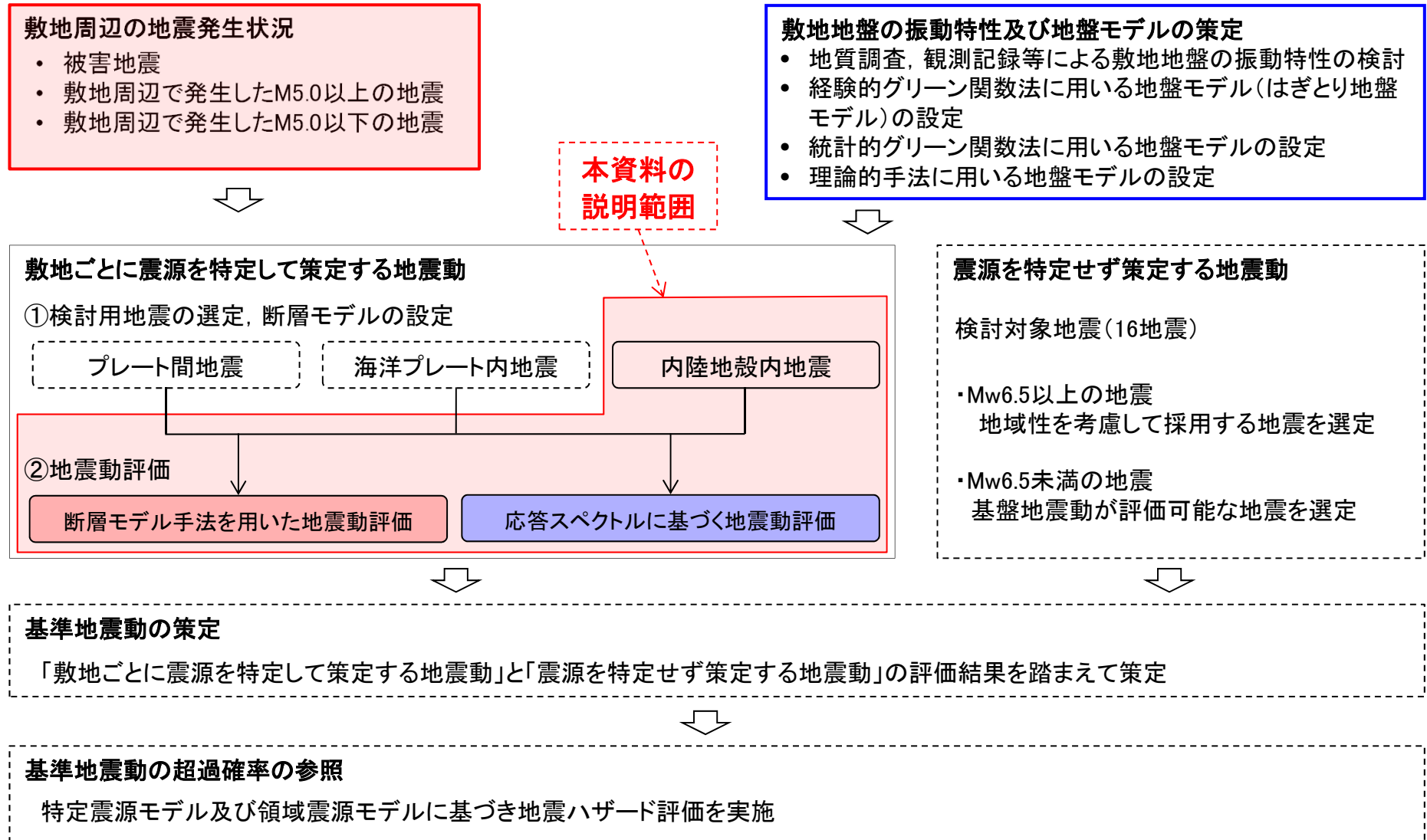


東通原子力発電所1号炉審査資料	
資料番号	A1-CA-0085(改1)
提出年月日	2021年1月8日

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

2021年1月8日
東北電力株式会社

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)	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
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
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
	不確かさ	<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)(強震動予測レシピア※の1.5倍)等 	<ul style="list-style-type: none"> 同左
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
	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

※: 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	5
1. 1 主な被害地震	6
1. 2 敷地周辺における地震の発生状況	8
1. 3 敷地周辺の震源として考慮する活断層	10
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	11
2. 検討に用いる地盤モデル	12
2. 1 統計的グリーン関数法に用いる地盤モデル	13
2. 2 理論的手法に用いる地盤モデル	14
3. 敷地周辺の内陸地殻内地震の地震発生層	15
3. 1 地震発生層に関する検討の基本方針	16
3. 2 微小地震の震源深さ分布	17
3. 3 地震発生層の地球物理学的な知見	20
3. 4 敷地周辺の速度構造	22
3. 5 敷地周辺の地震発生層の設定 まとめ	24
4. 内陸地殻内地震の検討用地震の選定	25
4. 1 検討用地震選定の基本方針	26
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	27
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	28
4. 4 地震動評価上の保守性確保の観点から考慮する検討用地震	30
4. 5 検討用地震の選定 まとめ	32

目次(2)

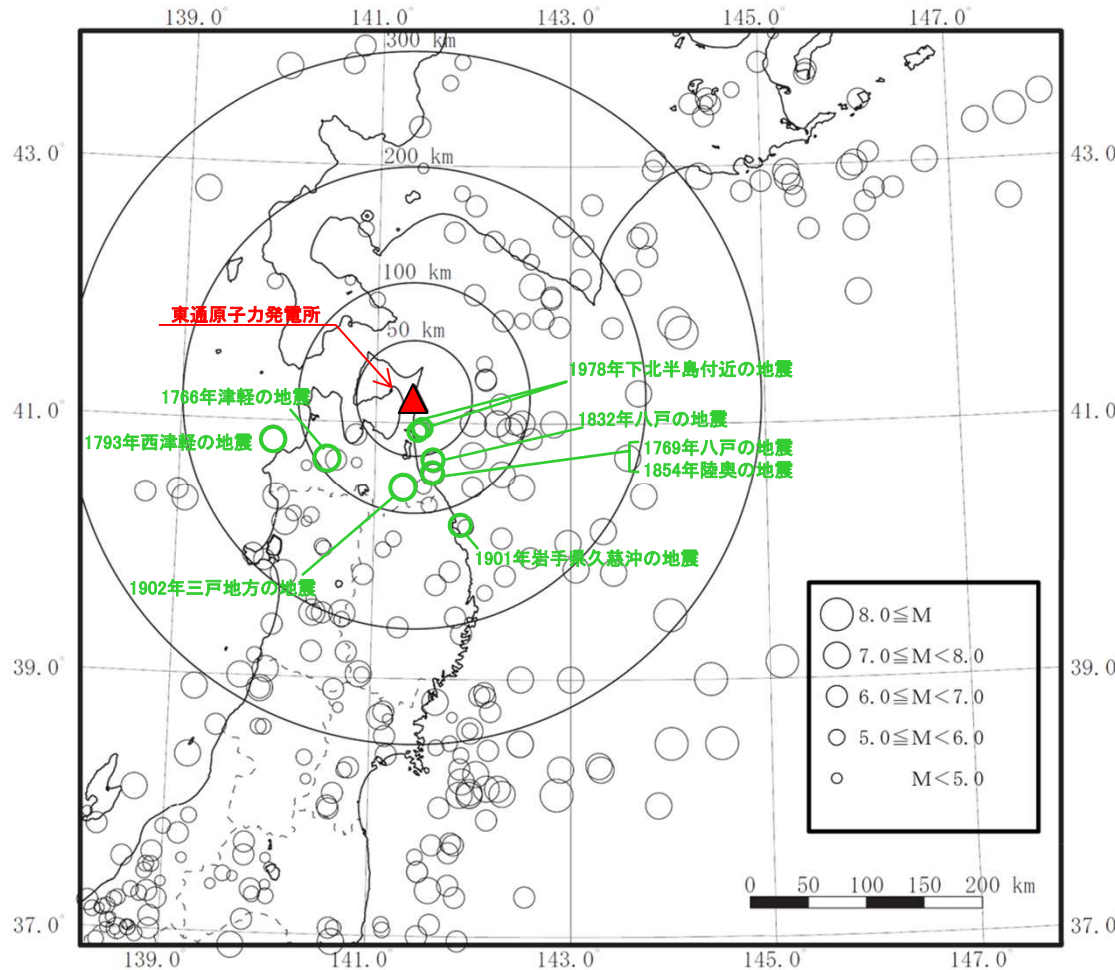
5. 検討用地震の地震動評価	33
5.1 地震動評価の基本方針	34
5.2 横浜断層(西傾斜)の断層モデルの設定	35
5.3 横浜断層(西傾斜)による地震の地震動評価	43
5.4 横浜断層(東傾斜)の断層モデルの設定	48
5.5 横浜断層(東傾斜)による地震の地震動評価	56
5.6 検討用地震の地震動評価 まとめ	61
6. 内陸地殻内地震の地震動評価 まとめ	62
6.1 内陸地殻内地震の地震動評価 まとめ	63
参考資料	64
参考1 敷地周辺の重力異常に関する検討	65
参考2 横浜断層の地質調査結果	66
参考3 敷地で観測された内陸地殻内地震〔Noda et al.(2002)との比較〕	68
参考4 各種距離減衰式	71
参考5 ハイブリッド合成法	74
参考文献	76

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～2020年8月)

[1918年以前は宇佐美ほか(2013), 1919年以降は気象庁(2020)による。]

○: 次頁のマグニチュードー震央距離図で震度Ⅳ以上の主な内陸地殻内地震を示す。

【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

発生日月	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ー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

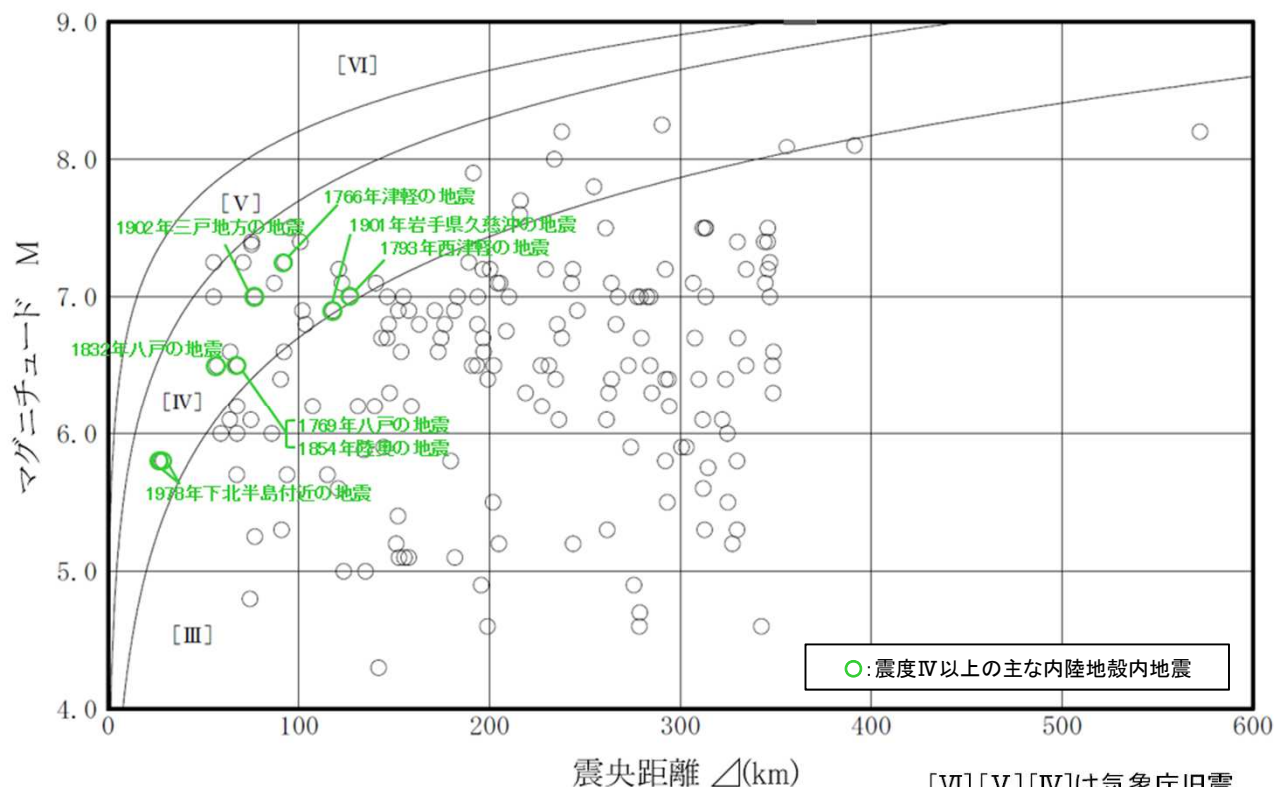
※2: 等価震源距離は地震規模及び震央距離から算定

1.1 主な被害地震

(2) 敷地周辺における主な被害地震 マグニチュードー震央距離図

【敷地周辺における主な被害地震が敷地に与える影響】

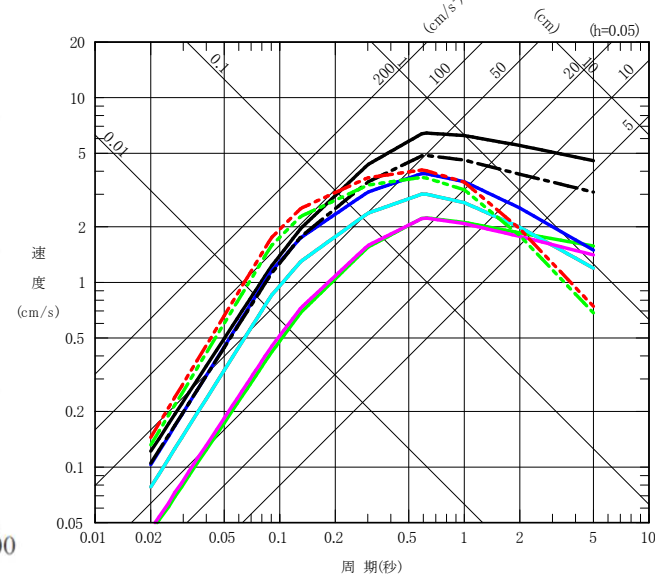
- 敷地周辺で発生した主な被害地震のマグニチュード(M)-震央距離(Δ)図と村松(1969)及び勝又・徳永(1971)の震度(気象庁旧震度階級)の関係では、内陸地殻内の被害地震で敷地において震度[V]以上のものは発生していない。
- また、Noda et al.(2002)を用いた応答スペクトルの比較から、敷地への影響が大きい被害地震は、1766年津軽の地震(M7.3, Xeq=94km)及び1978年下北半島付近の地震(M5.8, Xeq=28km)である。



※: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。

[VI],[V],[IV]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。

- : 1766年津軽の地震(M7.3, Xeq=94km)
- : 1769年八戸の地震(M6.5, Xeq=68km)
- : 1793年西津軽の地震(M7.0, Xeq=128km)
- : 1832年八戸の地震(M6.5, Xeq=57km)
- : 1854年陸奥の地震(M6.5, Xeq=68km)
- : 1901年岩手県久慈沖の地震(M6.9, Xeq=118km)
- : 1902年三戸地方の地震(M7.0, Xeq=78km)
- - - : 1978年下北半島付近の地震(M5.8, Xeq=28km)
- - - : 1978年下北半島付近の地震(M5.8, Xeq=30km)



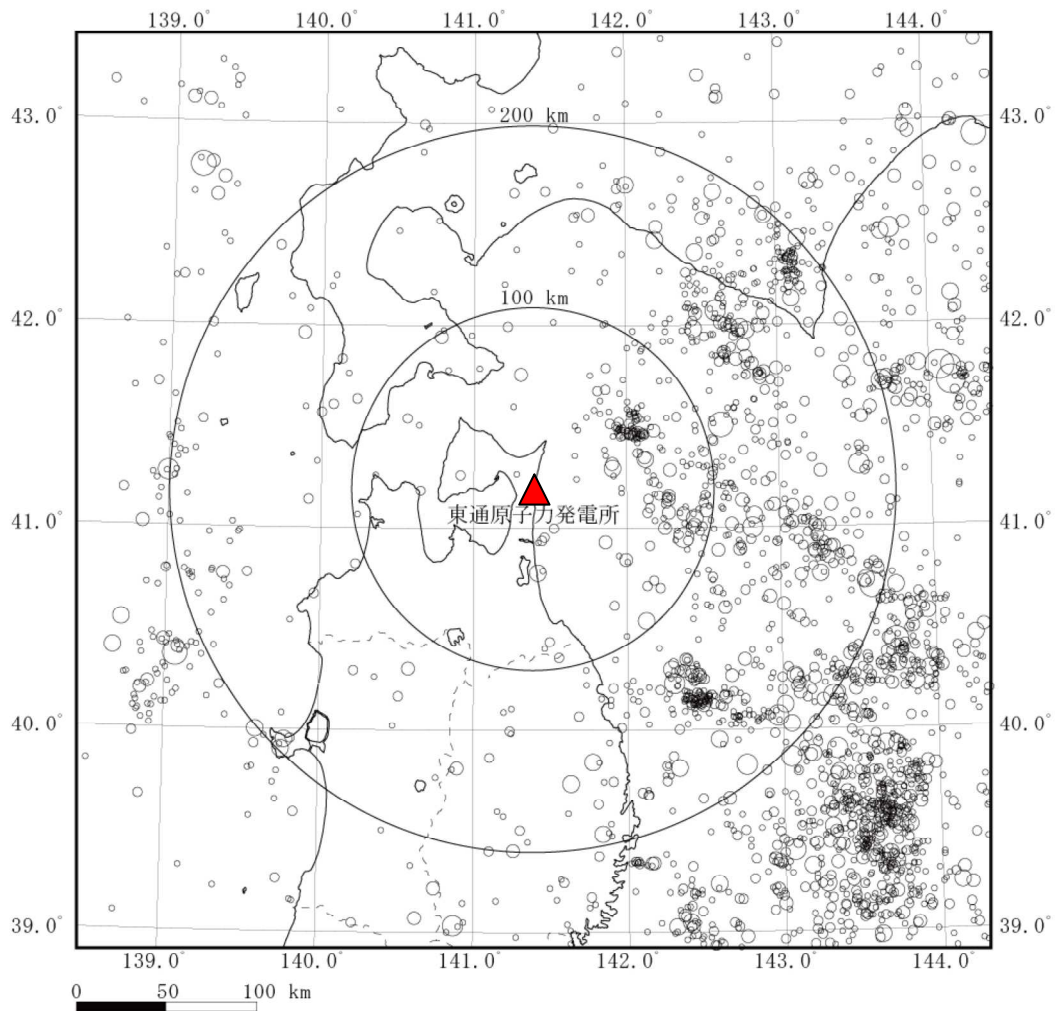
主な被害地震の応答スペクトル [Noda et al.(2002)による]

1. 2 敷地周辺における地震の発生状況

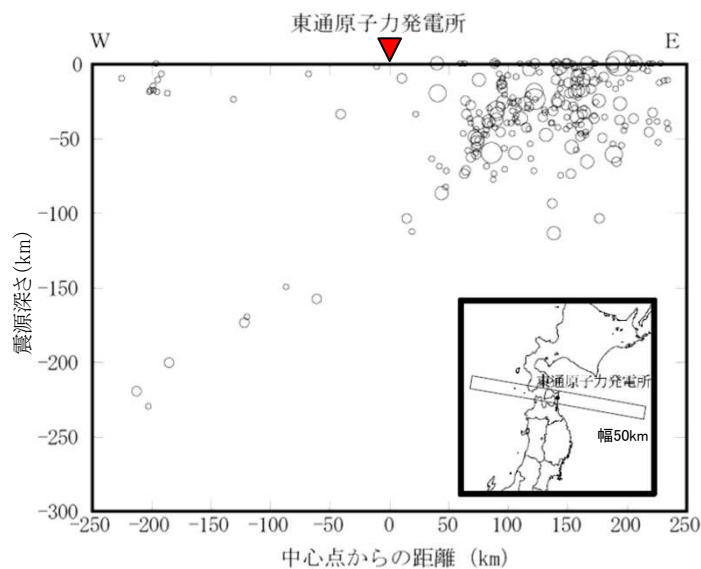
(1) 敷地周辺におけるM5.0以上の地震の発生状況

【気象庁で観測された地震による震源分布の特徴】

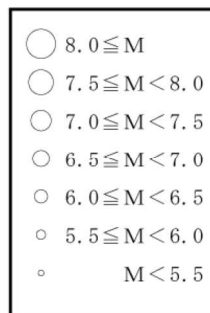
- 内陸での発生頻度は低い。
- 1919年以降、敷地から100km以内ではM7を超える地震は発生していない。



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)〕

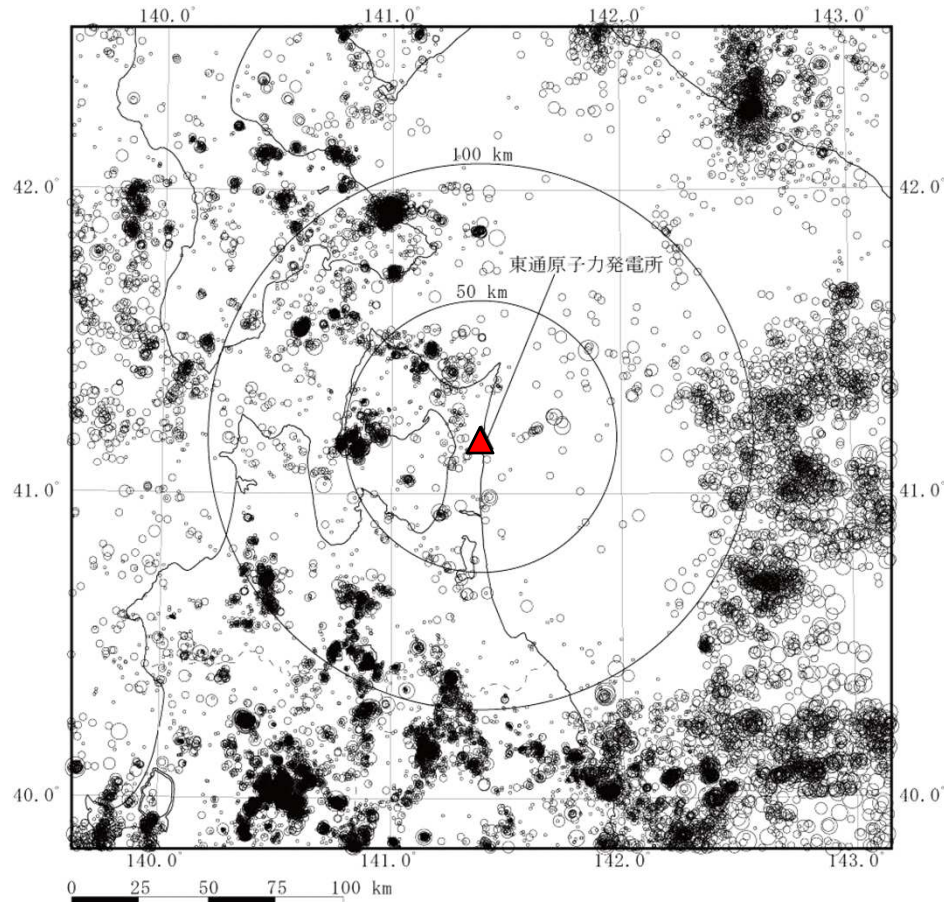


1.2 敷地周辺における地震の発生状況

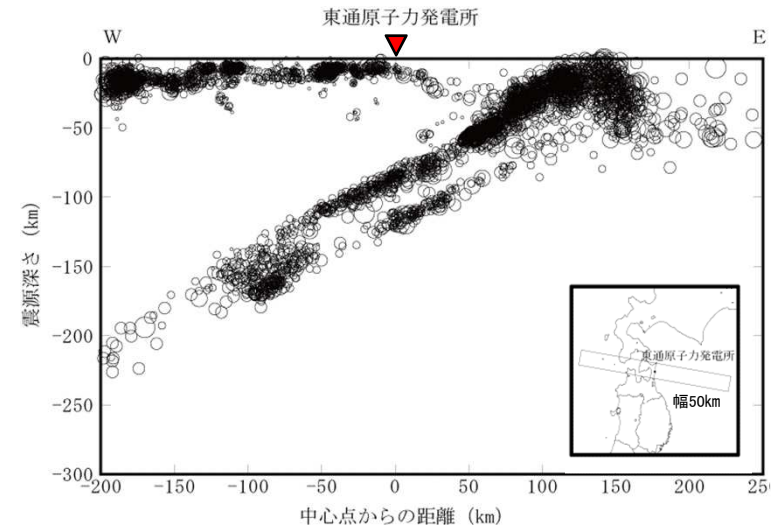
(2) 敷地周辺におけるM5.0以下の地震の発生状況

【気象庁で観測された微小地震の震源分布の特徴】

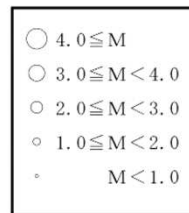
➤ 敷地周辺の微小地震分布(M \leq 5)では、敷地付近において特に集中は見られない。



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)]

