

## 設 計 条 件

機器番号	E-1350		
適用法規・[規格]	電気事業法 [ JIS B8267 (2008) ]		
種類・形式	横型固定管板式		
伝熱面積	58.4 m <sup>2</sup>		
設置基数	1 基		
	胴側	管側	
流体名称	冷却水	原料ガス	
最高使用圧力	MPa	0.19	2.50
最高使用温度	℃	70	200
運転圧力	MPa	0.1	1.5
運転温度	℃	25→40	120→95
放射線検査	%	20	100
溶接後熱処理	ナシ		ナシ
継手効率 (シェル/ヘッド)	0.95 / -		1.00 / 1.00
腐れしろ	mm	1.5	0.0
水圧試験圧力	MPa	0.25	3.25
気密試験圧力	MPa	0.19	2.50
パス数	1		1

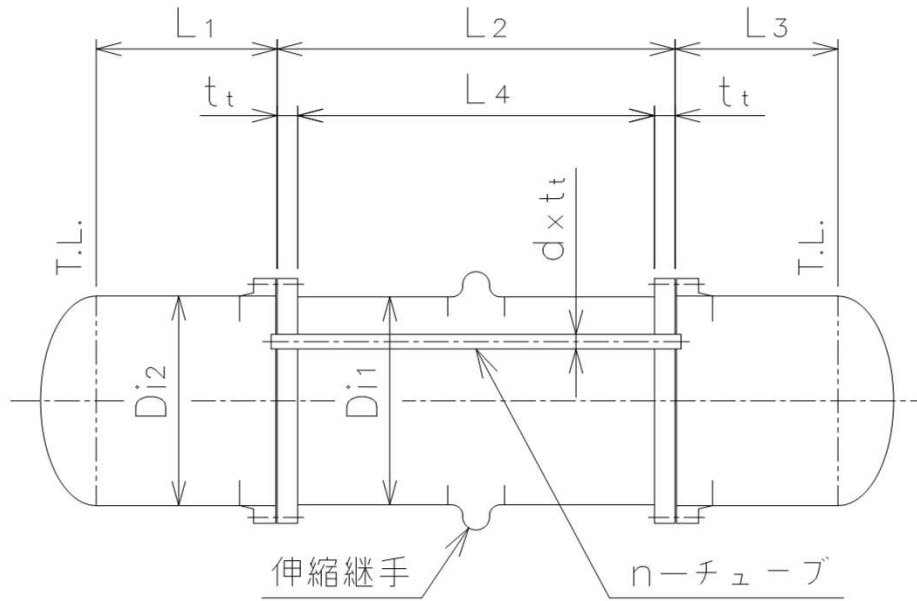
## 主要部の使用材料一覧表

	胴側	管側
胴板及び鏡板	JIS G3103 「ボイラー及び圧力容器用炭素鋼及びモリブデン鋼鋼板」 SB410	JIS G4304 「熱間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯」 SUS304
管台	JIS G3454 「圧力配管用炭素鋼鋼管」 STPG370-S	JIS G3459 「配管用ステンレス鋼鋼管」 SUS304TP-S
	JIS G4051 「機械構造用炭素鋼鋼材」 S25C	
管板	JIS G3214 「圧力容器用ステンレス鋼鍛鋼品」 SUSF304	
伝熱管	JIS G3463 「ボイラ・熱交換器用ステンレス鋼鋼管」 SUS304TB-S	

## 数値の丸め方について

- A. 許容引張応力  
小数点以下第2位までとし、小数点以下第3位目は切り捨て。
- B. 胴、管台および管の計算上必要厚さ  
小数点以下第2位までとし、小数点以下第3位目は切り上げ。
- C. 所要補強面積：A  
整数第1位までとし、小数点以下第1位目は切り上げ。
- D. 有効補強面積：A1～A5  
整数第1位までとし、小数点以下第1位目は切り捨て。
- E. 溶接部の負うべき荷重：W, W1-1, W2-2, W3-3  
整数第1位までとし、小数点以下第1位目は切り上げ。
- F. 溶接部の強度  
整数第1位までとし、小数点以下第1位目は切り捨て。
- G. 最小肉厚  
小数点以下第2位までとし、小数点以下第3位目は切り捨て。

内容積計算



胴内径 シェル側  $Di_1 = 600 \text{ mm}$  , チャンネル側  $Di_2 = 600 \text{ mm}$

胴長  $L_1 = 504.5 \text{ mm}$  ,  $L_2 = 2484 \text{ mm}$  ,  $L_3 = 504.5 \text{ mm}$  ,  
 $L_4 = 2330 \text{ mm}$

管板板厚  $t_s = 77 \text{ mm}$

チューブ 外径  $d = 19 \text{ mm}$  , 板厚  $t_t = 2 \text{ mm}$  , 本数  $n = 420 \text{ 本}$

( シェル側 )

内容積

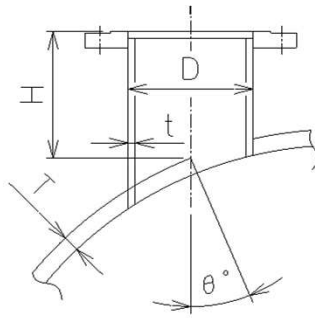
$$\begin{aligned} \text{胴} \quad V_1 &= \frac{\pi}{4} \times ( Di_1^2 - n \times d^2 ) \times L_4 \\ &= \frac{\pi}{4} \times ( 0.600^2 - 420 \times 0.019^2 ) \times 2.33 \\ &= 0.381 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{伸縮継手} \quad V_e = 0.0245 \text{ m}^3$$

$$\text{ノズル} \quad V_{n1} = 0.0039 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{合計} \quad V_s &= V_1 + V_{n1} + V_{n1} \\ &= 0.381 + 0.0245 + 0.0039 \\ &= 0.41 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

ノズル内容積計算



内容積合計 : 0.00390 m<sup>3</sup>

ノズル記号		N-1, N-2	N-5			
呼 径		100A	25A			
本 数 n		2	1			
外 径 D	mm	114.3	34			
板 厚 t	mm	6	4.5			
高 さ H	mm	184	154			
ノズルの取付角度 $\theta$	°	0.0	0.0			
本 体 板 厚 T	mm	6	6			
内径 ① $D-2 \times t$	m	0.10230	0.02500			
断面積 ② $\pi/4 \times \text{①}^2$	m <sup>2</sup>	0.00822	0.00049			
有効長 ③	m	0.19000	0.16000			
内容積 V ②×③×n	m <sup>3</sup>	0.00312	0.00008			

ノズル記号						
呼 径						
本 数 n						
外 径 d	mm					
板 厚 t	mm					
高 さ H	mm					
ノズルの取付角度 $\theta$	°					
本 体 板 厚 T	mm					
内径 ① $D-2 \times t$	m					
断面積 ② $\pi/4 \times \text{①}^2$	m <sup>2</sup>					
有効長 ③	m					
内容積 V ②×③×n	m <sup>3</sup>					

※ ③の有効長は、 $H + T/\cos \theta$  にて求めるか、直接入力とする。

( チャンネル側 )

$$\begin{aligned} \text{胴} \quad V_2 &= \frac{\pi}{4} \times \text{Di}^2 \times ( L_1 + L_3 ) \\ &= \frac{\pi}{4} \times 0.600^2 \times ( 0.5045 + 0.5045 ) \\ &= 0.285 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

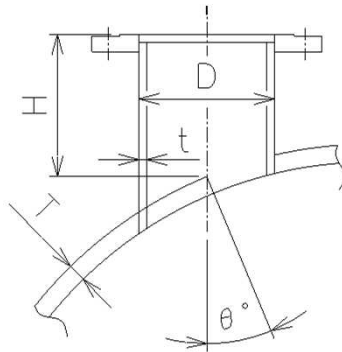
$$\begin{aligned} \text{鏡板} \quad V_3 &= \frac{\pi}{24} \text{Di}^3 \times 2 \\ &= \frac{\pi}{24} \times 0.600^3 \times 2 \\ &= 0.0565 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{チューブ} \quad V_4 &= \frac{\pi}{4} \times ( d - 2 t_t )^2 \times n \\ &= \frac{\pi}{4} \times ( 0.019 - 2 \times 0.002 )^2 \times 420 \\ &= 0.0742 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{ノズル} \quad V_{n2} = 0.00100 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{合計} \quad V_s &= V_2 + V_3 + V_4 + V_{n2} \\ &= 0.285 + 0.0565 + 0.0742 + 0.00100 \\ &= 0.42 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

ノズル内容積計算



内容積合計 : 0.00100 m<sup>3</sup>

ノズル記号	N-3, N-4					
呼 径	50A					
本 数 n	2					
外 径 d	mm	60.5				
板 厚 t	mm	3.9				
高 さ H	mm	152				
ノズルの取付角度 θ	°	0.0				
本 体 板 厚 T	mm	8				
内径 ① D-2×t	m	0.05270				
断面積 ② π/4×① <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	0.00218				
有効長 ③	m	0.16000				
内容積 V ②×③×n	m <sup>3</sup>	0.00070				

ノズル記号						
呼 径						
本 数 n						
外 径 d	mm					
板 厚 t	mm					
高 さ H	mm					
ノズルの取付角度 θ	°					
本 体 板 厚 T	mm					
内径 ① D-2×t	m					
断面積 ② π/4×① <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>					
有効長 ③	m					
内容積 V ②×③×n	m <sup>3</sup>					

