

東通原子力発電所 基準地震動の策定のうち
プレート間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4月23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
S175	2020年10月2日 第902回審査会合	プレート間地震の地震動評価フローについて、各種調査と検討用地震の選定の関係が理解できるように説明を充実させること。	本資料 p.15, 27～29
S176	2020年10月2日 第902回審査会合	プレート間地震(M9)の震源モデルについて、三陸沖北部から宮城県沖にかけて南側に連動するモデルとしているが、長周期の影響等を踏まえ、千島弧側に連動するモデルについての評価も行うこと。	本資料 p.27～29, 34～53, 61～65, 72～79 補足説明資料 p25～32
S177	2020年10月2日 第902回審査会合	プレート間地震の検討用地震(M9)のSMGAの位置の不確かさについて、偶然的不確かさの考え方にに基づき、東西方向に加え南北方向も検討すること。	本資料 p.43～46, 69～71, 75～79
S178	2020年10月2日 第902回審査会合	プレート間地震の検討用地震の震源モデル(M9)について、内閣府(2020)による日本海溝(三陸・日高沖)モデルの強震動生成域と位置関係について比較しているが、パラメータ等についても、可能な範囲で定量的に比較検討すること。	本資料 p.26, 51
S179	2020年10月2日 第902回審査会合	プレート間地震の経験的グリーン関数法の評価において、要素地震選定の適切性や統計的グリーン関数法との評価結果の差について説明すること。	本資料 p.54, 56 補足説明資料 p.13～22, 31
S189	2021年2月5日 第934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。	本資料 p.66～77

目次

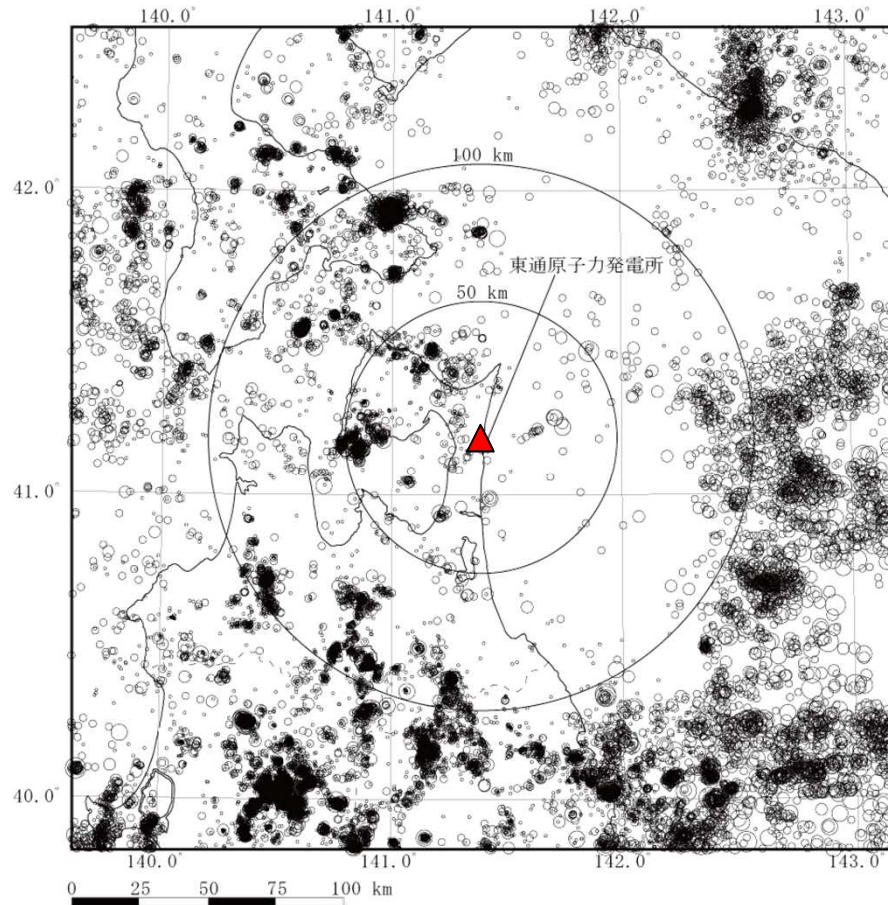
1. 敷地周辺の地震発生状況	.....	3
2. 敷地で観測された主な地震	.....	8
3. プレート間地震の地震動評価	.....	12
3. 1 経験的グリーン関数法に用いた要素地震の特徴	.....	13
3. 2 検討用地震の領域ごとの地震動	.....	23
3. 3 統計的グリーン関数法及び距離減衰式による地震動評価との比較	.....	27
参考文献	.....	34

1. 敷地周辺の地震発生状況

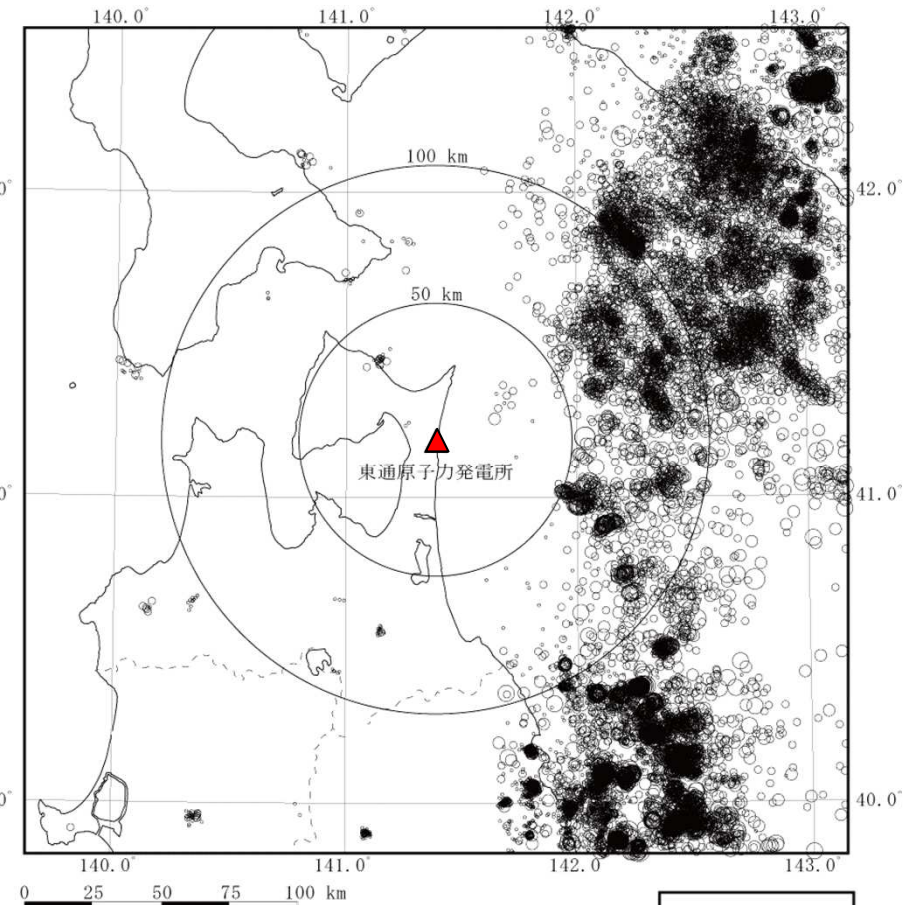
1. 敷地周辺の地震発生状況

(1) 敷地周辺におけるM5.0以下の地震の発生状況 震央分布図①

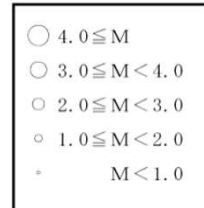
- 深さ0～30kmでは、海域のプレート境界付近及び陸域の地殻内で地震が発生。
- 深さ30～60kmでは、多くの地震がプレート境界付近で発生しており、陸域の地震はほとんど見られない。



震源深さ 0～30km



震源深さ 30～60km

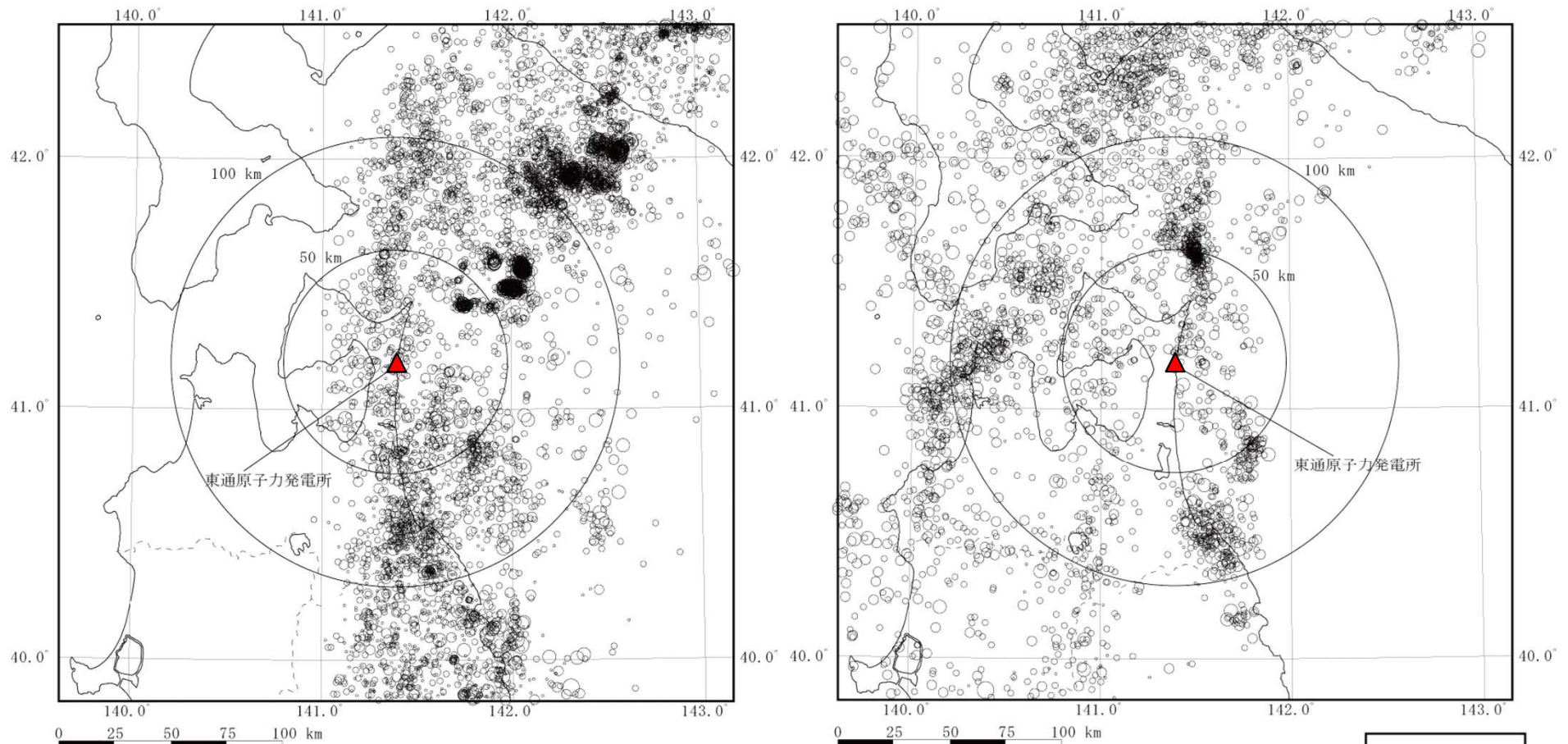


[2011年1月～2018年12月:気象庁(2020)]

1. 敷地周辺の地震発生状況

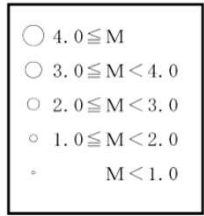
(1) 敷地周辺におけるM5.0以下の地震の発生状況 震央分布図②

➤ 深さ60km以深では、太平洋プレートの沈み込みに沿って地震の発生が見られる。



震源深さ 60~100km

震源深さ 100km以深

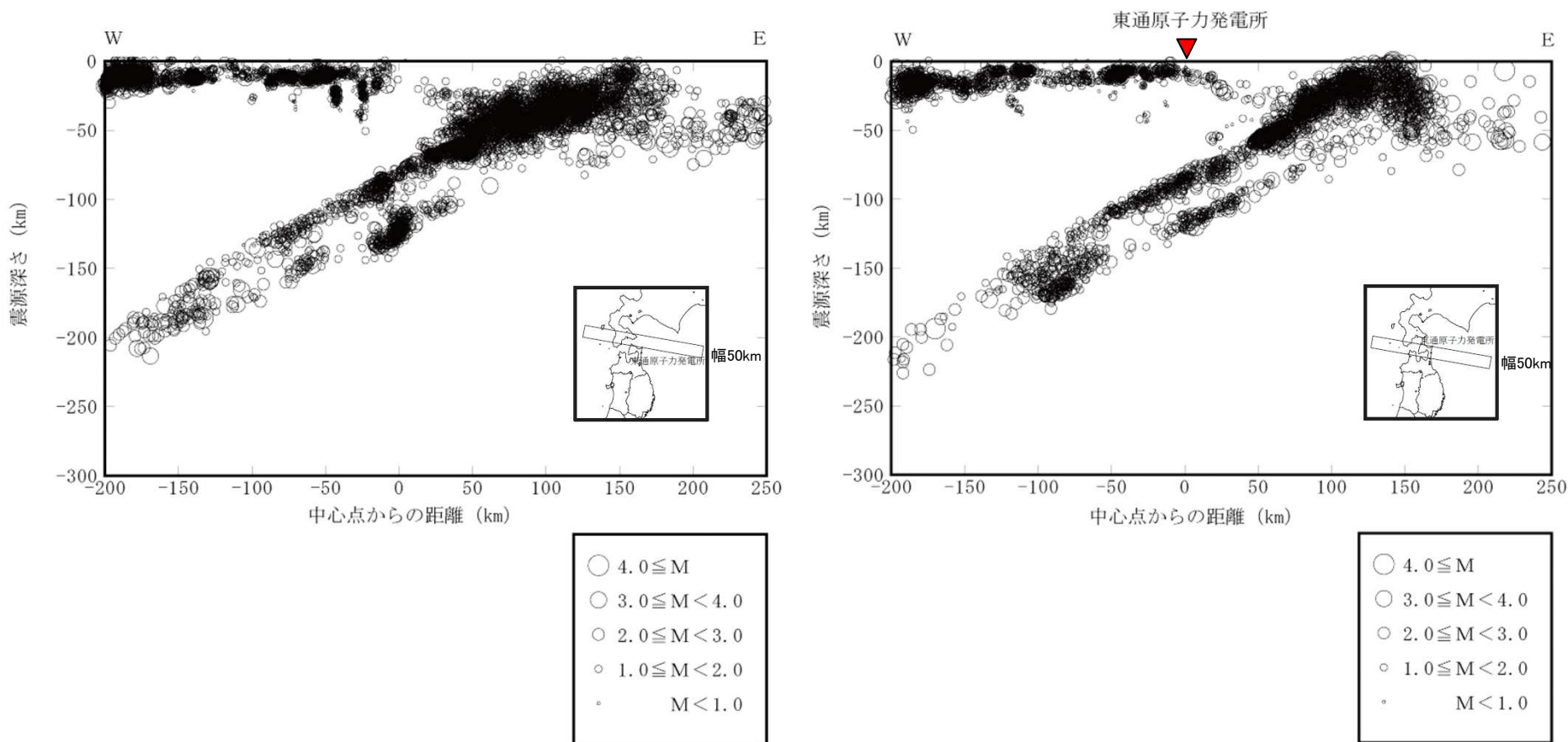


[2011年1月~2018年12月:気象庁(2020)]

