

補足-340-25 【原子炉格納容器の耐震計算書に係る補足説明
資料】

1-2 原子炉格納容器の地震時のスロッシングに対する考え方について

1. 概要

MARK-II型原子炉格納容器はサプレッション・チェンバに原子炉圧力容器等の冷却に必要な水（以下「プール水」という。）を保有している特徴から、地震時にプール水によるスロッシングが生じる。このため、スロッシングによる影響評価は既往の試験*で検討がなされており、解析上の考慮は必要がないとされている。しかしながら、基準地震動の違い等を考慮し、東海第二の原子炉格納容器に対するスロッシングによる影響を確認する。

これらを踏まえ、今回の工事計画における耐震評価方法の考え方を以下に示す。

注記 *：原子力発電施設信頼性実証試験の現状（(財)原子力発電技術機構）

2. MARK-II型原子炉格納容器のスロッシングの影響評価

原子炉格納容器の耐震評価は、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会）に基づき、地盤、原子炉建屋及び原子炉圧力容器を連成したモデルで評価しており、サプレッション・チェンバのプール水質量の全てを剛体とみなし、全ての質量を固定質量とみなし、耐震評価を実施している。一方、スロッシングを考慮した評価をする場合は、図1で示すように揺動しない部分は固定質量として負荷するが、揺動する部分は自由質量となる。

上記で示すように評価方法に相違があるものの、既往の試験でスロッシングの影響を検討しており、以下のことが確認されている。図2に既往の試験で用いた試験体を示す。

- ・縮尺したMARK-II型原子炉格納容器を用いてスロッシングの影響の確認し、スロッシングにより発生する応力は、水による慣性力の [] 程度のオーダーであることを確認
- ・スロッシングの固有振動数は1次～3次で [] Hz～ [] Hz であり、原子炉格納容器の固有振動数 [] Hz～ [] Hz であり、共振しない

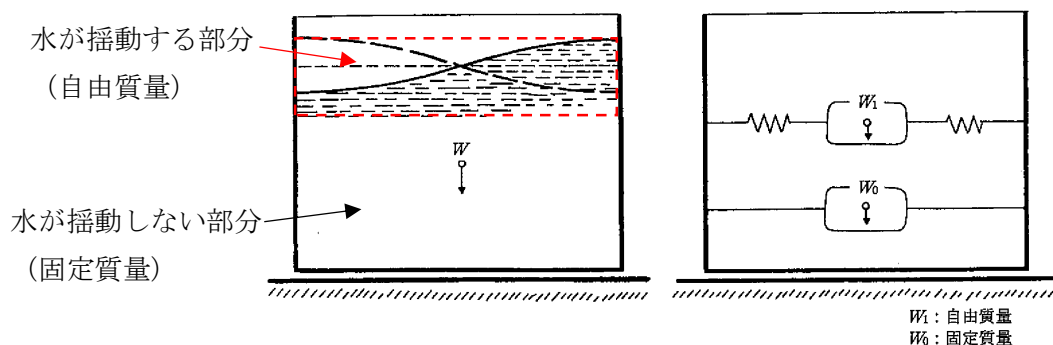


図1 スロッシングの解析モデル*

注記 *：原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会）

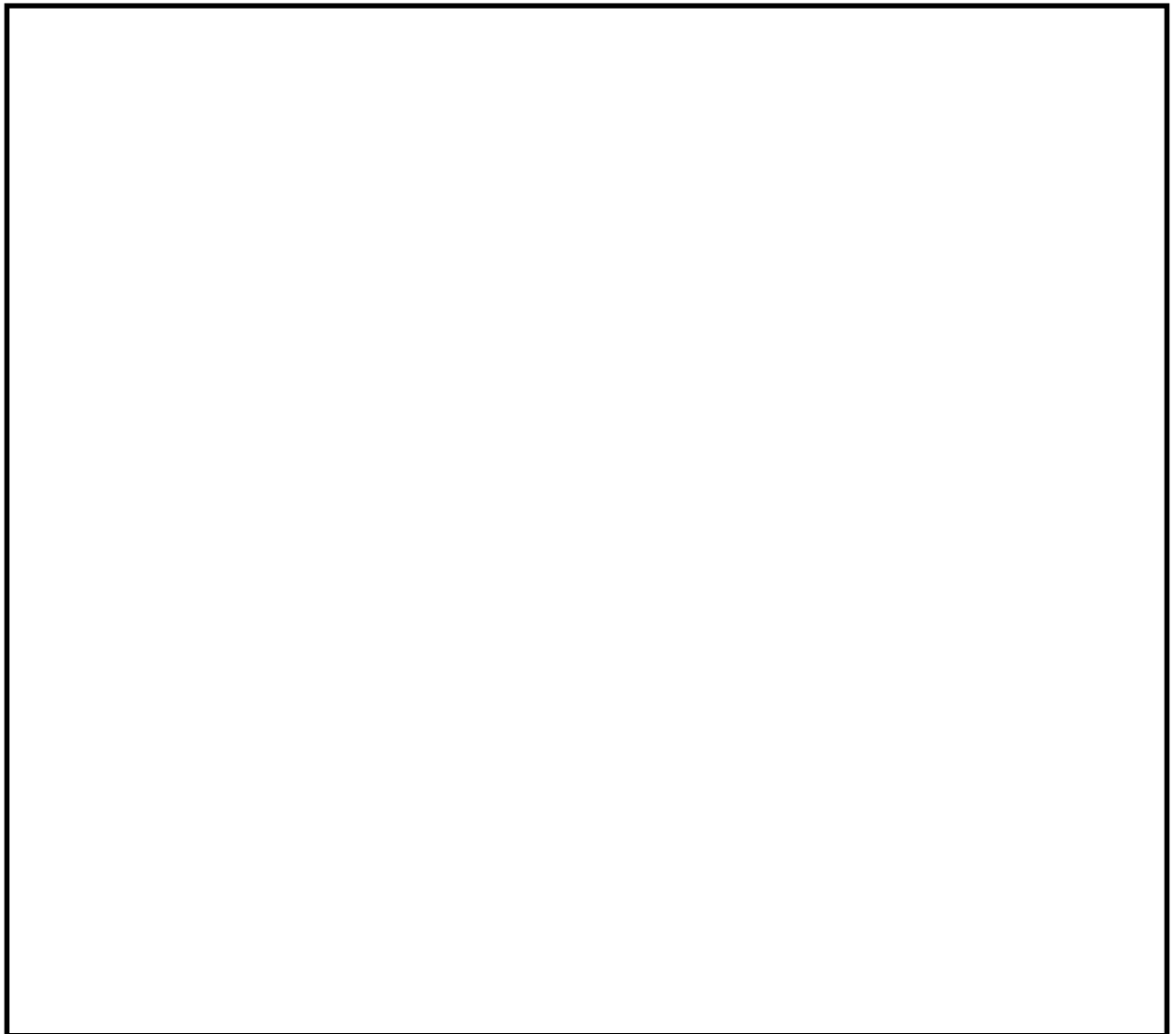


図2 既往の試験概要及び結果

3. 東海第二の原子炉格納容器に対するスロッシング評価

既往の試験において、スロッシングの影響が小さいことを確認したが、東海第二の原子炉格納容器に生じる基準地震動 S_0 と地震が異なることから、その影響について確認する。

