

2.43 油処理装置

2.43.1 基本設計

2.43.1.1 設置の目的

タービン建屋他の滞留水表面に確認されている油分は、滞留水水位を低下させる過程で、滞留水移送装置にて汚染水処理装置へ移送されると、汚染水処理装置の吸着性能への影響が懸念されるため、現在回収を実施している。本装置は、回収した滞留水の油分を低減させ、汚染水処理を円滑に進めていくことを目的として設置するものである。

2.43.1.2 要求される機能

- (1) 油分を含む滞留水の油分濃度を低減する能力を有すること。
- (2) 漏えい防止機能を有すること。万一、機器・配管等から漏えいした場合においても、施設外への漏えい拡大を防止できること。

2.43.1.3 設計方針

(1) 処理能力

油処理装置は、回収した油分を含む滞留水から油分濃度を低減する能力を有する設計とする。

(2) 材料

油処理装置は、処理対象水の性状を考慮し、適切な材料を用いた設計とする。

(3) 放射性物質を内包する液体の漏えい防止及び漏えい拡大防止

油処理装置の機器等は、放射性物質を内包する液体の漏えい防止及び施設外への漏えい拡大を防止するため、次の各項を考慮した設計とする。

- a. 漏えいの発生を防止するため、機器等には適切な材料を使用するとともに、容器に水位検出器等を設ける。
- b. 液体状の放射性物質が漏えいした場合に備え、機器周囲に堰等を設置することで漏えいの拡大を防止する。また、堰内等に漏えい検知器を設置し、早期検知を図る。
- c. 異常を早期に検知し適切な処置をとれるよう、容器の水位や漏えい検出等の警報は油処理装置監視室に表示する。

- (4) 被ばく低減
油処理装置の機器等は、遮へい、機器の配置により被ばくの低減を考慮した設計とする。また、運転員が運転状態等を油処理装置監視室にて監視できる配置とし、被ばくの低減を考慮した設計とする。
- (5) 可燃性ガスの管理
油処理装置は、油分解時に発生する可燃性ガスを滞留することなく排気できる設計とする。
- (6) 誤操作の防止に対する考慮
油処理装置は、運転員の誤操作、誤判断を防止するために、特に重要な運転操作については、ダブルアクションを要する等の設計とする。
- (7) 健全性に対する考慮
油処理装置は、機器の重要度に応じて有効な保全が可能な設計とする。

2.43.1.4 供用期間中に確認する項目

油処理装置の処理により、回収された油分を含む滞留水の油分濃度が低減出来ること。

2.43.1.5 主要な機器

油処理装置は、油水分離装置・油分解装置で構成される。

- (1) 油水分離装置
油水分離装置は、集合槽・浮上分離槽・樹脂充填塔で構成される。
 - a. 集合槽は、角型槽を4槽に区画した、受水槽・循環槽・均一化槽・第1モニタリング槽からなる。
 - (a) 受水槽では、移送された滞留水を一時貯留し、攪拌して油層と水層を混合する。
 - (b) 循環槽では、浮上分離槽で分離した水層を一時貯留する。
 - (c) 均一化槽では、浮上分離槽で分離した油層を一時貯留し、攪拌して油層を均一化する。
 - (d) 第1モニタリング槽では、樹脂充填塔の処理水および第2モニタリング槽からの移送水を一時貯留し、油分濃度が所定値以下であることを確認する。所定値以下であることを確認された処理水は、プロセス主建屋へ移送する。
 - b. 浮上分離槽では、受水槽からの油水混合液を油層と水層に分離する。
 - c. 樹脂充填塔では、水層に残留した油分を、充填した油吸着樹脂により除去する。

(2) 油分解装置

油分解装置は、乳化槽・酸化分解機・ブロー水受槽・油吸着樹脂塔・第2モニタリング槽で構成される。

- a. 乳化槽では、電解質を溶かした水に油と乳化剤を添加し、攪拌することで、酸化分解に適した性状に整える。
- b. 酸化分解機では、水と油の混合液を二酸化炭素・酸素・水素に酸化分解する。なお、乳化槽、酸化分解機は循環系を形成し、水と油の混合液の油分濃度を監視しながら、一定時間の回分処理を行う。
- c. ブロー水受槽では、回分処理を終えた混合液を受け、乳化破壊と油分吸着を同時に行う樹脂を投入して、一定時間攪拌することで反応させる。
- d. 油吸着樹脂塔では、水層に残留した油分を、充填した油吸着樹脂により除去する。
- e. 第2モニタリング槽では、油吸着樹脂塔の処理水を一時貯留し、油分濃度が所定値以下であることを確認する。油分濃度が所定値以下であることを確認後、処理水を第1モニタリング槽へ移送する。

2.43.1.6 自然災害対策等

(1) 津波

油処理装置は、仮設防潮堤内に設置し、アウターライズ津波による浸水を防止する。また、アウターライズ津波を上回る津波の襲来に備え、大津波警報が出た際には、油処理装置監視室より直ちに装置の運転を停止し、隔離弁を閉止することで、滞留水の流出を防止する。

(2) 火災

実用上可能な限り不燃性または難燃性材料を使用するとともに、初期消火のため消火器を本装置近傍に設置する。

(3) 豪雨及び強風

油処理設備は、雨水の侵入を防止し、強風に耐えうる構造とするため、コンテナ車内に設置する。

2.43.1.7 構造強度及び耐震性

(1) 構造強度

油処理装置を構成する主要な機器は「JSME S NC1 2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（以下、「設計・建設規格」という）」に従い設計することとし、必要に応じて JIS, ISO, JWVA 規格に従った設計とする。設計・建設規格で規定される材料の JIS 年度指定は、技術的妥当性の範囲において材料調達性の観点から考慮しない場合もある。

(2) 耐震性

油処理装置を構成する主要機器のうち放射性物質を内包するものは、「発電用原子力施設に関する耐震設計審査指針」のBクラス相当の設備と位置づけられる。

耐震性を評価するにあたっては、「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」等に準拠する。ポリエチレン管及び伸縮継手は、材料の可撓性により耐震性を確保する。

2.43.2 基本仕様

2.43.2.1 系統仕様

(1) 油水分離装置

処理方式 加圧浮上分離及び吸着材方式
 系列数 2
 処理量 1m³/h/系列

(2) 油分解装置

処理方式 酸化分解及び吸着材方式
 系列数 1
 性能 出口側にて浮遊油 10ppm 以下（目標値）

2.43.2.2 機器仕様

2.43.2.2.1 油水分離装置

(1) 集合槽

名 称			集合槽			
			受水槽	第1モニタ リング槽	循環槽	均一化槽
種 類	—	角形				
容 量	m ³ /個	2.0	2.2	2.2	2.2	
最 高 使 用 圧 力	MPa	静水頭				
最 高 使 用 温 度	℃	40				
主 要 寸 法	側 板 厚 さ	mm	9.0	9.0	9.0	9.0
	底 板 厚 さ	mm	18.0			
	仕 切 板 厚 さ	mm	9.0	9.0	9.0	
	内 寸 (た て)	mm	1294.0	1294.0	1294.0	1294.0
	内 寸 (横)	mm	995.5	997.0	997.0	995.5
	高 さ	mm	1888.0	1888.0	1888.0	1888.0
材 料	側 板	—	SUS304 (ライニング)			
	底 板	—	SUS304 (ライニング)			
個 数	個	1				

(2) 浮上分離槽

名 称			浮上分離槽							
種	類	—	たて置円筒形							
容	量	m ³ /個	0.25							
最	高	使	用							
圧	力	MPa	静水頭							
最	高	使	用							
温	度	℃	40							
主	要	洞	内	径	mm	601.6				
		洞	板	厚	さ	mm	4.0			
		円	す	い	洞	板	厚	さ	mm	4.0
		底	板	厚	さ	mm	4.0			
		高	さ	mm	1713.0					
材	料	洞	板	—	SUS304 (ライニング)					
		円	す	い	洞	板	—	SUS304 (ライニング)		
個	数	個	2							

(3) 樹脂充填塔

名 称			樹脂充填塔				
種	類	—	たて置円筒形				
容	量	m ³ /h/個	1.0				
最	高	使	用				
圧	力	MPa	0.3				
最	高	使	用				
温	度	℃	40				
主	要	洞	板	厚	さ	mm	6.0
		鏡	板	厚	さ	mm	6.0
		洞	内	径	mm	496.0	
		高	さ	mm	1489.0		
材	料	洞	板	—	SUS304 (ライニング)		
		鏡	板	—	SUS304 (ライニング)		
個	数	個	4				

(4) ポンプ

a. 原水ポンプ (完成品)

台数 2 台

容量 1.2 m³/h

b. 樹脂充填塔送りポンプ (完成品)

台数 2 台

容量 1.2 m³/h

c. 処理水返送ポンプ (完成品)

台数 1 台

容量 2.4 m³/h

d. 浮上油移送ポンプ (完成品)

台数 1 台

容量 1.56×10^{-3} m³/h

(5) 主配管

主配管仕様 (1/2)

名 称	仕 様	
原水の油水分離装置入口取合い点から集合槽（受水槽）入口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A／Sch. 20S SUS304TP（ライニング） 0.3MPa 40℃
集合槽（受水槽）出口から原水ポンプ（A, B）入口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A／Sch. 20S SUS304TP（ライニング） 静水頭 40℃
原水ポンプ出口（A, B）から浮上分離槽（A, B）入口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A／Sch. 20S 32A／Sch. 20S SUS304TP（ライニング） 0.15MPa 40℃
浮上分離槽（A, B）水層出口から集合槽（循環槽）入口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A／Sch. 20S SUS304TP（ライニング） 静水頭 40℃
浮上分離槽（A, B）油層出口から集合槽（均一化槽）入口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A／Sch. 40 SUS316LTP 静水頭 40℃
集合槽（循環槽）出口から樹脂充填塔送りポンプ（A, B）入口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A／Sch. 20S SUS304TP（ライニング） 静水頭 40℃
樹脂充填塔送りポンプ（A, B）出口から樹脂充填塔（A, B, C, D）入口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A／Sch. 20S SUS304TP（ライニング） 0.3MPa 40℃
樹脂充填塔出口配管分岐から樹脂充填塔入口配管分岐まで（A-C, B-D, C-A, D-B） （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A／Sch. 20S SUS304TP（ライニング） 0.3MPa 40℃
樹脂充填塔（A, B, C, D）出口から集合槽（第1モニタリング槽）入口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A／Sch. 20S 50A／Sch. 20S SUS304TP（ライニング） 0.3MPa 40℃

主配管仕様 (2/2)

名 称	仕 様	
集合槽 (第1モニタリング槽) 出口から処理水返送ポンプ入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 20S SUS304TP (ライニング) 静水頭 40°C
処理水返送ポンプ出口から油水分離装置出口取合い点まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A/Sch. 20S 50A/Sch. 20S SUS304TP (ライニング) 0.4MPa 40°C
油水分離装置出口取合い点からプロセス主建屋まで (ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 ポリエチレン 0.4MPa 40°C
集合槽 (均一化槽) 出口から浮上油移送ポンプ入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	32A/Sch. 20S SUS304TP (ライニング) 静水頭 40°C
浮上油移送ポンプ出口から油分解装置入口取合い点まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	20A/Sch. 20S 8A/Sch. 40 SUS304TP (ライニング) SUS316LTP 0.3MPa 40°C
(伸縮継手)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	20A 相当 SUS316L 0.3MPa 40°C
油分解装置処理水の油水分離装置入口取合い点から集合槽 (第1モニタリング槽) 入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A/Sch. 40 SUS304TP 0.15MPa 50°C

2.43.2.2.2 油分解装置

(1) 乳化槽

名 称			乳化槽
種	類	—	たて置円筒形
容	量	m ³ /個	1.3
最 高 使 用 圧 力		MPa	静水頭
最 高 使 用 温 度		℃	50
主 要 寸 法	胴 板 厚 さ	mm	4.0
	鏡 板 厚 さ	mm	4.0
	胴 内 径	mm	1200.0
	高 さ	mm	1567.0
材 料	胴 板	—	SUS304
	鏡 板	—	SUS304
個	数	個	1

(2) ブロー水受槽

名 称			ブロー水受槽
種	類	—	たて置円筒形
容	量	m ³ /個	1.8
最 高 使 用 圧 力		MPa	静水頭
最 高 使 用 温 度		℃	50
主 要 寸 法	胴 板 厚 さ	mm	4.0
	底 板 厚 さ	mm	6.0
	胴 内 径	mm	1200.0
	胴 部 高 さ	mm	1600.0
材 料	胴 板	—	SUS304
	底 板	—	SUS304
個	数	個	1

(3) 油吸着樹脂塔

名 称			油吸着樹脂塔
種	類	—	たて置円筒形
容	量	m ³ /h/個	0.045
最 高 使 用 圧 力		MPa	0.3
最 高 使 用 温 度		℃	50
主 要 寸 法	胴 板 厚 さ	mm	6.0
	鏡 板 厚 さ	mm	6.0
	胴 内 径	mm	306.5
	胴 部 高 さ	mm	1831.0
材 料	胴 板	—	SUS304
	鏡 板	—	SUS304
個	数	個	2

(4) 第2モニタリング槽

名 称			第2モニタリング槽
種	類	—	たて置円筒形
容	量	m ³ /個	1.8
最 高 使 用 圧 力		MPa	静水頭
最 高 使 用 温 度		℃	50
主 要 寸 法	胴 板 厚 さ	mm	4.0
	底 板 厚 さ	mm	6.0
	胴 内 径	mm	1200.0
	胴 部 高 さ	mm	1600.0
材 料	胴 板	—	SUS304
	底 板	—	SUS304
個	数	個	1

(5) ポンプ

- a. 循環ポンプ (完成品)
- 台数 1 台
- 容量 72 m³/h
- b. ブロー水受槽送りポンプ (完成品)
- 台数 1 台
- 容量 2.4 m³/h
- c. 油吸着樹脂塔送りポンプ (完成品)
- 台数 1 台
- 容量 0.45 m³/h
- d. 処理水第1モニタリング槽送りポンプ (完成品)
- 台数 1 台
- 容量 2.4 m³/h

(6) 酸化分解機 (完成品)

名 称		酸化分解機	
種 類	—	角形	
容 量	m ³ /個	0.1	
最 高 使 用 圧 力	MPa	0.3	
最 高 使 用 温 度	℃	50	
主 要 寸 法 ※1	側 板 厚 さ	mm	9.0
	ふた板 (上部) の厚さ	mm	15.0
	ふた板 (下部) の厚さ	mm	28.0
	内 寸 (た て)	mm	510.0
	内 寸 (横)	mm	250.0
	高 さ	mm	691.0
材 料	側 板	—	SUS304 (ライニング)
	ふ た 板	—	SUS304 (ライニング)
個 数	個	4	

※1 寸法はいずれもライニング加工前のものとする。

(7) 主配管

主配管仕様 (1/2)

名 称	仕 様	
浮上油の油分解装置入口取合い点から乳化工槽入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	20A/Sch. 20S SUS304TP (ライニング) 0.3MPa 40°C
乳化工槽出口から循環ポンプ入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A/Sch. 40 100A/Sch. 40 SUS304TP 静水頭 50°C
循環ポンプ出口から酸化分解機入口 (A, B, C, D) まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A/Sch. 40 80A/Sch. 40 100A/Sch. 40 SUS304TP 0.3MPa 50°C
酸化分解機出口 (A, B, C, D) から乳化工槽入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A/Sch. 40 100A/Sch. 40 150A/Sch. 40 SUS304TP 0.3MPa 50°C
乳化工槽出口配管分岐からブロー水受槽送りポンプ入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 SUS304TP 静水頭 50°C
ブロー水受槽送りポンプ出口からブロー水受槽入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 SUS304TP 0.15MPa 50°C
(伸縮継手)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 SUS304 0.15MPa 50°C
ブロー水受槽出口から油吸着樹脂塔送りポンプ入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A/Sch. 40 SUS304TP 静水頭 50°C

主配管仕様 (2/2)

名 称	仕 様	
油吸着樹脂塔送りポンプ出口から油吸着樹脂塔 (A, B) 入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A/Sch. 40 SUS304TP 0.3MPa 50°C
油吸着樹脂塔出口配管分岐から油吸着樹脂塔入口配管分岐まで (A-B, B-A) (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A/Sch. 40 SUS304TP 0.3MPa 50°C
油吸着樹脂塔 (A, B) 出口から第 2 モニタリング槽入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A/Sch. 40 SUS304TP 0.3MPa 50°C
第 2 モニタリング槽出口から処理水第 1 モニタリング槽送りポンプ入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 SUS304TP 静水頭 50°C
処理水第 1 モニタリング槽送りポンプ出口から油水分離装置入口取合い点まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A/Sch. 40 SUS304TP 0.15MPa 50°C
(伸縮継手)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A 相当 SUS304 0.15MPa 50°C

2.43.3 添付資料

添付資料－1：装置配置概要図，系統構成図

添付資料－2：油処理装置の耐震性に関する説明書

添付資料－3：油処理装置の強度に関する説明書

添付資料－4：油処理装置の具体的な安全確保策等

添付資料－5：油処理装置に係る確認事項

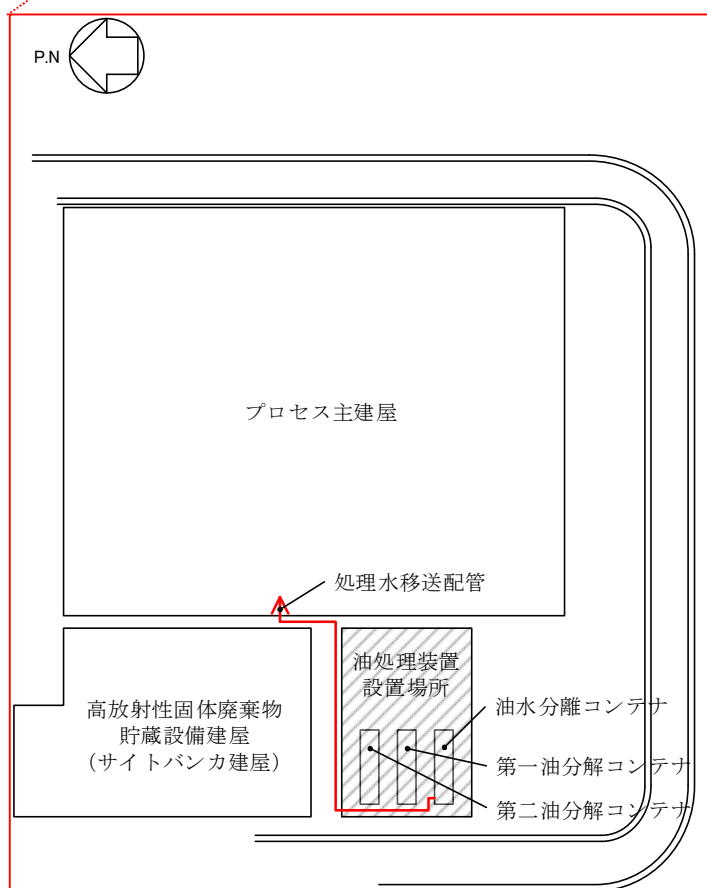


図-1 油処理装置配置

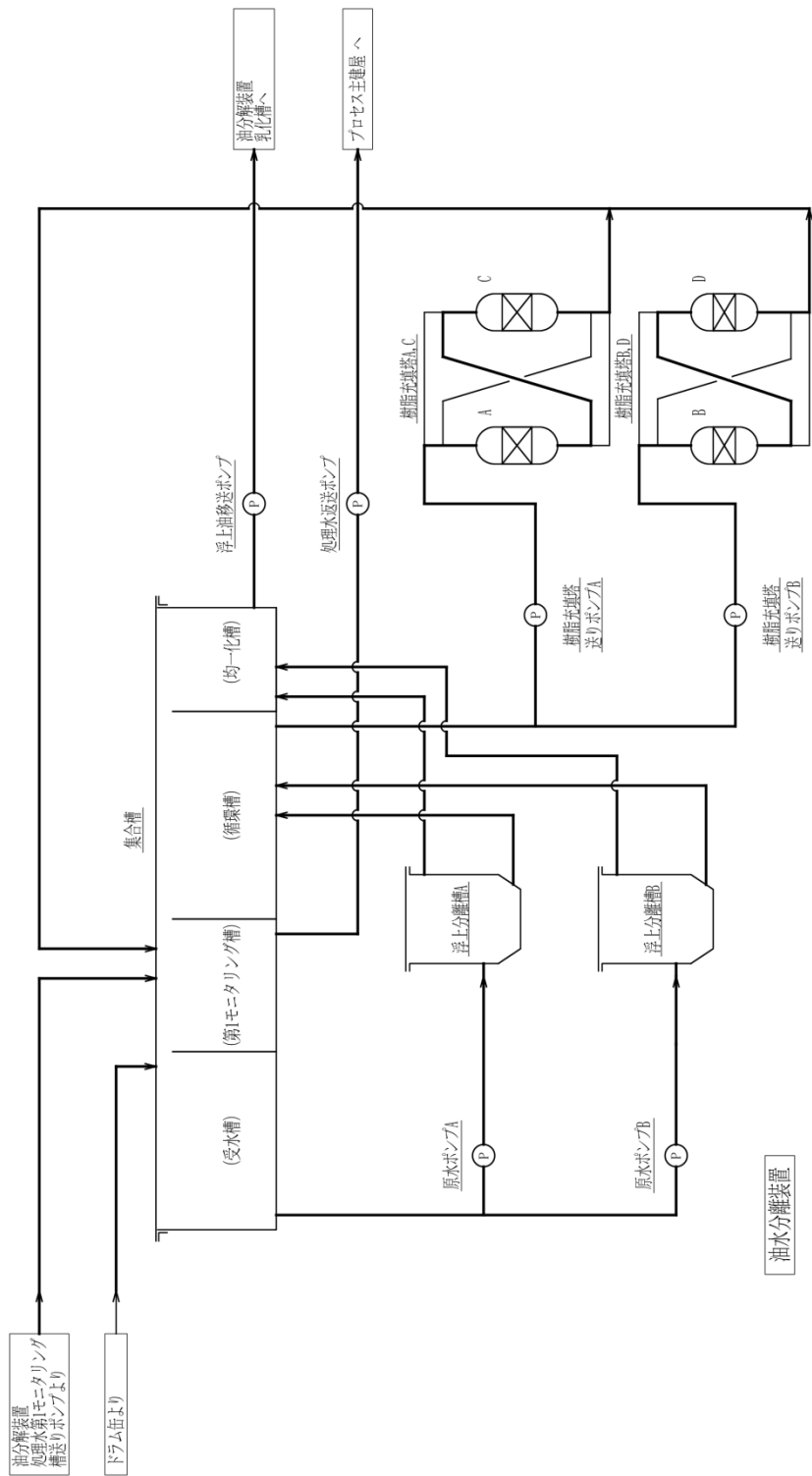


図-2 油処理装置 系統構成図
(1/2)

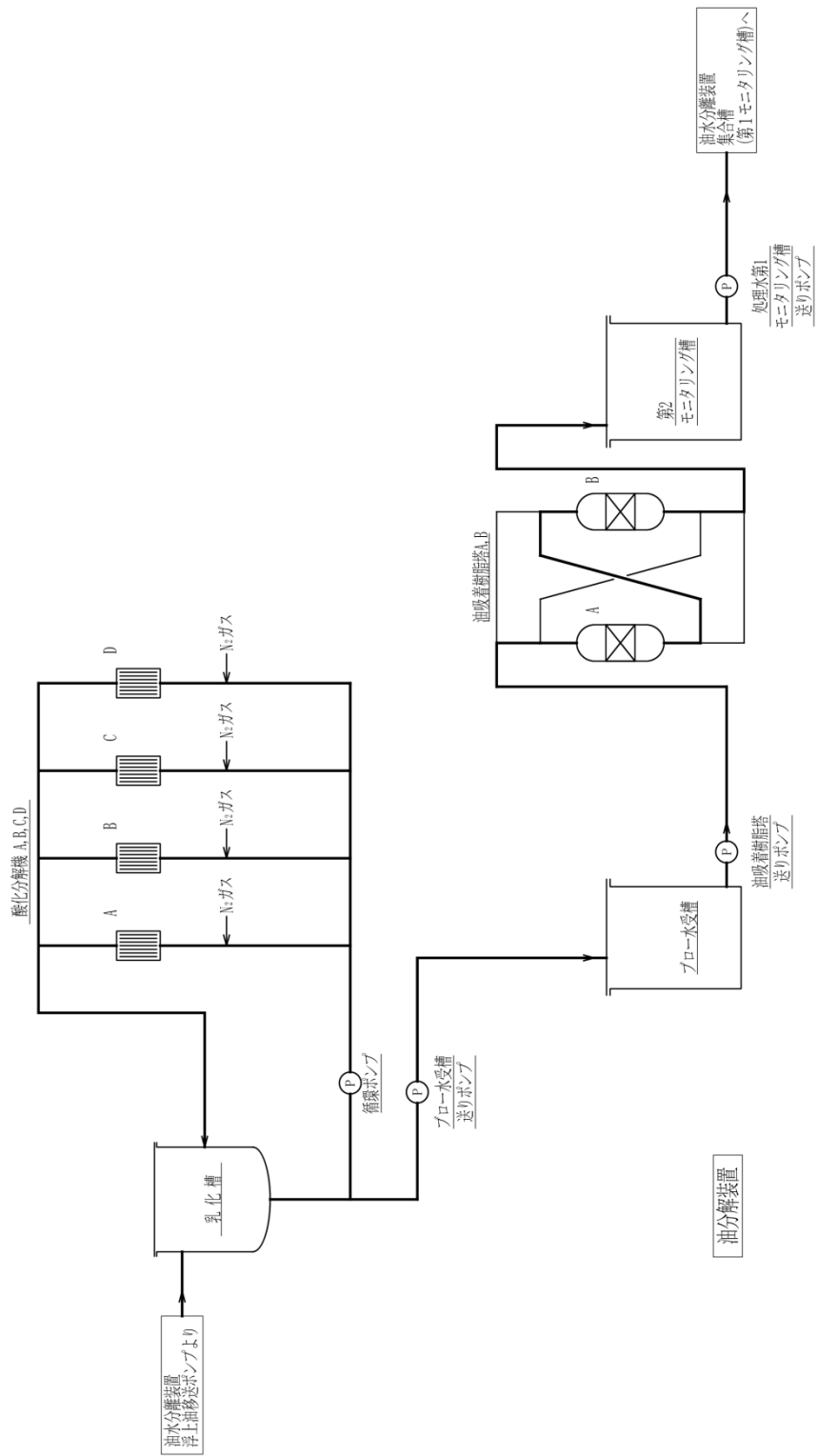


図-2 油処理装置 系統構成図
(2/2)

油処理装置の耐震性に関する説明書

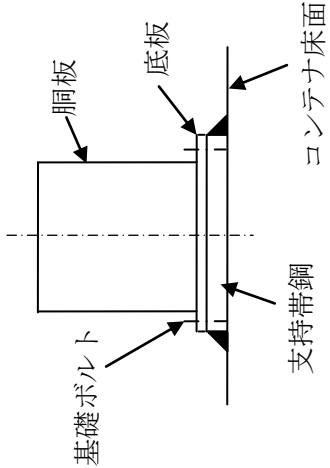
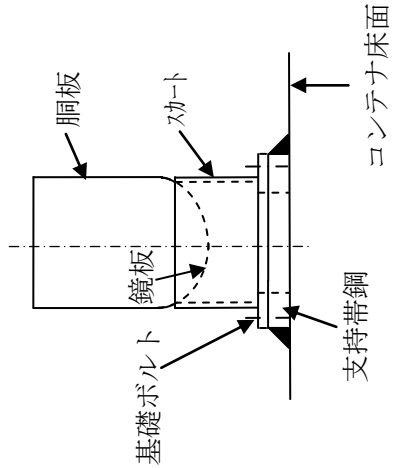
1 耐震設計の方針

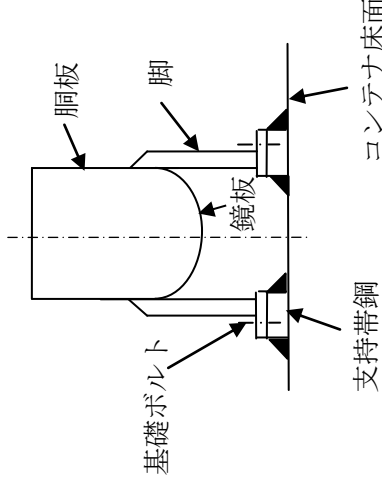
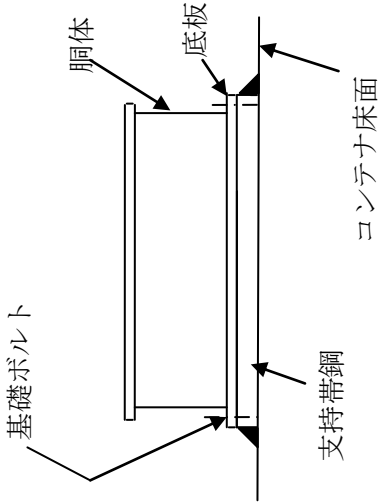
油処理装置のうち放射性物質を内包するものは、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の B クラス相当の設備と位置付けられる。主要な機器および配管の耐震評価は、「JEA4601 原子力発電所耐震設計技術規程」等に準じて行う。

1.1 設備の重要度による耐震クラス別分類

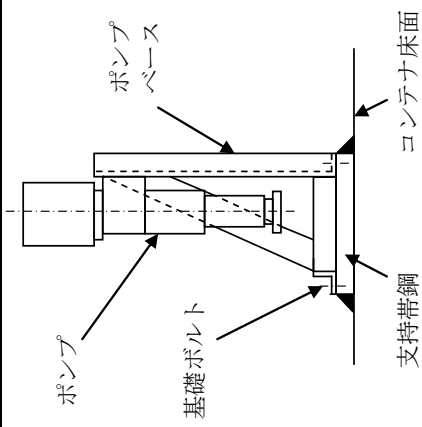
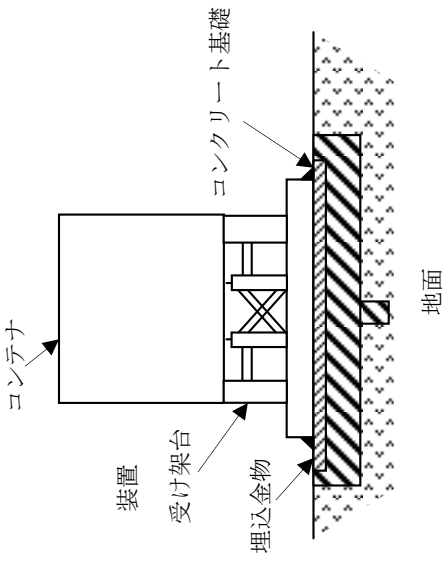
系統設備	耐震クラス B
<p>2.43 油処理装置</p> <p>(1) 容器</p> <p>(2) ポンプ</p> <p>(3) 配管</p> <p>(4) コンテナ</p>	<p>集合槽</p> <p>浮上分離槽</p> <p>樹脂充填塔</p> <p>乳化槽</p> <p>ブロー水受槽</p> <p>油吸着樹脂塔</p> <p>第 2 モニタリング槽</p> <p>酸化分解機</p> <p>原水ポンプ</p> <p>樹脂充填塔送りポンプ</p> <p>処理水返送ポンプ</p> <p>浮上油移送ポンプ</p> <p>循環ポンプ</p> <p>ブロー水受槽送りポンプ</p> <p>油吸着樹脂塔送りポンプ</p> <p>処理水第 1 モニタリング槽送りポンプ</p> <p>主配管</p> <p>装置受け架台</p>

