

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 3-004-02改01
提出年月日	2022年10月17日

VI-3-3-2-2-1-1 燃料プール冷却系熱交換器の強度計算書

S2 補 VI-3-3-2-2-1-1 R0

2022年10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。

まえがき

本計算書は、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」及びVI-3-2-7「重大事故等クラス2容器の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

機器名	既設 or 新設	施設時の 技術基準 に対象と する施設 の規定が あるか	クラスアップするか					条件アップするか				既工認に おける 評価結果 の有無	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価 区分	評価 クラス	
			クラス アップ の有無		施設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	条件 アップ の有無	DB条件		SA条件						
			管側	胴側					圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)						温度 (℃)
燃料プール冷却系 熱交換器	既設	有	管側	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.37	66	1.37	66	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2
			胴側	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.37	85	1.37	85	—	S55告示	設計・建設規格 又は告示	—	SA-2

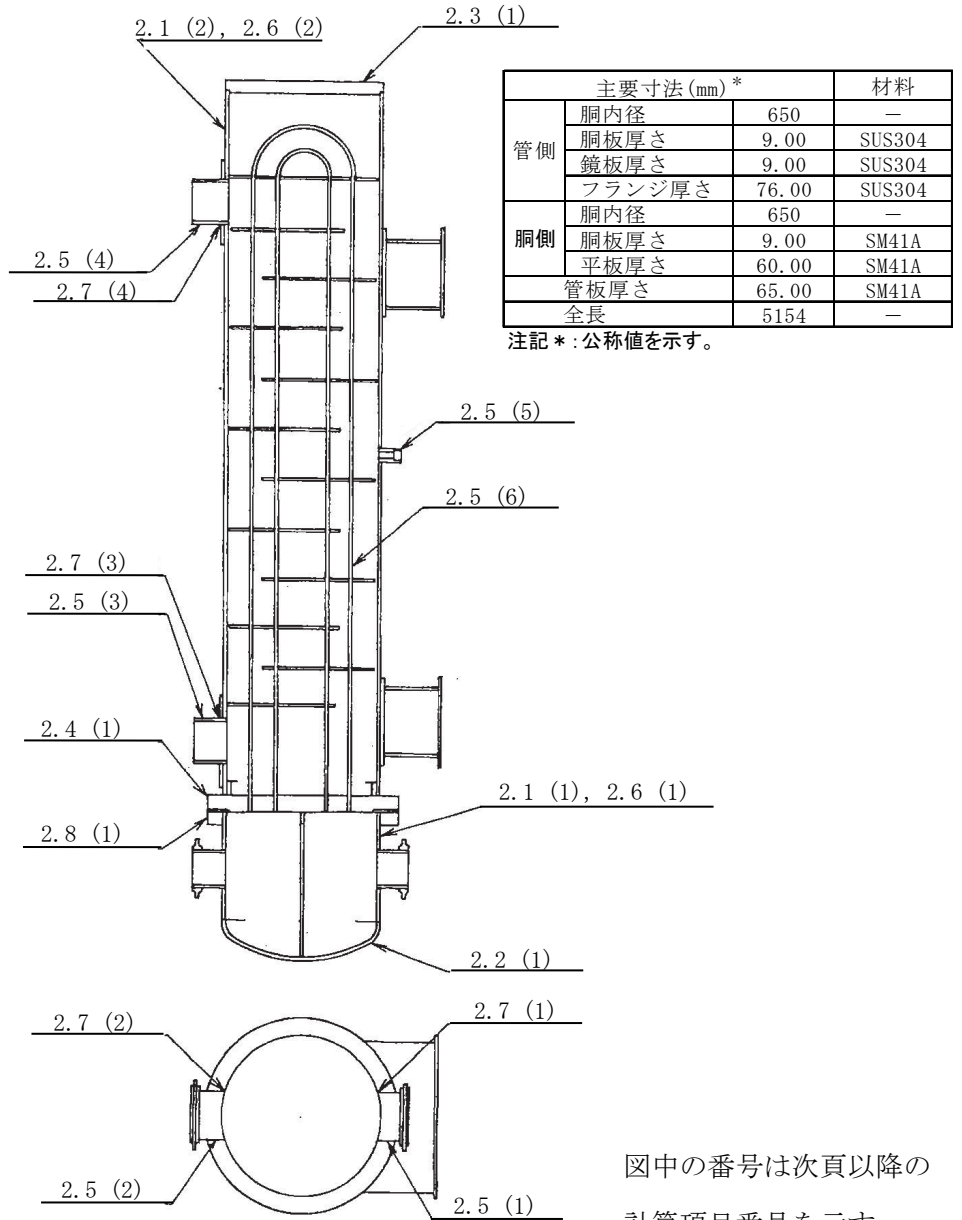
## 目 次

1. 計算条件	1
1.1 計算部位	1
1.2 設計条件	1
2. 強度計算	2
2.1 容器の胴の厚さの計算	2
2.2 容器の鏡板の厚さの計算	4
2.3 容器の平板の厚さの計算	5
2.4 容器の管板の厚さの計算	6
2.5 容器の管台の厚さの計算	7
2.6 容器の補強を要しない穴の最大径の計算	13
2.7 容器の穴の補強計算	15
2.8 容器のフランジの計算	23
2.9 設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価	25

1. 計算条件

1.1 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。



図中の番号は次頁以降の  
計算項目番号を示す。

図1-1 概要図

1.2 設計条件

最高使用圧力 (MPa)	管側	1.37
	胴側	1.37
最高使用温度 (°C)	管側	66
	胴側	85

2. 強度計算

2.1 容器の胴の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3120

胴板名称	(1) 管側胴板		
材料	SUS304		
最高使用圧力	P	(MPa)	1.37
最高使用温度		(°C)	66
