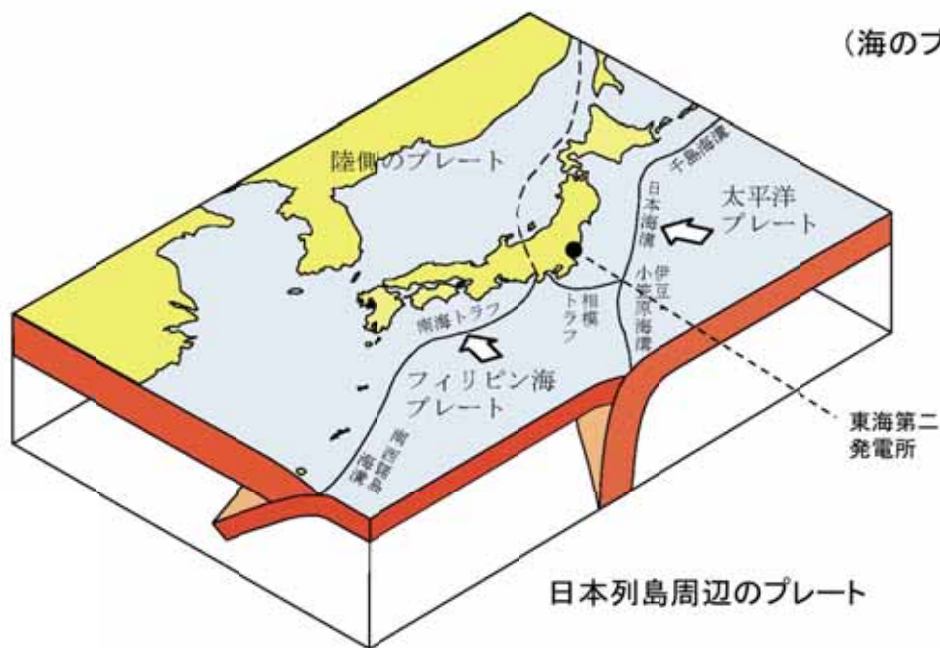
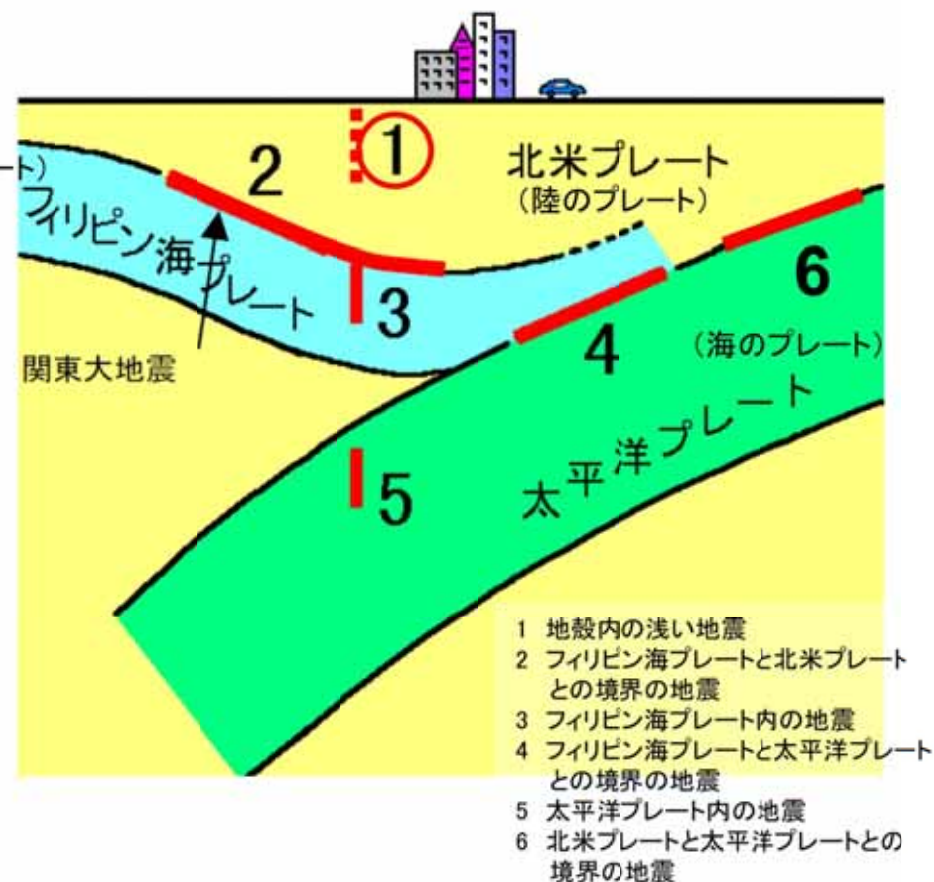


5. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち 内陸地殻内地震について



日本のプレートテクトニクスモデル概念図
(防災科学技術研究所)



南関東地域で発生する地震のタイプ
(中央防災会議に一部加筆)

- 内陸地殻内地震は陸のプレートの内部で発生する地震で、図の1のタイプである。
- プレート間地震は異なるプレートの境界で発生する地震で、図の2, 4, 6のタイプである。
- 海洋プレート内地震は海のプレートの内部で発生する地震で、図の3, 5のタイプである。

■内容

- 検討用地震(敷地に最も大きな影響を与える地震)としてF1断層、北方陸域の断層の連動(長さ44km, M7.6)を選定
- 地震動評価ケース
 - ・基本ケース
 - ・不確かさケース 短周期レベル(基本ケースに対して1.5倍) → 基準地震動Ss-1(788gal)に選定

■ポイント

- アスペリティ位置の妥当性
- 破壊開始点位置の妥当性

震源モデルの見直し

断層長さの見直し: 44km→58km

(「敷地周辺及び近傍の地質・地質構造」で審議)

■反映事項

- 破壊開始点位置を追加(どの評価ケースでも共通に考慮)するとともに、アスペリティ位置の不確かさをケースを追加(青字)
- ・基本ケース
 - ・不確かさケース1 強震動生成域の位置(敷地最短位置に設定)
 - ・不確かさケース2 短周期レベル(基本ケースに対して1.5倍)
 - ・不確かさケース3 傾斜角(基本ケースの60度に対して45度)
 - ・不確かさケース4 **アスペリティ位置(断層端部に配置)**

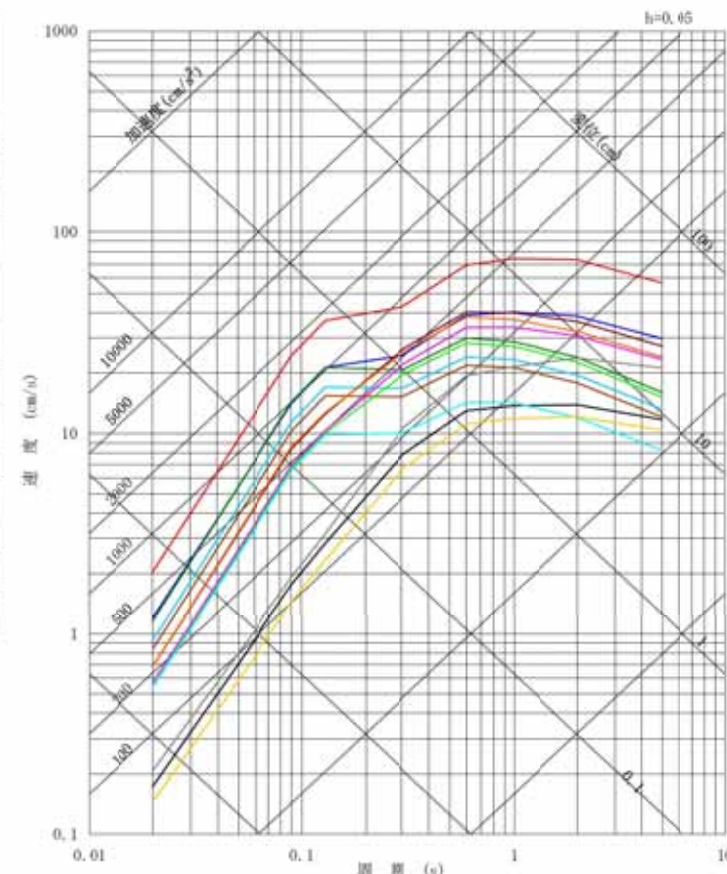
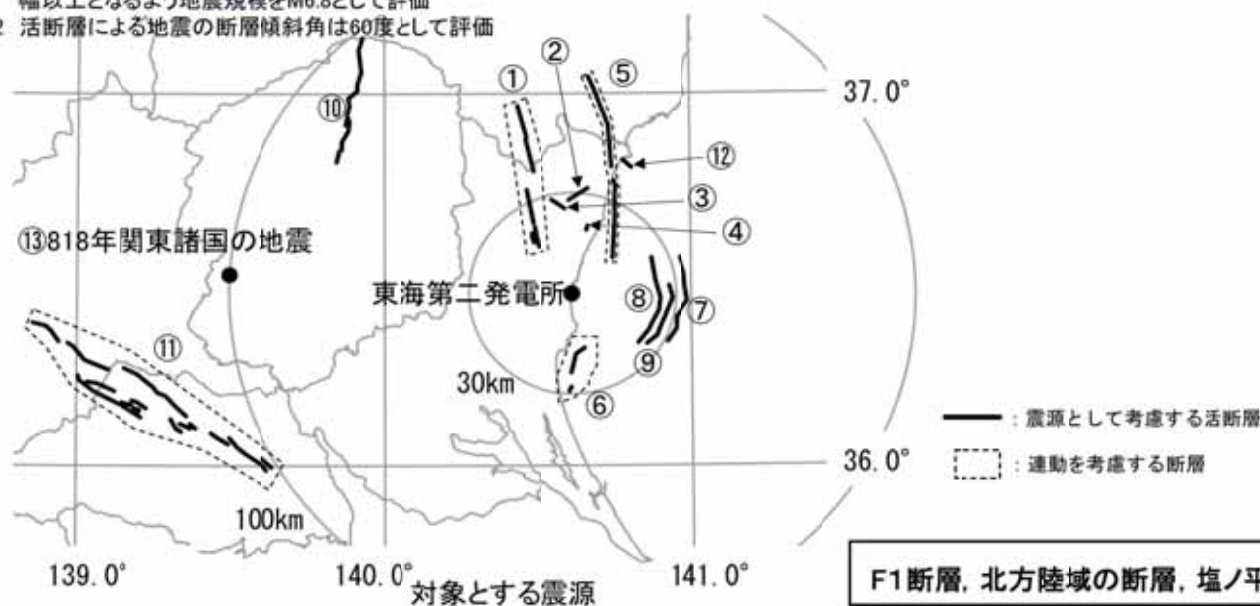
検討用地震の選定

■敷地で震度5程度以上となる活断層及び過去の被害地震を抽出する。

地震名		長さ (km)	地震規模 M	断層上端深さ (km)	等価震源距離 (km) ^{※2}	補正係数
活断層による地震	① 棚倉破砕帯東縁断層, 同西縁断層の連動	42	7.5	3	37	考慮
	② 関口一米平リニアメント	6	6.8 ^{※1}	3	27	考慮
	③ 堅破山リニアメント	4	6.8 ^{※1}	3	25	考慮
	④ 宮田町リニアメント	1	6.8 ^{※1}	3	21	考慮
	⑤ F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動	58	7.8	3	31	考慮
	⑥ F3断層, F4断層の連動	16	6.8	5	22	
	⑦ F8断層	26	7.2	5	26	
	⑧ F16断層	26	7.2	5	30	
	⑨ A-1背斜	20	7.0	5	22	
	⑩ 関谷断層	40	7.5	5	92	
	⑪ 関東平野北西縁断層帯	82	8.0	5	130	
	⑫ F11断層	5	6.8 ^{※1}	3	38	考慮
被害地震	⑬ 818年関東諸国の地震	-	7.5	-	102	

※1 長さの短い断層については、地表で認められる断層長さが震源断層の長さを示さない可能性を踏まえ、震源断層の長さが断層幅以上となるよう地震規模をM6.8として評価

※2 活断層による地震の断層傾斜角は60度として評価



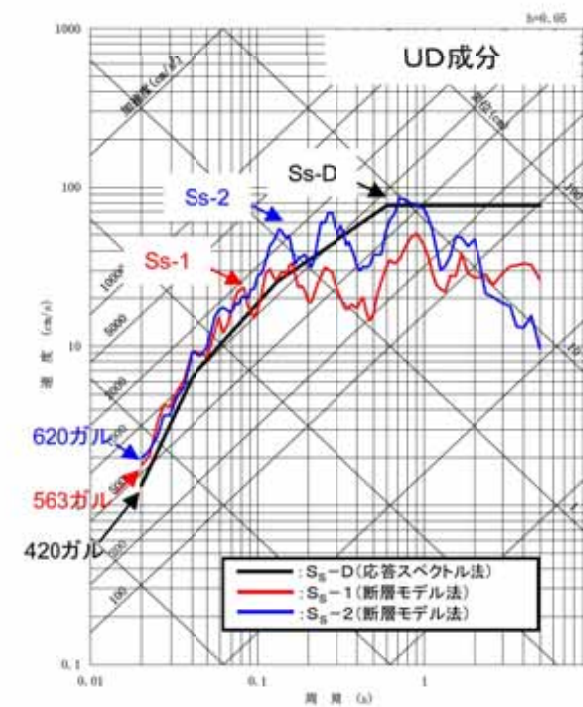
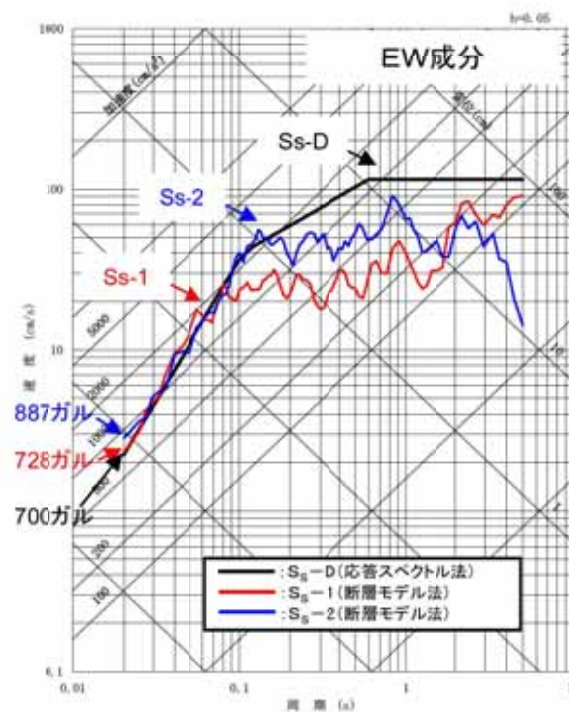
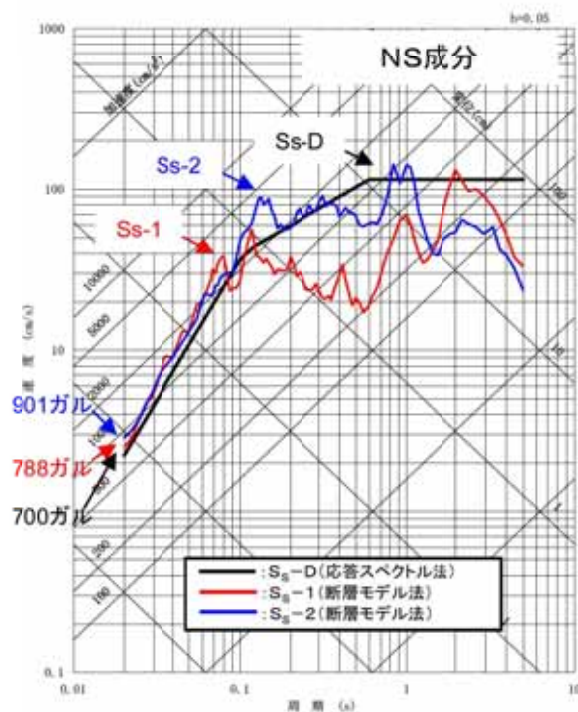
- ①棚倉破砕帯東縁断層, 同西縁断層の連動, M7.5, Xeq=37km
- ②関口一米平リニアメント, M6.8, Xeq=27km
- ③堅破山リニアメント, M6.8, Xeq=25km
- ④宮田町リニアメント, M6.8, Xeq=21km
- ⑤F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動, M7.8, Xeq=31km
- ⑥F3断層, F4断層, M6.8, Xeq=22km
- ⑦F8断層, M7.2, Xeq=26km
- ⑧F16断層, M7.2, Xeq=30km
- ⑨A-1背斜, M7.0, Xeq=22km
- ⑩関谷断層, M7.5, Xeq=92km
- ⑪関東平野北西縁断層帯, M8.0, Xeq=130km
- ⑫F11断層, M6.8, Xeq=38km
- ⑬818年関東諸国の地震, M7.5, Xeq=102km

内陸地殻内地震の地震動の応答スペクトル (Noda et al.(2002)の手法に補正係数を考慮)

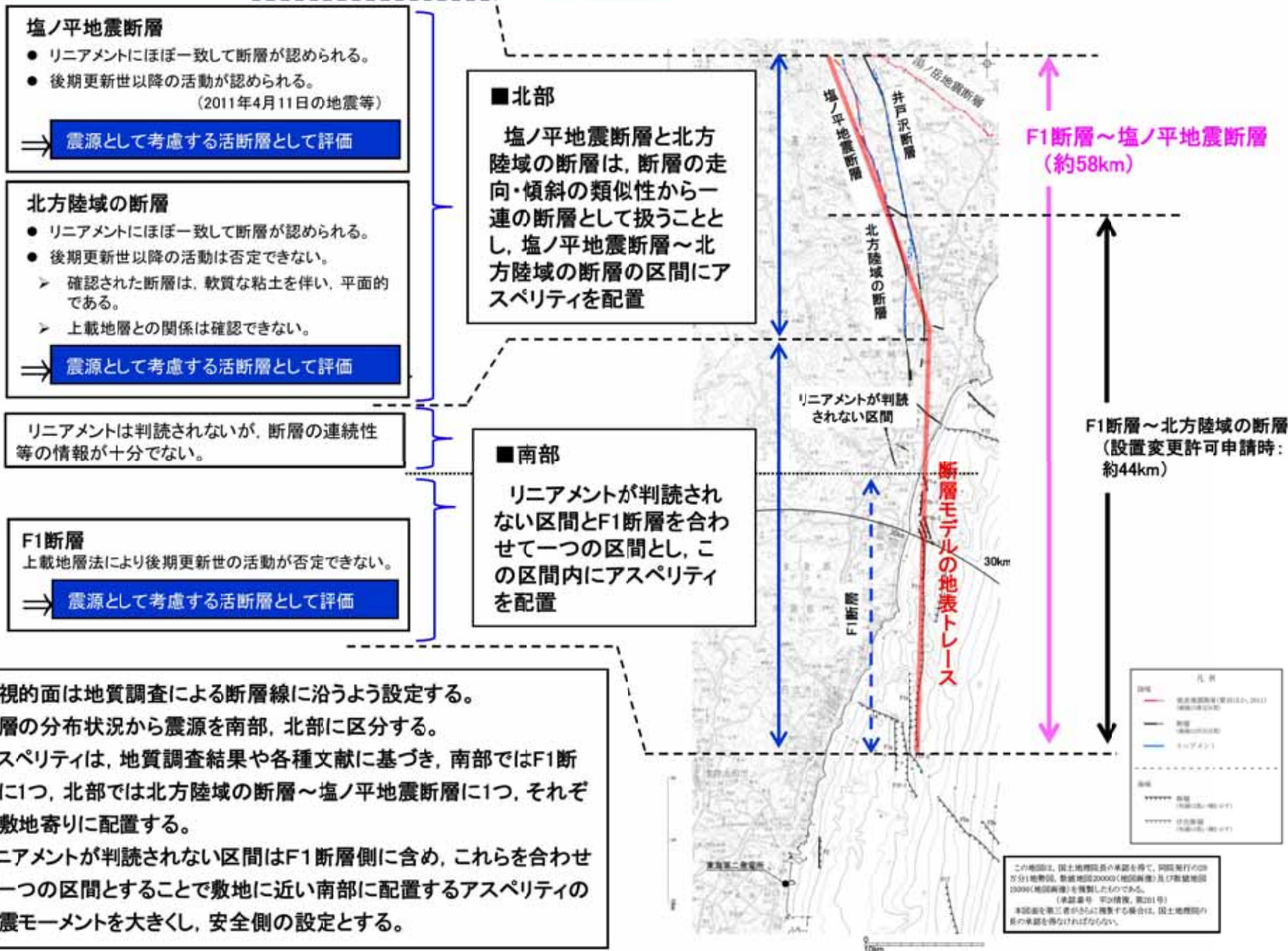
F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震を検討用地震として選定した。

■敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 S_s

地震発生様式	検討用地震	地震規模	応答スペクトルに基づく手法による基準地震動	断層モデルを用いた手法による基準地震動
内陸地殻内地震	F1断層, 北方陸域の断層の連動による地震	M7.6	S_s-D_H (700ガル) S_s-D_V (420ガル)	S_s-1_{NS} (788ガル) S_s-1_{EW} (728ガル) S_s-1_{UD} (563ガル)
プレート間地震	2011年東北地方太平洋沖地震	Mw9.0	(すべての検討用地震を包絡させて設定)	S_s-2_{NS} (901ガル) S_s-2_{EW} (887ガル) S_s-2_{UD} (620ガル)
海洋プレート内地震	茨城県南部の地震	M7.3		他の基準地震動に包絡されるため設定していない。



断層長さの見直しに伴う震源モデルの検討(1/4)



断層長さの見直しに伴う震源モデルの検討(2/4)

■地質調査結果や2011年福島県浜通りの地震から得られる知見を参考に基本震源モデルを設定する。

【断層形状, 断層タイプ】

- 断層長さについては、新規制基準適合性審査第381回会合に基づき、F1断層から塩ノ平地震断層までの同時活動を考慮した約58kmとする。
- 地震動評価におけるセグメント区分については、断層の分布状況から震源を南部と北部に区分する。その際、リニアメントが判読されない区間はF1断層側に含め、これらを合わせて一つの区間とすることで敷地に近い南部区間の地震モーメントを大きくし、安全側の設定とする。
- 地震のタイプについては、2011年福島県浜通りの地震が正断層であることや福島県から茨城県にかけての領域は正断層応力場とする知見(例えば青柳・上田(2012))、さらにF1断層における音波探査結果から正断層センスのずれが認められることを踏まえ正断層とする。
- 断層傾斜角については、F1断層における音波探査結果や2011年福島県浜通りの地震の震源インバージョンモデルでの傾斜角(57~73度)を参考に西傾斜60度とする。
- 断層幅については、断層上端深さを3km, 下端深さを18kmとして断層傾斜角60度を考慮した17.3kmとする。

【アスペリティ位置】

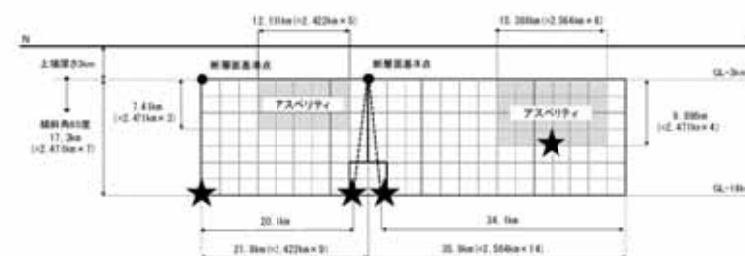
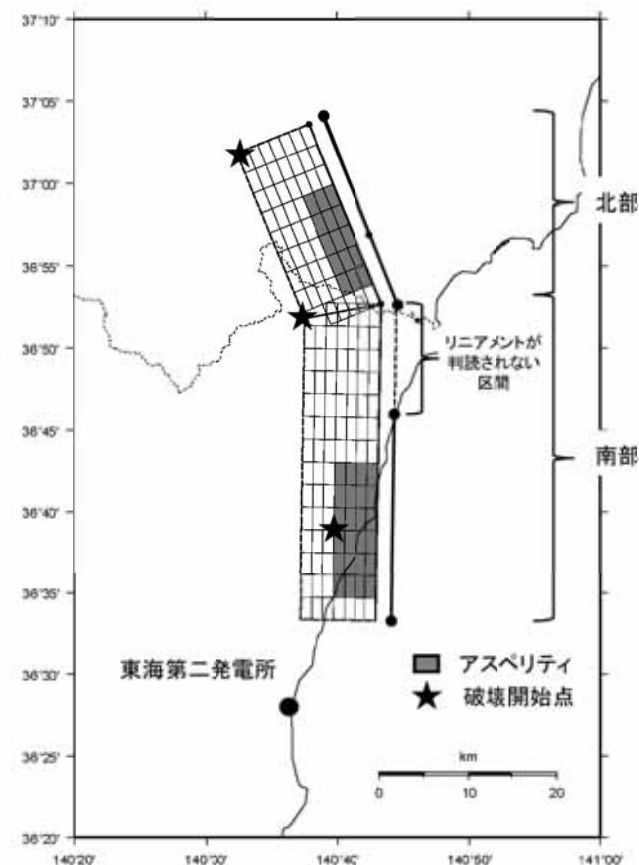
- アスペリティの位置については、地質調査結果に基づき、南部区間のうち調査でわかっているF1断層に1つ、北部では北方陸域の断層~塩ノ平地震断層に1つ、それぞれ敷地に近くなるように配置する。
- 断層長さ方向の配置については、Manighetti et al.(2005)等の知見を踏まえるとアスペリティのように大きなすべりが生じる領域とすべりが無い領域が隣接することは考えにくいことから、断層端部との間に1マス分背景領域を設定する。断層幅方向の配置については、すべりに追従する表層(地表から断層上端までの強震動を出さない層)が存在するので安全側に断層上端にアスペリティを配置する。
- なお、リニアメントが判読されない区間をF1断層側に含め、これらを合わせて一つの区間とすることで、敷地に近い南部に配置するアスペリティの地震モーメントを大きくし、安全側の設定とする。

【破壊開始点位置】

破壊開始点については、強震動予測レシピ、糸井ほか(2009)、平田・佐藤(2007)を踏まえ、アスペリティ下端や断層下端のうち敷地への影響の大きい位置に複数設定する。

【破壊伝播速度Vr】

破壊伝播速度については、強震動予測レシピで用いられているGeller(1976)より、 $V_r=0.72V_s$ とする。ただし、2011年福島県浜通りの地震における破壊伝播速度の各知見と比較の上、妥当性を確認する。



基本震源モデル

■主要なパラメータの設定

下記4個の断層パラメータを与条件として与え、アスペリティの応力降下量 $\Delta\sigma_a$ については、Madariaga(1979)の関係式を用いて算定する。

・断層面積 $S(\text{km}^2)$

断層長さと断層幅より算出

・地震モーメント $M_0(\text{N}\cdot\text{m})$

入倉・三宅(2001)より $M_0 = [S / (4.24 \times 10^{-11})]^{2.0} / 10^7$

・平均応力降下量 $\Delta\sigma$ (MPa), アスペリティ面積比 S_a/S

Boatwright(1988), 壇ほか(2001)からアスペリティ面積を算出すると30%を超えるため、与条件として平均応力降下量をFujii and Matsu'ura(2000)より3.1MPa, アスペリティ面積比をSomerville et al.(1999)より0.22と設定する。

Madariaga(1979)の関係式

$$\Delta\sigma_a = (S / S_a) \cdot \Delta\sigma$$

ここで,

S_a : アスペリティ総面積 (km^2)

$\Delta\sigma_a$: アスペリティの応力降下量(MPa)

$\Delta\sigma$: 平均応力降下量(MPa)

佐藤・堤(2012)では、正断層の地震である2011年福島県浜通りの地震の短周期レベルは、内陸地殻内地震の平均的な値であると推定されている。

断層長さの見直しに伴う震源モデルの検討(4/4)

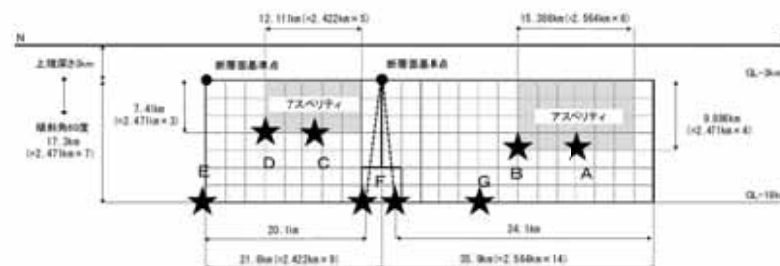
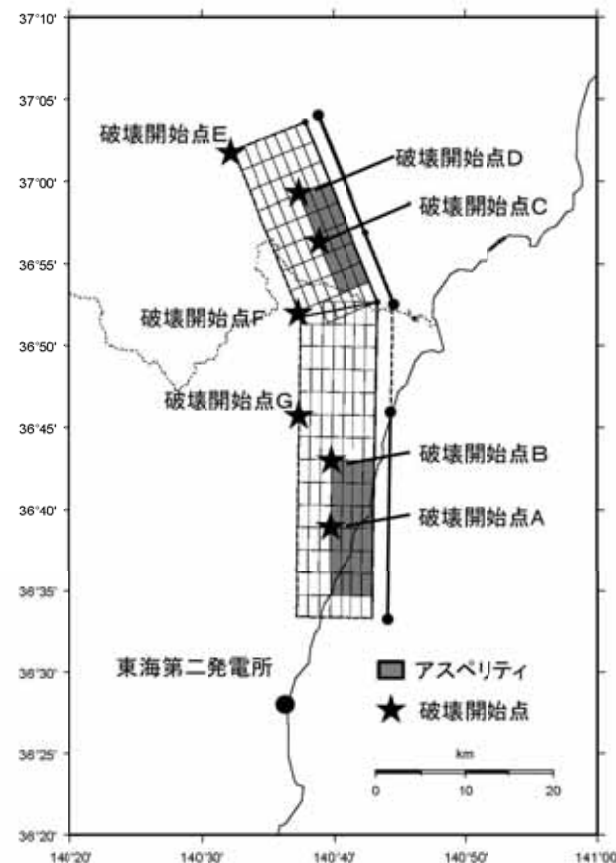


■断層パラメータ(基本震源モデル)

項目	設定値			設定方法	
	全体	北部	南部		
断層上端長さ(km) 断層下端長さ(km)	57.7 54.2	21.8 20.1	35.9 34.1	活断層調査結果による位置を基に設定	
断層傾斜角(度)	60(西傾斜)	60(西傾斜)	60(西傾斜)	活断層調査結果や2011年福島県浜通りの地震の震源インバージョン解析モデルを参考に設定。海上音波探査記録からはF1断層は西側落下の高角な断層であると考えられるものの、傾斜角60度と設定する。	
断層上端深さ(km) 断層下端深さ(km)	3 18	3 18	3 18	断層上端深さは、2011年福島県浜通りの地震の震源域における微小地震分布等の知見を考慮し3kmと設定している。震源モデルの南部では3kmよりも深いと想定されるが、保守的に3kmとする。 断層下端深さは、広域の微小地震分布を考慮し18kmと設定している。震源モデルの北部ではそれよりも浅いと想定されるが、保守的に18kmとする。	
断層幅W(km)	17.3	17.3	17.3	地震発生層と断層傾斜角から設定	
断層面積S(km ²)	967.9	362.4	605.5	断層面より算定	
破壊伝播様式	同心円状	同心円状	同心円状	—	
地震モーメントM ₀ (N・m)	5.21E+19	1.65E+19	3.56E+19	$M_0 = [S / (4.24 \times 10^{-11})]^2 / 10^7$ 全体の地震モーメントを断層面積の1.5乗比で分配	
剛性率(N/m ²)	3.50E+10	3.50E+10	3.50E+10	$\mu = \rho \beta^2$, $\rho = 2.7 \text{g/cm}^3$, $\beta = 3.6 \text{km/s}$ (β は敷地周辺を対象にした地震波速度トモグラフィ、 ρ は地震本部による「全国1次地下構造モデル(暫定版)」を参考に設定)	
平均すべり量D(cm)	153.9	130.1	168.1	$D = M_0 / (\mu S)$	
平均応力降下量 $\Delta \sigma$ (MPa)	3.1	3.1	3.1	Fujii and Matsu'ura(2000)による	
破壊伝播速度Vr(km/s)	2.59	2.59	2.59	$Vr = 0.72 \beta$ (Geller,1976による)	
短周期レベルA(N・m/s ²)(参考)	1.98E+19	—	—	$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	
アスベリテイ	面積S _a (km ²)	212.9	79.7	133.2	$S_a = 0.22S$
	平均すべり量D _a (cm)	307.7	260.1	336.2	$D_a = 2D$
	地震モーメントM _{0a} (N・m)	2.29E+19	7.26E+18	1.57E+19	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
	応力降下量 $\Delta \sigma_a$ (MPa)	14.09	14.09	14.09	$\Delta \sigma_a = \Delta \sigma \times S / S_a$
	短周期レベルA(N・m/s ²)(参考)	1.89E+19	1.16E+19	1.49E+19	$A = 4 \pi r_a \Delta \sigma_a \beta^2$
背景領域	面積S _b (km ²)	755.0	282.7	472.3	$S_b = S - S_a$
	平均すべり量D _b (cm)	110.5	93.4	120.7	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
	地震モーメントM _{0b} (N・m)	2.92E+19	9.24E+18	1.99E+19	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	実効応力 $\Delta \sigma_b$ (MPa)	2.82	2.82	2.82	$\Delta \sigma_b = 0.2 \Delta \sigma_a$

