

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-04-0029_改0
提出年月日	2021年2月19日

## VI-3-3-3-3-1-1 残留熱除去系熱交換器の強度計算書

## まえがき

本計算書は、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」, 「VI-3-2-8 重大事故等クラス2 容器の強度計算方法」及び「VI-3-2-12 重大事故等クラス2 支持構造物（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、添付書類「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 (℃)
残留熱除去系 熱交換器	既設	有	管側	無	DB-2	DB-2	SA-2	無	3.73	186	3.73	186	有	S55 告示	既工認	-	SA-2
			胴側	有	DB-3	DB-3	SA-2	無	1.18	70	1.18	70	-	S55 告示	設計・建設規格 又は告示	-	SA-2

## 目次

1. 概要	1
2. 計算条件	2
2.1 計算部位	2
2.2 設計条件	2
3. 強度計算	3
3.1 容器の胴の厚さの計算	3
3.2 容器の鏡板の厚さの計算	4
3.3 容器の管台の厚さの計算	5
3.4 容器の補強を要しない穴の最大径の計算	7
3.5 容器の穴の補強計算	8
4. 支持構造物の強度計算書	12

## 1. 概要

本計算書については、重大事故等対処設備としての評価結果を示すものであるが、残留熱除去系熱交換器の管側は設計基準対象施設としての使用条件を超えないことから、管側の評価結果については平成3年6月19日付け3資庁第1003号にて認可された工事計画のIV-2-1-3-1「残留熱除去系熱交換器の強度計算書」による。

