

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)
(補足説明資料)

2021年9月17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.36 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。	本編資料 p.37, 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。	本編資料 p.27, 30, 32~35, p.37, 39~66, 68 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

目次

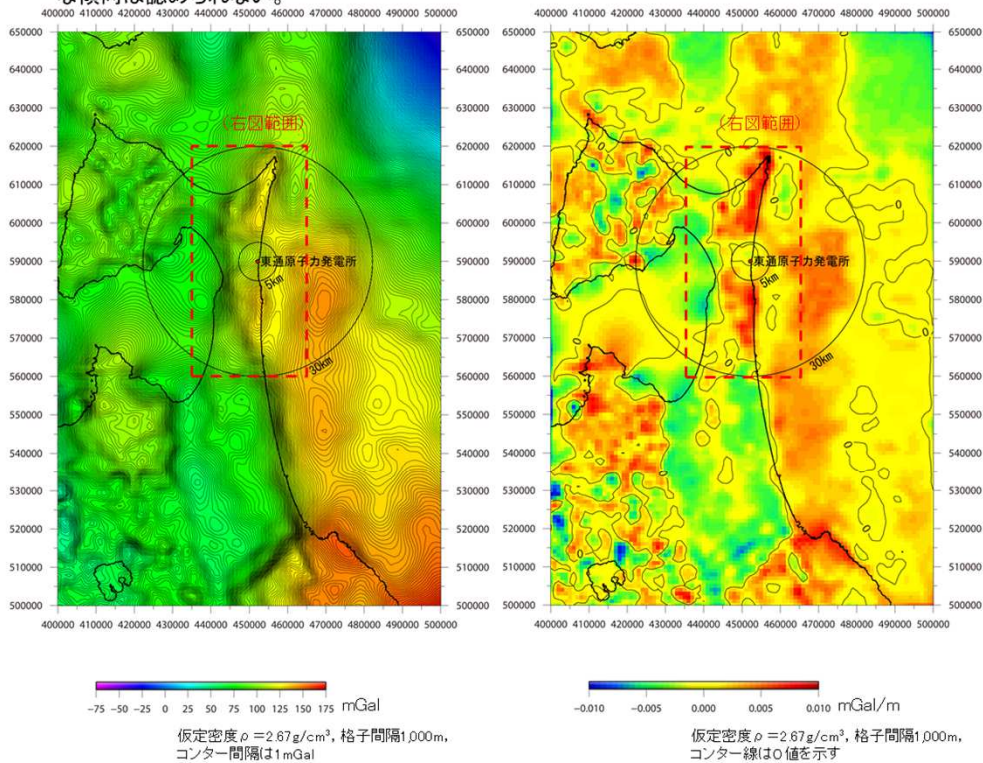
1. 敷地周辺の内陸地殻内地震の地震発生層	3
1.1 敷地周辺の重力異常に関する検討	4
2. 内陸地殻内地震の検討用地震の選定	5
2.1 横浜断層の地質調査結果	6
2.2 大間崎沖付近に想定される地震の影響	8
3. 検討用地震の地震動評価	9
3.1 各種距離減衰式	10
3.2 検討用地震付近で発生した観測地震(要素地震の検討)	13
3.3 参考ケース「横浜断層による地震」(西傾斜・断層傾斜角45度)の地震動評価	14
3.4 敷地で観測された内陸地殻内地震[Noda et al.(2002)との比較]	22
3.5 ハイブリッド合成法	25
3.6 「横浜断層による地震」(東傾斜)の地震動と「震源を特定せず策定する地震動」との比較	27
参考文献	28

1. 敷地周辺の内陸地殻内地震の地震発生層

1. 1 敷地周辺の重力異常に関する検討

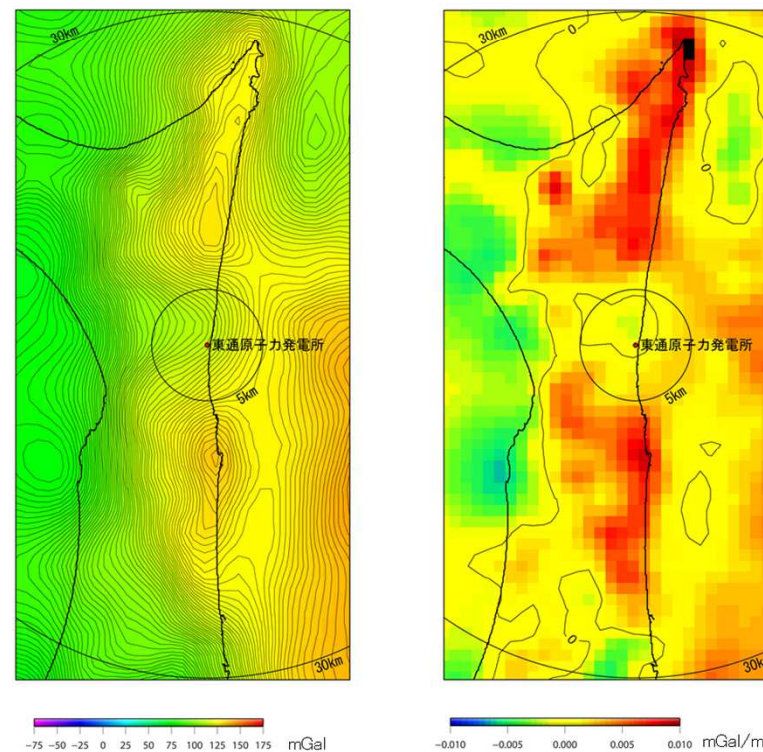
1.1 敷地周辺の重力異常に関する検討

- 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)

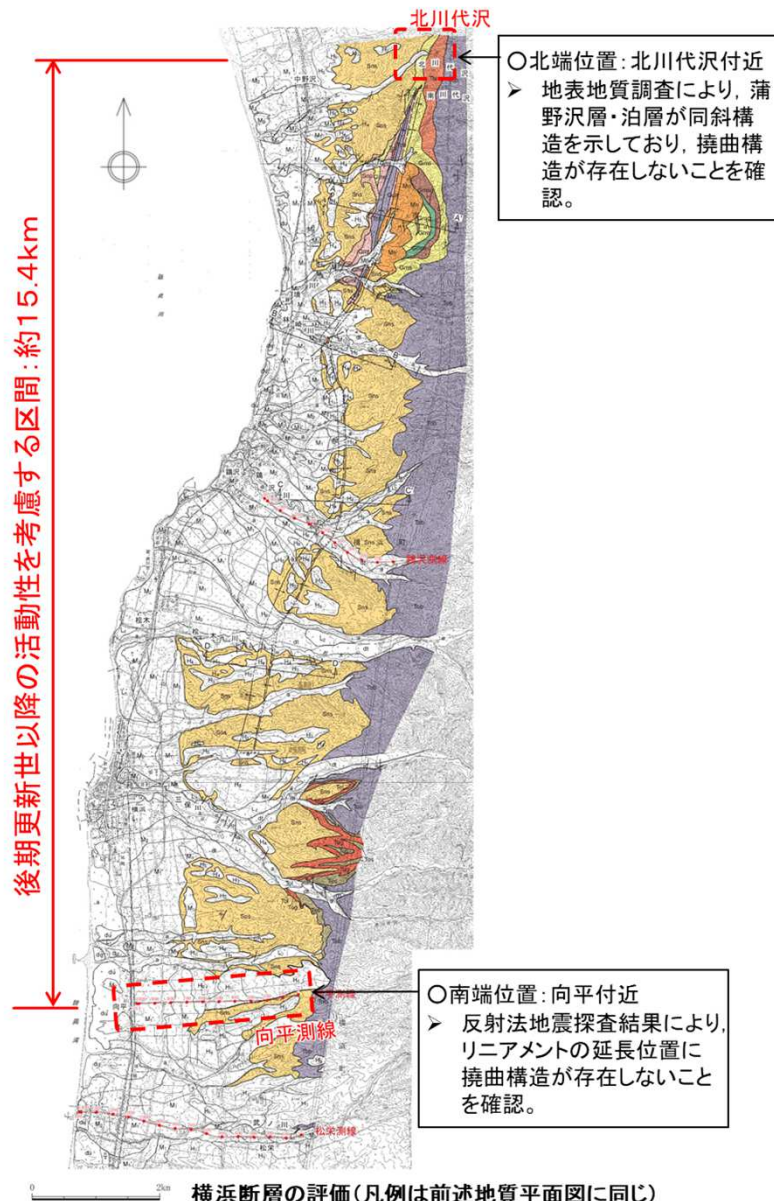
鉛直1次微分図 (敷地近傍)

「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。

2. 内陸地殻内地震の検討用地震の選定

- 2. 1 横浜断層の地質調査結果
- 2. 2 大間崎沖付近に想定される地震の影響

2.1 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、LB、LC及びLD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LB、LC及びLDリニアメントに概ね対応している。

【地質調査】

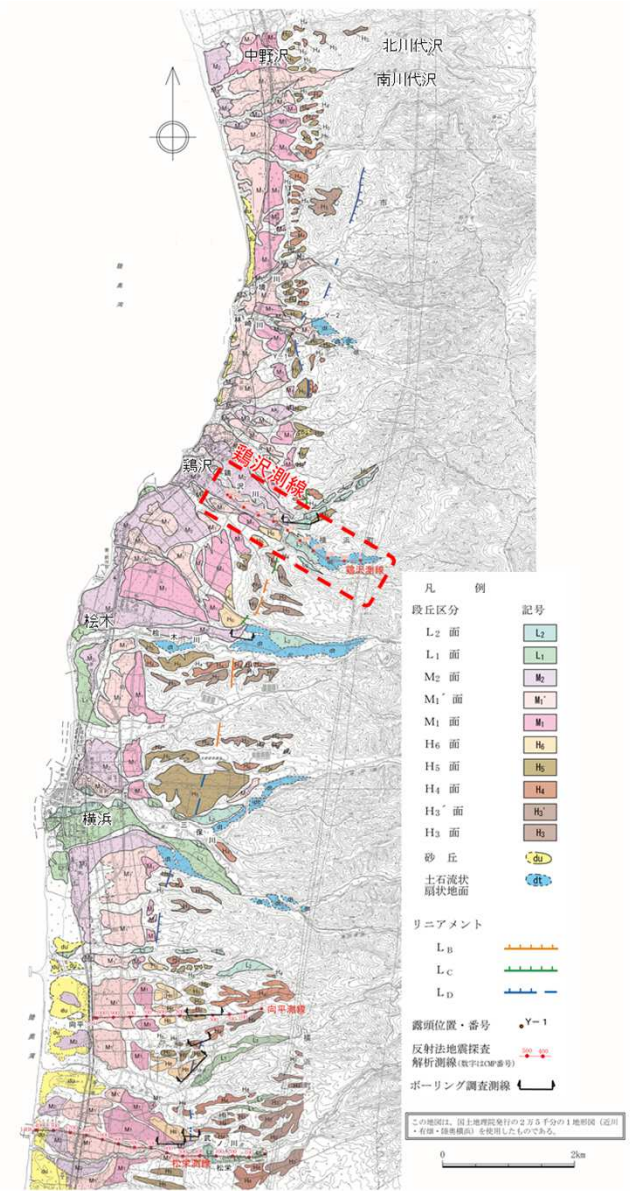
- 横浜断層は、後期更新世以降の活動性を考慮する。
 - ✓ 空中写真判読によるリニアメントに対応して、中新統あるいは砂子又層に、1対の背斜構造(西側)及び向斜構造(東側)並びに西上がりの逆断層を伴う西上がりの撓曲構造が認められる。
 - ✓ 断層中央部付近で実施されたトレンチ調査結果によれば、洞爺火山灰層準に変位及び変形が認められ、阿蘇4火山灰層準にも高度差があり、その高度差が断層活動により形成された可能性が否定できない。
- 北川代沢付近(北端)及び向平付近(南端)では撓曲構造が存在しないことを確認しており、約15.4km間について活動性を考慮する。
 - ✓ 横浜断層と下北断層(後述)は、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