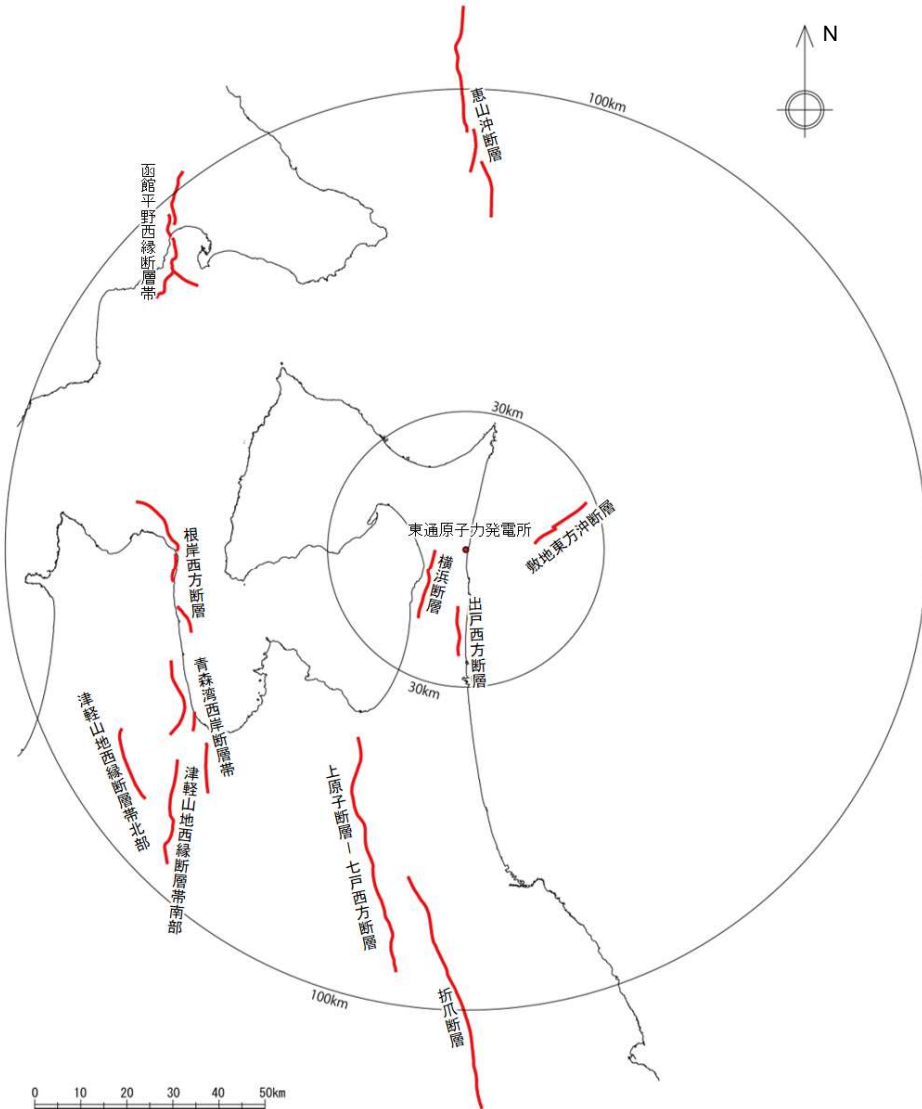


敷地周辺における微小地震の震源鉛直分布
[2011年1月~2018年12月:気象庁(2020)]



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

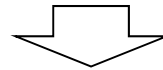
3. 敷地周辺の内陸地殻内地震の地震発生層

- 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

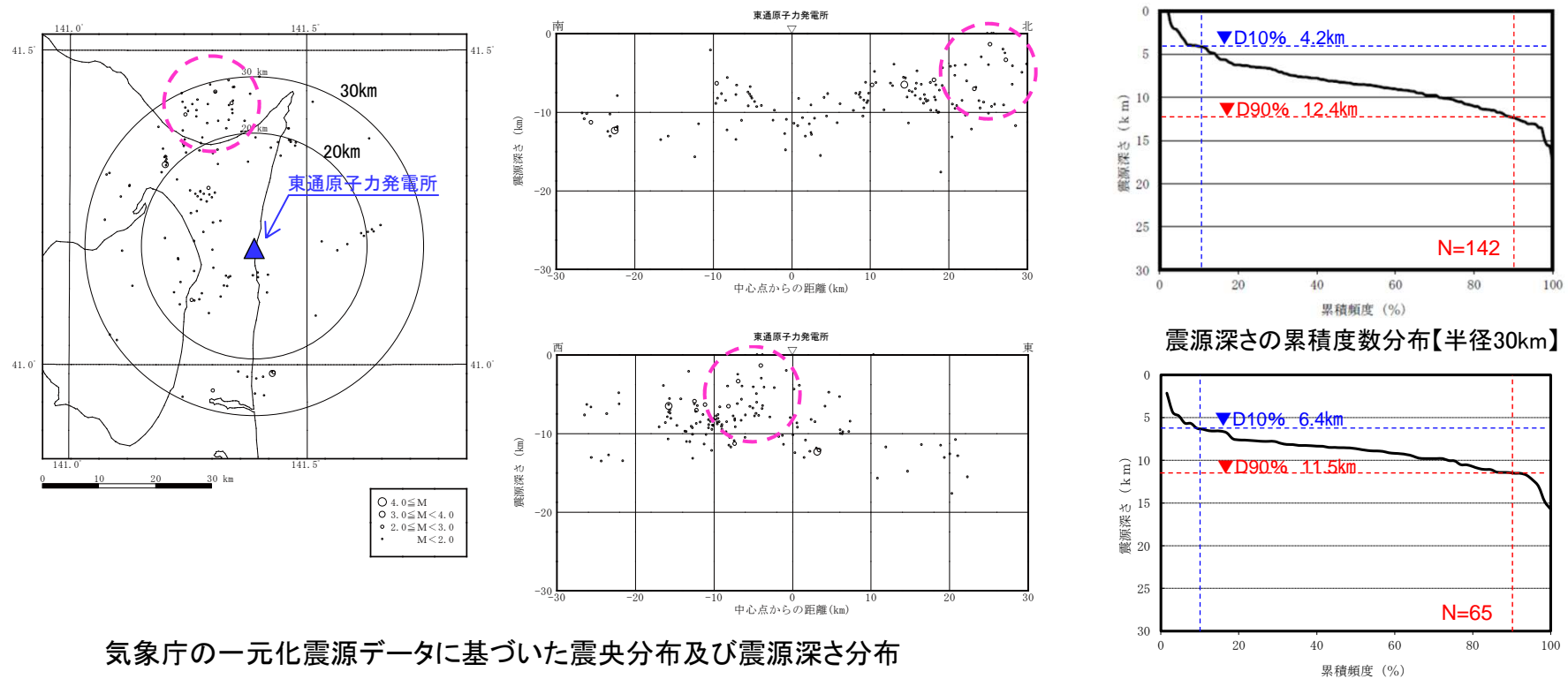
(1) 気象庁の震源による検討

【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20km】

震源深さの累積度数分布【半径30km】

3. 2 微小地震の震源深さ分布

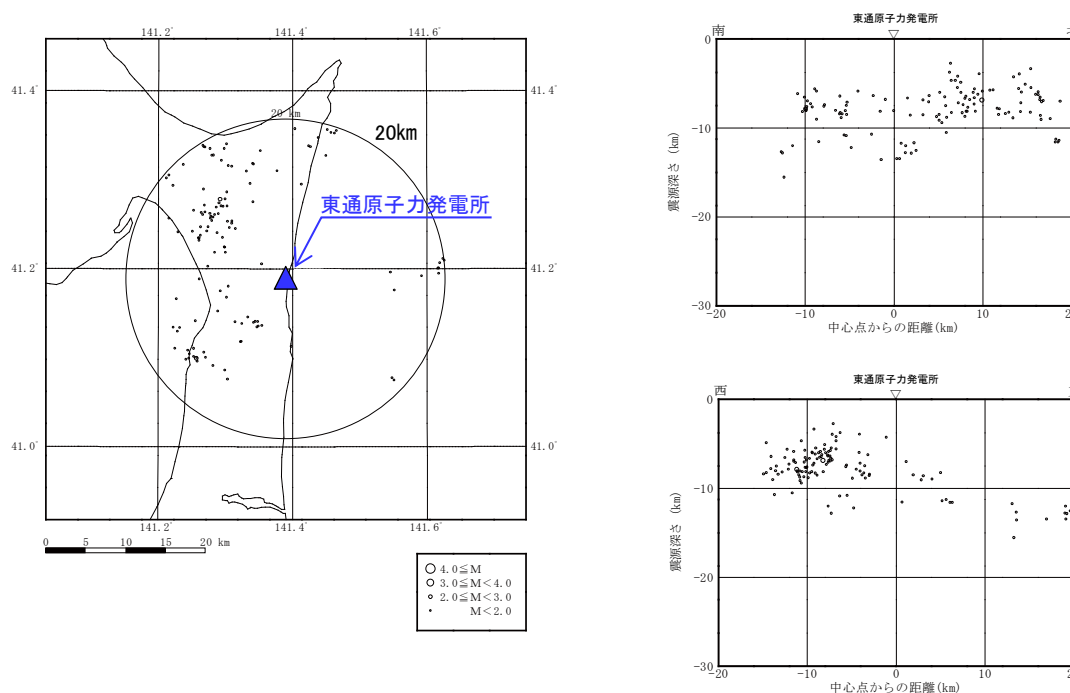
(2) As-netの震源による検討 20km範囲

【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。

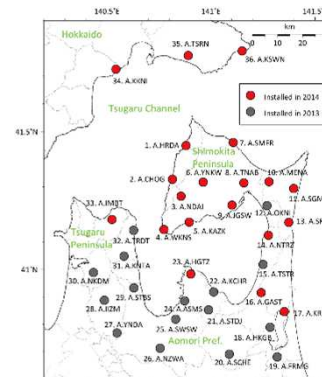
【検討結果の特徴】

- **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。

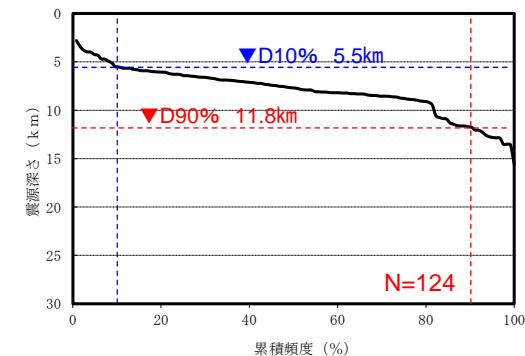


As-netの震源データに基づいた震央分布及び震源深さ分布

低周波地震及び気象庁の震源との差が大きい地震(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。

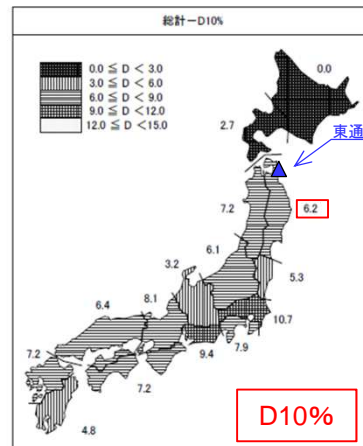
【原子力安全基盤機構(2004)】

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)

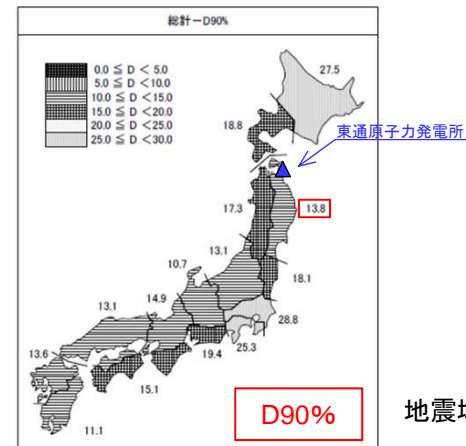
地震域	M区分	最浅(km)	D10%(km)	D50%(km)	D90%(km)	最深(km)	データ数	D90%-D10%(km)	震源域上端深さ最浅値(飯田式)
東北東部	$2.0 \leq M < 2.5$	0.0	5.8	10.4	13.7	29.6	288	7.9	-0.7
	$2.5 \leq M < 3.0$	0.0	6.4	11.3	15.9	29.7	97	9.5	-1.3
	$3.0 \leq M < 3.5$	0.0	7.3	11.0	13.1	29.3	44	5.8	-1.4
	$3.5 \leq M < 4.0$	8.7	9.8	12.2	15.7	29.5	20	5.9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

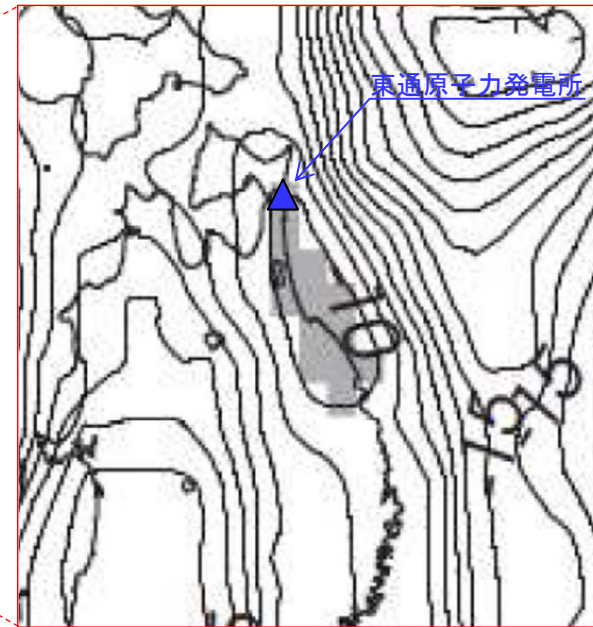
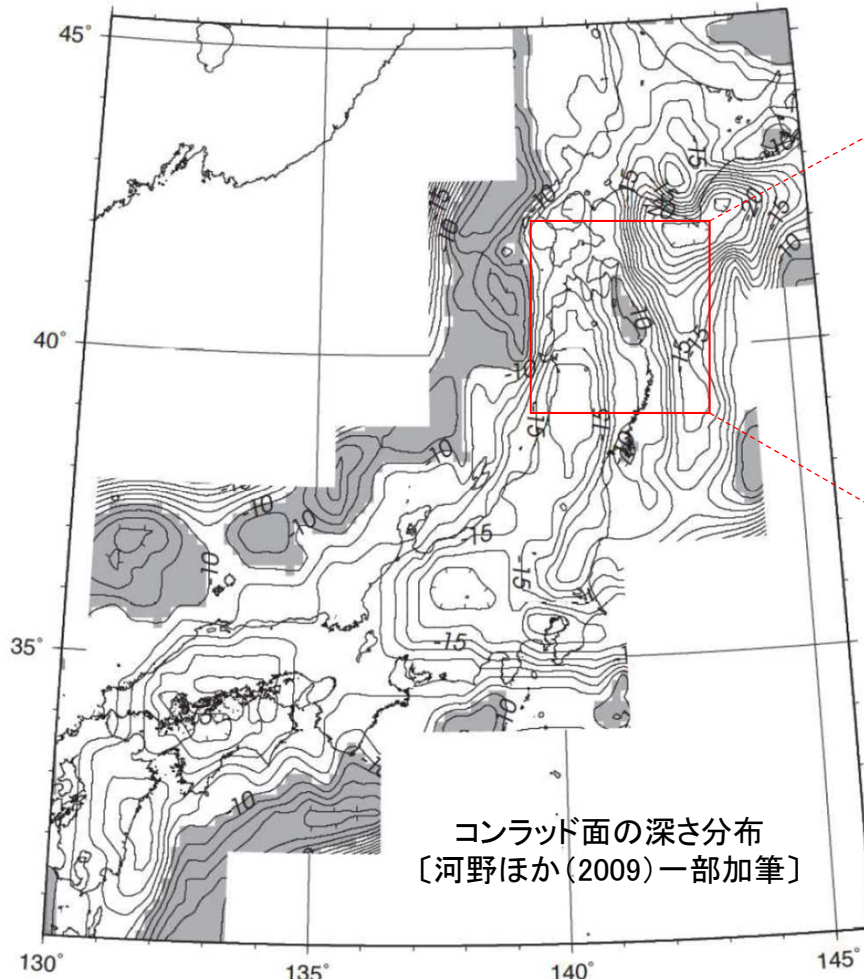
【検討の概要】

➤ 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

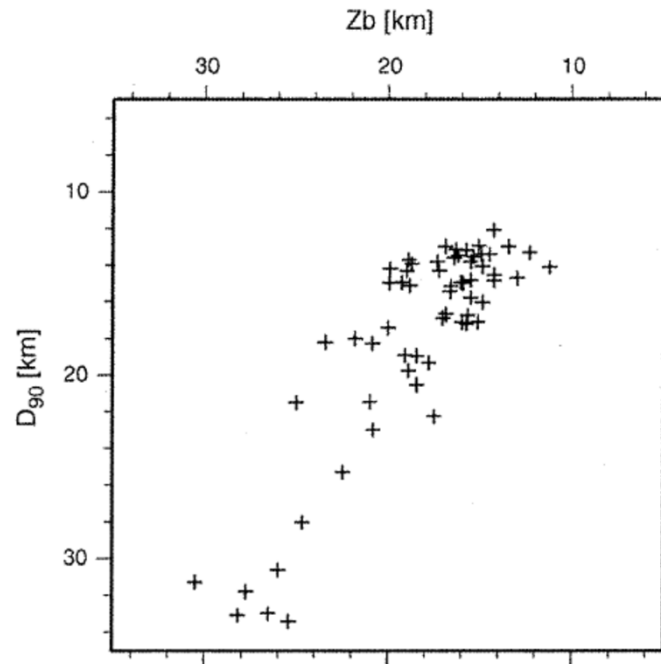
【検討の概要】

- 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。

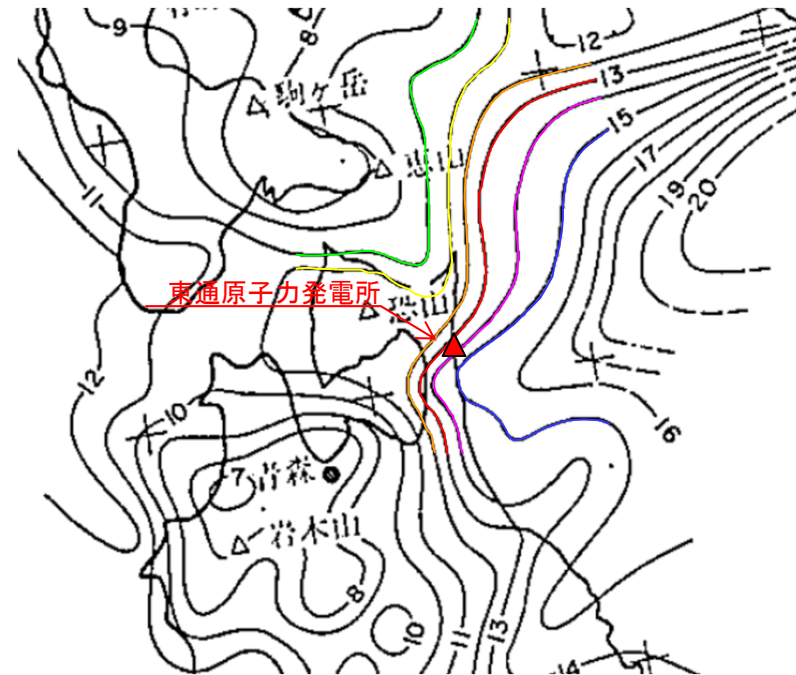
【Tanaka and Ishikawa (2005)】



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

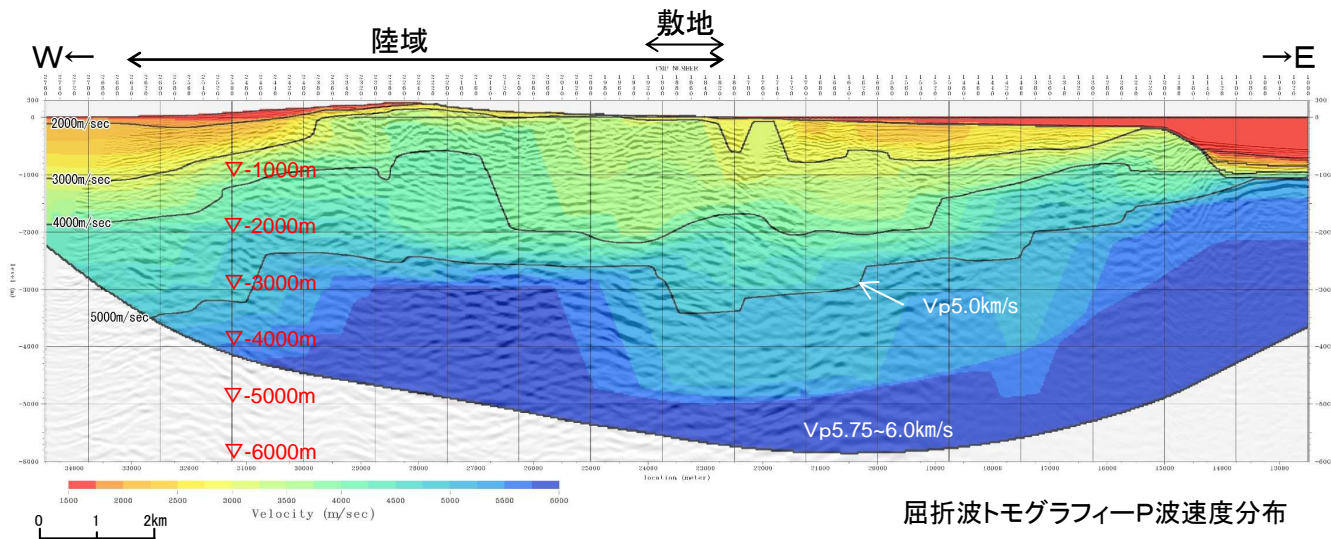
【検討の概要】

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 $5.75\sim 6.0\text{km/s}$ 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、後述する検討用地震[横浜断層(東傾斜)による地震, p.30参照]が位置する部分的な高速度層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)



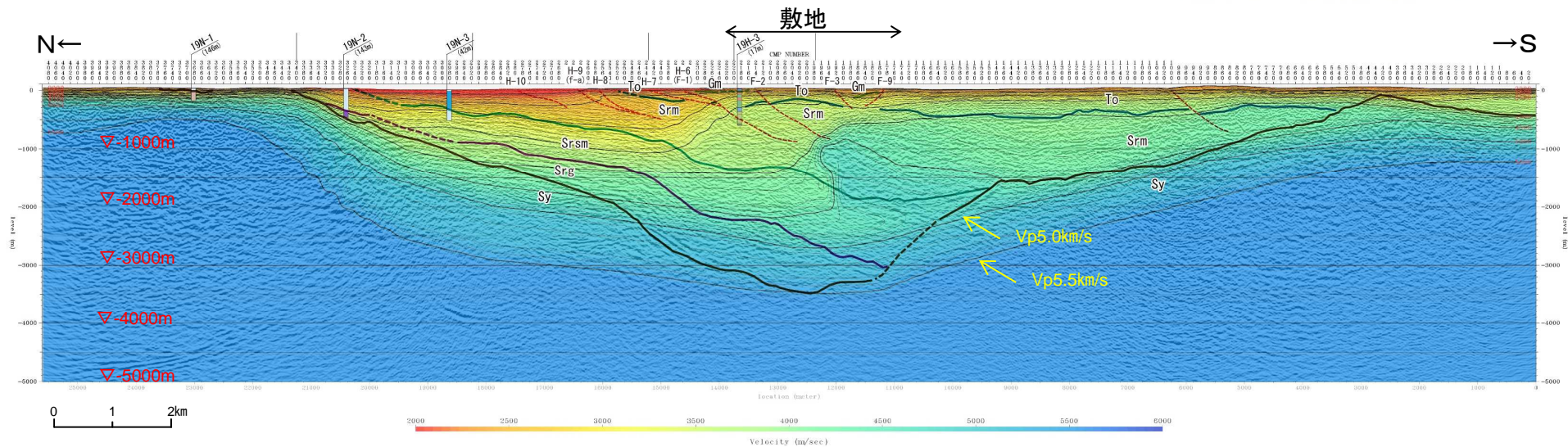
3. 4 敷地周辺の速度構造 (2) 南北方向

【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(参考1参照)。


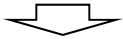


敷地周辺の南北方向の速度構造(H31-A測線)

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。 ➤ 後述する検討用地震[横浜断層(東傾斜)による地震, p.30]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)】 ➤ $V_p=5.8\sim 5.9\text{km/s}$ 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V_pは5.0km/sで、地震発生層は深さ3kmより深い 下北半島中軸部の高速度層の高まり部分では深さ3kmのV_p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V_p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	

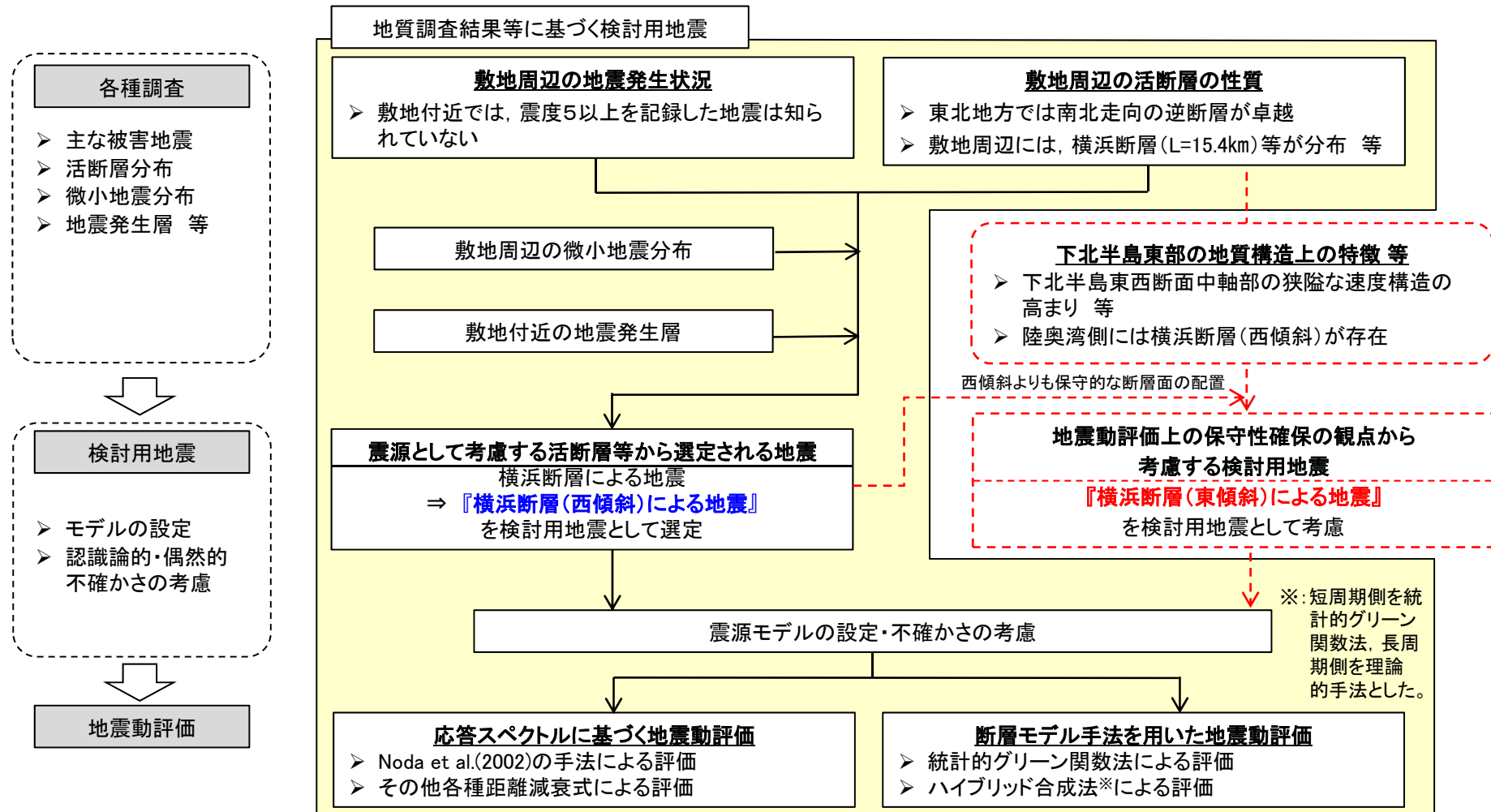
4. 内陸地殻内地震の検討用地震の選定

- 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 地震動評価上の保守性確保の観点から考慮する検討用地震
- 4. 5 検討用地震の選定 まとめ

