

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

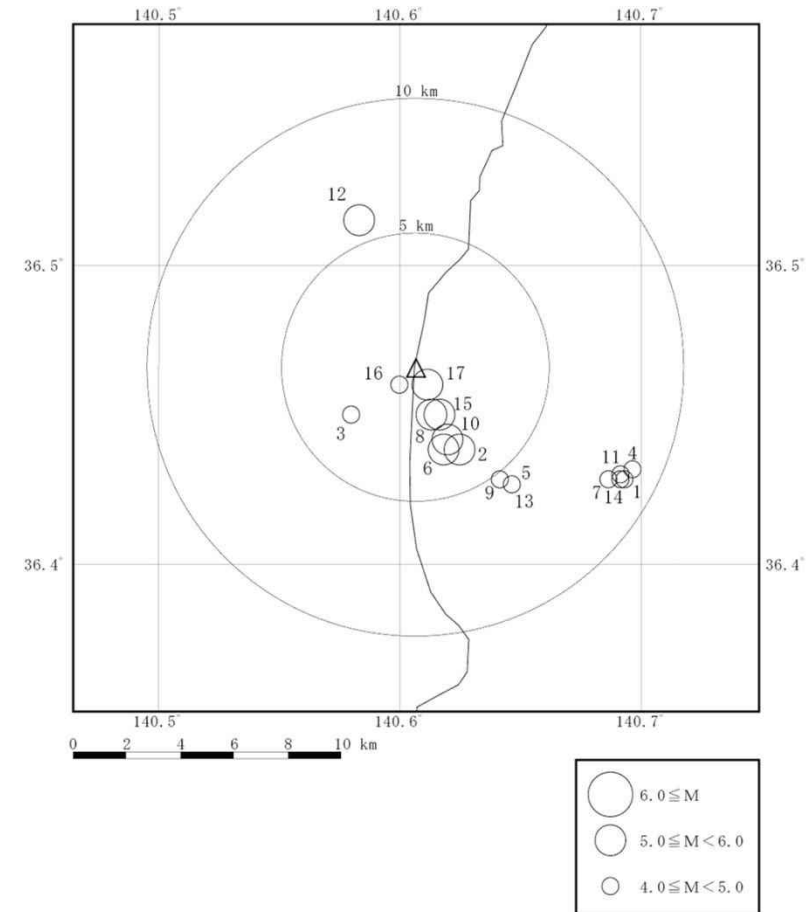
参考 2011年東北地方太平洋沖地震以降、敷地周辺で発生した地震(2022年1月現在)

■ 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	2020/6/4 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。



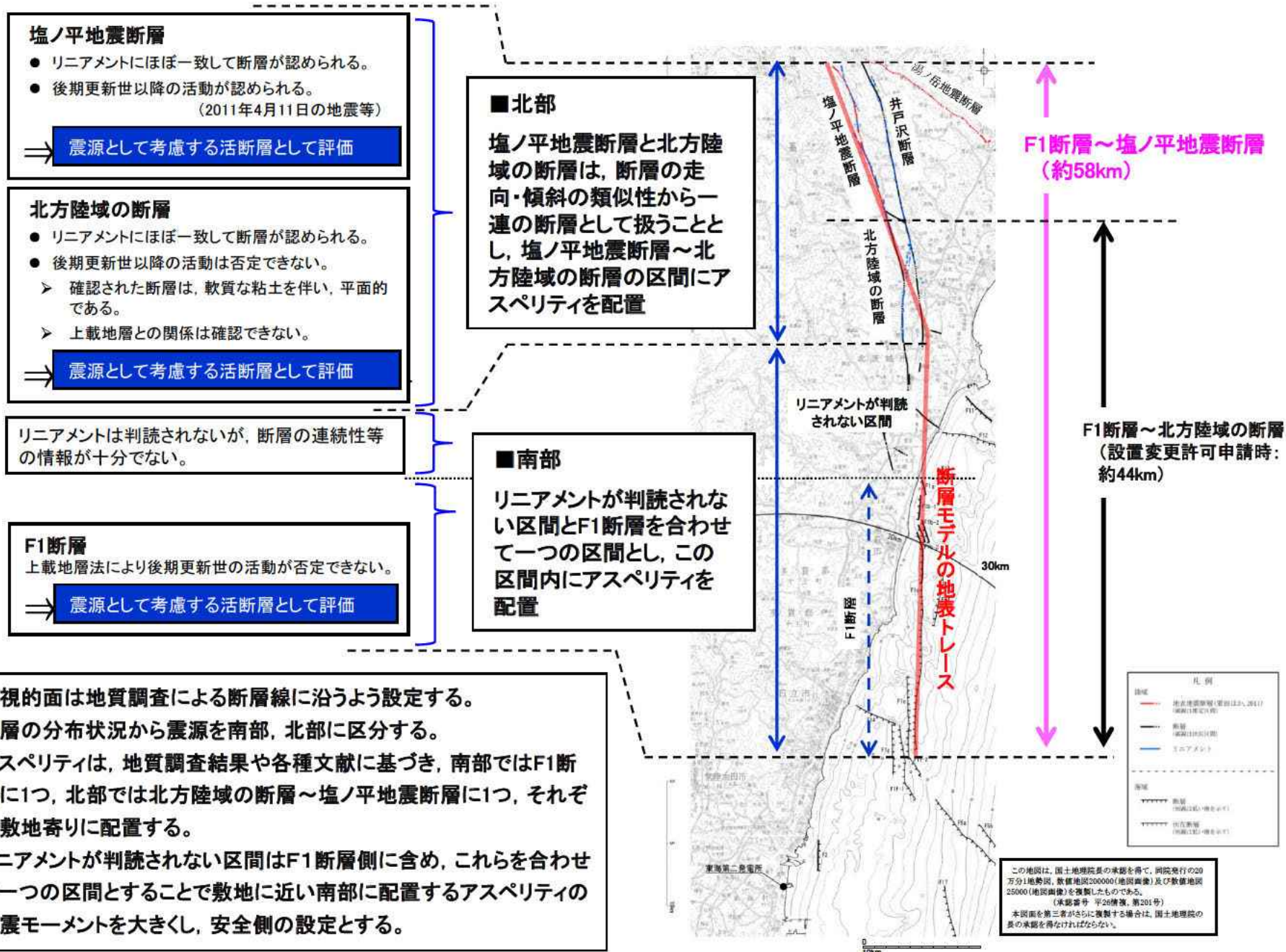
2011年東北地方太平洋沖地震～2021年12月31日の期間に発生した敷地周辺(半径10km以内)の地震のうち、最大震度が4以上の地震の震央分布

※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刻に発生しており、気象庁によると震度の分離はできないとされている。

F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層:地質調査結果と震源モデルの対応



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】

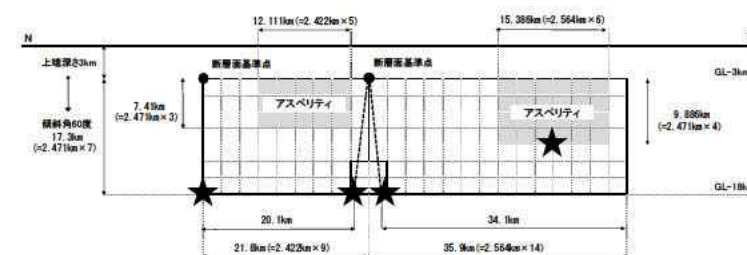
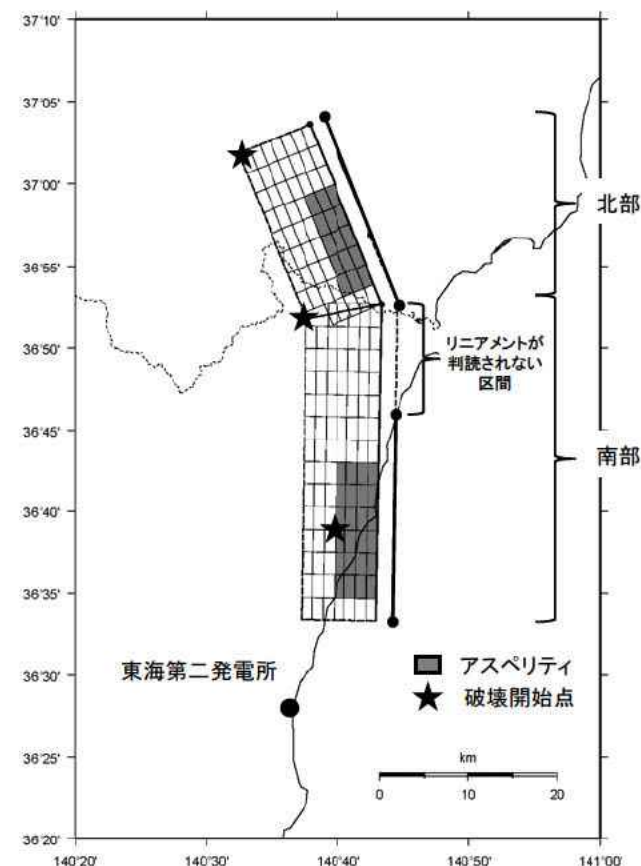
- アスペリティの位置は、地質調査結果に基づき、南部区間のうち調査でわかっているF1断層に1つ、北部では北方陸域の断層~塩ノ平地震断層に1つ、それぞれ敷地に近くなるように配置する。
- 断層長さ方向の配置は、Manighetti et al.(2005)等の知見を踏まえるとアスペリティのように大きなすべりが生じる領域とすべりが無い領域が隣接することは考えにくいことから、断層端部との間に1マス分背景領域を設定する。断層幅方向の配置については、すべりに追従する表層(地表から断層上端までの強震動を出さない層)が存在するので安全側に断層上端にアスペリティを配置する。
- なお、リニアメントが判読されな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

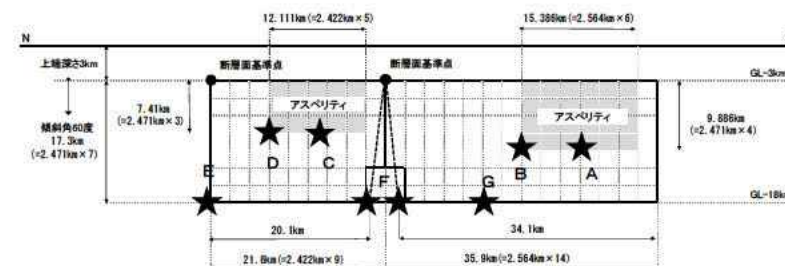
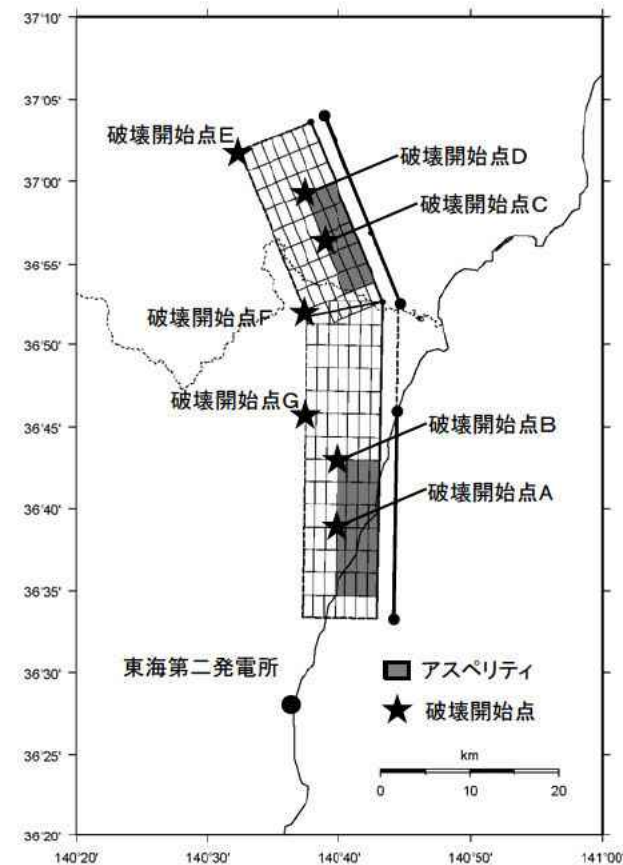


基本震源モデル

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、強震動予測レシピ、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。

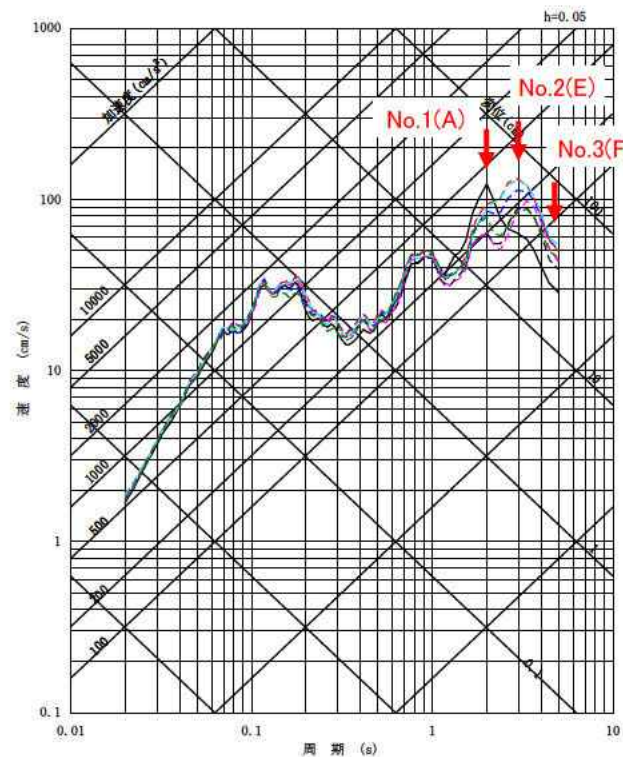


基本震源モデル

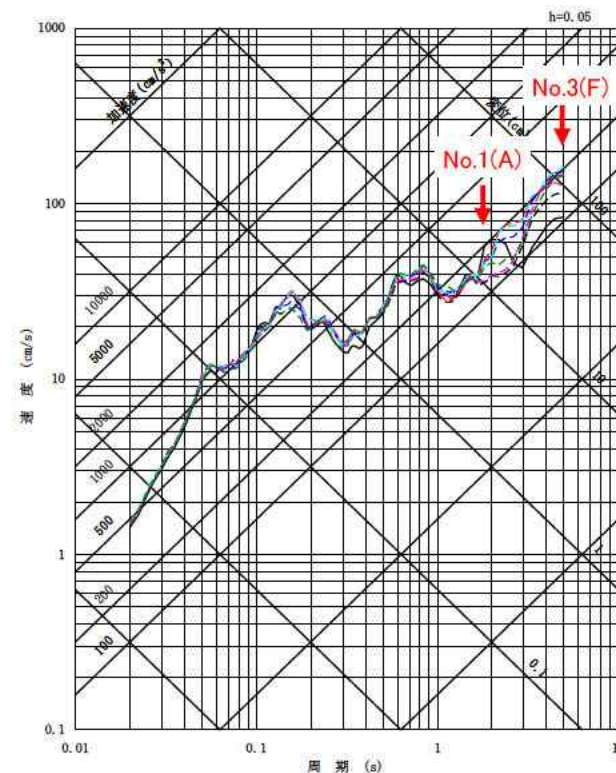
破壊開始点位置:破壊開始点の選定結果

■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)

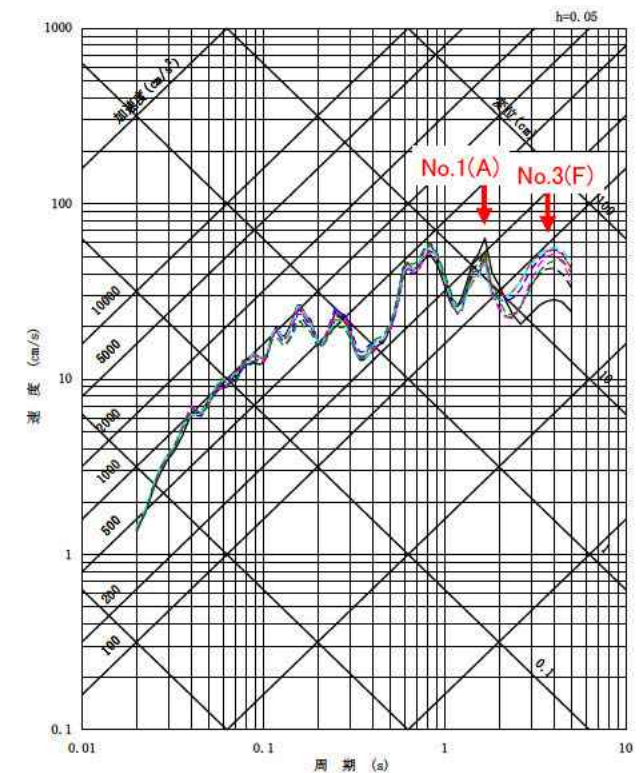
- 破壊開始点A(破壊開始点1)
- - - 破壊開始点B
- - - 破壊開始点C
- - - 破壊開始点D
- - - 破壊開始点E(破壊開始点2)
- - - 破壊開始点F(破壊開始点3)
- - - 破壊開始点G



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】

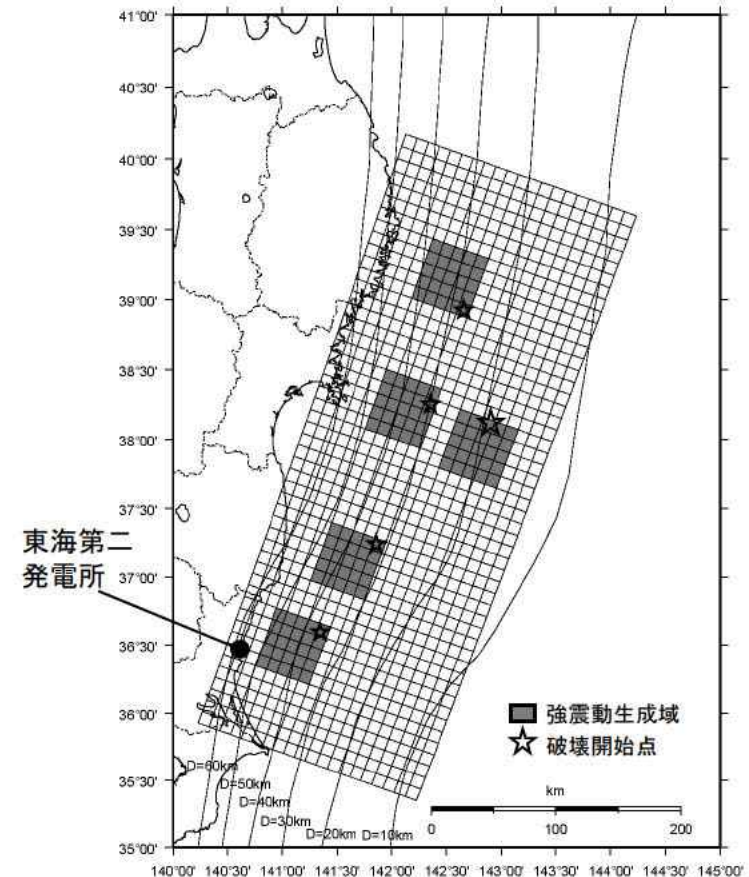
- ・長さ, 幅は, 東北地方太平洋沖地震の震源域を参考にそれぞれ500km, 200kmとする。
- ・走向は, 東北地方太平洋沖地震に関する防災科学技術研究所F-netのCMT解を用いる。深さは, 太平洋プレートの上面に沿ってモデル化する。

【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】

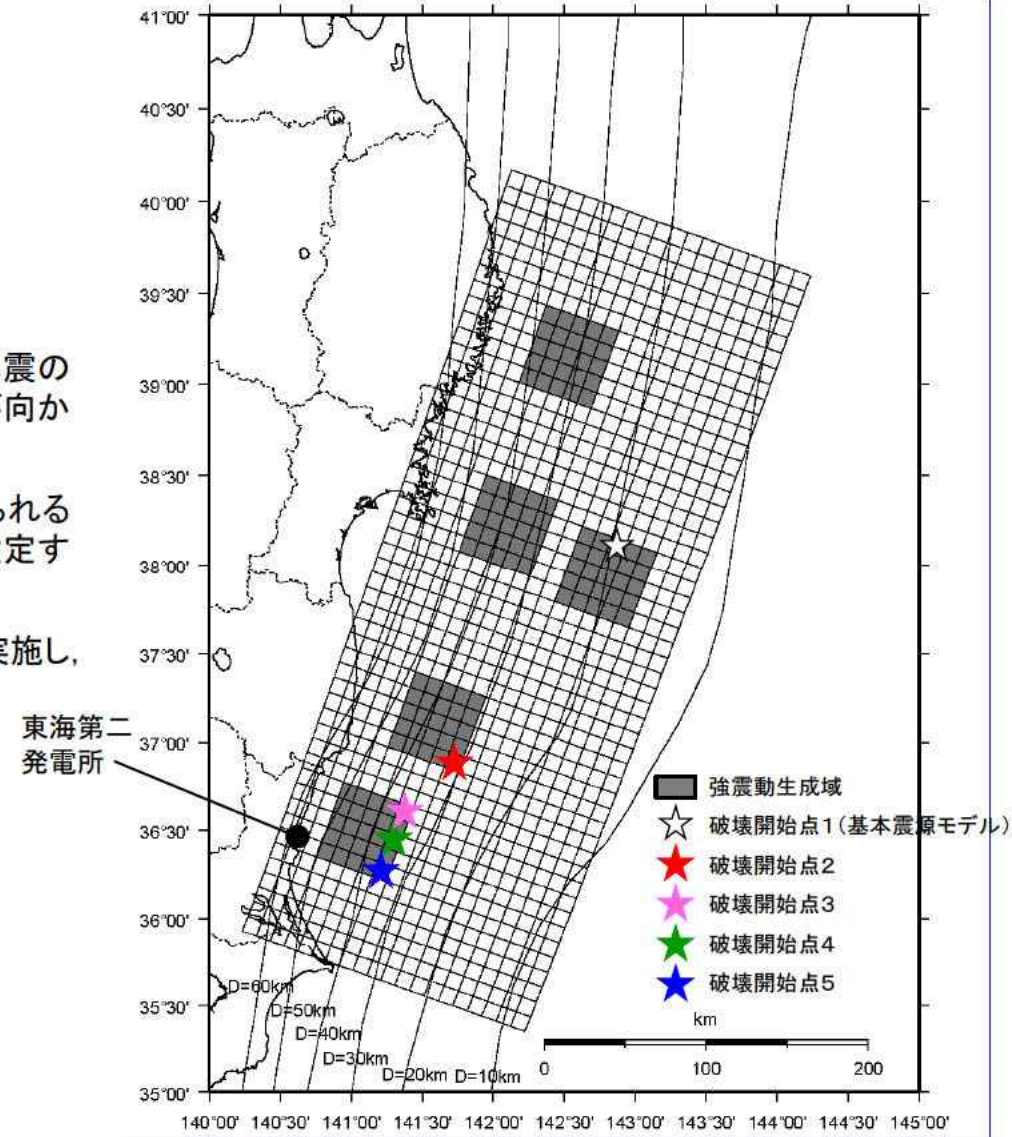
東北地方太平洋沖地震の震源位置に設定する。



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。



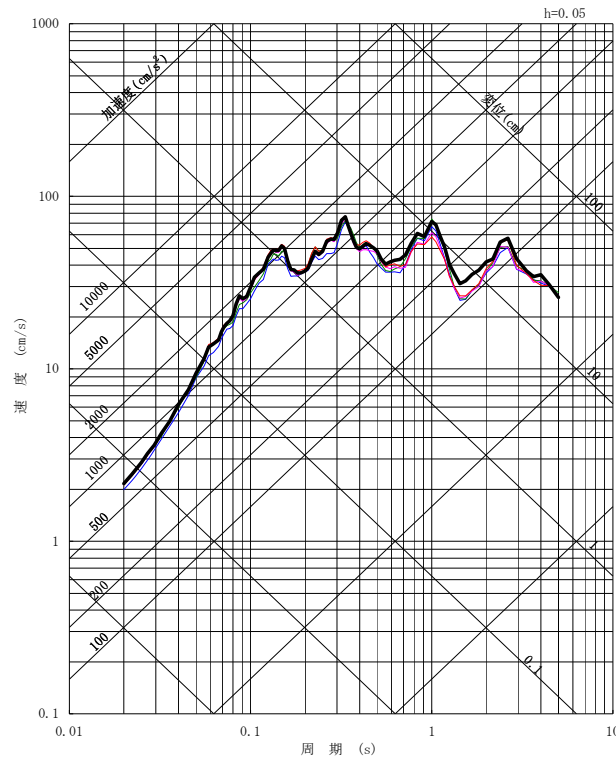
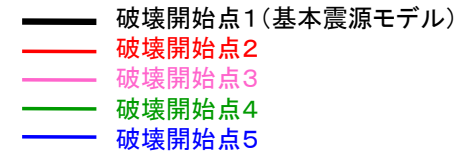
全体の破壊開始点のみ図示する。

基本震源モデル

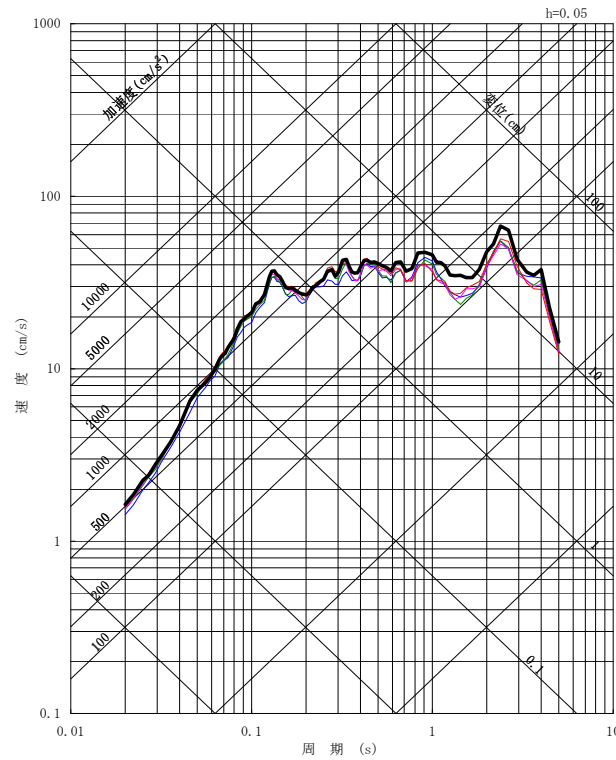
破壊開始点位置の違いによる影響検討(2/2)

■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)

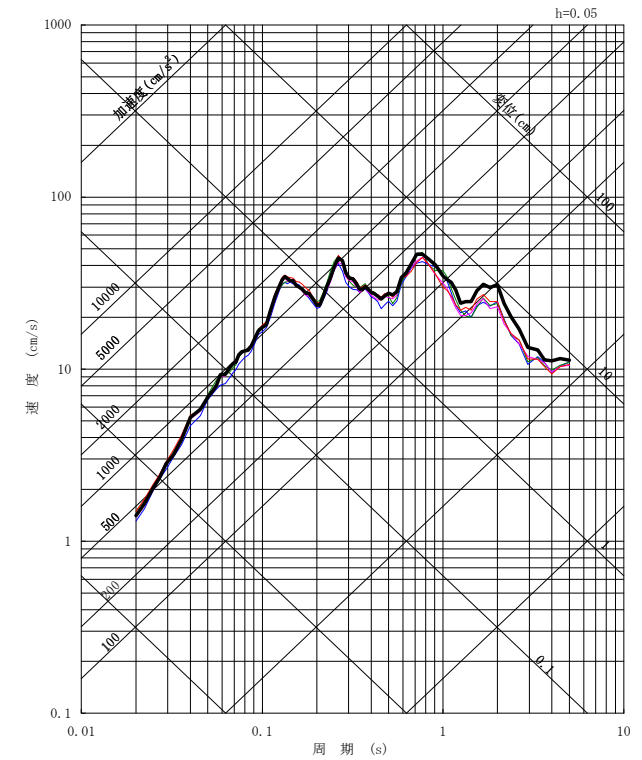
- 各破壊開始点の地震動評価結果はいずれも同様の傾向を示しており、破壊開始点位置の影響は小さいため、基本震源モデルで考慮する破壊開始点は破壊開始点1で代表させる。



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

■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られとされるパラメータに対して不確かさを考慮する。

第5回

評価ケース	認識論的不確かさ					偶然的な不確かさ
	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)	強震動予測レシピアの平均	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)	強震動予測レシピアの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)	強震動予測レシピアの平均	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)	強震動予測レシピアの平均	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。

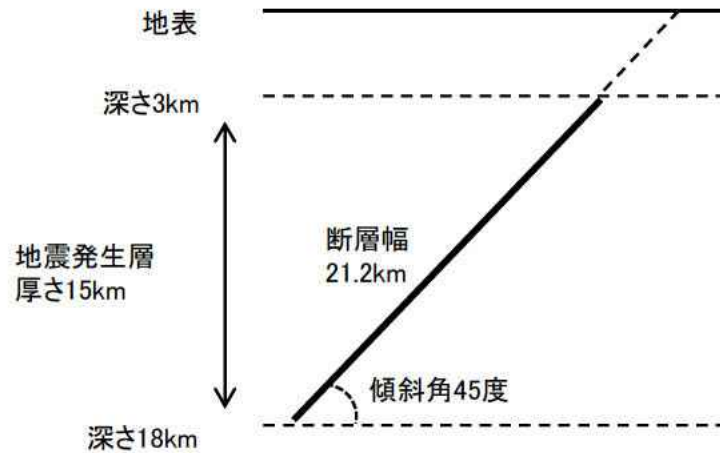
※1 2011年福島県浜通りの地震の震源域以外では断層上端深さは3kmよりも深いことが推定されるが、震源モデルの全域にわたり保守的に3kmに設定した。

※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。

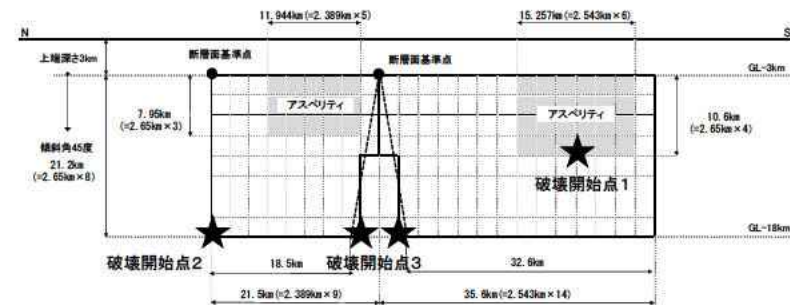
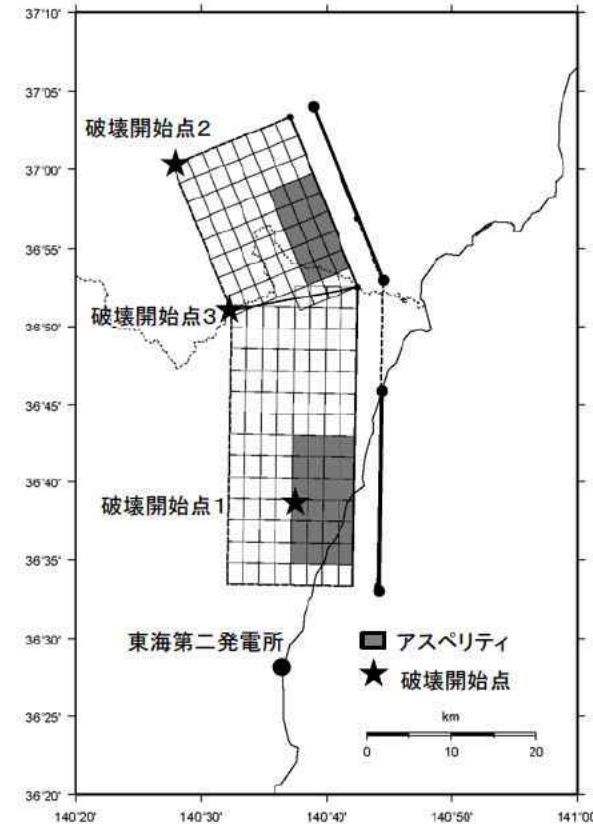
断層傾斜角の不確かさについて