■破壊開始点の設定位置については、下記の方針で検討する。

- ・破壊開始点について、強震動予測レシビ、糸井ほか(2009)、平田・佐藤(2007)を踏まえアスペリティ下端及び断層下端に設定する。
- ・設定に際しては、破壊が敷地に向かう位置に複数設定する。具体的には各アスペリティ下端(中央及び北)と断層下端(中央及び北)に設定する。また、物理的観点から、ひずみの差が生じる可能性のあるF1断層の断層下端にも設定する。
- ・基本震源モデルを対象に、経験的グリーン関数法により評価を実施し、影響の大きい破壊開始点を代表として選定し今後の地震動評価を行う。



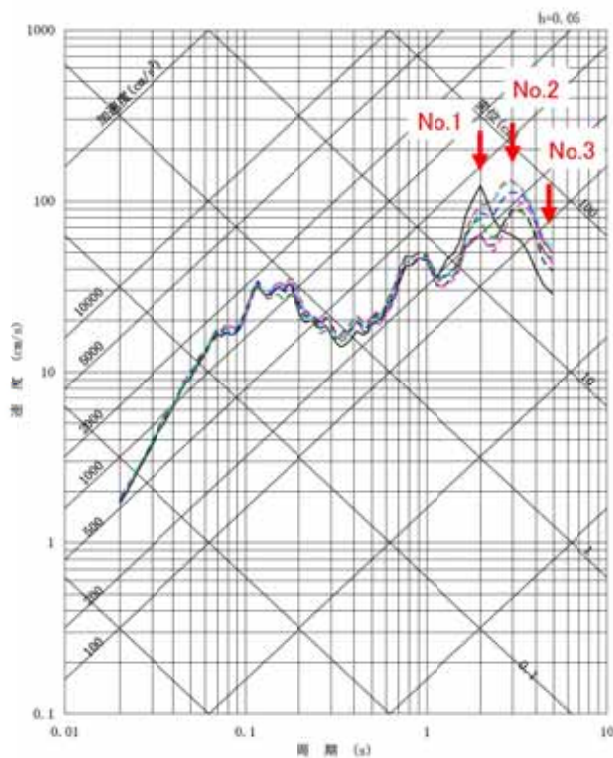
基本震源モデル

破壊開始点の検討(2/2)

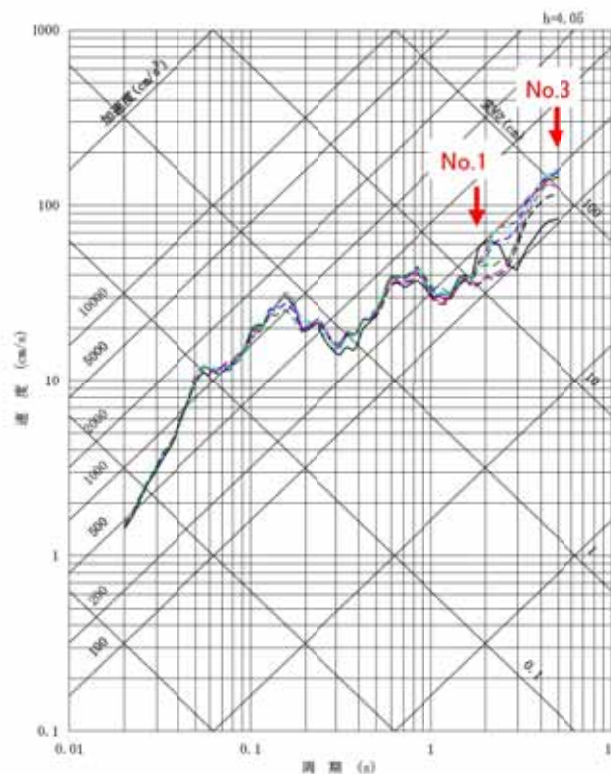


■各破壊開始点による地震動評価結果(平均応答スペクトル)

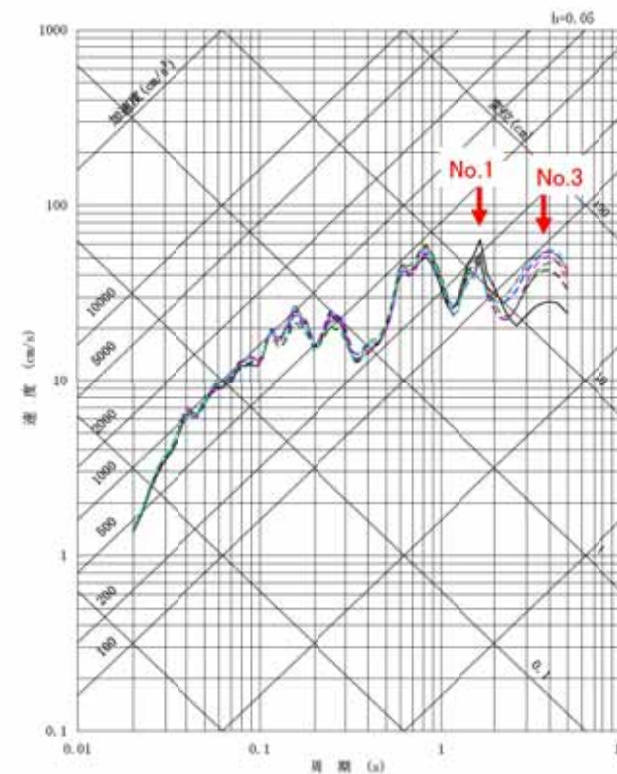
- 破壊開始点A(破壊開始点1)
- - - 破壊開始点B
- - - 破壊開始点C
- - - 破壊開始点D
- - - 破壊開始点E(破壊開始点2)
- - - 破壊開始点F(破壊開始点3)
- - - 破壊開始点G



NS成分



EW成分



UD成分

短周期側においては、各破壊開始点の地震動評価結果は同様の傾向を示している。長周期側においては破壊開始点A, E, Fの影響がやや大きい。断層モデルを用いた手法による地震動評価の破壊開始点は、破壊開始点A, E, F(以降、それぞれ破壊開始点1, 2, 3と表記)で代表させる。

不確かさの考慮について

■ 主要な断層パラメータについて、認識論的不確かさと偶然的不確かさに分類し、敷地での地震動に大きな影響を与えるパラメータを不確かさとして考慮する。


【認識論的不確かさ】：事前の詳細な調査や経験式などにに基づき設定できるもの ⇒ それぞれ独立させて考慮する。

【偶然的不確かさ】：事前の詳細な調査や経験式からは設定が困難なもの ⇒ 重畳させて考慮する。


評価ケース	認識論的不確かさ					偶然的不確かさ
	断層上端 深さ※1	断層下端 深さ※2	断層 傾斜角	短周期レベル	アスペリティ位置	破壊開始点
基本震源モデル	3km	18km	60度 (西傾斜)	強震動予測レシビの 平均	敷地に近い位置に配置	複数設定
短周期レベルの 不確かさ	3km	18km	60度 (西傾斜)	強震動予測レシビの 1.5倍	敷地に近い位置に配置	複数設定
断層傾斜角の 不確かさ	3km	18km	45度 (西傾斜)	強震動予測レシビの 平均	敷地に近い位置に配置	複数設定
● アスペリティ位置 の不確かさ	3km	18km	60度 (西傾斜)	強震動予測レシビの 平均	断層端部に配置	複数設定

※1 2011年福島県浜通りの地震の震源域以外では断層上端深さは3kmよりも深いことが推定されるが、震源モデルの全域にわたり保守的に3kmに設定した。

※2 2011年福島県浜通りの地震の震源域では断層下端深さは浅いことが推定されるが、震源モデルの全域にわたり保守的に18kmに設定した。

 不確かさを考慮して設定するパラメータ

● : コメントNo.2を踏まえ、追加したケース

 基本震源モデルの段階で予め不確かさを考慮して設定するパラメータ

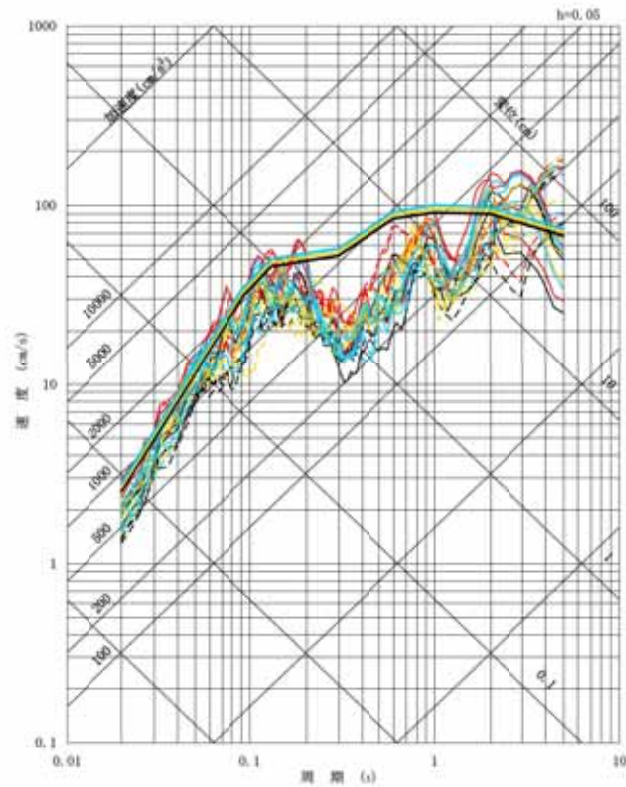
■ 応答スペクトル手法と断層モデル手法の各評価結果

【応答スペクトル手法】

- 基本震源モデル
- 断層傾斜角の不確かさ
- アスペリティ位置の不確かさ

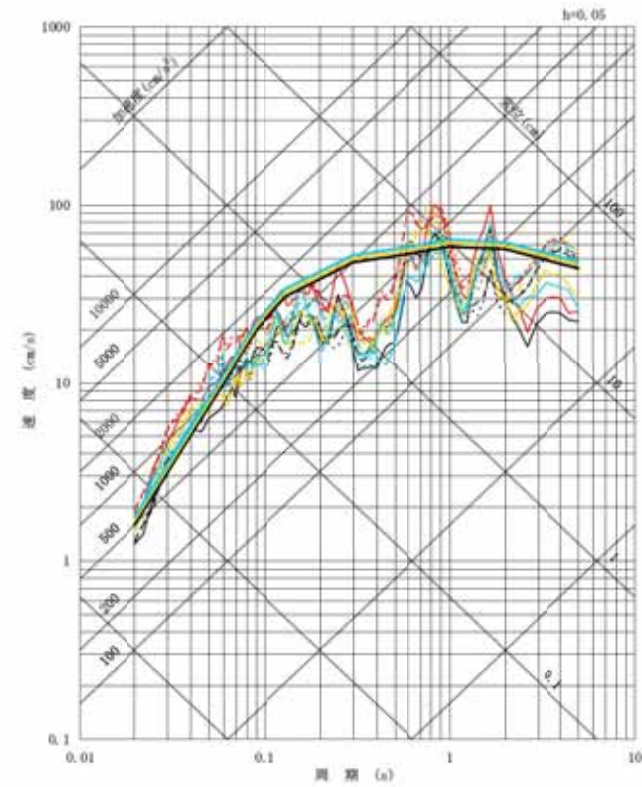
【断層モデル手法】

- 基本震源モデル(破壊開始点1~3)
- 短周期レベルの不確かさ(破壊開始点1~3)
- 断層傾斜角の不確かさ(破壊開始点1~3)
- アスペリティ位置の不確かさ(破壊開始点1~3)



実線: NS成分
破線: EW成分

水平成分

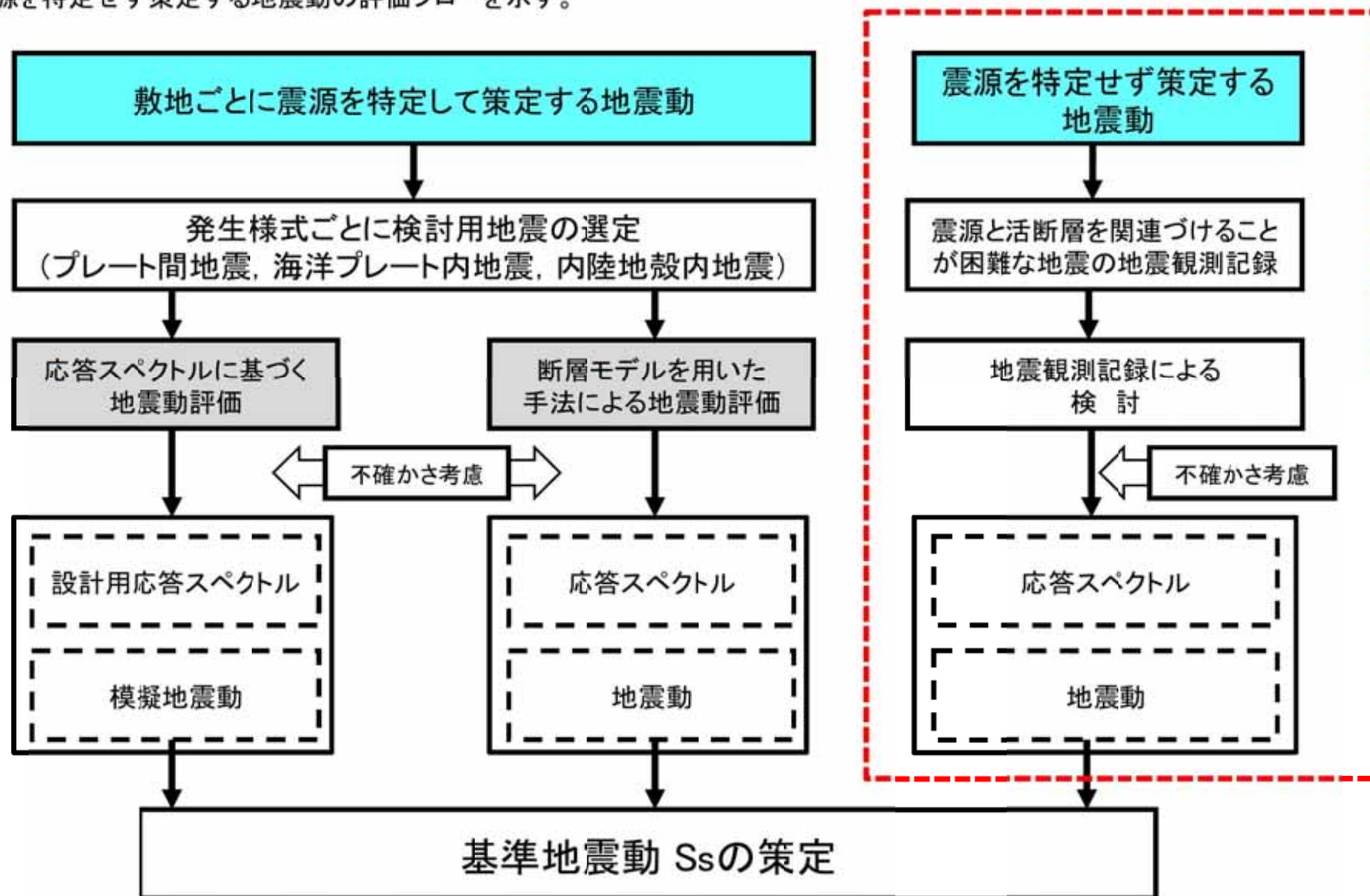


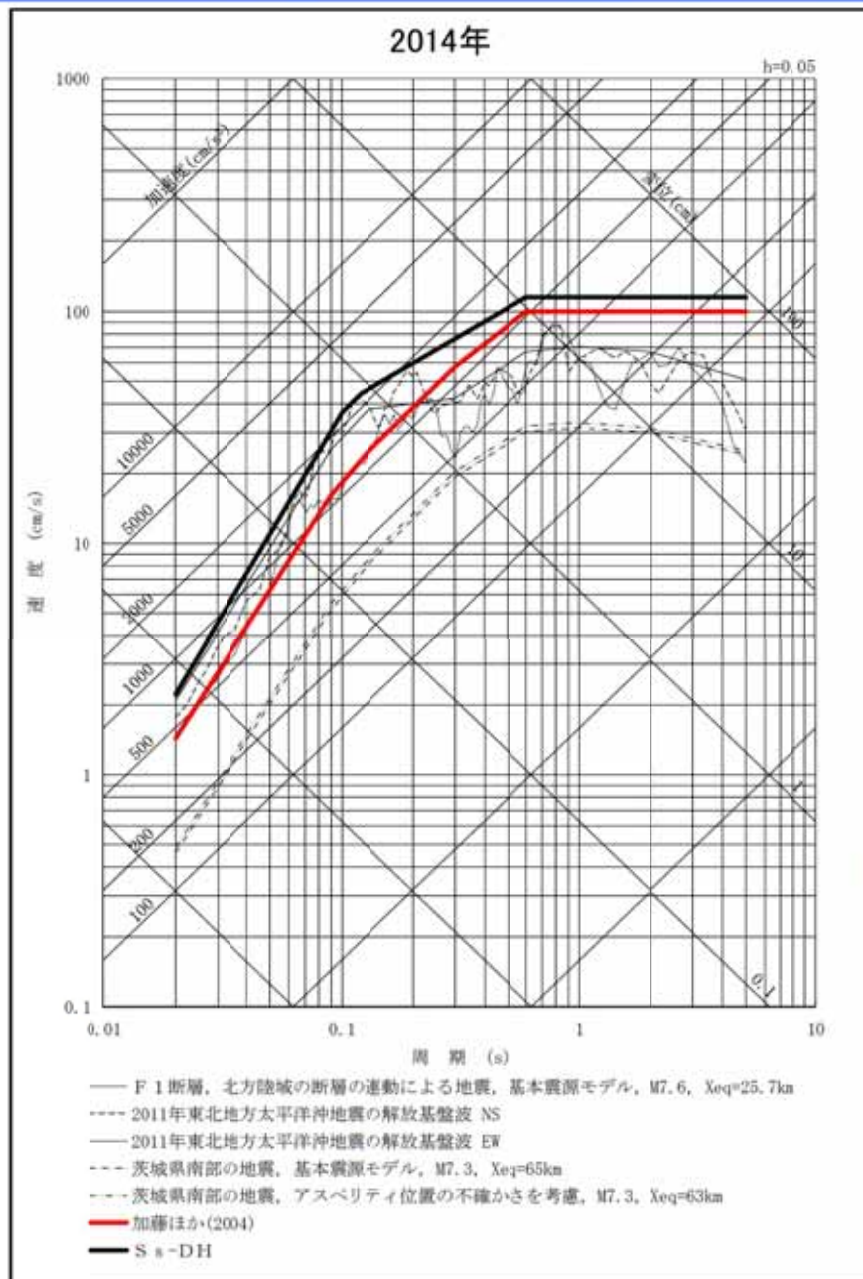
鉛直成分

6. 震源を特定せず策定する地震動

■「震源を特定せず策定する地震動」は、敷地周辺の状況等を十分考慮した詳細な調査を実施しても、なお敷地近傍において発生する可能性のある内陸地殻内の地震の全てを事前に評価しうるとは言い切れないことから、震源と活断層を関連づけることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍の観測記録を収集し、それらが敷地直下で発生したと仮定して評価を行う。

■震源を特定せず策定する地震動の評価フローを示す。





収集対象となる内陸地殻内の地震の例

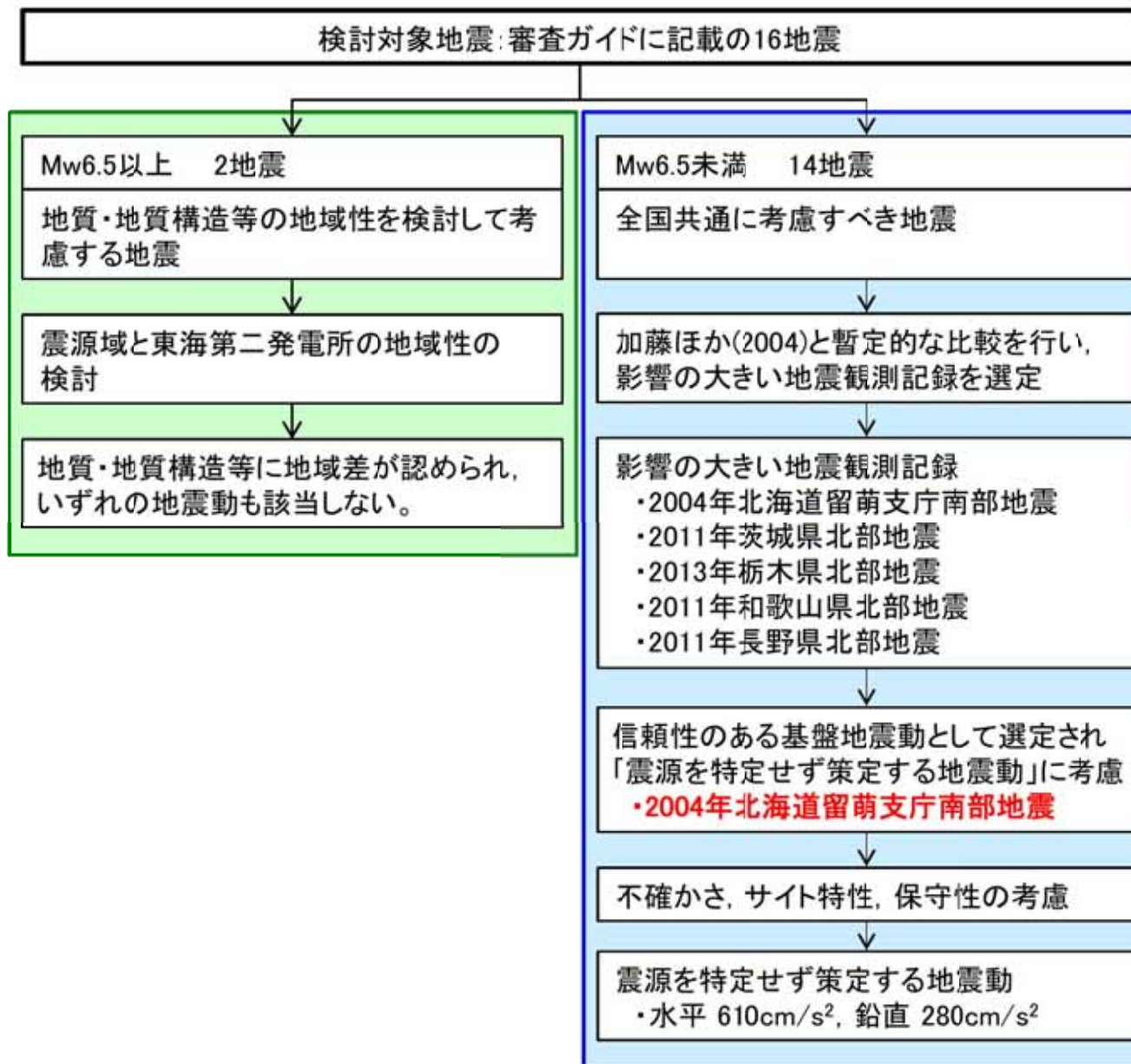
No	地震名	日時	規模
1	2008年岩手・宮城内陸地震	2008/06/14, 08:43	Mw6.9
2	2000年鳥取県西部地震	2000/10/06, 13:30	Mw6.6
3	2011年長野県北部地震	2011/03/12, 03:59	Mw6.2
4	1997年3月鹿児島県北西部地震	1997/03/26, 17:31	Mw6.1
5	2003年宮城県北部地震	2003/07/26, 07:13	Mw6.1
6	1996年宮城県北部(鬼首)地震	1996/08/11, 03:12	Mw6.0
7	1997年5月鹿児島県北西部地震	1997/05/13, 14:38	Mw6.0
8	1998年岩手県内陸北部地震	1998/09/03, 16:58	Mw5.9
9	2011年静岡県東部地震	2011/03/15, 22:31	Mw5.9
10	1997年山口県北部地震	1997/06/25, 18:50	Mw5.8
11	2011年茨城県北部地震	2011/03/19, 18:56	Mw5.8
12	2013年栃木県北部地震	2013/02/25, 16:23	Mw5.8
13	2004北海道留萌支庁南部地震	2004/12/14, 14:56	Mw5.7
14	2005年福岡県西方沖地震の最大余震	2005/04/20, 05:11	Mw5.4
15	2012年茨城県北部地震	2012/03/10, 02:25	Mw5.2
16	2011年和歌山県北部地震	2011/07/05, 19:18	Mw5.0

原子力規制委員会(2013)

地震動の評価

- 加藤ほか(2004)による応答スペクトル*
- 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動

*:設置変更許可申請時から変更無し



収集対象となる内陸地殻内の地震の例

No	地震名	日時	規模
1	2008年岩手・宮城内陸地震	2008/06/14 08:43	Mw6.9
2	2000年鳥取県西部地震	2000/10/06 13:30	Mw6.6
3	2011年長野県北部地震	2011/03/12 03:59	Mw6.2
4	1997年3月鹿児島県北西部地震	1997/03/26 17:31	Mw6.1
5	2002年宮城県北部地震	2002/07/26 07:13	Mw6.1
6	1996年宮城県北部(鬼首)地震	1996/08/11 03:12	Mw6.0
7	1997年5月鹿児島県北西部地震	1997/05/13 14:38	Mw6.0
8	1998年岩手県内陸北部地震	1998/09/03 16:58	Mw5.9
9	2011年静岡県東部地震	2011/03/15 22:31	Mw5.9
10	1997年山口県北部地震	1997/06/25 18:50	Mw5.8
11	2011年茨城県北部地震	2011/03/19 18:56	Mw5.8
12	2013年栃木県北部地震	2013/02/25 16:23	Mw5.8
13	2004年北海道留萌支庁南部地震	2004/12/14 14:56	Mw5.7
14	2005年福岡県西方沖地震の最大余震	2005/04/20 06:11	Mw5.4
15	2012年茨城県北部地震	2012/03/10 02:25	Mw5.2
16	2011年和歌山県北部地震	2011/07/05 19:18	Mw5.0

原子力規制委員会(2013)「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」より抜粋

【凡例】○類似性あり, △:類似性低い～一部あり, ×:類似性なし

項目	比較結果	2008年岩手・宮城内陸地震震源域	東海第二発電所
地質	△	・ 震源域近傍には、主に中新統から鮮新統の堆積岩・火山岩等、第四系の火山岩類が分布する。	・ 敷地近傍には、中新統の堆積岩、鮮新統の堆積岩、更新統の段丘堆積物等、完新統の沖積層及び砂丘砂層が分布する。
地質構造	×	・ 震源域近傍には、中新世以降に形成された褶曲構造が認められる。 ・ カルデラが密集することから、地質構造が複雑である。	・ 敷地近傍に広く分布する鮮新統(久米層)及びこれを不整合に覆う上部更新統はほぼ水平に分布している。 ・ 敷地近傍にカルデラは分布しない。
変動地形等	×	・ 下記の観点より、震源域近傍は変動地形等の検出が難しい地域である。 - 震源域は山間部に位置し、近傍に河成段丘が一部分布するのみであり、指標となる地形が少ない。 - 大規模地すべりを含めた地すべりが密集している。 ・ 田力ほか(2009)によると、爪木立付近には短いながら明瞭な断層変位地形があり、低位段丘礫層堆積期以降に複数回、比較的活発な活動を繰り返していることが明らかとなった。	・ 下記の観点より、敷地近傍は変動地形等が検出しやすい地域である。 - 陸域には後期更新世以降に形成された段丘面が広く分布している。 - 地すべりが認められない。 - 海域には堆積層からなる鮮新統及び下部更新統が水平に広く分布している。 ・ 変動地形学的調査の結果、敷地近傍陸域に変動地形は認められない。
火山	×	・ 火山フロントに近接する。	・ 火山フロントの遠方に位置する。
地震地体構造	×	・ 東北日本弧内帯(8C)	・ 東北日本弧外帯(8B)
応力場	×	・ 防災科学技術研究所(2013)において、ひずみ集中帯と指摘されている。 ・ 東西圧縮の逆断層型が卓越	・ ひずみ集中帯と指摘している文献はない。 ・ 敷地周辺の茨城県北部では南西-北東引張の正断層型が卓越

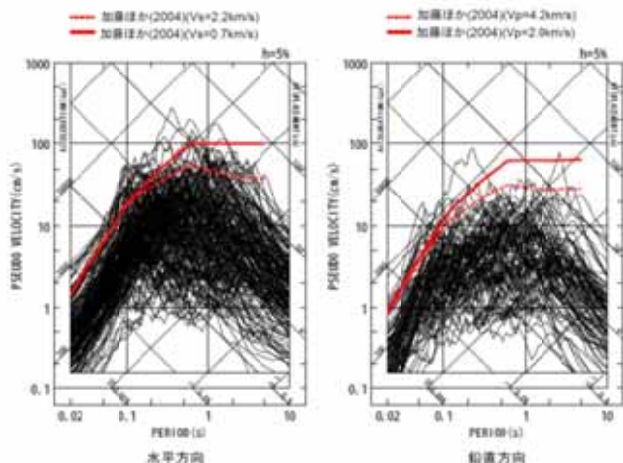
● 2008年岩手・宮城内陸地震の震源域と東海第二発電所における地質・地質構造等を整理した結果、地域の特徴が異なっていることから、当該地震の観測記録は収集対象外とする。

【凡例】○類似性あり, △:類似性低い～一部あり, ×:類似性なし

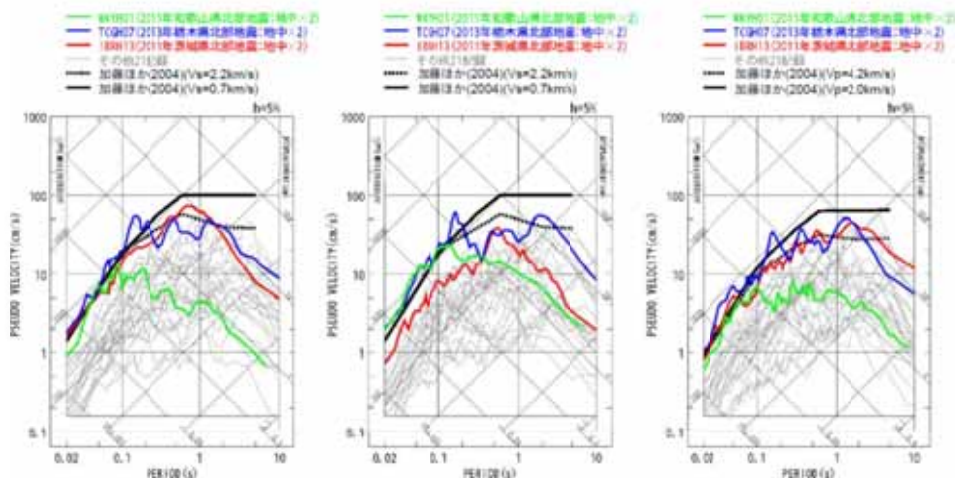
項目	比較結果	2000年鳥取県西部地震震源域	東海第二発電所
地質	×	・ 震源域近傍には、主に白亜系～古第三系の花崗岩及び中新統の安山岩～玄武岩の岩脈が分布する。	・ 敷地近傍には、中新統の堆積岩、鮮新統の堆積岩、更新統の段丘堆積物等、完新統の沖積層及び砂丘砂層が分布する。
地質構造	×	・ 第四紀中期以降に新たに断層面を形成して、断層が発達しつつあり、活断層の発達過程としては初期ないし未成熟な段階にある。	・ 敷地近傍に広く分布する鮮新統(久米層)及びこれを不整合に覆う上部更新統はほぼ水平に分布している。
変動地形等	×	<ul style="list-style-type: none"> ・ 下記の観点より、震源域近傍は変動地形等の検出が難しい地域である。 - 岡田(2002)によると、震源域近傍の活断層の特徴として、第四紀中期以降に新たな断層面を形成して断層が発達しつつあり、活断層の発達過程としては初期ないし未成熟な段階にある。 ・ 震源域に震源断層の方向とほぼ一致する短く断続するリニアメント群が判読されるとともにリニアメント沿いで水平に近い条線をもつ断層露頭が多く確認され、これらの断層は横ずれ断層に伴うフラワー構造を呈して地下では1本の断層に収斂すると推測されている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 下記の観点より、敷地近傍は変動地形等が検出しやすい地域である。 - 陸域には後期更新世以降に形成された段丘面が広く分布している。 - 地すべりが認められない。 - 海域には堆積層からなる鮮新統及び下部更新統が水平に広く分布している。 ・ 変動地形学的調査の結果、敷地近傍陸域に変動地形は認められない。
火山	×	・ 火山フロントに近接する。	・ 火山フロントの遠方に位置する。
地震地体構造	×	・ 中国山地・瀬戸内海(10C5)	・ 東北日本弧外帯(3B)
応力場	×	<ul style="list-style-type: none"> ・ 西村(2014)において、ひずみ集中帯と指摘されている。 ・ 東西圧縮の横ずれ断層型が卓越 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ひずみ集中帯と指摘している文献はない。 ・ 敷地周辺の茨城県北部では南西-北東引張の正断層型が卓越

