

本資料のうち、枠囲みの内容は
商業機密の観点から公開できま
せん。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-19-0134_改2
提出年月日	2021年9月29日

VI-2-10-2-8 浸水防止蓋の耐震性についての計算書

2021年9月

東北電力株式会社

目 次

- VI-2-10-2-8-1 浸水防止蓋（原子炉機器冷却海水配管ダクト）の耐震性についての計算書
- VI-2-10-2-8-2 浸水防止蓋（揚水井戸（第2号機海水ポンプ室防潮壁区画内））の耐震性についての計算書
- VI-2-10-2-8-3 浸水防止蓋（揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内））の耐震性についての計算書
- VI-2-10-2-8-4 浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ピット）の耐震性についての計算書
- VI-2-10-2-8-5 浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋）の耐震性についての計算書
- VI-2-10-2-8-6 浸水防止蓋（第2号機軽油タンクエリア）の耐震性についての計算書

VI-2-10-2-8-1 浸水防止蓋（原子炉機器冷却海水配管ダクト）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	11
4.	固有値解析	13
4.1	固有振動数の計算方法	13
4.2	固有振動数の計算条件	14
4.3	固有振動数の計算結果	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
5.3	許容限界	16
5.4	設計用地震力	18
5.5	評価方法	19
5.6	評価条件	39
6.	評価結果	44

1. 概要

本資料は、添付書類「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浸水防止蓋（原子炉機器冷却海水配管ダクト）（以下、「浸水防止蓋」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確認するものである。その耐震評価は浸水防止蓋の固有値解析及び応力評価により行う。

浸水防止蓋は、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。

なお、浸水防止蓋の耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

浸水防止蓋は，原子炉機器冷却海水配管ダクト上部に設置する。

浸水防止蓋の設置位置図を図 2-1 に示す。

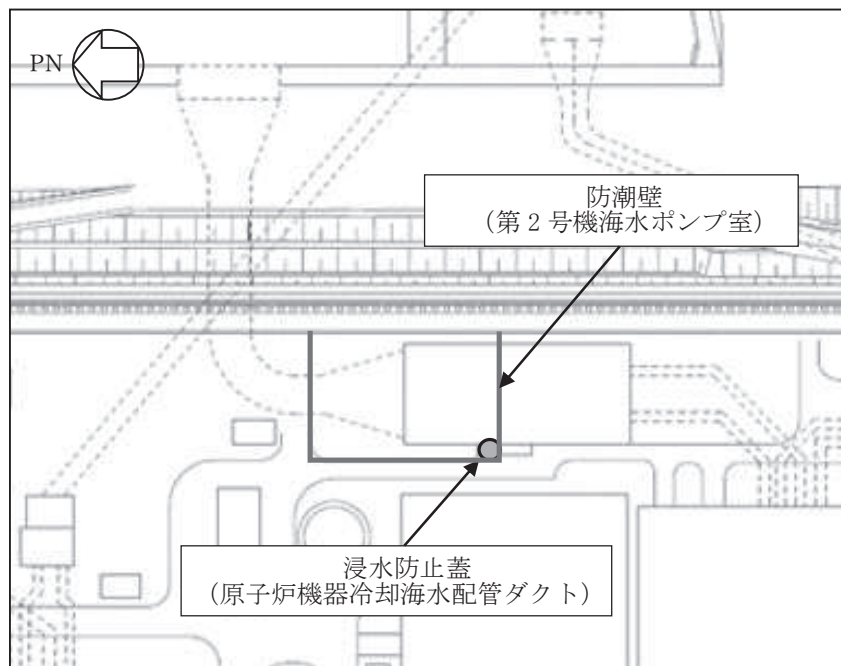


図 2-1 浸水防止蓋の設置位置図

2.2 構造計画

浸水防止蓋の構造は、長方形のスキンプレートに主桁（H 型鋼）を組み合わせた浸水防止蓋と、メンテナンス等のため開閉を行うハッチを組み合わせた構造とする。

浸水防止蓋は、原子炉機器冷却海水配管ダクト上部に固定ボルトにて固定する。浸水防止蓋の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 浸水防止蓋の構造計画

計画の概要		構造概略図
基礎・支持構造	主体構造	
原子炉機器冷却海水配管ダクト上部に固定ボルトで固定する。	浸水防止蓋，ハッチ及び固定ボルトにより構成する。	

2.3 評価方針

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「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」に示す浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」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。

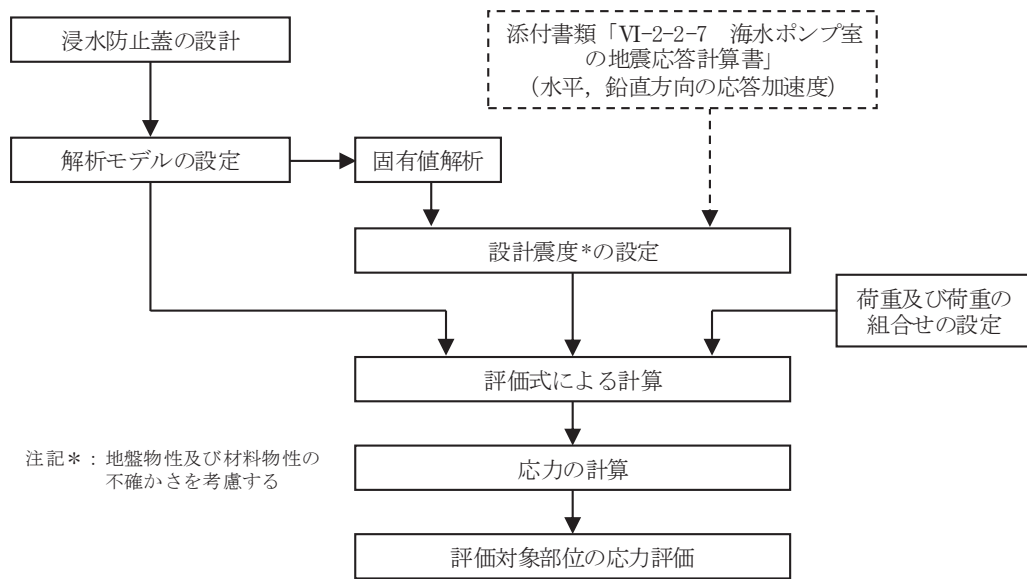


図2-2 耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 日本建築学会 2005年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—
- (2) 日本建築学会 2010年 各種合成構造設計指針・同解説
- (3) 機械工学便覧（日本機械学会）
- (4) ダム堰施設技術協会 平成28年 ダム堰施設技術基準（案）（基準解説編設備計画マニュアル編）

2.5 記号の説明

浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 (1) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (主桁, スキンプレート, 固定ボルト)

記号	単位	定義
S_s	kN	基準地震動 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
P_s	kN	積雪荷重
W_s	N/m ²	1 cm 当りの積雪荷重
d_s	cm	積雪高さ
A	m ²	浸水防止蓋の面積
$W_{s s}$	kN/m ²	単位面積当りの等分布荷重
$W_{s s}'$	kN/m	単位長さ当りの等分布荷重
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	主桁全長
L_3	mm	固定ボルト中心位置から主桁 (戸当り部) 中心までの距離
L_4	mm	スキンプレートの支持長辺長さ
L_5	mm	スキンプレートの支持短辺長さ
B	mm	主桁 (戸当り部) 下フランジの有効幅
t_b	mm	主桁 (戸当り部) 下フランジの厚さ
β_2	—	スキンプレートの辺長比に応じた係数
t	mm	スキンプレートの厚さ
N	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数
T_d	kN	固定ボルト 1 本当りに作用する引張力
q	kN	固定ボルト 1 本当りに作用するせん断力

表 2-2 (2) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
共通	W_{HR}	kN	水平荷重 (回転軸直角方向)
	W_{HP}	kN	水平荷重 (回転軸平行方向)
	W_V	kN	鉛直荷重
	W_R	kN	水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力
	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	ハッチの固定荷重
	P_s	kN	積雪荷重
	L_c	mm	ハッチ中心から回転軸までの水平距離
	L_h	mm	ヒンジ支点間水平距離
	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重
F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	
ヒンジプレート (ハッチ側)	σ_N	N/mm ²	軸方向引張応力度
	σ_{bR}	N/mm ²	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	σ_{bP}	N/mm ²	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	σ_{bV1}	N/mm ²	鉛直方向荷重の曲げ応力度
	τ_R	N/mm ²	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	τ_P	N/mm ²	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	τ_v	N/mm ²	回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度
	τ_{PX}	N/mm ²	合成応力度
	σ	N/mm ²	合成応力度
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)
	Z_p	mm ³	極断面係数
A	mm ²	断面積	

表 2-2 (3) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジプレート (スキンプレート側)	σ_N	N/mm ²	軸方向引張応力度
	σ_{bR}	N/mm ²	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	σ_{bP}	N/mm ²	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	τ_R	N/mm ²	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	τ_P	N/mm ²	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離
	Z_3	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)
	Z_4	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)
	A	mm ²	断面積
	B	mm	ヒンジプレート幅
t	mm	ヒンジプレート板厚	
ヒンジピン	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	ヒンジ支点間距離
	B	mm	荷重の載荷長
	Z	mm ³	断面係数
	A	mm ²	ヒンジピンの断面積
	D	mm	ヒンジピンの直径

表 2-2 (4) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジ 固定 ボルト	σ	N/mm ²	引張応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	P	kN	ボルト引張力
	P _R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	P _P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	P _V	kN	鉛直方向荷重による引張力
	Q	kN	ボルトせん断力
	Q _R	kN	回転軸直角方向によるせん断力
	Q _P	kN	回転軸平行方向によるせん断力
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離
	L _V	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ
	L _H	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ
	N _H	本	回転軸平行方向のボルト本数
N _V	本	回転軸直角方向のボルト本数	
エンド プレート	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	P	kN	ボルト引張力
	P _R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	P _P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	P _V	kN	鉛直方向荷重による引張力
	Z	mm ³	断面係数
	B	mm	有効断面幅
	A	mm ²	エンドプレートの有効断面積
	L	mm	ヒンジ板表面からボルト穴までの距離
t	mm	エンドプレートの板厚	

表 2-2 (5) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
スイングボルト	σ	N/mm ²	引張応力度
	A	mm ²	断面積
スイングボルトピン	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	ヒンジ支点間距離
	B	mm	荷重の載荷長
	Z	mm ³	断面係数
	A	mm ²	スイングボルトピンの断面積
	D	mm	スイングボルトピンの直径
ナット受部	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	F _{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重
	L	mm	腕長さ
	Z	mm ³	断面係数
	B	mm	有効断面幅
	A	mm ²	ナット受部の有効断面積
スイングボルトピン受部	t	mm	ナット受部の板厚
	σ	N/mm ²	引張応力度
	R _{v2}	kN	スイングボルトピン受金具が負担する締付部に作用する鉛直荷重
	A	mm ²	スイングボルトピン受部の断面積
	B	mm	スイングボルトピン受部の幅
t	mm	スイングボルトピン受部の板厚	

3. 評価対象部位

浸水防止蓋の評価対象部位は、「2.2 構造計画」に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。

浸水防止蓋の本体（ハッチ部以外）については、地震に伴う慣性力が浸水防止蓋のスキンプレート、主桁に伝わり、浸水防止蓋を固定する固定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、主桁及び固定ボルトを評価対象部位として設定する。浸水防止蓋のハッチ部については、閉止時を基本とした荷重の作用方向及び伝達過程を考慮する。ハッチ部に作用する慣性力は、ヒンジ部（ヒンジプレート（ハッチ側、スキンプレート側）、ヒンジピン、ヒンジ固定ボルト及びエンドプレート）及び締付部（スイングボルト、スイングボルトピン、ナット受部及びスイングボルトピン受部）を介して受桁に伝達されることから、ヒンジ部及び締付部の各部位を評価対象部位として設定する。評価対象部位を図3-1に示す。

