

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)

2022年4月11日
東北電力株式会社

審査会合におけるコメント

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

目次

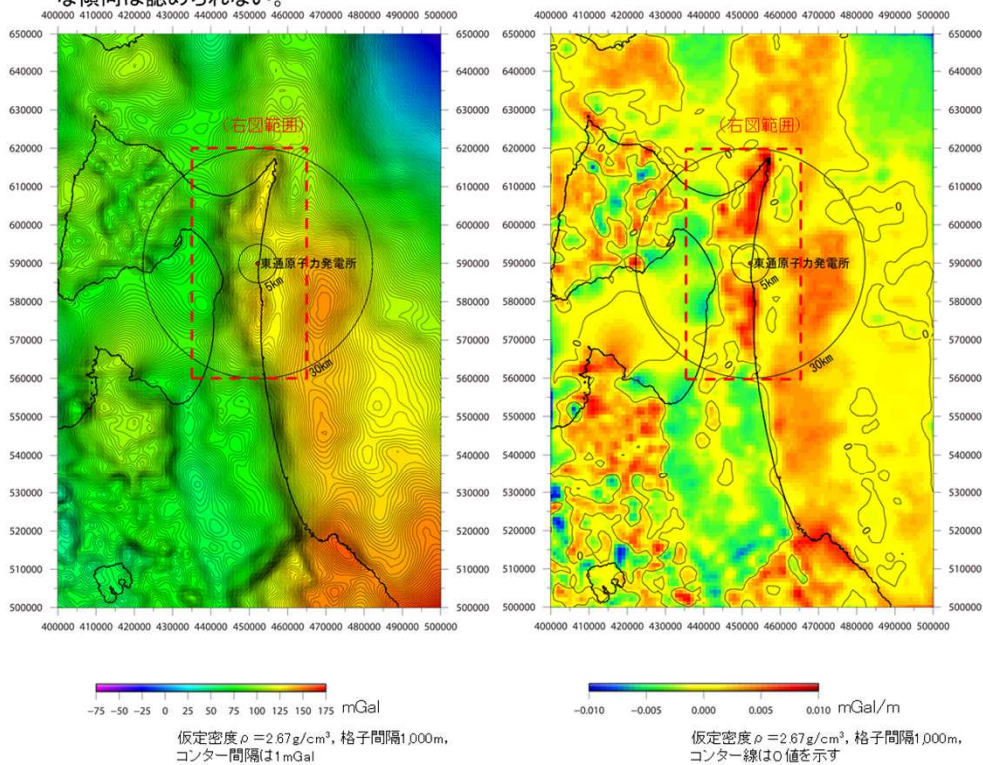
1. 敷地周辺の内陸地殻内地震の地震発生層	.....	3
1.1 敷地周辺の重力異常に関する検討	.....	4
2. 内陸地殻内地震の検討用地震の選定	.....	5
2.1 大間崎沖付近に想定される地震の影響	.....	6
3. 検討用地震の地震動評価	.....	7
3.1 各種距離減衰式	.....	8
3.2 検討用地震付近で発生した観測地震(要素地震の検討)	.....	11
3.3 横浜断層の地質調査結果	.....	12
3.4 「横浜断層による地震」参考ケース(断層傾斜角)の地震動評価	.....	14
3.5 敷地で観測された内陸地殻内地震[Noda et al.(2002)との比較]	.....	22
3.6 「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」の基本ケースについて	.....	25
3.7 地震モーメントの算定	.....	28
3.8 ハイブリッド合成法	.....	30
4. 「震源を特定せず策定する地震動」のうち「標準応答スペクトル」による検討	.....	32
4.1 標準応答スペクトルに基づく地震動	.....	33
参考文献	.....	39

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

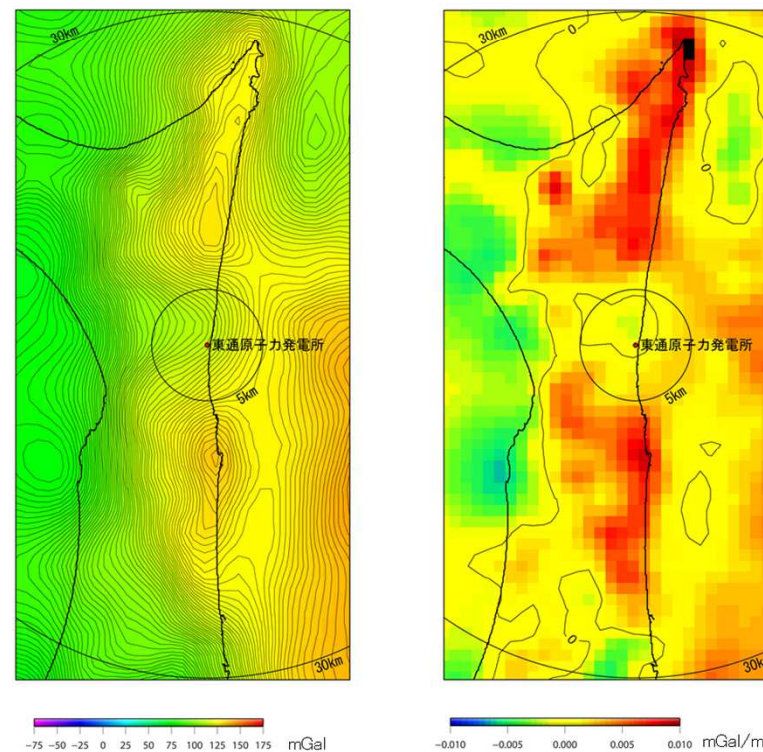
1.1 敷地周辺の重力異常に関する検討

- 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)

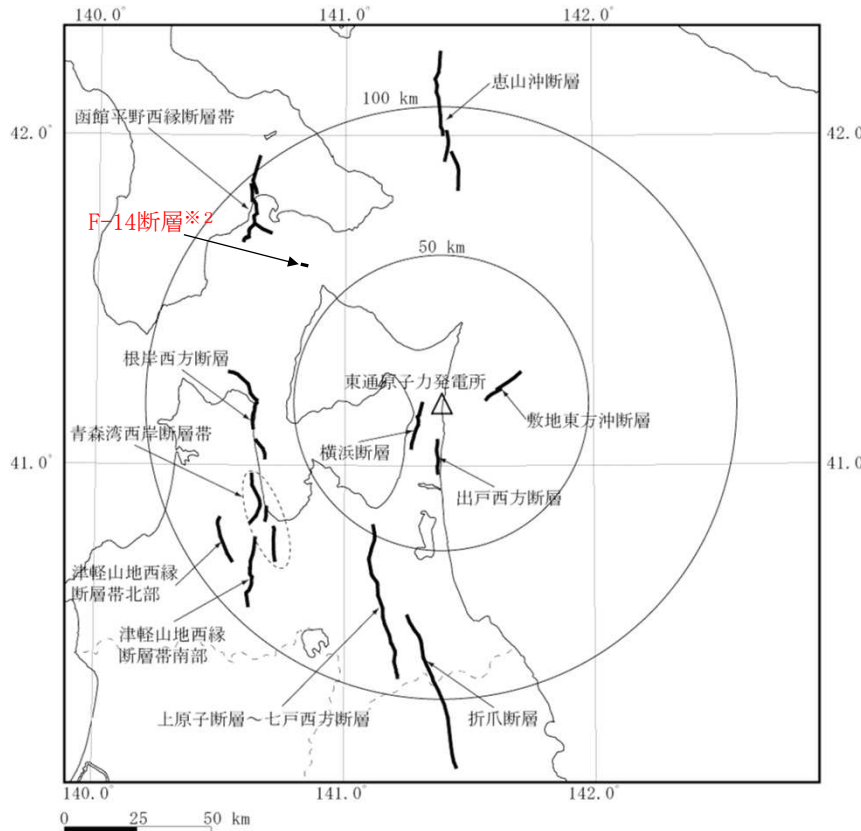
「地質調査総合センター(編)(2013), 日本重力データベースDVD版」のデータセットを用いて重力異常図及び等値線を作成した。

2. 内陸地殻内地震の検討用地震の選定

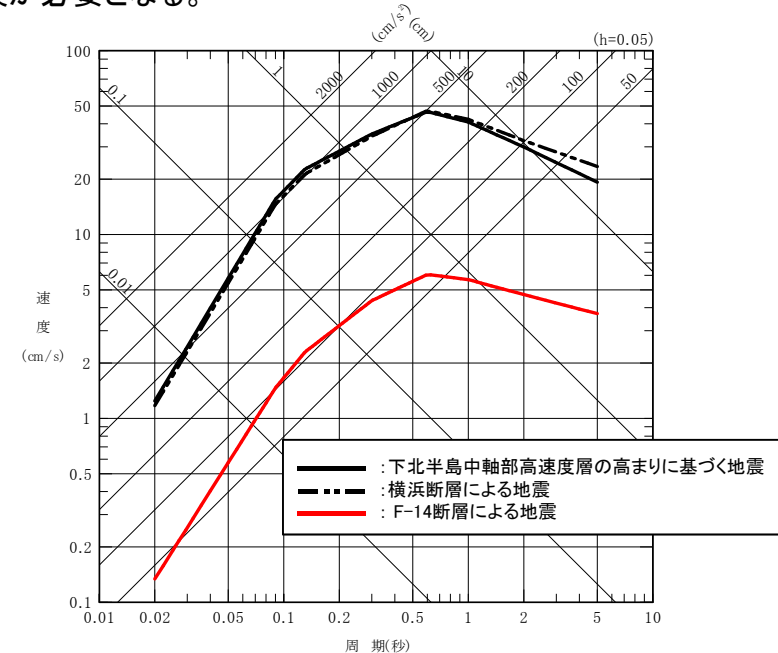
2.1 大間崎沖付近に想定される地震の影響

2.1 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。保守的に「地表地震断層としてその全容を表す規模」との位置付けの地震規模(M7.0)^{※1}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検討用地震の応答スペクトルに比べてかなり小さく、当該位置で検討用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
(F-14断層を追記)



検討用地震及びF-14断層による地震の応答スペクトル
〔Noda et al.(2002), 水平方向, 内陸補正なし〕

検討用地震及びF-14断層に想定される地震の諸元

地震	断層長さ(km)	地震規模 M	等価震源距離(km)
F-14断層による地震 ^{※2}	3.4	7.0 ^{※1}	68
横浜断層による地震 ^{※3}	15.4	7.0	14
下北半島中軸部 高速度層の高まりに基づく地震 ^{※3}	—	6.8	9

※1: 地震発生層を飽和し「地表地震断層としてその全容を表す規模」との位置付けで $M_0=7.5 \times 10^{18}(\text{Nm})$ を考慮。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。
 ※2: 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。断層長さは電源開発株式会社の資料〔第1013回審査会合(2021年11月5日)資料1-1〕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: 地震諸元及び応答スペクトルは本編資料4章再掲。

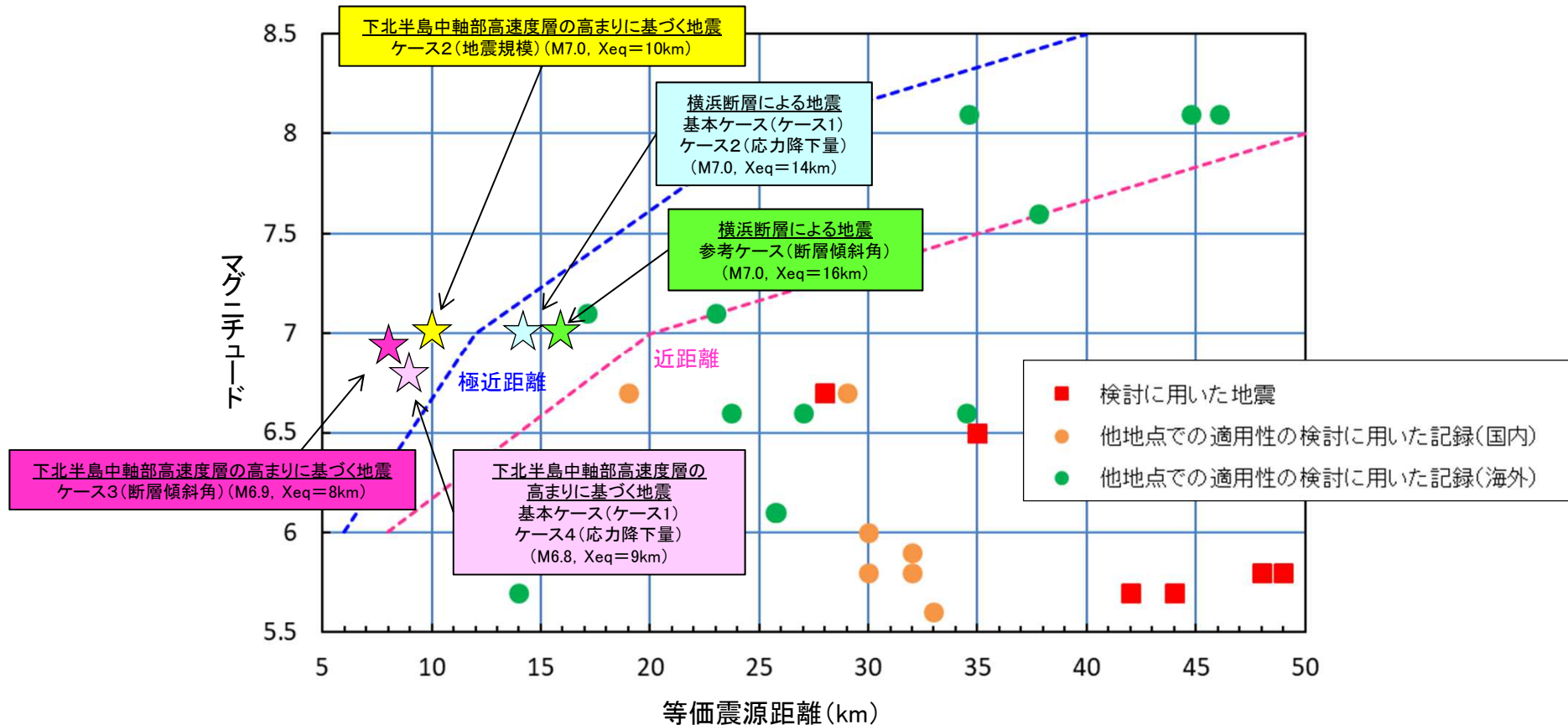
3. 検討用地震の地震動評価

- 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 横浜断層の地質調査結果
- 3. 4 「横浜断層による地震」参考ケース(断層傾斜角)の地震動評価
- 3. 5 敷地で観測された内陸地殻内地震[Noda et al.(2002)との比較]
- 3. 6 「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」の基本ケースについて
- 3. 7 地震モーメントの算定
- 3. 8 ハイブリッド合成法