1. 敷地周辺の地震発生状況

(2) 敷地周辺におけるM5.0以下の地震の発生状況 震源深さ分布図①

▶ 太平洋プレートの沈み込みに沿って二重深発地震が見られる。

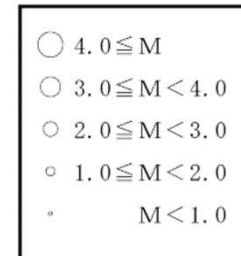
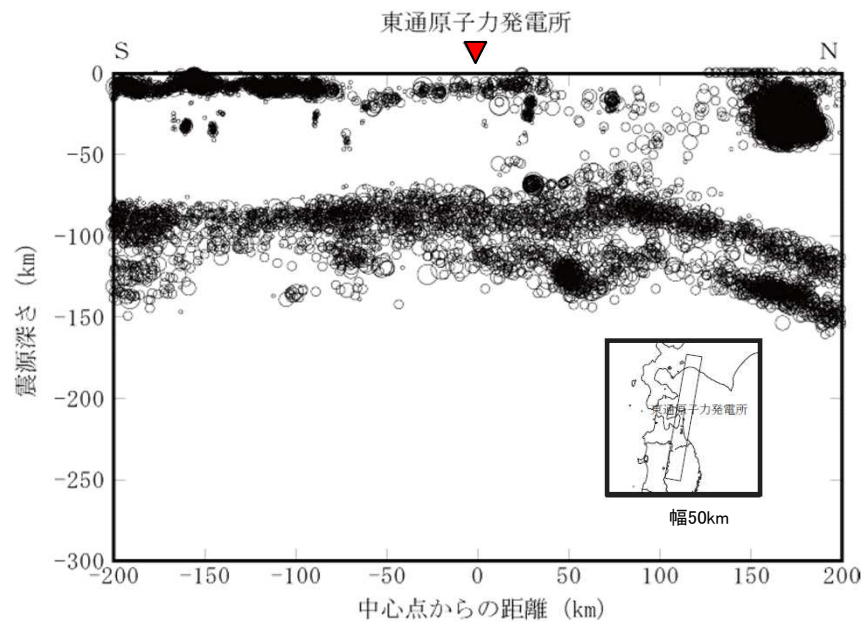
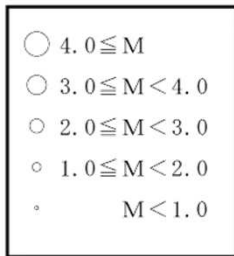
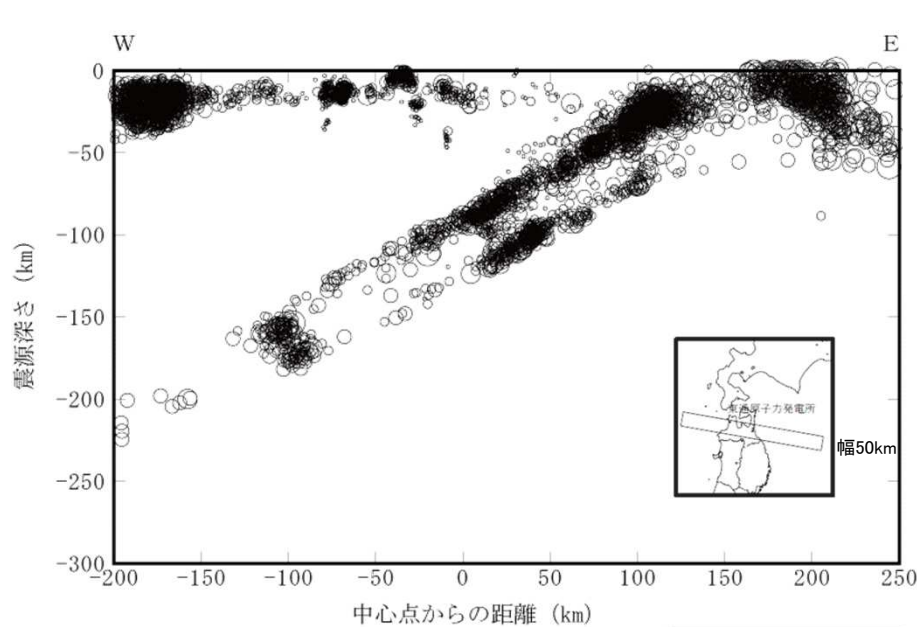


[2011年1月～2018年12月:気象庁(2020)]

1. 敷地周辺の地震発生状況

(2) 敷地周辺におけるM5.0以下の地震の発生状況 震源深さ分布図②

➤ 太平洋プレートの沈み込みに沿って二重深発地震が見られる。



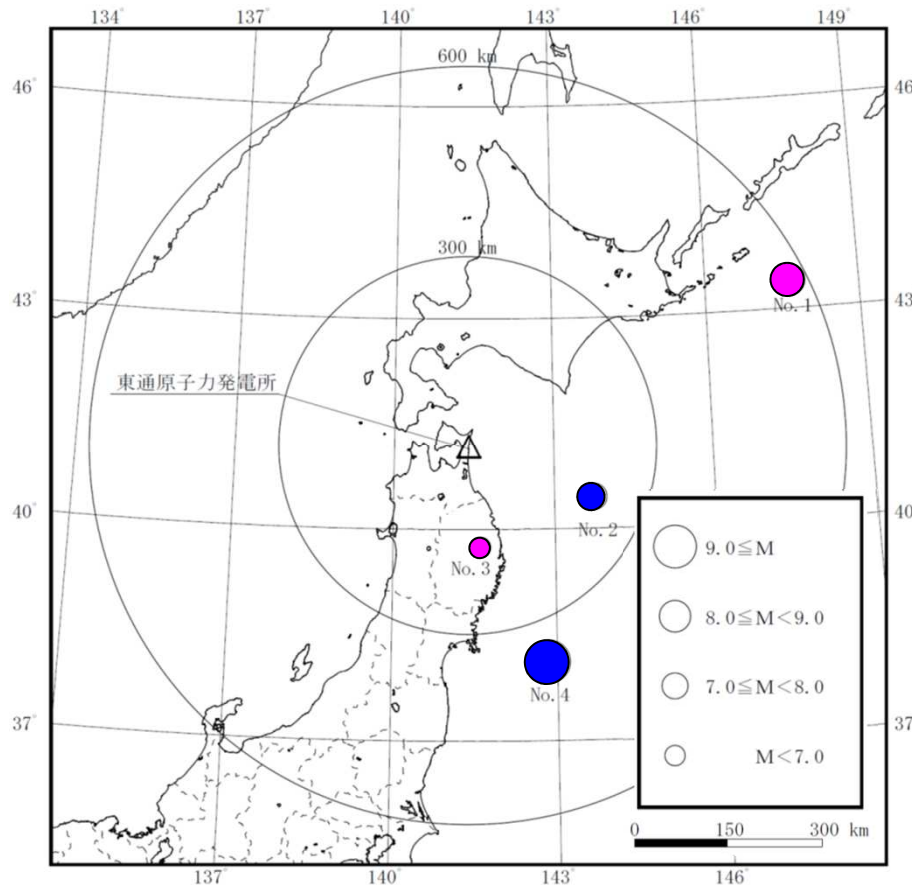
[2011年1月～2018年12月:気象庁(2020)]

2. 敷地で観測された主な地震

2. 敷地で観測された主な地震

(1) 主な地震観測記録 地震諸元及び震央分布

➤ 敷地で観測された主な地震を以下に示す。



敷地で観測された主な地震

No.	年	月	日	時	分	東経		北緯		M	震源 深さ (km)	震央 距離 (km)
						(°)	(')	(°)	(')			
1	1994	10	4	22	22	147	40.4	43	22.5	8.2	28	572
2	1994	12	28	21	19	143	44.7	40	25.8	7.6	0	216
3	2008	7	24	0	26	141	38.12	39	43.92	6.8	108	163
4	2011	3	11	14	46	142	51.66	38	6.23	9.0 [※]	24	365

※: モーメントマグニチュード(Mw)

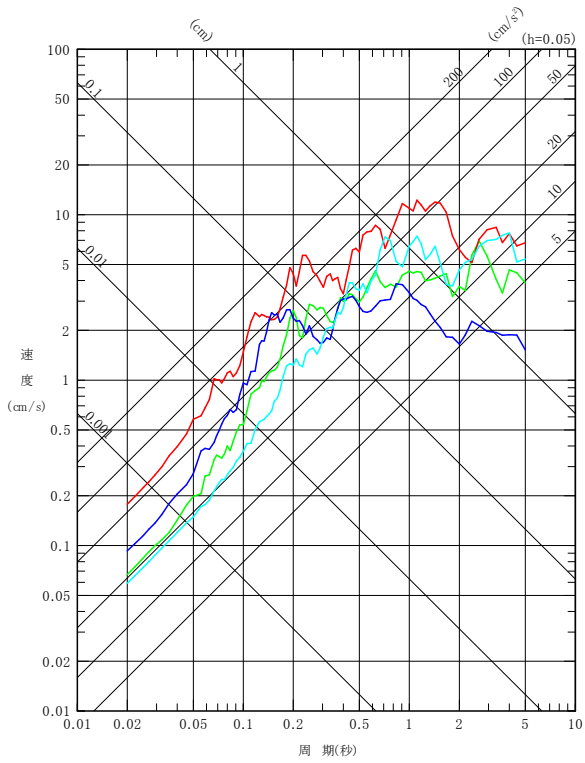
● : プレート間地震
● : 海洋プレート内地震

敷地で観測された主な地震の震央分布

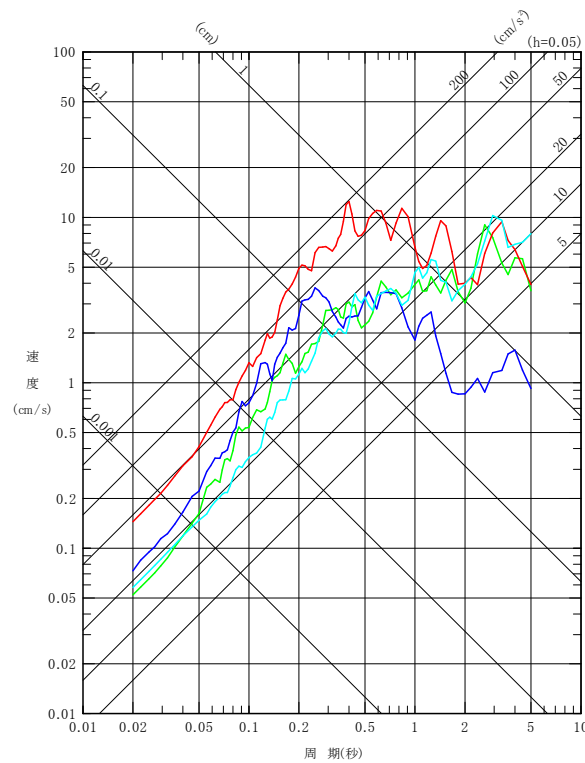
[地震諸元は気象庁(2020)による。]

2. 敷地で観測された主な地震 (2) 主な地震観測記録 応答スペクトル

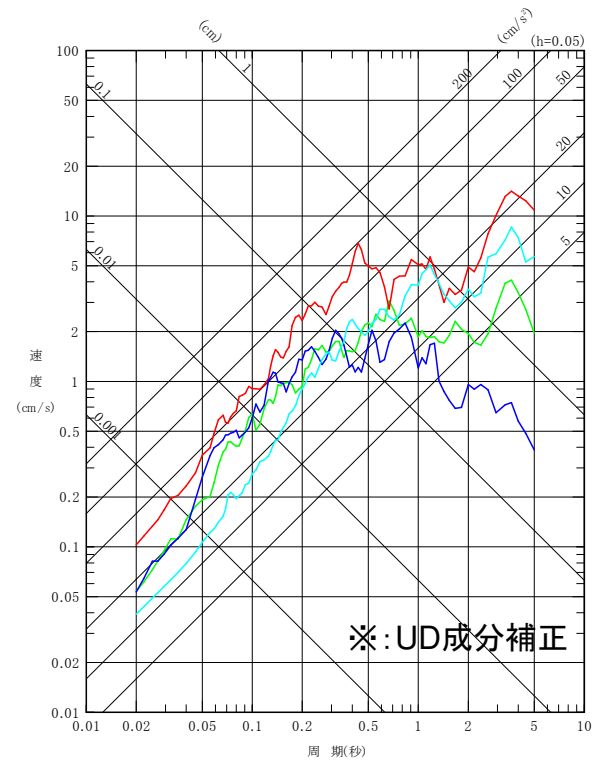
- 1994年北海道東方沖地震
- 1994年三陸はるか沖地震
- 2008年岩手県沿岸北部の地震
- 2011年東北地方太平洋沖地震



NS成分



EW成分



UD成分

敷地で観測された主な地震の応答スペクトル(PN基準)
〔自由地盤岩盤上部の地震観測点(T.P.+2.0m)〕

余 白

3. プレート間地震の地震動評価

- 3. 1 経験的グリーン関数法に用いた要素地震の特徴
- 3. 2 検討用地震の領域ごとの地震動
- 3. 3 統計的グリーン関数法及び距離減衰式による地震動評価との比較