1.2 構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図	摘要
	基礎・支持構造	主体構造		
(1) 平底たて置円筒形容器	床面に設けた支持帯鋼に、底板を基礎ボルトで固定する。	下面に底板を有するたて置円筒形		ブロー水受槽 第2モニタリング槽
(2) スカート支持たて置円筒形容器	銅板をスカートで支持し、床面に設けた支持帯鋼に、スカートを基礎ボルトで固定する。	下面に円錐形を有するたて置円筒形 上面及び下面に鏡板を有するたて置円筒形		浮上分離槽 樹脂充填塔 油吸着樹脂塔

主要区分	計画の概要		概略構造図	摘要
	基礎・支持構造	主体構造		
(3) 4脚たて置 円筒形容器	胴板を4脚で支持し、床面に設けた支持帯鋼に、脚を基礎ボルトで固定する。	下面に鏡板を有するたて置円筒形		乳化槽
(4) 平底角形容 器	床面に設けた支持帯鋼に、底板を基礎ボルトで固定する。	下面に底板を有する平底角形		集合槽

主要区分	計画の概要		概略構造図	摘要
	基礎・支持構造	主体構造		
(5) 角形機器	角形機器は床面に設けた架台に基礎ボルトで固定する。	上, 下面に平板を有する角形機器		酸化分解機
(6) 横軸うず巻ポンプ	ポンプはポンプベースに固定し, 床面に設けた支持帯鋼に, ポンプベースを基礎ボルトで固定する。	うず巻形		循環ポンプ

主要区分	計画の概要		概略構造図	摘要
	基礎・支持構造	主体構造		
(7) たて型一軸ねじポンプ	ポンプはポンプベースに固定し、床面に設けた支持帯鋼に、ポンプベースを基礎ボルトで固定する。	一軸ねじ形		<p>原水ポンプ</p> <p>樹脂充填塔送りポンプ</p> <p>処理水返送ポンプ</p> <p>浮上油移送ポンプ</p> <p>ブロー水受槽送りポンプ</p> <p>油吸着樹脂塔送りポンプ</p> <p>処理水第1モニタリング槽送りポンプ</p>
(8) コンテナ	コンテナは装置受け架台に固定し、基礎に埋込む金物と装置受け架台を溶接で固定する。	コンテナ		<p>油水分離コンテナ</p> <p>第1油分解コンテナ</p> <p>第2油分解コンテナ</p>

1.3 設計用地震力

項目	耐震 クラス	適用する地震動等		設計用地震力
		水平	鉛直	
機器・配管系	B	静的震度 ($1.8 \times C_i^*$)	—	静的地震力

注記 ※ : C_i は, 標準せん断力係数を 0.2 とし, 建物・構造物の振動特性, 地盤の種類等を考慮して求められる値とする。

1.4 荷重の組合せと許容限界

1.4.1 荷重の組合せと許容限界

荷重の組合せと許容限界は, 以下の通りとする。

記号の説明

- D : 死荷重
- P_d : 当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重
- M_d : 当該設備に設計上定められた機械的荷重
- S_B : Bクラスの設備に適用される地震動より求まる地震力又は静的地震力
- C_S : Bクラスの設備の地震時の供用状態
- S_y : 設計降伏点 設計・建設規格 付録材料図表 Part5表8に規定される値
- S_u : 設計引張強さ 設計・建設規格 付録材料図表 Part5表9に規定される値
- S : 許容引張応力設計 建設規格 付録材料図表 Part5表5～7に規定される値
- f_t : 許容引張応力 支持構造物(ボルト等を除く。)に対して設計・建設規格SSB-3121.1により規定される値。ボルト等に対して設計・建設規格SSB-3131により規定される値
- f_s : 許容せん断応力 同上
- f_c : 許容圧縮応力 支持構造物(ボルト等を除く。)に対して設計・建設規格SSB-3121.1により規定される値。
- f_b : 許容曲げ応力 同上
- f_p : 許容支圧応力 同上
- τ_b : ボルトに生じるせん断応力

(1) 機器

耐震クラス	荷重の組合せ	供用状態	許容限界	
			一次一般膜応力	一次応力
B	$D + P_d + M_d + S_B$	C s	$\min[S_y, 0.6 \cdot S_u]$ ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 $1.2 \cdot S$ とすることができる。	S_y ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 $1.2 \cdot S$ とすることができる。

(2) 支持構造物(ボルト等以外)

応力分類 供用状態	許容限界(ボルト等以外)									
	一次応力					一次+二次応力範囲				
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 ⁽¹⁾ 圧縮	せん断 ⁽¹⁾	曲げ ⁽¹⁾	支圧	座屈
C s	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$3 \cdot f_t$	$3 \cdot f_s$ ⁽²⁾	$3 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$1.5 \cdot f_b$ ⁽³⁾ , $1.5 \cdot f_s$ 又は $1.5 \cdot f_c$

注(1):地震荷重のみによる応力範囲について評価する。

注(2):すみ肉溶接部にあつては、最大応力を $1.5 f_s$ 以下に制限する。

注(3):自重により常時作用する荷重に、地震による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

(3) 支持構造物(ボルト等)

応力分類 供用状態	許容限界(ボルト等)		
	一次応力		
	引張	せん断	組合せ
C s	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$\min[1.5 \cdot f_t, 2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau_b]$

2 耐震性評価

2.1 ブロー水受槽， 第2モニタリング槽

2.1.1 評価方法

本評価は、「付録1 平底たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Bクラス）の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下、「基本方針」という。）に準じて行う。応力評価箇所を図-1， 2に示す。

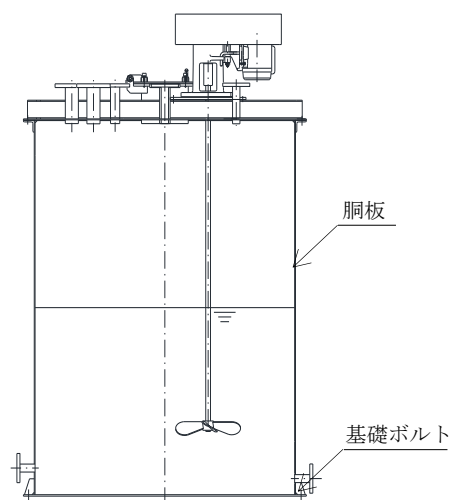


図-1 ブロー水受槽応力評価箇所

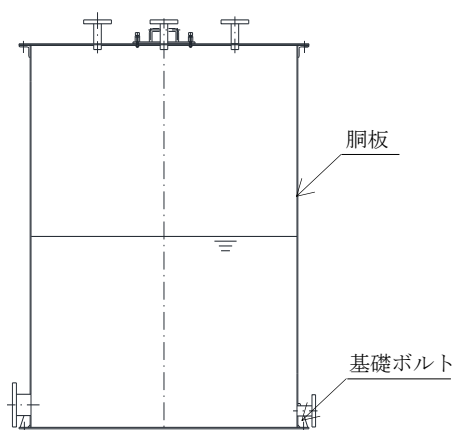


図-2 第2モニタリング槽応力評価箇所

2.1.2 評価結果

各部材に生じる最大応力が許容応力以下であることを確認した。(表-1, 2)

(1) ブロー水受槽

表-1 本体, 基礎ボルトの応力評価結果

部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
胴板	SUS304	一次一般膜応力	3	198
		地震力のみによる一次+ 二次応力の変動値	5	
		圧縮と曲げの組合せ (座屈評価)	$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1$	
			0.02(無次元)	
基礎 ボルト	SUS304	引張応力	<0	148
		せん断応力	7	114

(2) 第2モニタリング槽

表-2 本体, 基礎ボルトの応力評価結果

部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
胴板	SUS304	一次一般膜応力	3	198
		地震力のみによる一次+ 二次応力の変動値	4	
		圧縮と曲げの組合せ (座屈評価)	$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1$	
			0.02(無次元)	
基礎 ボルト	SUS304	引張応力	<0	148
		せん断応力	7	114

2.2 浮上分離槽，樹脂充填塔，油吸着樹脂塔

2.2.1 評価方法

本評価は、「付録2 スカート支持たて置円筒形容器(耐震設計上の重要度分類Bクラス)の耐震性についての計算書作成の基本方針」(以下、「基本方針」という。)に準じて行う。応力評価箇所を図-3～5に示す。

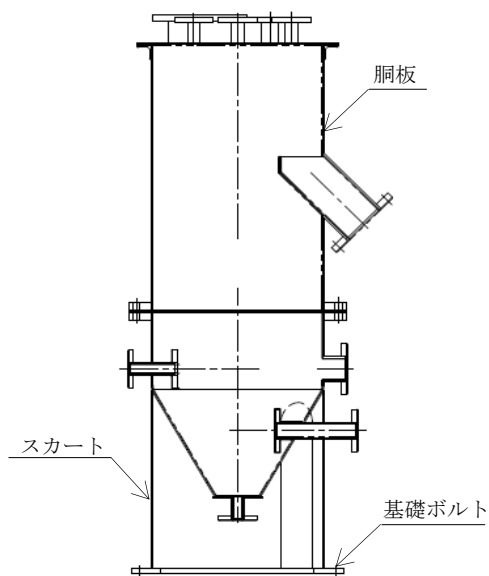


図-3 浮上分離槽応力評価箇所

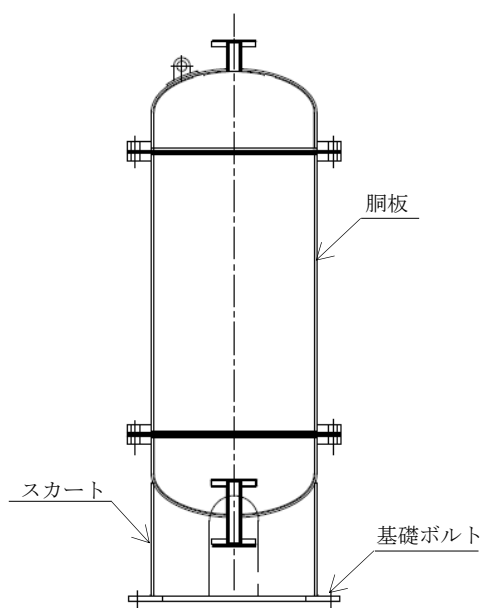
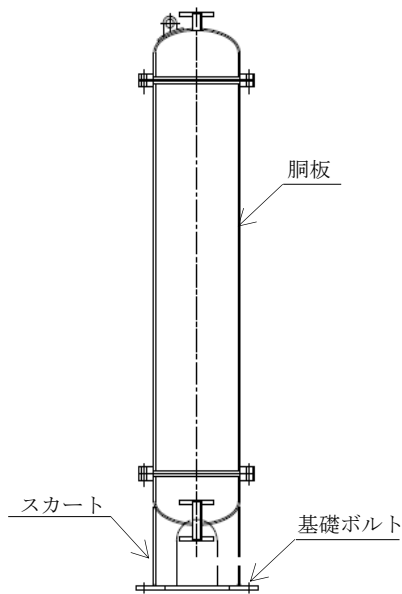


図-4 樹脂充填塔応力評価箇所



図－5 油吸着樹脂塔応力評価箇所

2.2.2 評価結果

各部材に生じる最大応力が許容応力以下であることを確認した。(表－3～5)

(1) 浮上分離槽

表－3 本体，基礎ボルトの応力評価結果

部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
胴板	SUS304	一次一般膜応力	3	154
		地震力のみによる一次＋ 二次応力の変動値	4	
スカート	SUS304	組合せ応力	18	205
		圧縮と曲げの組合せ (座屈評価)	$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1$	
			0.09(無次元)	
基礎 ボルト	SUS304	引張応力	3	153
		せん断応力	3	118

(2) 樹脂充填塔

表-4 本体, 基礎ボルトの応力評価結果

部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
胴板	SUS304	一次一般膜応力	13	154
		地震力のみによる一次+二次応力の変動値	3	
スカート	SUS304	組合せ応力	5	205
		圧縮と曲げの組合せ (座屈評価)	$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1$	
			0.03(無次元)	
基礎ボルト	SUS304	引張応力	2	153
		せん断応力	3	118

(3) 油吸着樹脂塔

表-5 本体, 基礎ボルトの応力評価結果

部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
胴板	SUS304	一次一般膜応力	8	154
		地震力のみによる一次+二次応力の変動値	4	
スカート	SUS304	組合せ応力	15	205
		圧縮と曲げの組合せ (座屈評価)	$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1$	
			0.08(無次元)	
基礎ボルト	SUS304	引張応力	4	153
		せん断応力	1	118

2.3 乳化槽

2.3.1 評価方法

本評価は、「付録3 4脚たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Bクラス）の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下、「基本方針」という。）に準じて行う。応力評価箇所を図-6に示す。

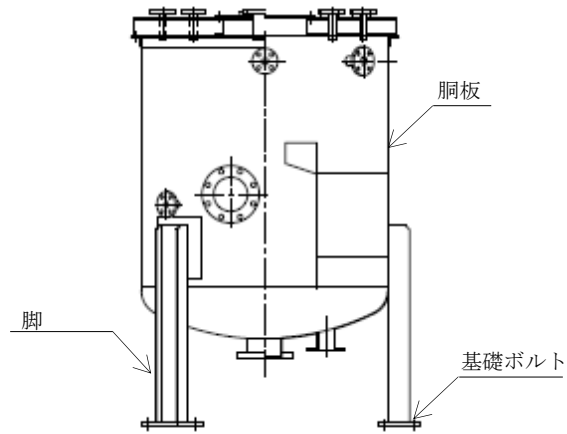


図-6 乳化槽応力評価箇所

2.3.2 評価結果

各部材に生じる最大応力が許容応力以下であることを確認した。（表-6）

表-6 本体，基礎ボルトの応力評価結果

部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
胴板	SUS304	一次一般膜応力	3	154
		地震力のみによる一次＋二次応力の変動値	9	
脚	SUS304	組合せ応力	21	205
		圧縮と曲げの組合せ (座屈評価)	$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1$ 0.10(無次元)	
基礎ボルト	SUS304	引張応力	22	153
		せん断応力	7	118

2.4 集合槽

2.4.1 評価方法

地震力による応力計算には、3次元FEMモデルを採用し、解析コードとしてNastranを用いる。応力評価箇所を図-7に示す。

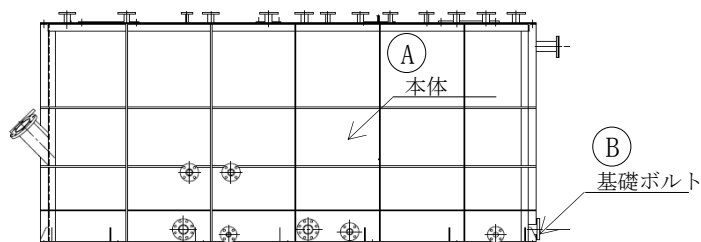


図-7 集合槽応力評価箇所

2.4.2 評価結果

各部材に生じる最大応力が許容応力以下であることを確認した。(表-7, 8)

表-7 応力評価箇所A(本体)の応力評価結果

部材	材料	応力		算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
本体	SUS304	一次一般膜応力		28	154
		組合せ応力 (座屈評価)	圧縮+曲げ	0.07 (無次元)	1 (無次元)
			引張+曲げ	0.14 (無次元)	1 (無次元)

表-8 応力評価箇所B(基礎ボルト)の応力評価結果

応力	材料	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張応力	SUS304	1	147
せん断応力		53	118

耐震安全解析に用いるコード (NASTRAN) について

1. 概要

NASTRAN コードは、1968 年アメリカ航空宇宙局 (NASA) で開発され、1971 年に米国 MacNeal-Schwendler Corporation (MSC 社) から発売された有限要素法に基づく構造解析等の汎用解析コード (MSCNastran) であり、航空宇宙、自動車、造船、重機械、原子力機器、土木・建築などの重工業を中心に広く受け入れられている。

2. 機能

NASTRAN コードは、固有値解析、応力解析に際して以下の機能を有している。

- ① ある固有振動範囲の設定、あるいは必要固有値個数を設定すればその範囲の多くの固有振動及び必要固有値個数に対応する固有振動を求めることができる。
- ② 各振動モードに対する刺激係数、有効質量を算出できる。
- ③ 引張等の初期応力があれば、この初期応力を考慮した固有振動解析ができる。
- ④ スペクトルモード解析の入力データとして固有振動解析結果をそのまま利用できる。
- ⑤ 使用要素は一次元～三次元の多くの要素が適用できる。
- ⑥ 質量は集中質量、分布質量が適用できる。
- ⑦ 応力解析における荷重は、集中荷重、分散荷重が適用できる。質量に加速度をかけることで、荷重として適用できる。
- ⑧ 応力解析では、剛性と荷重の釣り合いから、変位・応力を計算できる。

3. 解析フロー

NASTRAN コードの固有振動解析フローを図-8 に示す。また、応力解析について、線形静解析フローを図-9 に示す。

4. 使用実績

NASTRAN コードは、これまで多くの固有振動数解析及び応力解析に対して使用実績がある。

5. 検証方法

理論値との比較による検証が実施されていることを確認した。

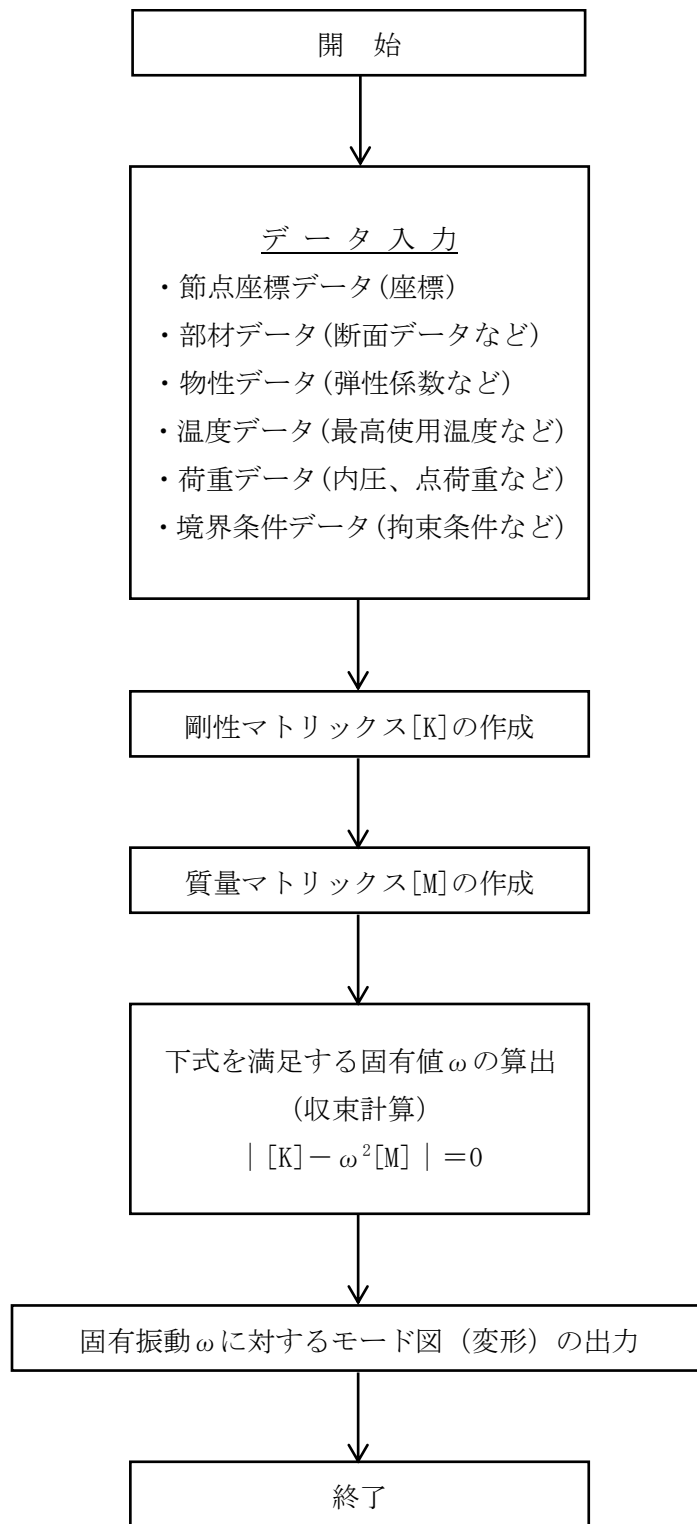


図-8 NASTRAN コードの固有振動解析フロー図

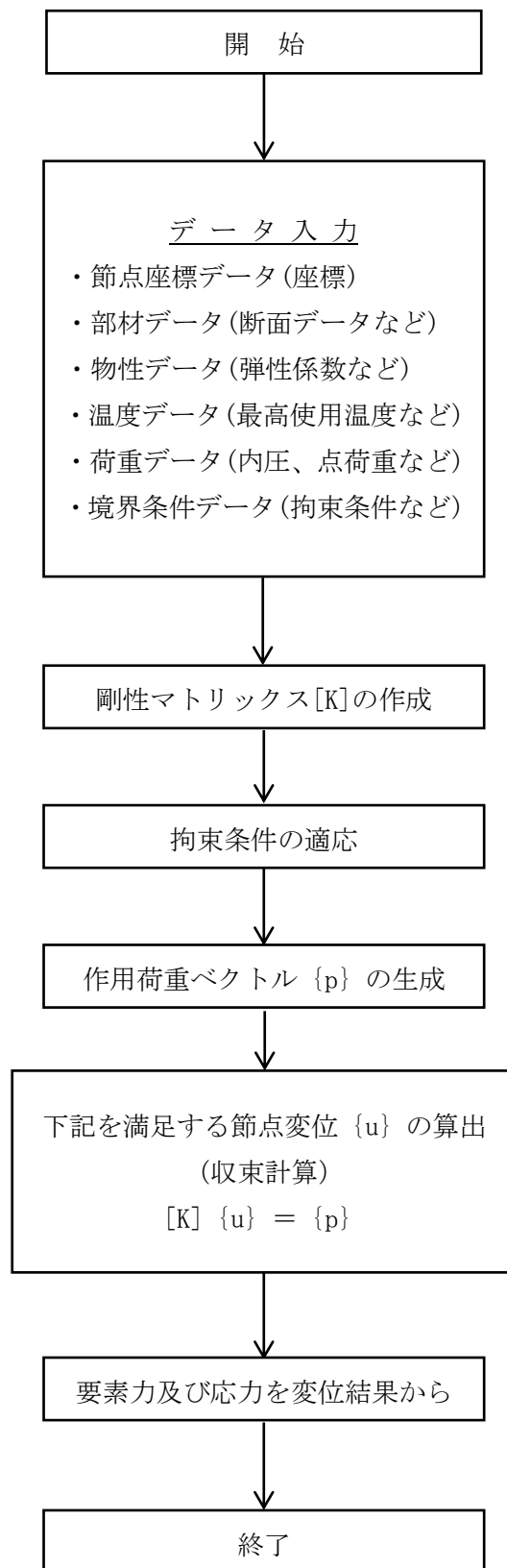
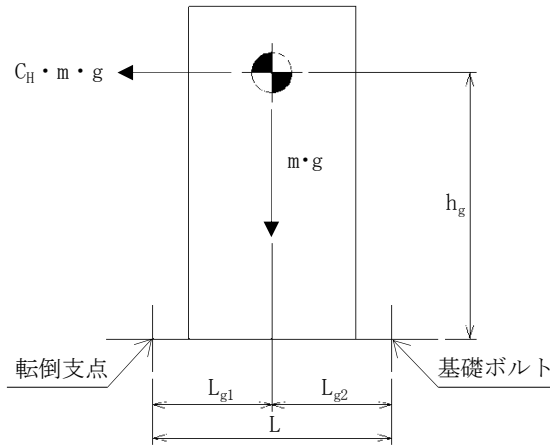


図-9 NASTRAN コードの線形静解析フロー図

2.5 酸化分解機

基礎ボルトの耐震評価は「原子力発電所耐震設計技術指針」に準じて行う。地震によって作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力が許容応力以下であることを確認する。

2.5.1 評価方法



- m : 運転重量 (kg)
- g : 重力加速度 9.80665 (m/s²)
- h_g : 据付面から重心までの距離 (mm)
- L : 基礎ボルト間の水平方向距離 (mm)
- L_{g1} : 重心と基礎ボルト間の水平方向距離 (mm) $L_{g1} \leq L_{g2}$
- n : 基礎ボルト本数
- n_f : 引張力が作用する基礎ボルトの本数
- A_b : 基礎ボルトの断面積 (mm²)
- C_H : 水平方向設計震度

基礎ボルトに作用する引張力： F_b (N)

$$F_b = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h_g - m \cdot g \cdot L_{g1}}{L}$$

基礎ボルトに生じる引張応力： σ_b (MPa)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f \cdot A_b}$$

基礎ボルトに作用するせん断力： Q_b (N)

$$Q_b = C_H \cdot m \cdot g$$

基礎ボルトに生じるせん断応力： τ_b (MPa)

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b}$$

2.5.2 評価結果

基礎ボルトに生じる応力が許容応力以下であることを確認した。(表-9)

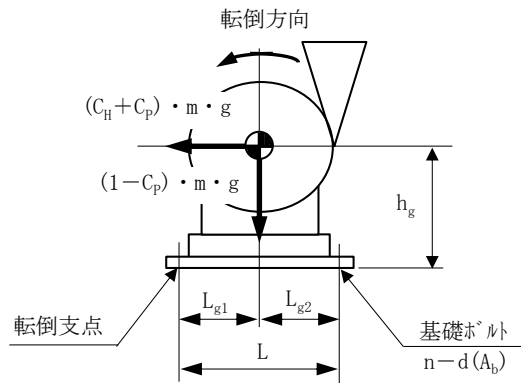
表-9 酸化分解機の耐震評価結果

機器名称	部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
酸化分解機	基礎ボルト	SUS304	せん断	1.2	118
			引張	1.2	153

2.6 ポンプ

基礎ボルトの耐震評価は「原子力発電所耐震設計技術指針」に準じて行う。地震による震度, ポンプ振動による震度およびポンプ回転により作用するモーメントによって生じる引張応力とせん断応力が許容応力以下であることを確認する。

2.6.1 評価方法



m : 運転重量 (kg)

g : 重力加速度 $9.80665 \text{ (m/s}^2\text{)}$

h_g : 据付面から重心までの距離 (mm)

M_P : ポンプ振動によるモーメント ($\text{N}\cdot\text{mm}$)

L : 基礎ボルト間の水平方向距離 (mm)

L_{g1} : 重心と基礎ボルト間の水平方向距離 (mm) $L_{g1} \leq L_{g2}$

n : 基礎ボルト本数

n_f : 引張力が作用する基礎ボルトの本数

A_b : 基礎ボルトの断面積 (mm^2)

C_H : 水平方向設計震度

C_P : ポンプ振動による震度

基礎ボルトに作用する引張力: F_b (N)

$$F_b = \frac{(C_H + C_P) \cdot m \cdot g \cdot h_g + M_P - (1 - C_P) \cdot m \cdot g \cdot L_{g1}}{L}$$

基礎ボルトに生じる引張応力: σ_b (MPa)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f \cdot A_b}$$

基礎ボルトに作用するせん断力: Q_b (N)

$$Q_b = (C_H + C_P) \cdot m \cdot g$$

基礎ボルトに生じるせん断応力: τ_b (MPa)

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n_f \cdot A_b}$$

2.6.2 評価結果

基礎ボルトに生じる最大応力が許容応力以下であることを確認した。(表-10)

表-10 基礎ボルトの応力評価結果

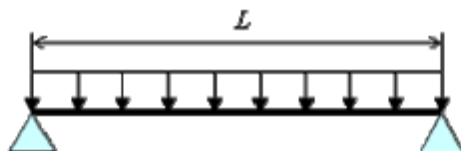
機器名称	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原水ポンプ	SUS304	せん断	1	118
		引張	1	153
樹脂充填塔送りポンプ	SUS304	せん断	1	118
		引張	1	153
処理水返送ポンプ	SUS304	せん断	1	118
		引張	2	153
浮上油移送ポンプ	SUS304	せん断	1	118
		引張	1	153
循環ポンプ	SUS304	せん断	2	118
		引張	2	153
ブロー水受槽送りポンプ	SUS304	せん断	1	118
		引張	1	153
油吸着樹脂塔送りポンプ	SUS304	せん断	1	118
		引張	1	153
処理水第1モニタリング槽 送りポンプ	SUS304	せん断	1	118
		引張	1	153

2.7 主配管（鋼管）

a. 評価条件

評価条件として配管は，配管軸直角2方向拘束サポートにて支持される両端単純支持はりモデル（図－10）とする。

次に，当該設備における主配管（鋼管）について，各種条件を表－11に示す。



図－10 等分布荷重 両端単純支持はりモデル

表－11 配管系における各種条件（1／4）

配管分類	主配管（鋼管）					
配管クラス	クラス3相当					
耐震クラス	Bクラス相当					
配管材質	SUS304TP					
配管口径	20A	25A	25A	25A	25A	25A
Sch	20S	20S	20S	20S	40	40
設計温度（℃）	40	40	40	40	50	50
設計圧力（MPa）	0.3	0.15	0.3	0.4	静水頭	0.15
配管支持間隔（m）	3.5	4.0				

表－11 配管系における各種条件（2／4）

配管分類	主配管（鋼管）					
配管クラス	クラス3相当					
耐震クラス	Bクラス相当					
配管材質	SUS304TP					
配管口径	25A	32A	32A	40A	50A	50A
Sch	40	20S	20S	20S	20S	20S
設計温度（℃）	50	40	40	40	40	40
設計圧力（MPa）	0.3	静水頭	0.15	静水頭	静水頭	0.3
配管支持間隔（m）	4.0	4.0		4.5	5.0	

表-11 配管系における各種条件 (3/4)

配管分類	主配管 (鋼管)					
配管クラス	クラス3相当					
耐震クラス	Bクラス相当					
配管材質	SUS304TP					
配管口径	50A	50A	65A	80A	100A	100A
Sch	40	40	40	40	40	40
設計温度 (°C)	50	50	50	50	50	50
設計圧力 (MPa)	静水頭	0.15	0.3	0.3	静水頭	0.3
配管支持間隔 (m)	5.0		6.0	6.0	7.0	

表-11 配管系における各種条件 (4/4)

配管分類	主配管 (鋼管)				
配管クラス	クラス3相当				
耐震クラス	Bクラス相当				
配管材質	SUS304TP		SUS316LTP		
配管口径	150A	150A	8A	32A	150A
Sch	40	40	40	20S	40
設計温度 (°C)	50	50	40	40	40
設計圧力 (MPa)	静水頭	0.3	0.3	0.15	静水頭
配管支持間隔 (m)	8.0		2.5	4.0	8.0

b. 評価方法

水平方向震度による管軸直角方向の配管応力を評価する。

自重による応力 S_w は、下記式で示される。

$$S_w = \frac{M}{Z} = \frac{w \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