3. 1 各種距離減衰式

(1) Noda et al.(2002)のデータ範囲と検討用地震との関係

- 「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。
- 「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」は、Noda et al.(2002)のデータ範囲外となる。



Noda et al.(2002)のデータ範囲と「横浜断層による地震」及び「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」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	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 =2000m/s)
Abrahamson and Silva(2008)	国内外	内陸	M _w , 断層最短距離, V _{s30} , 断層上端深さ	4.27~7.9	200km以内	100 ≤ V _{s30} ≤ 2000m/s
Chiou and Youngs(2008)	国内外	内陸	M _w , 断層最短距離, V _{s30} , 断層上端深さ	4.27~7.9	70km以内	100 ≤ V _{s30} ≤ 2000m/s
Idriss(2014)	国内外	内陸	M _w , 断層最短距離, V _{s30}	M ≥ 5	150km以内	V _{s30} ≥ 450m/s

※: V_{s30}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に示す地下構造モデルの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

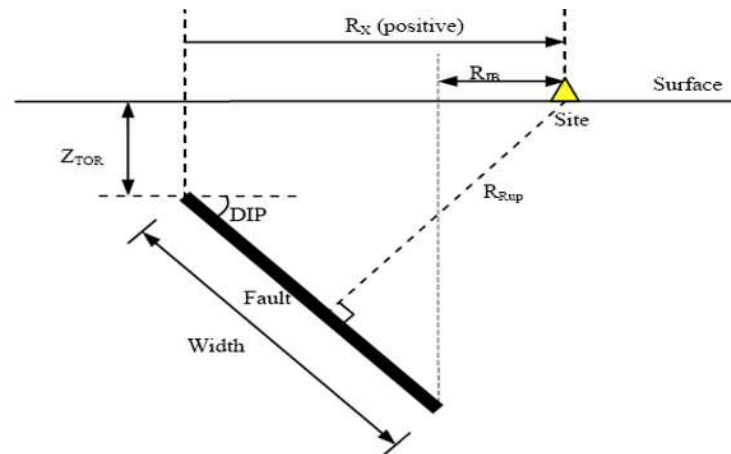
距離減衰式	データベース 対象地域	地震タイプ	主なパラメータ	地震規模の範囲	距離の範囲	地盤条件等*
(参考) Noda et al.(2002)	国内	主に太平洋側の プレート間地震	M _j , 等価震源距離, V _s , V _p	5.5~7.0	28~202km (震源距離)	500 ≤ V _s ≤ 2700m/s
Kanno et al.(2006)	主に国内	内陸, プレート間, 海洋プレート内	M _w , 断層最短距離, 震源深さ, V _{s30}	5.5~8.2	1~500km	100 < V _{s30} < 1400m/s
内山・翠川(2006)	日本周辺	内陸, プレート間, 海洋プレート内	M _w , 断層最短距離, 震源深さ	5.5~8.3	300km以内	150 ≤ V _{s30} ≤ 750m/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 ≤ V _{s30} ≤ 1000m/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 ≤ V _{s30} ≤ 1500m/s
Campbell and Bozorgnia(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 ≤ V _{s30} ≤ 1500m/s
Chiou and Youngs(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 ≤ V _{s30} ≤ 1500m/s

3.1 各種距離減衰式

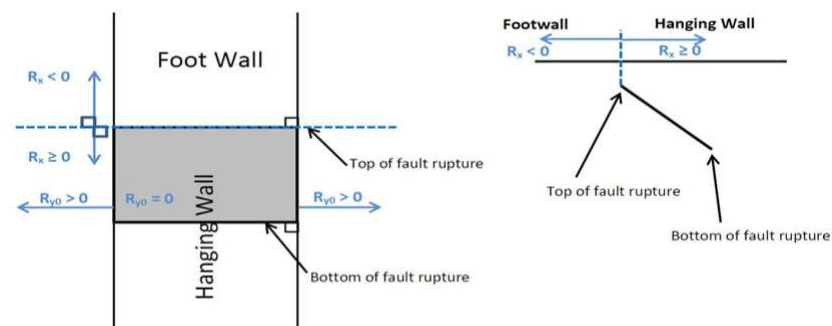
(3) NGA距離減衰式に用いられているパラメータ

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



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



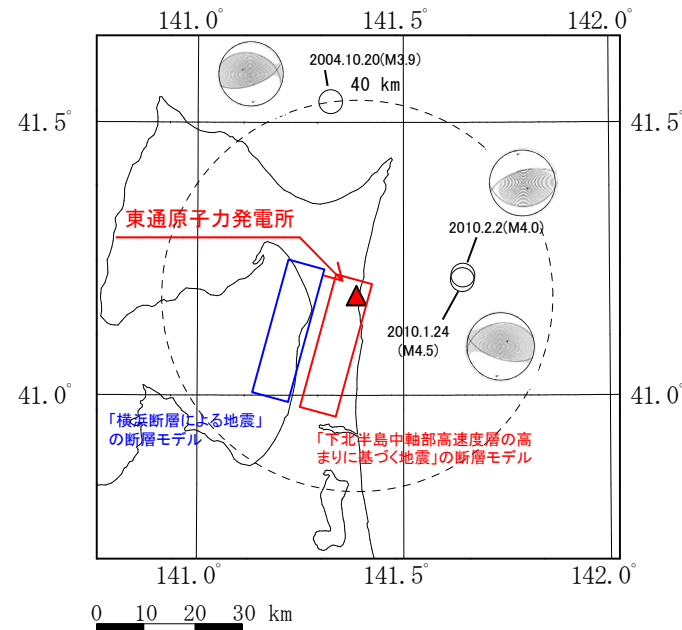
【出典】《NGAW2_GMPE_Spreadsheets_v5.5_060514_Protected.xlsx》

※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。

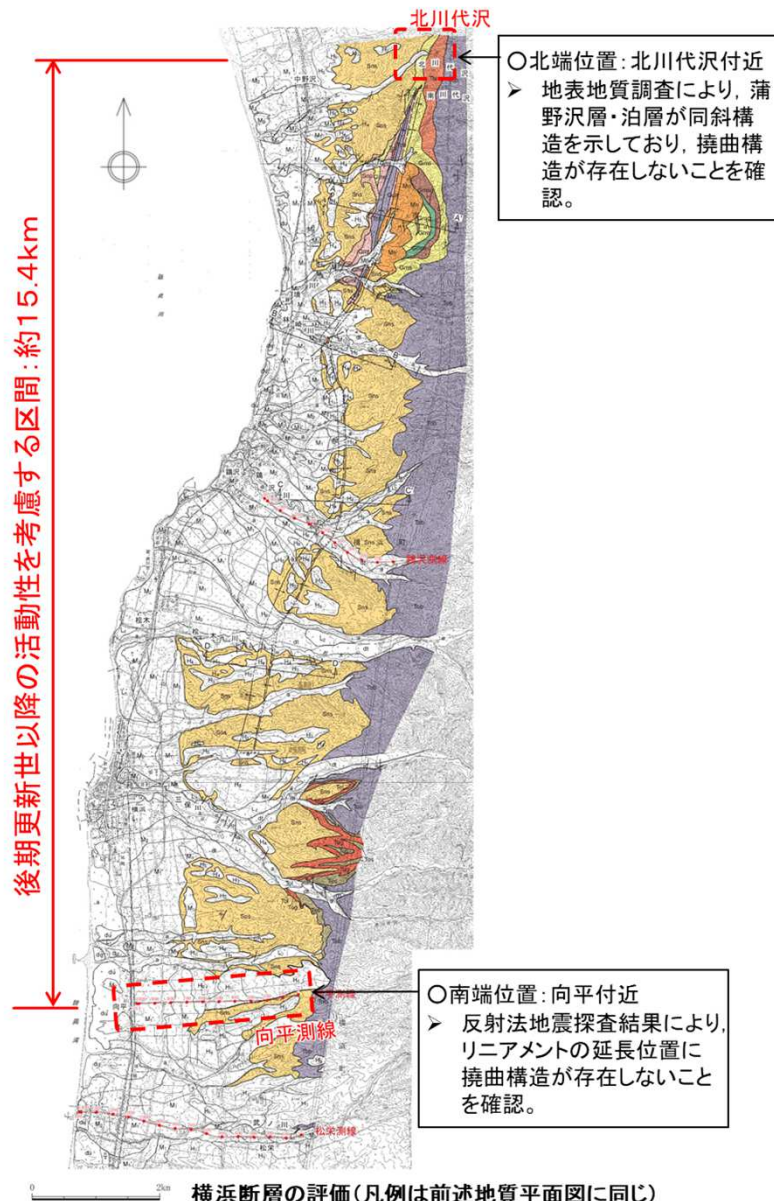
3.2 検討用地震付近で発生した観測地震(要素地震の検討)

- 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、要素地震として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「横浜断層による地震」及び「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」の震源域付近で、要素地震として適切な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 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。

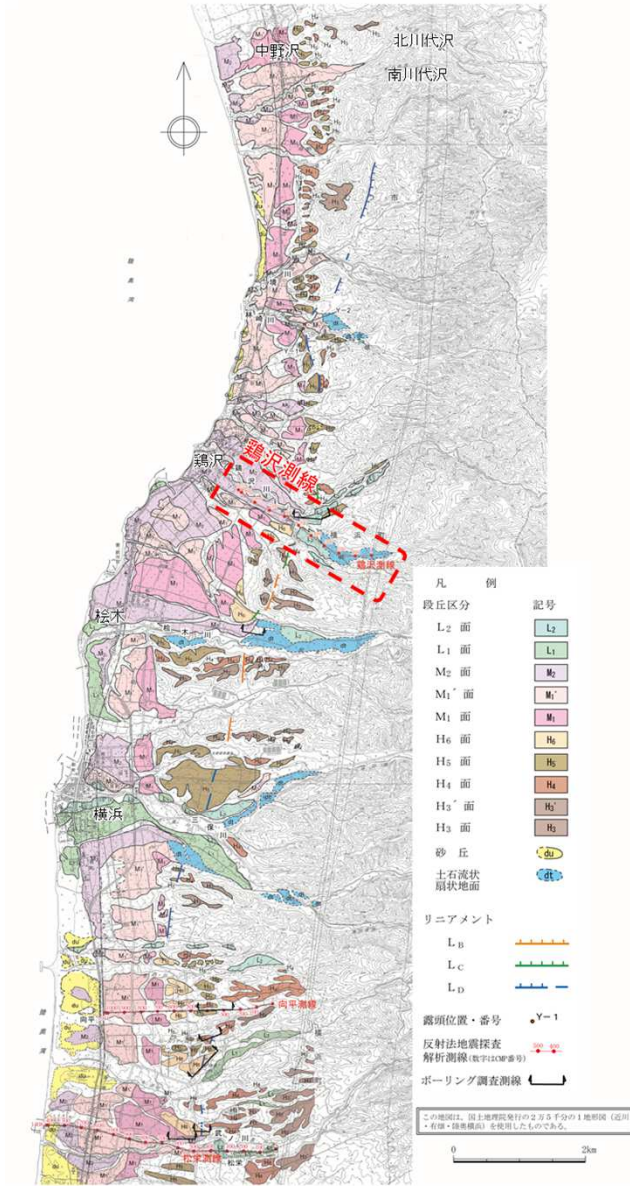
【地質調査】

- 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】

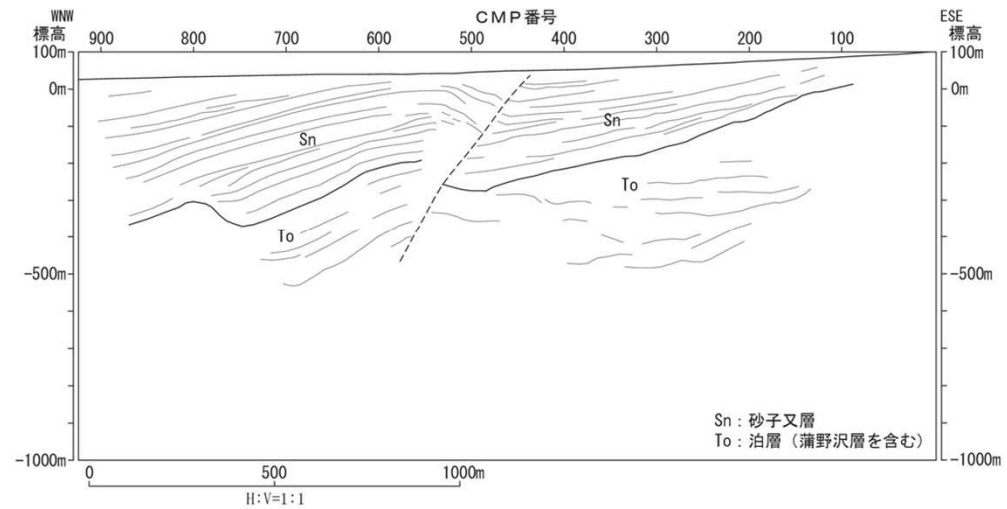
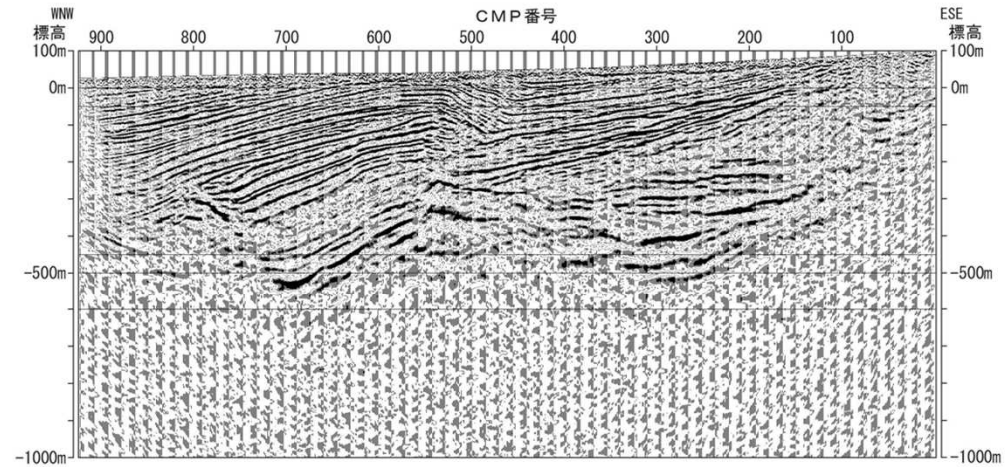
- 文献指摘による横浜断層及び空中写真判読によるリニアメントは、上記のとおり、横浜断層の評価に包含される。
 - ✓ 「活断層詳細デジタルマップ[新編]」(2018)による横浜断層帯のうち、北部のリニアメントに対応していない箇所については断層は認められないことを確認している。

