

福島第一原子力発電所
特定原子力施設に係る実施計画

別冊集

本資料は、「福島第一原子力発電所特定原子力施設に係る実施計画」の内容を補足するものです。

本資料は、東京電力ホールディングス株式会社またはその他の企業の秘密情報が含まれている可能性があります。当社の許可なく本資料の内容を本来の目的以外に使用すること、ならびに第三者に開示、公開する行為を禁止します。

東京電力ホールディングス株式会社

目次

- 別冊 1 原子炉圧力容器・格納容器注水設備に係る補足説明
 - I 原子炉圧力容器・格納容器注水設備の構造強度及び耐震性について

- 別冊 2 原子炉格納容器内窒素封入設備に係る補足説明
 - I 原子炉格納容器内窒素封入設備の構造強度及び耐震性について

- 別冊 3 使用済燃料プール設備に係る補足説明
 - I 使用済燃料プール設備の構造強度及び耐震性について

- 別冊 4 原子炉圧力容器・格納容器ホウ酸水注入設備に係る補足説明
 - I 原子炉圧力容器・格納容器ホウ酸水注入設備の構造強度及び耐震性について

- 別冊 5 汚染水処理設備等に係る補足説明
 - I 汚染水処理設備等の構造強度及び耐震性について
 - II 2.5 汚染水処理設備等の寸法許容範囲について

- 別冊 6 原子炉格納容器ガス管理設備に係る補足説明
 - I 原子炉格納容器ガス管理設備の構造強度及び耐震性について

- 別冊 7 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備に係る補足説明
 - I 燃料取り出し用カバー換気設備の構造強度及び耐震性について
 - II 燃料の健全性確認及び取り扱いに関する補足書
 - III 3号機 構内用輸送容器に関する要目表
 - IV 構内用輸送容器に係る安全機能及び構造強度に関する説明書（4号機）（添付資料2-1-3）に関する補足書
 - V 構内用輸送容器（NFT-12B型）の確認項目に係わる寸法及び材料

- 別冊 8 使用済燃料乾式キャスク仮保管設備に係る補足説明
 - I 乾式キャスク仮保管設備の構造強度及び耐震性について
 - II 乾式キャスク仮保管設備に関する要目表

- 別冊 9 放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設に係る補足説明
 - I 放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設の構造強度及び耐震性について

別冊 1 0 福島第一原子力発電所 原子力事業者防災業務計画

別冊 1 1 福島第一原子力発電所 5号炉／6号炉 長期保守管理方針 変更評価書

別冊 1 2 サブドレン他水処理施設に係る補足説明

- I サブドレン他水処理施設の耐震性に係る補足説明
- II サブドレン集水設備の強度に係る補足説明
- III サブドレン他浄化設備の強度に係る補足説明
- IV サブドレン他移送設備の強度に係る補足説明
- V 地下水ドレン集水設備の強度に係る補足説明

別冊 1 3 放射性固体廃棄物等の管理施設及び関連施設（雑固体廃棄物焼却設備）に係る補足説明

- I 雑固体廃棄物焼却設備の耐震性に係る補足説明
- II 雑固体廃棄物焼却設備の強度に係る補足説明
- III 雑固体廃棄物焼却設備の公称値の許容範囲について

別冊 1 4 雨水処理設備等に係わる補足説明

- I 雨水処理設備等の構造強度・耐震性に係る補足説明

別冊 1 5 使用済燃料共用プール設備に係る補足説明

- I 使用済燃料貯蔵ラック（49体）および収納缶に係る要目表
- II 使用済燃料貯蔵ラック（49体）の耐震性について

別冊 1 6 建屋内 RO 循環設備に係る補足説明

- I 建屋内 RO 循環設備の構造強度評価に係る補足説明
- II 建屋内 RO 循環設備の耐震性評価に係る補足説明

別冊 1 7 5・6号機 燃料取扱系及び燃料貯蔵設備に係る補足説明

- I 燃料の取扱い・耐震性について

別冊 1 8 RO 濃縮水処理設備に係る補足説明

- I RO 濃縮水処理設備の構造強度及び耐震性について

別冊 2 0 電気系統設備に係る補足説明

- I 所内共通 M/C5A/B の耐震性評価結果

Ⅱ 所内共通 M/C6A/B の耐震性評価結果

Ⅲ 所内共通 M/C7A/B の耐震性評価結果

別冊 2 1 放射性物質分析・研究施設 第 1 棟に係る補足説明

Ⅰ 放射性物質分析・研究施設 第 1 棟の構造強度について

Ⅱ 放射性物質分析・研究施設 第 1 棟の耐震性について

Ⅲ 第 1 棟の設備の公称値の許容範囲について

別冊 2 4 5・6 号機 放射性液体廃棄物処理系に係る補足説明

Ⅰ 5・6 号機 放射性液体廃棄物処理系のうち、仮設設備（滞留水貯留設備）の構造強度及び耐震性について

別冊 2 4

5・6号機 放射性液体廃棄物処理系に係る補足説明

I 5・6号機 放射性液体廃棄物処理系のうち、
仮設設備（滞留水滞留設備）の構造強度及び耐震性について

仮設設備（滞留水滞留設備）を構成する設備について、構造強度及び耐震性の評価を行う。

1. 滞留タンクの構造強度評価

(1) 評価結果

a. 胴の厚さ評価

(a) 表-1 胴板

部材名称			胴板
材料			JIS G 3106 SM400C
最高使用温度	(°C)		66
滞留タンクの内径	D_i	(m)	11
水頭	H	(m)	13 ^{*1}
液体の比重	ρ	(-)	1
最高使用温度における材料の許容引張応力	S	(MPa)	100
長手継手の効率	η	(-)	■
放射線検査の有無			なし
PVC-3920(1)	t	(mm)	3
PVC-3920(2) 胴の計算上必要な厚さ	t	(mm)	11.7
PVC-3920(3)	t	(mm)	4.5
呼び厚さ	t_{b0}	(mm)	■
規格上必要な最小厚さ(呼び厚さ-0)	t_b	(mm)	■
評価： $t \leq t_b$ よって十分である。			

※1：満水での水頭

b. 底板の厚さ評価

(a) 表-2 底板

部材名称			底板
材料			JIS G 3106 SM400C
PVC-3970(1)の表PVD-3010-1による読み替え	t	(mm)	3
呼び厚さ	t_{b0}	(mm)	■
規格上必要な最小厚さ(呼び厚さ-0.8)	t_b	(mm)	■
評価： $t \leq t_b$ よって十分である。			

c. 管台の厚さ評価

(a) 表-3 管台100A

部材名称	管台100A	
材料	JIS G 3454 STPG370 100A, Sch40	
最高使用温度	(°C)	66
管台の内径	Di (m)	■
水頭	H (m)	13 ^{※1}
液体の比重	ρ (-)	1
最高使用温度における材料の許容引張応力	S (MPa)	93
長手継手の効率	η (-)	■
放射線検査の有無	なし	
PVC-3980(1) 管台の計算上必要な厚さ	t (mm)	0.1
PVC-3980(2)	t (mm)	3.5
呼び厚さ	t _{b0} (mm)	■
規格上必要な最小厚さ(呼び厚さ-0.75)	t _b (mm)	■
評価： $t \leq t_b$ よって十分である。		

※1：満水での水頭

(b) 表-4 管台200A

部材名称	管台200A	
材料	JIS G 3454 STPG370 ■	
最高使用温度	(°C)	66
管台の内径	Di (m)	■
水頭	H (m)	13 ^{※1}
液体の比重	ρ (-)	1
最高使用温度における材料の許容引張応力	S (MPa)	93
長手継手の効率	η (-)	■
放射線検査の有無	なし	
PVC-3980(1) 管台の計算上必要な厚さ	t (mm)	0.2
PVC-3980(2)	t (mm)	3.5
呼び厚さ	t _{b0} (mm)	■
規格上必要な最小厚さ(呼び厚さ-1.02)	t _b (mm)	■
評価： $t \leq t_b$ よって十分である。		

※1：満水での水頭

(c) 表-5 管台650A

部材名称	管台650A	
材料	JIS G 3106 SM400C ■	
最高使用温度	(°C)	66
管台の内径	Di (m)	■
水頭	H (m)	13* ¹
液体の比重	ρ (-)	1
最高使用温度における材料の許容引張応力	S (MPa)	100
長手継手の効率	η (-)	■
放射線検査の有無	なし	
PVC-3980(1) 管台の計算上必要な厚さ	t (mm)	0.7
PVC-3980(2)	t (mm)	3.5
呼び厚さ	t_{b0} (mm)	■
規格上必要な最小厚さ(呼び厚さ-0.8)	t_b (mm)	■
評価： $t \leq t_b$ よって十分である。		