2. 計算条件

2.1 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。

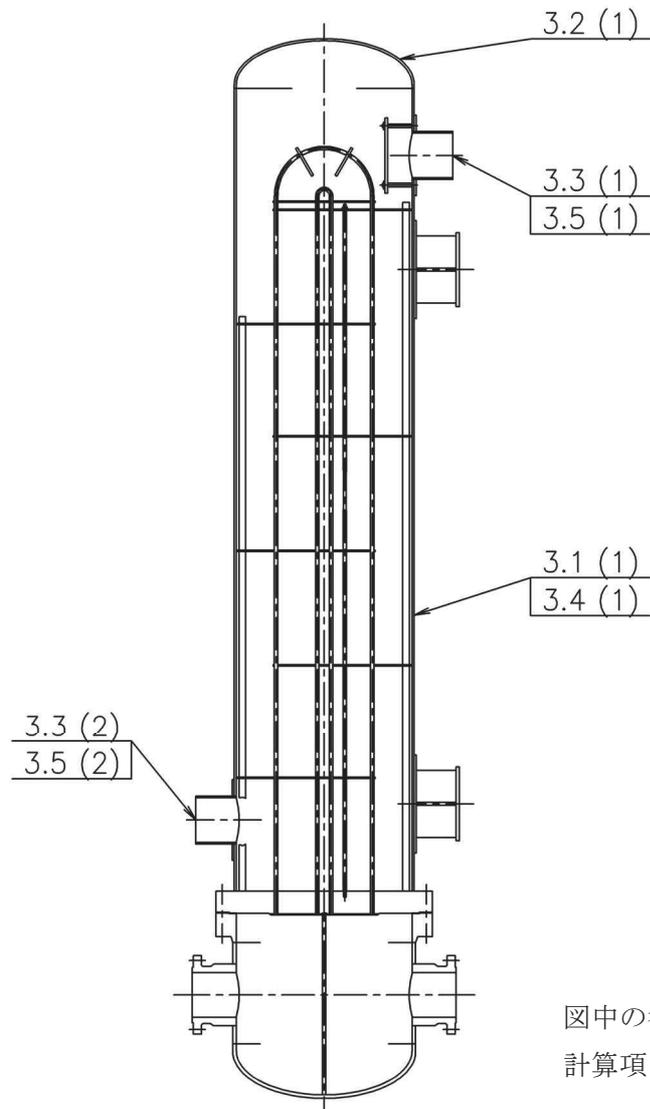


図 2-1 概要図

2.2 設計条件

最高使用圧力(MPa)	胴側	1.18
最高使用温度(°C)	胴側	70

### 3. 強度計算

#### 3.1 容器の胴の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3120

胴板名称	(1) 胴側胴板		
材料	SGV49 (SGV480)		
最高使用圧力	P	(MPa)	1.18
最高使用温度		(°C)	70
胴の内径	$D_i$	(mm)	1300.00
許容引張応力	S	(MPa)	120
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	$t_1$	(mm)	3.00
必要厚さ	$t_2$	(mm)	9.21
$t_1, t_2$ の大きい値	t	(mm)	9.21
呼び厚さ	$t_{s.o}$	(mm)	15.00
最小厚さ	$t_s$	(mm)	
評価： $t_s \geq t$ ，よって十分である。			

### 3.2 容器の鏡板の厚さの計算

#### (1) 設計・建設規格 PVC-3210

鏡板の形状

鏡板名称		(1) 胴側鏡板
鏡板の内面における長径	$D_{iL}$ (mm)	1300.00
鏡板の内面における短径の1/2	$h$ (mm)	325.00
長径と短径の比	$D_{iL}/(2 \cdot h)$ (mm)	2.00
評価： $D_{iL}/(2 \cdot h) \leq 2$ ，よって半だ円形鏡板である。		

#### (2) 設計・建設規格 PVC-3220

鏡板の厚さ

鏡板名称		(1) 胴側鏡板
材料		SGV49 (SGV480)
最高使用圧力	$P$ (MPa)	1.18
最高使用温度	(°C)	70
胴の内径	$D_i$ (mm)	1300.00
半だ円形鏡板の形状による係数 $K$		1.00
許容引張応力	$S$ (MPa)	120
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)	6.43
必要厚さ	$t_2$ (mm)	6.40
$t_1, t_2$ の大きい値	$t$ (mm)	6.43
呼び厚さ	$t_{co}$ (mm)	15.00
最小厚さ	$t_c$ (mm)	
評価： $t_c \geq t$ ，よって十分である。		

### 3.3 容器の管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(1) 胴体入口		
材料	STS42 (STS410)		
最高使用圧力	P	(MPa)	1.18
最高使用温度		(°C)	70
管台の外径	$D_o$	(mm)	355.6
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	$t_1$	(mm)	2.03
必要厚さ	$t_3$	(mm)	3.80
$t_1, t_3$ の大きい値	t	(mm)	3.80
呼び厚さ	$t_{no}$	(mm)	11.10
最小厚さ	$t_n$	(mm)	
評価： $t_n \geq t$ ，よって十分である。			

O 2 ③ VI-3-3-3-1-1 R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の管台の厚さの計算  
 設計・建設規格 PVC-3610

管台名称	(2) 胴体出口		
材料	STS42 (STS410)		
最高使用圧力	P	(MPa)	1.18
最高使用温度		(°C)	70
管台の外径	D <sub>o</sub>	(mm)	355.6
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)	2.03
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)	11.10
最小厚さ	t <sub>n</sub>	(mm)	
評価：t <sub>n</sub> ≥ t, よって十分である。			

O 2 ③ VI-3-3-3-1-1 R 0

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 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) 胴側胴板
材料			SGV49(SGV480)
最高使用圧力	P	(MPa)	1.18
最高使用温度			70
胴の外径	D	(mm)	1330.00
許容引張応力	S	(MPa)	120
胴板の最小厚さ	$t_s$	(mm)	
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)	
61, $d_{r1}$ の小さい値		(mm)	
K			
$D \cdot t_s$		(mm <sup>2</sup> )	
200, $d_{r2}$ の小さい値		(mm)	167.34
補強を要しない穴の最大径		(mm)	167.34
評価：補強の計算を要する穴の名称			胴体入口(3.5(1)) 胴体出口(3.5(2))

