

東通原子力発電所1号炉審査資料	
資料番号	A1-CA-0093
提出年月日	2021年6月28日

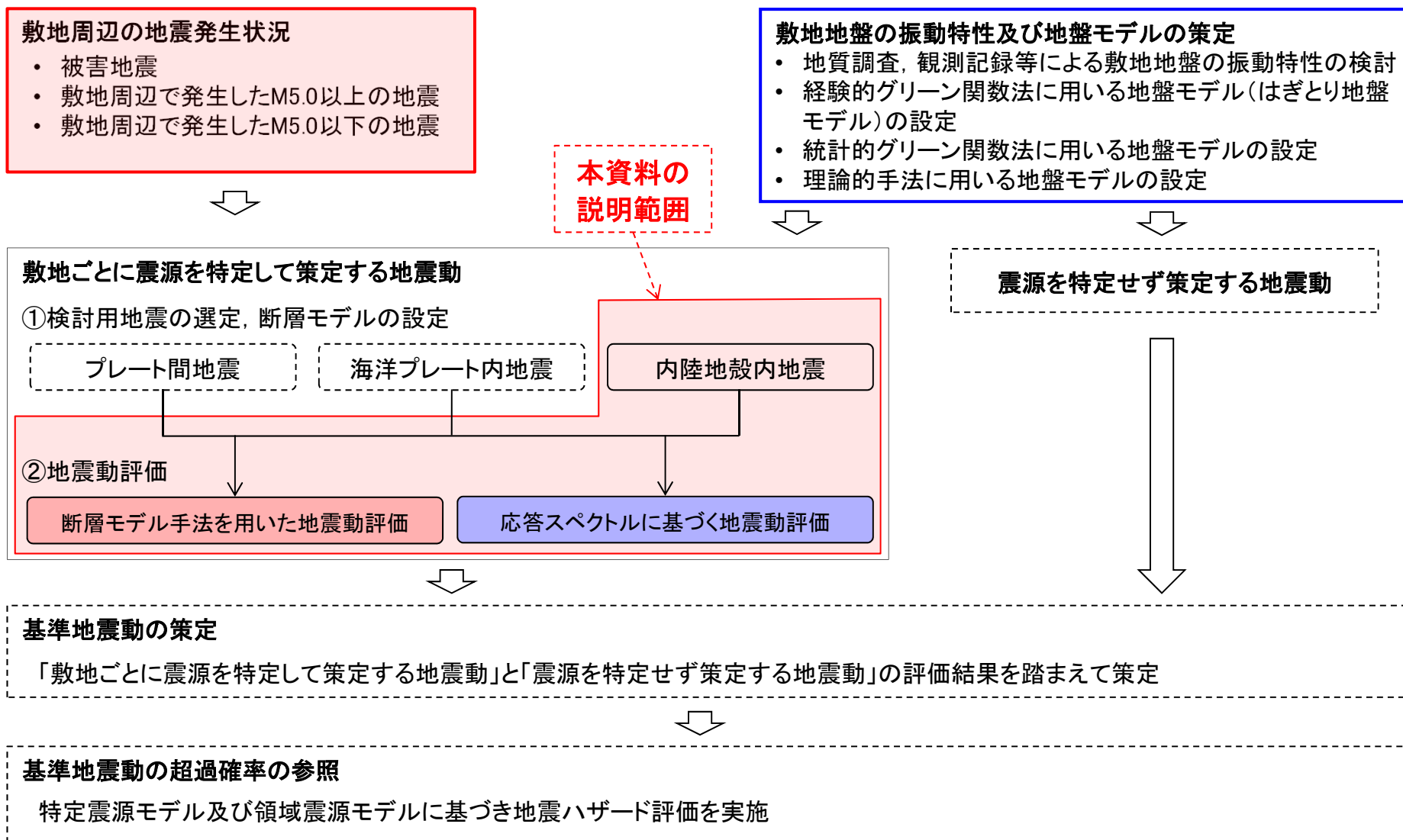
東通原子力発電所 基準地震動の策定のうち
内陸地殻内地震の地震動評価について
(コメント回答)

2021年6月28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
S185	2021年2月5日 第943回審査会合	大間地点で審査されている、下北半島西部の隆起を踏まえた「仮想的な活断層(隆起再現断層)」が東通地点に与える影響について説明すること。	本編資料 p.29 補足説明資料 p.8
S186	2021年2月5日 第943回審査会合	「横浜断層による地震」の断層モデルによる地震動評価は、敷地において適切な観測記録が得られていないことから統計的グリーン関数法を採用するとしているが、適切な要素地震が観測されていないことを明示的に記載すること。	本編資料 p.37 補足説明資料 p.13
S187	2021年2月5日 第943回審査会合	「横浜断層(西傾斜)による地震」の不確かさとして「断層傾斜角」(45° の傾斜角)を考慮しているが、不確かさケースとしての位置づけ・考え方について整理すること。	断層モデル設定の概要 本編資料 p.38, 51 補足説明資料 p.14～21
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とはしているが、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。	断層モデル設定の概要 本編資料 p.27, p.32～36, p.39～66 補足説明資料 p.27
S189	2021年2月5日 第943回審査会合	検討用地震の断層モデルの地震動評価においては、加速度波形に加え、速度波形も示すこと。	本編資料 p.55～66 補足説明資料 p.21

基準地震動の策定全体フローと本資料の説明範囲



※ : 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 資料1-1	本資料
地震発生層		<ul style="list-style-type: none"> 微小地震分布等に基づき, 3km~15kmに設定 	<ul style="list-style-type: none"> 同左 As-netや海陸統合探査等の結果による検討の追加 	<ul style="list-style-type: none"> 同左
検討用地震の選定		<ul style="list-style-type: none"> 横浜断層による地震 	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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, 考え方を再整理した。
検討用地震の設定	基本	<ul style="list-style-type: none"> 地質調査結果及び地震調査研究推進本部に基づく設定 	<ul style="list-style-type: none"> 同左 	<ul style="list-style-type: none"> 同左
	主な断層パラメータ	<ul style="list-style-type: none"> 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)(強震動予測レシビ※の1.5倍)等 	<ul style="list-style-type: none"> 同左 	<ul style="list-style-type: none"> 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。
地震動評価	応答スペクトルに基づく評価	<ul style="list-style-type: none"> Noda et al.(2002)を用いた評価 	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 同左
	断層モデル手法を用いた評価	<ul style="list-style-type: none"> 統計的グリーン関数法及びハイブリッド合成法 	<ul style="list-style-type: none"> 同左 地盤モデルは地下構造評価を踏まえ見直し 	<ul style="list-style-type: none"> 同左

※:申請時においては地震調査研究推進本部(2009),本資料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. 検討に用いる地盤モデル	13
2. 1 統計的グリーン関数法に用いる地盤モデル	14
2. 2 理論的手法に用いる地盤モデル	15
3. 敷地周辺の内陸地殻内地震の地震発生層	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 検討用地震選定の基本方針	27
4. 2 敷地周辺の主な活断層(震源として考慮する活断層)による地震	28
4. 3 震源として考慮する活断層等から選定される検討用地震	29
4. 4 検討用地震の選定 まとめ	30

目次(2)

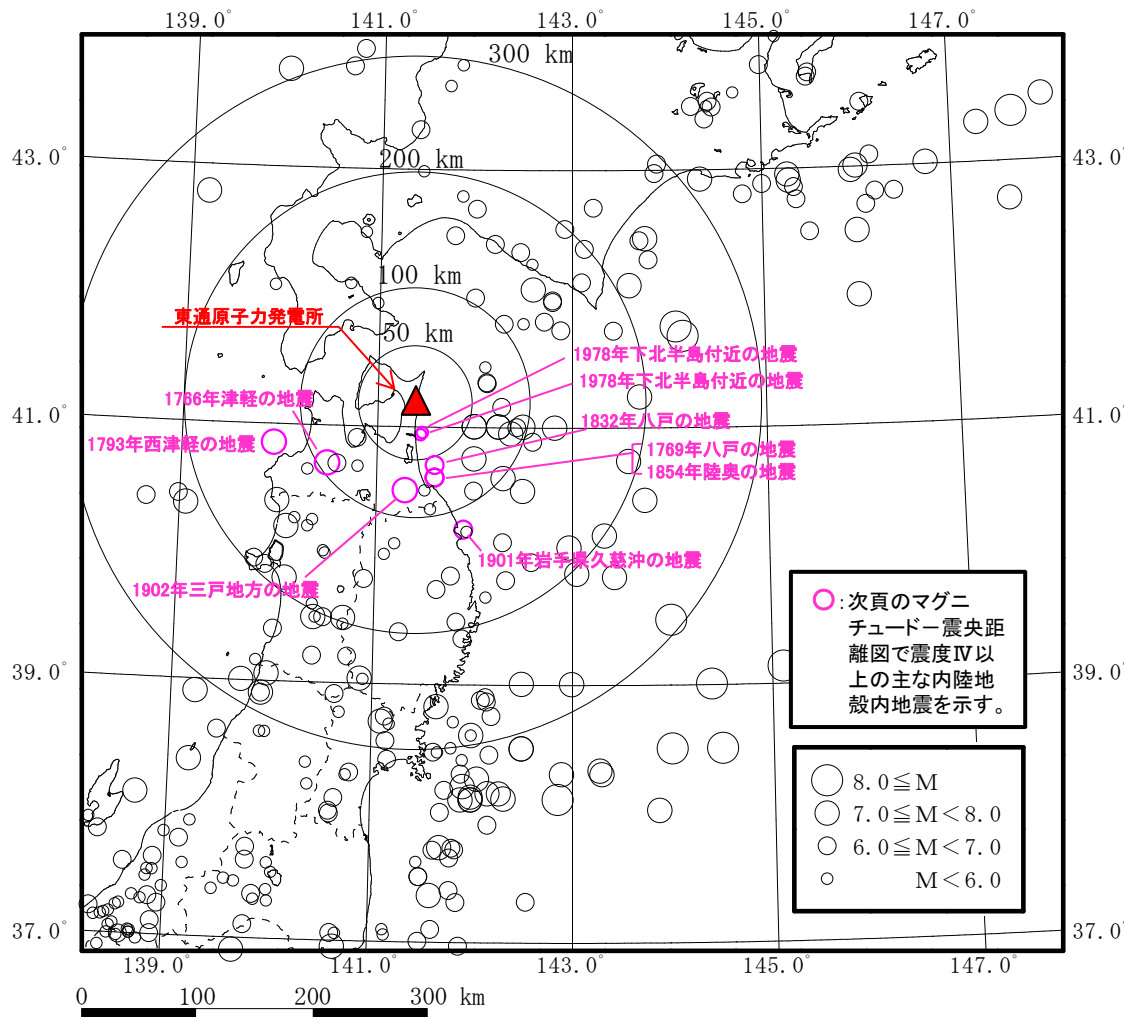
5. 検討用地震の地震動評価	31
5.1 基本ケース及び不確かさケース設定の基本方針	32
5.2 「横浜断層による地震」の不確かさケース	33
5.3 地震動評価の基本方針	37
5.4 横浜断層の断層モデルの設定	38
5.5 「横浜断層による地震」の地震動評価	51
6. 内陸地殻内地震の地震動評価 まとめ	67
6.1 内陸地殻内地震の地震動評価 まとめ	68
参考文献	69

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

発生年月日	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

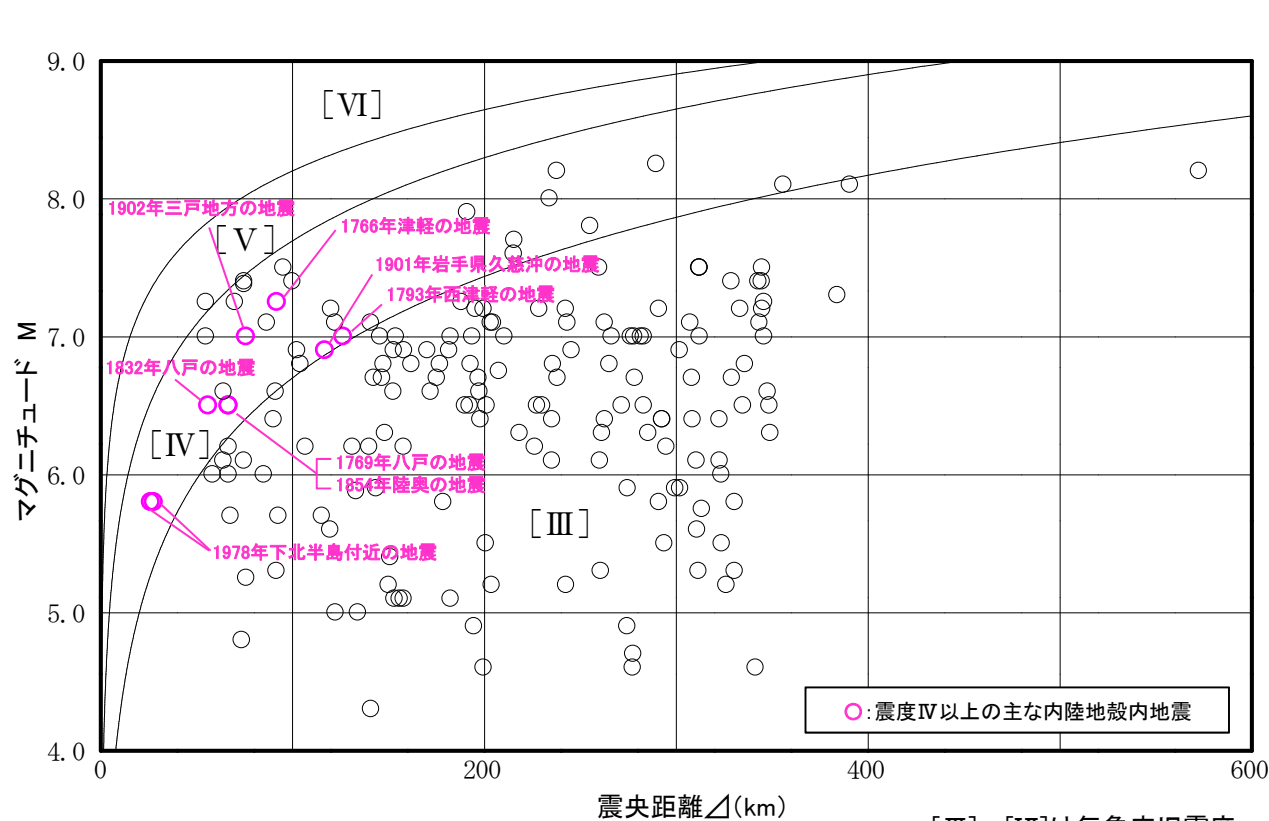
※2: 等価震源距離は地震規模及び震央距離から算定

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

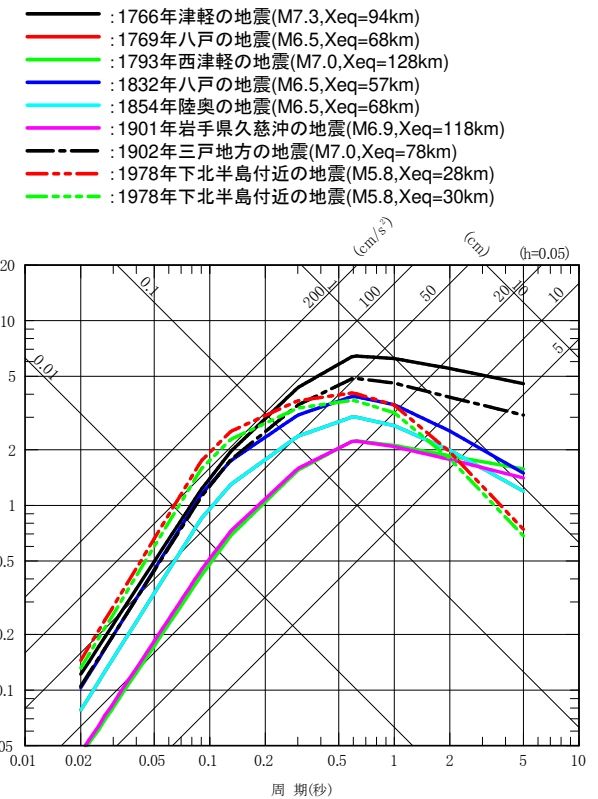
【敷地周辺における主な被害地震が敷地に与える影響】

- 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(気象庁旧震度階級)の区分の関係では、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。



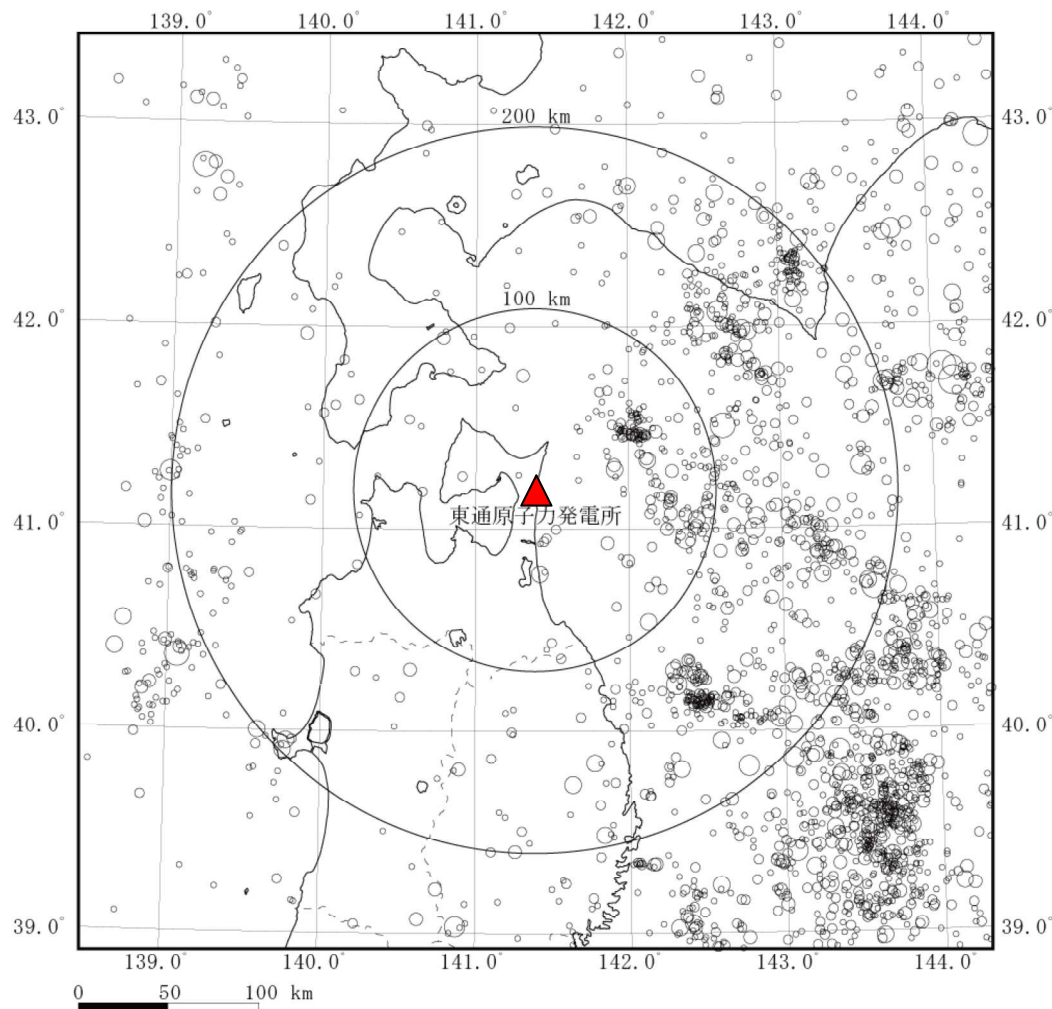
主な被害地震の応答スペクトル(水平方向)
[Noda et al.(2002)]

1.2 敷地周辺における地震の発生状況

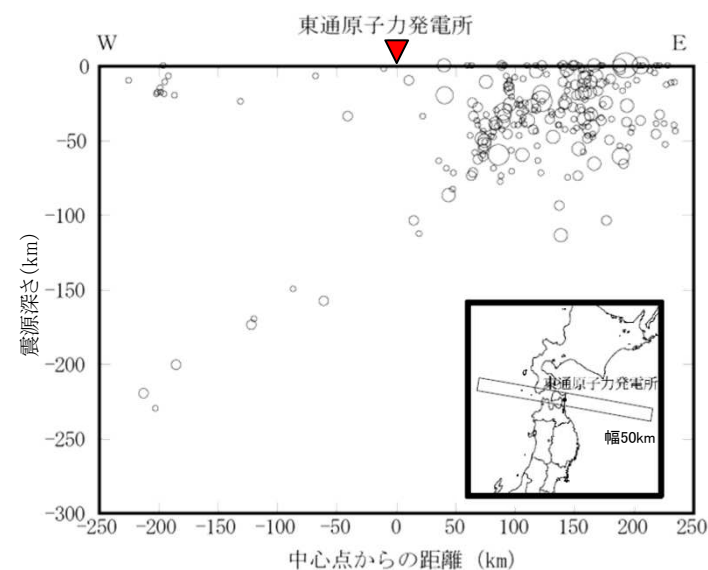
(1) 敷地周辺におけるM5.0以上の地震の発生状況

【気象庁で観測された地震の震源分布の特徴】

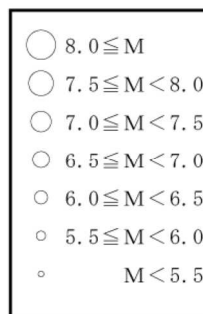
- 内陸での発生頻度は低い。
- 1919年以降、敷地から100km以内ではM7を超える地震は発生していない。



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)〕



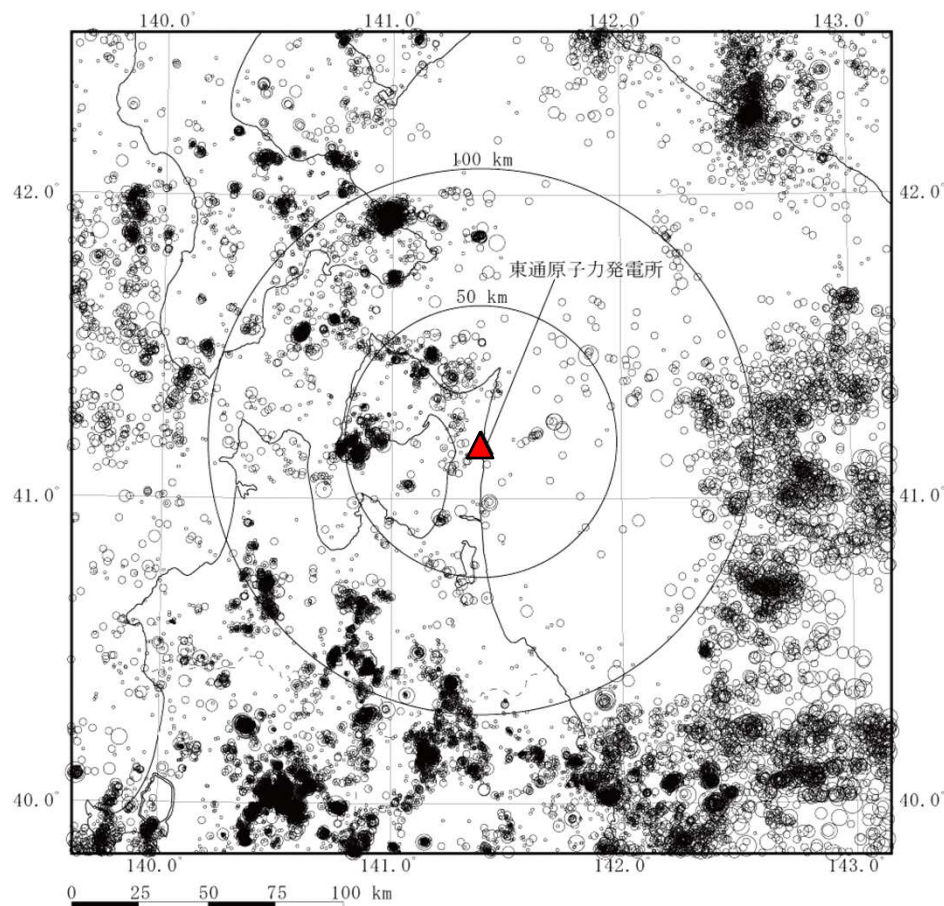
敷地周辺におけるM5.0以上の震源鉛直分布
〔1919年1月～2018年12月：気象庁(2020)〕