■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

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

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)

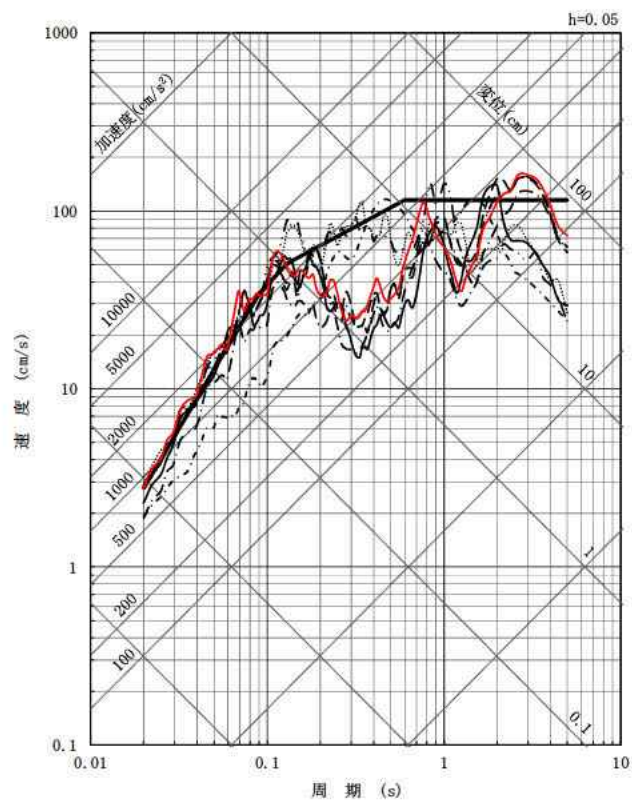
項目	設定値			設定方法	
	全体	北部	南部		
断層上端長さ(km) 断層下端長さ(km)	57.1 51.1	21.5 18.5	35.6 32.6	活断層調査結果による位置を基に設定	
断層傾斜角(度)	45(西傾斜)	45(西傾斜)	45(西傾斜)	活断層調査結果の不確かさなどを踏まえ設定	
断層上端深さ(km) 断層下端深さ(km)	3 18	3 18	3 18	断層上端深さは、2011年福島県浜通りの地震の震源域における微小地震分布等の知見を考慮し3kmと設定している。震源モデルの南部では3kmよりも深いと想定されるが、保守的に3kmとする。 断層下端深さは、広域の微小地震分布を考慮し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	$\mu = \rho \beta^2$, $\rho = 2.7 \text{g/cm}^3$, $\beta = 3.6 \text{km/s}$ (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)	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

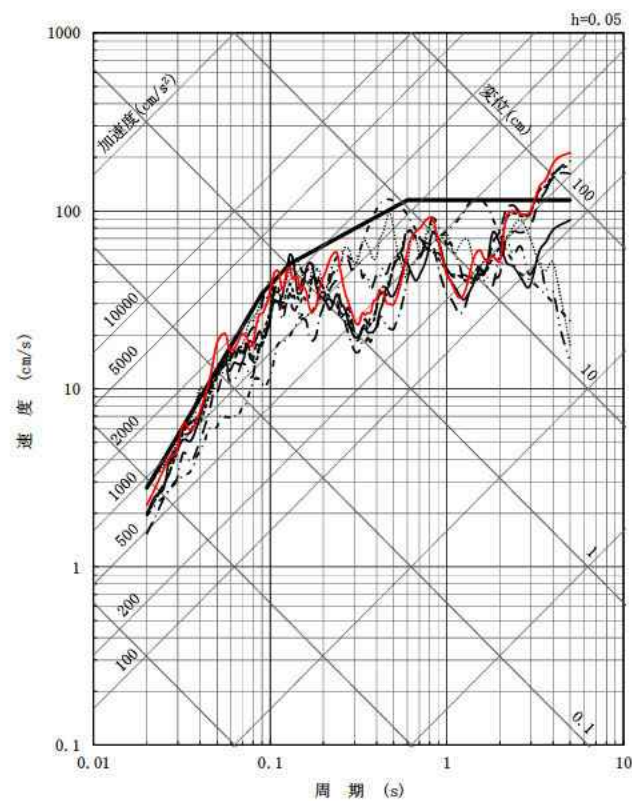
■ 経験的グリーン関数法による地震動評価結果

—— 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)

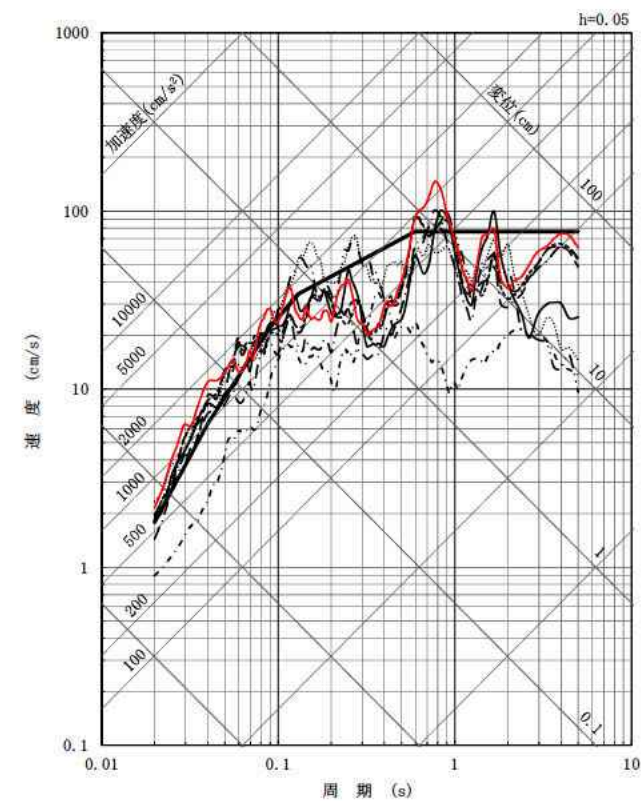
黒線: 基準地震動 S_s



NS成分



EW成分

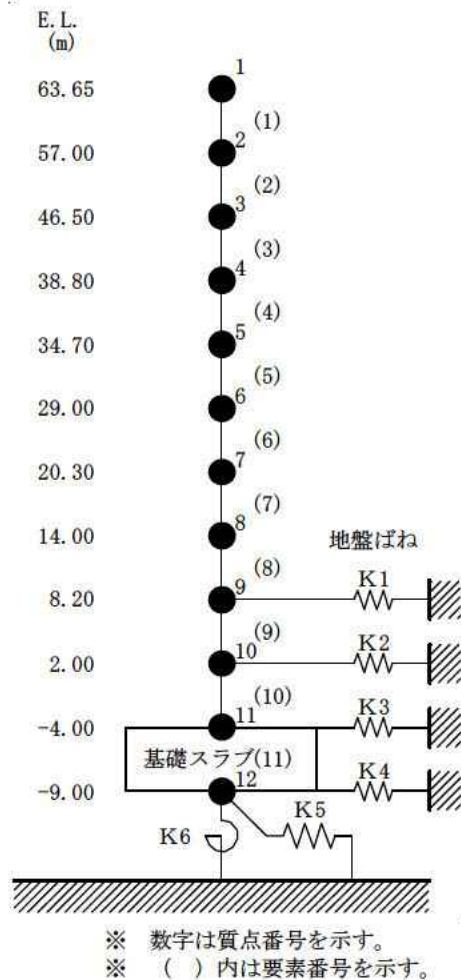


UD成分

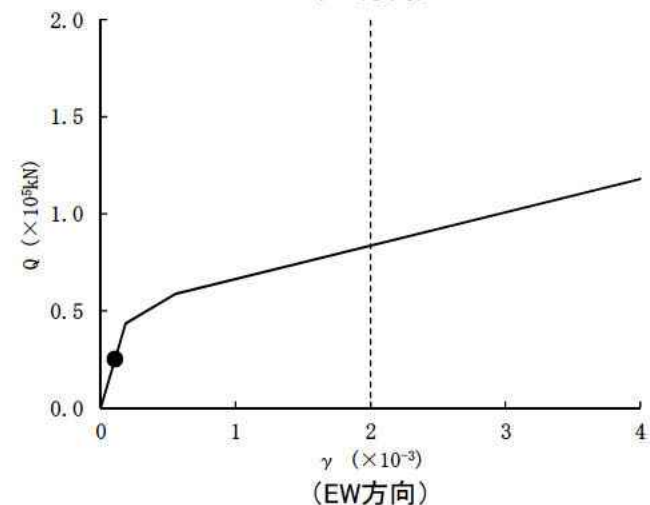
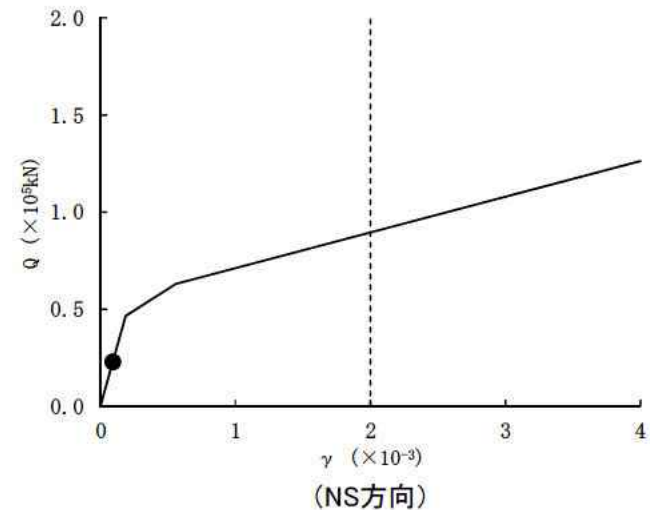
施設影響検討(1/4)

■ [] 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。



地震応答解析モデル(水平方向)



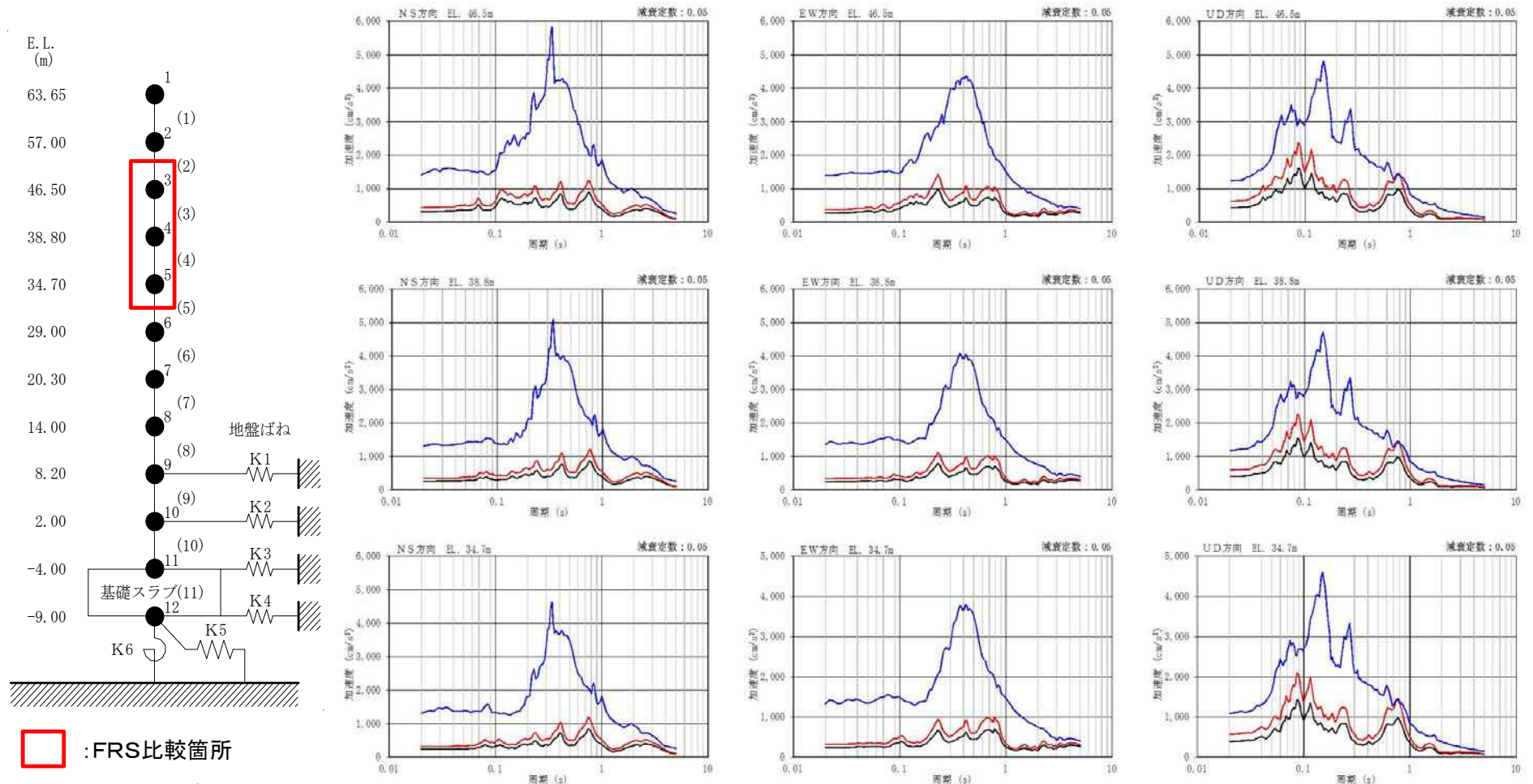
せん断スケルトン曲線上の最大応答値(要素番号(2))

施設影響検討(2/4)

■ 設備の影響検討結果

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、不確かさの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

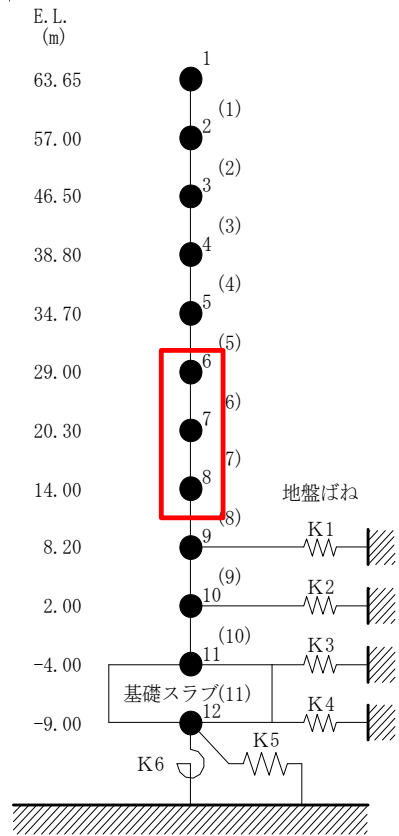
地震応答解析モデル(水平方向)

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 施設影響検討(3/4)

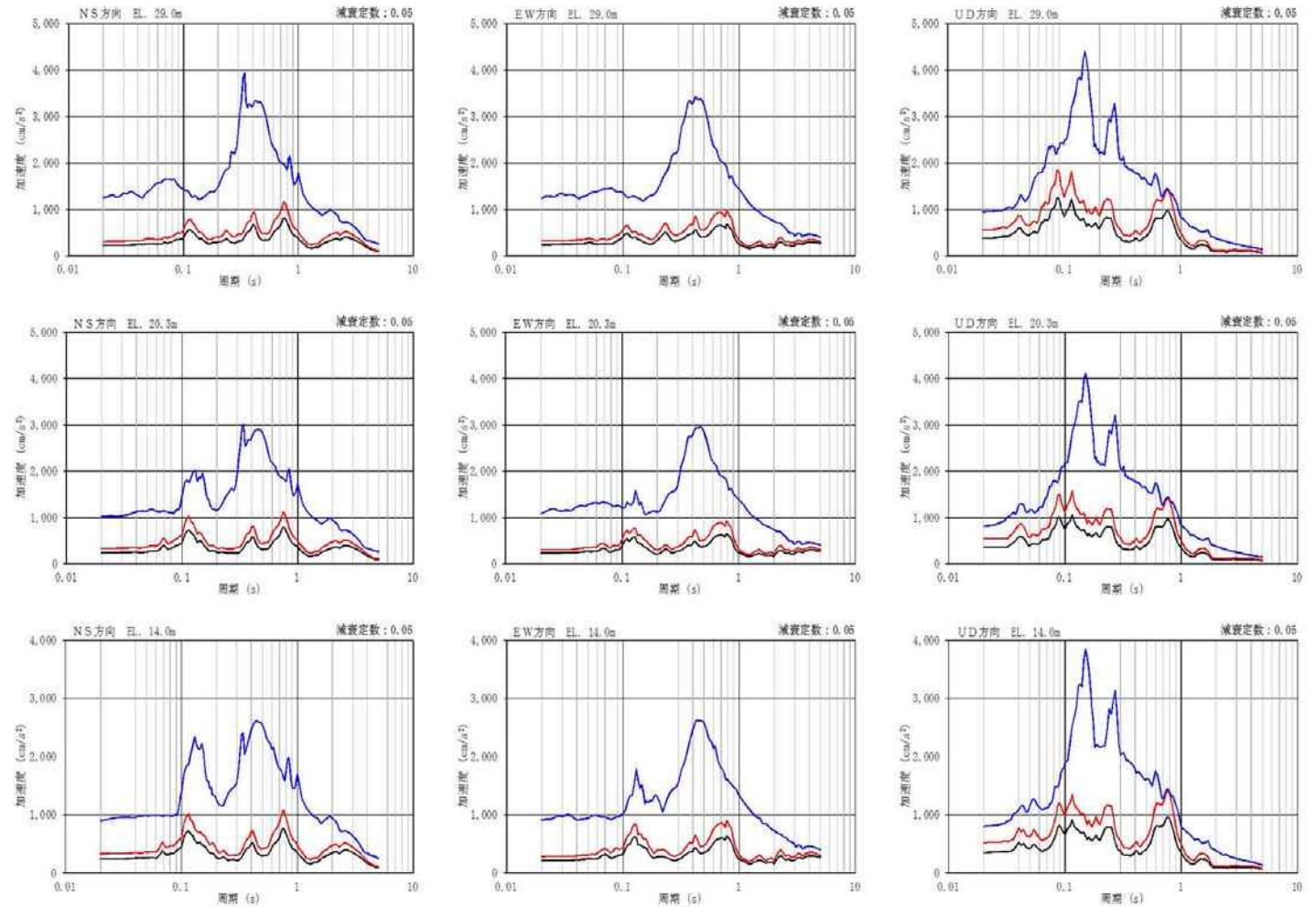


— 不確かさの重畳を考慮した地震動による床応答スペクトル
 — 設備設計用床応答スペクトル(Ss8波包絡)
— Ss-14(断層傾斜角の不確かさ)による床応答スペクトル



:FRS比較箇所

地震応答解析モデル(水平方向)



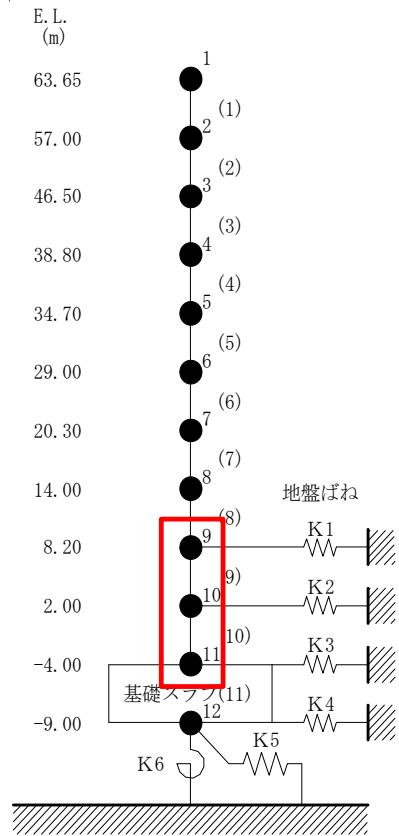
床応答スペクトル比較図

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)



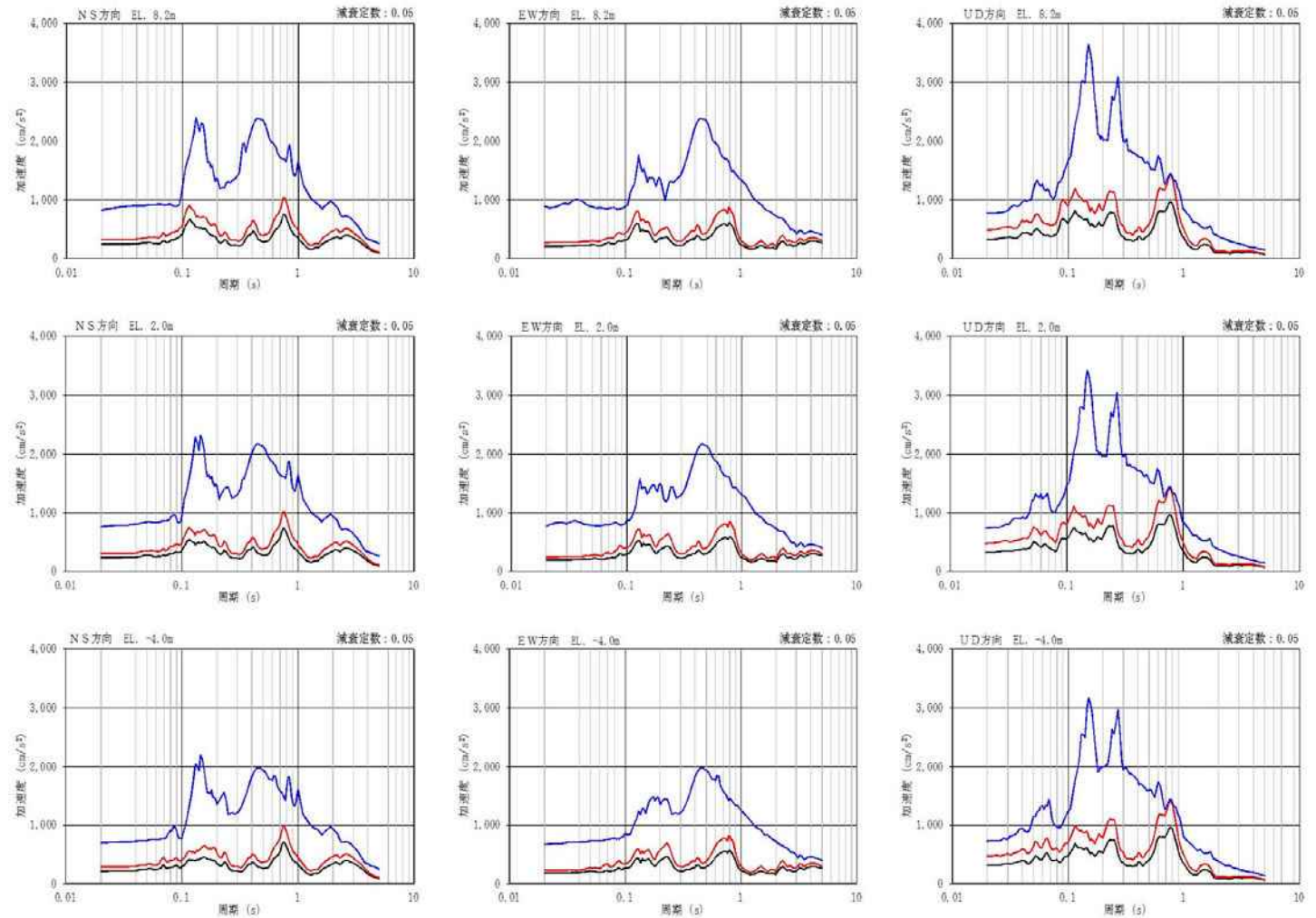
— 不確かさの重畳を考慮した地震動による床応答スペクトル
 — 設備設計用床応答スペクトル(Ss8波包絡)

— 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

茨城県(2018)の概要

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 viewpoint	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		地震調査委員会長期評価部会での議論
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

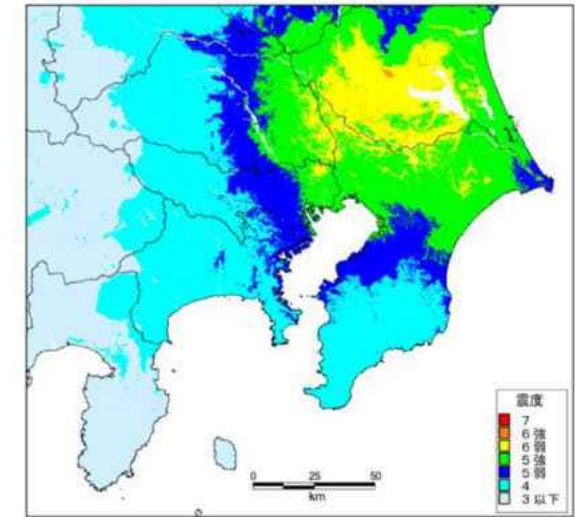
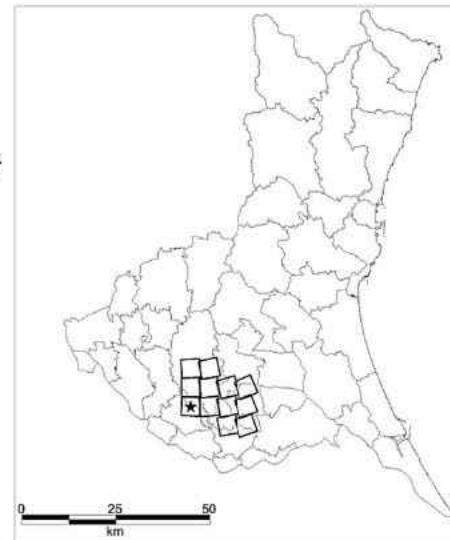
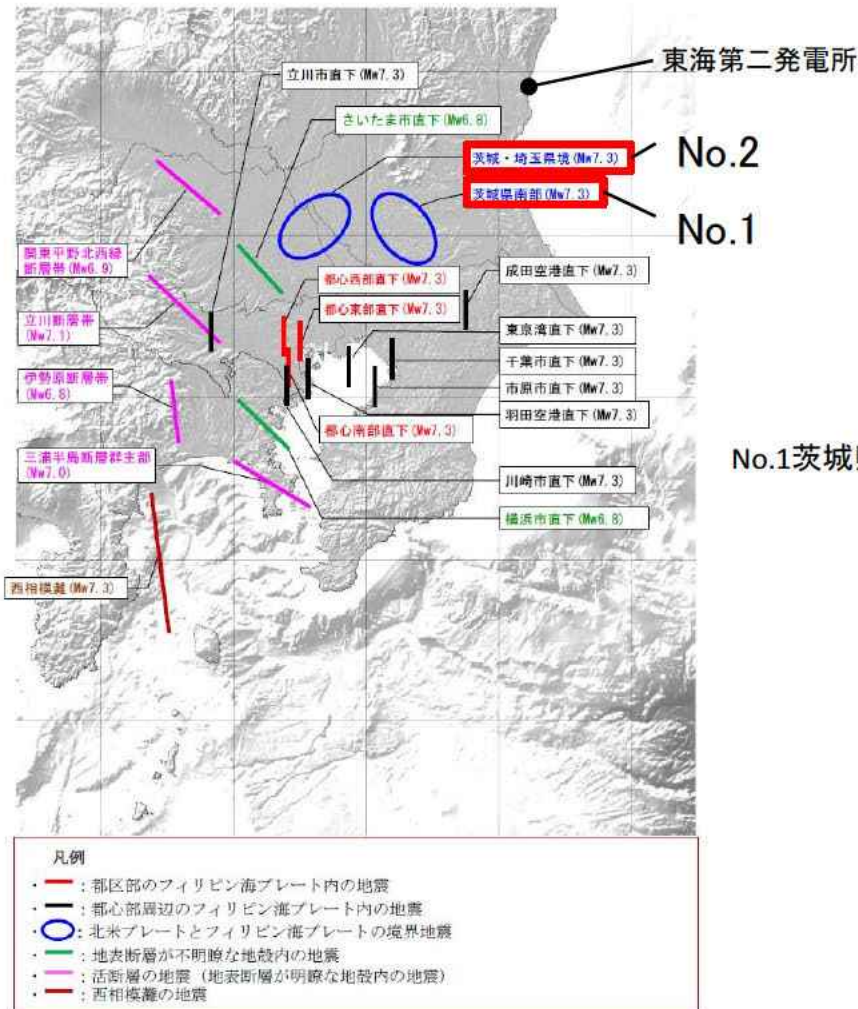
4. 茨城県地震被害想定の見直し(2018年12月)を踏まえた評価
茨城県(2018)と東海第二発電所の比較



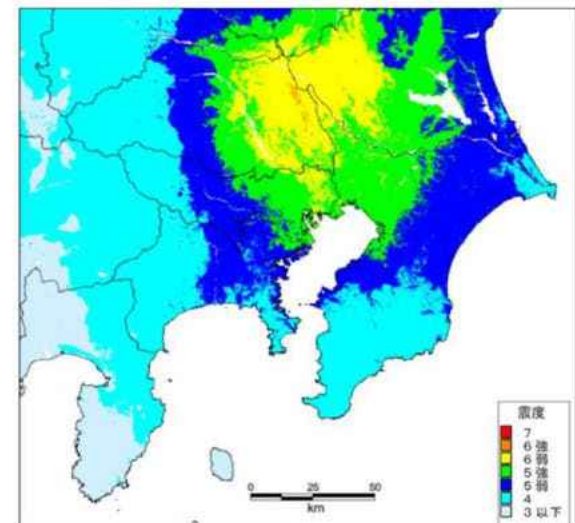
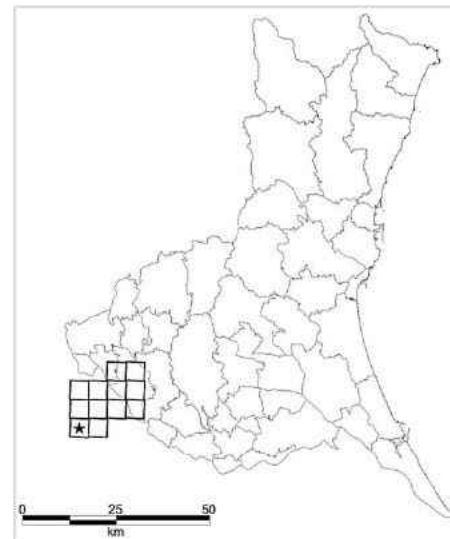
・ 茨城県の想定地震と東海第二発電所の基準地震動策定で考慮した地震を比較し評価を取りまとめた。

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	棚倉破砕帯東縁断層, 同西縁断層の連動による地震 (棚倉破砕帯)	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)

