

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密あるいは防護上の観点
から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-340-13 改 20
提出年月日	平成 30 年 6 月 29 日

工事計画に係る補足説明資料

耐震性に関する説明書のうち

補足-340-13 【機電分耐震計算書の補足について】

平成 30 年 6 月

日本原子力発電株式会社

1. 炉内構造物への極限解析による評価の適用について
2. 設計用床応答曲線の作成方法及び適用方法
3. 建屋－機器連成解析モデルの時刻歴応答解析における振幅マージンの考慮について
4. 機電設備の耐震計算書の作成について
5. 弁の動的機能維持評価について
6. 動的機能維持の詳細評価について（新たな検討又は詳細検討が必要な設備の機能維持評価について）
7. 原子炉格納容器の耐震安全性評価について
8. 制御棒の挿入性評価について
9. 電気盤等の機能維持評価に適用する水平方向の評価用地震力について
10. 大型機器，構造物の地震応答計算書の補足について

下線：ご提出資料

5. 弁の動的機能維持評価について

目 次

1. はじめに	2
2. 弁機能維持評価に用いる配管系の応答値について	2
3. スペクトルモーダル解析において考慮する高振動数領域について	4
4. 高振動数領域を考慮した弁の動機機能維持評価結果	4

添付 1 高振動数領域を考慮した弁の機能維持評価

添付 2 弁の動的機能維持評価に用いる床応答スペクトルについて

添付 3 耐震計算書における機能維持評価の代表選定方法の妥当性について

添付 4 原子炉給水逆止弁の評価用加速度の応答増加率について

1. はじめに

本資料では、実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈等における動的機能保持に関する評価に係る一部改正（以下「技術基準規則解釈等の改正」という）を踏まえて、弁の動的機能維持の検討方針を示す。

2. 弁機能維持評価に用いる配管系の応答値について

技術基準規則解釈等の改正を踏まえて、東海第二発電所の配管系に設置される弁の機能維持評価に適用する加速度値の算定方針について、規格基準に基づく設計手順を整理し、比較することにより示す。規格基準に基づく手法として J E A G 4601 の当該記載部の抜粋を図 1 に示す。

(1) 規格基準に基づく設計手順の整理

J E A G 4601 において、弁の動的機能維持評価に用いる弁駆動部の応答加速度の算定方針が示されている。

配管系の固有値が剛と判断される場合は最大加速度（以下「ZPA」という。）を用いること、また、柔の場合は設計用床応答スペクトルを入力とした配管系のスペクトルモード解析を行い算出された弁駆動部での応答加速度を用いることにより、弁の動的機能維持評価を実施することとされている。

(2) 今回工認における東海第二発電所の設計手順

今回工認における東海第二発電所の弁駆動での応答加速度値の設定は、上記の J E A G 4601 の規定に加えて一定の余裕を見込み評価を実施する方針とする。

a. 剛の場合

配管系が剛な場合は、最大加速度に一定の余裕を考慮し 1.2 倍した値 (1.2ZPA) を用いて弁駆動部の応答加速度を算出し、機能維持評価を実施する。

b. 柔の場合

配管系の固有値が柔の場合は、J E A G 4601 の手順と同様にスペクトルモード解析を行い弁駆動部の応答加速度を算出した値に加えて、剛領域の振動モードの影響を考慮する観点から 1.2 倍した最大加速度 (1.2ZPA) による弁駆動部の応答加速度を算定し、何れか大きい加速度を用いて機能維持評価を行う方針とする。

また、今回工認における弁駆動部の応答加速度の算定に用いる配管系のスペクトルモード解析において、剛領域の振動モードの影響を踏まえて、振動数領域を

20Hz から今回工認においては、50Hz まで考慮した地震応答解析により、弁の応答加速度値の算定を行う。

弁の機能維持評価における規格基準に基づく耐震設計手順及び東海第二発電所の耐震設計手順の比較を表 1 に示す。表 1 に示すとおり、東海第二発電所における弁の機能維持評価に用いる加速度値としては、規格基準に基づく設定方法に比べて一定の余裕を見込んだ値としている。

表 1 弁の機能維持評価の耐震設計手順の比較

配管系の 固有値	J E A G 4601	東海第二発電所
剛の場合	最大加速度(1.0ZPA)を適用する。	最大加速度を 1.2 倍した値(1.2ZPA)を適用する。
柔の場合	スペクトルモーダル解析により算出した弁駆動部の応答を適用する。	スペクトルモーダル解析* ¹ から算定される弁駆動部の応答加速度値又は最大加速度を 1.2 倍した値(1.2ZPA)の何れか大きい方を適用する。

* 1 振動数領域として 50Hz まで考慮した地震応答解析により算定する。

(5) 地震応答解析

弁の地震応答を算出するに当たり、(4)項で作成した弁モデルを配管系モデルに組み込み、地震応答解析を実施する。この場合の解析方法は、配管系の固有値に応じて静的応答解析法あるいはスペクトルモーダル応答解析法を用いる。

配管系の固有値が剛と判断される場合は、静的応答解析を行うが、この場合弁に加わる加速度は設計用床応答スペクトルのZPA（ゼロ周期加速度）であり、これを弁駆動部応答加速度と見なして評価を行う。また、剛の範囲にない場合には、原則として(3)項で定めた設計用床応答スペクトルを入力とする配管系のスペクトルモーダル解析を行い、算出された弁駆動部応答加速度を用いて弁の評価を実施する。更に、弁の詳細評価が必要となる場合には、弁各部の強度評価に必要な応答荷重を算出する。

なお、減衰定数については現在配管系の解析に使用されている0.5~2.5%の値を用いるものとする。

図1 J E A G 4601 (1991) の抜粋

3. スペクトルモーダル解析において考慮する高振動数領域について

高振動数領域を考慮した弁の機能維持評価について、動的機能維持要求弁として主蒸気逃がし安全弁、主蒸気隔離弁が設置された主蒸気系配管に対して検討を行った。本検討では、東海第二発電所における従来の弁の機能維持評価に用いる振動数領域は20Hzまでとしていたが、新たに50Hz、100Hzまで考慮したスペクトルモーダル解析を実施した。本検討の詳細は添付1に示す。

解析結果として50Hzまで振動数を考慮した場合については、20Hzに比べて応答加速度が増加したものの、100Hzまで考慮した場合には、50Hzの応答加速度に対して、弁の応答加速度値に増加がないことから、東海第二発電所における弁の機能維持評価に用いる周波数領域については、50Hzまでを基本として評価を実施することとする。

また、本評価は代表的な弁での検討であるため、その他の動的機能要求弁についても同様の検討を行うことにより、機能維持の確認を行う。

4. 高振動数領域を考慮した弁の動機機能維持評価結果

機能維持評価対象弁について、高振動領域を考慮した地震応答解析の結果について、表2に示す。表2には振動数領域を50Hzまでを基本として、100Hzまで考慮した場合の応答加速度も合わせて示す。また、100Hzまで考慮した応答加速度が50Hzまで考慮し

た場合の応答加速度に対して、10%以上の応答増加が有る場合については、その影響として更なる高振動数領域まで考慮した解析により、応答増加の影響を確認した。

表 2 に示すとおり、高振動数領域まで考慮した弁の応答加速度値として、機能維持対象弁は機能確認済み加速度に収まることを確認した。

表 2 高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	MAX (50Hz, 1.2ZPA)			MAX (100Hz, 1.2ZPA)			増加率 (100Hz/50Hz)	備考
						評価用加速度	機能確認済加速度	裕度	評価用加速度	機能確認済加速度	裕度		
1	MS	B22-F013A	主蒸気過熱し安全弁A	安全弁	水平	6.74	9.6	1.42	6.74	9.6	1.42	1.00	
					鉛直	2.66	6.1	2.29	2.76	6.1	2.21	1.04	
2	MS	B22-F013B	主蒸気過熱し安全弁B	安全弁	水平	5.61	9.6	1.71	5.61	9.6	1.71	1.00	
					鉛直	2.66	6.1	2.29	2.76	6.1	2.21	1.04	
3	MS	B22-F013C	主蒸気過熱し安全弁C	安全弁	水平	5.51	9.6	1.74	5.51	9.6	1.74	1.00	
					鉛直	1.84	6.1	3.31	1.84	6.1	3.31	1.00	
4	MS	B22-F013D	主蒸気過熱し安全弁D	安全弁	水平	6.12	9.6	1.56	6.12	9.6	1.56	1.00	
					鉛直	2.04	6.1	2.99	2.04	6.1	2.99	1.00	
5	MS	B22-F013E	主蒸気過熱し安全弁E	安全弁	水平	6.12	9.6	1.56	6.23	9.6	1.54	1.02	
					鉛直	2.76	6.1	2.21	2.76	6.1	2.21	1.00	
6	MS	B22-F013F	主蒸気過熱し安全弁F	安全弁	水平	5.92	9.6	1.62	5.92	9.6	1.62	1.00	
					鉛直	2.66	6.1	2.29	2.66	6.1	2.29	1.00	
7	MS	B22-F013G	主蒸気過熱し安全弁G	安全弁	水平	6.53	9.6	1.47	6.53	9.6	1.47	1.00	
					鉛直	2.04	6.1	2.99	2.15	6.1	2.83	1.06	
8	MS	B22-F013H	主蒸気過熱し安全弁H	安全弁	水平	6.74	9.6	1.42	6.74	9.6	1.42	1.00	
					鉛直	2.15	6.1	2.83	2.15	6.1	2.83	1.00	
9	MS	B22-F013I	主蒸気過熱し安全弁J	安全弁	水平	6.43	9.6	1.49	6.43	9.6	1.49	1.00	
					鉛直	2.25	6.1	2.71	2.25	6.1	2.71	1.00	
10	MS	B22-F013K	主蒸気過熱し安全弁K	安全弁	水平	6.84	9.6	1.40	6.94	9.6	1.38	1.02	
					鉛直	1.94	6.1	3.14	1.94	6.1	3.14	1.00	
11	MS	B22-F013L	主蒸気過熱し安全弁L	安全弁	水平	5.92	9.6	1.62	6.02	9.6	1.59	1.02	
					鉛直	1.53	6.1	3.98	1.64	6.1	3.71	1.08	
12	MS	B22-F013M	主蒸気過熱し安全弁M	安全弁	水平	5.72	9.6	1.67	5.82	9.6	1.64	1.02	
					鉛直	2.35	6.1	2.59	2.35	6.1	2.59	1.00	
13	MS	B22-F013N	主蒸気過熱し安全弁N	安全弁	水平	5.31	9.6	1.80	5.41	9.6	1.77	1.02	
					鉛直	2.04	6.1	2.99	2.04	6.1	2.99	1.00	
14	MS	B22-F013P	主蒸気過熱し安全弁P	安全弁	水平	4.70	9.6	2.04	4.70	9.6	2.04	1.00	
					鉛直	2.04	6.1	2.99	2.04	6.1	2.99	1.00	
15	MS	B22-F013R	主蒸気過熱し安全弁R	安全弁	水平	5.41	9.6	1.77	5.41	9.6	1.77	1.00	
					鉛直	2.45	6.1	2.48	2.55	6.1	2.39	1.05	
16	MS	B22-F013S	主蒸気過熱し安全弁S	安全弁	水平	4.80	9.6	2.00	4.90	9.6	1.95	1.03	
					鉛直	1.94	6.1	3.14	2.04	6.1	2.99	1.06	
17	MS	B22-F013U	主蒸気過熱し安全弁U	安全弁	水平	6.12	9.6	1.56	6.12	9.6	1.56	1.00	
					鉛直	2.76	6.1	2.21	2.76	6.1	2.21	1.00	
18	MS	B22-F013V	主蒸気過熱し安全弁V	安全弁	水平	5.21	9.6	1.84	5.21	9.6	1.84	1.00	
					鉛直	1.94	6.1	3.14	1.94	6.1	3.14	1.00	
19	MS	B22-F022A	主蒸気隔離弁第1弁A	空気作動グループ弁	水平	6.33	10.0	1.57	6.33	10.0	1.57	1.00	
					鉛直	5.51	6.2	1.12	5.51	6.2	1.12	1.00	
20	MS	B22-F022B	主蒸気隔離弁第1弁B	空気作動グループ弁	水平	7.45	10.0	1.34	7.45	10.0	1.34	1.00	
					鉛直	5.51	6.2	1.12	5.51	6.2	1.12	1.00	

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	MAX (50Hz, 1.27Pa)			MAX (100Hz, 1.27Pa)			増加率 (100Hz/50Hz)	備考
						評価用加速度	機能確認済加速度	裕度	評価用加速度	機能確認済加速度	裕度		
21	MS	B22-F022C	主蒸気隔離弁第1弁C	空気が動 グローブ弁	水平	7.35	10.0	1.36	7.35	10.0	1.36	1.00	
					鉛直	5.41	6.2	1.14	5.41	6.2	1.14	1.00	
22	MS	B22-F022D	主蒸気隔離弁第1弁D	空気が動 グローブ弁	水平	7.04	10.0	1.42	7.04	10.0	1.42	1.00	
					鉛直	5.41	6.2	1.14	5.41	6.2	1.14	1.00	
23	MS	B22-F028A	主蒸気隔離弁第2弁A	空気が動 グローブ弁	水平	4.70	10.0	2.12	4.70	10.0	2.12	1.00	
					鉛直	3.98	6.2	1.55	3.98	6.2	1.55	1.00	
24	MS	B22-F028D	主蒸気隔離弁第2弁B	空気が動 グローブ弁	水平	5.21	10.0	1.91	5.21	10.0	1.91	1.00	
					鉛直	3.88	6.2	1.59	3.88	6.2	1.59	1.00	
25	MS	B22-F028C	主蒸気隔離弁第2弁C	空気が動 グローブ弁	水平	4.90	10.0	2.04	4.90	10.0	2.04	1.00	
					鉛直	3.78	6.2	1.64	3.78	6.2	1.64	1.00	
26	MS	B22-F028D	主蒸気隔離弁第2弁D	空気が動 グローブ弁	水平	4.80	10.0	2.08	4.80	10.0	2.08	1.00	
					鉛直	3.57	6.2	1.73	3.57	6.2	1.68	1.04	
27	FW	B22-F010A	原子炉給水逆止弁	逆止弁	水平	4.90	6.0	1.22	4.90	6.0	1.22	1.00	
					鉛直	3.27	6.0	1.83	3.27	6.0	1.83	1.00	
28	FW	B22-F010B	原子炉給水逆止弁	逆止弁	水平	4.59	6.0	1.30	4.70	6.0	1.27	1.03	
					鉛直	3.06	6.0	1.96	3.17	6.0	1.89	1.04	
29	FW	B22-F032A	原子炉給水逆止弁	逆止弁	水平	3.98	6.0	1.50	3.98	6.0	1.50	1.00	更なる高振動数領域 (200Hz) まで考慮した 応答解析にて鉛直 震度3.37に変更ない ことを確認した。
					鉛直	1.31	6.0	4.58	3.37	6.0	1.78	2.58	
30	FW	B22-F032B	原子炉給水逆止弁	逆止弁	水平	3.78	6.0	1.58	3.78	6.0	1.58	1.00	更なる高振動数領域 (200Hz) まで考慮した 応答解析にて鉛直 震度3.37に変更ない ことを確認した。
					鉛直	1.31	6.0	4.58	3.37	6.0	1.78	2.58	
31	RHR	E12-F008	残留熱除去系シャットダウンライン隔離弁 (外側)	電動 ゲート弁	水平	4.29	6.0	1.39	4.29	6.0	1.39	1.00	
					鉛直	1.23	6.0	4.87	1.23	6.0	4.87	1.00	
32	RHR	E12-F009	残留熱除去系シャットダウンライン隔離弁 (内側)	電動 ゲート弁	水平	3.37	6.0	1.78	3.37	6.0	1.78	1.00	
					鉛直	4.19	6.0	1.43	4.19	6.0	1.43	1.00	
33	RHR	E12-F023	残留熱除去系ヘッドスプレイン隔離弁	電動 グローブ弁	水平	2.35	6.0	2.55	2.35	6.0	2.55	1.00	
					鉛直	2.04	6.0	2.94	2.15	6.0	2.79	1.06	
34	RHR	E12-F024A	残留熱除去系A系テストライン弁	電動 ゲート弁	水平	1.94	6.0	3.09	1.94	6.0	3.09	1.00	
					鉛直	1.64	6.0	3.65	1.64	6.0	3.65	1.00	
35	RHR	E12-F024B	残留熱除去系B系テストライン弁	電動 ゲート弁	水平	2.96	6.0	2.02	2.96	6.0	2.02	1.00	
					鉛直	1.33	6.0	4.51	1.33	6.0	4.51	1.00	
36	RHR	E12-F027A	残留熱除去系A系サブセッション・ブール スプレイン弁	電動 ゲート弁	水平	1.64	6.0	3.65	1.64	6.0	3.65	1.00	
					鉛直	4.80	6.0	1.25	4.80	6.0	1.25	1.00	
37	RHR	E12-F027B	残留熱除去系B系サブセッション・ブール スプレイン弁	電動 ゲート弁	水平	3.17	6.0	1.89	3.17	6.0	1.89	1.00	
					鉛直	2.05	6.0	2.92	2.05	6.0	2.92	1.00	
38	RHR	E12-F041A	残留熱除去系A系注入ラインテスト逆止弁	逆止弁	水平	4.19	6.0	1.43	4.19	6.0	1.43	1.00	
					鉛直	2.76	6.0	2.17	2.76	6.0	2.17	1.00	
39	RHR	E12-F041B	残留熱除去系B系注入ラインテスト逆止弁	逆止弁	水平	5.00	6.0	1.20	5.00	6.0	1.20	1.00	
					鉛直	3.17	6.0	1.89	3.17	6.0	1.89	1.00	

No	系統	番号	名称	弁型式	方向	MAX (50Hz, 1.2ZPA)			MAX (100Hz, 1.2ZPA)			増加速 (100Hz/50Hz)	備考
						評価用加 速度	機能確認 済加速度	裕度	評価用加 速度	機能確認 済加速度	裕度		
40	RHR	E12-F041C	残留熱除去系C系注入ラインテスト遮止弁	遮止弁	水平	4.39	6.0	1.36	4.39	6.0	1.36	1.00	
					鉛直	2.15	6.0	2.79	2.15	6.0	2.79	1.00	
41	RHR	E12-F042A	残留熱除去系A系注入弁	電動 ゲート弁	水平	2.25	6.0	2.66	2.25	6.0	2.66	1.00	
					鉛直	4.90	6.0	1.22	4.90	6.0	1.22	1.00	
42	RHR	E12-F042B	残留熱除去系B系注入弁	電動 ゲート弁	水平	2.05	6.0	2.92	2.05	6.0	2.92	1.00	
					鉛直	4.19	6.0	1.43	4.19	6.0	1.43	1.00	
43	RHR	E12-F042C	残留熱除去系C系注入弁	電動 ゲート弁	水平	1.94	6.0	3.09	1.94	6.0	3.09	1.00	
					鉛直	4.70	6.0	1.27	4.70	6.0	1.27	1.00	
44	RHR	E12-F046A	残留熱除去系熱交換器Aバイパス弁	電動 グローブ弁	水平	2.56	6.0	2.34	2.56	6.0	2.34	1.00	
					鉛直	1.64	6.0	3.65	1.64	6.0	3.65	1.00	
45	RHR	E12-F046B	残留熱除去系熱交換器Bバイパス弁	電動 グローブ弁	水平	3.07	6.0	1.95	3.07	6.0	1.95	1.00	
					鉛直	0.72	6.0	8.33	0.72	6.0	8.33	1.00	
46	RHR	E12-F050A	残留熱除去系A系停止時冷却ラインテスト遮止弁	遮止弁	水平	5.82	6.0	1.03	5.82	6.0	1.03	1.00	
					鉛直	2.15	6.0	2.79	2.15	6.0	2.79	1.00	
47	RHR	E12-F050B	残留熱除去系B系停止時冷却ラインテスト遮止弁	遮止弁	水平	3.57	6.0	1.68	3.57	6.0	1.68	1.00	
					鉛直	2.04	6.0	2.94	2.04	6.0	2.94	1.00	
48	RHR	E12-F053A	残留熱除去系A系シャットダウン注入弁	電動 グローブ弁	水平	1.34	6.0	4.47	1.34	6.0	4.47	1.00	
					鉛直	1.01	6.0	5.94	1.01	6.0	5.94	1.00	
49	RHR	E12-F053B	残留熱除去系B系シャットダウン注入弁	電動 グローブ弁	水平	5.62	6.0	1.06	5.62	6.0	1.06	1.00	
					鉛直	1.43	6.0	4.19	1.43	6.0	4.19	1.00	
50	HPCS	E22-F004	高圧炉心スプレイ系注入弁	電動 ゲート弁	水平	2.45	6.0	2.44	2.45	6.0	2.44	1.00	
					鉛直	0.99	6.0	6.06	1.03	6.0	5.82	1.05	
51	HPCS	E22-F005	高圧炉心スプレイ系スタプル遮止弁	空気が動 遮止弁	水平	2.76	6.0	2.17	2.86	6.0	2.09	1.04	
					鉛直	1.13	6.0	5.30	1.13	6.0	5.30	1.00	
52	LPCS	E21-F005	低圧炉心スプレイ系注入弁	電動 ゲート弁	水平	0.92	6.0	6.52	0.92	6.0	6.52	1.00	
					鉛直	1.84	6.0	3.26	1.84	6.0	3.26	1.00	
53	LPCS	E21-F006	低圧炉心スプレイ系テスト遮止弁	空気が動 遮止弁	水平	3.68	6.0	1.63	3.68	6.0	1.63	1.00	
					鉛直	2.25	6.0	2.66	2.25	6.0	2.66	1.00	
54	RCIC	E51-F063	RCICタービン蒸気供給隔離弁	電動 ゲート弁	水平	4.80	6.0	1.25	4.80	6.0	1.25	1.00	
					鉛直	3.98	6.0	1.50	3.98	6.0	1.50	1.00	
55	RCIC	E51-F064	RCICタービン蒸気供給隔離弁	電動 ゲート弁	水平	1.43	6.0	4.19	1.54	6.0	3.89	1.08	
					鉛直	3.17	6.0	1.89	3.17	6.0	1.89	1.00	
56	RCIC	E51-F065	原子炉隔離時冷却系外側テスト遮止弁	遮止弁	水平	1.55	6.0	3.87	1.55	6.0	3.87	1.00	
					鉛直	1.17	6.0	5.12	1.17	6.0	5.12	1.00	
57	RCIC	E51-F066	原子炉隔離時冷却系内側テスト遮止弁	遮止弁	水平	1.85	4.90	2.64	1.85	6.0	3.24	1.00	
					鉛直	4.90	6.0	1.22	4.90	6.0	1.22	1.00	
58	CWF	G33-F001	原子炉冷却材浄化系内側隔離弁	電動 ゲート弁	水平	4.90	6.0	1.22	4.90	6.0	1.22	1.00	
					鉛直	1.94	6.0	3.09	1.94	6.0	3.09	1.00	