胴の内径	D <sub>i</sub>	(mm)	650.00
許容引張応力	S	(MPa)	126
継手効率	$\eta$		0.70
継手の種類	突合せ両側溶接		
放射線検査の有無	無し		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	1.50
必要厚さ	t <sub>2</sub>	(mm)	5.10
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> の大きい値	t	(mm)	5.10
呼び厚さ	t <sub>so</sub>	(mm)	9.00
最小厚さ	t <sub>s</sub>	(mm)	<input type="text"/>
評価: t <sub>s</sub> ≥ t, よって十分である。			

容器の胴の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3120

胴板名称	(2) 胴側胴板		
材料	SM41A		
最高使用圧力	P	(MPa)	1.37
最高使用温度		(°C)	85
胴の内径	D <sub>i</sub>	(mm)	650.00
許容引張応力	S	(MPa)	100
継手効率	η		1.00
継手の種類	突合せ両側溶接		
放射線検査の有無	有り		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	3.00
必要厚さ	t <sub>2</sub>	(mm)	4.49
t <sub>1</sub> , t <sub>2</sub> の大きい値	t	(mm)	4.49
呼び厚さ	t <sub>s o</sub>	(mm)	9.00
最小厚さ	t <sub>s</sub>	(mm)	<input type="text"/>
評価：t <sub>s</sub> ≥ t, よって十分である。			

2.2 容器の鏡板の厚さの計算

(イ) 設計・建設規格 PVC-3210

鏡板の形状

鏡板名称		(1) 管側鏡板
鏡板の外径	$D_{oc}$ (mm)	668.00
鏡板の中央部における内面の半径	$R$ (mm)	650.00
鏡板のすみの丸みの内半径	$r$ (mm)	65.00
$3 \cdot t_{co}$	(mm)	27.00
$0.06 \cdot D_{oc}$	(mm)	40.08
評価： $D_{oc} \geq R$ , $r \geq 3 \cdot t_{co}$ , $r \geq 0.06 \cdot D_{oc}$ , $r \geq 50\text{mm}$ , よってさら形鏡板である。		

(ロ) 設計・建設規格 PVC-3220

鏡板の厚さ

鏡板名称		(1) 管側鏡板
材料		SUS304
最高使用圧力	$P$ (MPa)	1.37
最高使用温度	( $^{\circ}\text{C}$ )	66
胴の内径	$D_i$ (mm)	650.00
さら形鏡板の形状による係数	$W$	1.54
許容引張応力	$S$ (MPa)	126
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	$t_1$ (mm)	3.56
必要厚さ	$t_2$ (mm)	5.45
$t_1, t_2$ の大きい値	$t$ (mm)	5.45
呼び厚さ	$t_{co}$ (mm)	9.00
最小厚さ	$t_c$ (mm)	<input type="text"/>
評価： $t_c \geq t$ , よって十分である。		