3.1 経験的グリーン関数法に用いた要素地震の特徴

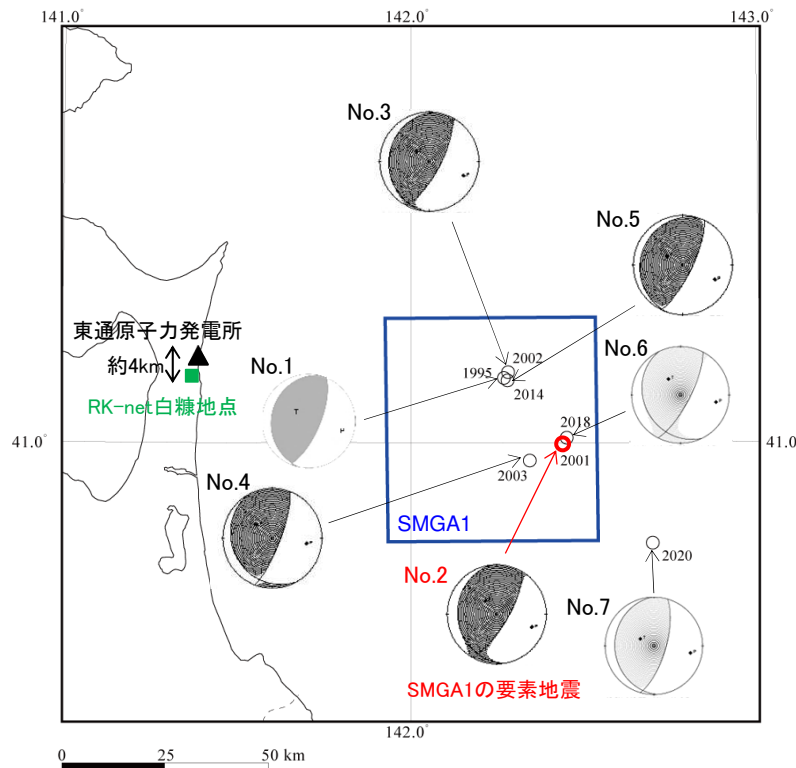
(1) 検討に用いた地震の震央分布及び諸元

S179

- 三陸沖北部の領域に用いる要素地震(下表No.2地震)と、同じ領域で発生した同様のメカニズムを有する他の地震の震源スペクトル等の類似性について確認する。
- また、東通原子力発電所以外の観測点〔電力中央研究所の強震観測網(RK-net)の白糠地点他〕の観測記録と比較し、記録の類似性について確認する。

【白糠観測点】

RK-netの白糠地点は、東通原子力発電所から南に約4kmの位置にあり、岩盤が露頭している場所に地震計が設置されている。その地盤は硬質岩盤(安山岩質凝灰角礫岩)で、S波速度は1.98km/s、P波速度は3.65km/s(コア採取による室内試験の結果)である。〔東ほか(2009)〕



検討に用いた地震の諸元

No.	年	月	日	時	分	東経		北緯		M	震源 深さ (km)	震央 距離 (km)
						(°)	(')	(°)	(')			
1	1995	2	6	22	51	142	16.12	41	8.36	5.6	56	74
2 (要素地震)	2001	8	14	5	11	142	26.19	40	59.73	6.4	38	90
3	2002	10	14	23	12	142	16.85	41	9.11	6.1	53	75
4	2003	4	17	2	59	142	20.51	40	57.64	5.6	40	84
5	2014	8	10	12	43	142	16.74	41	8.04	6.1	51	75
6	2018	1	24	19	51	142	26.88	41	0.58	6.3	34	91
7	2020	12	21	2	23	142	41.5	40	46.9	6.5	43	118

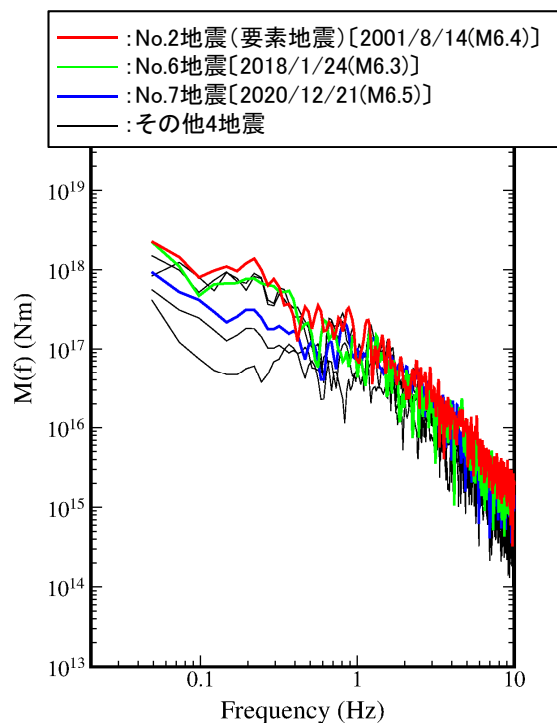
白糠地点の位置及び検討に用いた地震の震央分布、メカニズム解

〔地震諸元は気象庁(2020)、メカニズム解はUSGS(No.1)及びF-net(No.2～No.7)による。〕

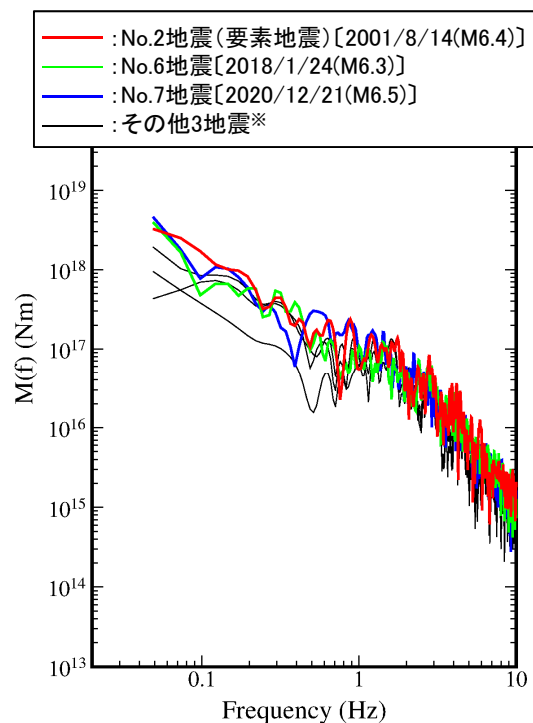
3.1 経験的グリーン関数法に用いた要素地震の特徴

(2) 震源スペクトルの比較 同地域で発生した地震

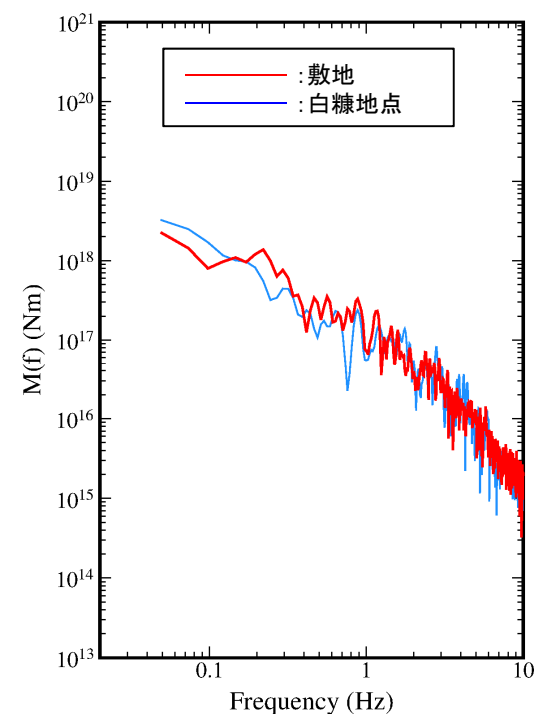
- ▶ 同地域で発生した地震について、観測記録から求めた震源スペクトルの比較を示す。
 - 図①: 敷地の観測記録から求めた震源スペクトル(SMGA1付近で発生した前頁の7地震)を示す。規模の違いによる差があるものの、いずれの地震も約0.4Hzから1Hz付近等の傾向は同様である。また、規模が同等の3地震[No.2地震, No.6地震及びNo.7地震]については、全振動数にわたり大きさ及び傾向は同様である。
 - 図②: 白糠地点の観測記録から求めた震源スペクトルを示す。その傾向は、敷地の観測記録から求めた震源スペクトル(図①)で見られた傾向と同様である。
 - 図③: No.2地震について、敷地及び白糠地点の観測記録から求めた震源スペクトルを示す。両者の大きさ及び傾向は同様である。
- ▶ SMGA1付近で発生した複数の地震には同様の傾向が認められ(図①, 図②), また、敷地と白糠地点の観測記録から求めた震源スペクトルも整合的であることから(図③), 要素地震は、SMGA1の領域で発生する地震としては標準的な傾向を有しているものと考えられる。



図① 敷地の観測記録から求めた震源スペクトル



図② 白糠地点の観測記録から求めた震源スペクトル



図③ No.2(要素地震)[2001/8/14]の地震(M6.4)の観測記録から求めた震源スペクトルの比較

※白糠地点ではNo.4:2003/4/17の地震は観測されていない。

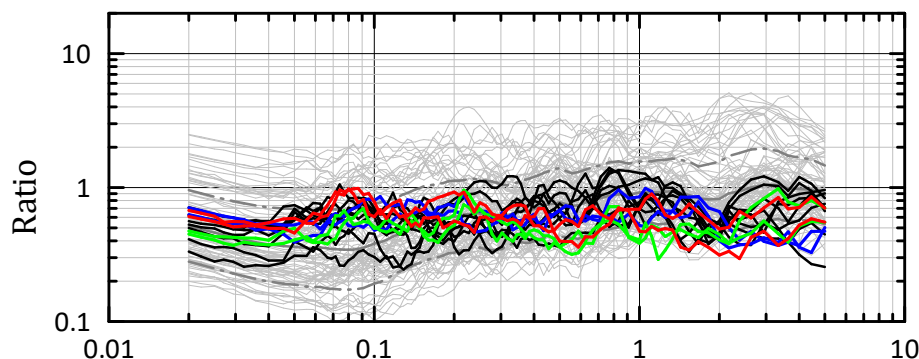
3.1 経験的グリーン関数法に用いた要素地震の特徴

(3) 敷地の観測記録とNoda et al.(2002)との比較

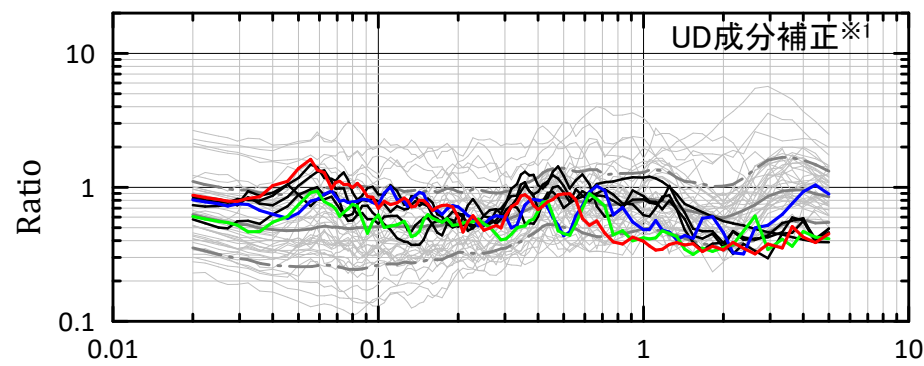
S179

- 要素地震としたNo.2地震の観測記録から求めた震源スペクトルが、文献による理論震源スペクトルに対し全体的に若干小さい傾向〔本編資料(p.56)〕にあることについて、同様の傾向がNoda et al.(2002)に対する残差でも認められるかについて確認を行った。
- 東通原子力発電所で観測された7地震のNoda et al.(2002)に対する残差(下図)の傾向は概ね1を下回っている。従って、理論震源スペクトルと敷地の観測記録から求めた震源スペクトルの相対的な全体傾向は整合している。
- なお、敷地の観測記録が全体的にNoda et al.(2002)より小さい傾向にあることは、Noda et al.(2002)は福島県沖の地震を中心に策定された式であることを踏まえると、敷地地盤の振動特性の違いの他に、伝播経路特性の違い(太平洋プレートまでの距離の違い)やプレート間地震の応力降下量の地域傾向の違いなどが影響しているものと考えられる。一方、理論震源スペクトルと敷地の観測記録から求めた震源スペクトルの差異の要因としては、観測記録から震源スペクトルを算定する際に使用している伝播経路特性のQ値は川瀬・松尾(2004)と同じ値を使用していることも踏まえると、敷地地盤の振動特性(地盤モデルとの乖離)、伝播経路特性(地域的特性のモデルとの乖離)及び震源の破壊過程の影響が考えられるが、いずれにしてもその各項目の影響度合いの分離は困難である。

- : 各地震の比の平均
- - - : 各地震の比の平均±標準偏差
- : 各地震の比
- (赤) : No.2地震(要素地震)[2001/8/14(M6.4)]
- (緑) : No.6地震[2018/1/24(M6.3)]
- (青) : No.7地震[2020/12/21(M6.5)]
- (黒) : その他4地震



Period(s)
水平成分



Period(s)
鉛直成分

観測記録(地中波)とNoda et al.(2002)との比較(プレート間地震)^{※2}
〔自由地盤の岩盤上部地震観測点(T.P.+2.0m)/Noda et al.(2002)〕

※1: 2016年4月までの鉛直T.P.+2.0mのUD成分については、極短周期に見られる表層の影響を補正した記録としている。(第902回審査会合(2020.10.2)資料2-1-2 p.40参照)

※2: 第902回審査会合(2020.10.2)資料2-1-2 p.65, p.66に2020/12/21の地震を追記

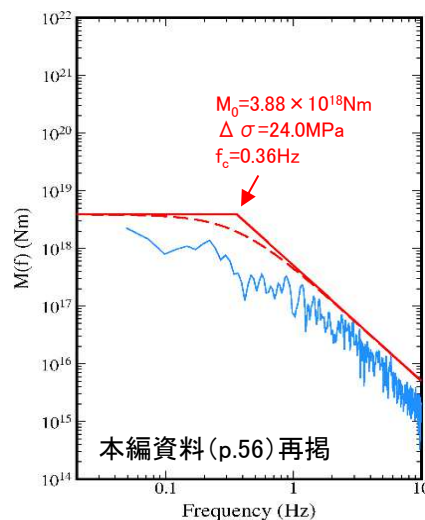
3. 1 経験的グリーン関数法に用いた要素地震の特徴

(4) 太平洋沿岸に位置する他プラントとの比較

S179

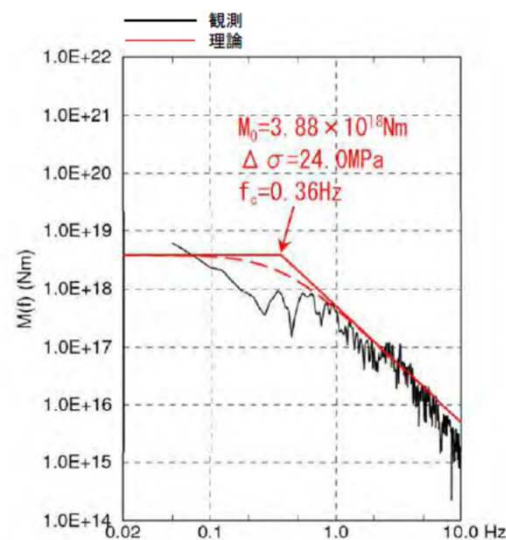
- 三陸沖北部の領域に用いた要素地震[2001年8月14日青森県東方沖の地震(M6.4)]については、太平洋沿岸に位置する他プラント(六ヶ所再処理施設)の地震動評価においても要素地震として使用されている。参考に、観測記録から求めた震源スペクトルの比較を示す。
- 高振動数側は東通の方が理論スペクトルとの乖離が大きいですが、これは東通における観測記録の傾向[Noda et al.(2002)の残差の傾向]と整合したものである。また、破壊過程の影響を受けやすい低振動数側では、両者とも理論スペクトルよりも小さいものとなっている。

