

VI-2-10-2 浸水防護施設の耐震性に関する説明書

VI-2-10-2-1 浸水防護施設の耐震計算結果

目 次

1. 概要 1
2. 耐震評価条件整理 1

1. 概要

本資料は、浸水防護施設の設備の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

浸水防護施設に対して、設計基準対象施設の耐震クラス、重大事故等対処設備の設備分類を整理した。また、重大事故等対処設備のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処設備の評価条件と設計基準対象施設の評価条件の差異の有無を整理した。結果を表2-1に示す。

浸水防護施設のうち、新設又は新規登録の設計基準対象施設並びに重大事故等対処設備の耐震計算は表2-1に示す計算書に記載することとする。

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (1/28)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震重要度 分類	新規制基準施 行前に認可さ れた実績との 差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
浸水防護施設	外郭浸水防護施設	タービン補機冷却用海水取水槽 閉止板 1	S *1	—*3	VI-2-10-2-2-1	—	—	—
		タービン補機冷却用海水取水槽 閉止板 2	S *1	—*3	VI-2-10-2-2-1	—	—	—
		補機冷却用海水取水槽 (A) 閉止板	S *1	—*3	VI-2-10-2-2-1	—	—	—
		補機冷却用海水取水槽 (B) 閉止板	S *1	—*3	VI-2-10-2-2-1	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (2/28)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震重要度 分類	新規制基準施行前に認可された実績との 差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所	
浸水 防護 施設	外郭浸水 防護 施設	補機冷却用海水取水槽 (C) 閉止板	S *1	—*3	VI-2-10-2-2-1	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (3/28)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震重要度 分類	新規制基準施 行前に認可さ れた実績との 差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所	
浸水 防護 施設	内郭 浸水 防護 施設	タービン建屋地下2階北西階段室 水密扉	S*1 C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ 室 水密扉	S*1 C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		建屋間連絡水密扉（タービン建屋地下2 階～配管トレンチ）	S*1 C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		建屋間連絡水密扉（タービン建屋地下2 階～廃棄物処理建屋地下3階）	S*1 C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (4/28)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震重要度 分類	新規制基準施行前に認可された実績との 差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
浸水防護施設	内郭浸水防護施設	C系原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉	S *1 C *2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		循環水配管, 電解鉄イオン供給装置室 水密扉 1	S *1 C *2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		循環水配管, 電解鉄イオン供給装置室 水密扉 2	S *1 C *2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		タービン建屋地下中 2 階南西階段室 水密扉	S *1 C *2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (5/28)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震重要度 分類	新規制基準施 行前に認可さ れた実績との 差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所	
浸水 防護 施設	内郭 浸水 防護 施設	タービン建屋地下中 2 階北西階段室 水密扉	S *1 C *2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空 気圧縮機室 水密扉 1	S *1 C *2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空 気圧縮機室 水密扉 2	S *1 C *2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		循環水系配管メンテナンス室 水密扉 1	S *1 C *2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (6/28)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震重要度 分類	新規制基準施 行前に認可さ れた実績との 差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所	
浸水 防護 施設	内郭 浸水 防護 施設	循環水系配管メンテナンス室 水密扉 2	S *1 C *2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		B系原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ 室 水密扉	S *1 C *2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		タービン建屋地下1階南西階段室 水密扉	C *2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		タービン建屋地下1階北西階段室 水密扉	C *2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (7/28)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震重要度 分類	新規制基準施 行前に認可さ れた実績との 差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所	
浸水防護施設	内郭浸水防護施設	A系原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉	S*1 C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		A系非常用電気品室 水密扉	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		タービン建屋地上1階北西階段室 水密扉	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		建屋間連絡水密扉（原子炉建屋地上1階～タービン建屋地上1階）	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (8/28)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震重要度 分類	新規制基準施 行前に認可さ れた実績との 差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
浸水防護施設	内郭浸水防護施設	建屋間連絡水密扉（タービン建屋地上1階～5号機タービン建屋地上1階）	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		建屋間連絡水密扉（タービン建屋地上1階～廃棄物処理建屋地上1階）	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		サプレッションプール浄化系ポンプ、 原子炉冷却材浄化系非再生熱交換器 漏洩試験用ラック室 水密扉	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		原子炉隔離時冷却系ポンプ・蒸気タービン室 水密扉	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (9/28)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震重要度 分類	新規制基準施 行前に認可さ れた実績との 差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
浸水 防護 施設	内郭 浸水 防護 施設	高圧炉心注水系(B)ポンプ室 水密扉	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		高圧炉心注水系(C)ポンプ室 水密扉	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		残留熱除去系(A)ポンプ・熱交換器室 水密扉	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		残留熱除去系(B)ポンプ・熱交換器室 水密扉	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (10/28)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震重要度 分類	新規制基準施 行前に認可さ れた実績との 差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
浸水防護施設	内郭浸水防護施設	残留熱除去系(C)ポンプ・熱交換器室 水密扉	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		水圧制御ユニット室, 計装ラック, 制御 棒駆動機構マスターコントロール室 水密扉 1	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		水圧制御ユニット室, 計装ラック, 制御 棒駆動機構マスターコントロール室 水密扉 2	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		水圧制御ユニット室, 計装ラック室 水密扉 1	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (11/28)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震重要度 分類	新規制基準施 行前に認可さ れた実績との 差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所	
浸水防護施設	内郭浸水防護施設	水圧制御ユニット室, 計装ラック室 水密扉 2	C *2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		高圧代替注水系ポンプ室 水密扉	C *2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		大物搬出入口建屋 水密扉	C *2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		可燃性ガス濃度制御系再結合装置室 水密扉	C *2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (12/28)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震重要度 分類	新規制基準施 行前に認可さ れた実績との 差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
浸水 防護施設	内郭浸水 防護施設	非常用ディーゼル発電機(B)室 水密扉	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		燃料プール冷却浄化系熱交換器室, 燃料プール冷却浄化系弁室 水密扉	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		6号機常用電気品室 水密扉	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		6号機プロセス計算機室 水密扉	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (13/28)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震重要度 分類	新規制基準施 行前に認可さ れた実績との 差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所	
浸水防護施設	内郭浸水防護施設	建屋間連絡水密扉（コントロール建屋地下2階～廃棄物処理建屋地下3階） 1（7号機設備，6,7号機共用）	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		建屋間連絡水密扉（コントロール建屋地下2階～廃棄物処理建屋地下3階） 2（7号機設備，6,7号機共用）	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		建屋間連絡水密扉（廃棄物処理建屋地下2階～配管トレンチ）（7号機設備，6,7号機共用）	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		建屋間連絡水密扉（コントロール建屋地下1階～廃棄物処理建屋地下1階） （7号機設備，6,7号機共用）	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (14/28)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震重要度 分類	新規制基準施 行前に認可さ れた実績との 差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所	
浸水 防護 施設	内郭 浸水 防護 施設	燃料移送ポンプエリア (B系) 水密扉	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		フィルタベントエリア 水密扉	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-1	—	—	—
		タービン建屋地上1階 (T7-TBTC) 水密扉付止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-2	—	—	—
		タービン建屋地上1階 (T4-TBTC) 水密扉付止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-2	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (15/28)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震重要度 分類	新規制基準施 行前に認可さ れた実績との 差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
浸水 防護 施設	内郭 浸水 防護 施設	原子炉建屋地上 4 階 (R5R6-RFRG) 水密扉付止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-2	—	—	—
		タービン建屋地下 1 階 (T6T7-TJTK) 通路 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		タービン建屋地上 1 階 (T1T2-TATB) 大物搬出入口 止水堰	C*2 B	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		タービン建屋地上 1 階 (T2T3-TATB) レイダウンスペース 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (16/28)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震重要度 分類	新規制基準施 行前に認可さ れた実績との 差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所	
浸水 防護 施設	内郭 浸水 防護 施設	タービン建屋地上1階 (T2T3-TBTC) 海水熱 交換器エリア給気処理装置室 止水堰 1	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		タービン建屋地上1階 (T2T3-TBTC) 海水熱 交換器エリア給気処理装置室 止水堰 2	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		タービン建屋地上1階 (T2T3-TBTC) 海水熱 交換器エリア給気処理装置室 止水堰 3	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		タービン建屋地上1階 (T3T4-TATB) レイダ ウンスペース 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (17/28)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震重要度 分類	新規制基準施 行前に認可さ れた実績との 差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所	
浸水 防護 施設	内郭 浸水 防護 施設	タービン建屋地上1階 (T3T4-TCTD) 南階段室 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		タービン建屋地上1階 (T7T8-TATB) レイダウンスペース 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		タービン建屋地上1階 (T7T9-TATB) レイダウンスペース 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		タービン建屋地上1階 (T8T9-TATB) 北階段室 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (18/28)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震重要度 分類	新規制基準施行前に認可された実績との 差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所	
浸水防護施設	内郭浸水防護施設	タービン建屋地上1階 (T8T9-TATB) 原子炉補機冷却海水系配管室, 空調ダクト室 止水堰	C *2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		タービン建屋地上1階 (T8T9-TBTC) レイダウンスペース 止水堰	C *2 B	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		タービン建屋地上1階 (T1T2-TCTD) 南西階段室 止水堰	C *2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		タービン建屋地上1階 (T2T3-TCTD) 南西階段室 止水堰	C *2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (19/28)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震重要度 分類	新規制基準施 行前に認可さ れた実績との 差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
浸水 防護 施設	内郭 浸水 防護 施設	タービン建屋地上2階 (T7T8-TCTD) 北西階段室 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		タービン建屋地上2階 (T2T3-TCTD) 南西階段室 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		原子炉建屋地下2階 (R1R2-RDRE) 通路 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		原子炉建屋地下2階 (R3R4-RFRG) 原子炉 内蔵型再循環ポンプ・制御棒駆動機構補 修室 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (20/28)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震重要度 分類	新規制基準施 行前に認可さ れた実績との 差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
浸水 防護 施設	内郭 浸水 防護 施設	原子炉建屋地下 2 階 (R4R5-RARB) 制御棒 駆動機構配管室 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		原子炉建屋地下 2 階 (R4R5-RFRG) 原子炉 内蔵型再循環ポンプ・制御棒駆動機構補 修室 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		原子炉建屋地下 2 階 (R5R6-RBRC) 通路 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		原子炉建屋地下 2 階 (R6R7-RDRE) 通路 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (21/28)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震重要度 分類	新規制基準施 行前に認可さ れた実績との 差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所	
浸水 防護 施設	内郭 浸水 防護 施設	原子炉建屋地下1階 (R1R2-RCRD) 原子炉系 (DIV-IV) 計装ラック室 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		原子炉建屋地下1階 (R1R2-RDRE) 原子炉系 (DIV-II) 計装ラック室 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		原子炉建屋地下1階 (R6R7-RCRD) 原子炉系 (DIV-I) 計装ラック室 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		原子炉建屋地下1階 (R6R7-RDRE) 原子炉系 (DIV-III) 計装ラック室 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (22/28)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震重要度 分類	新規制基準施 行前に認可さ れた実績との 差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所	
浸水 防護 施設	内郭 浸水 防護 施設	原子炉建屋地上1階 (R1R2-RBRC) 通路 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		原子炉建屋地上1階 (R1R2-RCRD) ほう酸 水注入系・電気ペネ室 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		原子炉建屋地上1階 (R2R3-RBRC) 原子炉 冷却材浄化系弁室 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		原子炉建屋地上1階 (R3R4-RFRG) 電気ペネ室 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (23/28)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震重要度 分類	新規制基準施 行前に認可さ れた実績との 差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
浸水防護施設	内郭浸水防護施設	原子炉建屋地上 1 階 (R4R5-RFRG) 可燃性 ガス濃度制御系エアロック室 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		原子炉建屋地上 1 階 (R5R6-RARB) 通路 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		原子炉建屋地上 1 階 (R5R6-RBRC) 原子炉 補機冷却水系・不活性ガス系・電気ペネ 室 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		原子炉建屋地上 1 階 (R5R6-RG) 大物搬出 入口建屋 止水堰	C*2 B	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (24/28)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震重要度 分類	新規制基準施 行前に認可さ れた実績との 差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
浸水 防護 施設	内郭 浸水 防護 施設	原子炉建屋地上 2 階 (R2R3-RFRG) 通路 止水堰	C *2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		原子炉建屋地上 2 階 (R5R6-RARB) 通路 止水堰	C *2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		原子炉建屋地上 2 階 (R5R6-RARB) 主蒸気系 トンネル室, 配管ペネ室 止水堰	C *2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		原子炉建屋地上 2 階 (R5R6-RDRE) 電気ペネ 室 止水堰	C *2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (25/28)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震重要度 分類	新規制基準施行前に認可された実績との 差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
浸水防護施設	内郭浸水防護施設	原子炉建屋地上 3 階 (R2R3-RBRC) 非常用ガス処理系室 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		原子炉建屋地上 3 階 (R2R3-RCRD) 非常用ガス処理系室 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		原子炉建屋地上 3 階 (R3R4-RARB) 通路 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		原子炉建屋地上 3 階 (R4R5-RARB) 通路 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (26/28)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震重要度 分類	新規制基準施行前に認可された実績との 差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
浸水防護施設	内郭浸水防護施設	原子炉建屋地上 3 階 (R2R3-RFRG) 格納容器内雰囲気モニタ系(B)室 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		原子炉建屋地上 4 階 (R1R2-RERF) 原子炉内蔵型再循環ポンプ点検室 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		原子炉建屋地上 4 階 (R2R3-RARB) オペレーティングフロア 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—
		原子炉建屋地上 4 階 (R2R3-RDRE) オペレーティングフロア 止水堰	C*2	—*3	VI-2-10-2-3-3	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (27/28)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震重要度 分類	新規制基準施行前に認可された実績との 差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所	
浸水 防護 施設	内郭 浸水 防護 施設	廃棄物処理建屋地下1階 (RW6RW7-RWBRWC) 通路 止水堰	C* ²	—* ³	VI-2-10-2-3-3	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (28/28)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
		耐震重要度 分類	新規制基準施 行前に認可さ れた実績との 差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
浸水 防 護 施 設	床ドレンライン浸水防止治具	S * ¹ C * ²	—* ³	VI-2-10-2-4-1	—	—	—
	貫通部止水処置	S * ¹ C * ²	—* ³	VI-2-10-2-4-2	—	—	—
	取水槽水位計	S * ¹	—* ³	VI-2-10-2-4-3	—	—	—
	津波監視カメラ	S * ¹	—* ³	VI-2-10-2-4-4	—	—	—

注記*1 : Sクラス施設のうち、浸水防止設備として基準地震動S_sによる地震力に対して、要求される機能を保持するものを示す。

*2 : Cクラス施設のうち、溢水の伝播を防止する設備として基準地震動S_sによる地震力に対して、要求される機能を保持するものを示す。

*3 : 本工事計画で新規に申請する設備であることから、差異比較の対象外。

VI-2-10-2-2 外郭浸水防護設備の耐震性についての計算書

VI-2-10-2-2-1 取水槽閉止板の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	3
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格・基準等	5
2.5 記号の説明	6
3. 評価対象部位及び評価対象設備	7
4. 固有値解析	9
4.1 固有振動数の計算方法	9
4.1.1 解析モデルの設定	9
4.1.2 記号の説明	10
4.1.3 固有振動数の算出方法	10
4.2 固有振動数の計算条件	11
4.3 固有振動数の計算結果	11
5. 構造強度評価	12
5.1 構造強度評価方法	12
5.2 荷重及び荷重の組合せ	12
5.2.1 荷重の組合せ	12
5.2.2 荷重の設定	12
5.3 許容限界	13
5.3.1 使用材料	13
5.3.2 許容限界	14
5.4 設計用地震力	15
5.5 評価方法	16
5.5.1 主桁	16
5.5.2 スキンプレート	19
5.5.3 締付ボルト	21
5.5.4 戸当り	22
5.5.5 アンカーボルト	25
5.6 評価条件	28
6. 評価結果	29

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度に基づき、浸水防止設備のうちタービン補機冷却用海水取水槽閉止板 1，タービン補機冷却用海水取水槽閉止板 2，補機冷却用海水取水槽(A)閉止板，補機冷却用海水取水槽(B)閉止板及び補機冷却用海水取水槽(C)閉止板（以下「取水槽閉止板」という。）が設計用地震力に対して、主要な構造部材が十分な構造健全性を有することを説明するものである。その耐震評価は取水槽閉止板の固有値解析及び応力評価により行う。

取水槽閉止板は、浸水防止設備としてSクラスの施設に分類される。以下、浸水防止設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 配置概要

取水槽閉止板は、タービン建屋の補機冷却用海水取水槽の上部床面に設置する。取水槽閉止板の設置位置図を図 2-1 に示す。

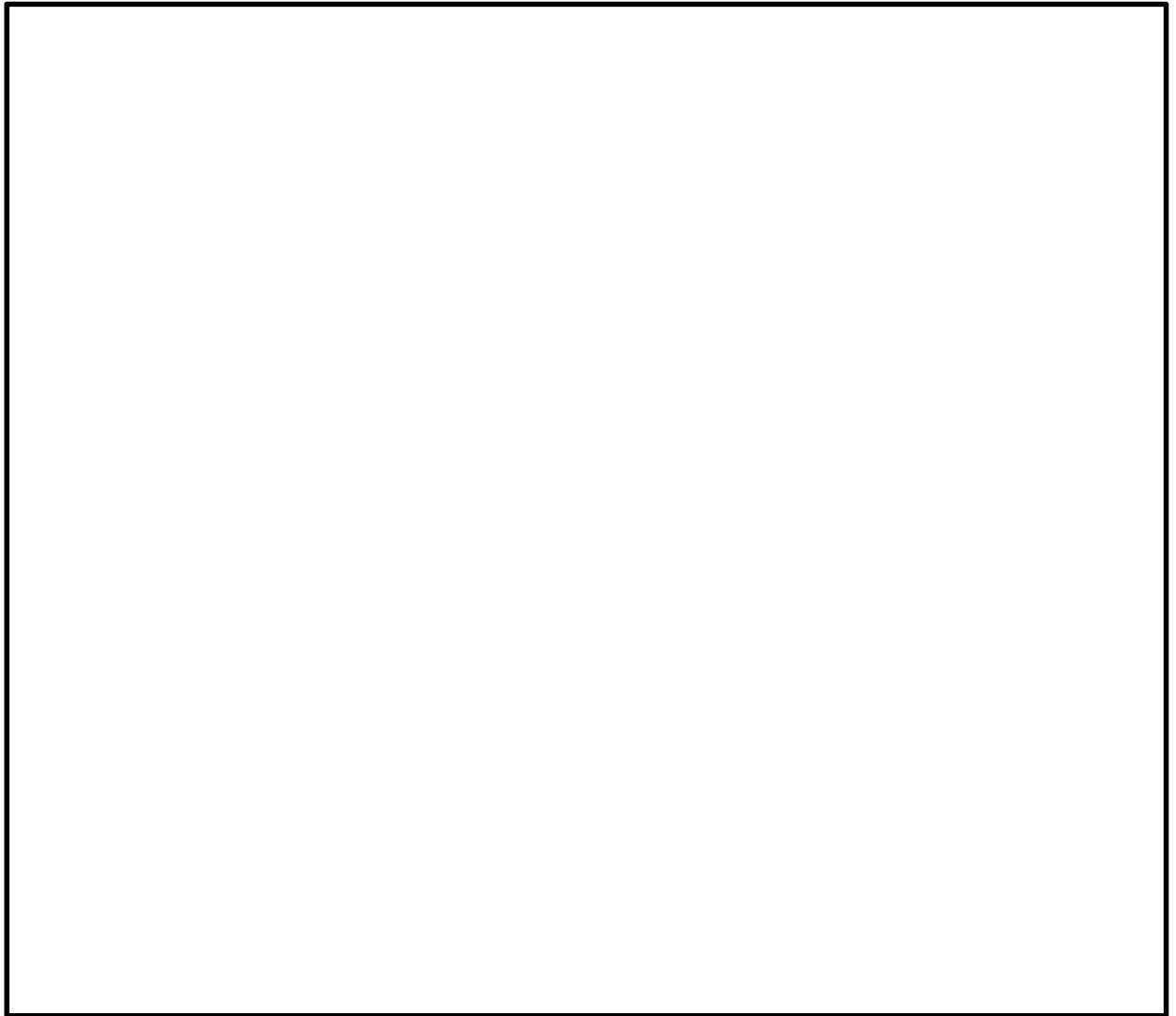


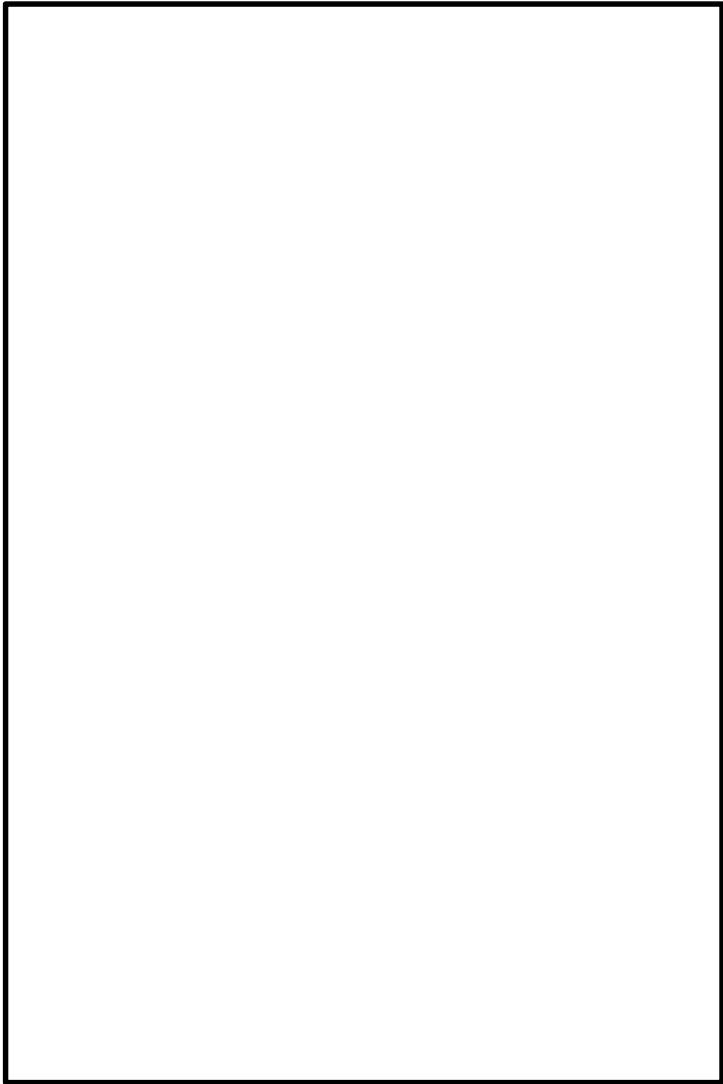
図 2-1 取水槽閉止板の設置位置図（タービン建屋 地下 1 階）

2.2 構造計画

取水槽閉止板の構造は、長方形のスキンプレートに主桁（溝形鋼）を組合せた構造とする。

取水槽閉止板は、補機冷却用海水取水槽の上部床面及び壁面に設置するアンカーボルトにて固定する。取水槽閉止板の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 取水槽閉止板の構造計画

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
スキンプレート、主桁及び戸当りにより構成する。	補機冷却用海水取水槽の上部床面及び壁面に設置するアンカーボルトで戸当りを躯体に固定し、締付ボルトによりスキンプレート、主桁を戸当りに固定する。	

2.3 評価方針

取水槽閉止板の耐震評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」に示す取水槽閉止板の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位及び評価対象設備」にて設定する評価部位において、「4. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「6. 評価結果」にて確認する。

耐震評価フローを図 2-2 に示す。

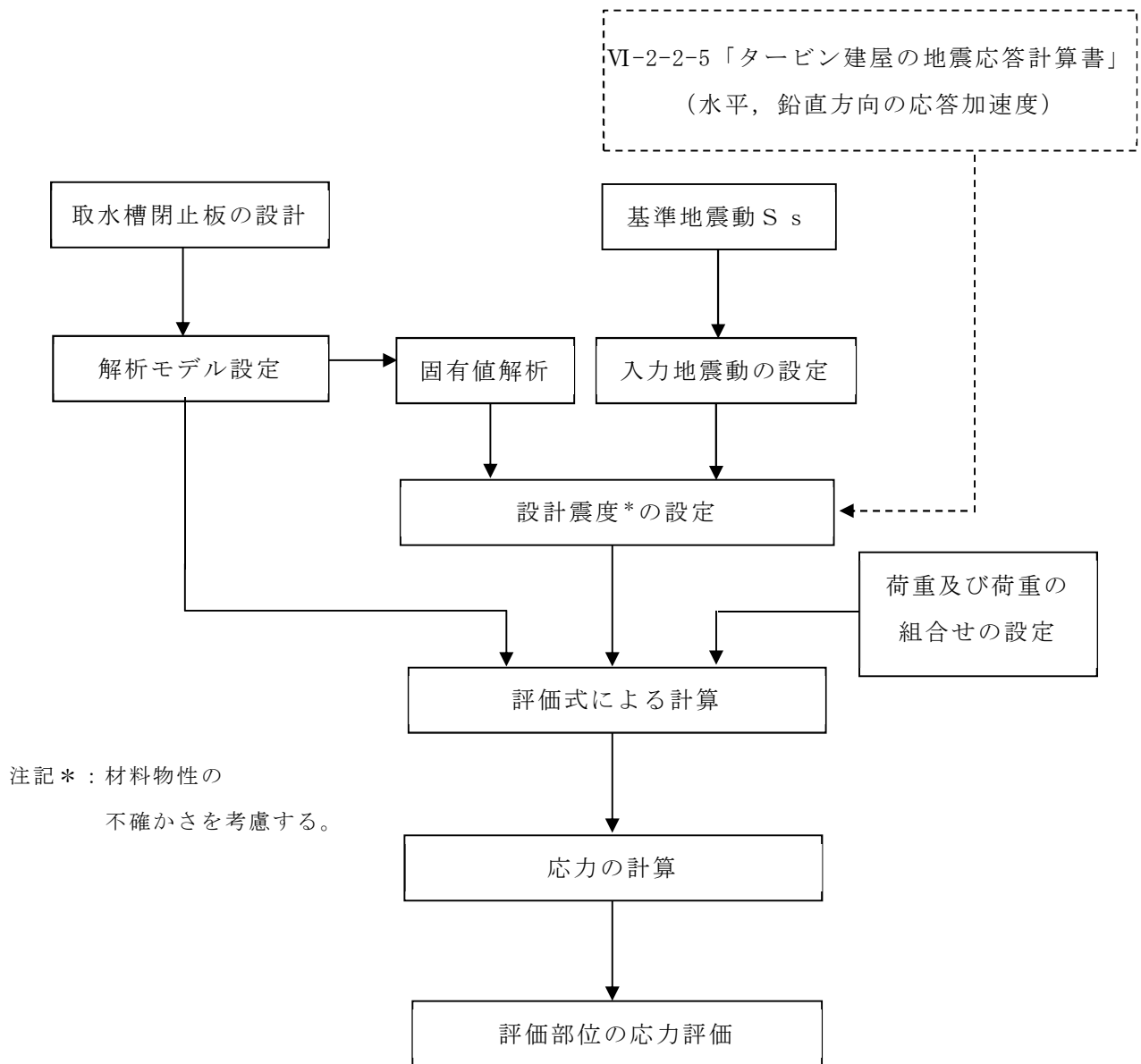


図 2-2 耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－
（（社）日本建築学会，1999 改定）
- ・ 日本産業規格（J I S）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987
（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版
（（社）日本電気協会）

2.5 記号の説明

取水槽閉止板の耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
S_s	kN	基準値震動 S_s による地震荷重
k_H	-	基準地震動 S_s の水平方向の設計震度
k_V	-	基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度
G	kN	固定荷重
w_{s_s}	kN/m	単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重
w_{s_s}'	kN/m	単位長さ当りの水平方向の等分布荷重
τ	N/mm ²	最大せん断応力度
σ	N/mm ²	最大曲げ応力度
Q	kN	最大せん断力
M	kN・m	最大曲げモーメント
x	N/mm ²	組合せ応力度
A_s	mm ²	せん断断面積
Z	mm ³	断面係数
L_1	mm	主桁の負担幅
L_2	mm	主桁と直交方向のスキンプレートの長さ
L_3	mm	主桁全長
L_4	mm	スキンプレートの負担幅
L_5	mm	戸当り全長
L_6	mm	戸当りウェブ中心から上フランジの等分布荷重が作用する位置までの距離
L_7	mm	アンカーボルト中心位置から戸当りウェブ中心位置までの距離
N_1	本	戸当り本数
T_s	kN	締付ボルト1本当りに作用する引張力
q_s	kN	締付ボルト1本当りに作用するせん断力
σ_t	N/mm ²	最大引張応力度
A	mm ²	締付ボルトの有効断面積
n_s	本	締付ボルトの本数
F_H	kN	アンカーボルトに作用する水平方向力
F_V	kN	アンカーボルトに作用する鉛直方向力
Q_A	kN	アンカーボルト1本当りの短期許容せん断力
T_A	kN	アンカーボルト1本当りの短期許容引張力
n_{NS}	本	壁 (NS 方向) に設置されたアンカーボルト本数
n_{EW}	本	壁 (EW 方向) に設置されたアンカーボルト本数
n_V	本	床に設置されたアンカーボルト本数
f_{NS}	kN	NS 方向荷重時のアンカーボルト耐力
f_{EW}	kN	EW 方向荷重時のアンカーボルト耐力
f_V	kN	鉛直荷重時のアンカーボルト耐力

3. 評価対象部位及び評価対象設備

取水槽閉止板の評価対象部位は、「2.2 構造計画」にて設定している構造を踏まえて、地震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。また、取水槽閉止板は構成部材の寸法、規格が等しく、評価結果が変わらないことから、代表としてタービン補機冷却用海水取水槽(C)閉止板を評価対象設備として選定する。ただし、アンカーボルトについては各取水槽閉止板により固定条件や本数が異なるため、全ての取水槽閉止板を選定する。

取水槽閉止板の評価対象部位は、地震に伴う慣性力が取水槽閉止板のスキンプレート、主桁、締付ボルト及び戸当りに伝わり、取水槽閉止板を固定するアンカーボルトを介して躯体に伝達されることから、スキンプレート、主桁、締付ボルト、戸当り及びアンカーボルトとし、評価対象部位を図 3-1 に示す。

K6 ① VI-2-10-2-2-1 R0

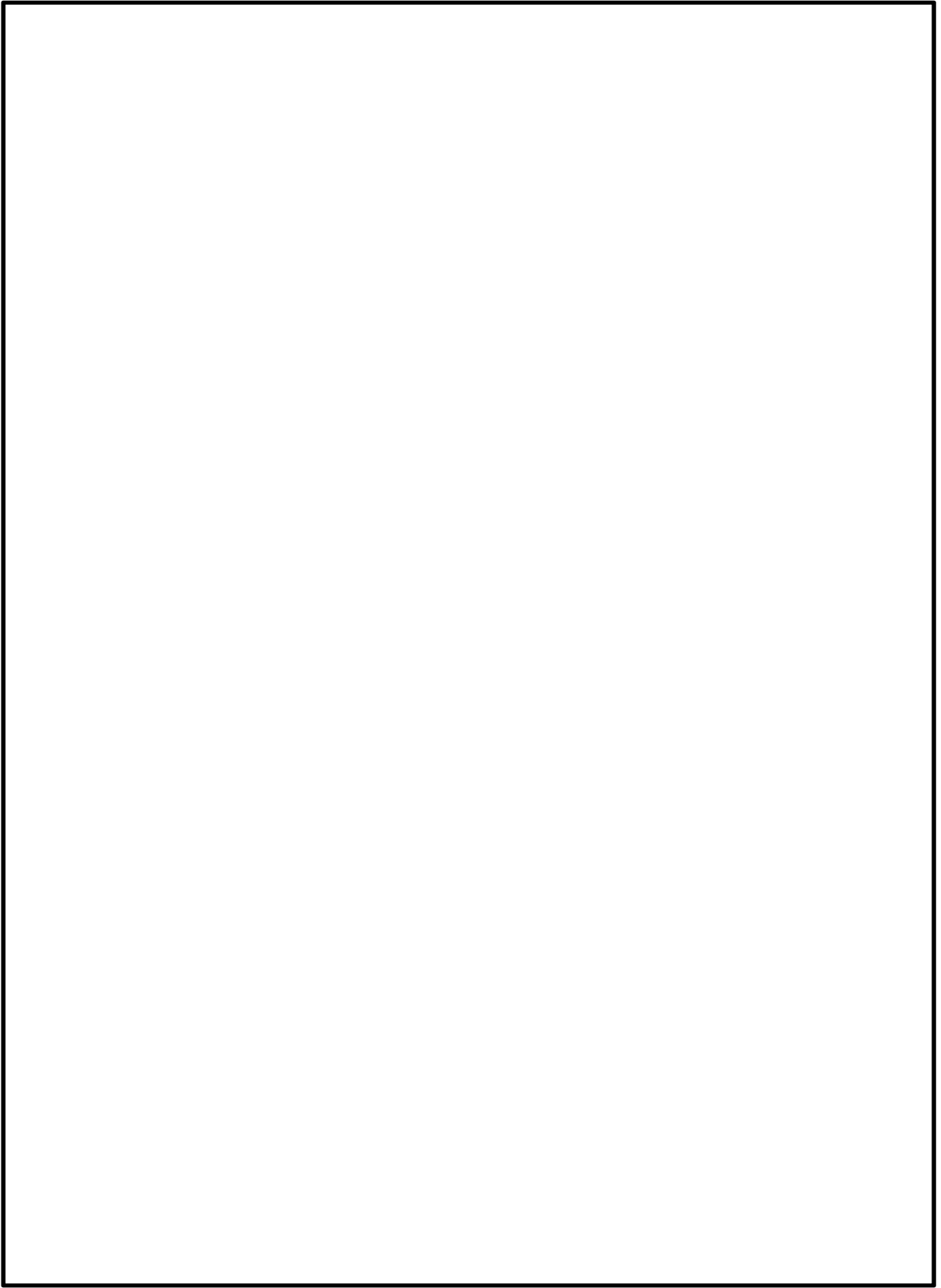


図 3—1 評価対象部位

4. 固有値解析

4.1 固有振動数の計算方法

取水槽閉止板の構造に応じて解析モデルを設定し，固有振動数を算出する。

4.1.1 解析モデルの設定

取水槽閉止板は，スキンプレート及び主桁の組合せにより剛な断面を有しているとともに，締付ボルトを介し，戸当り及びアンカーボルトにて取水槽閉止板と躯体を固定する構造であることから，取水槽閉止板の主桁を両端固定はりに単純化したモデルとし，モデル化に用いるはり長さは，主桁の全長とする。図 4-1 に解析モデル図を示す。



図 4-1 取水槽閉止板の固有値解析モデル

4.1.2 記号の説明

取水槽閉止板の固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 取水槽閉止板の固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	主桁の 1 次固有振動数
L	mm	はり長さ
E	N/mm ²	ヤング率
I	mm ⁴	主桁の断面二次モーメント
m	kg/m	質量分布

4.1.3 固有振動数の算出方法

固有振動数 f を「土木学会構造力学公式集」を参考に以下の式より算出する。

$$f = \frac{4.7300^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E I \cdot 10^6}{m}}$$

4.2 固有振動数の計算条件

固有振動数の計算条件を表 4-2 に示す。

表 4-2 固有振動数の計算条件

設備名称	はり長さ L (mm)	ヤング率 E (N/mm ²)	断面二次 モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/m)
タービン補機冷却用海水取水槽 閉止板1	1000	1.93×10^5	8.500×10^6	3.993×10
タービン補機冷却用海水取水槽 閉止板2	1000	1.93×10^5	8.500×10^6	3.993×10
補機冷却用海水取水槽 (A) 閉止板	1000	1.93×10^5	8.500×10^6	3.993×10
補機冷却用海水取水槽 (B) 閉止板	1000	1.93×10^5	8.500×10^6	3.993×10
補機冷却用海水取水槽 (C) 閉止板	1000	1.93×10^5	8.500×10^6	3.993×10

4.3 固有振動数の計算結果

固有振動数の計算結果を表 4-3 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であることから、剛構造である。

表 4-3 固有振動数の計算結果

設備名称	固有振動数 f (Hz)
タービン補機冷却用海水取水槽 閉止板1	721.74
タービン補機冷却用海水取水槽 閉止板2	721.74
補機冷却用海水取水槽 (A) 閉止板	721.74
補機冷却用海水取水槽 (B) 閉止板	721.74
補機冷却用海水取水槽 (C) 閉止板	721.74

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

取水槽閉止板の耐震評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、「3. 評価対象部位及び評価対象設備」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「5.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

5.2.1 荷重の組合せ

取水槽閉止板の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s$$

ここで、 G : 閉止板蓋の固定荷重(kN)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重(kN)

なお、積載荷重は考慮しない。

5.2.2 荷重の設定

耐震評価に用いる荷重は、以下のとおりとする。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、取水槽閉止板を構成する部材の自重を考慮する。

(2) 基準地震動 S_s による地震荷重 (S_s)

地震荷重として、基準地震動 S_s に伴う慣性力を考慮する。地震荷重は、取水槽閉止板の固定荷重に設計震度を乗じた次式により算出する。

$$S_s = G \cdot k$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重(kN)

G : 固定荷重(kN)

k : 基準地震動 S_s の設計震度

(最大応答加速度／重力加速度)

5.3 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

5.3.1 使用材料

取水槽閉止板を構成するスキンプレート、主桁、戸当り、締付ボルト及びアンカーボルトの使用材料を表5-1に示す。

表5-1 使用材料

評価対象部位	材質	仕様
スキンプレート	SUS304	厚さ <input type="text"/>
主桁	SUS304	C-150×75×9×9 (mm)
戸当り	SUS304	BH-150×150×7×10 (mm)
締付ボルト	SUS304	M30
アンカーボルト	SUS304	M16

5.3.2 許容限界

(1) スキンプレート，主桁，戸当り，締付ボルト

鋼材の許容応力度は，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005改定）」を踏まえて表5-2に示す。

表5-2 鋼材の短期許容応力度

材質	短期許容応力度 (N/mm ²)		
	曲げ	引張	せん断
SUS304	205	205	118

注：許容応力度を決定する場合の基準値Fは，日本産業規格（JIS）に基づく。

(2) アンカーボルト

アンカーボルトの許容荷重は，「3. 評価対象部位及び評価対象設備」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010改定）」に基づき算定する。

地震荷重を考慮する場合のアンカーボルトの許容荷重を表5-3に示す。

なお，アンカーボルトは躯体に埋め込まれていることから，アンカーボルトが引張力を受ける場合においては，アンカーボルトの降伏により決まる許容荷重，付着力により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。また，アンカーボルトがせん断力を受ける場合においては，アンカーボルトのせん断強度により決まる許容荷重，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容荷重及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表5-3 地震荷重を考慮する場合のアンカーボルトの短期許容荷重

材質	短期許容荷重 (kN/本)	
	引張	せん断
SUS304	31.4	22.4

5.4 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり，取水槽閉止板の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため，取水槽閉止板の耐震評価に用いる設計震度は，材料物性の不確かさを考慮したものとしてVI-2-2-5「タービン建屋の地震応答計算書」の地震応答解析結果を用いる。

耐震評価で用いる設計震度を表 5-4 に示す。

表 5-4 設計震度

建屋	フロア	基準地震動 S_s の 設計震度	
		水平 k_H	鉛直 k_V
タービン建屋	B1F	0.881	0.748

5.5 評価方法

取水槽閉止板を構成する主桁，スキンプレート，戸当り，締付ボルト及びアンカーボルトに発生する応力より算定する応力度が，許容限界以下であることを確認する。主桁とスキンプレートについては，箇所によって評価結果に差異が生じることから，図 5-1，図 5-2 にそれぞれ評価の対象とする主桁，スキンプレートを示す。また，図 5-3 に，戸当り，締付ボルト及びアンカーボルトの納まりを示す。

5.5.1 主桁

主桁の支持条件は両端をピン支持とし，図 5-1 に示す通り，主桁が荷重を負担する範囲が最も大きくなり，評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。

(1) 基準地震動 S_s による地震荷重 S_s

$$S_s = G \cdot k_v$$

ここで， S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

G : 主桁とスキンプレートの固定荷重 (kN)

k_v : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

(2) 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直等分布荷重 w

$$w_{s_s} = S_s \cdot L_1 / (L_2 \cdot L_3 \cdot 10^{-3})$$

ここで， w_{s_s} : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

L_1 : 主桁の負担幅 (mm)

L_2 : 主桁と直交方向のスキンプレートの長さ (mm)

L_3 : 主桁全長 (mm)

(3) 主桁に作用する最大せん断応力度 τ

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

τ : 主桁に作用する最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 主桁に作用する最大せん断力 (kN)

A_s : 主桁のせん断断面積 (mm²)

ここで， $Q = 1/2 \cdot w_{s_s} \cdot L_3 \cdot 10^{-3}$

Q : 主桁に作用する最大せん断力 (kN)

w_{s_s} : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

L_3 : 主桁全長 (mm)

(4) 主桁に作用する最大曲げ応力度 σ

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

σ : 主桁に作用する最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 主桁に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 主桁の断面係数 (mm³)

ここで, $M = 1/8 \cdot w_{ss} \cdot (L_3 \cdot 10^{-3})^2$

M : 主桁に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

w_{ss} : 主桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

L_3 : 主桁全長 (mm)

(5) 主桁に作用する組合せ応力度 x

主桁に作用する曲げ応力度, せん断応力度を算定し, 主桁の短期許容応力度以下であることを確認する。また主桁に生じる曲げ応力度とせん断応力度から, 組合せ応力度を「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—(社)日本建築学会, 2005改定)」に基づく次式により算定し, 短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

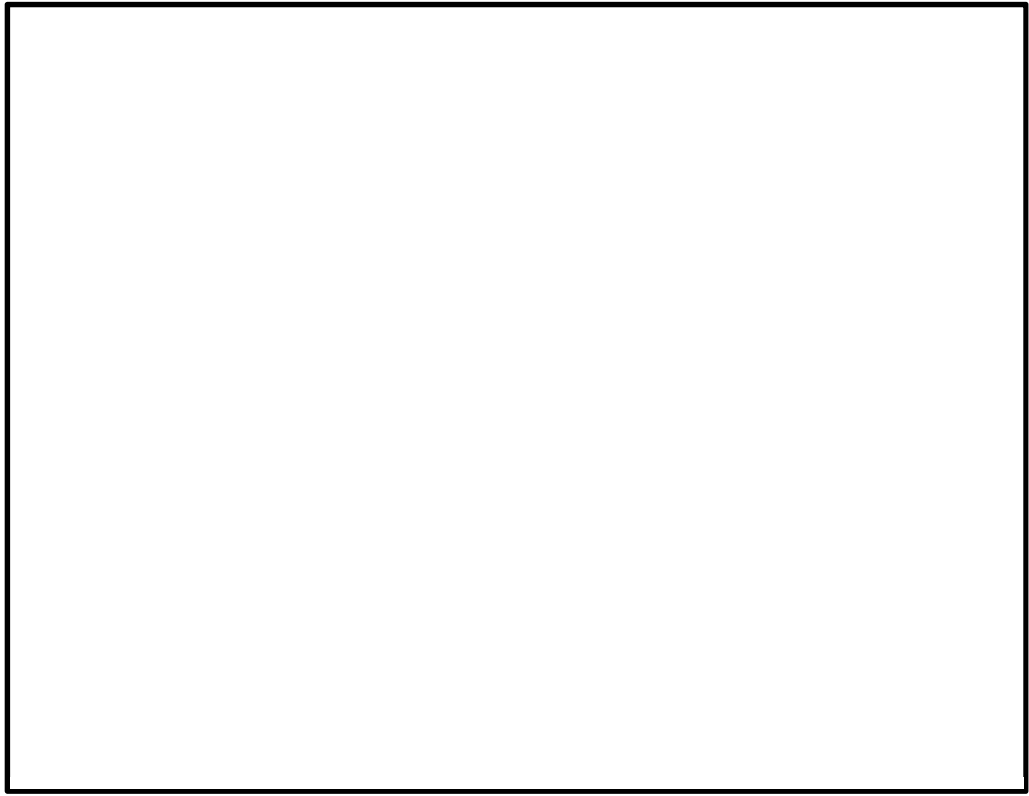
x : 組合せ応力度 (N/mm²)

σ : 曲げ応力度 M/Z (N/mm²)

(M : 曲げモーメント, Z : 断面係数)

τ : せん断応力度 Q/A_s (N/mm²)

(Q : せん断力, A_s : せん断断面積)




 : 評価の対象とする主桁

図 5-1 評価の対象とする主桁

5.5.2 スキンプレート

図 5-2 に示す通り，スキンプレートが荷重を負担する範囲が最も大きくなり，評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。

(1) 基準地震動 S_s による地震荷重 S_s

$$S_s = G \cdot k_v$$

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

G : スキンプレートの固定荷重 (kN)

k_v : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

(2) スキンプレートに作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 w_{s_s}

$$w_{s_s} = S_s / (L_4 \cdot 10^{-3})$$

w_{s_s} : スキンプレートに作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

L_4 : スキンプレートの負担幅 (mm)

(3) スキンプレートに作用する最大曲げ応力度 σ

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

σ : スキンプレートに作用する最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : スキンプレートに作用する最大曲げモーメント (kN・m)

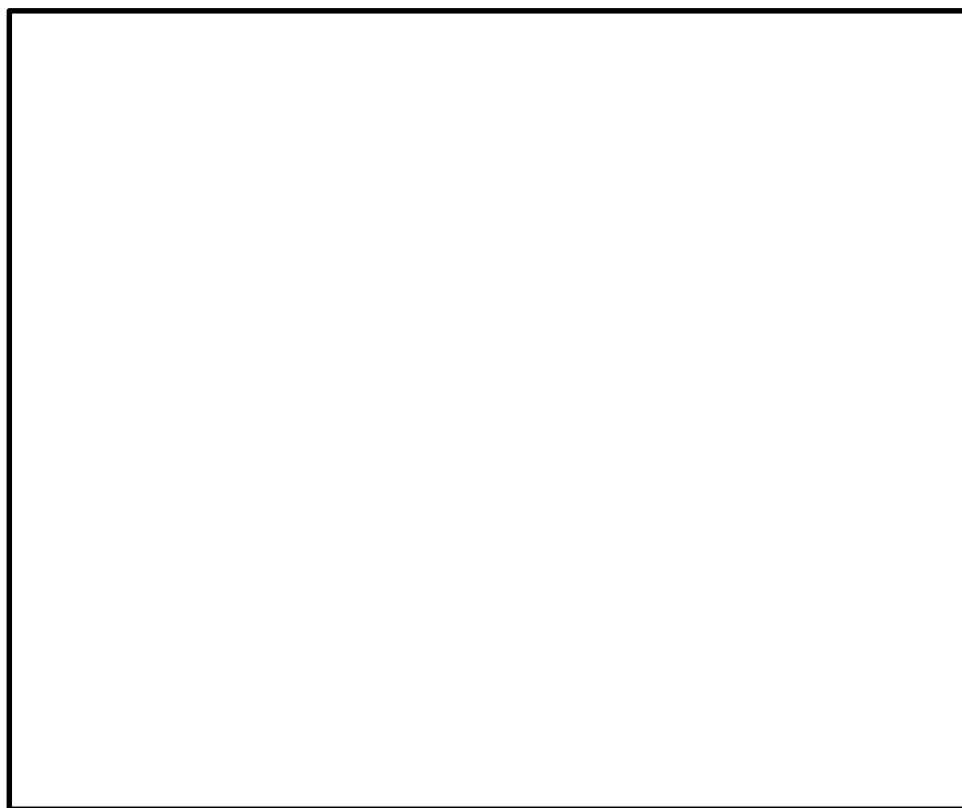
Z : スキンプレートの断面係数 (mm³)

ここで、 $M = 1/12 \cdot w_{s_s} \cdot (L_4 \cdot 10^{-3})^2$

M : スキンプレートに作用する最大曲げモーメント (kN・m)

w_{s_s} : スキンプレートに作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

L_4 : スキンプレートの負担幅 (mm)




 : 評価の対象とするスキンプレート

図 5-2 評価の対象とするスキンプレート

5.5.3 締付ボルト

- (1) 締付ボルト 1 本当りに作用する鉛直方向の引張荷重 T

$$T_s = G \cdot k_v / n_s$$

T_s : 締付ボルト 1 本当りに作用する引張力 (kN)

G : 主桁とスキンプレートの固定荷重 (kN)

k_v : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

n_s : 締付ボルトの本数 (本)

- (2) 締付ボルト 1 本当りに作用する鉛直方向の引張応力度 σ_t

$$\sigma_t = T_s \cdot 10^3 / A$$

σ_t : 締付ボルト 1 本当りに作用する鉛直方向の引張応力度 (N/mm²)

T_s : 締付ボルト 1 本当りに作用する引張力 (kN)

A : 締付ボルトの有効断面積 (mm²)

- (3) 締付ボルト 1 本当りに作用する水平方向のせん断荷重 q_s

$$q_s = G \cdot k_H / n_s$$

q_s : 締付ボルト 1 本当りに作用するせん断力 (kN)

G : 主桁とスキンプレートの固定荷重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

n_s : 締付ボルトの本数 (本)

- (4) 締付ボルト 1 本当りに作用する水平方向のせん断応力度 τ

$$\tau = q_s \cdot 10^3 / A$$

τ : 締付ボルト 1 本当りに作用する水平方向のせん断応力度 (N/mm²)

q_s : 締付ボルト 1 本当りに作用する水平方向のせん断荷重 (kN)

A : 締付ボルトの有効断面積 (mm²)

5.5.4 戸当り

- (1) 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 S_s

$$S_s = G \cdot k_H$$

S_s : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)

G : 閉止板の固定荷重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

- (2) 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 S_s

$$S_s = G \cdot k_V$$

S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)

G : 閉止板の固定荷重 (kN)

k_V : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

- (3) 戸当りに作用する水平方向の単位長さ当りの等分布荷重 w_{s_s}'

$$w_{s_s}' = S_s / (L_5 \cdot N_1 \cdot 10^{-3})$$

w_{s_s}' : 戸当りウェブ部に作用する単位長さ当りの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

S_s : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)

L_5 : 戸当り全長 (mm)

N_1 : 戸当り本数

- (4) 戸当りに作用する鉛直方向の単位長さ当りの等分布荷重 w_{s_s}

$$w_{s_s} = S_s / (L_5 \cdot N_1 \cdot 10^{-3})$$

w_{s_s} : 戸当りに作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)

L_5 : 戸当り全長 (mm)

N_1 : 戸当り本数

(5) 戸当り上フランジに作用する単位長さ当りの最大曲げ応力度 σ

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

σ : 戸当り上フランジに作用する最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 戸当り上フランジに作用する最大曲げモーメント (kN・m/m)

Z : 戸当り上フランジの断面係数 (mm³)

ここで, $M = w_{ss} \cdot L_6 \cdot 10^{-3}$

w_{ss} : 戸当りに作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

L_6 : 戸当りウェブ中心から上フランジに等分布荷重が作用する位置までの距離 (mm)

(6) 戸当り下フランジに作用する単位長さ当りの最大曲げ応力度 σ

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

σ : 戸当り下フランジに作用する最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 戸当り下フランジに作用する最大曲げモーメント (kN・m/m)

Z : 戸当り下フランジの断面係数 (mm³/m)

ここで, $M = w_{ss} \cdot L_7 \cdot 10^{-3}$

w_{ss} : 戸当りに作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)

L_7 : アンカーボルト中心位置から戸当りウェブ中心位置までの距離 (mm)

(7) 戸当りウェブ部に作用する単位長さ当りの最大せん断応力度 τ

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

τ : 戸当りに作用する最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 戸当りに作用する最大せん断力 (kN)

A_s : 戸当りのせん断断面積 (mm²)

ここで, $Q = w_{ss}' \cdot L_5 \cdot 10^{-3}$

w_{ss}' : 戸当りウェブ部に作用する単位長さ当りの水平方向の等分布荷重 (kN/m)

L_5 : 戸当り全長 (mm)

K6 ① VI-2-10-2-2-1 R0

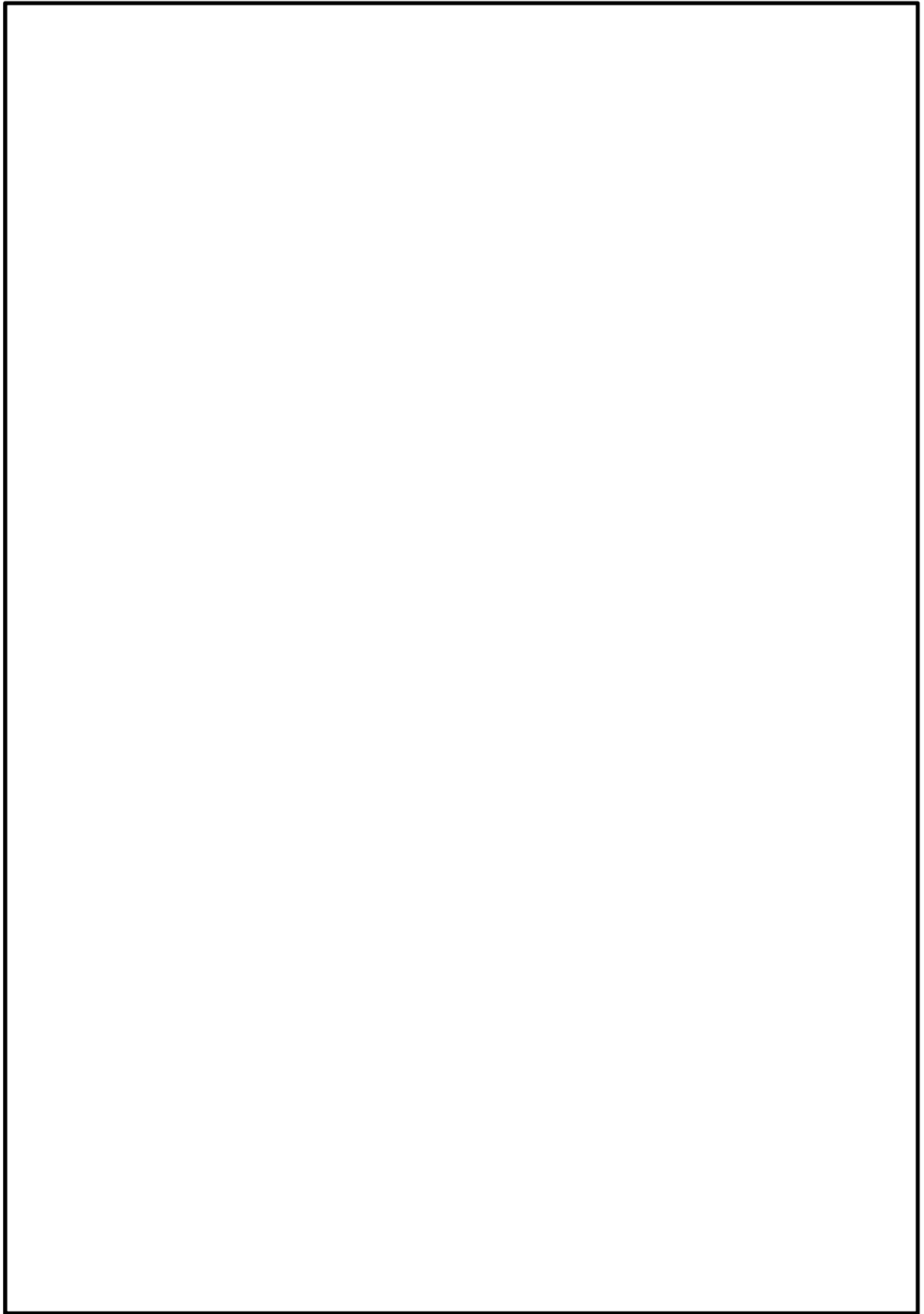


図 5-3 戸当り，締付ボルト及びアンカーボルトの納まり

5.5.5 アンカーボルト

- (1) 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 S_s

$$S_s = G \cdot k_H$$

S_s : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)

G : 閉止板の固定荷重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

- (2) 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 S_s

$$S_s = G \cdot k_V$$

S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)

G : 閉止板の固定荷重 (kN)

k_V : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

- (3) アンカーボルトに作用する水平方向力 F_H

$$F_H = S_s$$

S_s : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)

- (4) アンカーボルトに作用する鉛直方向力 F_V

$$F_V = S_s$$

S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)

(5) 水平方向力 F_H に対する検討

水平方向力 F_H は、床に敷設したアンカーボルトのせん断耐力と壁に敷設したアンカーボルトのせん断耐力及び引張耐力の合計により評価を行う。検討概念図を図 5-4 に示す。

$$F_H / f_{NS} \leq 1$$

$$F_H / f_{EW} \leq 1$$

$$f_{NS} = (n_{NS} + n_V) \cdot Q_A + n_{EW} \cdot T_A$$

$$f_{EW} = (n_{EW} + n_V) \cdot Q_A + n_{NS} \cdot T_A$$

f_{NS} : NS 方向荷重時のアンカーボルト耐力 (kN)

f_{EW} : EW 方向荷重時のアンカーボルト耐力 (kN)

n_{NS} : 壁 (NS 方向) に設置されたアンカーボルト本数 (本)

n_{EW} : 壁 (EW 方向) に設置されたアンカーボルト本数 (本)

n_V : 床に設置されたアンカーボルト本数 (本)

Q_A : アンカーボルト 1 本当りの短期許容せん断力 (kN)

T_A : アンカーボルト 1 本当りの短期許容引張力 (kN)



図 5-4 水平方向荷重時の検討概念図
(補機冷却用海水取水槽 (C) 閉止板の例)

(6) 鉛直方向力 F_v に対する検討

鉛直方向力 F_v は、床に敷設したアンカーボルトの引張耐力の合計と壁に敷設したアンカーボルトのせん断耐力の合計により評価を行う。検討概念図を図 5-5 に示す。

$$F_v / f_v \leq 1$$

$$f_v = (n_{NS} + n_{EW}) \cdot Q_A + n_v \cdot T_A$$

f_v : 鉛直方向荷重時のアンカーボルト耐力 (kN)

n_{NS} : 壁 (NS 方向) に設置されたアンカーボルト本数 (本)

n_{EW} : 壁 (EW 方向) に設置されたアンカーボルト本数 (本)

n_v : 床に設置されたアンカーボルト本数 (本)

Q_A : アンカーボルト 1 本当りの短期許容せん断力 (kN)

T_A : アンカーボルト 1 本当りの短期許容引張力 (kN)



図 5-5 鉛直方向荷重時の検討概念図
(補機冷却用海水取水槽 (C) 閉止板の例)

5.6 評価条件

取水槽閉止板の耐震評価に用いる入力値を表 5-5 に示す。

表 5-5 取水槽閉止板の耐震評価に用いる入力値

評価対象部位	記号	単位	定義	数値				
				タービン補機冷却用海水取水槽閉止板1	タービン補機冷却用海水取水槽閉止板2	補機冷却用海水取水槽(A)閉止板	補機冷却用海水取水槽(B)閉止板	補機冷却用海水取水槽(C)閉止板
主桁	G	kN	主桁とスキンプレートの固定荷重	0.5				
	L ₁	mm	主桁の負担幅	275				
	L ₂	mm	主桁と直交方向のスキンプレート長さ	850				
	L ₃	mm	主桁全長	1000				
	A _s	mm ²	せん断断面積	1.188×10 ³				
	Z	mm ³	断面係数	1.130×10 ⁵				
スキンプレート	L ₄	mm	スキンプレートの負担幅	175				
	Z	mm ³	断面係数	1.140×10 ⁴				
締付ボルト	n _s	本	締付ボルトの本数	8				
	A	mm ²	締付ボルトの有効断面積	561				
	G	kN	主桁とスキンプレートの固定荷重	3.54				
戸当り	G	kN	スキンプレート、主桁及び戸当りの固定荷重	5.31				
	L ₅	mm	戸当り全長	1150				
	L ₆	mm	戸当りウェブ中心から上フランジの等分布荷重作用位置までの距離	37.5				
	L ₇	mm	アンカーボルト中心からウェブ中心までの距離	45				
	A _s	mm ²	戸当りウェブ部のせん断断面積	8050				
	Z	mm ³ /m	戸当りフランジ部の断面係数	1.660×10 ⁴				
アンカーボルト	N ₁	本	戸当り本数	4				
	n _{NS}	本	壁(NS方向)に設置されたアンカーボルト本数	0	0	0	0	4
	n _{EW}	本	壁(EW方向)に設置されたアンカーボルト本数	2	2	0	2	4
	n _V	本	床に設置されたアンカーボルト本数	14	14	16	14	8
	f _{NS}	kN	NS方向荷重時のアンカーボルト耐力	376.4	376.4	358.4	376.4	394.4
	f _{EW}	kN	EW方向荷重時のアンカーボルト耐力	358.4	358.4	358.4	358.4	394.4
	f _V	kN	鉛直荷重時のアンカーボルト耐力	484.4	484.4	502.4	484.4	430.4

6. 評価結果

取水槽閉止板の耐震評価結果を表 6-1 に示す。各部材の断面検定を行った結果、全ての部材において発生応力又は応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 耐震評価結果

設備名称	評価対象部位		発生値		許容限界		検定値
			(応力度 又は荷重)				
補機冷却用 海水取水槽 (C)閉止板	主桁	曲げ	0.62	N/mm ²	205	N/mm ²	0.01 < 1.0
		せん断	0.26	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
		組合せ	0.77	N/mm ²	205	N/mm ²	0.01 < 1.0
	スキンプレート	曲げ	0.88	N/mm ²	205	N/mm ²	0.01 < 1.0
	締付ボルト	引張	0.61	N/mm ²	205	N/mm ²	0.01 < 1.0
		せん断	0.70	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
	戸当り	曲げ*1	3.02	N/mm ²	205	N/mm ²	0.02 < 1.0
		せん断*2	0.16	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
タービン補機冷却用 海水取水槽 閉止板 1	アンカー ボルト	NS 方向	4.68	kN	376.4	kN	0.02 < 1.0
		EW 方向	4.68	kN	358.4	kN	0.02 < 1.0
		鉛直方向	3.98	kN	484.4	kN	0.01 < 1.0
タービン補機冷却用 海水取水槽 閉止板 2	アンカー ボルト	NS 方向	4.68	kN	376.4	kN	0.02 < 1.0
		EW 方向	4.68	kN	358.4	kN	0.02 < 1.0
		鉛直方向	3.98	kN	484.4	kN	0.01 < 1.0
補機冷却用 海水取水槽 (A)閉止板	アンカー ボルト	NS 方向	4.68	kN	358.4	kN	0.02 < 1.0
		EW 方向	4.68	kN	358.4	kN	0.02 < 1.0
		鉛直方向	3.98	kN	502.4	kN	0.01 < 1.0
補機冷却用 海水取水槽 (B)閉止板	アンカー ボルト	NS 方向	4.68	kN	376.4	kN	0.02 < 1.0
		EW 方向	4.68	kN	358.4	kN	0.02 < 1.0
		鉛直方向	3.98	kN	484.4	kN	0.01 < 1.0
補機冷却用 海水取水槽 (C)閉止板	アンカー ボルト	NS 方向	4.68	kN	394.4	kN	0.02 < 1.0
		EW 方向	4.68	kN	394.4	kN	0.02 < 1.0
		鉛直方向	3.98	kN	430.4	kN	0.01 < 1.0

注記*1：上フランジと下フランジのうち厳しい評価結果を記載する。

*2：ウェブ部を評価対象とする。

VI-2-10-2-3 内郭浸水防護設備の耐震性についての計算書

VI-2-10-2-3-1 水密扉の耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	検討対象水密扉一覧	2
2.2	配置概要	4
2.3	構造計画	16
2.4	評価方針	17
2.5	適用規格・基準等	19
2.6	記号の説明	20
3.	固有値解析	21
3.1	固有振動数の算出方法	21
3.1.1	解析モデルの設定	21
3.2	固有振動数の算出条件等	22
3.2.1	記号の説明	22
3.2.2	固有振動数の算出方法	22
3.2.3	固有振動数の算出条件	23
3.3	固有振動数の算出結果	26
4.	耐震評価方法	28
4.1	評価対象部位	28
4.2	荷重及び荷重の組合せ	31
4.2.1	荷重の組合せ	31
4.2.2	荷重	31
4.3	許容限界	32
4.3.1	使用材料	32
4.3.2	許容限界	33
4.4	設計用地震力	35
4.5	評価方法	36
4.5.1	応力算定	36
4.5.2	断面検定	46
4.6	評価条件	50
5.	評価結果	51

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の構造強度及び機能維持の設計方針、VI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」に基づき、原子炉建屋水密扉、タービン建屋水密扉、コントロール建屋水密扉、屋外のフィルタベントエリア水密扉及び燃料移送ポンプエリア水密扉（以下「水密扉」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び止水性を有していること、溢水伝搬を防止する機能を維持するために、十分な構造強度を有していることを説明するものである。

その耐震評価は、水密扉に要求される機能の維持を確認するために、応力評価に基づく、構造部材の健全性評価により行う。

水密扉は、設計基準対象施設においては浸水防止設備及び溢水防護設備に分類される。

「7号機設備、6,7号機共用設備」の耐震性に関する説明は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事の計画のV-2-10-2-3-1「水密扉の耐震性についての計算書」による。

以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 検討対象水密扉一覧

検討対象の水密扉を表 2-1 に示す。

表 2-1 (1/2) 検討対象水密扉一覧

水密扉No.	扉名称		設置高さ
			T. M. S. L.
RB-B3F-1	サブプレッションプール浄化系ポンプ, 原子炉冷却材浄化系非再生熱交換器漏洩試験用ラック室 水密扉		-8.2m
RB-B3F-2	原子炉隔離時冷却系ポンプ・蒸気タービン室 水密扉		-8.2m
RB-B3F-3	高圧炉心注水系(B)ポンプ室 水密扉		-8.2m
RB-B3F-4	高圧炉心注水系(C)ポンプ室 水密扉		-8.2m
RB-B3F-5	残留熱除去系	ポンプ・熱交換器室 水密扉	-8.2m
RB-B3F-6	残留熱除去系	ポンプ・熱交換器室 水密扉	-8.2m
RB-B3F-7	残留熱除去系	ポンプ・熱交換器室 水密扉	-8.2m
RB-B3F-8	水圧制御ユニット室, 計装ラック, 制御棒駆動機構マスターコントロール室 水密扉1		-8.2m
RB-B3F-9	水圧制御ユニット室, 計装ラック, 制御棒駆動機構マスターコントロール室 水密扉2		-8.2m
RB-B3F-10	水圧制御ユニット室, 計装ラック室 水密扉1		-8.2m
RB-B3F-11	水圧制御ユニット室, 計装ラック室 水密扉2		-8.2m
RB-B2F-1	高圧代替注水系ポンプ室 水密扉		-1.7m
RB-1F-2			12.0m
RB-1F-3			12.0m
RB-2F-1	燃料プール冷却浄化系熱交換器室, 燃料プール冷却浄化系弁室 水密扉		18.1m
TB-B2F-1	タービン建屋地下2階北西階段室 水密扉		-4.2m
TB-B2F-2	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉		-4.8m
TB-B2F-3	原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉		-4.8m
TB-B2F-4	建屋間連絡水密扉 (タービン建屋地下2階～配管トレンチ)		-5.1m
TB-B2F-5	建屋間連絡水密扉 (タービン建屋地下2階～廃棄物処理建屋地下3階)		-5.1m
TB-B2F-6	循環水配管, 電解鉄イオン供給装置室 水密扉1		-5.1m
TB-B2F-7	循環水配管, 電解鉄イオン供給装置室 水密扉2		-5.1m

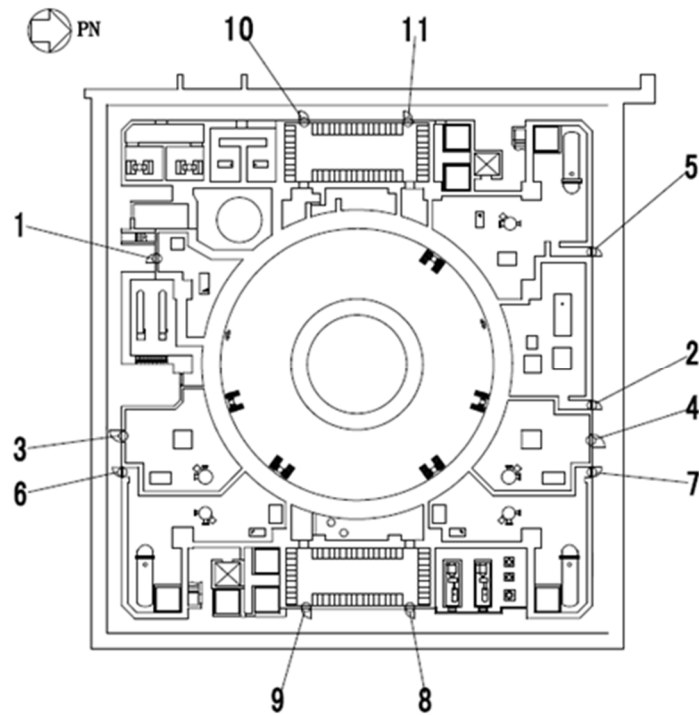
表 2-1 (2/2) 検討対象水密扉一覧

水密扉No.	扉名称	設置高さ
		T. M. S. L.
TB-MB2F-1	タービン建屋地下中2階南西階段室 水密扉	-0.9m
TB-MB2F-2	タービン建屋地下中2階北西階段室 水密扉	-1.1m
TB-MB2F-3	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室 水密扉1	-1.1m
TB-MB2F-4	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室 水密扉2	-1.1m
TB-MB2F-5	循環水系配管メンテナンス室 水密扉1	-1.1m
TB-MB2F-6	循環水系配管メンテナンス室 水密扉2	-1.1m
TB-B1F-3	<input type="checkbox"/> 子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉	3.5m
TB-B1F-4	タービン建屋地下1階南西階段室 水密扉	4.9m
TB-B1F-6	タービン建屋地下1階北西階段室 水密扉	4.9m
TB-B1F-7	<input type="checkbox"/> 子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉	3.5m
TB-1F-1		12.3m
TB-1F-2		12.3m
TB-1F-3		12.3m
TB-1F-4		12.3m
TB-1F-5		12.3m
TB-1F-6		12.3m
TB-1F-7		12.3m
CB-B2F-1	6号機常用電気品室 水密扉	-1.7m
CB-1F-1	6号機プロセス計算機室 水密扉	12.3m
Y-1	フィルタベントエリア 水密扉	12.3m
Y-2	燃料移送ポンプエリア (B系) 水密扉	12.0m

K6 ① VI-2-10-2-3-1 R0

2.2 配置概要

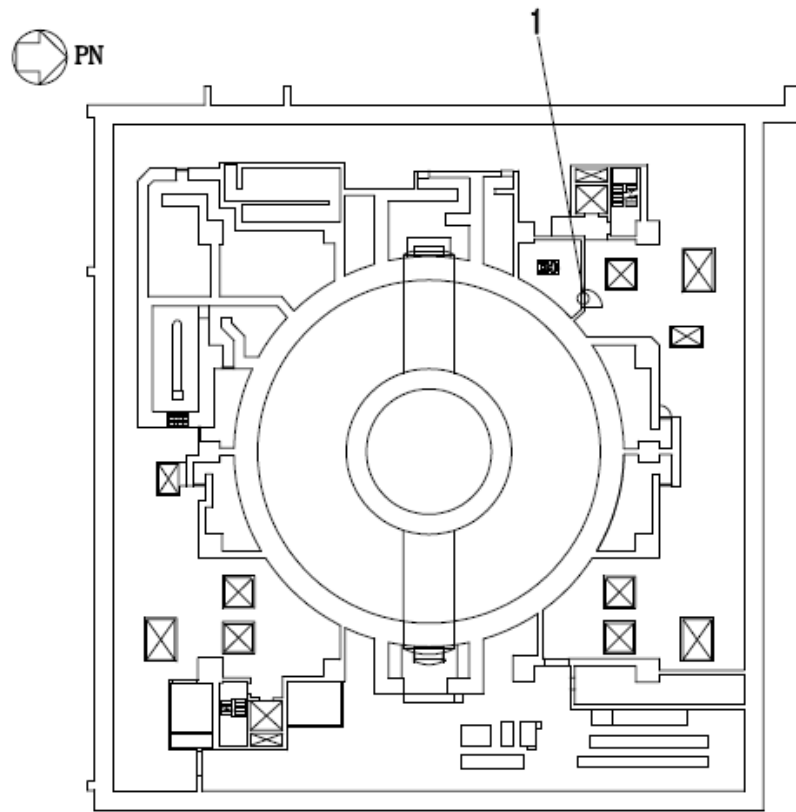
原子炉建屋水密扉の設置位置図を図 2-1 に、タービン建屋水密扉の設置位置図を図 2-2 に、コントロール建屋水密扉の設置位置図を図 2-3 に、フィルタベントエリア水密扉の設置位置図を図 2-4 に、燃料移送ポンプエリア水密扉の設置位置図を図 2-5 に示す。



RB-B3F

1	サプレッションプール浄化系ポンプ，原子炉冷却材浄化系非再生熱交換器漏洩試験用ラック室 水密扉
2	原子炉隔離時冷却系ポンプ・蒸気タービン室 水密扉
3	高圧炉心注水系(B)ポンプ室 水密扉
4	高圧炉心注水系(C)ポンプ室 水密扉
5	残留熱除去系ポンプ・熱交換器室 水密扉
6	残留熱除去系ポンプ・熱交換器室 水密扉
7	残留熱除去系ポンプ・熱交換器室 水密扉
8	水圧制御ユニット室，計装ラック，制御棒駆動機構マスターコントロール室 水密扉 1
9	水圧制御ユニット室，計装ラック，制御棒駆動機構マスターコントロール室 水密扉 2
10	水圧制御ユニット室，計装ラック室 水密扉 1
11	水圧制御ユニット室，計装ラック室 水密扉 2

図 2-1 (1/4) 原子炉建屋水密扉設置位置図 (地下 3 階)

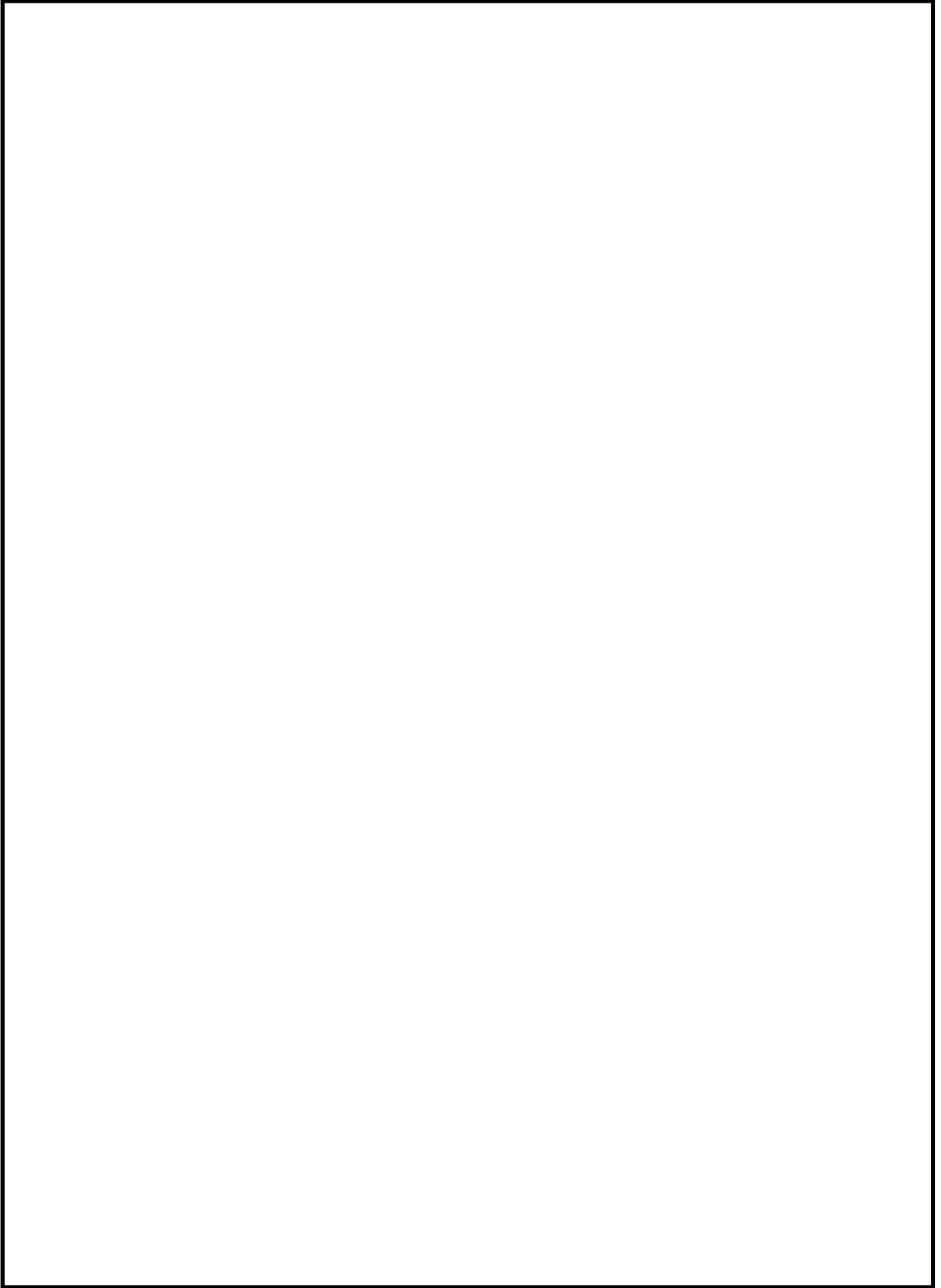


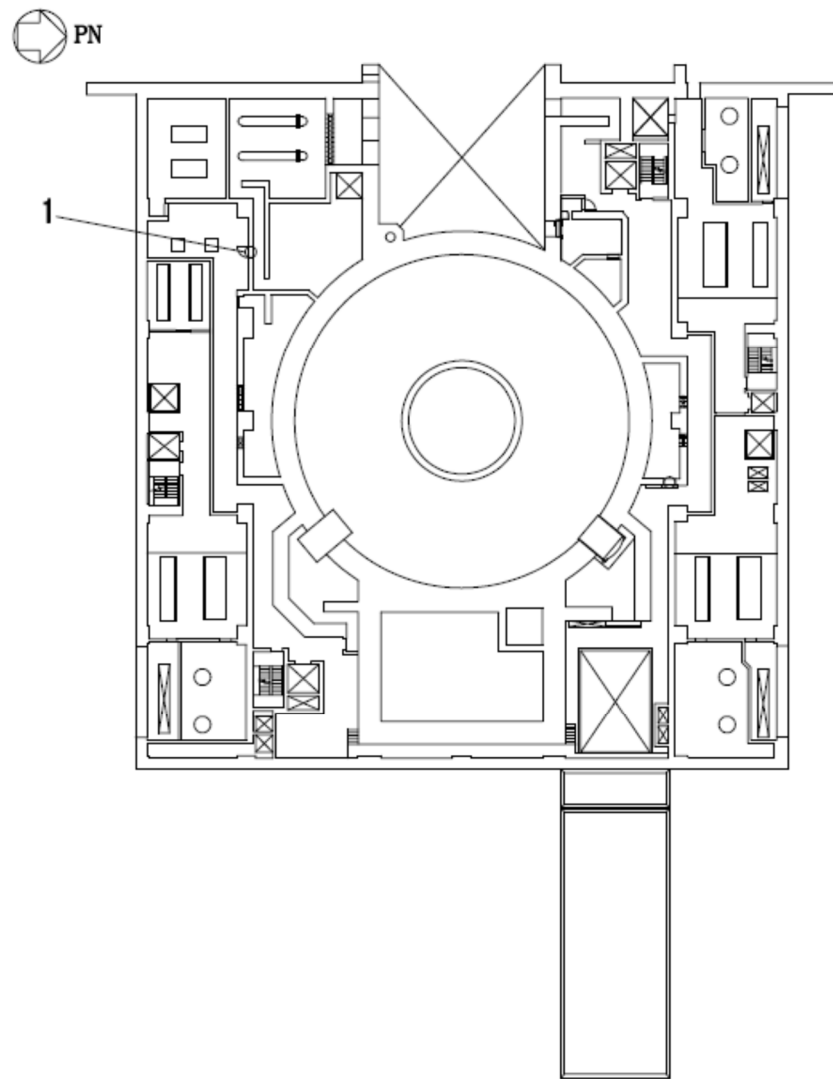
RB-B2F

1	高圧代替注水系ポンプ室 水密扉
---	-----------------

図 2-1 (2/4) 原子炉建屋水密扉設置位置図 (地下 2 階)