※1：満水での水頭

c. 胴の穴の補強評価

設計・建設規格に準拠し、胴の穴の補強について評価を実施した。評価の結果、補強に有効な面積が補強に必要な面積より大きいため、補強は十分であることを確認した。(表-6～11参照)

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

$$A_1 = (\eta t_s - Ft_{sr})(X - d) - 2\left(1 - \frac{S_n}{S_s}\right)(\eta t_s - Ft_{sr})t_n$$

$$X = X_1 + X_2$$

$$X_1 = X_2 = \text{Max}\left(d, \frac{d}{2} + t_s + t_n\right)$$

$$A_2 = 2((t_{n1} - t_{nr})Y_1 + t_{n2}Y_2)S_n / S_s$$

$$t_{nr} = \frac{PDi}{2S_n - 1.2P}$$

$$Y_1 = \text{Min}(2.5t_s, 2.5t_{n1} + Te)$$

$$Y_2 = \text{Min}(2.5t_s, 2.5t_{n2}, h)$$

$$A_3 = L_1L_1 + L_2L_2 + L_3L_3$$

$$A_4 = (W - Wi) \times Te$$

$$W = \text{Min}(X, De)$$

$$Ar = dt_{sr}F + 2\left(1 - \frac{S_n}{S_s}\right)t_{sr}Ft_n$$

- A_0 : 補強に有効な総面積
- A_1 : 胴、鏡板又は平板部分の補強に有効な面積
- A_2 : 管台部分の補強に有効な面積
- A_3 : すみ肉溶接部の補強に有効な面積
- A_4 : 強め材の補強に有効な面積
- η : PVC-3161.2 に規定する効率
- t_s : 胴の最小厚さ
- t_{sr} : 継ぎ目のない胴の計算上必要な厚さ (PVC-3122(1)において $\eta = 1$ としたものの)
- t_n : 管台最小厚さ
- t_{n1} : 胴板より外側の管台最小厚さ
- t_{n2} : 胴板より内側の管台最小厚さ
- t_{nr} : 管台の計算上必要な厚さ
- P : 最高使用圧力(水頭)= $9.80665 \times 10^3 H \rho$
- S_s : 胴板材料の最高使用温度における許容引張応力
- S_n : 管台材料の最高使用温度における許容引張応力
- Di : 管台の内径
- X : 胴面に沿った補強に有効な範囲
- X_1 : 補強に有効な範囲
- X_2 : 補強に有効な範囲
- Y_1 : 胴面に垂直な補強の有効な範囲 (胴より外側)
- Y_2 : 胴面に垂直な補強の有効な範囲 (胴より内側)
- h : 管台突出し高さ (胴より内側)
- L_1 : 溶接の脚長
- L_2 : 溶接の脚長
- L_3 : 溶接の脚長
- Ar : 補強が必要な面積
- d : 胴の断面に現れる穴の径
- F : 係数 (図 PVC-3161.2-1 から求めた値)
- Te : 強め材厚さ
- W : 強め材の有効範囲
- Wi : 開先を含めた管台直径
- De : 強め材外径

表一 6 胴の補強に有効な面積 A 1

管台名称	管台材料	最高使用温度 (°C)	F (-)	η (-)	d (mm)	Sn (MPa)	Ss (MPa)	ts (mm)	tsr (mm)	tn (mm)	X (mm)	A1 (mm ²)
管台100A	STPG370	66	■	1	■	93	100	■	■	■	■	■
管台200A	STPG370	66	■	1	■	93	100	■	■	■	■	■
管台650A	SM400C	66	■	0.6	■	100	100	■	■	■	■	■

表一 7 管台の補強に有効な面積 A 2

管台名称	管台材料	H (m)	ρ (-)	P (MPa)	Di (mm)	Sn (MPa)	Ss (MPa)	tn (mm)	Te (mm)	h (mm)	tnr (mm)	ts (mm)	Y1 (mm)	Y2 (mm)	A2 (mm ²)
管台100A	STPG370	13	1	0.1275	■	93	100	■	■	■	0.1	■	■	■	■
管台200A	STPG370	13	1	0.1275	■	93	100	■	■	■	0.2	■	■	■	■
管台650A	SM400C	13	1	0.1275	■	100	100	■	■	■	0.4	■	■	■	■

表－8 隅肉溶接部の面積 A3

管台名称	L ₁ (mm)	L ₂ (mm)	L ₃ (mm)	A3 (mm ²)
管台100A	■	■	■	■
管台200A	■	■	■	■
管台650A	■	■	■	■

表－9 強め材の面積 A4

管台名称	Te (mm)	W (mm)	Wi (mm)	X (mm)	De (mm)	A4 (mm ²)
管台100A	■	■	■	■	■	■
管台200A	■	■	■	■	■	■
管台650A	■	■	■	■	■	■

表－10 補強が必要な面積 Ar

管台名称	d (mm)	tsr (mm)	tn (mm)	F (-)	Sn (MPa)	Ss (MPa)	Ar (mm ²)
管台100A	■	■	■	1	93	100	731.8
管台200A	■	■	■	1	93	100	1420.4
管台650A	■	■	■	1	100	100	4466.0

表－11 穴の補強評価結果

管台名称	評価部位	Ar (mm ²)	A ₀ (mm ²)
管台100A	穴の補強	732	1505
管台200A	穴の補強	1421	2979
管台650A	穴の補強	4466	7608

d. 強め材の取付け強さの評価

設計・建設規格に準拠し、強め材の取付け強さについて評価を実施した。評価の結果、溶接部の強度が十分であることを確認した。(表-12~15参照)

$$F_1 = \frac{\pi}{2} d_o L_1 S \eta_1$$

$$F_2 = \frac{\pi}{2} d t_n S_n \eta_3$$

$$F_3 = \frac{\pi}{2} d'_o t_s S \eta_2$$

$$F_4 = \frac{\pi}{2} d_o L_2 S \eta_1$$

$$F_5 = \frac{\pi}{2} W_o L_3 S \eta_1$$

$$F_6 = \frac{\pi}{2} d'_o t_s S \eta_2$$

$$W = d'_o t_{sr} S - (t_s - F t_{sr})(X - d'_o) S$$

$$W_1 = F_1 + F_2$$

$$W_2 = F_1 + F_6 + F_4$$

$$W_3 = F_5 + F_2$$

$$W_4 = F_5 + F_3$$

$$W_5 = F_1 + F_3$$

$$W_6 = F_5 + F_6 + F_4$$

F_1 : 断面 (管台外側のすみ肉溶接部) におけるせん断強さ

F_2 : 断面 (管台内側の管台壁) におけるせん断強さ

F_3 : 断面 (突合せ溶接部) におけるせん断強さ

F_4 : 断面 (管台内側のすみ肉溶接部) におけるせん断強さ

F_5 : 断面 (強め材のすみ肉溶接部) におけるせん断強さ

F_6 : 断面 (突合せ溶接部) におけるせん断強さ

d_o : 管台外径

d : 管台内径

d_o' : 胴の穴の径

W_o : 強め材の外径

S : 胴板材料の最高使用温度における許容引張応力

S_n : 管台材料の最高使用温度における許容引張応力

L_1 : すみ肉溶接部の脚長 (管台取付部 (胴より外側))

L_2 : すみ肉溶接部の脚長 (管台取付部 (胴より内側))

L_3 : 溶接部の脚長 (強め材)

η_1 : 強め材の取付け強さ (すみ肉溶接部のせん断)

η_2 : 強め材の取付け強さ (突合せ溶接部の引張)

η_3 : 強め材の取付け強さ (管台壁のせん断)

※表 PVC-3169-1 の値より

W : 溶接部の負うべき荷重

t_{sr} : 継目のない胴の計算上必要な厚さ
(PVC-3122(1)において $\eta=1$ としたもの)

F : 管台の取付角度より求まる係数
(図 PVC-3161.2-1 から求まる値)

X : 補強に有効な範囲

W_1 : 予想される破断箇所の強さ

W_2 : 予想される破断箇所の強さ

W_3 : 予想される破断箇所の強さ

W_4 : 予想される破断箇所の強さ

W_5 : 予想される破断箇所の強さ

W_6 : 予想される破断箇所の強さ

表-12 強め材取り付け強さの数値根拠 (1/2)

管台名称	S (MPa)	Sn (MPa)	Wo (mm)	do (mm)	d (mm)	do' (mm)	L ₁ (mm)	L ₂ (mm)	L ₃ (mm)
管台100A	100	93	■	■	■	■	■	■	■
管台200A	100	93	■	■	■	■	■	■	■
管台650A	100	93	■	■	■	■	■	■	■