- ・茨城県(2018)では, 茨城県南部地域で発生するM7クラスの地震(プレート境界)として, 内閣府(2013)に基づき茨城県南部の地震及び茨城・埼玉県境の地震が想定されている。



No.1茨城県南部の地震の断層モデル(左図)及び内閣府(2013)による震度分布図(右図)
(□:強震動生成域, ★:破壊開始点)



内閣府(2013)による北米プレートとフィリピン海プレートとの境界の地震

No.2茨城・埼玉県境の地震の断層モデル(左図)及び内閣府(2013)による震度分布図(右図)(□:強震動生成域, ★:破壊開始点)

- ・ 当社のプレート間地震の評価では、内閣府(2013)に基づき茨城県南部の地震を考慮している。

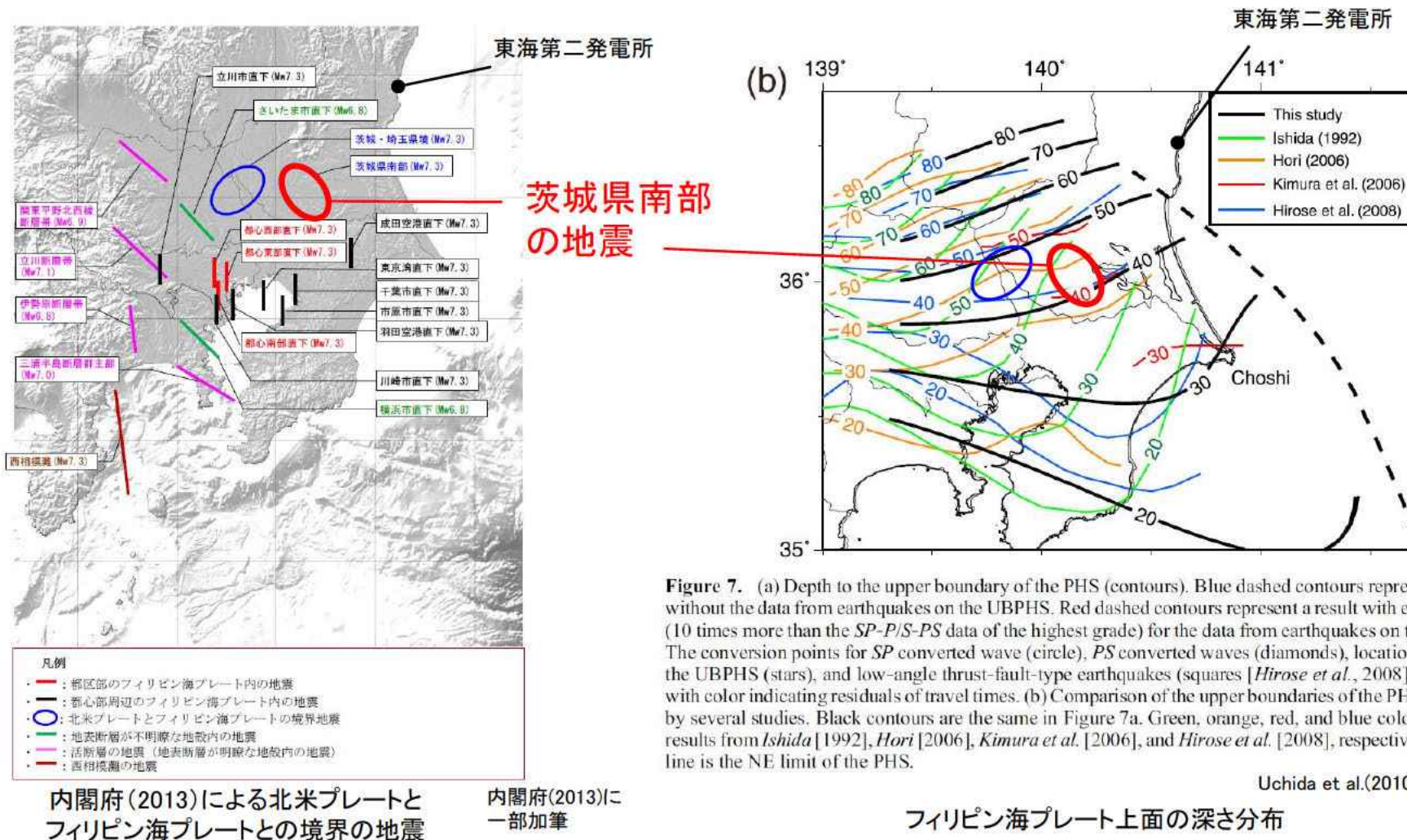


Figure 7. (a) Depth to the upper boundary of the PHS (contours). Blue dashed contours represent a result without the data from earthquakes on the UBPHS. Red dashed contours represent a result with equal weight (10 times more than the *SP-P/S-PS* data of the highest grade) for the data from earthquakes on the UBPHS. The conversion points for *SP* converted wave (circle), *PS* converted waves (diamonds), locations of REs at the UBPHS (stars), and low-angle thrust-fault-type earthquakes (squares [Hirose et al., 2008]) are shown with color indicating residuals of travel times. (b) Comparison of the upper boundaries of the PHS estimated by several studies. Black contours are the same in Figure 7a. Green, orange, red, and blue colors show the results from Ishida [1992], Hori [2006], Kimura et al. [2006], and Hirose et al. [2008], respectively. Dashed line is the NE limit of the PHS.

内閣府(2013)では、フィリピン海プレートと北米プレートとの境界の地震として茨城県南部の地震及び茨城・埼玉県境の地震がいずれもM7.3の規模で想定されている。フィリピン海プレートの形状を考慮すると、当該地震の敷地からの距離は茨城県南部の地震の方が近くなることから茨城県南部の地震を評価対象に選定する。

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
地震名No.1, 2 当社のプレート間地震の評価



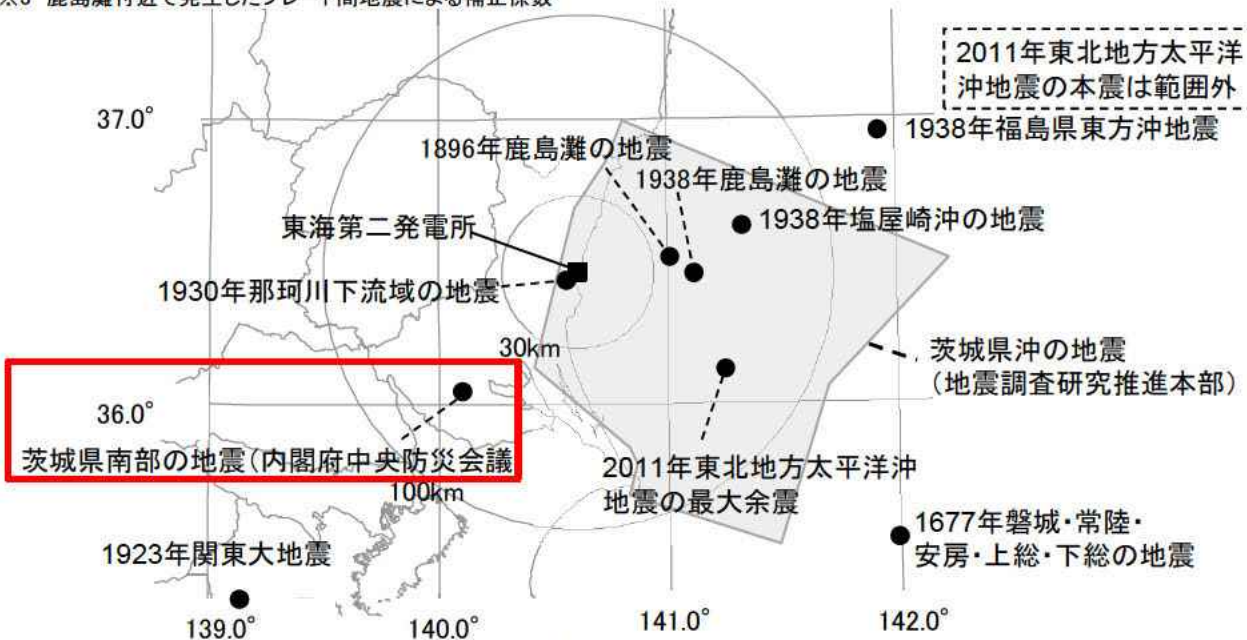
・No.1 茨城県南部の地震は基準地震動策定で考慮した地震と同じである。

当社のプレート間地震の地震動評価で考慮した震源

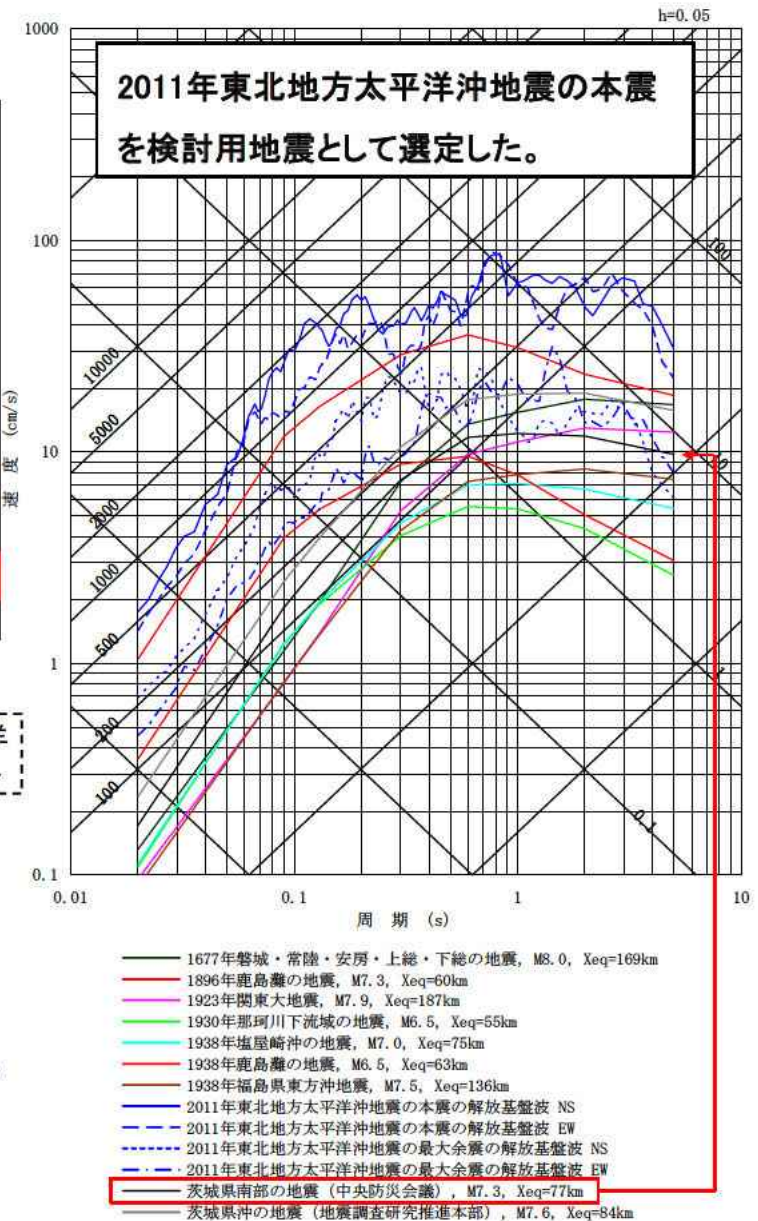
年月日	地名(地震名)	地震規模 M	等価震源距離 (km) ^{※2}	補正係数 ^{※3}
1677.11.4	1677年磐城・常陸・安房・上総・下総の地震	8.0	169	
1896.1.9	1896年鹿島灘の地震	7.3	60	考慮
1923.9.1	1923年関東大地震	7.9	187	
1930.6.1	1930年那珂川下流域の地震	6.5	55	
1938.5.23	1938年塩屋崎沖の地震	7.0	75	
1938.9.22	1938年鹿島灘の地震	6.5	63	考慮
1938.11.5	1938年福島県東方沖地震	7.5	136	
2011.3.11	2011年東北地方太平洋沖地震の本震 ^{※1}	Mw9.0	—	
2011.3.11	2011年東北地方太平洋沖地震の最大余震 ^{※1}	7.6	—	
—	茨城県南部の地震(内閣府中央防災会議)	7.3	77	
—	茨城県沖の地震(地震調査研究推進本部)	7.6	84	

※1 解放基盤波を用いる。 ※2 地震カタログによる位置情報やプレート境界等直線等に基づいて算出

※3 鹿島灘付近で発生したプレート間地震による補正係数



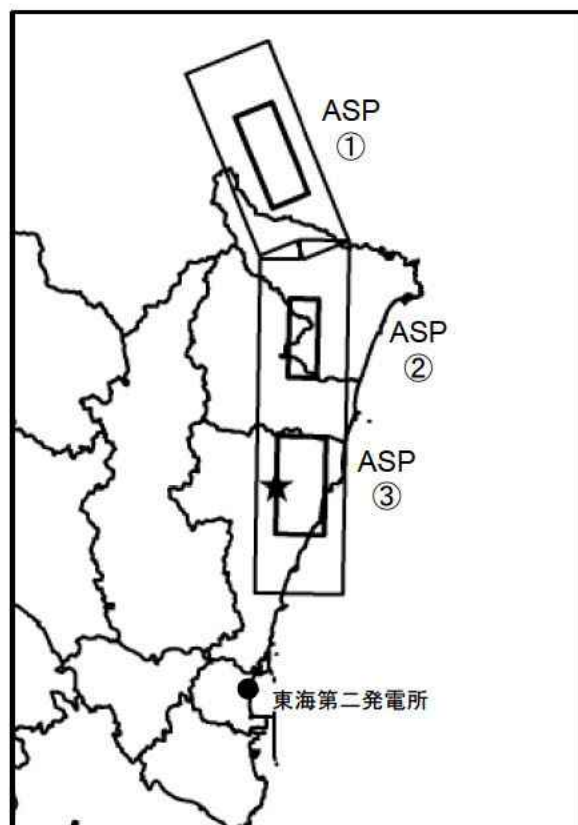
対象震源位置図



プレート間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)

- ・茨城県(2018)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。

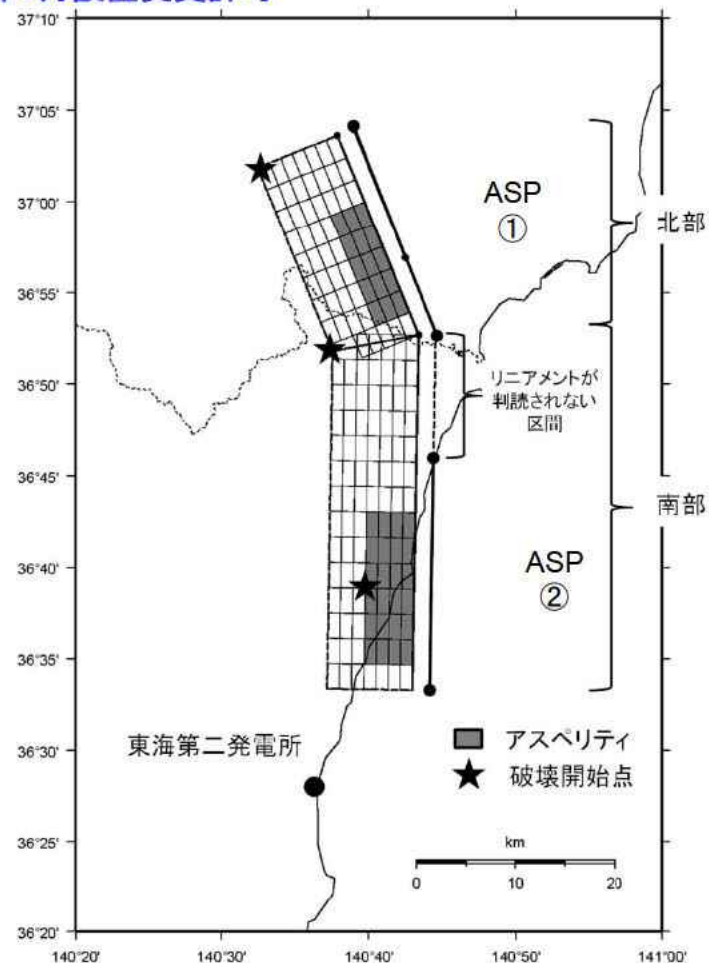
茨城県(2018)



断層モデル図

・アスペリティ応力降下量: 14.1MPa

2018年9月設置変更許可



断層モデル図

・アスペリティ応力降下量: 14.1MPa

塩ノ平地震断層

- リニアメントにほぼ一致して断層が認められる。
- 後期更新世以降の活動が認められる。
(2011年4月11日の地震等)

⇒ 震源として考慮する活断層として評価

北方陸域の断層

- リニアメントにほぼ一致して断層が認められる。
- 後期更新世以降の活動は否定できない。
- 確認された断層は、軟質な粘土を伴い、平面的である。
- 上載地層との関係は確認できない。

⇒ 震源として考慮する活断層として評価

リニアメントは判読されないが、断層の連続性等の情報が十分でない。

F1断層
上載地層法により後期更新世の活動が否定できない。

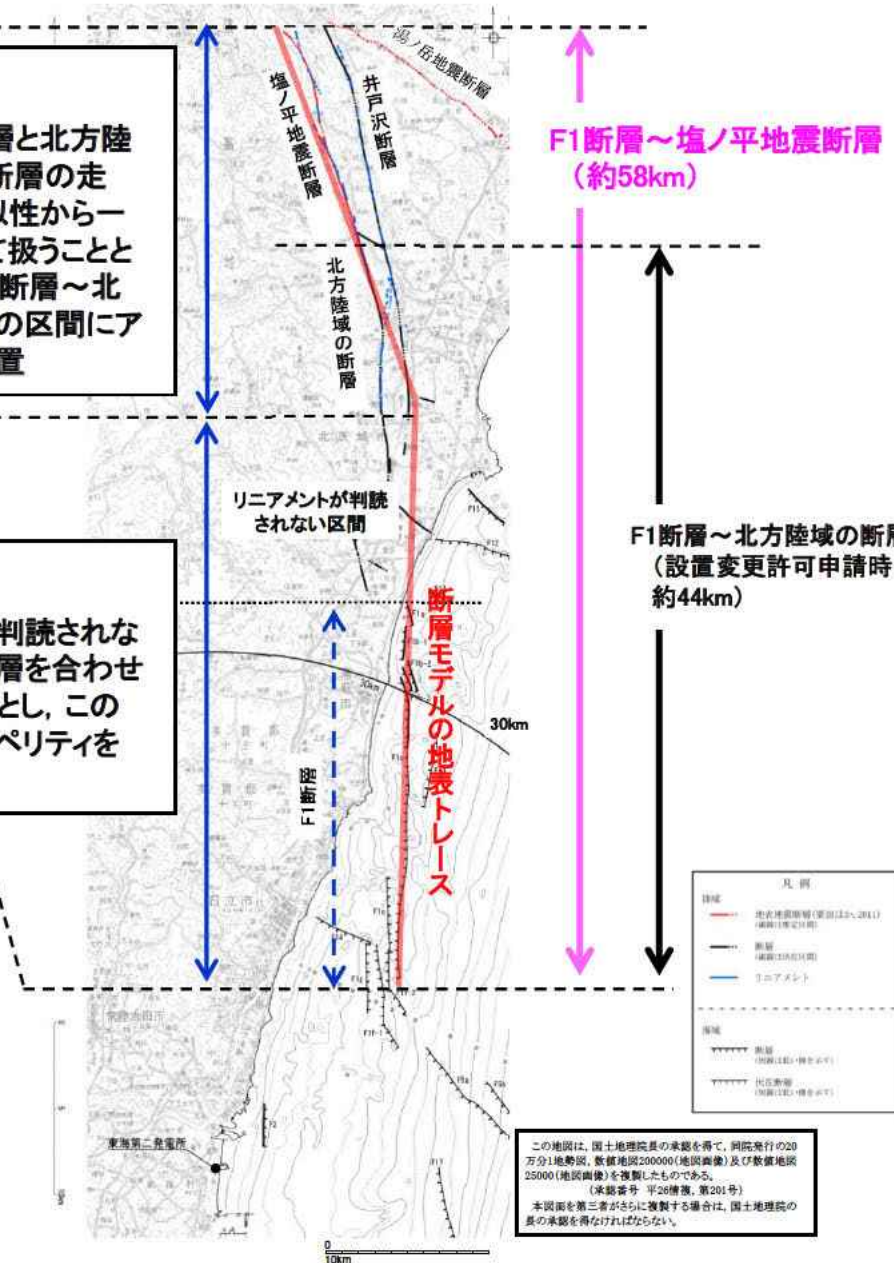
⇒ 震源として考慮する活断層として評価

■北部

塩ノ平地震断層と北方陸域の断層は、断層の走向・傾斜の類似性から一連の断層として扱うこととし、塩ノ平地震断層～北方陸域の断層の区間にアスペリティを配置

■南部

リニアメントが判読されない区間とF1断層を合わせて一つの区間とし、この区間内にアスペリティを配置



- 巨視的面は地質調査による断層線に沿うよう設定する。
- 断層の分布状況から震源を南部、北部に区分する。
- アスペリティは、地質調査結果や各種文献に基づき、南部では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、それぞれ敷地寄りに配置する。
- 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。

この地図は、国土地理院の承認を得て、同院発行の20万分1地勢図、数値地図200000(地図画像)及び数値地図25000(地図画像)を複製したものである。
(承認番号 平28地保、第201号)
本図面を第三者がさらに複製する場合は、国土地理院の承認を得なければならない。

地震名No.3 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】

- 断層長さについては、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】

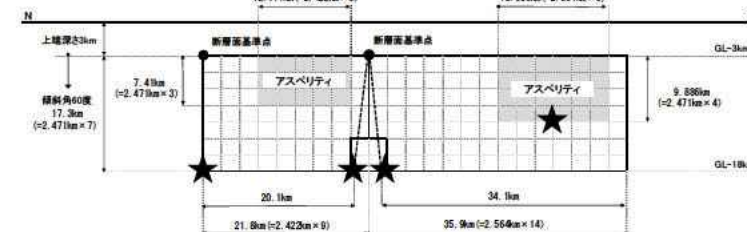
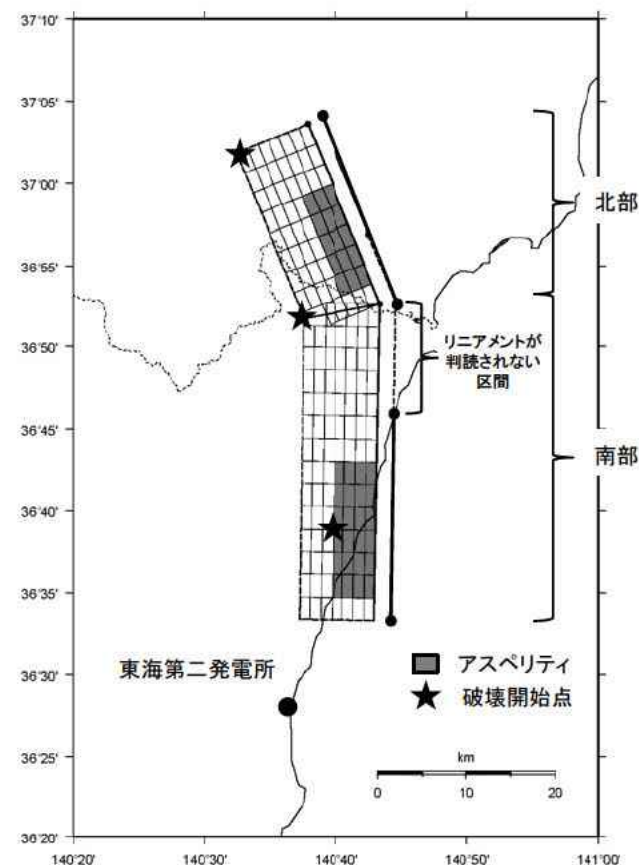
- アスペリティの位置については、地質調査結果に基づき、南部区間のうち調査でわかっているF1断層に1つ、北部では北方陸域の断層~塩ノ平地震断層に1つ、それぞれ敷地に近くなるように配置する。
- 断層長さ方向の配置については、Manighetti et al.(2005)等の知見を踏まえるとアスペリティのように大きなすべりが生じる領域とすべりが無い領域が隣接することは考えにくいことから、断層端部との間に1マス分背景領域を設定する。断層幅方向の配置については、すべりに追従する表層(地表から断層上端までの強震動を出さない層)が存在するので安全側に断層上端にアスペリティを配置する。
- なお、リニアメ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



基本震源モデル

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
地震名No.4 当社の内陸地殻内地震の評価(1/2)

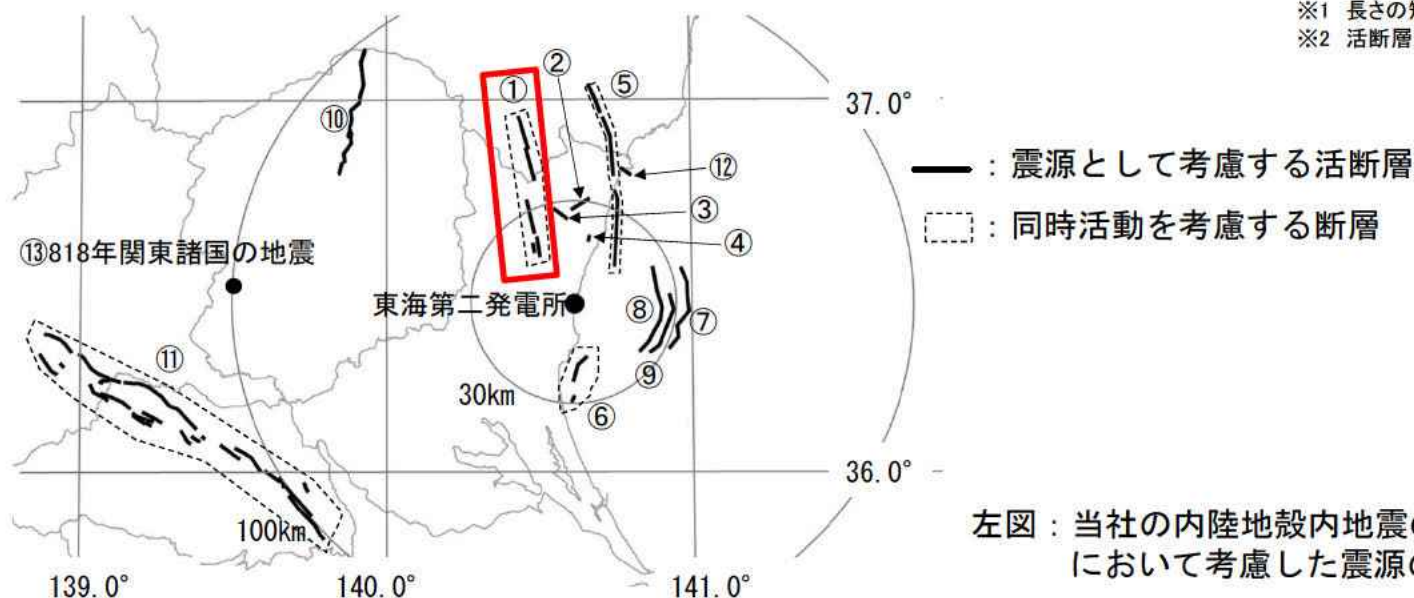


当社の内陸地殻内の地震動評価で考慮した震源

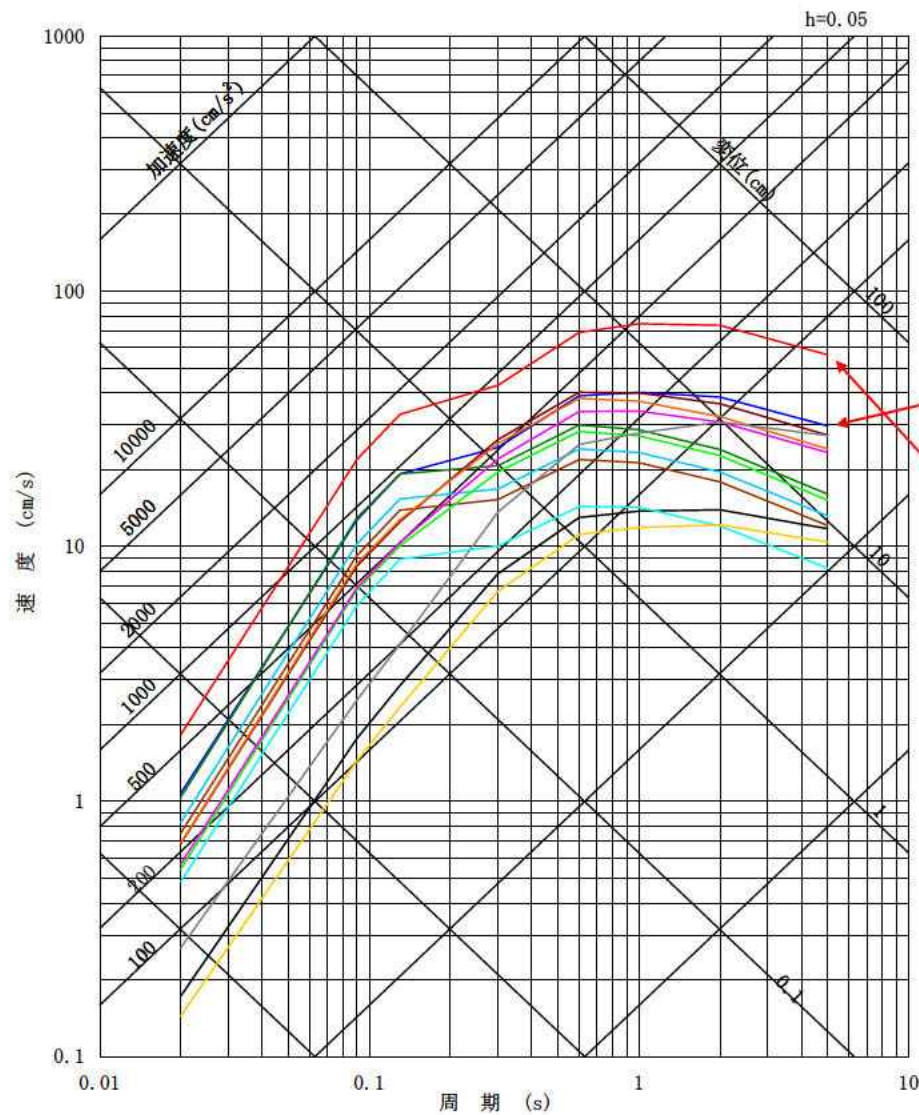
- ・ 当社の内陸地殻内地震による地震動評価で考慮した震源の一つに、棚倉破砕帯西縁断層～同東縁付近の推定活断層がある。
- ・ 茨城県(2018)では、当社の評価による上記断層を、No.4棚倉破砕帯東縁断層、同西縁断層の連動による地震として想定している。

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 棚倉破砕帯西縁断層～同東縁付近の推定活断層	42	7.5	3	37	考慮
	② 関口～米平リニアメント	6	6.8 ^{※1}	3	27	考慮
	③ 豎破山リニアメント	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	58	7.8	3	31	考慮
	⑥ F3断層～F4断層	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 深谷断層帯・綾瀬川断層	103	8.2	5	128	
	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



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
 地震名No.4 当社の内陸地殻内地震の評価(2/2)