3.1 固有振動数の影響

既往の文献（多重円筒型分割タンクの耐震設計（吉田ら，甲陽建設工業（株））に基づき、固有振動数を算出し、東海第二の原子炉格納容器の固有振動数を比較した結果、表1に示す。表1で示すように東海第二の原子炉格納容器についても既往の試験と同様に共振しないことを確認した。

表1 東海第二における固有振動数

	スロッシングの固有振動数	原子炉格納容器の固有振動数
固有振動数 (Hz) (H. W. L 時 (水位 7.08 m))		

3.2 スロッシングによる設備の影響について

既往の文献に基づき、原子炉格納容器、内部構造物であるベント管及び原子炉本体の基礎に生じる荷重を算出し、スロッシングによる設備への影響を確認する。

スロッシングによる設備への影響は、3.1項で示したように固有周期が長い領域で共振する。一方、原子炉格納容器は、固有周期が短いため、図1で示すようにスロッシングの固有周期と共振せず、固有周期が短い地震動のとき、耐震評価として厳しくなる。このため、図3で示すように固有周期が長い基準地震動は S_s-14 のとき、スロッシングによる設備への影響が大きくなり、固有周期が短い基準地震動は S_s-31 のとき、原子炉格納容器への影響が大きくなる。

また、基準地震動 S_s-14 と基準地震動 S_s-31 は重畳して生じないことから、設備への影響の検討は、基準地震動 S_s-14 と基準地震動 S_s-31 を区別して、実施する。

さらに、現状の耐震評価ではプール水を100%固定質量で評価しているため、合わせて現状の耐震評価の考え方の妥当性を確認する。現状の耐震評価の考え方の妥当性は、プール水を100%固定質量とするときの影響（以下「100%固定質量による影響」という。）とプール水を固定質量+自由質量とするときの影響（以下「スロッシングによる影響(固定質量+自由質量)」という。）と比較し、プール水を100%固定質量とするときの影響の方が大きいことを確認する。このことにより、現状の耐震評価の方が保守的であることを確認する。

上記の考えに基づき、スロッシングによる影響評価を実施した結果を表2に示す。

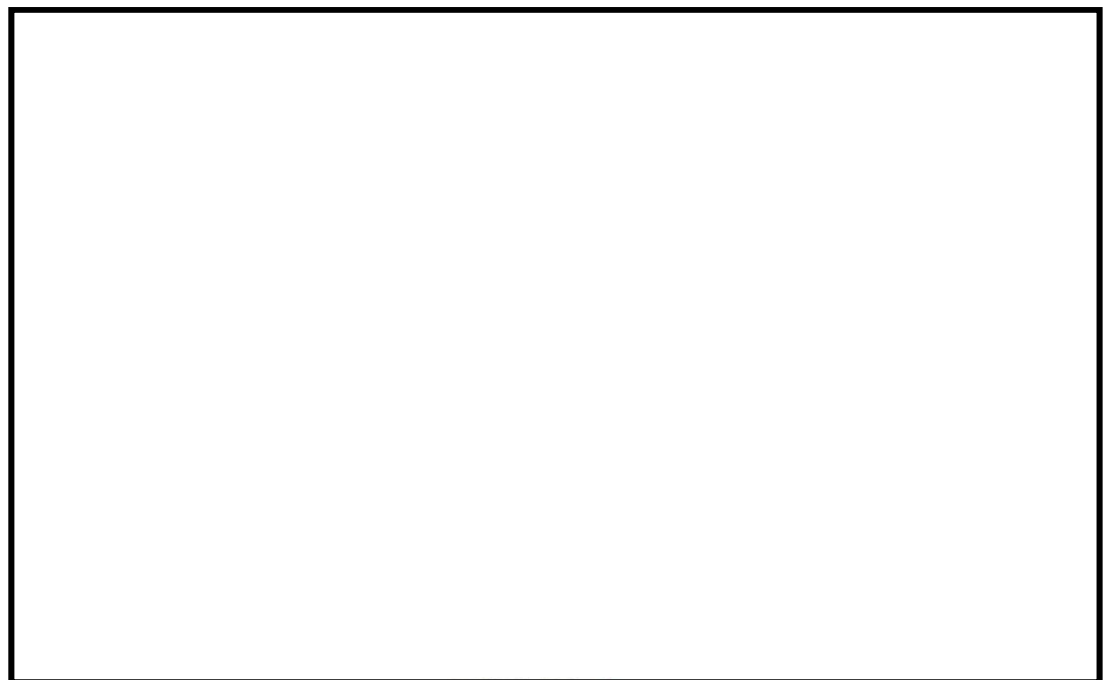


図3 東海第二の設計用床応答スペクトル

表2 スロッシングによる影響評価

対象設備	スロッシングによる モーメント*1 (kN・m)		100 %固定質量 によるモーメント*2 (kN・m)	地震による モーメント*2 (kN・m)	
	S _s -31	S _s -8波*3	S _s -8波*4	S _s -8波*4	S _s -14
原子炉格納容器					
ベント管*5					
原子炉本体の基礎					

注記 *1：固定質量+自由質量の評価結果

*2：モーメントの数値はプール水を全て固定質量とした場合の結果である。

*3：モーメントに寄与する基準地震動はS_s-14と同じ。S_s-8波とは基準地震動S_sとして選定している8つの波を包絡するものとする。

*4：モーメントに寄与する基準地震動はS_s-31と同じ。S_s-8波とは基準地震動S_sとして選定している8つの波を包絡するものとする。

*5：ベント管については床応答スペクトル解析を行っており応答する地震波の特定が出来ないため、基準地震動S_s-8波包絡条件の結果を示す。

*6：底部転倒モーメントを含めた場合、S_s-31は kN・m、S_s-8波は kN・mとなる。

*7：水質量のみを考慮したはり質点モデルから算出

表2で示すように固有周期が短い基準地震動S_s-31は、原子炉格納容器に対する荷重(①)が大きくなるものの、スロッシングによる影響(②)は既往の試験と同様に非常に小さく、耐震評価結果に対して影響を与えない。また、固有周期が長い基準地震動S_s-14においては、スロッシングによる荷重(③)が大きくなるものの、原子炉格納容器に対しての応答が小さくなるため(④)、原子炉格納容器の健全性に影響を与えないことを確認した。

また、現状の耐震評価の妥当性を確認するため、100%固定質量による影響(⑤)とスロッシングによる影響(固定質量+自由質量)(③)を比較し、100%固定質量による影響の方が大きいことを確認した(③<⑤)。これにより、現状の耐震評価で用いているプール水を100%固定質量とみなして評価する方法は妥当であるといえる。なお、100%固定質量による影響(⑤)の荷重の算出は、スロッシングによる荷重の算出と同様にするため、水質量が付加される部位までの質点のはり質点モデルで評価した。質点には100%固定の水質量を与え、原子炉格納容器の水質量付加質点における評価加速度(1.0ZPA)を入力して算出した。

ベント管及び原子炉本体の基礎については、地震による荷重のピークが短期であり、スロッシングによる荷重のピークを重畳しないことから、耐震評価した地震によるモーメントを超えることはないと考えられる。さらに、原子炉本体の基礎は基準地震動S_s-31が発生した際(⑦)、スロッシングによる最大のモーメント(⑥)が重畳したとしても、その寄与は %であり、耐震評価で算出されている結果(200.4 MPa)に対して影響を与えない。