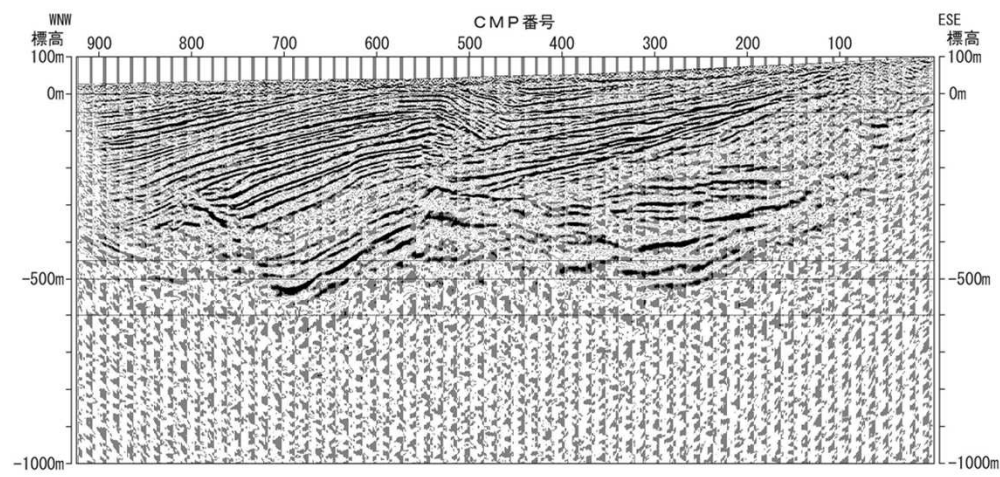
- 文献指摘による横浜断層及び空中写真判読によるリニアメントは、上記のとおり、横浜断層の評価に包含される。
 - ✓ 「活断層詳細デジタルマップ[新編]」(2018)による横浜断層帯のうち、北部のリニアメントに対応していない箇所については断層は認められないことを確認している。

2.1 横浜断層の地質調査結果 (2) 鷺沢測線の反射法地震探査

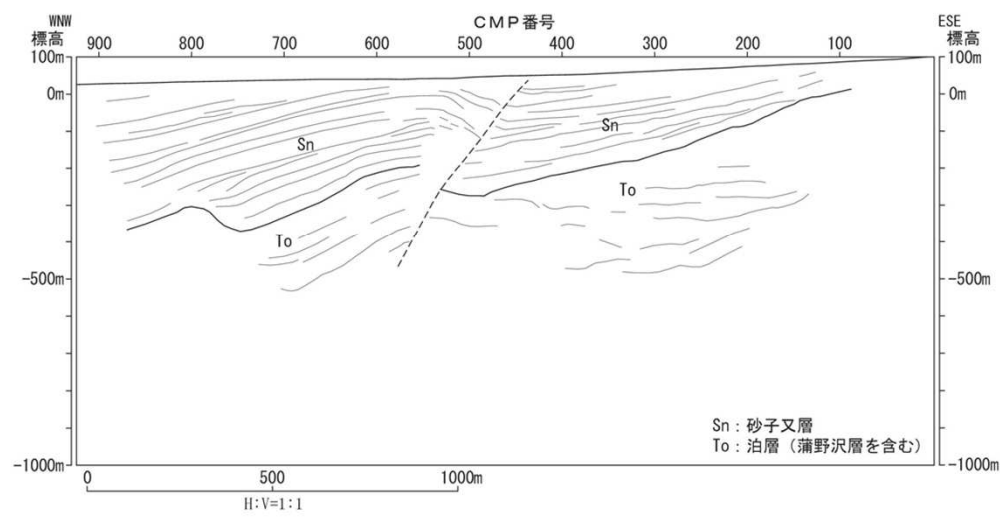
➤ 鷺沢東方において、反射法地震探査により、砂子又層の撓曲部に西上がりの逆断層が見られる。



横浜断層周辺の空中写真判読図



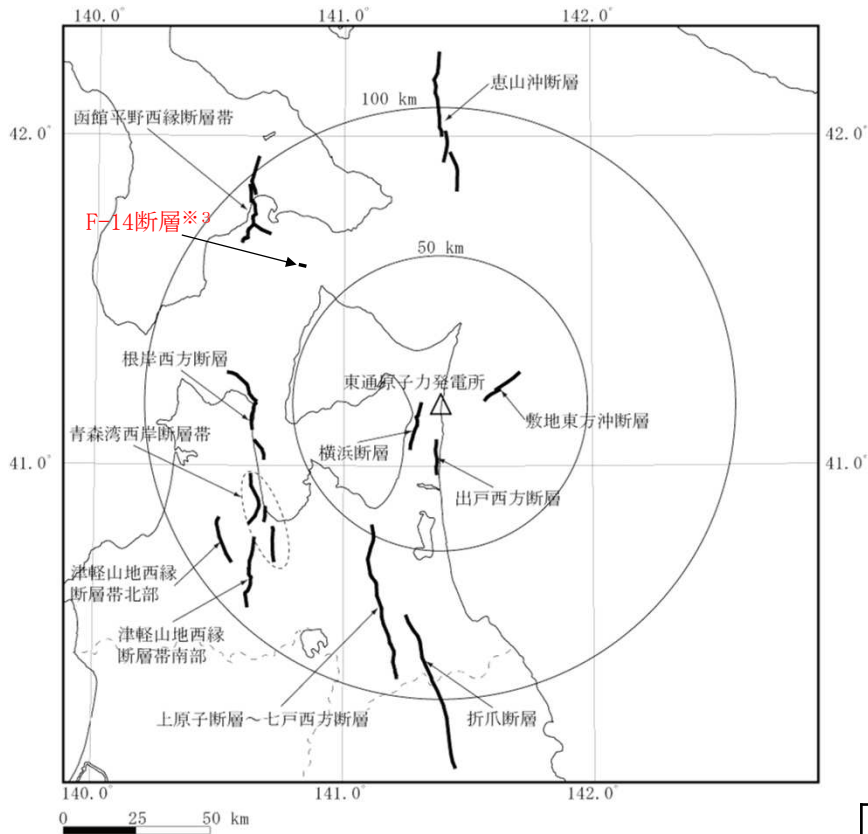
振源：油圧インパクト1台
発振点間隔：5m
受振点間隔：10m
収録時間：2sec
サンプリング間隔：1msec



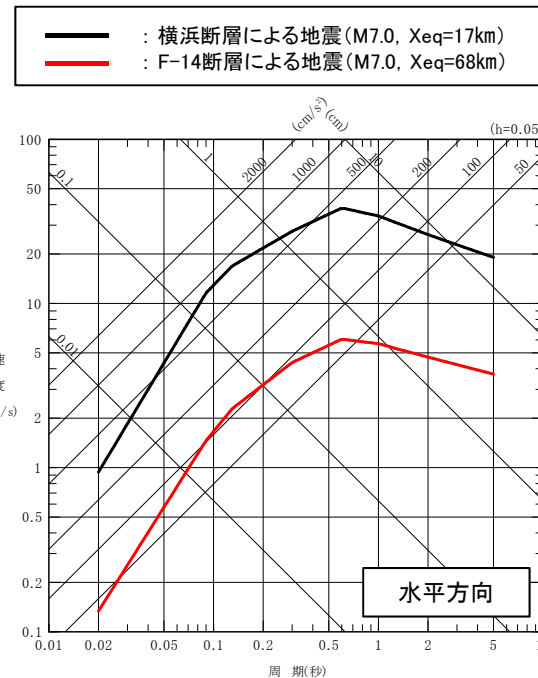
鷺沢測線の深度断面とその解釈

2.2 大間崎沖付近に想定される地震の影響

- 大間崎沖には孤立した短い活断層としてF-14断層が存在する。地震発生層を飽和する規模であるM7.0を考慮した場合でも、震源位置が遠いことから敷地への影響は横浜断層による地震の応答スペクトルに比べてかなり小さく、当該位置で横浜断層による地震の影響を上回るためにはM8程度の規模が必要となる。



震源として考慮する活断層 配置図
(本編資料4章2にF-14断層を追記)



横浜断層による地震及びF-14断層による地震の応答スペクトル
[Noda et al.(2002)]

横浜断層及びF-14断層に想定される地震の諸元

断層名	断層長さ(km) ^{※1}	地震規模 ^{※2} M	等価震源距離(km)
横浜断層	15.4	7.0	17
F-14断層	3.4	7.0	68 ^{※3}

※1: 地質調査結果による活断層長さ。横浜断層については本編資料4章2参照。F-14断層の断層長さは電源開発株式会社の資料[第983回審査会合(2021年6月11日)資料2-2]による。
 ※2: 地震発生層を飽和する地震規模(地震モーメント) $M_0=7.5 \times 10^{18}$ (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。
 ※3: F-14断層の位置は、電源開発株式会社資料からの読取りによる。等価震源距離は、配置図の活断層中心からの距離と地震発生層中心深さから算定した震源距離及び地震規模に基づき算定。

