

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添3-009-17改01
提出年月日	2023年5月31日

VI-3-3-7-1-17 配管貫通部の強度計算書

2023年5月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	4
3. 評価部位	5
4. 構造強度評価	8
4.1 構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
4.3 計算方法	13
4.4 計算条件	20
4.5 応力の評価	20
5. 評価結果	21
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	21
6. 参照図書	23
7. 引用文献	23

1. 概要

本計算書は、配管貫通部の強度計算書である。

配管貫通部は、設計基準対象施設の配管貫通部を重大事故等クラス2容器として兼用する機器である。

表2-1に示す貫通部形式のうち、形式1は管口径が大きく反力の大きい配管類の貫通部に用いている。この形式の貫通部は、原子炉格納容器外側で原子炉建物にアンカされ、ベローズによって原子炉建物と原子炉格納容器の相対変位を吸収する構造となっている。このため、貫通部への反力は極めて小さい。したがって、貫通部の強度評価は省略する。

形式2及び形式3の貫通部は配管の反力が直接作用する。したがって、貫通部の構造強度評価を実施する。本計算書では、VI-2-9-2-11「配管貫通部の耐震性についての計算書」と同様に、ドライウェル及びサブプレッションチェンバそれぞれにおいて、口径が大きく、荷重の大きくなるX-81及びX-241を代表貫通部として構造強度評価を実施する。

小口径の配管は、貫通部に加わる反力は小さいため、貫通部の構造強度評価は省略する。

以下、重大事故等クラス2容器として、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」に基づき、配管貫通部の構造強度評価を示す。

なお、本計算書においては、重大事故等時における荷重に対して、昭和59年9月17日付け59資庁第8283号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）（以下「既工認」という。）に示す手法に従い構造強度評価を行う。

2. 一般事項

2.1 構造計画

配管貫通部の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>配管貫通部は、原子炉格納容器（ドライウエル又はサプレッションチェンバ）に支持される。</p>	<p>配管貫通部は、鋼製のスリーブが原子炉格納容器に溶接支持される構造である。 形式1にベローズ、形式1と形式2に端板を備える。</p>	

2.2 評価方針

配管貫通部の応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」及びVI-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所において重大事故等時における温度、圧力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