※ ③の有効長は、 $H + T/\cos \theta$  にて求めるか、直接入力とする。

円筒胴の胴板

内圧・内径基準  
 $P \leq 0.385 \cdot \sigma_a \cdot \eta$

発電用火力設備の技術基準の解釈 第59条, 第2項 第二号  
 [JIS B 8267 (2008) 圧力容器の設計 5.2.1 a) 附属書 E (規定) E.2.2 a) ]

$$t = \frac{P \cdot Di}{2 \cdot \sigma_a \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

計 算 の 区 分			胴・強め材の計算用	強め材の計算用	胴・強め材の計算用
名 称			シェル	シェル	チャンネル
図 番					
品 番					
設 計 条 件	最高使用圧力	P MPa	0.1900	0.1900	2.5000
	最高使用温度	℃	70.00	70.00	200.00
	使用材料名		SB410	SB410	SUS304
	許容引張応力	$\sigma_a$ N/mm <sup>2</sup>	118.00	118.00	127.00
	溶接継手の種類		突合せ両側溶接	溶接継手なし	突合せ両側溶接
	放射線透過試験の割合		20%	—	100%
	溶接継手の効率	$\eta$	0.95	1.00	1.00
	胴の内径(腐れしろを除く)	Di mm	603.00	603.00	600.00
	腐れしろ	$\alpha$ mm	1.50	1.50	0.00
$0.385 \cdot \sigma_a \cdot \eta$			43.159	45.430	48.895
P ≤ 0.385 · $\sigma_a$ · $\eta$ の検討			条件式を満足	条件式を満足	条件式を満足
計 算	① 1.2 · P		0.228	0.228	3.000
	② 2 · $\sigma_a$ · $\eta$		224.200	236.000	254.000
	③ ② - ①		223.972	235.772	251.000
	④ P · Di		114.570	114.570	1500.000
	t = ④ / ③		0.52	0.49	5.98
	最小厚さ = t + $\alpha$	(*1) mm	4.50	—	5.98
使用厚さ	(*2) mm	6.00 (5.75)	6.00 (5.75)	8.00 (7.35)	

OK OK OK

(\*1) 最小制限厚さ：発電用火力設備の技術基準の解釈 第59条, 第2項 第一号, (容器の胴の最小厚さ)  
 高合金鋼板及び非鉄金属板にあつては 1.5mm、その他の材料にあつては 3.0mm

(\*2) ( )内数値は、板の厚さのマイナス側許容差を除いた値。

## 円筒胴の胴板

内圧・内径基準

$$P \leq 0.385 \cdot \sigma_a \cdot \eta$$

発電用火力設備の技術基準の解釈 第59条, 第2項 第二号

[JIS B 8267 (2008) 圧力容器の設計 5.2.1 a) 附属書 E (規定) E.2.2 a) ]

$$t = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot \sigma_a \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

計 算 の 区 分			胴の計算用			
名 称			チャンネルカバー			
図 番						
品 番						
設 計 条 件	最高使用圧力	P	MPa	0.1900		
	最高使用温度		℃	70.00		
	使用材料名			SUS304		
	許容引張応力	$\sigma_a$	N/mm <sup>2</sup>	138.00		
	溶接継手の種類			溶接継手なし		
	放射線透過試験の割合			—		
	溶接継手の効率	$\eta$		1.00		
	胴の内径(腐れしろを除く)	$D_i$	mm	600.00		
	腐れしろ	$\alpha$	mm	0.00		
計 算	$0.385 \cdot \sigma_a \cdot \eta$			53.130		
	P ≤ 0.385 · $\sigma_a$ · $\eta$ の検討			条件式を満足		
	①	1.2 · P		0.228		
	②	2 · $\sigma_a$ · $\eta$		276.000		
	③	② - ①		275.772		
	④	P · $D_i$		114.000		
		t = ④/③		0.42		
最小厚さ = t + $\alpha$	(*1)	mm	1.50			
使用厚さ	(*2)	mm	8.00 (6.80)			

OK

(\*1) 最小制限厚さ：発電用火力設備の技術基準の解釈 第59条, 第2項 第一号, (容器の胴の最小厚さ)  
高合金鋼板及び非鉄金属板にあつては 1.5mm、その他の材料にあつては 3.0mm

(\*2) ( )内数値は、成形後の最小保証厚さ 又は管の厚さのマイナス側公差12.5% (板厚2mm以下の場合は 0.2mm) を除いた値。



半だ円形鏡板

中低面に圧力を受けるもの  
内径基準  
(ステータによって支えられない鏡板)

発電用火力設備の技術基準の解釈 第60条, 第2項 第一号  
[JIS B 8267 (2008) 圧力容器の設計 5.2.2 c) 附属書 E (規定) E.3.4]

$$t = \frac{P \cdot D \cdot K}{2 \cdot \sigma_a \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$

計 算 の 区 分		鏡板の計算用			
名 称		鏡板			
図 番					
品 番					
設 計 条 件	最高使用圧力	P	MPa	2.5000	
	最高使用温度		℃	200.00	
	使用材料名			SUS304	
	許容引張応力	$\sigma_a$	N/mm <sup>2</sup>	127.00	
	溶接継手の種類			溶接継手なし	
	放射線透過試験の割合			—	
	溶接継手の効率	$\eta$		1.00	
	外面で測っただ円の長径 (腐れしろを除く)	Do	mm	—	
	内面で測っただ円の長径 (腐れしろを除く)	D	mm	600.00	
	内面で測っただ円の 短径の1/2 (腐れしろを除く)	h	mm	150.00	
	腐れしろ	$\alpha$	mm	0.00	
計 算	①	2h		300.000	
	②	D / ①		2.000	
		② ≤ 3.0 (*1)		OK	
	③	2 + (②) <sup>2</sup>		6.000	
		K = ③ / 6		1.000	
	④	0.2・P		0.500	
	⑤	2・ $\sigma_a$ ・ $\eta$		254.000	
	⑥	⑤ - ④		253.500	
	⑦	P・D・K		1500.000	
		t = ⑦ / ⑥		5.92	
最小厚さ = t + $\alpha$			mm	5.92	
継目なし胴の最小厚さ (*2)			mm	5.98	
鏡板の必要最小厚さ			mm	5.98	
使用厚さ			mm	8.00	
成形後の最小保証厚さ			mm	6.80	

OK

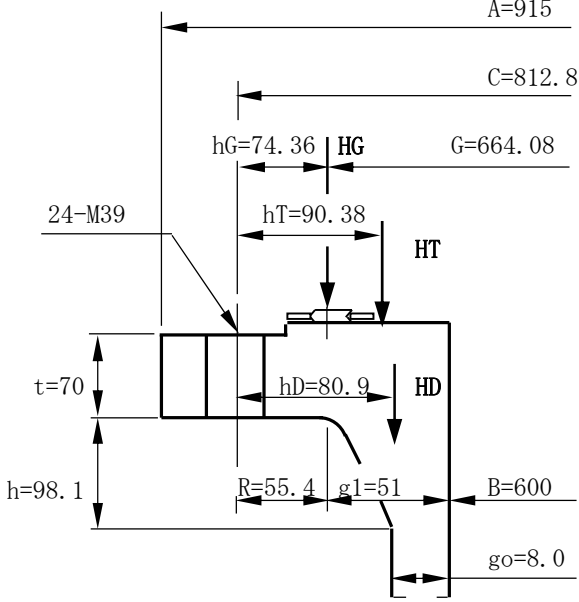
$$K = 1/6 [2 + (D/2h)^2]$$

(\*1) 容器の鏡板の形は次による。

発電用火力設備の技術基準の解釈 第60条, 第1項 第三号  
半だ円形であって, 内面の長径(D)と内面の短径(2h)との比が 3.0以下であるもの。

(\*2) 最小制限厚さ: 発電用火力設備の技術基準の解釈 第59条, 第2項 第一号, (容器の胴の最小厚さ)  
高合金鋼板及び非鉄金属板にあつては 1.5mm、その他の材料にあつては 3.0mm

