

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
(補足説明資料)

2020年10月2日
東北電力株式会社

目次

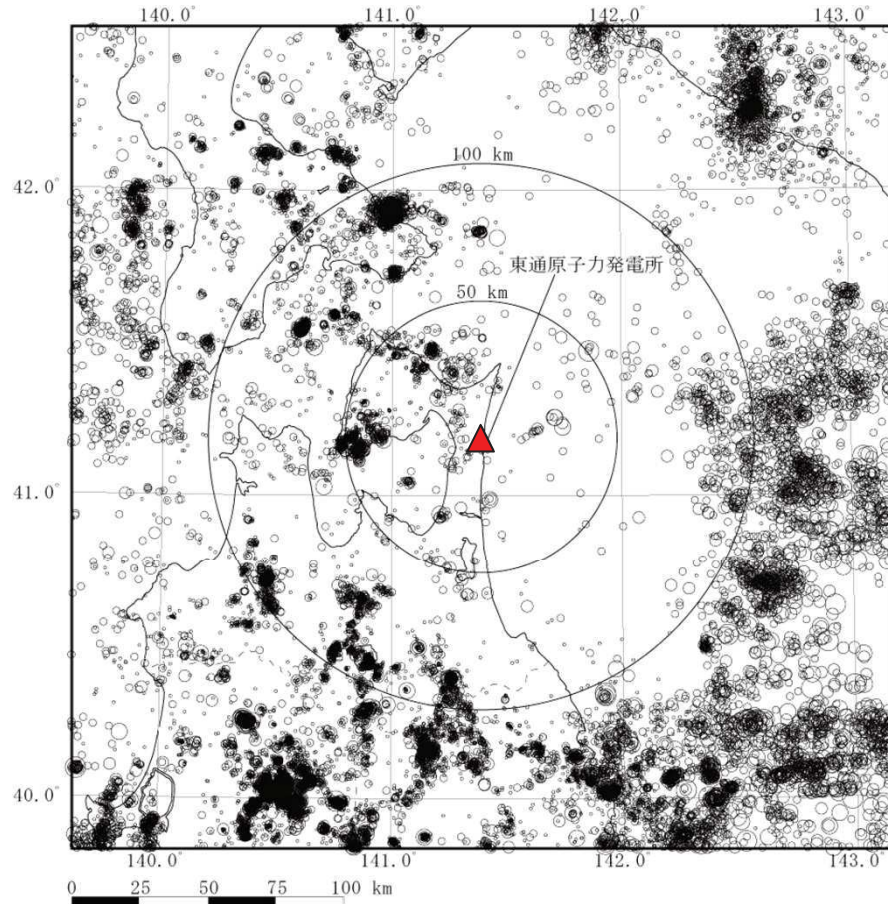
1. 敷地周辺の地震発生状況	.....	2
2. 敷地で観測された主な地震	.....	7
3. プレート間地震の地震動評価	.....	10
3.1 検討用地震の領域ごとの地震動	.....	11
3.2 統計的グリーン関数法及び距離減衰式による地震動評価との比較	.....	13
参考文献	.....	18

1. 敷地周辺の地震発生状況

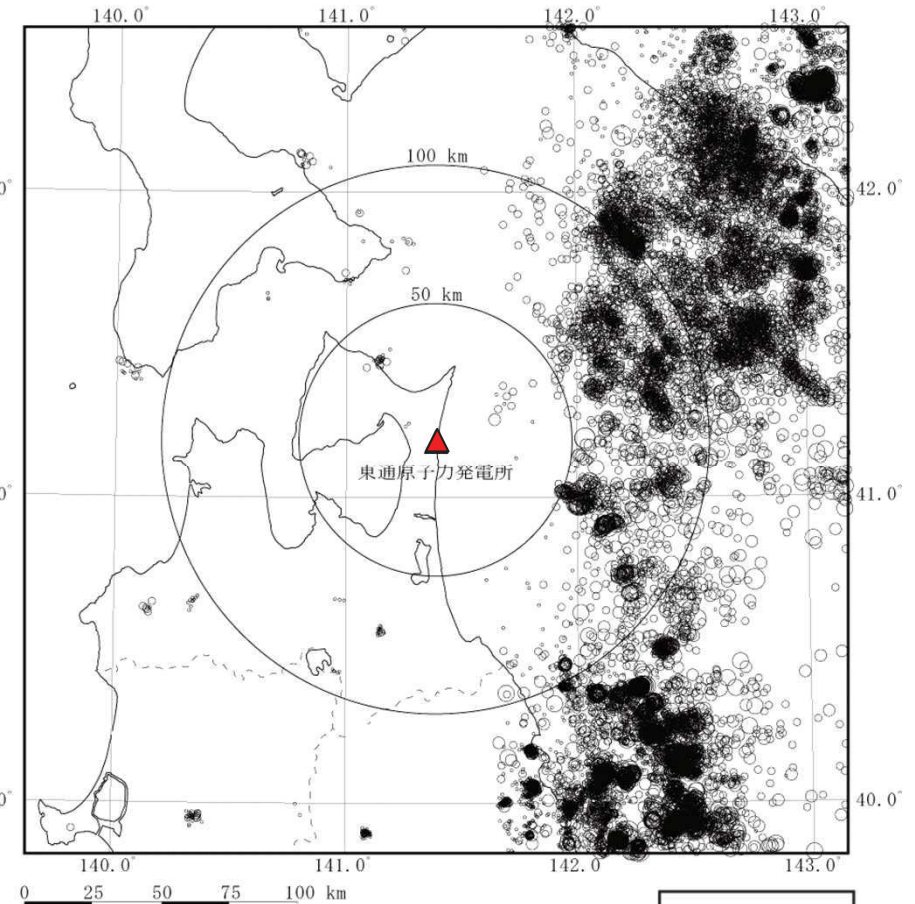
1. 敷地周辺の地震発生状況

(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

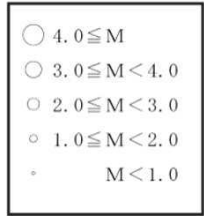
- 深さ0～30kmでは、海域のプレート境界付近及び陸域の地殻内で地震が発生。
- 深さ30～60kmでは、多くの地震がプレート境界付近で発生しており、陸域の地震はほとんど見られない。