● 2000年鳥取県西部地震の震源域と東海第二発電所における地質・地質構造等を整理した結果、地域の特徴が異なっていることから、当該地震の観測記録は収集対象外とする。

観測記録の選定例



14地震の観測記録(地表)の応答スペクトル



14地震の観測記録(地中×2)の応答スペクトル

選定結果

●KiK-net観測点における基盤地震動が、加藤ほか(2004)の応答スペクトルを上回ると想定される3記録(下表の②~④)、及びK-NET観測点の観測記録で、特に影響の大きいと思われる2記録(下表①、⑤)を観測した5地震を検討対象地震として選定し、以降で詳細に検討する。

Mw6.5未満の検討対象地震

No.	地震名 (発震日時)	観測点
①	2004年北海道留萌支庁南部地震 Mw5.7(2004/12/14, 14:56)	HKD020 (港町)
②	2011年茨城県北部地震 Mw5.8(2011/3/19, 18:56)	IBRH13 (高萩)
③	2013年栃木県北部地震 Mw5.8(2013/2/25, 16:23)	TCGH07 (栗山西)
④	2011年和歌山県北部地震 Mw5.0(2011/7/5, 19:18)	WKYH01 (広川)
⑤	2011年長野県北部地震 Mw6.2(2011/3/12, 3:59)	NIG023 (津南)



●以下に、Mw6.5未満の地震のうち、影響の大きいと考えられる5記録について整理した結果を示す。

	2004年 北海道留萌支庁南部地震	2011年 茨城県北部地震	2013年 栃木県北部地震	2011年 和歌山県北部地震	2011年 長野県北部地震	
地盤モデル	使用モデル	・佐藤ほか(2013)のボーリング結果に基づく地盤モデル	・KiK-net観測記録に基づく地盤同定モデル	・KiK-net観測記録に基づく地盤同定モデル	・KiK-net観測記録に基づく地盤同定モデル	・地盤情報が少なく、地盤モデルを構築できない
	既往の知見との整合性	・微動探査による地盤データと整合 ・知見で指摘されている非線形性を考慮	・観測記録の伝達関数及びKiK-net地盤データと整合しない。 ・知見で指摘されている減衰の影響が不明	・KiK-net地盤データと整合しない ・知見で指摘されている減衰、方位依存性の影響が不明	・KiK-net地盤データと整合しない ・知見で指摘されている減衰の影響が不明	・地盤モデルに関する既往の知見がない
		○	×	×	×	×
更なる知見収集・検討事項	—	・地盤モデルの改良 ・知見で指摘されている特性に係るデータの取得と影響度合いの評価	・地盤モデルの改良 ・知見で指摘されている特性に係るデータの取得と影響度合いの評価	・地盤モデルの改良 ・知見で指摘されている特性に係るデータの取得と影響度合いの評価	・地質調査、微動探査等による地盤情報の取得	
はざとり解析	解析手法	・非線形性を考慮した等価線形解析	・線形解析	・線形解析	・線形解析	・地盤モデルが構築できないため、解析できない
	精度	・観測記録と整合	・はざとり解析の適用性が不明	・はざとり解析の適用性が不明	・はざとり解析の適用性が不明	・はざとり解析の適用性が不明
		○	×	×	×	×
更なる知見収集・検討事項	—	・地表及び地中観測記録の再現解析	・地表及び地中観測記録の再現解析	・地表及び地中観測記録の再現解析	・地表観測記録の再現解析	
結果の信頼性	○	×	×	×	×	



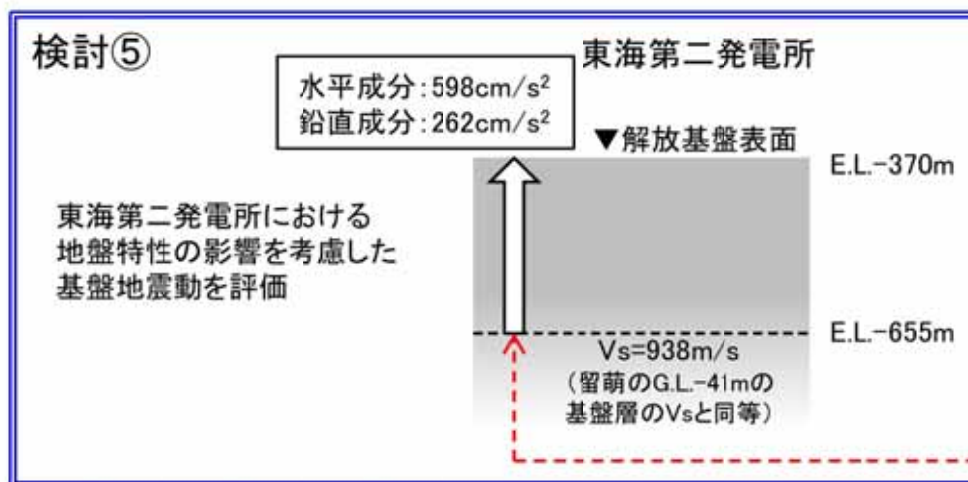
2004年留萌支庁南部地震のHKD020(港町)の観測記録については、信頼性のある基盤地震動が評価できたと考えられることから、震源を特定せず策定する地震動として考慮する。

2004年北海道留萌支庁南部地震として考慮する地震動の策定



- 2004年北海道留萌支庁南部地震のK-NET HKD020(港町)観測点における基盤地震動はS波速度938m/sの基盤層において評価されているため、東海第二発電所の地盤モデルにより地盤特性の影響を考慮した解放基盤表面における地震動を評価する。

	佐藤ほか(2013)		検討①	検討②	検討③	検討④
	水平成分	鉛直成分	水平成分	水平成分	鉛直成分	鉛直成分
G.L. 0m ~ G.L.-6m	室内試験結果を考慮した等価線形解析	体積弾性率一定と仮定した線形解析	室内試験結果を考慮した等価線形解析	室内試験結果を考慮した等価線形解析	表層部のPS検層を再実施し、地盤モデルに反映	地下水位の状況を踏まえポアソン比一定とした線形解析
G.L.-6m ~ G.L.-41m	減衰定数を一律1%とした線形解析			減衰定数を一律3%とした線形解析		
最大加速度	585 cm/s ²	—	561 cm/s ²	609 cm/s ²	—	—
	—	296 cm/s ²	—	+	306 cm/s ²	262 cm/s ²

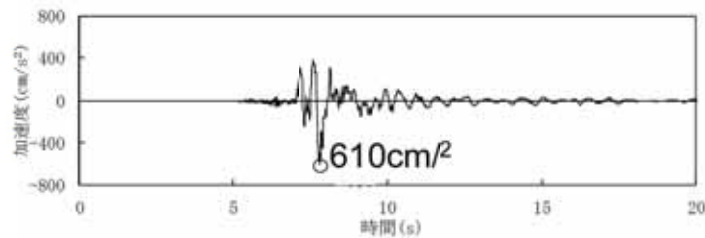


※ 地盤物性の影響を評価するにあたり、はざとり解析の不確かさ等を考慮して、最も大きい最大加速度値の検討結果を考慮することにより、保守的な設定とする。

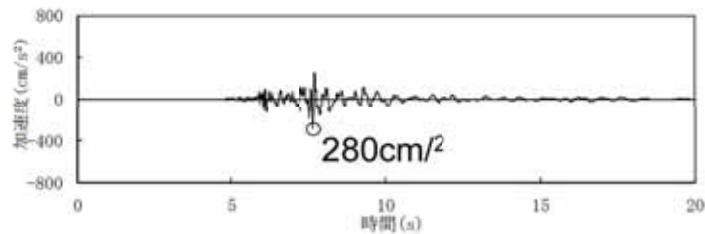
「震源を特定せず策定する地震動」として考慮する地震動



- 加藤ほか(2004)による応答スペクトル, 及び, 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果(水平成分: 598cm/s^2 鉛直成分: 262cm/s^2)に保守性を考慮した, 水平成分 610cm/s^2 , 鉛直成分 280cm/s^2 の地震動を, 震源を特定せず策定する地震動として考慮する。



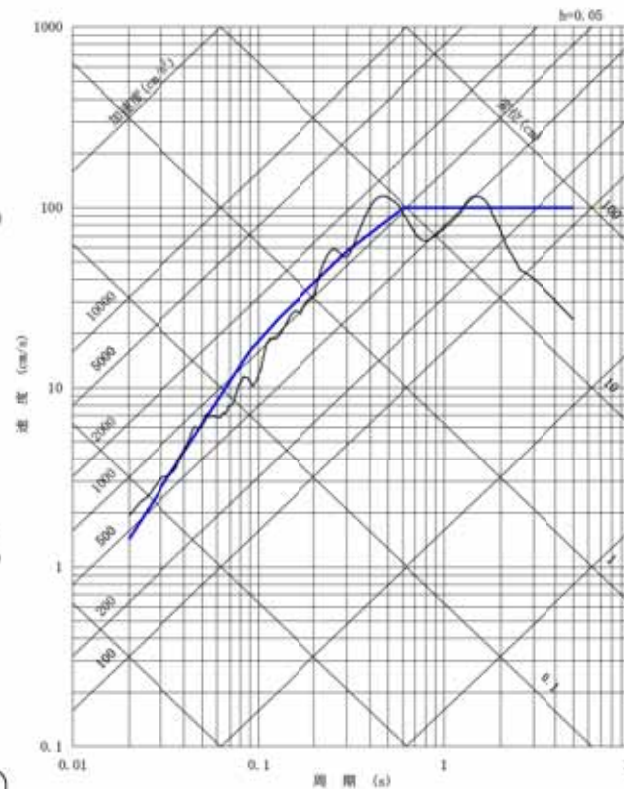
水平成分



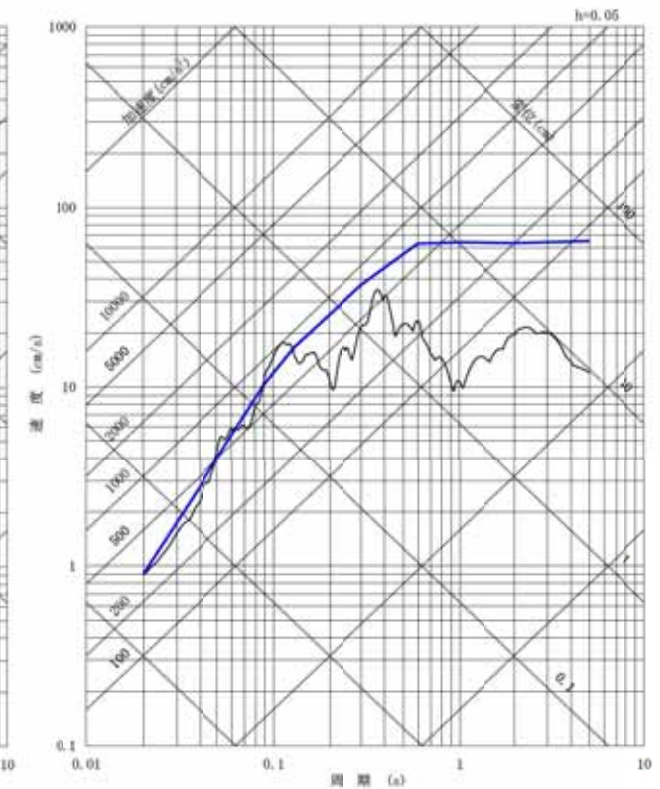
鉛直成分

加速度時刻歴波形

〔2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動〕



水平成分

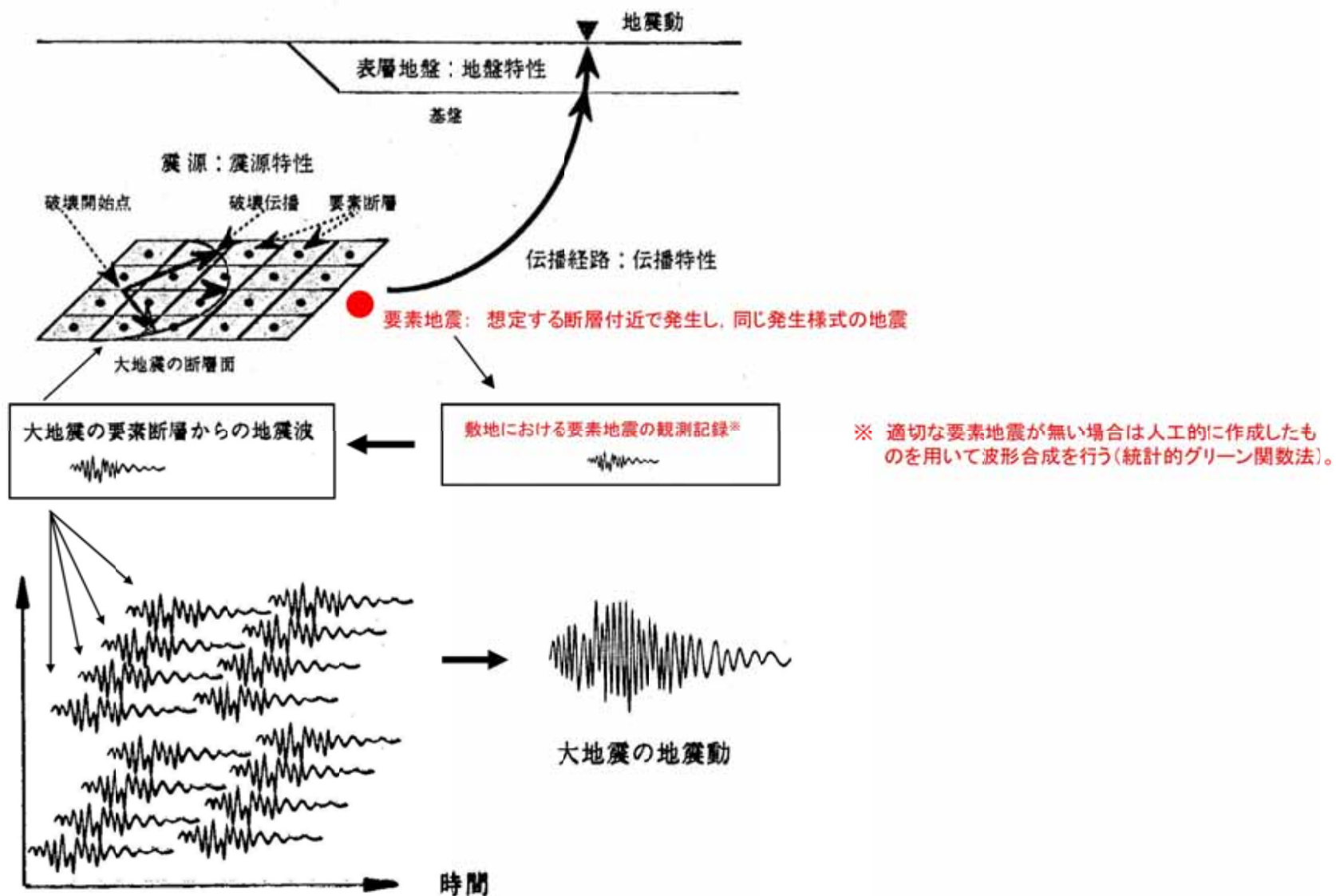


鉛直成分

擬似速度応答スペクトル

参考

断層モデル手法に用いる要素地震
地震動評価結果の整理



■要素地震は下記のフローで選定する。

発生位置

想定断層面付近で発生しており、震源から到来する伝播経路特性が反映されている地震



宮城県沖、茨城県沖のSMGA付近から選定する。

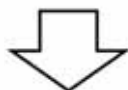


規模

要素地震として適切な規模の地震



クラック破壊を想定した ω^{-2} モデルが適用できるM5~M6程度を目安とする。

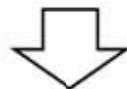


震源メカニズム

震源メカニズムが明らかである地震のうち、放射特性が同様であり、想定地震と同様の震源メカニズムを有する地震



低角逆断層(プレート間地震)を選定する。

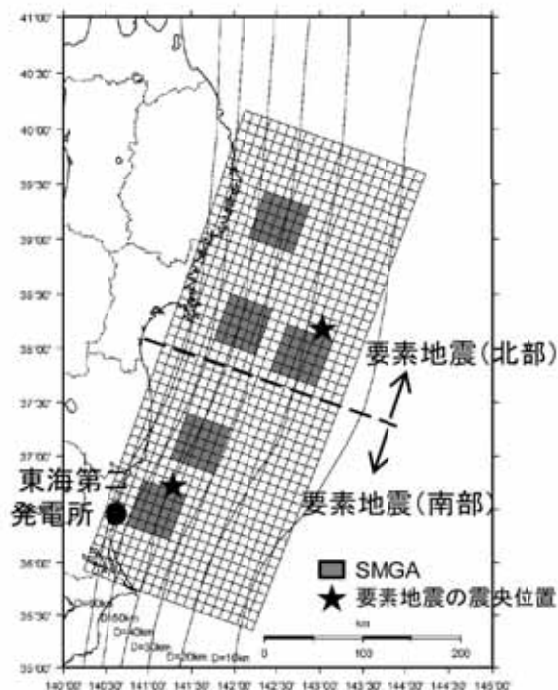


2011年3月10日の地震(M6.8)、2009年2月1日の地震(M5.8)を用いることとする。

各種文献で示された要素地震の震源パラメータについて、東海第二発電所及び敷地周辺の観測記録により妥当性を確認する。

■要素地震の選定方法

- ・要素地震の選定においては、設定した断層モデルと同じ震源メカニズムを有する地震とした。
- ・震源断層が広域になることから、北部の領域と南部の領域からそれぞれ要素地震を選定した。
- ・断層面の北半分については要素地震(北部)を、断層面の南半分については要素地震(南部)をそれぞれ用いた。



要素地震の震央位置

要素地震(北部)



要素地震(南部)



要素地震のメカニズム解(下半球)

※1 気象庁による。
 ※2 F-netによる。

■要素地震の選定のフロー

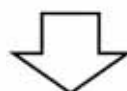
1996年9月以降に東海第二発電所で観測された記録を対象とする。

発生位置

想定断層面付近で発生しており、震源から到来する伝播経路特性が反映されている地震



茨城県南部の深さ約40km～80kmで発生した地震の中から選定する。

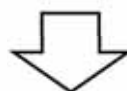


規模

要素地震として適切な規模の地震



クラック破壊を想定した ω^{-2} モデルが適用できるM5程度を目安とする。

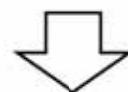


震源メカニズム

震源メカニズムが明らかである地震のうち、放射特性が同様であり、想定地震と同様の震源メカニズムを有する地震



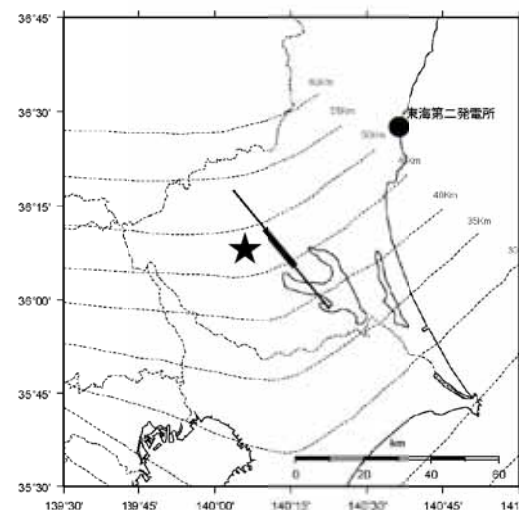
想定地震と同様の震源メカニズムを有する地震を選定することが望ましいが、その地震がない場合は放射特性係数を補正して用いる。



2014年11月12日の地震(M4.8)を用いることとする。

■要素地震の選定結果

基本震源モデル及び不確かさを考慮した各モデルの断層面と地震波の到来方向がほぼ等しく、伝播特性とサイト特性が共通であると考えられる2014年11月12日の地震(M4.8)を要素地震として選定する。なお、この要素地震は、想定する断層面と震源メカニズムが異なるため、合成に際しては放射特性係数の補正の必要性について検討したうえで使用する。



★ 要素地震の震央位置
— アスぺリティ

基本震源モデルの断層面と
要素地震の震央位置との関係

震源メカニズムの比較

地震	メカニズム解			放射特性係数	
	走向(度)	傾斜(度)	すべり(度)	F_{SV}	F_{SH}
要素地震(2014.11.12, M4.8)	4	64	88	0.54	0.20
茨城県南部の地震(Mw7.3)	140.7	90	0	メッシュごとの方位角、 射出角を用いて算定 (参考)-0.10 ^{※3} (参考)-0.66 ^{※3}	

※3 アスぺリティの中心位置(方位角約45度、射出角約137度)で算定した場合



要素地震のメカニズム解(下半球)

※1 気象庁による。
※2 F-netによる。

■要素地震の選定のフロー

1996年9月以降に東海第二発電所で観測された記録を対象とする。

発生位置

想定断層面付近で発生しており、震源から到来する伝播経路特性が反映されている地震



東北地方太平洋沖地震の発生後福島県から茨城県にかけて発生している内陸地殻内地震の中から選定する。



規模

要素地震として適切な規模の地震



クラック破壊を想定した ω^{-2} モデルが適用できるM5程度を目安とする。

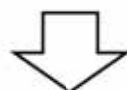


震源メカニズム

震源メカニズムが明らかである地震のうち、放射特性が同様であり、想定地震と同様の震源メカニズムを有する地震



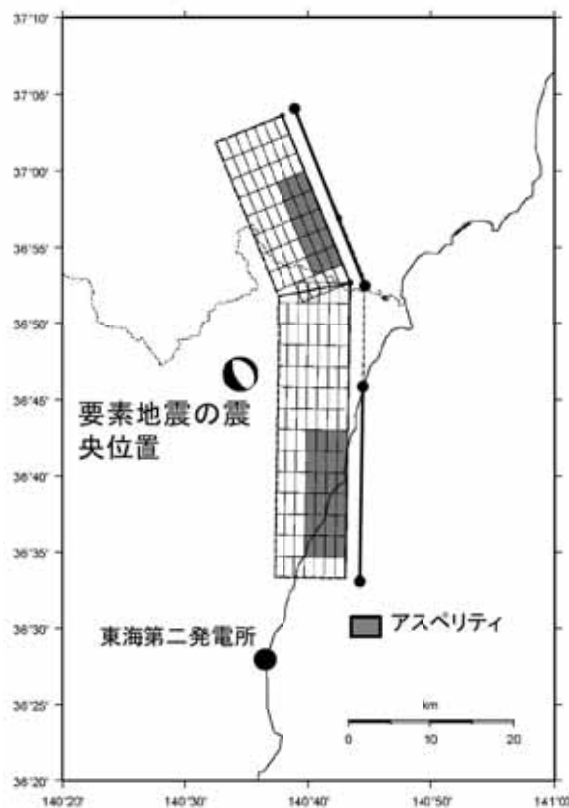
想定地震と同様の震源メカニズムを有する正断層のメカニズムの地震を選定する。



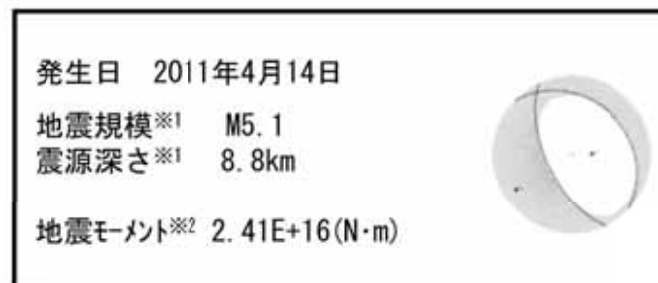
2011年4月14日の地震(M5.1)を用いることとする。

■要素地震の選定結果

設定した断層モデル近辺で発生した同じ断層タイプ(正断層)の地震で、規模がM5程度である2011年4月14日の地震(M5.1)を選定する。



要素地震の震央位置

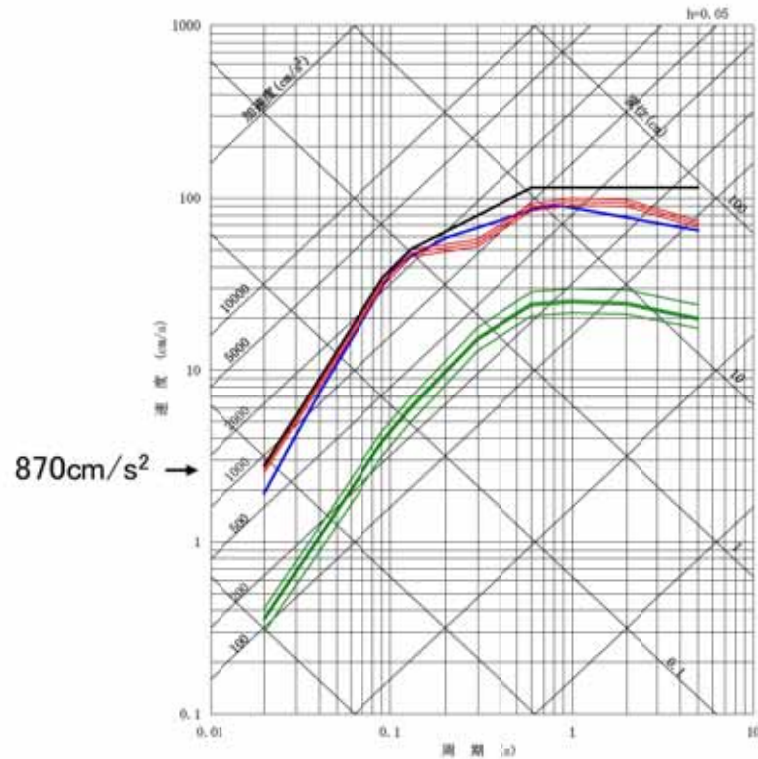


要素地震のメカニズム解(下半球)

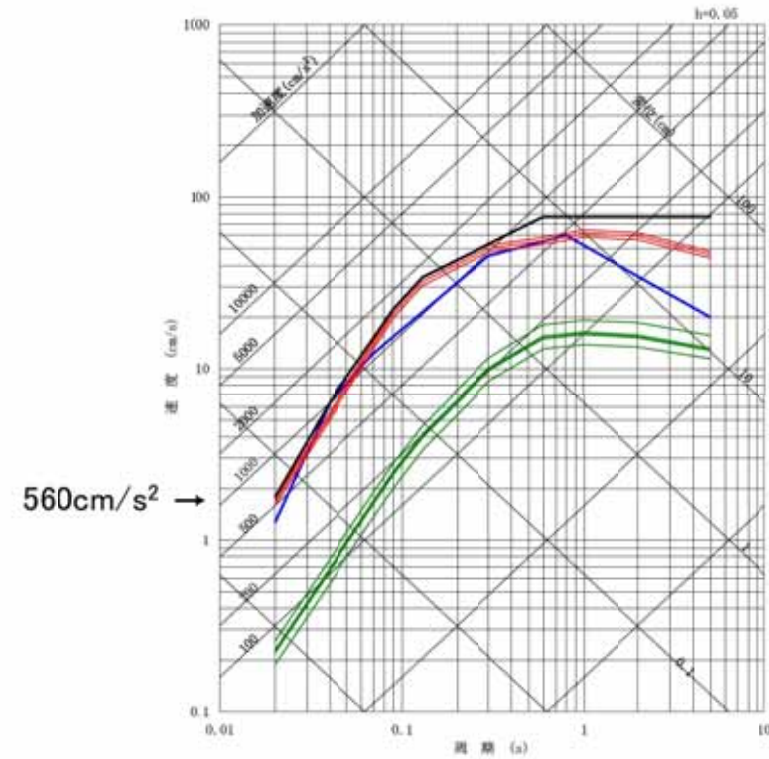
※1 気象庁による。
※2 F-netによる。

■ 応答スペクトル手法による地震動評価結果をすべて包絡するよう基準地震動S_s-D1のコントロールポイントを設定する。

- 基準地震動S_s-D1
- プレート間地震による評価
- 海洋プレート内地震による評価
- 内陸地殻内地震による評価



水平成分



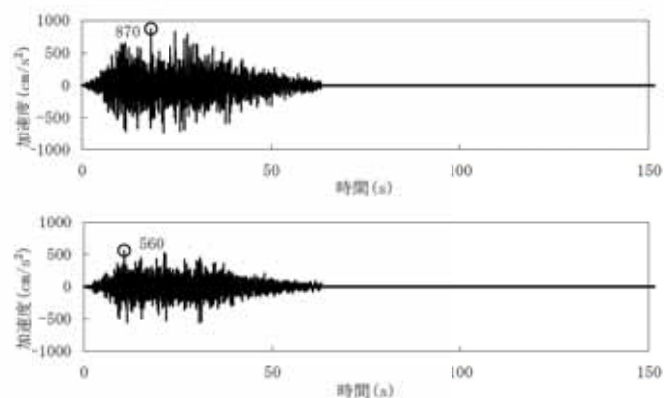
鉛直成分

応答スペクトル		コントロールポイント				
		A	B	C	D	E
S _s -D1H	周期(s)	0.02	0.09	0.13	0.60	5.00
	速度(cm/s)	2.77	34.38	50.69	115.00	115.00

応答スペクトル		コントロールポイント					
		A	B	C	D	E	F
S _s -D1V	周期(s)	0.02	0.04	0.09	0.13	0.60	5.00
	速度(cm/s)	1.78	6.37	22.20	34.14	76.67	76.67

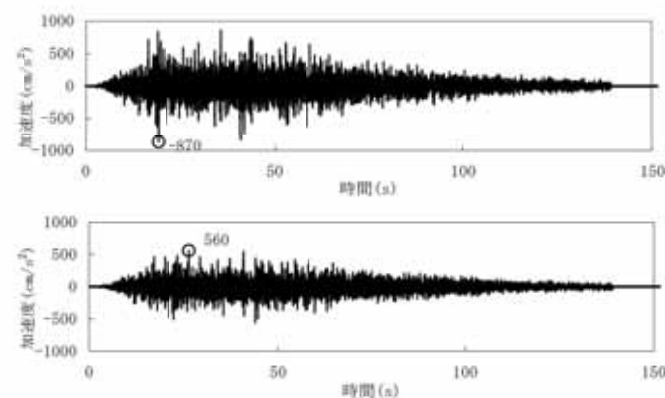
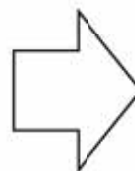
○ 2014年頃の模擬地震波

