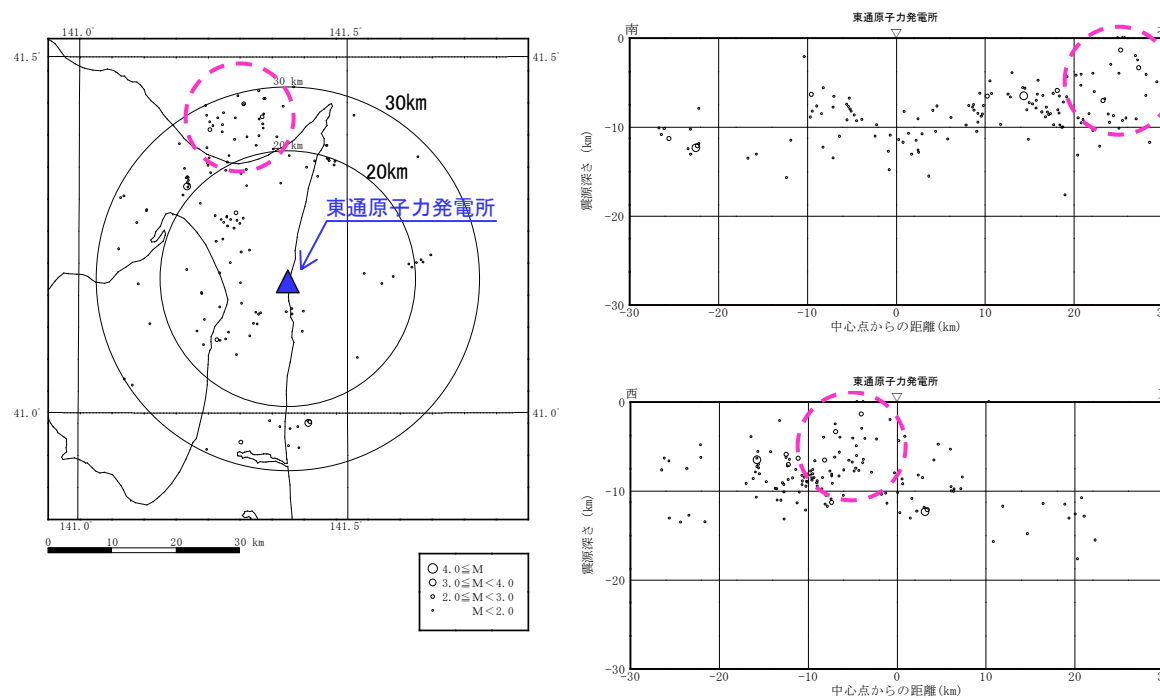
(1) 気象庁の震源による検討

【気象庁の一元化震源データを用いた検討の概要】

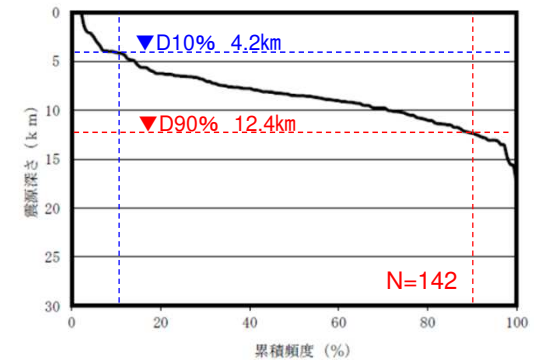
- 気象庁の一元化震源データに基づき、敷地周辺で発生した地震のD10%及びD90%を評価した。評価に当たっては、①敷地から半径30km範囲内の地震を対象とした検討に加え、②敷地により近い半径20km範囲内の地震を対象とした検討も行った。
- 使用したデータの期間は、2014年1月1日～現状(2018年12月31日)とした。2014年1月1日は後述するAs-net観測開始時期に相当する。なお、2017年12月からAs-netの一部観測データも気象庁の一元化に取り込まれている。

【算定結果の特徴】

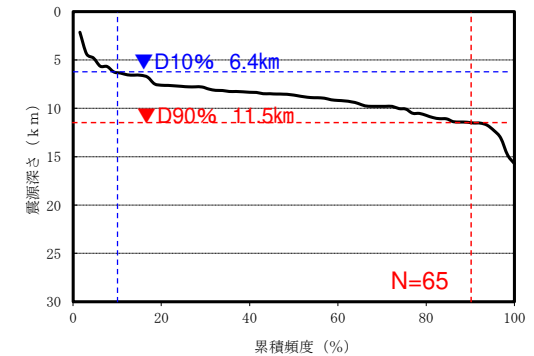
- 半径30kmの場合、D10%は4.2km、D90%は12.4kmであるのに対し、半径20kmの場合はD10%は6.4km、D90%は11.5kmと、特にD10%で半径20kmは深い結果となった。これは、北側の津軽海峡付近に分布する浅い震源が影響しているものと考えられる。



気象庁の一元化震源データに基づいた震央分布及び震源深さ分布



震源深さの累積度数分布【半径30km】



震源深さの累積度数分布【半径20km】

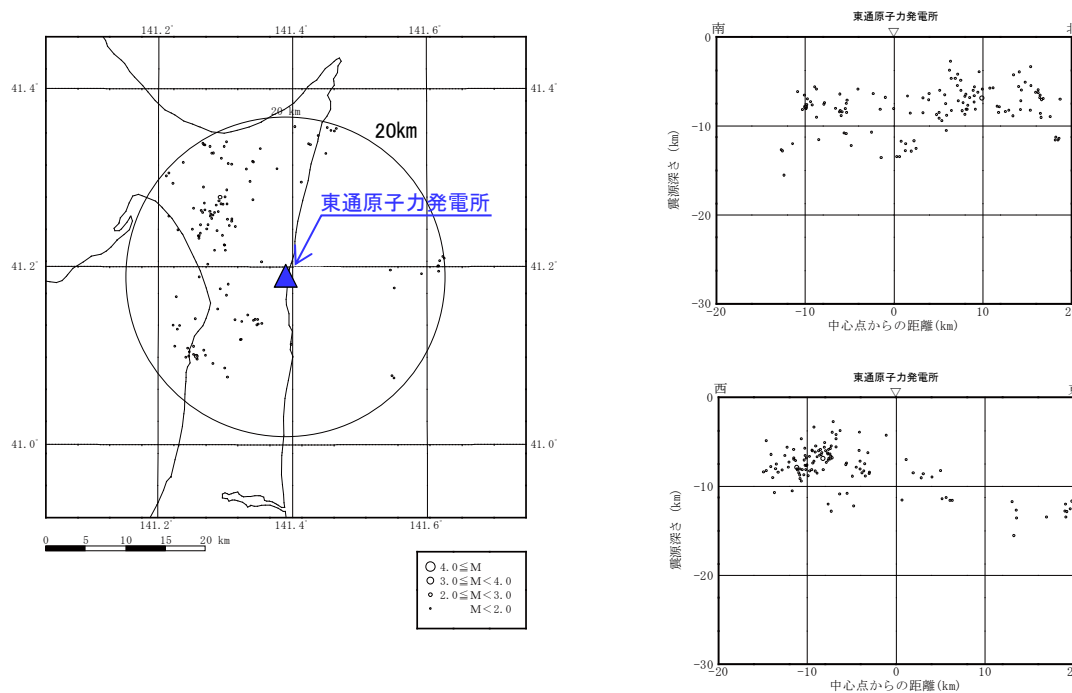
3.2 微小地震の震源深さ分布 (2) As-netの震源による検討 20km範囲

【As-net(地震予知総合研究振興会)の震源データを用いた検討の概要】

- (公財)地震予知総合研究振興会では青森県を中心に高密度地震観測網(As-net)を展開しており、決定された地震の震源データに基づき、敷地からの半径20km以内のD10%及びD90%について評価を行った。使用したデータの期間は2014年1月1日～2018年12月31日である。

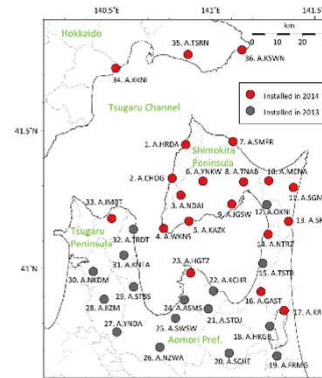
【検討結果の特徴】

- **D10%は5.5km, D90%は11.8km**と、気象庁一元化データに基づく評価(半径20km)よりD10%は浅くなった。一般的に、高密度の地震観測網で決定された震源深さは浅く決定される方向となり、評価結果はこれと整合したものである。震源データを用いた検討としては、As-netによる検討結果を採用する。

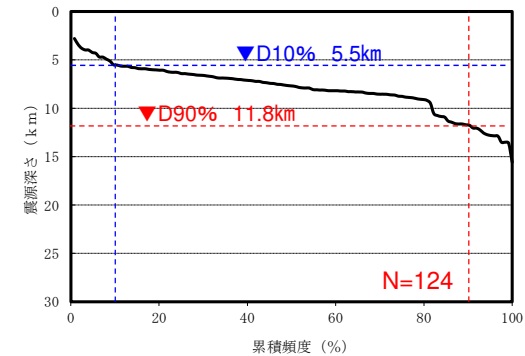


As-netの震源データに基づいた震央分布及び震源深さ分布

低周波地震及び震源決定誤差が大きい地震(水平1.0km以上, 鉛直2.0km以上)は除外した。



As-net観測点[Noguchi et al.(2017)]



震源深さの累積度数分布

3.2 微小地震の震源深さ分布 (3) 原子力安全基盤機構(2004)

【検討の概要】

- 原子力安全基盤機構では、気象庁の一元化震源データ(1997年10月～2001年8月)を用いて、全国の15の地震域ごとに地震発生上下限層に関するパラメータの検討を行っている。この検討結果に基づき、敷地付近のD10%及びD90%の値を確認する。

【確認結果】

- 東通原子力発電所が位置する「東北東部」は、D10%は深さ6.2km、D90%は深さ13.8kmと評価されている。

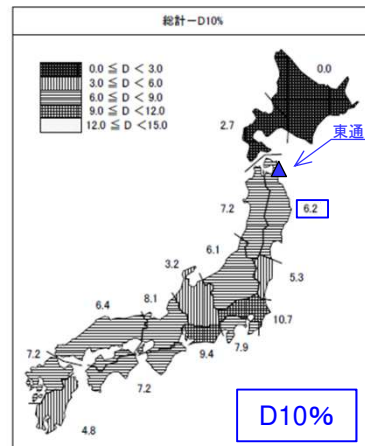
【原子力安全基盤機構(2004)】

原子力安全基盤機構(2004)による「東北東部」地震域の地震発生層(一部加筆)

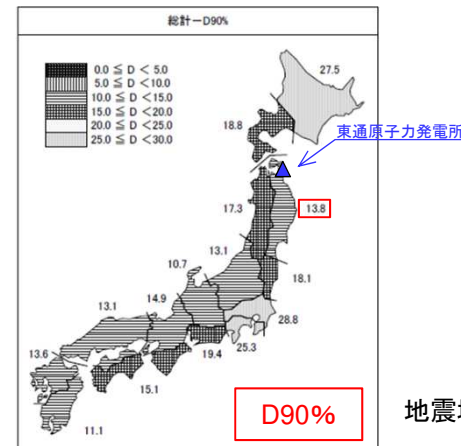
地震域	M区分	最浅(km)	D10%(km)	D50%(km)	D90%(km)	最深(km)	データ数	D90%-D10%(km)	震源域上端深さ最浅値(飯田式)
東北東部	2.0 ≤ M < 2.5	0.0	5.8	10.4	13.7	29.6	288	7.9	-0.7
	2.5 ≤ M < 3.0	0.0	6.4	11.3	15.9	29.7	97	9.5	-1.3
	3.0 ≤ M < 3.5	0.0	7.3	11.0	13.1	29.3	44	5.8	-1.4
	3.5 ≤ M < 4.0	8.7	9.8	12.2	15.7	29.5	20	5.9	5.9
	4.0 ≤ M	3.2	7.6	9.1	13.2	14.7	11	5.6	-10.5
	全データ	0.0	6.2	10.7	13.8	29.7	460	7.6	-10.5

D10%: その値より震源深さが浅い地震数が全体の10%となるときの震源深さ。地震発生層上限に対応する。

D90%: その値より震源深さが浅い地震数が全体の90%となるときの震源深さ。地震発生層下限に対応する。



地震域区分ごとのD10%の深さ分布
(一部加筆)



地震域区分ごとのD90%の深さ分布
(一部加筆)

3.3 地震発生層の地球物理学的な知見 (1)コンラッド面の深さ分布

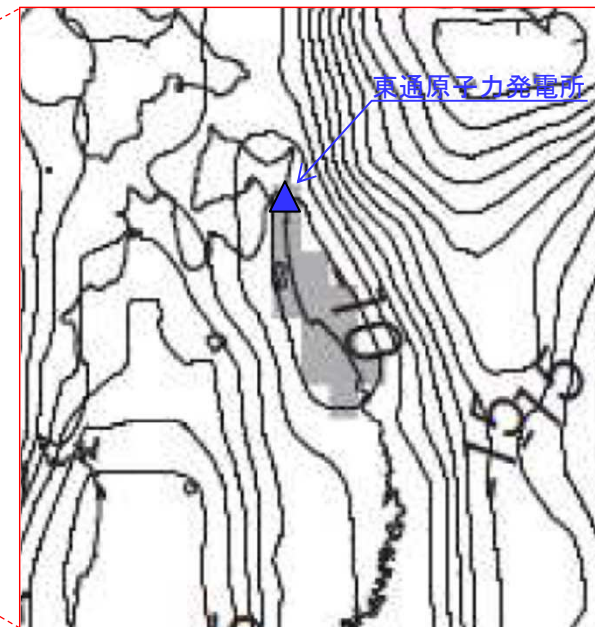
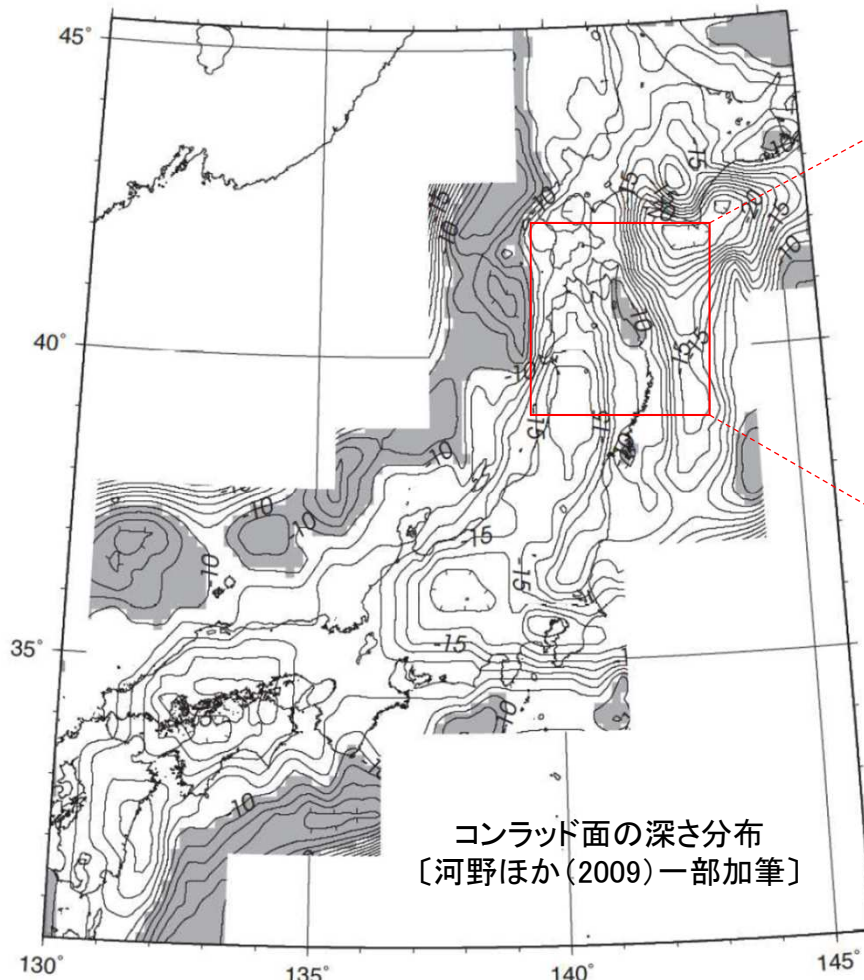
【検討の概要】

➤ 河野ほか(2009)は、重力異常データを用いて日本列島の三次元地下構造を推定しており、この評価結果から敷地近傍の値を確認する。

【確認結果】

➤ 東通原子力発電所付近の上部地殻の下面(コンラッド面)の深さは、**約10km**と読み取れる。

【河野ほか(2009)】



拡大図

灰色の網掛は、深さ10km以浅を表す。

3.3 地震発生層の地球物理学的な知見 (2) キュリー一点深度の分布

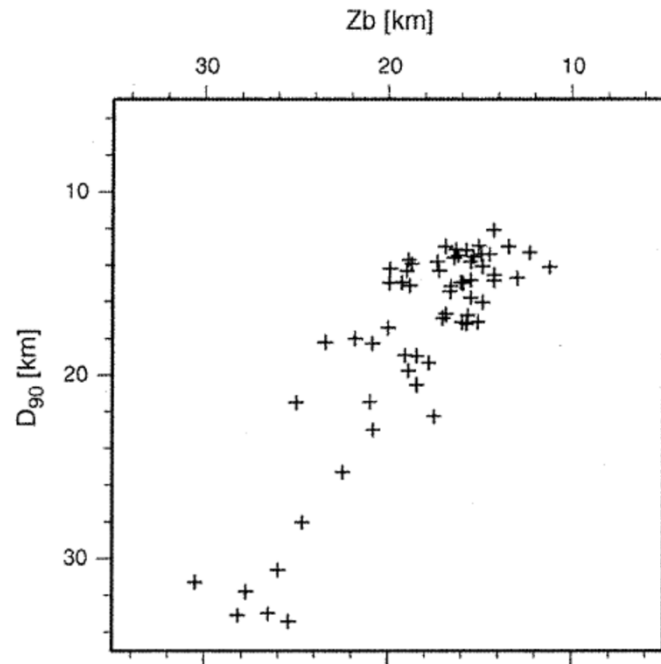
【検討の概要】

- Tanaka and Ishikawa (2005) は、キュリー一点深度と地震発生層の下限(D90%)は良い相関を示すことを示している。また、大久保(1984)は、日本全国のキュリー一点深度を示しており、この評価結果から敷地付近のキュリー一点深度を確認する。

【確認結果】

- 東通原子力発電所付近のキュリー一点深度は、13~15kmと読み取れる。

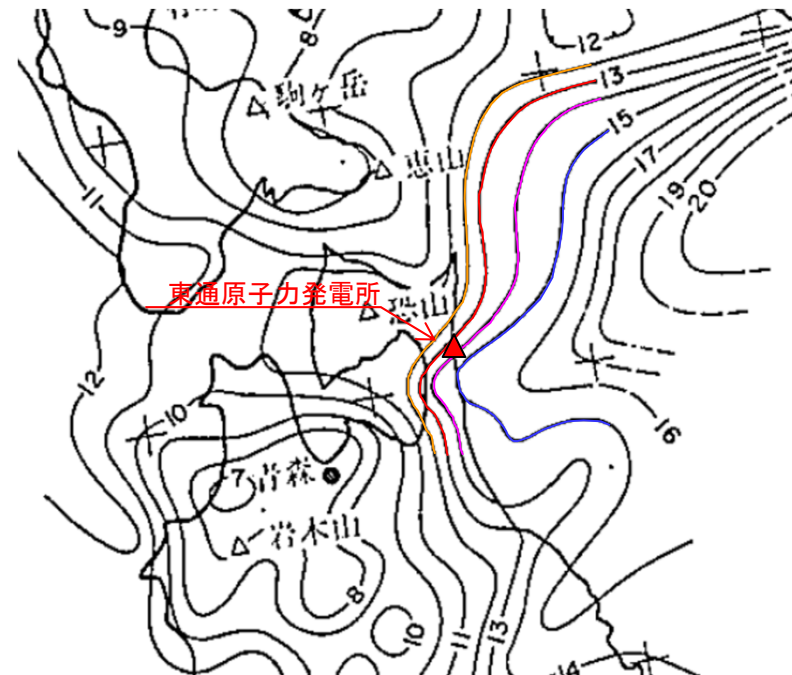
【Tanaka and Ishikawa (2005)】



D90%と磁性体の下面深度(Zb)
〔Tanaka and Ishikawa(2005)〕

磁性体の下面深度(キュリー一点深度)と地震発生層の下限(D90%)は良い相関を示す。

【大久保(1984)】



キュリー一点深度の分布
〔大久保(1984)一部加筆〕

3. 4 敷地周辺の速度構造 (1) 東西方向

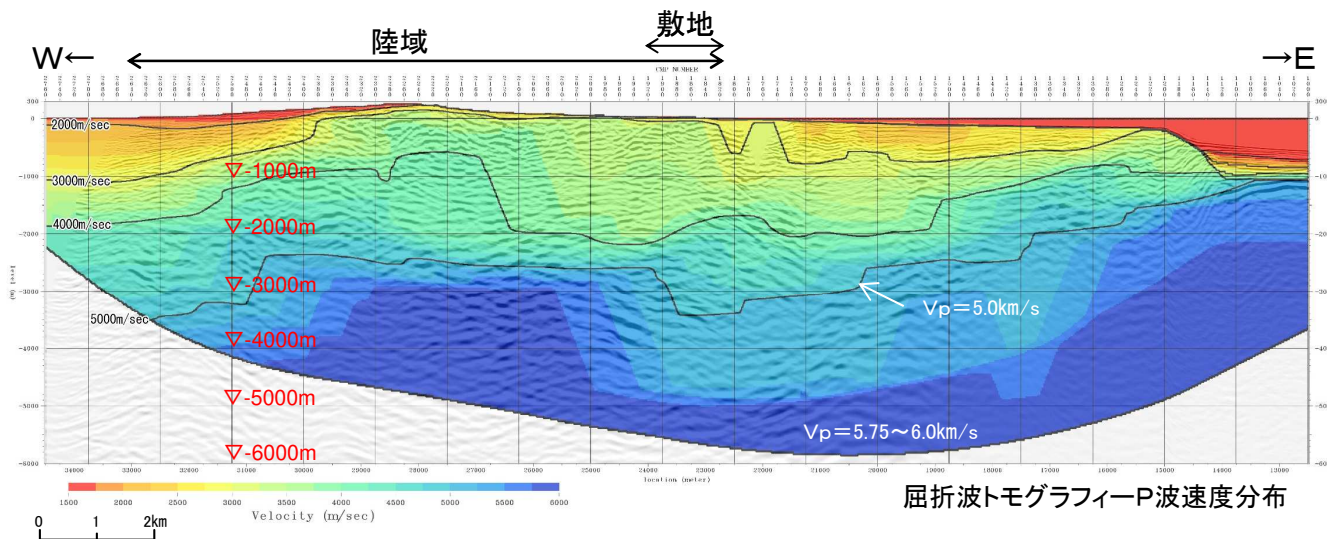
【検討の概要】

- 敷地周辺で実施した海陸統合探査(第902回適合性審査会合 資料2-2-1 p.6-189)に基づき、地震発生層の上限と考えられている $V_p=5.8\sim 5.9\text{km/s}$ 層※の深さ分布を確認する。

【検討結果(東西方向)】

- 敷地極く近傍では深さ3kmにおける V_p は約 5.0km/s であり、地震発生層は3kmよりも深い。一方、下北半島東西断面中央部付近(中軸部)の高速層の高まり部分では、深さ3kmの V_p は約 $5.75\sim 6.0\text{km/s}$ となっている。さらに太平洋側の沖合では、深さ2km付近の V_p は約 $5.75\sim 6.0\text{km/s}$ となっている。
- 地震発生層はある程度広域な範囲の速度構造の特徴を反映したものとして評価されるが、下北半島中軸部の狭隘な高速層の高まり(下北半島東部の地質構造上の特徴として検討用地震の想定で考慮、4章3参照)を地震発生層の上限とみなしたとしても、深さは3km程度もしくはそれ以深と評価される。なお、太平洋側の沖合には敷地に大きな影響を与える活断層は存在しない。

※: 入倉・三宅(2001)



敷地周辺の東西方向の速度構造(H24海陸統合探査)

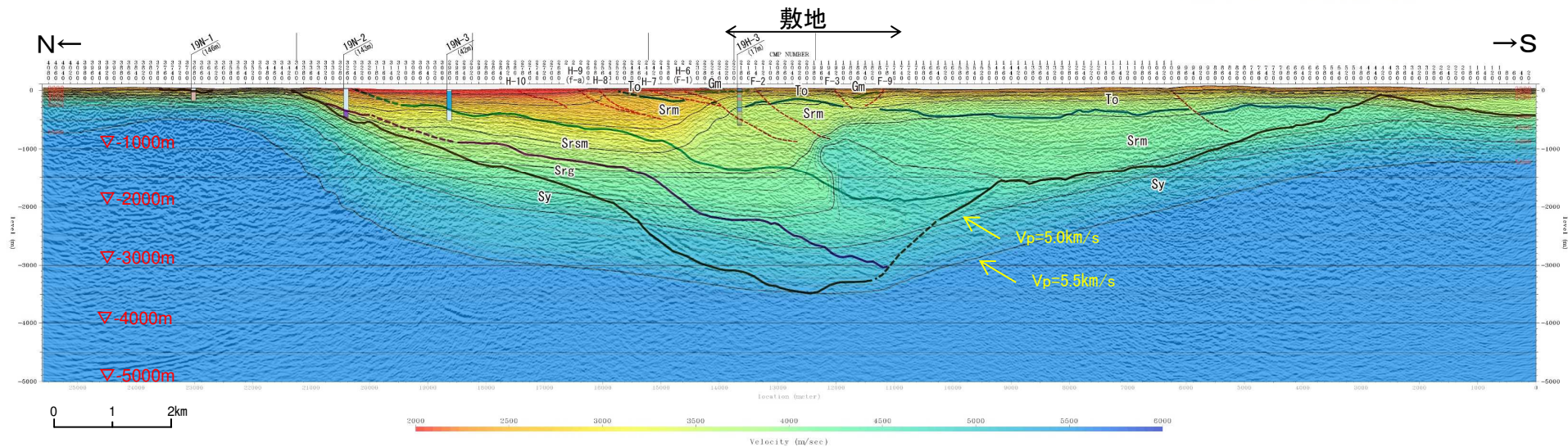
3.4 敷地周辺の速度構造 (2) 南北方向

【検討の概要】

- 敷地周辺で実施したH31-A測線反射法地震探査結果(第902回適合性審査会合 資料2-2-1 p.6-199)に基づき,地震発生層の上限と考えられている $V_p=5.8\sim 5.9\text{km/s}$ 層の深さ分布を確認する。

【検討結果(南北方向)】

- 敷地付近の深さ3kmの V_p は 5.0km/s 程度であり,地震発生層は3kmよりも深い。
- なお,敷地を中心として,周辺に向かって速度層は緩やかに浅くなる傾向があるが,これは重力異常分布の傾向と整合したものである(補足説明資料1章1参照)。

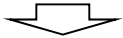
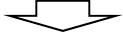


敷地周辺の南北方向の速度構造(H31-A測線)

3.5 敷地周辺の地震発生層の設定 まとめ

- 敷地周辺の震源深さ分布及び地球物理学的な知見を踏まえ、保守的な設定として地震発生層の**上限を深さ3km**、**下限を深さ15km**に設定する。

東通原子力発電所周辺の地震発生層

地震発生層	主な知見	敷地周辺の状況	設定
上限深さ	【伊藤(2002)】 ➤ D10%に相当	震源深さ分布 ➤ As-net 深さ5.5km ➤ 原子力安全基盤機構 深さ6.2km	➤ 震源深さ分布から、地震発生層の上限は5kmよりも深い。 ➤ 下北半島中軸部の狭隘な高速度層の高まり(検討用地震で考慮, 4章3参照)に着目しても、地震発生層上限の深さは3km程度もしくはそれ以深と判断。  保守的な評価として 深さ3kmに設定 する。
	【入倉・三宅(2001)】 ➤ Vp=5.8~5.9km/s層に相当	敷地周辺の速度構造 ➤ 東西方向 <ul style="list-style-type: none"> 敷地近傍では深さ3kmのVpは5.0km/sで、地震発生層は深さ3kmより深い 下北半島中軸部の狭隘な高速度層の高まり部分では深さ3kmのVpは約5.75~6.0km/s ➤ 南北方向 <ul style="list-style-type: none"> 敷地近傍では深さ3kmのVpは5.0km/sで、地震発生層は深さ3kmより深い 	
下限深さ	【伊藤(2002)】 ➤ D90%に相当	震源深さ分布 ➤ As-net 深さ11.8km ➤ 原子力安全基盤機構 深さ13.8km	➤ 震源深さ分布から、地震発生層の下限深さは14kmよりも浅い。 ➤ 地球物理学的知見からも深さ15kmよりも浅い。  保守的な評価として、 深さ15kmに設定 する。
	【木下・大竹(2000)】 ➤ 地殻内の地震はコンラッド面より浅い上部地殻で発生	敷地付近 ➤ 河野ほか(2009) 深さ約10km	
	【Tanaka and Ishikawa(2005)】 ➤ キュリー点深度と良い相関	敷地付近 ➤ 大久保(1984) 深さ13~15km	