(管側)				一体形フランジ強度計算 (内圧)				発電用火力設備の技術基準の解釈 第13条 JIS B 8267 (2015) 5.4 附属書G (規定)					
設計条件				ガスケット及びボルト荷重の計算									
最高使用圧力	P	2.5000	MPa	相手フランジのボルト荷重				Wm11	-	N			
最高使用温度		200.00	°C					Wm21	-	N			
常温		20.00	°C	ガスケット材質				bo ≤ 6.35mm	N	27.00	mm		
フランジ材料	SUSF304							b=bo	bo	13.50	mm		
ボルト材料	SNB7			型式 : V#6596V-EEE or EQ. サイズ : t4.5xφ628.6xφ628.6				bo > 6.35mm	b	9.26	mm		
ネック(胴板)材料	SUS304							b=2.52√bo	G	664.08	mm		
腐れしろ		0.00	mm	座面の形状				ガスケット係数		m	3.00		
ボルト材料の許容引張応力	最高使用温度	σb	172.00					N/mm <sup>2</sup>	1a				ガスケット最小締付圧力
	常温	σa	172.00	N/mm <sup>2</sup>	H	πG <sup>2</sup> P/4							865905.9
フランジ材料の許容引張応力	最高使用温度	σfb	96.00	N/mm <sup>2</sup>	Hp				2πbGmP			289782.8	N
	常温	σfa	137.00	N/mm <sup>2</sup>					Wm1	Wm11 又は H+Hp=1155688.7 の大なる値			1155688.7
ネック(胴板)材料の許容引張応力	最高使用温度	σnb	127.00	N/mm <sup>2</sup>	Wm2				Wm21 又は πbGy=1331068.8 の大なる値			1331068.8	N
	常温	σna	138.00	N/mm <sup>2</sup>					Am	Wm1/σb 又は Wm2/σa の大なる値			7738.8
フランジ材料の縦弾性係数	最高使用温度	E	182000	N/mm <sup>2</sup>	Ab				πd <sup>2</sup> n/4=π×34.67 <sup>2</sup> ×24/4 > Am			22657.3	mm <sup>2</sup>
									Wg		(Am+Ab)σa/2		
フランジ板厚	t	70.00	mm	*1) 全ての寸法は腐れ後とする (但しシート面は腐れしろ 0 mm)									
外径	A	915.00	mm										
内径	B	600.00	mm										
ハブ先端厚さ	go	8.00	mm										
ハブ背面厚さ	g1	51.00	mm										
ハブ長さ	h	98.10	mm										
ボルト中心径	C	812.80	mm										
ボルト呼び径		M39											
ボルト谷径	d	34.67	mm										
ボルト本数	n	24										R=(C-B)/2-g1	
使用状態													
フランジの荷重				モーメントアーム				モーメント					
HD	πB <sup>2</sup> P/4	706858.4	N	hD	R+g1/2	80.900	mm	MD	HD・hD	57184845	N・mm		
HG	Wm1-H	289782.8	N	hG	(C-G)/2	74.360	mm	MG	HG・hG	21548250	N・mm		
HT	H-HD	159047.5	N	hT	(R+g1+hG)/2	90.380	mm	MT	HT・hT	14374714	N・mm		
								Mo	MD+MG+MT	93107809	N・mm		
ガスケット締付時													
フランジの荷重				モーメントアーム				モーメント					
Wg		2614064.6	N	hG	(C-G)/2	74.360	mm	Mg	Wg・hG	194381844	N・mm		
形状による係数													
ho=√Bgo		69.282		K=A/B		1.52500							
h/ho		1.4160		T		1.69984							
g1/go		6.3750		U		5.24657							
f		1.0000		Y		4.77439							
F		0.5389		Z		2.50872							
V		0.0176		e=F/ho		0.00778							
d=Uhogo <sup>2</sup> /V		1323079.2		L=(te+1)/T+t <sup>3</sup> /d		1.16785							
KI		0.3											
使用状態													
SHo=fMo/Lg1 <sup>2</sup> B		50.42	N/mm <sup>2</sup>	≤ 1.5σfb		144.00	N/mm <sup>2</sup>						
SRo=(1.33te+1)Mo/Lt <sup>2</sup> B		46.76	N/mm <sup>2</sup>	≤ σfb		96.00	N/mm <sup>2</sup>						
STo=YMo/t2B-ZSRo		33.90	N/mm <sup>2</sup>	≤ σfb		96.00	N/mm <sup>2</sup>						
(SHo+SRo)/2		48.59	N/mm <sup>2</sup>	≤ σfb		96.00	N/mm <sup>2</sup>						
(SHo+STo)/2		42.16	N/mm <sup>2</sup>	≤ σfb		96.00	N/mm <sup>2</sup>						
ガスケット締付時													
SHg=fMg/Lg1 <sup>2</sup> B		105.26	N/mm <sup>2</sup>	≤ 1.5σfa		205.50	N/mm <sup>2</sup>						
SRg=(1.33te+1)Mg/Lt <sup>2</sup> B		97.62	N/mm <sup>2</sup>	≤ σfa		137.00	N/mm <sup>2</sup>						
STg=YMg/t2B-ZSRg		70.77	N/mm <sup>2</sup>	≤ σfa		137.00	N/mm <sup>2</sup>						
(SHg+SRg)/2		101.44	N/mm <sup>2</sup>	≤ σfa		137.00	N/mm <sup>2</sup>						
(SHg+STg)/2		88.02	N/mm <sup>2</sup>	≤ σfa		137.00	N/mm <sup>2</sup>						
SHo及びSHgの応力算出式の B を B1=B+go と読み替える。													
フランジの剛性指数				J=52.14VMo/(LEgo <sup>2</sup> KIho) = 0.31 ≤ 1.0				OK!					



熱交換器その他これに類するものの平らな管板

ステーによって支えない管板

発電用火力設備の技術基準の解釈 第 11 条

[JIS B 8267 (2008) 圧力容器の設計 5.7 附属書 K (規定) ]

次の  $t_1$  又は  $t_2$  のうち大きい方の値

$$t_1 = \frac{F \cdot D}{3} \sqrt{\frac{P}{\eta \cdot \sigma_a}}$$

$$t_2 = \frac{DL \cdot P}{4(1-d_o/pt) \tau_a}$$

ここで、 $DL = 4 \cdot A / C$

※ 下記の条件式を満足する場合は、 $t_2$  の計算を省略できる。

$$1.1(1-d_o/pt)^2 / \eta > P \cdot \sigma_a / \tau_a^2$$

三角ピッチの場合

$$\eta = 1 - 0.907 / (pt/d_o)^2$$

四角ピッチの場合

$$\eta = 1 - 0.785 / (pt/d_o)^2$$

\* 1)  $t_s/D_i = 4.5/603 = 0.0075$  による値で 図 K.2 により  $F = 1.00$

名 称				チューブシート	
図 番					
品 番					
区 分				胴側	管側
設	最高使用圧力	P	MPa	0.1900	2.5000
	最高使用温度		°C	200.00	
計	使用材料名	SUSF304			
	使用温度における管板材料の許容引張応力	$\sigma_a$	N/mm <sup>2</sup>	96.00	
条	使用温度における管板材料の許容せん断応力 (0.8・ $\sigma_a$ )	$\tau_a$	N/mm <sup>2</sup>	76.80	
	管板の外周の固定円の径	D	mm	603.00	664.08
件	一番外側の管の中心を順次結んで得られる多角形の面積	A	mm <sup>2</sup>	112583.00	
	一番外側の管の中心を順次結んで得られる多角形の辺の長さの合計	C	mm	1250.00	
計	管板の取付け方法による係数	F		1	
	伝熱管の外径	d <sub>o</sub>	mm	19.00	
算	伝熱管の配列のピッチ	pt	mm	25.00	
	伝熱管の配列 (四角又三角ピッチ)			三角ピッチ	
件	腐れしろ又は仕切り溝深さの大なる値 (胴側)	$\alpha_1$	mm	0.00	
	腐れしろ又は仕切り溝深さの大なる値 (管側)	$\alpha_2$	mm		0.00
計	$\eta = 1 - 0.907 / (pt/d_o)^2$			0.476	
	① $1.1(1-d_o/pt)^2 / \eta$			0.133	
算	② $P \cdot \sigma_a / \tau_a^2$			0.003	0.041
	① > ② の検討			∴ $t_2$ の計算省略	∴ $t_2$ の計算省略
件	③ $\sqrt{P / (\eta \cdot \sigma_a)}$			0.064	0.234
	④ $F \cdot D / 3$			201.000	221.360
算	$t_1 = ③ \times ④$			12.96	51.77
	DL = $4 \cdot A / C$			—	
件	⑤ DL・P (Pはボルト締めによる相当圧力は考慮不要)			—	—
	⑥ $4(1-d_o/pt) \tau_a$			—	
算	$t_2 = ⑤ / ⑥$			—	—
	最小厚さ ( $t_1$ 又は $t_2$ の大なる値) + $\alpha_1 + \alpha_2$			12.96	51.77
件	使用厚さ			82.00	
				OK	



熱交換器その他これに類するものの平らな管板

ステーによって支えない管板

発電用火力設備の技術基準の解釈 第 11 条  
 [JIS B 8267 (2008) 圧力容器の設計 5.7 附属書 K (規定) ]

次の  $t_1$  又は  $t_2$  のうち大きい方の値

$$t_1 = \frac{F \cdot D}{3} \sqrt{\frac{P}{\eta \cdot \sigma_a}} \quad t_2 = \frac{DL \cdot P}{4(1-d_o/pt) \tau_a} \quad \text{ここで, } DL = 4 \cdot A / C$$