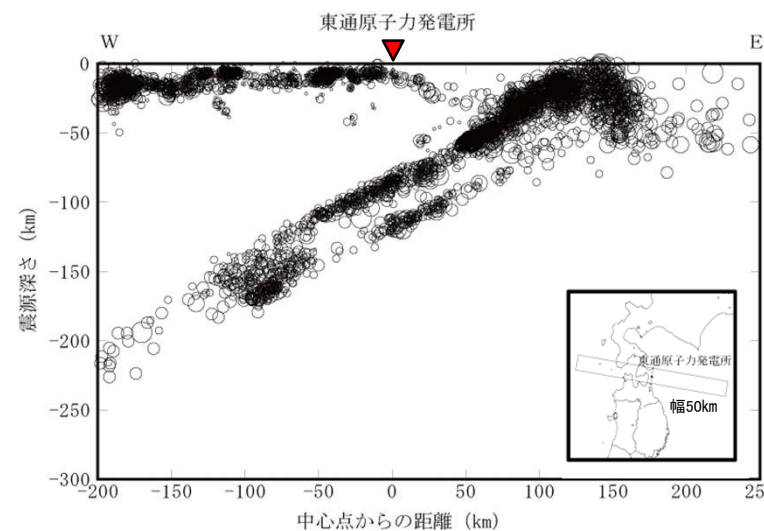
1.2 敷地周辺における地震の発生状況 (2) 敷地周辺におけるM5.0以下の地震の発生状況

【気象庁で観測された微小地震の震源分布の特徴】

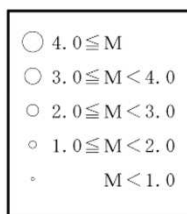
➤ 敷地周辺の微小地震分布(M \leq 5.0)では、敷地付近において特に集中は見られない。



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)]

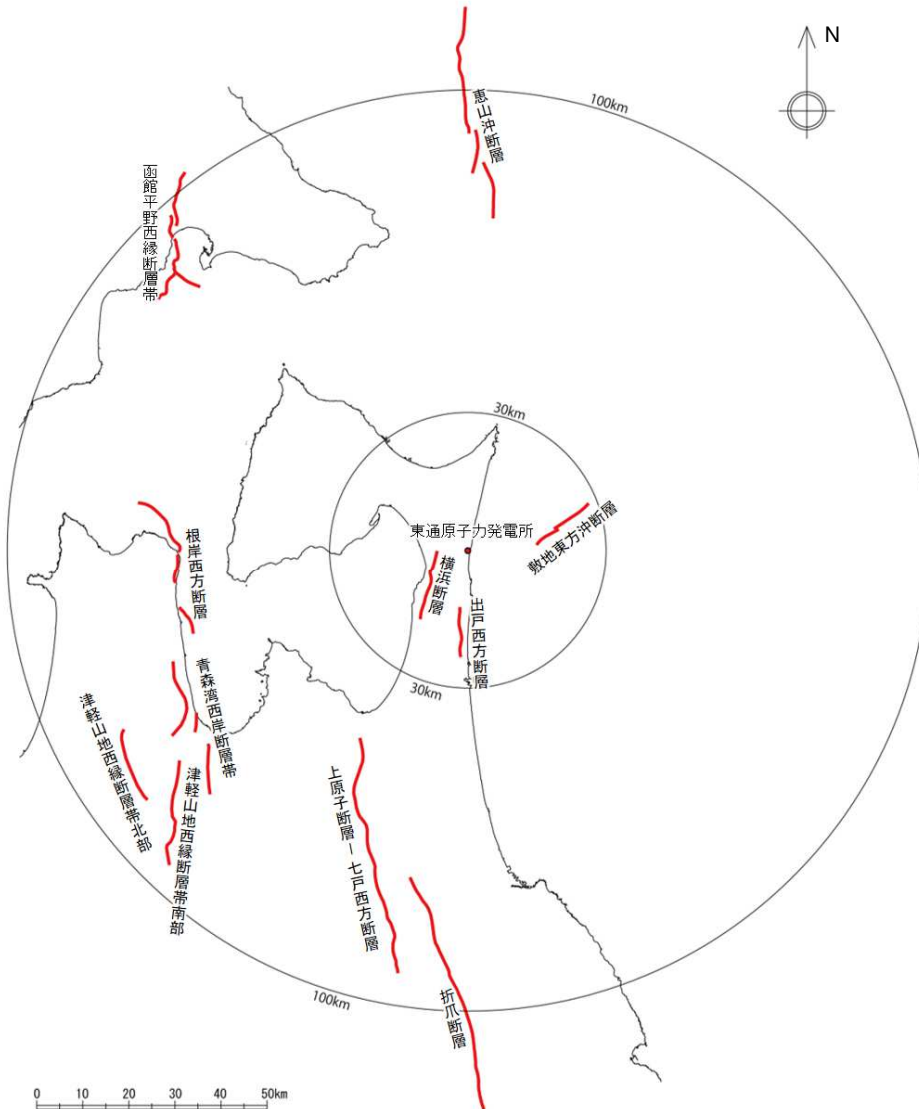


敷地周辺における微小地震の震源鉛直分布
[2011年1月~2018年12月:気象庁(2020)]



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
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. 検討に用いる地盤モデル

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

2.1 統計的グリーン関数法に用いる地盤モデル

- 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盤モデル(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	—	—	—	—	—	—
-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
-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

▽岩盤上部の地震観測点
(解放基盤表面の振動特性)

▽地震基盤

【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盤モデル

- 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盤モデル(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。

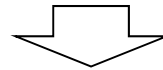
3. 敷地周辺の内陸地殻内地震の地震発生層

- 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

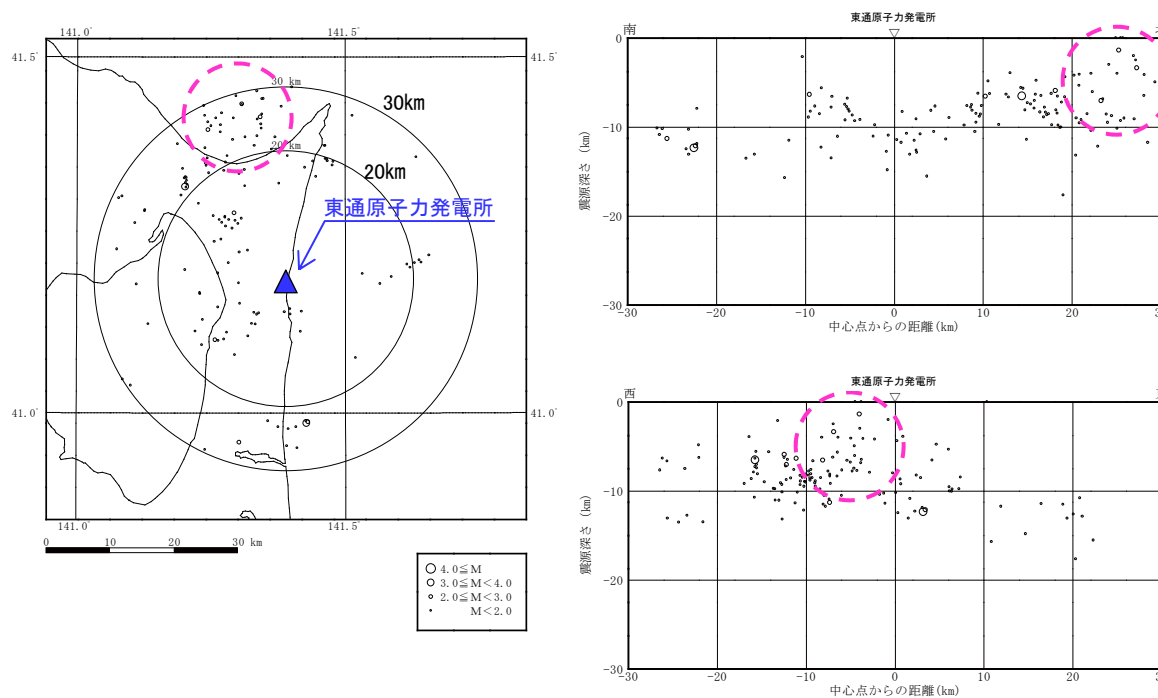
(1) 気象庁の震源による検討

【気象庁の一元化震源データを用いた検討の概要】

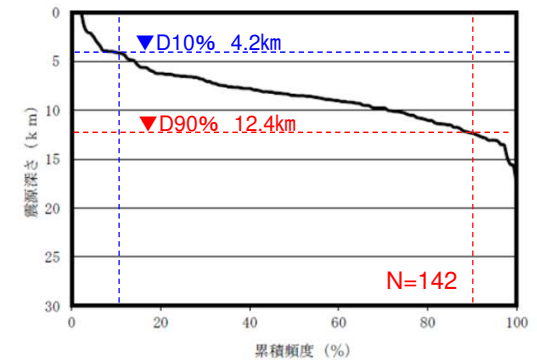
- 気象庁の一元化震源データに基づき、敷地周辺で発生した地震のD10%及びD90%を評価した。評価に当たっては、①敷地から半径30km範囲内の地震を対象とした検討に加え、②敷地により近い半径20km範囲内の地震を対象とした検討も行った。
- 使用したデータの期間は、2014年1月1日～現状(2018年12月31日)とした。2014年1月1日は後述するAs-net観測開始時期に相当する。なお、2017年12月からAs-netの一部観測データも気象庁の一元化に取り込まれている。

【算定結果の特徴】

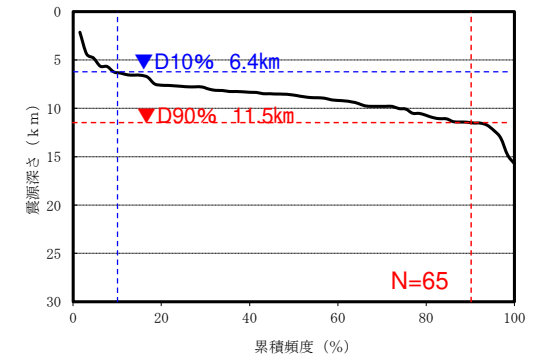
- 半径30kmの場合、D10%は4.2km、D90%は12.4kmであるのに対し、半径20kmの場合はD10%は6.4km、D90%は11.5kmと、特にD10%で半径20kmは深い結果となった。これは、北側の津軽海峡付近に分布する浅い震源が影響しているものと考えられる。



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】

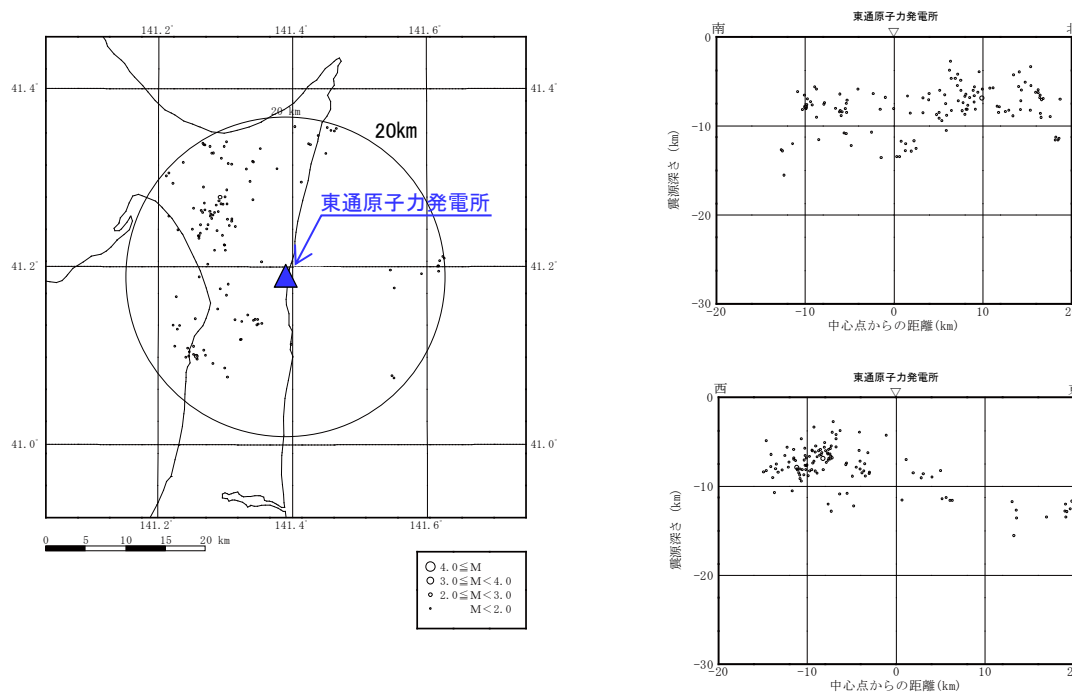
3.2 微小地震の震源深さ分布 (2) As-netの震源による検討 20km範囲

【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。

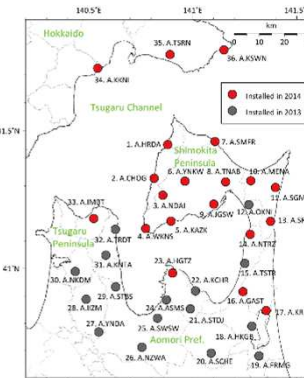
【検討結果の特徴】

- 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。

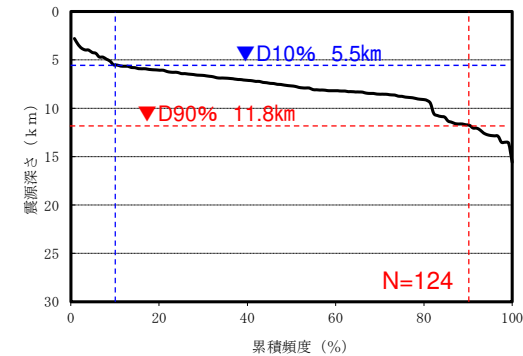


As-netの震源データに基づいた震央分布及び震源深さ分布

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。

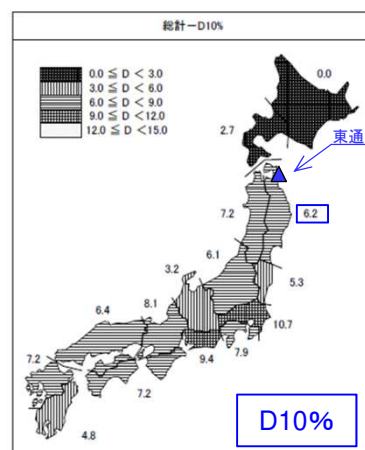
【原子力安全基盤機構(2004)】

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)

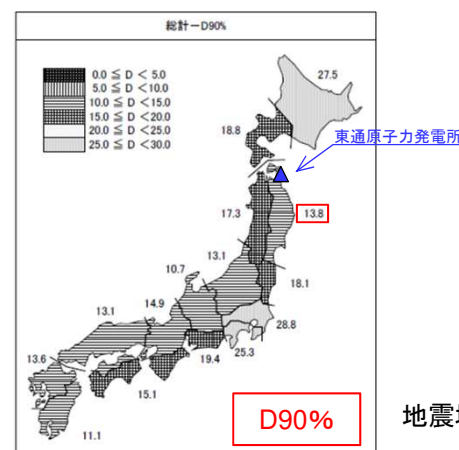
地震域	M区分	最浅(km)	D10%(km)	D50%(km)	D90%(km)	最深(km)	データ数	D90%-D10%(km)	震源域上端深さ最浅値(飯田式)
東北東部	2.0 ≤ M < 2.5	0.0	5.8	10.4	13.7	29.6	288	7.9	-0.7
	2.5 ≤ M < 3.0	0.0	6.4	11.3	15.9	29.7	97	9.5	-1.3
	3.0 ≤ M < 3.5	0.0	7.3	11.0	13.1	29.3	44	5.8	-1.4
	3.5 ≤ M < 4.0	8.7	9.8	12.2	15.7	29.5	20	5.9	5.9
	4.0 ≤ M	3.2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

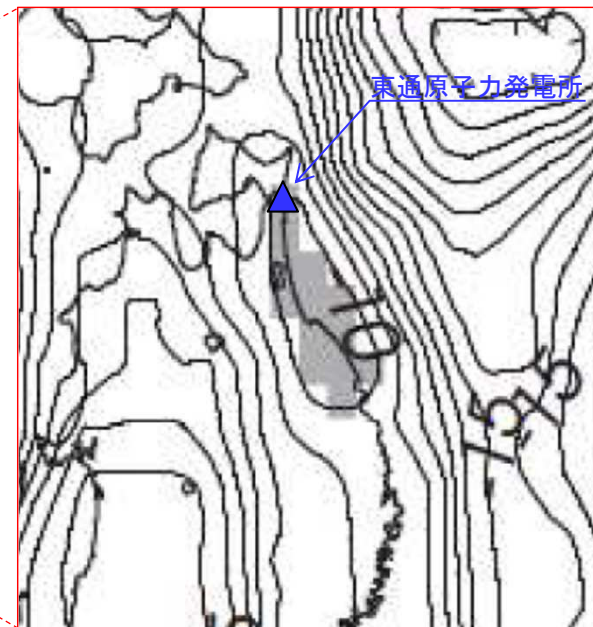
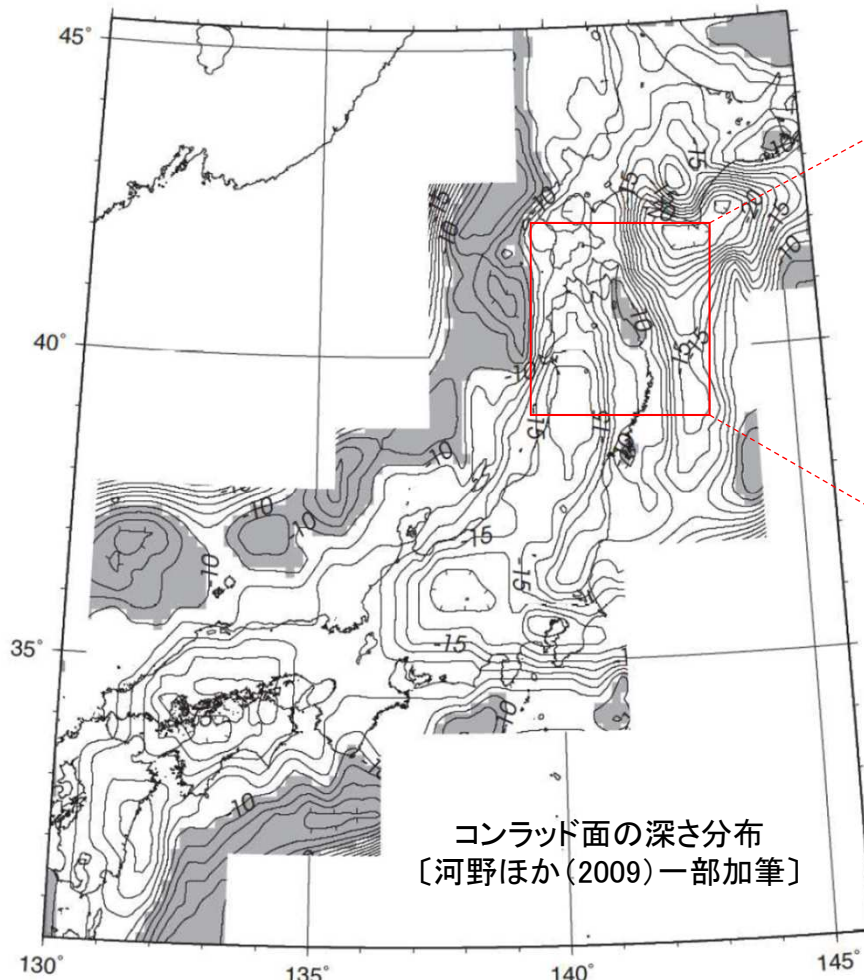
【検討の概要】

➤ 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

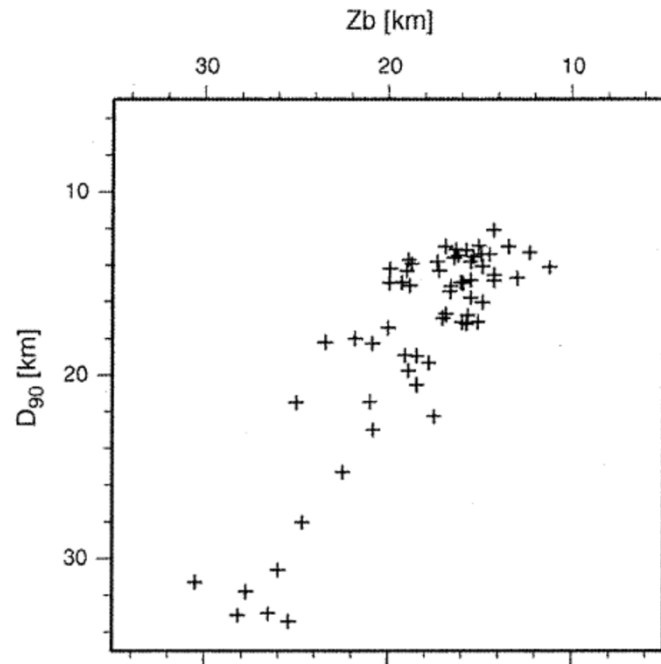
【検討の概要】

- 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。

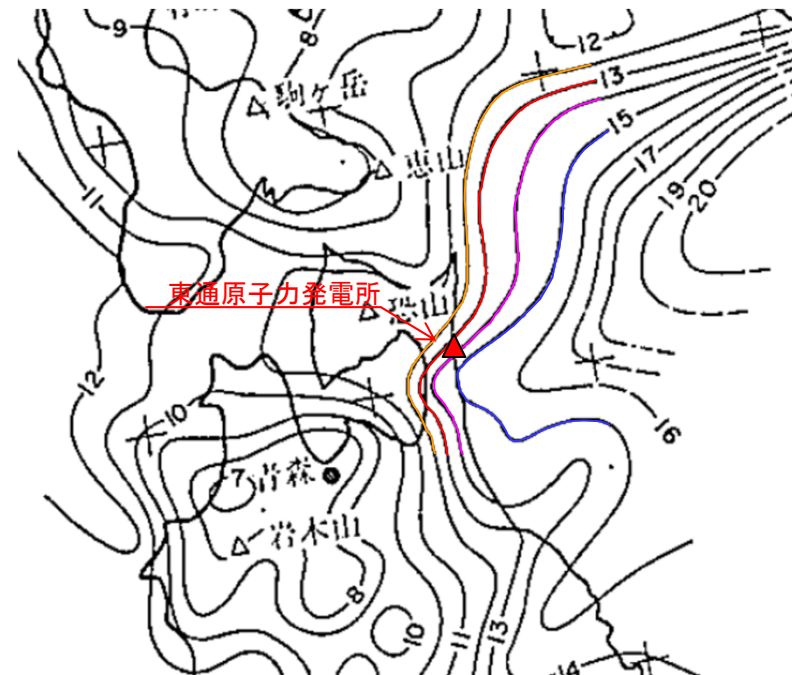
【Tanaka and Ishikawa (2005)】



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

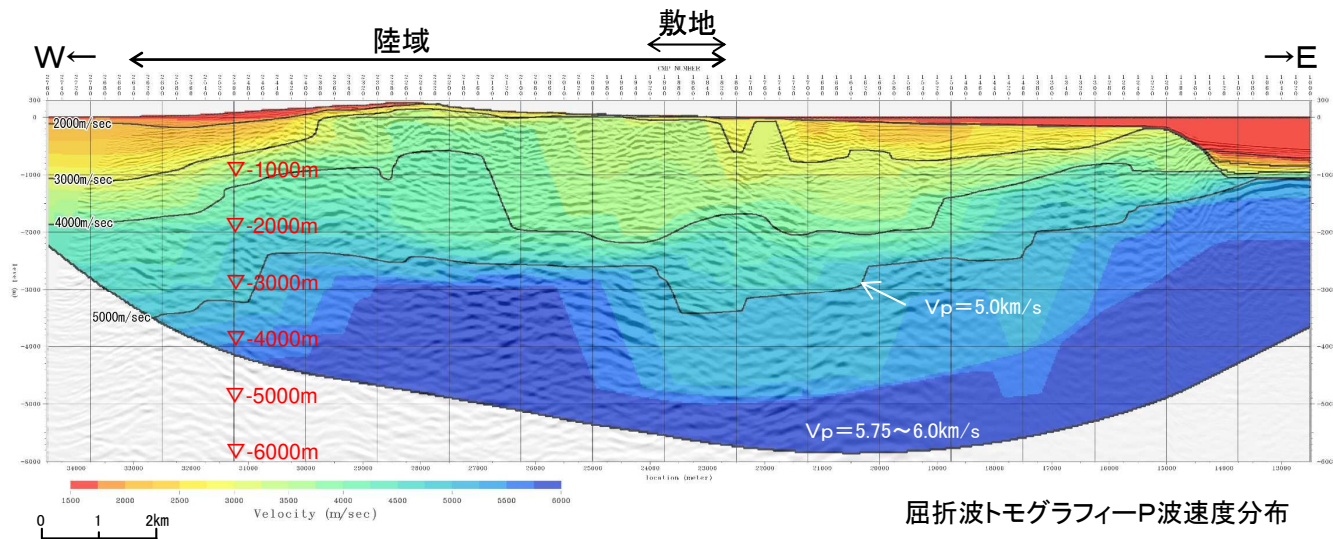
【検討の概要】

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、下北半島中軸部の速度層の高まり部分では、深さ3kmの V_p は約5.75~6.0km/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5.75~6.0km/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、後述する不確かさを考慮した横浜断層による地震(東傾斜, 5章2参照)が位置する狭隘な速度構造の高まり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上と評価される。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)