4. 内陸地殻内地震の検討用地震の選定

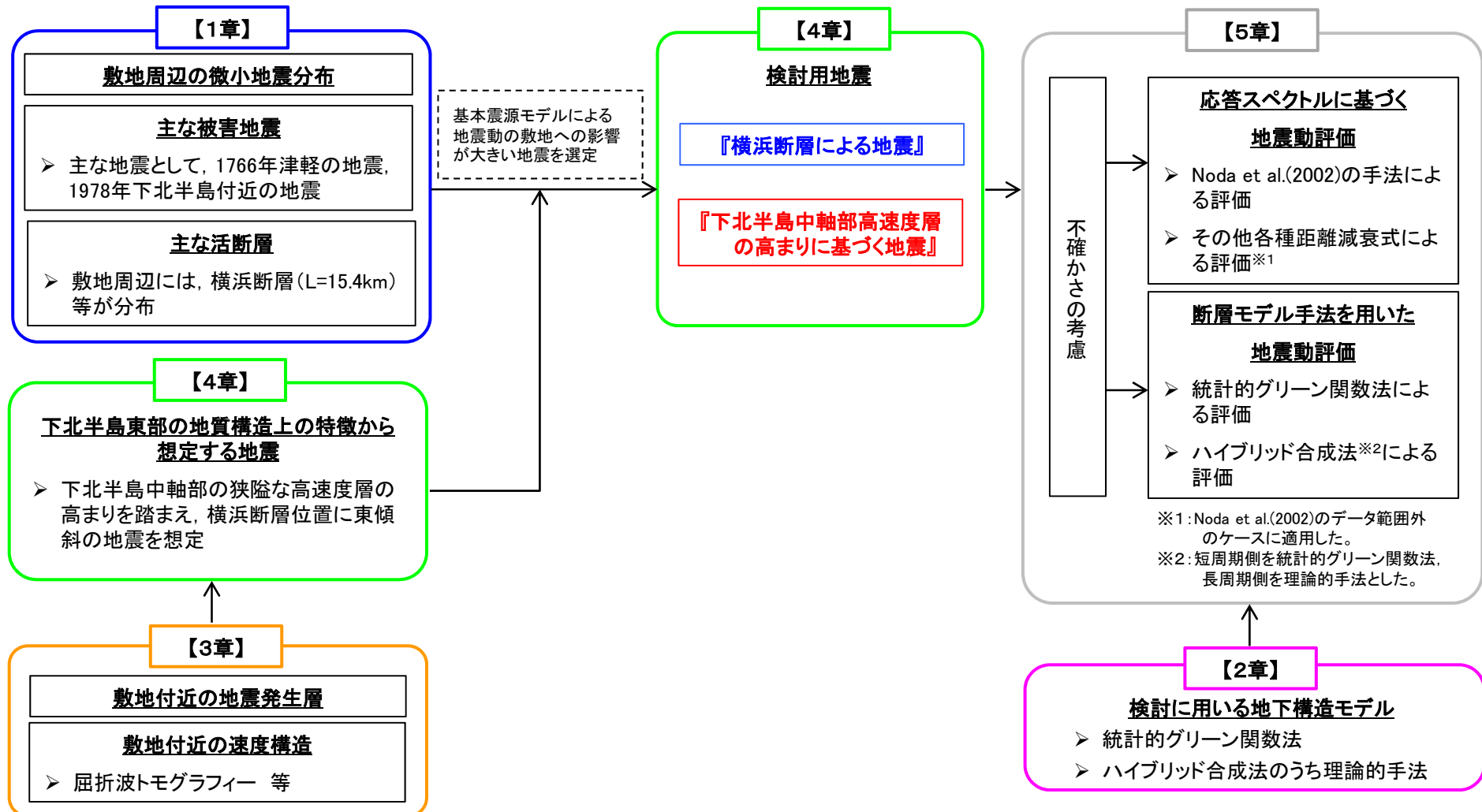
- 4. 1 検討用地震選定と地震動評価の基本的考え方及び全体フロー
- 4. 2 敷地周辺の被害地震及び震源として考慮する活断層による地震
- 4. 3 下北半島東部の地質構造上の特徴から想定する地震
- 4. 4 内陸地殻内地震の検討用地震
- 4. 5 検討用地震の選定 まとめ

4.1 検討用地震選定と地震動評価の基本的考え方及び全体フロー

S188 S202

➤ 以下の地震が敷地に与える影響について比較し、影響の大きい地震を検討用地震として選定する。

- ① 主な被害地震
- ② 「震源として考慮する活断層」から想定される地震
- ③ 下北半島東部の地質構造上の特徴から想定する地震(地震動評価の保守性確保の観点から考慮する地震)



4.2 敷地周辺の被害地震及び震源として考慮する活断層による地震

(1) 検討用地震選定の基本方針

敷地周辺の被害地震のうち敷地への影響が大きい地震(1章1参照)及び震源として考慮する活断層による地震(1章3参照)から、マグニチュード(M)－震央距離(Δ)図及びNoda et al.(2002)を用いて検討用地震の候補を選定する。

(1) 震源として考慮する活断層による地震の規模

- 地震調査研究推進本部(2009)に基づく断層はその地震規模を用いる。その他は断層長さ(L)から松田(1975)により算定する。
- ただし、断層長さが短く敷地に近い横浜断層、敷地東方沖断層及び出戸西方断層による各地震については、保守的に「地表地震断層としてその全容を表す規模」としてM7.0を採用する。また、この規模を基本ケースにも適用する。
 - 孤立した短い活断層の場合、地震調査研究推進本部(2020)^{※1}に基づき地震発生層を飽和するよう $L=W$ と設定することが考えられるが、横浜断層、敷地東方沖断層及び出戸西方断層は、審査ガイド^{※2}の「震源を特定せず策定する地震動」で示された“Mw6.5程度以上[#]”よりも規模の小さいモデルとなる。
 - #:審査ガイドには、“震源断層がほぼ地震発生層の厚さ全体に広がっているものの、地表地震断層としてその全容を表すまでには至っておらず、震源の規模が推定出来ない地震(Mw6.5程度以上)”との記載がある。
 - そこで、保守的に「地表地震断層としてその全容を表す規模」との位置づけで、地震モーメント $M_0=7.5 \times 10^{18}$ (Nm)^{※3}以上を地震規模に考慮する〔武村(1990)の M_0 とMの関係式^{※4}からM7.0となる〕。

(2) 震源として考慮する活断層による地震の震央距離及び等価震源距離

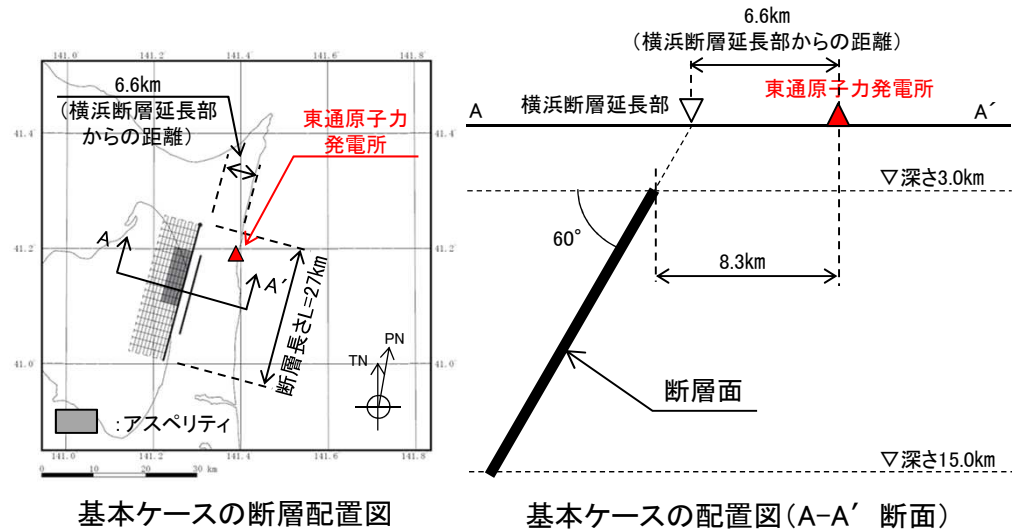
- M－ Δ 図では、断層中央からの震央距離とする。
- Noda et al.(2002)では、敷地に近い横浜断層、敷地東方沖断層及び出戸西方断層については、「地表地震断層としてその全容を表す規模」に相当する断層長さ及び地震発生層を飽和する断層幅(断層傾斜角は地質調査結果)の断層モデルから算定した等価震源距離を採用する。この際、アスペリティは地表に活断層が認められる範囲のうち敷地に最も近い最浅部に設定する。このモデルは基本ケースに採用する。

※1: 強震動予測レシピア

※2: 基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド

※3: 地震モーメント $M_0=7.5 \times 10^{18}$ (Nm)を閾値として、断層長さ(L)は、より小さい地震では $M_0^{1/3}$ に、より大きい地震では $M_0^{1/2}$ に比例することが指摘されている〔入倉・三宅(2001)〕。 $M_0=7.5 \times 10^{18}$ (Nm)から換算されるモーメントマグニチュードはMw6.52となる。

※4: 武村(1990)の M_0 とMの関係式〔 $\log M_0=1.17M+10.72$ 〕。

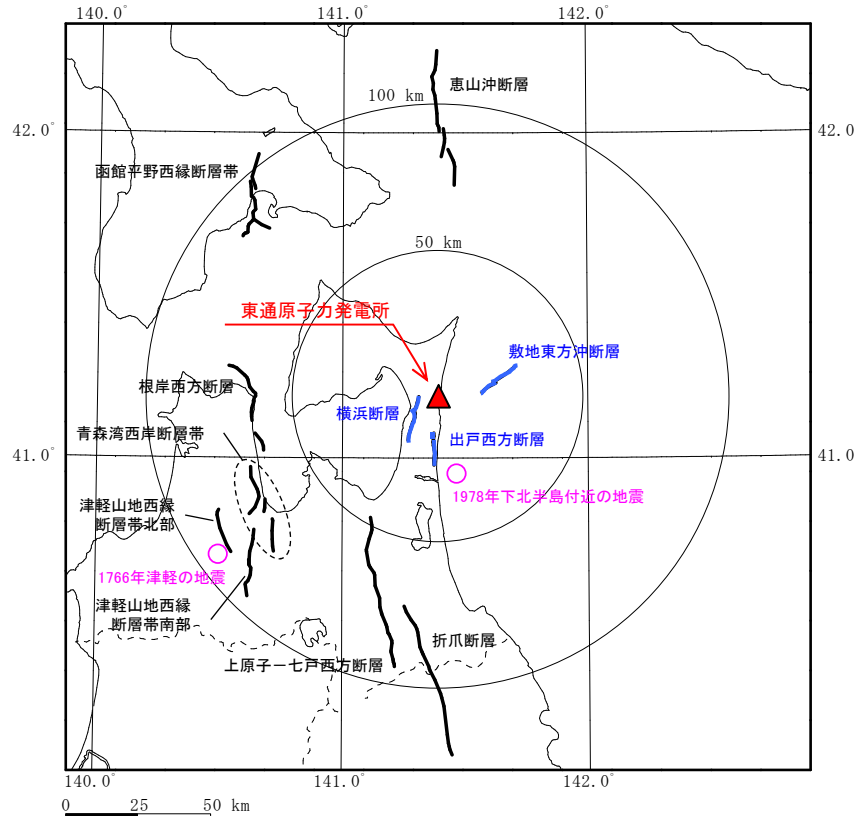


「横浜断層による地震」の例

4.2 敷地周辺の被害地震及び震源として考慮する活断層による地震 (2) 震源として考慮する活断層による地震等の諸元

- 地質調査結果に基づく震源として考慮する活断層について、想定する地震規模、震央距離及び等価震源距離を整理した。また、敷地への影響が大きい被害地震(1766年津軽の地震及び1978年下北半島付近の地震)も併せて示す(1章1参照)。
- なお、敷地から30km以遠では、文献により孤立した短い活断層も指摘されている。

敷地周辺の震源として考慮する活断層による地震
〔敷地への影響が比較的大きい被害地震も記載(1章1参照)〕



震源として考慮する活断層分布
〔敷地への影響が比較的大きい被害地震も記載(1章1参照)〕

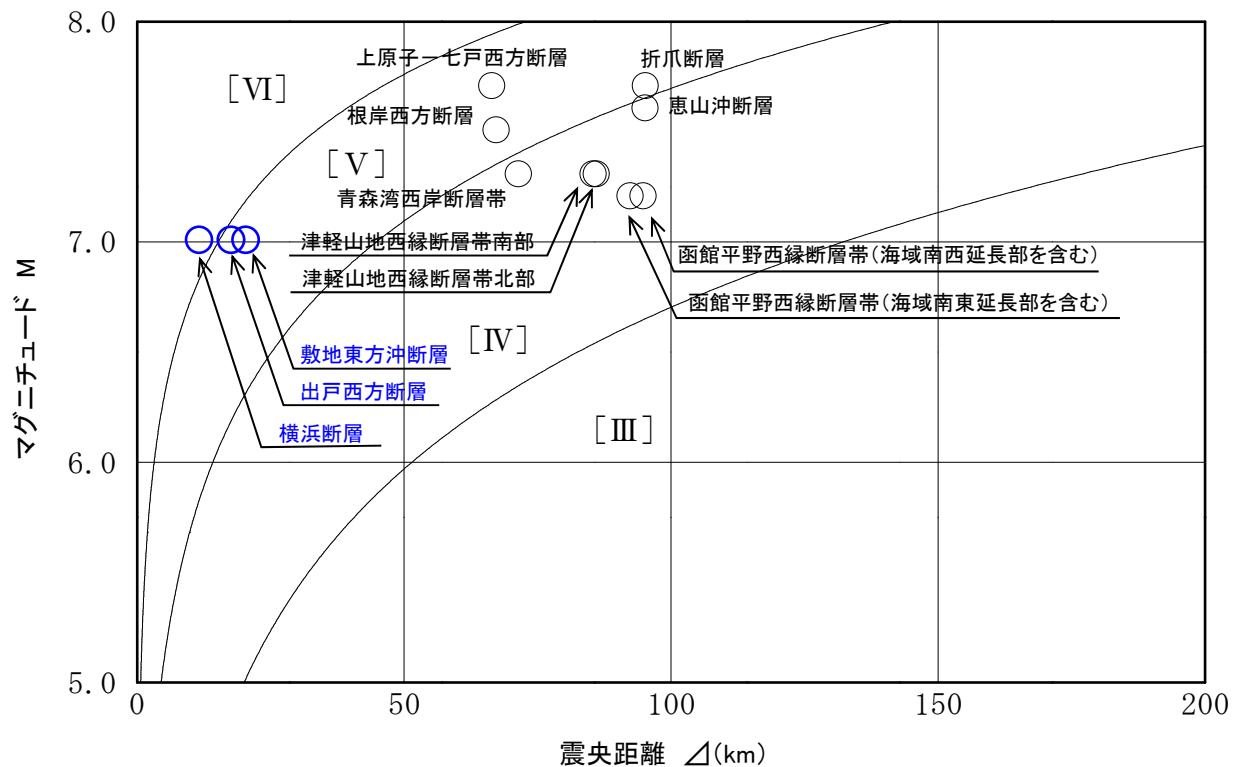
No.	断層名	断層長さ (km)	地震規模※1 M	震央距離 (km)	等価震源距離 (km)	
1	横浜断層	15.4	7.0	12	14	
2	出戸西方断層	11	7.0	18	17	
3	敷地東方沖断層	14.5	7.0	21	18	
4	上原子一七戸西方断層	51	7.7	67	69	
5	恵山沖断層	47	7.6	96	95	
6	折爪断層	53	7.7	96	97	
7	根岸西方断層	38	7.5	68	73	
8	青森湾西岸断層帯	31	7.3	72	77	
9	津軽山地西縁断層帯北部	16	7.3	86	78	
10	津軽山地西縁断層帯南部	23	7.3	86	80	
11	函館平野西縁断層帯	海域南東延長部を含む函館平野西縁断層帯	26	7.2	93	97
		海域南西延長部を含む函館平野西縁断層帯	28	7.2	95	103
12	1766年津軽の地震※2	—	7.3	93	94	
13	1978年下北半島付近の地震※2	—	5.8	27	28	

※1: No.1~3は、「地震発生層を飽和し地表地震断層としてその全容を表す規模」及びアスペリティ位置を考慮したモデルによる等価震源距離を採用。その他の活断層による地震の等価震源距離は同様断層モデルより算定。No.8~10の地震規模は、地震調査研究推進本部(2009)による。

※2: 1章1を再掲。

4. 2 敷地周辺の被害地震及び震源として考慮する活断層による地震 (3) マグニチュード－震央距離図

- マグニチュード(M)－震央距離(Δ)と村松(1969)及び勝又・徳永(1971)の震度区分(気象庁旧震度階級)の関係から、敷地で震度[VI]と考えられる地震として、横浜断層による地震(M7.0, Δ =12km)がある。
- また、震度[V]のうち比較的影響が大きい地震として、出戸西方断層による地震(M7.0, Δ =18km), 敷地東方沖断層による地震(M7.0, Δ =21km)がある。



震源として考慮する活断層による地震等のマグニチュード(M)－震央距離(Δ)図

[Ⅲ]～[Ⅵ]は気象庁旧震度階級で、震度の境界線は村松(1969)及び勝又・徳永(1971)による。

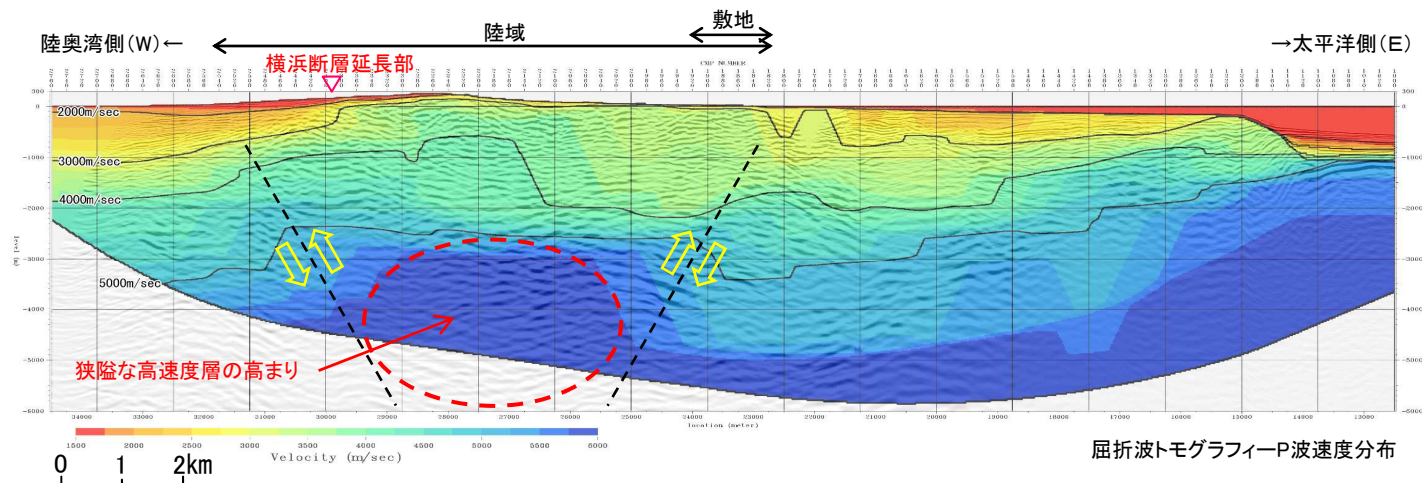
4.3 下北半島東部の地質構造上の特徴から想定する地震

(1) 検討用地震選定の基本方針

S188 S202 S203

- 敷地周辺に存在する活断層は、下北半島の広域的な応力場等に対応した高角な逆断層が多い。また、地下深部構造(屈折波トモグラフィによるP波速度分布)では、下北半島東西断面中央部付近(中軸部)に狭隘な高速度層の高まり※が認められる。
- この狭隘な高速度層の高まりと関連するような活断層は存在しないため、この高速度層の高まりをテクトニックなものとしてとらえた場合、活断層を伴わない規模の小さい地震を陸奥湾側(東傾斜)及び太平洋側(西傾斜)のエリアに想定することが考えられるが、これらの地震が敷地に与える影響は小さい。
- 一方、陸奥湾側には、敷地により近い位置に横浜断層が存在することを踏まえ、地震動評価の保守性確保の観点から、敷地に対し影響の大きい以下の震源モデルも検討用地震の対象として考慮する(「**下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震**」と呼称)。
 - 陸奥湾側に想定される東傾斜の高角な逆断層を地表痕跡の認められる横浜断層位置で考慮する。
 - 断層長さとして「孤立した短い活断層の存在を仮定した断層長さ」を基本ケースに適用する。
 - 断層モデルの微視的震源特性も活断層に基づき設定するモデルの基本的考え方を踏襲する(アスペリティ配置や応力降下量の不確かさの考慮等)。

※: 下北半島中軸部の深さ3km付近にみられる $V_p=5.8\text{km/s}$ 以上の速度層(下図の赤破線)



下北半島の速度構造(東西断面)と狭隘な高速度層の高まりから想定される地震の断層面

----- : 活断層を伴わない規模の小さい地震の断層面

4.3 下北半島東部の地質構造上の特徴から想定する地震 (2) 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震の諸元

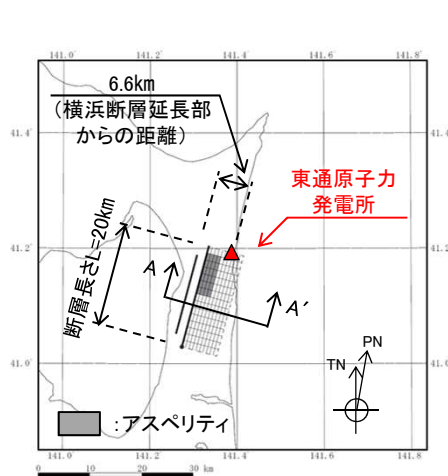
S188 S202 S203

(1) 地震規模

- 「**下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震**」は、陸奥湾側に想定される活断層を伴わない規模の小さい地震をベースにした検討用地震であるが、地震動評価の保守性確保の観点から「孤立した短い活断層の存在を仮定した断層長さ」を用いて地震規模を算定する。また、この断層長さを基本ケースに適用する。具体的には、
 - 傾斜角は、下北半島中軸部の狭隘な高速度層の高まりと整合する東傾斜の断層は高角な逆断層であること、地震調査研究推進本部(2020)^{※1}では高角な逆断層の場合、断層傾斜角を60度以上としていること等から、60度として考慮する。その場合、地震発生層を飽和する断層幅は $W=13.9\text{km}$ となる。
 - 地震調査研究推進本部(2020)では、断層長さ(L)が地震発生層を飽和する断層幅(W)よりも小さい場合は、 $L=W$ の断層モデルを設定するため、 $L=13.9\text{km}$ を採用することが考えられる。
 - 一方、Stirling et al.(2002)及び入倉(2007)では、「地表に数km程度の孤立した短い活断層がある場合には、地下に $L=20\text{km}$ の断層が存在することを否定できない」とされていることを踏まえ(補足説明資料3章6参照)、保守的に $L=13.9\text{km}$ よりも長い **$L=20\text{km}$** を基本ケースの断層長さに適用する[入倉・三宅(2001)の地震モーメント(M_0)及び武村(1990)の M_0 とMの関係^{※2}から **$M6.8$** となる]。

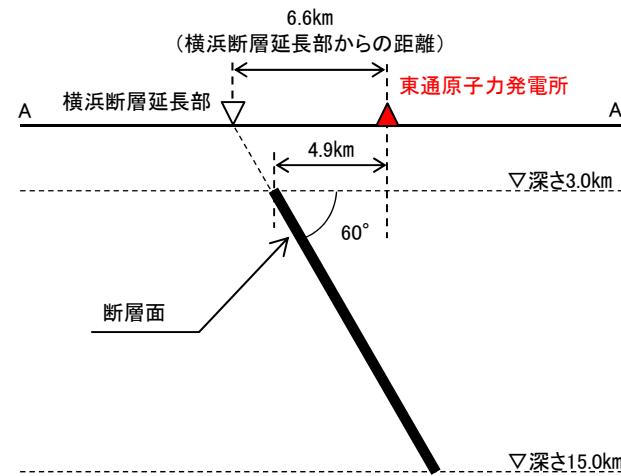
(2) 等価震源距離

- $L=20\text{km}$, $W=13.9\text{km}$ の断層モデルから算定した等価震源距離を採用する。アスペリティは、保守的に横浜断層が認められる範囲のうち敷地寄りの最浅部に設定する。このモデルは基本ケースに適用する。



基本ケースの断層配置図

「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」の概要



基本ケースの配置図(A-A' 断面)

下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震の諸元(検討用地震の候補)

地震	地震規模(M)	等価震源距離(km)
下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震	6.8	9

※1: 強震動予測レシピ。

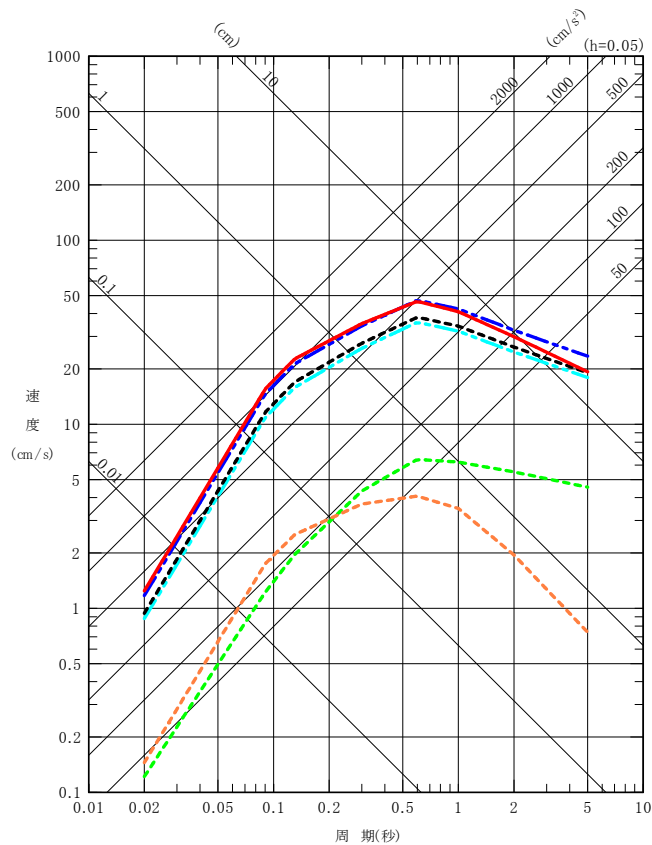
※2: 武村(1990)の M_0 とMの関係式 $[\log M_0 = 1.17M + 10.72]$ 。

4.4 内陸地殻内地震の検討用地震

S188 S202

【内陸地殻内地震が敷地に与える影響(検討用地震の選定)】

- 敷地周辺の被害地震及び敷地周辺の震源として考慮する活断層による地震のうち敷地へ与える影響が大きい地震について、敷地に与える影響を距離減衰式[Noda et al.(2002)]を用いて評価した結果、「横浜断層による地震」が全ての周期帯で他の地震を上回った。このことから、「**横浜断層による地震**」を検討用地震として選定する。
- また、地震動評価の保守性確保の観点から考慮した「**下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震**」が敷地に与える影響は、短周期側で「横浜断層による地震」を上回ることから、この地震も検討用地震として考慮する。



敷地周辺の内陸地殻内地震の地震動評価
[Noda et al.(2002), 水平方向, 内陸補正なし]

被害地震及び震源として考慮する活断層による地震の諸元(検討用地震の候補)

凡例	断層名	地震規模 M	等価震源距離 (km)	断層傾斜角 (度)
---	1766年津軽の地震※1	7.3	94	—
---	1978年下北半島付近の地震※1	5.8	28	—
---	横浜断層による地震※2	7.0	14	60
---	出戸西方断層による地震※2	7.0	17	70
---	敷地東方沖断層による地震※2	7.0	18	60

下北半島東部の地質構造上の特徴から想定する地震の諸元(検討用地震の候補:再掲)

凡例	断層名	地震規模 M	等価震源距離 (km)	断層傾斜角 (度)
—	下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震	6.8※3	9※4	60

※1:1章1再掲。

※2:地震規模は「地表地震断層としてその全容を表す規模」を考慮。等価震源距離は、アスペリティを考慮した断層モデルから算定。

※3:地震規模は「孤立した短い活断層を仮定した断層長さ」を考慮し、入倉・三宅(2001)の地震モーメント(M_0)及び武村(1990)の M_0 とMの関係から算定。

※4:等価震源距離9kmの場合、Noda et al.(2002)のデータ範囲外となる。本検討の目的がそれぞれの地震が敷地に与える影響程度の大小比較であることを踏まえ、「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」については、Noda et al.(2002)データ範囲内で最も小さい11kmを採用し、その場合であっても敷地に与える影響が大きいことを確認する。

4.5 検討用地震の選定 まとめ

S188 S202

敷地周辺の被害地震、震源として考慮する活断層に想定する地震及び下北半島東部の地質構造上の特徴を踏まえて考慮した地震から、敷地に対して影響の大きい地震である「**横浜断層による地震**」及び「**下北半島中軸部高速**
度層の高まりに基づく地震」を検討用地震として選定する。

【参考】大間崎沖付近に想定される地震の影響

- 下北半島西部の大間崎沖には孤立した短い活断層としてF-14断層が指摘されているが、震源位置が遠いことから、仮に「地表地震断層としてその全容を表す規模」の地震を当該位置に想定しても、敷地への影響は横浜断層による地震よりも小さい(補足説明資料2章1参照)。

5. 検討用地震の地震動評価

- 5. 1 地震動評価の基本方針
- 5. 2 横浜断層による地震
- 5. 3 横浜断層による地震の地震動評価
- 5. 4 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震
- 5. 5 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震の地震動評価

5.1 地震動評価の基本方針

(1) 応答スペクトルに基づく手法

- 「横浜断層による地震」については、解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動を予測し、敷地の特性を適切に反映することが可能なNoda et al.(2002)の手法を用いる。
- 「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」については、Noda et al.(2002)のデータ範囲外となることから(補足説明資料3章1参照)、各種距離減衰式による評価を行う。

(2) 断層モデルを用いた手法

- 敷地において経験的グリーン関数法の要素地震となる適切な観測記録が得られていないことから(補足説明資料3章2参照)、統計的グリーン関数法〔釜江ほか(1991)及び入倉ほか(1997)〕を用いる。
- 「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」のうち、短周期側において特に敷地へ与える影響が大きいケース※¹及び地震モーメントが大きいケース※²については、統計的グリーン関数法に加えハイブリッド合成法※³による地震動評価を実施する。

※1:後述する「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」のケース4(応力降下量)。

※2:後述する「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」のケース2(地震規模)。

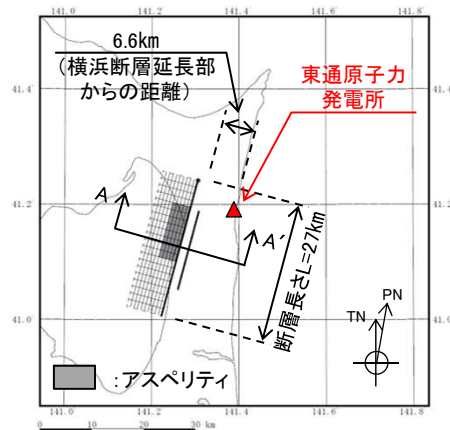
※3:短周期側を統計的グリーン関数法、長周期側を理論的手法〔Hisada(1994)〕とする。

