

設工認その13で申請した設備機器のうち耐震裕度が厳しいものの保守性について

令和2年8月6日
日本原子力研究開発機構
原子力科学研究所

【R2.7.13 審査会合コメント】

機器・配管の耐震性評価について、制御棒駆動機構及び制御棒駆動機構案内管、サイフォンブレイク弁、一次冷却材熱交換器、上部遮蔽体は裕度が少なくなっている。モデル化等で十分保守的な評価をしていることを示すこと。

前回からの変更点を赤字下線にて示す。

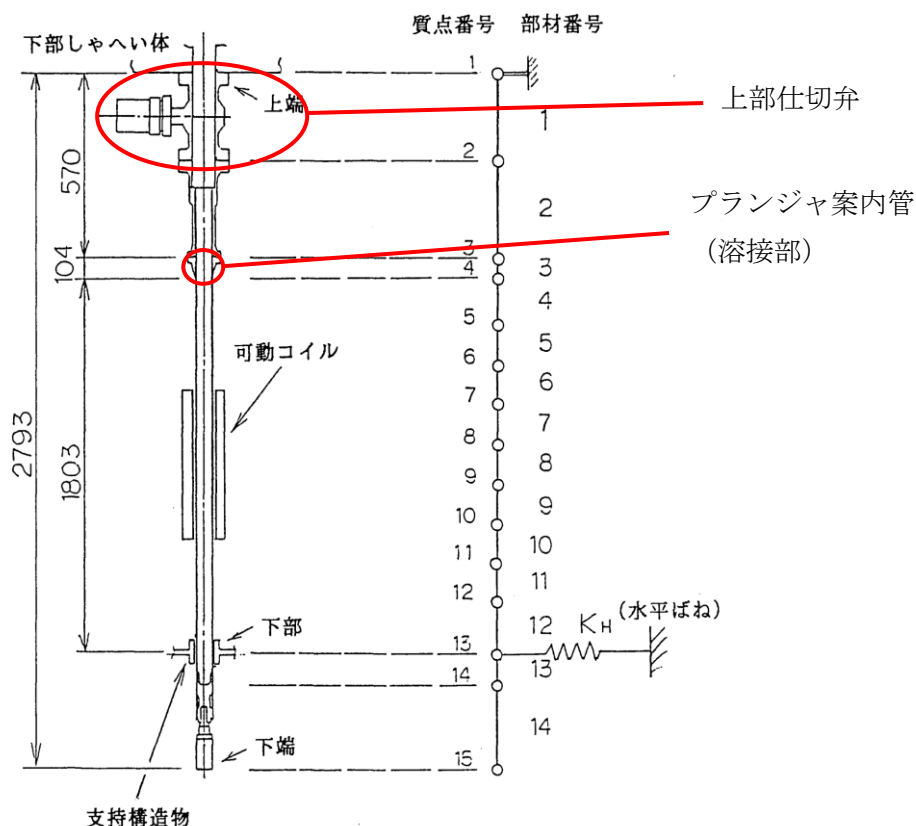
設工認その13で申請した機器配管の耐震評価の評価結果一覧において、裕度が1.04未満の機器を以下に示す。(R2.7.13 審査会合資料から抜粋)

設備機器	固有振動数 [Hz]		地震荷重				評価結果						
			震度[G]			使用質点 原子炉建家 (原子炉本体)	種類	減衰 [%]	応力が一番かかる部位	応力の種類	応力 [MPa]	許容 [MPa]	裕度 [-]
	水平		鉛直	NS	EW								
	NS	EW	UD	NS	EW	UD							
制御棒駆動機構及び制御棒駆動機構案内管	10.3	145.4	-	-	-	3	時刻歴応答	1.0	制御棒駆動機構案内管	一次+二次	345	346	1.00
サイフォンブレイク弁 KV21-29	-	-	-	-	-	-	PCS-R-14の応答加速度	-	弁駆動部	応答加速度*	5.87*	6.00*	1.02
上部遮蔽体 固定遮蔽体	22.7	17.5	1.21	0.98	-	10	1.2ZPA	-	接続ボルト	引張	245	252	1.02
一次冷却材熱交換器	15.3	33.6	0.48	0.25	-	2	鉛直:1.2ZPA 水平:FRS読み取り値	1.0	基礎ボルト	引張	133	136	1.02

*単位：[G]

上記について、制御棒駆動機構及び制御棒駆動機構案内管、サイフォンブレイク弁、上部遮蔽体は許容応力状態IV_ASの評価結果である。一次冷却材熱交換器は許容応力状態B_ASの評価結果である。それぞれの評価における保守性について次ページ以降に示す。

①制御棒駆動機構及び制御棒駆動機構案内管



(単位: N/mm²)

	評価場所	材料	応力	許容応力状態IV _{AS}	
				算出応力	許容応力
裕度が一番厳しい部位	プランジャ案内管 (溶接部)	SUS304L	一次+二次	345	346
裕度が二番目に厳しい部位	上部仕切弁	SCS19A	曲げ	161	180
			ねじり	161	180

・保守性について

本評価における算出応力は、「添付書類 3-4-3-2. 制御棒駆動機構及び制御棒駆動機構案内管の地震応答解析」により得られた数値（時刻歴応答解析）を用いて算出したものである。

通常の評価では Ss-1 から Ss-D の各波ごとに応力値（軸力、せん断、曲げモーメント）を算出し、一次応力や一次+二次応力を計算する。前述の添付書類に記載した地震応答解析により得られた数値は、制御棒駆動機構及び制御棒駆動機構案内管の各要素、各質点について Ss-1 から Ss-D の 5 波ある基準地震動の最大値をとったもので、その最大値を用いて一次応力や一次+二次応力を計算している。そのため、本評価の算出応力は個別の地震波に対する発生応力より保守的な値となる。なお、設工認その 11 で申請した原子炉本体の地震応答解

析についても時刻歴応答解析を実施しており、算出された応力値から格子板支持胴、プレナム、重水タンクの評価を行っている。また、クライオスタットの上位波及影響評価（許容応力状態IV_AS）においても時刻歴応答解析を行っており、同様の手法を用いている。

（例）Ss地震応答解析結果における要素1,3,8及び質点1,3,8にかかる発生応力

		<u>Ss-1</u>	<u>Ss-2</u>	<u>Ss-3</u>	<u>Ss-4</u>	<u>Ss-D</u>
<u>要素1</u>	<u>軸力[N]</u>	<u>511</u>	<u>509</u>	<u>538</u>	<u>764</u>	<u>795</u>
<u>要素1</u>	<u>せん断[N]</u>	<u>898</u>	<u>1110</u>	<u>490</u>	<u>976</u>	<u>1086</u>
<u>質点1</u>	<u>曲げモーメント</u> <u>[N・mm]</u>	<u>8.855×10^5</u>	<u>1.089×10^6</u>	<u>4.342×10^5</u>	<u>8.540×10^5</u>	<u>9.516×10^5</u>

		<u>Ss-1</u>	<u>Ss-2</u>	<u>Ss-3</u>	<u>Ss-4</u>	<u>Ss-D</u>
<u>要素3</u>	<u>軸力[N]</u>	<u>377</u>	<u>376</u>	<u>398</u>	<u>564</u>	<u>587</u>
<u>要素3</u>	<u>せん断[N]</u>	<u>837</u>	<u>1025</u>	<u>389</u>	<u>781</u>	<u>854</u>
<u>質点3</u>	<u>曲げモーメント</u> <u>[N・mm]</u>	<u>3.867×10^5</u>	<u>4.726×10^5</u>	<u>1.782×10^5</u>	<u>3.572×10^5</u>	<u>3.912×10^5</u>

		<u>Ss-1</u>	<u>Ss-2</u>	<u>Ss-3</u>	<u>Ss-4</u>	<u>Ss-D</u>
<u>要素8</u>	<u>軸力[N]</u>	<u>171</u>	<u>171</u>	<u>180</u>	<u>256</u>	<u>266</u>
<u>要素8</u>	<u>せん断[N]</u>	<u>25</u>	<u>31</u>	<u>12</u>	<u>23</u>	<u>25</u>
<u>質点8</u>	<u>曲げモーメント</u> <u>[N・mm]</u>	<u>3.428×10^5</u>	<u>4.181×10^5</u>	<u>1.575×10^5</u>	<u>3.147×10^5</u>	<u>3.447×10^5</u>

荷重：Ss 地震動						
制御棒駆動機構及び制御棒駆動機構案内管						
要素	軸力 [N]					
1	795	796	796	796	796	795
2	648	649	649	649	649	648
3	587	587	588	588	587	587
4	567	567	567	567	567	567
5	557	557	558	558	557	557
6	540	540	540	540	540	540
7	407	407	407	407	407	407
8	266	267	267	267	267	266
9	174	175	175	175	175	174
10	122	122	122	122	122	122
11	105	105	105	105	105	105
12	97	97	98	98	97	97
13	13	13	13	13	13	13
14	4	4	4	4	4	4

図-3-4-3-2.16 制御棒駆動機構及び制御棒駆動機構案内管の軸力 (Ss 地震応答解析)
制御棒 1 本分のデータ

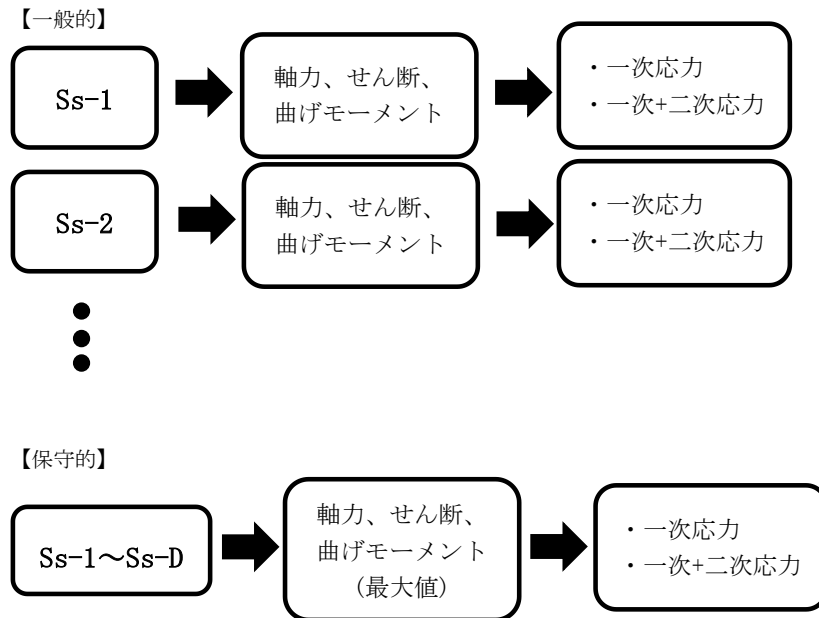
荷重：Ss 地震動						
制御棒駆動機構及び制御棒駆動機構案内管						
要素	せん断力 [N]					
1	1110	1112	1108	1109	1113	1110
2	1061	1065	1059	1060	1066	1062
3	1025	1029	1024	1024	1031	1027
4	1010	1014	1008	1009	1016	1011
5	993	996	991	992	998	994
6	940	944	939	939	945	941
7	492	494	491	491	495	492
8	31	31	31	31	31	31
9	366	367	365	365	368	366
10	542	545	542	542	546	543
11	592	594	591	591	595	592
12	606	608	605	605	609	606
13	24	24	24	24	24	24
14	9	9	9	9	9	9

図-3-4-3-2.17 制御棒駆動機構及び制御棒駆動機構案内管のせん断力 (Ss 地震応答解析)
制御棒 1 本分のデータ

荷重：Ss 地震動						
制御棒駆動機構及び制御棒駆動機構案内管						
質点	曲げモーメント[N・mm]					
1	1.089×10 ⁶	1.093×10 ⁶	1.087×10 ⁶	1.088×10 ⁶	1.095×10 ⁶	1.090×10 ⁶
2	8.014×10 ⁵	8.044×10 ⁵	8.003×10 ⁵	8.006×10 ⁵	8.060×10 ⁵	8.023×10 ⁵
3	4.726×10 ⁵	4.744×10 ⁵	4.720×10 ⁵	4.721×10 ⁵	4.754×10 ⁵	4.732×10 ⁵
4	3.659×10 ⁵	3.673×10 ⁵	3.655×10 ⁵	3.656×10 ⁵	3.681×10 ⁵	3.665×10 ⁵
5	2.278×10 ⁵	2.286×10 ⁵	2.274×10 ⁵	2.275×10 ⁵	2.290×10 ⁵	2.279×10 ⁵
6	3.237×10 ⁵	3.249×10 ⁵	3.231×10 ⁵	3.233×10 ⁵	3.254×10 ⁵	3.239×10 ⁵
7	4.181×10 ⁵	4.197×10 ⁵	4.174×10 ⁵	4.176×10 ⁵	4.204×10 ⁵	4.184×10 ⁵
8	4.181×10 ⁵	4.197×10 ⁵	4.174×10 ⁵	4.176×10 ⁵	4.204×10 ⁵	4.184×10 ⁵
9	4.129×10 ⁵	4.145×10 ⁵	4.123×10 ⁵	4.124×10 ⁵	4.152×10 ⁵	4.133×10 ⁵
10	3.635×10 ⁵	3.649×10 ⁵	3.630×10 ⁵	3.631×10 ⁵	3.655×10 ⁵	3.638×10 ⁵
11	3.071×10 ⁵	3.083×10 ⁵	3.066×10 ⁵	3.068×10 ⁵	3.088×10 ⁵	3.074×10 ⁵
12	1.591×10 ⁵	1.597×10 ⁵	1.589×10 ⁵	1.589×10 ⁵	1.600×10 ⁵	1.593×10 ⁵
13	5.185×10 ³	5.184×10 ³	5.242×10 ³	5.236×10 ³	5.237×10 ³	5.249×10 ³
14	1.360×10 ³	1.366×10 ³	1.360×10 ³	1.361×10 ³	1.364×10 ³	1.358×10 ³
15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