表-13 強め材取り付け強さの数値根拠 (2/2)

管台名称	η_1 (-)	η_2 (-)	η_3 (-)	ts (mm)	tn (mm)	tsr (mm)	F (-)	X (mm)
管台100A	■	■	■	■	■	■	1	■
管台200A	■	■	■	■	■	■	1	■
管台650A	■	■	■	■	■	■	1	■

表-14 強め材取り付け強さの評価結果：各断面のせん断強さ

管台名称	F1 (N)	F2 (N)	F3 (N)	F4 (N)	F5 (N)	F6 (N)
管台100A	■	■	■	■	■	■
管台200A	■	■	■	■	■	■
管台650A	■	■	■	■	■	■

表-15 強め材取り付け強さの評価結果：各経路のせん断強さ

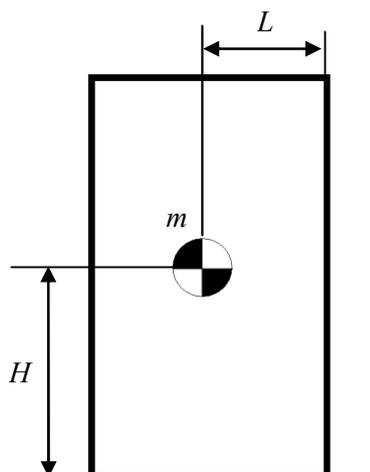
管台名称	W (N)	W1 (N)	W2 (N)	W3 (N)	W4 (N)	W5 (N)	W6 (N)
管台100A	35,520	105,278	249,921	117,143	214,608	202,743	261,786
管台200A	61,220	288,929	566,723	291,336	432,427	430,020	569,130
管台650A	163,240	1,160,164	1,873,460	1,491,562	1,641,871	1,310,473	2,204,858

2. 貯留タンクの耐震性評価

(1) 評価結果

a. 転倒評価

地震時の水平荷重による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し、それらと比較することにより転倒評価を行った。評価の結果、「①地震時の水平荷重による転倒モーメント<②自重による安定モーメント」となることから、転倒しないことを確認した。(表-16参照)



- C_H : 水平方向設計震度 (0.36)
- m : タンク空質量+内包液体質量 (満水時)
- m_1 : タンク胴+内包液体質量 (満水時)
- m_2 : 屋根板質量
- g : 重力加速度 (9.80665m/s²)
- H_1 : 据付面からの胴部重心までの距離
- H_2 : 据付面からの天板重心までの距離
- L : 転倒支点から機器重心までの距離

①地震時の水平荷重による転倒モーメント： $M_1 = (m_1 \times H_1 + m_2 \times H_2) \times g \times C_H$

②自重による安定モーメント： $M_2 = m \times g \times L$

表-16 貯留タンクの転倒評価数値根拠

タンク名称	m^* (t)	m_1 (t)	m_2 (t)	H_1 (mm)	H_2 (mm)	L (mm)	M_1 (kN・m)	M_2 (kN・m)
貯留タンク (容量：1,160m ³)	■	■	■	■	■	■	3.1×10^4	7.1×10^4

*：水の質量も含む

b. 滑動評価

地震時の水平荷重によるすべり力と接地面の摩擦力を比較することにより、滑動評価を行った。評価の結果、「①地震時の水平荷重によるすべり力<②接地面の摩擦力」となることから、滑動しないことを確認した。(表-17参照)

C_H : 水平方向設計震度 (0.36)

m : タンク空質量+内包液体質量 (満水時)

g : 重力加速度

μ : 摩擦係数 (コンクリート上 : 0.4)

①地震時の水平荷重によるすべり力 : $F_L = C_H \times m \times g$

②接地面の摩擦力 : $F_\mu = \mu \times m \times g$

表-17 貯留タンクの滑動評価数値根拠

タンク名称	m^* (t)	g (m/s ²)	F_L (kN)	F_μ (kN)
貯留タンク (容量 : 1,160m ³)	■	9.80665	4,608	5,119

* : 水の質量も含む

c. 応力評価及び座屈評価

貯留タンクについては、以下の通り貯留機能維持について評価する。

『JEAC4601-2008 原子力発電所耐震設計技術規程』に基づき、タンク胴板の応力評価及び座屈評価の数値根拠を示す。(表-18~24参照)

(a) 評価

1. 胴の応力評価

イ. 組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。

応力の種類	許容応力 S_a
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の0.6倍のいずれか小さい方の値

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

応力計算において、静的地震力を用いる場合は、絶対値和を用いる。

(1) 静水頭及び鉛直方向地震による応力

表-18 貯留タンクの胴の応力評価の数値根拠 (1/6)

タンク名称	ρ' (kg/mm ³)	H (mm)	Di (mm)	t (mm)	C_v (-)	$\sigma_{\phi 1}$ (MPa)	$\sigma_{\phi 2}$ (MPa)	$\sigma_{x 1}$ (MPa)
貯留タンク (容量: 1,160m ³)	1.0×10^{-6}	■	■	■	■	58.44	0	0

(2) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

表-19 貯留タンクの胴の応力評価の数値根拠 (2/6)

タンク名称	m_e (kg)	Di (mm)	t (mm)	C_v (-)	$\sigma_{x 2}$ (MPa)	$\sigma_{x 3}$ (MPa)
貯留タンク (容量: 1,160m ³)	■	■	■	■	1.42	0

(3) 水平方向地震による応力

表-20 貯留タンクの胴の応力評価の数値根拠 (3/6)

タンク名称	m_o (kg)	Di (mm)	t (mm)	l_g (mm)	C_H (-)	$\sigma_{x 4}$ (MPa)	τ (MPa)
貯留タンク (容量: 1,160m ³)	■	■	■	■	0.36	26.28	22.03

(4) 組合せ応力

(1)～(3)によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

(a) 組合せ引張応力

表-21 貯留タンクの胴の応力評価の数値根拠 (4/6)

タンク名称	σ_{ϕ} (MPa)	σ_{xt} (MPa)	σ_{ot} (MPa)
貯留タンク (容量: 1,160m ³)	58.44	24.86	69.35

(b) 組合せ圧縮応力

表-22 貯留タンクの胴の応力評価の数値根拠 (5/6)

タンク名称	σ_{ϕ} (MPa)	σ_{xc} (MPa)	σ_{oc} (MPa)
貯留タンク (容量: 1,160m ³)	-58.44	27.70	33.01

(c) 組合せ応力の最大値

胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は、

$$\sigma_o = \text{Max} \{ \text{組合せ引張応力} (\sigma_{ot}), \text{組合せ圧縮応力} (\sigma_{oc}) \}$$

$$= \text{Max} \{ 69.35, 33.01 \} = 69.35 \Rightarrow 70$$

となる。一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

(d) 許容応力

表-23 貯留タンクの胴の応力評価の数値根拠 (6/6)

タンク名称	胴板材質	最高使用温度 (°C)	設計降伏点 Sy (MPa)	設計引張強さ Su (MPa)	継手効率 η (-)
貯留タンク (容量: 1,160m ³)	SM400C	66	234.60	385.88	■

胴の組合せ一次一般膜応力の許容応力Saは、

$$\begin{aligned} Sa &= \text{Min} \{ Sy, 0.6Su \} \times \eta \\ &= \text{Min} \{ 234.60, 0.6 \times 385.88 \} \times \text{■} \\ &= \text{Min} \{ 234.60, 231.528 \} \times \text{■} \\ &= 231.528 \times \text{■} = \text{■} \Rightarrow 138 \end{aligned}$$

よって、一次一般膜応力 σ_0 は許容応力 S_a より低い値なので、強度として十分である。

ロ. 圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）は次式を満足すること。
（座屈の評価）

$$\text{評価式 } \alpha \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3}) / f_c + \alpha \cdot \sigma_{x4} / f_b \leq 1$$

表-24 貯留タンクの座屈評価の数値根拠

タンク名称	α (-)	E (MPa)	σ_{x2} (MPa)	σ_{x3} (MPa)	σ_{x4} (MPa)	f_c (MPa)	f_b (MPa)	算出値* (-)
貯留タンク (容量：1,160m ³)	1.5	200,360	1.42	0	26.28	87.82	120.69	0.36

※：評価式 「 $\alpha \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3}) / f_c + \alpha \cdot \sigma_{x4} / f_b$ 」 の算出値