5.2 横浜断層による地震 (1) 基本ケースの設定

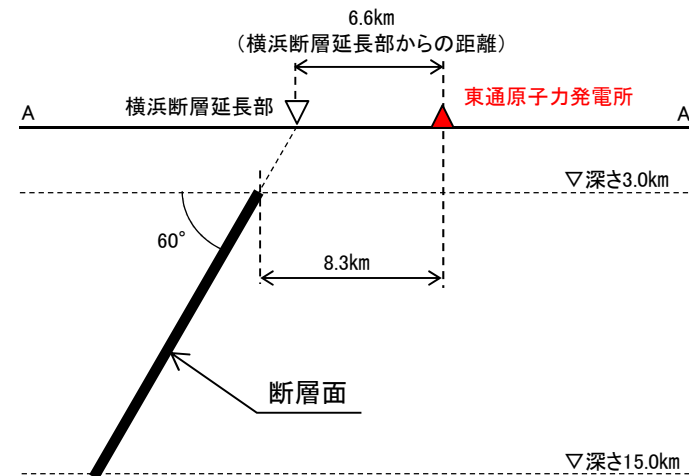
S188

【基本ケースのモデル設定の考え方】

- 「横浜断層による地震」の基本ケースは、保守的に「地表地震断層としてその全容を表す規模」との位置づけで地震モーメント $M_0=7.5 \times 10^{18}$ (Nm) 以上を採用する。
- 断層傾斜角は、地質調査結果に基づき策定する(横浜断層の地質調査結果の概要は補足説明資料3章3参照)。具体的には、傾斜角60度の西傾斜のモデルを採用する。
- 断層幅は、断層傾斜角と地震発生層の飽和を考慮する ($W=13.9$ km)。
- 基本ケースの断層長さは、 $M_0=7.5 \times 10^{18}$ (Nm) から入倉・三宅(2001)を用いた断層面積を算定し、地震発生層を飽和する断層幅から $L=27$ km を採用する。
- アスペリティの配置は、敷地に対し最も近い最浅部に設定する。



基本ケースの断層配置図



基本ケースの配置図 (A-A' 断面)

「横浜断層による地震」の概要

5.2 横浜断層による地震

(2) 断層モデル設定の考え方と不確かさの整理

S188

- 地質調査に基づき西傾斜60度とし、あらかじめ地震規模の不確かさを考慮して、保守的に「地表地震断層としてその全容を表す規模」との位置付けで $M_0=7.5 \times 10^{18}$ (Nm) (Mw6.52) 以上の地震を想定する。

【認識論的な不確かさ】: 事前の詳細な調査や経験式などに基づき設定できるもの。

青文字: あらかじめ基本ケースで保守性を考慮

【偶然的な不確かさ】: 事前の詳細な調査や経験式などに基づく特定が困難なもの。

赤文字: 基本ケースに対し不確かさを考慮

種類	パラメータ	基本ケースの設定	基本ケース及び不確かさケースの設定の考え方
認識論的 不確かさ	断層傾斜方向	西傾斜	基本ケース及び不確かさケースとも、地質調査結果に基づき、西傾斜とする。
	断層の位置	地質調査結果 (横浜断層)	基本ケース及び不確かさケースとも、地質調査結果(横浜断層)に対し断層長さを均等に設定する。
	地震規模 (断層長さ)	$M_0=7.5 \times 10^{18}$ (Nm) 以上 (L=27km)	基本ケース及び不確かさケースとも、保守的に「地表地震断層としてその全容を表す規模」との位置付けで $M_0=7.5 \times 10^{18}$ (Nm) (Mw6.52) 以上となるように断層面を設定する※1。
	断層傾斜角	60度	基本ケース及び不確かさケースとも、地質調査結果による傾斜角60度を採用する。 ----- 不確かさケースとしては、60度よりも高角な断層を想定した方が敷地までの距離がわずかに近くなるが、地震調査研究推進本部(2020)※2では地質調査結果がある場合はその傾斜角を、無い場合は逆に低角な45度を採用するとしていることから、更なる高角なケースは不確かさケースとしては考慮しない。 ----- また、不確かさケースとしては、地震調査研究推進本部(2020)を踏まえ低角な断層(45度)を適用することが考えられるが、その場合敷地までの距離が遠くなること、傾斜角45度の場合の断層幅は17kmとなり、これを断層長さとしたモデルのMwIは保守性を持たせた基本ケースより小さく、45度モデルに対しても基本ケースと同じ規模が適用されること等から敷地への影響は特別大きくならないため、不確かさケースとしては考慮しない。なお、影響を確認するため参考として検討した結果を補足説明資料3章4に示す。
偶然的 不確かさ	アスペリティの 応力降下量 (短周期レベル)	地震調査研究推進本部 (2020)の1.0倍	基本ケースには、敷地周辺の内陸地殻内地震の応力降下量(短周期レベル)に関する知見は知られていないことから、経験的に求められた平均的な値である地震調査研究推進本部(2020)による値を採用する。 ----- 不確かさとしては、アスペリティの応力降下量に2007年新潟県中越沖地震(Mw6.6)の知見を反映し、地震調査研究推進本部(2020)による値の1.5倍を考慮する。
	アスペリティ位置	活断層が認定される範囲 で敷地に近い位置	基本ケース及び不確かさケースとも、アスペリティ位置に関する知見は知られていないことから、保守的に活断層の認定される範囲において最も敷地に近い最浅部に設定する。
	破壊開始点	破壊が敷地に向かう位置	基本ケース及び不確かさケースとも、敷地に対し影響の大きい破壊開始点位置(破壊が敷地に向かうように設定した位置)に複数考慮する。

※1: 断層長さは、入倉・三宅(2001)を用いた断層面積及び地震発生層を飽和する断層幅を考慮。

※2: 強震動予測レンジ

5.2 横浜断層による地震 (3) 検討ケース

検討用地震の想定〔横浜断層による地震〕

検討ケースの青文字: 基本ケース
検討ケースの赤文字: 不確かさケース

検討ケース	断層 傾斜方向	断層 位置	断層長さ 地震モーメント	地震 規模	断層 傾斜角	アスペリティの応力降下量 〔レシピ※に対する比〕 短周期レベル	アスペリティの 位置	破壊 開始点	評価手法
地質調査結果	西	調査結果 位置	L=15.4km (参考) $2.55 \times 10^{18}(\text{Nm})$	(参考) M6.6 (Mw6.20)	60°	(参考)14.96 (MPa) 〔レシピ×1.0〕 $7.24 \times 10^{18}(\text{Nm/s}^2)$	—	—	—
基本ケース (ケース1)	西	調査結果 位置	L=27km $7.83 \times 10^{18}(\text{Nm})$	M7.0 (Mw6.53)	60°	13.62 (MPa) 〔レシピ×1.0〕 $1.05 \times 10^{19}(\text{Nm/s}^2)$	敷地に 近い 最浅部	破壊が敷 地に向か う位置に 複数考慮	Noda et al.(2002) 統計的グリーン 関数法
ケース2 (応力降下量)	西	調査結果 位置	L=27km $7.83 \times 10^{18}(\text{Nm})$	M7.0 (Mw6.53)	60°	20.43 (MPa) 〔レシピ×1.5〕 $1.58 \times 10^{19}(\text{Nm/s}^2)$			Noda et al.(2002) 統計的グリーン 関数法

: あらかじめ基本ケースに織り込む不確かさ

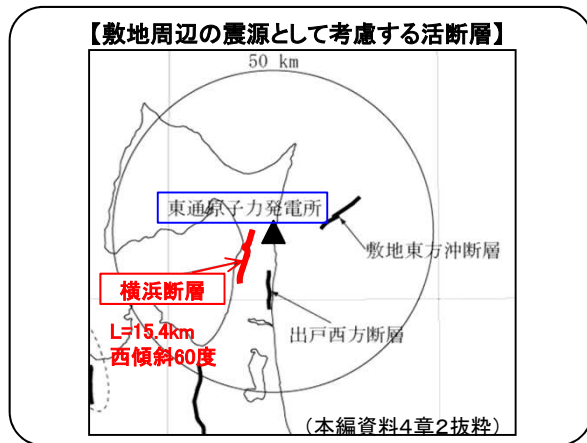
: 考慮する不確かさ

※: 地震調査研究推進本部 (2020)

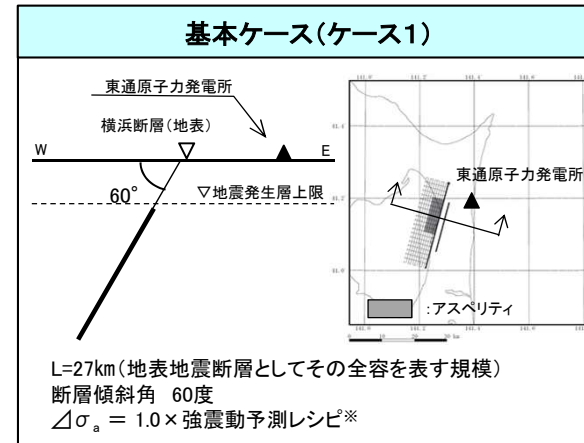
5.2 横浜断層による地震 (4) 基本ケース及び不確かさケースの整理

S188

- 「横浜断層による地震」については、地質調査結果に基づく断層長さ(L=15.4km)に対し、保守的に「地表地震断層としてその全容を表す規模」との位置づけで $M_0=7.5 \times 10^{18}$ (Nm)以上(L=27km)を考慮し、さらにアスペリティの応力降下量の不確かさを考慮。



- 地震規模(断層長さ)は、保守的に「地表地震断層としてその全容を表す規模」との位置づけで $M_0=7.5 \times 10^{18}$ (Nm)以上となるように設定(L=27km)。



基本ケース
不確かさケース
赤文字は基本ケースからの変更箇所

地震規模の不確かさ

➤ 基本ケースに反映済み
[地質調査結果(L=15.4km)に対し、すでに「地表地震断層としてその全容を表す規模」との位置づけで $M_0=7.5 \times 10^{18}$ (Nm)以上(L=27km)を考慮済み。]

断層傾斜角の不確かさ

➤ 以下を踏まえ、更なる不確かさは考慮しない。

- 地震調査研究推進本部(2020)※では地質調査結果がある場合はその傾斜角を、無い場合は低角な45度を採用するとされている。
- 一方、低角な断層(45度)を採用した場合、敷地までの距離が遠くなること、また、45にした場合の断層幅の値(17km)も踏まえると地震規模は保守性を持たせた基本ケースと同じとなること等から、敷地への影響は特別大きくならない。

ケース2(応力降下量)

東通原子力発電所

横浜断層(地表)

▽地震発生層上限

東通原子力発電所

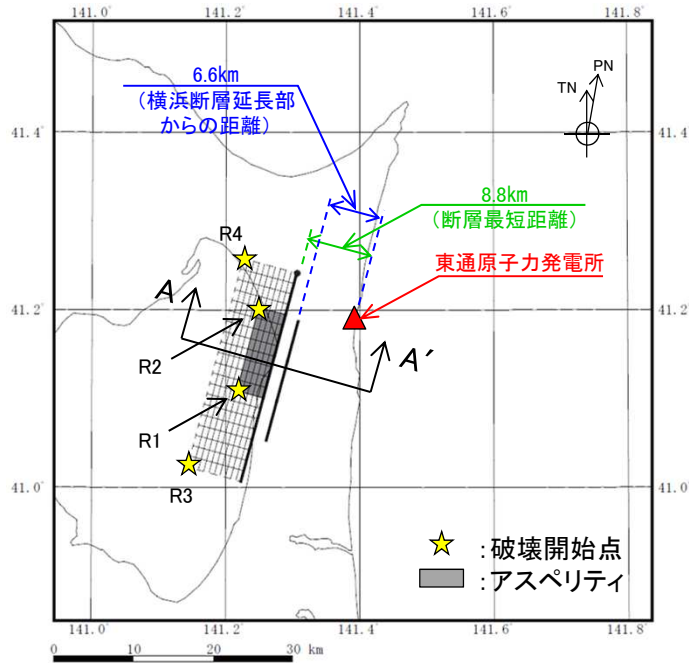
アスペリティ

L=27km(地表地震断層としてその全容を表す規模)
断層傾斜角 60度
 $\Delta\sigma_a = 1.5 \times$ 強震動予測レシピ

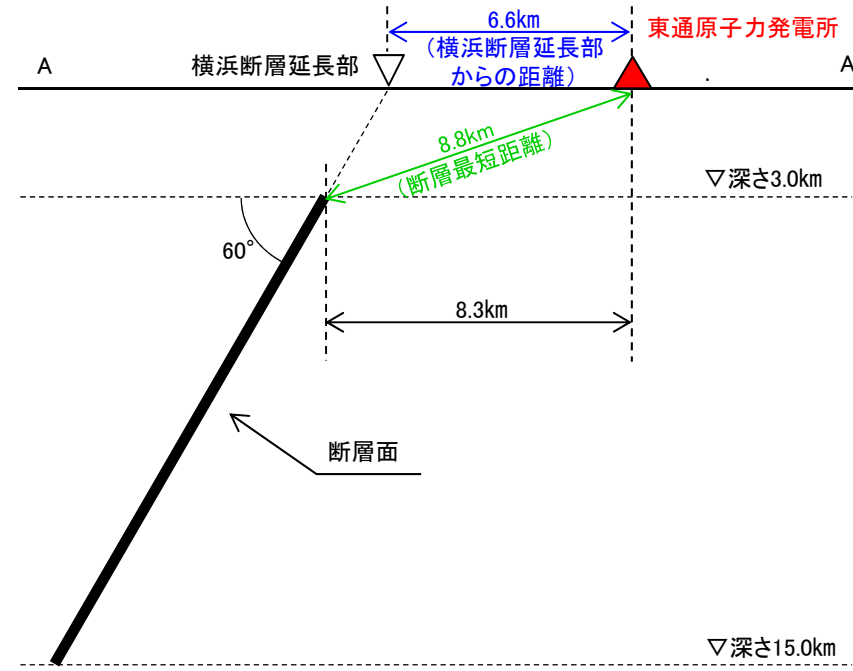
※:強震動予測レシピ:地震調査研究推進本部(2020)

「横浜断層による地震」の基本ケース及び不確かさケースの構成

5.2 横浜断層による地震 (5)断層モデル



断層配置図



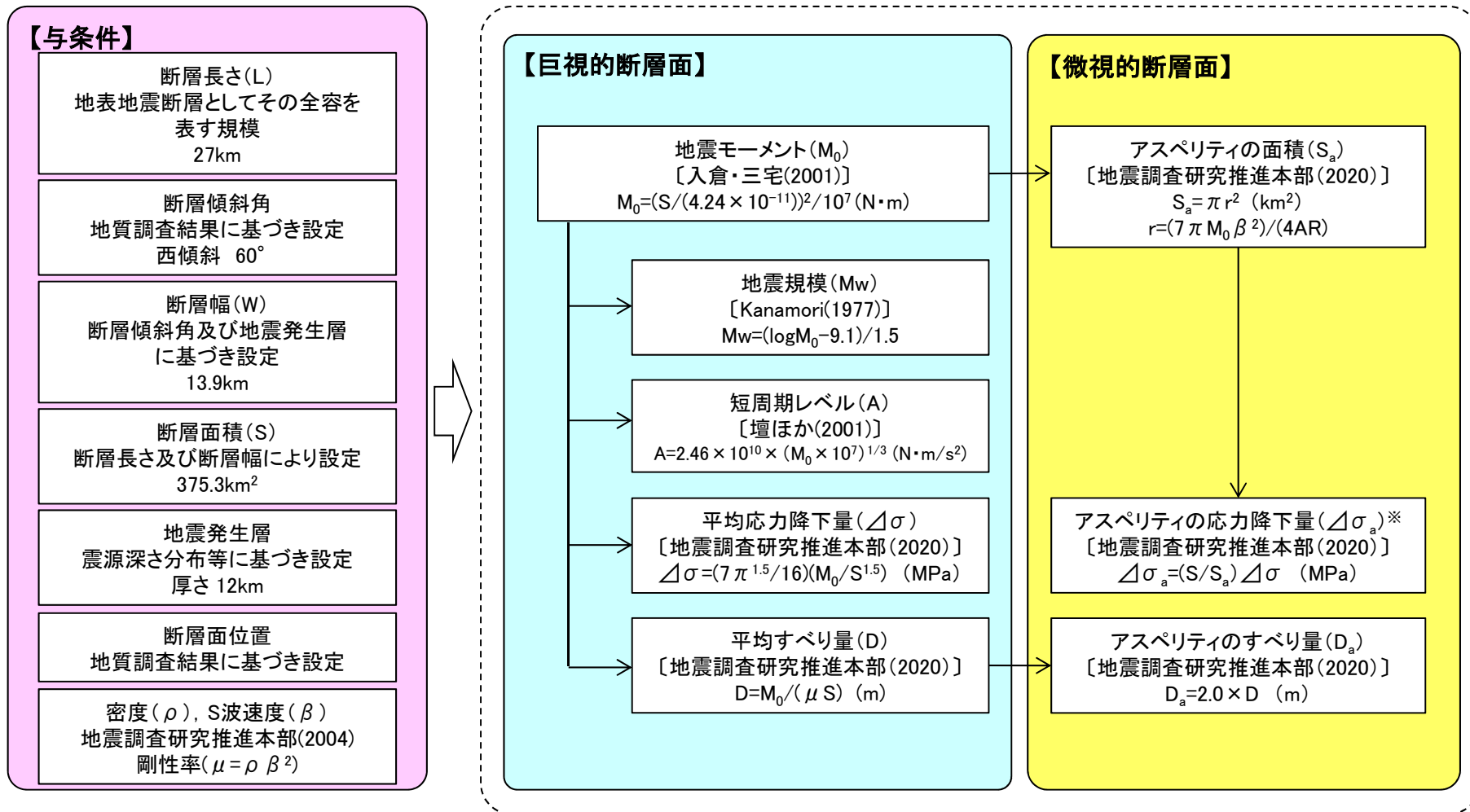
配置図(A-A' 断面)

「横浜断層による地震」の断層モデル(ケース1及びケース2)

「横浜断層による地震」の断層諸元(ケース1及びケース2)

ケース名	断層長さ L(km)	M	Mw	等価震源距離 Xeq(km)	断層最短距離 R _{Rup} (km)
基本ケース(ケース1) ケース2(応力降下量)	27.0	7.0	6.53	14	8.8

5.2 横浜断層による地震 (6)断層パラメータ設定フロー



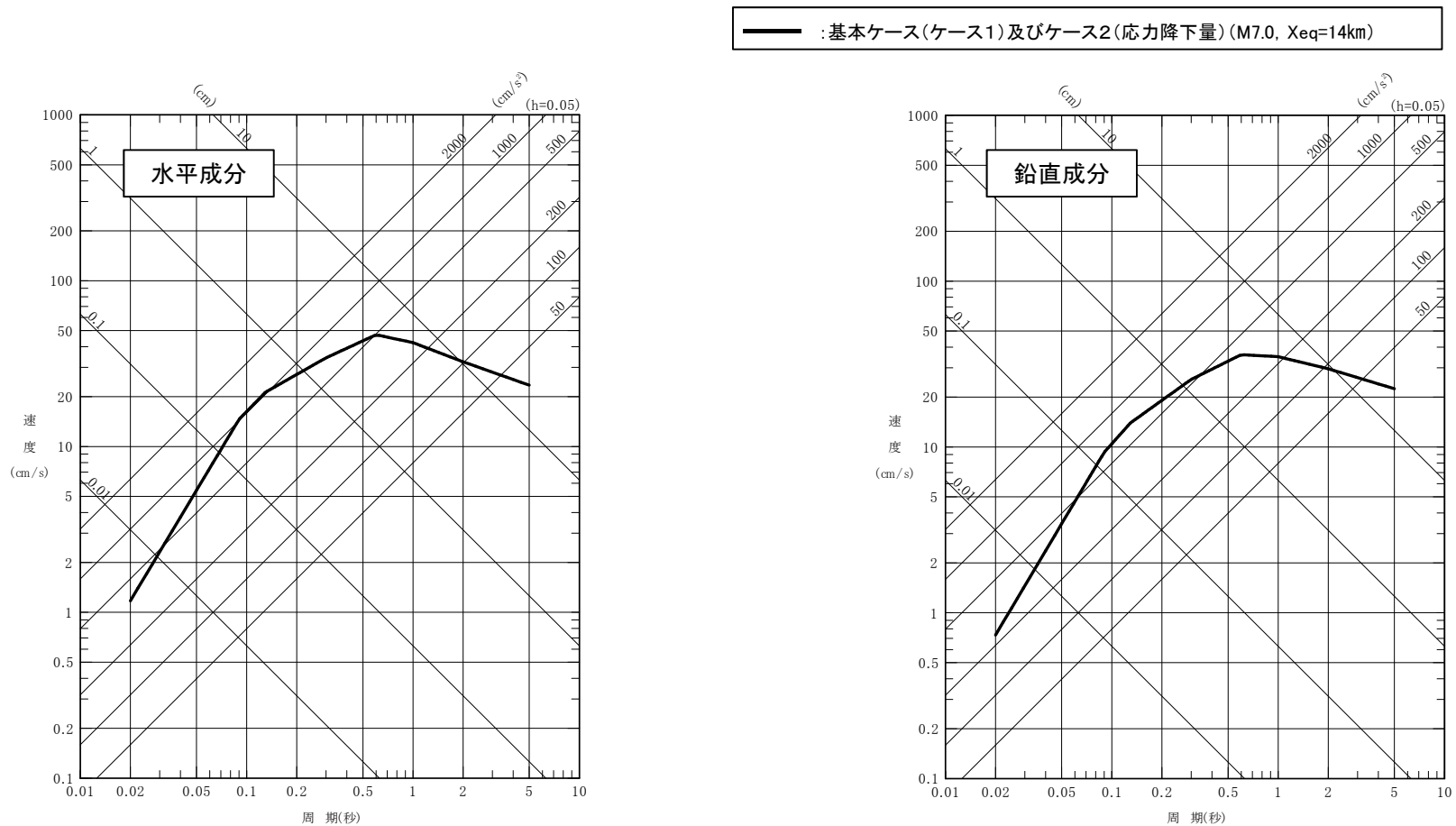
※:ケース2(応力降下量)では, $\Delta\sigma_a$ を1.5倍にする。

5.2 横浜断層による地震 (7)断層パラメータ

断層パラメータ	記号	単位	設定方法	基本ケース (ケース1)	ケース2 (応力降下量)	
巨視的断層面	走向	θ	°	設定	195	←
	断層傾斜角	δ	°	設定	西傾斜 60	←
	断層長さ	L	km	設定	27.0	←
	断層幅	W	km	地震発生層厚さ(12km)と断層傾斜角から設定	13.9	←
	断層面積	S	km ²	$S=L \times W$	375.3	←
	断層上端深さ	—	km	地震発生層の検討結果による	3.0	←
	断層下端深さ	—	km	地震発生層の検討結果による	15.0	←
	地震モーメント	M_0	Nm	$M_0=(S/(4.24 \times 10^{-11}))^2/10^7$ [入倉・三宅(2001)]	7.83×10^{18}	←
	気象庁マグニチュード	M_j	—	$M_j=(\log M_0 - 10.72)/1.17$ [武村(1990)]	7.0	←
	モーメントマグニチュード	M_w	—	$M_w=(\log M_0 - 9.1)/1.5$ [Kanamori(1977)]	6.53	←
	密度	ρ	g/cm ³	地震調査研究推進本部(2004)に基づき設定	2.69	←
	S波速度	β	km/s	地震調査研究推進本部(2004)に基づき設定	3.58	←
	剛性率	μ	N/m ²	$\mu = \rho \beta^2$	3.45×10^{10}	←
	平均すべり量	D	m	$D=M_0/(\mu S)$	0.606	←
	平均応力降下量	$\Delta\sigma$	MPa	$\Delta\sigma=(7\pi^{1.5}/16)(M_0/S^{1.5})$	2.63	←
	破壊伝播速度	V_r	km/s	$V_r=0.72\beta$ [Geller(1976)]	2.58	←
	短周期レベル	A	Nm/s ²	$A=2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$ [壇ほか(2001)]	1.05×10^{19}	←
	高周波遮断周波数	f_{max}	Hz	鶴来ほか(1997)	6.0	←
アスペリティ	等価半径	r	km	$r=(7\pi M_0 \beta^2)/(4AR)$	4.80	←
	地震モーメント	M_{0a}	Nm	$M_{0a}=\mu D_a S_a$	3.02×10^{18}	←
	面積	S_a	km ²	$S_a=\pi r^2$	72.3	←
	平均すべり量	D_a	m	$D_a=2D$	1.211	←
	応力降下量	$\Delta\sigma_a$	MPa	$\Delta\sigma_a=(S/S_a)\Delta\sigma$, ケース2は1.5倍	13.62	20.43
短周期レベル	A_a	Nm/s ²	$A_a=4\pi(S_a/\pi)^{0.5}\Delta\sigma_a\beta^2$, ケース2は1.5倍	1.05×10^{19}	1.58×10^{19}	
背景領域	地震モーメント	M_{0b}	Nm	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$	4.81×10^{18}	←
	面積	S_b	km ²	$S_b=S-S_a$	303.0	←
	平均すべり量	D_b	m	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	0.461	←
	実効応力	σ_b	MPa	$\Delta\sigma_b=(D_b/W_b)/(D_a/W_a)\Delta\sigma_a$, $W_a=S_a^{0.5}$, $W_b=W$	3.17	4.76
Q値	Q	—	川瀬・松尾(2004)	243 ^{0.69}	←	

5.3 横浜断層による地震の地震動評価 (1) 応答スペクトルに基づく手法

- 応答スペクトルの算定には、Noda et al.(2002)による手法を用いた。なお、内陸の地震の応答スペクトルは平均的な値に比べて小さいことが知られているが(内陸補正)、敷地における内陸地殻内地震の観測記録は少なく、また、いずれも震源位置が遠いこと等から、敷地周辺の地震に対する応答スペクトル特性が十分把握されていないため、内陸補正は行わない。(敷地で観測された内陸地殻内地震の応答スペクトルの傾向については補足説明資料3章5参照。)



応答スペクトルに基づく地震動評価 「横浜断層による地震」[Noda et al.(2002)]

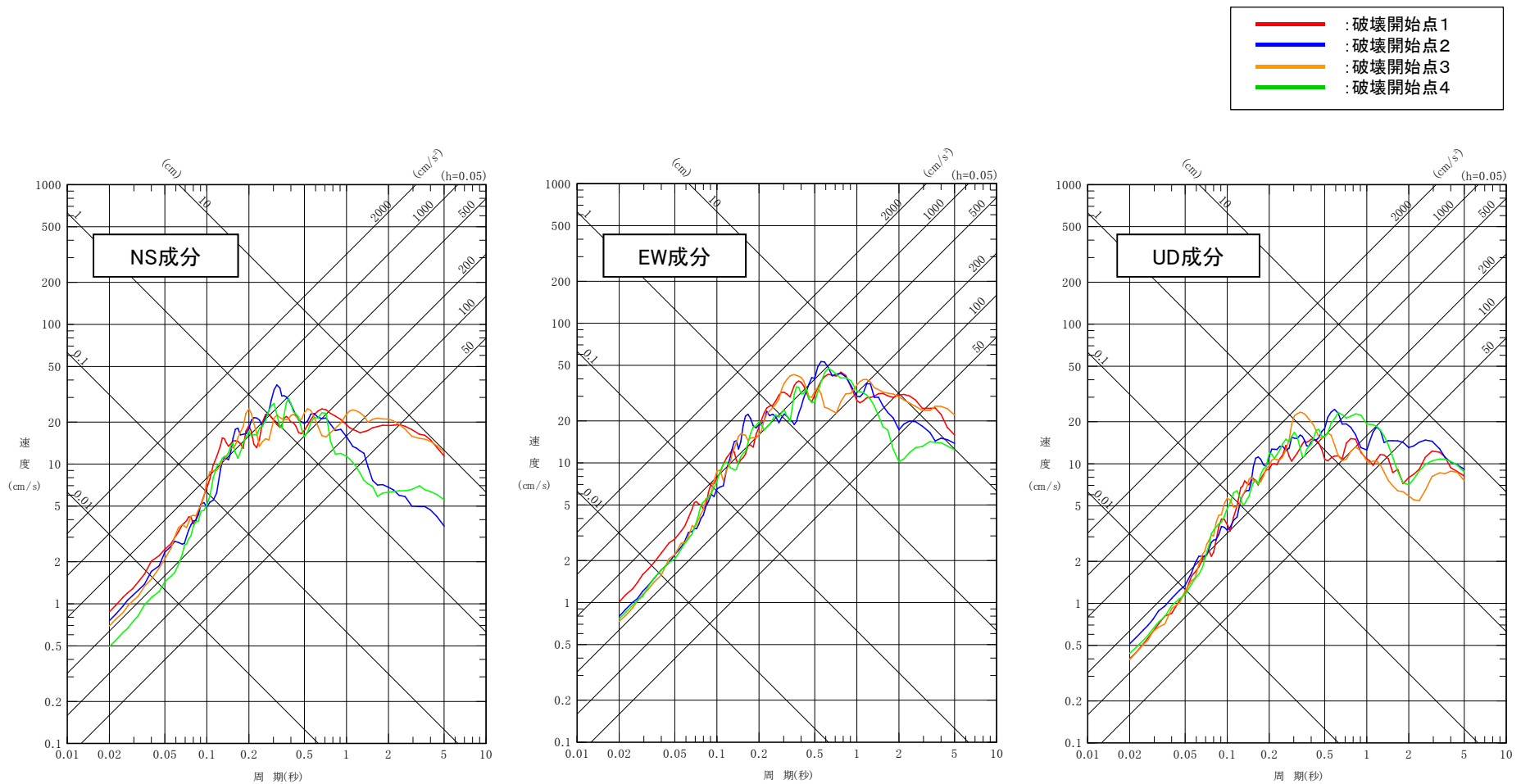
5.3 横浜断層による地震の地震動評価

(2)断層モデルを用いた手法 ①基本ケース(ケース1) 応答スペクトル

S205

➤ 「横浜断層による地震」の基本ケース(ケース1)について、統計的グリーン関数法※を適用した評価を行った。

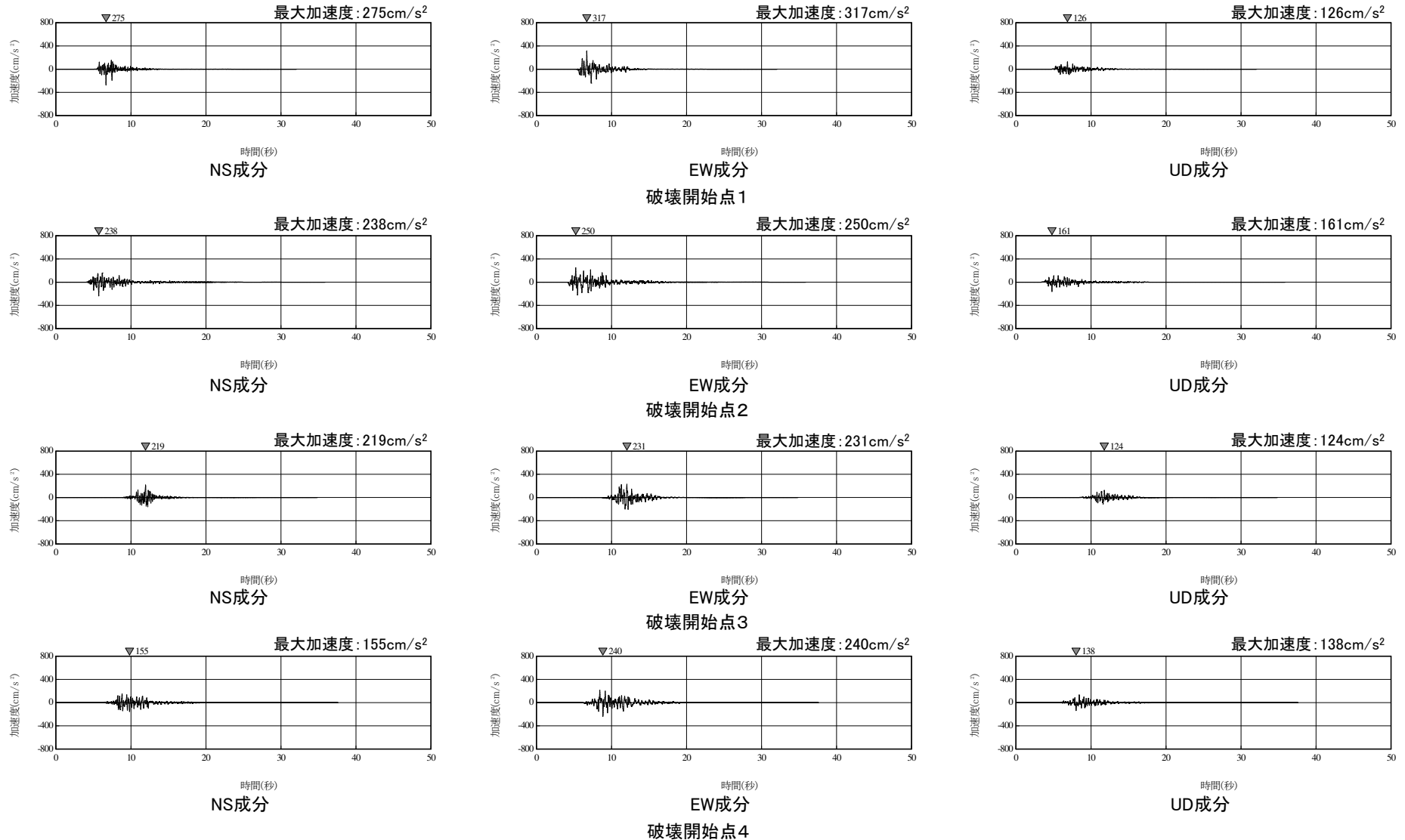
※:釜江ほか(1991)及び入倉ほか(1997)による。



断層モデルを用いた手法による地震動評価 「横浜断層による地震」基本ケース(ケース1) (PN基準)