— : 理論震源スペクトル
 — : 敷地の観測記録から求めた震源スペクトル



三陸沖北部

東通原子力発電所



三陸沖北部

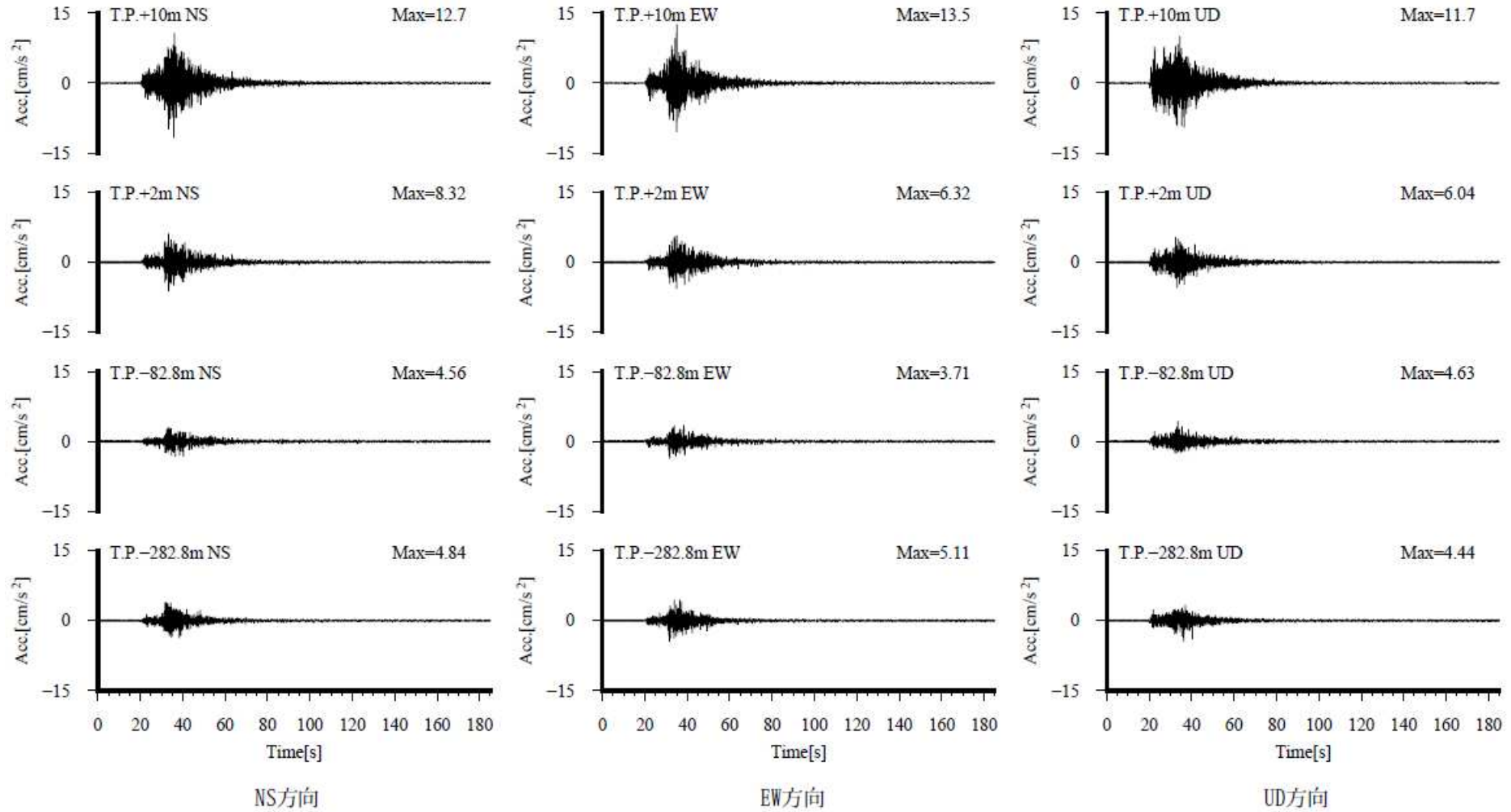
六ヶ所再処理施設

第90回核燃料施設等の審査会合(H27.12.25)
 資料1 p.33より引用

3. 1 経験的グリーン関数法に用いた要素地震の特徴

(5) 検討用いた主な観測記録① 2001年8月14日青森県東方沖の地震(M6.4)

S179



自由地盤 検討に用いた地震の加速度時刻歴波形

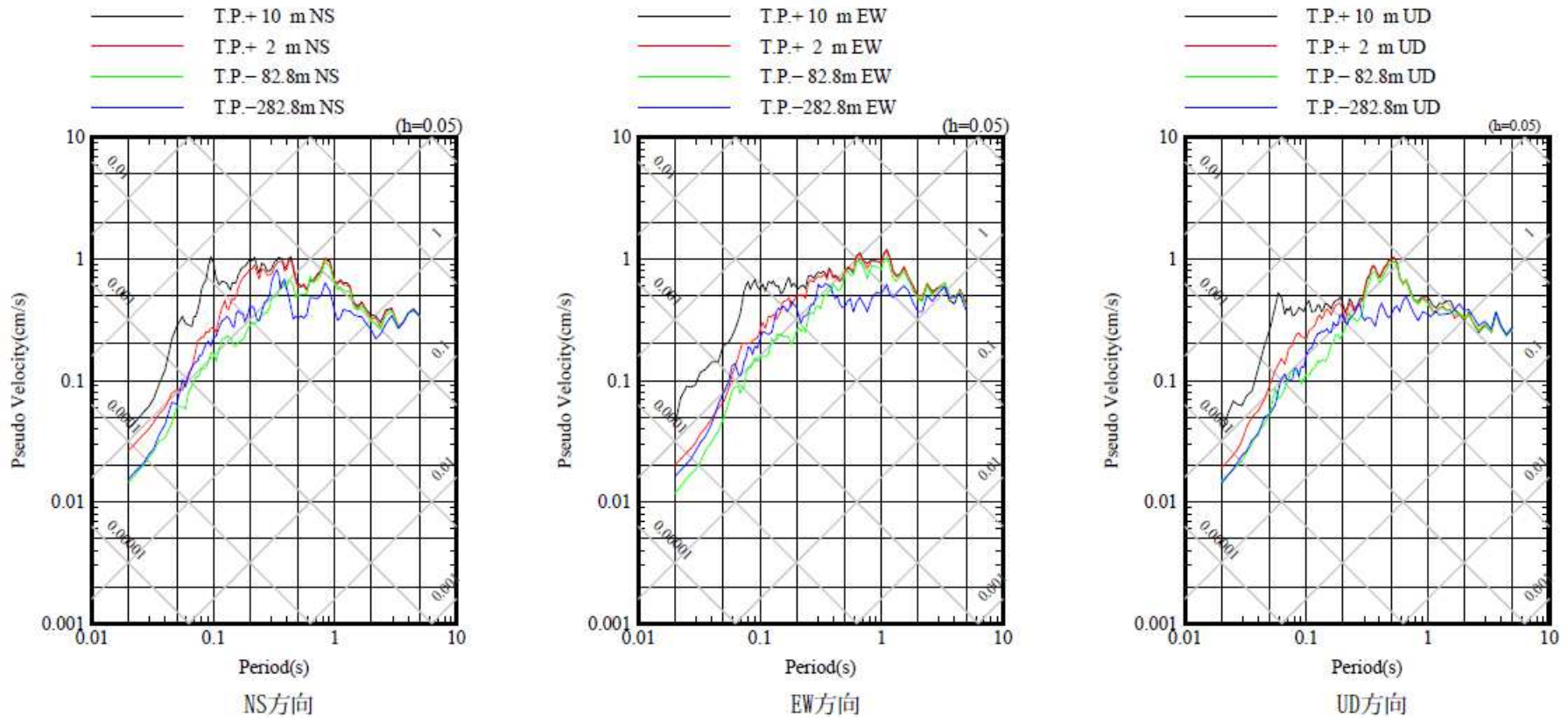
2001/8/14 (5:11) M6.4, 深さ=37.69km, 震央距離=90km, 震源距離=98km

※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。

3. 1 経験的グリーン関数法に用いた要素地震の特徴

(5) 検討用いた主な観測記録① 2001年8月14日青森県東方沖の地震(M6.4)

S179



自由地盤 検討に用いた地震の擬似速度応答スペクトル

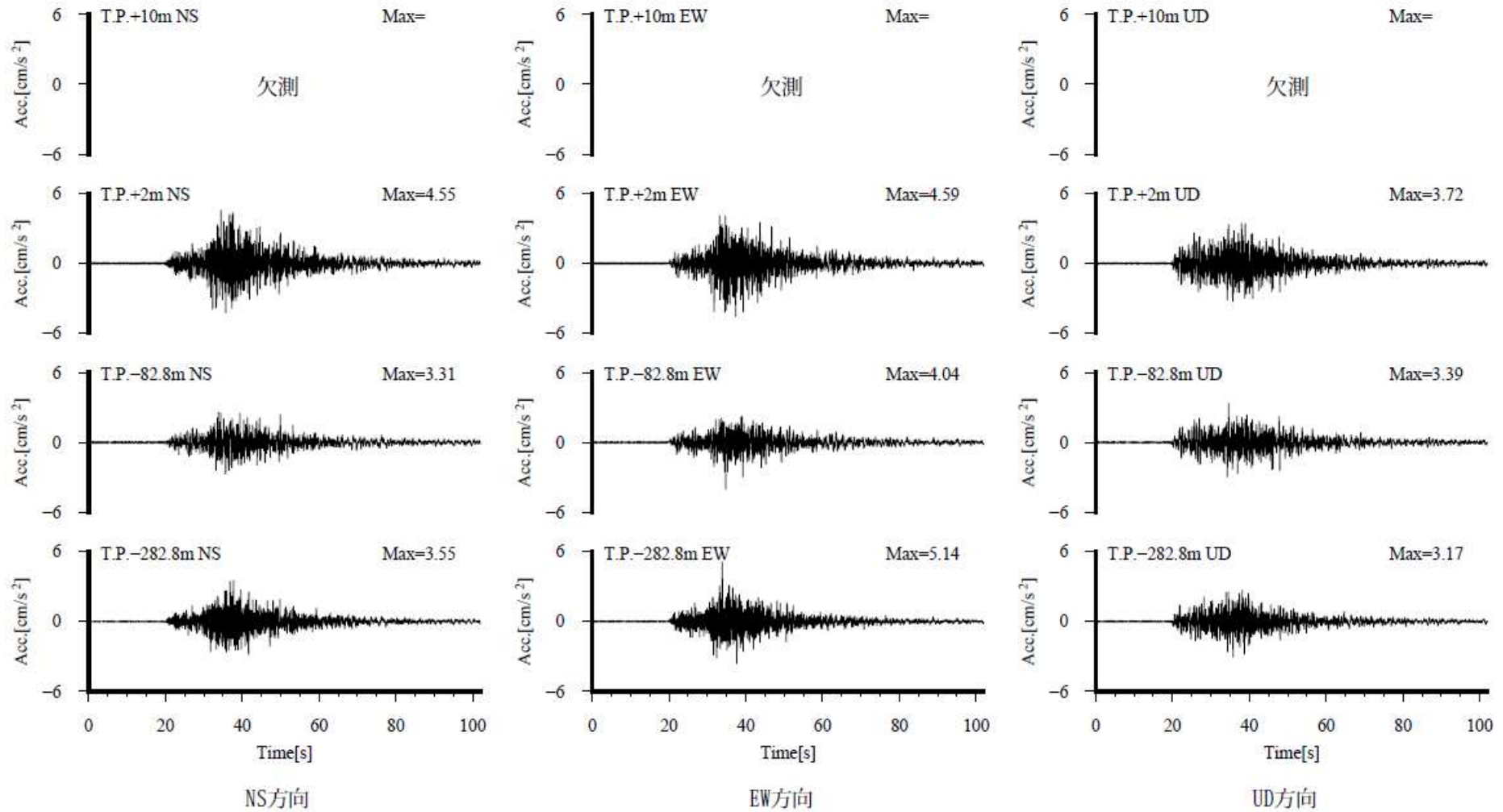
2001/8/14 (5:11) M6.4, 深さ=37.69km, 震央距離=90km, 震源距離=98km

※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。

3.1 経験的グリーン関数法に用いた要素地震の特徴

(5) 検討用いた主な観測記録② 2018年1月24日青森県東方沖の地震(M6.3)

S179



自由地盤 検討に用いた地震の加速度時刻歴波形

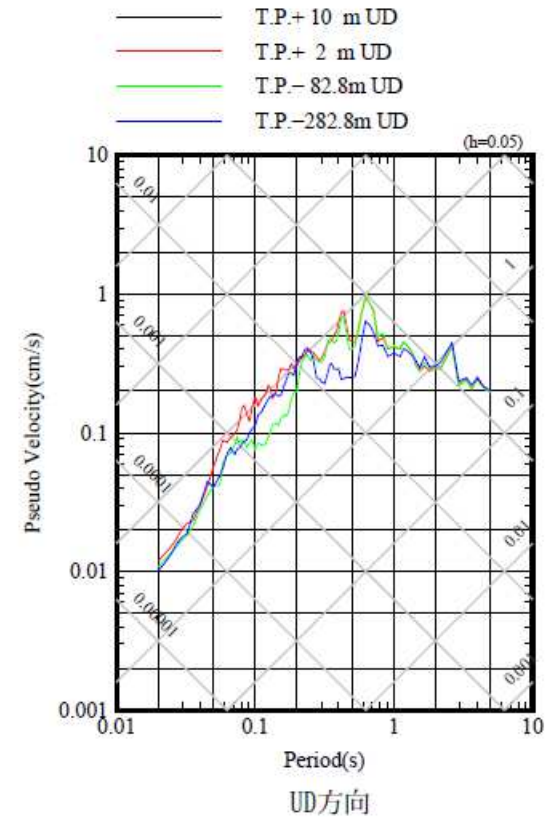
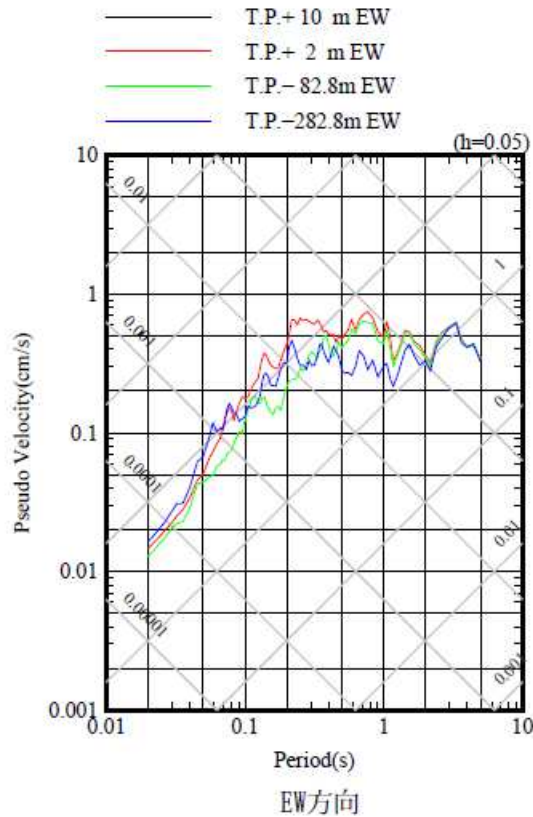
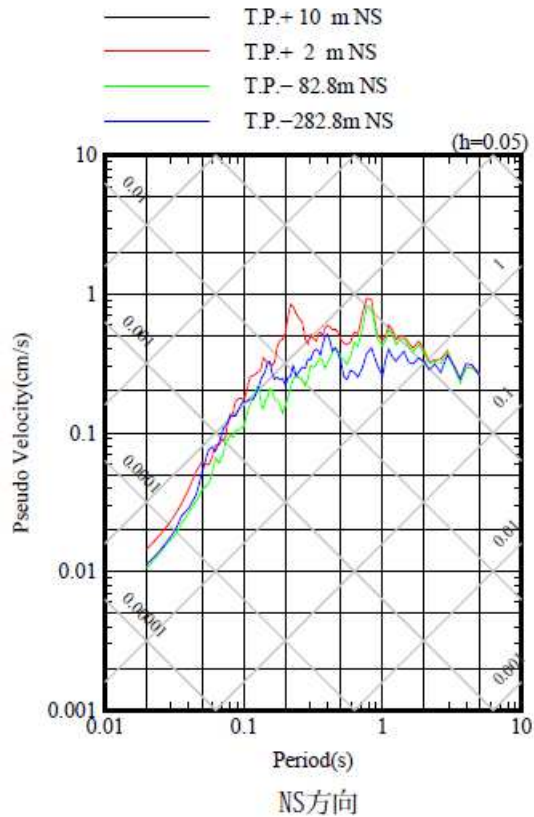
2018/1/24 (19:51) M6.3, 深さ=34km, 震央距離=91km, 震源距離=97km