よって、評価式の算出値は1より低い値なので、強度として十分である。

3. 浄化ユニットの構造強度及び耐震評価

(1) 前置フィルタ

a. 胴の厚さ評価

部材名称		胴板
材料		JIS G 3452 SGP
最高使用圧力	P (MPa)	■
最高使用温度	(°C)	■
胴の内径	Di (mm)	■
最高使用温度における材料の許容引張応力	S (MPa)	74
長手継手の効率	η (-)	0.7
放射線検査の有無		なし
PVC-3121	t (mm)	3
PVC-3122(1) 胴の計算上必要な厚さ	t (mm)	3.26
呼び厚さ	t _{so} (mm)	7.90
規格上必要な最小厚さ(呼び厚さ-0.99)	t _s (mm)	■
評価： $t \leq t_s$ よって十分である。		

b. 鏡板の厚さ評価

部材名称		鏡板 (上部/下部)
鏡板の内面における長径	Di _L (mm)	■
鏡板の内面における短径の 1 / 2	h (mm)	■
長径と短径の比	Di _L / (2h) (mm)	2
評価： $Di_L / (2h) \leq 2$ よって半だ円形鏡板である。(PVC-3210(3))		

部材名称		鏡板 (上部/下部)
材料		JIS G 3101 SS400
最高使用圧力	P (MPa)	■
最高使用温度	(°C)	■
胴の内径	Di (mm)	■
半だ円形鏡板の形状による係数	K (-)	1.00
最高使用温度における材料の許容引張応力	S (MPa)	100
長手継手の効率	η (-)	1.00
放射線検査の有無		なし
PVC-3220	t (mm)	1.68
PVC-3225半だ円形鏡板の計算上必要な厚さ	t (mm)	1.67
呼び厚さ	t _{co} (mm)	8.00
規格上必要な最小厚さ(呼び厚さ-1.2)	t _c (mm)	■
評価： $t \leq t_c$ よって十分である。		

c. 胴板の強度評価

部材名称	胴板	
材料	JIS G 3452 SGP	
内圧による周方向応力	$\sigma_{\phi 1}$ (MPa)	■
鉛直方向地震力による胴の周方向応力	$\sigma_{\phi 7}$ (MPa)	■
内圧による軸方向応力	$\sigma_{x 1}$ (MPa)	■
運転時質量による軸方向応力	$\sigma_{x 2}$ (MPa)	■
地震力による生じる転倒モーメントによる軸方向応力	$\sigma_{x 5}$ (MPa)	■
胴の鉛直方向地震による軸方向応力	$\sigma_{x 7}$ (MPa)	■
胴の一次一般膜応力 (周方向)	$\sigma_{0\phi}$ (MPa)	22
胴の一次一般膜応力 (軸方向)	σ_{0x} (MPa)	12
胴の一次一般膜応力	σ_0 (MPa)	22
胴の許容応力	Sa (MPa)	147
評価： $\sigma_0 \leq Sa$ よって十分である		

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 7}$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 7}$$

$$\sigma_0 = \text{Max}\{\sigma_{0\phi}, \sigma_{0x}\}$$

d. 脚の強度評価

部材名称	脚	
材料	JIS G 3101 SS400	
脚に生じる曲げ応力	σ_b (MPa)	■
脚に生じる圧縮応力	σ_c (MPa)	■
脚に生じるせん断応力	τ (MPa)	■
脚の組合せ応力	σ_s (MPa)	25
脚の許容引張応力	f_t (MPa)	245
脚の許容曲げ応力	f_b (MPa)	245
脚の許容せん断応力	f_s (MPa)	141
脚の許容圧縮応力	f_c (MPa)	157
評価： $\sigma_s \leq f_t$ よって十分である		

e. 脚の座屈評価

部材名称	脚	
材料	JIS G 3101 SS400	
脚のF値	F (MPa)	245
脚取付部中心までの長さ	L (mm)	■
脚の断面特性 断面積	A1 (mm ²)	■
脚断面の図心から本体外面までの距離	ee (mm)	■
水平荷重	FH (N)	■

脚の断面特性 荷重作用方向での断面係数	Z _{vv} (mm ³)	■
脚の断面特性 容器の接線方向軸まわりの各レグの断面係数	Z _v (mm ³)	■
脚に作用する圧縮力	F _{lc} (N)	■
座屈係数 λ	λ λ (-)	■
座屈係数 Λ	Λ (-)	■
座屈係数 ν	ν (-)	■
脚に生じる圧縮応力	σ _c (MPa)	4. 293256846
脚の曲げ応力	σ _b (MPa)	19. 94847458
脚の許容圧縮応力	f _c (MPa)	157. 9267526
脚の許容曲げ応力	f _b (MPa)	245
脚の組合せ応力評価 (座屈)		0. 11
評価 : $\sigma_b / f_b + \sigma_c / f_c \leq 1$ よって座屈しない		

$$\sigma_c = F_{lc} / A_l$$

$$\sigma_b = FH \times L / (4 \times Z_{vv}) + F_{lc} \times ee / Z_v$$

$$\nu = 3/2 + (2/3) \times (\lambda \lambda / \Lambda)^2$$

$$f_c = \{1 - 0.4 \times (\lambda \lambda / \Lambda)^2\} \times F / \nu$$

$$f_b = F$$

f. 取付ボルトの強度評価

部材名称	取付ボルト	
材料	JIS G 3101 SS400	
取付ボルトの有効断面積	A _b (mm ²)	■
前置フィルタ質量	m (kg)	■
重力加速度	g (m/s ²)	9. 80665
水平方向設計震度	C _H (-)	0. 36
鉛直方向設計震度	C _V (-)	0
運転時の重心	H (mm)	■
脚断面の図心の描く円の直径	L (mm)	■
取付ボルトの引張応力	σ _{b t} (MPa)	10
取付ボルトのせん断応力	τ _b (MPa)	1
せん断力のみを受ける取付ボルトの 許容せん断応力	f _{sb} (MPa)	135
引張力のみを受ける取付ボルトの 許容引張応力	f _{to} (MPa)	176
引張とせん断力を同時に受ける 取付ボルトの許容引張応力	f _{ts} (MPa)	176
評価 : $\sigma_{b t} \leq f_{ts}, \tau_b \leq f_{sb}$ よって十分である		

取付ボルトSu値 : 400MPa

取付ボルトSy値 : 235MPa

$$F_i = \text{Min}\{S_y, 0.7 \times S_u\}$$

$$f_{sb} = F_i / (1.5 \times \sqrt{3}) \times 1.5$$

$$f_{to} = (F_i / 2) \times 1.5$$

$$f_{ts} = \text{Min}\{1.4 \times f_{to} - 1.6 \times \tau_b, f_{to}\}$$

(2) 吸着塔タイプ1

a. 胴の厚さ評価

部材名称			胴板
材料			ASTM A106 Gr. B (JIS G 3456 STPT410相当)
最高使用圧力	P	(MPa)	■
最高使用温度		(°C)	■
胴の内径	D _i	(mm)	■
最高使用温度における材料の許容引張応力	S	(MPa)	103
長手継手の効率	η	(-)	1.00
放射線検査の有無			なし
PVC-3121	t	(mm)	3.00
PVC-3122(1) 胴の計算上必要な厚さ	t	(mm)	2.34
呼び厚さ	t _{so}	(mm)	9.53
規格上必要な最小厚さ(呼び厚さ-2.1)	t _s	(mm)	■
評価：t ≤ t _s よって十分である			

b. 平板の厚さ評価

部材名称			平板 (上部平板/下部平板)
平板の取付け方法			表 PVD-3310-1 (n)
平板の穴の有無			あり
最高使用温度		(°C)	■
平板の径 (ガスケット有効幅)	d	(mm)	■
平板の穴の径	d _h	(mm)	■
評価：d _h ≤ 1/2 · d よってPVD-3322(1) bにより計算を行う			

部材名称			平板 (上部平板/下部平板)
材料			JIS G 3101 SS400
最高使用圧力	P	(MPa)	■
最高使用温度		(°C)	■
平板の取付け方法による係数	K	(-)	0.31
最高使用温度における材料の許容引張応力	S	(MPa)	100
全体のボルトに作用する力	F	(N)	■
ボルトのピッチ円の直径とdとの差の1/2	h _g	(mm)	■

