

本資料のうち、枠囲みの内容は
商業機密の観点から公開できま
せん。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-08-0032_改0
提出年月日	2021年8月19日

VI-3-3-6-1-4-1 原子炉格納容器配管貫通部の基本板厚計算書

02 ③ VI-3-3-6-1-4-1 R0

2021年8月
東北電力株式会社

- (1) 原子炉格納容器配管貫通部（既設）の基本板厚計算書
- (2) 原子炉格納容器配管貫通部（X-30B, X-91, X-92, X-93, X-106B, X-230, X-231, X-233, X-243 及び X-281）の基本板厚計算書

(1) 原子炉格納容器配管貫通部（既設）の基本板厚計算書

本計算書の評価結果については、本工事計画認可申請書 添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設
の設計条件に関する説明書」による。

- (2) 原子炉格納容器配管貫通部 (X-30B, X-91, X-92, X-93, X-106B, X-230, X-231, X-233, X-243 及び X-281) の基本板厚計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 概要	1
1.2 適用基準	1
1.3 計算精度と数値の丸め方	2
2. 設計条件	3
2.1 設計基準対象施設としての評価圧力及び評価温度	3
2.2 材料及び許容応力	3
3. 原子炉格納容器配管貫通部の基本板厚計算	4
3.1 スリーブ及び管	4
3.2 端板	8
3.3 穴あき端板	10
3.3.1 二重管型貫通部	11
3.4 穴の補強計算	17

1. 一般事項

1.1 概要

本計算書は、原子炉格納容器配管貫通部（X-30B, X-91, X-92, X-93, X-106B, X-230, X-231, X-233, X-243 及び X-281）の基本板厚計算書である。

以下、設計基準対象施設の原子炉格納容器配管貫通部として、添付書類「VI-3-1-7 原子炉格納容器の強度計算の基本方針」に基づくとともに、添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に準じて、原子炉格納容器配管貫通部の構造強度評価を示す。

なお、重大事故等対処設備の原子炉格納容器配管貫通部としての評価結果については、本工事計画認可申請書 添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」による。

1.2 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 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）（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）
- (2) 発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（昭和55年10月30日 通商産業省告示第501号）（以下「告示第501号」という。）

1.3 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1-1に示すとおりとする。

表 1-1 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		MPa	—	—	有効数字 3 桁
圧力		kPa	—	—	整数位 ^{*1}
温度		℃	—	—	整数位
許容応力 ^{*2, *3}		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位 ^{*1}
	計算上必要な厚さ	mm	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位 ^{*1}
	最小厚さ	mm	小数点以下第 3 位	切捨て	小数点以下第 2 位 ^{*1}
面積	下記以外の面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
	必要な面積	mm ²	有効数字 5 桁目	切上げ	有効数字 4 桁 ^{*4}
	有効な面積	mm ²	有効数字 5 桁目	切捨て	有効数字 4 桁 ^{*4}

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：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の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，整数位までの値として算出する。

*3：告示第 5 0 1 号別表に記載された温度の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 2 位を切り捨て，小数点以下第 1 位までの値として算出する。得られた値を SI 単位に換算し，SI 単位に換算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。

*4：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

2. 設計条件

2.1 設計基準対象施設としての評価圧力及び評価温度

設計基準対象施設としての評価圧力及び評価温度は、以下のとおりとする。

内圧 P_1	427kPa 3.73MPa (X-30B) 462kPa (X-233)
外圧 P_2	13.7kPa
温度 T	171°C (X-30B, X-91, X-92, X-93 及び X-106B) 104°C (X-230, X-231, X-233, X-243 及び X-281)

2.2 材料及び許容応力

(1) 材料

使用する材料を表 2-1 に示す。

(2) 許容引張応力

使用材料の許容引張応力は、設計基準対象施設においては、スリーブ及び管は設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 3 の値、端板は告示第 501 号別表第 4 に規定されている値とする。使用材料の許容引張応力を表 2-1 に示す。

表 2-1 使用材料表 (設計基準対象施設)

使用部位	使用材料	温度条件 (°C)	許容引張応力 (MPa)	備考
スリーブ	STS42	104	114	
	(STS410)	171	114	
	SUS316LTP	104	120	
端板	SGV480	104	131	
		171	131	
	SFVC2B	171	132	
	SUSF304L	171	106	
管	SUS304LTP	171	114	
	STS410	171	114	

3. 原子炉格納容器配管貫通部の基本板厚計算

「2. 設計条件」に示す条件に基づき、原子炉格納容器配管貫通部各部の板厚計算を行った結果を以下に示す。

3.1 スリーブ及び管

スリーブ及び管の形状を図 3-1 に示し、各寸法を表 3-1～表 3-3 に示す。

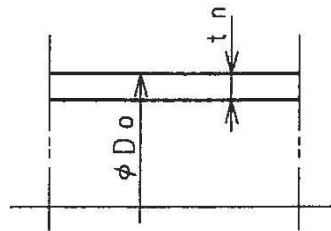


図 3-1 スリーブ及び管の形状

(1) 記号の説明

設計・建設規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
t	t	必要な厚さ	mm
	$t_{R1,2}$	計算上必要な厚さ	mm
	t_{R3}	規格上必要な最小厚さ	mm