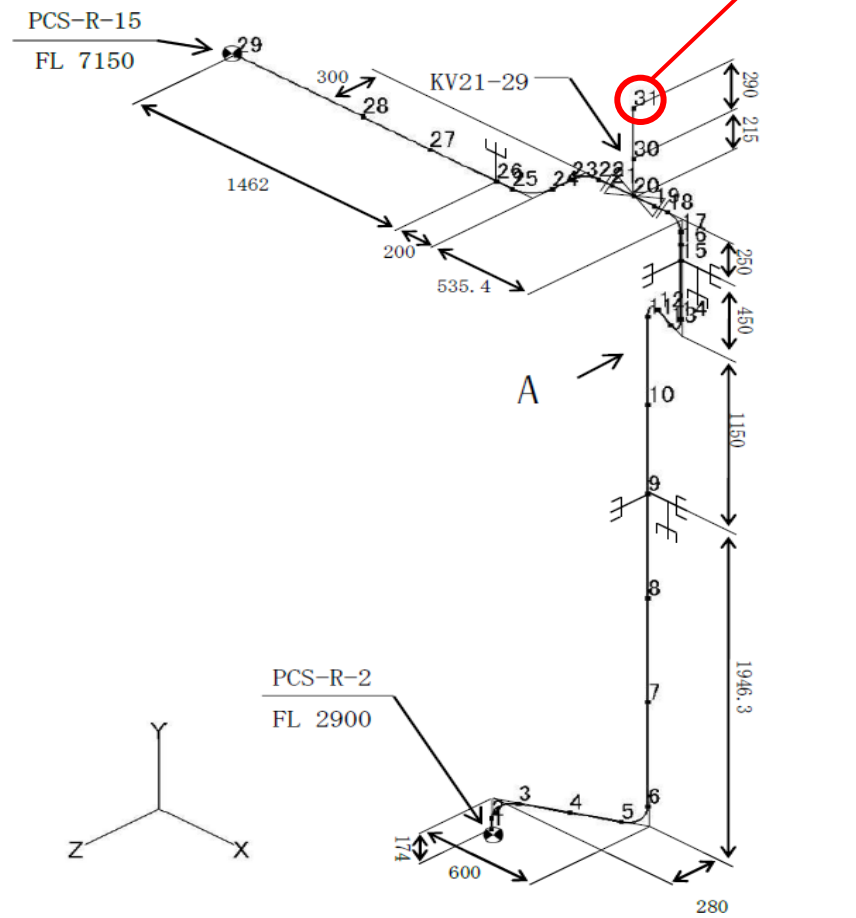
図-3-4-3-18 制御棒駆動機構及び制御棒駆動機構案内管の曲げモーメント
制御棒 1 本分のデータ (Ss 地震応答解析)

参考：添付書類 3-4-3-2. 制御棒駆動機構及び制御棒駆動機構案内管の地震応答解析 (添 3-4-3-2-16)



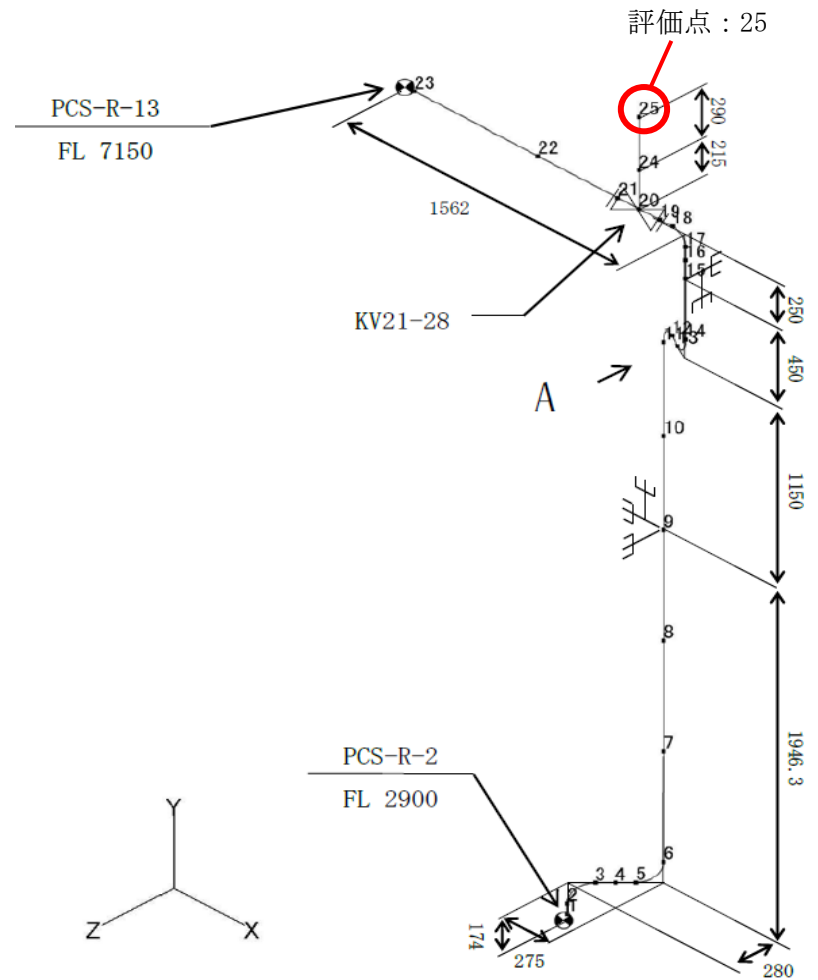
評価イメージ図

②サイフォンブレイク弁



PCS-R-14

評価点：31



PCS-R-12

評価点：25

弁駆動部の評価結果

	モデル	名称	許容応力状態Ⅳ _{AS}	
			水平応答加速度(G)	許容値(G)
裕度が一番厳しい部位	PCS-R-14	KV21-29 (評価点: 31)	5.87	6.00
裕度が二番目に厳しい部位			一次+二次 (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)
			274	332
裕度が一番厳しい部位	PCS-R-12	KV21-28 (評価点: 25)	5.05	6.00
裕度が二番目に厳しい部位			一次+二次 (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)
			176	332

・保守性について

PCS-R-14 や PCS-R-12 における固有値解析結果から、通常の評価では X 方向、Y 方向は 20 Hz 以上であるため入力地震動に静的地震力 (ZPA) を用いて、Z 方向は動的地震力 (FRS) を用いる。今回の評価では保守的に X、Y、Z 方向で動的地震力 (FRS) を用いているため、その影響から評価結果が保守的な値となっている。PCS-R-12 においても同様である。また、スペクトルモーダル解析は各モードの時間的変化を考慮せず、設備の各固有周期の最大応答を算出している。そのため各モードの時間的変化や水平地震動と上下地震動の応答の時間的な相違を考慮した時刻歴応答解析よりも保守的な評価となっている。

・サイフォンブレイク弁及び接続管の評価における参考資料

PCS-R-14 における固有値解析結果

モード	X 方向 (Hz)	Y 方向 (Hz)	Z 方向 (Hz)
固有振動数 (Hz)	22.3	91.4	11.7

PCS-R-14 の各方向 1 次モード固有値解析結果における入力加速度比較

方向	(Hz)	保守性考慮なし	保守性考慮あり	応答加速度の 増加割合 (%)
		床加速度 (gal)	床加速度 (gal)	
X 方向	22.3	<u>838.738</u> (ZPA 値による静的地震力)	<u>2953.175</u> (スペクトルモーダル解析 における FRS 読み値)	252.097
Y 方向	91.4	<u>801.031</u> (ZPA 値による静的地震力)	<u>865.754</u> (スペクトルモーダル解析 における FRS 読み値)	8.07
Z 方向	11.7	<u>4850.687</u> (スペクトルモーダル解析に おける FRS 読み値)	<u>4850.687</u> (スペクトルモーダル解析 における FRS 読み値)	0.00

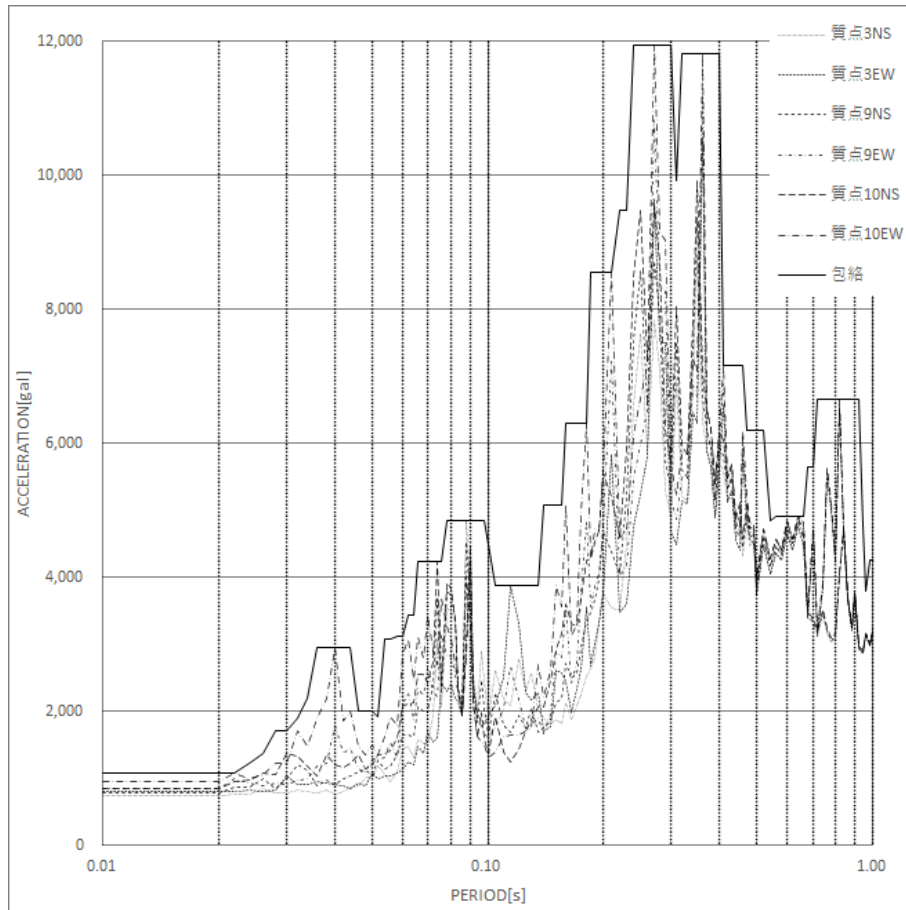
PCS-R-12 における固有値解析結果

モード	X 方向 (Hz)	Y 方向 (Hz)	Z 方向 (Hz)
固有振動数 (Hz)	42.0	31.5	14.7

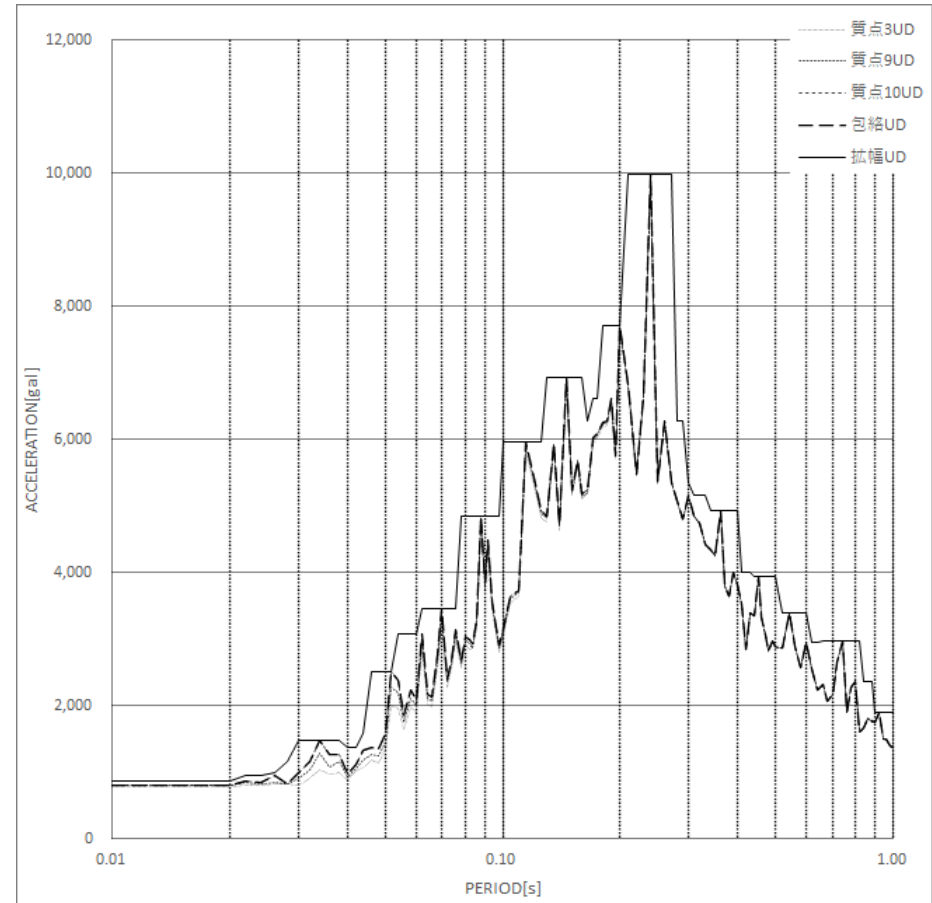
PCS-R-12 の各方向 1 次モード固有値解析結果における入力加速度比較

方向	(Hz)	保守性考慮なし	保守性考慮あり	応答加速度の 増加割合 (%)
		床加速度 (gal)	床加速度 (gal)	
X 方向	42.0	<u>838.738</u> (ZPA 値による静的地震力)	<u>1229.739</u> (スペクトルモーダル解析に おける FRS 読み値)	46.61
Y 方向	31.5	<u>801.031</u> (ZPA 値による静的地震力)	<u>1468.515</u> (スペクトルモーダル解析に おける FRS 読み値)	83.32
Z 方向	14.7	<u>4226.894</u> (スペクトルモーダル解析に おける FRS 読み値)	<u>4226.894</u> (スペクトルモーダル解析に おける FRS 読み値)	0.00