No	業法	弁番号	弁名称	弁型式	方向	MAX (50Hz, 1.2ZPA)			MAX (100Hz, 1.2ZPA)			増加率 (100Hz/50Hz)	備考
						評価用加速度	機能確認済加速度	裕度	評価用加速度	機能確認済加速度	裕度		
59	CLW	G33-F004	原子炉冷却材浄化系外側隔離弁	電動 ゲート弁	水平	2.76	6.0	2.17	2.76	6.0	2.17	1.00	
					鉛直	1.01	6.0	5.94	1.01	6.0	5.94	1.00	
60	HCU	E12-126	HCU スクラム弁 (加圧・流入側)	空気作動 グローブ弁	水平	1.29	6.0	4.65	1.29	6.0	4.65	1.00	
					鉛直	0.98	6.0	6.12	0.98	6.0	6.12	1.00	
61	HCU	E12-127	HCU スクラム弁 (排出側)	空気作動 グローブ弁	水平	1.29	6.0	4.65	1.29	6.0	4.65	1.00	
					鉛直	0.98	6.0	6.12	0.98	6.0	6.12	1.00	
62	FRVS	SE2-4A	FRVS・SGTS系入口ダンパ	空気作動 バタフライ弁	水平	3.47	6.0	1.72	3.47	6.0	1.72	1.00	
					鉛直	3.78	6.0	1.58	3.78	6.0	1.58	1.00	
63	FRVS	SE2-4B	FRVS・SGTS系入口ダンパ	空気作動 バタフライ弁	水平	5.11	6.0	1.17	5.11	6.0	1.17	1.00	
					鉛直	3.47	6.0	1.72	3.47	6.0	1.72	1.00	
64	FRVS	SE2-5A	非常用ガス再循環系トリンA入口ダンパ	空気作動 バタフライ弁	水平	5.52	6.0	1.08	5.52	6.0	1.08	1.00	
					鉛直	5.62	6.0	1.06	5.62	6.0	1.06	1.00	
65	FRVS	SE2-5B	非常用ガス再循環系トリンB入口ダンパ	空気作動 バタフライ弁	水平	2.15	6.0	2.79	2.45	6.0	2.44	1.14	異なる高振動数領域 (200Hz)まで考慮した 応答解析にて水平 振度2.45に要らない ことを確認した。
					鉛直	5.92	6.0	1.01	5.92	6.0	1.01	1.00	
66	FRVS	SE2-7A	非常用ガス再循環系トリンA出口ダンパ	空気作動 バタフライ弁	水平	1.40	6.0	4.28	1.40	6.0	4.28	1.00	
					鉛直	1.00	6.0	6.00	1.00	6.0	6.00	1.00	
67	FRVS	SE2-7B	非常用ガス再循環系トリンB出口ダンパ	空気作動 バタフライ弁	水平	1.40	6.0	4.28	1.40	6.0	4.28	1.00	
					鉛直	1.00	6.0	6.00	1.00	6.0	6.00	1.00	
68	FRVS	SE2-13A	非常用ガス再循環系循環ダンパ	空気作動 バタフライ弁	水平	2.55	6.0	2.35	2.55	6.0	2.35	1.00	
					鉛直	4.39	6.0	1.36	4.39	6.0	1.36	1.00	
69	FRVS	SE2-13B	非常用ガス再循環系循環ダンパ	空気作動 バタフライ弁	水平	4.29	6.0	1.39	4.29	6.0	1.39	1.00	
					鉛直	4.59	6.0	1.30	4.59	6.0	1.30	1.00	
70	SGTS	SE2-9B	非常用ガス処理系トリンB入口ダンパ	空気作動 バタフライ弁	水平	1.40	6.0	4.28	1.40	6.0	4.28	1.00	
					鉛直	1.00	6.0	6.00	1.00	6.0	6.00	1.00	
71	SGTS	SE2-9A	非常用ガス処理系トリンA入口ダンパ	空気作動 バタフライ弁	水平	1.40	6.0	4.28	1.40	6.0	4.28	1.00	
					鉛直	1.00	6.0	6.00	1.00	6.0	6.00	1.00	
72	SGTS	SE2-11B	非常用ガス処理系トリンB出口ダンパ	空気作動 バタフライ弁	水平	1.94	6.0	3.09	1.94	6.0	3.09	1.00	
					鉛直	1.44	6.0	4.16	1.44	6.0	4.16	1.00	
73	SGTS	SE2-11A	非常用ガス処理系トリンA出口ダンパ	空気作動 バタフライ弁	水平	1.94	6.0	3.09	1.94	6.0	3.09	1.00	
					鉛直	1.44	6.0	4.16	1.44	6.0	4.16	1.00	

高振動数領域を考慮した弁の機能維持評価

1. はじめに

高振動数領域を考慮した弁の機能維持評価として、主蒸気逃がし安全弁及び主蒸気隔離弁が設置された主蒸気系配管について、スペクトルモーダル解析にて考慮する範囲として 20Hz、50Hz 及び 100Hz までとし、各々評価結果として、弁駆動部の応答加速度を算定した。

2. 解析モデル

弁の機能維持評価に用いる主蒸気系配管の解析モデルを図 2 に示す。評価に用いる解析モデルは、原子炉压力容器ノズルから主蒸気隔離弁の下流側をアンカ点としたモデルであり、また主蒸気逃がし安全弁の排気管についてもモデル化している。

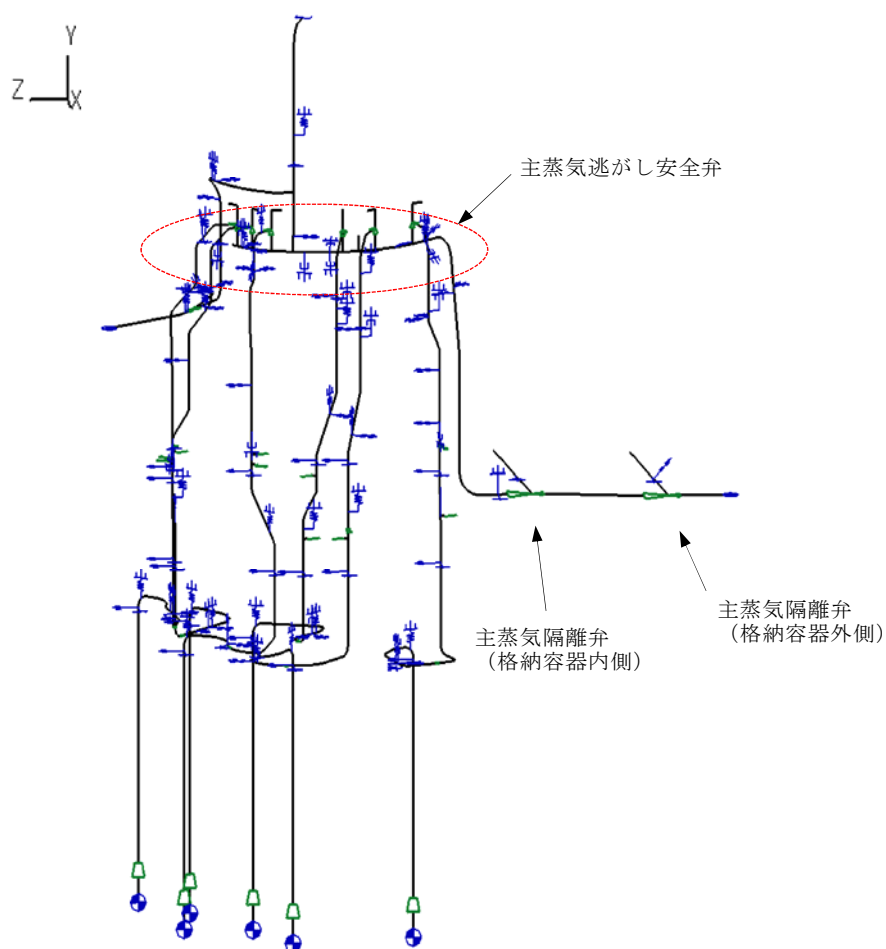


図 2 主蒸気系配管の解析モデル図

3. 入力条件

当該解析モデルは柔構造であることから、スペクトルモード解析から算定される弁駆動部の応答加速度値又は最大加速度を 1.2 倍した値 (1.2ZPA) の何れか大きい方を適用して機能維持評価を行う。

スペクトルモード解析における入力条件としては、設計用床応答曲線に 1.5 倍の余裕を見込んだ加速度値を用いることとする。なお設計用床応答曲線の作成を 20Hz としていることから、20Hz を超えた範囲については、最大応答加速度を入力とする。入力条件となる動的機能維持評価用床応答スペクトルを図 3 に示す。動的機能維持評価用床応答スペクトルの適用性を添付 2 に示す。

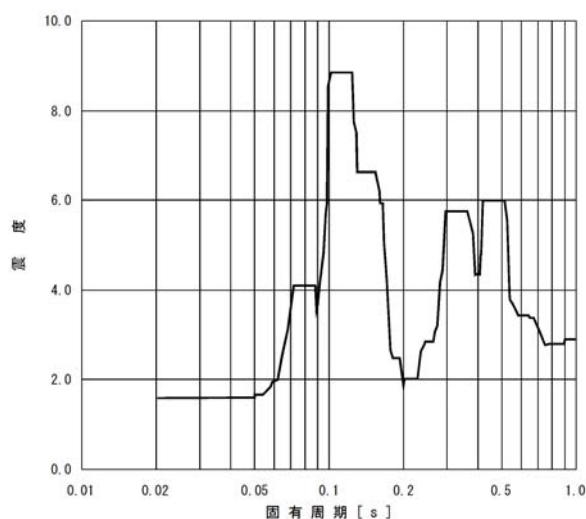


図 3(1) 原子炉本体の基礎 (EL. 19.856m) の動的機能維持評価用床応答スペクトル (水平方向, 減衰定数 2.0%)

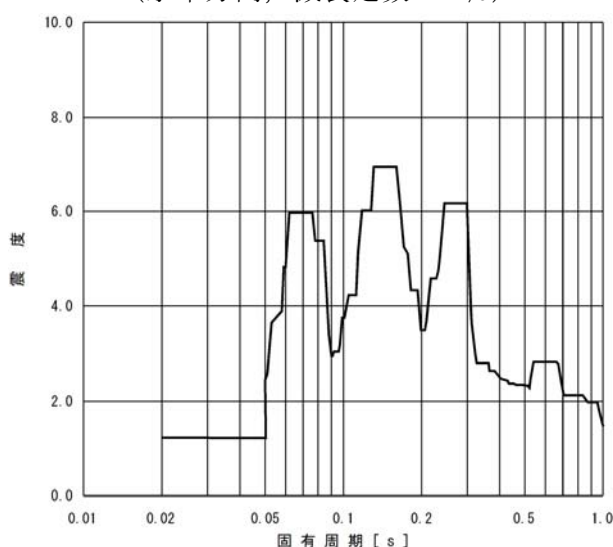


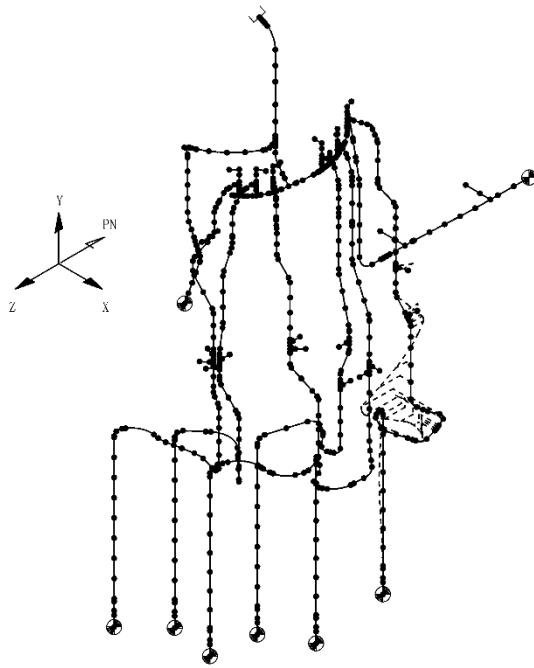
図 3(2) 原子炉本体の基礎 (EL. 19.856m) の動的機能維持評価用床応答スペクトル (鉛直方向, 減衰定数 2.0%)

4. 固有値解析結果

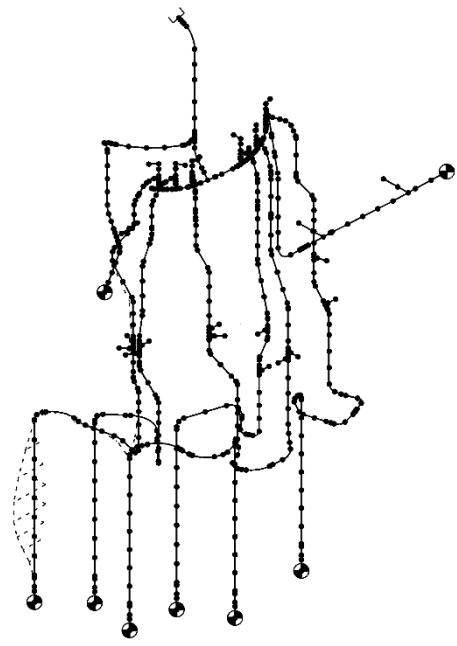
主蒸気系配管の固有値解析結果として、固有周期、刺激係数及び設計震度を表2に、振動モード図を図4に示す。

表2 主蒸気系配管の固有周期、刺激係数及び設計震度

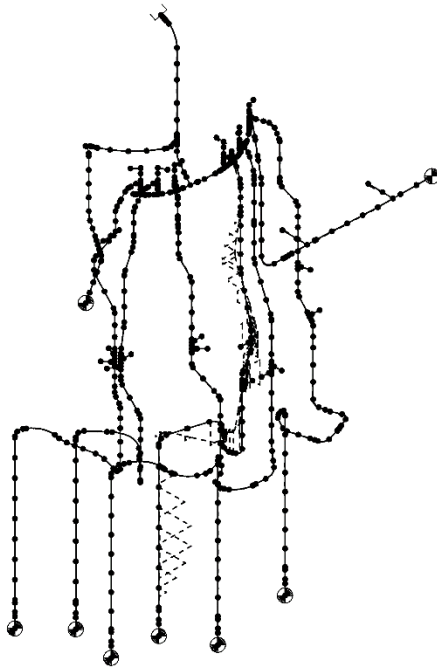
モード	固有振動数 (Hz)	固有周期 (S)	刺激係数			設計震度		
			水平方向		鉛直方向			
			X方向	Y方向	Z方向	X方向	Z方向	Y方向
1次						8.85	8.85	5.98
2次						8.85	8.85	4.23
3次						5.91	5.91	3.45
4次						5.50	5.50	3.11
5次						4.79	4.79	3.04
6次						4.48	4.48	3.04
7次						4.36	4.36	3.04
8次						4.17	4.17	3.02
9次						3.66	3.66	2.98
10次						3.59	3.59	3.11
138次						1.29	1.29	1.04



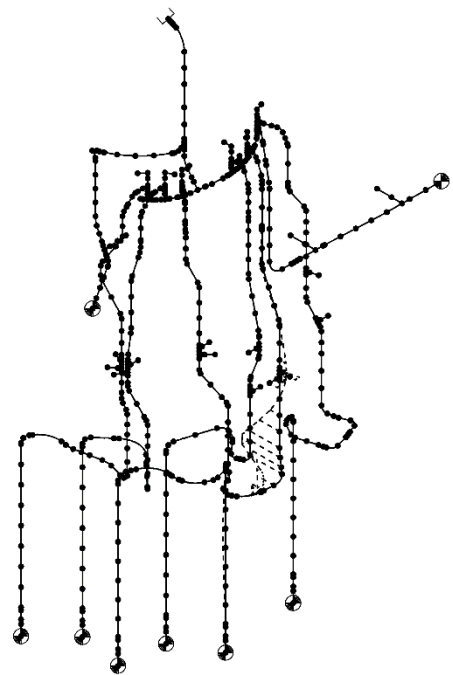
振動モード図 (1次)
固有振動数 : 0.118 秒



振動モード図 (2次)
固有振動数 : 0.109 秒

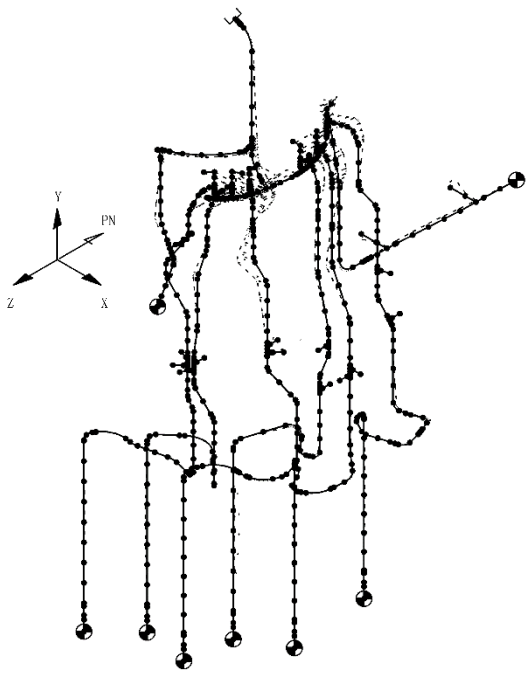


振動モード図 (3次)
固有振動数 : 0.098 秒

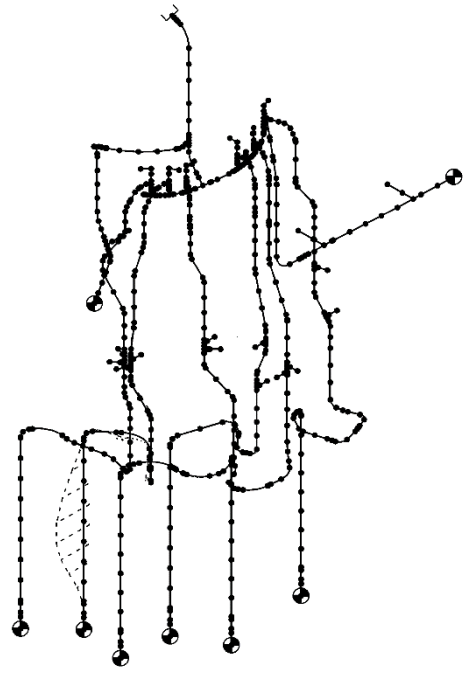


振動モード図 (4次)
固有振動数 : 0.097 秒

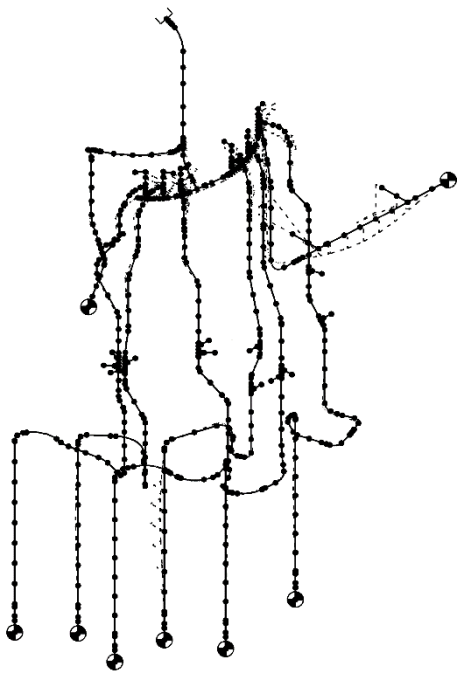
図 4(1) 主蒸気系配管の振動モード図



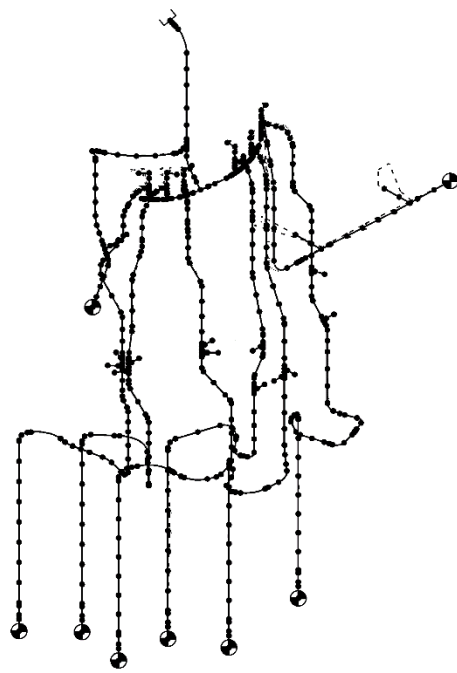
振動モード図 (5次)
固有振動数 : 0.095 秒



振動モード図 (6次)
固有振動数 : 0.093 秒

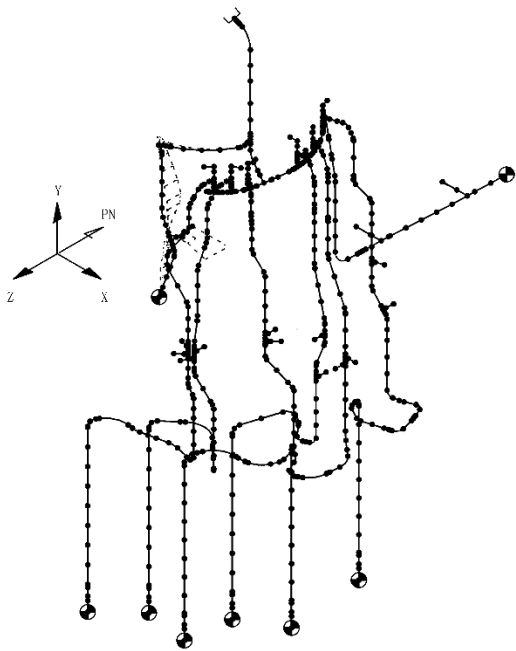


振動モード図 (7次)
固有振動数 : 0.093 秒

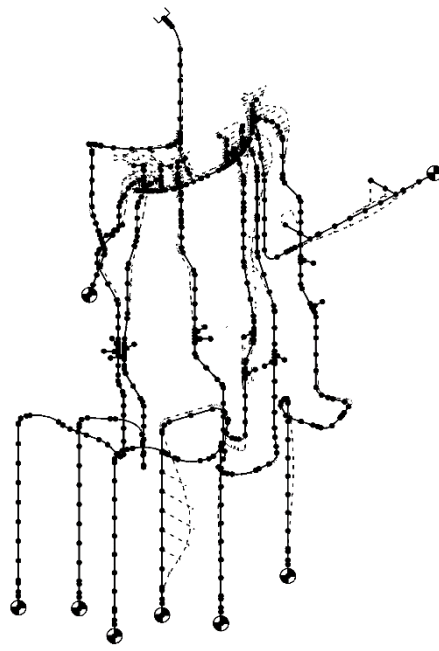


振動モード図 (8次)
固有振動数 : 0.092 秒

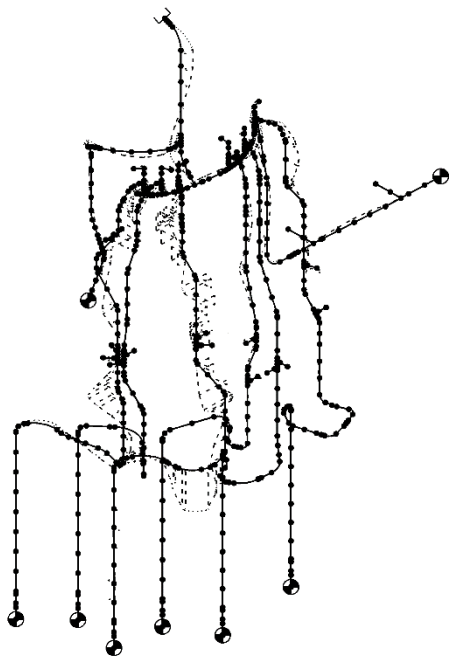
図 4(2) 主蒸気系配管の振動モード図



振動モード図 (9次)
固有振動数 : 0.090 秒



振動モード図 (10次)
固有振動数 : 0.089 秒



振動モード図 (138次)
固有振動数 : 0.020 秒

図 4(3) 主蒸気系配管の振動モード図

5. 解析結果

解析モデルを用いた地震応答解析による弁駆動部位置における応答加速度の算定結果を表1に示す。表3に示すとおり20Hzの応答加速度に対して、50Hzまで考慮した応答加速度は増加しているものの、100Hzまで考慮した応答加速度は、50Hzに対して増加は認められなかった。

表3 弁駆動部位置における応答加速度

弁名称	方向	スペクトルモード 解析(G)			最大加速度 (1.2ZPA) (G)
		20Hz	50Hz	100Hz	
主蒸気逃がし安全弁	水平	5.41	5.52	5.52	1.54
	鉛直	1.84	2.05	2.05	1.24
主蒸気隔離弁 (格納容器内側)	水平	7.35	7.35	7.35	1.54
	鉛直	5.41	5.41	5.41	1.24
主蒸気隔離弁 (格納容器外側)	水平	4.90	5.00	5.00	1.54
	鉛直	3.88	3.88	3.88	1.24

弁の動的機能維持評価に用いる床応答スペクトルについて

1. はじめに

工事計画に係る補足説明資料【補足-340-13 機電分耐震計算書の補足について】の「2. 設計用床応答曲線の作成方法及び適用方法」にて、機器・配管系の耐震設計における剛柔判断の固有振動数を 20Hz とすることの妥当性を確認している。前述の資料では、20Hz 近傍にて卓越する応答を示す原子炉格納容器の設計用床応答曲線を用いる配管系について、従来の応力評価手法の妥当性の確認を実施している。

本資料では上記図書と同様に、当該配管に設置された動的機能維持要求弁の加速度応答の算出に用いる床応答スペクトル（図 5 参照）として、20Hz まで作成した設計用床応答曲線に 20Hz より剛側を最大加速度とすることが妥当であることを確認する。