※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。

3. 1 経験的グリーン関数法に用いた要素地震の特徴

(5) 検討用いた主な観測記録② 2018年1月24日青森県東方沖の地震(M6.3)

S179



自由地盤 検討に用いた地震の擬似速度応答スペクトル

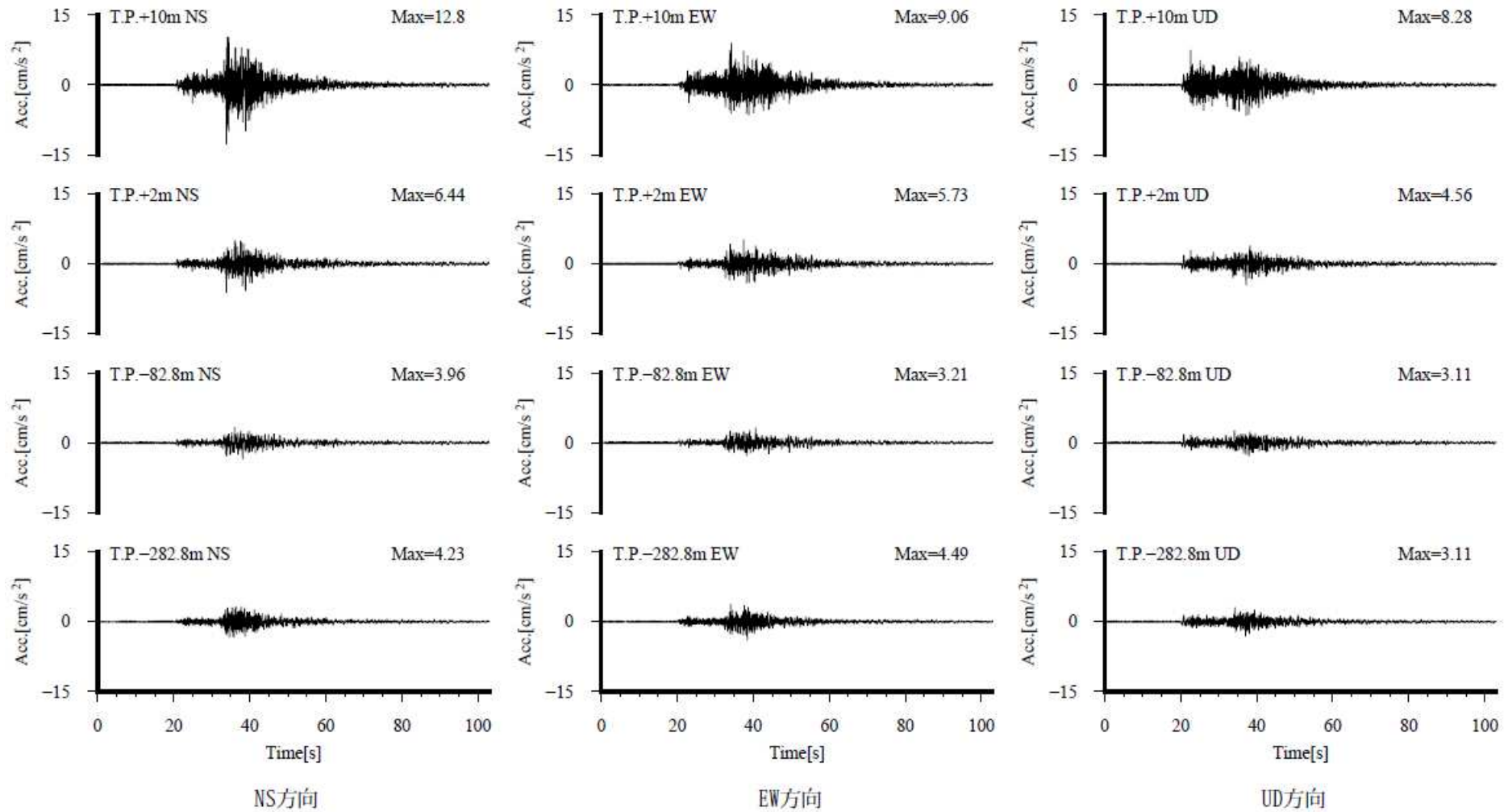
2018/1/24 (19:51) M6.3, 深さ=34km, 震央距離=91km, 震源距離=97km

※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。

3. 1 経験的グリーン関数法に用いた要素地震の特徴

(5) 検討用いた主な観測記録③ 2020年12月21日青森県東方沖の地震(M6.5)

S179

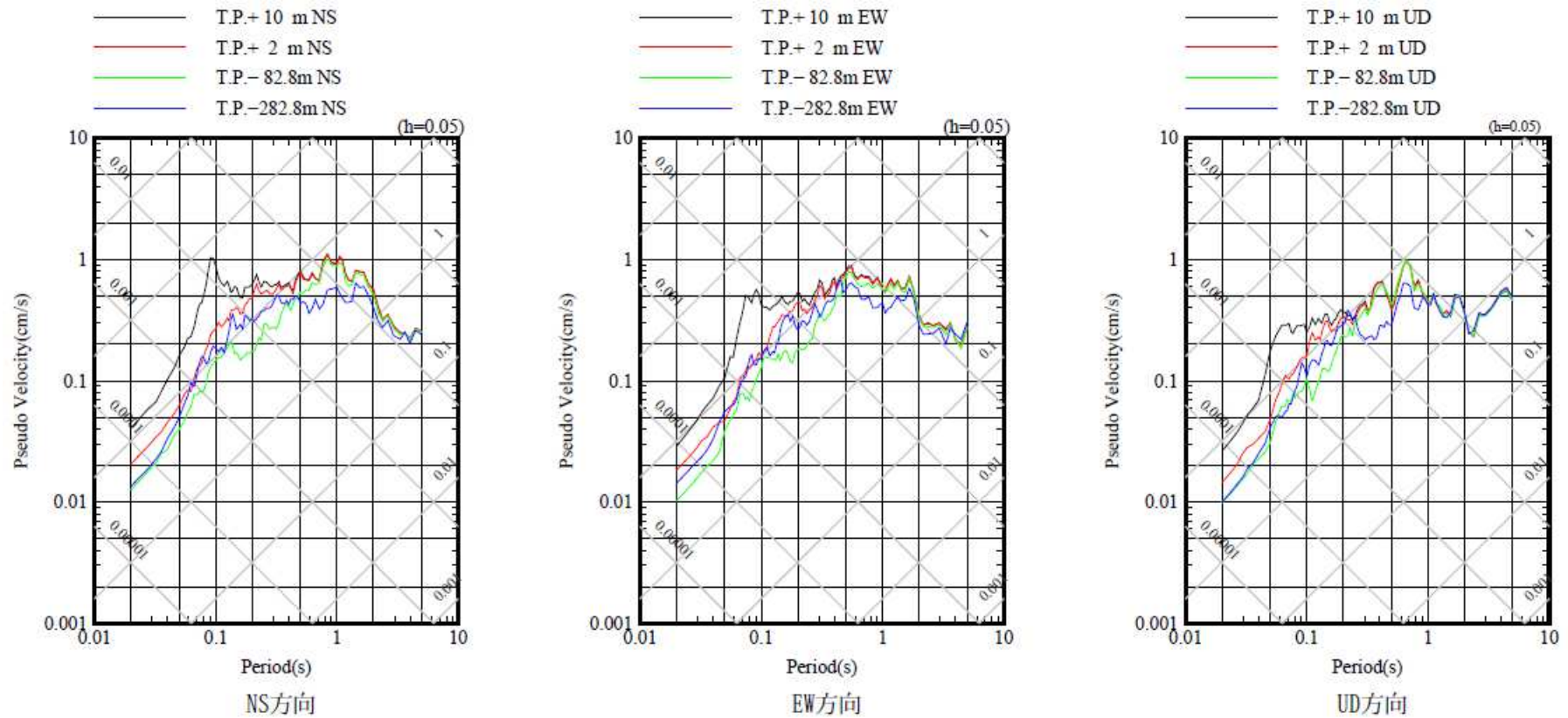


※解放基盤表面の振動特性は、自由地盤の岩盤上部の地震観測点 (T.P.+2.0m) で代表する。

3. 1 経験的グリーン関数法に用いた要素地震の特徴

(5) 検討用いた主な観測記録③ 2020年12月21日青森県東方沖の地震(M6.5)

S179



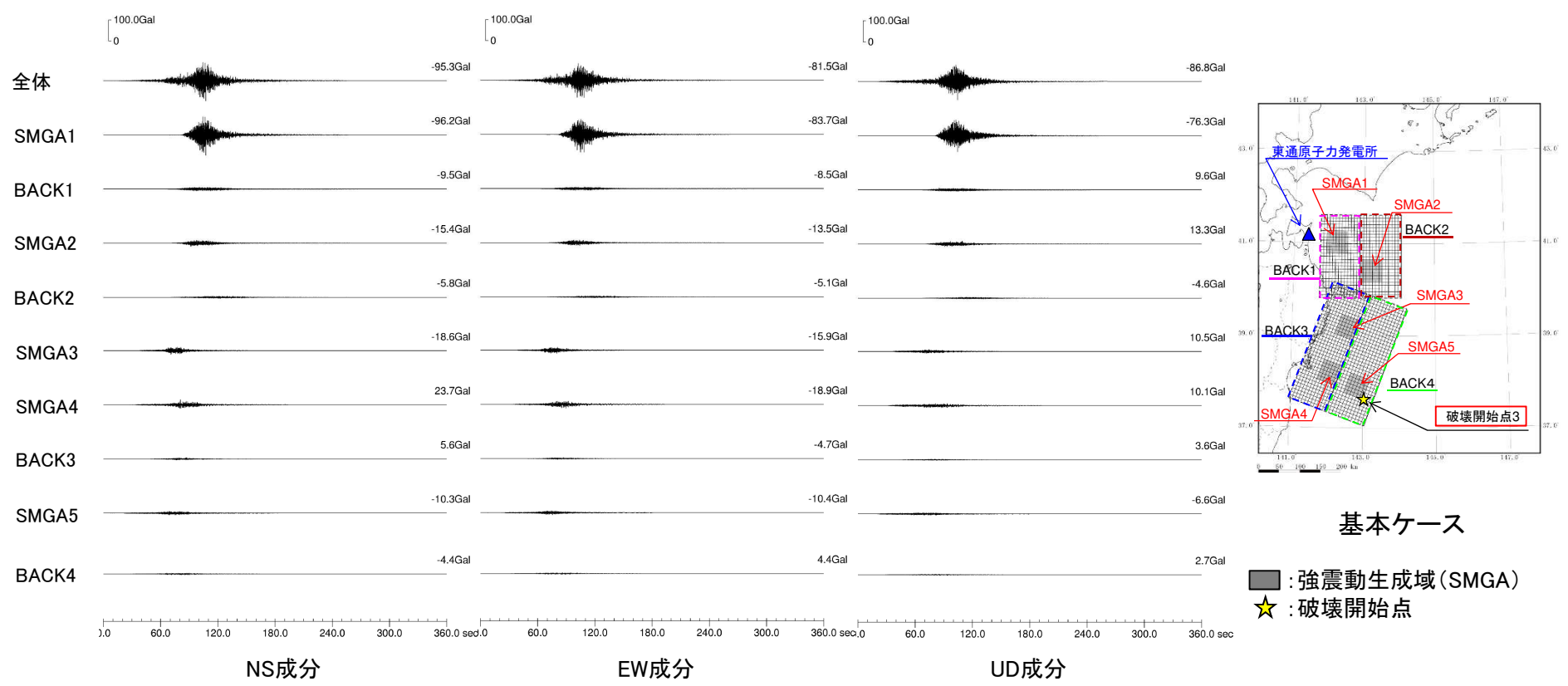
2020/12/21 (2:23) M6.5, 深さ=43km, 震央距離=118km, 震源距離=126km

※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。

3.2 検討用地震の領域ごとの地震動

(1) 三陸沖北部～宮城県沖の連動モデル(基本ケース) 加速度波形

➤ 三陸沖北部～宮城県沖の連動モデル(基本ケース)の地震動評価(破壊開始点3)を例に、各領域の加速度波形を示す。敷地前面の三陸沖北部のSMGA1の影響が最も大きく、全体の地震動レベルをほぼ決めている。



- ※: BACK1 三陸沖北部(青森県東方沖及び岩手県沖北部) 陸側背景領域
- BACK2 三陸沖北部(青森県東方沖及び岩手県沖北部) 海側背景領域
- BACK3 三陸沖中部(岩手県沖南部)～宮城県沖及び三陸沖南部海溝寄り(宮城県沖) 陸側背景領域
- BACK4 三陸沖中部(岩手県沖南部)～宮城県沖及び三陸沖南部海溝寄り(宮城県沖) 海側背景領域