- ・応答スペクトルで支配的な内陸地殻内地震の諸元(M7.8, $X_{eq}=28\text{km}$)より継続時間を63.38秒と設定







○ 検討を反映した模擬地震波

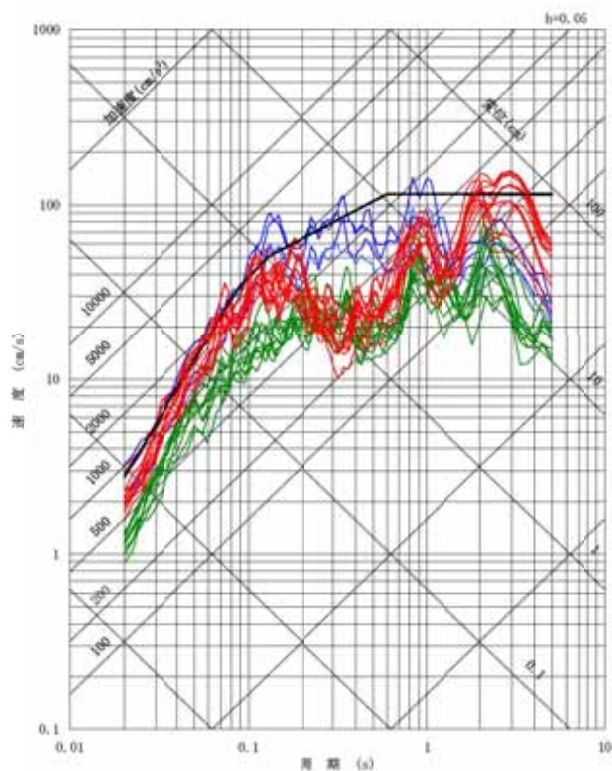
- ・2011年東北地方太平洋沖地震はMw9.0であるものの、地震動レベルからはM8.3程度との知見よりM8.3, X_{eq} は2011年東北地方太平洋沖地震の断層面より135.8kmとして、継続時間を139.28秒と設定



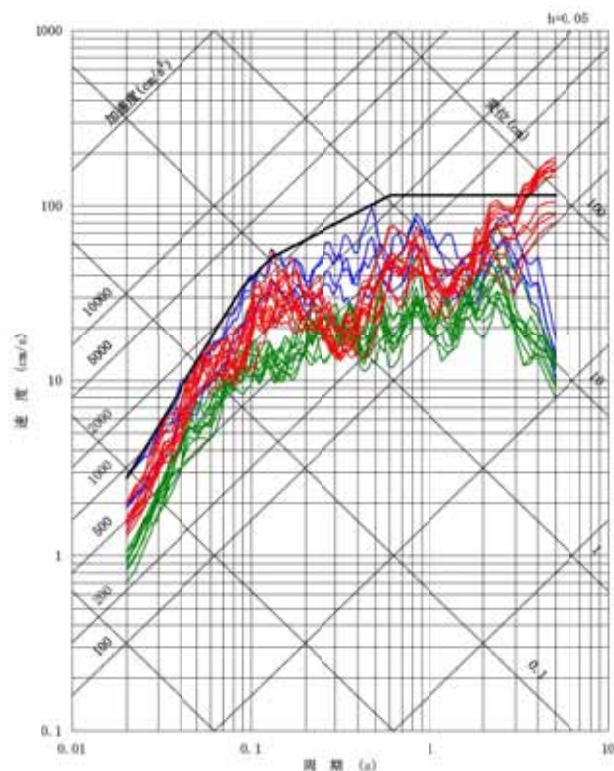
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 断層モデル手法(1/2)

■各地震発生様式における断層モデル手法の地震動評価結果(全ケース)と基準地震動Ss-D1を比較する。

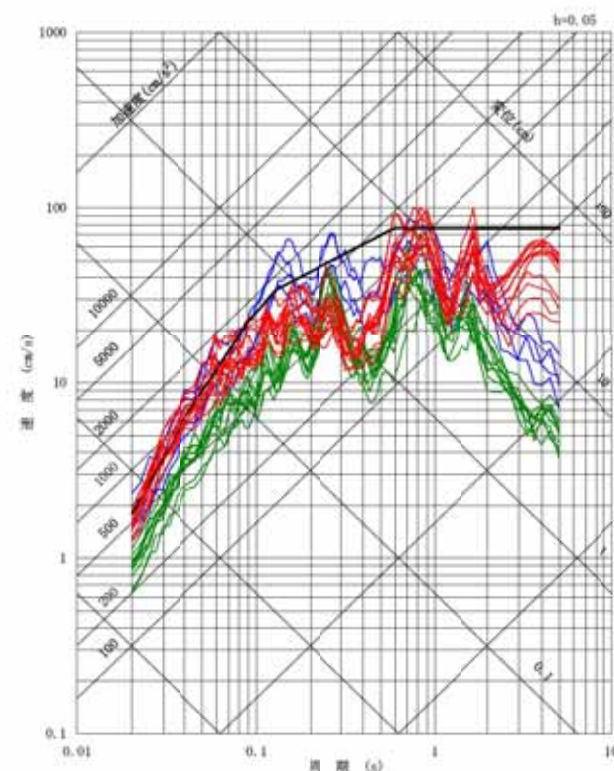
-  基準地震動Ss-D1
-  プレート間地震の評価結果
-  海洋プレート内地震の評価結果
-  内陸地殻内地震の評価結果



NS成分



EW成分



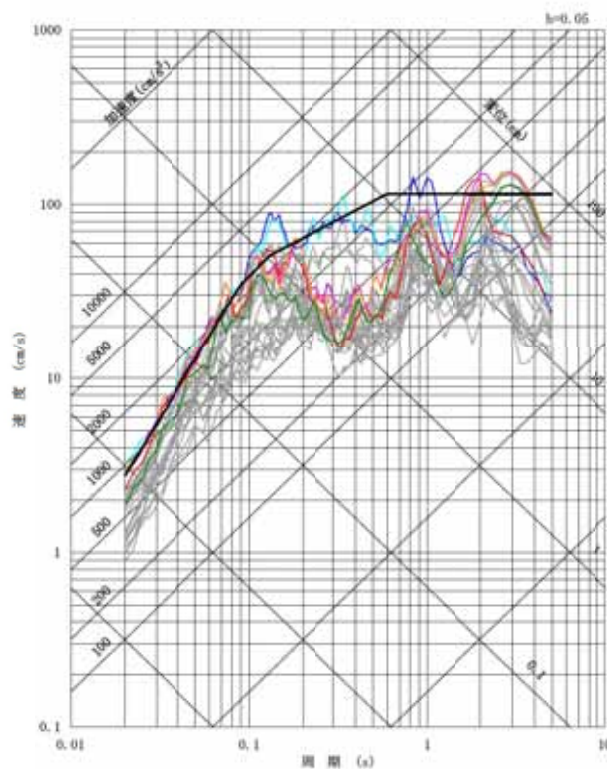
UD成分

断層モデル手法による各地震動評価結果のうち、プレート間地震及び内陸地殻内地震の評価結果が基準地震動Ss-D1を一部の周期帯で上回る。なお、海洋プレート内地震の地震動評価結果は、基準地震動Ss-D1に包絡されている。

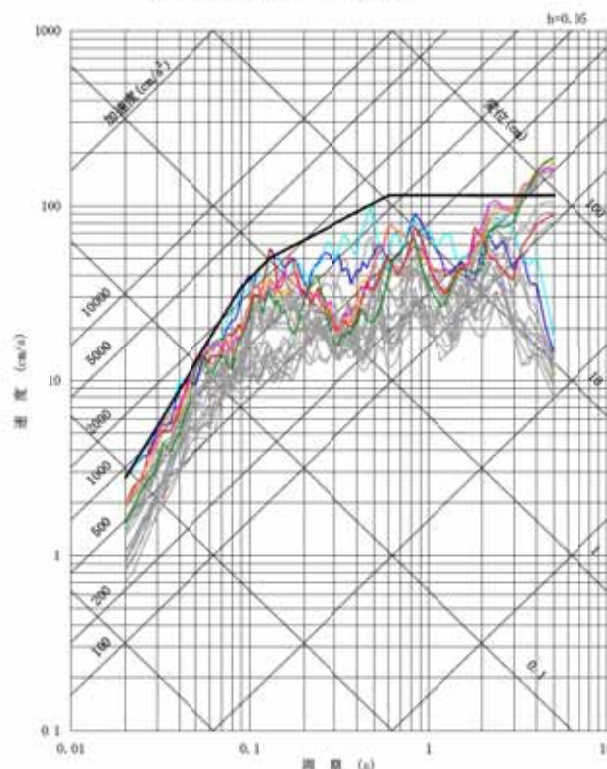
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 断層モデル手法(2/2)

■各地震発生様式における断層モデル手法による地震動評価結果のうち、一部周期帯で基準地震動Ss-D1を上回るケースを示す。

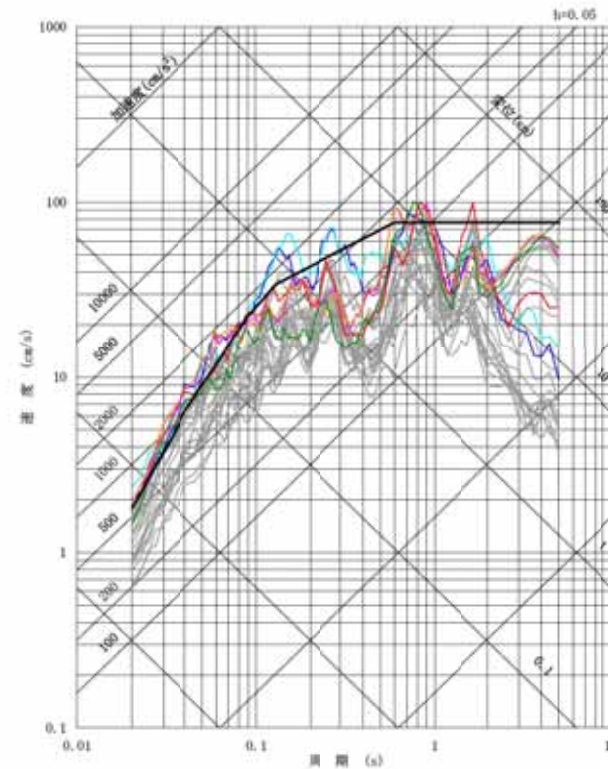
- Ss-D1 応答スペクトル手法による基準地震動
- Ss-11 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の運動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- Ss-12 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の運動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-13 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の運動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- Ss-14 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の運動による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-21 2011年東北地方太平洋沖型地震(短周期レベルの不確かさ)
- Ss-22 2011年東北地方太平洋沖型地震(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)
- 断層モデル手法の各評価結果



NS成分



EW成分



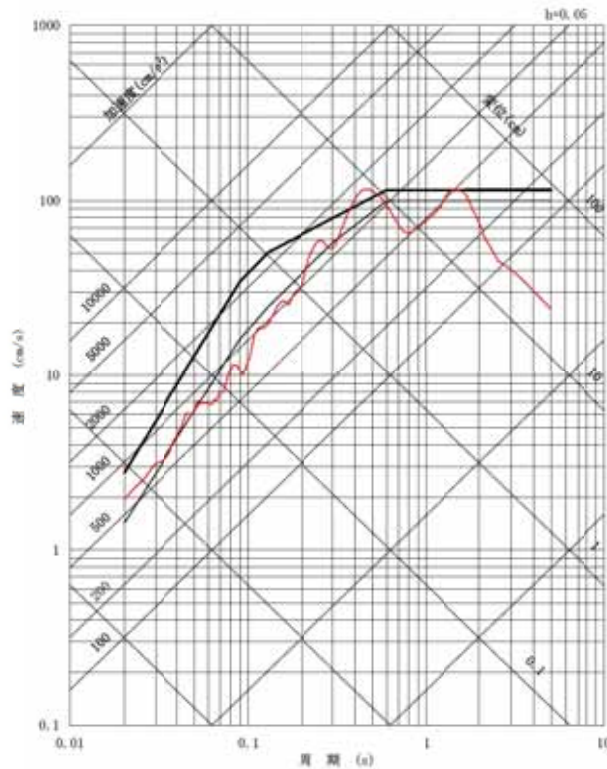
UD成分

各地震発生様式の断層モデル手法による地震動評価結果のうち、一部周期帯で基準地震動Ss-D1を上回る6ケースを断層モデル手法による基準地震動に選定し、それぞれSs-11, Ss-12, Ss-13, Ss-14, Ss-21, Ss-22とする。

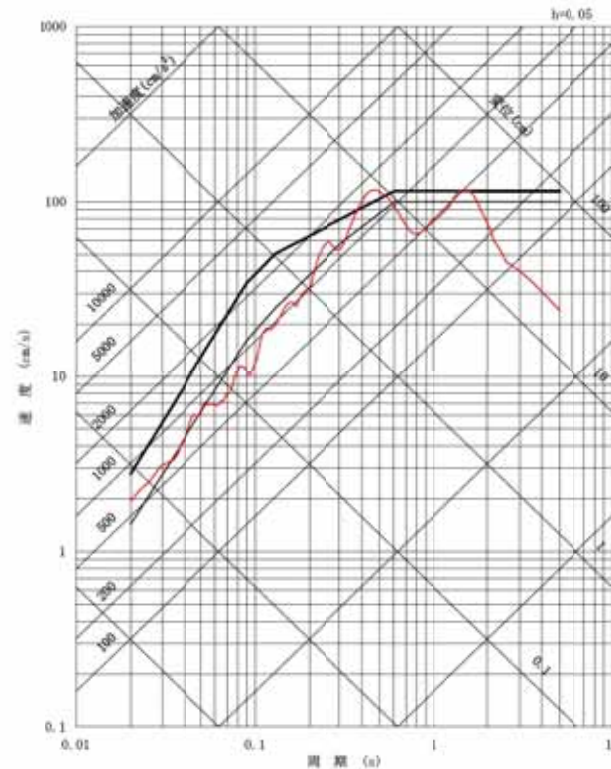
震源を特定せず策定する地震動

■震源を特定せず策定する地震動と基準地震動Ss-D1を比較する。

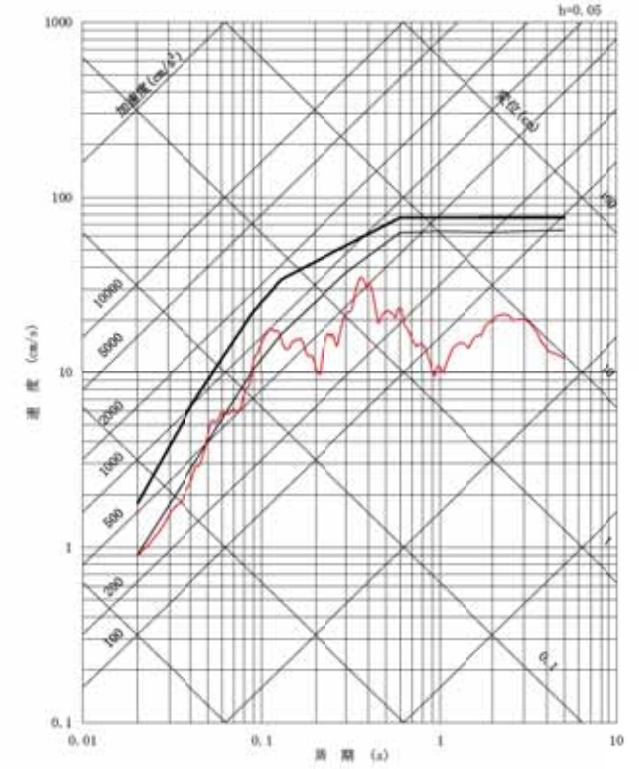
- Ss-D1 応答スペクトル手法による基準地震動
- Ss-31 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動
- 加藤ほか(2004)による応答スペクトル



NS成分



EW成分



UD成分

2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動は、一部周期帯で基準地震動Ss-D1を上回るため、基準地震動に選定する。

地震動評価 補足説明資料

1. 発電所真下又はサイトから最も近くなる位置の太平洋プレート内に震源を置いた場合	107
2. アスペリティや破壊開始点等の評価の前提条件に係る保守性の考え方	124
3. 内陸地殻内地震における不確かさを重ねた場合の地震動評価結果 及び施設や地盤等への影響評価の結果	131
4. 茨城県地震被害想定の見直し(2018年12月)を踏まえた評価	139
5. 基準地震動の代表性及び策定時における他地域の地震の考慮	156
6. 地震調査研究推進本部 活断層 及び海溝型地震の長期評価(2019年2月公表)を踏まえた評価	160
参考 用語の定義	165

第16回

1993年釧路沖型地震(深さ100kmモデル)

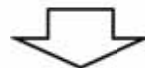
- ・敷地周辺の沈み込んだプレート内地震の発生状況から、敷地周辺では基準地震動策定で考慮したM7.3を超える規模の海洋プレート内地震は発生していないことを確認した。
- ・沈み込んだプレート内地震の発生状況の探索範囲を北海道まで広げると、同じ太平洋プレートの沈み込んだプレート内地震として、1993年釧路沖地震(M7.5)が発生している。そこで、この地震と同じ規模であるM7.5の地震が敷地下方で発生することを想定する。
- ・深さの設定に際しては1993年釧路沖地震(M7.5)を参考に沈み込んだプレートの下面で発生することを想定し、深さ100kmとする。

1993年釧路沖型地震(敷地最短位置)

- ・震源モデルのパラメータは深さ100kmモデル(第5回ワーキングチームで説明)と同様とし、敷地からの距離が最短となる位置に震源を想定する。断層傾斜角やプレート境界からの深さについては茨城県地震被害想定調査報告書(平成30年12月)による設定値を参考に設定する。

1993年釧路沖型地震(敷地最短位置+短周期帯1.5倍の影響確認)

- ・さらに敷地に厳しい条件で地震が発生した場合の影響確認として、1993年釧路沖型地震(敷地最短位置)に対し、原子力施設にとって重要な短周期帯0.02秒から0.5秒の応答スペクトルを1.5倍する。

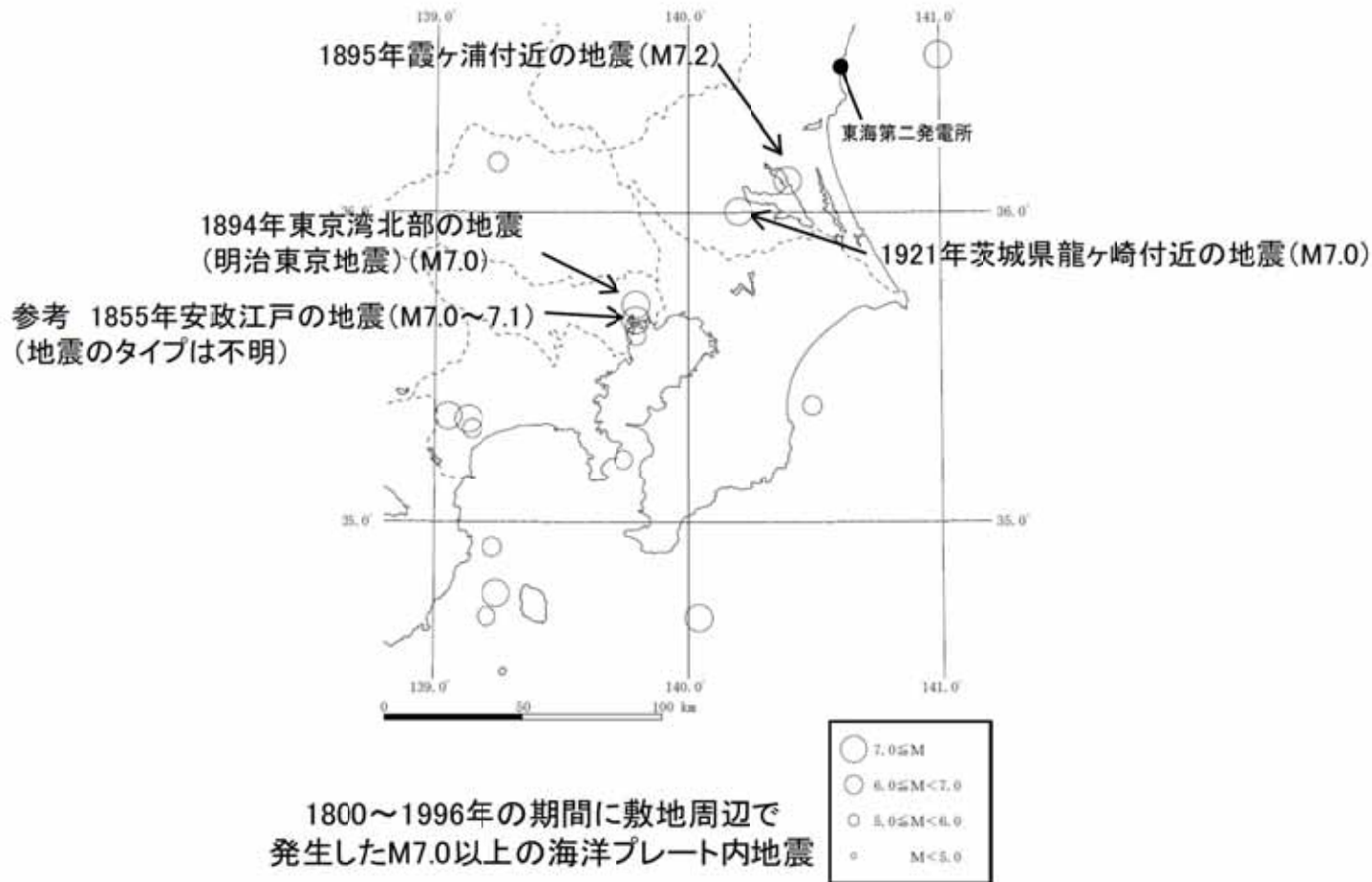


第20回

1993年釧路沖型地震(敷地最短位置+応力降下量1.5倍の影響確認)

- ・0.02秒から0.5秒という限定された周期帯ではなく全周期帯で影響確認を行うこととし、1993年釧路沖型地震(敷地最短位置)に対し、応力降下量を1.5倍とした震源モデルを設定して地震動を再評価しても、発電所の安全性が確保されることを確認した。

■地震のタイプを分類するには、地震観測記録の分析が重要である。そこで1800年代後半～1996年の期間に敷地周辺で発生したM7.0以上の地震のうち、観測記録の分析がなされた近年の研究成果により海洋プレート内地震と推定された地震を下図に示す。



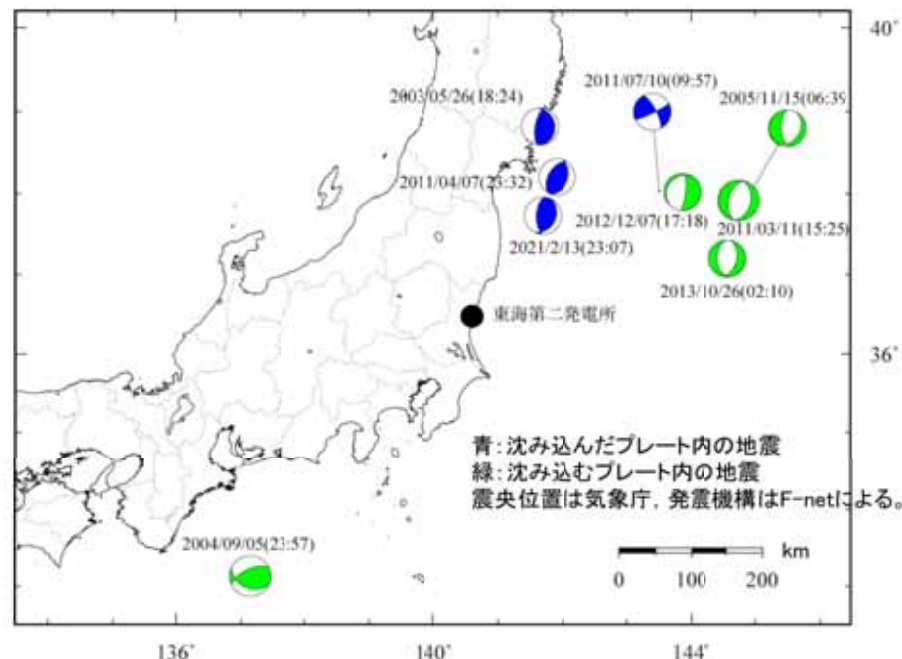
- 1800年～1996年の期間に敷地周辺の海洋プレート内で発生した地震の最大規模は、1895年霞ヶ浦付近の地震 (M7.2)とされている。この地震は太平洋プレート内地震の可能性が示唆されている。
- フィリピン海プレート内で発生した地震の最大規模は、1921年茨城県龍ヶ崎付近の地震 (M7.0)である。

敷地周辺における海洋プレート内地震の発生状況(1997年以降)



■1997年以降(気象庁による一元化震源以降)に発生した海洋プレート内地震の抽出(東北地方から紀伊半島まで)

気象庁地震カタログを用い、1997年から2014年3月までの期間に東北地方から紀伊半島までの範囲で発生したM7.0以上の海洋プレート内地震と推定される地震を抽出した。青色は沈み込んだプレート内の上面の地震、緑色は沈み込むプレート内の地震を示す。



M7.0以上の海洋プレート内地震の震央位置及び震源メカニズム

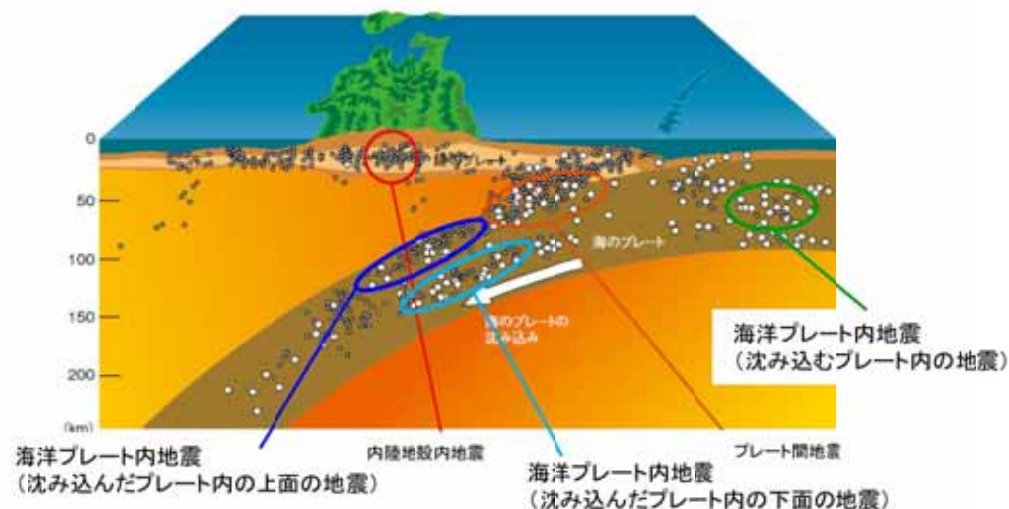
1997年以降に東北地方以南で発生した沈み込んだ太平洋プレート内の地震の最大規模は、宮城県沖、福島県沖で発生したM7.3である。

敷地周辺では基準地震動策定で考慮したM7.3を超える規模の海洋プレート内地震は発生していない。

M7.0以上の海洋プレート内地震の諸元

発生日	時刻	M	深さ(km)	分類
2003.5.26	18:24	7.1	72	沈み込んだ太平洋プレート内の上面
2004.9.5	23:57	7.4	44	沈み込むフィリピン海プレート内
2005.11.15	06:38	7.2	45	沈み込む太平洋プレート内
2011.3.11	15:25	7.5	11	沈み込む太平洋プレート内
2011.4.7	23:32	7.2	66	沈み込んだ太平洋プレート内の上面
2011.7.10	09:57	7.3	34	沈み込んだ太平洋プレート内の上面
2012.12.7	17:18	7.3	49	沈み込む太平洋プレート内
2013.10.26	02:10	7.1	56	沈み込む太平洋プレート内
2021.2.13	23:07	7.3	55	沈み込んだ太平洋プレート内の上面

※気象庁地震カタログや震源メカニズムなどを参考に海洋プレート内地震を抽出した。



地震の発生様式の模式図(東北地方での例)
(地震調査研究推進本部に一部加筆)

1993年釧路沖地震の概要

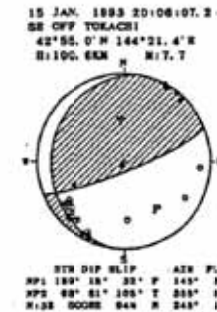
- ・沈み込んだプレート内地震の発生状況の探索範囲を北海道まで広げると、1993年釧路沖地震(M7.5)が発生している。
- ・宮城県沖で発生する沈み込んだプレート内地震はその上面で発生することが多いのに対し、1993年釧路沖地震(M7.5)は沈み込んだプレート内の下面で発生し、震源深さは約100kmである。



1993年釧路沖地震(M7.5)の震度分布(気象庁)

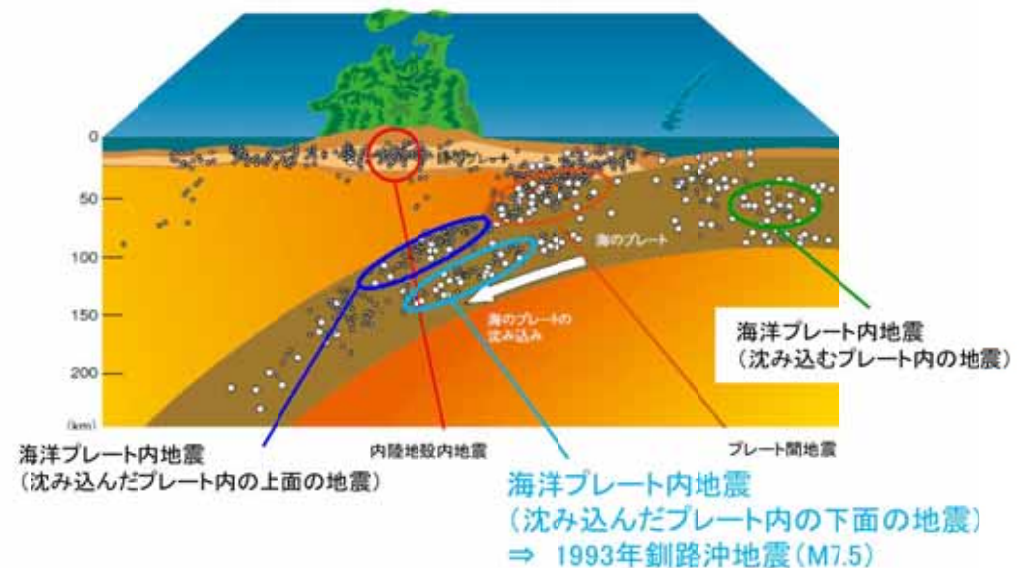
1993年釧路沖地震(M7.5)の諸元

発生日時	1993年1月15日20時6分
震源地	釧路沖
北緯	42° 55.2′
東経	144° 21.2′
震源深さ	101km
地震規模	M7.5



中村ほか(1994)より抜粋

震源メカニズム



地震の発生様式の模式図(東北地方での例)
(地震調査研究推進本部に一部加筆)