K6 ① VI-2-10-2-2-3-1 R0

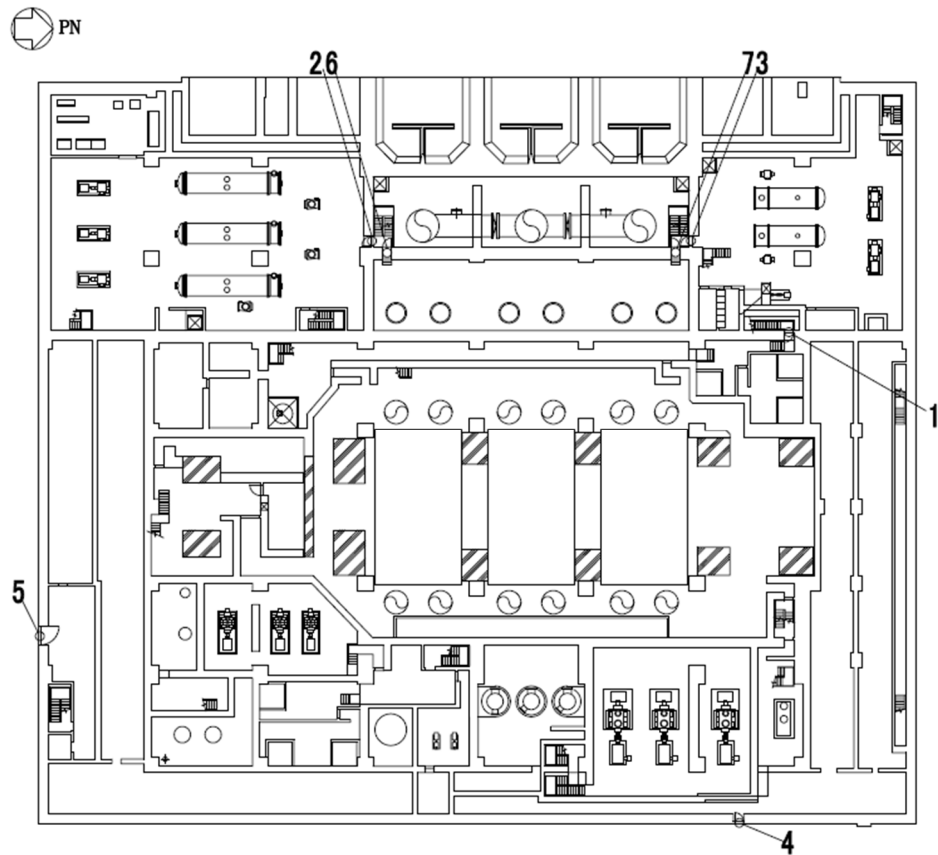




RB-2F

1	燃料プール冷却浄化系熱交換器室, 燃料プール冷却浄化系弁室 水密扉
---	-----------------------------------

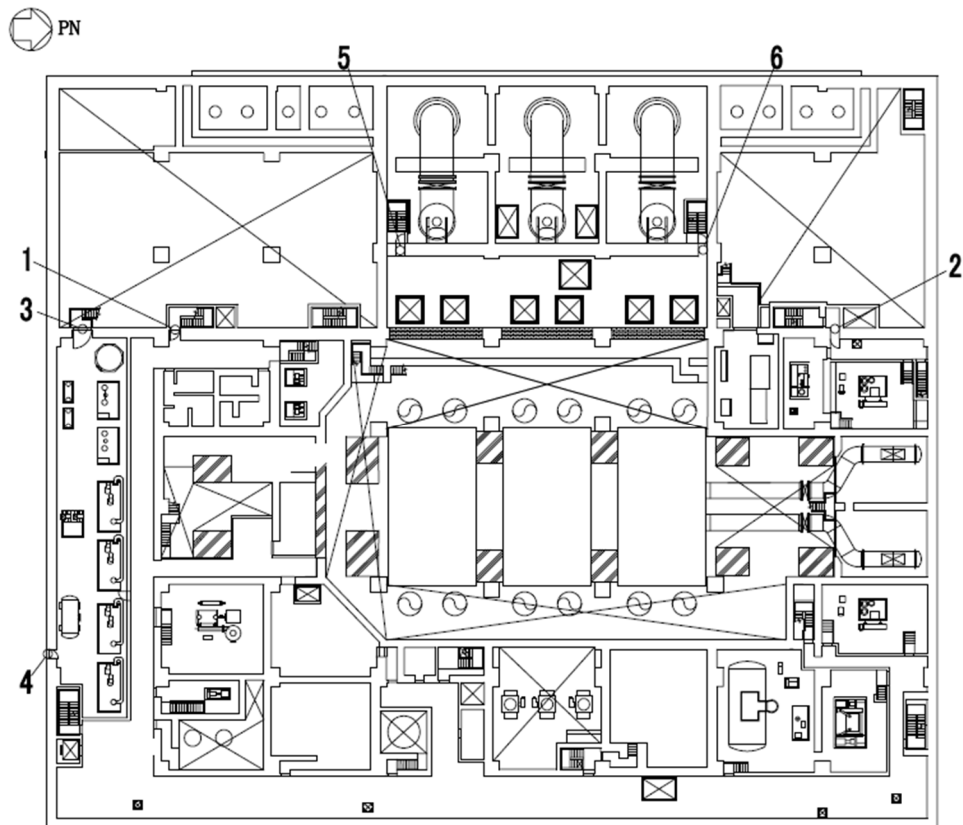
図 2-1 (4/4) 原子炉建屋水密扉設置位置図 (地上 2 階)



TB-B2F

1	タービン建屋地下2階北西階段室 水密扉
2	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉
3	原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉
4	建屋間連絡水密扉 (タービン建屋地下2階～配管トレンチ)
5	建屋間連絡水密扉 (タービン建屋地下2階～廃棄物処理建屋地下3階)
6	循環水配管, 電解鉄イオン供給装置室 水密扉1
7	循環水配管, 電解鉄イオン供給装置室 水密扉2

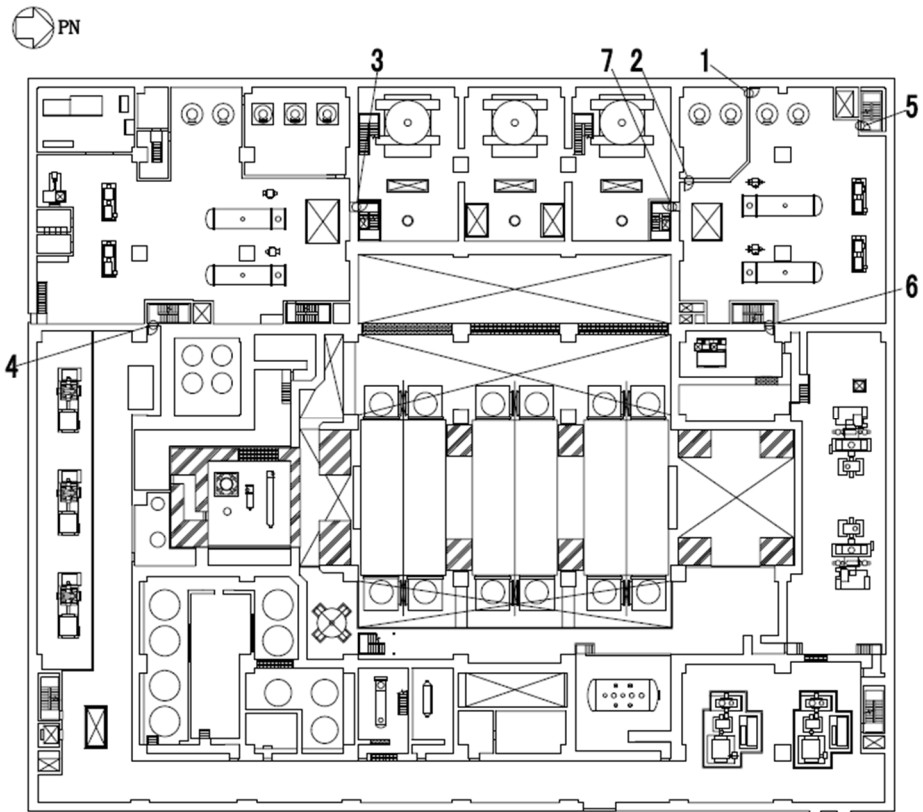
図2-2 (1/4) タービン建屋水密扉設置位置図 (地下2階)



TB-MB2F

1	タービン建屋地下中2階南西階段室 水密扉
2	タービン建屋地下中2階北西階段室 水密扉
3	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室 水密扉1
4	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室 水密扉2
5	循環水系配管メンテナンス室 水密扉1
6	循環水系配管メンテナンス室 水密扉2

図 2-2 (2/4) タービン建屋水密扉設置位置図 (地下中2階)



TB-B1F

1	子炉補機冷却海水系ポンプ室 水密扉 1
2	子炉補機冷却海水系ポンプ室 水密扉 2
3	子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉
4	タービン建屋地下1階南西階段室 水密扉
5	タービン建屋地下1階北階段室 水密扉
6	タービン建屋地下1階北西階段室 水密扉
7	子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉

注： は、地震起因による溢水に対して伝搬防止する水密扉ではないため本評価対象外

図 2-2 (3/4) タービン建屋水密扉設置位置図 (地下1階)

K6 ① VI-2-10-2-2-3-1 R0

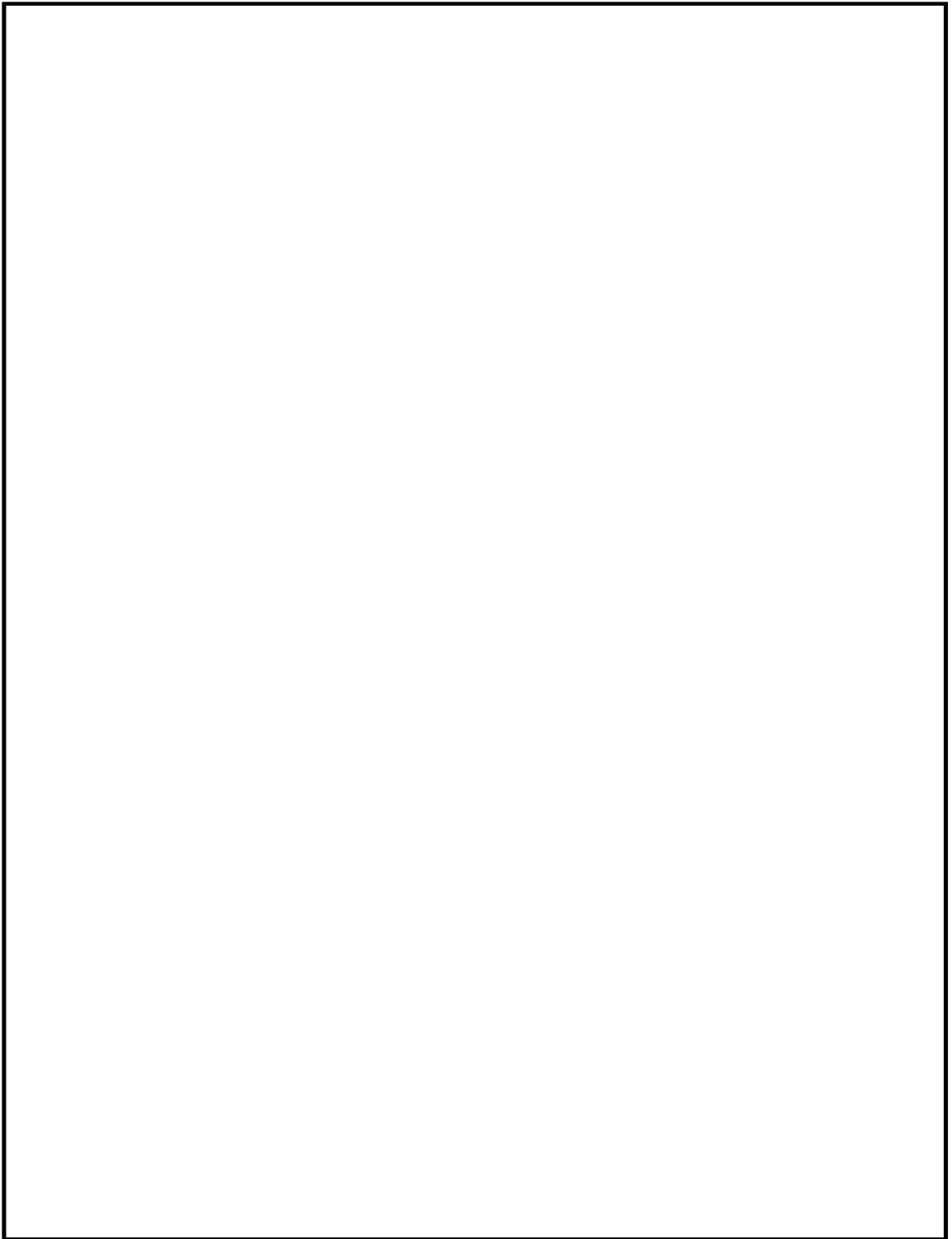
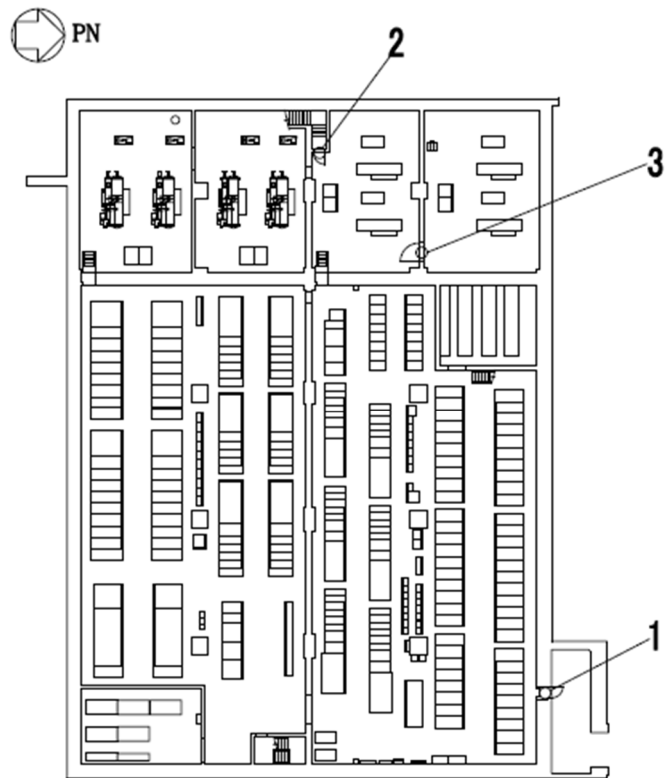


図 2-2 (4/4) タービン建屋水密扉設置位置図 (地上 1 階)



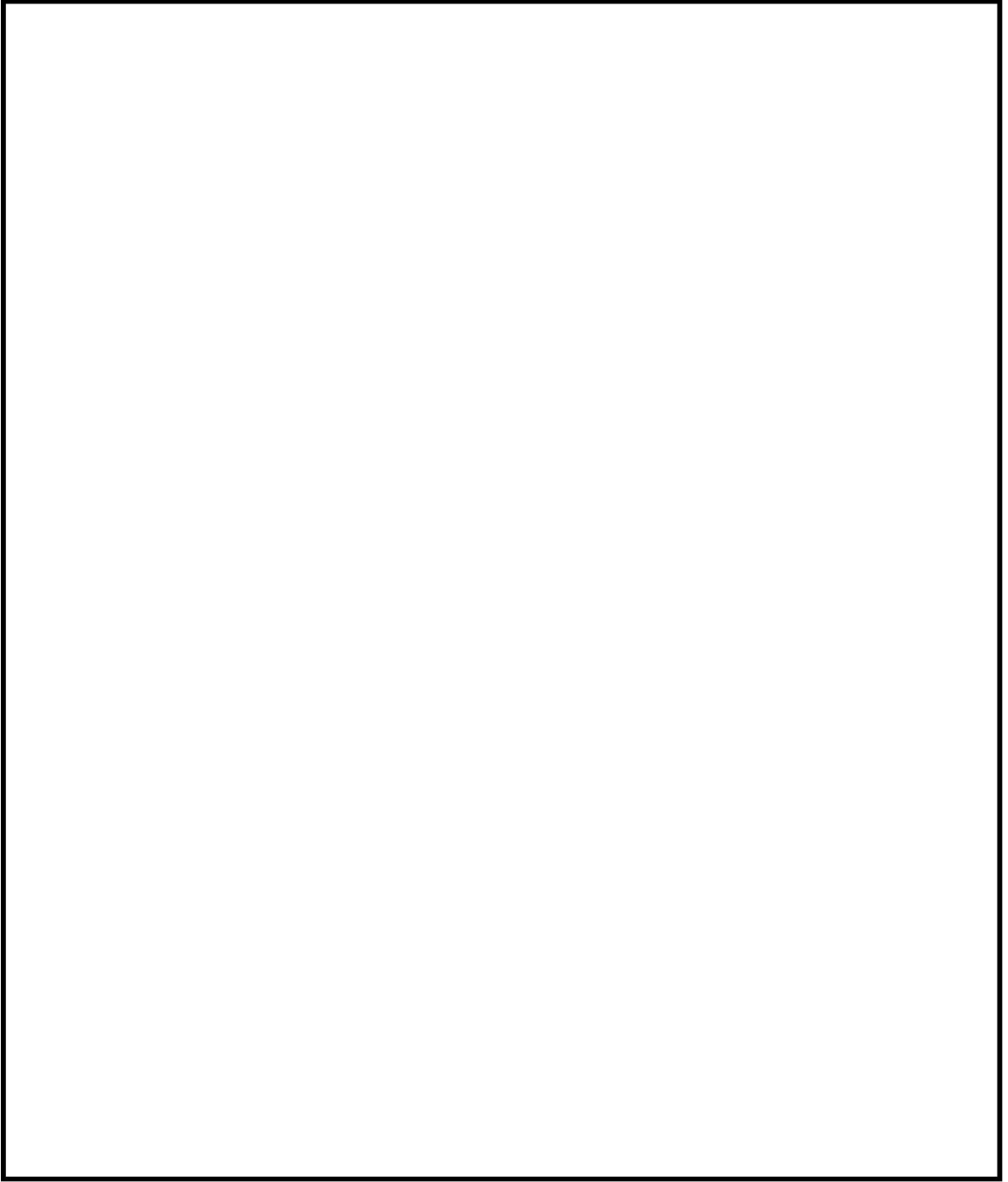
CB-B2F

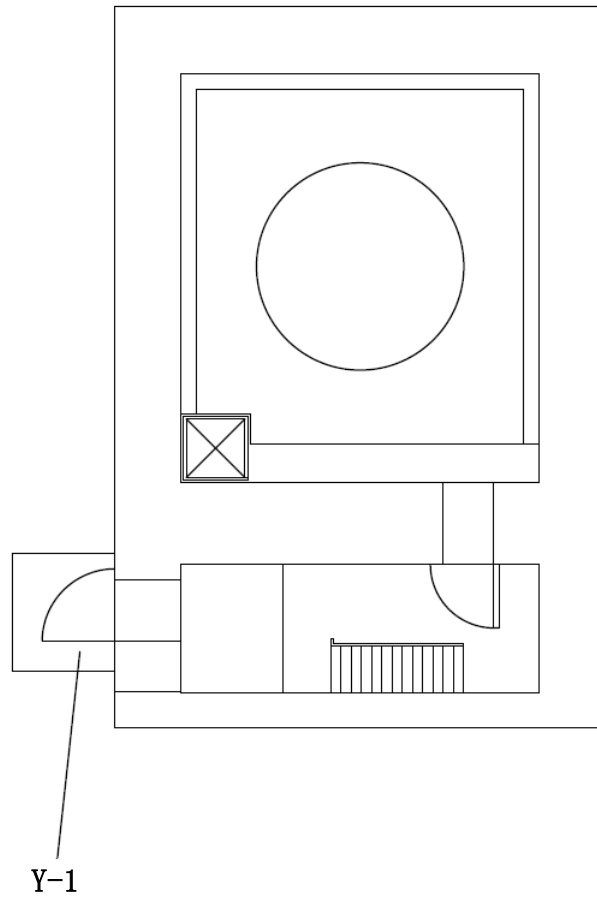
1	6号機常用電気品室 水密扉
2	6号機コントロール建屋地下2階西階段室 水密扉
3	6号機換気空調補機非常用冷却水系冷凍機 (B) (D) 室 水密扉

注：☐は、地震起因による溢水に対して伝搬防止する水密扉ではないため本評価対象外

図 2-3 (1/2) コントロール建屋水密扉設置位置図 (地下2階)

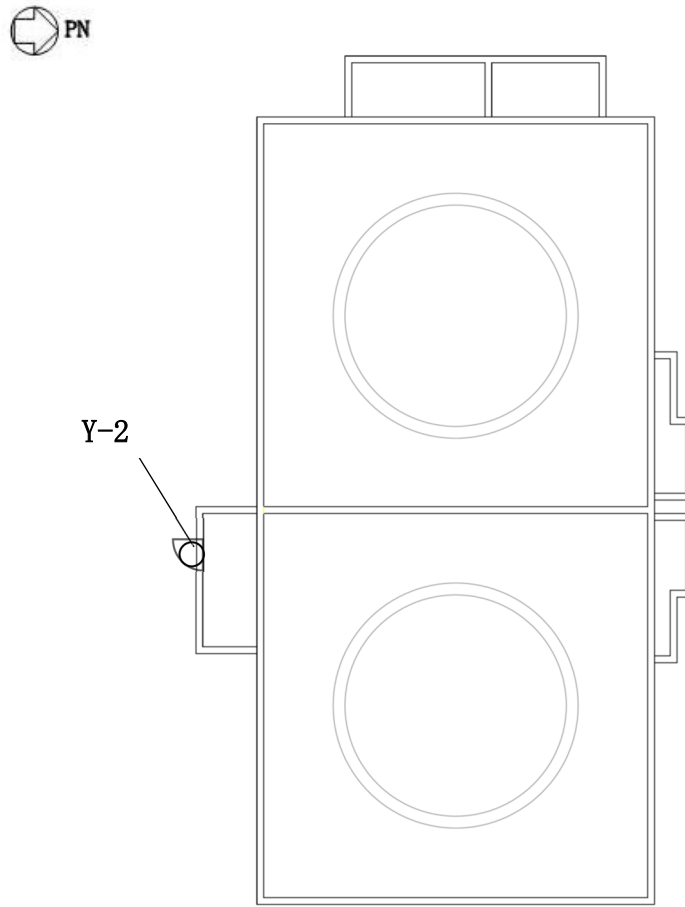
K6 ① VI-2-10-2-3-1 R0





Y-1	フィルタベントエリア 水密扉
-----	----------------

図 2-4 フィルタベントエリア水密扉設置位置図



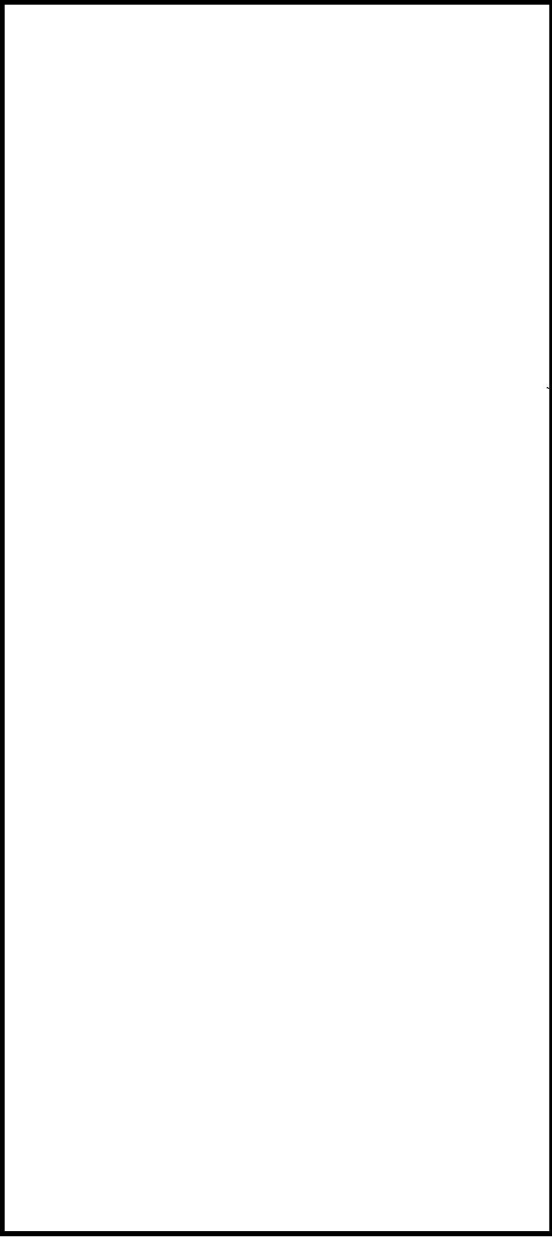
Y-2	燃料移送ポンプエリア(B系) 水密扉
-----	--------------------

図 2-5 燃料移送ポンプエリア水密扉設置位置図

2.3 構造計画

水密扉は、片開型の鋼製扉とし扉板の背面に芯材を配した構造である。また、閉鎖状態において締付装置により固定され水密性を確保しており、アンカーボルトによって建屋躯体に固定された扉枠にて支持する構造とする。水密扉の構造計画を表 2-2 に示す。

表 2-2 水密扉の構造計画

計画の概要		概略構造図
支持構造	主体構造	
<p>扉開放時においては、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時には、締付装置により扉と扉枠が一体化する構造とする。</p> <p>扉枠はアンカーボルトにより躯体へ固定する構造とする。</p>	<p>片開型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置された締付装置を鋼製の扉枠に差込み、扉と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と躯体の接続はヒンジを介する構造とする。</p>	

2.4 評価方針

水密扉の耐震評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.3 構造計画」に示す水密扉の構造を踏まえ、「4.1 評価対象部位」にて設定する評価部位において、「3. 固有値解析」で算出した固有振動数に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界内に収まることを、「4.5 評価方法」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「5. 評価結果」にて確認する。

耐震評価フローを図2-6に示す。水密扉の耐震評価においては、その構造を踏まえ、基準地震動 S_s による地震荷重の作用方向及び伝達経路を考慮し、評価対象部位を設定する。

耐震評価においては、荷重を静的に作用させることにより、ヒンジ及び締付装置部の発生応力並びにアンカーボルトの発生荷重を算定し、許容限界との比較を行う。

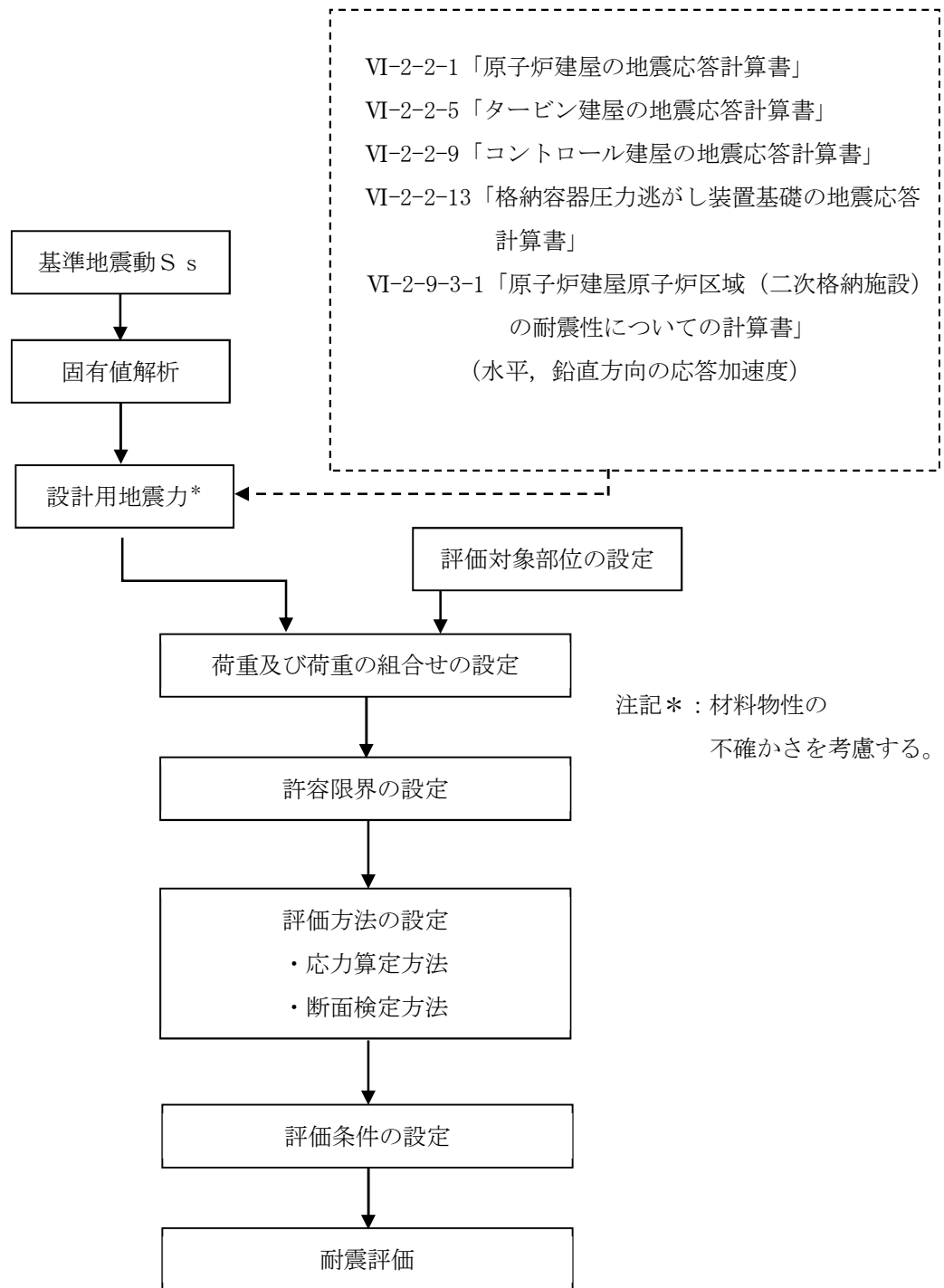


図 2-6 水密扉の耐震評価フロー

2.5 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－
（（社）日本建築学会，1999 改定）
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）
（以下「S規準」という。）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）
- ・ 日本産業規格（J I S）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987
（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版
（（社）日本電気協会）

2.6 記号の説明

水密扉の耐震評価に用いる記号を表2-3に示す。

表2-3 耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
W_1	kN	スラスト荷重
G	kN	扉重量
k_H	—	水平震度
k_{UD}	—	鉛直震度
F_1	kN	転倒力
F_{1a}	kN	扉と扉枠の重量を含んだ転倒力
L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離
L_2	mm	ヒンジ芯間距離
L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離
L_4	mm	ヒンジ板と受板間距離
L_5	mm	締付装置の突出長さ
L_p	mm	締付装置受けピンの軸支持間距離
b'	mm	締付装置と締付装置受けピンが接する長さ
M	kN・m	曲げモーメント
T	kN	引張力
Q	kN	せん断力
n_1	本	ヒンジボルトの本数
n_2	本	締付装置の本数
n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数
n_b	本	締付装置受けボルトの本数
g	m/s^2	重力加速度
w_a	kN	扉枠の重量
σ	N/mm^2	曲げ応力度
σ_t	N/mm^2	引張応力度
τ	N/mm^2	せん断応力度
x	N/mm^2	組合せ応力度
Z	mm^3	断面係数
A	mm^2	断面積
A_s	mm^2	せん断断面積
T_d	kN	アンカーボルト1本当りの引張力
Q_d	kN	アンカーボルト1本当りのせん断力
T_a	kN	アンカーボルト1本当りの短期許容引張力
Q_a	kN	アンカーボルト1本当りの短期許容せん断力
H_1	本	ヒンジ板の高さ
T_1	本	ヒンジ板の厚さ
d_3	本	ヒンジピンの径

3. 固有値解析

3.1 固有振動数の算出方法

水密扉の構造に応じて解析モデルを設定し、1次固有振動数を算出する。

3.1.1 解析モデルの設定

水密扉は、ヒンジ及び締付装置により扉と扉枠を固定する構造であることから、扉閉止時については両端固定はり又は四辺支持の長方形板に、扉開放時についてはヒンジ、自由端はりに単純化したモデルとし、モデル化に用いる芯材又は扉板の長さは扉幅とする。解析モデル図を図3-1に示す。

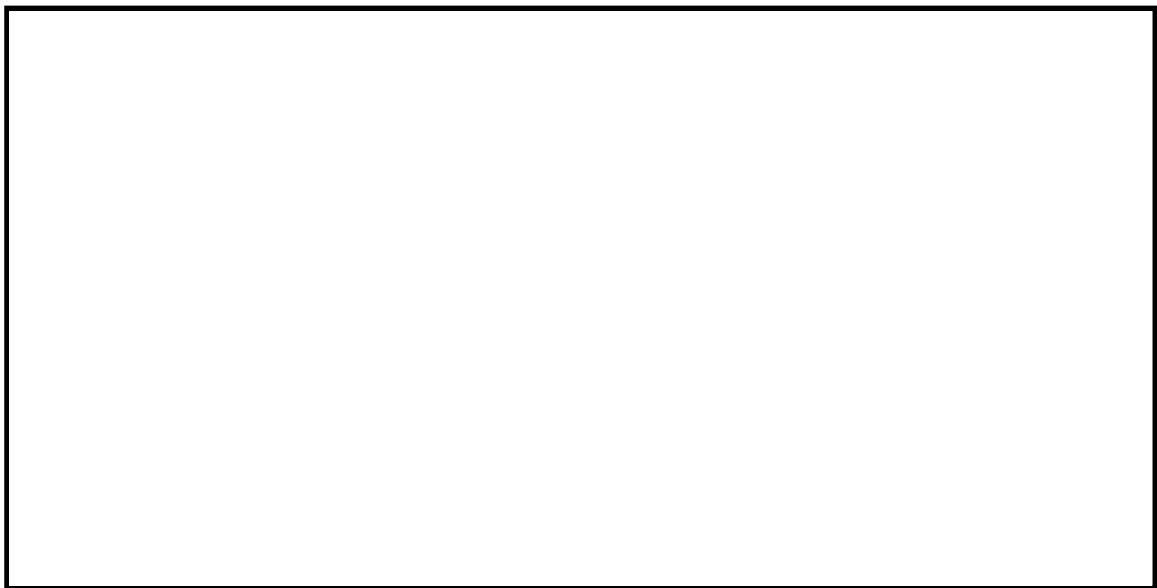


図3-1 水密扉の固有値解析モデル

3.2 固有振動数の算出条件等

3.2.1 記号の説明

水密扉の固有振動数算出に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 水密扉の固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	水密扉の 1 次固有振動数
L	mm	モデル化に用いる芯材の長さ
E	MPa*	ヤング率
I	mm ⁴	断面二次モーメント
m	kg/m	質量分布
λ	—	定数
b	cm	モデル化に用いる扉板の長さ
h	cm	モデル化に用いる扉板の厚さ
g	m/s ²	重力加速度
ν	—	ポアソン比
ρ	kg/cm ²	材料の密度

注記*：四辺支持の長方形板モデルにおいては kg/cm²。

3.2.2 固有振動数の算出方法

1 次固有振動数 f を「土木学会構造力学公式集」に基づき以下の式より算出する。ここで、固有振動数は水平方向（扉体面外方向）について算出するものとし、鉛直方向（扉体面内方向）については、扉に配された鉛直方向の芯材等の軸剛性が、面外方向の剛性に比べて十分に大きいため、固有振動数の算出を省略する。

モデル化の対象は、扉板及び芯材の組合せによる断面を有する水密扉については芯材を、芯材がなく扉板そのものにより断面を構成する水密扉については扉板とする。なお、扉開放時は芯材の有無に関わらず同一の評価式を用いる。

(1) 扉閉止時

a. 両端固定はりモデル（芯材をモデル化）

$$f = \frac{4.7300^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{EI \times 10^6}{m}}$$

b. 四辺支持の長方形板モデル（扉板をモデル化）

$$f = \frac{\lambda \pi h}{4b^2} \sqrt{\frac{Eg}{3(1-\nu^2)\rho}}$$

(2) 扉開放時（芯材又は扉板をモデル化）

扉開放時において水密扉は、面外方向については剛体モード（固有振動数がほぼゼロ）となり、これに伴う荷重の増幅は生じないことから、本評価においては芯材又は扉板が自由振動するものとして、下記の評価式にて固有振動数を算出することとした。

ヒンジ，自由端はりモデル

$$f = \frac{3.9266^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{EI \times 10^6}{m}}$$

3.2.3 固有振動数の算出条件

水密扉の固有振動数の算出条件のうち、芯材をモデル化した場合の算出条件を表 3-2 に、扉板をモデル化した場合の算出条件を表 3-3、表 3-4 に示す。

表 3-2 (1/2) 芯材をモデル化した場合の算出条件（扉閉止時及び扉開放時）

水密扉No.	扉名称	はり長さ L (mm)	ヤング率 E (MPa)	断面二次 モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/m)
RB-B3F-2	原子炉隔離時冷却系ポンプ・蒸気タービン室 水密扉	1060	2.05×10 ⁵	8.610×10 ⁶	5.40×10
RB-B3F-3	高圧炉心注水系(B)ポンプ室 水密扉	1360	2.05×10 ⁵	8.610×10 ⁶	5.40×10
RB-B3F-4	高圧炉心注水系(C)ポンプ室 水密扉	1360	2.05×10 ⁵	8.610×10 ⁶	5.40×10
RB-B3F-5	残留熱除去系ポンプ・熱交換器室 水密扉	1060	2.05×10 ⁵	8.610×10 ⁶	5.40×10
RB-B3F-6	残留熱除去系ポンプ・熱交換器室 水密扉	1060	2.05×10 ⁵	8.610×10 ⁶	5.40×10
RB-B3F-7	残留熱除去系ポンプ・熱交換器室 水密扉	1060	2.05×10 ⁵	8.610×10 ⁶	5.40×10
RB-B3F-8	水圧制御ユニット室，計装ラック， 制御棒駆動機構マスターコントロール室 水密扉1	1060	2.05×10 ⁵	8.610×10 ⁶	5.40×10
RB-B3F-9	水圧制御ユニット室，計装ラック， 制御棒駆動機構マスターコントロール室 水密扉2	1060	2.05×10 ⁵	8.610×10 ⁶	5.40×10
RB-B3F-10	水圧制御ユニット室，計装ラック室 水密扉1	1060	2.05×10 ⁵	8.610×10 ⁶	5.40×10
RB-B3F-11	水圧制御ユニット室，計装ラック室 水密扉2	1060	2.05×10 ⁵	8.610×10 ⁶	5.40×10
RB-1F-2		3490	1.93×10 ⁵	2.090×10 ⁸	2.37×10 ²
RB-1F-3		3580	1.93×10 ⁵	2.090×10 ⁸	2.92×10 ²
RB-2F-1	燃料プール冷却浄化系熱交換器室，燃料プール冷却浄化系弁室水密扉	900	2.05×10 ⁵	1.730×10 ⁵	3.79×10
TB-B2F-1	タービン建屋地下2階北西階段室 水密扉	960	2.05×10 ⁵	3.160×10 ⁶	5.34×10
TB-B2F-2	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉	995	2.05×10 ⁵	1.380×10 ⁷	6.40×10
TB-B2F-3	原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉	1060	2.05×10 ⁵	1.380×10 ⁷	5.68×10
TB-B2F-4	建屋間連絡水密扉（タービン建屋地下2階～配管トレンチ）	855	2.05×10 ⁵	1.330×10 ⁶	4.60×10
TB-B2F-5	建屋間連絡水密扉（タービン建屋地下2階～廃棄物処理建屋地下3階）	1805	2.05×10 ⁵	2.130×10 ⁷	7.85×10

表 3-2 (2/2) 芯材をモデル化した場合の算出条件 (扉閉止時及び扉開放時)

水密扉No.	扉名称	はり長さ L (mm)	ヤング率 E (MPa)	断面二次 モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/m)
TB-MB2F-1	タービン建屋地下中2階南西階段室 水密扉	960	2.05×10^5	3.160×10^6	5.34×10
TB-MB2F-2	タービン建屋地下中2階北西階段室 水密扉	910	2.05×10^5	3.160×10^6	5.34×10
TB-MB2F-3	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室 水密扉1	1875	2.05×10^5	1.690×10^7	7.58×10
TB-MB2F-4	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室 水密扉2	1210	2.05×10^5	3.160×10^6	5.34×10
TB-B1F-3	原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉	1060	2.05×10^5	8.610×10^6	4.90×10
TB-B1F-4	タービン建屋地下1階南西階段室 水密扉	960	2.05×10^5	3.160×10^6	5.34×10
TB-B1F-6	タービン建屋地下1階北西階段室 水密扉	960	2.05×10^5	3.160×10^6	5.34×10
TB-B1F-7	原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉	1060	2.05×10^5	8.610×10^6	4.90×10
TB-1F-1		2830	1.93×10^5	4.680×10^7	1.52×10^2
TB-1F-2		855	2.05×10^5	3.160×10^6	5.81×10
TB-1F-3		960	2.05×10^5	3.160×10^6	5.34×10
TB-1F-4		960	2.05×10^5	3.160×10^6	5.34×10
TB-1F-5		2430	2.05×10^5	2.120×10^8	2.17×10^2
TB-1F-6		1310	2.05×10^5	3.160×10^6	5.34×10
TB-1F-7		2385	2.05×10^5	1.060×10^7	8.21×10
CB-B2F-1	6号機常用電気品室 水密扉	975	2.05×10^5	8.610×10^6	4.95×10
CB-1F-1	6号機プロセス計算機室 水密扉	700	2.05×10^5	8.610×10^6	4.63×10
Y-1	フィルタベントエリア 水密扉	2200	1.93×10^5	6.090×10^6	1.81×10^2
Y-2	燃料移送ポンプエリア (B系) 水密扉	2161	1.93×10^5	6.090×10^6	9.81×10^2

表 3-3 扉板をモデル化した場合の算出条件（扉閉止時）

水密扉No.	扉名称	板の厚さ h (cm)	ヤング率 E (kg/cm ²)	板の長さ b (cm)	振動数係数 λ (-)	ポアソン比 ν (-)	密度 ρ (kg/cm ³)
RB-B3F-1	サブプレッションプール浄化系ポンプ, 原子炉冷却材浄化系非再生熱交換器漏洩試験用ラック室 水密扉	3.6	2.09×10 ⁶	198.5	2.74	0.3	7.85×10 ⁻³
RB-B2F-1	高圧代替注水系ポンプ室 水密扉	4.0	2.09×10 ⁶	150.0	2.74	0.3	7.85×10 ⁻³
TB-B2F-6	循環水配管, 電解鉄イオン供給装置室 水密扉1	4.5	2.09×10 ⁶	100.0	2.74	0.3	7.85×10 ⁻³
TB-B2F-7	循環水配管, 電解鉄イオン供給装置室 水密扉2	4.5	2.09×10 ⁶	100.0	2.74	0.3	7.85×10 ⁻³
TB-MB2F-5	循環水系配管メンテナンス室 水密扉1	4.5	2.09×10 ⁶	100.0	2.74	0.3	7.85×10 ⁻³
TB-MB2F-6	循環水系配管メンテナンス室 水密扉2	4.5	2.09×10 ⁶	100.0	2.74	0.3	7.85×10 ⁻³

表 3-4 扉板をモデル化した場合の算出条件（扉開放時）

水密扉No.	扉名称	はり長さ L (mm)	ヤング率 E (MPa)	断面二次モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/m)
RB-B3F-1	サブプレッションプール浄化系ポンプ, 原子炉冷却材浄化系非再生熱交換器漏洩試験用ラック室 水密扉	1985	2.05×10 ⁵	8.160×10 ⁶	6.07×10 ²
RB-B2F-1	高圧代替注水系ポンプ室 水密扉	1500	2.05×10 ⁵	1.120×10 ⁷	1.08×10 ³
TB-B2F-6	循環水配管, 電解鉄イオン供給装置室 水密扉1	1000	2.05×10 ⁵	1.420×10 ⁷	1.01×10 ³
TB-B2F-7	循環水配管, 電解鉄イオン供給装置室 水密扉2	1000	2.05×10 ⁵	1.410×10 ⁷	1.01×10 ³
TB-MB2F-5	循環水系配管メンテナンス室 水密扉1	1000	2.05×10 ⁵	1.570×10 ⁷	1.06×10 ³
TB-MB2F-6	循環水系配管メンテナンス室 水密扉2	1000	2.05×10 ⁵	1.570×10 ⁷	1.06×10 ³

3.3 固有振動数の算出結果

水密扉の固有振動数の算出結果を表3-5に示す。各水密扉の固有振動数は20Hz以上であり、剛構造であることを確認した。

表3-5 (1/2) 固有振動数の算出結果

水密扉No.	扉名称	固有振動数 f	
		扉閉止時	扉開放時
		(Hz)	(Hz)
RB-B3F-1	サプレッションプール浄化系ポンプ， 原子炉冷却材浄化系非再生熱交換器漏洩試験用ラック室 水密扉	60.80	32.69
RB-B3F-2	原子炉隔離時冷却系ポンプ・蒸気タービン室 水密扉	572.94	394.84
RB-B3F-3	高压炉心注水系(B)ポンプ室 水密扉	348.05	239.85
RB-B3F-4	高压炉心注水系(C)ポンプ室 水密扉	348.05	239.85
RB-B3F-5	残留熱除去系 [] ポンプ・熱交換器室 水密扉	572.94	394.84
RB-B3F-6	残留熱除去系 [] ポンプ・熱交換器室 水密扉	572.94	394.84
RB-B3F-7	残留熱除去系 [] ポンプ・熱交換器室 水密扉	572.94	394.84
RB-B3F-8	水圧制御ユニット室，計装ラック， 制御棒駆動機構マスターコントロール室 水密扉1	572.94	394.84
RB-B3F-9	水圧制御ユニット室，計装ラック， 制御棒駆動機構マスターコントロール室 水密扉2	572.94	394.84
RB-B3F-10	水圧制御ユニット室，計装ラック室 水密扉1	572.94	394.84
RB-B3F-11	水圧制御ユニット室，計装ラック室 水密扉2	572.94	394.84
RB-B2F-1	高压代替注水系ポンプ室 水密扉	118.31	50.28
RB-1F-2	[]	141.67	97.63
RB-1F-3	[]	103.26	71.16
RB-2F-1	燃料プール冷却浄化系熱交換器室，燃料プール冷却浄化系弁室水密扉	134.47	92.67
TB-B2F-1	タービン建屋地下2階北西階段室 水密扉	425.54	293.26
TB-B2F-2	タービン補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉	756.17	521.11
TB-B2F-3	[] 原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉	707.25	487.39

表 3-5 (2/2) 固有振動数の算出結果

水密扉No.	扉名称	固有振動数 f	
		扉閉止時	扉開放時
		(Hz)	(Hz)
TB-B2F-4	建屋間連絡水密扉 (タービン建屋地下2階～配管トレンチ)	375.00	258.43
TB-B2F-5	建屋間連絡水密扉 (タービン建屋地下2階～廃棄物処理建屋地下3階)	257.76	177.63
TB-B2F-6	循環水配管, 電解鉄イオン供給装置室 水密扉1	299.48	131.73
TB-B2F-7	循環水配管, 電解鉄イオン供給装置室 水密扉2	299.48	131.27
TB-MB2F-1	タービン建屋地下中2階南西階段室 水密扉	425.54	293.26
TB-MB2F-2	タービン建屋地下中2階北西階段室 水密扉	473.59	326.37
TB-MB2F-3	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室 水密扉1	216.53	149.22
TB-MB2F-4	計装用圧縮空気系・所内用圧縮空気系空気圧縮機室 水密扉2	267.86	184.60
TB-MB2F-5	循環水系配管メンテナンス室 水密扉1	299.48	135.21
TB-MB2F-6	循環水系配管メンテナンス室 水密扉2	299.48	135.21
TB-B1F-3	原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉	601.46	414.49
TB-B1F-4	タービン建屋地下1階南西階段室 水密扉	425.54	293.26
TB-B1F-6	タービン建屋地下1階北西階段室 水密扉	425.54	293.26
TB-B1F-7	原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 水密扉	601.46	414.49
TB-1F-1		111.69	76.97
TB-1F-2		514.33	354.44
TB-1F-3		425.54	293.26
TB-1F-4		425.54	293.26
TB-1F-5		269.86	185.97
TB-1F-6		228.53	157.49
TB-1F-7		101.84	70.18
CB-B2F-1	6号機常用電気品室 水密扉	707.30	487.43
CB-1F-1	6号機プロセス計算機室 水密扉	1418.84	977.78
Y-1	フィルタベントエリア 水密扉	59.28	40.85
Y-2	燃料移送ポンプエリア (B系) 水密扉	83.46	57.51

4. 耐震評価方法

4.1 評価対象部位

評価対象部位は「2.3 構造計画」に示す水密扉の構造上の特徴を踏まえ選定する。

基準地震動 S_s による地震荷重により水密扉に生じる慣性力は、ヒンジ（ヒンジ板、ヒンジピン及びヒンジボルト）及び締付装置部（締付装置、締付装置受けピン及び締付装置受けボルト）から扉枠に伝わり、扉枠を固定するアンカーボルトを介し、開口部周囲の躯体に伝達されることから、評価対象部位をヒンジ、締付装置部及びアンカーボルトとする。また、アンカーボルトに発生する応力が最大となる状態で評価を行うことを考慮し、扉が 0° 、 90° 又は 180° の開閉状態における評価を行うとともに、地震荷重の作用により応力が集中する扉の状態を踏まえ、ヒンジ側アンカーボルトを評価対象とする。

また、結果が厳しい評価対象部位を有する水密扉を代表として評価するものとし、水密扉No. RB-B3F-3, TB-1F-1, TB-1F-7, CB-B2F-1, Y-1及びY-2を抽出した。

水密扉閉止時に水密扉に作用する荷重の作用図を図4-1に、水密扉開放時に水密扉に作用する荷重の作用図を図4-2に示す。

K6 ① VI-2-10-2-2-3-1 R0

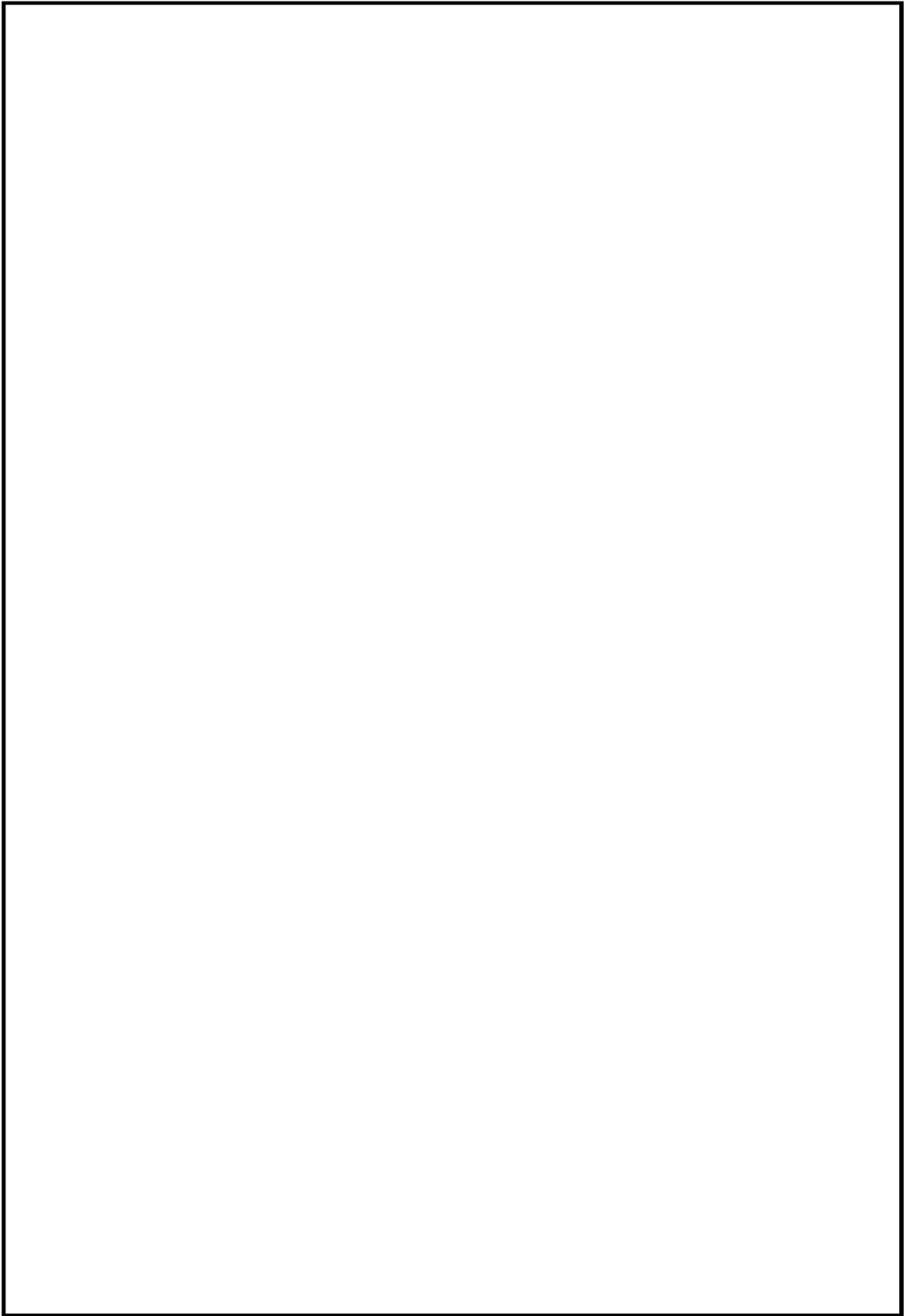


図 4-1 水密扉に作用する荷重の作用図 (水密扉閉止時)

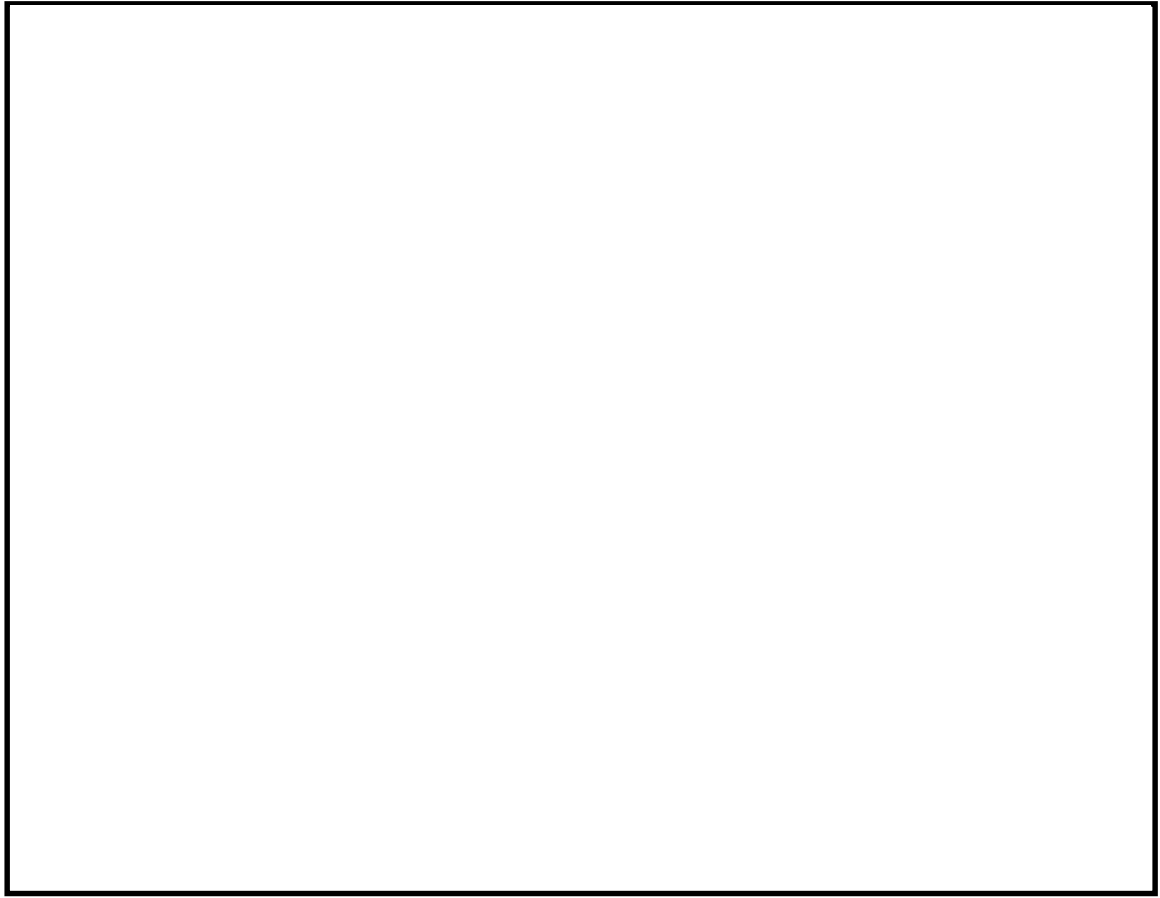


図 4-2 水密扉に作用する荷重の作用図 (水密扉開放時)

4.2 荷重及び荷重の組合せ

4.2.1 荷重の組合せ

水密扉の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s$$

ここで、 G : 固定荷重(kN)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重(kN)

水密扉は、上載物の荷重を負担する又は影響を受ける構造となっていないことから、積載荷重については考慮しない。

4.2.2 荷重

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として水密扉の自重を考慮する。自重は「4.6 評価条件」に示す。

(2) 地震荷重 (S_s)

地震荷重は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。「3. 固有値解析」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重(kN)

G : 固定荷重(kN)

k : 設計震度

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして評価する。

4.3 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

4.3.1 使用材料

水密扉を構成するヒンジ、締付装置部及びアンカーボルトの使用材料を表4-1に示す。

表4-1 使用材料

評価対象部位		材質	仕様
ヒンジ	ヒンジ板	SS400 SUS304	高さ(mm) 80, 120, 90 厚さ(mm) 40, 120, 90
	ヒンジピン	SUS304 S45C SCM440	径(mm) 25, 35, 75
	ヒンジボルト	SUS304 SCM435	φ14, φ30, M12, M16, M30
締付装置部	締付装置	SUS304	径(mm) 30, 35, 40, 50
	締付装置 受けピン	SS400 SUS304 S45C SCM440	φ20, M16
	締付装置 受けボルト	SS400 SUS304 SCM435	φ16, M6, M16
アンカーボルト		SS400 SUS304	M16, M20

4.3.2 許容限界

(1) ヒンジ，締付装置部，アンカーボルト

鋼材の許容応力度は，「S規準」を踏まえて表4-2の値とする。

表4-2 鋼材の短期許容応力度

材質*2	短期許容応力度(N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SS400 (t ≤ 40) *1	235	135
SS400 (100 < t) *1	205	118
SUS304	205	118
S45C	345	199
SCM435	651	375
SCM440	686	396

注記*1：tは板厚（mm）を示す。

*2：許容応力度を決定する場合の基準値Fは，日本産業規格（J I S）に基づく。

(2) アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は，「4.1 評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010改定）」に基づき算定する。

地震荷重を考慮する場合のアンカーボルトの許容限界を表4-3に示す。

なお，評価対象部位のアンカーボルトが引張力を受ける場合においては，アンカーボルトの降伏により決まる許容応力，付着力により決まる許容応力を比較して，いずれか小さい値を採用する。また，評価対象部位のアンカーボルトがせん断力を受ける場合においては，アンカーボルトのせん断強度により決まる許容応力，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容応力及びコーン状破壊により決まる許容応力を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 4-3 地震荷重を考慮する場合のアンカーボルトの許容限界

水密扉No.	扉名称	許容耐力 (kN/本)	
		せん断	引張
RB-B3F-3	高压炉心注水系 (B) ポンプ室 水密扉	16.6	82.9
TB-1F-1		10.3	37.4
TB-1F-7	建屋間連絡水密扉 (タービン建屋地上1階～廃棄物処理建屋地上1階)	22.3	39.9
CB-B2F-1	6号機常用電気品室 水密扉	25.8	34.1
Y-1	フィルタベントエリア 水密扉	21.4	23.7
Y-2	燃料移送ポンプエリア (B系) 水密扉	29.6	51.5

注：扉が開放状態のとき，地震力による応力がヒンジ側に集中する扉の構造を考慮し，ヒンジ側アンカーボルトのみ選定した。

4.4 設計用地震力

「3. 固有値解析」に示したとおり、水密扉の固有振動数が20Hz以上であることを確認したため、水密扉の耐震評価で用いる設計震度は、材料物性の不確かさを考慮したものとしてVI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」、VI-2-2-5「タービン建屋の地震応答計算書」、VI-2-2-9「コントロール建屋の地震応答計算書」、VI-2-2-13「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書」及びVI-2-9-3-1「原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）の耐震性についての計算書」によることとし、建屋の階ごとの設計震度を表4-4に示す。

ここで、最大応答加速度を保守的に評価するために、最大応答加速度の抽出位置は水密扉設置階の上階の値とする。ただし、原子炉建屋B2F階の水平方向の設計震度は同階の値とする。

表4-4 設計震度

(a) 水平方向

(b) 鉛直方向

建屋	階	T. M. S. L.	基準地震動 S _s の設計震度 k _H
原子炉 建屋	4F	31.7m	1.15
	3F	23.5m	1.01
	2F	18.1m	0.935
	1F	12.3m	0.885
	B1F	4.8m	0.837
	B2F	-1.7m	0.849
タービン 建屋	3F	30.9m	1.85
	2F	20.4m	1.46
	1F	12.3m	1.13
	B1F	4.9m	0.881
	MB2F	-1.1m	0.820
	B2F	-5.1m	0.795
フィルタベント エリア	—	26.3m	2.48
燃料移送ポンプ エリア	—	16.3m	1.60
コントロール 建屋	2F	17.3m	1.37
	1F	12.3m	1.27
	B1F	6.5m	1.22
	MB2F	1.0m	1.12
	B2F	-2.7m	1.08

建屋	階	T. M. S. L.	基準地震動 S _s の設計震度 k _{UD}
原子炉 建屋	4F	31.7m	0.960
	3F	23.5m	0.935
	2F	18.1m	0.907
	1F	12.3m	0.873
	B1F	4.8m	0.839
	B2F	-1.7m	0.837
タービン 建屋	3F	30.9m	0.906
	2F	20.4m	0.851
	1F	12.3m	0.801
	B1F	4.9m	0.748
	MB2F	-1.1m	0.745
	B2F	-5.1m	0.748
フィルタベント エリア	—	26.3m	0.907
燃料移送ポンプ エリア	—	16.3m	1.00
コントロール 建屋	2F	17.3m	0.927
	1F	12.3m	0.901
	B1F	6.5m	0.868
	MB2F	1.0m	0.836
	B2F	-2.7m	0.809

4.5 評価方法

4.5.1 応力算定

(1) ヒンジ

ヒンジは、ヒンジ板、ヒンジピン及びヒンジボルトで構成されており、次式により算定するスラスト荷重（回転軸線方向荷重）及び転倒力から、各部材に発生する応力を算定する。ここで、扉の重量は2箇所（ヒンジ）で支持することから、ヒンジに生じる転倒力には、扉上半分の重量を慣性力として作用させるものとする。ヒンジに生じる荷重の例を図4-3に示す。

$$W_1 = G + k_{UD} \cdot G$$

$$F_1 = W_1 \cdot L_1 / L_2 + k_H \cdot G / 2$$

W_1 : スラスト荷重(kN)

G : 扉重量(kN)

k_H : 水平震度

k_{UD} : 鉛直震度

F_1 : 転倒力(kN)

L_1 : 扉重心とヒンジ芯間距離(mm)

L_2 : ヒンジ芯間距離(mm)

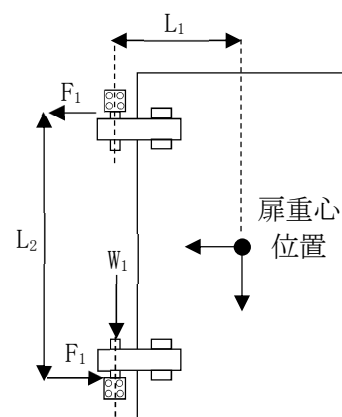


図4-3 ヒンジに生じる荷重の例

a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる応力は、次式により算定する。ヒンジ板に生じる荷重の例を図4-4に示す。

$$M = W_1 \cdot L_3 \cdot 10^{-3}$$

$$Q = W_1$$

M : ヒンジ板に生じる曲げモーメント(kN・m)

W_1 : スラスト荷重(kN)

L_3 : ヒンジ板の2軸間距離(mm)

Q : ヒンジ板に生じるせん断力(kN)

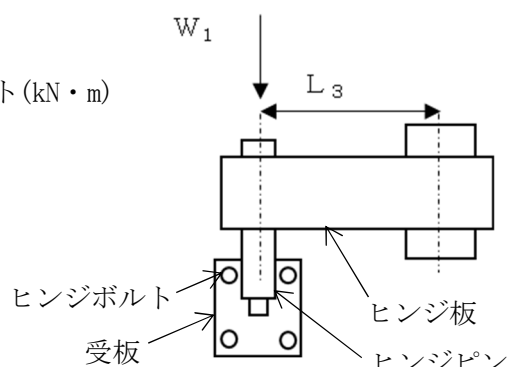


図4-4 ヒンジ板に生じる荷重の例

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる応力は、次式により算定する。ヒンジピンに生じる荷重の例を図4-5に示す。

$$M = F_1 \cdot L_4 \cdot 10^{-3}$$

$$Q = F_1$$

M : ヒンジピンに生じる曲げモーメント (kN・m)

F_1 : 転倒力 (kN)

L_4 : ヒンジ板と受板間距離 (mm)

Q : ヒンジピンに生じるせん断力 (kN)

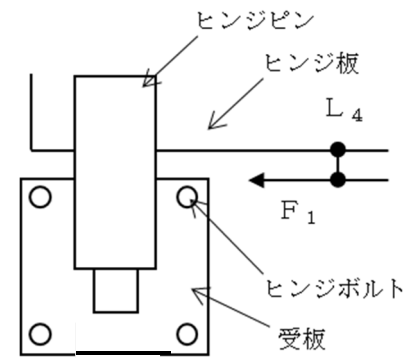


図 4-5 ヒンジピンに生じる荷重の例

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じる応力は、次式により算定する。ヒンジボルトに生じる荷重の例を図4-6に示す。

$$Q = \sqrt{(W_1/n_1)^2 + (F_1/n_1)^2}$$

W_1 : スラスト荷重 (kN)

F_1 : 転倒力 (kN)

n_1 : ヒンジボルトの本数

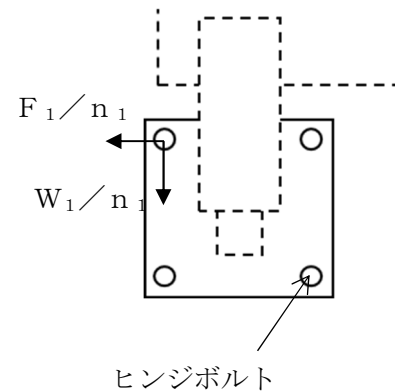


図 4-6 ヒンジボルトに生じる荷重の例

(2) 締付装置部

締付装置部は、締付装置、締付装置受けピン及び締付装置受けボルトで構成されており、生じる応力は次式により算定する。

締付装置部に作用する荷重の例を図4-7に示す。

R_1 : 地震力に伴う荷重の反力(kN)

ここで、 $R_1 = k_H \cdot G / n_2$

R_1 : 締付装置に生じる地震力に伴う荷重の反力(kN)

n_2 : 締付装置の本数

k_H : 水平震度

G : 扉重量(kN)

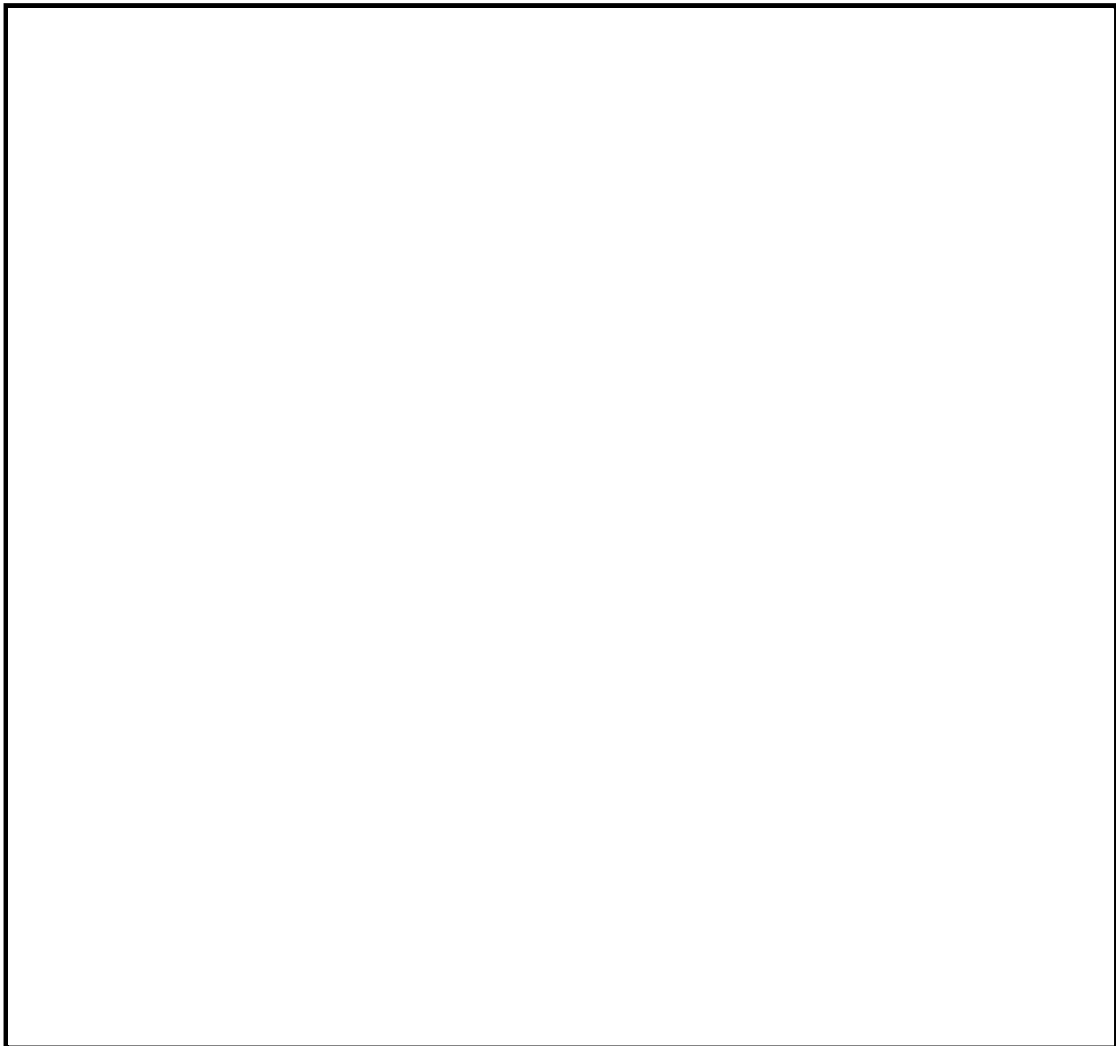


図4-7 締付装置部に生じる荷重の例

a. 締付装置

締付装置に生じる応力は、次式により算定する。なお、算定に当たっては、締付装置受けピン中心位置を固定端とした片持ちばりとして評価し、締付装置の取付部位に応じて作用する応力を考慮する。締付装置に生じる荷重の例を図4-8に示す。

$$M = R_1 \cdot L_5 \cdot 10^{-3}$$

M：締付装置の最大曲げモーメント(kN・m)

ここで、 $R_1 = k_H \cdot G / n_2$

R_1 ：締付装置に生じる地震力に伴う荷重の反力(kN)

L_5 ：締付装置の突出長さ(mm)

k_H ：水平震度

G：扉重量(kN)

n_2 ：締付装置の本数

$$Q = R_1$$

Q：締付装置の最大せん断力(kN)

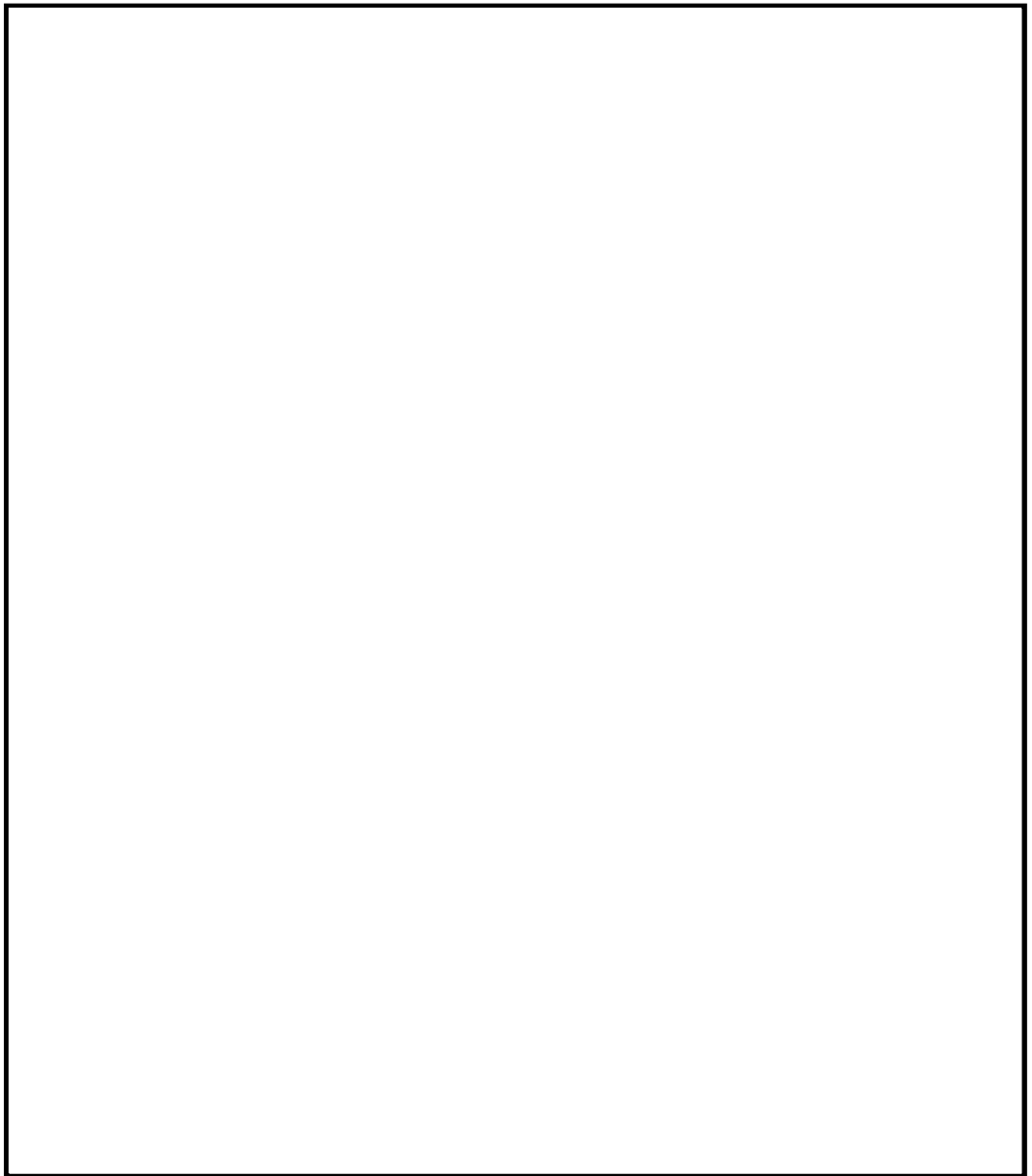


図 4-8 締付装置に生じる荷重の例

b. 縮付装置受けピン

縮付装置受けピンに生じる応力は、次式により算定する。なお、算定にあたっては、縮付装置の形状に応じて縮付装置受けピンに作用する応力を考慮する。縮付装置受けピンに生じる荷重の例を図4-9に示す。

(縮付装置と縮付装置受けピンが線接触する場合)

縮付装置受けピンを部分等分布荷重が作用する両端固定はりともみなし、次式により算定する。

$$M = R_1 (L_p^3 - 8 \cdot a'^3) / (24 \cdot b' \cdot L_p)$$

M : 締め付け装置受けピンの最大曲げモーメント(kN・m)

$$a' = (L_p - b') / 2$$

ここで、 $R_1 = k_H \cdot G / n_2$

R_1 : 縮付装置受けピンに生じる地震力に伴う荷重の反力(kN)

L_p : 縮付装置受けピンの軸支持間距離(mm)

a' : 縮付装置受けピンの支持点から縮付装置軸の表面までの距離(mm)

b' : 縮付装置と縮付装置受けピンが接する長さ(mm)

k_H : 水平震度

G : 扉重量

n_2 : 縮付装置の本数

$$Q = R_1 / 2$$

Q : 縮付装置受けピンの最大せん断力(kN)

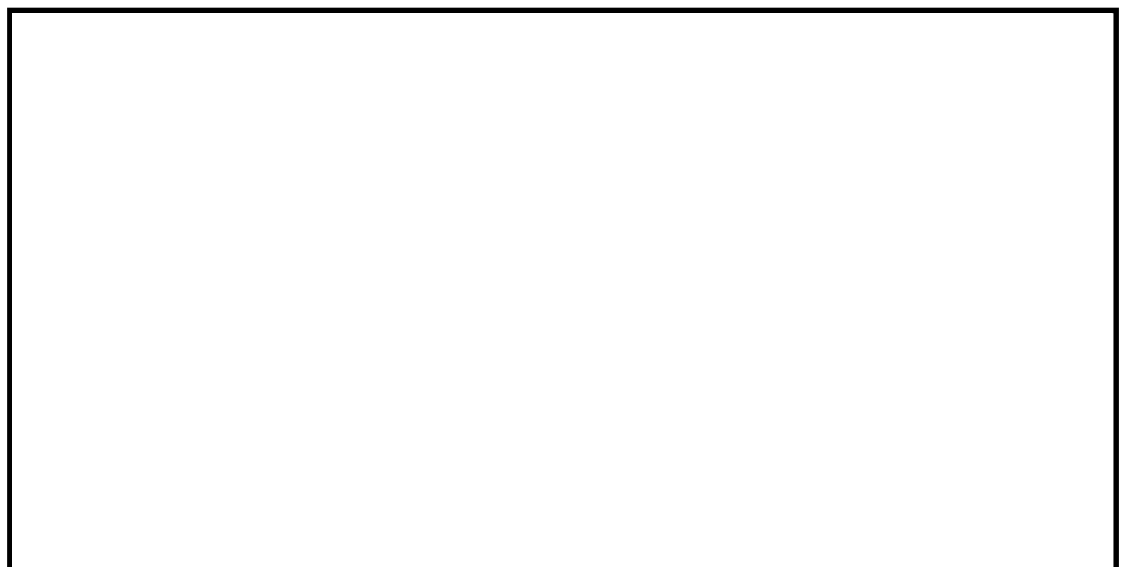


図4-9 (1/2) 縮付装置受けピンに生じる荷重の例
(縮付装置と縮付装置受けピンが線接触する場合)

(縮付装置と縮付装置受けピンが点接触する場合)

縮付装置受けピンを集中荷重が作用する両端固定はりとみなし，次式により算定する。

$$M = R_1 \cdot L_p \cdot 10^{-3} / 4$$

M : 縮付装置受けピンの最大曲げモーメント (kN・m)

ここで， $R_1 = k_H \cdot G / n_2$

R_1 : 縮付装置受けピンに生じる地震力に伴う荷重の反力 (kN)

L_p : 縮付装置受けピンの軸支持間距離 (mm)

k_H : 水平震度

G : 扉重量 (kN)

n_2 : 縮付装置の本数

$$Q = R_1 / 2$$

Q : 縮付装置受けピンの最大せん断力 (kN)



図4-9 (2/2) 縮付装置受けピンに生じる荷重の例
(縮付装置と縮付装置受けピンが点接触する場合)

c. 締付装置受けボルト

締付装置受けボルトに生じる応力は、次式により算定する。締付装置受けボルトに生じる荷重の例を図4-10に示す。

$$T = R_1 / n_b$$

T : 締付装置受けボルトの最大引張力(kN)

ここで、 $R_1 = (k_H \cdot G) / n_2$

R_1 : 締付装置に生じる地震力に伴う荷重の反力(kN)

n_b : 締付装置受けボルトの本数

k_H : 水平震度

G : 扉重量

n_2 : 締付装置の本数

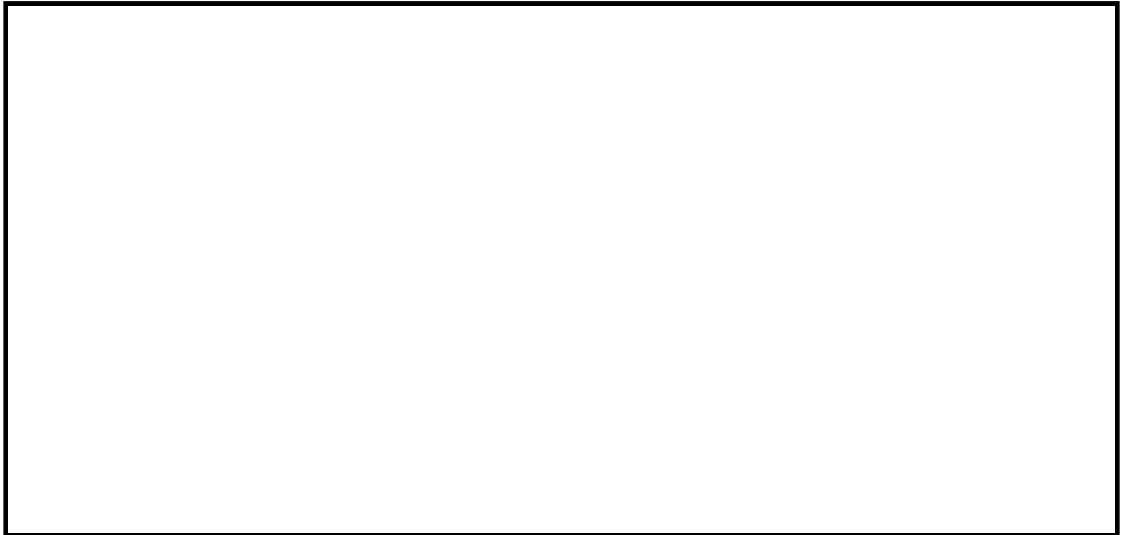


図 4-10 締付装置受けボルトに生じる荷重の例

(3) アンカーボルト

アンカーボルトに生じる応力は、「4.1 評価対象部位」に基づき、地震荷重を考慮する場合はヒンジ側のアンカーボルトで荷重を負担するものとして算出する。ここで、アンカーボルトに作用する荷重は、引張力又はせん断力として作用する。評価対象のアンカーボルトの範囲は図4-11に示すとおり、転倒力が作用する範囲はヒンジ側の1/2に限定し、枠の慣性力は枠全体の重量の1/4を評価において考慮する。また、扉の開放角度ごとアンカーボルトにかかる荷重の作用状況を図4-12に示す。

$$F_{1a} = F_1 + k_H \cdot w_a / 4$$

F_{1a} : 扉と扉枠の重量を含んだ転倒力(kN)