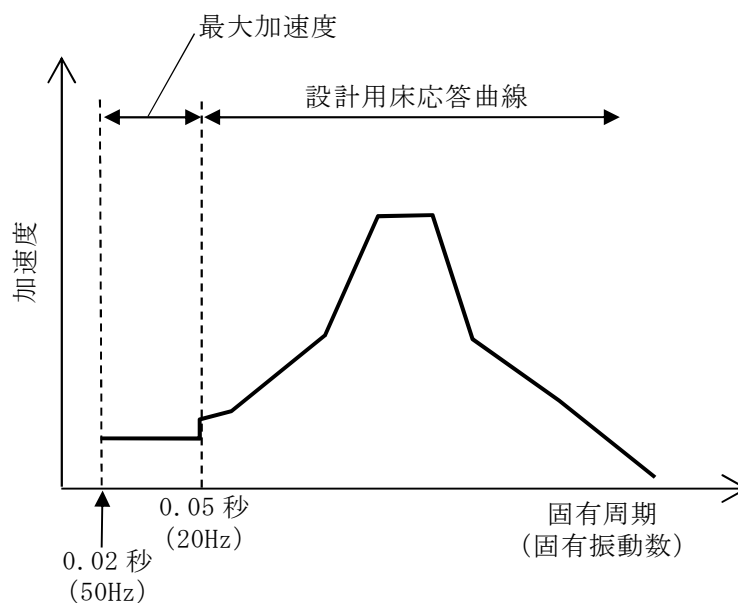


図 5 動的機能維持要求弁に用いる床応答スペクトル（イメージ図）

2. 配管系の地震応答解析

原子炉格納容器の設計用床応答曲線を適用し、スペクトルモーダル解析を実施する解析モデルは、原子炉隔離時冷却系配管の 1 モデルのみである。当該解析モデルを図 6 に示すとおり、原子炉压力容器ノズル付近に逆止弁を有し、当該弁が動的機能維持の確認が必要となる。

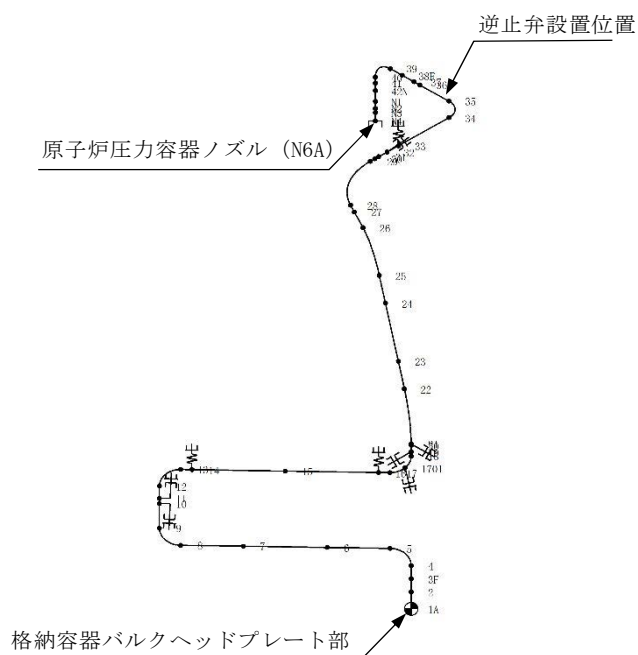


図 6 原子炉隔離時冷却系配管解析モデル図

3. 確認内容

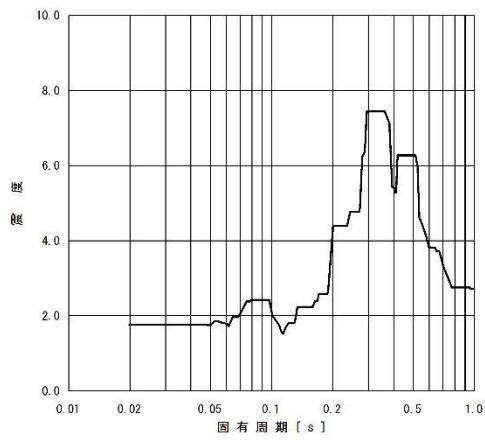
動的機能維持対象弁の応答加速度値の算出に用いる床応答スペクトルとして、以下 2 種類作成し、スペクトルモーダル解析により弁位置の応答加速度を算出することにより行う。

a. 動的機能維持評価用床応答スペクトル

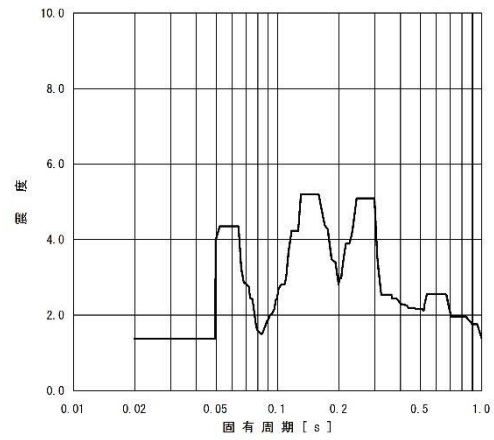
東海第二発電所動的機能維持評価に用いる床応答スペクトルで有り、床応答スペクトルの作成を 20Hz とし、20Hz を超えた範囲は最大加速度として作成する(図 7)。

b. 検討用床応答スペクトル

動的機能維持確認用床応答スペクトルでの応答比較のために用いる床応答スペクトルとし、床応答スペクトルの作成範囲を 50Hz とする(図 8)。

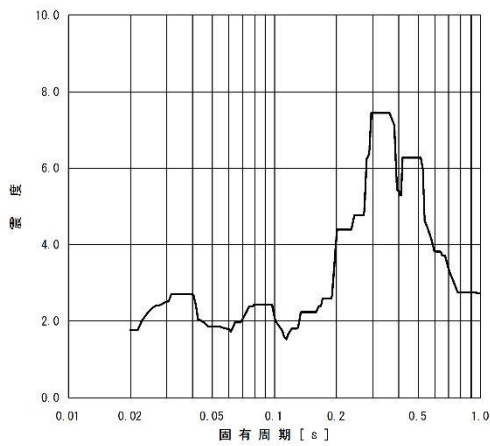


水平方向

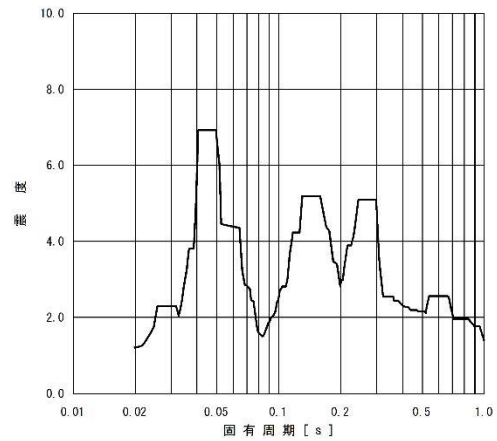


鉛直方向

図7 動的機能維持評価用床応答スペクトル
(原子炉格納容器 EL. 39.431m 減衰定数 2.5%)



水平方向



鉛直方向

図8 検討用床応答スペクトル
(原子炉格納容器 EL. 39.431m 減衰定数 2.5%)

4. 解析結果及び考察

(1) 解析結果

固有値解析結果として、固有振動数及び刺激係数を表 5 に、主要次数のモード図を図 9 に示す。

各床応答スペクトルを用いた地震応答解析による弁位置の応答加速度の算定結果を表 4 に示す。表 4 に示すとおり今回評価に適用する 20Hz まで作成した床応答スペクトル及び最大加速度 1.2ZPA の弁位置の応答加速度よりも 50Hz まで作成した応答スペクトルのほうが大きく値となったものの、その差は僅かであり、また確認済加速度より小さいことが確認できた。

表 4 弁設置位置における応答加速度

		弁位置の応答加速度 (G)		確認済加速度 (G)
		水平方向	鉛直方向	
動的機能 維持 評価用	動的機能維持確認用床応答スペクトル* ¹ による結果	1.53	4.90	6.0
	最大加速度 1.2ZPA	1.85	1.39	
	包絡値	1.85	4.90	
検討用	検討用床応答スペクトル* ² による結果	1.94	5.10	6.0

* 1 : 床応答スペクトルの作成を 20Hz とし、20Hz を超えた範囲は最大加速度として作成 (図 7)

* 2 : 床応答スペクトルの範囲を 50Hz として作成 (図 8)

(2) 解析結果を踏まえた対応

本検討に用いた床応答スペクトルは、20Hz に応答が卓越する構築物に設置される配管系を用いて検討を実施した。20Hz に卓越する応答を有する厳しい条件においても弁位置の応答増加は、1.85G から 1.94G の増加でその割合は 5%程度で有った。

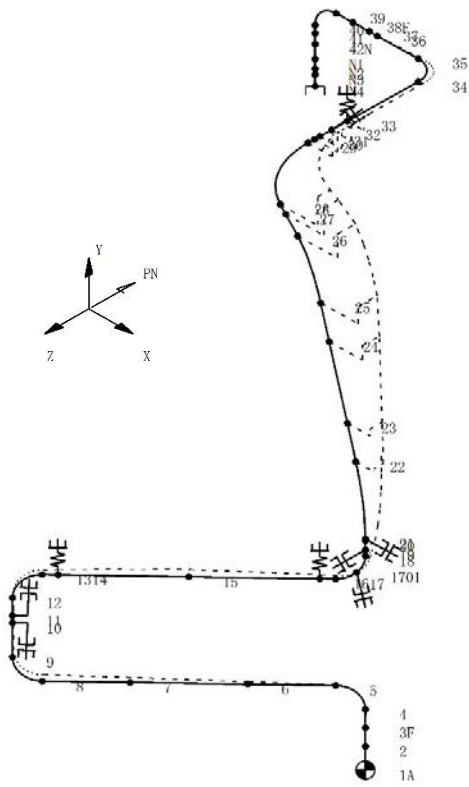
本解析結果を踏まえて、20Hz に卓越する応答を示す構築物として原子炉格納容器の床

応答スペクトルを用いる配管系において、10%の裕度が確保できない弁については、3. 項に示す「検討用床応答スペクトル」を用いた地震応答解析結果から算定される弁位置の応答加速度に対しても、弁の機能維持が確保できることを確認する。具体的には、弁位置の応答加速度が確認済加速度に収まることを確認する。応答加速度が確認済加速度を超える場合には、J E A G 4601-1991 による詳細解析により弁の機能維持が確保できることを確認する。

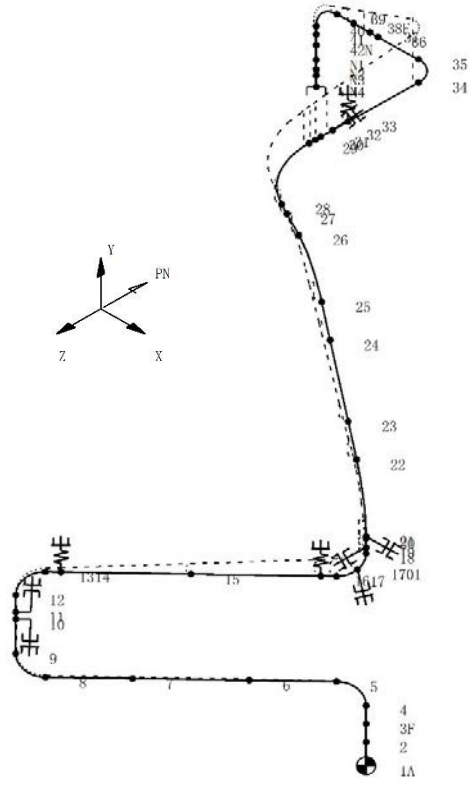
弁の動的機能維持評価の結果、裕度 10%を確保できない弁について原子炉格納容器の床応答スペクトルを用いたものはなかった。

表 5 原子炉隔離時冷却系配管の固有振動数及び刺激係数

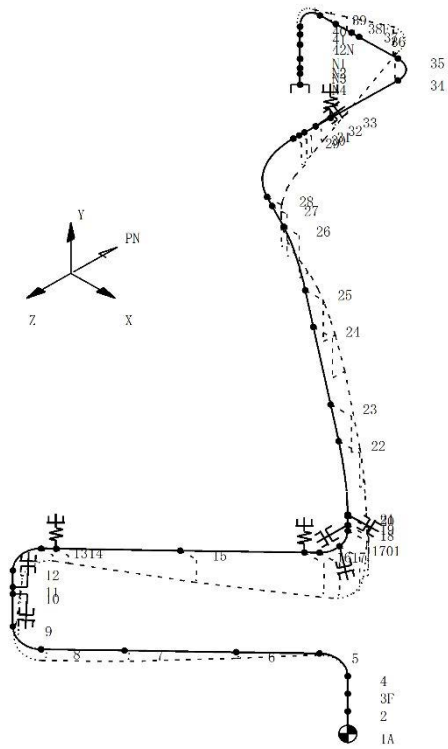
モード	固有振動数 (Hz)	固有周期 (S)	刺激係数			設計震度		
						水平方向		鉛直方向
			X 方向	Y 方向	Z 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次						2.41	2.41	1.71
2 次						1.97	1.97	3.68
3 次						1.91	1.91	6.93
4 次						2.00	2.00	6.93
5 次						2.72	2.72	4.98
6 次						2.72	2.72	3.64
7 次						2.72	2.72	2.42
8 次						2.51	2.51	2.30
9 次						2.43	2.43	2.30
10 次						2.28	1.79	2.28
11 次						1.89	1.34	1.89
12 次						1.77	1.22	1.77



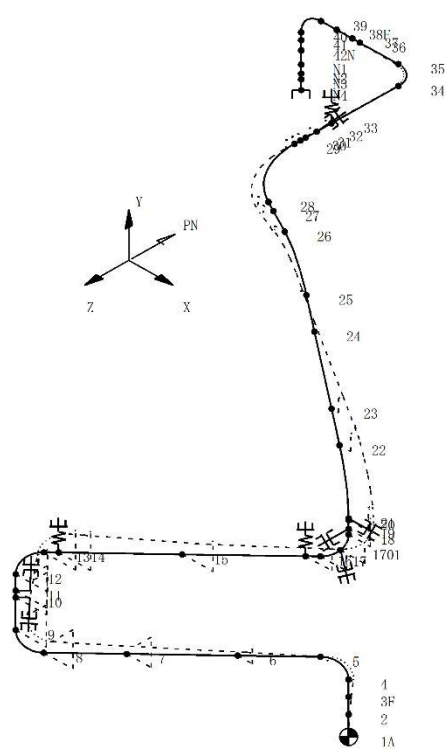
振動モード図 (1次)
固有振動数 : 12.60 Hz



振動モード図 (2次)
固有振動数 : 15.10 Hz

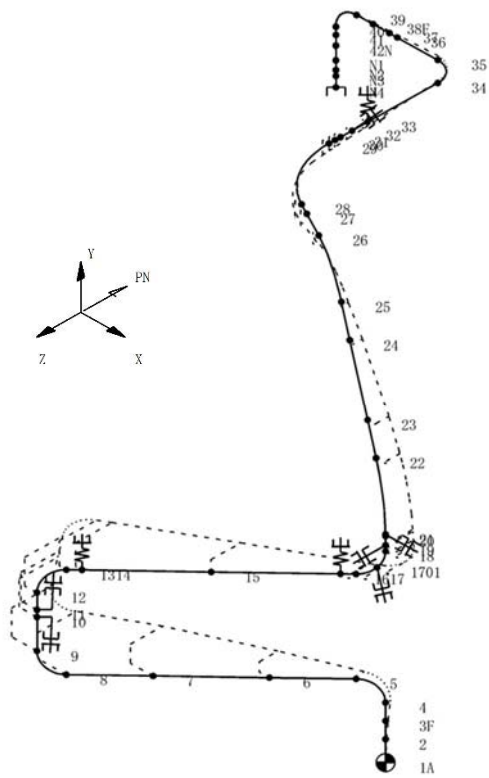


振動モード図 (3次)
固有振動数 : 21.18 Hz

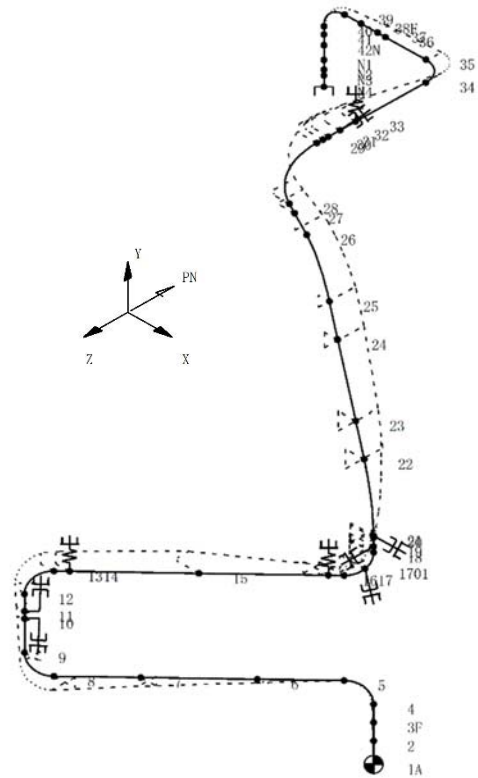


振動モード図 (4次)
固有振動数 : 22.23 Hz

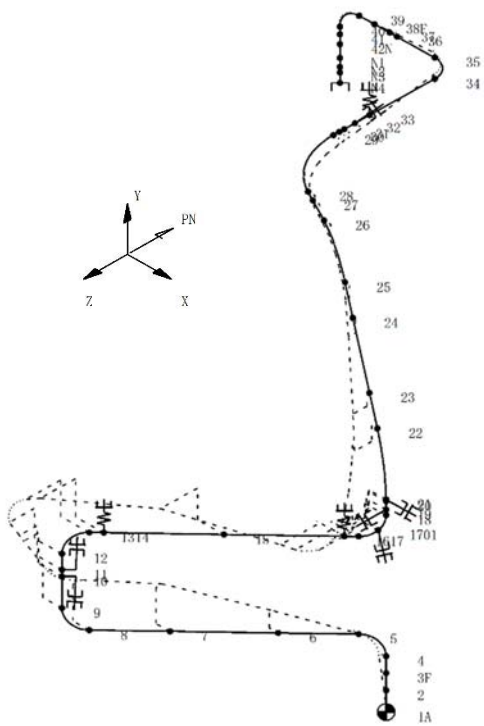
図 9(1) 原子炉隔離時冷却系配管の振動モード図



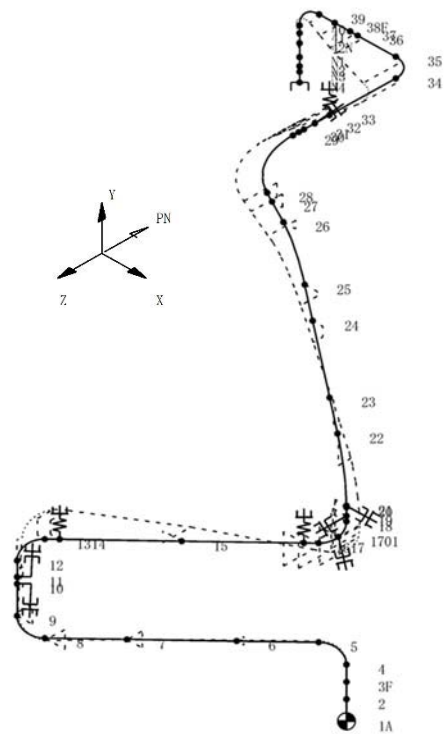
振動モード図 (5次)
固有振動数 : 25.02 Hz



振動モード図 (6次)
固有振動数 : 27.24 Hz

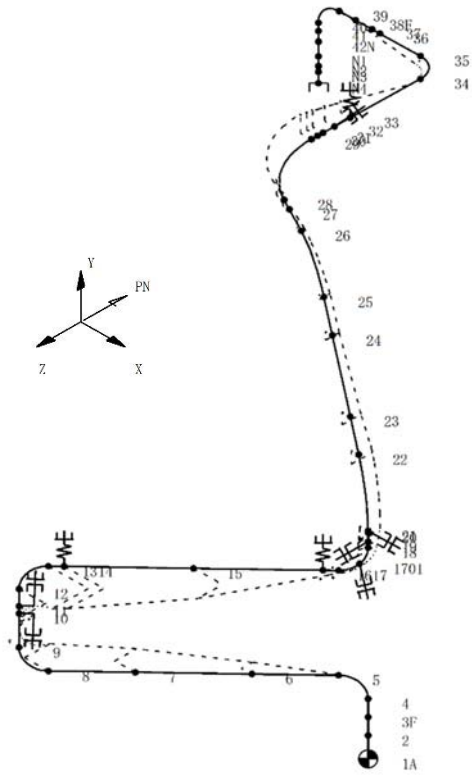


振動モード図 (7次)
固有振動数 : 29.30 Hz

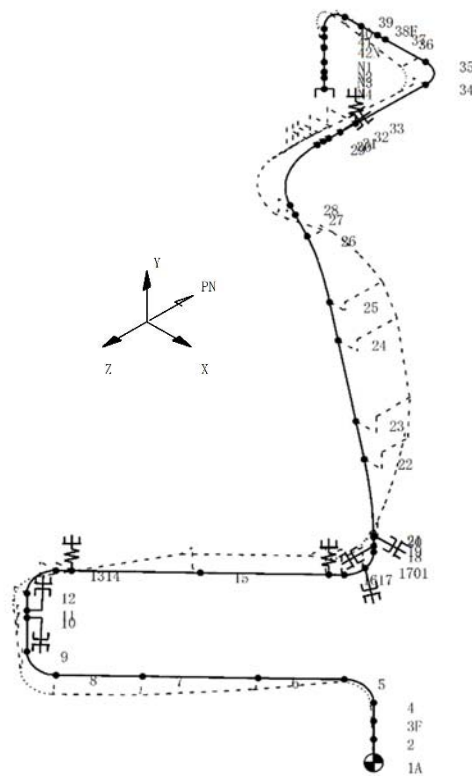


振動モード図 (8次)
固有振動数 : 32.82 Hz

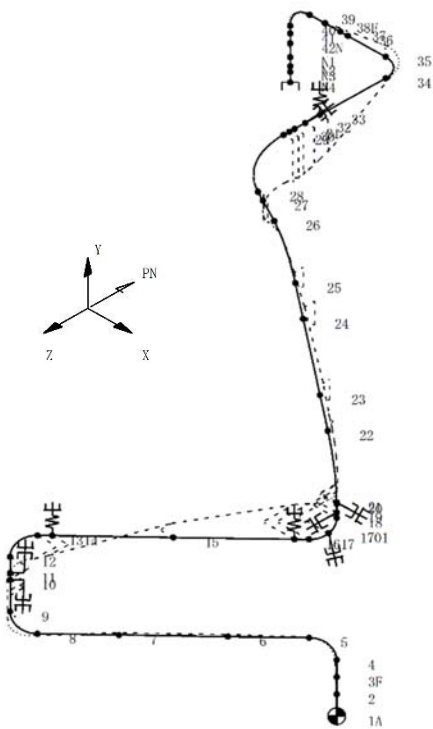
図 9(2) 原子炉隔離時冷却系配管の振動モード図



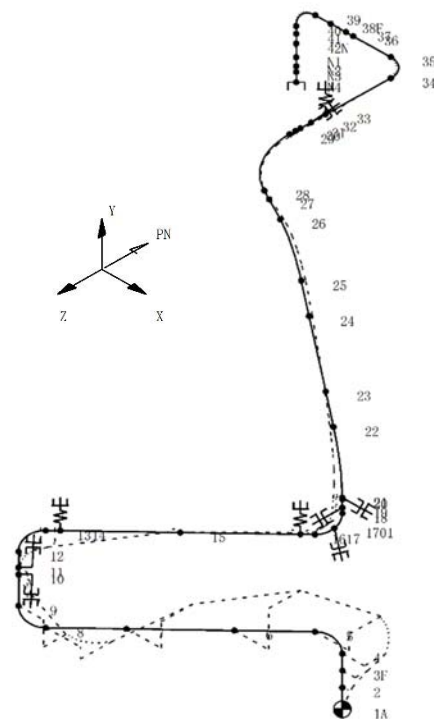
振動モード図 (9次)
固有振動数 : 35.54 Hz



振動モード図 (10次)
固有振動数 : 39.90 Hz



振動モード図 (11次)
固有振動数 : 44.48 Hz



振動モード図 (12次)
固有振動数 : 48.69 Hz

図 9(3) 原子炉隔離時冷却系配管の振動モード図

原子炉給水逆止弁の評価用加速度の応答増加率について

弁の動的機能維持評価において、振動数領域を 50Hz まで考慮した場合の加速度に対して 100Hz まで考慮した場合の加速度に顕著な増加（表 1）が確認されたことから、本増加に対して以下考察する。