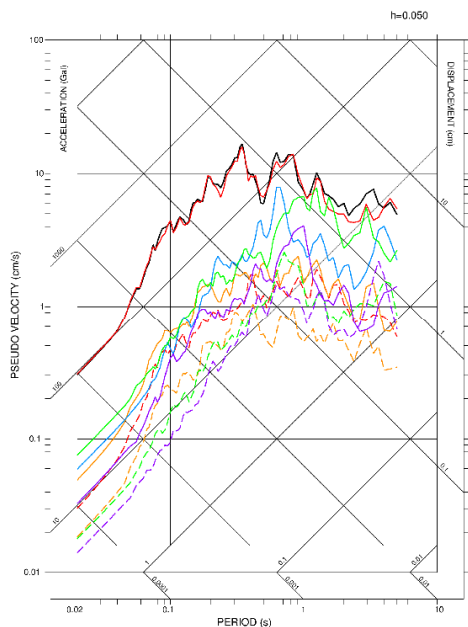
領域ごとの加速度波形(PN基準)

3.2 検討用地震の領域ごとの地震動

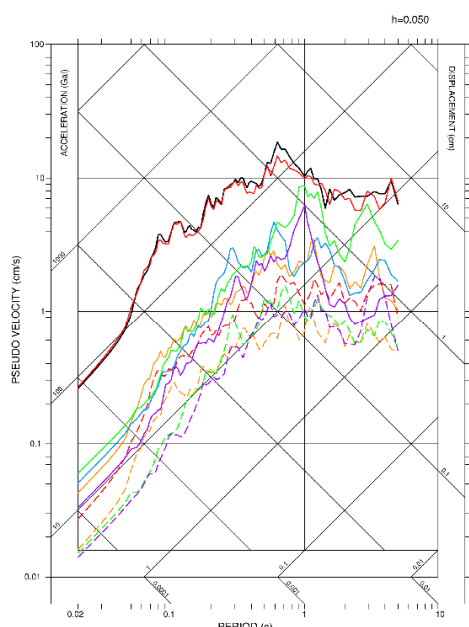
(2) 三陸沖北部～宮城県沖の連動モデル(基本ケース) 応答スペクトル

➤ 三陸沖北部～宮城県沖の連動モデル(基本ケース)の地震動評価(破壊開始点3)を例に、各領域の応答スペクトルを示す。敷地前面の三陸沖北部のSMGA1の影響が最も大きく、全体の地震動レベルをほぼ決めている。

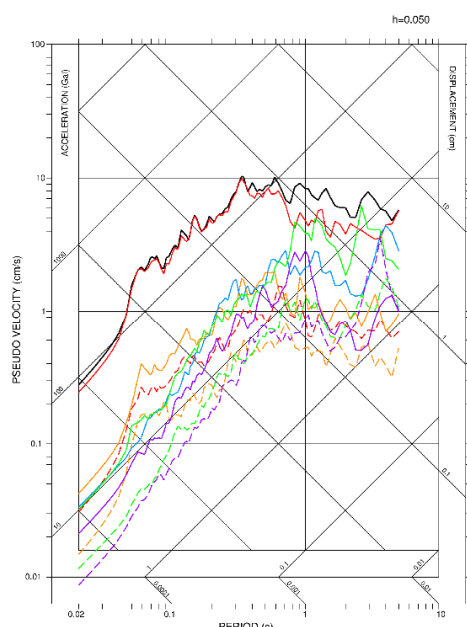
- : 全体
- (赤) : SMGA1
- (黄) : SMGA2
- (青) : SMGA3
- (緑) : SMGA4
- (紫) : SMGA5
- - - (赤) : BACK1: 三陸沖北部(青森県東方沖及び岩手県沖北部) 陸側背景領域
- - - (黄) : BACK2: 三陸沖北部(青森県東方沖及び岩手県沖北部) 海側背景領域
- - - (青) : BACK3: 三陸沖中部(岩手県沖南部)～宮城県沖及び三陸沖南部海溝寄り(宮城県沖) 陸側背景領域
- - - (紫) : BACK4: 三陸沖中部(岩手県沖南部)～宮城県沖及び三陸沖南部海溝寄り(宮城県沖) 海側背景領域



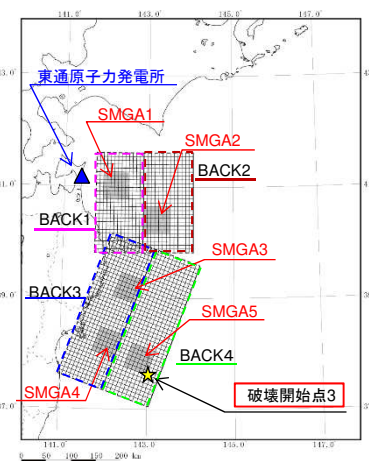
NS成分



EW成分



UD成分



基本ケース

- : 強震動生成域(SMGA)
- ★ : 破壊開始点

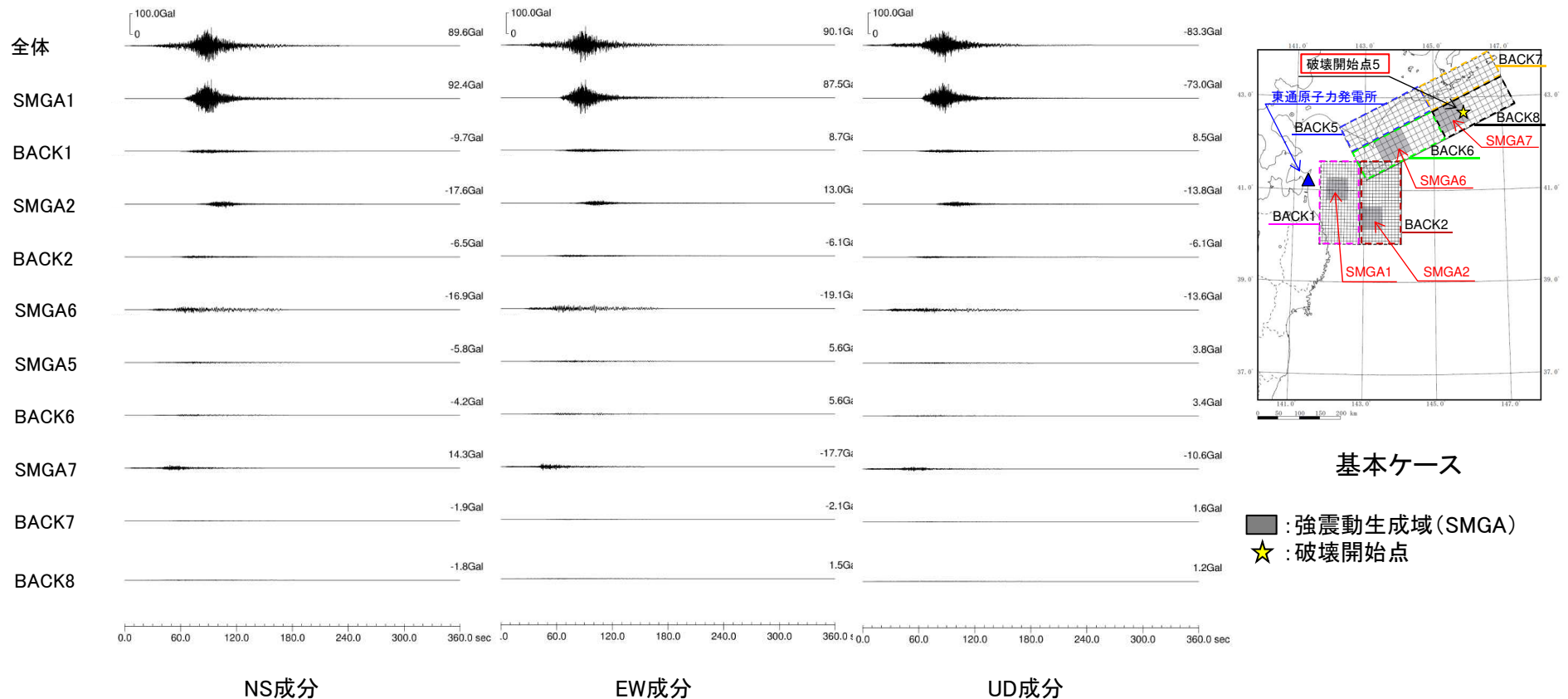
領域ごとの応答スペクトル(PN基準)

3.2 検討用地震の領域ごとの地震動

(3) 三陸沖北部～根室沖の連動モデル(基本ケース) 加速度波形

S176

- 三陸沖北部～根室沖の連動モデル(基本ケース)の地震動評価(破壊開始点5)を例に、各領域の加速度波形を示す。敷地前面の三陸沖北部のSMGA1の影響が最も大きく、全体の地震動レベルをほぼ決めている。



- ※: BACK1 三陸沖北部(青森県東方沖及び岩手県沖北部) 陸側背景領域
 BACK2 三陸沖北部(青森県東方沖及び岩手県沖北部) 海側背景領域
 BACK5 十勝沖 陸側背景領域
 BACK6 十勝沖 海側背景領域
 BACK7 根室沖 陸側背景領域
 BACK8 根室沖 海側背景領域

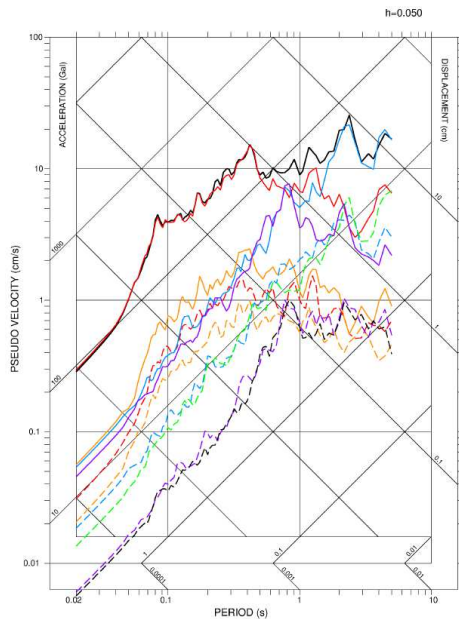
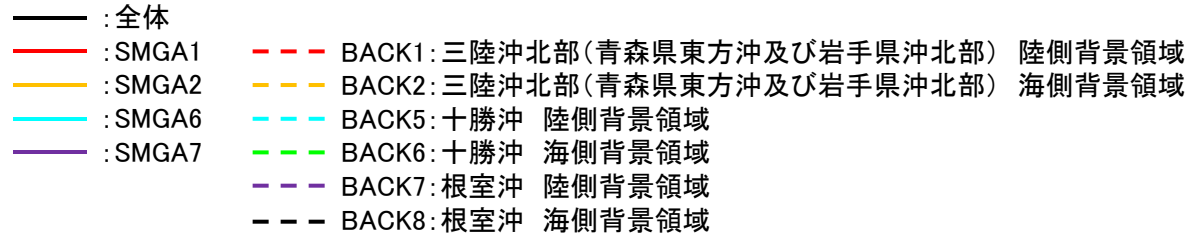
領域ごとの加速度波形(PN基準)

3. 2 検討用地震の領域ごとの地震動

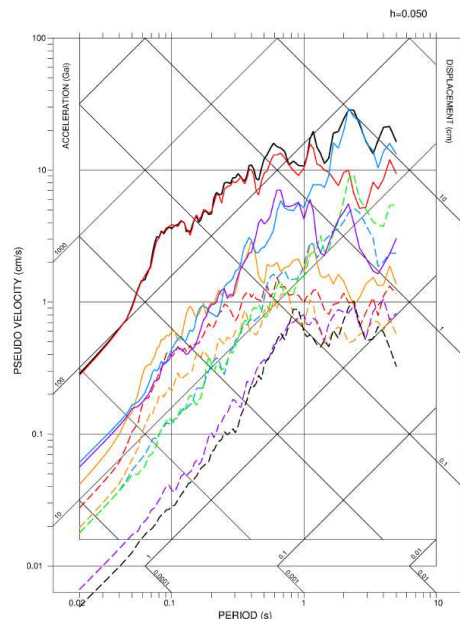
(4) 三陸沖北部～根室沖の連動モデル(基本ケース) 応答スペクトル

S176

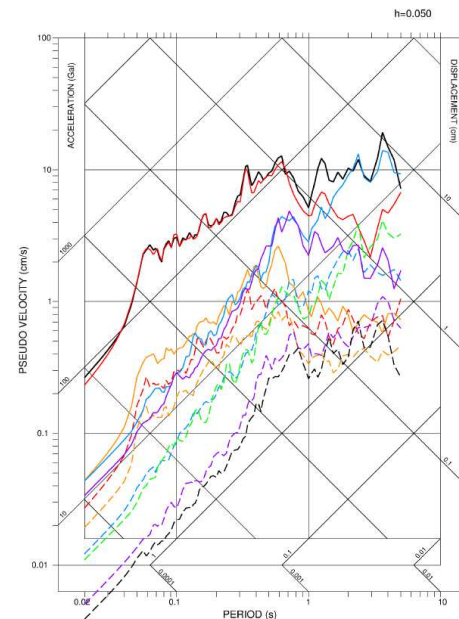
- 三陸沖北部～根室沖の連動モデル(基本ケース)の地震動評価(破壊開始点5)を例に、各領域の応答スペクトルを示す。敷地前面の三陸沖北部のSMGA1の影響が最も大きく、全体の地震動レベルをほぼ決めている。



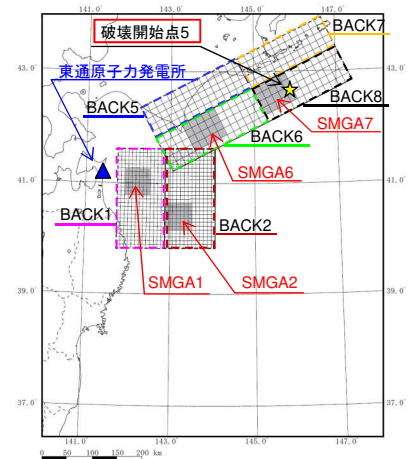
NS成分



EW成分



UD成分



基本ケース

- : 強震動生成域 (SMGA)
★ : 破壊開始点

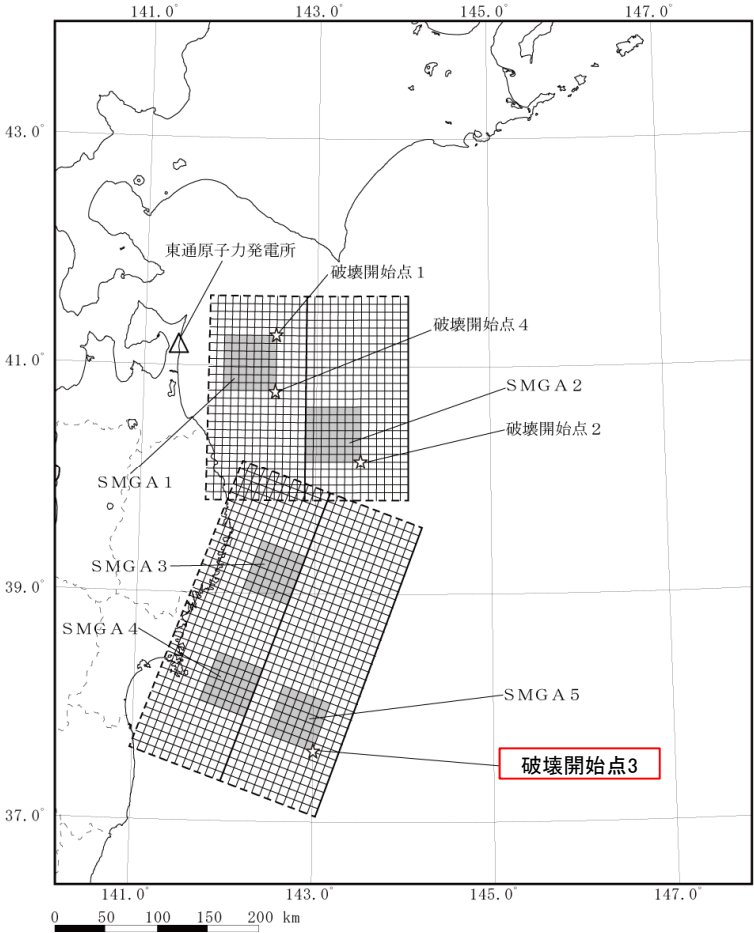
領域ごとの応答スペクトル(PN基準)

