

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-08-0035_改0
提出年月日	2021年3月26日

VI-3-3-6-1-4-4 原子炉格納容器電気配線貫通部の基本板厚計算書

02 ③ VI-3-3-6-1-4-4 R1

2021年3月
東北電力株式会社

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 重大事故等対処設備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. 原子炉格納容器電気配線貫通部の基本板厚計算.....	4
3.1 スリーブ	4
3.2 端板	6
3.3 アダプタ及びヘッド.....	9

1. 一般事項

1.1 概要

本計算書は、原子炉格納容器電気配線貫通部の基本板厚計算書である。

原子炉格納容器電気配線貫通部は、設計基準対象施設の原子炉格納容器電気配線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。

以下、重大事故等クラス2容器として添付書類「VI-1-8-1 原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」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」に基づくとともに、添付書類「VI-3-2-8 重大事故等クラス2容器の強度計算方法」に準じて、原子炉格納容器電気配線貫通部の構造強度評価を示す。

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
最高使用圧力		MPa	—	—	有効数字 3 桁
温度		℃	—	—	整数位
許容応力* ¹		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
	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
	最小厚さ	mm	小数点以下第 3 位	切捨て	小数点以下第 2 位
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* ²
	必要な面積	mm ²	有効数字 5 桁目	切上げ	有効数字 4 桁* ²
	有効な面積	mm ²	有効数字 5 桁目	切捨て	有効数字 4 桁* ²
角度		°	小数点以下第 2 位	四捨五入	小数点以下第 1 位

注記*1：告示第 5 0 1 号別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 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。

*2：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 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、以下のとおりとする。

内圧 P	854kPa
温度 T	200℃

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、添付書類「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、告示第 5 0 1 号別表第 10 に規定されている値の 0.6 倍とする。

表 2-1 使用材料表

使用部位	使用材料	温度条件 (℃)	許容引張応力 (MPa)
			$0.6 \cdot S_u^*$
スリーブ, アダプタ	STS42	200	242
ヘッド	SUS304	200	241
端板	SGV49	200	253

注記* : S は $0.6 \cdot S_u$ とする。ここで, S_u は告示第 5 0 1 号別表第 10 に規定されている値である。

3. 原子炉格納容器電気配線貫通部の基本板厚計算

「2. 設計条件」に示す重大事故等時の条件に基づき，原子炉格納容器電気配線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

スリーブの形状を図 3-1 に示し，各寸法を表 3-1 に示す。

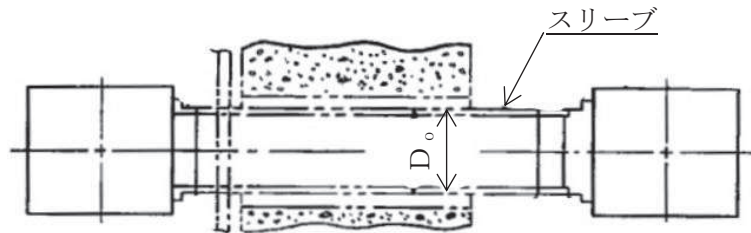


図 3-1 スリーブの形状

(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	必要な厚さ	mm
	t _R	計算上必要な厚さ	mm
	t _R '	規格上必要な最小厚さ	mm

(2) 内圧に対する必要厚さ（告示第 5 0 1 号第 26 条第 1 項第 1 号）

スリーブの内圧に対する必要厚さの算出式を以下に示し，計算結果を表 3-1 に示す。

$$t_R = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

(3) 結論

内圧を受けるスリーブの最小厚さは必要厚さより大きいので，告示第 5 0 1 号の要求を満足している。

表 3-1 スリーブの板厚計算結果

貫通部番号		X-101A~D	X-100A~D, X-102A~E, X-103A~C, X-104A~D, X-105A~D, X-106A, X-250A~B
材料		STS42	STS42
最高使用圧力	P	(MPa)	854×10^{-3}
最高使用温度		(°C)	200
胴の外径	D _o	(mm)	457.20
許容引張応力	S ^{*1}	(MPa)	242
継手効率	η		1.00
継手の種類			継手無し
放射線検査の有無			—
計算上必要な厚さ	t _R	(mm)	0.81
必要厚さ ^{*2}	t _R '	(mm)	3.80
t _R , t _R ' の大きい値	t	(mm)	3.80
呼び厚さ	t _n	(mm)	
最小厚さ	t _{nm}	(mm)	
評価: t _{nm} ≥ t であること。			○ ○