3.3 スロッシングによる凝縮性能への影響

スロッシング時の波高によって、事故時の蒸気等を凝縮する内部構造物が露出し、凝縮性能に影響を及ぼす可能性があることから、その影響を検討する。地震時の波高を表3に示すとともに波高に伴う原子炉格納容器内の影響を図4に示す。

表3 地震の波高

	S _s -31	基準地震動S _s -8波包絡条件
波高 (m)		



図4 スロッシングによる波高の影響

原子炉冷却材喪失事故時においては、原子炉冷却材圧力バウンダリから放出される蒸気がベント管を通じてプール水により凝縮されるが、原子炉圧力容器については、基準地震動S_sに耐える設計であることから、地震と原子炉冷却材喪失事故は重畳することがなく、原子炉格納容器の健全性は確保される。なお、荷重の組合せにおいてもこのような考慮はしていない。このため、図4で示すようにスロッシングによって、ベント管の下端が露出しても凝縮性能に影響はない。

また、地震によって、原子炉スクラムした場合、原子炉冷却材圧力バウンダリが高圧となり、逃がし安全弁の一部が作動することが考えられる。図4で示すようにクエンチャは露出しないものの、スロッシングにより最低水位となる時、クエンチャの近傍付近まで水位は低下する。水位が低い時は凝縮性能が低下するものの、水位の変動によって、水位が高くなれば凝縮性能

は高くなると考えられ、結果として、スロッシングのサプレッション・チェンバ全体の凝縮性能としては、平均化され、通常水位のときの凝縮性能と相違がないと考えられる。

4. まとめ

MARK-II型原子炉格納容器はサプレッション・チェンバにプール水を保有するという特徴を踏まえ、スロッシングによる影響を確認した。この結果、原子炉格納容器に対するスロッシングによる影響は、基準地震動 S_s の固有周期の長い波及び短い波それぞれを評価し、原子炉格納容器の健全性に影響を及ぼさないことを確認した。また、100%固定質量と固定質量+自由質量それぞれの荷重を比較し、100%固定質量の方が大きくなることを確認した。

上記のことから、今回の工事計画で実施したサプレッション・チェンバのプール水質量の全てを剛体とみなして、評価する方法は妥当である。

2 原子炉格納容器胴アンカ部の耐震性についての計算書
に係る補足説明資料

2-1 応力計算における評価部位と荷重方向について

1. 概要

本書は、添付書類「V-2-9-2-5 原子炉格納容器胴アンカ部の耐震性についての計算書」に記載の応力評価における評価部位と荷重方向を図示する。

2. 評価部位と荷重方向について

図 2-1 に胴アンカ部を構成する部材を示す。また、2.2 及び 2.3 に応力評価種類毎の評価部位（評価断面等）と荷重方向を示す。

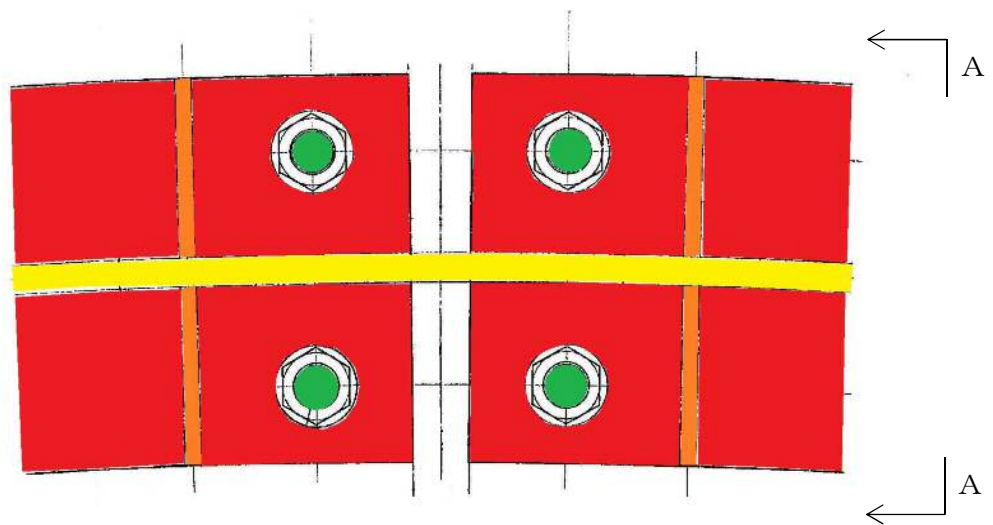
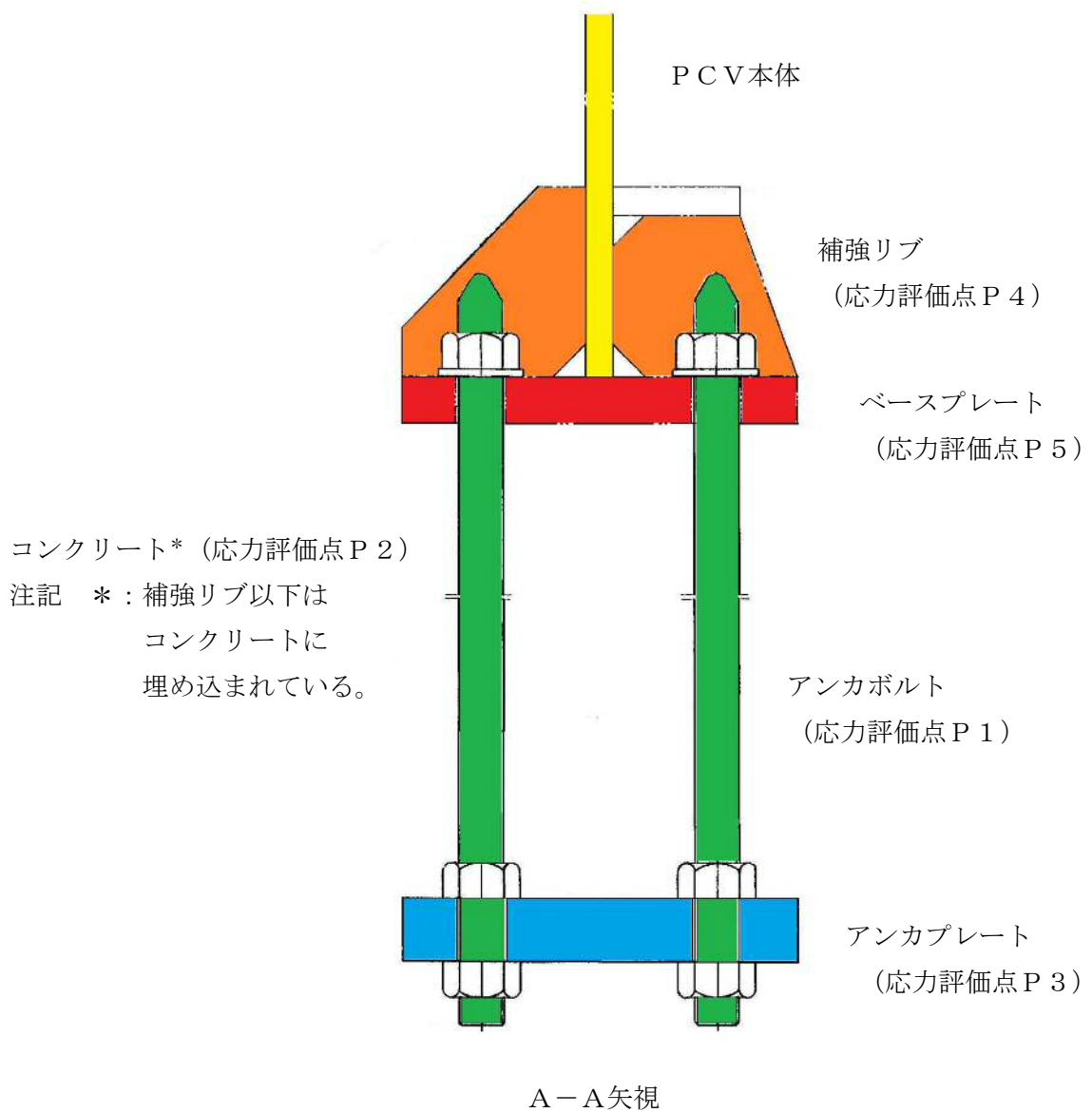