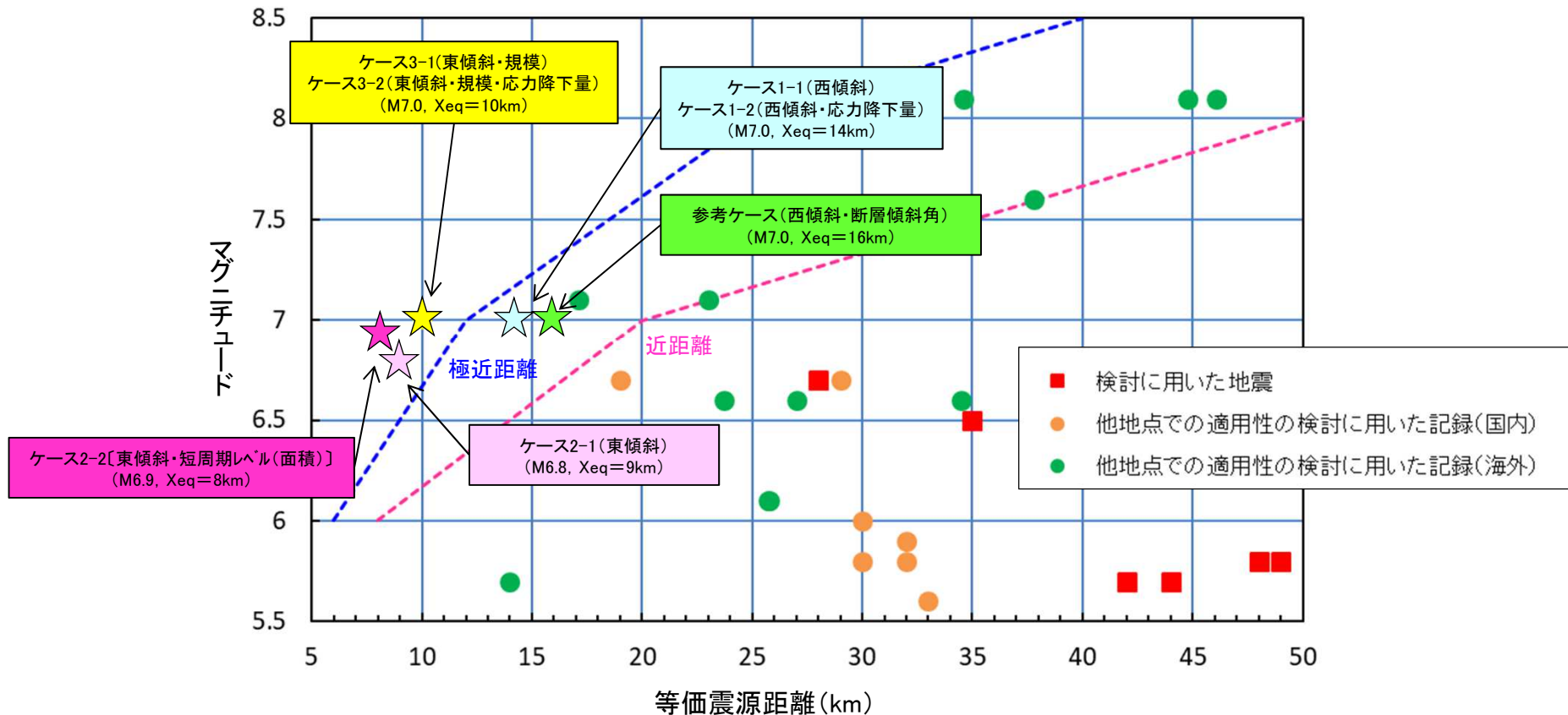
3. 検討用地震の地震動評価

- 3. 1 各種距離減衰式
- 3. 2 検討用地震付近で発生した観測地震(要素地震の検討)
- 3. 3 参考ケース「横浜断層による地震」(西傾斜・断層傾斜角45度)の地震動評価
- 3. 4 敷地で観測された内陸地殻内地震[Noda et al.(2002)との比較]
- 3. 5 ハイブリッド合成法
- 3. 6 「横浜断層による地震」(東傾斜)の地震動と「震源を特定せず策定する地震動」との比較

3. 1 各種距離減衰式

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

- 東傾斜の「横浜断層による地震」は、Noda et al.(2002)のデータ範囲外となる。
- なお、西傾斜の「横浜断層による地震」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「横浜断層による地震」との関係

[Noda et al.(2002)のデータ範囲に重ね書き]

3.1 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	地盤条件等*
Zhao et al.(2006)	主に国内	内陸, プレート間, 海洋プレート内	Mw, 断層最短距離, 震源深さ	5.0~8.3	0.3~300km	Soft Soil~Hard rock(Vs=2000m/s)
Abrahamson and Silva(2008)	国内外	内陸	Mw, 断層最短距離, Vs30, 断層上端深さ	4.27~7.9	200km以内	100 ≤ Vs30 ≤ 2000m/s
Chiou and Youngs(2008)	国内外	内陸	Mw, 断層最短距離, Vs30, 断層上端深さ	4.27~7.9	70km以内	100 ≤ Vs30 ≤ 2000m/s
Idriss(2014)	国内外	内陸	Mw, 断層最短距離, Vs30	M ≥ 5	150km以内	Vs30 ≥ 450m/s

※:Vs30は地表から深さ30mまでの平均S波速度。

東通原子力発電所では、本編資料2章1に示す地盤モデルのT.P.+2.0mから30m範囲のS波速度を層厚で重みづけ平均し、1640m/sとした。

【参考】地盤条件等が範囲外の距離減衰式

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	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, Vs, Vp	5.5~7.0	28~202km (震源距離)	500 ≤ Vs ≤ 2700m/s
Kanno et al.(2006)	主に国内	内陸, プレート間, 海洋プレート内	Mw, 断層最短距離, 震源深さ, Vs30	5.5~8.2	1~500km	100 < Vs30 < 1400m/s
内山・翠川(2006)	日本周辺	内陸, プレート間, 海洋プレート内	Mw, 断層最短距離, 震源深さ	5.5~8.3	300km以内	150 ≤ Vs30 ≤ 750m/s
片岡ほか(2006)	国内	内陸, 海溝性	Mw, 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	Mw, 断層最短距離, Vs30, 断層上端深さ	3.0~8.5	0~300km	180 ≤ Vs30 ≤ 1000m/s
Boore et al.(2014)	国内外	内陸	Mw, 断層面の地表投影最 短距離, Vs30	3.0~8.5(横ずれ・逆断層) 3.0~7.0(正断層)	0~400km	150 ≤ Vs30 ≤ 1500m/s
Campbell and Bozorgnia(2014)	国内外	内陸	Mw, 断層最短距離, Vs30, 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 ≤ Vs30 ≤ 1500m/s
Chiou and Youngs(2014)	国内外	内陸	Mw, 断層最短距離, Vs30, 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 ≤ Vs30 ≤ 1500m/s

3.1 各種距離減衰式

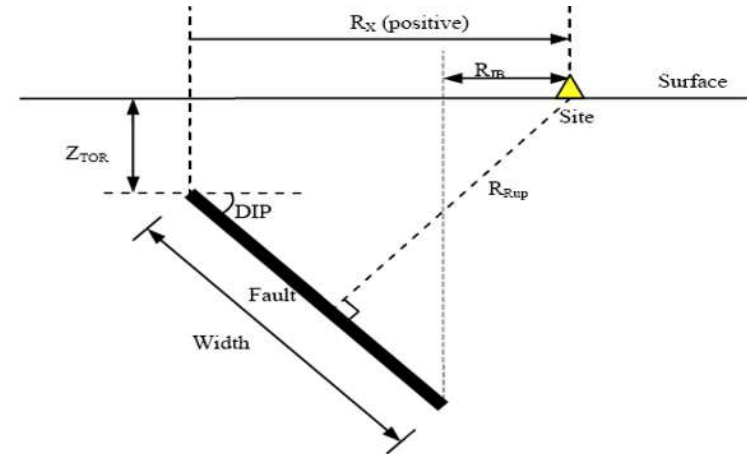
(3) NGA距離減衰式に用いられているパラメータ

NGA距離減衰式※1で用いられている断層パラメータ

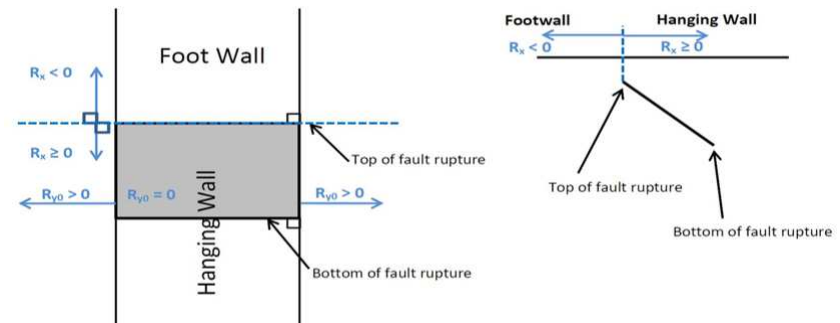
区分	パラメータ	単位	摘要
地震規模	Mw	—	モーメントマグニチュード
断層タイプ	F_{RV}	—	逆断層
	F_{NM}	—	正断層
	SS	—	横ずれ断層
地盤条件	V_{S30}	km/s	深さ30mまでの平均Vs
断層からの距離	R_{Rup}	km	断層最短距離
	R_{JB}	km	断層の水平投影面からの距離
	R_x	km	断層上端からの距離
	R_{y0}	km	断層端部からの距離※2
	Z_{HYP}	km	断層中心の深さ※2
断層形状	Z_{TOR}	km	断層上端の深さ
	Dip	deg.	断層傾斜角[NGA(2008)では δ]
	W	km	断層幅
その他	F_{HW}	—	上盤効果
	Region	—	地域性※2

※1: NGA(2008)は, Abrahamson and Silva(2008)及びChiou and Youngs(2008)。
NGA(2014)(WEST2)は, Abrahamson et al.(2014), Boore et al.(2014), Campbell and Bozorgnia(2014), Chiou and Youngs(2014)及びIdriss(2014)。

※2: NGA(2014)で追加されたパラメータ。その他はNGA(2008)から継続。



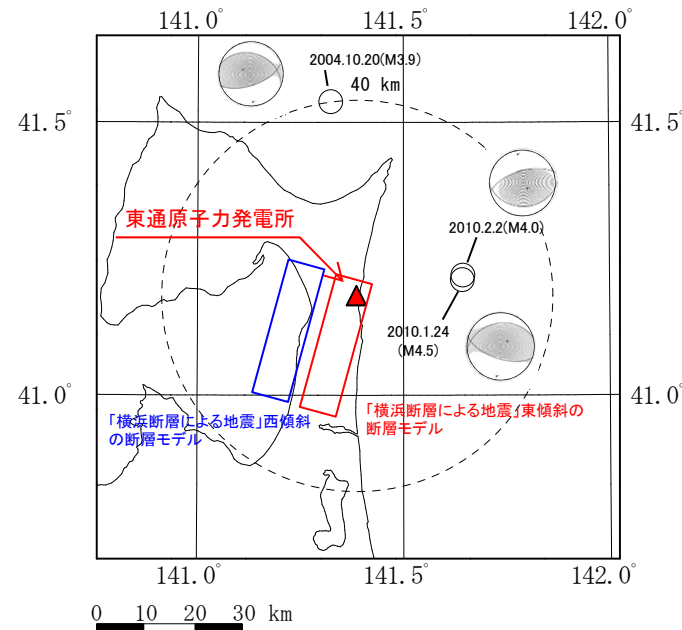
(b) Reverse or normal faulting, hanging-wall site