設計用床応答スペクトル (水平方向)

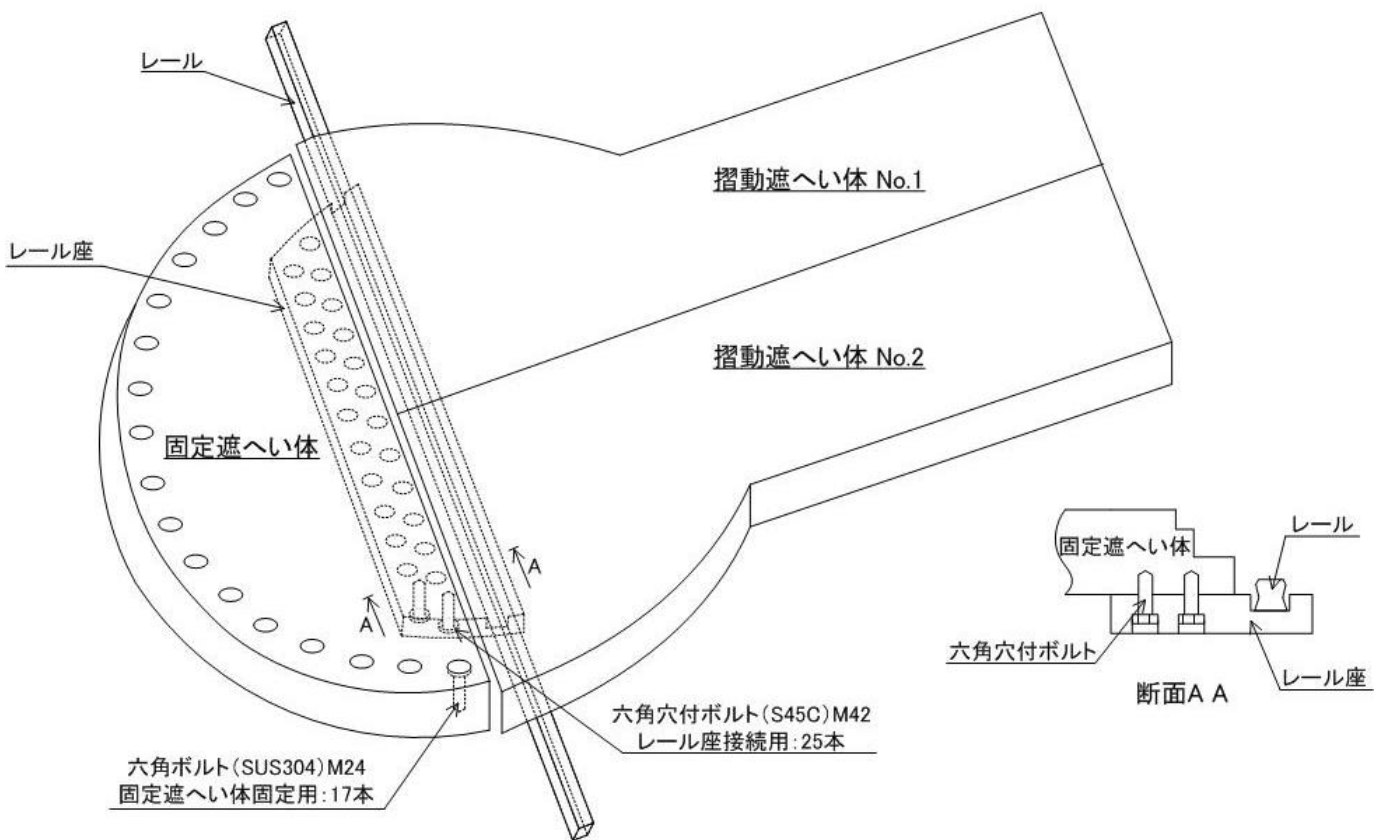
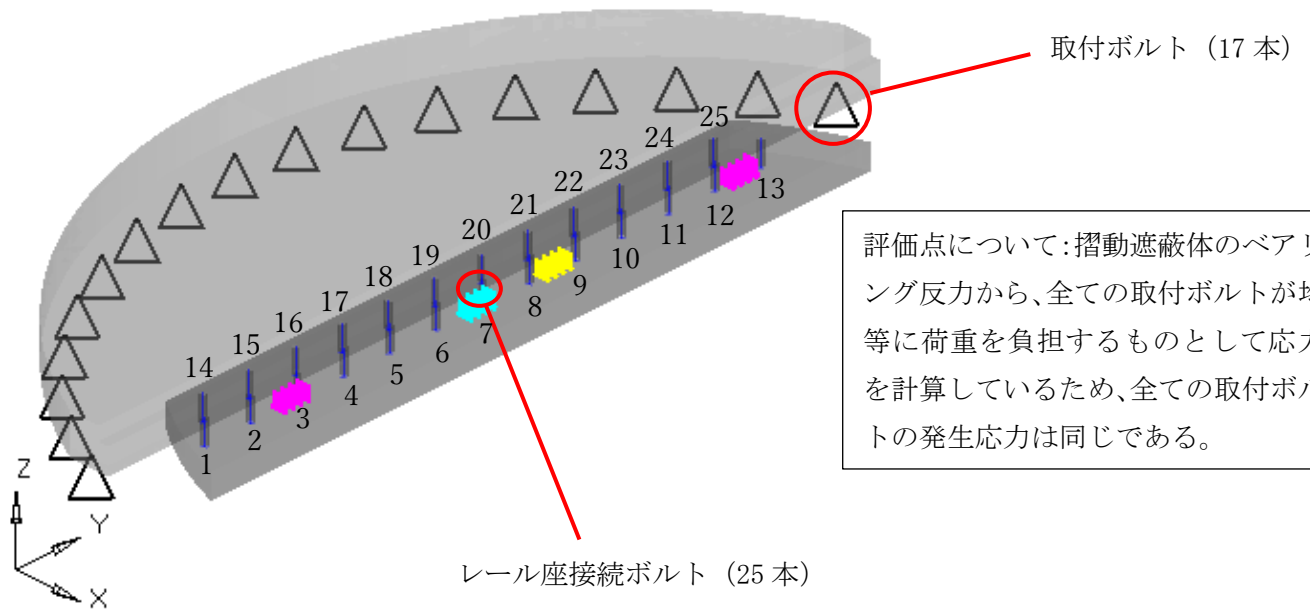


設計用床応答スペクトル (鉛直方向)



原子炉建家質点 : 3、9、10、方向 : NSEW、減衰定数 : 0.5%

③上部遮蔽体



レール座接続ボルト詳細図

固定遮蔽体（レール座接続ボルト及び取付ボルトの位置）

（単位：N/mm²）

	部材	材料	応力	許容応力状態IV _s	
				算出 応力	許容 応力
裕度が一番厳しい 部位	固定遮蔽体レール座接続ボルト (摺動遮蔽体閉時) (FEM)	S45C	引張	245	252
裕度が二番目に厳 しい部位	固定遮蔽体取付ボルト (摺動遮蔽体閉時) (FEM)	SUS304L	せん断	96	142

・保守性について

今回、固定遮蔽体のボルトに発生する軸力（鉛直方向）及びせん断力（水平方向）の解析にはFEMモデルを使用しており、レール座接続ボルトについては25本のボルトをモデル化している。FEM解析により得られたボルト部に発生する応力は以下のとおりであり、各方向の応力の最大値が発生している要素は異なるが、保守的に評価を行うために得られた各方向の最大値を組み合わせてボルトの評価を実施した。

FEM解析により得られたボルト部に発生する応力一覧表

ボルト No.	Z方向軸力 Fz (N)	X方向せん断力 Fx (N)	Y方向せん断力 Fy (N)
<u>1</u>	<u>155246.900</u>	<u>11361.060</u>	<u>-11594.470</u>
<u>2</u>	<u>162520.200</u>	<u>-84.262</u>	<u>-18281.380</u>
<u>3</u>	<u>166008.100</u>	<u>-4784.225</u>	<u>-19403.790</u>
<u>4</u>	<u>184455.100</u>	<u>-5110.490</u>	<u>-14996.110</u>
<u>5</u>	<u>232196.200</u>	<u>-1923.231</u>	<u>-6941.817</u>
<u>6</u>	<u>303099.800</u>	<u>3670.567</u>	<u>-1057.885</u>
<u>7</u>	<u>339215.900</u>	<u>5885.366</u>	<u>1298.007</u>
<u>8</u>	<u>326826.500</u>	<u>5367.272</u>	<u>1646.226</u>
<u>9</u>	<u>254878.100</u>	<u>-1001.564</u>	<u>5818.834</u>
<u>10</u>	<u>196966.900</u>	<u>-4951.017</u>	<u>14516.580</u>
<u>11</u>	<u>173868.000</u>	<u>-5058.438</u>	<u>19590.400</u>
<u>12</u>	<u>168820.400</u>	<u>-507.799</u>	<u>18649.170</u>
<u>13</u>	<u>160468.100</u>	<u>11198.460</u>	<u>12301.170</u>
<u>14</u>	<u>-202036.500</u>	<u>2053.764</u>	<u>-1199.449</u>
<u>15</u>	<u>-156434.000</u>	<u>-4597.692</u>	<u>-10511.840</u>
<u>16</u>	<u>-140955.400</u>	<u>-6052.290</u>	<u>-13542.360</u>
<u>17</u>	<u>-124262.400</u>	<u>-4096.239</u>	<u>-11157.590</u>
<u>18</u>	<u>-93756.480</u>	<u>417.732</u>	<u>-6061.305</u>
<u>19</u>	<u>-65436.910</u>	<u>4321.456</u>	<u>-1841.042</u>
<u>20</u>	<u>-59482.060</u>	<u>5147.288</u>	<u>1820.684</u>

<u>21</u>	<u>-85300.020</u>	<u>1533.764</u>	<u>4700.585</u>
<u>22</u>	<u>-122671.500</u>	<u>-3670.268</u>	<u>10039.050</u>
<u>23</u>	<u>-144754.800</u>	<u>-6214.688</u>	<u>13285.770</u>
<u>24</u>	<u>-162706.600</u>	<u>-4993.129</u>	<u>10747.150</u>
<u>25</u>	<u>-208900.300</u>	<u>2088.601</u>	<u>2175.385</u>

ボルトの静的応力解析結果（設工認その13表3-4-1-1.8より抜粋）

	Z方向軸力Fz (N)	X方向せん断力Fx (N)	Y方向せん断力Fy (N)
摺動遮蔽体閉時 (IVAS)	339215.900	11361.060	19590.400

また、ボルトのせん断応力に対する組合せ応力は、水平地震力による応力と鉛直地震力による応力をSRSS法で組み合わせるのが一般的であるが、今回のボルトのせん断応力は水平地震力による応力と鉛直地震力による応力を保守的に絶対値和法で組み合わせで算出している。

$$\tau_b = \tau_v + \tau_H \quad (\text{設工認その13添3-1-1-23より})$$

τ_b : ボルトのせん断応力

τ_v : 鉛直震度によるせん断応力

τ_H : 水平震度によるせん断応力

そのため、以下に示すようにボルトのせん断応力は保守的に算出される。

	N/mm ²	備考
鉛直震度によるせん断応力 τ_v	17	$\sqrt{\left(\frac{F_x}{A_{b1}}\right)^2 + \left(\frac{F_y}{A_{b1}}\right)^2}$ ただし、 $A_{b1} = 1385\text{mm}^2$
水平震度によるせん断応力 τ_H	60	$\frac{F_4}{A_{b1} \times n_2}$ ただし、 $F_4 = 413092.7\text{ N}$ (設工認その13添3-4-1-1-14、2.2.3.(1)(a)において $C_H = 1.21$ とした) $A_{b1} = 1385\text{mm}^2$ $n_2 = 5$
絶対値和法によるボルトのせん断応力 τ_b	102	$\tau_v + 1.42 \times \tau_H$ ※水平2方向の組合せを考慮し、水平方向は1.42倍する。
SRSS法によるボルトのせん断応力 τ_b	89	$1.42 \times \sqrt{\tau_v^2 + \tau_H^2}$