図 2-1. 胴アンカ部を構成する部材

2.1 アンカボルト及びコンクリート（応力評価点P1及び応力評価点P2）

評価方法については、J E A G 4 6 0 1 - 1 9 8 7 のスカート支持たて置円筒容器のボルトの計算と同様であるため、説明を割愛する。

2.2 コンクリート及びアンカプレート（応力評価点P2及び応力評価点P3）

(1) アンカプレートと接するコンクリートの圧縮応力

アンカプレートと接するコンクリートの圧縮応力評価面と荷重方向を図 2-2 に示す。

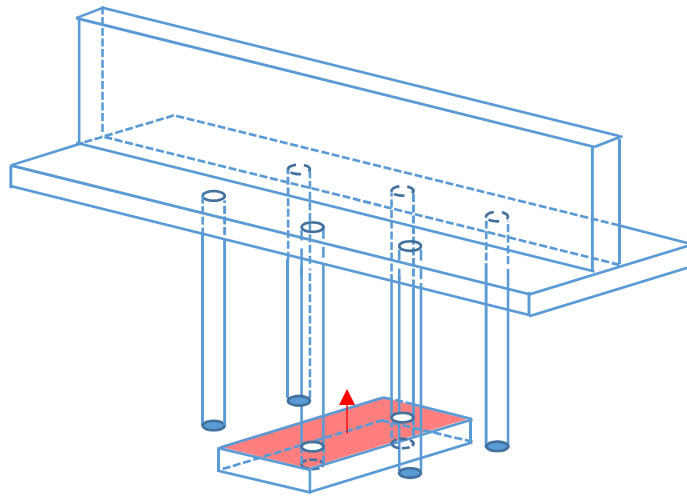


図 2-2 アンカプレートと接するコンクリートの圧縮応力（応力評価点 P 2）

(2) アンカプレートの曲げ応力

アンカプレートに生じる曲げ応力の荷重方向を図 2-3 に示す。

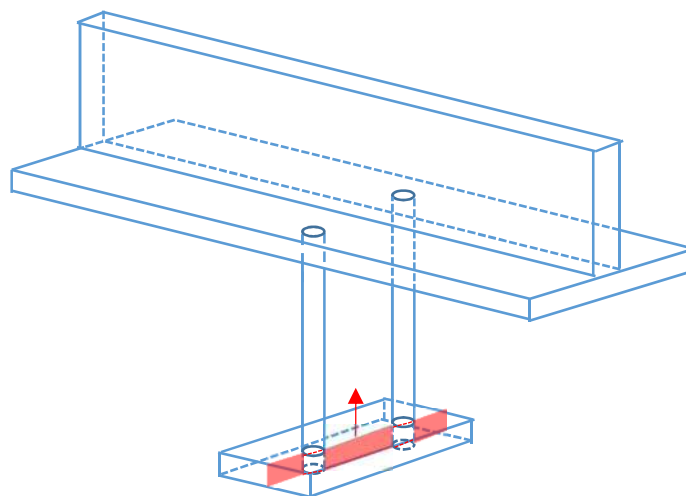


図 2-3 アンカプレートの曲げ応力（応力評価点 P 3）

(3) アンカプレートによるコンクリートのせん断応力

アンカプレートによるコンクリートのせん断応力評価面と荷重方法を図 2-4 に示す。

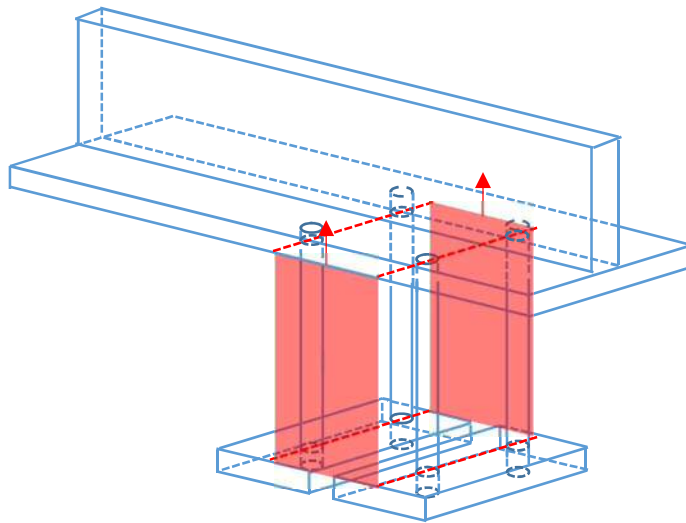


図 2-4 アンカプレートによるコンクリートのせん断応力（応力評価点 P 2）

2.3 補強リブ及びベースプレート（応力評価点 P 4 及び P 5）

(1) サプレッション・チェンバ本体及び補強リブの溶接部の応力

サプレッション・チェンバ本体及び補強リブの溶接部の引張り，せん断応力評価面と荷重方向を図 2-5 に示す。

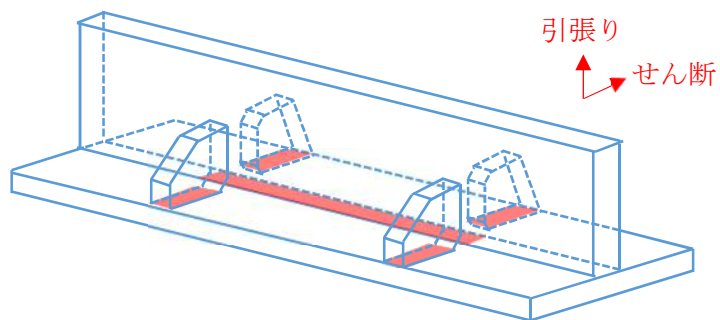


図 2-5 サプレッション・チェンバ本体及び補強リブの溶接部の応力（応力評価点 P 4 及び P 5）

- (2) 補強リブ及びサプレッション・チェンバ本体の圧縮応力
補強リブ及びサプレッション・チェンバ本体の圧縮応力における評価面と荷重方向を図 2-6 に示す。

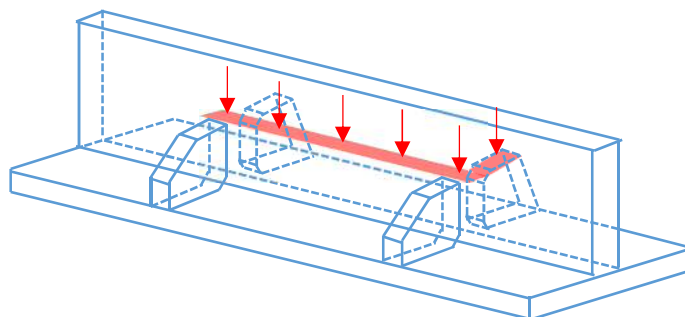


図 2-6 補強リブ及びサプレッション・チェンバ本体の圧縮応力 (応力評価点 P 4)