注記*1: Sは0.6・S_uとする。

*2: 告示第501号第26条第1項第3号による必要厚さ。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.2 端板

端板の形状を図 3-2 に示し、各寸法を表 3-2 及び表 3-3 に示す。

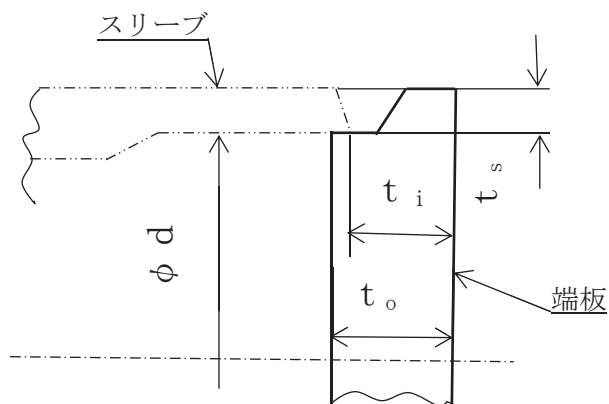


図 3-2 端板の形状

(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 _{or}	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、計算結果を表 3-3 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 5 0 1 号第 24 条第 1 項の取付方法(g)）

ただし、 $t_i \geq 2 \cdot t_{nr}$

$$t_i \geq 1.25 \cdot t_s$$

t_{nr} 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 の確認結果を表 3-2 に示す。

c. 結論

表 3-2 及び表 3-3 より、端板は告示第 5 0 1 号の要求を満足している。

表 3-2 係数Kの確認結果

貫通部番号		X-106A
最小内のり	d (mm)	
スリーブの 計算上必要な厚さ	t_{nr} (mm)	0.56
スリーブの厚さ	t_s (mm)	
$2 \cdot t_{nr}$	(mm)	1.12
$1.25 \cdot t_s$	(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。		○

貫通部番号		X-106A
材料		SGV49
最高使用圧力	P (MPa)	854×10^{-3}
胴の外径	D_o (mm)	318.50
許容引張応力	S^* (MPa)	253
継手効率	η	1.00

注記*：Sは $0.6 \cdot S_u$ とする。

表 3-3 端板の板厚計算結果

貫通部番号	X-106A		
材料	SGV49		
最小内のり	d	(mm)	
最高使用圧力	P	(MPa)	854×10^{-3}
最高使用温度		(°C)	200
係数	K	(-)	0.5
許容引張応力	S *	(MPa)	253
呼び厚さ	t _o	(mm)	
最小厚さ	t _{o m}	(mm)	
計算上必要な厚さ	t _{o r}	(mm)	12.10
評価 : t _{o m} ≥ t _{o r} であること。	○		

注記* : S は $0.6 \cdot S_u$ とする。

3.3 アダプタ及びヘッド

原子炉格納容器電気配線貫通部のアダプタ及びヘッドの形状及び必要厚さに用いる寸法を
図 3-3～図 3-5 に示す。

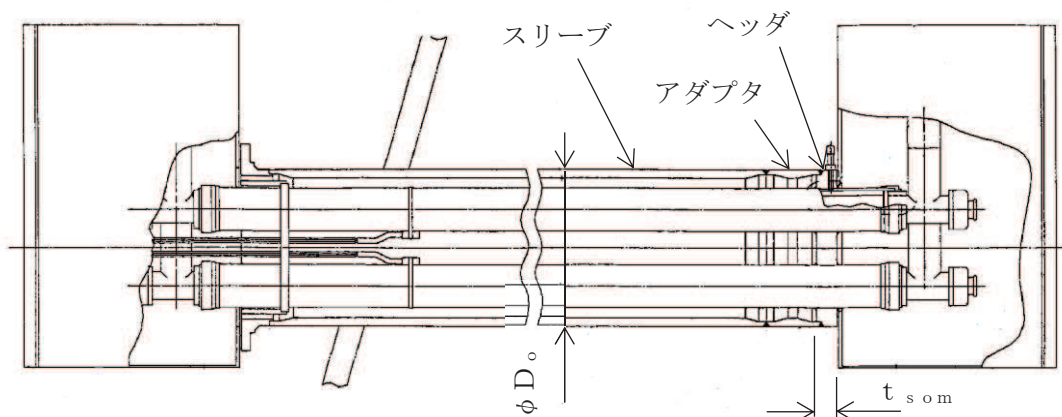


図 3-3 アダプタ及びヘッドの必要厚さの計算に用いる寸法 (貫通部番号 : X-101A～D)