S_w : 自重による応力 (MPa)

L : 支持間隔 (mm)

M : 曲げモーメント (N・mm)

Z : 断面係数 (mm³)

w : 等分布荷重 (N/mm)

管軸直角方向の地震力による応力 S_s は、自重による応力 S_w の震度倍で下記の式で示される。

$$S_s = \alpha \cdot S_w$$

S_s : 地震による応力 (MPa)

α : 想定震度値 (-)

また、評価基準として JEAC4601-2008 に記載の供用応力状態 C_s におけるクラス 3 配管の一次応力制限を用いると、地震評価としては下記の式で示される。

$$S = S_p + S_w + S_s = S_p + S_w + \alpha \cdot S_w = S_p + (1 + \alpha) \cdot S_w \leq 1.0 \cdot S_y$$

S : 内圧, 自重, 地震力による発生応力 (MPa)

S_p : 内圧による応力 (MPa)

S_y : 設計降伏点 (MPa)

c. 評価結果

両端単純支持はりモデルで、自重による応力 S_w が 30 (MPa) 以下となる配管サポート配置を仮定し、各応力を計算した結果を表-12 に示す。表-12 より、自重による応力 S_w を 30 (MPa) 以下になるようサポート配置を決定することで、配管は十分な強度を有するものと評価する。

表-12 応力評価結果 (主配管 (鋼管)) (1/4)

配管分類	主配管 (鋼管)					
配管材質	SUS304TP					
配管口径	20A	25A	25A	25A	25A	25A
Sch	20S	20S	20S	20S	40	40
設計温度 (°C)	40	40	40	40	50	50
設計圧力 (MPa)	0.3	0.15	0.3	0.4	静水頭	0.15
内圧, 自重, 地震による発生応力 S (MPa)	37.3	38.4	39.2	39.7	37.3	37.9
供用状態 C_s における一次応力許容値 (MPa)	205				198	

表-12 応力評価結果（主配管（鋼管））（2/4）

配管分類	主配管（鋼管）					
配管材質	SUS304TP					
配管口径	25A	32A	32A	40A	50A	50A
Sch	40	20S	20S	20S	20S	20S
設計温度（℃）	50	40	40	40	40	40
設計圧力（MPa）	0.3	静水頭	0.15	静水頭	静水頭	0.3
内圧, 自重, 地震による発生応力 S (MPa)	38.6	31.1	32.0	35.5	35.8	38.1
供用状態 Cs における一次応力許容値 (MPa)	198	205				

表-12 応力評価結果（主配管（鋼管））（3/4）

配管分類	主配管（鋼管）					
配管材質	SUS304TP					
配管口径	50A	50A	65A	80A	100A	100A
Sch	40	40	40	40	40	40
設計温度（℃）	50	50	50	50	50	50
設計圧力（MPa）	静水頭	0.15	0.3	0.3	静水頭	0.3
内圧, 自重, 地震による発生応力 S (MPa)	34.9	35.9	41.3	36.6	38.2	40.7
供用状態 Cs における一次応力許容値 (MPa)	198					

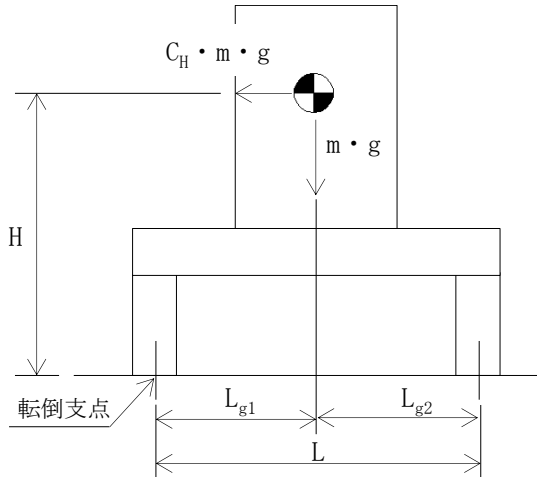
表-12 応力評価結果（主配管（鋼管））（4/4）

配管分類	主配管（鋼管）				
配管材質	SUS304TP		SUS316TP		
配管口径	150A	150A	8A	32A	150A
Sch	40	40	40	20S	40
設計温度（℃）	50	50	40	40	40
設計圧力（MPa）	静水頭	0.3	0.3	0.15	静水頭
内圧，自重，地震による発生応力 S（MPa）	36.9	40.0	37.4	32.1	36.9
供用状態 Cs における一次応力許容値 （MPa）	198		175		

2.8 装置受け架台

装置受け架台およびそれを搭載しているコンテナの転倒評価については、地震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、それらを比較することで転倒評価を行った。

2.8.1 評価方法



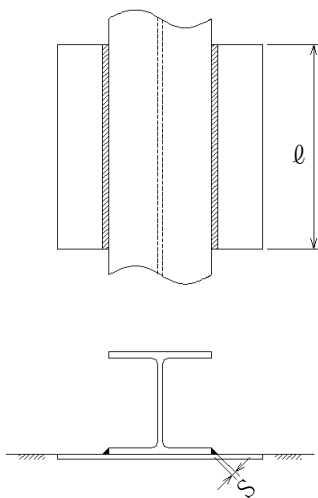
- m : 運転質量 (kg)
- g : 重力加速度 9.80665 (m/s²)
- H : 据付面から重心までの距離 (m)
- L : 転倒支点間の水平方向距離 (m)
- L_{g1} : 重心と転倒支点間の水平方向距離 (m) $L_{g1} \leq L_{g2}$
- C_H : 水平方向設計震度 (0.36)
- C_v : 鉛直方向設計震度 (0)

地震による転倒モーメント： M_1 (N・m)

$$M_1 = m \times g \times C_H \times H$$

自重による安定モーメント： M_2 (N・m)

$$M_2 = m \times g \times L_{g1}$$



地震によるせん断力： τ (kN)

$$\tau = m \times g \times C_H / 1000$$

溶接部の耐荷重： W (kN)

$$W = l \times S \times \alpha \times F_y / 1000$$

l : 溶接長さ (mm)

S : のど厚さ (mm)

α : 低減係数

F_y : 降伏点 (MPa)

2.8.2 評価結果

地震による転倒モーメント M_1 は自重による安定モーメント M_2 より小さいことから、転倒しないことを確認した。また、地震によって生じるせん断力が溶接部の許容耐力以下であることを確認した。(表-13, 14)

表-13 架台の耐震評価結果

	材料	転倒モーメント M_1 (N・m)	安定モーメント M_2 (N・m)
油水分離装置	SS400	350800	540869
油分解装置(1)	SS400	328694	478957
油分解装置(2)	SS400	206681	329092

表-14 埋込金物との溶接部の耐震評価結果

	材料	地震によるせん断力 τ (kN)	溶接部の耐荷重 W (kN)
油水分離装置	SS400	159	13857
油分解装置(1)	SS400	156	13857
油分解装置(2)	SS400	100	13857

2.9 耐震Sクラス参考評価

参考評価として、基準地震動 S_s に対する耐震評価結果を以下に示す。

主要機器および主要配管について、基準地震動 S_s に対し十分な耐震性を有することを確認した。

2.9.1 ブロー水受槽

表-15 本体、基礎ボルトの応力評価結果

部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
胴板	SUS304	一次一般膜応力	6	198
		地震力のみによる一次+ 二次応力の変動値	9	
		圧縮と曲げの組合せ (座屈評価)	$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1$	0.04(無次元)
基礎 ボルト	SUS304	引張応力	11	148
		せん断応力	14	114

2.9.2 第2モニタリング槽

表-16 本体、基礎ボルトの応力評価結果

部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
胴板	SUS304	一次一般膜応力	6	198
		地震力のみによる一次+ 二次応力の変動値	9	
		圧縮と曲げの組合せ (座屈評価)	$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1$	0.03(無次元)
基礎 ボルト	SUS304	引張応力	<0	148
		せん断応力	13	114

2.9.3 浮上分離槽

表-17 本体，基礎ボルトの応力評価結果

部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
胴板	SUS304	一次一般膜応力	5	154
		地震力のみによる一次＋ 二次応力の変動値	7	
スカート	SUS304	組合せ応力	34	205
		圧縮と曲げの組合せ (座屈評価)	$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1$	
			0.18(無次元)	
基礎 ボルト	SUS304	引張応力	17	153
		せん断応力	5	118

2.9.4 樹脂充填塔

表-18 本体，基礎ボルトの応力評価結果

部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
胴板	SUS304	一次一般膜応力	13	154
		地震力のみによる一次＋ 二次応力の変動値	7	
スカート	SUS304	組合せ応力	9	205
		圧縮と曲げの組合せ (座屈評価)	$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1$	
			0.04(無次元)	
基礎 ボルト	SUS304	引張応力	14	153
		せん断応力	5	118

2.9.5 油吸着樹脂塔

表-19 本体，基礎ボルトの応力評価結果

部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	評価応力 (MPa)
胴板	SUS304	一次一般膜応力	9	154
		地震力のみによる一次+二次応力の変動値	8	
スカート	SUS304	組合せ応力	30	205
		圧縮と曲げの組合せ (座屈評価)	$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1$	
			0.15(無次元)	
基礎ボルト	SUS304	引張応力	12	153
		せん断応力	2	118

2.9.6 乳化槽

表-20 本体，基礎ボルトの応力評価結果

部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
胴板	SUS304	一次一般膜応力	4	154
		地震力のみによる一次+二次応力の変動値	14	
脚	SUS304	組合せ応力	39	205
		圧縮と曲げの組合せ (座屈評価)	$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1$	
			0.18(無次元)	
基礎ボルト	SUS304	引張応力	55	153
		せん断応力	14	118

2.9.7 集合槽

表－21 応力評価箇所A(本体)の応力評価結果

部材	材料	応力		算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
本体	SUS304	一次一般膜応力		45	154
		組合せ応力 (座屈評価)	圧縮＋曲げ	0.19 (無次元)	1 (無次元)
			引張＋曲げ	0.25 (無次元)	1 (無次元)

表－22 応力評価箇所B(基礎ボルト)の応力評価結果

応力	材料	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張応力	SUS304	20	153
せん断応力		84	118

2.9.8 酸化分解機

表－23 酸化分解機の耐震評価結果

機器名称	部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
酸化分解機	基礎ボルト	SUS304	せん断	2.3	118
			引張	7.0	153

2.9.9 ポンプ

表-24 基礎ボルトの応力評価結果

機器名称	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原水ポンプ	SUS304	せん断	1	118
		引張	3	153
樹脂充填塔送りポンプ	SUS304	せん断	1	118
		引張	3	153
処理水返送ポンプ	SUS304	せん断	1	118
		引張	4	153
浮上油移送ポンプ	SUS304	せん断	1	118
		引張	2	153
循環ポンプ	SUS304	せん断	3	118
		引張	4	153
ブロー水受槽送りポンプ	SUS304	せん断	2	118
		引張	3	153
油吸着樹脂塔送りポンプ	SUS304	せん断	1	118
		引張	2	153
処理水第1モニタリング槽 送りポンプ	SUS304	せん断	2	118
		引張	3	153

2.9.10 配管

表-25 応力評価結果（主配管（鋼管））（1/4）

配管分類	主配管（鋼管）					
配管材質	SUS304TP					
配管口径	20A	25A	25A	25A	25A	25A
Sch	20S	20S	20S	20S	40	40
設計温度（℃）	40	40	40	40	50	50
設計圧力（MPa）	0.3	0.15	0.3	0.4	静水頭	0.15
内圧，自重，地震による発生応力 S（MPa）	46.8	48.3	49.1	49.6	47.1	47.7
供用状態 Cs における 一次応力許容値 （MPa）	205				198	

表-25 応力評価結果（主配管（鋼管））（2/4）

配管分類	主配管（鋼管）					
配管材質	SUS304TP					
配管口径	25A	32A	32A	40A	50A	50A
Sch	40	20S	20S	20S	20S	20S
設計温度（℃）	50	40	40	40	40	40
設計圧力（MPa）	0.3	静水頭	0.15	静水頭	静水頭	0.3
内圧，自重，地震による発生応力 S（MPa）	48.4	39.3	40.2	44.9	45.3	47.6
供用状態 Cs における 一次応力許容値 （MPa）	198	205				

表-25 応力評価結果（主配管（鋼管））（3/4）

配管分類	主配管（鋼管）					
配管材質	SUS304TP					
配管口径	50A	50A	65A	80A	100A	100A
Sch	40	40	40	40	40	40
設計温度（℃）	50	50	50	50	50	50
設計圧力（MPa）	静水頭	0.15	0.3	0.3	静水頭	0.3
内圧，自重，地震による発生応力 S（MPa）	44.1	45.0	51.7	45.7	48.2	50.8
供用状態 Cs における 一次応力許容値 （MPa）	198					

表-25 応力評価結果（主配管（鋼管））（4/4）

配管分類	主配管（鋼管）				
配管材質	SUS304TP		SUS316TP		
配管口径	150A	150A	8A	32A	150A
Sch	40	40	40	20S	40
設計温度（℃）	50	50	40	40	40
設計圧力（MPa）	静水頭	0.3	0.3	0.15	静水頭
内圧，自重，地震による発生応力 S（MPa）	46.6	49.7	47.0	40.3	46.8
供用状態 Cs における 一次応力許容値 （MPa）	198		175		

2.9.11 装置受け架台

表-26 架台の耐震評価結果

	材料	転倒モーメント M_1 (N・m)	安定モーメント M_2 (N・m)
油水分離装置	SS400	701599	324521
油分解装置(1)	SS400	657388	287375
油分解装置(2)	SS400	413362	197455

表-27 埋込金物との溶接部の耐震評価結果

	材料	応力	算出値 (kN)	溶接部の耐荷重 (kN)
油水分離装置	SS400	せん断	317	13857
		引張	180	6928
油分解装置(1)	SS400	せん断	311	13857
		引張	177	6928
油分解装置(2)	SS400	せん断	200	13857
		引張	103	6928

付録 1 平底たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類 B クラス）の
耐震性についての計算書作成の基本方針

1. 一般事項

本基本方針は、平底たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Bクラス）の耐震性についての計算方法を示す。

1.1 適用基準

本基本方針における計算方法は、原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008（社団法人 日本電気協会 原子力規格委員会）に準拠する。

但し、材料強度に関する規準は、JSME S NC1-2005/2007 による。

1.2 計算条件

- (1) 容器及び内容物の質量を重心位置に集中させる。
- (2) 容器下端は固定とする。
- (3) 容器は鉛直方向に剛とみなす。
- (4) 水平方向については、容器を梁と考慮して曲げ変形及びせん断変形を考慮する。
- (5) 地震力は、容器に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用させて応力を計算し、強度評価において各応力を組み合わせる。

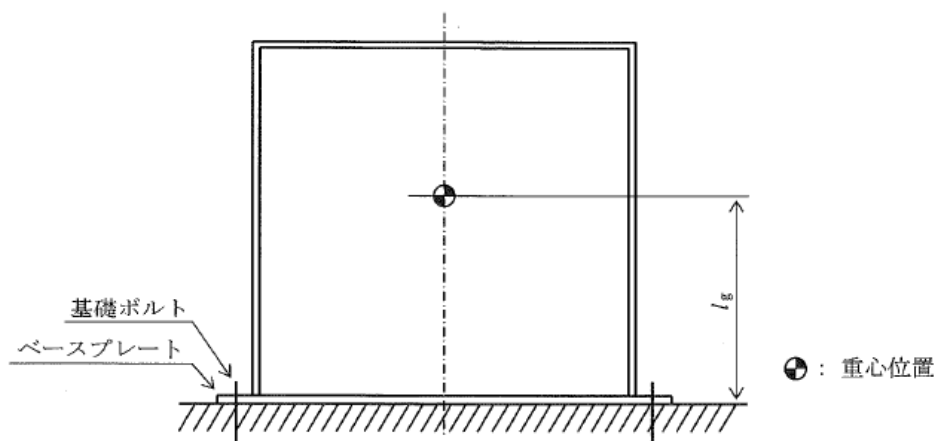


図1-1 概要図

1.3 記号の定義

記号	記号の定義	単位
A	胴の軸断面積	mm^2
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_e	胴の有効せん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
C_c	基礎ボルト計算における係数	—
C_t	基礎ボルト計算における係数	—
D_{bi}	ベースプレートの内径	mm
D_{bo}	ベースプレートの外径	mm
D_c	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D_i	胴の内径	mm
E	胴の縦弾性係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1に定める値	MPa
e	基礎ボルト計算における係数	—
F	材料の許容応力を決定する場合の基準値。なお、支持構造物の許容応力は、設計・建設規格 SSB-3121.1 又は SSB-3131 に定める値。	MPa
F_c	基礎に作用する圧縮力	N
F_t	基礎ボルトに作用する引張力	N
f_b	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f_c	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
H	水頭	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm^4
K_H	水平方向ばね定数	N/mm
k	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数	—
L	胴長	mm
l_1, l_2	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離	mm
l_g	基礎から容器重心までの距離	mm

記号	記号の定義	単位
M	胴に作用する転倒モーメント	N・mm
m_e	容器の空質量	kg
m_o	容器の運転時質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
P	胴の軸圧縮荷重	N
R	胴の平均半径	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値。	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値。	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値。	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_H	水平方向固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
t_1	基礎ボルト面積相当板幅	mm
t_2	圧縮側基礎相当幅	mm
Z	断面係数	mm ³
z	基礎ボルト計算における係数	—
a	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度	rad
α_B	座屈応力に対する安全率	—
$\eta, \eta_1, \eta_2, \eta_3$	座屈計算における係数	—
ν	ポアソン比	—
π	円周率	—
ρ	液体の比重	—
σ_0	胴の組合せ一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ一次一般膜応力 (圧縮側)	MPa
σ_{0t}	胴の組合せ一次一般膜応力 (引張側)	MPa
σ_2	地震力のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
$\sigma_{2\phi}$	地震力のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2c}	地震力のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値 (圧縮側)	MPa
σ_{2t}	地震力のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値 (引張側)	MPa
σ_{2xc}	地震力のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和 (圧縮側)	MPa
σ_{2xt}	地震力のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和 (引張側)	MPa

記号	記号の定義	単位
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_c	基礎に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{x1}, \sigma_{\phi 1}$	静水頭又は内圧により胴に生じる軸方向応力，周方向応力	MPa
σ_{x2}	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x3}	鉛直方向地震力による胴の軸方向応力	MPa
σ_{x4}	水平方向地震力による胴の軸方向応力	MPa
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和（圧縮側）	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和（引張側）	MPa
σ_{ϕ}	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり，胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

注：「設計・建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME S NC1-2005/2007）（日本機械学会 2005年9月及び2007年9月）を言う。

2. 計算方法

2.1 固有周期の計算

(1) 計算モデル

本容器は、1.2 項より図 2-1 に示す構造をもつ平底たて置円筒形容器に適用する。

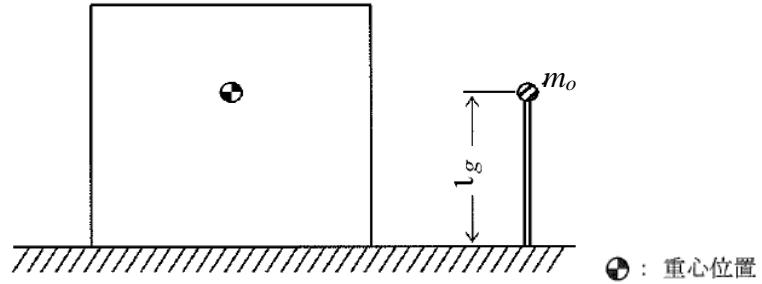


図 2-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

固有周期は、次による。

$$T_H = 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{10^3 \cdot K_H}} \dots\dots\dots (2-1)$$

ここで、曲げ及びせん断変形によるばね定数 K_H は、次による。

$$K_H = \frac{I}{\frac{l_g^3}{3EI} + \frac{l_g}{GAe}} \dots\dots\dots (2-2)$$

胴の断面性能は、次による。

$$I = \frac{\pi}{8} (Di+t)^3 t \dots\dots\dots (2-3)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \pi (Di+t) t \dots\dots\dots (2-4)$$

(3) 垂直方向固有周期

鉛直方向については、剛構造とみなす。

2.2 応力の計算

2.1 項の計算で得られた固有周期から、耐震クラスに応じた設計震度及び地震力を決定し、応力計算を行う。

静的地震力を用いる場合は絶対値和を適用する。なお、B、Cクラスに対する応力を計算する場合には、一次＋二次応力を計算することを要しない。また、鉛直地震力は考慮しない。

2.2.1 胴の応力

(1) 静水頭（鉛直方向地震時を含む）による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{10^{-6} \cdot g \rho H D_i}{2t} \dots\dots\dots (2-5)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{10^{-6} \cdot g \rho H D_i C_v}{2t} \dots\dots\dots (2-6)$$

$$\sigma_{x1} = 0 \dots\dots\dots (2-7)$$

(2) 運転時質量による応力及び鉛直方向地震時の運転時質量による応力

胴のベースプレートと接合する点に生じる軸方向応力は、次のように求める。

$$\sigma_{x2} = \frac{m_e g}{\pi(D_i + t)t} \dots\dots\dots (2-8)$$

$$\sigma_{x3} = \frac{C_v m_e g}{\pi(D_i + t)t} \dots\dots\dots (2-9)$$

(3) 水平方向地震力による応力

水平方向地震力による胴のベースプレート結合部に作用する曲げモーメントにより生じる軸方向応力及び水平方向地震力により生じるせん断応力は、次のように求める。

$$\sigma_{x4} = \frac{4 C_H m_0 g l_g}{\pi(D_i + t)^2 t} \dots\dots\dots (2-10)$$

$$\tau = \frac{2 C_H m_0 g}{\pi(D_i + t)t} \dots\dots\dots (2-11)$$

(4) 組合せ応力

(1)～(3)項によって算出される胴の応力は、次により組み合わせる。

a. 一次一般膜応力【絶対値和】

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_{\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (2-12)$$

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x1} - \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \quad \dots\dots\dots (2-13)$$

$$\sigma_{0t} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xt} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xt})^2 + 4\tau^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (2-14)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_{\phi} = -\sigma_{\phi1} - \sigma_{\phi2} \quad \dots\dots\dots (2-15)$$

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \quad \dots\dots\dots (2-16)$$

σ_{xc} が正の値（圧縮側）の場合は，組合せ圧縮応力は次による。

$$\sigma_{0c} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xc})^2 + 4\tau^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (2-17)$$

したがって，胴に生じる一次一般膜応力の最大値は，次による。

$$\sigma_0 = \max[\sigma_{0t}, \sigma_{0c}] \quad \dots\dots\dots (2-18)$$

b. 一次応力（膜+曲げ）

一次応力（膜+曲げ）は「a. 一次一般膜応力」に示す式により組合せ応力として算出した値と同じである。

c. 地震力のみによる一次+二次応力の変動値【絶対値和】

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_{2\phi} = \sigma_{\phi2} \quad \dots\dots\dots (2-19)$$

$$\sigma_{2xt} = \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \quad \dots\dots\dots (2-20)$$

$$\sigma_{2t} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xt} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xt})^2 + 4\tau^2} \quad \dots\dots\dots (2-21)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_{2\phi} = -\sigma_{\phi2} \quad \dots\dots\dots (2-22)$$

$$\sigma_{2xc} = \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \quad \dots\dots\dots (2-23)$$

$$\sigma_{2c} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xc} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xc})^2 + 4\tau^2} \quad \dots\dots\dots (2-24)$$

したがって，胴に生じる一次+二次応力の変動値の最大値は，次による。

$$\sigma_2 = \max[\sigma_{2t}, \sigma_{2c}] \quad \dots\dots\dots (2-25)$$

2.2.2 基礎ボルトの応力

(1) 引張応力

基礎に作用する転倒モーメント M は、次による。

$$M = C_H m_0 g l_g \quad \dots\dots\dots (2-26)$$

転倒モーメントが作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合条件を考慮する。(図2-2参照)

以下にその手順を示す。

$$t_1 = \frac{n A_b}{\pi D_c} \quad \dots\dots\dots (2-27)$$

$$t_2 = \frac{1}{2}(D_{bo} - D_{bi}) - t_1 \quad \dots\dots\dots (2-28)$$

- a. σ_b , σ_c を仮定して、中立軸の荷重係数 k を求める。

$$k = \frac{I}{I + \frac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}} \quad \dots\dots\dots (2-29)$$

- b. 中立軸を定める角度 a を求める。

$$a = \cos^{-1}(1 - 2k) \quad \dots\dots\dots (2-30)$$

- c. 各定数 e , z , C_t , C_c を計算する。

$$e = \frac{1}{2} \left\{ \frac{(\pi - a) \cos^2 a + \frac{1}{2}(\pi - a) + \frac{3}{2} \sin a \cos a}{(\pi - a) \cos a + \sin a} + \frac{\frac{1}{2}a - \frac{3}{2} \sin a \cos a + a \cos^2 a}{\sin a - a \cos a} \right\} \quad \dots\dots\dots (2-31)$$

$$z = \frac{1}{2} \left\{ \cos a + \left(\frac{\frac{1}{2}a - \frac{3}{2} \sin a \cos a + a \cos^2 a}{\sin a - a \cos a} \right) \right\} \quad \dots\dots\dots (2-32)$$

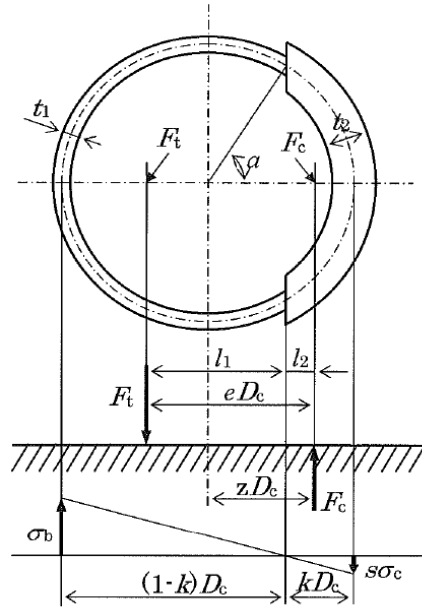


図2-2 基礎の荷重説明図

$$C_t = \frac{2\{(\pi - a)\cos a + \sin a\}}{1 + \cos a} \dots\dots\dots (2-33)$$

$$C_c = \frac{2(\sin a - a \cos a)}{1 - \cos a} \dots\dots\dots (2-34)$$

d. 各定数を用いて F_t , F_c を求める。【絶対値和】

$$F_t = \frac{M - (1 - C_V)m_0 g z \cdot D_c}{e \cdot D_c} \dots\dots\dots (2-35)$$

$$F_c = F_t + (1 - C_V)m_0 g \dots\dots\dots (2-36)$$

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 a が π に等しくなったときであるので、式 (2-30) 及び式 (2-31) において a を π に近づけた場合の値 $e = 0.75$, $z = 0.25$ を式 (2-34) に代入し、得られる F_t の値によって引張力の有無を次のように判定する。

- ・ $F_t \leq 0$ ならば引張力は作用しない。
- ・ $F_t > 0$ ならば引張力は作用しているので以降の計算を行う。

e. σ_b , σ_c を求める。a. 項にて仮定した値と十分に近似していることを確認する。

$$\sigma_b = \frac{2F_t}{t_1 D_c C_t} \dots\dots\dots (2-37)$$

$$\sigma_c = \frac{2F_c}{(t_2 + s t_1) D_c C_c} \dots\dots\dots (2-38)$$

(2) せん断応力

$$\tau_b = \frac{C_H m_o g}{n A_b} \dots\dots\dots (2-39)$$

3. 強度評価

3.1 胴の応力

2.2.1(4)項で求めた組合せ応力が、胴の最高使用温度における表3-1に示す許容応力 S_a 以下であること。

なお、一次応力（膜+曲げ）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。

表3-1 胴の許容応力

耐震クラス	供用状態	許容応力 S_a	
		一次一般膜応力	一次応力(膜+曲げ)
B, C	C s	$\min[S_y, 0.6S_u]$ ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金は、 1.2S とすることができる。	S_y ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金は、 1.2S とすることができる。

3.2 胴の座屈

座屈に対する評価が必要な場合は、「JEAC4601-2008 4.2.3.1(1)c クラスMC容器の座屈防止」に規定する評価式によることができる。軸圧縮荷重と曲げモーメントが負荷されるクラスMC容器は、共用状態C s及びD sにおいて次の不等式を満足しなければならない。 $0.5 < L/R \leq 5$ の場合に適用できる。

$$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (3-1)$$

ここで、 f_c : 軸圧縮荷重に対する許容座屈応力は次による。

$$f_c = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \left\{ 1 - \frac{1}{6800g} (F - \Phi_c \{ \eta_2 \}) (\eta - \eta_1) \right\} & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \\ \Phi_c \{ \eta \} & (\eta_2 \leq \eta \leq 800) \end{cases} \quad \dots\dots (3-2)$$

$$\Phi_c \{ \eta \} = 0.6 \frac{E}{\eta} \left[1 - 0.901 \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{1}{16} \sqrt{\eta} \right) \right\} \right] \quad \dots\dots\dots (3-3)$$

また、 f_b : 曲げモーメントに対する許容座屈応力は次による。

$$f_b = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \left\{ 1 - \frac{I}{8400g} (F - \Phi_b \{\eta_3\}) (\eta - \eta_1) \right\} & (\eta_1 < \eta < \eta_3) \quad \cdots (3-4) \\ \Phi_b \{\eta\} & (\eta_3 \leq \eta \leq 800) \end{cases}$$

$$\Phi_b \{\eta\} = 0.6 \frac{E}{\eta} \left[1 - 0.731 \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{I}{16} \sqrt{\eta} \right) \right\} \right] \quad \cdots \cdots \cdots (3-5)$$

α_B は安全率で、次による。

$$\alpha_B = \begin{cases} 1.0 & (\eta \leq \eta_1) \\ 1.0 + \frac{F}{13600g} (\eta - \eta_1) & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \quad \cdots \cdots \cdots (3-6) \\ 1.5 & (\eta_2 \leq \eta) \end{cases}$$

ここで、 $\eta, \eta_1, \eta_2, \eta_3$ は座屈計算における係数で、次による。

$$\eta = R/t \quad \cdots \cdots \cdots (3-7)$$

$$\eta_1 = 1200 g/F \quad \cdots \cdots \cdots (3-8)$$

$$\eta_2 = 8000 g/F \quad \cdots \cdots \cdots (3-9)$$

$$\eta_3 = 9600 g/F \quad \cdots \cdots \cdots (3-10)$$

3.3 基礎ボルトの応力

2.2.2 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は表3-2による。

$$f_{ts} = \min [1.4f_{to} - 1.6\tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (3-11)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は表3-2による。

表3-2 基礎ボルトの許容応力

耐震 クラス	供用 状態	許容引張応力 f_{to}	許容せん断応力 f_{sb}
B, C	C_s	$1.5 \left(\frac{F}{2} \right)$	$1.5 \left(\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \right)$

付録 2 スカート支持たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類 B クラス）の
耐震性についての計算書作成の基本方針

1. 一般事項

本基本方針は、スカート支持たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類 B クラス）の耐震性についての計算方法を示す。