- (3) ベースプレートの曲げ応力
ベースプレートの曲げ応力の評価モデルと、拘束条件、荷重方向を図 2-7 に示す。

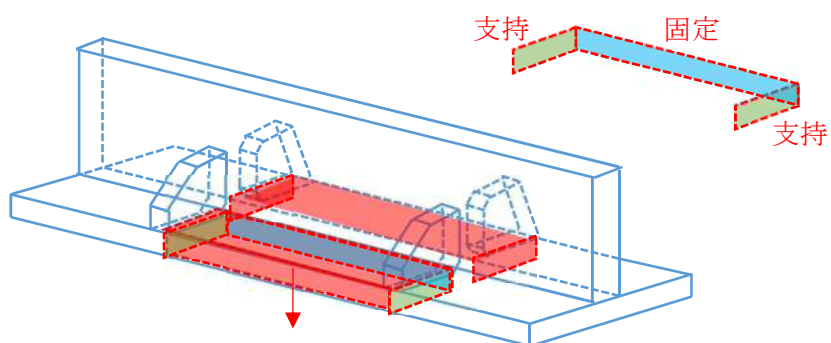


図 2-7 ベースプレートの曲げ応力 (応力評価点 P 5)

2-2 コンクリートのせん断評価の考え方について

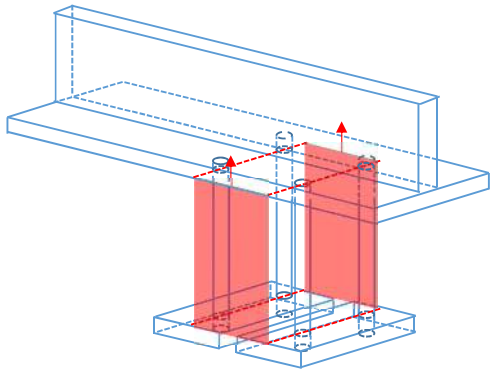
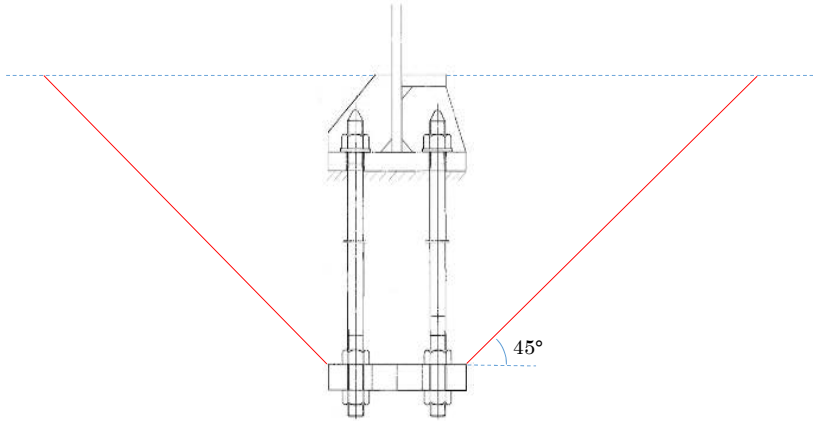
1. 概要

添付書類「V-2-9-2-5 原子炉格納容器胴アンカ部の耐震性についての計算書」に記載のコンクリート部のせん断評価については、J E A G 4 6 0 1 -1987 と同様のアンカプレートの投影断面を考慮した手法を用いている。一方で、J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版ではコーン状破壊を考慮した評価手法となっている。このため、本書では、J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版の手法での評価結果を示す。

2. J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版の手法を用いた評価結果について

表 2-1 に J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版の手法を用いたコンクリート部の評価結果を示す。J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版の評価手法を用いても許容荷重を満足することを確認した。