3.3 横浜断層の地質調査結果 (2) 鷺沢測線の反射法地震探査



横浜断層周辺の空中写真判読図

➤ 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。



鷺沢測線の深度断面とその解釈

3.4 「横浜断層による地震」参考ケース(断層傾斜角)の地震動評価 (1) 検討の位置づけ

- 「横浜断層による地震」の基本ケース(ケース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、保守的に「地表地震断層としてその全容を表す規模」との位置づけで地震モーメント $M_0=7.5 \times 10^{18}$ (Nm)以上となるように設定している(断層長さ $L=27$ km)。
- 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ることから、不確かさケースとしては考慮しない。
 - ・ 低角な断層(45度)を採用した場合、敷地までの距離が遠くなること、また、45度にした場合の断層幅の値(17km)も踏まえると地震規模は保守性を持たせた基本ケースと同じになることから(本編資料5章2(2)参照)、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4参照, 20~40cm/s程度, 平均的な放射特性係数)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。

「横浜断による地震」参考ケース(断層傾斜角)

検討ケース	断層傾斜方向	断層位置	断層長さ 地震モーメント	地震規模	断層傾斜角	アスペリティの応力降下量 [レシピ ^{※1} に対する比] 短周期レベル	アスペリティの位置	破壊開始点	評価手法
地質調査結果	西	調査結果位置	L=15.4km (参考) 2.55×10^{18} (Nm)	(参考) M6.6 (Mw6.20)	60°	(参考)14.96 (MPa) [レシピ $\times 1.0$] 7.24×10^{18} (Nm/s ²)	—	—	—
基本ケース (ケース1) ^{※2}	西	調査結果位置	L=27km 7.83×10^{18} (Nm)	M7.0 (Mw6.53)	60°	13.62 (MPa) [レシピ $\times 1.0$] 1.05×10^{19} (Nm/s ²)	敷地に 近い 最浅部	破壊が敷 地に向か う位置に 複数考慮	Noda et al.(2002) 統計的グリーン 関数法
ケース2 (応力降下量) ^{※2}	西	調査結果位置	L=27km 7.83×10^{18} (Nm)	M7.0 (Mw6.53)	60°	20.43 (MPa) [レシピ $\times 1.5$] 1.58×10^{19} (Nm/s ²)			Noda et al.(2002) 統計的グリーン 関数法
参考ケース (断層傾斜角)	西	調査結果位置	L=22km 7.78×10^{18} (Nm)	M7.0 (Mw6.53)	45度	13.63 (MPa) [レシピ $\times 1.0$] 1.05×10^{19} (Nm/s ²)			Noda et al.(2002) 統計的グリーン 関数法

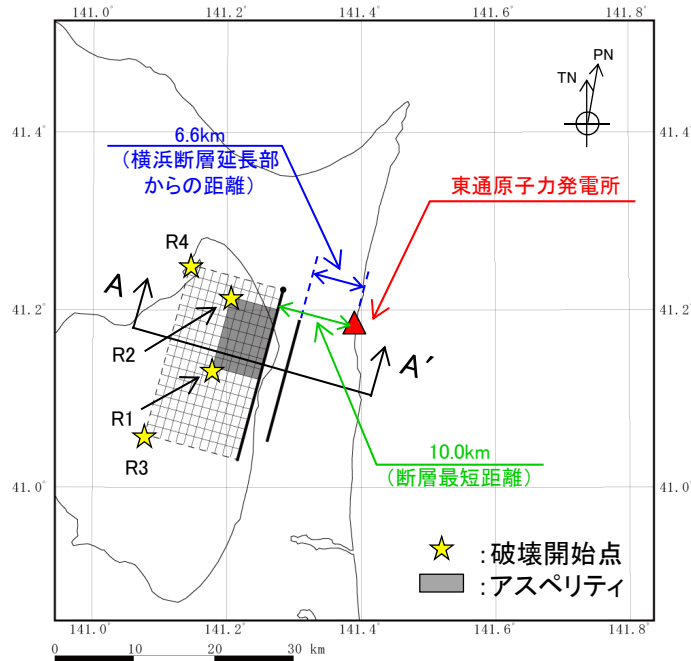
:あらかじめ基本ケースに織り込む不確かさ

:考慮する不確かさ

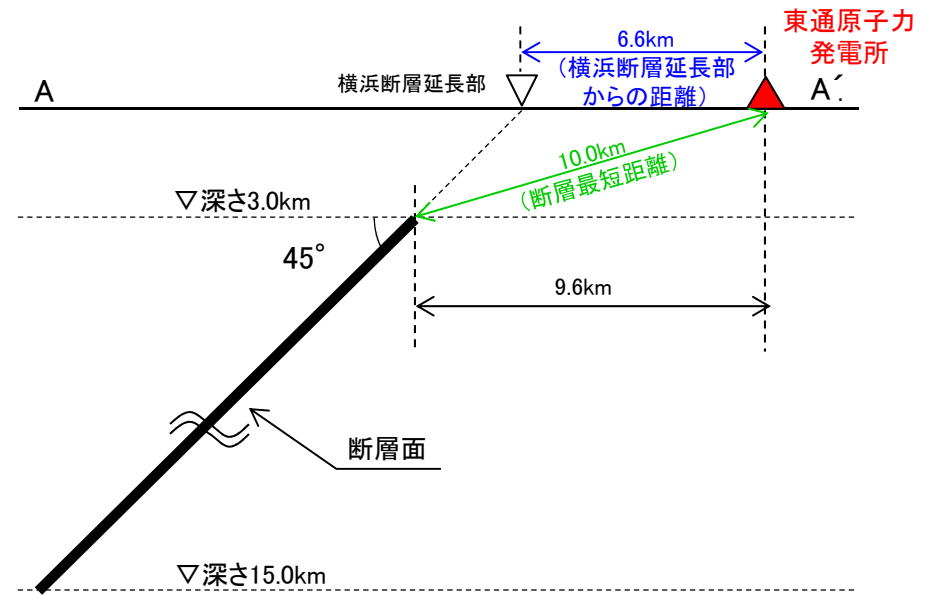
※1: 強震動予測レシピ; 地震調査研究推進本部(2020)

※2: 参考ケース以外は本編資料5章2を再掲

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



断層配置図



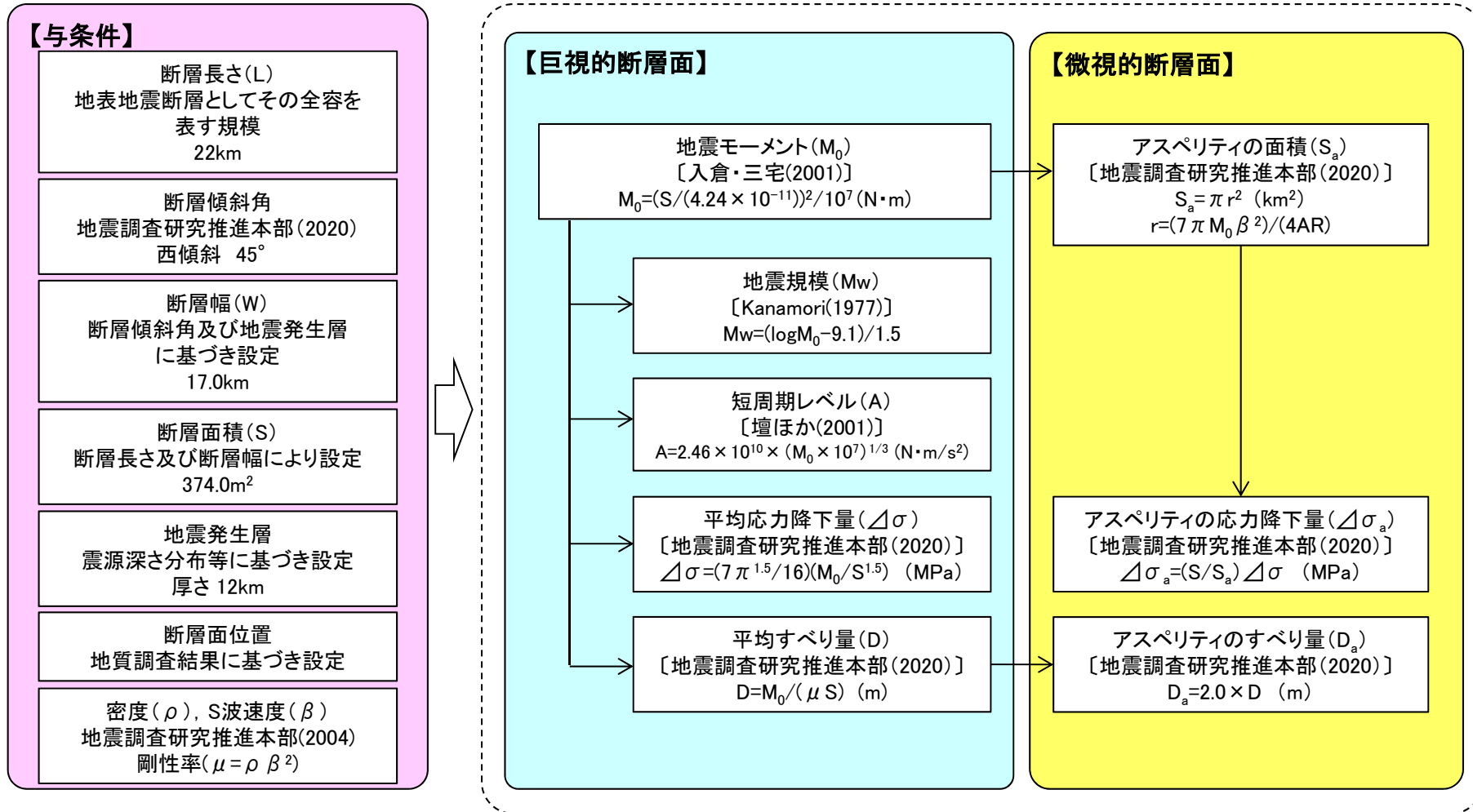
配置図(A-A' 断面)

「横浜断層による地震」参考ケース(断層傾斜角)の断層モデル

「横浜断層による地震」参考ケース(断層傾斜角)の断層諸元

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)
参考ケース(断層傾斜角)	22.0	7.0	6.53	16	10.0

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



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

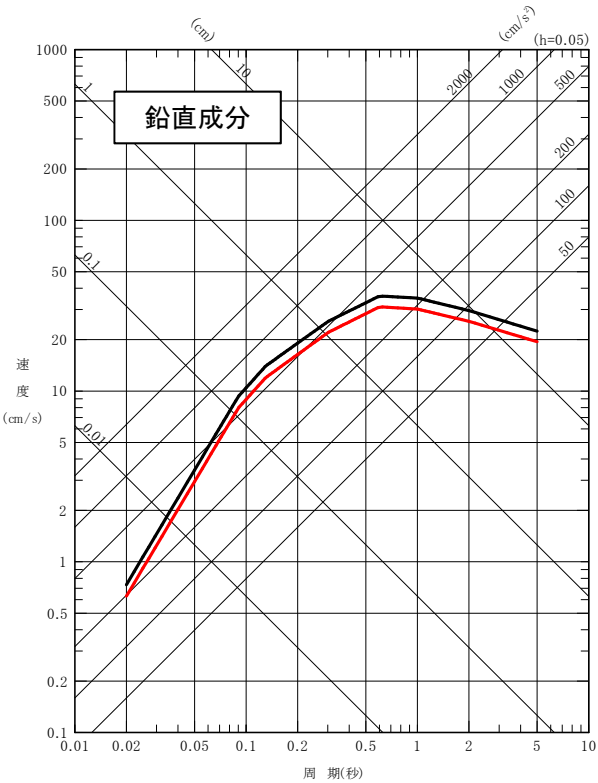
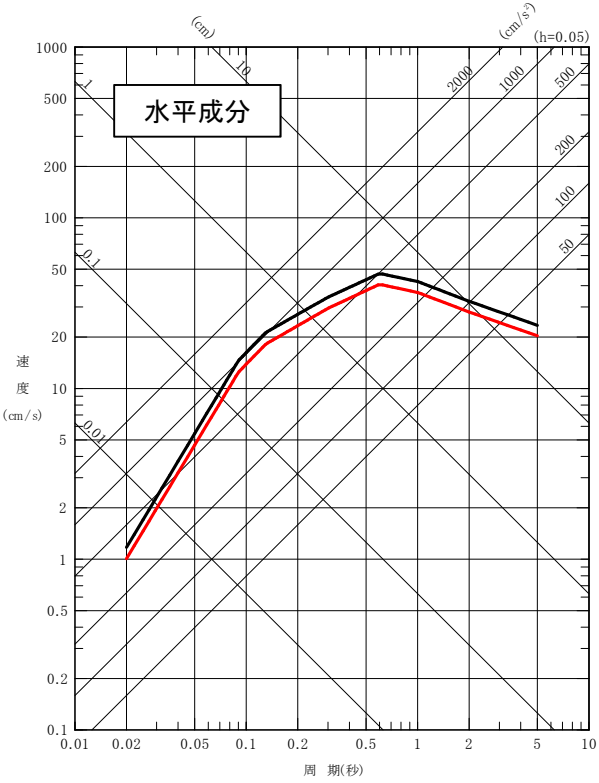
断層パラメータ	記号	単位	設定方法	基本ケース (ケース1)※	ケース2 (応力降下量)※	参考ケース (断層傾斜角)	
巨視的断層面	走向	θ	°	設定	195	←	←
	断層傾斜角	δ	°	設定	西傾斜 60	←	西傾斜 45
	断層長さ	L	km	設定	27.0	←	22.0
	断層幅	W	km	地震発生層厚さ(12km)と断層傾斜角から設定	13.9	←	17.0
	断層面積	S	km ²	S=L×W	375.3	←	374.0
	断層上端深さ	—	km	地震発生層の検討結果による	3.0	←	←
	断層下端深さ	—	km	地震発生層の検討結果による	15.0	←	←
	地震モーメント	M_0	Nm	$M_0=(S/(4.24 \times 10^{-11}))^2/10^7$ [入倉・三宅(2001)]	7.83×10^{18}	←	7.78×10^{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)]	6.53	←	←
	密度	ρ	g/cm ³	地震調査研究推進本部(2004)に基づき設定	2.69	←	←
	S波速度	β	km/s	地震調査研究推進本部(2004)に基づき設定	3.58	←	←
	剛性率	μ	N/m ²	$\mu = \rho \beta^2$	3.45×10^{10}	←	←
	平均すべり量	D	m	$D=M_0/(\mu S)$	0.606	←	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	←	2.62
	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}	←	2.99×10^{18}
	面積	S_a	km ²	$S_a=\pi r^2$	72.3	←	71.9
	平均すべり量	D_a	m	$D_a=2D$	1.211	←	1.207
	応力降下量	$\Delta\sigma_a$	MPa	$\Delta\sigma_a=(S/S_a)\Delta\sigma$, ケース2は1.5倍	13.62	20.43	13.63
短周期レベル	A_a	Nm/s ²	$A_a=4\pi(S_a/\pi)^{0.5}\Delta\sigma_a\beta^2$, ケース2は1.5倍	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}	←	4.79×10^{18}
	面積	S_b	km ²	$S_b=S-S_a$	303.0	←	302.1
	平均すべり量	D_b	m	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$	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 ⁶⁹	←	←	