1.1 適用基準

本基本方針における計算方法は、原子力発電所耐震設計技術規定 JEAC4601 -2008（社団法人 日本電気協会 原子力規格委員会）に準拠する。

但し、材料強度に関する規準は JSME S NC1-2005/2007 による。

1.2 計算条件

- (1) 容器及び内容物の質量は、重心位置に集中させる。
- (2) スカート下端部は、固定端とする。
- (3) 容器頂部に水平方向変位を拘束する構造物が設けられている場合は、その部分をピン支持とする。
- (4) スカートに、マンホールなどの開口部があつて補強されていない場合は、その部分の影響を考慮する。
- (5) 容器及びスカートは鉛直方向に剛とみなす。
- (6) 水平方向については、容器及びスカートを梁と考えたときの曲げ変形及びせん断変形を考慮する。
- (7) 地震力は、容器に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用させて応力計算し、強度評価において各応力を組み合わせる。

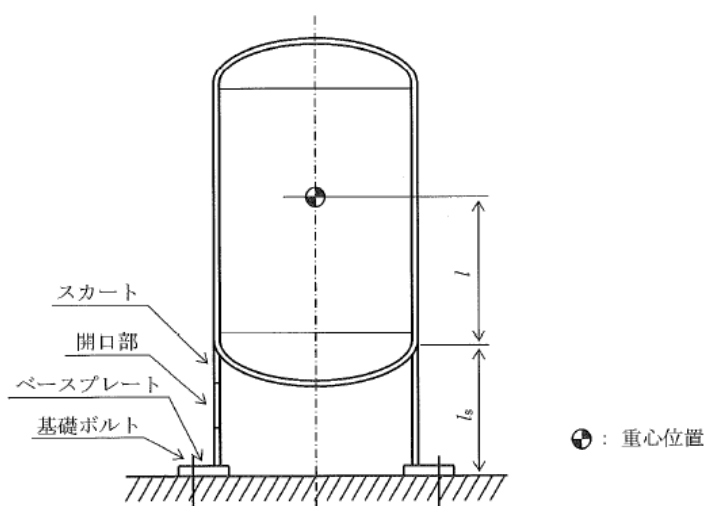


図 1 - 1 概 要 図

1.3 記号の説明

記号	記号の定義	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_e	胴の有効せん断断面積	mm^2
A_{s_e}	スカートの有効せん断断面積	mm^2
C_c	基礎ボルト計算における係数	—
C_H	水平方向設計震度	—
C_t	基礎ボルト計算における係数	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
D_{b_i}	ベースプレート内径	mm
D_{b_o}	ベースプレート外径	mm
D_c	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D_i	胴の内径	mm
D_j	スカートに設けられた各開口部の水平断面における最大開口幅 ($j=1, 2, 3 \dots j_i$)	mm
D_s	スカートの内径	mm
E	胴の縦弾性係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1に定める値	MPa
E_s	スカートの縦弾性係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1に定める値	MPa
e	基礎ボルト計算における係数	—
F	材料の許容応力を決定する場合の基準値。なお、支持構造物の許容応力は、設計・建設規格 SSB-3121.1 又は SSB-3131 に定める値。	MPa
F_c	基礎に作用する圧縮力	N
F_t	基礎ボルトに作用する引張力	N
f_{s_b}	せん断力のみ受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	スカートの許容引張応力	MPa
f_{t_0}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{t_s}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
G_s	スカートのせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
H	水頭	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm^4

記号	記号の定義	単位
I_s	スカート断面二次モーメント	mm^4
j_1	スカートに設けられた開口部の数	—
K_H	水平方向のばね定数	N/mm
k	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数	—
l	スカートの接合点から重心までの距離	mm
l_1, l_2	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離	mm
l_r	容器の重心から上端支持部までの距離	mm
l_s	スカートの長さ	mm
M_s	スカートに作用する転倒モーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
M_{s1}	スカートの上端部に作用する転倒モーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
M_{s2}	スカートの下端部に作用する転倒モーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
m_0	容器の運転時質量	kg
m_e	容器のスカート接合部から上部の空重量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
P_r	最高使用圧力	MPa
Q	重心に作用する任意の水平力	N
Q_1	Q により上端の支持部に作用する反力	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_H	水平方向固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
t_1	基礎ボルトの面積相当板幅	mm
t_2	圧縮側基礎相当幅	mm
t_s	スカートの厚さ	mm
Y	スカート開口部の水平断面における最大円周長さ	mm
z	基礎ボルト計算における係数	—
α	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度	rad
δ	荷重 Q による容器の上端での変位量	mm
δ_1	荷重 Q_1 による容器の上端での変位量	mm
δ_0	荷重 Q, Q_1 による容器の重心での変位量	mm
π	円周率	—
ρ	液体の比重	—

記号	記号の定義	単位
σ_0		MPa
σ_{0c}	洞の組合せ一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0t}	洞の組合せ一次一般膜応力（圧縮側）	MPa
σ_2	洞の組合せ一次一般膜応力（引張側）	MPa
$\sigma_{2\phi}$	地震力のみによる洞の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_{2c}	地震力のみによる洞の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2t}	地震力のみによる洞の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値（圧縮側）	MPa
σ_{2xc}	地震力のみによる洞の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値（引張側）	MPa
σ_{2xt}	地震力のみによる洞の軸方向一次応力と二次応力の和（圧縮側）	MPa
σ_b	地震力のみによる洞の軸方向一次応力と二次応力の和（引張側）	MPa
σ_c	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_s	基礎に生じる圧縮応力	MPa
σ_{s1}	スカートの組合せ応力	MPa
σ_{s2}	スカートの運転時質量による軸方向応力	MPa
σ_{s3}	スカートの曲げモーメントによる軸方向応力	MPa
$\sigma_{x1}, \sigma_{\phi 1}$	スカートの鉛直方向地震力による軸方向応力	MPa
σ_{x2}	水頭又は内圧により洞に生じる軸方向応力，円周方向応力	MPa
σ_{x3}	洞の運転時質量による軸方向引張応力	MPa
σ_{x4}	洞の空重量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x5}	地震による洞に生じる軸方向応力	MPa
σ_{x6}	鉛直方向地震力による洞の軸方向引張応力	MPa
σ_{xc}	鉛直方向地震力による洞の軸方向圧縮応力	MPa
σ_{xt}	洞の軸方向応力の和（圧縮側）	MPa
σ_{ϕ}	洞の軸方向応力の和（引張側）	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	洞の周方向応力の和	MPa
τ	静水頭に鉛直方向地震が加わり洞に生じる周方向応力	MPa
τ_b	地震力により洞に生じるせん断応力	MPa
τ_s	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
	地震力によりスカートに生じるせん断応力	

注：「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME S NC1-2005/2007）（日本機械学会 2005年9月及び2007年9月）を言う。

2. 計算方法

2.1 固有周期の計算方法

(1) 計算モデル

本容器は、1.2 項より図 2-1 に示す下端固定の 1 質点系の振動モデルとして考える。

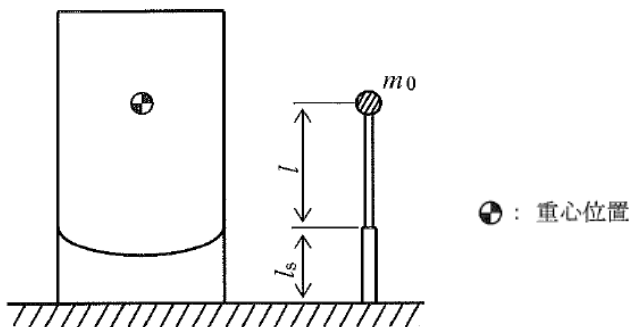


図 2-1 固有周期の計算モデル

(2) 固有周期の計算

a. 水平方向

固有周期は次による。

$$T_H = 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{10^3 \cdot K_H}} \dots\dots\dots (2-1)$$

ここで、曲げ及びせん断変形によるばね定数 K_H は、次による。

$$K_H = \frac{1}{\left\{ \frac{l^3}{3EI} + \frac{1}{3E_s I_s} (3l^2 l_s + 3l \cdot l_s^2 + l_s^3) \right\} + \frac{l}{GA_e} + \frac{l_s}{G_s A_{se}}} \dots\dots\dots (2-2)$$

スカートに設けたマンホール等の開口部による影響を考慮とした場合、胴及びスカートの断面性能は、次による。

$$I_s = \frac{\pi}{8} (D_s + t_s)^3 t_s - \frac{1}{4} (D_s + t_s)^2 t_s Y \quad \dots\dots\dots (2-3)$$

$$Y = \sum_{j=1}^{j_i} (D_s + t_s) \sin^{-1} \left(\frac{D_j}{D_s + t_s} \right) \quad \dots\dots\dots (2-4)$$

$$A_{se} = \frac{2}{3} \{ \pi (D_s + t_s) - Y \} t_s \quad \dots\dots\dots (2-5)$$

$$I = \frac{\pi}{8} (D_i + t)^3 t \quad \dots\dots\dots (2-6)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \pi (D_i + t) t \quad \dots\dots\dots (2-7)$$

b. 鉛直方向

鉛直方向については、剛構造とみなす。

2.2 応力の計算

静的地震力は絶対値和を適用する。なお、B、Cクラスに対する応力を計算する場合には、一次＋二次応力を計算することを要しない。また、鉛直地震力は考慮しない。

2.2.1 胴の応力

(1) 静水頭又は内圧による応力

静水頭による場合（鉛直方向地震時を含む）

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{10^{-6} \cdot g \rho H D_i}{2t} \quad \dots\dots\dots (2-8)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{10^{-6} \cdot g \rho H D_i C_v}{2t} \quad \dots\dots\dots (2-9)$$

$$\sigma_{x1} = 0 \quad \dots\dots\dots (2-10)$$

(2) 運転時質量による応力及び鉛直方向地震時の運転時質量による応力

胴がスカートと接合する点を境界とし，上部の胴に生じる圧縮応力及び下部の胴に生じる引張応力は，次のように求める。

上部の胴について（圧縮応力）

$$\sigma_{x3} = \frac{m_e g}{\pi(D_i + t)t} \dots\dots\dots (2-11)$$

$$\sigma_{x6} = \frac{C_v m_e g}{\pi(D_i + t)t} \dots\dots\dots (2-12)$$

下部の胴について

$$\sigma_{x2} = \frac{(m_o - m_e)g}{\pi(D_i + t)t} \dots\dots\dots (2-13)$$

$$\sigma_{x5} = \frac{C_v(m_o - m_e)g}{\pi(D_i + t)t} \dots\dots\dots (2-14)$$

(3) 水平方向地震力による応力

水平方向地震力により，スカート接合部の胴で最大となる曲げモーメントによる軸方向応力及び地震力によるせん断応力は，次のように求める。

a. 下端固定の場合

$$\sigma_{x4} = \frac{4C_H m_0 g l}{\pi(D_i + t)^2 t} \dots\dots\dots (2-15)$$

$$\tau = \frac{2C_H m_0 g}{\pi(D_i + t)t} \dots\dots\dots (2-16)$$

(4) 組合せ応力

(1)～(3)によって算出される胴の応力は、次により組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

【絶対値和】

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_{\phi} = \sigma_{\phi_1} + \sigma_{\phi_2} \dots\dots\dots (2-17)$$

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x4} + \sigma_{x5} \dots\dots\dots (2-18)$$

$$\sigma_{0t} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xt} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xt})^2 + 4\tau^2} \right\} \dots\dots\dots (2-19)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_{\phi} = -\sigma_{\phi_1} - \sigma_{\phi_2} \dots\dots\dots (2-20)$$

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} + \sigma_{x6} \dots\dots\dots (2-21)$$

σ_{xc} が正の値（圧縮側）の場合は、組合せ圧縮応力は、次による。

$$\sigma_{0c} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xc})^2 + 4\tau^2} \right\} \dots\dots\dots (2-22)$$

したがって、胴に生じる一次一般膜応力の最大値は、次による。

$$\sigma_0 = \max[\sigma_{0t}, \sigma_{0c}] \dots\dots\dots (2-23)$$

b. 一次応力（膜+曲げ）

一次応力（膜+曲げ）は「(a)一次一般膜応力」に示す式により組合せ応力として算出した値と同じである。

c. 地震力のみによる一次+二次応力の変動値

【絶対値和】

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_{2\phi} = \sigma_{\phi_2} \dots\dots\dots (2-24)$$

$$\sigma_{2xt} = \sigma_{x4} + \sigma_{x5} \dots\dots\dots (2-25)$$

$$\sigma_{2t} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xt} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xt})^2 + 4\tau^2} \dots\dots\dots (2-26)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_{2\phi} = -\sigma_{\phi_2} \dots\dots\dots (2-27)$$

$$\sigma_{2xc} = \sigma_{x4} + \sigma_{x6} \dots\dots\dots (2-28)$$

$$\sigma_{2c} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xc} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xc})^2 + 4\tau^2} \dots\dots\dots (2-29)$$

したがって、胴に生じる一次+二次応力の変動値の最大値は、次による。

$$\sigma_2 = \max[\sigma_{2t}, \sigma_{2c}] \dots\dots\dots (2-30)$$

2.2.2 スカートの応力

(1) 運転時質量による応力及び鉛直方向地震時の運転時質量による応力

スカート底部に生じる運転時質量による圧縮力及び鉛直方向地震時の運転時質量による圧縮応力は、次による。

$$\sigma_{s1} = \frac{m_0 g}{\{\pi(D_s + t_s) - Y\}t_s} \dots\dots\dots (2-31)$$

$$\sigma_{s3} = \frac{C_v m_0 g}{\{\pi(D_s + t_s) - Y\}t_s} \dots\dots\dots (2-32)$$

(2) 水平方向地震力による応力

水平方向地震力によるスカートに作用する曲げモーメントにより生じる軸方向応力及び水平方向地震力により生じるせん断応力は、次のように求める。

a. 下端固定の場合

$$\sigma_{s2} = \frac{M_s}{(D_s + t_s)t_s \left\{ \frac{\pi(D_s + t_s)}{4} - \frac{Y}{2} \right\}} \dots\dots\dots (2-33)$$

$$\tau_s = \frac{2C_H m_0 g}{\{\pi(D_s + t_s) - Y\}t_s} \dots\dots\dots (2-34)$$

ここで、

$$M_s = C_H m_0 g (l_s + l) \dots\dots\dots (2-35)$$

b. 組合せ応力

組合せ応力は、次による。

【絶対値和】

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3})^2 + 3\tau_s^2} \dots\dots\dots (2-36)$$

2.2.3 基礎ボルトの応力

(1) 引張応力

基礎に作用する転倒モーメント M_s は、下端固定の場合は式(2-35)を用いる。転倒モーメントが作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合条件を考慮する。(図2-2参照) 次にその手順を示す。

$$t_1 = \frac{nA_b}{\pi D_c} \dots\dots\dots (2-37)$$

$$t_2 = \frac{1}{2}(D_{bo} - D_{bi}) - t_1 \dots\dots\dots (2-38)$$

a. σ_b , σ_c 仮定して係数 k を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}} \dots\dots\dots (2-39)$$

b. a を求める

$$a = \cos^{-1}(1-2k) \dots\dots\dots (2-40)$$

c. 各定数 e , z , C_t , C_c を計算する。

$$e = \frac{1}{2} \left\{ \frac{(\pi-a)\cos^2 a + \frac{1}{2}(\pi-a) + \frac{3}{2}\sin a \cos a}{(\pi-a)\cos a + \sin a} + \frac{\frac{1}{2}a - \frac{3}{2}\sin a \cos a + a \cos^2 a}{\sin a - a \cos a} \right\} \dots\dots\dots (2-41)$$

$$z = \frac{1}{2} \left\{ \cos a + \left(\frac{\frac{1}{2}a - \frac{3}{2}\sin a \cos a + a \cos^2 a}{\sin a - a \cos a} \right) \right\} \dots\dots (2-42)$$

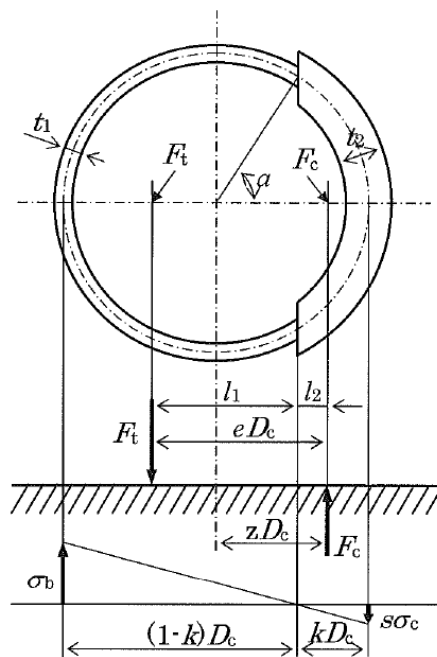


図 2-2 基礎の荷重説明図

$$C_t = \frac{2\{(\pi - a)\cos a + \sin a\}}{1 + \cos a} \dots\dots\dots (2-43)$$

$$C_c = \frac{2(\sin a - a \cos a)}{1 - \cos a} \dots\dots\dots (2-44)$$

d. 各定数を用いて F_t , F_c を求める。

【絶対値和】

$$F_t = \frac{M_s - (1 - C_v)m_0gz \cdot D_c}{e \cdot D_c} \dots\dots\dots (2-45)$$

$$F_c = F_t + (1 - C_v)m_0g \dots\dots\dots (2-46)$$

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 a が π に等しくなったときであるので、式 (2-41) 及び式 (2-42) において a を π に近づけた場合の値 $e=0.75$, $z=0.25$ を式 (2-45) に代入し、得られる F_t の値によって引張力の有無を次のように判定する。

- ・ $F_t \leq 0$ ならば引張力は作用しない。
- ・ $F_t > 0$ ならば引張力は作用しているので以降の計算を行う。

e. σ_b , σ_c を求め, a. にて仮定した値と十分に近似していることを確認する。

$$\sigma_b = \frac{2F_t}{t_1 D_c C_t} \dots\dots\dots (2-47)$$

$$\sigma_c = \frac{2F_c}{(t_2 + st_1) D_c C_c} \dots\dots\dots (2-48)$$

(2) せん断応力

$$\tau_b = \frac{C_H m_0 g}{n A_b} \dots\dots\dots (2-49)$$

3. 評価方法

3.1 固有周期の評価

2.1 項で求めた固有周期から、水平方向からの設計震度を求める。

3.2 胴の応力評価

2.2.1(4)項で求めた組合せ応力が、胴の最高使用温度における表 3-1 に示す許容応力 S_a 以下であること。

なお、一次応力（膜+曲げ）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。

表 3-1 胴の許容応力

耐震 クラス	供用状態	許 容 応 力 S_a	
		一次一般膜応力	一次応力
B, C	C s	$\min [S_y, 0.6 S_u]$ ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金は、 $1.2 S$ とすることができる。	S_y ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金は、 $1.2 S$ とすることができる。

3.3 スカートの応力評価

2.2.2(4)項で求めたスカートの組合せ応力が表3-2に示す許容応力 f_t 以下であること。

表3-2 スカートの許容応力

耐震 クラス	供用状態	許容引張応力 f_t
B, C	C _s	$1.5\left(\frac{F}{1.5}\right)$

3.4 基礎ボルトの応力

2.2.3項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{t0} は表3-3による。

$$f_{ts} = \min [1.4 f_{t0} - 1.6 \tau_b, f_{t0}] \quad \dots\dots\dots (2-50)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は表3-3による。

表3-3 基礎ボルトの許容応力

耐震 クラス	供用状態	許容引張応力 f_{t0}	許容せん断応力 f_{sb}
B, C	C _s	$1.5\left(\frac{F}{2}\right)$	$1.5\left(\frac{F}{1.5\sqrt{3}}\right)$

3.5 座屈評価

3.5.1 座屈の防止

軸圧縮荷重と曲げモーメントが負荷されるクラスMC容器は、共用状態C_s及びD_sにおいて次の不等式を満足しなければならない。

$$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (2-51)$$

式(2-51)は $l/R \leq 5$ の場合に適用できる。ただし、強め輪等により $l/R \leq 0.5$ となる場合は、強め輪の効果を考慮することができる。ここで、

- P : 軸圧縮荷重 (N)
- A : 容器の断面積 (mm²)
- M : 曲げモーメント (N・mm)
- Z : 断面係数 (mm³)
- f_c : 軸圧縮荷重に対する座屈応力 (MPa)
- f_b : 曲げモーメントに対する座屈応力 (MPa)
- α_B : 安全率
- l : 胴長 (mm)
- R : 円筒の平均半径 (mm)

(1) 軸圧縮荷重に対する座屈応力 (f_c)

$$f_c = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \left\{ 1 - \frac{1}{6800g} (F - \Phi_c\{\eta_2\})(\eta - \eta_1) \right\} & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \quad \dots (2-52) \\ \Phi_c\{\eta\} & (\eta_2 \leq \eta \leq 800) \end{cases}$$

$$\Phi_c\{\eta\} = 0.6 \frac{E}{\eta} \left[1 - 0.901 \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \sqrt{\eta}\right) \right\} \right] \quad \dots\dots\dots (2-53)$$

(2) 曲げモーメントに対する座屈応力 (f_b)

$$f_b = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \left\{ 1 - \frac{1}{8400g} (F - \Phi_b \{\eta_3\})(\eta - \eta_1) \right\} & (\eta_1 < \eta < \eta_3) \quad \cdots (2-54) \\ \Phi_b \{\eta\} & (\eta_3 \leq \eta \leq 800) \end{cases}$$

$$\Phi_b \{\eta\} = 0.6 \frac{E}{\eta} \left[1 - 0.731 \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{1}{16} \sqrt{\eta} \right) \right\} \right] \quad \cdots \cdots (2-55)$$

(3) 安全率 (α_B)

安全率は、共用状態 C s 及び D s に対して、

$$\alpha_B = \begin{cases} 1.0 & (\eta \leq \eta_1) \\ 1.0 + \frac{F}{13600g} (\eta - \eta_1) & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \quad \cdots \cdots \cdots (2-56) \\ 1.5 & (\eta_2 \leq \eta) \end{cases}$$

ここに、

F : 設計・建設規格 SSB-3121.1 において定める F の値 (MP a)

E : 材料の縦弾性係数 (MP a)

t : 円筒の板厚 (mm)

g : 重力加速度 (=9.80665m/s²)

$$\eta = R/t$$

$$\eta_1 = 1200g/F$$

$$\eta_2 = 8000g/F$$

$$\eta_3 = 9600g/F$$

付録 3 4脚たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Bクラス）の
耐震性についての計算書作成の基本方針

1. 一般事項

本基本方針は、4脚たて置き円筒形容器（耐震設計上の重要度分類 B クラス）の耐震性に関する計算方法を示す。

1.1 適用基準

本基本方針における計算方法は、原子力発電所耐震設計技術規定 JEAC4601 -2008（社団法人 日本電気協会 原子力規格委員会 平成 20 年 12 月 19 日）に準拠する。但し、材料強度に関する規準は JSME S NC1-2005/2007 による。

1.2 計算条件

- (1) 容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- (2) 胴と脚の取付部で胴の局部変形を考慮する。
- (3) 地震力は容器に対して水平方向から作用するものとする。
鉛直方向の地震力は考慮しないものとする。
- (4) 脚は、基礎ボルトにより直接基礎に取付けられるものとする。

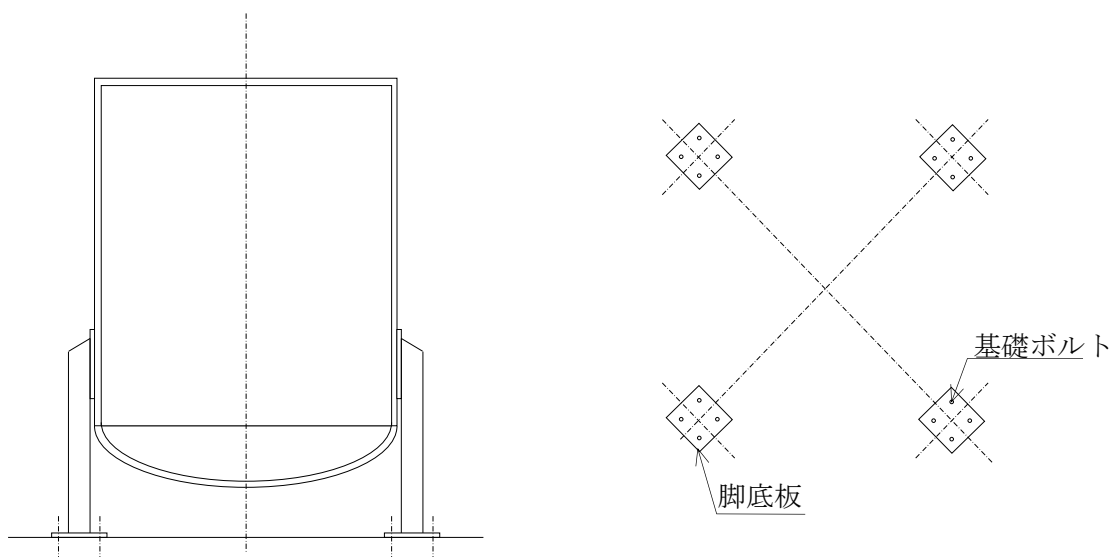


図 1-1 概要図

1.3 記号の説明

記号	記号の定義	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_e	胴の有効せん断断面積	mm^2
A_f	脚の圧縮フランジの断面積	mm^2
A_s	脚の断面積	mm^2
A_{sf}	脚の圧縮フランジとせいの1/6からなるT形断面の断面積	mm^2
A_{sr}	胴の半径方向軸に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{st}	脚の周方向軸に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s1}	胴の半径方向軸に対するせん断断面積	mm^2
A_{s2}	脚の周方向軸に対するせん断断面積	mm^2
a	脚底板の半径方向幅	mm
b	脚底板の周方向幅	mm
C	脚の座屈曲げモーメントに対する修正係数	—
C_1	アタッチメントである脚の胴への取付部の幅の1/2 (胴の周方向)	mm
C_2	アタッチメントである脚の胴への取付部の幅の1/2 (胴の軸方向)	mm
C_c	応力の補正係数 (参考文献 (附 4.3-2) より得られる値)	—
C_H	水平方向設計震度	—
C_l	応力の補正係数 (参考文献 (附 4.3-2) より得られる値)	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
D_i	胴の内径	mm
d_1	脚底板端面から基礎ボルト中心までの半径方向の距離	mm
d_2	脚底板端面から基礎ボルト中心までの周方向の距離	mm
d_b	基礎ボルトの外径	mm
E	胴の縦弾性係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1に定める値	MPa
E_s	脚の縦弾性係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1に定める値 基礎ボルトにおける係数	MPa
e	脚中心から偏心荷重作用点までの距離	mm
F	材料の許容応力を決定する場合の基準値。なお、支持構造物の許容応力は、設計・建設規格 SSB-3121.1 又は SSB-3131 に定める値。	MPa
F_0	振動モデル系における水平力	N

記号	記号の定義	単位
f_c	脚の許容圧縮応力	MPa
f_{br}	脚の半径方向軸まわりの許容曲げ応力	MPa
f_{bt}	脚の半径方向に直角な方向の軸まわりの許容曲げ応力	MPa
f_t	脚の許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H	水頭	mm
h	脚断面のせい	mm
i	脚の弱軸についての断面2次半径	mm
i_f	脚の圧縮フランジとせいの 1/6 からなる T形断面のウェブ軸まわりの断面2次半径	mm
I_{sr}	脚の半径方向軸に対する断面2次モーメント	mm ⁴
I_{st}	脚の周方向軸に対する断面2次モーメント	mm ⁴
I_{sf}	脚の圧縮フランジとせいの 1/6 からなる T形断面のウェブ軸まわりの断面2次モーメント	mm ⁴
J_s	脚のねじりモーメント係数	mm ⁴
K_1, K_2	参考文献 (附 4.3-2) より得られる定数	—
K_c	胴の脚つけ根部における周方向曲げモーメントに対する局部ばね定数 (参考文献 (附 4.3-1) より得られる値)	—
K_H	ばね定数 (水平方向)	N/mm
K_l	胴の脚つけ根部における長手方向曲げモーメントに対する局部ばね定数 (参考文献 (附 4.3-1) より得られる値)	N/mm
K_r	胴の脚つけ根部における半径方向荷重に対する局部ばね定数 (参考文献 (附 4.3-1) より得られる値)	N/mm
k_l	参考文献 (附 4.3-2) によるアタッチメントパラメータ軸方向の補正係数	—
k_c	参考文献 (附 4.3-2) によるアタッチメントパラメータ軸方向の補正係数	—
l	脚の長さ	mm
l_c	脚の中立軸間の距離	mm
l_g	基礎から容器上部重心までの距離	mm
l_k	脚の有効座屈長さ	mm
M_1	水平方向地震力 (Z方向) による胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメント	N・mm

記号	記号の定義	単位
M_3	水平方向地震力（Z方向）による胴の脚つけ根部のねじりモーメント	N・mm
M_c	水平方向地震力（Z方向）による胴の脚つけ根部の周方向モーメント	N・mm
M_1	運転時質量による胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメント	N・mm
M_{12}	鉛直地震力による胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメント	N・mm
M_{s1}, M_{s2}	脚の上下両端に作用する曲げモーメント	N・mm
M_{x1}	水平方向地震力（X方向）により第1脚及び第4脚の底部に働く合成モーメント	N・mm
M_{x2}	水平方向地震力（X方向）により第2脚及び第3脚の底部に働く合成モーメント	N・mm
M_{z1}	水平方向地震力（Z方向）により第1脚の底部に働く合成モーメント	N・mm
M_{z2}	水平方向地震力（Z方向）により第2脚及び第4脚の底部に働く合成モーメント	N・mm
M_{z3}	水平方向地震力（Z方向）により第3脚の底部に働く合成モーメント	N・mm
m_0	運転時質量	kg
N_x	胴に生じる軸方向の膜力	N/mm
N_ϕ	胴に生じる周方向の膜力	N/mm
n	脚1個あたりの基礎ボルトの本数	—
n_1, n_2	引張りを受ける基礎ボルトの本数	—
P	運転時質量による胴の脚つけ根部の半径方向荷重	N
P_1	水平方向地震力（Z方向）による胴の脚つけ根部の半径方向荷重	N
P_2	鉛直方向地震力による胴の脚つけ根部の半径方向荷重	N
P_r	最高使用圧力	MPa
Q	水平方向地震力（Z方向）による胴の脚つけ根部の周方向荷重	N
R	運転時質量による脚の軸力	N
R_1	水平方向地震力（Z方向）により脚に作用する軸力	N
R_2	鉛直方向地震力により脚に作用する軸力	N
R_{s1}	運転時質量（圧縮）により脚に作用する軸力	N
R_{s2}	運転時質量（圧縮）により脚に作用する軸力	N