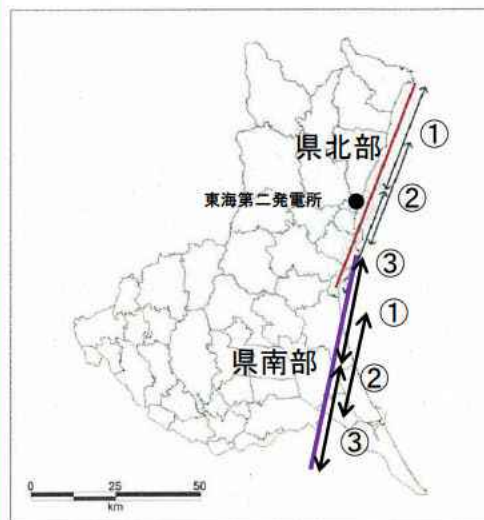
東海第二発電所に最も大きな影響を与える断層は、F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震である。

- ① 棚倉破碎帯西縁断層～同東縁付近の推定活断層, M7.5, Xeq=37km
- ② 関口-米平リニアメント, M6.8, Xeq=27km
- ③ 豎破山リニアメント, M6.8, Xeq=25km
- ④ 宮田町リニアメント, M6.8, Xeq=21km
- ⑤ F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層, M7.8, Xeq=31km
- ⑥ F3断層～F4断層, M6.8, Xeq=22km
- ⑦ F8断層, M7.2, Xeq=26km
- ⑧ F16断層, M7.2, Xeq=30km
- ⑨ A-1背斜, M7.0, Xeq=22km
- ⑩ 関谷断層, M7.5, Xeq=92km
- ⑪ 深谷断層帯・綾瀬川断層, M8.2, Xeq=128km
- ⑫ F11断層, M6.8, Xeq=38km
- ⑬ 1818年関東諸国の地震, M7.5, Xeq=102km

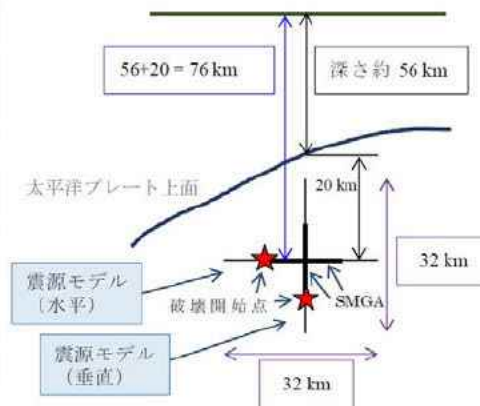
内陸地殻内地震の地震動の応答スペクトル
 (Noda et al.(2002)の手法に補正係数を考慮)

茨城県(2018)

- ・ 茨城県沿岸付近に太平洋プレート内の地震(Mw7.5)が想定されている。
- ・ 茨城県北部沿岸の太平洋プレートの潜り込み深さを勘案して県北部の震源モデルが設定されている。さらに、県北部の震源モデルを南部に延長し、霞ヶ浦付近に太平洋プレート内に震源が位置するように県南部の震源モデルが設定されている



断層位置の考え方

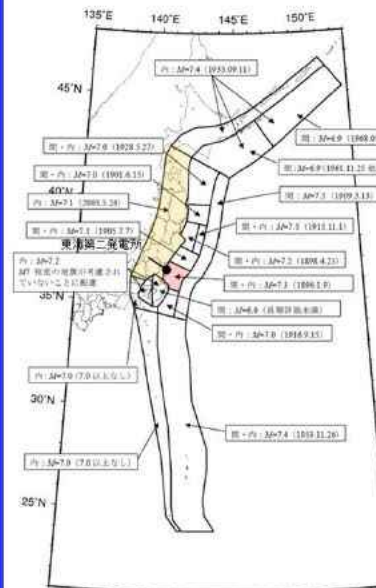


傾斜と深さの考え方

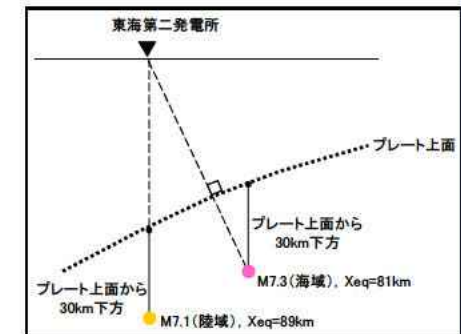
- ・ 断層位置: 県北部, 県南部それぞれ, ①~③のケース
- ・ 深さ: プレート上面より20km下方に震源断層の中心を設定
- ・ 傾斜: 鉛直および水平の2ケース
- ・ アスペリティ: 中央に1つ
- ・ 断層パラメータ: レシピに準拠

当社 2018年

- ・ 茨城県沖における太平洋プレートの特徴から、規模が大きいプレート内地震の発生は起こりにくい。
- ・ 敷地最短位置にMw7.3を想定。



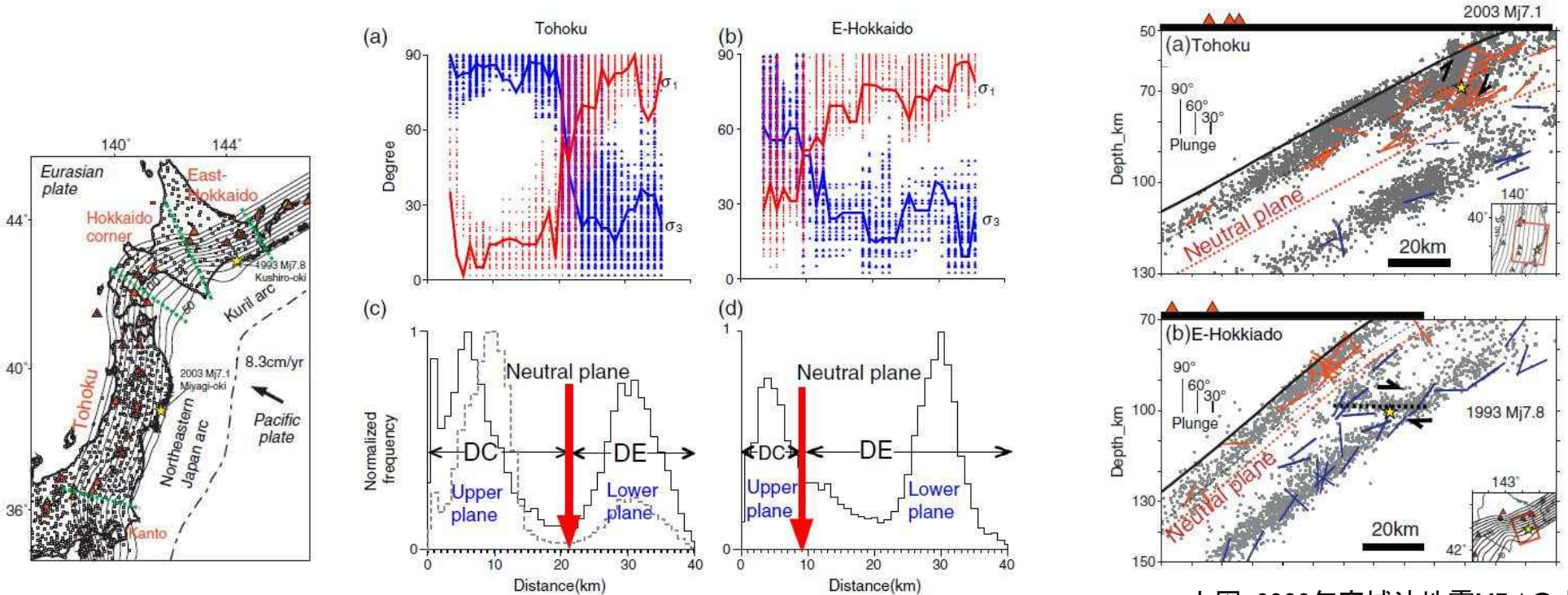
地震調査研究推進本部(2009)による震源断層を予め特定しにくい地震の領域(一部加筆)



震源断層を予め特定しにくい地震の設定位置(模式図)

地震名No.5, 6 太平洋プレート内の地震: Kita et al.(2010)

- 北海道から東北地方に至る領域の太平洋プレート内で発生した地震の分析から、北海道東方と東北地方とでは中立面位置が異なること、余震は中立面内に留まっていることが示されている。また、このことは規模の大きな地震が発生しても断層面は中立面を超えないことを示唆しているとされている。なお、中立面位置は、北海道東方、東北地方それぞれの領域内においては大きな差は生じていないとされている。



検討対象領域

Kita et al.(2010)より抜粋

上図: 主応力軸(赤: 最大圧縮軸, 青: 最少圧縮軸)と海洋プレートとの傾斜角
 下図: 海洋プレート内地震の発生頻度分布と中立面

上図: 2003年宮城沖地震M7.1の本震, 余震位置
 下図: 1993年釧路沖地震M7.5の本震, 余震位置

Saeko Kita, Tomomi Okada, Akira Hasegawa, Junichi Nakajima, Toru Matsuzawa (2010): Existence of interplane earthquakes and neutral stress boundary between the upper and lower planes of the double seismic zone beneath Tohoku and Hokkaido, northeastern Japan, *Tectonophysics* 496 (2010) 68-82

地震名No.5, 6 震源モデル

- 震源モデルのパラメータは第5回ワーキングチームで説明したものを採用し、敷地からの距離が最短となる位置に想定する。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想定による設定値を参考に設定する。

【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。

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

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

【断層面の位置・形状】

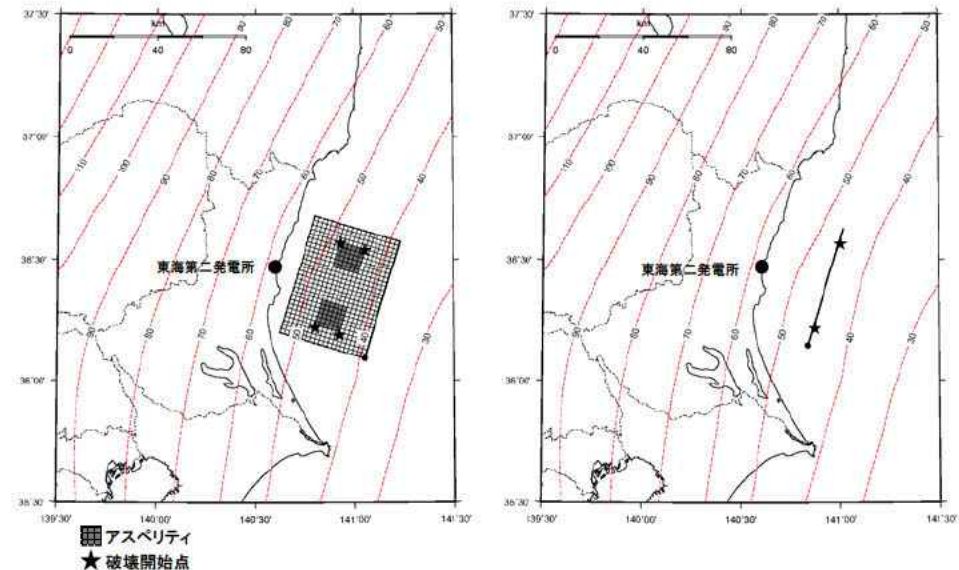
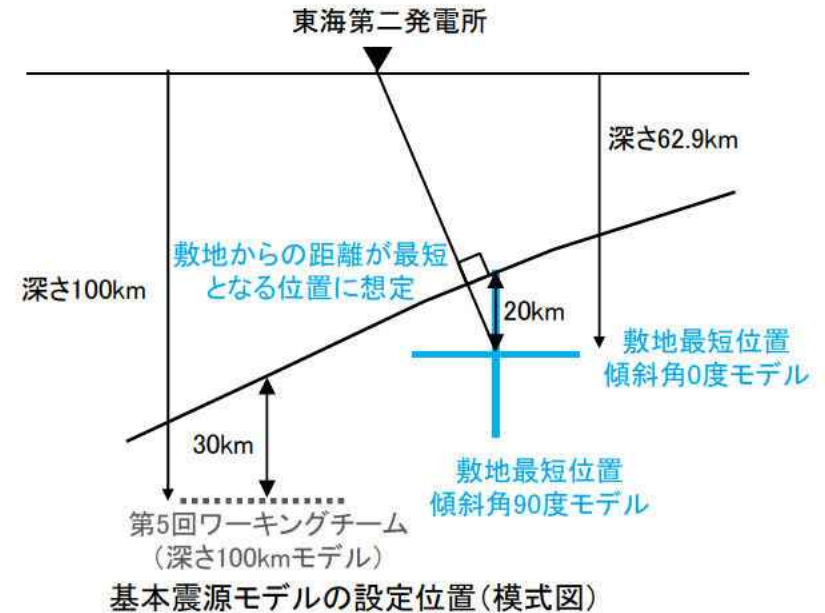
- ・断層傾斜角は茨城県想定に基づき0度及び90度とする。
- ・断層面は敷地からの距離が最短となる位置に設定し、プレート境界からの深さは、茨城県想定を参考に20kmとする。

・アスペリティ位置

断層面の中央に2箇所設定する。

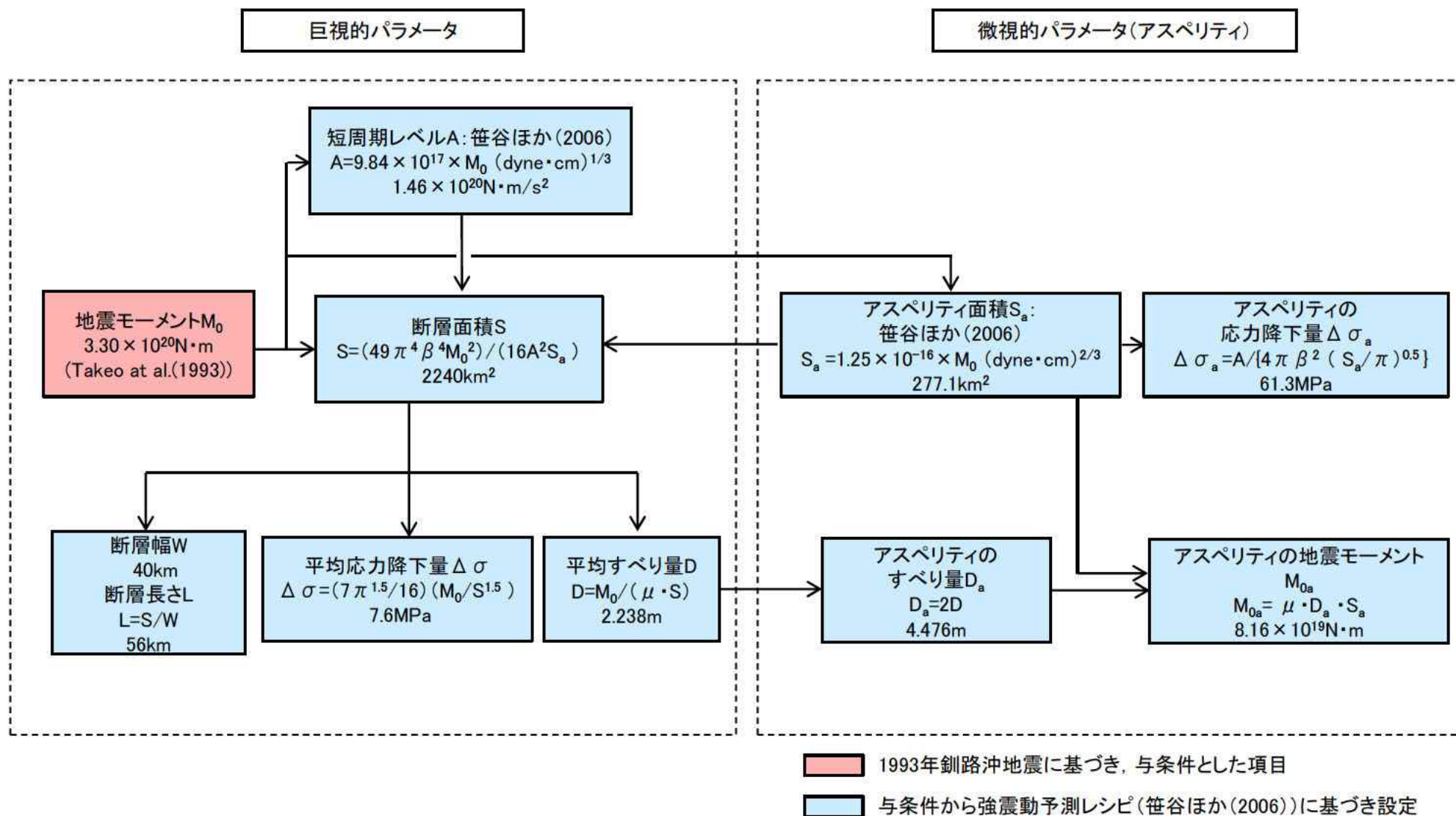
・ずれの種類

逆断層と設定する。



地震名No.5, 6 震源モデル

■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。



地震名No.5, 6 断層パラメータ

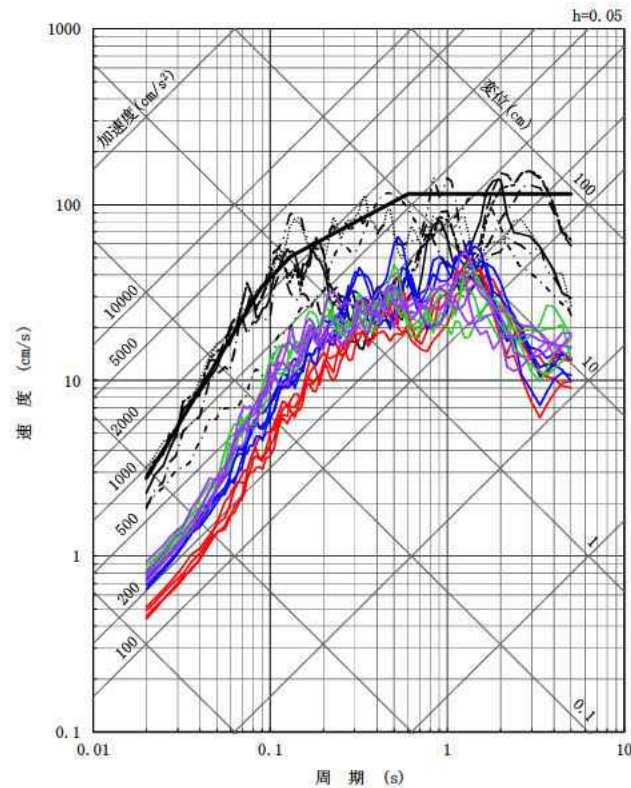


項目		設定値	設定方法
断層上端深さ	h(km)	0度:62.9 90度:42.9	断層面は敷地からの距離が最短となる位置に設定し、プレート境界からの深さは、茨城県想定を参考に20kmとする
気象庁マグニチュード	Mj	7.5	1993年釧路沖地震
モーメントマグニチュード	M _w	7.6	logM ₀ =1.5M _w +9.1
地震モーメント	M ₀ (N・m)	3.30E+20	Takeo et al.(1993)
走向	θ(度)	17	プレート境界等深線より設定
傾斜角	δ(度)	0, 90	茨城県想定
ずれの種類	—	逆断層	—
すべり角	λ(度)	90	—
平均応力降下量	Δσ(MPa)	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

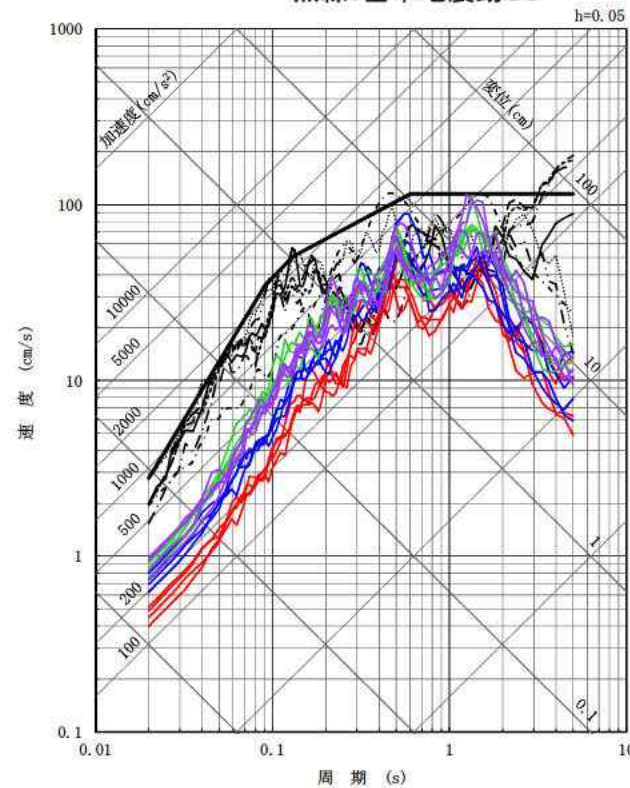
項目		設定値	設定方法
アスペリティ全体	面積	S _a (km ²)	277.1
	すべり量	D _a (m)	4.476
	地震モーメント	M _{0a} (N・m)	8.16E+19
	応力降下量	Δσ _a (MPa)	61.3
各アスペリティ	面積	S _{a1} (km ²)	138.5
	すべり量	D _{a1} (m)	4.476
	地震モーメント	M _{0a1} (N・m)	4.08E+19
	応力降下量	Δσ _{a1} (MPa)	61.3
背景領域	面積	S _b (km ²)	1963.2
	すべり量	D _b (m)	1.922
	地震モーメント	M _{0b} (N・m)	2.48E+20
	実効応力	Δσ _b (MPa)	7.9
Q値		Q	110f ^{0.69} 佐藤他(1994)

統計的グリーン関数法による地震動評価結果

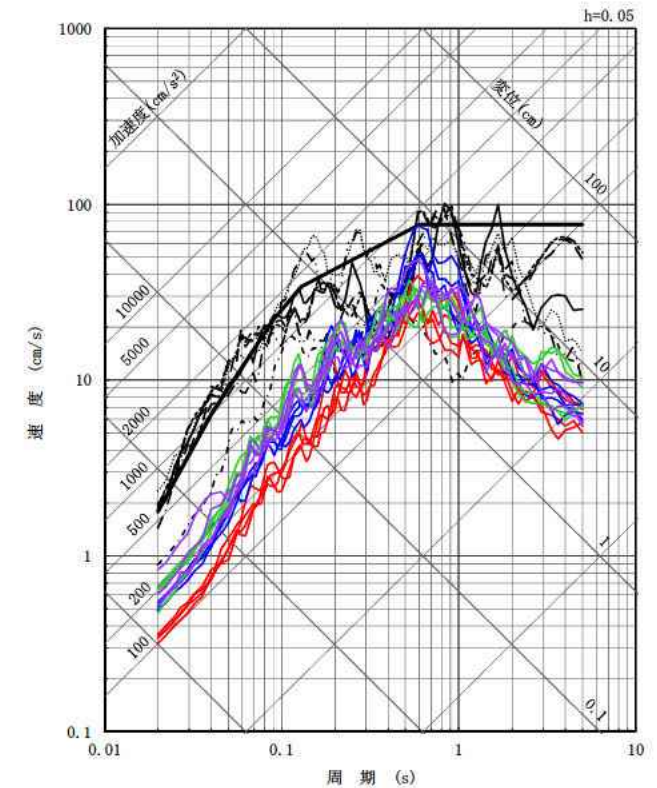
- 深さ100kmモデル(破壊開始点1~4)
 - 深さ100kmモデル+ $\Delta\sigma$ 1.5倍(破壊開始点1~4)
 - 敷地最短位置 傾斜角0度モデル(破壊開始点1~4)
 - 敷地最短位置 傾斜角90度モデル(破壊開始点1~4)
 - 黒線: 基準地震動Ss
- } 第5回ワーキングチーム
} 今回追加ケース



NS方向



EW方向



UD方向

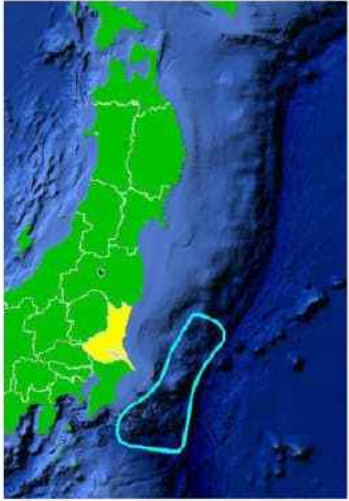
敷地からの距離が最も近くなる位置の太平洋プレート内に震源を置いた場合の地震動評価を行い、基準地震動Ssを下回っていることを確認した。

地震名No.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)



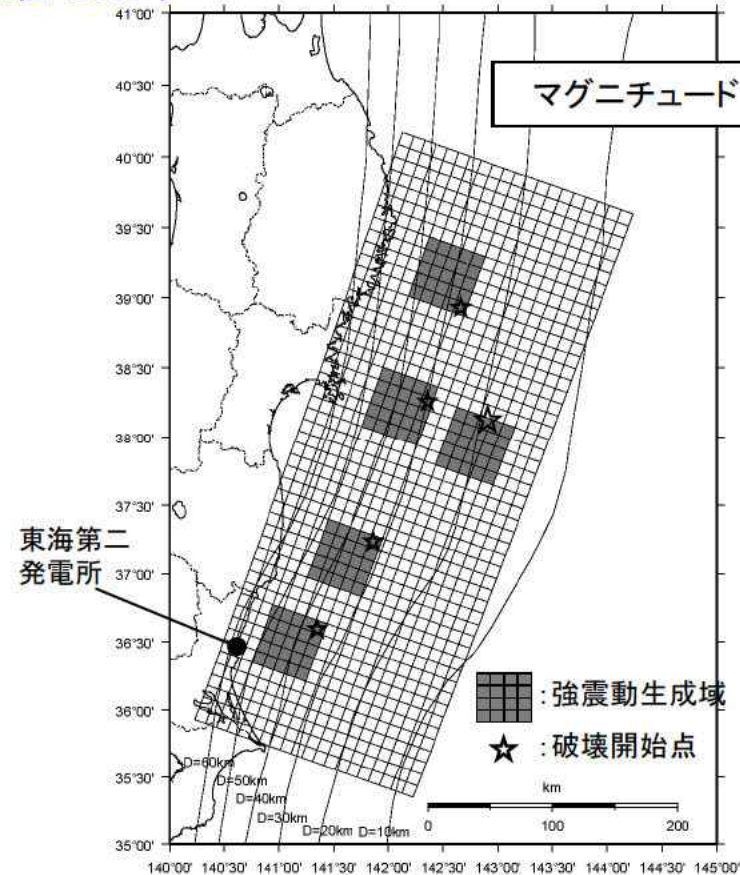
- ・ 茨城県(2018)では、津波被害の観点から茨城県沖から房総半島沖にかけての地震(茨城県沖～房総半島沖)(Mw8.4, Mt8.6～9.0)を日本海溝付近に想定している。
- ・ 当社のプレート間地震の評価で考慮した2011年東北地方太平洋沖型地震(Mw9.0)は、上記地震よりも規模が大きく、また地震動に大きな影響を与える強震動生成域をより敷地に近い場所(敷地前面の茨城県沖)に想定していることから、上記茨城県(2018)による地震動は、基準地震動策定で考慮した地震で包含される。

茨城県(2018)

対象津波	H23 想定津波
マグニチュード	Mw = 8.4 Mt = 8.6～9.0
使用モデル	茨城県モデル
説明	地震調査研究推進本部から平成 23 年 11 月に公表された「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)について」を基に想定した地震。 (平成 19 年に茨城県で想定した津波「延宝房総沖地震津波」の震源域等を参考にした地震。)
概要	
震源域	

茨城県沖から房総半島沖にかけての地震(茨城県(2012))の震源域

当社 2018年



2011年東北地方太平洋沖型地震(Mw9.0)の断層モデル図(基本震源モデル)

内閣府(2012) 南海トラフの巨大地震モデル

- ・内閣府(2012)の南海トラフの巨大地震モデル検討会では、「あらゆる可能性を考慮した最大クラスの巨大な地震・津波を検討していくべきである」との考え方にに基づき、南海トラフで想定される最大クラスの地震が想定されている。
- ・この地震による東海第二発電所の敷地周辺の震度は震度4と推計されている。

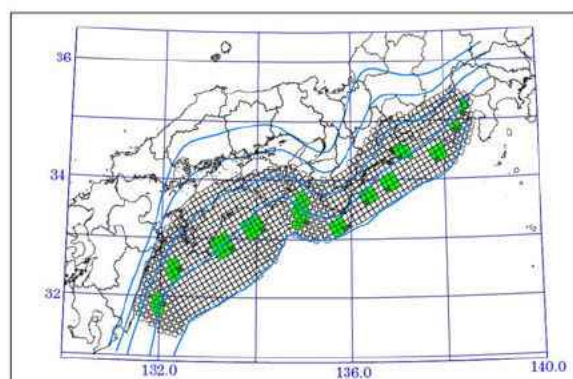


図3.3 強震動生成域の設定の検討ケース(基本ケース)