4.1 検討用地震選定の基本方針

【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】

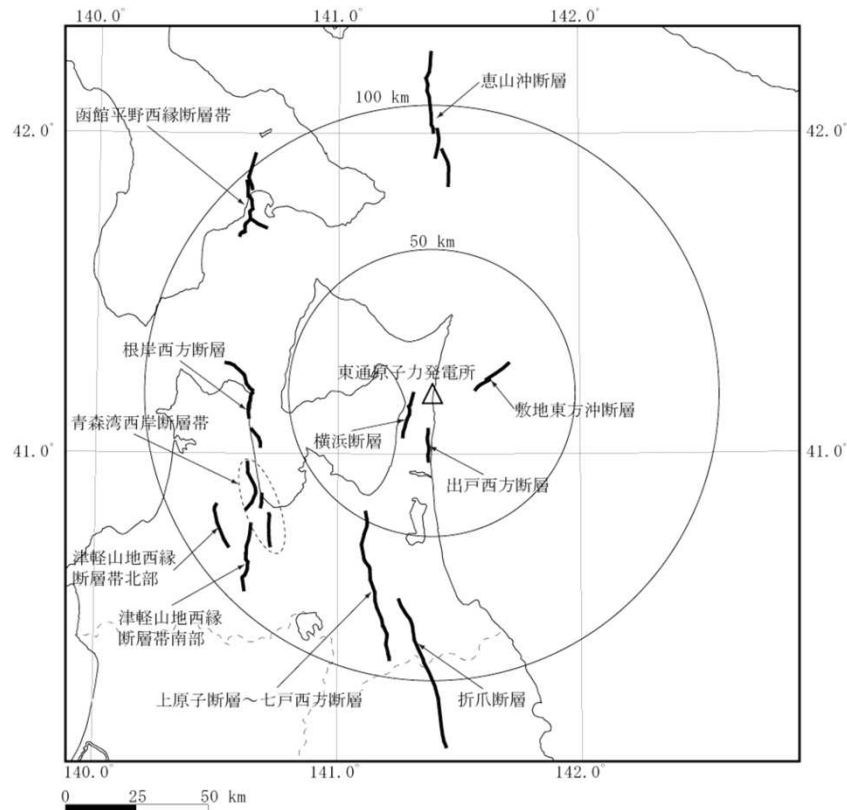
- 敷地周辺の内陸地殻内の主な被害地震及び地質調査結果による「震源として考慮する活断層」に想定される地震のうち、敷地に最も影響の大きい地震を検討用地震として選定する。
- さらに、下北半島東部の地質構造上の特徴等を踏まえ、敷地に対してより影響の大きい地震も検討用地震として考慮することにより、地震動評価上の保守性を確保する。



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

【活断層により想定する地震の地震規模】

- 地質調査結果による敷地周辺の主な活断層(震源として考慮する活断層)のうち、「孤立した長さの短い活断層」については、地震発生層を飽和する地震規模を考慮する。その他については、地震調査研究推進本部(2009)の評価もしくは松田(1975)による。



震源として考慮する活断層 配置図

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	敷地東方沖断層	14.5	7.0	20	
3	出戸西方断層	11	7.0	20	
4	上原子～七戸西方断層	51	7.7	69	
5	恵山沖断層	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

※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) $M_0=7.5 \times 10^{18} \text{Nm}$ 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。

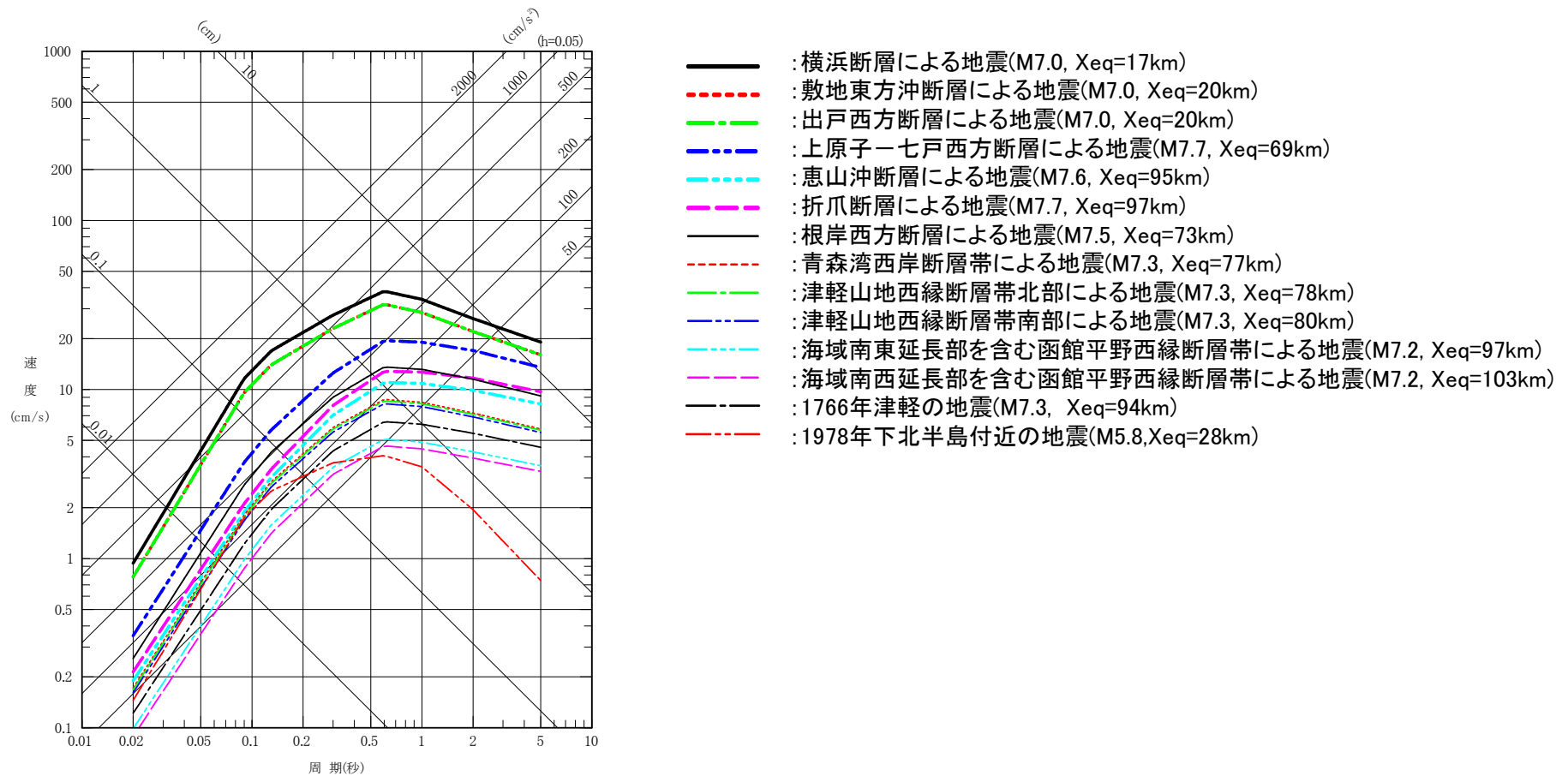
※2: 等価震源距離は、均質な一様断層を想定した。

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

(1) 検討用地震の選定

【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として選定する。

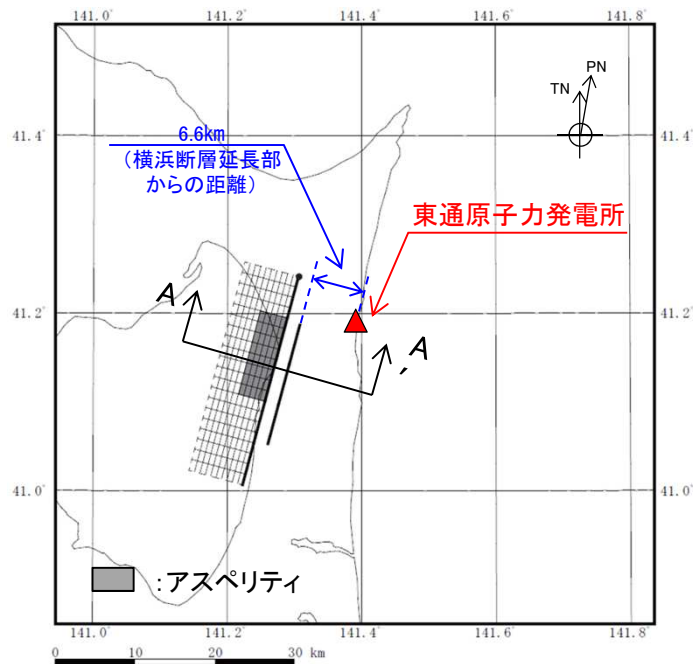


敷地周辺の内陸地殻内地震の地震動評価
[Noda et al.(2002), 水平方向, 内陸補正なし]

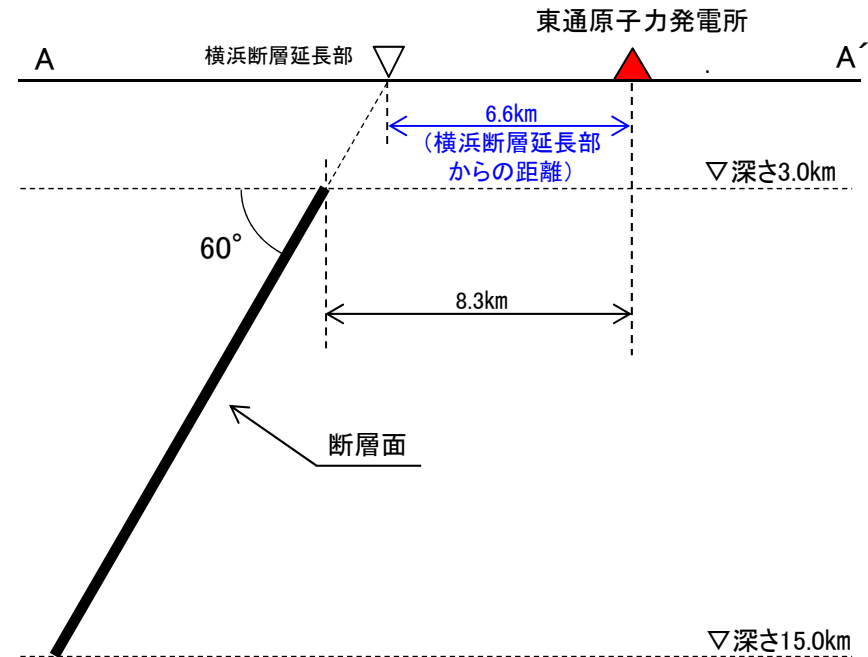
4.3 震源として考慮する活断層等から選定される検討用地震 (2) 横浜断層(西傾斜)による地震の概要

【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】

- 横浜断層は、地質調査結果では断層傾斜角60度の西傾斜の逆断層であること等から、震源として考慮する活断層から選定される横浜断層による地震を「横浜断層(西傾斜)による地震」と呼称する。
- なお、横浜断層の詳細地質調査結果の概要を参考2に示す。



断層配置図



配置図(A-A' 断面)

横浜断層(西傾斜)による地震の概要

※:断層モデルの詳細については「5. 検討用地震の地震動評価」に記載

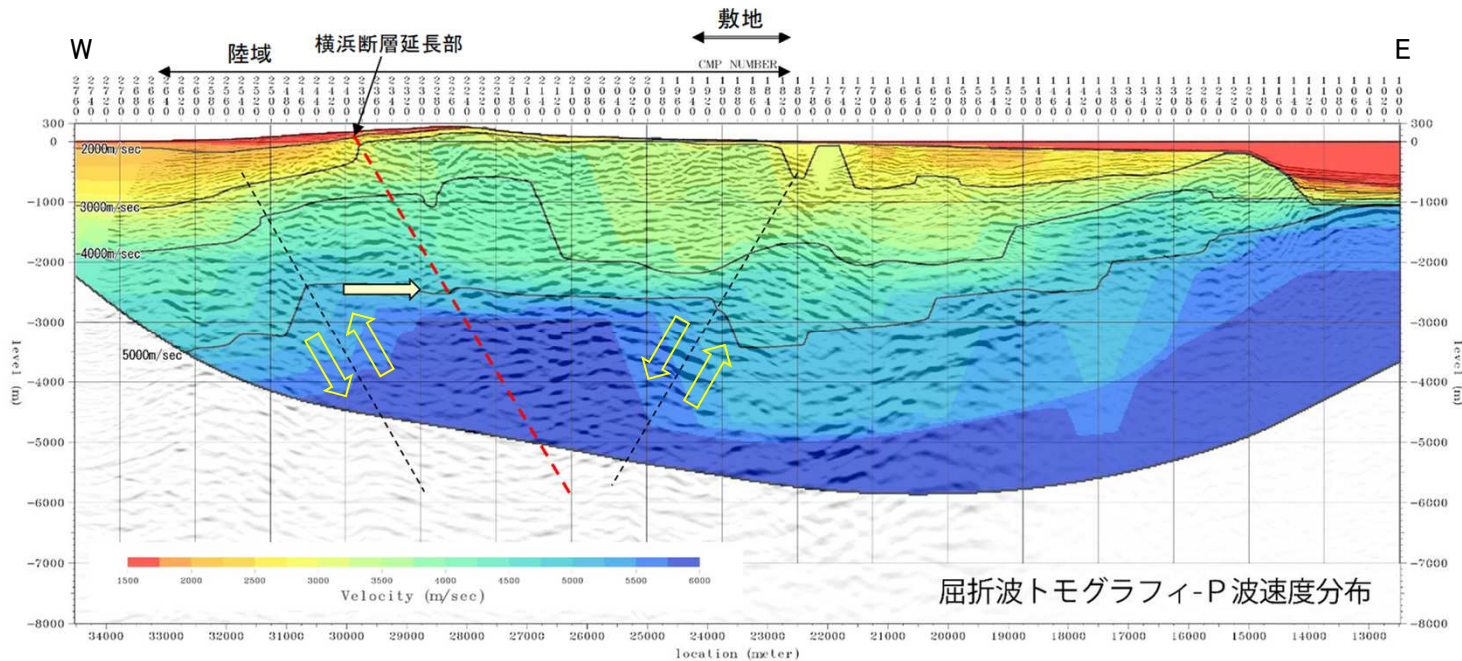
4.4 地震動評価上の保守性確保の観点から考慮する検討用地震 (1) 下北半島東部の地質構造上の特徴等を踏まえ想定する地震

【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(屈折法トモグラフィによるP波速度分布)では、**半島東西断面中央部付近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**として陸奥湾付近(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。

【地震動評価上の保守性確保の観点から考慮する検討用地震】

- 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。横浜断層は西傾斜の活断層であるが、**陸奥湾付近に想定される規模の小さい東傾斜の地震を横浜断層の位置に考慮することにより**、地震動評価上の保守性を確保する。



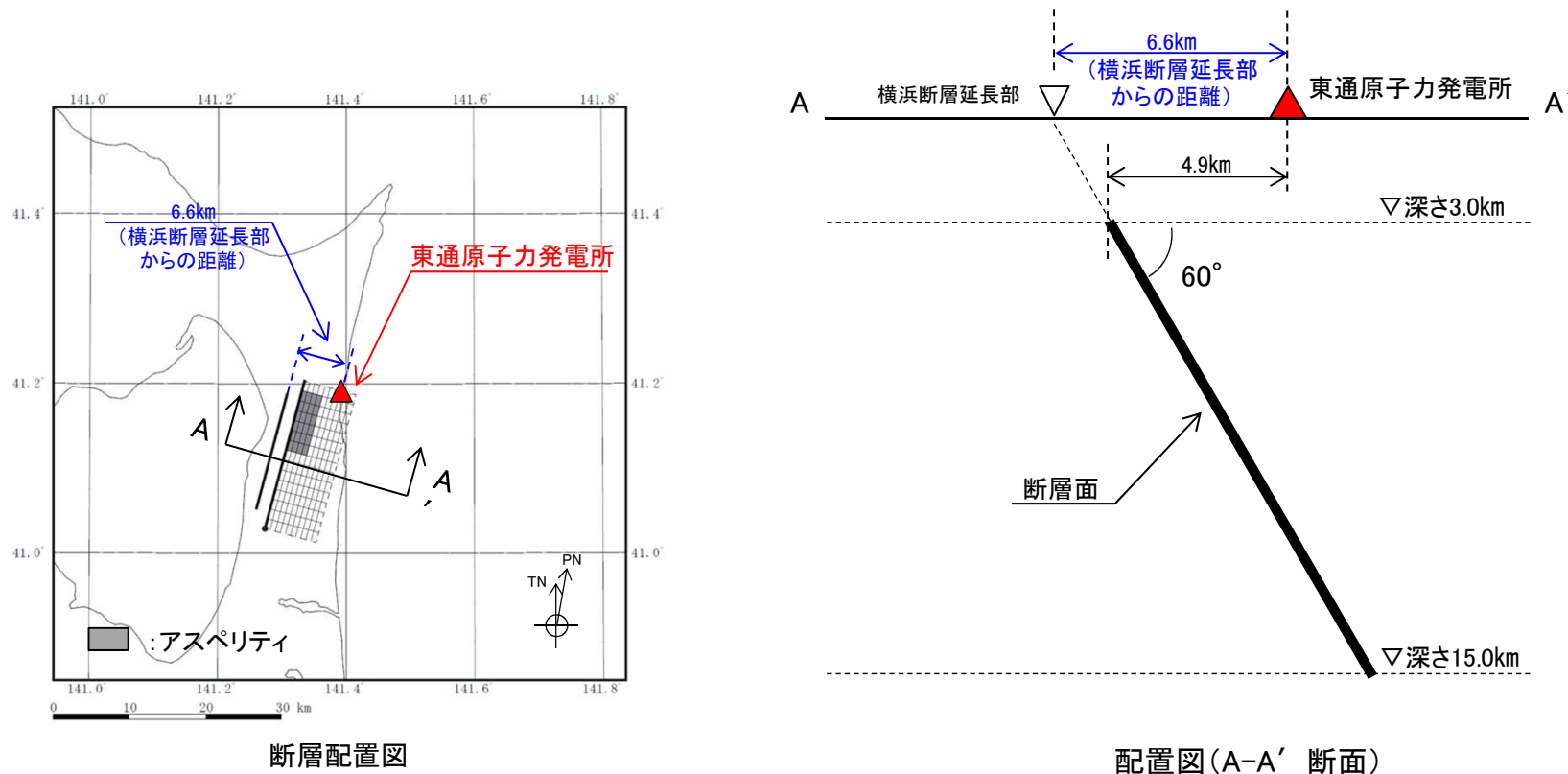
下北半島の速度構造(東西断面)と「横浜断層(東傾斜)による地震」の断層面

- : 活断層を伴わない規模の小さい地震の断層面
- - - : 陸奥湾付近に想定される規模の小さい東傾斜の地震を横浜断層の位置に考慮した断層面

4.4 地震動評価上の保守性確保の観点から考慮する検討用地震 (2) 横浜断層(東傾斜)による地震の概要

【地震動評価上の保守性確保の観点から考慮する検討用地震】

- 地震動評価上の保守性確保の観点から、横浜断層の位置に考慮する東傾斜による地震を「横浜断層(東傾斜)による地震」と呼称する。



横浜断層(東傾斜)による地震の概要

※:断層モデルの詳細については「5. 検討用地震の地震動評価」に記載

4.5 検討用地震の選定 まとめ

- 震源として考慮する活断層等から敷地に対して最も影響の大きい地震として「**横浜断層(西傾斜)の地震**」を検討用地震として選定する。
- さらに、地震動評価上の保守性確保の観点から、横浜断層の位置に想定する「**横浜断層(東傾斜)による地震**」を検討用地震として考慮する。

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(西傾斜)の断層モデルの設定
- 5. 3 横浜断層(西傾斜)による地震の地震動評価
- 5. 4 横浜断層(東傾斜)の断層モデルの設定
- 5. 5 横浜断層(東傾斜)による地震の地震動評価
- 5. 6 検討用地震の地震動評価 まとめ

5. 1 地震動評価の基本方針

1. 断層モデルの設定

- 地質調査結果及び地震発生層の調査等を踏まえ断層モデルを設定する。
- 認識論的不確かさ及び偶然的な不確かさの整理を行ったうえで不確かさの考慮を行う。

2. 地震動評価

- 応答スペクトルに基づく手法及び断層モデルを用いた手法による地震動評価を行う。

(1) 応答スペクトルに基づく手法

- 「横浜断層(西傾斜)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)を用いる。
- 「横浜断層(東傾斜)による地震」については、Noda et al.(2002)のデータ範囲外となることから、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〔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「横浜断層(東傾斜)による地震」については、ハイブリッド合成法※による地震動評価を用いる。

※: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。

5.2 横浜断層(西傾斜)の断層モデルの設定

(1)「横浜断層(西傾斜)による地震」の不確かさの整理

【不確かさの考え方の整理〔横浜断層(西傾斜)による地震〕】

- 断層モデルの主要なパラメータについて、内陸地殻内地震に関する知見等を踏まえ、認識論的不確かさと偶然的不確かさに分類し、敷地に与える影響が大きいパラメータについて不確かさを考慮し、地震動評価を行う。

【認識論的不確かさ】: 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: 基本ケース及び不確かさケースで共通に考慮する事項

青下線: 基本ケースで考慮する事項

赤下線: 不確かさケースで考慮する事項

種類	パラメータ	基本ケースでの設定	不確かさの考慮
認識論的不確かさ	地震規模 (断層長さ)	$M_0=7.5 \times 10^{18}$ (Nm)以上 ($L=27$ km)	✓ 保守的に、基本ケース及び不確かさ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。
	断層の位置	地質調査結果	✓ 断層の位置は、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南北に均等に設定する。
	断層傾斜角	西傾斜 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60度に設定する。 ✓ 地震調査研究推進本部(2020)では、断層傾斜角が知られていない場合の逆断層を45度としていることからこれを不確かさとして考慮する。
	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	✓ 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)による値を基本ケースに採用する。 ✓ 基本ケースに対し、アスペリティの応力降下量の不確かさとして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。
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、基本ケース及び不確かさケースとも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に設定する。
	破壊開始点	破壊の伝播方向が敷地に 向かうように配置	✓ 基本ケース及び不確かさケースとも、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。

※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。

5.2 横浜断層(西傾斜)の断層モデルの設定

(2) 基本ケース及び不確かさケース ①設定の方針

「横浜断層(西傾斜)による地震」

【共通事項】

- 保守的に、地震発生層を飽和する地震規模である $M_0=7.5 \times 10^{18}(\text{Nm})$ を上回るように断層面を設定する。
- アスペリティは、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に設定する。
- 破壊開始点は、ディレクティビティ効果を考慮して破壊が敷地に向かう位置に複数考慮する。

【ケース1(基本ケース)】

- 地質調査結果では横浜断層は断層傾斜角60度の西傾斜の逆断層であること、下北半島では高角な逆断層が卓越していること、地震調査研究推進本部(2020)では高角な逆断層の場合は60度と設定していることを踏まえ、断層傾斜角は60度を採用する(地震規模 $M_0=7.5 \times 10^{18}\text{Nm}$ を考慮すると断層長さは27km)。
- 応力降下量(短周期レベル)は、敷地周辺の内陸地殻内地震に関する知見が得られていないことから地震調査研究推進本部(2020)に基づく平均的な値を採用する。

【ケース2(断層傾斜角の不確かさケース)】

- 地震調査研究推進本部(2020)では、断層傾斜角が知られていない場合の逆断層を45度としている。その場合、断層面と敷地との距離が遠くなるため、敷地への影響は基本ケースと比べて著しく大きくはならないと考えられるものの、影響を確認するため断層傾斜角の不確かさとして45度を考慮する(地震規模 $M_0=7.5 \times 10^{18}\text{Nm}$ を考慮すると断層長さは22km)。

【ケース3(応力降下量の不確かさケース)】

- 2007年新潟県中越沖地震の反映として、アスペリティの応力降下量(短周期レベル)について地震調査研究推進本部(2020)による値の1.5倍を考慮する。

5.2 横浜断層(西傾斜)の断層モデルの設定

(2) 基本ケース及び不確かさケース ②検討ケース

検討用地震の想定〔横浜断層(西傾斜)による地震〕

検討ケース	地震モーメント (断層長さ)	地震規模	断層傾斜角	アスペリティの 応力降下量 MPa	アスペリティ 位置	破壊開始点	評価手法
ケース1 (基本ケース)	7.83×10^{18} (Nm) (L=27km)	M7.0 (Mw6.5)	60° 西傾斜	13.62 (レシビ※×1.0)	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2 (断層傾斜角)	7.78×10^{18} (Nm) (L=22km)	M7.0 (Mw6.5)	45° 西傾斜	13.63 (レシビ※×1.0)	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3 (応力降下量)	7.83×10^{18} (Nm) (L=27km)	M7.0 (Mw6.5)	60° 西傾斜	20.43 (レシビ※×1.5)	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

