

茨城県原子力安全対策委員会  
東海第二発電所  
安全性検討ワーキングチーム(第20回)  
ご説明資料

# 委員からの指摘事項等を踏まえた論点及び 県民意見を踏まえた論点への説明

2022年2月21日

日本原子力発電株式会社

本資料のうち、 は営業秘密又は防護上の観点から公開できません。



東海第二発電所敷地の真下又はサイト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の結果について

### 【説明概要】

#### ■第16回

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。

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 $S_s$ を下回っていることを確認した。

#### ■今回

周期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、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、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たところ、基準地震動を一部周期帯で超過するが、**詳細検討の結果、発電所の安全性が確保されることを確認した。**

第16回  
ワーキング  
チーム

## 1993年釧路沖型地震(深さ100kmモデル)

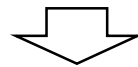
- ・敷地周辺の沈み込んだプレート内地震の発生状況から、敷地周辺では基準地震動策定で考慮したM7.3を超える規模の海洋プレート内地震は発生していないことを確認した。
- ・沈み込んだプレート内地震の発生状況の探索範囲を北海道まで広げると、同じ太平洋プレートの沈み込んだプレート内地震として、1993年釧路沖地震(M7.5)が発生している。そこで、この地震と同じ規模であるM7.5の地震が敷地下方で発生することを想定する。
- ・深さの設定に際しては1993年釧路沖地震(M7.5)を参考に沈み込んだプレートの下面で発生することを想定し、深さ100kmとする。

## 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。

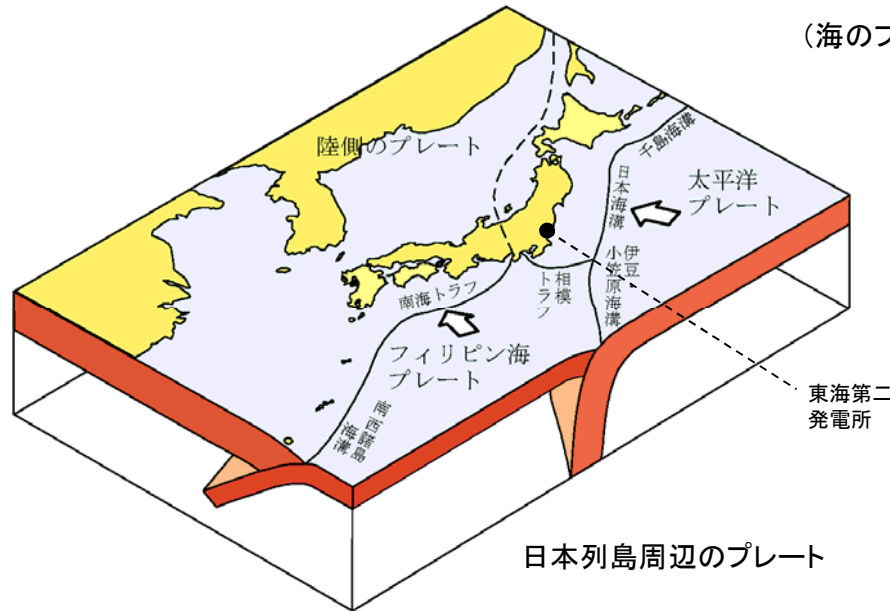


## 今回ご説明

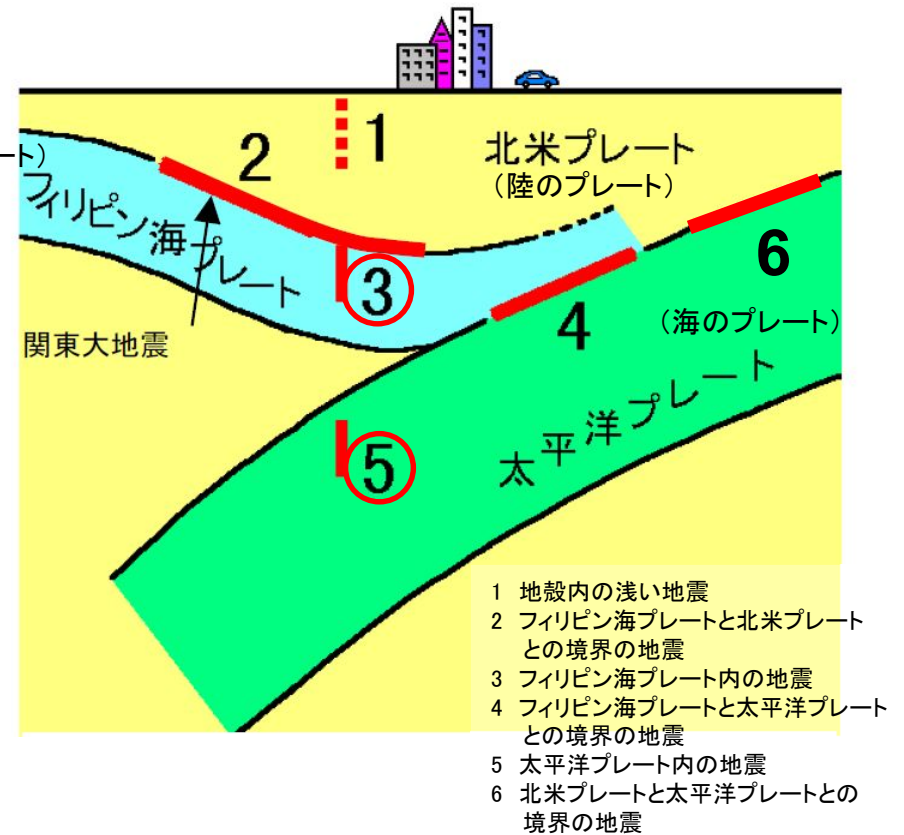
### 1993年釧路沖型地震(敷地最短位置+応力降下量1.5倍の影響確認)

- ・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。

# 敷地周辺のプレートテクトニクス



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)

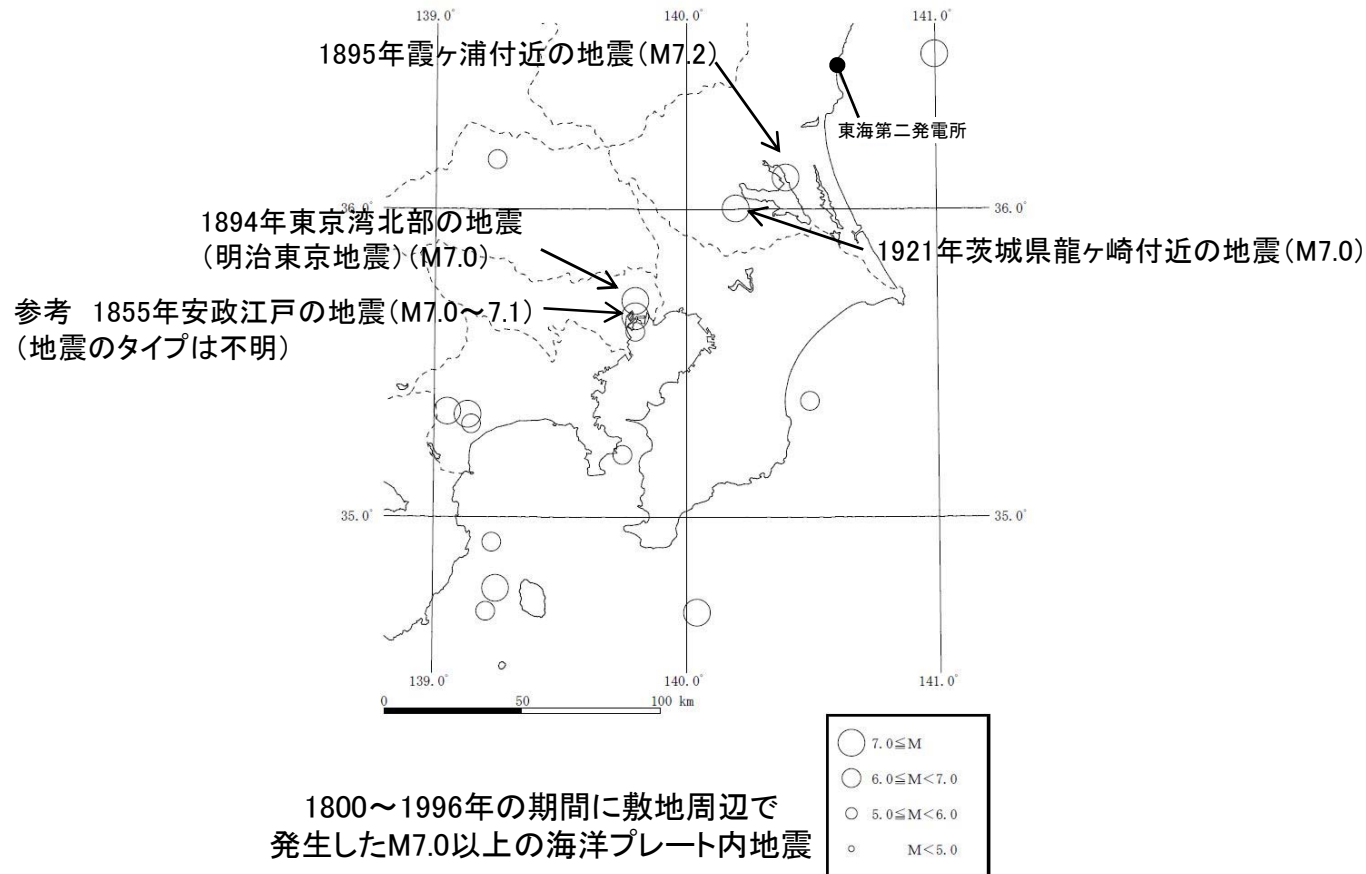


南関東地域で発生する地震のタイプ  
(中央防災会議(2004)に一部加筆)

- 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あり、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あり、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あり、図の3, 5のタイプである。中央防災会議(2013)による茨城県南部の地震(第4回ワーキングチームご説明)は図の3, 1993年釧路沖地震(M7.5)は図の5のタイプである。

## 敷地周辺における海洋プレート内地震の発生状況(1800年代後半～1996年)

- 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。

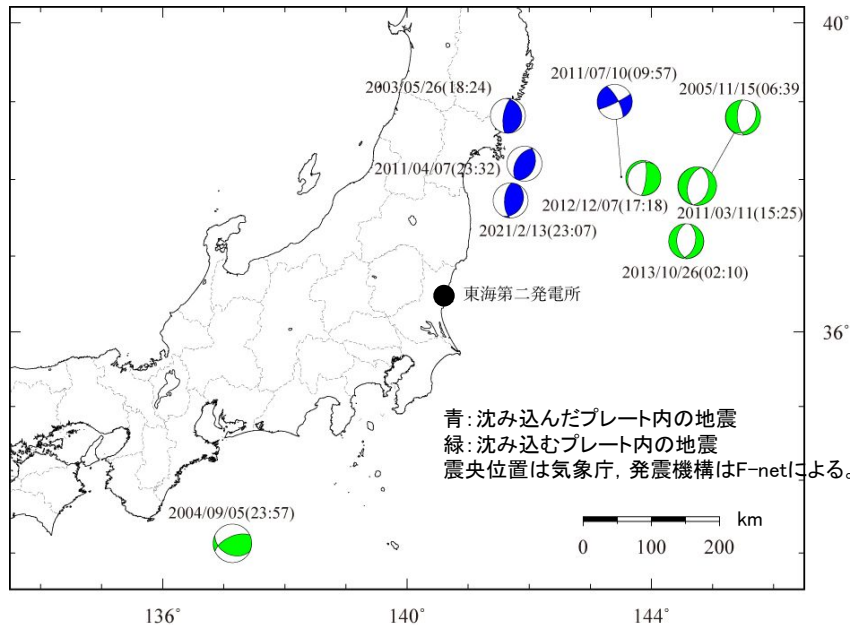


- 1800年～1996年の期間に敷地周辺の海洋プレート内で発生した地震の最大規模は、1895年霞ヶ浦付近の地震(M7.2)とされている。この地震は太平洋プレート内地震の可能性が示唆されている。
- フィリピン海プレート内で発生した地震の最大規模は、1921年茨城県龍ヶ崎付近の地震(M7.0)である。

# 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

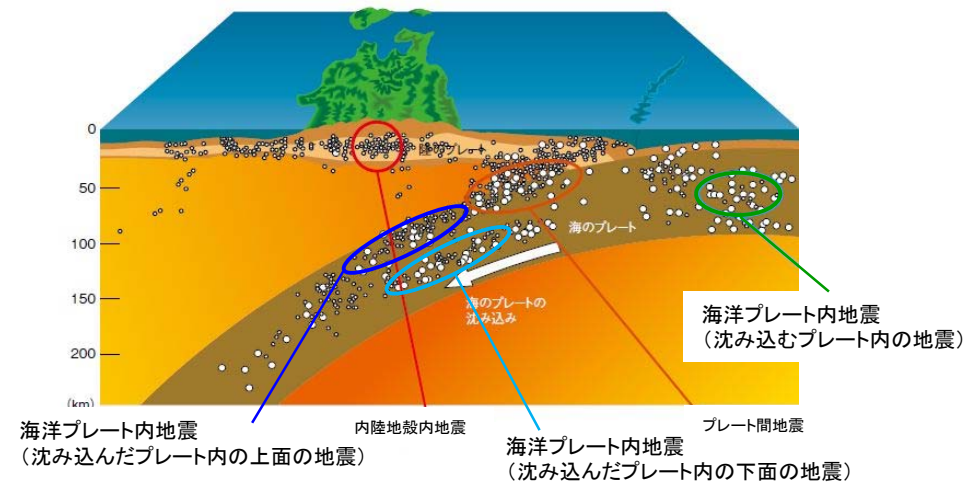
発生日	時刻	M	深さ(km)	分類
2003.5.26	18:24	7.1	72	沈み込んだ太平洋プレート内の上面
2004.9.5	23:57	7.4	44	沈み込むフィリピン海プレート内
2005.11.15	06:38	7.2	45	沈み込む太平洋プレート内
2011.3.11	15:25	7.5	11	沈み込む太平洋プレート内
2011.4.7	23:32	7.2	66	沈み込んだ太平洋プレート内の上面
2011.7.10	09:57	7.3	34	沈み込んだ太平洋プレート内の上面
2012.12.7	17:18	7.3	49	沈み込む太平洋プレート内
2013.10.26	02:10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

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。

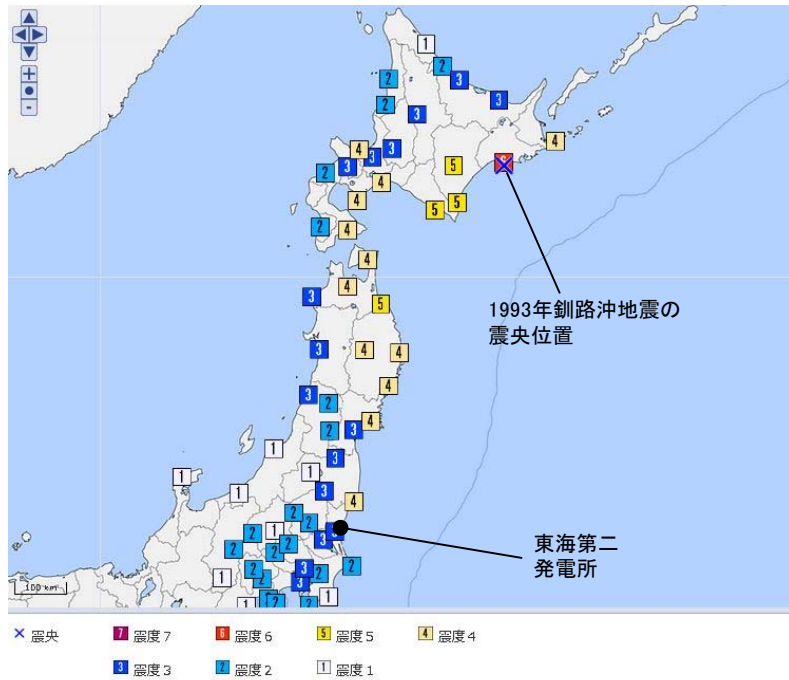


地震の発生様式の模式図(東北地方での例)  
 (地震調査研究推進本部に一部加筆)



# 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。

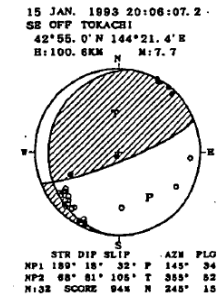


1993年釧路沖地震(M7.5)の震度分布(気象庁)

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。

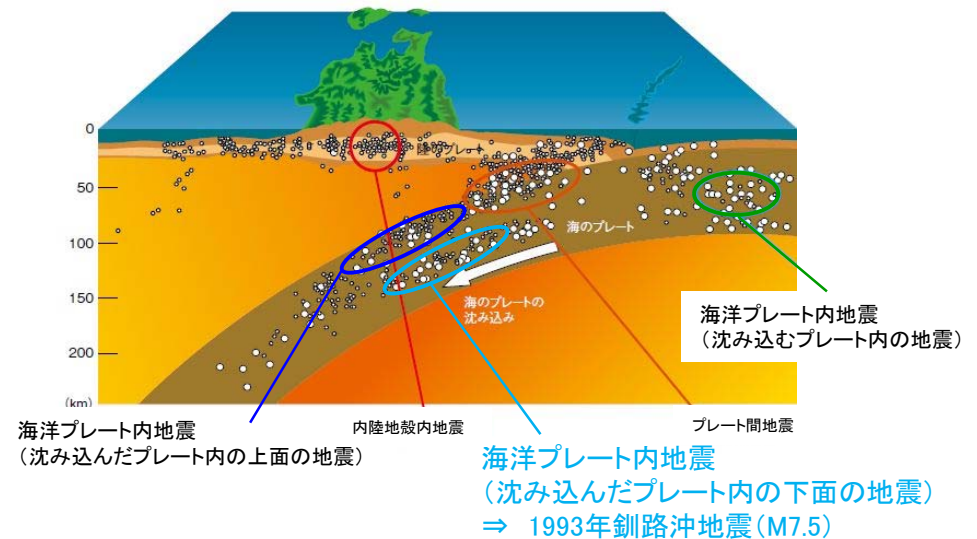
1993年釧路沖地震(M7.5)の諸元

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)

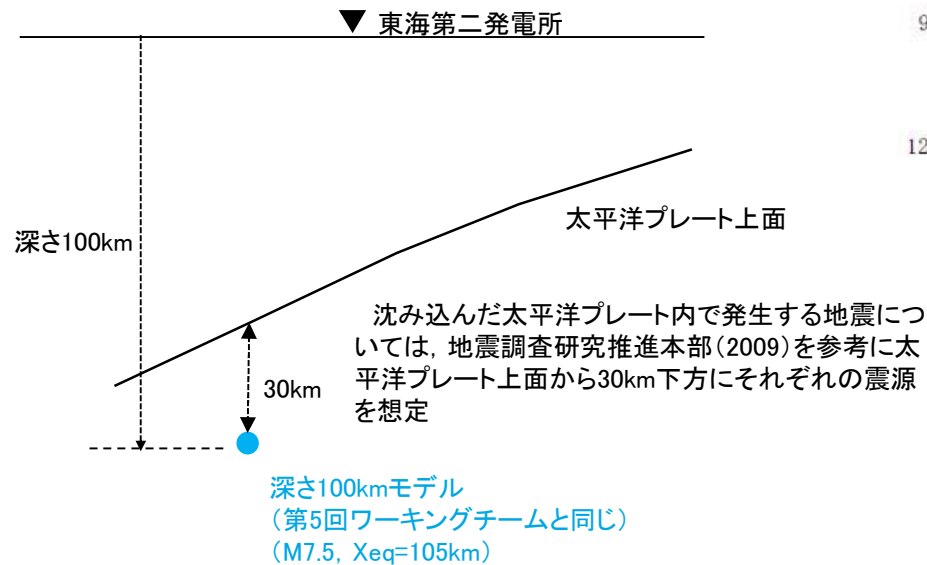


# 1993年釧路沖型地震(深さ100kmモデル)の想定

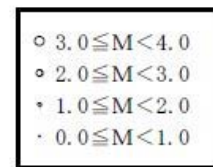
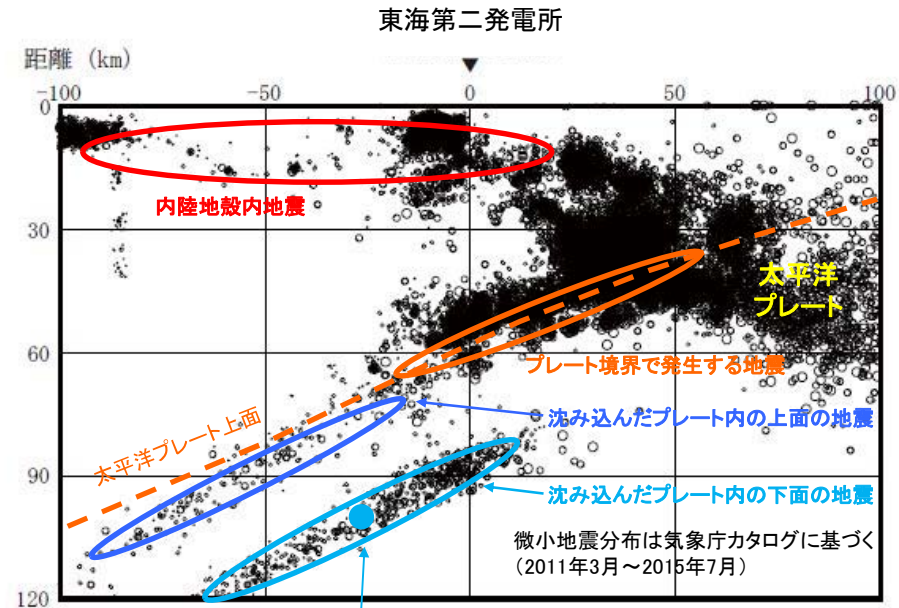
## ■震源を想定する位置

- ・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。

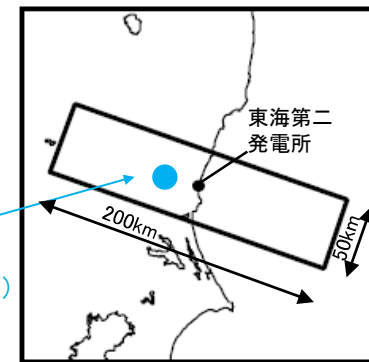
参考：敷地周辺で発する地震には、陸のプレートの内部で発生する内陸地殻内地震や陸のプレートと海洋プレート(太平洋プレート、フィリピン海プレート)の境界で発生する地震、海洋プレートの内部で発生する地震と、ように様々なタイプがある(右図)。基準地震動の策定にあたっては、上記タイプ毎に調査を行い、タイプ毎に敷地に影響の大きい地震を選定してそれらについて詳細評価を行っている。



太平洋プレート内地震の震源の設定位置(模式図)



深さ100kmモデル  
(第5回ワーキングチームと同じ)  
(M7.5, Xeq=105km)



# 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)

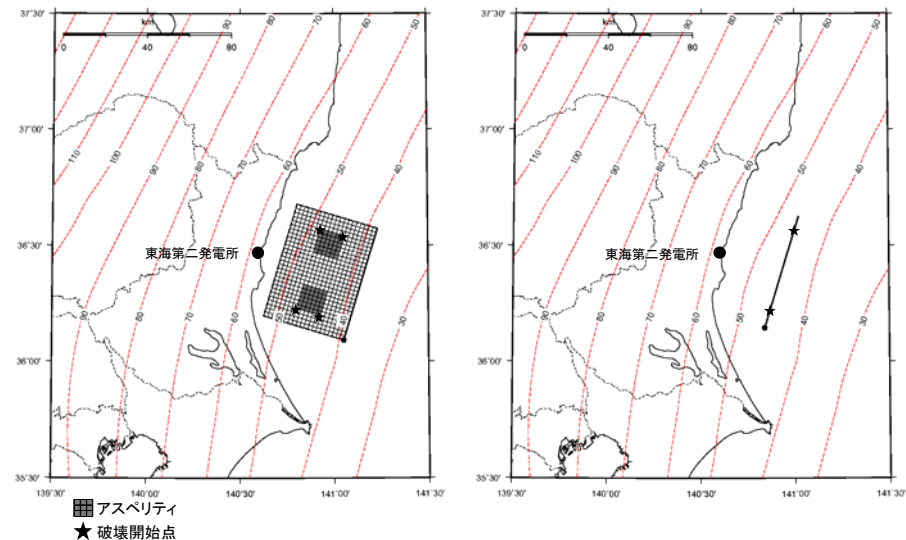
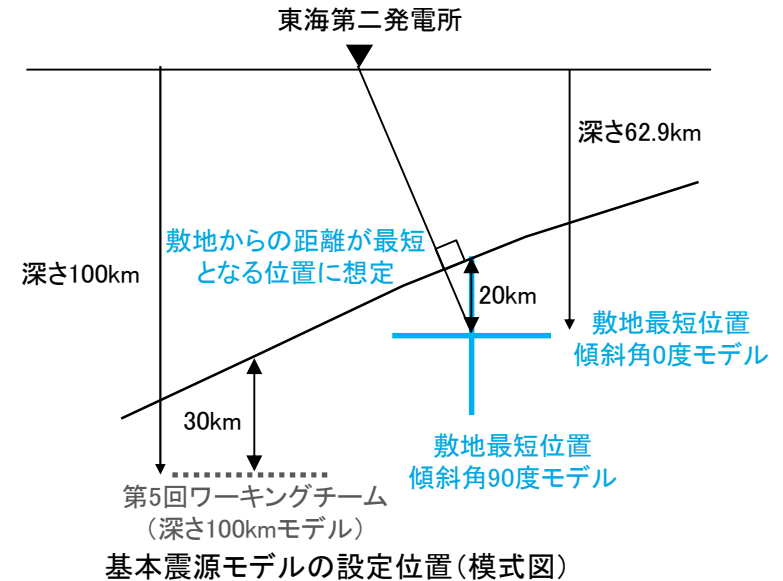
・地震規模はTakeo et al.(1993)による1993年釧路沖地震の地震モーメントより与える。