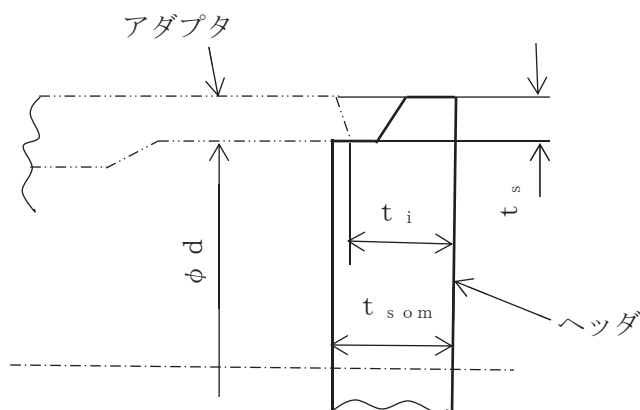


図 3-4 ヘッドの必要厚さの計算に用いる寸法 (貫通部番号 : X-101A～D)

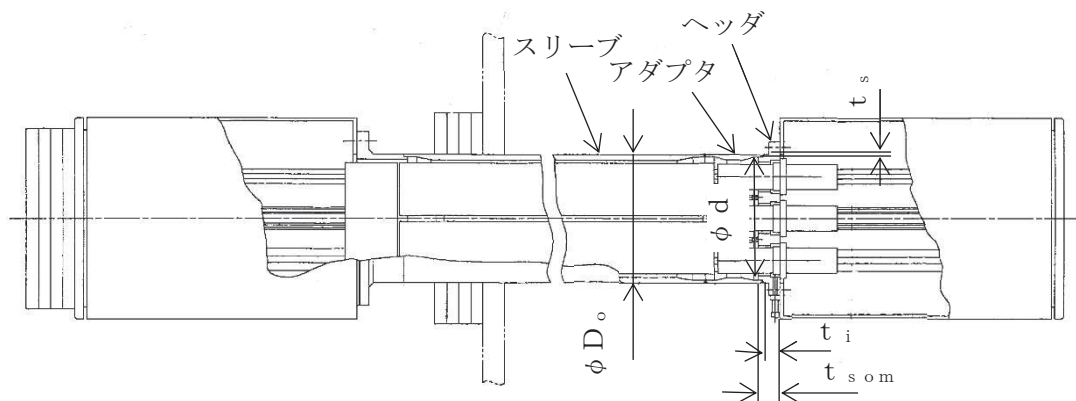


図 3-5 アダプタ及びヘッドの必要厚さの計算に用いる寸法 (貫通部番号 : X-100A～D,
X-102A～E, X-103A～C, X-104A～D, X-105A～D, X-250A～B)

(1) 記号の説明

告示第501号の 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 _R	計算上必要な厚さ	mm
	Y	補強の有効範囲	mm

(2) 内圧に対する必要厚さ

a. アダプタの内圧に対する必要厚さ（告示第501号第26条第1項第1号）

(a) 計算式

内圧に対する必要厚さの算出式を以下に示し、計算結果を表3-4に示す。

$$t_R = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

(b) 結論

表3-4より、アダプタの最小厚さは必要厚さより大きく、告示第501号の要求を満足している。

b. ヘッダの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

内圧に対する必要厚さの算出式を以下に示し、計算結果を表3-6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項の取付方法(g)）