更に、その影響から次頁の参考資料に示すとおり引張応力に対する許容応力値が減少し、相対的に裕度が下がっている。なお、以下に示すように固定遮蔽体のボルトのIV_AS状態に対する許容引張応力が摺動遮蔽体の開閉で大きく異なるのは、上記のとおり摺動遮蔽体閉時においてボルトのせん断応力を保守的に評価しているためである。

ボルトの許容応力（設工認その13表3-4-1-1.12より抜粋）

部材	材料	摺動遮蔽体開閉	許容引張応力 (N/mm ²)
固定遮蔽体レール座接続ボルト	S45C	閉	252
		開	297
固定遮蔽体取付ボルト	SUS340L	閉	104
		開	154

なお、参考に示すように個々のボルトに対して評価を行った場合、最も厳しいボルトで裕度が申請書に記載した1.02から1.11まで上がる。

以上から上部遮蔽体の耐震評価は、十分に保守的な評価を実施した上で許容値を満足するものである。

- ・ 上部遮蔽体のボルト評価における参考資料

d. ボルト等の応力

2章で求める各ボルトの引張応力は下記2式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。せん断応力 τ_b は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau_b$$

$$f_{ts} \leq f_{t0}$$

許容応力 Sa	一次応力	
	許容引張応力 f_{t0}	許容せん断応力 f_{sb}
IV _A S B _A S	$1.5 \left(\frac{F}{2} \right)$	$1.5 \left(\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \right)$

参考：添付書類 3-4-1-1. 上部遮蔽体の耐震強度評価（添 3-4-1-1-6）

【SRSS 法】

$$\text{応力} = 1.42 \times \sqrt{\text{MAX}[\text{水平}X^2 + \text{鉛直}Y^2, \text{水平}Z^2 + \text{鉛直}Y^2]}$$

【絶対値和法】

$$\text{応力} = \text{MAX}[1.42 \times |\text{水平}X| + |\text{鉛直}Y|, 1.42 \times |\text{水平}Z| + |\text{鉛直}Y|]$$

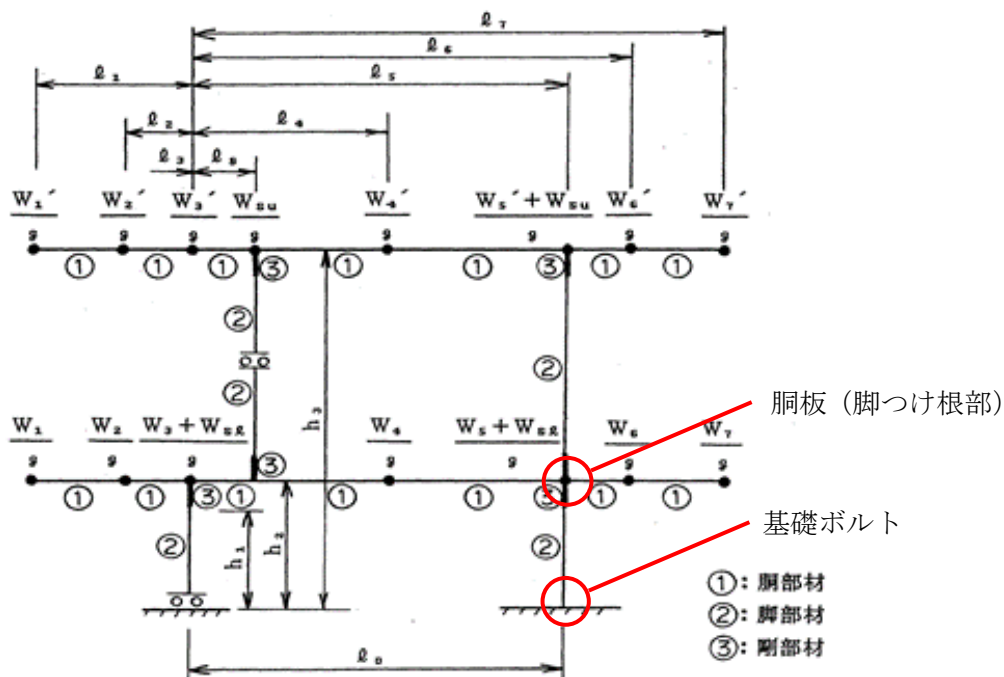
(参考)

FEM 解析により得られたボルト部に発生する応力一覧表から算出した各ボルトの評価

(N/mm²)

ボルト No.	引張応力 σ	鉛直震度による せん断応力 τ_V	水平震度による せん断応力 τ_H	絶対値和法によ るボルトのせん 断応力 τ_b	許容引張応力 f_{ts}
<u>1</u>	<u>112.1</u>	<u>11.7</u>	<u>60.0</u>	<u>96.9</u>	<u>260.7</u>
<u>2</u>	<u>117.3</u>	<u>13.2</u>	<u>60.0</u>	<u>98.4</u>	<u>258.4</u>
<u>3</u>	<u>119.9</u>	<u>14.4</u>	<u>60.0</u>	<u>99.6</u>	<u>256.4</u>
<u>4</u>	<u>133.2</u>	<u>11.4</u>	<u>60.0</u>	<u>96.6</u>	<u>261.2</u>
<u>5</u>	<u>167.7</u>	<u>5.2</u>	<u>60.0</u>	<u>90.4</u>	<u>271.2</u>
<u>6</u>	<u>218.8</u>	<u>2.8</u>	<u>60.0</u>	<u>88.0</u>	<u>275.1</u>
<u>7</u>	<u>244.9</u>	<u>4.4</u>	<u>60.0</u>	<u>89.6</u>	<u>272.5</u>
<u>8</u>	<u>236.0</u>	<u>4.1</u>	<u>60.0</u>	<u>89.3</u>	<u>273.0</u>
<u>9</u>	<u>184.0</u>	<u>4.3</u>	<u>60.0</u>	<u>89.5</u>	<u>272.7</u>
<u>10</u>	<u>142.2</u>	<u>11.1</u>	<u>60.0</u>	<u>96.3</u>	<u>261.8</u>
<u>11</u>	<u>125.5</u>	<u>14.6</u>	<u>60.0</u>	<u>99.8</u>	<u>256.1</u>
<u>12</u>	<u>121.9</u>	<u>13.5</u>	<u>60.0</u>	<u>98.7</u>	<u>257.9</u>
<u>13</u>	<u>115.9</u>	<u>12.0</u>	<u>60.0</u>	<u>97.2</u>	<u>260.3</u>
<u>14</u>	<u>-145.9</u>	<u>1.7</u>	<u>60.0</u>	<u>86.9</u>	<u>276.7</u>
<u>15</u>	<u>-112.9</u>	<u>8.3</u>	<u>60.0</u>	<u>93.5</u>	<u>266.2</u>
<u>16</u>	<u>-101.8</u>	<u>10.7</u>	<u>60.0</u>	<u>95.9</u>	<u>262.3</u>
<u>17</u>	<u>-89.7</u>	<u>8.6</u>	<u>60.0</u>	<u>93.8</u>	<u>265.7</u>
<u>18</u>	<u>-67.7</u>	<u>4.4</u>	<u>60.0</u>	<u>89.6</u>	<u>272.5</u>
<u>19</u>	<u>-47.2</u>	<u>3.4</u>	<u>60.0</u>	<u>88.6</u>	<u>274.1</u>
<u>20</u>	<u>-42.9</u>	<u>3.9</u>	<u>60.0</u>	<u>89.1</u>	<u>273.2</u>
<u>21</u>	<u>-61.6</u>	<u>3.6</u>	<u>60.0</u>	<u>88.8</u>	<u>273.8</u>
<u>22</u>	<u>-88.6</u>	<u>7.7</u>	<u>60.0</u>	<u>92.9</u>	<u>267.1</u>
<u>23</u>	<u>-104.5</u>	<u>10.6</u>	<u>60.0</u>	<u>95.8</u>	<u>262.5</u>
<u>24</u>	<u>-117.5</u>	<u>8.6</u>	<u>60.0</u>	<u>93.8</u>	<u>265.8</u>
<u>25</u>	<u>-150.8</u>	<u>2.2</u>	<u>60.0</u>	<u>87.4</u>	<u>276.0</u>
設工認 申請書	<u>245</u>	<u>17</u>	<u>60</u>	<u>102</u>	<u>252</u>

④一次冷却材熱交換器



(単位: N/mm²)

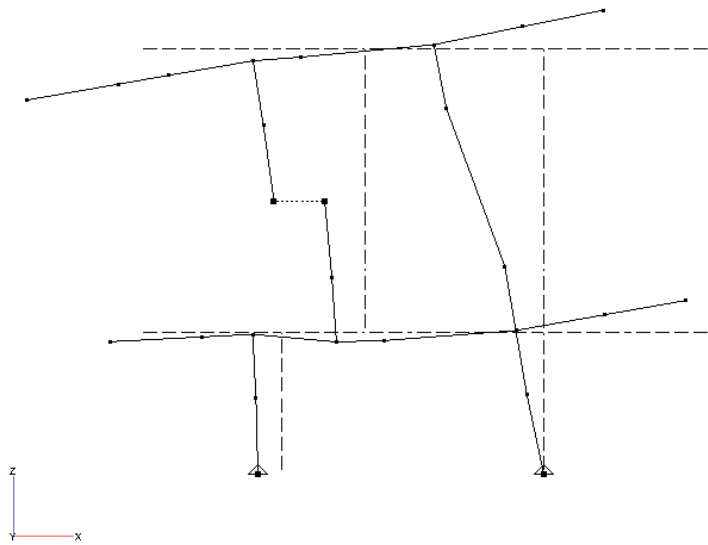
	部材	材料	応力	許容応力状態 BAS	
				算出 応力	許容 応力
裕度が一番厳しい部位	基礎ボルト	SS400	引張	133	136
裕度が二番目に厳しい部位	銅板	SUS304L	一次膜+一次曲げ	90	166

・保守性について

許容応力状態 BAS の評価では、建家との共振の恐れがない場合は、鉛直方向の動的地震力は考慮不要だが、本モデルでは鉛直方向が剛でも保守的に動的地震力を考慮している。そのため、次頁に示すように鉛直方向の動的地震力を考慮しない場合に比べ、大きな引張力が発生し、結果、引張応力も鉛直方向の地震力を考慮しない場合に比べ大きな値となっている。

一次冷却材熱交換器の固有値解析結果

固有振動数 (Hz)	
水平方向	鉛直方向
15.3	33.6



1次モード図

基礎ボルトの発生応力の比較

	鉛直方荷重 P_s (N)	引張力 F_b (N)	引張応力 σ_{bl} (N/mm ²)	裕度
鉛直地震力を考慮 ($C_v = 0.25$)	32501.47	269503.06	132.37	1.027
鉛直地震力を無視 ($C_v = 0$)	43322.63	262970.76	129.16	1.052

- 一次冷却材熱交換器の基礎ボルト評価における参考資料

長手方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合に脚底面に働く鉛直方向荷重 P_s は次式で表す。

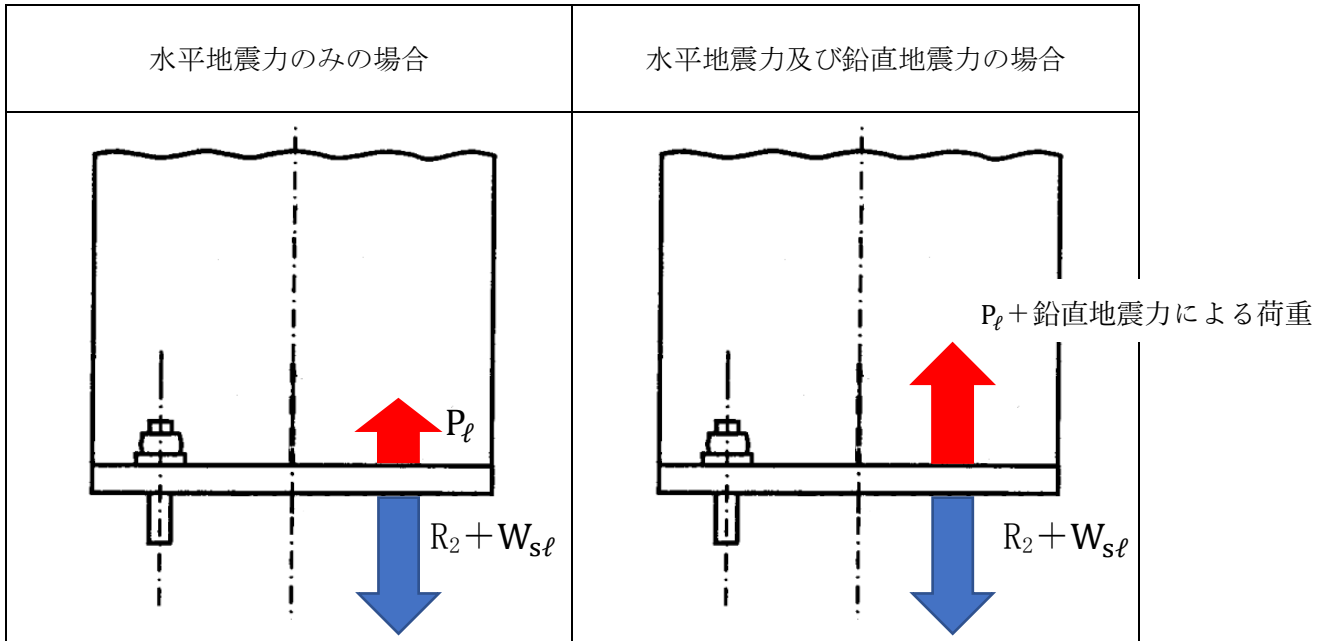
【SRSS 法】

$$P_s = R_2 + W_{sl} - \sqrt{\{C_v(R_2 + W_{sl})\}^2 + P_t^2}$$

圧縮荷重

引張荷重

鉛直地震力による荷重



R_2 : 第2脚の受ける重量 [N]