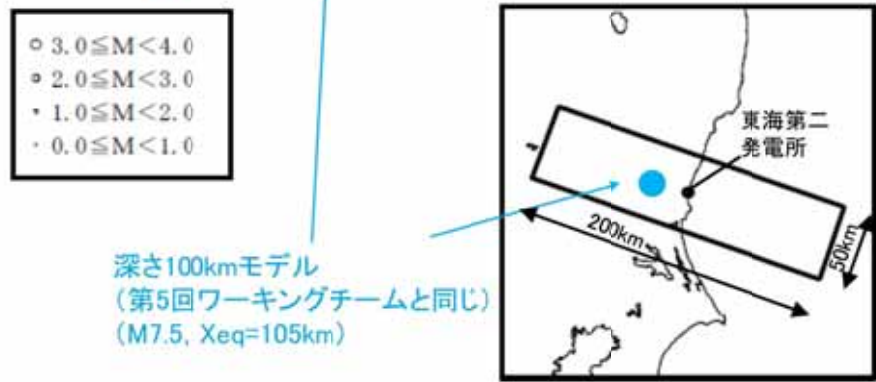
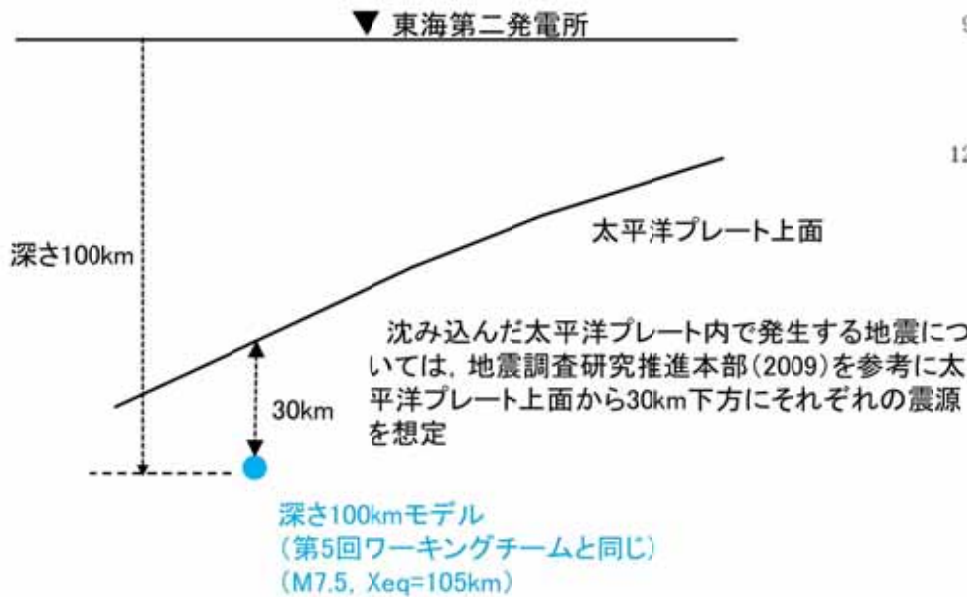
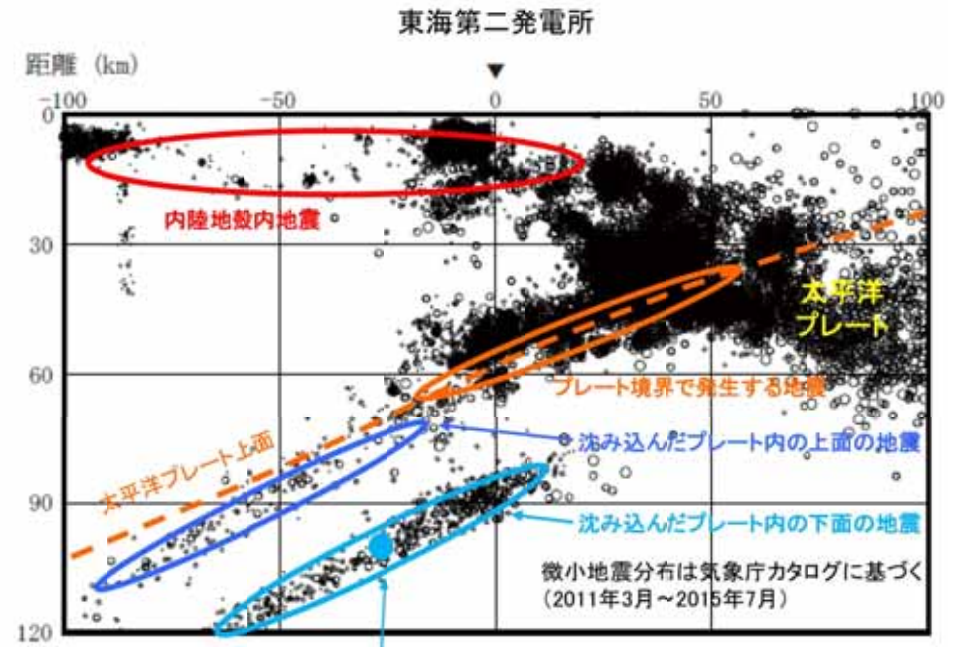
中村他(1994)によると、「この断層はもぐり込んでいる太平洋プレートの二重深発面の上面と下面の間にあり上面にはとどいていないように思われる。二重深発地震面の下面においては、down-dip extension型の地震が発生する傾向があることが知られているが、この地震は二重深発地震面の下面の地震としては、典型的な発震機構をもつ地震であると言える。」とされている。

1993年釧路沖型地震(深さ100kmモデル)の想定

■震源を想定する位置

- ・同じ太平洋プレートの沈み込んだプレート内地震として、1993年釧路沖地震(M7.5)が発生している。そこで、この地震と同じ規模であるM7.5の地震が敷地下方で発生することを想定する。
- ・前述のとおり、1993年釧路沖地震(M7.5)は沈み込んだプレート内地震の下面で発生しており、深さ約100kmで発生している。
- ・そこで、深さの設定に際しては1993年釧路沖地震(M7.5)を参考に沈み込んだプレートの下面で発生することを想定し、深さ100kmとする。

参考：敷地周辺で発する地震には、陸のプレートの内部で発生する内陸地殻内地震や陸のプレートと海洋プレート(太平洋プレート、フィリピン海プレート)の境界で発生する地震、海洋プレートの内部で発生する地震と、ように様々なタイプがある(右図)。基準地震動の策定にあたっては、上記タイプ毎に調査を行い、タイプ毎に敷地に影響の大きい地震を選定してそれらについて詳細評価を行っている。



太平洋プレート内地震の震源の設定位置(模式図)

1. 発電所真下又はサイトから最も近くなる位置の太平洋プレート内に震源を置いた場合
1993年釧路沖型地震(敷地最短位置)の想定



■ 震源モデルのパラメータは深さ100kmモデル(第5回ワーキングチームで説明)と同様とし、敷地からの距離が最短となる位置に震源を想定する。断層傾斜角やプレート境界からの深さについては茨城県地震被害想定調査報告書(平成30年12月)*による設定値を参考に設定する。

※以降, 茨城県(2018)という

【主要パラメータ】(第5回ワーキングチームと同じ)

・地震規模はTakeo et al.(1993)による1993年釧路沖地震の地震モーメントより与える。

$$M_0 = 3.30 \times 10^{20} (\text{N} \cdot \text{m})$$

・強震動予測レシビ(笹谷ほか(2006)のスケーリング則)に基づき算出する。

【断層面の位置・形状】

・断層傾斜角は茨城県(2018)に基づき0度及び90度とする。

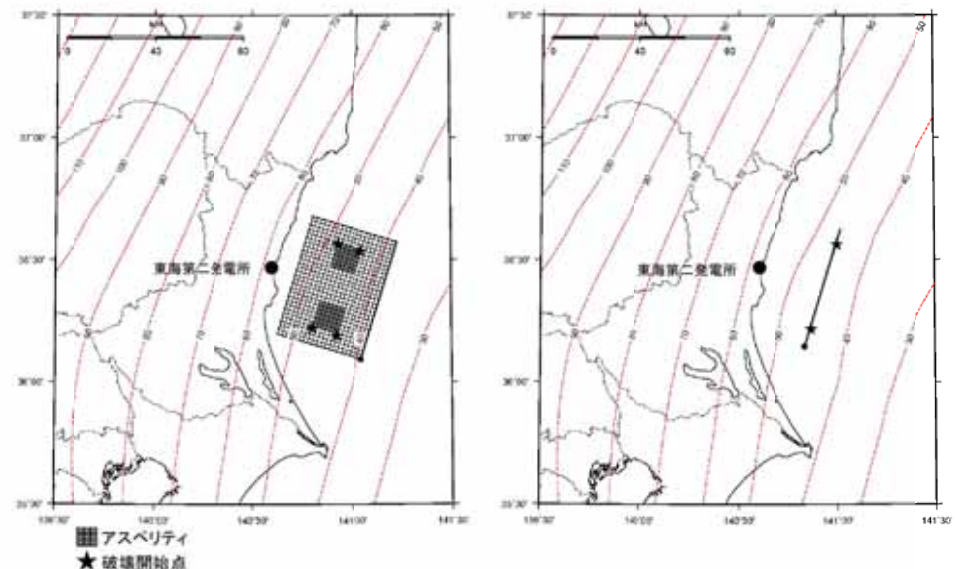
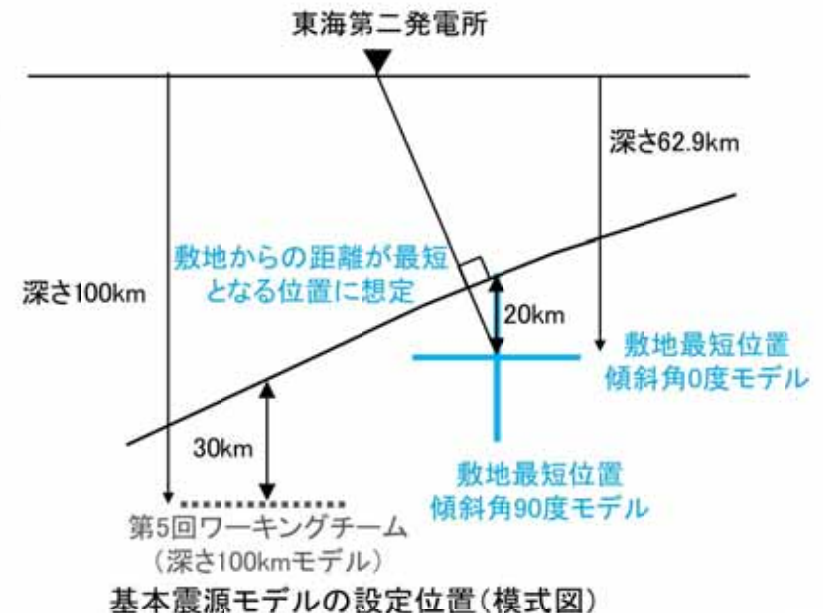
・断層面は敷地からの距離が最短となる位置に設定し、プレート境界からの深さは、茨城県想定を参考に20kmとする。

・アスペリティ位置

断層面の中央に2箇所設定する。

・ずれの種類

逆断層と設定する。



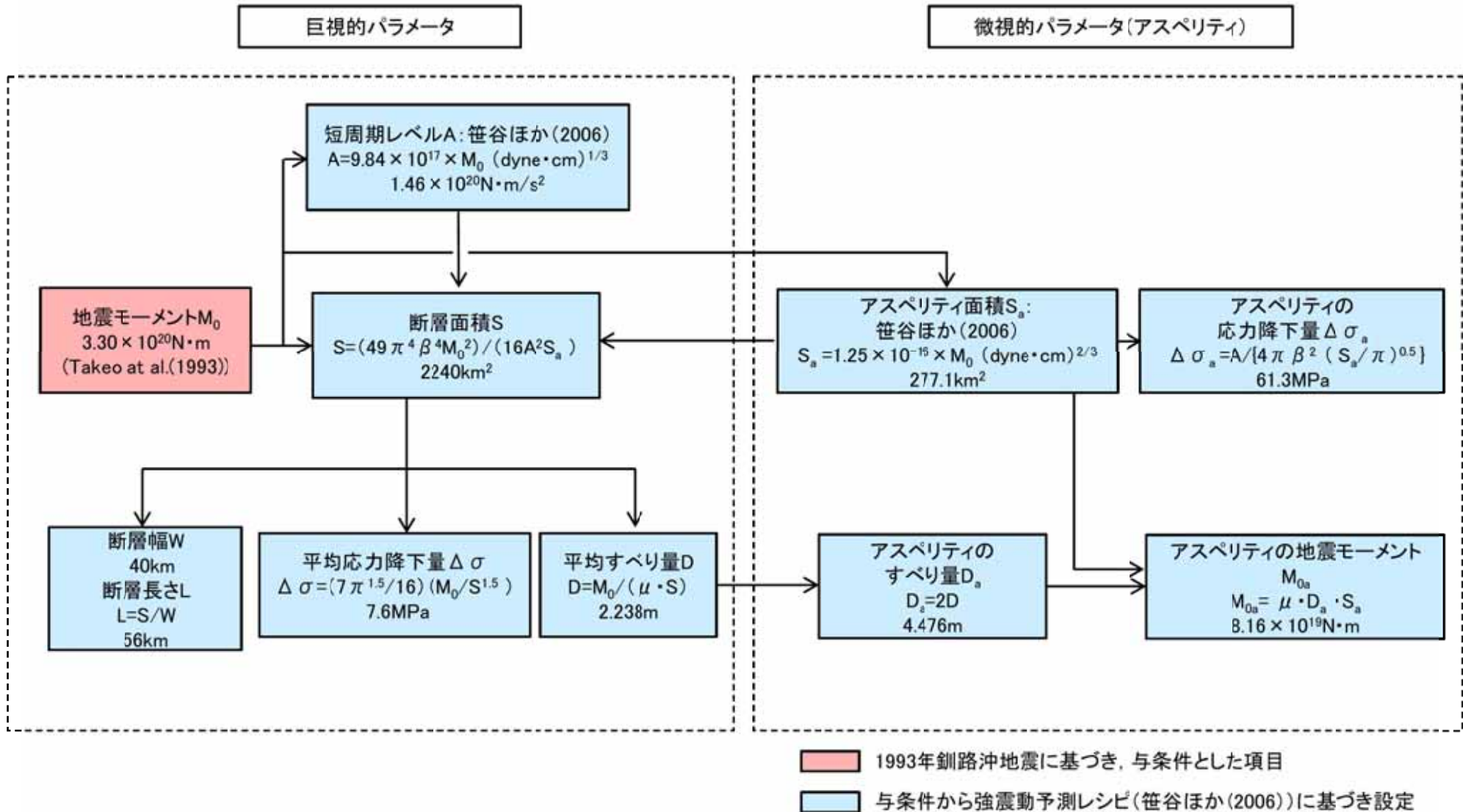
敷地最短位置
傾斜角0度モデル

敷地最短位置
傾斜角90度モデル

1993年釧路沖型地震(敷地最短位置) 断層パラメータの設定フロー



■震源モデルのパラメータについて、強震動予測レシピ(2016)(笹谷ほか(2006))に基づき設定する。地震モーメントについては1993年釧路沖地震に関する知見(Takeo et al.(1993))に基づき設定する。断層パラメータの設定フローを下記に示す。



1. 発電所真下又はサイトから最も近くなる位置の太平洋プレート内に震源を置いた場合

1993年釧路沖型地震(敷地最短位置+応力降下量1.5倍の影響確認) 断層パラメータ



項目		設定値	設定方法
断層上端深さ	h(km)	0度: 62.9 90度: 42.9	断層面は敷地からの距離が最短となる位置に設定し、プレート境界からの深さは、茨城県想定を参考に20kmとする
気象庁マグニチュード	Mj	7.5	1993年釧路沖地震
モーメントマグニチュード	M _w	7.6	logM ₀ =1.5M _w +9.1
地震モーメント	M ₀ (N・m)	3.30E+20	Takeo et al.(1993)
走向	θ(度)	17	プレート境界等深線より設定
傾斜角	δ(度)	0, 90	茨城県(2018)
ずれの種類	-	逆断層	-
すべり角	λ(度)	90	-
平均応力降下量	Δσ(MPa)	7.6	Δσ=(7π ^{1.5} /16)(M ₀ /S ^{1.5})
断層面積	S(km ²)	2240	S=(49π ⁴ β ⁴ M ₀ ²)/(16A ² S _a)
断層長さ	L(km)	56	L=S/W
断層幅	W(km)	40	1993年釧路沖地震(Morikawa and Sasatani(2004))
密度	ρ(g/cm ³)	3.25	地震調査研究推進本部(2004)
せん断波速度	β(km/s)	4.5	地震調査研究推進本部(2004)
剛性率	μ(N/m ²)	6.58E+10	μ=ρβ ²
平均すべり量	D(m)	2.238	D=M ₀ /(μS)
破壊伝播速度	V _r (km/s)	3.2	V _r =0.72V _s (Geller,1976)
短周期レベル	A(N・m/s ²)	1.46E+20	A=9.84×10 ¹⁷ ×M ₀ ^{1/3} [dyne・cm] (笹谷ほか(2006)のM ₀ -A関係)
高周波遮断係数	f _{max} (Hz)	13.5	地震調査研究推進本部の海溝型地震

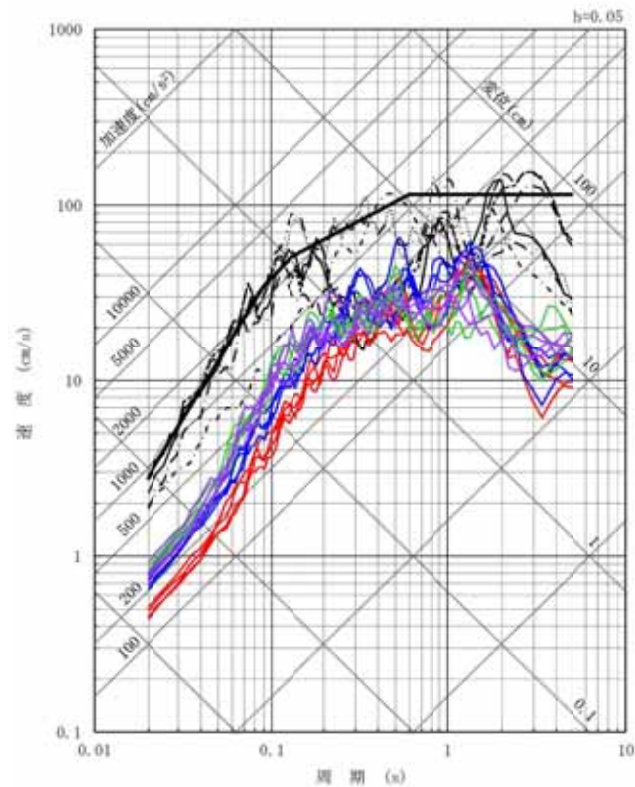
項目		設定値	設定方法
ア ス ベ リ テ ィ 全 体	面積	S _a (km ²)	277.1 S _a =1.25×10 ⁻¹⁶ M ₀ ^{2/3} [dyne・cm] (笹谷ほか(2006)のM ₀ -S _a 関係)
	すべり量	D _a (m)	4.476 D _a =2D
	地震モーメント	M _{0a} (N・m)	8.16E+19 M _{0a} =μD _a S _a
	応力降下量	Δσ _a (MPa)	92.0 Δσ _a =1.5×A/(4πβ ²)/(S _a /π) ^{1.5}
各 ア ス ベ リ テ ィ	面積	S _{a1} (km ²)	138.5 S _{a1} =S _a /2
	すべり量	D _{a1} (m)	4.476 D _{a1} =D _a
	地震モーメント	M _{0a1} (N・m)	4.08E+19 M _{0a1} =μD _{a1} S _{a1}
	応力降下量	Δσ _{a1} (MPa)	92.0 Δσ _{a1} =Δσ _a
背 景 領 域	面積	S _b (km ²)	1963.2 S _b =S-S _a
	すべり量	D _b (m)	1.922 D _b =M _{0b} /(μS _b)
	地震モーメント	M _{0b} (N・m)	2.48E+20 M _{0b} =M ₀ -M _{0a}
	実効応力	Δσ _b (MPa)	11.8 Δσ _b =(D _b /W _b)/(D _a /W _a)Δσ _a W _i =12km
Q値	Q	110f ^{0.69}	佐藤他(1994)

1. 発電所真下又はサイトから最も近くなる位置の太平洋プレート内に震源を置いた場合
断層モデルを用いた手法による評価結果(敷地最短位置)

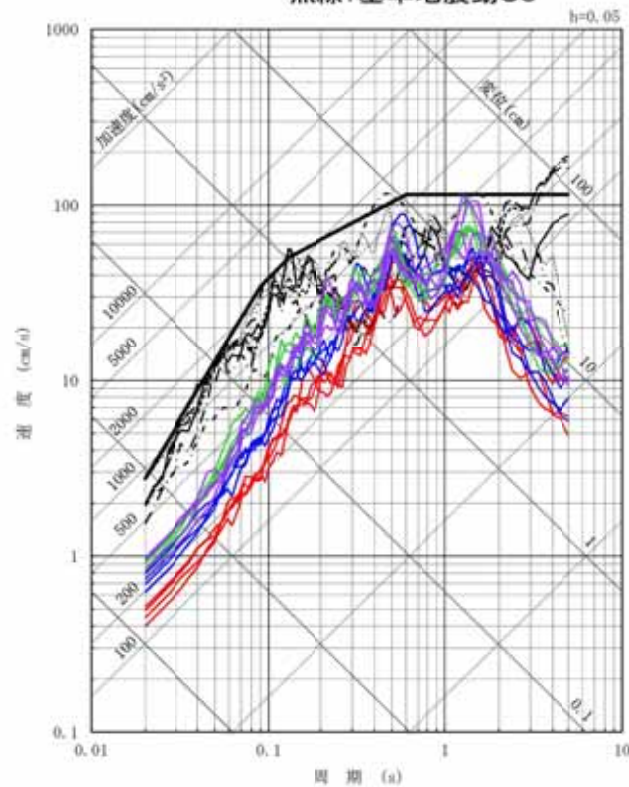


■統計的グリーン関数法による地震動評価結果

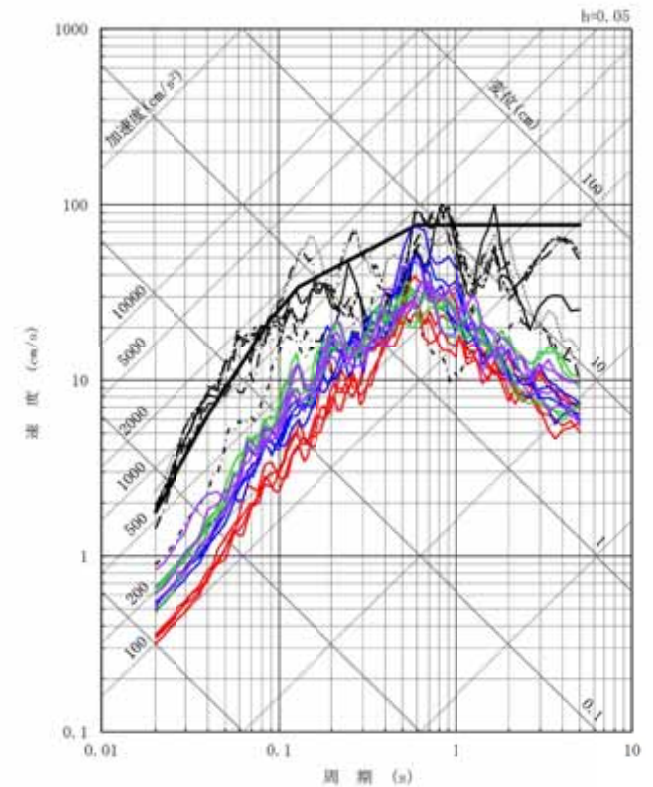
- 深さ100kmモデル(破壊開始点1~4)
 - 深さ100kmモデル+ $\Delta\sigma$ 1.5倍(破壊開始点1~4)
 - 敷地最短位置 傾斜角0度モデル(破壊開始点1~4)
 - 敷地最短位置 傾斜角90度モデル(破壊開始点1~4)
 - 黒線: 基準地震動 S_s
- } 第5回ワーキングチーム
} 第16回ワーキングチーム
} 追加ケース



NS方向



EW方向



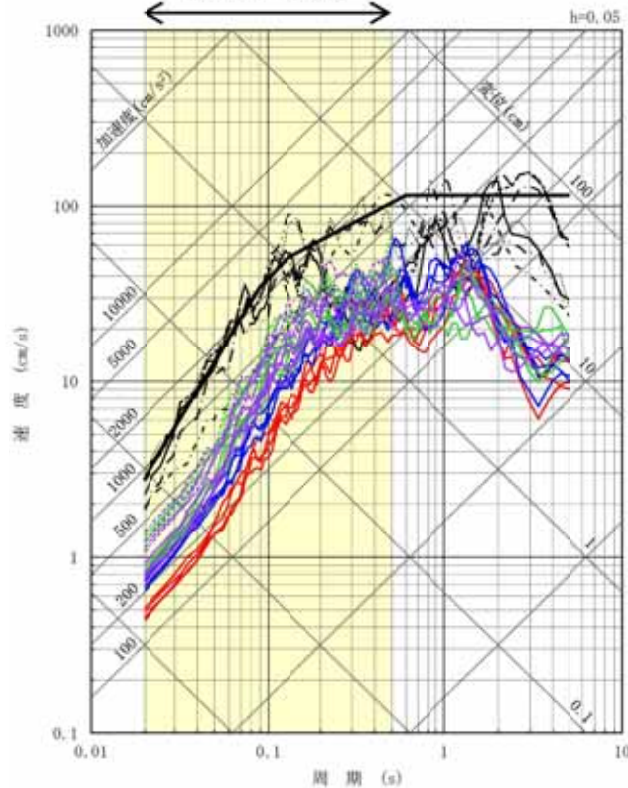
UD方向

敷地からの距離が最も近くなる位置の太平洋プレート内に震源を置いた場合の地震動評価を行い、基準地震動 S_s を下回っていることを確認した。

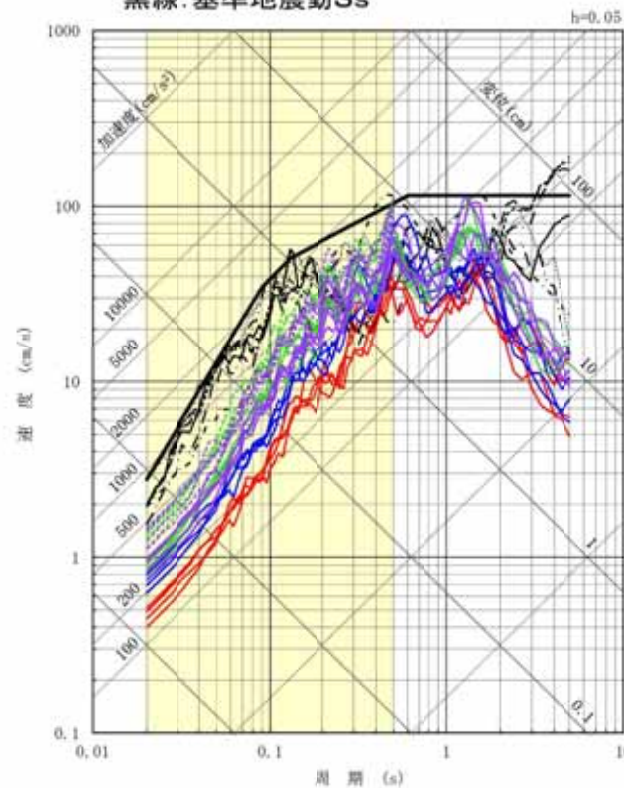
■統計的グリーン関数法による地震動評価結果

- 深さ100kmモデル(破壊開始点1~4)
 - 深さ100kmモデル+ $\Delta\sigma$ 1.5倍(破壊開始点1~4)
 - 敷地最短位置 傾斜角0度モデル(破壊開始点1~4)
 - 敷地最短位置 傾斜角90度モデル(破壊開始点1~4)
 - - - 敷地最短位置 傾斜角0度モデル 短周期帯1.5倍(破壊開始点1~4)
 - - - 敷地最短位置 傾斜角90度モデル短周期帯1.5倍(破壊開始点1~4)
 - 黒線: 基準地震動Ss
- } 第5回ワーキングチーム
} 第16回ワーキングチーム追加ケース

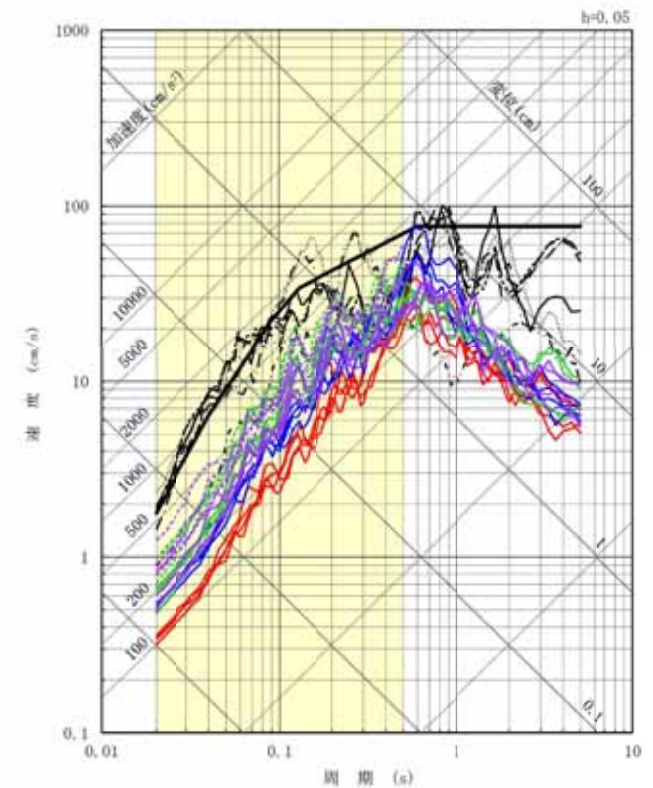
原子力施設にとって
重要な短周期帯
(0.02s~0.5s)



NS方向



EW方向



UD方向

さらに敷地に厳しい条件で地震が発生した場合の影響確認として、敷地からの距離が最も近くなる位置の太平洋プレート内に震源を置いた場合の地震動評価に対し、原子力施設にとって重要な短周期帯0.02秒から0.5秒の応答スペクトルを1.5倍(基本震源モデルの応力降下量1.5倍に相当)にしても、基準地震動Ssを下回っていることを確認した。

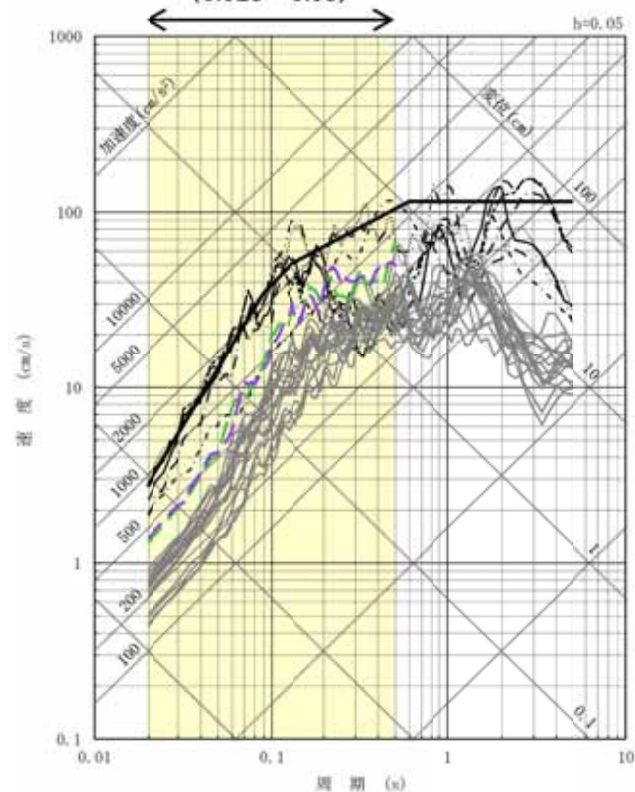
■統計的グリーン関数法による地震動評価結果

- 深さ100kmモデル(破壊開始点1~4)
- 深さ100kmモデル+ $\Delta\sigma$ 1.5倍(破壊開始点1~4)
- 敷地最短位置 傾斜角0度モデル(破壊開始点1~4)
- 敷地最短位置 傾斜角90度モデル(破壊開始点1~4)
- 敷地最短位置 傾斜角0度モデル 短周期帯1.5倍(破壊開始点1~4の包絡線)
- 敷地最短位置 傾斜角90度モデル短周期帯1.5倍(破壊開始点1~4の包絡線)
- 黒線: 基準地震動 S_s

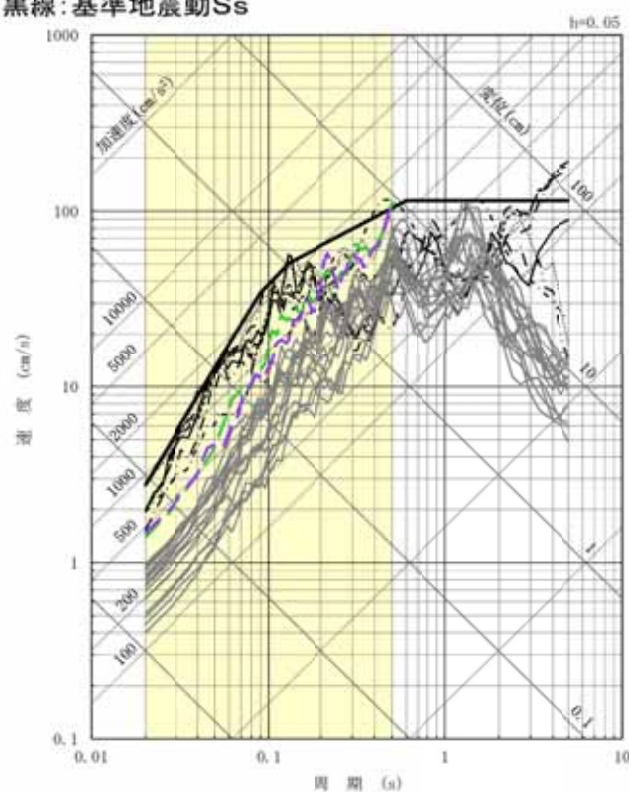
第5回ワーキングチーム

第16回ワーキングチーム
追加ケース

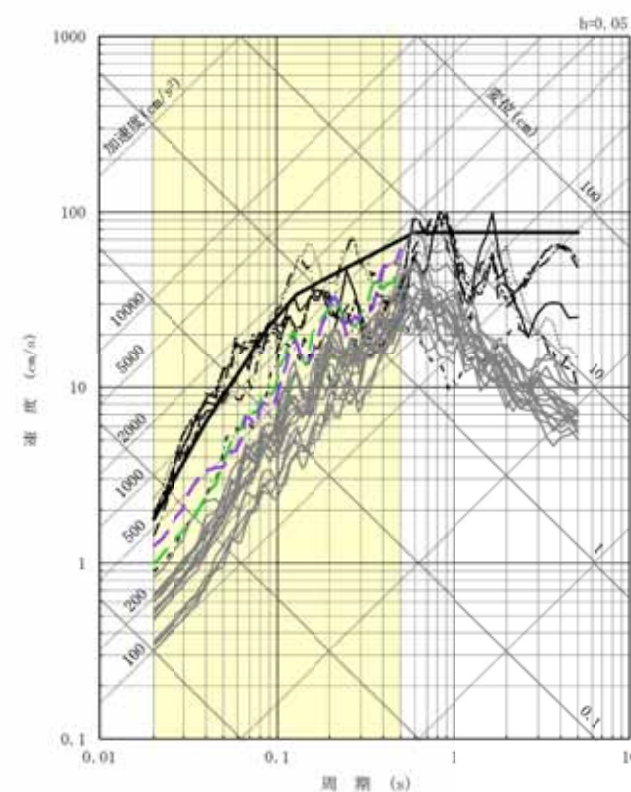
原子力施設にとって
重要な短周期帯
(0.02s~0.5s)