(2) 内圧に対する必要厚さ（設計・建設規格 PVE-3611）

スリーブ及び管の内圧に対する必要厚さの算出式を以下に示し、設計基準対象施設の計算結果を表 3-1～表 3-3 に示す。

$$t_{R1} = \frac{P_1 \cdot D_0}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P_1}$$

(3) 外圧に対する必要厚さ（設計・建設規格 PVE-3612）

スリーブの外圧に対する評価結果を表 3-1 及び表 3-2 に示す。

(4) 結論

スリーブ及び管の最小厚さは必要厚さより大きいので、設計・建設規格の要求を満足している。

表 3-1 スリーブの板厚計算結果 (ドライブェル) (設計基準対象施設)

貫通部番号		X-30B	X-91	X-92, X-93, X-106B
材料		STS42 (STS410)	STS42 (STS410)	STS42 (STS410)
最高使用圧力 (内圧)	P_1 (MPa)	3.73	0.427	0.427
最高使用圧力 (外圧)	P_2 (MPa)	0.0137	0.0137	0.0137
最高使用温度	(°C)	171	171	171
管台の外径	D_o (mm)	267.4	406.4	318.5
許容引張応力	S (MPa)	114	114	114
継手効率	η	1.00	1.00	1.00
継手の種類		継手無し	継手無し	継手無し
放射線検査の有無		—	—	—
内圧に対する計算上必要な厚さ	t_{R1} (mm)	4.32	0.76	0.60
外圧に対する計算上必要な厚さ	t_{R2} (mm)	5.35	8.13	6.37
必要厚さ*	t_{R3} (mm)	3.80	3.80	3.80
t_{R1}, t_{R2}, t_{R3} の大きい値	t (mm)	5.35	8.13	6.37
呼び厚さ	t_n (mm)			
最小厚さ	t_{min} (mm)			
評価: $t_{min} \geq t$ であること。		○	○	○

注記*: 設計・建設規格 PVE-3613 による必要厚さ。

表 3-2 スリーブの板厚計算結果 (サブレッションチェーンバ) (設計基準対象施設)

貫通部番号	X-230, X-231	X-233	X-243	X-281
材料	STS42 (STS410)	STS42 (STS410)	STS42 (STS410)	SUS316LTP
最高使用圧力 (内圧)	P ₁ (MPa)	0.462	0.427	0.427
最高使用圧力 (外圧)	P ₂ (MPa)	0.0137	0.0137	0.0137
最高使用温度	(°C)	104	104	104
管台の外径	D _o (mm)	609.6	114.3	34.0
許容引張応力	S (MPa)	114	114	120
継手効率	η	1.00	1.00	1.00
継手の種類		継手無し	継手無し	継手無し
放射線検査の有無		—	—	—
内圧に対する計算上必要な厚さ	t _{R1} (mm)	1.14	0.24	0.06
外圧に対する計算上必要な厚さ	t _{R2} (mm)	12.20	2.29	0.68
必要厚さ*	t _{R3} (mm)	3.80	3.40	—
t _{R1} , t _{R2} , t _{R3} の大きい値	t (mm)	12.20	3.40	0.68
呼び厚さ	t _n (mm)			
最小厚さ	t _{min} (mm)			
評価: t _{min} ≧ t であること。		○	○	○

注記*: 設計・建設規格 PVE-3613 による必要厚さ。

表 3-3 管の板厚計算結果 (ドライウエル) (設計基準対象施設)

貫通部番号	X-91	X-92	X-93	X-106B
材料	SUS304LTP	STS410	SUS304LTP	SUS304LTP
最高使用圧力 (内圧) P_i (MPa)	0.427	0.427	0.427	0.427
最高使用温度 (°C)	171	171	171	171
管台の外径 D_o (mm)	60.5	114.3	76.3	60.5
許容引張芯力 S (MPa)	114	114	114	114
継手効率 η	1.00	1.00	1.00	1.00
継手の種類	継手無し	継手無し	継手無し	継手無し
放射線検査の有無	—	—	—	—
内圧に対する計算上必要な厚さ t_{R1} (mm)	0.12	0.22	0.15	0.12
必要厚さ* t_{R3} (mm)	—	3.40	—	—
t_{R1} , t_{R3} の大きい値 t (mm)	0.12	3.40	0.15	0.12
呼び厚さ t_p (mm)				
最小厚さ $t_{p,m}$ (mm)				
評価: $t_{p,m} \geq t$ であること。	○	○	○	○

注記*: 設計・建設規格 PVE-3613 による必要厚さ。

3.2 端板

端板の形状を図 3-2 に示し、各寸法を表 3-4 に示す。

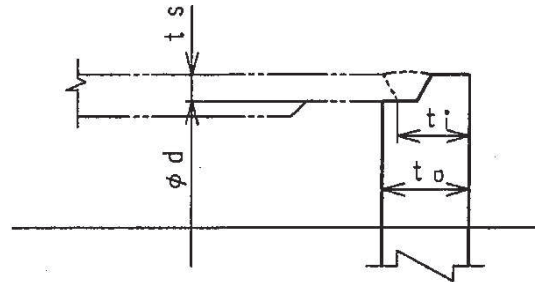


図 3-2 端板の形状

(1) 記号の説明

告示第 5 0 1 号 の記号	計算書の表示	表示内容	単位
t	t _{o,r}	計算上必要な厚さ	mm

(2) 内圧に対する必要厚さ (告示第 5 0 1 号第 24 条第 1 項)

a. 計算式

端板の内圧に対する必要厚さの算出式を以下に示し、設計基準対象施設の計算結果を表 3-5 に示す。

$$t_{o,r} = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

b. 係数 K に関する計算

$K = 0.50$ (告示第 5 0 1 号第 24 条第 1 項の取付方法 (g))