2.3 容器の平板の厚さの計算

(イ) 告示第501号第34条第1項

取付け方法及び穴の有無

平板名称	(1) 胴側平板		
平板の取付け方法	(i)		
平板の穴の有無	無し		
溶接部の寸法	$t_i$	(mm)	51.00
胴又は管の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	4.49
胴又は管の最小厚さ	$t_s$	(mm)	<input type="text"/>
$2 \cdot t_{sr}$		(mm)	8.98
$1.25 \cdot t_s$		(mm)	8.16
評価： $t_i \geq 2 \cdot t_s$ , $t_i \geq 1.25 \cdot t_s$ , よって十分である。			

(ロ) 告示第501号第34条第1項

平板の厚さ

平板名称	(1) 胴側平板		
材料	SM41A		
最高使用圧力	P	(MPa)	1.37
最高使用温度		(°C)	85
許容引張応力	S	(MPa)	100
取付け方法による係数	K		0.50
平板の径	d	(mm)	650.00
必要厚さ	t	(mm)	53.80
呼び厚さ	$t_{po}$	(mm)	60.00
最小厚さ	$t_p$	(mm)	<input type="text"/>
評価： $t_p \geq t$ , よって十分である。			



2.4 容器の管板の厚さの計算

(イ) 設計・建設規格 PVC-3510(1)

管穴の中心間距離

管板名称			(1) 管板
管の外径	$d_t$	(mm)	<input type="text"/>
必要な距離	$z$	(mm)	<input type="text"/>
管穴の中心間距離	$P_t$	(mm)	<input type="text"/>
評価： $P_t \geq z$ ，よって十分である。			

(ロ) 設計・建設規格 PVC-3510(2)

管板の厚さ

管板名称			(1) 管板
材料			SM41A
最高使用圧力	$P$	(MPa)	1.37
最高使用温度			85
パッキンの中心円の径又は胴の内径	$D$	(mm)	724.06
管及び管板の支え方 による係数	$F$		1.25 (伝熱管の形式：U字管)
管板の支え方			管側胴と一体でない。
任意の管の中心が囲む面積	$A$	(mm <sup>2</sup> )	$2.315 \times 10^5$
面積Aの周のうち穴の 径以外の部分の長さ	$L$	(mm)	443.20
許容引張応力	$S$	(MPa)	100
必要厚さ	$t_1$	(mm)	52.97
必要厚さ	$t_2$	(mm)	8.42
$t_1, t_2, 10$ の大きい値	$t$	(mm)	52.97
呼び厚さ	$t_{bo}$	(mm)	65.00 *
最小厚さ	$t_b$	(mm)	<input type="text"/>
評価： $t_b \geq t$ ，よって十分である。			

注記\*：ステンレス鋼クラッドは含まない。

2.5 容器の管台の厚さの計算  
設計・建設規格 PVC-3610

管台名称		(1) 管側入口
材料		SUS304TP-S
最高使用圧力	P (MPa)	1.37
最高使用温度	(°C)	66
管台の外径	D <sub>o</sub> (mm)	165.20
許容引張応力	S (MPa)	126
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
必要厚さ	t <sub>1</sub> (mm)	0.90
必要厚さ	t <sub>3</sub> (mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t (mm)	0.90
呼び厚さ	t <sub>no</sub> (mm)	7.10
最小厚さ	t <sub>n</sub> (mm)	<input type="text"/>
評価: $t_n \geq t$ , よって十分である。		

容器の管台の厚さの計算  
 設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(2) 管側出口		
材料	SUS304TP-S		
最高使用圧力	P	(MPa)	1.37
最高使用温度		(°C)	66
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	165.20
許容引張応力	S	(MPa)	126
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.90
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	—
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	0.90
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	7.10
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	<input type="text"/>
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

容器の管台の厚さの計算  
設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(3) 胴側入口		
材料	STPT42-S		
最高使用圧力	P	(MPa)	1.37
最高使用温度		(°C)	85
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	216.30
許容引張応力	S	(MPa)	103
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	1.43
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	3.80
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	3.80
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	8.20
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	<input type="text"/>
評価: t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

容器の管台の厚さの計算  
 設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(4) 胴側出口		
材料	STPT42-S		
最高使用圧力	P	(MPa)	1.37
最高使用温度		(°C)	85
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	216.30
許容引張応力	S	(MPa)	103
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	1.43
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	3.80
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	3.80
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	8.20
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価: t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