表 1 原子炉給水逆止弁の応答増加率

弁名称	弁番号	評価用加速度		機能確認済み加速度	増加率
		MAX (50Hz, 1.2ZPA)	MAX (100Hz, 1.2ZPA)		
原子炉給水逆止弁	B22-F032A	3.98	3.98	6.0	1.00
		1.31	3.37	6.0	2.58
	B22-F032B	3.98	3.98	6.0	1.00
		1.31	3.37	6.0	2.58

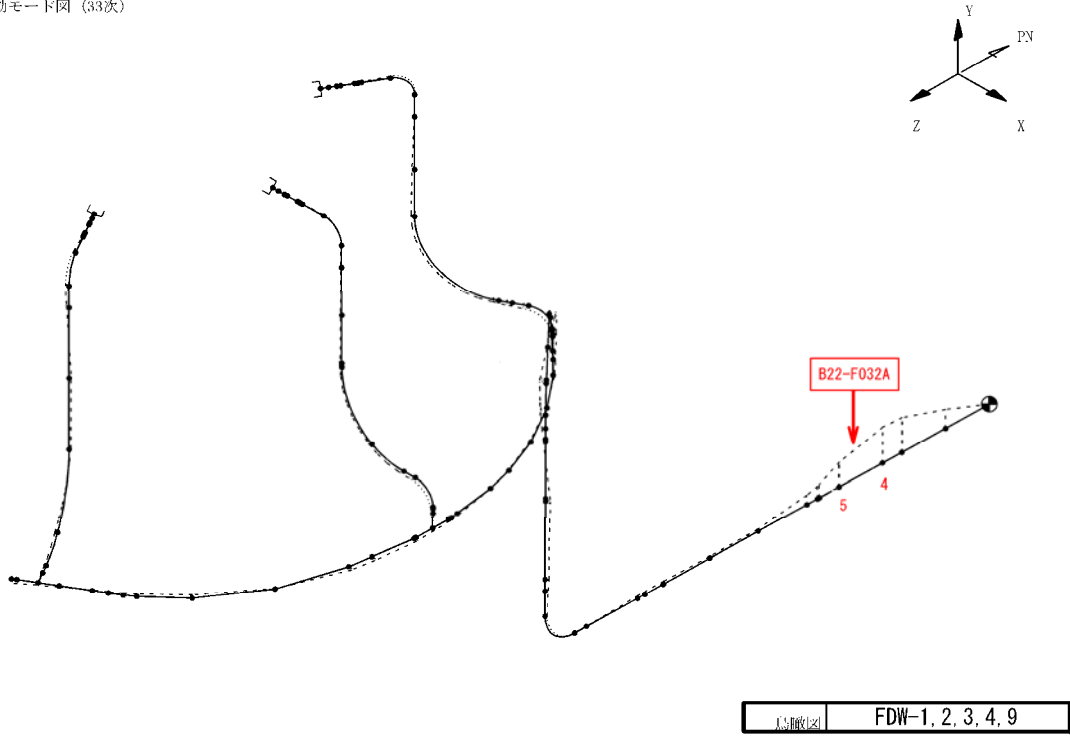
原子炉給水逆止弁2台のうち、B22-F032Aの評価用加速度を算出した給水系配管の解析モデル（モデルNo. FDW-1, 2, 3, 4, 9）の各モードにおける刺激係数等の整理結果を表2に示す。表2に示すとおり、次数33次のモードにおいて、鉛直方向の刺激係数が他と比較し大きなことが確認できる。また図1に振動モード図を示すが鉛直方向に卓越するモード形状が確認することができる。

これより固有周期0.017秒（58.8Hz）の33次モードが影響することで、50Hz以降の鉛直方向の応答加速度が増加したと考えられる。

表1 各モードにおける刺激係数等

モード	固有周期	S _s			刺激係数		
		水平震度		鉛直震度	X方向	Z方向	鉛直方向
1	0.092	4.82	4.82	2.86	0.855	0.025	0.069
2	0.088	3.90	3.90	3.42	0.006	0.475	0.184
3	0.080	2.39	2.39	5.35	0.265	0.274	0.638
4	0.072	1.98	1.98	5.86	0.468	0.039	0.707
5	0.068	1.98	1.98	5.86	0.576	0.107	0.062
6	0.061	1.85	1.85	5.46	0.510	0.177	0.297
7	0.058	1.80	1.80	4.16	0.432	1.059	0.402
8	0.056	1.72	1.72	3.70	0.498	0.657	0.156
9	0.054	1.68	1.68	3.70	0.601	0.199	0.044
10	0.050	1.68	1.68	2.75	0.342	0.223	0.123
11	0.049	1.68	1.68	2.74	0.346	0.039	0.272
12	0.047	1.68	1.68	2.74	0.299	0.125	0.319
13	0.046	1.68	1.68	2.74	0.029	0.473	0.798
14	0.042	1.68	1.68	2.74	0.038	0.086	0.207
15	0.041	1.68	1.68	2.74	0.224	0.163	0.079
16	0.038	1.68	1.68	2.74	0.058	0.349	0.051
17	0.037	1.68	1.68	2.74	0.104	0.519	0.064
18	0.036	1.68	1.68	2.74	0.056	0.003	0.065
19	0.035	1.68	1.68	2.74	0.335	0.035	0.107
20	0.033	1.68	1.68	2.74	0.014	0.198	0.153
21	0.029	1.68	1.68	2.74	0.022	0.215	0.064
22	0.028	1.68	1.68	2.74	0.045	0.111	0.061
23	0.024	1.68	1.68	2.74	0.143	0.083	0.201
24	0.023	1.68	1.68	2.74	0.025	0.118	0.057
25	0.022	1.68	1.68	2.74	0.013	0.067	0.160
26	0.022	1.68	1.68	2.74	0.102	0.016	0.096
27	0.021	1.68	1.68	2.74	0.246	0.005	0.062
28	0.020	1.68	1.68	2.74	0.084	0.027	0.020
29	0.019	1.68	1.68	2.74	0.381	0.038	0.055
30	0.018	1.68	1.68	2.74	0.026	0.111	0.176
31	0.018	1.68	1.68	2.74	0.114	0.029	0.102
32	0.017	1.68	1.68	2.74	0.144	0.032	0.158
33	0.017	1.68	1.68	2.74	0.024	0.724	0.050
34	0.016	1.68	1.68	2.74	0.100	0.025	0.146
35	0.015	1.68	1.68	2.74	0.078	0.088	0.192
36	0.015	1.68	1.68	2.74	0.054	0.056	0.027
37	0.014	1.68	1.68	2.74	0.048	0.022	0.372
38	0.014	1.68	1.68	2.74	0.086	0.006	0.606
39	0.014	1.68	1.68	2.74	0.052	0.167	0.353
40	0.013	1.68	1.68	2.74	0.059	0.060	0.031
41	0.013	1.68	1.68	2.74	0.031	0.066	0.095
42	0.012	1.68	1.68	2.74	0.066	0.041	0.122
43	0.011	1.68	1.68	2.74	0.043	0.002	0.057
44	0.011	1.68	1.68	2.74	0.027	0.098	0.066
45	0.011	1.68	1.68	2.74	0.058	0.015	0.056
46	0.010	1.68	1.68	2.74	0.066	0.079	0.057
47	0.010	-	-	-	-	-	-

代表的振動モード図 (33次)



7. 原子炉格納容器の耐震安全性評価について

1. はじめに

既工認との手法の相違点の整理において、今回工認に適用する評価手法が既工認で適用した評価手法と異なる場合には、他プラント既工認での評価手法の適用実績を確認することとしている。東海第二発電所（以下「東海第二」という。）では、以下に示す原子炉格納容器及びその他関連設備を除いて基本的に平成18年9月の耐震設計審査指針改訂後のプラントとして大間原子力発電所1号機（以下「大間1号機」という。）を適用実績確認の対象としている。

一方で、大間1号機はABWRであり、東海第二とは炉型が異なることから、原子炉格納容器及びその他関連設備については、その参照を適切に考慮する必要がある。このため、本資料においては既工認での適用例を参照するプラントについて整理するとともに、評価方針及び評価内容の概要について示す。

2. 他プラントでの適用例を参照する項目及びその説明

原子炉格納容器及びその他関連設備について、東海第二における既工認の手法と今回工認の手法との相違点に対して、他プラントでの適用例を参考とする項目を記載するとともに、参照するプラント名及びその説明を表1に整理した。

表 1 原子炉格納容器及びその他関連設備において参照するプラント及びその説明

No.	評価対象項目	他プラントでの適用例を参考する項目	参照するプラント	説明	備考
原子炉格納容器					
1	ドライウエル	応答解析	美浜3号機	東海第二の鉛直方向の原子炉格納容器本体（ドライウエル部）の地震力を算定するにあたって、原子炉格納容器を多質点系モデルにモデル化し、建屋と大型機器系を連成させた地震応答解析（以下「建屋－機器連成解析」という。）を実施する。 参照するプラントとしては、東海第二と同様に鋼製格納容器を多質点系モデルにモデル化している美浜3号機としている。	3.1 項に示す
		減衰定数（鉛直）	美浜3号機	東海第二の建屋－機器連成解析に用いる原子炉格納容器の鉛直方向の減衰定数として、溶接構造物の1%を適用する。 参照するプラントとしては、東海第二と同様に鋼製格納容器であり鉛直方向の減衰定数として、1%を適用している美浜3号機としている。	
2	サブプレッジョン・チェンバ	応力解析	－	－	3.1 項に示す
		応答解析	美浜3号機	東海第二の鉛直方向の原子炉格納容器本体（サブプレッジョン・チェンバ部）の地震力を算定するにあたって、原子炉格納容器を多質点系モデルにモデル化し、建屋－機器連成解析を実施する。 参照するプラントとしては、東海第二と同様に鋼製格納容器を多質点系モデルにモデル化している美浜3号機としている。	
		減衰定数（鉛直）	美浜3号機	東海第二の建屋－機器連成解析に用いる原子炉格納容器の鉛直方向の減衰定数として、溶接構造物の1%を適用する。 参照するプラントとしては、東海第二と同様の鋼製格納容器であり鉛直方向の減衰定数として、1%を適用している美浜3号機としている。	－
		応力解析	－	－	－

No.	評価対象項目	他プラントでの適用例を参考する項目	参照するプラント	説明	備考
3	上部シアラグ及びスラビライザ	応答解析	美浜3号機	東海第二の上部シアラグが取り付く原子炉格納容器本体の評価に際して、当該箇所鉛直方向の地震力を算定する。地震力の算定にあたっては、原子炉格納容器を多質点系モデルにモデル化し、建屋-機器連成解析を実施する。 参照するプラントとしては、東海第二と同様に鋼製格納容器を多質点系モデルにモデル化している美浜3号機としている。	3.1項に示す
		減衰定数(鉛直)	美浜3号機	東海第二の建屋-機器連成解析に用いる原子炉格納容器の鉛直方向の減衰定数として、溶接構造物の1%を適用する。 参照するプラントとしては、東海第二と同様の鋼製格納容器であり鉛直方向の減衰定数として、1%を適用している美浜3号機としている。	
4	下部シアラグとダイヤフラムブレード	応力解析	柏崎刈羽5号機	原子炉格納容器構造(MARK-II型)と同じ柏崎刈羽5号機を参照する。	3.2項に示す
		解析モデル	柏崎刈羽5号機	同上	
4	下部シアラグとダイヤフラムブレード	応答解析	美浜3号機	東海第二の下部シアラグが取り付く原子炉格納容器本体の評価に際して、当該箇所鉛直方向の地震力を算定する。地震力の算定にあたっては、原子炉格納容器を多質点系モデルにモデル化し、建屋-機器連成解析を実施する。 参照するプラントとしては、東海第二と同様に鋼製格納容器を多質点系モデルにモデル化している美浜3号機としている。	3.1項に示す
		減衰定数(鉛直)	美浜3号機	東海第二の建屋-機器連成解析に用いる原子炉格納容器の鉛直方向の減衰定数として、溶接構造物の1%を適用する。 参照するプラントとしては、東海第二と同様の鋼製格納容器であり鉛直方向の減衰定数として、1%を適用している美浜3号機としている。	
4	下部シアラグとダイヤフラムブレード	応力解析	柏崎刈羽5号機	原子炉格納容器構造(MARK-II型)と同じ柏崎刈羽5号機を参照する。	3.2項に示す
		解析モデル	柏崎刈羽5号機	同上	

No.	評価対象項目	他プラントでの適用例を参考する項目	参照するプラント	説明	備考
5	胴アンカー部	応答解析	美浜3号機	東海第二の原子炉格納容器本体底部の鉛直方向の地震力を算定するにあたって、原子炉格納容器を多質点系モデルにモデル化し、建屋-機器連成解析を実施する。 参照するプラントとしては、東海第二と同様に鋼製格納容器を多質点系モデルにモデル化している美浜3号機としている。	3.1 項に示す
		減衰定数 (鉛直)	美浜3号機	東海第二の建屋-機器連成解析に用いている原子炉格納容器の鉛直方向の減衰定数として、溶接構造物の1%を適用する。 参照するプラントとしては、東海第二と同様の鋼製格納容器であり鉛直方向の減衰定数として、1%を適用している美浜3号機としている。	
6	機器搬入用ハッチ	応力解析	-	-	-
		応答解析	-	-	-
7	所員用エアロック	応力解析	大間1号機	鋼製円筒状である基本構造は同じであることから、大間1号機を参照する。また、大間1号機はコンクリート製格納容器であるが、下部ドライウエルアクセスパネル鏡板に機器搬入用ハッチを取り付けており、東海第二と同様の形状を有している。	3.3 項に示す
		応答解析	大間1号機	同上	
8	サブレーション・チェンバアークセスハッチ	応力解析	大間1号機	鋼製円筒状である基本構造は同じであることから、大間1号機を参照する。また、大間1号はコンクリート製格納容器であるが、下部ドライウエルアクセスパネル鏡板に所員用エアロックを取り付けており、東海第二と同様の形状を有している。	3.3 項に示す
		応答解析	大間1号機	同上	
8	サブレーション・チェンバアークセスハッチ	応力解析	大間1号機	鋼製円筒状である基本構造は同じであることから、大間1号機を参照する。ただし、大間1号炉のサブレーション・チェンバ用のアクセスハッチはコンクリート構造物に直接取り付く構造であるため、当該部の評価は、類似設備として機器搬入用ハッチを参照する。	3.3 項に示す
		応答解析	大間1号機	同上	

No.	評価対象項目	他プラントを参考する項目	減衰定数 (配管反力) 解析手法 解析モデル	参照する プラント	説明	備考
9	配管貫通部	応答解析	減衰定数 (配管反力)	大間1号機	配管貫通部に発生する反力は、配管解析により算出する。配管解析は炉型に関係なく同様に実施するため大間1号機を参照する。 配管貫通部の構造は、鋼製格納器プラントでは同一構造であるため、最新プラントである東通1号機を参照する。 同上	-
		応力解析	解析手法	東北電力 東通1号機		
			解析モデル	東北電力 東通1号機		
10	電気配線貫通部	応答解析	解析手法	福島第一4号 (H22年改造工認)	東海第二と同手法*を適用した実績を有する当該プラントを参照する。 * 電気配線貫通部に発生する地震外力を用いたFEM解析の実施	3.5項に示す
			解析モデル	福島第一4号 (H22年改造工認)		
			減衰定数	福島第一4号 (H22年改造工認)		
		応力解析	解析手法	福島第一4号 (H22年改造工認)		
			解析モデル	福島第一4号 (H22年改造工認)		
				同上		
		同上				

No.	評価対象項目	他プラントでの適用例を参考する項目	参照するプラント	説明	備考
圧力低減装置その他関連の安全設備					
11	ダイヤフラム・フロア	応答解析 解析モデル (鉛直) (設置位置 の応答加速 度算出)	大飯3, 4号	東海第二のダイヤフラム・フロアの評価に際しては、当該設備の設置位置として原子炉本体の基礎及び原子炉建屋基礎版上の鉛直方向加速度を用いる。原子炉本体の基礎の鉛直方向加速度の算定にあたっては、多質点系モデルにモデル化し、建屋-機器連成解析を実施する。なお、原子炉建屋基礎版上の鉛直方向加速度は、原子炉建屋の地震応答解析結果を用いる(別途整理済み)。 参照するプラントとしては、東海第二と同様の鉄筋コンクリートを多質点系モデルにモデル化している大飯3, 4号としている。	3.7項に示す
		減衰定数 (鉛直)	大飯3, 4号	東海第二の建屋-機器連成解析に用いる原子炉本体の基礎の鉛直方向の減衰定数として、鉄筋コンクリートの5%を適用する。 参照するプラントとしては、東海第二と同様の鉄筋コンクリートの鉛直方向の減衰定数として、5%を適用している大飯3, 4号としている。	
		応力解析 解析モデル (モデル形状の変更)	柏崎刈羽 4号機	原子炉格納容器構造(MARK-II型)と同じ柏崎刈羽4号機を参照する。	3.7項に示す
12	ベント管	応答解析 解析手法 解析モデル	柏崎刈羽 4号機 柏崎刈羽 4号機	原子炉格納容器構造(MARK-II型)と同じ柏崎刈羽4号機を参照する。 同上	3.8項に示す
		応力解析	—	—	—
13	格納容器スプレイ ヘッド	応答解析 減衰定数 (鉛直)	大間1号機	一般的な配管解析であるため、大間1号機を参照する。	3.9項に示す
		応力解析	—	—	—

3. 各評価対象項目の評価方針及び評価内容

2. 項で整理した参照プラント及びその説明を基に、以降に東海第二の評価方針及び評価内容を示す。

3.1 原子炉格納容器の応答解析手法について

今回工認では鉛直方向に動的地震動が導入され、原子炉格納容器の耐震性評価に適用する鉛直方向の地震荷重を新たに設定するため、原子炉格納容器をモデル化した建屋－機器連成解析モデルを追加している。つぎの評価対象項目について、追加した建屋－機器連成解析モデルの応答解析結果から得られる地震力を用いて耐震評価を行う。以降に、評価対象項目の構造を示すと共に、地震応答解析モデルのモデル化方針及び減衰定数について示す。

【評価対象項目】


- ・ドライウエル（応答解析）
- ・サプレッション・チェンバ（応答解析）
- ・上部シアラグ及びスタビライザ（応答解析）
- ・下部シアラグ及びダイヤフラムブラケット（応答解析）
- ・胴アンカー部（応答解析）

3.1 ドライウエル及びサプレッション・チェンバ

(1) 構造

原子炉格納容器の概要図を図 1 に示す。原子炉格納容器は、全高 m の鋼製の容器であり、ドライウエルトップヘッド、ドライウエル本体、サプレッション・チェンバ本体及び付属構造物から構成されている。ドライウエルトップヘッドは内径 m, 板厚 の円筒胴及びその上に板厚 の鏡板を有している。ドライウエル本体及びサプレッション・チェンバ本体の基本形状は各々円錐形、円筒形で、サプレッション・チェンバ本体は円筒内径 m であり、原子炉格納容器の板厚は mm である。また、サプレッション・チェンバの基部である胴アンカー部は、原子炉建屋基礎に埋設されている。アンカー部は、ベースプレート、アンカープレート及びベースプレートとアンカープレートとを接続する基礎ボルトで構成されている。

主要な付属構造物として、上部シアラグ、下部シアラグ、ダイヤフラムブラケット、機器搬入用ハッチ、所員用エアロック、サプレッション・チェンバアクセスハッチ及び複数の配管貫通部、電気配線貫通部等がある。

原子炉格納容器の内部には、主要構造物として原子炉圧力容器、原子炉遮蔽、原子炉本体の基礎、原子炉圧力容器スタビライザ、原子炉格納容器スタビライザ、ダイヤフラム・フロアがある。また、サプレッション・チェンバ内に  on の水を保有している。

上部及び下部シアラグ部は、原子炉格納容器側のメイルシアラグと原子炉建屋遮蔽側のフィメールシアラグとの嵌め合い構造を有しており、水平方向変位を拘束している。また、原子炉格納容器スタビライザは原子炉遮蔽頂部に設置され、トラス構造の片持ち梁でその端部は原子炉格納容器の上部シアラグと嵌め合い構造となっており、水平方向変位を拘束している。原子炉圧力容器スタビライザは原子炉遮蔽頂部に設置され、原子炉圧力容器のスタビライザブラケットを介して水平方向変位を拘束している。

水平地震力は、上部シアラグ、下部シアラグ及びサプレッション・チェンバの基部から伝達され、鉛直地震力は、サプレッション・チェンバの基部から伝達される。

応答解析で参照プラントとした美浜3号機の原子炉格納容器は、鋼製の円筒形で上下に鏡板を有する容器である。基本形状が円筒形である点で、東海第二の原子炉格納容器は美浜3号機の原子炉格納容器と大きな構造の差を有していない。