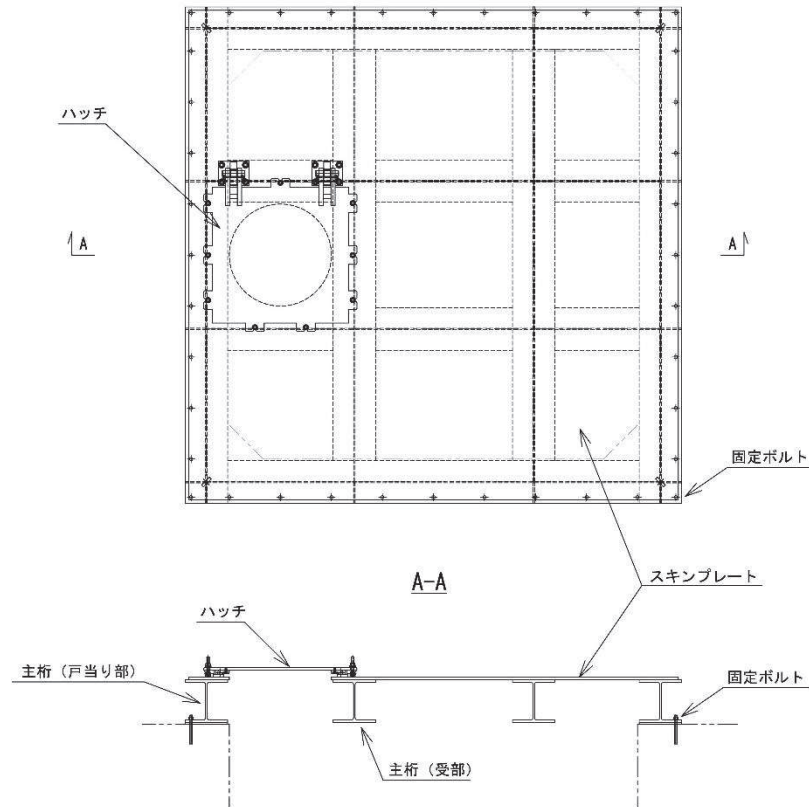
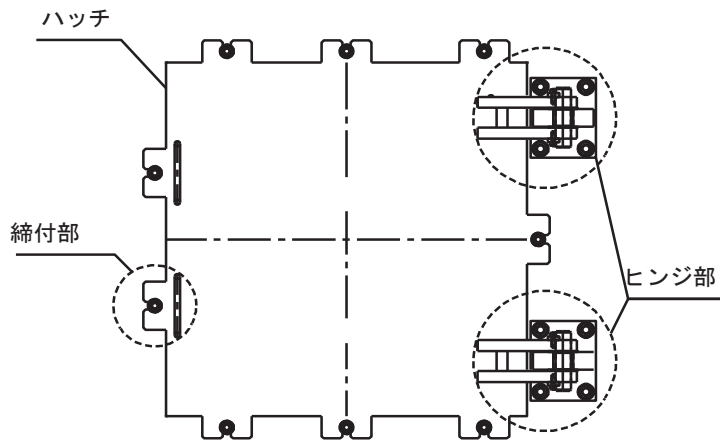
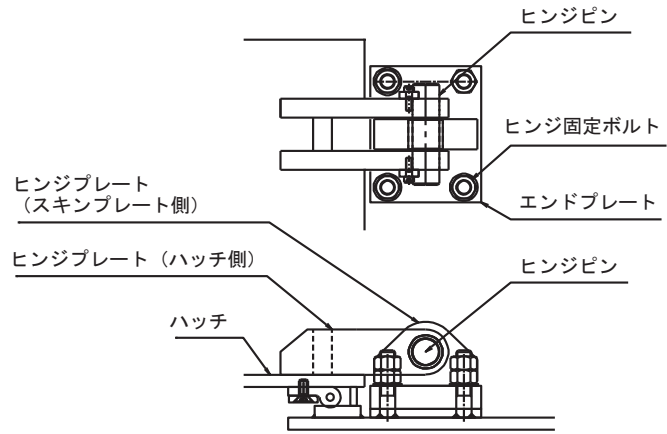


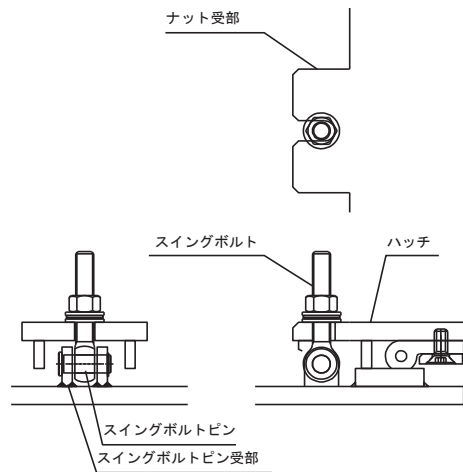
図3-1 (1) 評価対象部位（スキンプレート、主桁及び固定ボルト）



(ハッチ部の構造概要)



(ヒンジ部の評価対象部位)



(締付部の評価対象部位)

図 3-1 (2) 評価対象部位 (ハッチ部)

4. 固有値解析

4.1 固有振動数の計算方法

浸水防止蓋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

浸水防止蓋は、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、固定ボルトを介し、浸水防止蓋と躯体を固定する構造であることから、浸水防止蓋の主桁を両端ピン支持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。

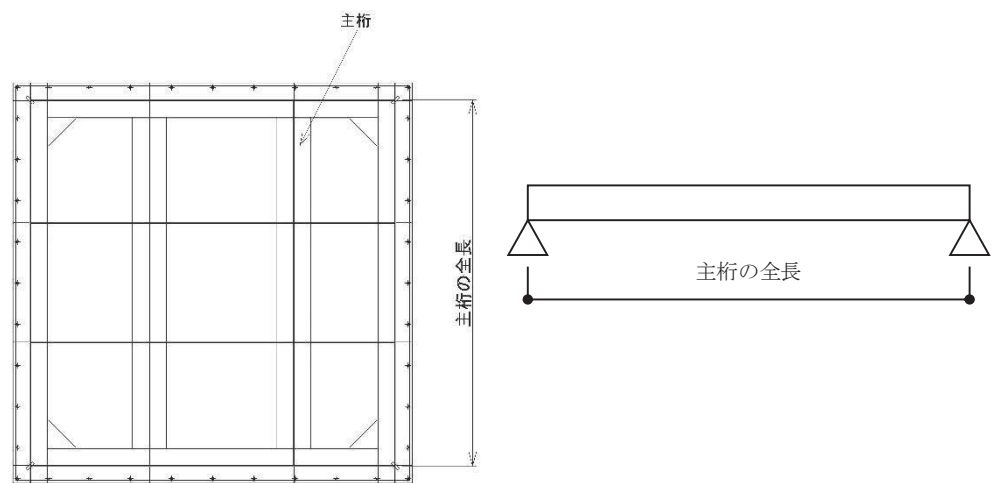


図4-1 浸水防止蓋の固有値解析モデル

4.1.2 記号の説明

浸水防止蓋の固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 浸水防止蓋の固有振動数の計算に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	一次固有振動数
L	mm	はりの長さ
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/mm	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。

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

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

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/mm)
2670	2.05×10 ⁵	3.65×10 ⁷	7.18×10 ⁻²

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 固有振動数の計算条件

固有振動数 (Hz)	71.13
---------------	-------

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「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」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

浸水防止蓋の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s + P_s$$

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)
 P_s : 積雪荷重 (kN)

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、浸水防止蓋を構成する部材の自重を考慮する。

(2) 積雪荷重(P_s)

積雪荷重として、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち、添付書類「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき 43cm の積雪量を想定し、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮する。

積雪荷重による質量は以下に式より算出する。

$$P_s = 0.35 \cdot W_s \cdot d_s \cdot A \cdot 10^{-3}$$

ここで、
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 W_s : 1cm 当りの積雪荷重 20 (N/m²)
 d_s : 積雪高さ 43 (cm)
 A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

(3) 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。地震荷重は浸水防止蓋の固定荷重及び積雪荷重に設計震度を乗じた次式により算出する。

$$S_s = (G + P_s) \cdot k$$

- 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)
 - P_s : 積雪荷重 (kN)
 - k : 基準地震動 S_s の設計震度

5.3 許容限界

許容限界は、添付書類「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

浸水防止蓋を構成する各部材の使用材料を表 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	SM490Y	t = 16 (mm)
ハッチ	SM490Y	t = 16 (mm)
主桁	SM490Y	H-250×250×9×14 (mm)
固定ボルト	SM490Y	M16
ヒンジプレート	SM490Y	ハッチ側 t = 25 (mm) スキンプレート側 t = 40 (mm)
ヒンジピン	SM490Y	径 40 (mm)
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	M20
エンドプレート	SM490Y	t = 32 (mm)
スイングボルト	SM490Y	M16
スイングボルトピン	SM490Y	径 16 (mm)
ナット受部	SM490Y	t = 16 (mm)
スイングボルトピン受部	SM490Y	t = 9 (mm)

5.3.2 許容限界

(1) スキンプレート、主桁

鋼材の許容応力度は、「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」を踏まえて表 5-2 の値とする。

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	せん断
SM490Y	325	188

(2) 固定ボルト

固定ボルトの許容荷重は、「3. 評価対象部位」に記載した固定ボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定する。

地震荷重を考慮する場合の固定ボルトの許容荷重を表 5-3 に示す。

なお、固定ボルトは躯体に埋め込まれていることから、固定ボルトが引張力を受ける場合においては、固定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、固定ボルトがせん断力を受ける場合においては、固定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固定ボルトの短期許容荷重

材質	短期許容荷重 (kN)	
	引張	せん断
SM490Y	37.7	32.9

(3) ハッチ部

ハッチを構成する各部材の許容値は、「ダム堰施設技術協会 平成 28 年 ダム堰施設技術基準（案）（基準解説編設備計画マニュアル編）」を踏まえて表 5-4 の値とする。

表 5-4 ハッチを構成する各部材の許容限界

評価対象部位	材質	短期許容応力度 (N/mm ²)		
		曲げ	せん断	引張
ヒンジプレート (ハッチ側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジプレート (スキンプレート側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジピン	SM490Y	265	153	—
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	265	153	—
エンドプレート	SM490Y	265	153	—
スイングボルト	SM490Y	—	—	265
スイングボルトピン	SM490Y	273	157	—
ナット受部	SM490Y	273	157	—
スイングボルトピン受部	SM490Y	—	—	273

5.4 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり、浸水防止蓋の固有振動数は 20Hz 以上であることを確認したため、浸水防止蓋の耐震評価に用いる設計震度は、海水ポンプ室の地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮したものとして添付書類「VI-2-2-7 海水ポンプ室の地震応答計算書」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 5-5 に示す。

表 5-5 設計震度

設置場所	床面高さ (m)	基準地震動 S _s の設計震度	
		水平方向 k _H	鉛直方向 k _V
原子炉機器冷却 海水配管ダクト	O.P. 14.0	4.92	2.15

5.5 評価方法

浸水防止蓋を構成する各部材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。主桁については、スキンプレートからの荷重を主で負担する主桁（受部）と固定ボルトで躯体と固定する主桁（戸当り部）の評価を実施する。主桁（受け部）の評価は、評価上最も厳しい条件となる断面で実施する。主桁（戸当り部）については、スキンプレートに上向きの荷重が作用する場合の主桁と固定ボルトの偏心荷重による主桁（戸当り部）下フランジに対して評価を実施する。図 5-1 に評価の対象とする主桁を示す。スキンプレートについては、評価上最も厳しい条件となる断面で評価を実施する。図 5-2 に評価の対象とするスキンプレートを示す。また、図 5-3 に固定ボルトの納まりを示す。

5.5.1 主桁

(1) 主桁（受部）

主桁（受部）の支持条件は両端をピン支持とし、図 5-1 に示すとおり、主桁（受部）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

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

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)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 k_v : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

(b) 主桁（受部）に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 $W_{s s'}$

$$W_{s s'} = (G + S_s + P_s) \cdot L_1 \cdot 10^{-3} / A$$

ここで、 $W_{s s'}$: 主桁（受部）に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)
 G : 主桁とスキンプレートの固定荷重 (kN)
 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 L_1 : 主桁（受部）の負担幅 (mm)
 A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

(c) 主桁 (受部) に作用する最大せん断応力度 τ

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

τ : 主桁 (受部) に作用する最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 主桁 (受部) に作用する最大せん断力 (kN)

A_s : 主桁 (受部) のせん断断面積 (mm²)

ここで, $Q = 1/2 \cdot W_{s s'} \cdot L_2 \cdot 10^{-3}$

Q : 主桁 (受部) に作用する最大せん断力 (kN)

$W_{s s'}$: 主桁 (受部) 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_2 : 主桁 (受部) 全長 (mm)

