

HTTR の設工認(第 4 回)申請に係る
応答倍率法とスペクトルモーダル法の
評価結果比較について

令和 3 年 1 月 13 日

日本原子力研究開発機構 大洗研究所

高温ガス炉研究開発センター

高温工学試験研究炉部

応答倍率法は保守性があるとの従前の説明でしたが、新たにスペクトルモーダル法にて評価した応力が、応答倍率法にて評価した応力に比べ大きくなるものがある理由を説明してください。

1. 応答倍率法とスペクトルモーダル法の評価結果の比較

耐震 S クラスの配管に対する基準地震動 S_s を用いた、応答倍率法による評価とスペクトルモーダル法による評価の結果を表 1 に示す。応答倍率法とスペクトルモーダル法による評価を比較し、スペクトルモーダル法による評価の方が大きいものを下線で示す。

また、応答倍率法による評価では、1つの配管に対して複数の節点の結果を算出する場合がある。同表では、応答倍率法による評価の全節点の最大値とスペクトルモーダル法による評価の最大値を比較し、スペクトルモーダル法による評価の方が大きいものを太字で示すとともに、比較結果を示す。

表 1 配管系に対する応答倍率法とスペクトルモーダル法の結果

応答倍率法による 評価実施時の評価番号	評価	応答倍率法	スペクトルモーダル法	比較結果
		発生応力 (MPa)	最大発生 応力(MPa)	
ト-Ss-1 (ト-Ss-2 と同配管)	1 次	23	19	応答倍率法の方が大きい。
	1 次+2 次	95	67	
ト-Ss-2 (ト-Ss-1 と同配管)	1 次	26	19	
	1 次+2 次	70	67	
ト-Ss-3	1 次	67	61	応答倍率法の方が大きい。
	1 次+2 次	132	86	
ト-Ss-4 (ト-Ss-5 と同配管)	1 次	44	25	ト-Ss-4～5 は、同じ配管であり、最大値の比較では応答倍率法の方が大きい。
	1 次+2 次	71	55	
ト-Ss-5 (ト-Ss-4 と同配管)	1 次	45	25	
	1 次+2 次	<u>51</u>	<u>55</u>	
ト-Ss-6 (ト-Ss-7, 8 と同配管)	1 次	90	30	ト-Ss-6～8 は、同じ配管であり、最大値の比較では応答倍率法の方が大きい。
	1 次+2 次	114	77	
ト-Ss-7 (ト-Ss-6, 8 と同配管)	1 次	78	30	
	1 次+2 次	146	77	
ト-Ss-8 (ト-Ss-6, 7 と同配管)	1 次	52	30	
	1 次+2 次	<u>68</u>	<u>77</u>	
ト-Ss-9 (ト-Ss-10, 11 と同配管)	1 次	<u>20</u>	<u>23</u>	ト-Ss-9～11 は、同じ配管であり、一次+二次応力の最大値の比較では応答倍率法の方が大きい。
	1 次+2 次	54	50	
ト-Ss-10 (ト-Ss-9, 11 と同配管)	1 次	<u>21</u>	<u>23</u>	
	1 次+2 次	<u>32</u>	<u>50</u>	
ト-Ss-11 (ト-Ss-9, 10 と同配管)	1 次	<u>14</u>	<u>23</u>	
	1 次+2 次	54	50	