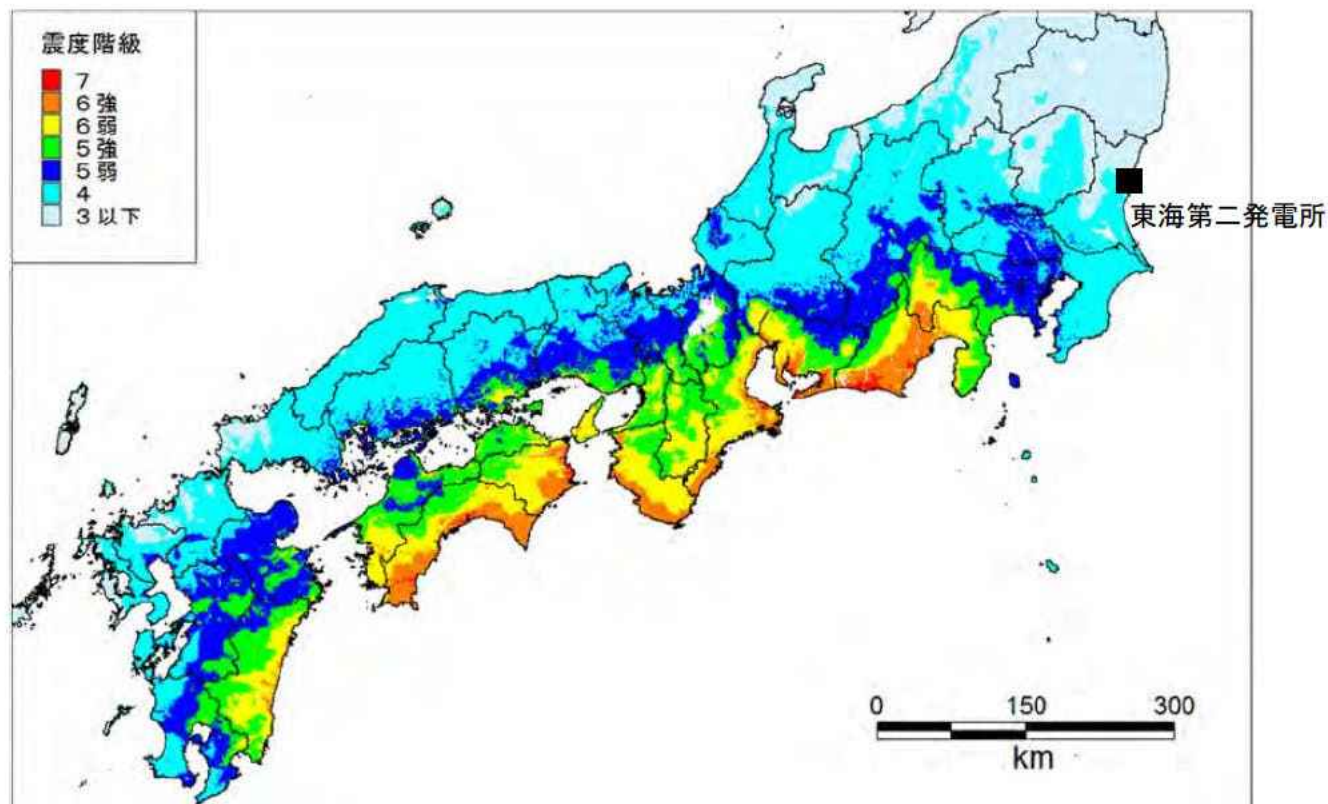
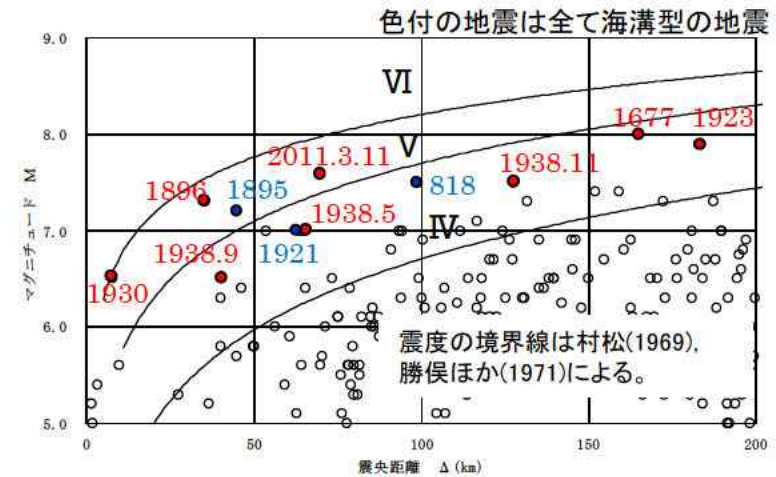
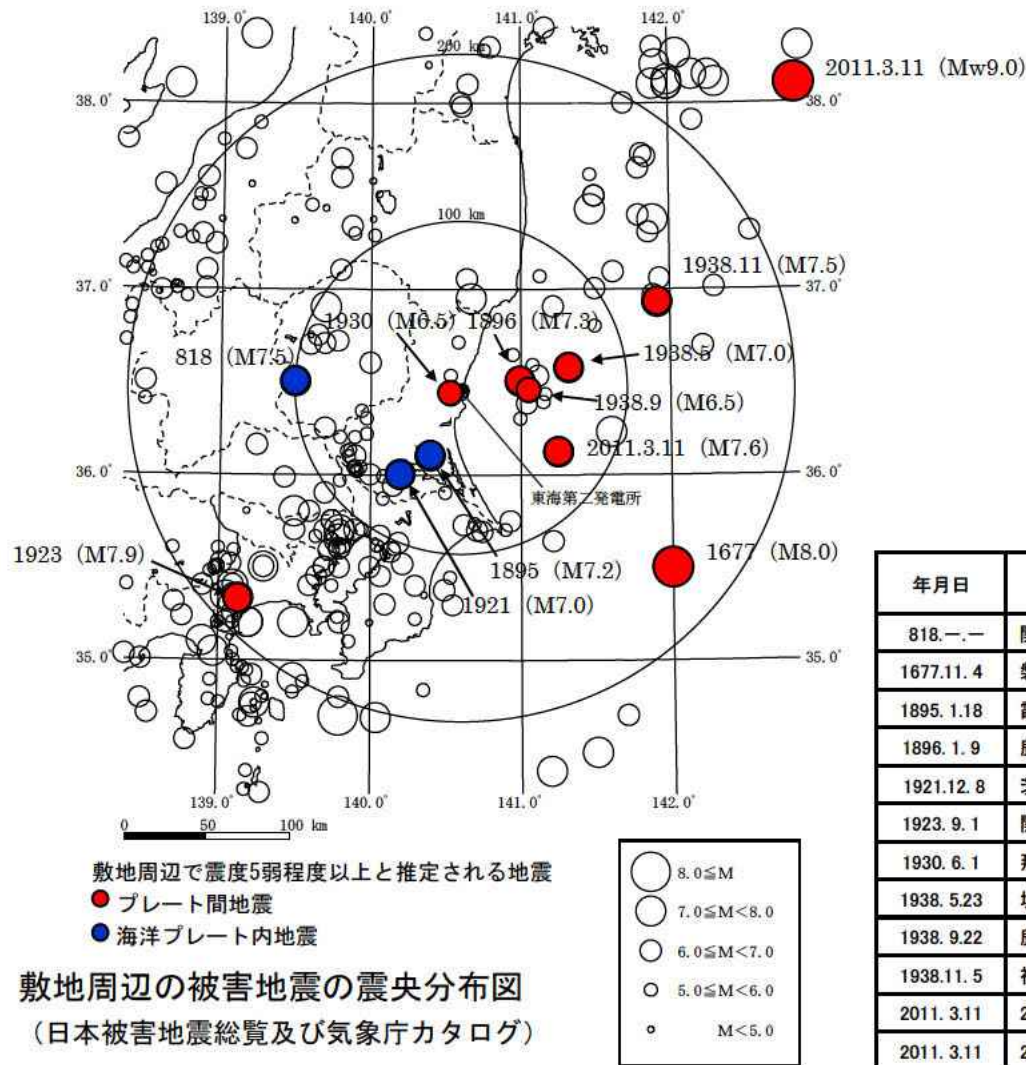


図5.1 基本ケースの震度分布

東海第二発電所の基準地震動は、敷地周辺で震度5程度以上となる過去の被害地震を踏まえて設定しており、南海トラフ地震による施設への影響は基準地震動の評価に包含される。

過去の被害地震

・敷地で震度5程度以上となる過去の被害地震を抽出する。



敷地周辺の被害地震から想定されるMとΔの関係

敷地での震度5程度以上となる被害地震リスト

年月日	地震	地震規模 M	震央距離 (km)	深さ (km)	地震発生様式
818.-.-	関東諸国の地震	7.5	99	-	海洋プレート内地震
1677.11.4	磐城・常陸・安房・上総・下総の地震	8.0	165	-	プレート間地震
1895.1.18	霞ヶ浦付近の地震	7.2	45	-	海洋プレート内地震
1896.1.9	鹿島灘の地震	7.3	35	-	プレート間地震
1921.12.8	茨城県龍ヶ崎付近の地震	7.0	64	-	海洋プレート内地震
1923.9.1	関東大地震	7.9	183	23	プレート間地震
1930.6.1	那珂川下流域の地震	6.5	8	54	プレート間地震
1938.5.23	塩屋崎沖の地震	7.0	65	35	プレート間地震
1938.9.22	鹿島灘の地震	6.5	40	48	プレート間地震
1938.11.5	福島県東方沖地震	7.5	128	43	プレート間地震
2011.3.11	2011年東北地方太平洋沖地震の本震	Mw9.0	270	23.7	プレート間地震
2011.3.11	2011年東北地方太平洋沖地震の最大余震	7.6	69	42.7	プレート間地震

- 敷地で震度5程度以上となる被害地震について、気象庁カタログや文献から震源位置を求め地震発生様式毎に分類した。
- 敷地で震度5程度以上となる被害地震は、いずれもプレート間地震または海洋プレート内地震である。
- 内陸地殻内地震で敷地で震度5程度以上となる被害地震は確認されていない。

参考 内閣府等の海溝型巨大地震の評価について

■ 東海第二発電所周辺以外の地域の海溝型巨大地震の評価について整理した。

■ 内閣府

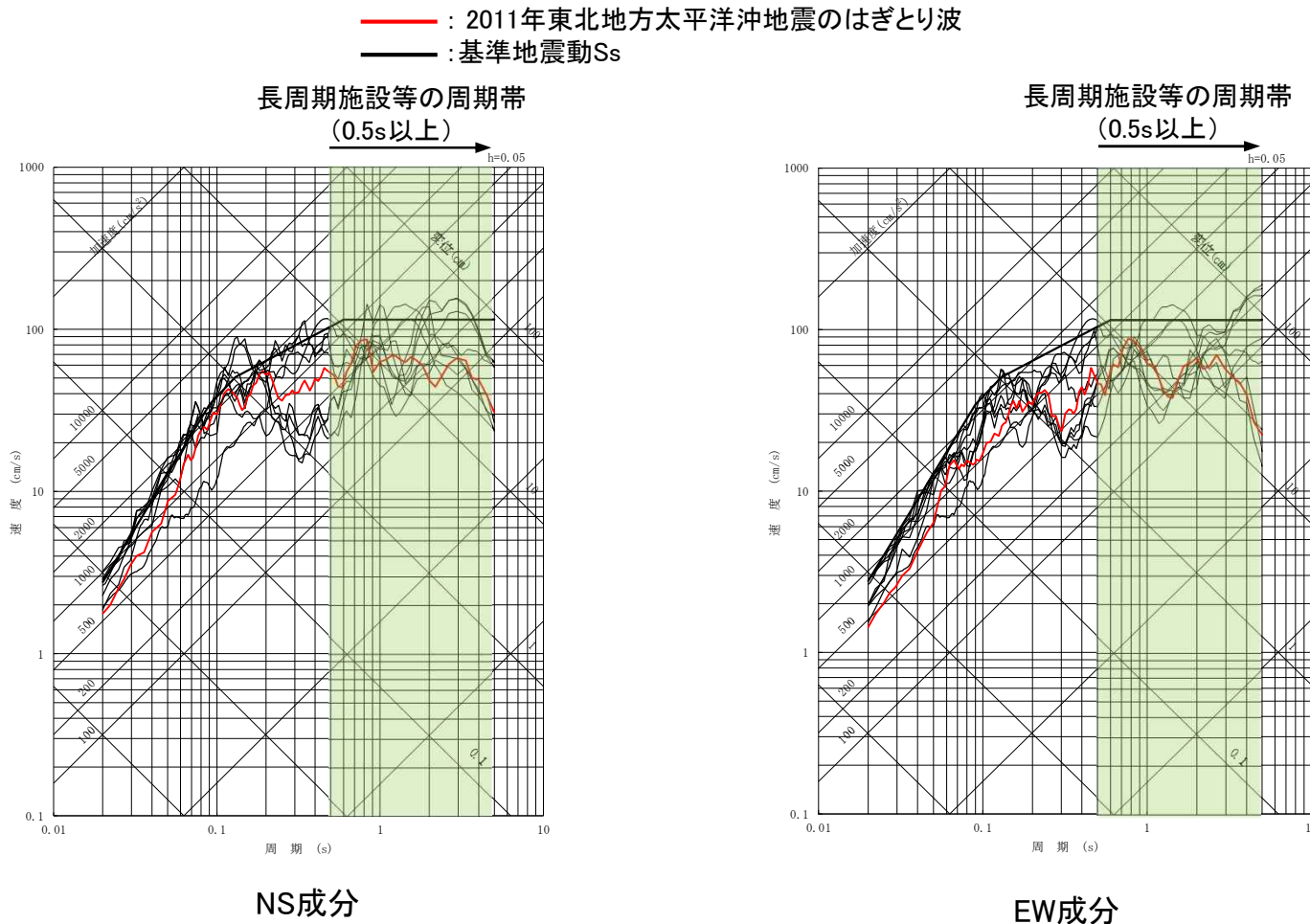
報告書	震源モデル	地震規模	東海第二発電所への影響
南海トラフの巨大地震モデル検討会 (第二次報告)(平成24年8月29日)	南海トラフ巨大地震の強 震断層モデル	Mw9.0	敷地での震度は震度4と推計され ており、震度5程度以上の被 害地震を踏まえている基準地 震動の評価に包含される。

■ 地震調査研究推進本部

報告書	震源モデル	地震規模	東海第二発電所への影響
千島海溝沿いの地震活動の長期評価 (第三版)(平成29年12月19日)	十勝沖から択捉島沖 (根室沖を含む可能性高)	M8.8程度 以上	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 ており、この地震に包含される。
日本海溝沿いの地震活動の長期評価 (平成31年2月26日)	東北地方太平洋沖型 岩手県沖南部～茨城県沖	M9.0程度	同様の領域・規模を設定した地 震を検討用地震として考慮済 みである。

参考 長周期施設に対する地震調査研究推進本部の海溝型巨大地震の影響

- ・ 地震調査研究推進本部の海溝型巨大地震と地震規模が同等な2011年東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) の観測記録 (はぎとり波) と, 東海第二発電所の基準地震動Ssとを比較すると, 長周期帯においても基準地震動Ssは観測記録を大きく上回る。
- ・ これより, 基準地震動Ssに対して施設の健全性が確認できれば, 海溝型巨大地震の影響に対しても問題がないものと判断できる。



参考 長周期施設に対する地震調査研究推進本部の海溝型巨大地震の影響

- ・長周期に固有周期を有する施設として、耐震Sクラス等の重要施設、耐震Sクラス等の重要施設近傍に位置する施設については、基準地震動 S_s に対して施設の健全性が確保できることを確認している。また、スロッシングによる重要施設への影響についても、基準地震動 S_s に対して、スロッシングによる影響が重要施設の健全性に影響がないことを確認している(下表)。
- ・したがって、2011年東北地方太平洋沖地震と同程度の規模をもつ地震調査研究推進本部の想定した震源に対しても、当該施設の安全性は確保される。

長周期に固有周期を有する代表施設の基準地震動 S_s に対する評価結果

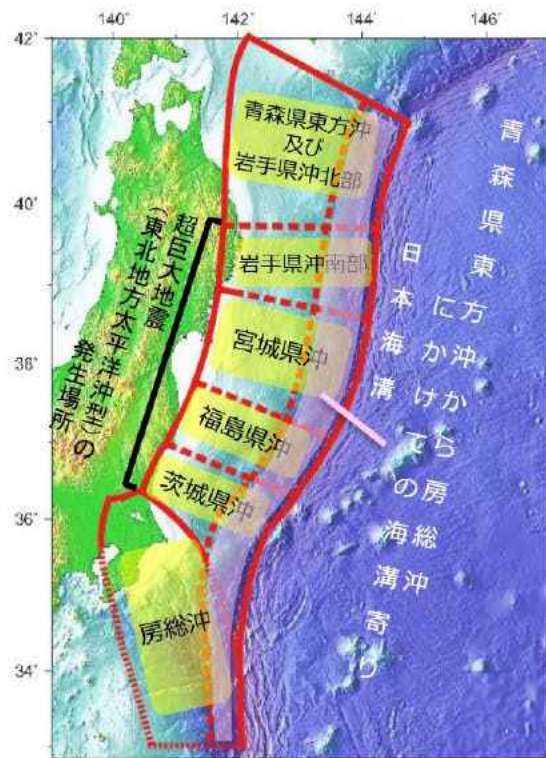
評価対象施設	1次固有周期(秒)	評価項目	評価部位	応力分類	単位	発生値	許容値
主排気筒	1.17	構造強度	鉄塔(支柱材)	軸力・曲げ	-*1	0.915	< 1.000
常設代替高圧電源装置 内燃機関(No.1~No.5)	□	構造強度	フレーム	組合応力	MPa	310	< 342
		機能維持	車両/ 内燃機関	応答加速度 (水平)	G	0.46	< 1.37
原子炉建屋クレーン	□*2	構造強度	クレーン本体 ガーダ	曲げ	MPa	218	< 336
			ワイヤーロープ	荷重	N	6.126×10^6	< 9.035×10^6
使用済燃料プール (スロッシング)	3.9	重要施設 への影響	溢水量評価	-	-	スロッシングにより重要施設 に影響を与えないことを確認	

*1 鉄骨部材における組合せ応力による評価とし、許容値を1とする。

*2 トロリ位置及び吊り荷有無の各状態で1次固有周期が異なるため、最も長周期の1次固有周期を記載。

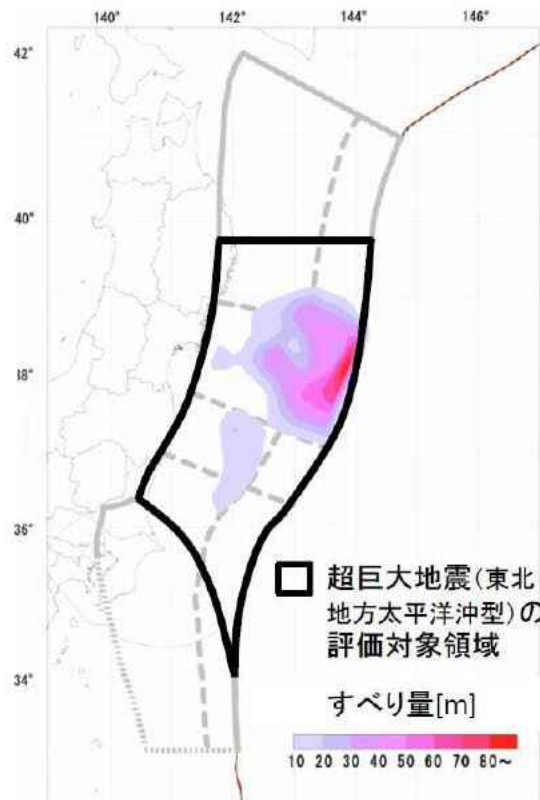
(地震対策)地震本部(2019)の検討について

- 地震調査研究推進本部(以下、地震本部という。)では、日本海溝沿いで発生する地震を対象に長期評価を行っており、2011年に「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)」を公表しているが、2011年の長期評価以降の新しい知見の取り込み等を行い、2019年に「日本海溝沿いの地震活動の長期評価」を公表した。
- 下記が改訂のポイントとして挙げられている。
 - ①評価対象領域・地震を再編
 - ②津波堆積物から超巨大地震(東北地方太平洋沖型)を再評価
 - ③東北地方太平洋沖地震を受けて、将来発生する地震を再評価
- これらの改訂ポイントについて敷地における地震動評価及び津波評価への影響を確認した。



地震本部(2019)

①評価対象領域・地震



地震本部(2019)

②超巨大地震の評価対象領域

評価対象地震	場所	規模	本評価 [#]	(参考) 第二版 [#]
超巨大地震 (東北地方太平洋沖型)	岩手県沖南部～ 茨城県沖	M9.0程度	I	I
プレート間 巨大地震	青森県東方沖及び 岩手県沖北部	M7.9程度	III	III
	宮城県沖	M7.9程度	II(注1)	I
ひとまわり小さい プレート間地震	青森県東方沖及び 岩手県沖北部	M7.0～7.5程度	III	III
	岩手県沖南部	M7.0～7.5程度	III	—
	宮城県沖	M7.0～7.5程度	III(注1)	—
	宮城県沖の陸寄り (宮城県沖地震)	M7.4前後	III	X
	福島県沖	M7.0～7.5程度	III	II
海溝寄りのプレート間 地震(津波地震等)	青森県東方沖から房総沖 にかけての海溝寄り	Mt(注2) 8.6～9.0	III(注1)	III
沈み込んだ プレート内の地震	青森県東方沖及び岩手県 沖北部～茨城県沖	M7.0～7.5程度	III(注1)	—
海溝軸外側の地震	日本海溝の海溝軸外側	M8.2前後	II(注1)	II

注1) 本評価で評価対象領域・地震を再編したため、場所と規模の範囲が異なり、厳密には第二版と対応しない
注2) Mtは津波マグニチュード

30年以内の地震発生確率 2019年1月1日時点
IIIランク: 26%以上 IIランク: 3～26%未満 Iランク: 3%未満 Xランク: 不明

地震本部(2019)

③将来発生する地震の場所・規模・確率

(地震対策) ①「評価対象領域・地震を再編」による影響について



■ 地震本部(2019)の検討

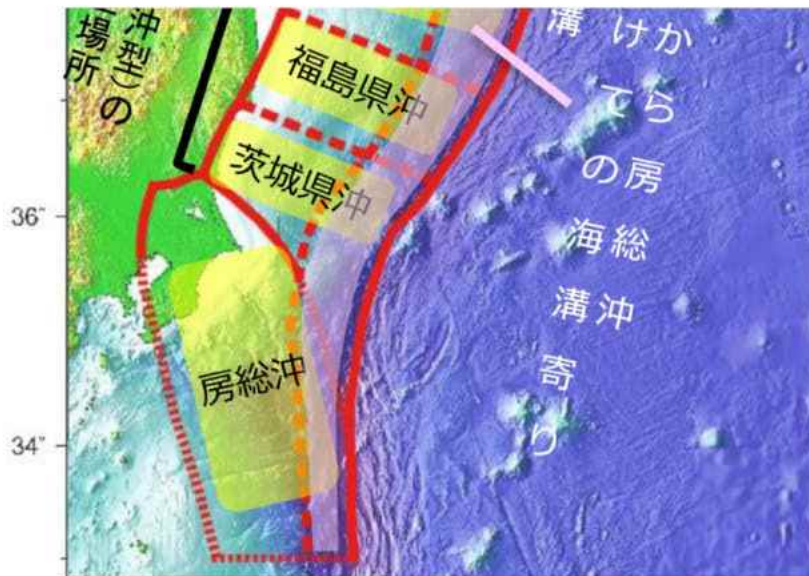
評価対象領域は、「地形(幾何形状)の変化, 力学条件の変化, 既往の巨大地震の震源域, 現在の地震活動等」から定義され, このうち茨城県沖と房総沖の領域の境界は, 「太平洋プレートが接するプレートの違いによって, 太平洋プレート上面で起きる地震の発震機構は異なる」ことから, Uchida et al.(2009)のフィリピン海プレートの北東端を基に見直されている。

■ 敷地における地震動評価

プレート間地震の検討用地震としている2011年東北地方太平洋沖型地震の震源域の南限の設定にあたり, フィリピン海プレート北東端を境に地震のすべり方向が異なることを示したUchida et al.(2009)等の知見を考慮している。

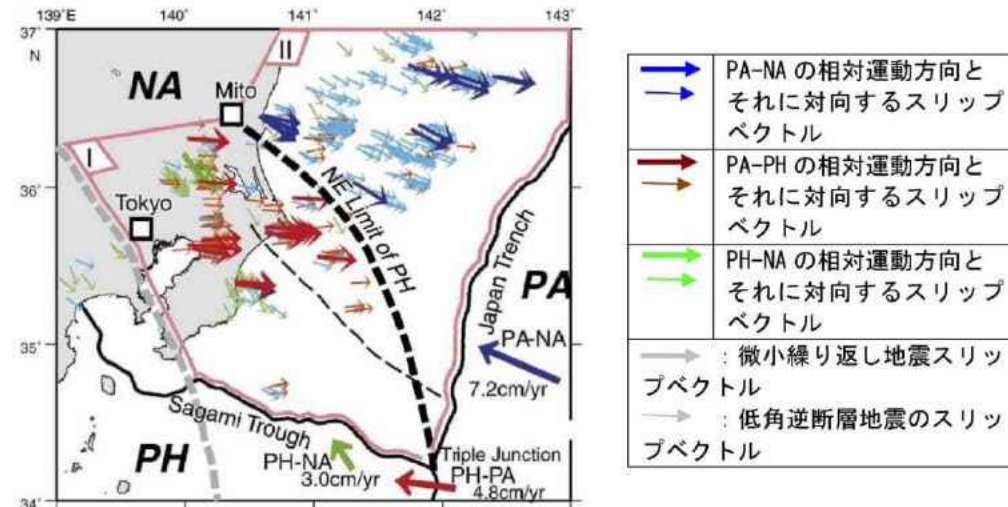
■ 確認結果

地震本部(2019)が茨城県沖と房総沖の領域の設定に用いたUchida et al.(2009)の知見は, 2011年東北地方太平洋沖型地震の震源域の南限の設定において既に考慮していることから, 地震動評価を見直す必要はないと判断した。また, 地震ハザード評価では, フィリピン海プレートと太平洋プレートを区別せず海溝型地震として評価しており, 評価対象領域の見直しによる影響はないことから, 地震ハザード評価を見直す必要はないと判断した。



地震本部(2019)

評価対象領域・地震



プレート上面における微小繰り返し地震・低角逆断層のすべり角とプレートの運動方向 (Uchida et al., 2009)

NA: 陸側のプレート PA: 太平洋プレート PH: フィリピン海プレート

地震本部(2019)

茨城県沖と房総沖の境界線の設定根拠

■ 地震本部(2019)の検討

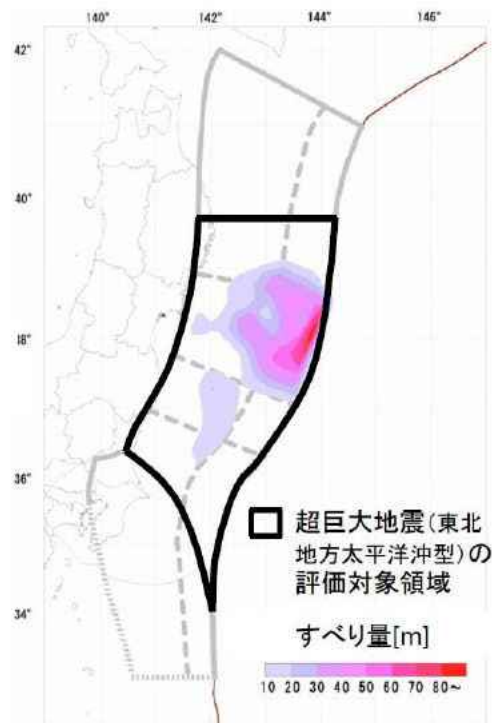
超巨大地震(東北地方太平洋沖型)は、「東北地方太平洋沖地震の知見から、震源域は宮城県沖を必ず含み、隣接するいずれかの領域(岩手県沖南部または福島県沖)の少なくとも一方にまたがり、場合によっては茨城県沖まで破壊が及ぶ超巨大地震であると評価」されており、地震の規模は、津波堆積物調査結果を踏まえ、「最も信頼性の高い東北地方太平洋沖地震を代表値として、M9.0程度」とされている。

■ 敷地における地震動評価

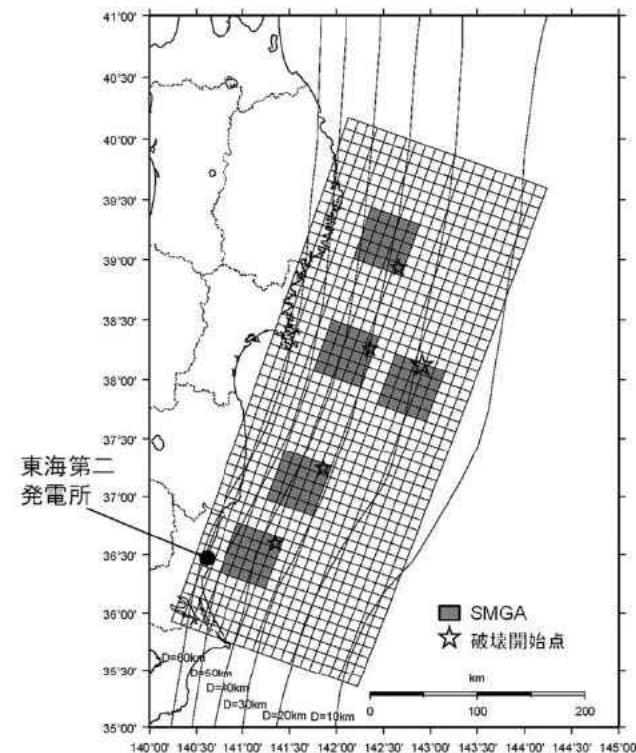
プレート間地震の検討用地震として、震源域を岩手県沖から茨城県沖、地震規模をMw9.0とする2011年東北地方太平洋沖型地震を考慮している。

■ 確認結果

地震本部(2019)と同様の領域・規模を設定した地震を検討用地震としており、地震動評価を見直す必要はないと判断した。



地震本部(2019)
超巨大地震の評価対象領域



東北地方太平洋沖型地震の基本震源モデル

■ 地震本部(2019)の検討

東北地方太平洋沖地震を受けて、将来発生する地震を再評価し、ひとまわり小さいプレート間地震として茨城県沖でM7.0~7.5の地震、沈み込んだプレート内の地震として青森県東方沖及び岩手県沖北部~茨城県沖でM7.0~7.5の地震が想定されている。また、地震発生確率を第二版と比較すると、福島県沖等の一部の領域で地震発生確率が上がっている。

■ 敷地における地震動評価

プレート間地震として2011年東北地方太平洋沖型地震(Mw9.0)、太平洋プレート内の地震としてM7.3を考慮している。

■ 確認結果

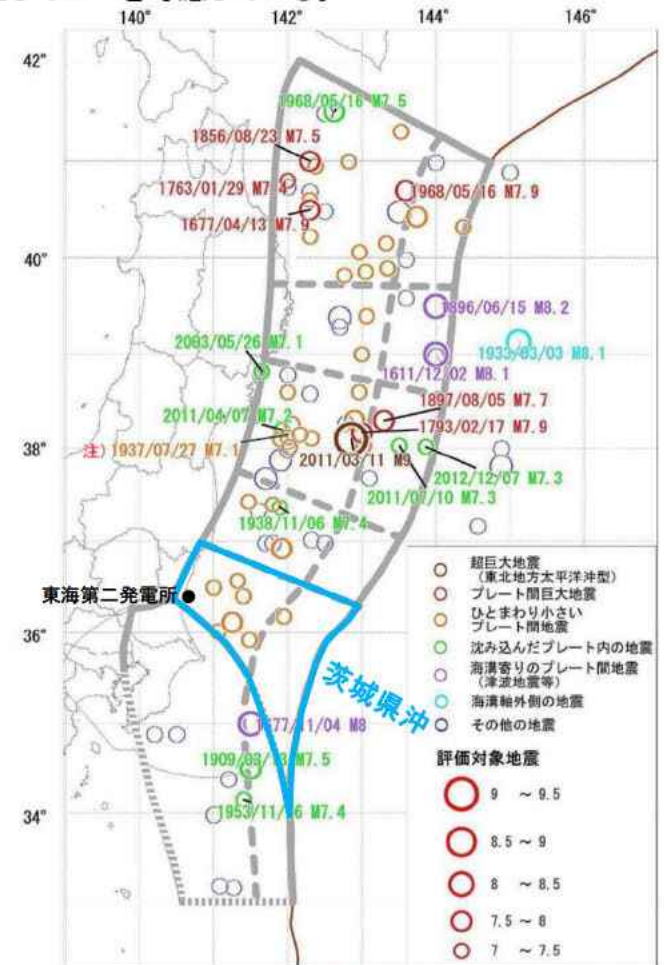
- ・プレート間地震については、地震本部(2019)で想定されている地震規模M7.0~7.5を上回るMw9.0の2011年東北地方太平洋沖型地震を検討用地震として考慮しているため、地震動評価を見直す必要はないと判断した。
- ・プレート内地震については、右図によると、茨城県沖では過去にM7.0を超える沈み込んだプレート内の地震は発生しておらず、茨城県沖にM7.3の地震を想定したプレート内地震の評価を見直す必要はないと判断した。
- ・地震ハザード評価については、プレート間地震とプレート内地震を区別せず海溝型地震として考慮し、敷地への影響が大きい福島県沖、茨城県沖で発生する地震の上限規模については、ロジックツリーでM7.6~8.3の地震規模を考慮しており、地震ハザード評価を見直す必要がないと判断した。