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

・強震動予測レシポ(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。

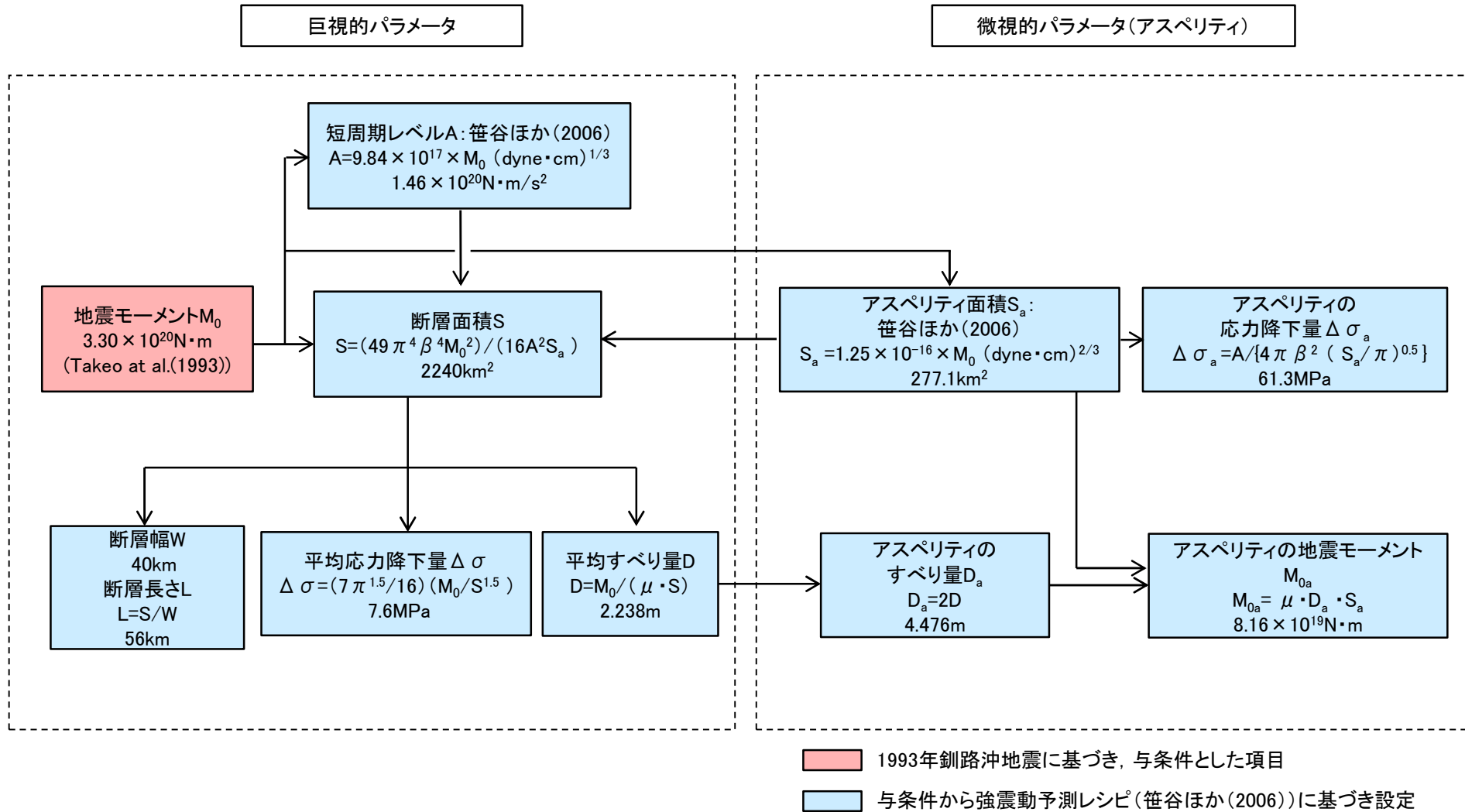


敷地最短位置  
傾斜角0度モデル

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。



## 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

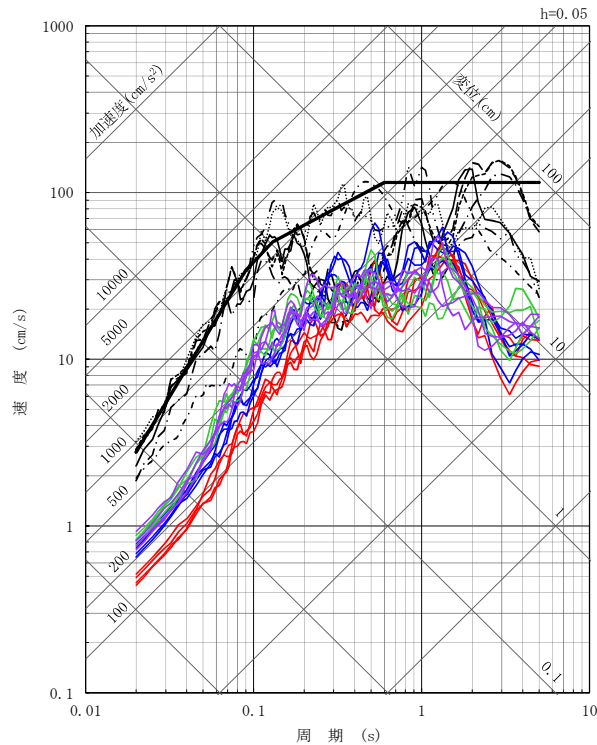
項目		設定値	設定方法
断層上端深さ	h(km)	0度:62.9 90度:42.9	断層面は敷地からの距離が最短となる位置に設定し、プレート境界からの深さは、茨城県想定を参考に20kmとする
気象庁マグニチュード*	M <sub>j</sub>	7.5	1993年釧路沖地震
モーメントマグニチュード*	M <sub>w</sub>	7.6	logM <sub>0</sub> =1.5M <sub>w</sub> +9.1
地震モーメント	M <sub>0</sub> (N・m)	3.30E+20	Takeo et al.(1993)
走向	θ(度)	17	プレート境界等深線より設定
傾斜角	δ(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 <sup>1.5</sup> /16)(M <sub>0</sub> /S <sup>1.5</sup> )
断層面積	S(km <sup>2</sup> )	2240	S=(49π <sup>4</sup> β <sup>4</sup> M <sub>0</sub> <sup>2</sup> )/(16A <sup>2</sup> S <sub>a</sub> )
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 <sup>3</sup> )	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 <sup>2</sup> )	6.58E+10	μ=ρβ <sup>2</sup>
平均すべり量	D(m)	2.238	D=M <sub>0</sub> /(μS)
破壊伝播速度	V <sub>r</sub> (km/s)	3.2	V <sub>r</sub> =0.72V <sub>s</sub> (Geller,1976)
短周期レベル	A(N・m/s <sup>2</sup> )	1.46E+20	A=9.84×10 <sup>17</sup> ×M <sub>0</sub> <sup>1/3</sup> [dyne・cm] (笹谷ほか(2006)のM <sub>0</sub> -A関係)
高周波遮断係数	f <sub>max</sub> (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 <sub>a</sub> (km <sup>2</sup> )	277.1 S <sub>a</sub> =1.25×10 <sup>-16</sup> M <sub>0</sub> <sup>2/3</sup> [dyne・cm] (笹谷ほか(2006)のM <sub>0</sub> -S <sub>a</sub> 関係)
	すべり量	D <sub>a</sub> (m)	4.476 D <sub>a</sub> =2D
	地震モーメント	M <sub>0a</sub> (N・m)	8.16E+19 M <sub>0a</sub> =μD <sub>a</sub> S <sub>a</sub>
	応力降下量	Δσ <sub>a</sub> (MPa)	92.0 Δσ <sub>a</sub> =1.5×A/(4πβ <sup>2</sup> )/(S <sub>a</sub> /π) <sup>0.5</sup>
各 ア ス ペ リ テ ィ	面積	S <sub>a1</sub> (km <sup>2</sup> )	138.5 S <sub>a1</sub> =S <sub>a</sub> /2
	すべり量	D <sub>a1</sub> (m)	4.476 D <sub>a1</sub> =D <sub>a</sub>
	地震モーメント	M <sub>0a1</sub> (N・m)	4.08E+19 M <sub>0a1</sub> =μD <sub>a1</sub> S <sub>a1</sub>
	応力降下量	Δσ <sub>a1</sub> (MPa)	92.0 Δσ <sub>a1</sub> =Δσ <sub>a</sub>
背 景 領 域	面積	S <sub>b</sub> (km <sup>2</sup> )	1963.2 S <sub>b</sub> =S-S <sub>a</sub>
	すべり量	D <sub>b</sub> (m)	1.922 D <sub>b</sub> =M <sub>0b</sub> /(μS <sub>b</sub> )
	地震モーメント	M <sub>0b</sub> (N・m)	2.48E+20 M <sub>0b</sub> =M <sub>0</sub> -M <sub>0a</sub>
	実効応力	Δσ <sub>b</sub> (MPa)	11.8 Δσ <sub>b</sub> =(D <sub>b</sub> /W <sub>b</sub> )/(D <sub>a</sub> /W <sub>a</sub> )Δσ <sub>a</sub> , W <sub>a</sub> =12km
Q値	Q	110f <sup>0.69</sup>	佐藤他(1994)

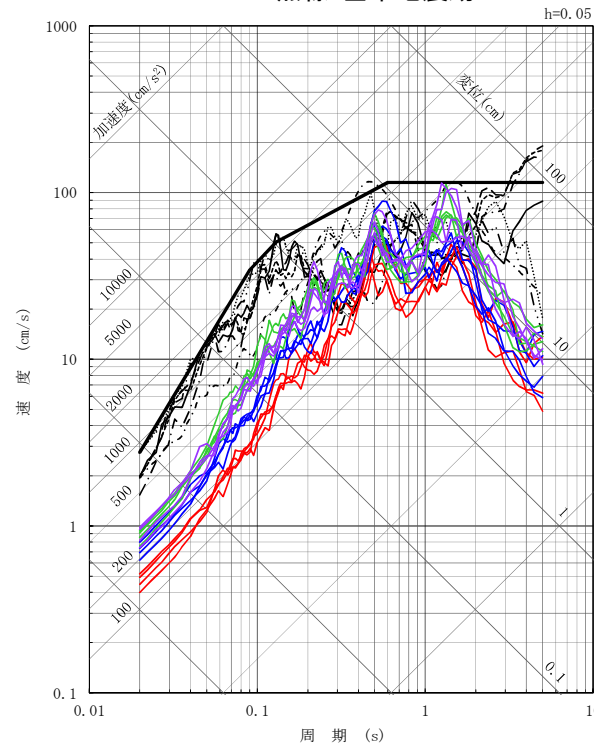
# 断層モデルを用いた手法による評価結果(敷地最短位置)

## ■統計的グリーン関数法による地震動評価結果

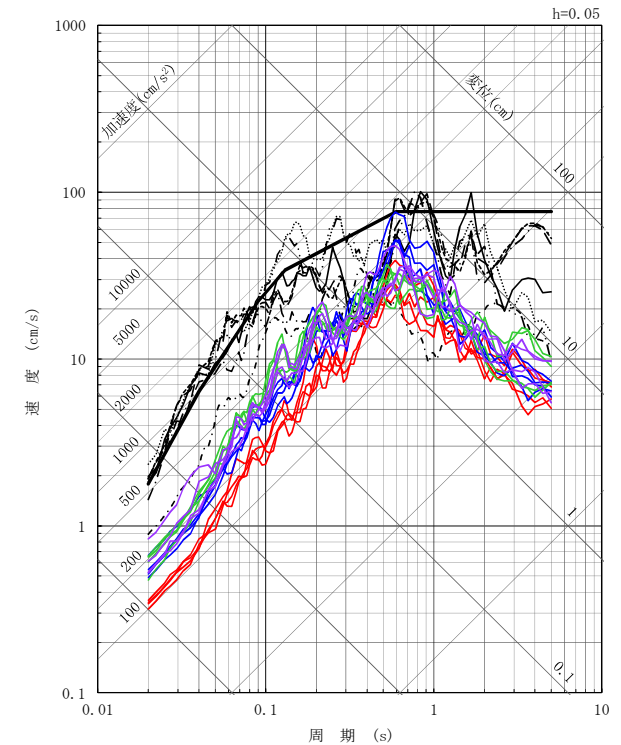
- 深さ100kmモデル(破壊開始点1~4)
  - 深さ100kmモデル+ $\Delta\sigma$  1.5倍(破壊開始点1~4)
  - 敷地最短位置 傾斜角0度モデル(破壊開始点1~4)
  - 敷地最短位置 傾斜角90度モデル(破壊開始点1~4)
  - 黒線: 基準地震動 $S_s$
- } 第5回ワーキングチーム  
 } 第16回ワーキングチーム追加ケース



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。

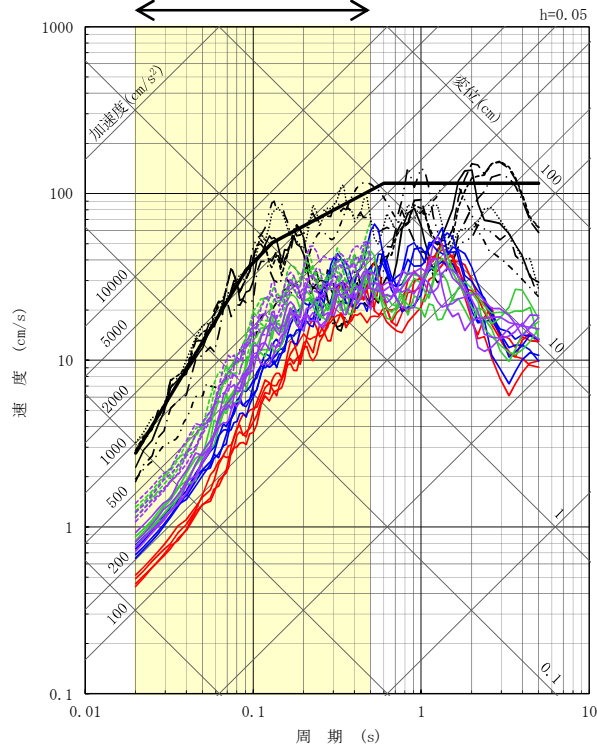


# 断層モデルを用いた手法による評価結果(敷地最短位置+短周期帯1.5倍の影響確認)

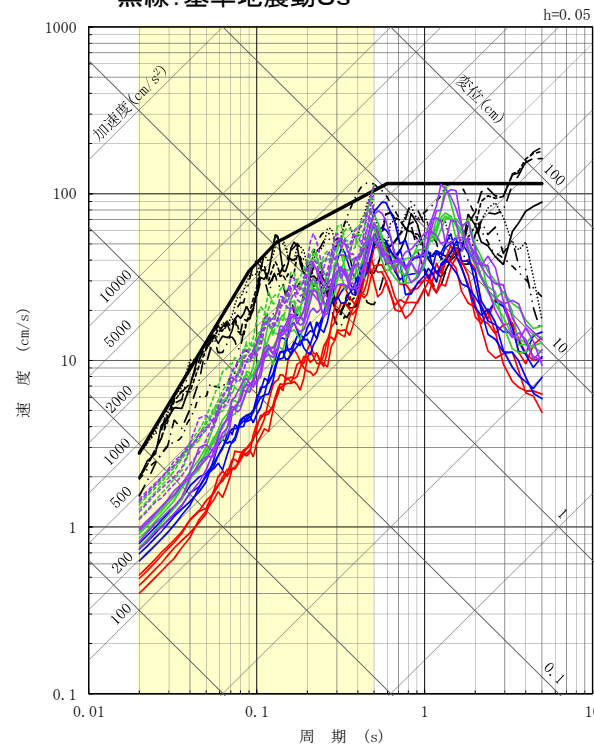
## ■統計的グリーン関数法による地震動評価結果

- 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

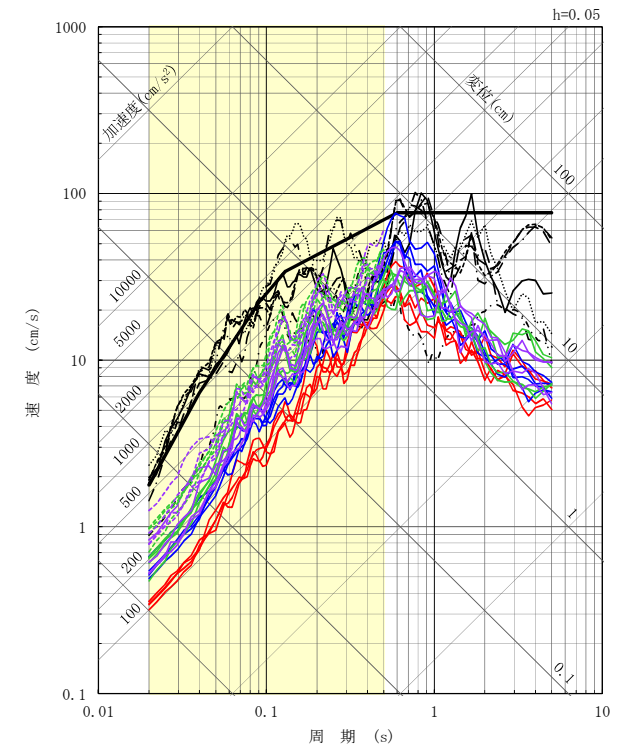
原子力施設にとって  
重要な短周期帯  
(0.02s~0.5s)



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。



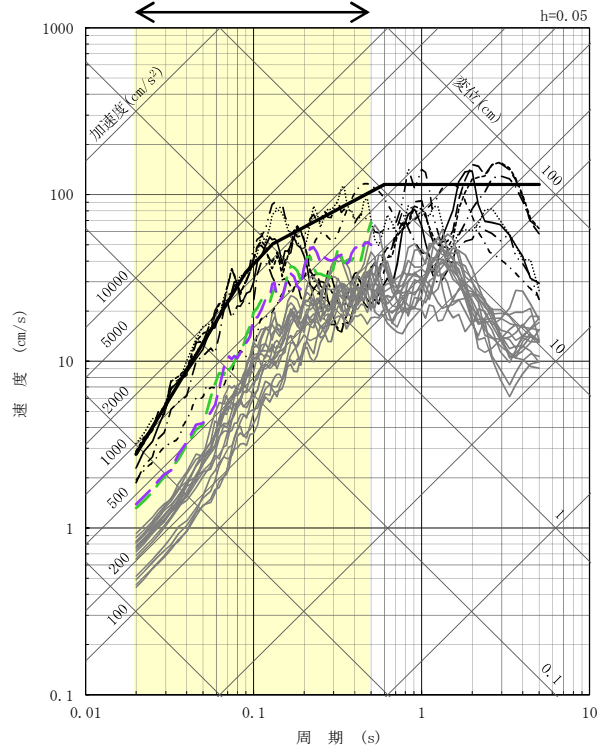
参考:断層モデルを用いた手法による評価結果(敷地最短位置+短周期帯1.5倍の影響確認)

■統計的グリーン関数法による地震動評価結果

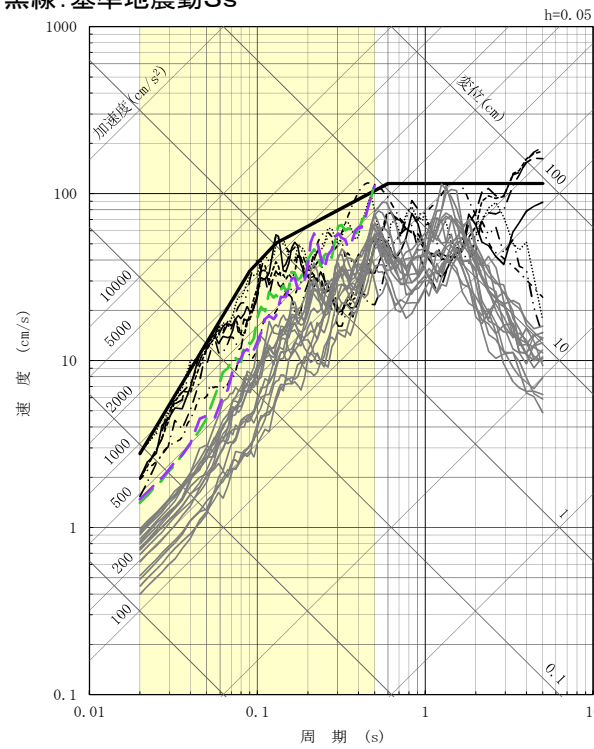
原子力施設にとって  
重要な短周期帯  
(0.02s~0.5s)

- 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 $S_s$

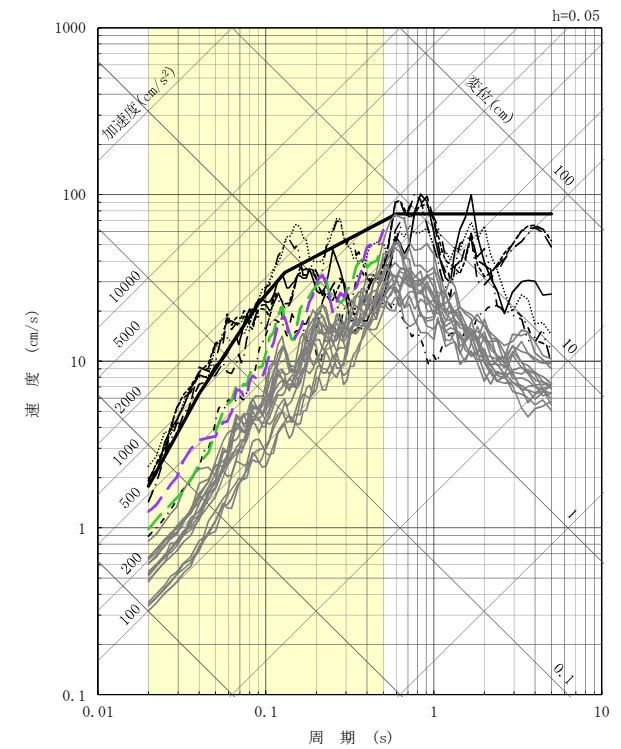
第5回ワーキングチーム  
第16回ワーキングチーム  
追加ケース




NS方向



EW方向



UD方向

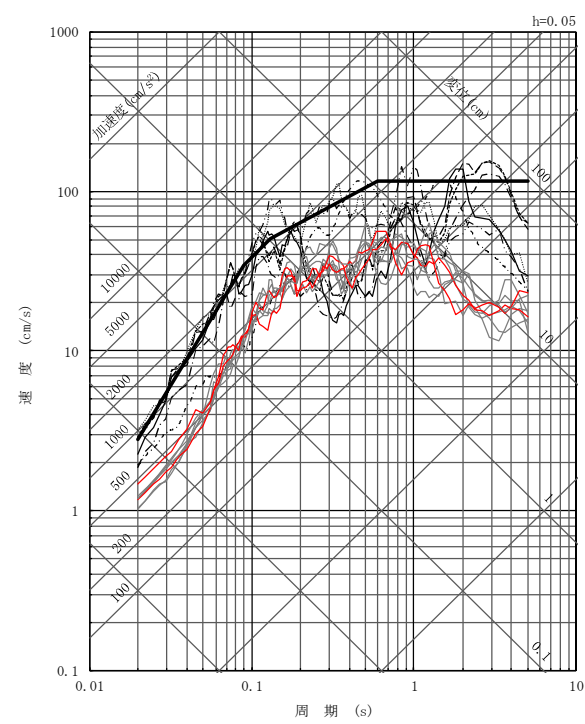
断層モデルを用いた手法による評価結果(敷地最短位置+短周期帯1.5倍(詳細)の影響確認) 

■統計的グリーン関数法による地震動評価結果

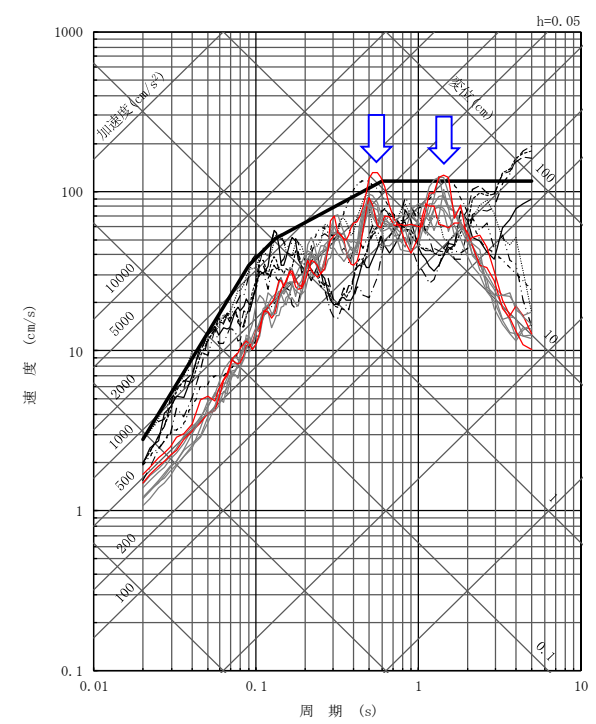
- ・1993年釧路沖型地震(敷地最短位置+応力降下量1.5倍(詳細)の影響確認)は、一部の周期帯で基準地震動 $S_s$ を超過した(傾斜角 $0^\circ$  破壊開始点2, 傾斜角 $90^\circ$  破壊開始点1,2,3)。
- ・これらのうち、影響が大きいと考えられる傾斜角 $90^\circ$  破壊開始点2,3を代表として選定し、施設への影響評価を行う。

—— : 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 $S_s$

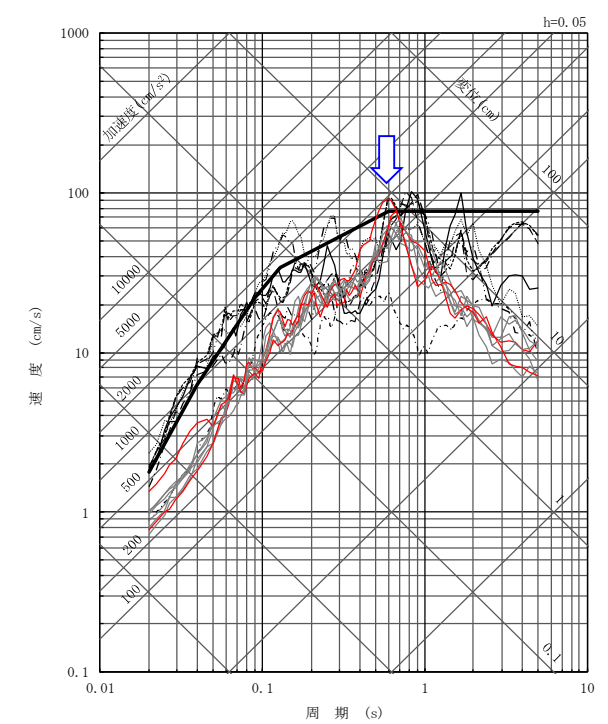
(青矢印は $S_s$ 超過の個所を示す)



NS成分



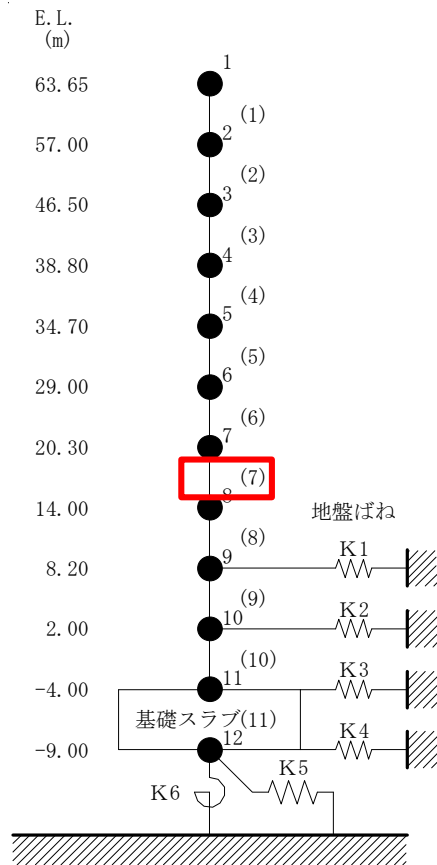
EW成分



UD成分

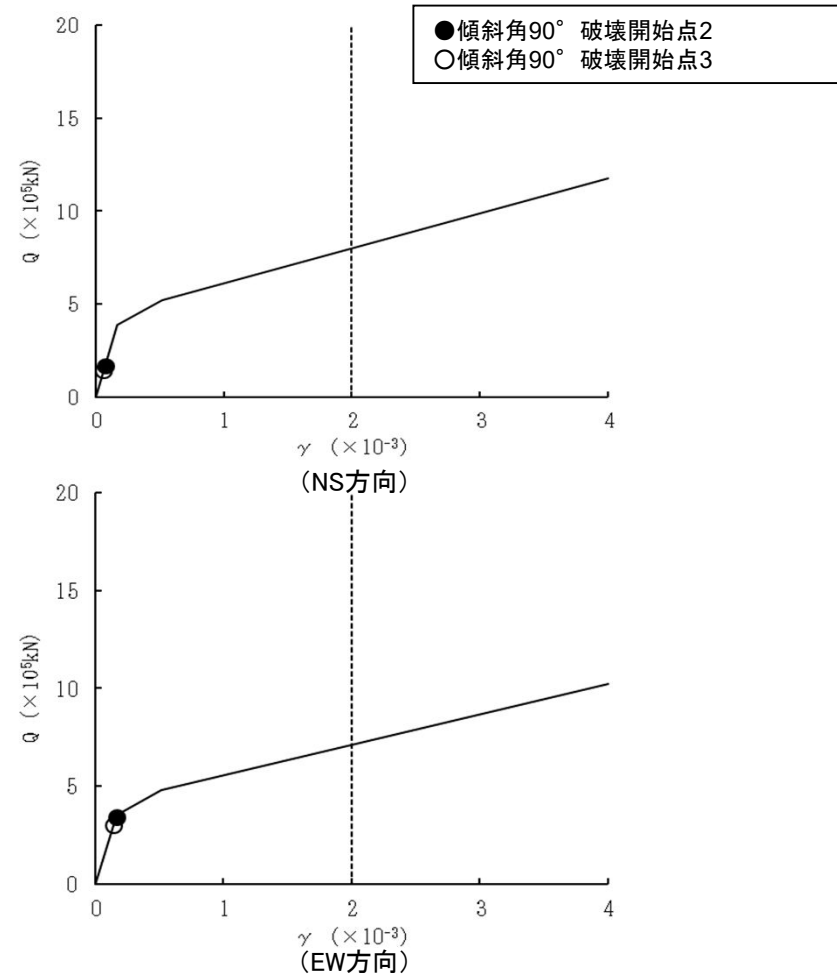
## ■ [ ] の耐震評価結果

- 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 $0.166 \times 10^{-3}$ であり, 許容限界( $2.0 \times 10^{-3}$ )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)

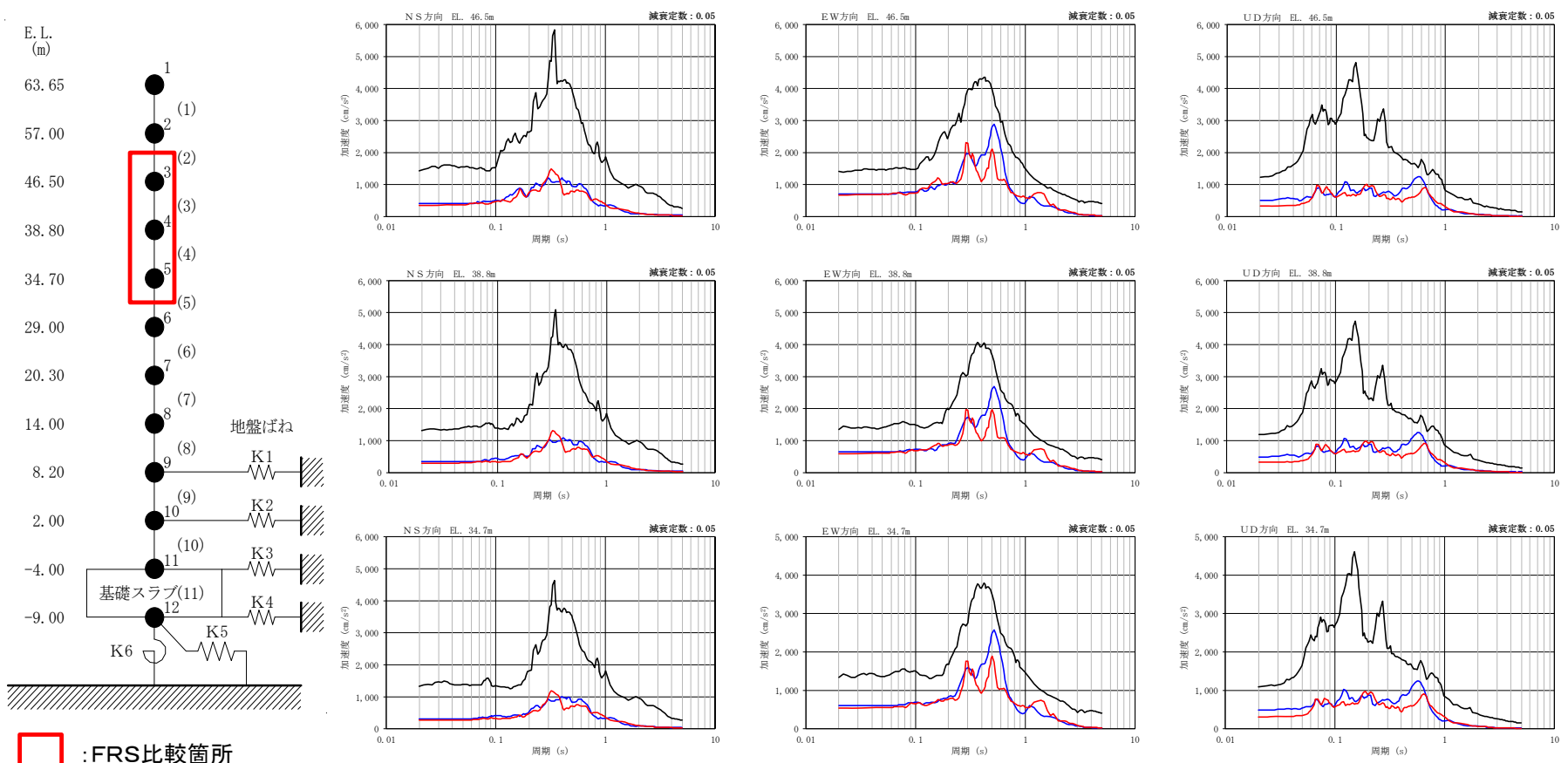


せん断スケルトン曲線上の最大応答値(要素番号(7))