応答倍率法による 評価実施時の評価番号	評価	応答倍率法	スペクトルモーダル法	比較結果
		発生応力 (MPa)	最大発生 応力(MPa)	
ト-Ss-12 (ト-Ss-13と同配管)	1次	<u>76</u>	<u>81</u>	ト-Ss-12～13 は、同じ配管であり、一次+二次応力の最大値の比較では応答倍率法の方が大きい。 スペクトルモーダル法の方が大きい。 ト-Ss-15～16 は、同じ配管であり、最大値の比較では応答倍率法の方が大きい。 ト-Ss-17～18 は、同じ配管であり、一次+二次応力の最大値の比較では応答倍率法の方が大きい。 ト-Ss-19～20 は、同じ配管であり、最大値の比較では応答倍率法の方が大きい。 ト-Ss-21 ト-Ss-22 ト-Ss-23～24 は、同じ配管であり、一次応力の最大値の比較では応答倍率法の方が大きい。 ト-Ss-25 ト-Ss-26 ト-Ss-26 ト-Ss-25と同配管)
	1次+2次	135	132	
ト-Ss-13 (ト-Ss-12と同配管)	1次	<u>49</u>	<u>81</u>	
	1次+2次	<u>78</u>	<u>132</u>	
ト-Ss-14	1次	<u>30</u>	<u>34</u>	
	1次+2次	<u>68</u>	<u>98</u>	
ト-Ss-15 (ト-Ss-16と同配管)	1次	69	65	
	1次+2次	159	102	
ト-Ss-16 (ト-Ss-15と同配管)	1次	<u>41</u>	<u>65</u>	
	1次+2次	106	102	
ト-Ss-17 (ト-Ss-18と同配管)	1次	<u>21</u>	<u>24</u>	
	1次+2次	61	49	
ト-Ss-18 (ト-Ss-17と同配管)	1次	<u>21</u>	<u>24</u>	
	1次+2次	<u>32</u>	<u>49</u>	
ト-Ss-19 (ト-Ss-20と同配管)	1次	69	65	
	1次+2次	163	102	
ト-Ss-20 (ト-Ss-19と同配管)	1次	<u>41</u>	<u>65</u>	
	1次+2次	106	102	
ト-Ss-21	1次	48	42	
	1次+2次	76	74	
ト-Ss-22	1次	74	63	
	1次+2次	149	84	
ト-Ss-23 (ト-Ss-24と同配管)	1次	20	17	
	1次+2次	<u>42</u>	<u>74</u>	
ト-Ss-24 (ト-Ss-23と同配管)	1次	<u>14</u>	<u>17</u>	
	1次+2次	<u>73</u>	<u>74</u>	
ト-Ss-25 (ト-Ss-26と同配管)	1次	83	74	
	1次+2次	151	78	
ト-Ss-26 (ト-Ss-25と同配管)	1次	99	74	
	1次+2次	176	78	

*：応答倍率法は建設当時の設工認の結果に基づく評価であり評価点においては、今回のスペクトルモーダル法による評価点と必ずしも一致しない。

2. 比較の結果

応答倍率法による評価の全節点の最大値とスペクトルモーダル法による評価結果を比較し、スペクトルモーダル法による評価の方が大きい値となった評価モデルは、耐震 S クラスの配管 14 本中に 5 本である。当該評価モデルについて、応力の内訳及び最大応力発生箇所を表 2 及び表 3 に示す。

表 2 及び表 3 から、スペクトルモーダル法の評価が応答倍率法を上回った箇所は、主な最大応力の発生箇所がレジャーサの部分であること、また、二次応力が支配的であることが分かった。

表 2 一次応力の内訳

No.	内圧応力 [MPa]	自重応力 [MPa]	地震応力 [MPa]	一次応力 [MPa]	最大応力 発生箇所
ト-Ss-9~11	8	8	7	23	レジャーサ
ト-Ss-12~13	8	36	37	81	レジャーサ
ト-Ss-14	8	11	15	34	レジャーサ
ト-Ss-17~18	8	8	8	24	レジャーサ

表 3 一次+二次応力の内訳

No.	地震応力 [MPa]	二次応力 [MPa]	一次+二次応力 [MPa]	最大応力 発生箇所
ト-Ss-14	29	69	98	レジャーサ
ト-Ss-23~24	6	68	74	レジャーサ

2.1 レジューサ

2.1.1 レジューサのモデル化

レジューサは、図1のとおり、口径の異なる配管を接続するものである。今回のレジューサの解析モデル化においては、大口径側の配管 A の節点 A と小口径側の配管 B の節点 B を要素でつなげており、要素の物性値に保守的かつ簡易的とするため、重量は配管 A とし、剛性は配管 B として設定している。

2.1.2 配管のモデル化

今回の配管の解析モデルでは、有効質量比 95%以上を考慮し、レジューサの応答を含めてほぼ全ての振動モードを考慮した。建設当時の評価における有効質量比(高次の振動モードを考慮)は不明(レジューサの振動に寄与するモードを考慮したか不明)であり、レジューサの応答が考慮されなかった可能性がある。