(d) 主桁 (受部) に作用する最大曲げ応力度 σ

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

σ : 主桁 (受部) に作用する最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 主桁 (受部) 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, $M = 1/8 \cdot W_{s s'} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2$

M : 主桁 (受部) に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

$W_{s s'}$: 主桁 (受部) 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_2 : 主桁 (受部) 全長 (mm)

(e) 主桁 (受部) に作用する組合せ応力度

主桁 (受部) 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「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」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。

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

ここで, x : 組合せ応力度 (N/mm²)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

(2) 主桁（戸当り部）下フランジ

図 5-1 に示すとおり，スキンプレートに上向きの荷重が作用する場合の主桁（戸当り部）と固定ボルトの偏心荷重による主桁（戸当り部）下フランジに対して，支持条件を片持ち梁として評価を実施する。

(a) 基準地震動 S_s による地震荷重 S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

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)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 k_v : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

(b) 主桁（戸当り部）下フランジに作用する最大曲げ応力度 σ

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

σ : 主桁（戸当り部）下フランジに作用する最大曲げ応力度 (N/mm²)
 M : 主桁（戸当り部）下フランジに作用する最大曲げモーメント (kN・m)
 Z : 主桁（戸当り部）下フランジの断面係数 (mm³)

$$\text{ここで， } M = T_d \cdot L_3 \cdot 10^{-3}$$

$$Z = (B \cdot t_b) / 6$$

M : 主桁（戸当り部）下フランジに作用する最大曲げモーメント (kN・m)
 T_d : 固定ボルト 1 本当りに作用する引張力 (kN)
 L_3 : 固定ボルト中心位置から主桁（戸当り部）中心位置までの距離 (mm)
 B : 主桁（戸当り部）下フランジの有効幅 (mm)
 t_b : 主桁（戸当り部）下フランジの厚さ (mm)

(c) 主桁（戸当り部）下フランジに作用する最大せん断応力度 τ

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

τ : 主桁（戸当り部）下フランジに作用する最大せん断応力度 (N/mm²)
 Q : 主桁（戸当り部）下フランジに作用する最大せん断力 (kN)
 A_s : 主桁（戸当り部）下フランジのせん断断面積 (mm²)

$$\text{ここで， } Q = T_d$$

T_d : 固定ボルト 1 本当りに作用する引張力 (kN)

(d) 主桁（戸当り部）下フランジに作用する組合せ応力度

主桁（戸当り部）下フランジ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「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」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。

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

ここで、
 x : 組合せ応力度 (N/mm²)
 σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
 τ : せん断応力度 (N/mm²)

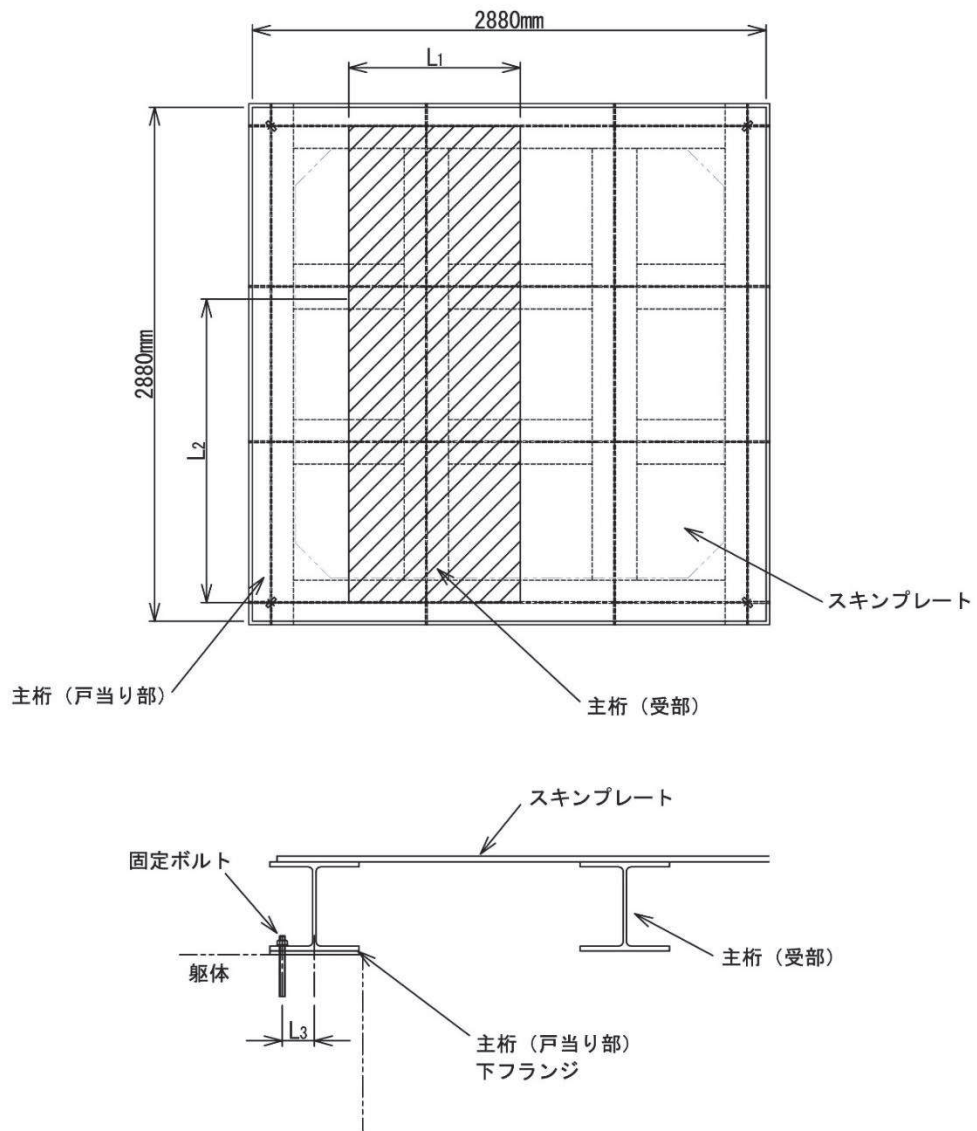


図 5-1 評価の対象とする主桁

5.5.2 スキンプレート

スキンプレートの支持条件は四辺固定とし、図 5-2 に示すとおり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。曲げ応力及びせん断応力は「機械工学便覧（日本機械学会）」より以下の式にて算出する。

(1) 基準地震動 S_s による地震荷重 S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

ここで、 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)
 P_s : 積雪荷重 (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面積当りの鉛直方向の荷重 W_{ss}

$$W_{ss} = (G + S_s + P_s) / A$$

ここで、 W_{ss} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m²)
 G : スキンプレートの固定荷重 (kN)
 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

(3) スキンプレートに作用する最大曲げ応力度 σ

スキンプレートに作用する曲げ応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\sigma = \beta_2 \cdot W_{ss} \cdot L_s^2 \cdot 10^{-3} / t^2$$

ここで、 σ : スキンプレートに作用する最大曲げ応力度 (N/mm²)
 β_2 : スキンプレートの辺長比に応じた係数
 W_{ss} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m²)
 L_s : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)
 t : スキンプレートの厚さ (mm)

(4) スキンプレートに作用する最大せん断応力度 τ

スキンプレートに作用するせん断応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\tau = W_{ss} \cdot L_4 \cdot L_5 \cdot 10^{-3} / (t \cdot (L_4 + L_5) \cdot 2)$$

- ここで、
- τ : スキンプレートに作用する最大せん断応力度 (N/mm²)
 - W_{ss} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m²)
 - L_4 : スキンプレートの支持長辺長さ (mm)
 - L_5 : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)
 - t : スキンプレートの厚さ (mm)

(5) スキンプレートに作用する組合せ応力度

スキンプレートに作用する曲げ応力度，せん断応力度を算定し，スキンプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。また，スキンプレート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「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」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。

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

- ここで、
- x : 組合せ応力度 (N/mm²)
 - σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
 - τ : せん断応力度 (N/mm²)

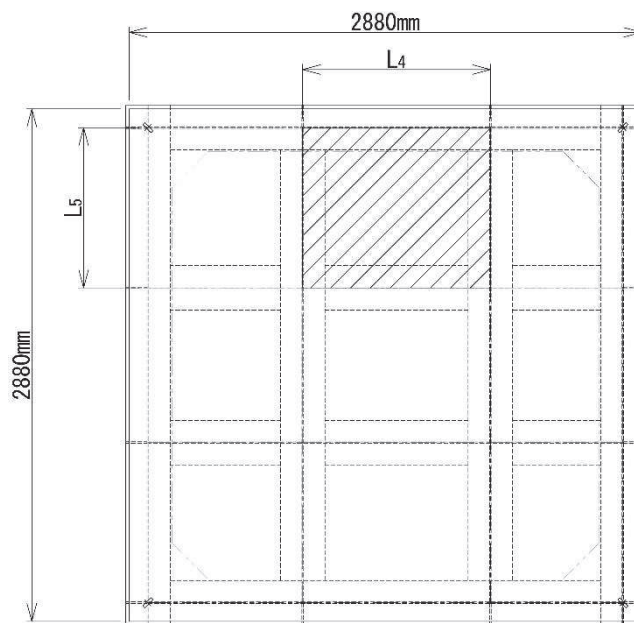


図 5-2 評価の対象とするスキンプレート

5.5.3 固定ボルト

- (1) 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_H$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)
 G : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (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

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_V$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)
 G : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 k_V : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

- (3) 固定ボルトに作用する引張力 T_d

$$T_d = S_s / N$$

ここで、 T_d : 固定ボルト 1 本当りに作用する引張力 (kN)
 S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)
 N : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数

- (4) 固定ボルトに作用するせん断力 q

$$q = S_s / N$$

ここで、 q : 固定ボルト 1 本当りに作用するせん断力 (kN)
 S_s : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)
 N : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数

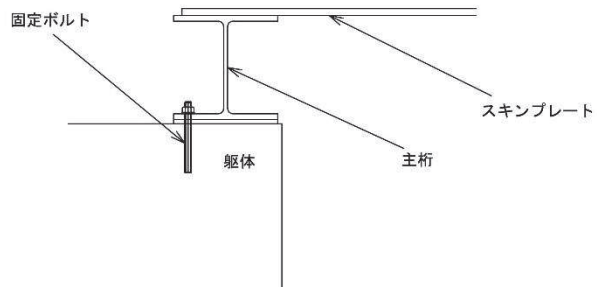
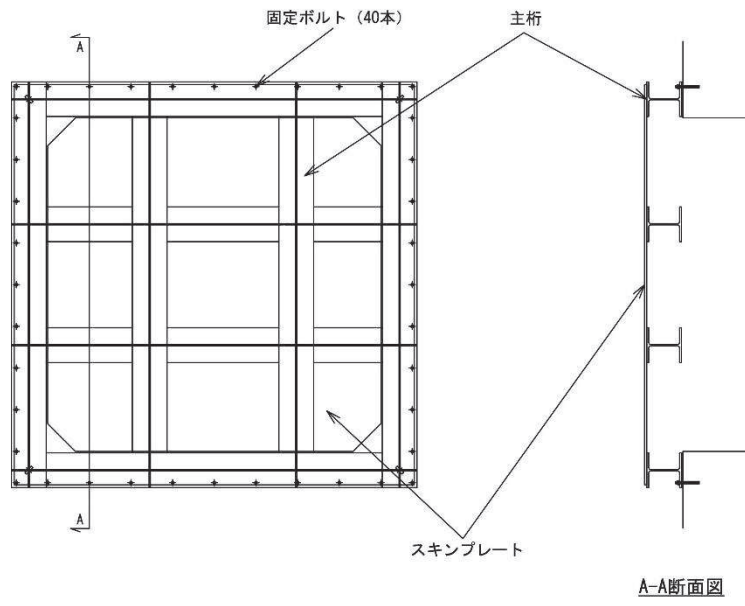


図 5-3 固定ボルトの納まり

5.5.4 ハッチ固定部

ハッチのヒンジ部及び締付部の構造概要を図5-4に、荷重算定式を図5-5に示す。ヒンジ部及び締付部の評価は、荷重の作用方向及び伝達過程を考慮する。ヒンジ部についてはヒンジプレート（ハッチ側，スキンプレート側），ヒンジピン，ヒンジ固定ボルト及びエンドプレートについて評価を行う。締付部については，スイングボルト，スイングボルトピン，ナット受部及びスイングボルトピン受部について評価を行う。