震源深さ 0～30km



震源深さ 30～60km

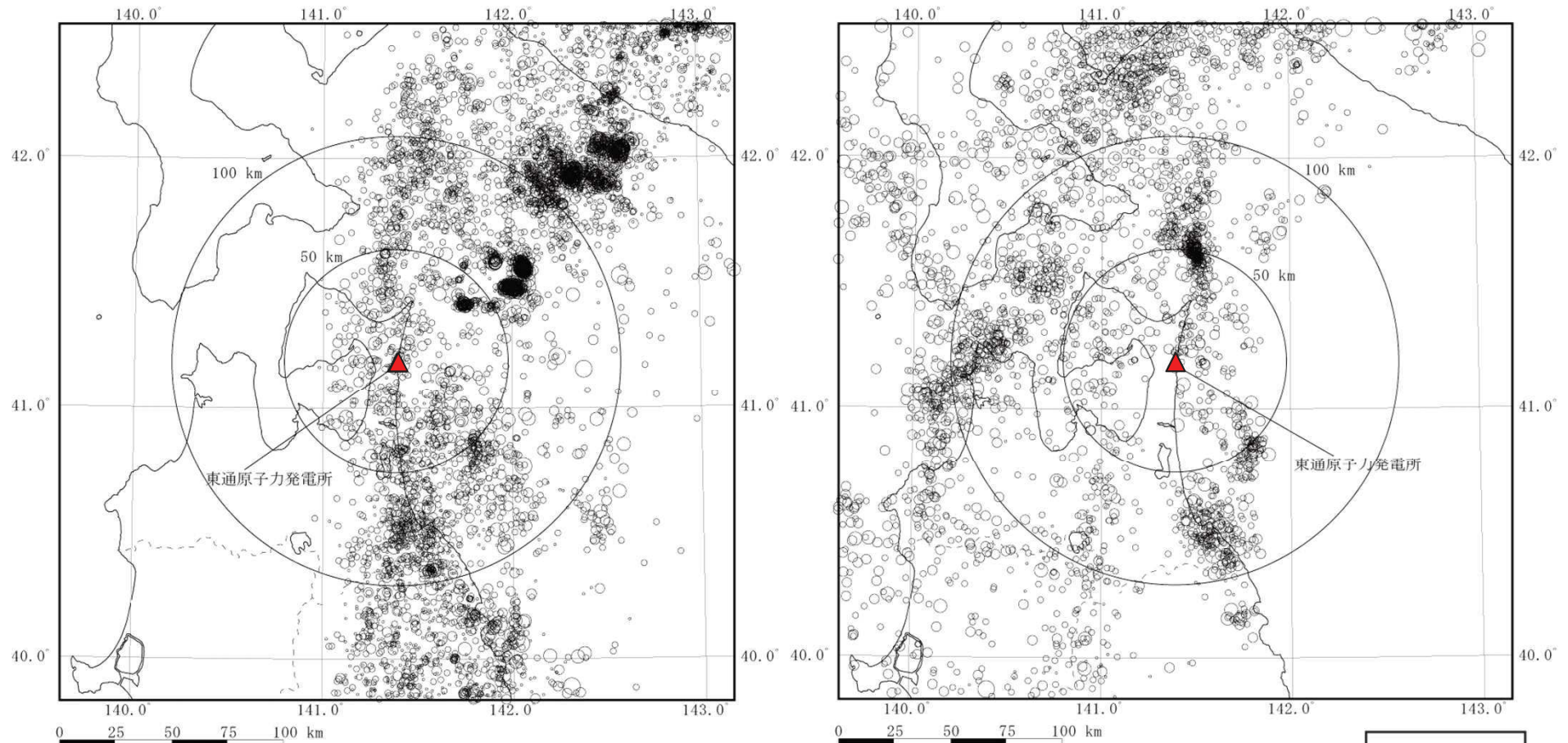


[2011年1月～2018年12月:気象庁(2020)]