ただし、 $t_i \geq 2 \cdot t_{sor}$

$$t_i \geq 1.25 \cdot t_s$$

t_{sor} はアダプタの計算上必要な厚さを示し、

表3-4に示す t_R の値

係数Kの確認結果を表3-5に示す。

(c) 結論

表3-5及び表3-6より、ヘッダは告示第501号の要求を満足している。

表 3-4 原子炉格納容器電気配線貫通部（アダプタ）の板厚計算結果

貫通部番号		X-101A~D	X-100A~D, X-102A~E, X-103A~C, X-104A~D, X-105A~D, X-250A~B
材料		STS42	STS42
最高使用圧力	P	(MPa)	854×10^{-3}
最高使用温度		(°C)	200
アダプタの外径	D_o	(mm)	457.20
許容引張応力	S^{*1}	(MPa)	242
継手効率	η		1.00
継手の種類			継手無し
放射線検査の有無			—
計算上必要な厚さ	t_R	(mm)	0.81
必要厚さ*2	t_R'	(mm)	3.80
t_R, t_R' の大きい値	t	(mm)	3.80
呼び厚さ	t_n	(mm)	
最小厚さ	t_{nm}	(mm)	
評価： $t_{nm} \geq t$ であること。			○ ○

注記*1：Sは $0.6 \cdot S_u$ とする。

*2：告示第501号第26条第1項第3号による必要厚さ。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-5 原子炉格納容器電気配線貫通部（ヘッド）の係数Kの確認結果

貫通部番号	X-101A~D	X-100A~D, X-102A~E, X-103A~C, X-104A~D, X-105A~D, X-250A~B
平板の径又は最小内のり d (mm)		
アダプタの計算上必要な厚さ $t_{s or}$ (mm)	0.81	0.56
アダプタの厚さ t_s (mm)		
$2 \cdot t_{s or}$ (mm)	1.61	1.12
$1.25 \cdot t_s$ (mm)		
t_i (mm)		
評価： $t_i \geq 2 \cdot t_{s or}$ 及び $t_i \geq 1.25 \cdot t_s$ であること。	○	○

表 3-6 原子炉格納容器電気配線貫通部（ヘッド）の必要厚さ

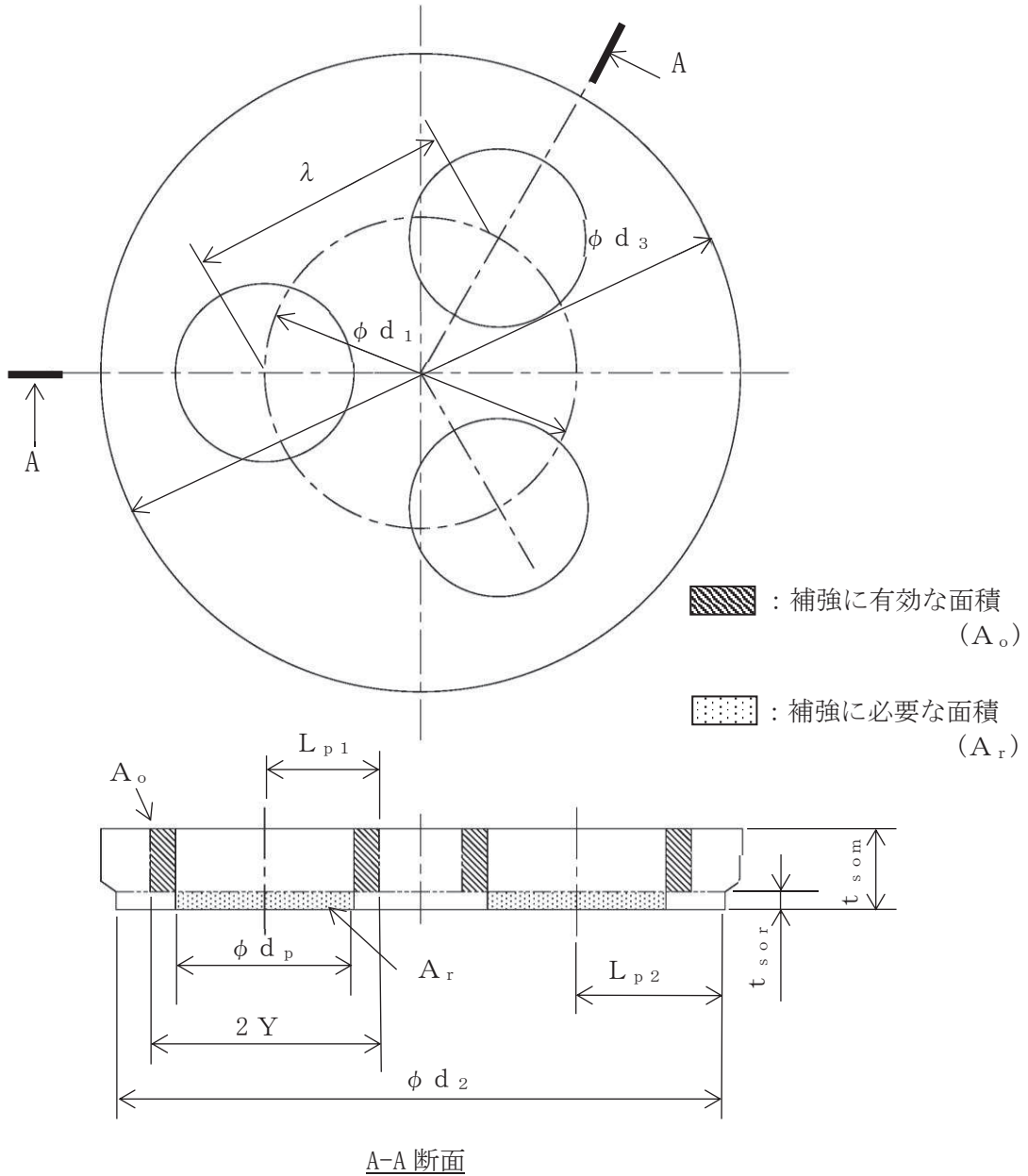
貫通部番号		X-101A~D	X-100A~D, X-102A~E, X-103A~C, X-104A~D, X-105A~D, X-250A~B
材料		SUS304	SUS304
平板の径又は最小内のり	d	(mm)	
最高使用圧力	P	(MPa)	854×10^{-3} 854×10^{-3}
最高使用温度		(°C)	200 200
係数	K	(-)	0.5 0.5
許容引張応力	S*	(MPa)	241 241
呼び厚さ	t _o	(mm)	
最小厚さ	t _{s o m}	(mm)	
計算上必要な厚さ	t _{s o r}	(mm)	18.32 12.63
評価： t _{s o m} ≥ t _{s o r} であること。			○ ○