※: 本編資料5章2を再掲

3.4 「横浜断層による地震」参考ケース(断層傾斜角)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)

- 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(補足説明資料3章5参照)、内陸補正は行わない。
- 「横浜断層による地震」(ケース1及びケース2)の地震動評価結果は、参考ケース(断層傾斜角)を上回っている。

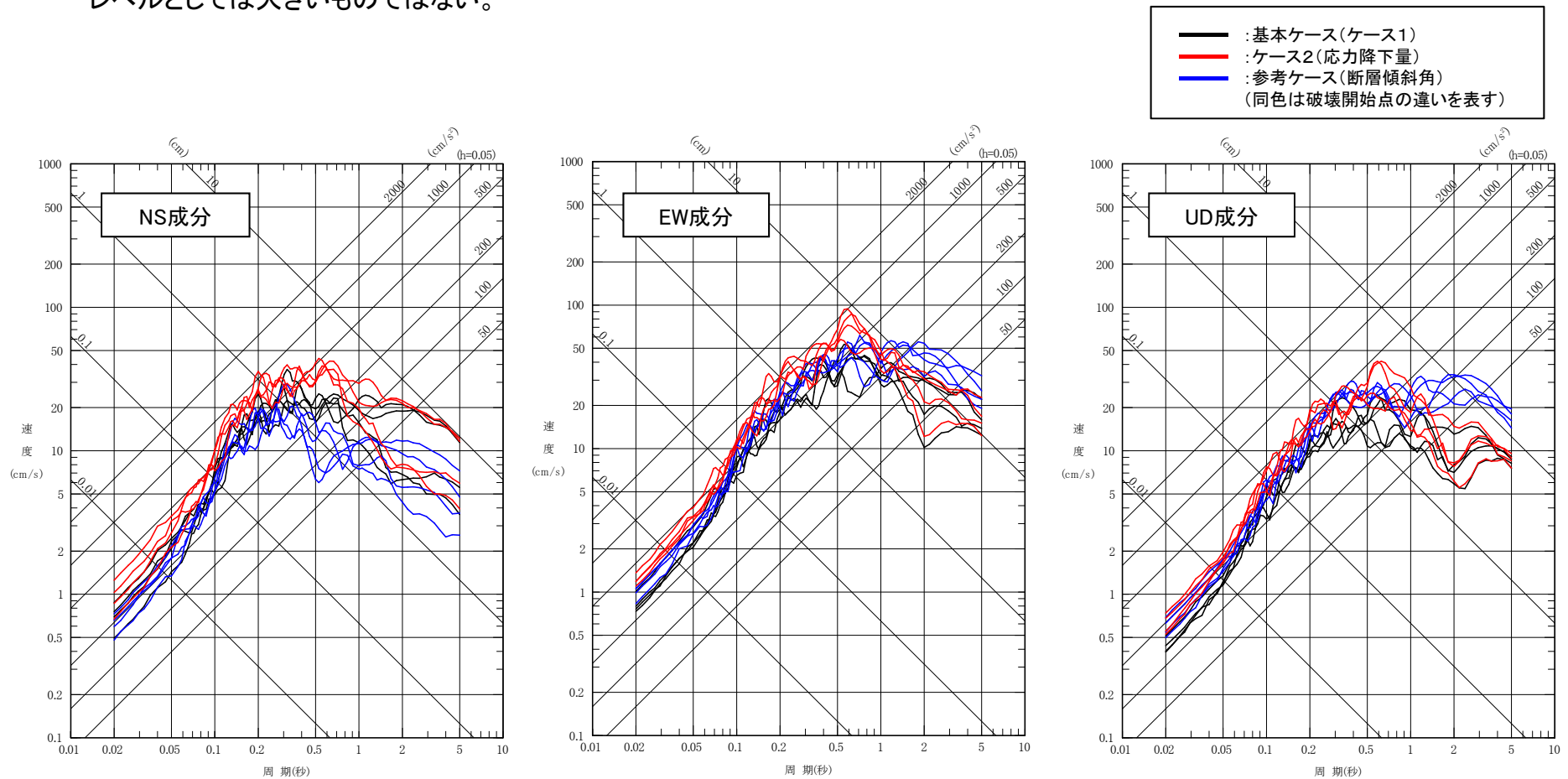
— :基本ケース(ケース1)及びケース2(応力降下量)(M7.0, $X_{eq}=14\text{km}$)
— :参考ケース(断層傾斜角)(M7.0, $X_{eq}=16\text{km}$)



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」参考ケース(断層傾斜角)[Noda et al.(2002)]

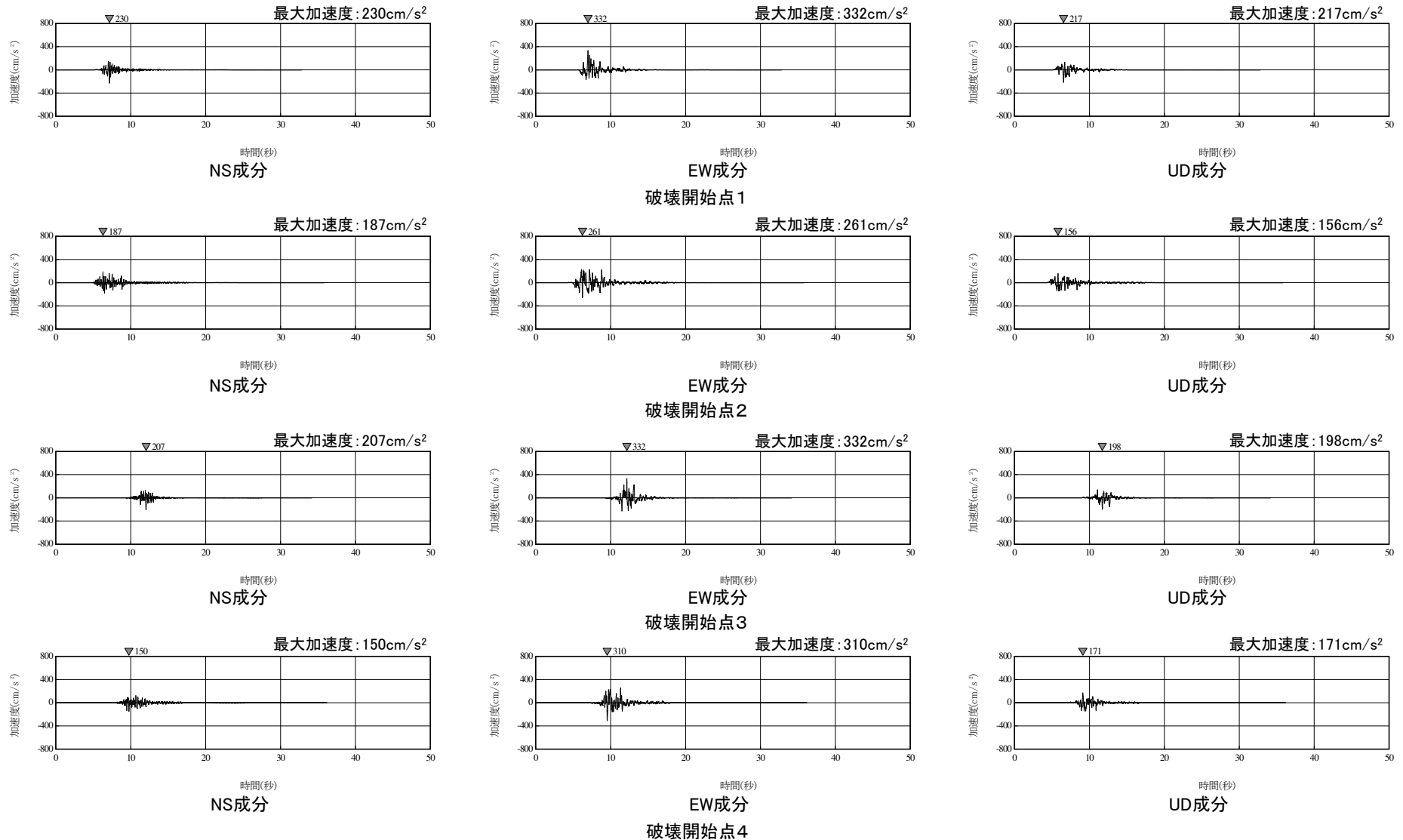
3.4 「横浜断層による地震」参考ケース(断層傾斜角)の地震動評価 (6)地震動評価結果(断層モデルを用いた手法) ①応答スペクトル

- 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。
- 短周期側は参考ケース(断層傾斜角)に比べ、ケース2(応力降下量)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(断層傾斜角)が基本ケース(ケース1)またはケース2(応力降下量)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。



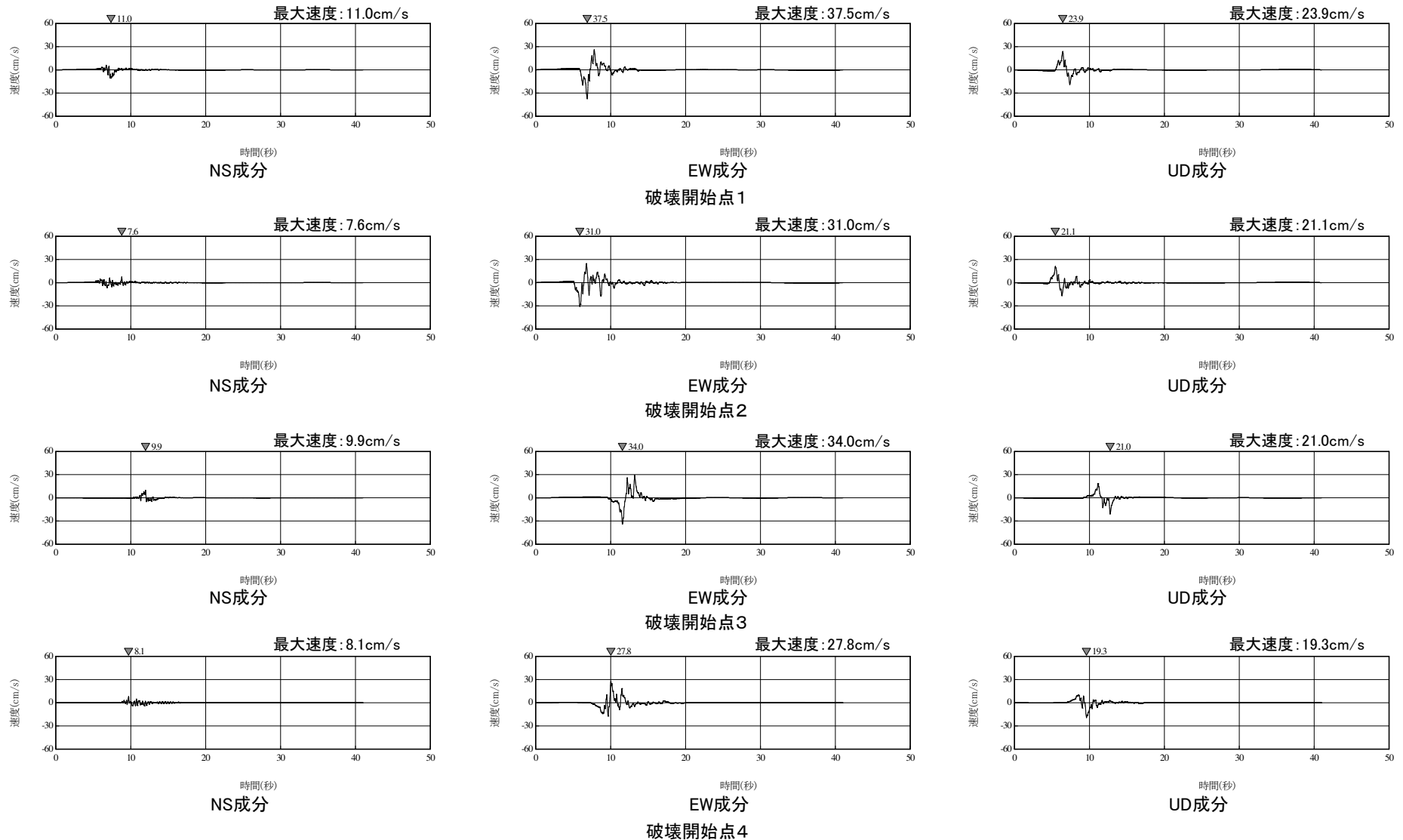
断層モデルを用いた手法による地震動評価 「横浜断層による地震」参考ケース(断層傾斜角)(PN基準)