3.3 統計的グリーン関数法及び距離減衰式による地震動評価との比較

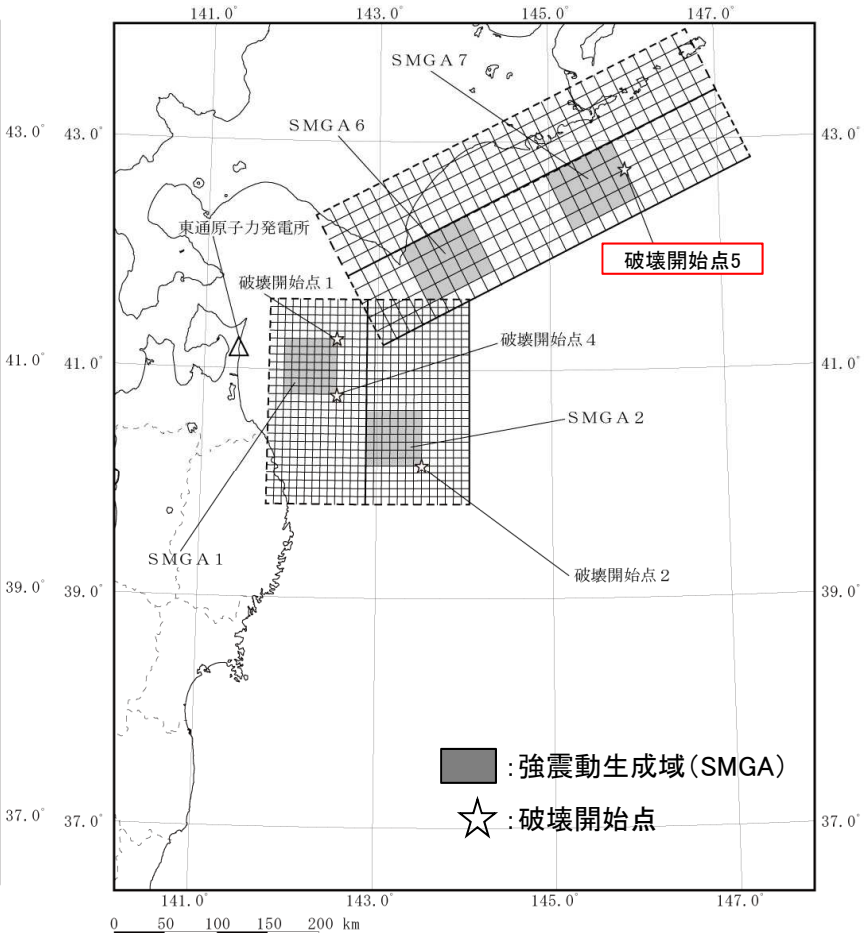
(1) 統計的グリーン関数法による地震動評価

S176

- 三陸沖北部～宮城県沖の連動モデル(基本ケース, 破壊開始点3)及び三陸沖北部～根室沖の連動モデル(基本ケース, 破壊開始点5)の統計的グリーン関数法[釜江ほか(1991), 入倉ほか(1997)]による地震動評価を行い, 経験的グリーン関数法による地震動評価結果と比較する。また, 合わせて距離減衰式との比較を行う。



三陸沖北部～宮城県沖の連動モデル(基本ケース)



三陸沖北部～根室沖の連動モデル(基本ケース)

3.3 統計的グリーン関数法及び距離減衰式による地震動評価との比較 (2)断層パラメータ表 三陸沖北部～宮城県沖の連動モデル

断層パラメータ		三陸沖北部 (青森県東方沖・岩手県沖北部)	三陸沖中部(岩手県沖南部)～ 宮城県沖及び三陸沖南部海溝寄り(宮城県沖)	設定方法		
巨視的震源特性	走向	$\theta (^{\circ})$	180	200	プレートの沈み込み等深線を参考に設定	
	傾斜角1(東側)	$\delta_1 (^{\circ})$	10	12	同上	
	傾斜角2(西側)	$\delta_2 (^{\circ})$	20	21	同上	
	長さ	L(km)	200	300	プレートの沈み込み等深線及び断層面積に基づき設定	
	幅	W(km)	200	200	プレートの沈み込み等深線を参考に設定	
	上端深さ	h_u (km)	12.6	12.3	同上	
	下端深さ	h_l (km)	64.2	68.9	同上	
	断層面積	S(km ²)	40000	60000	$S_i = L_i \times W_i$	
	全体の断層面積	S(km ²)	100000		$\log S = M - 4.0$	
	平均応力降下量	$\Delta \sigma$ (MPa)	3.08		$\Delta \sigma = 7/16 \cdot M_0 \cdot (S/\pi)^{-3/2}$	
	地震モーメント	M_0 (Nm)	4.0×10^{22}		$\log M_0 = 1.5M_w + 9.1$	
	モーメントマグニチュード	M_w	9.0		与条件	
	平均すべり量	D(m)	8.5		$D = M_0 / (\mu \cdot S)$	
	剛性率	μ (N/m ²)	4.68×10^{10}		$\rho = 3.08 \text{g/cm}^3, \mu = \rho \cdot \beta^2$	
	S波速度	β (km/s)	3.9		地震調査研究推進本部(2004)	
破壊伝播速度	V_r (km/s)	3.0		諸井ほか(2013)		
微視的震源特性	全 S M G A	面積	S_a (km ²)	12500	$S_a = S \times 0.125$ 諸井ほか(2013)	
		地震モーメント	M_{0a} (Nm)	1.0×10^{22}	$M_{0a} = \mu \cdot S_a \cdot D_a$	
		すべり量	D_a (m)	17.1	$D_a = 2D$	
		応力降下量	$\Delta \sigma_a$ (MPa)	24.6	$\Delta \sigma_a = (S/S_a) \cdot \Delta \sigma$	
		短周期レベル	A_a (Nm/s ²)	3.49×10^{20}	$A_a = (\sum A_{ai}^2)^{1/2}$	
	各 S M G A	—	—	SMGA1～2	SMGA3～5	
		面積	S_{ai} (km ²)	2500	2500	$S_{ai} = S_a / 5$
		地震モーメント	M_{0ai} (Nm)	2.0×10^{21}	2.0×10^{21}	$M_{0ai} = \mu \cdot S_{ai} \cdot D_{ai}$
		すべり量	D_{ai} (m)	17.1	17.1	$D_{ai} = D_a \times \gamma_i / \sum (\gamma_i^3), \gamma = r_i / r = (S_{ai} / S_a)^{1/2}$
		応力降下量	$\Delta \sigma_{ai}$ (MPa)	34.5	24.6	$\Delta \sigma_{ai} = \Delta \sigma_a$, 三陸沖北部は1.4倍
	短周期レベル	A_{ai} (Nm/s ²)	1.86×10^{20}	1.33×10^{20}	$A_{ai} = 4\pi (S_{ai} / \pi)^{1/2} \cdot \Delta \sigma_{ai} \cdot V_s^2$	
	背 景 領 域	面積	S_b (km ²)	87500		$S_b = S - S_a$
		各領域の面積	S_{bi} (km ²)	35000	52500	$S_{bi} = S_b - \sum S_{ai}$
		地震モーメント	M_{0b} (Nm)	3.0×10^{22}		$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
		各領域の地震モーメント	M_{0bi} (Nm)	1.2×10^{22}	1.8×10^{22}	$M_{0bi} = \mu \cdot D_b \cdot S_{bi}$
すべり量		D_b (m)	7.3		$D_b = M_{0b} / (\mu \cdot S_b)$	
実効応力	$\Delta \sigma_b$ (MPa)	4.9		$\Delta \sigma_b = 0.2 \Delta \sigma_a$		
Q値	Q_s	93 ^{f0.89}		川瀬・松尾(2004)		
高域遮断振動数	f_{max} (Hz)	13.5		佐藤ほか(1994)		

3.3 統計的グリーン関数法及び距離減衰式による地震動評価との比較

(2) 断層パラメータ表 三陸沖北部～根室県沖の連動モデル

S176

断層パラメータ		三陸沖北部 (青森県東方沖・岩手県沖北部)	十勝沖及び根室沖	設定方法		
巨視的震源特性	走向	$\theta (^{\circ})$	180	245	プレートの沈み込み等深線を参考に設定	
	傾斜角1(東側)	$\delta_1 (^{\circ})$	10	10	同上	
	傾斜角2(西側)	$\delta_2 (^{\circ})$	20	30	同上	
	長さ	L(km)	200	400	プレートの沈み込み等深線及び断層面積に基づき設定	
	幅	W(km)	200	150	プレートの沈み込み等深線を参考に設定	
	上端深さ	h_u (km)	12.6	17.0	同上	
	下端深さ	h_d (km)	64.2	67.5	同上	
	断層面積	S(km ²)	40000	60000	$S_i = L_i \times W_i$	
	全体の断層面積	S(km ²)	100000		$\log S = M - 4.0$	
	平均応力降下量	$\Delta \sigma$ (MPa)	3.08		$\Delta \sigma = 7/16 \cdot M_0 \cdot (S/\pi)^{-3/2}$	
	地震モーメント	M_0 (Nm)	4.0×10^{22}		$\log M_0 = 1.5 M_w + 9.1$	
	モーメントマグニチュード	M_w	9.0		与条件	
	平均すべり量	D(m)	8.5		$D = M_0 / (\mu \cdot S)$	
	剛性率	μ (N/m ²)	4.68×10^{10}		$\rho = 3.08 \text{g/cm}^3, \mu = \rho \cdot \beta^2$	
S波速度	β (km/s)	3.9		地震調査研究推進本部(2004)		
破壊伝播速度	V_f (km/s)	3.0		諸井ほか(2013)		
微視的震源特性	全 S M G A	面積	S_a (km ²)	12500	$S_a = S \times 0.125$ 諸井ほか(2013)	
		地震モーメント	M_{0a} (Nm)	1.0×10^{22}	$M_{0a} = \mu \cdot S_a \cdot D_a$	
		すべり量	D_a (m)	17.1	$D_a = 2D$	
		応力降下量	$\Delta \sigma_a$ (MPa)	24.6	$\Delta \sigma_a = (S/S_a) \cdot \Delta \sigma$	
		短周期レベル	A_a (Nm/s ²)	3.49×10^{20}	$A_a = (\sum A_{ai}^2)^{1/2}$	
	各 S M G A	—	—	SMGA1~2	SMGA6~7	
		面積	S_{ai} (km ²)	2500	3750	$S_{a1} = S_{a2} = S_a \cdot (S_{三陸}/S)/2, S_{a6} = S_{a7} = S_a \cdot (S_{十勝}/S)/2$
		地震モーメント	M_{0ai} (Nm)	2.0×10^{21}	3.0×10^{21}	$M_{0ai} = \mu \cdot S_{ai} \cdot D_{ai}$
		すべり量	D_{ai} (m)	17.1	17.1	$D_{ai} = D_a \times \gamma_i / \sum (\gamma_i^3), \gamma_i = r_i/r = (S_{ai}/S_a)^{1/2}$
		応力降下量	$\Delta \sigma_{ai}$ (MPa)	34.5	24.6	$\Delta \sigma_{ai} = \Delta \sigma_a, \text{三陸沖北部は} 1.4 \text{倍}$
	短周期レベル	A_{ai} (Nm/s ²)	1.86×10^{20}	1.63×10^{20}	$A_{ai} = 4\pi (S_{ai}/\pi)^{1/2} \cdot \Delta \sigma_{ai} \cdot V_s^2$	
	背景領域	面積	S_b (km ²)	87500		$S_b = S - S_a$
		各領域の面積	S_{bi} (km ²)	35000	52500	$S_{bi} = S_i - \sum S_{ai}$
		地震モーメント	M_{0b} (Nm)	3.0×10^{22}		$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
各領域の地震モーメント		M_{0bi} (Nm)	1.2×10^{22}	1.8×10^{22}	$M_{0bi} = \mu \cdot D_b \cdot S_{bi}$	
すべり量		D_b (m)	7.3		$D_b = M_{0b} / (\mu \cdot S_b)$	
実効応力	$\Delta \sigma_b$ (MPa)	4.9		$\Delta \sigma_b = 0.2 \Delta \sigma_a$		
Q値	Qs	93 ^{f0.89}	91 ^{f0.86}	川瀬・松尾(2004)		
高域遮断振動数	f_{max} (Hz)	13.5		佐藤ほか(1994)		