注記*： Sは0.6・S_uとする。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 穴の補強計算

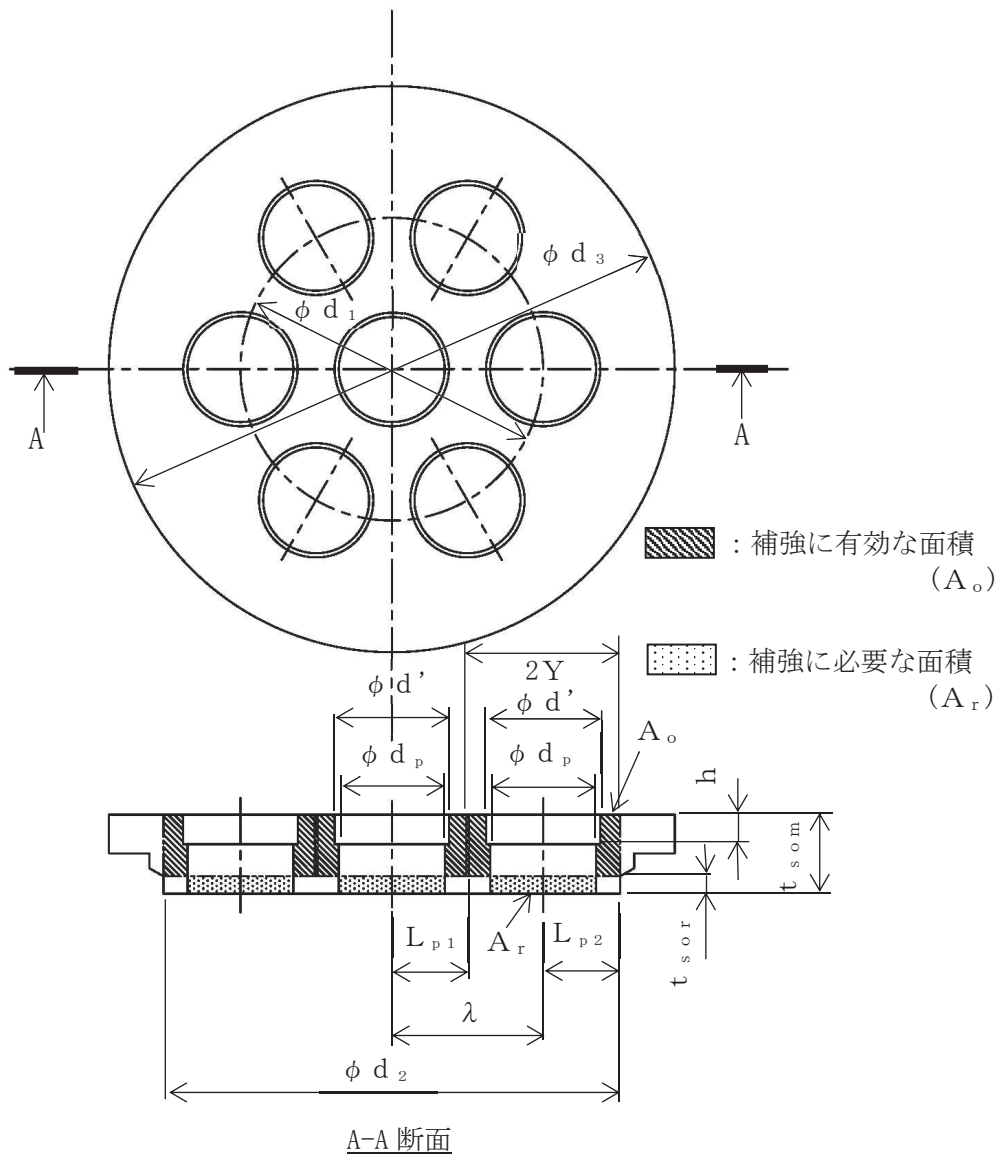
ヘッダ（貫通部番号：X-101A～D）の穴の補強計算に用いる寸法を図 3-6 に、ヘッダ（貫通部番号：X-100A～D, X-102A～E, X-103A～C, X-104A～D, X-105A～D, X-250A～B）の穴の補強計算に用いる寸法を図 3-7 に示す。