パッキンの外径又は平板の接触面の外径内の面積に作用する全圧力	W (N)	■
PVD-3322 (1)b平板の計算上必要な厚さ	t (mm)	41.78
呼び厚さ	t _{po} (mm)	50.00
規格上必要な最小厚さ(呼び厚さ-1.0)	t _p (mm)	■
評価：t ≤ t _p よって十分である		

c. 胴板の強度評価

部材名称	胴板	
材料	ASTM A106 Gr. B (JIS G 3456 STPT410相当)	
胴の周方向応力の和	σ_{ϕ} (MPa)	■
胴の軸方向応力の和(引張側)	σ_{xt} (MPa)	■
胴の軸方向応力の和(圧縮側)	σ_{xc} (MPa)	■
地震により胴に生じるせん断応力	τ (MPa)	■
胴板の組合せ応力	σ_0 (MPa)	26
胴の許容応力	S _a (MPa)	245
評価： $\sigma_0 \leq S_a$ よって十分である		

胴板Su値：410MPa

胴板Sy値：245MPa

許容応力 S_a = Min{S_y, 0.6 × S_u}

d. スカートの強度評価

部材名称	スカート	
材料	ASTM A106 Gr. B (JIS G 3456 STPT410相当)	
スカートの運転時質量による軸方向応力	σ_{s1} (MPa)	■
スカートの曲げモーメントによる軸方向応力	σ_{s2} (MPa)	■
スカートの鉛直方向地震による軸方向応力	σ_{s3} (MPa)	■
地震によりスカートに生じるせん断応力	τ_s (MPa)	■
スカートの組合せ応力	σ_s (MPa)	7
スカートの許容引張応力	f _t (MPa)	245
評価： $\sigma_s \leq f_t$ よって十分である		

スカートSu値：410MPa

スカートSy値：245MPa

許容応力 f_t = (Min{Sy, 0.7 × Su} / 1.5) × 1.5

e. スカートの座屈評価

部材名称	スカート	
材料	ASTM A106 Gr. B (JIS G 3456 STPT410相当)	
スカートの運転時質量による軸方向応力	σ_{s1} (MPa)	■
スカートの曲げモーメントによる軸方向応力	σ_{s2} (MPa)	■
スカートの鉛直方向地震による軸方向応力	σ_{s3} (MPa)	■
座屈応力に対する安全率	η (-)	1
軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	f_c (MPa)	245
曲げモーメントに対する許容座屈応力	f_b (MPa)	245
スカートの組合せ応力評価 (座屈)	0.03	
評価： $\eta \times (\sigma_{s1} + \sigma_{s3}) / f_c + \eta \times \sigma_{s2} / f_b \leq 1$ よって座屈しない		

スカートSu値：410MPa

スカートSy値：245MPa

$F = \text{Min}\{Sy, 0.7 \times Su\}$

$f_c = F$

$f_b = F$

f. 取付ボルトの強度評価

部材名称	取付ボルト	
材料	JIS G 3101 SS400	
取付ボルトの有効断面積	A_b (mm ²)	■
取付ボルトの本数	n (-)	■
容器の運転時質量	m_o (kg)	■
重力加速度	g (m/s ²)	9.80665
水平方向設計震度	C_H (-)	0.36
取付ボルト計算における係数	C_t (-)	■
取付ボルトのピッチ円直径	D_c (mm)	■
取付ボルトに作用する引張力	F_t (N)	■
取付ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離	t_1 (mm)	■
引張力とせん断力を同時に受ける取付ボルトの許容引張応力	f_{ts} (MPa)	176
せん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力	f_{sb} (MPa)	135
取付ボルトに生じる引張応力	σ_b (MPa)	6
取付ボルトに生じるせん断応力	τ_b (MPa)	3
評価： $\sigma_b \leq f_{ts}, \tau_b \leq f_{sb}$ よって十分である		

取付ボルトSu値：400MPa

取付ボルトSy値：235MPa

$F_i = \text{Min}\{Sy, 0.7 \times Su\}$

$$f_{sb} = F_i / (1.5 \times \sqrt{3}) \times 1.5$$

$$f_{to} = (F_i / 2) \times 1.5$$

$$f_{ts} = \text{Min}\{1.4 \times f_{to} - 1.6 \times \tau_b, f_{to}\}$$

(3) 吸着塔タイプ2

a. 胴の厚さ評価

部材名称			胴板
材料			JIS G 4304 SUS316L
最高使用圧力	P	(MPa)	■
最高使用温度			(°C)
胴の内径	Di	(mm)	■
最高使用温度における材料の許容引張応力	S	(MPa)	111
長手継手の効率	η	(-)	0.70
継手の種類			突合せ両側溶接
放射線検査の有無			なし
PVC-3121	t	(mm)	1.50
PVC-3122(1) 胴の計算上必要な厚さ	t	(mm)	4.45
呼び厚さ	t _{so}	(mm)	8.00
規格上必要な最小厚さ(呼び厚さ-2.49)	t _s	(mm)	■
評価： $t \leq t_s$ よって十分である。			

b. 鏡板の厚さ評価

部材名称			鏡板 (上部/下部)
鏡板の外径	Doc	(mm)	■
鏡板の中央部における内面の半径	R	(mm)	■
鏡板のすみの丸みの内半径	r	(mm)	■
鏡板の呼び厚さ	t _{co}	(mm)	■
3 · t _{co}			(mm)
0.06 · Doc			(mm)
評価： $Doc \geq R, r \geq 3 \cdot t_{co}, r \geq 0.06 \cdot Doc, r \geq 50\text{mm}$ よってさら形鏡板である。 (PVC-3210(1))			

部材名称			鏡板 (上部/下部)
材料			JIS G 4304 SUS316L
最高使用圧力	P	(MPa)	■
最高使用温度			(°C)
胴の内径	Di	(mm)	■
さら形鏡板の形状による係数	W		1.5406
最高使用温度における材料の許容引張応力	S	(MPa)	111

継手効率	η	(-)	1.00
放射線検査の有無			なし
PVC-3221鏡板の計算上必要な厚さ	t	(mm)	4.77
呼び厚さ	t_{co}	(mm)	8.00
規格上必要な最小厚さ(呼び厚さ-2.8)	t_c	(mm)	■
評価： $t \leq t_c$ よって十分である			

c. 胴板の強度評価

部材名称	胴板		
材料	JIS G 4304 SUS316L		
胴の周方向応力の和	σ_{ϕ}	(MPa)	■
胴の軸方向応力の和(引張側)	σ_{xt}	(MPa)	■
胴の軸方向応力の和(圧縮側)	σ_{xc}	(MPa)	■
地震により胴に生じるせん断応力	τ	(MPa)	■
胴板の組合せ応力	σ_0	(MPa)	44
胴の許容応力	S_a	(MPa)	175
評価： $\sigma_0 \leq S_a$ よって十分である			

胴板Su値：480MPa

胴板Sy値：175MPa

胴板S値：111MPa

許容応力 $S_a = \text{Max}\{1.2 \times S, \text{Min}\{S_y, 0.6 \times S_u\}\}$

d. スカートの強度評価

部材名称	スカート		
材料	JIS G 4304 SUS316L		
スカートの運転時質量による軸方向応力	σ_{s1}	(MPa)	■
スカートの曲げモーメントによる軸方向応力	σ_{s2}	(MPa)	■
スカートの鉛直方向地震による軸方向応力	σ_{s3}	(MPa)	■
地震によりスカートに生じるせん断応力	τ_s	(MPa)	■
スカートの組合せ応力	σ_s	(MPa)	2
スカートの許容引張応力	f_t	(MPa)	175
評価： $\sigma_s \leq f_t$ よって十分である			

スカートSu値：480MPa

スカートSy値：175MPa

許容応力 $f_t = (\text{Min}\{S_y, 0.7 \times S_u\} / 1.5) \times 1.5$

e. スカートの座屈評価

部材名称	スカート		
材料	JIS G 4304 SUS316L		
スカートの運転時質量による軸方向応力	σ_{s1}	(MPa)	■

スカート曲げモーメントによる軸方向応力	σ_{s2} (MPa)	
スカートの鉛直方向地震による軸方向応力	σ_{s3} (MPa)	
座屈応力に対する安全率	η (-)	1
軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	f_c (MPa)	175
曲げモーメントに対する許容座屈応力	f_b (MPa)	175
スカートの組合せ応力評価 (座屈)		0.01
評価: $\eta \times (\sigma_{s1} + \sigma_{s3}) / f_c + \eta \times \sigma_{s2} / f_b \leq 1$ よって座屈しない		