表 2-1 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版の手法を用いたコンクリート部の評価結果

	耐震性についての計算書に記載の方法	J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版の方法																																			
式	$\tau_c = \frac{2 \cdot w_t \cdot A_{B2}}{(l_{BP0} + l_{BP1}) \cdot l_4}$ <p> w_t : アンカボルト最大引張応力 (MPa) τ_c : アンカプレートによるコンクリートのせん断力 (N/mm²) A_{B2} : ボルトの谷径有効断面積 (mm²) l_{BP0} : 外側ボルト間の距離 (mm) l_{BP1} : 内側ボルト間の距離 (mm) l_4 : ベースプレートとアンカプレート間の距離 (mm) </p>	$p \leq \text{MIN}(p_{a1}, p_{a2})$ $p_{a1} = 0.31 \cdot K_1 \cdot A_c \sqrt{F_c}$ $p_{a2} = K_2 \cdot \alpha_c \cdot A_0 \cdot F_c$ <p> p : 基礎ボルト 1 本当たりの引張荷重 (N) p_a : 基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容引張荷重 (N) p_{a1} : コンクリート躯体がコーン状破壊する場合の基礎ボルト 1 本当たりの許容引張荷重 (N) p_{a2} : 基礎ボルト頭部に接するコンクリート部が支圧破壊する場合の基礎ボルト 1 本当たりの許容引張荷重 (N) K_1 : コーン状破壊する場合の引張耐力の低減係数 (Ⅲ_AS=0.45, Ⅳ_AS=0.6) K_2 : 支圧破壊する場合の引張耐力の低減係数 (Ⅲ_AS=2/3, Ⅳ_AS=0.75) F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²) A_c : コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積 (mm²) α_c : 支圧面積と有効投影面積から定まる定数, $=\sqrt{A_c/A_0}$かつ 10 以下 A_0 : 支圧面積 (mm²) </p>																																			
せん断面																																					
許容値	せん断応力 $f_s = 1.0 \text{ N/mm}^2$ (基準強度 $F_c = 22.0 \text{ N/mm}^2$ から JEAG-補-1984 に基いた許容応力算出式で算出)	$\text{Ⅲ}_{AS} \quad 0.31 \cdot K_1 \cdot A_c \cdot \sqrt{F_c} = 1.100 \times 10^6 \text{ N} \quad (0.31 \cdot K_1 \cdot \sqrt{F_c} = 0.31 \times 0.45 \times \sqrt{22.0} = 0.65 \text{ N/mm}^2)$ $\text{Ⅳ}_{AS} \quad 0.31 \cdot K_1 \cdot A_c \cdot \sqrt{F_c} = 1.466 \times 10^6 \text{ N} \quad (0.31 \cdot K_1 \cdot \sqrt{F_c} = 0.31 \times 0.6 \times \sqrt{22.0} = 0.87 \text{ N/mm}^2)$																																			
結果	<table border="0"> <tr> <td>Ⅲ_AS (D+P+M+S_d*)</td> <td>発生値/許容値=0.2/1.0</td> <td>(N/mm²)</td> <td>比 0.2</td> </tr> <tr> <td>Ⅳ_AS (D+P_L+M_L+S_d*)</td> <td>発生値/許容値=0.6/1.0</td> <td>(N/mm²)</td> <td>比 0.6</td> </tr> <tr> <td>Ⅳ_AS (D+P+M+S_s)</td> <td>発生値/許容値=0.3/1.0</td> <td>(N/mm²)</td> <td>比 0.3</td> </tr> <tr> <td>V_AS (D+P_{SAL}+M_{SAL}+S_d*)</td> <td>発生値/許容値=0.7/1.0</td> <td>(N/mm²)</td> <td>比 0.7</td> </tr> <tr> <td>V_AS (D+P_{SALL}+M_{SALL}+S_s)</td> <td>発生値/許容値=0.7/1.0</td> <td>(N/mm²)</td> <td>比 0.7</td> </tr> </table>	Ⅲ _A S (D+P+M+S _d *)	発生値/許容値=0.2/1.0	(N/mm ²)	比 0.2	Ⅳ _A S (D+P _L +M _L +S _d *)	発生値/許容値=0.6/1.0	(N/mm ²)	比 0.6	Ⅳ _A S (D+P+M+S _s)	発生値/許容値=0.3/1.0	(N/mm ²)	比 0.3	V _A S (D+P _{SAL} +M _{SAL} +S _d *)	発生値/許容値=0.7/1.0	(N/mm ²)	比 0.7	V _A S (D+P _{SALL} +M _{SALL} +S _s)	発生値/許容値=0.7/1.0	(N/mm ²)	比 0.7	<table border="0"> <tr> <td>Ⅲ_AS (D+P+M+S_d*)</td> <td>発生引張荷重/許容引張荷重=2.317×10⁵/1.100×10⁶</td> <td>比 0.21</td> </tr> <tr> <td>Ⅳ_AS (D+P_L+M_L+S_d*)</td> <td>発生引張荷重/許容引張荷重=1.131×10⁶/1.466×10⁶</td> <td>比 0.77</td> </tr> <tr> <td>Ⅳ_AS (D+P+M+S_s)</td> <td>発生引張荷重/許容引張荷重=5.537×10⁵/1.466×10⁶</td> <td>比 0.38</td> </tr> <tr> <td>V_AS (D+P_{SAL}+M_{SAL}+S_d*)</td> <td>発生引張荷重/許容引張荷重=1.429×10⁶/1.466×10⁶</td> <td>比 0.97</td> </tr> <tr> <td>V_AS (D+P_{SALL}+M_{SALL}+S_s)</td> <td>発生引張荷重/許容引張荷重=1.284×10⁶/1.466×10⁶</td> <td>比 0.88</td> </tr> </table>	Ⅲ _A S (D+P+M+S _d *)	発生引張荷重/許容引張荷重=2.317×10 ⁵ /1.100×10 ⁶	比 0.21	Ⅳ _A S (D+P _L +M _L +S _d *)	発生引張荷重/許容引張荷重=1.131×10 ⁶ /1.466×10 ⁶	比 0.77	Ⅳ _A S (D+P+M+S _s)	発生引張荷重/許容引張荷重=5.537×10 ⁵ /1.466×10 ⁶	比 0.38	V _A S (D+P _{SAL} +M _{SAL} +S _d *)	発生引張荷重/許容引張荷重=1.429×10 ⁶ /1.466×10 ⁶	比 0.97	V _A S (D+P _{SALL} +M _{SALL} +S _s)	発生引張荷重/許容引張荷重=1.284×10 ⁶ /1.466×10 ⁶	比 0.88
Ⅲ _A S (D+P+M+S _d *)	発生値/許容値=0.2/1.0	(N/mm ²)	比 0.2																																		
Ⅳ _A S (D+P _L +M _L +S _d *)	発生値/許容値=0.6/1.0	(N/mm ²)	比 0.6																																		
Ⅳ _A S (D+P+M+S _s)	発生値/許容値=0.3/1.0	(N/mm ²)	比 0.3																																		
V _A S (D+P _{SAL} +M _{SAL} +S _d *)	発生値/許容値=0.7/1.0	(N/mm ²)	比 0.7																																		
V _A S (D+P _{SALL} +M _{SALL} +S _s)	発生値/許容値=0.7/1.0	(N/mm ²)	比 0.7																																		
Ⅲ _A S (D+P+M+S _d *)	発生引張荷重/許容引張荷重=2.317×10 ⁵ /1.100×10 ⁶	比 0.21																																			
Ⅳ _A S (D+P _L +M _L +S _d *)	発生引張荷重/許容引張荷重=1.131×10 ⁶ /1.466×10 ⁶	比 0.77																																			
Ⅳ _A S (D+P+M+S _s)	発生引張荷重/許容引張荷重=5.537×10 ⁵ /1.466×10 ⁶	比 0.38																																			
V _A S (D+P _{SAL} +M _{SAL} +S _d *)	発生引張荷重/許容引張荷重=1.429×10 ⁶ /1.466×10 ⁶	比 0.97																																			
V _A S (D+P _{SALL} +M _{SALL} +S _s)	発生引張荷重/許容引張荷重=1.284×10 ⁶ /1.466×10 ⁶	比 0.88																																			

3 原子炉格納容器配管貫通部の耐震性についての計算書に係る

補足説明資料

3-1 配管貫通部の代表性について

1. 諸言

本資料は添付書類「V-2-9-2-9 原子炉格納容器配管貫通部の耐震性についての計算書」において、評価結果を記載している代表貫通部の選定方法についてまとめたものである。

2. 選定方針

配管貫通部の耐震評価における評価部位は、端板、ベローズ（伸縮式配管貫通部のみ）、原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部、及び補強板取付部がある。端板に関しては、従来、格納容器胴とスリーブとの取付部、又は補強板取付部の評価に包絡されるものと整理しており評価を省略している。そのため耐震計算書に記載する代表貫通部の選定に当たっては、端板以外の評価部位に対する代表貫通部を選定する。代表貫通部の評価結果のうち、裕度（許容値／発生値）が最も厳しい評価結果を耐震計算書に記載している。

3. 代表貫通部の選定

まず、全ての配管貫通部（個）から、構造や設置位置等の観点から有意な荷重が加わらないと考えられる貫通部を代表選定対象から除外する（除外理由は4.項参照）。残った貫通部（個）に対して、系統の設計条件（温度・圧力条件）の影響が小さいと考えられる貫通部を除外する。なお、系統の温度・圧力の大きい一次系の貫通部は全てベローズ付貫通部であり、系統の設計条件（温度・圧力）は貫通部の設計条件に直接反映されない。

残った貫通部（個）をスリーブ外径毎に9のグループ（スリーブ外径： mm, mm, mm, mm, mm, mm, mm, mm）に分類する。9グループに対して、最大外径であるグループを選定し、貫通部設置位置の最も高い貫通部を選定する（）。また、代表選定対象において最高設置位置の貫通部を選定する（）。設置位置で整理する理由は、貫通部の設置位置が高いほど地震力に対して大きな加速度が生じるためである。