## ■ 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)

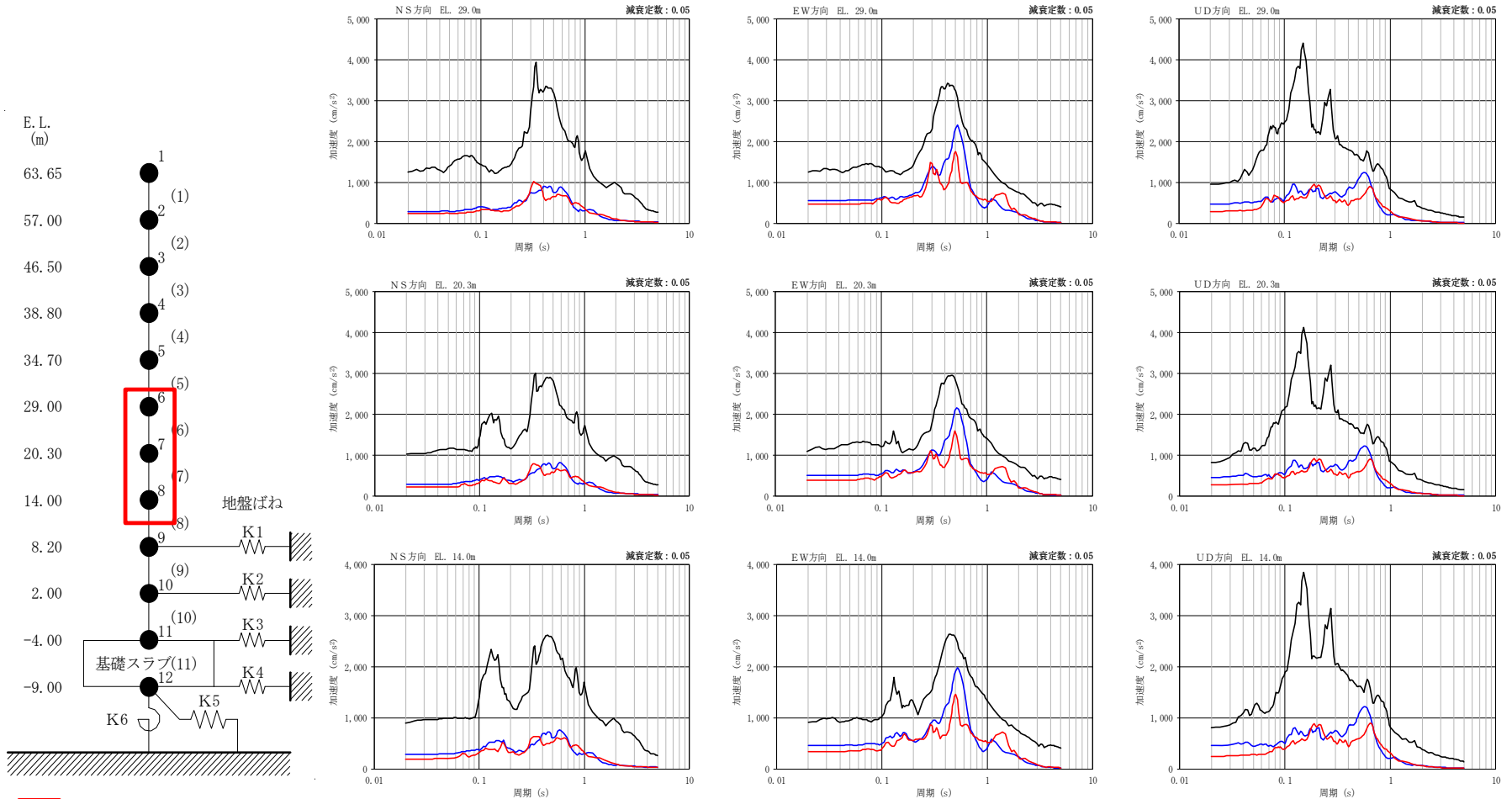


: FRS比較箇所

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

— 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)

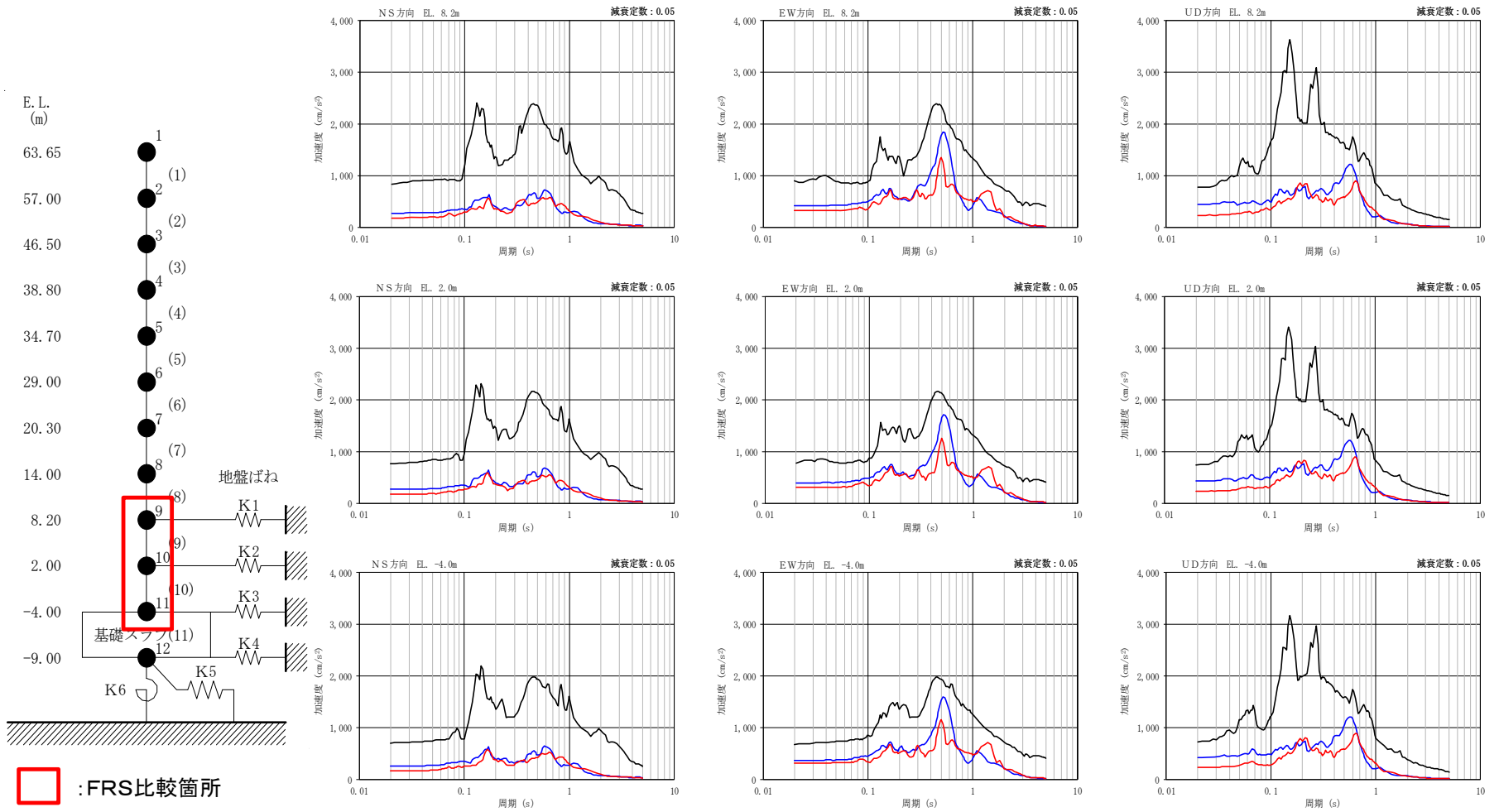


: FRS比較箇所

地震応答解析モデル(水平方向)

床応答スペクトル比較図

— 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)



地震応答解析モデル(水平方向)

床応答スペクトル比較図



# 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

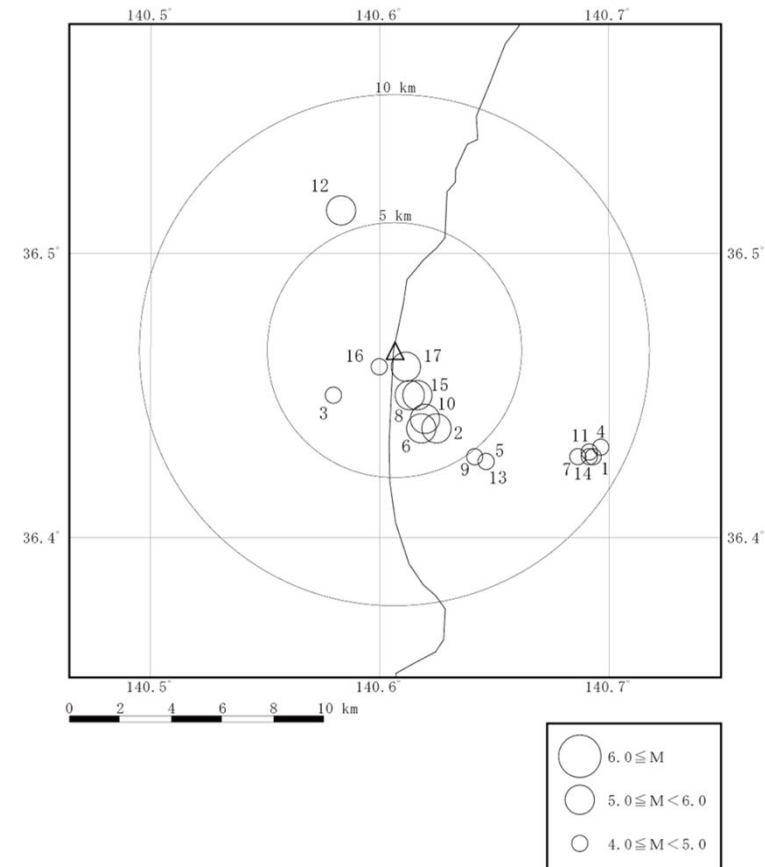


■2011年東北地方太平洋沖地震以降、敷地周辺(半径10km以内)で発生した地震のうち、最大震度が4以上の地震について、発生場所と地震諸元を整理した。全て50kmより深い場所で発生しており、震源メカニズム解より、ほとんどがプレート間地震と考えられるが、2019年6月17日の地震(M5.1)については太平洋プレートの内部で発生した地震と考えられる。

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。

【論点No.1】

東海第二発電所敷地の真下又はサイト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の結果について

【委員からの指摘事項等】

指摘事項等・県民意見に下線を記載  
対応する資料頁数等を  内に記載

No.1

第16回WT

海洋プレート内地震について、1993年釧路沖地震(M7.5)タイプの地震が、東海第二発電所のサイトの真下に近いところ、又はもう少し浅いところで距離が一番近いところに震源を置いたとき、そういった最悪の条件で地震が発生したときの影響を確認することが非常に重要であるので、そこまで検討し、結果を示すこと。

また、第16回WTでは、敷地最短位置での評価に加えて短周期帯の応答スペクトルを1.5倍する検討がなされたが、原子力施設にとって重要な短周期(0.02秒～0.5秒)に限定された確認であるため、実際に応力降下量を1.5倍して地震動評価を行い、全周期帯への影響を確認すること。

P2～18

\* 委員指摘事項等及び県民意見は第15回ワーキングチーム  
(令和元年6月26日)資料3-1及び資料3-2に基づく

## 【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

No.460

地震対策について質問します。

茨城県は、昨年12月に大規模地震の被害想定を見直して発表しました。県内に大きな被害をもたらすおそれのある7種類の地震を想定しています。最新の科学的知見を取り入れて見直したというものです。この7種類の地震のうち、これまで東海第二の地震対策として詳細に検討してきたのは、F1断層、北方陸域断層、塩ノ平地震断層と棚倉断層の2つだけです。

P.2~18

この2つの場合、東海村の震度は6弱です。一方、詳細な検討をしておこなった太平洋プレート(北部)では東海村の最大震度は6強となっています。つまり、詳細に検討してきた震度よりも大きい。こんな巨大な地震が来ても東海第二原発は耐えられるのか。新しい知見が示されたわけですから、規制委員会は、原電に対し、今回の茨城県の地震想定に基づく地震対策の見直しをさせて審査する必要があると思います。

東日本大震災で東海第二原発が福島第一原発のようなメルトダウンにならずに済んだのは、原電が海水取水ポンプの防御壁のかさ上げしたことが功を奏したというのは周知の事実です。これは茨城県が津波ハザードマップを見直して、原電に対策を要請したからだ。県が発行した東日本大震災の記録、原子力災害編というのに載っていますけれども、この分厚い本です。この中に、当時、危機管理室長をされていた山田広次さんが書かれている。この文章は県のホームページに出ています。県の果たした役割は非常に大きかったと思います。茨城県としては、今回発表した地震被害想定を東海第二の危険が県民に与えないかどうかということを検証するために大いに役立てていただきたいと思います。

論点No.15参照

【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

No.849

(18)太平洋プレート内で発生する地震(北部)に対する耐震性(地震)

P.2～18及び論点No.15参照

昨年、茨城県は、今後発生する可能性のある地震による被害を再評価した結果(12/23「茨城県地震被害想定調査報告書」,表4.1-2)、「太平洋プレート内で発生する地震(北部)」では、東海村で震度6強と評価しているが、この地震は東海第二の許可審査では評価していない。許可審査で評価した「F1断層,北方陸域の断層及び塩ノ平地震断層」による地震の震度5弱よりもかなり大きい。このため、太平洋プレート内地震(北部)の地震動に対して、東海第二の施設、例えばシュラウド等の炉心構造物や接続配管等が破損するおそれがないか心配である。

No.1059

今後、別資料(論点No.10,13,20,21)で説明

「地震対応について」

論点No.15参照及び今後、別資料(論点No.18)で説明

昨年12月に発表された「茨城県地震被害想定調査報告書(概要版)」によると、日立市は最大震度7,東海村は6強となっております。利用上の留意点として「今回の想定地震以外でも甚大な被害となる地震が県内で発生する可能性がある」「今回震度6弱の予測であっても実際に地震が発生した場合には5弱や7となる可能性がある」とされています。よって東海村の東海第二原発周辺で震度7の地震が発生すると想定した検討がされるべきです。

東海第二の基準地震動は600ガルから901ガル,さらに1009ガルとしています。近年頻発している巨大地震震度7の場合の最大地震動は

- ・2011年3月の東日本大震災では実測値2933ガル
- ・2016年4月の熊本大地震では実測値1800ガル
- ・2018年9月の北海道胆振東部地震では実測値1591ガル

となっております。1009ガルを大きく上回っています。

上記調査報告書(概要版)の図3.2-5で強震動生成域は、東海第二原発の沿岸沿いであり、震度7の地震になれば地震動は1009ガルを超えると想定すべきです。

\*委員指摘事項等及び県民意見は第15回ワーキングチーム(令和元年6月26日)資料3-1及び資料3-2に基づく

### 【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

No.204

幾つかあるんですけども、19ページ、20ページ、そこに地震の大きさを示すマグニチュードというのが書いてありまして、私も素人によくわかりませんが、9.0、それから、その前のページは7.8と書いてありますが、このあたりをもう一度ご説明いただきたいというのは震度との関係なんですけれども、震度がここには書いてございませんけれども、昨年の12月に茨城県庁が地震の見直しをしました。そのデータを見てみますと、日立が震度7、東海村が震度6強と書いてあります。そういうことを前提にして今回のこの説明会の資料がなされているのか、そういう基本的なところをお尋ねしたいと思います。 論点No.15参照

といいますのは、昨年の2月のたしか26日だったと思いますが、日本原電さんが住民説明会を日立でも行いました。私、そのとき参加したんですが、日本原電さんはマグニチュード9.0、それから、その後もいろいろ聞きましたところ、震度7というふうに言っておりました。

最初の地震関係ですが、マグニチュードと震度との関係は私も存じていまして、それをお尋ねしたんではありません。今回の説明書の中に、東海の原因のところでは一体どのくらいの震度になりますかと。それから、直下地震的になっていないかもしれませんが、平たく言うとそういうことですね。震度9.0、それから、震度7と書いておられますので。

No.242

一般の方々は加速度(Gal)と震度の差が理解出来ないので、地表面の震度を計算して説明した方が良いと思います。(今回の説明は?)





### 基準地震動S<sub>s</sub>-D1の応答解析と東日本大震災時の観測記録との比較について

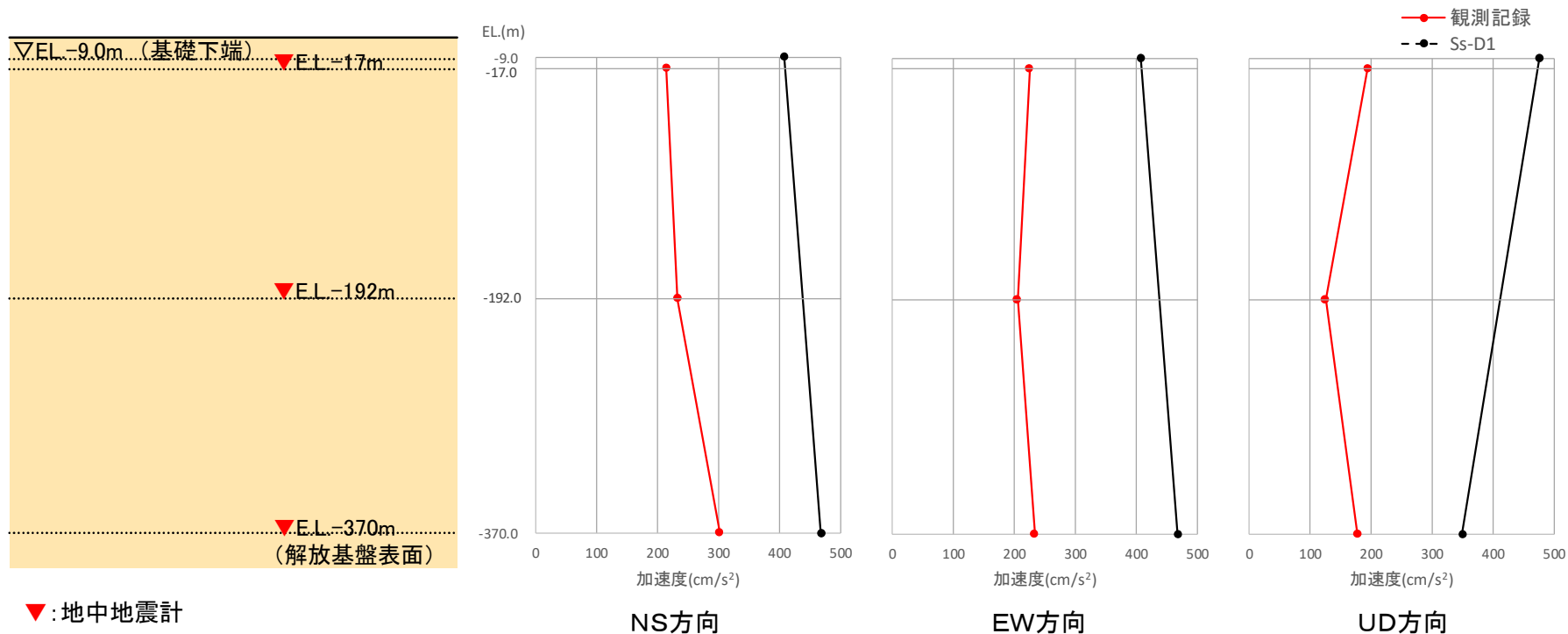
#### 【説明概要】

2011年東北地方太平洋沖地震における地中地震計の観測記録の最大加速度と、S<sub>s</sub>-D1による施設評価モデルの最大応答加速度を比較し、地中における両者の最大加速度の増幅傾向は概ね整合的であることを確認した。

# 2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録とSs-D1の最大加速度値の比較



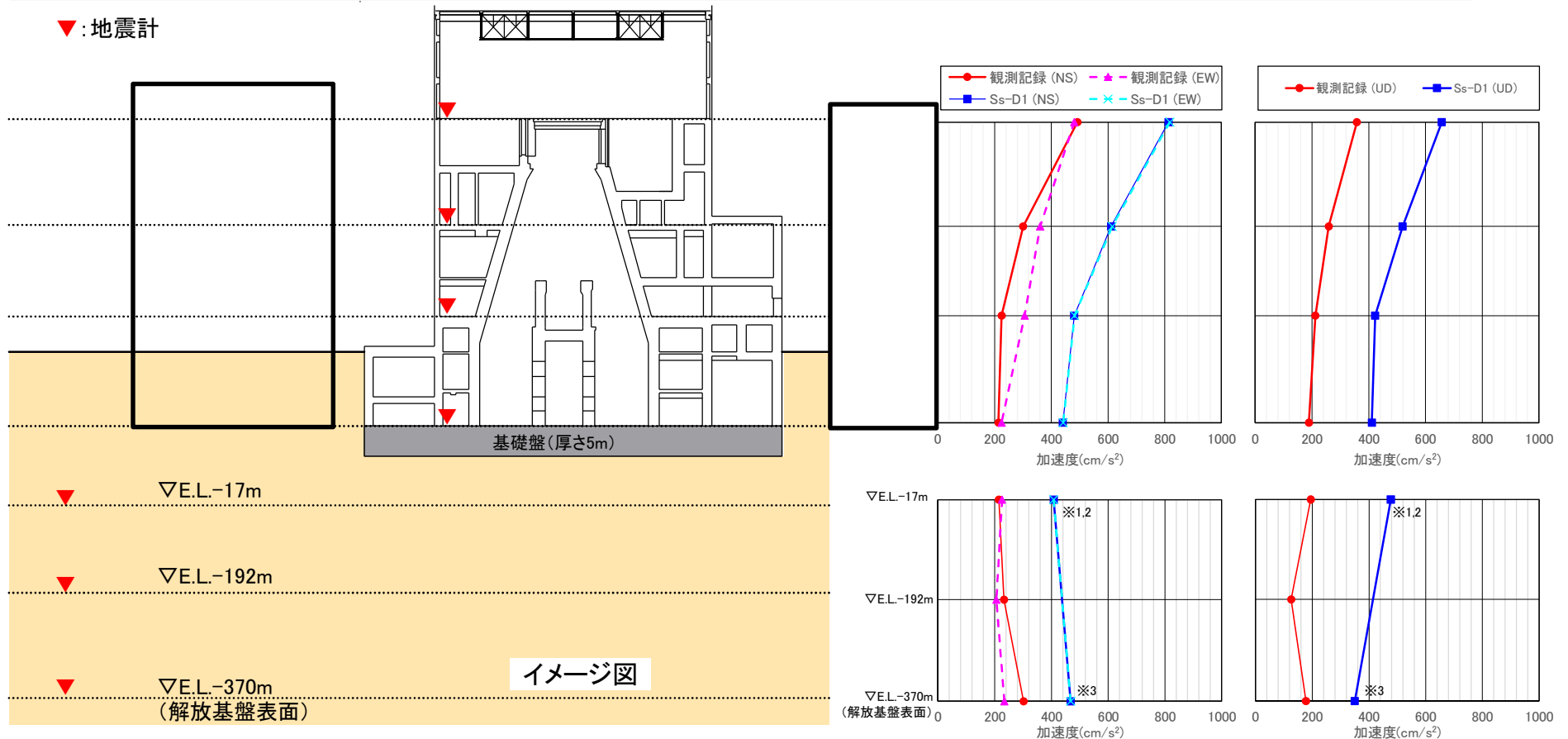
○2011年東北地方太平洋沖地震における地中地震計の観測記録の最大加速度と、Ss-D1による施設評価モデルの最大応答加速度を比較し、地中における両者の最大加速度の増幅傾向は概ね整合的であることを確認した。  
 Ss-D1は周期特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答となることから代表して比較している。  
 なお、Ss-D1以外の基準地震動Ssについても概ね同様の傾向を示している。



# 2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録とS<sub>s</sub>-D1の最大加速度値の比較



○2011年東北地方太平洋沖地震における観測記録の最大加速度と、S<sub>s</sub>-D1による施設評価モデルの最大応答加速度を比較し、地中において観測記録の最大加速度の増幅は見られないがS<sub>s</sub>-D1による上下方向の最大応答加速度の増幅が見られたこと、建屋において両者の最大加速度が同様の増幅傾向を示していることを確認した。  
S<sub>s</sub>-D1は、周期特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答となることから代表して比較している。



水平方向

上下方向

※1 E.L.-9mにおける値。

※2 UD方向については、建屋入力位置以浅の表層地盤を考慮せずに評価しているため、露頭波としての値。

※3 S<sub>s</sub>-D1を半分にした波(E)を入力し、その時の地盤応答(E+F)の値。ここで、E:上昇波、F:下降波。

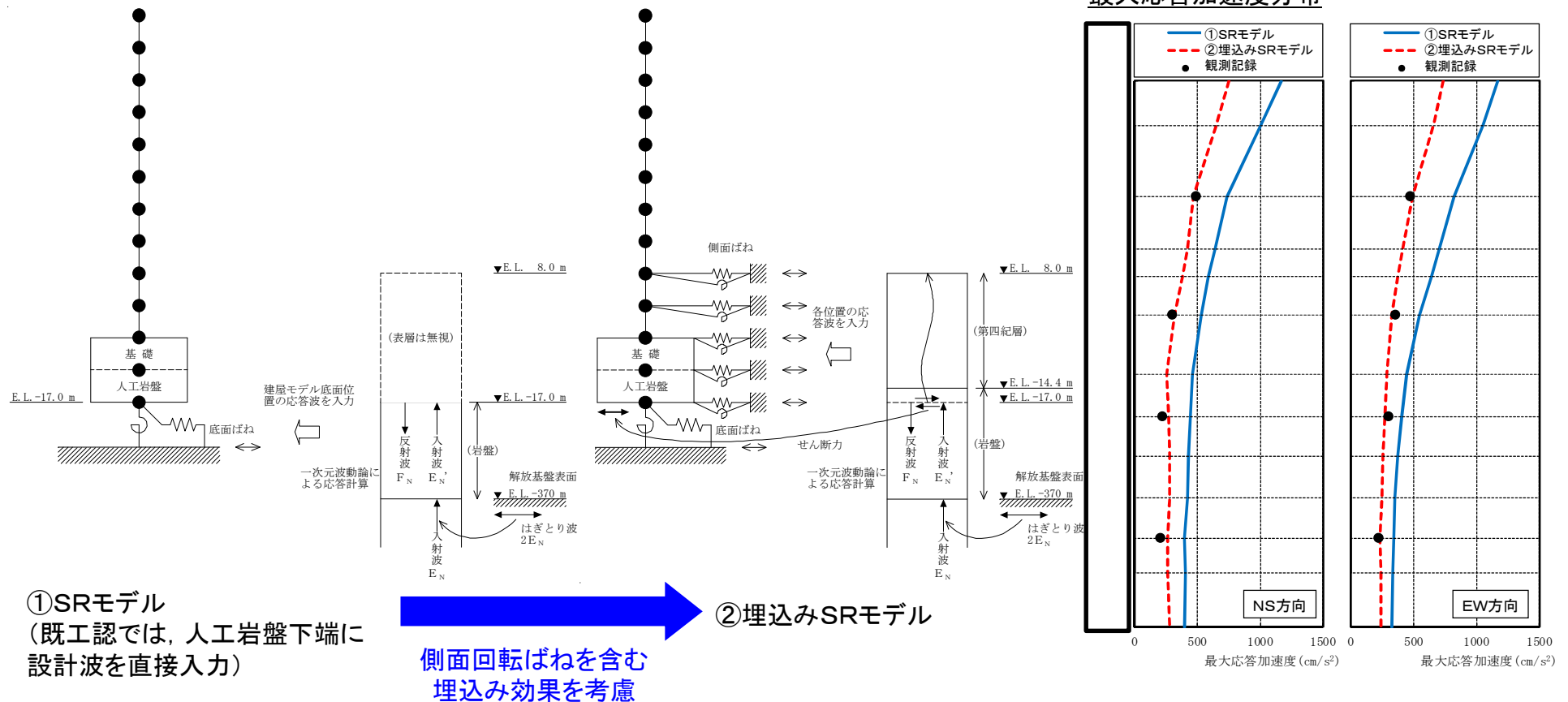
論点No.4-3

# 原子炉建屋の設計に用いる地震応答解析モデルについて(1/3)

・原子炉建屋の設計に用いる地震応答解析モデルについて、2011年東北地方太平洋沖地震のシミュレーション解析を行い、今回工認に用いる地震応答解析モデルを検討した。

- ① SRモデルに対して、側面回転ばねを含む埋込効果を考慮したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ② 埋込効果を考慮した埋込みSRモデルに対して、人工岩盤を地盤モデル側にモデル化したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ③ 人工岩盤を地盤側にモデル化した解析モデルに対して、側面回転ばねを考慮しないモデルによるシミュレーション解析を行った。

## 地震応答解析の概要



①SRモデル  
(既工認では、人工岩盤下端に設計波を直接入力)