F_1 : 転倒力(kN)

k_H : 水平震度

w_a : 扉枠の重量(kN)

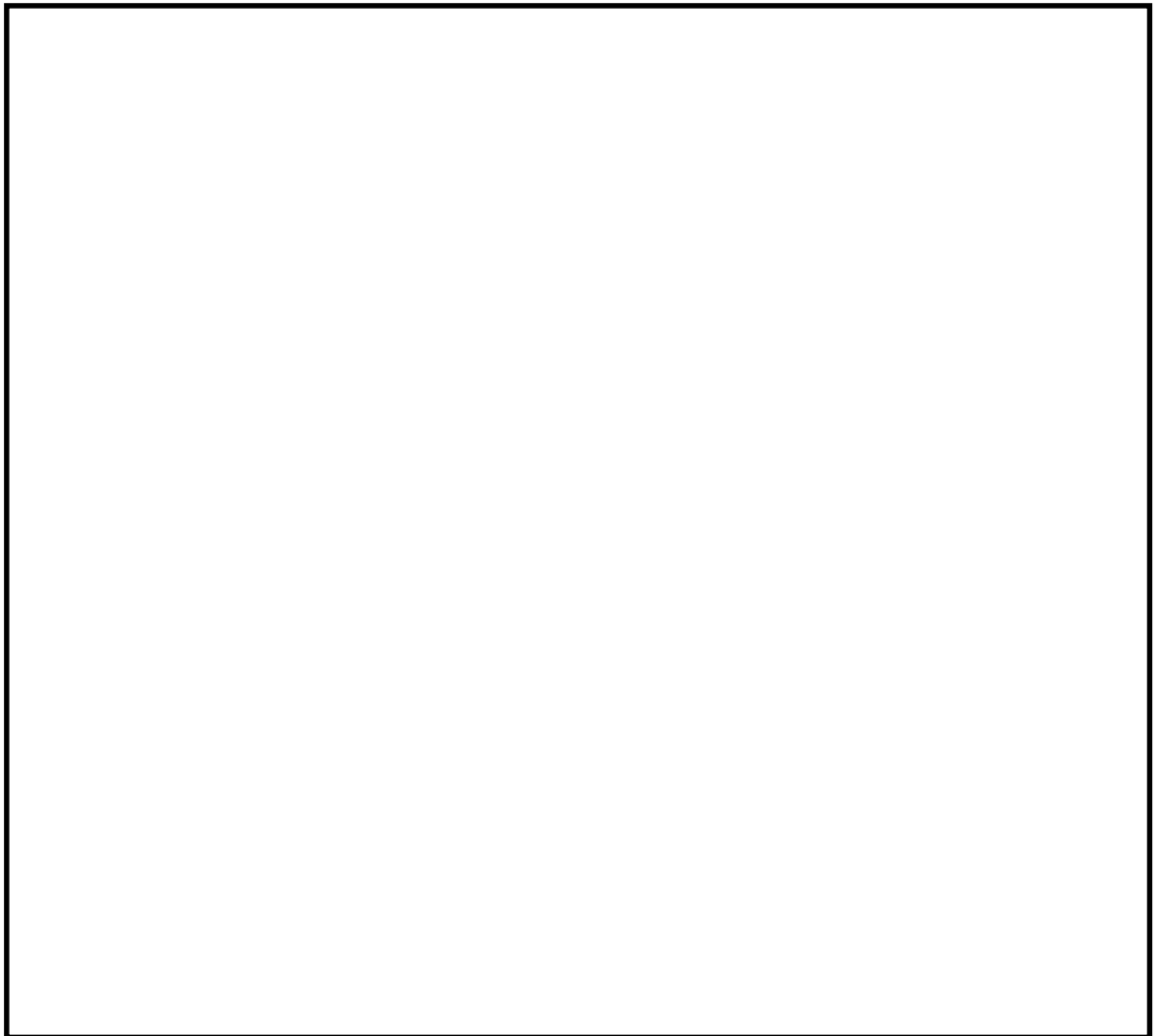


図4-11 地震荷重を考慮する場合のヒンジ側アンカーボルトに生じる荷重の例

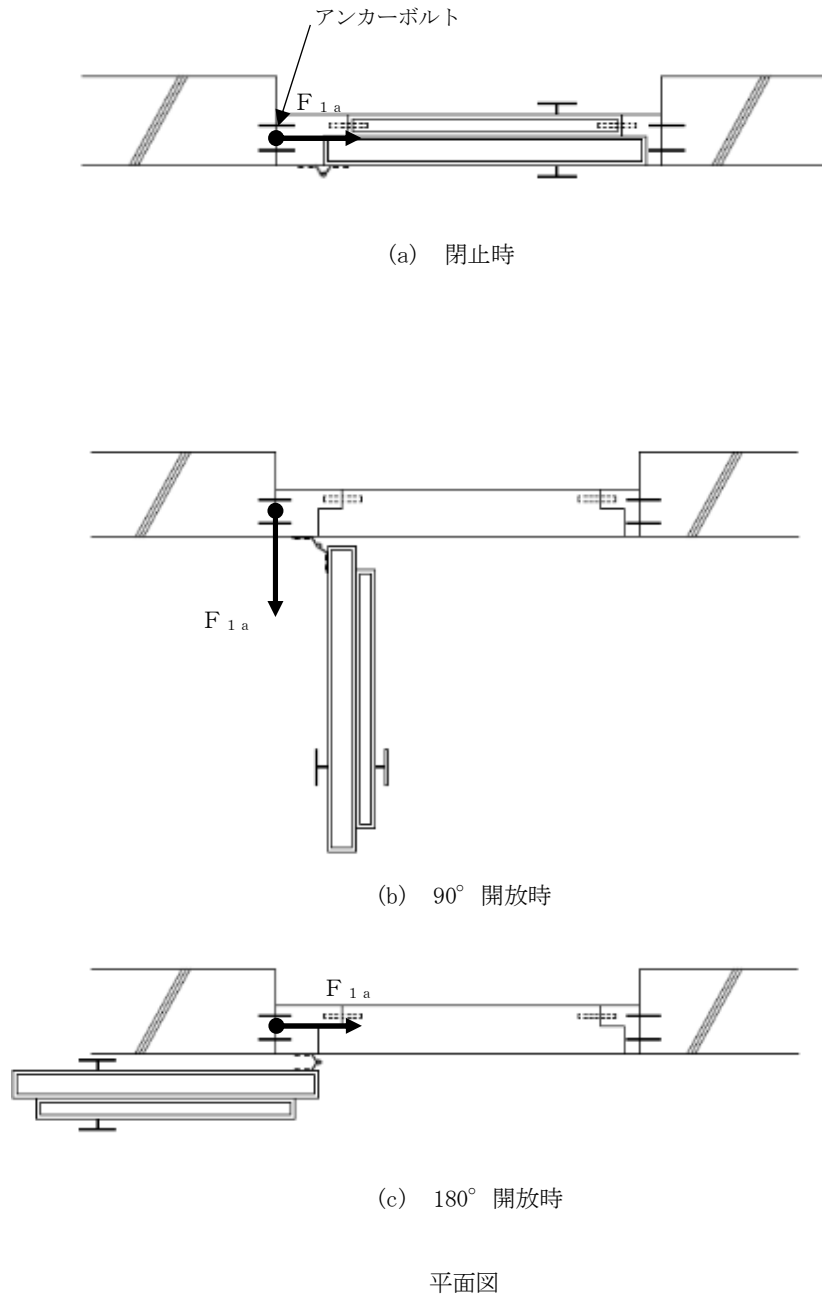


図 4-12 扉の開放角度別のアンカーボルトにかかる荷重の作用状況

4.5.2 断面検定

各部材に生じる応力より算定する応力度等が、許容限界値を下回ることを確認する。なお、異なる荷重が同時に作用する部材については、組合せを考慮する。

(1) ヒンジ

a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、ヒンジ板の短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

x : 組合せ応力度(N/mm²)

ここで、 $\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$

σ : ヒンジ板に生じる曲げ応力度(N/mm²)

M : ヒンジ板に生じる曲げモーメント(kN・m)

Z : ヒンジ板の断面係数(mm³)

$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$

τ : ヒンジ板に生じるせん断応力度(N/mm²)

Q : ヒンジ板に生じるせん断力(kN)

A_s : ヒンジ板のせん断断面積(mm²)

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、ヒンジピンの短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

x : 組合せ応力度(N/mm²)

ここで、 $\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$

σ : ヒンジピンに生じる曲げ応力度(N/mm²)

M : ヒンジピンに生じる曲げモーメント(kN・m)

Z : ヒンジピンの断面係数(mm³)

$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$

τ : ヒンジピンに生じるせん断応力度(N/mm²)

Q : ヒンジピンに生じるせん断力(kN)

A_s : ヒンジピンのせん断断面積(mm²)

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じるせん断応力度を次式により算定し、ヒンジボルトの短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

τ : ヒンジボルトの最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : ヒンジボルトの最大せん断力 (kN)

A_s : ヒンジボルトのせん断断面積 (mm²)

(2) 締付装置部

a. 締付装置

締付装置に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から，組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し，締付装置の短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

ここで， $\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$

σ : 締付装置の最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 締付装置の最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 締付装置の断面係数 (mm³)

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

τ : 締付装置の最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 締付装置の最大せん断力 (kN)

A_s : 締付装置のせん断断面積 (mm²)

b. 締付装置受けピン

締付装置受けピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から，組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し，締付装置受けピンの短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

ここで， $\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$

σ : 締付装置受けピンの最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 締付装置受けピンの最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 締付装置受けピンの断面係数 (mm³)

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

τ : 締付装置受けピンの最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 締付装置受けピンの最大せん断力 (kN)

A_s : 締付装置受けピンのせん断断面積 (mm²)

c. 締付装置受けボルト

締付装置受けボルトに生じる引張応力度を次式により算定し、締付装置受けボルトの短期許容応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_t = (T \cdot 10^3) / A$$

σ_t : 締付装置受けボルトの最大引張応力度 (N/mm²)

T : 締付装置受けボルトの最大引張力 (kN)

A : 締付装置受けボルトの断面積 (mm²)

(3) アンカーボルト

アンカーボルト1本当りに生じる引張力又はせん断力を算定し、アンカーボルトの許容荷重以下であることを確認する。

$$(T_d / T_a)^2 + (Q_d / Q_a)^2 \leq 1.0$$

$$T_d / T_a \leq 1.0$$

ここで、 $T_d = F_{1a} / n_3$

T_d : アンカーボルト1本当りの引張力 (kN)

T_a : アンカーボルト1本当りの短期許容引張力 (kN)

F_{1a} : 扉と扉枠の重量を含んだ転倒力 (kN)

n_3 : ヒンジ側アンカーボルトの本数

$$Q_d / Q_a \leq 1.0$$

ここで、 $Q_d = F_{1a} / n_3$

Q_d : アンカーボルト1本当りのせん断力 (kN)

Q_a : アンカーボルト1本当りの短期許容せん断力 (kN)

4.6 評価条件

耐震評価に用いる評価条件を表4-5に示す。

表4-5 耐震評価に用いる条件

対象部位	記号	単位	定義	水密扉No.						
				RB-B3F-3	TB-1F-1	TB-1F-7	CB-B2F-1	Y-1	Y-2	
共通	G	kN	扉重量	6.09	50.5	41.2	7.36	10.8	12.7	
	k_H	—	水平震度	0.849	1.46	1.46	1.12	2.48	1.6	
	k_{UD}	—	鉛直震度	0.837	0.851	0.851	0.836	0.907	1.000	
	L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離	730	1380	1407.5	547.5	740	732	
	L_2	mm	ヒンジ芯間距離	1776	2028	2001	1780	1550	1382	
	W_1	kN	スラスト荷重	11.2	93.6	76.3	13.6	20.6	25.5	
	F_1	kN	転倒力	7.19	101	83.8	8.31	23.3	23.7	
ヒンジ	ヒンジ板	L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離	220	315	315	235	105	250
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	58.0	103	83.7	75.2	18.0	66.5
		τ	N/mm ²	せん断応力度	5.25	9.75	7.95	6.38	3.82	7.97
	ヒンジピン	L_4	mm	ヒンジ板と受板間距離	31	43.5	51.75	25	5	25
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	146	107	105	136	27.9	70.8
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	4	4	8	4	8	8
		τ	N/mm ²	せん断応力度	52.7	82.0	26.9	33.9	61.6	37.8
縮付装置部	共通	n_2	本	縮付装置の本数	2	4	8	2	6	2
		L_5	mm	縮付装置の突出長さ	40	43	98	41	30	35
	縮付装置	σ	N/mm ²	曲げ応力度	8.53	65.3	60.5	27.1	32.2	135
		τ	N/mm ²	せん断応力度	1.77	12.6	5.12	4.41	6.20	19.3
		L_p	mm	縮付装置受けピンの軸支持間距離	88	— *1	58	75	—	51
	縮付装置受けピン	b'	mm	縮付装置と縮付装置受けピンが接する長さ	— *2	— *1	— *2	— *2	— *2	— *2
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	72.7	— *1	141	194	—	167.0
		τ	N/mm ²	せん断応力度	5.53	— *1	16	13.8	—	21.7
	縮付装置受けボルト	n_b	本	縮付装置受けボルトの本数	2	— *1	2	2	—	4
		σ_t	N/mm ²	引張応力度	6.47	— *1	18.8	10.3	—	135
アンカーボルト	w_a	kN	扉枠の重量	3.24	42.2	18.3	2.95	17.7	9.7	
	n_3	本	ヒンジ側アンカーボルトの本数	6	30	10	4	30	6	
	T_d	kN	アンカーボルト1本当りの引張力	2.63	7.80	18.1	4.57	2.29	9.20	
	Q_d	kN	アンカーボルト1本当りのせん断力	2.63	7.80	18.1	4.57	2.29	9.20	
	T_a	kN	アンカーボルト1本当りの短期許容引張力	82.9	37.4	39.9	34.1	23.7	51.5	
	Q_a	kN	アンカーボルト1本当りの短期許容せん断力	16.6	10.3	22.3	25.8	21.4	29.6	

注記* 1 : 対象部材がないことを示す。

* 2 : 縮付装置受けピンが縮付装置と点接触することを示す。

5. 評価結果

水密扉の評価結果を表 5-1 に示す。各部材の断面検定を行った結果、全ての水密扉において、発生応力度又は荷重が許容限界値を下回る。

表 5-1 水密扉の断面検定結果

水密扉No.	評価対象部材		発生応力度 又は応力 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	検定値
RB-B3F-3	ヒンジ	ヒンジ板*2	58.8	235	0.26
		ヒンジピン*2	150	345	0.44
		ヒンジボルト	52.7	375	0.15
	締付装置部	締付装置*2	9.07	205	0.05
		締付装置受けピン*2	73.4	345	0.22
		締付装置受けボルト	6.47	235	0.03
アンカーボルト*1		2.63	16.6	0.16	
TB-1F-1	ヒンジ	ヒンジ板*2	105	205	0.52
		ヒンジピン*2	120	686	0.18
		ヒンジボルト	82.0	375	0.22
	締付装置部	締付装置*2	68.9	205	0.34
		締付装置受けピン	— *3	— *3	— *3
		締付装置受けボルト	— *3	— *3	— *3
アンカーボルト*1		7.80	10.3	0.76	
TB-1F-7	ヒンジ	ヒンジ板*2	84.9	205	0.42
		ヒンジピン*2	114	686	0.17
		ヒンジボルト	26.9	375	0.08
	締付装置部	締付装置*2	61.2	205	0.30
		締付装置受けピン	144	686	0.21
		締付装置受けボルト	18.8	235	0.08
アンカーボルト*1		18.1	22.3	0.82	
CB-B2F-1	ヒンジ	ヒンジ板*2	76.1	235	0.33
		ヒンジピン*2	142	345	0.42
		ヒンジボルト	33.9	375	0.10
	締付装置部	締付装置*2	28.2	205	0.14
		締付装置受けピン	196	205	0.96
		締付装置受けボルト	10.3	651	0.02
アンカーボルト*1		4.57	25.8	0.18	
Y-1	ヒンジ	ヒンジ板*2	19.2	205	0.10
		ヒンジピン*2	62.6	205	0.31
		ヒンジボルト	61.6	118	0.53
	締付装置部	締付装置*2	34.0	205	0.17
		締付装置受けピン	— *3	— *3	— *3
		締付装置受けボルト	— *3	— *3	— *3
アンカーボルト*1		2.29	21.4	0.11	
Y-2	ヒンジ	ヒンジ板*2	68.0	235	0.29
		ヒンジピン*2	76.4	205	0.38
		ヒンジボルト	37.8	118	0.33
	締付装置部	締付装置*2	140	205	0.69
		締付装置受けピン	172	235	0.74
		締付装置受けボルト	135	205	0.66
アンカーボルト*1		9.20	29.6	0.32	

注記* 1: アンカーボルトについては、単位をkNとする。

* 2: 組合せ荷重を記載する。

* 3: 対象部材がないことを示す。

VI-2-10-2-3-2 水密扉付止水堰の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 検討対象の水密扉付止水堰一覧	2
2.2 配置概要	3
2.3 構造計画	5
2.4 評価方針	9
2.5 適用規格・基準等	10
2.6 記号の説明	11
3. 固有振動数及び設計用地震力	13
3.1 固有振動数の計算方法	13
3.1.1 解析モデルの設定	13
3.1.2 記号の説明	15
3.1.3 固有振動数の算出方法	15
3.2 固有振動数の計算条件	16
3.3 固有振動数の計算結果	16
3.4 設計用地震力	17
4. 耐震評価方法	18
4.1 評価対象部位	18
4.1.1 水密扉部の評価対象部位	18
4.1.2 止水堰部の評価対象部位	18
4.2 荷重及び荷重の組合せ	19
4.2.1 荷重の組合せ	19
4.2.2 荷重	19
4.3 許容限界	20
4.3.1 水密扉部（ヒンジ、締付装置部）	20
4.3.2 止水堰部	21
4.4 評価方法	22
4.4.1 水密扉部の応力算定	22
4.4.2 水密扉部の断面検定	29
4.4.3 止水堰部の応力算定	33
4.4.4 止水堰部の断面検定	38
4.5 評価条件	40
5. 評価結果	42

1. 概要

本資料は、VI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」に示すとおり、溢水防護に関する施設である水密扉付止水堰（以下「水密扉付止水堰」という。）が、基準地震動 S_s による地震力に対して、溢水伝播を防止する機能を維持するために、十分な構造強度を有することを説明するものである。その耐震評価は、応力評価により行う。止水性の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を維持することを確認するものである。

2. 一般事項

2.1 検討対象の水密扉付止水堰一覧

検討対象の水密扉付止水堰を表2-1に示す。

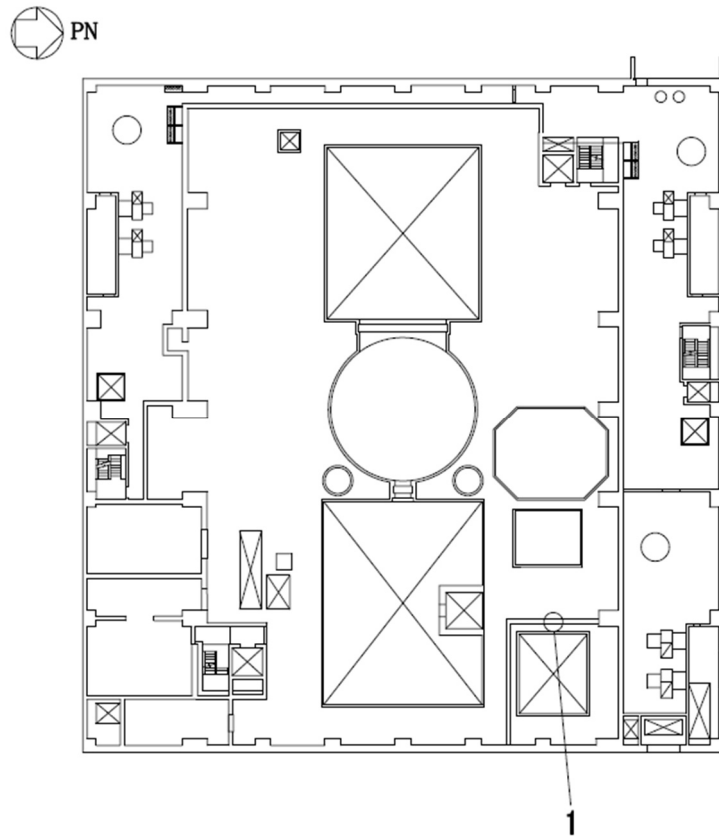
表 2-1 検討対象の水密扉付止水堰一覧

水密扉付 止水堰 No.	名称	設置床高さ (T.M.S.L.)
1	原子炉建屋地上 4 階 (R5R6-RFRG) 水密扉付止水堰	31.7m
2	タービン建屋地上 1 階 (T4-TBTC) 水密扉付止水堰	12.3m
3	タービン建屋地上 1 階 (T7-TBTC) 水密扉付止水堰	12.3m

2.2 配置概要

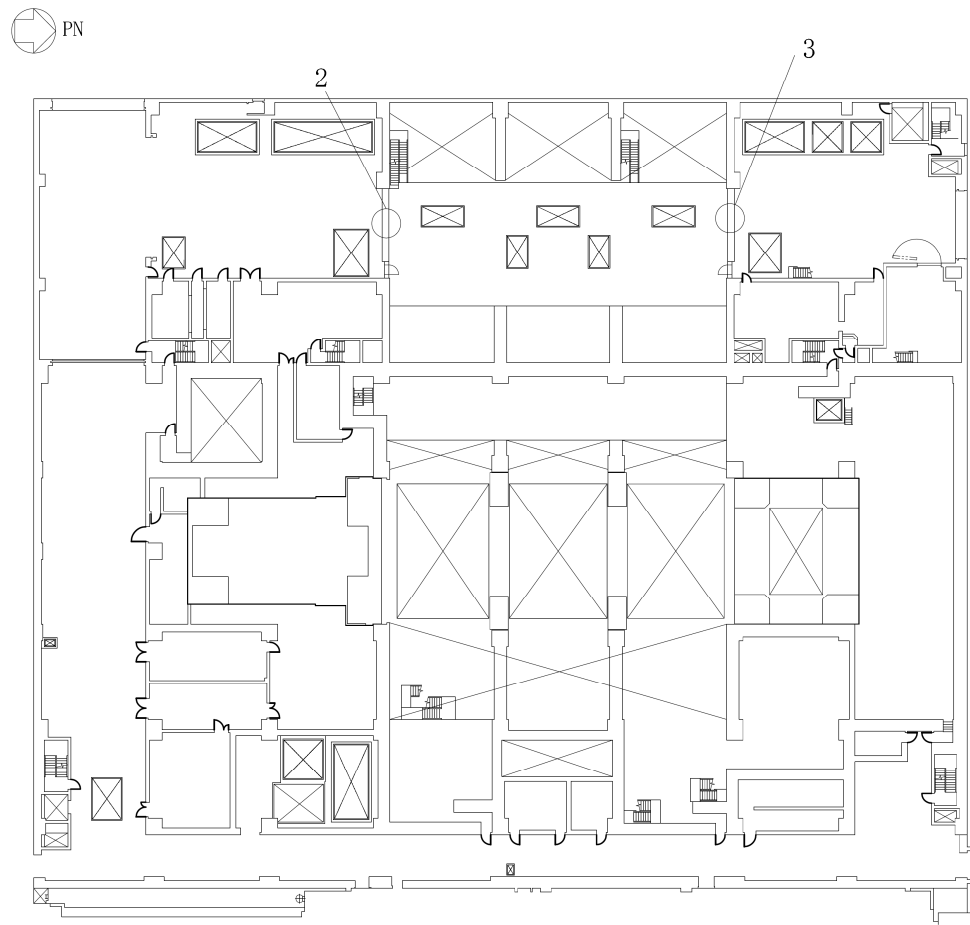
水密扉付止水堰は、VI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「4.1.4 水密扉付止水堰の設計方針」に示すとおり、原子炉建屋及びタービン建屋に設置する。

水密扉付止水堰の設置位置を図2-1、図2-2に示す。



水密扉付止水堰 No.	名称
1	原子炉建屋地上4階 (R5R6-RFRG) 水密扉付止水堰

図2-1 水密扉付止水堰の設置位置図 (原子炉建屋 T.M.S.L. 31700 mm)



水密扉付止水堰 No.	名称
2	タービン建屋地上 1 階 (T4-TBTC) 水密扉付止水堰
3	タービン建屋地上 1 階 (T7-TBTC) 水密扉付止水堰

図 2-2 水密扉付止水堰の設置位置図 (タービン建屋 T. M. S. L. 12300 mm)

2.3 構造計画

水密扉付止水堰の構造は、VI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」に示す構造計画を踏まえて、詳細な構造を設定する。水密扉付止水堰は、水密扉部と止水堰部で構成される。

それぞれの部位について構造計画を表2-2に、使用材料を表2-3、表2-4に示す。

水密扉部は、片開型の鋼製扉とし扉板の背面に芯材を配した構造である。また、閉鎖状態において締付装置により固定され水密性を確保する構造とする。

止水堰部は、鋼製板、芯材（水平材、鉛直材）、枠材及びアンカーボルトから構成され、アンカーボルトにより躯体と枠材を固定する構造とする。

水密扉付止水堰の概略構造図を図2-3に示す。

表2-2 水密扉付止水堰の構造計画

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
<p>水密扉部は、片開型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置された締付装置を鋼製の枠材(囲い型)に差込み、扉と枠材(囲い型)を一体化させる構造とする。また、扉と枠材(囲い型)の接続はヒンジを介する構造とする。</p> <p>止水堰部は、鋼製板、芯材（水平材、鉛直材）、枠材(門型、囲い型)及びアンカーボルトにて構成する。</p>	<p>水密扉部は、扉開放時においては、ヒンジにより扉が枠材(囲い型)に固定され、扉閉止時においては、締付装置により扉と枠材(囲い型)が一体化する構造とする。</p> <p>止水堰部は、鋼製板を芯材（水平材、鉛直材）が支持し、枠材(門型)で固定するものとし、枠材(門型、囲い型)をアンカーボルトにより躯体へ固定する構造とする。</p>	<p>図2-3</p>

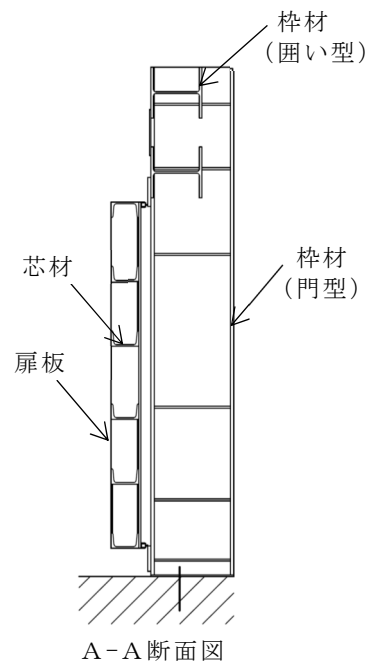
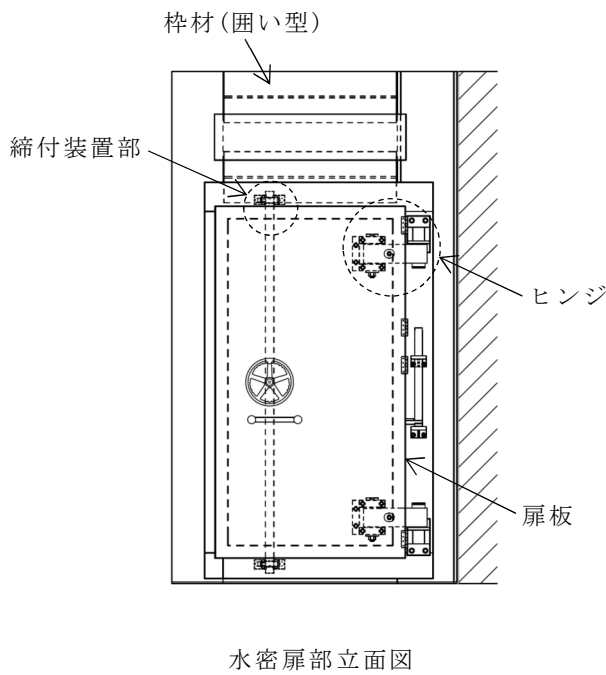
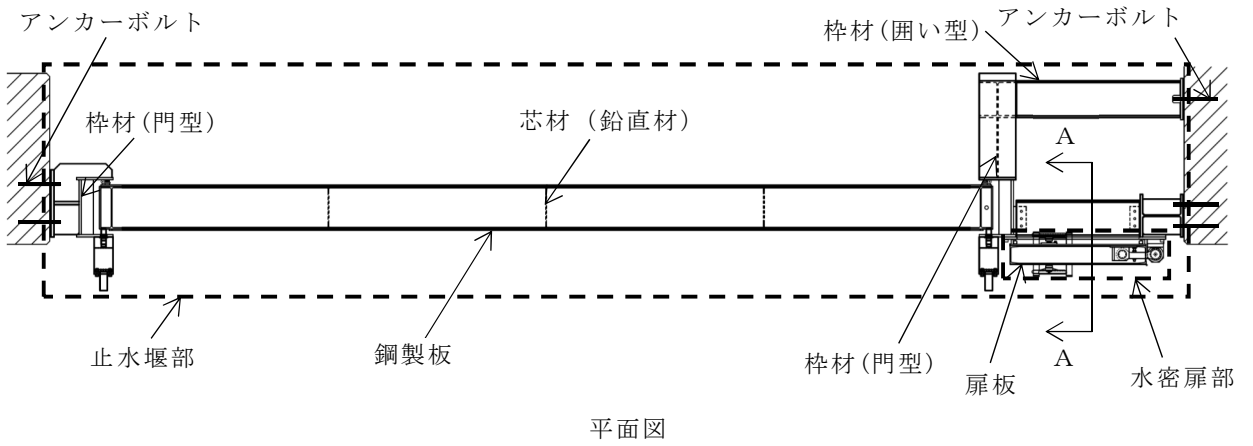
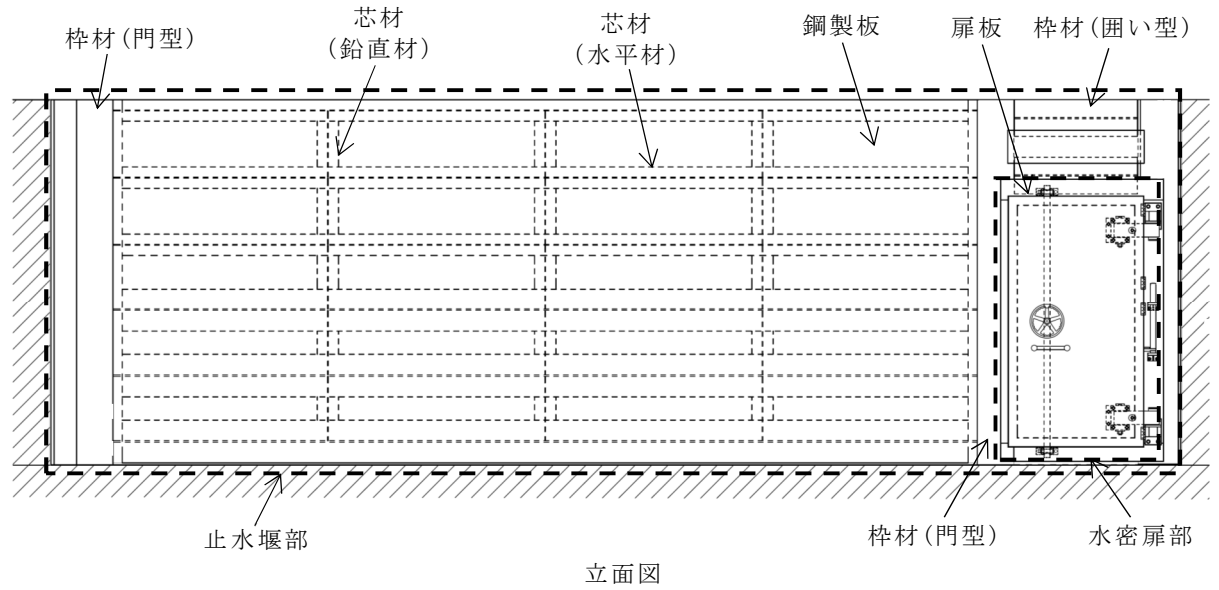


図 2-3 水密扉付止水堰の概略構造図

表 2-3 使用材料（水密扉付止水堰 No. 1）

評価対象部位		材質	仕様
水密扉部	ヒンジ	ヒンジ板	SS400 高さ 65mm 厚さ 20mm
		ヒンジピン	S45C 径 25mm
		ヒンジボルト	SCM435 M12
	締付装置部	締付装置	SUS304 径 30mm
		締付装置受けピン	S45C 径 20mm
		締付装置受けボルト	SCM435 M16
止水堰部	鋼製板	SS400 厚さ 6mm	
	芯材	SS400 H-250×250×9×14(水平材) H-150×150×7×10(水平材) H-250×125×6×9(水平材・鉛直材) H-150×75×5×7(鉛直材)	
	アンカーボルト	SS400 M20	

表 2-4 使用材料 (水密扉付止水堰 No. 2, No. 3)

評価対象部位		材質	仕様
水密扉部	ヒンジ	ヒンジ板	SS400 高さ 110mm 厚さ 65mm
		ヒンジピン	S45C 径 50mm
		ヒンジボルト	SCM435 M20
	締付装置部	締付装置	SUS304 径 50mm
		締付装置受けピン	S45C 径 30mm
		締付装置受けボルト	SCM435 M16
止水堰部	鋼製板	SS400 厚さ 12mm	
	芯材	SS400 H-350×175×7×11(水平材・鉛直材) H-350×350×12×19(水平材)	
	アンカーボルト	SS400 M20	

2.4 評価方針

水密扉付止水堰の耐震評価は、「3. 固有振動数及び設計用地震力」にて算出した固有振動数に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを「4. 耐震評価方法」に示す方法にて確認することで実施する。

水密扉付止水堰の耐震評価フローを図 2-4 に示す。

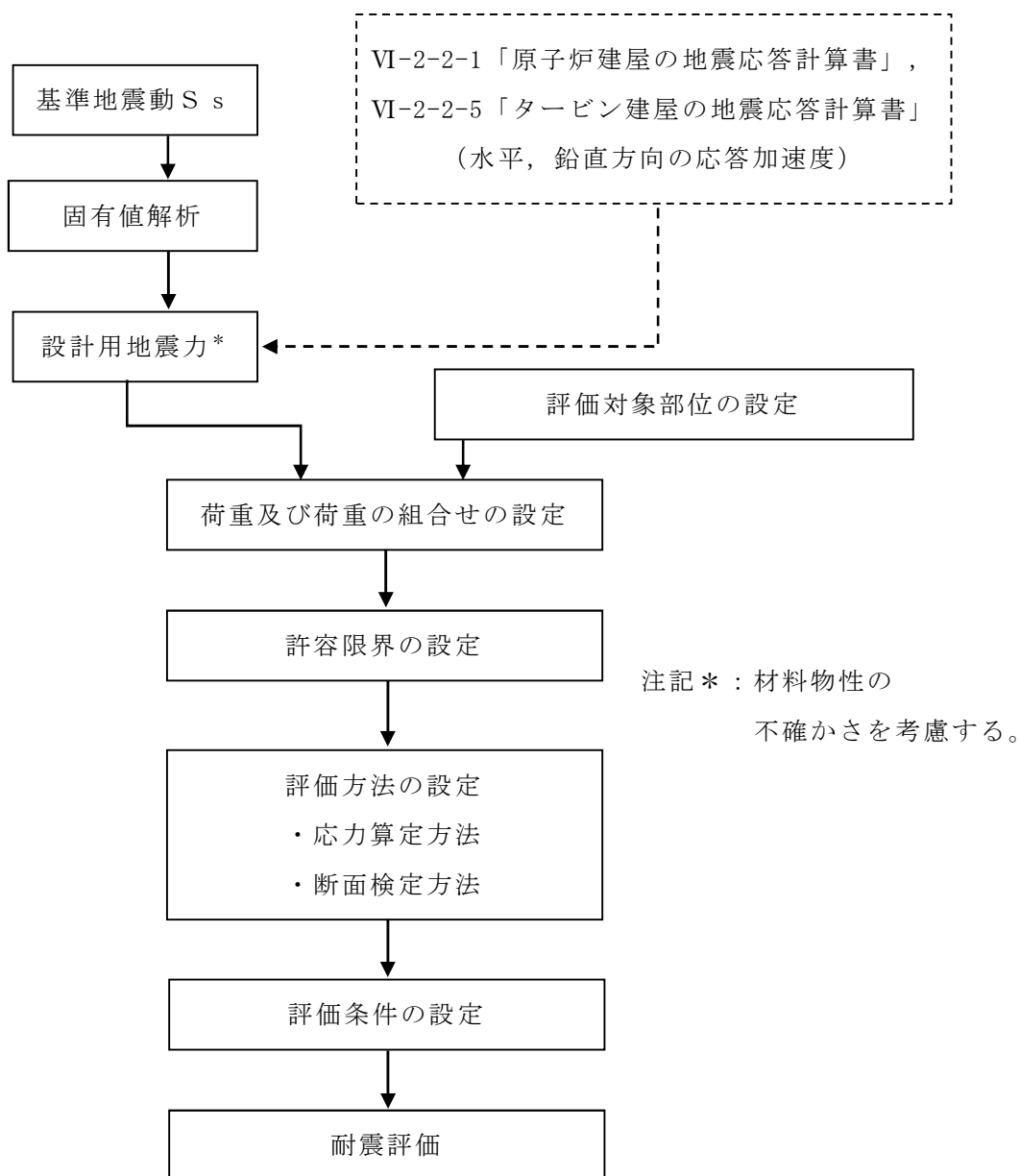


図 2-4 水密扉付止水堰の耐震評価フロー

2.5 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，1999 改定）
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）
（以下「S規準」という。）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）
- ・ 日本産業規格（J I S）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補
-1984（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電
気協会）

2.6 記号の説明

水密扉部の耐震評価に用いる記号を表2-5に、止水堰部の耐震評価に用いる記号を表2-6に示す。

表2-5 水密扉部の耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
W_1	kN	スラスト荷重
G_1	kN	扉重量
k_H	-	水平震度
k_{UD}	-	鉛直震度
F_1	kN	転倒力
F_{1a}	kN	水密扉部と止水堰部の全重量を含んだ水平力
L_1	mm	扉重心とヒンジ芯間距離
L_2	mm	ヒンジ芯間距離
L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離
L_4	mm	ヒンジ板と受板間距離
L_5	mm	締付装置芯と締付装置受けの距離
L_p	mm	締付装置受けピンの支持点間距離
M	kN・m	曲げモーメント
Q	kN	せん断力
n_1	本	ヒンジボルトの本数
n_2	本	締付装置の本数
n_3	本	締付装置受けボルトの本数
g	m/s ²	重力加速度
T	kN	引張力
x	N/mm ²	組合せ応力度
σ	N/mm ²	曲げ応力度
σ_t	N/mm ²	引張応力度
τ	N/mm ²	せん断応力度
Z	mm ³	断面係数
A_s	mm ²	せん断断面積

表 2-6 止水堰部の耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
F_H	kN	設計用水平地震力
F_V	kN	設計用鉛直地震力
w_{SS}	kN/m	鋼製板又は芯材に作用する単位長さ当りの等分布荷重
S_s	kN	基準地震動 S_s による地震荷重
G_2	kN	止水堰重量
w_a	kN	枠材（囲い型）の重量
x	N/mm ²	組合せ応力度
σ	N/mm ²	曲げ応力度
τ	N/mm ²	せん断応力度
M	kN・m	曲げモーメント
Q	kN	せん断力
$w_{h'}$	kN/m	堰にかかる水平荷重
H	mm	鋼製板の高さ
Z	mm ³	断面係数
A_s	mm ²	せん断断面積
T_d	kN	アンカーボルト 1 本当りの引張力
T_a	kN	アンカーボルト 1 本当りの短期許容引張力
Q_d	kN	アンカーボルト 1 本当りのせん断力
Q_a	kN	アンカーボルト 1 本当りの短期許容せん断力
N	本	片側のアンカーボルトの本数
L_6	mm	鋼製板の短辺長さ
L_7	mm	芯材の負担幅
L_8	mm	評価対象の芯材と直交方向の芯材の長さ
L_9	mm	芯材全長

3. 固有振動数及び設計用地震力

3.1 固有振動数の計算方法

水密扉付止水堰の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を求める。水密扉部と止水堰部の芯材の固有振動数を算出する。

3.1.1 解析モデルの設定

水密扉部は、扉板及び芯材の組合せにより剛な断面を有しているとともに、ヒンジ及び締付装置部により扉と扉枠を固定することから、扉閉止時については両端固定はりに、扉開放時についてはヒンジ、自由端はりに単純化したモデルとし、モデル化に用いる芯材の長さは扉幅とする。

止水堰部は、鋼板及び芯材の組合せにより剛な断面を有している構造であることから、両端固定はりに単純化したモデルとする。図3-1に解析モデル図を示す。

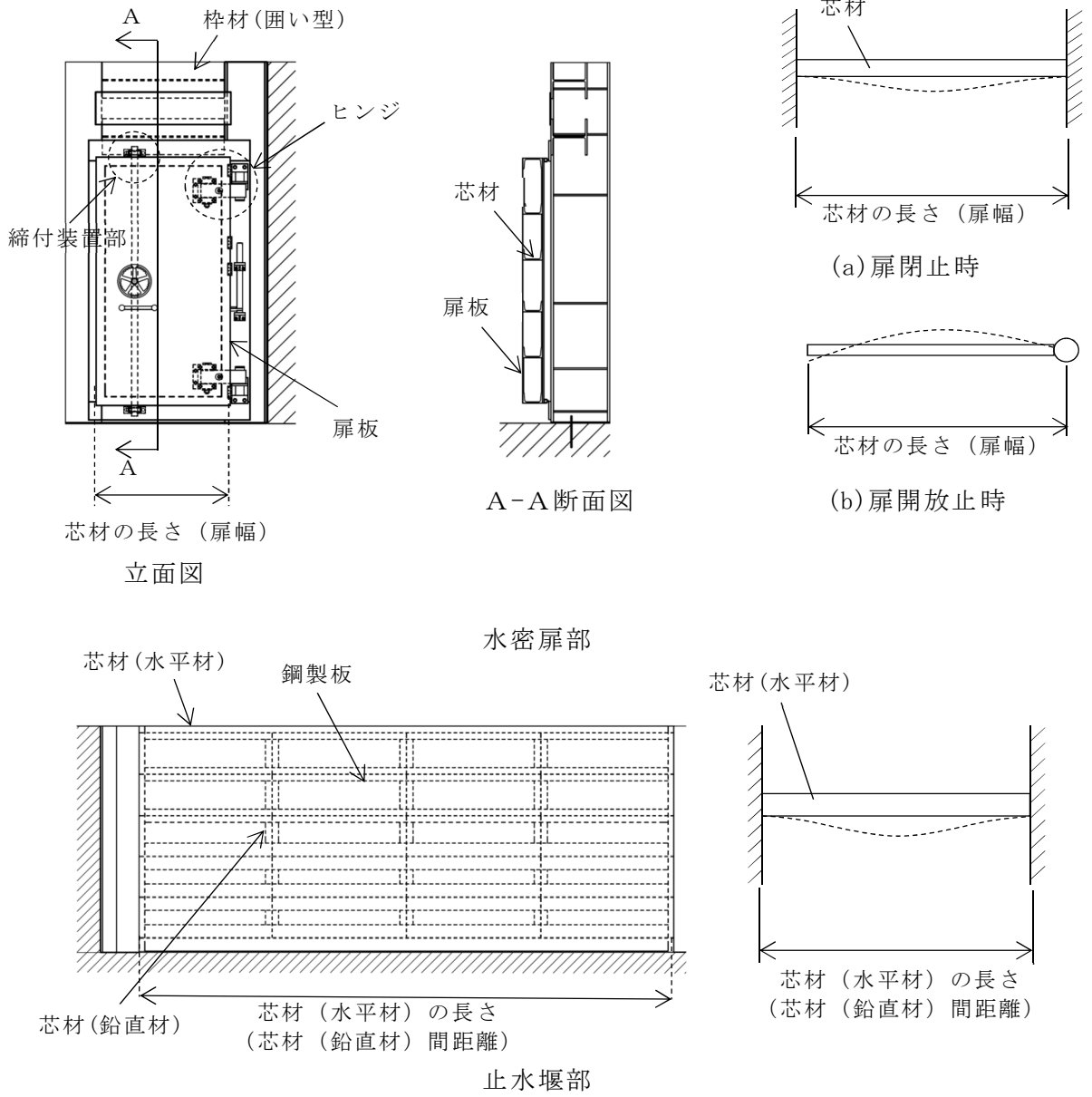


図 3-1 水密扉付止水堰の固有値解析モデル

3.1.2 記号の説明

固有振動数算出に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	固有振動数
L	mm	モデル化に用いる芯材の長さ
E	N/mm ²	ヤング率
I	mm ⁴	断面 2 次モーメント
m	kg/m	質量分布

3.1.3 固有振動数の算出方法

固有振動数 f を「土木学会 構造力学公式集」に基づき以下の式より算出する。ここで、固有振動数は水平方向（水密扉部及び止水堰部の面外方向）について算出するものとし、鉛直方向（水密扉部及び止水堰部の面内方向）については、鉛直方向の軸剛性が、面外方向の剛性に比べて十分に大きいため、固有振動数の算出を省略する。

モデル化の対象は、水密扉部の芯材及び、止水堰部の芯材（水平材）とする。

- (1) 水密扉部(扉閉止時)，止水堰部
両端固定はりモデル（芯材をモデル化）

$$f = \frac{4.7300^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E I \times 10^6}{m}}$$

- (2) 水密扉部(扉開放時)

扉開放時において水密扉部は、面外方向については剛体モード（固有振動数がほぼゼロ）となり、これに伴う荷重の増幅は生じないことから、本評価においては芯材が自由振動するものとして、下記の評価式にて固有振動数を算出することとした。

ヒンジ，自由端はりモデル（芯材をモデル化）

$$f = \frac{3.9266^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E I \times 10^6}{m}}$$

3.2 固有振動数の計算条件

水密扉付止水堰の固有振動数の計算条件を表 3-2 に示す。

表 3-2 固有振動数の計算条件

水密扉付 止水堰 No.	評価部位	長さ L (mm)	ヤング率 E (N/mm ²)	断面二次 モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/m)
1	水密扉部	755	2.05×10^5	1.88×10^6	3.60×10
	止水堰部	6200	2.05×10^5	3.69×10^7	4.68×10
2	水密扉部	1040	2.05×10^5	8.61×10^6	5.73×10
	止水堰部	7100	2.05×10^5	1.35×10^8	1.02×10^2
3	水密扉部	1040	2.05×10^5	8.61×10^6	5.73×10
	止水堰部	7100	2.05×10^5	1.35×10^8	1.02×10^2

3.3 固有振動数の計算結果

水密扉付止水堰の固有振動数の計算結果を表 3-3 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であり、剛構造であることを確認した。

表 3-3 固有振動数の計算結果(水密扉部(扉閉止時), 止水堰部)(1/2)

水密扉付 止水堰 No.	評価部位	固有振動数 f (Hz)
1	水密扉部	646
	止水堰部	38.5
2	水密扉部	577
	止水堰部	36.7
3	水密扉部	577
	止水堰部	36.7

表 3-3 固有振動数の計算結果(水密扉部(扉開放時))(2/2)

水密扉付 止水堰 No.	評価部位	固有振動数 f (Hz)
1	水密扉部	445
2	水密扉部	398
3	水密扉部	398

3.4 設計用地震力

「3. 固有振動数及び設計用地震力」に示したとおり，水密扉付止水堰の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため，水密扉付止水堰の耐震評価で用いる設計震度は，材料物性の不確かさを考慮したものとしてVI-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」，VI-2-2-5「タービン建屋の地震応答計算書」によることとし，耐震評価で用いる設計震度を表 3-4 に示す。

表 3-4 設計震度

水密扉付 止水堰 No.	名称	基準地震動 S_s の設計震度	
		水平震度*	鉛直震度
1	原子炉建屋地上 4 階 (R5R6-RFRG) 水密扉付止水堰	1.15	0.960
2	タービン建屋地上 1 階 (T4-TBTC) 水密扉付止水堰	1.13	0.801
3	タービン建屋地上 1 階 (T7-TBTC) 水密扉付止水堰	1.13	0.801

注記* : NS 方向と EW 方向の大きい方を採用する。

4. 耐震評価方法

4.1 評価対象部位

評価対象部位は、「2.3 構造計画」に示す水密扉付止水堰の構造上の特徴を踏まえ水密扉部と止水堰部に分けて選定する。

4.1.1 水密扉部の評価対象部位

基準地震動 S_s による地震荷重により水密扉部に生じる慣性力は、ヒンジ（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）及び締付装置部（締付装置、締付装置受けピン、締付装置受けボルト）から枠材（門型）に伝達されることから、評価対象部位をヒンジ及び締付装置部とする。

4.1.2 止水堰部の評価対象部位

止水堰部の評価対象部位は、自重及び地震に伴う慣性力が、鋼製板及び芯材（水平材、鉛直材）から枠材及びアンカーボルトへ伝わり、アンカーボルトを介して躯体に伝わることから、鋼製板、芯材（鉛直材）及びアンカーボルトとする。

なお、芯材（水平材）と芯材（鉛直材）は断面形状と地震荷重の負担面積が異なるため、いずれも評価するものとし、評価上最も厳しい芯材（鉛直材）を評価対象とする。

4.2 荷重及び荷重の組合せ

4.2.1 荷重の組合せ

水密扉付止水堰の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s$$

ここで、

G : 固定荷重 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

4.2.2 荷重

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として水密扉付止水堰の自重を考慮する。自重は「4.5 評価条件」に示す。

(2) 地震荷重 (S_s)

地震荷重は、基準地震動 S_s による荷重を考慮する。「3. 固有振動数及び設計用地震力」で設定した設計震度を用いて、次式により算定する。

$$S_s = G \cdot k$$

ここで、

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

k : 設計震度

4.3 許容限界

4.3.1 水密扉部（ヒンジ，締付装置部）

鋼材の許容応力度は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の許容限界に基づき，表4-1のとおり設定する。

表4-1 鋼材の短期許容応力度

材質*2	短期許容応力度 (N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SS400 (40 < t ≤ 100) *1	215	124
SUS304	205	118
S45C	345	199
SCM435	651	375

注記*1 : t は板厚を示す。

*2 : 許容応力度を決定する場合の基準値 F は，日本産業規格（J I S）に基づく。

4.3.2 止水堰部

(1) 鋼製板，芯材（鉛直材）

鋼材の許容応力度は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の許容限界に基づき，表4-2のとおり設定する。

表4-2 鋼材の短期許容応力度

材質*2	短期許容応力度(N/mm ²)	
	曲げ	せん断
SS400 (t ≤ 40) *1	235	135

注記*1 : t は板厚を示す。

*2 : 許容応力度を決定する場合の基準値Fは，日本産業規格（J I S）に基づく。

(2) アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は，「4.1 評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010改定）」に基づき算定する。

地震荷重を考慮する場合のアンカーボルトの許容応力を表4-3に示す。

評価対象部位のアンカーボルトが引張力を受ける場合においては，アンカーボルトの降伏により決まる耐力及び付着力により決まる耐力を比較して，小さい値を採用する。せん断力を受ける場合においては，アンカーボルトのせん断強度により決まる許容応力，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容応力及びコーン状破壊により決まる許容応力を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表4-3 アンカーボルトの短期許容荷重

材質	水密扉付堰止水堰 No.	短期許容荷重 (kN)	
		引張	せん断
SS400	1	38.7	21.4
	2	50.7	24.5
	3	50.7	24.5

4.4 評価方法

4.4.1 水密扉部の応力算定

自重，地震荷重（水平方向及び鉛直方向）を受けるヒンジに生じる曲げ応力，せん断応力並びに締付装置部に生じる曲げ応力，せん断応力，引張力に対する確認を行うに当たり，各荷重により生じる曲げモーメント，せん断力，引張力を次式により算定する。

(1) ヒンジ

ヒンジは，ヒンジ板，ヒンジピン及びヒンジボルトで構成されており，次式により算定するスラスト荷重（回転軸線方向荷重）及び転倒力から，各部材に発生する応力を算定する。ここで，扉の重量は2箇所（ヒンジ）で支持することから，ヒンジに生じる転倒力には，扉上半分の重量を慣性力として作用させるものとする。ヒンジに生じる荷重の例を図4-1に示す。

$$W_1 = G_1 + k_{UD} \cdot G_1$$

$$F_1 = W_1 \cdot L_1 / L_2 + k_H \cdot G_1 / 2$$

W_1 : スラスト荷重 (kN)

G_1 : 扉重量 (kN)

k_H : 水平震度

k_{UD} : 鉛直震度

F_1 : 転倒力 (kN)

L_1 : 扉重心とヒンジ芯間距離 (mm)

L_2 : ヒンジ芯間距離 (mm)

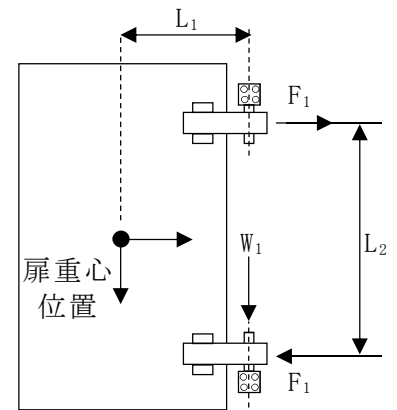


図4-1 ヒンジに生じる荷重の例

a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる応力は、次式により算定する。ヒンジ板に生じる荷重の例を図4-2に示す。

$$M = W_1 \cdot L_3 \cdot 10^{-3}$$

M : ヒンジ板の最大曲げモーメント (kN・m)

W_1 : スラスト荷重 (kN)

L_3 : ヒンジ板の2軸間距離 (mm)

$$Q = W_1$$

Q : ヒンジ板の最大せん断力 (kN)

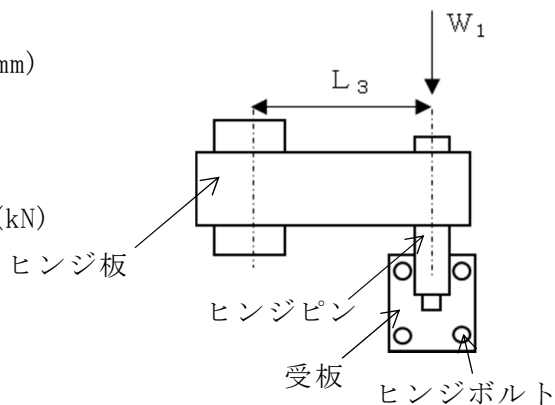


図4-2 ヒンジ板に生じる荷重の例

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる応力は、次式により算定する。ヒンジピンに生じる荷重の例を図4-3に示す。

$$M = F_1 \cdot L_4 \cdot 10^{-3}$$

M : ヒンジピンの最大曲げモーメント (kN・m)

F_1 : 転倒力 (kN)

L_4 : ヒンジ板と受板間距離 (mm)

$$Q = F_1$$

Q : ヒンジピンの最大せん断力 (kN)

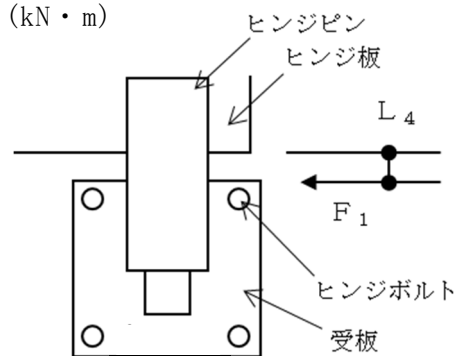


図4-3 ヒンジピンに生じる荷重の例

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じる応力は、次式により算定する。ヒンジボルトに生じる荷重の例を図4-4に示す。

$$Q = \sqrt{(W_1 / n_1)^2 + (F_1 / n_1)^2}$$

Q : ヒンジボルトの最大せん断力 (kN)

W₁ : スラスト荷重 (kN)

F₁ : 転倒力 (kN)

n₁ : ヒンジボルトの本数 (本)

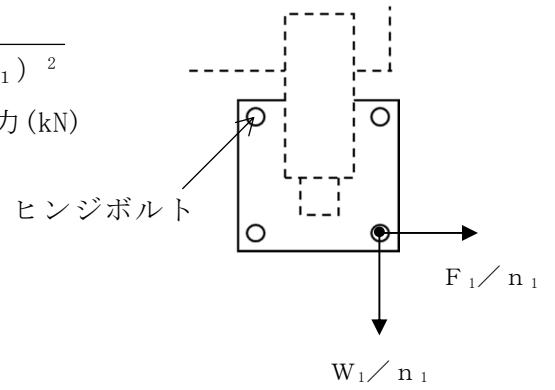


図 4-4 ヒンジボルトに生じる荷重の例

(2) 締付装置部

締付装置部は、締付装置、締付装置受けピン及び締付装置受けボルトで構成されており、生じる応力は次式により算定する。締付装置部に作用する荷重の例を図4-5に示す。

$$R_1 = k_H \cdot G_1 / n_2$$

R_1 : 地震力に伴う荷重の反力(kN)

k_H : 水平震度

G_1 : 扉重量(kN)

n_2 : 締付装置の本数(本)

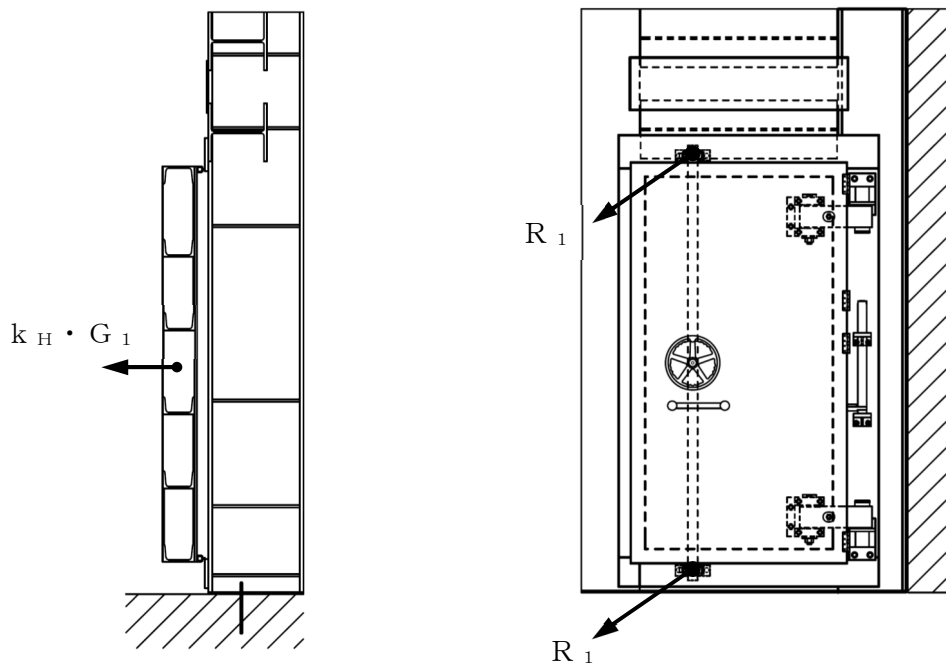


図4-5 締付装置部に生じる荷重の例

a. 締付装置

締付装置に生じる応力は、次式により算定する。なお、算定に当たっては、締付装置を片持ち梁としてモデル化し、締付装置の取付部位に応じて作用する応力を考慮する。締付装置に生じる荷重の例を図4-6に示す。

$$M = R_1 \cdot L_5 \cdot 10^{-3}$$

M : 締付装置の最大曲げモーメント (kN・m)

R_1 : 地震力に伴う荷重の反力 (kN)

L_5 : 締付装置の突出長さ (mm)

$$Q = R_1$$

Q : 締付装置の最大せん断力 (kN)

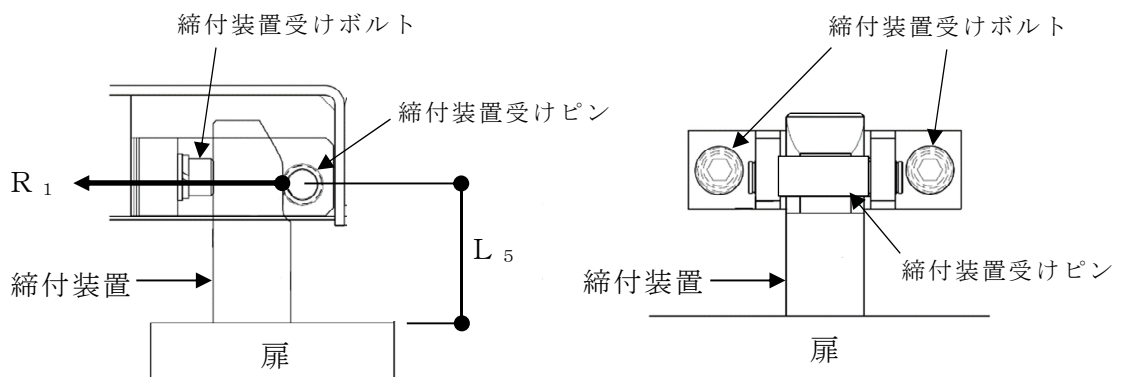


図 4-6 締付装置に生じる荷重の例

b. 締付装置受けピン

締付装置受けピンに生じる応力は、次式により算定する。なお、算定に当たっては、締付装置受けピンを両端支持の梁としてモデル化するものとし、締付装置受けピンに生じる荷重の例を図4-7に示す。

$$M = R_1 \cdot L_p \cdot 10^{-3} / 4$$

M : 締付装置受けピンの最大曲げモーメント (kN・m)

L_p : 締付装置受けピンの支持点間距離 (mm)

$$Q = R_1 / 2$$

Q : 締付装置受けピンの最大せん断力 (kN)

ここで、

$$R_1 = k_H \cdot G_1 / n_2$$

R_1 : 地震力に伴う荷重の反力 (kN)

k_H : 水平震度

G_1 : 扉重量 (kN)

n_2 : 締付装置の本数 (本)

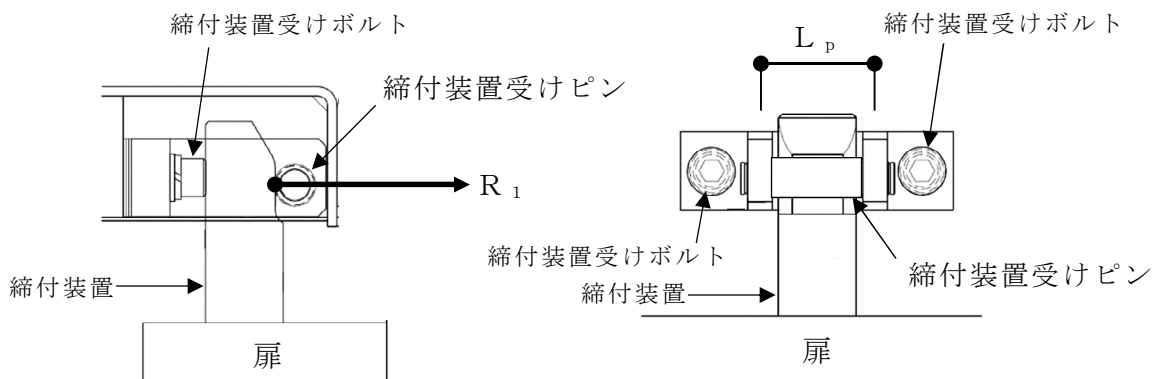


図4-7 締付装置受けピンに生じる荷重の例

c. 締付装置受けボルト

締付装置受けボルトに生じる応力は、次式により算定する。締付装置受けボルトに生じる荷重の例を図4-8に示す。

$$T = R_1 / n_b$$

T : 締付装置受けボルトの最大引張力 (kN)

n_b : 締付装置受けボルトの本数 (本)

ここで、

$$R_1 = k_H \cdot G_1 / n_2$$

R_1 : 地震力に伴う荷重の反力 (kN)

k_H : 水平震度

G_1 : 扉重量 (kN)

n_2 : 締付装置の本数 (本)

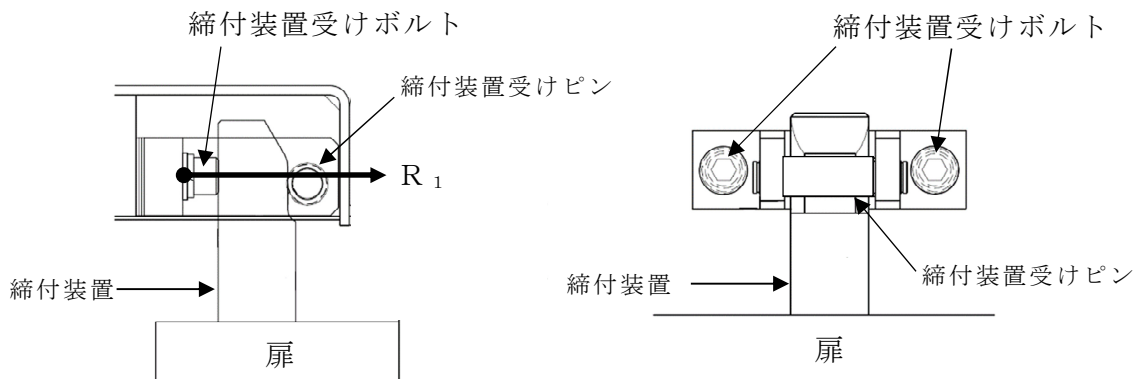


図 4-8 締付装置受けボルトに生じる荷重の例

4.4.2 水密扉部の断面検定

各部材に生じる応力より算定する応力度等が、許容限界値以下であることを確認する。なお、異なる荷重が同時に作用する部材については、組合せを考慮する。

(1) ヒンジ

a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、ヒンジ板の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

ここで、 $\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$

σ : ヒンジ板の最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : ヒンジ板の最大曲げモーメント (kN・m)

Z : ヒンジ板の断面係数 (mm³)

$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$

τ : ヒンジ板の最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : ヒンジ板の最大せん断力 (kN)

A_s : ヒンジ板のせん断断面積 (mm²)

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から，組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し，ヒンジピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

ここで，

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

σ : ヒンジピンの最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : ヒンジピンの最大曲げモーメント (kN・m)

Z : ヒンジピンの断面係数 (mm³)

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

τ : ヒンジピンの最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : ヒンジピンの最大せん断力 (kN)

A_s : ヒンジピンのせん断断面積 (mm²)

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じるせん断応力度を次式により算定し，ヒンジボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

τ : ヒンジボルトの最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : ヒンジボルトの最大せん断力 (kN)

A_s : ヒンジボルトのせん断断面積 (mm²)

(2) 締付装置部

a. 締付装置

締付装置に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、締付装置の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

ここで、

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

σ : 締付装置の最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 締付装置の最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 締付装置の断面係数 (mm³)

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

τ : 締付装置の最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 締付装置の最大せん断力 (kN)

A_s : 締付装置のせん断断面積 (mm²)

b. 締付装置受けピン

締付装置受けピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、締付装置受けピンの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

ここで、

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

σ : 締付装置受けピンの最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 締付装置受けピンの最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 締付装置受けピンの断面係数 (mm³)

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

τ : 締付装置受けピンの最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 締付装置受けピンの最大せん断力 (kN)

A_s : 締付装置受けピンのせん断断面積 (mm²)

c. 締付装置受けボルト

締付装置受けボルトに生じる引張応力度を次式により算定し，締付装置受けボルトの短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_t = (T \cdot 10^3) / A$$

σ_t : 締付装置受けボルトの最大引張応力度(N/mm²)

T : 締付装置受けボルトの最大引張力(kN)

A : 締付装置受けボルトの断面積(mm²)

4.4.3 止水堰部の応力算定

自重，地震荷重（水平方向及び鉛直方向）を受ける鋼製板，芯材に生じる曲げ応力，せん断応力，並びにアンカーボルトに生じるせん断力に対する確認を行うに当り，各荷重により生じる曲げモーメント，せん断力を次式により算定する。

止水堰部に生じる力の概念図を図4-9に示す。

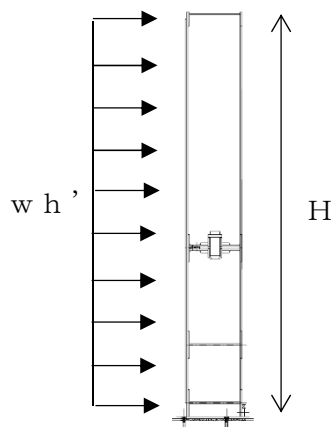


図4-9 地震時の止水堰部に生じる力の概念図

(1) 鋼製板

図 4-10 に示すとおり，鋼製板が荷重を負担する範囲が最も大きくなり，評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。

a. 基準地震動 S_s による地震荷重 S_s

$$S_s = G \cdot k_H$$

ここで，

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

G : 鋼製板の固定荷重 (kN)

k_H : 水平震度

b. 鋼製板に作用する単位長さ当りの等分布荷重 w_{ss}

$$w_{ss} = S_s / (L_6 \cdot 10^{-3})$$

ここで，

w_{ss} : 鋼製板に作用する単位長さ当りの等分布荷重 (kN/m)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

L_6 : 鋼製板の短辺長さ (mm)

c. 鋼製板に作用する曲げモーメント M

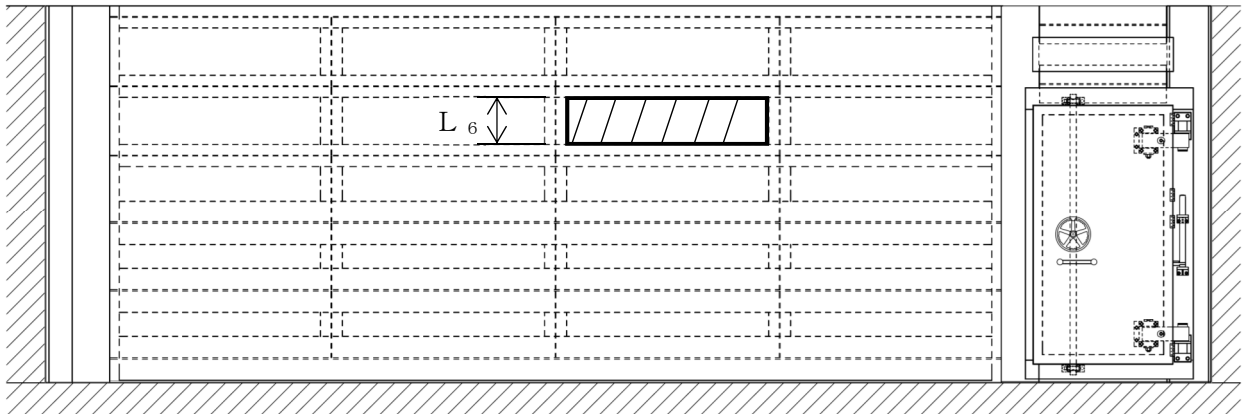
$$M = w_{ss} \cdot (L_6 \cdot 10^{-3})^2 / 12$$

ここで，

M : 鋼製板の最大曲げモーメント (kN・m)

w_{ss} : 鋼製板に作用する単位長さ当りの等分布荷重 (kN/m)

L_6 : 鋼製板の短辺長さ (mm)



: 評価の対象とする鋼製板

図 4-10 評価の対象とする鋼製板

(2) 芯材

芯材の支持条件は、水平材を両端単純支持、鉛直材を脚部固定とする。図 4-11 に評価の対象とする芯材を示す。

a. 基準地震動 S_s による地震荷重 S_s

$$S_s = G \cdot k_H$$

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

G : 芯材と鋼製板の固定荷重 (kN)

k_H : 水平震度

b. 芯材に作用する単位長さ当りの等分布荷重 w_{ss}

$$w_{ss} = S_s \cdot L_7 / (L_8 \cdot L_9 \cdot 10^{-3})$$

w_{ss} : 芯材に作用する単位長さ当りの等分布荷重 (kN/m)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

L_7 : 芯材の負担幅 (mm)

L_8 : 評価対象の芯材と直交方向の芯材の長さ (mm)

L_9 : 芯材全長 (mm)

c. 芯材に作用する曲げモーメント M

$$M = w_{ss} \cdot (L_9 \cdot 10^{-3})^2 / 2$$

M : 芯材の最大曲げモーメント (kN・m)

w_{ss} : 芯材に作用する単位長さ当りの等分布荷重 (kN/m)

L_9 : 芯材全長 (mm)

d. 芯材に作用するせん断力 Q

$$Q = w_{ss} \cdot L_9 \cdot 10^{-3}$$

Q : 芯材の最大せん断力 (kN)

w_{ss} : 芯材に作用する単位長さ当りの等分布荷重 (kN/m)

L_9 : 芯材全長 (mm)

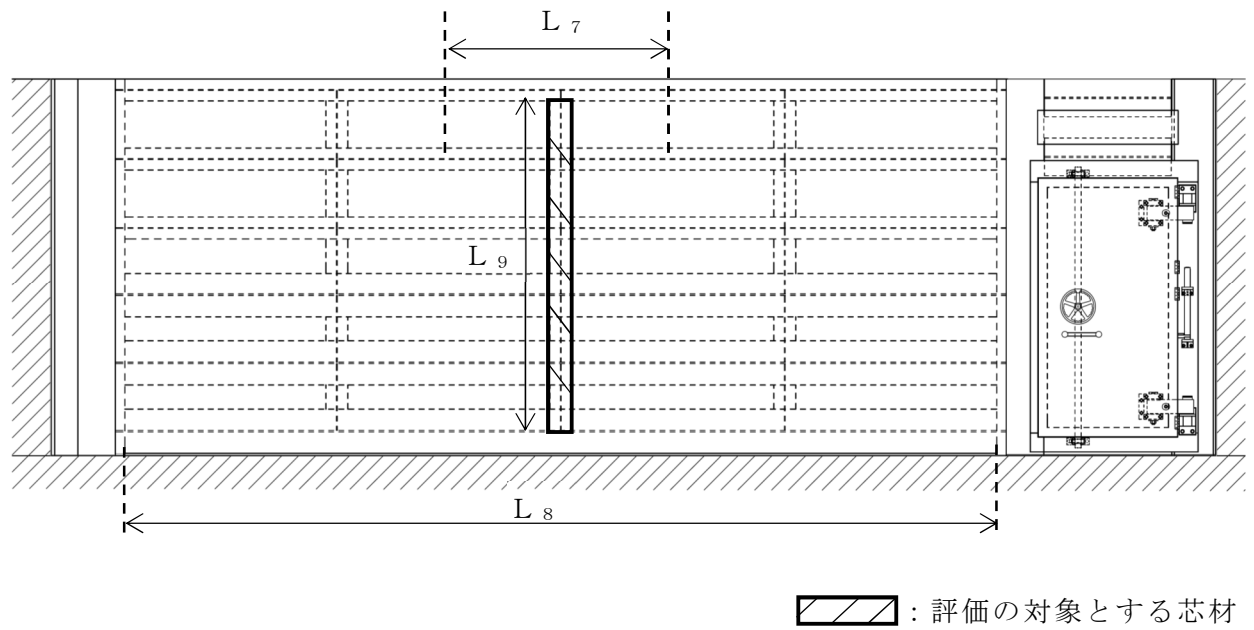


図 4-11 評価の対象とする芯材

(3) アンカーボルト

アンカーボルトに生じる応力は、次式により算定する。ここで、アンカーボルトに作用する荷重は、引張力又はせん断力として作用する。評価対象のアンカーボルトの範囲は図 4—12 に示す通りとする。ここで、評価においては止水堰部と水密扉部の全重量を片側のアンカーボルトに作用させるものとする。アンカーボルトに生じる荷重を図 4—12 に示す。

$$F_{1a} = k_H (w_a + G_1 + G_2)$$

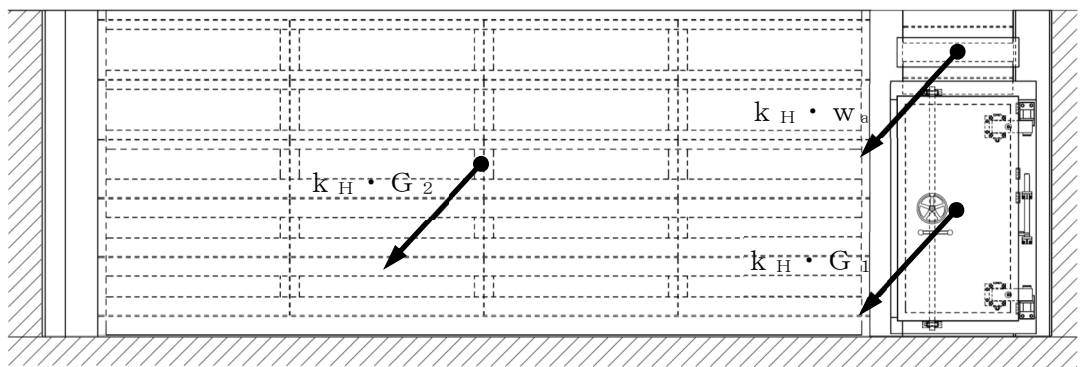
F_{1a} : 水密扉部と止水堰部の全重量を含んだ水平力 (kN)

k_H : 水平震度

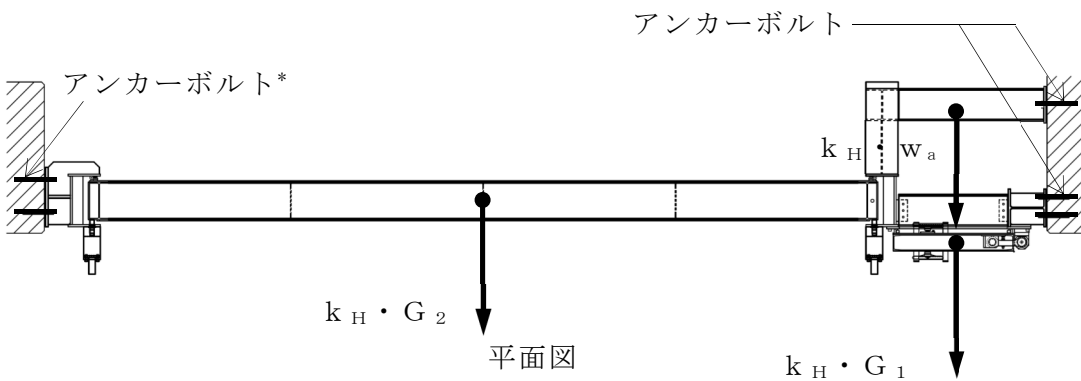
w_a : 枠材 (囲い型) の重量 (kN)

G_1 : 扉重量 (kN)

G_2 : 止水堰重量 (kN)



立面図



注記* : 両側のアンカーボルトのうち、アンカーボルトの本数が少ない当該部位を評価対象とした。

図 4—12 アンカーボルトに生じる荷重の例

4.4.4 止水堰部の断面検定

(1) 鋼製板

鋼製板に作用する最大曲げ応力度 σ

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

σ : 鋼製板の最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 鋼製板の最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 鋼製板の断面係数 (mm³)

(2) 芯材

a. 芯材に作用する最大曲げ応力度 σ

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

σ : 芯材の最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 芯材の最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 芯材の断面係数 (mm³)

b. 芯材に作用する最大せん断応力度 τ

$$\tau = (Q \cdot 10^3) / A_s$$

τ : 芯材の最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 芯材の最大せん断力 (kN)

A_s : 芯材のせん断断面積 (mm²)

c. 芯材に作用する組合せ応力度

芯材に作用する曲げ応力度，せん断応力度を算定し，芯材の短期許容応力度以下であることを確認する。また芯材に生じる曲げ応力度とせん断応力度から，組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し，短期許容応力度以下であることを確認する。

$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

σ : 芯材の最大曲げ応力度 (N/mm²)

τ : 芯材の最大せん断応力度 (N/mm²)