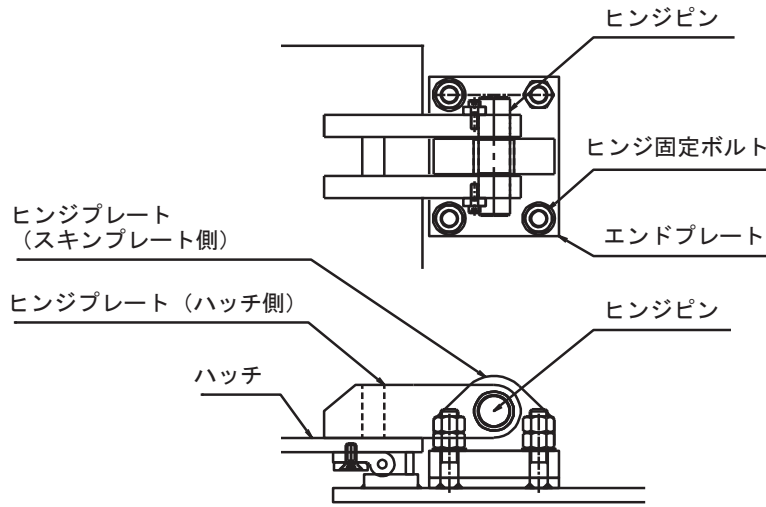


図5-4 (1) ヒンジ部の構造概要

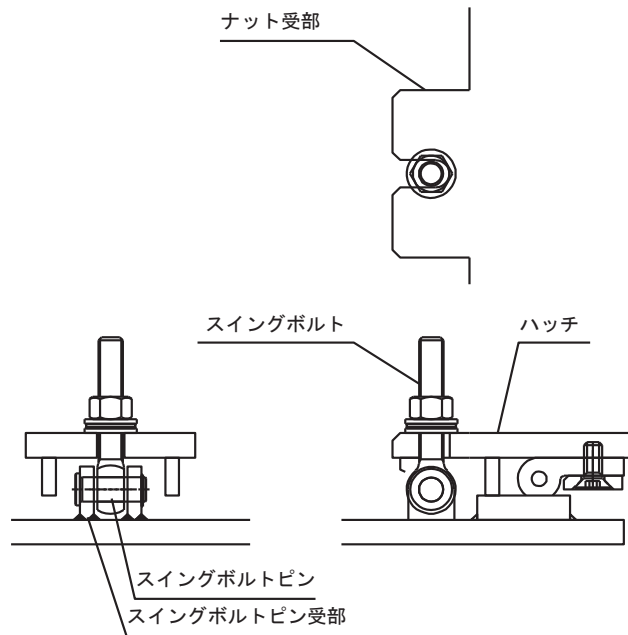
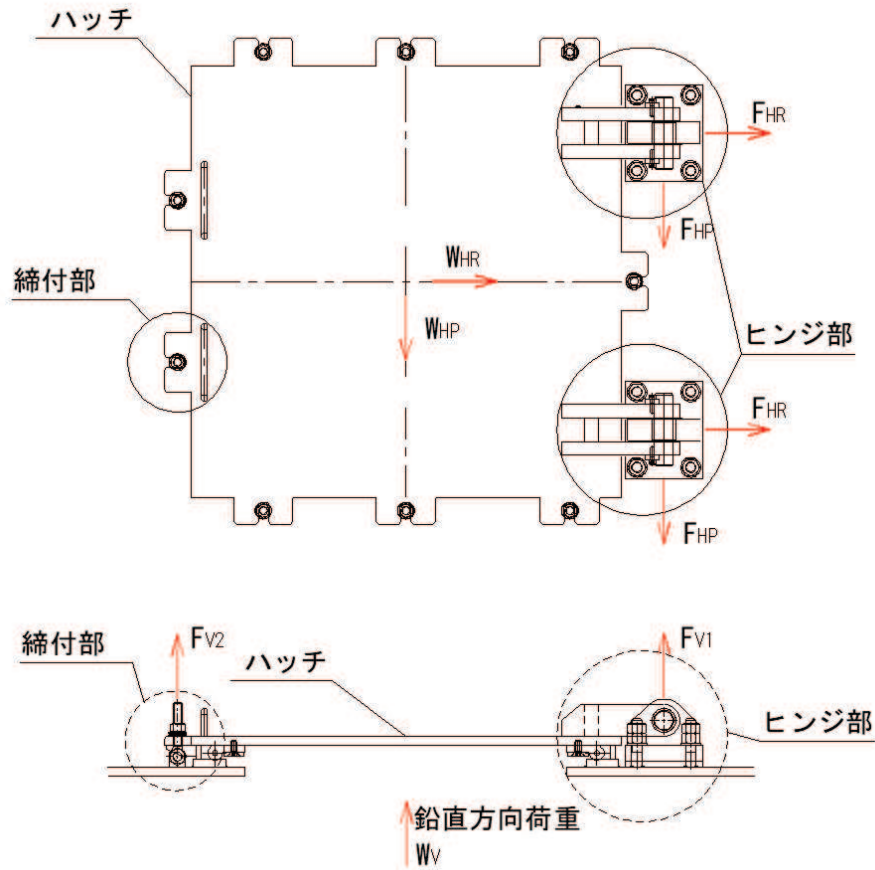


図5-4 (2) 締付部の構造概要



$$\begin{aligned}
 W_{HR} &= (G + P_s) \cdot k_H \\
 W_{HP} &= (G + P_s) \cdot k_H \\
 W_V &= (G + P_s) \\
 &\quad + (G + P_s) \cdot k_V \\
 F_{HR} &= \alpha_1 \cdot W_{HR} + W_R \\
 F_{HP} &= \alpha_2 \cdot W_{HP} \\
 F_{V1} &= \alpha_3 \cdot W_V \\
 F_{V2} &= \beta \cdot W_V
 \end{aligned}$$

ここで、

$$W_R = W_{HP} \cdot L_c / L_h$$

- W_{HR} : 水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- W_{HP} : 水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- W_V : 鉛直荷重 (kN)
- W_R : 水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力 (kN)
- L_c : ハッチ中心から回転軸までの水平距離 (mm)
- L_h : ヒンジ支点間水平距離 (mm)
- G : ハッチの固定荷重 (kN)
- P_s : 積雪荷重 (kN)
- 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
- F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
- F_{V2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)

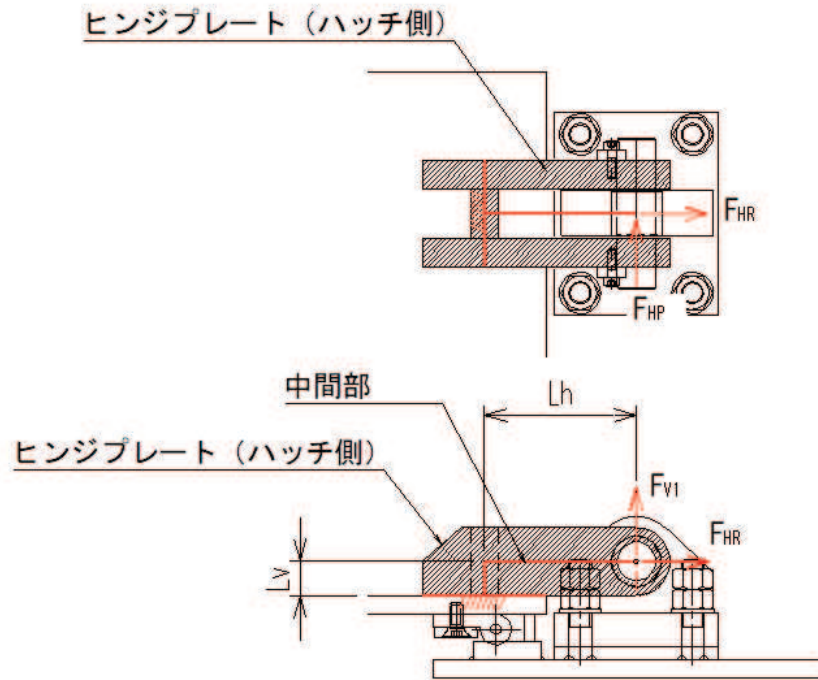
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta$: 分担率

$$(\alpha_1=0.5, \alpha_2=0.5, \alpha_3=0.1, \beta=0.1)$$

図 5-5 ハッチの構造概要及び荷重算定式

5.5.4.1 ヒンジプレート（ハッチ側）

ヒンジプレート（ハッチ側）の中間部及びハッチ接合部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及び応力算定式を図5-6に示す。



ヒンジプレート（ハッチ側） 中間部

$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bP} + \sigma_{bV1}$$

ここで、

$$\sigma_N = F_{HR} / A_1$$

σ_N : 軸方向引張応力度 (N/mm²)

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_h / Z_2$$

σ_{bP} : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

$$\sigma_{bV1} = F_{V1} \cdot L_h / Z_1$$

σ_{bV1} : 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_P : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

$$\Sigma \tau = \tau_P + \tau_v$$

τ_v : 鉛直方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

x : 合成応力度 (N/mm²)

$$\tau_v = F_{V1} / A$$

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

L_h : ヒンジ支点間水平距離 (mm)

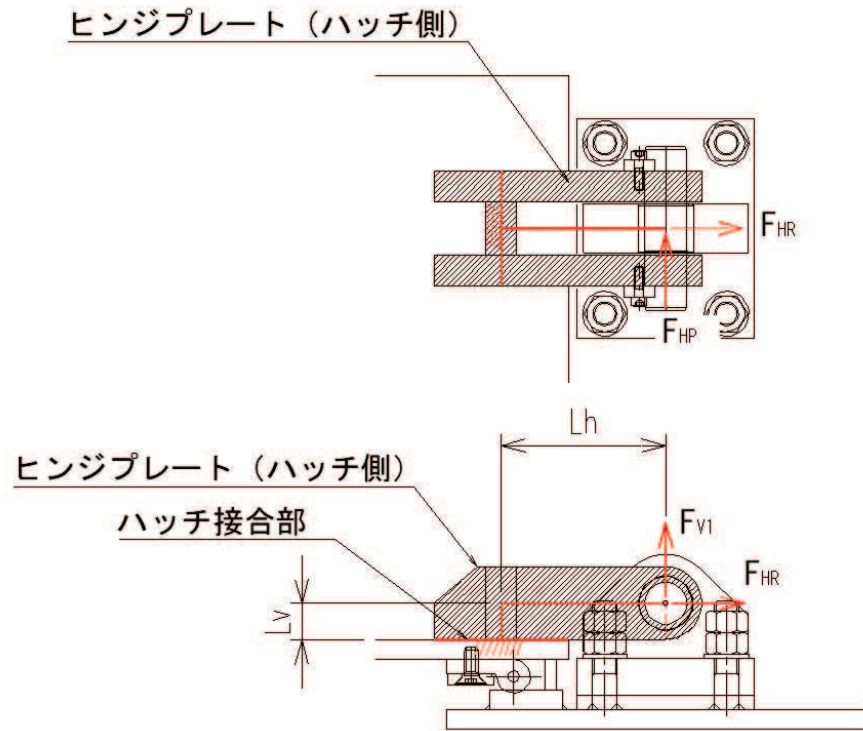
Z_1 : 回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部) (mm³)

Z_2 : 回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部) (mm³)

A_1 : ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (mm²)

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

図5-6 (1) ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及び中間部の応力算定式



ヒンジプレート（ハッチ側）ハッチ接合部

$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bV1} + \sigma_{bR} + \sigma_{bP}$ ここで、