3.4 「横浜断層による地震」参考ケース(断層傾斜角)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



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

3.4 「横浜断層による地震」参考ケース(断層傾斜角)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

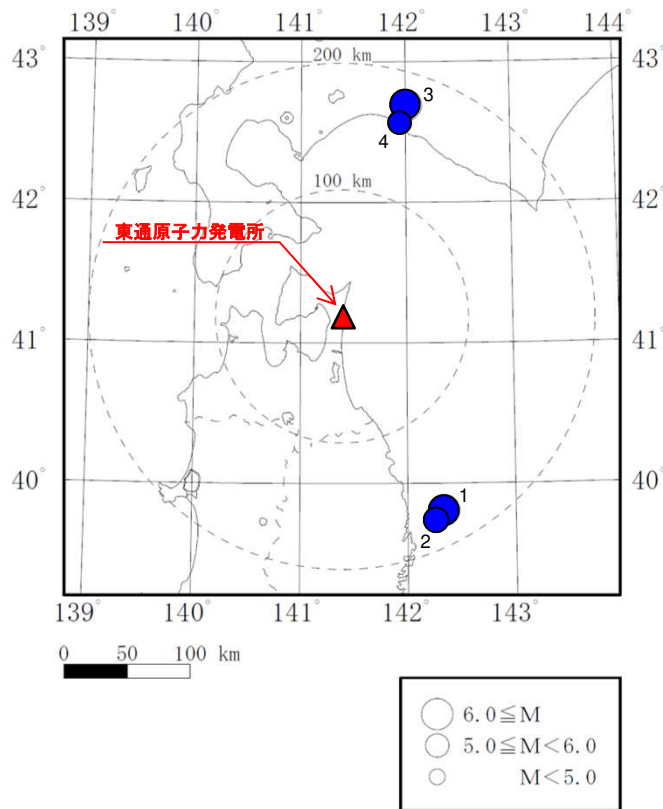


「横浜断層による地震」参考ケース(断層傾斜角)の断層モデルを用いた手法による速度波形(PN基準)

3.5 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

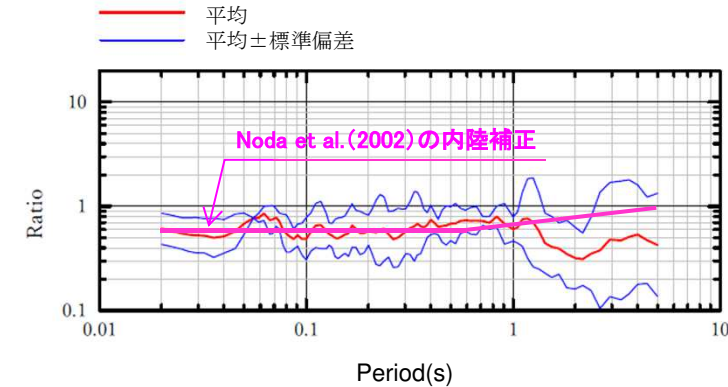
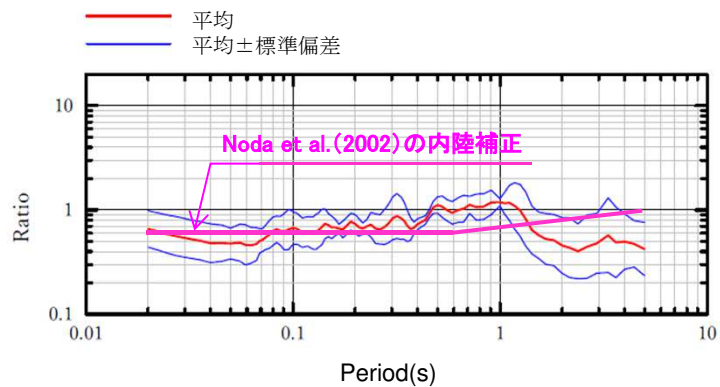
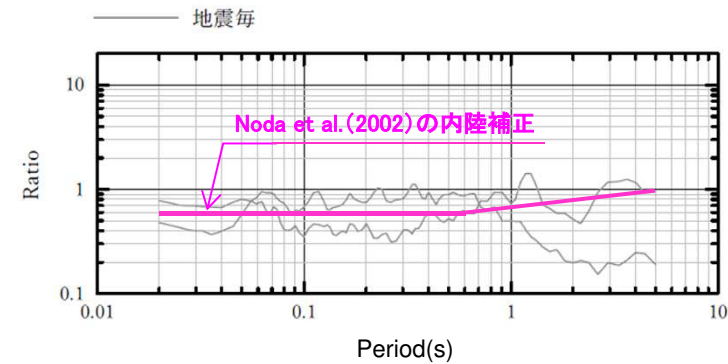
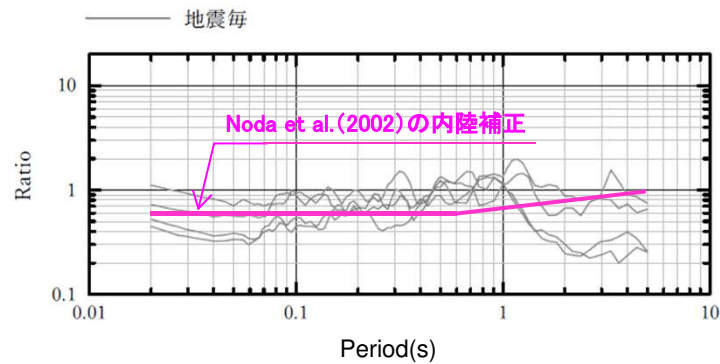
Xeq: 等価震源距離

検討に用いた内陸地殻内地震の震央分布

3.5 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

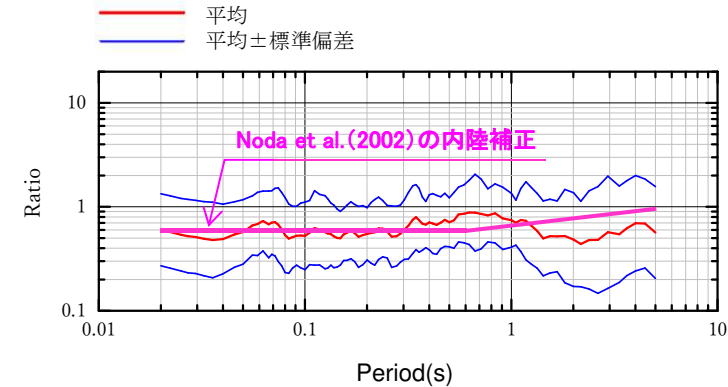
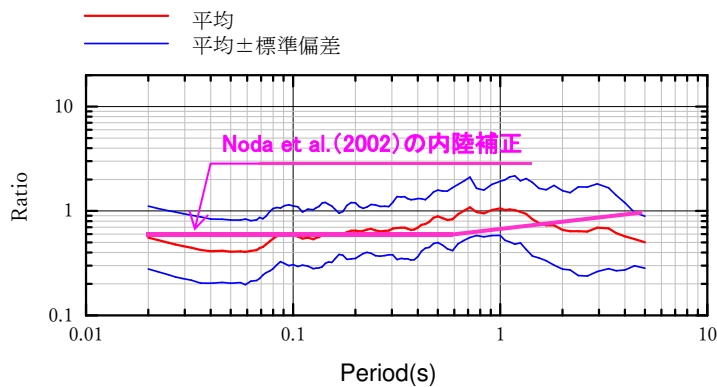
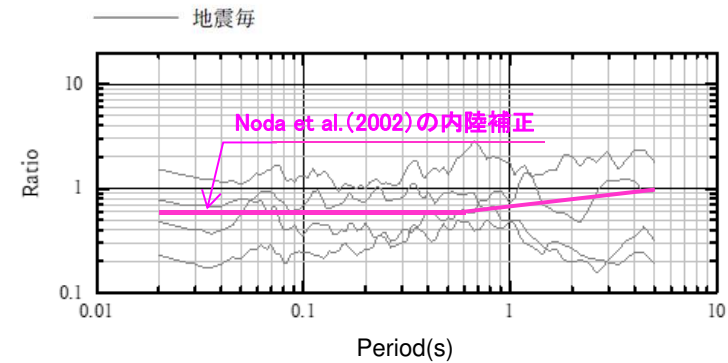
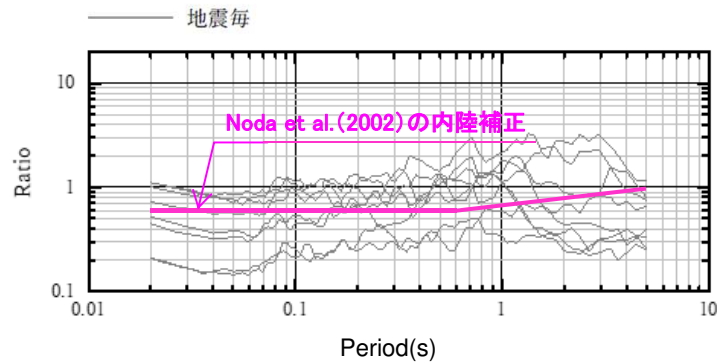
鉛直成分

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)

3.5 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)

3.6 「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」の基本ケースについて

(1) 基本的考え方と基本ケースが与える地震動レベルの確認

【基本的考え方】

- 「**下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震**」は、陸奥湾側に想定される活断層を伴わない規模の小さい地震をベースにした検討用地震であるが、地震動評価の保守性確保の観点から「孤立した短い活断層の存在を仮定した断層長さ」を採用する。具体的には、Stirling et al.(2002)及び入倉(2007)では、「地表に数km程度の孤立した短い活断層がある場合には、地下にL=20kmの断層が存在することを否定できない」とされていることを踏まえ(下記参照)、保守的にL=20kmを基本ケースに適用する。

【基本ケースが与える地震動レベルの確認】

検討1: 「孤立した短い活断層の存在を仮定した断層長さ」としてL=20kmを採用することが地震動評価として保守的であることを確認するために、設定したモデル周辺における地震動評価結果と「震源を特定せず策定する地震動」の比較を行う。

検討2: 「横浜断層による地震」の基本ケースには「地表地震断層としてその全容を表す規模」としてL=27kmを採用しているが、アスペリティ位置と敷地との相対関係等を踏まえると、敷地に与える短周期地震動は、L=20kmモデルとL=27kmモデルではほぼ同等であることを「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」で確認する。

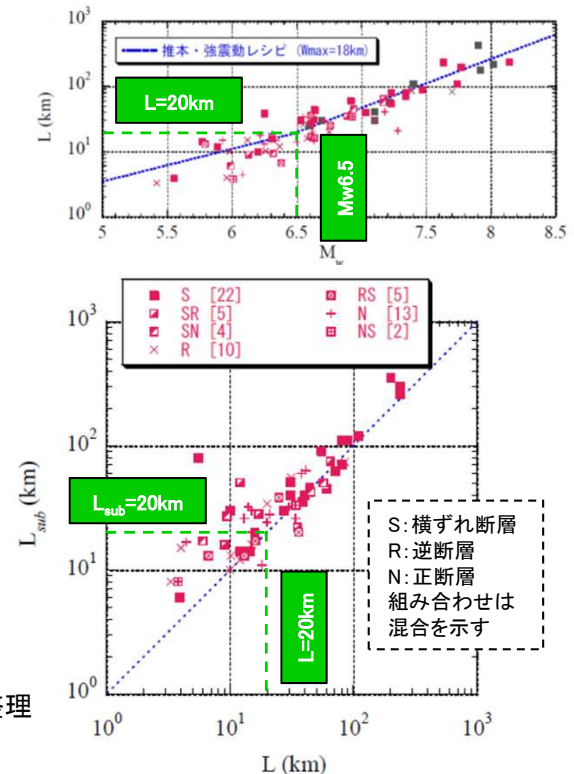
【Stirling et al.(2002)】

- 計器観測が行われる以前(1900年以前)の地震規模は、現代の計器観測に基づくスケーリング則による推定よりも大きく評価される傾向があることから、活断層長さや地震規模などのデータセットを用いて傾向の調査を行った。
- Stirling et al.(2002)は、Wells and Coppersmith(1994)のデータセットから信頼性が低いとされて除外されていた1900~1940年のデータ及び1994年以降のデータを追加した。

【入倉(2007)】

- Stirling et al.(2002)のデータセットのうち、信頼のおけるデータのみを用いて整理された地震モーメント(Mw)と地表断層長さ(L)及びLと震源断層長さ(L_{sub})の関係[橋本ほか(2006)]から、以下を示した。
 - ① L=20km(Mw6.5)でスケーリングが変化する(右上図)。
 - ② L_{sub} ≥ 20kmではLとL_{sub}は良く対応するが、L < 20kmではL_{sub}は20kmに漸近し、地表に数km程度の孤立した短い活断層がある場合には、地下にL=20kmの断層が存在することを否定できない(右下図)。

Sirling et al.(2002)に基づく断層長さ等の整理
[入倉(2007)に一部加筆]