配管貫通部の構造強度評価フローを図2-1に示す。

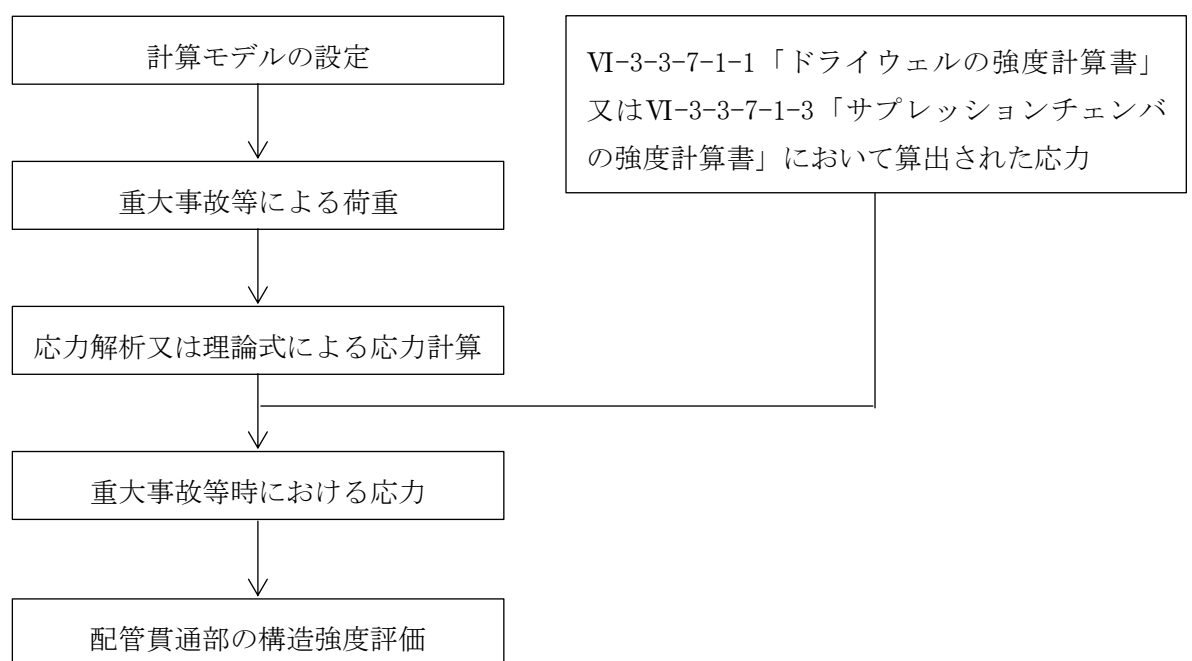


図2-1 配管貫通部の構造強度評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- ・ 発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。）） J S M E S N C 1-2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
D	死荷重	—
d_i	直径 ($i = 1, 2$)	mm
M_C	モーメント	N・mm
M_L	モーメント	N・mm
M_{SA}	機械的荷重 (SA後機械的荷重)	—
P	軸力	N
P_{SA}	圧力 (SA後圧力)	—, kPa
R_i	半径 ($i = 1, 2$)	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 3 に定める値	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
T_i	厚さ ($i = 1, 2$)	mm
T_{SA}	温度 (SA後温度)	°C
t_i	厚さ ($i = 1, 2$)	mm

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
圧力	kPa	—	—	整数位
温度	°C	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位*1
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

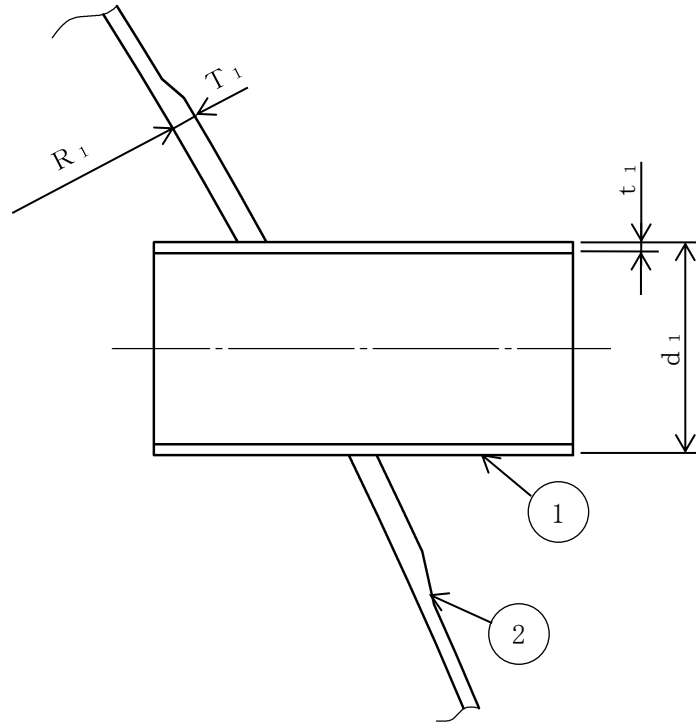
注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における許容引張応力、設計降伏点及び設計引張強さは、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

代表とした配管貫通部 X-81 及び X-241 の形状及び主要寸法を図 3-1 及び表 3-1 に、使用材料及び評価部位を表 3-2 に示す。

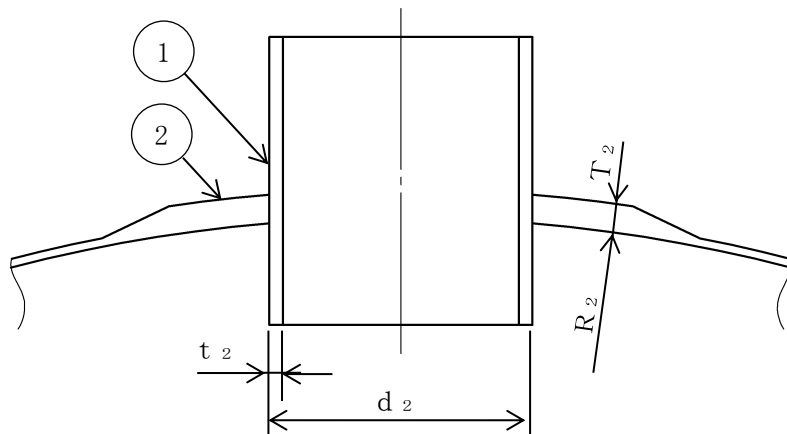


①スリーブ ②補強板

図 3-1(1) 配管貫通部 X-81 の形状及び主要寸法

表 3-1(1) 配管貫通部 X-81 の主要寸法 (単位: mm)