W_{sl} : 下胴の脚の重量 [N]

P_l : 長手方向地震により下胴の脚つけ根部に働く鉛直方向荷重 [N]

C_v : 鉛直方向設計震度

参考：添付書類 3-3-2-2. 横置二胴円筒形容器 (添 3-3-2-2-25)

【R2.7.13 審査会合コメント】

制御棒駆動機構は裕度が非常に少ないため変形も進んでいると考えているが、スクラム検知時刻や制御棒挿入完了時刻、変位量が 2mm に到達する時刻における各地震波の時刻歴や変位量を示し、裕度が十分にあることを説明すること。

以下に各地震波に対する制御棒駆動機構の水平方向の変位が 2mm に到達する時刻をしめす（時刻歴を 3 ページ以降に示す）。地震波の時刻歴から、JRR-3 では地震の初期のわずかな揺れでスクラムを検知し、制御棒の挿入を完了することができることがわかる。スクラム検知から挿入完了までの時間（1 秒）と比較し、スクラム検知時刻から制御棒駆動機構の変位が 2mm 以上となるまでには十分な時間がある。

	スクラム検知時刻 (s)	検討範囲 (s)	水平方向変位が 2mm 以上となる時刻 (s)	スクラム検知から変位が 2mm 以上となるまでの時間 (s)
Ss-D	5.23	0~6.23	13.21	7.98
Ss-1	13.44	0~14.44	18.97	5.53
Ss-2	13.59	0~14.59	18.75	5.16
Ss-3	12.53	0~13.53	22.37	9.84
Ss-4	79.80	0~80.80	103.68	23.88

なお、基準地震動に対し裕度が少なくなっているのは、プランジャ案内管溶接部に対する一次+二次応力の評価結果であり、一次応力に対する評価では十分な裕度を有している。

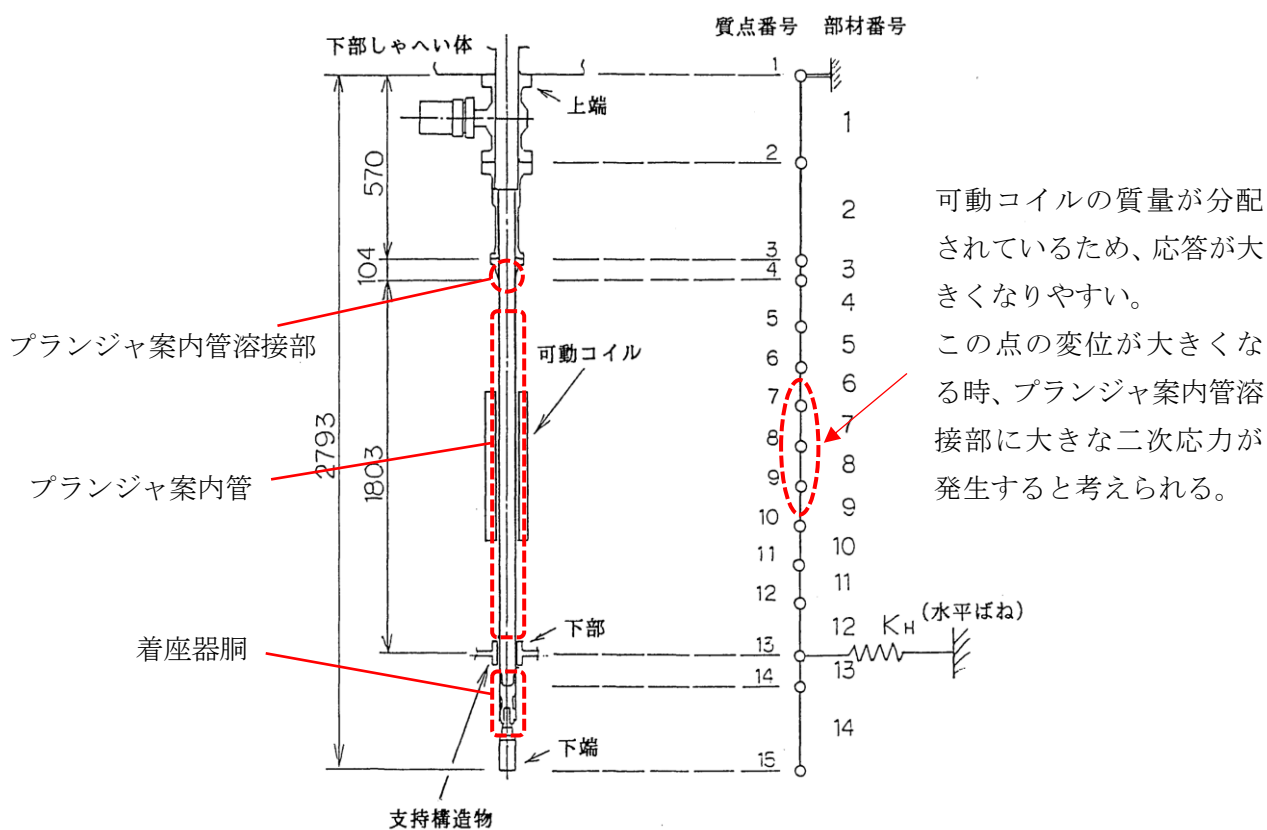
制御棒駆動機構のうち管に該当する部材の評価結果

評価場所	材料	応力	許容応力状態IV _A S	
			算出応力	許容応力
着座器胴	SUS304L	一次一般膜	37	285
		一次+二次	64	346
プランジャ案内管溶接部	SUS304L	一次一般膜	193	285
		一次+二次	345	346
プランジャ案内管	SUS304L	一次一般膜	130	285
		一次+二次	219	346

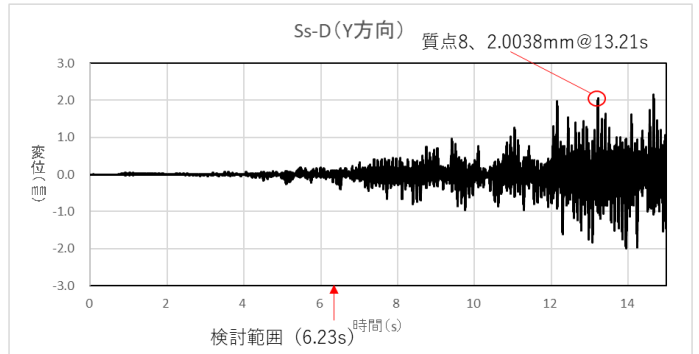
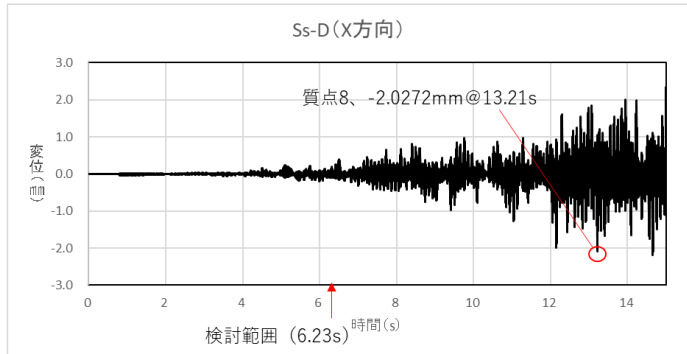
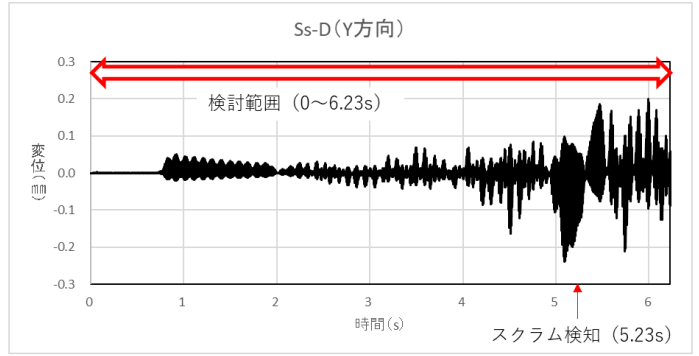
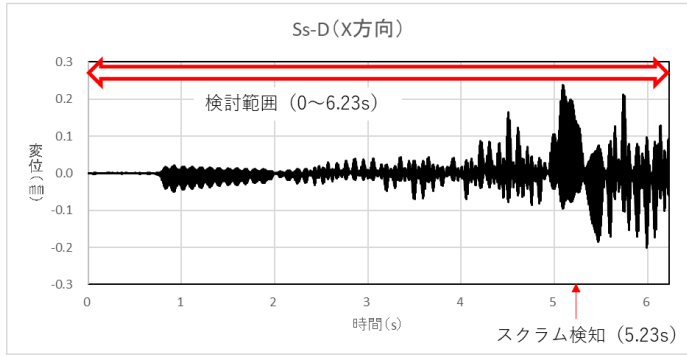
一次+二次応力の最大値が発生する時刻は制御棒駆動機構案内管の変位量が最大となる時刻あるいはその近辺である。制御棒が挿入完了する時刻（Ss-D : 6.23s、Ss-1 : 14.44s、Ss-2 : 14.59s、Ss-3 : 13.53s、Ss-4 : 80.80s）までの制御棒駆動機構案内管の変位量はわず

か（最大で0.3mm程度（Ss-D））であることから、検討範囲内において制御棒の挿入性に影響を与えるような変形はない。（各基準地震動に対し変位が最大となる点（Ss-D：22.74s、Ss-1：20.61s、Ss-2：21.15s、Ss-3：22.36s、Ss-4：114.20s）を8ページに示す）

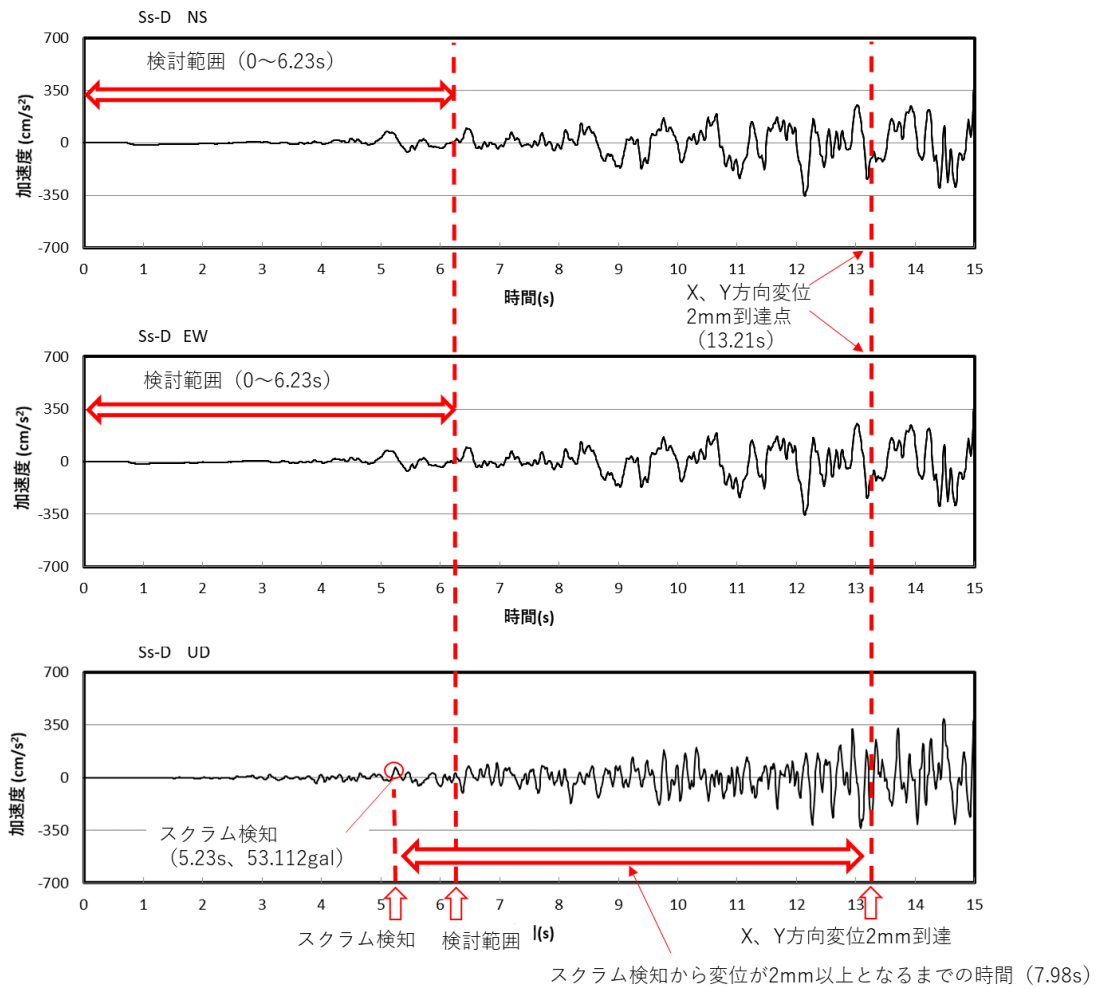
また、制御棒駆動機構の仕組みから1度挿入が完了すれば、仮に制御棒挿入完了後に当該応力により制御棒駆動機構に変形が生じたとしても、原子炉の停止状態は維持することができる。