②埋込みSRモデル

側面回転ばねを含む埋込み効果を考慮

①と②を比較した結果、側面地盤の埋込み効果を考慮した埋込みSRモデルとした場合、より実情に近い建屋の振動性状を評価できることを確認した。

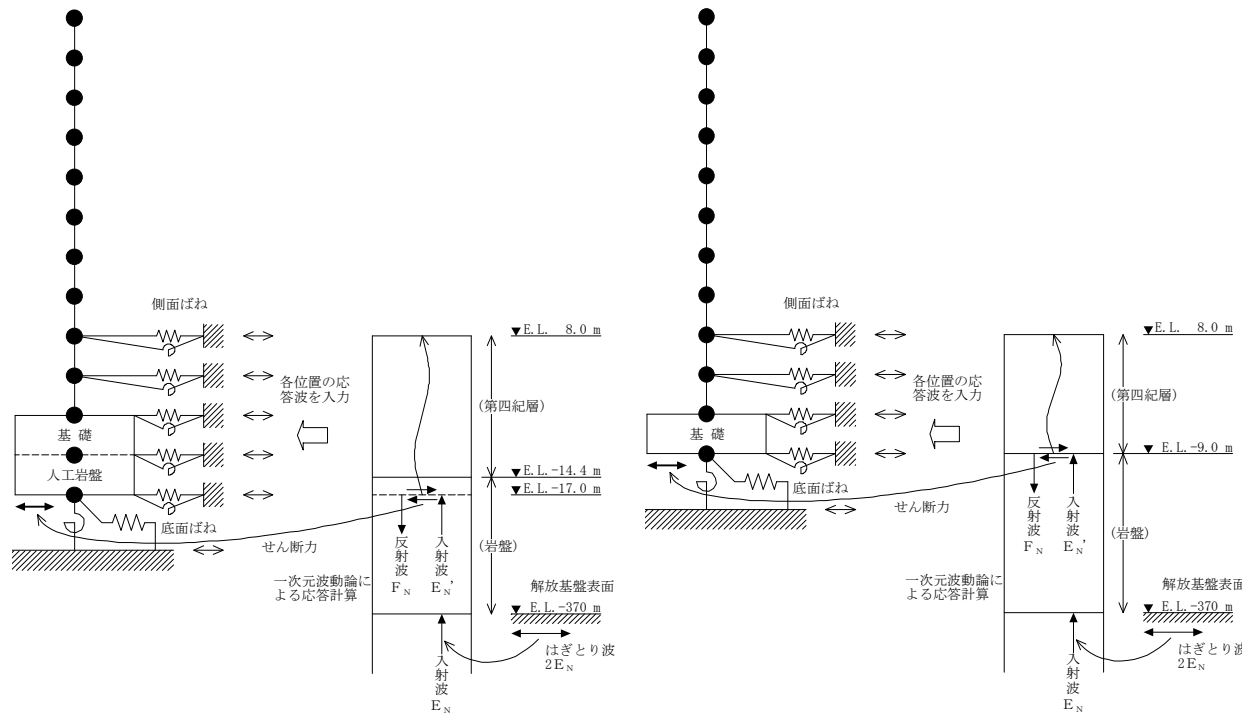
論点No.4-4

# 原子炉建屋の設計に用いる地震応答解析モデルについて(2/3)

・原子炉建屋の設計に用いる地震応答解析モデルについて、2011年東北地方太平洋沖地震のシミュレーション解析を行い、今回工認に用いる地震応答解析モデルを検討した。

- ① SRモデルに対して、側面回転ばねを含む埋込効果を考慮したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ② 埋込効果を考慮した埋込みSRモデルに対して、人工岩盤を地盤モデル側にモデル化したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ③ 人工岩盤を地盤側にモデル化した解析モデルに対して、側面回転ばねを考慮しないモデルによるシミュレーション解析を行った。

## 地震応答解析の概要

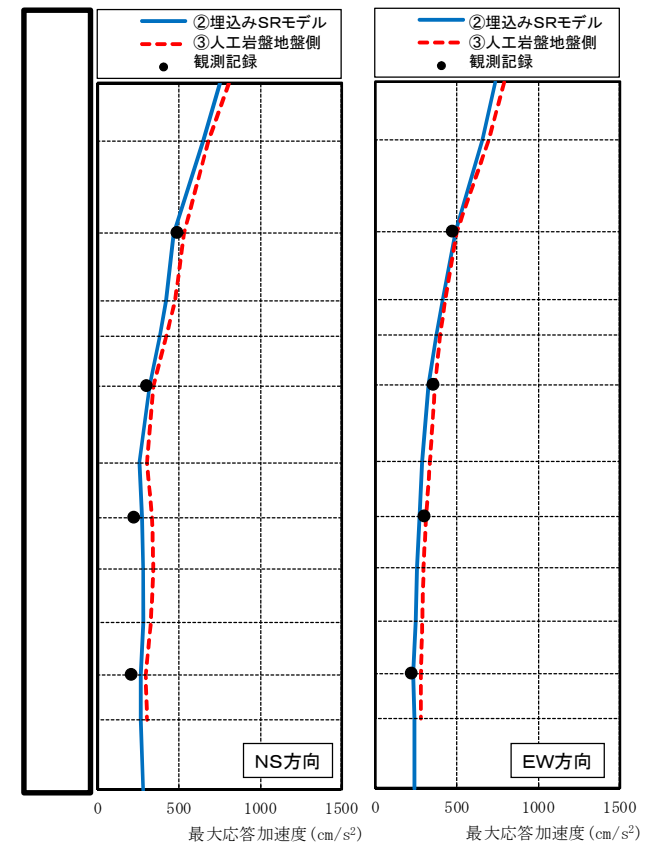


②埋込みSRモデル

人工岩盤を地盤モデル側にモデル化

③人工岩盤地盤側

## 最大応答加速度分布



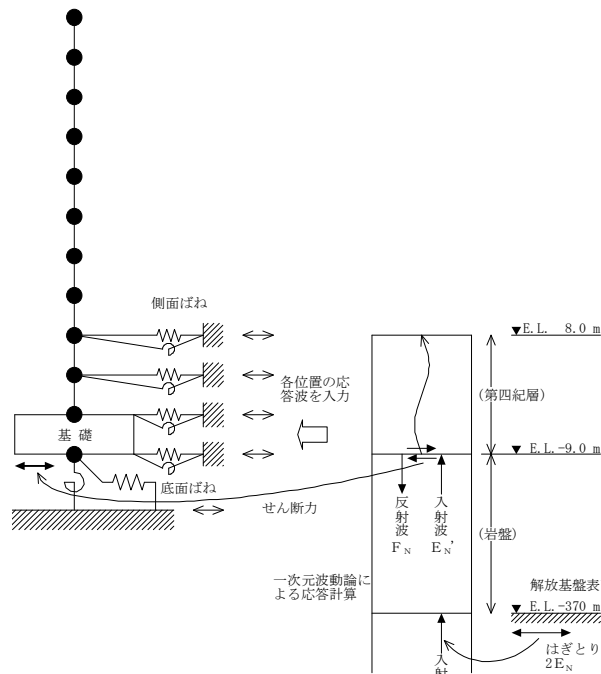
②と③を比較した結果、人工岩盤を岩盤として地盤モデル側にモデル化の方が、応答を保守側に評価することを確認した。

# 原子炉建屋の設計に用いる地震応答解析モデルについて(3/3)

・原子炉建屋の設計に用いる地震応答解析モデルについて、2011年東北地方太平洋沖地震のシミュレーション解析を行い、今回工認に用いる地震応答解析モデルを検討した。

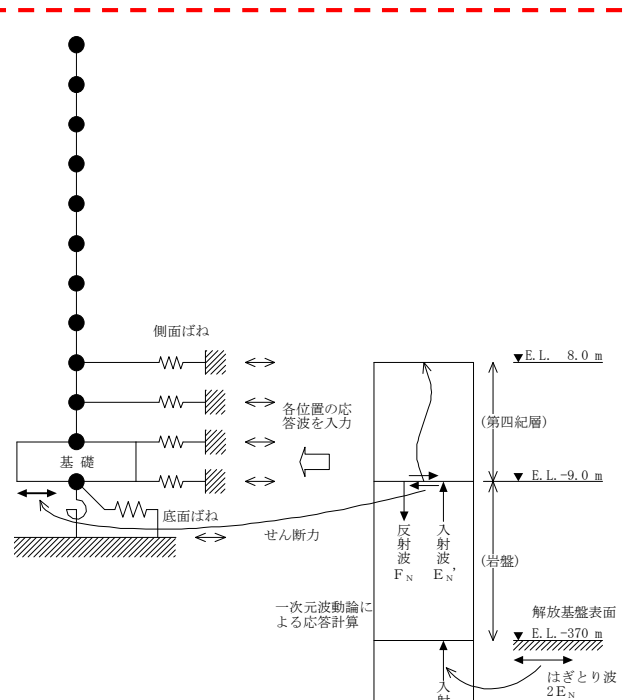
- ① SRモデルに対して、側面回転ばねを含む埋込効果を考慮したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ② 埋込効果を考慮した埋込みSRモデルに対して、人工岩盤を地盤モデル側にモデル化したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ③ 人工岩盤を地盤側にモデル化した解析モデルに対して、側面回転ばねを考慮しないモデルによるシミュレーション解析を行った。

## 地震応答解析の概要



③人工岩盤地盤側

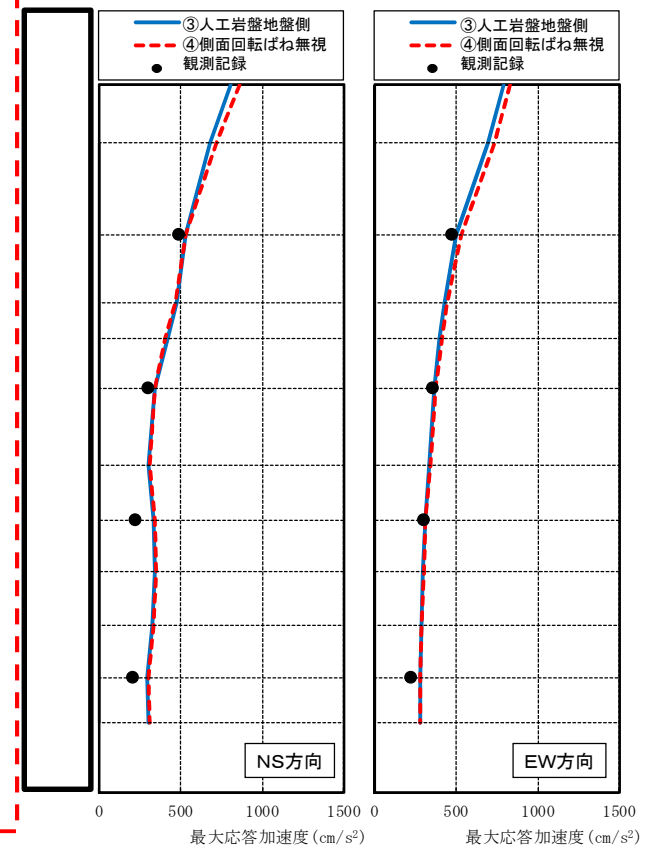
側面回転ばねを  
考慮しない場合



④側面回転ばね無視

今回工認に用いる地震応答解析モデル

## 最大応答加速度分布



③と④を比較した結果、側面回転ばねを考慮しないモデルとする方が、応答を保守側に評価することを確認した。



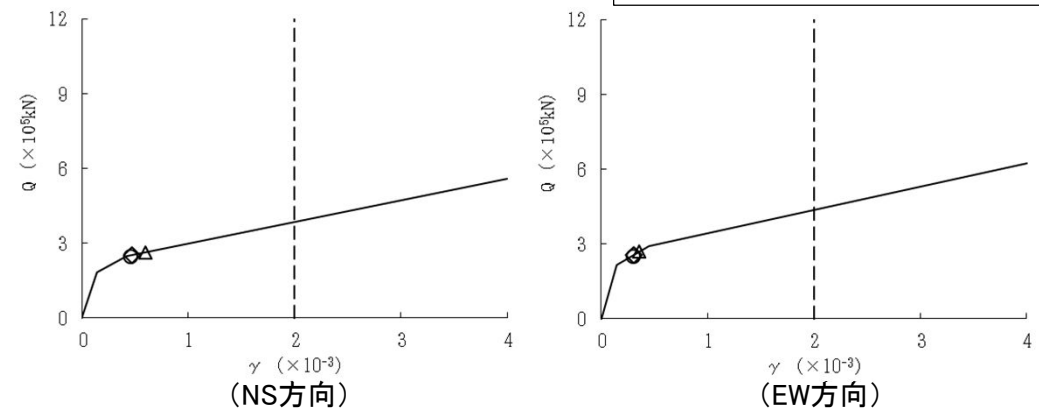
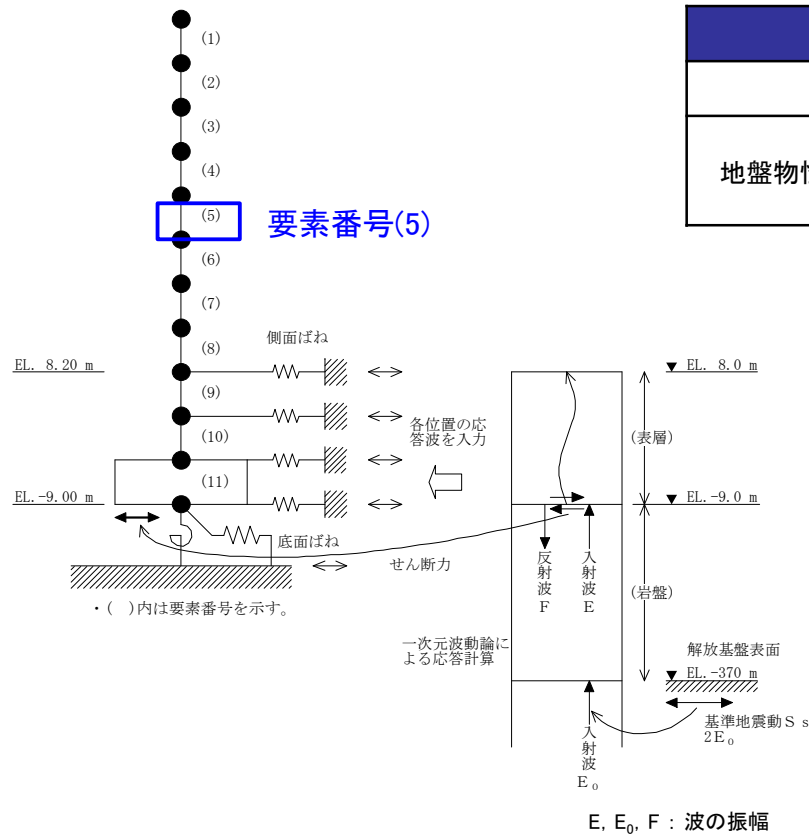
# 2011年東北地方太平洋沖地震のシミュレーション結果(1/2)

## ○ 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。
- ・地震応答解析モデルに用いる基礎底面の地盤ばねは、振動アドミタンス理論<sup>(1)</sup>に基づき設定し、建屋埋め込み部分の側面地盤ばねは、Novakの方法<sup>(2)</sup>により設定する。
- ・地盤ばねの算定に用いる地盤定数は初期地盤の物性値とひずみ依存特性から一次元波動論より求めた等価物性値とする。
- ・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 $0.60 \times 10^{-3}$ (要素番号(5)、地盤物性のばらつきを考慮(+ $\sigma$ )、NS方向、 $S_s-31$ )であり、許容限界( $2.0 \times 10^{-3}$ )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+ $\sigma$ 相当	地盤物性のばらつきを考慮(+ $\sigma$ )
	標準地盤- $\sigma$ 相当	地盤物性のばらつきを考慮(- $\sigma$ )



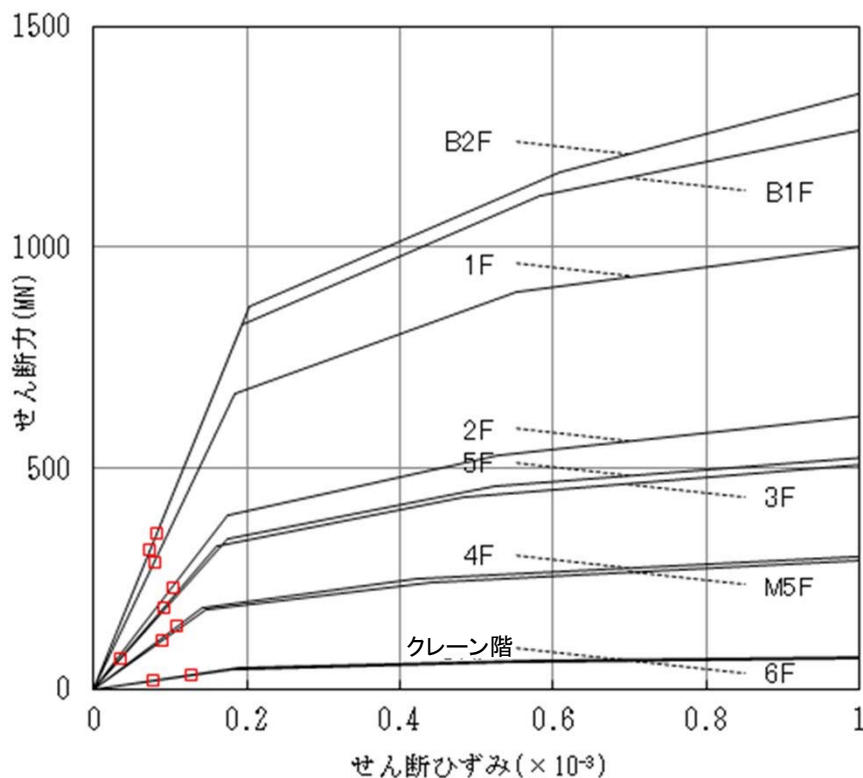
せん断スケルトン曲線上の最大応答値( $S_s-31$ , 要素番号(5))

参考文献 (1)田治見宏：耐震理論に関する基礎的研究，東京大学生産技術研究所報告，第8巻，第4号，1959年  
(2)Novak, M.et.al. : Dynamic Soil Reactions for Plane Strain Case, The Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, 1977

地震応答解析モデル及び入力地震動の概念図(水平方向)

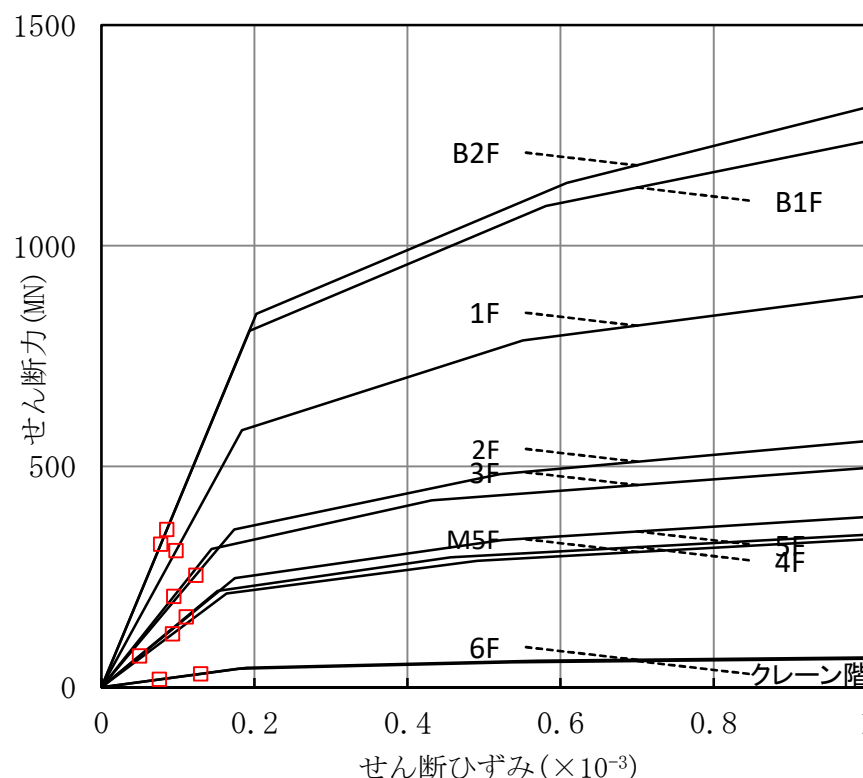
○前頁に示す原子炉建屋の地震応答解析モデルに2011年東北地方太平洋沖地震のはざとり波を入力し、影響検討を行った。

【せん断スケルトン上の最大応答値:Q-γ】



NS方向

図中凡例  
□:最大応答値(シミュレーションモデル)



EW方向

- せん断スケルトン上での最大応答値は第一折れ点より小さく、全ての階層で弾性範囲内であった。
- これは、地震に起因する特徴的なひび割れは確認されなかったとの現地調査結果とも整合している。
- 以上の結果を踏まえて、原子炉建屋の健全性が保たれていると判断した。

【論点No.4】

基準地震動 $S_s-D$ の応答解析と東日本大震災時の観測記録との比較について

【委員からの指摘事項等】

No.4

指摘事項等・県民意見に下線を記載  
対応する資料頁数等を  内に記載

基準地震動 $S_s-D$ を入力したときの地盤の応答と、平成23年3月11日の東日本大震災時の観測記録のEL-370mから上の記録とを比較したものはあるか。

P.2



東海第二発電所敷地の原地盤に係る液状化に関する考慮について

【説明概要】

1. 液状化強度試験

内容

- 道路橋示方書で液状化の検討対象とされる地層条件だけでなく、保守的に更新統(固く締まった地層)及びG.L.-20m以深の地層も液状化の検討対象とした。
- 液状化強度試験のための試料採取は、その地層の標準貫入試験のN値、細粒分含有量 $F_c$ 及び道路橋示方書式から算定される液状化強度比 $R_L$ のデータを吟味して、保守的な液状化強度データが得られると想定される個所で行った。
- 各地層の液状化強度特性は、試験データのばらつきを考慮して平均値より $1\sigma$ ( $\sigma$ :標準偏差)低減した液状化強度特性を設定した。

結果

- 以上のように設定した原地盤の液状化強度特性を用いて、2次元FEMにより地盤をモデル化した有効応力解析を実施し、各層の過剰間隙水圧を確認した結果、基準地震動発生時においても原地盤は液状化しないことを確認した。

【説明概要】

2. 耐震評価

内容

- 重要構造物の耐震性評価においては、原地盤の液状化強度特性による有効応力解析に基づく耐震性評価を実施するとともに、さらなる保守的な配慮として、豊浦標準砂\*1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した有効応力解析による検討を追加で行う設計方針とした。

(注記 \*1:豊浦標準砂とは、敷地に存在しない粒径が均一で細粒分含有率が小さく液状化し易い性質があり、土質実験等で多用されるものである。)

結果

- 上記の設計方針に基づき、施設毎の液状化影響検討の組合せを決定し、基準地震動 $S_s$ に対する耐震健全性を確認した。

3. 取水構造物 東北地方太平洋沖地震後の状況

- 取水構造物の西側(津波の到達無し)の沈下箇所において、噴砂跡、地中埋設物の浮き上がりは認められなかった。
- 沈下は取水構造物近傍の埋戻し部で局所的に発生しており、敷地内においては液状化時の痕跡とされる噴砂や地中埋設物の浮き上がり等は認められなかった。



## 1-1. 液状化強度試験 内容(1/3)

### 敷地内の液状化検討対象土層の抽出方針

- ① 道路橋示方書・同解説(V耐震設計編, 平成24年3月, 社団法人 日本道路協会)の液状化検討対象土層を基本とする。
  - ・ 地下水位が地表面から-10m以内であり, かつ地表面から-20m以内の飽和土層
  - ・ 細粒分含有率 $F_c$ が35%以下, 又は $F_c$ が35%を超えても塑性指数 $I_p$ が15以下の土層
  - ・ 土粒子の平均粒径 $D_{50}$ が10mm以下で, かつ10%粒径 $D_{10}$ が1mm以下である土層
- ② 道路橋示方書では液状化検討対象外としているが、保守的に地表面-20m以深及び更新統土層も液状化検討対象土層とする。

液状化検討対象層の抽出結果

地質記号	層相	道路橋示方書における液状化検討対象層	当社の液状化検討対象層	備考	
al	du	砂	○		
	Ag2	砂礫	○		
	Ac	粘土	—		
	As	砂	○		
	Ag1	砂礫	—	□	・ GL-20m以深に分布するが、保守的に検討対象とする。
D2	D2c-3	シルト	—	—	
	D2s-3	砂	—	□	・ 更新統であるが保守的に検討対象とする。
	D2g-3	砂礫	—	□	・ 更新統であるが保守的に検討対象とする。
D1	lm	ローム	—	—	
	D1c-1	シルト	—	—	
	D1g-1	砂礫	—	□	・ 更新統であるが保守的に検討対象とする。

#### 地質記号

al: 沖積層、最上位の砂層は敷地全体に広く分布する。  
 D2: 段丘堆積物、敷地南部に分布する。  
 D1: 段丘堆積物、敷地南西部に分布する。

○: 検討対象

□: 道路橋示方書では検討対象外であるが検討対象とするもの

—: 検討対象外

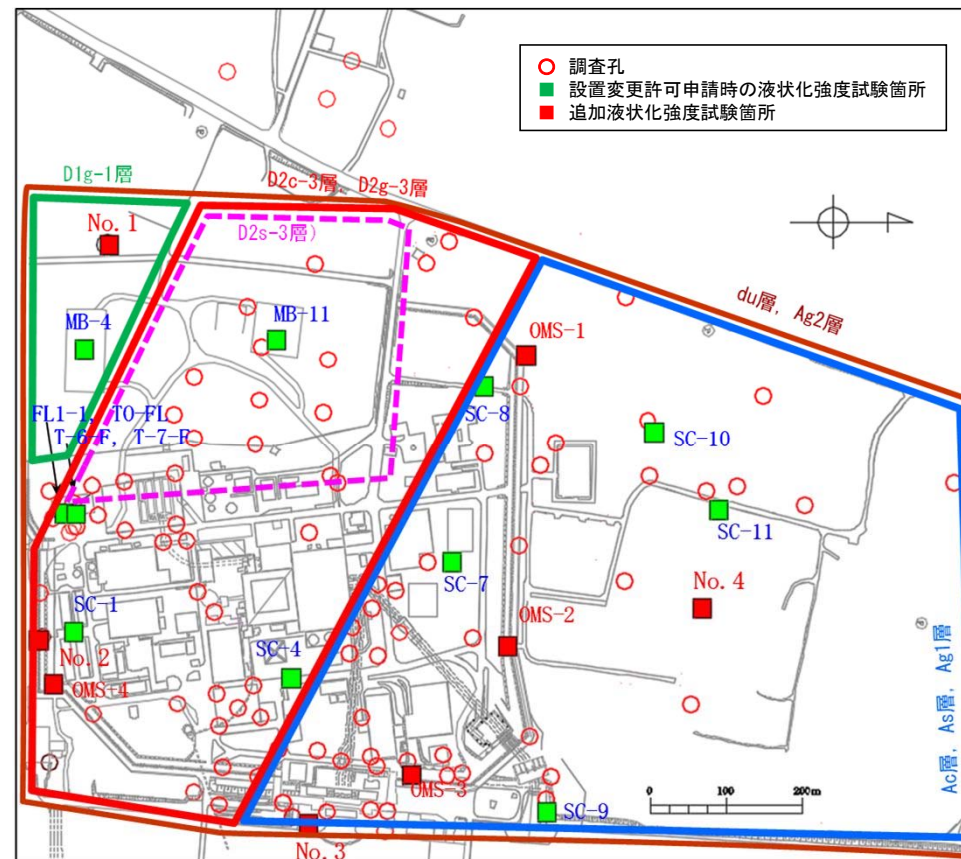
□ (pink border): 東海第二発電所敷地での液状化検討対象土層とするもの

↑  
敷地に分布する地層名

論点No.5-3

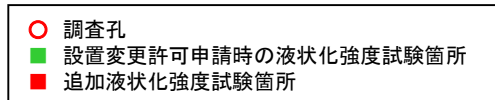
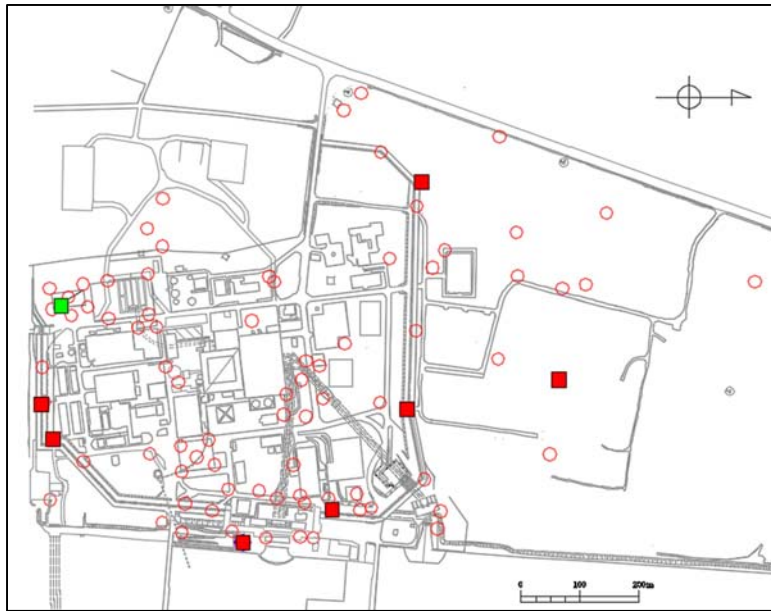
## 1-1. 液状化強度試験 内容(2/3)

液状化強度試験のための試料採取は、その地層の標準貫入試験のN値、細粒分含有量 $F_c$ 及び道路橋示方書式から算定される液状化強度比 $R_L$ のデータを吟味して、保守的な液状化強度データが得られると想定される個所で行った。次頁に液状化強度試験試料採取位置の代表性確認方法を示す。

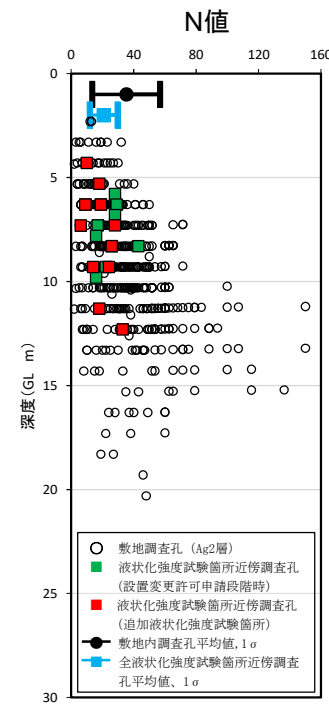


液状化検討対象層の分布範囲及び敷地内調査孔、液状化強度試験試料採取箇所

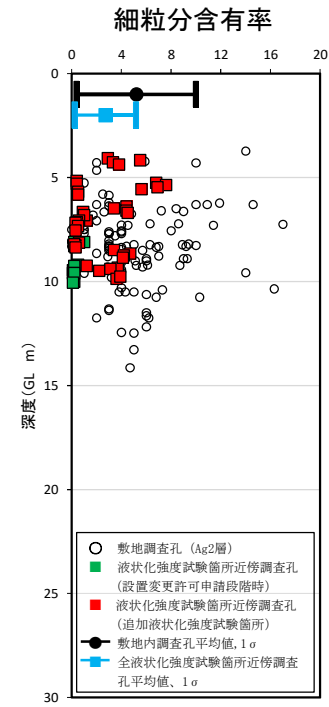
# 1-1. 液状化強度試験 内容(3/3)