1. 敷地周辺の地震発生状況

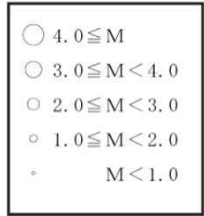
(1) 敷地周辺におけるM5.0以下の地震の発生状況 震央分布図②

➤ 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

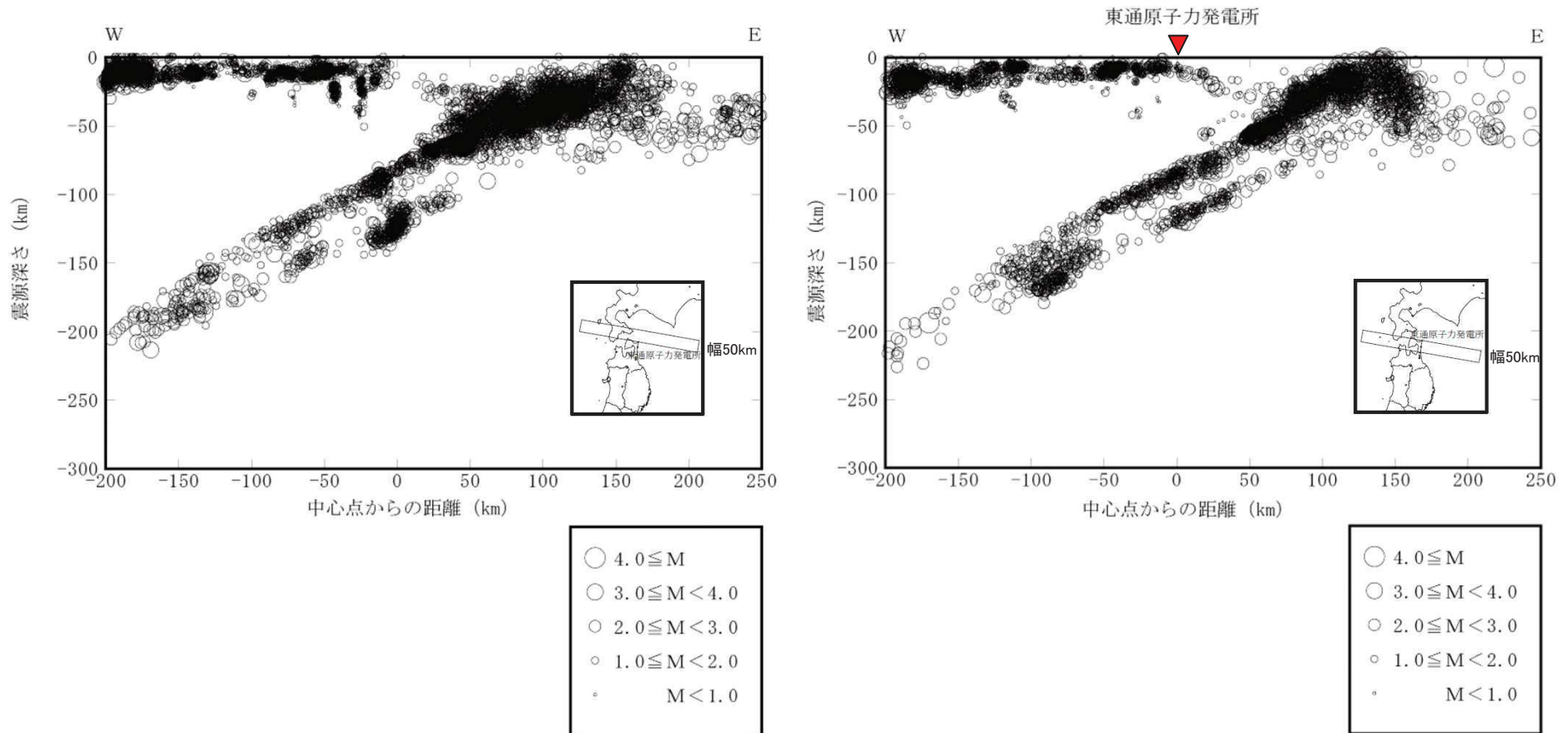


[2011年1月~2018年12月:気象庁(2020)]

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。

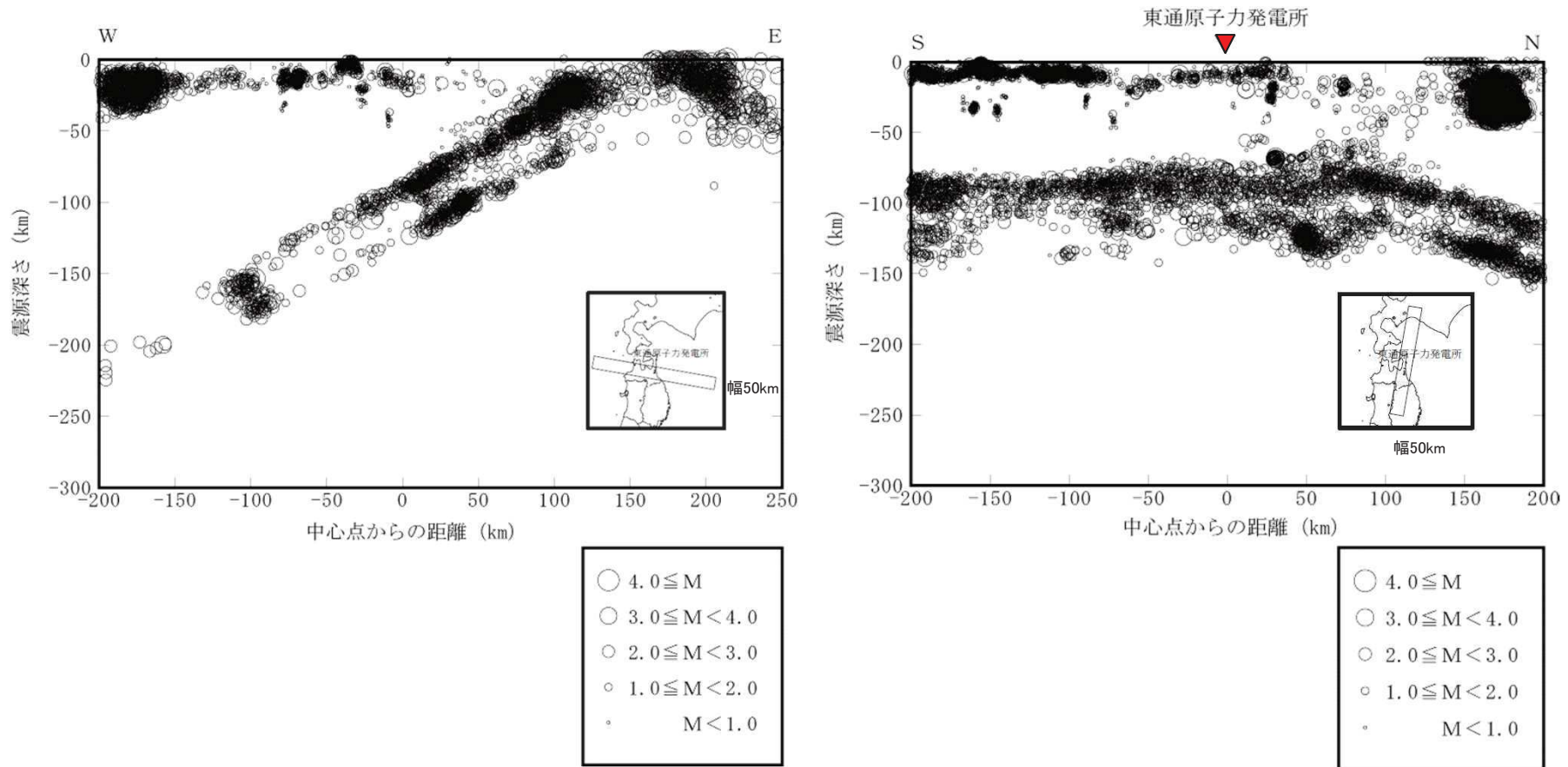


[2011年1月～2018年12月:気象庁(2020)]