3.3 統計的グリーン関数法及び距離減衰式による地震動評価との比較 (3) 統計的グリーン関数法に用いる地盤モデル

➤ 地震基盤波の上昇計算に用いる地盤モデルを以下に示す。

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

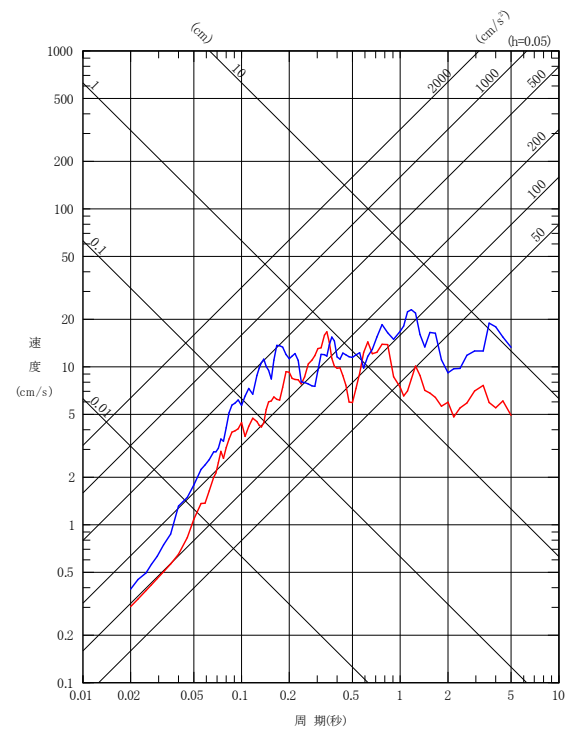
3.3 統計的グリーン関数法及び距離減衰式による地震動評価との比較

(4) 地震動評価結果 三陸沖北部～宮城県沖の連動モデル

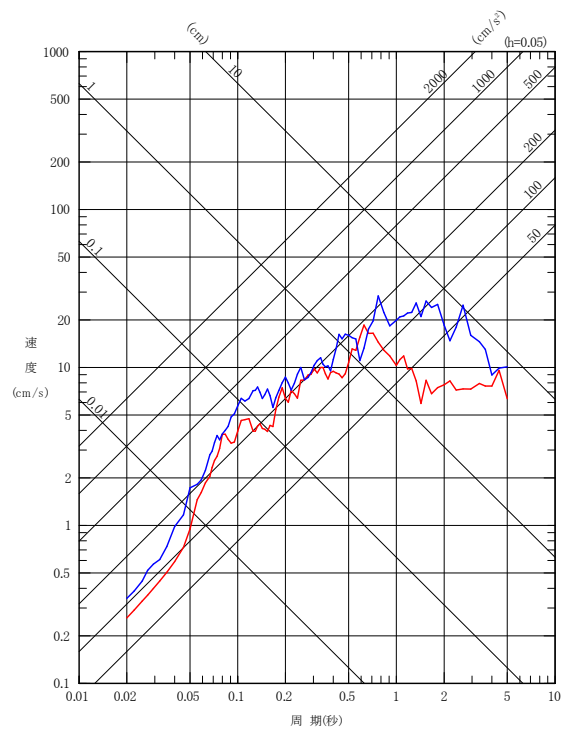
S179

- 三陸沖北部～宮城県沖の連動モデル(基本ケース)の統計的グリーン関数法(SGF)による評価について、経験的グリーン関数法(EGF)による評価と併せて示す。短周期側の地震動レベルは概ね同等となっている。
- 長周期側でSGFがやや大きい点については、EGFに用いた要素地震に関する検討(p.13～p.16)のとおり、理論震源スペクトルと敷地の観測記録から求めた震源スペクトルの差異が現れているものであり、これは、要素地震の放射特性の影響等が考えられる。ただし、SGFの結果においても長周期の応答は20cm/s程度と小さい結果になっている。

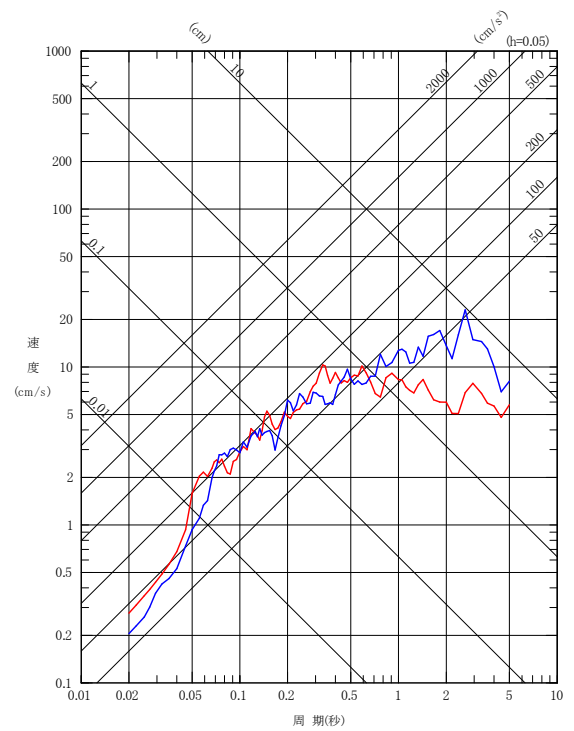
— EGF(基本ケース, 破壊開始点3)
— SGF(基本ケース, 破壊開始点3)



NS成分



EW成分



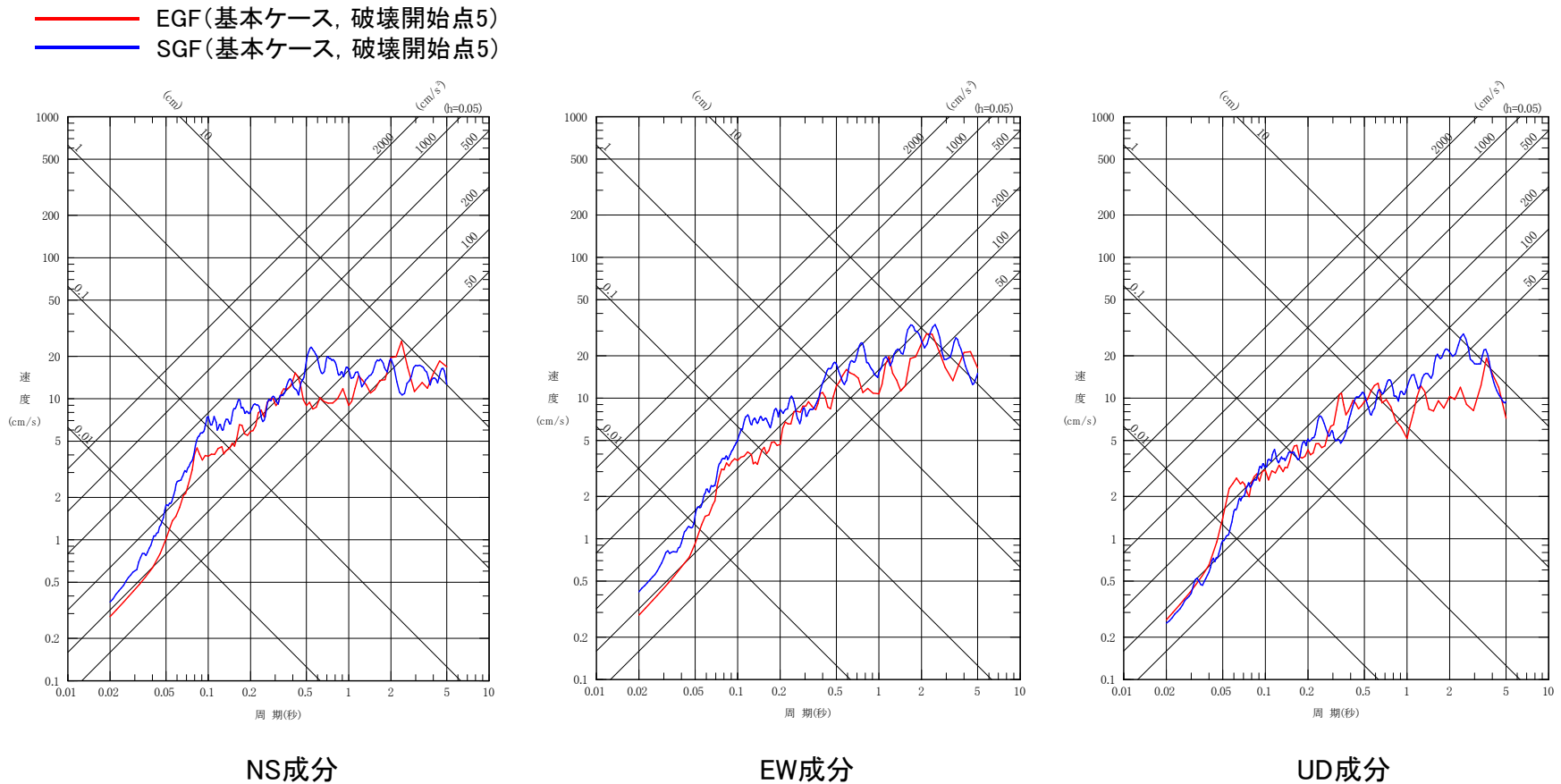
UD成分

三陸沖北部～宮城県沖の連動モデル(基本ケース, 破壊開始点3) 応答スペクトル(PN基準)



3.3 統計的グリーン関数法及び距離減衰式による地震動評価との比較 (5)地震動評価結果 三陸沖北部～根室沖の連動モデル

- 三陸沖北部～根室沖の連動モデル(基本ケース)の統計的グリーン関数法(SGF)による評価について、経験的グリーン関数法(EGF)による評価と併せて示す。地震動レベルは概ね同等となっている。

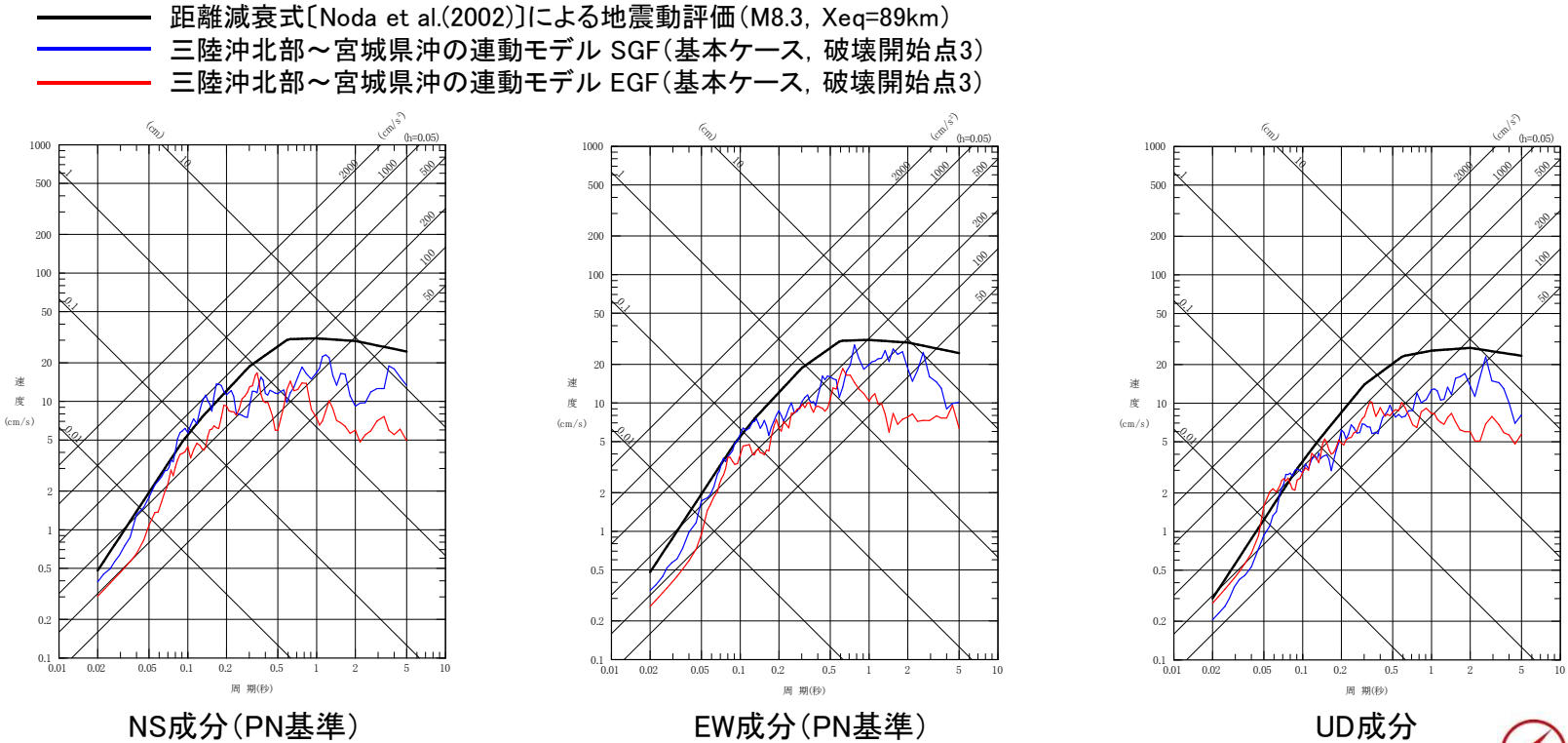


三陸沖北部～根室沖の連動モデル(基本ケース, 破壊開始点5) 応答スペクトル(PN基準)

3.3 統計的グリーン関数法及び距離減衰式による地震動評価との比較

(6) 距離減衰式〔Noda et al.(2002)〕による地震動評価との比較

- プレート間地震の検討用地震については、外挿となることから距離減衰式による評価が困難であるが、断層モデルによる評価結果では、敷地に与える影響はSMGA1の影響が支配的となっていることを踏まえ、参考として、以下のとおりSMGA1を対象とした距離減衰式による評価を行った。
 - ① 諸井ほか(2013)に基づく全体とSMGA1の面積比12.5%相当の短周期レベルから、佐藤(2010)の経験式によりSMGA1の地震モーメントを算定し、Kanamori(1977)によりモーメントマグニチュード M_w を求め、気象庁マグニチュード(M)と仮定した。
 - ② 敷地に最も近いSMGA1から敷地までの等価震源距離(X_{eq})を算定。
 - ③ Mと X_{eq} を用いてNoda et al.(2002)により算定。
- 距離減衰式〔Noda et al.(2002)〕による評価結果は、断層モデル解析結果と概ね整合する関係となっている。



参考文献

1. 敷地周辺の地震発生状況

1. 気象庁(2020):地震月報ほか

2. 敷地で観測された主な地震

1. 気象庁(2020):地震月報ほか

3. プレート間地震の地震動評価

1. 東貞成, 芝良昭, 佐藤浩章, 佐藤雄亮, 中島正人, 酒井理哉, 佐藤清隆(2009):電力重要施設の設計用地震動策定法, 電力中央研究所報告N04, 2009
2. 気象庁(2020):地震月報ほか
3. The U.S. Geological Survey: Search Earthquake Catalog, <<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>>
4. 防災科学技術研究所 広帯域地震観測網 F-net: <<http://www.fnet.bosai.go.jp/top.php?LANG=ja>>
5. 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
6. 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
7. 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.
8. 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
9. 地震調査研究推進本部(2004):三陸沖北部の地震を想定した強震動評価について 地震調査研究推進本部, 地震調査委員会
10. 諸井孝文, 広谷浄, 石川和也, 水谷浩之, 引間和人, 川里健, 生玉真也, 釜田正毅(2013):標準的な強震動レシピアに基づく東北地方太平洋沖巨大地震の強震動の再現, 日本地震工学会第10回年次大会概要集
11. 佐藤智美・川瀬博・佐藤俊明(1994):表層地盤の影響を取り除いた工学的基盤波の統計的スペクトル特性, 仙台地域のボアホールで観測された多数の中小地震記録を用いた解析, 日本建築学会構造系論文集, 462, 79-89.
12. 佐藤智美(2010):逆断層と横ずれ断層の違いを考慮した日本の地殻内地震の短周期レベルのスケーリング則, 日本建築学会構造系論文集, 第75巻, 第651号, 923-932
13. Kanamori H.(1977):The Energy Release in Great Earthquakes, Journal of Geophysical Research Vol.82 No.20