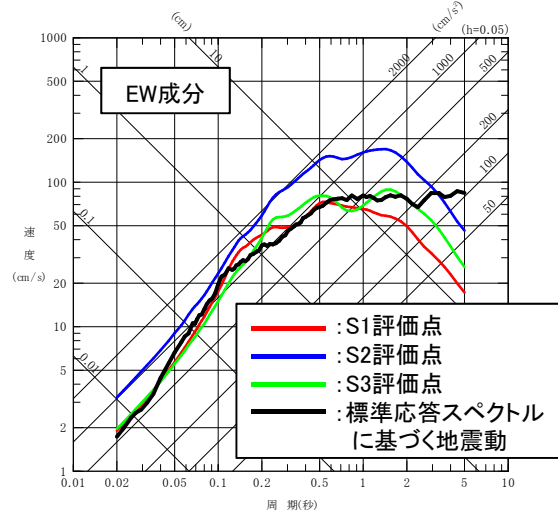
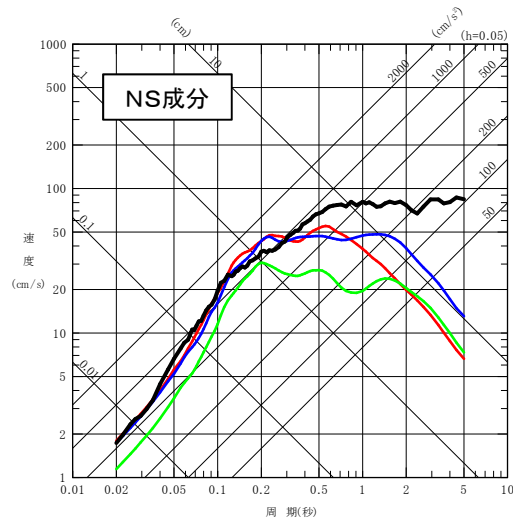


3. 6 「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」の基本ケースについて (2)【検討1】「震源を特定せず策定する地震動」との比較

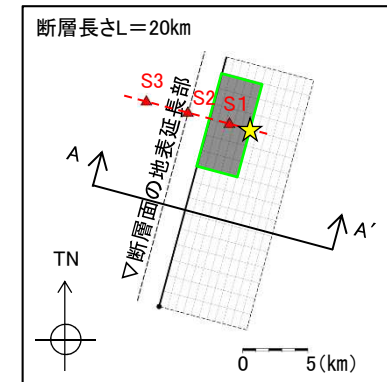
S203

- 「孤立した短い活断層の存在を仮定した断層長さ」である $L=20\text{km}$ の断層による地震について、基本ケースの断層モデルを用いて地表延長部を中心として対称に評価点を配置したケーススタディを行い、「震源を特定せず策定する地震動」※との比較を行った。
 - 断層パラメータは、「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」基本ケースと同じとした(本編資料5章4参照)。
 - 地震動評価は統計的グリーン関数法を用いた。地下構造モデルは東通のモデルを用いた(本編資料2章参照)。
 - $L=20\text{km}$ の断層による断層近傍の地震動(平均応答スペクトル)は、アスペリティの位置を断層の最浅部に設定していることもあり、「震源を特定せず策定する地震動」を超える周期帯がある。
- ⇒ したがって、アスペリティ位置を最浅部に設置した $L=20\text{km}$ の断層モデルは十分保守的な地震動評価結果を与える。

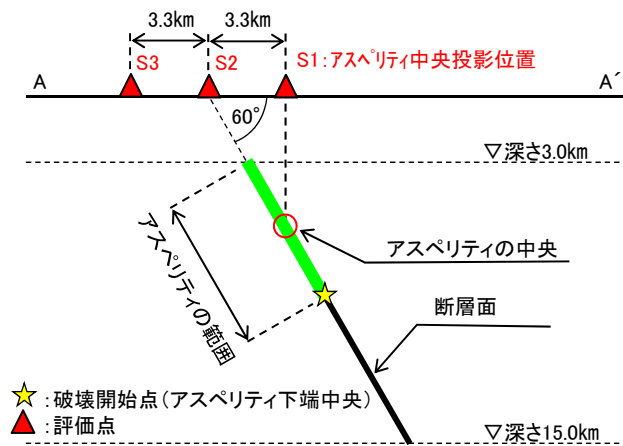
※:「震源を特定せず策定する地震動」の標準応答スペクトル(補足説明資料4章参照)で代表する。



「孤立した短い活断層の存在を仮定した断層長さ」である $L=20\text{km}$ の断層による地震における断層近傍の地震動(平均応答スペクトル)と「標準応答スペクトルに基づく地震動」との比較



断層配置図



評価点の配置図(A-A'断面)

検討に用いた断層モデル

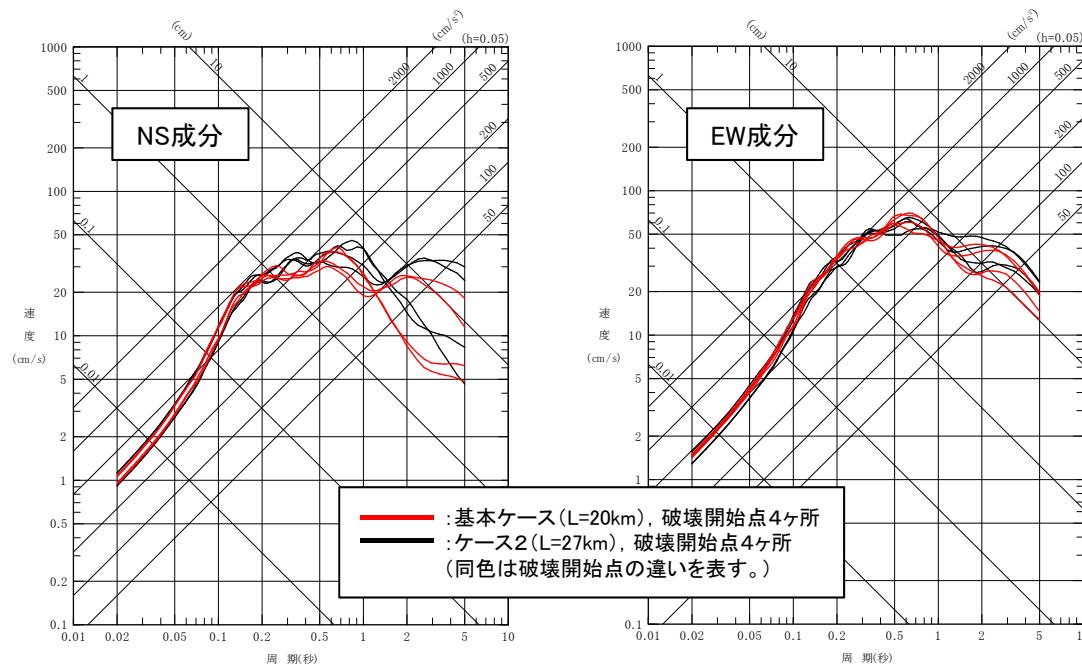
評価点は断層近傍とし、断層面の地表延長部を中心に、アスペリティ中央直上とその対称位置に配置した。破壊開始点はアスペリティ下端中央とした。

3. 6 「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」の基本ケースについて

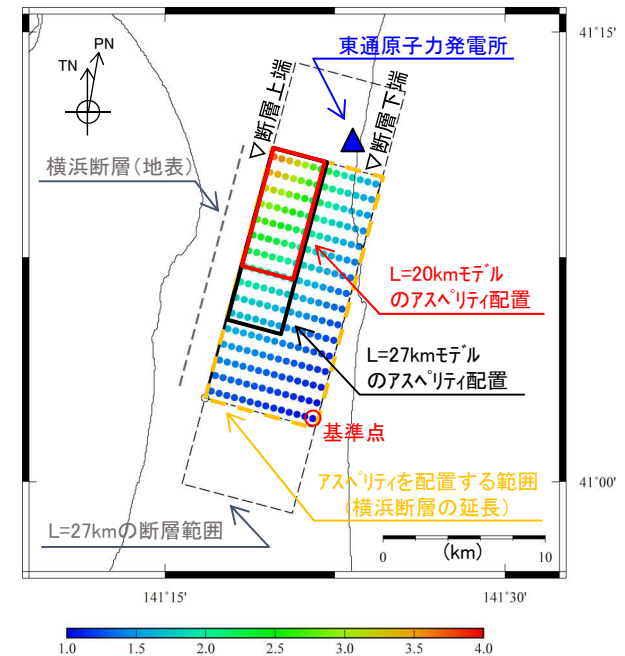
(3)【検討2】L=20kmモデルとL=27kmモデルによる地震動の比較

- 傾斜角を60度とし、L=20kmモデルとL=27kmモデルの地震動の比較を実施した。両者は、施設に与える影響の大きい短周期側ではほぼ同等のレベルとなっており、保守性が確保されている(図A)。これは、両モデルとも地震調査研究推進本部(2020)※に基づきアスペリティを設定した場合、敷地に対し影響の大きいアスペリティ位置が共通に考慮されること、L=27kmのアスペリティ面積が拡大する部分は敷地からの距離が遠く、短周期地震動に与える影響は相対的に小さいためと考えられる(図B)。
- なお、長周期側はL=27kmの方が大きい傾向にあるが、不確かさケースとしてL=27kmのモデルを採用していること、また、長周期側は応力降下量(短周期レベル)の不確かさの影響を受けにくいことも踏まえると、長周期側地震動の評価も過小にはなっていない。

※:強震動予測レシピ



図A L=20kmモデルとL=27kmモデルの平均応答スペクトル
(統計的グリーン関数法。断層モデルは本編資料5章4参照。)



図B アスペリティを配置できる範囲内の地震動
(基準点からの倍率を記載。グリッドは1km×1km。)

3.7 地震モーメントの算定

(1) 地震調査研究推進本部(2020)の知見

S203

- 地震調査研究推進本部(2020)では、断層幅と地震発生層の関係に応じて地震モーメント(M_0)の算定式の使い分けを示している。

【地震調査研究推進本部(2020):強震動予測レシピ】

利便性に配慮して機械的に値が求められるように、式の使い分けの閾値※1を決めているが、原理的には断層幅や平均滑り量が飽和しているかどうかでスケーリング則が変わるため、断層幅が飽和していない場合(1-a)式は(2)式を、飽和している場合(1-b)式は(3)式を用いる方が合理的である。

注:下線は東北電力による。 ※1: $M_0 = 7.5 \times 10^{18}(\text{Nm})$

$$W = L \quad (L < W_{max}) \quad \dots\dots\dots (1-a) \Rightarrow \text{断層幅は地震発生層を飽和していない}$$

$$W = W_{max} \quad (L \geq W_{max}) \quad \dots\dots\dots (1-b) \Rightarrow \text{断層幅は地震発生層を飽和}$$

$$W_{max} = T_s / \sin \delta$$

$$T_s = H_d - H_s$$

W : 断層幅(km)

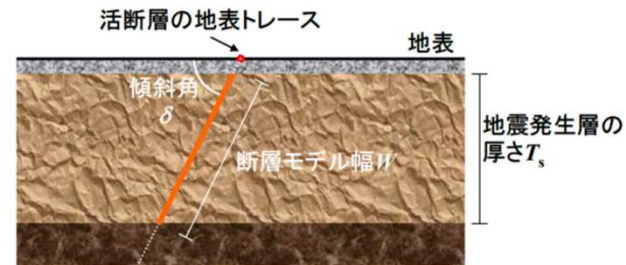
L : 断層長さ(km)

T_s : 地震発生層の厚さ(km)

δ : 断層の傾斜角

H_d : 地震発生層下限(km)

H_s : 地震発生層上限(km)



地震発生層の厚さ T_s と断層モデル幅 W の関係

検討用地震の想定

$$M_0 = \left(\frac{S}{2.23} \times 10^{15} \right)^{3/2} \times 10^{-7} \quad \dots\dots\dots (2) \Rightarrow \text{Somerville et al.(1999)}$$

$$M_0 = \left(\frac{S}{4.24} \times 10^{11} \right)^2 \times 10^{-7} \quad \dots\dots\dots (3) \Rightarrow \text{入倉・三宅(2001)}$$

M_0 : 地震モーメント(Nm)

S : 断層面積(km²)

注:地震調査研究推進本部(2020)より抜粋・一部加筆

3.7 地震モーメントの算定

(2) 検討用地震の検討ケースにおける地震モーメント

S203

- 検討用地震では地震発生層を飽和する断層幅を設定していることから、地震調査研究推進本部(2020)を踏まえると、いずれのケースも入倉・三宅(2001)を用いることが考えられる。
- しかしながら、「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」の基本ケース(ケース1)及びケース4(応力降下量)では、Somerville et al.(1999)が入倉・三宅(2001)をわずかに上回る算定結果となることから、地震動の保守性の観点からSomerville et al.(1999)を用いた(本編資料5章4参照)。

検討用地震の地震モーメント算定におけるSomerville et al.(1999)と入倉・三宅(2001)の比較

検討用地震 ケース名	断層長さ (km)	地震発生 層厚さ (km)	断層 傾斜角 (°)	断層幅 (km)	断層面積 (km ²)	地震モーメント(N・m)	
						Somerville et al.(1999)	入倉・三宅 (2001)
「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」 ・基本ケース(ケース1) ・ケース4(応力降下量)	20.0	12.0	60	13.9	278.0	4.40 × 10 ¹⁸	4.30 × 10 ¹⁸
「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」 ・ケース3(断層傾斜角)	20.0	12.0	45	17.0	340.0	5.95 × 10 ¹⁸	6.43 × 10 ¹⁸
「横浜断層による地震」 ・基本ケース(ケース1) ・ケース2(応力降下量) 「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」 ・ケース2(地震規模)	27.0	12.0	60	13.9	375.3	6.90 × 10 ¹⁸	7.83 × 10 ¹⁸