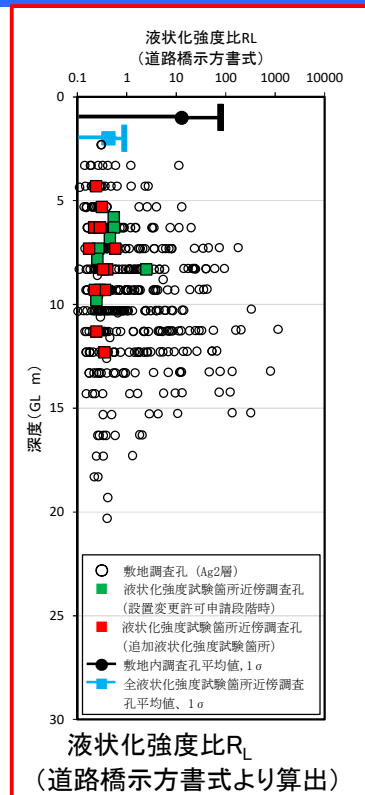
調査孔と液状化強度試験箇所 (Ag2層)



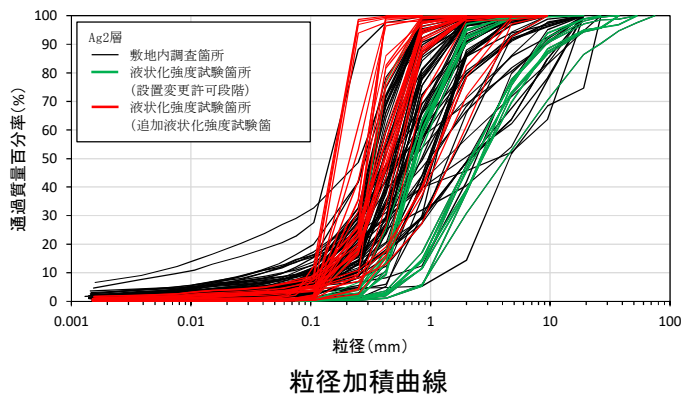
N値



細粒分含有率



液状化強度比 $R_L$   
(道路橋示方書式より算出)



粒径加積曲線

- ・ N値は地層の強度を示すものであり、N値が小さいほど締まっていない地盤(液状化し易い地盤)と解釈する。
- ・ 細粒分含有率は地層の粘土・シルト分の含有率を示すものであり、この値が小さいほど液状化し易い地層と解釈する。
- ・ 道路橋示方書の液状化強度比(液状化に対する抵抗力)算定式は、上記のN値や細粒分含有率を使って算定するものである

- ・ 液状化強度試験箇所近傍孔の平均N値は、**敷地内調査孔の平均N値より小さい。**
- ・ 液状化強度試験箇所の平均細粒分含有率 $F_c$ は、**敷地内調査孔の平均 $F_c$ 値より小さい。**
- ・ 液状化強度試験箇所の粒度分布は、敷地内調査孔の試験結果の範囲内である。

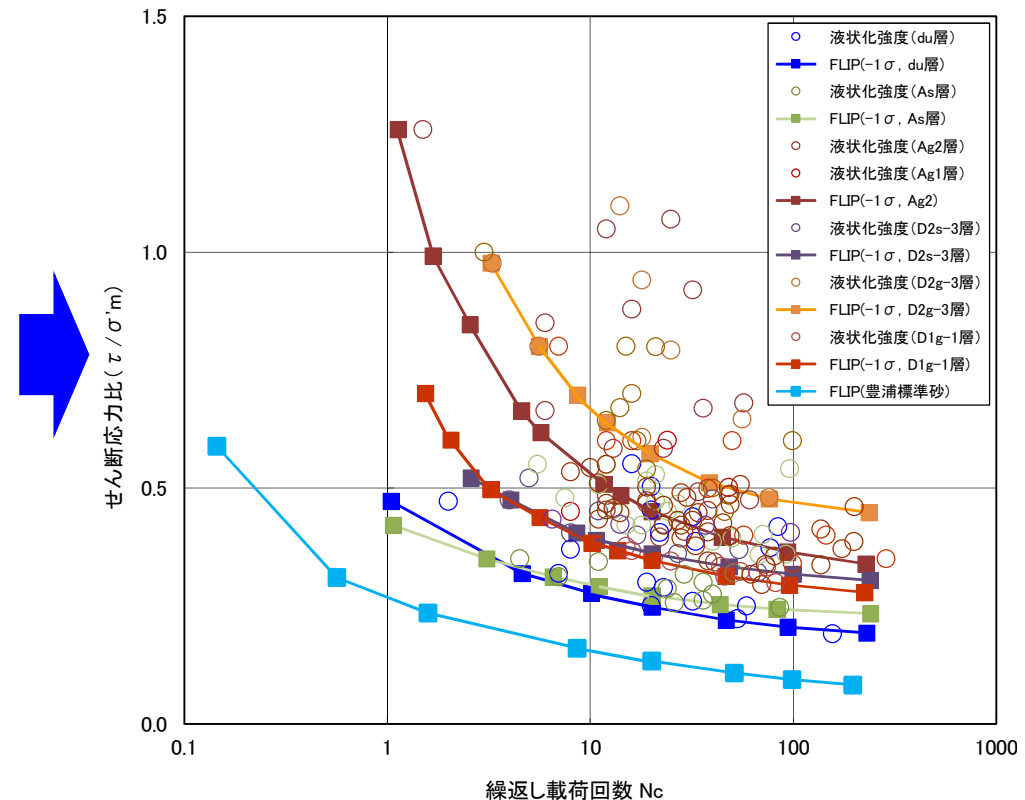
✓液状化強度比 $R_L$ の比較により、  
**液状化強度試験箇所近傍孔平均 $R_L <$  敷地内調査孔平均 $R_L$ を確認した。**

## 1-2. 液状化強度試験 結果(1/2)

- 原地盤から乱れが少ないサンプリング方法で採取した試料を用いて液状化強度試験を実施。
- 各土層の液状化強度試験結果からデータのばらつきを考慮して、平均液状化強度特性を1 $\sigma$  ( $\sigma$ :標準偏差)低減し、原地盤の液状化強度特性を設定した。
- 液状化強度試験の結果、各地層の液状化強度特性は、敷地には存在しない最も液状化しやすい豊浦標準砂の液状化強度特性を全て上回ることを確認した。



液状化強度試験状況  
(中空繰返しねじりせん断試験)



原地盤の液状化検討対象土層及び豊浦標準砂の液状化強度特性

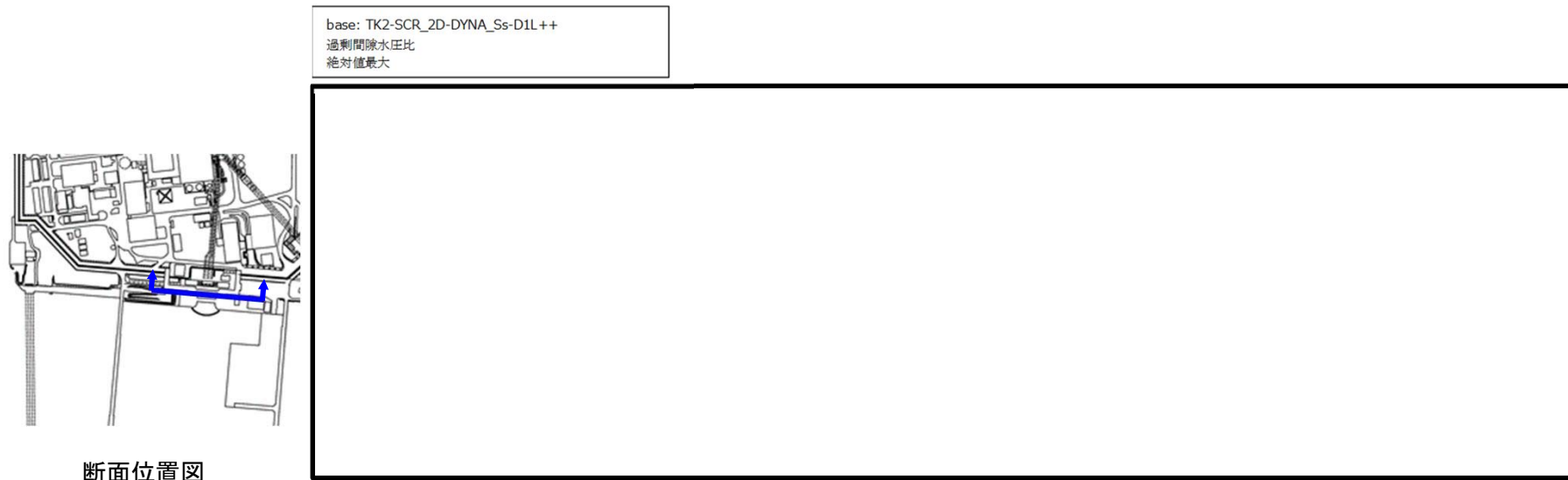
注) FLIP (Finite element analysis of Liquefaction Program)  
液状化による地盤や構造物の挙動を評価するプログラム

論点No.5-6



### 東海第二発電所の原地盤の状態と保守的な解析条件について

- ① 液状化強度試験データに基づき、各地層の平均液状化強度特性を $1\sigma$ 低減( $\sigma$ :標準偏差))し、液状化強度特性を設定した。
- ② 上記の設定した液状化強度特性により液状化の影響を考慮した解析(有効応力解析)を実施することで、重要施設の周辺地盤に対し基準地震動 $S_s$ を入力した場合の地震時応答(液状化の状況)を確認した。



取水構造物周辺地盤の過剰間隙水圧比分布( $S_s-D1$ )

⇒有効応力解析の結果、地盤の過剰間隙水圧比が95%<sup>注)</sup>を下回ることから、液状化の発生は認められないことを確認した。

注)【過剰間隙水圧比を指標とした液状化の評価】  
規格・基準における記載事例等に基づき、過剰間隙水圧比が95%以上に達した状態を液状化と判定する。

## 2. 耐震評価(1/2)

主要構造物における液状化影響を踏まえた耐震性評価の最大照査値は、1を下回り、安全であることを確認した。

なお、評価においては、許容値に安全裕度(安全率  $\alpha(> 1)$ )を見込んだ設計を行っている。さらに安全側の評価となるよう、敷地には存在しない液状化しやすい豊浦標準砂の液状化強度特性を用いた設計も行っている。

設備分類	設備名称 【間接支持している設備名称】	支持層	周辺地盤の地層のうち、液状化検討対象層	液状化の影響検討		液状化影響検討に対応した補強対策工	耐震評価結果	
				要	不要		最大照査値	評価
対設計 施設 基準 設計	使用済燃料乾式貯蔵建屋	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層	●	—	—	0.996	OK
	防潮堤(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)	久米層	du層, Ag2層, As層, Ag1層, D2s-3層, D2g-3層, D1g-1層	●	—	地盤改良	0.67	OK
	防潮堤(鋼製防護壁)	久米層	du層, Ag2層, As層, Ag1層	●	—	—	0.97	OK
	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁)	久米層	du層, Ag2層, As層, Ag1層	●	—	—	0.82	OK
	防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁(放水路エリア))	久米層	du層, Ag2層, As層, Ag1層	●	—	—	0.76	OK
設計 基準 等 対 施設 基準 設計	原子炉建屋	久米層	無し※1	—	●	—	0.300	OK
	取水構造物	久米層	du層, Ag2層, As層, Ag1層	●	—	地盤改良, 後施工せん断補強筋 (PHb)	0.695	OK
	主排気筒 【非常用ガス処理系排気筒】	久米層	無し(第四系全てを地盤改良)	●	—	地盤改良	0.915	OK
	非常用ガス処理系配管支持架構 【非常用ガス処理系配管】	久米層	無し(第四系全てを地盤改良)	●	—	地盤改良	0.497	OK
	屋外二重管 【残留熱除去系海水系配管等】	久米層	du層, Ag2層, As層, Ag1層	●	—	地盤改良	0.72	OK
	貯留堰	久米層	du層, Ag2層, As層, Ag1層	●	—	地盤改良	0.77	OK
	常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備 【常設代替高圧電源装置, 軽油貯蔵タンク等】	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層	●	—	—	0.73	OK
	常設代替高圧電源装置用カルバート(トンネル部) 【非常用ディーゼル発電装置燃料油系配管等】	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層, D2s-3層	●	—	—	0.65	OK
	常設代替高圧電源装置用カルバート(立坑部) 【非常用ディーゼル発電装置燃料油系配管等】	久米層	du層, Ag2層, As層, Ag1層, D2g-3層, D2s-3層	●	—	地盤改良	0.70	OK
	常設代替高圧電源装置用カルバート(カルバート部) 【非常用ディーゼル発電装置燃料油系配管等】	久米層	du層, Ag2層, As層, Ag1層, D2g-3層	●	—	地盤改良	0.69	OK
重大 事故 等 対 施設 基準 設計	緊急時対策所建屋	久米層	du層, D2s-3層, D2g-3層	●	—	地盤改良	0.629	OK
	緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎 【緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク】	久米層	du層, D2s-3層, D2g-3層	●	—	地盤改良	0.70	OK
	緊急用海水ポンプビット	久米層	du層, Ag2層, Ag1層, D2g-3層	●	—	—	0.93	OK
	緊急用海水取水管	久米層	du層, Ag2層, As層, Ag1層, D2g-3層, D2s-3層	●	—	—	0.14	OK
	S A用海水ビット	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層	●	—	—	0.98	OK
	海水引込み管	久米層	du層, Ag2層, Ag1層, D2g-3層, D2s-3層	●	—	—	0.15	OK
	S A用海水ビット取水塔	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層	●	—	—	0.81	OK
	格納容器圧力逃がし装置格納槽 【格納容器圧力逃がし装置等】	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層	●	—	—	0.557	OK
	格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート 【格納容器圧力逃がし装置用配管】	久米層	du層, D2g-3層	●	—	—	0.84	OK
	代替淡水貯槽	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層	●	—	—	0.83	OK
	常設低圧代替注水系ポンプ室 【常設低圧代替注水系ポンプ】	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層	●	—	—	0.74	OK
	常設低圧代替注水系配管カルバート 【常設低圧代替注水系配管】	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層	●	—	—	0.76	OK
	可搬型設備用軽油タンク基礎(西側) 【可搬型設備用軽油タンク】	久米層	du層, D2s-3層, D2g-3層	●	—	地盤改良	南側で代表	OK
可搬型設備用軽油タンク基礎(南側) 【可搬型設備用軽油タンク】	久米層	du層, D1g-1層	●	—	地盤改良	0.76	OK	

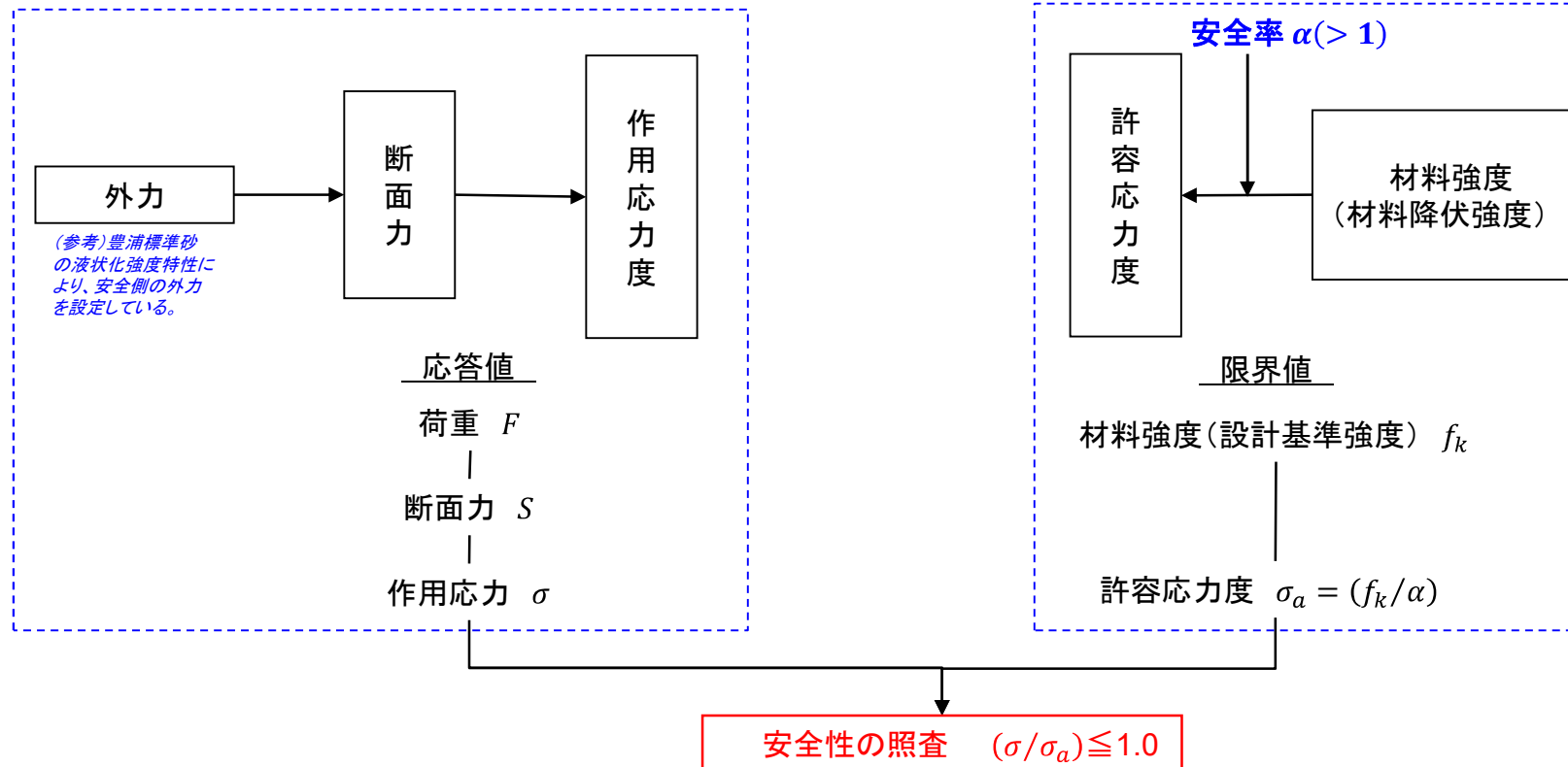
※1: 排水設備により、地下水位を久米層分布深度以深としていることから、地下水位以深に液状化検討対象層はない。



## 2. 耐震評価(2/2)

設計は許容応力度設計法を適用している。

### 【許容応力度設計及び照査法】



- ・許容応力度設計法は、構造物の破壊に対する安全性の保証として、線形弾性理論に基づいている。
- ・照査値  $(\sigma / \sigma_a) \leq 1.0$  は、材料(部材)の挙動が可逆性を有する、材料(部材)の耐力を低下させる変位に至らないことである。



主要構造物の原地盤の液状化による耐震性評価(照査)結果は、 $(\sigma / \sigma_a) \leq 1.0$  を満たしており、なお敷地には存在しない、かつ最も液状化しやすい豊浦標準砂の液状化強度特性を適用していることから十分な裕度を有すると判断できる。

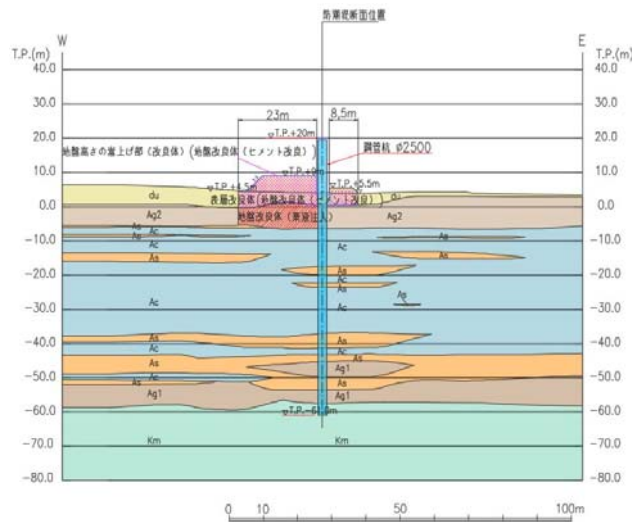
## 2. 耐震評価(参考)

○ 津波防護施設の耐震性評価結果の一例として、鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の照査結果を示す。

- 条件： ①地下水位を地表面に設定した。  
②原地盤の液状化強度試験データに基づき適切に設定(平均値より1σ(σ:標準偏差)低減)した液状化強度特性に加え、液状化の発生は認められないことを確認しているが、保守的に地盤を強制的に液状化させることを仮定した評価を実施した。

確認内容： 液状化の影響を考慮した解析を実施し、地震時における構造部材の健全性を確認する。

解析結果： 鋼管杭のせん断、曲げの照査値(発生応力度/短期許容応力度)は1.0を下回り、防潮壁が構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認した。



地震応答解析対象断面図

鋼管杭のせん断力照査における最大照査値

鋼管杭仕様			発生断面力	発生応力度 $\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_s / \tau_{sa}$	解析ケース
杭径 (mm)	板厚 (mm)	断面積 (m <sup>2</sup> )	せん断力 (kN)				
2500	35	0.263	9265	71	217.5	0.33	④S <sub>s</sub> -D1

鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値

鋼管杭仕様				発生断面力		発生応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa1}$	解析ケース
杭径 (mm)	板厚 (mm)	断面積 (m <sup>2</sup> )	断面係数 (m <sup>3</sup> )	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)				
2500	35	0.263	0.15995	34955	9015	253	382.5	0.67	②S <sub>s</sub> -D1

※ 照査値=発生応力/短期許容応力度  
(1.0以下であれば許容限界以下(弾性範囲内)でOK)

### 3. 取水構造物 地震後の状況(1/2)

#### 【取水構造物 地震後の状況】

沈下は取水構造物近傍の埋戻し個所で局所的に発生しており、敷地内においては液状化時の痕跡とされる噴砂や地中埋設物の浮き上がりは認められなかった。

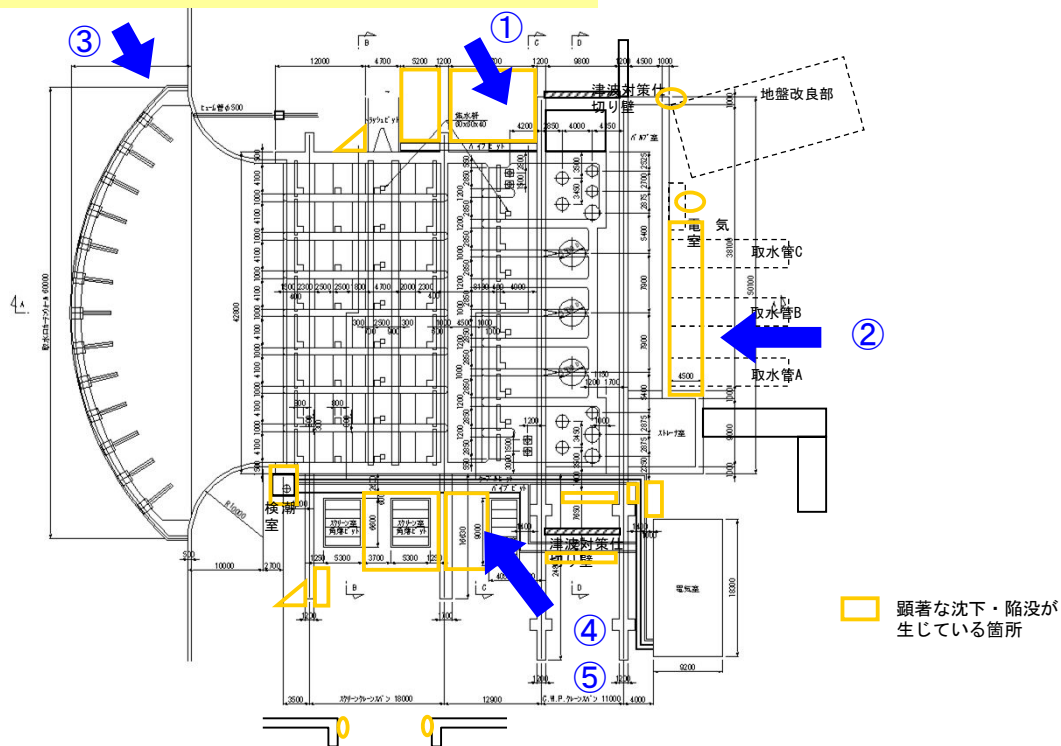
したがって、東北地方太平洋沖地震において、東海第二発電所の敷地内で液状化が発生した可能性は小さいと考えられる。

(参考)

	平成23年3月の評価	平成29年1月の評価
揺すり込み沈下	緩い埋戻土の揺すり込み沈下	同左
液状化	液状化による噴砂跡は確認されないものの、津波が達していたことから、津波により液状化による噴砂跡の消失の可能性を考慮。 ⇒土木学会にて噴砂跡の消失の可能性も考え、液状化(地盤沈下)を報告(平成24年2月)	<ul style="list-style-type: none"> <li>津波が到達した範囲において、地盤沈下(次項写真①, ②, ④)、構造物の変形等(写真③, ⑤)が確認された。</li> <li>津波の到達がない取水構造物西側の沈下箇所において、噴砂跡、地中埋設物の浮き上がりは認められない。(次項写真②)</li> <li>取水構造物の北側、南側も上記と同様の施工で埋め戻されている。</li> <li>基準地震動Ssによる解析評価結果においても、取水構造物周りの地盤に液状化は確認されなかった(7p)</li> <li>以上より、液状化の可能性は小さいと考えられる。</li> </ul>
洗掘・吸出し	津波(引き波)による埋戻土の洗掘・吸出し	同左

### 3. 取水構造物 地震後の状況(2/2)

#### 構築物の外観点検の結果



写真①: 地盤の沈下状況(取水口エリア)



写真②: 地盤の沈下状況(循環水配管埋設エリア)



写真③: 躯体の変形



写真④: 地盤の沈下状況(取水口エリア)



写真⑤: 地盤沈下に伴う段差の発生(取水口エリア)

論点No.5-12

【論点No.5】

東海第二発電所敷地の原地盤に係る液状化に関する考慮について

【委員からの指摘事項等】

No.5

原地盤は液状化しないとのことだが、この根拠を具体的に示すこと。これは試験を行ったのか。

No.6

取水口エリアで地盤が下がっているというようなものがあるが、これは前に液状化の影響みたいな報告があったと聞いているが、現象としてはどういうことか。

指摘事項等・県民意見に下線を記載  
対応する資料頁数等を  内に記載

P.3~10

P.11,12



【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

No.1111

・地盤の液状化について想定で設計するのではなく、実験などでの評価を踏まえて設計すべきと思う。

No.1149

P.3~10

2. 地盤の悪さと津波対策としての防潮堤(壁)

東海第二原発の問題点のひとつは、地盤が悪く、津波の影響を受けやすい太平洋に面していて海拔も低い敷地で、今後建設するという海拔20m(敷地高8mを引くと地上12m高さ)の「防潮堤(壁, といった方が適切)」の建設でも、最大60mの深さまで鋼管杭を入れながら、その液状化が問題となるというほどの地盤の問題です。

P.7

3.11の際、敷地内の液状化も見られたようだし、そもそも地盤自体が20cm沈降し、水平には1.2mも移動したわけですし、原発建屋本体は地下深くに構築したコンクリートの人工岩盤の上に載っていて、一種の浮かんでいる状態で持ちこたえているのかもしれない。

しかし、今回の防潮堤(壁)建設は、本当に液状化に耐えられるのかどうか、一部でも損壊または機能を喪失したら、そもそも津波に弱い東海第二原発そのものがやられるというリスクをもつのではないのでしょうか。浜岡原発では22mの防潮堤をすでに建設していますが、あの屏風のような壁でも、海岸線からは離れたところに位置していて、その間に海岸砂丘のような波よけが自然に出来ているのとは違って、東海第二は前面に小規模な港湾があるものの、そこから取水していることを含めて、港の防波堤を超えて直接ぶち当たる津波を受け止める防潮堤(壁)としては、極めて危険な位置関係にあります。



### 地震動のエネルギースペクトル等に関する耐震設計上の考慮について

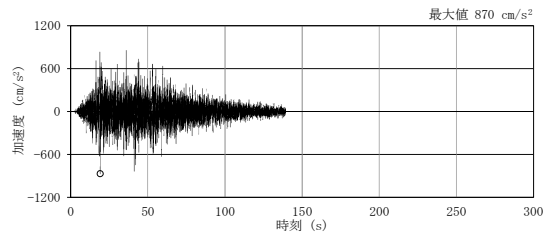
#### 【説明概要】

- ・建屋の耐震評価では、複数の手法に基づいて策定された基準地震動 $S_s$ を用いて地震応答解析を実施することにより、地震動の継続時間の違いによる影響を考慮している。
- ・機器・配管系評価において、地震により繰返し受ける荷重に対して評価を行い、耐震健全性を確認している。

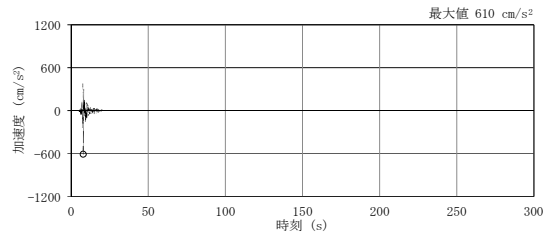
# 耐震設計上の考慮について 建屋

## 地震動の波形や継続時間に関する建屋の地震応答解析結果の比較

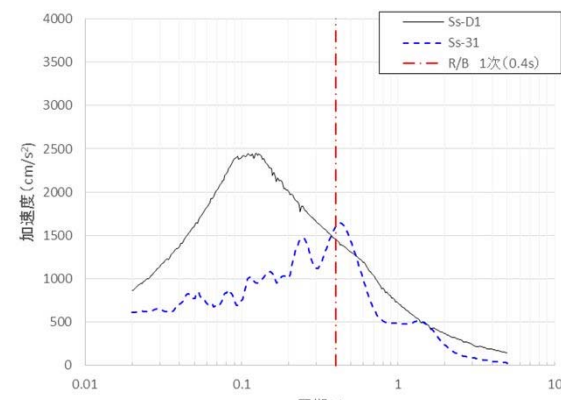
- ・建屋の耐震評価では、複数の手法に基づいて策定された基準地震動Ssを用いて地震応答解析を実施することにより、地震動の継続時間の違いによる影響を考慮している。
- ・原子炉建屋の地震応答解析結果を以下に示す。最大応答値は、建屋全体の応答を把握できるように最下層、中間層及び最上層の3箇所を抽出した。
- ・建屋の耐震評価に用いた基準地震動Ss(8波)のうち、継続時間の長いSs-D1と継続時間の短いSs-31による応答を比較した結果、Ss-31による応答値が大きくなっており、地震動の継続時間による影響よりも建屋の固有周期に関する地震動の周期特性による影響が大きくなっている。