屈折波トモグラフィ-P波速度分布

敷地周辺の東西方向の速度構造(H24海陸統合探査)



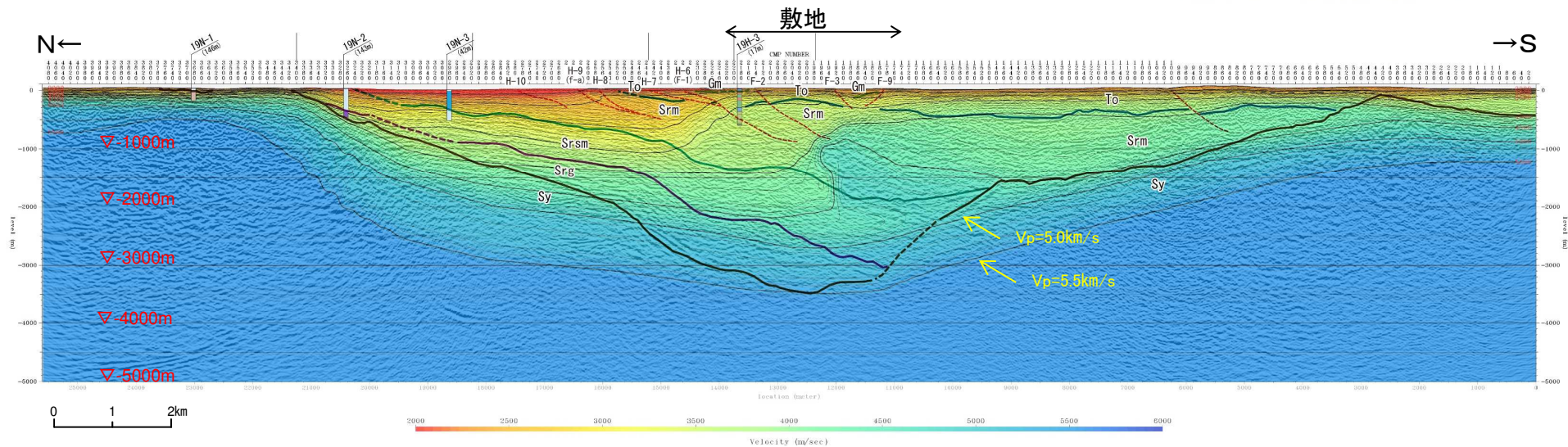
3.4 敷地周辺の速度構造 (2) 南北方向

【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)。

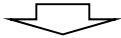
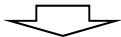


敷地周辺の南北方向の速度構造(H31-A測線)

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、地震発生層の上限深さは5kmよりも深い。 ➤ 後述する不確かさを考慮した横浜断層による地震(東傾斜, 5章2)部分の速度構造に着目しても、地震発生層上限の深さは3km程度もしくはそれ以上と判断。  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速度構造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

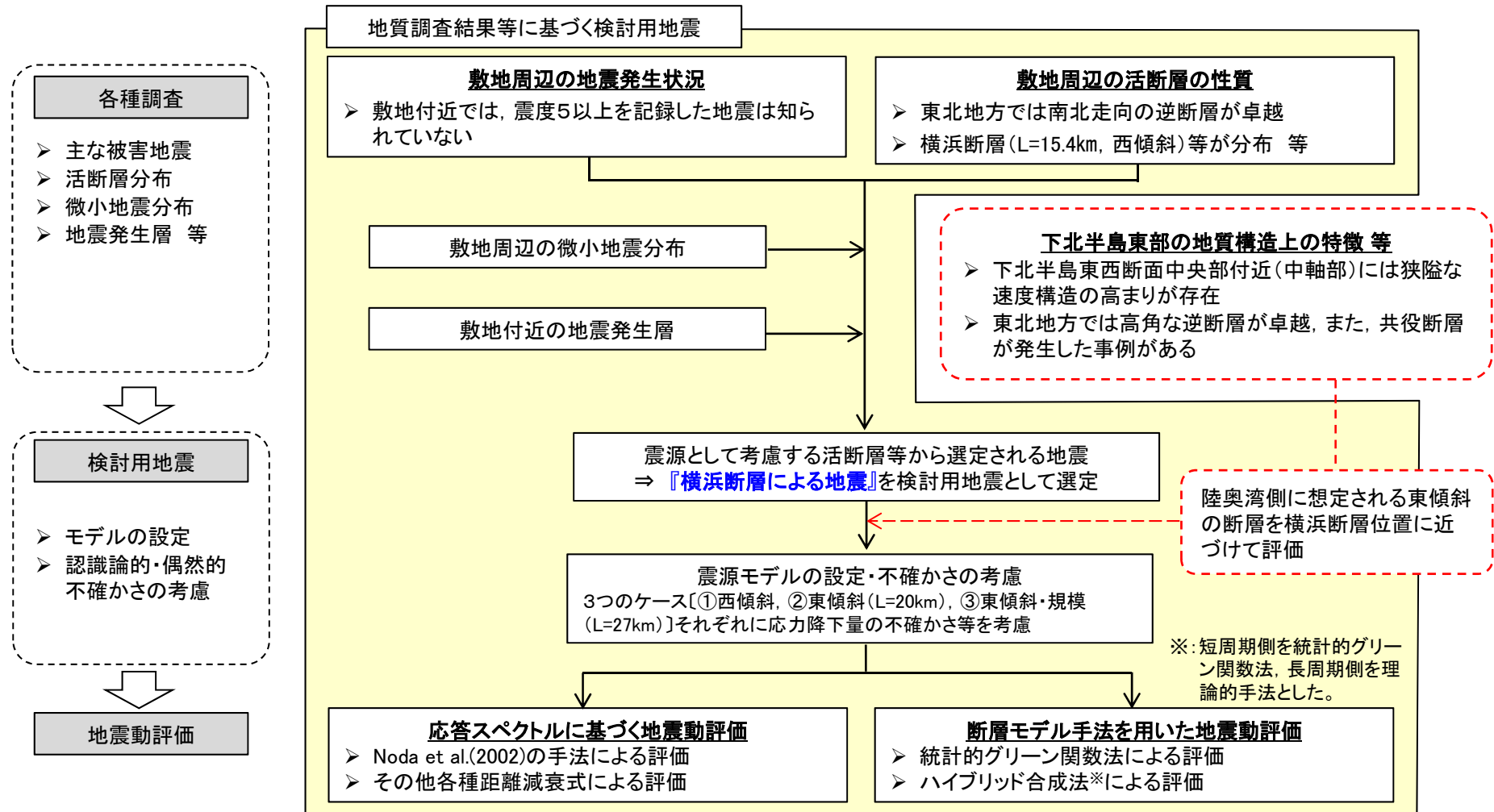
- 4. 1 検討用地震選定の基本方針
- 4. 2 敷地周辺の主な活断層(震源として考慮する活断層)による地震
- 4. 3 震源として考慮する活断層等から選定される検討用地震
- 4. 4 検討用地震の選定 まとめ

4.1 検討用地震選定の基本方針

S188

【検討用地震選定に関する基本的考え方と地震動評価に関する全体フロー】

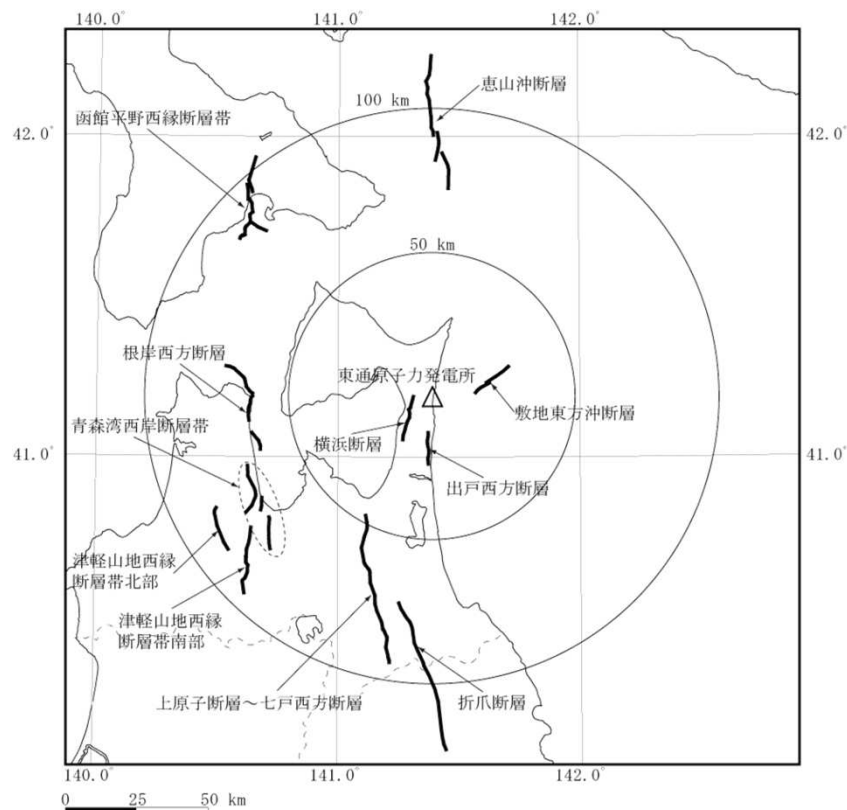
- 敷地周辺の内陸地殻内の主な被害地震及び地質調査結果による「震源として考慮する活断層」に想定される地震のうち、敷地に対して最も影響の大きい『横浜断層による地震』を検討用地震として選定する。
- さらに、下北半島東部の地質構造上の特徴等を踏まえ陸奥湾側に想定される東傾斜の断層を、横浜断層位置に近づけて評価するケースを不確かさとして考慮することにより地震動評価上の保守性を確保する。



4.2 敷地周辺の主な活断層(震源として考慮する活断層)による地震

【活断層に想定する地震の地震規模】

- 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、想定する地震規模及び等価震源距離を整理した。
- 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

No.	断層名	断層長さ (km)	地震規模 $M^{\ast 1}$	等価震源距離 (km) $^{\ast 2}$	
1	横浜断層	15.4	7.0	17	
2	敷地東方冲断層	14.5	7.0	20	
3	出戸西方断層	11	7.0	20	
4	上原子一七戸西方断層	51	7.7	69	
5	恵山冲断層	47	7.6	95	
6	折爪断層	53	7.7	97	
7	根岸西方断層	38	7.5	73	
8	青森湾西岸断層帯	31	7.3	77	
9	津軽山地西縁断層帯北部	16	7.3	78	
10	津軽山地西縁断層帯南部	23	7.3	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	97
		海域南西延長部を含む 函館平野西縁断層帯	28	7.2	103

震源として考慮する活断層 配置図

※1: No.1～3は、地震発生層を飽和する地震規模(地震モーメント) $M_0=7.5 \times 10^{19} \text{Nm}$ を考慮し、武村(1990)の M_0 と M の関係式 $[\log M_0=1.17M+10.72]$ を用いて算定。No.8～10は、地震調査研究推進本部(2009)による。その他は松田(1975)による。

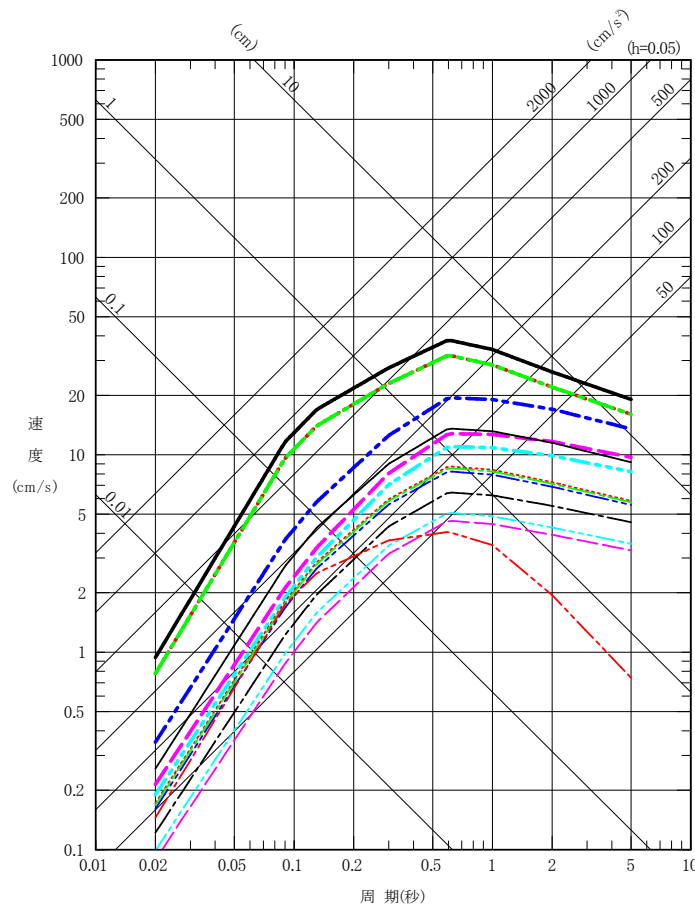
※2: 等価震源距離は、均質な一様断層を想定した。

4.3 震源として考慮する活断層等から選定される検討用地震

S185

【内陸地殻内地震が敷地に与える影響(距離減衰式による評価)】

- 敷地周辺の被害地震(影響の大きい1766年津軽の地震及び1978年下北半島付近の地震)並びに敷地周辺の震源として考慮する活断層による地震が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。



- : 横浜断層による地震(M7.0, Xeq=17km)
- - - : 敷地東方沖断層による地震(M7.0, Xeq=20km)
- · - · : 出戸西方断層による地震(M7.0, Xeq=20km)
- · - · : 上原子-七戸西方断層による地震(M7.7, Xeq=69km)
- · - · : 恵山沖断層による地震(M7.6, Xeq=95km)
- · - · : 折爪断層による地震(M7.7, Xeq=97km)
- · - · : 根岸西方断層による地震(M7.5, Xeq=73km)
- · - · : 青森湾西岸断層帯による地震(M7.3, Xeq=77km)
- · - · : 津軽山地西縁断層帯北部による地震(M7.3, Xeq=78km)
- · - · : 津軽山地西縁断層帯南部による地震(M7.3, Xeq=80km)
- · - · : 海域南東延長部を含む函館平野西縁断層帯による地震(M7.2, Xeq=97km)
- · - · : 海域南西延長部を含む函館平野西縁断層帯による地震(M7.2, Xeq=103km)
- · - · : 1766年津軽の地震(M7.3, Xeq=94km)
- · - · : 1978年下北半島付近の地震(M5.8, Xeq=28km)

【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、仮に孤立した短い活断層相当規模を上回る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2参照)。

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]

4.4 検討用地震の選定 まとめ

S188

- 敷地周辺の被害地震及び震源として考慮する活断層に想定する地震のうち、敷地に対して最も影響の大きい地震である「横浜断層による地震」を検討用地震として選定する。

5. 検討用地震の地震動評価

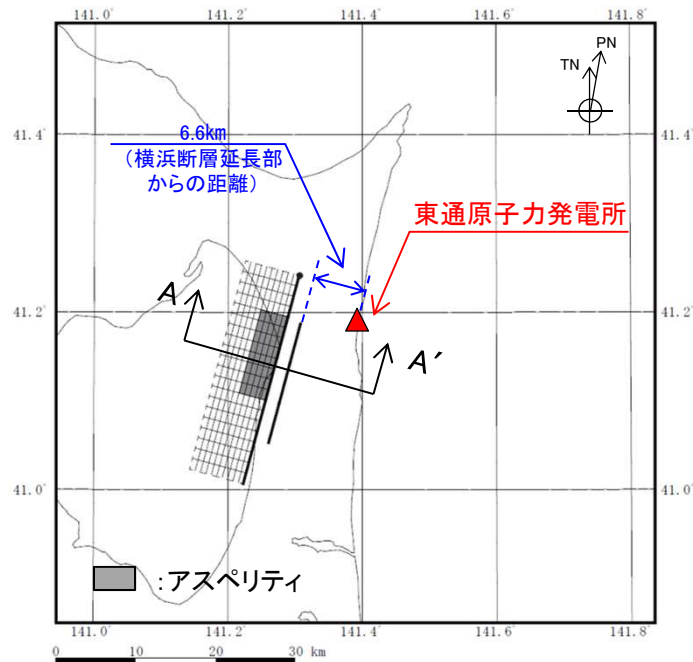
- 5. 1 基本ケース及び不確かさケース設定の基本方針
- 5. 2 「横浜断層による地震」の不確かさケース
- 5. 3 地震動評価の基本方針
- 5. 4 横浜断層の断層モデルの設定
- 5. 5 「横浜断層による地震」の地震動評価

5.1 基本ケース及び不確かさケース設定の基本方針

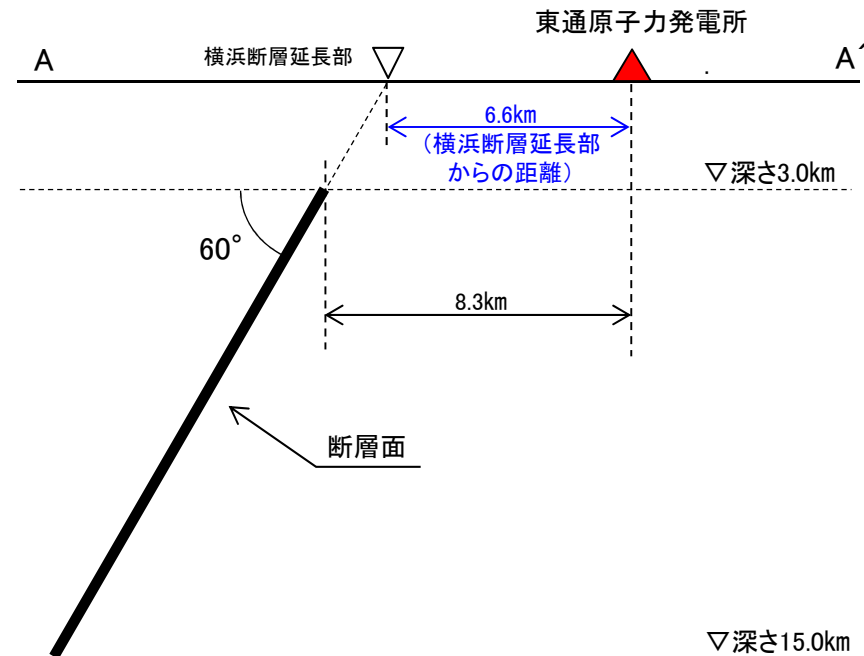
S188

【断層モデル設定の基本的考え方】

- ✓ 基本ケースのモデル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2章1参照)。具体的には、傾斜角60度の西傾斜のモデルを採用する(→ **ケース1**)。
- ✓ 不確かさケースとして、下北半島東部の地質構造上の特徴等から想定される地震を横浜断層の位置で考慮するモデルを採用する。



基本ケースの断層配置図



基本ケースの配置図(A-A' 断面)

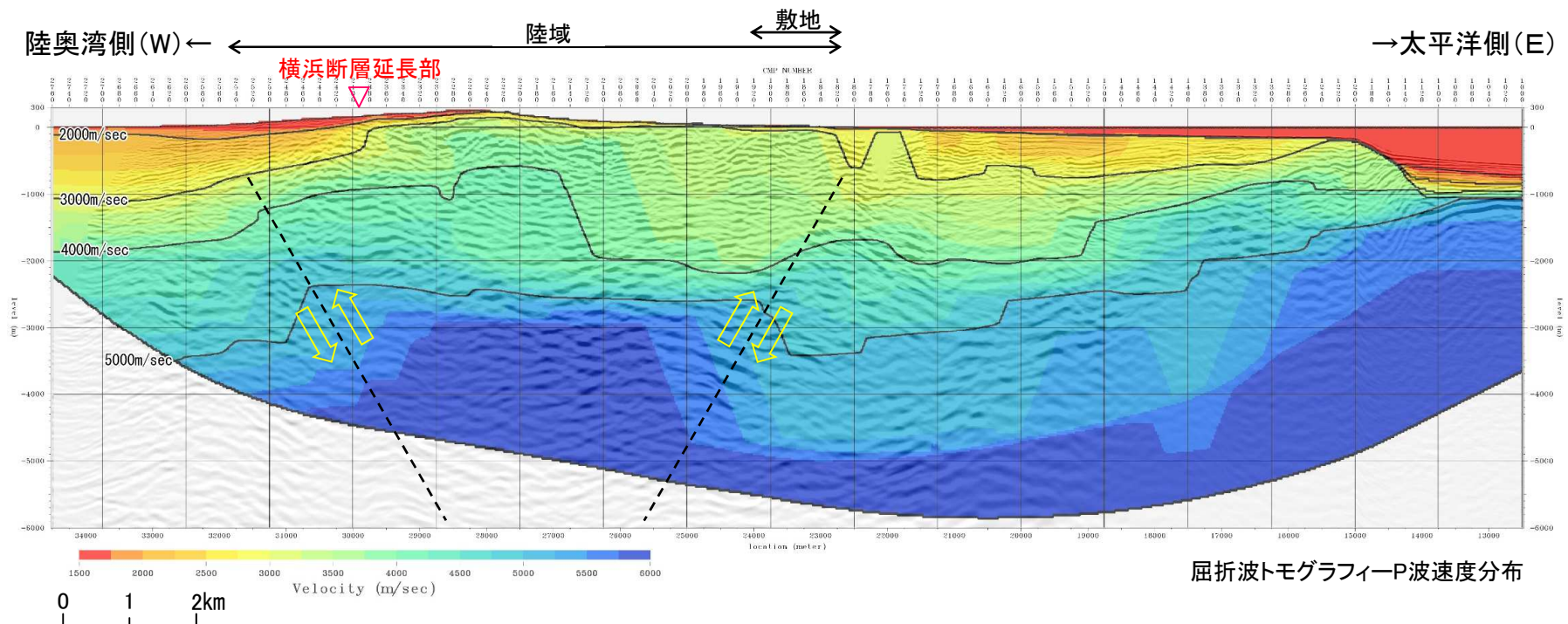
5.2 「横浜断層による地震」の不確かさケース

(1) 下北半島東部の地質構造上の特徴を踏まえた不確かさケース ①

S188

【下北半島東部の地質構造上の特徴から想定される地震】

- 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)に狭隘な速度構造の高まり**が認められる。
- この狭隘な速度構造の高まりと関連するような活断層は存在しないため、この速度構造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)に想定することが考えられる。