スカートSu値: 480MPa

スカートSy値: 175MPa

$F = \text{Min}\{Sy, 0.7 \times Su\}$

$f_c = F$

$f_b = F$

f. 取付ボルトの強度評価

部材名称	取付ボルト	
材料	JIS G 3101 SS400	
取付ボルトの有効断面積	A_b (mm ²)	
取付ボルトの本数	n (-)	
容器の運転時質量	m_o (kg)	
重力加速度	g (m/s ²)	9.80665
水平方向設計震度	C_H (-)	0.36
取付ボルト計算における係数	C_t (-)	
取付ボルトのピッチ円直径	D_c (mm)	
取付ボルトに作用する引張力	F_t (N)	
取付ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離	t_1 (mm)	
取付ボルトに生じる引張応力	σ_b (MPa)	1
取付ボルトに生じるせん断応力	τ_b (MPa)	2
引張力とせん断力を同時に受ける取付ボルトの許容引張応力	f_{ts} (MPa)	161
せん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力	f_{sb} (MPa)	124
評価: $\sigma_b \leq f_{ts}, \tau_b \leq f_{sb}$ よって十分である		

取付ボルトSu値: 400MPa

取付ボルトSy値: 215MPa

$F = \text{Min}\{Sy, 0.7 \times Su\}$

$f_{sb} = F / (1.5 \times \sqrt{3}) \times 1.5$

$f_{to} = (F/2) \times 1.5$

$f_{ts} = \text{Min}\{1.4 \times f_{to} - 1.6 \times \tau_b, f_{to}\}$

(4) 出口フィルタ

a. 胴の厚さ評価

部材名称			胴板
材料			GB S31603 (JIS G4304 SUS316L相当)
最高使用圧力	P	(MPa)	■
最高使用温度		(°C)	■
胴の内径	Di	(mm)	■
最高使用温度における材料の許容引張応力	S	(MPa)	111
長手継手の効率	η	(-)	0.70
継手の種類			突合せ両側溶接
放射線検査の有無			なし
PVC-3121	t	(mm)	1.50
PVC-3122(1) 胴の計算上必要な厚さ	t	(mm)	1.36
呼び厚さ	t _{so}	(mm)	3.00
規格上必要な最小厚さ(呼び厚さ-0.5)	t _s	(mm)	■
評価: $t \leq t_s$ よって十分である			

b. 鏡板の厚さ評価

部材名称			鏡板 (上部/下部)
鏡板の内面における長径	Di _L	(mm)	■
鏡板の内面における短径の 1 / 2	h	(mm)	■
長径と短径の比	Di _L / (2h)	(-)	2
評価: $Di_L / (2h) \leq 2$ よって半だ円形鏡板である (PVC-3210(3))			

部材名称			鏡板 (上部/下部)
材料			GB S31603 (JIS G4304 SUS316L相当)
最高使用圧力	P	(MPa)	■
最高使用温度		(°C)	■
胴の内径	Di	(mm)	■
半だ円形鏡板の形状による係数	K		1.00
最高使用温度における材料の許容引張応力	S	(MPa)	111
継手効率	η	(-)	1.00
放射線検査の有無			なし
PVC-3220	t	(mm)	0.95
PVC-3225 半だ円形鏡板の計算上必要な厚さ	t	(mm)	0.95
呼び厚さ	t _{co}	(mm)	3.00
規格上必要な最小厚さ(呼び厚さ-0.9)	t _c	(mm)	■
評価: $t \leq t_c$ よって十分である			

c. 胴板の強度評価

部材名称	胴板	
材料	GB S31603 (JIS G4304 SUS316L相当)	
内圧による周方向応力	$\sigma_{\phi 1}$ (MPa)	■
鉛直方向地震力による胴の周方向応力	$\sigma_{\phi 7}$ (MPa)	■
内圧による軸方向応力	$\sigma_{x 1}$ (MPa)	■
運転時質量による軸方向応力	$\sigma_{x 2}$ (MPa)	■
地震力による生じる転倒モーメントによる軸方向応力	$\sigma_{x 5}$ (MPa)	■
胴の鉛直方向地震による軸方向応力	$\sigma_{x 7}$ (MPa)	■
胴の一次一般膜応力 (周方向)	$\sigma_{0\phi}$ (MPa)	36
胴の一次一般膜応力 (軸方向)	σ_{0x} (MPa)	21
胴の一次一般膜応力	σ_0 (MPa)	36
胴板の許容一次一般膜応力	S_a (MPa)	175
評価： $\sigma_0 \leq S_a$ よって十分である		

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 7}$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 7}$$

$$\sigma_0 = \text{Max}\{\sigma_{0\phi}, \sigma_{0x}\}$$

d. 脚の強度評価

部材名称	脚	
材料	AISI 304 (JIS G 4317 SUS304相当)	
脚に生じる曲げ応力	σ_b (MPa)	■
脚に生じる圧縮応力	σ_c (MPa)	■
脚に生じるせん断応力	τ (MPa)	■
脚の組合せ応力	σ_s (MPa)	51
脚の許容引張応力	f_t (MPa)	205
脚の許容曲げ応力	f_b (MPa)	205
脚の許容せん断応力	f_s (MPa)	118
脚の許容圧縮応力	f_c (MPa)	129
評価： $\sigma_s \leq f_t$ よって十分である		

e. 脚の座屈評価

部材名称			脚
材料			AISI 304 (JIS G 4317 SUS304相当)
脚のF値	F	(MPa)	205
脚取付部中心までの長さ	L	(mm)	■
脚の断面特性 断面積	A1	(mm ²)	■
脚断面の図心から本体外面までの距離	ee	(mm)	■
水平荷重	FH	(N)	■
脚の断面特性 荷重作用方向での断面二次モーメント	I _{vv}	(mm ⁴)	■
脚の断面特性 荷重作用方向での断面二次モーメントの総和	ΣI	(mm ⁴)	■
脚の断面特性 荷重作用方向での断面係数	Z _{vv}	(mm ³)	■
脚の断面特性 容器の接線方向軸まわりの各レグの断面係数	Z _v	(mm ³)	■
脚に作用する圧縮力	F _{1c}	(N)	■
座屈係数 λ	λ	(-)	■
座屈係数 Λ	Λ	(-)	■
座屈係数 ν	ν	(-)	■
脚に生じる圧縮応力	σ _c	(MPa)	4.566098928
脚の曲げ応力	σ _b	(MPa)	46.6
脚の許容圧縮応力	f _c	(MPa)	129.3992272
脚の許容曲げ応力	f _b	(MPa)	205
脚の組合せ応力評価 (座屈)		(-)	0.27
評価 : $\sigma_b / f_b + \sigma_c / f_c \leq 1$ よって座屈しない			

$$\sigma_c = F_{1c} / A_1$$

$$\sigma_b = FH \times I_{vv} / \Sigma I \times L / Z_{vv} + F_{1c} \times ee / Z_v$$

$$\nu = 3/2 + (2/3) \times (\lambda / \Lambda)^2$$

$$f_c = \{1 - 0.4 \times (\lambda / \Lambda)^2\} \times F / \nu$$

$$f_b = F$$

f. 取付ボルトの強度評価

部材名称			取付ボルト
材料			JIS G 3101 SS400
取付ボルトの有効断面積	A _b	(mm ²)	■
出口フィルタ質量	m	(kg)	■
重力加速度	g	(m/s ²)	9.80665
水平方向設計震度	C _H	(-)	0.36
鉛直方向設計震度	C _V	(-)	0

運転時の重心	H	(mm)	
脚断面の図心の描く円の直径	L	(mm)	
取付ボルトの引張応力	σ_{bt}	(MPa)	34
取付ボルトのせん断応力	τ_b	(MPa)	2
せん断力のみを受ける取付ボルトの 許容せん断応力	f_{sb}	(MPa)	141
引張力のみを受ける取付ボルトの 許容引張応力	f_{to}	(MPa)	183
引張とせん断力を同時に受ける 取付ボルトの許容引張応力	f_{ts}	(MPa)	183
評価： $\sigma_{bt} \leq f_{ts}$, $\tau_b \leq f_{sb}$ よって十分である			

取付ボルトSu値：480MPa

取付ボルトSy値：175MPa

$F_i = \text{Min}\{S_y, 0.7 \times S_u\}$

$f_{sb} = F_i / (1.5 \times \sqrt{3}) \times 1.5$

$f_{to} = (F_i / 2) \times 1.5$

$f_{ts} = \text{Min}\{1.4 \times f_{to} - 1.6 \times \tau_b, f_{to}\}$

(5) 配管

a. 配管の厚さ評価 (3 2 A)

部材名称	配管		
材料	JIS G 3454 STPG370		
口径	32A		
スケジュール	40		
最高使用圧力	P	(MPa)	0.98
最高使用温度		(°C)	40
配管の外径	D_o	(mm)	42.7
最高使用温度における材料の許容引張応力	S	(MPa)	93
長手継手の効率	η	(-)	1.00
PPD-3411 (1) 管の計算上必要な厚さ	t	(mm)	0.23
PPD-3411 (3)	t	(mm)	1.90
呼び厚さ	t_{so}	(mm)	3.60
規格上必要な最小厚さ(呼び厚さ-0.5)	t_s	(mm)	3.10
評価： $t \leq t_s$ よって十分である			

b. 配管の厚さ評価 (40A)