:地震発生層を飽和するよう保守的に設定

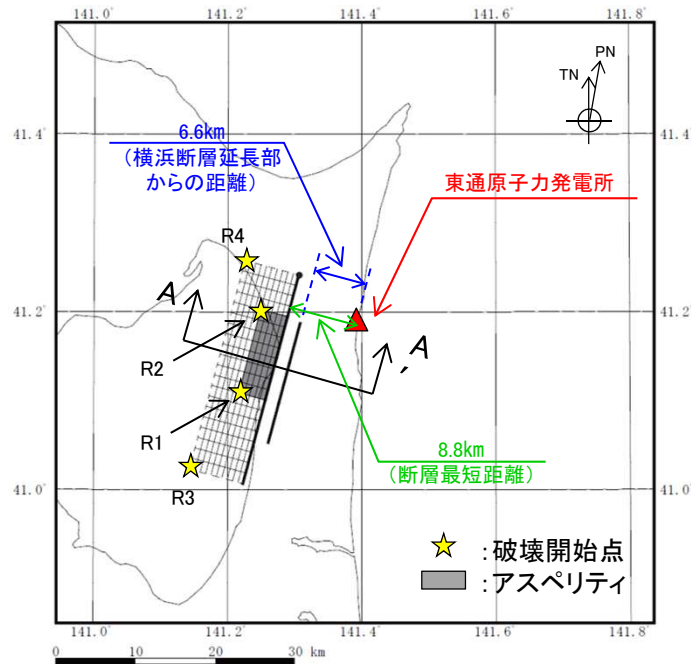
:考慮する不確かさ

:あらかじめモデルに織り込む不確かさ

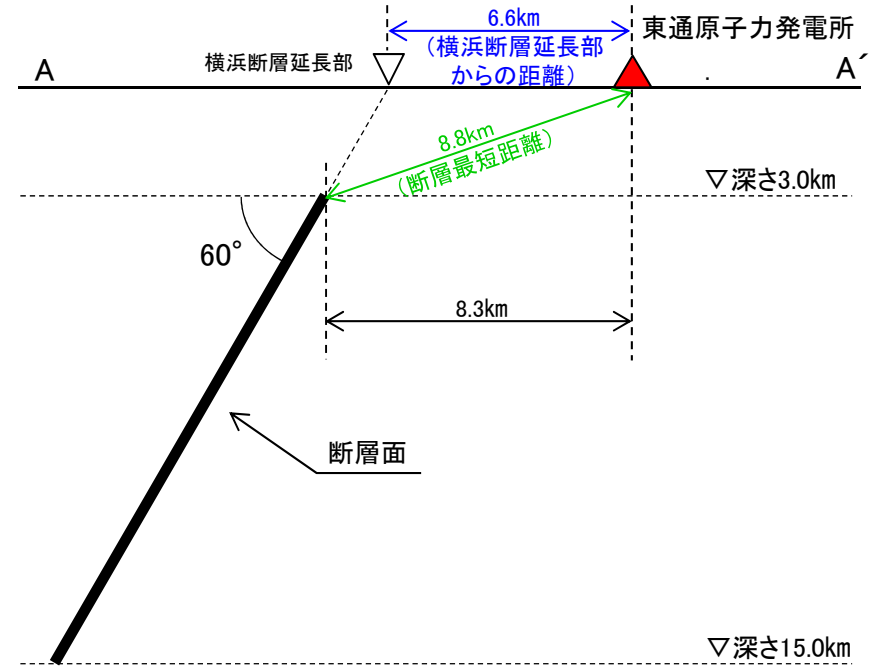
※:地震調査研究推進本部(2020)

5.2 横浜断層(西傾斜)の断層モデルの設定 (2) 基本ケース及び不確かさケース

③ ケース1及びケース3の断層モデル



断層配置図



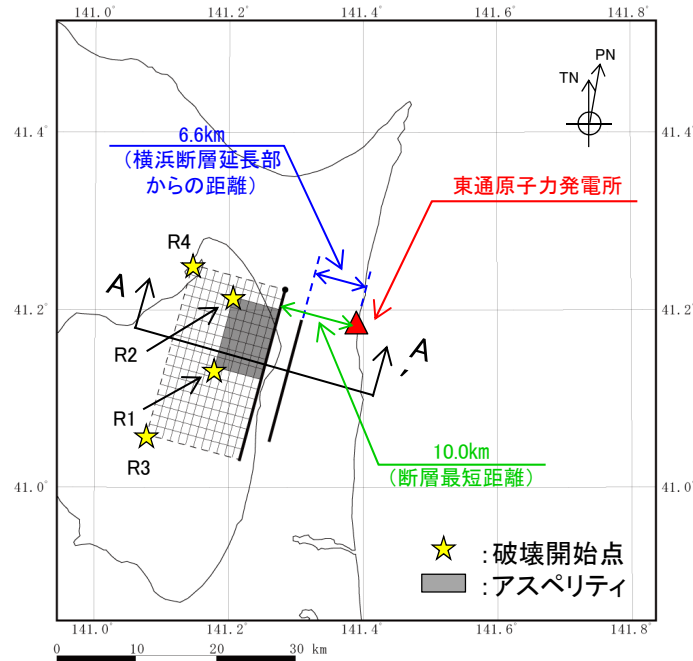
配置図(A-A' 断面)

「横浜断層(西傾斜)による地震」ケース1(基本ケース)及びケース3(応力降下量の不確かさケース)による地震の断層モデル

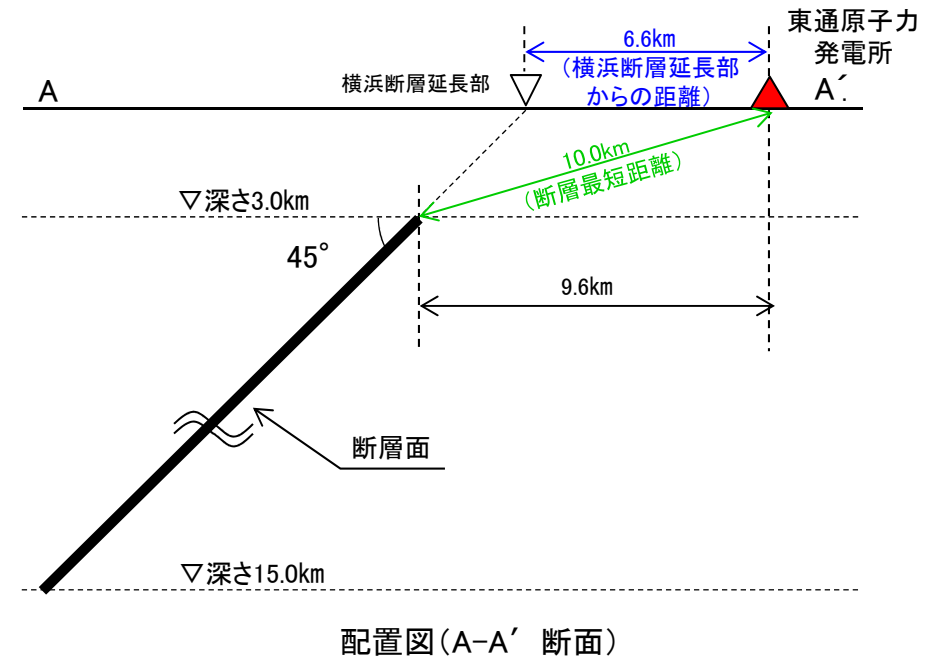
「横浜断層(西傾斜)による地震」ケース1及びケース3の断層諸元

ケース名	M	等価震源距離 Xeq(km)	断層最短距離 R _{Rup} (km)
ケース1(基本ケース) ケース3(応力降下量の不確かさ)	7.0	14	8.8

5.2 横浜断層(西傾斜)の断層モデルの設定 (2) 基本ケース及び不確かさケース ④ケース2の断層モデル



断層配置図



配置図(A-A' 断面)

「横浜断層(西傾斜)による地震」ケース2(断層傾斜角の不確かさケース)による地震の断層モデル

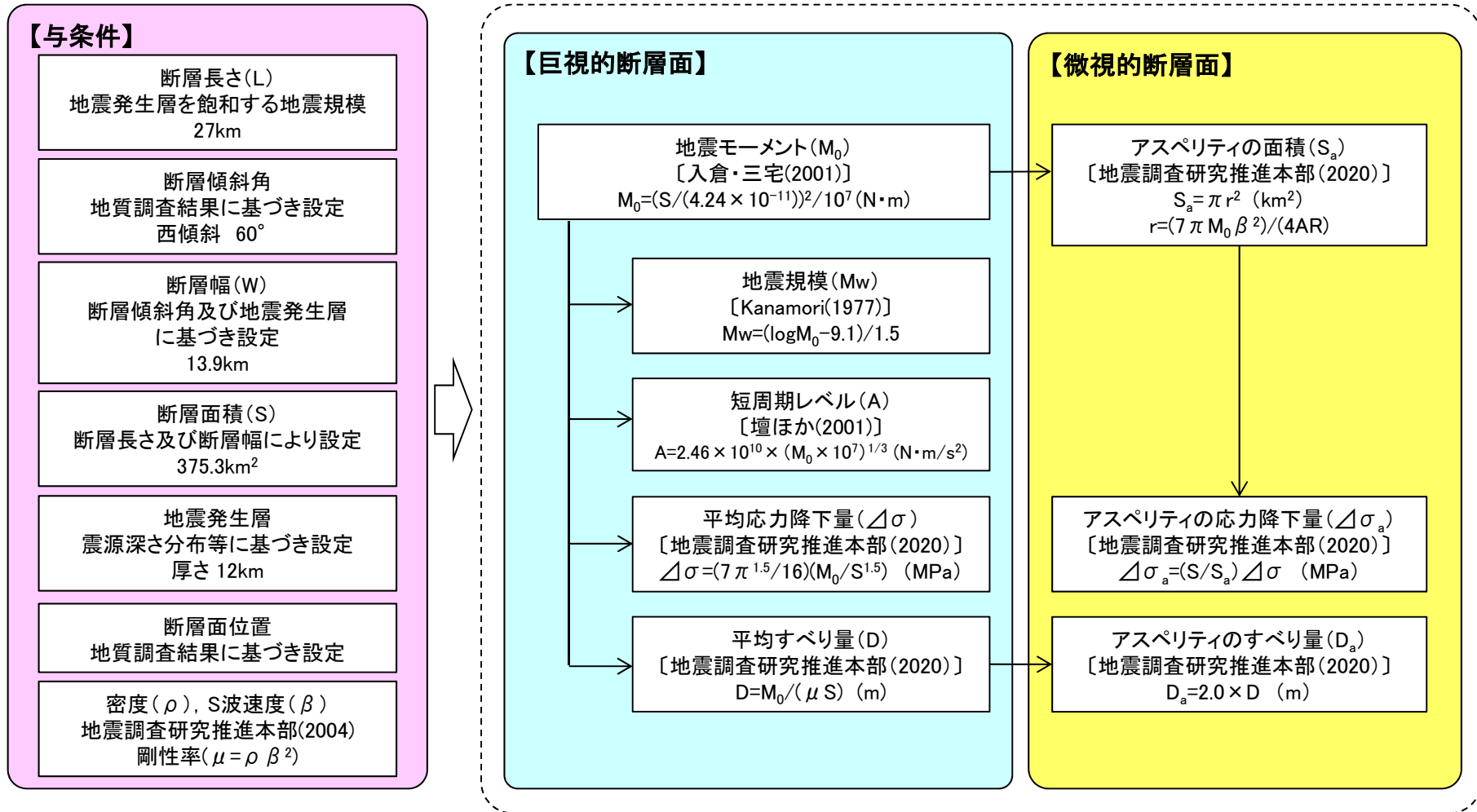
「横浜断層(西傾斜)による地震」ケース2の断層諸元

ケース名	M	等価震源距離 Xeq(km)	断層最短距離 R _{Rup} (km)
ケース2(断層傾斜角の不確かさ)	7.0	16	10.0

5.2 横浜断層(西傾斜)の断層モデルの設定

(3) 断層パラメータ設定フロー ①ケース1及びケース3

- 「横浜断層(西傾斜)による地震」の断層パラメータ設定フローを示す。
- 断層パラメータの設定は、地震調査研究推進本部(2020)の強震動予測レシピを用いる。

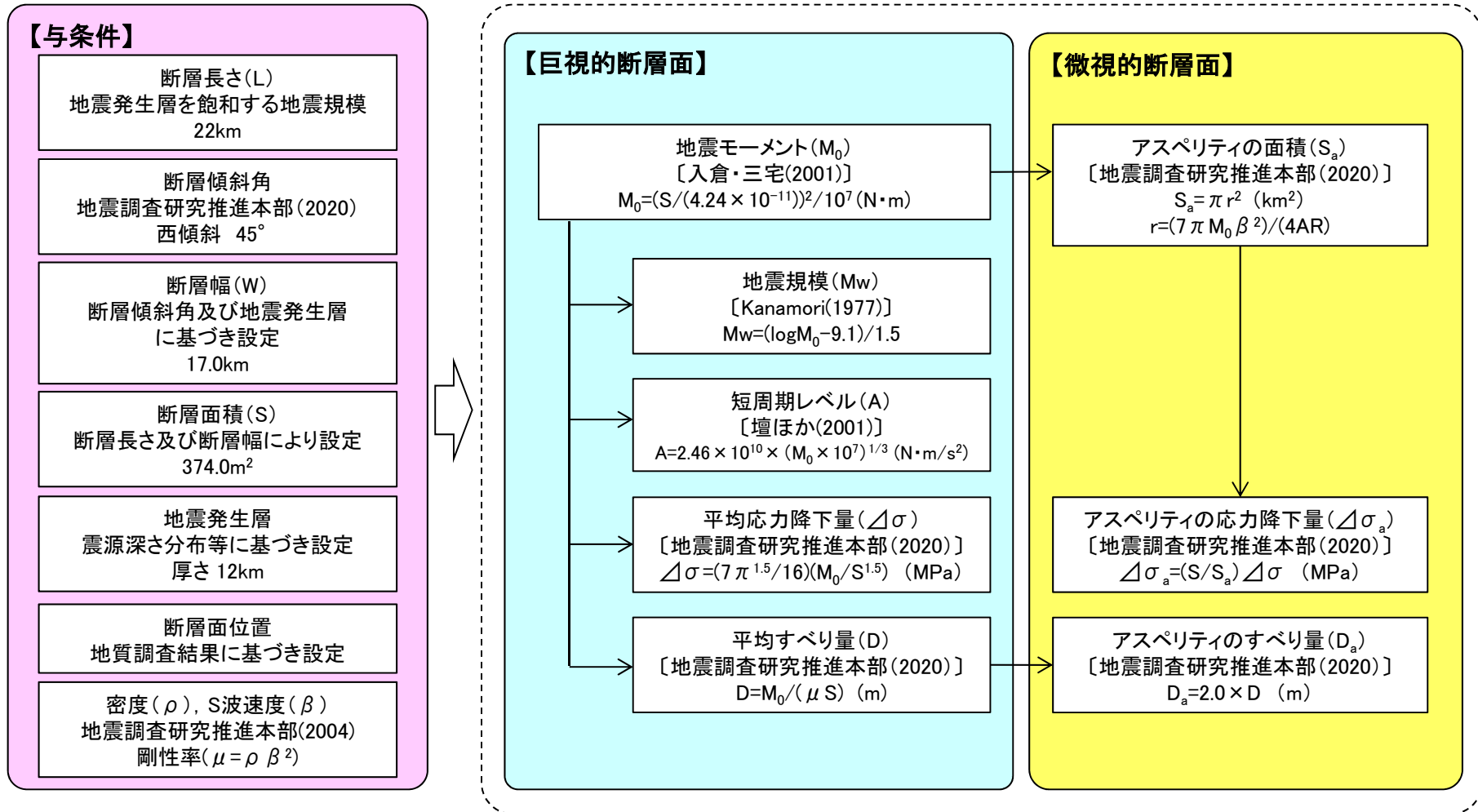


※ケース3(応力降下量の不確かさケース)では、 $\Delta\sigma_a$ を1.5倍にする。

5.2 横浜断層(西傾斜)の断層モデルの設定

(3) 断層パラメータ設定フロー ②ケース2

- 「横浜断層(西傾斜)による地震」の断層パラメータ設定フローを示す。
- 断層パラメータの設定は、地震調査研究推進本部(2020)の強震動予測レシピを用いる。



5.2 横浜断層(西傾斜)の断層モデルの設定

(4) 断層パラメータ

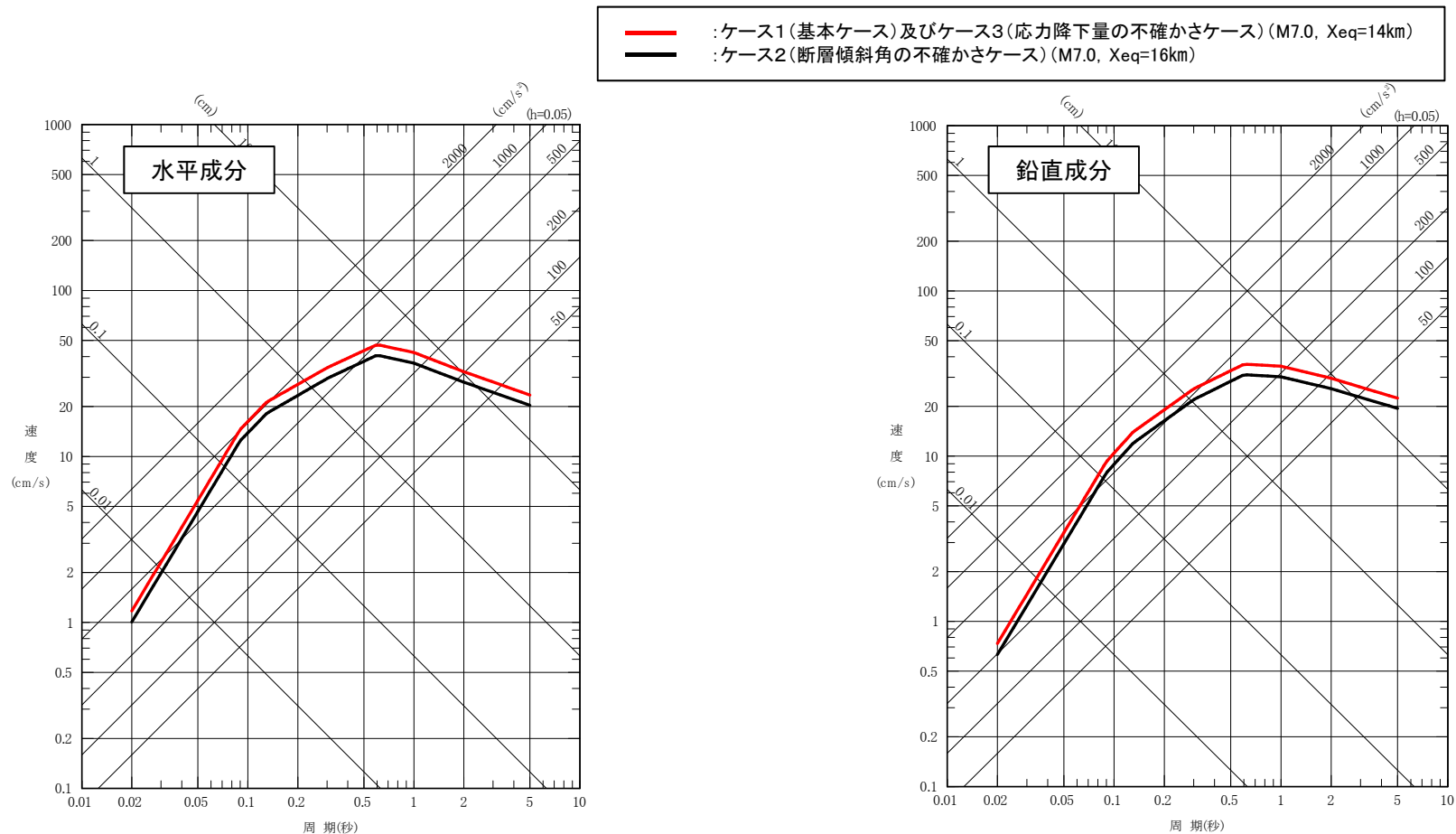
➤ 「横浜断層(西傾斜)による地震」の断層パラメータを以下に示す。

断層パラメータ	記号	単位	設定方法	ケース1 (基本)	ケース2 (断層傾斜角)	ケース3 (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	60	45	60
	断層長さ	L	km	設定	27.0	22.0	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	$S=L \times W$	375.3	374.0	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}	7.78×10^{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	←	←
	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	←	←
	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	0.603	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	2.62	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	$r=(7\pi M_0 \beta^2)/(4AR)$	4.8	←	←
	地震モーメント	M_{0a}	Nm	$M_{0a}=\mu D_a S_a$	3.02×10^{18}	2.99×10^{18}	3.02×10^{18}
	面積	S_a	km ²	$S_a=\pi r^2$	72.3	71.9	72.3
	平均すべり量	D_a	m	$D_a=2D$	1.211	1.207	1.211
	応力降下量	$\Delta\sigma_a$	MPa	$\Delta\sigma_a=(S/S_a)\Delta\sigma$	13.62	13.63	20.43
背景領域	地震モーメント	M_{0b}	Nm	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$	4.81×10^{18}	4.79×10^{18}	4.81×10^{18}
	面積	S_b	km ²	$S_b=S-S_a$	303.0	302.1	303.0
	平均すべり量	D_b	m	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	0.461	0.460	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	2.59	4.76
Q値	Q	—	川瀬・松尾(2004)	$243^{0.69}$	←	←	

5.3 横浜断層(西傾斜)による地震の地震動評価

(1) 地震動評価結果(応答スペクトルに基づく手法)

- 応答スペクトルに基づく手法による「横浜断層(西傾斜)による地震」の地震動評価結果を以下に示す。
- 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), 敷地における地震観測では, 内陸地殻内地震による観測記録が少なく, 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参考3を参照。)

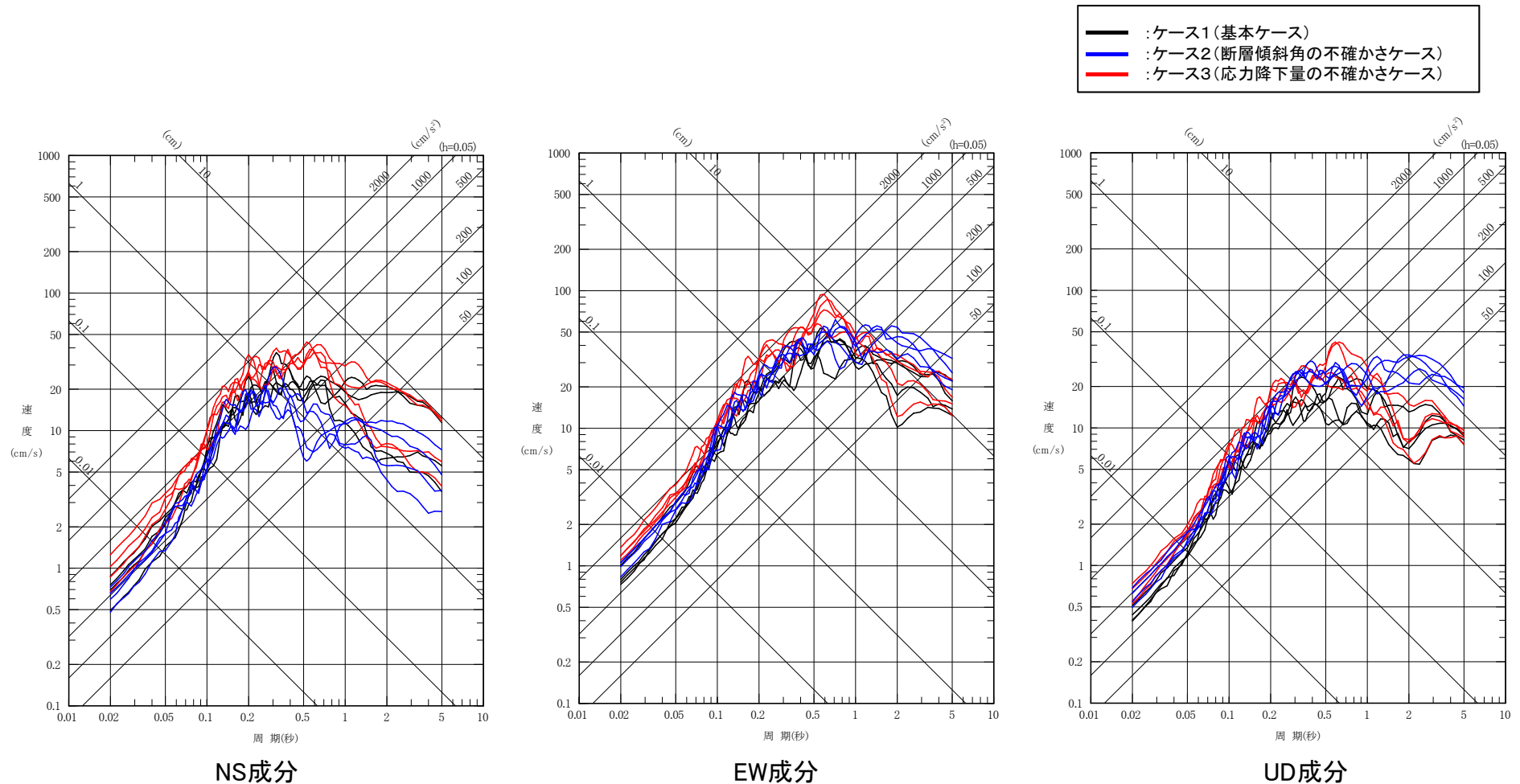


「横浜断層(西傾斜)による地震」の応答スペクトルに基づく地震動評価[Noda et al.(2002)]

5.3 横浜断層(西傾斜)による地震の地震動評価

(2) 地震動評価結果(断層モデルを用いた手法) ① 応答スペクトル

- 断層モデルを用いた手法による「横浜断層(西傾斜)による地震」の地震動評価結果を以下に示す。
- 地震動評価は、統計的グリーン関数法〔釜江ほか(1991)及び入倉ほか(1997)〕を用いた。