O2 ③ VI-3-3-3-3-1-1 R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3.5 容器の穴の補強計算

設計・建設規格 PVC-3160

参照附図 W E L D - 16

部材名称	(1) 胴体入口		
胴板材料	SGV49 (SGV480)		
管台材料	STS42 (STS410)		
強め板材料	SGV49 (SGV480)		
最高使用圧力	P	(MPa)	1.18
最高使用温度		(°C)	70
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	120
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)	120
穴の径	d	(mm)	
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	359.60
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)	1300.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	6.43
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> )	
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)	600.00
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	355.60
溶接寸法	$L_1$	(mm)	8.49
溶接寸法	$L_2$	(mm)	7.85
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	133.7
強め板の有効補強面積	$A_4$	(mm <sup>2</sup> )	
補強に有効な総面積	$A_0$	(mm <sup>2</sup> )	
補強： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

部材名称	(1) 胴体入口
大きい穴の補強	
補強を要する穴の限界径 $d_j$ (mm)	650.00
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)	
溶接部にかかる荷重 $W_2$ (N)	
溶接部の負うべき荷重 $W$ (N)	
評価： $W < 0$ ，よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

容器の穴の補強計算

設計・建設規格 PVC-3160

参照附図 W E L D - 16

部材名称	(2) 胴体出口		
胴板材料	SGV49 (SGV480)		
管台材料	STS42 (STS410)		
強め板材料	SGV49 (SGV480)		
最高使用圧力	P	(MPa)	1.18
最高使用温度		(°C)	70
胴板の許容引張応力	$S_s$	(MPa)	120
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)	120
穴の径	d	(mm)	
管台が取り付く穴の径	$d_w$	(mm)	359.60
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)	1300.00
胴板の計算上必要な厚さ	$t_{sr}$	(mm)	6.43
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> )	
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)	600.00
管台の外径	$D_{on}$	(mm)	355.60
溶接寸法	$L_1$	(mm)	8.49
溶接寸法	$L_2$	(mm)	7.85
胴板の有効補強面積	$A_1$	(mm <sup>2</sup> )	
管台の有効補強面積	$A_2$	(mm <sup>2</sup> )	
すみ肉溶接部の有効補強面積	$A_3$	(mm <sup>2</sup> )	133.7
強め板の有効補強面積	$A_4$	(mm <sup>2</sup> )	
補強に有効な総面積	$A_0$	(mm <sup>2</sup> )	
補強： $A_0 > A_r$ ，よって十分である。			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

部材名称	(2) 胴体出口	
大きい穴の補強		
補強を要する穴の限界径 $d_j$ (mm)	650.00	
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)		
溶接部にかかる荷重 $W_2$ (N)		
溶接部の負うべき荷重 $W$ (N)		
評価： $W < 0$ ，よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