(3) アンカーボルト

アンカーボルト1本当りに生じる引張力又はせん断力を算定し、アンカーボルトの許容荷重以下であることを確認する。

$$T_d / T_a \leq 1.0$$

ここで、

$$T_d = F_{1a} / N$$

T_d : アンカーボルト 1 本当りの引張力 (kN)

T_a : アンカーボルト 1 本当りの短期許容引張力 (kN)

F_{1a} : 水密扉部と止水堰部の全重量を含んだ水平力 (kN)

N : 片側のアンカーボルトの本数 (本)

$$Q_d / Q_a \leq 1.0$$

ここで、

$$Q_d = F_{1a} / N$$

Q_d : アンカーボルト 1 本当りのせん断力 (kN)

Q_a : アンカーボルト 1 本当りの短期許容せん断力 (kN)

F_{1a} : 水密扉部と止水堰部の全重量を含んだ水平力 (kN)

N : 片側のアンカーボルトの本数 (本)

4.5 評価条件

水密扉付止水堰のうち、水密扉部の耐震評価に用いる入力値を表4-4に、止水堰部の耐震評価に用いる入力値を表4-5に示す。

表 4-4 水密扉部の耐震評価に用いる入力値

対象部位	記号	単位	定義	水密扉付止水堰 No.			
				1	2	3	
共通	G_1	kN	扉重量	2.47	7.37	7.37	
	L_1	mm	扉体重心とヒンジ芯間距離	635	558	558	
	L_2	mm	ヒンジ芯間距離	1044	1544	1544	
	W_1	mm	スラスト荷重	4.85	13.3	13.3	
	F_1	mm	転倒力	4.38	8.98	8.98	
ヒンジ	ヒンジ板	L_3	mm	ヒンジ板の2軸間距離	152	272	272
		σ	N/mm ²	曲げ応力度	52.8	27.7	27.7
		τ	N/mm ²	せん断応力度	5.60	2.78	2.78
	ヒンジピン	L_4	mm	ヒンジ板と受板間距離	27	35	35
		σ	mm ²	曲げ応力度	79.4	25.9	25.9
		τ	mm ³	せん断応力度	11.9	6.11	6.11
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	4	4	4
		τ	mm ²	せん断応力度	26.0	21.9	21.9
締付装置部	共通	n_2	本	締付装置の本数	1	2	2
	締付装置	L_5	mm	締付装置の突出長さ	47	54	54
		σ	mm ²	曲げ応力度	51.6	18.6	18.6
		τ	mm ³	せん断応力度	5.38	2.84	2.84
	受けピン	L_p	mm	支持点間距離	44	60	60
		σ	mm ²	曲げ応力度	44.9	24.1	24.1
		τ	mm ³	せん断応力度	6.08	3.95	3.95
	受けボルト	n_b	本	ボルトの本数	2	2	2
		σ_t	mm ²	引張応力度	7.12	10.4	10.4

表 4-5 止水堰部の耐震評価に用いる入力値

記号	単位	定義	水密扉付止水堰 No.		
			1	2	3
Z	mm ³ /m	鋼製板の断面係数	6.00×10 ³	2.40×10 ⁴	2.40×10 ⁴
H	mm	鋼製板の高さ	1510	3000	3000
N	本	片側のアンカーボルトの本数	8	8	8
G ₂	kN	止水堰重量	94.8	71.6	71.6
T _d	kN	アンカーボルト 1 本当りの引張力	14.9	12.2	12.2
Q _d	kN	アンカーボルト 1 本当りのせん断力	14.9	12.2	12.2
T _a	kN	アンカーボルト 1 本当りの短期許容引張力	38.7	50.7	50.7
Q _a	kN	アンカーボルト 1 本当りの短期許容せん断力	21.4	24.5	24.5
w _a	kN	枠材（囲い型）の重量	5.50	6.80	6.80
L ₆	mm	鋼製板の短辺長さ	755	550	550
L ₇	mm	芯材の負担幅	1530	1785	1785
L ₈	mm	評価対象の芯材と直交方向の芯材の長さ	6200	7100	7100
L ₉	mm	芯材全長	1510	3000	3000

5. 評価結果

水密扉部の耐震評価結果を表5-1に、止水堰部の耐震評価結果を表5-2に示す。評価対象部位に生じる応力度又は荷重が許容限界を超えず、基準地震動 S_s による地震力に対して、溢水伝播を防止する機能を維持するために、十分な構造強度を有することを確認した。

表 5-1 水密扉部の耐震評価結果

水密扉付 止水堰 No.	評価対象部材		発生応力度 又は荷重 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	検定値
1	ヒンジ	ヒンジ板*	53.7	215	0.25
		ヒンジピン*	82.1	345	0.24
		ヒンジボルト	26.0	375	0.07
	締付装置部	締付装置*	52.5	205	0.26
		受けピン*	46.2	345	0.14
		受けボルト	7.12	651	0.02
2	ヒンジ	ヒンジ板*	28.2	215	0.14
		ヒンジピン*	28.0	345	0.08
		ヒンジボルト	21.9	375	0.06
	締付装置部	締付装置*	19.3	205	0.10
		受けピン*	25.1	345	0.08
		受けボルト	10.4	651	0.02
3	ヒンジ	ヒンジ板*	28.2	215	0.14
		ヒンジピン*	28.0	345	0.08
		ヒンジボルト	21.9	375	0.06
	締付装置部	締付装置*	19.3	205	0.10
		受けピン*	25.1	345	0.08
		受けボルト	10.4	651	0.02

注記*：組合せ応力度を記載。

表 5-2 止水堰部の耐震評価結果

水扉付 止水堰 No.	評価対象部材		発生値		許容限界		検定値
			(応力度又は荷重)				
1	鋼製板	曲げ	4.24	N/mm ²	235	N/mm ²	0.02
	芯材	曲げ	6.44	N/mm ²	235	N/mm ²	0.03
		せん断	1.12	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01
		組合せ	6.73	N/mm ²	235	N/mm ²	0.03
	アンカーボルト	せん断	14.9	kN	21.4	kN	0.70
2	鋼製板	曲げ	1.11	N/mm ²	235	N/mm ²	0.01
	芯材	曲げ	3.56	N/mm ²	235	N/mm ²	0.02
		せん断	0.798	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01
		組合せ	3.82	N/mm ²	235	N/mm ²	0.02
	アンカーボルト	せん断	12.2	kN	24.5	kN	0.50
3	鋼製板	曲げ	1.11	N/mm ²	235	N/mm ²	0.01
	芯材	曲げ	3.56	N/mm ²	235	N/mm ²	0.02
		せん断	0.798	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01
		組合せ	3.82	N/mm ²	235	N/mm ²	0.02
	アンカーボルト	せん断	12.2	kN	24.5	kN	0.50

VI-2-10-2-3-3 止水堰の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 検討対象堰一覧	1
2.2 配置概要	2
2.3 構造計画	12
2.3.1 L型鋼製堰の構造	12
2.3.2 鋼製落とし込み型堰の構造	13
2.3.3 鉄筋コンクリート製堰の構造	14
2.3.4 鋼板組合せ堰の構造	15
2.4 評価方針	16
2.5 適用規格	16
2.6 記号の説明	17
3. 固有振動数及び設計用地震力	22
3.1 固有振動数の計算方法	22
3.1.1 解析モデルの設定	22
3.1.2 記号の説明	24
3.1.3 固有振動数の算出方法	24
3.2 固有振動数の計算条件	25
3.3 固有振動数の計算結果	28
3.4 設計用地震力	30
4. 構造強度評価	31
4.1 評価対象部位及び評価対象設備	31
4.1.1 L型鋼製堰と鋼製落とし込み型堰	31
4.1.2 鉄筋コンクリート製堰	33
4.1.3 鋼板組合せ堰	34
4.2 荷重及び荷重の組合せ	35
4.2.1 荷重の組合せ	35
4.2.2 荷重	35
4.3 許容限界	36
4.3.1 L型鋼製堰の許容限界	36
4.3.2 鋼製落とし込み型堰の許容限界	37
4.3.3 鉄筋コンクリート製堰の許容限界	38
4.3.4 鋼板組合せ堰の許容限界	39

4.4	評価方法	40
4.4.1	L型鋼製堰の評価方法	40
4.4.2	鋼製落とし込み型堰の評価方法	43
4.4.3	鉄筋コンクリート製堰の評価方法	48
4.4.4	鋼板組合せ堰の評価方法	54
4.5	評価条件	62
5.	評価結果	65

1. 概要

本資料は、VI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」に示すとおり、浸水防護施設である溢水伝播防止堰及び管理区域外伝播防止堰(以下「堰」という。)があり、溢水伝播防止堰については、基準地震動 S_s による地震力に対して、管理区域外伝播防止堰については、耐震Bクラスの施設に適用される地震力 S_B に対して溢水伝播を防止する機能を維持するために、十分な構造強度を有することを説明するものである。その耐震評価は、応力評価により行う。

堰は設計基準対象施設においては耐震Bクラス施設及び耐震Cクラス施設に分類される。

以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 検討対象堰一覧

検討対象の堰の各建屋ごとの数を表2-1に示す。

表 2-1 検討対象堰

設置建屋	対象堰数
原子炉建屋	30
タービン建屋	17
廃棄物処理建屋	1
合計	48

2.2 配置概要

堰は、VI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「4.1.2 溢水伝播防止堰の設計方針」及び「4.1.3 管理区域外伝播防止堰の設計方針」に示すとおり、原子炉建屋、タービン建屋及び廃棄物処理建屋に設置する。堰の設置位置及び堰の識別に用いる番号を図2-1に示す。

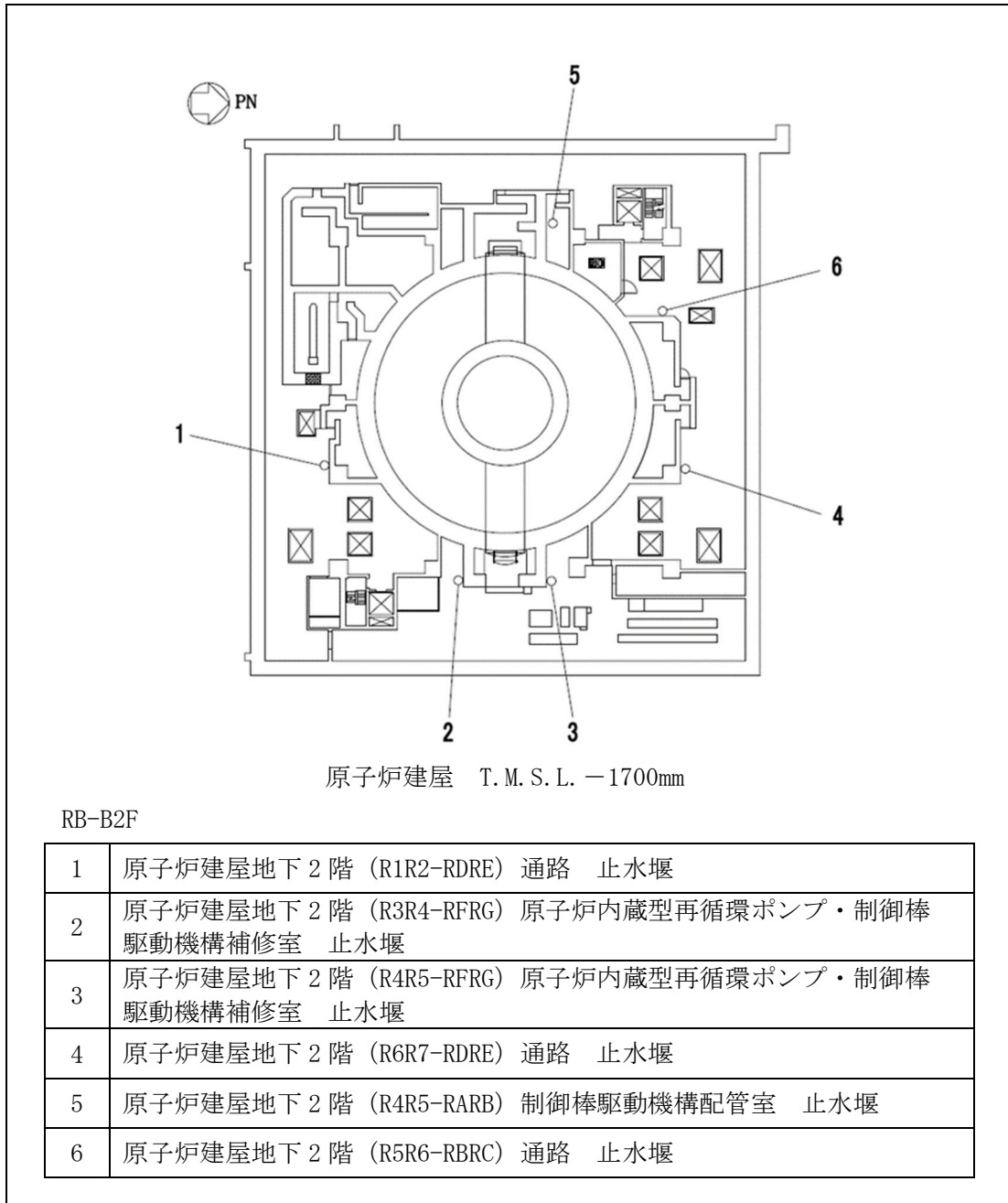


図2-1 堰の設置位置図(1/10)

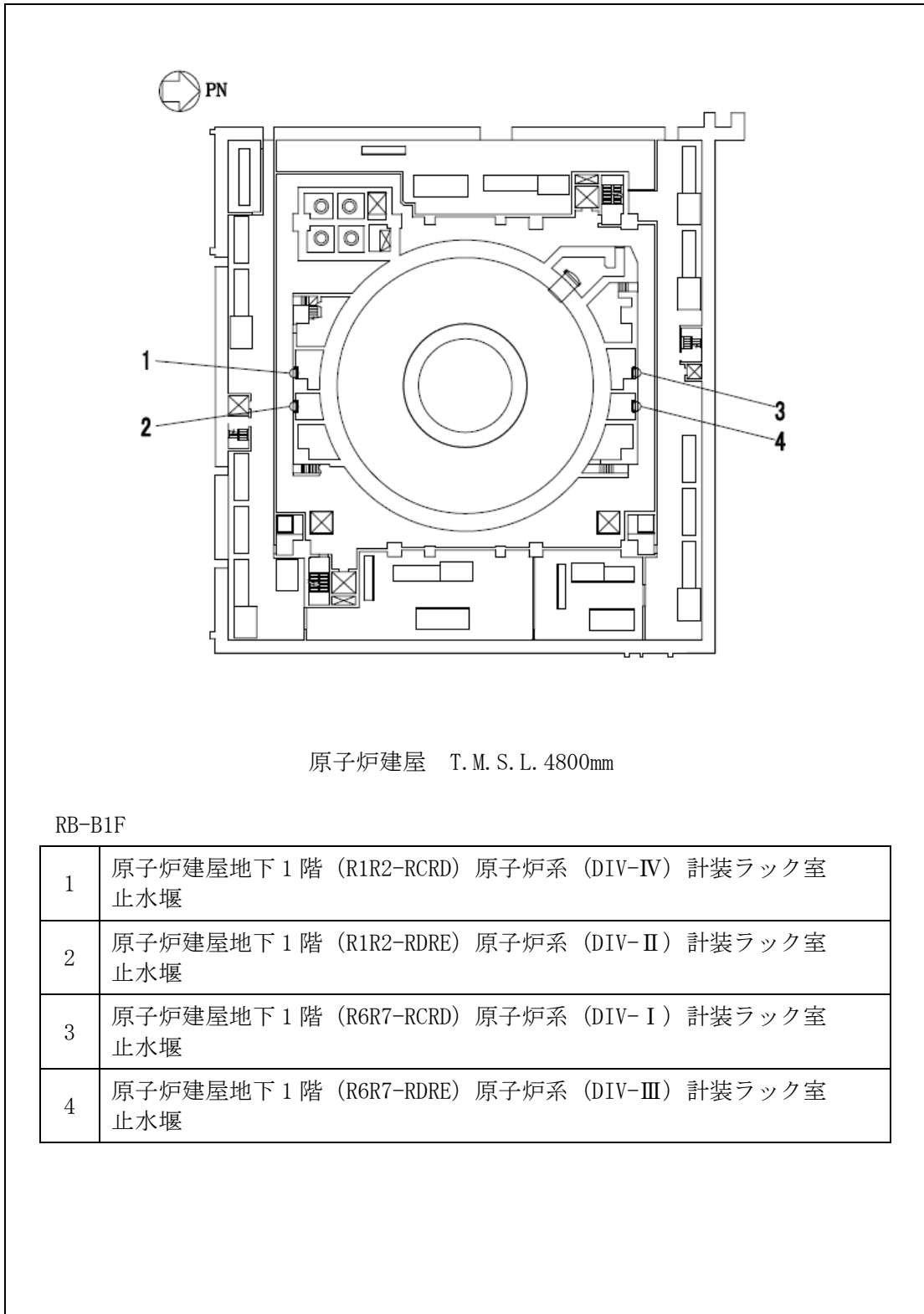
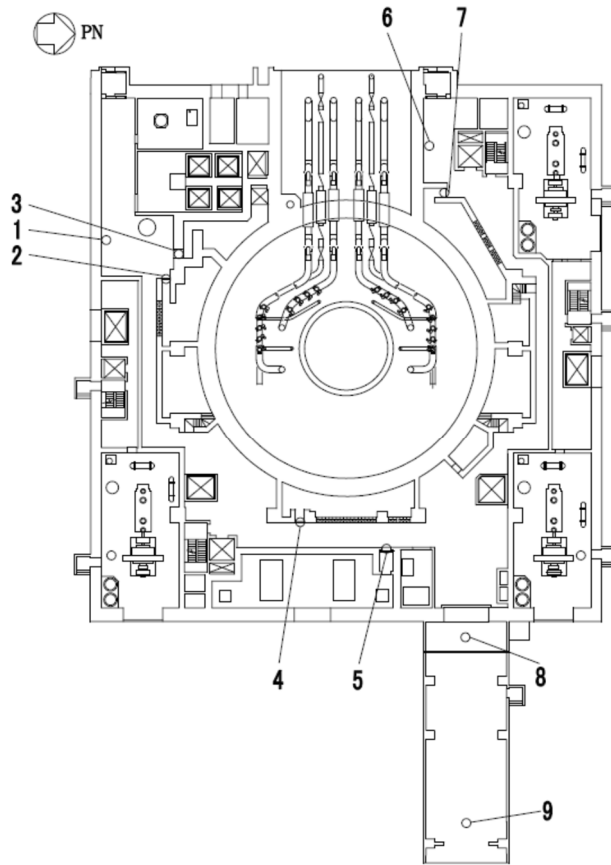


図 2-1 堰の設置位置図(2/10)



原子炉建屋 T. M. S. L. 12300mm

RB-1F

1	原子炉建屋地上1階 (R1R2-RBRC) 通路 止水堰
2	原子炉建屋地上1階 (R1R2-RCRD) ほう酸水注入系・電気ペネ室 止水堰
3	原子炉建屋地上1階 (R2R3-RBRC) 原子炉冷却材浄化系弁室 止水堰
4	原子炉建屋地上1階 (R3R4-RFRG) 電気ペネ室 止水堰
5	原子炉建屋地上1階 (R4R5-RFRG) 可燃性ガス濃度制御系エアロック室 止水堰
6	原子炉建屋地上1階 (R5R6-RARB) 通路 止水堰
7	原子炉建屋地上1階 (R5R6-RBRC) 原子炉補機冷却水系・不活性ガス系・電気ペネ室 止水堰
8	原子炉建屋地上1階 (R5R6-RG) 大物搬出入口建屋 止水堰*
9	原子炉建屋地上1階 (R5R6) 大物搬出入口建屋 止水堰

注記*：耐震Bクラス施設を示す。

注：灰色欄は、地震起因による溢水に対して伝播防止する止水堰ではないため本評価対象外

図 2-1 堰の設置位置図 (3/10)

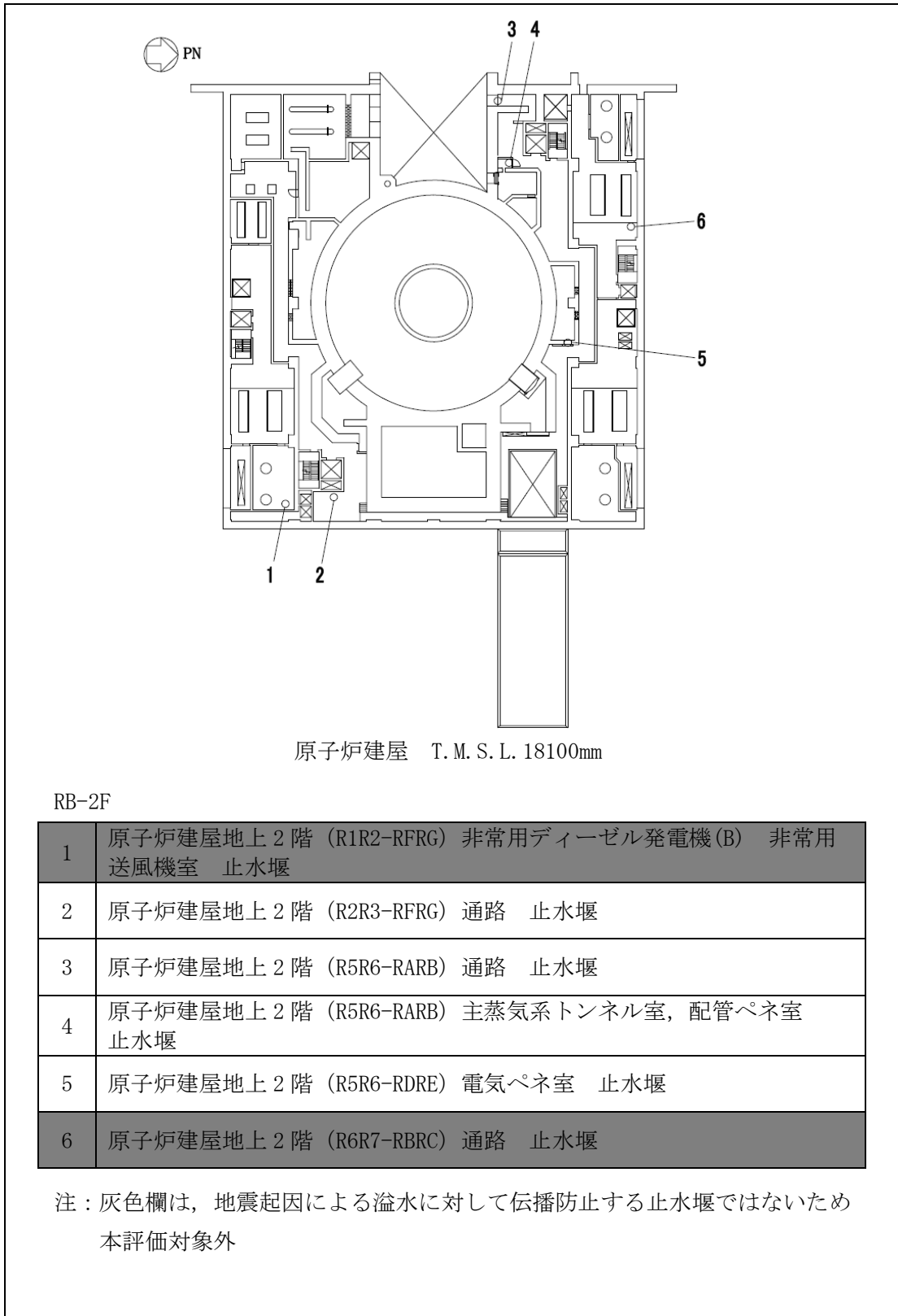
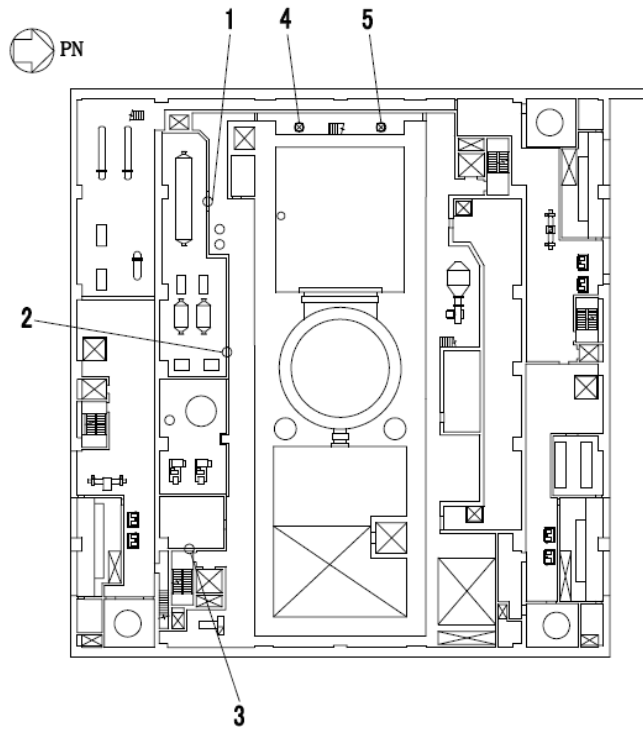


図 2-1 堰の設置位置図(4/10)

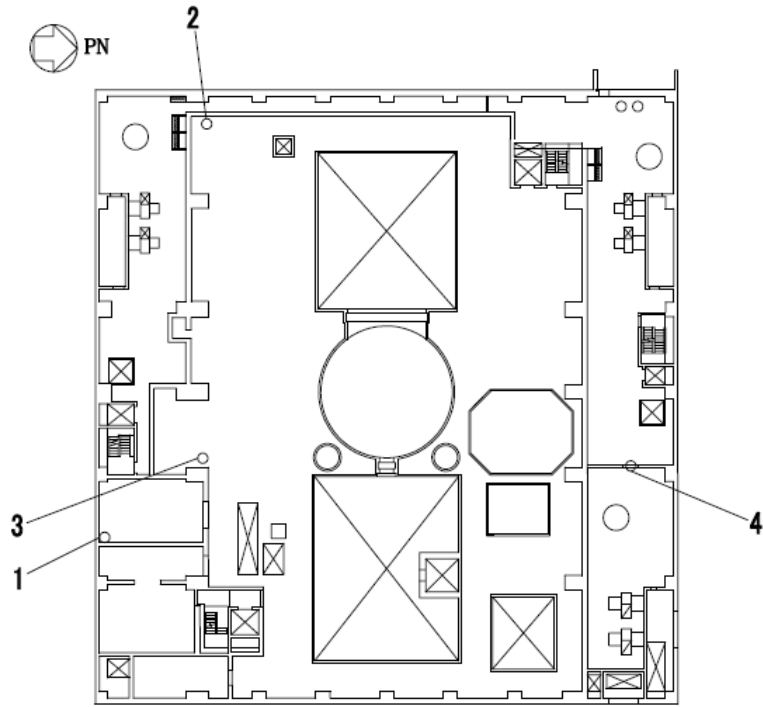


原子炉建屋 T. M. S. L. 23500mm

RB-3F

1	原子炉建屋地上3階 (R2R3-RBRC) 非常用ガス処理系室 止水堰
2	原子炉建屋地上3階 (R2R3-RCRD) 非常用ガス処理系室 止水堰
3	原子炉建屋地上3階 (R2R3-RFRG) 格納容器内雰囲気モニタ系(B)室 止水堰
4	原子炉建屋地上3階 (R3R4-RARB) 通路 止水堰
5	原子炉建屋地上3階 (R4R5-RARB) 通路 止水堰

図2-1 堰の設置位置図(5/10)



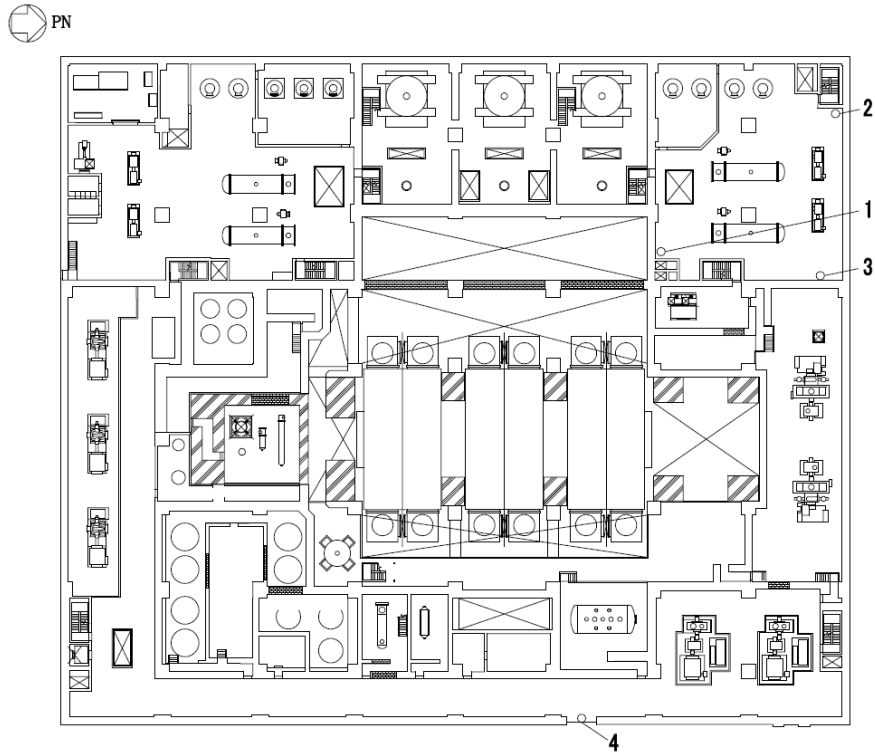
原子炉建屋 T. M. S. L. 31700mm

RB-4F

1	原子炉建屋地上4階 (R1R2-RERF) 原子炉内蔵型再循環ポンプ点検室 止水堰
2	原子炉建屋地上4階 (R2R3-RARB) オペレーティングフロア 止水堰
3	原子炉建屋地上4階 (R2R3-RDRE) オペレーティングフロア 止水堰
4	原子炉建屋地上4階 (R6R7-RDRE) 原子炉補機冷却水系(C)サージタンク 室 止水堰

注：灰色欄は、地震起因による溢水に対して伝播防止する止水堰ではないため
本評価対象外

図 2-1 堰の設置位置図(6/10)



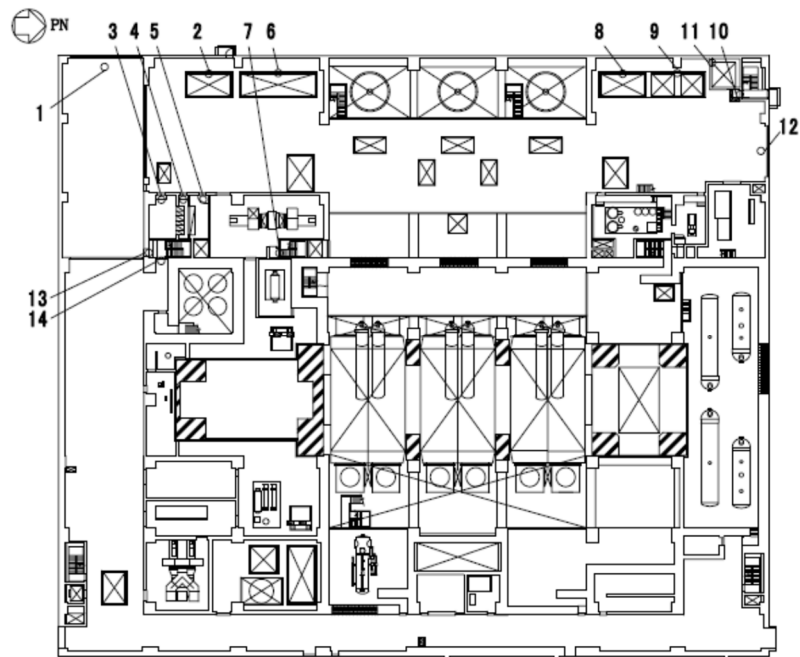
タービン建屋 T. M. S. L. 4900mm

TB-B1F

1	タービン建屋地下1階 (T7T8-TCTD) A系原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 止水堰
2	タービン建屋地下1階 (T8T9-TATB) A系原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 止水堰
3	タービン建屋地下1階 (T8T9-TCTD) A系原子炉補機冷却水系熱交換器・ポンプ室 止水堰
4	タービン建屋地下1階 (T6T7-TJTK) 通路 止水堰

注：灰色欄は、地震起因による溢水に対して伝播防止する止水堰ではないため本評価対象外

図2-1 堰の設置位置図(7/10)



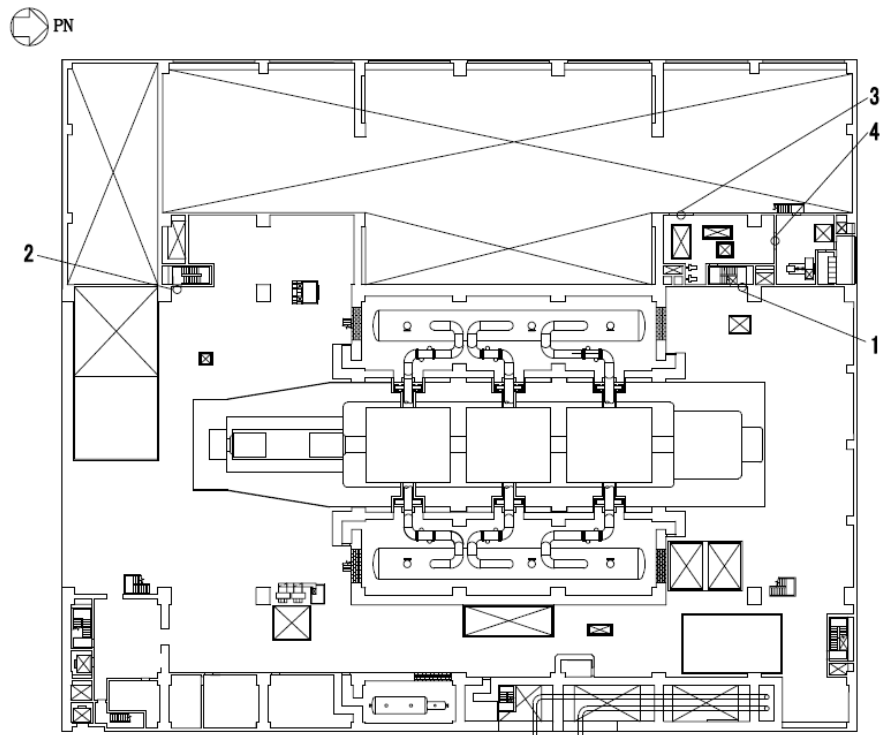
タービン建屋 T. M. S. L. 12300mm

TB-1F

1	タービン建屋地上1階 (T1T2-TATB) 大物搬出入口 止水堰*
2	タービン建屋地上1階 (T2T3-TATB) レイダウンスペース 止水堰
3	タービン建屋地上1階 (T2T3-TBTC) 海水熱交換器エリア給気処理装置室 止水堰1
4	タービン建屋地上1階 (T2T3-TBTC) 海水熱交換器エリア給気処理装置室 止水堰2
5	タービン建屋地上1階 (T2T3-TBTC) 海水熱交換器エリア給気処理装置室 止水堰3
6	タービン建屋地上1階 (T3T4-TATB) レイダウンスペース 止水堰
7	タービン建屋地上1階 (T3T4-TCTD) 南階段室 止水堰
8	タービン建屋地上1階 (T7T8-TATB) レイダウンスペース 止水堰
9	タービン建屋地上1階 (T7T9-TATB) レイダウンスペース 止水堰
10	タービン建屋地上1階 (T8T9-TATB) 北階段室 止水堰
11	タービン建屋地上1階 (T8T9-TATB) 原子炉補機冷却海水系配管室, 空調ダクト室 止水堰
12	タービン建屋地上1階 (T8T9-TBTC) レイダウンスペース 止水堰*
13	タービン建屋地上1階 (T1T2-TCTD) 南西階段室 止水堰
14	タービン建屋地上1階 (T2T3-TCTD) 南西階段室 止水堰

注記*：耐震Bクラス施設を示す。

図2-1 堰の設置位置図(8/10)



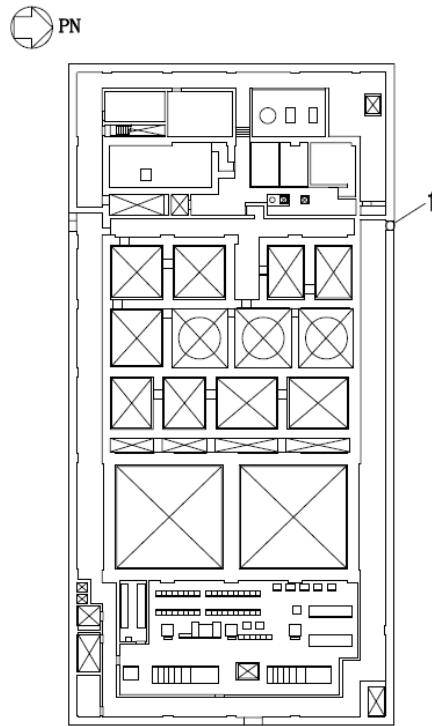
タービン建屋 T. M. S. L. 20400mm

TB-2F

1	タービン建屋地上 2 階 (T7T8-TCTD) 北西階段室 止水堰
2	タービン建屋地上 2 階 (T2T3-TCTD) 南西階段室 止水堰
3	タービン建屋地上 2 階 (T7T8-TBTC) 主油タンクメンテナンス室 止水堰
4	タービン建屋地上 2 階 (T8T9-TCTD) 主油タンクメンテナンス室 止水堰

注：灰色欄は、地震起因による溢水に対して伝播防止する止水堰ではないため
本評価対象外

図 2-1 堰の設置位置図(9/10)



廃棄物処理建屋 T. M. S. L. 6500mm

RwB-B1F

1	廃棄物処理建屋地下1階 (RW6RW7-RWBRWC) 通路 止水堰
---	------------------------------------

図 2-1 堰の設置位置図(10/10)

2.3 構造計画

堰の構造は、VI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」に示す構造計画を踏まえて、詳細な構造を設定する。堰は、鋼製堰（L型鋼製堰，鋼製落し込み型堰，鋼板組合せ堰）及び鉄筋コンクリート製堰に分類される。

2.3.1 L型鋼製堰の構造

L型鋼製堰は，鋼製板又はH形鋼及びアンカーボルトから構成され，アンカーボルトにより床面と接合する構造とする。L型鋼製堰の構造計画を表2-2に示す。

表 2-2 L型鋼製堰の構造計画

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
鋼製板又はH形鋼及びアンカーボルトにて構成する。	鋼製板又はH形鋼を床面にアンカーボルトにて固定する。	図2-2

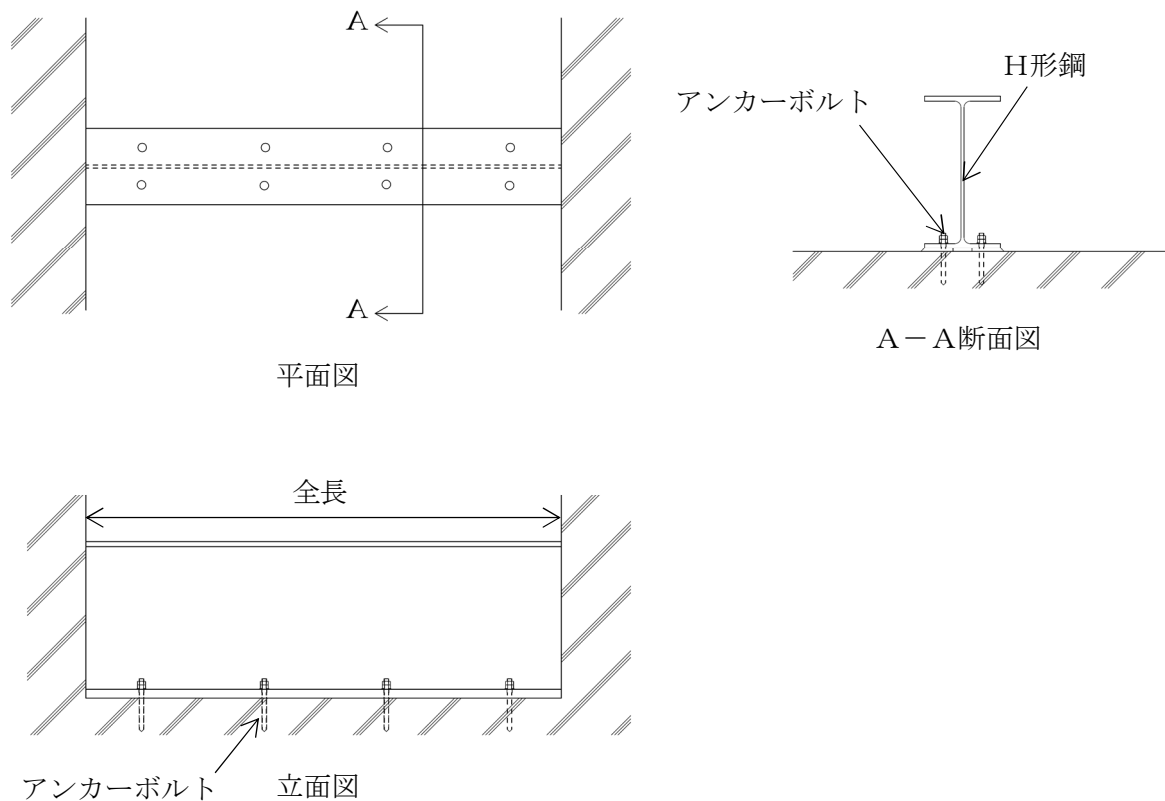


図 2-2 L型鋼製堰の概略構造図

2.3.2 鋼製落とし込み型堰の構造

鋼製落とし込み型堰は、鋼製板、枠材、H形鋼及びアンカーボルトから構成され、アンカーボルトにより、躯体に接合する構造とする。鋼製落とし込み型堰の構造計画を表2-3に示す。

表2-3 鋼製落とし込み型堰の構造計画

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
鋼製板、枠材、H形鋼及びアンカーボルトにて構成する。	鋼製板を取付けた枠材を固定したH形鋼をコンクリート躯体にアンカーボルトにて固定する。	図2-3

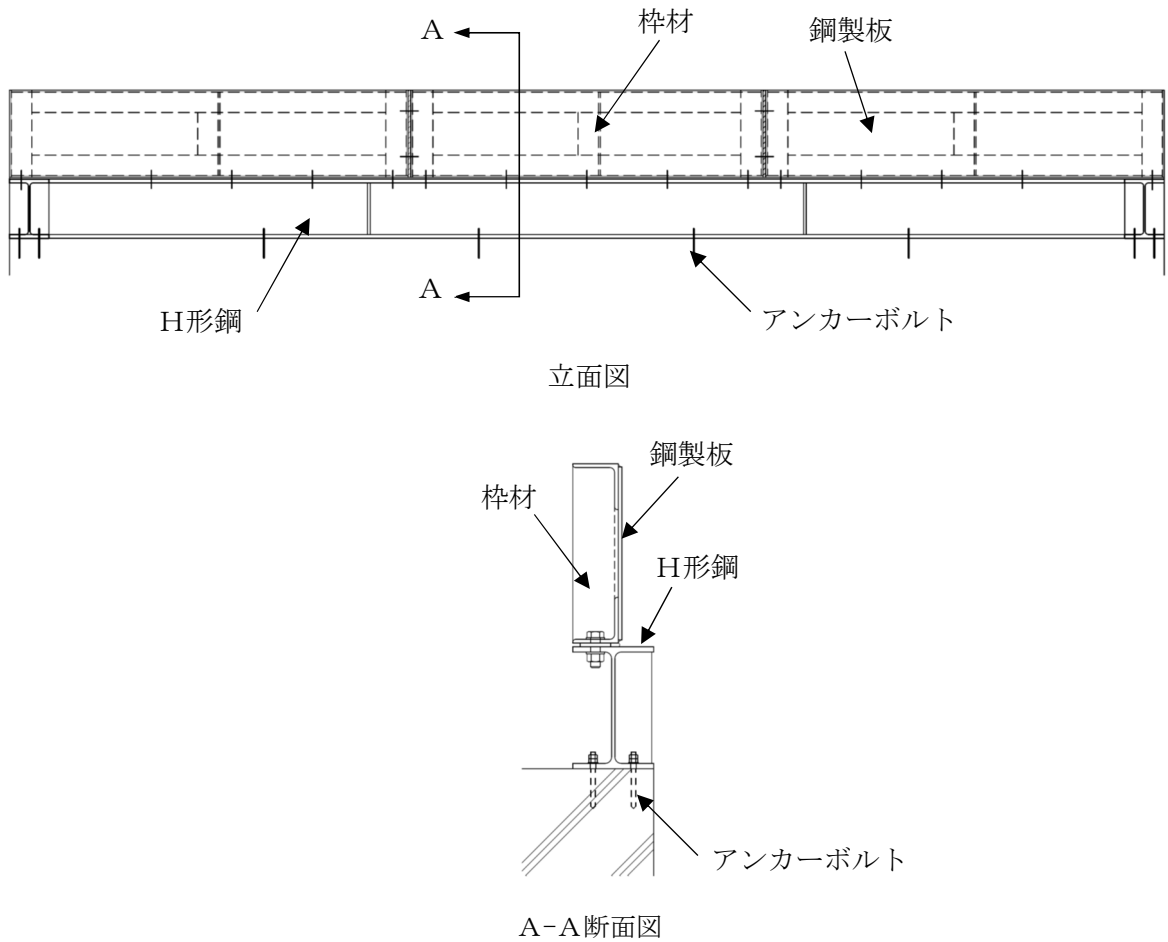


図 2-3 鋼製落とし込み型堰の概略構造図

2.3.3 鉄筋コンクリート製堰の構造

鉄筋コンクリート製堰は、アンカー筋により、既存躯体と堰を一体化させた鉄筋コンクリート構造物である。鉄筋コンクリート製堰の構造計画を表2-4-1及び表2-4-2に示す。

表2-4-1 鉄筋コンクリート製堰（一段）の構造計画

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
コンクリート、主筋（横筋）及びアンカー筋により構成する。	堰を既設コンクリート床面にアンカー筋で固定する。	

表2-4-2 鉄筋コンクリート製堰（二段以上）の構造計画

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
コンクリート、主筋（縦筋、横筋）及びアンカー筋により構成する。	堰を既設コンクリート床面にアンカー筋で固定する。	
		<p>注記* : 鉄筋のうち、既存躯体に埋め込まれた部分をアンカー筋、堰に敷設した部分を縦筋と定義する。</p>

2.3.4 鋼板組合せ堰の構造

鋼板組合せ堰は、止水板、梁材及びアンカーボルトから構成され、アンカーボルトにより床面及び必要に応じ壁面と接合する構造とする。溢水経路となる開口部の形状等によっては、柱材及びベースプレートを用いる構造とする。鋼板組合せ堰の構造計画を表2-5に示す。

表 2-5 鋼板組合せ堰の構造計画

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
止水板、梁材、柱材、ベースプレート及びアンカーボルトにて構成する。	鋼材で補強した止水板を床面及び必要に応じ壁面にアンカーボルトにて固定する。	図2-4

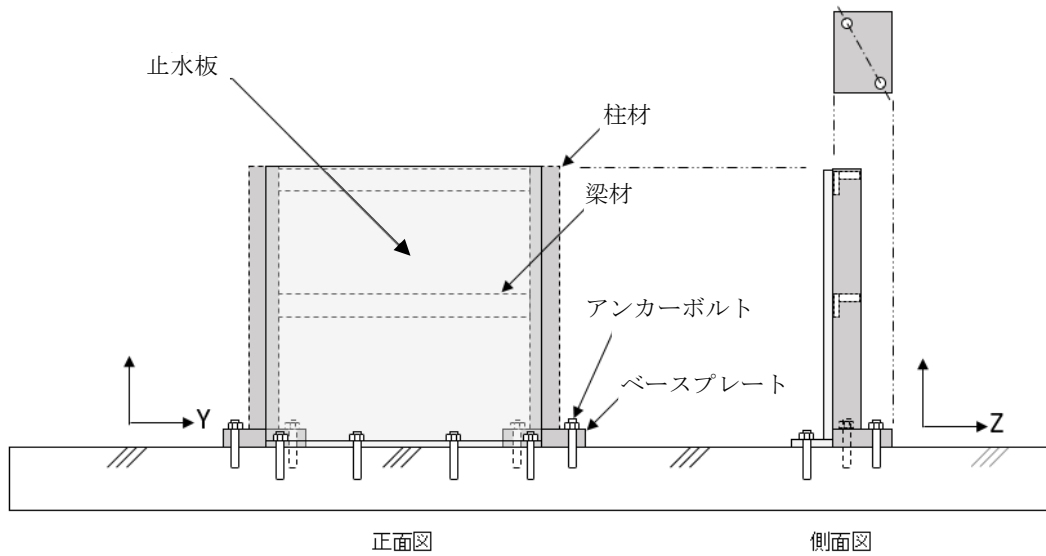


図 2-4 鋼板組合せ堰の概略構造図

2.4 評価方針

堰の耐震評価は、「3. 固有振動数及び設計用地震力」にて算出した固有振動数に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを「4. 構造強度評価」に示す方法にて確認することで実施する。堰の耐震評価フローを図2-5に示す。

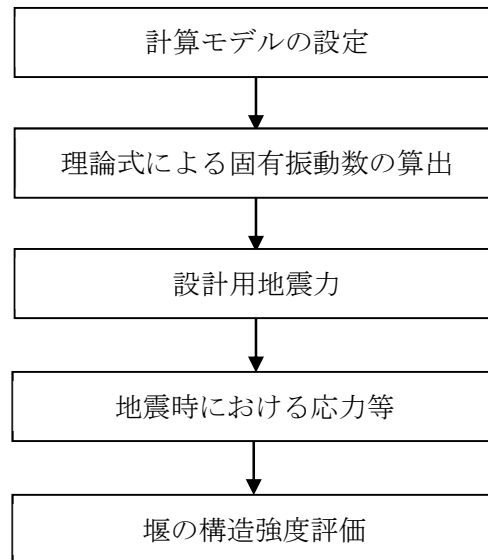


図2-5 堰の耐震評価フロー

2.5 適用規格

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー((社)日本建築学会, 1999改定)
- ・ 鋼構造設計規準ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 2005 改定)
(以下, 「S規準」という。)
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 2010 改定)
- ・ 日本産業規格(J I S) (日本規格協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984
((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・ 機械工学便覧 ((社) 日本機械学会)

2.6 記号の説明

L型鋼製堰の耐震評価に用いる記号を表2-6に、鋼製落とし込み型堰の耐震評価に用いる記号を表2-7に、鉄筋コンクリート製堰の耐震評価に用いる記号を表2-8に、及び鋼板組合せ堰の耐震評価に用いる記号を表2-9に示す。

表 2-6 L型鋼製堰の耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
b	mm	鋼製板の折り曲げ部又はH形鋼の幅
e	mm	アンカーボルトの穴縁端距離
F_H	kN	設計用水平地震力
H	mm	止水堰の高さ
k_H	—	水平方向の設計震度
L	mm	堰全長
M_h	kN・m/m	鋼製板又はH形鋼の最大曲げモーメント
N	本	引張側アンカーボルトの本数
Q_a	kN	アンカーボルトに生じるせん断に対する短期許容荷重
q	kN	アンカーボルトに生じる最大せん断力
T	kN	アンカーボルトに生じる最大引張力
T_a	kN	アンカーボルトに生じる引張りに対する短期許容荷重
W	kN/m	堰の単位長さ重量
w_1	kN	堰重量
w_h'	kN/m	堰にかかる水平荷重
Z	mm ³ /m	鋼製板又はH形鋼のウェブ面外断面係数
σ	N/mm ²	鋼製板又はH形鋼の最大曲げ応力度

表2-7 鋼製落とし込み型堰の耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
A_s	mm^2	枠材のせん断断面積
b	mm	H形鋼の幅
e	mm	アンカーボルトの穴縁端距離
H_1	mm	枠材の高さ
H_2	mm	H形鋼の高さ
k_H	—	水平方向の設計震度
L_1	mm	枠材が負担する堰長
L_2	mm	堰全長
M_{h1}	$\text{kN} \cdot \text{m/m}$	鋼製板の最大曲げモーメント
M_{h2}	$\text{kN} \cdot \text{m}$	枠材の最大曲げモーメント
M_{h3}	$\text{kN} \cdot \text{m/m}$	H形鋼の最大曲げモーメント
N_1	本	引張側アンカーボルトの本数
Q_a	kN	アンカーボルトに生じるせん断に対する短期許容荷重
Q_1	kN	枠材の最大せん断力
q	kN	アンカーボルトに生じる最大せん断力
T	kN	アンカーボルトに生じる最大引張力
T_a	kN	アンカーボルトに生じる引張りに対する短期許容荷重
W_{PL}	kN/m^2	鋼製板の単位面積重量
W_{CL}	kN/m^2	枠(鋼製板含む)の単位面積重量
W_H	kN/m	H形鋼の単位長さ重量
w_{h1}	kN/m^2	鋼製板にかかる水平荷重
w_{h2}	kN/m	枠材にかかる水平荷重
w_{h3}	kN/m	H形鋼にかかる水平荷重
Z	mm^3/m	H形鋼のウェブ面外断面係数
Z_1	mm^3/m	鋼製板の断面係数
Z_2	mm^3	枠材の断面係数
σ_1	N/mm^2	鋼製板の曲げ応力度
σ_2	N/mm^2	枠材の最大曲げ応力度
σ_3	N/mm^2	H形鋼の最大曲げ応力度
σ_e	N/mm^2	枠材の組合せ応力度
τ_1	N/mm^2	枠材の最大せん断応力度

表 2-8 鉄筋コンクリート製堰の耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
b'	mm	アンカー筋の重心位置から躯体端部までの距離
b''	mm	縦筋の重心位置から躯体端部までの距離
F_v	kN	設計用鉛直地震力
F_H	kN	設計用水平地震力
H	mm	止水堰の高さ
H'	mm	評価位置上部の止水堰の高さ
k_H	—	水平方向の設計震度
k_v	—	鉛直方向の設計震度
L	mm	堰全長
M_h	kN・m/m	鉄筋コンクリート製堰の最大曲げモーメント
N_1	本	アンカー筋の本数
N_2	本	縦筋の本数
Q_{a_1}	kN	アンカー筋に生じるせん断に対する短期許容荷重
Q_{a_2}	kN	縦筋に生じるせん断に対する短期許容荷重
q_1	kN	アンカー筋に生じる最大せん断力
q_2	kN	縦筋に生じる最大せん断力
T_1	kN	アンカー筋に生じる最大引張力
T_2	kN	縦筋に生じる最大引張力
T_{a_1}	kN	アンカー筋に生じる引張りに対する短期許容荷重
T_{a_2}	kN	縦筋に生じる引張りに対する短期許容荷重
t	mm	堰厚さ
w_1	kN	堰重量
w_2	kN	評価位置上部の堰重量
Z	mm ³ /m	鉄筋コンクリート製堰の断面係数
σ_c	N/mm ²	コンクリートの最大圧縮応力度
τ'	N/mm ²	堰底部のコンクリートの最大せん断応力度

表2-9 鋼板組合せ堰の耐震評価に用いる記号(1/2)

記号	単位	定義
A_s	mm^2	梁材のせん断断面積
A_Y	mm^2	柱材のせん断断面積
a	mm	止水板の長辺方向の幅
a'	mm	梁材1本当たりが負担する止水板の幅
B	mm	止水堰の側面全幅
g	m/s^2	重力加速度
H	mm	止水堰の高さ, または溢水評価水位を上回る水位
h	mm	止水堰の重心高さ
k_H	—	水平方向の設計震度
k_V	—	鉛直方向の設計震度
L	mm	止水堰の正面全幅
L'	mm	評価する梁材の長さ
L_1'	mm	柱材1本当たりが負担する柱材及び止水板の幅
ϱ_1	mm	重心とボルト間の水平距離
ϱ_2	mm	重心とボルト間の水平距離
M_f	$\text{N}\cdot\text{mm}$	梁材の曲げモーメント
M_Y	$\text{N}\cdot\text{mm}$	柱材の曲げモーメント
N_t	本	せん断を受ける床側アンカーボルト本数
N_w	本	せん断を受ける壁側アンカーボルト本数
n_t	本	引張を受ける床側アンカーボルトの本数
P_w	N/mm^2	地震荷重による分布荷重
Q_f	N	梁材の発生せん断力
Q_Y	N	柱材の発生せん断力
Q_a	N	アンカーボルトに生じるせん断に対する短期許容荷重
q	N	床側及び壁側アンカーボルト発生せん断力
T	N	床側アンカーボルト発生引張力
T_a	N	アンカーボルトに生じる引張りに対する短期許容荷重
t	mm	止水板の板厚
W_1	N	止水堰の重量
W_{f2}'	N/mm	柱材の単位長さ当たりの水平荷重
w_{f}'	N/mm	梁材の単位長さ当たりの水平荷重
Z	mm^3	梁材の断面係数
Z_Y	mm^3	柱材の断面係数
β	—	長方形板の応力係数
ρ_{ss}	kg/m^3	止水板の密度

表 2-9 鋼板組合せ堰の耐震評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
σ_{ρ}	N/mm ²	止水板の曲げ応力度
σ_f	N/mm ²	梁材の曲げ応力度
σ_{ef}	N/mm ²	梁材の組合せ応力度
σ_Y	N/mm ²	柱材の曲げ応力度
σ_{eY}	N/mm ²	柱材の組合せ応力度
τ_f	N/mm ²	梁材のせん断応力度
τ_Y	N/mm ²	柱材のせん断応力度

3. 固有振動数及び設計用地震力

3.1 固有振動数の計算方法

堰の構造に応じて解析モデルを設定し、固有振動数を求める。

3.1.1 解析モデルの設定

(1) L型鋼製堰

各部位の寸法や形状を踏まえL型鋼製堰は片持ちはりに単純化したモデルとし、堰の評価モデル図を図3-1に示す。

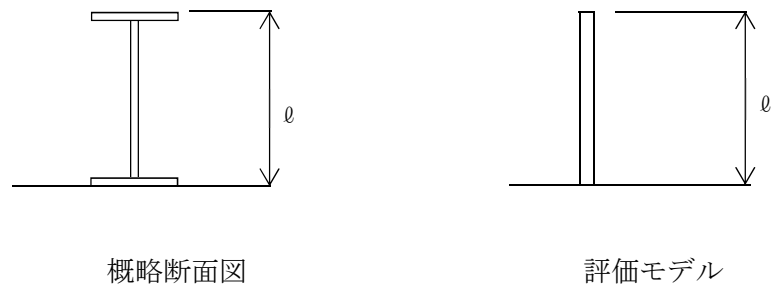


図 3-1 L型鋼製堰の評価モデル図

(2) 鋼製落とし込み型堰

各部位の寸法や形状を踏まえ鋼製落とし込み型堰は片持ちはりに単純化したモデルとし、堰の評価モデル図を図3-2に示す。

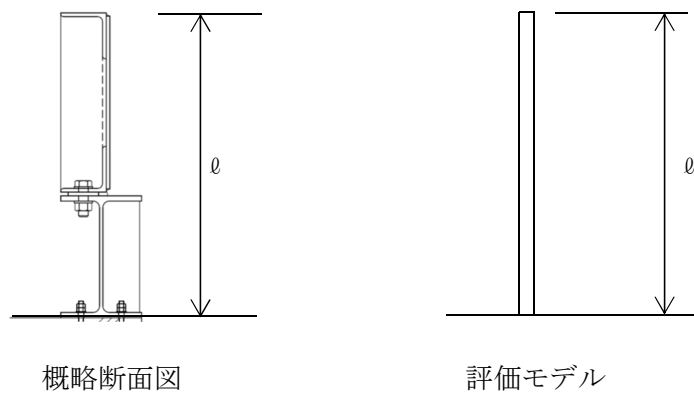


図 3-2 鋼製落とし込み型堰の評価モデル図

(3) 鉄筋コンクリート製堰

各部位の寸法や形状を踏まえ鉄筋コンクリート製堰は片持ちはりに単純化したモデルとし、堰の評価モデル図を図3-3に示す。

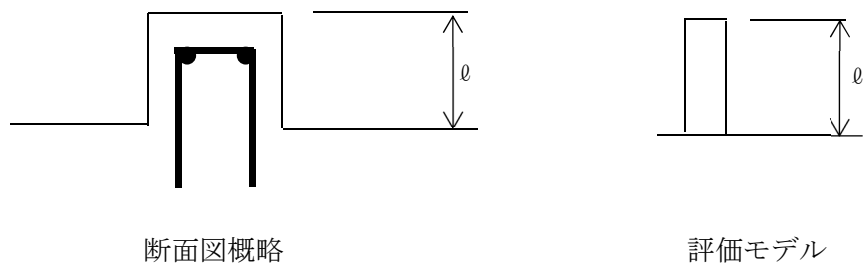


図 3-3 鉄筋コンクリート製堰の評価モデル図

(4) 鋼板組合せ堰

堰全体の寸法や形状を踏まえ、鋼板組合せ堰は片持ちはりに単純化したモデルとし、堰の評価モデル図を図3-4に示す。

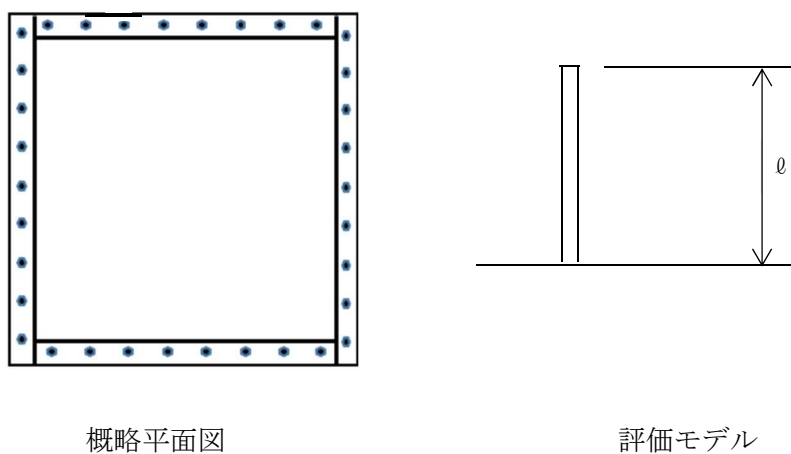


図 3-4 鋼板組合せ堰の評価モデル図

3.1.2 記号の説明

堰の固有振動数算出に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 堰の固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	固有振動数
ℓ	mm	堰高さ
E	N/mm ²	ヤング率
I	mm ⁴	断面2次モーメント
m	kg/m	単位長さ当たりの質量

3.1.3 固有振動数の算出方法

固有振動数 f を「機械学会 機械工学便覧」に基づき以下の式より算出する。

$$f = \frac{1.875^2}{2\pi\ell^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} \times 10^3$$

3.2 固有振動数の計算条件

L型鋼製堰の固有振動数の計算条件を表3-2に、鋼製落とし込み型堰の固有振動数の計算条件を表3-3に、鉄筋コンクリート製堰の固有振動数の計算条件を表3-4に、鋼板組合せ堰の固有振動数の計算条件を表3-5に示す。

表3-2 L型鋼製堰の固有振動数の計算条件

堰 No.	堰高さ ℓ (mm)	ヤング率 E (N/mm ²)	断面2次 モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/m)
RB-B1F-1	310	2.05×10^5	2.28×10^4	119
RB-B1F-2	310	2.05×10^5	2.28×10^4	119
RB-B1F-3	310	2.05×10^5	2.28×10^4	119
RB-B1F-4	310	2.05×10^5	2.28×10^4	119
RB-1F-2	310	2.05×10^5	2.28×10^4	119
RB-1F-3	160	2.05×10^5	2.85×10^4	195
RB-1F-4	352	2.05×10^5	2.28×10^4	105
RB-1F-5	210	2.05×10^5	4.26×10^4	238
RB-1F-7	310	2.05×10^5	2.28×10^4	119
RB-2F-4	313	2.05×10^5	2.28×10^4	118
RB-2F-5	347	2.05×10^5	2.28×10^4	106
RB-3F-1	309	2.05×10^5	2.28×10^4	119
RB-3F-2	310	2.05×10^5	2.28×10^4	119
RB-3F-3	304	2.05×10^5	4.26×10^4	184
TB-1F-2	410	2.05×10^5	4.26×10^4	195
TB-1F-3	410	2.05×10^5	4.26×10^4	160
TB-1F-4	410	2.05×10^5	4.26×10^4	160
TB-1F-5	410	2.05×10^5	4.26×10^4	132
TB-1F-6	410	2.05×10^5	4.26×10^4	196
TB-1F-7	260	2.05×10^5	6.07×10^4	277
TB-1F-8	410	2.05×10^5	4.26×10^4	196
TB-1F-11	430	1.93×10^5	1.44×10^5	175
TB-2F-1	315	2.05×10^5	2.28×10^4	117
RwB-B1F-1	209	2.05×10^5	1.80×10^4	65.1

表 3-3 鋼製落とし込み型堰の固有振動数の計算条件

堰 No.	堰高さ \varnothing (mm)	ヤング率 E (N/mm ²)	断面 2 次 モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/m)
TB-B1F-4	300	2.05×10^5	4.61×10^5	100
TB-1F-9	1100	2.05×10^5	2.32×10^6	117
TB-1F-12	720	1.93×10^5	5.08×10^6	54.6

表 3-4 鉄筋コンクリート製堰の固有振動数の計算条件

堰 No.	堰高さ \varnothing (mm)	ヤング率 E (N/mm ²)	断面 2 次 モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/m)
RB-1F-8	200	2.50×10^4	7.09×10^{12}	5640
RB-2F-3	144	2.50×10^4	4.86×10^8	441
TB-1F-1	365	2.80×10^4	1.24×10^{13}	6630
TB-1F-10	410	2.50×10^4	1.91×10^{11}	2030
TB-1F-13	210	2.44×10^4	6.66×10^8	1200
TB-1F-14	410	2.44×10^4	2.81×10^{11}	2150
TB-2F-2	410	2.44×10^4	2.81×10^{11}	2280

表 3-5 鋼板組合せ堰の固有振動数の計算条件

堰 No.	堰高さ ϕ (mm)	ヤング率 E (N/mm ²)	断面 2 次 モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/m)
RB-B2F-1	400	205000	2.062×10^9	148.4
RB-B2F-2	400	205000	4.142×10^9	270.6
RB-B2F-3	400	205000	4.112×10^9	264.7
RB-B2F-4	400	205000	2.142×10^9	149.5
RB-B2F-5	400	205000	1.130×10^{10}	252.5
RB-B2F-6	400	205000	1.237×10^9	209.9
RB-1F-1	300	205000	1.170×10^6	42.41
RB-1F-6	376	205000	3.110×10^6	71.54
RB-2F-2	1548	205000	3.110×10^6	71.77
RB-3F-4	400	205000	5.594×10^9	209.3
RB-3F-5	400	205000	6.422×10^9	215.7
RB-4F-1	1512	205000	3.110×10^6	80.90
RB-4F-2	1500	205000	1.439×10^{10}	595.2
RB-4F-3	1500	205000	3.347×10^9	544.5

3.3 固有振動数の計算結果

L型鋼製堰の固有振動数の計算結果を表3-6に、鋼製落とし込み型堰の固有振動数の計算結果を表3-7に、鉄筋コンクリート製堰の固有振動数の計算結果を表3-8に、及び鋼板組合せ堰の固有振動数の計算結果を表3-9に示す。計算結果より、全ての堰が剛であることを確認した。

表3-6 L型鋼製堰の固有振動数の計算結果

堰 No.	固有振動数 f (Hz)
RB-B1F-1	36.4
RB-B1F-2	36.4
RB-B1F-3	36.4
RB-B1F-4	36.4
RB-1F-2	36.4
RB-1F-3	119
RB-1F-4	30.1
RB-1F-5	76.8
RB-1F-7	36.4
RB-2F-4	35.9
RB-2F-5	30.8
RB-3F-1	36.7
RB-3F-2	36.4
RB-3F-3	41.7
TB-1F-2	22.2
TB-1F-3	24.5
TB-1F-4	24.5
TB-1F-5	27.0
TB-1F-6	22.2
TB-1F-7	55.4
TB-1F-8	22.2
TB-1F-11	38.1
TB-2F-1	35.6
RwB-B1F-1	96.4

表3-7 鋼製落とし込み型堰の固有振動数の計算結果

堰 No.	固有振動数 f (Hz)
TB-B1F-4	191
TB-1F-9	29.4
TB-1F-12	144

表 3-8 鉄筋コンクリート製堰の固有振動数の計算結果

堰 No.	固有振動数 f (Hz)
RB-1F-8	78400
RB-2F-3	4470
TB-1F-1	30300
TB-1F-10	5100
TB-1F-13	1470
TB-1F-14	5940
TB-2F-2	5770

表 3-9 鋼板組合せ堰の固有振動数の計算結果

堰 No.	固有振動数 f (Hz)
RB-B2F-1	5902
RB-B2F-2	6194
RB-B2F-3	6240
RB-B2F-4	5993
RB-B2F-5	10592
RB-B2F-6	3843
RB-1F-1	467
RB-1F-6	373
RB-2F-2	22
RB-3F-4	8185
RB-3F-5	8639
RB-4F-1	21
RB-4F-2	553
RB-4F-3	279

3.4 設計用地震力

基準地震動 S_s による設計用地震力は、「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」, 「VI-2-2-5 タービン建屋の地震応答計算書」及び「VI-2-2-11 廃棄物処理建屋の地震応答計算書」に基づき設定する。

地震応答解析に基づいて算定された堰設置床の最大応答加速度から各堰の設計震度を設定する。また、堰は建物・構築物として評価する。

各堰の設置床の最大応答加速度から算出した設計震度を表3-10に示す。

表 3-10 堰の設計震度

建屋	階	床高さ (T. M. S. L.)	水平震度* (—)	鉛直震度 (—)
タービン建屋	地上 2 階	20.4m	1.46	0.851
	地上 1 階	12.3m	1.13	0.801
	地下 1 階	4.9m	0.881	0.748
原子炉建屋	地上 4 階天井	38.2m	1.35	0.994
	地上 4 階	31.7m	1.15	0.960
	地上 3 階	23.5m	1.01	0.935
	地上 2 階	18.1m	0.935	0.907
	地上 1 階	12.3m	0.885	0.873
	地下 1 階	4.8m	0.837	0.839
	地下 2 階	-1.7m	0.849	0.837
廃棄物処理建屋	地下 1 階	6.5m	1.03	1.07

注記* : NS 方向及び EW 方向の最大値を用いる。

4. 構造強度評価

4.1 評価対象部位及び評価対象設備

堰の評価対象部位は、自重及び地震荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

また、L型鋼製堰、鋼製落とし込み型堰、鉄筋コンクリート製堰及び鋼板組合せ堰において、評価結果が厳しい評価対象部位を有する堰を代表して評価する。

4.1.1 L型鋼製堰と鋼製落とし込み型堰

L型鋼製堰の評価対象部位は、自重及び地震に伴う慣性力が、鋼製板又はH形鋼からアンカーボルトへ伝わり、アンカーボルトを介して躯体に伝わることから、鋼製板又はH形鋼及びアンカーボルトとする。

鋼製落とし込み型堰の評価対象部位は、堰に作用する自重及び地震荷重により応力が発生することから、鋼製板、枠材、H形鋼及びアンカーボルトとする。

評価の対象となるL型鋼製堰の選定結果を表4-1に、鋼製落とし込み型堰の選定結果を表4-2に示す。

表 4-1 評価対象とするL型鋼製堰の選定結果(1/2)

堰 No.	名称	設置床高さ (T. M. S. L.)	評価対象 設備 (代表)
RB-B1F-1	原子炉建屋地下1階 (R1R2-RCRD) 原子炉系 (DIV-IV) 計装ラック室 止水堰	4.8m	
RB-B1F-2	原子炉建屋地下1階 (R1R2-RDRE) 原子炉系 (DIV-II) 計装ラック室 止水堰	4.8m	
RB-B1F-3	原子炉建屋地下1階 (R6R7-RCRD) 原子炉系 (DIV-I) 計装ラック室 止水堰	4.8m	
RB-B1F-4	原子炉建屋地下1階 (R6R7-RDRE) 原子炉系 (DIV-III) 計装ラック室 止水堰	4.8m	
RB-1F-2	原子炉建屋地上1階 (R1R2-RCRD) ほう酸水注入系・ 電気ペネ室 止水堰	12.3m	
RB-1F-3	原子炉建屋地上1階 (R2R3-RBRC) 原子炉冷却材浄化系 弁室 止水堰	12.3m	
RB-1F-4	原子炉建屋地上1階 (R3R4-RFRG) 電気ペネ室 止水堰	12.3m	
RB-1F-5	原子炉建屋地上1階 (R4R5-RFRG) 可燃性ガス濃度制御 系エアロック室 止水堰	12.3m	
RB-1F-7	原子炉建屋地上1階 (R5R6-RBRC) 原子炉補機冷却水 系・不活性ガス系・電気ペネ室 止水堰	12.3m	

表 4-1 評価対象とする L 型鋼製堰の選定結果 (2/2)

堰 No.	名称	設置床高さ (T. M. S. L.)	評価対象 設備 (代表)
RB-2F-4	原子炉建屋地上 2 階 (R5R6-RARB) 主蒸気系トンネル室, 配管ペネ室 止水堰	18.1m	
RB-2F-5	原子炉建屋地上 2 階 (R5R6-RDRE) 電気ペネ室 止水堰	18.1m	
RB-3F-1	原子炉建屋地上 3 階 (R2R3-RBRC) 非常用ガス処理系室 止水堰	23.5m	
RB-3F-2	原子炉建屋地上 3 階 (R2R3-RCRD) 非常用ガス処理系室 止水堰	23.5m	
RB-3F-3	原子炉建屋地上 3 階 (R2R3-RFRG) 格納容器内雰囲気モニタ系 (B) 室 止水堰	23.5m	
TB-1F-2	タービン建屋地上 1 階 (T2T3-TATB) レイダウンスペース 止水堰	12.3m	
TB-1F-3	タービン建屋地上 1 階 (T2T3-TBTC) 海水熱交換器エリア給気処理装置室 止水堰 1	12.3m	
TB-1F-4	タービン建屋地上 1 階 (T2T3-TBTC) 海水熱交換器エリア給気処理装置室 止水堰 2	12.3m	
TB-1F-5	タービン建屋地上 1 階 (T2T3-TBTC) 海水熱交換器エリア給気処理装置室 止水堰 3	12.3m	
TB-1F-6	タービン建屋地上 1 階 (T3T4-TATB) レイダウンスペース 止水堰	12.3m	
TB-1F-7	タービン建屋地上 1 階 (T3T4-TCTD) 南階段室 止水堰	12.3m	
TB-1F-8	タービン建屋地上 1 階 (T7T8-TATB) レイダウンスペース 止水堰	12.3m	○*
TB-1F-11	タービン建屋地上 1 階 (T8T9-TATB) 原子炉補機冷却海水系配管室, 空調ダクト室 止水堰	12.3m	
TB-2F-1	タービン建屋地上 2 階 (T7T8-TCTD) 北西階段室 止水堰	20.4m	
RwB-B1F-1	廃棄物処理建屋地下 1 階 (RW6RW7-RWBRWC) 通路 止水堰	6.5m	

注記* : 最も評価結果が厳しい評価対象部位を有する堰を選定

表 4-2 評価対象とする鋼製落とし込み型堰の選定結果

堰 No.	名称	設置床高さ (T. M. S. L.)	評価対象 設備 (代表)
TB-B1F-4	タービン建屋地下 1 階 (T6T7-TJTK) 通路 止水堰	4.9m	
TB-1F-9	タービン建屋地上 1 階 (T7T9-TATB) レイダウンスペース 止水堰	12.3m	○*
TB-1F-12	タービン建屋地上 1 階 (T8T9-TBTC) レイダウンスペース 止水堰	12.3m	

注記*：最も評価結果が厳しい評価対象部位を有する堰を選定

4.1.2 鉄筋コンクリート製堰

鉄筋コンクリート製堰の評価対象部位は、堰に作用する自重及び地震荷重により応力が発生することから、堰と既存躯体の取合い部分の堰底部のコンクリート、アンカー筋及び縦筋とする。評価の対象となる鉄筋コンクリート製堰の選定結果を表4-3に示す。

表 4-3 評価対象とする鉄筋コンクリート製堰の選定結果

堰 No.	名称	設置床高さ (T. M. S. L.)	評価対象 設備 (代表)
RB-1F-8	原子炉建屋地上 1 階 (R5R6-RG) 大物搬出入口建屋 止水堰	12.3m	
RB-2F-3	原子炉建屋地上 2 階 (R5R6-RARB) 通路 止水堰	18.1m	
TB-1F-1	タービン建屋地上 1 階 (T1T2-TATB) 大物搬出入口 止水堰	12.3m	○*
TB-1F-10	タービン建屋地上 1 階 (T8T9-TATB) 北階段室 止水堰	12.3m	
TB-1F-13	タービン建屋地上 1 階 (T1T2-TCTD) 南西階段室 止水堰	12.3m	
TB-1F-14	タービン建屋地上 1 階 (T2T3-TCTD) 南西階段室 止水堰	12.3m	
TB-2F-2	タービン建屋地上 2 階 (T2T3-TCTD) 南西階段室 止水堰	20.4m	

注記*：最も評価結果が厳しい評価対象部位を有する堰を選定

4.1.3 鋼板組合せ堰

鋼板組合せ堰の評価対象部位は、自重及び地震に伴う慣性力が、止水板、梁材、柱材及びベースプレートからアンカーボルトへ伝わり、アンカーボルトを介して躯体に伝わることから、止水板、梁材、柱材、ベースプレート及びアンカーボルトとする。

評価の対象となる鋼板組合せ堰の選定結果を表4-4に示す。

表 4-4 評価対象とする鋼板組合せ堰の選定結果

堰 No.	名 称	設置床高さ (T. M. S. L.)	評価対象 設備 (代表)
RB-B2F-1	原子炉建屋地下 2 階 (R1R2-RDRE) 通路 止水堰	-1.7m	
RB-B2F-2	原子炉建屋地下 2 階 (R3R4-RFRG) 原子炉内蔵型 再循環ポンプ・制御棒駆動機構補修室 止水堰	-1.7m	
RB-B2F-3	原子炉建屋地下 2 階 (R4R5-RFRG) 原子炉内蔵型 再循環ポンプ・制御棒駆動機構補修室 止水堰	-1.7m	
RB-B2F-4	原子炉建屋地下 2 階 (R6R7-RDRE) 通路 止水堰	-1.7m	
RB-B2F-5	原子炉建屋地下 2 階 (R4R5-RARB) 制御棒駆動機構配管室 止水堰	-1.7m	
RB-B2F-6	原子炉建屋地下 2 階 (R5R6-RBRC) 通路 止水堰	-1.7m	
RB-1F-1	原子炉建屋地上 1 階 (R1R2-RBRC) 通路 止水堰	12.3m	
RB-1F-6	原子炉建屋地上 1 階 (R5R6-RARB) 通路 止水堰	12.3m	
RB-2F-2	原子炉建屋地上 2 階 (R2R3-RFRG) 通路 止水堰	18.1m	
RB-3F-4	原子炉建屋地上 3 階 (R3R4-RARB) 通路 止水堰	23.5m	
RB-3F-5	原子炉建屋地上 3 階 (R4R5-RARB) 通路 止水堰	23.5m	
RB-4F-1	原子炉建屋地上 4 階 (R1R2-RERF) 原子炉内蔵型再循環 ポンプ点検室 止水堰	31.7m	
RB-4F-2	原子炉建屋地上 4 階 (R2R3-RARB) オペレーティング フロア 止水堰	31.7m	
RB-4F-3	原子炉建屋地上 4 階 (R2R3-RDRE) オペレーティング フロア 止水堰	31.7m	○*

注記*：最も評価結果が厳しい評価対象部位を有する堰を選定

4.2 荷重及び荷重の組合せ

4.2.1 荷重の組合せ

堰の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s^*$$

注記*：耐震Bクラスの施設に要求される地震荷重は地震荷重(S_B)であるが，保守的な評価となるように地震荷重(S_s)を組合せる。

4.2.2 荷重

(1) 固定荷重(G)

固定荷重として堰の自重を考慮する。自重は「4.5 評価条件」に示す。

(2) 地震荷重(S_s)

地震荷重は，基準地震動 S_s による荷重を考慮する。「3. 固有振動数及び設計用地震力」で設定した設計震度を用いて，次式により算定する。

$$S_s = G \cdot K$$

S_s ：地震荷重(kN)

G ：固定荷重(kN)

K ：設計震度

4.3 許容限界

許容限界は、「4.1 評価対象部位及び評価対象設備」にて設定している評価対象部位ごとに機能損傷モードを考慮し、短期許容応力度又は短期許容荷重とする。代表として評価する堰の許容限界を以下に示す。

4.3.1 L型鋼製堰の許容限界

(1) 鋼製板及びH形鋼

「S規準」に基づき算定した短期許容応力度を表4-5に示す。

表4-5 鋼製板及びH形鋼の短期許容応力度

材料	短期許容応力度		
	曲げ (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)	組合せ (N/mm ²)
SS400	235	135	235

(2) アンカーボルト

各種合成構造設計指針・同解説（(社)日本建築学会，2010改定）に基づき算定した短期許容荷重を表4-6に示す。

なお、引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる許容荷重と付着力により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。せん断力を受ける場合においては、アンカーボルト母材のせん断強度より決まる許容荷重、定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表4-6 アンカーボルトの短期許容荷重