NS方向



EW方向



UD方向

1. 発電所真下又はサイトから最も近くなる位置の太平洋プレート内に震源を置いた場合
断層モデルを用いた手法による評価結果(敷地最短位置+短周期帯1.5倍(詳細)の影響確認)

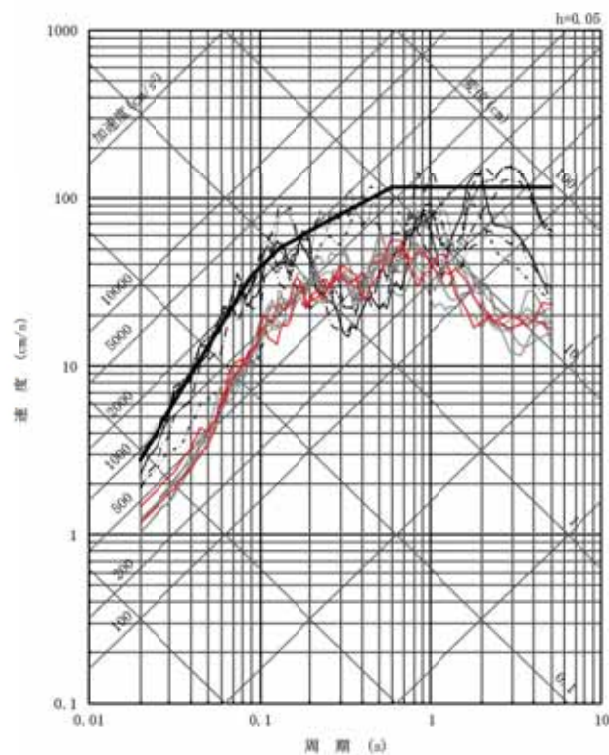


■統計的グリーン関数法による地震動評価結果

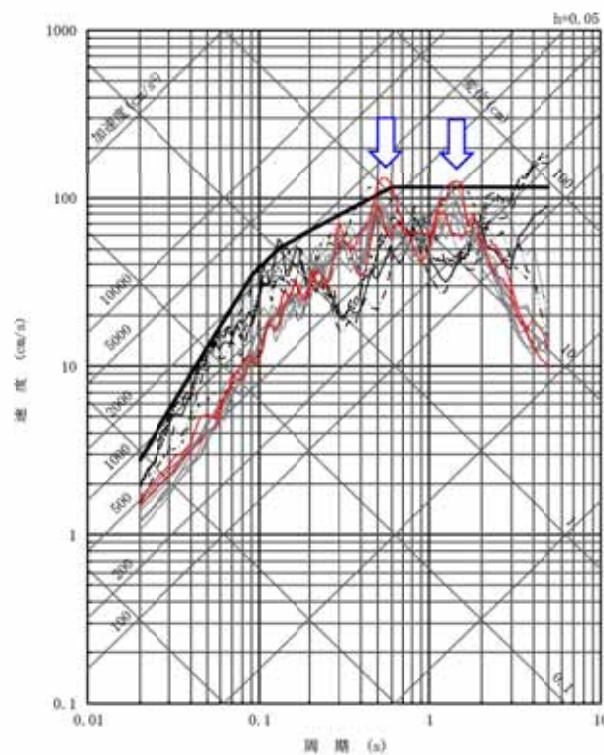
- ・1993年釧路沖型地震(敷地最短位置+応力降下量1.5倍(詳細)の影響確認)は、一部の周期帯で基準地震動 S_s を超過した(傾斜角 0° 破壊開始点2, 傾斜角 90° 破壊開始点1, 2, 3)。
- ・これらのうち、影響が大きいと考えられる傾斜角 90° 破壊開始点2, 3を代表として選定し、施設への影響評価を行う。

— : 1993年釧路沖型地震(敷地最短位置+応力降下量1.5倍(詳細)の影響確認) 施設影響検討ケース
— : 1993年釧路沖型地震(敷地最短位置+応力降下量1.5倍(詳細)の影響確認) その他のケース
 黒実線, 黒破線 : 基準地震動 S_s

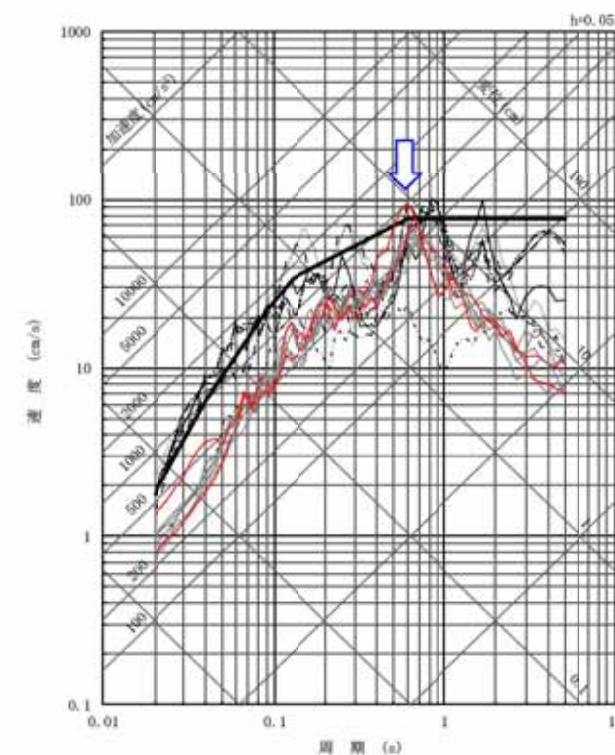
(青矢印は S_s 超過の個所を示す)



NS成分



EW成分

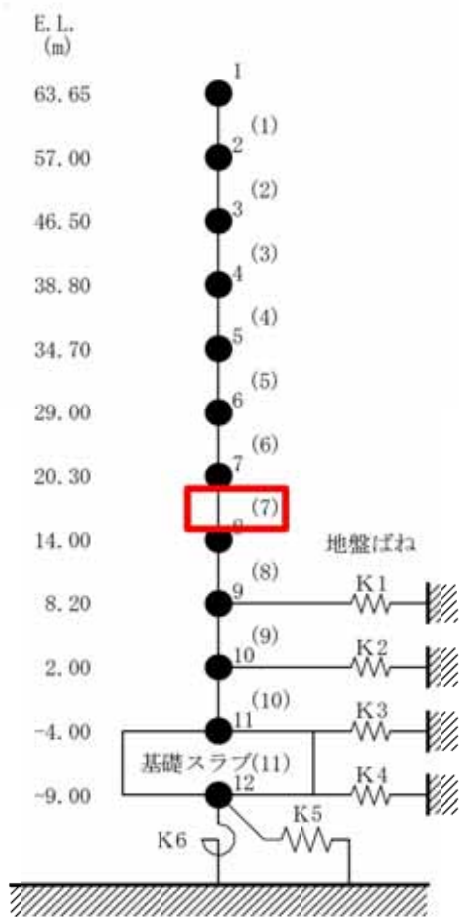


UD成分

施設影響検討(1/4)

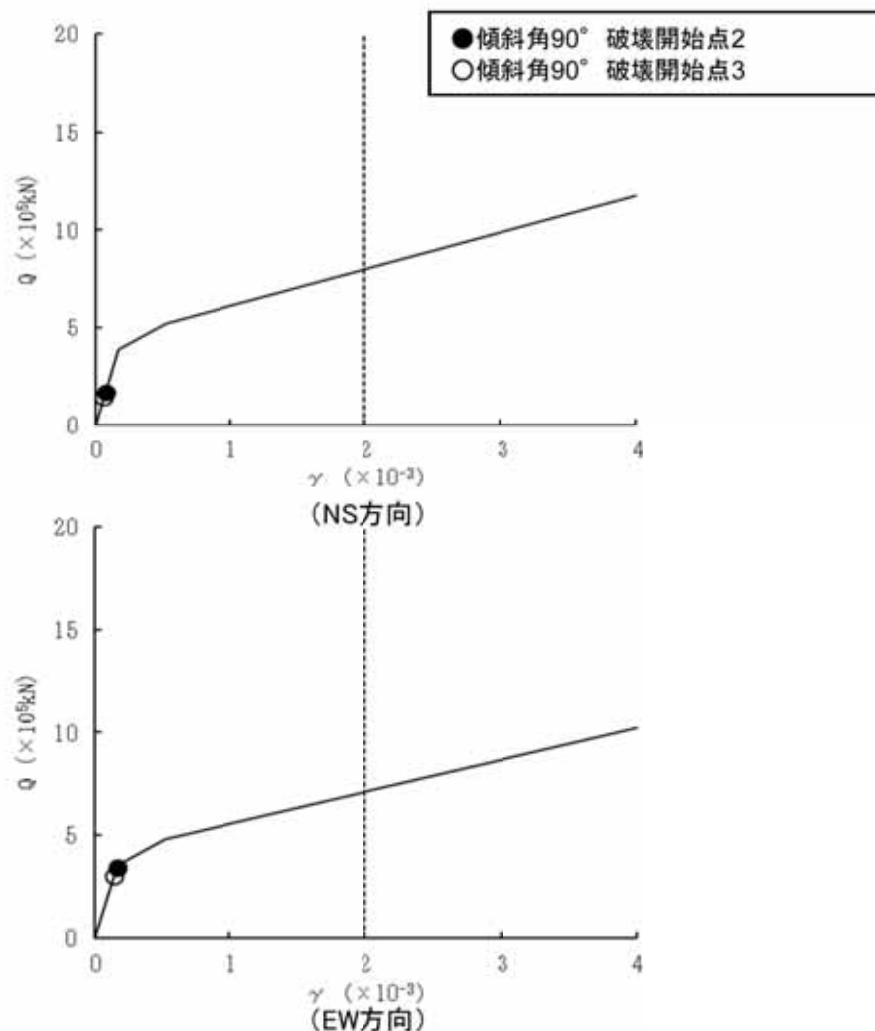
■ [] の耐震評価結果

- ・ 1993年釧路沖型地震(敷地最短位置+応力降下量1.5倍の影響確認)を入力とした [] の地震応答解析を実施し、耐震壁のせん断ひずみを算出した結果、耐震壁の最大せん断ひずみが最も大きくなるのは要素番号(7)の 0.166×10^{-3} であり、許容限界(2.0×10^{-3})を超えないことを確認した。



※ 数字は質点番号を示す。
 ※ () 内は要素番号を示す。

地震応答解析モデル(水平方向)

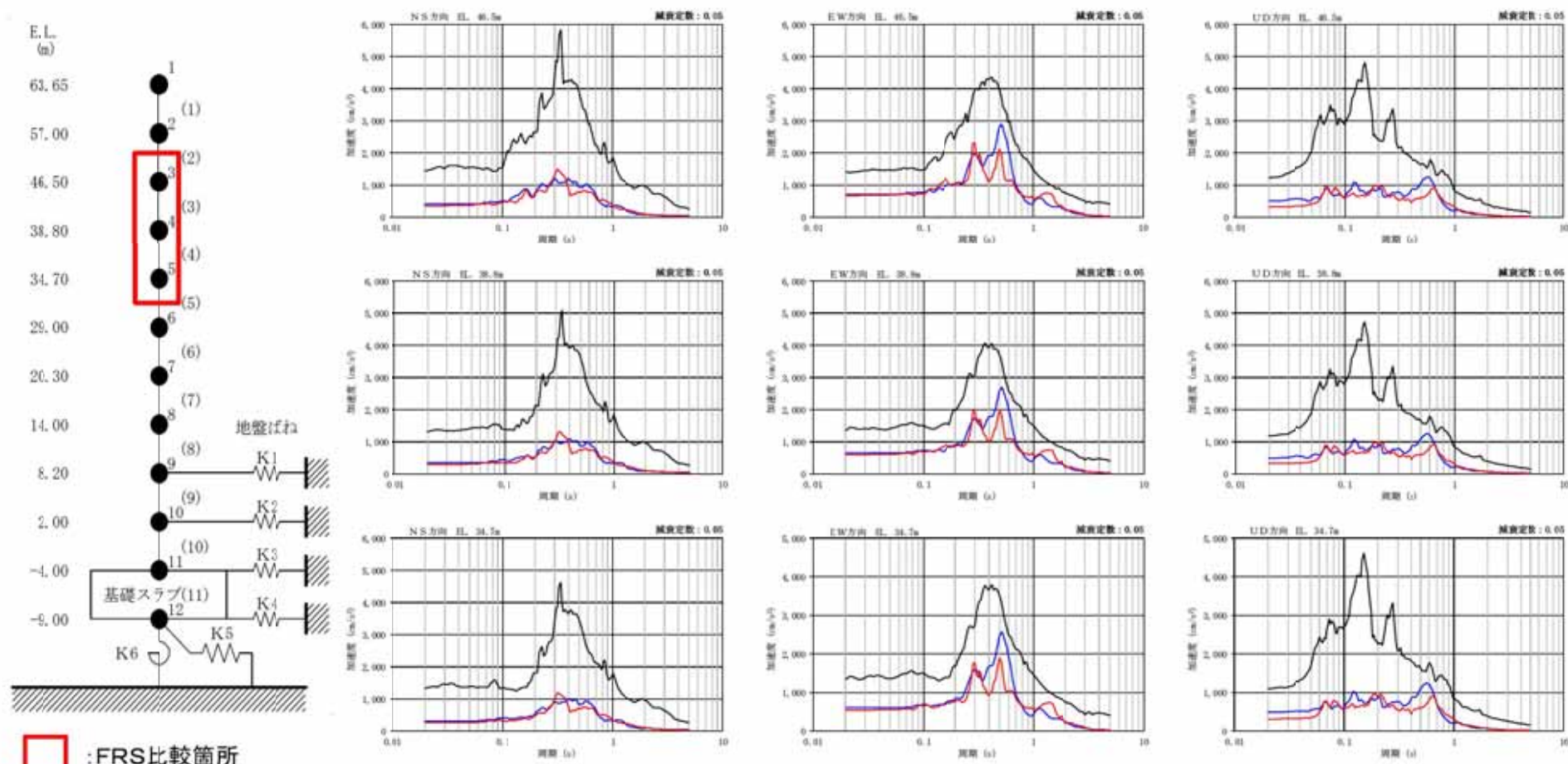


せん断スケルトン曲線上の最大応答値(要素番号(7))

■ 設備の影響検討結果

1993年釧路沖型地震(敷地最短位置+応力降下量1.5倍の影響確認)を入力とした の地震応答解析の応答を用いて作成した床応答スペクトルと、設備設計に適用した基準地震動Ss8波を用いた床応答スペクトルとを比較した。下図に示すとおり**設備設計に適用した床応答スペクトルは、1993年釧路沖型地震(敷地最短位置+応力降下量1.5倍の影響確認)による床応答スペクトルよりも大きいことを確認した。**

— 傾斜角90° 破壊開始点2 — 傾斜角90° 破壊開始点3 — 設備設計用床応答スペクトル(Ss8波包絡)



: FRS比較箇所

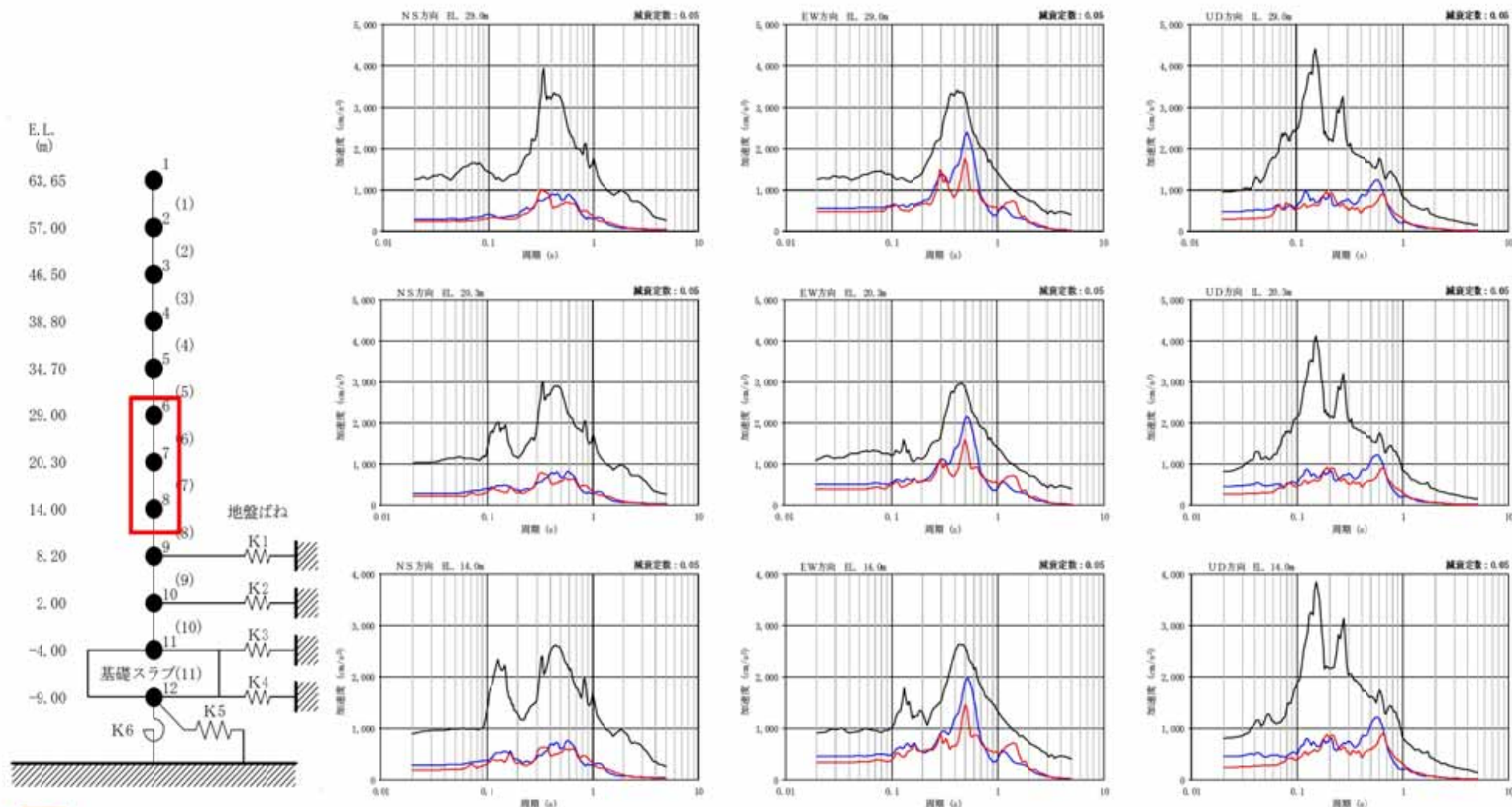
地震応答解析モデル(例:水平方向)

床応答スペクトル比較図

1. 発電所真下又はサイトから最も近くなる位置の太平洋プレート内に震源を置いた場合
 施設影響検討(3/4)



— 傾斜角90° 破壊開始点2 — 傾斜角90° 破壊開始点3 — 設備設計用床応答スペクトル(Ss8波包絡)



 : FRS比較箇所

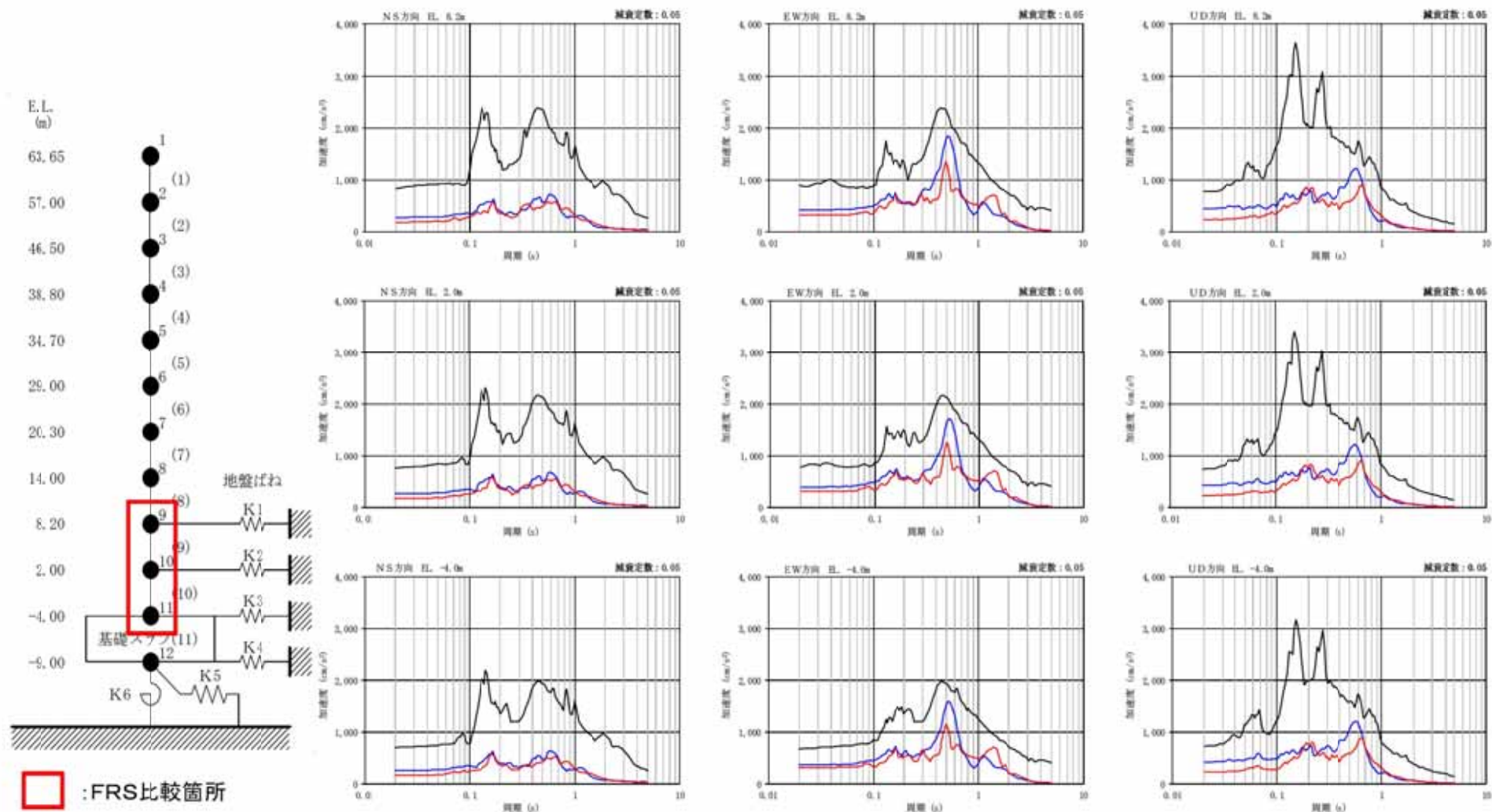
地震応答解析モデル(水平方向)

床応答スペクトル比較図

1. 発電所真下又はサイトから最も近くなる位置の太平洋プレート内に震源を置いた場合
施設影響検討(4/4)



— 傾斜角90° 破壊開始点2 — 傾斜角90° 破壊開始点3 — 設備設計用床応答スペクトル(Ss8波包絡)




:FRS比較箇所

地震応答解析モデル(水平方向)

床応答スペクトル比較図

1. 発電所真下又はサイトから最も近くなる位置の太平洋プレート内に震源を置いた場合

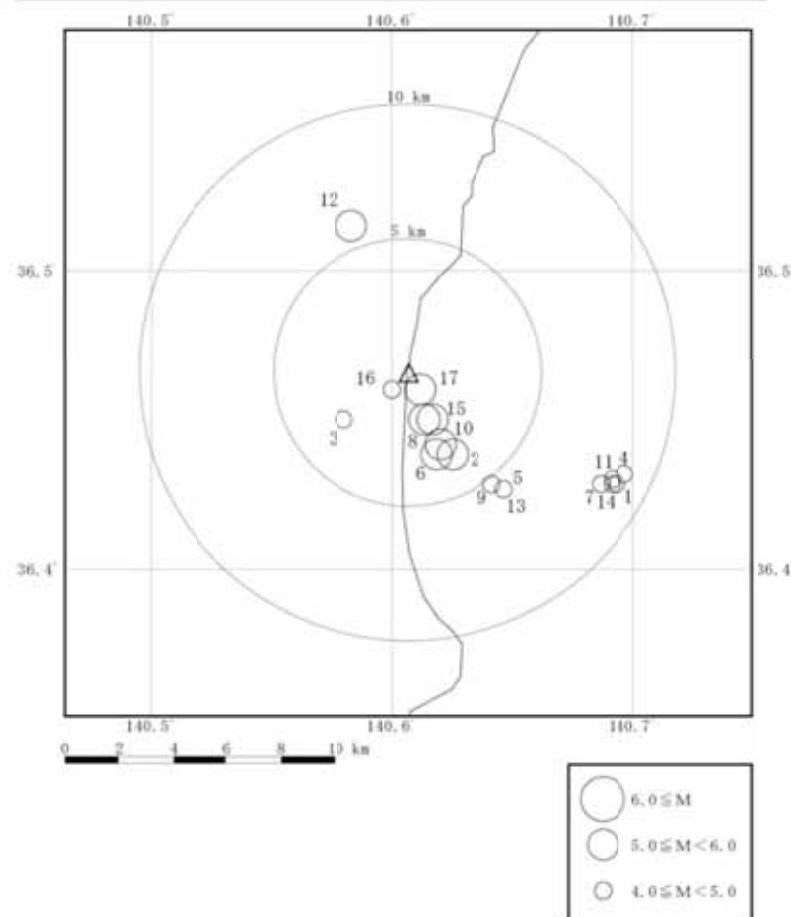
参考 2011年東北地方太平洋沖地震以降、敷地周辺で発生した地震(2022年1月現在) 

■2011年東北地方太平洋沖地震以降、敷地周辺(半径10km以内)で発生した地震のうち、最大震度が4以上の地震について、発生場所と地震諸元を整理した。全て50kmより深い場所で発生しており、震源メカニズム解より、ほとんどがプレート間地震と考えられるが、2019年6月17日の地震(M5.1)については太平洋プレートの内部で発生した地震と考えられる。

2011年東北地方太平洋沖地震～2021年12月31日の期間に発生した敷地周辺(半径10km以内)の地震のうち、最大震度が4以上の地震の諸元

	発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度※1	震源メカニズム解	タイプ
1	2011/9/10 15:00	茨城県沖	36° 25.7'N	140° 41.6'E	53km	M4.8	4		プレート間
2	2012/3/1 7:32	茨城県沖	36° 26.3' N	140° 37.5' E	56km	M5.3	5弱		プレート間
3	2013/3/18 6:53	茨城県北部	36° 27.0'N	140° 34.8'E	56km	M4.4	4		プレート間
4	2013/10/12 2:43	茨城県沖	36° 25.9'N	140° 41.8'E	52km	M4.8	4		プレート間
5	2013/10/20 10:07	茨城県沖	36° 25.6'N	140° 38.8'E	53km	M4.3	4		プレート間
6	2015/8/6 18:22	茨城県沖	36° 26.3'N	140° 37.1'E	55km	M5.2	4		プレート間
7	2015/11/22 8:20	茨城県沖	36° 25.7'N	140° 41.2'E	52km	M4.8	4		プレート間
8	2016/7/27 23:47	茨城県北部	36° 27.0' N	140° 36.8' E	57km	M5.4	5弱		プレート間
9	2017/1/18 17:19	茨城県沖	36° 25.7'N	140° 38.5'E	53km	M4.2	4		プレート間
10	2018/3/30 8:17	茨城県沖	36° 26.5'N	140° 37.2'E	56km	M5.1	4		プレート間
11	2018/7/17 4:34	茨城県沖	36° 25.8'N	140° 41.5'E	52km	M4.8	4		プレート間
12	2019/6/17 8:00	茨城県北部	36° 30.9'N	140° 35.0'E	77km	M5.1	4		プレート内
13	2020/1/21 19:17	茨城県沖	36° 25.6'N	140° 38.8'E	53km	M4.2	4		プレート間
14	2020/5/4 5:31	茨城県沖	36° 25.7'N	140° 41.5'E	52km	M4.8	4		プレート間
15※3	2020/12/30 9:35	茨城県沖	36° 27.0'N	140° 37.0'E	56km	M5.2	4		プレート間
16※3	2020/12/30 9:36	茨城県北部	36° 27.6'N	140° 36.0'E	51km	M4.1			プレート間
17	2021/11/01 6:14	茨城県北部	36° 27.6'N	140° 36.7'E	57km	M5.3	4		プレート間