下北半島の数構造(東西断面)と狭隘な速度構造の高まりから想定される地震の断層面

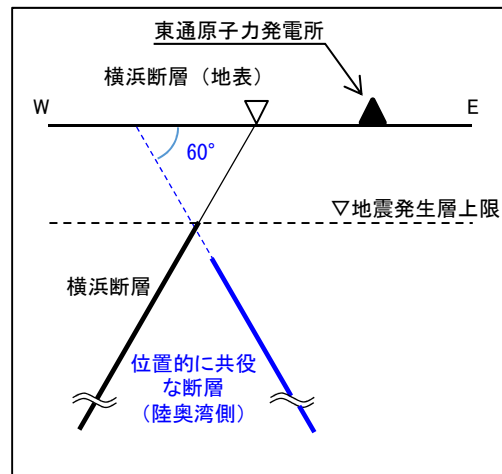
----- : 活断層を伴わない規模の小さい地震の断層面

5.2 「横浜断層による地震」の不確かさケース

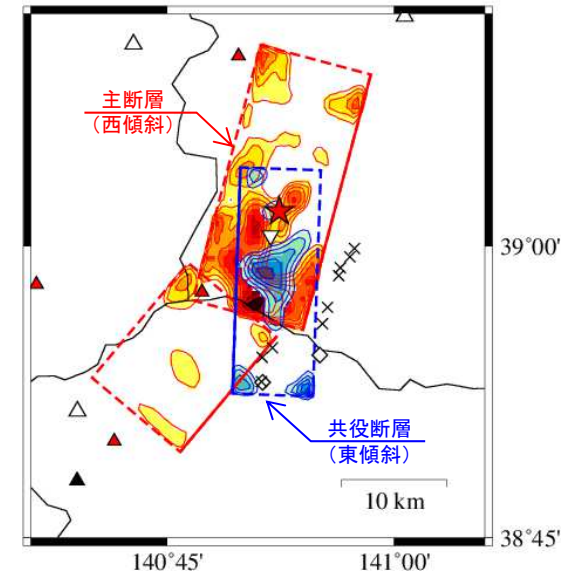
(1) 下北半島東部の地質構造上の特徴を踏まえた不確かさケース ②

S188

- 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から陸奥湾側に想定される東傾斜の断層による地震は、位置的には横浜断層(西傾斜)とは共役な関係となる。
- 東北地方ではインバージョンテクトニクスに起因した逆断層型の内陸地殻内地震が数多く発生しているが、その中には共役断層面を伴った地震も発生している(1896年陸羽地震, 2008年岩手・宮城内陸地震等)。特に、2008年岩手・宮城内陸地震の震源インバージョン解析では、共役断層から強震動が発生したモデルも提案されている[芝(2016)]。



横浜断層(西傾斜)と陸奥湾側に想定される東傾斜の断層の模式図(位置的には共役)



共役断層の例: 2008年岩手・宮城内陸地震 [芝(2016)一部加筆]

5.2 「横浜断層による地震」の不確かさケース

(1) 下北半島東部の地質構造上の特徴を踏まえた不確かさケース ③

S188

- 前頁の特徴を踏まえ、横浜断層の**基本ケース(ケース1)**に対し、**次の2種類のケース(2, 3)**を不確かさケースとして想定する。

ケース2: 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ベースとした地震

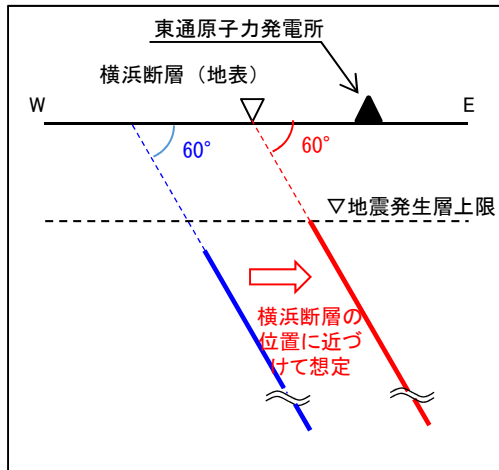
ケース3: ケース2の断層を横浜断層とは位置的に共役関係とみなすことをベースとした地震

【想定位置】 両地震とも陸奥湾側に想定される地震であるが、一方、厳密な位置を特定する活断層等の地質的根拠が存在しないため、想定位置としては敷地に対する保守性を考慮し、横浜断層位置で考慮する。

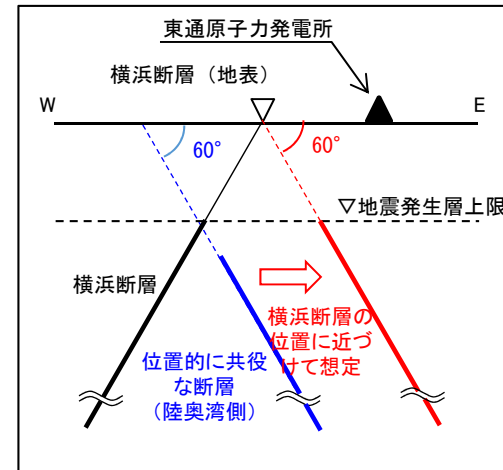
【地震規模】 想定する地震規模は、以下を想定する。

ケース2: 地表に活断層を伴わない地震から想定される規模に裕度を考慮した地震規模

ケース3: 主断層とそれと共役な断層については規模の関係が必ずしも明確ではないことを踏まえ、地表に短い活断層を伴う地震の地震規模



【ケース2】陸奥湾側の活断層を伴わない規模の小さな地震の断層(東傾斜)の模式図



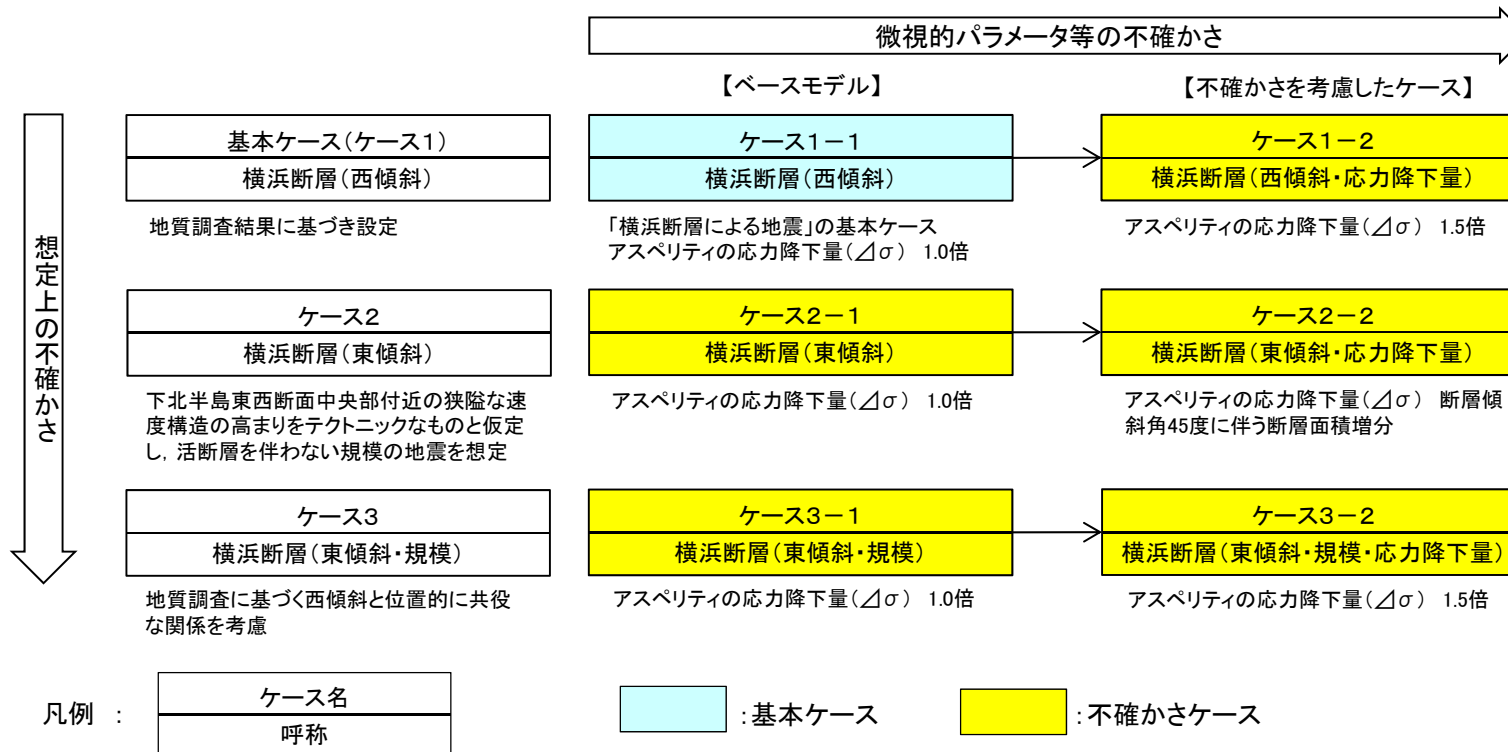
【ケース3】横浜断層(西傾斜)と位置的に共役な陸奥湾側の断層(東傾斜)を横浜断層の位置に近づけた想定の様式図

5.2 「横浜断層による地震」の不確かさケース (2) 微視的パラメータ等に対する不確かさの考慮

S187 S188

微視的パラメータ等に対する不確かさの考慮の基本的考え方

- 基本ケース(ケース1)に対し、想定上の不確かさとしてケース2及びケース3を想定するが、微視的パラメータ等に対する不確かさは、地震動評価の保守性確保の観点から、基本ケース(ケース1)に対してだけでなくケース2及びケース3に対しても同様に考慮する(詳細は5章4に示す)。
- なお、各ケースの位置づけ(基本ケース、不確かさケース)や呼称を以下の通りとする。



アスペリティの応力降下量は地震調査研究推進本部(2020)に対する倍率

「横浜断層による地震」で考慮する「基本ケース」及び「不確かさケース」の構成

5.3 地震動評価の基本方針

S186

(1) 応答スペクトルに基づく手法

- 「横浜断層による地震」(西傾斜)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。
- 「横浜断層による地震」のうち東傾斜の不確かさケースについては、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。
- 特に敷地へ与える影響が大きいケース3[横浜断層(東傾斜・規模)]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※による地震動評価を実施する。

※: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。

5.4 横浜断層の断層モデルの設定

(1)「横浜断層による地震」の不確かさの整理 ①基本ケース(ケース1) 横浜断層(西傾斜)

S187

➤ 地質調査に基づき、西傾斜60度で地震発生層を飽和する地震規模[$M_0=7.5 \times 10^{18}$ (Nm)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。

【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。

緑下線:「ベースモデル」及び「不確かさを考慮したケース」
で共通に考慮する事項

青下線:「ベースモデル」で考慮する事項

赤下線:「不確かさを考慮したケース」で考慮する事項

種類	パラメータ	ベースモデル (ケース1-1の設定)	不確かさの考慮
認識論的 不確かさ	断層傾斜方向	西傾斜	地質調査結果に基づき、 <u>西傾斜</u> とする。
	断層の位置	地質調査結果 (横浜断層)	「ベースモデル」及び「不確かさを考慮したケース」とも、地質調査結果(<u>横浜断層</u>)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)	保守的に、「ベースモデル」及び「不確かさを考慮したケース」とも断層面が地震発生層を飽和する規模である $M_0=7.5 \times 10^{18}$ (Nm)以上となるように断層面を設定する ^{※1} 。
	断層傾斜角	60度	地質調査結果及び地震調査研究推進本部(2020)等に基づき <u>西傾斜60度</u> に設定。 ----- ✓ 高角とした場合、敷地への距離は近くなるものの、地質調査結果等を踏まえ想定しない。 ✓ 低角とした場合、敷地への距離が遠くなり、敷地への影響が特別大きにならない ^{※2} ことから不確かさケースとしない。
	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	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 <u>地震調査研究推進本部(2020)による値</u> を「ベースモデル」に採用する。 ----- アスペリティの応力降下量として、2007年新潟県中越沖地震の知見を反映し、 <u>地震調査研究推進本部(2020)による値の1.5倍</u> を考慮する。
偶然的 不確かさ	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	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、「ベースモデル」及び「不確かさを考慮したケース」とも <u>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位置</u> に設定する。
	破壊開始点	破壊が敷地に向かう位置	<u>敷地に対し最も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)</u> 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:補足説明資料3章3参照

5.4 横浜断層の断層モデルの設定

(1)「横浜断層による地震」の不確かさの整理 ②ケース2 横浜断層(東傾斜)

S188

- 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横浜断層の位置に近づけて想定する。地震規模は地表に活断層を伴わない地震から想定される地震規模に裕度を考慮する。

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

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

緑下線: 「ベースモデル」及び「不確かさを考慮したケース」
で共通に考慮する事項

青下線: 「ベースモデル」で考慮する事項

赤下線: 「不確かさを考慮したケース」で考慮する事項

種類	パラメータ	ベースモデル (ケース2-1の設定)	不確かさの考慮
認識論的 不確かさ	断層傾斜方向	東傾斜	下北半島中軸部の狭隘な速度構造の高まりが認められ、その成因をテクトニックなものと捉えた場合、陸奥湾側には東傾斜の規模の小さな地震を想定することが考えられる。これを「ベースモデル」及び「不確かさを考慮したケース」に採用。
	断層の位置	横浜断層の位置	下北半島中軸部の狭隘な速度構造の高まりを踏まえると、「ベースモデル」及び「不確かさを考慮したケース」とも地表延長部は陸奥湾側と考えられるが、厳密な位置の設定は困難なことを踏まえ、地表延長部を横浜断層の位置に近づけて想定し、 <u>敷地に対する距離の保守性を確保する。</u> ----- 地質調査結果に対し断層長さを均等に設定する。《ケース1と同じ》
	地震規模 (断層長さ)	M6.8 (L=20km)	地質調査結果では活断層は認められないことから、「ベースモデル」及び「不確かさを考慮したケース」とも、Stirling et al.(2002)等に基づき、 <u>地表に活断層が現れた場合に存在する可能性のある震源断層長さ(L=20km)</u> を想定することにより、保守性を確保する。
	断層傾斜角	60度	「ベースモデル」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速度構造の高まりと整合する。 ③ 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度としている。 ----- 傾斜角を低角にすると敷地への距離は近くなるが、断層位置の想定で既に距離の保守性は考慮しているため、「不確かさを考慮したケース」としては、距離の保守性としての低角ケースは想定しない(断層面積の増加に伴う影響反映のため東傾斜45度を考慮)。
	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	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「ベースモデル」に採用する。《ケース1と同じ》 ----- 地表に活断層が認められないことを前提にした評価であることから、2007年新潟県中越沖地震の知見反映は考慮しないものの、断層傾斜角を低角(45度)とすることに伴う断層面積の増加分(短周期レベルで「ベースモデル」の1.14倍)を考慮する。
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	「ベースモデル」及び「不確かさを考慮したケース」とも保守的に横浜断層(西傾斜)が地表で認定される範囲において最も敷地に近い位置に設定する。《ケース1と同じ》
	破壊開始点	破壊が敷地に向かう位置	敷地に対し最も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。《ケース1と同じ》

5.4 横浜断層の断層モデルの設定

(1)「横浜断層による地震」の不確かさの整理 ③ケース3 横浜断層(東傾斜・規模)

S188

- ▶ 陸奥湾側に想定される東傾斜の規模の小さな地震の断層は横浜断層(西傾斜)と位置的には共役的とみなせること、東北地方では共役な断層面を伴う事例が発生していること等を踏まえ、前項の東傾斜の地震の規模を短い活断層を伴う地震の地震規模まで拡張する。

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

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

緑下線:「ベースモデル」及び「不確かさを考慮したケース」
で共通に考慮する事項

青下線:「ベースモデル」で考慮する事項

赤下線:「不確かさを考慮したケース」で考慮する事項

種類	パラメータ	ベースモデル (ケース3-1の設定)	不確かさの考慮
認識論的 不確かさ	断層傾斜方向	東傾斜	下北半島東部の地質構造上の特徴を踏まえ、東傾斜の断層を想定する。《ケース2と同じ》
	断層の位置	横浜断層の位置	下北半島中軸部の狭隘な速度構造の高まりを踏まえると、「ベースモデル」及び「不確かさを考慮したケース」とも地表延長部は陸奥湾側と考えられるが、厳密な位置の設定は困難なことを踏まえ、地表延長部を横浜断層の位置に近づけて想定し、敷地に対する距離の保守性を確保する。《ケース2と同じ》 地質調査結果に対し断層長さを均等に設定する。《ケース1と同じ》
	地震規模 (断層長さ)	$M_0=7.5 \times 10^{18}(\text{Nm})$ 以上 ($L=27\text{km}$)	陸奥湾側に想定される東傾斜の断層は、位置的には横浜断層(西傾斜)と共役的な関係になること、一方、東北地方では共役な断層面を伴う事例が発生していること、その場合、主断層と共役断層の規模の関係は必ずしも明確ではないことを踏まえ、「ベースモデル」及び「不確かさを考慮したケース」とも断層面が地震発生層を飽和する規模である $M_0=7.5 \times 10^{18}(\text{Nm})$ 以上となるように断層面を設定する*1。《ケース1と同じ》
	断層傾斜角	60度	「ベースモデル」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。《ケース2と同じ》 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速度構造の高まりと整合する。 ③ 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度としている。 傾斜角を低角にすると敷地への距離は近くなるが、断層位置の想定で既に距離の保守性は考慮しているため、「不確かさを考慮したケース」としては、低角の想定はしない。
	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	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「ベースモデル」に採用する。《ケース1と同じ》 アスペリティの応力降下量として、2007年新潟県中越沖地震の知見を反映し、地震調査研究推進本部(2020)による値の1.5倍を考慮する。《ケース1と同じ》
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	「ベースモデル」及び「不確かさを考慮したケース」とも保守的に横浜断層(西傾斜)が地表で認定される範囲において最も敷地に近い位置に設定する。《ケース1と同じ》
	破壊開始点	破壊が敷地に向かう位置	敷地に対し最も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。《ケース1と同じ》

*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。

5.4 横浜断層の断層モデルの設定 (2) 基本ケース及び不確かさケース

S188

検討用地震の想定〔横浜断層による地震〕

検討ケース	断層モデルの基本的諸元				微視的パラメータ等の不確かさ				評価手法
	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※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	
地質調査結果	西	調査結果位置	(参考) L=15.4km $2.55 \times 10^{18}(\text{Nm})$	(参考) M6.6 (Mw6.2)	60°	(参考) 14.96 (MPa) 〔レシピア × 1.0〕 $7.24 \times 10^{18}(\text{Nm/s}^2)$	—	—	—
ケース1-1 (西傾斜)	西	調査結果位置	L=27km $7.83 \times 10^{18}(\text{Nm})$	M7.0 (Mw6.5)	60°	13.62 (MPa) 〔レシピア × 1.0〕 $1.05 \times 10^{19}(\text{Nm/s}^2)$	敷地に 近い位置	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1-2 (西傾斜・応力降下量)	西	調査結果位置	L=27km $7.83 \times 10^{18}(\text{Nm})$	M7.0 (Mw6.5)	60°	20.43 (MPa) 〔レシピア × 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
ケース2-1 (東傾斜)	東	横浜断層に 近づけて設定	L=20km $4.30 \times 10^{18}(\text{Nm})$	M6.8 (Mw6.4)	60°	14.32 (MPa) 〔レシピア × 1.0〕 $8.62 \times 10^{18}(\text{Nm/s}^2)$	敷地に 近い位置	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2-2 (東傾斜・応力降下量)	東	横浜断層に 近づけて設定	L=20km $6.43 \times 10^{18}(\text{Nm})$	M6.9 (Mw6.5)	45°	13.85 (MPa) 〔レシピア × 1.0〕 $9.86 \times 10^{18}(\text{Nm/s}^2)$			各種距離減衰式 統計的グリーン 関数法
ケース3-1 (東傾斜・規模)	東	横浜断層に 近づけて設定	L=27km $7.83 \times 10^{18}(\text{Nm})$	M7.0 (Mw6.5)	60°	13.62 (MPa) 〔レシピア × 1.0〕 $1.05 \times 10^{19}(\text{Nm/s}^2)$	敷地に 近い位置	破壊が敷 地に向かう 位置に複 数考慮	各種距離減衰式 ハイブリッド合成法
ケース3-2 (東傾斜・規模・ 応力降下量)	東	横浜断層に 近づけて設定	L=27km $7.83 \times 10^{18}(\text{Nm})$	M7.0 (Mw6.5)	60°	20.43 (MPa) 〔レシピア × 1.5〕 $1.58 \times 10^{19}(\text{Nm/s}^2)$			各種距離減衰式 ハイブリッド合成法

: 陸奥湾側に想定される東傾斜の断層を横浜断層位置に近づけて設定

: 地震発生層を飽和するよう保守的に設定

: あらかじめモデルに織り込む不確かさ

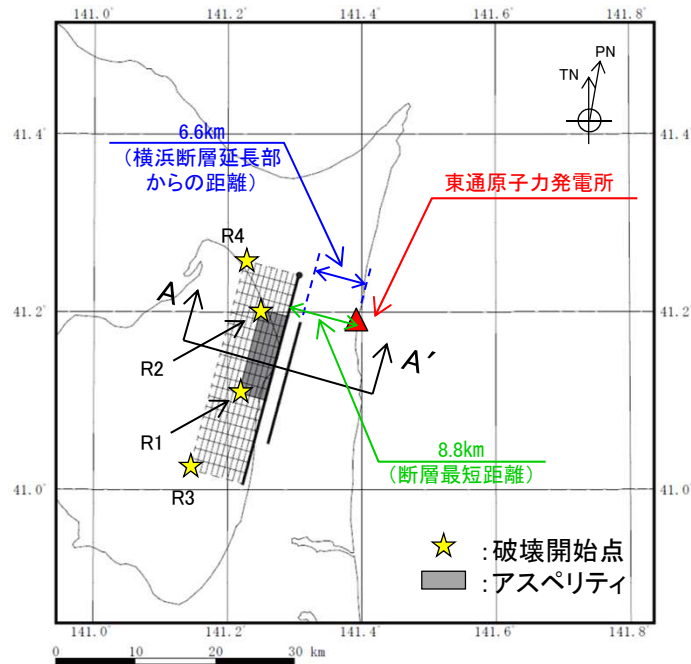
: 地表に活断層が現れた場合に存在する可能性のある震源断層長さを採用

: 地震発生層を飽和するように設定したケース(ケース1及びケース3)に対してはレシピア※の1.5倍を考慮。
活断層が認められないことを前提に設定したケース2に対しては、傾斜角を45度にした場合の断層面積増分に相当する短周期レベルを考慮。

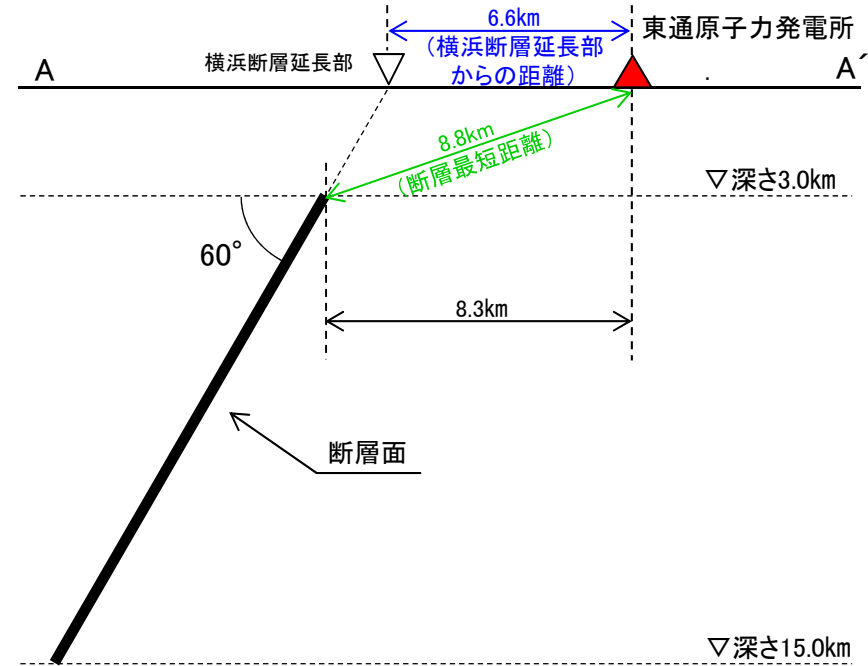
※: 地震調査研究推進本部(2020)

5.4 横浜断層の断層モデルの設定

(3) 横浜断層(西傾斜)の断層モデル ケース1-1及びケース1-2



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1-1及びケース1-2)

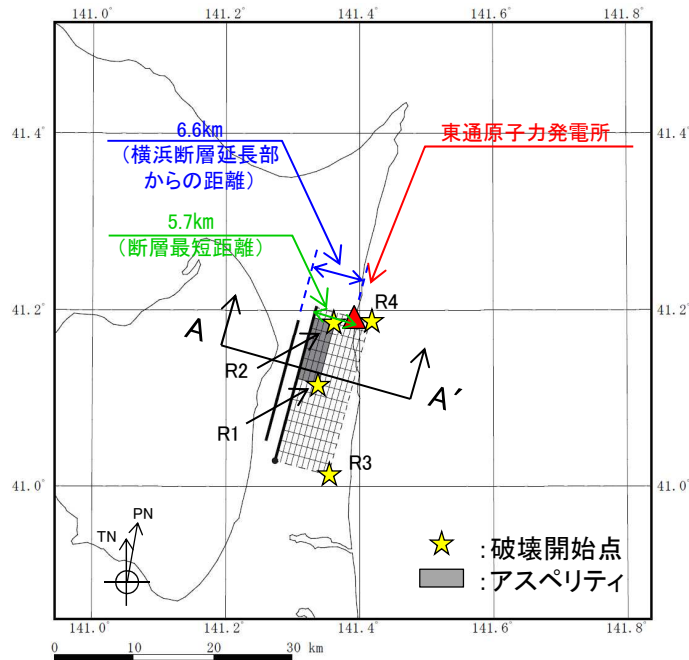
「横浜断層による地震」の断層諸元(ケース1-1及びケース1-2)