【出典】《NGAW2_GMPE_Spreadsheets_v5.5_060514_Protected.xlsx》

3.2 検討用地震付近で発生した観測地震(要素地震の検討)

- 検討用地震(M6.8~7.0)の経験的グリーン関数法を用いた地震動評価にあたっては、以下の条件を満たす敷地の観測記録が得られている必要がある。
 - ① 検討用地震の断層面付近で発生している。
 - ② Mの差が2程度である。
 - ③ 地震メカニズムが検討用地震に類似している。
 - ④ 地震モーメント等の震源パラメータが知られている。
- 敷地観測記録について、震央距離40km以内、震源深さ20km以浅、地震規模M4程度以上の検索条件で、3地震を抽出した。
- 敷地での地震観測開始(1994年)以降約27年間の観測記録を確認した結果、検討用地震である横浜断層(西傾斜・東傾斜)付近で、該当する内陸地殻内地震の観測地震は発生していない。



敷地周辺の内陸地殻内地震(M4程度以上)の観測地震の震央分布
(震央:気象庁, 震源メカニズム解:F-net)

3.3 参考ケース「横浜断層による地震」(西傾斜・断層傾斜角45度)の地震動評価

(1) 検討の位置づけ

S187

- 「横浜断層による地震」の基本ケース(ケース1-1)の断層傾斜角は、地質調査から60度を採用している。また、その地震規模は地震発生層を飽和するよう保守的に設定し、断層長さをL=27kmとしている。
- これに対する不確かさケースとしては、地震調査研究推進本部(2020)^{※1}を踏まえ低角な断層(45度)を採用することが考えられるが、敷地への影響は以下のとおり特別大きくならないことから、不確かさケースとしては考慮しない。
 - ・ 地震規模を一定としていることから、断層傾斜角が低角になったとしても断層面積は増えない。また、アスペリティから敷地までの距離も遠ざかる方向であり、短周期側の地震動は大きくなる方向にない。
 - ・ 長周期側の地震動は放射特性の影響を受けるが、放射特性係数と距離減衰式[Noda et al.(2002)]による評価結果(本編資料4章3参照, 20~40cm/s程度)を踏まえると、特別大きくはならない(放射特性係数1.0の場合30~60cm/s程度)。
- なお、影響を確認するため参考として応答スペクトルに基づく手法及び断層モデルによる手法によって検討した結果を以下に示す。

参考ケース「横浜断層による地震」(西傾斜・断層傾斜角45度)

検討ケース ^{※2}	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 ^{※1} に対する比] 短周期レベル	アスペリティの位置	破壊開始点	
地質調査結果	西	調査結果位置	(参考) L=15.4km 2.55 × 10 ¹⁸ (Nm)	(参考) M6.6 (Mw6.2)	60°	(参考)14.96 (MPa) [レシピ × 1.0] 7.24 × 10 ¹⁸ (Nm/s ²)	—	—	—
ケース1-1 (西傾斜)	西	調査結果位置	L=27km 7.83 × 10 ¹⁸ (Nm)	M7.0 (Mw6.5)	60°	13.62 (MPa) [レシピ × 1.0] 1.05 × 10 ¹⁹ (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 × 10 ¹⁸ (Nm)	M7.0 (Mw6.5)	60°	20.43 (MPa) [レシピ × 1.5] 1.58 × 10 ¹⁹ (Nm/s ²)			
参考ケース (西傾斜・断層傾斜角45度)	西	調査結果位置	L=22km 7.78 × 10 ¹⁸ (Nm)	M7.0 (Mw6.5)	45°	13.63 (MPa) [レシピ × 1.0] 1.05 × 10 ¹⁹ (Nm/s ²)			

黄色 : 断層傾斜角の不確かさ

紫色 : 地震発生層を飽和するよう保守的に設定

※1: 地震調査研究推進本部(2020) 強震動予測レシピ

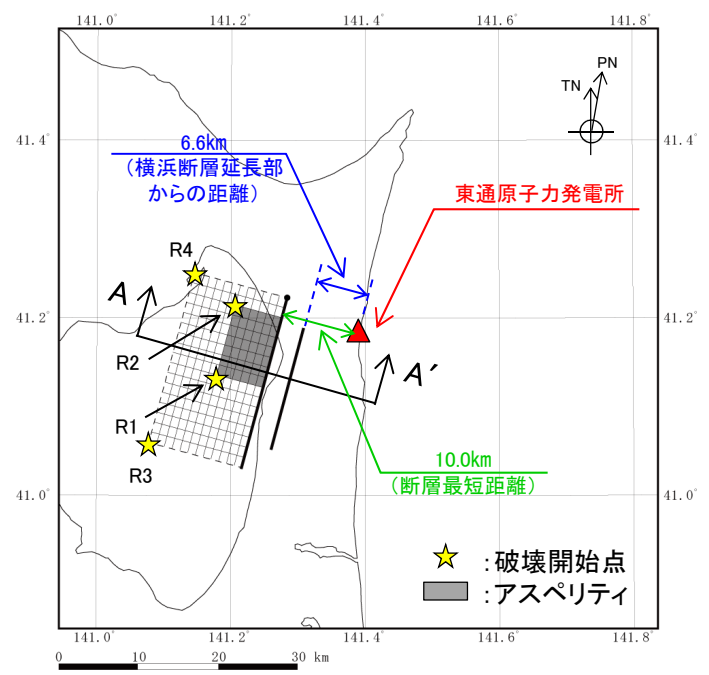
※2: 参考ケース以外は本編資料5章3を再掲

緑色 : 地震発生層を飽和するように設定したケースに対してはレシピ^{※1}の1.5倍を考慮。

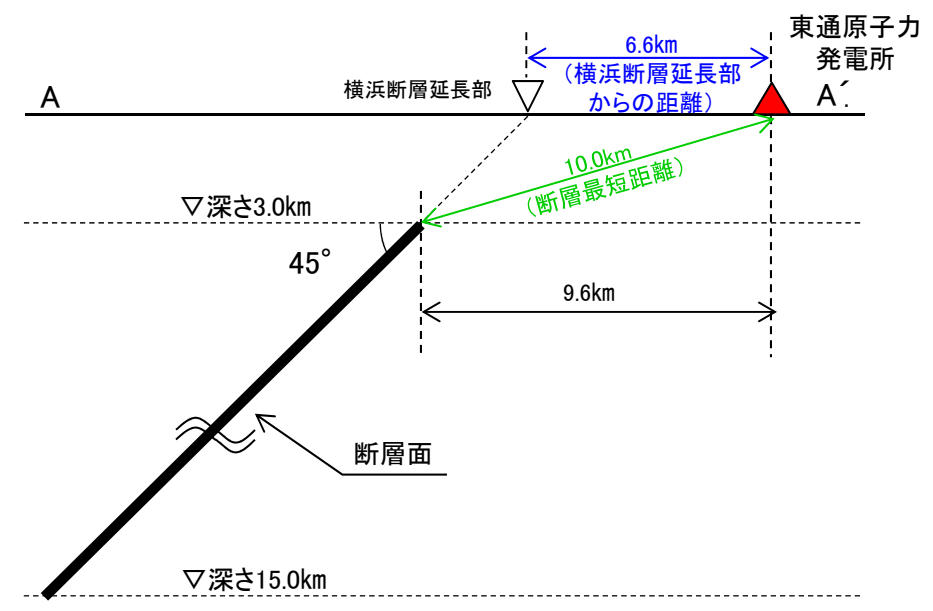
水色 : あらかじめモデルに織り込む不確かさ

3.3 参考ケース「横浜断層による地震」(西傾斜・断層傾斜角45度)の地震動評価 (2)断層モデル

S187



断層配置図



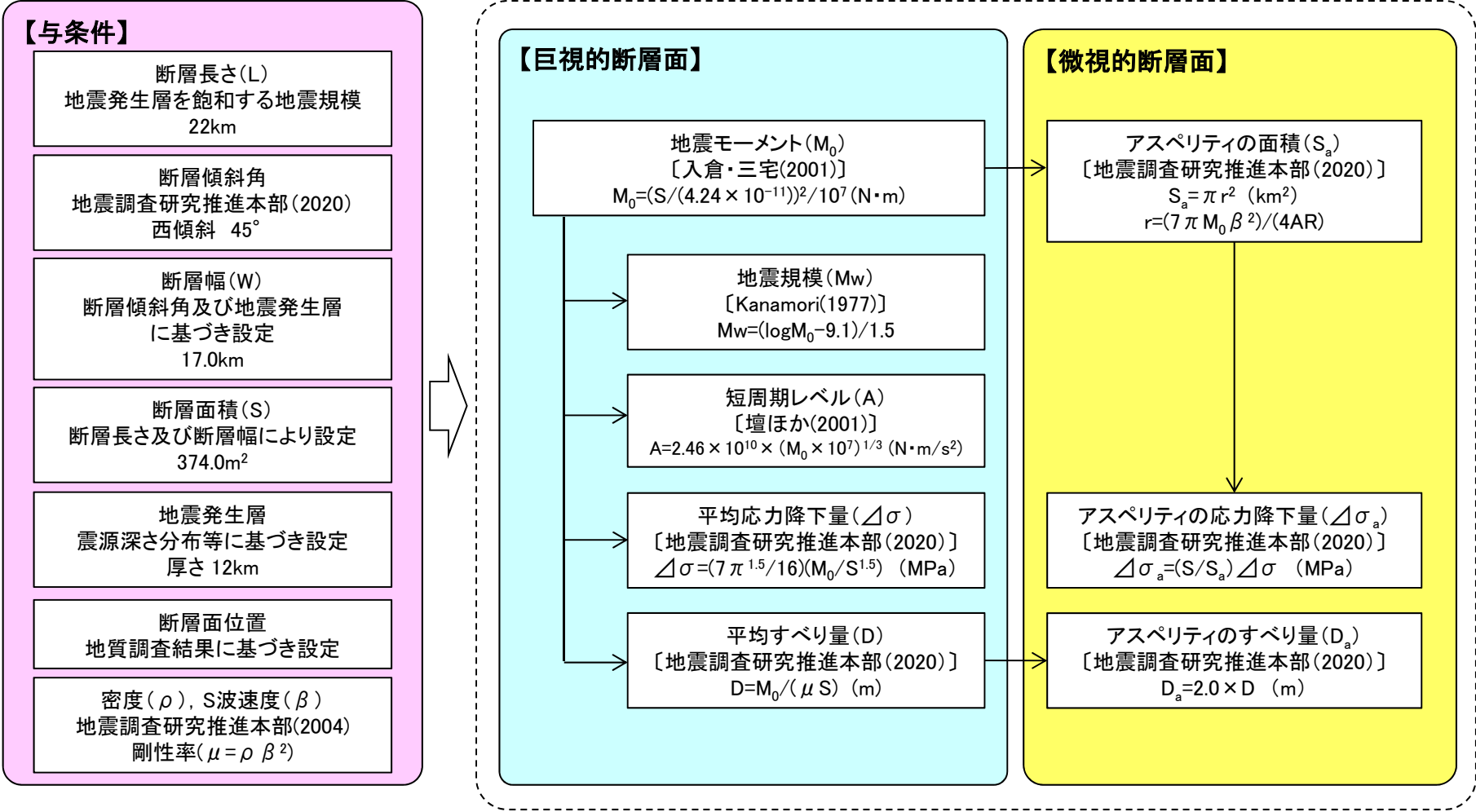
配置図(A-A' 断面)