5.3 横浜断層による地震の地震動評価

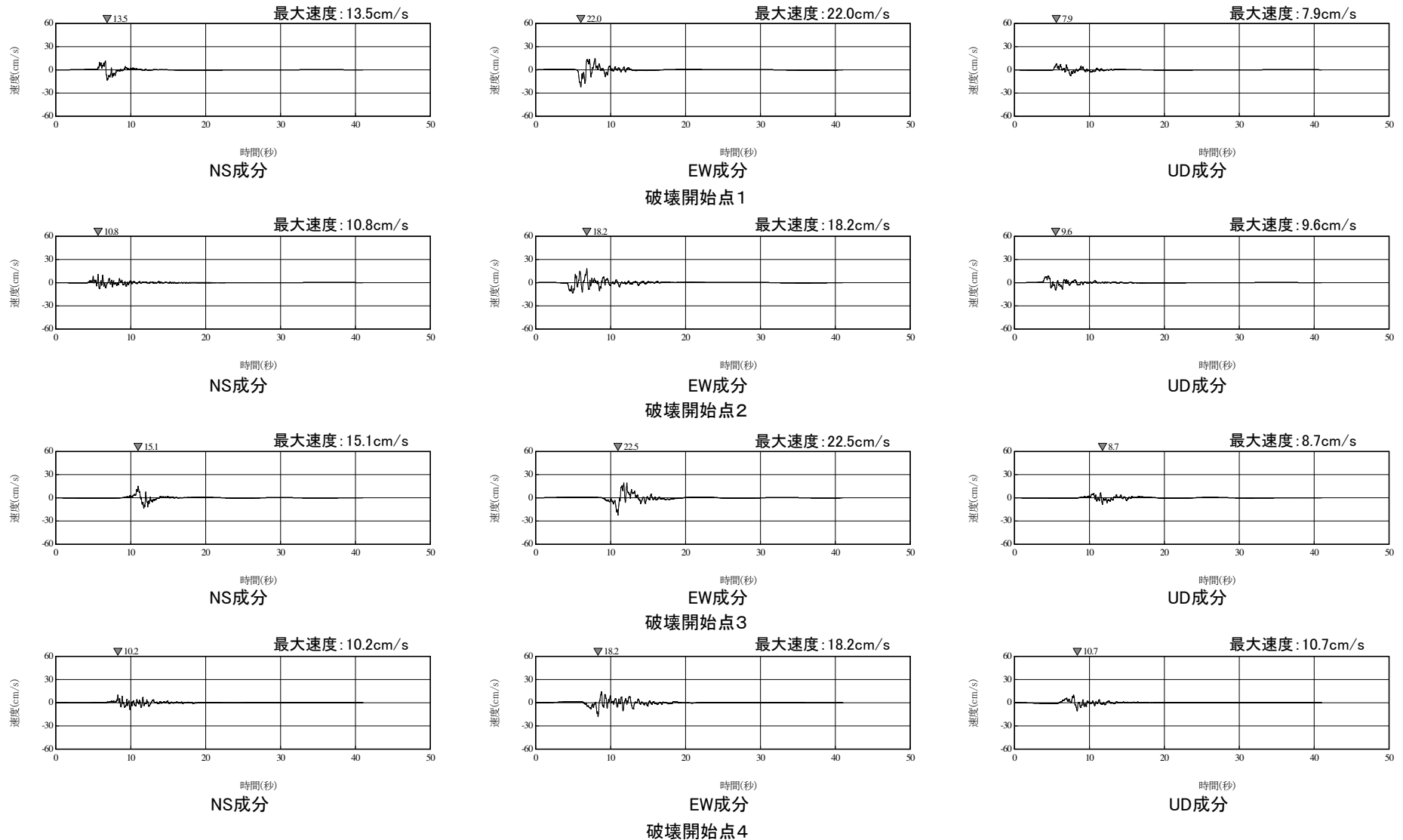
(2)断層モデルを用いた手法 ①基本ケース(ケース1) 加速度波形



「横浜断層による地震」基本ケース(ケース1)の加速度波形(PN基準)

5.3 横浜断層による地震の地震動評価

(2)断層モデルを用いた手法 ①基本ケース(ケース1) 速度波形



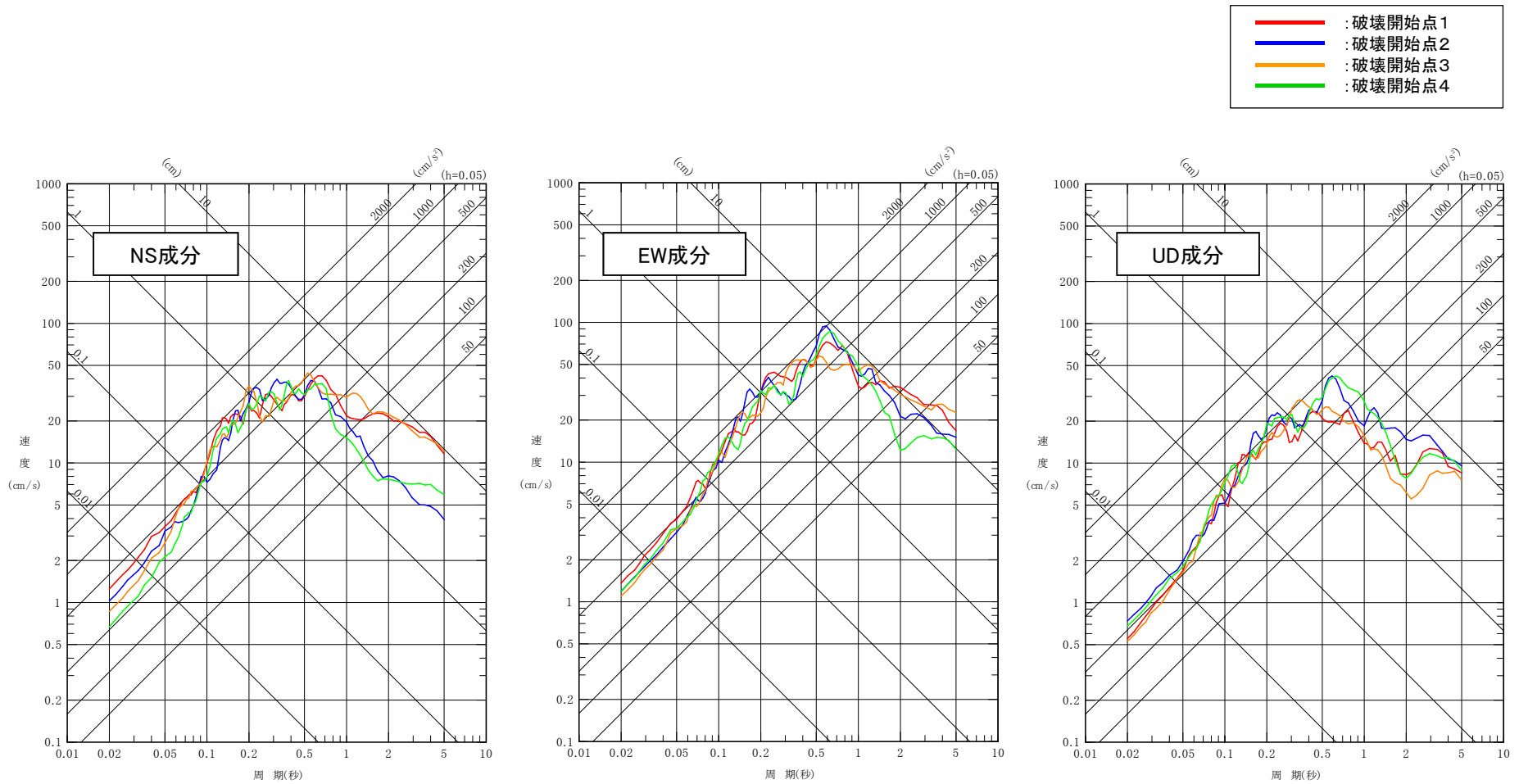
「横浜断層による地震」基本ケース(ケース1)の速度波形(PN基準)

5.3 横浜断層による地震の地震動評価

(2)断層モデルを用いた手法 ②ケース2(応力降下量) 応答スペクトル

➤ 「横浜断層による地震」のケース2(応力降下量)について、統計的グリーン関数法*を適用した評価を行った。

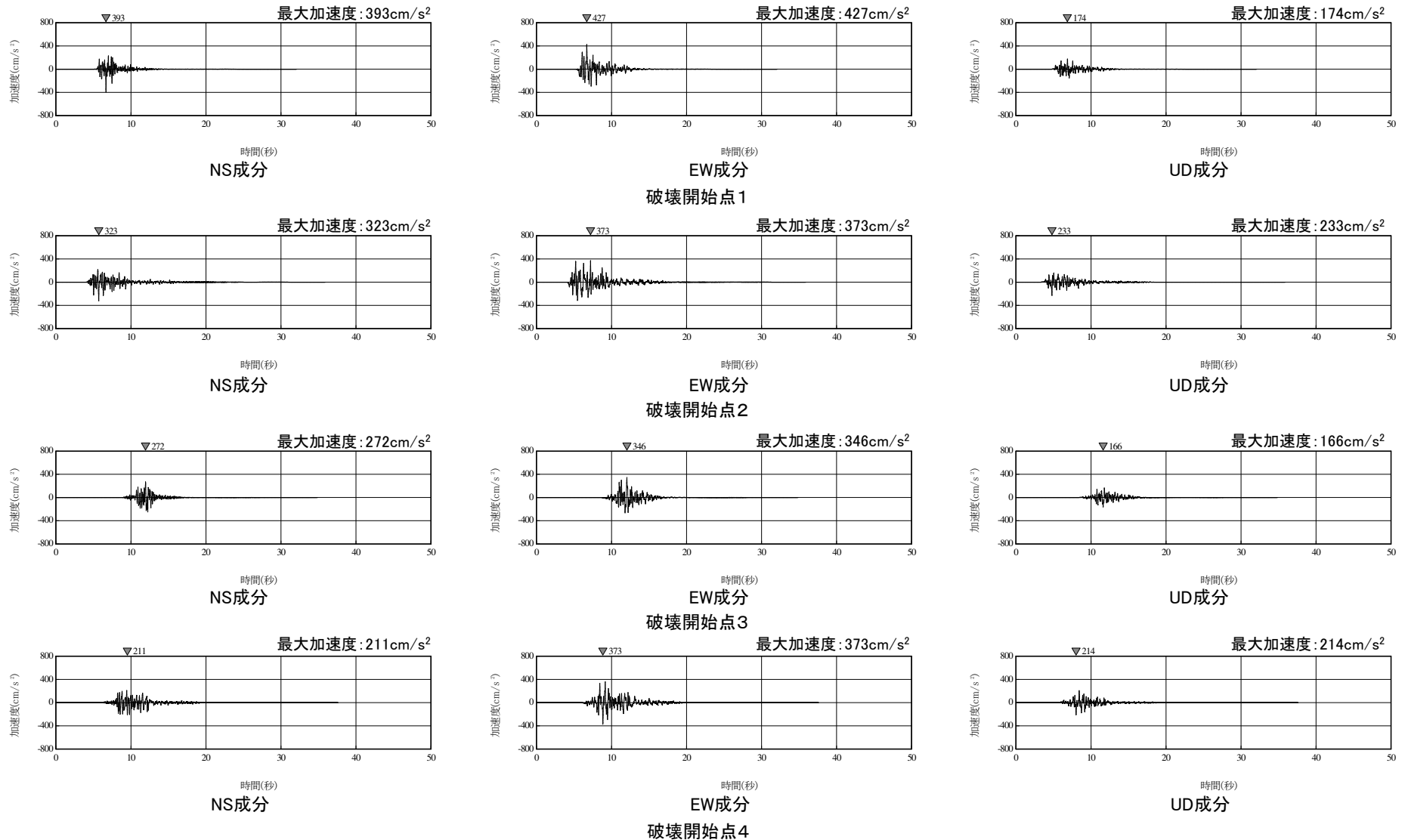
※:釜江ほか(1991)及び入倉ほか(1997)による。



断層モデルを用いた手法による地震動評価 「横浜断層による地震」ケース2(応力降下量)(PN基準)

5.3 横浜断層による地震の地震動評価

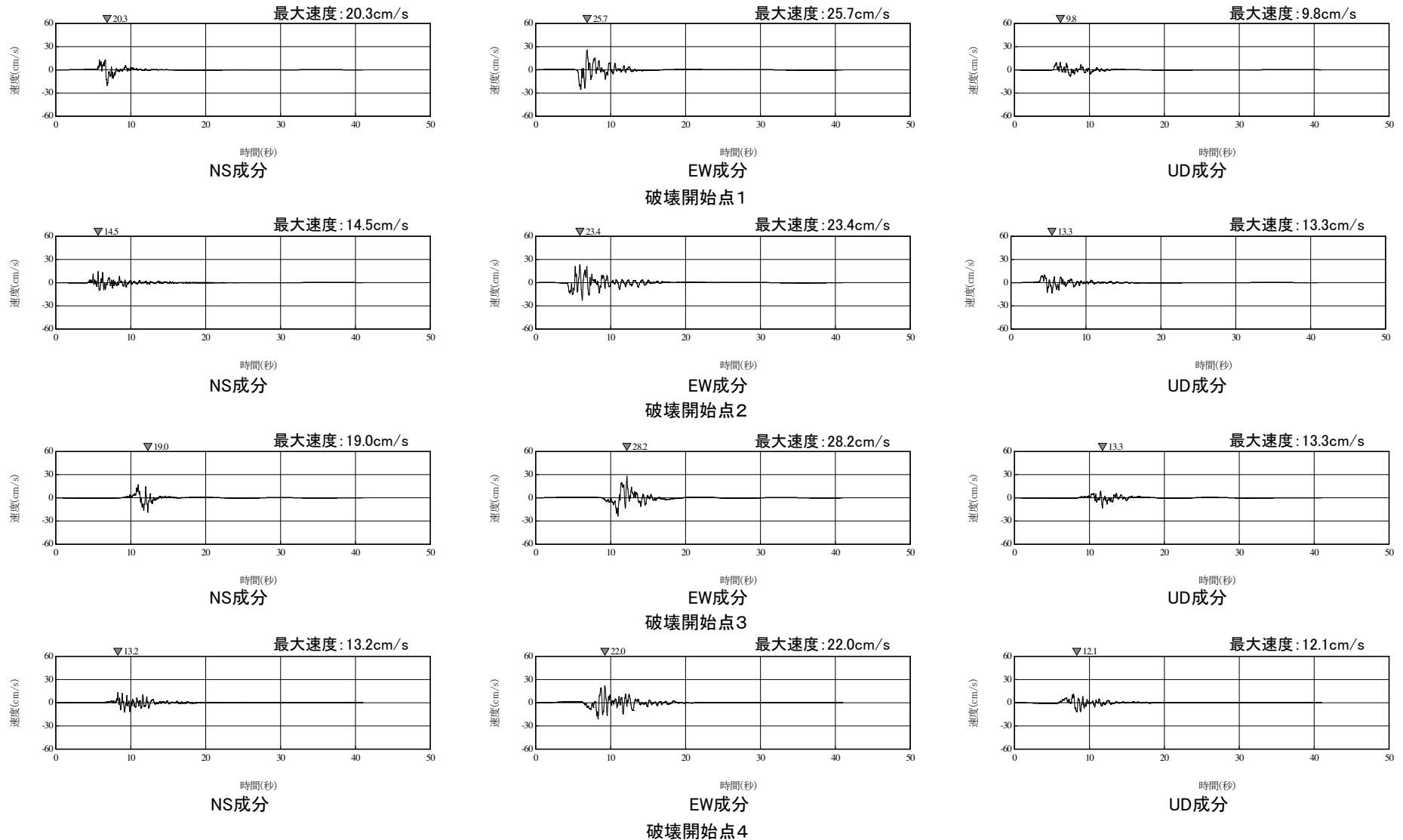
(2)断層モデルを用いた手法 ②ケース2(応力降下量) 加速度波形



「横浜断層による地震」ケース2(応力降下量)の加速度波形(PN基準)

5.3 横浜断層による地震の地震動評価

(2)断層モデルを用いた手法 ②ケース2(応力降下量) 速度波形



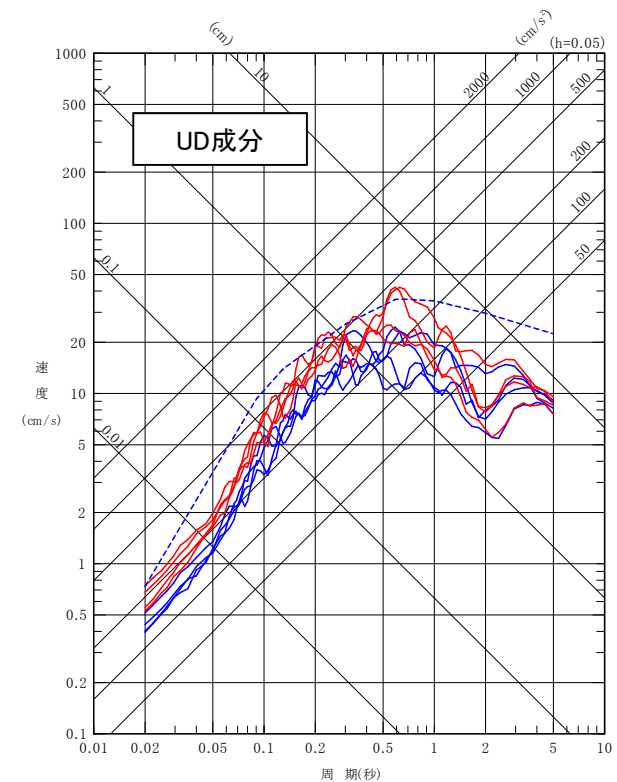
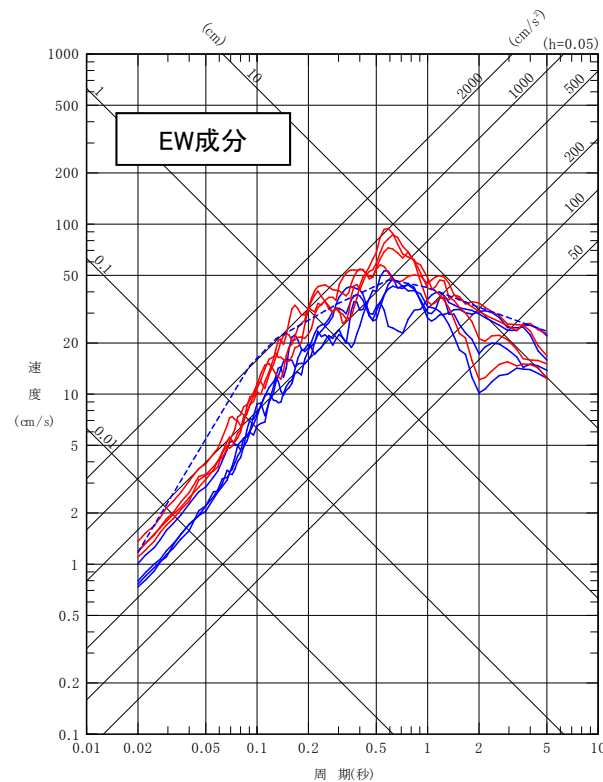
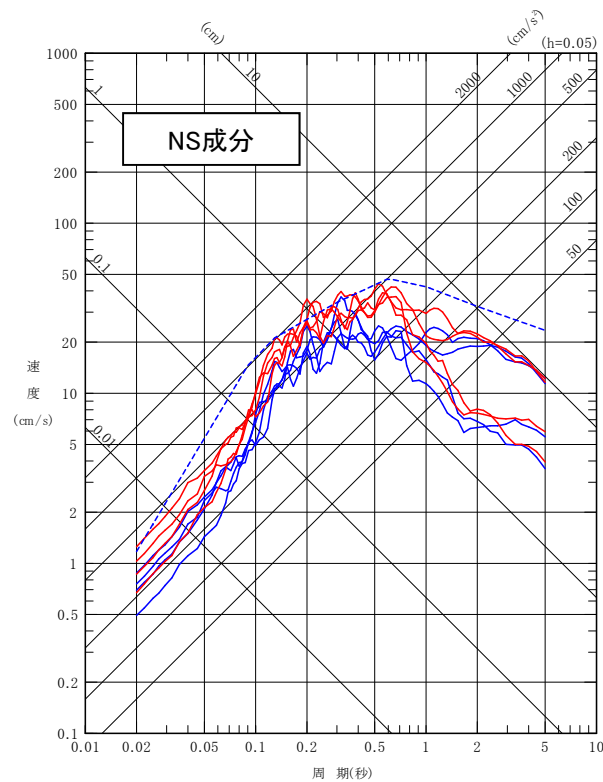
「横浜断層による地震」ケース2(応力降下量)の速度波形(PN基準)

5.3 横浜断層による地震の地震動評価 (3)まとめ

- 「横浜断層による地震」について、Noda et al.(2002)及び統計的グリーン関数法※を用いた地震動評価を実施。
- ケース2(応力降下量)が基本ケース(ケース1)を全周期帯で上回る。

※:釜江ほか(1991)及び入倉ほか(1997)による。

——— : 基本ケース(ケース1), 統計的グリーン関数法
 - - - : 基本ケース(ケース1)及びケース2(応力降下量), Noda et al.(2002)
 ——— : ケース2(応力降下量), 統計的グリーン関数法
 (同色は破壊開始点の違いを表す)



「横浜断層による地震」の地震動評価(PN基準)

5.4 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震

(1) 基本ケースの設定

S188 S203

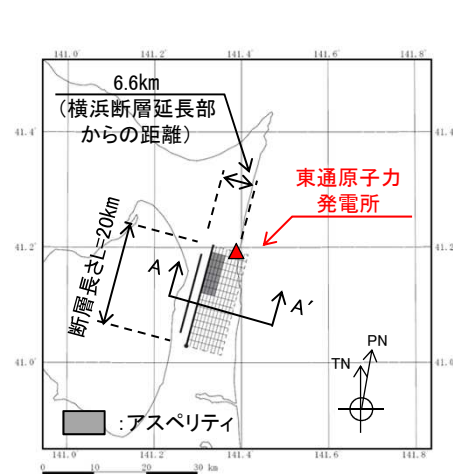
【基本ケースのモデル設定の考え方】

- 「**下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震**」は、陸奥湾側に想定される活断層を伴わない規模の小さい地震をベースにした検討用地震であるが、地震動評価の保守性確保の観点から「孤立した短い活断層の存在を仮定した断層長さ」である $L=20\text{km}$ を基本ケースの断層長さに適用する。
- 傾斜角は、下北半島中軸部の狭隘な高速度層の高まりと整合する東傾斜の断層は高角な逆断層であること、地震調査研究推進本部(2020)*では高角な逆断層の場合、断層傾斜角を60度以上としていること等から、基本ケースは60度として考慮する。
- 断層幅は、断層傾斜角と地震発生層の飽和を考慮する($W=13.9\text{km}$)。
- アスペリティの配置についても、横浜断層による地震と同様に敷地に対し最も近い最浅部に設定する。

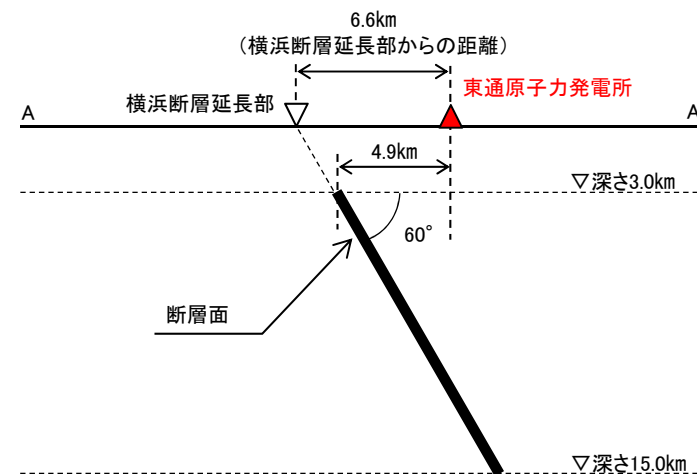
【基本ケースが与える地震動レベルの確認】

- 基本ケースは地表に活断層を伴わない規模の小さい地震をベースにした断層モデルであるが、その設定が地震動評価上十分保守的であることを「震源を特定せず策定する地震動」等との比較・検討から確認している(補足説明資料3章6参照)。

※:強震動予測レシピ



基本ケースの断層配置図



基本ケースの配置図(A-A' 断面)

「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」の概要

5.4 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震 (2) 断層モデルの設定の考え方と不確かさの整理

S188 S203

- 地震動評価の保守性確保の観点から、陸奥湾側に想定される東傾斜の活断層を伴わない規模の小さい地震を、地表痕跡の認められる横浜断層の位置で考慮する(地表延長部)。また、断層長さは、「孤立した短い活断層の存在を仮定した断層長さ」としてL=20kmを基本ケースに適用する。

【認識論的な不確かさ】: 事前の詳細な調査や経験式などに基づき設定できるもの。

青文字: あらかじめ基本ケースで保守性を考慮

【偶然的な不確かさ】: 事前の詳細な調査や経験式などに基づく特定が困難なもの。

赤文字: 基本ケースに対し不確かさを考慮

種類	パラメータ	基本ケースの設定	基本ケース及び不確かさケースの設定の考え方
認識論的 不確かさ	断層傾斜方向	東傾斜	基本ケース及び不確かさケースとも、 陸奥湾側に想定される東傾斜の断層 (下北半島中軸部の狭隘な高速度層の高まりの成因をテクトニックなものと捉えた場合に想定される断層)を考慮する。
	断層の位置	横浜断層の位置	基本ケース及び不確かさケースとも、下北半島中軸部の狭隘な高速度層の高まりを踏まえると、地表延長部は陸奥湾付近となるが、 地表延長部を地表痕跡の認められる横浜断層位置 で考慮する。 ----- 基本ケース及び不確かさケースとも、横浜断層の地質調査結果に対し断層長さを均等に設定する。
	地震規模 (断層長さ)	M6.8 (L=20km)	基本ケースは、「 孤立した短い活断層の存在を仮定した断層長さ 」としてL=20km適用する(補足説明資料3章6参照)。 ----- 不確かさとして、地震規模の保守性確保の観点から、「 地表地震断層としてその全容を表す規模 」としてL=27km [$M_0=7.5 \times 10^{18}(\text{Nm})$] ^{*1} 以上の規模相当]を採用する。
	断層傾斜角	60度	基本ケースは、以下を踏まえ横浜断層の位置に東傾斜60度を想定する。 ① 下北半島では高角な逆断層が卓越する。 ② 横浜断層より西側の陸奥湾側に高角な断層を想定すると下北半島中軸部の狭隘な高速度層の高まりと整合する。 ③ 地震調査研究推進本部(2020) ^{*2} では高角な逆断層の場合、断層傾斜角を60度以上としている。 ----- 不確かさとして、地震調査研究推進本部(2020)を踏まえ 低角な断層(45度) を考慮する。
	アスペリティの 応力降下量 (短周期レベル)	地震調査研究推進本部 (2020)の1.0倍	基本ケースは、 経験的に求められた平均的な値である地震調査研究推進本部(2020)による値 を採用する。 ----- 不確かさとしては、アスペリティの応力降下量に2007年新潟県中越沖地震(Mw6.6)の知見を反映し、 地震調査研究推進本部(2020)による値の1.5倍 を考慮する。 (参考)第1005回適合性審査会合では、応力降下量の不確かさはL=27kmと組み合わせたケースを採用していたが、検討用地震及び基本ケースの再整理に伴い、当該ケースは認識論的不確かさの重畳ケースとなるため取り止めた。
偶然的 不確かさ	アスペリティ位置	横浜断層が認定される範囲で敷地に近い位置	基本ケース及び不確かさケースとも、横浜断層による地震の考え方に準じ、アスペリティは 敷地に最も近い最浅部 に設定する。
	破壊開始点	破壊が敷地に向かう位置	基本ケース及び不確かさケースとも、 敷地に対し影響の大きい破壊開始点位置(破壊が敷地に向かうように設定した位置) に複数考慮する。