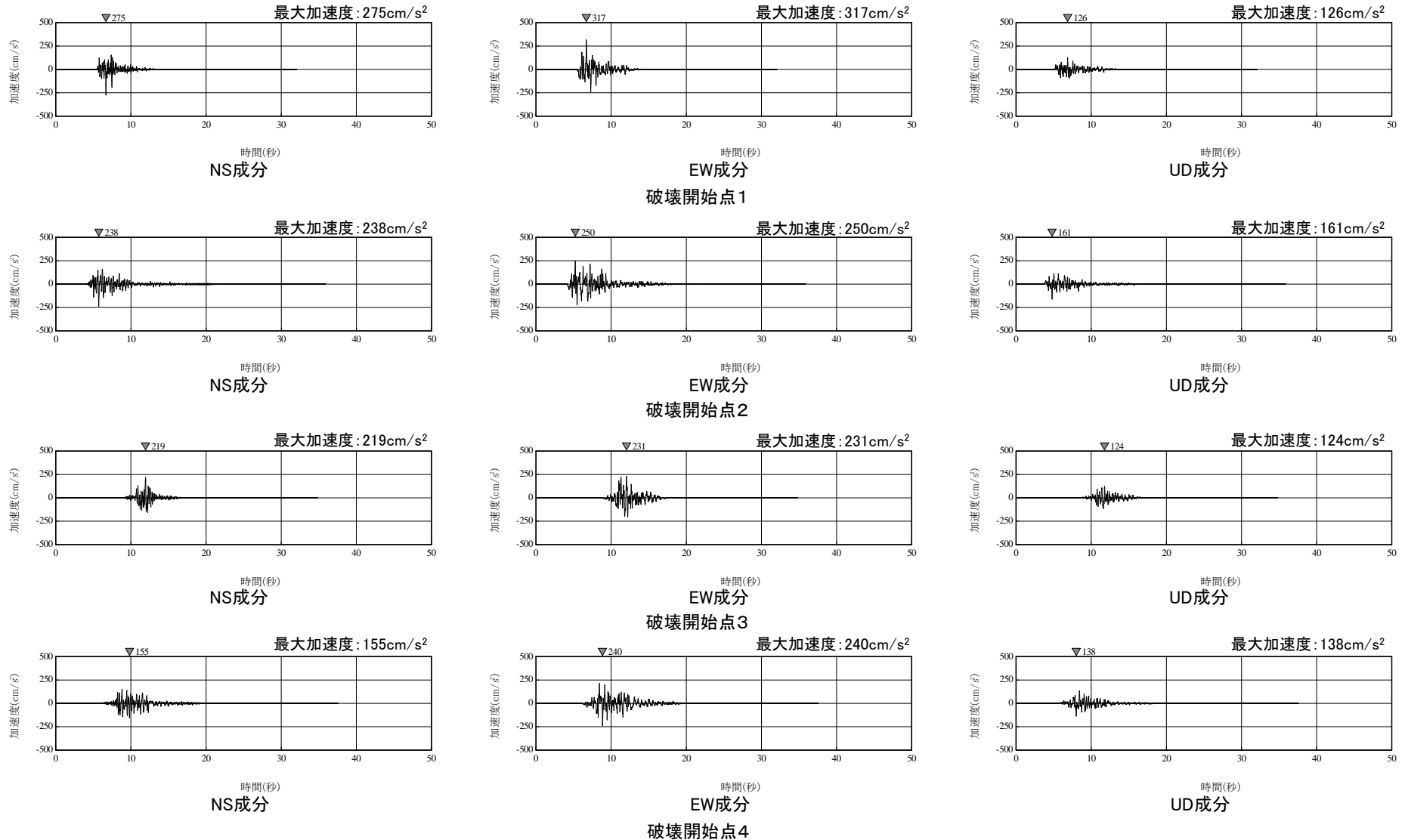


「横浜断層(西傾斜)による地震」の断層モデルを用いた手法による地震動評価(PN基準)

5.3 横浜断層(西傾斜)による地震の地震動評価

(2) 地震動評価結果(断層モデルを用いた手法) ②ケース1の時刻歴波形

➤ 「横浜断層(西傾斜)による地震」ケース1(基本ケース)について、時刻歴波形を示す。

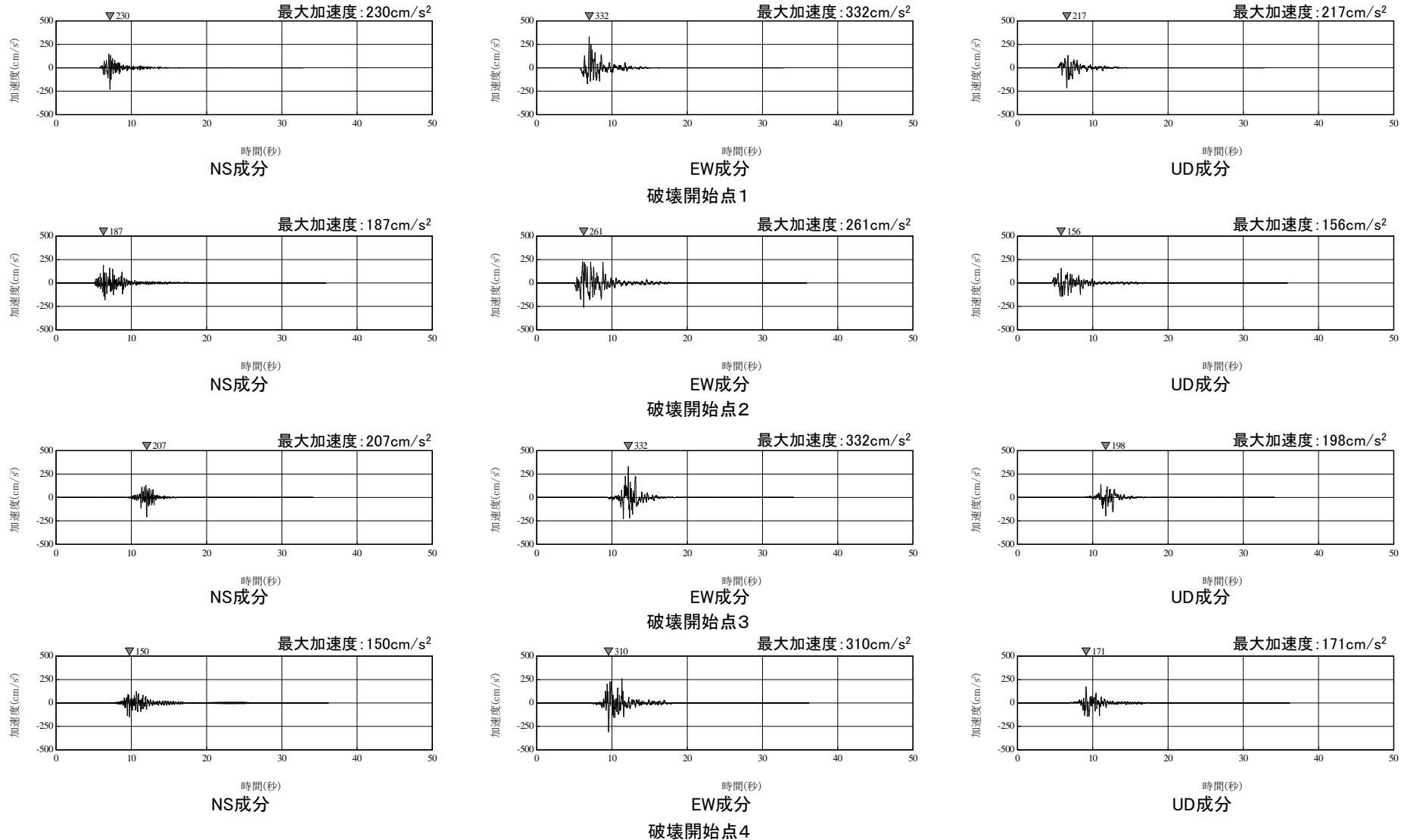


「横浜断層(西傾斜)による地震」の断層モデルを用いた手法による時刻歴波形(ケース1)(PN基準)

5.3 横浜断層(西傾斜)による地震の地震動評価

(2) 地震動評価結果(断層モデルを用いた手法) ③ケース2の時刻歴波形

➤ 「横浜断層(西傾斜)による地震」ケース2(断層傾斜角の不確かさケース)について、時刻歴波形を示す。

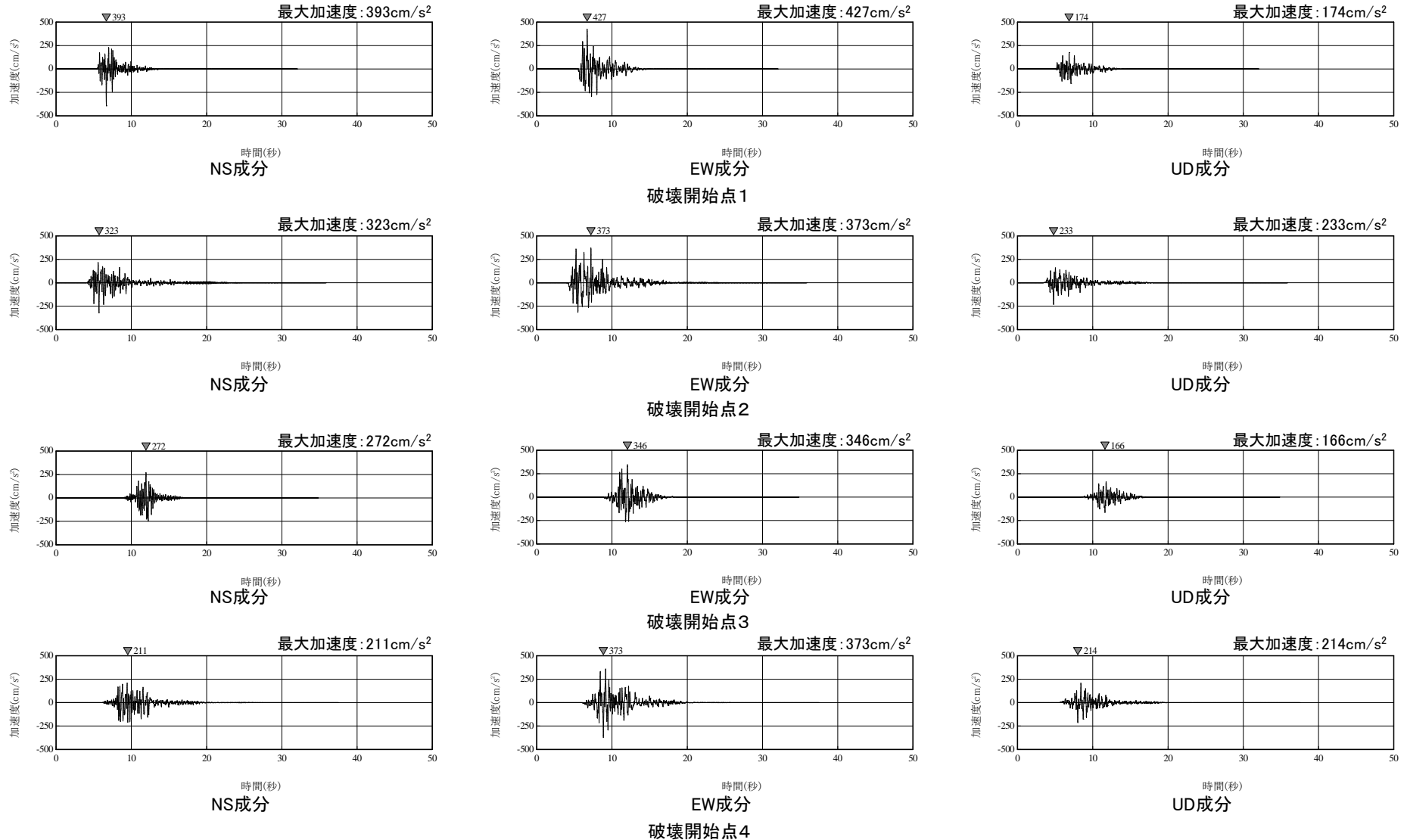


「横浜断層(西傾斜)による地震」の断層モデルを用いた手法による時刻歴波形(ケース2)(PN基準)

5.3 横浜断層(西傾斜)による地震の地震動評価

(2) 地震動評価結果(断層モデルを用いた手法) ④ ケース3の時刻歴波形

➤ 「横浜断層(西傾斜)による地震」ケース3(応力降下量の不確かさケース)について、時刻歴波形を示す。



「横浜断層(西傾斜)による地震」の断層モデルを用いた手法による時刻歴波形(ケース3)(PN基準)

5.4 横浜断層(東傾斜)の断層モデルの設定

(1)「横浜断層(東傾斜)による地震」の不確かさの整理

【不確かさの考え方の整理〔横浜断層(東傾斜)による地震〕】

- 横浜断層(東傾斜)による地震は、陸奥湾付近に想定される活断層を伴わない東傾斜の逆断層による地震を敷地に近い横浜断層の位置で考慮するものであるが、地震動評価上の保守性確保の観点から、地震規模及びアスペリティの応力降下量他について不確かさを考慮する。
- 考慮する不確かさ(断層モデルの主要なパラメータ)を、横浜断層(西傾斜)に準じ認識論的不確かさと偶然的な不確かさに分類すると以下の通りとなる。

【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: 基本ケース及び不確かさケースで共通に考慮する事項

青下線: 基本ケースで考慮する事項

赤下線: 不確かさケースで考慮する事項

種類	パラメータ	基本ケースでの設定	不確かさの考慮
認識論的 不確かさ	地震規模 (断層長さ)	M6.8 (L=20km)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 地質調査結果では東傾斜の活断層は認められないものの、保守的に、地表に活断層が現れない規模を想定する。 ① 基本ケースは、Stirling et al.(2002)などにに基づき、地表に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)を想定。 ② 不確かさとしては、断層面が地震発生層を飽和する地震規模である$M_0=7.5 \times 10^{18}$(Nm)(断層長さL=27km)^{※1}を想定。
	断層の位置	地質調査結果 [地表への延長部が横浜断層(西傾斜)の位置]	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 地質調査結果では東傾斜の活断層は認められないものの、基本ケース及び不確かさケースとも、<u>地表への延長部が横浜断層(西傾斜)の位置となるように想定する。</u>
	断層傾斜角	東傾斜 60度	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 想定は、以下を踏まえ、基本ケース及び不確かさケースとも、横浜断層の位置に断層傾斜角60度とする。 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付近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。
	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	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 基本ケースは、敷地周辺の内陸地殻内地震の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)に基づき設定する。 ✓ <u>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。</u>
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	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 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、基本ケース及び不確かさケースとも<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に想定する。</u>
	破壊開始点	破壊の伝播方向が敷地に向かうように配置	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 基本ケース及び不確かさケースとも、<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)に複数考慮する。</u>

※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)を用いた断層面積と地震発生層を飽和する断層幅を考慮した。

5.4 横浜断層(東傾斜)の断層モデルの設定 (2) 基本ケース及び不確かさケース ①設定の方針

「横浜断層(東傾斜)による地震」

【共通事項】

- 下北半島では高角な逆断層が卓越していること、横浜断層より西側の陸奥湾付近に東傾斜の高角な逆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こと、地震調査研究推進本部(2020)では高角な逆断層は断層傾斜角を60度と設定していることを踏まえ、東傾斜60度の逆断層を想定する。
- 断層位置は、東傾斜の地表への延長部が地質調査結果による横浜断層(西傾斜)の位置となるように想定する。
- アスペリティは、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に想定する。
- 破壊開始点は、ディレクティビティ効果を考慮して破壊が敷地に向かう位置に複数考慮する。

【ケース1(基本ケース)】

- 当該想定震源は、地質調査からは活断層は認められない上で、保守的に仮定した位置づけになるため、地表に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として、Stirling et al.(2002)等に基づき断層長さ20kmを採用する。
 - 設定した震源モデルの断層面は敷地近傍に及ぶものとなる。
- 応力降下量(短周期レベル)は地震調査研究推進本部(2020)に基づく値を採用する。

【ケース2及びケース3(不確かさケース)】

- 断層面が地震発生層を飽和する地震規模である $M_0=7.5 \times 10^{18}\text{Nm}$ を上回るように断層面を保守的に想定(断層長さ27km)する。
- 2007年新潟県中越沖地震の反映として、アスペリティの応力降下量(短周期レベル)について地震調査研究推進本部(2020)に基づく値の1.5倍を考慮する。

5.4 横浜断層(東傾斜)の断層モデルの設定 (2) 基本ケース及び不確かさケース ② 検討ケース

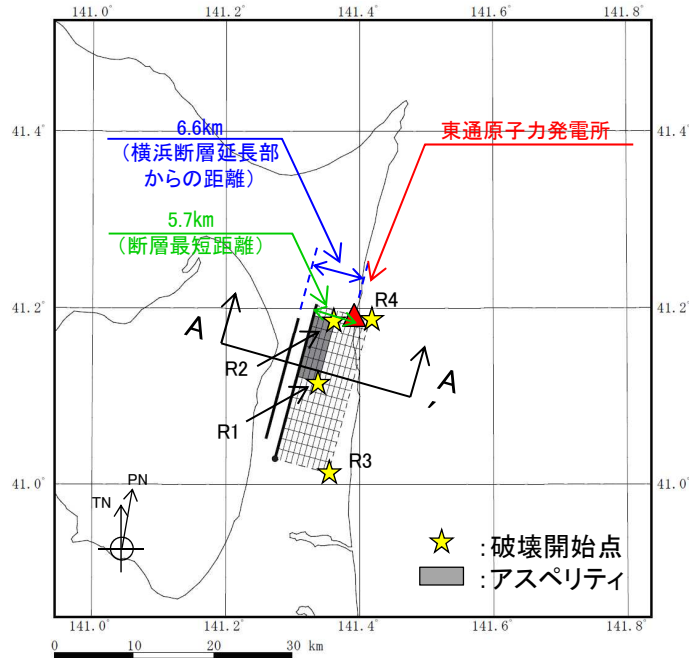
検討用地震の想定〔横浜断層(東傾斜)による地震〕

検討ケース	地震モーメント (断層長さ)	地震規模	断層傾斜角	アスペリティの 応力降下量 MPa	アスペリティ 位置	破壊開始点	評価手法
ケース1 (基本ケース)	4.30×10^{18} (Nm) (L=20km)	M6.8 (Mw6.4)	60° 東傾斜	14.32 (レシビ [※] × 1.0)	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 (地震規模)	7.83×10^{18} (Nm) (L=27km)	M7.0 (Mw6.5)	60° 東傾斜	13.62 (レシビ [※] × 1.0)	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 (地震規模及び 応力降下量)	7.83×10^{18} (Nm) (L=27km)	M7.0 (Mw6.5)	60° 東傾斜	20.43 (レシビ [※] × 1.5)	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

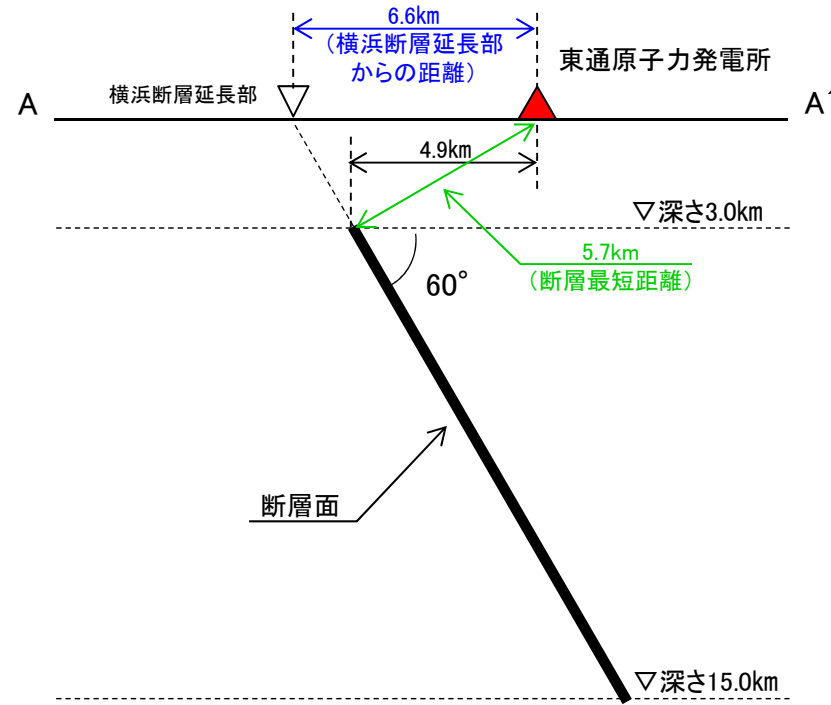
■ : 考慮する不確かさ ■ : あらかじめモデルに織り込む不確かさ

※: 地震調査研究推進本部(2020)

5.4 横浜断層(東傾斜)の断層モデルの設定 (2) 基本ケース及び不確かさケース ③基本ケースの断層モデル



断層配置図



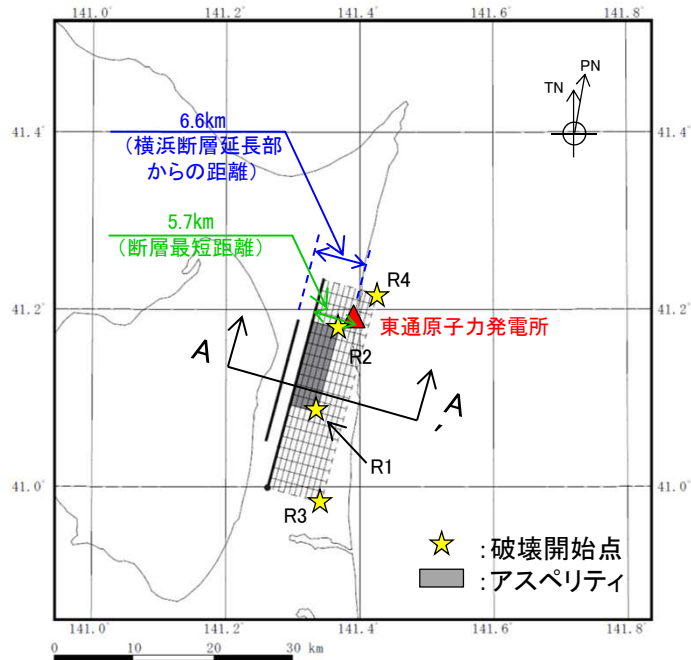
配置図(A-A' 断面)

「横浜断層(東傾斜)による地震」ケース1(基本ケース)の断層モデル

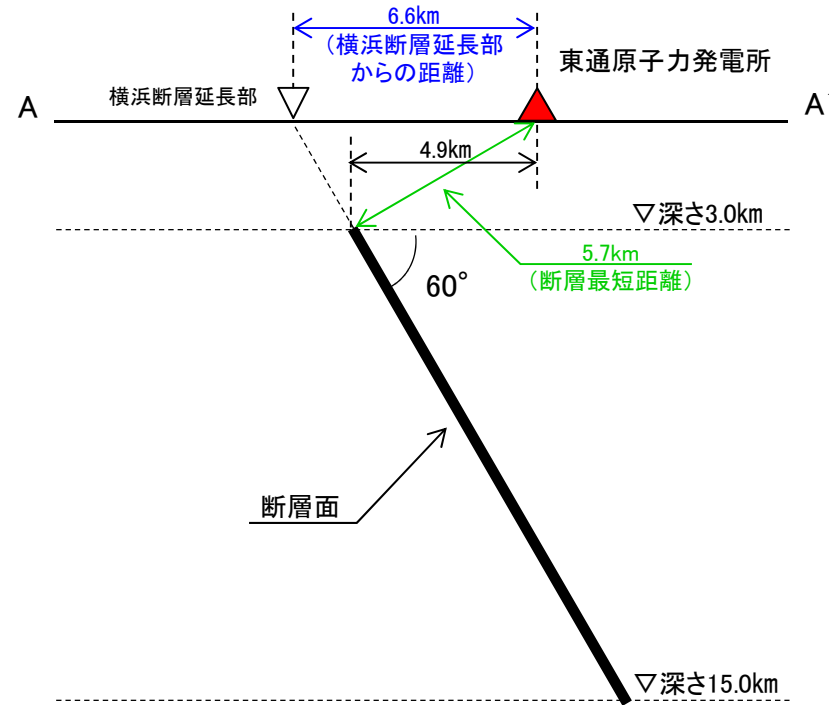
「横浜断層(東傾斜)による地震」ケース1(基本ケース)の断層諸元

ケース名	M	Mw	等価震源距離 Xeq(km)	断層最短距離 R _{Rup} (km)
ケース1(基本ケース)	6.8	6.4	9	5.7

5.4 横浜断層(東傾斜)の断層モデルの設定 (2) 基本ケース及び不確かさケース ④ 不確かさケースの断層モデル



断層配置図



配置図(A-A' 断面)

「横浜断層(東傾斜)による地震」ケース2(地震規模の不確かさケース)及び
ケース3(地震規模及び応力降下量の不確かさケース)による地震の断層モデル

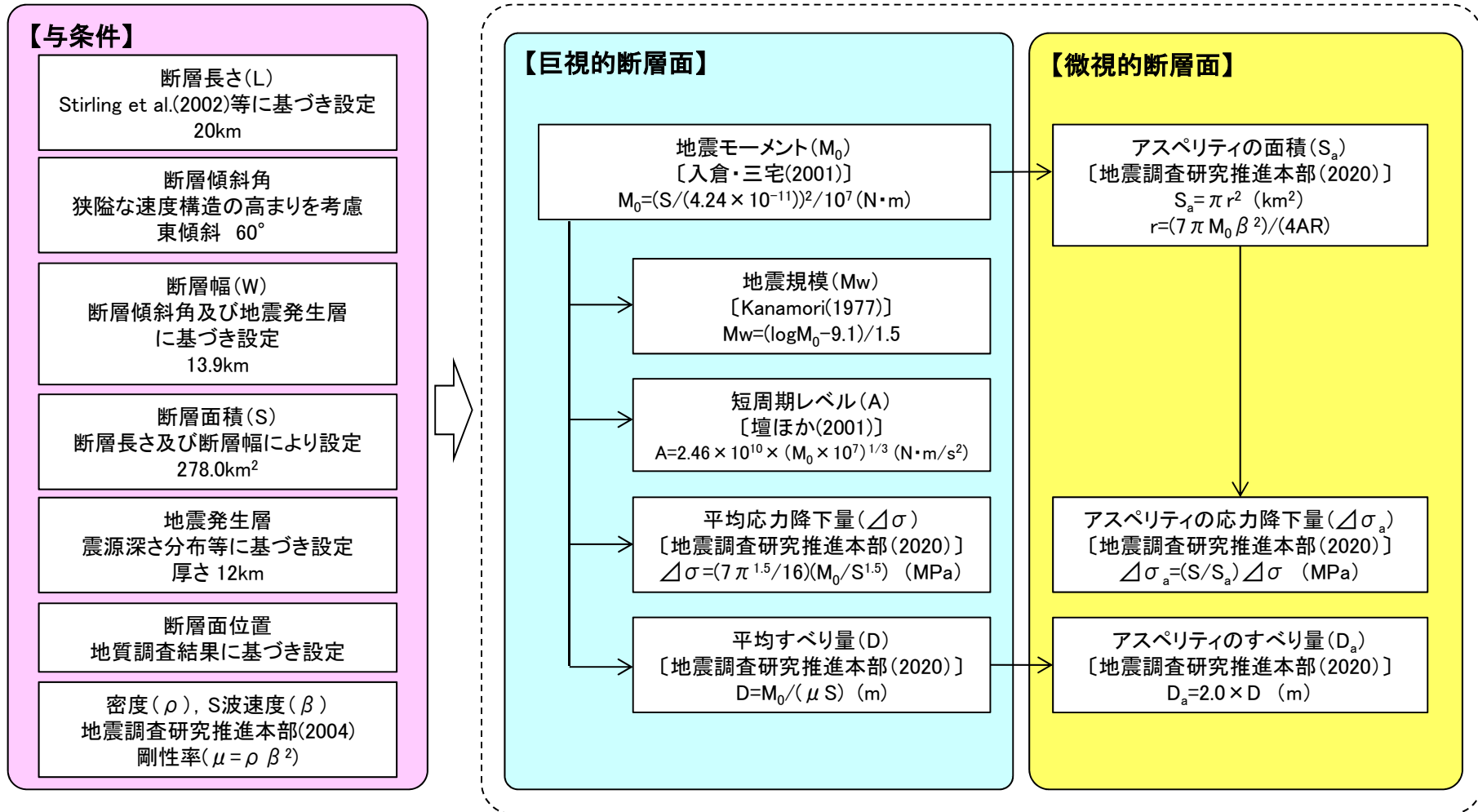
「横浜断層(東傾斜)による地震」ケース2及びケース3の断層諸元

ケース名	M	Mw	等価震源距離 Xeq(km)	断層最短距離 R _{Rup} (km)
ケース2(地震規模) ケース3(地震規模及び応力降下量)	7.0	6.5	10	5.7