貫通部 番号	形式	d_1	t_1	T_1	R_1
X-81	3				



①スリーブ ②補強板

図 3-1(2) 配管貫通部 X-241 の形状及び主要寸法

表 3-1(2) 配管貫通部 X-241 の主要寸法 (単位: mm)

貫通部 番号	形式	d_2	t_2	T_2	R_2
X-241	3				

表 3-2 使用材料表

評価部位	使用材料	備考
補強板	SPV50	SPV490 相当
スリーブ	STS42	STS410 相当

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) 配管貫通部の構造強度評価として、配管貫通部に作用する自重、圧力荷重及び水力的動荷重を用いて、参照図書(1)に示す既工認の手法に従い構造強度評価を行う。
- (2) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び供用状態

配管貫通部の荷重の組合せ及び供用状態のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

詳細な荷重の組合せは、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

4.2.2 許容応力

配管貫通部の許容応力はVI-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」に基づき、表 4-2 に示すとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

配管貫通部の使用材料の許容応力評価条件のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び供用状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	機器等の区分	荷重の組合せ*1		供用状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	配管貫通部	重大事故等クラス2容器	$D + P_{SA} + M_{SA}$	(V (S) -1) (V (S) -2)	重大事故等時*2

注記*1：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

*2：重大事故等時として供用状態Dの許容限界を用いる。

表4-2 重大事故等クラス2容器の許容応力

応力分類 供用 状態	一次一般膜応力	一次膜応力+一次曲げ応力
重大事故 等時*	$2/3 \cdot S_u$	$1.5 \times 2/3 \cdot S_u$

注記*：重大事故等時として供用状態Dの許容限界を用いる。

表4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	貫通部番号	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
			周囲環境 温度					
補強板	X-81	SPV50*1	周囲環境 温度	200	—	—	545	—
補強板	X-241	SPV50*1	周囲環境 温度	200	—	—	545	—
スリーブ	X-81	STS42*2	周囲環境 温度	200	—	—	404	—
スリーブ	X-241	STS42*2	周囲環境 温度	200	—	—	404	—

注記*1：SPV490 相当を示す。

*2：STS410 相当を示す。

4.2.4 設計荷重

(1) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より、以下のとおりとする。

内圧 P_{SA}	853kPa (SA後)
温度 T_{SA}	200℃ (SA後)

(2) 死荷重

a. ドライウエル

ドライウエルの自重による鉛直荷重は、VI-3-3-7-1-1「ドライウエルの強度計算書」に示すとおりである。

b. サプレッションチェンバ

サプレッションチェンバの自重による鉛直荷重は、VI-3-3-7-1-3「サプレッションチェンバの強度計算書」に示すとおりである。

(3) 水力的動的荷重

a. 逃がし安全弁作動時の荷重

逃がし安全弁作動時の荷重は、VI-3-3-7-1-3「サプレッションチェンバの強度計算書」に示すとおりである。

最大正圧	<input type="text"/>	kPa
最大負圧	<input type="text"/>	kPa

b. チャギング荷重

チャギング荷重は、VI-3-3-7-1-3「サプレッションチェンバの強度計算書」に示すとおりである。

最大正圧	<input type="text"/>	kPa
最大負圧	<input type="text"/>	kPa

(4) 配管荷重

図 3-1 の配管貫通部に作用する配管荷重による設計荷重のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-4 に示す。配管貫通部の荷重作用方向を図 4-1 に示す。

表 4-4 配管貫通部の設計荷重 (重大事故等対処設備)

貫通部番号	評価圧力 (kPa)		許容応力状態	死荷重		
	内圧	外圧		軸力 (N)	モーメント (N・mm)	
				P	Mc	ML
X-81	853	—	重大事故等時			
X-241	853	—	重大事故等時			