※ 下記の条件式を満足する場合は、 $t_2$  の計算を省略できる。

$$1.1(1-d_o/pt)^2 / \eta > P \cdot \sigma_a / \tau_a^2$$

三角ピッチの場合

$$\eta = 1 - 0.907 / (pt/d_o)^2$$

四角ピッチの場合

$$\eta = 1 - 0.785 / (pt/d_o)^2$$

\* 1) 管板をガスケットにより取り付ける場合で、の場合  $F = 0.00$

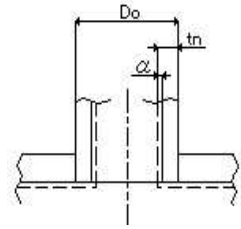
名 称				チューブシート						
図 番										
品 番										
区 分				胴側		管側				
設	最高使用圧力	Ps	Pt	MPa	0.1900	2.5000				
	使用状態での曲げ式イに用いる 相当圧力を含んだ管板の設計圧力	P's <sub>1</sub>	P't <sub>1</sub>	MPa	0.1900	5.1330				
	ガスケット締付時の曲げ式イに用いる 相当圧力を含んだ管板の設計圧力	P's <sub>2</sub>	P't <sub>2</sub>	MPa	0.0000	5.4970				
	最高使用温度				°C	200.00				
計	使用材料名				SUSF304					
	使用温度における管板材料の 許容引張応力	$\sigma_{a1}$	N/mm <sup>2</sup>		96.00					
	常温における管板材料の許容引張応力	$\sigma_{a2}$	N/mm <sup>2</sup>		129.00					
	使用温度における管板材料の 許容せん断応力 (0.8 · $\sigma_a$ )	$\tau_a$	N/mm <sup>2</sup>		76.80					
	管板の外周の固定円の径	G <sub>s</sub>	G <sub>t</sub>	mm	603.00	664.08				
	一番外側の管の中心を順次結んで 得られる多角形の面積	A		mm <sup>2</sup>	112583.00					
	一番外側の管の中心を順次結んで 得られる多角形の辺の長さの合計	C		mm	1250.00					
条	管板の取付け方法による係数	F		1						
	伝熱管の外径	d <sub>o</sub>		mm 19.00						
	伝熱管の配列のピッチ	pt		mm 25.00						
	伝熱管の配列 (四角又三角ピッチ)			三角ピッチ						
	腐れしろ又は仕切り溝深さの 大なる値 (胴側)	$\alpha_1$	mm		0.00					
	腐れしろ又は仕切り溝深さの 大なる値 (管側)	$\alpha_2$	mm		0.00					
	算	$\eta = 1 - 0.785 / (pt/d_o)^2$				0.476				
		① $1.1(1-d_o/pt)^2 / \eta$				0.133				
		② $P \cdot \sigma_{a1} / \tau_a^2$				0.003		0.041		
		① > ② の検討				∴ $t_2$ の計算省略		∴ $t_2$ の計算省略		
③ $FG_s / 3$		③ $FG_t / 3$		201.000		221.360				
状 使 態 用		④ $\sqrt{[P' s_1 / (\eta \cdot \sigma_{a1})]}$		④ $\sqrt{[P' t_1 / (\eta \cdot \sigma_{a1})]}$		0.064		0.335		
		③ × ④		t1s1	t1t1	mm 12.96		74.19		
締 ケ 付 ツ		⑤ $\sqrt{[P' s_2 / (\eta \cdot \sigma_{a2})]}$		⑤ $\sqrt{[P' t_2 / (\eta \cdot \sigma_{a2})]}$		0.000		0.299		
		③ × ⑤		t1s2	t1t2	mm 0.00		66.23		
t1s1, t1s2の うち大なる値		t1t1, t1t2の うち大なる値		t1s	t1t	mm 12.96		74.19		
⑥ $4(1-d_o/pt) \tau_a$				—						
⑦ $DL = 4 \cdot A / C$				—						
⑧ $DL \cdot Ps$		⑧ $DL \cdot Pt$		—		—				
⑧ / ⑥		t2s	t2t	mm —		—				
最小 ① > ② t1s, t1t				ts	tt	mm 12.96		74.19		
厚さ ① ≤ ② t1s又はt2s, t1t又はt2tの大なる値										
最小厚さ (t <sub>s</sub> 又は t <sub>t</sub> の大なる値) + $\alpha_1 + \alpha_2$				mm 74.19						
使用厚さ				mm 82.00						
(注1) ボルト締めによる相当圧力は12頁による。				OK						

管台および管の厚さ

内圧 ・ 外径基準  
 $P \leq 0.385 \cdot \sigma_a \cdot \eta$

発電用火力設備の技術基準の解釈 第67条, 第一号  
 イ 外径と内径の比が 1.5 以下のもの

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot \sigma_a \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$



計 算 の 区 分			管の計算用			
名 称			チューブ			
図 番						
品 番						
設 計 条 件	最高使用圧力	P	MPa	2.5000		
	最高使用温度		℃	200.00		
	使用材料名			SUS304TB-S		
	許容引張応力	$\sigma_a$	N/mm <sup>2</sup>	127.00		
	溶接継手の種類			溶接継手なし		
	放射線透過試験の割合			—		
	溶接継手の効率	$\eta$		1.00		
	管の外径(腐れしろを除く)	$D_o$	mm	19.00		
	腐れしろ	$\alpha$	mm	0.00		
計 算	外径 / 内径 $\leq 1.5$ の適用			1.267 $\leq$ 1.5 適用		
	①	$2 \cdot \sigma_a \cdot \eta$		254.000		
	②	$0.8 \cdot P$		2.000		
	③	①+②		256.000		
	④	$P \cdot D_o$		47.500		
	$t = ④ / ③$				0.19	
最小厚さ = $t + \alpha$			mm	0.19		
使用厚さ		(*1)	mm	2.00 (2.00)		

OK

(\*1) ( )内数値は、管の厚さのマイナス側公差12.5% (板厚4mm以下の場合は 0.5mm) を除いた値。

伸縮継手の要否 (検討)

内 圧 (製作時)

参考文献： 高压ガス保安法令例規集 別添1 特定設備の技術基準の解釈 第17条第1項

1 図番								30 ① $\alpha_s(T_{sm}-T_o)$				0.000138				
2 品番								31 ② $\alpha_t(T_{tm}-T_o)$				0.001476				
設 計 条 件	3 胴の最高使用圧力		$P_s$	MPa	0.1900		32 ③ ①-②				-0.001339					
	4 管の最高使用圧力		$P_t$	MPa	2.5000		33 $\delta = ③ \times \ell$				-3.339					
	5 胴の最高使用温度		$T_s$	°C	70.00		34 $A_s = \pi(D+t_s)t_s$				11422.83					
	6 管の最高使用温度		$T_t$	°C	200.00		35 $A_t = n\pi(d-t_t)t_t$				44861.94					
	7 胴の金属温度		$T_{sm}$	°C	32.50		36 ④ $(D^2-nd^2)P_s$				39592.20					
	8 管の金属温度		$T_{tm}$	°C	107.50		37 ⑤ $n(d-2t_t)^2P_t$				236250.00					
	9 胴板の使用材料名				SB410				38 $P_1 = \pi(④+⑤)/4$				216645.96			
	10 管の使用材料名				SUS304TB-S				39 ⑥ $A_sE_s+A_tE_t$				10768038822			
	11 金属温度における材料の線膨張係数		胴板	$\alpha_s$	/°C	11.00E-06		40 ⑦ ⑥×ℓ				2.68555E+13				
	12 線膨張係数		管	$\alpha_t$	/°C	16.87E-06		41 $F_1 = \delta A_s A_t E_s E_t / ⑦$				-2428960.39				
	13 金属温度における材料の縦弾性係数		胴板	$E_s$	N/mm <sup>2</sup>	202167.00		42 $F_2 = P_1 A_s E_s / ⑥$				46462.01				
	14 縦弾性係数		管	$E_t$	N/mm <sup>2</sup>	188550.00		43 $F_3 = P_1 A_t E_t / ⑥$				170183.95				
	15 最高使用温度における材料の許容引張応力		胴板	$\sigma_{si}$	N/mm <sup>2</sup>	118.00		44 $\sigma_s = (-F_1+F_2)/A_s$				216.71				
	16 許容引張応力		管	$\sigma_{ti}$	N/mm <sup>2</sup>	127.00		45 $\sigma_t = (F_1+F_3)/A_t$				-50.35				
	17 最高使用温度における材料の降伏点又は0.2%耐力		胴板	$\sigma_{sy}$	N/mm <sup>2</sup>	210.43		46 $\sigma_{sa} = 0.3Ests/(D+te)(1+0.004Es/\sigma_{sy})$				123.99				
	18 降伏点又は0.2%耐力		管	$\sigma_{ty}$	N/mm <sup>2</sup>	144.00		47 $\sigma_{ta}$ は次頁による				59.95				
	19 胴の内径		D	mm	600.00		許容圧縮応力		48 胴板 ( $\sigma_{si}$ 又は $\sigma_{sa}$ の小さな値)		$\sigma_{sc}$	N/mm <sup>2</sup>	118.00			
	20 胴板の厚さ		$t_s$	mm	6.00		49 管 ( $\sigma_{ti}$ 又は $\sigma_{ta}$ の小さな値)		$\sigma_{tc}$	N/mm <sup>2</sup>	59.95					
	21 管の外径		d	mm	19.00		50 ⑧ $ -F_1 + F_2 $				2475422.40					
	22 管の厚さ		$t_t$	mm	2.00		51 ⑨ $ F_1 + F_3 $				2258776.44					
23 管の数		n	本	420		52 W (⑧又は⑨の大なる値)				2475422.40						
24 胴又は管の常温における長さ		ℓ	mm	2494.00		管の取付方法		53 ころ広げ		$\sigma_o = W / \pi dn\ell e$	N/mm <sup>2</sup>	---				
25 常温		$T_o$	°C	20.00		溶		54 $\sigma_o = W / \pi dnt_w$		N/mm <sup>2</sup>	49.38					
26 管の取付方法 (下記参照)				(4)				接		55 $\sigma_{fw} = 0.49\sigma_{ti}$		N/mm <sup>2</sup>	62.23			
27 管をころ広げによって取り付ける場合		ころ広げ長さ	ℓ <sub>e</sub>	mm	---		56 $\delta = 0$ の場合				---					
28 管を溶接によって取り付ける場合		管取付部の許容応力	$\sigma_{fe}$	N/mm <sup>2</sup>	62.23		$\delta > 0$ の場合		57 $ \sigma_s  > \sigma_{sc}$ 又は $\sigma_t > \sigma_{ti}$ の場合		---					
29 管を溶接して取り付ける場合		管取付溶接部の寸法	$t_w$	mm	2.00		$\delta < 0$ の場合		58 $ \sigma_s  \leq \sigma_{sc}$ かつ $\sigma_t \leq \sigma_{ti}$ の場合		---					
							59 $\sigma_s > \sigma_{si}$ 又は $ \sigma_t  > \sigma_{tc}$ の場合				要					
							60 $\sigma_s \leq \sigma_{si}$ かつ $ \sigma_t  \leq \sigma_{tc}$ の場合				---					
							管による取付方法		61 $\sigma_{fe} < \sigma_o$ の場合		---					
							ころ広げ		62 $\sigma_{fe} \geq \sigma_o$ の場合		---					
							溶		63 $\sigma_{fw} < \sigma_o$ の場合		---					
							接		64 $\sigma_{fw} \geq \sigma_o$ の場合		否					
管の取付方法										65 伸縮継手の要否の判定				要		
(1) 管穴にグループを設けなでころ広げを行った場合 設計圧力1.6MPa以下または設計温度235°C以下の場合 $\sigma_{fe} \leq 2.5 \text{ N/mm}^2$																
(2) 管穴にグループを設けてころ広げを行った場合 $\sigma_{fe} \leq 4.9 \text{ N/mm}^2$																
(3) ころ広げを行い縁曲げを行った場合 $\sigma_{fe} \leq 5.9 \text{ N/mm}^2$																
(4) 管を溶接して取り付けた場合 $\sigma_{fw} \leq 0.49\sigma_{ti} \text{ N/mm}^2$ ここで、 $\sigma_{ti}$ = 管の許容引張応力 (N/mm <sup>2</sup> )																