ただし、 $t_i \geq 2 \cdot t_{n,r}$

$t_i \geq 1.25 \cdot t_s$

$t_{n,r}$ はスリーブの計算上必要な厚さを示す。

端板の取付方法による係数 K の設計基準対象施設の確認結果を表 3-4 に示す。

c. 結論

表 3-5 より、端板は告示第 5 0 1 号の要求を満足している。

表 3-4 係数Kの確認結果 (設計基準対象施設)

貫通部番号			X-233
最小内径	d	(mm)	<input type="text"/>
スリーブの 計算上必要な厚さ	t_{nr}	(mm)	0.24
スリーブ厚さ	t_s	(mm)	<input type="text"/>
$2 \cdot t_{nr}$		(mm)	0.48
$1.25 \cdot t_s$		(mm)	<input type="text"/>
t_i		(mm)	<input type="text"/>
評価： $t_i \geq 2 \cdot t_{nr}$ 及び $t_i \geq 1.25 \cdot t_s$ であること。			○

表 3-5 端板の板厚計算結果 (設計基準対象施設)

貫通部番号			X-233
材料			SGV480
最小内径	d	(mm)	<input type="text"/>
最高使用圧力	P	(MPa)	0.462
最高使用温度		(°C)	104
係数	K	(-)	0.50
許容引張応力	S	(MPa)	131
呼び厚さ	t_o	(mm)	<input type="text"/>
最小厚さ	t_{om}	(mm)	<input type="text"/>
計算上必要な厚さ	t_{or}	(mm)	4.15
評価： $t_{om} \geq t_{or}$ であること。			○

3.3 穴あき端板

(1) 記号の説明

設計・建設規格の 記号	計算書の表示	表示内容	単位
t	A _o	補強に有効な面積	mm ²
	t _{or}	計算上必要な厚さ	mm
	Y	補強の有効範囲	mm
	Y ₁	補強の有効範囲	mm
	Y ₂	補強の有効範囲	mm