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。



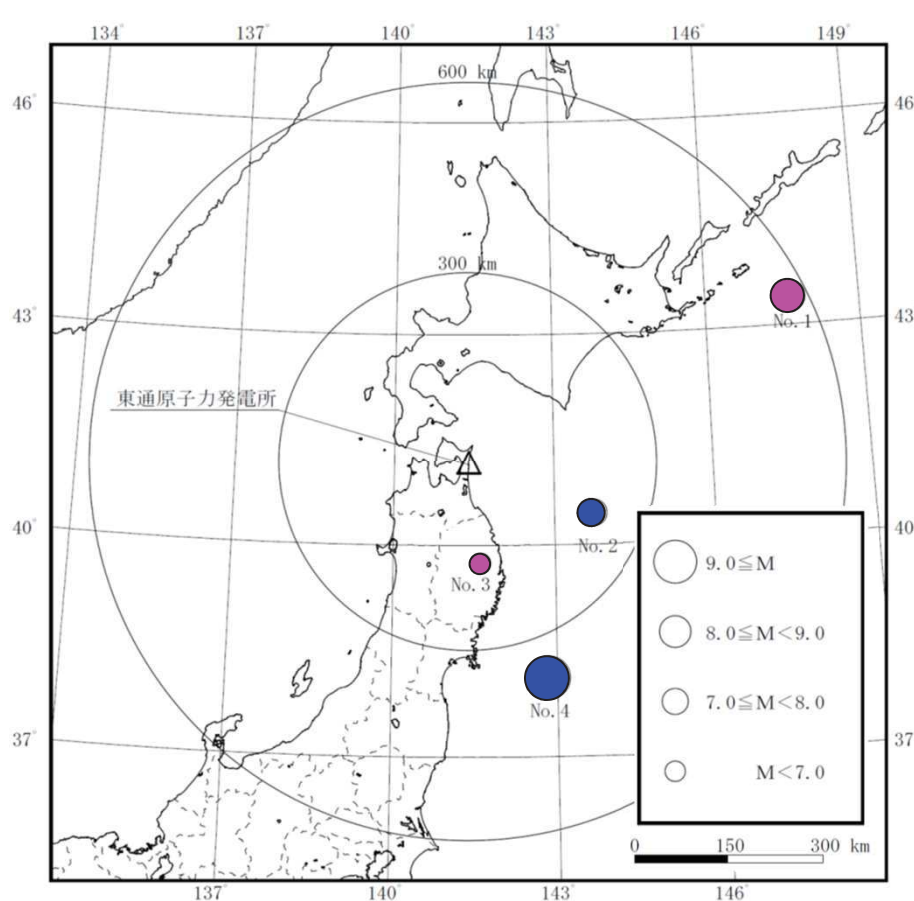
[2011年1月～2018年12月:気象庁(2020)]

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)

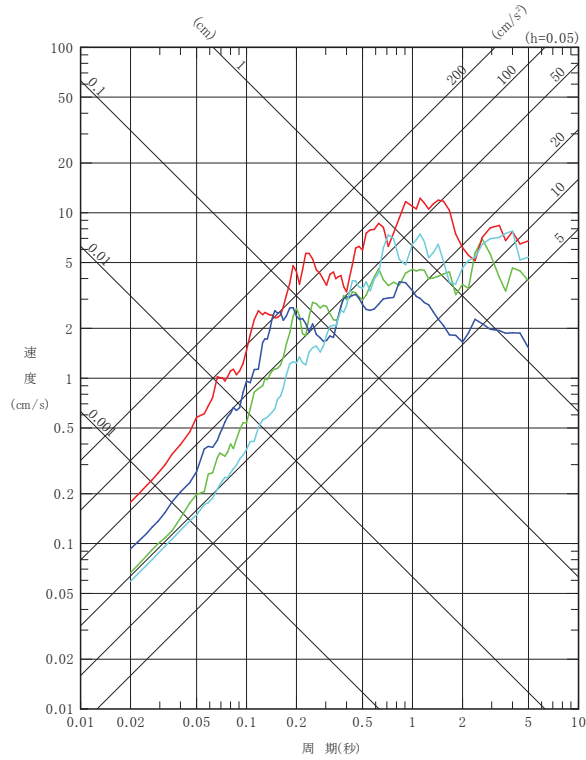
● : プレート間地震
● : 海洋プレート内地震

敷地で観測された主な地震の震央分布

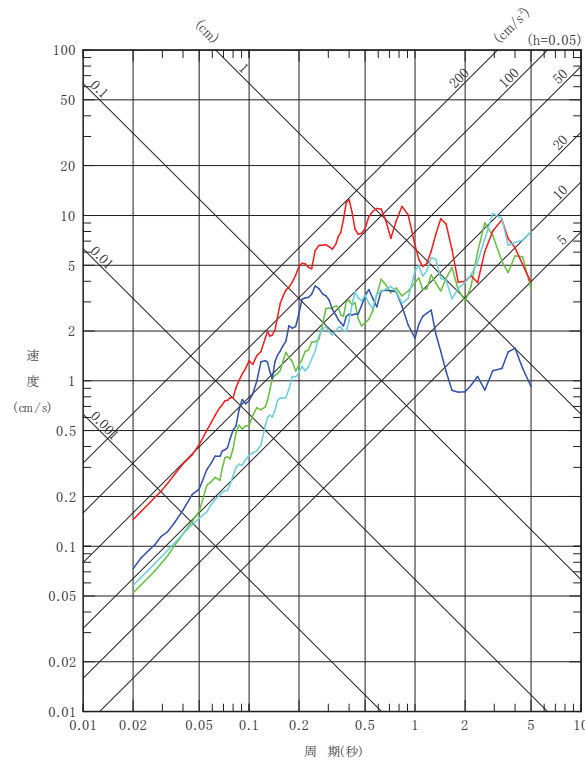
[地震諸元は気象庁(2020)による。]