2.2 二次応力

二次応力の評価では、建家間の相対変位及び原子炉格納容器(CV)の変位を考慮している。建設当時の CV の変位解析では、解析により CV の代表的な節点(T.P. 36.7m, 28.7m, 20.65m, 14.5m)における応答変位量を導出し、節点間の変位量は線形補間により算出していた。一方、今回の CV の変位解析では、解析技術の向上により、CV の3次元モデルを作成し、細かく設定した全ての節点の応答変位を導出している。

図2は、今回導出した CV の高さ毎の応答変位量を示している。配管の二次応力の評価に用いる応答変位量は、NS 方向加振(青線)、EW 方向加振(緑線)及び UD 方向加振(橙線)による応答変位量を、高さ毎に最小二乗法により算出している(表4参照)。一方、建設当時の配管評価では、代表的な節点の応答変位量のみを算出し、節点間の変位量は線形補間により算出していた(黒破線)。

そのため、今回の二次応力の評価では、これまで考慮していなかった CV のピークの変位量を考慮しており、二次応力の結果が大きくなる。

2.3 まとめ

上記2.1及び2.2の理由から、保守的な解析モデルの作成や計算技術の向上により、一部、今回のスペクトルモーダル法による評価結果が応答倍率法による評価結果を上回る結果となった。

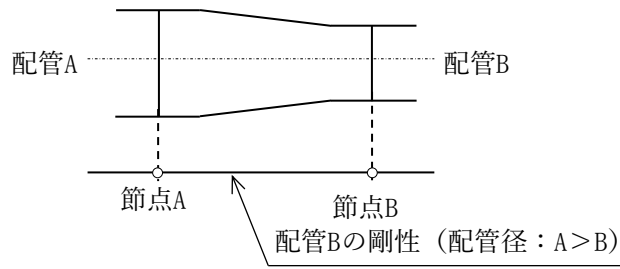


図 1 レジューサのモデル化

表 4 基準地震動 Ss-4 による高さ毎の半径方向最大応答変位量

EL. (m)	半径方向最大変位 δ_{rmax}			組合せ 変位量 (mm)
	EW加振(X) (mm)	NS加振(Y) (mm)	UD加振(Z) (mm)	
33.683	0.4	0.5	0.2	0.6
31.216	0.5	0.8	0.2	0.9
30.816	0.8	1.1	0.3	1.2
30.100	1.2	1.8	0.6	1.9
30.000	1.3	1.9	0.6	2.0
29.900	1.4	2.0	0.6	2.1
29.500	1.7	2.4	0.6	2.5
29.010	2.0	2.9	0.5	3.0
28.800	2.1	3.1	0.6	3.2
28.700	2.2	3.2	0.6	3.3
28.500	2.2	3.2	0.6	3.3
27.800	2.5	3.6	0.6	3.7
27.700	2.5	3.7	0.7	3.8
27.500	2.6	3.8	0.7	3.9
27.300	2.7	3.9	0.6	4.0
26.000	2.8	4.3	0.6	4.4
25.900	2.8	4.4	0.6	4.5
25.800	2.8	4.4	0.6	4.5
25.550	2.8	4.5	0.5	4.6
24.500	2.9	4.5	0.5	4.6
24.300	2.9	4.6	0.4	4.7
24.000	2.9	4.6	0.4	4.7
23.800	2.9	4.5	0.5	4.6
22.900	2.6	4.3	0.5	4.4
22.800	2.6	4.2	0.5	4.3
21.637	2.6	3.6	0.5	3.7
20.700	2.5	3.1	0.5	3.2
20.650	2.5	3.1	0.5	3.2
19.883	2.1	2.6	0.5	2.7
19.600	1.9	2.4	0.5	2.5
18.750	1.6	2.3	0.6	2.4
18.300	1.6	2.3	0.7	2.5
18.230	1.6	2.3	0.7	2.5
18.000	1.6	2.4	0.7	2.5
17.100	2.0	3.1	0.7	3.2
17.000	2.1	3.1	0.7	3.2
16.900	2.0	3.0	0.6	3.1
16.850	2.0	3.0	0.6	3.1
16.000	1.1	1.8	0.9	2.1
15.600	0.8	1.3	0.9	1.6
15.400	0.6	1.0	0.8	1.3
14.500	0.0	0.0	0.0	0.0