材料	短期許容荷重	
	引張り (kN)	せん断 (kN)
SS400	36.6	25.7

4.3.2 鋼製落とし込み型堰の許容限界

(1) 鋼製板

「S規準」に基づき算定した短期許容応力度を表4-7に示す。

表4-7 鋼製板の短期許容応力度

材料	短期許容応力度		
	曲げ (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)	組合せ (N/mm ²)
SS400	235	135	235

(2) 枠材及びH形鋼

「S規準」に基づき算定した短期許容応力度を表4-8に示す。

表4-8 枠材及びH形鋼の短期許容応力度

材料	短期許容応力度		
	曲げ (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)	組合せ (N/mm ²)
SS400	235	135	235

(3) アンカーボルト

各種合成構造設計指針・同解説（(社)日本建築学会，2010年改定）に基づき算定した短期許容荷重を表4-9に示す。

なお、引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる許容荷重とコンクリート躯体のコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。せん断力を受ける場合においては、アンカーボルト母材のせん断強度より決まる許容荷重、定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表4-9 アンカーボルトの短期許容荷重

材料	短期許容荷重	
	引張り (kN)	せん断 (kN)
SS400	36.6	25.7

4.3.3 鉄筋コンクリート製堰の許容限界

(1) コンクリート

鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 一許容応力度設計法一（（社）日本建築学会，1999 改定）に基づき算定したコンクリートの短期許容応力度を表 4-10 に示す。

表 4-10 コンクリートの短期許容応力度

材料	短期許容応力度	
	圧縮 (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)
コンクリート	26.6	1.33

(2) 縦筋

鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 一許容応力度設計法一（（社）日本建築学会，1999 改定）に基づき算定した，縦筋の短期許容荷重を表 4-11 に示す。

表 4-11 縦筋の短期許容荷重

種類	短期許容荷重	
	引張り (kN)	せん断 (kN)
SD295A	37.4	37.4

(3) アンカー筋

各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年改定）に基づき算定した短期許容荷重を表 4-12 に示す。

なお，引張力を受ける場合においては，アンカー筋の降伏により決まる許容荷重と付着力により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。せん断力を受ける場合においては，アンカー筋母材のせん断強度より決まる許容荷重，定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 4-12 アンカー筋の短期許容荷重

材料	短期許容荷重	
	引張り (kN)	せん断 (kN)
SD295	24.9	26.1

4.3.4 鋼板組合せ堰の許容限界

(1) 止水板

「S規準」に基づき算定した短期許容応力度を表4-13に示す。

表4-13 止水板の短期許容応力度

材料	短期許容応力度	
	曲げ (N/mm ²)	
SS400	271	

(2) 梁材

「S規準」に基づき算定した短期許容応力度を表4-14に示す。

表4-14 梁材の短期許容応力度

材料	短期許容応力度		
	曲げ (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)	組合せ (N/mm ²)
SS400	235	135	235

(3) アンカーボルト

各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010改定）に基づき算定した短期許容荷重を表4-15に示す。

なお、引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる許容荷重とコンクリート躯体のコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。せん断力を受ける場合においては、アンカーボルト母材のせん断強度により決まる許容荷重、定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表4-15 アンカーボルトの短期許容荷重

部位	材料	短期許容荷重	
		引張り (N)	せん断 (N)
床	SS400 相当 (SAE 1008)	9313	13870
壁	SWCH	—	10510

4.4 評価方法

VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、堰の耐震評価は地震により生じる応力度及び荷重が、「4.3 許容限界」で設定した許容限界を超えないことを確認する。

4.4.1 L型鋼製堰の評価方法

地震荷重を受けるはりモデルに置き換え、鋼製板又はH形鋼とアンカーボルトに発生する応力を算定し、各許容限界との比較により耐震評価を行う。

(1) 応力算定

自重及び地震荷重を受ける鋼製板又はH形鋼に生じる曲げ応力、並びにアンカーボルトに生じる引張力及びせん断力に対する確認を行うに当たり、各荷重により生じる曲げモーメント、せん断力を算定する。

L型鋼製堰に生じる力の概念図を図4-1、図4-2に示す。

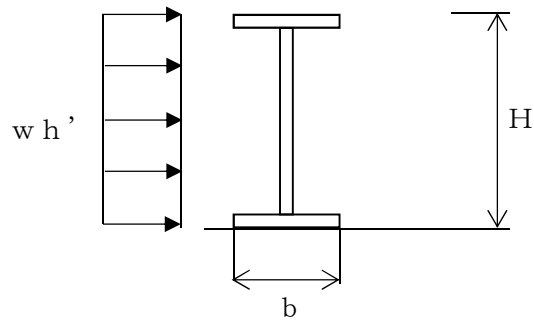


図4-1 地震時のH形鋼に生じる力の断面概念図

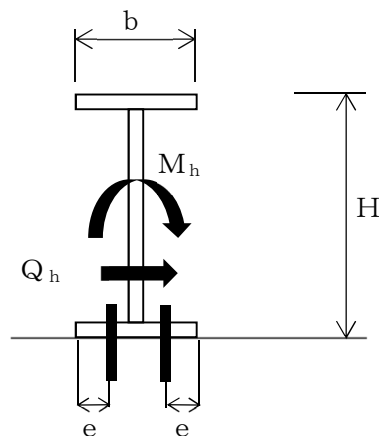


図4-2 地震時のアンカーボルトに生じる力の断面概念図

(2) 断面検定

a. 鋼製板又はH形鋼

(a) 水平方向地震荷重

単位長さ当たりの地震時水平荷重は次式より算出する。

$$w h' = W \cdot k_H$$

ここで、 $w h'$: 堰にかかる水平荷重(kN/m)

W : 堰の単位長さ重量(kN/m)

k_H : 水平方向の設計震度

(b) 曲げ応力度に対する検定

鋼製板又はH形鋼に生じる曲げ応力度は機械工学便覧に基づき次式より算出し、鋼製板又はH形鋼の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma = (M_h \cdot 10^6) / Z$$

$$M_h = w h' \cdot H / 2 \cdot 10^{-3}$$

ここで、 σ : 鋼製板又はH形鋼の最大曲げ応力度(N/mm²)

M_h : 鋼製板又はH形鋼の最大曲げモーメント(kN・m/m)

Z : 鋼製板又はH形鋼のウェブ面外断面係数(mm³/m)

$w h'$: 堰にかかる水平荷重(kN/m)

H : 止水堰の高さ(mm)

b. アンカーボルト

(a) 引張力に対する検定

アンカーボルトに作用する引張力を算出し、アンカーボルトの短期許容引張耐力を下回ることを確認する。

$$T = M_h \cdot L / ((b - e) \cdot 10^{-3} \cdot 0.875 \cdot N)$$

$$M_h = w_1 \cdot k_H \cdot H / 2 \cdot 10^{-3} / L$$

T : アンカーボルトに生じる最大引張力(kN)

M_h : 鋼製板又はH形鋼の最大曲げモーメント(kN・m/m)

L : 堰全長(mm)

b : 鋼製板の折り曲げ部又はH形鋼の幅(mm)

e : アンカーボルトの穴縁端距離(mm)

N : 引張側アンカーボルトの本数(本)
 w_1 : 堰重量(kN)
 k_H : 水平方向の設計震度
H : 止水堰の高さ(mm)

(b) せん断力に対する検定

アンカーボルトに作用するせん断力は次式より算出し、アンカーボルトの短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$$q = F_H / N$$

$$F_H = w_1 \cdot k_H$$

q : アンカーボルトに生じる最大せん断力(kN)
 F_H : 設計用水平地震力 (kN)
 w_1 : 堰重量(kN)
 k_H : 水平方向の設計震度
N : 引張側アンカーボルトの本数(本)

(c) 引張力とせん断力の組合せに対する検定

組合せによる評価を各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 2010 改定) に基づく次式により算出し、1 以下であることを確認する。

$$(T / T_a)^2 + (q / Q_a)^2 \leq 1$$

T : アンカーボルトに生じる最大引張力 (kN)
 T_a : アンカーボルトに生じる引張りに対する短期許容荷重(kN)
 q : アンカーボルトに生じる最大せん断力 (kN)
 Q_a : アンカーボルトに生じるせん断に対する短期許容荷重(kN)

4.4.2 鋼製落とし込み型堰の評価方法

地震荷重を受けるはりモデルに置き換え，鋼製板，杵材，H形鋼及びアンカーボルトに発生する応力を算定し，各許容限界との比較により耐震評価を行う。

(1) 応力算定

自重及び地震荷重を受ける鋼製板，杵材，H形鋼及びアンカーボルトに対する確認を行うに当たり，各荷重により生じる応力を算定する。

鋼製落とし込み型堰に生じる力の概念図を図4-3～図4-5に示す。

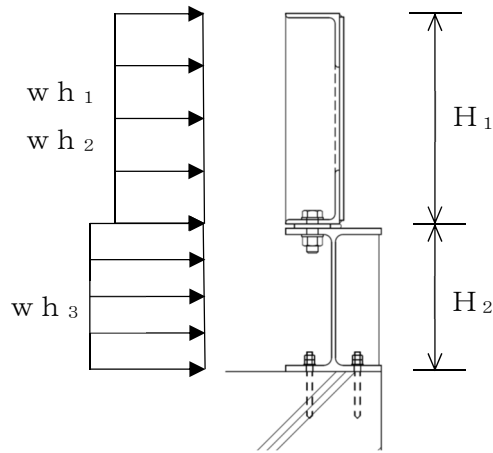


図4-3 地震時の鋼製板，杵材及びH形鋼に生じる力の断面概念図

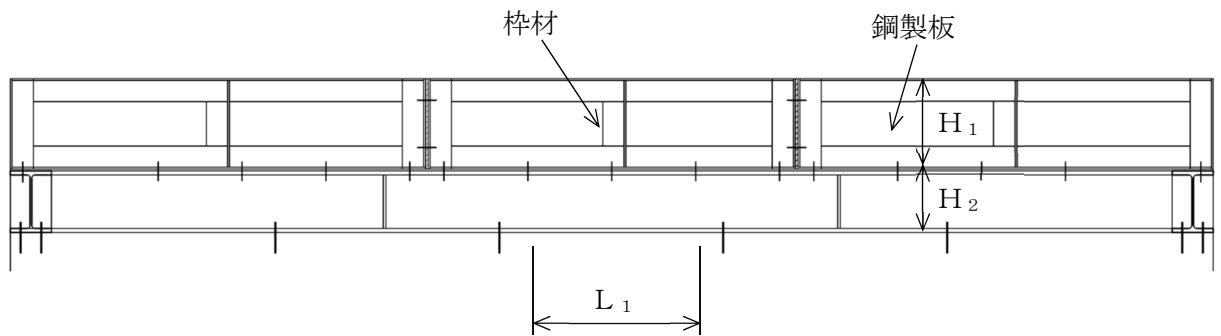


図4-4 地震時の杵材に生じる力の断面概念図

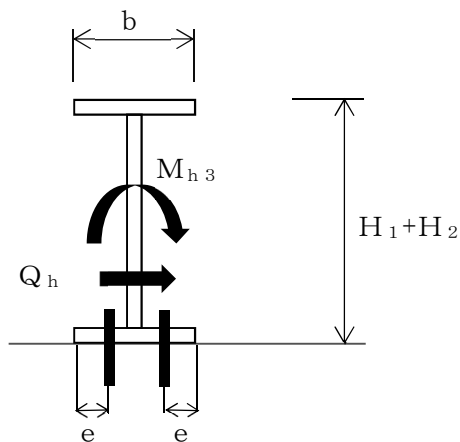


図4-5 地震時のアンカーボルトに生じる力の断面概念図

(2) 断面検定

a. 鋼製板

(a) 曲げ応力度に対する検定

鋼製板に生じる曲げ応力度は機械工学便覧に基づき次式より算出し、鋼製板の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$w_{h1} = W_{PL} \cdot k_H$$

ここで、 w_{h1} : 鋼製板にかかる水平荷重 (kN/m²)

W_{PL} : 鋼製板の単位面積重量 (kN/m²)

k_H : 水平方向の設計震度

$$\sigma_1 = (M_{h1} \cdot 10^6) / Z_1$$

$$M_{h1} = (w_{h1} \cdot (L_1 \cdot 10^{-3})^2) / 8$$

ここで、 σ_1 : 鋼製板の最大曲げ応力度 (N/mm²)

M_{h1} : 鋼製板の最大曲げモーメント (kN・m/m)

Z_1 : 鋼製板の断面係数 (mm³/m)

w_{h1} : 鋼製板にかかる水平荷重 (kN/m²)

L_1 : 枠材が負担する堰長 (mm)

b. 枠材

(a) 曲げ応力度に対する検定

枠材に生じる曲げ応力度は機械工学便覧に基づき次式より算出し、枠材の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$w_{h2} = W_{CL} \cdot (L_1 \cdot 10^{-3}) \cdot k_H$$

ここで、 w_{h2} : 枠材にかかる水平荷重(kN/m)

W_{CL} : 枠(鋼製板含む)の単位面積重量(kN/m²)

L_1 : 枠材が負担する堰長(mm)

k_H : 水平方向の設計震度

$$\sigma_2 = (M_{h2} \cdot 10^6) / Z_2$$

$$M_{h2} = (w_{h2} \cdot (H_1 \cdot 10^{-3})^2) / 2$$

ここで、 σ_2 : 枠材の最大曲げ応力度(N/mm²)

M_{h2} : 枠材の最大曲げモーメント(kN・m)

Z_2 : 枠材の断面係数(mm³)

w_{h2} : 枠材にかかる水平荷重(kN/m)

H_1 : 枠材の高さ(mm)

(b) せん断応力度に対する検定

枠材に生じるせん断応力度は機械工学便覧に基づき次式より算出し、枠材の短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$$\tau_1 = Q_1 / A_s$$

$$Q_1 = w_{h2} \cdot (H_1 \cdot 10^{-3})$$

ここで、 τ_1 : 枠材の最大せん断応力度(N/mm²)

Q_1 : 枠材の最大せん断力(kN)

A_s : 枠材のせん断断面積(mm²)

w_{h2} : 枠材にかかる水平荷重(kN/m)

H_1 : 枠材の高さ(mm)

(c) 曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検定

枠材に生じる曲げ応力度とせん断応力度の組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算出し、枠材の短期許容組合せ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_2^2 + 3 \cdot \tau_1^2}$$

σ_e : 枠材の組合せ応力度(N/mm²)

σ_2 : 枠材の最大曲げ応力度(N/mm²)

τ_1 : 枠材の最大せん断応力度(N/mm²)

c. H形鋼

(a) 曲げ応力度に対する検定

H形鋼に生じる曲げ応力度は機械工学便覧に基づき次式より算出し、H形鋼の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

単位長さ当たりの地震時水平荷重は次式より算出する。

$$w_{h3} = W_H \cdot k_H$$

ここで、 w_{h3} : H形鋼にかかる水平荷重(kN/m)

W_H : H形鋼の単位長さ重量(kN/m)

k_H : 水平方向の設計震度

$$\sigma_3 = (M_{h3} \cdot 10^6) / Z$$

$$M_{h3} = (w_{h2} \cdot H_1 \cdot (H_2 + H_1 / 2) \cdot 10^{-6}) + (w_{h3} \cdot H_2 / 2 \cdot 10^{-3})$$

ここで、 σ_3 : H形鋼の最大曲げ応力度(N/mm²)

M_{h3} : H形鋼の最大曲げモーメント(kN・m/m)

Z : H形鋼のウェブ面外断面係数(mm³/m)

w_{h2} : 枠材にかかる水平荷重(kN/m)

H_1 : 枠材の高さ(mm)

H_2 : H形鋼の高さ(mm)

w_{h3} : H形鋼にかかる水平荷重(kN/m)

d. アンカーボルト

(a) 引張力に対する検定

アンカーボルトに作用する引張力を算出し、アンカーボルトの短期許容引張耐力を下回ることを確認する。

$$T = (M_{h3} \cdot L_2 \cdot 10^{-3}) / ((b - e) \cdot 10^{-3} \cdot 0.875 \cdot N_1)$$

ここで、T : アンカーボルトに生じる最大引張力(kN)

M_{h3} : H形鋼の最大曲げモーメント(kN・m/m)

L_2 : 堰全長(mm)

b : H形鋼の幅(mm)

e : アンカーボルトの穴縁端距離(mm)

N_1 : 引張側アンカーボルトの本数(本)

(b) せん断力に対する検定

アンカーボルトに作用するせん断力は次式より算出し、アンカーボルトの短期許容せん断耐力を下回ることを確認する。

$$q = (w_{h2} \cdot H_1 + w_{h3}) \cdot L_2 \cdot 10^{-3} / N_1$$

ここで、q : アンカーボルトに生じる最大せん断力(kN)

w_{h2} : 枠材にかかる水平荷重(kN/m)

H_1 : 枠材の高さ(mm)

w_{h3} : H形鋼にかかる水平荷重(kN/m)

L_2 : 堰全長(mm)

N_1 : 引張側アンカーボルトの本数(本)

(c) 引張力とせん断力の組合せに対する検定

組合せによる評価を「各種合成構造設計指針・同解説」((社)日本建築学会, 2010改定)に基づく次式により算出し、1以下であることを確認する。

$$(T / T_a)^2 + (q / Q_a)^2 \leq 1$$

ここで、T : アンカーボルトに生じる最大引張力(kN)

T_a : アンカーボルトに生じる引張りに対する短期許容荷重(kN)

q : アンカーボルトに生じる最大せん断力(kN)

Q_a : アンカーボルトに生じるせん断に対する短期許容荷重(kN)

4.4.3 鉄筋コンクリート製堰の評価方法

鉄筋コンクリート製堰に生じる応力は、地震荷重を受ける片持ちはりとして、既存躯体との接合部に生じる圧縮力及びせん断力を算定し、鉄筋に生じる引張力及びせん断力並びにコンクリートに生じるせん断力及び圧縮力に対する確認を行う。

また、鉄筋に生じる引張力に対する確認においては、鉄筋コンクリート製堰の自重による鉛直上向きの地震荷重を組み合わせるものとする。

(1) 応力算定

自重及び地震荷重を受けるアンカー筋、コンクリート及び縦筋に対する確認を行うに当たり、各荷重により生じる応力を次式により算定する。

鉄筋コンクリート製堰に生じる力の概念図を図4-6及び図4-7に示す。

また、鉄筋コンクリート製堰のうち二段以上の堰について、縦筋とアンカー筋に生じる力の概念図を図4-8、図4-9に示す。

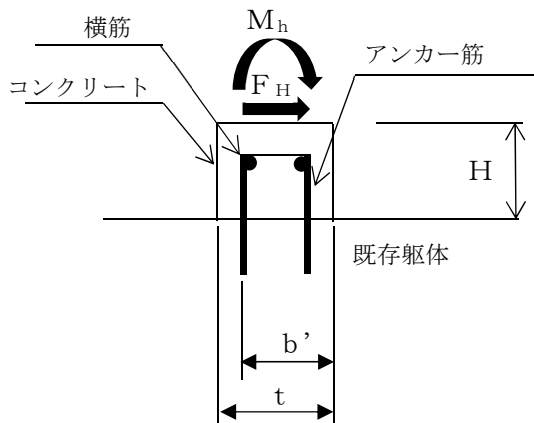


図4-6 地震時の鉄筋コンクリート製堰に生じる力の断面概念図（一段）

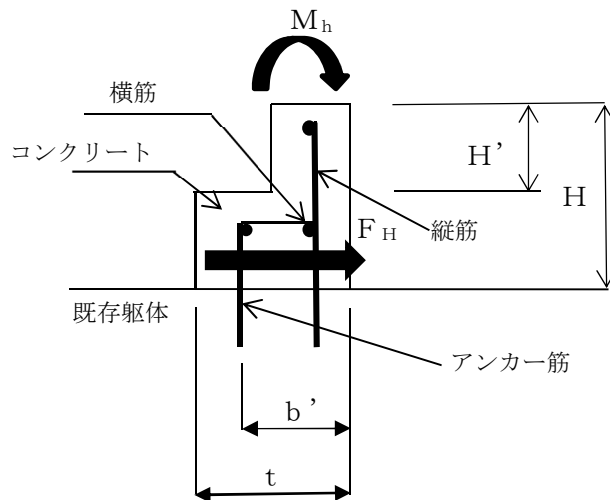
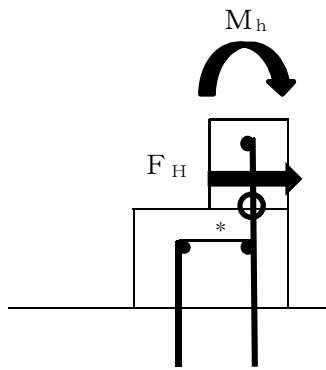
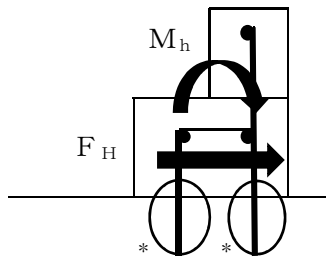


図4-7 地震時の鉄筋コンクリート製堰に生じる力の断面概念図（二段以上）



注記*：縦筋の評価対象部位を示し、
評価においては各評価対象部位よりも
上にある堰の重量を見込むものとする。

図 4-8 地震時の縦筋に生じる力の断面概念図



注記*：アンカー筋の評価対象部位を示し、
評価においては各評価対象部位よりも
上にある堰の重量を見込むものとする。

図 4-9 地震時のアンカー筋に生じる力の断面概念図

(2) 断面検定

a. アンカー筋

(a) 引張力に対する検定

アンカー筋に作用する引張力を算出し、アンカー筋の短期許容引張荷重を下回ることを確認する。

$$T_1 = (F_V + (M_h \cdot L) / b') / N_1$$

$$M_h = (F_H \cdot H) / 2 / L$$

$$F_V = w_1 \cdot k_V$$

$$F_H = w_1 \cdot k_H$$

ここで、 T_1 : アンカー筋に生じる最大引張力(kN)
 F_V : 設計用鉛直地震力 (kN)
 M_h : 鉄筋コンクリート製堰の曲げモーメント(kN・m/m)
 L : 堰全長(mm)
 b' : アンカー筋の重心位置から躯体端部までの距離(mm)
 N_1 : アンカー筋の本数(本)
 F_H : 設計用水平地震力 (kN)
 H : 止水堰の高さ(mm)
 w_1 : 堰重量(kN)
 k_V : 鉛直方向の設計震度
 k_H : 水平方向の設計震度

(b) せん断力に対する検定

アンカー筋に作用するせん断力は次式より算出し、アンカー筋の短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$$q_1 = F_H / N_1$$

$$F_H = w_1 \cdot k_H$$

ここで、 q_1 : アンカー筋に生じる最大せん断力(kN)
 F_H : 設計用水平地震力 (kN)
 N_1 : アンカー筋の本数(本)
 w_1 : 堰重量(kN)
 k_H : 水平方向の設計震度

(c) 引張力とせん断力の組合せに対する検定

組合せによる評価を各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010改定）に基づく次式により算出し，1以下であることを確認する。

$$(T_1 / T_{a1})^2 + (q_1 / Q_{a1})^2 \leq 1$$

ここで， T_1 : アンカー筋に生じる最大引張力(kN)

T_{a1} : アンカー筋に生じる引張りに対する短期許容荷重(kN)

q_1 : アンカー筋に生じる最大せん断力(kN)

Q_{a1} : アンカー筋に生じるせん断に対する短期許容荷重(kN)

b. 縦筋

(a) 引張力に対する検定

縦筋に作用する引張力は堰の自重による鉛直上向きの地震荷重により算出し，縦筋に生じる引張力が短期許容引張耐力を下回ることを確認する。

$$T_2 = (F_V + (M_h \cdot L) / b'') / N_2$$

$$M_h = (F_H \cdot H') / 2 / L$$

$$F_V = w_2 \cdot k_V$$

$$F_H = w_2 \cdot k_H$$

ここで， T_2 : 縦筋に生じる最大引張力(kN)

F_V : 設計用鉛直地震力(kN)

M_h : 鉄筋コンクリート製堰の曲げモーメント(kN・m/m)

L : 堰全長(mm)

b'' : 縦筋の重心位置から躯体端部までの距離(mm)

N_2 : 縦筋の本数(本)

F_H : 設計用水平地震力(kN)

H' : 評価位置上部の止水堰の高さ(mm)

w_2 : 評価位置上部の堰重量(kN)

k_V : 鉛直方向の設計震度

k_H : 水平方向の設計震度

(b) せん断力に対する検定

縦筋に作用するせん断力により，縦筋に生じるせん断力が短期許容せん断耐力を下回ることを確認する。

$$q_2 = F_H / N_2$$

$$F_H = w_2 \cdot k_H$$

ここで， q_2 : 縦筋に生じる最大せん断力 (kN)

F_H : 設計用水平地震力 (kN)

N_2 : 縦筋の本数 (本)

w_2 : 評価位置上部の堰重量 (kN)

k_H : 水平方向の設計震度

(c) 引張力とせん断力の組合せに対する検定

組合せによる評価を各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 2010 改定) に基づく次式により算出し，1 以下であることを確認する。

$$(T_2 / T a_2)^2 + (q_2 / Q a_2)^2 \leq 1$$

ここで， T_2 : 縦筋に生じる最大引張力 (kN)

$T a_2$: 縦筋に生じる引張りに対する短期許容荷重 (kN)

q_2 : 縦筋に生じる最大せん断力 (kN)

$Q a_2$: 縦筋に生じるせん断に対する短期許容荷重 (kN)

c. 堰底部のコンクリート

(a) せん断力に対する検定

堰底部に生じるせん断力が短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$$\tau' = (F_H \cdot 10^3) / (L \cdot t)$$

$$F_H = w_1 \cdot k_H$$

ここで， τ' : 堰底部のコンクリートの最大せん断応力度 (N/mm²)

F_H : 設計用水平地震力 (kN)

L : 堰全長 (mm)

t : 堰厚さ (mm)

w_1 : 堰重量 (kN)

k_H : 水平方向の設計震度

(b) 圧縮力に対する検定

堰に生じる曲げモーメントによりコンクリートの圧縮縁に生じる応力度が短期許容圧荷重を下回ることを確認する。

$$\sigma_c = (w_1 + F_v) \cdot 10^3 / (L \cdot t) + (M_h \cdot 10^6) / Z$$

$$M_h = (F_H \cdot H) / 2 / L$$

$$F_v = w_1 \cdot k_v$$

$$F_H = w_1 \cdot k_H$$

ここで、 σ_c : コンクリートの最大圧縮応力度 (N/mm²)

w_1 : 堰重量 (kN)

F_v : 設計用鉛直地震力 (kN)

L : 堰全長 (mm)

t : 堰厚さ (mm)

M_h : 鉄筋コンクリート製堰の最大曲げモーメント (kN・m/m)

Z : 鉄筋コンクリート製堰の断面係数 (mm³/m)

F_H : 設計用水平地震力 (kN)

H : 止水堰の高さ (mm)

k_v : 鉛直方向の設計震度

k_H : 水平方向の設計震度

4.4.4 鋼板組合せ堰の評価方法

地震荷重（水平方向及び鉛直方向）を受ける平板モデル，はりモデル及び機器モデルに置き換え，止水板，梁材，柱材，ベースプレート及びアンカーボルトに発生する応力を算定し，各許容限界との比較により耐震評価を行う。

(1) 応力算定

地震荷重（水平方向及び鉛直方向）を受ける止水板，梁材，柱材及びベースプレートに生じる曲げ応力度，せん断応力度，並びにアンカーボルトに生じる引張力及びせん断力に対する確認を行うに当たり，各荷重により生じる曲げ応力度，せん断応力度を算定する。

鋼板組合せ堰に生じる力の概念図を図4-10～図4-14に示す。

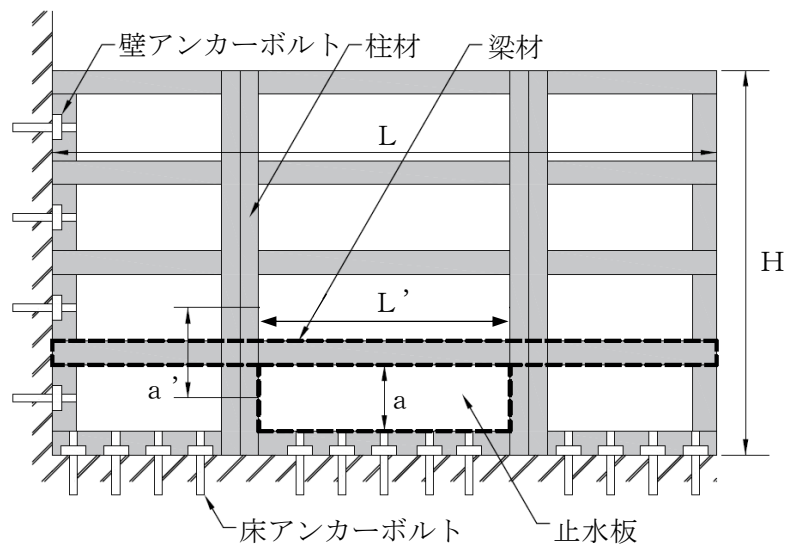


図4-10 鋼板組合せ堰の断面概念図

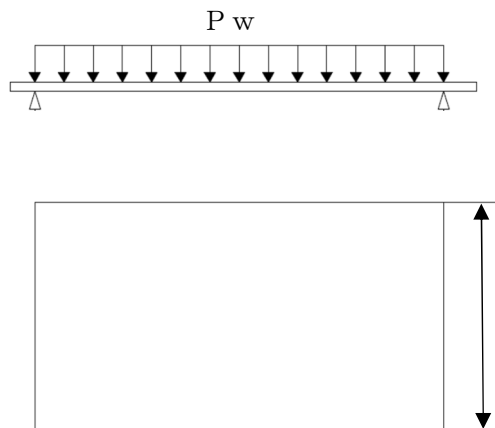


図4-11 地震時の止水板に生じる力の断面概念図（等分布荷重，4辺支持）

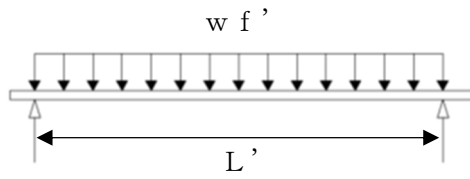


図 4-12 地震時の梁材に生じる力の断面概念図（等分布荷重，両端支持）

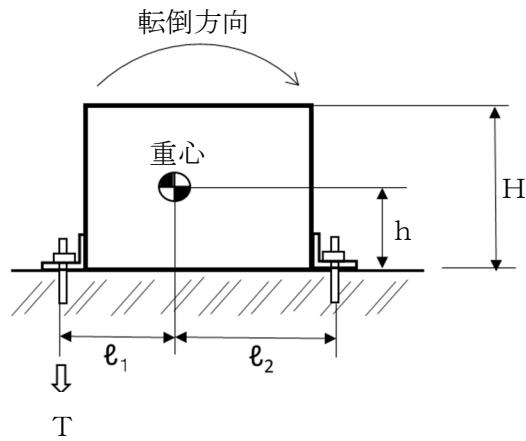


図 4-13 地震時のアンカーボルトに生じる力の断面概念図（横転倒）

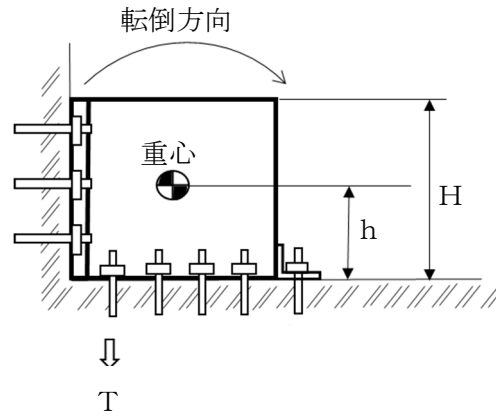


図 4-14 地震時のアンカーボルトに生じる力の断面概念図（前後転倒）

(2) 断面検定

a. 止水板

(a) 地震荷重による分布荷重

単位長さ当たりの地震荷重による分布荷重は、次式より算出する。

$$P_w = \rho_{ss} \cdot g \cdot t \cdot k_H \cdot 10^{-9}$$

P_w : 地震荷重による分布荷重 (N/mm²)

ρ_{ss} : 止水板の密度 (kg/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

t : 止水板の板厚 (mm)

k_H : 水平方向の設計震度

(b) 曲げ応力度に対する検定

止水板に生じる曲げ応力度は機械工学便覧に基づき次式より算出し、止水板の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。なお、止水板の縦、横方向の長辺方向に対する曲げ応力度を確認する。

$$\sigma_\rho = \beta \cdot P_w \cdot a^2 / t^2$$

σ_ρ : 止水板の曲げ応力度 (N/mm²)

β : 長方形板の応力係数 ($\beta = 0.75$)

P_w : 地震荷重による分布荷重 (N/mm²)

a : 止水板の長辺方向の幅 (mm)

t : 止水板の板厚 (mm)

b. 梁材

(a) 地震荷重による分布荷重

単位長さ当たりの地震時水平荷重は止水板と梁材に作用する地震力を考慮して次式より算出する。

$$w f' = W_1 \cdot a' / H / (L + 2 \cdot B) \cdot k_H$$

$w f'$: 梁材の単位長さ当たりの水平荷重 (N/mm)

W_1 : 止水堰の重量 (N)

a' : 梁材1本当たりが負担する止水板の幅 (mm)

H : 止水堰の高さ、または溢水評価水位を上回る水位 (mm)

L : 止水堰の正面全幅 (mm)

B : 止水堰の側面全幅 (mm)

k_H : 水平方向の設計震度

(b) 曲げ応力度に対する検定

梁材に生じる曲げ応力度は機械工学便覧に基づき次式より算出し、梁材の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_f = M_f / Z$$

$$M_f = (w f' \cdot L') / 8$$

σ_f : 梁材の曲げ応力度 (N/mm²)

M_f : 梁材の曲げモーメント (N・mm)

Z : 梁材の断面係数 (mm³)

$w f'$: 梁材の単位長さ当たりの水平荷重 (N/mm)

L' : 評価する梁材の長さ (mm)

(c) せん断応力度に対する検定

梁材に生じるせん断応力度は機械工学便覧に基づき次式より算出し、梁材の短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$$\tau_f = Q_f / A_s$$

$$Q_f = (w f' \cdot L') / 2$$

τ_f : 梁材のせん断応力度 (N/mm²)

Q_f : 梁材の発生せん断力 (N)

A_s : 梁材のせん断断面積 (mm²)

$w f'$: 梁材の単位長さ当たりの水平荷重 (N/mm)

L' : 評価する梁材の長さ (mm)

(d) 曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検定

梁材に生じる曲げ応力度とせん断応力度の組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、梁材の短期許容組合せ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{ef} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3 \cdot \tau_f^2}$$

σ_{ef} : 梁材の組合せ応力度 (N/mm²)

σ_f : 梁材の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_f : 梁材のせん断応力度 (N/mm²)

c. 柱材

(a) 地震荷重による分布荷重

単位長さ当たりの地震時水平荷重は止水板と柱材に作用する地震力を考慮して次式より算出する。

$$W_{f2}' = W_1 \cdot L_1' / H / (L + 2 \cdot B) \cdot k_H$$

W_{f2}' : 柱材の単位長さ当たりの水平荷重 (N/mm)

W_1 : 止水堰の重量 (N)

L_1' : 柱材1本当たりが負担する柱材及び止水板の幅 (mm)

H : 止水堰の高さ, または溢水評価水位を上回る水位 (mm)

L : 止水堰の正面全幅 (mm)

B : 止水堰の側面全幅 (mm)

k_H : 水平方向の設計震度

(b) 曲げ応力度に対する検定

柱材に生じる曲げ応力度は機械工学便覧に基づき次式より算出し, 柱材の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_Y = M_Y / Z_Y$$

$$M_Y = (W_{f2}' \cdot H^2) / 2$$

σ_Y : 柱材の曲げ応力度 (N/mm²)

M_Y : 柱材の曲げモーメント (N・mm)

Z_Y : 柱材の断面係数 (mm³)

W_{f2}' : 柱材の単位長さ当たりの水平荷重 (N/mm)

H : 止水堰の高さ, または溢水評価水位を上回る水位 (mm)

(c) せん断応力度に対する検定

柱材に生じるせん断応力度は機械工学便覧に基づき次式より算出し、柱材の短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$$\tau_Y = Q_Y / A_Y$$

$$Q_Y = W_{f2}' \cdot H$$

τ_Y : 柱材のせん断応力度 (N/mm²)

Q_Y : 柱材の発生せん断力 (N)

A_Y : 柱材のせん断断面積 (mm²)

W_{f2}' : 柱材の単位長さ当たりの水平荷重 (N/mm)

H : 止水堰の高さ、または溢水評価水位を上回る水位 (mm)

(d) 曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検定

柱材に生じる曲げ応力度とせん断応力度の組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し、柱材の短期許容組合せ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{eY} = \sqrt{\sigma_Y^2 + 3 \cdot \tau_Y^2}$$

σ_{eY} : 柱材の組合せ応力度 (N/mm²)

σ_Y : 柱材の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_Y : 柱材のせん断応力度 (N/mm²)

d. アンカーボルト

(a) 引張力に対する検定

前面への転倒と側面への転倒を仮定して、大きい方をアンカーボルトに作用する引張力として算出し、アンカーボルトの短期許容引張荷重を下回ることを確認する。

前面方向の水平荷重は壁及び壁側アンカーボルトが負担するため、床側アンカーボルトには転倒モーメントによる引張力は発生しないが、保守的に壁側アンカーボルトが負担しないものと考えて止水堰前面への転倒を仮定して、床側アンカーボルトの転倒モーメントによる引張力を算出する。

側面方向の水平荷重は保守的に壁側アンカーボルトが負担しないものと考えて、止水堰側面への転倒を仮定して、アンカーボルトの発生引張力を算出する。

$$T = (k_H \cdot W_1 \cdot h + (k_V - 1) \cdot W_1 \cdot \ell_2) / n_t / (\ell_1 + \ell_2)$$

ただし、 $\ell_2 \geq \ell_1$

T : 床側アンカーボルト発生引張力 (N)

k_H : 水平方向の設計震度

W_1 : 止水堰の重量 (N)

h : 止水堰の重心高さ (mm)

k_V : 鉛直方向の設計震度

ℓ_2 : 重心とボルト間の水平距離 (mm)

n_t : 引張を受ける床側アンカーボルトの本数 (本)

ℓ_1 : 重心とボルト間の水平距離 (mm)

(b) せん断力に対する検定

アンカーボルトに作用するせん断力は次式より算出し、アンカーボルトの短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

前面方向の水平荷重は保守的に壁側アンカーボルトが引張で負担しないものと考え、床側アンカーボルトにせん断が発生すると仮定してアンカーボルトの発生せん断力を算出し、アンカーボルトの許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$$q = (W_1 \cdot k_H) / N_t$$

- q : 床側アンカーボルト発生せん断力 (N)
 W_1 : 止水堰の重量 (N)
 k_H : 水平方向の設計震度
 N_t : せん断を受ける床側アンカーボルト本数 (本)

側面方向の水平荷重は床・壁側アンカーボルト全数でせん断力を負担するものと仮定して壁側アンカーボルトの発生せん断力を算出し、アンカーボルトの許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$$q = (W_1 \cdot k_H) / (N_t + N_w)$$

- q : 壁側アンカーボルト発生せん断力 (N)
 W_1 : 止水堰の重量 (N)
 k_H : 水平方向の設計震度
 N_t : せん断を受ける床側アンカーボルト本数 (本)
 N_w : せん断を受ける壁側アンカーボルト本数 (本)

(c) 引張力とせん断力の組合せに対する検定

組合せによる評価は各種合成構造設計指針・同解説（(社)日本建築学会，2010年改定）に基づく次式により算出し，1以下であることを確認する。

$$(T / T_a)^2 + (q / Q_a)^2 \leq 1$$

- T : 床側アンカーボルト発生引張力 (N)
 T_a : アンカーボルトに生じる引張りに対する短期許容荷重 (N)
 q : 床側アンカーボルト発生せん断力 (N)
 Q_a : アンカーボルトに生じるせん断に対する短期許容荷重 (N)

4.5 評価条件

L型鋼製堰の耐震評価に用いる入力値を表4-16に、鋼製落とし込み型堰の耐震評価に用いる入力値を表4-17に、鉄筋コンクリート製堰の耐震評価に用いる入力値を表4-18に、及び鋼板組合せ堰の耐震評価に用いる入力値を表4-19に示す。

表4-16 L型鋼製堰の耐震評価に用いる入力値

記号	単位	堰No.	TB-1F-8
		定義	数値
b	mm	H形鋼の幅	200
e	mm	アンカーボルトの穴縁端距離	52
H	mm	止水堰の高さ	410
k_H	—	水平方向の設計震度	1.13
L	mm	堰全長	3.64
N	本	引張側アンカーボルトの本数	1
w_1	kN	堰重量	16.2
W	kN/m	堰の単位長さ重量	0.788
Z	mm ³ /m	H形鋼のウェブ面外断面係数	1.06×10^4

表4-17 鋼製落とし込み型堰の耐震評価に用いる入力値

記号	単位	堰No.	TB-1F-9
		定義	数値
A_s	mm ²	枠材のせん断断面積	6.30×10^2
H_1	mm	枠材の高さ	690
H_2	mm	H形鋼の高さ	410
k_H	—	水平方向の設計震度	1.13
L_1	mm	枠材が負担する堰長	1.00
L_2	mm	堰全長	3.63
N_1	本	引張側アンカーボルトの本数	3
W_{PL}	kN/m ²	鋼製板の単位面積重量	0.462
W_{CL}	kN/m ²	枠(鋼製板含む)の単位面積重量	0.892
W_H	kN/m	H形鋼の単位長さ重量	0.642
Z	mm ³ /m	H形鋼のウェブ面外断面係数	2.93×10^4
Z_1	mm ³ /m	鋼製板の断面係数	6.00×10^3
Z_2	mm ³	枠材の断面係数	1.42×10^4

表4-18 鉄筋コンクリート製堰の耐震評価に用いる入力値

記号	単位	堰No.	TB-1F-1
		定義	数値
b'	mm	アンカー筋の重心位置から躯体端部までの距離	100
k _H	—	水平方向の設計震度	1.13
k _V	—	鉛直方向の設計震度	0.801
L	mm	堰全長	10935
N ₁	本	アンカー筋の本数	224
t	mm	堰厚さ	5300
w ₁	kN	堰重量	519
Z	mm ³ /m	断面係数	4.68 × 10 ⁹

表 4-19 鋼板組合せ堰の耐震評価に用いる入力値

記号	単位	堰 No.	RB-4F-3
		定義	数値
A_s	mm^2	梁材のせん断断面積	750
A_Y	mm^2	柱材のせん断断面積	—
a	mm	止水板の長辺方向の幅	305
a'	mm	梁材 1 本当たりが負担する止水板の幅	365
B	mm	止水堰の側面全幅	0
g	m/s^2	重力加速度	9.80665
H	mm	止水堰の高さ, または溢水評価水位を上回る水位	1500
h	mm	止水堰の重心高さ	750
k_H	—	水平方向の設計震度	1.35
k_V	—	鉛直方向の設計震度	0.994
L	mm	止水堰の正面全幅	4245
L'	mm	評価する梁材の長さ	1565
L_1'	mm	柱材 1 本当たりが負担する柱材及び止水板の幅	—
ℓ_1	mm	重心とボルト間の水平距離	203.8
ℓ_2	mm	重心とボルト間の水平距離	1116.2
N_t	本	せん断を受ける床側アンカーボルト本数	35
N_w	本	せん断を受ける壁側アンカーボルト本数	24
n_t	本	引張を受ける床側アンカーボルトの本数	3
t	mm	止水板の板厚	3.2
W_1	N	止水堰の重量	8010
Z	mm^3	梁材の断面係数	67800
Z_Y	mm^3	柱材の断面係数	—
β	—	長方形板の応力係数	0.75
ρ_{ss}	kg/m^3	止水板の密度	7.85×10^3

5. 評価結果

L型鋼製堰の耐震評価結果を表5-1に、鋼製落とし込み型堰の耐震評価結果を表5-2に、鉄筋コンクリート製堰の耐震評価結果を表5-3に、及び鋼板組合せ堰の耐震評価結果を表5-4に示す。発生値は許容限界値以下であり、基準地震動 S_s による地震力に対して、溢水伝播を防止する機能を維持するために、十分な構造強度を有することを確認した。

表5-1 L型鋼製堰の耐震評価結果

堰No.	評価対象部位		発生値 (荷重又は発生応力度)		許容限界		検定値
TB-1F-8	H形鋼	曲げ	20.6	N/mm ²	235	N/mm ²	0.09
	アンカーボルト	引張り	6.13	kN	36.6	kN	0.17
		せん断	3.26	kN	25.7	kN	0.13
		組合せ	—	—	—	—	0.05

表5-2 鋼製落とし込み型堰の耐震評価結果

堰No.	評価対象部位		発生値 (荷重又は発生応力度)		許容限界		検定値
TB-1F-9	鋼製板	曲げ	10.9	N/mm ²	235	N/mm ²	0.05
	枠材	曲げ	17.0	N/mm ²	235	N/mm ²	0.08
		せん断	1.11	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01
		組合せ	17.2	N/mm ²	235	N/mm ²	0.08
	H形鋼	曲げ	23.1	N/mm ²	235	N/mm ²	0.10
	アンカーボルト	引張り	13.1	kN	36.6	kN	0.36
		せん断	3.62	kN	25.7	kN	0.15
		組合せ	—	—	—	—	0.16

表5-3 鉄筋コンクリート製堰の耐震評価結果

堰No.	評価対象部位		発生値 (荷重又は発生応力度)		許容限界		検定値
TB-1F-1	アンカー筋	引張り	6.65	kN	24.9	kN	0.27
		せん断	2.63	kN	26.1	kN	0.11
		組合せ	—	—	—	—	0.09
	堰底部の コンクリート	せん断	0.0102	N/mm ²	1.33	N/mm ²	0.01
		圧縮	0.0183	N/mm ²	26.6	N/mm ²	0.01

表5-4 鋼板組合せ堰の耐震評価結果

堰 No.	評価対象部位		発生値		許容限界		検定値
			(荷重又は発生応力度)				
RB-4F-3	止水板	曲げ	3	N/mm ²	271	N/mm ²	0.02
	梁材	曲げ	3	N/mm ²	235	N/mm ²	0.02
		せん断	1	N/mm ²	135	N/mm ²	0.01
		組合せ	4	N/mm ²	235	N/mm ²	0.02
	柱材	曲げ	—	N/mm ²	—	N/mm ²	—
		せん断	—	N/mm ²	—	N/mm ²	—
		組合せ	—	N/mm ²	—	N/mm ²	—
	アンカー ボルト (床)	引張り	2034	N	9313	N	0.22
		せん断	309.0	N	13870	N	0.03
		組合せ	—	—	—	—	0.05
	アンカー ボルト (壁)	せん断	183.3	N	10510	N	0.02

VI-2-10-2-4 その他の浸水防護施設の耐震性についての計算書

VI-2-10-2-4-1 床ドレンライン浸水防止治具の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造計画	3
2.3 評価方針	7
2.4 適用基準	13
2.5 記号の説明	14
3. 評価部位	19
4. 固有周期	23
4.1 固有周期の計算方法	23
4.2 固有周期の計算条件	29
4.3 固有周期の計算結果	33
5. 構造強度評価	35
5.1 構造強度評価方法	35
5.2 荷重及び荷重の組合せ	36
5.2.1 荷重の設定	36
5.2.2 荷重の組合せ	38
5.3 許容限界	39
5.4 設計用地震力	42
5.5 計算方法	44
5.6 計算条件	52
6. 機能維持評価	58
6.1 機能維持評価方法	58
7. 評価結果	59
7.1 フロート式治具	59
7.2 スプリング式治具	61
7.3 閉止キャップ	63
7.4 閉止栓	64

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度に基づき、浸水防護施設のうち床ドレンライン浸水防止治具が設計用地震力に対して、主要な構造部材が十分な構造健全性を有することを確認するものである。評価は、床ドレンライン浸水防止治具の固有値解析、応力評価、機能維持評価及び構造健全性評価により行う。

床ドレンライン浸水防止治具は、浸水防護施設としてSクラス及びCクラス施設に分類される。以下、浸水防護施設としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 配置概要

床ドレンライン浸水防止治具の設置位置を表2-1に示す。

表2-1 床ドレンライン浸水防止治具の設置位置

機器名称	建屋*	設置階	高さ (mm)
床ドレンライン 浸水防止治具	原子炉建屋	地下3階	T. M. S. L. -8200
		地下2階	T. M. S. L. -1700
	タービン建屋	地下2階	T. M. S. L. -5100
		地下中2階	T. M. S. L. -1100
		地下1階	T. M. S. L. +4900
	コントロール建屋	地下2階	T. M. S. L. -2700
		地下中2階	T. M. S. L. +1000
	廃棄物処理建屋	地下3階	T. M. S. L. -6100
		地下1階	T. M. S. L. +6500

注記* : 建屋外周エリアを含む

2.2 構造計画

(1) フロート式治具

フロート式治具は、フロート式の浸水防止治具であり、配管内で逆流が発生するとフロートが押し上げられ、弁座に密着することで止水する。フロート式治具の構造計画を表2-2に示す。

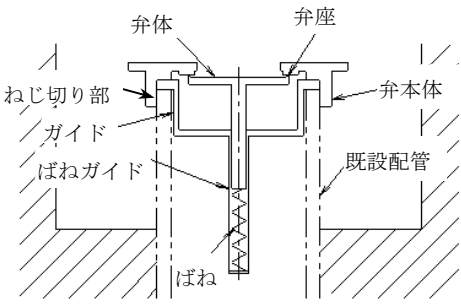
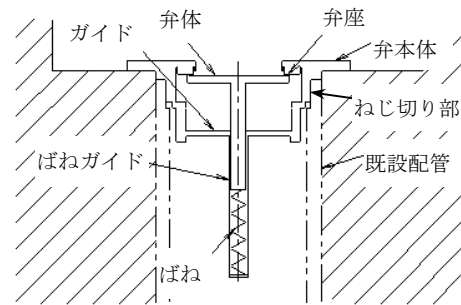
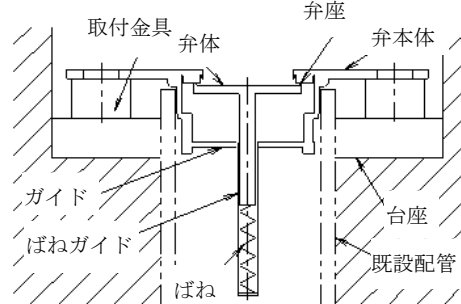
表2-2 構造計画

設備名称	計画の概要			概略構造図
	型式	主体構造	支持構造	
フロート式治具	外ねじ取付型	弁座を含む弁本体、弁体であるフロート及びフロートを弁座に導くフロートガイドで構成する。	配管のねじ切り部に直接ねじ込み固定とする。	
	内ねじ取付型			
	フランジ取付型			

(2) スプリング式治具

スプリング式治具は、スプリング式の浸水防止治具であり、ばね圧により常時弁体が弁座に密着している。配管内で逆流が発生すると、弁体の下方からの圧力が加わり、弁体と弁座の密着が維持されることで止水する。スプリング式治具の構造計画を表2-3に示す。

表2-3 構造計画

設備名称	計画の概要			概略構造図
	型式	主体構造	支持構造	
スプリング式治具	外ねじ取付型	弁座を含む弁本体及び弁体並びに弁体を弁座に導くガイドで構成する。	配管のねじ切り部に直接ねじ込み固定とする。	
	内ねじ取付型			
	フランジ取付型		台座と取付金具を接着剤で固定し、弁本体フランジと取付金具をボルトで固定する。	

(3) 閉止キャップ

閉止キャップは、配管に蓋をすることで配管内の順流及び逆流を止水する。閉止キャップの構造計画を表2-4に示す。

表2-4 構造計画

設備名称	計画の概要		概略構造図
	主体構造	支持構造	
閉止 キャップ	閉止キャップで構成する。	配管にねじ込み固定する。	

(4) 閉止栓

閉止栓は、配管に蓋をすることで配管内の順流及び逆流を止水する。閉止栓の構造計画を表2-5に示す。

表2-5 構造計画

設備名称	計画の概要		概略構造図
	主体構造	支持構造	
閉止栓	閉止栓で構成する。	ゴムの圧着により固定する。	

2.3 評価方針

(1) フロート式治具

フロート式治具の耐震評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」に示すフロート式治具の構造を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する評価部位において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、フロート式治具の機能維持評価は、フロート式治具の固有周期を考慮して機能維持評価用加速度を設定し、設定した機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。さらに、構造健全性評価により耐震評価を実施する評価部位については、フロート式治具の機能維持評価結果に基づき構造健全性を確認することで実施する。応力評価、機能維持評価及び構造健全性評価の評価結果を「7. 評価結果」にて確認する。

なお、機能確認済加速度には、正弦波加振試験において、止水性の機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。

耐震評価フローを図2-1に示す。

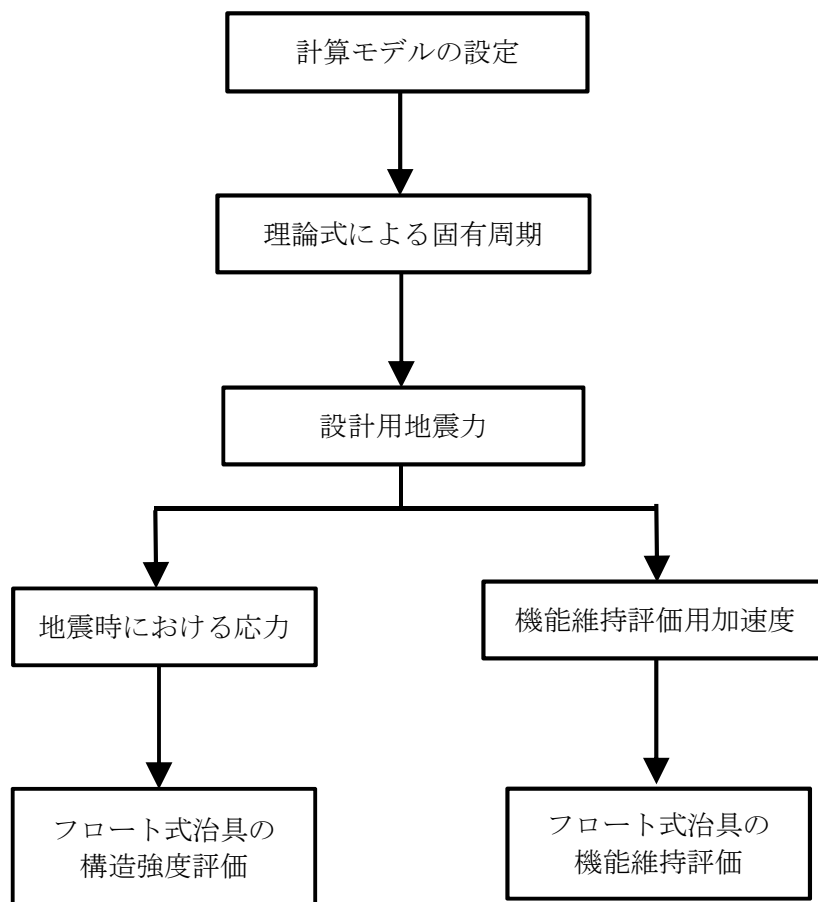


図2-1 耐震評価フロー（フロート式治具）

(2) スプリング式治具

スプリング式治具の耐震評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」に示すスプリング式治具の構造を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する評価部位において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、スプリング式治具の機能維持評価は、スプリング式治具の固有周期を考慮して機能維持評価用加速度を設定し、設定した機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを「6. 機能維持評価」に示す方法にて確認することで実施する。さらに、構造健全性評価により耐震評価を実施する評価部位については、スプリング式治具の機能維持評価結果に基づき構造健全性を確認することで実施する。応力評価、機能維持評価及び構造健全性評価の評価結果を「7. 評価結果」にて確認する。

なお、機能確認済加速度には、正弦波加振試験において、止水性の機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。

耐震評価フローを図2-2に示す。

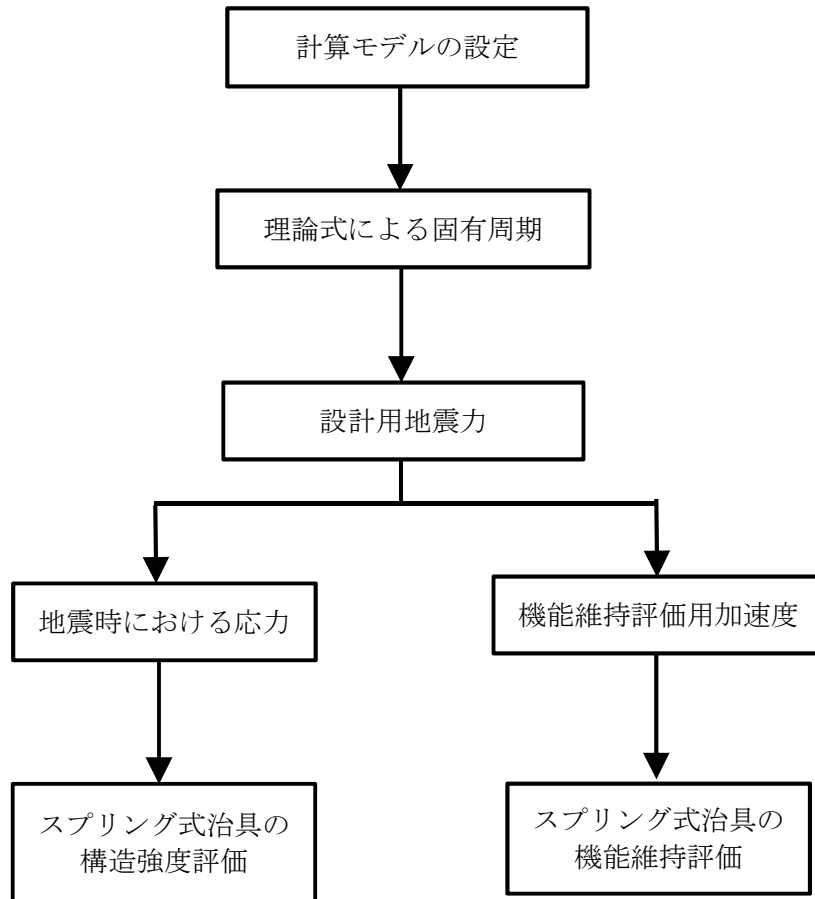


図2-2 耐震評価フロー（スプリング式治具）

(3) 閉止キャップ

閉止キャップの機能維持評価は、閉止キャップの固有周期を考慮して機能維持評価用加速度を設定し、設定した機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを「6. 機能維持評価」に示す。さらに、構造健全性評価により耐震評価を実施する評価部位については、機能維持評価結果に基づき構造健全性を確認し、機能維持評価及び構造健全性評価の評価結果を「7. 評価結果」にて確認する。

なお、機能確認済加速度には、正弦波加振試験において、止水性の機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。

耐震評価フローを図2-3に示す。

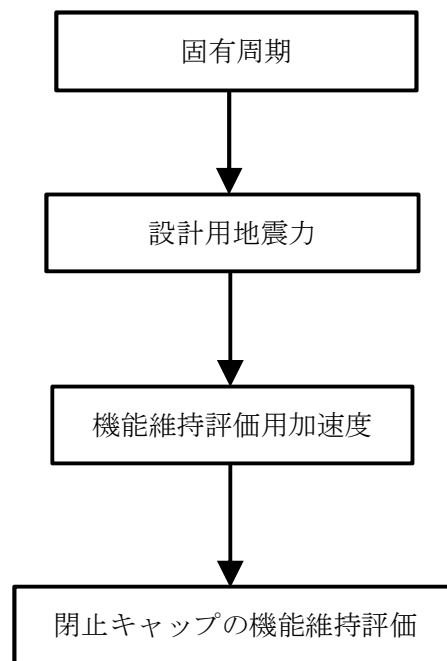


図2-3 耐震評価フロー（閉止キャップ）

(4) 閉止栓

閉止栓の機能維持評価は、閉止栓の固有周期を考慮して機能維持評価用加速度を設定し、設定した機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを「6. 機能維持評価」に示す。さらに、構造健全性評価により耐震評価を実施する評価部位については、機能維持評価結果に基づき構造健全性を確認し、機能維持評価及び構造健全性評価の評価結果を「7. 評価結果」にて確認する。

なお、機能確認済加速度には、正弦波加振試験において、止水性の機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。

耐震評価フローを図2-4に示す。

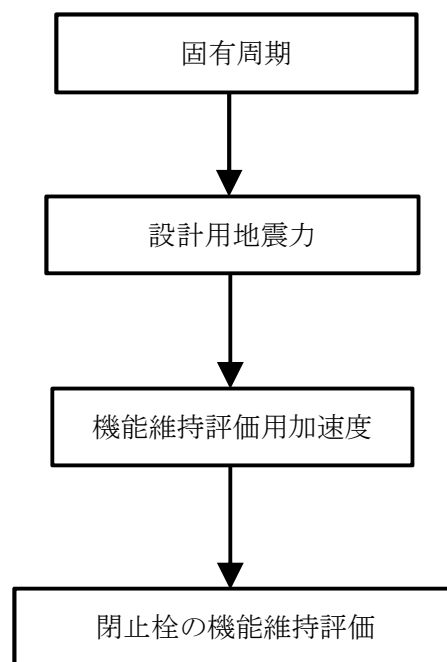


図2-4 耐震評価フロー（閉止栓）

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 2005年版（2007年追補版含む。） J S M E S
N C 1 - 2005/2007（日本機械学会）
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987（日本電気協会）
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補 - 1984
（日本電気協会）
- (4) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版（日本電気協会）
- (5) 機械工学便覧（日本機械学会）

2.5 記号の説明

(1) フロート式治具

フロート式治具の固有周期の計算に用いる記号を表2-6に、応力評価に用いる記号を表2-7にそれぞれ示す。

表2-6 フロート式治具の固有周期の計算に用いる記号

記号	記号の説明	単位
A	モデル化に用いるフロートガイドの有効断面積	mm ²
d _m	モデル化に用いる弁本体の内径	mm
D _{f m}	モデル化に用いるフロートガイドの直径	mm
D _m	モデル化に用いる弁本体の外径	mm
E	モデル化に用いるフロートガイドの縦弾性係数	MPa
f	床ドレンライン浸水防止治具の固有振動数	Hz
T	床ドレンライン浸水防止治具の固有周期	s
I _a	モデル化に用いるフロートガイド1本の断面二次モーメント	mm ⁴
I _m	モデルの等価断面二次モーメント	mm ⁴
I _{m1}	モデル化に用いる弁本体の断面二次モーメント	mm ⁴
I _{m2}	モデル化に用いるフロートガイド4本の等価断面二次モーメント	mm ⁴
k	モデルのばね定数	N/m
ℓ ₁	モデル化に用いる弁本体の長さ	mm
ℓ ₂	モデル化に用いるフロートガイドの長さ	mm
m	モデル化に用いる弁の全質量	kg
y _g	フロートガイドの図心GとX軸の距離	mm

表2-7 フロート式治具の応力評価に用いる記号

記号	記号の説明	単位
C_H	基準地震動 S_s による水平方向の設計震度	—
C_V	基準地震動 S_s による鉛直方向の設計震度	—
A_1	弁本体の断面積	mm^2
A_2	フロートガイドの最小断面積	mm^2
d_1	弁本体の内径	mm
D_1	弁本体の外径	mm
D_2	フロートガイドの最小直径	mm
F_{H1}	弁本体の最下端に加わる水平方向地震荷重	N
F_{H2}	フロートガイドの最下端に加わる水平方向地震荷重	N
F_{V1}	弁本体に加わる鉛直方向地震荷重	N
F_{V2}	フロートガイドに加わる鉛直方向地震荷重	N
g	重力加速度	m/s^2
S	J S M E S N C 1 付録材料図表Part5表5鉄鋼材料（ボルト材を除く）の各温度における許容引張応力	MPa
I_1	弁本体の断面二次モーメント	mm^4
I_2	フロートガイドの断面二次モーメント	mm^4
L_1	弁全体の長さ	mm
L_2	フロートガイドの長さ	mm
m_1	弁の全質量	kg
m_2	フロートガイド1本当たりの質量	kg
M_1	弁本体に発生する曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_2	フロートガイドに発生する曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
W_{d1}	弁全体の常時荷重	N
W_{d2}	フロートガイド1本当たりに作用する常時荷重	N
σ_{H1}	弁本体に加わる曲げ応力	MPa
σ_{H2}	フロートガイドの最小断面積に加わる曲げ応力	MPa
σ_{V1}	弁本体に加わる引張応力	MPa
σ_{V2}	フロートガイドの最小断面積に加わる引張応力	MPa

(2) スプリング式治具

スプリング式治具の固有周期の計算に用いる記号を表2-8に、応力評価に用いる記号を表2-9にそれぞれ示す。

表2-8 スプリング式治具の固有周期の計算に用いる記号

記号	記号の説明	単位
A_G	モデル化に用いるガイド（矩形，円形）1本の断面積	mm^2
d_2	モデル化に用いるばねガイドの内径	mm
D_2	モデル化に用いるばねガイドの外径	mm
D_G	モデル化に用いる円形ガイド1本の断面における直径	mm
E	モデル化に用いる部位の縦弾性係数	MPa
f	床ドレンライン浸水防止治具の固有振動数	Hz
T	床ドレンライン浸水防止治具の固有周期	s
I_a	モデル化に用いる円形ガイド1本の断面二次モーメント	mm^4
I_{a1}	モデル化に用いる矩形ガイド1本の弱軸側断面二次モーメント	mm^4
I_{a2}	モデル化に用いる矩形ガイド1本の強軸側断面二次モーメント	mm^4
I_m	モデルの等価断面二次モーメント	mm^4
I_{m1}	モデル化に用いる弁本体・ガイドの等価断面二次モーメント	mm^4
I_{m2}	モデル化に用いるばねガイドの等価断面二次モーメント	mm^4
k	モデルのばね定数	N/m
l_1	モデル化に用いる弁本体・ガイドの長さ	mm
l_2	モデル化に用いるばねガイドの長さ	mm
l_b	モデル化に用いる矩形ガイド1本の断面における長辺の長さ	mm
l_h	モデル化に用いる矩形ガイド1本の断面における短辺の長さ	mm
m	モデル化に用いる床ドレンライン浸水防止治具の全質量	kg
y_g	モデル化に用いるガイド（矩形，円形）の図心GとX軸の距離	mm

表2-9 スプリング式治具の応力評価に用いる記号(1/2)

記号	記号の説明	単位
C_H	基準地震動 S_s による水平方向の設計震度	—
C_V	基準地震動 S_s による鉛直方向の設計震度	—
A_1	弁本体・ガイドの最小断面積	mm^2
A_2	ばねガイドの最小断面積	mm^2
A_G	ガイド（矩形，円形）1本の断面積	mm^2
A_D	弁体の断面積	mm^2
d_2	ばねガイドの内径	mm
D_1	弁本体・ガイドの最大外径	mm
D_2	ばねガイドの外径	mm
D_G	円形ガイド1本の外径	mm
D_D	弁体の直径	mm
D_Z	弁体の軸の直径	mm
F_{H1}	弁本体・ガイドの最下端に加わる水平方向地震荷重	N
F_{H2}	ばねガイドの最下端に加わる水平方向地震荷重	N
F_{HZ}	弁体の軸に加わる水平方向地震荷重	N
F_{V1}	弁本体・ガイドに加わる鉛直方向地震荷重	N
F_{V2}	ばねガイドに加わる鉛直方向地震荷重	N
F_{VD}	弁体の円盤に加わる鉛直方向の荷重	N
g	重力加速度	m/s^2
I_1	弁本体・ガイドの断面二次モーメント	mm^4
I_2	ばねガイドの断面二次モーメント	mm^4
I_{a1}	矩形ガイド1本の弱軸側断面二次モーメント	mm^4
I_{a2}	矩形ガイド1本の強軸側断面二次モーメント	mm^4
I_a	円形ガイド1本の断面二次モーメント	mm^4
I_Z	弁体の軸の断面二次モーメント	mm^4
L_1	弁本体・ガイドの長さ	mm
L_2	ばねガイドの長さ	mm
L_Z	弁体の軸の長さ	mm
ℓ_b	矩形ガイド1本の断面における長辺	mm
ℓ_h	矩形ガイド1本の断面における短辺	mm
m_1	弁本体・ガイドの質量	kg
m_2	ばねガイドの質量	kg
m_D	弁体の質量	kg

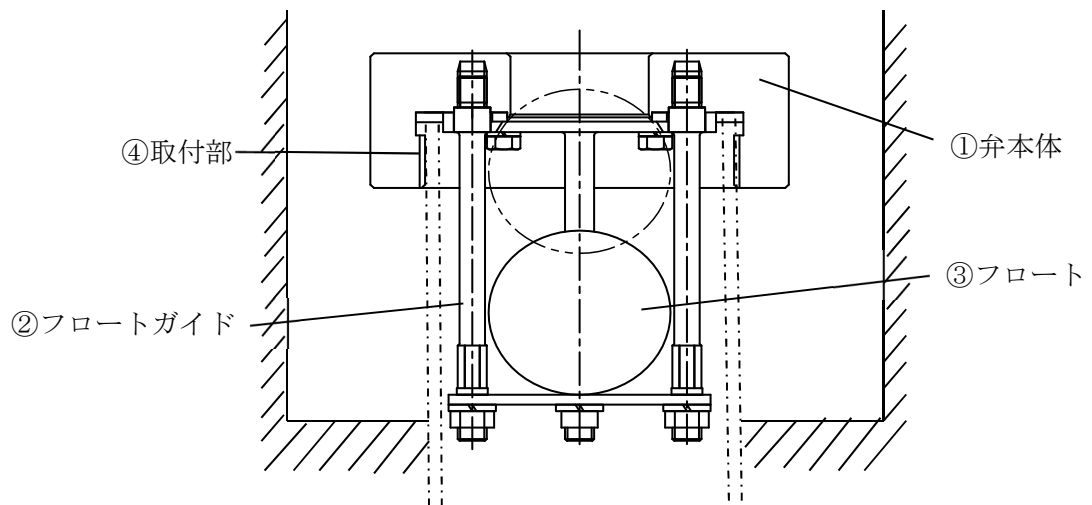
表2-9 スプリング式治具の応力評価に用いる記号(2/2)

記号	記号の説明	単位
M_1	弁本体・ガイドに発生する曲げモーメント	N・mm
M_2	ばねガイドに発生する曲げモーメント	N・mm
M_Z	弁体の軸に発生する曲げモーメント	N・mm
y_g	矩形, 円形ガイド1本の図心とX軸との距離	mm
S	J S M E S N C 1 付録材料図表Part5表5鉄鋼材料 (ボルト材を除く) の各温度における許容引張応力	MPa
t	弁体の板厚	mm
W_{d1}	弁本体・ガイドの自重	N
W_{d2}	ばねガイドの自重	N
W_D	弁体の自重による荷重	N
σ_{H1}	弁本体・ガイドに加わる曲げ応力	MPa
σ_{H2}	ばねガイドに加わる曲げ応力	MPa
σ_{V1}	弁本体・ガイドに加わる引張応力	MPa
σ_{V2}	ばねガイドに加わる引張応力	MPa
σ_D	弁体の円板に加わる曲げ応力	MPa
σ_Z	弁体の軸に加わる曲げ応力	MPa

3. 評価部位

(1) フロート式治具

フロート式治具は、弁本体、フロート、フロートガイド等で構成されている。耐震評価においては、応力評価による評価部位として、弁本体及びフロートガイドを選定し、構造健全性評価による評価部位としてフロート及び取付部を選定する。また、機能維持評価による評価部位として、フロート式治具を選定する。フロート式治具の評価部位について図3-1に示す。



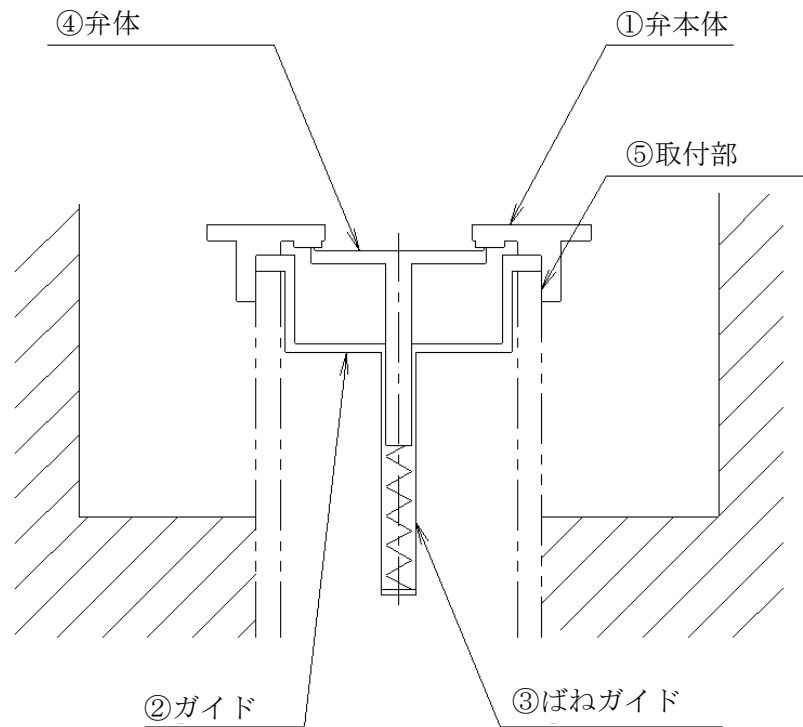
注：図中の①～②は応力評価による評価部位を，③～④は構造健全性評価による評価部位を，それぞれ示す。

図3-1 フロート式治具の評価部位

(2) スプリング式治具

スプリング式治具は、弁本体・ガイド、ばねガイド及び弁体等で構成されている。耐震評価においては、応力評価による評価部位として、弁本体・ガイド、ばねガイド及び弁体を選定する。構造健全性評価による評価部位として弁体及び取付部を選定する。

また、機能維持評価による評価部位としてスプリング式治具を選定する。スプリング式治具の評価部位について、図3-2に示す。

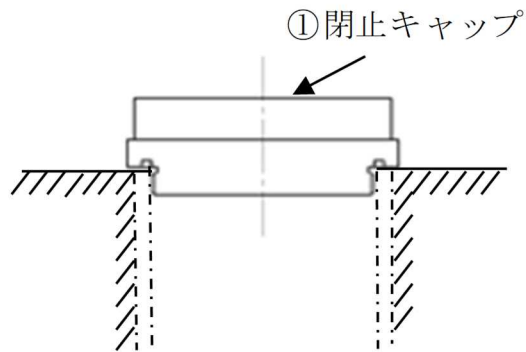


注：図中の①～④は応力評価による評価部位を，④～⑤は構造健全性評価による評価部位を示す。

図3-2 スプリング式治具の評価部位

(3) 閉止キャップ

閉止キャップは閉止キャップ本体及びOリング又はパッキンの止水材で構成されている。構造健全性評価による評価部位として閉止キャップを選定する。また、機能維持評価による評価部位として閉止キャップを選定する。閉止キャップの評価部位について図3-3に示す。

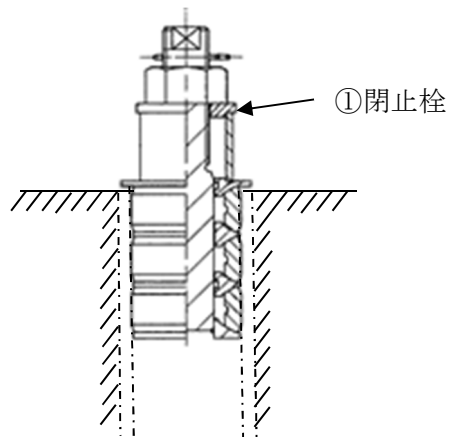


注：図中の①は構造健全性評価による評価部位を示す。

図3-3 閉止キャップの評価部位

(4) 閉止栓

閉止栓はボルトやゴムリング等で構成されている。構造健全性評価による評価部位として閉止栓を選定する。また、機能維持評価による評価部位として閉止栓を選定する。閉止栓の評価部位について図3-4に示す。



注：図中の①は構造健全性評価による評価部位を示す。

図3-4 閉止栓の評価部位

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

(1) フロート式治具

フロート式治具の構造に応じて、保守的に固有周期が大きく算出されるよう、より柔となるようにモデル化し、固有周期を算出する。また、その場合においても固有周期が0.05s以下であることを確認する。

a. 解析モデル

質量の不均一性を考慮し、一方の端を固定端、他方の端を自由端の1質点系モデルとして、自由端に弁の全質量 m が集中したモデルを組む。モデル化は、円筒状の弁本体及び円柱状の4本のフロートガイドの異なる2つの断面をもつ梁の組合せとして設定する。モデル化の概略を図4-1に示す。

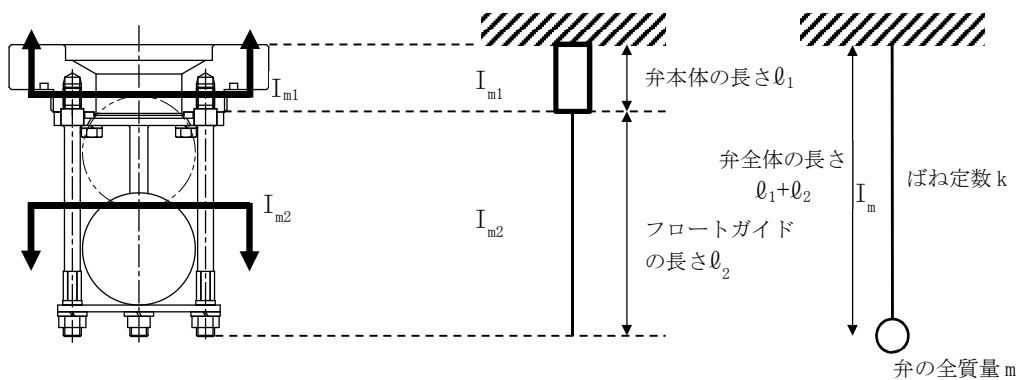


図4-1 フロート式治具のモデル化の概略

b. 固有周期の計算

固有周期の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。固有周期 T を以下の式より算出する。

$$T = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$k = \frac{3 \cdot E \cdot I_m}{(\ell_1 + \ell_2)^3} \times 10^3$$

モデルの等価断面二次モーメント I_m の算出過程を以下に示す。

- (a) モデル化に用いる弁本体の断面二次モーメント

モデル化に用いる弁本体の断面二次モーメント I_{m1} は、以下の式より算出する。

$$I_{m1} = (D_m^4 - d_m^4) \cdot \frac{\pi}{64}$$

- (b) モデル化に用いるフロートガイド4本の等価断面二次モーメント

平行軸の定理から、フロートガイドの図心 G と X 軸の距離 y_g を用いて、モデル化に用いるフロートガイド4本の等価断面二次モーメント I_{m2} は、以下の式より算出する。フロートガイド4本の断面を図4-2に示す。

$$I_a = D_{fm}^4 \cdot \frac{\pi}{64}$$

$$I_{m2} = 2 \cdot I_a + 2 \cdot (I_a + (y_g)^2 \cdot A)$$

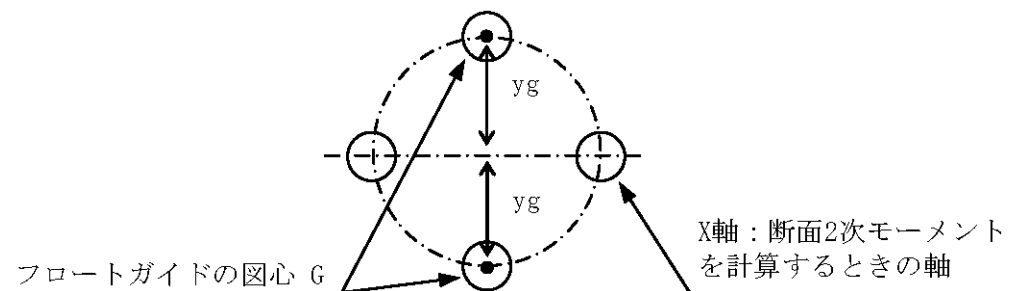


図4-2 フロートガイド4本の断面

- (c) モデルの等価断面二次モーメント

モデルの等価断面二次モーメント I_m は、以下の式より算出する。

$$I_m = \frac{(\ell_1 + \ell_2)^3 \cdot I_{m1} \cdot I_{m2}}{I_{m1} \cdot \ell_2^3 + I_{m2} \cdot (\ell_1^3 + 3\ell_1 \cdot \ell_2^2 + 3\ell_1^2 \cdot \ell_2)}$$

(2) スプリング式治具

スプリング式治具の構造に応じて、保守的に固有周期が大きく算出されるよう、より柔くなるようにモデル化し、固有周期を算出する。また、その場合においても固有周期が0.05s以下であることを確認する。

a. 解析モデル

質量の不均一性を考慮し、一方の端を固定端、他方の端を自由端の1質点系モデルとして、自由端に治具の全質量 m が集中したモデルを組む。モデル化は、弁本体と矩形もしくは円形の4本のガイドを持つ部分を「弁本体・ガイド」と称し、円筒状の部分を「ばねガイド」と称する2つの断面を持つ梁の組合せとして設定する。モデル化の概略を図4-3に示す。