管の許容座屈応力の算出

参考文献 : 高圧ガス保安法令例規集 [別添1]第11条 □

条件式

$$\sqrt{\frac{2\pi^2 E_t}{\sigma_{ty}}} \leq \frac{K \ell_b}{i}$$

但し

$$i = \frac{\sqrt{d^2 + (d - 2t_t)^2}}{4}$$

(1) 条件式を満足する

$$\sigma_{ta1} = \frac{\pi^2 E_t}{2 \left(\frac{K \ell_b}{i}\right)^2}$$

(2) 条件式を満足しない

$$\sigma_{ta2} = \frac{\sigma_{ty}}{2} \left( 1 - \frac{\frac{K \ell_b}{i}}{2 \sqrt{\frac{2\pi^2 E_t}{\sigma_{ty}}}} \right)$$

[1]	管の材質	SUS304TB-S				
[2]	最高使用温度	°C	200.00			
[3]	管の外径	d	mm	19.00		
[4]	管の厚さ	t <sub>t</sub>	mm	2.00		
[5]	管の最高使用温度における縦弾性係数	E <sub>t</sub>	N/mm <sup>2</sup>	182000.00		
[6]	管の最高使用温度における降伏点	σ <sub>ty</sub>	N/mm <sup>2</sup>	144.00		
[7]	(1)	d <sup>2</sup>	361.00			
[8]	(2)	(d-2t <sub>t</sub> ) <sup>2</sup>	225.00			
[9]	(3)	(1)+(2)	586.00			
[10]	管の断面二次半径 i=√(3) /4			6.05		
[11]	条件式 √(2π <sup>2</sup> E <sub>t</sub> /σ <sub>ty</sub> )			157.95		
	管の支持方法		管板間	管板とバッフル間	バッフル間	
[12]	管の支持方法の係数	K	---	0.8	1.0	
[13]	管の支持長さ	ℓ <sub>b</sub>	mm	400.00	194.00	
[14]	K・ℓ <sub>b</sub> /i			52.88	32.06	
[15]	判定			---	満足しない	満足しない
[16]	(1)式の場合	σ <sub>ta1</sub>	N/mm <sup>2</sup>	---	---	---
[17]	(2)式の場合	σ <sub>ta2</sub>	N/mm <sup>2</sup>	---	59.95	64.69
[18]	管の許容座屈応力			σ <sub>ta</sub>	N/mm <sup>2</sup>	59.95

※管板間にバッフルを設ける場合は、管板間に関する評価は行わない。



伸縮継手の要否 (検討)

内 圧 (腐れ後)

参考文献： 高压ガス保安法令例規集 別添1 特定設備の技術基準の解釈 第17条第1項

1 図番								30 ① $\alpha_s(T_{sm}-T_o)$				0.000138				
2 品番								31 ② $\alpha_t(T_{tm}-T_o)$				0.001476				
設 計 条 件	3 胴の最高使用圧力		$P_s$	MPa	0.1900		32 ③ ①-②				-0.001339					
	4 管の最高使用圧力		$P_t$	MPa	2.5000		33 $\delta = ③ \times \ell$				-3.339					
	5 胴の最高使用温度		$T_s$	°C	70.00		34 $A_s = \pi(D+t_s)t_s$				8588.33					
	6 管の最高使用温度		$T_t$	°C	200.00		35 $A_t = n\pi(d-t_t)t_t$				44861.94					
	7 胴の金属温度		$T_{sm}$	°C	32.50		36 ④ $(D^2-nd^2)P_s$				40277.91					
	8 管の金属温度		$T_{tm}$	°C	107.50		37 ⑤ $n(d-2t_t)^2P_t$				236250.00					
	9 胴板の使用材料名				SB410				38 $P_1 = \pi(④+⑤)/4$				217184.51			
	10 管の使用材料名				SUS304TB-S				39 ⑥ $A_sE_s+A_tE_t$				10194996062			
	11 金属温度における材料の線膨張係数		胴板	$\alpha_s$	/°C	11.00E-06		40 ⑦ ⑥×ℓ				2.54263E+13				
	12 線膨張係数		管	$\alpha_t$	/°C	16.87E-06		41 $F_1 = \delta A_s A_t E_s E_t / ⑦$				-1928878.64				
	13 金属温度における材料の縦弾性係数		胴板	$E_s$	N/mm <sup>2</sup>	202167.00		42 $F_2 = P_1 A_s E_s / ⑥$				36987.99				
	14 縦弾性係数		管	$E_t$	N/mm <sup>2</sup>	188550.00		43 $F_3 = P_1 A_t E_t / ⑥$				180196.52				
	15 最高使用温度における材料の許容引張応力		胴板	$\sigma_{si}$	N/mm <sup>2</sup>	118.00		44 $\sigma_s = (-F_1 + F_2) / A_s$				228.90				
	16 許容引張応力		管	$\sigma_{ti}$	N/mm <sup>2</sup>	127.00		45 $\sigma_t = (F_1 + F_3) / A_t$				-38.98				
	17 最高使用温度における材料の降伏点又は0.2%耐力		胴板	$\sigma_{sy}$	N/mm <sup>2</sup>	210.43		46 $\sigma_{sa} = 0.3E_s t_s / (D+te) (1+0.004E_s / \sigma_{sy})$				92.77				
	18 降伏点又は0.2%耐力		管	$\sigma_{ty}$	N/mm <sup>2</sup>	144.00		47 $\sigma_{ta}$ は次頁による				59.95				
	19 胴の内径		D	mm	603.00		許容圧縮応力		48 胴板 ( $\sigma_{si}$ 又は $\sigma_{sa}$ の小さな値)		$\sigma_{sc}$	N/mm <sup>2</sup>	92.77			
	20 胴板の厚さ		$t_s$	mm	4.50		49 管 ( $\sigma_{ti}$ 又は $\sigma_{ta}$ の小さな値)		$\sigma_{tc}$	N/mm <sup>2</sup>	59.95					
	21 管の外径		d	mm	19.00		50 ⑧ $ -F_1 + F_2 $				1965866.63					
	22 管の厚さ		$t_t$	mm	2.00		51 ⑨ $ F_1 + F_3 $				1748682.12					
23 管の数		n	本	420		52 W (⑧又は⑨の大なる値)				1965866.63						
24 胴又は管の常温における長さ		ℓ	mm	2494.00		管の取付方法		53 広こ げ 溶 接 $\sigma_o = W / \pi dn \ell e$		N/mm <sup>2</sup>		---				
25 常温		$T_o$	°C	20.00		54 溶 接 $\sigma_o = W / \pi d n t_w$		N/mm <sup>2</sup>		39.21						
26 管の取付方法 (下記参照)				(4)				55 接 $\sigma_{fw} = 0.49 \sigma_{ti}$		N/mm <sup>2</sup>		62.23				
27 管をころ広げによって取り付ける場合		ころ広げ長さ	ℓ <sub>e</sub>	mm	---		56 $\delta = 0$ の場合				---					
28 管を溶接によって取り付ける場合		管取付部の許容応力	$\sigma_{fe}$	N/mm <sup>2</sup>	62.23		$\delta > 0$ の場合		57 $ \sigma_s  > \sigma_{sc}$ 又は $\sigma_t > \sigma_{ti}$ の場合		---					
29 管を溶接して取り付ける場合		管取付溶接部の寸法	$t_w$	mm	2.00		58 $ \sigma_s  \leq \sigma_{sc}$ かつ $\sigma_t \leq \sigma_{ti}$ の場合				---					
管の取付方法						$\delta < 0$ の場合		59 $\sigma_s > \sigma_{si}$ 又は $ \sigma_t  > \sigma_{tc}$ の場合				要				
(1) 管穴にグループを設けなでころ広げを行った場合で設計圧力1.6MPa以下または設計温度235°C以下の場合		$\sigma_{fe} \leq 2.5 \text{ N/mm}^2$				60 $\sigma_s \leq \sigma_{si}$ かつ $ \sigma_t  \leq \sigma_{tc}$ の場合				---						
(2) 管穴にグループを設けてころ広げを行った場合		$\sigma_{fe} \leq 4.9 \text{ N/mm}^2$				管による取付方法		61 ころ広げ 溶 接 $\sigma_{fe} < \sigma_o$ の場合				---				
(3) ころ広げを行い縁曲げを行った場合		$\sigma_{fe} \leq 5.9 \text{ N/mm}^2$				62 ころ広げ 溶 接 $\sigma_{fe} \geq \sigma_o$ の場合				---						
(4) 管を溶接して取り付けた場合		$\sigma_{fw} \leq 0.49 \sigma_{ti} \text{ N/mm}^2$				63 溶 接 $\sigma_{fw} < \sigma_o$ の場合				---						
ここで、 $\sigma_{ti}$ = 管の許容引張応力 (N/mm <sup>2</sup> )						64 接 $\sigma_{fw} \geq \sigma_o$ の場合				否						
65 伸縮継手の要否の判定										要						