記 号	記 号 の 定 義	単 位
R_{x1}	水平方向地震力（X方向）により第1脚及び第4脚に作用する軸力	N
R_{x2}	水平方向地震力（X方向）により第2脚及び第3脚に作用する軸力	N
R_{z1}	水平方向地震力（Z方向）により第1脚に作用する軸力	N
R_{z2}	水平方向地震力（Z方向）により第2脚及び第4脚に作用する軸力	N
R_{z3}	水平方向地震力（Z方向）により第3脚に作用する軸力	N
r_m	胴の平均半径	mm
T_H	水平方向固有周期	s
t	胴の板厚	mm
u	脚の中心軸から胴の板厚中心までの距離	mm
X_n	基礎が圧縮力を受ける幅	mm
Z_{sp}	脚のねじり断面係数	mm ³
Z_{sr}	脚の半径方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{st}	脚の周方向軸に対する断面係数	mm ³
$\beta,$ $\beta_1, \beta_2,$ β_c, β_l	} 参考文献（附 4.3-2）によるアタッチメントパラメータ	—
γ		参考文献（附 4.3-2）によるシェルパラメータ
δ_H	水平力 F_0 による胴重心の変位量	mm
Δ_r	運転時質量による胴の半径方向局部変位量	mm
Δ_{r1}	水平力 F_0 による胴の半径方向局部変位量	mm
Δ_{x1}	水平力 F_0 による第1脚上端の水平方向変位量	mm
Δ_{x3}	水平力 F_0 による第2脚上端の水平方向変位量	mm
Δ_{y1}	水平力 F_0 による第1脚の鉛直方向変位量	mm
θ	運転時質量による胴の脚つけ根部における局部傾き角	rad
θ_0	水平力 F_0 による胴の中心軸の傾き角	rad
θ_1	水平力 F_0 による第1脚の傾き角	rad
θ_2	水平力 F_0 による胴の第1脚つけ根部における局部傾き角	rad
θ_3	水平力 F_0 による第2脚の傾き角	rad
ν	座屈に対する安全率	—
Λ	脚の限界細長比	—
λ	脚の有効細長比	—
π	円周率	—

記号	記号の定義	単位
ρ	液体の比重	—
$\sigma_{0\phi}$	胴の周方向一次一般膜応力	MPa
σ_{0x}	胴の軸方向一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{x11} \sim \sigma_{x14}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{x15} \sim \sigma_{x16}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{x21} \sim \sigma_{x24}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の胴の組合せ一次＋二次応力	MPa
$\sigma_{x25} \sim \sigma_{x26}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の胴の組合せ一次＋二次応力	MPa
$\sigma_{b1} \sim \sigma_{b2}$	水平方向地震力（Z方向）により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b4}, σ_{b5}	水平方向地震力（X方向）により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{s1}, σ_{s2}	運転時質量による脚の圧縮応力，曲げ応力	MPa
σ_{s3}, σ_{s4}	鉛直方向地震力による脚の圧縮応力，曲げ応力	MPa
$\sigma_{s5} \sim \sigma_{s7}$	水平方向地震力（Z方向）による脚の圧縮応力，曲げ応力	MPa
$\sigma_{s8} \sim \sigma_{s10}$	水平方向地震力（X方向）による脚の圧縮応力，曲げ応力	MPa
σ_{sc}	脚の圧縮応力の和	MPa
σ_{sr}	脚の半径方向軸まわりの圧縮側曲げ応力の和	MPa
σ_{st}	脚の半径方向に直角な軸まわりの圧縮側曲げ応力の和	MPa
σ_{sx}	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{sz1}, \sigma_{sz2}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{\phi1}, \sigma_{x1}$	静水頭又は内圧による胴の周方向応力，軸方向応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi3}, \sigma_{x3}$	運転時質量により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力，軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi4}, \sigma_{x4}$	運転時質量により生じる半径方向荷重による胴の周方向応力，軸方向応力	MPa
σ_{x5}	地震力が作用した場合の転倒モーメントによる胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi7}, \sigma_{x7}$	鉛直方向地震力による胴の周方向応力，軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi8}, \sigma_{x8}$	鉛直方向地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力，軸方向応力	MPa

記号	記号の定義	単位
$\sigma_{\phi 9}, \sigma_{x 9}$	鉛直方向地震力により生じる半径方向荷重による胴の周方向応力, 軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 10}, \sigma_{x 10}$	鉛直方向地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴の局部応力	MPa
$\sigma_{\phi 11}, \sigma_{x 11}$	鉛直方向地震力により生じる半径方向荷重による胴の局部応力	MPa
$\sigma_{\phi 61}, \sigma_{x 61}$ $\sigma_{\phi 62}, \sigma_{x 62}$	水平方向地震力 (Z 方向) が作用した場合の半径方向荷重による胴の周方向応力, 軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 71}, \sigma_{x 71}$ $\sigma_{\phi 72}, \sigma_{x 72}$	水平方向地震力 (Z 方向) が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力, 軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 81}, \sigma_{x 81}$ $\sigma_{\phi 82}, \sigma_{x 82}$	水平方向地震力 (Z 方向) が作用した場合の周方向モーメントによる胴の周方向応力, 軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 91}, \sigma_{x 91}$ $\sigma_{\phi 92}, \sigma_{x 92}$	水平方向地震力 (X 方向) が作用した場合の半径方向荷重による胴の周方向応力, 軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 101}, \sigma_{x 101}$ $\sigma_{\phi 102}, \sigma_{x 102}$	水平方向地震力 (X 方向) が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力, 軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 111}, \sigma_{x 111}$ $\sigma_{\phi 112}, \sigma_{x 112}$	水平方向地震力 (X 方向) が作用した場合の周方向モーメントによる胴の周方向応力, 軸方向応力	MPa
$\sigma_{xx1}, \sigma_{xx2}$	水平方向地震力 (X 方向) が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{xx3}, \sigma_{xx4}$	水平方向地震力 (X 方向) が作用した場合の胴の軸方向一次+二次応力の和	MPa
$\sigma_{xz1} \sim \sigma_{xz4}$	水平方向地震力 (Z 方向) が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{xz5} \sim \sigma_{xz8}$	水平方向地震力 (Z 方向) が作用した場合の胴の軸方向一次+二次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi x1}, \sigma_{\phi x2}$	水平方向地震力 (X 方向) が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa

記号	記号の定義	単位
$\sigma_{\Phi x3}, \sigma_{\Phi x4}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の胴の周方向一次 +二次応力の和	MPa
$\sigma_{\Phi z1} \sim \sigma_{\Phi z4}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の胴の周方向一次 応力の和	MPa
$\sigma_{\Phi z5} \sim \sigma_{\Phi z8}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の胴の周方向一次 +二次応力の和	MPa
τ_3	水平方向地震力（Z方向）により胴の脚つけ根部に生じるね じりモーメントによるせん断応力	MPa
τ_6	水平方向地震力（X方向）により胴の脚つけ根部に生じるね じりモーメントによるせん断応力	MPa
τ_{b1}, τ_{b2}	水平方向地震力（Z方向）により基礎ボルトに生じるせん断 応力	MPa
τ_{b4}, τ_{b5}	水平方向地震力（X方向）により基礎ボルトに生じるせん断 応力	MPa
τ_{c1}	水平方向地震力（Z方向）により胴の脚つけ根部に生じる周 方向せん断応力	MPa
τ_{c4}	水平方向地震力（X方向）により胴の脚つけ根部に生じる周 方向せん断応力	MPa
τ_{l1}	運転時質量により胴の脚つけ根部に生じる軸方向せん断応 力	MPa
τ_{l2}	水平方向地震力（Z方向）により胴の脚つけ根部に生じる軸 方向せん断応力	MPa
τ_{l3}	鉛直方向地震力により胴の脚つけ根部に生じる軸方向せん 断応力	MPa
τ_{l5}	水平方向地震力（X方向）により胴の脚つけ根部に生じる軸 方向せん断応力	MPa
τ_{s1}	運転時質量による脚のせん断応力	MPa
τ_{s2}	鉛直方向地震力による脚のせん断応力	MPa
τ_{s3}, τ_{s4}	水平方向地震力（Z方向）による脚のせん断応力	MPa
τ_{s5}	水平方向地震力（X方向）による脚のせん断応力	MPa

注：「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME S NC1-2005/2007）（日本機械学会 2005年9月及び2007年9月）を言う。参考文献（附 4.3-1）とは、Bijlaard, P.P:Stresses from Radial Loads and External Moments in Cylindrical Pressure Vessels, *The Welding Journal*, 34(12), Reserch Supplement, 1955. を言う。参考文献（附 4.3-2）とは、Wichman, K.R. et al. : Local Stress in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107/August 1965. を言う。

2. 計算方法

2.1 固有周期の計算方法

(1) 計算モデル

本評価法は、図 2-1 に示す構造をもつ 4 脚たて置円筒形容器に適用する。

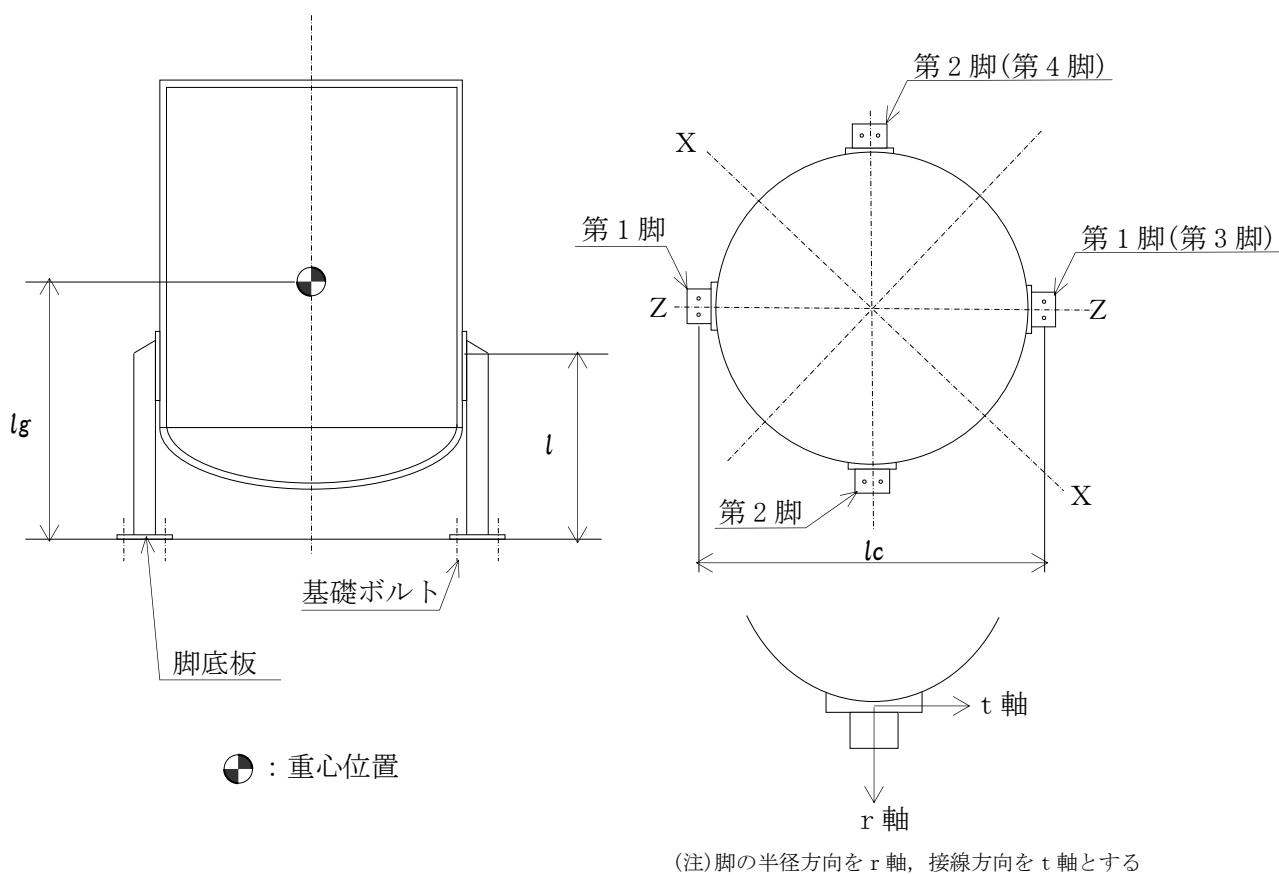


図 2-1 固有周期の計算モデル

- a. 容器及び内容物の質量は，重心に集中したものとする。
- b. 脚を基礎に固定する基礎ボルトが，脚の変形方向に直角方向より見て脚1本につき1列の場合は脚下端を単純支持とする。その他の場合は，固定とする。
- c. 水平方向については，脚と胴の曲げ変形及びせん断変形を考慮する。
- d. 胴板と脚との取付部で，胴の局部変形を考慮する。
- e. 地震力は，容器に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし，応力計算において組み合わせる。なお，水平方向については地震力の方向と4本の脚の取り付け方向との関係を考慮して，図2-1に示すX方向とZ方向について評価する。

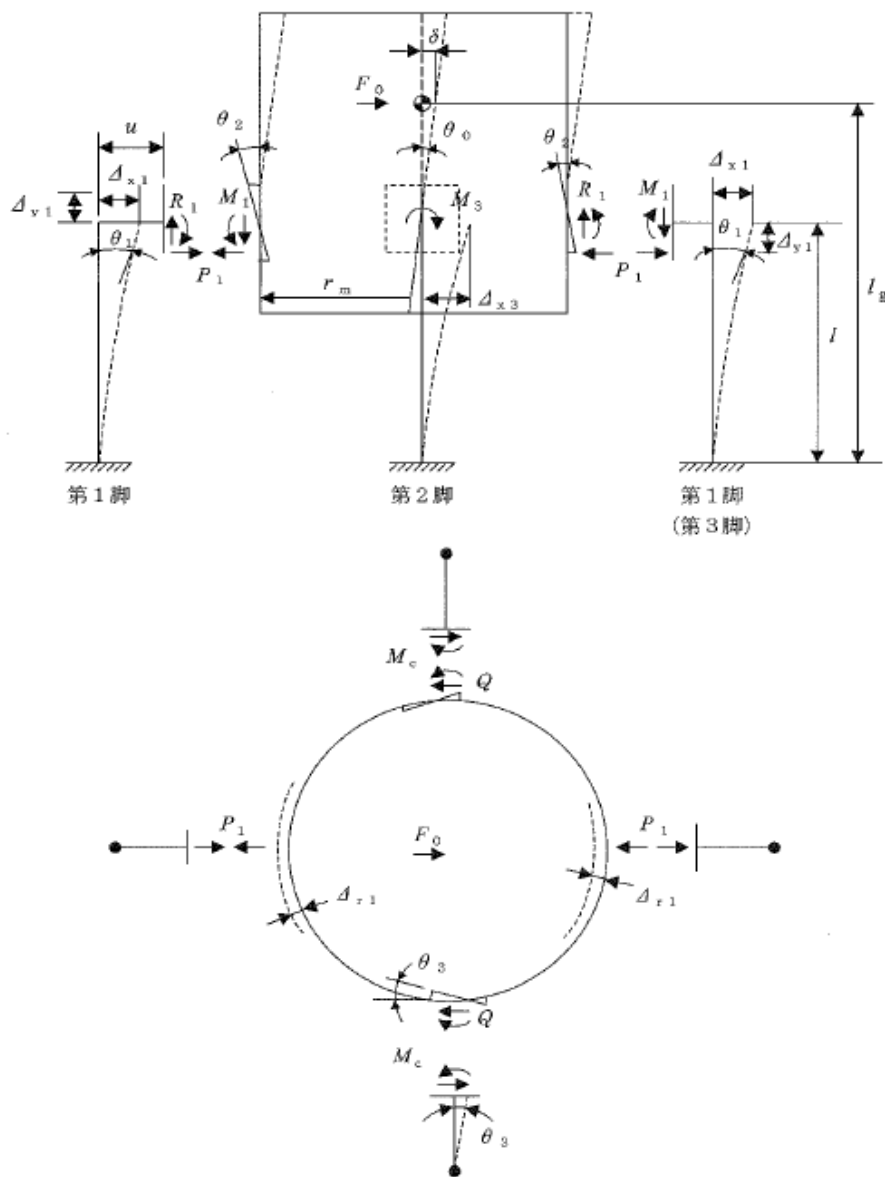


図2-2 脚下端が第1脚，第2脚とも固定の場合の変形モード

(2) 固有周期の計算

a. 水平方向

固有周期 T_H は、下式による。

$$T_H = 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{10^3 \cdot K_H}} \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

ばね定数 K_H は、胴重心に水平力 F_0 を加えたときの変位量 δ_H より求める。

$$K_H = \frac{F_0}{\delta_H} \quad \dots\dots\dots (2-2)$$

$$\delta_H = \Delta_{x1} + \Delta_{r1} + (l_g - l)\theta_0 + \frac{(l_g - l)^3}{3EI} F_0 + \frac{(l_g - l)}{GA_e} F_0 \quad \dots\dots (2-3)$$

ここで、胴の断面性能 I と A_e は下式による。

$$I = \frac{\pi}{8} (D_i + t)^3 t \quad \dots\dots\dots (2-4)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \pi (D_i + t)t \quad \dots\dots\dots (2-5)$$

脚上端の水平方向変位 Δ_{x1} 、胴の半径方向局部変位 Δ_{r1} 及び胴の中心軸の傾き角 θ_0 は、胴と脚との境界部における変位量及び傾き角を変数とした荷重及びモーメントの釣合方程式を立て、連立方程式として解くことで求める。

下記(a) から(d) に釣合方程式を示す。

(a) 水平力の釣合より

$$2P_1 + 2Q = F_0 \quad \dots\dots\dots (2-6)$$

(b) 転倒モーメントの釣合より

$$2M_1 - 2M_3 + 2R_1 r_m = F_0 (l_g - l) \quad \dots\dots\dots (2-7)$$

ここで、

$$r_m = (D_i + t)/2 \quad \dots\dots\dots (2-8)$$

第1脚の水平方向変位量 Δ_{x1} 、傾き角 θ_1 、鉛直方向変位量 Δ_{y1} は次による。

$$\Delta_{x1} = \frac{P_1 l^3}{3E_s I_{st}} + \frac{P_1 l}{G_s A_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 u) l^2}{2E_s I_{st}} \dots\dots\dots (2-9)$$

$$\theta_1 = \frac{(M_1 - R_1 u) l}{E_s I_{st}} + \frac{P_1 l^2}{2E_s I_{st}} \dots\dots\dots (2-10)$$

$$\Delta_{y1} = \frac{R_1 l}{A_s E_s} \dots\dots\dots (2-11)$$

ここで、

$$u = \frac{l_c}{2} - r_m \dots\dots\dots (2-12)$$

胴の半径方向局部変位量 Δ_{r1} と局部傾き角 θ_2 は、次による。

$$\Delta_{r1} = \frac{K_r P_1}{r_m E} \dots\dots\dots (2-13)$$

$$\theta_2 = \frac{K_l M_1}{r_m^3 \beta_1^2 E} \dots\dots\dots (2-14)$$

ここで、

$$\beta_1 = k_l \sqrt{\beta_1 \beta_2^2} \quad , \quad \beta_1 = \frac{C_1}{r_m} \quad , \quad \beta_2 = \frac{C_2}{r_m} \quad \dots\dots\dots (2-15)$$

第2脚の傾き角 θ_0 と水平方向変位量 Δ_{x3} は、次による。

$$\theta_0 = -\frac{M_3 l}{E_s I_{sr}} + \frac{Q \cdot l^2}{2E_s I_{sr}} \dots\dots\dots (2-16)$$

$$\Delta_{x3} = \frac{Q l^3}{3E_s I_{sr}} + \frac{Q l}{G_s A_{st}} - \frac{M_3 l^2}{2E_s I_{sr}} \dots\dots\dots (2-17)$$

(c) 第1脚と胴の傾き角の釣合より

$$\theta_1 + \theta_2 - \theta_0 = 0 \dots\dots\dots (2-18)$$

第2脚のねじり角と胴の局部傾き角は等しいことから

$$\theta_3 = \frac{(Qu - M_c) l}{G_s J_s} = \frac{K_c M_c}{r_m^3 \beta_c^2 E} \dots\dots\dots (2-19)$$

ここで、

$$\beta_c = k_c \sqrt[3]{\beta_1^2 \beta_2} \quad , \quad \beta_1 = \frac{C_1}{r_m} \quad , \quad \beta_2 = \frac{C_2}{r_m} \quad \dots\dots\dots (2-20)$$

(d) 脚と胴の水平方向変位の釣合より

$$\Delta_{x1} + \Delta_{r1} = \Delta_{x3} + u\theta_3 \quad \dots\dots\dots (2-21)$$

さらに、鉛直方向変位の釣合より

$$\Delta_{y1} - u\theta_1 - r_m\theta_0 = 0 \quad \dots\dots\dots (2-22)$$

式(2-22)へ、式(2-10)、式(2-11)、式(2-16)を代入し

$$\frac{R_1 l}{A_s E_s} - \frac{u(M_1 - R_1 u)l}{E_s I_{st}} - \frac{u P_1 l^2}{2 E_s I_{st}} + \frac{r_m M_3 l}{E_s I_{sr}} - \frac{r_m Q l^2}{2 E_s I_{sr}} = 0 \quad \dots\dots (2-23)$$

式(2-18)へ、式(2-10)、式(2-14)、式(2-16)を代入し

$$\frac{M_3 l}{E_s I_{sr}} - \frac{Q l^2}{2 E_s I_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 u)l}{E_s I_{st}} + \frac{P_1 l^2}{2 E_s I_{st}} + \frac{K_1 M_1}{r_m^3 \beta_1^2 E} = 0 \quad \dots\dots (2-24)$$

式(2-19)を変形して

$$\frac{u Q l}{G_s J_s} - \frac{M_c l}{G_s J_s} - \frac{K_c M_c}{r_m^3 \beta_c^2 E} = 0 \quad \dots\dots\dots (2-25)$$

式(2-9)、式(2-13)、式(2-17)、式(2-19)、式(2-21)より、

$$\begin{aligned} \frac{P_1 l^3}{3 E_s I_{st}} + \frac{P_1 l}{G_s A_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 u)l^2}{2 E_s I_{st}} + \frac{K_r P_1}{r_m E} \\ - \frac{Q l^3}{3 E_s I_{sr}} - \frac{Q l}{G_s A_{st}} + \frac{M_3 l^2}{2 E_s I_{sr}} - \frac{u K_c M_c}{r_m^3 \beta_c^2 E} = 0 \quad \dots\dots (2-26) \end{aligned}$$

式(2-6)、式(2-7)及び式(2-23)～式(2-26)の方程式から、水平力F₀を加えたときの脚上端の水平方向変位量Δ_{x1}、胴の半径方向局部変位量Δ_{r1}及び胴の中心軸の傾き角θ₀を求める。

b. 鉛直方向

鉛直方向については、剛構造とみなす。

2.2 応力の計算

静的地震力は絶対値和を適用する。

なお、B、Cクラスに対する応力を計算する場合には、一次＋二次応力を計算することを要しない。また、鉛直地震力は考慮しない。

2.2.1 胴の応力

(1) 静水頭又は内圧による応力

静水頭による場合（鉛直方向地震時を含む）

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{10^{-6} \cdot g \rho H D_i}{2t} \quad \dots\dots\dots (2-27)$$

$$\sigma_{\phi 7} = \frac{10^{-6} \cdot g \rho H D_i C_v}{2t} \quad \dots\dots\dots (2-28)$$

$$\sigma_{x1} = 0 \quad \dots\dots\dots (2-29)$$

(2) 運転時質量及び鉛直方向地震力による応力

$$\sigma_{x2} = \frac{m_0 g}{\pi(D_i + t)t} \quad \dots\dots\dots (2-30)$$

$$\sigma_{x7} = \frac{m_0 g C_v}{\pi(D_i + t)t} \quad \dots\dots\dots (2-31)$$

(3) 運転時質量による胴の脚つけ根部の応力

脚下端が固定の場合は、

$$R = \frac{m_0 g}{4} \quad \dots\dots\dots (2-32)$$

脚の半径方向変位量と胴の半径方向局部変位量は等しいことから

$$\Delta_r = \frac{-Pl^3}{3E_s I_{st}} + \frac{-Pl}{G_s A_{sr}} + \frac{(Ru - M_l)l^2}{2E_s I_{st}} = \frac{K_r P}{r_m E} \quad \dots\dots\dots (2-33)$$

また、脚下端の傾き角と胴の局部傾き角は等しいことから

$$\theta = \frac{(Ru - M_l)l}{E_s I_{st}} - \frac{Pl^2}{2E_s I_{st}} = \frac{K_l M_l}{r_m^3 \beta_1^2 E} \dots\dots\dots (2-34)$$

式(2-32)から式(2-34)までを連立させることにより、運転時質量による胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメント及び半径方向荷重を次式により求める。

$$M_l = \frac{\left(\frac{l^3}{12E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E} \right) \frac{m_0 g u l}{4E_s I_{st}}}{\left(\frac{l^3}{3E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E} \right) \left(\frac{l}{E_s I_{st}} + \frac{K_l}{r_m^3 \beta_1^2 E} \right) - \left(\frac{l^2}{2E_s I_{st}} \right)^2} \dots\dots\dots (2-35)$$

$$P = \frac{\frac{m_0 g}{4} u - M_l}{\frac{2E_s I_{st}}{l^3 + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E}}} \dots\dots\dots (2-36)$$

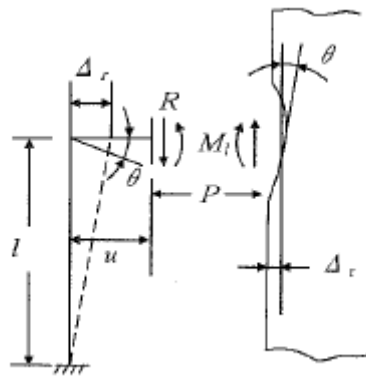


図2-3 脚下端が固定されている場合の脚及び胴の変形

鉛直方向モーメント M_l により生じる胴の局部応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって参考文献(附4.3-2)の表より求めた値(以下*を付記する)を用いて次式により算定する。

$$\sigma_{\phi 3} = \left[\frac{N_{\phi}}{M_l / (r_m^2 \beta)} \right]^* \left(\frac{M_l}{r_m^2 t \beta_l} \right) C_l \quad \dots \quad (2-37)$$

$$\sigma_{x3} = \left[\frac{N_x}{M_l / (r_m^2 \beta)} \right]^* \left(\frac{M_l}{r_m^2 t \beta_l} \right) C_l \quad \dots \quad (2-38)$$

ここで、

$$r_m = (D_i + t) / 2 \quad \dots \quad (2-39)$$

$$\gamma = r_m / t \quad \dots \quad (2-40)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \quad \dots \quad (2-41)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \quad \dots \quad (2-42)$$

$$\beta_l = \sqrt[3]{\beta_1 \beta_2^2} \quad \dots \quad (2-43)$$

β は次式による。

$\beta_1 / \beta_2 \geq 1$ のとき

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{1}{3} (\beta_1 / \beta_2 - 1) (1 - K_1) \right\} \sqrt{\beta_1 \beta_2} \quad \dots \quad (2-44)$$

$\beta_1 / \beta_2 < 1$ のとき

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{4}{3} (1 - \beta_1 / \beta_2) (1 - K_2) \right\} \sqrt{\beta_1 \beta_2} \quad \dots \quad (2-45)$$

半径方向荷重Pにより生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 4} = \left[\frac{N_{\phi}}{P / r_m} \right]^* \left(\frac{P}{r_m t} \right) \quad \dots \quad (2-46)$$

$$\sigma_{x4} = \left[\frac{N_x}{P / r_m} \right]^* \left(\frac{P}{r_m t} \right) \quad \dots \quad (2-47)$$

反力Rによるせん断応力は、次による。

$$\tau_{11} = \frac{R}{4C_2 t} \quad \dots \quad (2-48)$$

(4) 水平方向地震力による胴の曲げ応力

$$\sigma_{s5} = \frac{m_0 g C_H (l_g - l)(D_i + 2t)}{2I} \dots\dots\dots (2-49)$$

(5) 水平方向地震力（Z方向）による胴の脚つけ根部の応力

2.1(3)において単位荷重 F_0 を $m_0 g C_H$ に置き換えて得られる数値を使用し、胴の脚つけ根部の応力を次のように求める。

a. 一次応力

半径方向荷重 P_1 により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 61} = \left[\frac{N_\phi}{P_1 / r_m} \right]^* \left(\frac{P_1}{r_m t} \right) \dots\dots\dots (2-50)$$

$$\sigma_{x 61} = \left[\frac{N_x}{P_1 / r_m} \right]^* \left(\frac{P_1}{r_m t} \right) \dots\dots\dots (2-51)$$

鉛直方向曲げモーメント M_1 により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 71} = \left[\frac{N_\phi}{M_1 / (r_m^2 \beta)} \right]^* \left(\frac{M_1}{r_m^2 t \beta_1} \right) C_l \dots\dots\dots (2-52)$$

$$\sigma_{x 71} = \left[\frac{N_x}{M_1 / (r_m^2 \beta)} \right]^* \left(\frac{M_1}{r_m^2 t \beta_1} \right) C_l \dots\dots\dots (2-53)$$

周方向曲げモーメント M_c により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 81} = \left[\frac{N_\phi}{M_c / (r_m^2 \beta)} \right]^* \left(\frac{M_c}{r_m^2 t \beta_c} \right) C_c \dots\dots\dots (2-54)$$

$$\sigma_{x 81} = \left[\frac{N_x}{M_c / (r_m^2 \beta)} \right]^* \left(\frac{M_c}{r_m^2 t \beta_c} \right) C_c \dots\dots\dots (2-55)$$

ここで、 β_c は次式による。

$$\beta_c = \sqrt[3]{\beta_1^2 \beta_2} \dots\dots\dots (2-56)$$

周方向せん断力 Q によるせん断応力は、次による。

$$\tau_{c1} = \frac{Q}{4C_1 t} \quad \dots\dots\dots (2-57)$$

鉛直方向せん断力 R_1 によるせん断応力は、次による。

$$\tau_{l2} = \frac{R_1}{4C_2 t} \quad \dots\dots\dots (2-58)$$

ねじりモーメント M_3 により生じる胴の局部せん断応力は、次による。

$$\tau_3 = \frac{M_3}{2\pi C_1^2 t} \quad \dots\dots\dots (2-59)$$

ここで、 $C_1 > C_2$ のときは C_1 を C_2 に置き換える。

b. 二次応力

半径方向荷重 P_1 により生じる胴の局部曲げ応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 62} = \left[\frac{M_\phi}{P_1} \right]^* \left(\frac{6P_1}{t^2} \right) \quad \dots\dots\dots (2-60)$$

$$\sigma_{x62} = \left[\frac{M_x}{P_1} \right]^* \left(\frac{6P_1}{t^2} \right) \quad \dots\dots\dots (2-61)$$

鉛直方向曲げモーメント M_1 により生じる胴の局部曲げ応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 72} = \left[\frac{M_\phi}{M_1 / (r_m \beta)} \right]^* \left(\frac{6M_1}{r_m t^2 \beta_l} \right) \quad \dots\dots\dots (2-62)$$

$$\sigma_{x72} = \left[\frac{M_x}{M_1 / (r_m \beta)} \right]^* \left(\frac{6M_1}{r_m t^2 \beta_l} \right) \quad \dots\dots\dots (2-63)$$

ただし、式(2-43)により求められたアタッチメントパラメータ β_θ にさらに k_θ を乗じた値とする。

周方向曲げモーメント M_c により生じる胴の局部曲げ応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 82} = \left[\frac{M_\phi}{M_c / (r_m \beta)} \right]^* \left(\frac{6M_c}{r_m t^2 \beta_c} \right) \quad \dots\dots\dots (2-64)$$

$$\sigma_{x82} = \left[\frac{M_x}{M_c / (r_m \beta)} \right]^* \left(\frac{6M_c}{r_m t^2 \beta_c} \right) \quad \dots\dots\dots (2-65)$$