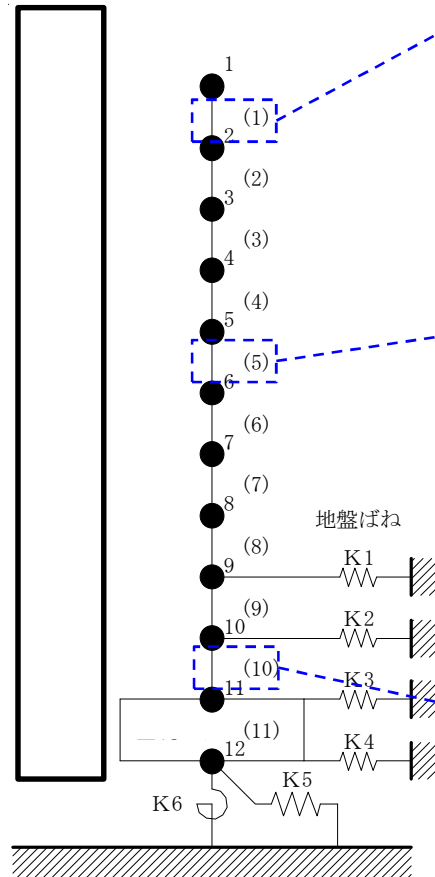
加速度時刻歴波形 (Ss-D1)



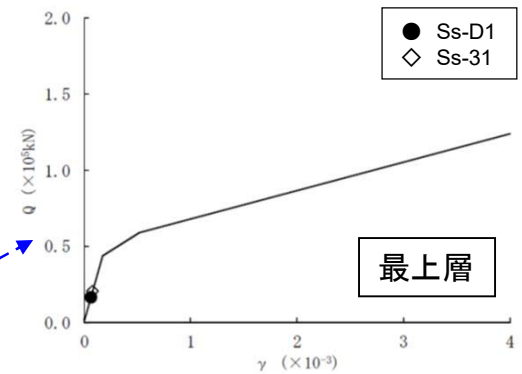
加速度時刻歴波形 (Ss-31)



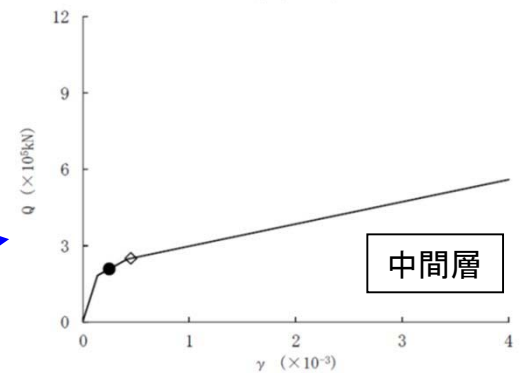
加速度応答スペクトル



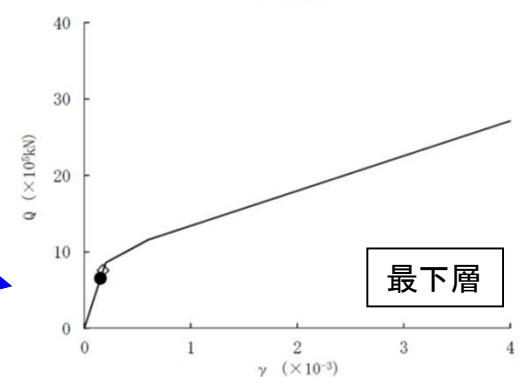
地震応答解析モデル  
論点No.6-2



最上層



中間層



最下層

せん断スケルトンカーブ※上の最大応答値

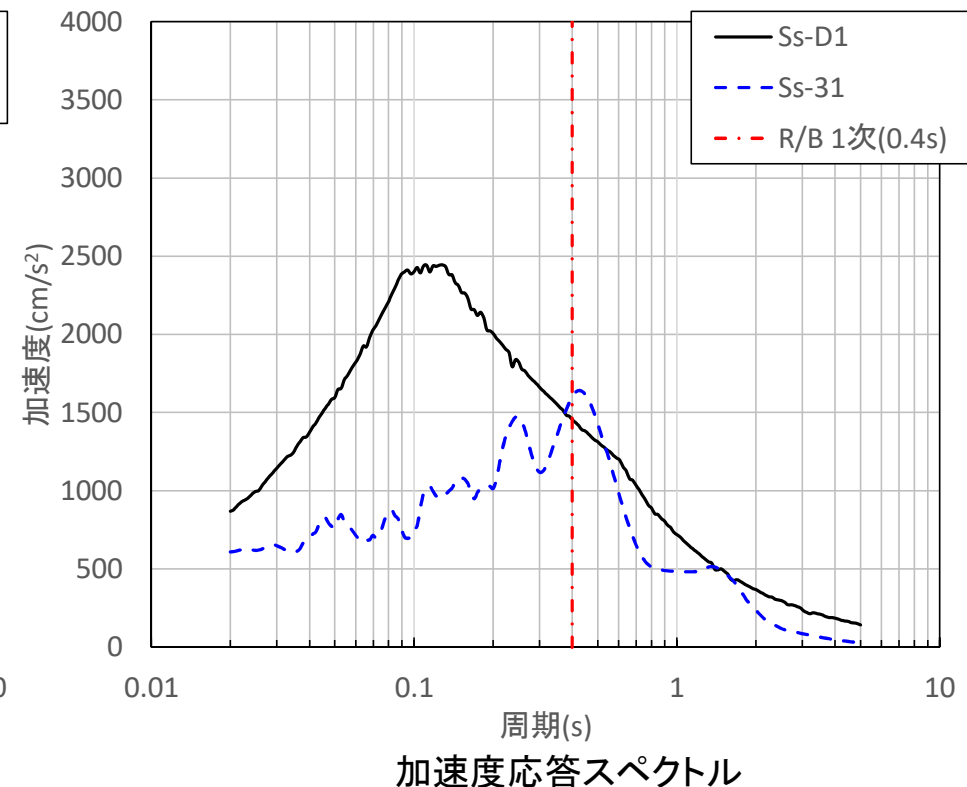
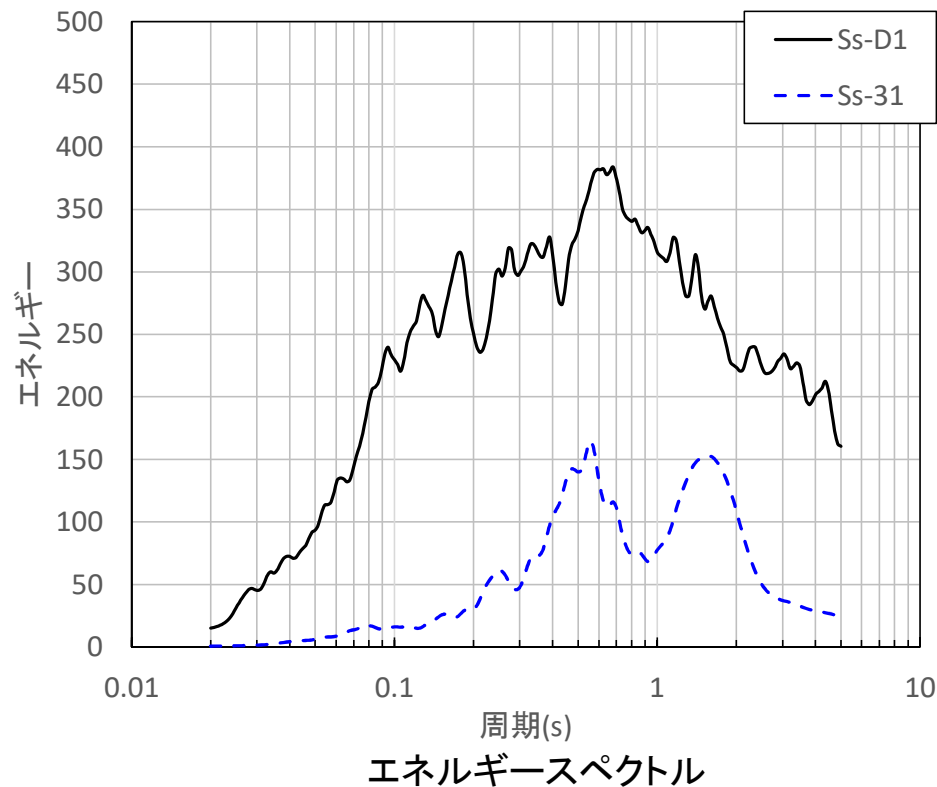
※ 鉄筋コンクリート構造の剛性低下の性状を表現

## エネルギースペクトルの確認結果について

### 基準地震動Ss-D1とSs-31のエネルギースペクトルの比較

#### ○評価内容

- ・巨大地震などの地震動による長周期構造物等への影響を確認する上では、地震動の総エネルギーと周期との関係を表すエネルギースペクトルが用いられることがあるため、その結果についても確認する。



#### ○評価結果

- ・エネルギースペクトルを確認した結果、短周期構造物であり顕著な塑性化が見られていない原子炉建屋では、エネルギーの累積量があまり大きくないと考えられることから、その応答性状を把握する上では、応答スペクトルによる最大応答の周期特性が有効な指標であることを確認した。

- ・ 機器の耐震評価では、疲労の観点から基準地震動 $S_s$ によって地震継続中に繰り返し受ける荷重に対して健全性を確認している。

### 疲労評価の対象設備

- ①原子炉冷却材圧力バウンダリに属する機器・配管系(原子炉圧力容器等)
- ②原子炉格納容器
- ③クラス2, 3機器及びSAクラス2機器(非常用炉心冷却系設備, 重大事故等対処設備等)  
(但し③の機器については, 地震等による応力振幅が弾性範囲を超えた場合に実施する。)

- ・ 疲労評価の結果, 疲労累積係数は許容値以下であることを確認した。なお, 運転延長認可申請における低サイクル疲労評価と基準地震動 $S_s$ とを組み合わせた疲労評価結果を例示する。

配管系の疲労評価結果 \*1

系統名	①60年時点の 疲労累積係数 (低サイクル疲労評価)	②基準地震動 $S_s$ に よる疲労累計係数	③東北地方太 平沖地震による 疲労累積係数	合計値 (①+②+③)	許容値
原子炉再循環系	0.1182 *2	0.1455	—	0.2637	< 1
原子炉系(純水部)	0.5799 *2	0.0259	—	0.6058	< 1
原子炉系(蒸気部)	0.0853	0.6558	0.0043	0.7454	< 1

\*1 東海第二発電所安全性検討ワーキングチーム説明資料改訂版(第17回ワーキングチーム机上配布資料 高経年化-243頁)より引用

\*2 環境を考慮

### 3. 10 東海第二発電所の特有の評価－(1)震災影響評価(1/3)

第17回ワーキングチーム  
机上配布資料(高経年化  
-93頁)を再掲

#### <低サイクル疲労評価の震災影響評価>

2011年の東北地方太平洋沖地震による影響を考慮し、**低サイクル疲労評価に基準地震動 $S_s$ と東北地方太平洋沖地震を組み合わせた耐震安全性評価**を行い、健全性を確認する。

#### (a) 評価内容

Sクラス機器で**地震動の影響が最も大きい原子炉系配管**を代表として、低サイクル疲労評価と東北地方太平洋沖地震を含めた地震動の影響を考慮した評価の合計値が**許容値を下回ることを確認**する。

#### (b) 評価結果

合計値が**許容値1を下回る**ことから、**耐震安全性上問題ないと評価**した。

低サイクル疲労評価

①60年時点の疲労  
累積係数

+

地震動の影響を  
考慮した評価

②地震動による疲労累積  
係数(基準地震動 $S_s$ )

+

【震災影響評価】

③東北地方太平洋沖地震  
による疲労累積係数\*



許容値を下回ることを  
確認

※:原子炉建屋に設置された地震計にて計測された観測記録を基に作成された入力地震動を用いて評価

低サイクル疲労評価及び東北地方太平洋沖地震を考慮した耐震安全性評価の概念

機器	低サイクル疲労評価		地震動の影響を考慮した評価			①+②+③ 合計値	許容値
	①60年時点の疲労 累積係数		②地震動による疲労累 積係数(基準地震動 $S_s$ )		③東北地方太平洋沖地 震による疲労累積係数		
原子炉系 (蒸気部)配管	0.0853	+	0.6558	+	0.0043	= 0.7454	< 1

【論点No.6】

地震動のエネルギースペクトル等に関する耐震設計上の考慮について

【委員からの指摘事項等】

指摘事項等・県民意見に下線を記載  
対応する資料頁数等を  内に記載

No.7

建屋から見ると地震動の揺れ方が影響する。地震動毎に持っているパワーが全然違う。建屋が弾性応答の場合は最大値が同じであれば同じになるが、揺れ方が重要になってくるので、地震動のパワーや揺れ方はどうだということろを合わせて説明すること。

P.2

No.8

地震の継続時間が長くなれば、建物の応答で言うと、鉄筋コンクリートの場合であれば剛性低下が起こってくる可能性があり、機器で言うと繰り返しの問題を考えないといけない。地震動の波形や継続時間に関する考え方を説明すること。

P.4~5

\* 委員指摘事項等及び県民意見は第15回ワーキングチーム  
(令和元年6月26日)資料3-1及び資料3-2に基づく

基準地震動に対する健全性を確保する構築物，系統及び機器への入力地震動の評価方法及び保守性について

【説明概要】

地震応答解析に用いる入力地震動は，解放基盤表面で定義される基準地震動 $S_s$ を一次元波動論により建屋基礎底面及び側面地盤ばね位置で評価している。

建物・構築物と地盤との相互作用を考慮したモデルによる地震応答解析において，地盤物性のばらつきが建物・構築物の応答へ影響を及ぼすと考えられるため，建物・構築物の耐震評価においては，地盤物性のばらつきを考慮した設計用地震力を設定することで，保守性を持たせている。なお，地盤物性は，実測した地盤のせん断波速度 $V_s$ を用いて算出している。



# 原子炉建屋に対する入力地震動の算定

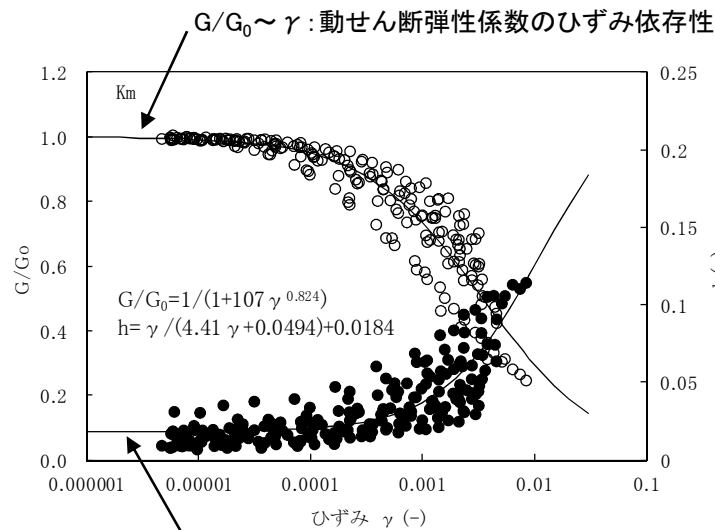
## ○ 入力地震動の算定

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 $S_s$ を一次元波動論により建屋基礎底面及び側面地盤ばね位置で評価したものをを用いる。

また、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルについては、解放基盤表面(EL.-370 m)から地表面までをモデル化する。地下構造モデルの物性値については、原位置試験及び室内試験から得られた各種物性値を基に設定している。

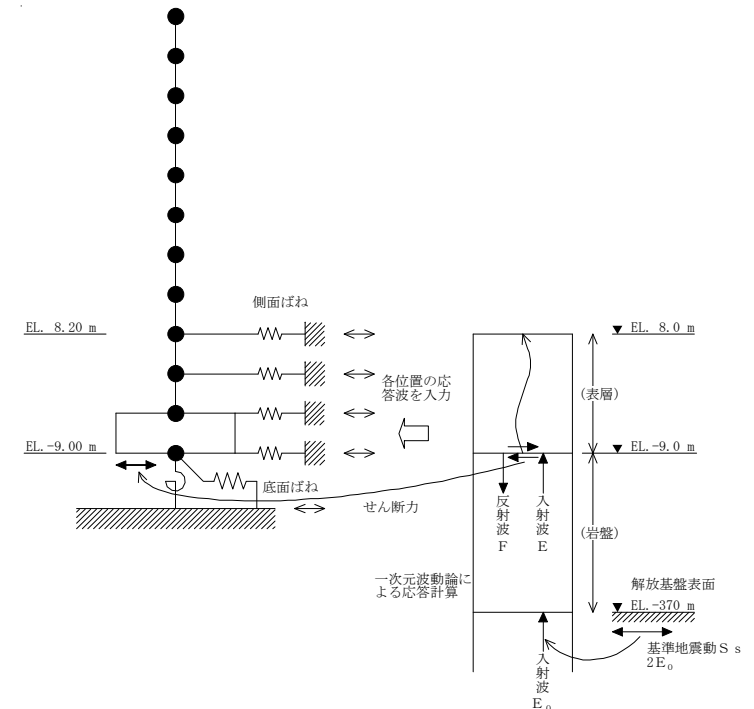
標高 EL. m	地層 区分	層厚 m	密度 $\rho$ t/m <sup>3</sup>	S波速度 $V_s$ m/s	ポアソン比 $\nu$
8.0	du*	5.0	1.82	210	0.385
3.0	Ag2*	1.0	1.89	240	0.286
2.0		4.7	2.01	240	0.491
-2.7	D2g-3	11.7	2.15	500	0.462
-14.4	Km	5.6	1.72	446	0.461
-20.0		20.0	1.72	456	0.460
-40.0		20.0	1.73	472	0.458
-60.0		30.0	1.73	491	0.455
-90.0		30.0	1.73	514	0.452
-120.0		30.0	1.73	537	0.449
-150.0		40.0	1.74	564	0.445
-190.0		40.0	1.74	595	0.441
-230.0		40.0	1.75	626	0.437
-270.0		50.0	1.75	660	0.433
-320.0	50.0	1.76	699	0.427	
-370.0	解放基盤	—	1.76	718	0.425

初期地盤の物性値



(Km層)

動せん断弾性係数  $G/G_0$  及び減衰定数  $h$  のひずみ依存性



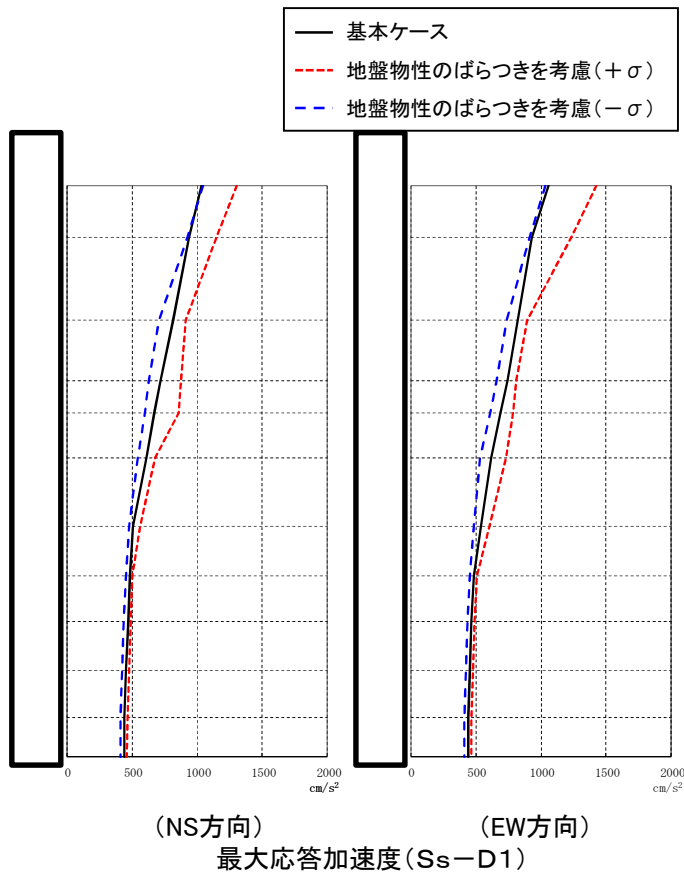
地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図

# 原子炉建屋の保守性(1/2)

## ○ 地盤物性のばらつき

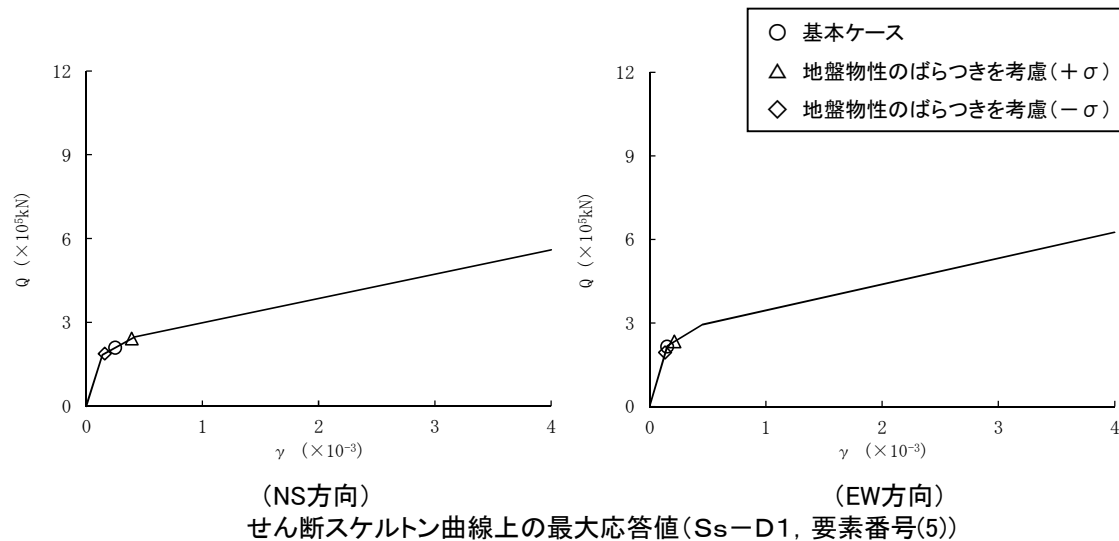
建物・構築物と地盤との相互作用を考慮したモデルによる地震応答解析において、地盤物性のばらつきが建物・構築物の応答へ影響を及ぼすと考えられるため、**建物・構築物の耐震評価においては、地盤物性のばらつきを考慮した設計用地震力を設定することで、保守性を持たせている。**なお、地盤物性は、実測した地盤のせん断波速度Vsを用いて算出している。

考慮する地盤物性のばらつきは、地質調査結果の平均値をもとに設定した数値を基本ケースとし、せん断波速度のばらつきは $\pm\sigma$ 相当とする。以下に地盤物性のばらつきを考慮した地震応答解析結果を示す。



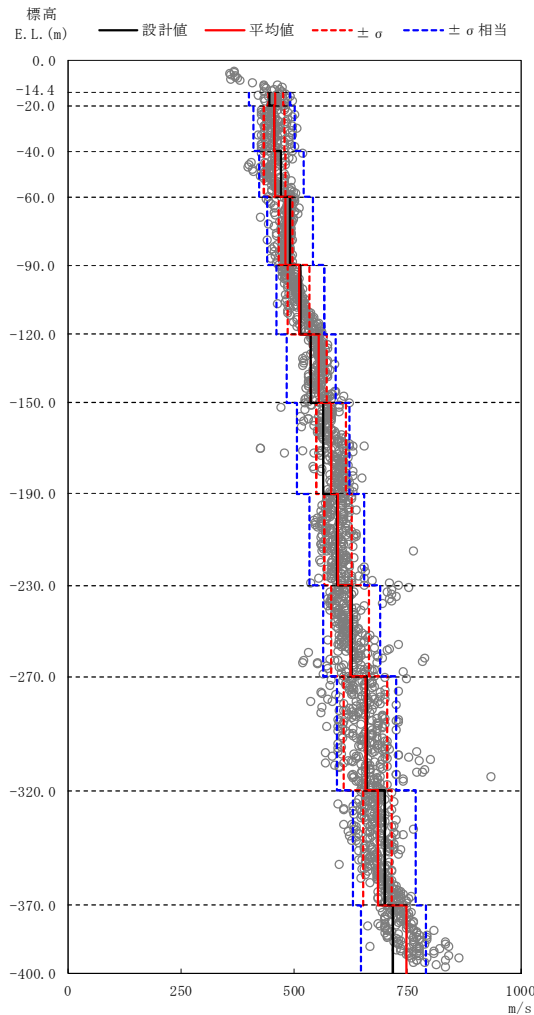
地盤物性のばらつきを考慮した地震応答解析ケース

	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)



## ○ 地盤物性のばらつき範囲の設定

地盤調査結果の平均値をもとに設定した数値を基本ケースとする。地盤物性のばらつきは、実測値に基づく地盤のせん断波速度Vsの変動係数を変動の比率(±σ相当)として層区分毎に設定する。



支持地盤物性のばらつき

地盤物性のばらつき

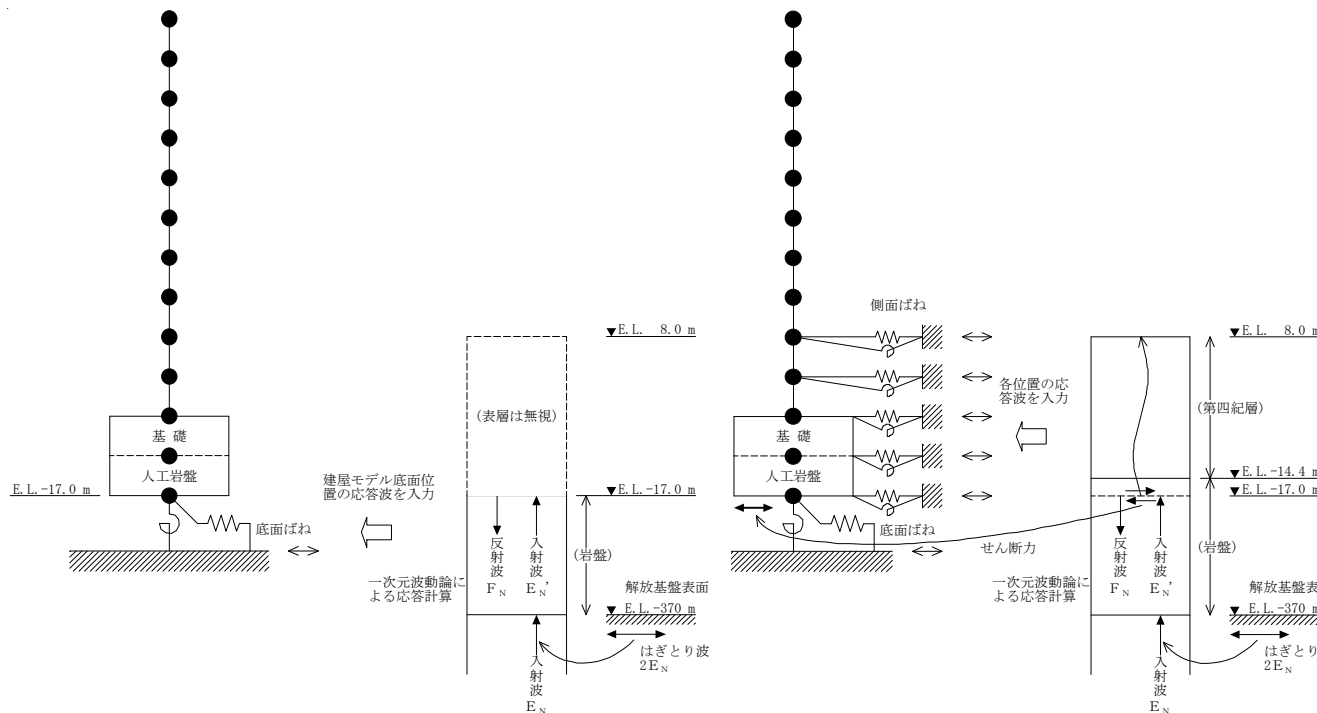
高さ EL.(m)	地層区分	地盤のせん断波速度(m/s)		
		基本ケース	+σ相当	-σ相当
8.0 ~ 3.0	du	210	221	199
3.0 ~ -2.7	Ag2	240	264	216
-2.7 ~ -14.4	D2g-3	500	575	425
-14.4 ~ -20.0	Km	446	491	401
-20.0 ~ -40.0		456	502	410
-40.0 ~ -60.0		472	520	424
-60.0 ~ -90.0		491	541	441
-90.0 ~ -120.0		514	566	462
-120.0 ~ -150.0		537	591	483
-150.0 ~ -190.0		564	621	507
-190.0 ~ -230.0		595	655	535
-230.0 ~ -270.0		626	689	563
-270.0 ~ -320.0		660	726	594
-320.0 ~ -370.0	699	769	629	

# 原子炉建屋の設計に用いる地震応答解析モデルについて(1/3)

・原子炉建屋の設計に用いる地震応答解析モデルについて、2011年東北地方太平洋沖地震のシミュレーション解析を行い、今回工認に用いる地震応答解析モデルを検討した。

- ① SRモデルに対して、側面回転ばねを含む埋込効果を考慮したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ② 埋込効果を考慮した埋込みSRモデルに対して、人工岩盤を地盤モデル側にモデル化したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ③ 人工岩盤を地盤側にモデル化した解析モデルに対して、側面回転ばねを考慮しないモデルによるシミュレーション解析を行った。

## 地震応答解析の概要

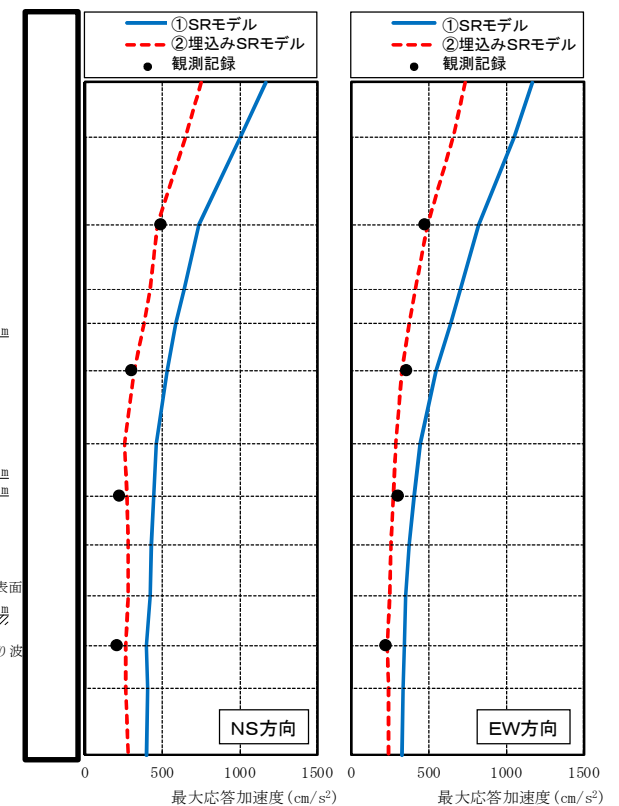


①SRモデル  
(既工認では、人工岩盤下端に設計波を直接入力)