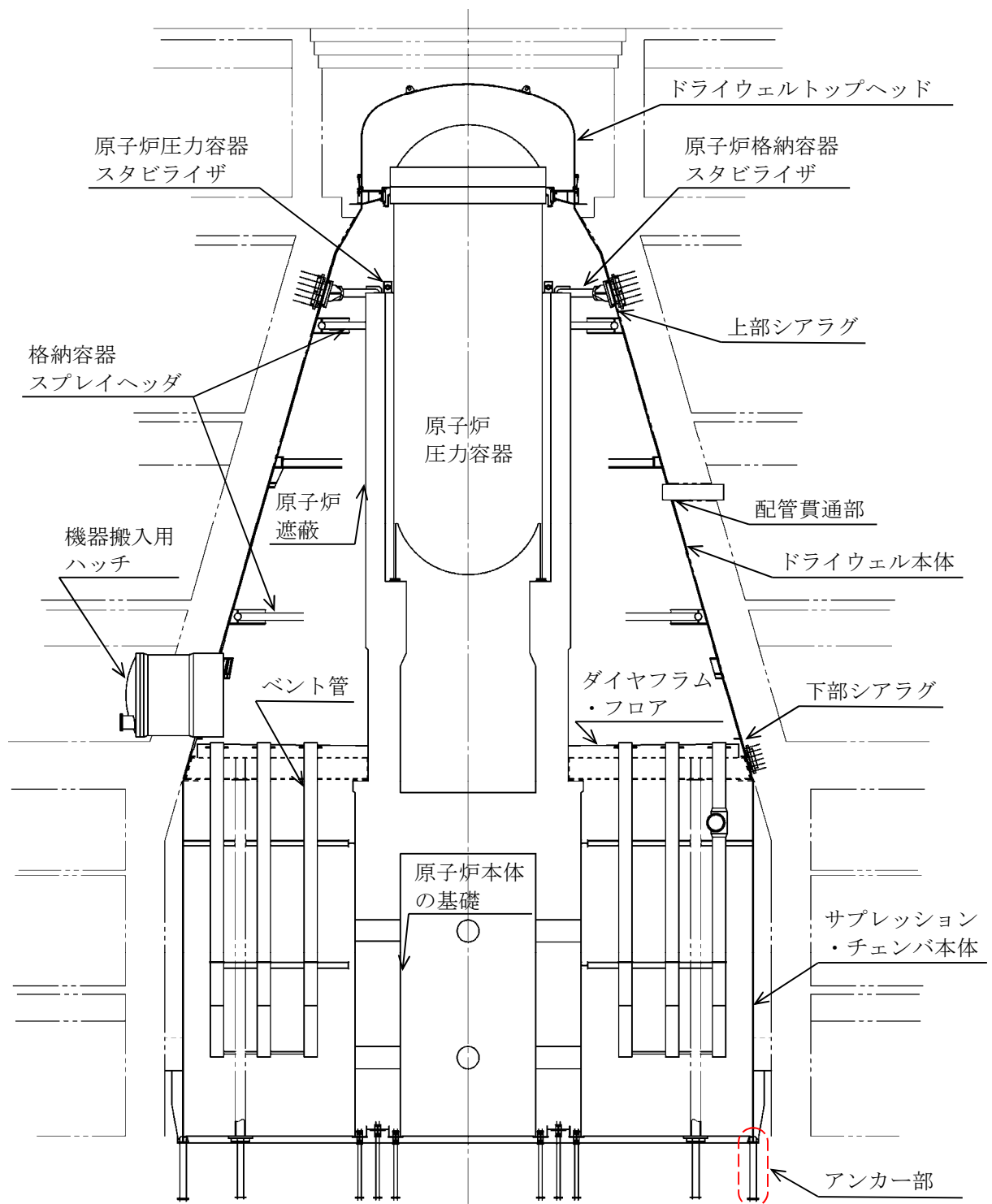


図1 原子炉格納容器の概要図

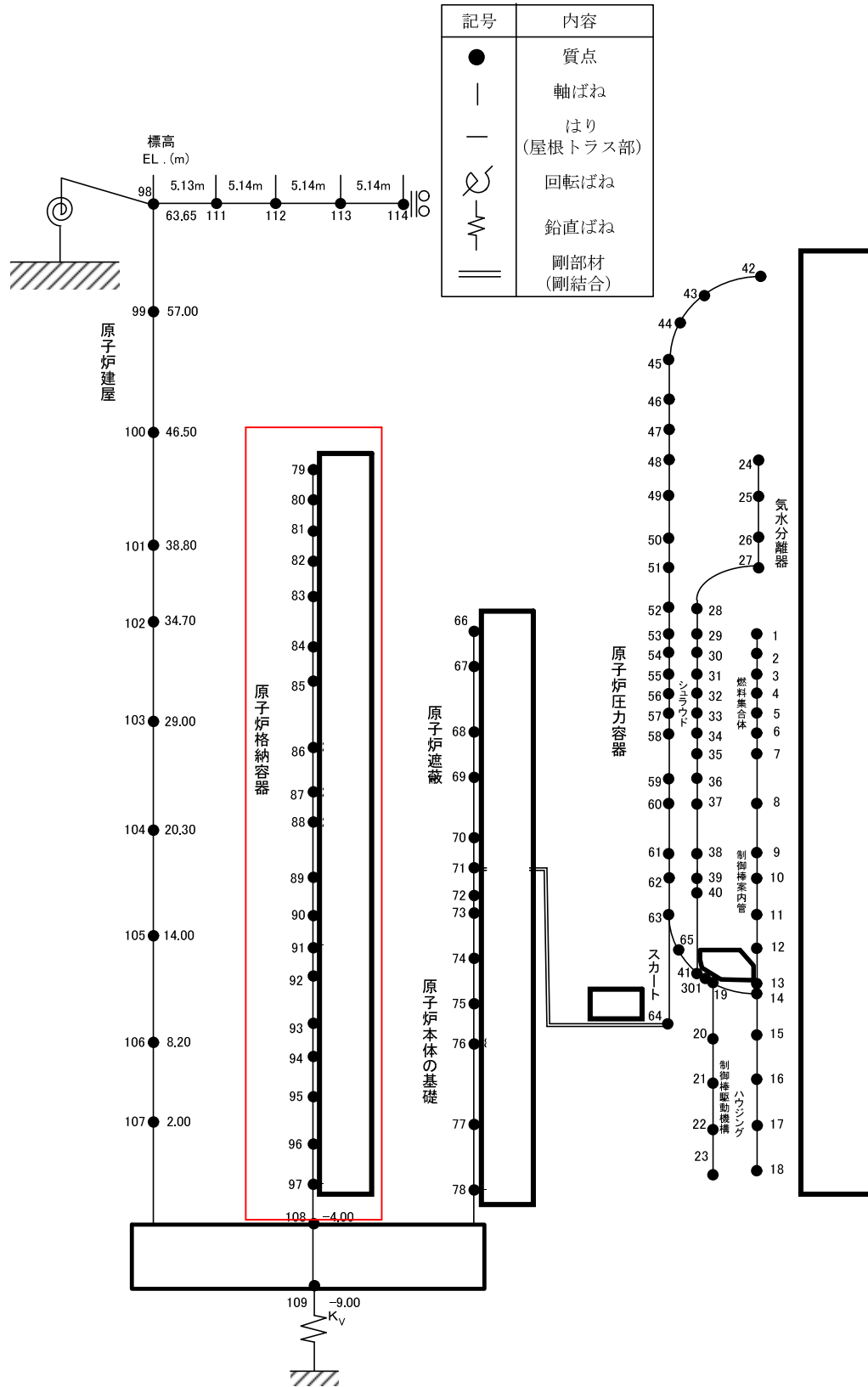
(2) 地震応答解析モデル及び減衰定数

原子炉格納容器の地震応答解析モデルは、ドライウェルトップヘッド、ドライウェル本体、サプレッション・チェンバ本体を多質点系はりモデルにてモデル化し、原子炉格納容器の質量分布を質点質量に置き換え、各質点間を等価な曲げ、せん断及び軸方向剛性を有する無質量のばねにより結合する。

質点位置は、水平方向地震応答解析モデルと鉛直方向地震応答解析モデルとで同じであり、形状不連続部、ハッチ類等の付加物接合部などを選定している。また、水平方向地震応答解析モデルは曲げ及びせん断剛性を有する多質点系はりモデルであり、鉛直方向地震応答解析モデルは、軸方向剛性を有する多質点系はりモデルである。

原子炉格納容器のモデルを含んだ建屋－機器連成解析モデル図を図 2 に示す。原子炉格納容器を多質点系はりモデルにてモデル化する考え方は、美浜 3 号機と同様である。

また、減衰定数については、溶接構造物であるため 1.0%を適用しており、美浜 3 号機の減衰定数と同様である。



原子炉格納容器モデル化の範囲

図2 鉛直方向の建屋-機器地震応答解析モデル

(3) 応力解析モデル

応力解析に適用するモデルは、既工認では軸対称殻要素であるのに対し、今回工認ではシェル要素による三次元モデルにてモデル化する。解析モデルは、形状不連続、板厚変化及びビームシート等付加構造物の形状を考慮したモデルであり、局所的な応力を算出できるよう要素分割する。全周の 180° 分をモデル化し、境界を対称条件としている。また、基部は固定条件である。

東海第二の三次元シェルモデル図を図 3 に示す。原子炉格納容器を三次元シェルモデルでモデル化する考え方は、トップヘッドやサプレッション・チェンバアクセストンネル鏡板を三次元シェルモデルでモデル化する大間 1 号機の考え方と同様である。

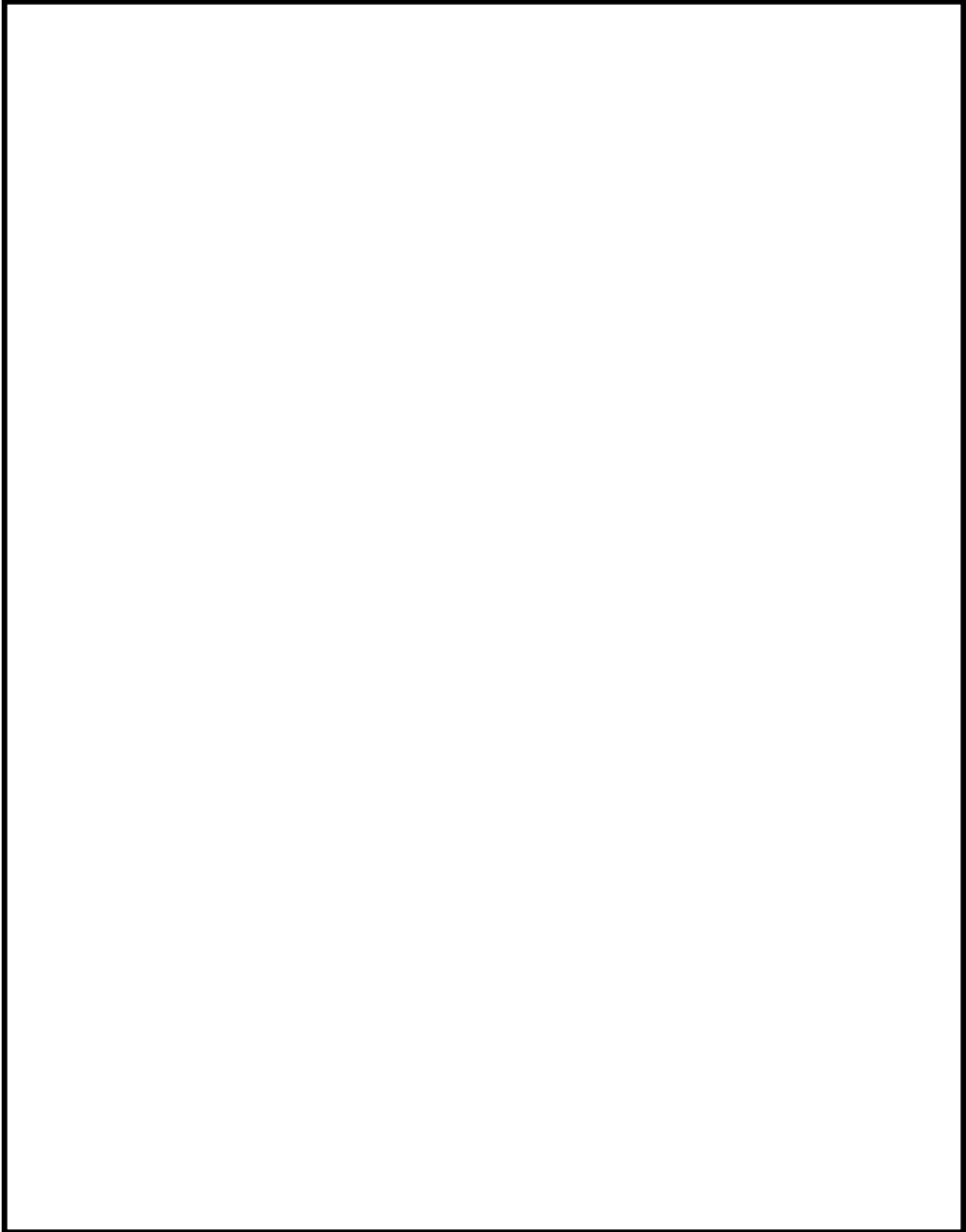


図3 三次元シェルモデル図（原子炉格納容器）

3.2 シアラグ部等の応力解析手法について

今回工認では、つぎの評価対象項目に対して、三次元シェルモデルにてモデル化した有限要素解析手法を用いて、シアラグ部等に発生する応力を算定し応力評価を行う。以降に、評価対象項目の構造を示すと共に、応力解析モデルのモデル化方針について示す。

【評価対象項目】

- ・ 上部シアラグ及びスタビライザ（応力解析）
- ・ 下部シアラグ及びダイヤフラムブラケット（応力解析）

(1) 構造

上部シアラグ部及び下部シアラグ部の概要図を図 4 及び図 5 に示す。

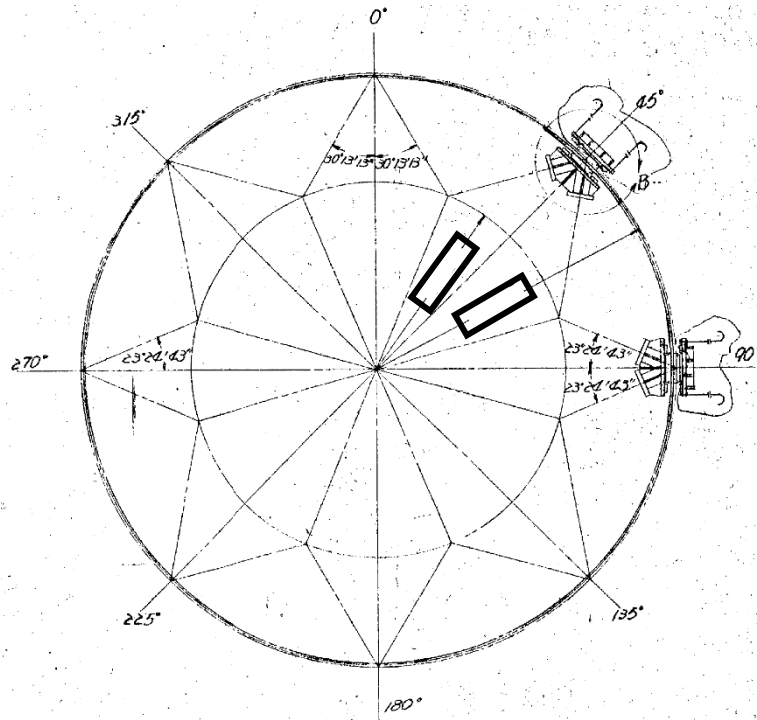
上部シアラグ及び下部シアラグは、ドライウエルの水平方向地震力を原子炉建屋に伝達するために設置している。

上部シアラグ及びスタビライザは、ドライウエル円錐胴の上部に周方向に 8 ヶ所設置されている。原子炉格納容器外側のマイルシアラグは原子炉建屋側のフィメールシアラグと嵌め合い構造に、また、原子炉格納容器内側のマイルシアラグはスタビライザ側のフィメールシアラグと嵌め合い構造になっており、水平方向変位を拘束する一方で、鉛直方向には変位拘束はない。マイルシアラグはドライウエル円錐胴の厚肉部に溶接されており、原子炉建屋側のフィメールシアラグはベースプレートを介してアンカーボルトで原子炉建屋に固定され、スタビライザ側のフィメールシアラグはウェブを介して原子炉格納容器スタビライザとフランジ構造で接続されている。

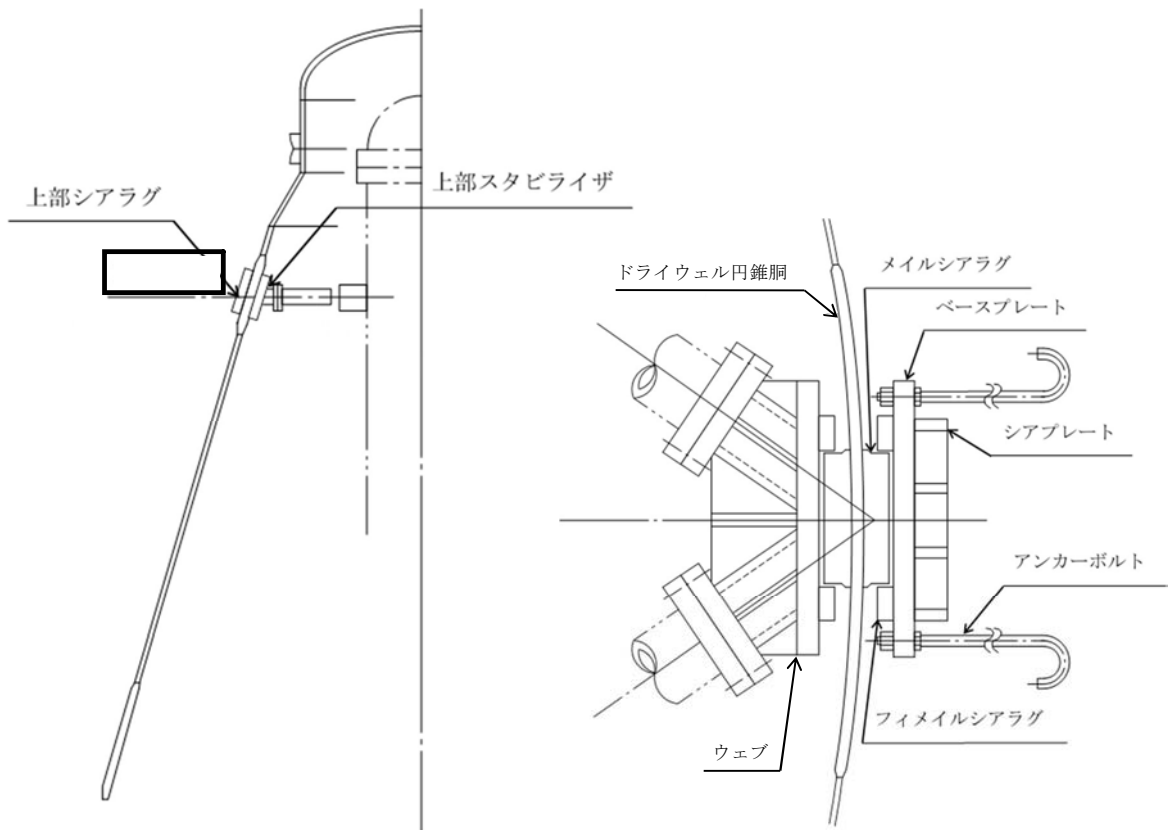
下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットは、ドライウエル円錐胴の下部に周方向に 18 ヶ所設置されている。原子炉格納容器外側のマイルシアラグは原子炉建屋側のフィメールシアラグと嵌め合い構造に、また、原子炉格納容器内側のダイヤフラムブラケットはダイヤフラム・フロアの半径方向大梁と嵌め合い構造になっており、水平方向変位を拘束する一方で、鉛直方向には変位拘束はない。マイルシアラグはドライウエル円錐胴の厚肉部に溶接されており、原子炉建屋側のフィメールシアラグはベースプレートを介してアンカーボルトで原子炉建屋に固定され、ダイヤフラムブラケットはドライウエル円錐胴の厚肉部に溶接されている。

応力解析で参照プラントとした柏崎刈羽 5 号機は原子炉格納容器構造（MARK-

II型)が同じであり、シアラグ部を含めて大きな構造の差を有していない。なお、同じ原子炉格納容器構造を有するプラントには柏崎刈羽4号機があるが、工認計算書を添付していないことから、参照プラントは柏崎刈羽5号機としている。



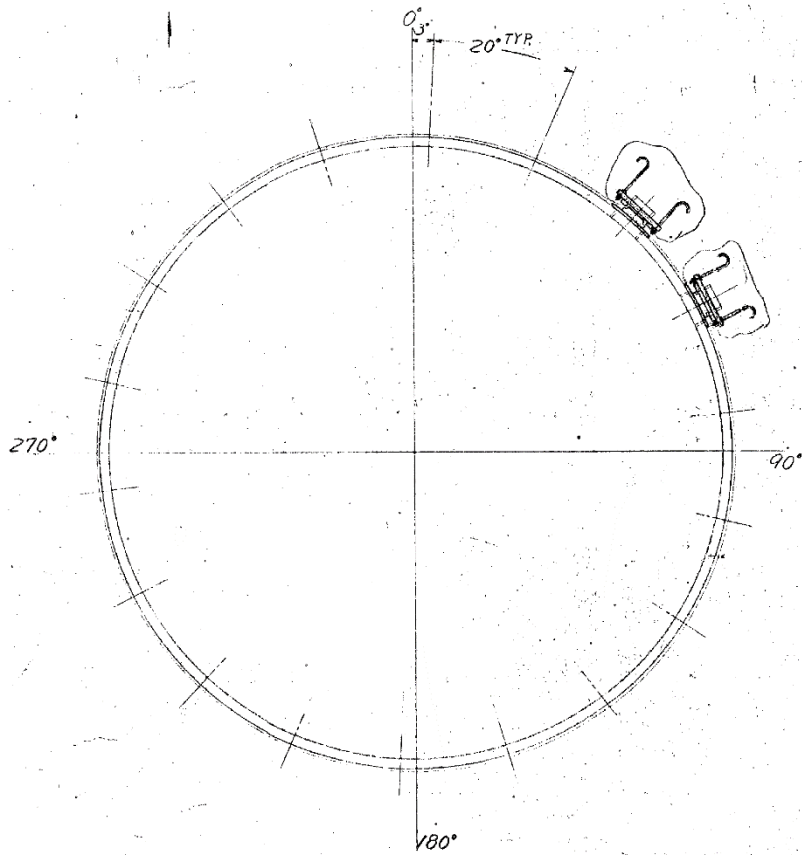
(a) 水平断面図



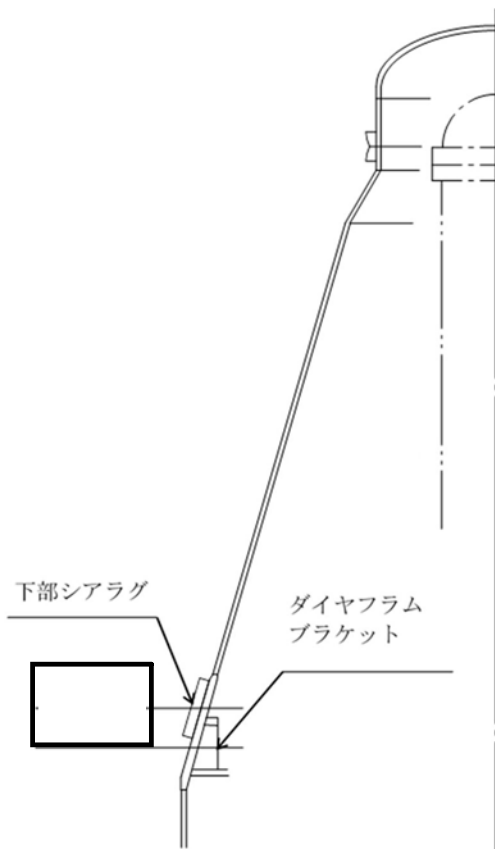
(b) 垂直断面図

(c) 上部シアラグ詳細平面図

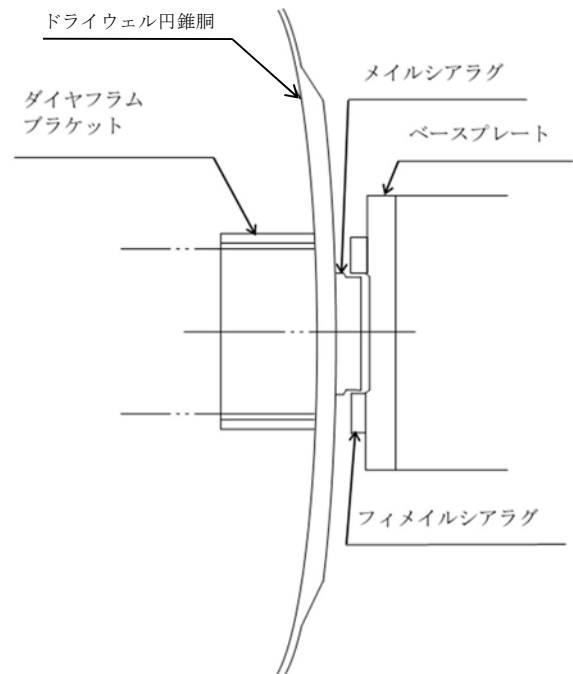
図 4 上部シアラグ及びスタビライザの概要図



(a) 水平断面図



(b) 垂直断面図



(c) 下部シアラグ詳細平面図

図5 下部シアラグ及びダイヤフラムブラケットの概要図

(2) 応力解析モデル

応力解析に適用するモデルは三次元シェルモデルにてモデル化する。原子炉格納容器胴板、シアラグ取付厚板部及びメイルシアラグをシェル要素でモデル化する。解析モデルは、形状不連続、板厚変化及び付加構造物の形状を考慮したモデルであり、局所的な応力を算出できるよう要素分割する。シアラグ部 1 基に作用する水平方向地震力により発生するシアラグ部近傍の応力に着目し、全周の 90° 分をモデル化し境界を対称条件としている。また、基部は固定条件である。

シアラグ部等を含んだ三次元シェルモデル図を図 6 及び図 7 に示す。シアラグ部を三次元シェルモデルでモデル化する考え方は、柏崎刈羽 5 号機の考え方と同様である。