参考ケース「横浜断層による地震」(西傾斜・断層傾斜角45度)の断層モデル

参考ケース「横浜断層による地震」(西傾斜・断層傾斜角45度)の断層諸元

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)
参考ケース(西傾斜・断層傾斜角45度)	22.0	7.0	6.5	16	10.0

3.3 参考ケース「横浜断層による地震」(西傾斜・断層傾斜角45度)の地震動評価
(3)断層パラメータ設定フロー



3.3 参考ケース「横浜断層による地震」(西傾斜・断層傾斜角45度)の地震動評価 (4)断層パラメータ

S187

断層パラメータ		記号	単位	設定方法	ケース1-1※ (西傾斜)	ケース1-2※ (西傾斜・応力降下量)	参考ケース (西傾斜・断層傾斜角45度)
巨視的断層面	走向	θ	°	設定	195	←	←
	断層傾斜角	δ	°	設定	60	60	45
	断層長さ	L	km	設定	27.0	27.0	22.0
	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	13.9	17.0
	断層面積	S	km ²	S=L×W	375.3	375.3	374.0
	断層上端深さ	—	km	地震発生層の検討結果による	3.0	←	←
	断層下端深さ	—	km	地震発生層の検討結果による	15.0	←	←
	地震モーメント	M_0	Nm	$M_0=(S/(4.24 \times 10^{-11}))^2/10^7$ [入倉・三宅(2001)]	7.83×10^{18}	7.83×10^{18}	7.78×10^{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	0.606	0.603
	平均応力降下量	$\Delta\sigma$	MPa	$\Delta\sigma=(7\pi^{1.5}/16)(M_0/S^{1.5})$	2.63	2.63	2.62
	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}	3.02×10^{18}	2.99×10^{18}
	面積	S_a	km ²	$S_a=\pi r^2$	72.3	72.3	71.9
	平均すべり量	D_a	m	$D_a=2D$	1.211	1.211	1.207
	応力降下量	$\Delta\sigma_a$	MPa	$\Delta\sigma_a=(S/S_a)\Delta\sigma$	13.62	20.43	13.63
短周期レベル	A_a	Nm/s ²	$A_a=4\pi(S_a/\pi)^{0.5}\Delta\sigma_a\beta^2$	1.05×10^{19}	1.58×10^{19}	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}	4.81×10^{18}	4.79×10^{18}
	面積	S_b	km ²	$S_b=S-S_a$	303.0	303.0	302.1
	平均すべり量	D_b	m	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	0.461	0.461	0.460
	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	2.59
Q値		Q	—	川瀬・松尾(2004)	243 ^{0.69}	←	←

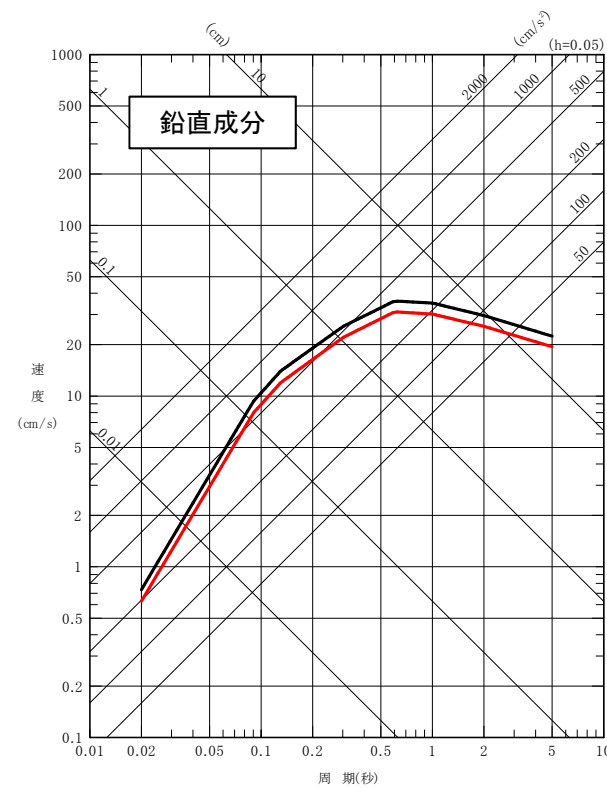
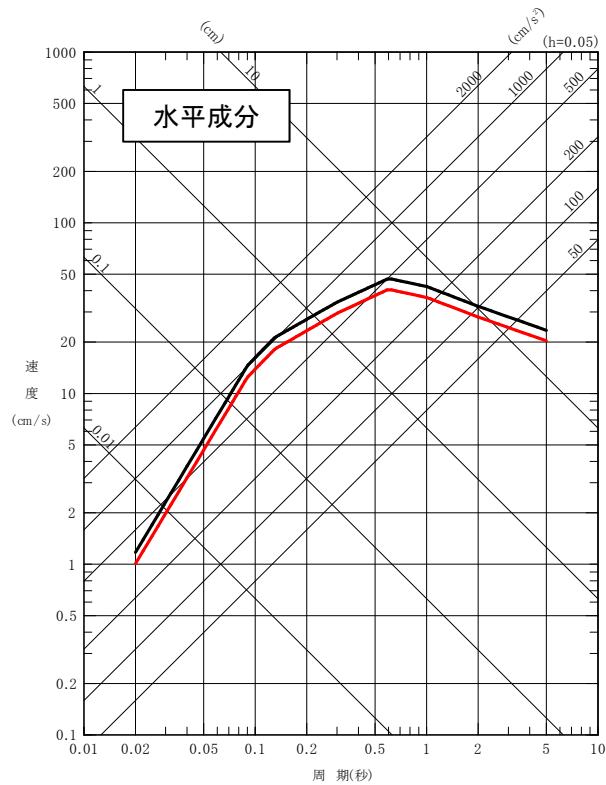
※: 本編資料5章3を再掲

3.3 参考ケース「横浜断層による地震」(西傾斜・断層傾斜角45度)の地震動評価 (5)地震動評価結果(応答スペクトルに基づく手法)

S187

- 応答スペクトルに基づく地震動評価は, 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。
- 「横浜断層による地震」(西傾斜)(ケース1-1及びケース1-2)の地震動評価結果は, 参考ケース(西傾斜・断層傾斜角45度)を上回っている。

— : 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, Xeq=14km)
— : 参考ケース(西傾斜・断層傾斜角45度)(M7.0, Xeq=16km)



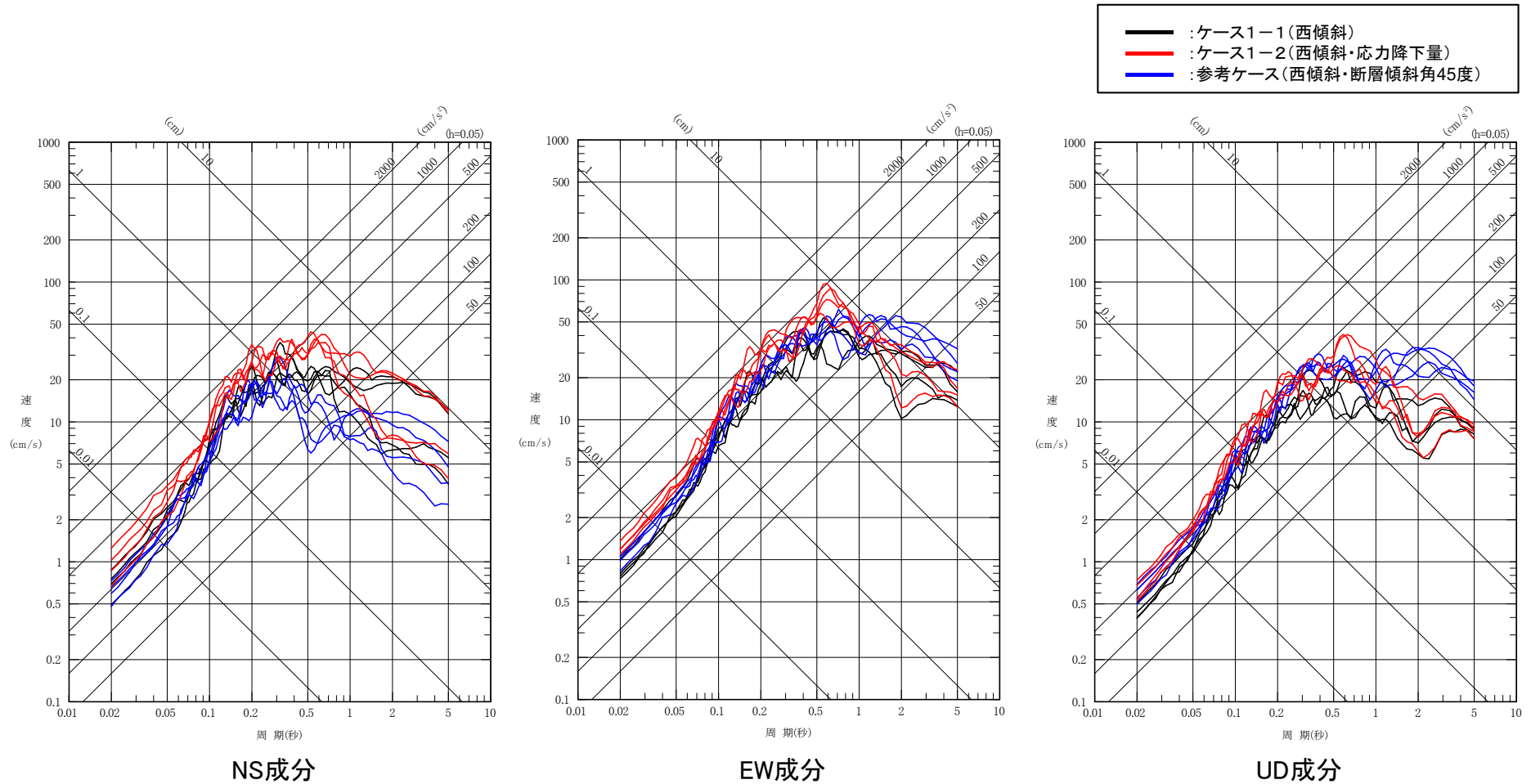
応答スペクトルに基づく地震動評価 参考ケース「横浜断層による地震」(西傾斜・断層傾斜角45度)[Noda et al.(2002)]