側面回転ばねを含む埋込み効果を考慮

②埋込みSRモデル

## 最大応答加速度分布



①と②を比較した結果、側面地盤の埋込み効果を考慮した埋込みSRモデルとした場合、より実情に近い建屋の振動性状を評価できることを確認した。

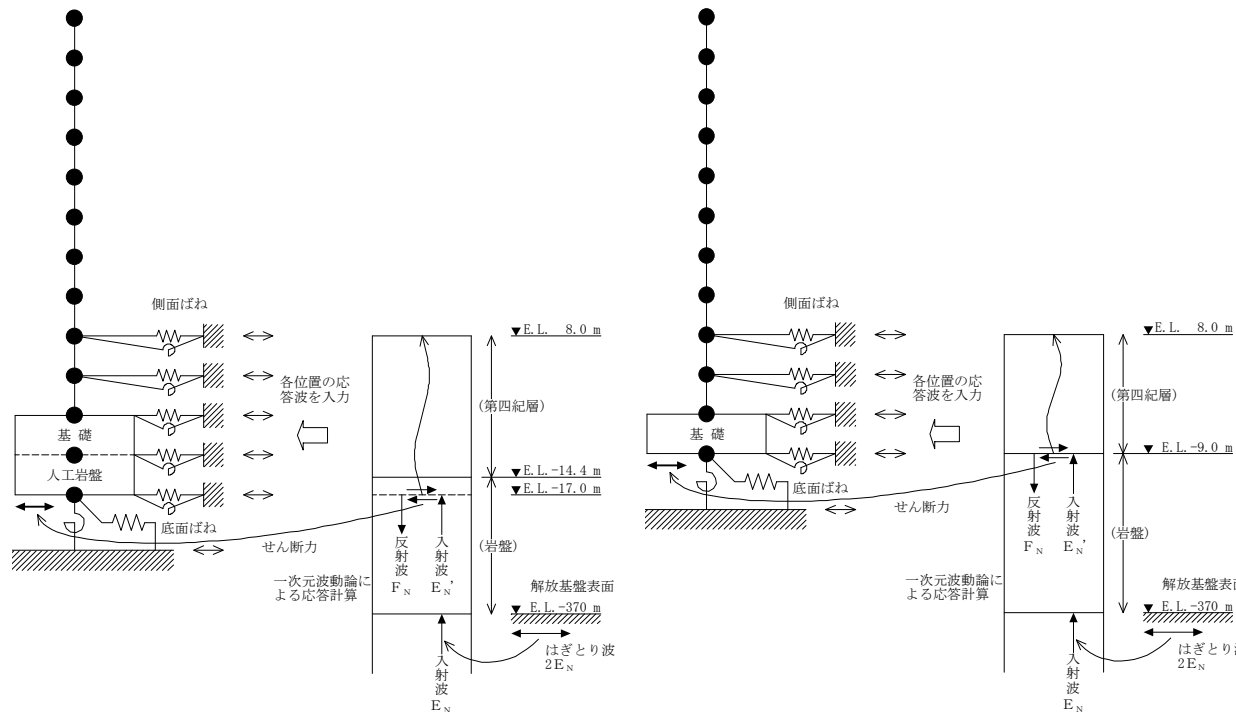
論点No.13-5

# 原子炉建屋の設計に用いる地震応答解析モデルについて(2/3)

・原子炉建屋の設計に用いる地震応答解析モデルについて、2011年東北地方太平洋沖地震のシミュレーション解析を行い、今回工認に用いる地震応答解析モデルを検討した。

- ① SRモデルに対して、側面回転ばねを含む埋込効果を考慮したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ② 埋込効果を考慮した埋込みSRモデルに対して、人工岩盤を地盤モデル側にモデル化したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ③ 人工岩盤を地盤側にモデル化した解析モデルに対して、側面回転ばねを考慮しないモデルによるシミュレーション解析を行った。

## 地震応答解析の概要



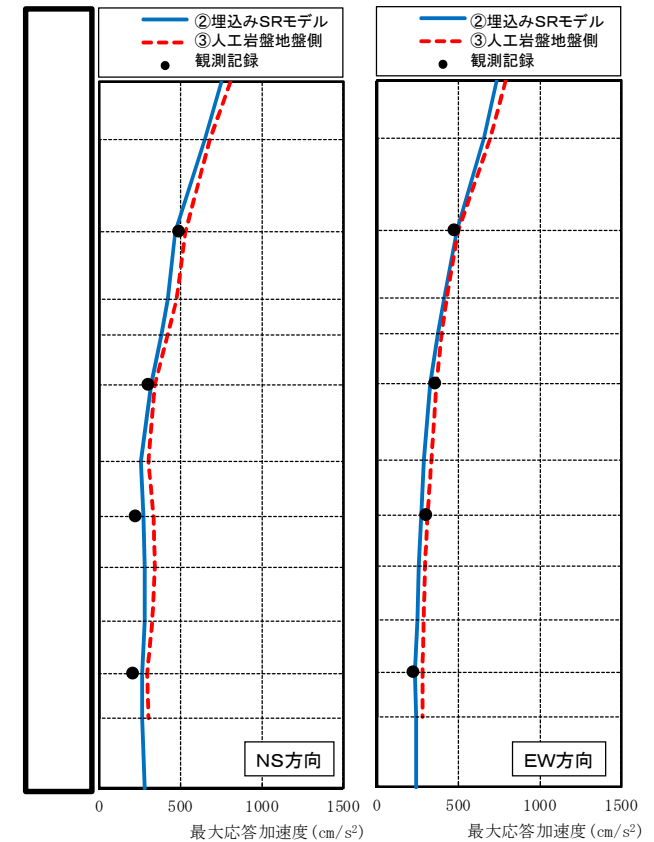
②埋込みSRモデル



③人工岩盤地盤側

人工岩盤を地盤モデル側にモデル化

## 最大応答加速度分布



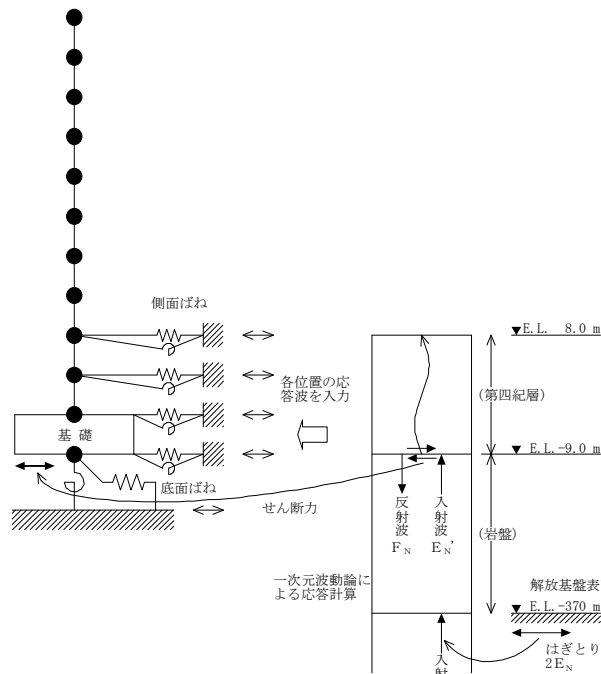
②と③を比較した結果、人工岩盤を岩盤として地盤モデル側にモデル化の方が、応答を保守側に評価することを確認した。

# 原子炉建屋の設計に用いる地震応答解析モデルについて(3/3)

・原子炉建屋の設計に用いる地震応答解析モデルについて、2011年東北地方太平洋沖地震のシミュレーション解析を行い、今回工認に用いる地震応答解析モデルを検討した。

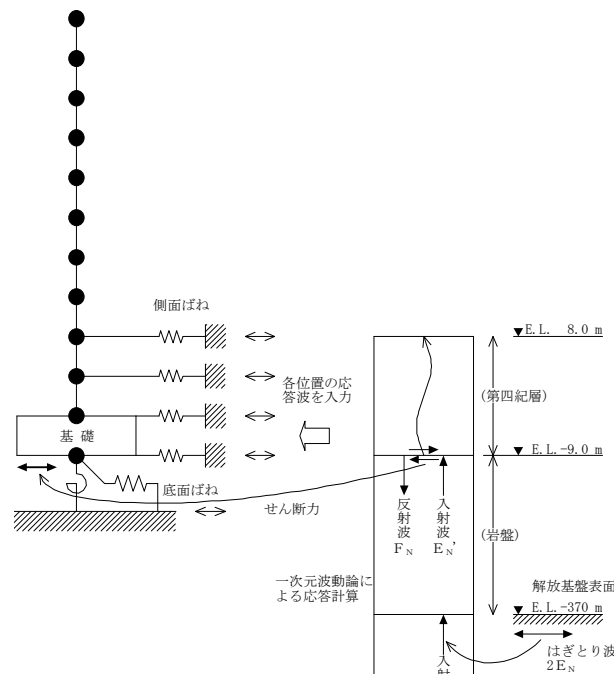
- ① SRモデルに対して、側面回転ばねを含む埋込効果を考慮したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ② 埋込効果を考慮した埋込みSRモデルに対して、人工岩盤を地盤モデル側にモデル化したモデルによるシミュレーション解析を行った。
- ③ 人工岩盤を地盤側にモデル化した解析モデルに対して、側面回転ばねを考慮しないモデルによるシミュレーション解析を行った。

## 地震応答解析の概要



③人工岩盤地盤側

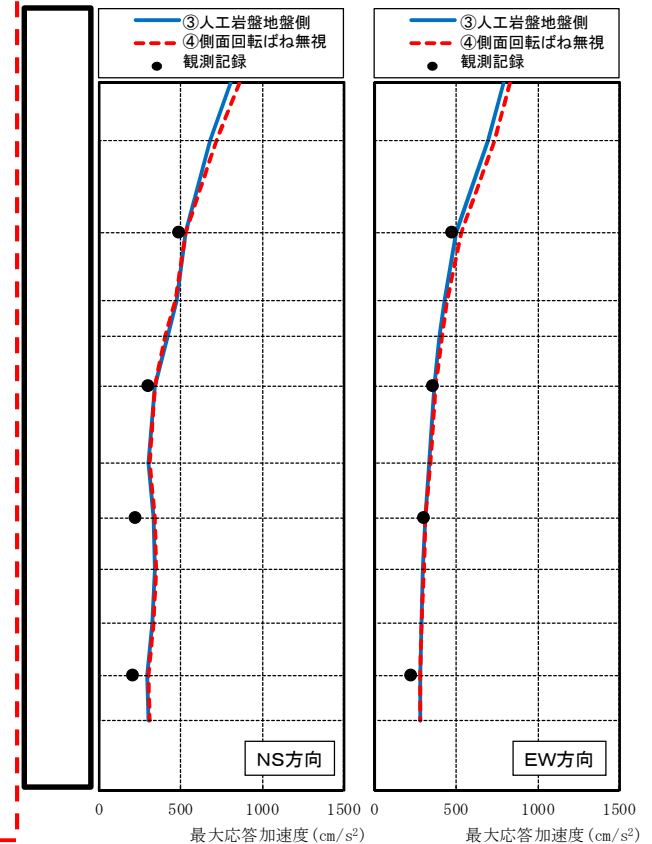
側面回転ばねを考慮しない場合



④側面回転ばね無視

今回工認に用いる地震応答解析モデル

## 最大応答加速度分布



③と④を比較した結果、側面回転ばねを考慮しないモデルとする方が、応答を保守側に評価することを確認した。



# 機器・配管系評価における地盤物性のばらつき等に対する影響評価



機器・配管系の耐震評価において、地盤物性及び建屋剛性の変動について、以下のとおり耐震性に問題ないことを確認した。

- 地盤物性の変動の影響のうち標準地盤 $-\sigma$ 相当(下図、赤線)及び建屋剛性の変動による影響(下図、緑線)を考慮したケースによる床応答スペクトルは、耐震計算に適用した基本ケースの床応答スペクトル(下図、黒線)に包絡しており、耐震評価に影響がないことを確認した。
- 地盤物性の変動の影響のうち標準地盤 $+\sigma$ 相当(下図、青線)を考慮したケースは、耐震計算に適用した基本ケースの床応答スペクトル(下図、黒線)に対して、一部周期帯を除き包絡していることを確認した。また、超過した一部周期帯(下図、赤丸)には、当該周期帯に一次固有周期を有する設備がないことを確認した。

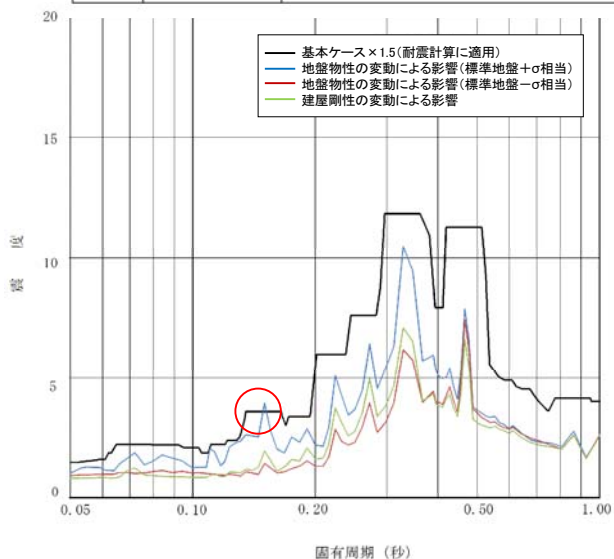
機器・配管系評価の影響確認に用いた                      の地震応答解析ケース

	建屋剛性		地盤物性
	コンクリート強度	補助壁	
基本ケース	設計基準強度	非考慮	標準地盤
地盤物性の変動による影響	設計基準強度	非考慮	標準地盤 $+\sigma$ 相当
	設計基準強度	非考慮	標準地盤 $-\sigma$ 相当
建屋剛性の変動による影響	実強度	考慮	標準地盤

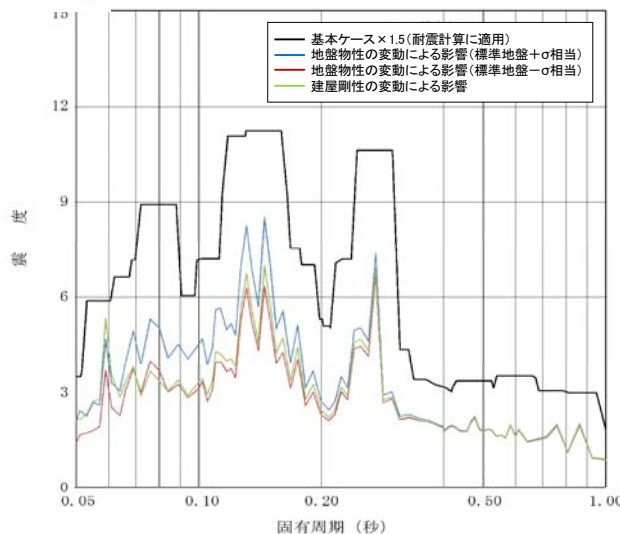
## 地盤物性のばらつき等への影響評価の例

【EL. 38.8 m 応答スペクトルの説明】

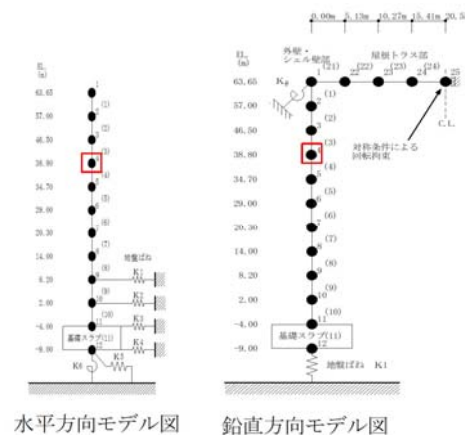
	固有周期 (秒)	説明
水平	0.148~0.152	ばらつきケースの応答が超過している周期帯に1次固有周期がある設備はない。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。



床応答スペクトル (水平方向 h=1.0%)

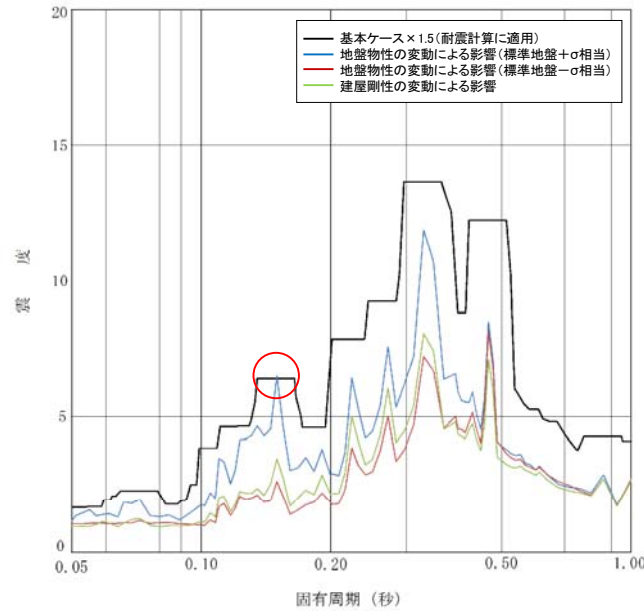


床応答スペクトル (鉛直方向 h=1.0%)

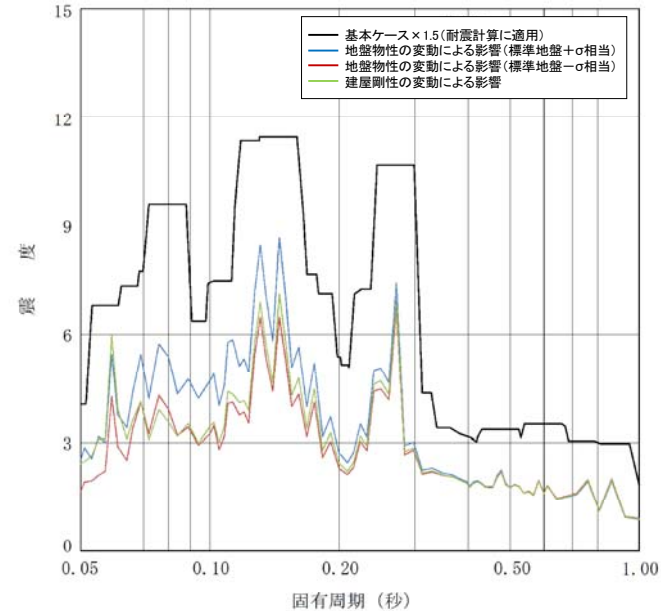


水平方向モデル図

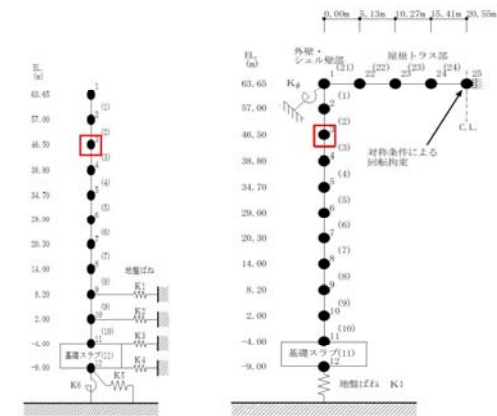
鉛直方向モデル図



床応答スペクトル (水平方向 h=1.0%)



床応答スペクトル (鉛直方向 h=1.0%)

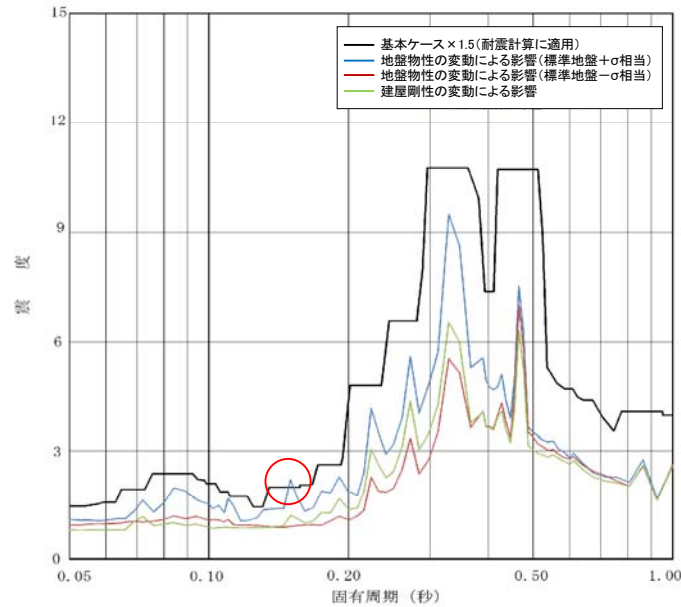


水平方向モデル図

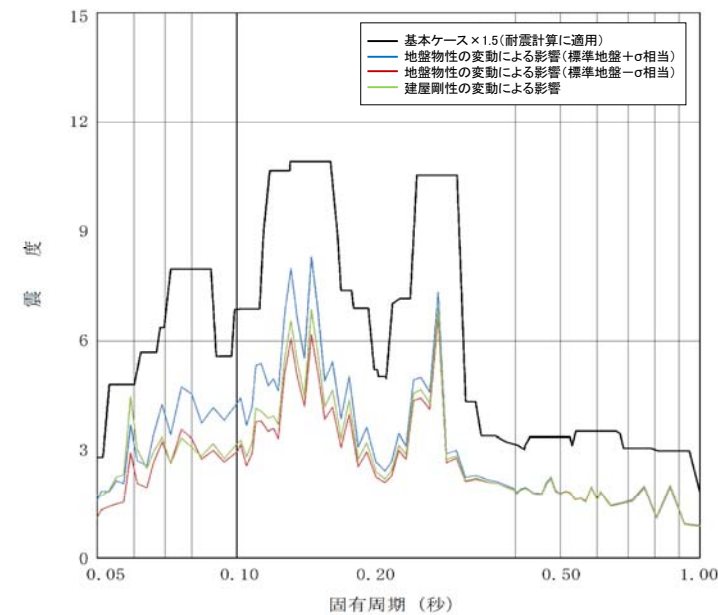
鉛直方向モデル図

【EL. 46.5 m 応答スペクトルの説明】

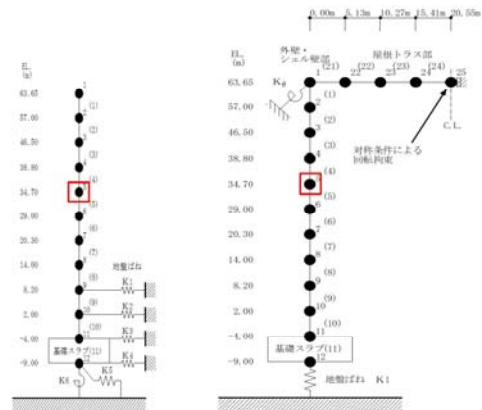
	固有周期 (秒)	説明
水平	0.149~0.151	ばらつきケースの応答が超過している周期帯に1次固有周期がある設備はない。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。



床応答スペクトル (水平方向 h=1.0%)



床応答スペクトル (鉛直方向 h=1.0%)

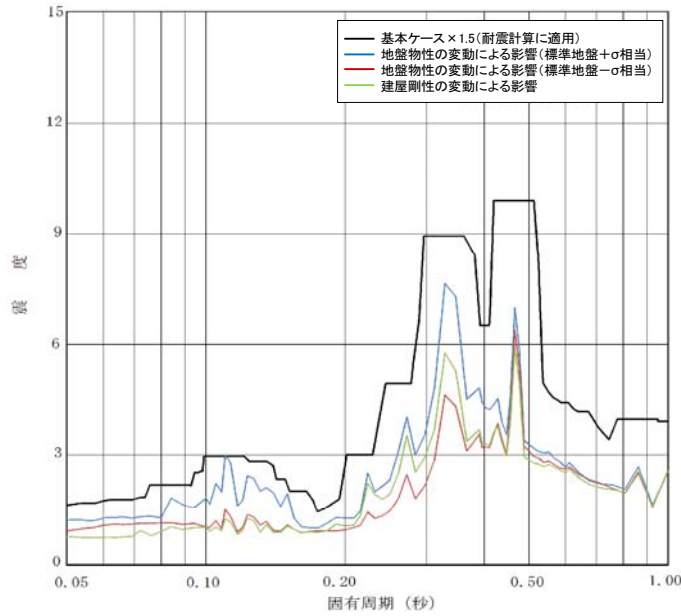


水平方向モデル図

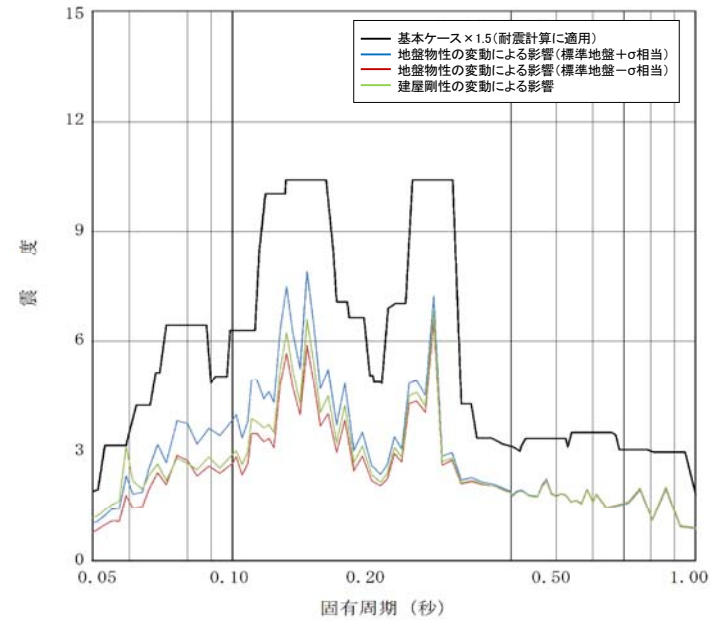
鉛直方向モデル図

【EL. 34.7 m 応答スペクトルの説明】

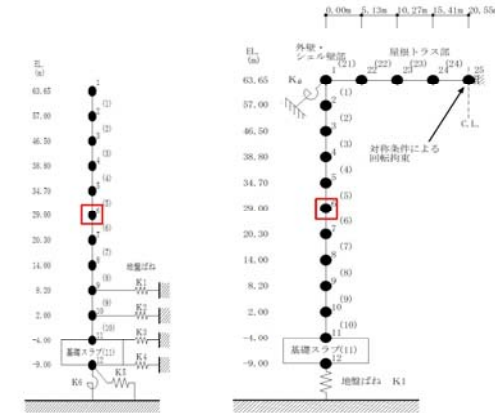
	固有周期 (秒)	説明
水平	0.148~0.153	ばらつきケースの応答が超過している周期帯に1次固有周期がある設備はない。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。



床応答スペクトル (水平方向 h=1.0%)



床応答スペクトル (鉛直方向 h=1.0%)

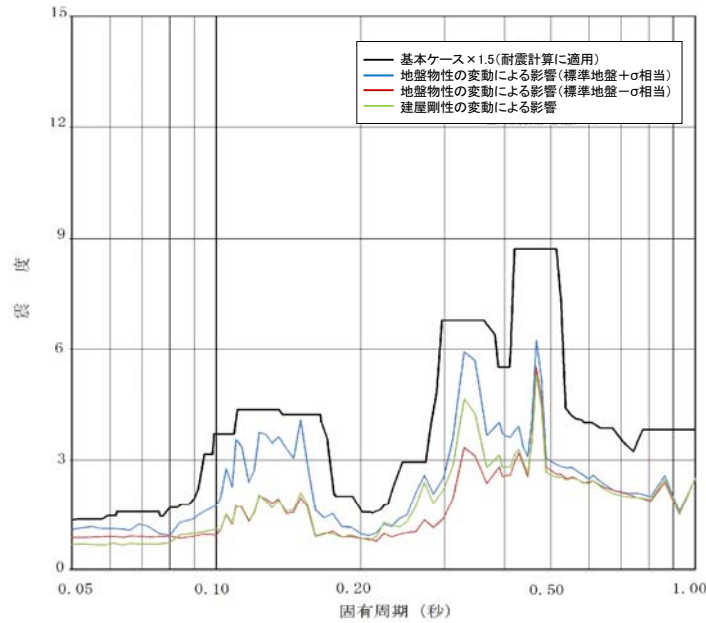


水平方向モデル図

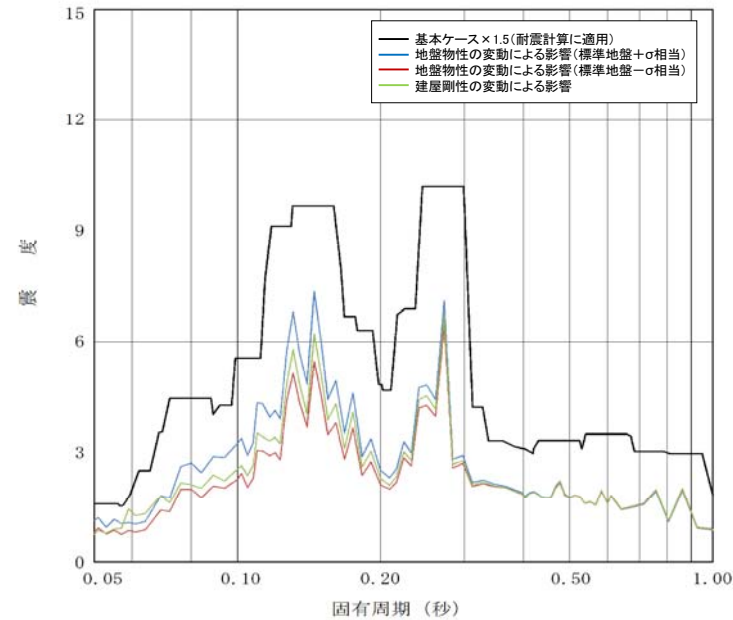
鉛直方向モデル図

【EL. 29.0 m 応答スペクトルの説明】

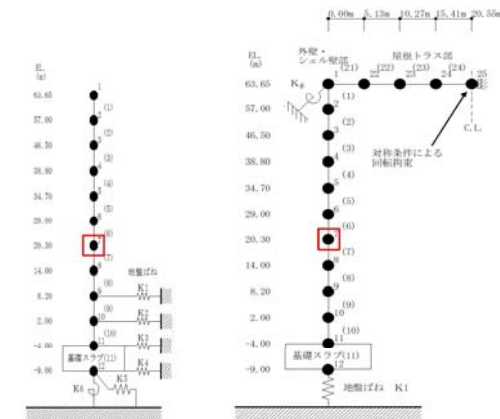
	固有周期 (秒)	説明
水平	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。