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

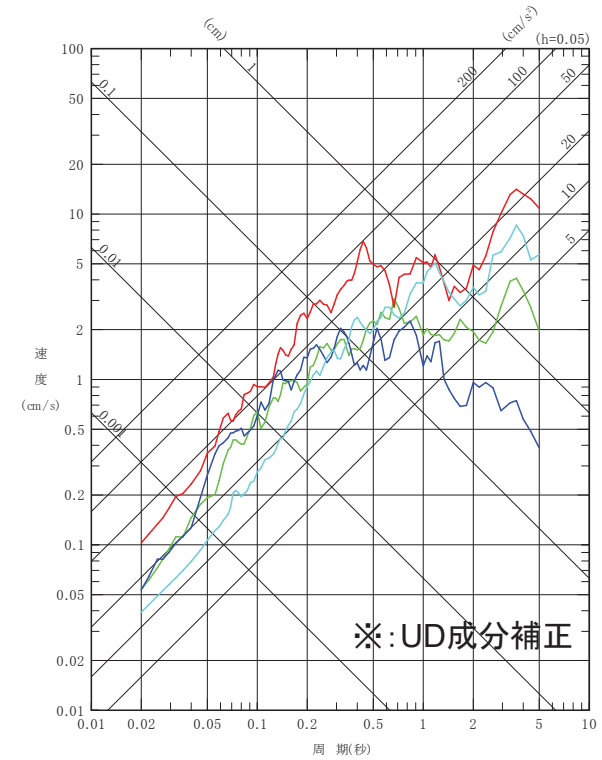
- 1994年北海道東方沖地震
- 1994年三陸はるか沖地震
- 2008年岩手県沿岸北部の地震
- 2011年東北地方太平洋沖地震



NS成分



EW成分



UD成分

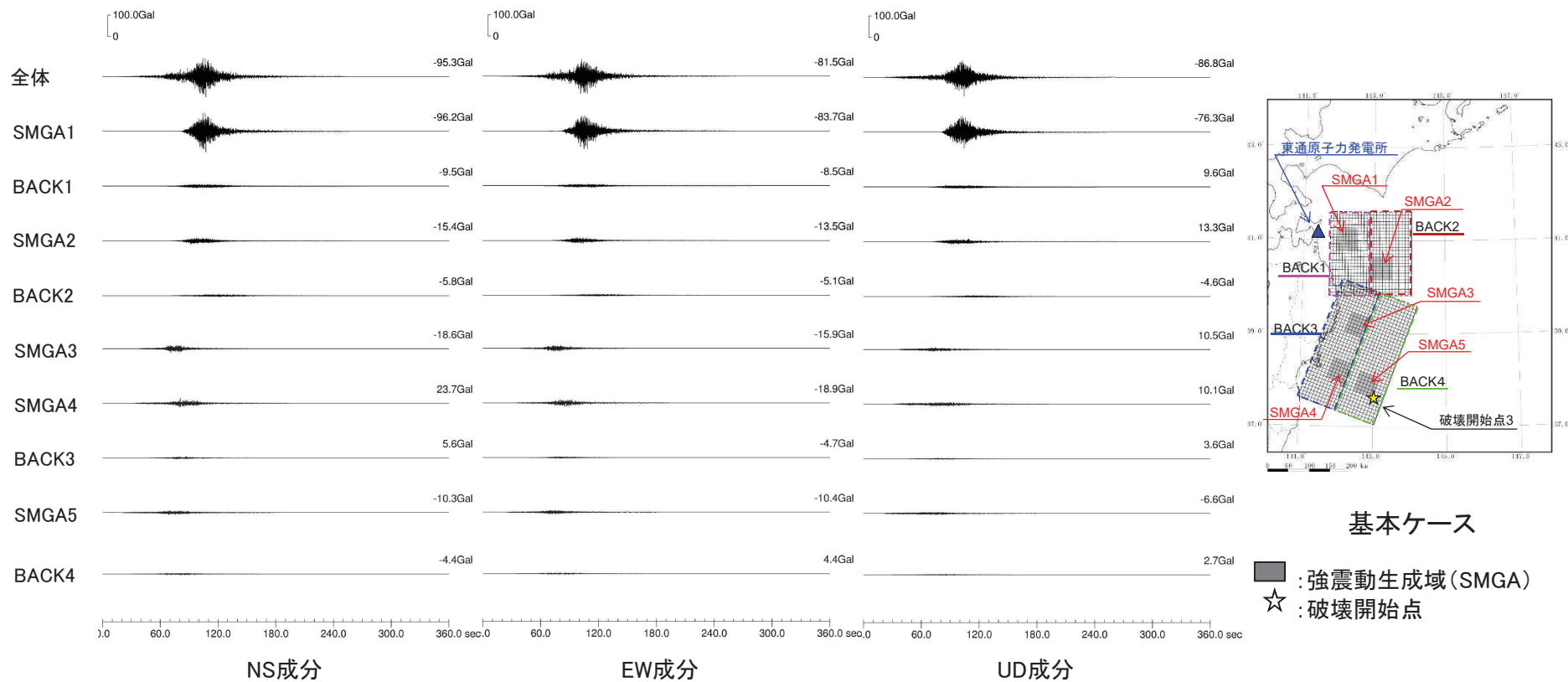
敷地で観測された主な地震の応答スペクトル(PN基準)
〔自由地盤岩盤上部の地震観測点(T.P.+2.0m)〕

3. プレート間地震の地震動評価

- 3. 1 検討用地震の領域ごとの地震動
- 3. 2 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 検討用地震の領域ごとの地震動 (1) 加速度波形