$$\begin{aligned}
 t_{s\ o\ m} &= \boxed{} \\
 d_1 &= \boxed{} & d_2 &= \boxed{} & d_3 &= \boxed{} & d_p &= \boxed{} \\
 \lambda &= d_1 \cdot \cos 30^\circ = \boxed{} \\
 L_{p\ 1} &= Y = d_p = \boxed{} & L_{p\ 2} &= (d_2 - d_1) / 2 = \boxed{} \\
 L_{p\ 3} &= \lambda / 2 = \boxed{}
 \end{aligned}$$

図 3-6 ヘッダの穴の補強計算に用いる寸法（貫通部番号：X-101A～D）（単位：mm）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



$t_{s\ o\ m} =$ <input style="width: 60px; height: 20px;" type="text"/>	$h =$ <input style="width: 60px; height: 20px;" type="text"/>	$d_3 =$ <input style="width: 60px; height: 20px;" type="text"/>
$d_1 =$ <input style="width: 60px; height: 20px;" type="text"/>	$d_2 =$ <input style="width: 60px; height: 20px;" type="text"/>	$d' =$ <input style="width: 60px; height: 20px;" type="text"/>
$d_p =$ <input style="width: 60px; height: 20px;" type="text"/>	$\lambda = d_1/2 =$ <input style="width: 60px; height: 20px;" type="text"/>	$L_{p\ 2} = d_2/2 - \lambda =$ <input style="width: 60px; height: 20px;" type="text"/>
$L_{p\ 1} = \lambda/2 =$ <input style="width: 60px; height: 20px;" type="text"/>		

図 3-7 ヘッダの穴の補強計算に用いる寸法 (貫通部番号 : X-100A~D, X-102A~E, X-103A~C, X-104A~D, X-105A~D, X-250A~B) (単位 : mm)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

a. 穴の補強計算（告示第501号第22条第8項第1号）

(a) 補強に必要な面積の1/2

$$\frac{A_r}{2} = \frac{d_p \cdot t_{s o r} \cdot F}{2}$$

ここに、

$t_{s o r}$: ヘッダの計算上必要な厚さ（表 3-7 参照）

F : 係数（1.00 とする。）

(b) 補強に有効な面積

イ. 貫通部番号 X-101A

$$A_o = (2 \cdot Y - d_p) \cdot (t_{s o m} - t_{s o r})$$

ここに、 $t_{s o m}$: 最小厚さ（表 3-6 参照）

Y : ヘッダの面に沿う有効範囲を示し、 d_p とする。

ただし、貫通部番号 : X-101A~D は形状による制限により、

$Y (= d_p = L_{p1}) > L_{p2} > L_{p3}$ であるため、 $Y = L_{p3}$ とする。

ロ. 貫通部番号 X-105A

$$A_o = (2 \cdot Y - d_p) \cdot (t_{s o m} - t_{s o r} - h) + (2 \cdot Y - d') \cdot h$$