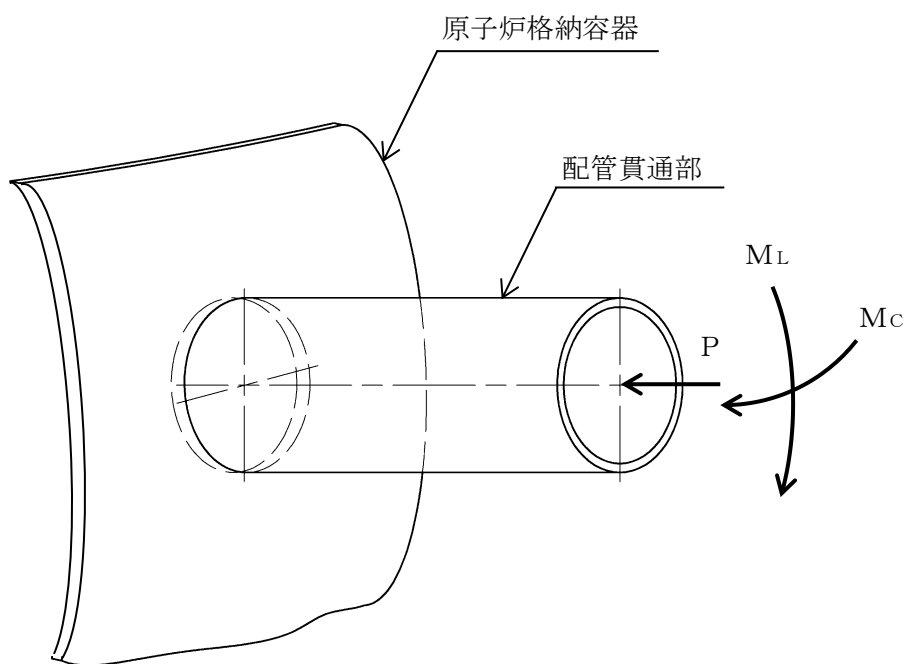


図 4-1 配管貫通部の荷重作用方向

4.3 計算方法

4.3.1 応力評価点

配管貫通部の応力評価点は、配管貫通部を構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4-5 及び図 4-2 に示す。

表 4-5 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	X-81 原子炉格納容器とスリーブとの結合部 (P 1 - A , P 1 - B)
P 2	X-241 原子炉格納容器とスリーブとの結合部 (P 2 - A , P 2 - B)
P 3	X-81 スリーブ (P 3 - A , P 3 - B)
P 4	X-241 スリーブ (P 4 - A , P 4 - B)