5.4 横浜断層(東傾斜)の断層モデルの設定

(3) 断層パラメータ設定フロー ①基本ケース

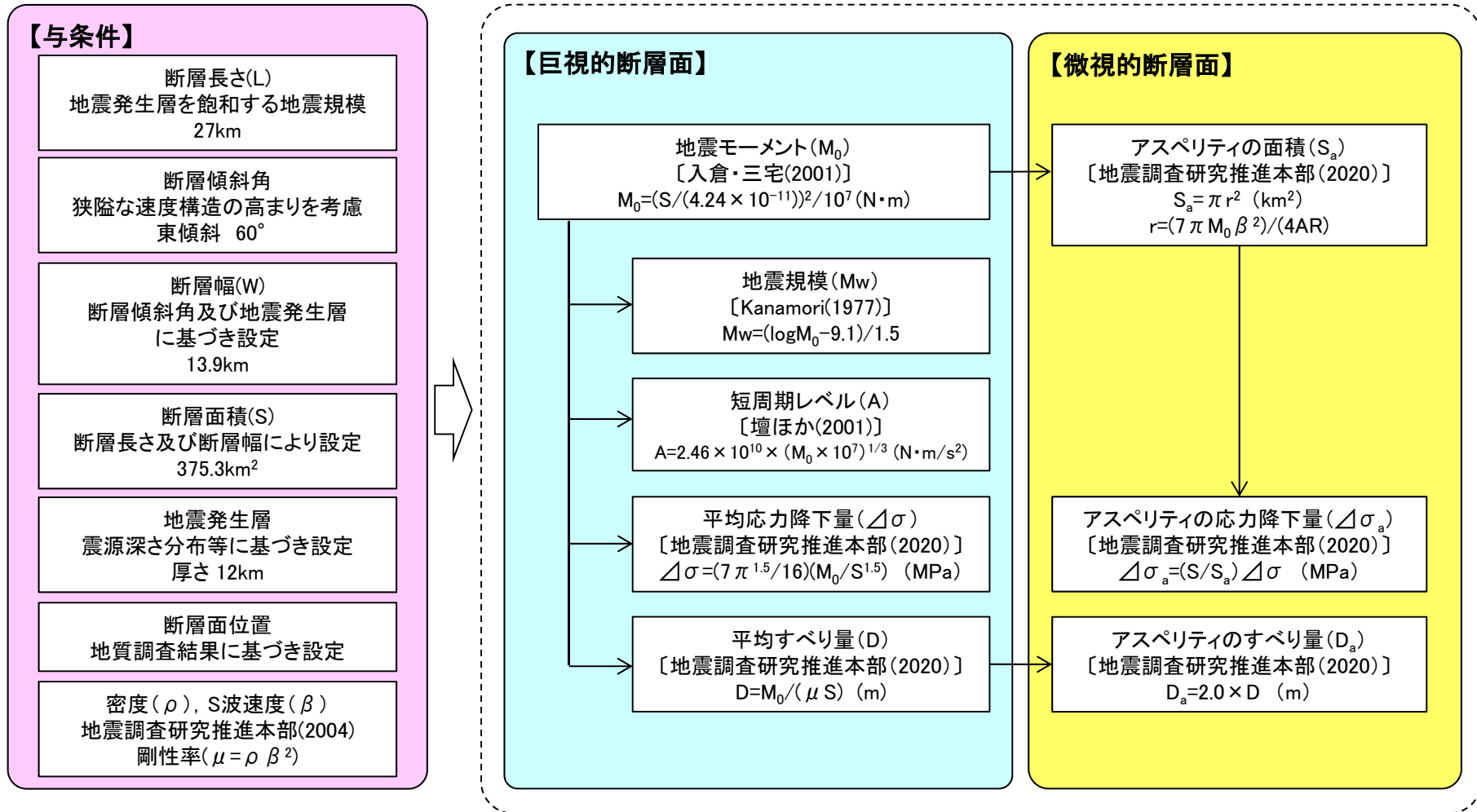
- 「横浜断層(東傾斜)による地震」のケース1(基本ケース)の断層パラメータ設定フローを示す。
- 断層パラメータの設定は、地震調査研究推進本部(2020)の強震動予測レシピを用いる。



5.4 横浜断層(東傾斜)の断層モデルの設定

(3) 断層パラメータ設定フロー ②不確かさケース

- 「横浜断層(東傾斜)による地震」のケース2(地震規模の不確かさケース)及びケース3(地震規模及び応力降下量の不確かさケース)の断層パラメータ設定フローを示す。
- 断層パラメータの設定は、地震調査研究推進本部(2020)の強震動予測レシピを用いる。



5.4 横浜断層(東傾斜)の断層モデルの設定

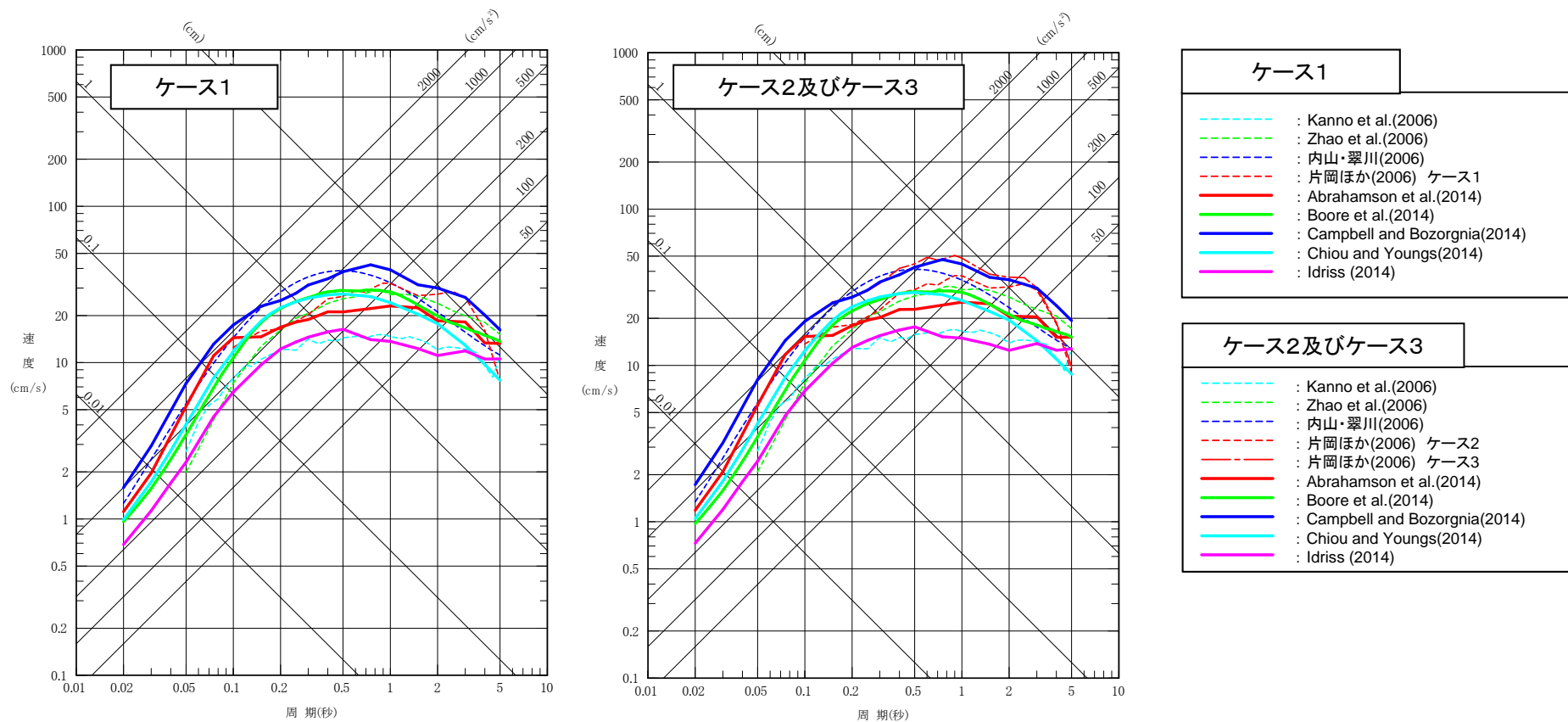
(4) 断層パラメータ

➤ 「横浜断層(東傾斜)による地震」の断層パラメータを以下に示す。

断層パラメータ	記号	単位	設定方法	ケース1 (基本)	ケース2 (地震規模)	ケース3 (地震規模・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	60	←
	断層長さ	L	km	設定	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	←
	断層面積	S	km ²	$S=L \times W$	278.0	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)]	4.30×10^{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)]	6.8	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)]	6.4	6.5
	密度	ρ	g/cm ³	地震本部(2004)に基づき設定	2.69	←
	S波速度	β	km/s	地震本部(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	$D=M_0/(\mu S)$	0.449	0.606
	平均応力降下量	$\Delta\sigma$	MPa	$\Delta\sigma=(7\pi^{1.5}/16)(M_0/S^{1.5})$	2.26	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)]	8.62×10^{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	$r=(7\pi M_0 \beta^2)/(4AR)$, $R=(S/\pi)^{0.5}$	3.74	4.80
	地震モーメント	M_{0a}	Nm	$M_{0a}=\mu D_a S_a$	1.36×10^{18}	3.02×10^{18}
	面積	S_a	km ²	$S_a=\pi r^2$	43.9	72.3
	平均すべり量	D_a	m	$D_a=2D$	0.897	1.211
	応力降下量	$\Delta\sigma_a$	MPa	$\Delta\sigma_a=(S/S_a)\Delta\sigma$	14.32	13.62
背景領域	地震モーメント	M_{0b}	Nm	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$	2.94×10^{18}	4.81×10^{18}
	面積	S_b	km ²	$S_b=S-S_a$	234.1	303.0
	平均すべり量	D_b	m	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	0.365	0.461
	実効応力	σ_b	MPa	$\Delta\sigma_b=(D_b/W_b)/(D_a/W_a)\Delta\sigma_a$, $W_a=S_a^{0.5}$, $W_b=W$	2.77	3.17
Q値	Q	—	川瀬・松尾(2004)	$243^{0.69}$	←	

5.5 横浜断層(東傾斜)による地震の地震動評価 (1)地震動評価結果(応答スペクトルに基づく手法)

- 「横浜断層(東傾斜)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。(参考4を参照)



「横浜断層(東傾斜)による地震」の応答スペクトルに基づく地震動評価(水平)

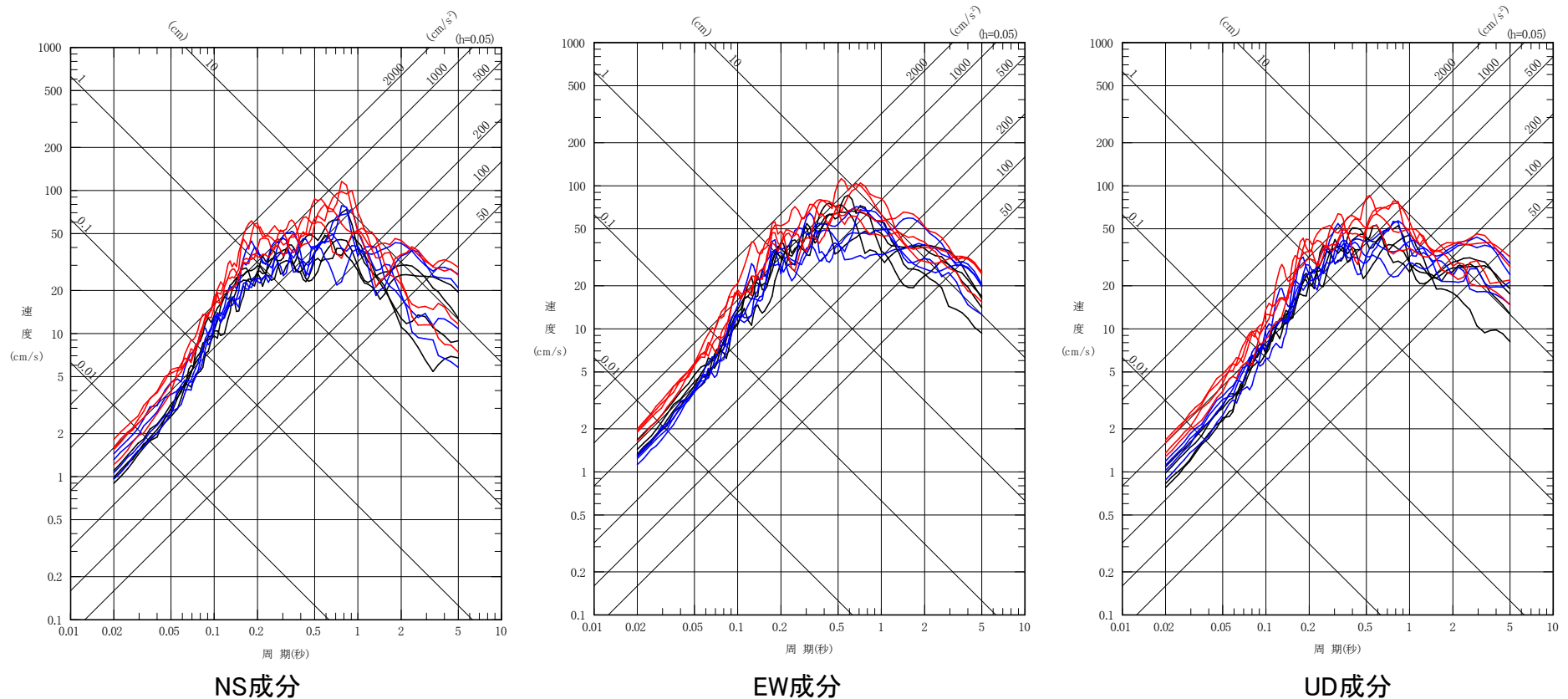
5.5 横浜断層(東傾斜)による地震の地震動評価

(2) 地震動評価結果(断層モデルを用いた手法) ① 応答スペクトル

- 断層モデルを用いた手法による「横浜断層(東傾斜)による地震」の地震動評価結果を以下に示す。
- 地震動評価は、ケース1では統計的グリーン関数法[釜江ほか(1991)及び入倉ほか(1997)], ケース2及びケース3ではハイブリッド合成法*を用いた。

※: 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)の波数積分法]とする(個別の応答スペクトルは参考5参照)。

— : ケース1(基本ケース)
 — : ケース2(地震規模の不確かさケース)
 — : ケース3(地震規模及び応力降下量の不確かさケース)

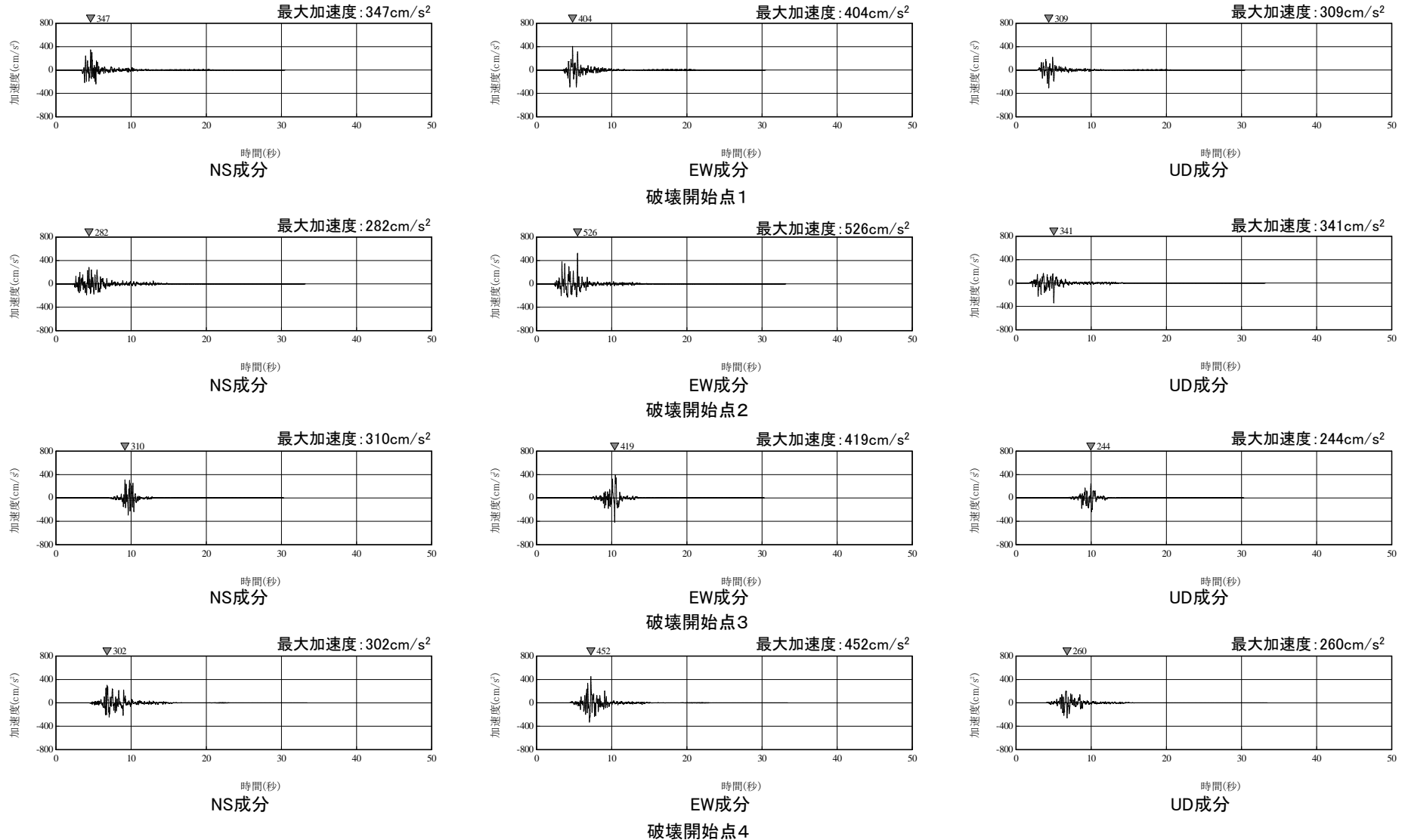


「横浜断層(東傾斜)による地震」の断層モデルを用いた手法による地震動評価(PN基準)

5.5 横浜断層(東傾斜)による地震の地震動評価

(2) 地震動評価結果(断層モデルを用いた手法) ②ケース1の時刻歴波形

➤ 「横浜断層(東傾斜)による地震」のケース1(基本ケース)について、時刻歴波形を示す。

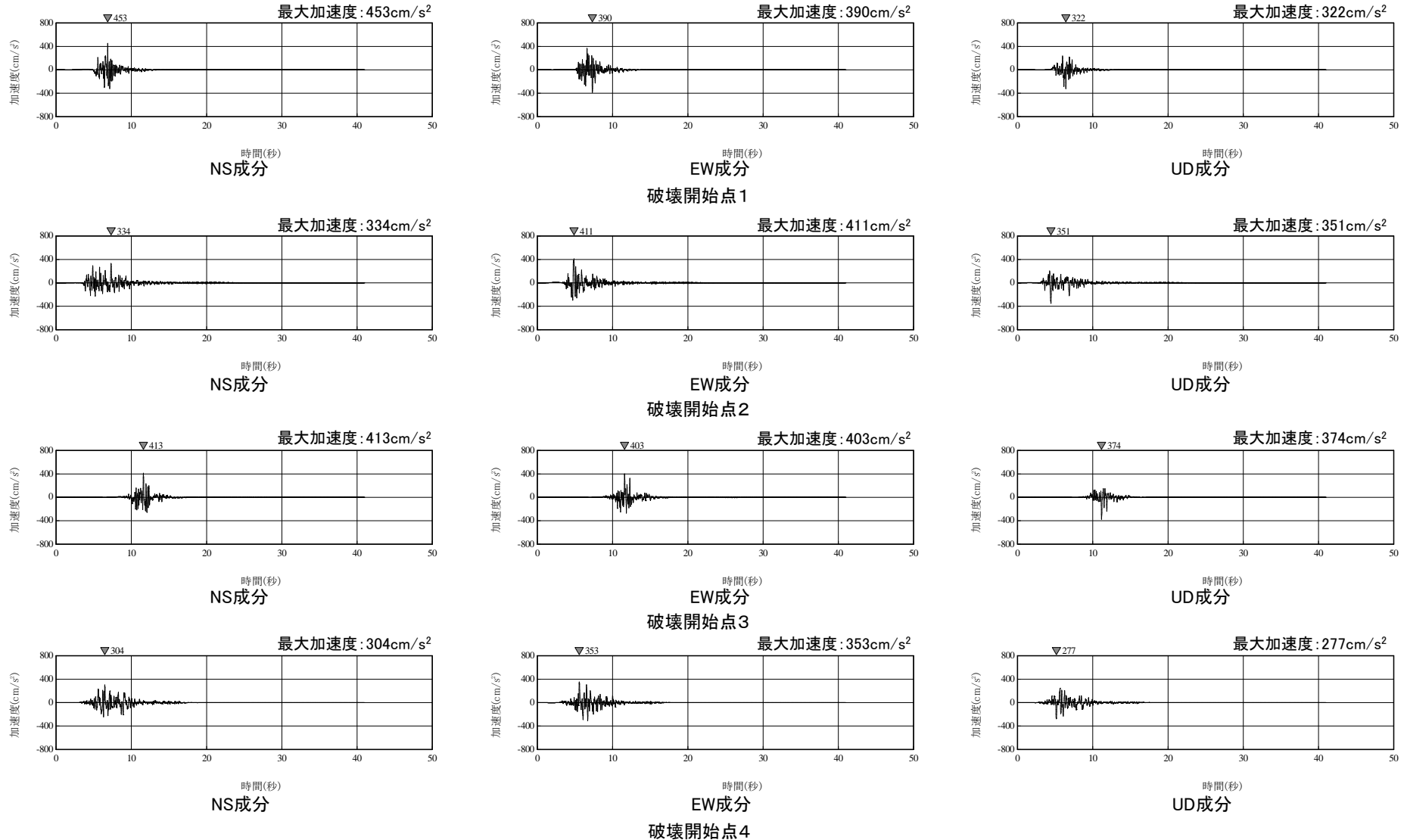


「横浜断層(東傾斜)による地震」の断層モデルを用いた手法による時刻歴波形(ケース1)(PN基準)

5.5 横浜断層(東傾斜)による地震の地震動評価

(2) 地震動評価結果(断層モデルを用いた手法) ③ケース2の時刻歴波形

➤ 「横浜断層(東傾斜)による地震」のケース2(地震規模の不確かさケース)について、時刻歴波形を示す。

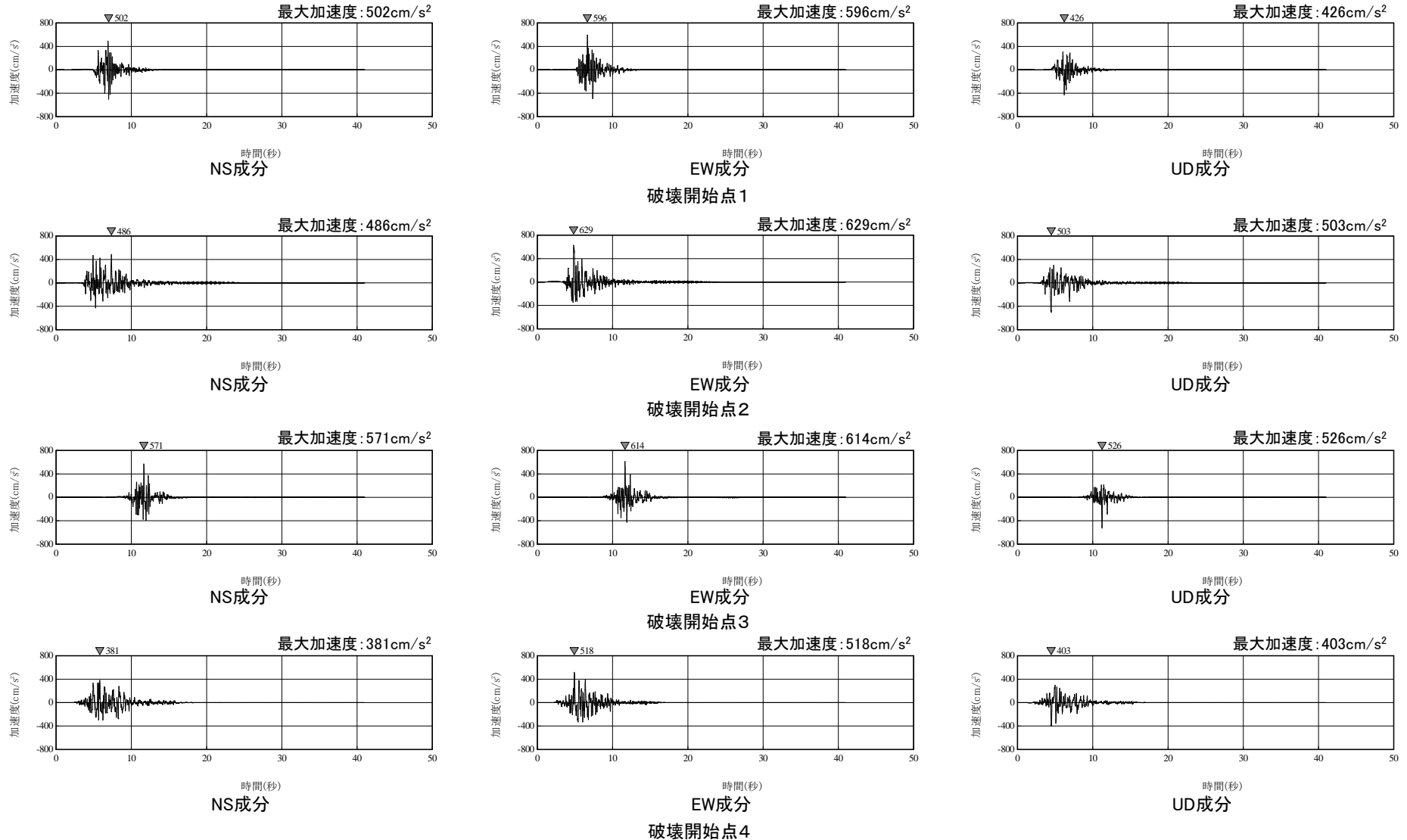


「横浜断層(東傾斜)による地震」の断層モデルを用いた手法による時刻歴波形(ケース2)(PN基準)