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)
ケース1-1(西傾斜) ケース1-2(西傾斜・応力降下量)	27.0	7.0	6.5	14	8.8

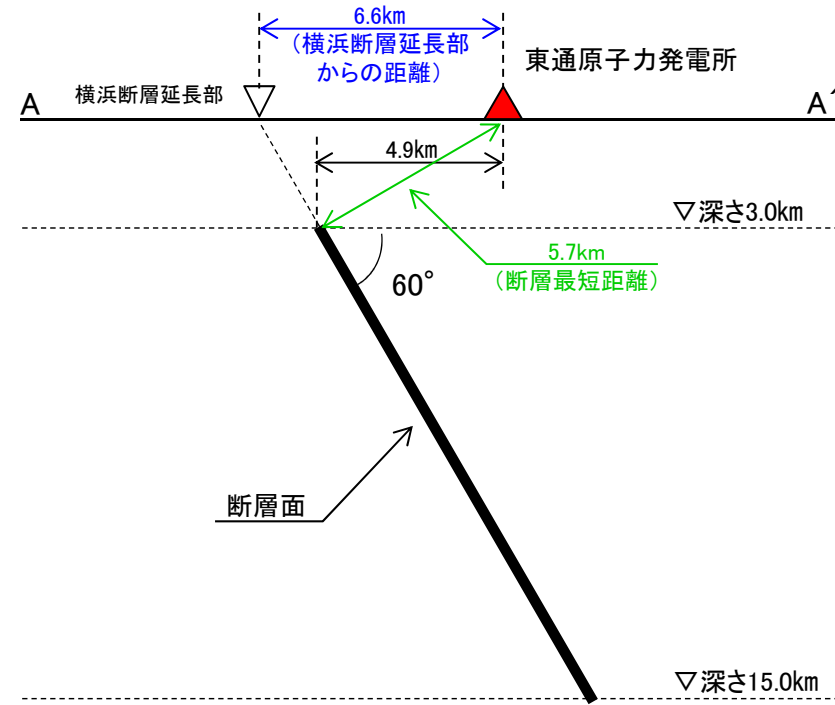
5.4 横浜断層の断層モデルの設定

(4) 横浜断層(東傾斜)の断層モデル ①ケース2-1

S188



断層配置図



配置図(A-A' 断面)

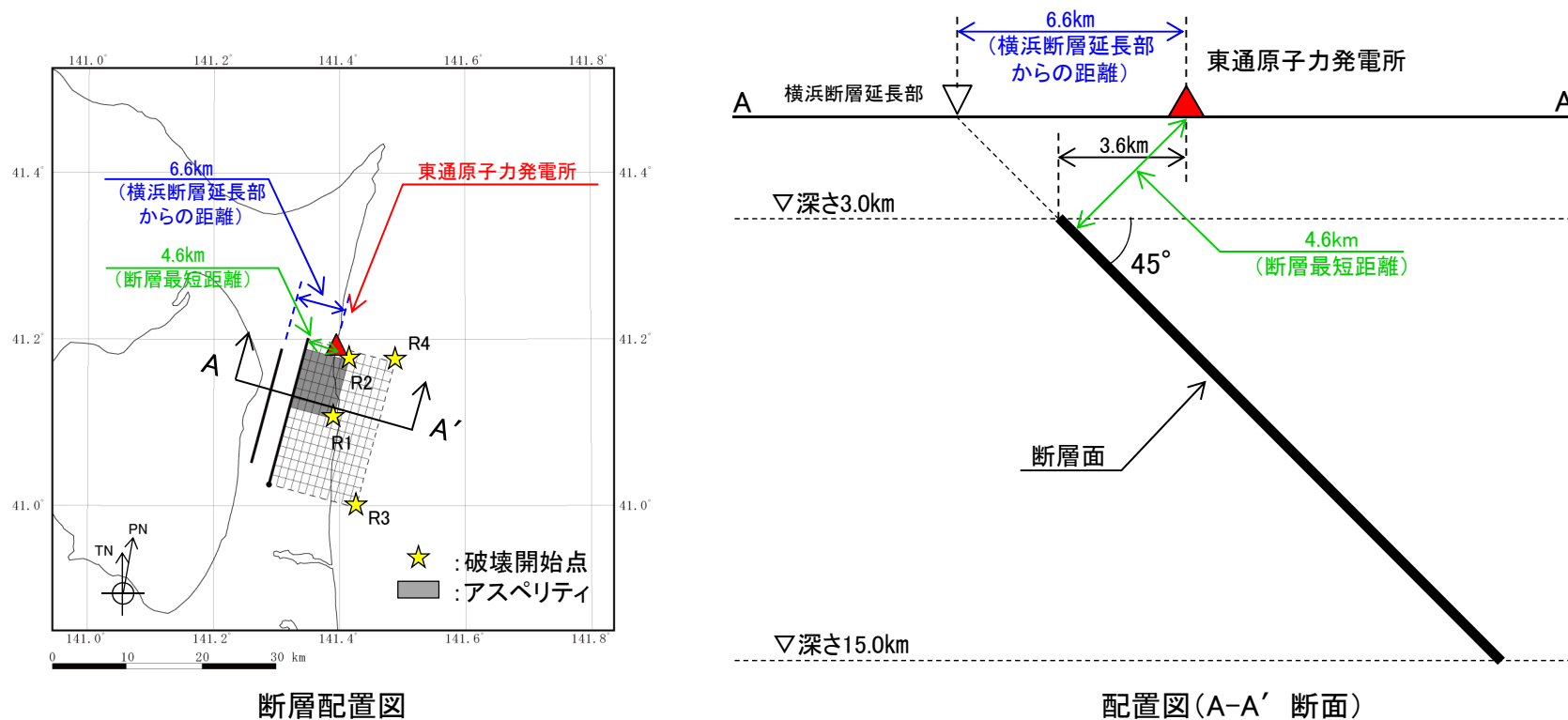
「横浜断層による地震」の断層モデル(ケース2-1)

「横浜断層による地震」の断層諸元(ケース2-1)

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2-1(東傾斜)	20.0	6.8	6.4	9	5.7

5.4 横浜断層の断層モデルの設定

(4) 横浜断層(東傾斜)の断層モデル ②ケース2-2



「横浜断層による地震」の断層モデル(ケース2-2)

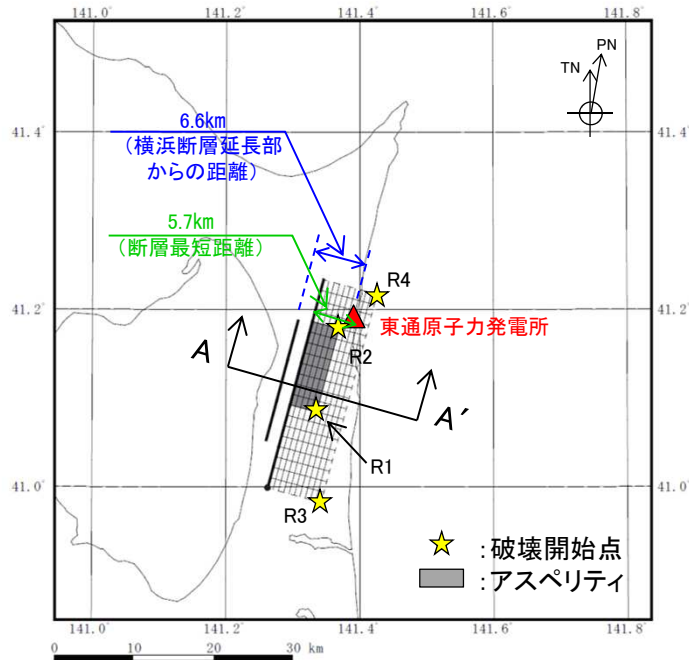
「横浜断層による地震」の断層諸元(ケース2-2)

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2-2(東傾斜・応力降下量)	20.0	6.9	6.5	8	4.6

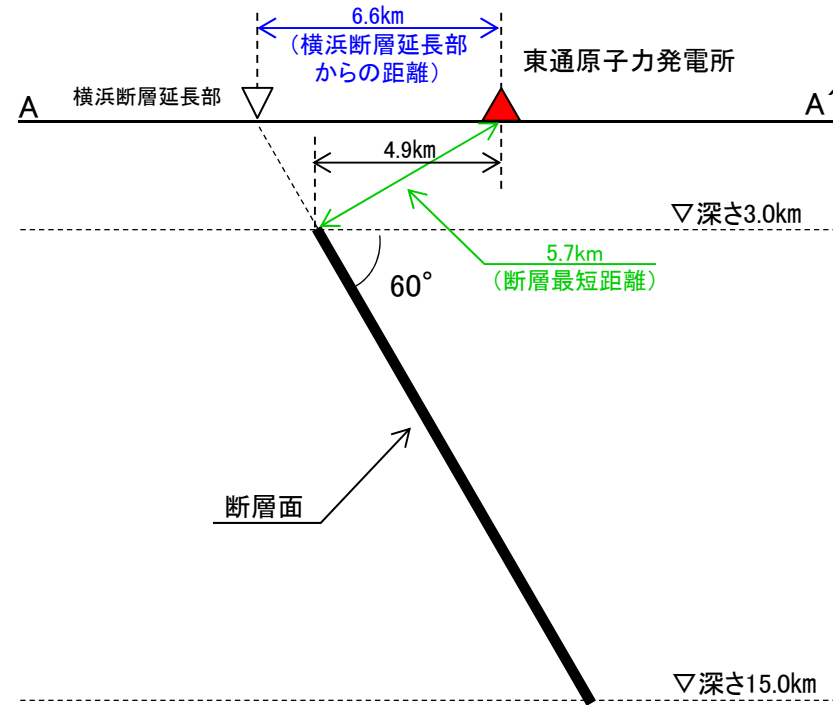
5.4 横浜断層の断層モデルの設定

(5) 横浜断層(東傾斜・規模)の断層モデル ケース3-1及びケース3-2

S188



断層配置図



配置図(A-A' 断面)

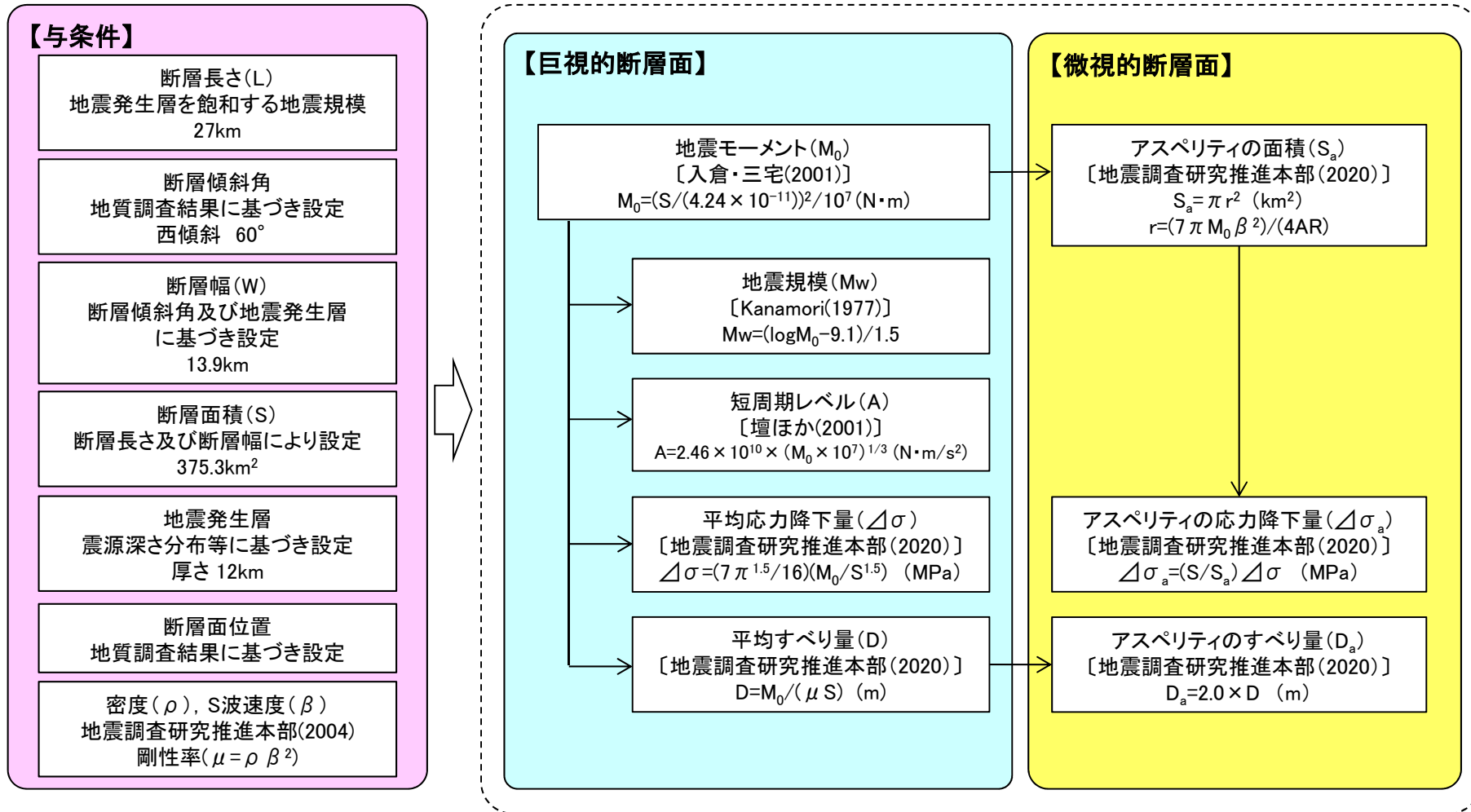
「横浜断層による地震」の断層モデル(ケース3-1及びケース3-2)

「横浜断層による地震」の断層諸元(ケース3-1及びケース3-2)

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)
ケース3-1(東傾斜・規模) ケース3-2(東傾斜・規模・応力降下量)	27.0	7.0	6.5	10	5.7

5.4 横浜断層の断層モデルの設定

(6)断層パラメータ設定フロー ①横浜断層(西傾斜)(ケース1-1及びケース1-2)

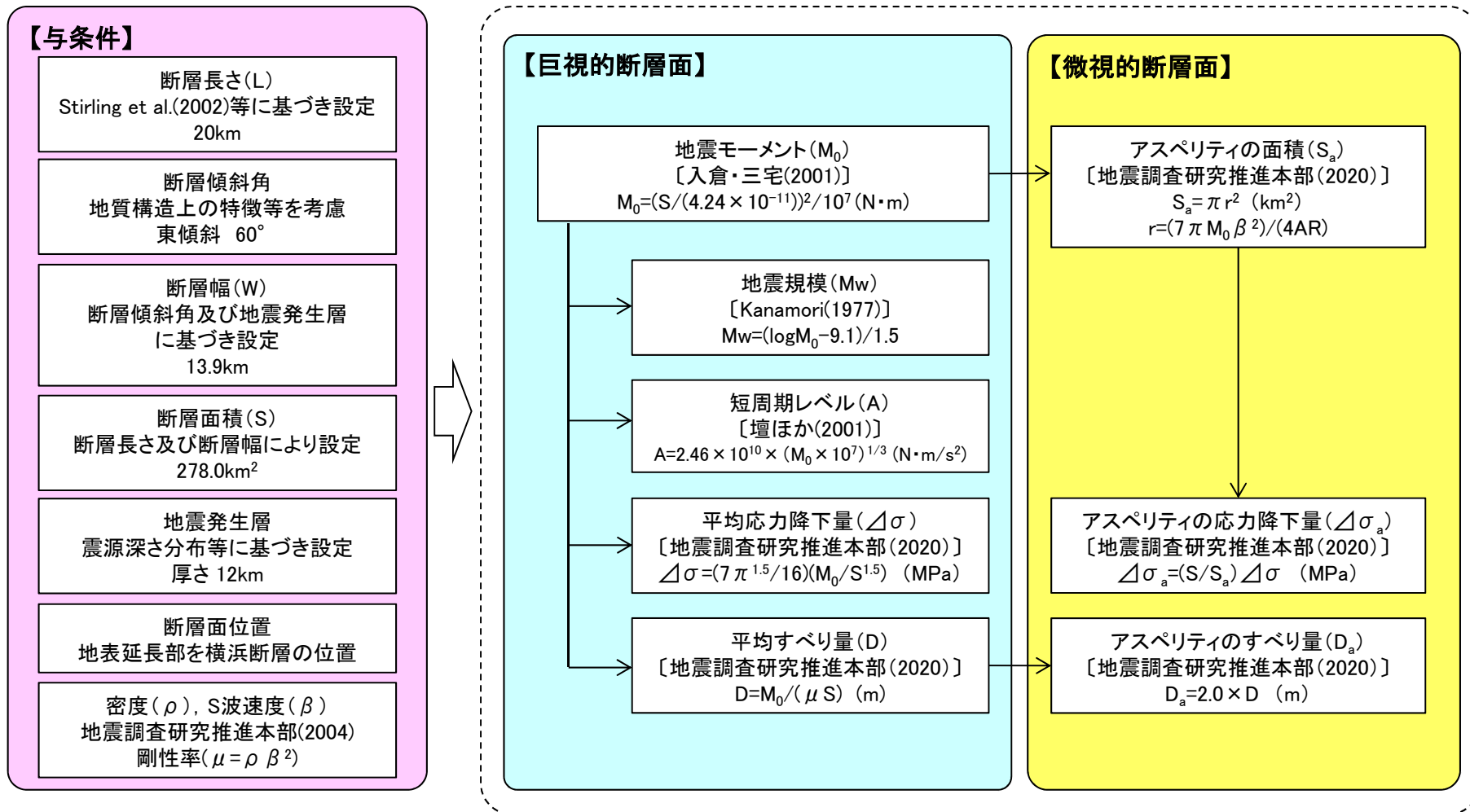


※ケース1-2(西傾斜・応力降下量)では, $\Delta\sigma_a$ を1.5倍にする。

5.4 横浜断層の断層モデルの設定

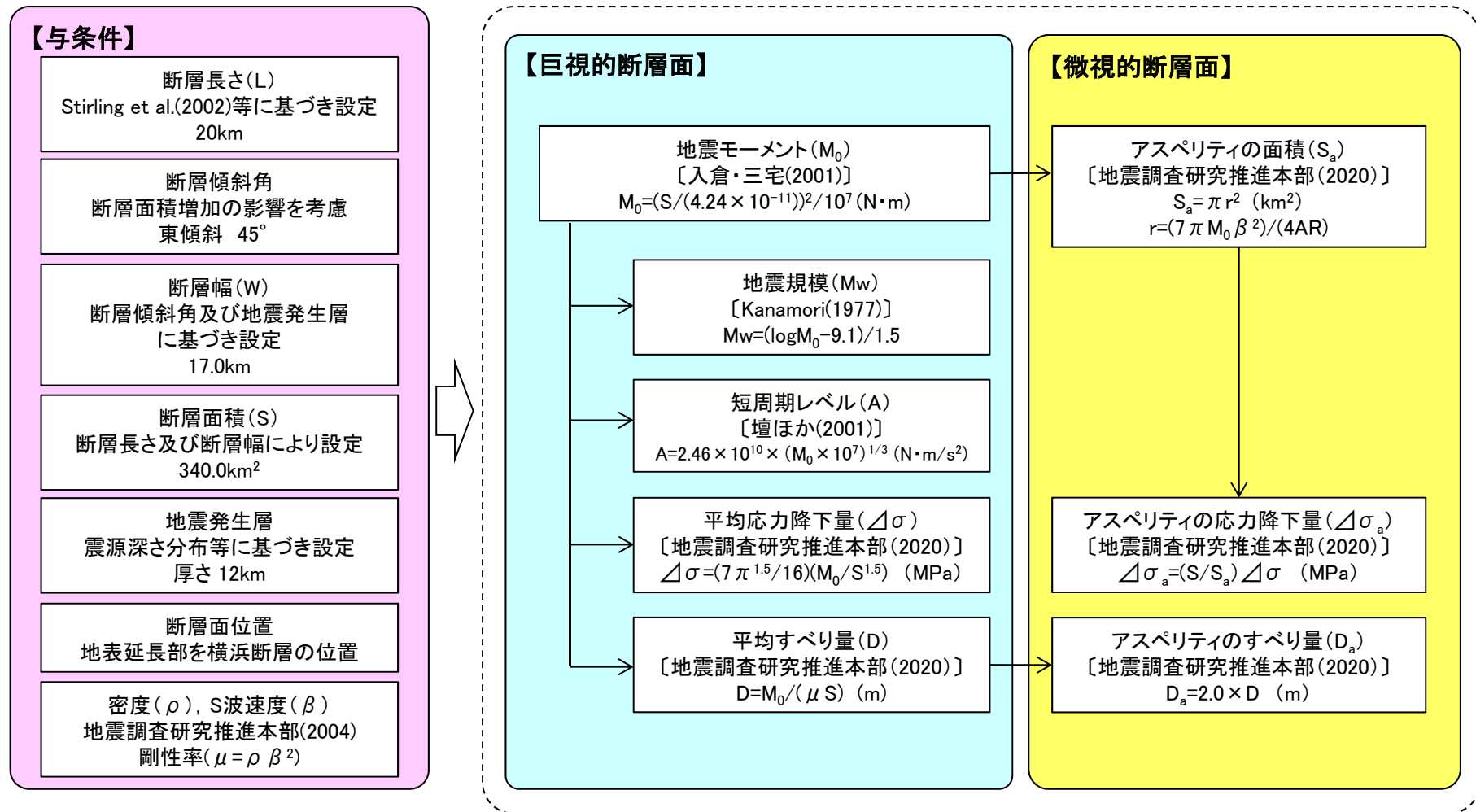
(6)断層パラメータ設定フロー ②横浜断層(東傾斜)(ケース2-1)

S188



5.4 横浜断層の断層モデルの設定

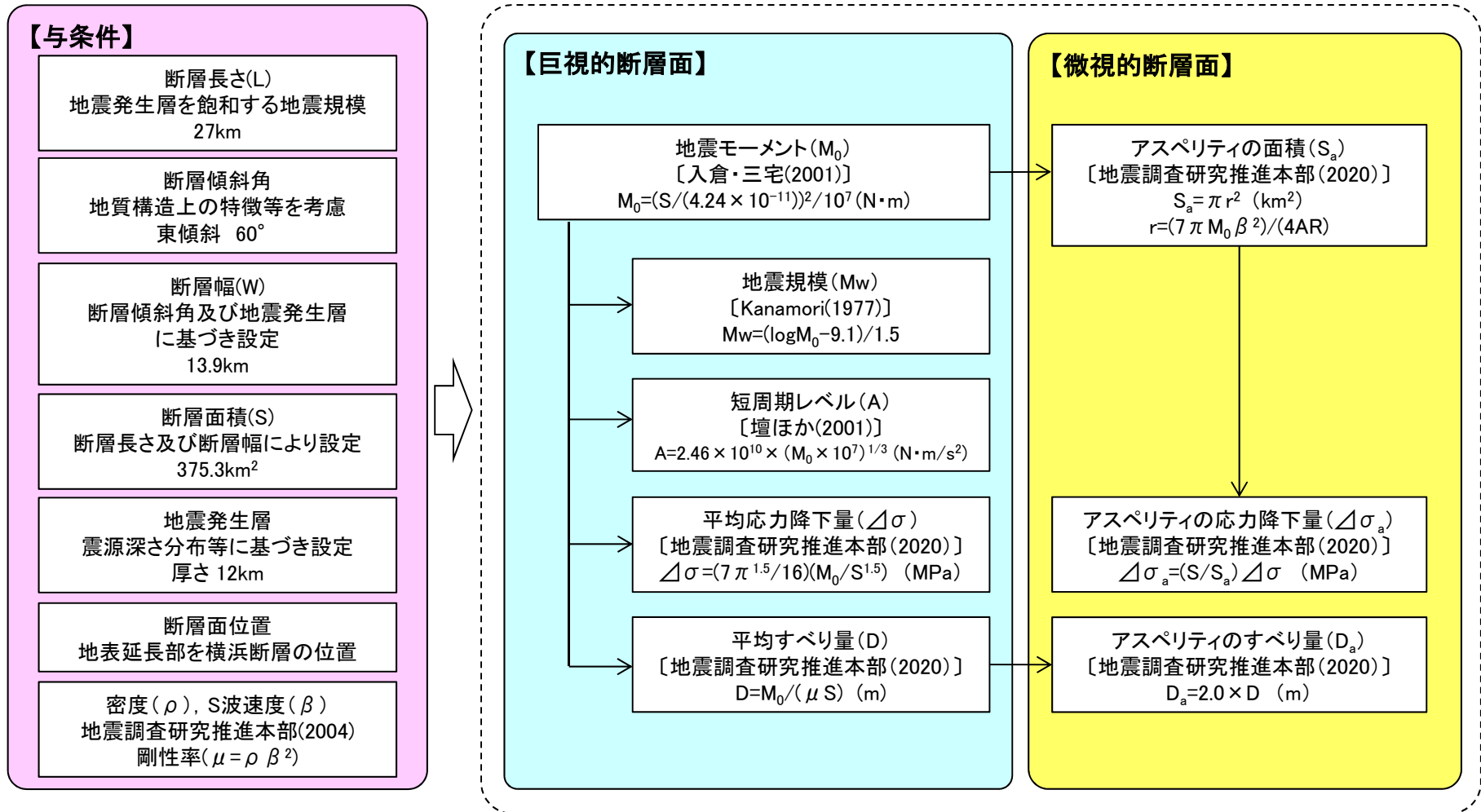
(6)断層パラメータ設定フロー ③横浜断層(東傾斜・応力降下量)(ケース2-2)