参考: 左表の地震では被害が生じておらず、2011年東北地方太平洋沖地震の影響を下回る。

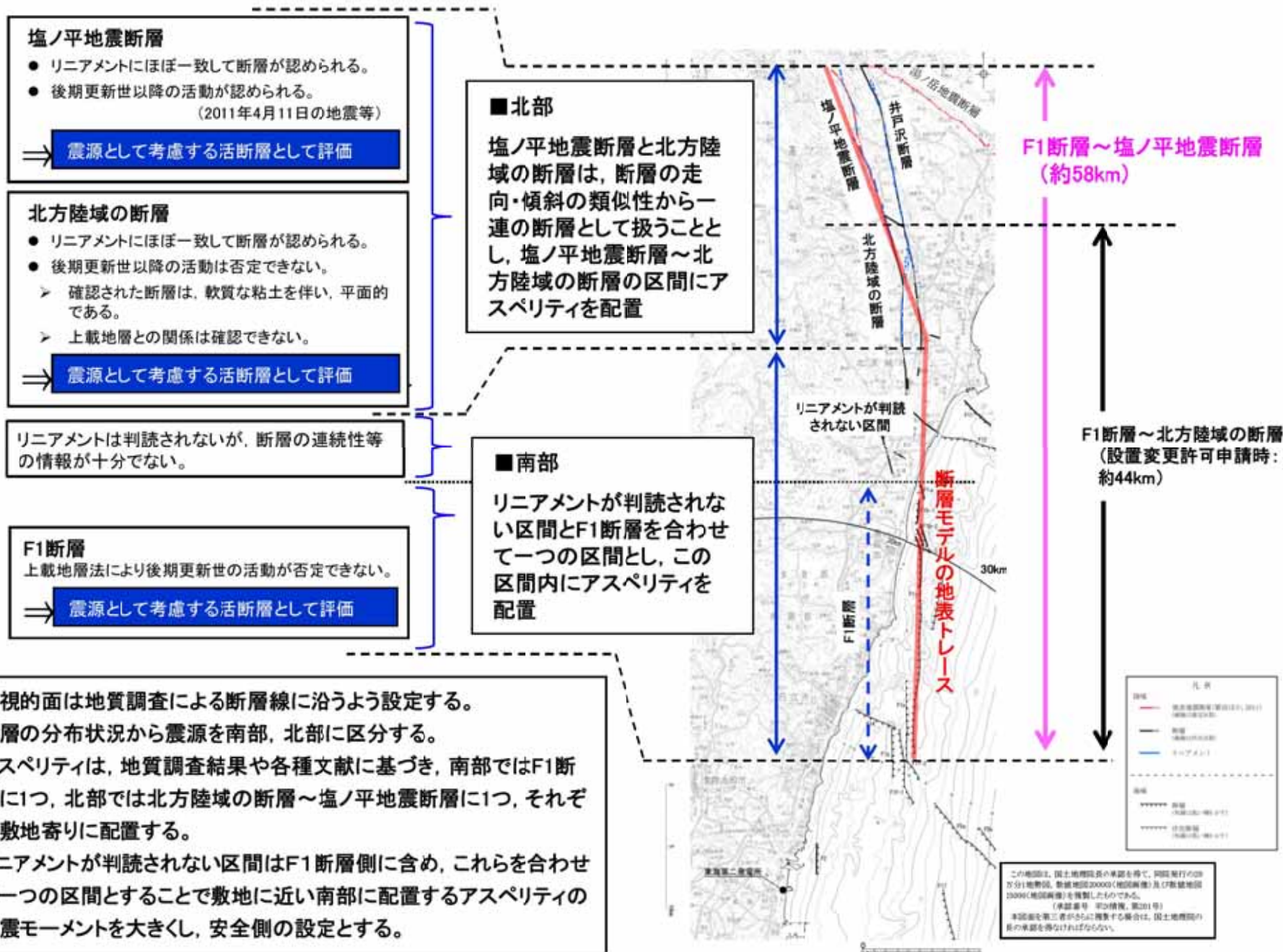


2011年東北地方太平洋沖地震～2021年12月31日の期間に発生した敷地周辺(半径10km以内)の地震のうち、最大震度が4以上の地震の震央分布

※1 敷地から10km以内かどうかに関わらず当該地震で観測した最大震度を示す。

※2 地震諸元(発生日時～最大震度)は気象庁地震カタログ、震源メカニズム解は防災科学技術研究所広帯域地震観測網F-netによる。

※3 2つの地震はほぼ同時に発生しており、気象庁によると震度の分離はできないとされている。



基本震源モデルの設定

■地質調査結果や2011年福島県浜通りの地震から得られる知見を参考に基本震源モデルを設定する。

【断層形状, 断層タイプ】

- 断層長さは、2018年9月の設置変更許可に基づき、F1断層から塩ノ平地震断層までの同時活動を考慮した約58kmとする。
- 地震動評価におけるセグメント区分は、断層の分布状況から震源を南部と北部に区分する。その際、リニアメントが判読されない区間はF1断層側に含め、これらを合わせて一つの区間とすることで敷地に近い南部区間の地震モーメントを大きくし、安全側の設定とする。
- 地震のタイプは、2011年福島県浜通りの地震が正断層であることや福島県から茨城県にかけての領域は正断層応力場とする知見(例えば青柳・上田(2012))、さらにF1断層における音波探査結果から正断層センスのずれが認められることを踏まえ正断層とする。
- 断層傾斜角は、F1断層における音波探査結果や2011年福島県浜通りの地震の震源インバージョンモデルでの傾斜角(57~73度)を参考に西傾斜60度とする。
- 断層幅は、断層上端深さを3km、下端深さを18kmとして断層傾斜角60度を考慮した17.3kmとする。

【アスペリティ位置】

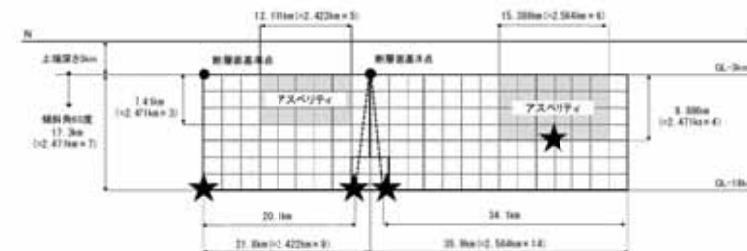
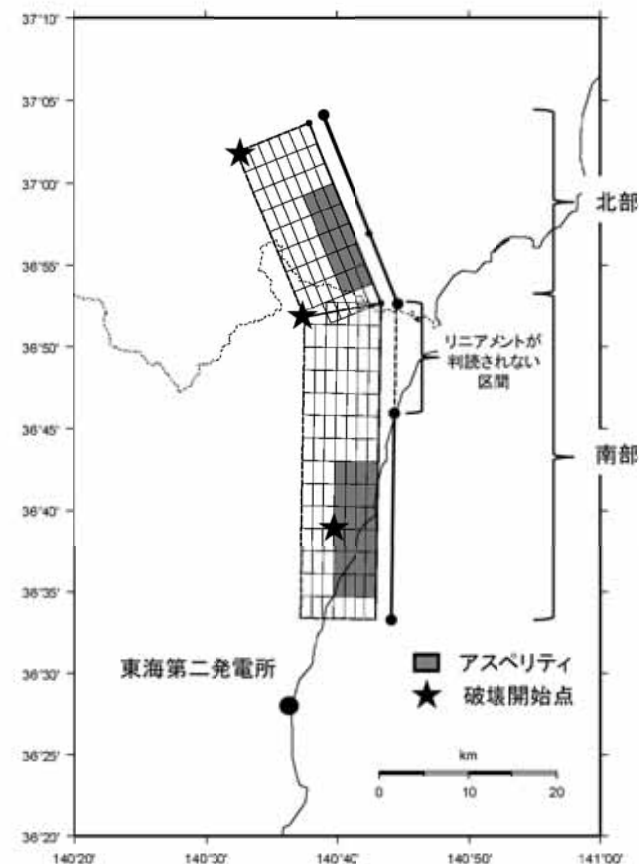
- アスペリティの位置は、地質調査結果に基づき、南部区間のうち調査でわかっているF1断層に1つ、北部では北方陸域の断層~塩ノ平地震断層に1つ、それぞれ敷地に近くなるように配置する。
- 断層長さ方向の配置は、Manighetti et al.(2005)等の知見を踏まえるとアスペリティのように大きなすべりが生じる領域とすべりが無い領域が隣接することは考えにくいことから、断層端部との間に1マス分背景領域を設定する。断層幅方向の配置については、すべりに追従する表層(地表から断層上端までの強震動を出さない層)が存在するので安全側に断層上端にアスペリティを配置する。
- なお、リニアメントが判読されない区間をF1断層側に含め、これらを合わせて一つの区間とすることで、敷地に近い南部に配置するアスペリティの地震モーメントを大きくし、安全側の設定とする。

【破壊開始点位置】

破壊開始点は、強震動予測レシピ、糸井ほか(2009)、平田・佐藤(2007)を踏まえ、アスペリティ下端や断層下端のうち敷地への影響の大きい位置に複数設定する。

【破壊伝播速度 V_r 】

破壊伝播速度は、強震動予測レシピで用いられているGeller(1976)より、 $V_r=0.72V_s$ とする。

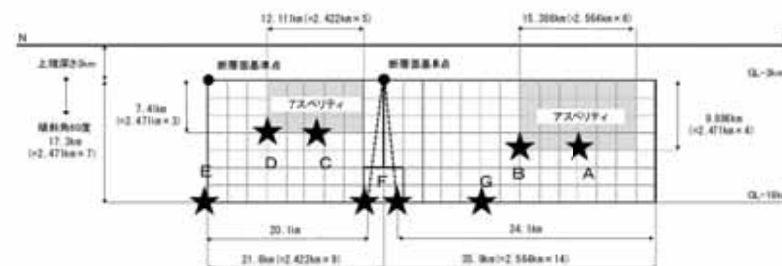
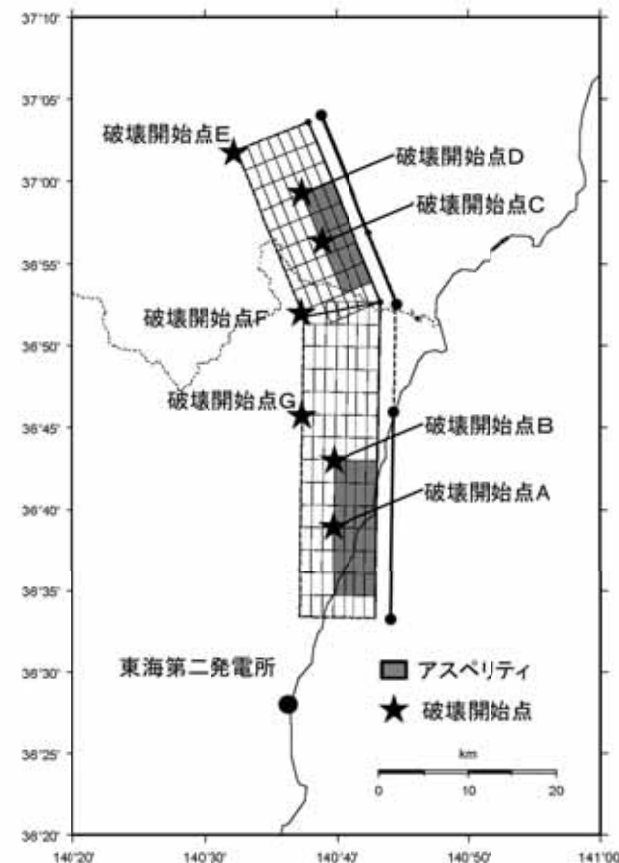


基本震源モデル

破壊開始点位置: 検討方針

■破壊開始点の設定位置は、下記の方針で検討する。

- ・破壊開始点について、強震動予測レシビ、糸井ほか(2009)、平田・佐藤(2007)を踏まえアスペリティ下端及び断層下端に設定する。
- ・設定に際しては、破壊が敷地に向かう位置に複数設定する。具体的には各アスペリティ下端(中央及び北)と断層下端(中央及び北)に設定する。また、物理的観点から、ひずみの差が生じる可能性のあるF1断層の断層下端にも設定する。
- ・基本震源モデルを対象に、経験的グリーン関数法により評価を実施し、影響の大きい破壊開始点を代表として選定する。

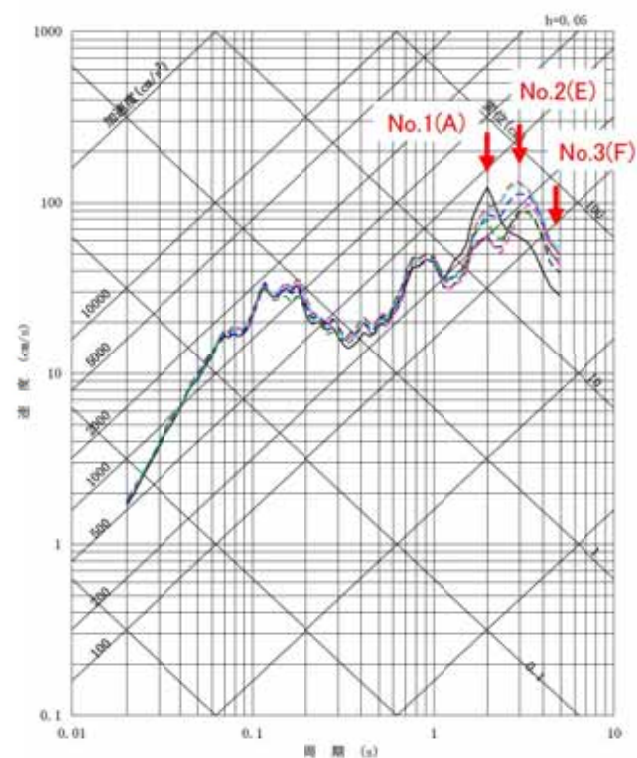


基本震源モデル

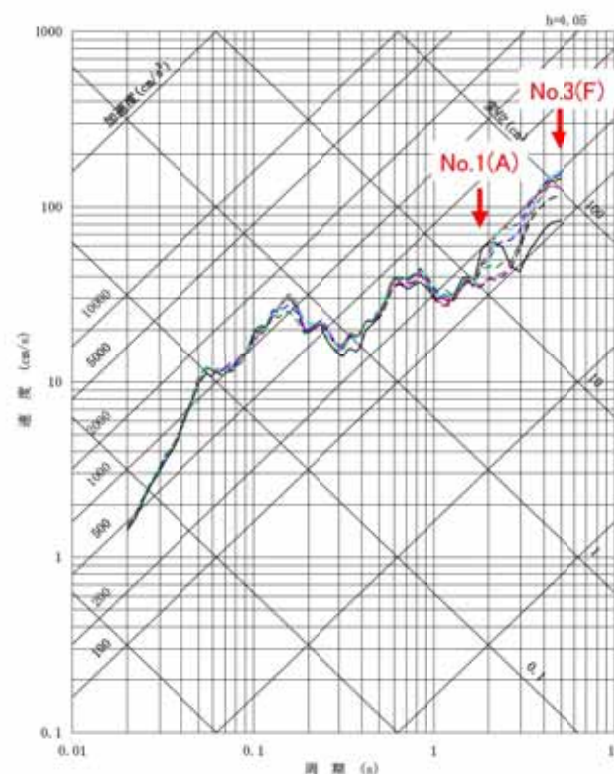
破壊開始点位置:破壊開始点の選定結果

■各破壊開始点による地震動評価結果(平均応答スペクトル)

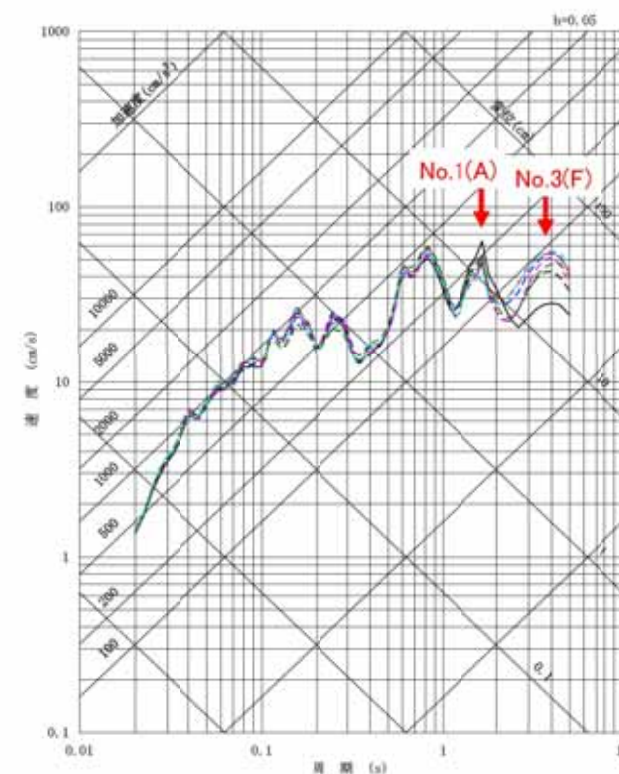
- 破壊開始点A(破壊開始点1)
- - - 破壊開始点B
- - - 破壊開始点C
- - - 破壊開始点D
- - - 破壊開始点E(破壊開始点2)
- - - 破壊開始点F(破壊開始点3)
- - - 破壊開始点G



NS成分



EW成分



UD成分

短周期側は、各破壊開始点の地震動評価結果は同様の傾向を示している。長周期側は破壊開始点A, E, Fの影響がやや大きい。断層モデルを用いた手法による地震動評価の破壊開始点は、アスペリティ下端及び断層下端に設定した中から敷地への影響が大きい3点(破壊開始点A, E, F)で代表させ、それぞれ破壊開始点1, 2, 3とする。

2011年東北地方太平洋沖型地震の基本震源モデル

■断層形状、強震動生成域の位置等は下記の通り設定する。

【断層形状】

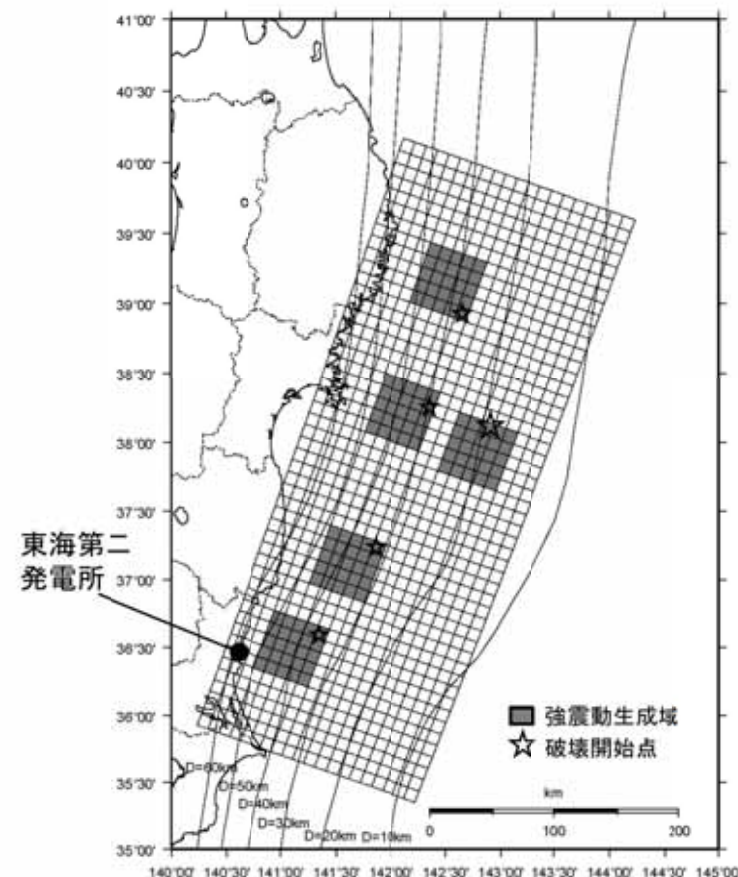
- ・長さ、幅は、東北地方太平洋沖地震の震源域を参考にそれぞれ500km、200kmとする。
- ・走向は、東北地方太平洋沖地震に関する防災科学技術研究所F-netのCMT解を用いる。深さは、太平洋プレートの上面に沿ってモデル化する。

【強震動生成域の位置】

- ・地震調査研究推進本部の領域区分に基づき5個の強震動生成域を設定し、東北地方太平洋沖地震の強震動生成域や、それぞれの領域で過去に発生したM7～M8クラスの地震の震源域を参考に配置する。
- ・茨城県沖の強震動生成域の位置は、東北地方太平洋沖地震の敷地での観測記録を再現できる位置としており、各文献で示された東北地方太平洋沖地震の強震動生成域の中では敷地に最も近い位置である。
- ・この位置は、過去に発生したM7クラスの地震の中では最も敷地に近い1938年塩屋崎沖の地震(M7.0)や1896年鹿島灘の地震(M7.3)の震央位置と対応していることを確認している。

【破壊開始点】

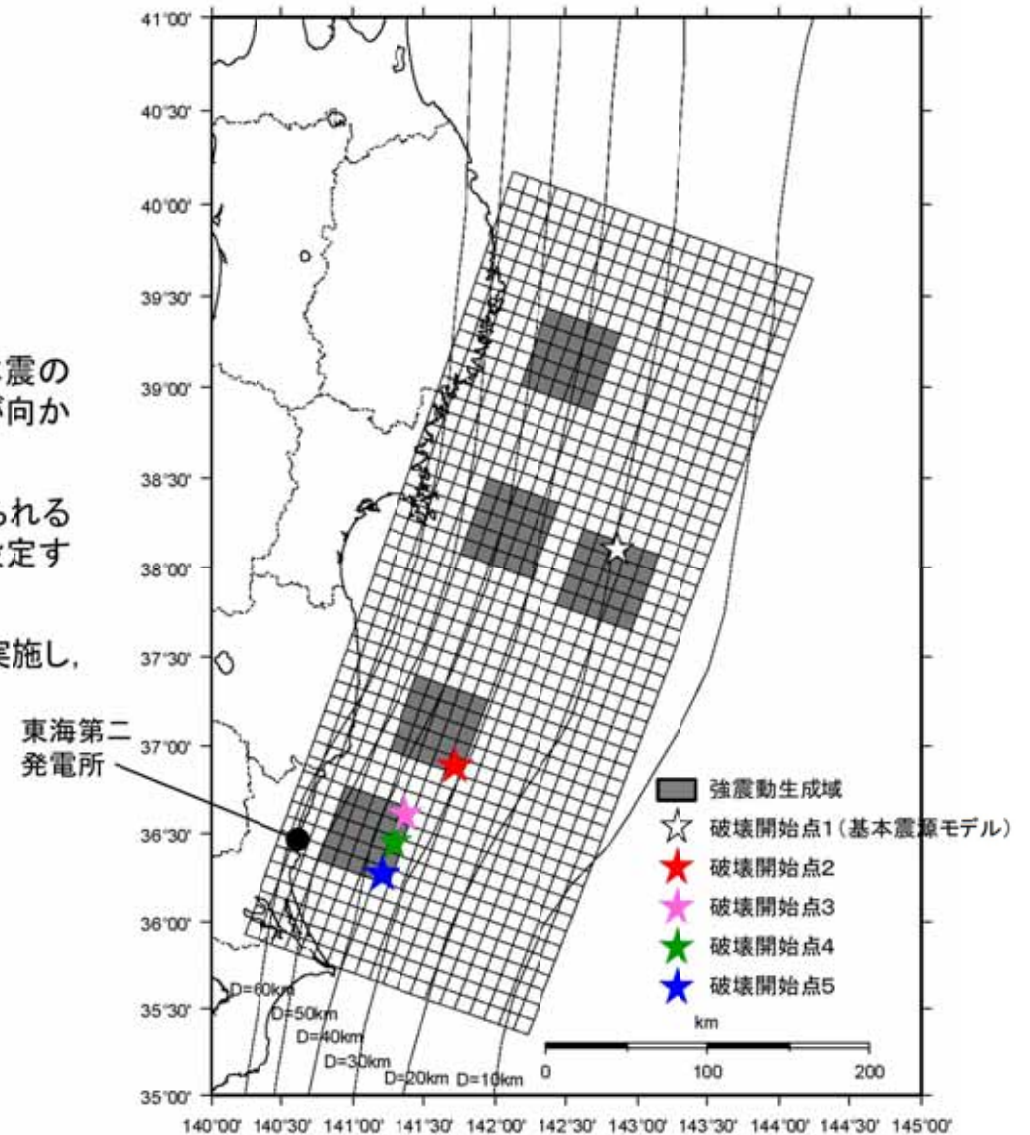
東北地方太平洋沖地震の震源位置に設定する。



基本震源モデル

破壊開始点位置の違いによる影響検討(1/2)

- 基本震源モデルの破壊開始点は、東北地方太平洋沖地震の本震の破壊開始点(図の破壊開始点1)とすることにより、敷地へ破壊が向かうような設定となっている。
- しかしながら、敷地近くの強震動生成域から破壊することも考えられるため、茨城県沖や福島県沖の強震動生成域に破壊開始点を設定する。
- 基本震源モデルを対象に、経験的グリーン関数法により評価を実施し、各破壊開始点による影響を確認する。



全体の破壊開始点のみ図示する。

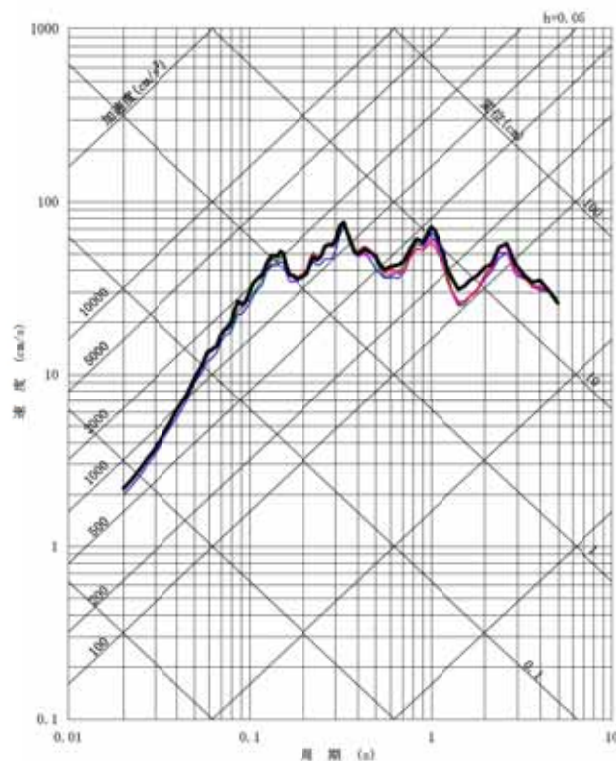
基本震源モデル

破壊開始点位置の違いによる影響検討(2/2)

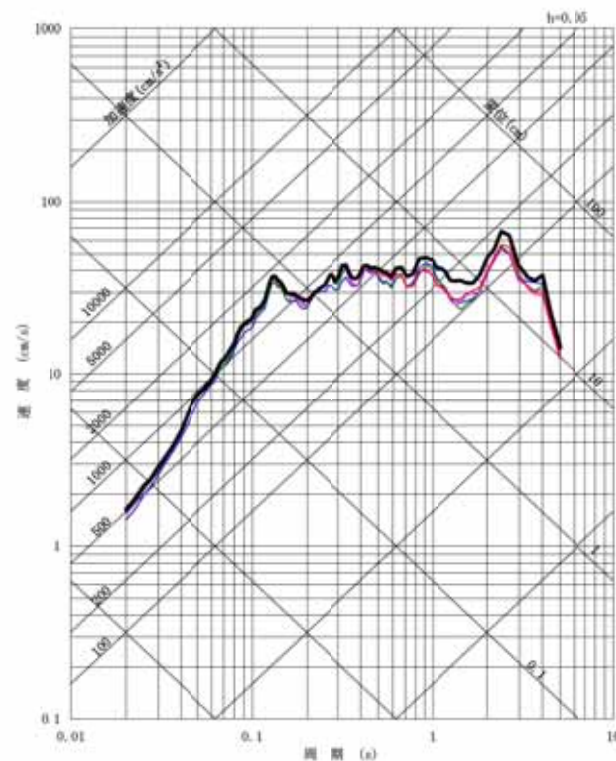
■各破壊開始点による地震動評価結果(平均応答スペクトル)

- 各破壊開始点の地震動評価結果はいずれも同様の傾向を示しており、破壊開始点位置の影響は小さいため、基本震源モデルで考慮する破壊開始点は破壊開始点1で代表させる。

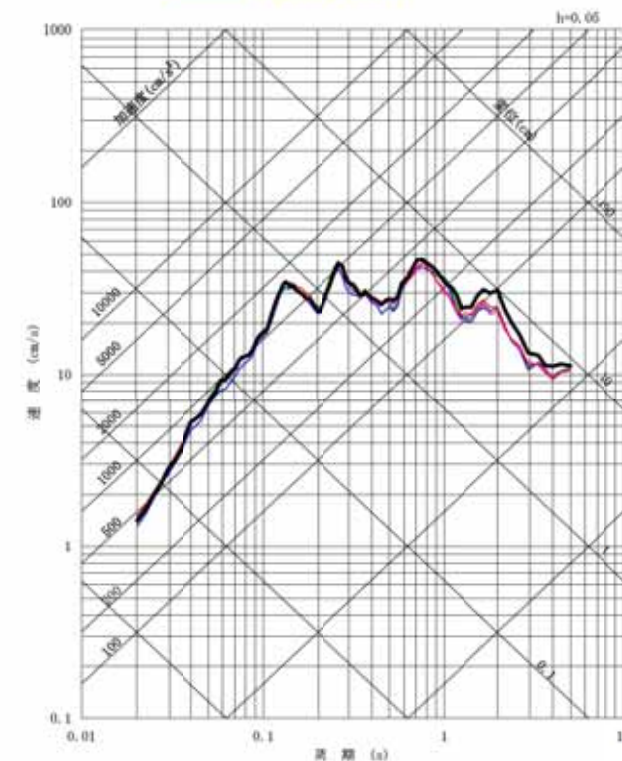
- 破壊開始点1(基本震源モデル)
- 破壊開始点2
- 破壊開始点3
- 破壊開始点4
- 破壊開始点5



NS成分



EW成分



UD成分

プレート間地震(2011年東北地方太平洋沖型地震)の破壊開始点は、敷地へ破壊が向かう、東北地方太平洋沖地震の本震の破壊開始点としている。また、敷地近くの強震動生成域から破壊すること想定して地震動評価を行い、破壊開始点位置の影響は小さいことを確認した。

不確かさの考慮

第5回

■不確かさの考慮

F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震に関する各パラメータについて、地震動への影響の程度を検討し、敷地に大きな影響を与えると考えられるパラメータに対して不確かさを考慮する。

評価ケース	認識論的不確かさ					偶然的不確かさ
	断層上端深さ※1	断層下端深さ※2	断層傾斜角	短周期レベル	アスペリティ位置	破壊開始点
基本震源モデル	3km	18km	60度 (西傾斜)	強震動予測レンジの平均	敷地に近い位置に配置	複数設定
短周期レベルの不確かさ	3km	18km	60度 (西傾斜)	強震動予測レンジの1.5倍	敷地に近い位置に配置	複数設定
断層傾斜角の不確かさ	3km	18km	45度 (西傾斜)	強震動予測レンジの平均	敷地に近い位置に配置	複数設定
アスペリティ位置の不確かさ	3km	18km	60度 (西傾斜)	強震動予測レンジの平均	断層端部に配置	複数設定

<基準地震動Ssに選定している地震動>

- Ss-11 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- Ss-12 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-13 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- Ss-14 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)



基準地震動Ss-14に選定しているF1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)を対象として、短周期レベルの不確かさの重畳を考慮して地震動評価を行う。

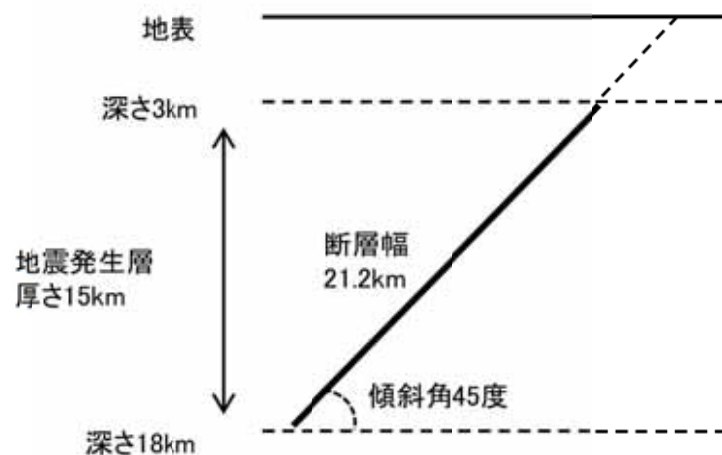
※1 2011年福島県浜通りの地震の震源域以外では断層上端深さは3kmよりも深いことが推定されるが、震源モデルの全域にわたり保守的に3kmに設定した。

※2 2011年福島県浜通りの地震の震源域では断層下端深さは浅いことが推定されるが、震源モデルの全域にわたり保守的に18kmに設定した。

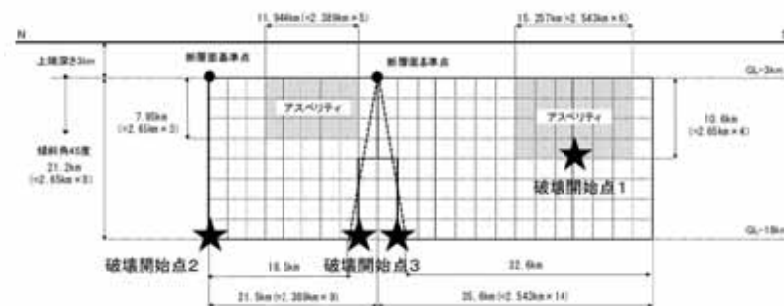
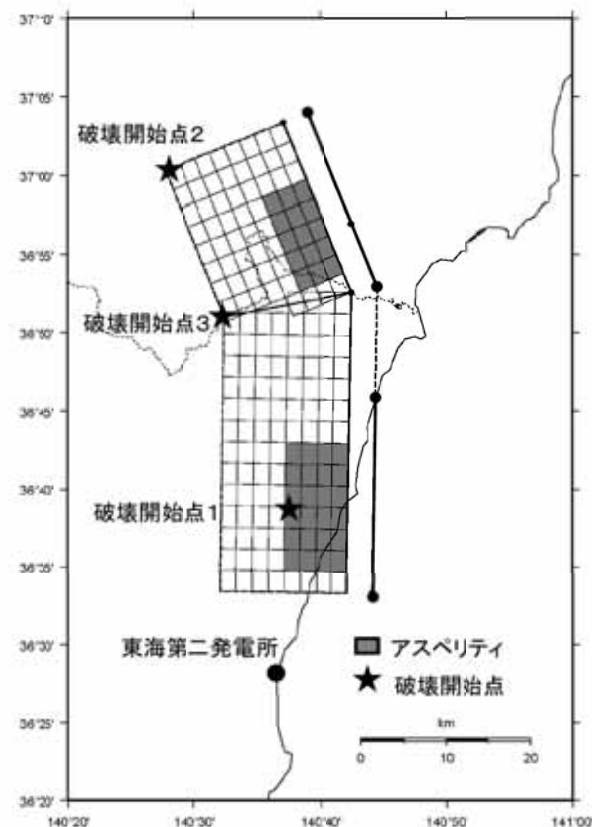
断層傾斜角の不確かさについて