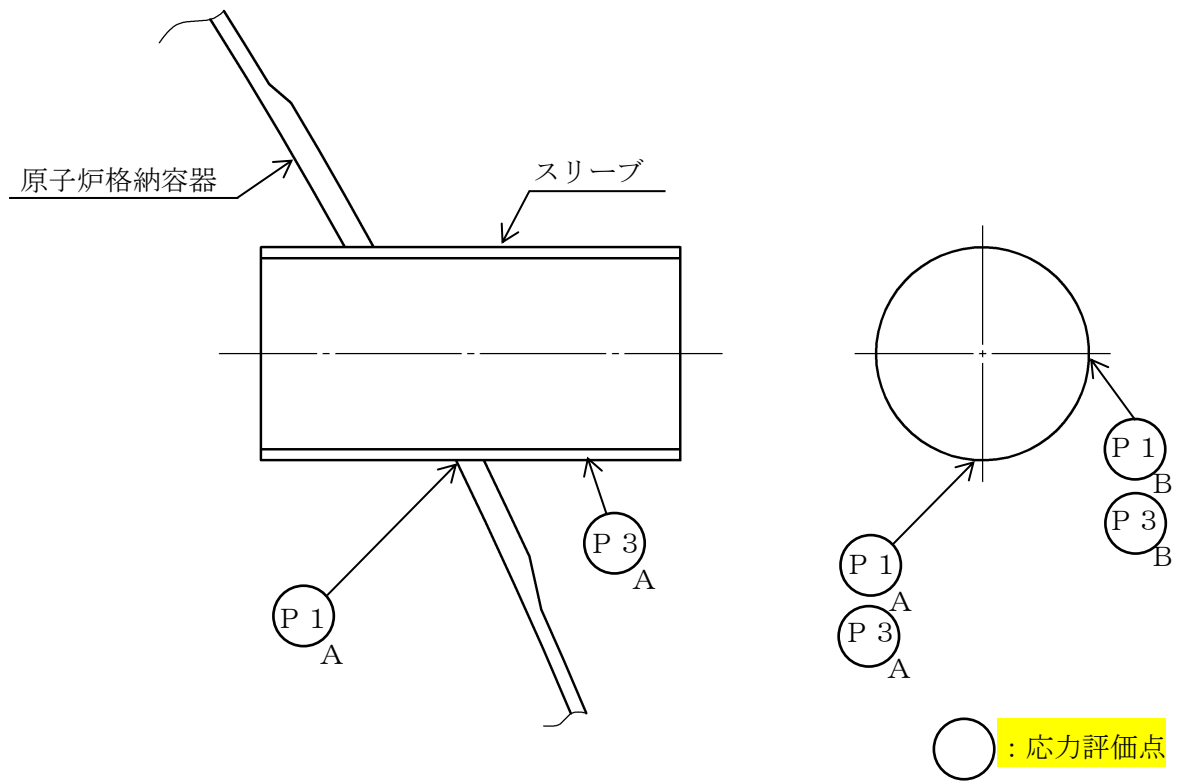


図 4-2(1) 配管貫通部 X-81 の応力評価点

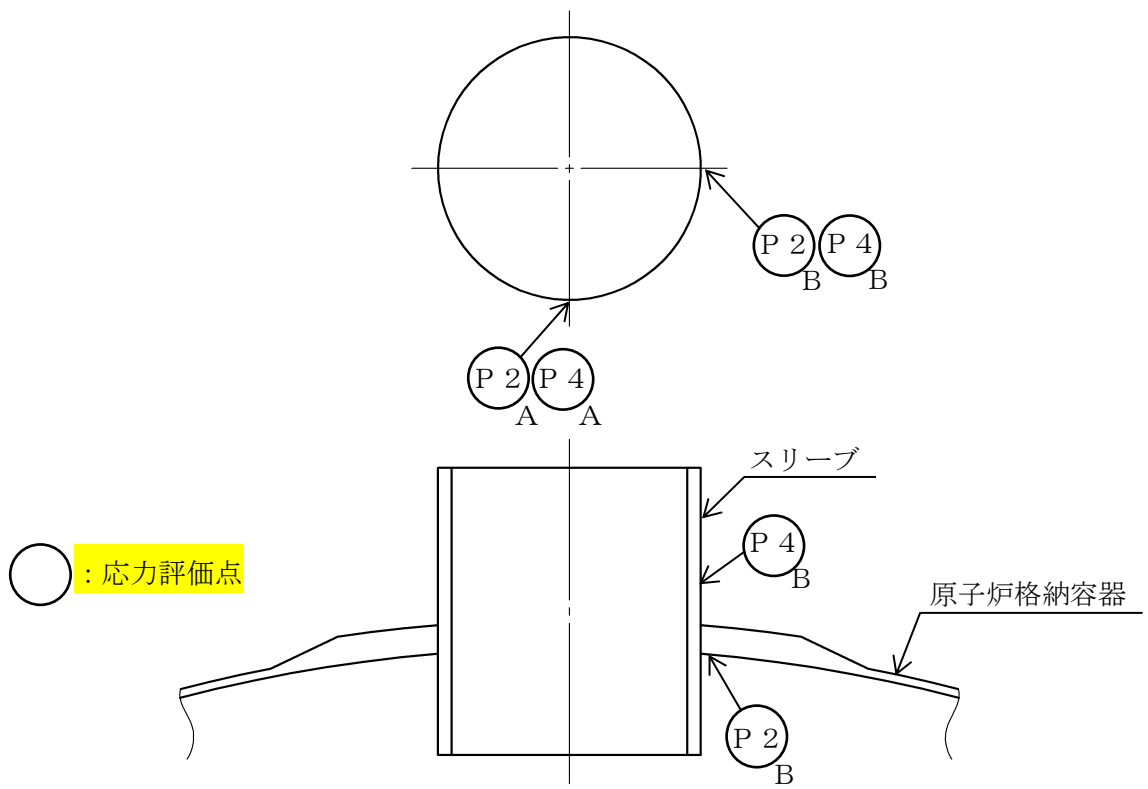


図 4-2(2) 配管貫通部 X-241 の応力評価点

4.3.2 応力計算方法

配管貫通部の応力計算方法について以下に示す。

(1) 重大事故対処設備としての応力計算

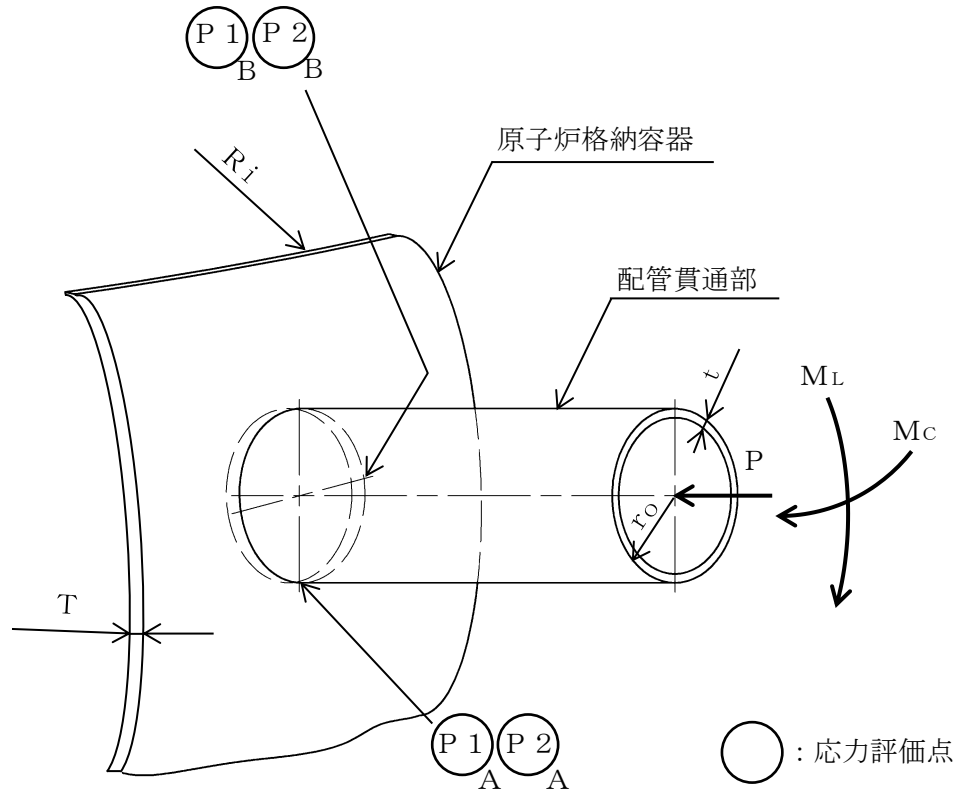
応力計算方法は既工認から変更は無く，参照図書(1)に示すとおりである。

a. 応力評価点 P 1, P 2 に生じる応力

応力評価点 P 1, P 2 の応力は，配管貫通部に作用する荷重（表 4-4）による応力と，VI-3-3-7-1-1「ドライウェルの強度計算書」又はVI-3-3-7-1-3「サプレッションチェンバの強度計算書」において算出された応力を組み合わせることで算出する。なお，配管貫通部に作用する荷重による応力は，引用文献(1)に示す方法により計算するものとし，以下に計算方法を示す。ここで使用する記号は全て引用文献(1)に従う。

(a) 計算モデル

応力計算に用いる計算モデルを，図 4-3 に示す。



R_i : 貫通部中心までの原子炉格納容器内半径 = (X-81), (X-241)

r_o : スリーブ外半径 = (X-81), (X-241)

T : 原子炉格納容器厚さ = (X-81), (X-241)

t : スリーブ厚さ = (X-81), (X-241)

(単位 : mm)