5.4 横浜断層の断層モデルの設定

(6)断層パラメータ設定フロー ④横浜断層(東傾斜・規模)(ケース3-1及びケース3-2)

S188



※ケース3-2(東傾斜・規模・応力降下量)では、 $\Delta\sigma_a$ を1.5倍にする。

5.4 横浜断層の断層モデルの設定 (7)断層パラメータ

S188

断層パラメータ	記号	単位	設定方法	基本ケース (ケース1-1) (西傾斜)	ケース1-2 (西傾斜・応力降下量)	ケース2-1 (東傾斜)	ケース2-2 (東傾斜・ 応力降下量)	ケース3-1 (東傾斜・規模)	ケース3-2 (東傾斜・規模・ 応力降下量)
巨視的断層面	走向	θ	°	設定	195	←	15	←	←
	断層傾斜角	δ	°	設定	西傾斜 60	←	東傾斜 60	東傾斜 45	東傾斜 60
	断層長さ	L	km	設定	27.0	←	20.0	←	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	←	←	17.0	13.9
	断層面積	S	km ²	S=L×W	375.3	←	278.0	340.0	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}	←	4.30×10^{18}	6.43×10^{18}	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	←	6.8	6.9	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)]	6.5	←	6.4	6.5	6.5
	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	←	0.449	0.549	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	←	2.26	2.50	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}	←	8.62×10^{18}	9.86×10^{18}	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	←	3.74	4.40	4.80
	地震モーメント	M_{0a}	Nm	$M_{0a} = \mu D_a S_a$	3.02×10^{18}	←	1.36×10^{18}	2.32×10^{18}	3.02×10^{18}
	面積	S_a	km ²	$S_a = \pi r^2$	72.3	←	43.9	61.4	72.3
	平均すべり量	D_a	m	$D_a = 2D$	1.211	←	0.897	1.097	1.211
	応力降下量	$\Delta\sigma_a$	MPa	$\Delta\sigma_a = (S/S_a)\Delta\sigma$	13.62	20.43	14.32	13.85	13.62
短周期レベル	A_a	Nm/s ²	$A_a = 4\pi(S/\pi)^{0.5}\Delta\sigma_a\beta^2$	1.05×10^{19}	1.58×10^{19}	8.62×10^{18}	9.86×10^{18}	1.05×10^{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}	←	2.94×10^{18}	4.11×10^{18}	4.81×10^{18}
	面積	S_b	km ²	$S_b = S - S_a$	303.0	←	234.1	278.6	303.0
	平均すべり量	D_b	m	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$	0.461	←	0.365	0.428	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	2.77	2.49	3.17
Q値	Q	—	川瀬・松尾(2004)	243 ^{0.69}	←	←	←	←	

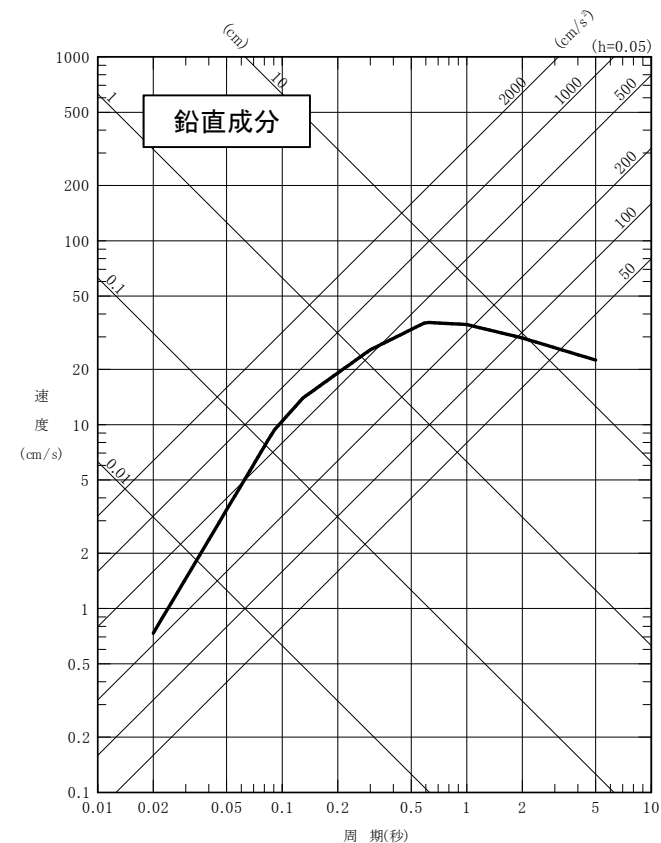
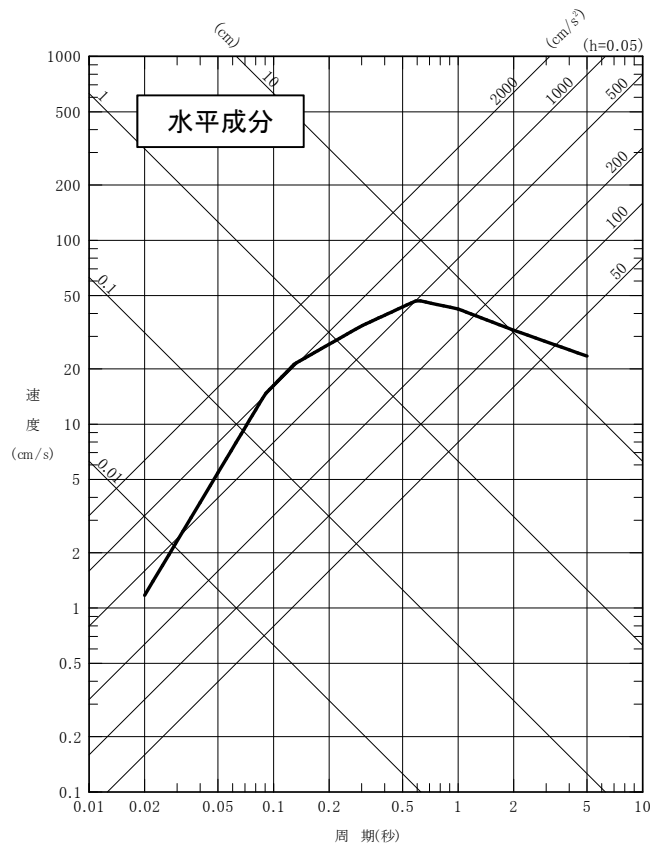
5.5 「横浜断層による地震」の地震動評価

(1) 応答スペクトルに基づく手法 ①横浜断層(西傾斜)

S187

- 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4参照。)

— : ケース1-1(西傾斜)及びケース1-2(西傾斜・応力降下量)(M7.0, $X_{eq}=14\text{km}$)



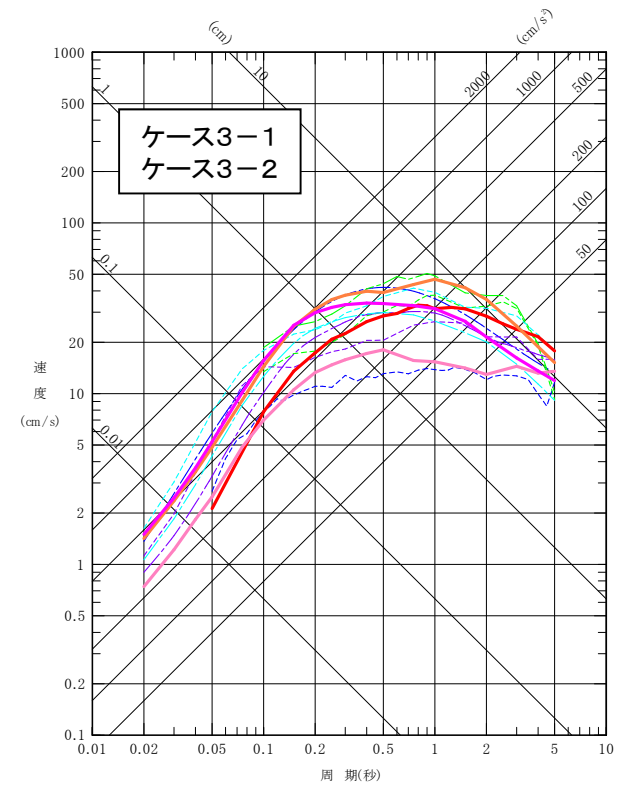
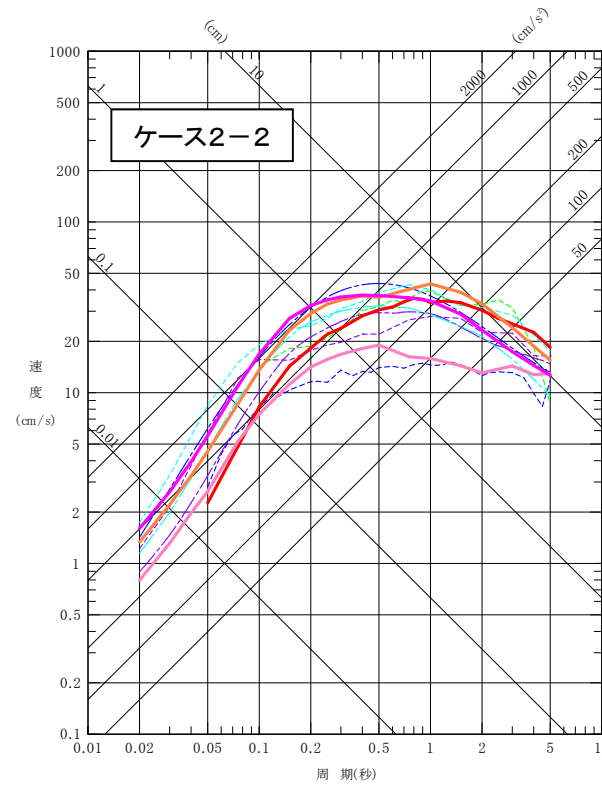
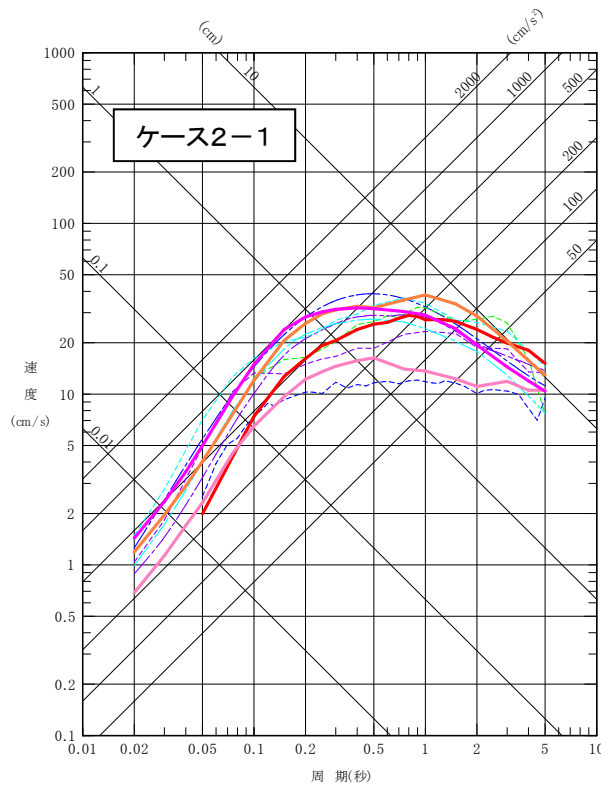
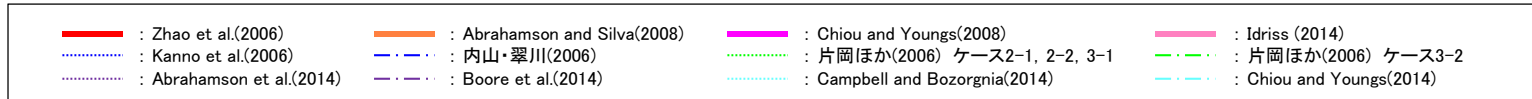
応答スペクトルに基づく地震動評価 「横浜断層による地震」(西傾斜)[Noda et al.(2002)]

5.5 「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 ②横浜断層(東傾斜)(東傾斜・規模)

S188

- 東傾斜の「横浜断層による地震」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、東通の地盤条件に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(補足説明資料3章1参照)。



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」(東傾斜)(東傾斜・規模)(水平)

5.5 「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応答スペクトル

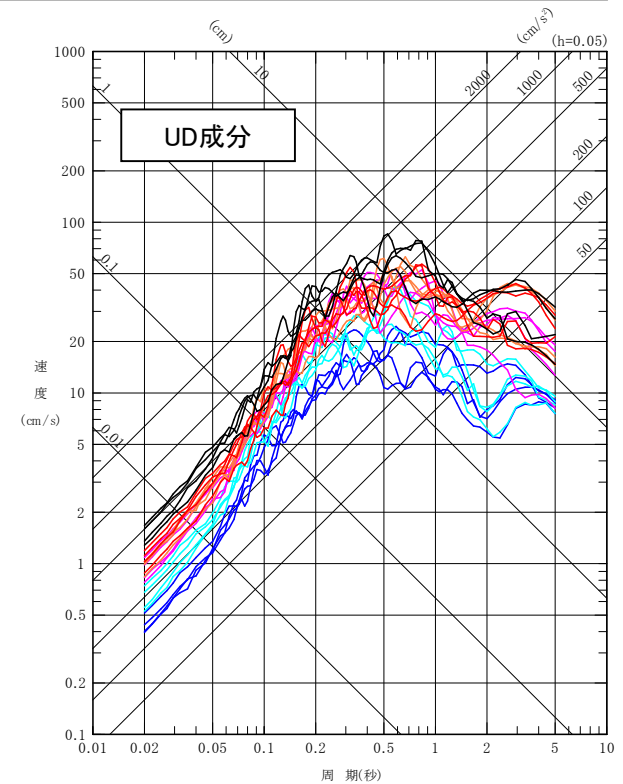
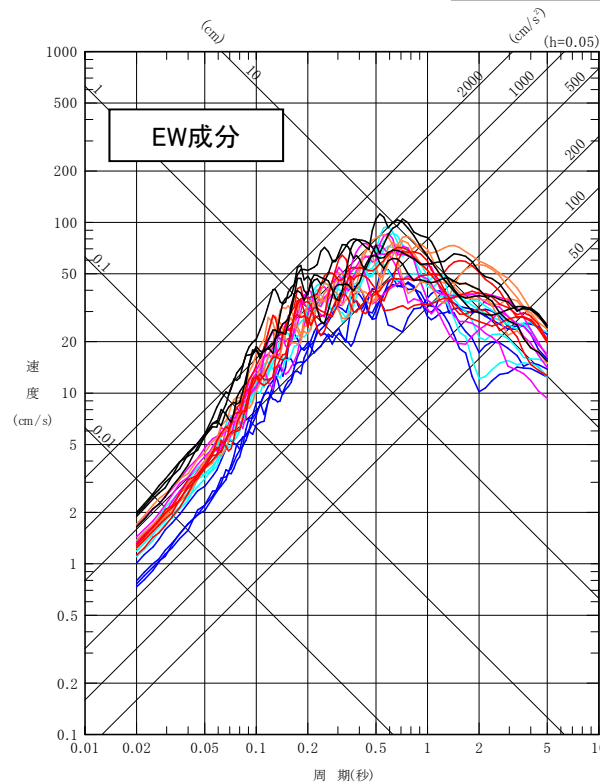
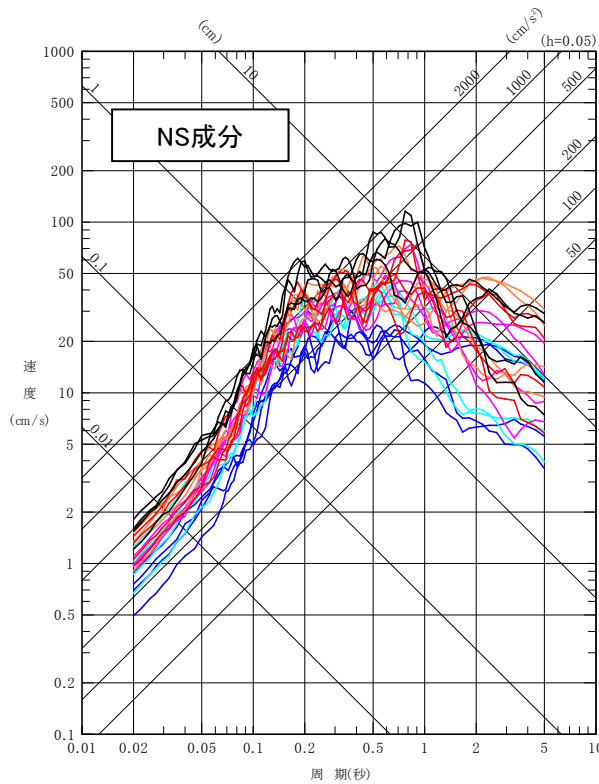
S188

- ケース3では、統計的グリーン関数法^{*1}と理論的手法の比較を行い、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5参照)]ことから、ハイブリッド合成法^{*2}による地震動評価を採用した。
- ケース2, ケース3は陸奥湾側に想定される東傾斜の地震を横浜断層の位置に近づけ、さらに地震規模や応力降下量の不確かさを考慮したため、算定された応答スペクトルは活断層を伴わない地震が敷地近傍で発生した場合の影響を上回るものとなっている(補足説明資料3章6参照)。

※1: 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。

※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。

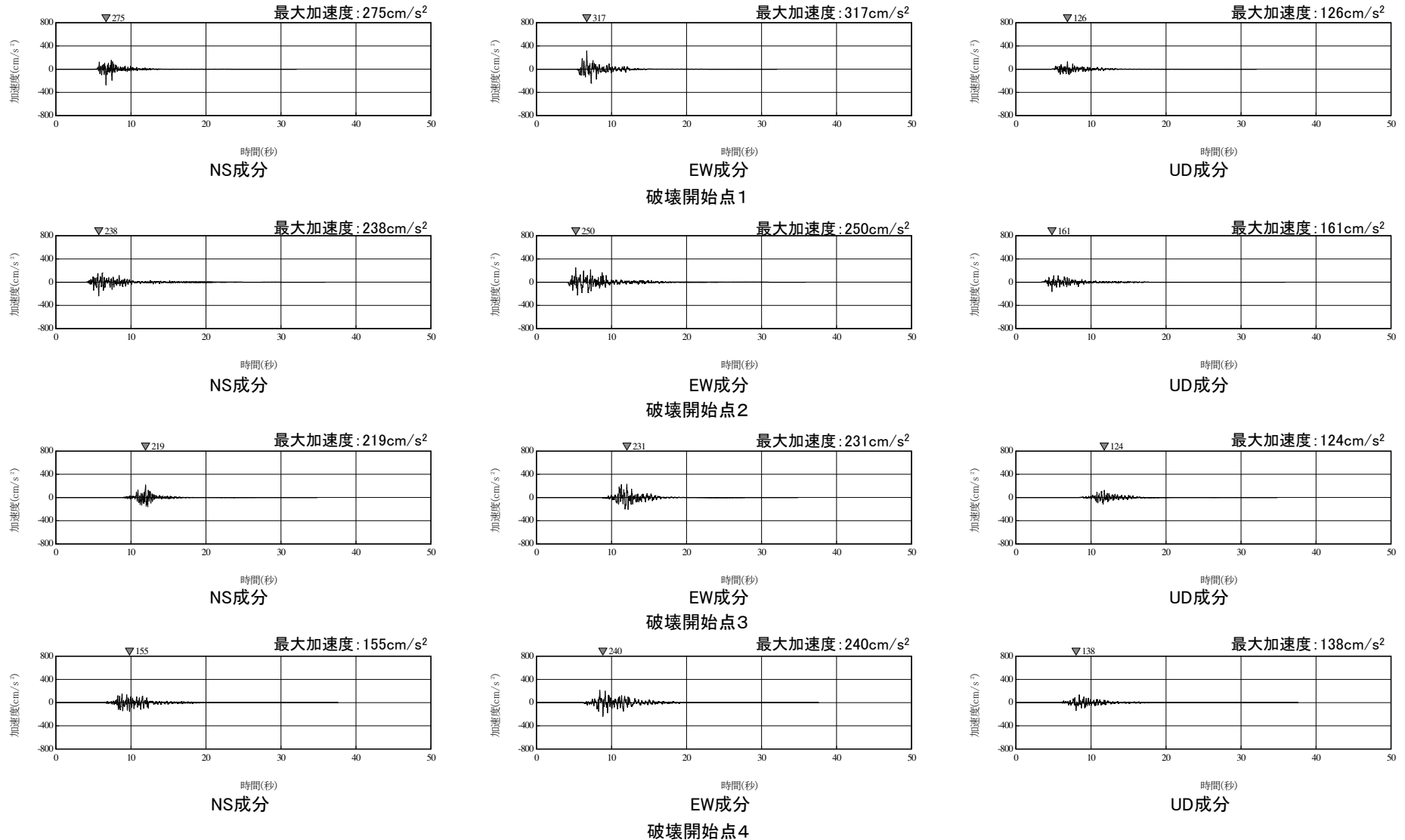
— : ケース1-1(西傾斜), 統計的グリーン関数法
— : ケース1-2(西傾斜・応力降下量), 統計的グリーン関数法
— : ケース2-1(東傾斜), 統計的グリーン関数法
— : ケース2-2(東傾斜・応力降下量), 統計的グリーン関数法
— : ケース3-1(東傾斜・規模), ハイブリッド合成法
— : ケース3-2(東傾斜・規模・応力降下量), ハイブリッド合成法



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」(西傾斜及び東傾斜) (PN基準)