部材名称	配管	
材料	JIS G 3454 STPG370	
口径	40A	
スケジュール	40	
最高使用圧力	P (MPa)	0.98
最高使用温度	(°C)	40
配管の外径	Do (mm)	48.6
最高使用温度における材料の許容引張応力	S (MPa)	93
長手継手の効率	η (-)	1.00
PPD-3411 (1) 管の計算上必要な厚さ	t (mm)	0.26
PPD-3411 (3)	t (mm)	2.20
呼び厚さ	t _{so} (mm)	3.70
規格上必要な最小厚さ (呼び厚さ-0.5)	t _s (mm)	3.20
評価: $t \leq t_s$ よって十分である		

c. 配管の厚さ評価 (50A)

部材名称	配管	
材料	JIS G 3454 STPG370	
口径	50A	
スケジュール	40	
最高使用圧力	P (MPa)	0.98
最高使用温度	(°C)	40
配管の外径	Do (mm)	60.5
最高使用温度における材料の許容引張応力	S (MPa)	93
長手継手の効率	η (-)	1.00
PPD-3411 (1) 管の計算上必要な厚さ	t (mm)	0.32
PPD-3411 (3)	t (mm)	2.40
呼び厚さ	t _{so} (mm)	3.90
規格上必要な最小厚さ (呼び厚さ-0.5)	t _s (mm)	3.40
評価: $t \leq t_s$ よって十分である		

d. 配管の厚さ評価 (100A)

部材名称	配管	
材料	JIS G 3454 STPG370	
口径	100A	
スケジュール	40	
最高使用圧力	P (MPa)	0.98
最高使用温度	(°C)	40
配管の外径	Do (mm)	114.3

最高使用温度における材料の許容引張応力	S (MPa)	93
長手継手の効率	η (-)	1.00
PPD-3411 (1) 管の計算上必要な厚さ	t (mm)	0.60
PPD-3411 (3)	t (mm)	3.40
呼び厚さ	t_{so} (mm)	6.00
規格上必要な最小厚さ (呼び厚さ $\times 0.75$)	t_s (mm)	5.25
評価： $t \leq t_s$ よって十分である		

(6) 移送ポンプ取付ボルトの強度評価

機器名称		移送ポンプ
評価部位		取付ボルト
材質		JIS G 4303 SUS304
取付ボルト間の水平方向距離	L (mm)	■
機器質量	m (kg)	■
重力加速度	g (m/s^2)	9.80665
据付面からの重心までの距離	H (mm)	■
重心と取付ボルト間の水平方向距離	L_1 (mm)	■
重心と取付ボルト間の水平方向距離	L_2 (mm)	■
引張力の作用する取付ボルトの評価本数	n_f (-)	■
取付ボルトの本数	n (-)	■
取付ボルトの軸断面積	A_b (mm^2)	■
水平方向設計震度	C_H (-)	0.36
ポンプ振動による震度	C_P (-)	■
取付ボルトに作用する引張力	F_b (N)	—
取付ボルトの引張応力	σ_b (MPa)	—
取付ボルトのせん断応力	τ_b (MPa)	2.708679401
取付ボルトの許容引張応力	f_{ts} (MPa)	153
取付ボルトの許容せん断応力	f_{sb} (MPa)	118
評価： $\sigma_b \leq f_{ts}$, $\tau_b \leq f_{sb}$ よって十分である		

取付ボルトSu値：520MPa

取付ボルトSy値：205MPa

$F_i = \text{Min}\{S_y, 0.7 \times S_u\}$

$f_{sb} = F_i / (1.5 \times \sqrt{3}) \times 1.5$

$f_{to} = (F_i / 2) \times 1.5$

$f_{ts} = \text{Min}\{1.4 \times f_{to} - 1.6 \times \tau_b, f_{to}\}$

(7) 浄化ユニット基礎ボルトの強度評価

a. 浄化ユニットA

機器名称	浄化ユニットA	
評価部位	基礎ボルト	
材質	JIS G 3101 SS400	
基礎ボルト間の水平方向距離	L (mm)	■
機器質量	m (kg)	■
重力加速度	g (m/s ²)	9.80665
据付面からの重心までの距離	H (mm)	■
重心と基礎ボルト間の水平方向距離	L ₁ (mm)	■
重心と基礎ボルト間の水平方向距離	L ₂ (mm)	■
引張力の作用する基礎ボルトの評価本数	n _f (-)	■
基礎ボルトの本数	n (-)	■
基礎ボルトの軸断面積	A _b (mm ²)	■
水平方向設計震度	C _H (-)	0.36
基礎ボルトに作用する引張力	F _b (N)	■
基礎ボルトの引張応力	σ _b (MPa)	—
基礎ボルトのせん断応力	τ _b (MPa)	18
基礎ボルトの許容引張応力 (MPa)	f _{to}	27
基礎ボルトの許容せん断応力	f _{sb} (MPa)	38
評価：σ _b ≤ f _{to} , τ _b ≤ f _{sb} よって十分である		

b. 浄化ユニットB

機器名称	浄化ユニットB	
評価部位	基礎付ボルト	
材質	JIS G 3101 SS400	
基礎ボルト間の水平方向距離	L (mm)	■
機器質量	m (kg)	■
重力加速度	g (m/s ²)	9.80665
据付面からの重心までの距離	H (mm)	■
重心と基礎ボルト間の水平方向距離	L ₁ (mm)	■
重心と基礎ボルト間の水平方向距離	L ₂ (mm)	■
引張力の作用する基礎ボルトの評価本数	n _f (-)	■
基礎ボルトの本数	n (-)	■
基礎ボルトの軸断面積	A _b (mm ²)	■
水平方向設計震度	C _H (-)	0.36
基礎ボルトに作用する引張力	F _b (N)	■
基礎ボルトの引張応力	σ _b (MPa)	—
基礎ボルトのせん断応力	τ _b (MPa)	16

基礎ボルトの許容引張応力	f_{to} (MPa)	27
基礎ボルトの許容せん断応力	f_{sb} (MPa)	38
評価： $\sigma_b \leq f_{to}$, $\tau_b \leq f_{sb}$ よって十分である		

c. 浄化ユニットC

機器名称	浄化ユニットC	
評価部位	基礎ボルト	
材質	JIS G 3101 SS400	
基礎ボルト間の水平方向距離	L (mm)	■
機器質量	m (kg)	■
重力加速度	g (m/s^2)	9.80665
据付面からの重心までの距離	H (mm)	■
重心と基礎ボルト間の水平方向距離	L_1 (mm)	■
重心と基礎ボルト間の水平方向距離	L_2 (mm)	■
引張力の作用する基礎ボルトの評価本数	n f (-)	■
基礎ボルトの本数	n (-)	■
基礎ボルトの軸断面積	A_b (mm^2)	■
水平方向設計震度	C_H (-)	0.36
基礎ボルトに作用する引張力	F_b (N)	■
基礎ボルトの引張応力	σ_b (MPa)	—
基礎ボルトのせん断応力	τ_b (MPa)	17
基礎ボルトの許容引張応力	f_{to} (MPa)	27
基礎ボルトの許容せん断応力	f_{sb} (MPa)	38
評価： $\sigma_b \leq f_{to}$, $\tau_b \leq f_{sb}$ よって十分である		

d. 浄化ユニットD

機器名称	浄化ユニットD	
評価部位	基礎ボルト	
材質	JIS G 3101 SS400	
基礎ボルト間の水平方向距離	L (mm)	■
機器質量	m (kg)	■
重力加速度	g (m/s^2)	9.80665
据付面からの重心までの距離	H (mm)	■
重心と基礎ボルト間の水平方向距離	L_1 (mm)	■
重心と基礎ボルト間の水平方向距離	L_2 (mm)	■
引張力の作用する基礎ボルトの評価本数	n f (-)	■
基礎ボルトの本数	n (-)	■
基礎ボルトの軸断面積	A_b (mm^2)	■
水平方向設計震度	C_H (-)	0.36
基礎ボルトに作用する引張力	F_b (N)	■

基礎ボルトの引張応力	σ_b (MPa)	—
基礎ボルトのせん断応力	τ_b (MPa)	16
基礎ボルトの許容引張応力	f_{t0} (MPa)	27
基礎ボルトの許容せん断応力	f_{sb} (MPa)	38
評価： $\sigma_b \leq f_{t0}$, $\tau_b \leq f_{sb}$ よって十分である		