選定した貫通部に対して詳細評価（一次応力評価）を行い、裕度（許容値／発生値）が最も厳しい貫通部を代表貫通部とする。

具体的な選定フローを図1に示す。また、代表貫通部の諸元を表1、評価結果を表2に示す。

表 1 代表貫通部諸元

貫通部 番号	配管名称	スリーブ主要寸法 (mm)			材料	設置 位置 EL (m)	選定理由
		外径	長さ	厚さ			
[]	高压炉心スプ レイ系ポンプ 吸込	[]	—*	[]	GSTPL 相当 []	[]	最大外径
[]	不活性ガス系	[]	—*	[]	GSTPL 相当 []	[]	最高設置 位置

注記 * : 直結型の貫通部であるため、スリーブ長さは定義されない。

表 2 代表貫通部の評価結果

貫通部 番号	評価部位	応力分類	発生値	許容値	裕度	備考*
			MPa	MPa		
[]	原子炉格納容器胴と スリーブとの取付部	膜応力+ 曲げ応力	[]		[]	①
	補強板取付部	膜応力+ 曲げ応力				②
[]	原子炉格納容器胴と スリーブとの取付部	膜応力+ 曲げ応力				②
	補強板取付部	膜応力+ 曲げ応力				②

注記 * : ① $D+P_{SA(LL)}+M_{SA(LL)}+S_s$ / ② $D+P_{SA(L)}+M_{SA(L)}+S_d$ における結果を示す。

4. 除外する貫通部及び部位の除外理由

代表選定対象から除外する貫通部の除外理由を下記に示す。

① 貫通配管 [] 以下の貫通部，計装配管貫通部

小口径配管からの荷重は大口径配管の荷重と比較して相対的に小さくなる。また，計装配管は大口径の貫通部であっても小口径の配管の集合であり，相対変位により発生する貫通部への荷重は有意でないと考えられる。

② 予備貫通部及びフランジまたはキャップ止め貫通部

予備貫通部，フランジ又はキャップ止め貫通部については接続配管がないこと，及び重量物が取り付く構造でないことから，貫通部に有意な配管反力が生じないため評価対象外とする。

③ 伸縮式配管貫通部

ベローズにより，系統の設計条件（温度・圧力）による変位，建屋間相対変位及び地震による変位が吸収されるため，配管から作用する荷重は固定式に比べ小さくなる。今回の評価においては，評価結果が最も厳しい部位となったスリーブ取付部を代表として，耐震計算書に記載することとしており，伸縮式配管貫通部のベローズについては，別手法にて健全性の確認を行った（評価結果については，添付書類「V-3-9-1-4-2 原子炉格納容器貫通部ベローズの強度計算書」参照）。

④ 二重管型貫通部（同径に直結型がある場合）

二重管型貫通部については，スリーブ外径が等しい直結型貫通部に比べ配管内の流体による温度・圧力の影響が小さくなるため同径に直結型貫通部がある場合は評価対象外とする。

5. 耐震計算書に記載する評価結果について

表2の結果から，[] を評価貫通部に選定する。なお，[] と同一口径の貫通部として [] [] があり，これらの設置位置は [] と比較して標高が若干低いものの，[] とほぼ同一の標高である。このため，これらの貫通部の中から既工認で評価している貫通部 [] を代表貫通部に追加で選定する。

以上の選定結果に基づき，貫通部番号 [] の貫通部スリーブ取付部の評価結果を添付書類「V-2-9-2-9 原子炉格納容器配管貫通部の耐震性についての計算書」に記載している。なお，配管貫通部の設計手法及び抽出した貫通部のうち代表貫通部以外の健全性について，添付書類に補足を示す。

6. 添付書類

(1) 配管貫通部の設計手法について

(2) 配管貫通部の耐震評価における代表貫通部以外の健全性について

配管貫通部の設計手法について

1. 概要

本資料は、資料「配管貫通部の代表性について」の補足として、配管貫通部の設計手法についてまとめるとともに、代表貫通部の選定における接続配管の反力の扱いを示すものである。

2. 配管貫通部の評価手法

原子炉格納容器の配管貫通部の設計においては、J E A G 4 6 0 1－1987 6.6.2項(3)に記載のある貫通部の強度評価の考え方に基づき、許容荷重設定法(図-1 参照)を用いて配管貫通部の設計荷重を許容荷重領域として定め、この領域内に配管の地震荷重が収まるように配管のルート及びサポート設計を行う手法を従来から採用している。

これは、原子炉格納容器の設計時点で、多数ある接続配管のルート及びサポートの詳細設計が完了しておらず、個々の配管の地震応答解析結果を揃えることが出来ないこと、また、それらすべてを配管貫通部の入力地震荷重として考慮するのが現実的に困難なためである。

建設時工認における配管貫通部の耐震評価では、口径や設置位置等の観点から配管系の反力により評価上厳しくなると予想される貫通部を代表に選出し、優先的に当該貫通部に接続される配管の詳細設計（サポート設計含む）及び耐震解析を行った上で、得られた配管の地震荷重に基づく貫通部の評価結果を代表的に記載するものとしている。

その他の配管貫通部については、前述した許容荷重設定法に基づき、配管側の地震荷重が許容荷重領域内に収まるよう設計を行うことで、貫通部側の健全性を確保している。なお、設計段階で配管側の地震荷重が許容荷重領域に収まりきらないことが確認される場合は、配管ルートまたはサポートの再設計を行うか、貫通部側の詳細評価を追加で行うことで健全性を確保している。