容器の管台の厚さの計算  
設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(5) 胴側ドレン		
材料	SF50A		
最高使用圧力	P	(MPa)	1.37
最高使用温度		(°C)	85
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	65.00
許容引張応力	S	(MPa)	123
継手効率	η		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	t <sub>1</sub>	(mm)	0.36
必要厚さ	t <sub>3</sub>	(mm)	2.70
t <sub>1</sub> , t <sub>3</sub> の大きい値	t	(mm)	2.70
呼び厚さ	t <sub>no</sub>	(mm)	7.95
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	<input type="text"/>
評価: t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

容器の管台の厚さの計算  
 設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(6) 伝熱管		
材料	SUS304TB-S		
最高使用圧力	P	(MPa)	1.37
外面に受ける最高の圧力	$P_e$	(MPa)	1.37
最高使用温度		(°C)	85
管台の外径	$D_o$	(mm)	<input type="text"/>
許容引張応力	S	(MPa)	124
継手効率	$\eta$		1.00
継手の種類	継手無し		
放射線検査の有無	—		
必要厚さ	$t_1$	(mm)	0.09
必要厚さ	$t_2$	(mm)	0.40
$t_1, t_2$ の大きい値	t	(mm)	0.40
呼び厚さ	$t_{to}$	(mm)	<input type="text"/>
最小厚さ	$t_t$	(mm)	<input type="text"/>
評価： $t_t \geq t$ ，よって十分である。			

2.6 容器の補強を要しない穴の最大径の計算  
設計・建設規格 PVC-3150(2)

胴板名称	(1) 管側胴板	
材料	SUS304	
最高使用圧力	P (MPa)	1.37
最高使用温度	(°C)	66
胴の外径	D (mm)	668.00
許容引張応力	S (MPa)	126
胴板の最小厚さ	$t_s$ (mm)	<input type="text"/>
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類	継手無し	
放射線検査の有無	—	
$d_{r1} = (D - 2 \cdot t_s) / 4$	(mm)	<input type="text"/>
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm)	61.00
K	<input type="text"/>	
$D \cdot t_s$	(mm <sup>2</sup> )	<input type="text"/>
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm)	98.46
補強を要しない穴の最大径	(mm)	98.46
評価：補強の計算を要する穴の名称	管側入口(2.7(1)) 管側出口(2.7(2))	



容器の補強を要しない穴の最大径の計算  
設計・建設規格 PVC-3150(2)

洞板名称		(2) 洞側洞板
材料		SM41A
最高使用圧力	P (MPa)	1.37
最高使用温度	(°C)	85
洞の外径	D (mm)	668.00
許容引張応力	S (MPa)	100
洞板の最小厚さ	$t_s$ (mm)	<input type="text"/>
継手効率	$\eta$	1.00
継手の種類		継手無し
放射線検査の有無		—
$d_{r1} = (D - 2 \cdot t_s) / 4$	(mm)	<input type="text"/>
61, $d_{r1}$ の小さい値	(mm)	61.00
K		<input type="text"/>
$D \cdot t_s$	(mm <sup>2</sup> )	<input type="text"/>
200, $d_{r2}$ の小さい値	(mm)	80.58
補強を要しない穴の最大径	(mm)	80.58
評価：補強の計算を要する穴の名称		洞側入口(2.7(3)) 洞側出口(2.7(4))

2.7 容器の穴の補強計算

設計・建設規格 PVC-3160

参照附图 WELD-5

部材名称	(1) 管側入口		
胴板材料	SUS304		
管台材料	SUS304TP-S		
最高使用圧力	P	(MPa)	1.37
最高使用温度		(°C)	66
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	126
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	126
穴の径	d	(mm)	
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	165.20
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	$D_i$	(mm)	650.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	3.56
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	554.1
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	
補強の有効範囲	X	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	165.20
溶接寸法	$L_1$	(mm)	8.00
溶接寸法	$L_4$	(mm)	5.00
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	494.3
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	90.95
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	64.00
補強に有効な総面積	$A_0$	(mm <sup>2</sup> )	649.2
評価： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