ただし、式(2-56)により求められたアタッチメントパラメータ β_c にさらに k_c を乗じた値とする。

(6) 水平方向地震力(X方向)による胴の脚つけ根部の応力

a. 一次応力

半径方向荷重 P_1 により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 91} = \sigma_{\phi 61} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (2-66)$$

$$\sigma_{x 91} = \sigma_{x 61} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (2-67)$$

鉛直方向曲げモーメント M_1 により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 101} = \sigma_{\phi 71} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (2-68)$$

$$\sigma_{x 101} = \sigma_{x 71} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (2-69)$$

周方向曲げモーメント M_c により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 111} = \sigma_{\phi 81} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (2-70)$$

$$\sigma_{x 111} = \sigma_{x 81} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (2-71)$$

周方向せん断力 Q によるせん断応力は、次による。

$$\tau_{c4} = \tau_{c1} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (2-72)$$

鉛直方向せん断力 R_1 によるせん断応力は、次による。

$$\tau_{l5} = \tau_{l2} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (2-73)$$

ねじりモーメント M_3 により生じる胴の局部せん断応力は、次による。

$$\tau_6 = \tau_3 / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (2-74)$$

b. 二次応力

半径方向荷重 P_1 により生じる胴の局部曲げ応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 92} = \sigma_{\phi 62} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (2-75)$$

$$\sigma_{x 92} = \sigma_{x 62} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (2-76)$$

鉛直方向曲げモーメント M_1 により生じる胴の局部曲げ応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 102} = \sigma_{\phi 72} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (2-77)$$

$$\sigma_{x 102} = \sigma_{x 72} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (2-78)$$

周方向曲げモーメント M_c により生じる胴の局部曲げ応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 112} = \sigma_{\phi 82} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (2-79)$$

$$\sigma_{x 112} = \sigma_{x 82} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (2-80)$$

(7) 鉛直方向地震力による胴の脚つけ根部の応力

鉛直方向地震力による胴の脚のつけ根部の応力は考慮しない。

(8) 組合せ応力

(1)～(7)項によって算出される脚つけ根部に生じる胴の応力は、次により組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

【絶対値和】

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 7} \quad \dots\dots\dots (2-81)$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 7} \quad \dots\dots\dots (2-82)$$

$$\sigma_0 = \max[\sigma_{0\phi}, \sigma_{0x}] \quad \dots\dots\dots (2-83)$$

b. 一次応力（膜+曲げ）

【絶対値和】

(a) 水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合

第1脚つけ根部

第1評価点

$$\sigma_{\phi 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 61} + \sigma_{\phi 71} \quad \dots \quad (2-84)$$

$$\sigma_{xz1} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} + \sigma_{x5} + \sigma_{x7} + \sigma_{x8} + \sigma_{x9} + \sigma_{x61} + \sigma_{x71} \quad \dots \quad (2-85)$$

$$\sigma_{11} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_{\phi 1} + \sigma_{xz1}) + \sqrt{(\sigma_{\phi 1} - \sigma_{xz1})^2} \right\} \quad \dots \quad (2-86)$$

第2評価点

$$\sigma_{\phi 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 61} \quad \dots \quad (2-87)$$

$$\sigma_{xz2} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x4} + \sigma_{x5} + \sigma_{x7} + \sigma_{x9} + \sigma_{x61} \quad \dots \quad (2-88)$$

$$\sigma_{12} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{xz2}) + \sqrt{(\sigma_{\phi 2} - \sigma_{xz2})^2 + 4(\tau_{11} + \tau_{12} + \tau_{13})^2} \right\} \quad \dots \quad (2-89)$$

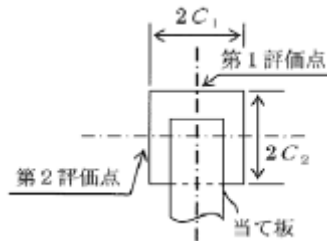


図2-4 胴の評価点

第2脚つけ根部

第1評価点

$$\sigma_{\phi 3} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} \quad \dots\dots\dots (2-90)$$

$$\sigma_{xz3} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} + \sigma_{x7} + \sigma_{x8} + \sigma_{x9} \quad \dots\dots\dots (2-91)$$

$$\sigma_{13} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_{\phi 3} + \sigma_{xz3}) + \sqrt{(\sigma_{\phi 3} - \sigma_{xz3})^2 + 4(\tau_{c1} + \tau_3)^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (2-92)$$

第2評価点

$$\sigma_{\phi 4} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 81} \quad \dots\dots\dots (2-93)$$

$$\sigma_{xz4} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x4} + \sigma_{x7} + \sigma_{x9} + \sigma_{x81} \quad \dots\dots\dots (2-94)$$

$$\sigma_{14} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_{\phi 4} + \sigma_{xz4}) + \sqrt{(\sigma_{\phi 4} - \sigma_{xz4})^2 + 4(\tau_{l1} + \tau_3 + \tau_{l3})^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (2-95)$$

(b) 水平方向地震力 (X方向) 及び鉛直方向地震力が作用した場合

第1評価点

$$\sigma_{\phi 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} \\ + \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 101} \quad \dots\dots\dots (2-96)$$

$$\sigma_{xx1} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} + \sigma_{x5} + \sigma_{x7} + \sigma_{x8} \\ + \sigma_{x9} + \sigma_{x91} + \sigma_{x101} \quad \dots\dots\dots (2-97)$$

$$\sigma_{15} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_{\phi 1} + \sigma_{xx1}) + \sqrt{(\sigma_{\phi 1} - \sigma_{xx1})^2 + 4(\tau_{c4} + \tau_6)^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (2-98)$$

第2評価点

$$\sigma_{\phi 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 111} \quad \dots\dots\dots (2-99)$$

$$\sigma_{xx2} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x4} + \sigma_{x5} + \sigma_{x7} + \sigma_{x9} \\ + \sigma_{x91} + \sigma_{x111} \quad \dots\dots\dots (2-100)$$

$$\sigma_{16} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_{\phi x2} + \sigma_{xx2}) + \sqrt{(\sigma_{\phi x2} - \sigma_{xx2})^2 + 4(\tau_{11} + \tau_{15} + \tau_6 + \tau_{13})^2} \right\} \dots\dots\dots (2-101)$$

$$\sigma_1 = \max[\sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{14}, \sigma_{15}, \sigma_{16}] \dots\dots\dots (2-102)$$

2.2.2 脚の応力（上端と下端にかかる荷重の大きい方）

(1) 運転時質量による応力

$$\sigma_{s1} = \frac{R}{A_s} \dots\dots\dots (2-103)$$

$$\sigma_{s2} = \frac{\max[|Ru - M_l - Pl|, |Ru - M_l|]}{Z_{st}} \dots\dots\dots (2-104)$$

ただし、脚下端が単純支持の場合は次による。

$$\sigma_{s2} = \frac{Pl}{Z_{st}} \dots\dots\dots (2-105)$$

$$\tau_{s1} = \frac{P}{A_{s1}} \dots\dots\dots (2-106)$$

(2) 鉛直方向地震力による応力

鉛直方向地震力による応力は考慮しない。

(3) 水平方向地震力（Z方向）による応力

a. 第1脚

$$\sigma_{s5} = \frac{R_1}{A_s} \dots\dots\dots (2-107)$$

$$\sigma_{s6} = \frac{\max[|R_1u - M_1 - P_1l|, |R_1u - M_1|]}{Z_{st}} \dots\dots\dots (2-108)$$

$$\tau_{s3} = \frac{P_1}{A_{s1}} \dots\dots\dots (2-109)$$

b. 第2脚

$$\sigma_{s7} = \frac{\max[|Ql - M_3|, |M_3|]}{Z_{st}} \dots\dots\dots (2-110)$$

$$\tau_{s4} = \frac{Q}{A_{s2}} + \frac{Qu - M_c}{Z_{sp}} \dots\dots\dots (2-111)$$

(4) 水平方向地震力 (X方向) による応力

$$\sigma_{s8} = \frac{R_1}{\sqrt{2}A_s} \dots\dots\dots (2-112)$$

$$\sigma_{s9} = \frac{\max[|R_1u - M_1 - P_1l|, |R_1u - M_1|]}{\sqrt{2}Z_{st}} \dots\dots\dots (2-113)$$

$$\sigma_{s10} = \frac{\max[|Ql - M_3|, |M_3|]}{\sqrt{2}Z_{sr}} \dots\dots\dots (2-114)$$

$$\tau_{s5} = \frac{P_1}{\sqrt{2}A_{s1}} + \frac{Q}{\sqrt{2}A_{s2}} + \frac{Qu - M_c}{\sqrt{2}Z_{sp}} \dots\dots\dots (2-115)$$

(5) 組合せ応力

脚の最大応力は、下記式による。

【絶対値和】

a. 水平方向地震力 (Z方向) 及び鉛直方向地震力が作用した場合

(a) 第1脚

$$\sigma_{sz1} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s5} + \sigma_{s6})^2 + 3(\tau_{s1} + \tau_{s2} + \tau_{s3})^2} \dots\dots\dots (2-116)$$

(b) 第2脚

$$\sigma_{sz2} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s7})^2 + 3(\tau_{s1} + \tau_{s2} + \tau_{s4})^2} \dots\dots\dots (2-117)$$

b. 水平方向地震力 (X方向) 及び鉛直方向地震力が作用した場合

$$\sigma_{sx} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s8} + \sigma_{s9} + \sigma_{s10})^2 + 3(\tau_{s1} + \tau_{s2} + \tau_{s5})^2} \dots\dots\dots (2-118)$$

$$\sigma_s = \max[\sigma_{sz1}, \sigma_{sz2}, \sigma_{sx}] \dots\dots\dots (2-119)$$

2.2.3 基礎ボルトの応力

基礎ボルトには鉛直荷重，水平方向のせん断力，鉛直軸まわりのねじりモーメント及び転倒モーメントを考慮する。

(1) 水平方向地震力（Z方向）が作用した場合

a. 引張応力

【絶対値和】

(a) 第1脚及び第3脚

脚底部に働くモーメント及び鉛直荷重は次による。

$$M_{z1} = |P_1 l + M_1 - R_1 u| + |(P - P_2) l + (M_l - M_{l2}) - (R - R_2) u| \quad \dots\dots\dots (2-120)$$

$$R_{z1} = R - R_2 - R_1 \quad \dots\dots\dots (2-121)$$

モーメントと圧縮荷重の比を

$$e = M_{z1} / R_{z1} \quad \dots\dots\dots (2-122)$$

とすると， R_{z1} が負のとき，又は，

$$e > \frac{a}{6} + \frac{d_1}{3} \quad \dots\dots\dots (2-123)$$

のとき，基礎ボルトに生じる引張力は次により求める。

中立軸の位置 X_n を次式により求め，

$$X_n^3 + 3\left(e - \frac{a}{2}\right)X_n^2 - \frac{6sA_b n_1}{b}\left(e + \frac{a}{2} - d_1\right)(a - d_1 - X_n) = 0 \quad \dots\dots\dots (2-124)$$

基礎ボルトに生じる引張力

$$F_b = \frac{R_{z1}\left(e - \frac{a}{2} + \frac{X_n}{3}\right)}{a - d_1 - \frac{X_n}{3}} \quad \dots\dots\dots (2-125)$$

から，基礎ボルトに生じる引張力を次式により求める。

$$\sigma_{b1} = \frac{F_b}{n_1 A_b} \quad \dots\dots\dots (2-126)$$

(b) 第2脚の基礎ボルト

$$M_{Z2} = \sqrt{(Ql - M_3)^2 + \{(P - P_2)l + (M_l - M_{l2}) - (R - R_2)u\}^2}$$

..... (2-127)

$$R_{Z2} = R - R_2 \quad \text{..... (2-128)}$$

を M_{Z1} , R_{Z1} と置き換え, 式(2-122)から式(2-126)を使用して得られた基礎ボルト応力を σ_{b2} とする。

ただし, aをb, bをa, d_1 を d_2 , n_1 を n_2 に置き換えた場合に得られる基礎ボルトの引張応力が σ_{b2} より大きいときは, その値を σ_{b2} とする。

(c) 脚下端が半径方向及びその直角方向についても単純支持の場合は, 圧縮荷重のみなので基礎ボルトに引張応力は評価しない。

b. せん断応力

【絶対値和】

(a) 第1脚及び第3脚の基礎ボルト

$$\tau_{b1} = \frac{P_1 + P + P_2}{n A_b} \quad \text{..... (2-129)}$$

(b) 第2脚及び第4脚の基礎ボルト

$$\tau_{b2} = \frac{\sqrt{Q^2 + (P + P_2)^2}}{n A_b} + \frac{Qu - M_c}{n A_b \sqrt{\left(\frac{a - 2d_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{b - 2d_2}{2}\right)^2}}$$

..... (2-130)

(2) 水平方向地震力 (X方向) が作用した場合

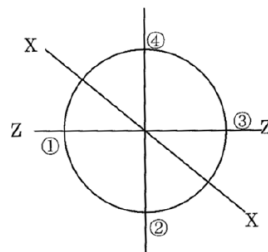


図2-5 地震力の作用する方向

a. 引張応力

【絶対値和】

(a) 脚下端が固定の場合、第1脚～第4脚の脚底部に働くモーメント及び鉛直荷重は次による。

$$M_{x1} = \left[\left\{ \left| \frac{1}{\sqrt{2}} (P_1 l + M_1 - R_1 u) \right| + \left| (P - P_2) l + (M_l - M_{l2}) - (R - R_2) u \right| \right\}^2 + \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}} (Ql - M_3) \right\}^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

..... (2-131)

$$R_{x1} = R - R_2 - \frac{R_1}{\sqrt{2}} \quad \text{..... (2-132)}$$

2.2.3(1)a. (b)と同様に式(2-122)から式(2-126)を使用して得られた基礎ボルトの応力を σ_{b4} とする。ただし、 a を b 、 b を a 、 d_1 を d_2 、 n_1 を n_2 に置き換えた場合に得られる基礎ボルトの引張応力が σ_{b4} より大きいときはその値を σ_{b4} とする。

b. せん断応力

【絶対値和】

第1脚～第4脚の基礎ボルト

$$\tau_{b5} = \frac{\sqrt{\left(\frac{P_1}{\sqrt{2}} + P + P_2\right)^2 + \left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right)^2}}{n A_b} + \frac{Qu - M_c}{\sqrt{2} A_b \sqrt{\left(\frac{a - 2d_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{b - 2d_2}{2}\right)^2}}$$

..... (2-133)

3. 評価方法

3.1 固有周期の評価

2.1 項で求めた固有周期から，水平方向の設計震度を求める。

3.2 胴の応力評価

2.2.1(8)で求めた組合せ応力 σ_0 , σ_1 , σ_2 が胴の最高使用温度における表 2-1 に示す許容応力 S_a 以下であること。

表 2-1 胴の許容応力

耐震 クラス	供用状態	許 容 応 力 S_a	
		一次一般膜応力	一次応力
B, C	C s	$\min [S_y, 0.6 S_u]$ ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金は， $1.2 S$ とすることができる。	S_y ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金は， $1.2 S$ とすることができる。

3.3 脚の応力評価

2.2.2. (5) で求めた脚の組合せ応力 σ_s が表 3-2 に示す許容応力 f_t 以下であること。

表 3-2 脚の許容応力

耐震 クラス	供用状態	許容引張応力 f_t
B, C	C _s	$1.5\left(\frac{F}{1.5}\right)$

3.4 座屈評価

圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せは下記を満足すること。

$$\frac{\sigma_{sr}}{f_{br}} + \frac{\sigma_{st}}{f_{bt}} + \frac{\sigma_{sc}}{f_c} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (2-134)$$

(1) f_c は次による。

$\lambda \leq \Lambda$ のとき

$$f_c = 1.5 \left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \frac{F}{\nu} \quad \dots\dots\dots (2-135)$$

$\lambda > \Lambda$ のとき

$$f_c = 1.5(0.277F) \left(\frac{\Lambda}{\lambda} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (2-136)$$

ここで,

$$\lambda = l_k / i \quad \dots\dots\dots (2-137)$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E_s}{0.6 F_s}} \quad \dots\dots\dots (2-138)$$

$$\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (2-139)$$

$$i = \sqrt{\frac{\min[I_{st}, I_{sr}]}{A_s}} \dots\dots\dots (2-140)$$

l_k は、有効座屈長さで脚下端を固定とする場合は $1.2l$ 、単純支持とする場合は $2.1l$ とする。

(2) f_{br} 、 f_{bt} は次による。

a. 脚が鋼管の場合

$$f_{br} = f_{bt} = f_t \dots\dots\dots (2-141)$$

b. 脚が型钢の場合で弱軸が半径方向軸の場合

$$f_{br} = f_t \dots\dots\dots (2-142)$$

f_{bt} は次の2つの計算式により計算した値のうちいずれか大きい値又は f_t のいずれか小さい方の値とする。

$$f_{bt} = \left(1 - 0.4 \frac{l^2}{C \Lambda^2 i_f^2}\right) f_t \dots\dots\dots (2-143)$$

$$f_{bt} = \left(\frac{0.433 E_s A_f}{lh}\right) 1.5 \dots\dots\dots (2-144)$$

ここで、 i_f は脚の圧縮フランジと梁のせいの $1/6$ とからなる T 形断面のウェブ軸まわりの断面 2 次半径で次式による。

$$i_f = \sqrt{\frac{I_{sf}}{A_{sf}}} \dots\dots\dots (2-145)$$

C は次の計算式により計算した値又は 2.3 のいずれか小さい方。 M_{s2} 及び M_{s1} はそれぞれ脚の両端における強軸まわりの曲げモーメント。ここで、 M_{s2} と M_{s1} の比は 1 より小さいものとし、単曲率の場合を正に、複曲率の場合を負とする。

$$C = 1.75 - 1.05 \left(\frac{M_{s2}}{M_{s1}}\right) + 0.3 \left(\frac{M_{s2}}{M_{s1}}\right)^2 \dots\dots\dots (2-146)$$

c. 脚が型鋼の場合で強軸が半径方向軸の場合

b. と同様にして求められた f_{br} を f_{bt} に、 f_{bt} を f_{br} に置き換える。

(3) 応力の区分は、次のようにする。

a. 水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の第1脚

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s3} + \sigma_{s5} \dots\dots\dots (2-147)$$

$$\sigma_{st} = \sigma_{s2} + \sigma_{s4} + \sigma_{s6} \dots\dots\dots (2-148)$$

$$\sigma_{sr} = 0 \dots\dots\dots (2-149)$$

(a) 脚の強軸が半径方向で、脚下端がその軸まわりに固定の場合

強軸まわりの曲げモーメント M_{S1} 、 M_{S2} は次の2つの式により計算する。なお、 M_{S2} の絶対値が M_{S1} の絶対値より大きいときは、 M_{S1} 、 M_{S2} を入れ換える。

(以下同じ)

【絶対値和】

$$M_{S1} = - (M_l + M_{l2} + M_1) + (R + R_2 + R_1) u \dots\dots\dots (2-150)$$

$$M_{S2} = - (P + P_2 + P_1) l - (M_l + M_{l2} + M_1) + (R + R_2 + R_1) u \dots\dots\dots (2-151)$$

b. 水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の第2脚

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s3} \dots\dots\dots (2-152)$$

$$\sigma_{st} = \sigma_{s2} + \sigma_{s4} \dots\dots\dots (2-153)$$

$$\sigma_{sr} = \sigma_{s7} \dots\dots\dots (2-154)$$

(a) 脚の強軸が半径方向で、脚下端がその軸まわりに固定の場合

強軸まわりの曲げモーメントは次による。

$$M_{S1} = M_3 \dots\dots\dots (2-155)$$

$$M_{S2} = M_3 - Q l \dots\dots\dots (2-156)$$

c. 水平方向地震力（X方向）が作用した場合

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s3} + \sigma_{s8} \dots\dots\dots (2-157)$$

$$\sigma_{st} = \sigma_{s2} + \sigma_{s4} + \sigma_{s9} \dots\dots\dots (2-158)$$

$$\sigma_{sr} = \sigma_{s10} \dots\dots\dots (2-159)$$

(a) 脚の強軸が半径方向で、脚下端がその軸まわりに固定の場合

強軸まわりの曲げモーメントは次による。

$$M_{s1} = \frac{1}{\sqrt{2}} M_3 \quad \dots\dots\dots (2-160)$$

$$M_{s2} = \frac{1}{\sqrt{2}} M_3 - Q l \quad \dots\dots\dots (2-161)$$

3.5 基礎ボルトの応力

2.2.3 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{t0} は表 3-3 による。

$$f_{ts} = \min [1.4 f_{t0} - 1.6 \tau_b, f_{t0}] \quad \dots\dots\dots (2-162)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は表 3-3 による。

表 3-3 基礎ボルトの許容応力

耐震 クラス	供用状態	許容引張応力 f_{t0}	許容せん断応力 f_{sb}
B, C	Cs	$1.5 \left(\frac{F}{2} \right)$	$1.5 \left(\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \right)$

油処理装置の強度に関する説明書

1 強度評価の方針

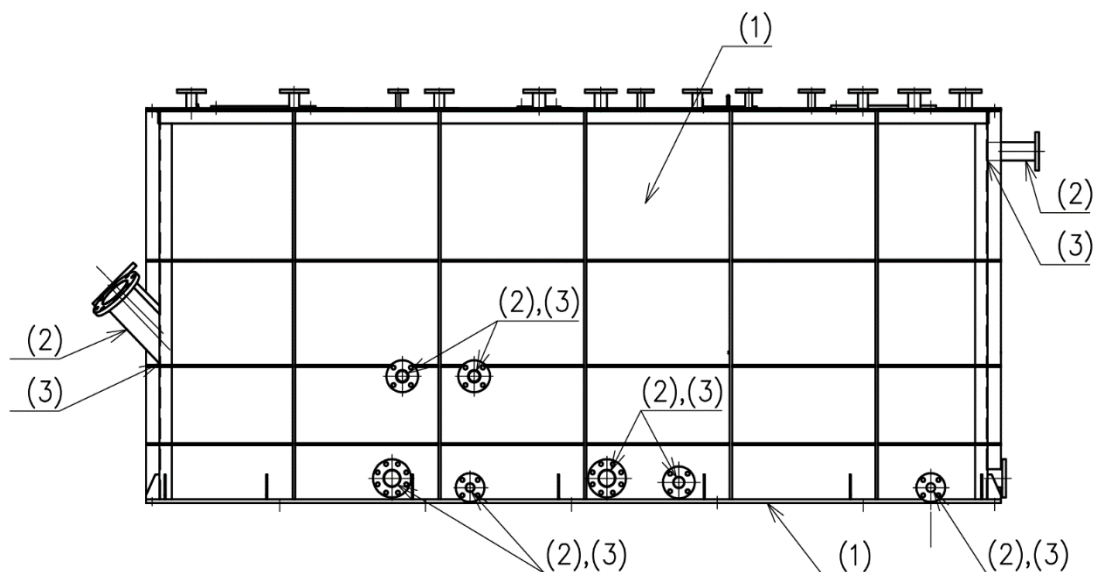
強度評価において、浮上分離槽、樹脂充填塔、油吸着樹脂塔、乳化槽、ブロー水受槽、第2モニタリング槽、主配管（鋼管、伸縮継手）は、「JSME S NC1 発電用原子力設備規格設計・建設規格」（以下、「設計・建設規格」という。）のクラス3機器、クラス3配管に準じた評価を行う。集合槽、酸化分解機はJIS等に準じた評価を行う。

2 強度評価

2.1 集合槽

2.1.1 評価箇所

強度評価箇所を図－1に示す。



図中の番号は、2.1.2、2.1.3の番号に対応する。

図－1 集合槽概要図

2.1.2 評価方法

(1) 側板、底板の評価

集合槽の側板、底板の必要厚さは、以下の計算式より求められる値以上とする。

a. 規格上必要な最小厚さ： t_1

側板、底板の最小厚さは、それぞれ 4.5mm, 6.0mm とする。

b. 計算上必要な最小厚さ： t_2

$$t_2 = \sqrt{\frac{\beta_i \cdot P \cdot d^2}{S \cdot \eta}} + c$$

t_2 : 計算上必要な厚さ (mm)

β_i : d/D に対する応力係数

d : 短辺の長さ (mm)

D : 長辺の長さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPa)

S : 許容引張応力 (MPa)

η : 継手効率 (-)

c : 腐れ代 (mm)

(2) 管台の厚さの評価

管台に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a. 規格上必要な最小厚さ： t_1

管台の外径に応じ設計・建設規格 表 PVC-3980-1 より求めた管台の厚さとする。

b. 計算上必要な厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta} + c$$

t_2 : 必要な厚さ (mm)

D_i : 管台の内径 (mm)

H : 水頭 (mm)

ρ : 液体の比重。ただし、1 未満の場合は 1 とする。

S : 許容引張応力 (MPa)

η : 継手効率 (-)

c : 腐れ代 (mm)

(3) 管台の穴の補強計算

管台取付部の穴の補強について、補強に有効な範囲内にある有効面積が、補強に必要な面積より大きくなるようにする。

$$A_r = d \times t_{sr}$$

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

- A_r : 補強に必要な面積 (mm²)
- d : 胴の断面に現れる穴の径 (mm)
- t_{sr} : 胴板の計算上必要な厚さ (mm)
- A_0 : 補強に有効な面積の合計 (mm²)
- A_1 : 強め材の有効面積 (mm²)
- A_2 : 管台 (外側) の有効面積 (mm²)
- A_3 : 管台 (板部) の有効面積 (mm²)
- A_4 : 管台 (内側) の有効面積 (mm²)

2.1.3 評価結果

評価結果を表-1, 2に示す。必要厚さ等を満足しており、十分な構造強度を有すると評価している。

表-1 集合槽の評価結果 (板厚)

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
集合槽	(1) 側板の厚さ	4.5	6.9
	(1) 底板の厚さ	10.6	15.8
	(2) 管台の厚さ (32A)	1.9	2.2
	(2) 管台の厚さ (40A)	2.2	2.3
	(2) 管台の厚さ (50A)	2.4	2.5
	(2) 管台の厚さ (80A)	3.5	3.9
	(2) 管台の厚さ (150A)	3.5	5.3

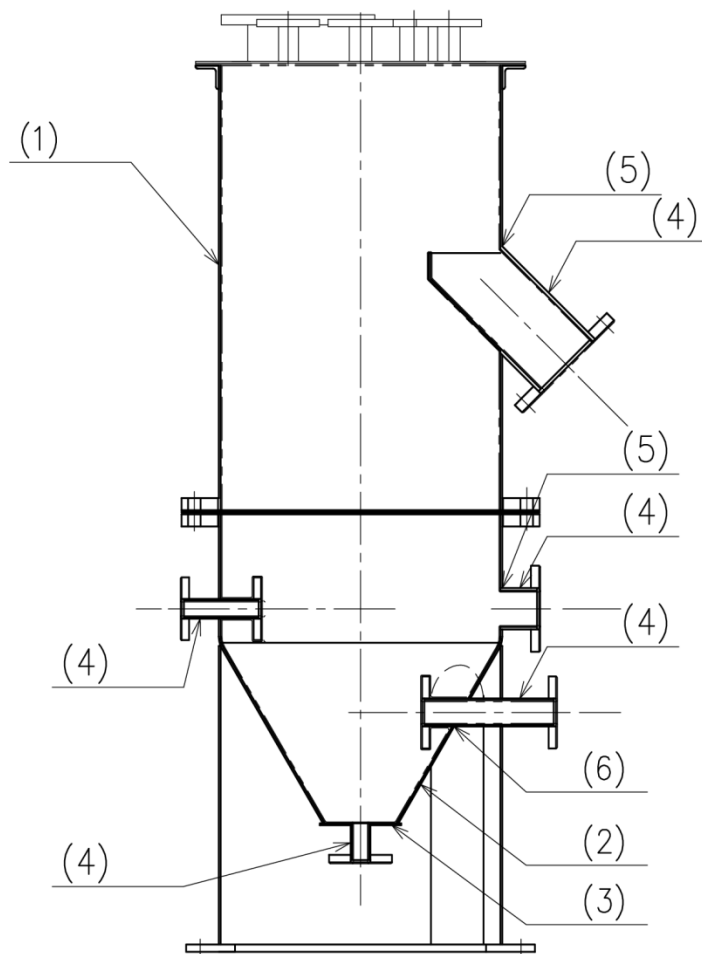
表-2 集合槽の評価結果 (管台の穴の補強計算)

機器名称	評価項目	補強に必要な面積 (mm ²)	補強に有効な総面積 (mm ²)
集合槽	(3) 胴 (80A 管台)	301	428
	(3) 胴 (150A 管台)	826	1003

2.2 浮上分離槽

2.2.1 評価箇所

強度評価箇所を図-2に示す。



図中の番号は、2.2.2、2.2.3の番号に対応する。

図-2 浮上分離槽概要図

2.2.2 評価方法

(1) 胴の厚さの評価

浮上分離槽の胴に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

- a. 規格上必要な最小厚さ： t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られた場合は 3mm，その他の材料で作られた場合は 1.5mm とする。

- b. 計算上必要な厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

t_2 : 胴の計算上必要な厚さ (mm)

D_i : 胴の内径 (mm)

H : 水頭 (mm)

ρ : 液体の比重。ただし、1 未満の場合は 1 とする。

S : 引張応力 (MPa)

η : 継手効率 (-)

(2) 円すい胴の厚さの評価

円すい胴の厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

- a. 規格上必要な最小厚さ： t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られた場合は 3mm，その他の材料で作られた場合は 1.5mm とする。

- b. 計算上必要な厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot \cos \theta \cdot (S \cdot \eta - 0.6 \cdot P)}$$

t_2 : 胴の計算上必要な厚さ (mm)

D_i : 円すいの部分がすその丸みの部分に接続する部分の軸に垂直な断面の内径 (mm)

θ : 円すいの頂角の 1/2 (°)

P : 最高使用圧力 (MPa)

S : 許容引張応力 (MPa)

η : 継手効率 (-)

(3) 平板の厚さの評価

平板の必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

- a. 平板に穴を設ける場合であって、穴の径が平板の径の2分の1以下であり、穴の補強計算を行うもの。

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

t : 必要な厚さ (mm)

d : 平板の径 (mm)

P : 最高使用圧力 (MPa)

S : 許容引張応力 (MPa)

K : 取付け方法による係数 (-)

- b. 平板に穴を設ける場合であって、穴の径が平板の径の2分の1以下であり、下記を満足するもの。

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot K \cdot P}{S}}$$

t : 必要な厚さ (mm)

d : 平板の径 (mm)

P : 最高使用圧力 (MPa)

S : 許容引張応力 (MPa)

K : 取付け方法による係数 (-)

(4) 管台の厚さの評価

管台の必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

- a. 規格上必要な最小厚さ： t_1

管台の外径に応じ設計・建設規格 表 PVC-3980-1 より求めた管台の厚さとする。

- b. 管台の計算上必要な厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

t_2 : 必要な厚さ (mm)

D_i : 管台の内径 (mm)