3.3 参考ケース「横浜断層による地震」(西傾斜・断層傾斜角45度)の地震動評価

(6)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

S187

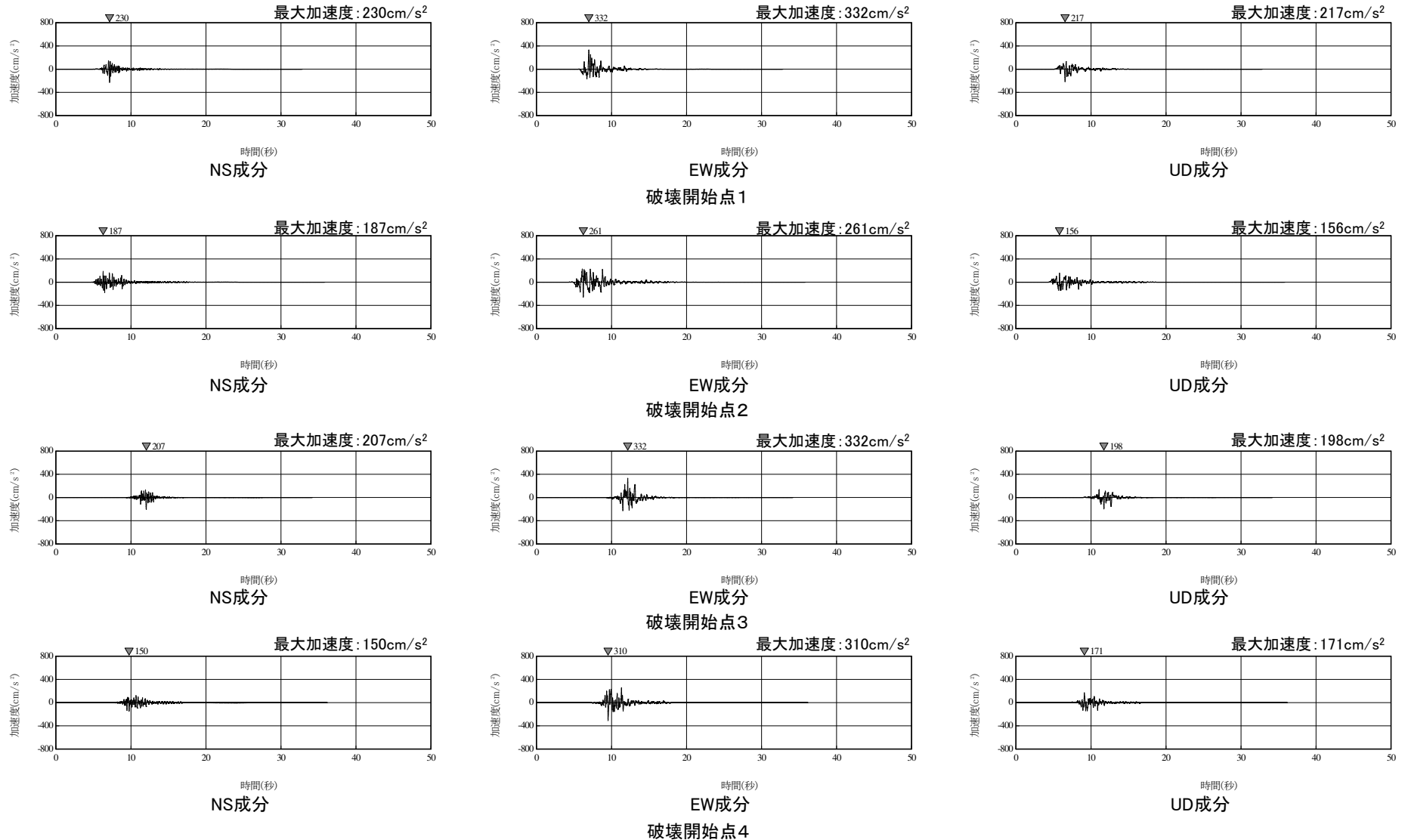
- 断層モデルを用いた手法による地震動評価は、統計的グリーン関数法〔釜江ほか(1991)及び入倉ほか(1997)〕を用いた。
- 短周期側は「横浜断層による地震」(西傾斜・応力降下量)(ケース1-2)の地震動評価が大きい。長周期側の一部では、放射特性の影響により参考ケースがケース1-1またはケース1-2を上回る成分があるものの、地震動のレベルとしては大きいものではない。



断層モデルを用いた手法による地震動評価 参考ケース「横浜断層による地震」(西傾斜・断層傾斜角45度)(PN基準)

3.3 参考ケース「横浜断層による地震」(西傾斜・断層傾斜角45度)の地震動評価 (6)地震動評価結果(断層モデルを用いた手法) ②加速度波形

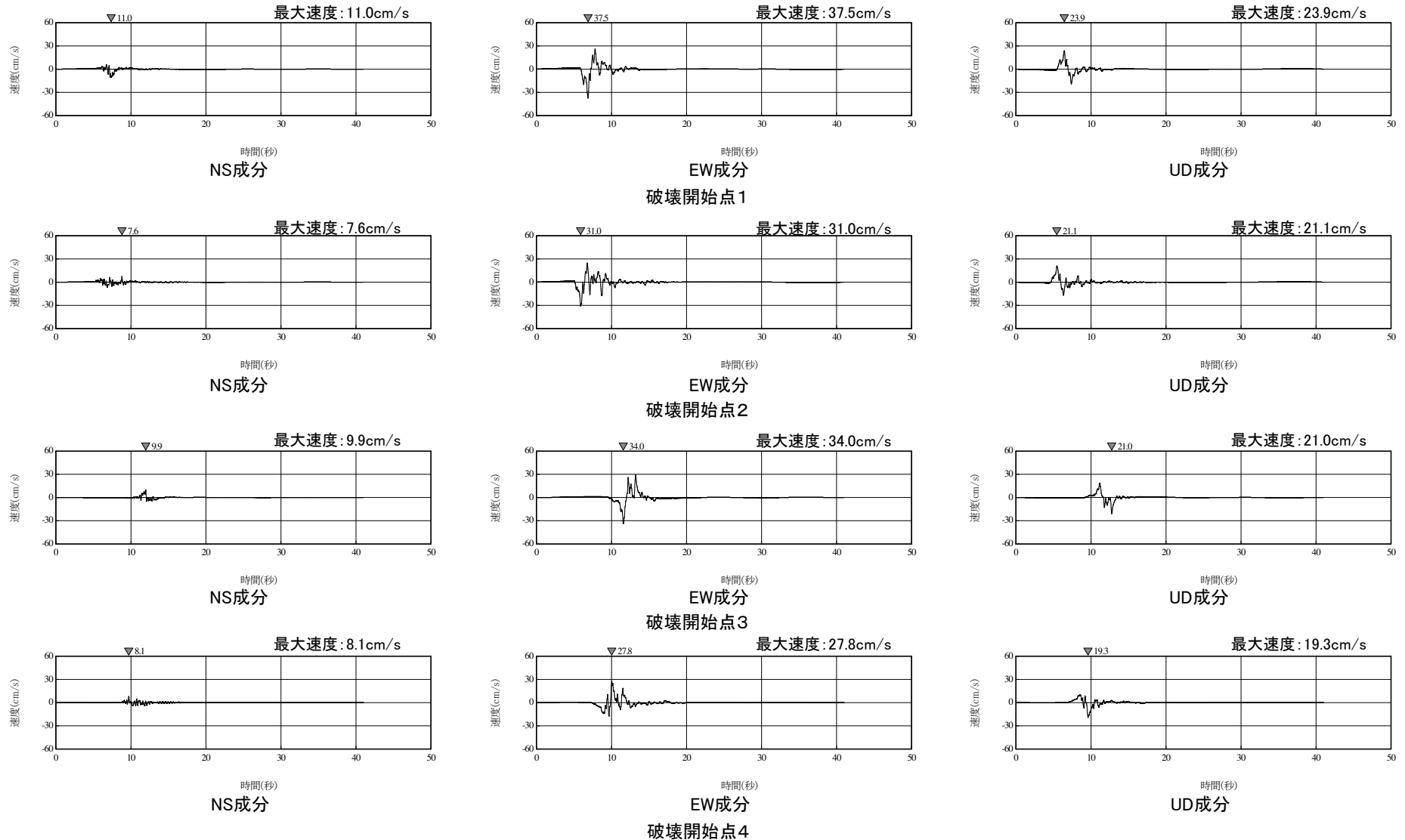
S187



参考ケース「横浜断層による地震」(西傾斜・断層傾斜角45度)の断層モデルを用いた手法による加速度波形(PN基準)

3.3 参考ケース「横浜断層による地震」(西傾斜・断層傾斜角45度)の地震動評価 (6)地震動評価結果(断層モデルを用いた手法) ③速度波形

S187 S189

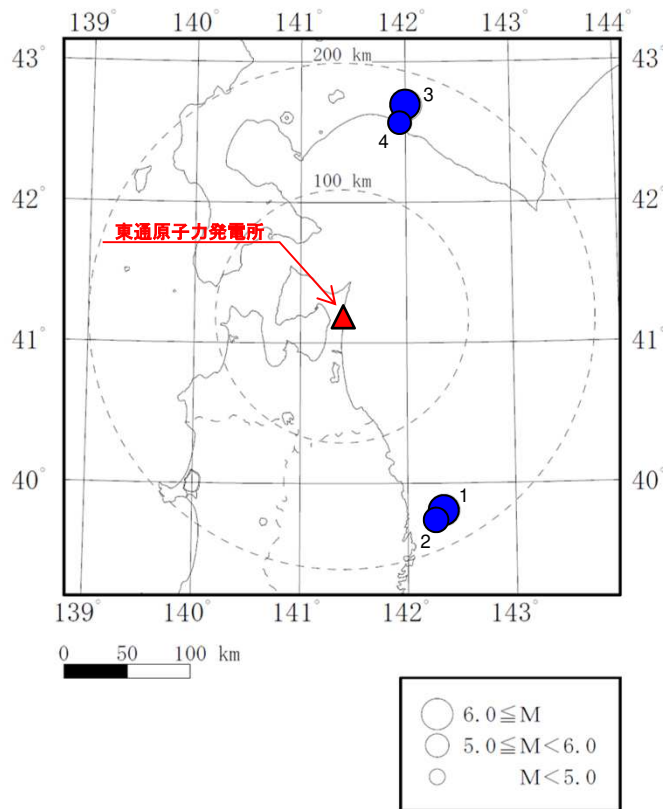


参考ケース「横浜断層による地震」(西傾斜・断層傾斜角45度)の断層モデルを用いた手法による速度波形(PN基準)