3.3.1 二重管型貫通部

二重管型貫通部の穴あき端板の形状を図 3-3 に示し、各寸法を表 3-6 に示す。

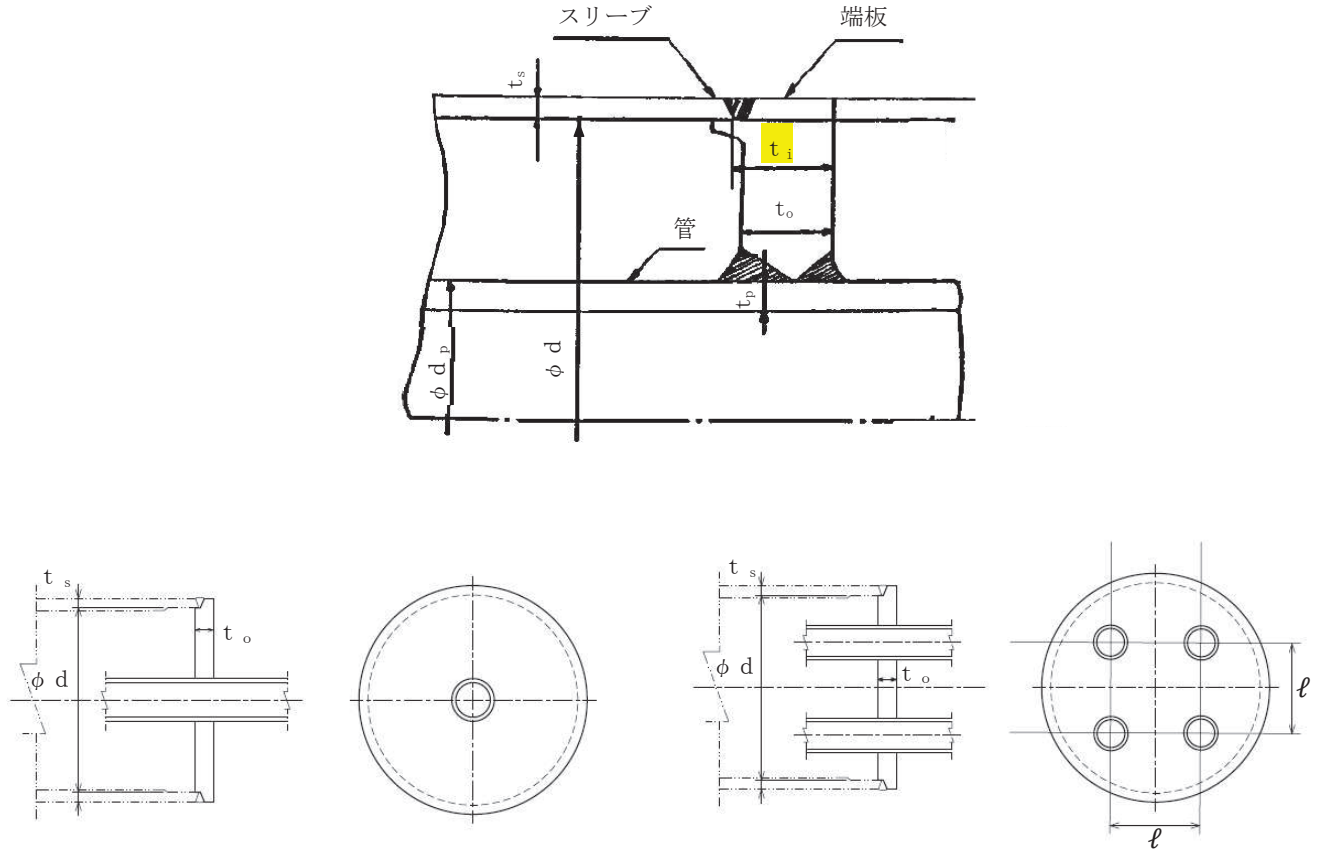


図 3-3 穴あき端板の形状

表 3-6 穴あき端板の寸法

(単位：mm)

貫通部番号	d	t_s	t_i	t_{om}^{*1}	ℓ	t_{pm}^{*2}	d_p
X-91							60.5
X-92							114.3
X-93							76.3
X-106B							60.5

注記*1： t_o の最小厚さ

*2： t_p の最小厚さ

(1) 内圧に対する必要厚さ (告示第501号第24条第1項)

a. 計算式

穴あき端板の内圧に対する必要厚さの算出式を以下に示し、設計基準対象施設の計算結果を表3-8に示す。

$$t_{or} = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

b. 係数Kに関する計算

$K = 0.50$ (告示第501号第24条第1項の取付け方法(g))

ただし、 $t_i \geq 2 \cdot t_{nr}$

$t_i \geq 1.25 \cdot t_s$

穴あき端板の取付け方法による係数Kの設計基準対象施設の確認結果を表3-7に示す。

c. 結論

表3-8より、穴あき端板は告示第501号の要求を満足している。

表 3-7 係数Kの確認結果 (設計基準対象施設)

貫通部番号	X-91	X-92	X-93	X-106B
最小内のり				
d (mm)				
スリーブの厚さ				
t_s (mm)				
$2 \cdot t_{nr}$ (mm)				
$1.25 \cdot t_s$ (mm)				
t_i (mm)				
評価: $t_i \geq 2 \cdot t_{nr}$ 及び $t_i \geq 1.25 \cdot t_s$ であること。	○	○	○	○

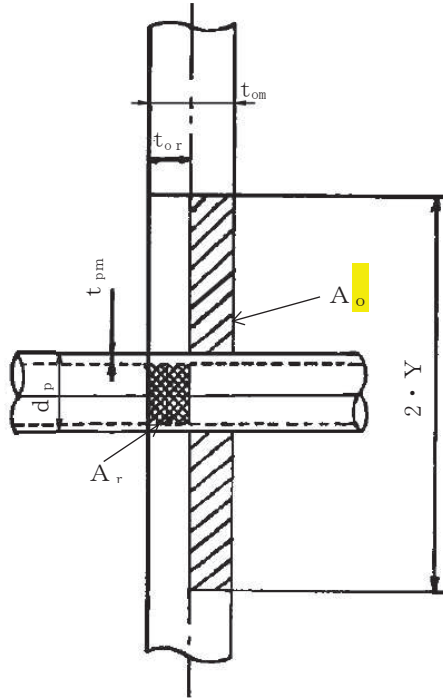
表 3-8 穴あき端板の板厚計算結果 (設計基準対象施設)

貫通部番号	X-91	X-92	X-93	X-106B
材料	SGV480	SFVC2B	SUSF304L	SGV480
最小内のり				
d (mm)				
最高使用圧力				
P (MPa)				
最高使用温度				
(°C)				
係数	0.427	0.427	0.427	0.427
K	171	171	171	171
許容引張応力	0.50	0.50	0.50	0.50
S (MPa)	131	132	106	131
呼び厚さ				
t_o (mm)				
最小厚さ				
t_{om} (mm)				
計算上必要な厚さ				
t_{or} (mm)				
評価: $t_{om} \geq t_{or}$ であること。	15.41	11.52	12.87	11.87
	○	○	○	○

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 穴の補強計算（設計・建設規格 PVE-3420）

穴部の形状を図 3-4 に示す。



注：各貫通部の寸法は表 3-6 及び表 3-8 に示す。

図 3-4 穴部の形状

a. 補強に必要な面積の 1/2

$$\frac{A_r}{2} = \frac{d_i \cdot t_{o,r}}{2}$$

ここに、

d_i : 穴の径

$$= d_p - 2 \cdot t_{p,m}$$

ただし、 $1.5 d_i \leq \ell$ である。

ℓ : 隣接する穴の中心間の距離（表 3-6 参照）

$t_{o,r}$: 端板の計算上必要な厚さ（表 3-8 参照）

b. 補強に有効な範囲 Y

Y は、次の計算式により求めた値のうち、いずれか大きいもの。

$$Y_1 = \frac{d_i}{2} + t_{p,m} + t_{o,m}$$

$$Y_2 = d_i$$

ただし、 $Y \leq \frac{d}{2}$, $Y \leq \frac{\ell}{2}$ である。

ここに、

d : 端板取付部の最小内のり（表 3-6 参照）

c. 補強に有効な面積 A_o 。

$$A_o = (2 \cdot Y - d_p) \cdot (t_{om} - t_{or})$$

d. 結論

穴あき端板の穴の補強の設計基準対象施設の計算結果を表 3-9 に示す。

これより，穴あき端板の穴の補強は十分である。

(3) 結論

穴あき端板の最小厚さは表 3-8 に示すように必要厚さより大きく，また表 3-9 に示すように補強に有効な面積は補強に必要な面積の $1/2$ より大きいので，告示第 501 号及び設計・建設規格の要求を満足している。