図 4-3 計算モデル

(b) パラメータ

応力計算に用いるパラメータを、以下に示す。

イ. X-81 のパラメータ

X-81 のシェルパラメータは以下のとおりとする。

$$R_m = R_i + \frac{T}{2} = \boxed{} \text{ mm}$$

$$U = \frac{r_o}{\sqrt{R_m \cdot T}} = \boxed{}$$

X-81 のアタッチメントパラメータは以下のとおりとする。

$$r_m = r_o - \frac{t}{2} = \boxed{}$$

$$\Upsilon = \frac{r_m}{t} = \boxed{}$$

$$\rho = \frac{T}{t} = \boxed{}$$

ロ. X-241 のパラメータ

X-241 のシェルパラメータは以下のとおりとする。

$$R_m = R_i + \frac{T}{2} = \boxed{} \text{ mm}$$

$$\gamma = \frac{R_m}{T} = \boxed{}$$

X-241 のアタッチメントパラメータは以下のとおりとする。

$$\beta = \frac{0.875 \cdot r_o}{R_m} = \boxed{}$$

(c) 応力計算

単位荷重による応力を以下に示す。

応力評価点 P 1, P 2 に生じる応力は、以下に示す単位荷重による応力と配管貫通部に作用する荷重 (表 4-4) により算出する。

イ. 応力評価点 P 1 に生じる応力 (X-81)

単位軸方向荷重 P による応力を表 4-6 に示す。

$$P = 1.000 \times 10^3 \text{N}$$

表 4-6 単位軸方向荷重 P による応力 (X-81)

方向	応力評価点	図の番号	図からの読取値	応力計算 (MPa)

単位モーメント荷重 M_c による応力を表 4-7 に示す。

$$M_c = 1.000 \times 10^6 \text{N} \cdot \text{mm}$$

表 4-7 単位モーメント荷重 M_c による応力 (X-81)

方向	応力評価点	図の番号	図からの読取値	応力計算 (MPa)

単位モーメント荷重 M_L による応力を表 4-8 に示す。

$$M_L = 1.000 \times 10^6 \text{N} \cdot \text{mm}$$

表 4-8 単位モーメント荷重 M_L による応力(X-81)

方向	応力評価点	図の番号	図からの読取値	応力計算 (MPa)

ロ. 応力評価点 P 2 に生じる応力(X-241)

単位軸方向荷重 P による応力を表 4-9 に示す。

$$P = 1.000 \times 10^3 \text{N}$$

表 4-9 単位軸方向荷重 P による応力(X-241)

方向	応力評価点	図の番号	図からの読取値	応力計算 (MPa)

単位モーメント荷重 M_c による応力を表 4-10 に示す。

$$M_c = 1.000 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

表 4-10 単位モーメント荷重 M_c による応力(X-241)

方向	応力 評価点	図の番号	図からの読取值	応力計算 (MPa)

単位モーメント荷重 M_L による応力を表 4-11 に示す。

$$M_L = 1.000 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

表 4-11 単位モーメント荷重 M_L による応力(X-241)

方向	応力 評価点	図の番号	図からの読取值	応力計算 (MPa)

b. 応力評価点 P 3, P 4 に生じる応力

応力評価点 P 3, P 4 の応力は、配管貫通部に作用する荷重 (表 4-4) とスリーブの断面性能により算出する。

4.4 計算条件

応力計算に用いる荷重を、「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」に示す。

4.5 応力の評価

「4.3 計算方法」で求めた応力が許容応力以下であること。

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

配管貫通部の重大事故等時の状態を考慮した場合の構造強度評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足している。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

表 5-1 重大事故等時に対する評価結果 (D + P_{SA} + M_{SA})

評価対象設備	評価部位		応力分類	重大事故等時		判定	荷重の組合せ*	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
配管貫通部	P 1 - A	X-81 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	374	545	○	(V (S) -1)	
	P 1 - B	X-81 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	372	545	○	(V (S) -1)	
	P 2 - A	X-241 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	251	545	○	(V (S) -1)	
	P 2 - B	X-241 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	249	545	○	(V (S) -1)	
	P 3 - A	X-81 スリーブ	一次一般膜応力	8	269	○	(V (S) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	8	404	○	(V (S) -1)	
	P 3 - B	X-81 スリーブ	一次一般膜応力	8	269	○	(V (S) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	8	404	○	(V (S) -1)	
	P 4 - A	X-241 スリーブ	一次一般膜応力	8	269	○	(V (S) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	8	404	○	(V (S) -1)	
	P 4 - B	X-241 スリーブ	一次一般膜応力	8	269	○	(V (S) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	8	404	○	(V (S) -1)	

注記* : () 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を示す。

6. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-5-8 「原子炉格納容器貫通部の強度計算書」

7. 引用文献

- (1) Wichman, K.R. et al.: Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107 / August 1965.