余 白

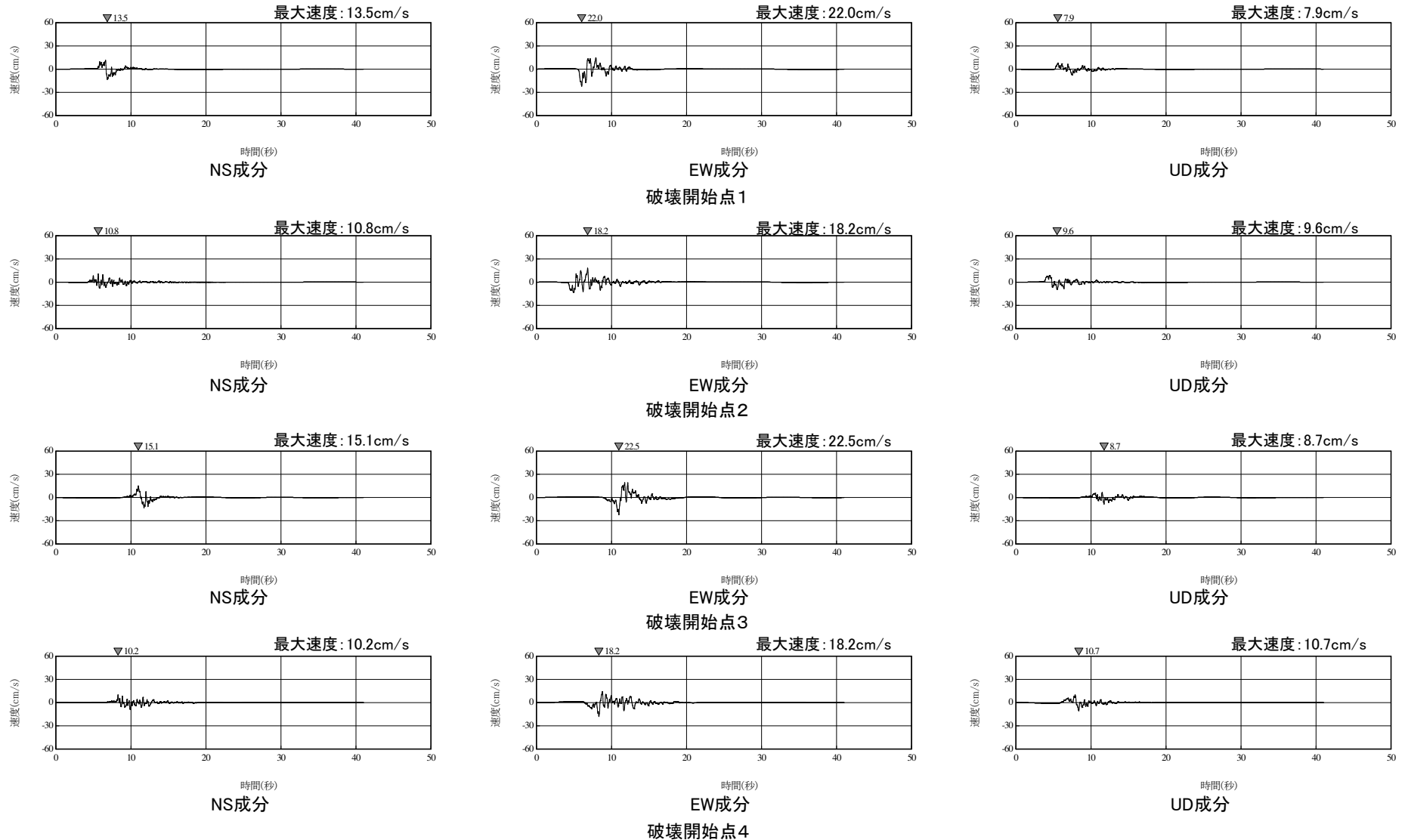
5.5 「横浜断層による地震」の地震動評価 (2)断層モデルを用いた手法 ②横浜断層(西傾斜)(ケース1-1)の加速度波形



「横浜断層による地震」(西傾斜)(ケース1-1)の断層モデルを用いた手法による加速度波形(PN基準)

5.5 「横浜断層による地震」の地震動評価

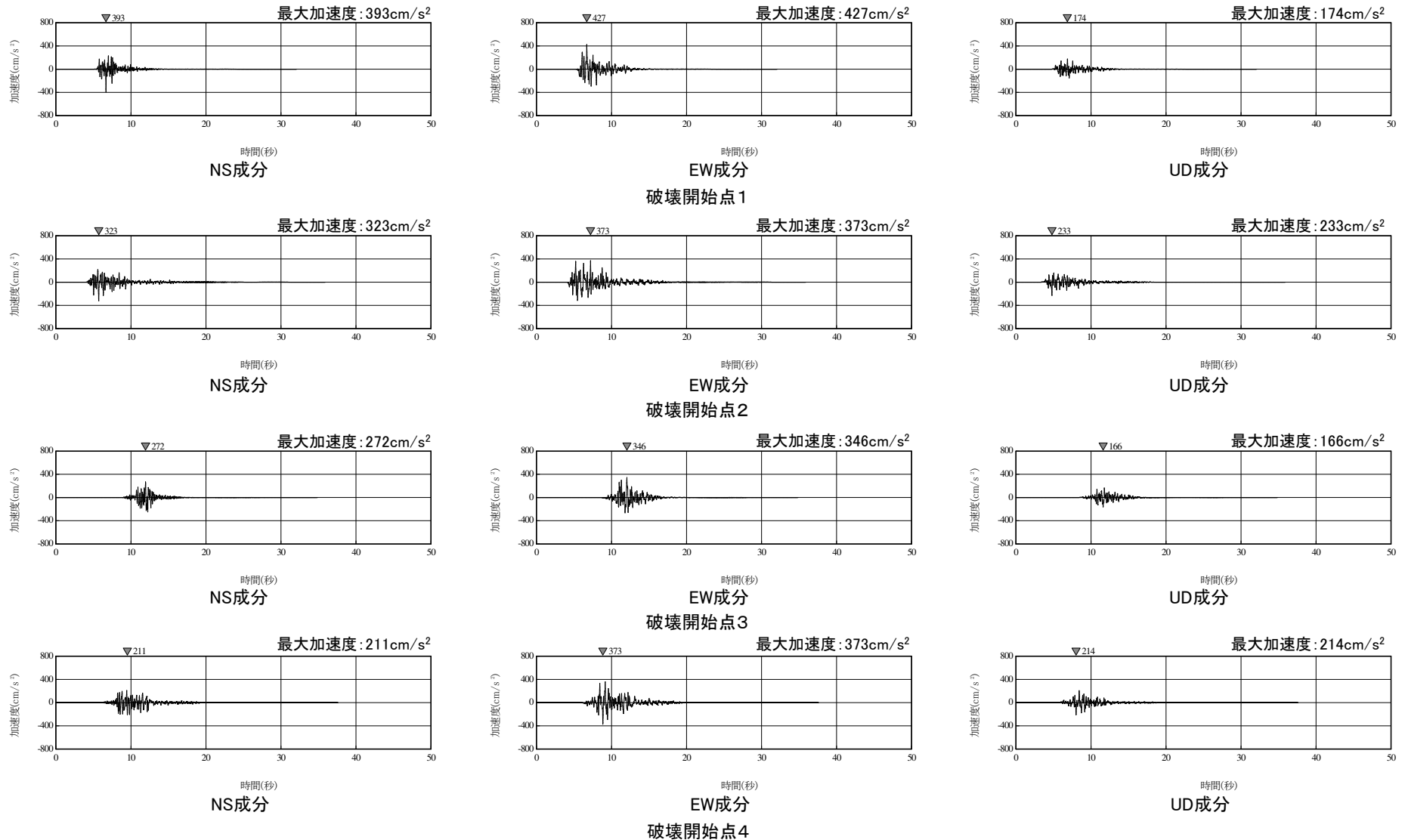
(2) 断層モデルを用いた手法 ②横浜断層(西傾斜)(ケース1-1)の速度波形



「横浜断層による地震」(西傾斜)(ケース1-1)の断層モデルを用いた手法による速度波形(PN基準)

5.5 「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 ③横浜断層(西傾斜・応力降下量)(ケース1-2)の加速度波形

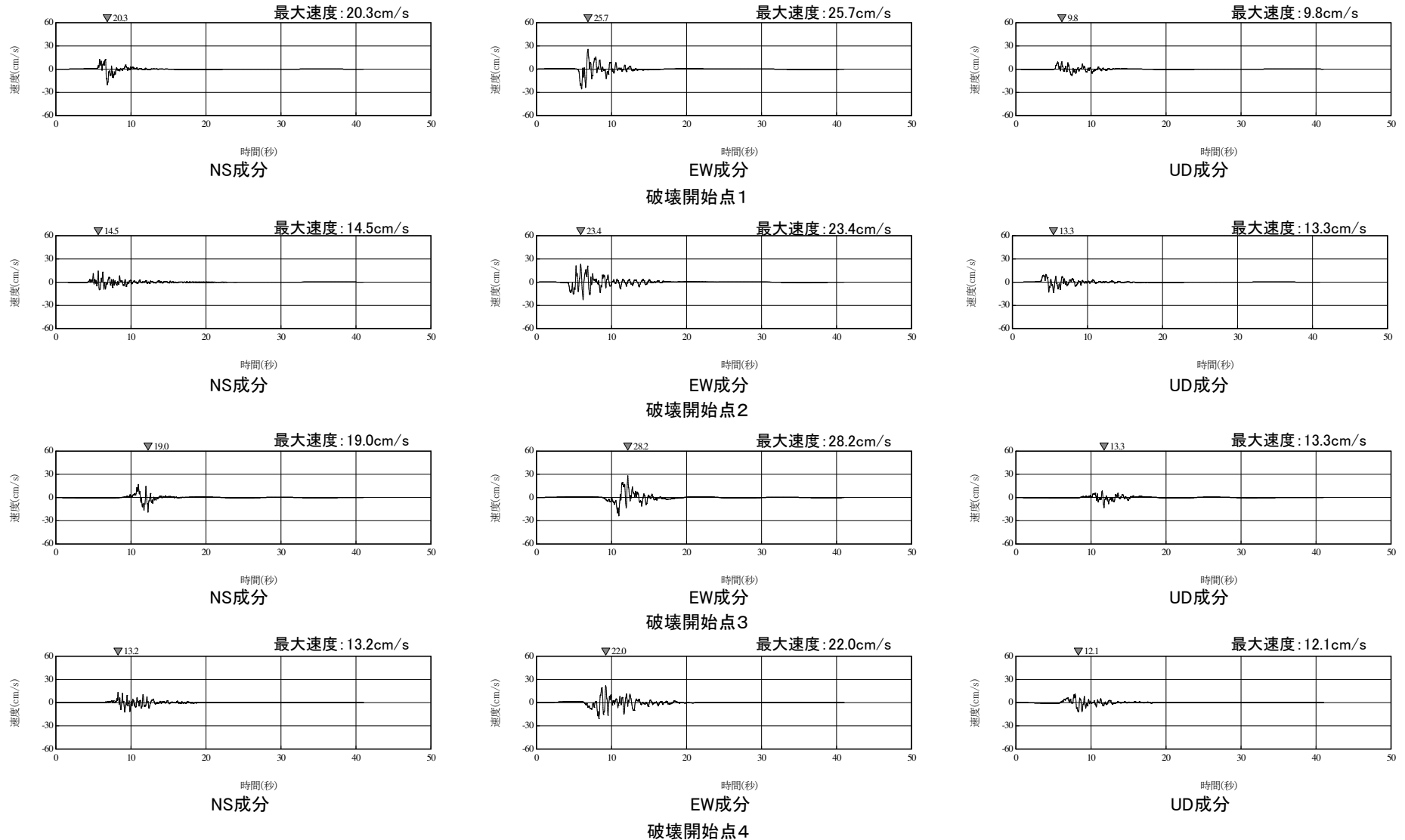


「横浜断層による地震」(西傾斜・応力降下量)(ケース1-2)の断層モデルを用いた手法による加速度波形(PN基準)

5.5 「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 ③横浜断層(西傾斜・応力降下量)(ケース1-2)の速度波形

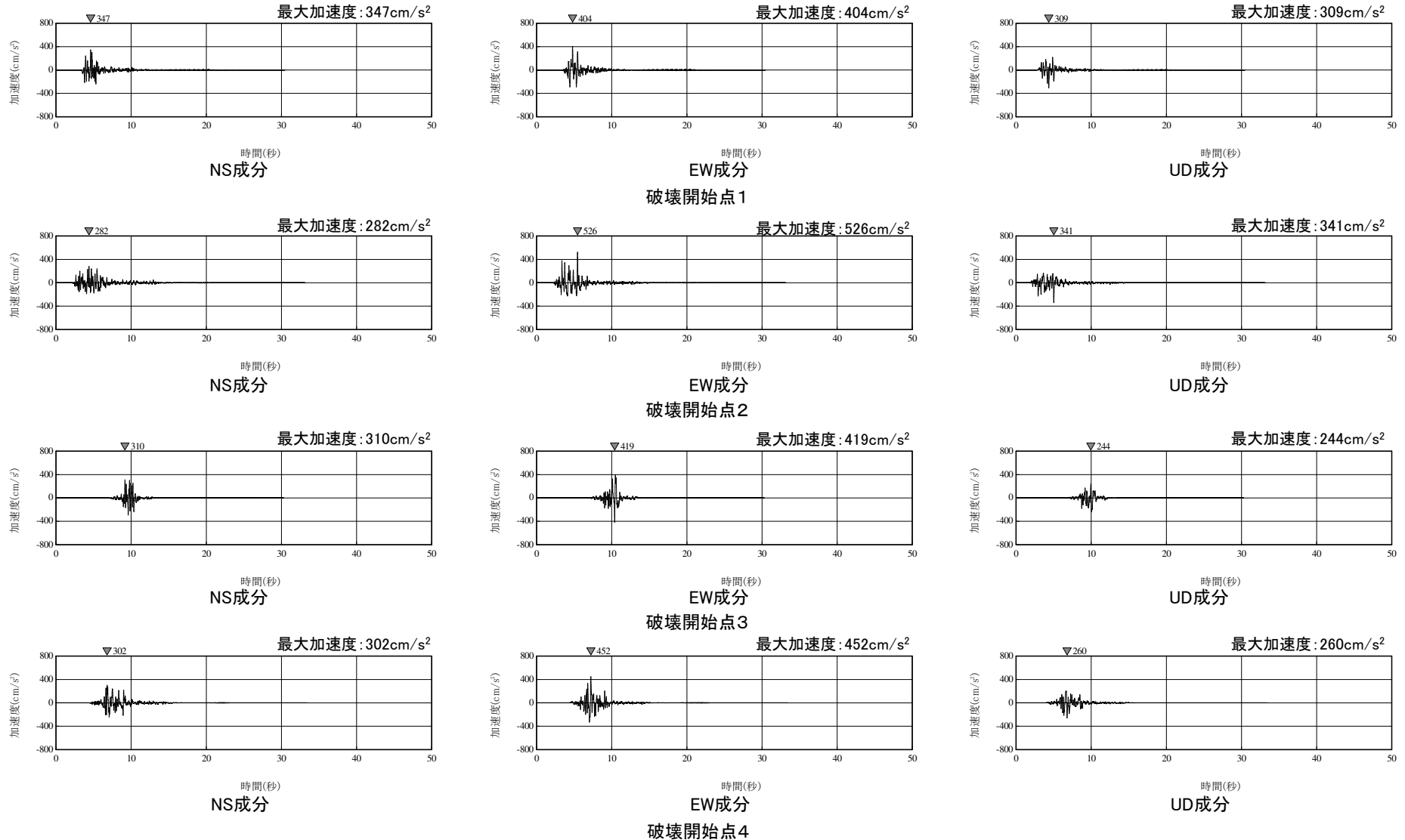
S189



「横浜断層による地震」(西傾斜・応力降下量)(ケース1-2)の断層モデルを用いた手法による速度波形(PN基準)

5.5 「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 ④横浜断層(東傾斜)(ケース2-1)の加速度波形

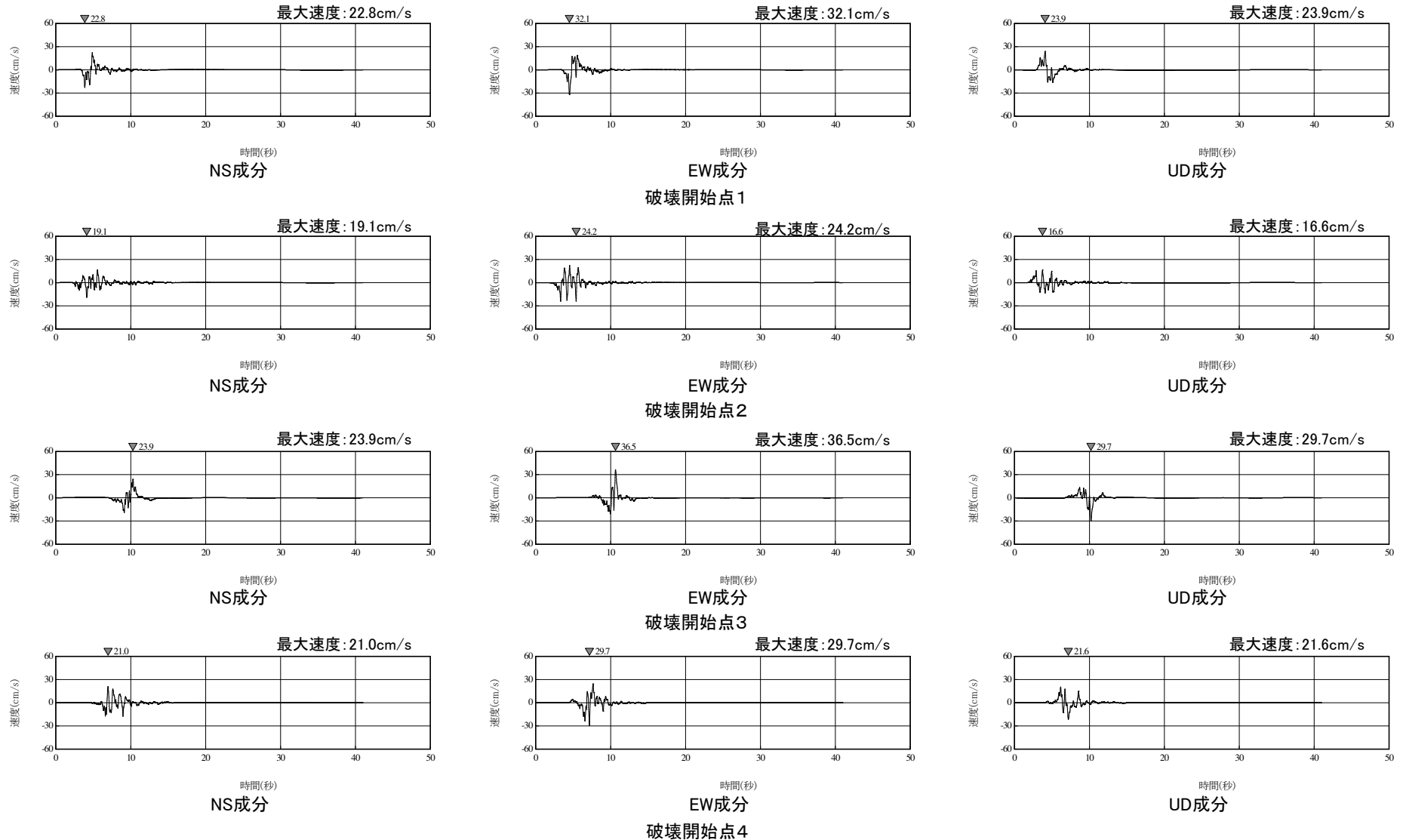


「横浜断層による地震」(東傾斜)(ケース2-1)の断層モデルを用いた手法による加速度波形(PN基準)

5.5 「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 ④横浜断層(東傾斜)(ケース2-1)の速度波形

S188 S189

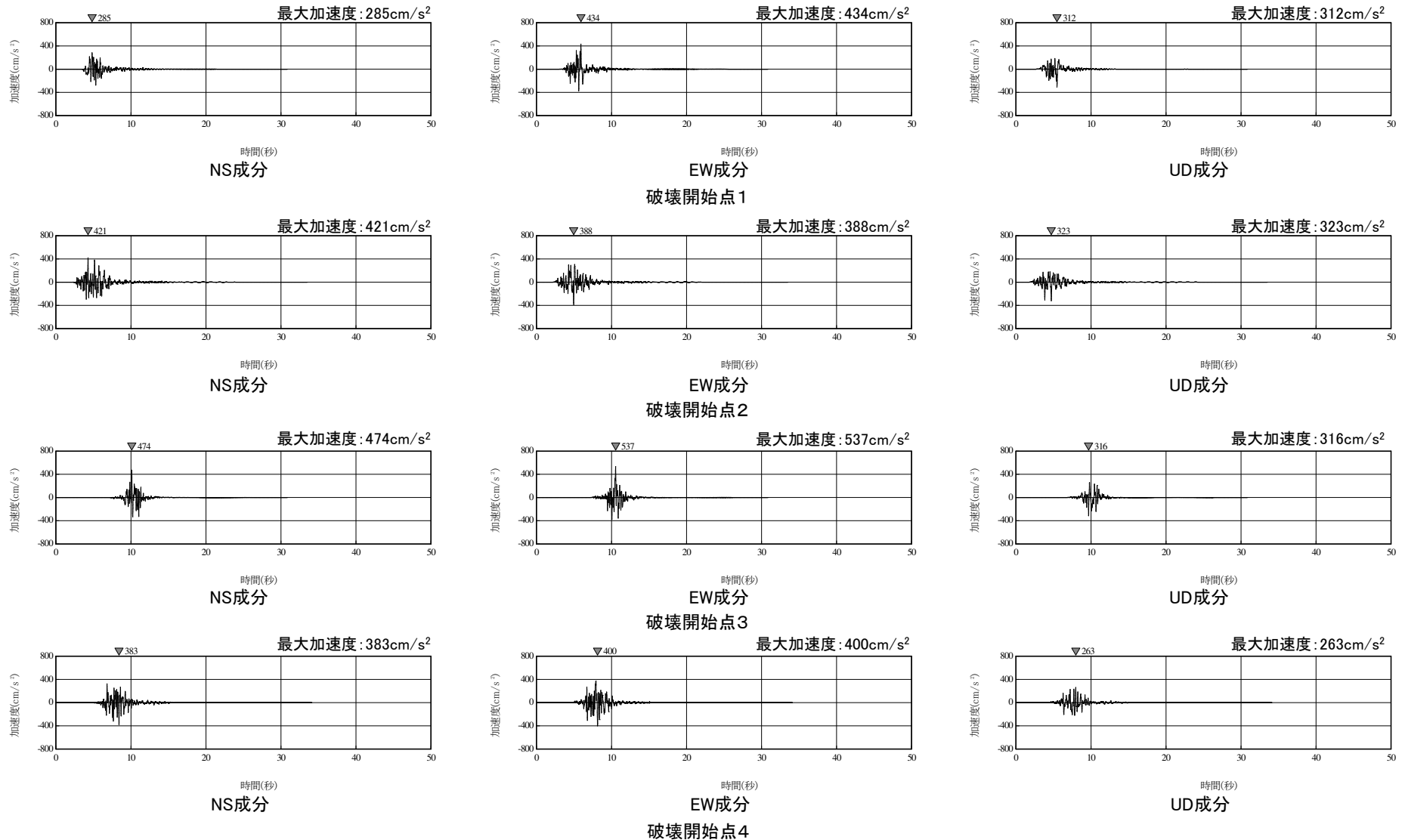


「横浜断層による地震」(東傾斜)(ケース2-1)の断層モデルを用いた手法による速度波形(PN基準)

5.5 「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 ⑤横浜断層(東傾斜・応力降下量)(ケース2-2)の加速度波形