 : Somerville et al.(1999)と入倉・三宅(2001)を比較して大きい値を示す。

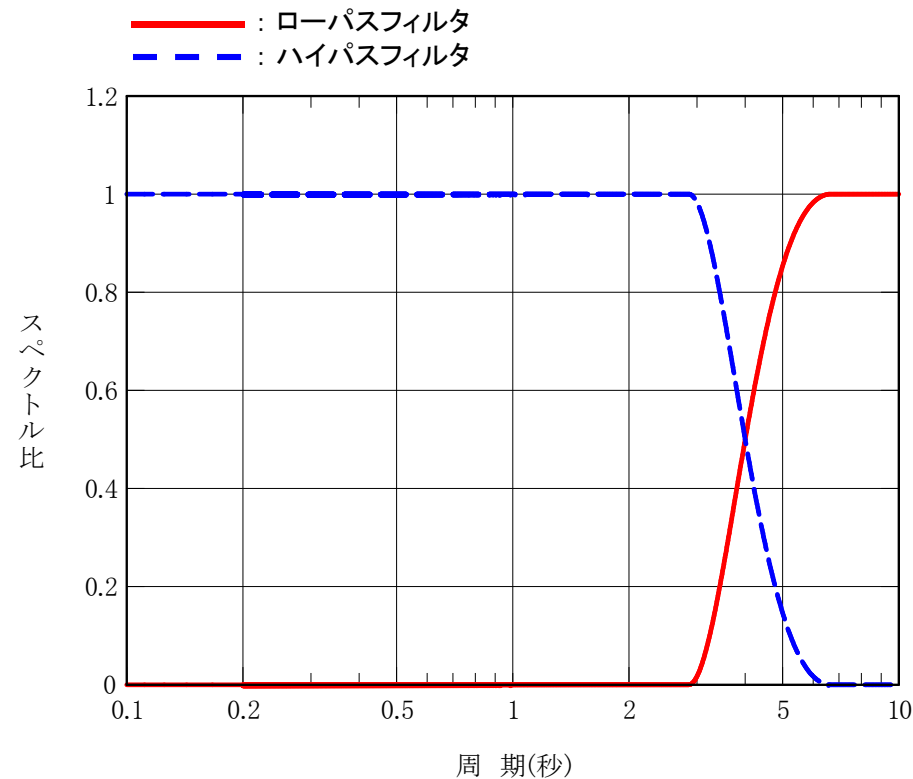
$$M_0 = \left(\frac{S}{2.23} \times 10^{15} \right)^{3/2} \times 10^{-7} \quad \dots \dots \dots \text{Somerville et al.(1999)}$$

M_0 : 地震モーメント(Nm)
 S : 断層面積(km²)

$$M_0 = \left(\frac{S}{4.24} \times 10^{11} \right)^2 \times 10^{-7} \quad \dots \dots \dots \text{入倉・三宅(2001)}$$

3.8 ハイブリッド合成法 (1) マッチングフィルタ

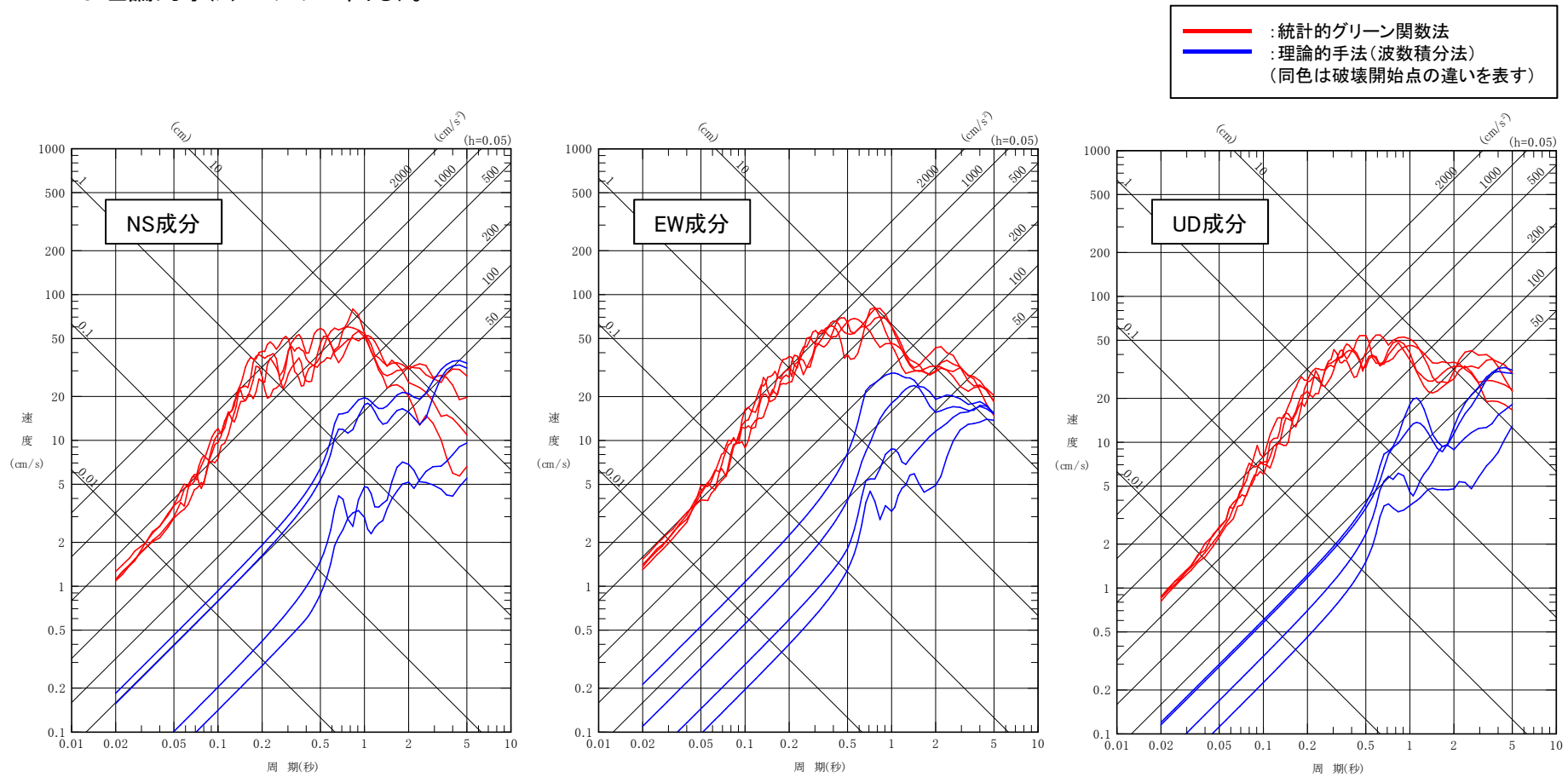
- 統計的グリーン関数法と理論的手法(波数積分法)による地震動評価結果には、遷移周期帯で相補的に低減するマッチングフィルタを施した。
- 接続周期は、統計的グリーン関数法と理論的手法の地震動評価結果を踏まえ、周期4秒とした。



マッチングフィルタの形状

3. 8 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

- ▶ 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[「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」のうち地震モーメントが大きいケース2(地震規模)を例示]。
- ▶ 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)
「下北半島中軸部高速度層の高まりに基づく地震」ケース2(地震規模)の応答スペクトル

4. 「震源を特定せず策定する地震動」のうち「標準応答スペクトル」による検討

4. 1 標準応答スペクトルに基づく地震動

[2021年12月16日 原子炉設置変更許可申請の添付資料の一部について補正を申請]

4.1 標準応答スペクトルに基づく地震動

(1) 標準応答スペクトルの概要と検討方針

- ▶ 地震基盤相当面(せん断波速度 $V_s=2200\text{m/s}$ 以上)で定義された標準応答スペクトルに基づき、解放基盤表面(せん断波速度 $V_s=1300\text{m/s}$)における地震動を評価する。

▶ 標準応答スペクトルの概要

震源近傍の多数の地震動記録に基づいて策定した地震基盤相当面(地震基盤からの地盤増幅率が小さく地震動としては地震基盤面と同等とみなすことができる地盤の解放面で、せん断波速度 $V_s=2200\text{m/s}$ 以上の地層をいう。)における標準的な応答スペクトル(以下「標準応答スペクトル」という。)として次の図に示すもの。

改正 令和3年4月21日 原規技発第2104216号 原子力規制委員会決定「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」による。

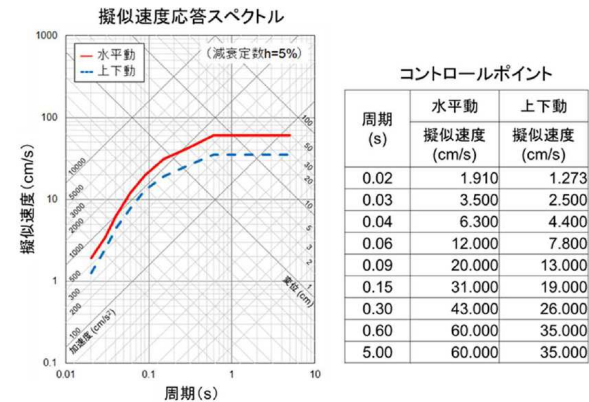
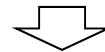


図 地震基盤相当面における標準応答スペクトル



東通原子力発電所	検討方針
解放基盤表面※の せん断波速度 V_s 1300m/s	▶ 標準応答スペクトルに適合した一様乱数の位相特性を持つ模擬地震波を作成し、地下構造モデルによって地震基盤相当面から解放基盤表面までの地盤補正を考慮する。

※: 解放基盤表面の位置は、原子炉建屋設置レベルであるT.P.(東京湾平均海面)-16.3m。
解放基盤表面の振動特性は、自由地盤の岩盤上部の地震観測点(T.P.+2.0m)で代表する。

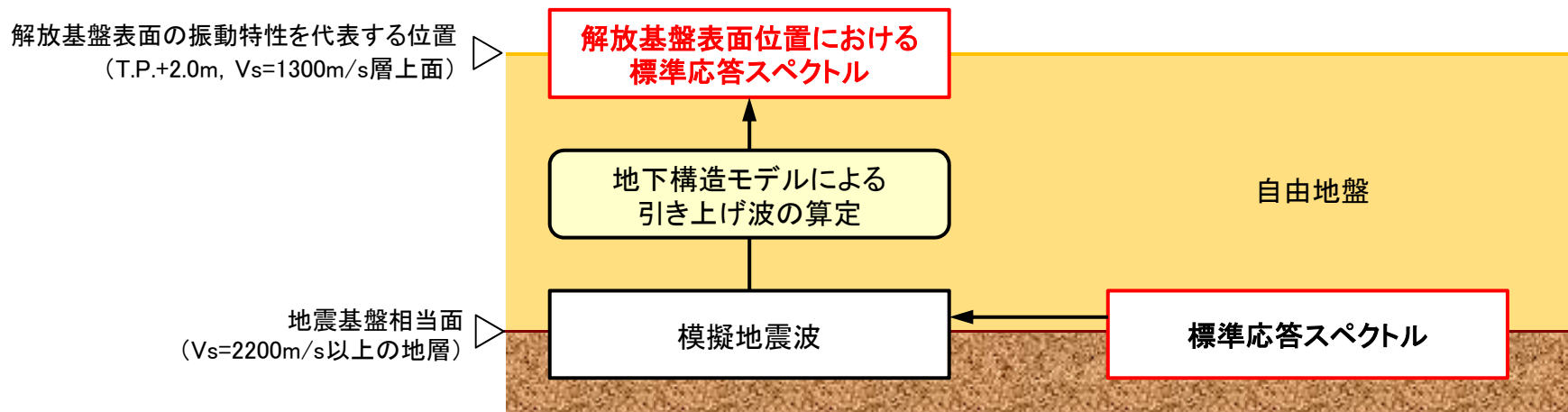
4.1 標準応答スペクトルに基づく地震動 (2) 検討の概要

- 地震基盤相当面において作成した標準応答スペクトルに対し所定の適合度^{※1}を有する模擬地震波を、統計的グリーン関数法による地震動評価に用いる地下構造モデル^{※2}により解放基盤表面位置まで引き上げる。

※1:原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-2015(日本電気協会, 2016)に示される以下の適合度の条件を満足するように作成する。

- ①目標とする応答スペクトル値に対する模擬地震波の応答スペクトル値の比が全周期帯で0.85以上
- ②目標とする応答スペクトル強さに対する模擬地震波の応答スペクトル強さの比(SI比, 周期0.1~2.5秒)が1.0以上

※2:統計的グリーン関数法に用いる地下構造モデルは、本編資料2章参照。



検討概要図

4.1 標準応答スペクトルに基づく地震動

(3) 模擬地震波の作成方法

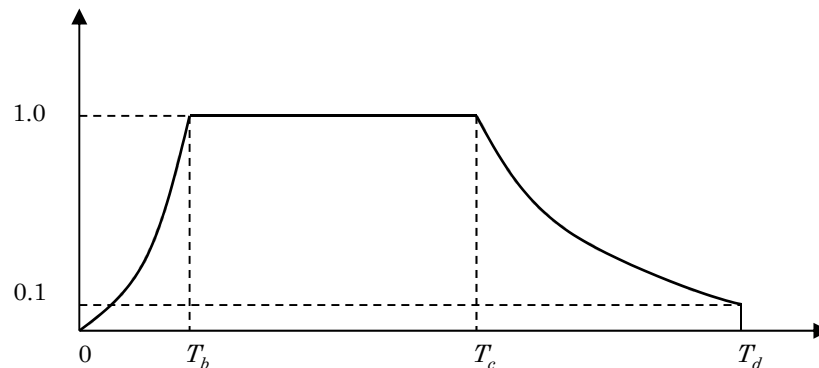
- 模擬地震波は一様乱数の位相特性を持つ正弦波の重ね合わせによって作成する。
- 振幅包絡線の経時的変化は、以下の諸元を用いてNoda et al.(2002)の方法により評価する。
 - ・振幅包絡線の経時的変化算定の諸元: マグニチュード6.9(Mw6.5相当), 等価震源距離10km(震源近傍として想定)

振幅包絡線の経時的変化算定の諸元は、震源を特定せず策定する地震動に関する検討チームの報告書※を参考に設定した。なお、解放基盤表面位置における標準応答スペクトルに基づく地震動は、申請時の基準地震動Ss-1を下回る評価となっている。

※: 全国共通に考慮すべき「震源を特定せず策定する地震動」に関する検討 報告書, 震源を特定せず策定する地震動に関する検討チーム, 令和元年8月7日

検討チームでは、Mw6.5程度未満の地震(Mw5.0以上)を対象に震源近傍の記録を収集し、距離補正や地盤補正を行った後、統計処理によって「標準応答スペクトル」を設定しており、その妥当性をマグニチュード6.9(Mw6.5相当), 等価震源距離10kmとしたNoda et al.(2002)等との比較から確認している。