- 検討用地震の地震動評価(基本ケース, 破壊開始点3)について各領域の加速度波形を示す。敷地前面の三陸沖北部のSMGA1の影響が最も大きい。

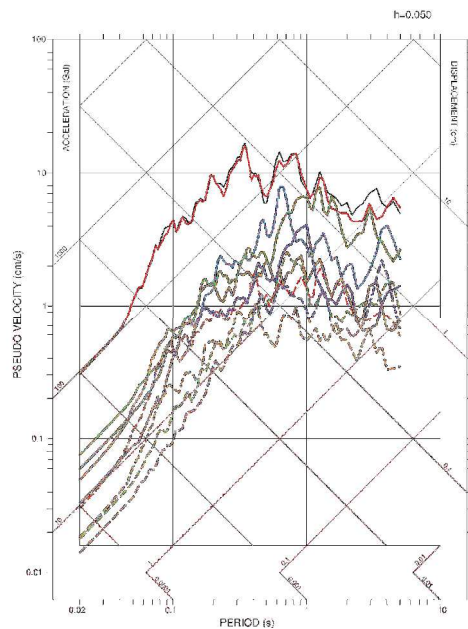
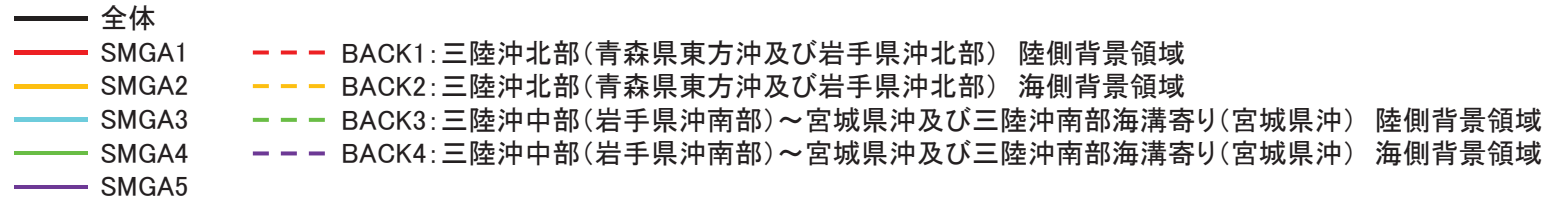


- ※ : BACK1 三陸沖北部(青森県東方沖及び岩手県沖北部) 陸側背景領域
- BACK2 三陸沖北部(青森県東方沖及び岩手県沖北部) 海側背景領域
- BACK3 三陸沖中部(岩手県沖南部)～宮城県沖及び三陸沖南部海溝寄り(宮城県沖) 陸側背景領域
- BACK4 三陸沖中部(岩手県沖南部)～宮城県沖及び三陸沖南部海溝寄り(宮城県沖) 海側背景領域

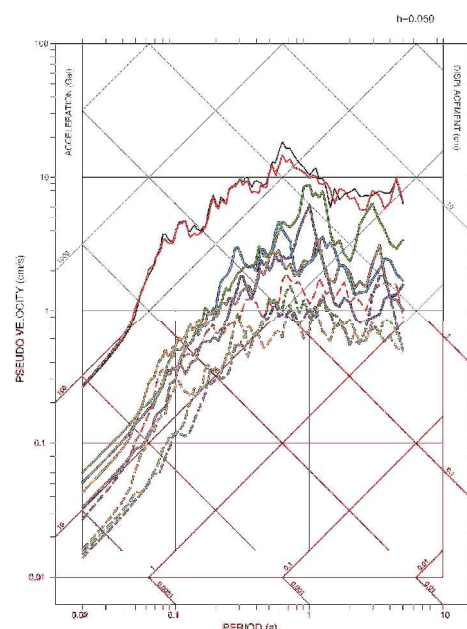
領域ごとの加速度波形(PN基準)

3.1 検討用地震の領域ごとの地震動 (2) 応答スペクトル

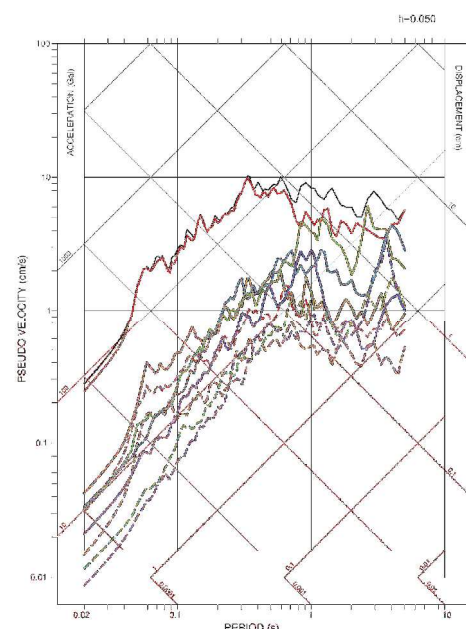
- 検討用地震の地震動評価(基本ケース, 破壊開始点3)について各領域の応答スペクトルを示す。敷地前面の三陸沖北部のSMGA1の影響が最も大きい。