*1: 地震モーメント(M_0)は地震調査研究推進本部(2020)による。断層長さは、入倉・三宅(2001)を用いた断層面積及び地震発生層を飽和する断層幅を考慮した。

*2: 強震動予測レシピ

5.4 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震 (3) 検討ケース

S188 S203

- 全ケースとも地震発生層を飽和する断層幅を設定していることから、地震モーメントは地震調査研究推進本部(2020)に準じた場合、入倉・三宅(2001)を用いて算定することになるが、基本ケース(ケース1)及びケース4(応力降下量)についてはSomerville et al.(1999)を用いた方が若干大きくなるため、保守的にSomerville et al.(1999)を採用する(補足説明資料3章7参照)。

検討用地震の想定〔下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震〕

検討ケースの青文字: 基本ケース
検討ケースの赤文字: 不確かさケース

検討ケース	断層傾斜方向	断層位置	断層長さ 地震モーメント	地震規模	断層傾斜角	アスペリティの応力降下量 〔レシピア ^{※1} に対する比〕 短周期レベル	アスペリティの位置	破壊開始点	評価手法
基本ケース (ケース1) ^{※2}	東	横浜断層の位置	L=20km 4.40 × 10 ¹⁸ (Nm)	M6.8 (Mw6.36)	60°	14.21 (MPa) 〔レシピア × 1.0〕 8.69 × 10 ¹⁸ (Nm/s ²)	敷地に近い最浅部	破壊が敷地に向かう位置に複数考慮	各種距離減衰式 統計的グリーン関数法
ケース2 (地震規模) ^{※3}	東	横浜断層の位置	L=27km 7.83 × 10 ¹⁸ (Nm)	M7.0 (Mw6.53)	60°	13.62 (MPa) 〔レシピア × 1.0〕 1.05 × 10 ¹⁹ (Nm/s ²)			各種距離減衰式 ハイブリッド合成法
ケース3 (断層傾斜角)	東	横浜断層の位置	L=20km 6.43 × 10 ¹⁸ (Nm)	M6.9 (Mw6.47)	45°	13.85 (MPa) 〔レシピア × 1.0〕 9.86 × 10 ¹⁸ (Nm/s ²)			各種距離減衰式 統計的グリーン関数法
ケース4 (応力降下量)	東	横浜断層の位置	L=20km 4.40 × 10 ¹⁸ (Nm)	M6.8 (Mw6.36)	60°	21.31 (MPa) 〔レシピア × 1.5〕 1.30 × 10 ¹⁹ (Nm/s ²)			各種距離減衰式 ハイブリッド合成法

: あらかじめ基本ケースに織り込む不確かさ

: 考慮する不確かさ

※1: 地震調査研究推進本部(2020)

第1005回審査会合資料からの変更点(パラメータ設定・計算方法)

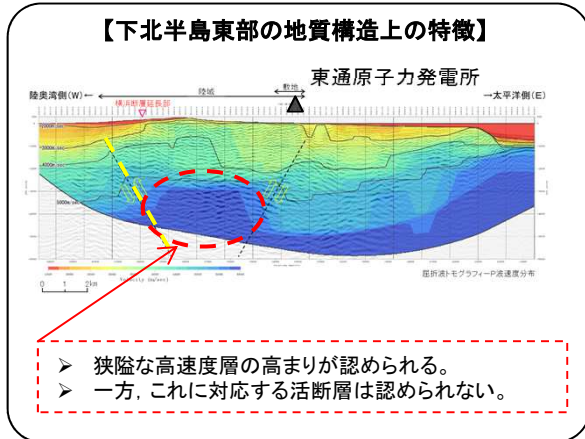
※2: 地震モーメントM₀の算定を、入倉・三宅(2001)からSomerville et al.(1999)に変更。

※3: 各メッシュの破壊開始時刻の揺らぎを見直し(今回は「L=27km, 傾斜角60度, アスペリティの応力降下量1.5倍」のケースと同じ揺らぎを採用していたが、当該ケースを取り止めたために再計算を実施)。

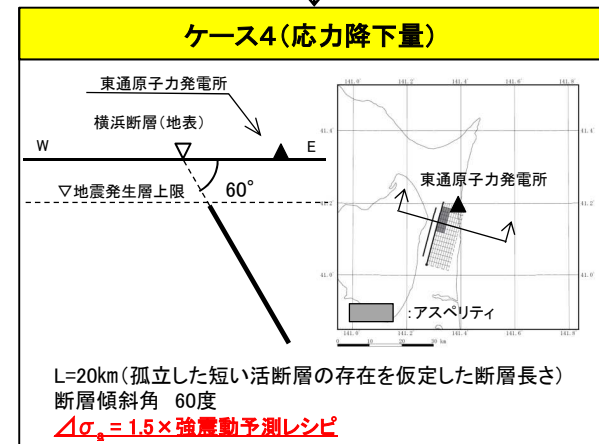
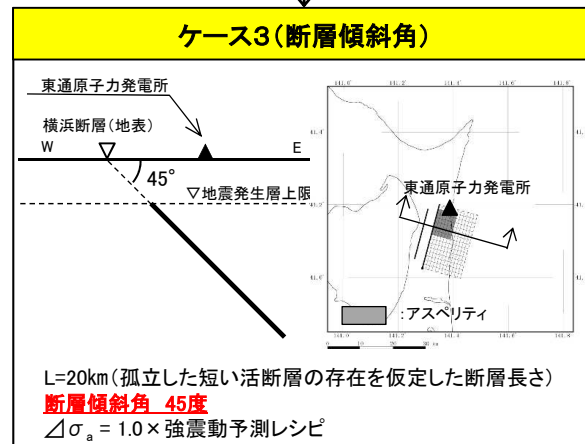
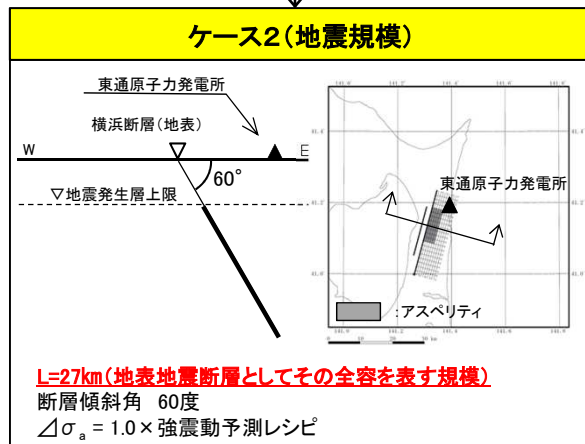
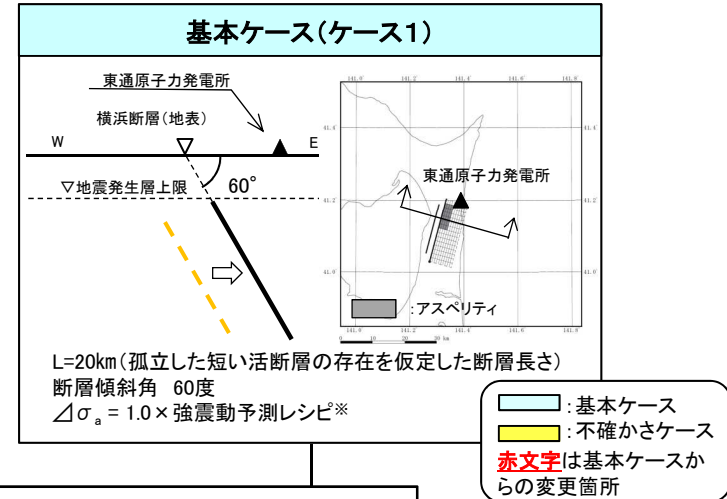
5.4 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震 (4) 基本ケース及び不確かさケースの整理

S188 S203

▶ 「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」については、あらかじめ地震動評価の保守性確保の観点から「孤立した短い活断層の存在を仮定した断層長さ」として $L=20\text{km}$ を地表痕跡の認められる横浜断層の位置で考慮し、さらに地震規模、断層傾斜角及びアスペリティの応力降下量の不確かさを考慮。



- 地震動評価の保守性確保の観点から、以下を考慮
- ・陸奥湾側に想定される東傾斜の高角な逆断層を、敷地に近い地表痕跡の認められる横浜断層位置で考慮。
 - ・「孤立した短い活断層の存在を仮定した断層長さ」($L=20\text{km}$)を基本ケースに考慮。
 - ・アスペリティの配置も、活断層に基づく地震(横浜断層による地震)と同様に敷地に近い最浅部に設定。



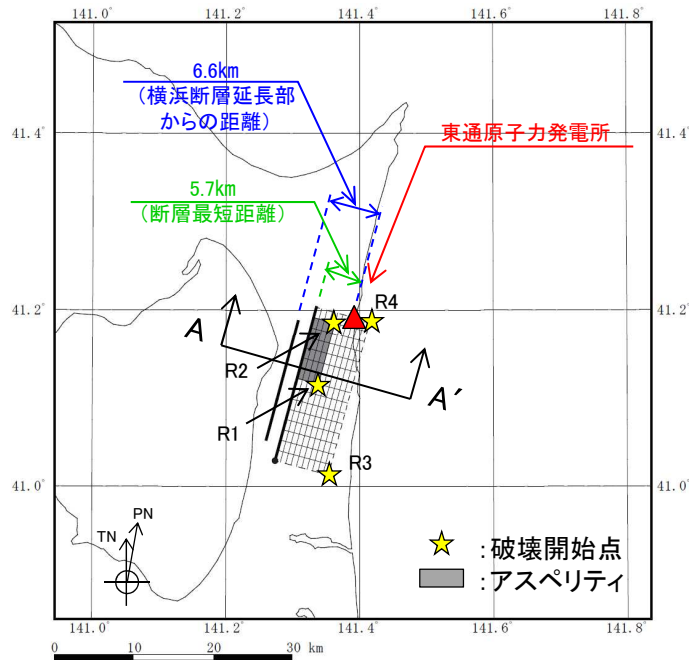
※: 強震動予測レシビ: 地震調査研究推進本部(2020)

「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」の基本ケース及び不確かさケースの構成

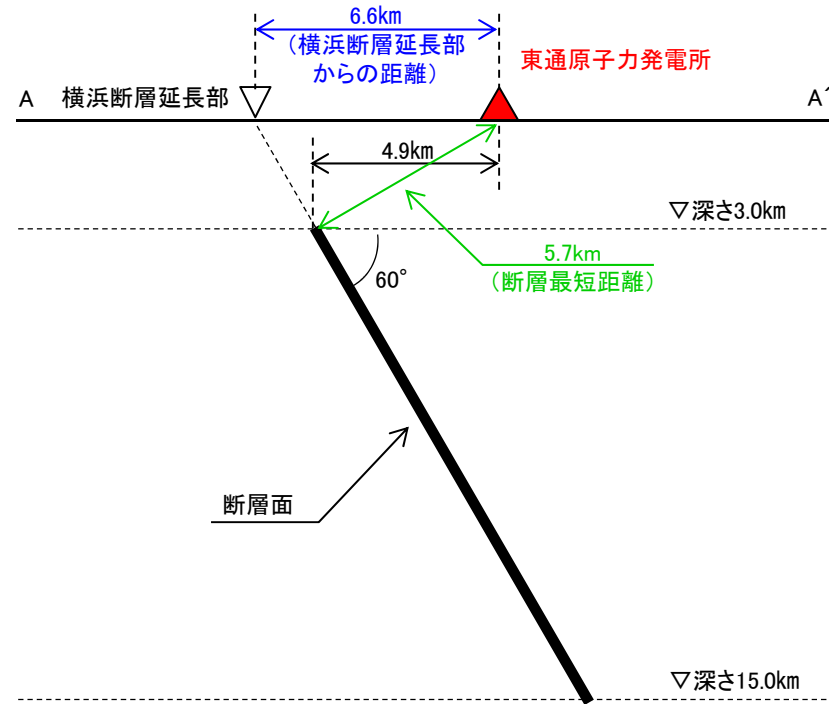
5.4 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震

(5)断層モデル ①基本ケース(ケース1)及びケース4(応力降下量)

S188 S203



断層配置図



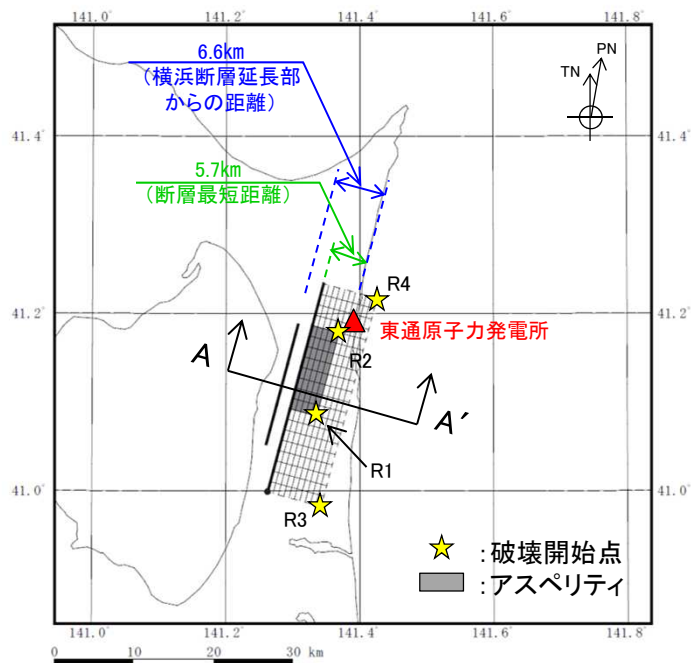
配置図(A-A' 断面)

「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」の断層モデル(ケース1及びケース4)

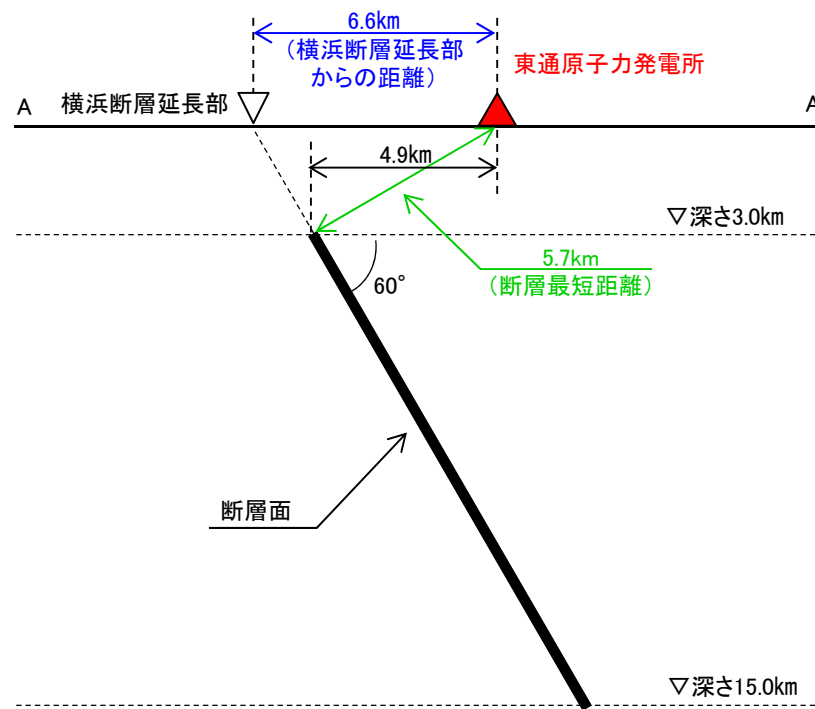
「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」の断層諸元(ケース1及びケース4)

ケース名	断層長さ L(km)	M	Mw	等価震源距離 Xeq(km)	断層最短距離 R _{Rup} (km)
基本ケース(ケース1) ケース4(応力降下量)	20.0	6.8	6.36	9	5.7

5.4 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震 (5)断層モデル ②ケース2(地震規模)



断層配置図



配置図(A-A' 断面)

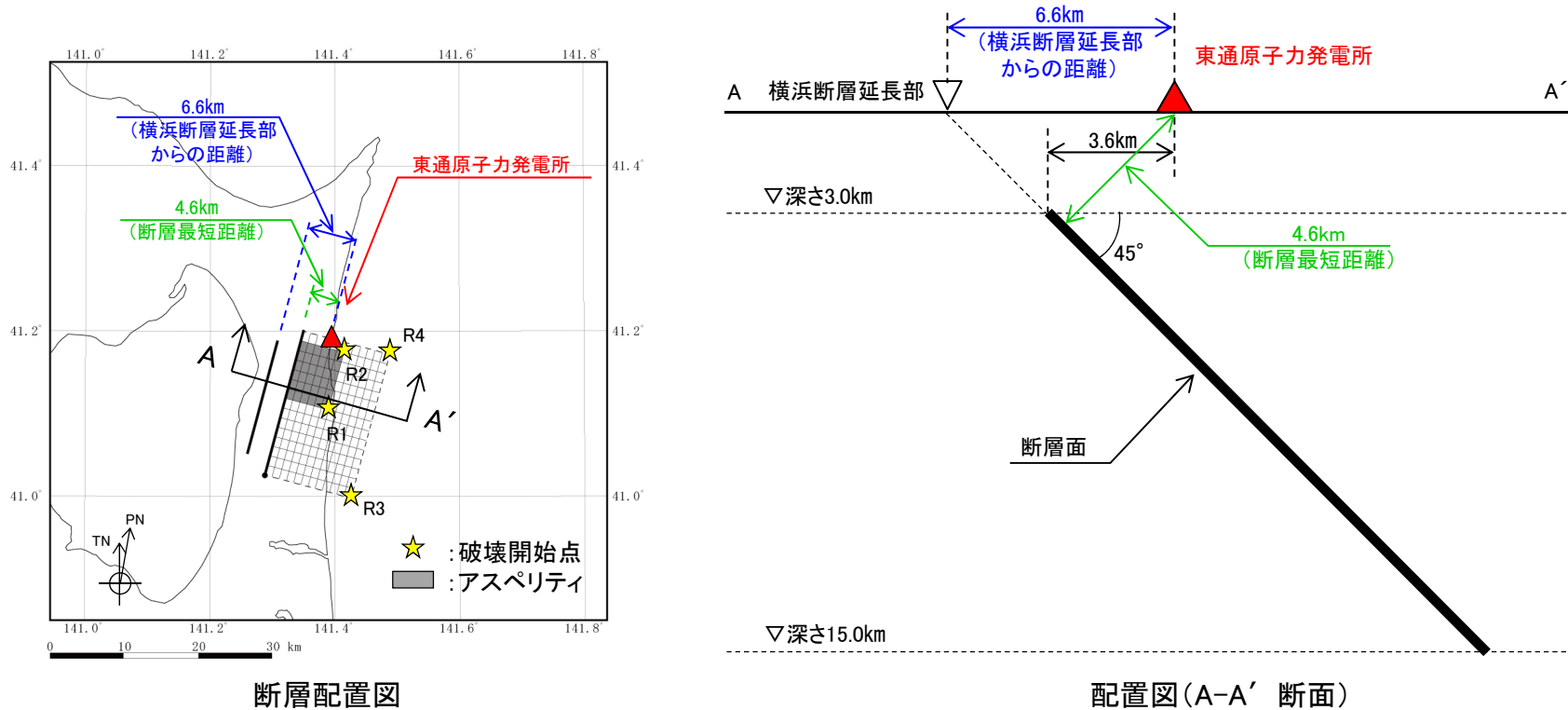
「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」の断層モデル(ケース2)

「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」の断層諸元(ケース2)

ケース名	断層長さ L(km)	M	M _w	等価震源距離 X _{eq} (km)	断層最短距離 R _{Rup} (km)
ケース2(地震規模)	27.0	7.0	6.53	10	5.7

5.4 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震 (5)断層モデル ③ケース3(断層傾斜角)

S188 S203



「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」の断層モデル(ケース3)

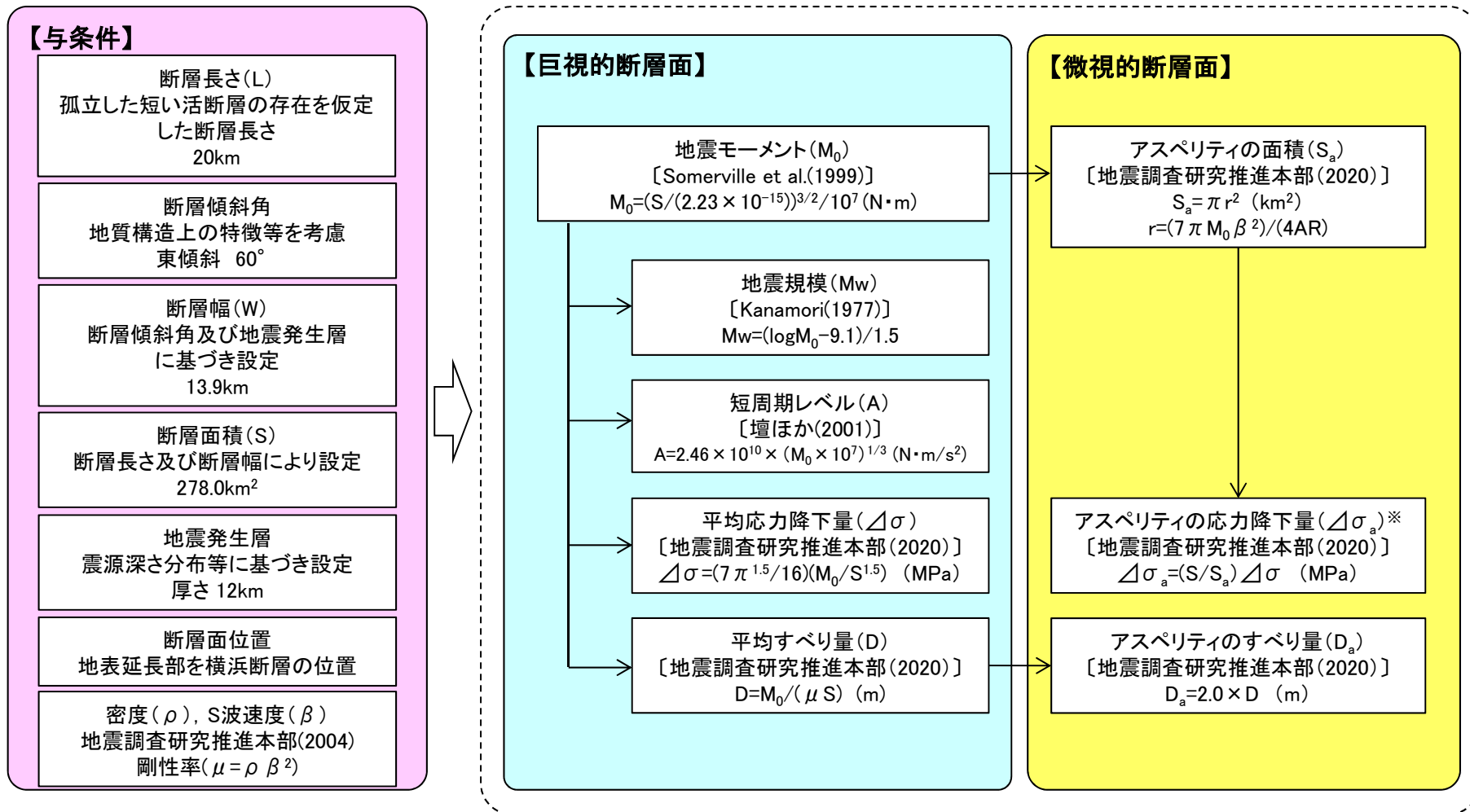
「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」の断層諸元(ケース3)

ケース名	断層長さ L(km)	M	Mw	等価震源距離 Xeq(km)	断層最短距離 R _{Rup} (km)
ケース3(断層傾斜角)	20.0	6.9	6.47	8	4.6

5.4 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震

(6)断層パラメータ設定フロー ①基本ケース(ケース1)及びケース4(応力降下量)

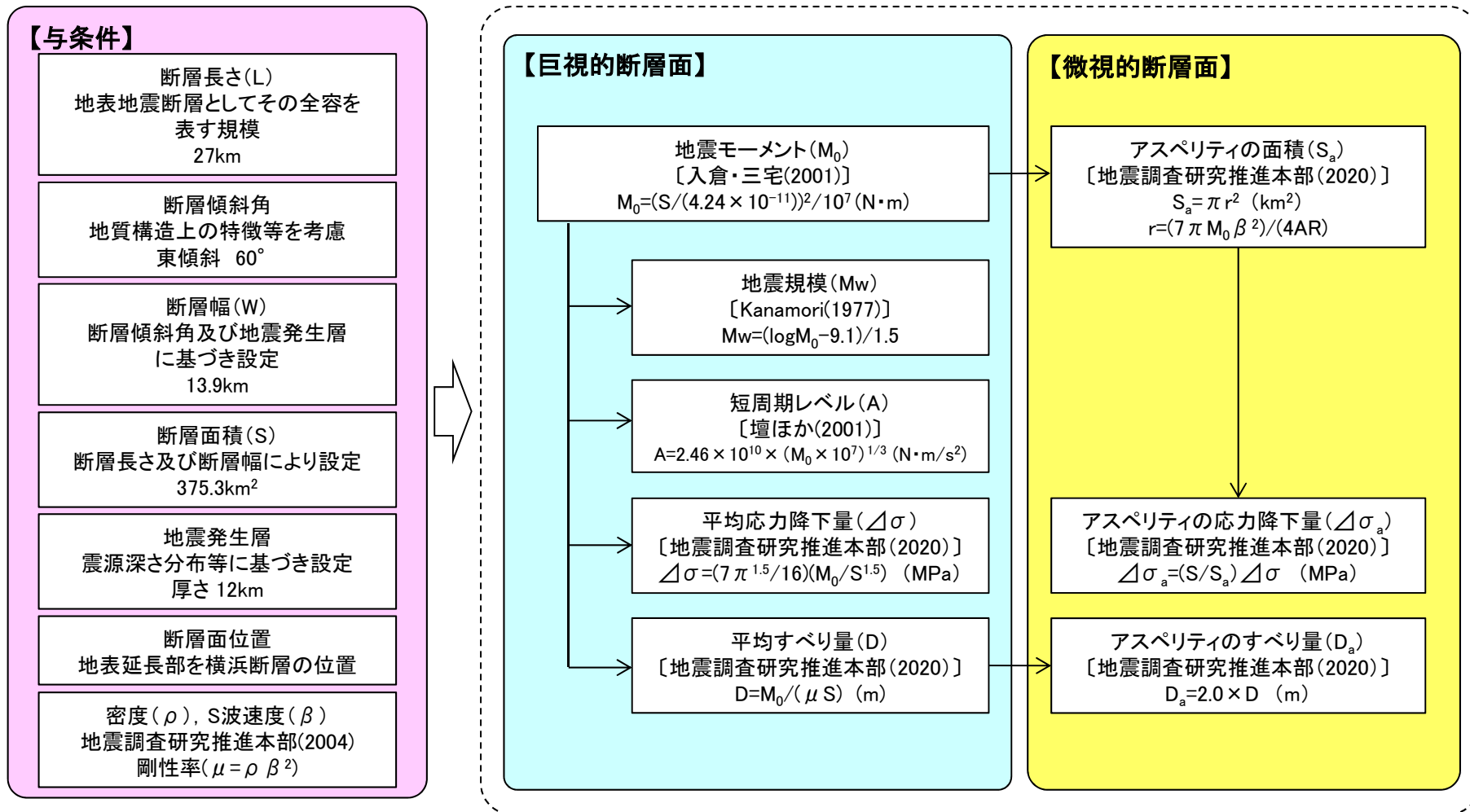
S188 S203



※:ケース4(応力降下量)では, $\Delta\sigma_a$ を1.5倍にする。

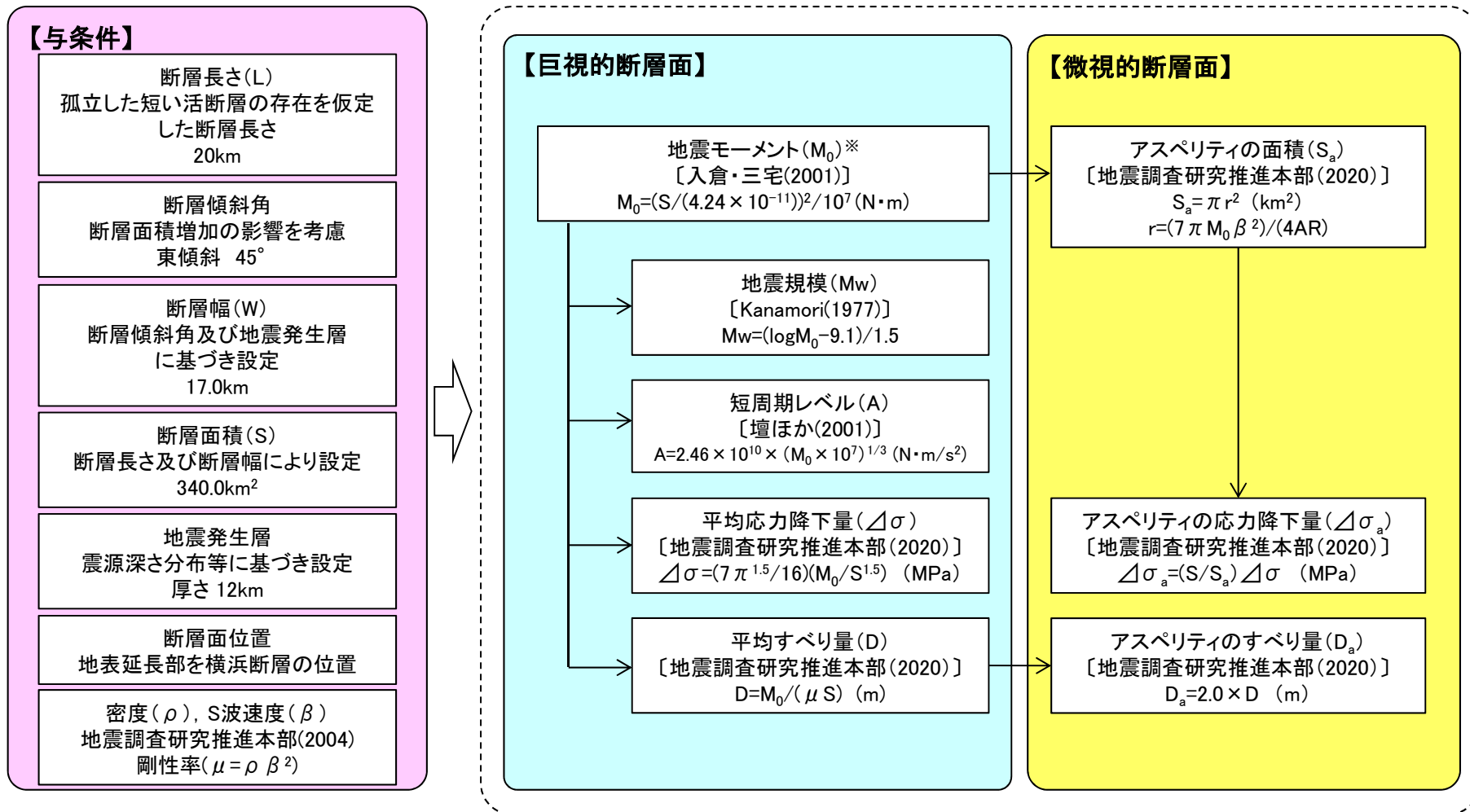
5.4 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震 (6) 断層パラメータ設定フロー ②ケース2(地震規模)