ここに、 $t_{s o m}$: 最小厚さ（表 3-6 参照）

Y : ヘッダの面に沿う有効範囲を示し、 d_p とする。

ただし、貫通部番号 : X-100A~D, X-102A~E, X-103A~C, X-104A~D,

X-105A~D, X-250A~B は形状による制限により、

$Y (= d_p) > L_{p1} > L_{p2}$ であるため、 $Y = L_{p2}$ とする。

(c) 結論

穴の補強の計算結果を表 3-7 に示す。

これより、ヘッダの穴の補強は十分である。

b. 隣接する 2 つの穴 (告示第 5 0 1 号第 22 条第 8 項第 2 号)

(a) 隣接する 2 つの穴の中心間の距離 λ

ヘッダ (貫通部番号: X-101A~D) $\lambda = d_1 \cdot \cos 30^\circ$

ヘッダ (貫通部番号: X-100A~D, X-102A~E, X-103A~C,
X-104A~D, X-105A~D, X-250A~B)

$$\lambda = \frac{d_1}{2}$$

(b) 穴の平均径の 1.5 倍 d_m

$$d_m = 1.5 \cdot d_p$$

(c) 2 つの穴の間にある補強に必要な面積の 1/2 A_{fr}

$$A_{fr} = \frac{A_r}{2}$$

(d) 2 つの穴の間にある補強に有効な面積 A_{fo}

$$A_{fo} = \frac{A_o}{2}$$

(e) 結論

隣接する 2 つの穴に対する確認結果を表 3-8 に示す。

これより、ヘッダは、隣接する 2 つの穴の規定を満足している。

c. 補強に有効な面積の制限 (告示第 5 0 1 号第 22 条第 8 項第 5 号)

(a) 穴の中心線の両側に必要な補強面積 A_{er}

$$A_{er} = \frac{A_r}{2}$$

(b) 穴の中心線の両側に有効な面積 A_{eo}

$$A_{eo} = \frac{A_o}{2}$$

(c) 結論

補強に有効な面積の制限に対する確認結果を表 3-9 に示す。

これより、ヘッダは、穴の中心線の両側の補強に対する制限を満足している。

表 3-7 ヘッダの穴の補強計算結果

貫通部番号		X-101A~D	X-100A~D, X-102A~E, X-103A~C, X-104A~D, X-105A~D, X-250A~B
計算による必要厚さ	t_{sor} (mm)	18.32	12.63
補強の有効範囲	Y (mm)		
補強に必要な面積	A_r (mm ²)		
補強に必要な面積の 1/2	$A_r/2$ (mm ²)		
補強に有効な面積	A_o (mm ²)	2.580×10^3	1.085×10^3
評価: $A_o > A_r/2$ であること。		○	○

表 3-8 ヘッダの隣接する 2 つの穴に対する確認結果

貫通部番号		X-101A~D	X-100A~D, X-102A~E, X-103A~C, X-104A~D, X-105A~D, X-250A~B
隣接する 2 つの穴の中心間の距離	λ (mm)		
穴の平均径の 1.5 倍	d_m (mm)		
2 つの穴の間にある補強に必要な面積の 1/2	A_{fr} (mm ²)		
2 つの穴の間にある補強に有効な面積	A_{fo} (mm ²)	1.290×10^3	542.8
評価: $\lambda > d_m, A_{fo} > A_{fr}$ であること。		○	○

表 3-9 ヘッドの補強に有効な面積の制限に対する確認結果

貫通部番号		X-101A~D	X-100A~D, X-102A~E, X-103A~C, X-104A~D, X-105A~D, X-250A~B
穴の中心線の両側に必要な補強面積	A_{e_r}	(mm^2)	
穴の中心線の両側に有効な面積	A_{e_o}	(mm^2)	1.290×10^3 542.8
評価： $A_{e_o} > A_{e_r}$ であること。			○ ○