$\sigma_N = F_{V1} / A_2$

$\sigma_{bV1} = F_{V1} \cdot L_h / Z_1$

$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L_v / Z_1$

$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_v / Z_2$

$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P + \tau_{PX}$

$\tau_R = F_{HR} / A$

$\tau_P = F_{HP} / A$

$\tau_{PX} = F_{HP} \cdot L_h / Z_p$

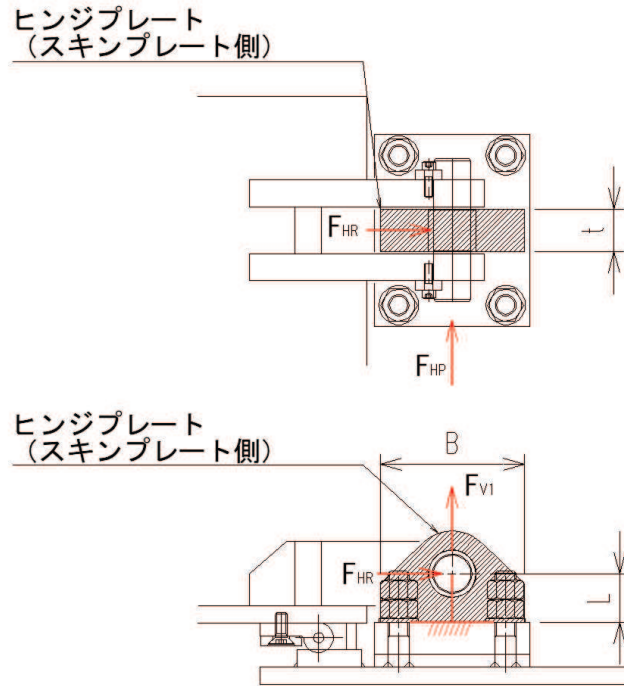
$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$

- σ_N : 軸方向引張応力度 (N/mm²)
- σ_{bR} : 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)
- σ_{bP} : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)
- σ_{bV1} : 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)
- τ_R : 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)
- τ_P : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)
- τ_{PX} : 回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度 (N/mm²)
- x : 合成応力度 (N/mm²)
- F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
- F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- L_h : ヒンジ支点間水平距離 (mm)
- L_v : ヒンジ支点間鉛直距離 (mm)
- Z_3 : 回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部) (mm³)
- Z_4 : 回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部) (mm³)
- Z_p : 極断面係数 (mm³)
- A_2 : ヒンジプレート（ハッチ側）の断面積 (mm²)

図 5-6 (2) ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及びハッチ接合部の応力算定式

5.5.4.2 ヒンジプレート（スキンプレート側）

ヒンジプレート（スキンプレート側）のエンドプレート接合部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート（スキンプレート側）のモデル図及び応力算定式を図5-7に示す。



$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bR} + \sigma_{bP}$$

$$\sigma_N = F_{V1} / A$$

$$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L / Z_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L / Z_2$$

$$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P$$

$$\tau_R = F_{HR} / A$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

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

ここで、

σ_N : 軸方向引張応力度 (N/mm²)

σ_{bR} : 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

σ_{bP} : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_R : 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

τ_P : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

L : ヒンジ基部からピン穴間距離 (mm)

Z_1 : 回転軸平行方向回りの断面係数 (mm³)

Z_2 : 回転軸直角方向回りの断面係数 (mm³)

A : ヒンジプレート（スキンプレート側）の断面積 (mm²)

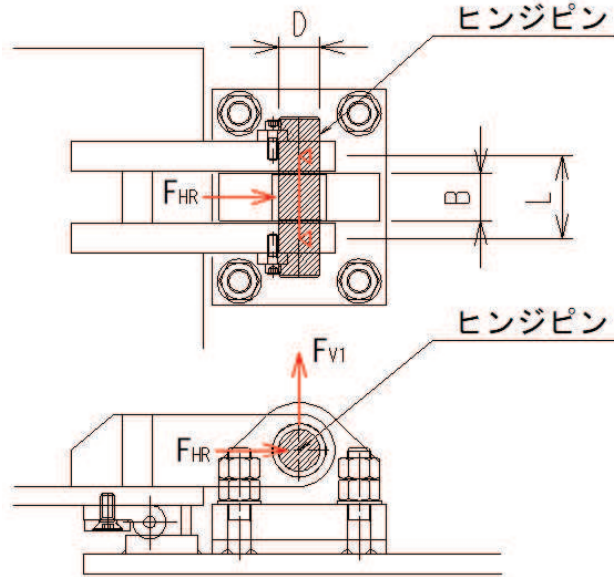
B : ヒンジプレート幅 (mm)

t : ヒンジプレート板厚 (mm)

図5-7 ヒンジプレート（スキンプレート側）のモデル図及び応力算定式

5.5.4.3 ヒンジピン

ヒンジピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジピンのモデル図及び応力算定式を図5-8に示す。



$$\sigma = F \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$F = \sqrt{F_{HR}^2 + F_{V1}^2}$$

$$\tau = F / 2 / A$$

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

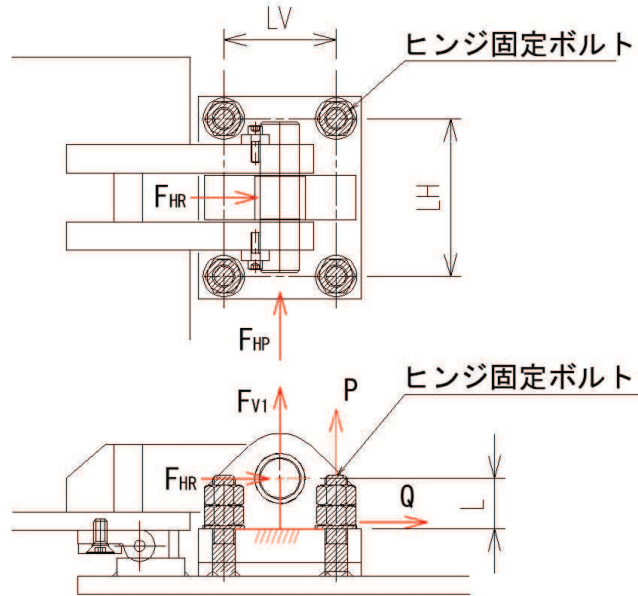
ここで，

- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- F : ヒンジピンにはたらく合成荷重 (kN)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- x : 合成応力度 (N/mm²)
- F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
- L : ヒンジ支点間距離 (mm)
- B : 荷重の載荷長 (mm)
- Z : 断面係数 (mm³)
- A : ヒンジピンの断面積 (mm²)
- D : ヒンジピンの直径 (mm)

図5-8 ヒンジピンのモデル図及び応力算定式

5.5.4.4 ヒンジ固定ボルト

ヒンジ固定ボルトに発生する引張応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式を図5-9に示す。



$$\sigma = P / A_4$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{V1} / (N_H \cdot N_V)$$

$$\tau = Q / A_4$$

$$Q = \sqrt{Q_R^2 + Q_P^2}$$

$$Q_R = F_{HR} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Q_P = F_{HP} / (N_H \cdot N_V)$$

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

ここで，

σ : 引張応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

P : ボルト引張力 (kN)

P_R : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)

P_P : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)

P_V : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)

Q : ボルトせん断力 (kN)

Q_R : 回転軸直角方向によるせん断力 (kN)

Q_P : 回転軸平行方向によるせん断力 (kN)

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

L : ヒンジ基部-ピン穴間距離 (mm)

L_V : 回転軸平行方向のボルトピッチ (mm)

L_H : 回転軸直角方向のボルトピッチ (mm)

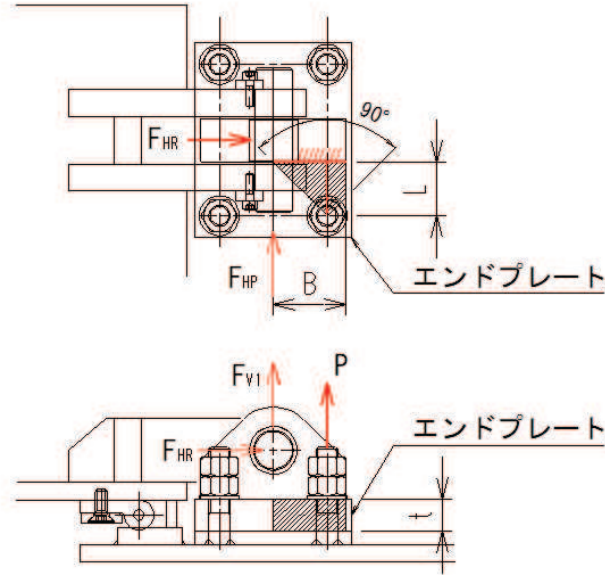
N_H : 回転軸平行方向のボルト本数

N_V : 回転軸直角方向のボルト本数

図5-9 ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式

5.5.4.5 エンドプレート

ヒンジプレート（スキンプレート側）に接合されヒンジ部固定ボルトにより支持されるエンドプレートに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。エンドプレートのモデル図及び応力算定式を図5-10に示す。



$$\sigma = P \cdot L / Z$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{V1} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = P / A$$

$$A = B \cdot t$$

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

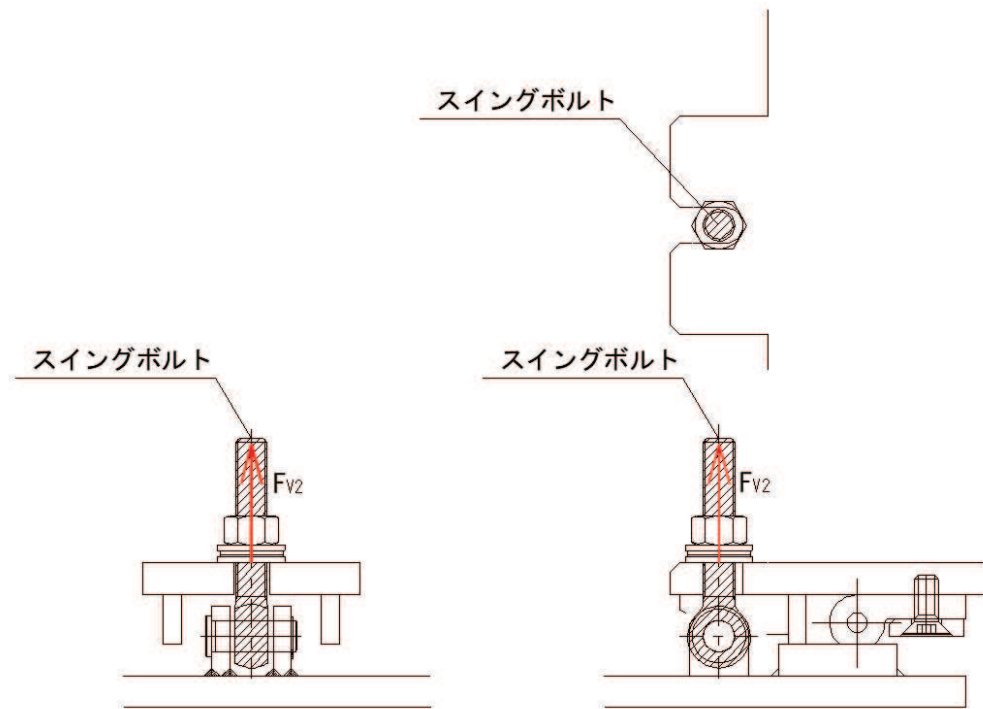
ここで，

- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- x : 合成応力度 (N/mm²)
- P : ボルト引張力 (kN)
- P_R : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)
- P_P : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)
- P_V : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)
- Z : 断面係数 (mm³)
- B : 有効断面幅 (mm)
- A : エンドプレートの有効断面積 (mm²)
- L : ヒンジ板表面からボルト穴までの距離 (mm)
- t : エンドプレートの板厚 (mm)
- L_V : 回転軸平行方向のボルトピッチ (mm)
- L_H : 回転軸直角方向のボルトピッチ (mm)
- N_H : 回転軸平行方向のボルト本数
- N_V : 回転軸直角方向のボルト本数