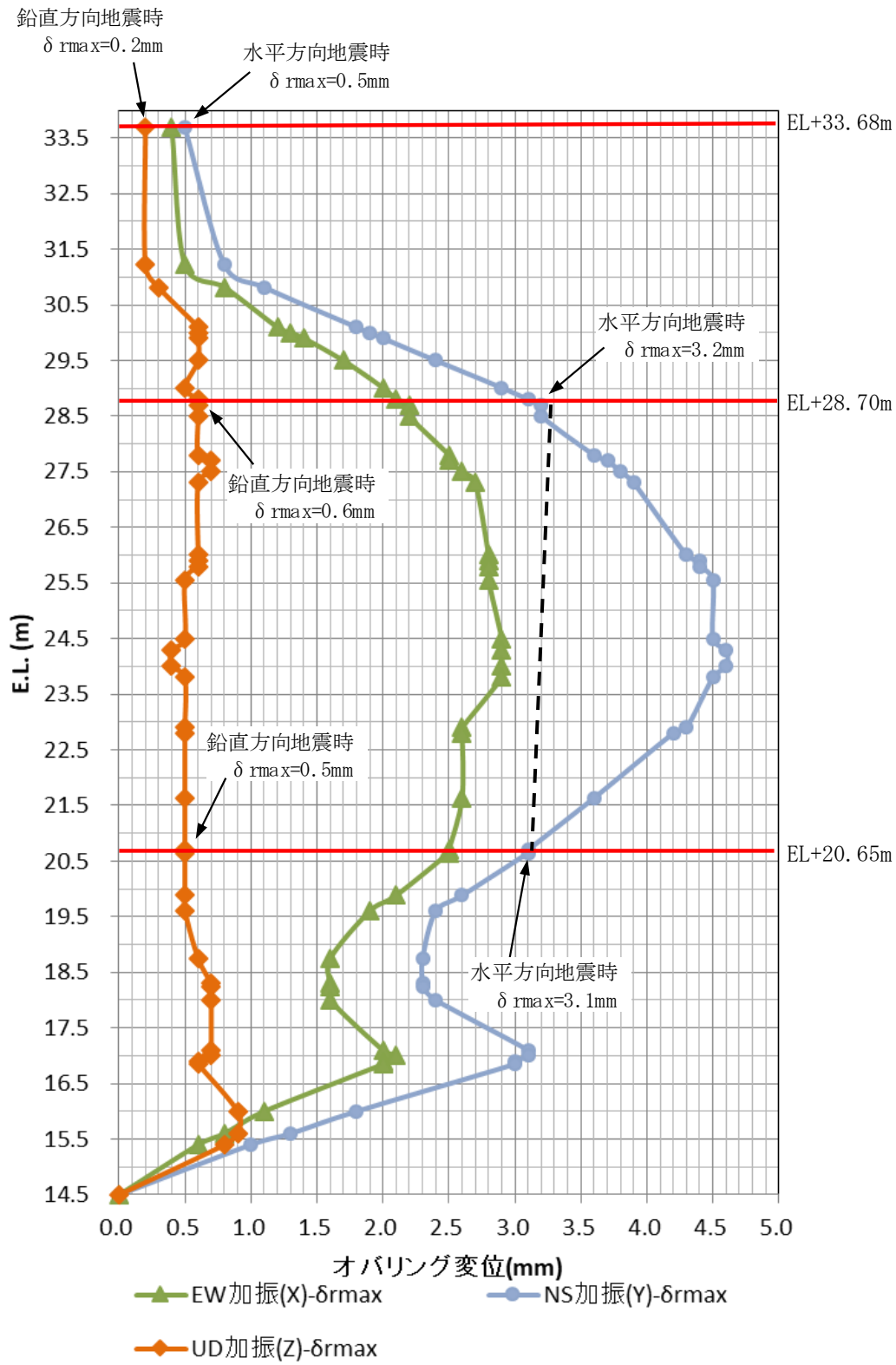


図2 基準地震動 Ss-4 による半径方向最大応答変位グラフ