地震本部(2019)の将来発生する地震の場所・規模・発生確率

評価対象地震	発生領域	規模	地震発生確率	評価に使用した地震	地震後経過率 ^①	第二版の評価
超巨大地震 (東北地方太平洋沖型)	岩手県沖南部~ 茨城県沖	M9.0程度	ほぼ0%	過去約3000年間の5回	0.01	ほぼ0%
プレート間 巨大地震	青森県東方沖及び 岩手県沖北部	M7.9程度	5~30%	1677年以降の4回	0.52	5~30%
	宮城県沖	M7.9程度	20%程度 ^②	1793年以降の3回 ^③	-	ほぼ0%
ひとまわり小さい プレート間地震	青森県東方沖及び 岩手県沖北部	M7.0~7.5程度	90%程度以上	1923年以降の10回 ^④	-	90%程度
	岩手県沖南部	M7.0~7.5程度	30%程度	1923年以降の1回 ^⑤	-	確率未計算
	宮城県沖	M7.0~7.5程度	90%程度 ^⑥	1923年以降の6~7回 ^⑦	-	本評価で 領域を統合
	宮城県沖の陸寄り (宮城県沖地震)	M7.4前後	50%程度	1897年以降の4回	0.21	不明
福島県沖	M7.0~7.5程度	50%程度	1923年以降の2回 ^⑧	-	10%程度	
茨城県沖	M7.0~7.5程度	80%程度 ^⑨	1923年以降の5回 ^⑩	-	90%程度以上	
海溝寄りのプレート間 地震(津波地震等)	青森県東方沖から房総 沖にかけての海溝寄り	Mt8.6~9.0 ^⑪	30%程度 ^⑫	1600年以降の4回 ^⑬	-	30%程度
沈み込んだプレート内 の地震	青森県東方沖及び岩手 県沖北部~茨城県沖	M7.0~7.5程度	60~70% ^⑭	1923年以降の3~4回 ^⑮	-	確率未計算
海溝軸外側の地震	日本海溝の海溝軸外側	M8.2前後	7% ^⑯	1600年以降の1回 ^⑰	-	4~7%

① 東北地方太平洋沖地震より後の期間は除いた
 ② 地震後経過率=最新発生時期からの経過時間÷平均発生間隔
 ③ 一は時間が経過しても地震の起こりやすさが変わらないと仮定した地震
 ④ Mtは津波マグニチュード
 ⑤ 本評価で評価対象領域・地震を再編したため、場所と規模の範囲が異なり、数値には第二版と対応しない
 ⑥ IIIランク(高い) : 26%以上
 ⑦ IIランク(やや高い) : 3~26%未満
 ⑧ Iランク : 3%未満
 ⑨ Xランク : 不明

地震本部(2019)に加筆



注) 沈み込んだプレート内の地震の可能性もある。地震本部(2019)に加筆

日本海溝周辺で発生したM7以上の地震の震央分布図

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
(地震対策)地震の平均発生間隔の見直しによる地震ハザード評価への影響について



■ 地震本部(2019)の検討

超巨大地震(東北地方太平洋沖型)については、地震の規模は津波堆積物調査結果を踏まえ、「最も信頼性の高い東北地方太平洋沖地震を代表値として、M9.0程度」とされている。平均発生間隔は約550~600年とされ、これに基づく今後30年以内の発生確率はほぼ0%とされている。
ひとまわり小さいプレート間地震については、茨城県沖でM7.0~7.5の地震が想定され、今後30年以内の発生確率は80%程度とされている。

■ 敷地における地震動評価

地震ハザード評価では、特定震源として2011年東北地方太平洋沖型地震(Mw9.0)を考慮し、平均発生間隔600年の更新過程としており、今後30年以内の発生確率を算定するとほぼ0%となる。

また、領域震源である推本参考モデル(海溝型地震)の茨城県沖におけるG-R式からM7.0~M7.5の地震の今後30年以内の発生確率を算定すると73%であり、特定震源である茨城県沖の地震(繰り返し発生する地震)(M7.0)を含めて考慮すると93%である。

■ 確認結果

2011年東北地方太平洋沖型地震(Mw9.0)は、地震本部(2019)と同様、発生確率はほぼ0%であり、また、茨城県沖のひとまわり小さいプレート間地震も、地震本部(2019)と同等の発生確率であることから、地震ハザード評価を見直す必要がないと判断した。

地震本部(2019)の将来発生する地震の場所・規模・発生確率

評価対象地震	発生領域	規模	地震発生確率	評価に使用した地震	地震後経過率 ^{注2}	第二版の評価
超巨大地震 (東北地方太平洋沖型)	岩手県沖南部~ 茨城県沖	M9.0程度	ほぼ0%	過去約3000年間の5回	0.01	ほぼ0%
プレート間 巨大地震	青森県東方沖及び 岩手県沖北部	M7.9程度	5~30%	1677年以降の4回	0.52	5~30%
	宮城県沖	M7.9程度	20%程度 ^{注4}	1793年以降の3回 ^{注1}	—	ほぼ0%
ひとまわり小さい プレート間地震	青森県東方沖及び 岩手県沖北部	M7.0~7.5程度	90%程度以上	1923年以降の10回 ^{注1}	—	90%程度
	岩手県沖南部	M7.0~7.5程度	30%程度	1923年以降の1回 ^{注1}	—	確率未計算
	宮城県沖	M7.0~7.5程度	90%程度 ^{注4}	1923年以降の6~7回 ^{注1}	—	本評価で 領域を統合
	宮城県沖の陸寄り (宮城県沖地震)	M7.4前後	50%程度	1897年以降の4回	0.21	不明
	福島県沖	M7.0~7.5程度	50%程度	1923年以降の2回 ^{注1}	—	10%程度
	茨城県沖	M7.0~7.5程度	80%程度 ^{注4}	1923年以降の5回 ^{注1}	—	90%程度 以上
海溝寄りのプレート間 地震(津波地震等)	青森県東方沖から房総 沖にかけての海溝寄り	Mt8.6~9.0 ^{注3}	30%程度 ^{注4}	1600年以降の4回 ^{注1}	—	30%程度
沈み込んだプレート内 の地震	青森県東方沖及び岩手 県沖北部~茨城県沖	M7.0~7.5程度	60~70% ^{注4}	1923年以降の3~4回 ^{注1}	—	確率未計算
海溝軸外側の地震	日本海溝の海溝軸外側	M8.2前後	7% ^{注4}	1600年以降の1回 ^{注1}	—	4~7%

^{注1} 東北地方太平洋沖地震より後の期間は除いた
^{注2} 地震後経過率=最新発生時期からの経過時間÷平均発生間隔
 —は時間が経過しても地震の起こりやすさが変わらないと仮定した地震
^{注3} Mtは津波マグニチュード
^{注4} 本評価で評価対象領域・地震を再編したため、場所と規模の範囲が異なり、厳密には第二版と対応しない

Ⅲランク(高い)	:26%以上
Ⅱランク(やや高い)	:3~26%未満
Iランク	:3%未満
Xランク	:不明

地震本部(2019)に加筆

地震ハザード評価の茨城県沖の海溝型地震の発生確率

評価対象地震	今後30年以内の発生確率
2011年東北地方太平洋沖型地震	ほぼ0%
推本参考モデル(海溝型地震)茨城県沖	73%
推本参考モデル(海溝型地震)茨城県沖 +茨城県沖の地震(繰り返し発生する地震)	93%

総合的な配慮に基づく地震動評価

■ 地震動評価手法

- ・耐震設計では、対象とする施設の固有周期に着目した検討を行うことが重要である。一般に原子力施設の主要設備の固有周期は短周期であり、東海第二発電所の場合、主要設備の多くが周期0.5秒以下である。
- ・東海第二発電所の地震動評価においては、周期0.5秒より短周期側についても評価できるSMGAモデルを採用している。
- ・SMGAモデルに基づく地震動評価は、地震調査研究推進本部による強震動予測でも採用されており、実績のある手法である。

■ 様々な発生様式の地震の考慮

敷地周辺では、プレート間地震、プレート内地震、内陸地殻内地震が発生していることから、それぞれの発生様式の地震による影響を分析した上で、基準地震動を策定している。

■ 不確かさの考慮

- ・地震動評価の過程では、それぞれの発生様式の特徴に応じて、より大きな地震規模を想定したり短周期成分に影響を与えるSMGAを敷地に近くなるよう配置する等して基本震源モデルを設定した上で、不確かさとして短周期レベル(応力降下量)やSMGA位置など、地震動の短周期成分に大きな影響を与えるパラメータをより保守的になるよう考慮している。

参考 キラーパルスが生じた兵庫県南部地震においても壁式構造の建物被害は軽微であるところ、原子炉建屋等の重要な建屋は鉄筋コンクリートの壁式構造を採用している。

敷地周辺で発生する様々な発生様式の地震に対してそれぞれ不確かさを考慮した地震動評価を行う等、総合的な配慮に基づいた基準地震動を策定している。

■断層形状, SMGA位置等については下記の通り設定する。

【断層形状】

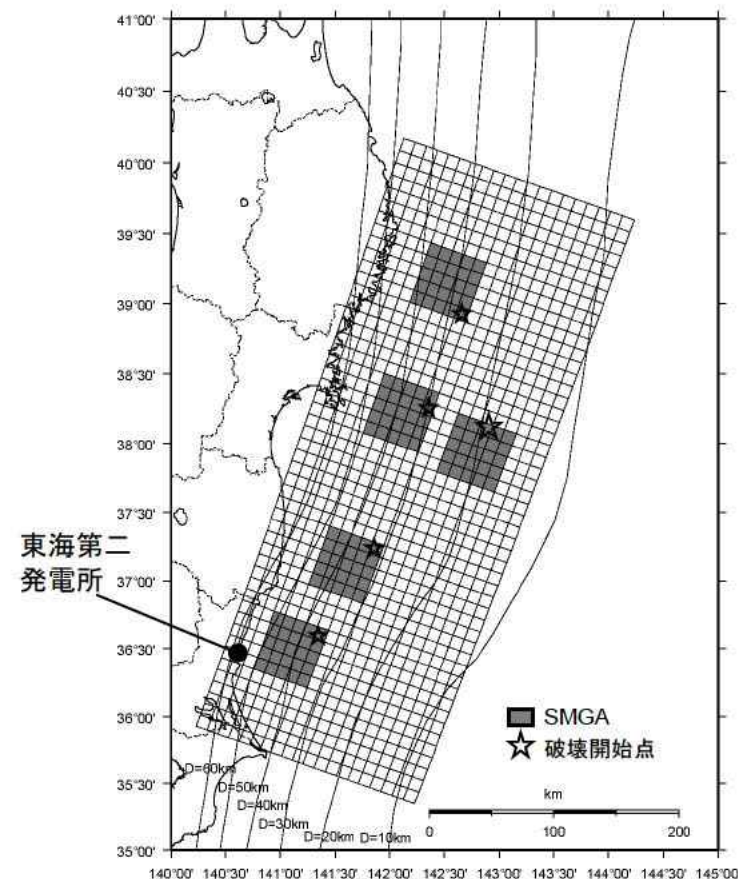
- ・長さ, 幅は, 東北地方太平洋沖地震の震源域を参考にそれぞれ500km, 200kmとする。
- ・走向は, 東北地方太平洋沖地震に関する防災科学技術研究所F-netのCMT解を用いる。深さは, 太平洋プレートの上面に沿ってモデル化する。

【SMGA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SMGAを設定し, 東北地方太平洋沖地震のSMGA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SMGA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SMGA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

基準地震動(Ss-21～Ss-22)の評価例：不確かさの考慮

- SMGA位置の不確かさについては、宮城県沖などに比べ、近年における規模の大きな地震発生の少ない茨城県沖では確定的に設定することは難しいことから、安全側に短周期レベルの不確かさと重畳させたケースも考慮する。

評価ケース	認識論的不確かさ			偶然的な不確かさ	
	断層設定位置	地震規模	短周期レベル	SMGA位置	破壊開始点
基本ケース	フィリピン海プレートの北東限を考慮し、三陸沖中部～茨城県沖に設定	Mw9.0	宮城県沖、福島県沖、茨城県沖で発生する地震の平均※1	東北地方太平洋沖地震のSMGA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	2011年東北地方太平洋沖地震の気象庁震源位置※3
SMGA位置の不確かさ	フィリピン海プレートの北東限を考慮し、三陸沖中部～茨城県沖に設定	Mw9.0	宮城県沖、福島県沖、茨城県沖で発生する地震の平均※1	基本震源モデルのSMGA位置に対し、茨城県沖のSMGAを敷地に最も近い位置に移動	2011年東北地方太平洋沖地震の気象庁震源位置※3
短周期レベルの不確かさ	フィリピン海プレートの北東限を考慮し、三陸沖中部～茨城県沖に設定	Mw9.0	基本震源モデルの1.5倍※2	東北地方太平洋沖地震のSMGA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	2011年東北地方太平洋沖地震の気象庁震源位置※3
SMGA位置の不確かさと短周期レベルの不確かさの重畳	フィリピン海プレートの北東限を考慮し、三陸沖中部～茨城県沖に設定	Mw9.0	基本震源モデルの1.5倍※2	基本震源モデルのSMGA位置に対し、茨城県沖のSMGAを敷地に最も近い位置に移動	2011年東北地方太平洋沖地震の気象庁震源位置※3



不確かさを考慮して設定するパラメータ

※1 茨城県沖で発生する地震に対しては大きめの設定となっている。

※2 すべてのSMGAの短周期レベルを1.5倍している。

※3 破壊が敷地に向かう位置に設定されている。

塩ノ平地震断層

- リニアメントにほぼ一致して断層が認められる。
- 後期更新世以降の活動が認められる。
(2011年4月11日の地震等)

⇒ 震源として考慮する活断層として評価

北方陸域の断層

- リニアメントにほぼ一致して断層が認められる。
- 後期更新世以降の活動は否定できない。
- 確認された断層は、軟質な粘土を伴い、平面的である。
- 上載地層との関係は確認できない。

⇒ 震源として考慮する活断層として評価

リニアメントは判読されないが、断層の連続性等の情報が十分でない。

F1断層
上載地層法により後期更新世の活動が否定できない。

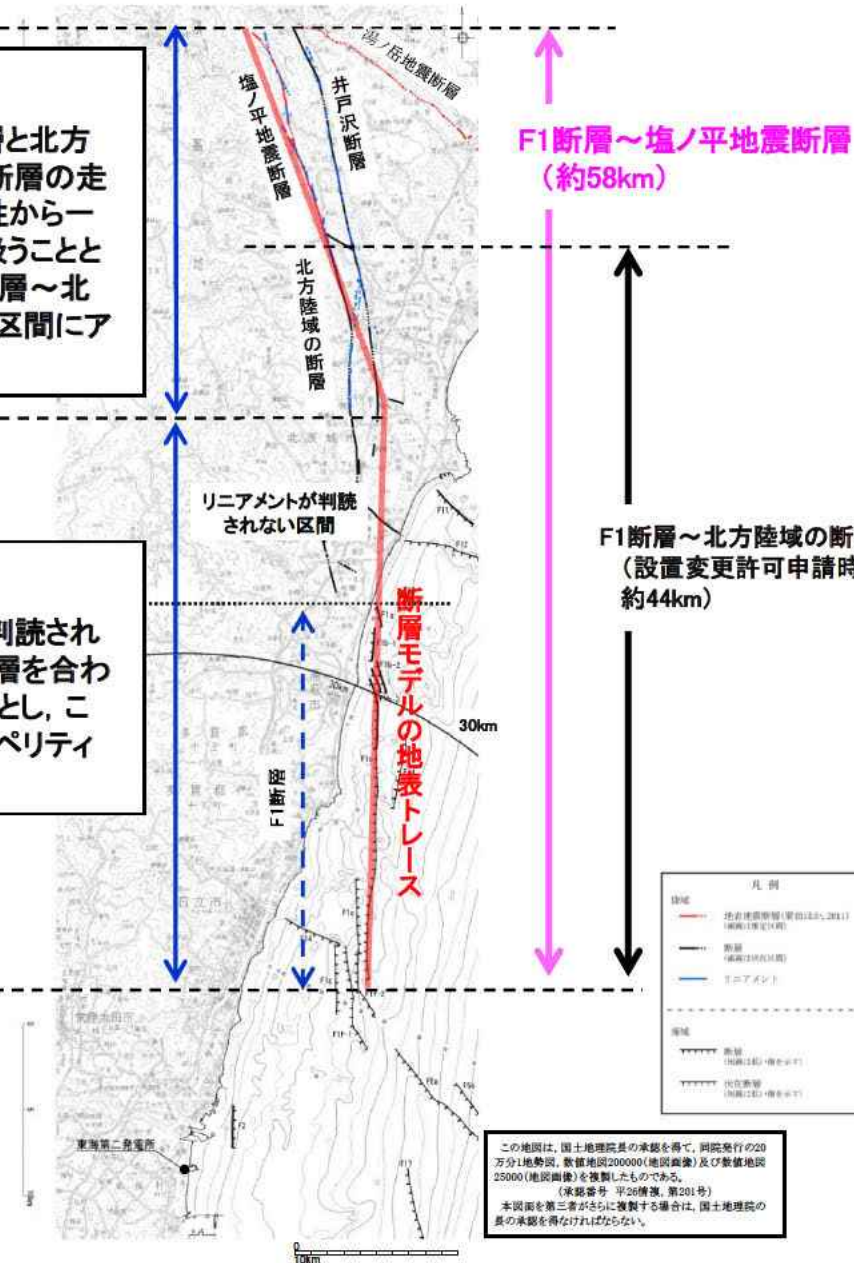
⇒ 震源として考慮する活断層として評価

■北部

塩ノ平地震断層と北方陸域の断層は、断層の走向・傾斜の類似性から一連の断層として扱うこととし、塩ノ平地震断層～北方陸域の断層の区間にアスペリティを配置

■南部

リニアメントが判読されない区間とF1断層を合わせて一つの区間とし、この区間内にアスペリティを配置



- 巨視的面は地質調査による断層線に沿うよう設定する。
- 断層の分布状況から震源を南部、北部に区分する。
- アスペリティは、地質調査結果や各種文献に基づき、南部では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、それぞれ敷地寄りに配置する。
- 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。

この地図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の20万分1地勢図、数値地図200000(地図典拠)及び数値地図25000(地図典拠)を複製したものである。
(承認番号 平26情発 第201号)
本図面を第三者がさらに複製する場合は、国土地理院長の承認を得なければならない。

■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】

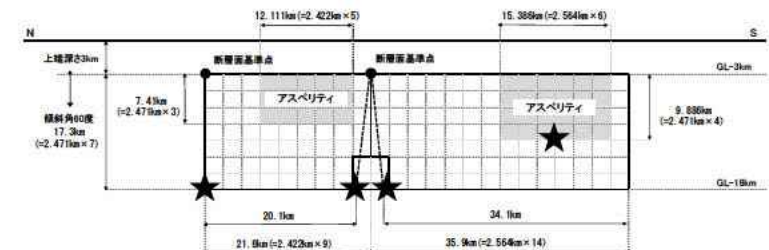
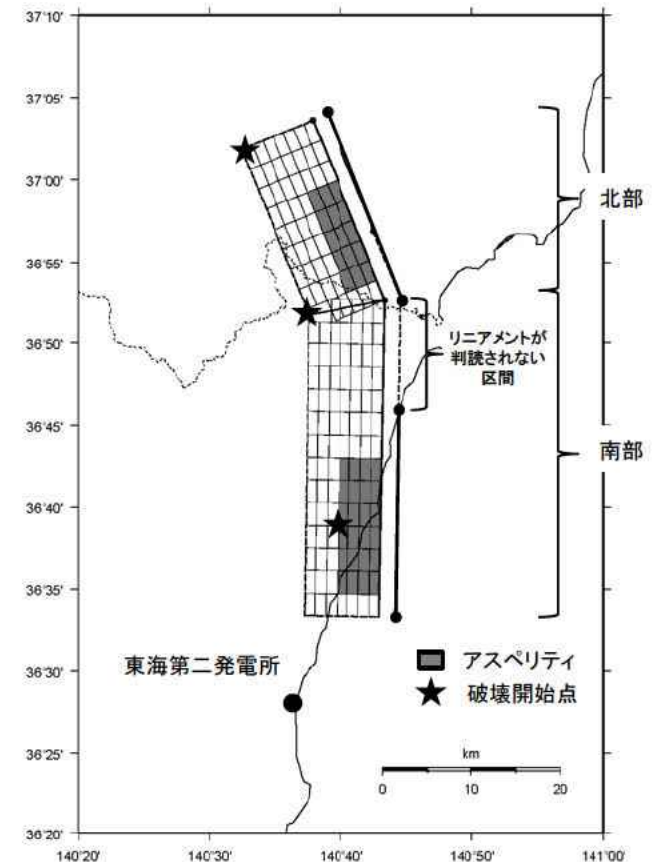
- アスペリティの位置については、地質調査結果に基づき、南部区間のうち調査でわかっているF1断層に1つ、北部では北方陸域の断層~塩ノ平地震断層に1つ、それぞれ敷地に近くなるように配置する。
- 断層長さ方向の配置については、Manighetti et al.(2005)等の知見を踏まえるとアスペリティのように大きなすべりが生じる領域とすべりが無い領域が隣接することは考えにくいことから、断層端部との間に1マス分背景領域を設定する。断層幅方向の配置については、すべりに追従する表層(地表から断層上端までの強震動を出さない層)が存在するので安全側に断層上端にアスペリティを配置する。
- なお、リニアメ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

基準地震動(S_s-11～S_s-14)の評価例：不確かさの考慮


■不確かさの考慮


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)	強震動予測レシピの 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)	強震動予測レシピの 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)	強震動予測レシピの 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)	強震動予測レシピの 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。

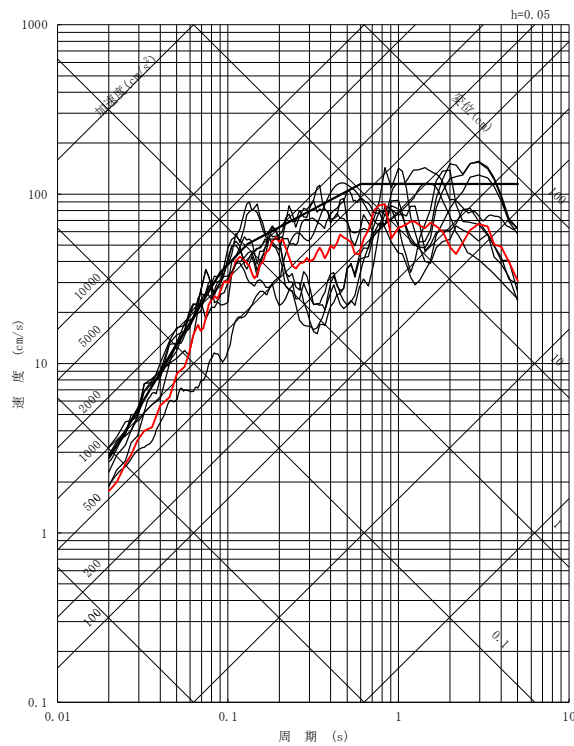
 不確かさを考慮して設定するパラメータ

 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

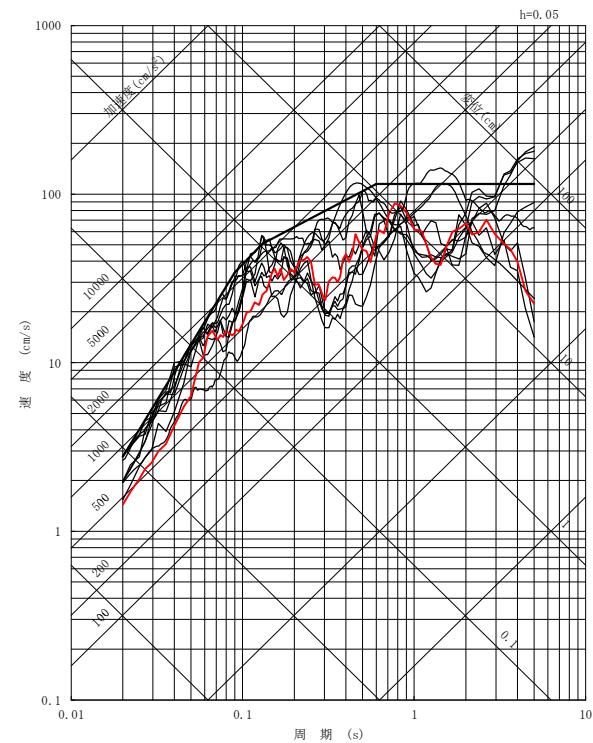
2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録と基準地震動

■ 東海第二発電所の基準地震動 S_s (S_s -D1, S_s -11~ S_s -32の合計9波)と2011年東北地方太平洋沖地震 (M_w 9.0)の観測記録(はぎとり波)を比較すると、基準地震動 S_s は観測記録を大きく上回る。

— : 2011年東北地方太平洋沖地震のはぎとり波
 — : 基準地震動 S_s



NS成分



EW成分

参考: SPGAモデルに対する原子力規制委員会の見解

日本原子力発電株式会社東海第二発電所の発電用原子炉設置変更許可申請書
(発電用原子炉施設の変更)に関する審査書(案)に対する御意見への考え方

ご意見の概要	考え方
<p>➤ 50km 四方の均質なアスペリティを想定し、そこから一様な地震動が生成されると仮定して震度を精度よく算出するSMGA モデルでは、2011 年東北地方太平洋沖地震の2 波(女川沖)3 波(茨城沖)と続いた小さな破壊域から発生した強震動パルスが再現できない。原子炉施設の耐震設計では震度を計算するのが目的ではなく、耐震検討用の地震動計算が目的である以上、一辺数km という小さなアスペリティ領域から発生する強震動パルスが再現できるSPGA モデルによる強震動パルス生成域を置いて計算されなければならない。</p>	<p>➤ 震源断層の詳細な調査結果を用いてレシピを用いる方法以外の方法によって基準地震動を策定するというアプローチについては、どのように保守性を確保していくかに関し、妥当な方法が現時点で明らかになっているとは言えず、規制において要求又は推奨すべきアプローチとして位置付けるまでの科学的・技術的な熟度には至っていないと考えています。</p> <p>強震動パルス生成域(以下「SPGA」という。)から構成される震源モデルであるSPGA モデルは、2011 年東北地方太平洋沖地震等の観測地震動を説明するための再現モデルの一つですが、予測問題に適用する場合においては、提案者も論文で示すようにSPGA の位置設定等が今後の課題とされており、強震動予測のパッケージとして確立していないものと考えています。</p> <p>SPGA モデルの適用も含め、地震動の計算方法の高度化については、まずは、地震調査研究推進本部のような場で議論されるものであり、そこでの検討結果も含め、新たな知見が得られれば、原子力発電所の規制にどのように取り入れるかについて、規制委員会として適切に判断していきます。</p>

参考 用語の定義(1/2)

本資料で使用する用語の定義を以下に示す。

・応答スペクトルに基づく手法

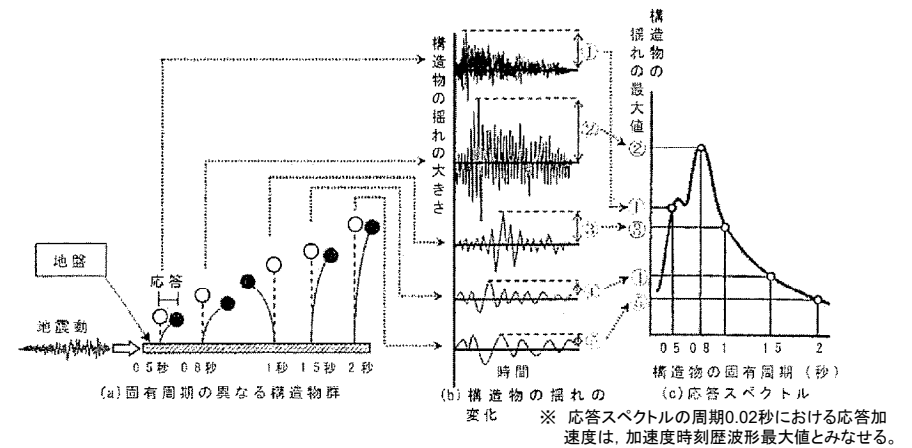
応答スペクトルに基づく手法とは、多数の地震観測記録を分析して求めた経験的な関係に基づき、主に地震の規模や震源距離を入力パラメータに用いて、検討対象の地震による地震動の応答スペクトルを計算する手法をいう。同手法には、Noda et al.(2002)の方法(耐専スペクトル)等がある。

・断層モデルを用いた手法

断層モデルを用いた手法(波形合成法)とは、断層をモデル化し、断層面での地震発生や地震波の伝播を、震源断層面を分割した小断層ごとに、中小地震の時刻歴波形を重ね合わせて合成することで、地震動の時刻歴波形を計算する手法をいう。同手法の主なものとして、経験的グリーン関数法、統計的グリーン関数法がある。

・応答スペクトル

応答スペクトルとは、地震動がいろいろな固有周期を持つ建物・構築物及び機器・配管系に対して、どのような揺れ(応答)を生じさせるかを、縦軸に加速度・速度等の最大応答値、横軸に固有周期(又はその逆数の固有振動数)をとって、分かりやすいように描いたものをいう。加速度応答スペクトルの短周期側は地震動の加速度時刻歴波形最大値に漸近する。従って、周期0.02秒での応答加速度は時刻歴波形の最大値とみなすことができる。



・SMGA/アスペリティ

Strong Motion Generation Areas (強震動生成域)の略で、強震動を強く放出する領域のことを指す。本資料ではアスペリティも同義語として用いている。

・要素地震

要素地震とは、経験的グリーン関数法(「経験的グリーン関数法」参照)の計算に用いる中小地震の観測記録及び統計的グリーン関数法の計算に用いる人工的に作成した中小地震の地震波をいう。

・地震モーメント

地震モーメントは、断層運動としての地震の大きさ(地震規模)を示す量で、岩盤の剛性率(硬さを表す指標の一つ)と震源断層面の平均すべり量と震源断層の面積との積で表される。地震モーメントの値は、地震によって発生した地震波のうち、地表面を伝わる周期の長い波の振幅から直接求めることができる。

・正断層

正断層とは、断層の上側の地盤が断層面上をすべり落ちる形となる断層をいい、引張力の働く場で形成される。一方、逆断層とは、断層の上側の地盤が断層面上をのし上がる形となる断層をいい、圧縮力の働く場で形成される。

参考 用語の定義(2/2)

本資料で使用する用語の定義を以下に示す。

・経験的グリーン関数法

経験的グリーン関数法とは、波形合成法の一つであり、実際に発生した中小地震の敷地における観測記録(これを「経験的グリーン関数」という。)を要素地震として足し合わせ、大きな地震による揺れを計算する方法をいう。大きな断層面が破壊する地震は、断層面の一部が破壊する小地震の集合として評価することができる。このため、断層面全体への破壊伝播等を考慮して小地震の波形を足し合わせると、評価対象とする地震による波形を合成することができる。この方法では、震源断層面付近で発生した中小地震による評価地点での適切な観測記録が必要となるものの、地下構造による影響は観測記録に含まれるため、地下構造のモデルを設定する必要がない。

・統計的グリーン関数法

統計的グリーン関数法とは、波形合成法の一つであり、既往の観測記録を統計処理し、人工的に時刻歴波形(これを「統計的グリーン関数」という。)を作成し、それを要素地震として足し合わせ、大きな地震による揺れを計算する方法をいう。大きな断層面が破壊する地震は、断層面の一部が破壊する小地震の集合として評価することができる。このため、断層面全体への破壊伝播等を考慮して小地震の波形を足し合わせると、評価対象とする地震による波形を合成することができる。