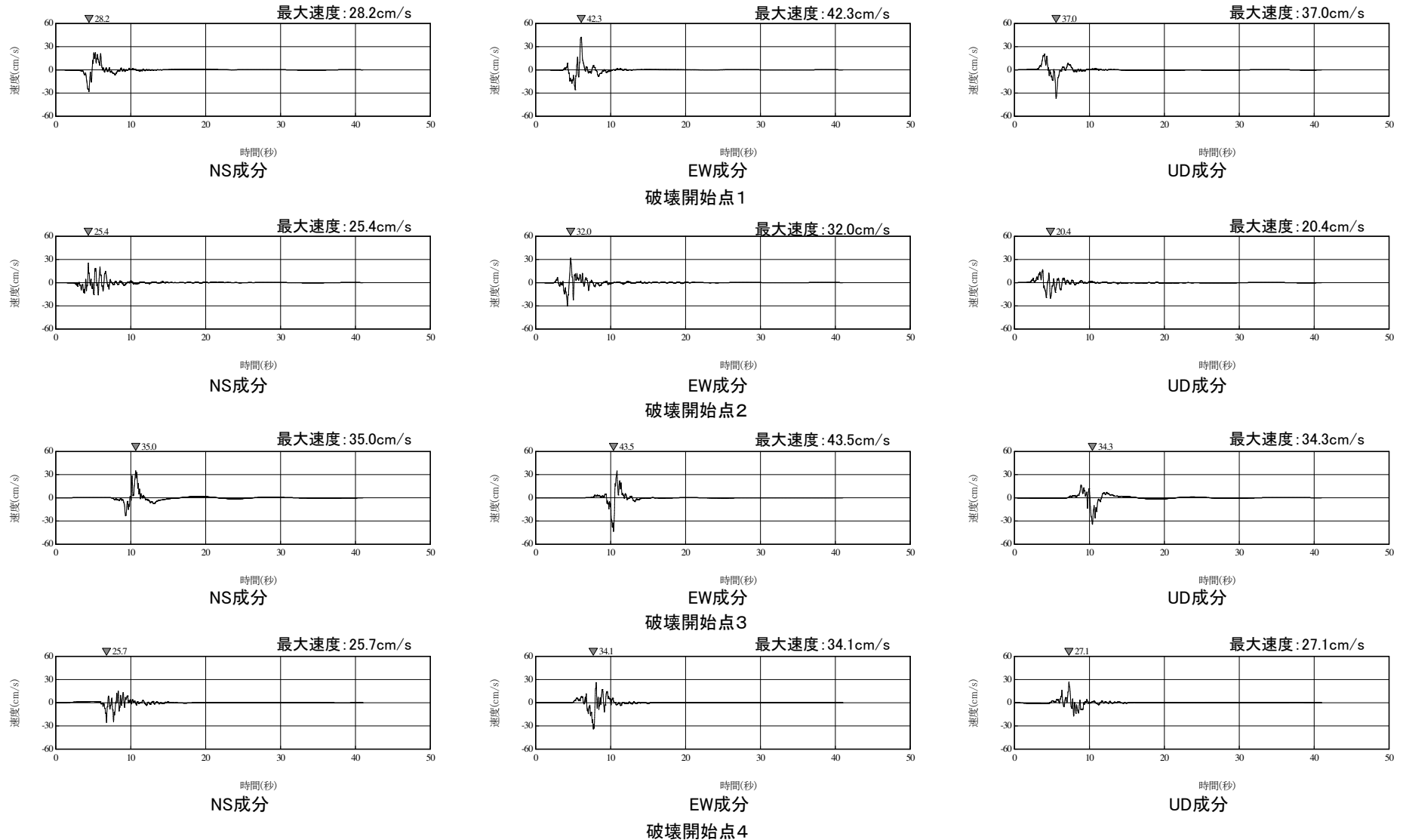
S188



「横浜断層による地震」(東傾斜・応力降下量)(ケース2-2)の断層モデルを用いた手法による加速度波形(PN基準)

5.5 「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 ⑤横浜断層(東傾斜・応力降下量)(ケース2-2)の速度波形

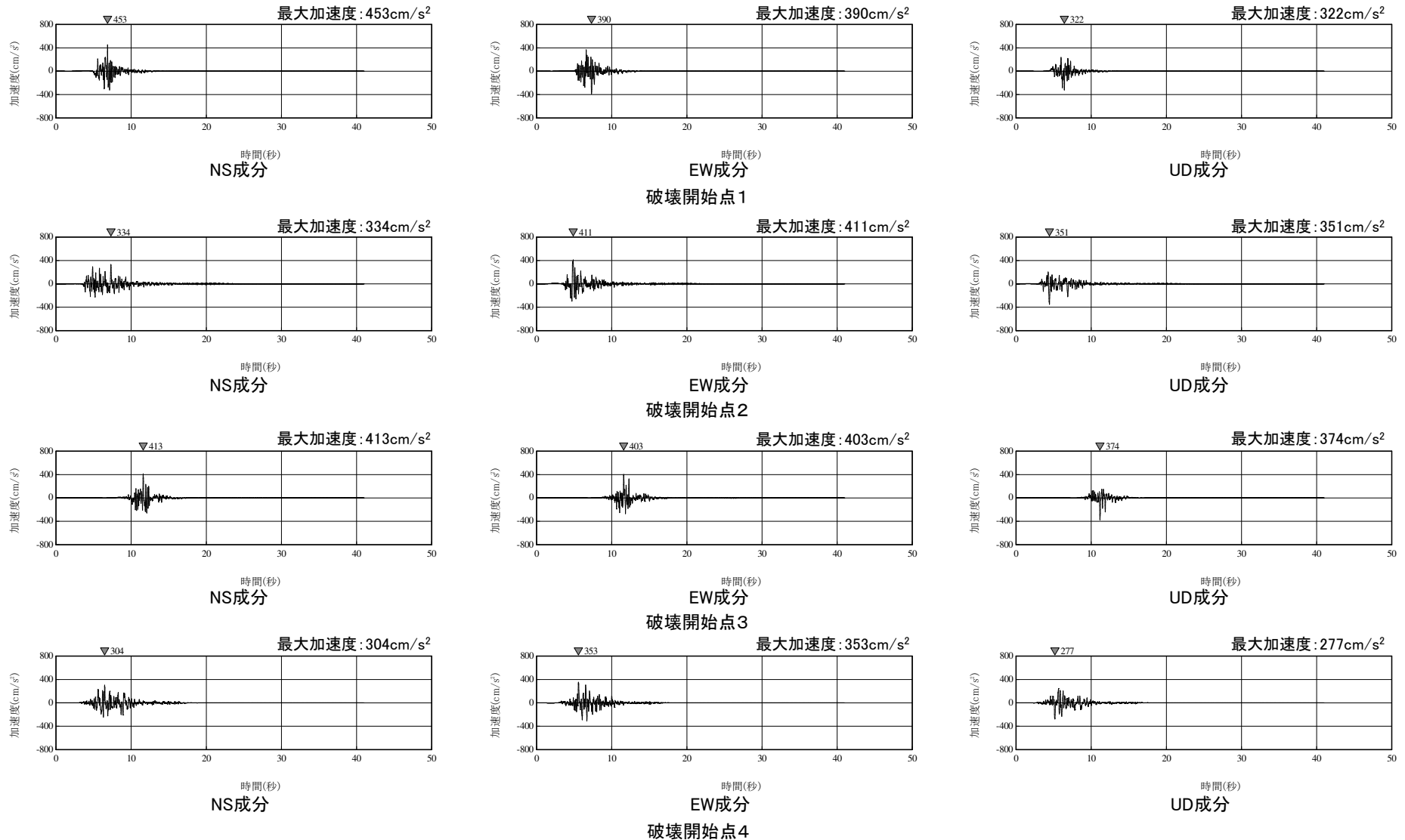
S188 **S189**


「横浜断層による地震」(東傾斜・応力降下量)(ケース2-2)の断層モデルを用いた手法による速度波形(PN基準)

5.5 「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 ⑥横浜断層(東傾斜・規模)(ケース3-1)の加速度波形

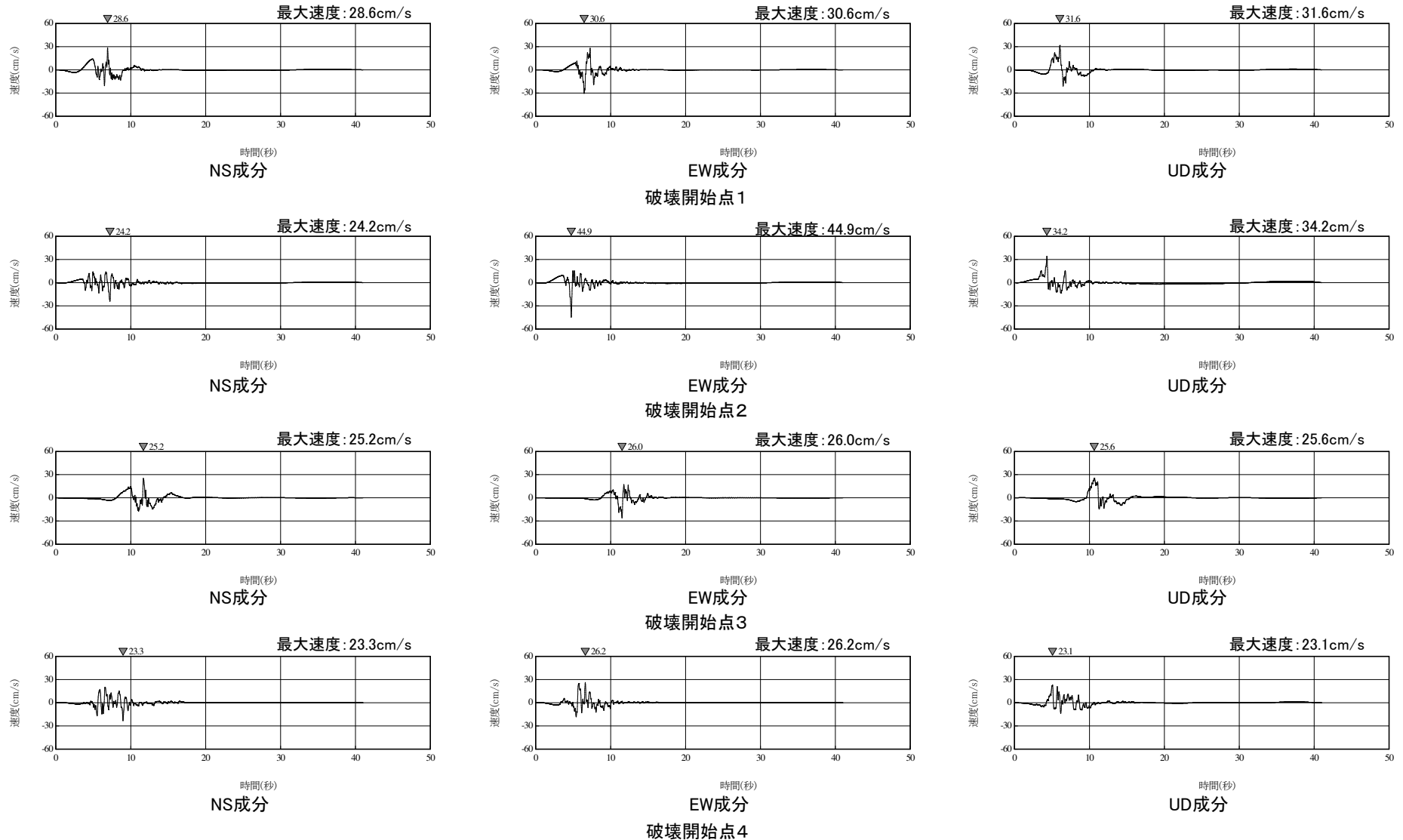
S188



「横浜断層による地震」(東傾斜・規模)(ケース3-1)の断層モデルを用いた手法による加速度波形(PN基準)

5.5 「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 ⑥横浜断層(東傾斜・規模)(ケース3-1)の速度波形

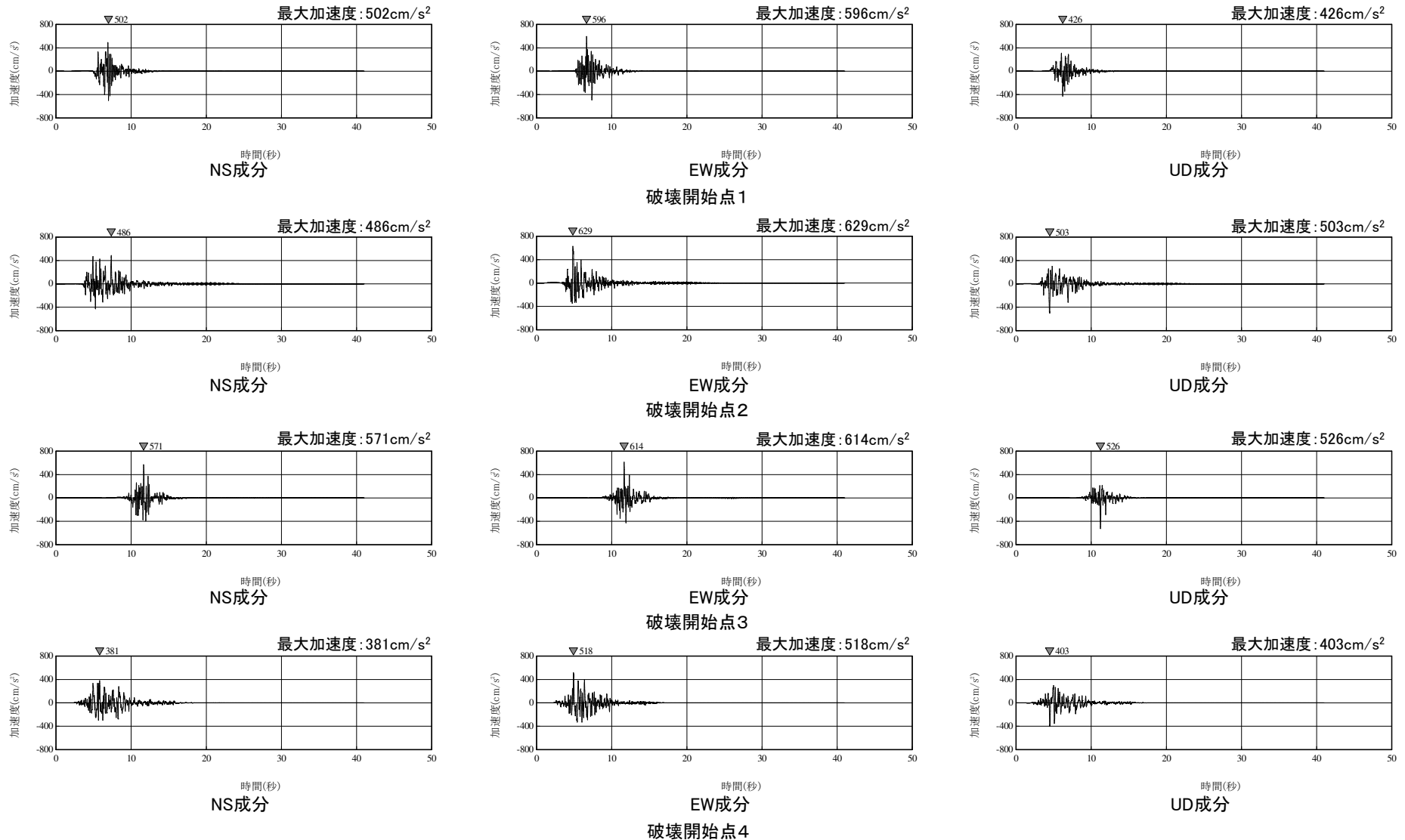
S188 S189


「横浜断層による地震」(東傾斜・規模)(ケース3-1)の断層モデルを用いた手法による速度波形(PN基準)

5.5 「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 ⑦横浜断層(東傾斜・規模・応力降下量)(ケース3-2)の加速度波形

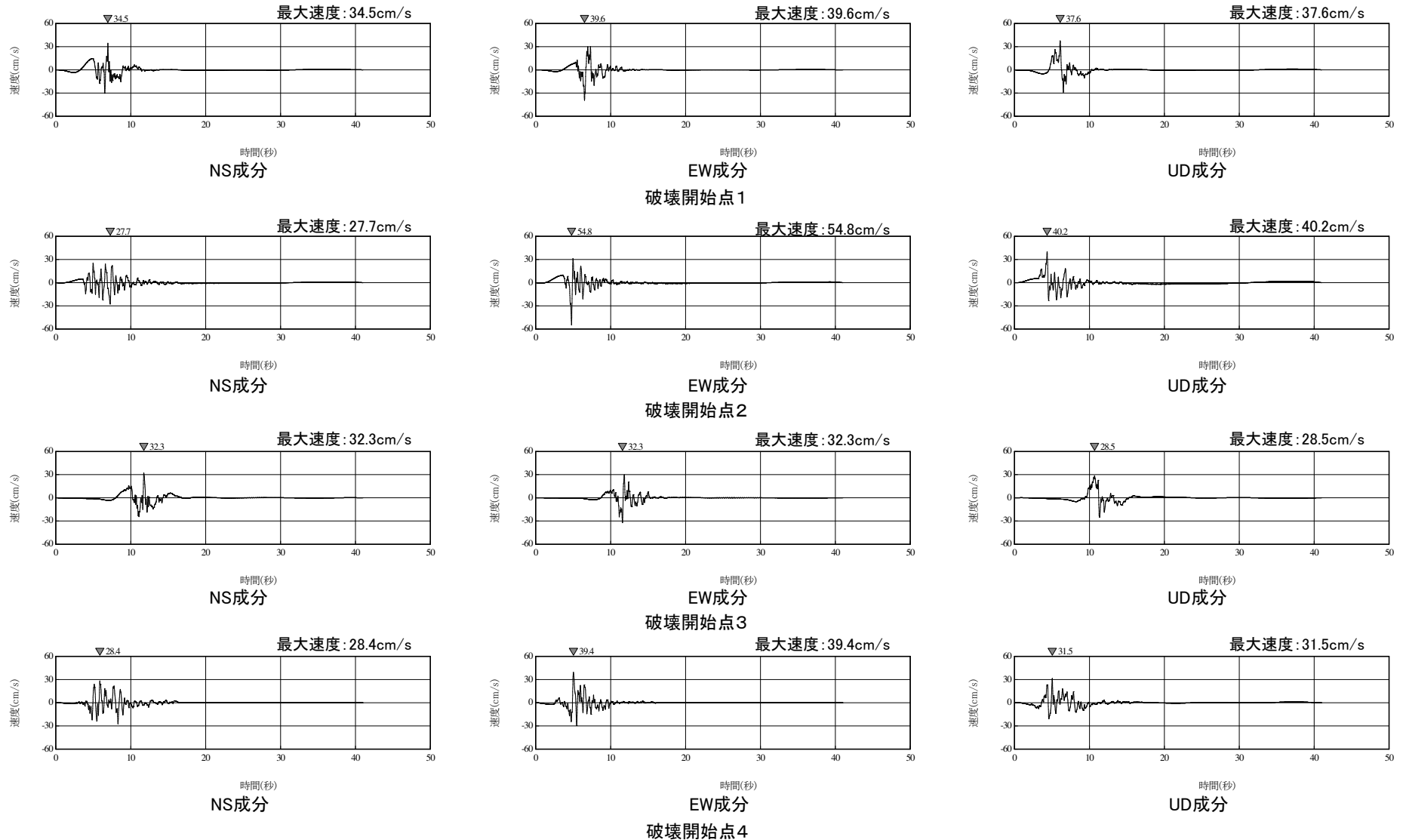
S188



「横浜断層による地震」(東傾斜・規模・応力降下量)(ケース3-2)の断層モデルを用いた手法による加速度波形(PN基準)

5.5 「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 ⑦横浜断層(東傾斜・規模・応力降下量)(ケース3-2)の速度波形

S188 S189


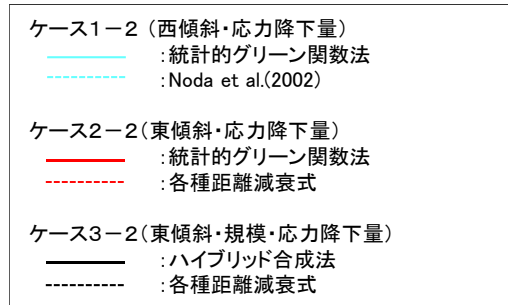
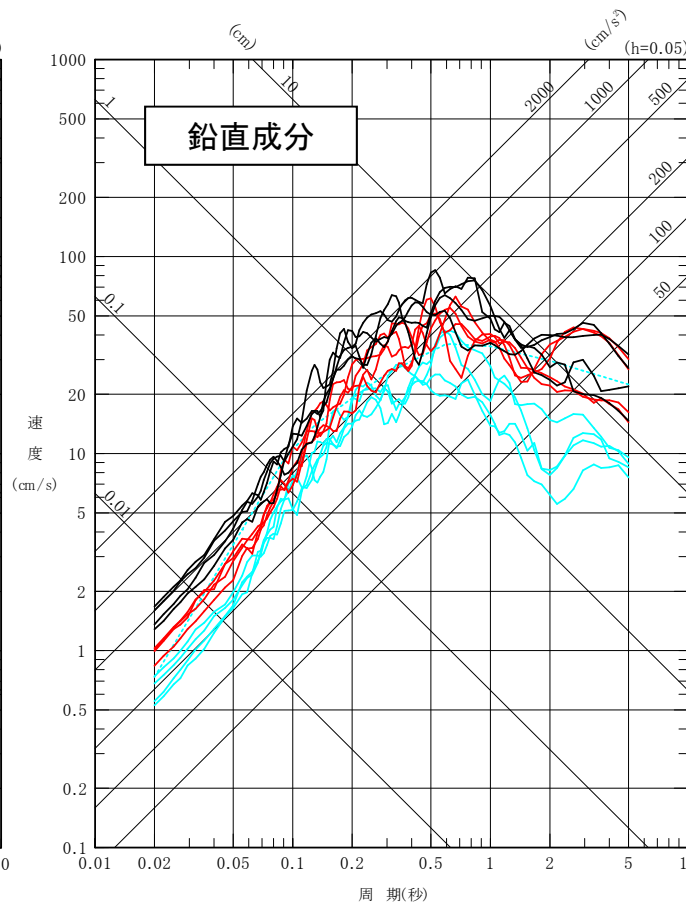
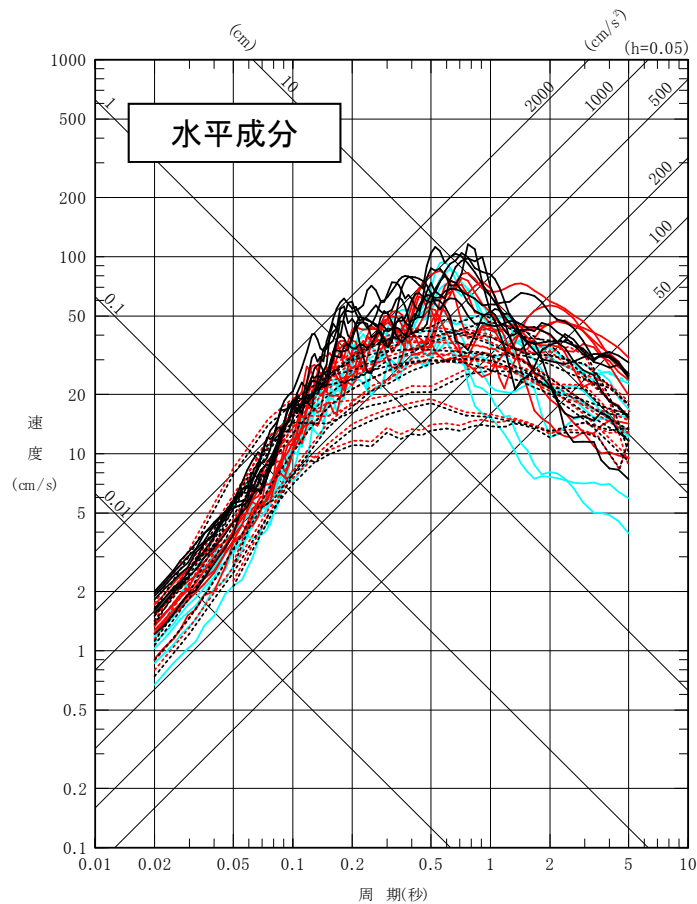
「横浜断層による地震」(東傾斜・規模・応力降下量)(ケース3-2)の断層モデルを用いた手法による速度波形(PN基準)

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

- 地質調査結果等に基づき、内陸地殻内地震の検討用地震として「横浜断層による地震」を選定した。
- 地質調査結果に基づく西傾斜のケースについて地震動評価を行った。
- また、下北半島中軸部の狭隘な速度構造の高まり等を踏まえた不確かさとして、東傾斜のケースについて地震動評価を行い、地震動評価上の保守性を確保した。



「横浜断層による地震」の検討
ケースのうち、比較的影響の大きい
ケースを記載した。

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. 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
3. 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
4. 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

参考文献(2)

5. 検討用地震の地震動評価

1. 芝良昭(2016):高精度余震分布データに基づいた経験的グリーン関数法による2008年岩手宮城内陸地震の震源インバージョン解析, 日本地球惑星科学連合2016年大会予稿集, SSS25-P02
2. 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
3. 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
4. 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
5. 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
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. 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. 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
9. 地震調査研究推進本部(2004):三陸北部の地震を想定した地震動評価
10. Kanamori H. (1977): The Energy Release in Great Earthquakes, Journal of Geophysical Research Vol.82 No.20
11. 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
12. 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
13. Geller, R. J. (1976): Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes, Bulletin of the Seismological Society of America, 66
14. 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
15. 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
16. 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
17. Norman A. Abrahamson, Walter J. Silva (2008): Summary of the Abrahamson & Silva NGA Ground-Motion Relations, Earthquake Spectra, Vol.24
18. Chiou, B. S. -J and R. R. Youngs (2008): An NGA Model for the Average Horizontal Compornet of Peak Ground Motion and Response Spectra, Earthquake Spectra, Vol.24
19. 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

参考文献(3)

20. Kannno 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
21. 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
22. 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
23. Norman A. Abrahamson, Walter J. Silva and Ronnie Kamaï (2014): Summary of the ASK14 Ground Motion Relation for Active Crustal Regions, Earthquake Spectra, Vol.30, No.3
24. 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
25. 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
26. 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