S188 S203



5.4 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震 (6)断層パラメータ設定フロー ③ケース3(断層傾斜角)

S188 S203



※: M₀の算定は, Somerville et al.(1999)より保守的な入倉・三宅(2001)を用いた(補足説明資料3章7参照)。

5.4 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震 (7)断層パラメータ

S188 S203

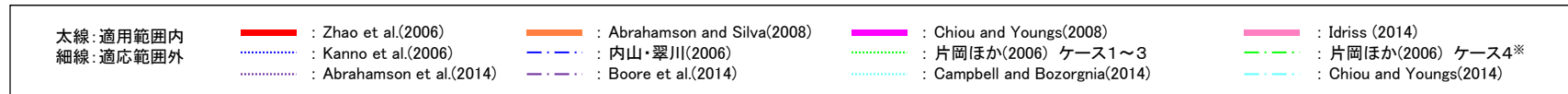
断層パラメータ		記号	単位	設定方法	基本ケース (ケース1)	ケース2 (地震規模)	ケース3 (断層傾斜角)	ケース4 (応力降下量)
巨視的断層面	走向	θ	°	設定	15	←	←	←
	断層傾斜角	δ	°	設定	東傾斜 60	←	東傾斜 45	東傾斜 60
	断層長さ	L	km	設定	20.0	27.0	20.0	←
	断層幅	W	km	地震発生層厚さ(12km)と断層傾斜角から設定	13.9	←	17.0	13.9
	断層面積	S	km ²	$S=L \times W$	278.0	375.3	340.0	278.0
	断層上端深さ	—	km	地震発生層の検討結果による	3.0	←	←	←
	断層下端深さ	—	km	地震発生層の検討結果による	15.0	←	←	←
	地震モーメント	M_0	Nm	ケース1, 4 : $M_0=(S/(2.23 \times 10^{-15}))^{3/2}/10^7$ [Somerville et al.(1999)] ケース2, 3 : $M_0=(S/(4.24 \times 10^{-11}))^{2/3}/10^7$ [入倉・三宅(2001)]	4.40×10^{18}	7.83×10^{18}	6.43×10^{18}	4.40×10^{18}
	気象庁マグニチュード	M_j	—	$M_j=(\log M_0 - 10.72)/1.17$ [武村(1990)]	6.8	7.0	6.9	6.8
	モーメントマグニチュード	M_w	—	$M_w=(\log M_0 - 9.1)/1.5$ [Kanamori(1977)]	6.36	6.53	6.47	6.36
	密度	ρ	g/cm ³	地震調査研究推進本部(2004)に基づき設定	2.69	←	←	←
	S波速度	β	km/s	地震調査研究推進本部(2004)に基づき設定	3.58	←	←	←
	剛性率	μ	N/m ²	$\mu = \rho \beta^2$	3.45×10^{10}	←	←	←
	平均すべり量	D	m	$D=M_0/(\mu S)$	0.459	0.606	0.549	0.459
	平均応力降下量	$\Delta\sigma$	MPa	$\Delta\sigma=(7\pi^{1.5}/16)(M_0/S^{1.5})$	2.31	2.63	2.50	2.31
	破壊伝播速度	V_r	km/s	$V_r=0.72\beta$ [Geller(1976)]	2.58	←	←	←
短周期レベル	A	Nm/s ²	$A=2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$ [壇ほか(2001)]	8.69×10^{18}	1.05×10^{19}	9.86×10^{18}	8.69×10^{18}	
高周波遮断周波数	f_{max}	Hz	鶴来ほか(1997)	6.0	←	←	←	
アスペリティ	等価半径	r	km	$r=(7\pi M_0 \beta^2)/(4AR)$	3.80	4.80	4.42	3.80
	地震モーメント	M_{0a}	Nm	$M_{0a}=\mu D_a S_a$	1.43×10^{18}	3.02×10^{18}	2.32×10^{18}	1.43×10^{18}
	面積	S_a	km ²	$S_a=\pi r^2$	45.3	72.3	61.4	45.3
	平均すべり量	D_a	m	$D_a=2D$	0.918	1.211	1.097	0.918
	応力降下量	$\Delta\sigma_a$	MPa	$\Delta\sigma_a=(S/S_a)\Delta\sigma$, ケース4は1.5倍	14.21	13.62	13.85	21.31
短周期レベル	A_a	Nm/s ²	$A_a=4\pi(S_a/\pi)^{0.5}\Delta\sigma_a\beta^2$, ケース4は1.5倍	8.69×10^{18}	1.05×10^{19}	9.86×10^{18}	1.30×10^{19}	
背景領域	地震モーメント	M_{0b}	Nm	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$	2.97×10^{18}	4.81×10^{18}	4.11×10^{18}	2.97×10^{18}
	面積	S_b	km ²	$S_b=S-S_a$	232.7	303.0	278.6	232.7
	平均すべり量	D_b	m	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	0.370	0.461	0.428	0.370
	実効応力	σ_b	MPa	$\Delta\sigma_b=(D_b/W_b)/(D_a/W_a)\Delta\sigma_a$, $W_a=S_a^{0.5}$, $W_b=W$	2.77	3.17	2.49	4.15
Q値	Q	—	川瀬・松尾(2004)	243 ^{F09}	←	←	←	

5.5 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震の地震動評価

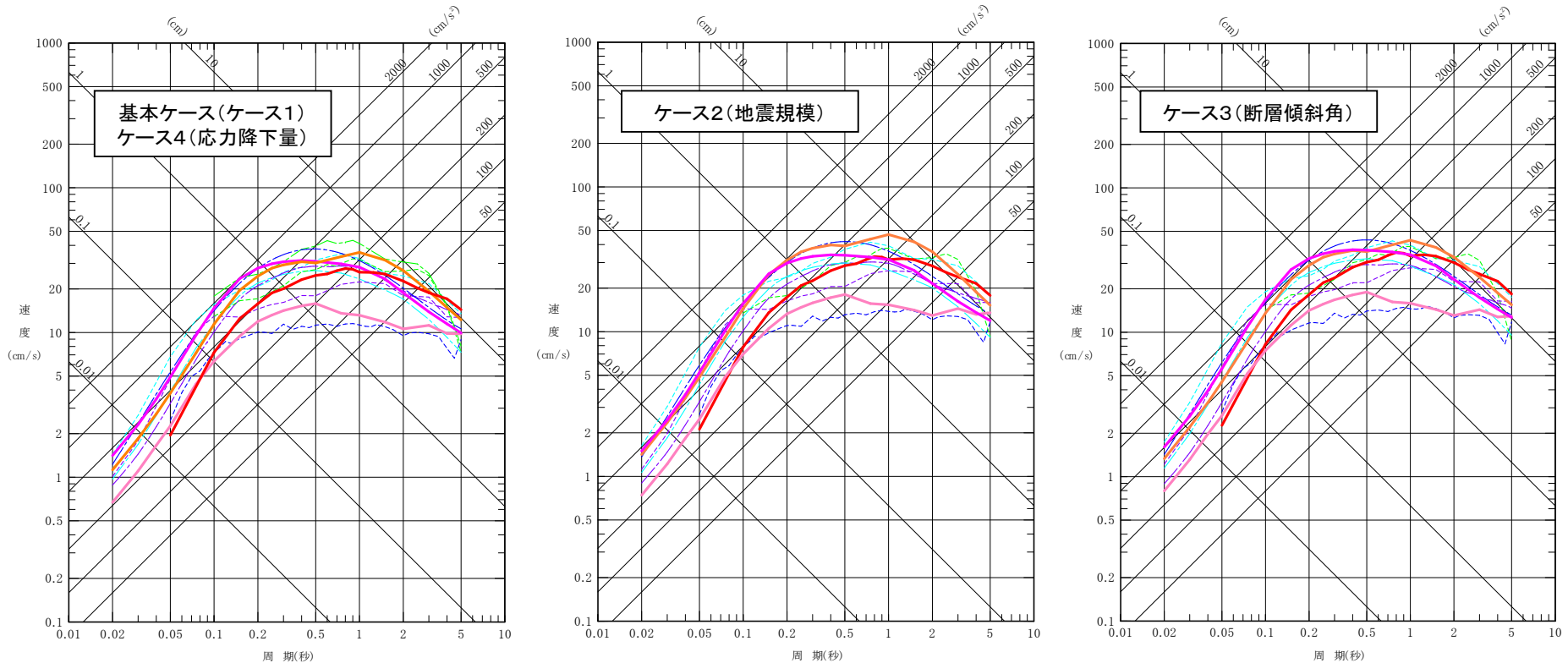
(1) 応答スペクトルに基づく手法

S188 S203

- 「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」については、Noda et al.(2002)のデータ範囲外のため、各種距離減衰式による評価を行った。
- 各種距離減衰式による評価においては、東通の地盤条件 ($V_s30=1640\text{m/s}$) で適用可能な式に加え、適用外となる式に対しても参考的に評価を実施した (各種距離減衰式の概要については補足説明資料3章1参照)。
- 距離減衰式による違いは大きい結果となった。また、適用範囲内の式の応答スペクトルは、適用外の式に対して一部の周期帯で下回る個所があるものの全体的には同等以上となっていることも踏まえ、適用範囲内の式で評価を代表する。



※: ケース4(応力降下量)の短周期レベルは、基本ケース(ケース1)の1.5倍である $1.30 \times 10^{19}(\text{Nm/s}^2)$ とした。



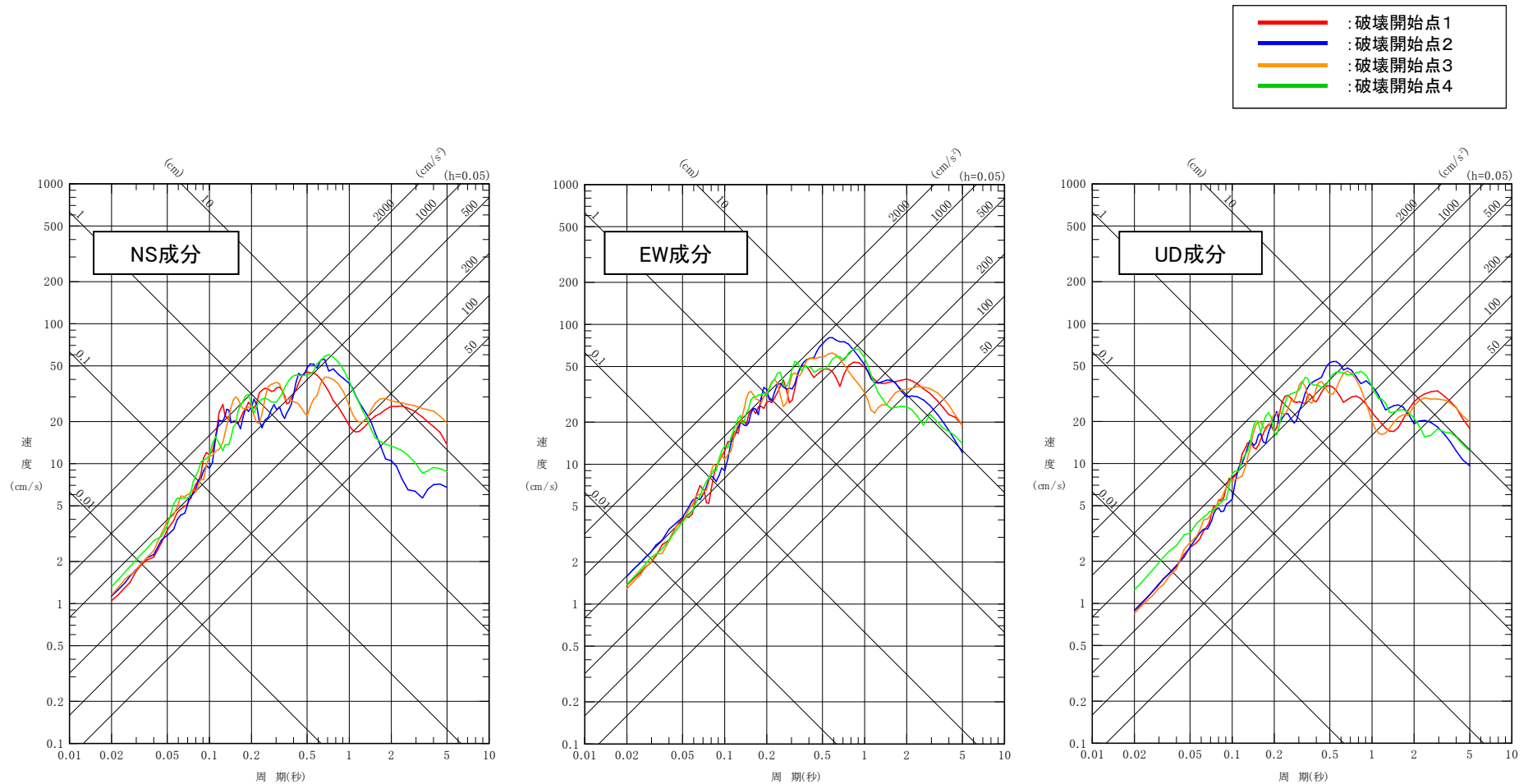
応答スペクトルに基づく地震動評価 「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」(水平)

5.5 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震の地震動評価 (2)断層モデルを用いた手法 ①基本ケース(ケース1) 応答スペクトル

S188 S203 S205

- 「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」の基本ケース(ケース1)について、統計的グリーン関数法※を適用した評価を行った。

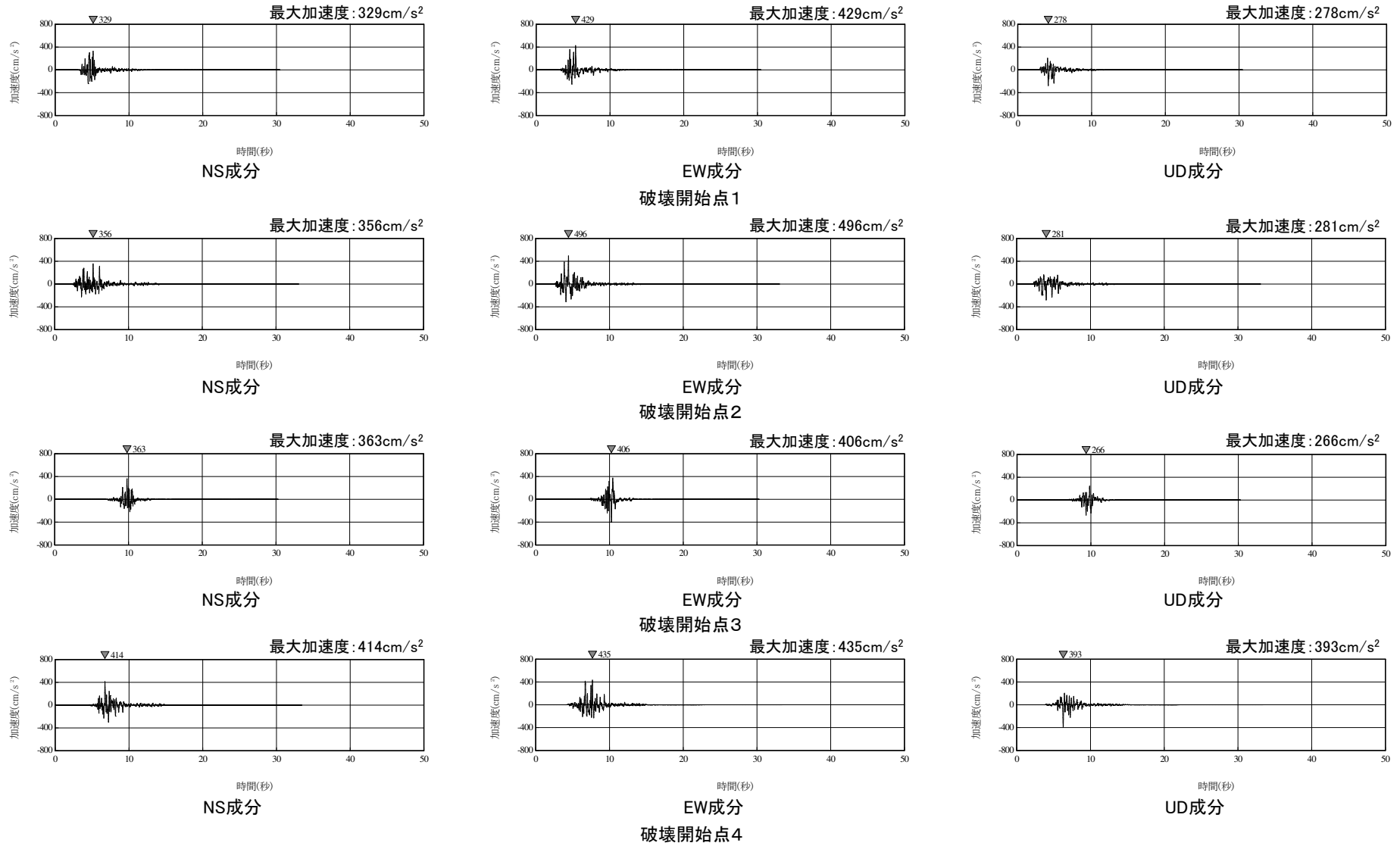
※: 釜江ほか(1991)及び入倉ほか(1997)による。



断層モデルを用いた手法による地震動評価 「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」基本ケース(ケース1) (PN基準)

5.5 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震の地震動評価 (2)断層モデルを用いた手法 ①基本ケース(ケース1) 加速度波形

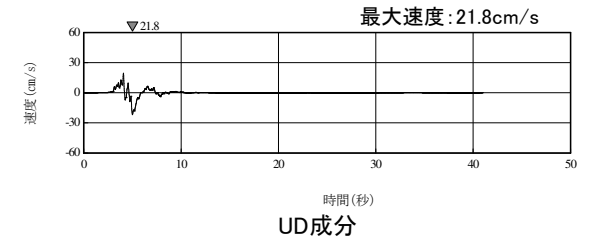
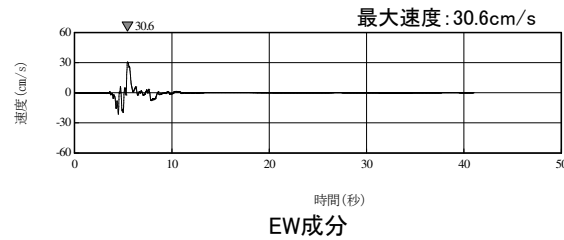
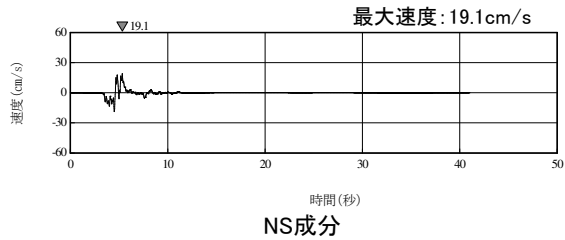
S188 S203



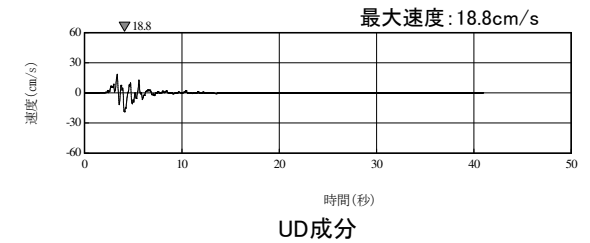
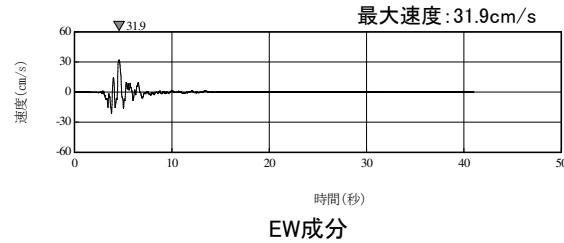
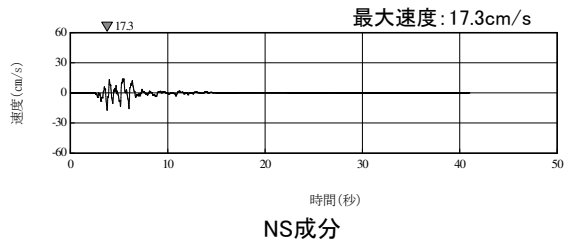
「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」基本ケース(ケース1)の加速度波形(PN基準)

5.5 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震の地震動評価 (2)断層モデルを用いた手法 ①基本ケース(ケース1) 速度波形

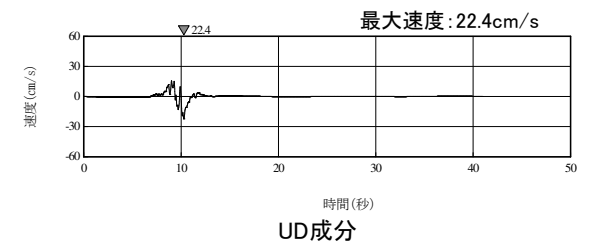
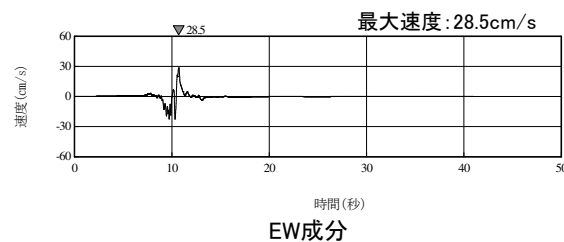
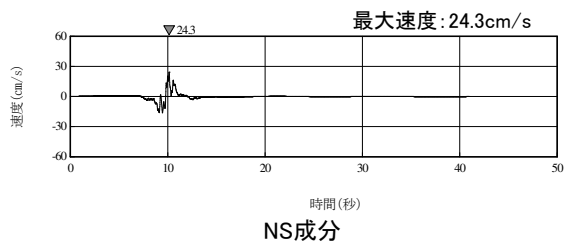
S188 S203



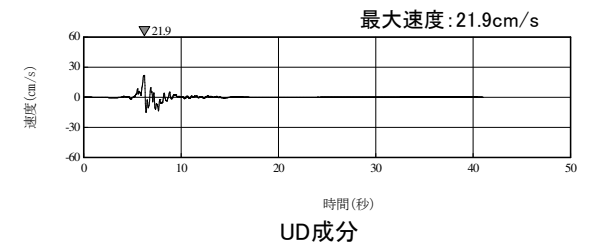
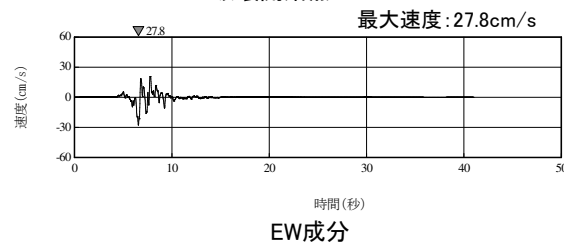
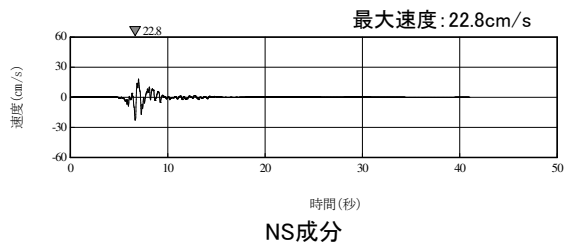
破壊開始点1



破壊開始点2



破壊開始点3



破壊開始点4

「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」基本ケース(ケース1)の速度波形(PN基準)

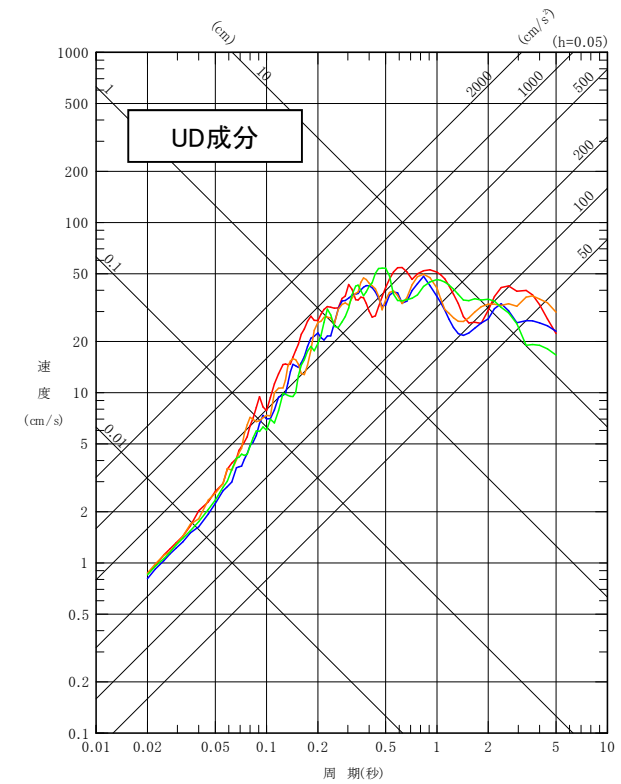
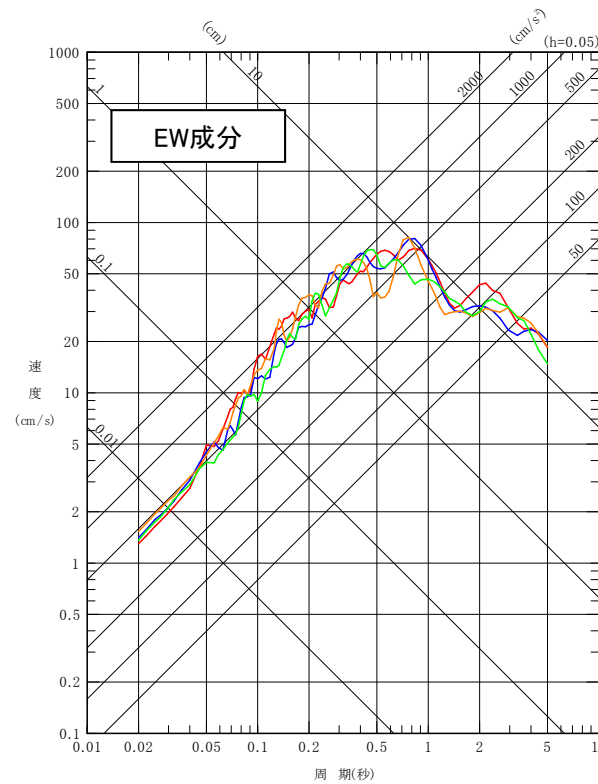
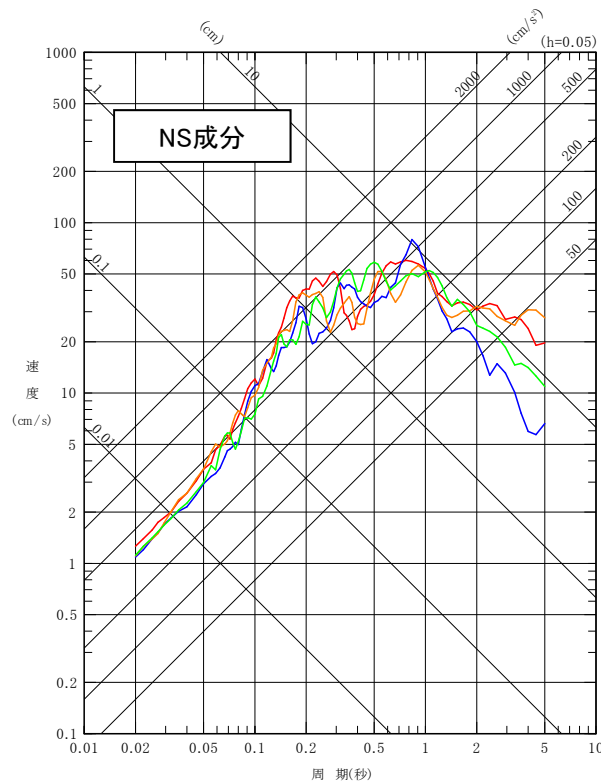
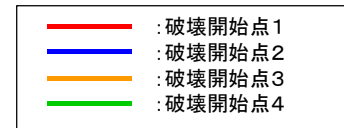
5.5 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震の地震動評価 (2)断層モデルを用いた手法 ②ケース2(地震規模) 応答スペクトル

S188 S203 S205

- 「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」のケース2(地震規模)について、地震モーメントが大きいこと、統計的グリーン関数法※1と理論的手法の比較を行い、接続周期より長周期では両者は同等である〔一部周期帯では理論的手法がやや大きい(補足説明資料3章8参照)]ことから、ハイブリッド合成法※2を適用した評価を行った。