表 3-9 穴あき端板の穴の補強計算結果 (設計基準対象施設)

貫通部番号	X-91	X-92	X-93	X-106B
穴の径 d_i (mm)				
計算上必要な厚さ $t_{o,r}$ (mm)	15.41	11.52	12.87	11.87
補強の有効範囲 Y_1 (mm)				
補強の有効範囲 Y_2 (mm)				
補強の有効範囲 $d/2$ (mm)				
補強の有効範囲 $\ell/2$ (mm)				
補強の有効範囲 Y (mm)				
補強に必要な面積の 1/2 $A_r/2$ (mm ²)	392.1	597.9	432.5	302.0
補強に必要な面積 A_0 (mm ²)	1.591E+03	1.649E+03	953.6	1.461E+03
評価: $A_0 > A_r/2$ であること。	○	○	○	○

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4 穴の補強計算

原子炉格納容器を貫通する貫通部について補強計算を行う。

(1) 記号の説明

設計・建設規格の 記号	計算書の表示	表示内容	単位
	A ₀	補強に有効な総面積	mm ²
	A ₀ '	補強に有効な総面積	mm ²
	A ₁	容器の有効補強面積	mm ²
	A ₂	管台の有効補強面積（内側）	mm ²
	A ₃	管台の有効補強面積（外側）	mm ²
	A ₄	強め材の有効補強面積	mm ²
	H ₁	補強の有効範囲	mm
	H ₂	補強の有効範囲	mm
	R F	補強板の最小半径	mm
	T P	補強板の厚さ	mm
	W ₁	強め材取付部の強さ	N
	W ₂	強め材取付部の強さ	N
	W _R	溶接部の負うべき荷重	N
	Y ₁	補強の有効範囲	mm
	Y ₂	補強の有効範囲	mm

(2) 穴の補強計算

貫通部の形状を図 3-5 に示し、寸法を表 3-10 に示す。

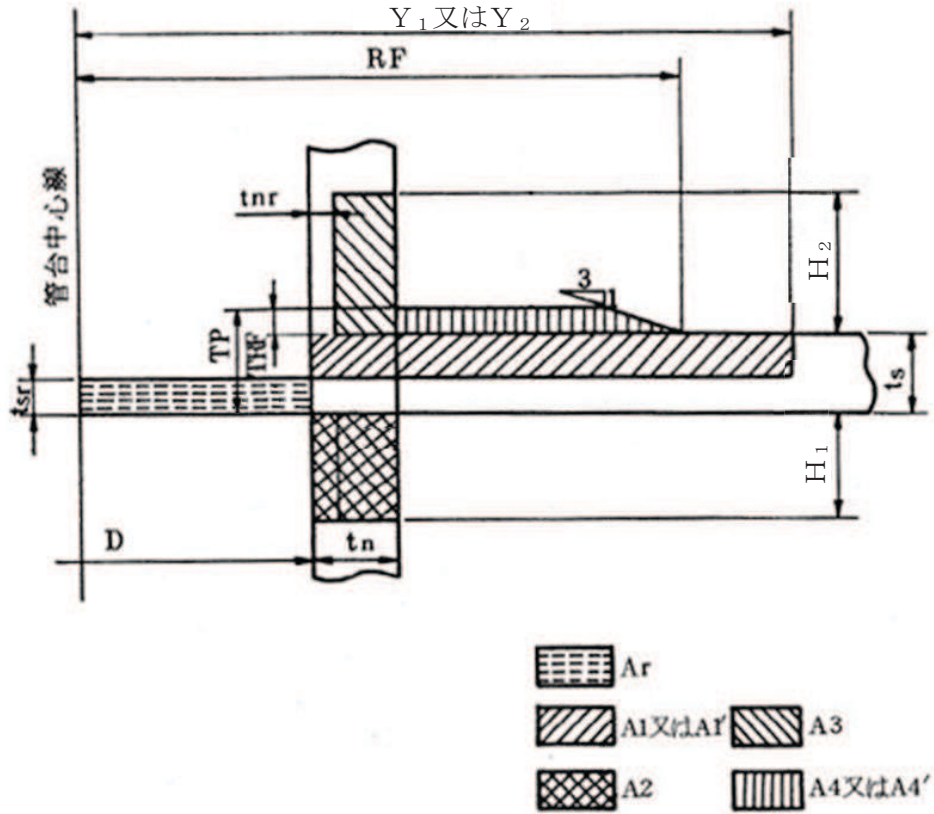


図 3-5 貫通部取付部の形状

a. 穴の補強計算

(a) 補強に必要な面積 (設計・建設規格 PVE-3281(3))

$$A_r = t_{sr} \cdot \{D + 2 \cdot t_{nm} \cdot (1 - S_n / S_s)\} / \cos \gamma$$

ここに、

t_{sr} : 格納容器胴の計算上必要な厚さ

t_{nm} : 管台の最小厚さ

S_n : 管台の許容引張応力

S_s : 容器の許容引張応力

γ : 管台の中心線と容器表面に垂直な線のなす角

なお、管台と容器の許容引張応力差の補正として $2 \cdot t_{sr} \cdot t_{nm} \cdot (1 - S_n / S_s)$ を考慮している。