管の許容座屈応力の算出

参考文献 : 高圧ガス保安法令例規集 [別添1]第11条 □

条件式

$$\sqrt{\frac{2\pi^2 E_t}{\sigma_{ty}}} \leq \frac{K \ell_b}{i}$$

但し

$$i = \frac{\sqrt{d^2 + (d - 2t_t)^2}}{4}$$

(1) 条件式を満足する

$$\sigma_{ta1} = \frac{\pi^2 E_t}{2 \left(\frac{K \ell_b}{i}\right)^2}$$

(2) 条件式を満足しない

$$\sigma_{ta2} = \frac{\sigma_{ty}}{2} \left( 1 - \frac{\frac{K \ell_b}{i}}{2 \sqrt{\frac{2\pi^2 E_t}{\sigma_{ty}}}} \right)$$

[1]	管の材質	SUS304TB-S				
[2]	最高使用温度	℃	200.00			
[3]	管の外径	d	mm	19.00		
[4]	管の厚さ	t <sub>t</sub>	mm	2.00		
[5]	管の最高使用温度における縦弾性係数	E <sub>t</sub>	N/mm <sup>2</sup>	182000.00		
[6]	管の最高使用温度における降伏点	σ <sub>ty</sub>	N/mm <sup>2</sup>	144.00		
[7]	(1)	d <sup>2</sup>	361.00			
[8]	(2)	(d-2t <sub>t</sub> ) <sup>2</sup>	225.00			
[9]	(3)	(1)+(2)	586.00			
[10]	管の断面二次半径 i = √(3) / 4			6.05		
[11]	条件式 √(2π <sup>2</sup> E <sub>t</sub> /σ <sub>ty</sub> )			157.95		
	管の支持方法		管板間	管板とバッフル間	バッフル間	
[12]	管の支持方法の係数	K	---	0.8	1.0	
[13]	管の支持長さ	ℓ <sub>b</sub>	mm	400.00	194.00	
[14]	K・ℓ <sub>b</sub> /i		---	52.88	32.06	
[15]	判定		---	満足しない	満足しない	
[16]	(1)式の場合	σ <sub>ta1</sub>	N/mm <sup>2</sup>	---	---	
[17]	(2)式の場合	σ <sub>ta2</sub>	N/mm <sup>2</sup>	59.95	64.69	
[18]	管の許容座屈応力			σ <sub>ta</sub>	N/mm <sup>2</sup>	59.95

※管板間にバッフルを設ける場合は、管板間に関する評価は行わない。

圧力容器の伸縮継手

JIS B8277 6.4 補強リングを持たないU形状ベローズの設計

1 名称				伸縮継手						0.00 ≤ 0.10	
2 図面番号										50.0 ≥ 19.8	
3 部品番号										0.0 OK!	
条 言	4	ベローズの設計圧力	内圧	P	MPa	0.1900		32		$ 1 - r_{ic}/r_{ir}  \leq 0.10$	
	5		外圧	P <sub>o</sub>	MPa	0.0000		33		波形の半径	
	6	ベローズの設計温度	T	°C	70.0		34		中間位置での側壁の傾き角	α	°
	7	ベローズの使用材料			SB410		35		ベローズの山の高さ	w ≤ D <sub>b</sub> /3	
	8	押さえリングの使用材料			---		36		成形肉減りを考慮したベローズ	t <sub>p</sub>	mm
	9	設計温度におけるベローズ材の許容引張応力	S	N/mm <sup>2</sup>	118.00		37		1層あたりの厚さ	t√D <sub>b</sub> /D <sub>m</sub>	
	10	設計温度における押さえリングの許容引張応力	S <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	---		38		ベローズ1山あたりの断面積	A	mm <sup>2</sup>
	11	設計温度におけるベローズ材の縦弾性係数	E <sub>b</sub>	N/mm <sup>2</sup>	199800.00		39		補強リング1個の断面積	A <sub>r</sub>	mm <sup>2</sup>
	12	室温におけるベローズ材の縦弾性係数	E <sub>o</sub>	N/mm <sup>2</sup>	203000.00		40		補強リング1個の締結部材の断面積	A <sub>f</sub>	mm <sup>2</sup>
	13	設計温度における押さえリングの縦弾性係数	E <sub>c</sub>	N/mm <sup>2</sup>	---		41		補強リング締結材の有効長さ	L <sub>f</sub>	mm
	14	末端平行部の内径	D <sub>b</sub>	mm	603.00		42		AE <sub>b</sub> /A <sub>r</sub> E <sub>r</sub>	R <sub>1</sub>	
	15	ベローズの山の高さ	w	mm	109.00		43		AE <sub>b</sub> /D <sub>m</sub> (L <sub>f</sub> /A <sub>f</sub> E <sub>f</sub> +D <sub>m</sub> /A <sub>r</sub> E <sub>r</sub> )	R <sub>2</sub>	
	16	ベローズの波形頂部の半径	r <sub>ic</sub>	mm	50.00		44		一体形補強リングの場合 R=R <sub>1</sub>	R	
	17	ベローズの波形底部の半径	r <sub>ir</sub>	mm	50.00		45		締結材補強リングの場合 R=R <sub>2</sub>		
	18	平均ベローズの波形半径	r <sub>i</sub>	mm	50.00		46		L <sub>t</sub> /1.5√D <sub>b</sub> t		0.211
	19	ベローズの山のピッチ	q	mm	218.00		47		min.(L <sub>t</sub> /1.5√D <sub>b</sub> t, 1.0)	k	
	20	ベローズの板厚(腐れしをを除く)	t <sub>o</sub>	mm	7.50		48		① (D <sub>b</sub> + nt) <sup>2</sup> L <sub>t</sub> E <sub>b</sub> k		3.13327E+11
	21	ベローズの成形後の板厚(腐れしをを除く)	t	mm	6.60		49		② D <sub>c</sub> <sup>2</sup> L <sub>t</sub> E <sub>c</sub> k		---
	22	ベローズの山数	N		1		50		③ nt(D <sub>b</sub> + nt)L <sub>t</sub> E <sub>b</sub>		16077346560
	23	ベローズの層数	n		1		51		④ t <sub>c</sub> D <sub>c</sub> L <sub>c</sub> E <sub>c</sub> k		---
	24	U形状ベローズの平均径	D <sub>m</sub>	mm	718.60		52		内圧によって生じるベローズ末端部の周方向応力	1/2P①/(③+④)	σ <sub>1</sub> N/mm <sup>2</sup>
	25	ベローズの末端平行部の長さ	L <sub>t</sub>	mm	20.00		53		σ <sub>1</sub> ≤ S		1.86 ≤ 118.00
	26	ベローズの山の平行部の長さ	L <sub>s</sub>	mm	0.00		54		内圧によって生じる押さえリングの周方向応力	1/2P②/(③+④)	σ <sub>1'</sub> N/mm <sup>2</sup>
	27	ベローズの全長	L	mm	258.00		55		σ <sub>1'</sub> ≤ C <sub>wc</sub> S <sub>c</sub>		---
	28	ベローズ押さえリングの厚さ	t <sub>c</sub>	mm	---		56		① qD <sub>m</sub> + L <sub>t</sub> (D <sub>b</sub> +nt)		168846.80
	29	押さえリングの平均径	D <sub>c</sub>	mm	---		57		② A + nt <sub>p</sub> L <sub>t</sub>		2192.72
	30	ベローズ押さえリングの幅	L <sub>c</sub>	mm	---		58		内圧によって生じるベローズ端山部の周方向応力	1/2×①/②P	σ <sub>2,E</sub> N/mm <sup>2</sup>
	31	長手溶接継手係数	C <sub>wc</sub>		---		59		σ <sub>2,E</sub> ≤ S		7.32 ≤ 118.00
							60		内圧によって生じるベローズ中間山部の周方向応力	1/2qD <sub>m</sub> P/A	σ <sub>2,I</sub> N/mm <sup>2</sup>
							61		σ <sub>2,I</sub> ≤ S		7.19 ≤ 118.00