床応答スペクトル (水平方向 h=1.0%)



床応答スペクトル (鉛直方向 h=1.0%)

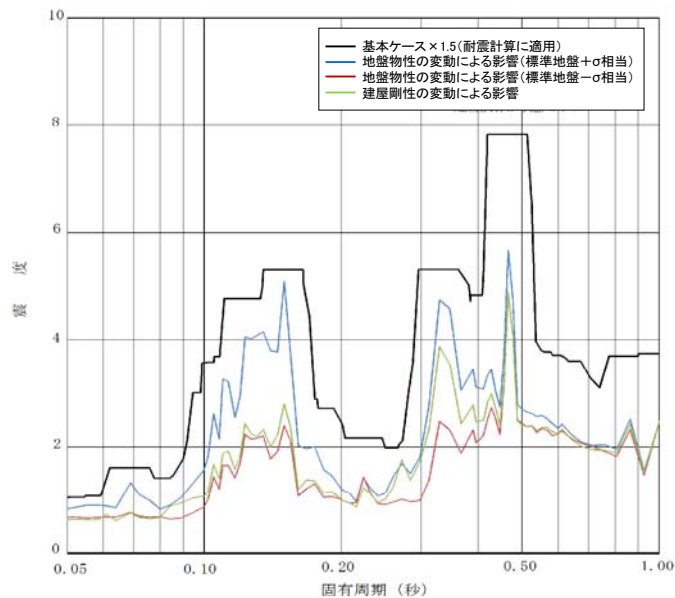


水平方向モデル図

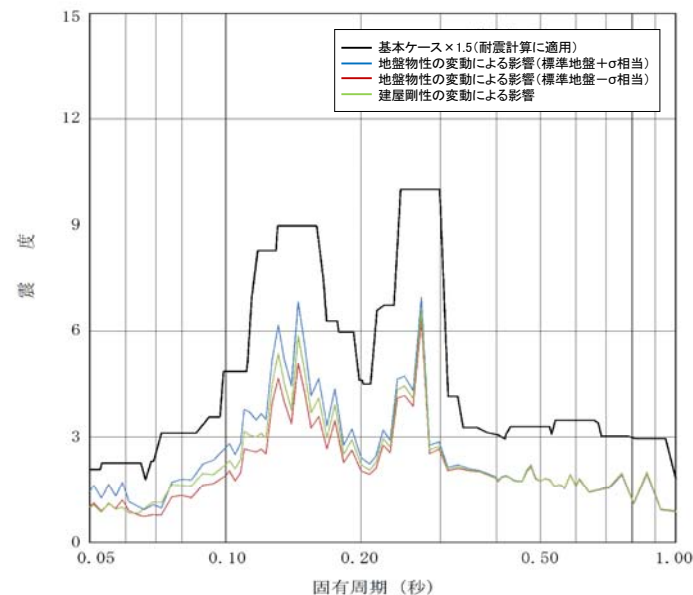
鉛直方向モデル図

【EL. 20.3 m 応答スペクトルの説明】

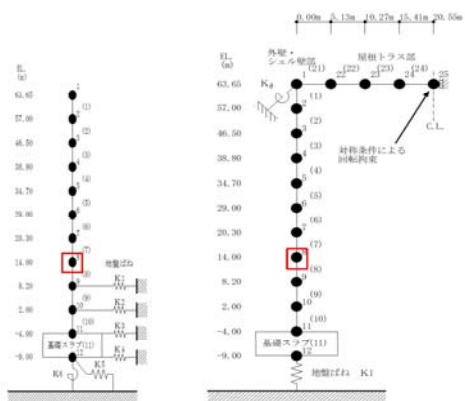
	固有周期 (秒)	説明
水平	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。



床応答スペクトル (水平方向 h=1.0%)



床応答スペクトル (鉛直方向 h=1.0%)



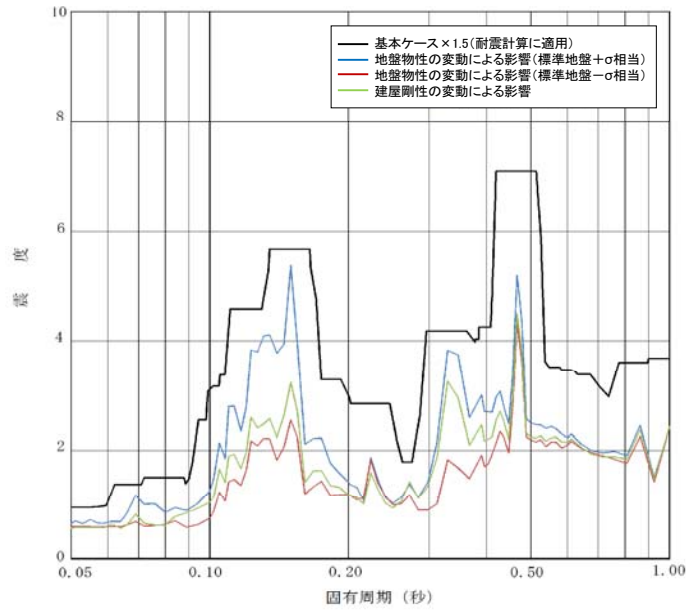
水平方向モデル図

鉛直方向モデル図

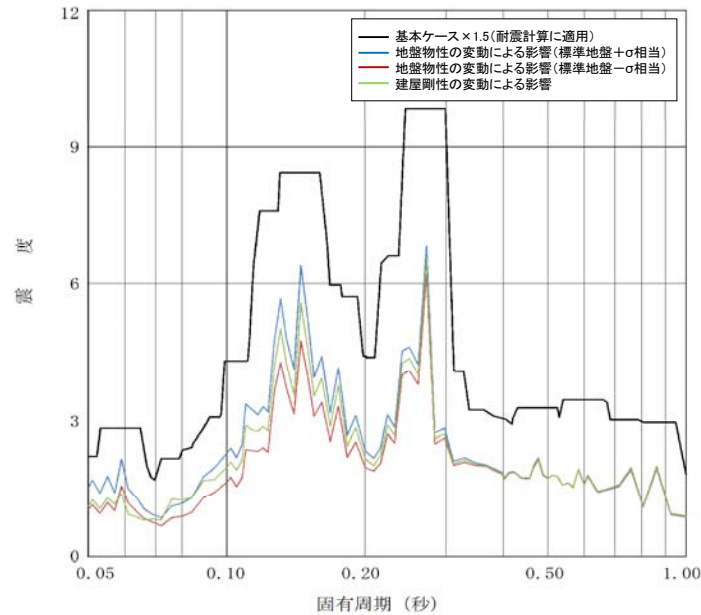
【EL. 14.0 m 応答スペクトルの説明】

	固有周期 (秒)	説明
水平	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。

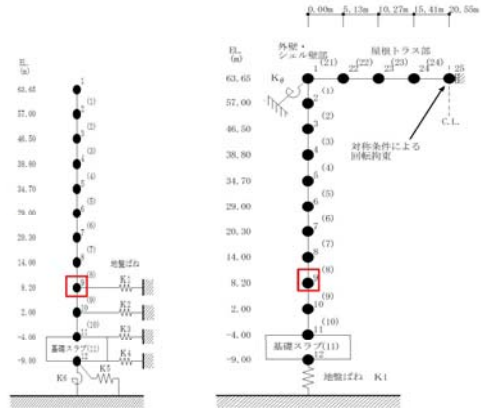




床応答スペクトル (水平方向 h=1.0%)



床応答スペクトル (鉛直方向 h=1.0%)

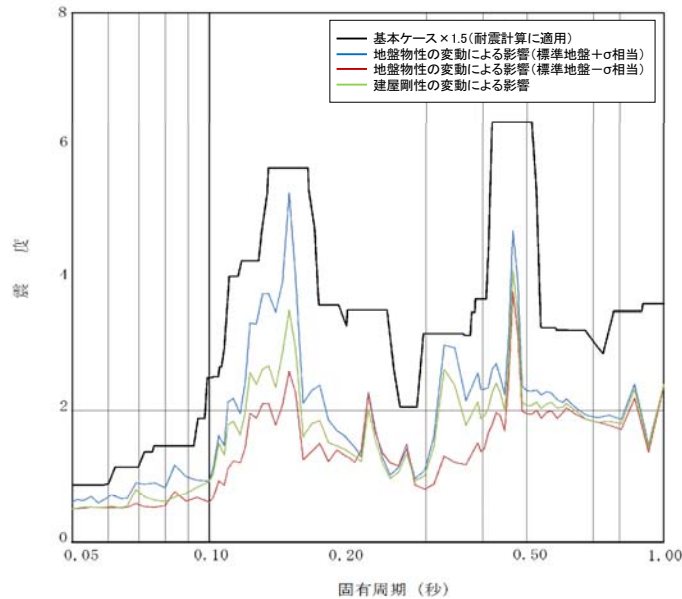


水平方向モデル図

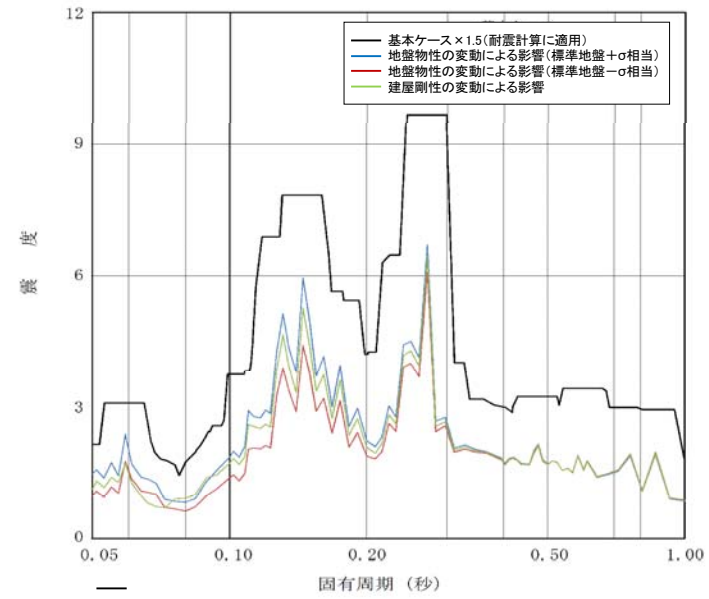
鉛直方向モデル図

【EL. 8.2 m 応答スペクトルの説明】

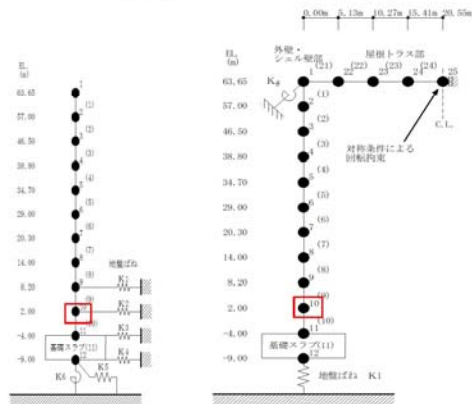
	固有周期 (秒)	説明
水平	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。



床応答スペクトル (水平方向 h=1.0%)



床応答スペクトル (鉛直方向 h=1.0%)

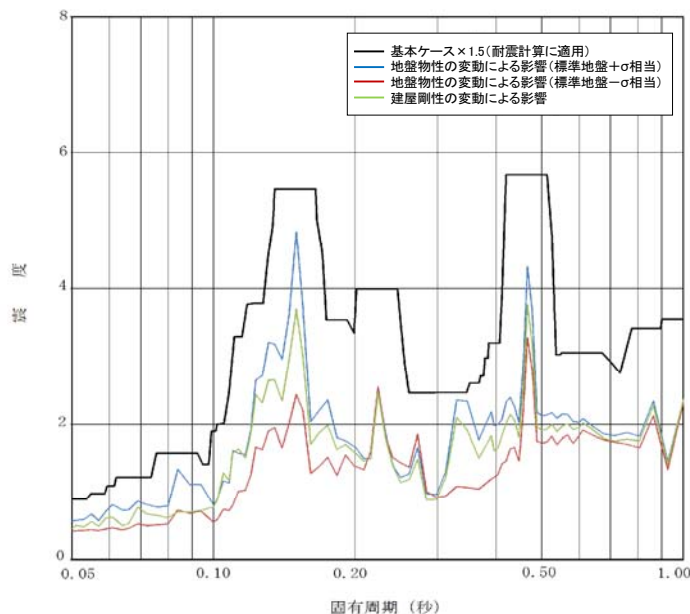


水平方向モデル図

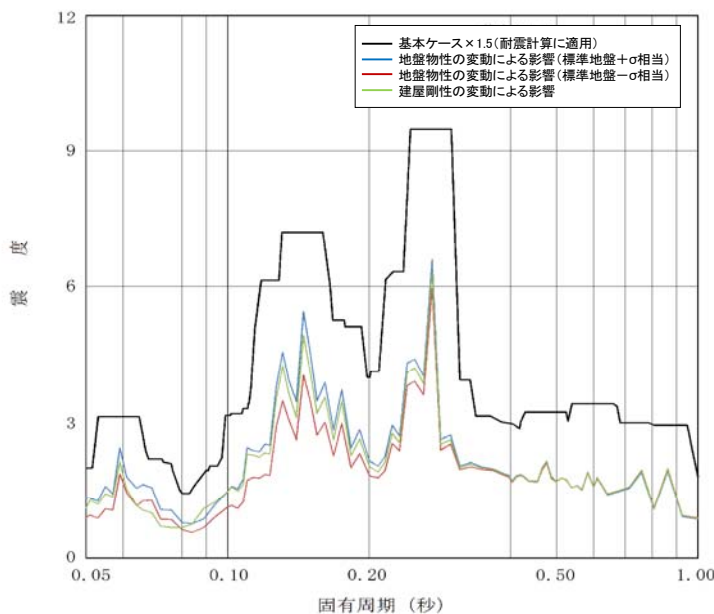
鉛直方向モデル図

【EL. 2.0 m 応答スペクトルの説明】

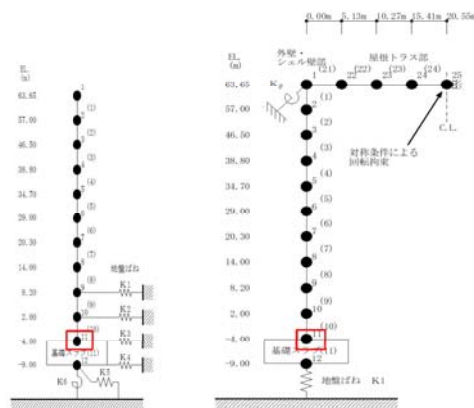
	固有周期 (秒)	説明
水平	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。



床応答スペクトル (水平方向 h=1.0%)



床応答スペクトル (鉛直方向 h=1.0%)



水平方向モデル図

鉛直方向モデル図

【EL. -4.0 m 応答スペクトルの説明】

	固有周期 (秒)	説明
水平	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。
鉛直	—	全周期帯において基本ケースが包絡している。

【論点No.13】

基準地震動に対する健全性を確保する構築物，系統及び機器への入力地震動の評価方法及び保守性について

【委員からの指摘事項等】

No.16

指摘事項等・県民意見に下線を記載  
対応する資料頁数等を  内に記載

深さ370mの解放基盤表面における基準地震動が，地表面まで伝播してくる際に，地質等の特性によって増幅したり，減衰したりすると考えられるが，入力地震動導出の条件設定や計算方法及びその保守性について説明すること。

P.2

P.3～8

【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

No.3

東海第二の地盤が安定しているというお話でしたが，深さ何キロまで調査なされたんですか。胆振東部のあの地震は，未知の断層，地下37キロのところ起きております。37キロまで東海第二の場合は調査をされたのでしょうか。

2つ目，この地震は，モーメントマグニチュードが6.6，皆さんがご紹介なされた留萌北部の地震の15倍ぐらいの規模の地震でした。加速度は1,500ぐらいなんですね。皆さんのやつは最高が1,009ガル，直上下には780ぐらいですが，それを上回る地震です。これが9月6日に起きたんです。それを無視して，皆さんは9月26日に許可をなされたのはなぜなのか。手落ちではないかと。

地上のところでは幾つなんですか。

## 【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

No.3(続き)

胆振東部は地表で1,500もあったんですよ。皆さんの解放基盤面というところで1,009ガルだとか780ガルだとか言っているでしょう。地表になっただけで減衰しちゃって3分の2に減ってしまう。1,000は3分の2になったら650~660になるでしょう。胆振東部の地震の大きさをあなたたちがちゃんと受け止めないで許可をされたということは大変な過失だと私は思いますよ。瑕疵ある行政処分だと思います。

曖昧なことではなくて、そんなことならば、逆に、何とか波というのをとるんでしょ。そして、基盤面のところで幾つになるのか。それをちゃんと確認した上で、あえて胆振東部の地震は見る必要がないと言うなら、それはそれで理屈ですよ。そんなことをやらないで、関係ないんだとか、地盤が違うんだ、土質が違うんだ、全然いい加減な話だよ、そんなもんで。信じられないです。

No.932

2 適合性審査は、最大1591ガルもの上下振動を記録した北海道胆振東部地震を「震源を特定せずに策定する地震動」の評価対象にしなかったため基準地震動を過少に見積り耐震設計が不足している恐れがあります。過日の県主催の規制庁説明では「胆振東部地震の加速度は地表近くで増幅し大きな数値を記録したが、地下深くでは大きくなかった」と答えていますが、地殻・地質調査に基づく解放基板表面の設定とそこでの地震動(水平方向, 上下方向)の設定を経ない、根拠の薄い単なる一般論を述べたものと受け止めました。胆振東部地震の評価をWTご検討ください。

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について

【説明概要】

- ・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。
- ・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。
- ・また、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(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。

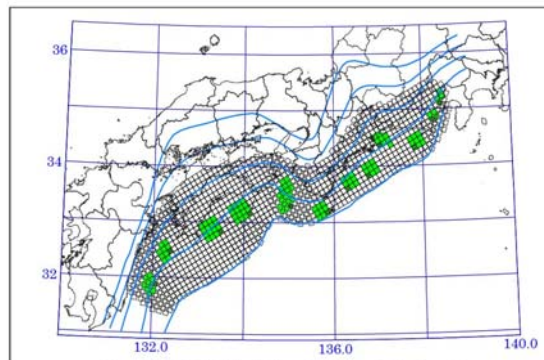


図3.3 強震動生成域の設定の検討ケース(基本ケース)

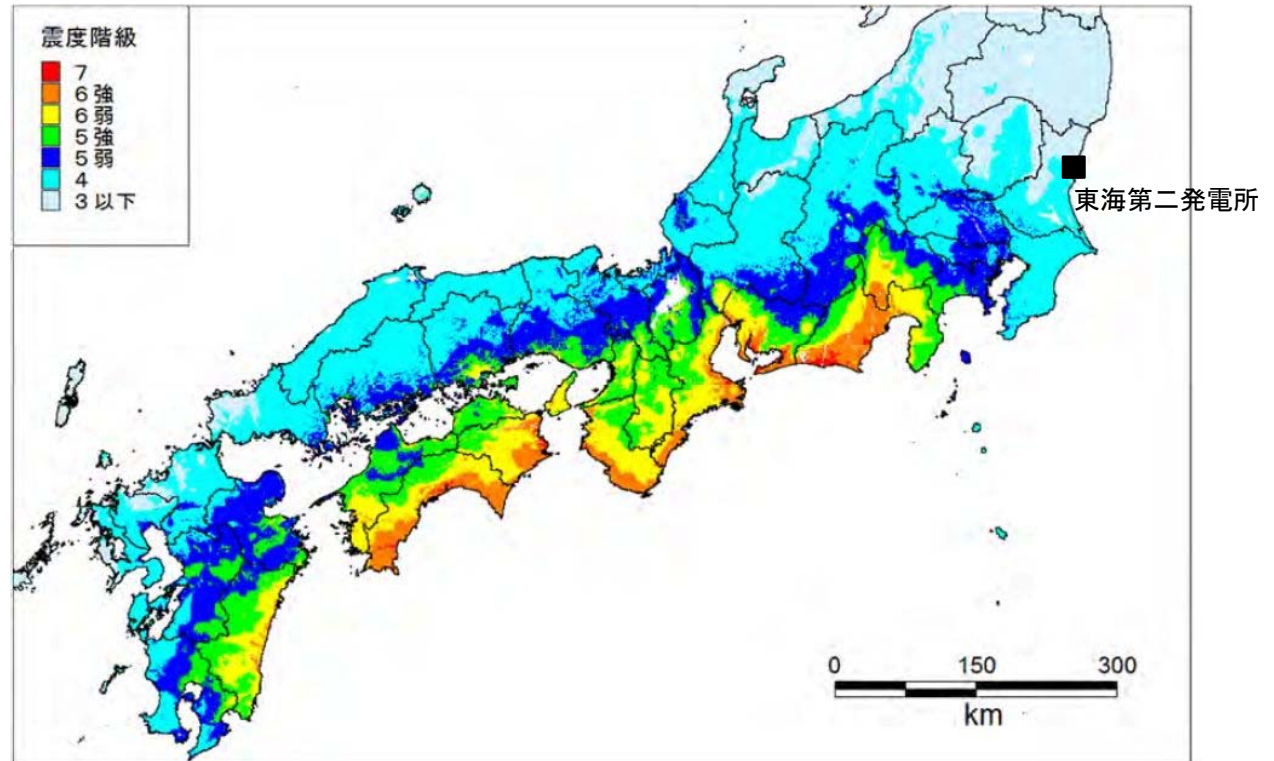


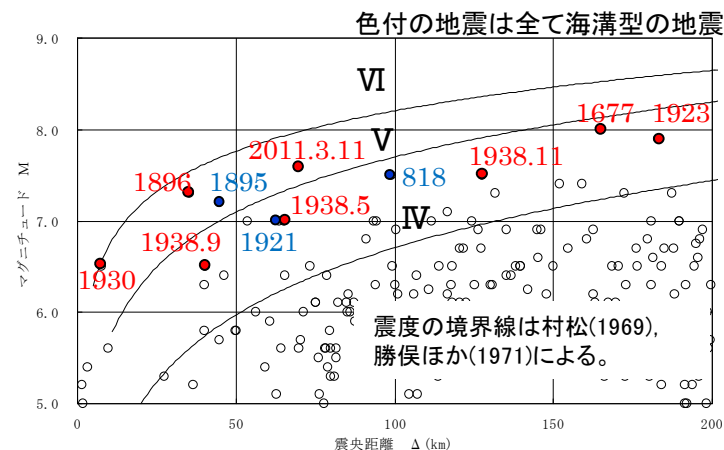
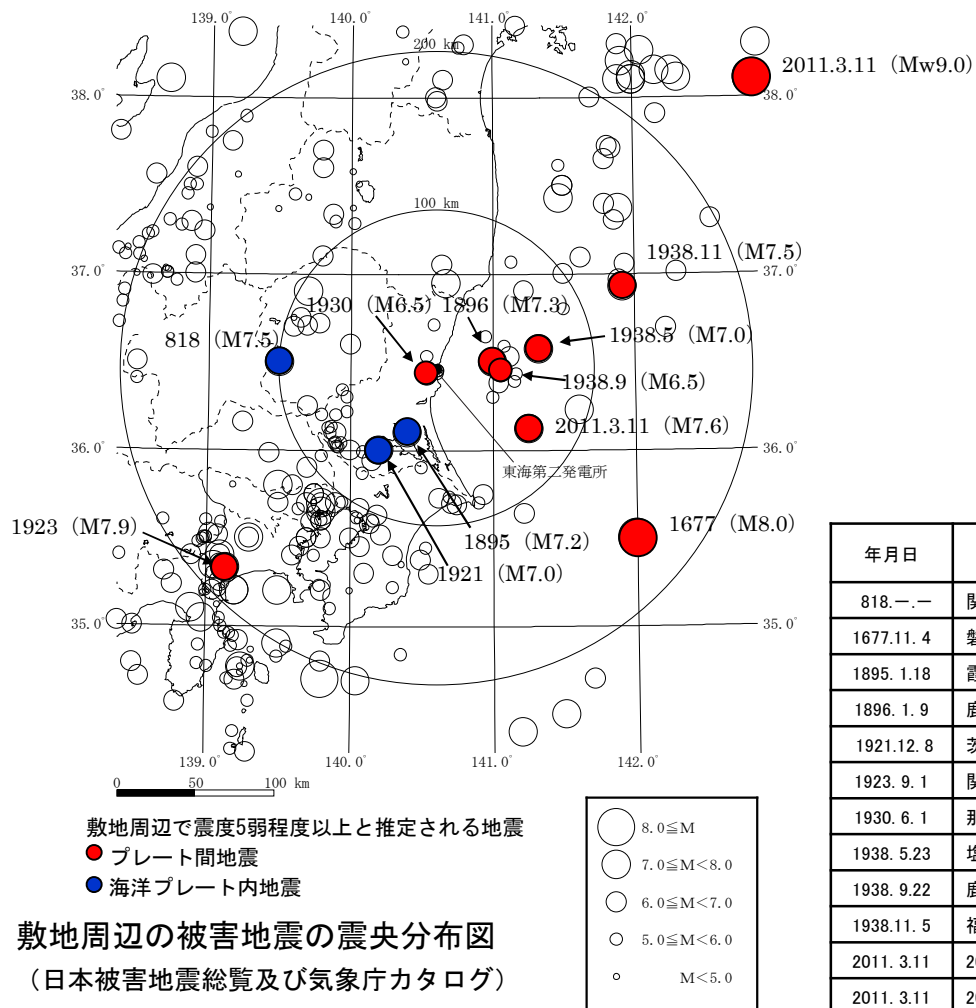
図5.1 基本ケースの震度分布

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. 一. 一	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。

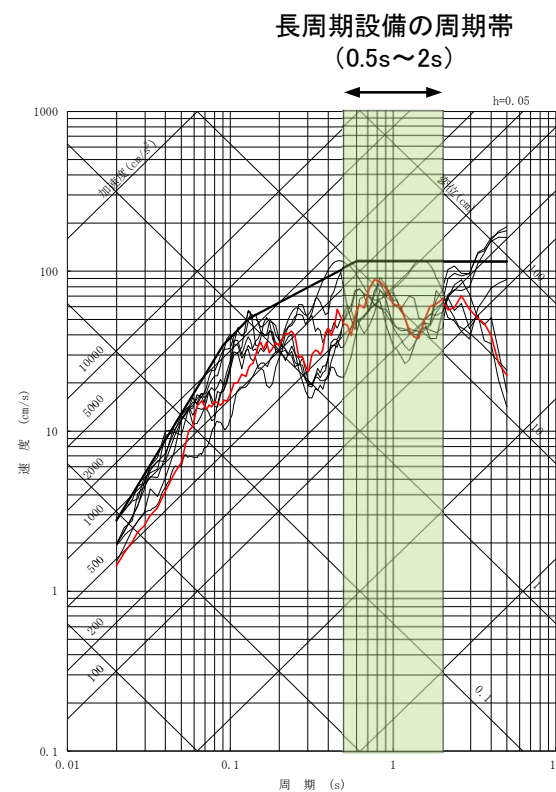
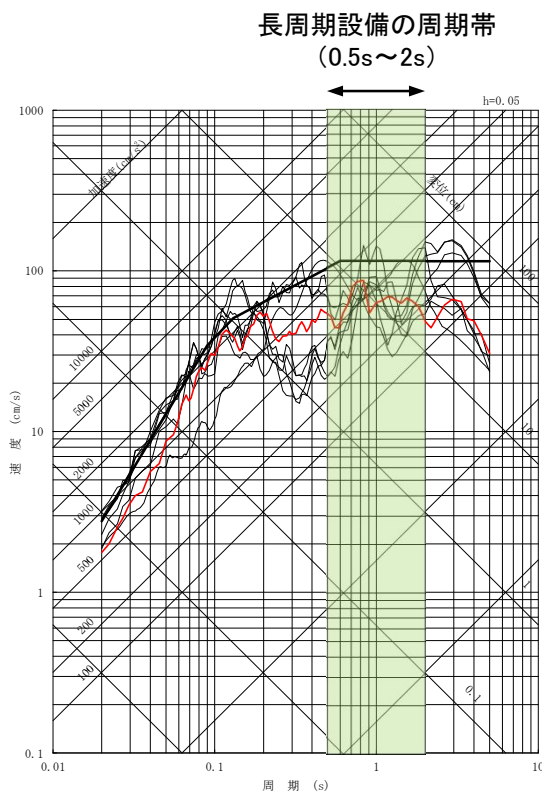
### ■地震調査研究推進本部

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

- ・東海第二発電所の基準地震動 $S_s$ ( $S_s$ -D1,  $S_s$ -11~ $S_s$ -31の合計8波)と2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)の観測記録(はぎとり波)を比較すると、長周期に固有周期をもつ設備の周期帯でも、基準地震動 $S_s$ は観測記録を大きく上回る。
- ・長周期に固有周期をもつ施設として、耐震Sクラス等の重要施設及び耐震Sクラス等の重要施設近傍に位置する施設については、2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)時に被害は生じておらず、また同地震による地震動を上回る基準地震動 $S_s$ に対して、耐震評価を行い健全性を確認している。従って、同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、当該施設の安全性は確保される。

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



【論点No.16】

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について

【県民意見(頂いたご意見・特に関心のある事項)】

No.901

指摘事項等・県民意見に下線を記載  
対応する資料頁数等を  内に記載

7, 老朽化している<sup>(注)</sup>東海第2原発の建物, 機械(電気含む), 配線, 配管, 計測器はこれから30年以内で70%の確率で発生する南海トラフ大地震に耐えることができるのか?

注: 「高経年化対策」説明資料参照  
今後, 別資料(論点No.177,180,181,185,186,188,189,191)で説明

\* 委員指摘事項等及び県民意見は第15回ワーキングチーム  
(令和元年6月26日)資料3-1及び資料3-2に基づく