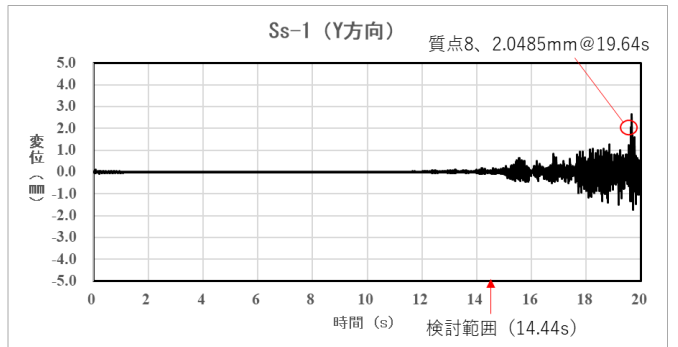
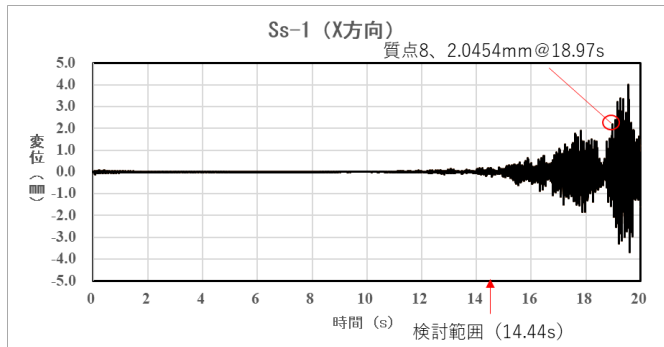
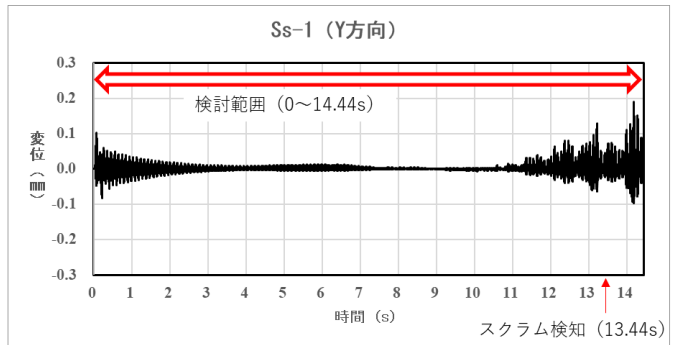
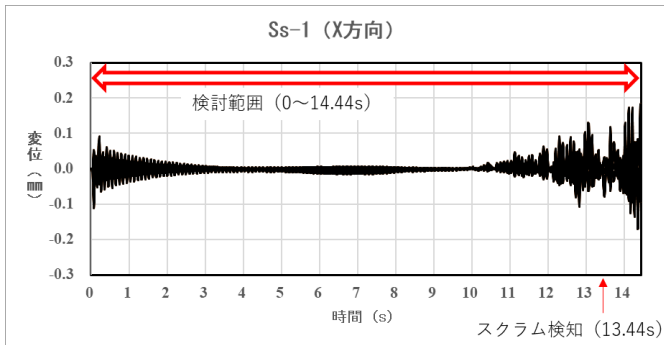
制御棒駆動機構の評価点について



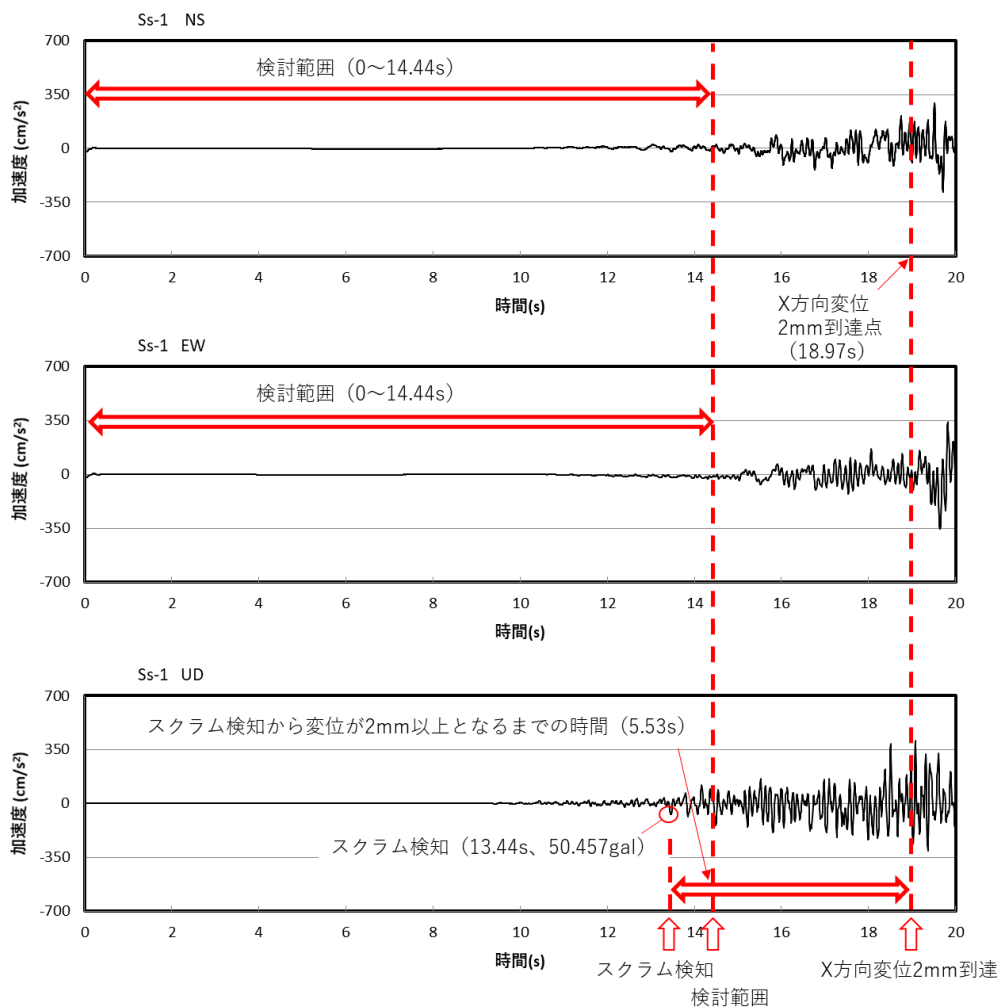
基準地震動 Ss-D に対する制御棒駆動機構の変位時刻歴



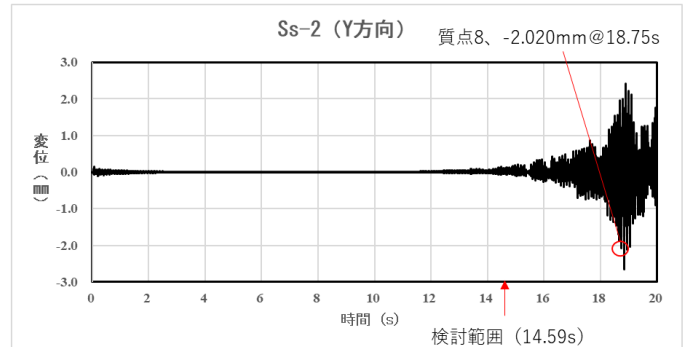
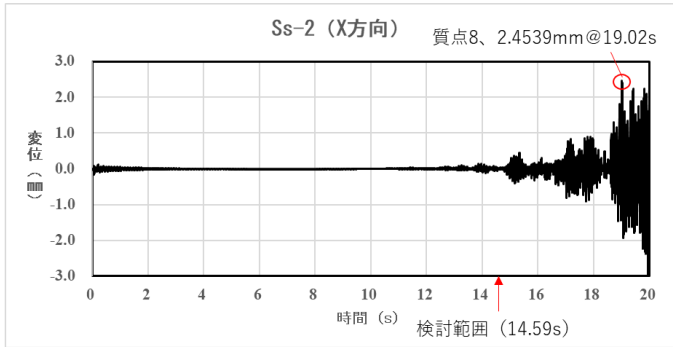
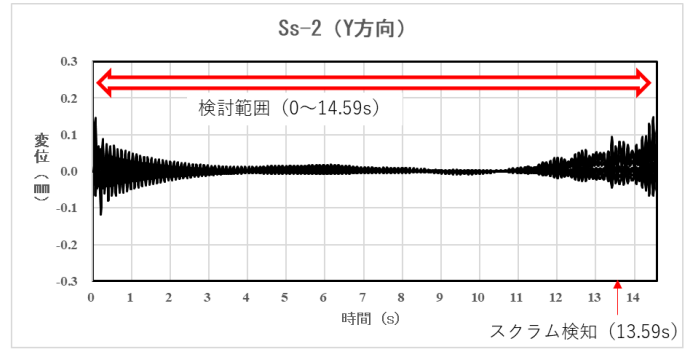
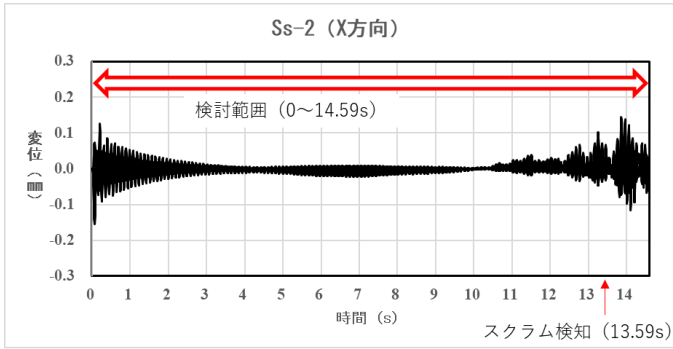
基準地震動 Ss-D 時刻歴 (原子炉建家地階 GL-7.3m)