H : 水頭 (mm)

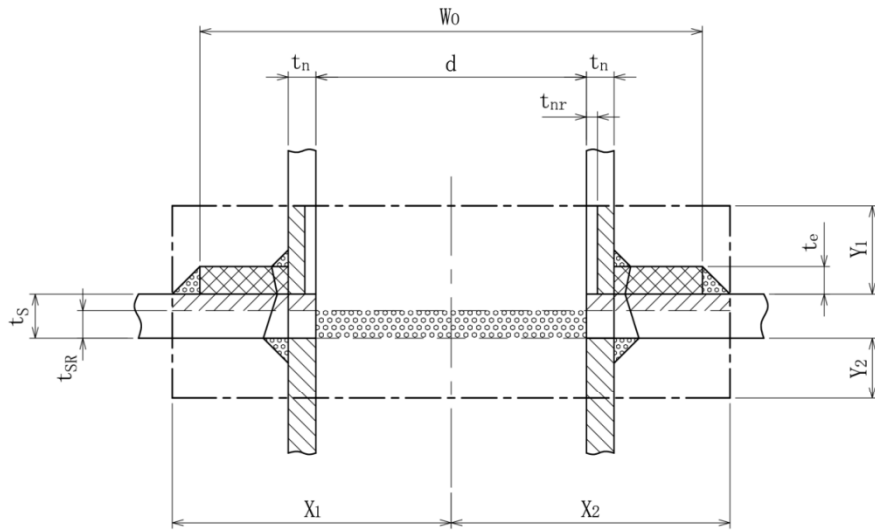
ρ : 液体の比重。ただし、1 未満の場合は 1 とする。






S : 許容引張応力 (MPa)

η : 継手効率 (-)

(5) 胴の穴の補強計算

- a. 補強に有効な範囲内にある補強に有効な面積が、補強に必要な面積より大きくなるようにすること。(図-3 参照)
- b. 胴の穴の補強計算は、設計・建設規格 PVD-3512 の規定により、85 mm以上の穴に対して計算する。



-  補強に必要な面積
-  胴のうち補強に必要な有効面積
-  管台のうち補強に有効な面積
-  強め材の断面積
-  すみ肉溶接部の断面積

- d : 胴の断面に現れる穴の径 (mm)
- t_s : 胴板の厚さ (mm)
- t_{sr} : 胴板の計算上必要な厚さ (mm)
- t_n : 管台の厚さ (mm)
- t_{nr} : 管台の計算上必要な厚さ (mm)
- X_1, X_2, Y_1, Y_2 : 補強の有効範囲 (mm)
- W_0 : 強め材の外径 (mm)
- t_e : 強め材の厚さ (mm)
- A_r : 補強に必要な面積 (mm^2)
- A_0 : 補強に有効な総面積 (mm^2)

図-3 補強計算概念図

(6) 円すい胴の補強を要しない穴の最大径の評価

円すい胴の補強を要しない穴の最大径は、以下の計算した値のうちいずれかとする。

- a. 穴の径が 61 mm以下で、かつ次式により計算した値以下の穴

$$d_{r1} = \frac{D - 2 \cdot t_s}{4}$$

d_{r1} : 補強を要しない穴の最大径 (mm)

D : 胴の外径 (mm)

t_s : 胴の最小厚さ (mm)

- b. a. に掲げるものを除き、穴径が 200 mm以下で、かつ、設計・建設規格 図 PVD-3122-1 及び図 PVD3122-2 より求めた値以下の穴

$$d_{r2} = 8.05 \cdot \sqrt[3]{D \cdot t_s \cdot (1 - K)}$$

d_{r2} : 補強を要しない穴の最大径 (mm)

D : 胴の外径 (mm)

t_s : 胴の最小厚さ (mm)

K : 係数 (-)

2.2.3 評価結果

評価結果を表-3～5 に示す。必要厚さ等を満足しており、十分な構造強度を有すると評価している。

表-3 浮上分離槽の評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
浮上分離槽 A, B	(1) 胴板の厚さ	1.5	2.1
	(2) 円すい胴の厚さ	1.5	2.1
	(3) 底板の厚さ	1.5	2.3
	(4) 管台の厚さ (32A)	1.9	2.2
	(4) 管台の厚さ (50A)	2.4	2.5
	(4) 管台の厚さ (80A)	3.5	3.9
	(4) 管台の厚さ (150A)	3.5	5.3

表-4 浮上分離槽の評価結果（胴の穴の補強）

機器名称	評価項目	補強に必要な面積 (mm ²)	補強に有効な総面積 (mm ²)
浮上分離槽 A, B	(5) 胴 (80A 管台)	3.3	265
	(5) 胴 (150A 管台)	6.2	445

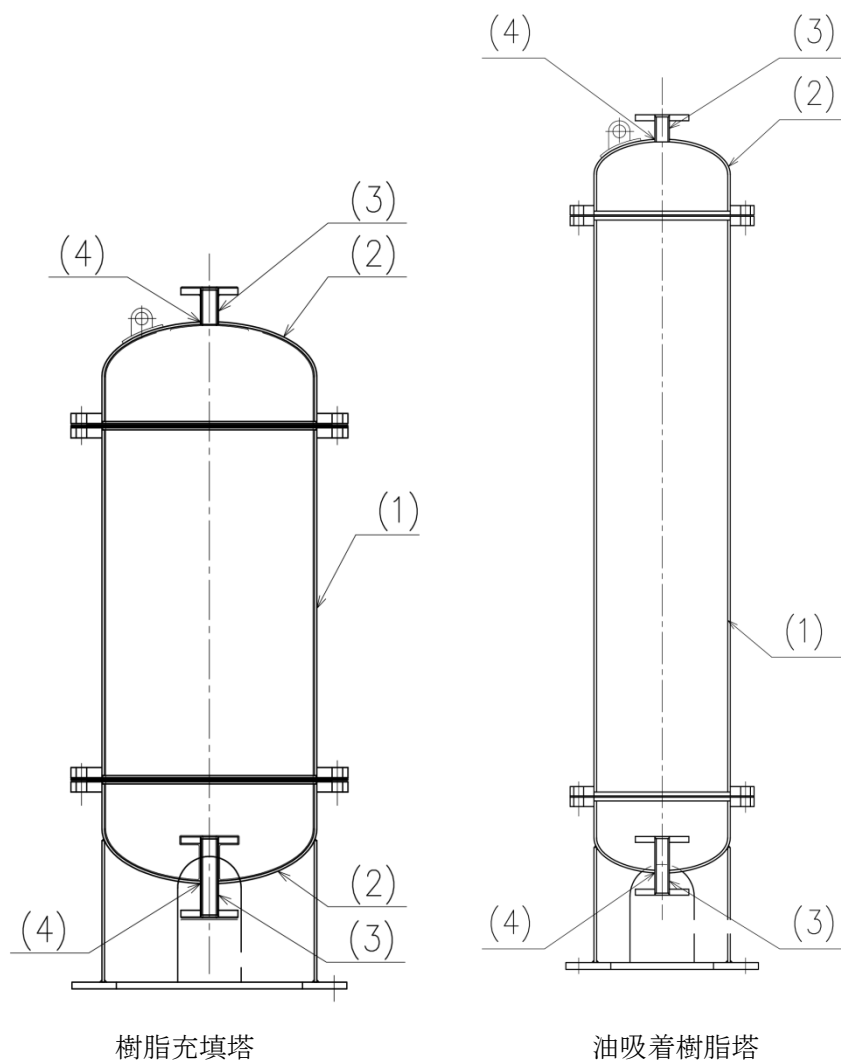
表-5 浮上分離槽の評価結果（円すい胴の補強要否確認）

機器名称	評価項目	補強を要しない穴の最大径 (mm)	穴の径 (mm)
浮上分離槽 A, B	(6) 円すい胴 (50A 管台)	86	60.5

2.3 樹脂充填塔，油吸着樹脂塔

2.3.1 評価箇所

強度評価箇所を図-4に示す。



図中の番号は，2.3.2，2.3.3の番号に対応する。

図-4 樹脂充填塔，油吸着樹脂塔概要図

2.3.2 評価方法

(1) 胴の厚さの評価

胴の厚さは、次の上げる値のうちいずれか大きい値とする。

- a. 規格上必要な最小厚さ： t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られた場合は 3mm，その他の材料で作られた場合は 1.5mm とする。

- b. 内圧を受ける胴の必要厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

- t_2 : 胴の計算上必要な厚さ (mm)
 P : 最高使用圧力 (MPa)
 D_i : 胴の内径 (mm)
 S : 許容引張応力 (MPa)
 η : 継手効率 (-)

(2) 鏡板の厚さの評価

半だ円形鏡板に必要な厚さは、以下で計算した値のうちいずれか大きい方の値とする。

- a. 規格上必要な最小厚さ： t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られた場合は 3mm，その他の材料で作られた場合は 1.5mm とする。

- b. フランジ部： t_2

$$t_2 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

- t_2 : 胴の計算上必要な厚さ (mm)
 P : 最高使用圧力 (MPa)
 D_i : 胴の内径 (mm)
 S : 許容引張応力 (MPa)
 η : 継手効率 (-)

c. 鏡板 : t_3

$$t_3 = \frac{PDK}{2S\eta - 0.2P}$$

t_3 : 必要厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPa)

D : 鏡板の内面における長径 (mm)

K : 半だ円形鏡板の形状による係数で、次式により計算した値

$$K = \frac{1}{6} \left\{ 2 + \left(\frac{D}{2h} \right)^2 \right\}$$

h : 鏡板の内面における短径の 1/2 (mm)

S : 許容引張応力 (MPa)

η : 継手効率 (-)

(3) 管台の厚さの評価

管台に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a. 規格上必要な最小厚さ : t_1

管台の外径に応じて設計・建設規格 表 PVC-3610-1 より求めた管台の厚さと
する。

b. 内面に圧力を受ける管台 : t_2

$$t_2 = \frac{P \cdot D_0}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

t_2 : 必要な厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPa)

D_0 : 胴の内径 (mm)

S : 許容引張応力 (MPa)

η : 継手効率 (-)

(4) 補強を必要としない穴の最大径の評価

鏡板の補強を要しない穴の最大径は、以下の計算した値のうちいずれか大きい値とする。

- a. 穴の径が 61 mm以下で、かつ次式により計算した値以下の穴

$$d_{r1} = \frac{D - 2 \cdot t_c}{4}$$

d_{r1} : 補強を要しない穴の最大径 (mm)

D : 鏡板のフランジ部の外径 (mm)

t_c : 鏡板の最少厚さ (mm)

- b. a. に掲げるものを除き、穴径が 200 mm以下で、かつ、設計・建設規格 図 PVD-3122-1 及び図 PVD3122-2 より求めた値以下の穴

$$d_{r2} = 8.05 \cdot \sqrt[3]{D \cdot t_c \cdot (1 - K)}$$

d_{r2} : 補強を要しない穴の最大径 (mm)

D : 鏡板のフランジ部の外径 (mm)

t_c : 鏡板の最少厚さ (mm)

K : 係数 (-)

ここで、 K は半だ円形鏡板の場合、次式により計算した値で、 $K > 0.99$ のときは、 $K = 0.99$ とする。

$$K = \frac{P \cdot D}{1.82 \cdot S \cdot \eta \cdot t_c}$$

P : 最大使用圧力 (MPa)

D : 鏡板のフランジ部の外径 (mm)

S : 許容引張応力 (MPa)

η : 継手効率 (-)

t_c : 鏡板の最少厚さ (mm)

2.3.3 評価結果

評価結果を表－6，7に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有すると評価している。

表－6 樹脂充填塔，油吸着樹脂塔の評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
樹脂充填塔 A, B, C, D	(1) 胴板の厚さ	1.5	3.9
	(2) 鏡板の厚さ	1.5	3.6
	(3) 管台の厚さ (32A)	0.1	2.2
油吸着樹脂塔 A, B	(1) 胴板の厚さ	1.5	3.9
	(2) 鏡板の厚さ	1.5	3.6
	(3) 管台の厚さ (25A)	0.1	2.0

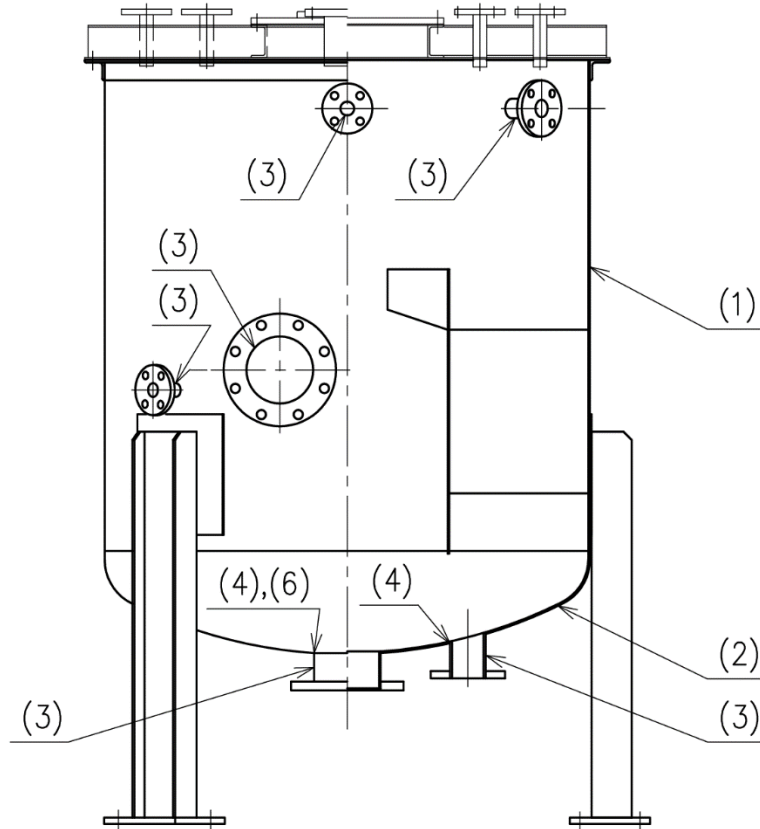
表－7 樹脂充填塔，油吸着樹脂塔の評価結果（鏡板の補強要否確認）

機器名称	評価項目	補強を要しない 穴の最大径 (mm)	穴の径 (mm)
樹脂充填塔 A, B, C, D	(4) 鏡板 (32A 管台)	61	42.7
油吸着樹脂塔 A, B	(4) 鏡板 (25A 管台)	61	34.0

2.4 乳化槽

2.4.1 評価箇所

強度評価箇所を図-5に示す。



図中の番号は、2.4.2、2.4.3の番号に対応する。

図-5 乳化槽概要図

2.4.2 評価方法

(1) 胴の厚さの評価

乳化槽の胴に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

- a. 規格上必要な最小厚さ： t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られた場合は 3mm，その他の材料で作られた場合は 1.5mm とする。

- b. 計算上必要な厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

t_2 : 胴の計算上必要な厚さ (mm)

D_i : 胴の内径 (mm)

H : 水頭 (mm)

ρ : 液体の比重。ただし、1 未満の場合は 1 とする。

S : 引張応力 (MPa)

η : 継手効率 (-)

(2) 鏡板の厚さの評価

さら形鏡板に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

- a. 規格上必要な最小厚さ： t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られた場合は 3mm，その他の材料で作られた場合は 1.5mm とする。

- b. フランジ部： t_2

$$t_2 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

t_2 : 必要厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPa)

D_i : 胴の内径 (mm)

S : 許容引張応力 (MPa)

η : 継手効率 (-)

c. 鏡板 : t_3

$$t_3 = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$

t_3 : 必要厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPa)

R : 鏡板の中央部における内面の半径 (mm)

W : さら形鏡板の形状による係数で、次式により計算した値

$$W = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right)$$

r : さら形鏡板のすみの丸みの半径 (mm)

S : 許容引張応力 (MPa)

η : 継手効率 (-)

(3) 管台の厚さの評価

管台の必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a. 規格上必要な最小厚さ : t_1

管台の外径に応じ設計・建設規格 表 PVC-3980-1 より求めた管台の厚さとする。

b. 管台の計算上必要な厚さ : t_2

$$t_2 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

t_2 : 必要な厚さ (mm)

D_i : 管台の内径 (mm)

H : 水頭 (mm)

ρ : 液体の比重。ただし、1未満の場合は1とする。

S : 許容引張応力 (MPa)

η : 継手効率 (-)

(4) 鏡板の補強を要しない穴の最大径の評価

鏡板の補強を要しない穴の最大径は、以下の計算した値のうちいずれか大きい値とする。

- a. 穴の径が 61 mm以下で、かつ次式により計算した値以下の穴

$$d_{r1} = \frac{D - 2 \cdot t_c}{4}$$

d_{r1} : 補強を要しない穴の最大径 (mm)

D : 鏡板のフランジ部の外径 (mm)

t_c : 鏡板の最少厚さ (mm)

- b. a. に掲げるものを除き、穴径が 200 mm以下で、かつ、設計・建設規格 図 PVD-3122-1 及び図 PVD3122-2 より求めた値以下の穴

$$d_{r2} = 8.05 \cdot \sqrt[3]{D \cdot t_c \cdot (1 - K)}$$

d_{r2} : 補強を要しない穴の最大径 (mm)

D : 鏡板のフランジ部の外径 (mm)

t_c : 鏡板の最少厚さ (mm)

K : 係数 (-)

ここで、 K は、さら形鏡板の場合、次式により計算した値で、 $K > 0.99$ のときは、 $K = 0.99$ とする。

$$K = \frac{P \cdot D}{1.82 \cdot S \cdot \eta \cdot t_c}$$

P : 最高使用圧力 (MPa)

D : 鏡板のフランジ部の外径 (mm)

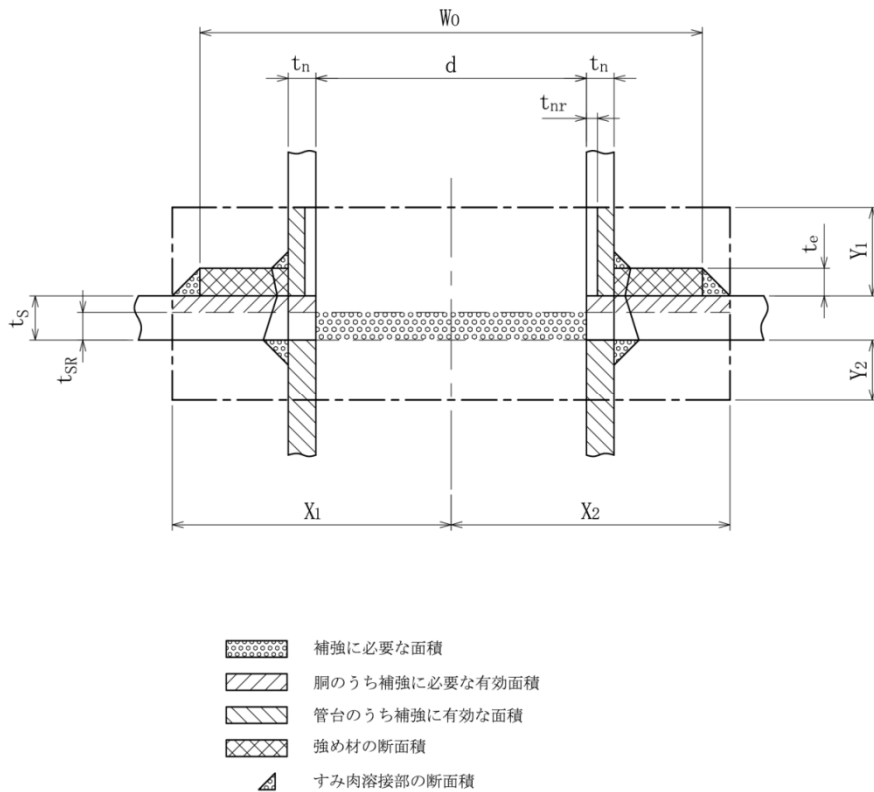
S : 許容引張応力 (MPa)

η : 継手効率 (-)

t_c : 鏡板の最少厚さ (mm)

(5) 胴の穴の補強計算

- a. 補強に有効な範囲内にある補強に有効な面積が、補強に必要な面積より大きくなるようにすること。(図-6 参照)
- b. 胴の穴の補強計算は、設計・建設規格 PVD-3512 の規定により、85 mm以上の穴に対して計算する。

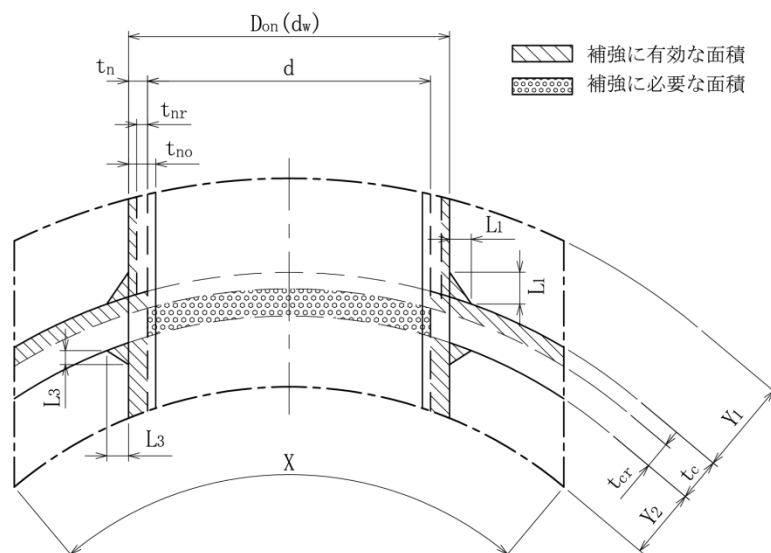


- d : 胴の断面に現れる穴の径 (mm)
 t_s : 胴板の厚さ (mm)
 t_{sr} : 胴板の計算上必要な厚さ (mm)
 t_n : 管台の厚さ (mm)
 t_{nr} : 管台の計算上必要な厚さ (mm)
 X_1, X_2, Y_1, Y_2 : 補強の有効範囲 (mm)
 W_0 : 強め材の外径 (mm)
 t_e : 強め材の厚さ (mm)
 A_r : 補強に必要な面積 (mm^2)
 A_0 : 補強に有効な総面積 (mm^2)

図-6 補強計算概念図

(6) 鏡板の穴の補強

補強に有効な範囲内にある補強に有効な面積が、補強に必要な面積より大きくなるようにすること。(図-7参照)



- d : 穴の径 (mm)
 d_w : 管台が取り付く穴の径 (mm)
 D_{on} : 管台の外径 (mm)
 t_c : 鏡板の最小厚さ (mm)
 t_{cr} : 鏡板の計算上必要な厚さ (mm)
 t_n : 管台の厚さ (mm)
 t_{nr} : 管台の計算上必要な厚さ (mm)
 X, Y_1, Y_2 : 補強の有効範囲 (mm)
 L_1, L_3 : 溶接寸法 (mm)
 A_r : 補強に必要な面積 (mm^2)
 A_0 : 補強に有効な総面積 (mm^2)

図-7 補強計算概念図

2.4.3 評価結果

評価結果を表－8～10に示す。必要厚さ等を満足しており、十分な構造強度を有すると評価している。

表－8 乳化槽の評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
乳化槽	(1) 胴板の厚さ	1.5	2.1
	(2) 鏡板の厚さ	1.5	1.8
	(3) 管台の厚さ (20A)	1.7	1.7
	(3) 管台の厚さ (25A)	1.7	2.0
	(3) 管台の厚さ (80A)	3.5	3.9
	(3) 管台の厚さ (150A)	3.5	5.3

表－9 乳化槽の評価結果（鏡板の補強要否確認）

機器名称	評価項目	補強を要しない 穴の最大径 (mm)	穴の径 (mm)
乳化槽	(4) 鏡板 (80A 管台)	102	89.1
	(4) 鏡板 (150A 管台)	102	165.2 ^{※1}

※1 鏡板の穴の補強計算を行う。

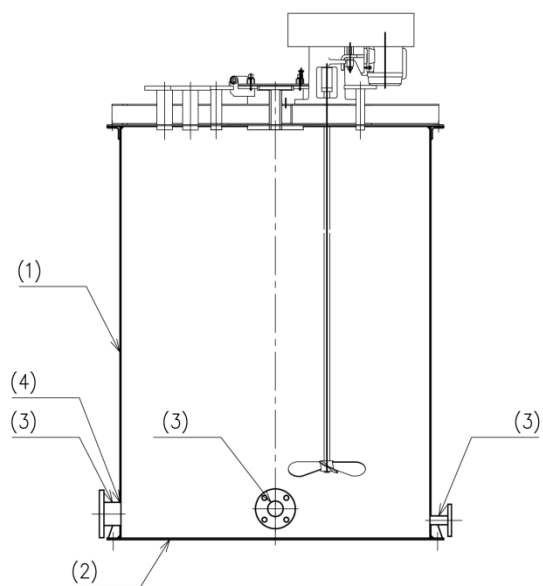
表－10 乳化槽の評価結果（穴の補強）

機器名称	評価項目	補強に必要な 面積 (mm ²)	補強に有効な 総面積 (mm ²)
乳化槽	(5) 胴 (150A 管台)	12.3	432
	(6) 鏡板 (150A 管台)	12.3	377

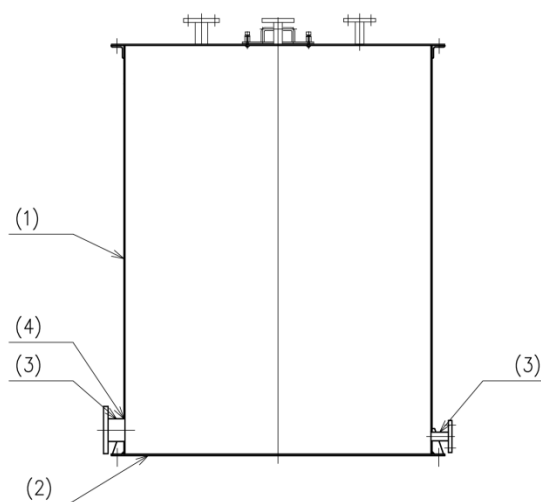
2.5 ブロー水受槽，第2モニタリング槽

2.5.1 評価箇所

強度評価箇所を図-8に示す。



ブロー水受槽



第2モニタリング槽

図中の番号は、2.5.2、2.5.3の番号に対応する。

図-8 ブロー水受槽，第2モニタリング槽概要図

2.5.2 評価方法

(1) 胴の厚さの評価

ブロー水受槽および第2モニタリング槽の胴に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

- a. 規格上必要な最小厚さ： t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られた場合は3mm，その他の材料で作られた場合は1.5mmとする。

- b. 計算上必要な厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

t_2 : 胴の計算上必要な厚さ (mm)

D_i : 胴の内径 (mm)

H : 水頭 (mm)

ρ : 液体の比重。ただし、1未満の場合は1とする。

S : 引張応力 (MPa)

η : 継手効率 (-)

(2) 底板の厚さの評価

基礎等に直接接触する開放タンクの底板の厚さは、3mm以上であること。

(3) 管台の厚さの評価

管台の必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

- a. 規格上必要な最小厚さ： t_1

管台の外径に応じ設計・建設規格 表 PVC-3980-1 より求めた管台の厚さとする。

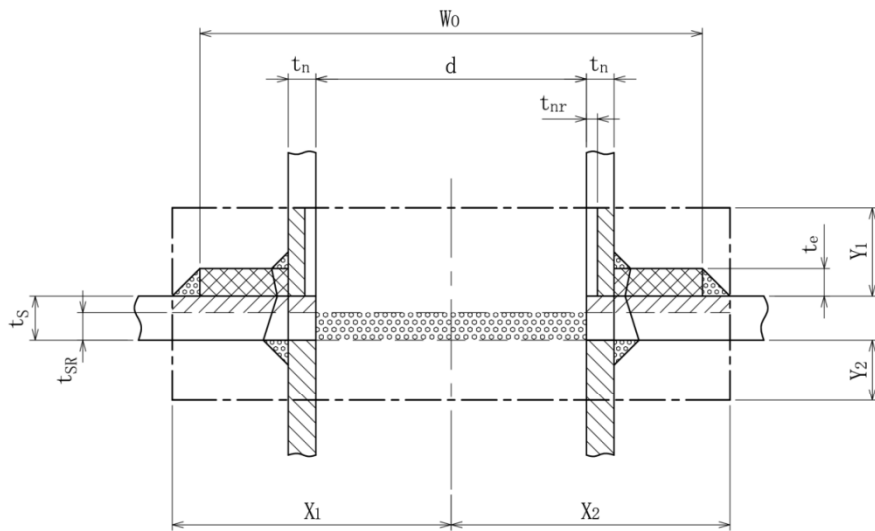
- b. 計算上必要な厚さ： t_2






$$t_2 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

- t_2 : 管台の計算上必要な厚さ (mm)
 D_i : 管台の内径 (mm)
 H : 水頭 (mm)
 ρ : 液体の比重。ただし、1 未満の場合は 1 とする。
 S : 許容引張応力 (MPa)
 η : 継手効率 (-)

(4) 胴の穴の補強計算

- a. 補強に有効な範囲内にある補強に有効な面積が、補強に必要な面積より大きくなるようにすること。(図-9 参照)
- b. 胴の穴の補強計算は、設計・建設規格 PVD-3512 の規定により、85 mm以上の穴に対して計算する。



-  補強に必要な面積
-  胴のうち補強に必要な有効面積
-  管台のうち補強に有効な面積
-  強め材の断面積
-  すみ肉溶接部の断面積

- d : 胴の断面に現れる穴の径 (mm)
- t_s : 胴板の厚さ (mm)
- t_{sr} : 胴板の計算上必要な厚さ (mm)
- t_n : 管台の厚さ (mm)
- t_{nr} : 管台の計算上必要な厚さ (mm)
- X_1, X_2, Y_1, Y_2 : 補強の有効範囲 (mm)
- W_0 : 強め材の外径 (mm)
- t_e : 強め材の厚さ (mm)
- A_r : 補強に必要な面積 (mm^2)
- A_0 : 補強に有効な総面積 (mm^2)

図－9 補強計算概念図

2.5.3 評価結果

評価結果を表-11, 12に示す。必要厚さ等を満足しており、十分な構造強度を有すると評価している。

表-11 ブロー水受槽, 第2モニタリング槽の評価結果 (板厚)

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
ブロー水受槽	(1) 胴板の厚さ	1.5	2.1
	(2) 底板の厚さ	3.0	4.1
	(3) 管台の厚さ (25A)	1.7	2.0
	(3) 管台の厚さ (50A)	2.4	2.5
	(3) 管台の厚さ (80A)	3.5	3.9
第2モニタリング槽	(1) 胴板の厚さ	1.5	2.1
	(2) 底板の厚さ	3.0	4.1
	(3) 管台の厚さ (25A)	1.7	2.0
	(3) 管台の厚さ (50A)	2.4	2.5
	(3) 管台の厚さ (80A)	3.5	3.9

表-12 ブロー水受槽, 第2モニタリング槽の評価結果 (胴の穴の補強)

機器名称	評価項目	補強に必要な面積 (mm ²)	補強に有効な総面積 (mm ²)
ブロー水受槽	(4) 胴 (80A 管台)	6.6	262
第2モニタリング槽	(4) 胴 (80A 管台)	6.6	262