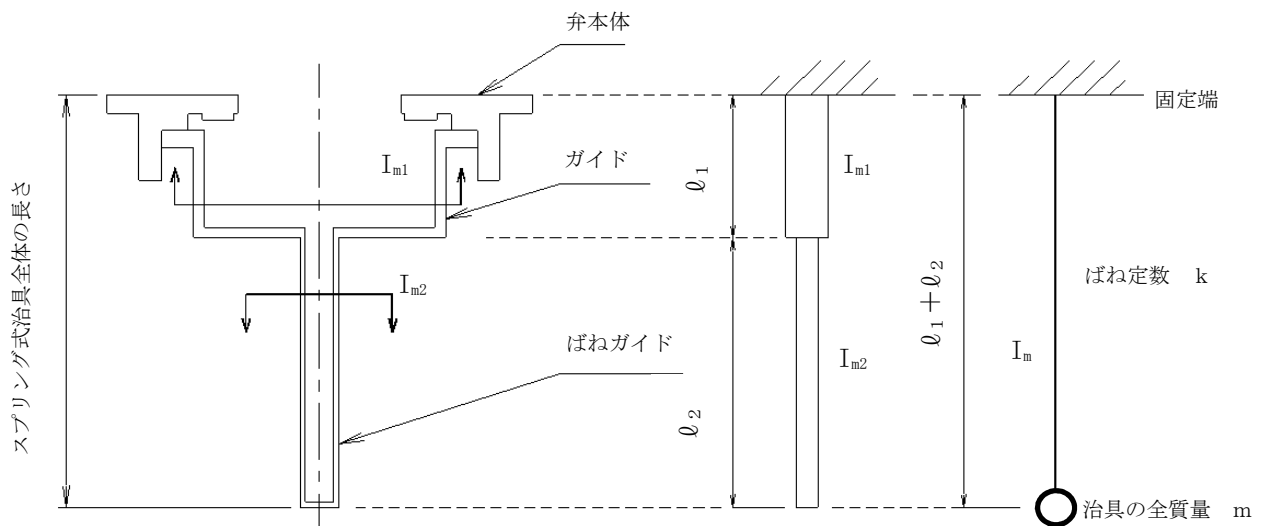


図4-3 スプリング式治具のモデル化の概略

b. 固有周期の計算

固有周期の計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

固有周期Tを以下の式より算出する。

$$T = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$k = \frac{3 \cdot E \cdot I_m}{(\ell_1 + \ell_2)^3} \times 10^3$$

モデルの等価断面二次モーメント I_m の算出過程を以下に示す。

(a) モデル化に用いる弁本体・ガイドの断面二次モーメント

モデル化に用いる弁本体・ガイドの断面二次モーメント I_{m1} は、以下の式より算出する。

イ. 外ねじ取付型の矩形ガイドの場合

平行軸の定理から、ガイドの図心とX軸の距離 y_g を用いて、モデル化に用いる弁本体・ガイドの等価断面二次モーメント I_{m1} は、以下の式より算出する。弁本体・ガイドの矩形ガイド断面を図4-4に示す。

$$I_{a1} = \frac{\ell_b \cdot \ell_h^3}{12} \quad I_{a2} = \frac{\ell_h \cdot \ell_b^3}{12}$$

$$I_{m1} = 2 \cdot I_{a2} + 2 \cdot \left(I_{a1} + (y_g)^2 \cdot A_G \right)$$

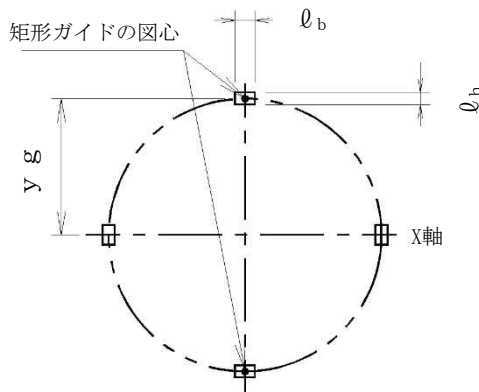


図4-4 弁本体・ガイドの矩形ガイド断面

ロ. 内ねじ取付型及びフランジ取付型の円形ガイドの場合

平行軸の定理から、円形ガイドの図心とX軸の距離 y_g を用いて、モデル化に用いる

弁本体・ガイドの等価断面二次モーメント I_{m1} は、以下の式より算出する。弁本体・ガイドの円形ガイド断面を図4-5に示す。

$$I_a = D_G^4 \cdot \frac{\pi}{64}$$

$$I_{m1} = 2 \cdot I_a + 2 \cdot \left(I_a + (y_g)^2 \cdot A_G \right)$$

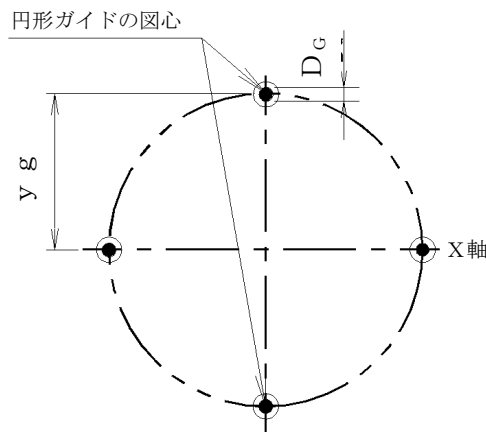


図4-5 弁本体・ガイドの円形ガイド断面

(b) モデル化に用いるばねガイドの断面二次モーメント

モデル化に用いるばねガイドの断面二次モーメント I_{m2} は、以下の式より算出する。

ばねガイドの断面を図4-6に示す。

$$I_{m2} = \left(D_2^4 - d_2^4 \right) \cdot \frac{\pi}{64}$$

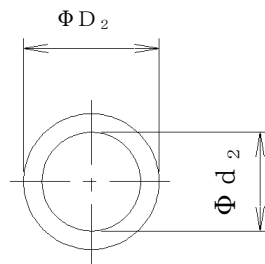


図4-6 ばねガイドの断面

(c) モデルの等価断面二次モーメント

モデルの等価断面二次モーメント I_m は、以下の式より算出する。

$$I_m = \frac{(\ell_1 + \ell_2)^3 \cdot I_{m1} \cdot I_{m2}}{I_{m1} \cdot \ell_2^3 + I_{m2} \cdot (\ell_1^3 + 3 \cdot \ell_1 \cdot \ell_2^2 + 3 \cdot \ell_1^2 \cdot \ell_2)}$$

(3) 閉止キャップ

正弦波掃引試験（振動数範囲：5～50Hz、掃引速度：1オクターブ/min）により振動数を把握する。

(4) 閉止栓

正弦波掃引試験（振動数範囲：5～50Hz、掃引速度：1オクターブ/min）により振動数を把握する。

4.2 固有周期の計算条件

(1) フロート式治具

表4-1～表4-3に外ねじ取付型、内ねじ取付型及びフランジ取付型における固有周期の計算条件を示す。

表4-1 外ねじ取付型の固有周期の計算条件

フロートガイドの材質	モデル化に用いる 弁の全質量 m (kg)	モデル化に用いる弁本体の外径 D _m (mm)	モデル化に用いる弁本体の内径 d _m (mm)	モデル化に用いるフロートガイドの直径 D _{f m} (mm)
SUS304	2.90	75	38	6.6

フロートガイドの 図心GとX軸の距離 y _g (mm)	モデル化に用いる 弁本体の長さ ℓ ₁ (mm)	モデル化に用いる フロートガイドの長さ ℓ ₂ (mm)	モデル化に用いる フロートガイドの 縦弾性係数 E* (MPa)
30	41	102	1.94×10 ⁵

注記*：「5.3 許容限界」における温度条件での縦弾性係数Eを用いる。

表4-2 内ねじ取付型の固有周期の計算条件

フロートガイドの材質	モデル化に用いる 弁の全質量 m (kg)	モデル化に用いる弁本体の外径 D _m (mm)	モデル化に用いる弁本体の内径 d _m (mm)	モデル化に用いるフロートガイドの直径 D _{f m} (mm)
SUS304	2.15	75	65	6.6

フロートガイドの 図心GとX軸の距離 y _g (mm)	モデル化に用いる 弁本体の長さ ℓ ₁ (mm)	モデル化に用いる フロートガイドの長さ ℓ ₂ (mm)	モデル化に用いる フロートガイドの 縦弾性係数 E* (MPa)
30	30	102	1.94×10 ⁵

注記*：「5.3 許容限界」における温度条件での縦弾性係数Eを用いる。

表4-3 フランジ取付型の固有周期の計算条件

フロートガイドの材質	モデル化に用いる弁の全質量 m (kg)	モデル化に用いる弁本体の外径 D _m (mm)	モデル化に用いる弁本体の内径 d _m (mm)	モデル化に用いるフロートガイドの直径 D _{f m} (mm)
SUS316L	3.97	75	65	6.6

フロートガイドの図心GとX軸の距離 y _g (mm)	モデル化に用いる弁本体の長さ ℓ ₁ (mm)	モデル化に用いるフロートガイドの長さ ℓ ₂ (mm)	モデル化に用いるフロートガイドの縦弾性係数 E* (MPa)
30	32	102	1.94×10 ⁵

注記*：「5.3 許容限界」における温度条件での縦弾性係数Eを用いる。

(2) スプリング式治具

表4-4から表4-6に外ねじ取付型，内ねじ取付型，フランジ取付型の固有周期の計算条件を示す。

表4-4 外ねじ取付型の固有周期の計算条件

モデルの材質	モデル化に用いる床ドレンライン浸水防止治具の全質量 m (kg)	モデル化に用いるガイド1本における断面形状の長辺 l_b (mm)	モデル化に用いるガイド1本における断面形状の短辺 l_h (mm)	ガイド1本の図心とX軸との距離 y _g (mm)
SUS316L	0.94	5	3	34

モデル化に用いる弁本体・ガイドの長さ l_1 (mm)	モデル化に用いるばねガイドの長さ l_2 (mm)	モデル化に用いるばねガイドの外径 D_2 (mm)	モデル化に用いるばねガイドの内径 d_2 (mm)	モデル化に用いる部位の縦弾性係数 E* (MPa)
40	75.5	10.5	8.2	1.94×10^5

注記*：「5.3 許容限界」における温度条件での縦弾性係数Eを用いる。

表4-5 内ねじ取付型の固有周期の計算条件

モデルの材質	モデル化に用いる床ドレンライン浸水防止治具の全質量 m (kg)	モデル化に用いるガイド1本の直径 D_G (mm)	ガイド1本の図心とX軸との距離 y _g (mm)
SUS316L	0.705	2.459	31

モデル化に用いる弁本体・ガイドの長さ l_1 (mm)	モデル化に用いるばねガイドの長さ l_2 (mm)	モデル化に用いるばねガイドの外径 D_2 (mm)	モデル化に用いるばねガイドの内径 d_2 (mm)	モデル化に用いる部位の縦弾性係数 E* (MPa)
40	75.5	10.5	8.2	1.94×10^5

注記*：「5.3 許容限界」における温度条件での縦弾性係数Eを用いる。

表4-6 フランジ取付型の固有周期の計算条件

モデルの材質	モデル化に用いる 床ドレンライン 浸水防止治具の 全質量 m (kg)	モデル化に用いるガイド 1本の直径 D _G (mm)	ガイド1本の図心と X軸との距離 y _g (mm)
SUS316L	1.169	2.459	31

モデル化に 用いる弁本体・ ガイドの長さ ℓ ₁ (mm)	モデル化に用いる ばねガイドの長さ ℓ ₂ (mm)	モデル化に用いる ばねガイドの外径 D ₂ (mm)	モデル化に用いる ばねガイドの内径 d ₂ (mm)	モデル化に 用いる部位の 縦弾性係数 E* (MPa)
40	75.5	10.5	8.2	1.94×10 ⁵

注記*：「5.3 許容限界」における温度条件での縦弾性係数Eを用いる。

4.3 固有周期の計算結果

(1) フロート式治具

表4-7に固有周期の計算結果を示す。固有周期は、0.05s以下であることから、剛構造である。

表4-7 固有周期の計算結果

型式	固有周期 (s)
外ねじ取付型	0.002
内ねじ取付型	0.002
フランジ取付型	0.002

(2) スプリング式治具

表4-8に固有周期の計算結果を示す。固有周期は、0.05s以下であることから、剛構造である。

表4-8 固有周期の計算結果

型式	固有周期 (s)
外ねじ取付型	0.009
内ねじ取付型	0.008
フランジ取付型	0.010

(3) 閉止キャップ

表4-9に掃引試験で求めた固有周期を示す。固有周期は、0.05s以下であることから、剛構造である。

表4-9 固有周期の試験結果

評価部位	固有周期 (s)
閉止キャップ	0.02以下

(4) 閉止栓

表4-10に掃引試験で求めた固有周期を示す。固有周期は、0.05s以下であることから、剛構造である。

表4-10 固有周期の試験結果

評価部位	固有周期 (s)
閉止栓	0.02以下

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

床ドレンライン浸水防止治具の耐震評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、「3. 評価部位」にて設定する評価部位に作用する応力等が「5.3 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

5.2.1 荷重の設定

(1) フロート式治具

a. 固定荷重 (D)

常時作用する荷重として、弁全体の自重 W_{d1} 及びフロートガイドの自重 W_{d2} を考慮し、以下の式より算出する。

$$W_{d1} = m_1 \cdot g$$

$$W_{d2} = m_2 \cdot g$$

b. 基準地震動 S_s による地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による地震荷重 F_{H1} , F_{V1} , F_{H2} , F_{V2} を考慮し、以下の式より算出する。

$$F_{H1} = m_1 \cdot C_H \cdot g$$

$$F_{H2} = m_2 \cdot C_H \cdot g$$

$$F_{V1} = m_1 \cdot C_V \cdot g$$

$$F_{V2} = m_2 \cdot C_V \cdot g$$

(2) スプリング式治具

a. 固定荷重 (D)

常時作用する荷重として、弁本体・ガイド及びばねガイド並びに弁体の自重を考慮し、以下の式より算出する。

$$W_{d1} = m_1 \cdot g$$

$$W_{d2} = m_2 \cdot g$$

$$W_D = m_D \cdot g$$

b. 基準地震動 S_s による地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による地震荷重 F_{H1} , F_{H2} , F_{V1} , F_{V2} , F_{HZ} , F_{VD} を考慮し、以下の式より算出する。

$$F_{H1} = m_1 \cdot C_H \cdot g$$

$$F_{H2} = m_2 \cdot C_H \cdot g$$

$$F_{V1} = m_1 \cdot C_V \cdot g$$

$$F_{V2} = m_2 \cdot C_V \cdot g$$

$$F_{HZ} = m_D \cdot C_H \cdot g$$

$$F_{VD} = m_D \cdot C_V \cdot g$$

5.2.2 荷重の組合せ

床ドレンライン浸水防止治具の耐震計算にて考慮する荷重の組合せを表5-1に示す。

表5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	荷重の組合せ*1*2	許容応力状態
浸水防護施設 (浸水防止設備)	床ドレンライン 浸水防止治具	S	$D + S_s$	Ⅲ _A S

注記*1：Dは固定荷重， S_s は基準地震動 S_s による地震荷重を示す。

*2：固定荷重（D）及び基準地震動（ S_s ）の組合せが荷重を緩和する方向に作用する場合，保守的にこれを組合せない評価を実施する。

5.3 許容限界

(1) フロート式治具

フロート式治具の弁本体及びフロートガイドの許容限界を表5-2に、許容応力評価条件を表5-3にそれぞれ示す。また、弁本体及びフロートガイドの許容応力算出結果を表5-4にそれぞれ示す。

表5-2 弁本体及びフロートガイドの許容限界

許容応力状態	許容限界*1		
	一次応力		
	引張り	曲げ	組合せ*2
Ⅲ _A S*3	1.2・S	1.2・S	1.2・S

注記*1：引張り及び曲げ応力は、J E A G 4 6 0 1・補-1984を準用し、「管」の許容限界のうちクラス2，3配管に対する許容限界に準じて設定する。

*2：引張りと曲げの組合せである。

*3：地震後，津波後の再使用性や津波の繰返し作用を想定し，当該構造物全体の変形能力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう，設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

表5-3 弁本体及びフロートガイドの許容応力評価条件

型式	評価部位	材料	温度条件 (°C)	S* (MPa)
外ねじ取付型	弁本体	SUS303	40	129
	フロートガイド	SUS304		
内ねじ取付型	弁本体	SUS303		
	フロートガイド	SUS304		
フランジ取付型	弁本体	SUS316L		111
	フロートガイド	SUS316L		

注記*：鉄鋼材料（ボルト材を除く）の許容引張応力を示す。

表5-4 弁本体及びフロートガイドの許容応力算出結果

許容応力状態	型式	評価部位	許容限界		
			一次応力		
			引張り 1.2・S (MPa)	曲げ 1.2・S (MPa)	組合せ 1.2・S (MPa)
Ⅲ _A S	外ねじ取付型	弁本体	154	154	154
		フロートガイド	154	154	154
	内ねじ取付型	弁本体	154	154	154
		フロートガイド	154	154	154
	フランジ取付型	弁本体	133	133	133
		フロートガイド	133	133	133

(2) スプリング式治具

スプリング式治具の弁本体・ガイド、ばねガイド及び弁体の許容限界を表5-5、許容応力評価条件を表5-6にそれぞれ示す。また弁本体・ガイド、ばねガイド及び弁体の許容応力算出結果を表5-7にそれぞれ示す。

表5-5 弁本体・ガイド、ばねガイド及び弁体の許容限界

許容応力状態	許容限界* ¹		
	一次応力		
	引張り	曲げ	組合せ* ²
Ⅲ _A S * ³	1.2・S	1.2・S	1.2・S

注記*1：引張り及び曲げ応力は、J E A G 4 6 0 1・補-1984を準用し、「管」の許容限界のうちクラス2，3配管に対する許容限界に準じて設定する。

*2：引張りと曲げの組合せである。

*3：地震後、津波後の再使用性や津波の繰返し作用を想定し、当該構造物全体の変形能力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう、設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

表5-6 弁本体・ガイド, ばねガイド及び弁体の許容応力評価条件

型式	評価部位	材料	温度条件 (°C)	S* (MPa)
外ねじ 取付型	弁本体・ガイド	SUS316L	40	111
	ばねガイド	SUS316L		
	弁体	SUS316L		
内ねじ 取付型	弁本体・ガイド	SUS316L		
	ばねガイド	SUS316L		
	弁体	SUS316L		
フランジ 取付型	弁本体・ガイド	SUS316L		
	ばねガイド	SUS316L		
	弁体	SUS316L		

注記* : 鉄鋼材料 (ボルト材を除く) の許容引張応力を示す。

表5-7 弁本体・ガイド, ばねガイド及び弁体の許容応力算出結果

許容 応力状態	型式	評価部位	許容限界		
			一次応力		
			引張り 1.2・S (MPa)	曲げ 1.2・S (MPa)	組合せ 1.2・S (MPa)
Ⅲ _A S	外ねじ 取付型	弁本体・ガイド	133	133	133
		ばねガイド	133	133	133
		弁体	133	133	133
	内ねじ 取付型	弁本体・ガイド	133	133	133
		ばねガイド	133	133	133
		弁体	133	133	133
	フランジ 取付型	弁本体・ガイド	133	133	133
		ばねガイド	133	133	133
		弁体	133	133	133

5.4 設計用地震力

「4. 固有周期」に示したとおり床ドレンライン浸水防止治具の固有周期が0.05s以下であることを確認したため、床ドレンライン浸水防止治具の耐震計算に用いる設計震度は、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に示す床ドレンライン浸水防止治具における設置床の最大応答加速度の1.2倍を考慮して設定する。床ドレンライン浸水防止治具の耐震計算に用いる設計震度を表5-8～表5-11に示す。

表5-8 フロート式治具の設計震度

地震動	床面高さ* ¹ T. M. S. L. (mm)	場所	地震による設計震度* ² * ³	
			水平方向 C _H	
基準地震動 S _s	44300	タービン建屋最上階	水平方向 C _H	3.69
			鉛直方向 C _V	2.23

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：「4. 固有周期」より、フロート式治具の固有周期が0.05s以下であることを確認したため、保守的にタービン建屋最上階の最大応答加速度の1.2倍を考慮した設計震度を設定した。

*3：床ドレンライン浸水防止治具の設置数が多いタービン建屋の中から、保守的に全てを包絡できる最上階に設定した。

表5-9 スプリング式治具の設計震度

地震動	床面高さ* ¹ T. M. S. L. (mm)	場所	地震による設計震度* ² * ³	
			水平方向 C _H	
基準地震動 S _s	44300	タービン建屋最上階	水平方向 C _H	3.69
			鉛直方向 C _V	2.23

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：「4. 固有周期」より、スプリング式治具の固有周期が0.05s以下であることを確認したため、保守的にタービン建屋最上階の最大応答加速度の1.2倍を考慮した設計震度を設定した。

*3：床ドレンライン浸水防止治具の設置数が多いタービン建屋の中から、保守的に全てを包絡できる最上階に設定した。

表5-10 閉止キャップの設計震度

地震動	床面高さ* ¹ T. M. S. L. (mm)	場所	地震による設計震度* ² * ³	
			水平方向 C _H	
基準地震動 S _s	44300	タービン建屋最上階	水平方向 C _H	3.69
			鉛直方向 C _V	2.23

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：「4. 固有周期」より，閉止キャップの固有周期が0.05s以下であることを確認したため，保守的にタービン建屋最上階の最大応答加速度の1.2倍を考慮した設計震度を設定した。

*3：床ドレンライン浸水防止治具の設置数が多いタービン建屋の中から，保守的に全てを包絡できる最上階に設定した。

表5-11 閉止栓の設計震度

地震動	床面高さ* ¹ T. M. S. L. (mm)	場所	地震による設計震度* ² * ³	
			水平方向 C _H	
基準地震動 S _s	44300	タービン建屋最上階	水平方向 C _H	3.69
			鉛直方向 C _V	2.23

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：「4. 固有周期」より，閉止栓の固有周期が0.05s以下であることを確認したため，保守的にタービン建屋最上階の最大応答加速度の1.2倍を考慮した設計震度を設定した。

*3：床ドレンライン浸水防止治具の設置数が多いタービン建屋の中から，保守的に全てを包絡できる最上階に設定した。

5.5 計算方法

(1) フロート式治具

a. 弁本体

弁本体の発生応力を算出する。弁本体の応力評価に用いる断面積 A_1 は、図5-1に示すとおり、弁本体のうち最も肉厚が薄い断面を適用する。

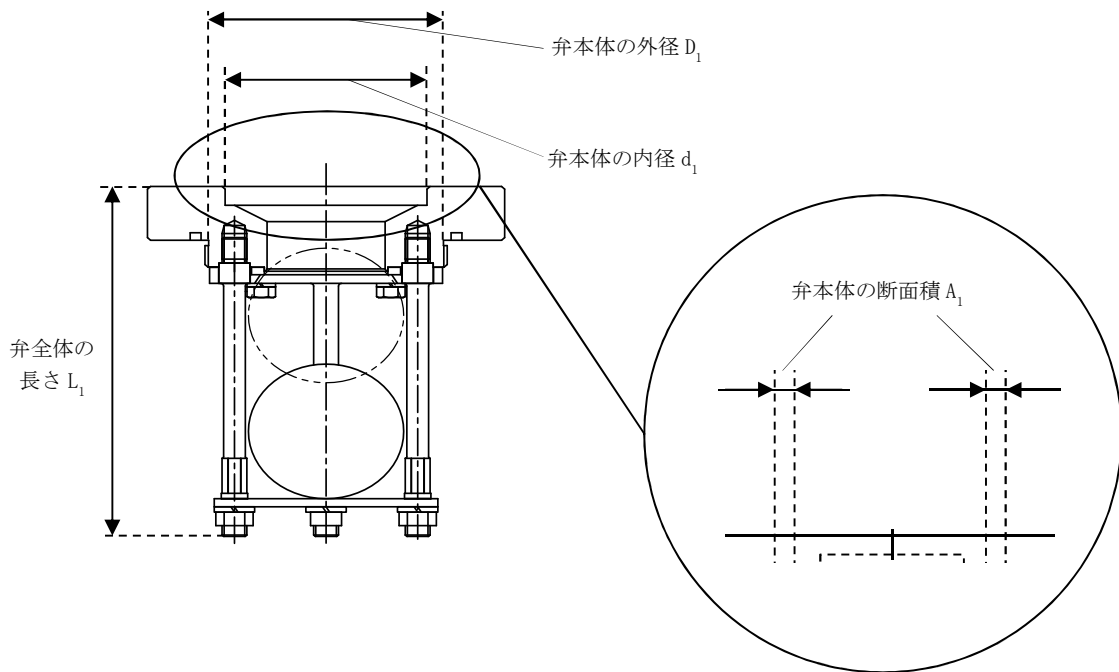


図5-1 フロート式治具本体の構造図

(a) 鉛直応答加速度負荷時

鉛直応答加速度により、弁本体に加わる引張応力 σ_{V1} を以下の式より算出する。

$$\sigma_{V1} = \frac{W_{d1} + F_{V1}}{A_1}$$

(b) 水平応答加速度負荷時

弁体の最下端に集中荷重が負荷された片持ち梁として、水平応答加速度により、弁本体に加わる曲げ応力 σ_{H1} を以下の式より算出する。

$$M_1 = F_{H1} \cdot L_1$$

$$I_1 = (D_1^4 - d_1^4) \cdot \frac{\pi}{64}$$

$$\sigma_{H1} = \frac{M_1 \cdot \left(\frac{D_1}{2}\right)}{I_1}$$

b. フロートガイド

フロートガイドの応力評価に用いるフロートガイドの最小断面積 A_2 は、以下の図5-2に示すフロートガイドの最小直径 D_2 から求める。フロートガイドの最小断面積 A_2 はフロートガイドのうち最も肉厚が薄い断面を適用する。

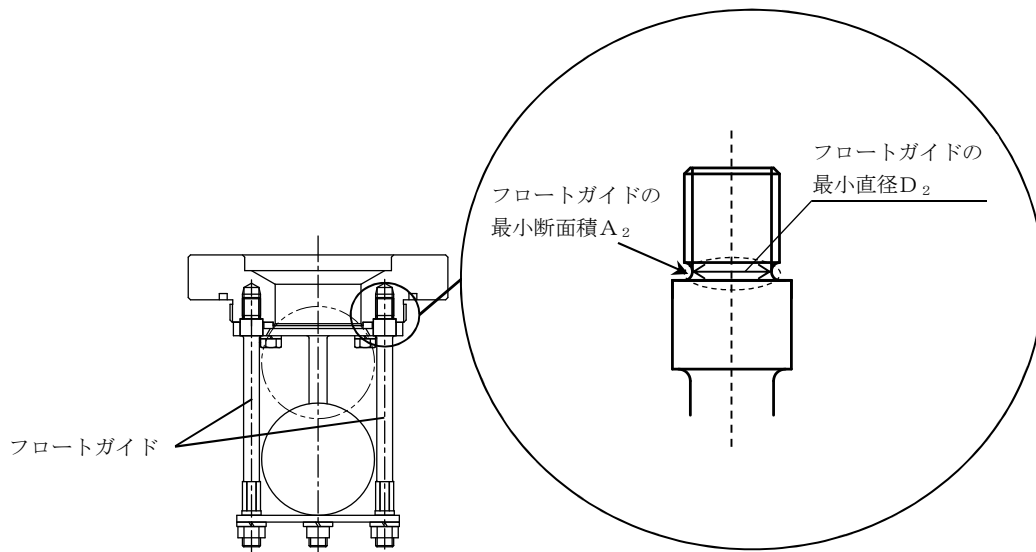


図5-2 フロートガイドの応力評価に用いる断面積

(a) 鉛直応答加速度負荷時

鉛直応答加速度により、フロートガイドの最小断面積に加わる引張応力 σ_{V2} を以下の式より算出する。

$$\sigma_{V2} = \frac{W_{d2} + F_{V2}}{A_2}$$

(b) 水平応答加速度負荷時

フロートガイドの最下端に集中荷重が負荷された片持ち梁として、水平応答加速度により、フロートガイドの最小断面積に加わる曲げ応力 σ_{H2} を以下の式より算出する。

$$M_2 = F_{H2} \cdot L_2$$

$$I_2 = D_2^4 \cdot \frac{\pi}{64}$$

$$\sigma_{H2} = \frac{M_2 \cdot \left(\frac{D_2}{2}\right)}{I_2}$$

(2) スプリング式治具

a. 弁本体・ガイド

弁本体・ガイドの発生応力を算出する。モデル化は、弁本体と矩形もしくは円形の4本のガイドを持つ部分を「弁本体・ガイド」として設定する。弁本体・ガイドの応力評価に用いる断面積 A_1 は図5-3に示すとおり、弁本体・ガイドのうち最も断面積が小さい断面を適用する。

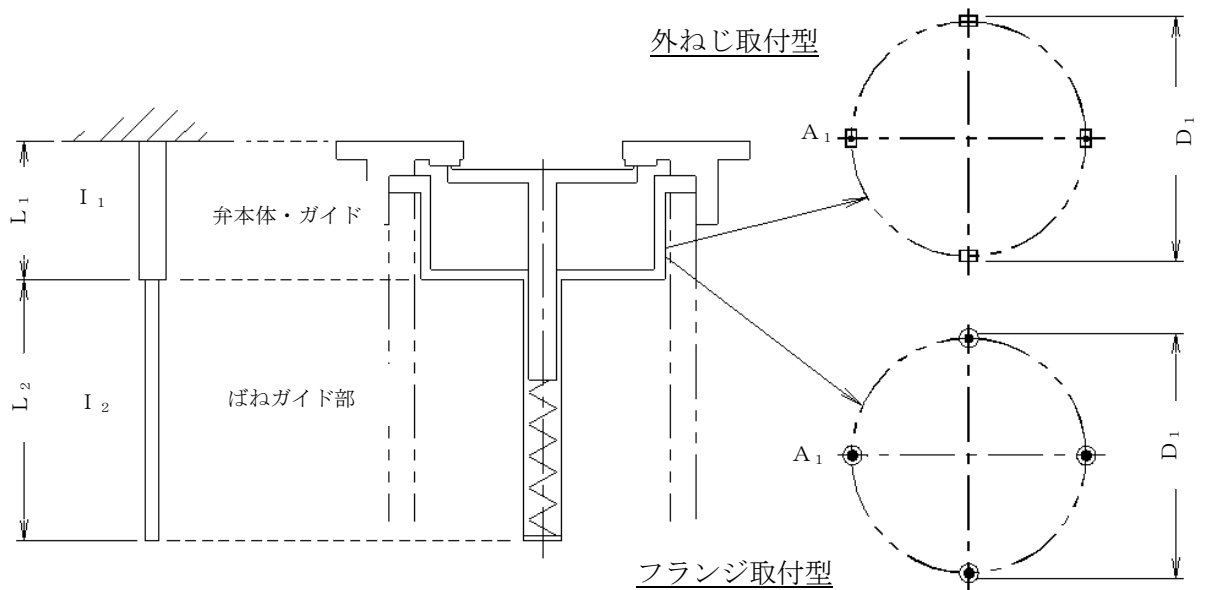


図5-3 スプリング式治具 弁本体・ガイドの構造図

(a) 鉛直応答加速度負荷時

鉛直応答加速度により、弁本体・ガイドに加わる引張応力 σ_{V1} を以下の式より算出する。

$$\sigma_{V1} = \frac{W_{d1} + F_{V1}}{A_1}$$

(b) 水平応答加速度負荷時

弁本体・ガイドの最下端に集中荷重が負荷された片持ち梁として、水平応答加速度により、弁本体・ガイドに加わる曲げ応力 σ_{H1} を以下の式より算出する。

$$M_1 = F_{H1} \cdot L_1$$

$$\sigma_{H1} = \frac{M_1 \cdot \left(\frac{D_1}{2}\right)}{I_1}$$

イ. 外ねじ取付型の場合

弁本体・ガイドのうち最も断面積の小さい断面は4本のガイド（矩形）部分である。

したがって、1本の矩形ガイドの断面二次モーメントを矩形の長辺 b と短辺 h から求め、全体の断面二次モーメントを算出する。

$$I_{a1} = \frac{\ell_b \cdot \ell_h^3}{12}$$

$$I_{a2} = \frac{\ell_h \cdot \ell_b^3}{12}$$

$$I_1 = 2 \cdot I_{a2} + 2 \cdot \left(I_{a1} + (y_g)^2 \cdot A_G \right)$$

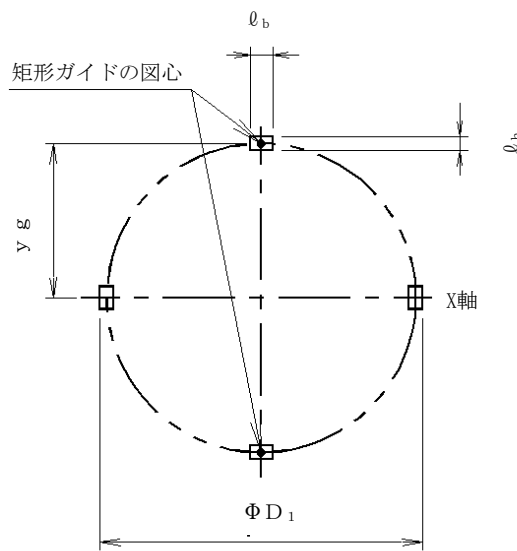


図5-4 外ねじ取付型の断面二次モーメント

ロ. 内ねじ取付型及びフランジ取付型の場合

内ねじ取付型及びフランジ取付型はガイド1本の断面形状が円形であり、外径が D_G である。

$$I_a = D_G^4 \cdot \frac{\pi}{64}$$

$$I_1 = 2 \cdot I_a + 2 \cdot \left(I_a + (y_g)^2 \cdot A_G \right)$$

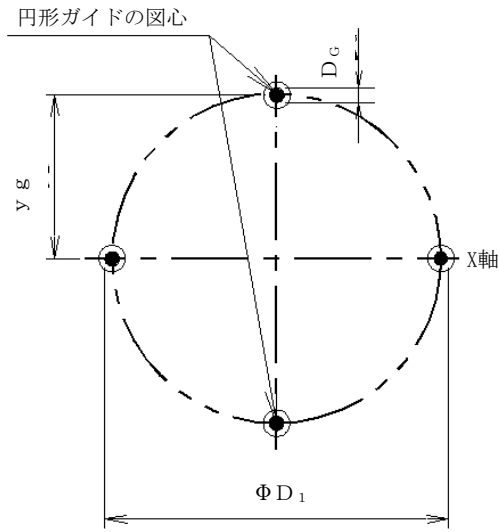


図5-5 内ねじ取付型及びフランジ取付型の断面二次モーメント

b. ばねガイド

ばねガイドの発生応力を算出する。図5-6にばねガイドの断面を示す。

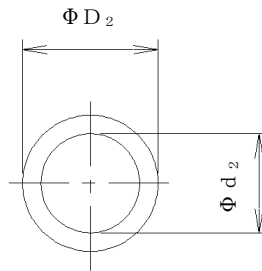


図5-6 ばねガイドの断面

(a) 鉛直応答加速度負荷時

鉛直応答加速度により，ばねガイドに加わる引張応力 σ_{V2} を以下の式より算出する。

$$\sigma_{V2} = \frac{W_{d2} + F_{V2}}{A_2}$$

(b) 水平応答加速度負荷時

ばねガイドの最下端に集中荷重が負荷された片持ち梁として，水平応答加速度により，ばねガイドに加わる曲げ応力 σ_{H2} を以下の式より算出する。

$$M_2 = F_{H2} \cdot L_2$$

$$I_2 = \left(D_2^4 - d_2^4 \right) \cdot \frac{\pi}{64}$$

$$\sigma_{H2} = \frac{M_2 \cdot \left(\frac{D_2}{2} \right)}{I_2}$$

c. 弁体

弁体の発生応力を算出する。

(a) 鉛直応答加速度負荷時

図5-7に示すとおり，鉛直応答加速度により弁体は弁座に押し付けられ曲げ応力が発生する。曲げ応力 σ_D を以下の式より算出する。ただし，弁体の自重による荷重 W_D は曲げ応力 σ_D を緩和する方向に作用するため考慮しない。

$$\sigma_D = 1.24 \cdot \frac{\left(\frac{W_D + F_{VD}}{A_D} \right) \cdot \left(\frac{D_D}{2} \right)^2}{t}$$

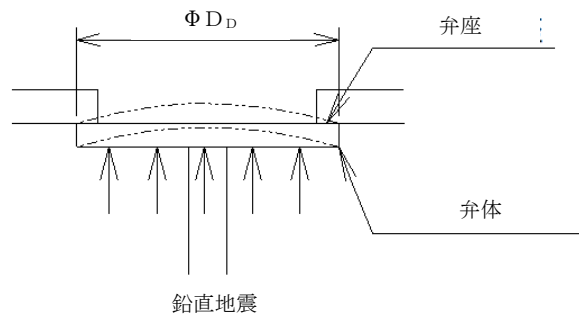


図5-7 弁体の円板に加わる曲げモーメント

(b) 水平応答加速度負荷時

図5-8に示すとおり，弁体の軸の最上端に集中荷重が負荷された片持ち梁として発生する曲げ応力 σ_z を以下の式より算出する。

$$M_z = F_{HZ} \cdot L_z$$

$$I_z = D_z^4 \cdot \frac{\pi}{64}$$

$$\sigma_z = \frac{M_z \cdot \left(\frac{D_z}{2}\right)}{I_z}$$

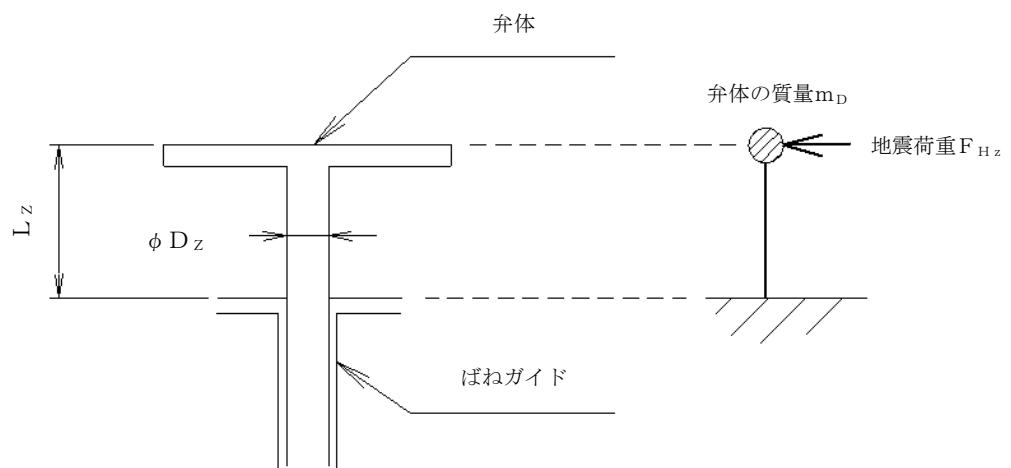


図5-8 弁体の軸に加わる曲げモーメント

5.6 計算条件

(1) フロート式治具

フロート式治具の応力評価に用いる計算条件を表5-12～表5-14に示す。

表5-12 外ねじ取付型の応力評価に用いる計算条件

弁本体の材質	弁本体の断面積 A_1 (mm^2)	弁の全質量 m_1 (kg)	弁全体の長さ L_1 (mm)
SUS303	3284	2.90	120

弁本体の外径 D_1 (mm)	弁本体の内径 d_1 (mm)	フロートガイドの 材質	フロートガイドの 最小断面積 A_2 (mm^2)
75	38	SUS304	34.21

フロートガイドの 1本当たりの質量 m_2 (kg)	フロートガイドの 長さ L_2 (mm)	フロートガイドの 最小直径 D_2 (mm)	重力加速度 g (m/s^2)
0.05	102	6.6	9.80665

表5-13 内ねじ取付型の応力評価に用いる計算条件

弁本体の材質	弁本体の断面積 A_1 (mm^2)	弁の全質量 m_1 (kg)	弁全体の長さ L_1 (mm)
SUS303	1100	2.15	130

弁本体の外径 D_1 (mm)	弁本体の内径 d_1 (mm)	フロートガイドの 材質	フロートガイドの 最小断面積 A_2 (mm^2)
75	65	SUS304	34.21

フロートガイドの 1本当たりの質量 m_2 (kg)	フロートガイドの 長さ L_2 (mm)	フロートガイドの 最小直径 D_2 (mm)	重力加速度 g (m/s^2)
0.05	102	6.6	9.80665

表5-14 フランジ取付型の応力評価に用いる計算条件

弁本体の材質	弁本体の断面積 A_1 (mm^2)	弁の全質量 m_1 (kg)	弁全体の長さ L_1 (mm)
SUS316L	1100	3.97	130

弁本体の外径 D_1 (mm)	弁本体の内径 d_1 (mm)	フロートガイドの 材質	フロートガイドの 最小断面積 A_2 (mm^2)
75	65	SUS316L	34.21

フロートガイドの 1本当たりの質量 m_2 (kg)	フロートガイドの 長さ L_2 (mm)	フロートガイドの 最小直径 D_2 (mm)	重力加速度 g (m/s^2)
0.05	102	6.6	9.80665

(2) スプリング式治具

スプリング式治具の応力評価に用いる計算条件を表5-15～表5-17に示す。

表5-15 外ねじ取付型の応力評価に用いる計算条件

弁本体・ガイド の材質	弁本体・ガイド の最小断面積 A_1 (mm^2)	弁本体・ガイド の質量 m_1 (kg)	弁本体・ガイド の長さ L_1 (mm)	4本ガイドの 最大外径 D_1 (mm)
SUS316L	60	0.809	40	71

矩形ガイド1本の 断面の長辺 l_b (mm)	矩形ガイド1本の 断面の短辺 l_h (mm)	矩形ガイドの 図心と X軸との距離 y_g (mm)	ばねガイドの 長さ L_2 (mm)	矩形ガイド1本の 断面積 A_G (mm^2)
5	3	34	75.5	15

ばねガイド の材質	ばねガイドの 質量 m_2 (kg)	ばねガイドの 最小断面積 A_2 (mm^2)	ばねガイドの 外径 D_2 (mm)	ばねガイドの 内径 d_2 (mm)
SUS316L	0.03	33.78	10.5	8.2

弁体の材質	弁体の質量 m_D (kg)	弁体の外径 D_D (mm)	弁体の板厚 t (mm)	弁体の軸の長さ L_z (mm)
SUS316L	0.101	55	4	32

弁体の軸の外径 D_z (mm)	重力加速度 g (m/s^2)
8	9.80665

表5-16 内ねじ取付型の応力評価に用いる計算条件

弁本体・ガイド の材質	弁本体・ガイド の最小断面積 A_1 (mm^2)	弁本体・ガイド の質量 m_1 (kg)	弁本体・ガイド の長さ L_1 (mm)	4本ガイドの 最大外径 D_1 (mm)
SUS316L	19.00	0.574	40	64.459

円形ガイドの 外径 D_G (mm)	円形ガイドの 図心と X軸との距離 y_g (mm)	ばねガイドの 長さ L_2 (mm)	円形ガイド1本の 断面積 A_G (mm^2)	ばねガイド の材質
2.459	31	75.5	4.749	SUS316L

ばねガイドの 質量 m_2 (kg)	ばねガイドの 最小断面積 A_2 (mm^2)	ばねガイドの 外径 D_2 (mm)	ばねガイドの 内径 d_2 (mm)
0.03	33.78	10.5	8.2

弁体の材質	弁体の質量 m_D (kg)	弁体の外径 D_D (mm)	弁体の板厚 t (mm)	弁体の軸の長さ L_z (mm)
SUS316L	0.101	55	4	32

弁体の軸の外径 D_z (mm)	重力加速度 g (m/s^2)
8	9.80665

表5-17 フランジ取付型の応力評価に用いる計算条件

弁本体・ガイド の材質	弁本体・ガイド の最小断面積 A_1 (mm^2)	弁本体・ガイド の質量 m_1 (kg)	弁本体・ガイド の長さ L_1 (mm)	4本ガイドの 最大外径 D_1 (mm)
SUS316L	19.00	1.038	40	64.459

円形ガイドの 外径 D_G (mm)	円形ガイドの 図心と X軸との距離 y_g (mm)	ばねガイドの 長さ L_2 (mm)	円形ガイド1本の 断面積 A_G (mm^2)	ばねガイド の材質
2.459	31	75.5	4.749	SUS316L

ばねガイドの 質量 m_2 (kg)	ばねガイドの 最小断面積 A_2 (mm^2)	ばねガイドの 外径 D_2 (mm)	ばねガイドの 内径 d_2 (mm)
0.03	33.78	10.5	8.2

弁体の材質	弁体の質量 m_D (kg)	弁体の外径 D_D (mm)	弁体の板厚 t (mm)	弁体の軸の長さ L_z (mm)
SUS316L	0.101	55	4	32

弁体の軸の外径 D_z (mm)	重力加速度 g (m/s^2)
8	9.80665

K6 ①VI-2-10-2-4-1 R0

6. 機能維持評価

「3. 評価部位」にて評価部位として設定した床ドレンライン浸水防止治具の地震時及び地震後の機能維持を確認するため、「6.1 機能維持評価方法」に示すとおり、床ドレンライン浸水防止治具の加振試験後に床ドレンライン浸水防止治具の漏えい試験を実施することにより床ドレンライン浸水防止治具の機能維持評価を実施した。

6.1 機能維持評価方法

床ドレンライン浸水防止治具の固有周期を考慮して、地震時における床ドレンライン浸水防止治具の機能維持評価用加速度を設定し、設定した機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。機能確認済加速度には、正弦波加振試験において、止水性の機能の健全性を確認した加振波の最大加速度を適用する。床ドレンライン浸水防止治具の機能確認済加速度を表6-1に示す。

具体的な機能維持確認として、床ドレンライン浸水防止治具に対して、正弦波により水平方向及び鉛直方向の加振試験を実施後、VI-1-1-3-2-5「津波防護に関する施設の設計方針」に示す津波による溢水または内部溢水を踏まえ、それらの浸水後の水位を上回る圧力として0.35MPaの水圧にて漏えい試験を実施し、漏えい量が許容漏えい量以下であることを確認した。本漏えい試験の結果により、床ドレンライン浸水防止治具の地震時及び地震後の機能維持を確認した。

なお、固有値解析結果より、床ドレンライン浸水防止治具の固有周期0.05s以下であることを確認したため、機能維持評価用加速度には保守的にタービン建屋最上階の最大応答加速度を使用する。

表6-1 床ドレンライン浸水防止治具の機能確認済加速度

評価部位	機能確認済加速度(×9.8m/s ²)	
	水平方向	鉛直方向
床ドレンライン浸水防止治具	6.0	6.0

7. 評価結果

7.1 フロート式治具

フロート式治具の耐震評価結果を以下に示す。(1)、(2)及び(3)に示す評価結果から、フロート式治具が耐震性を有することを確認した。

(1) 基準地震動 S_s に対する評価部位の応力評価

基準地震動 S_s に対する評価部位の応力評価結果を表7-1に示す。発生応力が許容応力以下であることから構造部材が構造健全性を有することを確認した。

表7-1 基準地震動 S_s に対する評価部位の応力評価

型式	評価部位	評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
外ねじ 取付型	弁本体	引張り	1	154
		曲 げ	1	
		組合せ*	2	
	フロートガイド	引張り	1	
		曲 げ	7	
		組合せ*	8	
内ねじ 取付型	弁本体	引張り	1	154
		曲 げ	1	
		組合せ*	2	
	フロートガイド	引張り	1	
		曲 げ	7	
		組合せ*	8	
フランジ 取付型	弁本体	引張り	1	133
		曲 げ	1	
		組合せ*	2	
	フロートガイド	引張り	1	
		曲 げ	7	
		組合せ*	8	

注記*：引張り (σ_v) + 曲げ (σ_H) は、 $\sigma_v + \sigma_H \leq 1.2S$ で評価

(2) 基準地震動 S_s に対するフロート式治具の機能維持評価

フロート式治具の機能維持評価結果を表7-2に示す。表7-2に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることからフロート式治具の機能維持を確認した。

表7-2 フロート式治具の機能維持評価結果

評価部位	標高 T. M. S. L. (mm)	場所	機能確認済加速度との比較			
			水平加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		鉛直加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			機能維持 評価用 加速度*	機能確認済 加速度	機能維持 評価用 加速度*	機能確認済 加速度
フロート式 治具	44300	タービン建屋 最上階	3.08	6.0	1.86	6.0

注記* : 「4. 固有周期」より、フロート式治具の固有周期が0.05s以下であることを確認したため、機能維持評価用加速度には床ドレンライン浸水防止治具の設置数が多いタービン建屋の中から、保守的に全てを包絡できる建屋最上階の最大応答加速度を使用した。

(3) 基準地震動 S_s に対するフロート及び取付部の構造健全性評価

「(2) 基準地震動 S_s に対するフロート式治具の機能維持評価」に示したとおりフロート式治具の機能維持を確認したことにより、評価部位であるフロート及び取付部が構造健全性を有することを確認した。

7.2 スプリング式治具

スプリング式治具の耐震評価結果を以下に示す。(1)、(2)及び(3)に示す評価結果から、スプリング式治具が耐震性を有することを確認した。

(1) 基準地震動 S_s に対する評価部位の応力評価

基準地震動 S_s に対する評価部位の応力結果を表7-3に示す。発生応力が許容応力以下であることから構造部材が構造健全性を有することを確認した。

表7-3 基準地震動 S_s による評価部位の応力結果

型式	評価部位	評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
外ねじ 取付型	弁本体・ガイド	引張り	1	133
		曲 げ	2	
		組合せ*	3	
	ばねガイド	引張り	1	
		曲 げ	2	
		組合せ*	3	
	弁体	平板の曲げ	1	
軸の曲げ		3		
内ねじ 取付型	弁本体・ガイド	引張り	1	
		曲 げ	3	
		組合せ*	4	
	ばねガイド	引張り	1	
		曲 げ	2	
		組合せ*	3	
	弁体	平板の曲げ	1	
軸の曲げ		3		
フランジ 取付型	弁本体・ガイド	引張り	2	
		曲 げ	6	
		組合せ*	8	
	ばねガイド	引張り	1	
		曲 げ	2	
		組合せ*	3	
	弁体	平板の曲げ	1	
軸の曲げ		3		

注記* : 引張り (σ_V) + 曲げ (σ_H) は, $\sigma_V + \sigma_H \leq 1.2S$ で評価

(2) 基準地震動 S_s に対するスプリング式治具の機能維持評価

スプリング式治具の機能維持評価結果を表7-4に示す。表7-4に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることからスプリング式治具の機能維持を確認した。

表7-4 スプリング式治具の機能維持評価結果

評価部位	標高 T. M. S. L. (mm)	場所	機能確認済加速度との比較			
			水平加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		鉛直加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			機能維持 評価用 加速度*	機能確認済 加速度	機能維持 評価用 加速度*	機能確認済 加速度
スプリング 式治具	44300	タービン建屋 最上階	3.08	6.0	1.86	6.0

注記* : 「4. 固有周期」より、スプリング式治具の固有周期が0.05s以下であることを確認したため、機能維持評価用加速度には床ドレンライン浸水防止治具の設置数が多いタービン建屋の中から、保守的に全てを包絡できる建屋最上階の最大応答加速度を使用した。

(3) 基準地震動 S_s に対する弁座及び取付部の構造健全性評価

「(2) 基準地震動 S_s に対するスプリング式治具の機能維持評価」に示したとおりスプリング式治具の機能維持を確認したことにより、評価部位である弁体及び取付部が構造健全性を有することを確認した。

7.3 閉止キャップ

(1) 基準地震動 S_s に対する閉止キャップの機能維持評価

閉止キャップの機能維持評価結果を表7-5に示す。表7-5に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることから閉止キャップの機能維持を確認した。

表7-5 閉止キャップの機能維持評価結果

評価部位	標高 T. M. S. L. (mm)	場所	機能確認済加速度との比較			
			水平加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		鉛直加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			機能維持 評価用 加速度*	機能確認済 加速度	機能維持 評価用 加速度*	機能確認済 加速度
閉止 キャップ	44300	タービン建屋 最上階	3.08	6.0	1.86	6.0

注記*：「4. 固有周期」より，閉止キャップの固有周期が0.05s以下であることを確認したため，機能維持評価用加速度には床ドレンライン浸水防止治具の設置数が多いタービン建屋の中から，保守的に全てを包絡できる建屋最上階の最大応答加速度を使用した。

(2) 基準地震動 S_s に対する閉止キャップの構造健全性評価

「(1) 基準地震動 S_s に対する閉止キャップの機能維持評価」に示したとおり閉止キャップの機能維持を確認したことにより，評価部位である閉止キャップが構造健全性を有することを確認した。

7.4 閉止栓

(1) 基準地震動 S_s に対する閉止栓の機能維持評価

閉止栓の機能維持評価結果を表7-6に示す。表7-6に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることから閉止栓の機能維持を確認した。

表7-6 閉止栓の機能維持評価結果

評価部位	標高 T. M. S. L. (mm)	場所	機能確認済加速度との比較			
			水平加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		鉛直加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			機能維持 評価用 加速度*	機能確認済 加速度	機能維持 評価用 加速度*	機能確認済 加速度
閉止栓	44300	タービン建屋 最上階	3.08	6.0	1.86	6.0

注記* : 「4. 固有周期」より、閉止栓の固有周期が0.05s以下であることを確認したため、機能維持評価用加速度には床ドレンライン浸水防止治具の設置数が多いタービン建屋の中から、保守的に全てを包絡できる建屋最上階の最大応答加速度を使用した。

(2) 基準地震動 S_s に対する閉止栓の構造健全性評価

「(1) 基準地震動 S_s に対する閉止栓の機能維持評価」に示したとおり閉止栓の機能維持を確認したことにより、評価部位である閉止栓が構造健全性を有することを確認した。

-2-10-2-4-2 貫通部止水処置の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	4
2. 一般事項	4
2.1 配置概要	4
2.2 構造計画	4
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格・基準等	7
2.5 記号の説明	8
3. 評価部位	10
4. 固有周期	12
4.1 固有周期の確認方法	12
4.2 固有周期の確認条件	13
4.3 固有周期の確認結果	14
5. 構造強度評価	15
5.1 構造強度評価方法	15
5.2 荷重及び荷重の組合せ	15
5.2.1 荷重の設定	15
5.2.2 荷重の組合せ	17
5.3 許容限界	17
5.4 設計用地震力	20
5.5 計算方法	21
5.5.1 荷重計算	21
5.6 計算条件	23
6. 評価結果	24
6.1 モルタル	24
6.2 ケーブルトレイ金属ボックス	24

1. 概要

本計算書は、-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度に基づき、浸水防護施設のうち、貫通部止水処置が設計用地震力に対して、主要な構造部材が津波による溢水並びに内部溢水の伝播を防止する機能を維持するための十分な構造健全性を有することを説明するものである。その耐震評価は貫通部止水処置の荷重又は応力評価により行う。

貫通部止水処置は、設計基準対象施設においては浸水防止設備としてSクラス及びCクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価及び機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 配置概要

貫通部止水処置は、原子炉建屋、タービン建屋、コントロール建屋及び廃棄物処理建屋の貫通口と貫通物とのすき間に施工する。

2.2 構造計画

貫通部止水処置は、貫通部の位置や条件に応じて、シール材、モルタル、ブーツ、鉄板を使用し、各貫通部止水処置の適用条件を考慮し施工する。シール材及びモルタルは壁の貫通口と貫通物のすき間に施工し、壁と貫通物を接合する構造とする。なお、シール材をケーブルトレイ貫通部の止水に用いる場合は、シール材が型崩れしないように金属ボックスをアンカーボルトで壁・床面に固定し、金属ボックスにシール材を充填、もしくは塗布する。ブーツは、伸縮性ゴムを用い、壁面に溶接した取付用座と配管を締付けバンドにて固定する構造とする。鉄板は、鉄板と開口縁金物を全周溶接する。貫通部止水処置の構造計画を表2-1に示す。

表 2 - 1 貫通部止水処置の構造計画 (1 / 2)

設備名称	計画の概要		概略構造図
	主体構造	支持構造	
貫通部 止水処置	モルタルにて構成する。	貫通部の開口部にモルタルを充填し、硬化後は貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	
	ブーツと締付けバンドにて構成する。	高温配管の熱膨張変位及び地震時の変位を吸収できるように伸縮性ゴムを用い、壁面又は床面に溶接した取付用座と配管を締付けバンドにて締結する。	
	鉄板にて閉止する構成とする。	開口部に鉄板を挿入し、溶接によって接合する。	

表 2 - 1 貫通部止水処置の構造計画 (2 / 2)

設備名称	計画の概要		概略構造図
	主体構造	支持構造	
貫通部 止水処置	充填タイプの シール材にて 構成する。	<p>ケーブルトレイ貫通部については、シール材が型崩れしないよう金属ボックスをアンカーボルトで壁・床面に固定し、金属ボックスにシール材を充填、もしくは塗布する。シール材は、施工時は液状であり、反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成される。</p>	<p>水圧方向 →</p> <p>壁、床</p> <p>アンカーボルト</p> <p>金属ボックス</p> <p>ケーブル</p> <p>シール材</p> <p>ケーブルトレイ</p> <p>← 水圧方向</p>
		<p>貫通部の開口部にシール材を充填する。施工時は液状であり、反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され、貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。</p>	<p>シール材</p> <p>金属ボックス</p> <p>水圧方向 →</p> <p>ケーブル</p> <p>壁、床</p> <p>電線管</p>
		<p>貫通部の開口部と貫通部のすき間にコーキングする。施工時は液状であり、反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され、鉄板及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。</p>	<p>水圧方向 →</p> <p>シール材</p> <p>壁、床</p> <p>鉄板</p> <p>配管</p>

2.3 評価方針

貫通部止水処置の耐震評価は， -2-1-9 「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.2 構造計画」に示す貫通部止水処置の構造を踏まえ，「3. 評価部位」にて設定する評価部位において，発生する荷重が許容限界内に収まることを「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施し，確認結果を「6. 評価結果」に示す。貫通部止水処置（モルタル）の耐震評価フローを図2-1，シール材施工に用いるケーブルトレイ金属ボックスの耐震評価フローを図2-2に示す。

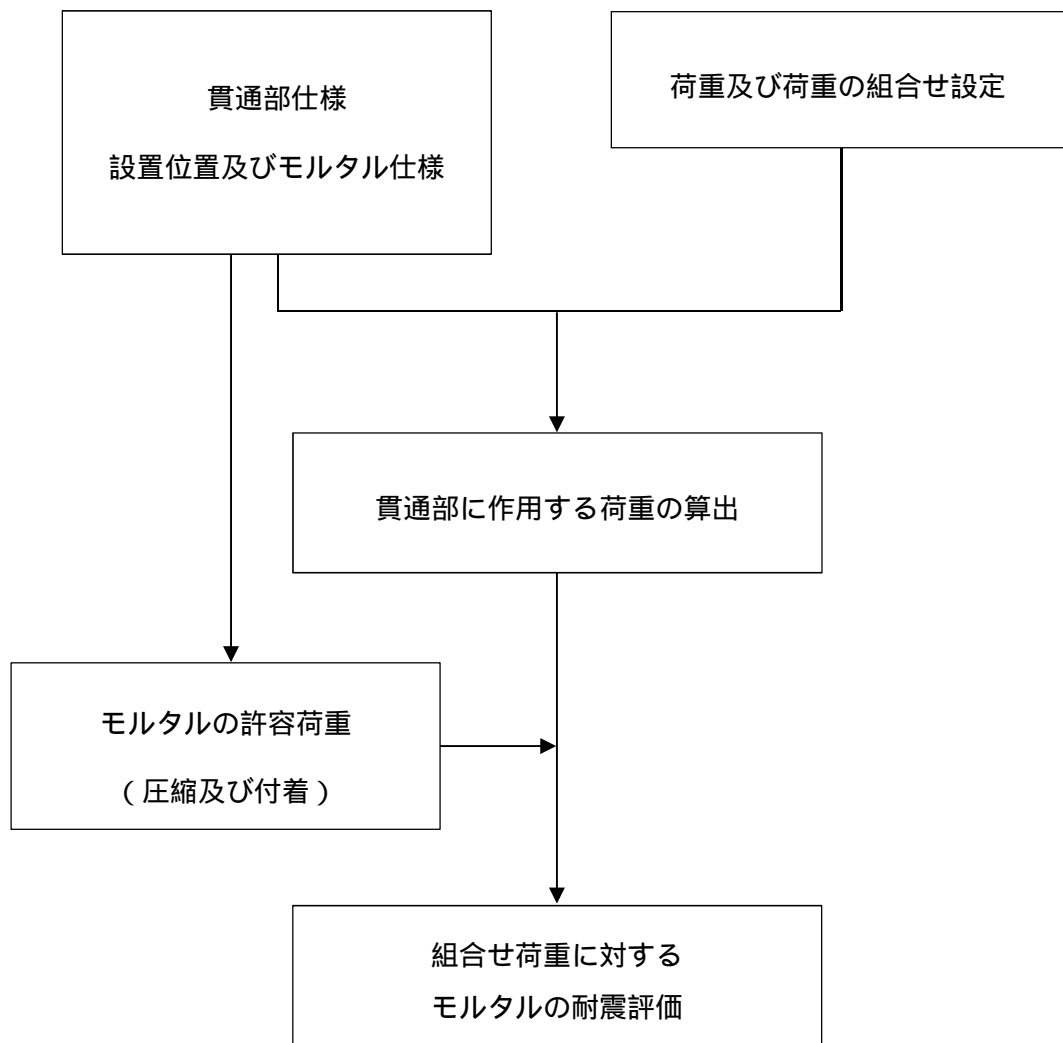


図 2 - 1 モルタルの耐震評価フロー

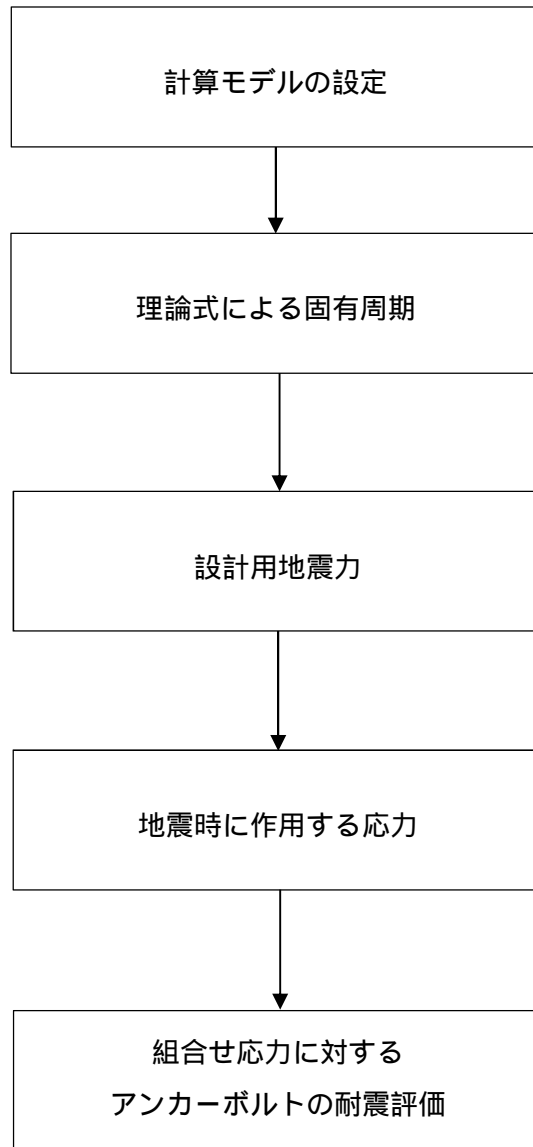


図 2 - 2 ケーブルトレイ金属ボックスの耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ((社) 土木学会 2002 年制定)
- ・ 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005 年版 (2007 年追補版含む。))
J S M E S N C 1 - 2005 / 2007 ((社) 日本機械学会) (以下「設計・建設規格」という。)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 補 - 1984 ((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987 ((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・ 機械工学便覧 ((社) 日本機械学会)

2.5 記号の説明

モルタル及びケーブルトレイ金属ボックスの耐震評価に用いる記号を表 2 - 2 , 表 2 - 3 に示す。

表 2 - 2 モルタルの耐震評価に用いる記号

記号	記号の説明	単位
A_P	貫通物の投影面積	mm^2
C_H	基準地震動 S_s により生じる貫通物の水平方向設計震度	-
C_V	基準地震動 S_s により生じる貫通物の鉛直方向設計震度	-
d	モルタル貫通物の外径	mm
f_c	モルタルの許容圧縮荷重	N
f_s	モルタルの許容付着荷重	N
f'_{bok}	モルタル付着強度	MPa
f'_{ck}	モルタル圧縮強度	MPa
F_c	貫通物反力によりモルタルに生じる圧縮荷重	N
F_{H1}	基準地震動 S_s により生じる貫通物の軸方向に作用する荷重	N
F_{H2}	基準地震動 S_s により生じる貫通物の軸直方向に作用する荷重	N
F_V	基準地震動 S_s により生じる貫通物の軸直方向に作用する荷重	N
g	重力加速度	m/s^2
L	貫通物の支持間隔	mm
L_w	モルタルの充填深さ	mm
S	貫通物の周長	mm
w	貫通物の支持間隔の単位長さ当たりの質量	kg/mm
c	材料定数	-

表 2 - 3 ケーブルトレイ金属ボックスの耐震評価に用いる記号

記号	記号の説明	単位
A_b	アンカーボルトの軸断面積	mm^2
A	評価対象の逆圧を受ける部分の面積	mm^2
n	アンカーボルトの本数	本
C_H	水平方向設計震度	-
C_V	鉛直方向設計震度	-
g	重力加速度	m/s^2
h	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
h_1	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離	mm
h_2	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離	mm
h_3	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離	mm
m	金属ボックスの質量（充填もしくは塗布されているシール材質量を含む。）	kg
nf_h	評価上引張力を受けるとして期待するアンカーボルトの本数（水平方向）	本
nf_v	評価上引張力を受けるとして期待するアンカーボルトの本数（鉛直方向）	本
σ_b	アンカーボルト 1 本あたりに作用する引張応力	MPa
F_b	アンカーボルト 1 本あたりに作用する引張力	N
P_h	静水圧荷重（逆圧）	MPa
P_d	動水圧荷重（逆圧）	MPa
σ_b	アンカーボルト 1 本あたりに作用するせん断応力	MPa
Q_b	アンカーボルトに作用するせん断応力	N

3. 評価部位

貫通部止水処置の評価部位は、「2.2 構造計画」にて設定している構造にしたがって、地震荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。

モルタルについては、地震時に貫通物の反力が直接作用することが考えられる。

鉄板については、貫通物がないため、地震による力が作用しないことから評価対象としない。

シール材（充填，コーキング）については、貫通部直近に支持構造物を設置しており、地震時は建屋壁と配管系が一体で動く事から、相対変位が軽微な箇所に設置している。また、電線管・ケーブルトレイ内に適用するシール材は、柔軟性及び余長を有するケーブルすき間に充填することとしており、地震時にケーブルに発生する荷重は小さく軽微である。このため、地震によるシール材への影響は軽微であることから評価対象としない。ただし、ケーブルトレイ貫通部については、シール材が型崩れしないように金属ボックスをアンカーボルトで壁・床面に固定し、金属ボックスにシール材を充填、もしくは塗布する構造であることから、金属ボックスを固定するアンカーボルトを評価対象部位とする。なお、ケーブルトレイ自体はサポートにより支持されており、金属ボックスとは金属同士で接しておらず、ケーブルトレイからの地震の影響は金属ボックスには及ばない構造となっていることから、評価対象部位として考慮しない。

ブーツについては、伸縮性ゴムを使用しており、配管の地震変位に対しても十分な伸縮性を有している。このため、地震による影響は軽微であることから評価対象としない。

以上より、貫通部止水処置のうち、モルタルを用いた貫通部及びケーブルトレイ金属ボックスを固定するアンカーボルトを評価部位とする。また、モルタルに作用する荷重が最も大きい貫通部を代表として評価する。モルタルを用いた貫通部のうち、貫通物がないため埋め戻しを行っている貫通部は貫通物の追従により生じる荷重がないため、貫通物を通っている場合の評価に包絡される。ケーブルトレイ金属ボックスについては、アンカーボルトに対して引張力がかかる方向からの水圧が、最も大きく作用する貫通部を代表として評価する。

モルタルの評価部位を図 3 - 1 に、ケーブルトレイ金属ボックスの評価部位を図 3 - 2 に示す。

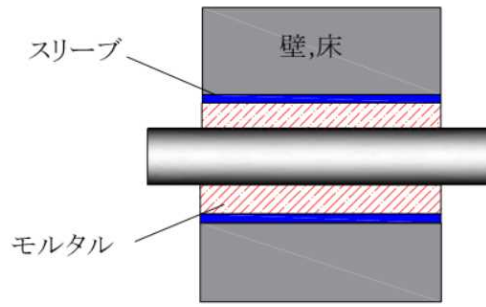


図 3 - 1 モルタルの評価部位

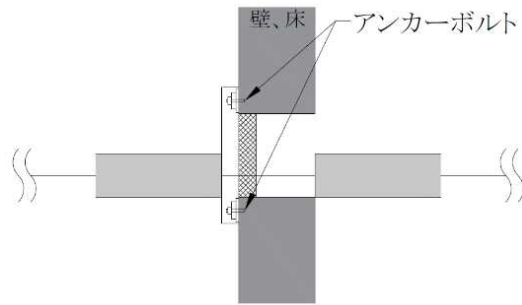


図 3 - 2 ケーブルトレイ金属ボックスの評価部位

4. 固有周期

4.1 固有周期の確認方法

モルタルについては、壁・床に埋め込まれたり、表面に張り付いたりしている構造で躯体側と一体となって振動するため、モルタル自体の耐震計算は不要であり固有周期は算出しない。

一方、ケーブルトレイ金属ボックスは、壁に固定しているアンカーボルトの健全性を確認するため固有周期を算出する。その方法を以下に示す。

(1) 確認手法

a. ケーブルトレイ金属ボックス

ケーブルトレイ金属ボックスの寸法や形状を踏まえ、図4-1に示す片持ちはりに単純化したモデルとして考える。

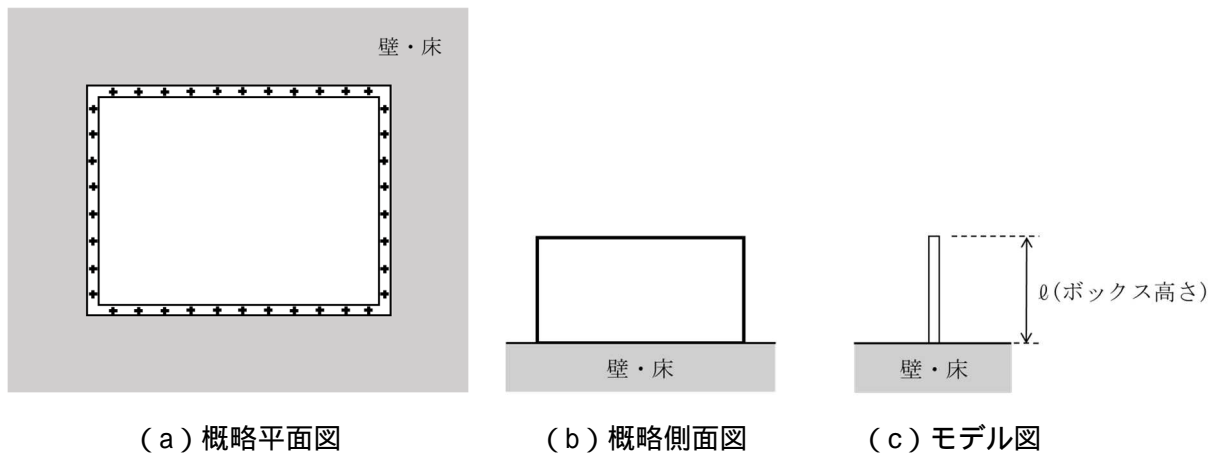


図4-1 ケーブルトレイ金属ボックスの評価モデル

(2) 記号の説明

ケーブルトレイ金属ボックスの固有周期算出に用いる記号を表 4 - 1 に示す。

表 4 - 1 固有周期算出に用いる記号

記号	記号の説明	単位
T	固有周期	秒
f	固有振動数	Hz
	ボックス高さ	mm
E	ヤング率	N/mm ²
I	断面二次モーメント	mm ⁴
m	単位長さ当りの質量	kg/m

(3) 固有周期の算出方法

固有周期 T を「機械学会 機械工学便覧」に基づき、以下の式より算出する。

$$f = \frac{1.875^2}{2 \cdot \ell^2} \sqrt{\frac{E \cdot I}{m}} \cdot 10^3$$

$$T = 1 / f$$

4.2 固有周期の確認条件

ケーブルトレイ金属ボックスの固有周期の計算条件を表 4 - 2 に示す。

表 4 - 2 ケーブルトレイ金属ボックスの固有周期の計算条件

ボックス 高さ (mm)	ヤング率 E (N/mm ²)	断面二次モーメント I (mm ⁴)		質量分布 m (kg/m)
		水平方向	鉛直方向	
386	205000	6.743 × 10 ⁸	4.993 × 10 ⁷	391.191

4.3 固有周期の確認結果

ケーブルトレイ金属ボックスの固有周期の計算結果を表4-3に示す。

(1) ケーブルトレイ金属ボックス

固有周期は、0.05秒以下であり、剛であることを確認した。

表4-3 ケーブルトレイ金属ボックスの固有周期

(単位：秒)

水平	0.001
鉛直	0.002

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 貫通部止水処置の評価部位の荷重（応力）評価を実施し，発生荷重（応力）を算出する。
- (2) 評価部位の発生荷重（応力）と許容荷重（応力）を比較し，発生荷重（応力）が許容荷重（応力）以下であることを確認する。

5.2 荷重及び荷重の組合せ

耐震評価に用いる荷重及び荷重の組合せに関して以下に示す。

5.2.1 荷重の設定

(1) モルタルに作用する地震荷重

強度評価に用いる荷重は，以下の荷重を用いる。

a. 固定荷重（G）

固定荷重として，貫通軸上の貫通物（配管等を示す。以下同じ。）及びその内容物の質量を考慮する。

b. 地震荷重（Ks）

地震荷重は，基準地震動 S_s に伴う地震力とする。

モルタルに作用する荷重は，付着荷重及び圧縮荷重を考慮する。地震動により貫通物に地震荷重が発生し，その荷重がモルタルに作用するものとして算出する。

(a) 貫通物からモルタルに作用する地震荷重

モルタルに作用する荷重はモルタル端部とモルタルから最も近い支持構造物までの間の貫通物の固定荷重と地震荷重が作用する。評価においては，安全側の評価となるように貫通部の両側の支持構造物間の貫通物の固定荷重及び地震力がモルタルに作用し，モルタルに反力が発生するものとして荷重を算出する。貫通物からモルタルに作用する荷重作用図を図 5 - 1 に示す。

また，貫通物は柔構造となる場合もあることから，貫通物の設置場所における床応答スペクトル，当該スペクトルが無い場合は上層の床応答スペクトルの最大応答加速度を用いて算出する。

(b) 評価において考慮する貫通部

評価においては，それぞれの貫通部のうち，発生する荷重が最も大きいものを算出する。

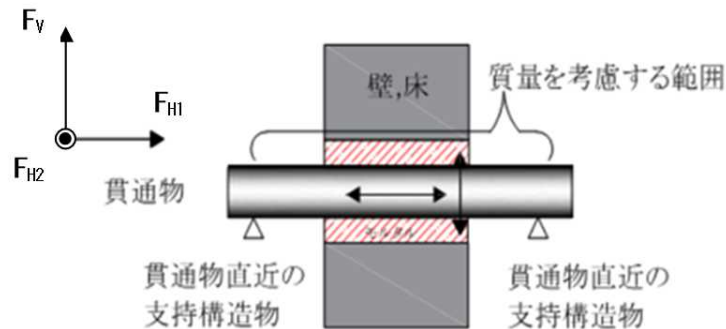


図 5 - 1 モルタルへの荷重作用図

(2) ケーブルトレイ金属ボックスに作用する地震荷重

強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として、ケーブルトレイ金属ボックス及びボックスに充填、もしくは塗布されているシール材の質量を考慮する。なお、ケーブルトレイ及びトレイ内構造物の質量は、外部サポートによって支持されているため考慮しない。

b. 地震荷重 (Ks)

地震荷重は、基準地震動 S_s に伴う地震力とする。

金属ボックスのアンカーボルトに作用する荷重は、金属ボックスの固定荷重と地震荷重が作用する。

(a) ボルトに作用する地震荷重

ケーブルトレイ金属ボックスはアンカーボルトによって固定されていることから、アンカーボルトには固定荷重と地震荷重が作用し、金属ボックスが水平方向及び鉛直方向へ転倒する力が働く。アンカーボルトに作用する地震荷重作用図を図 5 - 2 に示す。

また、4.3 項に示す固有周期の計算結果 (表 4 - 3) から固有周期が 0.05 秒以下で剛構造のため、金属ボックスの設置場所における最大応答加速度を用いて算出する。

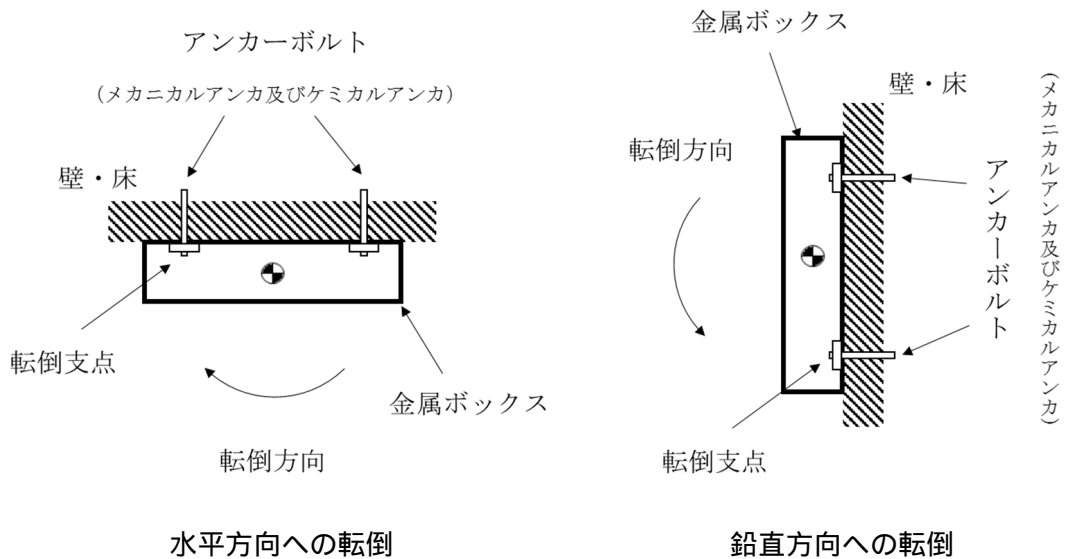


図 5 - 2 ケーブルトレイ金属ボックスの荷重作用図

5.2.2 荷重の組合せ

貫通部止水処置の荷重の組合せを表 5 - 1 に示す。

表 5 - 1 荷重の組合せ

施設区分	機器名称	荷重の組合せ*
浸水防護施設 (浸水防止設備)	貫通部止水処置	G + K _s

注記* : Gは固定荷重, K_sは基準地震動 S_sによる地震荷重を示す。

5.3 許容限界

貫通部止水処置のうち, モルタル及びケーブルトレイ金属ボックスの許容限界に関して以下に示す。

(1) モルタル

各評価部位の許容値は, コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] 2002 年制定 ((社) 土木学会平成 14 年 3 月) に規定される許容限界を用いる。

貫通部止水処置の許容限界を表 5 - 2, 貫通部止水処置の許容限界評価条件を表 5 - 3, 貫通部止水処置の許容限界算出結果を表 5 - 4 に示す。

表 5 - 2 貫通部止水処置の設計にて考慮する許容限界 (許容荷重)

状態	許容限界*	
	付着荷重	圧縮荷重
短期	f_s	f_c

注記* : モルタルの許容限界は, コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ((社) 土木学会 2002 年制定) によりモルタルの許容付着荷重 f_s , モルタル付着強度 f'_{bok} 及びモルタルの許容圧縮荷重 f_c を算出する。モルタル圧縮強度 f'_{ck} は設計値を用いる。本計算書では, 許容付着荷重及び許容圧縮荷重の計算に適用する貫通物の口径 850A, モルタル充填深さ $L_w = 1100$ mm とする。

$$\begin{aligned} \text{許容付着荷重 } f_s &= f'_{bok} \cdot S \cdot L_w / c \\ f'_{bok} &= 0.28 \cdot f'_{ck}{}^{2/3} \cdot 0.4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{許容圧縮荷重 } f_c &= f'_{ck} \cdot A_p / c \\ A_p &= d \cdot L_w \end{aligned}$$

表 5 - 3 貫通部止水処置の許容限界評価条件

評価部位	$f'_{ck}{}^{*1}$ (N/mm ²)	c^{*2}
モルタル	32.3	1.3

注記 *1 : f'_{ck} : モルタル圧縮強度

*2 : c : 材料定数を示す。

表 5 - 4 貫通部止水処置の許容限界算出結果

状態	評価部位	許容限界	
		付着荷重 f_s (kN)	圧縮荷重 f_c (kN)
短期	モルタル	2607	23602

(2) ケーブルトレイ金属ボックス

ケーブルトレイ金属ボックスのアンカーボルトの許容限界は、設計・建設規格によりボルトの許容引張応力 f_{ts} 、ボルトの許容せん断応力 f_{sb} を算出する。