3. 4 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Noda et al.(2002)のデータ範囲に該当する地震は、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、敷地周辺の内陸地殻内地震の応答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

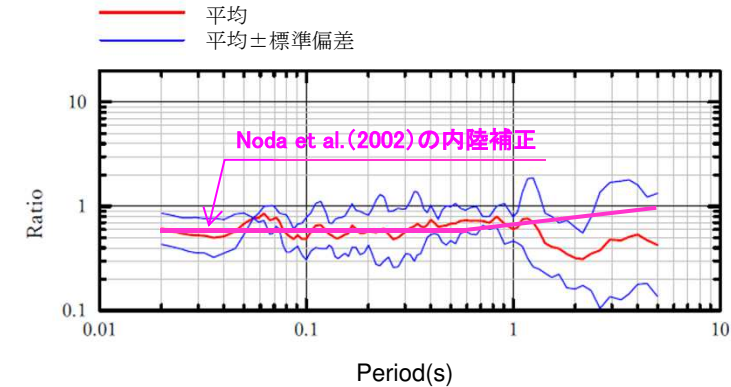
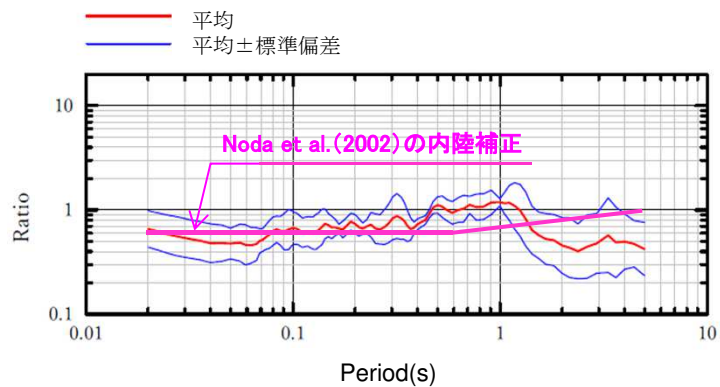
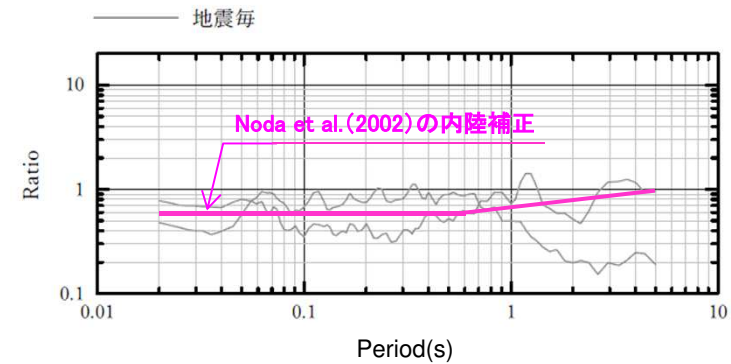
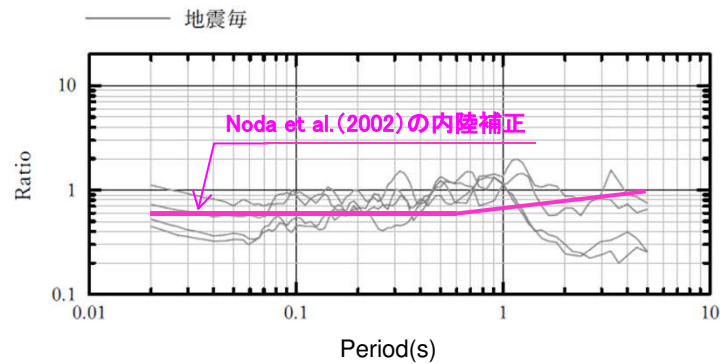
Xeq: 等価震源距離

検討に用いた内陸地殻内地震の震央分布

3.4 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】2018年北海道胆振東部地震(M6.7)及びその余震を除く2地震の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



水平成分

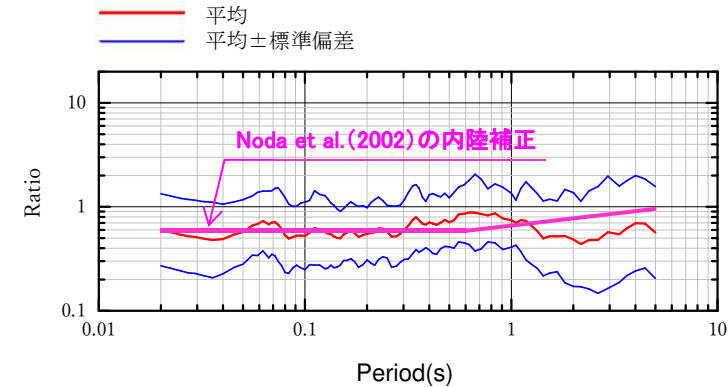
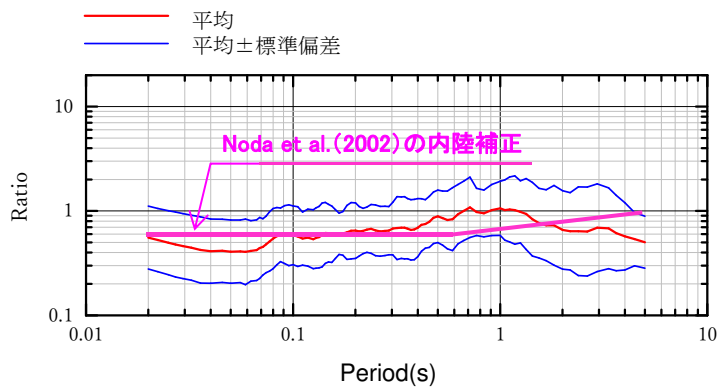
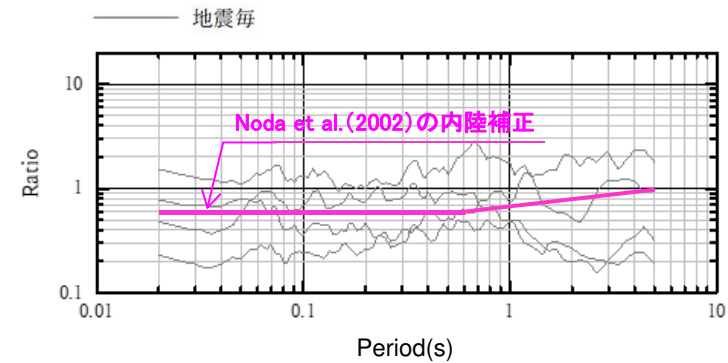
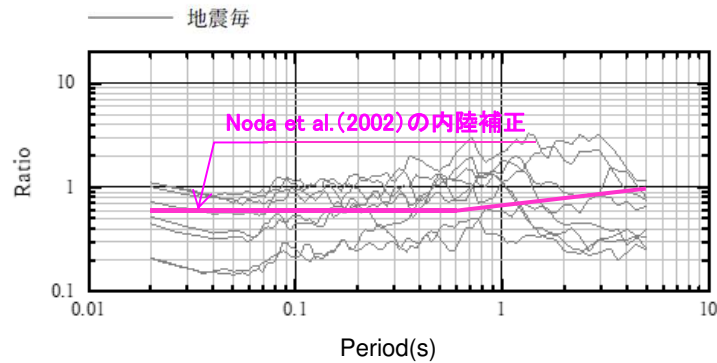
鉛直成分

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)

3.4 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】2018年北海道胆振東部地震(M6.7) 及びその余震を含む4地震の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



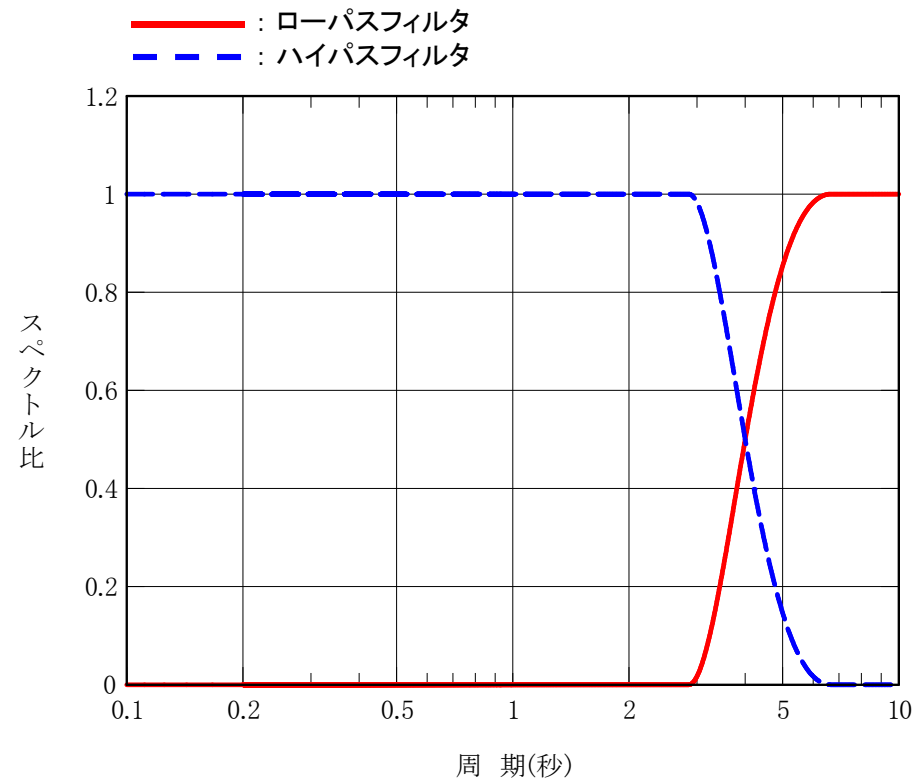
水平成分

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)

3.5 ハイブリッド合成法 (1) マッチングフィルタ—

- 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—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。