※1: 釜江ほか(1991)及び入倉ほか(1997)による。

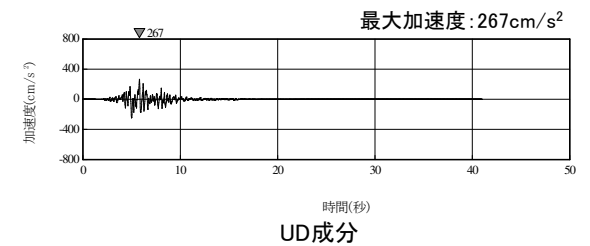
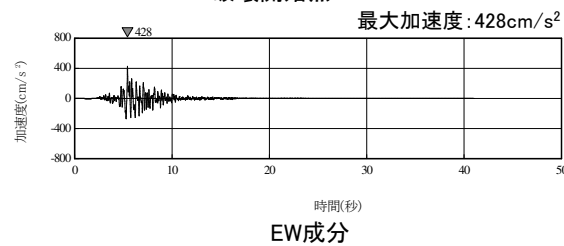
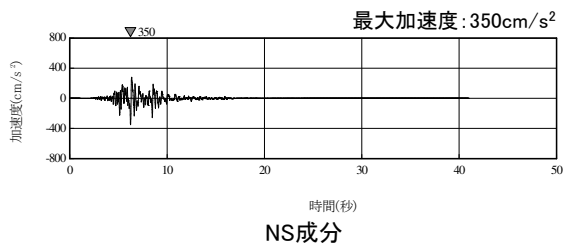
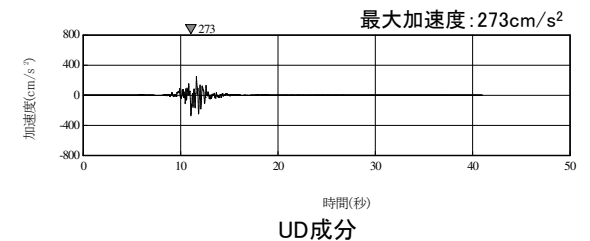
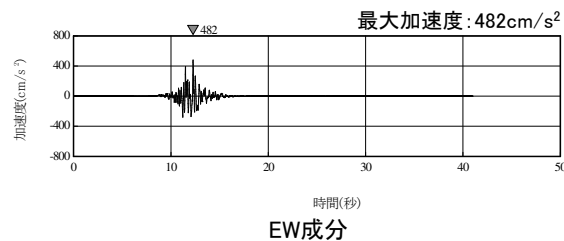
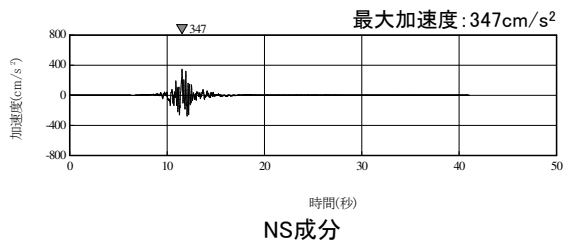
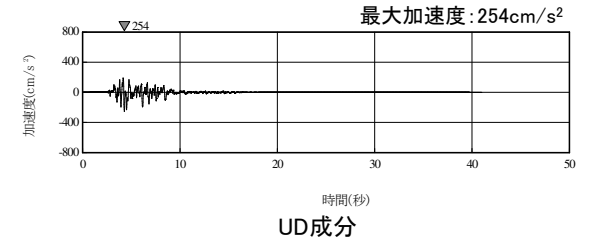
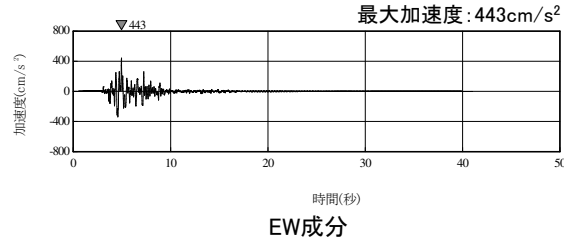
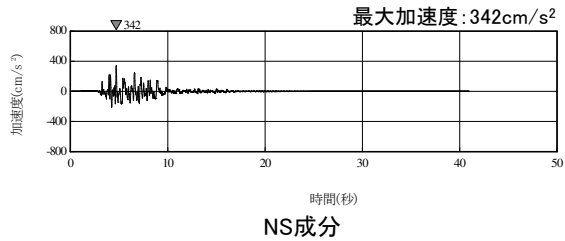
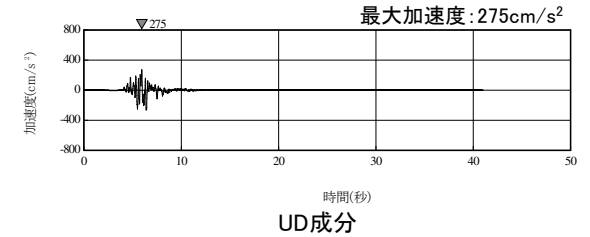
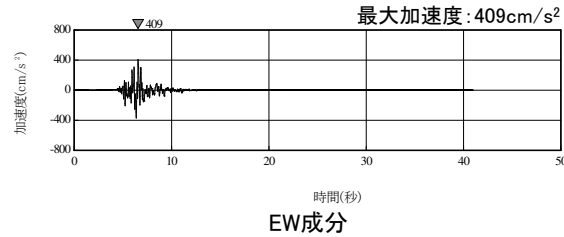
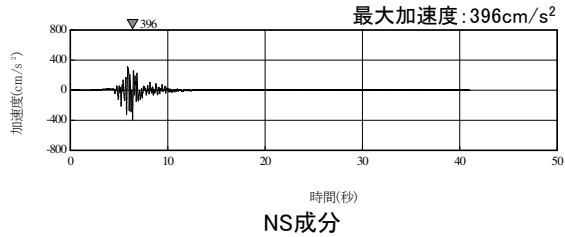
※2: 短周期側を統計的グリーン関数法, 長周期側を理論的手法[Hisada(1994)]とする。



断層モデルを用いた手法による地震動評価 「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」ケース2(地震規模)(PN基準)

5.5 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震の地震動評価 (2)断層モデルを用いた手法 ②ケース2(地震規模) 加速度波形

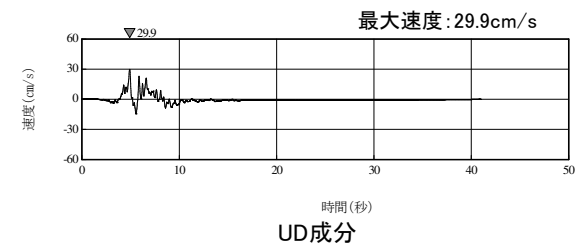
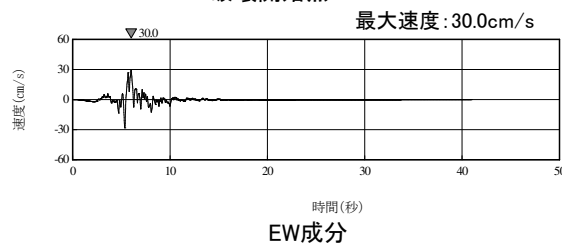
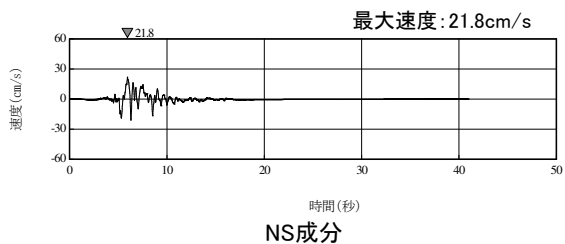
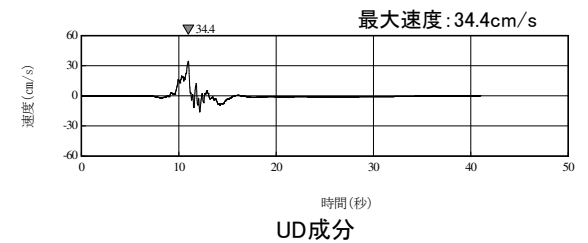
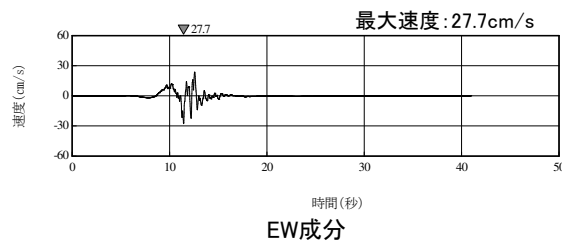
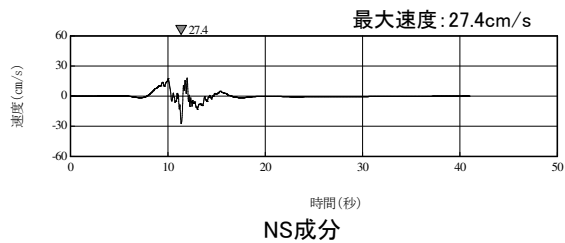
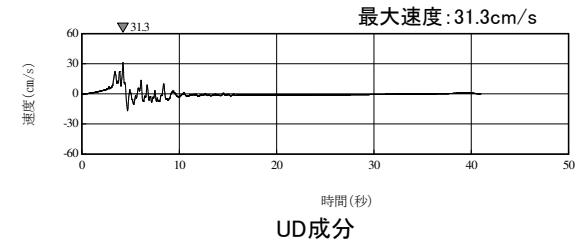
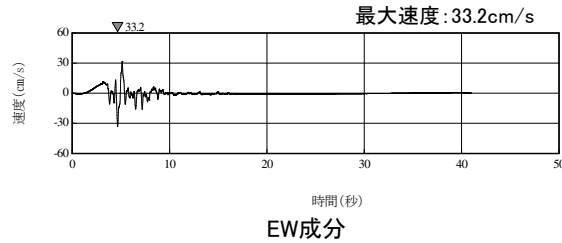
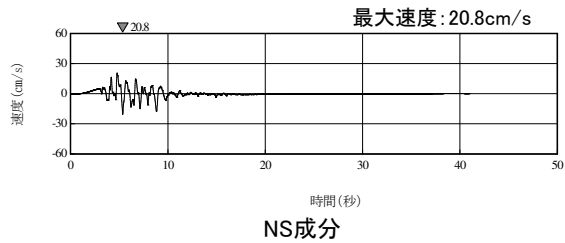
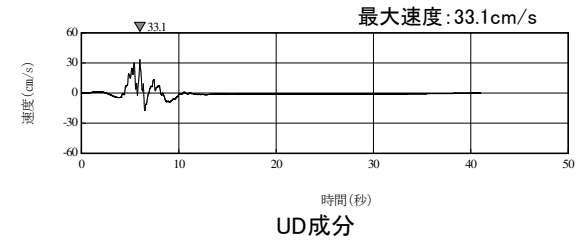
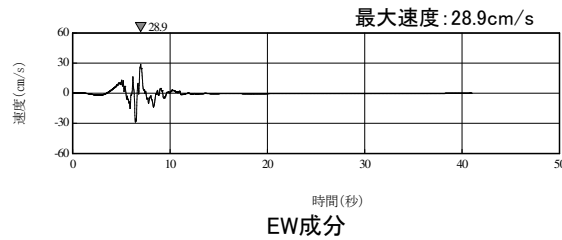
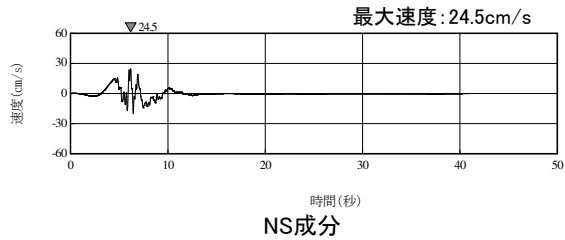
S188 S203



「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」ケース2(地震規模)の加速度波形(PN基準)

5.5 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震の地震動評価 (2)断層モデルを用いた手法 ②ケース2(地震規模) 速度波形

S188 S203



「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」ケース2(地震規模)の速度波形(PN基準)

5.5 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震の地震動評価

(2) 断層モデルを用いた手法 ③ ケース3(断層傾斜角) 応答スペクトル

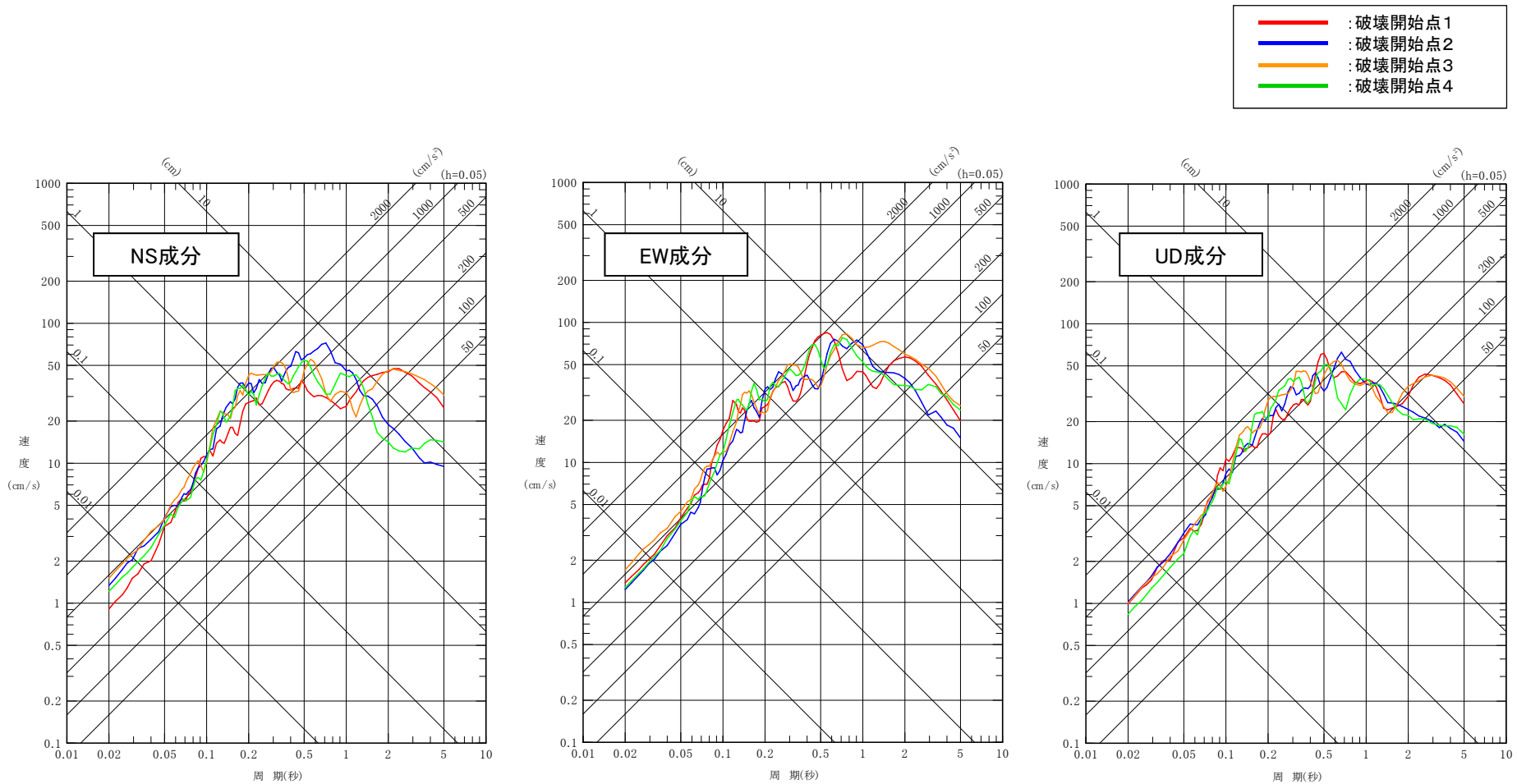
S188

S203

S205

- 「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」のケース3(断層傾斜角)について、統計的グリーン関数法※を適用した評価を行った。

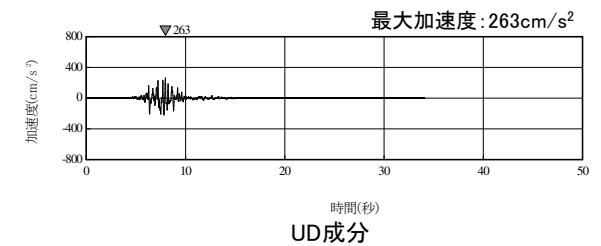
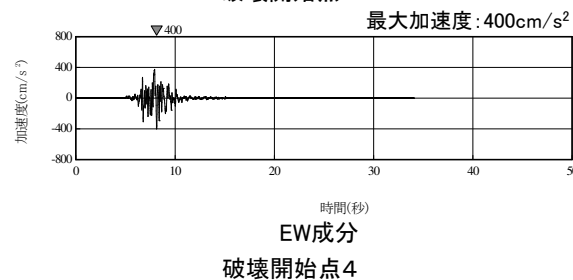
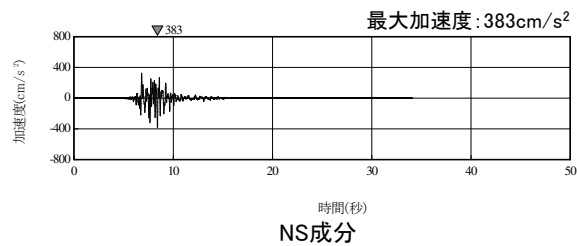
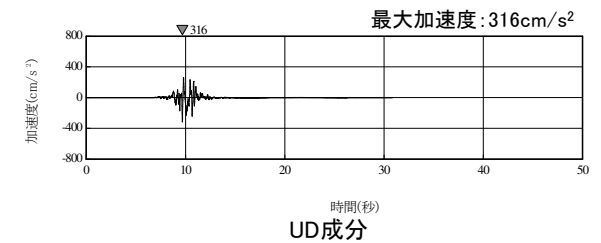
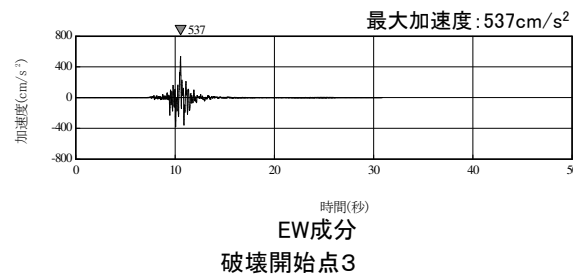
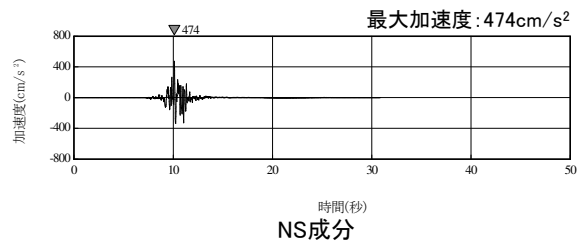
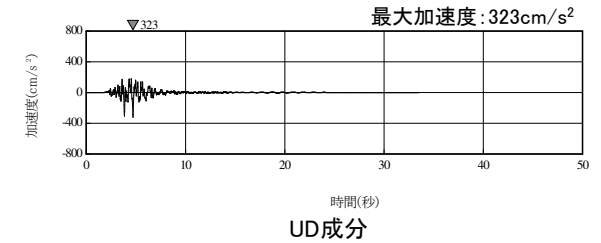
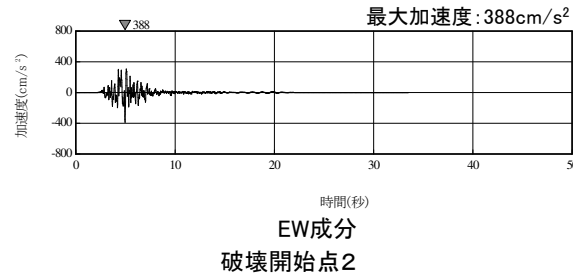
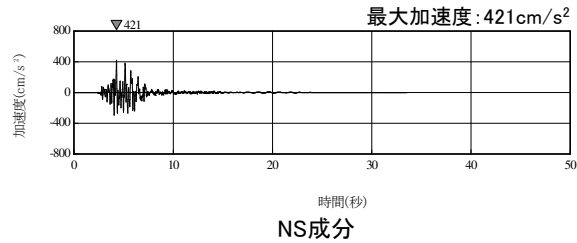
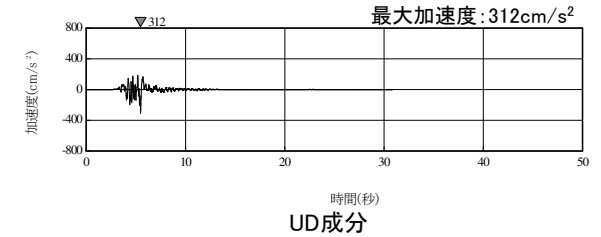
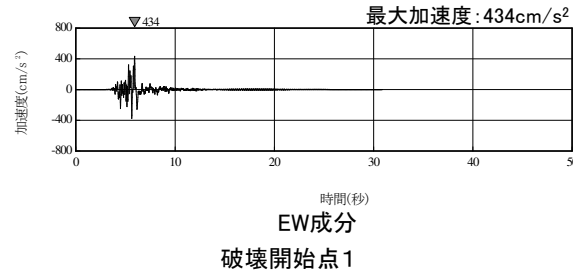
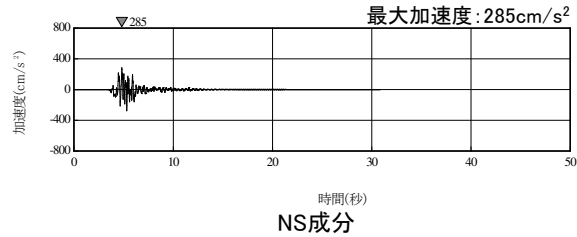
※: 釜江ほか(1991)及び入倉ほか(1997)による。



断層モデルを用いた手法による地震動評価 「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」ケース3(断層傾斜角)(PN基準)

5.5 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震の地震動評価 (2)断層モデルを用いた手法 ③ケース3(断層傾斜角) 加速度波形

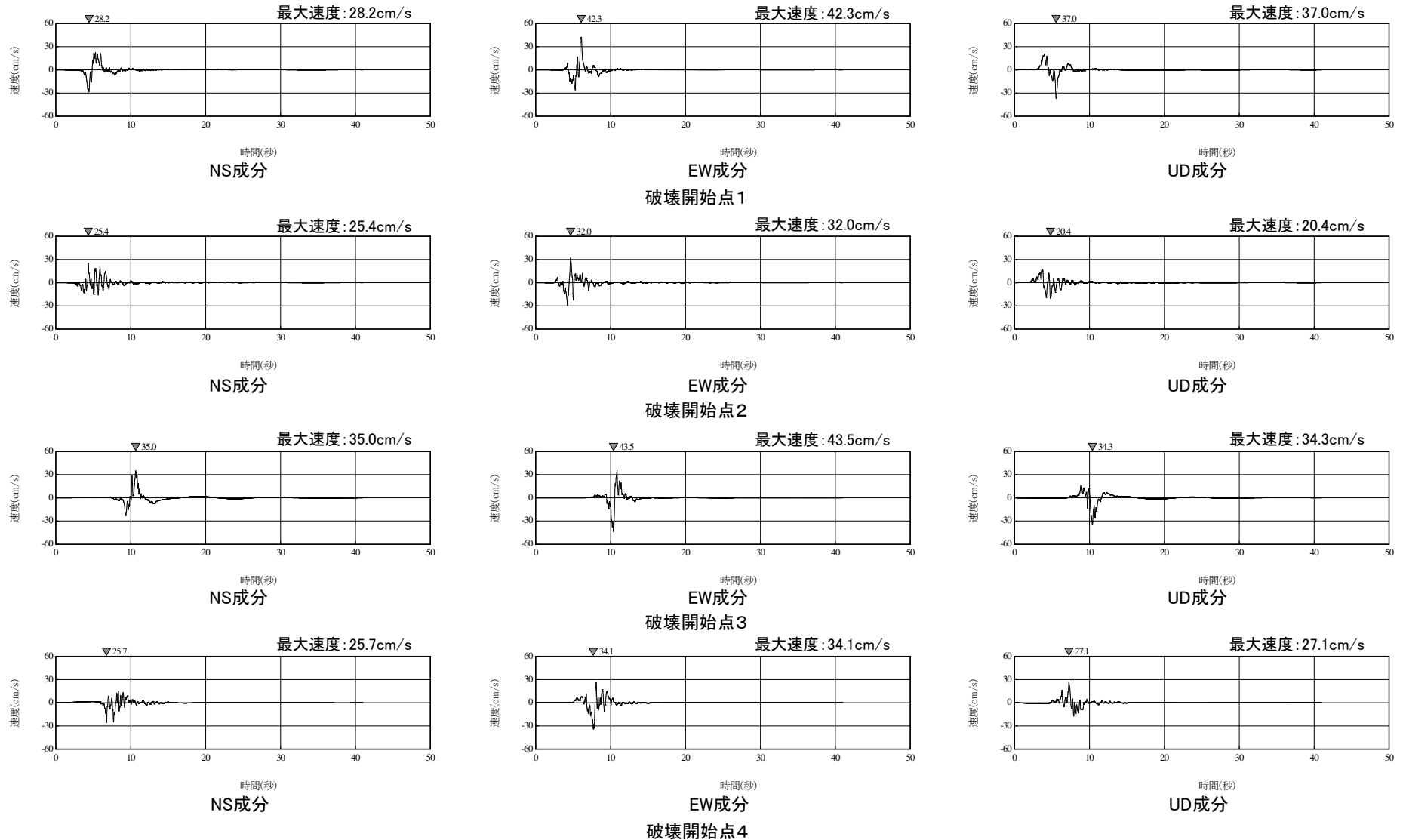
S188 S203



「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」ケース3(断層傾斜角)の加速度波形(PN基準)

5.5 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震の地震動評価 (2)断層モデルを用いた手法 ③ケース3(断層傾斜角) 速度波形

S188 S203



「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」ケース3(断層傾斜角)の速度波形(PN基準)

5.5 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震の地震動評価

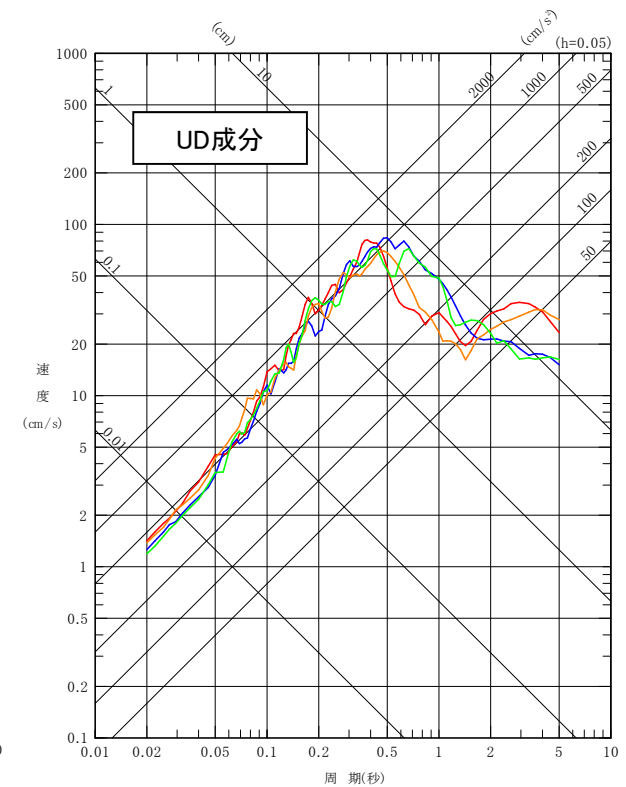
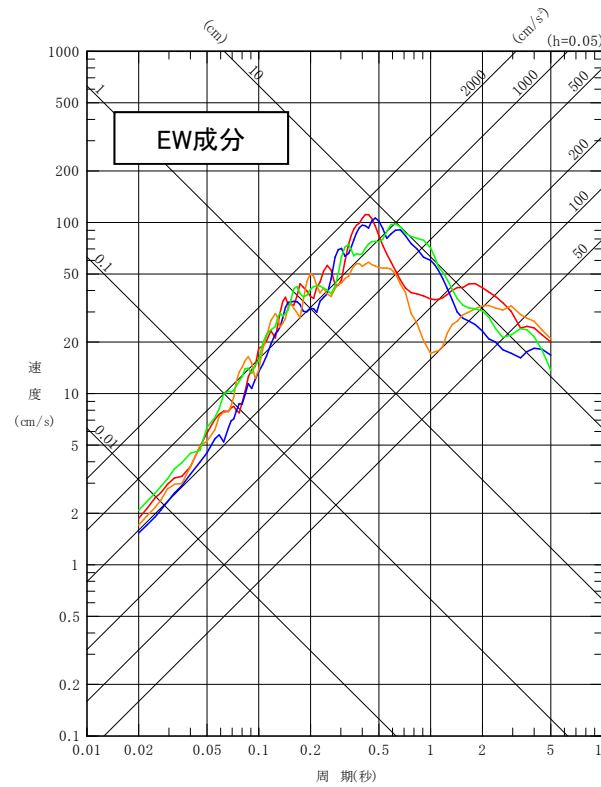
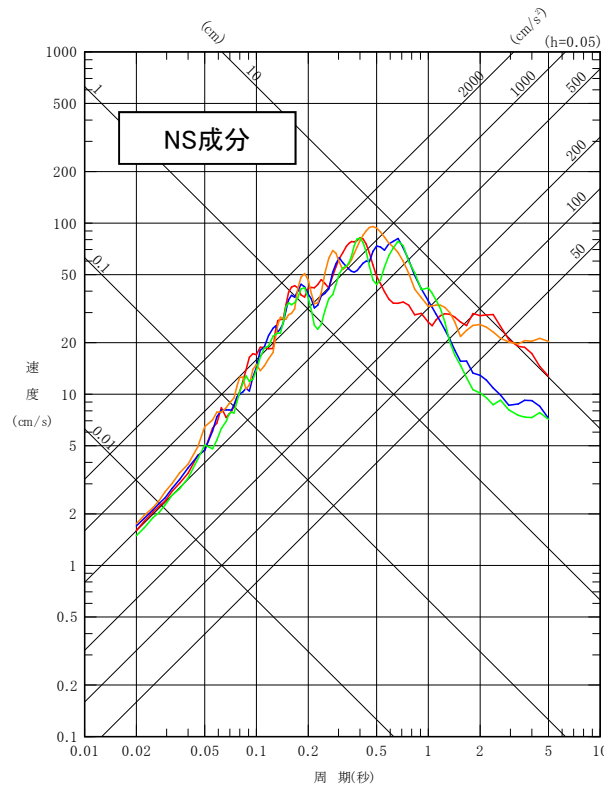
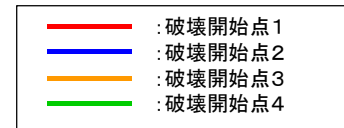
(2) 断層モデルを用いた手法 ④ケース4(応力降下量) 応答スペクトル

S188 S203 S205

- 「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」のケース4(応力降下量)について、短周期において敷地への影響が大きいこと、統計的グリーン関数法※1と理論的手法の比較を行い、接続周期より長周期では両者は同等である[一部周期帯では理論的手法がやや大きい(補足説明資料3章8参照)]ことから、ハイブリッド合成法※2を適用した評価を行った。