計  
算

圧力容器の伸縮継手

JIS B8277 6.4 補強リングを持たないU形状ベローズの設計

60	$0.3 - \{100 / (1048P^{1.5} + 320)\}$	$C_r$		0.054					$L / D_{eq}$ 85 (最大50, 最小0.05)			---
61	$q/2w$	$C_1$		1.000					86 $D_{eq} / e_{eq}$			---
62	$q/2 \cdot 2\sqrt{D_m t_p}$	$C_2$		1.503					形状による係数 87 (JIS B8265 附属書E 図E.9による)	A		---
63	図7における値	$C_p$		0.394					形状による係数 88 (JIS B8265 附属書E 図E.10による)	B		---
64	図8における値	$C_f$		0.640					縦弾性係数 89 (Bの値が図中に示されていない場合)	E		---
65	図9における値	$C_d$		2.000					0.5EA 90 (Bの値が図中に示されていない場合)	B		---
66	内圧によって生じるベローズ部の子午線方向膜応力 $wP/2nt_p$	$\sigma_3$	$N/mm^2$	1.72					91 ① $4Bt$			---
67	内圧によって生じるベローズ部の子午線方向曲げ応力 $1/2n(w/t_p)^2 C_p P$	$\sigma_4$	$N/mm^2$	12.15					92 ② $3Do$			---
68	$\sigma_3 + \sigma_4$		$N/mm^2$	13.87					93 $Pa = ① / ②$			---
69	係数 冷間加工 : 3.0 加工後熱処理: 1.5	$K_f$		3.0					94 $Pa \geq P$ の検討			---
70	判定 $\sigma_3 + \sigma_4 \leq K_f S$			$13.87 \leq 354.00$					ベローズ1山当たりの 95 軸方向相当変位量	$\Delta q$	mm	3.34
71	ベローズのポアソン比	$\nu_b$		0.3					96 $1/2E_b t_p^2 / \{(w - C_r q)^3 C_f\} \Delta q$	$\sigma_5$	$N/mm^2$	20.77
72	ベローズの曲げ定数 $\pi / \{2(1 - \nu_b^2)\}$ $(n/N) E_b D_m (t_p/w)^3$ $\times 1/C_f$	$K_b$		66216.7					97 $5/3E_b t_p / \{(w - C_r q)^2 C_d\} \Delta p$	$\sigma_6$	$N/mm^2$	355.91
73	ベローズ材の設計温度における有効降伏強度	$S_v$	$N/mm^2$	199.80					ベローズの圧力及び伸縮による全応力変動範囲 98 $0.7(\sigma_3 + \sigma_4) + \sigma_5 + \sigma_6$	$S_t$	$N/mm^2$	386.39
74	$\sqrt{4.72NK_b q^2 / S_v D_b A}$	$C_z$		7.714					99 疲労強度低減係数	$K_g$		1.00
75	圧最高許力容 $N_q/D_b \leq C_z$ の場合 $0.34 \pi K_b / N_q$	$P_{SC}$	MPa	324.4442					100 疲労繰返し回数許容 対し 数許容 $K_g (E_o/E_b) S_t \geq 448N/mm^2$ の場合 $[35850 / \{K_g (E_o/E_b) S_t - 264\}]^2$	$N_{a1w}$		---
76	圧最高許力容 $N_q/D_b > C_z$ の場合 $0.87AS_v/D_b q (1 - 0.73N_q/C_z D_b)$	$P_{SC}$	MPa	---					101 対し 数許容 $211N/mm^2 < K_g (E_o/E_b) S_t \leq 448N/mm^2$ の場合 $[46200 / \{K_g (E_o/E_b) S_t - 211\}]^2$	$N_{a1w}$		6473815
77	判定 $P \leq P_{SC}$		MPa	$0.1900 \leq 324.4442$					102 対し 数許容 $K_g (E_o/E_b) S_t \leq 211N/mm^2$ の場合 $10^6$	$N_{a1w}$		---
78	$1/3 \sigma_4 / \sigma_{2,I}$	$\delta$		0.563								
79	$1 + 2\delta^2 + \sqrt{(1 - 2\delta^2 + 4\delta^4)}$	$\alpha$		2.511								
80	平面不安定変形を起こさないための最高許容圧力 $(\pi - 2)AS_v/D_m q \sqrt{\alpha}$	$P_{si}$	MPa	1.9035								
81	判定 $P \leq P_{si}$		MPa	$0.1900 \leq 1.9035$								
82	ベローズ1山当たりの断面二次モーメント $nt_p [(2w - q)^3 / 48 + 0.4q(w - 0.2q)^2]$	$I_{xx}$	$mm^4$	---								
83	相当厚さ $3\sqrt{\{12(1 - \nu_b^2) I_{xx} / q\}}$	$e_{eq}$	mm	---								
84	相当外径 $D_b + w + 2e_{eq}$	$D_{eq}$	mm	---								

計

算

計

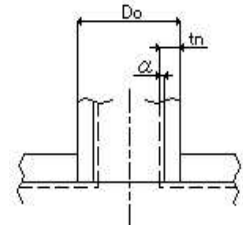
算

管台および管の厚さ

内圧・外径基準  
 $P \leq 0.385 \cdot \sigma_a \cdot \eta$

発電用火力設備の技術基準の解釈 第67条, 第一号  
 イ 外径と内径の比が 1.5 以下のもの

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot \sigma_a \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$



計算の区分			管の計算用		管の計算用		管の計算用	
名称			N-1, N-2 ノズル		N-5 ノズルネック		N-5 ノズルボス	
図番								
品番								
設計条件	最高使用圧力	P	MPa	0.1900	0.1900	0.1900	0.1900	
	最高使用温度		℃	70.00	70.00	70.00	70.00	
	使用材料名			STPG370-S	STPG370-S	S25C		
	許容引張応力	$\sigma_a$	N/mm <sup>2</sup>	106.00	106.00	110.00		
	溶接継手の種類			溶接継手なし	溶接継手なし	溶接継手なし		
	放射線透過試験の割合			—	—	—		
	溶接継手の効率	$\eta$		1.00	1.00	1.00		
	管の外径(腐れしろを除く)	$D_o$	mm	114.30	34.00	46.00		
	腐れしろ	$\alpha$	mm	1.50	1.50	1.50		
外径 / 内径 $\leq 1.5$ の適用			1.085 $\leq 1.5$ 適用		1.214 $\leq 1.5$ 適用		1.227 $\leq 1.5$ 適用	
計算	①	$2 \cdot \sigma_a \cdot \eta$		212.000	212.000	220.000		
	②	$0.8 \cdot P$		0.152	0.152	0.152		
	③	① + ②		212.152	212.152	220.152		
	④	$P \cdot D_o$		21.717	6.460	8.740		
	t	④ / ③		0.11	0.04	0.04		
最小厚さ = t + $\alpha$			mm	1.61	1.54	1.54		
使用厚さ			(*1)	mm	6.00 (5.25)	4.50 (3.93)	5.75 (5.75)	

OK

OK

OK

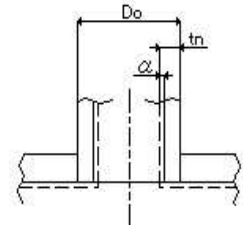
(\*1) ( )内数値は、管の厚さのマイナス側公差12.5% (板厚4mm以下の場合には 0.5mm) を除いた値。  
 または、板の厚さのマイナス側公差を除いた値。

管台および管の厚さ

内圧・外径基準  
 $P \leq 0.385 \cdot \sigma_a \cdot \eta$

発電用火力設備の技術基準の解釈 第67条, 第一号  
 イ 外径と内径の比が 1.5 以下のもの

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot \sigma_a \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$



計 算 の 区 分			管の計算用			
名 称			N-3, N-4 ノズル			
図 番						
品 番						
設 計 条 件	最高使用圧力	P	MPa	2.5000		
	最高使用温度		℃	200.00		
	使用材料名			SUS304TP-S		
	許容引張応力	$\sigma_a$	N/mm <sup>2</sup>	127.00		
	溶接継手の種類			溶接継手なし		
	放射線透過試験の割合			—		
	溶接継手の効率	$\eta$		1.00		
	管の外径(腐れしろを除く)	$D_o$	mm	60.50		
	腐れしろ	$\alpha$	mm	0.00		
計 算	外径 / 内径 $\leq 1.5$ の適用			1.148 $\leq 1.5$ 適用		
	①	$2 \cdot \sigma_a \cdot \eta$		254.000		
	②	$0.8 \cdot P$		2.000		
	③	①+②		256.000		
	④	$P \cdot D_o$		151.250		
	$t = ④ / ③$				0.60	
最小厚さ = $t + \alpha$			mm	0.60		
使用厚さ		(*1)	mm	3.90 (3.40)		

OK

(\*1) ( )内数値は、管の厚さのマイナス側公差12.5% (板厚4mm以下の場合は 0.5mm) を除いた値。



穴の補強（補強板形）

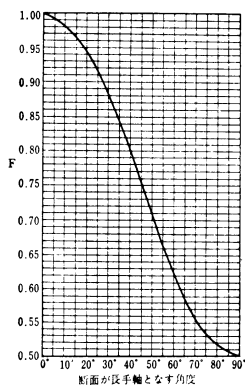
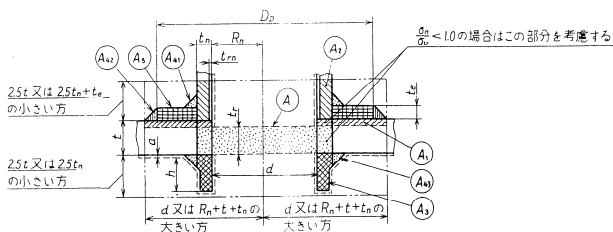
内 圧

(大径穴:内径1500mm以下の胴に設けた穴:  $d < \text{内径} \times 1/2$ , 又は穴径 500mm以下)

発電用火力設備の技術基準の解釈 第 59 条, 第3項 (∴ 穴の寸法制限(大径穴)に該当しない)  
 [JIS B 8267 (2008) 圧力容器の設計 5.5 附属書 F (規定) ]

穴の補強に必要な断面積  
 胴板(内圧)  $A = d \cdot tr \cdot F + 2 \cdot tn \cdot tr \cdot F(1-fr1)$