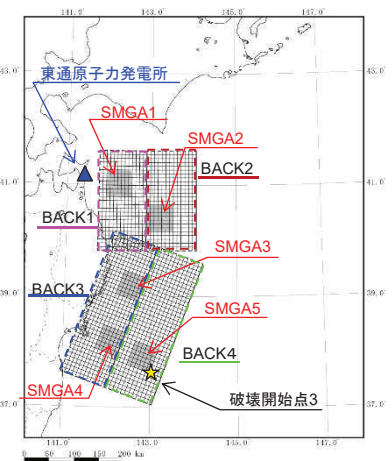
NS成分



EW成分



UD成分



基本ケース

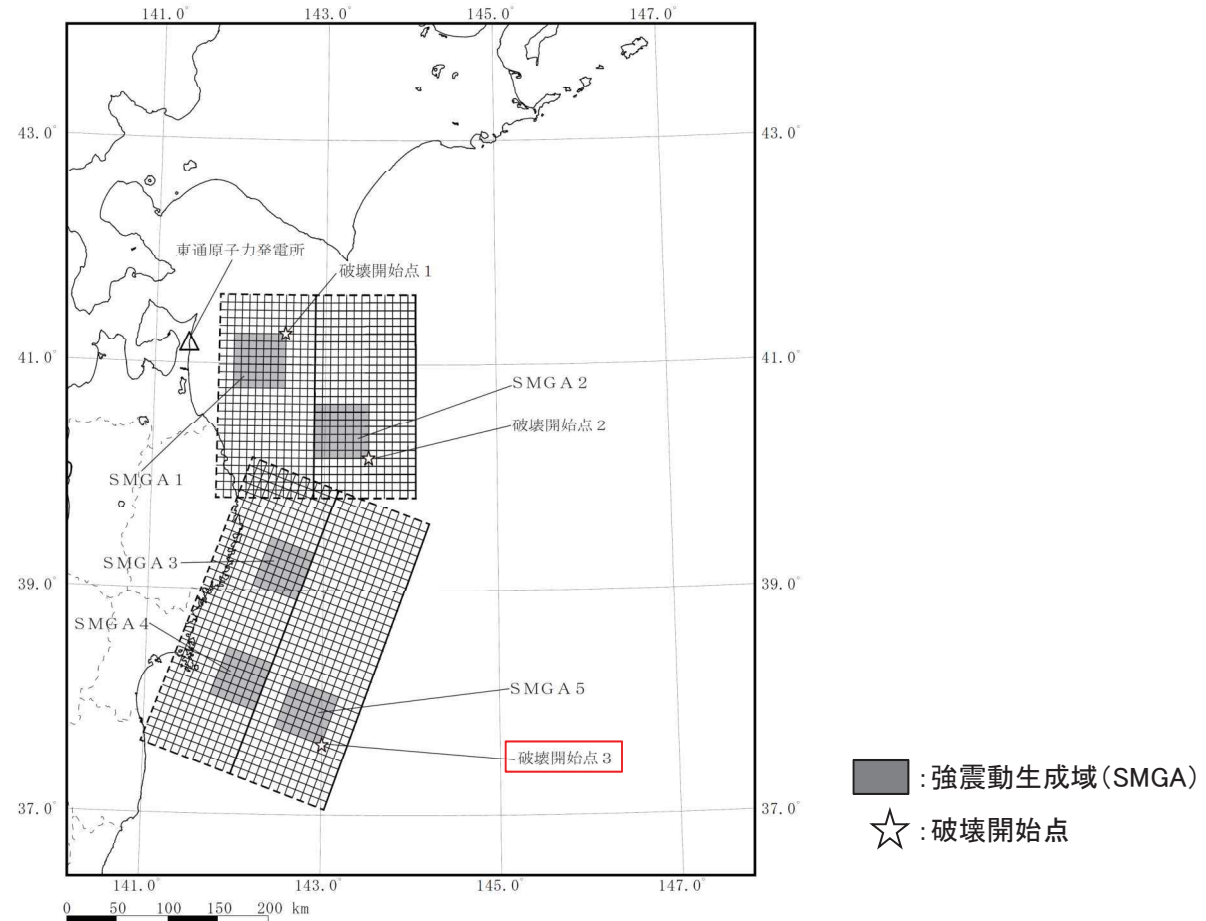
- : 強震動生成域 (SMGA)
☆ : 破壊開始点

領域ごとの応答スペクトル(PN基準)

3. 2 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

- 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(基本ケース, 破壊開始点3)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。



基本ケース

3. 2 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

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}		$\log M_0 = 1.5 M_w + 9.1$	
	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_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. 2 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
	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)
-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	
-2987.8	∞	2.63	3340	5800	150	150	▽地震基盤

【青文字】地震観測点位置を示す。

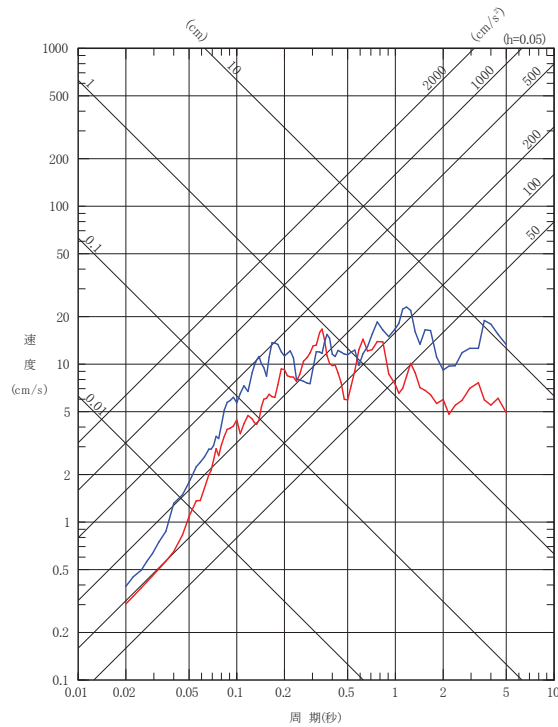
※: 解放基盤表面の地震動評価として採用する観測点はT.P.+2.0m, 地盤のせん断波速度はV_s=1300m/s。

3. 2 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

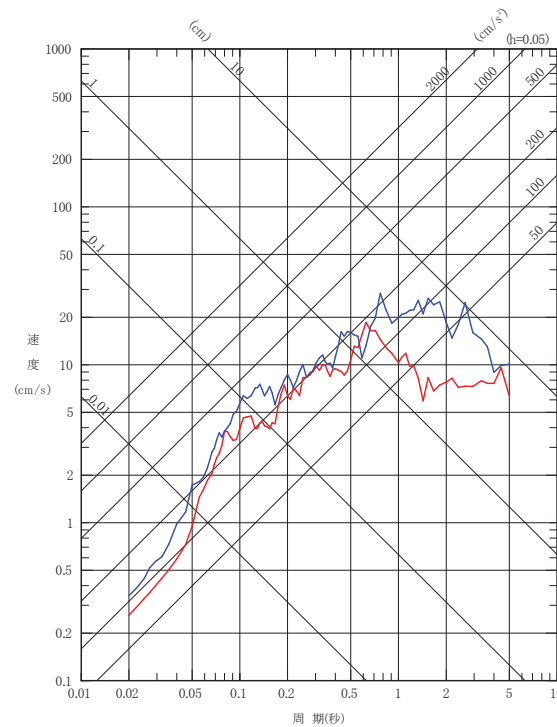
(4) 地震動評価結果

- 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、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スペクトルレベルは20(cm/s)程度と小さい結果になっている。