(b) 容器の面に沿った補強に有効な範囲（設計・建設規格 PVE-3281(1)）

イ. 容器の面に沿う範囲 Y_1

Y_1 は、次の計算式により求めた値のうちのいずれか大きいもの。

$$Y = D / \cos \gamma$$

$$Y = \frac{D}{2 \cdot \cos \gamma} + t_{sm} + t_{nm}$$

ここに、 t_{sm} ： t_s の最小厚さ

ロ. 容器の面に垂直な範囲 H_1, H_2

H_1 及び H_2 は、次の計算式により求めた値のうちのいずれか大きいもの。

$$H = 0.5 \cdot \sqrt{r_m \cdot t_{nm} + TE}$$

$$H = 2.5 \cdot t_{nm} + TE$$

ここに、 r_m ：管台の平均半径

$$= (D + t_{nm}) / 2$$

TE ：強め材の厚さ（TRF）又は容器の厚さの2.5倍

（ $2.5 \times t_{sm}$ ）の小さい方

H_1 ：容器の内面に垂直な範囲

H_2 ：容器の外面に垂直な範囲

ただし、 H_1 及び H_2 は、容器の内面及び外面の突出し量までとする。

(c) 補強に有効な面積（設計・建設規格 PVE-3281(2)）

イ. 容器の補強に有効な面積 A_1

$$A_1 = (t_{sm} - t_{sr}) \cdot \{2 \cdot Y_1 - (D + 2 \cdot t_{nm}) \cdot (1 - S_n / S_s)\} / \cos \gamma$$

ロ. 管台（内側）の補強に有効な面積 A_2

(イ) 管台に内圧が作用する場合

$$A_2 = 2 \cdot (t_{nm} - t_{nr}) \cdot H_1 \cdot S_n / S_s / \cos \gamma$$

ここに、 t_{nr} ：管台の計算上必要な厚さ（表3-1に示す t_{R1} の値を参照）

(ロ) 管台に内圧が作用しない場合

$$A_2 = 2 \cdot t_{nm} \cdot H_1 \cdot S_n / S_s / \cos \gamma$$

ハ. 管台（外側）の補強に有効な面積 A_3

$$A_3 = 2 \cdot (t_{nm} - t_{nr}) \cdot H_2 \cdot S_n / S_s / \cos \gamma$$

ニ. 強め材の補強に有効な面積 A_4

(イ) $Y_1 \geq RF$ の場合

$$A_4 = TRF \cdot \{2 \cdot RF - (D + 2 \cdot t_{nm}) / \cos \gamma\} - 3 \cdot TRF^2$$

ここに、 TRF ：強め材の厚さ（ $TP - t_{sm}$ ）

(ロ) $Y_1 < RF$ かつ $Y_1 > RF - 3 \cdot TRF$ の場合

$$A_4 = 2 \cdot TRF \cdot \{RF - 3 \cdot TRF - (D / 2 + t_{nm}) / \cos \gamma\} + 3 \cdot TRF^2 - 1 / 3 \cdot (RF - Y_1)^2$$

(ハ) $Y_1 < RF$ かつ $Y_1 \leq RF - 3 \cdot TRF$ の場合

$$A_4 = 2 \cdot TRF \cdot \{Y_1 - (D/2 + t_{nm})/\cos \gamma\}$$

ホ. 補強に有効な総面積 A_0

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

(d) 容器の面に沿った補強に有効な範囲 (設計・建設規格 PVE-3283(1))

イ. 容器の面に沿う範囲 Y_2

Y_2 は, 次の計算式により求めた値のうちのいずれか大きいもの。

$$Y = \frac{D}{2 \cdot \cos \gamma} + 0.5 \cdot \sqrt{(R + t_{sm}/2) \cdot t_{sm}}$$

$$Y = \frac{D}{2 \cdot \cos \gamma} + 2/3 \cdot (t_{sm} + t_{nm})$$

ここに, R : 容器の内半径

ただし, $Y_2 > Y_1$ の場合は $Y_2 = Y_1$ とする。

(e) 補強に有効な面積 (設計・建設規格 PVE-3283(1))

イ. 容器の補強に有効な面積 A_1'

$$A_1' = (t_{sm} - t_{sr}) \cdot \{2 \cdot Y_2 - D + 2 \cdot t_{nm} \cdot (1 - S_n/S_s) / \cos \gamma\}$$

ロ. 管台 (内側) の補強に有効な面積 A_2'

$$A_2' = A_2$$

ハ. 管台 (外側) の補強に有効な面積 A_3'

$$A_3' = A_3$$

ニ. 強め材の補強に有効な面積 A_4'

(イ) $Y_2 \geq RF$ の場合

$$A_4' = TRF \cdot \{2 \cdot RF - (D + 2 \cdot t_{nm})/\cos \gamma\} - 3 \cdot TRF^2$$

(ロ) $Y_2 < RF$ かつ $Y_2 > RF - 3 \cdot TRF$ の場合

$$A_4' = 2 \cdot TRF \cdot \{RF - 3 \cdot TRF - (D/2 + t_{nm})/\cos \gamma\} + 3 \cdot TRF^2 - 1/3 \cdot (RF - Y_2)^2$$