図5-10 エンドプレートのモデル図及び応力算定式

5.5.4.6 スイングボルト

スイングボルトに発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトのモデル図及び応力算定式を図5-11に示す



$$\sigma = F_{v2} / A$$

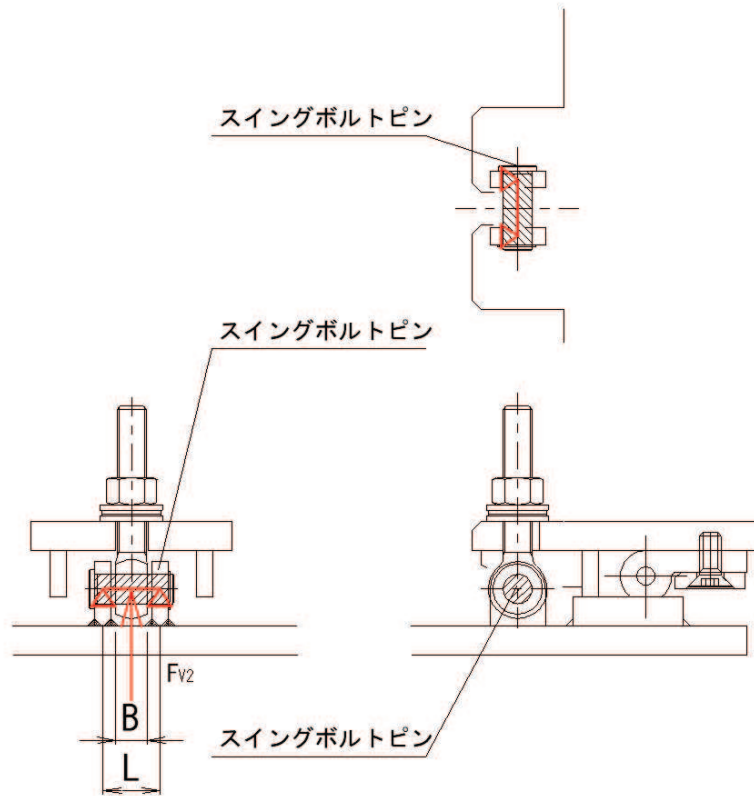
ここで、

- σ : 引張応力度 (N/mm²)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- A : スイングボルトの断面積 (mm²)

図5-11 スイングボルトのモデル図及び応力算定式

5.5.4.7 スイングボルトピン

スイングボルトピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式を図 5-12 に示す。



$$\sigma = F_{v2} \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$\tau = F_{v2} / 2 / A$$

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

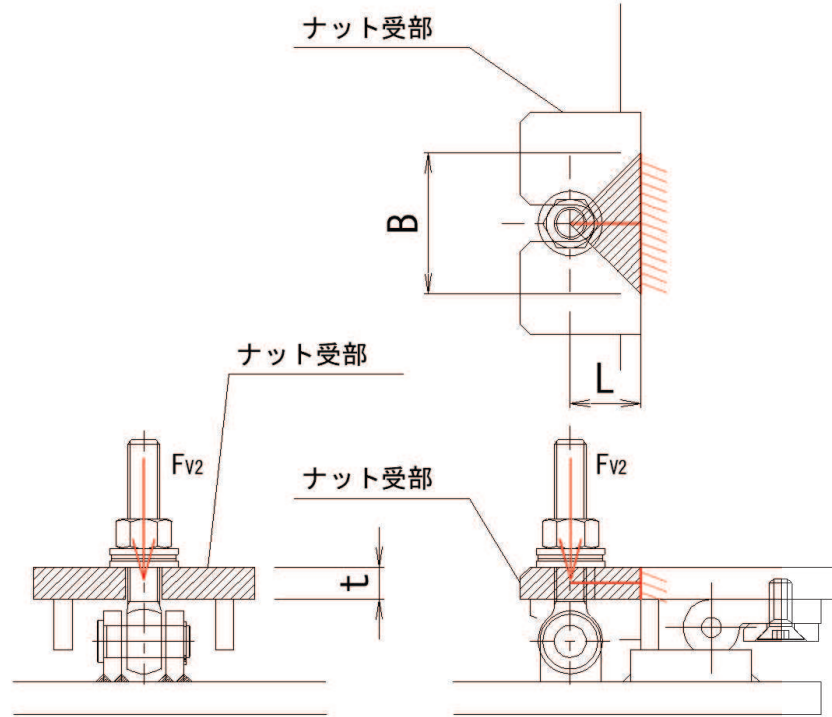
ここで，

- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- x : 合成応力度 (N/mm²)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- L : ヒンジ支点間距離 (mm)
- B : 荷重の載荷長 (mm)
- Z : 断面係数 (mm³)
- A : スイングボルトピンの断面積 (mm²)

図 5-12 スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式

5.5.4.8 ナット受部

スイングボルトのナットから荷重を伝達するナット受部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ナット受金具のモデル図及び応力算定式を図5-13に示す



$$\sigma = F_{v2} \cdot L / Z$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = F_{v2} / A$$

$$A = B \cdot t$$

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

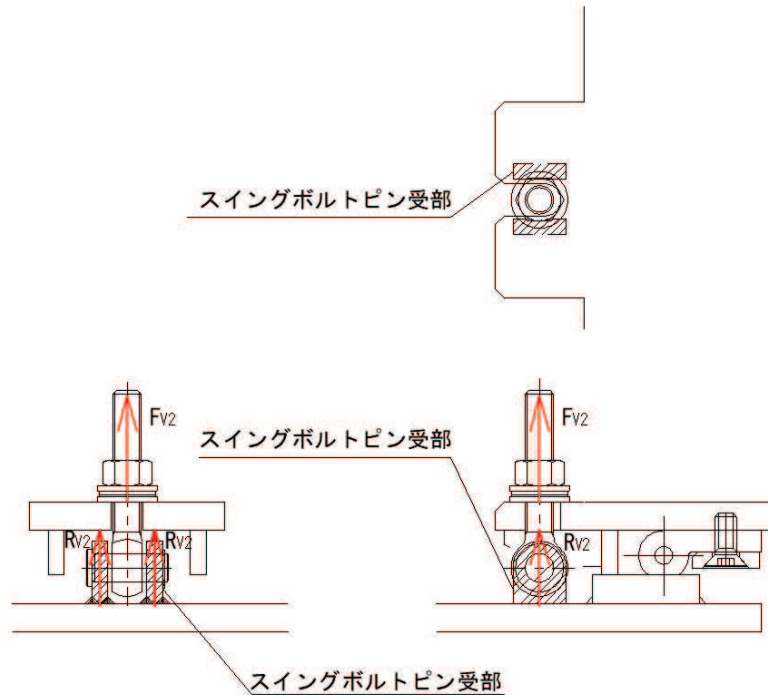
ここで、

- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- x : 合成応力度 (N/mm²)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- L : 腕長さ (mm)
- Z : 断面係数 (mm³)
- B : 有効断面幅 (mm)
- A : ナット受部の有効断面積 (mm²)
- t : ナット受部の板厚 (mm)

図5-13 ナット受部のモデル図及び応力算定式

5.5.4.9 スイングボルトピン受部

スイングボルトピンを支持し、ハッチ部（スキンプレート側）に荷重を伝達するスイングボルトピン受部に発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式を図 5-14 に示す



$$\sigma = R_{v2} / A$$

$$R_{v2} = F_{v2} / 2$$

ここで、

- σ : 引張応力度 (N/mm²)
- R_{v2} : スイングボルトピン受金具が負担する
締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- A : スイングボルトピン受部の断面積 (mm²)

図 5-14 スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式

5.6 評価条件

浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値を表 5-6 に示す。

表 5-6 (1) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (主桁, スキンプレート, 固定ボルト)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
主桁 (受部)	G	kN	主桁とスキンプレーートの固定荷重	25.85
	P _s	kN	積雪荷重	2.50
	A	m ²	浸水防止蓋の面積	8.29
	L ₁	mm	主桁 (受部) の負担幅	963
	L ₂	mm	主桁 (受部) 全長	2670
	A _s	mm ²	主桁 (受部) のせん断断面積	1998
	Z	mm ³	主桁 (受部) の断面係数	8.46×10 ⁵
主桁 (戸当り部) 下フランジ	G	kN	主桁とスキンプレーートの固定荷重	25.85
	P _s	kN	積雪荷重	2.50
	L ₃	mm	固定ボルト中心位置から主桁 (戸当り部) 中心位置までの距離	90
	B	mm	主桁 (戸当り部) 下フランジの有効幅 (mm)	171
	t _b	mm	主桁 (戸当り部) 下フランジの厚さ	14
スキン プレート	G	kN	スキンプレーートの固定荷重	12.22
	P _s	kN	積雪荷重	2.50
	A	m ²	浸水防止蓋の面積	8.29
	L ₄	mm	スキンプレーートの支持長辺長さ	1055
	L ₅	mm	スキンプレーートの支持短辺長さ	900
	β ₂	—	スキンプレーートの辺長比に応じた係数	0.4
	t	mm	スキンプレーートの厚さ	16
固定 ボルト	G	kN	主桁とスキンプレーートの固定荷重	25.85
	P _s	kN	積雪荷重	2.50
	N	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数	40

表 5-6 (2) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重：回転軸直角方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	9.66
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	L_h	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	L_v	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	4.08×10^4
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	9.25×10^4
	Z_3	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	1.02×10^5
	Z_4	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	1.49×10^5
	Z_p	mm ³	極断面係数	5.50×10^4
	A_1	mm ²	断面積	3500
A_2	mm ²	断面積	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	9.66
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	L	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数	1.22×10^5
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数	3.60×10^4
	A	mm ²	断面積	5400
ヒンジピン	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	9.66
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	ヒンジ支点間距離	69
	B	mm	荷重の載荷長	40
	Z	mm ³	断面係数	6283
	A	mm ²	断面積	1257
ヒンジ固定ボルト	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	9.66
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	L_v	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	L_H	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	N_H	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	N_v	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 5-6 (3) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重：回転軸直角方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	P_R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	2.42
	P_P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	0
	P_V	kN	鉛直方向荷重による引張力	0.31
	Z	mm ³	断面係数	1.15×10^4
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm ²	有効断面積	2160
スイングボルト	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	A	mm ²	断面積	157
スイングボルトピン	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm ³	断面係数	402
	A	mm ²	断面積	201
ナット受部	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm ³	断面係数	2987
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm ²	有効断面積	1120
スイングボルトピン受部	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	A	mm ²	断面積	121.50

表 5-6 (4) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重：回転軸平行方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	16.86
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	9.66
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	L_h	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	L_v	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	4.08×10^4
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	9.25×10^4
	Z_3	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	1.02×10^5
	Z_4	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	1.49×10^5
	Z_p	mm ³	極断面係数	5.50×10^4
	A_1	mm ²	断面積 (中間部)	3500
A_2	mm ²	断面積 (接合部)	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	16.86
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	9.66
	L	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数	1.22×10^5
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数	3.60×10^4
	A	mm ²	断面積	5400
ヒンジピン	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	16.86
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	ヒンジ支点間距離	69
	B	mm	荷重の載荷長	40
	Z	mm ³	断面係数	6283
	A	mm ²	断面積	1257
ヒンジ固定ボルト	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	16.86
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	9.66
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	L_v	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	L_h	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	N_H	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	N_v	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 5-6 (5) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重：回転軸平行方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	P_R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	4.22
	P_P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	1.73
	P_V	kN	鉛直方向荷重による引張力	0.31
	Z	mm ³	断面係数	1.15×10^4
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm ²	有効断面積	2160
スイングボルト	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	A	mm ²	断面積	157
スイングボルトピン	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm ³	断面係数	402
	A	mm ²	断面積	201
ナット受部	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm ³	断面係数	2987
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm ²	有効断面積	1120.0
スイングボルトピン受部	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	A	mm ²	断面積	121.50

6. 評価結果

浸水防止蓋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、すべ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 (1) 浸水防止蓋の耐震評価結果 (主桁, スキンプレート, 固定ボルト)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
主桁 (受け部)	曲げ	11	N/mm ²	325	N/mm ²	0.04 < 1.0
	せん断	7	N/mm ²	188	N/mm ²	0.04 < 1.0
	組合せ	17	N/mm ²	325	N/mm ²	0.06 < 1.0
主桁 (戸当り部) 下フランジ	曲げ	180	N/mm ²	325	N/mm ²	0.56 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	188	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	181	N/mm ²	325	N/mm ²	0.56 < 1.0
スキンプレート	曲げ	8	N/mm ²	325	N/mm ²	0.03 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	188	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	9	N/mm ²	325	N/mm ²	0.03 < 1.0
固定ボルト	引張	1.6	kN	37.7	kN	0.05 < 1.0
	せん断	3.5	kN	32.9	kN	0.11 < 1.0
	組合せ	—		—		0.02 < 1.0