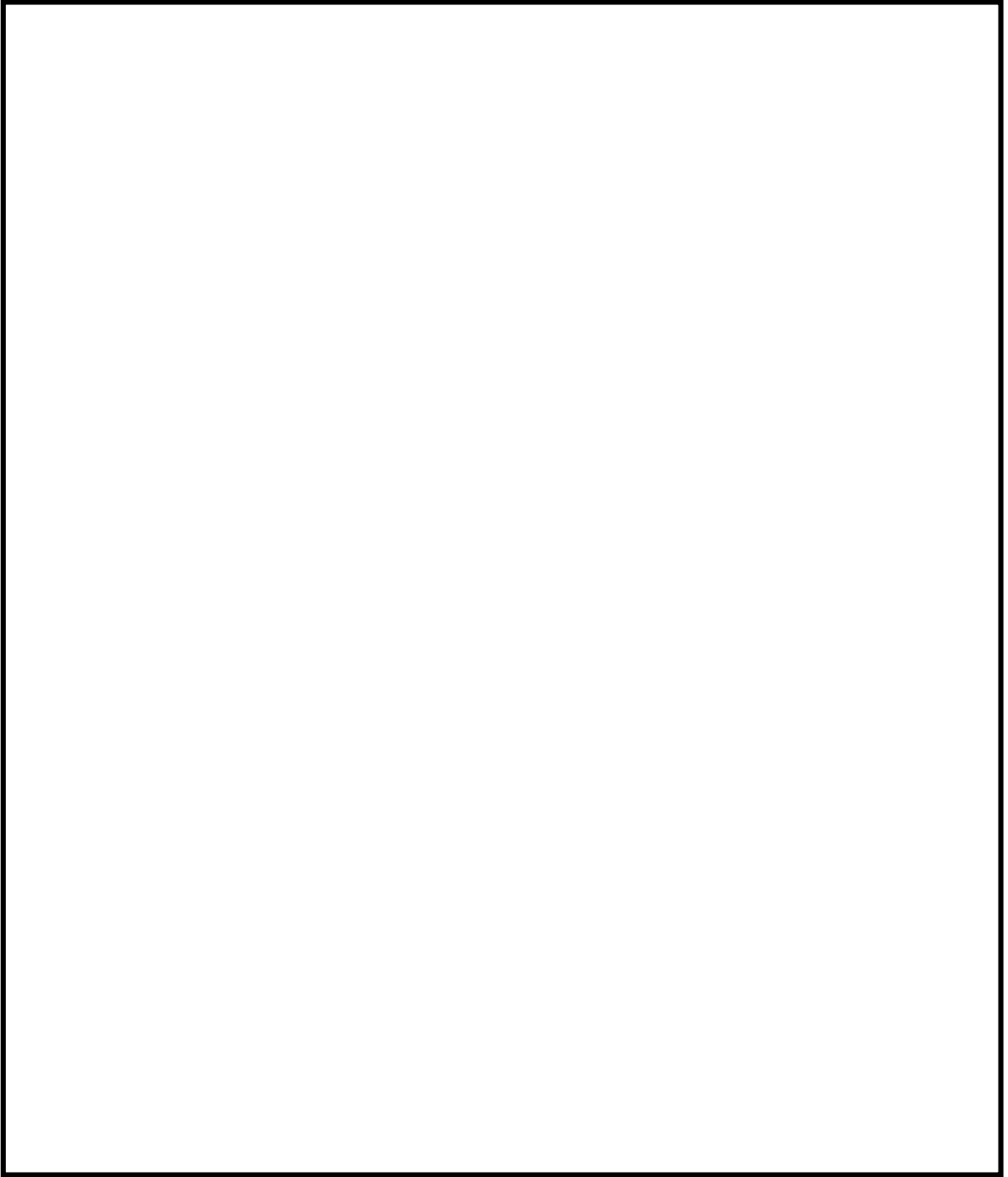


図 6 三次元シェルモデル (上部シアラグ部)

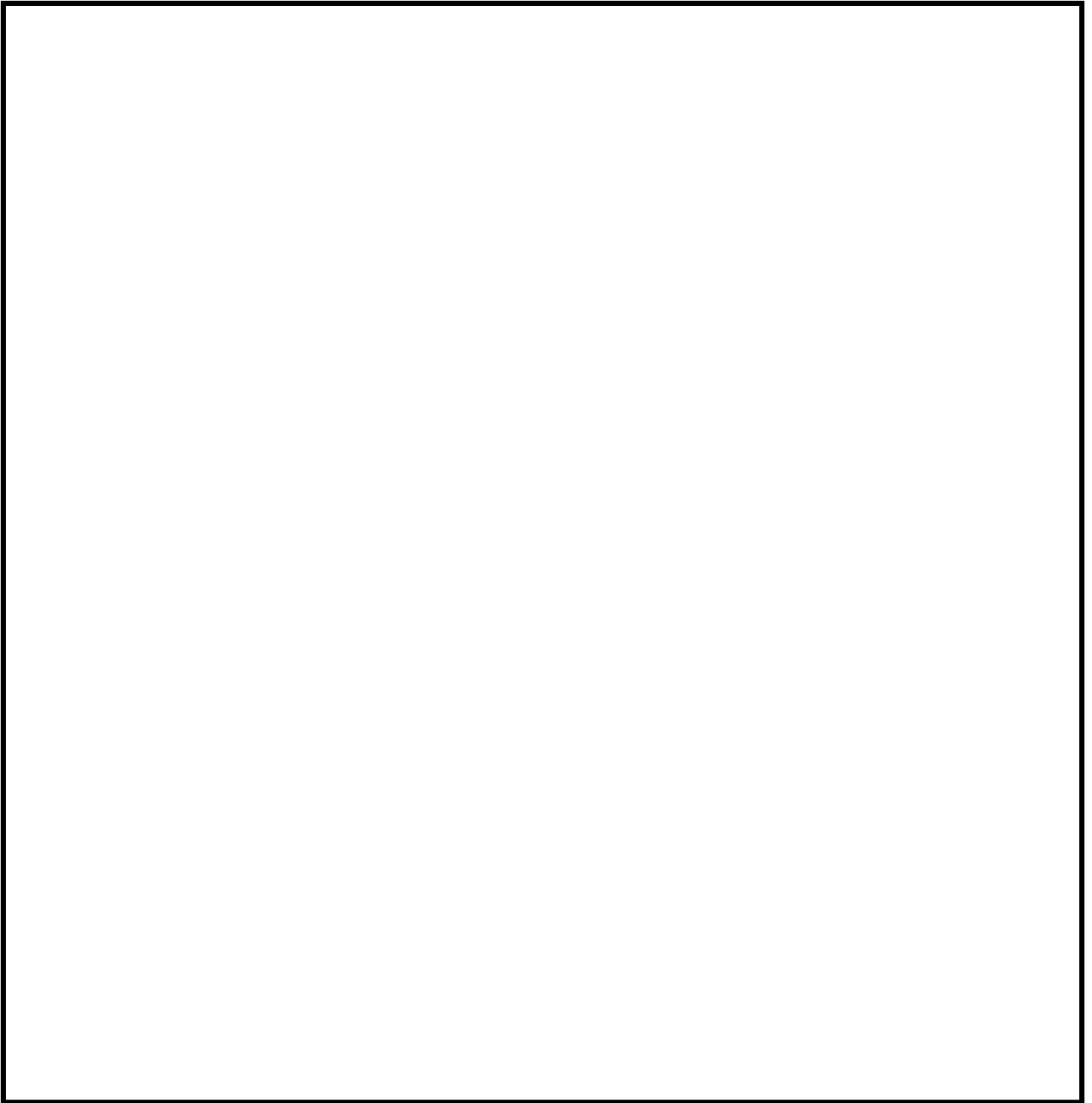


図 7 三次元シェルモデル (下部シアラグ部)

3.3 機器搬入用ハッチ等の応力解析手法について

今回工認では、つぎの評価対象項目に対して、三次元シェルモデルにてモデル化した有限要素解析手法を用いて、機器搬入用ハッチ等に発生する応力を算定し応力評価を行う。以降に、評価対象項目の構造を示すと共に、応力解析モデルのモデル化方針について示す。

【評価対象項目】

- ・ 機器搬入用ハッチ（応力解析）
- ・ 所員用エアロック（応力解析）
- ・ サプレッション・チェンバアクセスハッチ（応力解析）

(1) 構造

機器搬入用ハッチ等の概要図を図 8 から図 10 に示す。機器搬入用ハッチ等は鋼製円筒形の構造であり、機器搬入用ハッチ及び所員用エアロックはドライウェル円錐胴部に、サプレッション・チェンバアクセスハッチはサプレッション・チェンバ円筒胴部にそれぞれ溶接により取り付けられている。機器搬入用ハッチは内径 mm、板厚 mm の円筒胴及びフランジ接続の板厚 の球形鏡板を、所員用エアロックは内径 mm、板厚 mm の円筒胴で原子炉格納容器の内側及び外側に扉を、サプレッション・チェンバアクセスハッチは内径 mm、板厚 mm の円筒胴及びフランジ接続の板厚 の球形鏡板を有している。

大間 1 号機と東海第二発電所の機器搬入用ハッチ等は、鋼製円筒形状である基本構造は同じであり、大きな構造の差を有していない。ただし、大間 1 号機のサプレッション・チェンバ用のアクセスハッチはコンクリート構造物に直接取り付け構造であるため、当該部の評価は類似設備として機器搬入用のハッチを参照する。

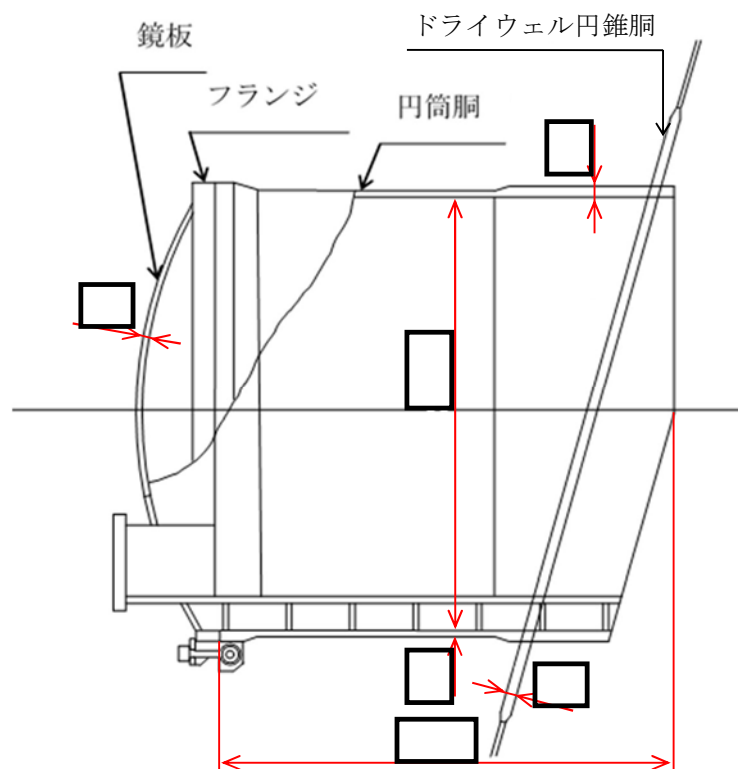


図 8 機器搬入用ハッチの概要図

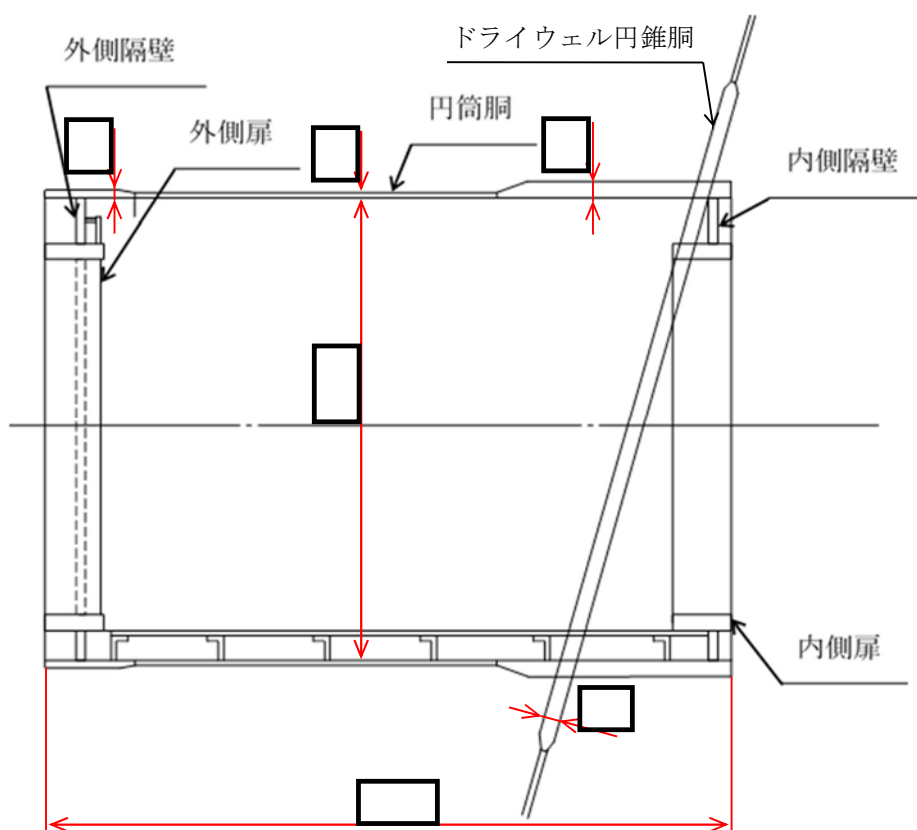


図 9 所員用エアロックの概要図

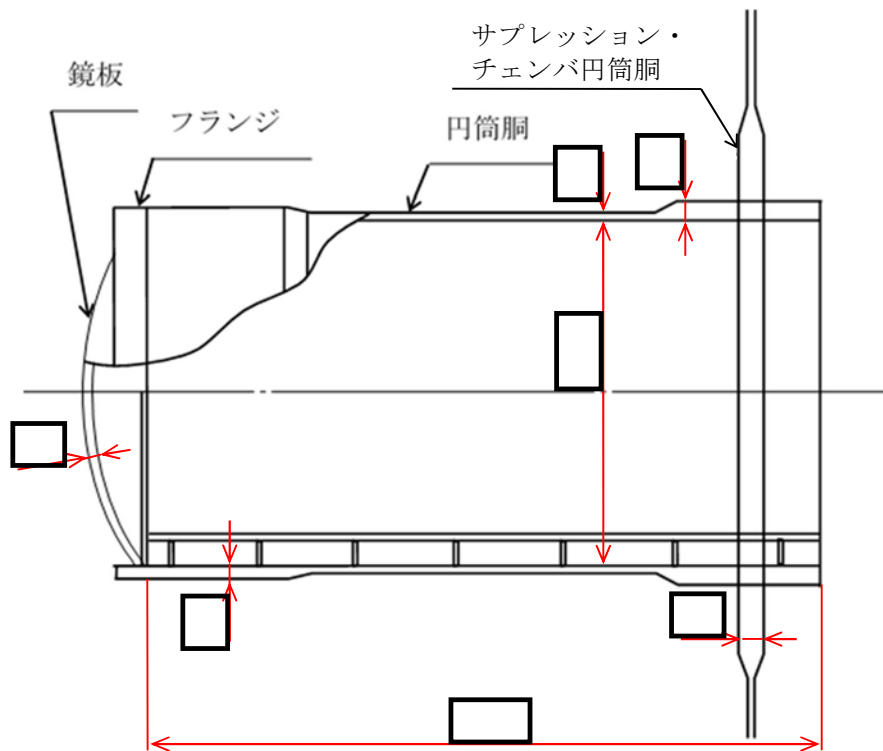


図 10 サプレッション・チェンバアクセスハッチの概要図

(2) 応力解析モデル

応力解析に適用するモデルは三次元シェルモデルにてモデル化する。機器搬入用ハッチ等の主要構造部材及び原子炉格納容器胴板をシェル要素でモデル化する。解析モデルは、形状不連続、板厚変化及び付加構造物の形状を考慮したモデルであり、局所的な応力を算出できるよう要素分割する。原子炉格納容器の円周方向全体の変形挙動に着目してモデル化し、基部は固定条件である。

機器搬入用ハッチ等を含んだ三次元シェルモデル図を図 11 から図 13 に示す。機器搬入用ハッチ等を含んだ原子炉格納容器を三次元シェルモデルでモデル化する方法は、大間 1 号機と同様である。

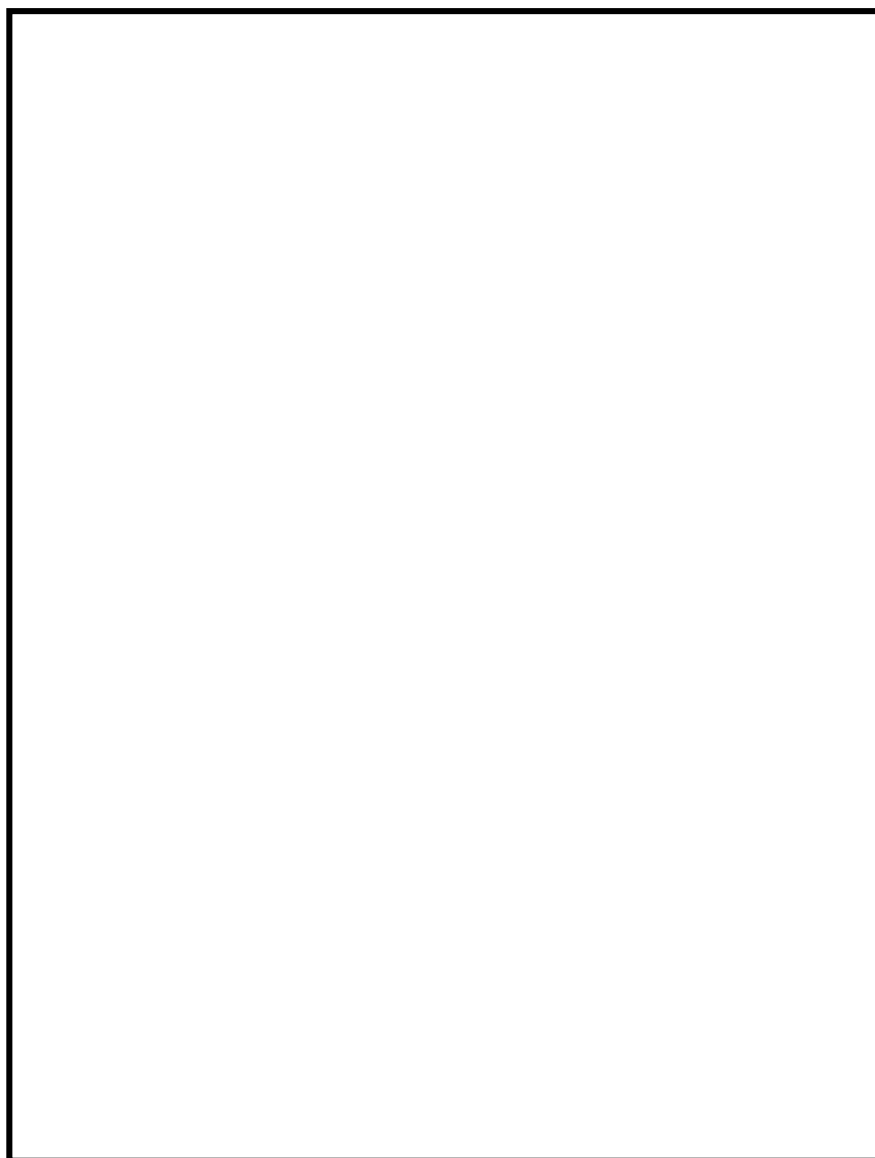


図 11 三次元シェルモデル（機器搬入用ハッチ）

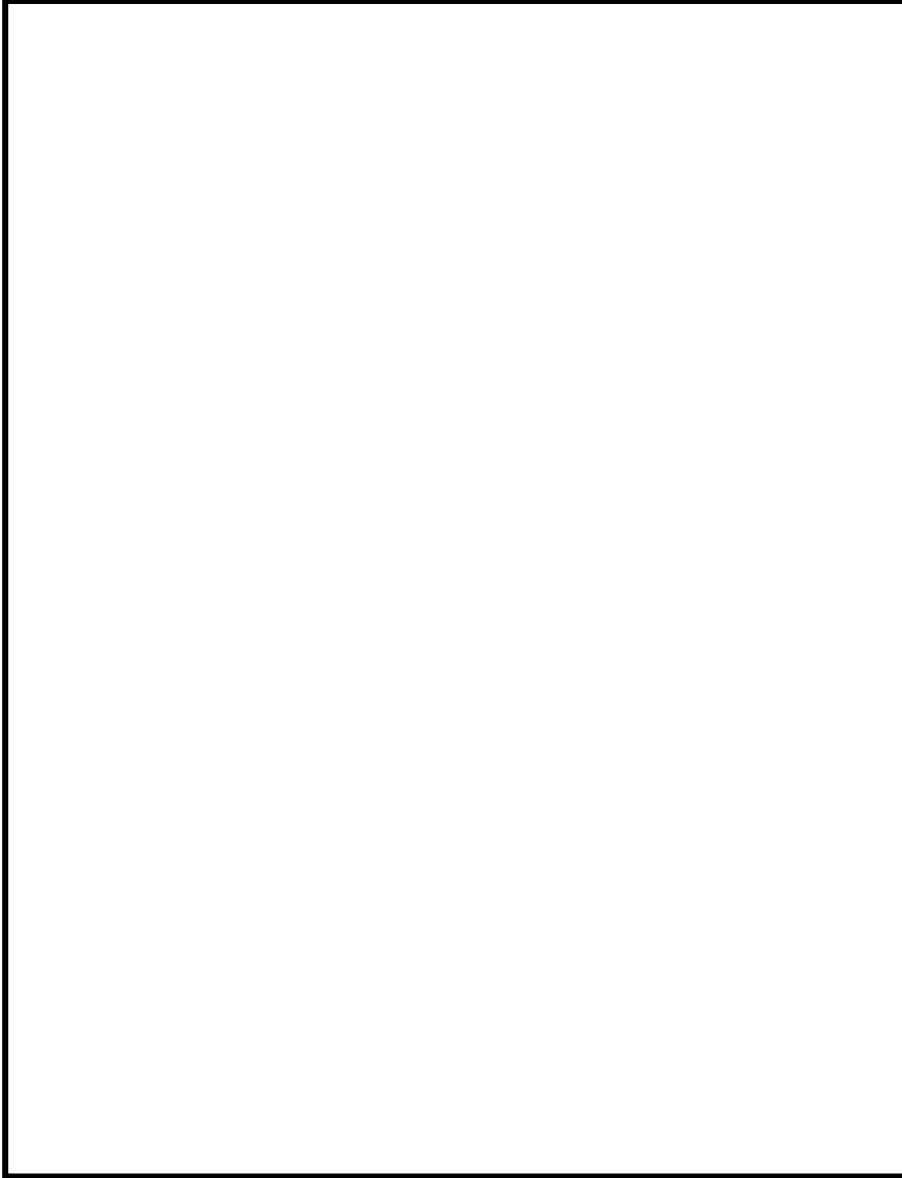


図 12 三次元シェルモデル (所員用エアロック)

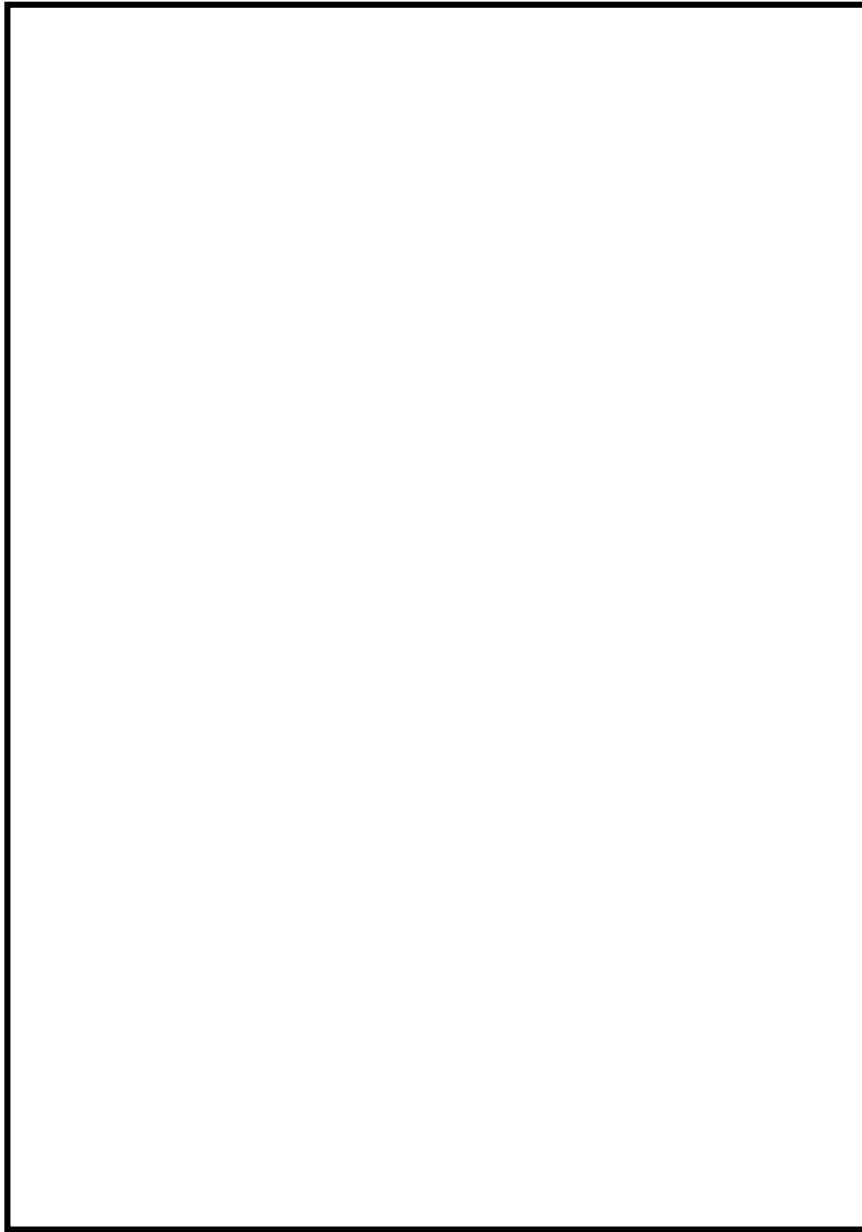


図 13 三次元シェルモデル (サプレッション・チェンバアクセスハッチ)