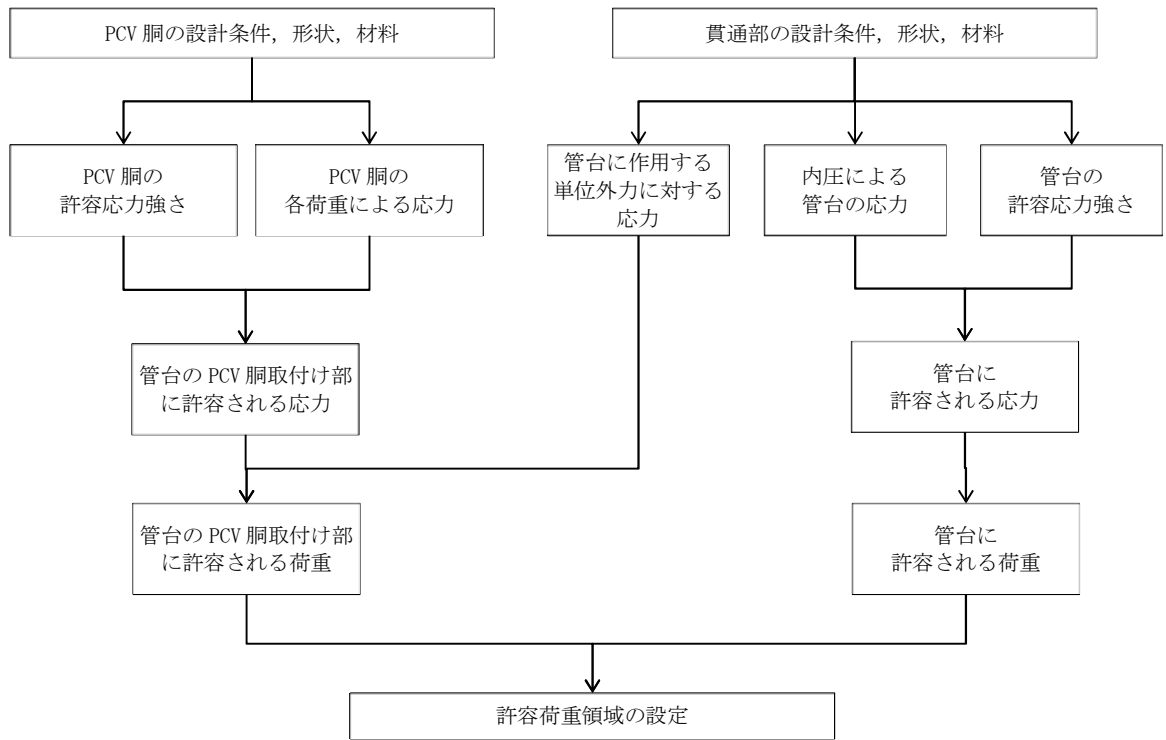
3. 補正工認の評価手法

建設時と同様に代表貫通部の選定を行い、工認の耐震計算書を作成した。

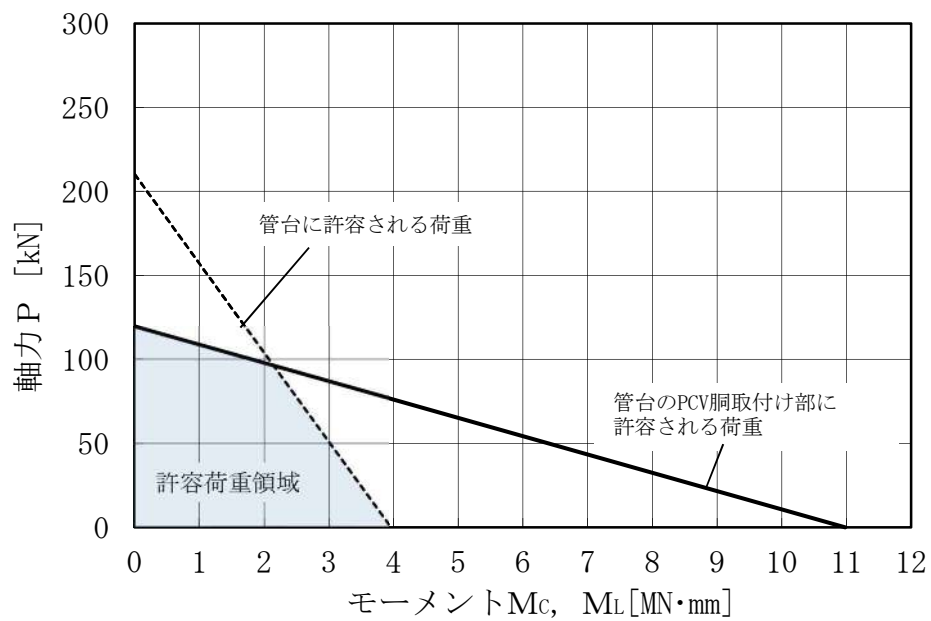
また、その他の貫通部については、前述の許容荷重設定法（必要に応じて貫通部側の追加の詳細評価を実施）により健全性を確認している。

4. 補正工認の代表貫通部の選定における接続配管の反力の扱い

以上の背景から、本補正工認の配管貫通部の代表選定においては、代表選出段階で接続配管の反力が全て揃わないため、反力の値を検討項目としていない。そのため、接続配管の反力が大きくなる傾向にある口径及び設置高さを検討項目としている。



(a) 許容荷重設定フロー



(b) 許容荷重領域の例

図-1 許容荷重設定法

配管貫通部の耐震評価における代表貫通部以外の健全性について

1. 概要

本資料は、配管貫通部の耐震評価において、代表貫通部以外の貫通部の健全性について説明するものである。

2. 許容荷重領域による評価

代表貫通部以外の貫通部の健全性の確認として、各貫通部の許容荷重領域を算出し、各貫通部の配管反力が許容荷重領域内となっていることを確認する。

配管貫通部の許容荷重領域は、系統配管から貫通部に加わる配管反力の許容領域であり、貫通部軸方向P、貫通部軸直角鉛直方向M_L及び貫通部軸直角水平方向M_Cの荷重について、以下の式（1）の考え方にに基づき算出される。

$$\text{配管反力による応力} \leq \text{許容値} - \text{原子炉格納容器に作用する荷重による応力} \dots (1)$$

許容荷重領域で確認する対象貫通部及び評価結果を表1、図1～図26に示す。

なお、各貫通部の仕様については別表「配管貫通部一覧」に示す。

表1 対象貫通部（その1）

貫通部番号	許容荷重領域評価	
	一次応力	一次＋二次応力
	○	×
	○	×
	○	×
	○	×
	○	×
	○	×
	○	×
	○	×
	○	×
	○	×
	○	×
	○	×
	○	×
	○	×
	○	×

表 1 対象貫通部（その 2）

貫通部番号	許容荷重領域評価	
	一次応力	一次+二次応力
	○	○
	○	○
	○	○
	○	×
	○	×
	○	○
	○	○
	○	○
	○	○
	○	○
	○	○
	○	×
	○	○

3. 詳細評価

代表貫通部及び 2 項の許容荷重領域による評価において領域外となった貫通部においては、別途詳細評価（応力評価及び簡易弾塑性解析）を実施し、健全性を確認する。詳細評価による確認結果を表 2 に示す。また、簡易弾塑性解析による確認結果を表 3 に示す。

表 2 詳細評価による確認結果

貫通部番号	評価部位	応力分類	IV _A S		判定	備考
			発生値	許容値		
			MPa	MPa		
	原子炉格納容器胴と補強版との結合部	一次＋二次応力強さ	348	393	○	代表貫通部
			346	393	○	代表貫通部
			554	393	×	代表貫通部（候補）
			378	393	○	
			356	393	○	
			350	393	○	
			420	393	×	
			388	393	○	
			278	393	○	
			586	393	×	
			546	393	×	
			712	393	×	
			494	393	×	
			300	393	○	
			504	393	×	
			320	393	○	
			320	393	○	
			326	393	○	
212	393	○				

補足 340-25-3-1-9

表3 許容応力状態IV_ASに対する疲労評価結果 (D+P+M+S_s)

貫通部番号	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _ℓ ' (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a	備考
	554							0.211	代表貫通部 (候補)
	420							0.033	
	586							0.286	
	546							0.170	
	712							0.552	
	494							0.094	
	504							0.104	

K_e : 弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数

S_p : 地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲

S_ℓ : 繰返しピーク応力強さ

S_ℓ' : 補正繰返しピーク応力強さ*

N_a : 許容繰返し回数

N_c : 等価繰返し回数

E₀ : 縦弾性係数

E : 運転温度の縦弾性係数

注記 * : S_ℓに (E₀/E) を乗じた値である

E₀ = MPa E = MPa

4. 結論

2 項の許容荷重領域による評価及び 3 項の詳細評価により，代表貫通部同様に代表貫通部以外の貫通部について耐震性を有することを確認した。