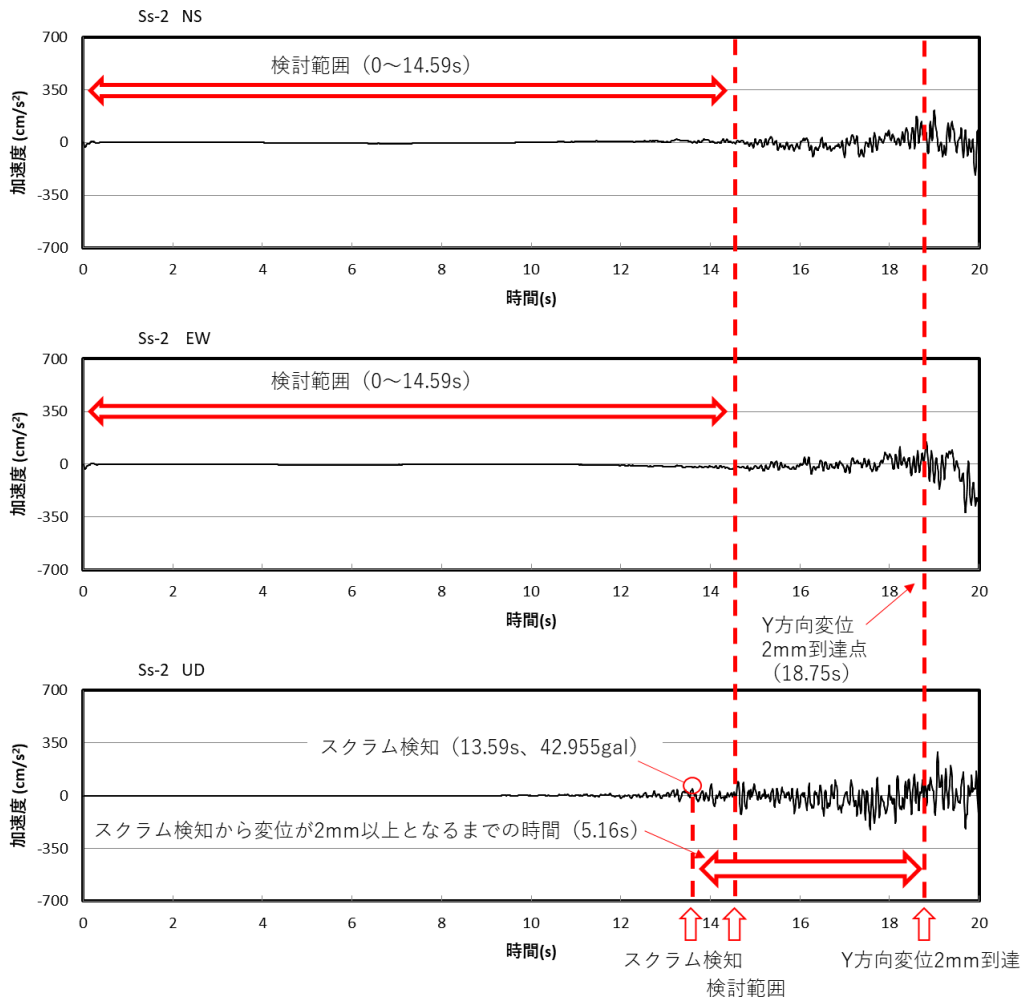
基準地震動 Ss-1 に対する制御棒駆動機構の変位時刻歴



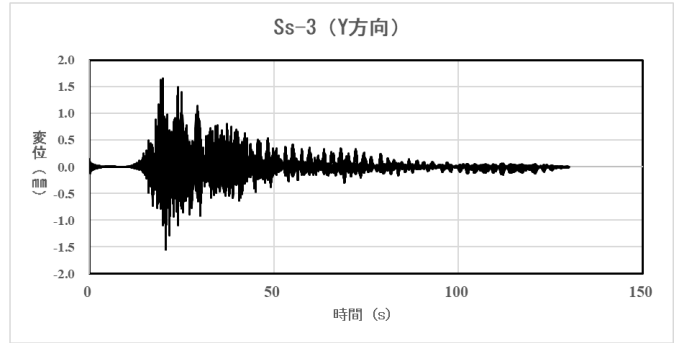
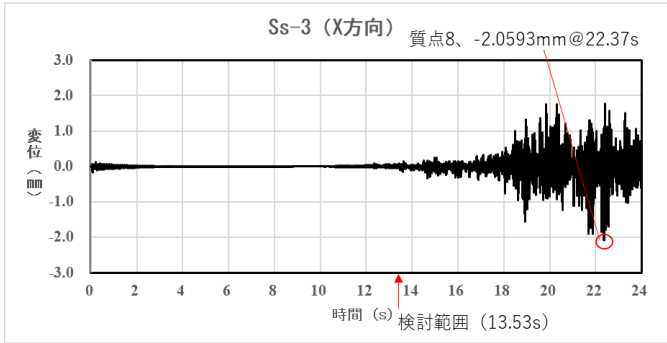
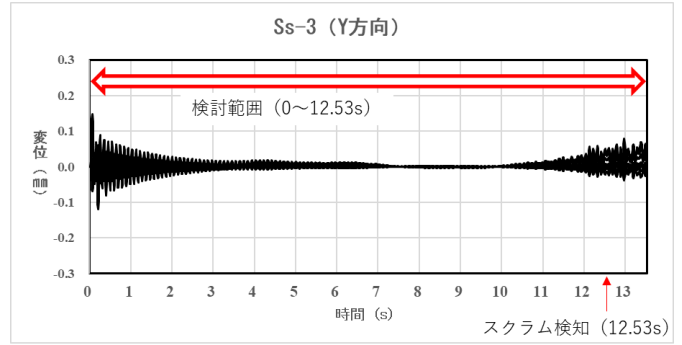
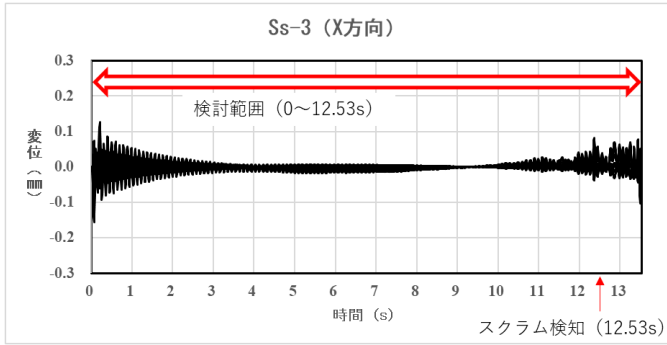
基準地震動 Ss-1 時刻歴 (原子炉建家地階 GL-7.3m)



基準地震動 Ss-2 に対する制御棒駆動機構の変位時刻歴

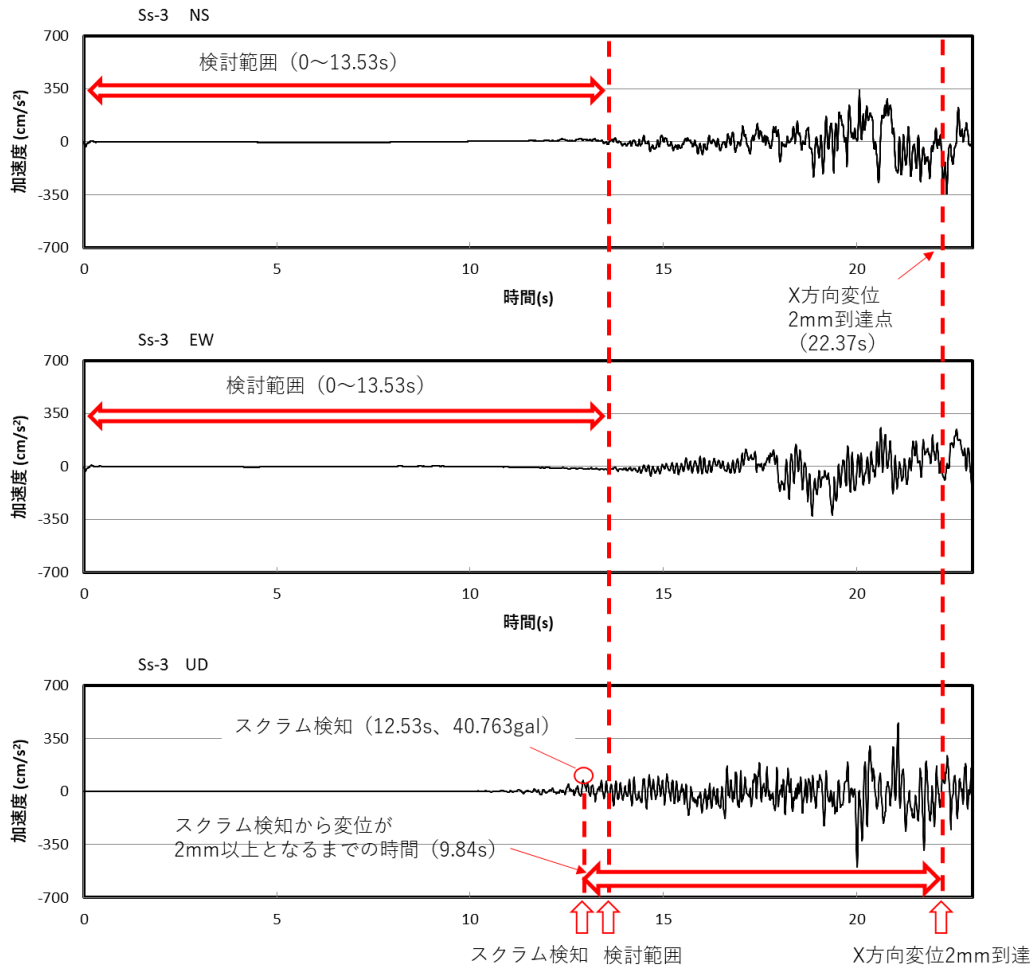


基準地震動 Ss-2 時刻歴 (原子炉建家地階 GL-7.3m)

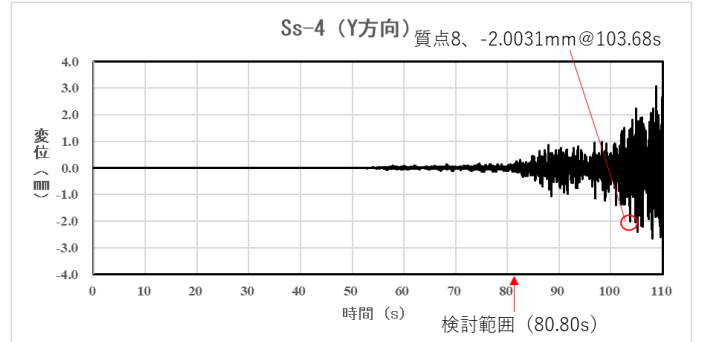
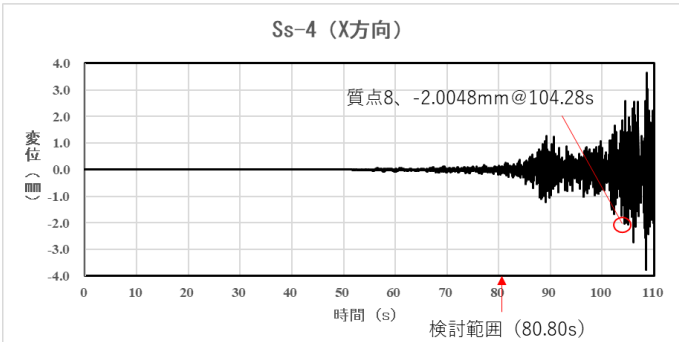
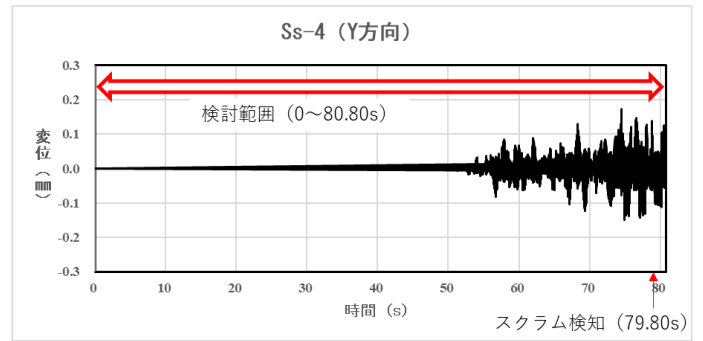
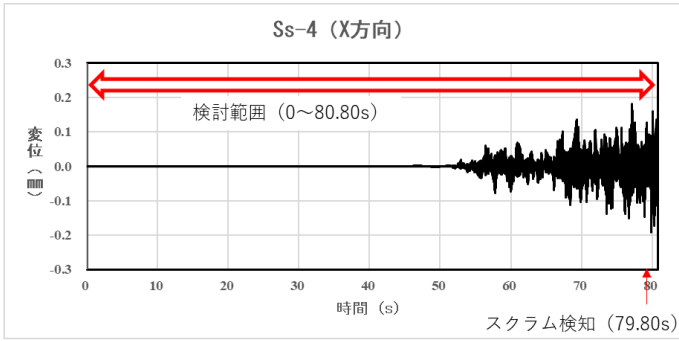