※1: 釜江ほか(1991)及び入倉ほか(1997)による。

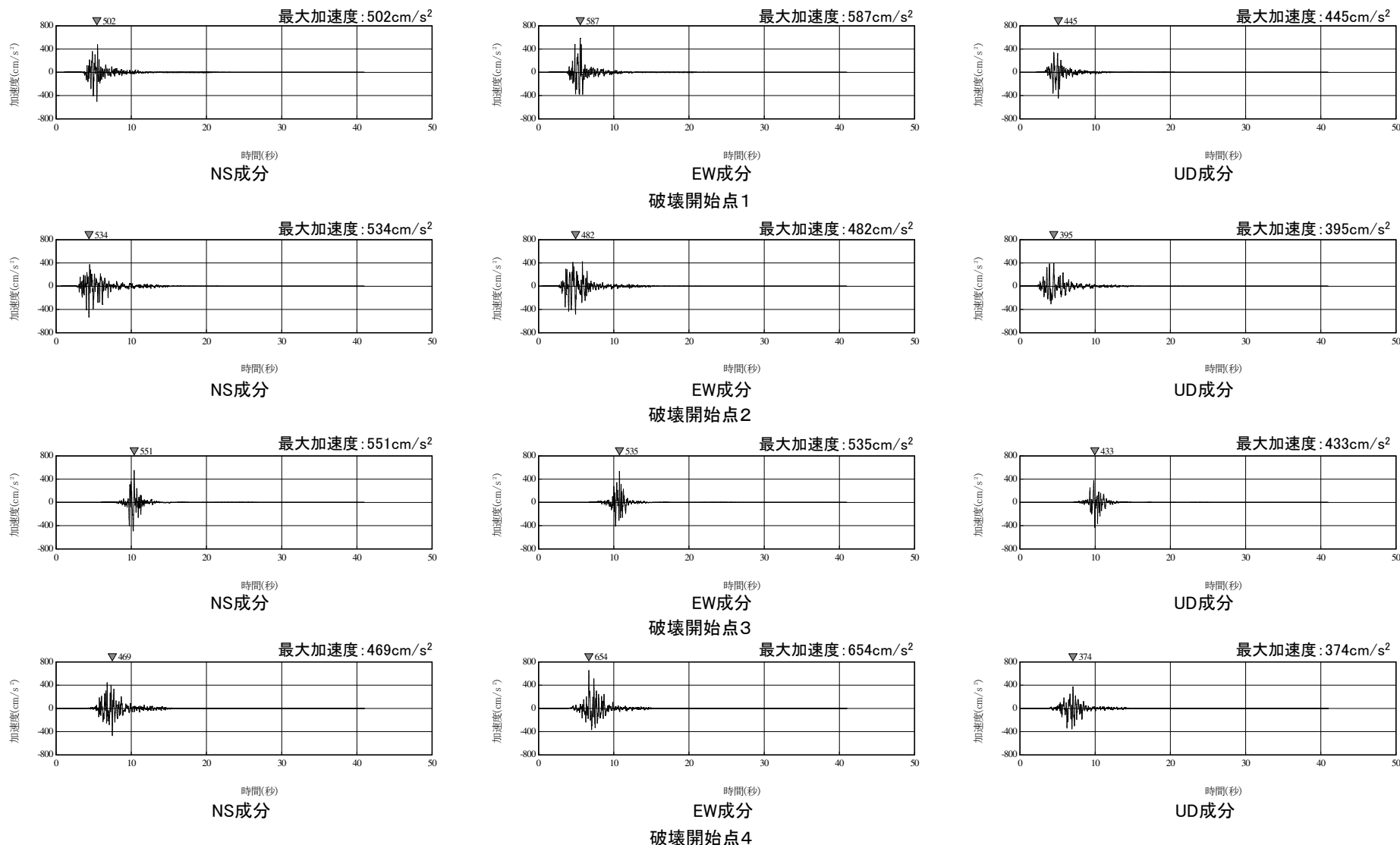
※2: 短周期側を統計的グリーン関数法, 長周期側を理論的手法[Hisada(1994)]とする。



断層モデルを用いた手法による地震動評価 「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」ケース4(応力降下量)(PN基準)

5.5 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震の地震動評価 (2)断層モデルを用いた手法 ④ケース4(応力降下量) 加速度波形

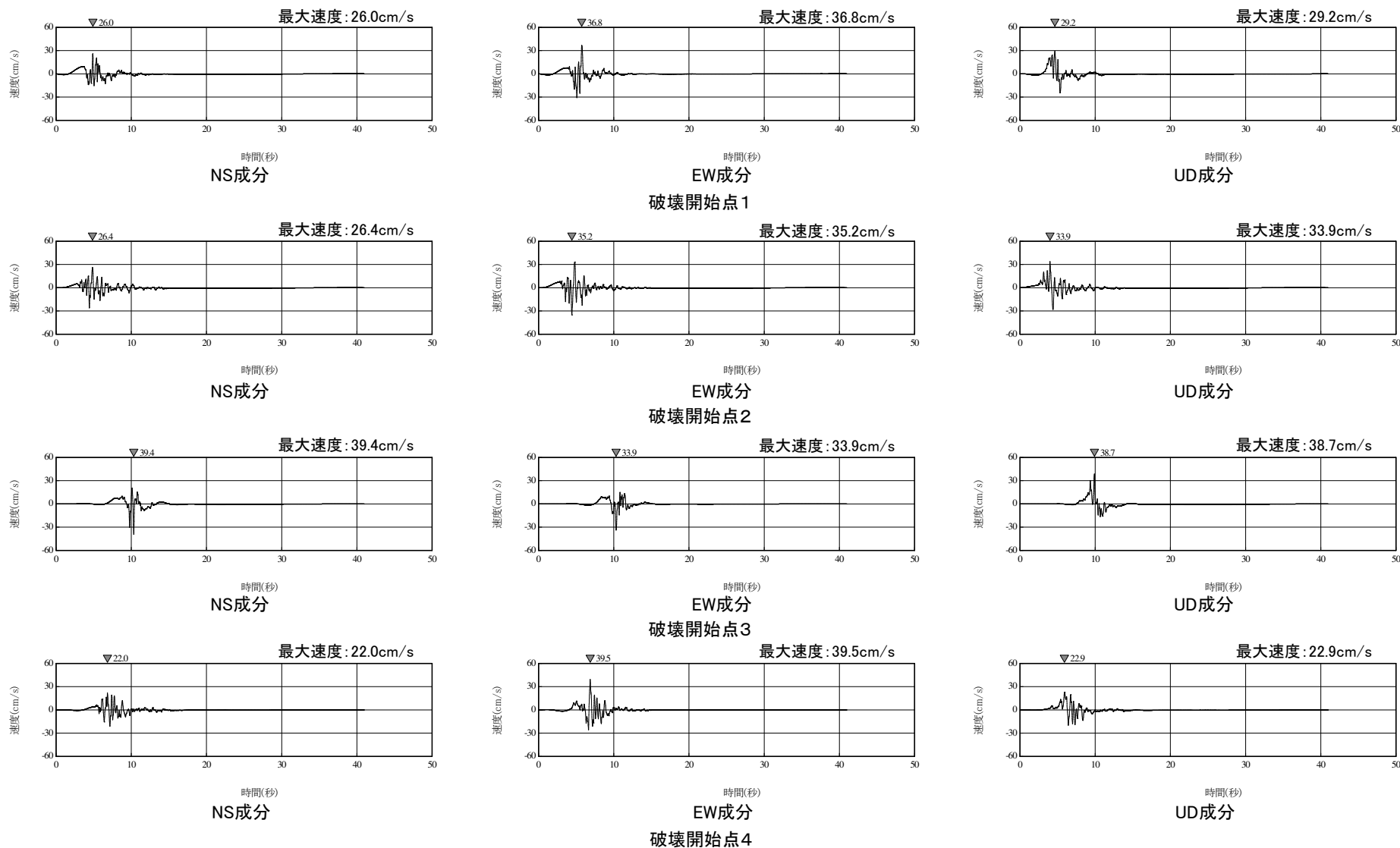
S188 S203



「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」ケース4(応力降下量)の加速度波形(PN基準)

5.5 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震の地震動評価 (2)断層モデルを用いた手法 ④ケース4(応力降下量) 速度波形

S188 S203



「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」ケース4(応力降下量)の速度波形(PN基準)

5.5 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震の地震動評価 (3)まとめ

S188 S203 S205

- 「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」について、各種距離減衰式※¹、統計的グリーン関数法※²及びハイブリッド合成法※³による地震動評価を実施。
- 短周期側ではケース4(応力降下量)が、長周期側ではケース3(断層傾斜角)が大きい結果となった。

— : 基本ケース(ケース1), 統計的グリーン関数法※²
 — : ケース2(地震規模), ハイブリッド合成法※³
 — : ケース3(断層傾斜角), 統計的グリーン関数法
 — : ケース4(応力降下量), ハイブリッド合成法

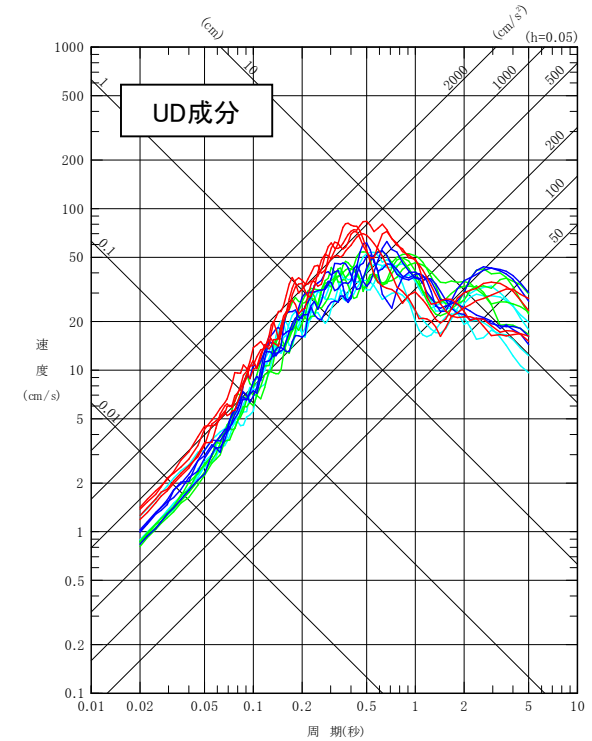
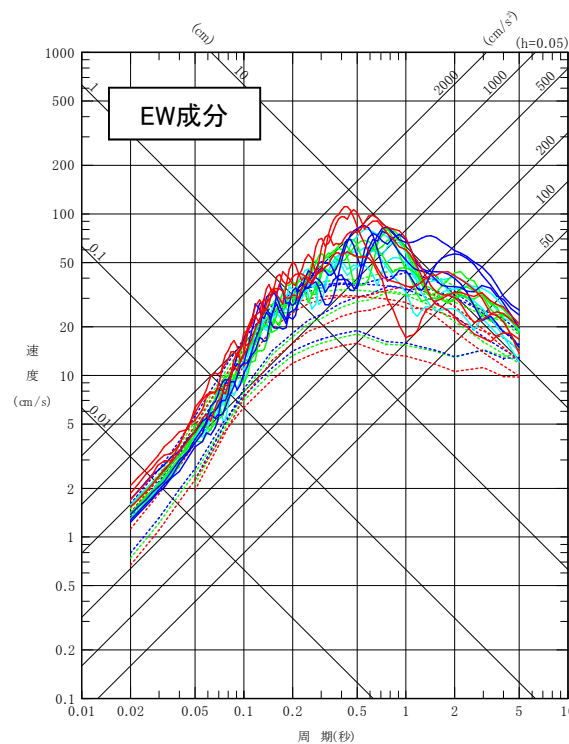
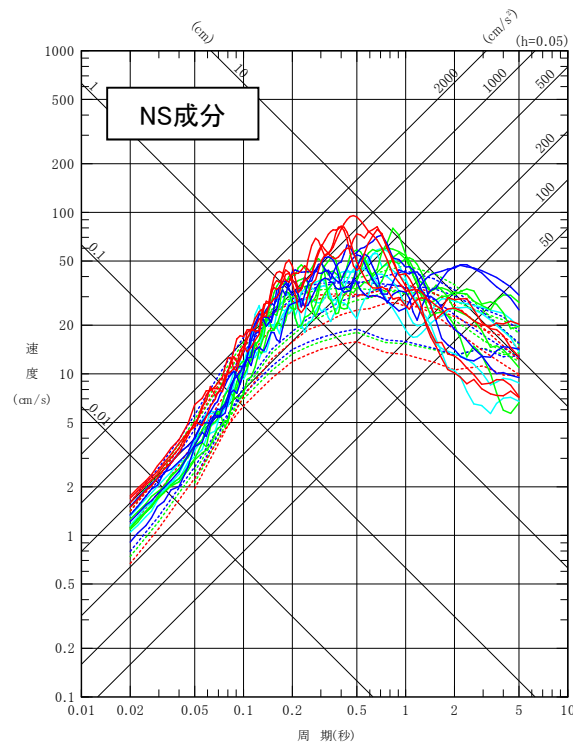
- - : 基本ケース(ケース1), ケース4(応力降下量), 各種距離減衰式※¹
 - - : ケース2(地震規模), 各種距離減衰式
 - - : ケース3(断層傾斜角), 各種距離減衰式

(断層モデル手法の同色は同じケース内の破壊開始点の違いを表す。各種距離減衰式の同色は同じケース内の異なる距離減衰式を表す。)

※¹: 適用範囲内の各種距離減衰式の地震動評価を記載。

※²: 統計的グリーン関数法は[釜江ほか(1991)及び入倉ほか(1997)]による。

※³: 短周期側を統計的グリーン関数法, 長周期側を理論的手法[Hisada(1994)]とする。



「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」の地震動評価〔断層モデル波(PN基準)及び距離減衰式〕

5.5 下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震の地震動評価 (4)まとめ 「震源を特定せず策定する地震動」との比較

S188 S203 S204 S205

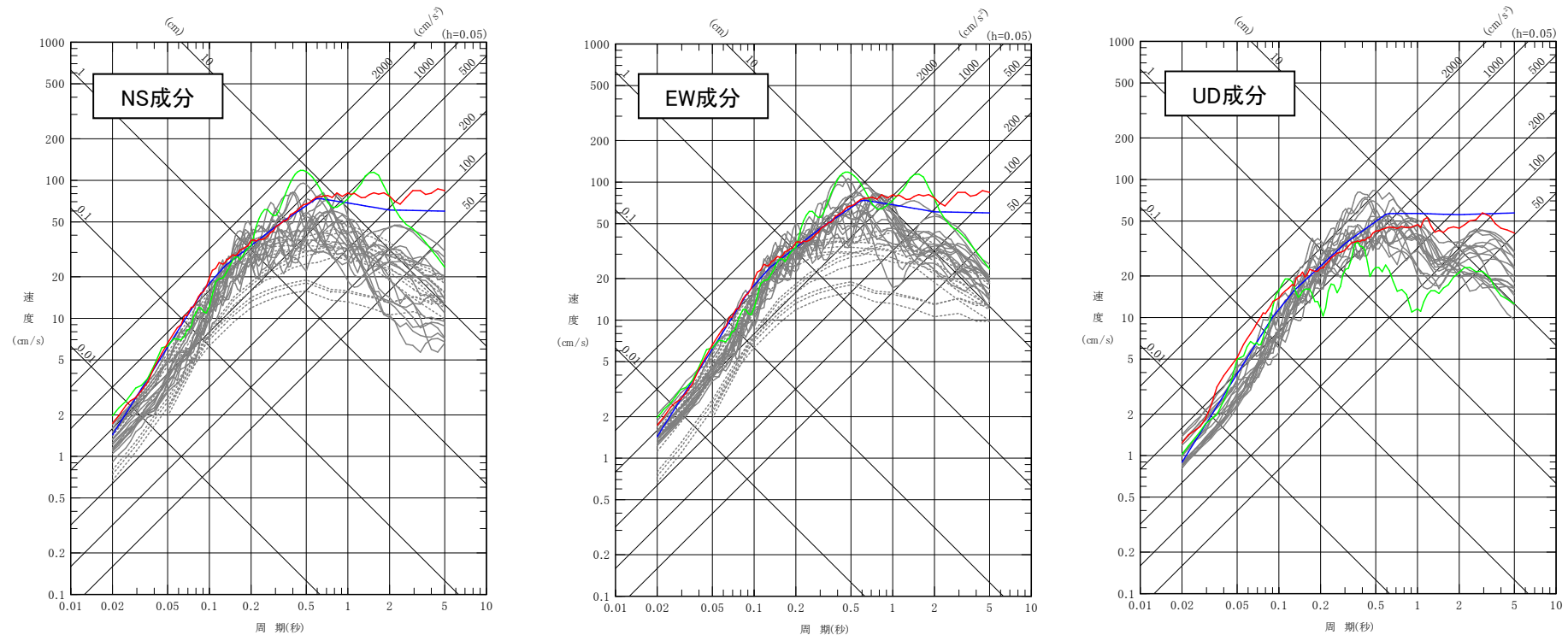
- 「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」は、活断層を伴わない規模の小さい地震をベースに想定位置や規模等に保守性を考慮した検討用地震である。そこで、参考として敷地において算定された地震動が保守的なものであることを確認する観点から、「震源を特定せず策定する地震動」との比較を行った。比較には、震源と活断層を関連づけることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録に基づき策定された標準応答スペクトル※1及び加藤ほか(2004)※2に加え留萌地震※3採用した。
- 「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」は、短周期～中周期にかけて「震源を特定せず策定する地震動」を超過する大きさとなっている。



※1: 補足説明資料4章参照。

※2: 地下構造モデルに基づきNoda et al.(2002)の地盤増幅率を用いて補正した。

※3: 2004年北海道留萌支庁南部の地震。防災科学技術研究所のKiK-net港町観測点の記録から求まる $V_s=938\text{m/s}$ 位置でのほざとり波に裕度を考慮した地震動(水平 620cm/s^2 , 鉛直 320cm/s^2)。



「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」の地震動評価と「震源を特定せず策定する地震動」の比較

6. 内陸地殻内地震の地震動評価 まとめ

6.1 内陸地殻内地震の地震動評価 まとめ

6.1 内陸地殻内地震の地震動評価 まとめ

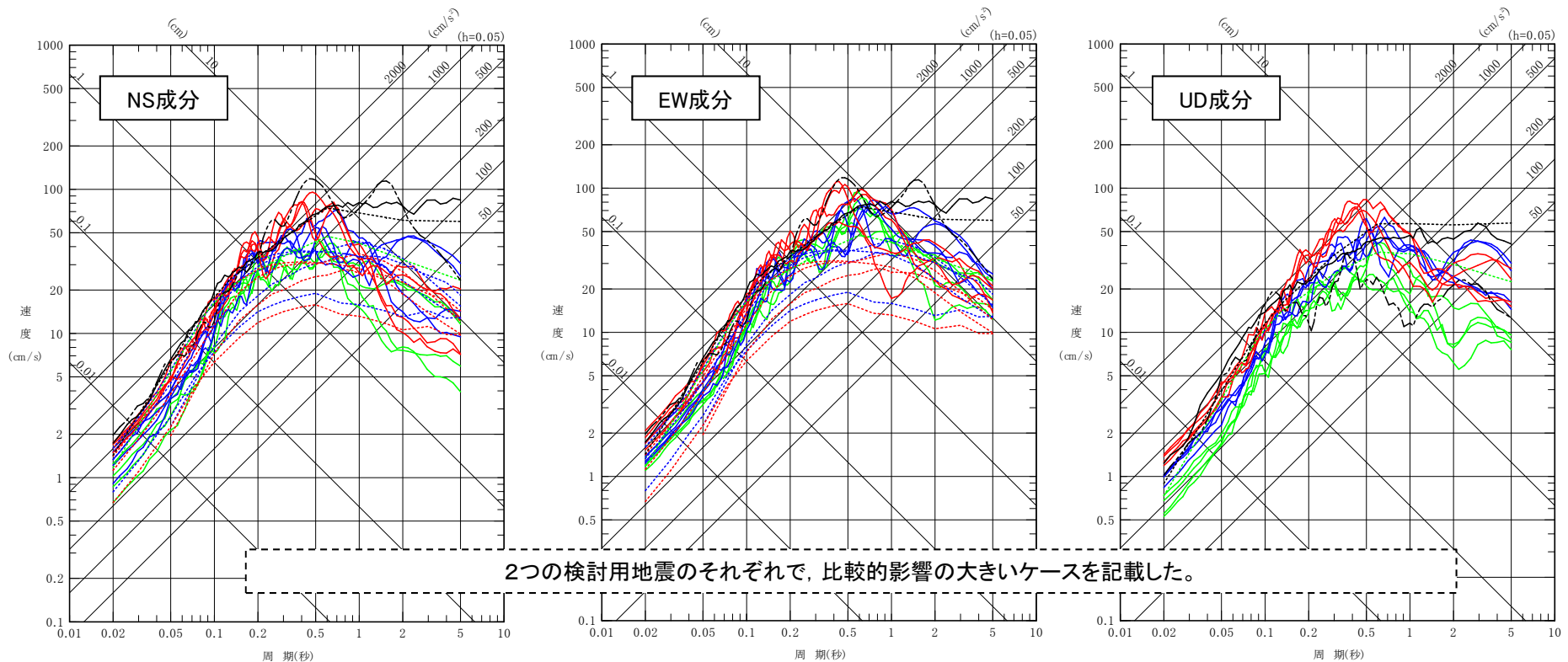
S188 S203 S204

- 検討用地震として「横浜断層による地震」及び「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」を選定した。
- 敷地に与える影響は、ほぼ全周期において、「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」の方が大きい結果となっている。
- 「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」は、短周期～中周期にかけて参考に示した「震源を特定せず策定する地震動」を超過する大きさとなっている。

【横浜断層による地震】	【下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震】	【震源を特定せず策定する地震動】
ケース2(応力降下量)	ケース3(断層傾斜角)	ケース4(応力降下量)
—: 統計的グリーン関数法	—: 統計的グリーン関数法	—: ハイブリッド合成法
- - -: Noda et al.(2002)	- - -: 各種距離減衰式 ^{※1}	- - -: 各種距離減衰式 ^{※1}
(断層モデル手法の同色は同じケース内の破壊開始点の違いを表す。各種距離減衰式の同色は同じケース内の異なる距離減衰式を表す。)		

※1: 適用範囲内の各種距離減衰式の地震動評価を記載。 ※2: 補足説明資料4章参照。 ※3: 地下構造モデルに基づきNoda et al.(2002)の地盤増幅率を用いて補正した。

※4: 2004年北海道留萌支庁南部の地震。防災科学技術研究所のKiK-net港町観測点の記録から求まる $V_s=938\text{m/s}$ 位置でははぎとり波に裕度を考慮した地震動(水平 620cm/s^2 、鉛直 320cm/s^2)。



2つの検討用地震のそれぞれで、比較的影響の大きいケースを記載した。

内陸地殻内地震の地震動評価〔断層モデル波(PN基準)及び距離減衰式〕

参考文献(1)

1. 敷地周辺の被害地震及び震源として考慮する活断層

1. 宇佐美龍夫, 石井寿, 今村隆正, 武村雅之, 松浦律子(2013):日本被害地震総覧 599-2012, 東京大学出版会
2. 気象庁(2020):地震月報ほか
3. 村松郁栄(1969):震度分布と地震のマグニチュードとの関係, 岐阜大学教育学部研究報告, 自然科学, 第4巻
4. 勝又謙, 徳永規一(1971):震度IVの範囲と地震の規模および震度と加速度の対応, 験震時報, 第36巻
5. Noda, S., K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M. Tohdo and T. Watanabe (2002):RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations Between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis. Oct. 16-18, Istanbul
6. 神田克久, 武村雅之, 広谷浄, 石川和也(2012):震度分布に基づく2011年東北地方太平洋沖地震の短周期地震波発生域, 地震 第2輯, 第65巻

3. 敷地周辺の内陸地殻内の地震発生層

1. 伊藤潔(2002):地殻内地震発生層, 月刊地球 号外 No.38
2. 入倉孝次郎, 三宅弘恵(2001):シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌 110(6)
3. 木下繁夫, 大竹政和(2000):強震動の基礎, <<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/gk/publication>>
4. S. Noguchi, S. Sekine, Y. Sawada, K. Kasahara, S. Sasaki, Y. Tazawa, H. Yajima(2017):Earthquake monitoring using dense local seismic network, AS-net, in northern Tohoku, Japan, 16th World Conference on Earthquake, 2017 Santiago Chile
5. 独立行政法人原子力安全基盤機構(2004):地震記録データベースSANDELのデータ整備と地震発生上下限層深さの評価に関する報告書, 平成16年8月
6. 河野芳輝, 島谷理香, 寺島秀樹(2009):重力異常から推定される日本列島周辺の三次元地殻構造, 地震 第2輯, 第61巻特集号
7. A. Tanaka, Y. Ishikawa(2005):Crustal thermal regime inferred from magnetic anomaly data and its relationship to seismogenic layer thickness : The Japanese islands case study, Physics of the Earth and Planetary Interiors 152(2005)
8. 大久保泰邦(1984):全国のキュリ一点解析結果, 地質ニュース 362号

4. 内陸地殻内地震の検討用地震の選定

1. Noda, S., K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M. Tohdo and T. Watanabe (2002):RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations Between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis. Oct. 16-18, Istanbul
2. 地震調査研究推進本部(2009):全国地震動予測地図 別冊2 震源を特定した地震動予測地図, 地震調査研究推進本部地震調査委員会
3. 松田時彦(1975):活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震 第2輯 第28巻
4. 地震調査研究推進本部(2020):震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)
5. 原子力規制委員会(2021):基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド(2013年制定, 2021年改訂)

参考文献(2)

6. 武村雅之(1990):日本列島およびその周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係, 地震 第2輯 第43巻
7. 入倉孝次郎, 三宅弘恵(2001):シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌
8. 村松郁栄(1969):震度分布と地震のマグニチュードとの関係, 岐阜大学教育学部研究報告, 自然科学, 第4巻
9. 勝又謙, 徳永規一(1971):震度IVの範囲と地震の規模および震度と加速度の対応, 験震時報, 第36巻
10. M. Stirling, D. Rhoades and K. Berryman (2002): Comparison of Earthquake Scaling Relations Derived from Data of the Instrumental and Preinstrumental Era, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.92, No.2
11. 入倉孝次郎(2007):原子力発電所の耐震設計のための基準地震動, 日本地震工学会誌 No.5

5. 検討用地震の地震動評価

1. Noda, S., K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M. Tohdo and T. Watanabe (2002): RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations Between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis. Oct. 16-18, Istanbul
2. 釜江克宏, 入倉孝次郎, 福知保長(1991):地震のスケーリング則に基づいた大地震時の強震動予測:統計的波形合成法による予測, 日本建築学会構造系論文報告集, 第430号, 1-9
3. 入倉孝次郎, 香川敬生, 関口春子(1997):経験的グリーン関数法を用いた強震動予測方法の改良, 日本地震学会講演予稿集, No.2, B25
4. Yoshiaki Hisada (1994):An Efficient Method for Computing Green's Functions for Layered Half-Space with Sources and Receivers at Close Depths, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.84, No.5
5. 入倉孝次郎, 三宅弘恵(2001):シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌
6. 地震調査研究推進本部(2020):震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)
7. 地震調査研究推進本部(2004):三陸沖北部の地震を想定した地震動評価
8. Kanamori H. (1977): The Energy Release in Great Earthquakes, Journal of Geophysical Research Vol.82 No.20
9. 壇一男, 渡辺基史, 佐藤俊明, 石井透(2001):断層の非一様滑り破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化, 日本建築学会構造系論文集, 第545号
10. 武村雅之(1990):日本列島およびその周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係, 地震 第2輯 第43巻
11. Geller, R. J. (1976): Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes, Bulletin of the Seismological Society of America, 66
12. 鶴来雅人, 香川敬生, 入倉孝次郎, 古和田明(1997):近畿地方で発生する地震の f_{max} に関する基礎的検討, 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, 103
13. 川瀬博, 松尾秀典(2004):K-NET, KiK-net, JMA震度計観測網による強震動波形を用いた震源・パス・サイト各特性の分離解析, 日本地震工学会論文集, 第4巻, 第1号, 1-20
14. Somerville, P., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith, A. Kowada (1999): Characterizing Crustal Earthquake Slip Models for the Prediction of Strong Ground Motion, Seismological Research Letters Vol.70 Number 1, 1999

参考文献(3)

15. Zhao, J. X., J. Zhang, A. Asano, Y. Ohno, T. Oouchi, T. Takahashi, H. Ogawa, K. Irikura, H. K. Thio, P.G. Somerville, Y. Fukushima and Y. Fukushima (2006): Attenuation Relation of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.96, No.3
16. Norman A. Abrahamson, Walter J. Silva (2008): Summary of the Abrahamson & Silva NGA Ground-Motion Relations, Earthquake Spectra, Vol.2
17. Chiou, B. S. -J and R. R. Youngs (2008): An NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra, Earthquake Spectra, Vol.24
18. I. M. Idriss (2014): A NGA-West 2 Empirical Model for Estimating the Horizontal Spectra Values Generated by Shallow Crustal Earthquakes, Earthquake Spectra, Vol.30, No.3
19. Kanno T., A. Narita, N. Morikawa, H. Fujiwara and Y. Fukushima (2006): A New Attenuation Relation for Strong Ground Motion in Japan Based on Record Data, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.96, No.3
20. 内山泰生, 翠川三郎 (2006): 震源深さの影響を考慮した工学的基盤における応答スペクトルの距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, 第606号
21. 片岡正次郎, 佐藤智美, 松本俊介, 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
22. Norman A. Abrahamson, Walter J. Silva and Ronnie Kamai (2014): Summary of the ASK14 Ground Motion Relation for Active Crustal Regions, Earthquake Spectra, Vol.30, No.3
23. David M. Boore, Jonathan P. Stewart, Emel Seyhan and Gail M. Atkinson (2014): NGA-West 2 Equations for Predicting PGA, PGV, and 5% Damped PSA for Shallow Crustal Earthquakes, Earthquake Spectra, Vol.30, No.3
24. Kenneth W. Campbell and Yousef Bozorgnia (2014): NGA-West 2 Ground Motion Model for the Average Horizontal Component of PGA, PGV, and 5% Damped Linear Acceleration Response Spectra, Earthquake Spectra, Vol.30, No.3
25. Brian S.J. Chiou and Robert R. Youngs (2014): Update of the Chiou and Youngs NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra, Earthquake Spectra, Vol.30, No.3
26. 加藤研一, 宮腰勝義, 武村雅之, 井上大栄, 上田圭一, 壇一男(2004): 震源を事前に特定できない内陸地殻内地震による地震動レベル - 地質学的調査による地震の分類と強震観測記録に基づく上限レベルの検討 -, 日本地震工学会論文集, 第4巻, 第4号, 46-86.

6. 内陸地殻内地震の地震動評価 まとめ

1. Noda, S., K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M. Tohdo and T. Watanabe (2002): RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations Between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis. Oct. 16-18, Istanbul
2. 加藤研一, 宮腰勝義, 武村雅之, 井上大栄, 上田圭一, 壇一男(2004): 震源を事前に特定できない内陸地殻内地震による地震動レベル - 地質学的調査による地震の分類と強震観測記録に基づく上限レベルの検討 -, 日本地震工学会論文集, 第4巻, 第4号, 46-86.