5.5 横浜断層(東傾斜)による地震の地震動評価

(2) 地震動評価結果(断層モデルを用いた手法) ④ケース3の時刻歴波形

➤ 「横浜断層(東傾斜)による地震」のケース3(地震規模及び応力降下量の不確かさケース)について、時刻歴波形を示す。



「横浜断層(東傾斜)による地震」の断層モデルを用いた手法による時刻歴波形(ケース3)(PN基準)

5.6 検討用地震の地震動評価 まとめ

1. 横浜断層(西傾斜)による地震

- 地質調査結果等に基づき、西傾斜の逆断層による地震を想定した。地震規模は、地震発生層を飽和するように設定した。
- 不確かさとして、断層傾斜角及び2007年新潟県中越沖地震を踏まえたアスペリティの応力降下量(短周期レベル)を考慮した。
- 応答スペクトルに基づく地震動評価は、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)を用いた。
- 断層モデルを用いた手法による地震動評価は、敷地における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用いた。

2. 横浜断層(東傾斜)による地震

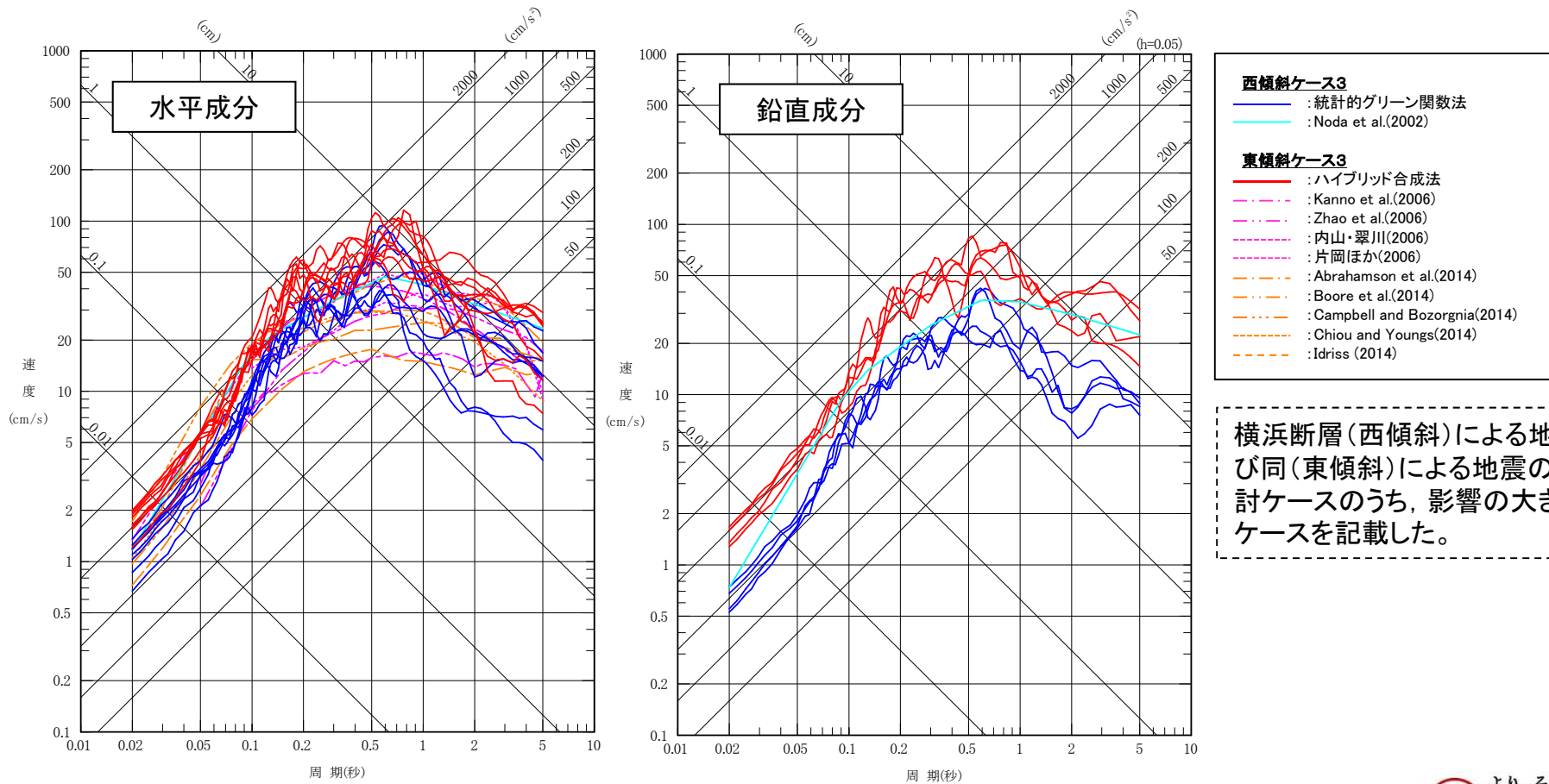
- 地質調査からは活断層は認められない上で、下北半島中軸部の狭隘な速度構造の高まり等を踏まえ、横浜断層(西傾斜)の位置に東傾斜の逆断層による規模の小さな地震[横浜断層(東傾斜)による地震]を想定して地震動評価上の保守性を確保するための検討を行った。
- 不確かさとして、地震規模及び2007年新潟県中越沖地震を踏まえたアスペリティの応力降下量(短周期レベル)を考慮した。
- 応答スペクトルに基づく地震動評価は、Noda et al.(2002)のデータ範囲外となることから、各種距離減衰式を用いた評価を行った。
- 断層モデルを用いた手法による地震動評価は、敷地における適切な観測記録が得られていないことから、統計的グリーン関数法及びハイブリッド合成法(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)を用いた。

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(西傾斜)による地震**」を選定し、地震動評価を行った。
- 下北半島中軸部の狭隘な速度構造の高まり等を踏まえ、地震動評価上の保守性を確保する検討として、「**横浜断層(東傾斜)による地震**」を検討用地震として想定し、地震動評価を行った。

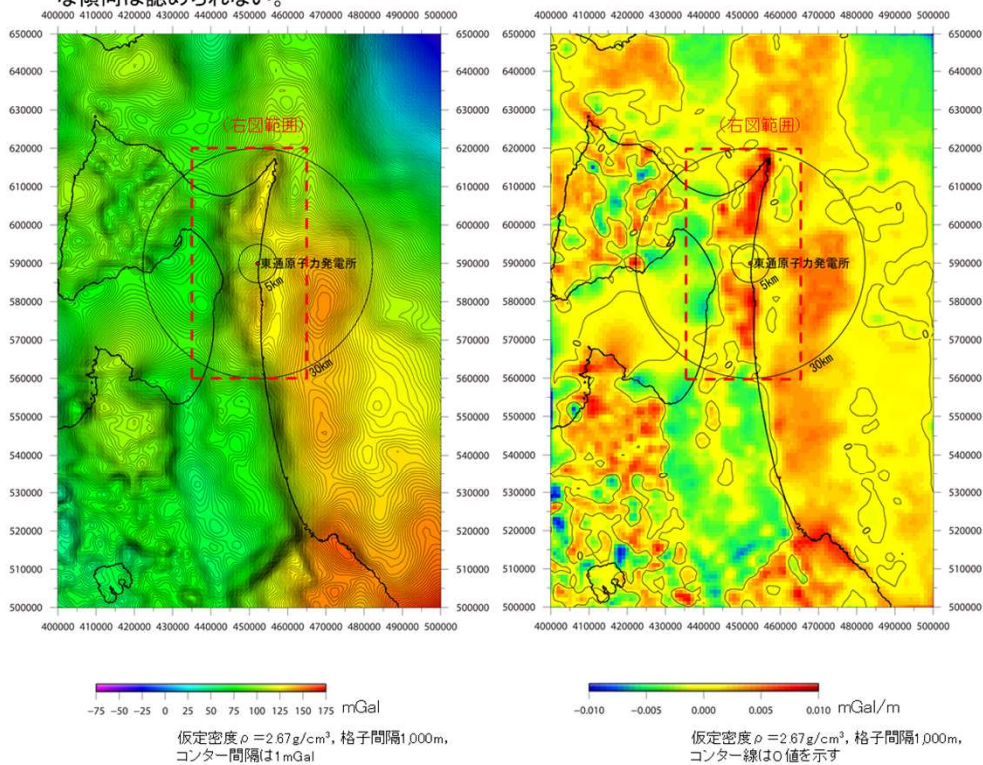


参考資料

- 参考1 敷地周辺の重力異常に関する検討
- 参考2 横浜断層の地質調査結果
- 参考3 敷地で観測された内陸地殻内地震[Noda et al.(2002)との比較]
- 参考4 各種距離減衰式
- 参考5 ハイブリッド合成法

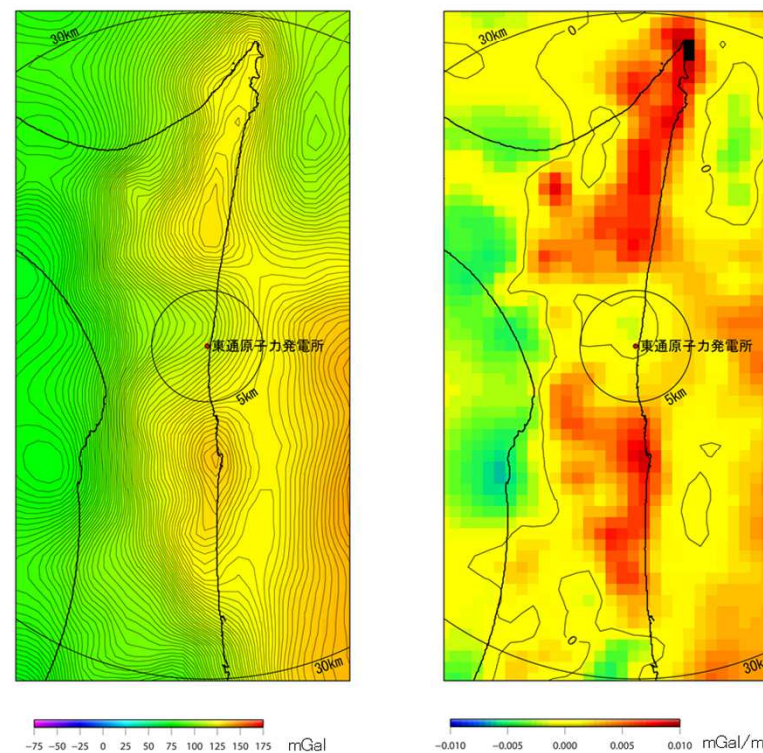
参考1 敷地周辺の重力異常に関する検討

- 敷地～敷地近傍の地下構造に関して、重力異常データに基づき更に詳細な検討を行った。
 - ✓ 重力異常データについて、格子間隔1,000m, コンター間隔1mGalで再整理した。(データセットは最新の重力データベースである「地質調査総合センター編(2013), 日本重力データベースDVD版」を用いた。)
 - ✓ 新第三系と基盤を構成する地層の間の顕著な構造差が存在する可能性や、この構造差の位置、連続性、直線性、規模等について検討を行うことを目的とし、詳細な重力異常を基に鉛直1次微分図を作成するとともに、ハイパスフィルタとして傾向面除去及び上方接続結果除去を実施した。
- 詳細な重力異常に基づく鉛直1次微分図を作成した。
- 重力異常図によると、北下脊梁山地の高重力異常域とむつ低地～陸奥湾の低重力異常域の境界部には、大局的には南北方向の重力異常の急勾配域が比較的直線的に連続するが、敷地～敷地近傍では少なくとも地質調査で確認されたNNE-SSW走向の断層群に対応するような、顕著な重力異常急勾配は認められない。
- 鉛直1次微分図によると、北下脊梁山地とむつ低地～陸奥湾の境界部のNNE-SSW方向の重力異常の急勾配域に対応して連続性の良いゼロコンターがみられる。一方、敷地～敷地近傍には、不規則な形状の閉じたゼロコンターが認められるのみであり、敷地直下に小規模な凹地の存在が示唆されるものの、敷地～敷地近傍に分布するNNE-SSW走向の断層群に対応するような傾向は認められない。



重力異常図(広域)

鉛直1次微分図(広域)

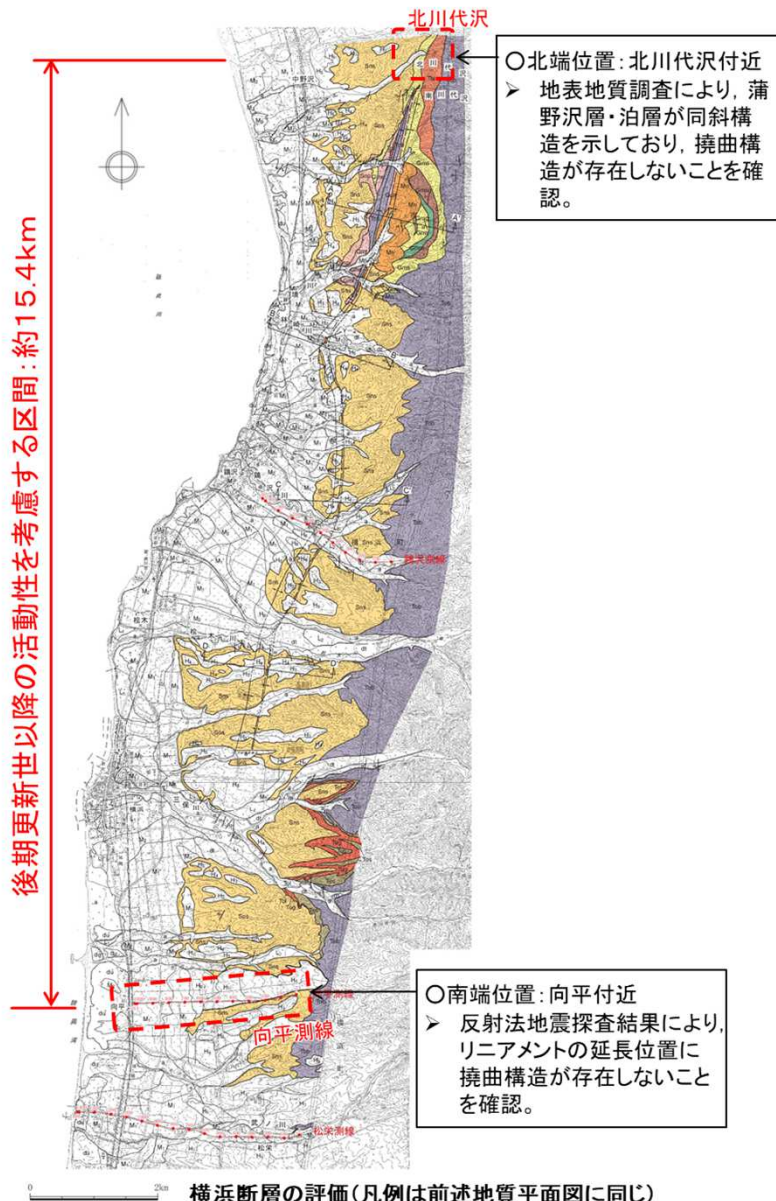


重力異常図(敷地近傍)

鉛直1次微分図(敷地近傍)

「地質調査総合センター(編)(2013), 日本重力データベースDVD版」のデータセットを用いて重力異常図及び等値線を作成した。

参考2 横浜断層の地質調査結果 (1) 評価の概要



○活動性の評価

横浜断層は、洞爺火山灰層準に変位および変形が認められること等から、後期更新世以降の活動性を考慮し、北川代沢付近(北端)から向平付近(南端)までの約15.4km間について、震源として考慮する活断層と評価する。

【文献調査】

- 「[新編]日本の活断層」(1991)によれば約4km間に、「活断層詳細デジタルマップ[新編]」(2018)によれば約10km間に活断層等として横浜断層が示されている。

【空中写真判読】

- むつ市中野沢南東から横浜町横浜南東にかけて、 L_B 、 L_C 及び L_D リニアメントが判読される。
- 「[新編]日本の活断層」(1991)、「活断層詳細デジタルマップ[新編]」(2018)等の文献指摘の横浜断層は、判読される L_B 、 L_C 及び L_D リニアメントに概ね対応している。

【地質調査】

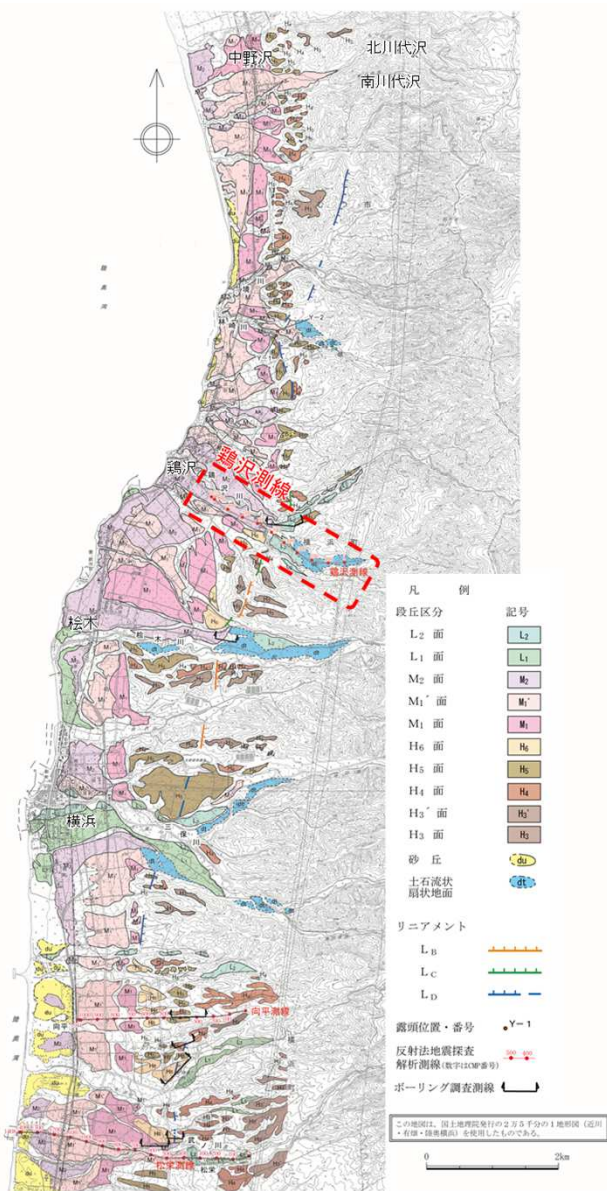
- 横浜断層は、後期更新世以降の活動性を考慮する。
 - ✓ 空中写真判読によるリニアメントに対応して、中新統あるいは砂子又層に、1対の背斜構造(西側)及び向斜構造(東側)並びに西上がりの逆断層を伴う西上がりの撓曲構造が認められる。
 - ✓ 断層中央部付近で実施されたトレンチ調査結果によれば、洞爺火山灰層準に変位及び変形が認められ、阿蘇4火山灰層準にも高度差があり、その高度差が断層活動により形成された可能性が否定できない。
- 北川代沢付近(北端)及び向平付近(南端)では撓曲構造が存在しないことを確認しており、約15.4km間について活動性を考慮する。
 - ✓ 横浜断層と下北断層(後述)は、リニアメントの延長位置及び地形の低下側方向が異なること、断層の延長位置及び地質構造の特徴が異なること等から、互いに連続する断層ではないと判断している。

【文献指摘の活断層等及び空中写真判読によるリニアメントに対する評価結果】

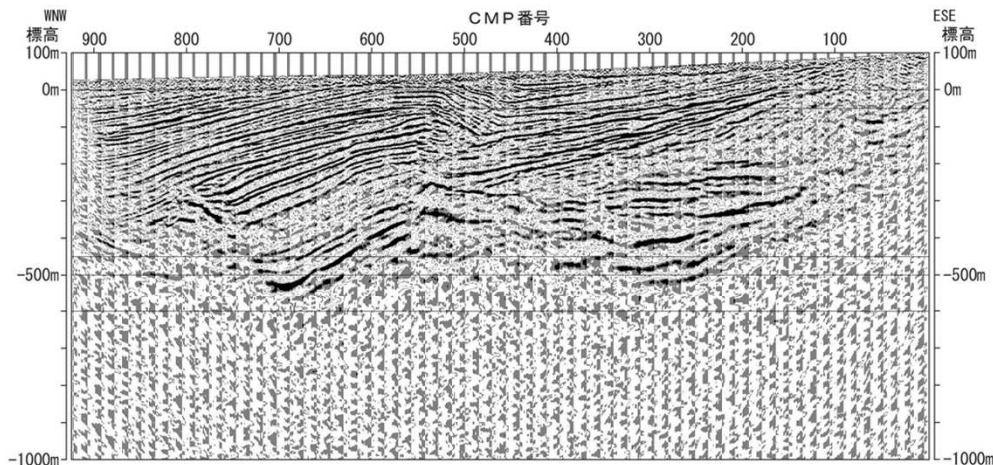
- 文献指摘による横浜断層及び空中写真判読によるリニアメントは、上記のとおり、横浜断層の評価に包含される。
- ✓ 「活断層詳細デジタルマップ[新編]」(2018)による横浜断層帯のうち、北部のリニアメントに対応していない箇所については断層は認められないことを確認している。

参考2 横浜断層の地質調査結果 (2) 鷄沢測線の反射法地震探査

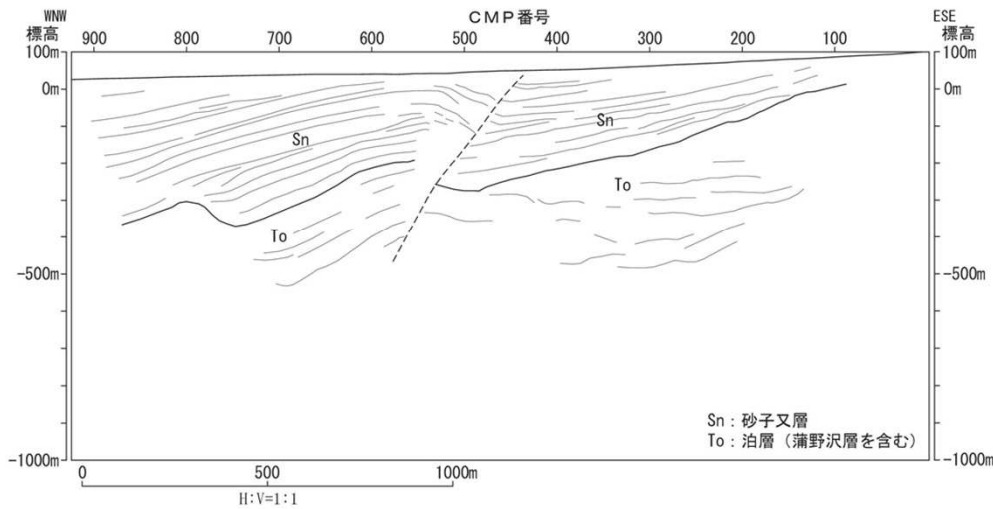
➤ 鷄沢東方において、反射法地震探査により、砂子又層の撓曲部に西上がりの逆断層が見られる。



横浜断層周辺の空中写真判読図



振源：油圧インパクト1台
発振点間隔：5m
受振点間隔：10m
収録時間：2sec
サンプリング間隔：1msec



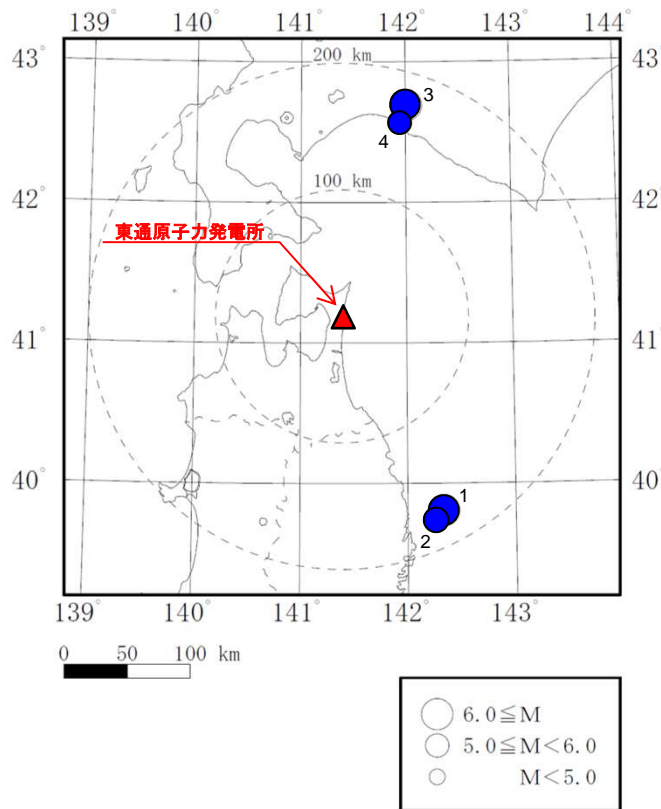
Sn：砂子又層
To：泊層（蒲野沢層を含む）

鷄沢測線の深度断面とその解釈

参考3 敷地で観測された内陸地殻内地震〔Noda et al.(2002)との比較〕

(1) 震央分布

- 敷地で観測された内陸地殻内地震を以下に示す〔Noda et al.(2002)のデータ範囲に該当する地震〕。
- 該当する観測地震は、①4地震と少ないこと、②そのうち2地震は2018年北海道胆振東部で発生した地震であるが、当該地震についてはIwasaki et al.(2019)によれば日高衝突帯のモホ面の下まで破壊が及んだ地震とされていること、③4地震とも遠方で発生した地震であることから、敷地周辺の地震に対するスペクトル特性を表しているとは言い難い。



- 検討に用いた観測記録は、以下の条件を満たす4地震とした。

- ① 自由地盤観測点の観測開始(1994年)～2018年8月の観測記録
- ② 地震規模M5.5以上、震源距離200km以内
- ③ 気象庁「地震・火山月報(防災編)」に発生様式の記載がある