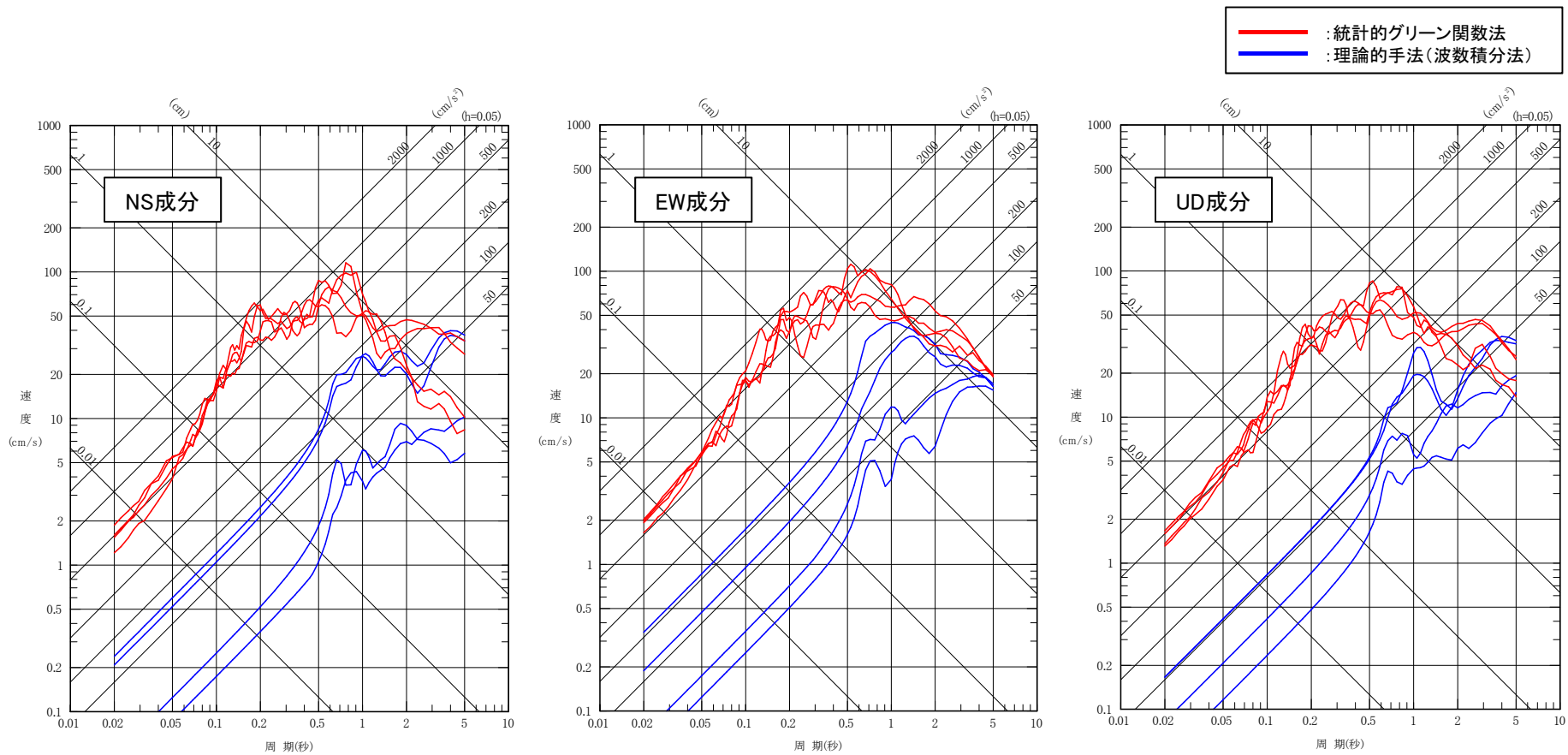


マッチングフィルタ—の形状

3.5 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

- 検討用地震のうち、短周期側において敷地への影響が最も大きい「横浜断層による地震」(東傾斜・規模・応力降下量)(ケース3-2)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比較した。
- 接続周期4秒より長周期側では、統計的グリーン関数法と理論的手法は同等である(理論的手法のNS成分及びUD成分の一部では理論的手法がやや上回る)。



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)
「横浜断層による地震」(東傾斜・規模・応力降下量)(ケース3-2)の応答スペクトル

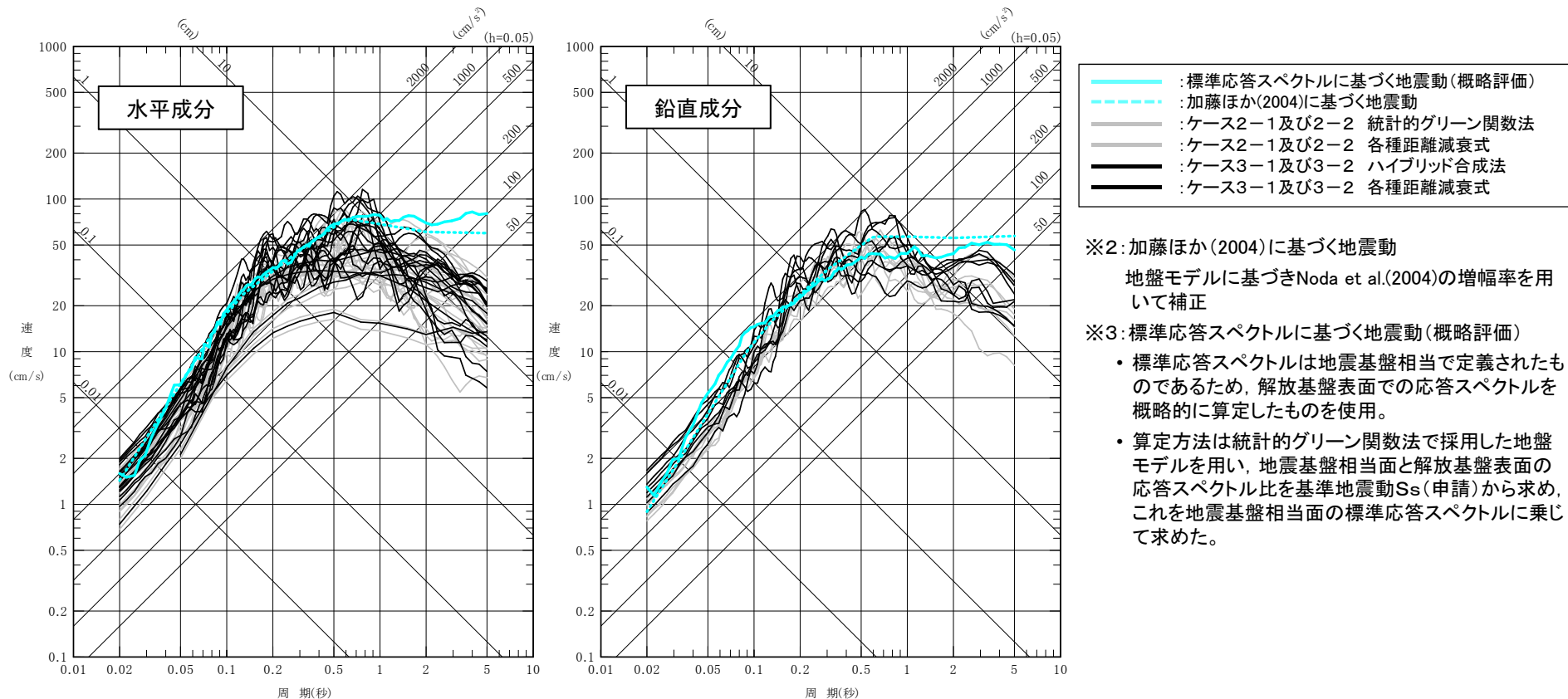
3.6 「横浜断層による地震」(東傾斜)の地震動と 「震源を特定せず策定する地震動」との比較

S188

- 「下北半島の地質構造上の特徴に基づくモデル」(ケース2-1, ケース2-2)は, 下北半島東西断面中央部付近(中軸部)の狭隘な速度構造の高まりから想定される活断層を伴わない規模の小さい地震[陸奥湾側(東傾斜)]を活断層と関連付けて横浜断層位置で考慮し, さらに保守的な断層長さ(L=20km)と短周期レベルの不確かさを考慮しているため, 「震源を特定せず策定する地震動」※¹を部分的に上回るものとなっている。

※¹:ここでは加藤ほか(2004)に基づく地震動※²及び標準応答スペクトルに基づく地震動(概略評価)※³を使用

- さらに「下北半島の地質構造上の特徴に基づくモデル(更なる規模の保守性考慮)」(ケース3-1, ケース3-2)は, 地震の規模を地震発生層を飽和するよう保守的に設定していること, アスペリティの応力降下量の不確かさとして地震調査研究推進本部(2020)による値の1.5倍を採用していることから, 「震源を特定せず策定する地震動」を広範囲の周期帯で超過したものとなっている。



東傾斜の「横浜断層による地震」の断層モデルを用いた手法による地震動評価(本編資料5章4再掲)と標準応答スペクトルに基づく地震動(概略評価)との比較(PN基準)

参考文献(1)

1. 敷地周辺の内陸地殻内地震の地震発生層

1. 地質調査総合センター編(2013):日本重カデータベースDVD版(第2版), 数値地質図P-2

2. 内陸地殻内地震の検討用地震の選定

1. 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
2. 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
3. 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
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

3. 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. 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
3. Norman A. Abrahamson, Walter J. Silva (2008):Summary of the Abrahamson & Silva NGA Ground-Motion Relations, Earthquake Spectra, Vol.24
4. Chiou, B. S. -J and R. R. Youngs (2008):An NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra, Earthquake Spectra, Vol.24
5. 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
6. Kanno T., A. Narita, N. Morikawa, H. Fujiwara and Y. Fukushima (2006):A New Attenuation Relation for Strong Ground Motion in Japan Based on Record Data, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.96, No.3
7. 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
8. 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
9. 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
10. 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

参考文献(2)

3. 検討用地震の地震動評価

11. 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
12. 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
13. 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」)
14. 地震調査研究推進本部(2004): 三陸沖北部の地震を想定した地震動評価
15. 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
16. Kanamori H. (1977) : The Energy Release in Great Earthquakes, Journal of Geophysical Research Vol.82 No.20
17. 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
18. 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
19. Geller, R. J. (1976) : Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes, Bulletin of the Seismological Society of America, 66
20. 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
21. 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
22. 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
23. 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
24. 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 Iwuri Earthquake, Earth, Planets and Space, 2019
25. 加藤研一, 宮腰勝義, 武村雅之, 井上大栄, 上田圭一, 壇一男(2004): 震源を事前に特定できない内陸地殻内地震による地震動レベル - 地質学的調査による地震の分類と強震観測記録に基づく上限レベルの検討 -, 日本地震工学会論文集, 第4巻, 第4号, 46-86.