表 6-1 (2) 浸水防止蓋の耐震評価結果 (荷重：回転軸直角方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	7	N/mm ²	265	N/mm ²	0.03<1.0
	せん断	1	N/mm ²	153	N/mm ²	0.01<1.0
	組合せ	7	N/mm ²	291	N/mm ²	0.03<1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	6	N/mm ²	265	N/mm ²	0.03<1.0
	せん断	2	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02<1.0
	組合せ	6	N/mm ²	291	N/mm ²	0.03<1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	5	N/mm ²	265	N/mm ²	0.02<1.0
	せん断	2	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02<1.0
	組合せ	6	N/mm ²	291	N/mm ²	0.03<1.0
ヒンジピン	曲げ	19	N/mm ²	265	N/mm ²	0.08<1.0
	せん断	4	N/mm ²	153	N/mm ²	0.03<1.0
	組合せ	21	N/mm ²	291	N/mm ²	0.08<1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	12	N/mm ²	265	N/mm ²	0.05<1.0
	せん断	10	N/mm ²	153	N/mm ²	0.07<1.0
	組合せ	21	N/mm ²	291	N/mm ²	0.08<1.0
エンドプレート	曲げ	11	N/mm ²	265	N/mm ²	0.05<1.0
	せん断	2	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02<1.0
	組合せ	11	N/mm ²	291	N/mm ²	0.04<1.0
スイングボルト	引張	8	N/mm ²	265	N/mm ²	0.04<1.0
スイングボルト ピン	曲げ	17	N/mm ²	273	N/mm ²	0.07<1.0
	せん断	4	N/mm ²	157	N/mm ²	0.03<1.0
	組合せ	18	N/mm ²	300	N/mm ²	0.06<1.0
ナット受部	曲げ	15	N/mm ²	273	N/mm ²	0.06<1.0
	せん断	2	N/mm ²	157	N/mm ²	0.02<1.0
	組合せ	15	N/mm ²	300	N/mm ²	0.05<1.0
スイングボルト ピン受部	引張	6	N/mm ²	273	N/mm ²	0.03<1.0

表 6-1 (3) 浸防止蓋の耐震評価結果 (荷重：回転軸平行方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	23	N/mm ²	265	N/mm ²	0.09 < 1.0
	せん断	4	N/mm ²	153	N/mm ²	0.03 < 1.0
	組合せ	24	N/mm ²	291	N/mm ²	0.09 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	10	N/mm ²	265	N/mm ²	0.04 < 1.0
	せん断	28	N/mm ²	153	N/mm ²	0.19 < 1.0
	組合せ	50	N/mm ²	291	N/mm ²	0.18 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	21	N/mm ²	265	N/mm ²	0.08 < 1.0
	せん断	5	N/mm ²	153	N/mm ²	0.04 < 1.0
	組合せ	23	N/mm ²	291	N/mm ²	0.08 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	33	N/mm ²	265	N/mm ²	0.13 < 1.0
	せん断	7	N/mm ²	153	N/mm ²	0.05 < 1.0
	組合せ	35	N/mm ²	291	N/mm ²	0.13 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	26	N/mm ²	265	N/mm ²	0.10 < 1.0
	せん断	20	N/mm ²	153	N/mm ²	0.14 < 1.0
	組合せ	43	N/mm ²	291	N/mm ²	0.15 < 1.0
エンドプレート	曲げ	25	N/mm ²	265	N/mm ²	0.10 < 1.0
	せん断	3	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	25	N/mm ²	291	N/mm ²	0.09 < 1.0
スイングボルト	引張	8	N/mm ²	265	N/mm ²	0.04 < 1.0
スイングボルト ピン	曲げ	17	N/mm ²	273	N/mm ²	0.07 < 1.0
	せん断	4	N/mm ²	157	N/mm ²	0.03 < 1.0
	組合せ	18	N/mm ²	300	N/mm ²	0.06 < 1.0
ナット受部	曲げ	15	N/mm ²	273	N/mm ²	0.06 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	157	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	15	N/mm ²	300	N/mm ²	0.05 < 1.0
スイングボルト ピン受部	引張	6	N/mm ²	273	N/mm ²	0.03 < 1.0

VI-2-10-2-8-2 浸水防止蓋
(揚水井戸 (第 2 号機海水ポンプ室防潮壁区画内)) 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	11
4.	固有値解析	13
4.1	固有振動数の計算方法	13
4.2	固有振動数の計算条件	14
4.3	固有振動数の計算結果	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
5.3	許容限界	16
5.4	設計用地震力	18
5.5	評価方法	19
5.6	評価条件	39
6.	評価結果	44

1. 概要

本資料は、添付書類「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浸水防止蓋（揚水井戸（第 2 号機海水ポンプ室防潮壁区画内））（以下、「浸水防止蓋」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確認するものである。その耐震評価は浸水防止蓋の固有値解析及び応力評価により行う。

浸水防止蓋は、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。

なお、浸水防止蓋の耐震評価においては、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約 1m の地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

浸水防止蓋は、揚水井戸（第2号機海水ポンプ室防潮壁区画内）**上部**に設置する。
浸水防止蓋の設置位置図を図2-1に示す。

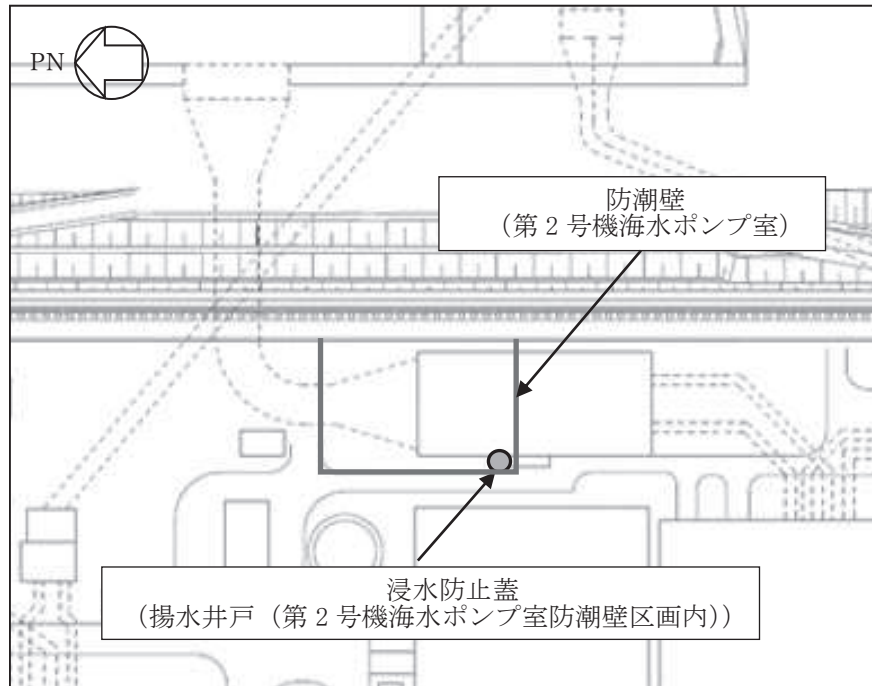


図2-1 浸水防止蓋の設置位置図

2.2 構造計画

浸水防止蓋の構造は、長方形のスキムプレートに主桁（H 型鋼）を組み合わせた浸水防止蓋と、メンテナンス等のため開閉を行うハッチを組み合わせた構造とする。

浸水防止蓋は、揚水井戸（第 2 号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部に固定ボルトにて固定する。浸水防止蓋の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 浸水防止蓋の構造計画

計画の概要		構造概略図
基礎・支持構造	主体構造	
揚水井戸（第 2 号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部に固定ボルトで固定する。	浸水防止蓋、ハッチ及び固定ボルトにより構成する。	

2.3 評価方針

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「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」に示す浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」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。

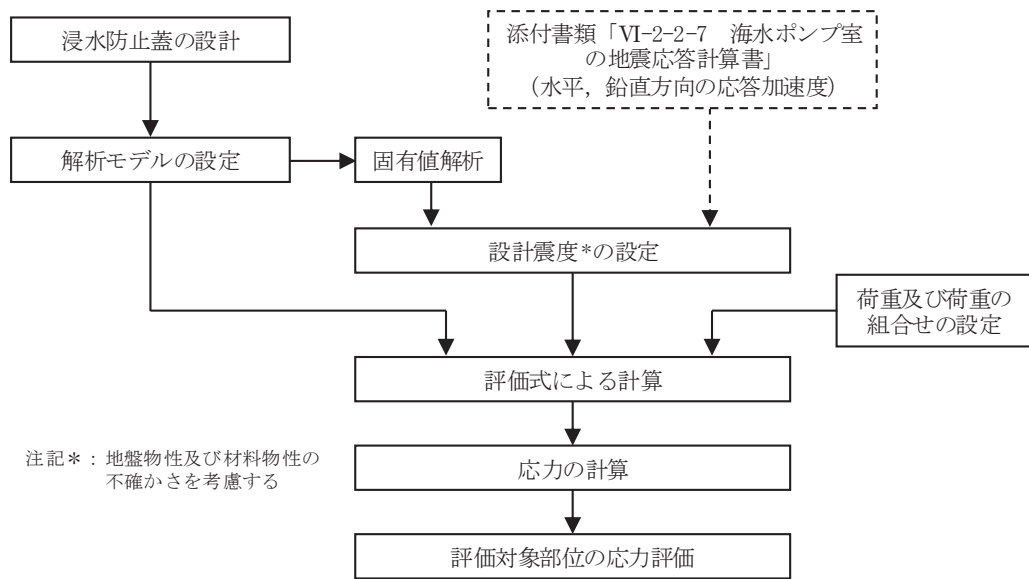


図2-2 耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 日本建築学会 2005年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—
- (2) 日本建築学会 2010年 各種合成構造設計指針・同解説
- (3) 機械工学便覧（日本機械学会）
- (4) ダム堰施設技術協会 平成28年 ダム堰施設技術基準（案）（基準解説編設備計画マニュアル編）

2.5 記号の説明

浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 (1) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (主桁, スキンプレート, 固定ボルト)

記号	単位	定義
S_s	kN	基準地震動 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
P_s	kN	積雪荷重
W_s	N/m ²	1 cm 当りの積雪荷重
d_s	cm	積雪高さ
A	m ²	浸水防止蓋の面積
$W_{s s}$	kN/m ²	単位面積当りの等分布荷重
$W_{s s}'$	kN/m	単位長さ当りの等分布荷重
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 ²	断面係数
L_1	mm	主桁の負担幅
L_2	mm	主桁全長
L_3	mm	固定ボルト中心位置から主桁 (戸当り部) 中心までの距離
L_4	mm	スキンプレートの支持長辺長さ
L_5	mm	スキンプレートの支持短辺長さ
B	mm	主桁 (戸当り部) 下フランジの有効幅
t_b	mm	主桁 (戸当り部) 下フランジの厚さ
β_2	—	スキンプレートの辺長比に応じた係数
t	mm	スキンプレートの厚さ
N	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数
T_d	kN	固定ボルト 1 本当りに作用する引張力
q	kN	固定ボルト 1 本当りに作用するせん断力

表 2-2 (2) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
共通	W_{HR}	kN	水平荷重 (回転軸直角方向)
	W_{HP}	kN	水平荷重 (回転軸平行方向)
	W_V	kN	鉛直荷重
	W_R	kN	水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力
	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	ハッチの固定荷重
	P_s	kN	積雪荷重
	L_c	mm	ハッチ中心から回転軸までの水平距離
	L_h	mm	ヒンジ支点間水平距離
	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重
	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重
ヒンジプレート (ハッチ側)	σ_N	N/mm ²	軸方向引張応力度
	σ_{bR}	N/mm ²	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	σ_{bP}	N/mm ²	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	σ_{bV1}	N/mm ²	鉛直方向荷重の曲げ応力度
	τ_R	N/mm ²	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	τ_P	N/mm ²	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	τ_v	N/mm ²	回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度
	τ_{PX}	N/mm ²	合成応力度
	σ	N/mm ²	合成応力度
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)
	Z_p	mm ³	極断面係数
A	mm ²	断面積	

表 2-2 (3) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジプレート (スキンプレート側)	σ_N	N/mm ²	軸方向引張応力度
	σ_{bR}	N/mm ²	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	σ_{bP}	N/mm ²	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	τ_R	N/mm ²	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	τ_P	N/mm ²	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離
	Z_3	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)
	Z_4	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)
	A	mm ²	断面積
	B	mm	ヒンジプレート幅
t	Mm	ヒンジプレート板厚	
ヒンジピン	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	ヒンジ支点間距離
	B	mm	荷重の載荷長
	Z	mm ³	断面係数
	A	mm ²	ヒンジピンの断面積
D	mm	ヒンジピンの直径	