統計的グリーン関数法では解放基盤表面よりも深い地盤地下構造のモデルを設定することにより、評価地点の地下構造による影響を反映している。

・リニアメント

リニアメントとは、崖、尾根の傾斜急変部、谷や尾根の屈曲等の地形的特徴が、直線又はそれに近い状態に配列している場合、その線状の地形をいう。リニアメントは、断層活動によって生ずるばかりでなく、軟質な岩盤が浸食されることによって生ずることもあるので、断層であるか否か判断するに際して、その成因を地表地質調査等により調査する必要がある。

・不確かさ

評価の過程に含まれる物理量・モデルなどにおけるばらつきのこと。震源モデルの不確かさを考慮する場合には、敷地における地震動評価に大きな影響を与えると考えられる支配的なパラメータについて分析し、その結果を地震動評価に反映させることが必要である。

・検討用地震

敷地に大きな影響を与えると予想される地震のこと。「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」においては、内陸地殻内地震、プレート間地震及び海洋プレート内地震について、検討用地震を選定し評価を行う。

・マグニチュード(M)とモーメントマグニチュード(M_w)

「地震は地下の岩盤がずれて起こるものです。この岩盤のずれの規模(ずれ動いた部分の面積×ずれた量×岩石の硬さ)をもとにして計算したマグニチュードを、モーメントマグニチュード(M_w)と言います。一般に、マグニチュード(M)は地震計で観測される波の振幅から計算されますが、規模の大きな地震になると岩盤のずれの規模を正確に表せません。これに対してモーメントマグニチュードは物理的な意味が明確で、大きな地震に対しても有効です。ただし、その値を求めるには高性能の地震計のデータを使った複雑な計算が必要のため、地震発生直後迅速に計算することや、規模の小さい地震で精度よく計算するのは困難です。」(気象庁HPより抜粋)

耐震設計評価

1. 既設の耐震補強工事377
2. 東海第二発電所における主な耐震設計の特徴378
3. 耐震安全性を確認する基準地震動 S_s379
4. 主な耐震評価結果382
5. まとめ406

1. 既設の耐震補強工事

- 新たな基準地震動 S_s の策定を踏まえて、耐震性を向上させる観点から実施する**既設設備に対する耐震補強**を以下に示す。

	施設・設備名称	目的	耐震補強内容
機器・配管系	格納容器スタビライザ	フランジボルトの許容限界値の向上	高強度材料適用
	原子炉建屋クレーン	地震時落下防止による波及的影響防止	落下防止対策の追設
	燃料取替機	地震時落下防止による波及的影響防止	ガーダ等の部材強化
	配管系	配管系の支持機能強化	サポートの追加及び補強
	残留熱除去系熱交換器	残留熱除去系熱交換器の支持機能強化	架台部への耐震補強サポート追設
	水圧制御ユニット	水圧制御ユニットの支持機能強化	架構部への補強梁追加
	格納容器シアラグ部	格納容器とシアラグ取付け部の応力低減対策	シアラグ部への補強材追加
	使用済燃料乾式貯蔵容器(資料1-2参照)	支持構造物の応力低減対策	支持構造物の部材のサイズ変更及び高強度材料適用
建物・構築物	主排気筒	主排気筒の支持機能強化	鉄塔部への支持部材の追加及び地盤改良
	地下排水設備	地盤の変位の抑制	地盤改良
土木構築物	貯留堰取付護岸	地震時の護岸構造健全性維持による貯留堰への波及的影響防止	地盤改良
	屋外二重管基礎構造	屋外二重管の支持機能強化	屋外二重管を支持する基礎構造の追設
	取水構築物	地震時の取水構築物の健全性維持	地盤改良

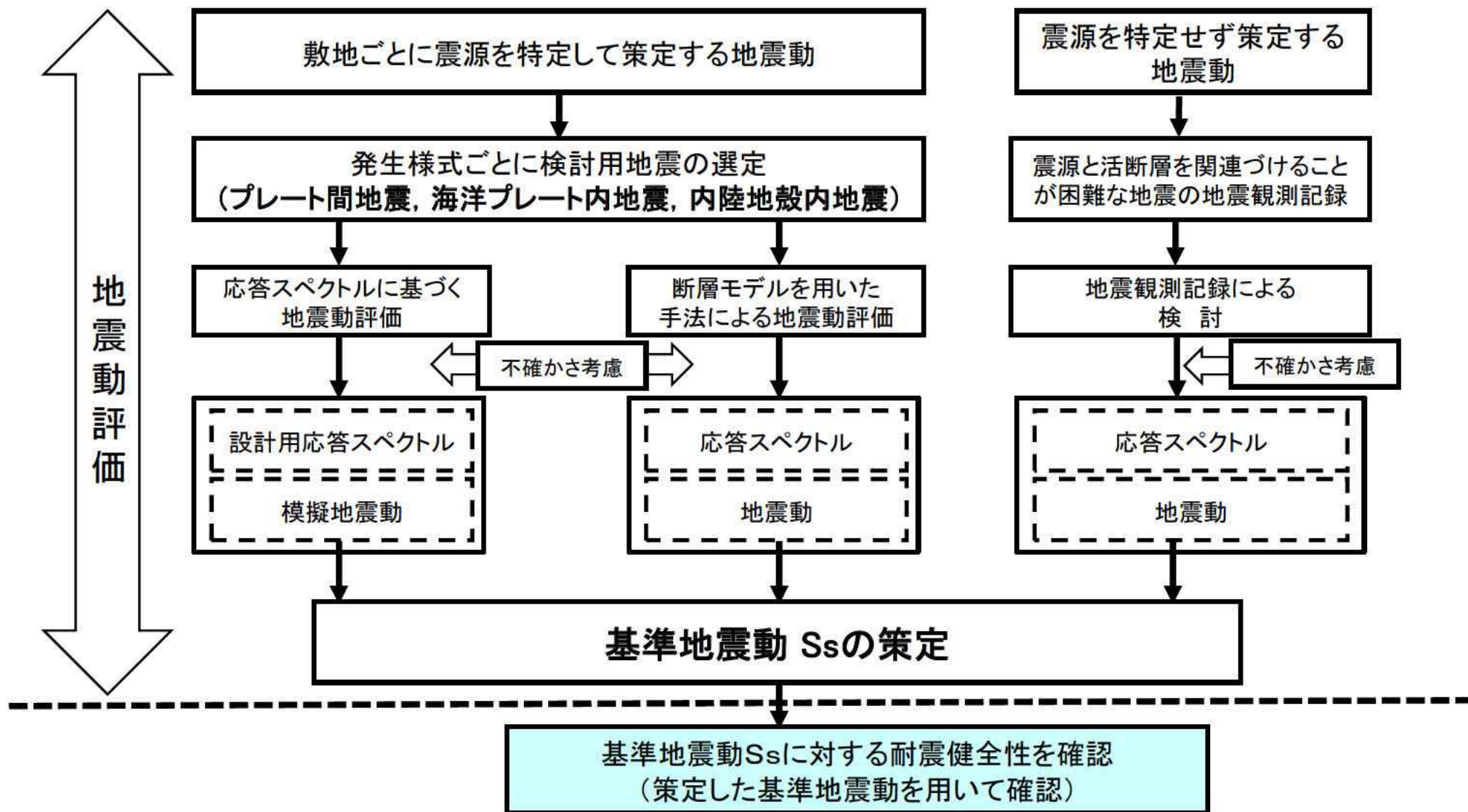
2. 東海第二発電所における主な耐震設計の特徴

○ 先行プラントで実績を有する耐震設計に対して、BWRプラントにおける固有設備(項目1)、敷地の地盤特性(項目2及び3)を踏まえた**東海第二発電所における主な耐震設計の特徴**を示す。

	項目	内容
1	ブローアウトパネル閉止装置の地震時健全性 (7. 主な耐震評価結果 ① 機器・配管系を参照)	<ul style="list-style-type: none"> ブローアウトパネル閉止装置は、ブローアウトパネル開放後の原子炉建屋原子炉棟の気密性確保の観点から設置している。 パネル閉止装置について加振試験により地震時においても健全(動作要求を満たしている)であることを確認した。 (参考)ブローアウトパネル:主蒸気配管破断を想定した場合の放出蒸気による圧力等から原子炉建屋等を防護するため、放出蒸気を建屋外に放出することを目的に設置
2	原子炉建屋の耐震設計における地下水位 (7. 主な耐震評価結果 ② 建物・構築物を参照)	<ul style="list-style-type: none"> 耐震評価における地下水位条件は、保守的に地表面としている。 地下排水設備を設置している原子炉建屋は、地下水位を建屋基礎底面レベル以深に維持できることから、地下水位条件は建屋基礎底面レベル以深としている。 地下排水設備について、集水ピットの周囲をセメント系固化により地盤改良を条件に基準地震動S_sによる評価を行い、発生応力が許容限界を超えないことを確認した。
3	土木構造物の耐震設計における地盤物性の扱い (7. 主な耐震評価結果 ③ 土木構築物を参照)	<ul style="list-style-type: none"> 土木構造物が設置される地盤は、解析により液状化の発生が認められないことを確認している。 しかし、保守的な配慮から地震時に地盤を強制的に液状化させることを仮定した評価条件により土木構造物の健全性を確認した。 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div data-bbox="981 1152 1424 1439" style="width: 45%;"> <p>敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的に液状化させることを仮定</p> </div> <div data-bbox="1532 992 2051 1439" style="width: 45%;"> </div> </div>

3. 耐震安全性を確認する基準地震動 S_s (1/3)

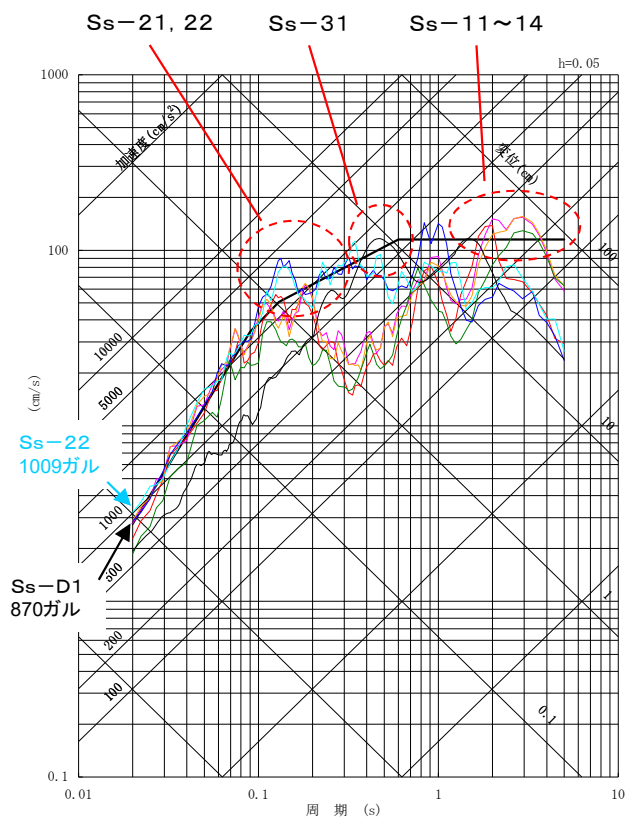
- 東海第二発電所の基準地震動 S_s は、応答スペクトル法による S_s -D1に加え、一部周期帯で S_s -D1を上回る断層モデル手法による6波(内陸地殻内地震4波, プレート間地震2波)及び震源を特定せず策定する地震動1波の合計8波とした。断層モデル手法による S_s 及び「特定せず」の S_s は、 S_s -D1を上回る周期帯が異なるため、それぞれの基準地震動 S_s による地震力を用いた耐震健全性評価を行う。



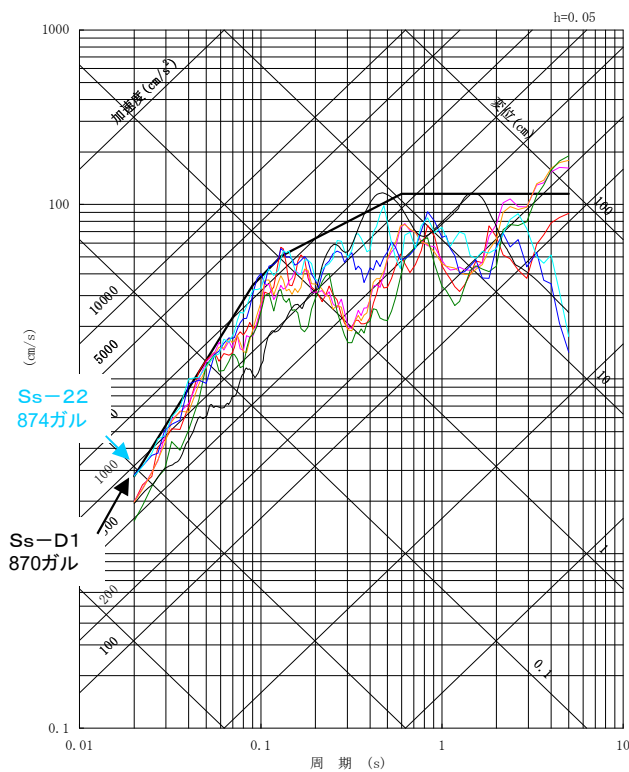
3. 耐震安全性を確認する基準地震動S_s (2/3)

○ 基準地震動S_sの応答スペクトル図を示す。

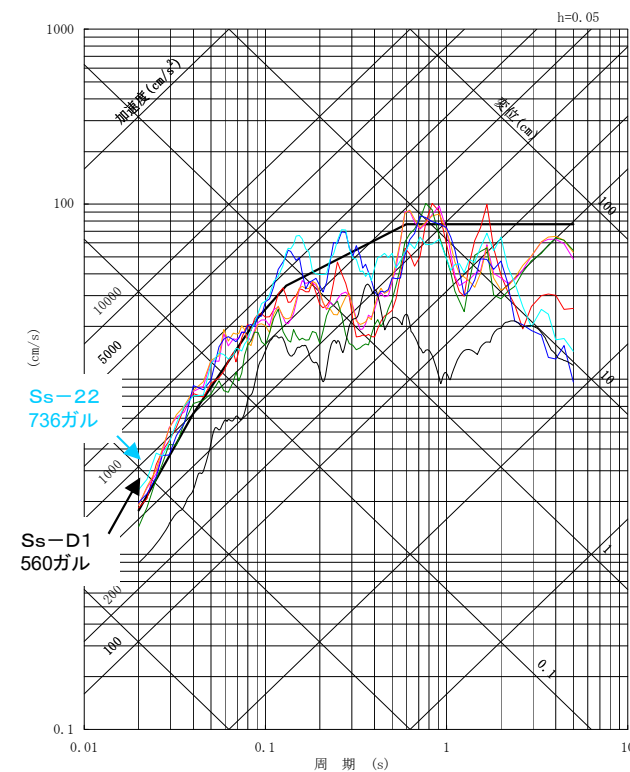
- S_s-D1 応答スペクトル手法による基準地震動
- S_s-11 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- S_s-12 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- S_s-13 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- S_s-14 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)
- S_s-21 2011年東北地方太平洋沖型地震(短周期レベルの不確かさ)
- S_s-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)
- S_s-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



NS成分



EW成分



UD成分

3. 耐震安全性を確認する基準地震動S_s (3/3)

○ 基準地震動S_sの最大加速度の一覧を示す。

基準地震動		最大加速度(cm/s ²)		
		NS成分	EW成分	UD成分
Ss-D1	応答スペクトル手法による基準地震動	<p>870</p>		<p>560</p>
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)	<p>717</p>	<p>619</p>	<p>579</p>
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)	<p>871</p>	<p>626</p>	<p>602</p>
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)	<p>903</p>	<p>617</p>	<p>599</p>
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)	<p>586</p>	<p>482</p>	<p>451</p>
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)	<p>901</p>	<p>887</p>	<p>620</p>
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)	<p>1009</p>	<p>874</p>	<p>736</p>
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	<p>610</p>		<p>280</p>

4. 主な耐震評価結果 ① 機器・配管系 (1/7)



○耐震評価の手法

機器・配管系の耐震評価は、基準地震動 S_s に対して、**構造強度評価により強度的に問題がないことを確認**するとともに、地震時に動的機能が求められる設備(表1)については、**動的機能が維持できることを確認**する。

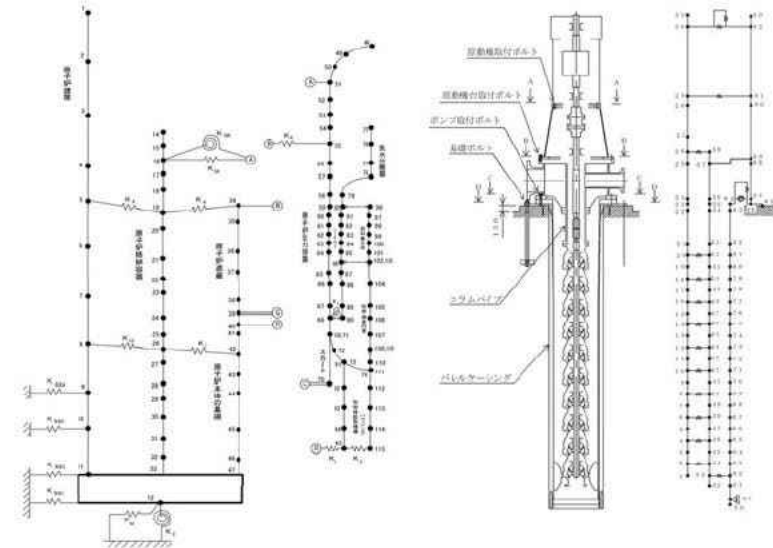
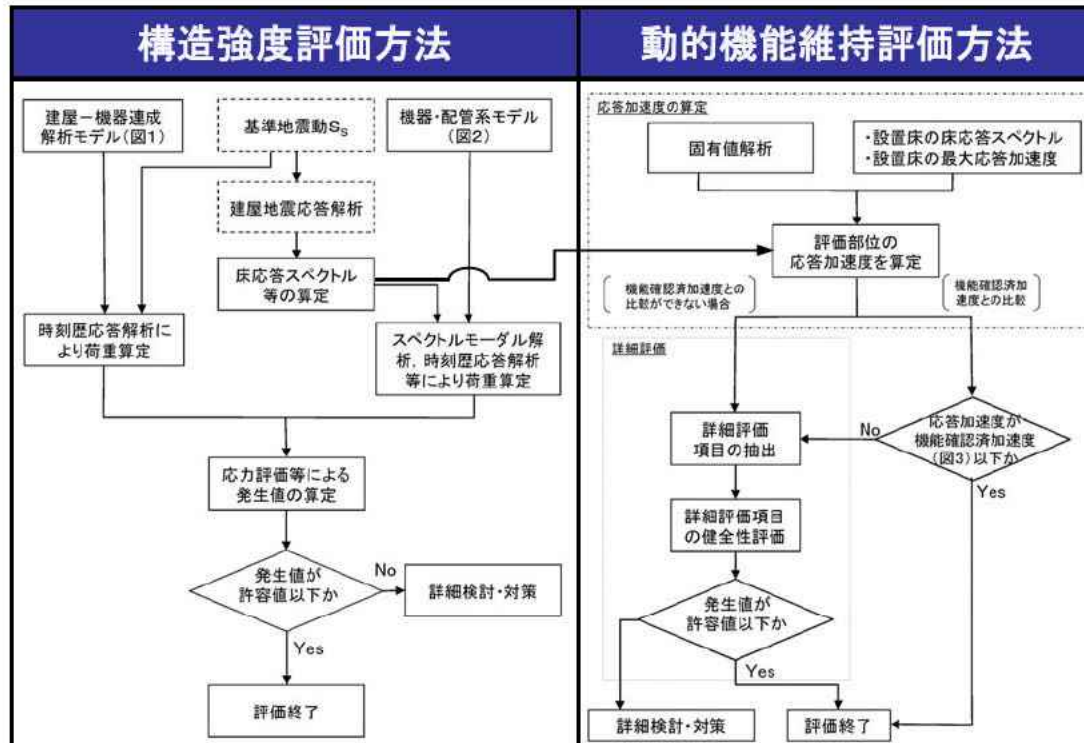


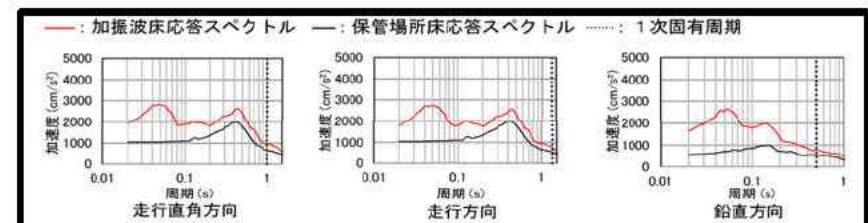
図1 建屋-機器連成解析モデル

図2 機器・配管系モデル (立型ポンプの例)



(a) 機能確認済加速度確認のための加振試験状況

表1 動的機能要求設備	
ポンプ	非常用ディーゼル発電機
ポンプ駆動用タービン	弁
電動機	制御棒
ファン	電気盤
ダンパ	可搬型設備(ポンプ、電源装置)



(b) 応答加速度(黒線)と機能確認済加速度(赤線)との比較状況

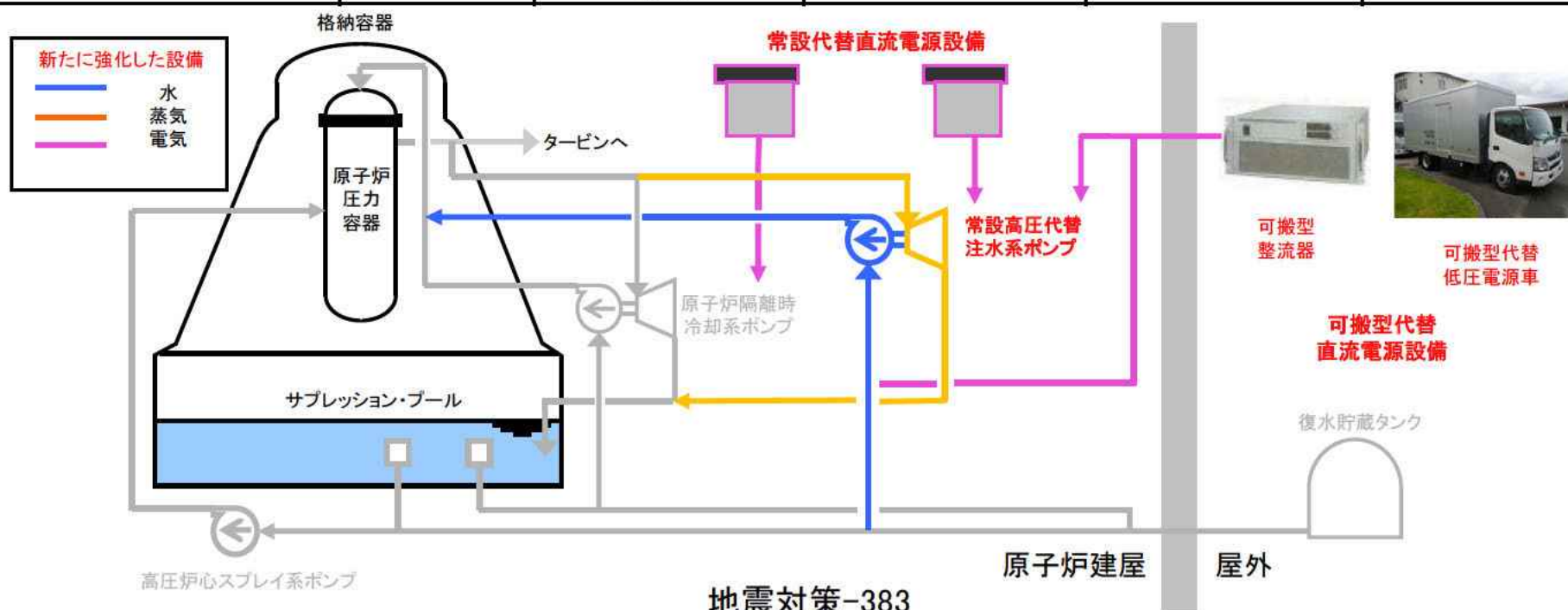
図3 動的機能維持評価に実施例

4. 主な耐震評価結果 ① 機器・配管系 (2/7)

○ 福島第一原子力発電所事故で得られた教訓を踏まえ新たに設置する設備の耐震評価結果の例

高圧注水手段の強化(高圧代替注水系の新設) ⇒ 応力・加速度の発生値が許容値を下回ることを確認

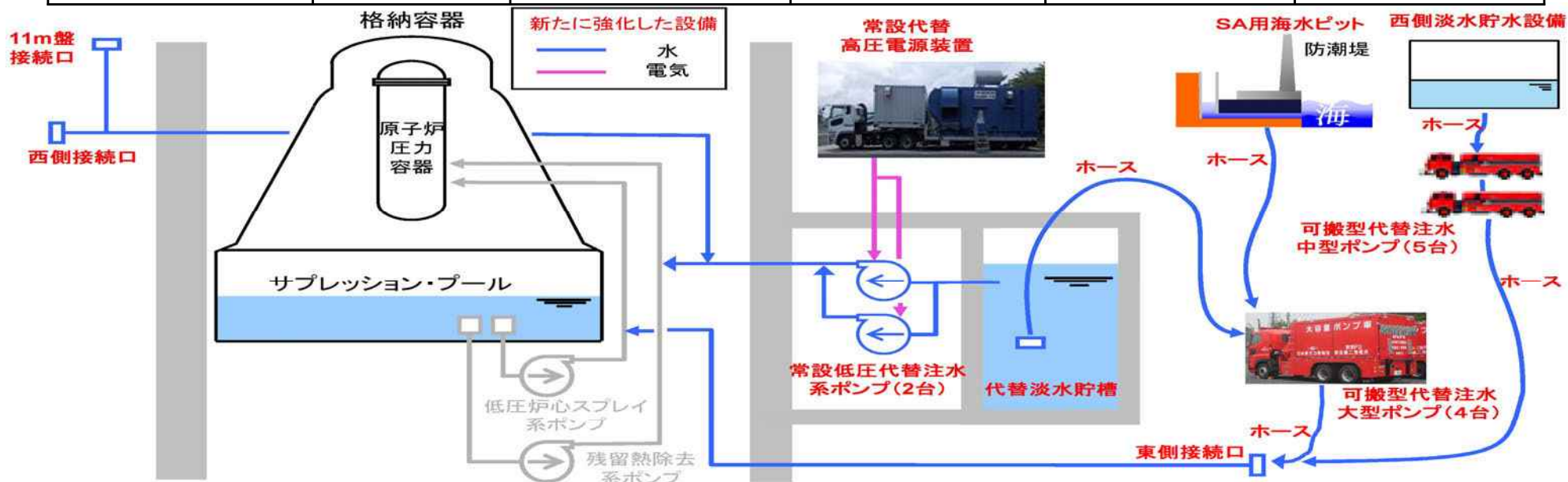
評価対象設備	評価項目	評価部位	応力分類	発生値	許容値
常設高圧代替注水系 ポンプ	構造強度	取付ボルト	引張応力	64 MPa	398 MPa
	機能維持	ポンプ	応答加速度(水平)	0.72 G	3 G
常設代替直流電源設備 (緊急用直流125V蓄電池)	構造強度	基礎ボルト	引張応力	42 MPa	165 MPa
可搬型代替直流電源設備 (可搬型代替低圧電源車)	構造強度	取付ボルト	引張応力	146 MPa	210 MPa
	機能維持	可搬型代替低圧電源車	応答加速度(水平)	1.08 G	1.52 G



4. 主な耐震評価結果 ① 機器・配管系 (3/7)

○ 福島第一原子力発電所事故で得られた教訓を踏まえ新たに設置する設備の耐震評価結果の例
 低圧注水手段の強化(低圧代替注水系の設置) ⇒ 応力・加速度の発生値が許容値を下回ることを確認

評価対象設備	評価項目	評価部位	応力分類	発生値	許容値
常設低圧代替注水系ポンプ	構造強度	取付ボルト	引張応力	64 MPa	398 MPa
	機能維持	ポンプ	応答加速度(水平)	0.72 G	3 G
常設代替高圧電源装置	構造強度	フレーム	組合せ応力	367 MPa	399 MPa
	機能維持	常設代替高圧電源装置内燃機関(No.6)	応答加速度(鉛直)	0.42 G	1.14 G
可搬型代替注水大型ポンプ	構造強度	取付ボルト	引張応力	115 MPa	451 MPa
	機能維持	可搬型代替注水大型ポンプ	応答加速度(水平)	1.08 G	1.52 G
可搬型代替注水中型ポンプ	構造強度	取付ボルト	引張応力	141 MPa	178 MPa
	機能維持	可搬型代替注水大型ポンプ	応答加速度(鉛直)	0.58 G	0.89 G



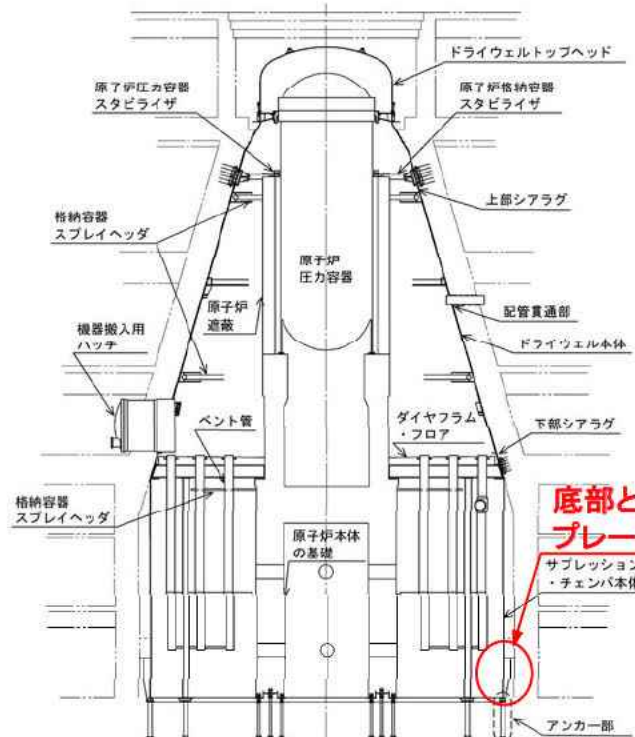
4. 主な耐震評価結果 ① 機器・配管系 (4/7)



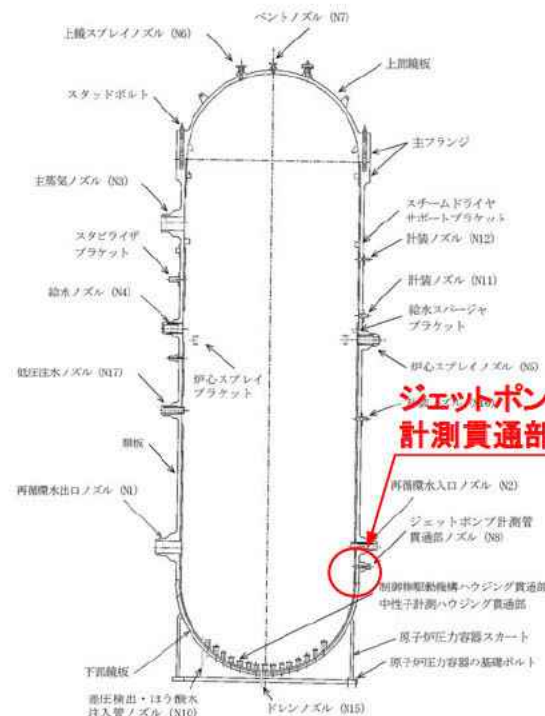
○ 既設設備(代表設備)の耐震評価結果の例

原子炉压力容器, 原子炉格納容器 ⇒ 発生応力が許容値を下回ることを確認

評価対象設備	評価項目	評価部位	応力分類	発生値	許容値
原子炉 压力容器	構造強度	ノズルセーフエンド (ジェットポンプ計 測貫通部ノズル)	一次膜＋ 一次曲げ応力	237 MPa	338 MPa
原子炉 格納容器	構造強度	底部とフランジ プレートとの接合部	座屈	0.98	1