■断層形状, 断層タイプ

- 基本震源モデルの断層傾斜角について、F1断層の海上音波探査結果では高角とされているが、縦ずれ断層であることを考慮し西傾斜60度としている。
- しかしながら、海上音波探査結果はその範囲が浅部にとどまることや震源再決定した青柳・上田(2012), Kato et al.(2013)における2011年福島県浜通りの地震の余震分布形状が、必ずしも明瞭なトレンドを示していないことを踏まえ、不確かさとして断層全域にわたり傾斜角45度を考慮する。
- 断層幅は、地震発生層上端深さ3km, 下端深さ18kmについて断層傾斜角を考慮して飽和した値として21.2kmとする。
- 基本震源モデルと同様に正断層とする。



断面図 (模式図)



断層傾斜角の不確かさを考慮した震源モデル

追加ケースの断層パラメータ

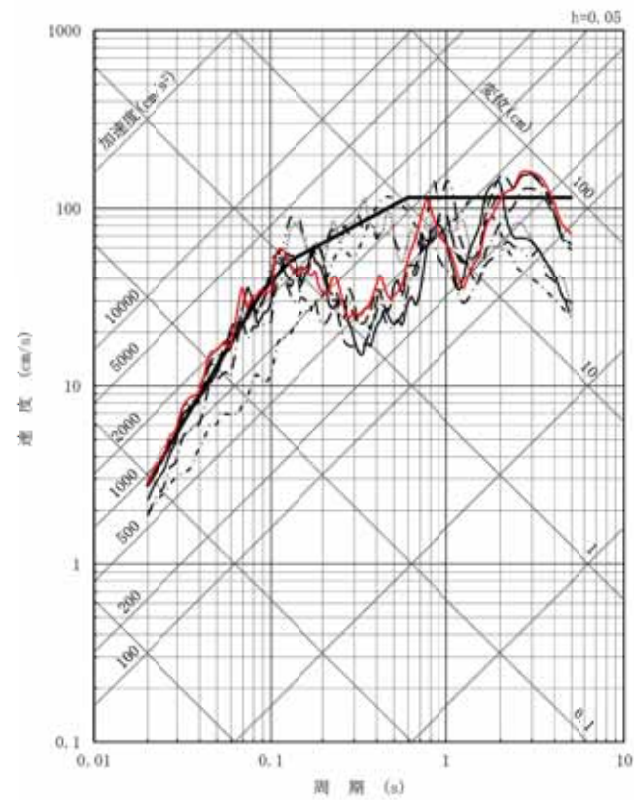
■断層パラメータ(断層傾斜角と短周期レベルの不確かさ重畳)

項目	設定値			設定方法	
	全体	北部	南部		
断層上端長さ(km) 断層下端長さ(km)	57.1 51.1	21.5 18.5	35.6 32.6	活断層調査結果による位置を基に設定	
断層傾斜角(度)	45(西傾斜)	45(西傾斜)	45(西傾斜)	活断層調査結果の不確かさなどを踏まえ設定	
断層上端深さ(km) 断層下端深さ(km)	3 18	3 18	3 18	断層上端深さは、2011年福島県浜通りの地震の震源域における微小地震分布等の知見を考慮し3kmと設定している。震源モデルの南部では3kmよりも深いと想定されるが、保守的に3kmとする。 断層下端深さは、広域の微小地震分布を考慮し18kmと設定している。震源モデルの北部ではそれよりも浅いと想定されるが、保守的に18kmとする。	
断層幅W(km)	21.2	21.2	21.2	地震発生層と断層傾斜角から設定	
断層面積S(km ²)	1146.9	424.0	722.9	断層面より算定	
破壊伝播様式	同心円状	同心円状	同心円状	—	
地震モーメントM ₀ (N・m)	7.32E+19	2.27E+19	5.05E+19	$M_0 = [S / (4.24 \times 10^{-11})]^2 / 10^7$ 全体の地震モーメントを断層面積の1.5乗比で分配	
剛性率(N/m ²)	3.50E+10	3.50E+10	3.50E+10	$\mu = \rho \beta^2$, $\rho = 2.7g/cm^3$, $\beta = 3.6km/s$ (β は敷地周辺を対象にした地震波速度トモグラフィ、 ρ は地震本部による「全国1次地下構造モデル(暫定版)」を参考に設定)	
平均すべり量D(cm)	182.3	152.9	199.6	$D = M_0 / (\mu S)$	
平均応力降下量 $\Delta \sigma$ (MPa)	3.1	3.1	3.1	Fujii and Matsu'ura(2000)による	
破壊伝播速度V _r (km/s)	2.59	2.59	2.59	$V_r = 0.72 \beta$ (Geller,1976による)	
短周期レベルA(N・m/s ²)(参考)	2.22E+19	—	—	$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	
アスベリティ	面積S _a (km ²)	252.3	93.3	159.0	$S_a = 0.22S$
	平均すべり量D _a (cm)	364.6	305.7	399.2	$D_a = 2D$
	地震モーメントM _{0a} (N・m)	3.22E+19	9.98E+18	2.22E+19	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
	応力降下量 $\Delta \sigma_a$ (MPa)	21.14	21.14	21.14	$\Delta \sigma_a = \Delta \sigma \times S / S_a \times 1.5$
	短周期レベルA(N・m/s ²)(参考)	3.10E+19	1.86E+19	2.44E+19	$A = 4 \pi r_a \Delta \sigma_a \beta^2$
背景領域	面積S _b (km ²)	894.6	330.7	563.9	$S_b = S - S_a$
	平均すべり量D _b (cm)	130.9	109.7	143.3	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
	地震モーメントM _{0b} (N・m)	4.10E+19	1.27E+19	2.83E+19	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	実効応力 $\Delta \sigma_b$ (MPa)	4.23	4.23	4.23	$\Delta \sigma_b = 0.2 \Delta \sigma_a$

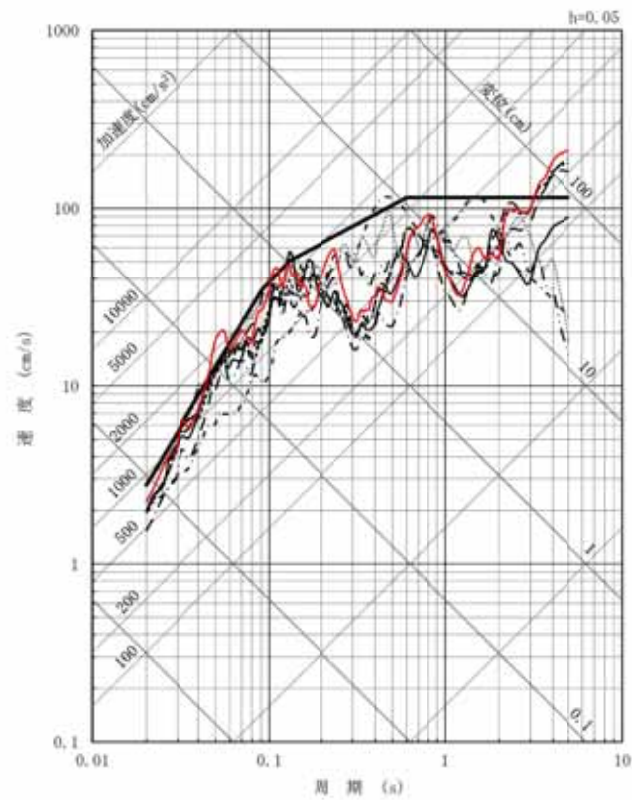
断層モデルを用いた手法による評価結果

■ 経験的グリーン関数法による地震動評価結果

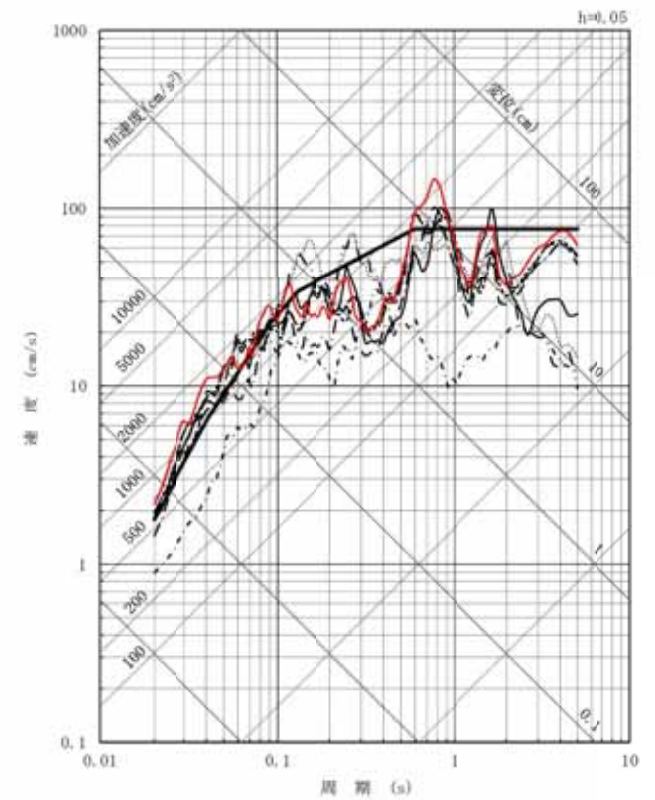
— 断層傾斜角と短周期レベルの不確かさ重畳ケース(破壊開始点2)
 黒線: 基準地震動Ss



NS成分



EW成分

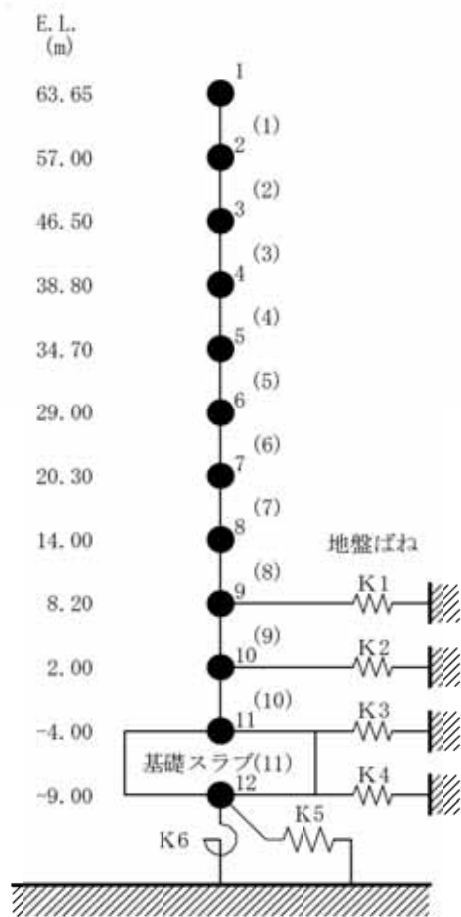


UD成分

施設影響検討(1/4)

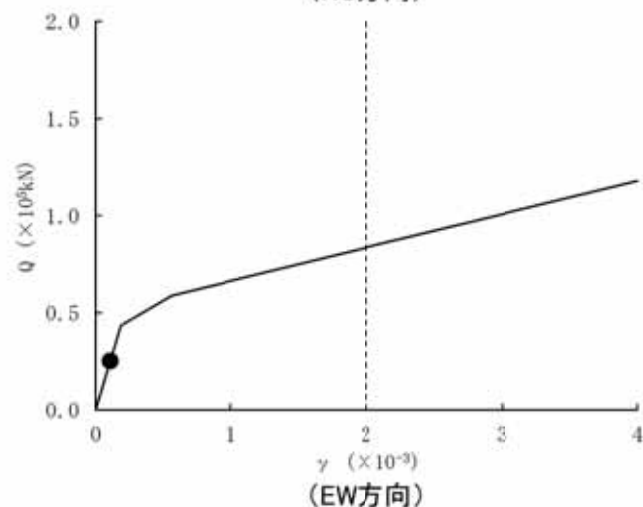
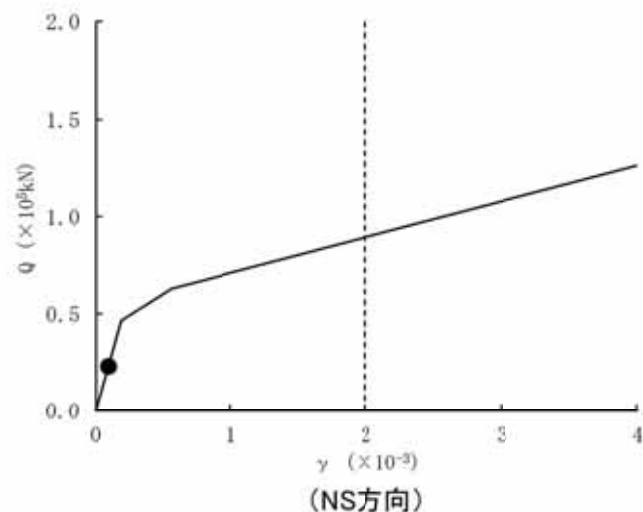
■ [] の耐震評価結果

- ・不確かさの重畳を考慮した地震動を入力とした [] の地震応答解析を実施し、耐震壁のせん断ひずみを算出した結果、耐震壁の最大せん断ひずみは 0.107×10^{-3} であり、許容限界(2.0×10^{-3})を超えないことを確認した。



※ 数字は質点番号を示す。
 ※ () 内は要素番号を示す。

地震応答解析モデル(水平方向)



せん断スケルトン曲線上の最大応答値(要素番号(2))

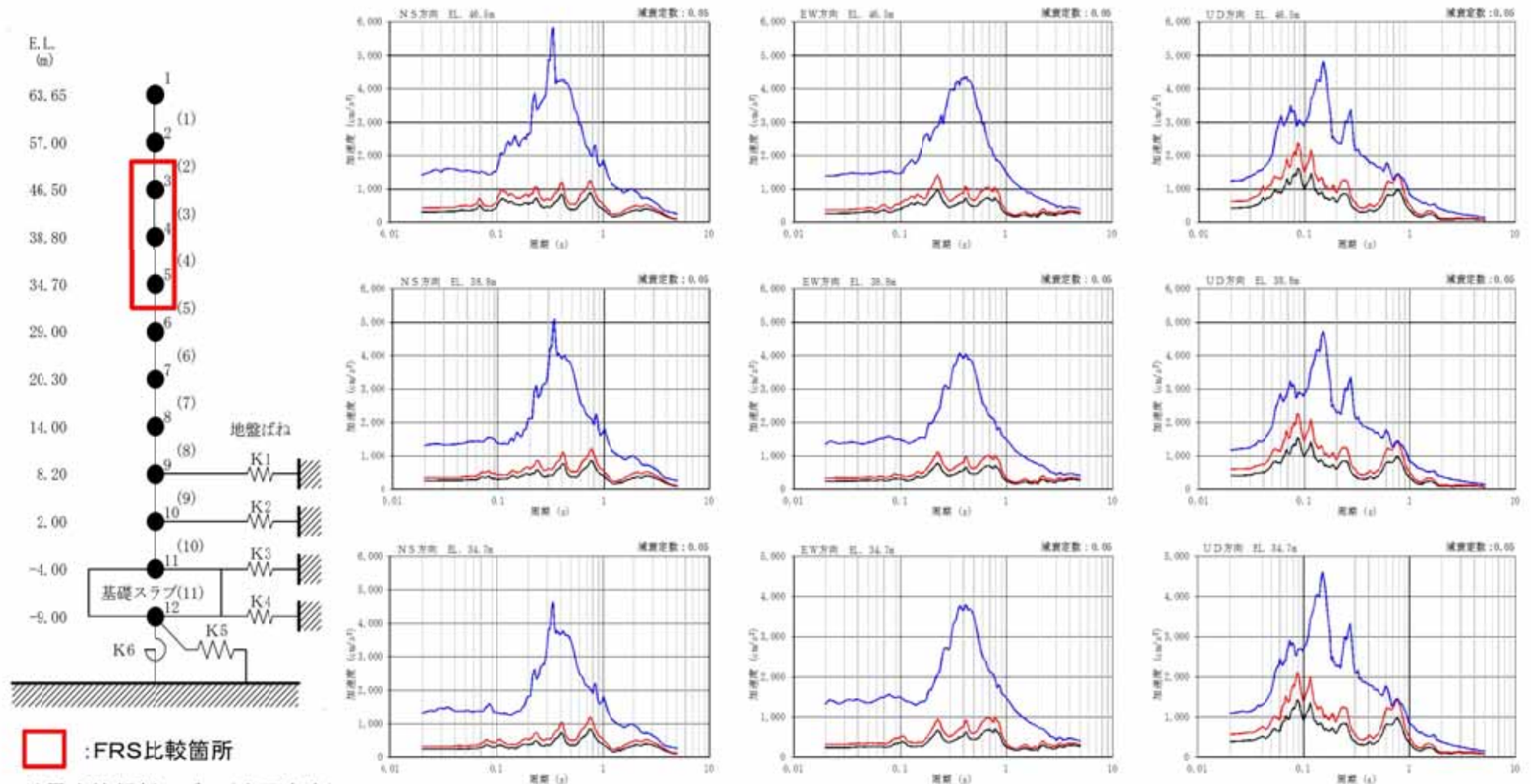
3. 内陸地殻内地震における不確かさを重ねた場合の地震動評価結果及び施設や地盤等への影響評価の結果 施設影響検討(2/4)



■ 設備の影響検討結果

不確かさを重畳を考慮した地震動を入力とした[]の地震応答解析の応答を用いて作成した床応答スペクトルと、設備設計に適用した基準地震動Ss8波を用いた床応答スペクトルとを比較した。下図に示すとおり設備設計に適用した床応答スペクトルは、不確かさを重畳を考慮した地震動による床応答スペクトルよりも大きいことを確認した。

— 不確かさを重畳を考慮した地震動による床応答スペクトル — 設備設計用床応答スペクトル(Ss8波包絡)
— Ss-14(断層傾斜角の不確かさ)による床応答スペクトル



: FRS比較箇所

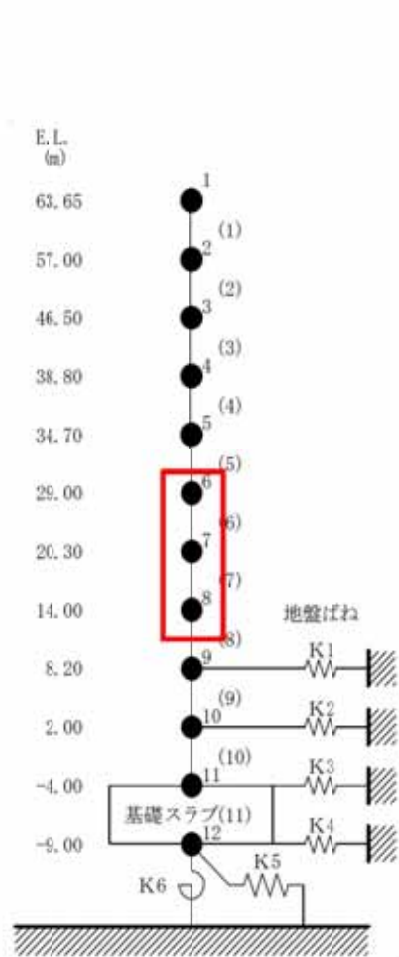
地震応答解析モデル(水平方向)

床応答スペクトル比較図

3. 内陸地殻内地震における不確かさを重ねた場合の地震動評価結果及び施設や地盤等への影響評価の結果 施設影響検討(3/4)

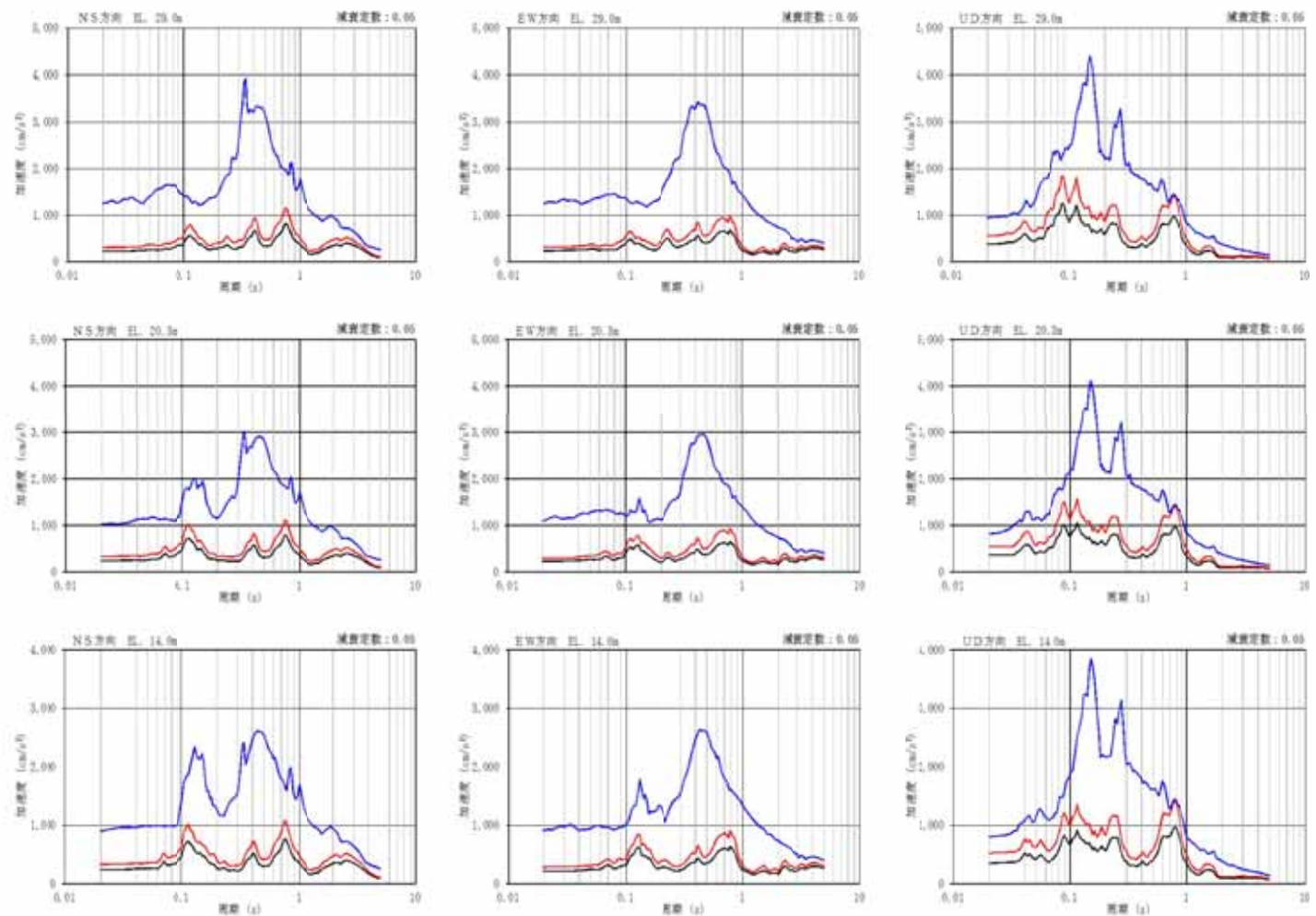


— 不確かさの重畳を考慮した地震動による床応答スペクトル — 設備設計用床応答スペクトル(Ss8波包絡)
— Ss-14(断層傾斜角の不確かさ)による床応答スペクトル



: FRS比較箇所

地震応答解析モデル(水平方向)

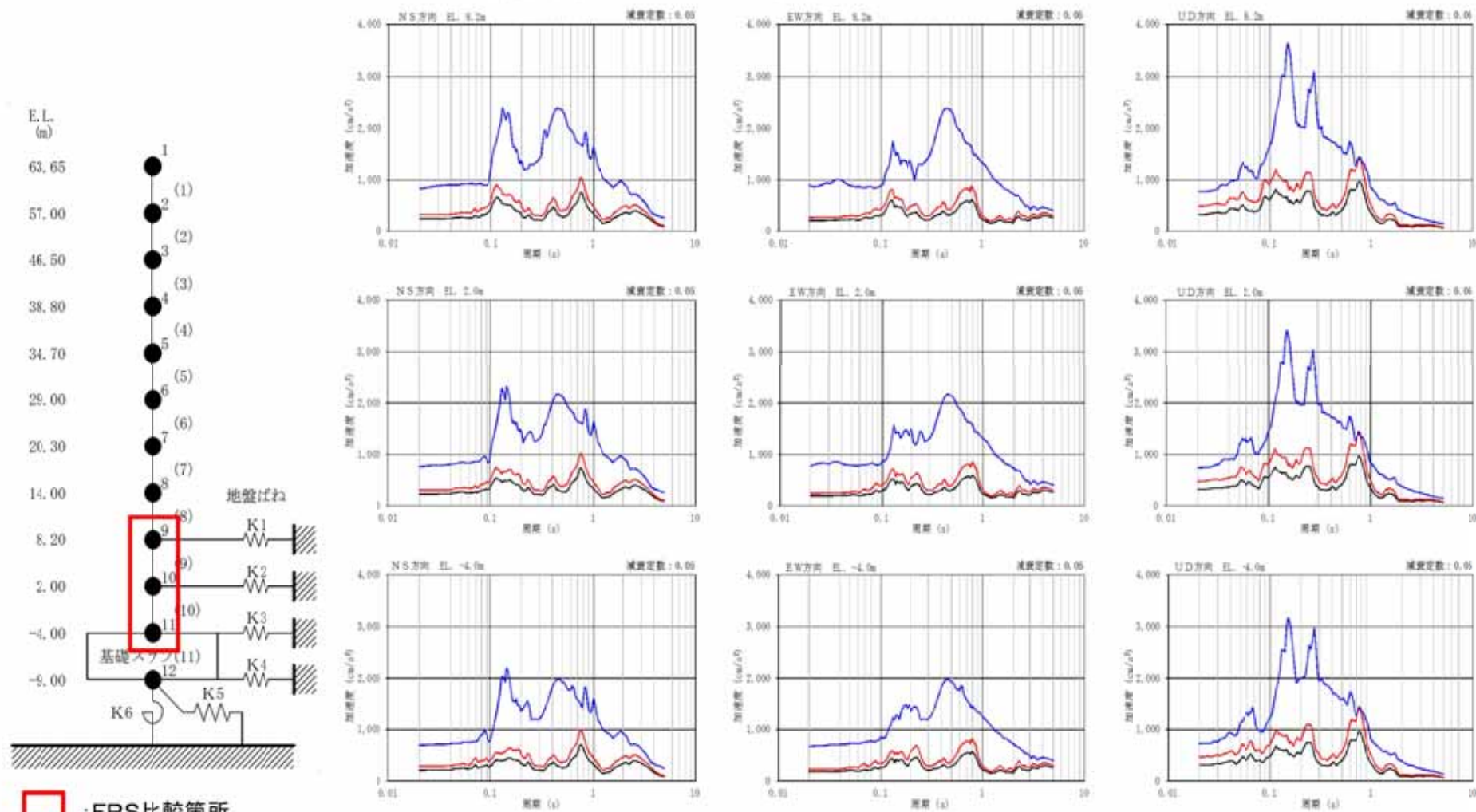


床応答スペクトル比較図

3. 内陸地殻内地震における不確かさを重ねた場合の地震動評価結果及び施設や地盤等への影響評価の結果結果 施設影響検討(4/4)



— 不確かさを考慮した地震動による床応答スペクトル — 設備設計用床応答スペクトル(Ss8波包絡)
— Ss-14(断層傾斜角の不確かさ)による床応答スペクトル



: FRS比較箇所

地震応答解析モデル(水平方向)

床応答スペクトル比較図

茨城県で備えるべき想定地震

- ・茨城県及びその周辺における過去の被害地震や断層の分布状況を踏まえ、県内の各地域の地震被害の分布状況を勘案して茨城県に大きな被害をもたらすおそれのある想定地震を設定した。
- ・No.1とNo.2の地震は、内閣府による首都直下のM7クラスの地震の中で県南部に影響のある地震として想定した。
- ・No.3とNo.4の茨城県北部の活断層による地震は、県内では確実に活断層であるとされるものは知られていないが、原子力規制委員会の審査会合資料で設定された地震を、発生すれば県北部に大きな被害をもたらす地震として想定した。
- ・さらに、太平洋プレート内での地震の発生を考慮して、No.5とNo.6の地震を想定した。
- ・以上の6つの想定地震は詳細法により地震動を計算し、被害予測を行った。
- ・No.7の地震は、茨城県が実施(2012)した津波浸水想定区域調査結果を用いて、主に津波による被害を想定する地震として設定した。地震動は簡易法を用いて被害想定を行った。

想定地震とその概要

No	地震名	地震規模	想定の見点	地震動評価法	参考モデル
1	茨城県南部の地震 (茨城県南部)	Mw7.3	首都直下のM7クラスの茨城県南部地域に影響のある地震の被害	詳細法	内閣府(2013)
2	茨城・埼玉県境の地震 (茨城・埼玉県境)	Mw7.3			内閣府(2013)
3	F1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震 (F1断層)	Mw7.1	県北部の活断層による地震の被害		原子力規制委員会審査会合資料など
4	棚倉破砕帯東縁断層、同西縁断層の連動による地震 (棚倉破砕帯)	Mw7.0			
5	太平洋プレート内の地震(北部) (太平洋プレート(北部))	Mw7.5	プレート内で発生する地震の被害		
6	太平洋プレート内の地震(南部) (太平洋プレート(南部))	Mw7.5			
7	茨城県沖から房総半島沖にかけての地震 (茨城県沖～房総半島沖)	Mw8.4	津波による被害		簡易法

注1：Mwは、モーメントマグニチュード

注2：地震名の下段にあるカッコ内の名称は略称

4. 茨城県地震被害想定の見直し(2018年12月)を踏まえた評価
茨城県(2018)と東海第二発電所の比較



・茨城県の想定地震と東海第二発電所の基準地震動策定で考慮した地震を比較し評価を取りまとめた。

No.	茨城県(2018)		当社が基準地震動策定で考慮した地震との関係	評 価
	地震名	地震規模		
1	茨城県南部の地震 (茨城県南部)	Mw 7.3	プレート間地震の検討用地震の選定の過程で考慮している。	基準地震動策定で考慮した地震と同じである。 (論点No.15-4~6頁で詳細を説明)
2	茨城・埼玉県境の地震 (茨城・埼玉県境)	Mw 7.3	プレート間地震の検討用地震の選定の過程で、より敷地に近い地震名No.1を考慮している。	基準地震動策定で考慮した地震で包含される。 (論点No.15-4~6頁で詳細を説明)
3	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (F1断層)	Mw 7.1	茨城県の想定と巨視面は同じ設定である。ただし、震源パラメータの設定法やアスペリティ配置は異なっている。	茨城県の想定では、レシピで設定される標準的な位置として断層中央にアスペリティが配置されている。 当社の評価は、原子炉施設への影響が大きい敷地に近い位置にアスペリティを配置しており、さらに安全側の設定としている。 (論点No.15-7~9頁で詳細を説明)
4	棚倉破碎帯東縁断層, 同西縁断層の連動による地震 (棚倉破碎帯)	Mw 7.0	内陸地殻内地震の検討用地震の選定の過程で考慮している。	基準地震動策定で考慮した地震と同じである。 (論点No.15-10,11頁で詳細を説明)
5	太平洋プレート内の地震(北部) (太平洋プレート(北部))	Mw 7.5	海洋プレート内地震の検討用地震の選定の過程で、敷地からの距離が最短となる位置に考慮している。 ただし、地震規模は異なっている。	基準地震動Ssの策定においては、茨城県沖における太平洋プレートの特徴から、想定する規模をMw7.3としている。 しかし、茨城県(2018)を踏まえ、Mw7.5とした場合の地震動評価を行い、基準地震動Ssに影響しないことを確認した。 (論点No.15-12~17頁で詳細を説明)
6	太平洋プレート内の地震(南部) (太平洋プレート(南部))	Mw 7.5		
7	茨城県沖から房総半島沖にかけての地震 (茨城県沖~房総半島沖)	Mw 8.4	プレート間地震の検討用地震として、より規模が大きい2011年東北地方太平洋沖型地震(Mw9.0)をより敷地に近い位置で考慮している。	基準地震動策定で考慮した地震で包含される。 (論点No.15-18頁で詳細を説明)