Y方向は地震の全時刻に亘って変位が2mmを超えることはない

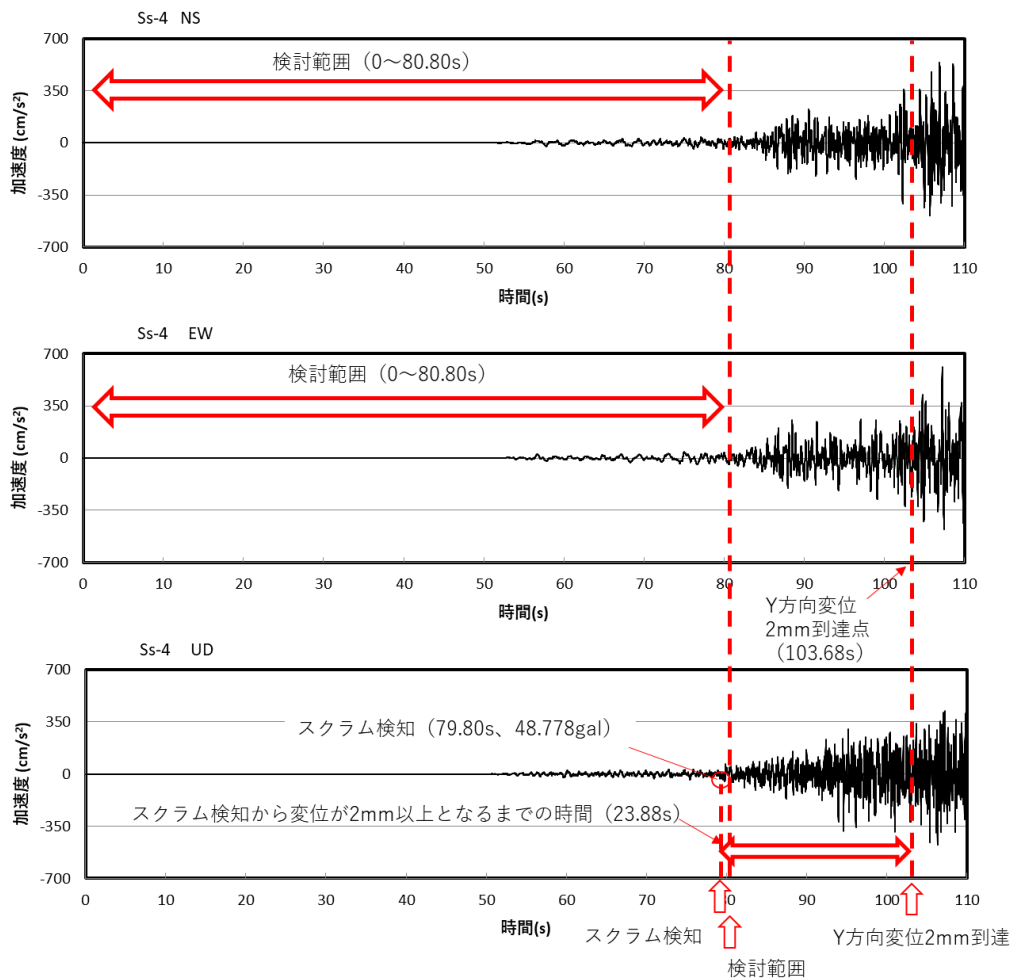
基準地震動 Ss-3 に対する制御棒駆動機構の変位時刻歴



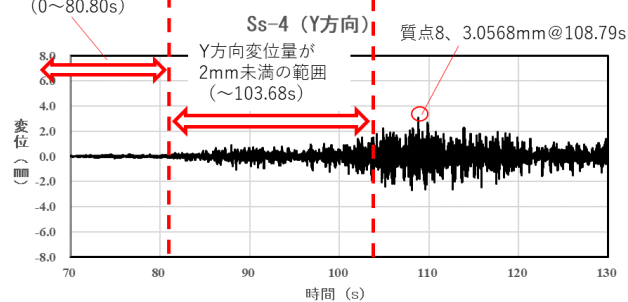
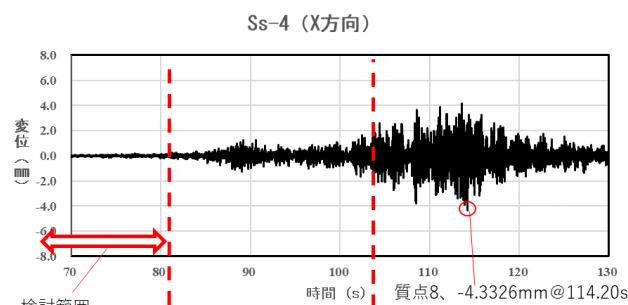
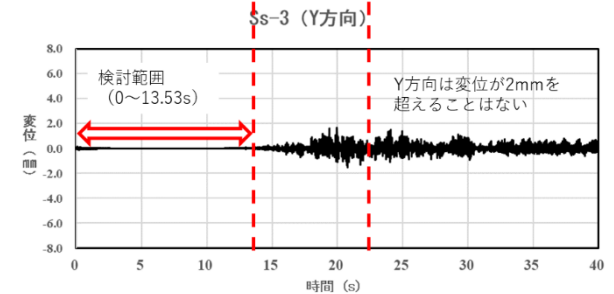
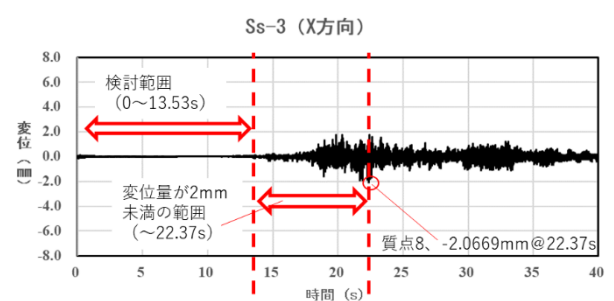
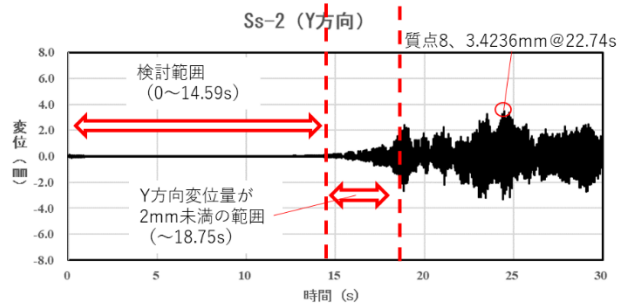
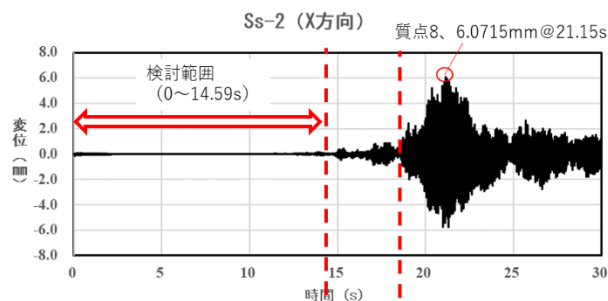
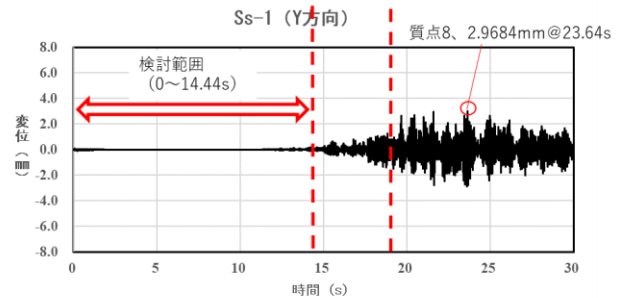
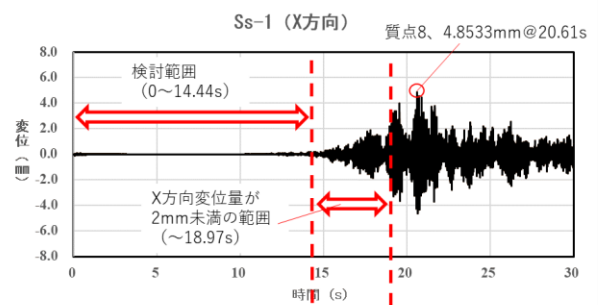
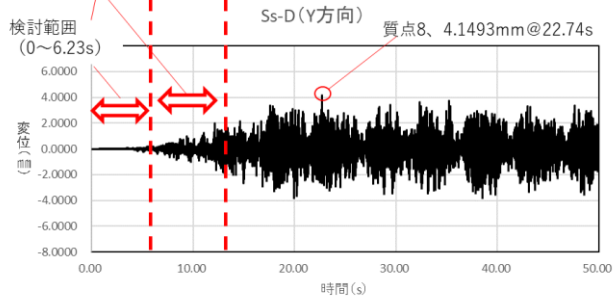
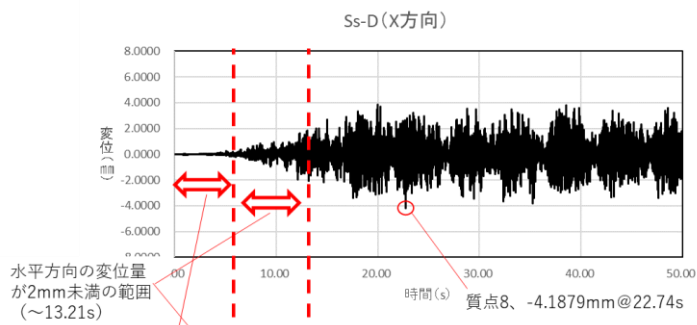
基準地震動 Ss-3 時刻歴 (原子炉建家地階 GL-7.3m)



基準地震動 Ss-4 に対する制御棒駆動機構の変位時刻歴



基準地震動 Ss-4 時刻歴 (原子炉建家地階 GL-7.3m)



各基準地震動に対する制御棒駆動機構の変位時刻歴と変位が最大となる点

一次+二次応力の最大値が発生する時刻は制御棒駆動機構案内管の変位量が最大となる時刻あるいはその近辺である。制御棒が挿入完了する時刻 (Ss-D : 6.23s、Ss-1 : 14.44s、Ss-2 : 14.59s、Ss-3 : 13.53s、Ss-4 : 80.80s) までの制御棒駆動機構案内管の変位量はわずか(最大で0.3mm程度 (Ss-D)) であることから、検討範囲内において制御棒の挿入性に影響を与えるような変形はない。

【参考1】 入力地震波の方向について

入力地震波の向きについては、下記モデル図の X 軸方向を NS 方向、Y 軸方向を EW 方向に設定している。

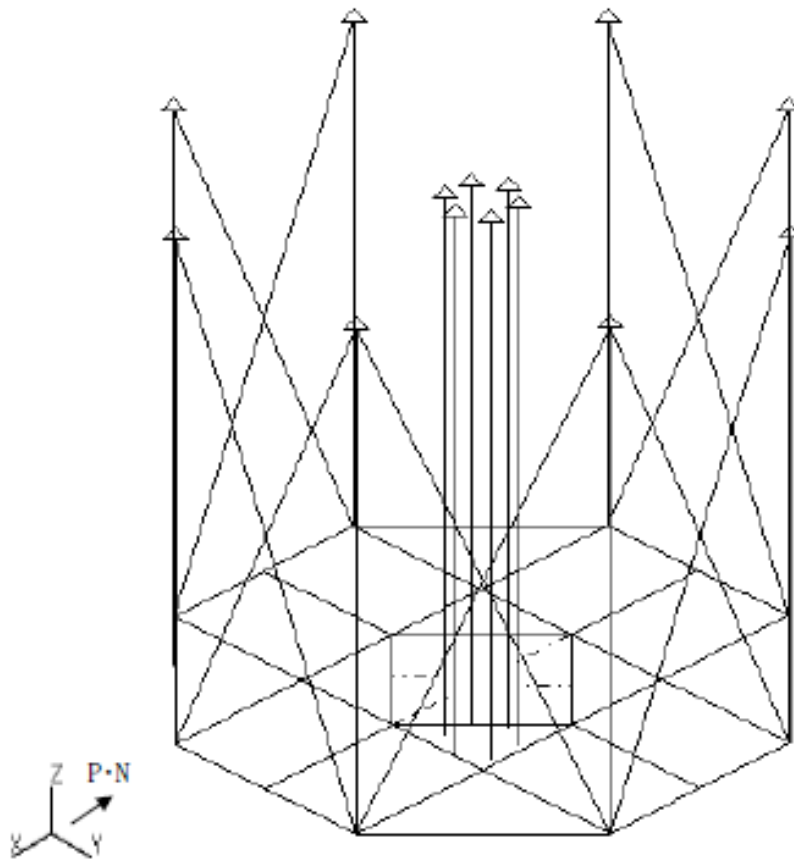
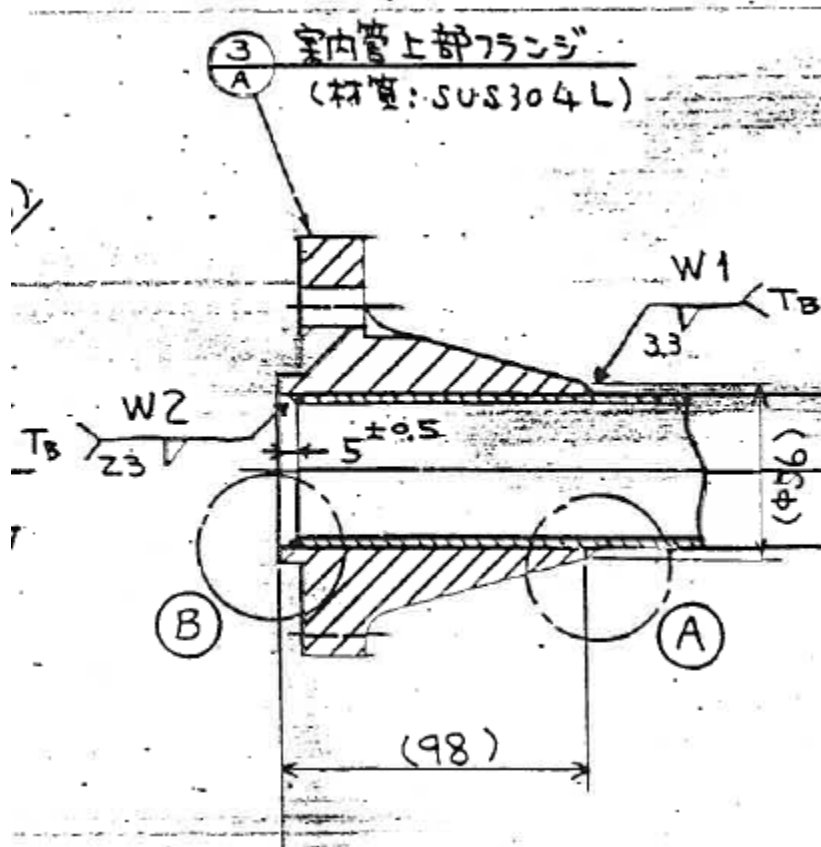
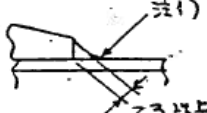


図-3-4-3-2.3 制御棒駆動機構及び制御棒駆動機構案内管 地震応答解析モデル

【参考2】 プランジャ案内管溶接部について

プランジャ案内管はフランジに対し、下図の A 部と B 部の 2 か所全周溶接されている。そのうち、本評価では A 部について評価を実施している。A 部は Tig 溶接によるすみ肉溶接で、母材（プランジャ案内管）の厚さ 2.3mm、脚長は 3.3mm、のど厚は 2.3mm 以上である。なお、当該箇所の溶接施工については 62 安（原規）第 282 号にて溶接方法の認可を受け、原溶発 63 合第 48 号にて溶接検査に合格しているものである。



開先形状	施工法	溶接施工法 認可番号	溶接士資格
「溶接方法認可 2012」第 31 回 第 2. (7) による。 注1)  2.3以上	TB	A-25	Tw-3e R-5 Tw-3r R-5