ボルトの許容限界を表5-5、許容限界評価条件を表5-6に示す。

表5-5 アンカーボルトの許容限界

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力	
	引張応力 f_{to}	せん断応力 f_{sb}
A S	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表5-6 アンカーボルトの許容限界評価条件

評価部位	材料	温度条件 ()		F (MPa)
		周囲環境温度		
アンカーボルト	SS400 相当	周囲環境温度	40	215

5.4 設計用地震力

(1) モルタル

モルタル止水処置については、耐震計算に用いる設計震度を -2-1-7 「設計用床応答曲線の作成方法」における設計用地震力に基づき設計する。貫通部止水処置の耐震計算に用いる設計震度を表 5 - 7 に示す。

表 5 - 7 設計用震度

地震動	設置場所 及び 床面高さ (mm)	地震による設計震度 ^{*1}	
		基準地震動 S s	タービン建屋 T.M.S.L. -4250 (T.M.S.L. -1100 ^{*2})
		鉛直方向 C _V	6.88

注記 *1： モルタル止水処置は評価対象箇所が多いことから、設計震度の算出が全ての対象箇所を包絡するように全周期帯の最大加速度を用いた。また、保守的な評価となるように設置場所の床応答曲線は減衰定数 0.5%を適用した。

*2： 設置場所の一階層上の基準床レベルを示す。

(2) ケーブルトレイ金属ボックス

ケーブルトレイ金属ボックスについては、耐震計算に用いる設計震度を -2-1-7 「設計用床応答曲線の作成方法」における設計用地震力に基づき設計する。ケーブルトレイ金属ボックスの耐震計算に用いる設計震度を表 5 - 8 に示す。

表 5 - 8 設計用震度

地震動	設置場所 及び 床面高さ (mm)	地震による設計震度 ^{*1}	
		基準地震動 S s	タービン建屋 T.M.S.L. 9150 (T.M.S.L. 12300 ^{*2})
		鉛直方向 C _V	0.96

注記 *1： ケーブルトレイ金属ボックスは固有周期が 0.05 秒以下であり剛構造のため、基準床の最大応答加速度の 1.2 倍を設計震度とした。

*2： 設置場所の一階層上の基準床レベルを示す。

5.5 計算方法

5.5.1 荷重計算

(1) モルタル

固定荷重及び基準地震動 S_s による貫通物の反力によりモルタルに生じる荷重を算出する。

付着荷重は、鉛直反力と貫通軸上の貫通物の質量から次のとおり算出する。

$$F_{H1} = w(1 + C_H) \cdot L \cdot g$$

圧縮荷重は、貫通物の水平反力から次のとおり算出する。

$$F_{H2} = 5/8 \cdot w(1 + C_H) \cdot L \cdot g$$

$$F_V = 5/8 \cdot w(1 + C_V) \cdot L \cdot g$$

$$F_C = \sqrt{F_{H2}^2 + F_V^2}$$

(2) ケーブルトレイ金属ボックス

固定荷重及び基準地震動 S_s による荷重は次のとおり算出する。

(a) 引張応力の計算

アンカーボルトに対する引張応力は、最も厳しい条件として、図 5-2 で片側のボルト列を支点とする転倒を考え、これをもう片側のボルト列で受けるものとして計算する。

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

金属ボックスが水平方向に転倒する場合の引張力

$$F_{b1} = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h}{nf_h \cdot l_3} + \frac{m \cdot g \cdot (1 + C_V) \cdot h}{nf_v \cdot l_2}$$

金属ボックスが鉛直方向に転倒する場合の引張力

$$F_{b2} = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot l_1 + m \cdot g \cdot (1 + C_V) \cdot h}{nf_v \cdot l_2}$$

逆圧による引張力

$$F_{b3} = \frac{(P_h + P_d) \cdot A}{n}$$

総じた引張力

$$F_b = \text{Max}((F_{b1} + F_{b3}), (F_{b2} + F_{b3}))$$

(b) せん断応力の計算

アンカーボルトに対するせん断応力は，ボルト全本数で受けるものとして計算する。

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

水平方向のせん断力

$$Q_{b1} = m \cdot g \cdot C_H$$

鉛直方向のせん断力

$$Q_{b2} = m \cdot g \cdot (1 + C_V)$$

総じたせん断力

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2}$$

5.6 計算条件

(1) モルタル

貫通部止水処置（モルタル）の耐震評価に関する荷重評価条件を表 5 - 9 に示す。

表 5 - 9 モルタルの耐震評価に関する荷重評価条件

貫通部箇所 (貫通部仕様)	モルタルの充填深さ L _w (mm)	貫通部から直近支持 点までの距離 L (mm)	貫通部から支持点ま での単位長さ当たり の質量 w (kg/m)
タービン建屋地下 2 階 壁貫通部 (モルタル)	1100	10814	□

(2) ケーブルトレイ金属ボックス

ケーブルトレイ金属ボックスの耐震評価に関する荷重評価条件を表 5 - 10 に示す。

表 5 - 10 ケーブルトレイ金属ボックスの耐震評価に関する荷重評価条件 (1 / 2)

貫通部箇所	質量 m (kg)	重心距離 h (mm)	重心高さ 1 (mm)	評価上引張力を受け るとして期待す るアンカーボルト の軸断面積 A _b (mm ²)
タービン建屋 地下 1 階 壁貫通部 (ケーブルトレイ)	□	283*	95*	113.097

注記*：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

評価上引張力を受け るとして期待するア ンカーボルトの本数 (転倒方向：水平) n _{f_h} (本)	評価上引張力を受け るとして期待するア ンカーボルトの本数 (転倒方向：鉛直) n _{f_v} (本)	上側アンカーボルトと 下側アンカーボルト間 の鉛直方向距離 2 (mm)	左側アンカーボルトと 右側アンカーボルト間 の水平方向距離 3 (mm)
2	1	170	910

表 5 - 10 ケーブルトレイ金属ボックスの耐震評価に関する荷重評価条件 (2 / 2)

評価対象の逆圧を受け る部分の面積 A (mm ²)	評価上せん断力を受け るとして期待するアン カーボルトの総断面積 A _b (mm ²)	評価上せん断力を受け るとして期待するアン カーボルトの本数 n (本)	重力加速度 g (m/s ²)
105000	113.097	4	9.80665

6. 評価結果

6.1 モルタル

貫通部止水処置 (モルタル) の耐震評価結果を表 6 - 1 に示す。貫通部止水処置の評価部位における発生荷重は許容荷重以下であり、構造部材が設計用地震力に対して溢水の伝播を防止する機能を維持するための十分な構造健全性を有することを確認した。

表 6 - 1 モルタルの耐震評価結果

荷重	発生荷重 (kN)	許容荷重 (kN)
付着荷重		2607
圧縮荷重		23602

6.2 ケーブルトレイ金属ボックス

ケーブルトレイ金属ボックスの耐震評価結果を表 6 - 2 に示す。貫通部止水処置の評価部位における発生応力は許容応力以下であり、設計用地震力に対して構造部材が津波による溢水の伝播を防止する機能を維持するための十分な構造健全性を有することを確認した。

表 6 - 2 ケーブルトレイ金属ボックスの耐震評価結果

応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張応力		$f_{ts} = 161^*$
せん断応力		$f_{sb} = 124$

注記* : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot b_i, f_{toi}]$

VI-2-10-2-4-3 取水槽水位計の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
-------------	---

1. 概要

取水槽水位計は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。

以下、取水槽水位計を構成する検出器が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していること、バブラー管、アキュムレータ、ポンベラック及び管が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は以下に示すとおりである。

(1) 検出器

VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-7 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき、取水槽水位計に用いる検出器の計算結果を本計算書に記載する。

(2) バブラー管

VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき、取水槽水位計に使用するバブラー管の計算結果を本計算書に記載する。

(3) アキュムレータ

VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、取水槽水位計に空気を供給するアキュムレータの計算結果を本計算書に記載する。

(4) ポンベラック

VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、検出器に空気を供給するポンベラックの計算結果を本計算書に記載する。

(5) 管

VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき、検出器に空気を供給する管の計算結果を本計算書に記載する。

本計算書は以下の構成で取水槽水位計の評価結果を示す。取水槽水位計構成図を図1-1に示す。

- (1) 検出器の耐震性についての計算書
- (2) バブラー管の耐震性についての計算書
- (3) アキュムレータの耐震性についての計算書
- (4) ポンベラックの耐震性についての計算書
- (5) 管の耐震性についての計算書

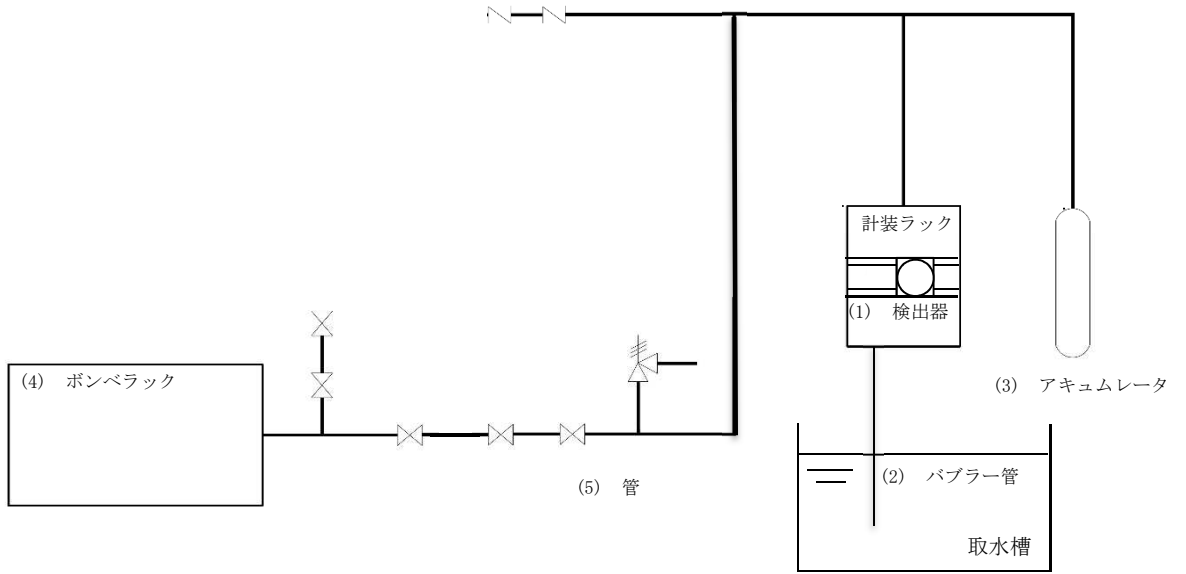


図 1-1 取水槽水位計構成図

(1) 検出器の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の確認	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
4.2.2 許容応力	4
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	4
4.3 計算条件	4
5. 機能維持評価	8
5.1 電氣的機能維持評価方法	8
6. 評価結果	9
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	9

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、検出器が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

検出器は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお、検出器が設置される計装ラックは、VI-2-1-14「計算書作成の方法」に記載の壁掛形であるため、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-7 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

検出器の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、計器取付ボルトにより取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより計装ラックに固定される。</p> <p>計装ラックは、チャンネルベースにラック取付ボルトで固定され、チャンネルベースは基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式水位検出器</p>	<p>【検出器】</p> <p>(正面方向)</p> <p>(側面方向)</p> <p>(単位：mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の確認

プラスチックハンマ等により、当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置(圧電式加速度ピックアップ、振動計、分析器)により記録解析する。試験の結果、剛であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

検出器 (H22-P800)	水平	0.05 以下
	鉛直	0.05 以下

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

検出器の構造強度評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-7 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

検出器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-1に示す。

4.2.2 許容応力

検出器の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-2のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

検出器の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-3に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【検出器（P41-LT011A）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電 用原子炉の 附属施設	浸水防護 施設	検出器	S	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅲ _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (40mm<径)	周囲環境温度	40	215	400	—
ラック取付ボルト	SS400 (40mm<径)	周囲環境温度	40	215	400	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

検出器の電氣的機能維持評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-7 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

計装ラックに設置される検出器の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
検出器 (P41-LT011A)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

検出器の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【検出器 (P41-LT011A) の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
検出器 (P41-LT011A)	S	タービン建屋 T. M. S. L. 3.500 (T. M. S. L. 4.900*)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C _H =1.37	C _V =1.17	40

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 検出器 (H22-P800)

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	12 (M12)	113.1	6	215 (40mm<径)	400 (40mm<径)
ラック取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	12 (M12)	113.1	8	215 (40mm<径)	400 (40mm<径)

部材	ℓ _{1 i} (mm)	ℓ _{2 i} (mm)	ℓ _{3 i} (mm)	n _{f v i}	n _{f H i}	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	2	3	215	—	—	側面方向
ラック取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	2	4	215	—	—	側面方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
ラック取付ボルト (i=2)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=7$	$f_{ts1}=129^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=5$	$f_{sb1}=99$
ラック取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=5$	$f_{ts2}=161^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=124$

すべて許容応力以下である。

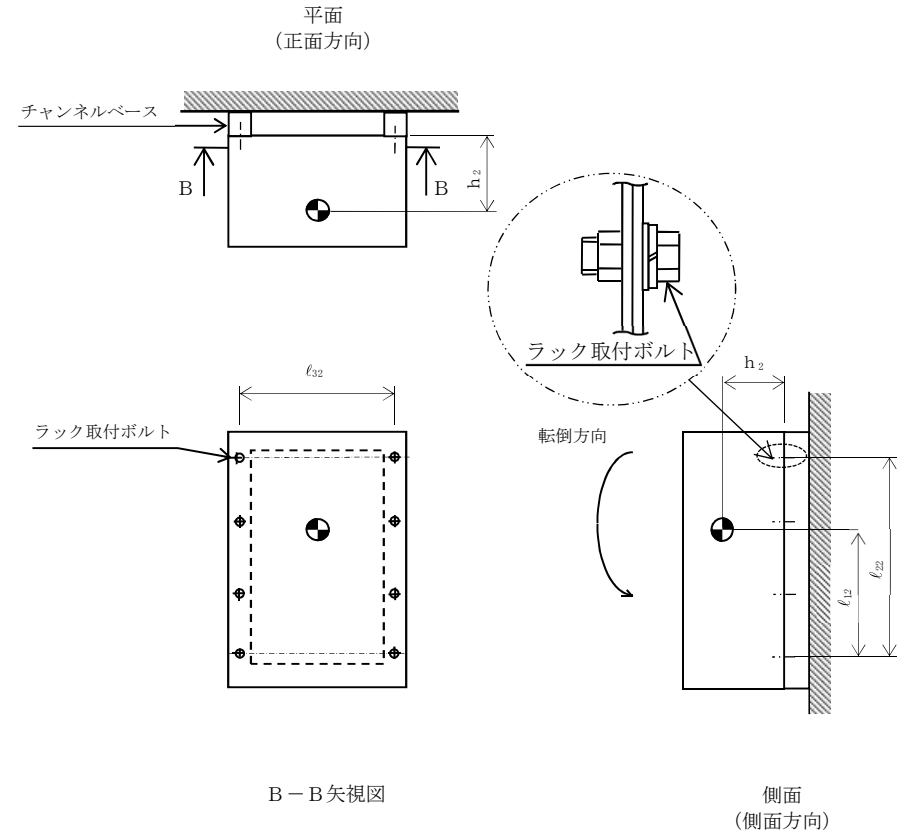
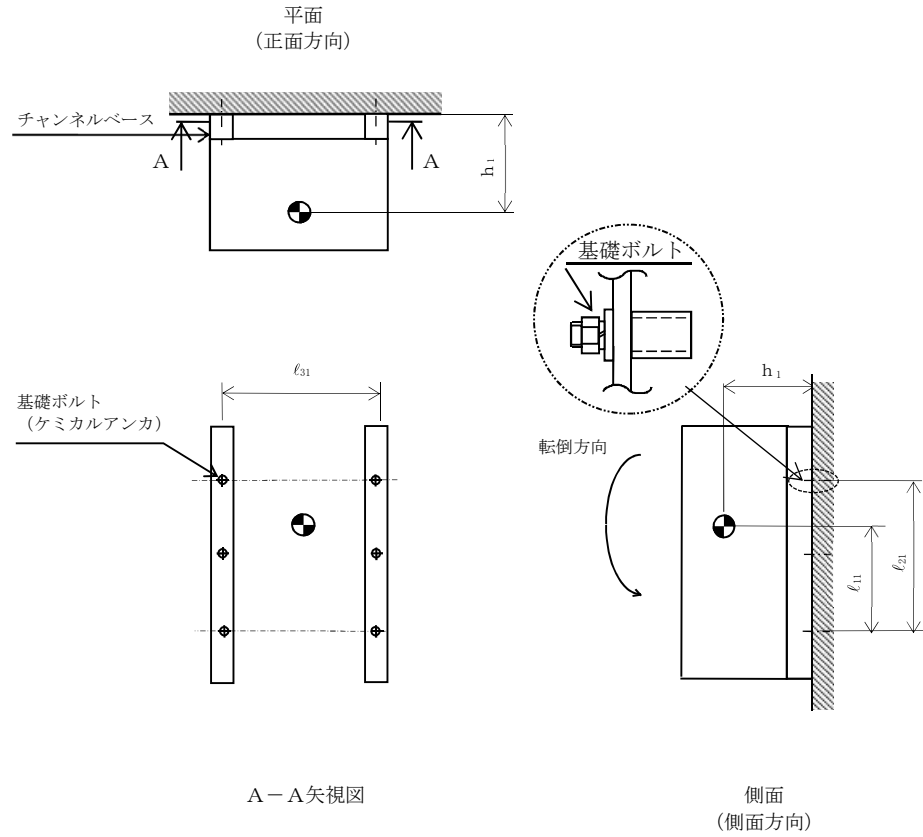
注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.2 電氣的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
検出器 (P41-LT011A)	水平方向	1.14	<input type="text"/>
	鉛直方向	0.98	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



(2) バブラー管の耐震性についての計算書

設計基準対象施設

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	6
3.1 計算方法	6
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	7
3.3 設計条件	8
3.4 材料及び許容応力	12
3.5 設計用地震力	13
4. 解析結果及び評価	14
4.1 固有周期及び設計震度	14
4.2 評価結果	19
4.2.1 管の応力評価結果	19
4.2.2 支持構造物評価結果	20
4.2.3 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	21

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-6 管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。）に基づき、取水槽水位計のバブラー管及び支持構造物が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

評価結果記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

設計及び工事の計画書に記載される範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全1モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.3に記載する。



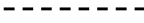
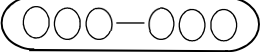

(2) 支持構造物

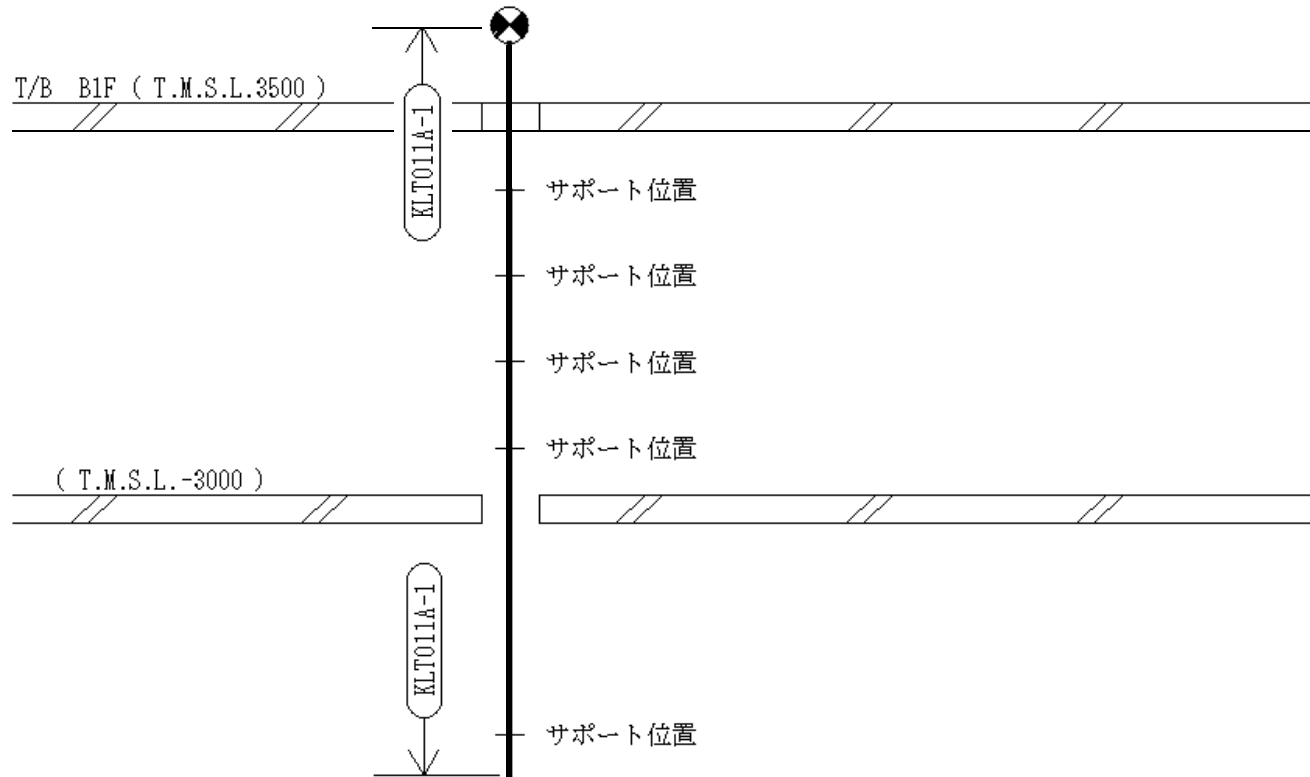
設計及び工事の計画書に記載される範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例


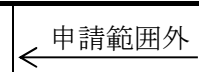
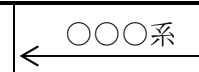



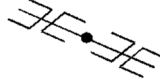

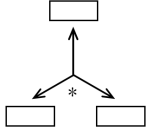
記号例	内容
 (太線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲外の管又は設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



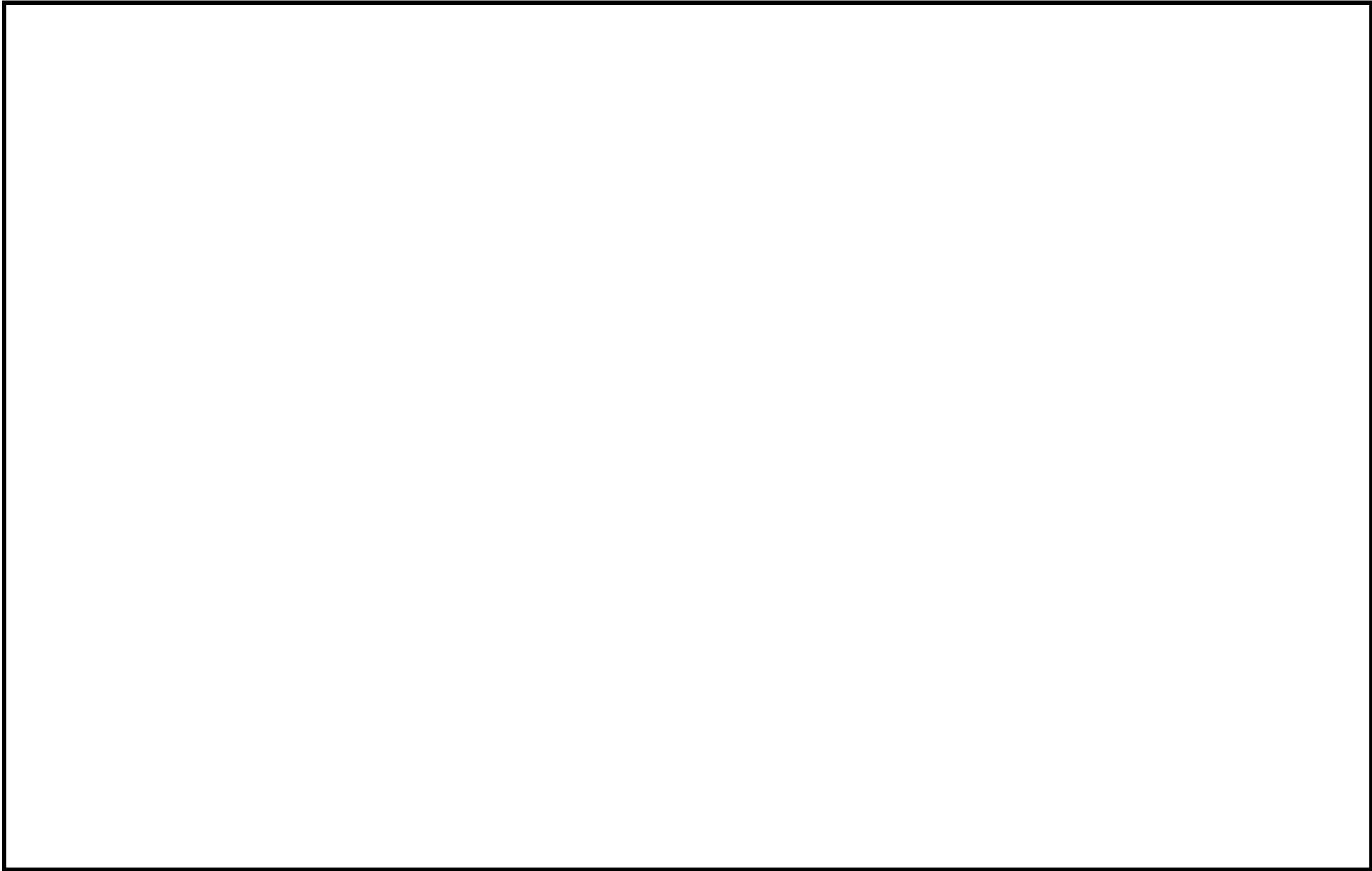
原子炉補機冷却海水系（取水槽水位計廻り）概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号例	内容
	設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
	設計及び工事の計画書記載範囲外の管
	設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、他系統の管であって本系統に記載する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッパについても同様とする。)
	スナッパ
	ハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (* は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。)

K6 ① VI-2-10-2-4-3 (2) (設) R0



5

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「SOLVER」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設 分類*1	設備 分類	機器等 の区分	耐震 重要度 分類	荷重の組合せ*2	許容応力 状態
浸水防護施設	バブラー管	原子炉補機 冷却海水系	DB	—	—	S	I _L +S _s	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L +S _s	

注記*1：DBは設計基準対象施設を示す。

*2：運転状態の添字Lは荷重を示す。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し、管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 K L T 0 1 1 A - 1

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	0.20	66	34.0	3.4	SUS316LTP	S	191720
2	0.20	66	34.0	3.4	SUS316LTP	S	191720
3	0.20	66	34.0	3.4	SUS304TP	S	191720
4	0.20	66	49.0	7.3	SUS316LTP	S	191720
5	0.20	66	49.0	7.3	SUS304TP	S	191720

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 K L T O 1 1 A - 1

管名称	対 応 す る 評 価 点
1	6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25
2	4 5 6
3	1 2
4	18 19
5	2 3 4

配管の質量（配管の付加質量及びフランジの質量を含む）

鳥 瞰 図 K L T 0 1 1 A - 1

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		6		11		16		21	
2		7		12		17		22	
3		8		13		18		23	
4		9		14		19		24	
5		10		15		20		25	

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 K L T 0 1 1 A - 1

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
11						
13						
15						
20						
24						

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S h
SUS316LTP	66	—	159	459	108
SUS304TP	66	—	188	479	126

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線はVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを
用いる。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建屋・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)
KLT011A-1	タービン建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 K L T O 1 1 A - 1

適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向
1次				
2次				
3次				
動的震度*2				

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：S s地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 K L T 0 1 1 A - 1

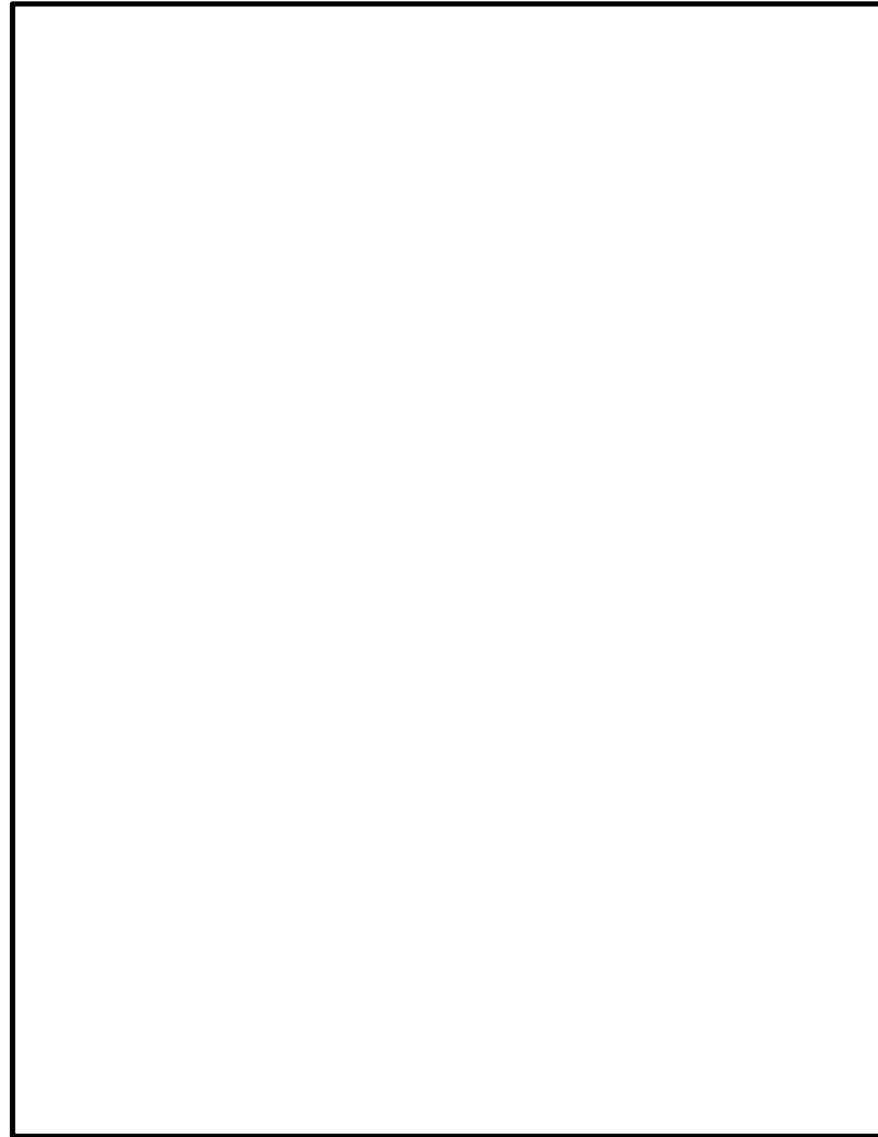
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

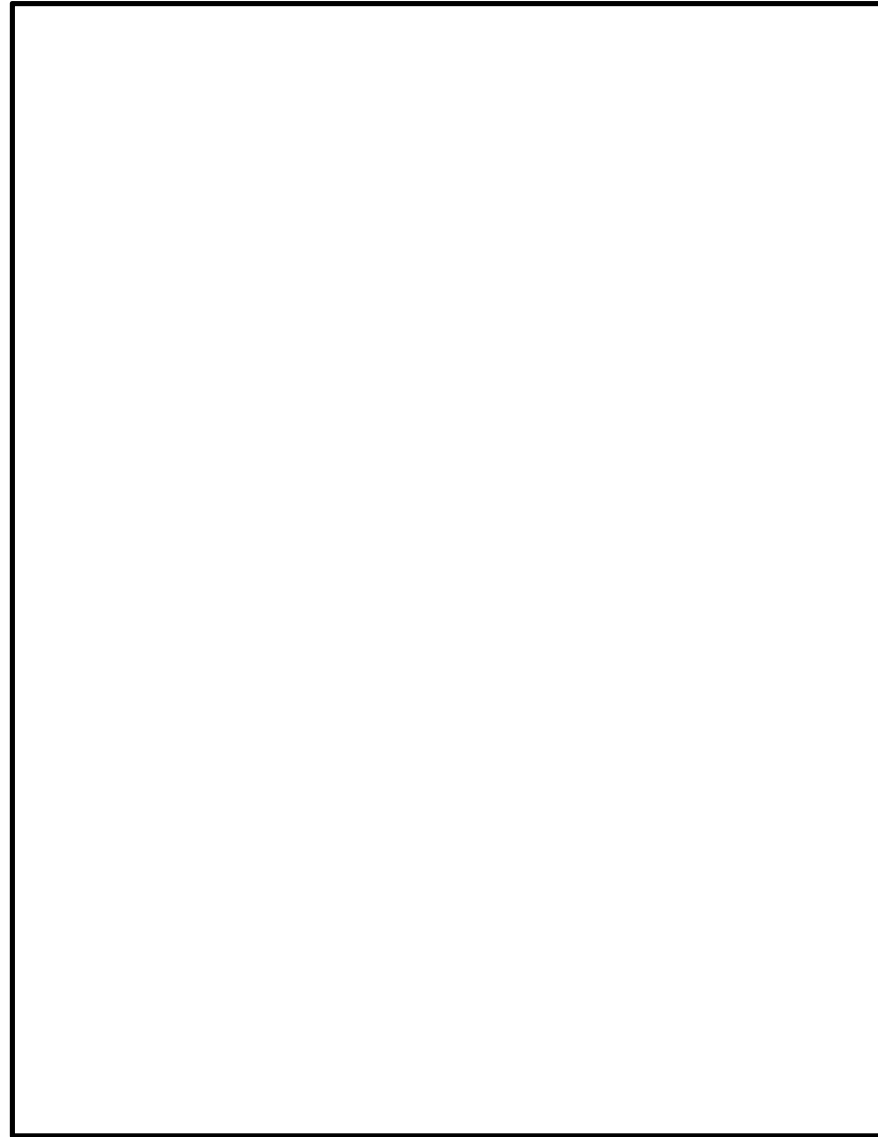
代表的振動モード図

振動モード図は、2次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 S _{p r m} (S _s)	許容応力 S _y *	計算応力 S _n (S _s)	許容応力 2・S _y	疲労累積係数 U _{S s}
KLT011A-1	Ⅲ _A S	19	S _{p r m} (S _s)	107	159	—	—	—
	Ⅲ _A S	19	S _n (S _s)	—	—	212	318	—

注記*：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、S_yと1.2S_hのうち大きい方の値とする。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果(荷重評価)

支持 構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
—	—	—	—	—	—	—

支持構造物評価結果 (応力評価)

支持 構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
HA-10-B233	レストレイント	Uボルト	SUS304	66							組合せ	39	118
HA-10-B219	アンカ	ラグ	SS400	66							組合せ	48	234

4.2.3 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、設計条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 (クラス2以下の管)

No.	配管 モデル	許容応力状態 III _A S												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評 価 点	計 算 応 力 (MPa)	許 容 応 力 (MPa)	裕 度	代 表	評 価 点	計 算 応 力 (MPa)	許 容 応 力 (MPa)	裕 度	代 表	評 価 点	疲 勞 累 積 係 数	代 表
1	KLT011A-1	19	107	159	1.48	○	19	212	318	1.50	○	—	—	—

(3) アキュムレータの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	9
3. 評価部位	10
4. 固有周期	11
4.1 固有周期の計算方法	11
4.2 固有周期の計算条件	12
4.3 固有周期の計算結果	12
5. 構造強度評価	13
5.1 構造強度評価方法	13
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	13
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	13
5.2.2 許容応力	13
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	13
5.3 設計用地震力	17
5.4 計算方法	18
5.4.1 応力の計算方法	18
5.5 計算条件	26
5.6 応力の評価	26
5.6.1 胴の応力評価	26
5.6.2 ラグの応力評価	26
5.6.3 ボルトの応力評価	26
6. 評価結果	27
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	27
7. 引用文献	31

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、原子炉補機冷却海水ポンプ取水槽水位計用アキュムレータ（以下「アキュムレータ」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

アキュムレータは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

アキュムレータの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴を 1 個のラグで支持し、ラグをボルトで壁面に据え付ける。</p>	<p>たて置円筒形 (上下に鏡板を有するたて置円筒形容器)</p>	<p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

アキュムレータの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すアキュムレータの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

アキュムレータの耐震評価フローを図2-1に示す。

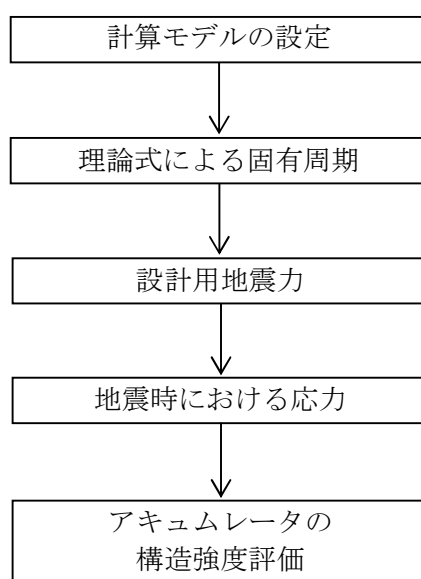


図2-1 アキュムレータの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する適用規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	ラグの断面積	mm^2
A_{s1}	ラグの鉛直方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s2}	ラグの水平方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s3}	ラグの鉛直方向に対するせん断断面積	mm^2
A_{s4}	ラグの水平方向に対するせん断断面積	mm^2
C_{cj}	周方向モーメントによる応力の補正係数 (引用文献(2)より得られる値) ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
C_H	水平方向設計震度	—
C_{lj}	軸方向モーメントによる応力の補正係数 (引用文献(2)より得られる値) ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
C_1	ラグの胴つけ根部の周方向アタッチメント幅の2分の1	mm
C_2	ラグの胴つけ根部の軸方向アタッチメント幅の2分の1	mm
D_i	胴の内径	mm
d	ボルトの呼び径	mm
E_s	ラグの縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値	MPa
f_t	ラグの許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける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ボルトの許容引張応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
G_s	ラグのせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h_1	壁面からラグの胴つけ根部までの長さ	mm
h_2	壁面から胴の中心までの長さ	mm
I_{sx}	ラグの鉛直方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
I_{sy}	ラグの水平方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
K_{1j}, K_{2j}	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数 ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
K_a	ラグのばね定数(胴に水平力が作用する場合)	N/mm
K_b	ラグのばね定数(胴に鉛直力が作用する場合)	N/mm
K_{cj}, K_{lj}	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数 ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—

記号	記号の説明	単位
ℓ_{b1}, ℓ_{b2}	ボルトの中心間距離	mm
M	運転時質量による胴のラグつけ根部の鉛直方向モーメント	N・mm
M_c	Z方向地震による胴のラグつけ根部の周方向モーメント	N・mm
M_e	鉛直方向地震による胴のラグつけ根部の鉛直方向モーメント	N・mm
M_x	胴に生じる軸方向の曲げモーメント	N・mm/mm
M_ϕ	胴に生じる周方向の曲げモーメント	N・mm/mm
n	ボルトの本数	—
n_f	引張力を受けるボルトの本数	—
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
P_r	最高使用圧力	MPa
P_c	X方向地震による胴のラグつけ根部に作用する水平方向反力	N
Q	Z方向地震による胴のラグつけ根部に作用する水平方向反力	N
R	運転時質量による胴のラグつけ根部に作用する鉛直方向反力	N
R_e	鉛直方向地震による胴のラグつけ根部に作用する鉛直方向反力	N
r_m	ラグつけ根部における胴の平均半径	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
T_1	水平方向固有周期	s
T_2	鉛直方向固有周期	s
t	胴の板厚	mm
W_o	容器の運転時質量	kg
Z_{s1}	ラグの水平方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{s2}	ラグの鉛直方向軸に対する断面係数	mm ³
β, β_1, β_2	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータ	—
γ	引用文献(2)によるシェルパラメータ	—
π	円周率	—
σ_0	胴の組合せ一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_1	胴の組合せ一次応力の最大値	MPa
σ_2	胴の地震動のみによる一次+二次応力の変動値の最大値	MPa
σ_{21}, σ_{22}	X方向地震が作用した場合の胴の一次+二次応力の変動値	MPa
σ_{23}, σ_{24}	Z方向地震が作用した場合の胴の一次+二次応力の変動値	MPa
σ_b	ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{bx}	X方向地震によりボルトに生じる引張応力	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{bz}	Z方向地震によりボルトに生じる引張応力	MPa
σ_s	ラグの組合せ応力の最大値	MPa
σ_{sx}	X方向地震が作用した場合のラグの組合せ応力	MPa
σ_{sz}	Z方向地震が作用した場合のラグの組合せ応力	MPa
σ_{s1}	運転時質量によるラグの曲げ応力	MPa
σ_{s2}	X方向地震によるラグの引張(圧縮)応力	MPa
σ_{s3}	Z方向地震によるラグの曲げ応力	MPa
σ_{s4}	鉛直方向地震が作用した場合のラグの組合せ応力	MPa
σ_{x1}	内圧により胴に生じる軸方向応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量により胴のラグつけ根部に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x3}	X方向地震が作用した場合の半径方向荷重による胴の軸方向一次応力	MPa
σ_{x4}	Z軸方向地震が作用した場合に生じる周方向モーメントによる胴の軸方向一次応力	MPa
σ_{x5}	鉛直方向地震が作用した場合に生じる鉛直方向モーメントによる胴の軸方向一次応力	MPa
σ_{2x3}	X方向地震が作用した場合の半径方向荷重による胴の軸方向二次応力	MPa
σ_{2x4}	Z軸方向地震が作用した場合に生じる周方向モーメントによる胴の軸方向二次応力	MPa
σ_{2x5}	鉛直方向地震が作用した場合に生じる鉛直方向モーメントによる胴の軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{xc1}, \sigma_{xc2}$	X方向地震が作用した場合の胴の組合せ軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{xx1}, \sigma_{xx2}$	X方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{xz1}, \sigma_{xz2}$	Z方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{zc1}, \sigma_{zc2}$	Z方向地震が作用した場合の胴の組合せ軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2xx1}, \sigma_{2xx2}$	X方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次+二次応力の和	MPa
$\sigma_{2xz1}, \sigma_{2xz2}$	Z方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次+二次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 1}$	内圧により胴に生じる周方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	運転時質量により胴のラグつけ根部に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 3}$	X方向地震が作用した場合の半径方向荷重による胴の周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 4}$	Z軸方向地震が作用した場合に生じる周方向モーメントによる胴の周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 5}$	鉛直方向地震が作用した場合に生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向一次応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{2\phi 3}$	X方向地震が作用した場合の半径方向荷重による胴の周方向二次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 4}$	Z軸方向地震が作用した場合に生じる周方向モーメントによる胴の周方向二次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 5}$	鉛直方向地震が作用した場合に生じる周方向モーメントによる胴の周方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi x1}, \sigma_{\phi x2}$	X方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi z1}, \sigma_{\phi z2}$	Z方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{2\phi x1}, \sigma_{2\phi x2}$	X方向地震が作用した場合の胴の周方向一次+二次応力の和	MPa
$\sigma_{2\phi z1}, \sigma_{2\phi z2}$	Z方向地震が作用した場合の胴の周方向一次+二次応力の和	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{bx}	X軸方向地震によりボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{bz}	Z軸方向地震によりボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_c	周方向せん断力Qにより胴のラグつけ根部に生じるせん断応力	MPa
τ_l	反力Rにより胴のラグつけ根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{l1}	反力R _e による胴のせん断応	MPa
τ_{s1}	運転時質量によるラグのせん断応力	MPa
τ_{s3}	Z軸方向地震によるラグのせん断応力	MPa
τ_{s4}	鉛直方向地震によるラグのせん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度		—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
最高使用圧力		MPa	—	—	小数点以下第 2 位
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
	胴板の厚さ	mm	—	—	小数点以下第 1 位
面積		mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
モーメント		N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

アキュムレータの耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる胴板及びラグ、ボルトについて評価を実施する。アキュムレータの耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

アキュムレータの固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. アキュムレータの質量は重心に集中するものとする。
- b. アキュムレータは胴を1個のラグで支持し、ラグはボルトで壁面に据え付けているため、固定端とする。
- c. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- d. アキュムレータの荷重状態及び胴板に生じるモーメントを図4-1及び図4-2に示す。

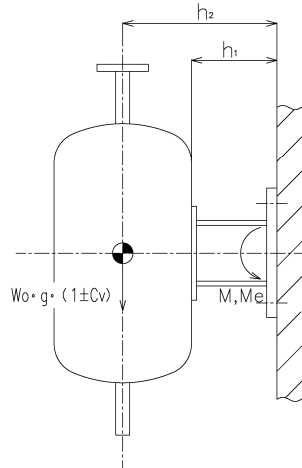


図4-1 鉛直方向荷重による胴板のラグつけ根部のモーメント

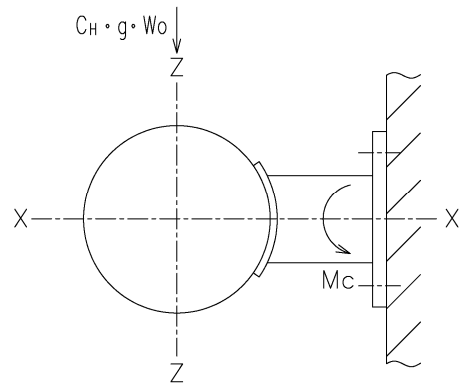


図4-2 水平方向荷重による胴板のラグつけ根部のモーメント

- e. アキュムレータは、図4-3に示す一端固定の1質点系振動モデルとして考える。

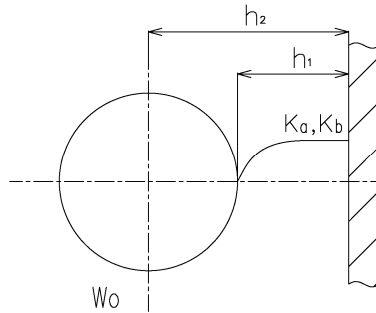


図4-3 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

図4-3における水平方向のばね定数は次式で求める。

$$K_a = \frac{1000}{\frac{h_1^2 \cdot (3 \cdot h_2 - h_1)}{6 \cdot E_s \cdot I_{sx}} + \frac{(h_2 - h_1) \cdot h_1 \cdot (h_2 - h_1 / 2)}{E_s \cdot I_{sx}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s2}}} \dots \dots \dots (4.1.1)$$

水平方向固有周期は次式で求める。

$$T_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{W_0}{K_a}} \dots \dots \dots (4.1.2)$$

(3) 鉛直方向固有周期

図4-3における鉛直方向のばね定数は次式で求める。

$$K_b = \frac{1000}{\frac{h_1^2 \cdot (3 \cdot h_2 - h_1)}{6 \cdot E_s \cdot I_{sy}} + \frac{(h_2 - h_1) \cdot h_1 \cdot (h_2 - h_1 / 2)}{E_s \cdot I_{sy}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s1}}} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

鉛直方向固有周期は次式で求める。

$$T_2 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{W_0}{K_b}} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【アキュムレータの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の評価結果を表4-1に示す。計算の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛であることを確認した。

表4-1 固有周期 (単位：s)

水平方向	<input type="text"/>
鉛直方向	<input type="text"/>

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1 項 a. ～e. のほか，次の条件で計算する。

地震力はアキュムレータに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

アキュムレータの荷重組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-1に示す。

5.2.2 許容応力

アキュムレータの許容応力は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表5-2及び表5-3のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

アキュムレータの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-4に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態 (設計基準対象施設)

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用 原子炉の附属 施設	浸水防護 施設	取水槽水位計 (原子炉補機冷却海水 ポンプ取水槽水位計用 アキュムレータ)	S	クラス 3 容器 *	$D + P_D + M_D + S_s$	III _A S

注記* : クラス 3 容器の支持構造物を含む。

表 5-2 許容応力 (クラス 2, 3 容器)

許容応力状態	許容限界 *1, *2			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
III _A S	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし, オーステナイト系 ステンレス鋼及び高ニッケル 合金については上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい方	左欄の 1.5 倍の値	基準地震動 S_s のみによる疲労解析を行い, 疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし, 地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば疲労解析は不要。	

注記*1 : 座屈による評価は, クラス MC 容器の座屈に対する評価式による。

*2 : 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3 許容応力 (クラス 2, 3 支持構造物)

許容応力状態	許容限界*2 (ボルト等以外)	許容限界*1,2 (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
胴板	SUS304TP	最高使用温度	66	126	188	479	—
ラグ	SUS304	周囲環境温度	50	—	198	504	205
ボルト	SS41* (40mm < 径 ≤ 100mm)	周囲環境温度	50	—	211	394	—

注記* : SS400 相当

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-5 に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 5-5 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
			—	—		

注記*：基準床レベルを示す。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

応力計算は、絶対値和を用いて行う。

5.4.1.1 胴の応力

(1) 内圧による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

(2) 運転時質量による胴のラグつけ根部の応力

胴のラグつけ根部に生じる鉛直方向反力及び鉛直方向曲げモーメントは次式で求める。

$$R = W_o \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

$$M = W_o \cdot g \cdot (h_2 - h_1) \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

この鉛直方向曲げモーメントMにより生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は引用文献(2)より次式で求める。

ラグが胴に及ぼす力の関係を図5-1に示す。

$$\sigma_{\phi 2} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M / (r m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M}{r m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 1} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

$$\sigma_{x 2} = \left\{ \frac{N_x}{M / (r m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M}{r m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

注記*：引用文献(2)より得られる値

ここで、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β は以下のように定義する。

$$r_m = (D_i + t) / 2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.7)$$

$$\gamma = r_m / t \dots\dots\dots (5.4.1.1.8)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \dots\dots\dots (5.4.1.1.9)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \dots\dots\dots (5.4.1.1.10)$$

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.11)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

また、胴のラグつけ根部に生じる反力Rによるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{\ell} = \frac{R}{4 \cdot C_2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.12)$$

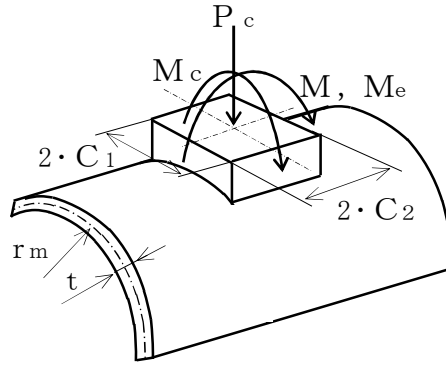


図 5-1 ラグが胴に及ぼす力の関係

(3) 鉛直方向地震による胴のラグつけ根部の応力

(2)と同様として胴のラグつけ根部に生じる鉛直方向反力及び鉛直方向曲げモーメントは次式で求める。

$$R_e = C_v \cdot W_o \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.1.13)$$

$$M_e = C_v \cdot W_o \cdot g \cdot (h_2 - h_1) \dots\dots\dots (5.4.1.1.14)$$

曲げモーメント M_e により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(2)の図により値を求めることにより (5.4.1.1.15) 式～ (5.4.1.1.18) 式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 5} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_e / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_e}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 1} \dots\dots\dots (5.4.1.1.15)$$

$$\sigma_{x 5} = \left\{ \frac{N_x}{M_e / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_e}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.16)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 5} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_e / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_e}{r_m \cdot \beta \cdot t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.17)$$

$$\sigma_{2x 5} = \left\{ \frac{M_x}{M_e / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_e}{r_m \cdot \beta \cdot t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.18)$$

注記*：引用文献(2)より得られる値

ここで、アタッチメントパラメータ β は次式で表される。

ただし、二次応力を求める場合は、更に式に $K_{\ell j}$ を乗じた値とする。

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.19)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

また、胴のラグつけ根部に生じる反力 R_e によるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{\theta 1} = \frac{R_e}{4 \cdot C_2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.20)$$

(4) X方向地震による胴のラグつけ根部の応力

ラグつけ根部に生じる半径方向荷重は次式で求める。

$$P_c = C_H \cdot W_o \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.21)$$

半径方向荷重 P_c により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(2)の図より値を求めることにより (5.4.1.1.22) 式～ (5.4.1.1.25) 式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 3} = \left(\frac{N_{\phi}}{P_c / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_c}{r_m \cdot t} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.22)$$

$$\sigma_{x 3} = \left(\frac{N_x}{P_c / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_c}{r_m \cdot t} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.23)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 3} = \left(\frac{M_{\phi}}{P_c} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_c}{t^2} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.24)$$

$$\sigma_{2x 3} = \left(\frac{M_x}{P_c} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_c}{t^2} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.25)$$

注記*：引用文献(2)より得られる値

ここで、シェルパラメータ γ は (5.4.1.1.8) 式と同じとなるが、アタッチメントパラメータ β は次による。

$4 \geq \beta_1 / \beta_2 \geq 1$ のとき

$$\beta = \left(1 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{\beta_1}{\beta_2} - 1 \right) \cdot (1 - K_{1j}) \right) \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.26)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

$1/4 \leq \beta_1 / \beta_2 < 1$ のとき

$$\beta = \left(1 - \frac{4}{3} \cdot \left(1 - \frac{\beta_1}{\beta_2} \right) \cdot (1 - K_{2j}) \right) \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.27)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

(5) Z方向地震による胴のラグつけ根部の応力

ラグつけ根部に生じる周方向せん断力及び周方向曲げモーメントは次式で求める。

$$Q = C_H \cdot W_o \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.1.28)$$

$$M_c = C_H \cdot W_o \cdot g \cdot (h_2 - h_1) \dots\dots\dots (5.4.1.1.29)$$

この周方向曲げモーメント M_c により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(2)の図より値を求めることにより (5.4.1.1.30) 式～ (5.4.1.1.33) 式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 4} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{Mc / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{Mc}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \cdot C_{c1} \dots\dots\dots (5.4.1.1.30)$$

$$\sigma_{x 4} = \left\{ \frac{N_x}{Mc / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{Mc}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \cdot C_{c2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.31)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 4} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{Mc / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot Mc}{r_m \cdot \beta \cdot t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.32)$$

$$\sigma_{2x 4} = \left\{ \frac{M_x}{Mc / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot Mc}{r_m \cdot \beta \cdot t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.33)$$

注記*：引用文献(2)より得られる値

ここで、アタッチメントパラメータ β は次式で表される。

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.34)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

また、二次応力を求める場合は、更に $K_{c j}$ を乗じた値とする。

周方向せん断力 Q によるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_c = \frac{Q}{4 \cdot C_1 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.35)$$

(6) 組合せ応力

(1)～(5)によって算出されるラグ付け根部に生じる胴の応力を以下のように組み合わせる。なお、b.～e.の第1評価点及び第2評価点は図5-2に示す。

a. 一次一般膜応力

$$\sigma_o = \text{Max}(\sigma_{\phi 1}, \sigma_{X1}) \dots\dots\dots (5.4.1.1.36)$$

b. X方向地震が作用した場合の一次応力

第1評価点

$$\sigma_{\phi X1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 5} \dots\dots\dots (5.4.1.1.37)$$

$$\sigma_{XX1} = \sigma_{X1} + \sigma_{X2} + \sigma_{X3} + \sigma_{X5} \dots\dots\dots (5.4.1.1.38)$$

$$\sigma_{XC1} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi X1} + \sigma_{XX1} + \sqrt{(\sigma_{\phi X1} - \sigma_{XX1})^2} \} \dots\dots\dots (5.4.1.1.39)$$

第2評価点

$$\sigma_{\phi X2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} \dots\dots\dots (5.4.1.1.40)$$

$$\sigma_{XX2} = \sigma_{X1} + \sigma_{X3} \dots\dots\dots (5.4.1.1.41)$$

$$\sigma_{XC2} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi X2} + \sigma_{XX2} + \sqrt{(\sigma_{\phi X2} - \sigma_{XX2})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell} + \tau_{\ell 1})^2} \} \dots\dots\dots (5.4.1.1.42)$$

c. Z方向地震が作用した場合の一次応力

第1評価点

$$\sigma_{\phi Z1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 5} \dots\dots\dots (5.4.1.1.43)$$

$$\sigma_{XZ1} = \sigma_{X1} + \sigma_{X2} + \sigma_{X5} \dots\dots\dots (5.4.1.1.44)$$

$$\sigma_{ZC1} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi Z1} + \sigma_{XZ1} + \sqrt{(\sigma_{\phi Z1} - \sigma_{XZ1})^2 + 4 \cdot \tau_c^2} \} \dots\dots\dots (5.4.1.1.45)$$

第2評価点

$$\sigma_{\phi Z2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 4} \dots\dots\dots (5.4.1.1.46)$$

$$\sigma_{XZ2} = \sigma_{X1} + \sigma_{X4} \dots\dots\dots (5.4.1.1.47)$$

$$\sigma_{ZC2} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi Z2} + \sigma_{XZ2} + \sqrt{(\sigma_{\phi Z2} - \sigma_{XZ2})^2 + (\tau_{\ell} + \tau_{\ell 1})^2} \} \dots\dots\dots (5.4.1.1.48)$$

したがって、胴に生じる一次応力の最大値は、

$$\sigma_1 = \text{Max}(\sigma_{XC1}, \sigma_{XC2}, \sigma_{ZC1}, \sigma_{ZC2}) \dots\dots\dots (5.4.1.1.49)$$

とする。

d. X方向地震が作用した場合の地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

第1評価点

$$\sigma_{2\phi X1} = \sigma_{\phi 5} + \sigma_{2\phi 5} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{2\phi 3} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.50)$$

$$\sigma_{2XX1} = \sigma_{X5} + \sigma_{2X5} + \sigma_{X3} + \sigma_{2X3} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.51)$$

$$\sigma_{21} = \sigma_{2\phi X1} + \sigma_{2XX1} + \sqrt{(\sigma_{2\phi X1} - \sigma_{2XX1})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.52)$$

第2評価点

$$\sigma_{2\phi X2} = \sigma_{\phi 3} + \sigma_{2\phi 3} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.53)$$

$$\sigma_{2XX2} = \sigma_{X3} + \sigma_{2X3} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.54)$$

$$\sigma_{22} = \sigma_{2\phi X2} + \sigma_{2XX2} + \sqrt{(\sigma_{2\phi X2} - \sigma_{2XX2})^2 + 4 \cdot \tau_{\theta 1}^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.55)$$

e. Z方向地震が作用した場合の地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

第1評価点

$$\sigma_{2\phi Z1} = \sigma_{\phi 5} + \sigma_{2\phi 5} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.56)$$

$$\sigma_{2XZ1} = \sigma_{X5} + \sigma_{2X5} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.57)$$

$$\sigma_{23} = \sigma_{2\phi Z1} + \sigma_{2XZ1} + \sqrt{(\sigma_{2\phi Z1} - \sigma_{2XZ1})^2 + 4 \cdot \tau_c^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.58)$$

第2評価点

$$\sigma_{2\phi Z2} = \sigma_{\phi 4} + \sigma_{2\phi 4} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.59)$$

$$\sigma_{2XZ2} = \sigma_{X4} + \sigma_{2X4} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.60)$$

$$\sigma_{24} = \sigma_{2\phi Z2} + \sigma_{2XZ2} + \sqrt{(\sigma_{2\phi Z2} - \sigma_{2XZ2})^2 + 4 \cdot \tau_{\theta 1}^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.61)$$

したがって、胴の地震動のみによる一次+二次応力の変動値の最大値は、
 $\sigma_2 = \text{Max}(\sigma_{21}, \sigma_{22}, \sigma_{23}, \sigma_{24}) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.62)$
 とする。

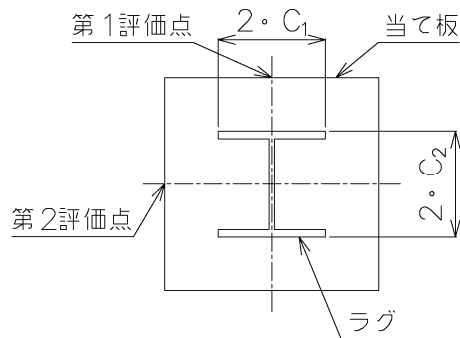


図 5-2 胴の評価点

5.4.1.2 ラグの応力

(1) 運転時質量による応力

曲げ応力は次式で求める。

$$\sigma_{s1} = \frac{R \cdot h_2}{Z_{s1}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s1} = \frac{R}{A_{s3}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

(2) 鉛直方向地震による応力

曲げ応力は次式で求める。

$$\sigma_{s4} = \frac{Me}{Z_{s1}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s4} = \frac{Re}{A_{s3}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

(3) X方向地震による引張(圧縮)応力

$$\sigma_{s2} = \frac{Pc}{A_s} \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

(4) Z方向地震による応力

曲げ応力は次式で求める。

$$\sigma_{s3} = \frac{Q \cdot h_2}{Z_{s2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.6)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s3} = \frac{Q}{A_{s4}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.7)$$

(5) 組合せ応力

(1)～(4)によって算出されるラグに生じる応力によって発生するラグの最大応力は次式で求める。

X方向地震が作用した場合

$$\sigma_{sx} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s4} + \sigma_{s2})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s4})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.8)$$

Z方向地震が作用した場合

$$\sigma_{sz} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s4} + \sigma_{s3})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s4} + \tau_{s3})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.9)$$

したがって、ラグに生じる組合せ応力の最大値は、

$$\sigma_s = \text{Max}(\sigma_{sx}, \sigma_{sz}) \dots\dots\dots (5.4.1.2.10)$$

とする。

5.4.1.3 ボルトの応力

ボルトへの荷重の作用方向を図 5-3 に示す。

(1) X 方向地震が作用した場合

ボルトの引張応力は次式で求める。

$$\sigma_{bx} = \frac{W_o \cdot g \cdot (1 + C_v) \cdot h_2}{n_f \cdot A_b \cdot \ell_{b1}} + \frac{P_c}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.3.1)$$

ボルトのせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{bx} = \frac{W_o \cdot g \cdot (1 + C_v)}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.3.2)$$

(2) Z 方向地震が作用した場合

ボルトの引張応力は次式で求める。

$$\sigma_{bz} = \frac{W_o \cdot g \cdot (1 + C_v) \cdot h_2}{n_f \cdot A_b \cdot \ell_{b1}} + \frac{Q \cdot h_2}{n_f \cdot A_b \cdot \ell_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.3.3)$$

ボルトのせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{bz} = \frac{\sqrt{\{W_o \cdot g \cdot (1 + C_v)\}^2 + Q^2}}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.3.4)$$

したがって、ボルトに生じる引張応力の最大値及びせん断応力の最大値は、

$$\sigma_b = \text{Max}(\sigma_{bx}, \sigma_{bz}) \dots\dots\dots (5.4.1.3.5)$$

$$\tau_b = \text{Max}(\tau_{bx}, \tau_{bz}) \dots\dots\dots (5.4.1.3.6)$$

とする。

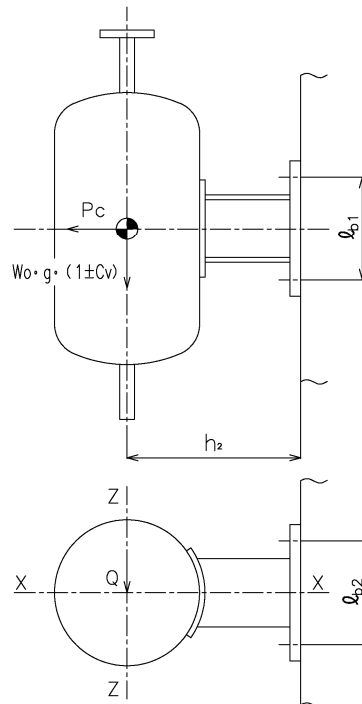


図 5-3 荷重の作用方向

5.5 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【アキュムレータの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 胴の応力評価

5.4.1.1項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は下表による。

応力の種類	許容応力 S_a
	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の0.6倍のいずれか小さい方の値。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あつては許容引張応力 S の1.2倍の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。
一次応力	上記の1.5倍の値
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点 S_y の2倍以下であれば、疲労解析は不要とする。

5.6.2 ラグの応力評価

5.4.1.2項で求めたラグの組合せ応力が許容応力 f_t 以下であること。ただし、 f_t は下表による。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$

5.6.3 ボルトの応力評価

5.4.1.3項で求めたボルトの引張応力 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} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.6.3.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみ受ける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} は下表による。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合	
	許容引張応力 f_{to}	許容せん断応力 f_{sb}
計算式	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

アキュムレータの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【アキュムレータの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
アキュムレータ	S				—	—			0.86	66	50

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

W _o (kg)	D _i (mm)	t (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{s1} (mm ³)	Z _{s2} (mm ³)	A _s (mm ²)	E _s (MPa)	G _s (MPa)	A _{s1} (mm ²)	A _{s2} (mm ²)
	248.8	9.3	166.3	300	62.5	62.5	2.930×10 ⁶	8.470×10 ⁶	1.360×10 ⁵	4.700×10 ⁴	3.031×10 ³	193000	74200	579.6	1.250×10 ³

A _{s3} (mm ²)	A _{s4} (mm ²)	K ₁₁ * ³	K ₁₂ * ³	K ₂₁ * ³	K ₂₂ * ³	n	n _f	d (mm)	A _b (mm ²)	ℓ _{b1} (mm)	ℓ _{b2} (mm)
695.5	1.500×10 ³			—	—	4	2	16 (M16)	201.1	190	190

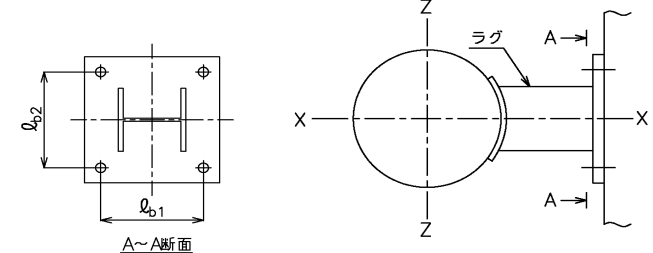
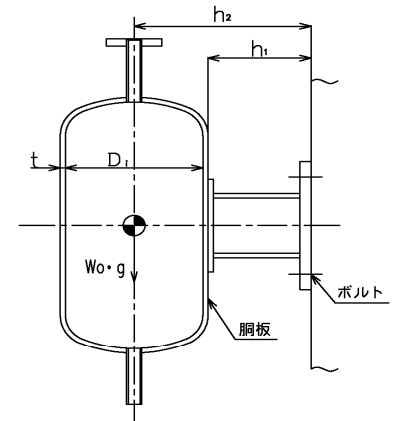
K _{ℓ1}	K _{ℓ2}	K _{c1}	K _{c2}	C _{ℓ1}	C _{ℓ2}	C _{c1}	C _{c2}	S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)
								188 * ¹	479 * ¹	126 * ¹

S _y (ラグ) (MPa)	S _u (ラグ) (MPa)	F (ラグ) (MPa)	S _y (ボルト) (MPa)	S _u (ボルト) (MPa)	F (ボルト) (MPa)
198 * ²	504 * ²	205 * ²	211 * ² (40mm < 径 ≤ 100mm)	394 * ²	211 * ²

注記*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

*3：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。



1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力 (単位: MPa)

地震の種類 応力の方向	基準地震動 S s	
	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} = 12$	$\sigma_{x 1} = 6$
運転時質量による応力	—	—
鉛直方向地震による応力	—	—
水平方向地震による応力	—	—
組合せ応力	$\sigma_0 = 12$	

(2) 一次応力 (単位: MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	基準地震動 S s								
	X方向				Z方向				
	第1評価点		第2評価点		第1評価点		第2評価点		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} = 12$	$\sigma_{x 1} = 6$	$\sigma_{\phi 1} = 12$	$\sigma_{x 1} = 6$	$\sigma_{\phi 1} = 12$	$\sigma_{x 1} = 6$	$\sigma_{\phi 1} = 12$	$\sigma_{x 1} = 6$	
運転時質量による応力	引張り	$\sigma_{\phi 2} = 2$	$\sigma_{x 2} = 1$	—	—	$\sigma_{\phi 2} = 2$	$\sigma_{x 2} = 1$	—	—
	せん断	—		$\tau_{\theta} = 1$		—		$\tau_{\theta} = 1$	
鉛直方向地震による応力	引張り	$\sigma_{\phi 5} = 2$	$\sigma_{x 5} = 1$	—	—	$\sigma_{\phi 5} = 2$	$\sigma_{x 5} = 1$	—	—
	せん断	—		$\tau_{\theta 1} = 1$		—		$\tau_{\theta 1} = 1$	
水平方向地震による応力	引張り	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{x 3} = 1$	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{x 3} = 1$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 1$	$\sigma_{x 4} = 2$
	せん断	—		—		$\tau_c = 1$		—	
組合せ応力	$\sigma_{x c 1} = 16$		$\sigma_{x c 2} = 13$		$\sigma_{z c 1} = 15$		$\sigma_{z c 2} = 13$		

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値 (単位: MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	基準地震動 S s								
	X方向				Z方向				
	第1評価点		第2評価点		第1評価点		第2評価点		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
鉛直方向地震による応力	引張り	$\sigma_{\phi 5} = 2$	$\sigma_{x 5} = 1$	—	—	$\sigma_{\phi 5} = 2$	$\sigma_{x 5} = 1$	—	—
	せん断	$\sigma_{2\phi 5} = 2$	$\sigma_{2x 5} = 3$	—		$\sigma_{2\phi 5} = 2$	$\sigma_{2x 5} = 3$	—	
水平方向地震による応力	引張り	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{x 3} = 1$	$\sigma_{\phi 3} = 1$	$\sigma_{x 3} = 1$	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 1$	$\sigma_{x 4} = 2$
	せん断	$\sigma_{2\phi 3} = 3$	$\sigma_{2x 3} = 2$	$\sigma_{2\phi 3} = 3$	$\sigma_{2x 3} = 2$	—		$\sigma_{2\phi 4} = 8$	$\sigma_{2x 4} = 4$
組合せ応力	$\sigma_{21} = 13$		$\sigma_{22} = 8$		$\sigma_{23} = 7$		$\sigma_{24} = 17$		

1.3.2 ラグに生じる応力 (単位: MPa)

応力	地震の種類	基準地震動 S _s	
	地震の方向	X方向	Z方向
運転時質量による応力	曲げ	$\sigma_{s1} = 2$	$\sigma_{s1} = 2$
	せん断	$\tau_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 1$
鉛直方向地震による応力	曲げ	$\sigma_{s4} = 1$	$\sigma_{s4} = 1$
	せん断	$\tau_{s4} = 1$	$\tau_{s4} = 1$
水平方向地震による応力	引張り	$\sigma_{s2} = 1$	—
	曲げ	—	$\sigma_{s3} = 5$
	せん断	—	$\tau_{s3} = 1$
組合せ応力		$\sigma_{sx} = 4$	$\sigma_{sz} = 8$

1.3.3 ボルトに生じる応力 (単位: MPa)

地震の種類	基準地震動 S _s	
地震の方向	X方向	Z方向
引張り	$\sigma_{bx} = 6$	$\sigma_{bz} = 8$
せん断	$\tau_{bx} = 2$	$\tau_{bz} = 2$

30

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.4.2 応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS304TP	一次一般膜	$\sigma_0 = 12$	$S_a = 188$
		一次	$\sigma_1 = 16$	$S_a = 282$
		一次+二次	$\sigma_2 = 17$	$S_a = 377$
ラグ	SUS304	組合せ	$\sigma_s = 8$	$f_t = 205$
ボルト	SS41*1	引張り	$\sigma_b = 8$	$f_{ts} = 126^{*2}$
		せん断	$\tau_b = 2$	$f_{sb} = 97$

すべて許容応力以下である。

注記*1: SS400相当

*2: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

7. 引用文献

- (1) Bijlaard, P.P. : Stresses from Radial Loads and External Moments in Cylindrical Pressure Vessels, The Welding Journal, 34(12), Research Supplement, 1955.
- (2) Wichman, K.R. et al. : Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107 / August 1965.