(8) 移送ポンプスキッド基礎ボルトの強度評価

a. 移送ポンプ (6.5 m) スキッド

機器名称	移送ポンプ (6.5 m) スキッド	
評価部位	基礎ボルト	
材質	JIS G 3101 SS400	
基礎ボルト間の水平方向距離	L (mm)	■
機器質量	m (kg)	■
重力加速度	g (m/s ²)	9.80665
据付面からの重心までの距離	H (mm)	■
重心と基礎ボルト間の水平方向距離	L ₁ (mm)	■
重心と基礎ボルト間の水平方向距離	L ₂ (mm)	■
引張力の作用する基礎ボルトの評価本数	n _f (-)	■
基礎ボルトの本数	n (-)	■
基礎ボルトの軸断面積	A _b (mm ²)	■
水平方向設計震度	C _H (-)	0.36
基礎ボルトに作用する引張力	F _b (N)	■
基礎ボルトの引張応力	σ_b (MPa)	—
基礎ボルトのせん断応力	τ_b (MPa)	9
基礎ボルトの許容引張応力	f_{t0} (MPa)	27
基礎ボルトの許容せん断応力	f_{sb} (MPa)	38
評価： $\sigma_b \leq f_{t0}$, $\tau_b \leq f_{sb}$ よって十分である		

b. 移送ポンプ (4.3.2 m) スキッド

機器名称	移送ポンプ (4.3.2 m) スキッド	
評価部位	基礎ボルト	
材質	JIS G 3101 SS400	
基礎ボルト間の水平方向距離	L (mm)	■
機器質量	m (kg)	■
重力加速度	g (m/s ²)	9.80665
据付面からの重心までの距離	H (mm)	■
重心と基礎ボルト間の水平方向距離	L ₁ (mm)	■

重心と基礎ボルト間の水平方向距離	L_2 (mm)		
引張力の作用する基礎ボルトの評価本数	n_f (-)		
基礎ボルトの本数	n (-)		
基礎ボルトの軸断面積	A_b (mm ²)		
水平方向設計震度	C_H (-)		0.36
基礎ボルトに作用する引張力	F_b (N)		
基礎ボルトの引張応力	σ_b (MPa)		—
基礎ボルトのせん断応力	τ_b (MPa)		11
基礎ボルトの許容引張応力	f_{t0} (MPa)		27
基礎ボルトの許容せん断応力	f_{sb} (MPa)		38
評価： $\sigma_b \leq f_{t0}$, $\tau_b \leq f_{sb}$ よって十分である			

c. 移送ポンプ（13m）スキッド

機器名称	移送ポンプ（13m）スキッド		
評価部位	基礎ボルト		
材質	JIS G 3101 SS400		
基礎ボルト間の水平方向距離	L (mm)		
機器質量	m (kg)		
重力加速度	g (m/s ²)		9.80665
据付面からの重心までの距離	H (mm)		
重心と基礎ボルト間の水平方向距離	L_1 (mm)		
重心と基礎ボルト間の水平方向距離	L_2 (mm)		
引張力の作用する基礎ボルトの評価本数	n_f (-)		
基礎ボルトの本数	n (-)		
基礎ボルトの軸断面積	A_b (mm ²)		
水平方向設計震度	C_H (-)		0.36
基礎ボルトに作用する引張力	F_b (N)		
基礎ボルトの引張応力	σ_b (MPa)		—
基礎ボルトのせん断応力	τ_b (MPa)		5
基礎ボルトの許容引張応力	f_{t0} (MPa)		27
基礎ボルトの許容せん断応力	f_{sb} (MPa)		38
評価： $\sigma_b \leq f_{t0}$, $\tau_b \leq f_{sb}$ よって十分である			

(9) 浄化ユニットの転倒評価

a. 浄化ユニットA

機器名称			浄化ユニットA
評価部位			本体
水平方向設計震度	C_H	(-)	0.36
鉛直方向設計震度	C_v	(-)	0.00
浄化ユニットの合計質量	m	(kg)	■
重力加速度	g	(m/s^2)	9.80665
地面からユニットまでの距離	H	(mm)	■
転倒支点から重心までの距離	L	(mm)	■
地震による転倒モーメント	$M_1 = m \times g \times C_H \times H$ (kN・m)		110
自重による安定モーメント	$M_2 = m \times g \times (1 - C_v) \times L$ (kN・m)		304
評価： $M_1 < M_2$ よって転倒しない。			

b. 浄化ユニットB

機器名称			浄化ユニットB
評価部位			本体
水平方向設計震度	C_H	(-)	0.36
鉛直方向設計震度	C_v	(-)	0.00
浄化ユニットの合計質量	m	(kg)	■
重力加速度	g	(m/s^2)	9.80665
地面からユニットまでの距離	H	(mm)	■
転倒支点から重心までの距離	L	(mm)	■
地震による転倒モーメント	$M_1 = m \times g \times C_H \times H$ (kN・m)		99
自重による安定モーメント	$M_2 = m \times g \times (1 - C_v) \times L$ (kN・m)		269
評価： $M_1 < M_2$ よって転倒しない。			

c. 浄化ユニットC

機器名称			浄化ユニットC
評価部位			本体
水平方向設計震度	C_H	(-)	0.36
鉛直方向設計震度	C_v	(-)	0.00
浄化ユニットの合計質量	m	(kg)	■
重力加速度	g	(m/s^2)	9.80665
地面からユニットまでの距離	H	(mm)	■
転倒支点から重心までの距離	L	(mm)	■
地震による転倒モーメント	$M_1 = m \times g \times C_H \times H$ (kN・m)		99
自重による安定モーメント	$M_2 = m \times g \times (1 - C_v) \times L$ (kN・m)		280
評価： $M_1 < M_2$ よって転倒しない。			

d. 浄化ユニットD

機器名称	浄化ユニットD	
評価部位	本体	
水平方向設計震度	C_H (-)	0.36
鉛直方向設計震度	C_v (-)	0.00
浄化ユニットの合計質量	m (kg)	■
重力加速度	g (m/s^2)	9.80665
地面からユニットまでの距離	H (mm)	■
転倒支点から重心までの距離	L (mm)	■
地震による転倒モーメント	$M_1 = m \times g \times C_H \times H$ (kN・m)	100
自重による安定モーメント	$M_2 = m \times g \times (1 - C_v) \times L$ (kN・m)	255
評価： $M_1 < M_2$ によって転倒しない。		

(10) 移送ポンプスキッドの安定性

a. 移送ポンプ (6.5m) スキッド

機器名称	移送ポンプ (6.5m) スキッド	
評価部位	本体	
水平方向設計震度	C_H (-)	0.36
鉛直方向設計震度	C_v (-)	0.00
移送ポンプスキッドの合計質量	m (kg)	■
重力加速度	g (m/s^2)	9.80665
地面からユニットまでの距離	H (mm)	■
転倒支点から重心までの距離	L (mm)	■
地震による転倒モーメント	$M_1 = m \times g \times C_H \times H$ (kN・m)	8
自重による安定モーメント	$M_2 = m \times g \times (1 - C_v) \times L$ (kN・m)	26
評価： $M_1 < M_2$ によって転倒しない。		

b. 移送ポンプ（43.2m）スキッド

機器名称		移送ポンプ（43.2m） スキッド
評価部位		本体
水平方向設計震度	C_H (-)	0.36
鉛直方向設計震度	C_v (-)	0.00
移送ポンプスキッドの合計質量	m (kg)	■
重力加速度	g (m/s^2)	9.80665
地面からユニットまでの距離	H (mm)	■
転倒支点から重心までの距離	L (mm)	■
地震による転倒モーメント	$M_1 = m \times g \times C_H \times H$ (kN・m)	8
自重による安定モーメント	$M_2 = m \times g \times (1 - C_v) \times L$ (kN・m)	21
評価： $M_1 < M_2$ によって転倒しない。		

c. 移送ポンプ（13m）スキッド

機器名称		移送ポンプ（13m） スキッド
評価部位		本体
水平方向設計震度	C_H (-)	0.36
鉛直方向設計震度	C_v (-)	0.00
移送ポンプスキッドの合計質量	m (kg)	■
重力加速度	g (m/s^2)	9.80665
地面からユニットまでの距離	H (mm)	■
転倒支点から重心までの距離	L (mm)	■
地震による転倒モーメント	$M_1 = m \times g \times C_H \times H$ (kN・m)	4
自重による安定モーメント	$M_2 = m \times g \times (1 - C_v) \times L$ (kN・m)	6
評価： $M_1 < M_2$ によって転倒しない。		