部材名称	(1) 管側入口		
大きい穴の補強			
補強を要する穴の限界径	$d_j$	(mm)	325.00
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。			
溶接部にかかる荷重	$W_1$	(N)	$1.952 \times 10^4$
溶接部にかかる荷重	$W_2$	(N)	$1.176 \times 10^4$
溶接部の負うべき荷重	$W$	(N)	$1.176 \times 10^4$
すみ肉溶接の許容せん断応力			
$S_{w1}$		(MPa)	58
突合せ溶接の許容引張応力			
$S_{w3}$		(MPa)	88
管台壁の許容せん断応力			
$S_{w4}$		(MPa)	88
応力除去の有無			
			無し
すみ肉溶接の許容せん断応力係数			
$F_1$			0.46
突合せ溶接の許容引張応力係数			
$F_3$			0.70
管台壁の許容せん断応力係数			
$F_4$			0.70
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e1}$	(N)	$1.203 \times 10^5$
突合せ溶接部の引張力	$W_{e6}$	(N)	$1.144 \times 10^5$
管台のせん断力	$W_{e10}$	(N)	$1.048 \times 10^5$
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp1}$	(N)	$2.348 \times 10^5$
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp2}$	(N)	$2.251 \times 10^5$
評価： $W_{ebp1} \geq W$ ， $W_{ebp2} \geq W$ 以上より十分である。			

容器の穴の補強計算  
設計・建設規格 PVC-3160

参照附图 WELD-5

部材名称	(2) 管側出口		
胴板材料	SUS304		
管台材料	SUS304TP-S		
最高使用圧力	P	(MPa)	1.37
最高使用温度		(°C)	66
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	126
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	126
穴の径	d	(mm)	
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	165.20
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	$D_i$	(mm)	650.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	3.56
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	554.1
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	
補強の有効範囲	X	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	165.20
溶接寸法	$L_1$	(mm)	8.00
溶接寸法	$L_4$	(mm)	5.00
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	494.3
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	90.95
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	64.00
補強に有効な総面積	$A_0$	(mm <sup>2</sup> )	649.2
評価： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

部材名称	(2) 管側出口	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径 $d_j$ (mm)		325.00
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。		
溶接部にかかる荷重 $W_1$ (N)		$1.952 \times 10^4$
溶接部にかかる荷重 $W_2$ (N)		$1.176 \times 10^4$
溶接部の負うべき荷重 $W$ (N)		$1.176 \times 10^4$
すみ肉溶接の許容せん断応力 $S_{w1}$ (MPa)		
		58
突合せ溶接の許容引張応力 $S_{w3}$ (MPa)		
		88
管台壁の許容せん断応力 $S_{w4}$ (MPa)		
		88
応力除去の有無		
		無し
すみ肉溶接の許容せん断応力係数 $F_1$		
		0.46
突合せ溶接の許容引張応力係数 $F_3$		
		0.70
管台壁の許容せん断応力係数 $F_4$		
		0.70
すみ肉溶接部のせん断力 $W_{e1}$ (N)		$1.203 \times 10^5$
突合せ溶接部の引張力 $W_{e6}$ (N)		$1.144 \times 10^5$
管台のせん断力 $W_{e10}$ (N)		$1.048 \times 10^5$
予想される破断箇所の強さ $W_{ebp1}$ (N)		$2.348 \times 10^5$
予想される破断箇所の強さ $W_{ebp2}$ (N)		$2.251 \times 10^5$
評価： $W_{ebp1} \geq W$ ， $W_{ebp2} \geq W$ 以上より十分である。		

容器の穴の補強計算  
設計・建設規格 PVC-3160

参照附图 WELD-16

部材名称	(3) 胴側入口		
胴板材料	SM41A		
管台材料	STPT42-S		
強め板材料	SM41A		
最高使用圧力	P	(MPa)	1.37
最高使用温度		(°C)	85
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	103
強め板の許容引張応力	$S_e$	(MPa)	100
穴の径	d	(mm)	
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	226.30
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	$D_i$	(mm)	650.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	4.49
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	920.1
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	
補強の有効範囲	X	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	
強め板の最小厚さ	$t_e$	(mm)	
強め板の外径	$B_e$	(mm)	300.00
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	216.30
溶接寸法	$L_1$	(mm)	9.00
溶接寸法	$L_2$	(mm)	6.00
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	418.2
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	140.4
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	117.0
強め板の有効補強面積	$A_4$	(mm <sup>2</sup> )	546.6
補強に有効な総面積	$A_0$	(mm <sup>2</sup> )	$1.222 \times 10^3$
評価： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