2.6 酸化分解機

2.6.1 評価箇所

強度評価箇所を図-10に示す。

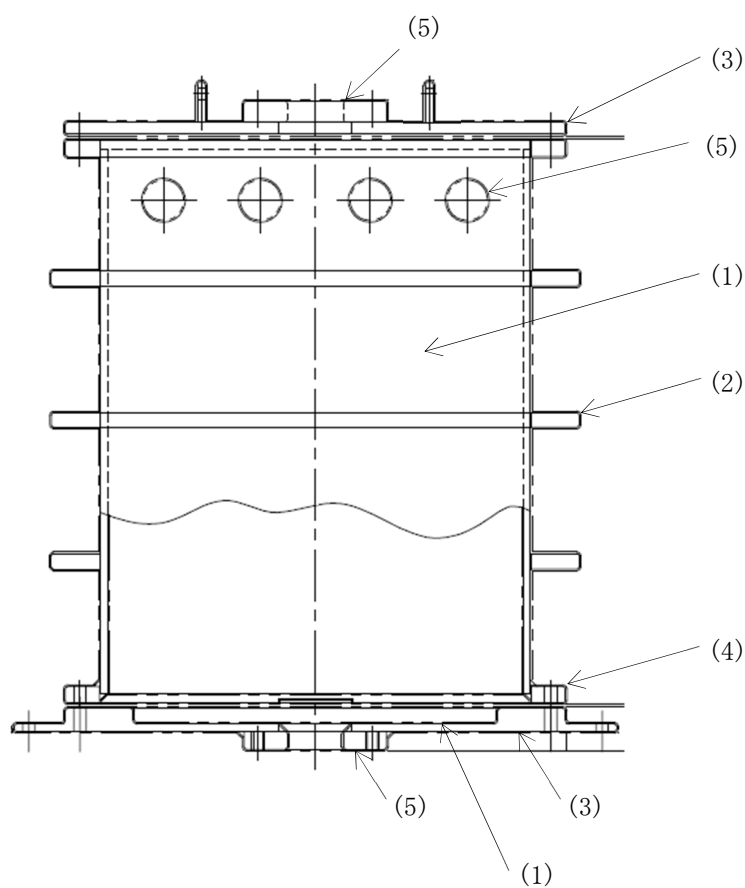


図-10 酸化分解機概要図

2.6.2 評価方法

(1) 容器の側板および底板の厚さの評価

側板及び底板の必要厚さは、以下の計算式より求められる値以上とする。

$$t = \sqrt{\frac{\beta_i \cdot P \cdot d^2}{S}}$$

- t : 必要な最小板厚 (mm)
P : 設計圧力 (MPa)
S : 許容引張応力(SUS304, 50°C) (MPa)
 β_i : 応力係数で、両辺の比によって決まる (-)
d : 短辺の長さ (mm)
D : 長辺の長さ (mm)

(2) 容器の補強リブの計算

リブの受け持つ荷重を両端固定梁とみなして計算する。

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

- σ : 発生応力 (MPa)
Z : 断面係数 (mm³)
M : 発生モーメント (N・mm)

$$M = \frac{w\ell^2}{12}$$

- w : リブが受ける等分布荷重 (N/mm)
 ℓ : 支点間距離 (mm)

(3) 容器のふた板（上部，下部）の厚さの評価

ふた板の必要厚さは、以下の計算式により求められる値以上とする。

JIS B 8265 L. 3. 2. (a). 2 による(円形以外)。

$$t = d \sqrt{\frac{0.25ZP}{S \cdot \eta}}$$

- t : 必要な最小板厚 (mm)
P : 設計圧力 (MPa)
S : 設計温度における平ふた板の材料の許容引張応力(SUS304, 50℃)
(MPa)
d : ボルト最小スパン (mm)
Z : 平ふた板の修正係数 (最大 2.5mm) (-)
η : 平ふた板の溶接継手効率 (-)

(4) 容器の角フランジの厚さの計算

JIS B 8280 (2003) 附属書 1 (規定) フランジ付き非円形胴を適用する。

$$t_F = \sqrt{\frac{6 \cdot C_F \cdot M_0}{S}}, t_F = \sqrt{\frac{6 \cdot C_F \cdot M_g}{S}}$$

- t_F : 使用状態及びガスケット締付時でのフランジの計算厚さ (mm)
C_F : 荷重修正係数, ただし C_F ≥ 1.0 とする (-)
M₀ : 使用状態でフランジに作用する単位長さ当りの全モーメント
(N・mm/mm)
M_g : ガスケット締付時にフランジに作用する単位長さ当りの全モーメント
(N・mm/mm)
S : 使用温度におけるフランジ材料の許容引張応力(SUS304, 50℃) (MPa)

(5) 容器の管台の厚さの計算

管台に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

- a. 規格上必要な最小厚さ : t₁
管台の外径に応じて設計・建設規格 表 PVC-3610-1 より求めた管台の厚さと
する。
b. 内面に圧力を受ける管台 : t₂

$$t_2 = \frac{P \cdot D_0}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

- t₂ : 必要な厚さ (mm)

- P : 最高使用圧力 (MPa)
 D_0 : 胴の内径 (mm)
 S : 許容引張応力 (MPa)
 η : 継手効率 (-)

2.6.3 評価結果

評価結果を表-13, 14に示す。必要厚さ等を満足しており、十分な構造強度を有することを評価している。

表-13 酸化分解機の評価結果 (板厚)

評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
(1)側板の厚さ	6.0	7.4
(1)底板の厚さ	4.3	8.1
(3)ふた板 (上部) の厚さ	11.4	14.1
(3)ふた板 (下部) の厚さ	11.4	27.1
(4)角フランジの厚さ	10.9	17.8
(5)管台の厚さ (出入口)	0.2	25.0
(5)管台の厚さ (給電部)	0.2	25.0

表-14 酸化分解機の評価結果 (リブ)

評価項目	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
(2)補強リブの厚さ	72.7	128

2.7 主配管

2.7.1 評価箇所

強度評価箇所を図-11に示す。

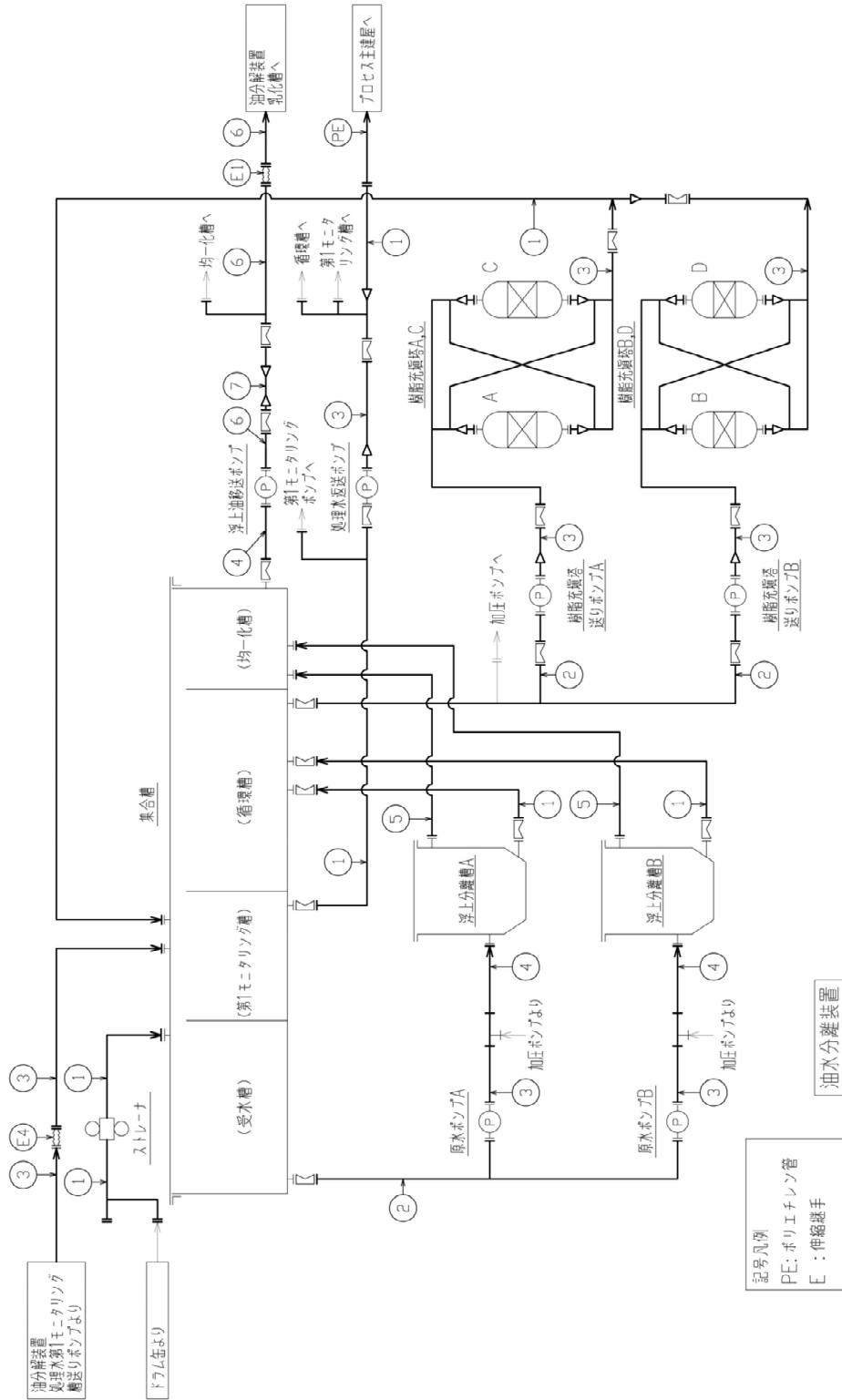


図-11 配管概略図(1/2)

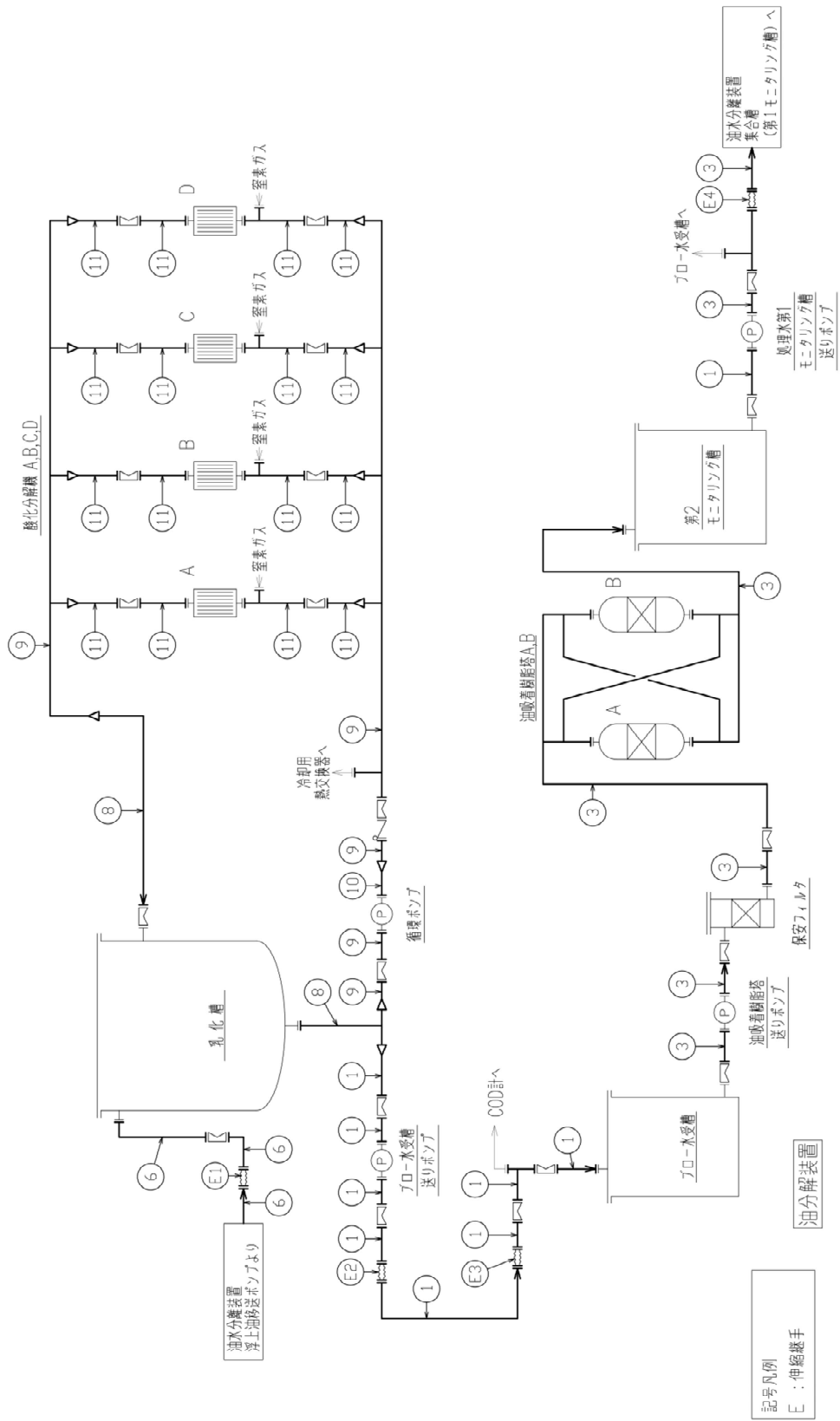


図-1-1 配管概略図(2/2)

2.7.2 評価方法

(1) 管の厚さの評価

管の厚さは、以下の計算式により求められる値以上とする。

$$t = \frac{P \cdot D_0}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

- t : 管の計算上の必要な厚さ (mm)
 P : 最高使用圧力 (MPa)
 D_0 : 管の外径 (mm)
 S : 最高使用温度における材料の許容引張応力
 η : 長手継手の効率 (-)

(2) 伸縮継手における疲労評価

伸縮継手については、次の計算式により計算した許容繰返し回数が、実際の繰返し回数以上のものとする。

$$N = \left(\frac{11031}{\sigma} \right)^{3.5}$$

- N : 許容繰返し回数
 σ : 継手部応力 (MPa)

ここで、継手部応力は、調整リングが付いていない場合の以下の式により計算した値とする。

$$\sigma = \frac{1.5 \cdot E \cdot t \cdot \delta}{n \cdot \sqrt{b \cdot h^3}} + \frac{P \cdot h^2}{2 \cdot t^2 \cdot c}$$

- E : 材料の弾性係数 (MPa)
 t : 継手部の板の厚さ (mm)
 δ : 全伸縮量 (mm)
 n : 継手部の波の数の2倍の値
 b : 継手部の波のピッチの2分の1 (mm)
 h : 継手部の波の高さ (mm)
 P : 最高使用圧力 (MPa)
 c : 継手部の層数

2.7.3 評価結果

評価結果を表－15，16に示す。使用する配管の最小厚さは必要厚さに対し厚く，主要配管は十分な強度を有することを確認した。

表－15 配管 強度評価結果

No.	外径 (mm)	材料	最高 使用 圧力 (MPa)	最高 使用 温度 (°C)	必要 厚さ (mm)	最小 厚さ (mm)
①	60.5	SUS304TP	0.4	50	0.10	3.0
②	48.6	SUS304TP	0.02	40	0.01	2.5
③	34.0	SUS304TP	0.4	50	0.06	2.5
④	42.7	SUS304TP	0.15	40	0.03	2.5
⑤	165.2	SUS316LTP	0.02	40	0.02	4.3
⑥	27.2	SUS304TP	0.3	40	0.04	2.0
⑦	13.8	SUS316LTP	0.3	40	0.02	1.5
⑧	165.2	SUS304TP	0.3	50	0.20	4.3
⑨	114.3	SUS304TP	0.3	50	0.14	3.5
⑩	89.1	SUS304TP	0.3	50	0.11	3.5
⑪	76.3	SUS304TP	0.3	50	0.09	3.0

注1) 継手類及び弁類は JIS 等の規格品を適用することで，管に対し十分な厚さを有し，管の強度評価に包絡される。

注2) 必要厚さの計算は，配管仕様毎に最も高い圧力，最も高い温度にて評価を行う。

表－16 伸縮継手の評価結果

No.	材料	最高使用 圧力 (MPa)	最高使用 温度 (°C)	許容繰り返し 回数 (回)	実際の繰り返し 回数 (回)
Ⓔ1	SUS316L	0.3	40	94.1×10^3	0.1×10^3
Ⓔ2	SUS304	0.4	50	498×10^3	0.1×10^3
Ⓔ3	SUS304	0.4	50	51.1×10^3	0.1×10^3
Ⓔ4	SUS304	0.4	50	83.3×10^3	0.1×10^3

油処理装置の具体的な安全確保策等

油処理装置は放射性物質を含む滞留水や浮上油を扱うため、漏えい防止、被ばく低減、可燃性ガス滞留防止、使用済吸着材の貯蔵について、具体的な安全確保策を以下のとおり定め実施する。

1. 放射性物質の漏えい防止等に対する考慮

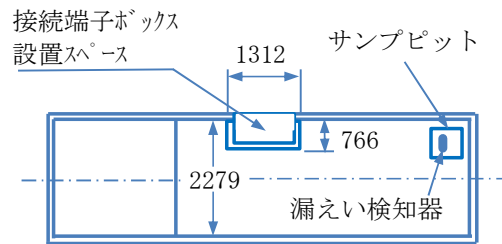
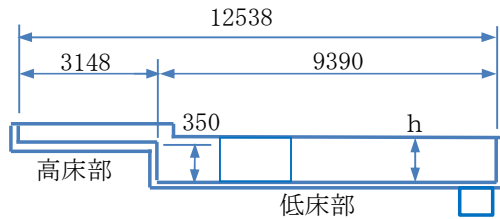
(1) 漏えい発生防止

- a. 油と塩化物イオンを含む滞留水を扱うため、接液部は耐放射線性、耐油性、耐食性を併せ持つ材質を使用する。
塩化物イオン濃度の高い液体と接する金属部は、耐食性を有するゴムライニングを施し、ゴムライニングを施せない金属部は耐食性を有する材質を使用する。
- b. 処理水をプロセス主建屋まで移送する配管は耐食性を有するポリエチレン管を使用する。

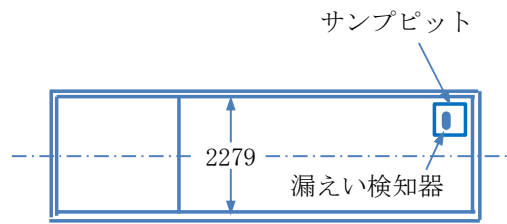
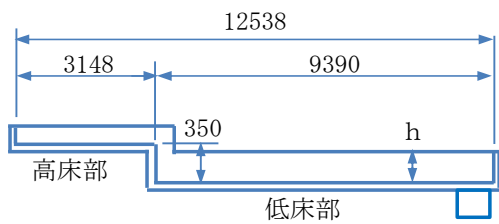
(2) 漏えい検知・漏えい拡大防止

- a. 漏えい早期検知として、装置を設置するコンテナには漏えい拡大防止堰を設けるとともに、漏えい検知器を設ける。漏えい拡大防止堰は、各コンテナに収容される機器等に内包する容量を確保していることから、漏えいが発生した場合でも漏えい拡大防止堰内に収まり、漏えい拡大防止堰外に漏えいすることはない（図－1および表－1）。
- b. コンテナ間の連絡配管はトラフ内に敷設する。トラフ内に漏えいした液体は、コンテナの漏えい拡大防止堰内へ導く構造とする。
- c. 処理水をプロセス主建屋へ移送する配管には、トラフを設置し、トラフ内には漏えい検知器を設ける。
- d. 漏えいを検知した場合は、油処理装置監視室に警報を発報するとともに、油処理運転を停止させる。
- e. 配管と油処理装置との取合い部はフランジ接続とするが、接続の位置は漏えい拡大防止堰の内部とすることで、漏えいの拡大を防止する。また、プロセス主建屋へ処理水を移送する配管はポリエチレン管とし、ポリエチレン管同士の接続部は漏えい発生防止のため融着構造とする。

単位：mm



・油水分離コンテナ漏えい拡大防止堰高さ：h=434 mm



・第1油分解コンテナ漏えい拡大防止堰高さ：h=144 mm

・第2油分解コンテナ漏えい拡大防止堰高さ：h=244 mm

図－1 漏えい拡大防止堰の寸法（単位：mm）

表－1 施設外への漏えい拡大防止能力の評価

名称	装置保有水量※1 (m ³)	設置区画内床面積※2 (m ²)	見込み高さ※3 (mm)	漏えい廃液を貯留するために必要な堰高さ (mm)	漏えい拡大防止堰高さ※3 (mm)	評価
	①	②	③	④=①/② ×1000+③	⑤	
	m ³	m ²	mm	mm	mm	
油水分離コンテナ	7.00	27.56	110.84	364.83	365 以上	漏えい拡大防止堰高さ：hは、装置保有水量を貯留するために必要な堰高さを満足しており、施設外への漏えい拡大を防止できる。
第1油分解コンテナ	2.59	21.39	4.67	125.75	126 以上	
第2油分解コンテナ	4.48	21.39	8.42	217.86	218 以上	

備考 ※1 保有水量が最大となる装置内に設置する全水槽および配管の総水量としている。

※2 各コンテナの漏えい拡大防止堰の床面積。

※3 堰高さ以下にある槽，機器，支持帯，架台，支柱，配管，タイヤスペースについて計上。

2. 被ばく低減対策

- (1) 油処理装置からの放射線による雰囲気線量当量率（遮へい体を含む機器表面から 1m の位置）は、0.1mSv/h 以下を目標とし、適切に遮へいを設ける。また、本装置から最寄りの敷地境界における直接線・スカイシャイン線の寄与は年間 0.0075mSv と なる。

評価点	年間線量 (mSv/年)
No. 7	0.0075

- (2) 通常運転時は、監視室から遠隔での運転操作及び監視を可能とする。
- (3) 保守作業時の運転員の被ばく低減のため、保守作業前に機器のフラッシングが行える設計とする。
- (4) 油処理装置の運転等に係る放射線業務従事者以外の者が不要に近づくことがないよう、標識等を設ける。さらに、放射線レベルの高い区域は、標識を設けて放射線業務従事者の被ばく低減を図る。

3. 可燃性ガス滞留防止対策

酸化分解機の運転に伴い水の電気分解により可燃性ガス（水素ガス）が発生する。可燃性ガス（水素ガス）の滞留防止のため以下の対策を実施する。

(1) 通常運転時

乳化槽で水と分離した可燃性ガス（水素ガス）を、空気により爆発濃度限界以下に希釈して排気する。

(2) 排気の風量低下または可燃性ガス（水素ガス）濃度上昇時

故障等により排気風量低下もしくは可燃性ガス（水素ガス）の濃度が上昇した場合は、電気分解を停止させるとともに、窒素ガスを酸化分解機に注入し、可燃性ガス（水素ガス）と置換する。

(3) 主電源喪失時

電気分解が停止し、可燃性ガス（水素ガス）発生は停止する。

4. 使用済吸着材の取扱いに対する考慮

油処理装置で発生する固体廃棄物については、容器に保管した上で発電所内の屋外一時保管エリアにて保管する。

5. 環境条件に対する対策

(1) 熱による劣化

熱による劣化が懸念されるポリエチレン管については、処理対象水の温度がほぼ常温のため、熱による材料の劣化の可能性は十分低い。

(2) 紫外線による劣化

屋外敷設箇所のポリエチレン管は、トラフ内に設置または耐紫外線を有する保温材等で覆う処置を講ずることで、紫外線による劣化を防止する。

(3) 凍結

屋外に敷設している配管は水を移送している過程では凍結の恐れはないが、水の移送が停止した場合、凍結による破損が懸念されるため、保温材等を取り付ける。

油処理装置に係る確認事項

1. 油水分離装置

油水分離装置に係る主要な確認事項を表－1～5に示す。

溶接検査に関する確認事項を表－6に示す。機能に関する確認事項を表－7に示す。

表－1 確認事項（集合槽（受水槽，第1モニタリング槽，循環槽，均一化槽），浮上分離槽，樹脂充填塔）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観・据付確認	各部の外観を確認する。 ^{※1} 機器の据付位置および据付状態を確認する。 ^{※1}	有意な欠陥がないこと。実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。 ^{※1} 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。 ^{※1}	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。

※1：現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－2 確認事項（原水ポンプ，樹脂充填塔送りポンプ，処理水返送ポンプ，浮上油移送ポンプ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造・耐震性	外観・据付確認	各部の外観を確認する。 ^{※2} 機器の据付位置および据付状態を確認する。 ^{※2}	有意な欠陥がないこと。実施計画のとおり施工・据付されていること。
	漏えい確認	運転圧力で耐圧部からの漏えいの有無を確認する。 ^{※2}	耐圧部からの漏えいがないこと。
性能	運転性能確認	ポンプの運転確認を行う。 ^{※2}	実施計画に記載した容量を満足すること。 また，異音，異臭，異常振動等がないこと。

※2：現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－3－1 確認事項（主配管（鋼管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径，厚さについて記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観・据付確認	各部の外観を確認する。 ^{※3} 配管の据付位置および据付状態を確認する。 ^{※3}	有意な欠陥がないこと。 実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。 ^{※3} 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。 ^{※3}	確認圧力に耐え，構造物の変形がないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。

※3：現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－3－2 確認事項（主配管（ポリエチレン管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観・据付確認	各部の外観を確認する。 ^{※4} 配管の据付位置および据付状態を確認する。 ^{※4}	有意な欠陥がないこと。 実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	現場状況を考慮し製造者指定方法・圧力による漏えい有無を確認する。 ^{※4}	耐圧部から漏えいがないこと。

※4：現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－3－3 確認事項（主配管（伸縮継手））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した指定サイズ（呼び径）であることを確認する。	指定サイズ（呼び径）であること。
	外観・据付確認	各部の外観を確認する。 ^{※5} 配管の据付位置および据付状態を確認する。 ^{※5}	有意な欠陥がないこと。 実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後、確認圧力に耐えていることを確認する。 ^{※5} 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。 ^{※5}	確認圧力に耐え、構造物の変形がないこと。 また、耐圧部から漏えいがないこと。

※5：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

表－4 確認事項（漏えい検出装置及び警報装置）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度	外観・据付確認	各部の外観を確認する。 ^{※6} 機器の据付位置および据付状態を確認する。 ^{※6}	有意な欠陥がないこと。実施計画のとおり施工・据付されていること。
機能	警報確認	漏えい信号により警報が作動することを確認する。	警報が作動すること。

※6：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

表－5 確認事項（漏えい拡大防止堰）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
漏えい防止	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。 ^{※7}	有意な欠陥がないこと。

※7：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

表－6 確認事項（集合槽（受水槽，第1モニタリング槽，循環槽，均一化槽），浮上分離槽，樹脂充填塔，鋼管）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
溶接検査	材料確認	溶接に使用する材料が，溶接規格等に適合するものであり，溶接施工法の母材の区分に適合することを確認する。	使用する材料が，溶接規格等に適合するものであり，溶接施工法の母材の区分に適合するものであること。
	開先検査	開先形状等が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	開先形状等が溶接規格等に適合するものであること。
	溶接作業検査	あらかじめ確認された溶接施工法または実績のある溶接施工法または管理されたプロセスを有する溶接施工法であることを確認する。 あらかじめ確認された溶接士による溶接が行われていることを確認する。	あらかじめ確認された溶接施工法及び溶接士により溶接施工が行われていること。
	非破壊検査	溶接部について非破壊検査を行い，その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	溶接部について非破壊検査を行い，その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであること。
	耐圧・漏えい検査	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。	確認圧力で保持した後，その圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないこと。
	外観検査	各部の外観を確認する。	外観上，傷・へこみ・変形等の異常がないこと。

表－7 確認事項（油水分離装置）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
機能	機能確認	実施計画に記載の処理量を通水可能であることを確認する。	実施計画に記載した処理量を通水することが可能であり、設備からの異音、異臭、異常振動等の異常がないこと。

2. 油分解装置

油分解装置に係る主要な確認事項を表－8～13に示す。

性能に関する確認事項を表－14に示す。

表－8 確認事項（乳化槽，ブロー水受槽，油吸着樹脂塔，第2モニタリング槽）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観・据付確認	各部の外観を確認する。 ^{※9} 機器の据付位置および据付状態を確認する。 ^{※9}	有意な欠陥がないこと。実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。 ^{※9} 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。 ^{※9}	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。

※9：現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－9 確認事項（循環ポンプ，ブロー水受槽送りポンプ，油吸着樹脂塔送りポンプ，処理水第1モニタリング槽送りポンプ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造・耐震性	外観・据付確認	各部の外観を確認する。 ^{※10} 機器の据付位置および据付状態を確認する。 ^{※10}	有意な欠陥がないこと。実施計画のとおり施工・据付されていること。
	漏えい確認	運転圧力で耐圧部からの漏えいの有無を確認する。 ^{※10}	耐圧部からの漏えいがないこと。
性能	運転性能確認	ポンプの運転確認を行う。 ^{※10}	実施計画に記載した容量を満足すること。 また，異音，異臭，異常振動がないこと。

※10：現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－１０ 確認事項（酸化分解機）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観・据付確認	各部の外観を確認する。 ^{※11} 機器の据付位置および据付状態を確認する。 ^{※11}	有意な欠陥がないこと。実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後、確認圧力に耐えていることを確認する。 ^{※11} 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。 ^{※11}	確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から漏えいがないこと。

※11：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

表－１１－１ 確認事項（主配管（鋼管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径、厚さについて記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観・据付確認	各部の外観を確認する。 ^{※12} 配管の据付位置および据付状態を確認する。 ^{※12}	有意な欠陥がないこと。実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後、確認圧力に耐えていることを確認する。 ^{※12} 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。 ^{※12}	確認圧力に耐え、構造物の変形がないこと。 また、耐圧部から漏えいがないこと。

※12：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

表－1 1－2 確認事項（主配管（伸縮継手））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した指定サイズ（呼び径）であることを確認する。	指定サイズ（呼び径）であること。
	外観・据付確認	各部の外観を確認する。 ^{※13} 配管の据付位置および据付状態を確認する。 ^{※13}	有意な欠陥がないこと。 実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後、確認圧力に耐えていることを確認する。 ^{※13} 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。 ^{※13}	確認圧力に耐え、構造物の変形がないこと。 また、耐圧部から漏えいがないこと。

※13：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

表－1 2 確認事項（漏えい検出装置及び警報装置）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度	外観・据付確認	各部の外観を確認する。 ^{※14} 機器の据付位置および据付状態を確認する。 ^{※14}	有意な欠陥がないこと。 実施計画のとおり施工・据付されていること。
機能	警報確認	漏えい信号により警報が作動することを確認する。	警報が作動すること。

※14：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

表－1 3 確認事項（漏えい拡大防止堰）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
漏えい防止	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。 ^{※15}	有意な欠陥がないこと。

※15：現地では実施可能な範囲とし、必要に応じて記録を確認する。

表－14 確認事項（油分解装置）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
性能	性能確認	通常運転状態にて系統出口の処理液油分濃度を確認する。	系統出口の処理液油分濃度が目標値を上回らないこと。