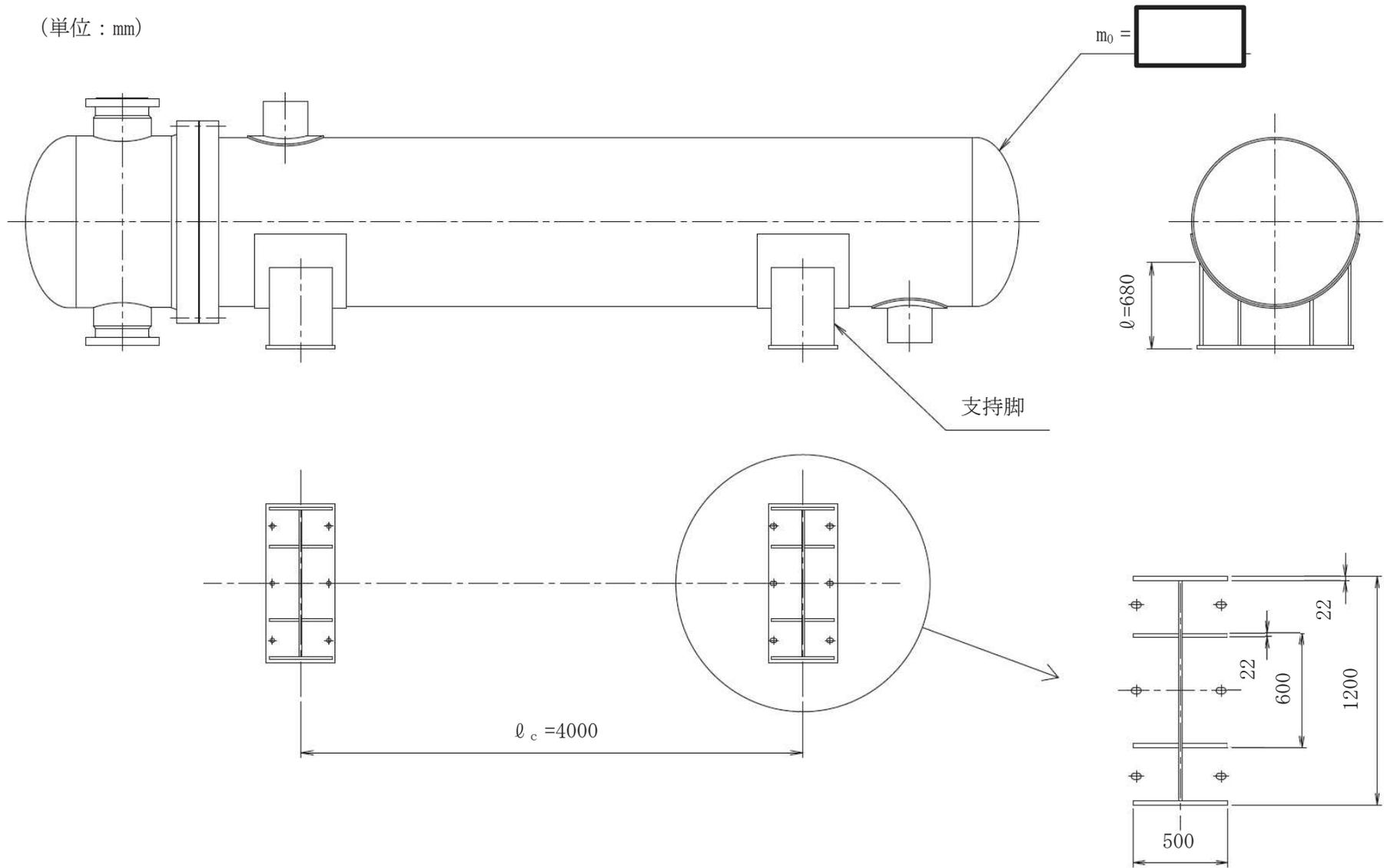
4. 支持構造物の強度計算書

(1) 一次圧縮応力及び一次曲げ応力による組合せ評価

種類	脚本数	材料	最高使用温度 (°C)	F 値 (MPa)	鉛直荷重 F <sub>c</sub> (N)	断面積 A (mm <sup>2</sup> )	曲げモーメント M (N・mm)	断面係数 Z (mm <sup>3</sup> )
横置円筒形容器	2	SS400	70	223		6.846×10 <sup>4</sup>		

一次圧縮応力 σ <sub>c</sub> (MPa)	許容圧縮応力 f <sub>c</sub> (MPa)	一次曲げ応力 σ <sub>b</sub> (MPa)	許容曲げ応力 f <sub>b</sub> (MPa)	組合せ評価 $\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1$	評価
	147		148	0.44	算出値は、許容値以下であるので強度は十分である。

(単位 : mm)



残留熱除去系熱交換器 支持構造物の強度計算説明図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。