部材名称	(3) 胴側入口		
大きい穴の補強			
補強を要する穴の限界径	$d_j$	(mm)	325.00
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。			
溶接部にかかる荷重	$W_1$	(N)	$8.040 \times 10^4$
溶接部にかかる荷重	$W_2$	(N)	$5.977 \times 10^4$
溶接部の負うべき荷重	$W$	(N)	$5.977 \times 10^4$
すみ肉溶接の許容せん断応力	$S_{w1}$	(MPa)	46
突合せ溶接の許容せん断応力	$S_{w2}$	(MPa)	56
突合せ溶接の許容引張応力	$S_{w3}$	(MPa)	70
管台壁の許容せん断応力	$S_{w4}$	(MPa)	70
応力除去の有無	無し		
すみ肉溶接の許容せん断応力係数	$F_1$		0.46
突合せ溶接の許容せん断応力係数	$F_2$		0.56
突合せ溶接の許容引張応力係数	$F_3$		0.70
管台壁の許容せん断応力係数	$F_4$		0.70
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e1}$	(N)	$1.407 \times 10^5$
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e3}$	(N)	$1.301 \times 10^5$
突合せ溶接部のせん断力	$W_{e4}$	(N)	$9.513 \times 10^4$
突合せ溶接部の引張力	$W_{e6}$	(N)	
突合せ溶接部の引張力	$W_{e7}$	(N)	
突合せ溶接部の引張力	$W_{e8}$	(N)	
突合せ溶接部の引張力	$W_{e9}$	(N)	
管台のせん断力	$W_{e10}$	(N)	$1.314 \times 10^5$
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp1}$	(N)	$4.513 \times 10^5$
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp2}$	(N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp3}$	(N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp4}$	(N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp5}$	(N)	$3.250 \times 10^5$
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp6}$	(N)	
評価： $W_{ebp1} \geq W$ ， $W_{ebp2} \geq W$ ， $W_{ebp3} \geq W$ ， $W_{ebp4} \geq W$ ， $W_{ebp5} \geq W$ ， $W_{ebp6} \geq W$ 以上より十分である。			

容器の穴の補強計算  
設計・建設規格 PVC-3160

参照附图 WELD-16

部材名称	(4) 胴側出口		
胴板材料	SM41A		
管台材料	STPT42-S		
強め板材料	SM41A		
最高使用圧力	P	(MPa)	1.37
最高使用温度		(°C)	85
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	100
管台の許容引張応力	$S_n$	(MPa)	103
強め板の許容引張応力	$S_e$	(MPa)	100
穴の径	d	(mm)	
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	226.30
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	
管台の最小厚さ	$t_n$	(mm)	
胴板の継手効率	$\eta$		1.00
係数	F		1.00
胴の内径	$D_i$	(mm)	650.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	4.49
管台の計算上必要な厚さ	$t_{nr}$	(mm)	
穴の補強に必要な面積	$A_r$	(mm <sup>2</sup> )	920.1
補強の有効範囲	$X_1$	(mm)	
補強の有効範囲	$X_2$	(mm)	
補強の有効範囲	X	(mm)	
補強の有効範囲	$Y_1$	(mm)	
強め板の最小厚さ	$t_e$	(mm)	
強め板の外径	$B_e$	(mm)	300.00
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	216.30
溶接寸法	$L_1$	(mm)	9.00
溶接寸法	$L_2$	(mm)	6.00
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	418.2
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	140.4
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	117.0
強め板の有効補強面積	$A_4$	(mm <sup>2</sup> )	546.6
補強に有効な総面積	$A_o$	(mm <sup>2</sup> )	$1.222 \times 10^3$
評価： $A_o > A_r$ ，よって十分である。			