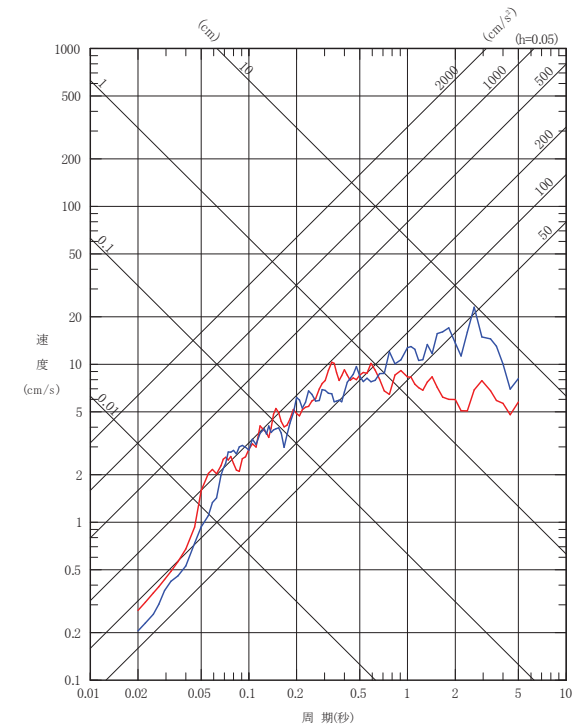
— EGF(基本ケース, 破壊開始点3)
— SGF(基本ケース, 破壊開始点3)



NS成分(PN基準)



EW成分(PN基準)

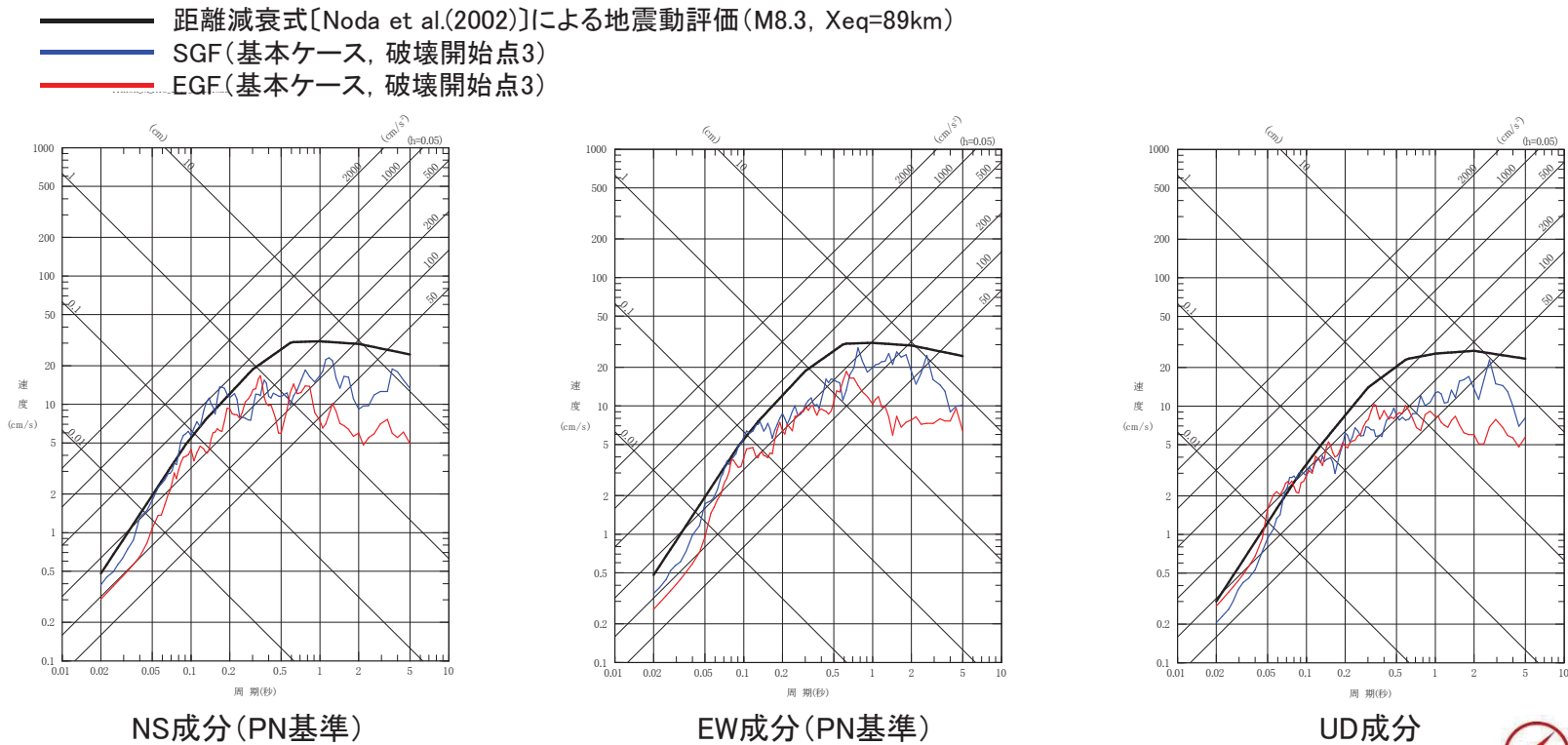


UD成分

3.2 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) 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、武村(1990)により気象庁マグニチュード(M)を算定。
 - 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. 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.
2. 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
3. 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
4. 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
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. 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.
7. 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
8. 武村雅之(1990):日本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
9. 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