(ハ) $Y_2 < RF$ かつ $Y_2 \leq RF - 3 \cdot TRF$ の場合

$$A_4' = 2 \cdot TRF \cdot \{Y_2 - (D/2 + t_{nm})/\cos \gamma\}$$

ホ. 補強に有効な総面積 A_0'

$$A_0' = A_1' + A_2' + A_3' + A_4'$$

(f) 結論

穴の補強の設計基準対象施設の計算結果を表 3-10 に示す。

これより, 貫通部の穴の補強は十分である。

表 3-10 穴の補強計算結果（設計基準対象施設）

貫通部番号	X-30B	X-91	X-92, X-93	X-106B	X-230	X-231	X-233	X-243
管台の最小厚さ t_{nm} (mm)								
管台の直径 (mm)	267.4	406.4	318.5	318.5	609.6	609.6	114.3	114.3
容器の最小厚さ t_{sm} (mm)								
容器の内半径 R (mm)								
容器の計算上必要な厚さ t_{sr} (mm)	14.58	14.58	29.20	14.58	15.35	15.35	16.61	15.35
管台の計算上必要な厚さ t_{nr} (mm)	4.32	0.76	0.60	0.60	1.14	1.14	0.24	0.22
補強板の直径 2RF (mm)								
補強板の厚さ TP (mm)								
穴の補強に必要な面積 A_r (mm ²)	4.037E+03	5.658E+03	8.691E+03	4.440E+03	9.345E+03	9.345E+03	1.681E+03	1.598E+03
補強の有効範囲 Y_1 (mm)								
補強の有効範囲 Y_2 (mm)								
補強の有効範囲 H_1 (mm)								
補強の有効範囲 H_2 (mm)								
容器の有効補強面積 A_1 (mm ²)	4.656E+03	6.562E+03	1.602E+03	5.135E+03	1.543E+03	1.543E+03	130.2	260.1
管台の有効補強面積 (内側) A_2 (mm ²)	445.9	1.220E+03	791.6	809.9	3.466E+03	3.466E+03	0	253.7
管台の有効補強面積 (外側) A_3 (mm ²)	526.0	1.319E+03	1.239E+03	899.3	2.938E+03	4.349E+03	505.2	521.1
強め材の有効補強面積 A_4 (mm ²)	1.100E+03	1.235E+03	5.881E+03	1.166E+03	4.978E+03	4.978E+03	1.767E+03	1.818E+03
補強に有効な総面積 A_0 (mm ²)	6.728E+03	1.033E+04	9.515E+03	8.010E+03	1.292E+04	1.433E+04	2.403E+03	2.853E+03
補強に有効な総面積 A_0' (mm ²)	6.728E+03	1.033E+04	9.515E+03	8.010E+03	1.173E+04	1.314E+04	2.403E+03	2.853E+03
評価： $A_0 > A_r$, $A_0' > 2/3 \cdot A_r$ であること。	○	○	○	○	○	○	○	○

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

- b. 強め材取付部の強さ（設計・建設規格 PVE-3285 及び PVE-3286）
 スリーブ取付部の形状を図 3-6 に示し、寸法を表 3-11 示す。

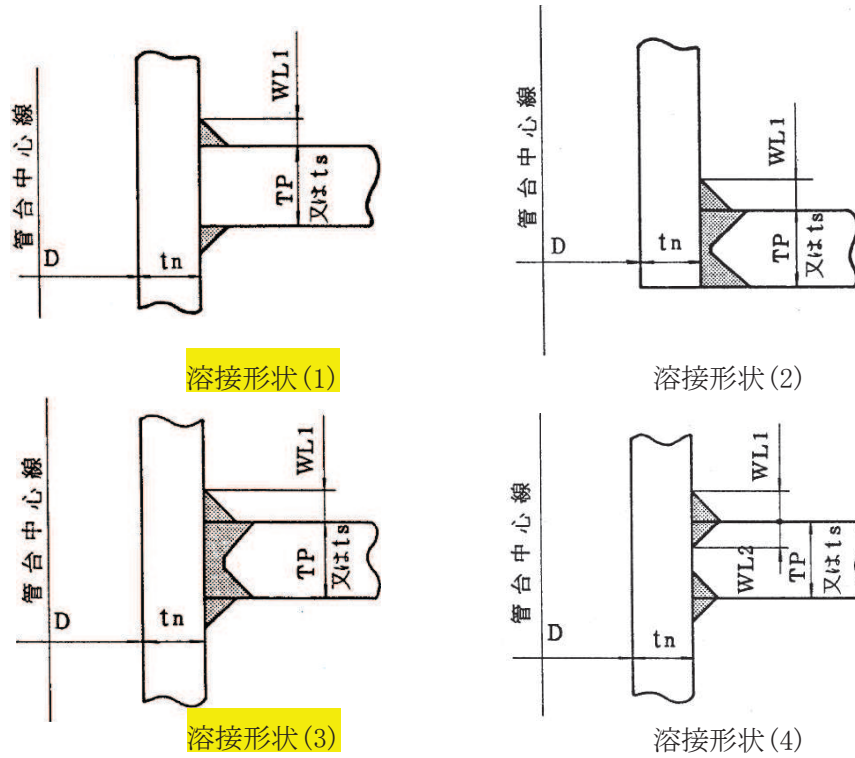


図 3-6 スリーブ取付部の形状

- (a) 強め材取付部の必要強さ

次の 2 式のうちいずれか小さい方の値

$$W_{R1} = (A_5 + A_6 + A_7) \cdot S_n + (AW_1 + AW_2) \cdot S$$

$$W_{R2} = (A_8 - A_9 - A_{10}) \cdot S_s$$

ここで、 S は S_n と S_s の小さい方、 $W_{R2} < 0$ の場合 $W_{R2} = 0$ とする。

$$A_5 = 2 \cdot t_{nm} \cdot H_1 / \cos \gamma \quad (\text{管台に内圧が作用しない場合})$$

$$= 2 \cdot (t_{nm} - t_{nr}) \cdot H_1 / \cos \gamma \quad (\text{管台に内圧が作用する場合})$$