部材名称	(4) 胴側出口		
大きい穴の補強			
補強を要する穴の限界径	$d_j$	(mm)	325.00
評価： $d \leq d_j$ ，よって大きい穴の補強計算は必要ない。			
溶接部にかかる荷重	$W_1$	(N)	$8.040 \times 10^4$
溶接部にかかる荷重	$W_2$	(N)	$5.977 \times 10^4$
溶接部の負うべき荷重	$W$	(N)	$5.977 \times 10^4$
すみ肉溶接の許容せん断応力	$S_{w1}$	(MPa)	46
突合せ溶接の許容せん断応力	$S_{w2}$	(MPa)	56
突合せ溶接の許容引張応力	$S_{w3}$	(MPa)	70
管台壁の許容せん断応力	$S_{w4}$	(MPa)	70
応力除去の有無	無し		
すみ肉溶接の許容せん断応力係数	$F_1$		0.46
突合せ溶接の許容せん断応力係数	$F_2$		0.56
突合せ溶接の許容引張応力係数	$F_3$		0.70
管台壁の許容せん断応力係数	$F_4$		0.70
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e1}$	(N)	$1.407 \times 10^5$
すみ肉溶接部のせん断力	$W_{e3}$	(N)	$1.301 \times 10^5$
突合せ溶接部のせん断力	$W_{e4}$	(N)	$9.513 \times 10^4$
突合せ溶接部の引張力	$W_{e6}$	(N)	
突合せ溶接部の引張力	$W_{e7}$	(N)	
突合せ溶接部の引張力	$W_{e8}$	(N)	
突合せ溶接部の引張力	$W_{e9}$	(N)	
管台のせん断力	$W_{e10}$	(N)	$1.314 \times 10^5$
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp1}$	(N)	$4.513 \times 10^5$
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp2}$	(N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp3}$	(N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp4}$	(N)	
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp5}$	(N)	$3.250 \times 10^5$
予想される破断箇所の強さ	$W_{ebp6}$	(N)	
評価： $W_{ebp1} \geq W$ ， $W_{ebp2} \geq W$ ， $W_{ebp3} \geq W$ ， $W_{ebp4} \geq W$ ， $W_{ebp5} \geq W$ ， $W_{ebp6} \geq W$ 以上より十分である。			

2.8 容器のフランジの計算

設計・建設規格 PVC-3710

(JIS B 8265 附属書3適用)

(内圧を受けるフランジ)

参照附図 FLANGE-3 ルーズ形フランジ

フランジ名称		(1) 管側フランジ	
フランジ材料		SUS304	
ボルト材料		SNB7 (直径63mm以下)	
ガスケット材料		渦巻形金属ガスケット(非石綿)(ステンレス鋼)	
ガスケット厚さ (mm)		4.5	
ガスケット座面の形状		1a-II	
最高使用圧力 P (MPa)		1.37	
許容引張応力	温度条件 (°C)	最高使用温度 (使用状態) (66)	常温 (ガスケット締付時) (20)
	ボルト (MPa)	$\sigma_b = 173$	$\sigma_a = 173$
	フランジ (MPa)	$\sigma_f = 126$	$\sigma_{fa} = 129$
フランジの外径 A (mm)	850.00		
フランジの内径 B (mm)	670.50		
ボルト中心円の直径 C (mm)	800.00		
ガスケット有効径 G (mm)	724.06		
ハブ先端の厚さ $g_0$ (mm)	9.00		
フランジ背面のハブの厚さ $g_1$ (mm)	19.00		
ハブの長さ h (mm)	10.00		
ボルト呼び	M24		
ボルト本数 n	24		
ボルト谷径 $d_b$ (mm)	20.752		
ガスケット接触面の外径 $G_s$ (mm)	740.00		
ガスケット接触面の幅 N (mm)	20.00		
ガスケット係数 m	3.00		
最小設計締付圧力 y ( $N/mm^2$ )	68.9		
ガスケット座の基本幅 $b_0$ (mm)	10.00		
ガスケット座の有効幅 b (mm)	7.97		
内圧による全荷重 H (N)	$5.641 \times 10^5$		
ガスケットに加える圧縮力 $H_p$ (N)	$1.490 \times 10^5$		
使用状態での最小ボルト荷重 $W_{m1}$ (N)	$7.131 \times 10^5$		
ガスケット締付最小ボルト荷重 $W_{m2}$ (N)	$1.249 \times 10^6$		
ボルトの所要 総有効断面積	使用状態 $A_{m1}$ ( $mm^2$ )	$4.122 \times 10^3$	
	ガスケット締付時 $A_{m2}$ ( $mm^2$ )	$7.219 \times 10^3$	
	いずれか大きい値 $A_m$ ( $mm^2$ )	$7.219 \times 10^3$	
実際のボルト総有効断面積 $A_b$ ( $mm^2$ )	$8.117 \times 10^3$		
評価: $A_b > A_m$ , よって十分である。			