マグニチュード M	等価震源距離 Xeq(km)	振幅包絡線の経時的変化(s)		
		Tb	Tc	Td(継続時間)
6.9	10	3.31	15.06	28.03



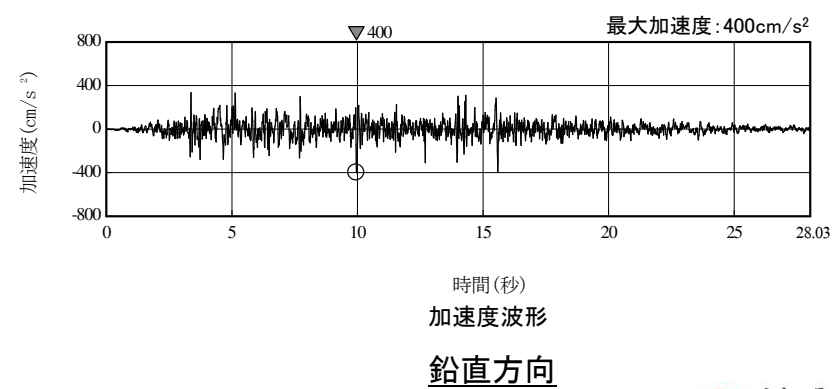
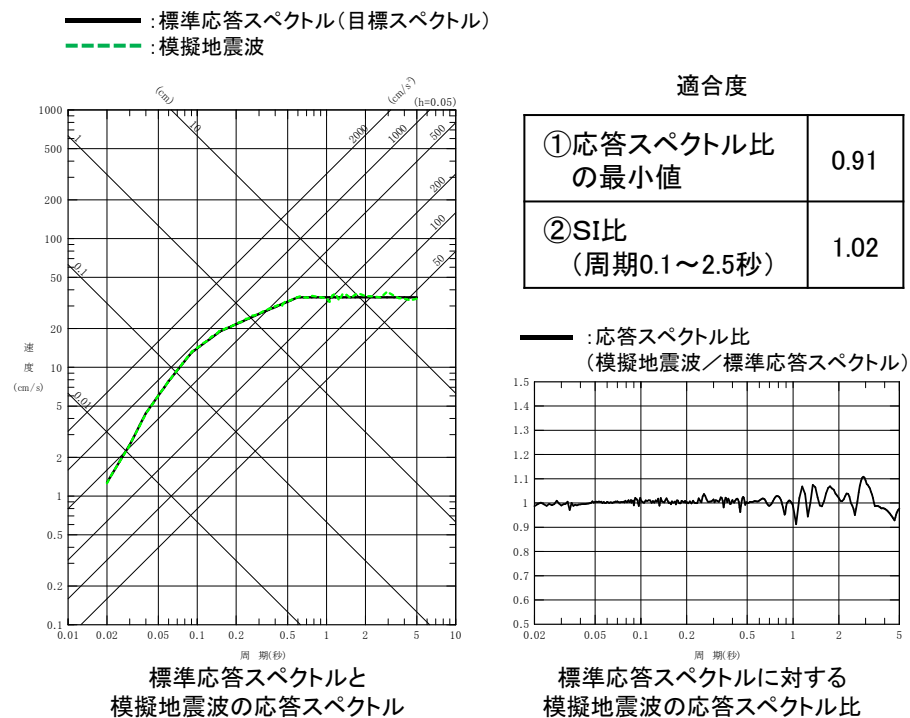
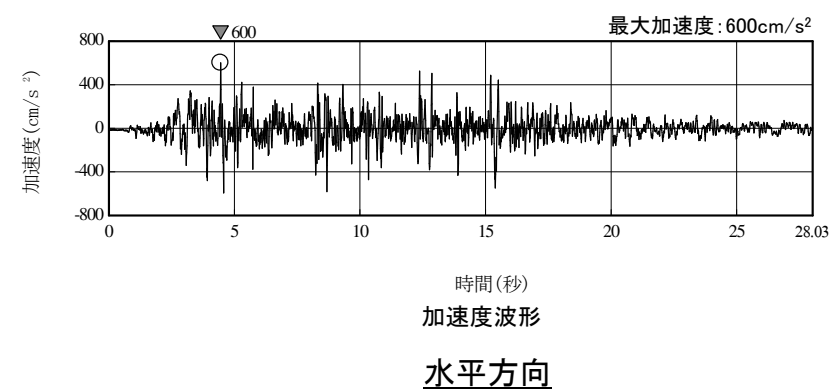
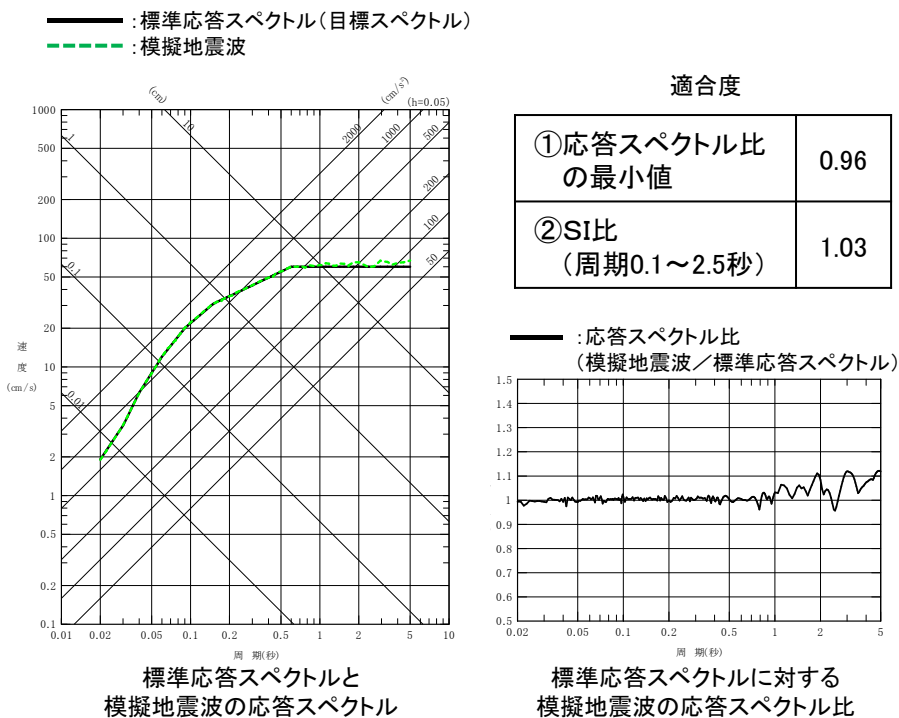
$$T_b = 10^{0.5M - 2.93}$$

$$T_c - T_b = 10^{0.3M - 1.0}$$

$$T_d - T_c = 10^{0.17M + 0.54 \log X_{eq} - 0.6}$$

振幅包絡線の経時的変化

4.1 標準応答スペクトルに基づく地震動 (4) 模擬地震波の作成結果



地震基盤相当面における標準応答スペクトルに適合する模擬地震波

4.1 標準応答スペクトルに基づく地震動

(5) 地盤補正に用いる地下構造モデル

- 地盤補正に用いる地下構造モデルは、統計的グリーン関数法に用いる地下構造モデルを用いる(本編資料2章参照)。
- 標準応答スペクトルは地震基盤相当面($V_s=2200\text{m/s}$ 以上)で定義されている。また、鉛直動の増幅特性に影響を与える V_p については特に触れられていないが、原子力規制委員会の検討チームの報告書※を踏まえ、Noda et al.(2002)における地震基盤相当面($V_s=2200\text{m/s}$, $V_p=4200\text{m/s}$)以上の値を示す $V_s=3340\text{m/s}$, $V_p=5800\text{m/s}$ 層上面(T.P.-2987.8m)を地震基盤相当面とする。
- 作成した模擬地震波に対して、地震基盤相当面から解放基盤表面[基準地震動の振動特性を代表する位置(T.P.+2.0m, $V_s=1300\text{m/s}$ 層上面)]までの地盤補正を行う。

※ : 全国共通に考慮すべき「震源を特定せず策定する地震動」に関する検討 報告書, 令和元年8月7日

地盤補正に用いる地下構造モデル

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	$1.23f^{0.74}$	$2.33f^{0.50}$
-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
-2987.8	∞	2.63	3340	5800	150	150

解放基盤表面の
振動特性を代表する位置

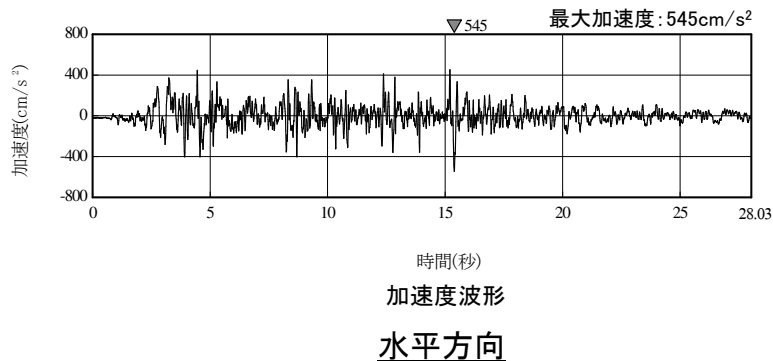
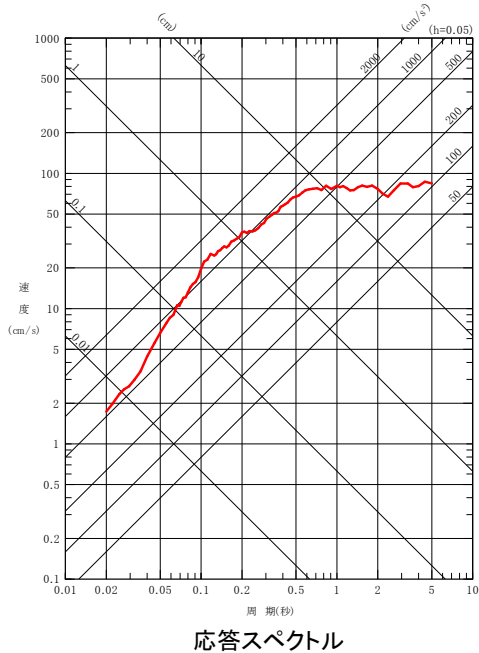
地震基盤相当面
($V_s=3340\text{m/s}$,
 $V_p=5800\text{m/s}$ 層上面)

4.1 標準応答スペクトルに基づく地震動

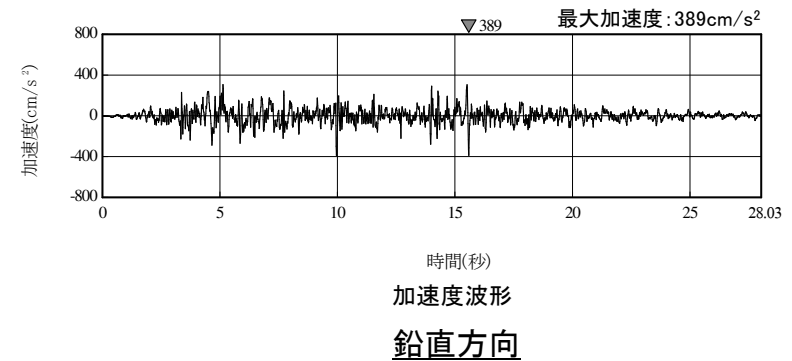
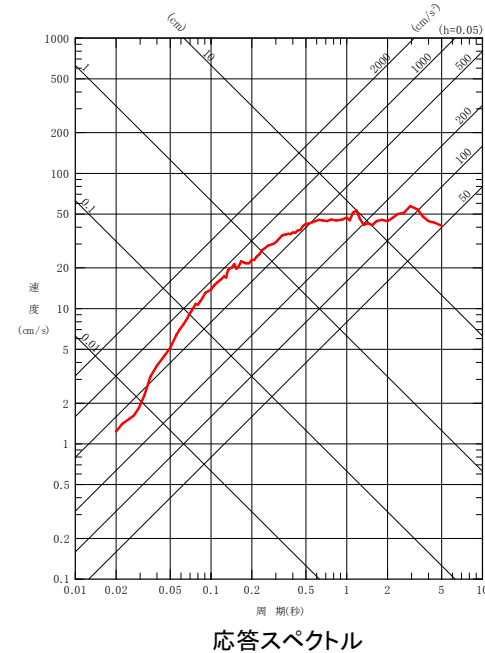
(6) 解放基盤表面における地震動の評価結果

- 標準応答スペクトルに適合する模擬地震波を地下構造モデルを用いて解放基盤表面位置 ($V_s=1300\text{m/s}$) に引き上げた地震動について、応答スペクトル及び加速度波形を示す。

— : 解放基盤表面位置に引き上げた地震動(水平方向)



— : 解放基盤表面位置に引き上げた地震動(鉛直方向)



標準応答スペクトルに適合する模擬地震波を解放基盤表面位置 ($V_s=1300\text{m/s}$) に引き上げた地震動

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):日本重力データベース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. 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. 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. 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
14. 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
15. 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」)
16. 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
17. 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
18. Kanamori H. (1977) : The Energy Release in Great Earthquakes, Journal of Geophysical Research Vol.82 No.20
19. 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
20. 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
21. Geller, R. J. (1976) : Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes, Bulletin of the Seismological Society of America, 66
22. 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
23. 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
24. 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
25. 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
26. 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 Iburu Earthquake, Earth, Planets and Space, 2019
27. 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
28. 入倉孝次郎(2007): 原子力発電所の耐震設計のための基準地震動, 日本地震工学会誌 No.5
29. Wells D., K. Coppersmith(1994): New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement, Bulletin of Seismological Society of America, Vol.84, 1994
30. Somerville, P., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith, A. Kowada (1999): Characterizing Crustal Earthquake Slip Models for the Prediction of Strong Ground Motion, Seismological Research Letters Vol.70 Number 1, 1999

参考文献(3)

4. 「震源を特定せず策定する地震動」のうち「標準応答スペクトル」による検討

1. 日本電気協会(2016):原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2015
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