原子炉格納容器構造概要図



原子炉压力容器構造概要図



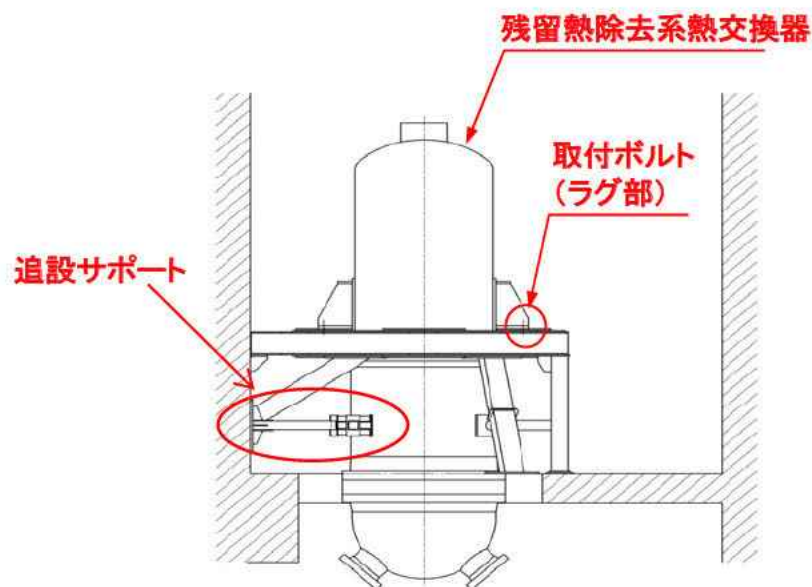
ジェットポンプ計測貫通部ノズル拡大図

4. 主な耐震評価結果 ① 機器・配管系 (5/7)

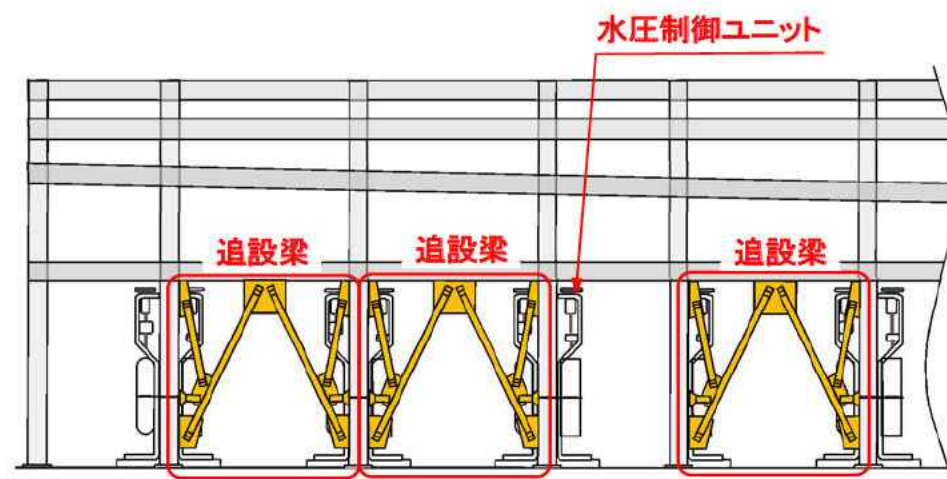
○ 既設設備(耐震補強設備)の耐震評価結果の例

残留熱除去系熱交換器, 水圧制御ユニット ⇒ 発生応力が許容値を下回ることを確認

評価対象設備	評価項目	評価部位	応力分類	発生値	許容値
残留熱除去系 熱交換器	構造強度	取付ボルト (ラグ部)	引張応力	405 MPa	444 MPa
水圧制御ユニット	構造強度	フレーム	組合応力	74 MPa	270 MPa
	機能維持	CRDスクラム弁	応答加速度 (水平)	1.29 G	6 G



残留熱除去系熱交換器耐震補強概要図



水圧制御ユニット支持構造の耐震補強概要図

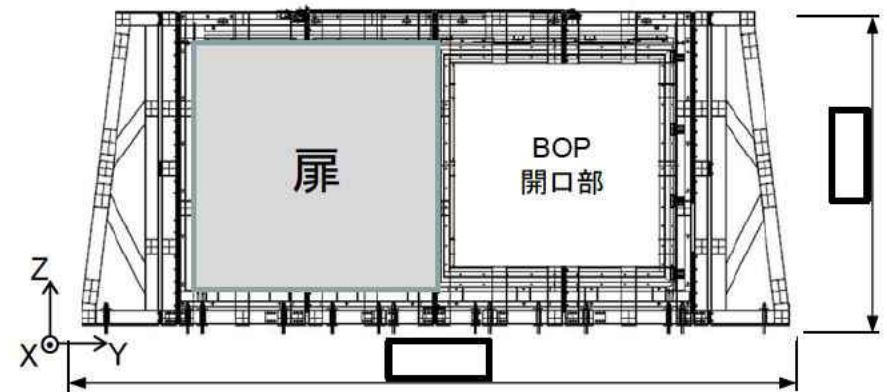
4. 主な耐震評価結果 ① 機器・配管系 (6/7)

○ 東海第二発電所における主な耐震設計の特徴(ブローアウトパネル閉止装置の地震時健全性)

・ブローアウトパネル閉止装置は、ブローアウトパネル開放後に原子炉建屋原子炉棟の機能確保の観点から設置する。当該設備は、地震後において動作要求を要することから加振試験を用いて健全性を確認した。



ブローアウトパネル配置図

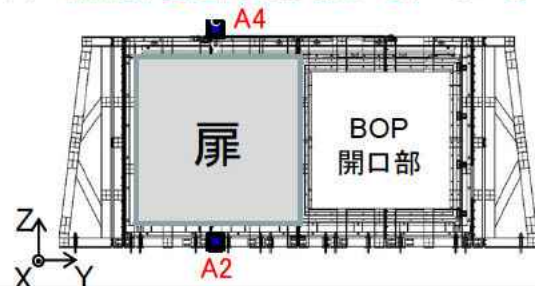


ブローアウトパネル閉止装置加振試験装置

4. 主な耐震評価結果 ① 機器・配管系 (7/7)

○ 加振試験の妥当性

ブローアウトパネル(BOP)閉止装置の固有周期範囲において、加振試験により得られたBOP閉止装置位置の応答スペクトル(赤線)は、建屋の応答スペクトル(黒線)を超える加振がされていることを確認した。



○ 加振試験結果

- 各部に破損等の異常は確認されず、ブローアウトパネル閉止装置の耐震健全性が確認された。加振試験後においても、気密性が確保でき、原子炉建屋原子炉棟の気密性能も確保できることを確認した。
- また当該装置の各部位に発生する地震時の応力等は、許容値を下回ることを確認した。

BOP閉止装置加振試験結果

区分 (扉状態)	試験項目	結果
加振試験 (扉開状態)	作動確認 ・扉閉操作 ・電動での扉開閉確認 ・手動での扉開閉確認	良好
	気密性能試験	良好
加振試験 (扉開状態)	作動確認 ・電動での扉開閉確認 ・手動での扉開閉確認	良好
	気密性能試験	良好

BOP閉止装置の構造強度評価結果(裕度最小の評価部位)

評価対象設備	評価項目	評価部位	応力分類	発生値	許容値
ブローアウトパネル閉止装置	構造強度	チェーン	引張荷重	43800 N	43830 N

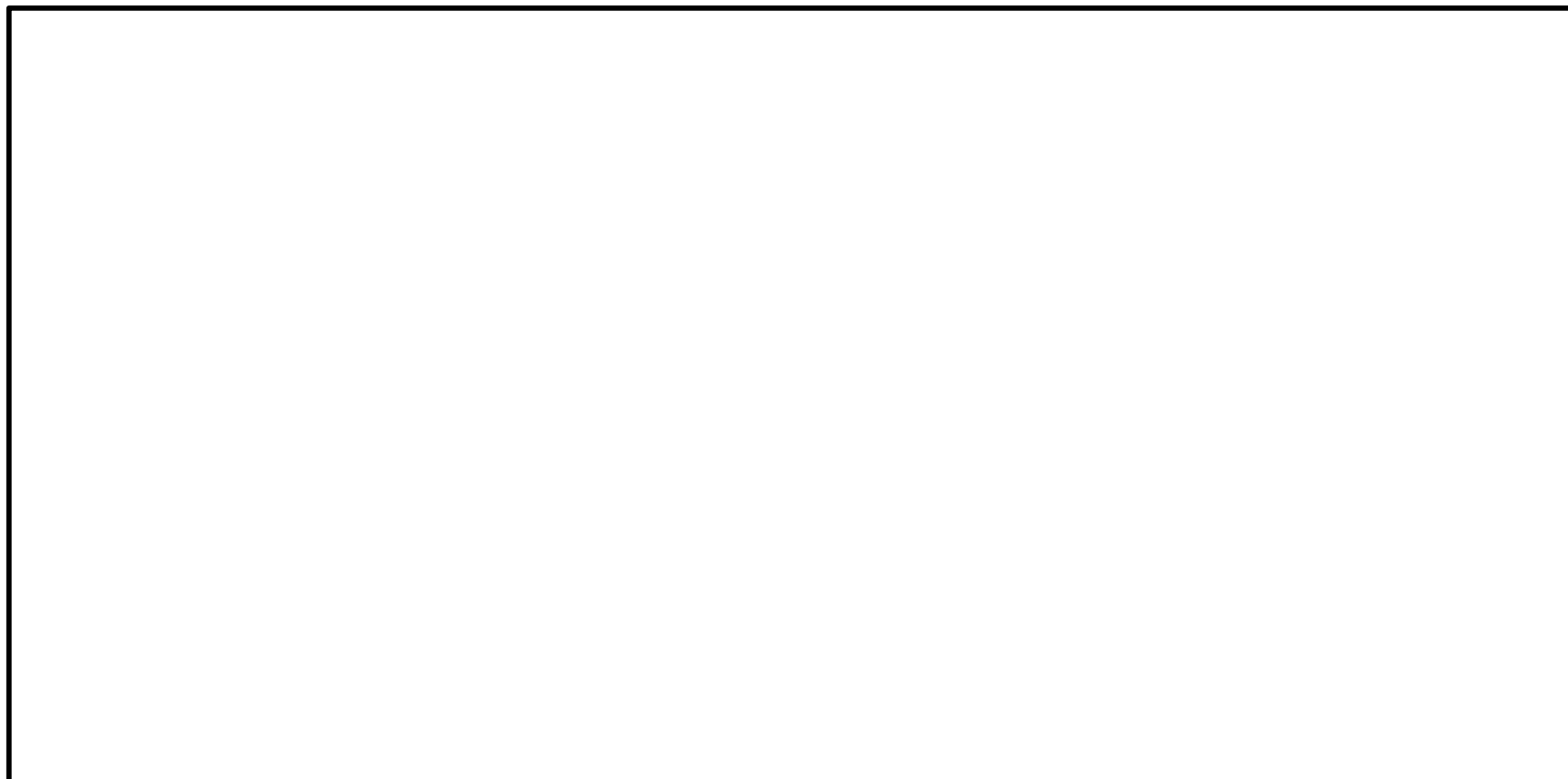
4. 主な耐震評価結果 ② 建物・構築物 (1/6)

2011-03-24

○ 建物・構築物の一覧表と配置図

既設	
建物・構築物	原子炉建屋
	主排気筒
	使用済燃料乾式貯蔵建屋 (資料1-2参照)

新設	
建物・構築物	緊急時対策所建屋
	格納容器圧力逃がし装置格納槽



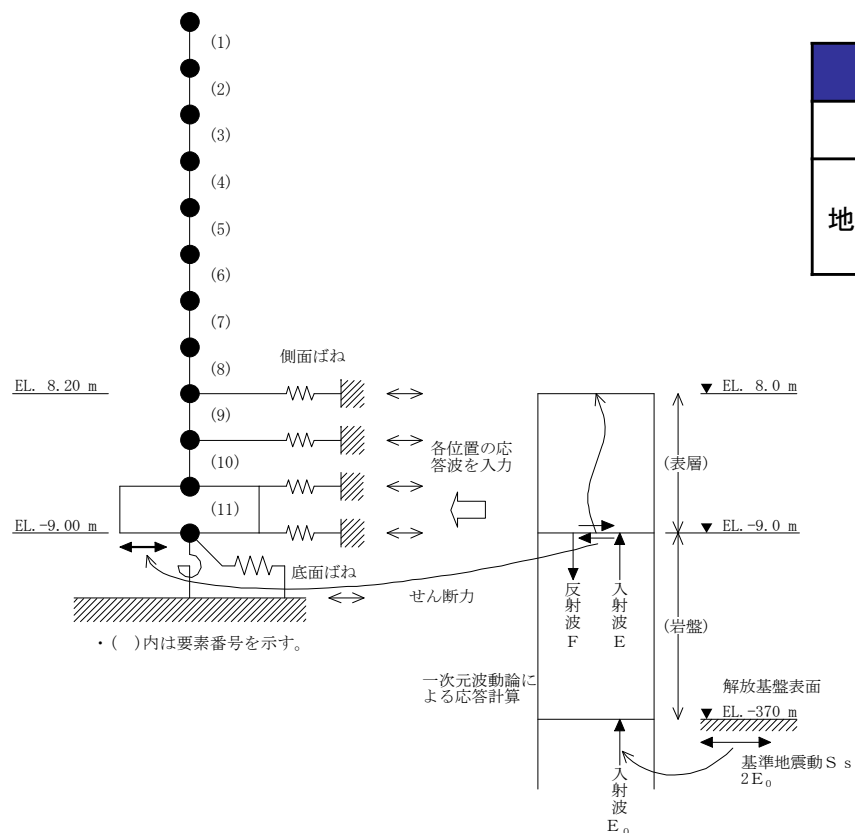
4. 主な耐震評価結果 ② 建物・構築物 (2/6)

○ 原子炉建屋

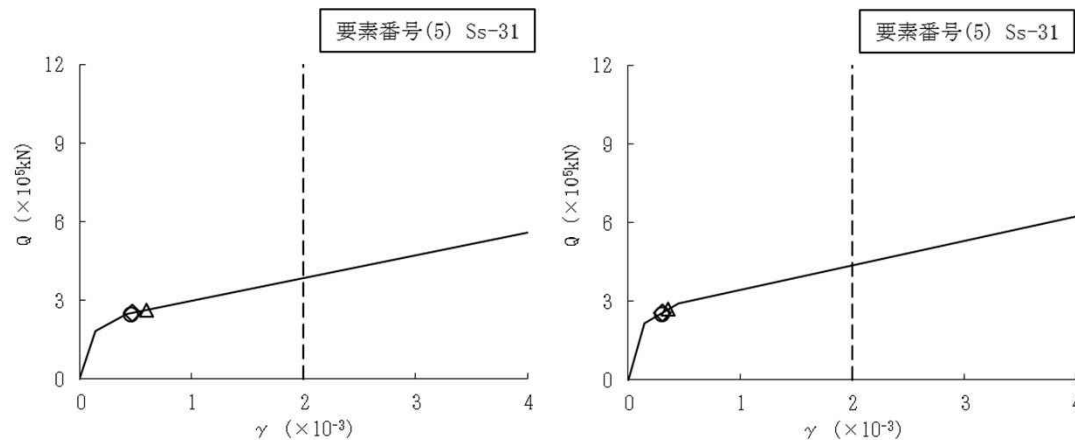
- ・解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を用いて一次元波動論により算定した建屋基礎底面及び側面地盤ばね位置での応答波を入力とした地震応答解析を実施した。
- ・地盤物性のばらつきを考慮した原子炉建屋の耐震壁のせん断ひずみを算出し、最大せん断ひずみと許容限界を比較した結果、耐震壁の最大せん断ひずみは 0.60×10^{-3} であり、許容限界(2.0×10^{-3})を超えないことを確認した。

地盤物性のばらつきを考慮した地震応答解析ケース

	地盤物性	モデル名称
基本ケース	標準地盤	基本モデル
地盤物性の変動による影響	標準地盤 + σ 相当	地盤物性のばらつきを考慮 (+ σ)
	標準地盤 - σ 相当	地盤物性のばらつきを考慮 (- σ)



地震応答解析モデル及び入力地震動の概念図(水平方向)



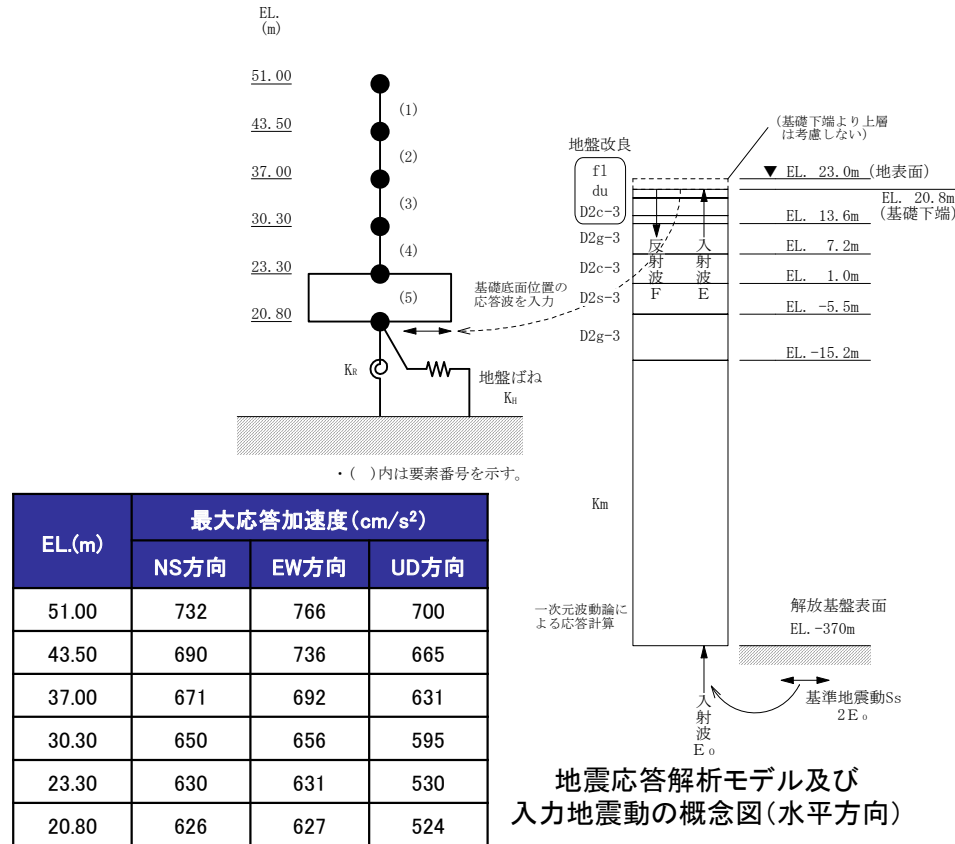
(NS方向) (EW方向)
せん断スケルトン曲線上の最大応答値(Ss-31, 要素番号(5))

○:基本モデル
△:地盤物性のばらつきを考慮(+ σ)
◇:地盤物性のばらつきを考慮(- σ)

4. 主な耐震評価結果 ② 建物・構築物 (3/6)

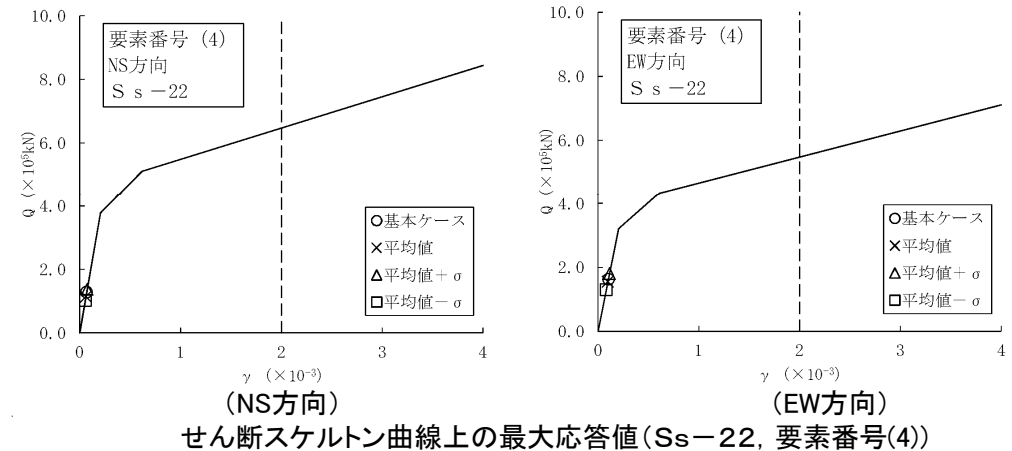
○ 緊急時対策所建屋

・地盤物性のばらつきを考慮した緊急時対策所建屋の耐震壁のせん断ひずみを算出し、最大せん断ひずみと許容限界を比較した結果、耐震壁の最大せん断ひずみは 0.115×10^{-3} であり、許容限界(2.0×10^{-3})を超えないことを確認した。



地盤物性のばらつきを考慮した地震応答解析ケース

	地盤物性		モデル名称
	支持地盤 表層地盤	地盤改良土	
基本ケース	平均値	改良目標値	基本ケース
地盤物性の変動 による影響	平均値	平均値	試験施工の平均値を考慮
	+σ相当	+σ相当	試験施工のばらつきを考慮(+σ)
	-σ相当	-σ相当	試験施工のばらつきを考慮(-σ)



緊急時対策所建屋に設置される代表機器の耐震評価結果

・福島第一原子力発電所の免震重要棟は、2011年の事故時にその機能を維持し、事象収束へ向けた対策検討、指揮命令を発する場所として機能したことから、免震構造には一定の効果があるといえる。一方、東海第二発電所の緊急時対策所建屋では、先行プラントの状況等を勘案し、耐震構造とすることとした。

・右表に緊急時対策所建屋に設置される代表機器の評価結果を示す。全ての評価対象設備について、応力・加速度の発生値が許容値を下回ることを確認した。

評価対象設備	評価項目	評価部位	応力分類	発生値	許容値
緊急時対策所用発電機	構造強度	取付ボルト	引張応力	81 (MPa)	210 (MPa)
	機能維持	緊急時対策所用発電機	応答加速度(鉛直)	0.55 (G)	1 (G)
緊急時対策所用制御盤	構造強度	取付ボルト	引張応力	147 (MPa)	385 (MPa)
	機能維持	緊急時対策所用制御盤	応答加速度(水平)	0.65 (G)	1.3 (G)

4. 主な耐震評価結果 ② 建物・構築物 (4/6)

○ 応力解析による評価

- ・使用済燃料プール, 原子炉格納容器底部コンクリートマット, 原子炉建屋基礎盤, 主排気筒, 緊急時対策所建屋及び格納容器圧力逃がし装置格納槽について, 基準地震動 S_s による評価結果のうち, 検定比が最も厳しい結果を下表に示す。

基準地震動 S_s による地震力に対する応力解析による評価結果

評価対象		評価項目	発生値	許容値	検定比	判定	耐震補強の必要性
既設	原子炉建屋	使用済燃料プール 底版	面外せん断応力度 2.15 (N/mm ²)	3.01 (N/mm ²)	0.71	可	否
		原子炉格納容器 底部コンクリートマット	面外せん断応力度 1.01 * ¹ (N/mm ²)	1.06 (N/mm ²)	0.95 * ¹	可	否
		原子炉建屋基礎盤 基礎スラブ	引張応力度 242 (N/mm ²)	345 (N/mm ²)	0.70	可	否
		主排気筒 杭	鉛直支持力 8641 (kN)	13193 (kN)	0.65 * ²	可	要
新設		緊急時対策所建屋 杭	鉛直支持力 10819 (kN)	17224 (kN)	0.63	可	—
		格納容器圧力逃がし装置 格納槽 基礎スラブ	面外せん断応力度 0.992 (N/mm ²)	2.84 (N/mm ²)	0.35	可	—

*1 : 応力の再配分等を考慮して, 応力の平均化を行った結果

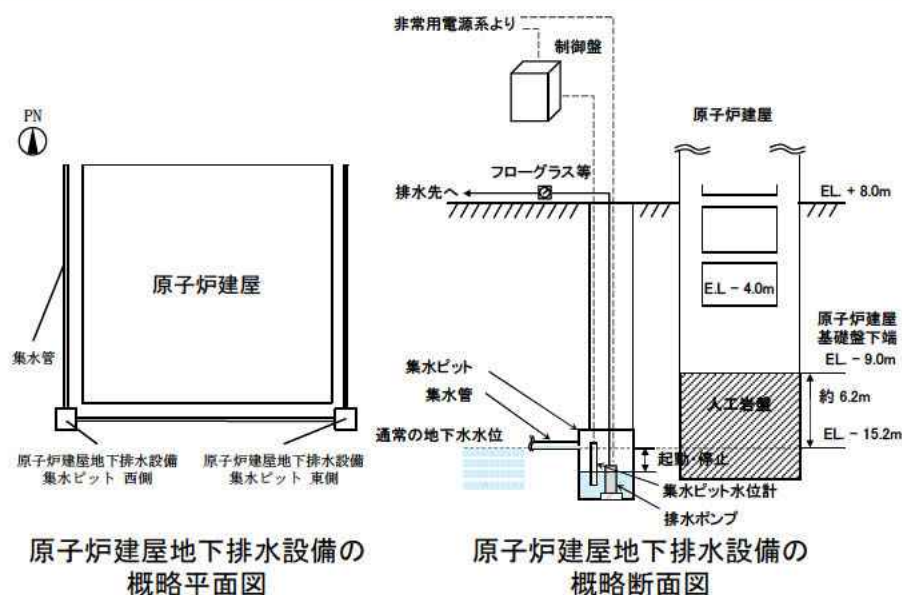
*2 : 支持機能強化を目的とした鉄塔部への支持部材の追加及び地盤改良による耐震補強を実施した場合の結果

- ・評価した結果, 検定比(発生値/許容値)が1を下回っており, **発生応力が許容限界を超えないことを確認した。**
- ・**主排気筒は, 耐震補強(支持機能強化を目的とした鉄塔部への支持部材の追加及び地盤改良)を実施する。**

4. 主な耐震評価結果 ② 建物・構築物 (5/6)

○ 東海第二発電所における主な耐震設計の特徴 (原子炉建屋の耐震設計における地下水位)

- ・地下排水設備は、原子炉建屋に対し、その耐震性を確保するため地下水位を原子炉建屋基礎底面レベル以深に維持する機能を有するため、基準地震動Ssに対する機能維持を確認する。
- ・原子炉建屋の南東角部及び南西角部付近の2箇所に地下排水設備集水ピットに配置し、地下排水設備排水ポンプを設置している。また、地下排水設備集水管を原子炉建屋の東面、西面及び南面に配置している。
- ・地下排水設備集水ピットの周囲は、地盤の変位を抑制することを目的として、**支持岩盤である砂質泥岩の上部をセメント系固化により地盤改良を行う。**
- ・地下排水設備について、基準地震動Ssによる評価結果のうち、検定比が最も厳しい結果を下表に示す。
- ・いずれの評価結果も検定比(発生値/許容値)が1を下回っており、**発生応力が許容限界を超えないことを確認した。**

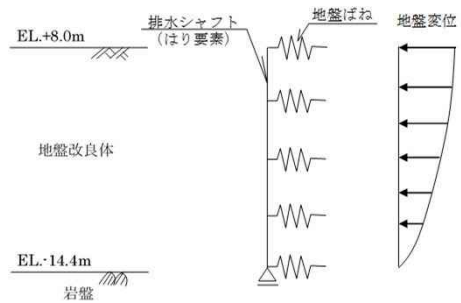
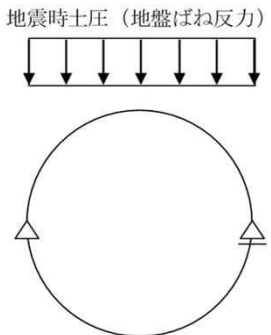
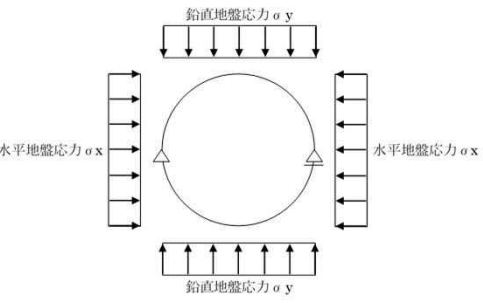


基準地震動Ssによる地震力に対する応力解析による評価結果

地下排水設備	評価対象	評価項目	発生値	許容値	検定比	判定
排水ポンプ	基礎ボルト	引張応力	9(MPa)	147(MPa)	0.062	可
	地下排水設備排水ポンプ	応答加速度(鉛直)	0.51(G)	2(G)	0.255	可
排水配管	IW-001YD	一次応力	27(MPa)	369(MPa)	0.074	可
集水ピット水位	基礎ボルト (集水ピット水位監視盤)	引張応力	26(MPa)	168(MPa)	0.155	可
	集水ピット水位監視盤	応答加速度(鉛直)	0.91(G)	1.5(G)	0.607	可
排水ポンプ制御盤	基礎ボルト	引張応力	33(MPa)	168(MPa)	0.197	可
	排水ポンプ制御盤	応答加速度(鉛直)	0.91(G)	2(G)	0.455	可
地下排水上屋	屋根スラブ	曲げモーメント	2.43(kN・m/m)	5.88(kN・m/m)	0.414	可
排水シャフト	管軸方向断面	せん断力	17.92(kN)	52(kN)	0.345	可
集水ピット	底版	せん断力	127(kN)	222(kN)	0.573	可
集水管	横断方向断面	曲げモーメント	0.67(kN・m/m)	0.74(kN・m/m)	0.906	可

4. 主な耐震評価結果 ② 建物・構築物 (6/6)

○ 原子炉建屋地下排水設備の評価について

地下排水設備	評価対象部位	解析モデル	解析手法	地震荷重	評価項目	許容限界
排水シャフト	管軸方向断面 (鉛直断面)	 <p>線形はり-非線形地盤ばねモデル</p>	応答変位法	地盤改良体を考慮した一次元波動論による地震応答解析で得られた地盤変位	曲げ圧縮応力度 引張応力度 せん断力	短期許容応力度
	横断方向断面 (水平断面)	 <p>線形はりモデル</p>	フレーム解析	管軸方向断面の応力解析で得られた地盤ばね反力の最大値を地震時土圧として設定	曲げモーメント	ひび割れ保証モーメント
集水管	横断方向断面	 <p>線形はりモデル</p>	フレーム解析	基準地震動 S_s に対する原子炉建屋の基礎地盤安定解析で得られた集水管位置の最大地盤応力を地震時土圧として設定	曲げモーメント	ひび割れ保証モーメント