3.4 配管貫通部の応力解析手法について

今回工認では、つぎの評価対象項目に対して、三次元シェルモデルにてモデル化した有限要素解析手法を用いて、配管貫通部に発生する応力を算定し応力評価を行う。以降に、評価対象項目の構造を示すと共に、応力解析モデルのモデル化方針について示す。

【評価対象項目】

- ・配管貫通部（応力解析）

(1) 構造

配管貫通部の概要図を図 14 に示す。配管貫通部は鋼製円筒形の構造であり、原子炉格納容器を貫通する配管が直接溶接にて接合する型式と、原子炉格納容器に接合されたスリーブを介して、配管とスリーブとを接合する型式とがある。

東北電力東通 1 号機と東海第二の配管貫通部は、鋼製円筒形状である基本構造は同じであり、大きな構造の差を有していない。

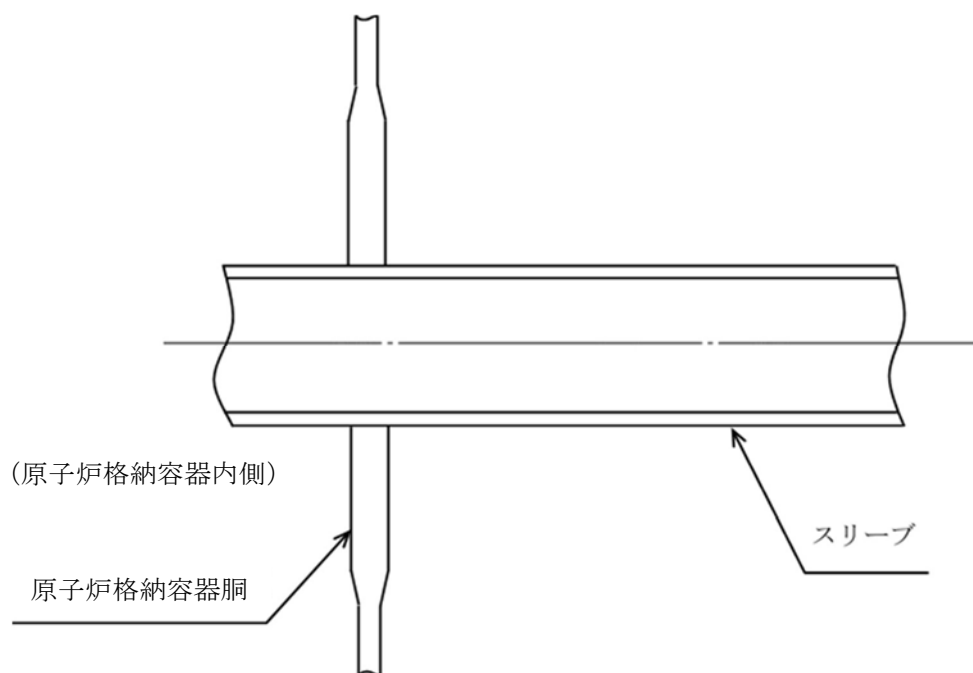


図 14 配管貫通部の概要図

(2) 応力解析モデル

応力解析に適用するモデルは三次元シェルモデルにてモデル化する。配管貫通部及び原子炉格納容器胴板をシェル要素でモデル化する。解析モデルは、形状不連続、板厚変化及び付加構造物の形状を考慮したモデルであり、局所的な応力を算出できるように要素分割する。配管貫通部に作用する地震力により発生する配管貫通部近傍の応力に着目し、全周の 90° 分をモデル化し境界を対称条件としている。また、基部は固定条件である。

配管貫通部を含んだ三次元シェルモデルの例を図 15 に示す。配管貫通部を三次元シェルモデルでモデル化する考え方は、東北電力東通 1 号機と同様である。

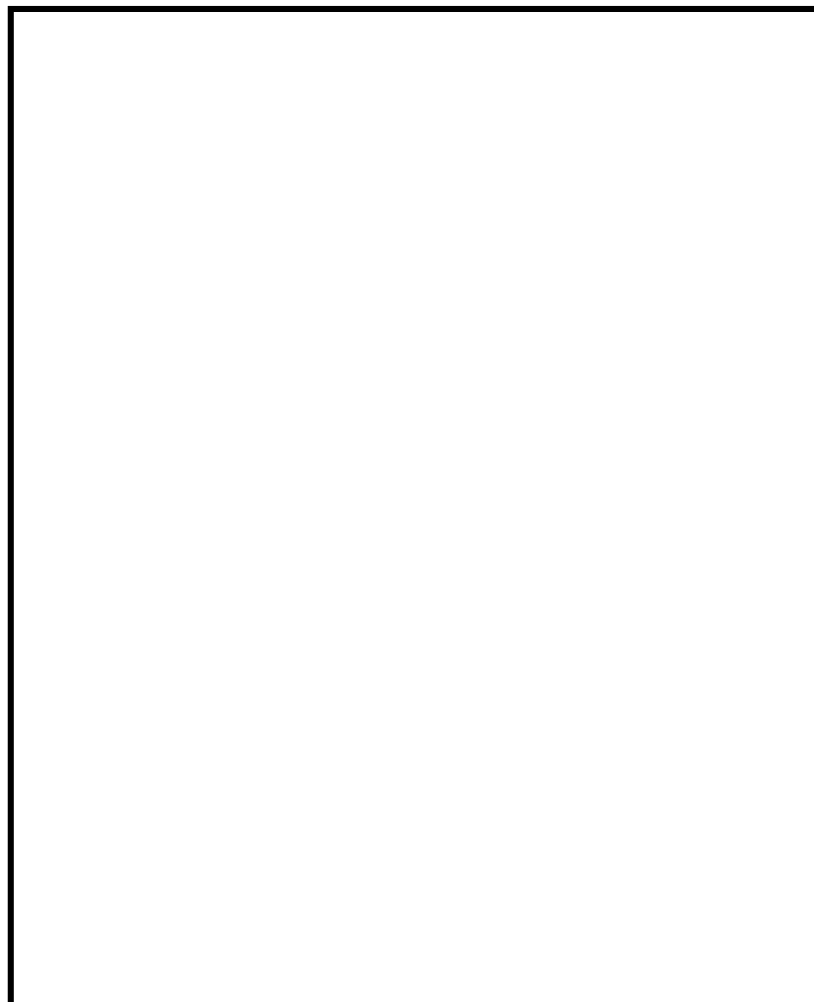


図 15 三次元シェルモデル例 (配管貫通部)

3.5 電気配線貫通部の解析手法について

今回工認では、つぎの評価対象項目に対して、三次元ビームモデルにてモデル化した電気配線貫通部の応答解析結果から得られる地震力を用いて耐震評価を行う。また、三次元シェルモデルにてモデル化した有限要素解析手法を用いて、電気配線貫通部に発生する応力を算定し応力評価を行う。以降に、評価対象項目の構造を示すと共に、地震応答解析モデルのモデル化方針、減衰定数及び応力解析モデルのモデル化方針について示す。

【評価対象項目】

- ・ 電気配線貫通部（応答解析）
- ・ 電気配線貫通部（応力解析）

(1) 構造

電気配線貫通部の概要図を図 16 に示す。電気配線貫通部は、原子炉格納容器を貫通するスリーブの外側端部に溶接したアダプタ・ヘッドを介して接続箱を、スリーブの内側端部に接続箱を取り付けている。

福島第一 4 号機と東海第二の電気配線貫通部は、鋼製円筒形状である基本構造は同じであり、大きな構造の差を有していない。

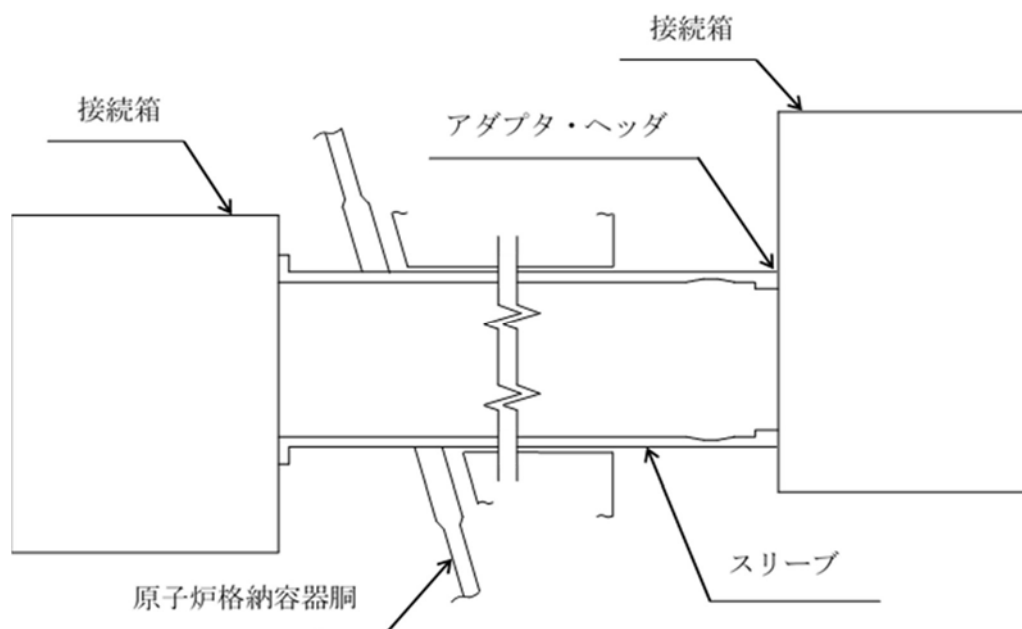


図 16 電気配線貫通部の概要図

(2) 応答解析モデル

スペクトルモーダル解析に適用するモデルは、多質点系はりモデルにてモデル化する。接続箱の質量は質点に、スリーブの質量は等分布に置き換え、原子炉格納容器剛性を模擬したシェルばねにより結合する。

電気配線貫通部の三次元ビームモデル図を図 17 に示す。電気配線貫通部のモデル化の考え方は福島第一 4 号機（改造工認）と同様である。

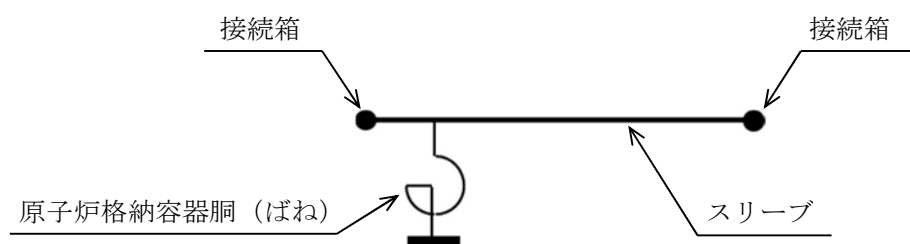


図 17 三次元ビームモデル（電気配線貫通部）

(3) 応力解析モデル

応力解析に適用するモデルは三次元シェルモデルにてモデル化する。電気配線貫通部及び原子炉格納容器胴板をシェル要素でモデル化する。解析モデルは、形状不連続、板厚変化及び付加構造物の形状を考慮したモデルであり、局所的な応力を算出できるよう要素分割する。電気配線貫通部に作用する地震力により発生する電気配線貫通部近傍の応力に着目し、全周の 90° 分をモデル化し境界を対称条件としている。また、基部は固定条件である。

電気配線貫通部を含んだ三次元シェルモデルの例を図 18 に示す。電気配線貫通部を三次元シェルモデルでモデル化する考え方は、福島第一 4 号機と同様である。

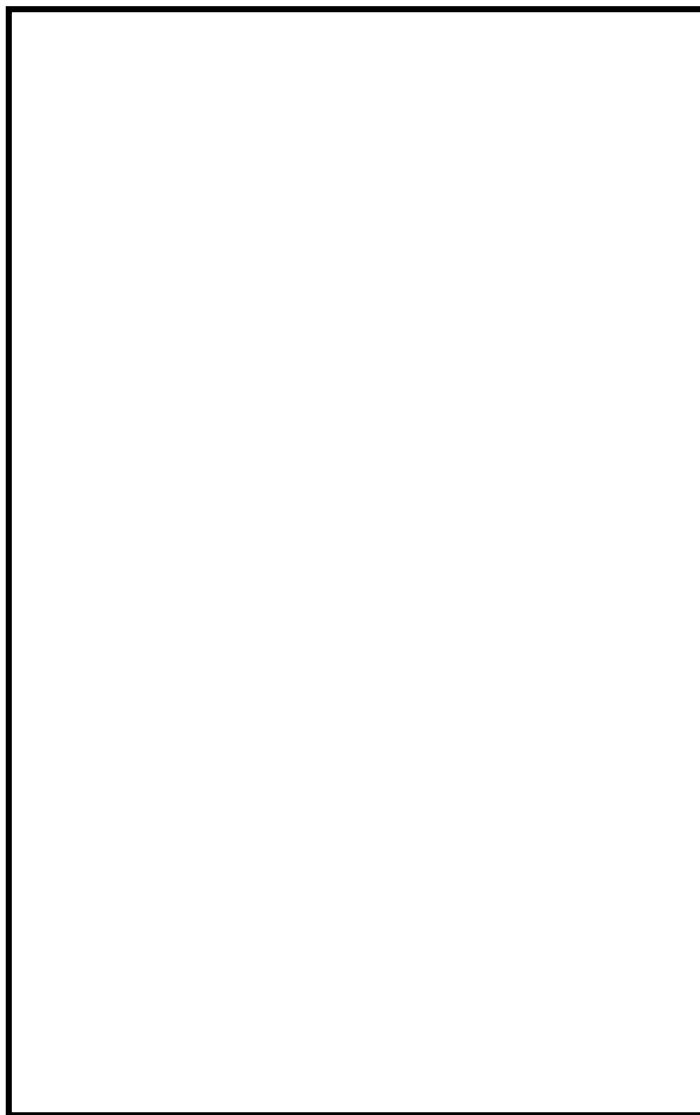


図 18 三次元シェルモデル例（電気配線貫通部）

3.6 ダイヤフラム・フロアの解析手法について

今回工認では、つぎの評価対象項目に対して、建屋－機器連成解析モデルにてモデル化したダイヤフラム・フロア設置位置での応答解析結果から得られる地震力を用いて耐震評価を行う。また、三次元シェル及びはりモデルにてモデル化した有限要素解析手法を用いて、ダイヤフラム・フロアに発生する応力を算定し応力評価を行う。以降に、評価対象項目の構造を示すと共に、地震応答解析モデルのモデル化方針、減衰定数及び応力解析モデルのモデル化方針について示す。

以降に、評価対象項目の構造を示すと共に、地震応答解析モデルのモデル化方針、減衰定数、並びに固有振動数について示す。

【評価対象項目】

- ・ダイヤフラム・フロア（応答解析）
- ・ダイヤフラム・フロア（応力解析）

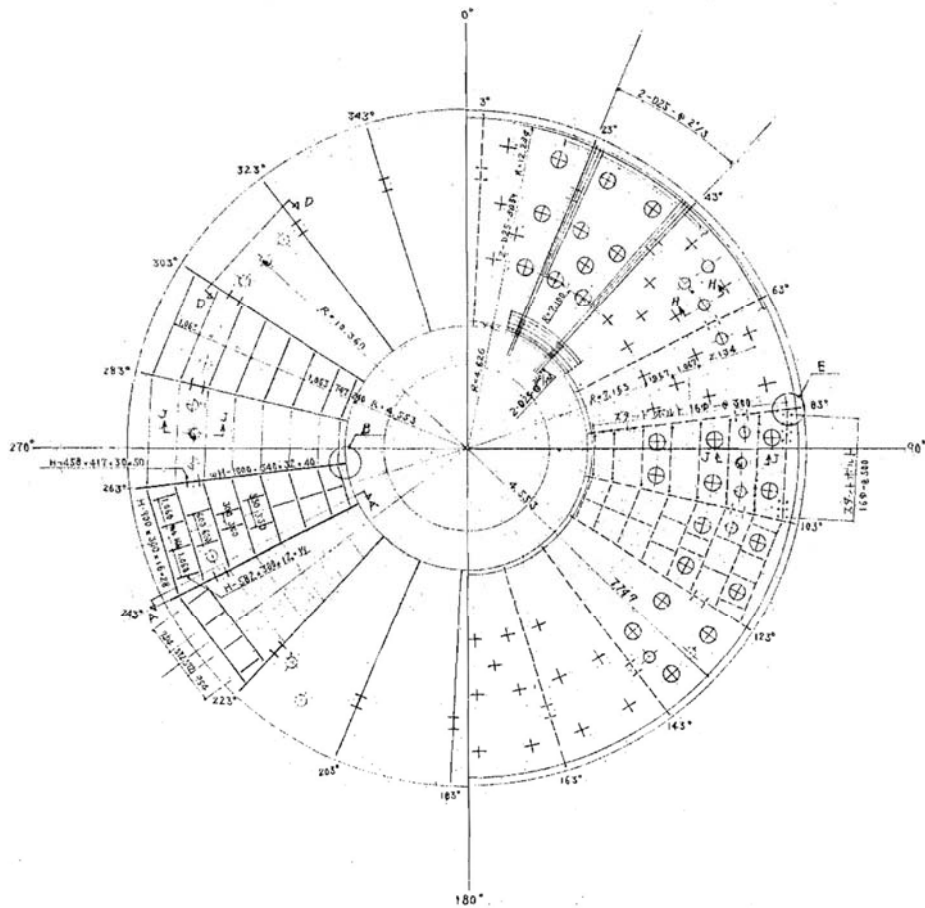
(1) 構造

ダイヤフラム・フロアの概要図を図 19 に示す。ダイヤフラム・フロアは、ドライウエル部とサプレッション・チェンバ部との境界に設置される軸対称形の円環平板形状の構造物である。円環状の鉄筋コンクリート床スラブ、床スラブを支持する半径方向に配置した鋼製大梁及び大梁間に円周方向に複数配置した鋼製小梁により構成されている。円環内周端は原子炉本体の基礎に結合支持され、円環外周部で大梁を支持するため原子炉格納容器底面から鋼製柱を円周状に 20° 間隔で 18 本設置している。円環外周端は原子炉格納容器に設置したダイヤフラムブラケットに、大梁端部が水平方向で隙間をもって嵌め合う構造となっている。

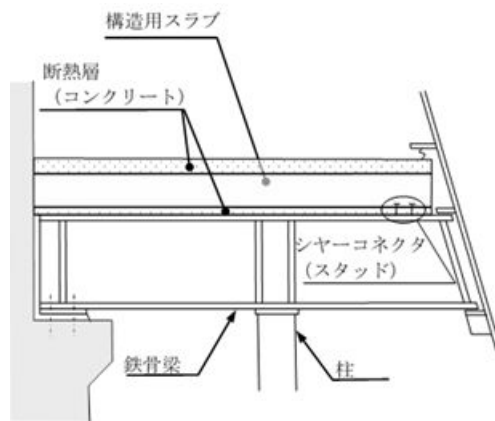
また、ダイヤフラム・フロアの内周端を支持する原子炉本体の基礎は、鉄筋コンクリート製の円筒形の構造物である。

応答解析で参照プラントとした大飯 3，4 号機は鉄筋コンクリート製の円筒形構造物で、東海第二の原子炉本体の基礎と同じであり、大きな構造の差を有していない。

応力解析で参照プラントとした柏崎刈羽 5 号機は原子炉格納容器構造（MARK-II 型）が同じであり、ダイヤフラム・フロアに大きな構造の差を有していない。



(a) 平面図



(b) 断面図

図 19 ダイヤフラム・フロアの概要図

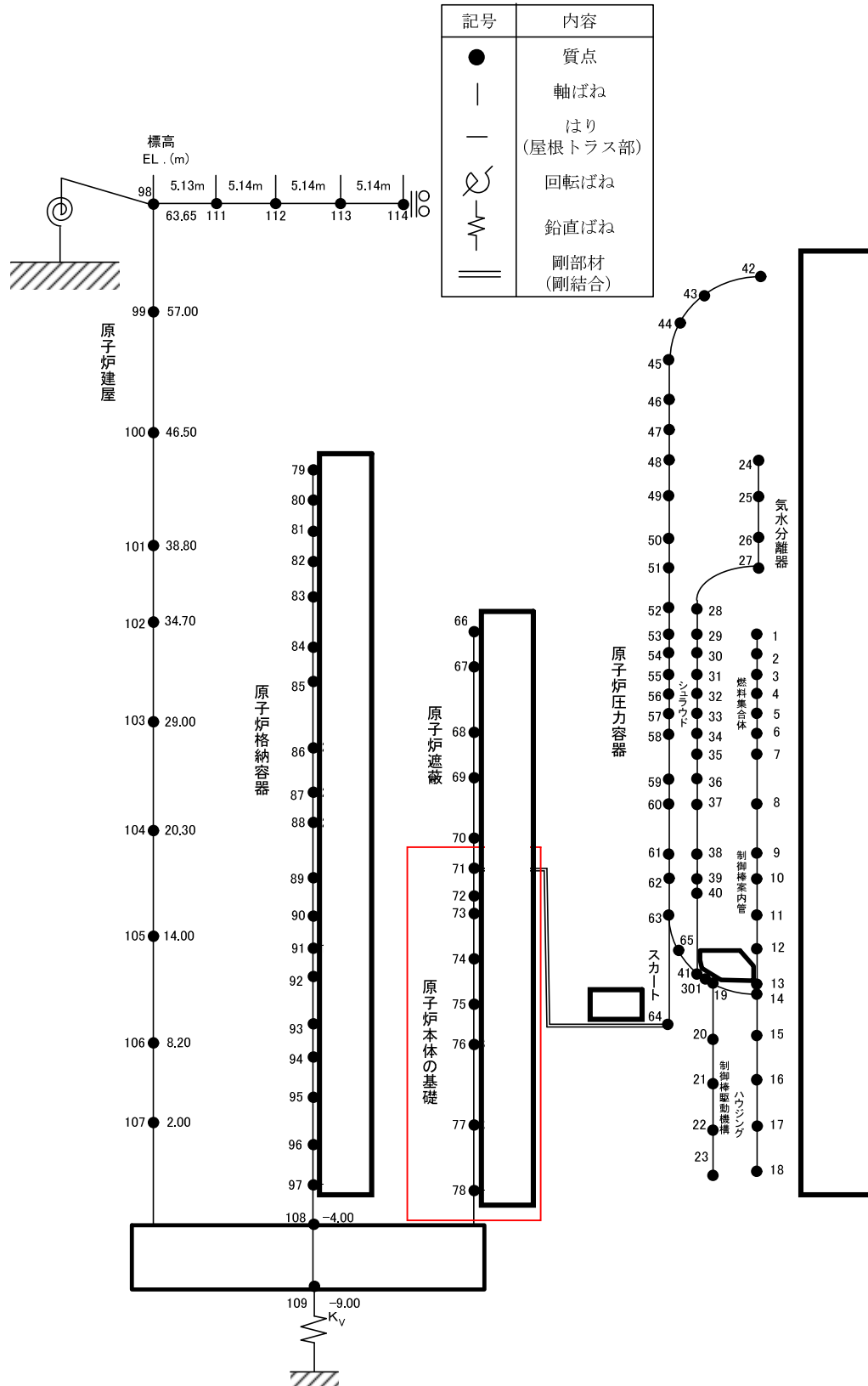
(2) 応答解析モデル及び減衰定数

ダイヤフラム・フロアの評価に際しては、当該設備の設置位置として原子炉本体の基礎及び原子炉建屋基礎版の鉛直方向加速度を適用する。

鉛直方向応答解析に適用するモデルは、原子炉本体の基礎を多質点系はりモデルにてモデル化し、ダイヤフラム・フロアの重量は原子炉本体の基礎の質点及び原子炉建屋基礎版に付加している。