Noda et al.(2002)に対する応答スペクトル比の検討に用いた内陸地殻内地震

No.	年	月	日	時	分	東経		北緯		M	震源 深さ (km)	震央 距離 (km)	震源 距離 (km)	Xeq (km)
						(°)	(')	(°)	(')					
1	2012	3	27	20	0	142	20.03	39	48.38	6.6	21	173	174	174
2	2012	4	30	0	2	142	15.3	39	44.53	5.6	23	177	178	178
3	2018	9	6	3	7	142	0.4	42	41.4	6.7	37	174	178	178
4	2018	9	6	3	20	141	56.9	42	34.3	5.5	36	160	164	164

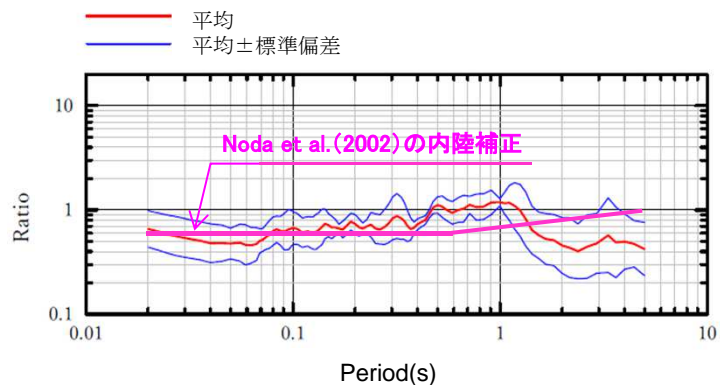
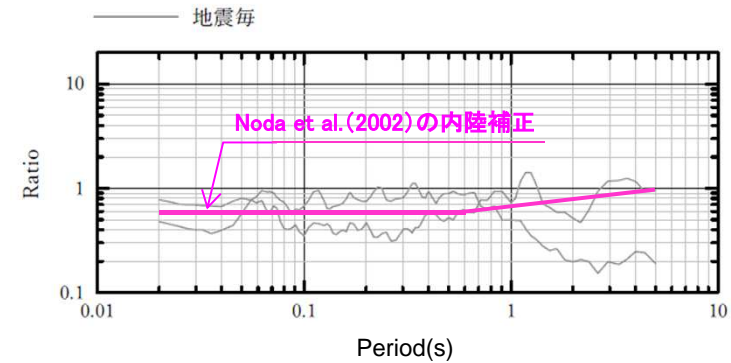
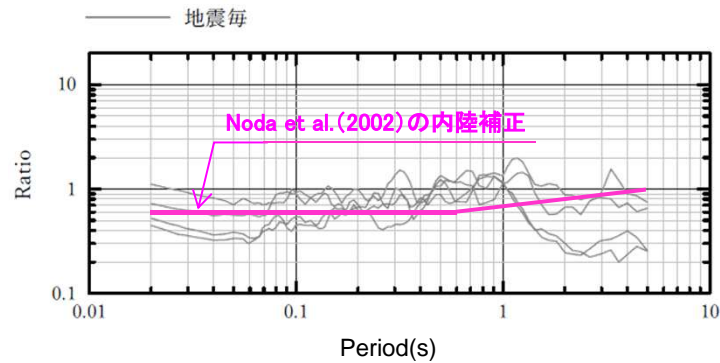
Xeq: 等価震源距離

検討に用いた内陸地殻内地震の震央分布

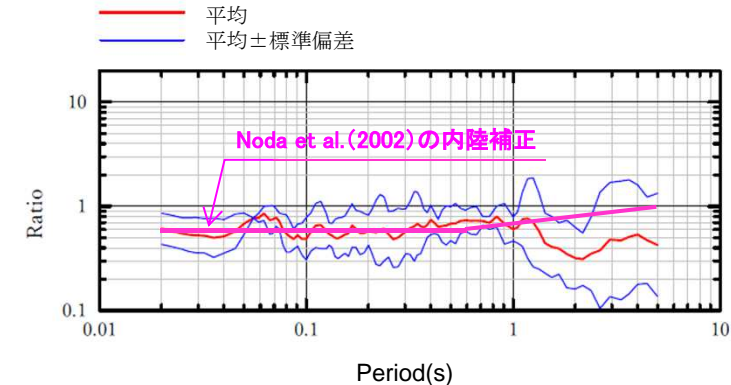
参考3 敷地で観測された内陸地殻内地震〔Noda et al.(2002)との比較〕

(2)Noda et al.(2002)に対する応答スペクトル比 ①2018年北海道胆振東部地震を除く2地震

- 参考として、2018年北海道胆振東部地震(M6.7)及びその余震を除く2地震について、Noda et al.(2002)に対する観測記録(T.P. +2.0mのはぎとり波)の応答スペクトル比を示す。



水平成分



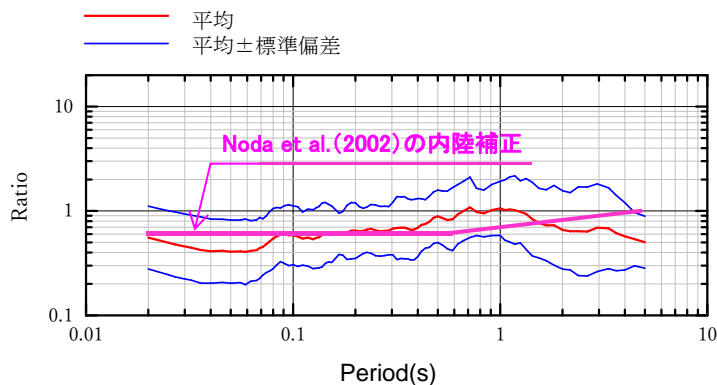
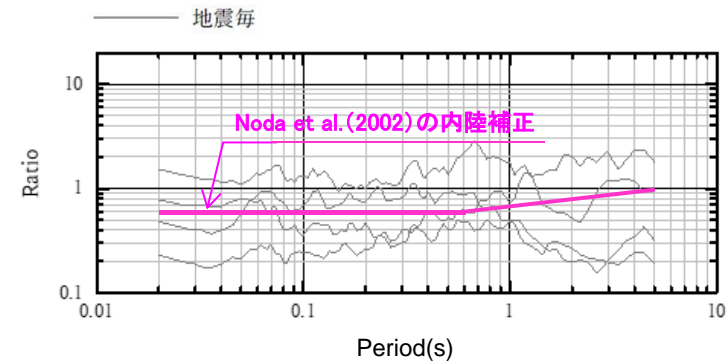
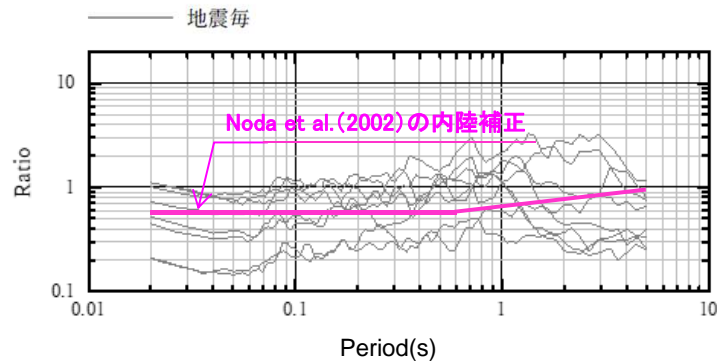
鉛直成分

内陸地殻内地震のNoda et al.(2002)に対する応答スペクトル比(2地震)

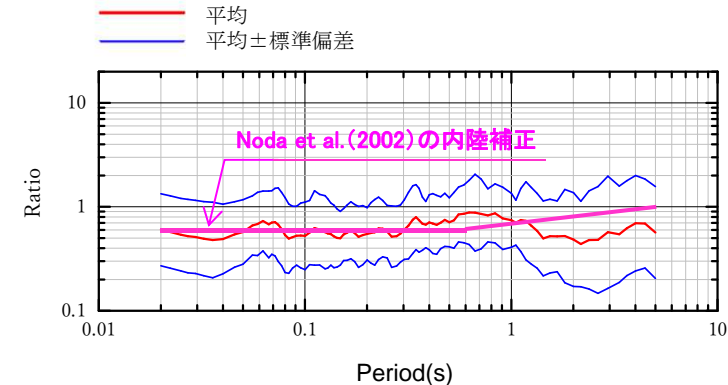
参考3 敷地で観測された内陸地殻内地震(Noda et al.(2002)との比較)

(2)Noda et al.(2002)に対する応答スペクトル比 ②2018年北海道胆振東部地震を含む4地震

- 参考として、2018年北海道胆振東部地震(M6.7) 及びその余震を含む4地震について、Noda et al.(2002)に対する観測記録(T.P. +2.0mのはぎとり波)の応答スペクトル比を示す。



水平成分



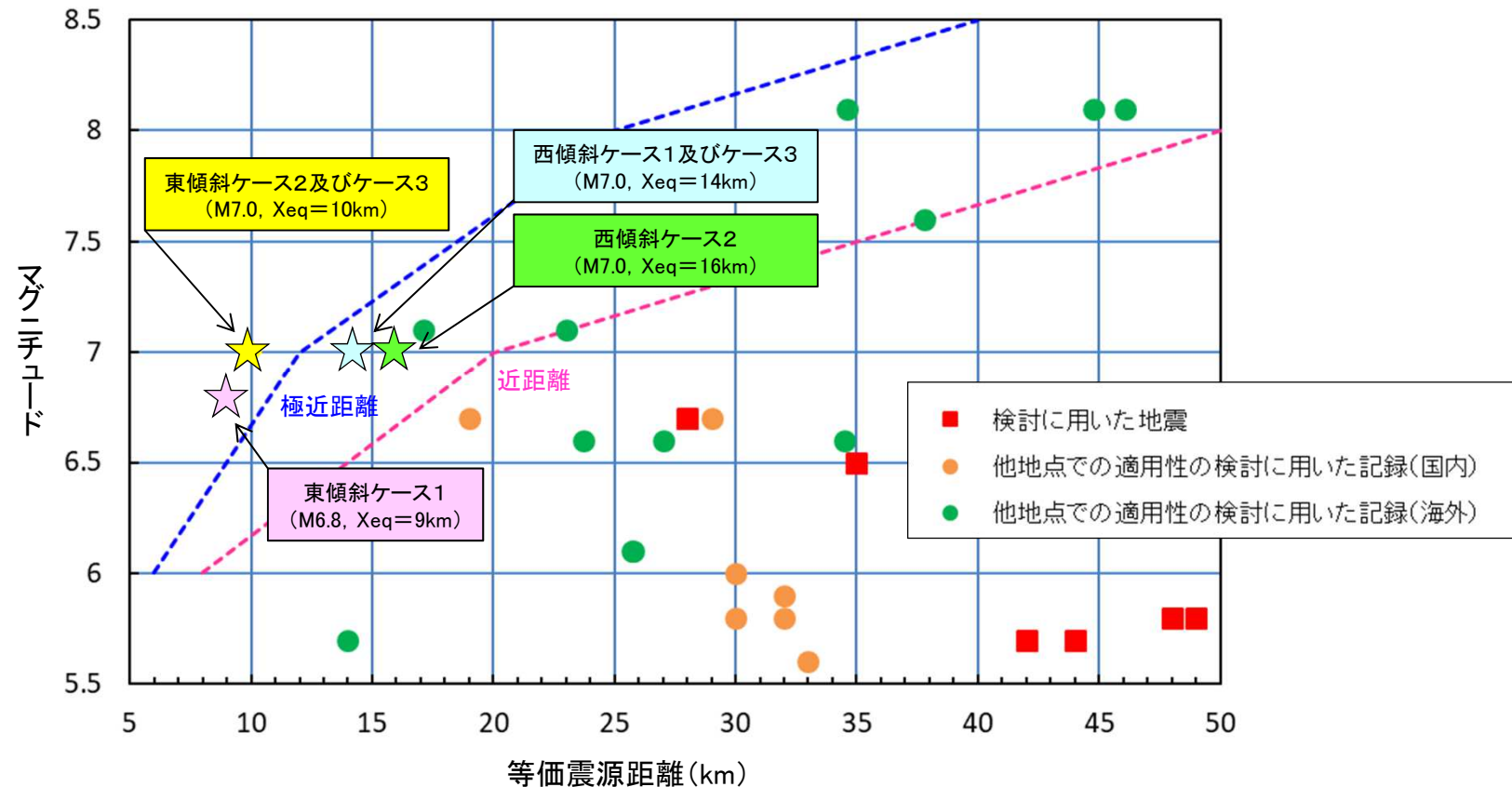
鉛直成分

内陸地殻内地震のNoda et al.(2002)に対する応答スペクトル比(4地震)

参考4 各種距離減衰式

(1) Noda et al.(2002)のデータ範囲と横浜断層(東傾斜・西傾斜)による地震との関係

- 「横浜断層(東傾斜)による地震」は、Noda et al.(2002)のデータ範囲外となる。
- なお、「横浜断層(西傾斜)による地震」は、いずれのケースもデータ範囲内となる。



Noda et al.(2002)のデータ範囲と横浜断層(東傾斜・西傾斜)による地震との関係

[Noda et al.(2002)のデータ範囲に重ね書き]

参考4 各種距離減衰式

(2) 各種距離減衰式の概要

各種距離減衰式の概要

距離減衰式	データベース 対象地域	地震タイプ	主なパラメータ	地震規模の範囲	距離の範囲 (km)	地盤条件等
(参考) Noda et al.(2002)	国内	主に太平洋側の プレート間地震	M_j , 等価震源距離, V_s , V_p	5.5~7.0	28~202km (震源距離)	$500 \leq V_s \leq 2700$ m/s
Kanno et al.(2006)	主に国内	内陸, プレート間, 海洋プレート内	M_w , 断層最短距離, 震源深さ, V_{s30}	5.5~8.2	1~500km	$100 < V_{s30} < 1400$ m/s
Zhao et al.(2006)	主に国内	内陸, プレート間, 海洋プレート内	M_w , 断層最短距離, 震源深さ	5.0~8.3	0.3~300km	Soft Soil~Hard rock($V_s=2000$ m/s)
内山・翠川(2006)	日本周辺	内陸, プレート間, 海洋プレート内	M_w , 断層最短距離, 震源深さ	5.5~8.3	300km以内	$150 \leq V_{s30} \leq 750$ m/s
片岡ほか(2006)	国内	内陸, 海溝性	M_w , 断層最短距離, 短周期レベル	陸: 4.9~6.9 海: 5.2~8.2	250km以内	I~III種地盤 工学的基盤
Abrahamson et al. (2014)	国内外	内陸	M_w , 断層最短距離, V_{s30} , 断層上端深さ	3.0~8.5	0~300km	$180 \leq V_{s30} \leq 1000$ m/s
Boore et al.(2014)	国内外	内陸	M_w , 断層面の地表投影 最短距離, V_{s30}	3.0~8.5(横ずれ・逆断層) 3.0~7.0(正断層)	0~400km	$150 \leq V_{s30} \leq 1500$ m/s
Campbell et al.(2014)	国内外	内陸	M_w , 断層最短距離, V_{s30} , 断層上端深さ	3.3~8.5(横ずれ断層) 3.3~8.0(逆断層) 3.3~7.5(正断層)	0~300km	$150 \leq V_{s30} \leq 1500$ m/s
Chiou et al.(2014)	国内外	内陸	M_w , 断層最短距離, V_{s30} , 断層上端深さ	3.5~8.5(横ずれ断層) 3.5~8.0(正・逆断層)	0~300km	$180 \leq V_{s30} \leq 1500$ m/s
Idriss(2014)	国内外	内陸	M_w , 断層最短距離, V_{s30}	$M \geq 5$	150km以内	$V_{s30} \geq 450$ m/s

参考4 各種距離減衰式

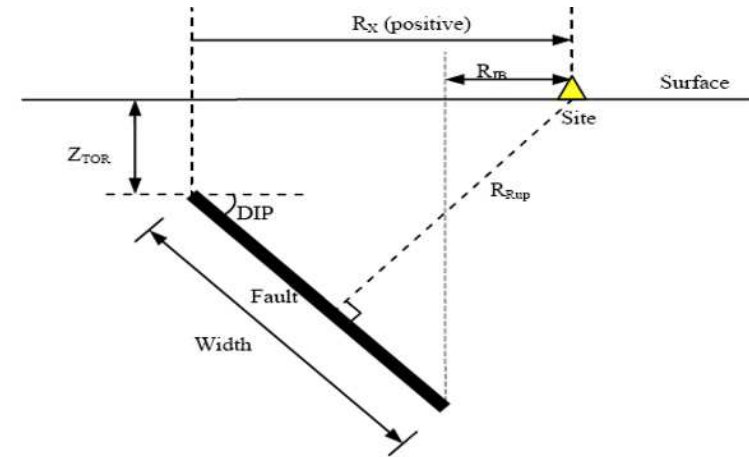
(3) NGA距離減衰式(2014) (NGA-WEST2)に用いられているパラメータ

NGA距離減衰式(2014)※1で用いられている断層パラメータを以下に示す。

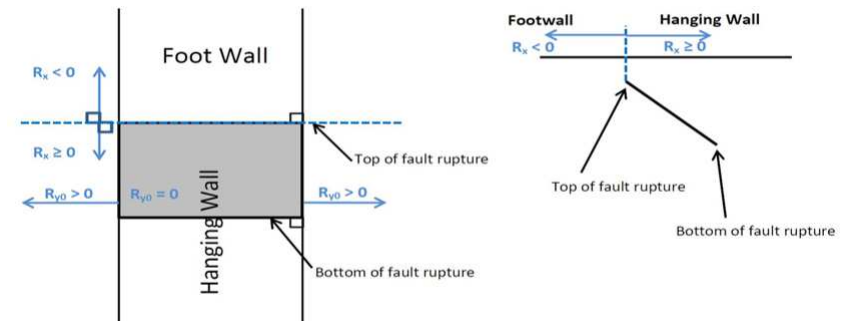
※1: Abrahamson et al.(2014), Boore et al.(2014), Campbell et al.(2014), Chiou et al.(2014)及びIdriss(2014)

断層パラメータ

区分	パラメータ	単位	摘要
地震規模	M_w	—	モーメントマグニチュード
断層タイプ	F_{RV}	—	逆断層
	F_{NM}	—	正断層
	SS	—	横ずれ断層
地盤条件	V_{s30}	km/s	深さ30mまでの平均Vs
断層からの距離	R_{Rup}	km	断層最短距離
	R_{JB}	km	断層の水平投影面からの距離
	R_X	km	断層上端からの距離
	R_{y0}	km	断層端部からの距離
	Z_{HYP}	km	断層中心の深さ
断層形状	Z_{TOR}	km	断層上端の深さ
	Dip	deg.	断層傾斜角
	W	km	断層幅
その他	F_{HW}	—	上盤効果
	Region	—	地域性



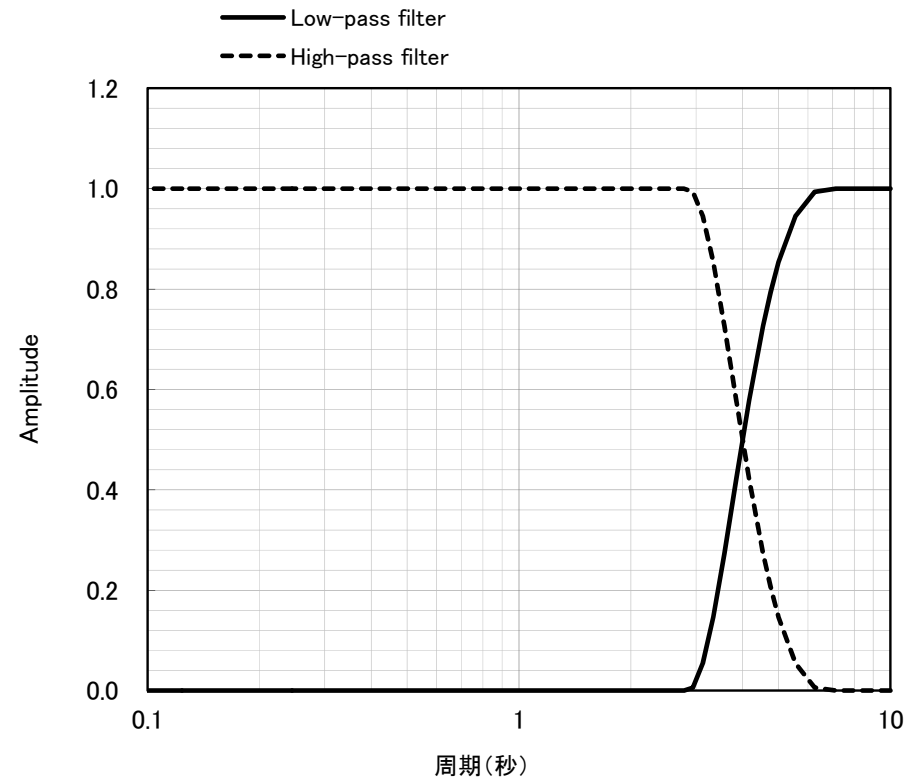
(b) Reverse or normal faulting, hanging-wall site



※: 出典《NGAW2_GMPE_Spreadsheets_v5.5_060514_Protected.xlsm》

参考5 ハイブリッド合成法 (1) マッチングフィルター

- 統計的グリーン関数法と理論的手法(波数積分法)による地震動評価結果には, 遷移周期帯で相補的に低減するマッチングフィルターを施した。
- 接続周期は, 統計的グリーン関数法と理論的手法の地震動評価結果を踏まえ, 周期4秒とした。

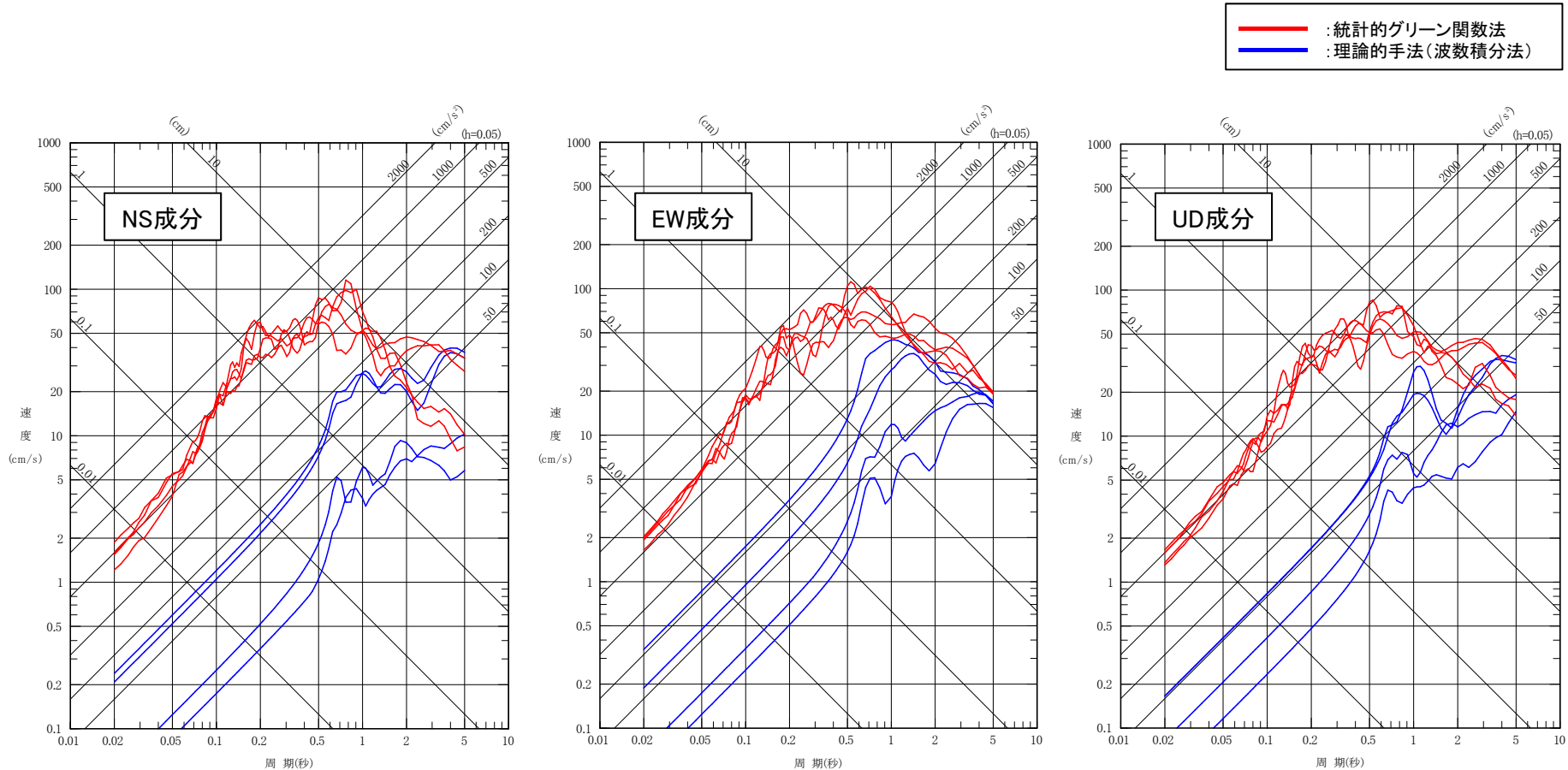


マッチングフィルターの形状

参考5 ハイブリッド合成法

(2) 合成前の統計的グリーン関数法と理論的手法

- ▶ 「横浜断層(東傾斜)による地震」のうち、敷地への影響が最も大きいケース3について、ハイブリッド合成前の統計的グリーン関数法及び理論的手法による地震動評価を示す。



「横浜断層(東傾斜)による地震」の統計的グリーン関数法と理論的手法による地震動評価の比較(PN基準)
 ケース3(地震規模と応力降下量の不確かさケース)の応答スペクトル

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. 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

参考文献(2)

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. 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
15. 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
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. 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
18. 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
19. 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

参考文献(3)

5. 検討用地震の地震動評価

20. 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
21. 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
22. 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
23. 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

参考資料

1. 地質調査総合センター編(2013): 日本重力データベースDVD版(第2版), 数値地質図P-2
2. 活断層研究会編(1991): [新編]日本の活断層 分布図と資料, 東京大学出版会
3. 今泉俊文, 宮内崇裕, 堤浩之, 中田高編(2018): 活断層詳細デジタルマップ[新編], 東京大学出版会
4. 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
5. Takaya Iwasaki, N. Tsumura, T. Ito, K. Arita, M. Makoto, H. Sato, E. Kurasimo, N. Hirata, S. Abe, K. Noda, A. Fujiwara, S. Kikuchi and K. Suzuki (2019): Structural heterogeneity in and around the fold-and-thrust belt of the Hidaka Collision zone, Hokkaido, Japan and its relationship to the aftershock activity of the 2019 Hokkaido Eastern Iwate Earthquake, Earth, Planets and Space, 2019