(4) ボンベラックの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	9
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	9
4.2.2 許容応力	9
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	9
4.3 解析モデル及び諸元	12
4.4 固有周期	14
4.5 設計用地震力	14
4.6 計算方法	15
4.6.1 ボンベラック	15
4.6.2 溶接部	16
4.7 計算条件	17
4.8 応力の評価	17
4.8.1 ボンベラックの応力評価	17
4.8.2 溶接部の応力評価	17
5. 評価結果	18
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	18

1. 概要

本計算書は、-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、取水槽水位計の空気ボンベラック（以下「ボンベラック」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

ボンベラックは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ボンベラックの構造計画を表2-1に示す。

表2 - 1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンベラックは、壁面及び床面に設定したアンカープレートに溶接にて固定する。</p>	<p>ポンベラックは、溶接にて組み立てたフレームにポンベを固定する構造である。</p>	<p>ポンベラック</p> <p>アンカープレート</p> <p>溶接部</p> <p>ポンベ</p> <p>アンカープレート</p> <p>アンカープレート</p> <p>溶接部</p> <p>ポンベ</p> <p>溶接部</p> <p>溶接部</p> <p>アンカープレート</p> <p>アンカープレート</p> <p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

ボンベラックの応力評価は， -2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1 構造計画」にて示すボンベラックの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において，「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

ボンベラックの耐震評価フローを図2 - 1に示す。



図2 - 1 ボンベラックの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984
((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・ 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_{r e a}$	フレームの断面積	mm^2
A_w	溶接部の有効断面積（1箇所当たり）	mm^2
C_H	水平方向設計震度	
C_v	鉛直方向設計震度	
E_1	ボンベラックの縦弾性係数	MPa
E_2	アンカープレートの縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F_w	溶接部の R_2 軸方向と R_3 軸方向の組合せせん断力	N
f_s	溶接部の許容せん断応力	MPa
f_t	ボンベラックの許容引張応力	MPa
I_p	フレームの断面二次極モーメント	mm^4
I_2	R_2 軸廻りのフレームの断面二次モーメント	mm^4
I_3	R_3 軸廻りのフレームの断面二次モーメント	mm^4
m	ボンベラックの質量	kg
M_1	R_1 軸廻りのモーメント	N・mm
M_2	R_2 軸廻りのモーメント	N・mm
M_3	R_3 軸廻りのモーメント	N・mm
R_1	R_1 軸方向の力	N
R_2	R_2 軸方向の力	N
R_3	R_3 軸方向の力	N
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
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40における値	MPa
T	温度条件	
W	ボンベ質量	kg
Z_1	R_3 軸廻りのモーメント M_3 を受けるフレームの断面係数	mm^3
Z_2	R_2 軸廻りのモーメント M_2 を受けるフレームの断面係数	mm^3
Z_{p2}	R_3 軸方向の応力を組合せる時のモーメント M_1 を受けるねじり断面係数	mm^3
Z_{pw}	フレーム取付溶接部のねじり断面係数 ポアソン比	mm^3

記号	記号の説明	単位
	ボンベラックに生じる組合せ応力	MPa
a	ボンベラックに生じる軸応力	MPa
b	ボンベラックに生じる曲げ応力	MPa
	ボンベラックに生じるせん断応力	MPa
w	溶接部に生じるせん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表2 - 2に示すとおりとする。

表2 - 2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度				整数位
質量	kg			整数位
長さ	mm			整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

ポンベラックの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなるポンベラック、アンカープレートへの溶接部について実施する。

ポンベラックの耐震評価部位については、表2 - 1の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 地震力は、ポンベラックに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとし、原則として、強度評価において組み合わせるものとする。
- (2) 拘束条件として、ポンベラックは、溶接によりX, Y, Zの3方向を固定として設定する。
- (3) ポンベ本体は、ポンベラックにフレーム及びボルトにて固定され収納されており、質量は組込む位置に相当する質点に付加しモデル化する。
- (4) 各ポンベから配管への接続管は、接続を容易にするためフレキシビリティを有した構造としており、地震時におけるポンベと配管の相対変位は微小であることから、地震時の変位を十分吸収できるものとする。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ボンベラックの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4 - 1に示す。

4.2.2 許容応力

ボンベラックの許容応力は、 -2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4 - 2に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ボンベラックの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4 - 3に示す。

表 4 - 1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電 用原子炉の 附属施設	浸水防護 施設	取水槽水位計 (ボンベラック)	S	*	$D + P_D + M_D + S_S$	A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表4 - 2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト以外)	
	一次応力	
	せん断	組合せ
A S	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4 - 3 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 ()		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度				
ボンベラック		周囲環境温度	40			
		周囲環境温度	40			
溶接部		周囲環境温度	40			

4.3 解析モデル及び諸元

ポンベラックの解析モデルを図4 - 1及び図4 - 2に，解析モデルの諸元を表4 - 4に，解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を本計算書の【ポンベラックの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) ポンベラックは構成する鋼材をはり要素でモデル化する。
- (2) 拘束条件として，ポンベラックは，溶接によりX, Y, Zの3方向を固定として設定する。
- (3) 固定端の位置は保守的に壁面及び床面とアンカープレートとの取合部としてモデル化する。
- (4) ポンベラックの質量は密度にて与えるものとする。
- (5) ポンベラックに収納・固定されるポンベ及び配管・弁等の機器重量は各々組込む位置に相当する各質点に付加する。
- (6) 解析コードは，「NX NASTRAN」を使用し，固有値，ポンベラックの応力を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

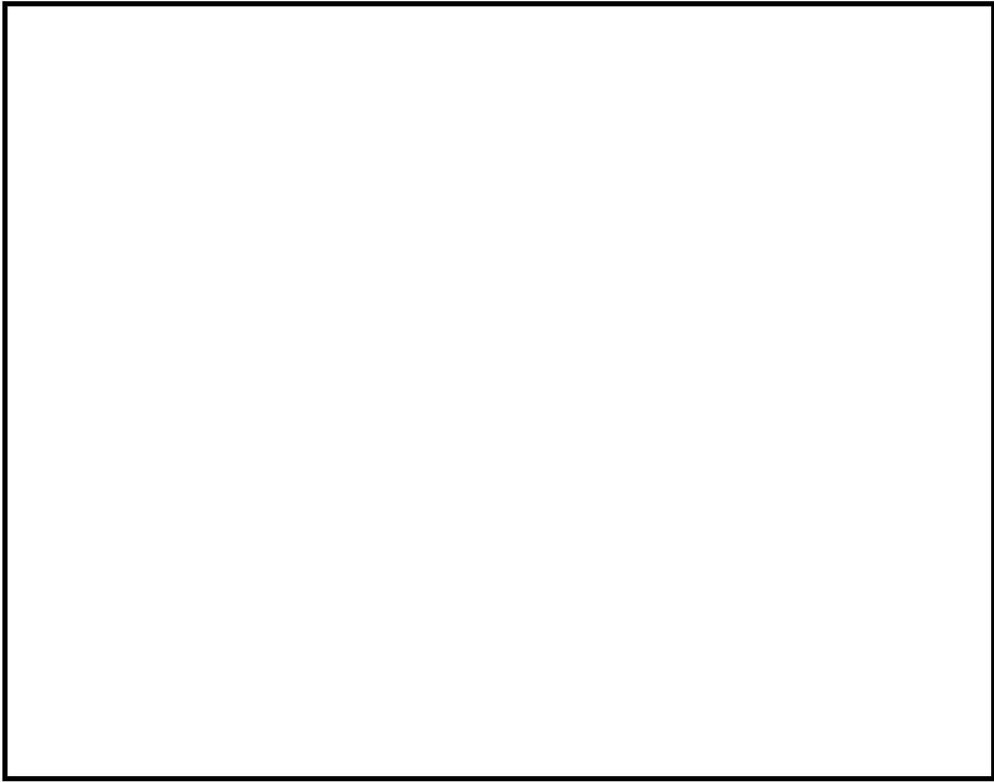


図 4-1 解析モデル (要素番号記載)

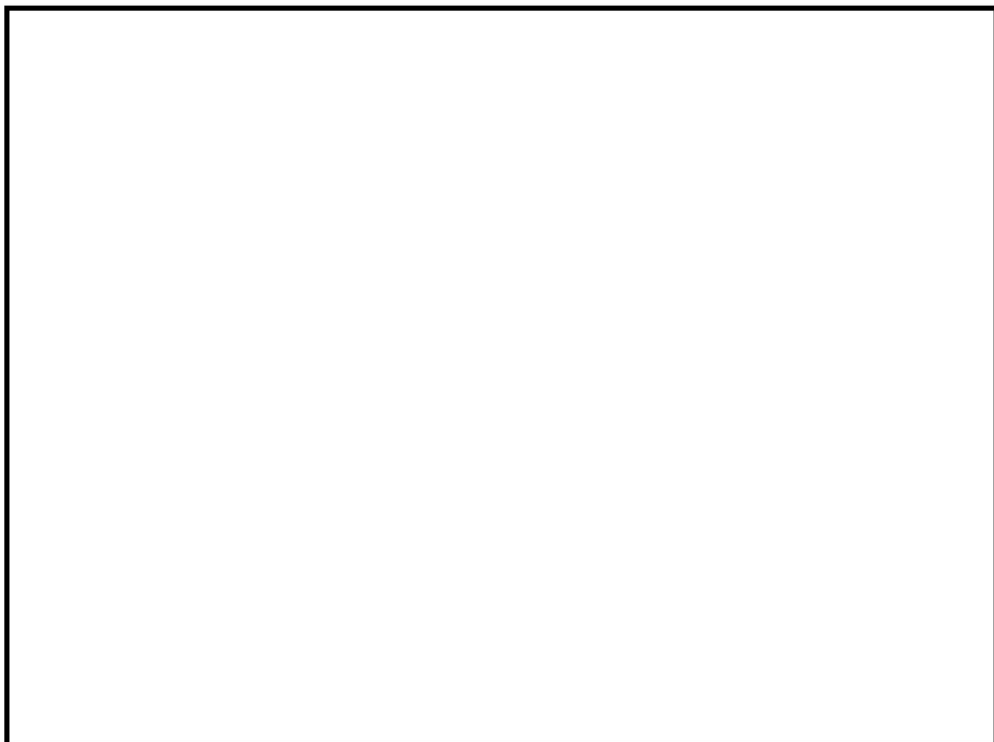


図 4-2 解析モデル (節点番号記載)

表4 - 4 解析モデルの諸元

項目	記号	単位	入力値
材質（ボンベラック）			
材質（アンカープレート）			
温度条件（周囲環境温度）	T		40
縦弾性係数（ボンベラック）	E ₁	MPa	
縦弾性係数（アンカープレート）	E ₂	MPa	
ポアソン比			0.3
質量（ボンベ）	W	kg	
質量（ボンベラック，アンカープレート）	m	kg	
ボンベ数		本	2
要素数		個	35
節点数		個	33

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表4 - 5に示す。固有周期は0.05秒以下であり，剛であることを確認した。

表4 - 5 固有周期

形状	モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数		
				水平方向		鉛直方向
				N S方向	E W方向	
ボンベ ラック	1次	鉛直	0.007			
	3次	水平	0.006			

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表4 - 6に示す。

「基準地震動 S s」による地震力は， -2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表4 - 6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震力 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
		0.006	0.007			C _H = 1.76

注記*：基準床レベルを示す。

4.6 計算方法

4.6.1 ボンベラック

ボンベラックの応力は，自重，鉛直方向地震及び水平方向地震（X，Z）を考慮し，図4 - 1及び図4 - 2の解析モデルによる解析結果を用いる。各節点に発生する力及びモーメントの値から，図4 - 3に示すフレームに作用する応力を以下の計算式より求める。なお，計算書には計算結果の厳しい方を記載することとする。

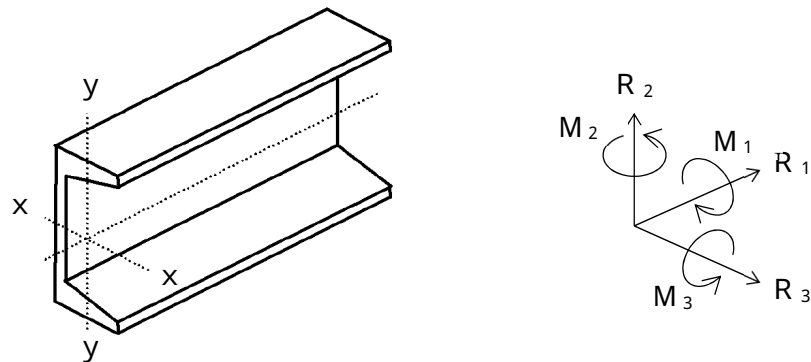


図 4 - 3 フレームの計算モデル

(1) 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_a + \sigma_b)^2 + 3 \cdot \tau^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1)$$

4.6.2 溶接部

ボンベラックの応力は、自重、鉛直方向地震及び水平方向地震（X, Z）を考慮し、図4-1及び図4-2の解析モデルによる解析結果を用いる。各節点に発生する力及びモーメントの値から、図4-4に示す溶接部に作用する応力を以下の計算式より求める。なお、計算書には計算結果の厳しい方を記載することとする。

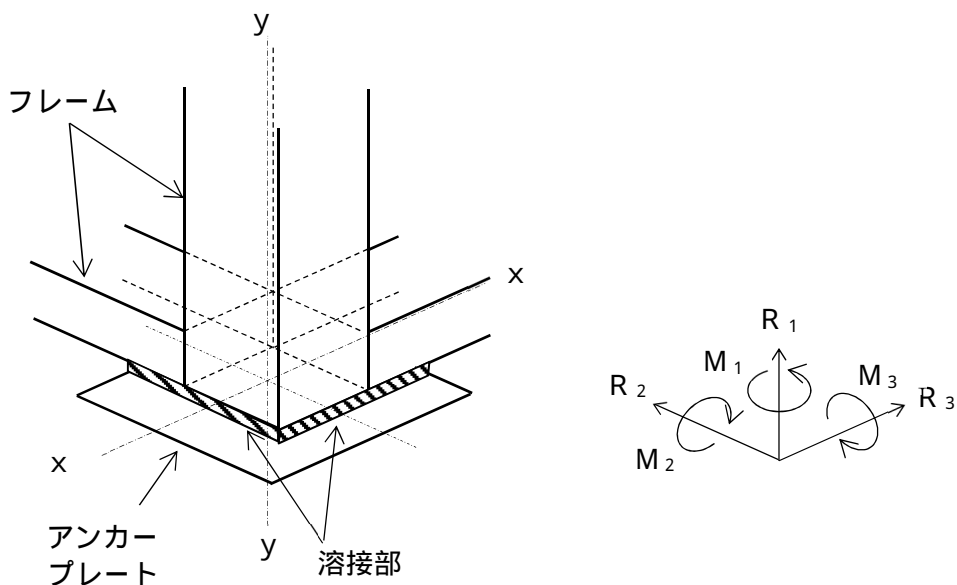


図4-4 溶接部の計算モデル

(1) せん断応力

$$\tau_w = \frac{F_w}{A_w} + \frac{M_1}{Z_{pw}} \dots\dots\dots (4.6.2.1)$$

ここで、組合せせん断力 F_w は以下の式より算出する。

$$F_w = \sqrt{R_2^2 + R_3^2} \dots\dots\dots (4.6.2.2)$$

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重（ボンベラック）及び荷重（地震荷重）は，本計算書の【ボンベラックの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 ボンベラックの応力評価

4.6.1項で求めたボンベラックの組合せ応力が許容応力 f_t 以下であること。
ただし， f_t は下表による。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$

4.8.2 溶接部の応力評価

4.6.2項で求めた溶接部のせん断応力が許容応力 f_s 以下であること。
ただし， f_s は下表による。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

ボンベラックの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【ボンベラックの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 ()	周囲環境温度 ()
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
ボンベラック	S		0.006	0.007			C _H = 1.76	C _V = 1.02		40

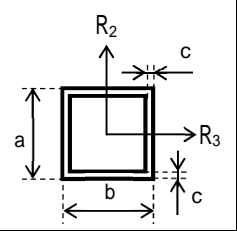
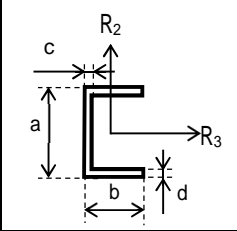
注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

m (kg)	W (kg)	E ₁ (MPa)	E ₂ (MPa)		A _w (mm ²)	Z _{p w} (mm ³)
				0.3	1.096 × 10 ³	4.539 × 10 ⁴

(単位 : MPa)

部材	材料	S _y	S _u	F
ボンベラック				245
				245
溶接部				245

材料		
要素番号	1 ~ 14	15 ~ 35
Area (mm ²) I ₂ (mm ⁴) I ₃ (mm ⁴) I _p (mm ⁴) Z ₁ (mm ³) Z ₂ (mm ³) Z _{p2} (mm ³)		
断面形状		
寸法 (mm)	(a×b×c)	(a×b×c×d)

1.3 計算数値

1.3.1 溶接部に作用するせん断力 (単位: N)

部材	F_w	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
溶接部		825.0

1.3.2 溶接部に作用するねじりモーメント (単位: N・mm)

部材	M_1	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
溶接部		3.412×10^4

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

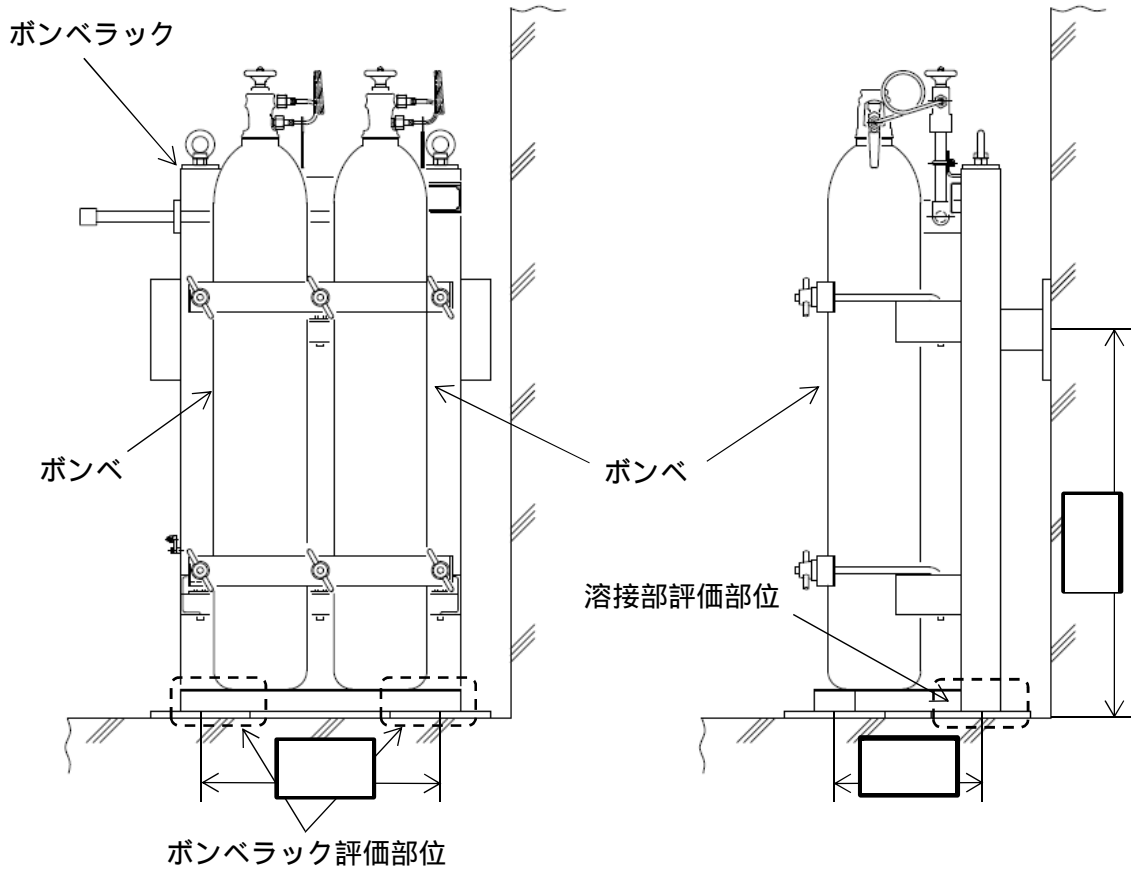
モード	固有周期	卓越方向
1次	0.007	鉛直

1.4.2 応力及び許容荷重

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
ボンベラック		組合せ			= 23	$f_t = 245$
溶接部		せん断			$w = 2$	$f_s = 141$

すべて許容応力以下である。



ポンベラック

(5) 管の耐震性についての計算書

設計基準対象施設

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	7
3.1 計算方法	7
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
3.3 設計条件	9
3.4 材料及び許容応力	15
3.5 設計用地震力	16
4. 解析結果及び評価	17
4.1 固有周期及び設計震度	17
4.2 評価結果	22
4.2.1 管の応力評価結果	22
4.2.2 支持構造物評価結果	23
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	24
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	25

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-6 管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。)に基づき、取水槽水位計の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

設計及び工事の計画書に記載される範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全3モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値/発生値(以下「裕度」という。)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

設計及び工事の計画書に記載される範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。



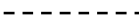
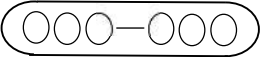

(3) 弁

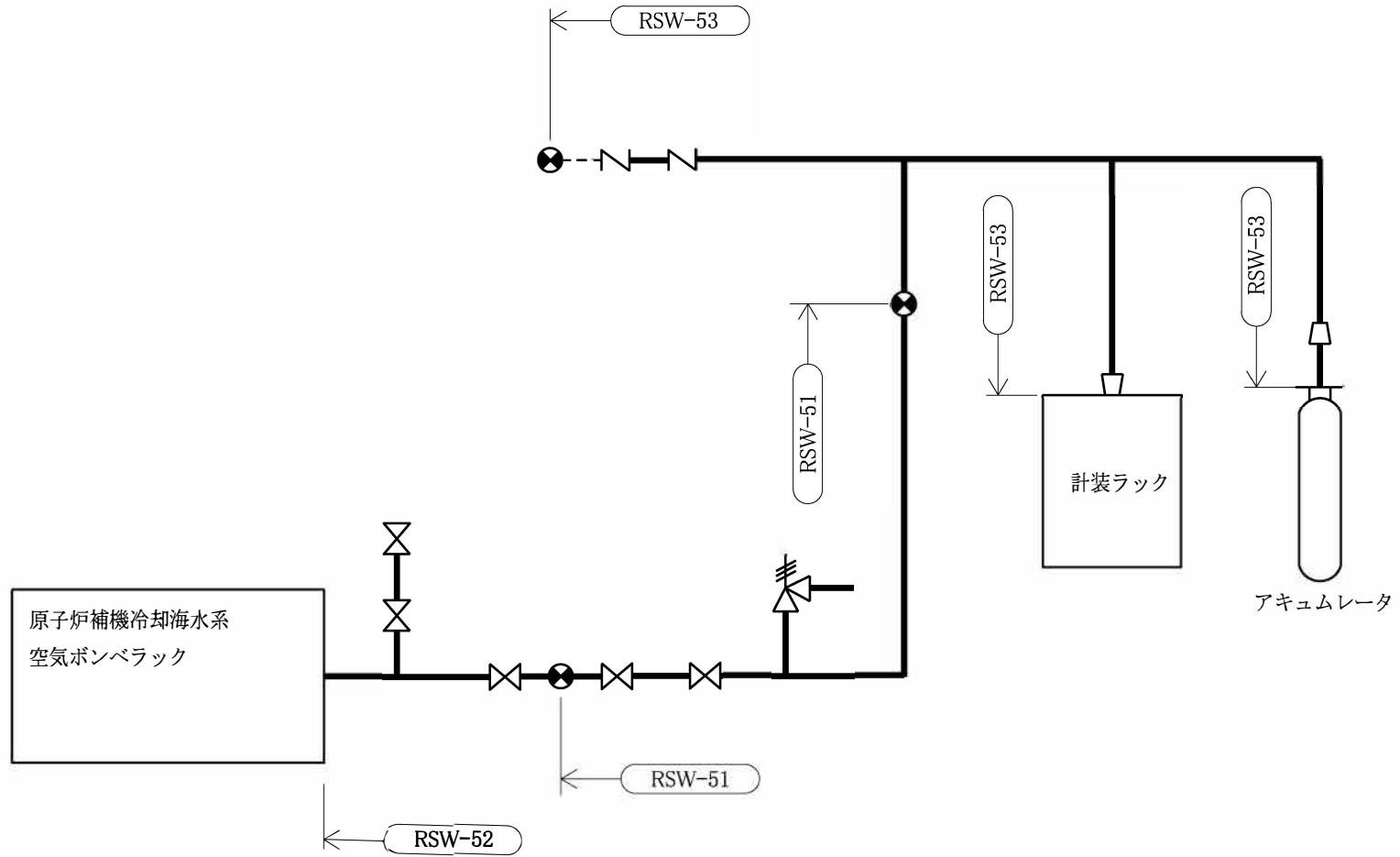
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例


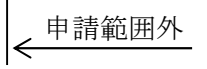
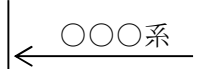


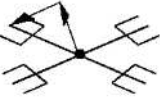
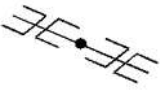

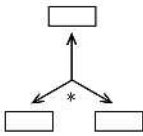
記号例	内容
 (太線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲外の管又は設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



原子炉補機冷却海水系（取水槽水位計）概略系統図

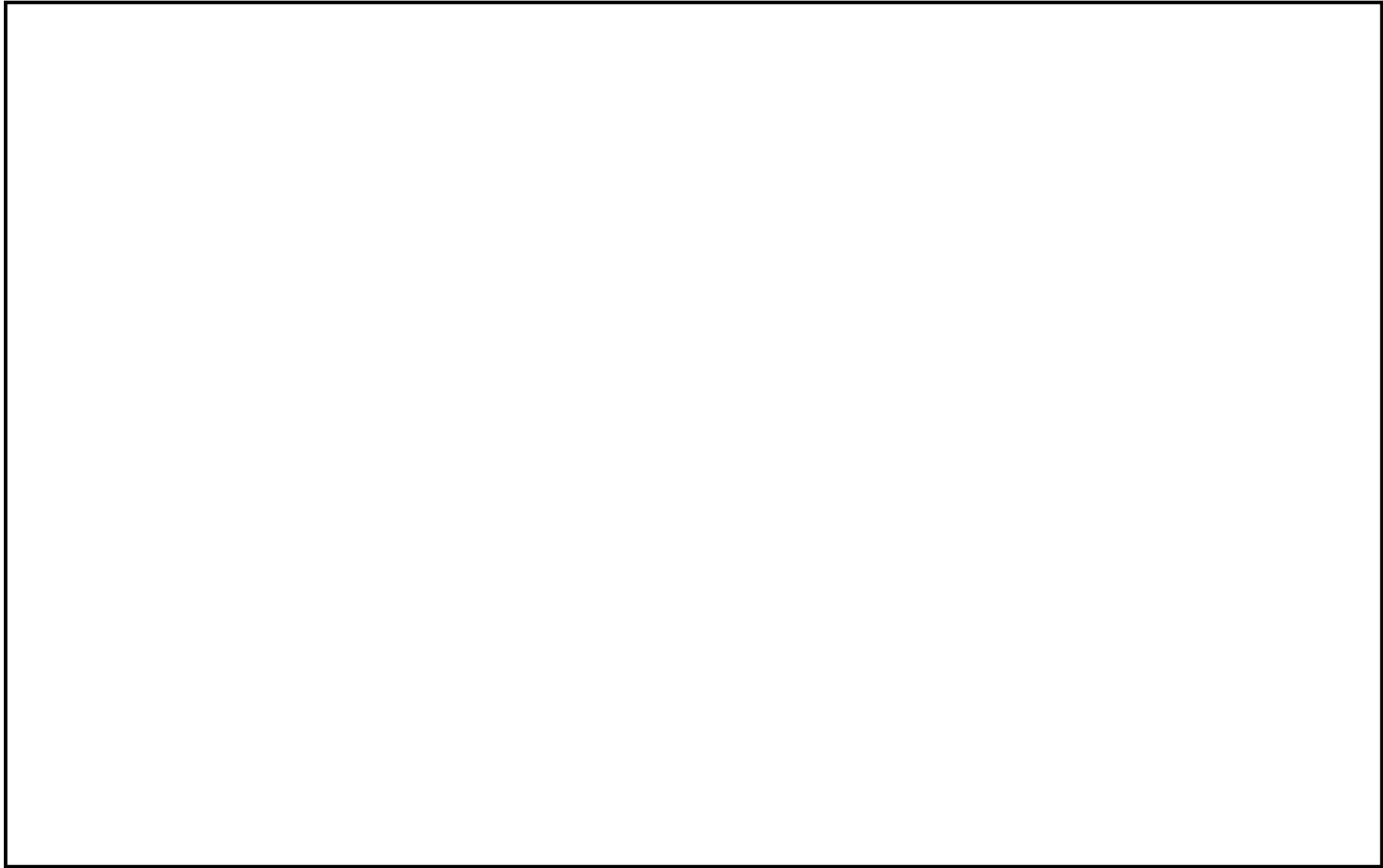
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号例	内容
	設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
	設計及び工事の計画書記載範囲外の管
	設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、他系統の管であって本系統に記載する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッパについても同様とする。)
	スナッパ
	ハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (* は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, <div style="display: inline-block; border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; vertical-align: middle;"></div> 内に変位量を記載する。)

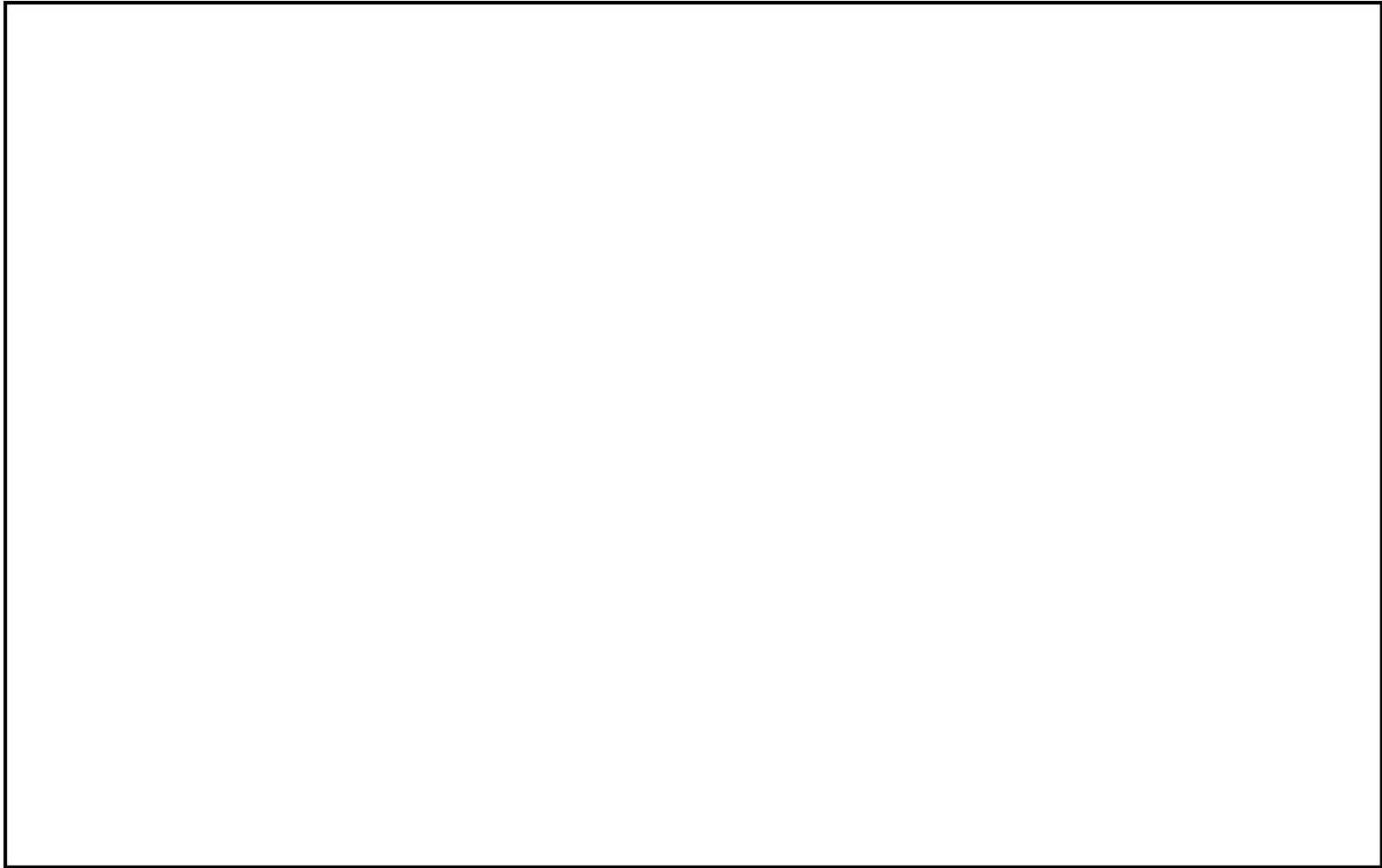
K6 ① VI-2-10-2-4-3(5) (設) R0

CT



鳥瞰図	RSW-51-1/2
-----	------------

K6 ① VI-2-10-2-4-3(5) (設) R0



9

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「SO L V E R」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*2,3	許容応力状態
浸水防護施設	取水槽水位計	原子炉補機冷却海水系	DB	—	クラス3管	S	I _L +S _s	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L +S _s	

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*3：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し, 管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 R S W - 5 1

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	20.00	66	27.2	5.5	SUS304TP	S	191720
2	0.86	66	27.2	2.9	SUS304TP	S	191720
3	大気圧	66	27.2	2.9	SUS304TP	S	191720

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 R S W - 5 1

管名称	対 応 す る 評 価 点															
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
	31	32	33	34	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45		
2	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	61	62				
3	64	65	66	67												

配管の質量（配管の付加質量及びフランジの質量を含む）

鳥 瞰 図 R S W - 5 1

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		13		25		40		55	
2		14		26		41		56	
3		15		27		42		61	
4		16		28		43		65	
5		17		29		44		66	
6		18		30		48		67	
7		19		31		49			
8		20		32		50			
9		21		33		51			
10		22		37		52			
11		23		38		53			
12		24		39		54			


鳥 瞰 図 R S W - 5 1

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
34		45		62	
35		46		63	
36		47		64	
57					
58					
59					
60					

鳥 瞰 図 R S W - 5 1

弁部の寸法を下表に示す。

弁 NO.	評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
弁 1	35			
弁 2	46			
弁 3	63			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 R S W - 5 1

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
8						
10						
12						
14						
16						
19						
21						
24						
26						
28						
30						
33						
37						
41						
43						
48						
52						
54						
56						
59						
60						
65						

K6 -2-10-2-4-3(5) (設) R0

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
SUS304TP	66	—	188	—	126

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線はVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを
用いる。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建屋・構築物	標高(m)	減衰定数(%)
RSW-51	タービン建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 R S W - 5 1

適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向
1次	□	□		
2次				
3次				
動的震度*2				

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：S s地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 R S W - 5 1

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

代表的振動モード図

振動モード図は、2次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)

鳥瞰図	R S W - 5 1
-----	-------------

代表的振動モード図 (2次)

鳥瞰図	R S W - 5 1
-----	-------------

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{pr m}(S s)$	許容応力 S_y^*	計算応力 $S_n(S s)$	許容応力 $2 \cdot S_y$	疲労累積係数 $U S s$
RSW-51	III _A S	50	$S_{pr m}(S s)$	161	188	—	—	—
	III _A S	61	$S_n(S s)$	—	—	307	376	—

注記*：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、 S_y と $1.2 S_n$ のうち大きい方の値とする。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果(荷重評価)

支持 構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
—	—	—	—	—	—	—

支持構造物評価結果(応力評価)

支持 構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力(kN)			モーメント(kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
SP-020-01	レストレイント	ボルト	SS400	50	4	2	4	—	—	—	せん断	45	139
SP-003-01	アンカ	ラグ	SUS304	66	1	1	2	1	1	0	組合せ	30	118

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用 加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス2以下の管）

No.	配管 モデル	許容応力状態 III _A S												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評 価 点	計 算 応 力 (MPa)	許 容 応 力 (MPa)	裕 度	代 表	評 価 点	計 算 応 力 (MPa)	許 容 応 力 (MPa)	裕 度	代 表	評 価 点	疲 勞 累 積 係 数	代 表
1	RSW-51	50	161	188	1.16	○	61	307	376	1.22	○	—	—	—
2	RSW-52	14	101	188	1.86	—	5	130	376	2.89	—	—	—	—
3	RSW-53	1	38	188	4.94	—	46	118	376	3.18	—	—	—	—

VI-2-10-2-4-4 津波監視カメラの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
-------------	---

1. 概要

本資料は、津波監視カメラ（7号機設備，6,7号機共用）の耐震性が「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第5条に適合することを説明するものである。

津波監視カメラの耐震性に関する説明は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事の計画のV-2-10-2-4-4「津波監視カメラの耐震性についての計算書」による。

VI-2-10-3 非常用取水設備の耐震性に関する説明書

VI-2-10-3-1 取水設備の耐震性についての計算書

VI-2-10-3-1-1 非常用取水設備の耐震計算結果

目 次

1. 概要	1
2. 耐震評価条件整理	1

1. 概要

本資料は、非常用取水設備の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

非常用取水設備に対して、設計基準対象施設の耐震重要度分類、重大事故等対処施設の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績と差異の有無を整理した。また、重大事故等対処施設のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処施設の評価条件と設計基準対象施設の評価条件の差異の有無を整理した。結果を表 1 に示す。

非常用取水設備の耐震計算は表 1 に示す計算書に記載することとする。

表1 耐震評価条件整理一覧表(1/2)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処施設			
		耐震重要度 分類	新規制基準施行 前に認可された 実績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施 設との評価条件 の差異	耐震計算の 記載箇所	
非常用取水設備	取水設備	海水貯留堰（重大事故等時のみ6,7号機共用）	C	—*2	VI-2-10-3-1-2	常設／防止 常設／緩和	—	VI-2-10-3-1-2
		海水貯留堰（7号機設備, 重大事故等時のみ6,7号機共用）	—	—*2	—	常設／防止 常設／緩和	—	VI-2-10-3-1-3
		スクリーン室（重大事故等時のみ6,7号機共用）	C	有*3	VI-2-10-3-1-4	常設／防止 常設／緩和	—	VI-2-10-3-1-4
		スクリーン室（7号機設備, 重大事故等時のみ6,7号機共用）	—	—*2	—	常設／防止 常設／緩和	—	VI-2-10-3-1-5
		取水路（重大事故等時のみ6,7号機共用）	C	有*3	VI-2-10-3-1-6	常設／防止 常設／緩和	—	VI-2-10-3-1-6
		取水路（7号機設備, 重大事故等時のみ6,7号機共用）	—	—*2	—	常設／防止 常設／緩和	—	VI-2-10-3-1-7
		補機冷却用海水取水路	C	有*3	VI-2-10-3-1-8	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	—	VI-2-10-3-1-8

表1 耐震評価条件整理一覧表(2/2)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処施設			
		耐震重要度 分類	新規制基準施行 前に認可された 実績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施 設との評価条件 の差異	耐震計算の 記載箇所	
非常用 取水設備	取水 設備	補機冷却用海水取水槽(A)	C	—*2	VI-2-10-3-1-9	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	—	VI-2-10-3-1-9
		補機冷却用海水取水槽(B)	C	—*2	VI-2-10-3-1-9	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	—	VI-2-10-3-1-9
		補機冷却用海水取水槽(C)	C	—*2	VI-2-10-3-1-9	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (DB 拡張)	—	VI-2-10-3-1-9

注記*1 : 「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備, 「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張), 「常設／緩和 (DB 拡張)」は常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張) を示す。

*2 : 本工事計画で新規に申請する設備であることから, 差異比較の対象外。

*3 : 地震応答解析は時刻歴応答解析にて実施。

VI-2-10-3-1-2 海水貯留堰の耐震性についての計算書

VI-2-10-3-1-2-1 海水貯留堰の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用基準	6
3. 耐震評価	7
4. 耐震評価結果	8

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、海水貯留堰が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び止水性を有していることを確認するものである。

海水貯留堰に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価及び構造物の変形評価により行う。

なお、海水貯留堰の間接支持構造物である、取水護岸と海水貯留堰との取付け部（以下「取水護岸」という。）の耐震性については、VI-2-10-3-1-2-2「取水護岸の耐震性についての計算書」に示す。

2. 基本方針

2.1 位置

位置は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-2-10-3-1-3-1「海水貯留堰（6号機設備）の耐震性についての計算書」の「2.1 位置」による。

2.2 構造概要

構造概要は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-2-10-3-1-3-1「海水貯留堰（6号機設備）の耐震性についての計算書」の「2.2 構造概要」による。

2.3 評価方針

海水貯留堰は、設計基準対象施設においては、Sクラス施設である浸水防護施設及び非常用取水設備である屋外重要土木構造物に、重大事故等対処施設においては、常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

海水貯留堰の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の評価として、表 2-1 の海水貯留堰の評価項目に示すとおり、構造部材の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価及び構造物の変形性評価を行う。

海水貯留堰の地震応答解析においては、地震時の地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮できる有効応力解析を実施する。

有効応力解析に用いる地盤剛性及び液状化強度特性は、地盤の代表性及び網羅性を踏まえた上で、ばらつき等を考慮して設定する。

構造部材の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価及び構造物の変形性評価を実施することで、構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認する。

構造部材の健全性評価については、構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価においては、杭頭に発生する鉛直力が終局鉛直支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

構造物の変形性評価については、止水ゴムの変形量を算定し、有意な漏えいが生じないことを確認した許容限界以下であることを確認する。

海水貯留堰の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

ここで、海水貯留堰は、運転時、設計基準事故時及び重大事故等時の状態における圧力、温度等について、耐震評価における手法及び条件に有意な差異はなく、評価は設計基準対象施設の評価結果に包括されることから、設計基準対象施設の評価結果を用いた重大事故等対処施設の評価を行う。

なお、海水貯留堰を構成する各鋼管矢板は、継手部を介して隣接鋼管矢板により鋼管矢板の軸方向に沿って拘束されており、軸方向の断面係数は、法線直角方向と比べて大きいことから、明確な強軸断面方向である。したがって、強軸断面方向の水平力により鋼管矢板に発生する曲げモーメントは比較的小さく、強軸断面方向の曲げの影響はほとんど受けないことから、従来設計手法における評価対象断面以外の 3 次元的な応答特性が想定される箇所が無いことを確認した。

表 2-1 海水貯留堰の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鋼管矢板	曲げ軸力、せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		止水ゴム取付部鋼材	曲げ軸力、せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	杭頭に発生する鉛直力が許容限界以下であることを確認	終局鉛直支持力*
止水性を損なわないこと	構造物の変形性	止水ゴム	発生変形量が許容限界以下であることを確認	有意な漏えいが生じないことを確認した変形量

注記*：妥当な安全余裕を考慮する。

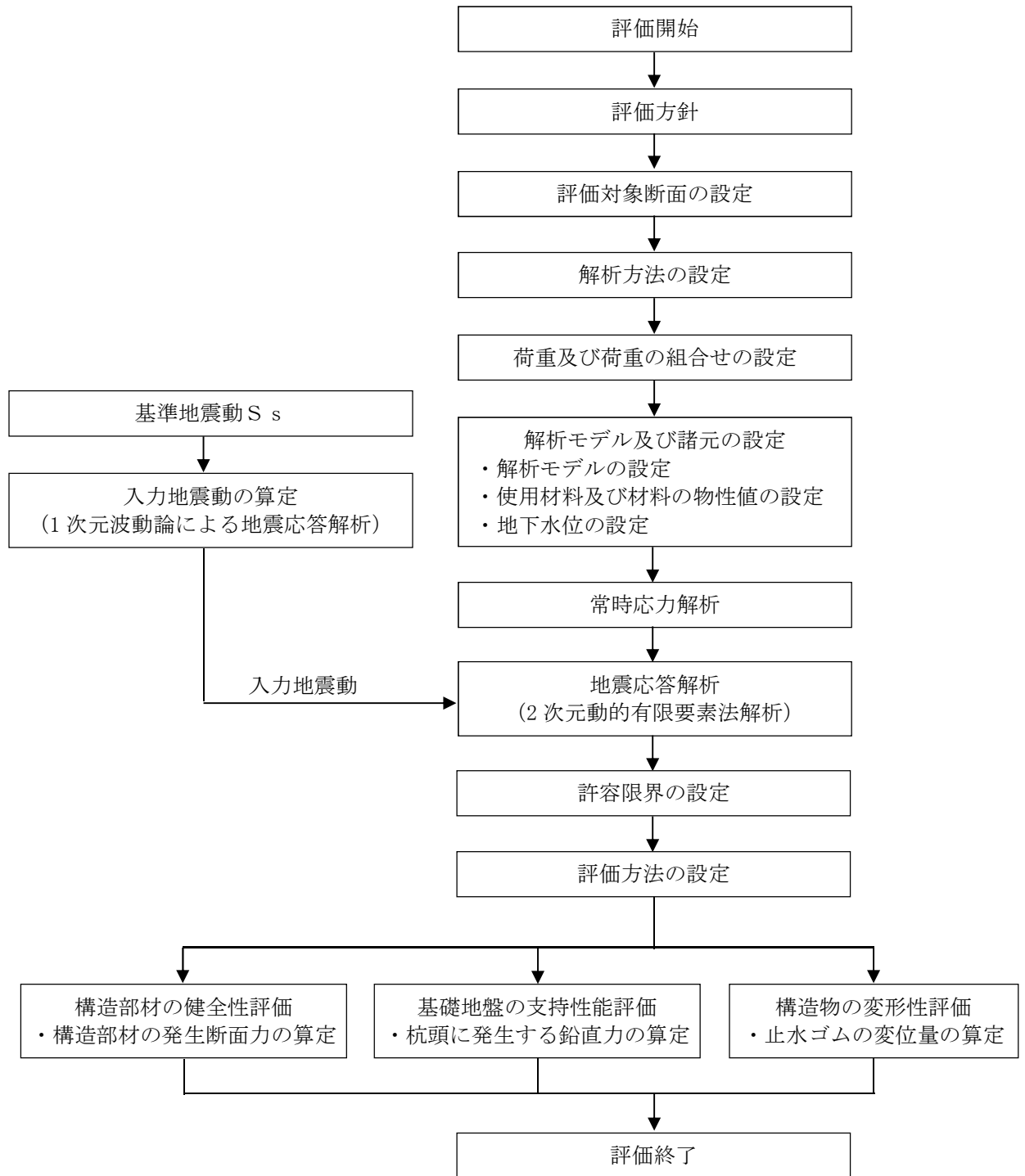


図 2-1 海水貯留堰の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用基準は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-3-1「海水貯留堰（6号機設備）の耐震性についての計算書」の「2.4 適用基準」による。

3. 耐震評価

耐震評価は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-3-1「海水貯留堰（6号機設備）の耐震性についての計算書」の「3. 耐震評価」による。

4. 耐震評価結果

耐震評価結果は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-3-1「海水貯留堰（6号機設備）の耐震性についての計算書」の「4. 耐震評価結果」による。

VI-2-10-3-1-2-2 取水護岸の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	2
2.4 適用基準	5
3. 耐震評価	6
4. 耐震評価結果	7

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、取水護岸が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び止水性を有していることを確認するものである。

取水護岸に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び構造物の変形評価により行う。

2. 基本方針

2.1 位置

位置は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-3-2「取水護岸（6号機設備）の耐震性についての計算書」の「2.1 位置」による。

2.2 構造概要

構造概要は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-3-2「取水護岸（6号機設備）の耐震性についての計算書」の「2.2 構造概要」による。

2.3 評価方針

取水護岸は、設計基準対象施設においては、Sクラス施設である浸水防護施設及び非常用取水設備である屋外重要土木構造物の間接支持構造物に、重大事故等対処施設においては、常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物に分類される。

取水護岸の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、表2-1に示すとおり、構造部材の健全性評価及び構造物の変形性評価を行う。

取水護岸の地震応答解析においては、地震時の地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮できる有効応力解析を実施する。

有効応力解析に用いる地盤剛性及び液状化強度特性は、地盤の代表性及び網羅性を踏まえた上で、ばらつき等を考慮して設定する。

構造部材の健全性評価及び構造物の変形性評価を実施することで、構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認する。

構造部材の健全性評価については、前面鋼矢板に発生する曲げモーメントが許容限界以下であることを確認する。許容限界については、取水護岸がSクラス施設の間接支持構造物に分類されることから、全塑性モーメントによる確認が基本であるが、設計上の配慮として、降伏モーメントとする。

構造物の変形性評価については、前面鋼矢板及び海水貯留堰の変形量を算定し、海水貯留堰との離隔が確保されることを確認した許容限界以下であることを確認する。なお、海水貯留堰の変形量を考慮した止水ゴムの変形量についての照査は、VI-2-10-3-1-2-1「海水貯留堰の耐震性についての計算書」及び、VI-3-別添 3-1-2「海水貯留堰の強度計算書」において実施する。

取水護岸の耐震評価フローを図2-1に示す。

なお、取水護岸は、断面変化が無く直線状に設置される矢板構造物であり、強軸断面方向の曲げの影響はほとんど受けないことから、従来設計手法における評価対象断面以外の3次元的な応答特性が想定される箇所が無いことを確認した。

表 2-1 取水護岸の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	前面鋼矢板	発生応力が許容限界以下であることを確認	降伏モーメント
止水性を損なわないこと	構造物の変形性	前面鋼矢板	発生変形量が許容限界以下であることを確認	海水貯留堰との離隔が確保されることを確認した変形量

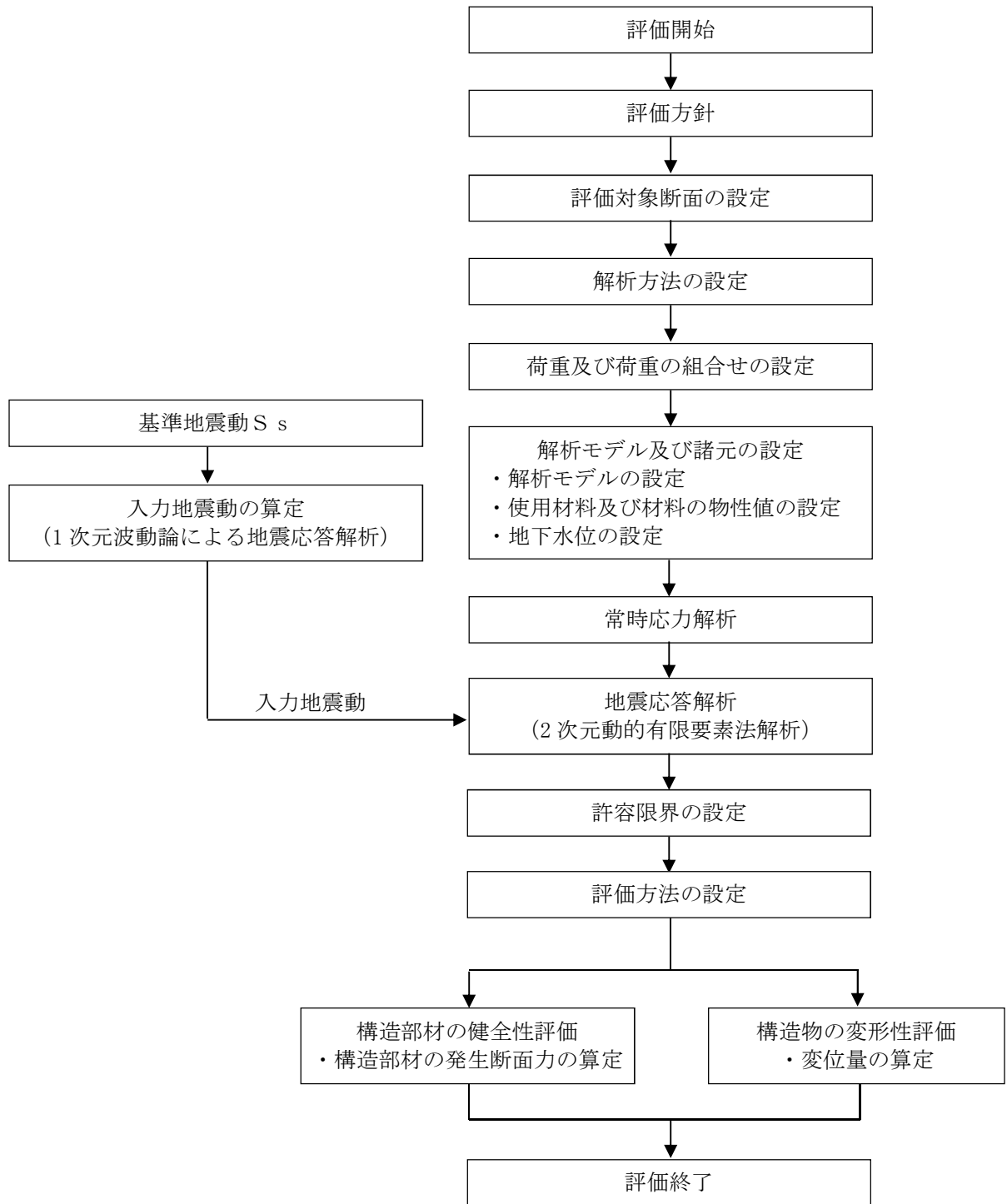


図 2-1 取水護岸の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用基準は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-3-2「取水護岸（6号機設備）の耐震性についての計算書」の「2.4 適用基準」による。

3. 耐震評価

耐震評価は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-3-2「取水護岸（6号機設備）の耐震性についての計算書」の「3. 耐震評価」による。

4. 耐震評価結果

耐震評価結果は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-3-2「取水護岸(6号機設備)の耐震性についての計算書」の「4. 耐震評価結果」による。

VI-2-10-3-1-3 海水貯留堰（7号機設備）の耐震性についての計算書

VI-2-10-3-1-3-1 海水貯留堰（7号機設備）の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	3
2.4 適用基準	6
3. 耐震評価	7
4. 耐震評価結果	8

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、海水貯留堰（7号機設備）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び止水性を有していることを確認するものである。

海水貯留堰（7号機設備）に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価及び構造物の変形評価により行う。

なお、海水貯留堰（7号機設備）の間接支持構造物である、取水護岸（7号機設備）と海水貯留堰（7号機設備）との取付け部（以下「取水護岸（7号機設備）」という。）の耐震性については、VI-2-10-3-1-3-2「取水護岸（7号機設備）の耐震性についての計算書」に示す。

2. 基本方針

2.1 位置

位置は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-2-10-3-1-2-1「海水貯留堰の耐震性についての計算書」の「2.1 位置」による。

2.2 構造概要

構造概要は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-2-10-3-1-2-1「海水貯留堰の耐震性についての計算書」の「2.2 構造概要」による。

2.3 評価方針

海水貯留堰（7号機設備）は、常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

海水貯留堰（7号機設備）の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、表2-1の海水貯留堰（7号機設備）の評価項目に示すとおり、構造部材の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価及び構造物の変形性評価を行う。

海水貯留堰（7号機設備）の地震応答解析においては、地震時の地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮できる有効応力解析を実施する。

有効応力解析に用いる地盤剛性及び液状化強度特性は、地盤の代表性及び網羅性を踏まえた上で、ばらつき等を考慮して設定する。

構造部材の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価及び構造物の変形性評価を実施することで、構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認する。

構造部材の健全性評価については、構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価においては、杭頭に発生する鉛直力が終局鉛直支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

構造物の変形性評価については、止水ゴムの変形量を算定し、有意な漏えいが生じないことを確認した許容限界以下であることを確認する。

海水貯留堰（7号機設備）の耐震評価フローを図2-1に示す。

なお、海水貯留堰（7号機設備）を構成する各鋼管矢板は、継手部を介して隣接鋼管矢板により鋼管矢板の軸方向に沿って拘束されており、軸方向の断面係数は、法線直角方向と比べて大きいことから、明確な強軸断面方向である。したがって、強軸断面方向の水平力により鋼管矢板に発生する曲げモーメントは比較的小さく、強軸断面方向の曲げの影響はほとんど受けないことから、従来設計手法における評価対象断面以外の3次元的な応答特性が想定される箇所が無いことを確認した。

表 2-1 海水貯留堰（7号機設備）の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鋼管矢板	曲げ軸力，せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		止水ゴム取付部鋼材	曲げ軸力，せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	杭頭に発生する鉛直力が許容限界以下であることを確認	終局鉛直支持力*
止水性を損なわないこと	構造物の変形性	止水ゴム	発生変形量が許容限界以下であることを確認	有意な漏えいが生じないことを確認した変形量

注記*：妥当な安全余裕を考慮する。

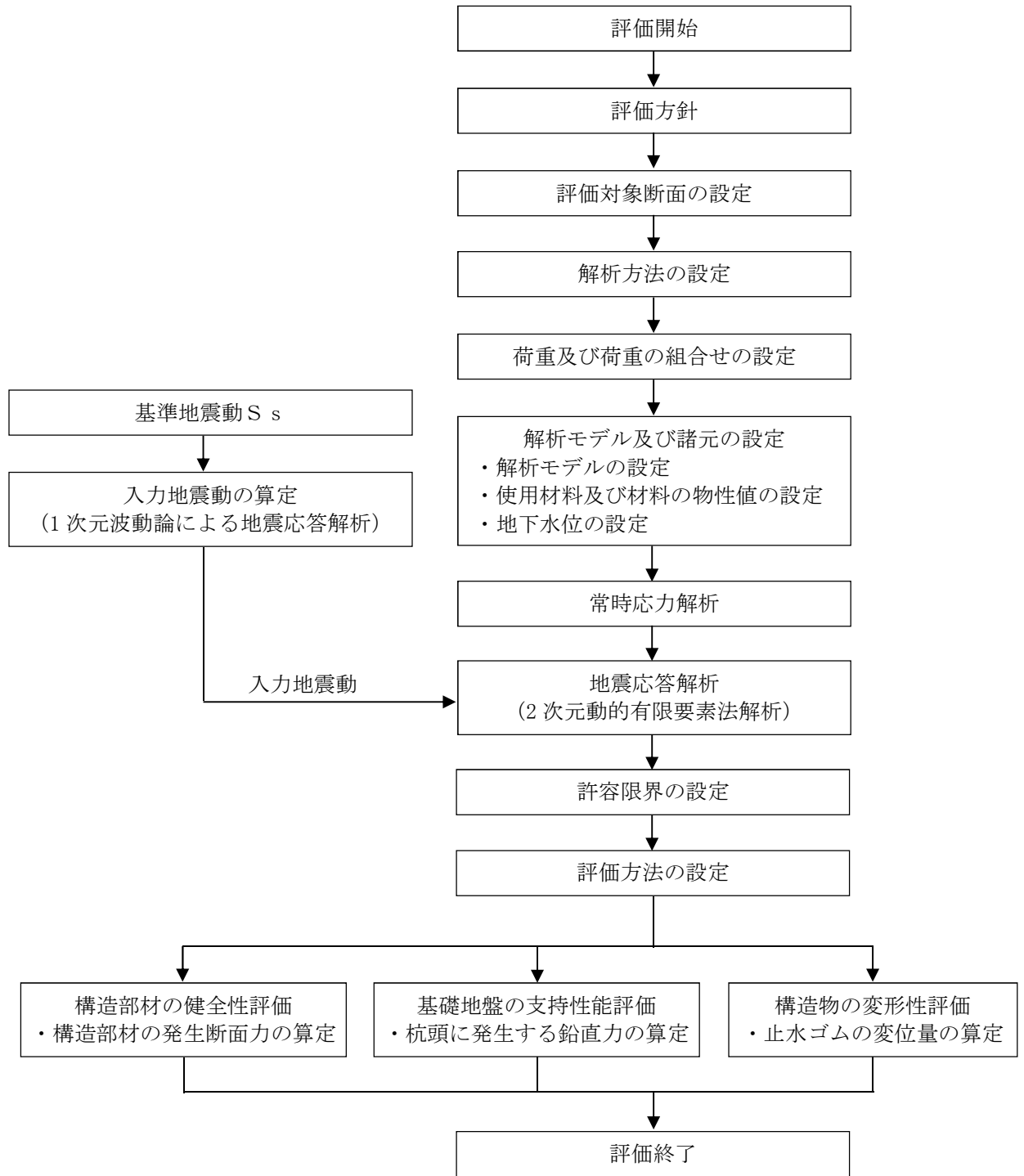


図 2-1 海水貯留堰（7号機設備）の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用基準は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-2-1「海水貯留堰の耐震性についての計算書」の「2.4 適用基準」による。

3. 耐震評価

耐震評価は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-2-1「海水貯留堰の耐震性についての計算書」の「3. 耐震評価」による。

4. 耐震評価結果

耐震評価結果は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-2-1「海水貯留堰の耐震性についての計算書」の「4. 耐震評価結果」による。

VI-2-10-3-1-3-2 取水護岸（7号機設備）の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	2
2.4 適用基準	5
3. 耐震評価	6
4. 耐震評価結果	7

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、取水護岸（7号機設備）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び止水性を有していることを確認するものである。

取水護岸（7号機設備）に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び構造物の変形評価により行う。

2. 基本方針

2.1 位置

位置は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-2-10-3-1-2-2「取水護岸の耐震性についての計算書」の「2.1 位置」による。

2.2 構造概要

構造概要は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-2-10-3-1-2-2「取水護岸の耐震性についての計算書」の「2.2 構造概要」による。

2.3 評価方針

取水護岸（7号機設備）は、常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物に分類される。

取水護岸（7号機設備）の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、表2-1に示すとおり、構造部材の健全性評価及び構造物の変形性評価を行う。

取水護岸（7号機設備）の地震応答解析においては、地震時の地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮できる有効応力解析を実施する。

有効応力解析に用いる地盤剛性及び液状化強度特性は、地盤の代表性及び網羅性を踏まえた上で、ばらつき等を考慮して設定する。

構造部材の健全性評価及び構造物の変形性評価を実施することで、構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認する。

構造部材の健全性評価については、前面鋼矢板に発生する曲げモーメントが許容限界以下であることを確認する。許容限界については、取水護岸（7号機設備）が常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物に分類されることから、全塑性モーメントによる確認が基本であるが、設計上の配慮として、降伏モーメントとする。

構造物の変形性評価については、前面鋼矢板及び海水貯留堰（7号機設備）の変形量を算定し、海水貯留堰（7号機設備）との離隔が確保されることを確認した許容限界以下であることを確認する。なお、海水貯留堰（7号機設備）の変形量を考慮した止水ゴムの変形量についての照査は、VI-2-10-3-1-3-1「海水貯留堰（7号機設備）の耐震性についての計算書」及び、VI-3-別添3-1-3「海水貯留堰（7号機設備）の強度計算書」において実施する。

取水護岸（7号機設備）の耐震評価フローを図2-1に示す。

なお、取水護岸（7号機設備）は、断面変化が無く直線状に設置される矢板構造物であり、強軸断面方向の曲げの影響はほとんど受けないことから、従来設計手法における評価対象断面以外の3次元的な応答特性が想定される箇所が無いことを確認した。

表 2-1 取水護岸（7号機設備）の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	前面鋼矢板	発生応力が許容限界以下であることを確認	降伏モーメント
止水性を損なわないこと	構造物の変形性	前面鋼矢板	発生変形量が許容限界以下であることを確認	海水貯留堰（7号機設備）との離隔が確保されることを確認した変形量

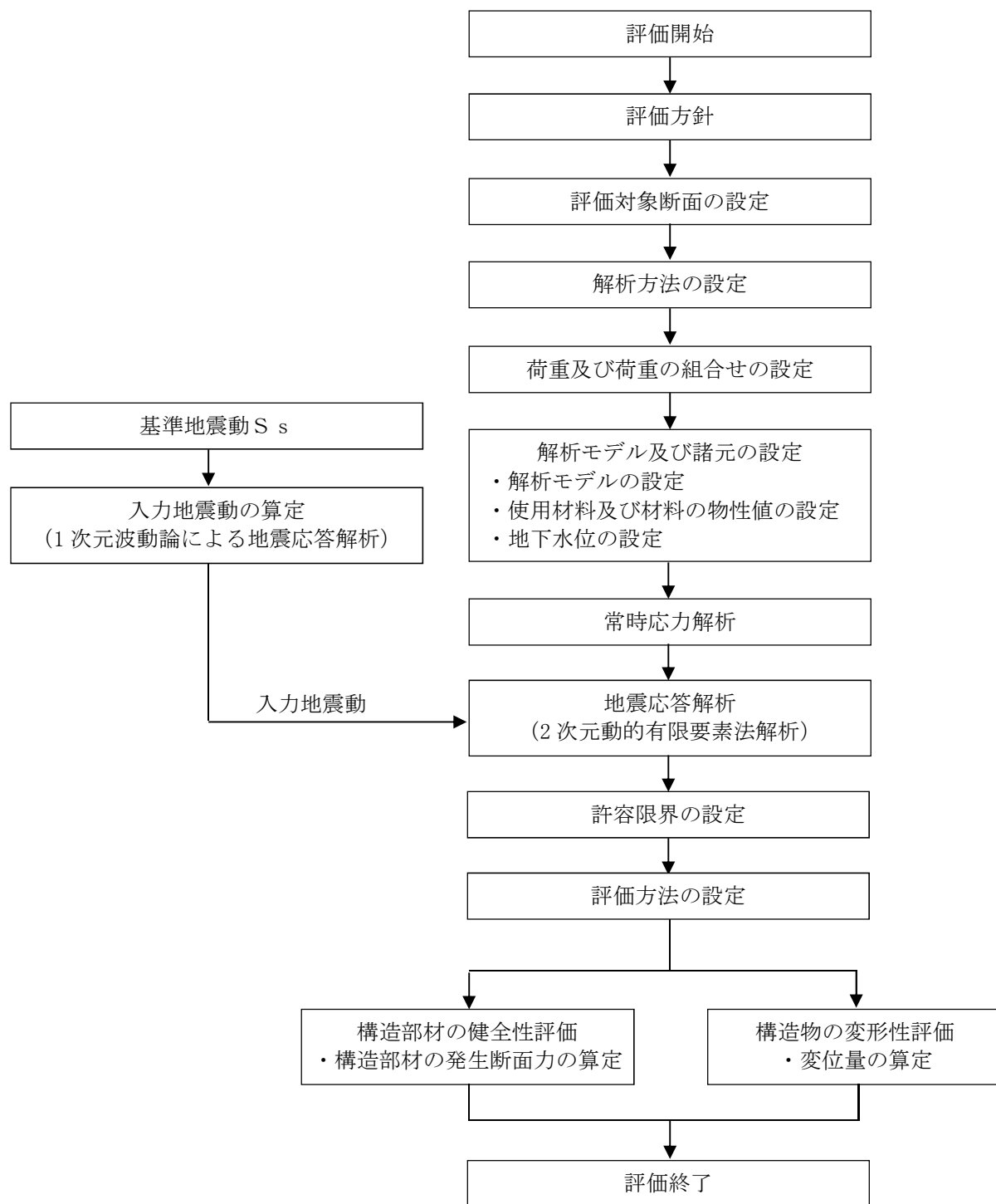


図 2-1 取水護岸（7 号機設備）の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用基準は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-2-2「取水護岸の耐震性についての計算書」の「2.4 適用基準」による。

3. 耐震評価

耐震評価は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-2-2「取水護岸の耐震性についての計算書」の「3. 耐震評価」による。

4. 耐震評価結果

耐震評価結果は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-2-2「取水護岸の耐震性についての計算書」の「4. 耐震評価結果」による。

VI-2-10-3-1-4 スクリーン室の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	2
2.4 適用基準	5
3. 耐震評価	6
4. 耐震評価結果	7

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、スクリーン室が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認するものである。

スクリーン室に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価により行う。

2. 基本方針

2.1 位置

位置は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-5「スクリーン室（6号機設備）の耐震性についての計算書」の「2.1 位置」による。

2.2 構造概要

構造概要は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-5「スクリーン室（6号機設備）の耐震性についての計算書」の「2.2 構造概要」による。

2.3 評価方針

スクリーン室は、設計基準対象施設においては、非常用取水設備である屋外重要土木構造物に、重大事故等対処施設においては、常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

スクリーン室の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の評価として、表2-1に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

地震応答解析においては、地震時の地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮できる有効応力解析を実施する。

有効応力解析に用いる地盤剛性及び液状化強度特性は、地盤の代表性及び網羅性を踏まえた上で、ばらつき等を考慮して設定する。

構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。

構造部材の健全性評価については、構造部材に生じる層間変形角及びせん断力が許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については、基礎地盤に生じる鉛直力が極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

スクリーン室の耐震評価フローを図2-1に示す。

ここで、スクリーン室は、運転時、設計基準事故時及び重大事故時の状態における圧力、温度等について、耐震評価における手法及び条件に有意な差異はなく、評価は設計基準対象施設の評価結果に包括されることから、設計基準対象施設の評価結果を用いた重大事故等対処施設の評価を行う。

表 2-1 スクリーン室の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界	
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	層間変形角及びせん断力が許容限界以下であることを確認	曲げ軸力	限界層間変形角*
				せん断力	せん断耐力*
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	鉛直力が許容限界以下であることを確認	極限支持力*	

注記* : 妥当な安全余裕を考慮する。

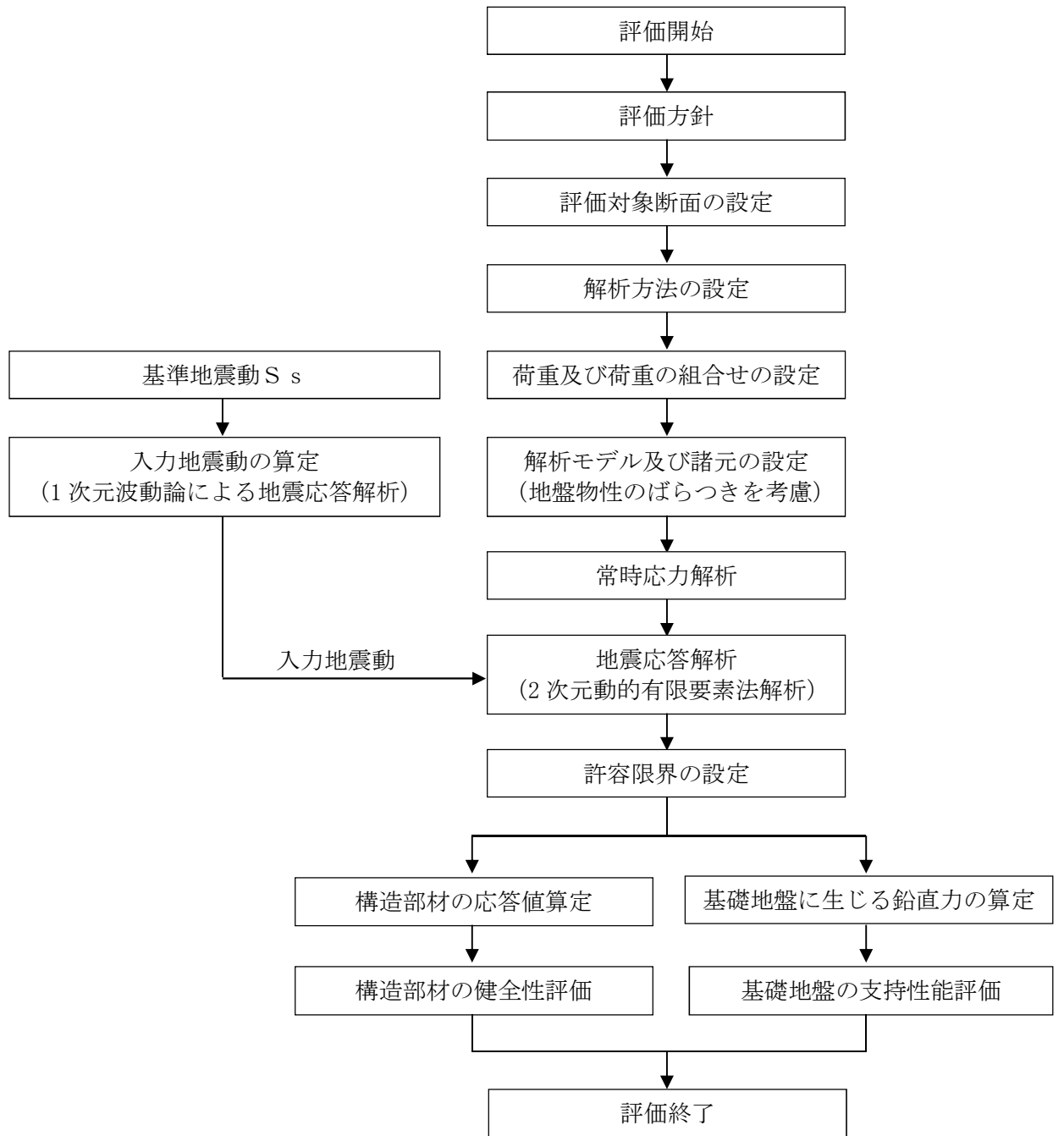


図 2-1 スクリーン室の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用基準は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-5「スクリーン室（6号機設備）の耐震性についての計算書」の「2.4 適用基準」による。

3. 耐震評価

耐震評価は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-2-10-3-1-5「スクリーン室（6号機設備）の耐震性についての計算書」の「3. 耐震評価」による。

4. 耐震評価結果

耐震評価結果は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-5「スクリーン室(6号機設備)の耐震性についての計算書」の「4. 耐震評価結果」による。

VI-2-10-3-1-5 スクリーン室（7号機設備）の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	2
2.4 適用基準	5
3. 耐震評価	6
4. 耐震評価結果	7

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、スクリーン室（7号機設備）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認するものである。

スクリーン室（7号機設備）に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価により行う。

2. 基本方針

2.1 位置

位置は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-2-10-3-1-4「スクリーン室の耐震性についての計算書」の「2.1 位置」による。

2.2 構造概要

構造概要は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-2-10-3-1-4「スクリーン室の耐震性についての計算書」の「2.2 構造概要」による。

2.3 評価方針

スクリーン室（7号機設備）は、常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

スクリーン室（7号機設備）の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、重大事故等対処施設の評価として、表2-1に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

地震応答解析においては、地震時の地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮できる有効応力解析を実施する。

有効応力解析に用いる地盤剛性及び液状化強度特性は、地盤の代表性及び網羅性を踏まえた上で、ばらつき等を考慮して設定する。

構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。

構造部材の健全性評価については、構造部材に生じる層間変形角及びせん断力が許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については、基礎地盤に生じる鉛直力が極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

スクリーン室（7号機設備）の耐震評価フローを図2-1に示す。

表 2-1 スクリーン室（7号機設備）の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界	
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	層間変形角及びせん断力が許容限界以下であることを確認	曲げ軸力	限界層間変形角*
				せん断力	せん断耐力*
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	鉛直力が許容限界以下であることを確認	極限支持力*	

注記* : 妥当な安全余裕を考慮する。

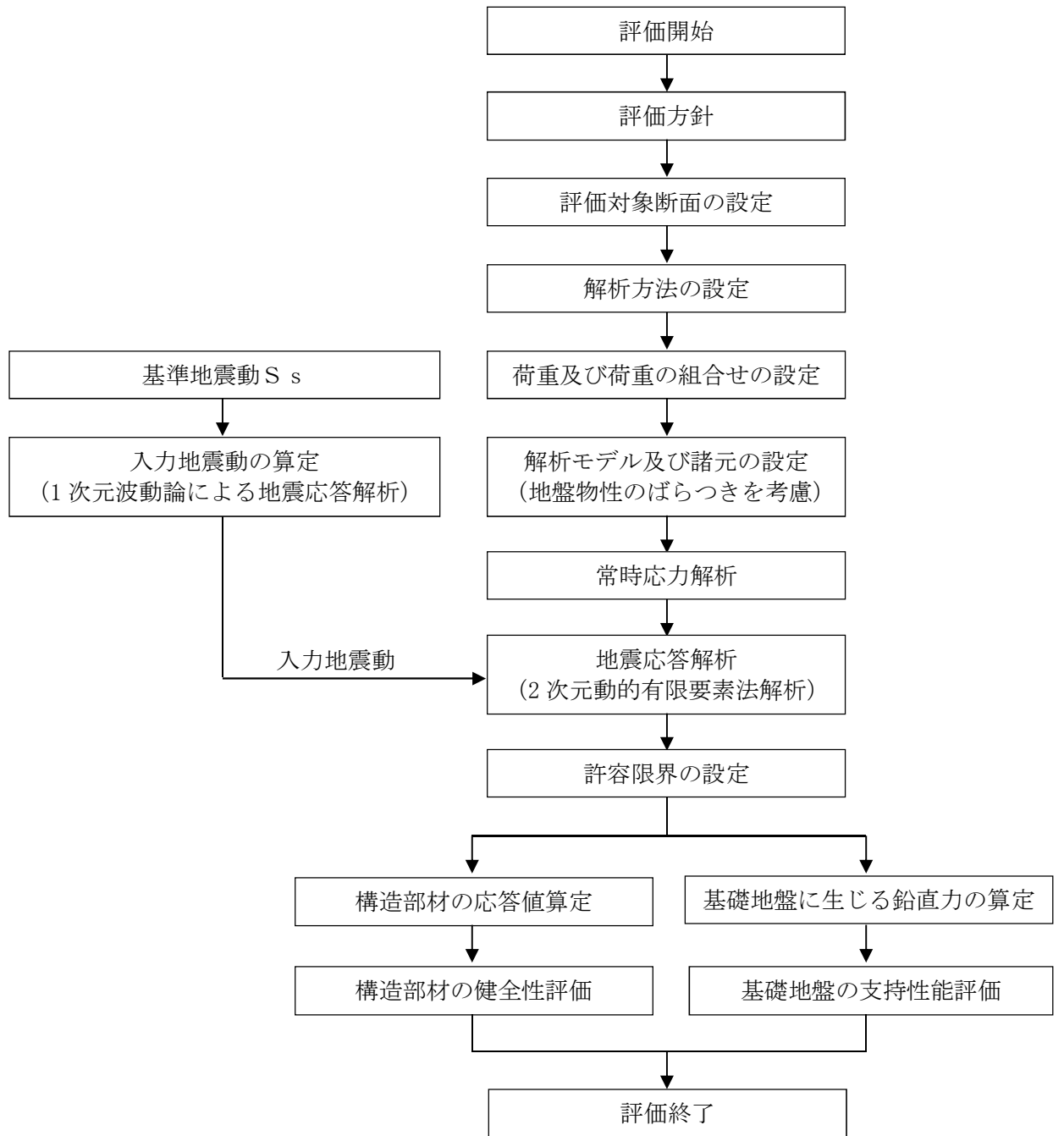


図 2-1 スクリーン室 (7号機設備) の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用基準は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-4「スクリーン室の耐震性についての計算書」の「2.4 適用基準」による。

3. 耐震評価

耐震評価は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-4「スクリーン室の耐震性についての計算書」の「3. 耐震評価」による。

4. 耐震評価結果

耐震評価結果は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-4「スクリーン室の耐震性についての計算書」の「4. 耐震評価結果」による。

VI-2-10-3-1-6 取水路の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	2
2.4 適用基準	5
3. 耐震評価	6
4. 耐震評価結果	7

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、取水路が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認するものである。

取水路に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価により行う。

2. 基本方針

2.1 位置

位置は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-2-10-3-1-7「取水路（6号機設備）の耐震性についての計算書」の「2.1 位置」による。

2.2 構造概要

構造概要は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-2-10-3-1-7「取水路（6号機設備）の耐震性についての計算書」の「2.2 構造概要」による。

2.3 評価方針

取水路は、設計基準対象施設においては、非常用取水設備である屋外重要土木構造物に、重大事故等対処施設においては、常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

取水路の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の評価として、表2-1に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

地震応答解析においては、地震時の地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮できる有効応力解析を実施する。

有効応力解析に用いる地盤剛性及び液状化強度特性は、地盤の代表性及び網羅性を踏まえた上で、ばらつき等を考慮して設定する。

構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。

構造部材の健全性評価については、構造部材に生じる層間変形角及びせん断力が許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については、基礎地盤に生じる鉛直力が極限支持力に基づく許容限界以下であること、若しくは基礎地盤に生じる接地圧が極限支持力度に基づく許容限界以下であることを確認する。

取水路の耐震評価フローを図2-1に示す。

ここで、取水路は、運転時、設計基準事故時及び重大事故時の状態における圧力、温度等について、耐震評価における手法及び条件に有意な差異はなく、評価は設計基準対象施設の評価結果に包括されることから、設計基準対象施設の評価結果を用いた重大事故等対処施設の評価を行う。

表 2-1 取水路の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界	
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	層間変形角及びせん断力が許容限界以下であることを確認	曲げ軸力	限界層間変形角*
				せん断力	せん断耐力*
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	鉛直力又は接地圧が許容限界以下であることを確認	極限支持力* 又は極限支持力度*	

注記* : 妥当な安全余裕を考慮する。

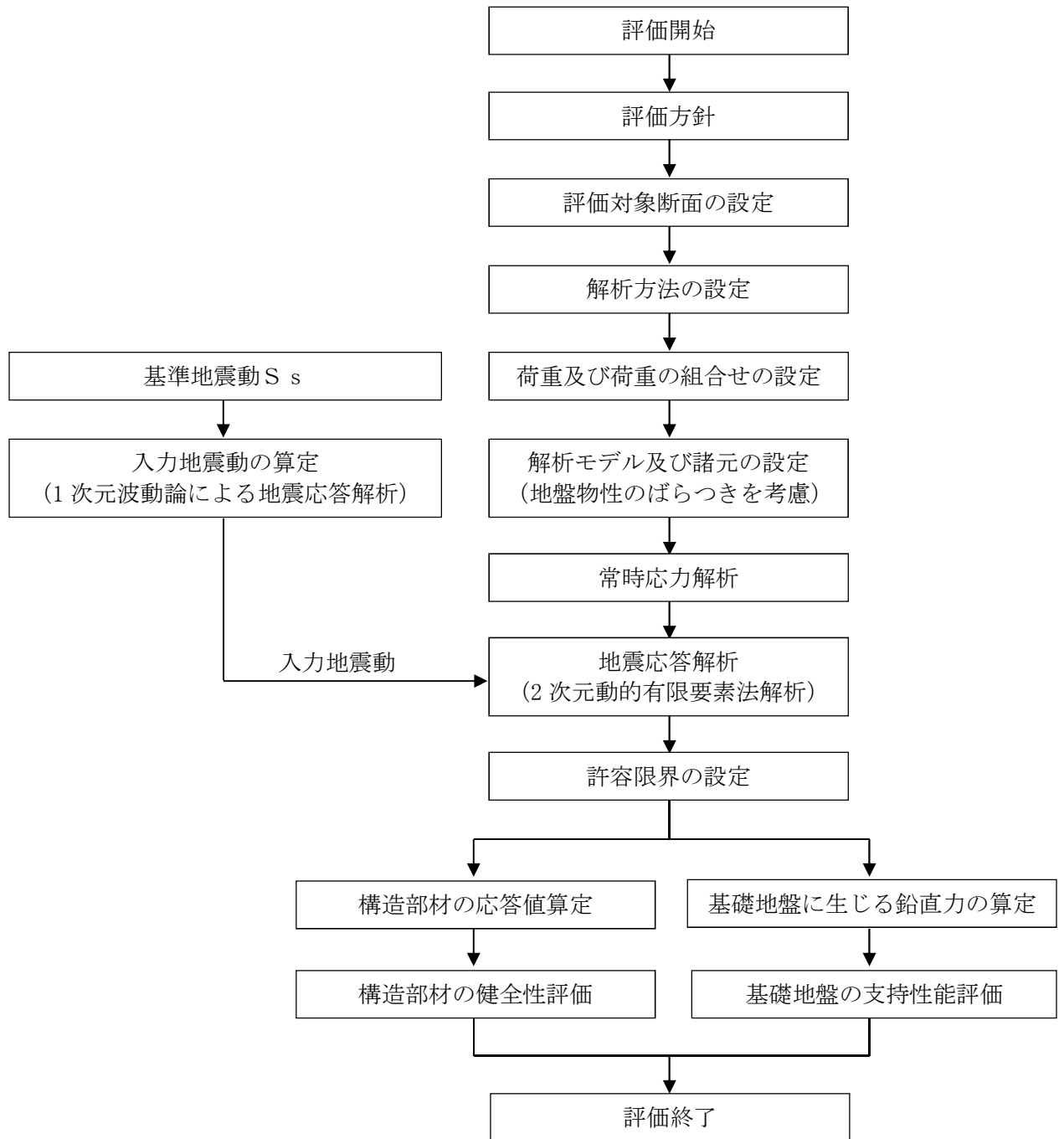


図 2-1 取水路の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用基準は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-7「取水路（6号機設備）の耐震性についての計算書」の「2.4 適用基準」による。

3. 耐震評価

耐震評価は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-7「取水路（6号機設備）の耐震性についての計算書」の「3. 耐震評価」による。

4. 耐震評価結果

耐震評価結果は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-7「取水路（6号機設備）の耐震性についての計算書」の「4. 耐震評価結果」による。

VI-2-10-3-1-7 取水路（7号機設備）の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	2
2.3 評価方針	2
2.4 適用基準	5
3. 耐震評価	6
4. 耐震評価結果	7

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、取水路（7号機設備）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認するものである。

取水路（7号機設備）に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価により行う。

2. 基本方針

2.1 位置

位置は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-6「取水路の耐震性についての計算書」の「2.1 位置」による。

2.2 構造概要

構造概要は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-6「取水路の耐震性についての計算書」の「2.2 構造概要」による。

2.3 評価方針

取水路（7号機設備）は、常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

取水路（7号機設備）の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、重大事故等対処施設の評価として、表2-1に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

地震応答解析においては、地震時の地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮できる有効応力解析を実施する。

有効応力解析に用いる地盤剛性及び液状化強度特性は、地盤の代表性及び網羅性を踏まえた上で、ばらつき等を考慮して設定する。

構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。

構造部材の健全性評価については、構造部材に生じる層間変形角及びせん断力が許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については、基礎地盤に生じる鉛直力が極限支持力に基づく許容限界以下であること、若しくは基礎地盤に生じる接地圧が極限支持力度に基づく許容限界以下であることを確認する。

取水路（7号機設備）の耐震評価フローを図2-1に示す。

表 2-1 取水路（7号機設備）の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界	
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	層間変形角及びせん断力が許容限界以下であることを確認	曲げ軸力	限界層間変形角*
				せん断力	せん断耐力*
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	鉛直力又は接地圧が許容限界以下であることを確認	極限支持力* 又は極限支持力度*	

注記* : 妥当な安全余裕を考慮する。

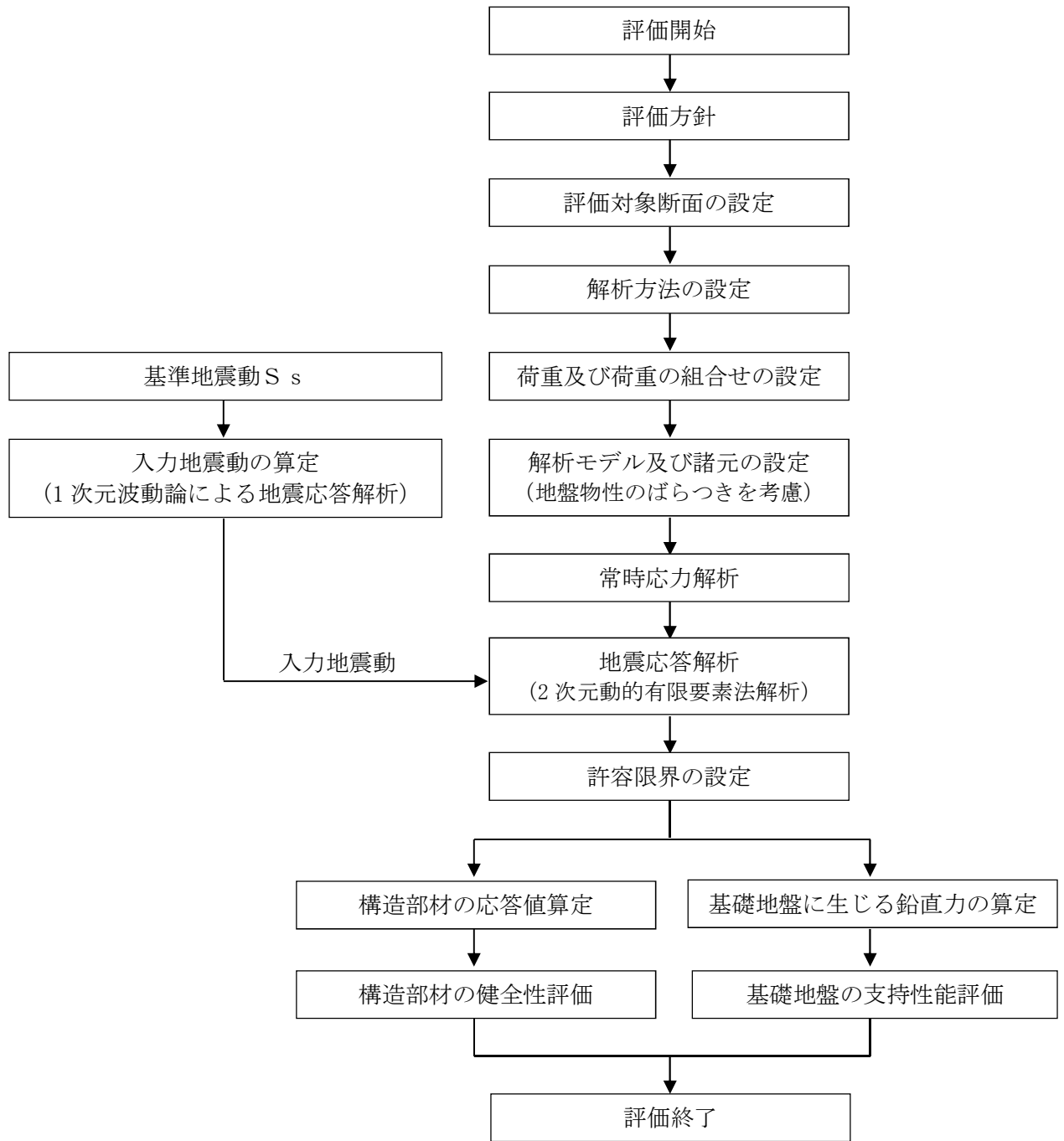


図 2-1 取水路（7号機設備）の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用基準は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-6「取水路の耐震性についての計算書」の「2.4 適用基準」による。

3. 耐震評価

耐震評価は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-6「取水路の耐震性についての計算書」の「3. 耐震評価」による。

4. 耐震評価結果

耐震評価結果は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事計画のV-2-10-3-1-6「取水路の耐震性についての計算書」の「4. 耐震評価結果」による。

別紙 取水路立坑の健全性評価について

目次

1. 概要	1
-------------	---

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、取水路立坑（水路部）（以下「水路部」という。）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していること及び取水路立坑（立坑部）（以下「立坑部」という。）が、下部に設置された水路部に対して、地震時に波及的影響を及ぼさないことを確認するものである。

水路部が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していること及び立坑部が、下部に設置された水路部に対して、地震時に波及的影響を及ぼさないことに関する説明は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事計画のV-2-10-3-1-6 別紙「取水路立坑の健全性評価について」による。