設計 条件	図 番			設計 条件	腐れしろ	$\alpha$	mm	1.50	
	品 番				溶接金属部分の寸法	a	mm	6.00	
	計 算 の 区 分				溶接金属部分の寸法	b	mm	5.00	
	名 称 (ノズル記号)				溶接金属部分の寸法	c	mm	0.00	
	最高使用温度				溶接継手効率	$\eta$		1.00	
	当該断面が長手軸となす角度				必要断面積	A	mm <sup>2</sup>	52.05	
	図により得られる係数				範囲 補強 の有効 範囲の 検有 討効	補強の有効範囲	Y	mm	105.30
	胴・ 鏡板					補強の有効範囲	H1	mm	11.25
						補強の有効範囲	H2	mm	0.00
	管 台				係低 数減	$\sigma n / \sigma v$	fr1		0.90
						$\sigma n / \sigma v$ 又は $\sigma p / \sigma v$ いずれ小なる値	fr2		0.90
	強 め 材					$\sigma p / \sigma v$	fr3		1.00
					管 台			穴の 補強 に有 効な 断面 積	(A1)
	強 め 材								(A2)
					管 台				(A3)
強 め 材			(A41)	× fr2					mm <sup>2</sup>
			管 台			(A42)	× fr3		mm <sup>2</sup>
強 め 材						(A43)	× fr2		mm <sup>2</sup>
			管 台			(A5)	: [min. (2Y, Dp) - Dn] te · fr3		mm <sup>2</sup>
強 め 材						① A1 ~ A5 の合計			mm <sup>2</sup>
			管 台			判定	① $\geq A$ の検討		① $\geq A$ OK
強 め 材						必要断面積	2/3A	mm <sup>2</sup>	---
			管 台			断有 面積 効	A1' 0.5d(η t-Ftr)-2tn(η t-Ftr)(1-fr1)		---
強 め 材							A5' [min(Dp, 1.5·d)-Dn] te · fr3		---
			管 台			② A2+A3+A41+A43+A1' +A5'		---	
強 め 材						判定	② $\geq 2/3A$ の検討		---



- ※1 穴が長手継手又は胴板と鏡板との周継手を通らない場合、1.0
- ※2 次の算式により得られる断面積のいずれか大なるもの  

$$= d(\eta t-Ftr)-2tn(\eta t-Ftr)(1-fr1)$$

$$= 2(t+tn)(\eta t-Ftr)-2tn(\eta t-Ftr)(1-fr1)$$
- ※3 次の算式により得られる断面積のいずれか小なるもの  

$$= 5(tn-trn)fr1 \cdot t$$

$$= 2(tn-trn)(2.5tn+te)fr1$$



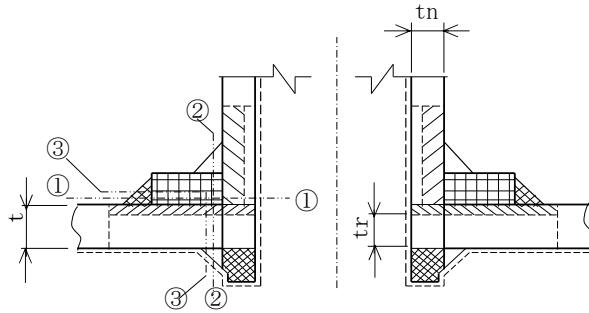
ノズルネック及び強め材を取り付ける溶接継手の強度

(セットインタイプの場合)

発電用火力設備の技術基準の解釈 第 59 条, 第3項  
 [JIS B 8267 (2008) 圧力容器の設計 5.5 附属書 F (規定) F.13]

N-1, N-2ノズル(100A)

t	=	4.5 mm
Dn	=	114.3 mm
d	=	105.3 mm
tn	=	4.5 mm
Dp	=	210 mm
te	=	6 mm
$\sigma v$	=	118 N/mm <sup>2</sup>
[材料：SB410]		
$\sigma n$	=	106 N/mm <sup>2</sup>
[材料：STPG370-S]		
$\sigma p$	=	118 N/mm <sup>2</sup>
[材料：SB410]		



	A1		A41	(各溶接部のすみ肉脚長)
	A2		A42	h41 = 6 mm
	A3		A43	h42 = 5 mm
	A5			h43 = 0 mm

A	=	52.05 mm <sup>2</sup>
A1	=	418.58 mm <sup>2</sup>
A2	=	90.95 mm <sup>2</sup>
A3	=	0.00 mm <sup>2</sup>
A5	=	574.20 mm <sup>2</sup>
A41	=	36.00 mm <sup>2</sup>
A42	=	25.00 mm <sup>2</sup>
A43	=	0.00 mm <sup>2</sup>

1) 取付溶接継手を支えるべき全荷重 : W

$$W = \{A - (d - 2t_n)(\eta t - F_{tr})\} \sigma_a = \{52.05 - (105.3 - 2 \times 4.5)(1 \times 4.5 - 1 \times 0.49)\} \times 118 = -39426 \text{ N}$$

2) 荷重方向①-①, ②-② 及び③-③に対する溶接継手の荷重成分

$$W_{1-1} = (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \sigma_a = (90.95 + 574.2 + 36 + 25) \times 118 = 85686 \text{ N}$$

$$W_{2-2} = (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2t_n \cdot t \cdot fr_1) \sigma_a = (90.95 + 0 + 36 + 0 + 2 \times 4.5 \times 4.5 \times 0.898305084745763) \times 118 = 19274 \text{ N}$$

$$W_{3-3} = (A_2 + A_3 + A_5 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + 2t_n \cdot t \cdot fr_1) \sigma_a = (90.95 + 0 + 574.2 + 36 + 25 + 0 + 2 \times 4.5 \times 4.5 \times 0.898305084745763) \times 118 = 89979 \text{ N}$$

補強当て板の強度の計算に用いる、開先又はすみ肉溶接の許容応力

開先溶接の引張応力	$\sigma g$	=	0.74 × 106 [Min. ( $\sigma v, \sigma n$ )]	=	78.44 N/mm <sup>2</sup>
A41箇所のすみ肉溶接のせん断応力	$\tau_{41}$	=	0.49 × 106 [Min. ( $\sigma n, \sigma p$ )]	=	51.94 N/mm <sup>2</sup>
A42箇所のすみ肉溶接のせん断応力	$\tau_{42}$	=	0.49 × 118 [Min. ( $\sigma v, \sigma p$ )]	=	57.82 N/mm <sup>2</sup>
A43箇所のすみ肉溶接のせん断応力	$\tau_{43}$	=	0.49 × 106 [Min. ( $\sigma v, \sigma n$ )]	=	51.94 N/mm <sup>2</sup>

接続部材の強度

(a) A41(管台外側の溶着)のすみ肉溶接のせん断

$$F_{41} = \pi/2 \times D_n \times h_{41} \times \tau_{41} = \pi/2 \times 114.3 \times 6 \times 51.94 = 55952 \text{ N}$$

(b) A42(補強板取付け溶着)のすみ肉溶接のせん断

$$F_{42} = \pi/2 \times D_p \times h_{42} \times \tau_{42} = \pi/2 \times 210 \times 5 \times 57.82 = 95365 \text{ N}$$

(c) A43(管台内側の溶着)のすみ肉溶接のせん断

$$F_{43} = \pi/2 \times D_n \times h_{43} \times \tau_{43} = \pi/2 \times 114.3 \times 0 \times 51.94 = 0 \text{ N}$$

(d) 開先溶接の引張り (胴板部：完全溶込み)

$$F_{\sigma} = \pi/2 \times D_n \times t \times \sigma_g = \pi/2 \times 114.3 \times 4.5 \times 78.44 = 63374.74 \text{ N}$$

※ 溶接金属のノド厚さの検討

0.7tm1(max.6)	=	3.15 mm ≤ h41ノド厚さ	=	4.24 mm ∴OK
0.5tm2	=	2.25 mm ≤ h42ノド厚さ	=	3.53 mm ∴OK

tm1:管台, 本体 の厚さの小なる値(max19)	=	4.5 mm
tm2:本体, 補強板の厚さの小なる値(max19)	=	4.5 mm

強度通路の強度チェック

①-① : F42	=	95365 N ≥ W1-1	=	85686 N ∴OK
②-② : F41 + F $\sigma$ + F43	=	119327 N ≥ W2-2	=	19274 N ∴OK
③-③ : F43 + F $\sigma$ + F42	=	158739 N ≥ W3-3	=	89979 N ∴OK

補強板の外周のすみ肉溶接のせん断力の強さチェック	=	95365 N ≥ A5 · $\sigma_p$ = 67755.6 N	∴OK
--------------------------	---	---------------------------------------	-----

∴ 各方向の溶接部の強さが W 又は Wn-n 以上であるから 溶接接合部の強さは、十分である。

## 規格フランジ一覧表

## 設計条件

		胴側	管側
最高使用圧力	P MPa	0.19	2.50
最高使用温度	℃	70	200

## ノズルリスト

## 胴側

ノズル記号	N-1, N-2ノズル	N-5ノズル			
図番					
品番					
呼称	100A	25A			
規格名	JPI#150	JPI#150			
種類	WN. RF	WN. RF			
材料	SFVC2A	SFVC2A			
備考					

## 管側

ノズル記号	N-3, N-4ノズル				
図番					
品番					
呼称	50A				
規格名	JPI#300				
種類	WN. RF				
材料	SUSF304				
備考					

ノズル記号					
図番					
品番					
呼称					
規格名					
種類					
材料					
備考					

∴ 発電用火力設備の技術基準の解釈 第13条, 第1項 第三号により、フランジは下記の通りJPIの規定の制限圧力以下での使用のため、計算は省略出来る。

JPI規格フランジ：JPI 2011 圧力・温度基準（材料区分：1.1）

70℃における許容圧力 = 1.86 MPa  $\geq$  0.19 MPa

∴ 発電用火力設備の技術基準の解釈 第13条, 第1項 第三号により、フランジは下記の通りJPIの規定の制限圧力以下での使用のため、計算は省略出来る。

JPI規格フランジ：JPI 2011 圧力・温度基準（材料区分：2.1）

200℃における許容圧力 = 3.45 MPa  $\geq$  2.50 MPa