ダイヤフラム・フロアを含む建屋－機器連成解析モデル図を図 20 に示す。原子炉本体の基礎を多質点系はりモデルにてモデル化する考え方は、大飯 3，4 号機と同様である。

また、減衰定数については、鉄筋コンクリートであるため 5%を適用しており、大飯 3，4 号機の減衰定数と同様である。



原子炉本体の基礎モデル化の範囲

図 20 建屋—機器連成解析モデル図

(3) 応力解析モデル

応力解析に適用するモデルは三次元シェル及びビームモデルにてモデル化する。鉄筋コンクリートスラブをシェル要素で、鉄骨の大梁、小梁及び柱をビーム要素でモデル化する。ベント管、格納容器スプレイヘッダ（サプレッション・チェンバ側）等の構造物を付加質量として考慮する。解析モデルは、形状不連続、板厚変化及び付加構造物の形状を考慮したモデルであり、局所的な応力を算出できるよう要素分割する。ダイヤフラム・フロアに作用する地震力により発生する応力に着目し、原子炉本体の基礎との接合部及び柱基部を固定条件としている。

ダイヤフラム・フロアの解析モデル図を図 21 に示す。ダイヤフラム・フロアを三次元シェル及びビームモデルでモデル化する考え方は、柏崎刈羽 4 号機と同じである。

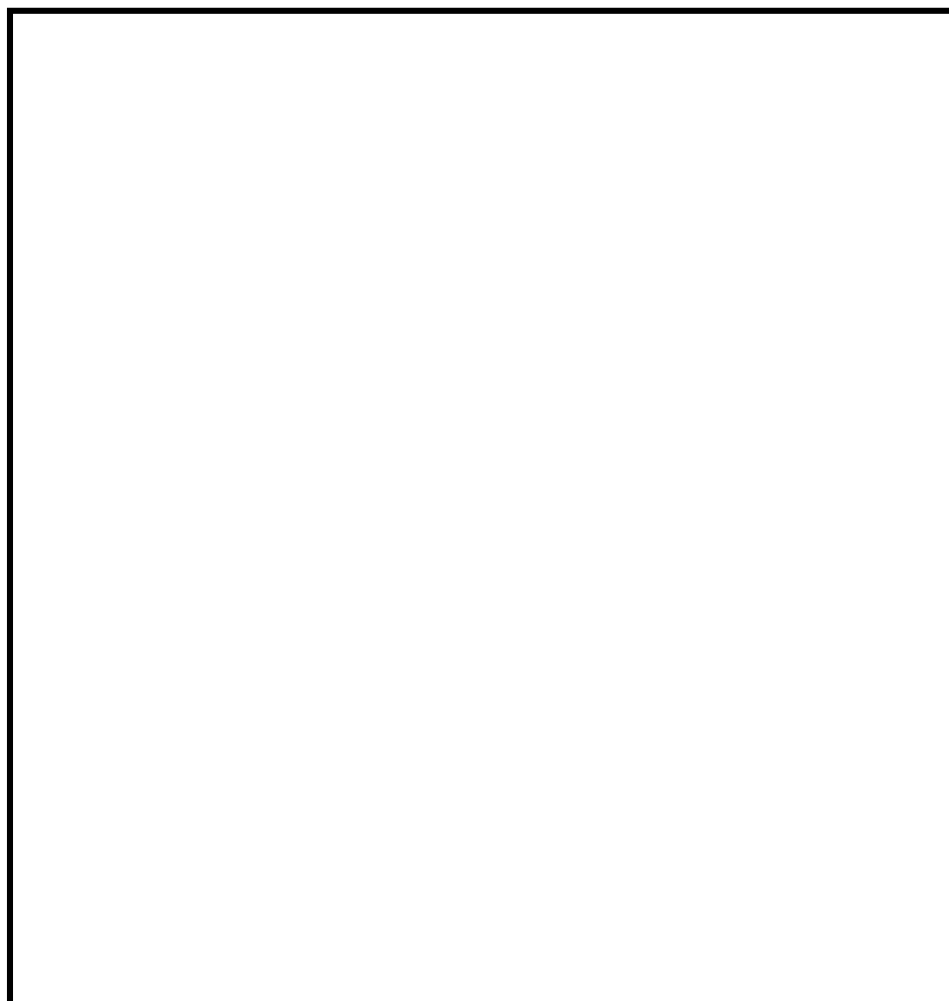


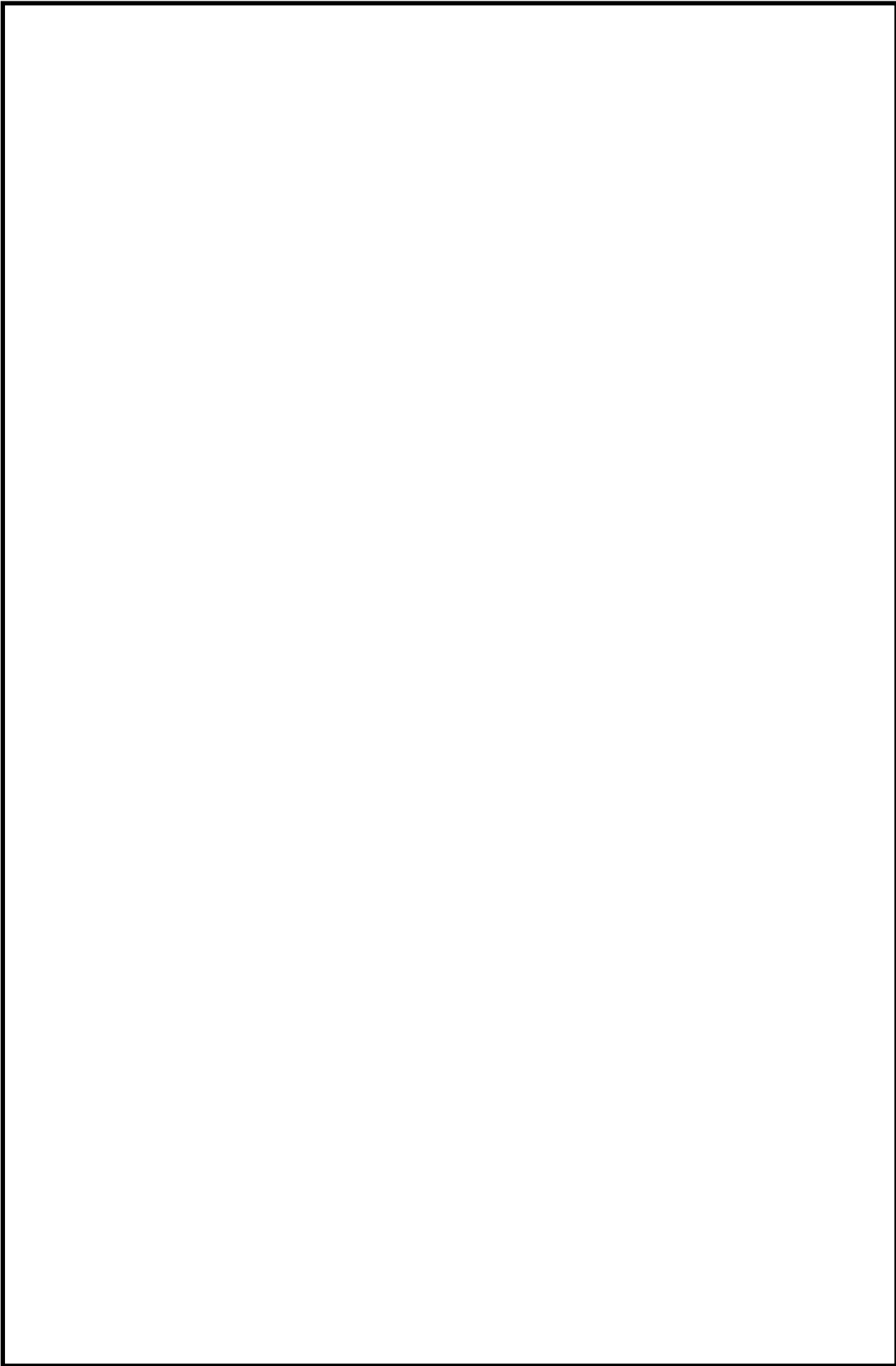
図 21 三次元シェル及びビームモデル（ダイヤフラム・フロア）

(4) 固有振動数

三次元シェル及びビームモデルにてモデル化したダイヤフラム・フロアの固有値解析を実施した。得られた固有値の中で、ダイヤフラム・フロア全体の振動が卓越する固有振動数を表 2 に、振動モードを図 22 から図 24 に示す。解析の結果、床スラブ全体が鉛直方向に浮き上がるモードが現れているが固有振動数は 20Hz を超えており、ダイヤフラム・フロアは剛構造である。

表 2 固有振動数

次数	固有振動数 (Hz)	卓越モード



3.7 ベント管の応答解析手法について

今回工認では、つぎの評価対象項目に対して、三次元ビームモデルにてモデル化したベント管の応答解析結果から得られる地震力を用いて耐震評価を行う。以降に、**評価対象項目の構造**を示すと共に、地震応答解析モデルのモデル化方針及び減衰定数について示す。

以降に、**評価対象項目の構造**を示すと共に、地震応答解析モデルのモデル化方針、減衰定数について示す。

【評価対象項目】

- ・ベント管（応答解析）

(1) 構造

ベント管の概要図を図 25 に示す。ベント管は、外径 mm, 板厚 mm, 長さ の管で、通常時、下部 m が水中に入っている。ベント管のダイヤフラム・フロア貫通部上部には、事故時ジェット反力が作用しないようジェットデフレクタが設置されており、鉄筋コンクリート製床スラブに固定されている。ベント管の最下部（水中部）にはベント管相互を少なくとも 3 本接続する水平ブレーシングを、ベント管下部（気中部）にはベント管相互及び原子炉本体の基礎を接続する水平ブレースを設置している。

これにより、ベント管が独立して振動することと、原子炉本体の基礎と接続することにより水平方向の過大な振動を抑えることができる。

応力解析で参照プラントとした柏崎刈羽 4 号機は原子炉格納容器構造（MARK-II 型）が同じであり、ベント管に大きな構造の差を有していない。

(2) 応答解析モデル

応答解析手法はスペクトルモーダル解析であり，適用するモデルは，三次元ビーム要素でモデル化しベント管の質量は等分布に置き換え，各節点間を等価な剛性で結合する。ベント管上部は，ダイヤフラム・フロア接続部で固定条件とし，原子炉本体の基礎と接続するブレイシング取付位置において，水平方向変位をばねによる拘束条件としている。

三次元ビームモデル図を図 26 に示す。ベント管を三次元ビームモデルでモデル化する考え方は，柏崎刈羽 4 号機と同じである。

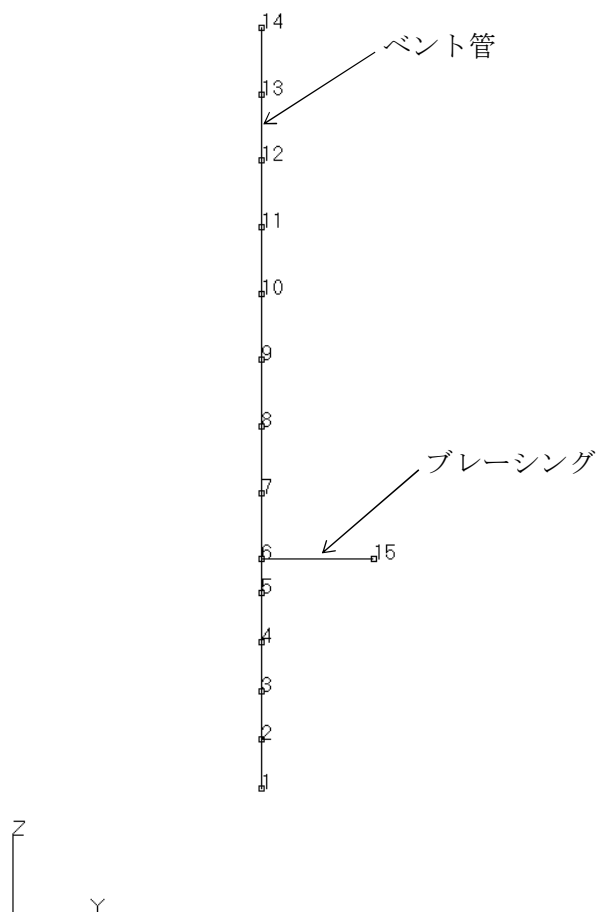


図 26 三次元ビームモデル (ベント管)

3.8 格納容器スプレイヘッドの応力解析手法について

今回工認では、つぎの評価対象項目に対して、三次元ビームモデルにてモデル化した有限要素解析手法を用いて、格納容器スプレイヘッドに発生する応力を算定し応力評価を行う。以降に、評価対象項目の構造を示すと共に、応力解析モデルのモデル化方針について示す。

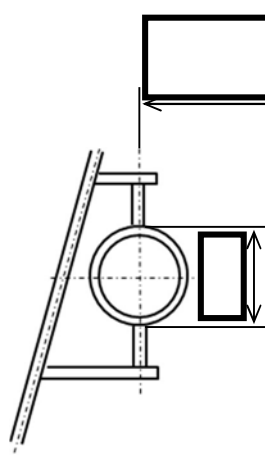
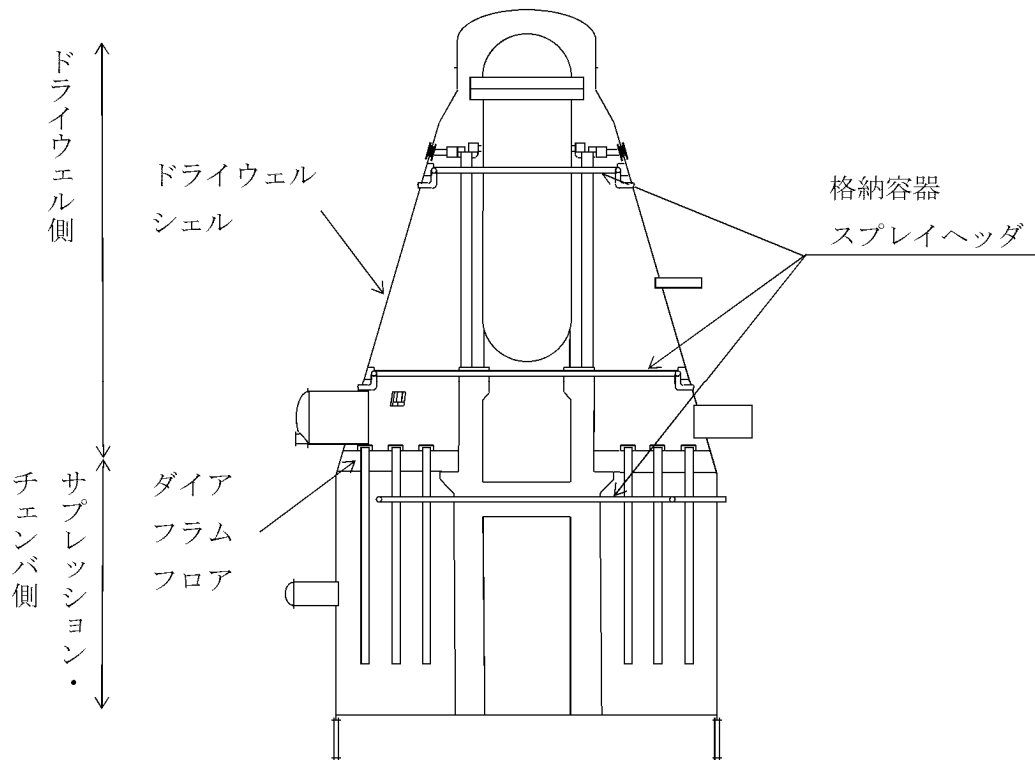
【評価対象項目】

- ・格納容器スプレイヘッド（応力解析）

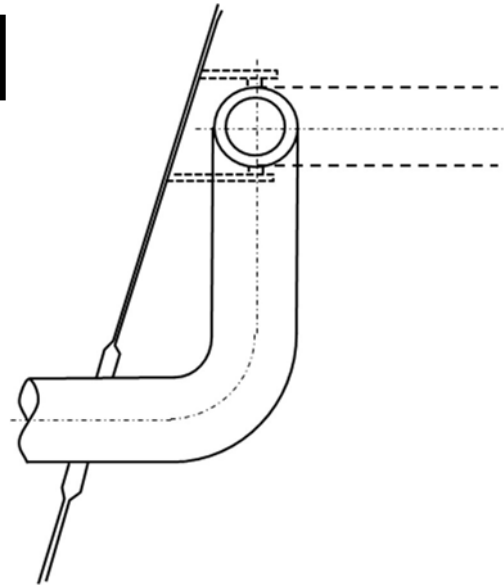
(1) 構造

格納容器スプレイヘッドの概要図を図 27 に示す。ドライウエルの上部及び下部に格納容器スプレイヘッド（ドライウエル側）が、サブプレッション・チェンバに格納容器スプレイヘッド（サブプレッション・チェンバ側）が各々設置されている。格納容器スプレイヘッド（ドライウエル側）は、外径 mm の管で作られ、上部スプレイヘッドは直径約 mm、下部スプレイヘッドは直径約 mm の円環構造となっていて、案内管により配管貫通部を介して、原子炉格納容器外側と系統接続している。円環部分はドライウエル部に接合されており、ドライウエルと一体で挙動する。格納容器スプレイヘッド（サブプレッション・チェンバ側）は、外径 mm の管で作られ、直径約 mm の円環構造となっていて、案内管により配管貫通部を介して、原子炉格納容器外側と系統接続している。円環部分がダイヤフラム・フロアの柱に支持されている。

応答解析で参照プラントとした大間 1 号機の格納容器スプレイヘッドは、配管支持構造物が鉄筋コンクリート製原子炉格納容器又はダイヤフラム・フロアに設置されている円環構造の配管である。基本形状が円環構造の配管である点で、東海第二の格納容器スプレイヘッドは大間 1 号機の格納容器スプレイヘッドと大きな構造の差を有していない。



格納容器スプレイヘッド（ドライウエル側）



格納容器スプレイヘッド（ドライウエル側）案内管

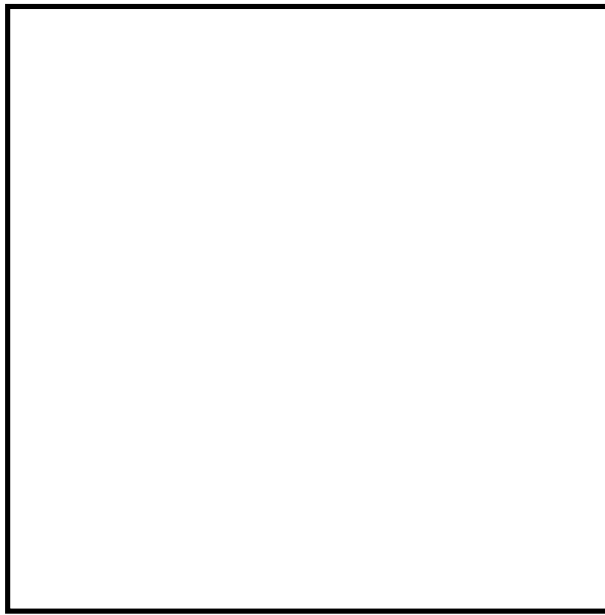
図 27 格納容器スプレイヘッドの概要図

(2) 応答解析モデル

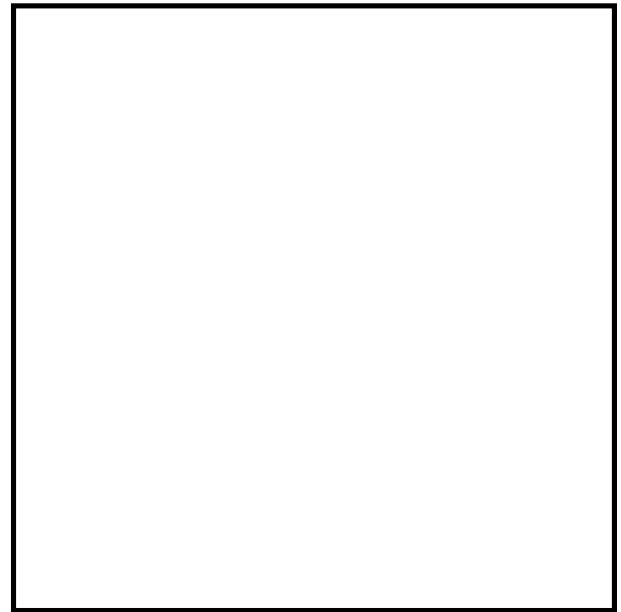
格納容器スプレイヘッド（ドライウエル側）のうち、円環部は原子炉格納容器と一体で挙動することから、案内管の地震応答を取得する。案内管の応答解析手法は静的解析であり、格納容器スプレイヘッド（サプレッション・チェンバ側）の応答解析手法はスペクトルモーダル解析である。減衰定数については J E A G 4601-1991 に従い、適用条件を満たすとは判断し難いことから保守的に 0.5% を適用している。

応答解析に適用するモデルは、三次元ビーム要素でモデル化し格納容器スプレイヘッドの質量は等分布に置き換え、各節点間を等価な剛性で結合する。

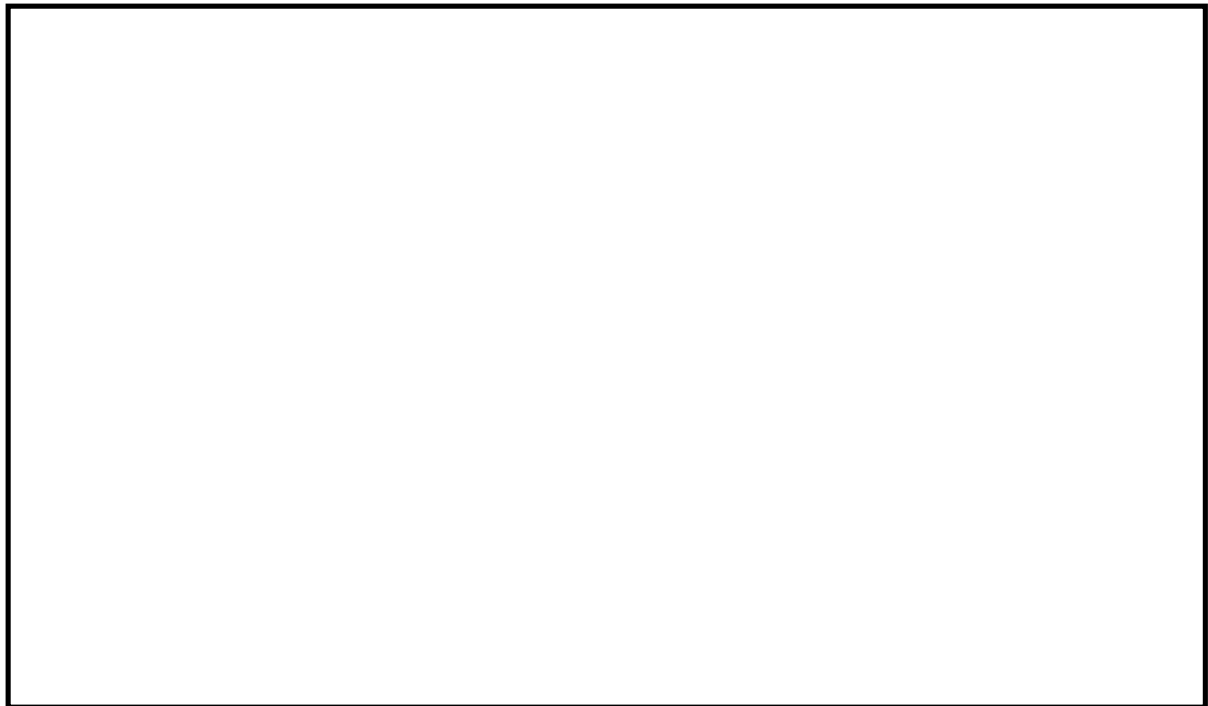
三次元ビームモデル図を図 28 に示す。格納容器スプレイヘッドの減衰定数を 0.5% とする考え方は、大間 1 号機と同じである。



上部ドライウェルスプレイヘッド
案内管



下部ドライウェルスプレイヘッド
案内管



格納容器スプレイヘッド (サブプレッション・チェンバ側)

図 28 三次元ビームモデル (格納容器スプレイヘッド)