$$A_6 = 2 \cdot t_{nm} \cdot (t_{sm} - t_{sr}) / \cos \gamma$$

$$A_7 = 2 \cdot (t_{nm} - t_{nr}) \cdot H_2 / \cos \gamma$$

$$A_8 = (D + 2 \cdot t_{nm}) \cdot t_{sr} / \cos \gamma$$

$$A_9 = \{2 \cdot Y_1 - (D + 2 \cdot t_{nm}) / \cos \gamma\} \cdot (t_{sm} - t_{sr})$$

$$A_{10} = A_4$$

$$AW_1 = WL_1^2 \quad (\text{溶接形状(2)のとき})$$

$$= 2 \cdot WL_1^2 \quad (\text{溶接形状(1), (3)及び(4)のとき})$$

$$AW_2 = 0$$

ここに、 t_{nm} : t_n の最小厚さ

t_{sm} : t_s の最小厚さ

(b) 強め材取付部の有効強さ

強め材取付部の破断型式を図 3-7 に示す。

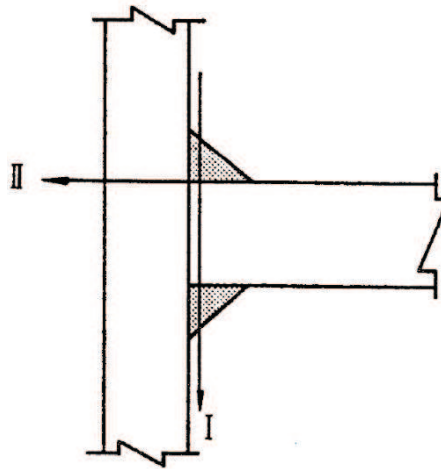


図 3-7 強め材取付部の破断型式

イ. 強め材を取り付ける単位面積当たりの強さ

突合せ溶接部の引張り $S D T = 0.74 \cdot S$

管台壁のせん断 $S N S = 0.70 \cdot S$

すみ肉溶接部のせん断 $S D S = 0.49 \cdot S$

ここで、 S は S_n と S_s の小さい方

ロ. 強め材を取り付ける強さ

(イ) すみ肉溶接部のせん断強さ

$$F W S_1 = \pi / 2 \cdot (D + 2 \cdot t_{nm}) \cdot W L_1 \cdot S D S$$

$$F W S_2 = \pi / 2 \cdot (D + 2 \cdot t_{nm}) \cdot W L_2 \cdot S D S$$

(ロ) 管台壁のせん断強さ

$$N W S = \pi / 2 \cdot (D + t_{nm}) \cdot t_{nm} \cdot S N S$$

(ハ) 突合せ溶接部の引張強さ

$$G W T = \pi / 2 \cdot (D + 2 \cdot t_{nm}) \cdot T P \cdot S D T$$

ハ. 強め材取付部の有効強さ

破断形式 I, II の強め材取付部の有効強さを W_1, W_2 とする。

(イ) 溶接形状 (1) に対して

$$W_1 = 2 \cdot F W S_1$$

$$W_2 = F W S_1 + N W S$$

(ロ) 溶接形状 (2) に対して

$$W_1 = F W S_1 + G W T$$

$$W_2 = F W S_1 + N W S$$

(ハ) 溶接形状(3)に対して

$$W_1 = 2 \cdot FWS_1 + GWT$$

$$W_2 = FWS_1 + NWS$$

(ニ) 溶接形状(4)に対して

$$W_1 = 2 \cdot FWS_1 + 2 \cdot FWS_2$$

$$W_2 = FWS_1 + NWS$$

(c) 結論

強め材取付部の強さの設計基準対象施設の計算結果を表 3-11 に示す。

これより、原子炉格納容器と貫通部取付部の強め材取付部の強さは十分である。

表 3-11 強め材取付部の強さの計算結果(設計基準対象施設)

貫通部番号	X-30B	X-91	X-92, X-93	X-106B	X-230, X-231	X-233	X-243
溶接の脚長 W_{L1} (mm)							
溶接の脚長 W_{L2} (mm)							
溶接部の負うべき荷重 W_R (N)	0	0	3.230E+05	0	4.900E+05	2.370E+03	0
強め材取付部の強さ W_1 (N)	1.788E+06	2.717E+06	2.991E+06	1.061E+06	4.109E+06	6.802E+05	3.008E+05
強め材取付部の強さ W_2 (N)	6.323E+05	1.231E+06	8.304E+05	8.304E+05	2.462E+06	1.910E+05	1.910E+05
評価: $W_R < W_1, W_R < W_2$ であること。	○	○	○	○	○	○	○

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。