フランジ名称		(1) 管側フランジ	
ボルト荷重	使用状態	$W_o$ (N)	$7.131 \times 10^5$
	ガスケット締付時	$W_g$ (N)	$1.327 \times 10^6$
荷重		(N)	$H_D = 4.837 \times 10^5$
			$H_G = 1.490 \times 10^5$
			$H_T = 8.037 \times 10^4$
モーメントアーム		(mm)	$h_D = 64.75$
			$h_G = 37.97$
			$h_T = 51.36$
モーメント		(N・mm)	$M_D = 3.132 \times 10^7$
			$M_G = 5.658 \times 10^6$
			$M_T = 4.128 \times 10^6$
フランジに作用するモーメント	使用状態	(N・mm)	$M_o = 4.111 \times 10^7$
	ガスケット締付時	(N・mm)	$M_g = 5.037 \times 10^7$
フランジの内外径の比		K	1.2677
係数		Y	8.3207
フランジの厚さ		t (mm)	76.00
使用状態におけるフランジの強さ			
応力	(MPa)	計算値	許容引張応力
フランジの周方向応力	$\sigma_T$	89	$\sigma_f = 126$
ガスケット締付時のフランジの強さ			
応力	(MPa)	計算値	許容引張応力
フランジの周方向応力	$\sigma_T$	109	$\sigma_{fa} = 129$
応力の評価： $\sigma_T \leq \sigma_f$ , $\sigma_T \leq \sigma_{fa}$ 以上より十分である。			

2.9 設計・建設規格における材料の規定によらない場合の評価

胴側胴板（使用材料規格：J I S G 3 1 0 6 SM41A (SM400A)）、胴側平板（使用材料規格：J I S G 3 1 0 6 SM41A (SM400A)）及び管板（使用材料規格：J I S G 3 1 0 6 SM41A (SM400A)）の評価結果

（比較材料：J I S G 3 1 0 6 SM400B）

胴側胴板、胴側平板及び管板に使用している SM41A (SM400A) は、材料の許容引張応力が設計・建設規格に記載されていないことから、材料の許容引張応力が設計・建設規格に記載されている材料と機械的強度及び化学成分を比較し、同等であることを示す。

(1) 機械的強度

	引張強さ	降伏点又は耐力	比較結果
使用材料	400N/mm <sup>2</sup> ～ 510N/mm <sup>2</sup>	245N/mm <sup>2</sup> 以上* <sup>1</sup> 215N/mm <sup>2</sup> 以上* <sup>2</sup>	引張強さ及び降伏点は同等である。
比較材料	400N/mm <sup>2</sup> ～ 510N/mm <sup>2</sup>	245N/mm <sup>2</sup> 以上* <sup>1</sup> 215N/mm <sup>2</sup> 以上* <sup>2</sup>	

注記\*1：鋼材の厚さが 16mm 以下の場合の値

\*2：鋼材の厚さが 40mm を超え 75mm 以下の場合の値

(2) 化学的成分

	化学成分(%)									
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
使用材料	0.23* <sup>1</sup> 以下	—	2.5×C* <sup>3</sup> 以上	0.035 以下	0.035 以下	—	—	—	—	—
	0.25* <sup>2</sup> 以下									
比較材料	0.20* <sup>1</sup> 以下	0.35 以下	0.60 ～ 1.40	0.035 以下	0.035 以下	—	—	—	—	—
	0.22* <sup>2</sup> 以下									
比較結果	<p>C, Si, Mn の成分規定に差異があるが、以下により、本機器の環境下での使用は問題ないとする。</p> <p>C：一般的に機械的強度に影響を与える成分であるが、(1) の評価結果からも機械強度は同等であること。また、溶接性に影響を与える成分であるが、溶接規格に規定されている炭素量 0.35% 以下であることから、溶接性に影響はないこと。また、じん性に影響を与える成分であるが、重大事故等時に設計基準対象施設として設定されている最低使用温度を下回らないことから、問題ない。</p> <p>Si：一般的に機械的強度に影響を与える成分であるが、(1) の評価結果からも機械強度は同等であること。</p>									

比較結果	Mn：一般的に機械的強度に影響を与える成分であるが，(1) の評価結果からも機械強度は同等であること。また，じん性に影響を与える成分であるが，重大事故等時に設計基準対象施設として設定されている最低使用温度を下回らないことから，問題ない。
------	--

注記\*1：鋼材の厚さが 50mm 以下の場合の値

\*2：鋼材の厚さが 50mm を超え 200 mm 以下の場合の値

\*3：C の値は，溶鋼分析値を適用する。

### (3) 評価結果

(1)，(2) の評価により，機械的強度，化学成分，いずれにおいても比較材料と同等であることを確認したため，本機器において，SM41A (SM400A) を重大事故等クラス 2 材料として使用することに問題ないと考える。