表 2-2 (4) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジ 固定 ボルト	σ	N/mm ²	引張応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	P	kN	ボルト引張力
	P _R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	P _P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	P _V	kN	鉛直方向荷重による引張力
	Q	kN	ボルトせん断力
	Q _R	kN	回転軸直角方向によるせん断力
	Q _P	kN	回転軸平行方向によるせん断力
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離
	L _V	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ
	L _H	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ
	N _H	本	回転軸平行方向のボルト本数
N _V	本	回転軸直角方向のボルト本数	
エンド プレート	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	P	kN	ボルト引張力
	P _R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	P _P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	P _V	kN	鉛直方向荷重による引張力
	Z	mm ³	断面係数
	B	mm	有効断面幅
	A	mm ²	エンドプレートの有効断面積
	L	mm	ヒンジ板表面からボルト穴までの距離
t	mm	エンドプレートの板厚	

表 2-2 (5) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
スイングボルト	σ	N/mm ²	引張応力度
	A	mm ²	断面積
スイングボルトピン	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	ヒンジ支点間距離
	B	mm	荷重の載荷長
	Z	mm ³	断面係数
	A	mm ²	スイングボルトピンの断面積
	D	mm	スイングボルトピンの直径
ナット受部	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	F _{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重
	L	mm	腕長さ
	Z	mm ³	断面係数
	B	mm	有効断面幅
	A	mm ²	ナット受部の有効断面積
スイングボルトピン受部	t	mm	ナット受部の板厚
	σ	N/mm ²	引張応力度
	R _{v2}	kN	スイングボルトピン受金具が負担する締付部に作用する鉛直荷重
	A	mm ²	スイングボルトピン受部の断面積
	B	mm	スイングボルトピン受部の幅
t	mm	スイングボルトピン受部の板厚	

3. 評価対象部位

浸水防止蓋の評価対象部位は、「2.2 構造計画」に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。

浸水防止蓋の本体（ハッチ部以外）については、地震に伴う慣性力が浸水防止蓋のスキンプレート、主桁に伝わり、浸水防止蓋を固定する固定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、主桁及び固定ボルトを評価対象部位として設定する。浸水防止蓋のハッチ部については、閉止時を基本とした荷重の作用方向及び伝達過程を考慮する。ハッチ部に作用する慣性力は、ヒンジ部（ヒンジプレート（ハッチ側、スキンプレート側）、ヒンジピン、ヒンジ固定ボルト及びエンドプレート）及び締付部（スイングボルト、スイングボルトピン、ナット受部及びスイングボルトピン受部）を介して受桁に伝達されることから、ヒンジ部及び締付部の各部位を評価対象部位として設定する。評価対象部位を図3-1に示す。

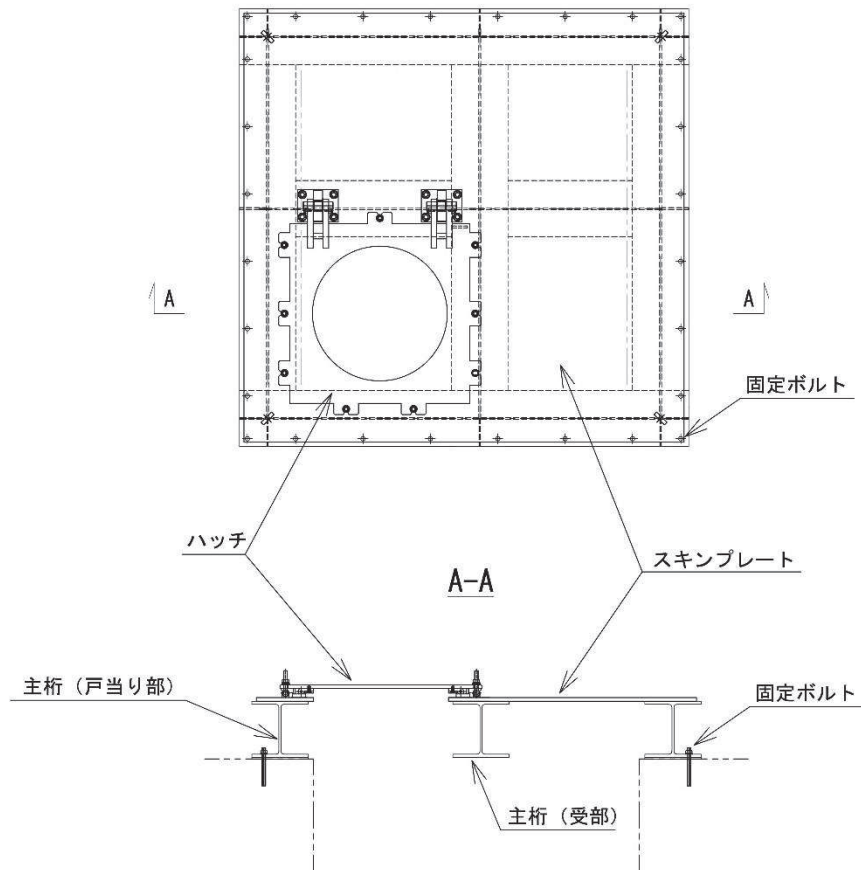
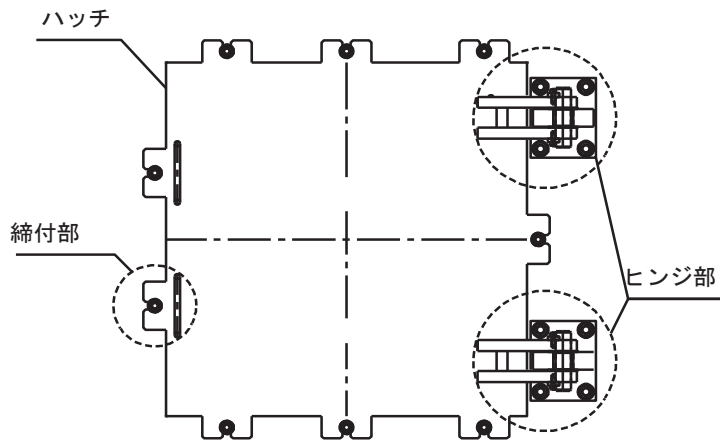
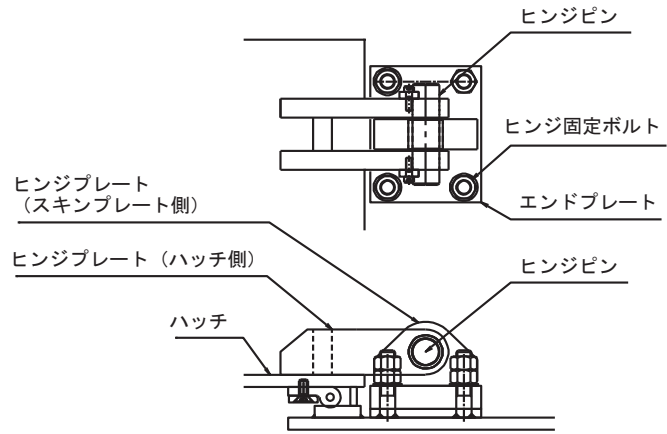


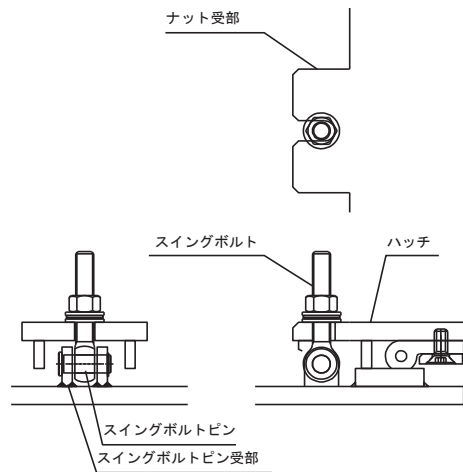
図3-1 (1) 評価対象部位（スキンプレート、主桁及び固定ボルト）



(ハッチ部の構造概要)



(ヒンジ部の評価対象部位)



(締付部の評価対象部位)

図 3-1 (2) 評価対象部位 (ハッチ部)

4. 固有値解析

4.1 固有振動数の計算方法

浸水防止蓋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

浸水防止蓋は、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、固定ボルトを介し、浸水防止蓋と躯体を固定する構造であることから、浸水防止蓋の主桁を両端ピン支持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。

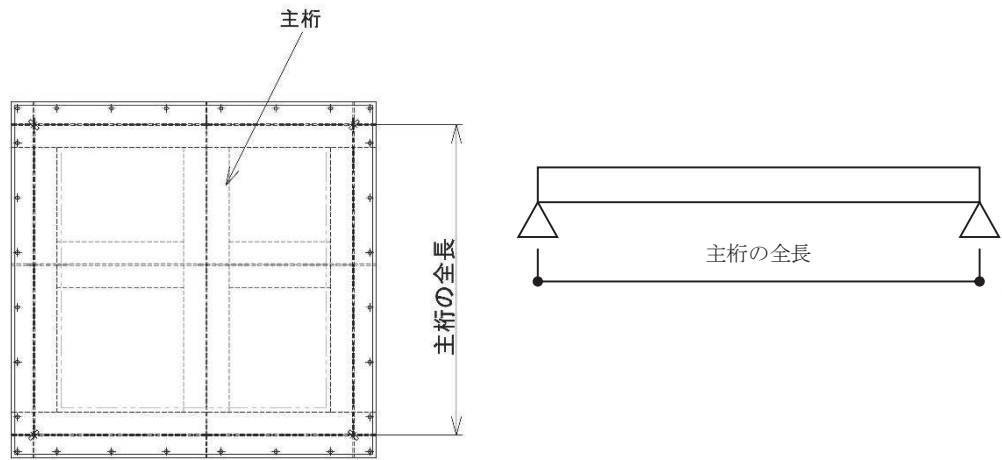


図4-1 浸水防止蓋の固有値解析モデル

4.1.2 記号の説明

浸水防止蓋の固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 浸水防止蓋の固有振動数の計算に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	一次固有振動数
L	mm	はりの長さ
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/mm	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。

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

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

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/mm)
1700	2.05×10 ⁵	3.65×10 ⁷	7.18×10 ⁻²

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 固有振動数の計算条件

固有振動数 (Hz)	175.46
---------------	--------

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「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」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

浸水防止蓋の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s + P_s$$

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)
 P_s : 積雪荷重 (kN)

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、浸水防止蓋を構成する部材の自重を考慮する。

(2) 積雪荷重(P_s)

積雪荷重として、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち、添付書類「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき 43cm の積雪量を想定し、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮する。

積雪荷重による質量は以下に式より算出する。

$$P_s = 0.35 \cdot W_s \cdot d_s \cdot A \cdot 10^{-3}$$

ここで、
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 W_s : 1cm 当りの積雪荷重 20 (N/m²)
 d_s : 積雪高さ 43 (cm)
 A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

(3) 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。地震荷重は浸水防止蓋の固定荷重及び積雪荷重に設計震度を乗じた次式により算出する。

$$S_s = (G + P_s) \cdot k$$

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)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 k : 基準地震動 S_s の設計震度

5.3 許容限界

許容限界は、添付書類「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

浸水防止蓋を構成する各部材の使用材料を表 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	SM490Y	t = 16 (mm)
ハッチ	SM490Y	t = 16 (mm)
主桁	SM490Y	H-250×250×9×14 (mm)
固定ボルト	SM490Y	M16
ヒンジプレート	SM490Y	ハッチ側 t = 25 (mm) スキンプレート側 t = 40 (mm)
ヒンジピン	SM490Y	径 40 (mm)
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	M20
エンドプレート	SM490Y	t = 32 (mm)
スイングボルト	SM490Y	M16
スイングボルトピン	SM490Y	径 16 (mm)
ナット受部	SM490Y	t = 16 (mm)
スイングボルトピン受部	SM490Y	t = 9 (mm)

5.3.2 許容限界

(1) スキンプレート、主桁

鋼材の許容応力度は、「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」を踏まえて表 5-2 の値とする。

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	せん断
SM490Y	325	188

(2) 固定ボルト

固定ボルトの許容荷重は、「3. 評価対象部位」に記載した固定ボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定する。

地震荷重を考慮する場合の固定ボルトの許容荷重を表 5-3 に示す。

なお、固定ボルトは躯体に埋め込まれていることから、固定ボルトが引張力を受ける場合においては、固定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、固定ボルトがせん断力を受ける場合においては、固定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固定ボルトの短期許容荷重

材質	短期許容荷重 (kN)	
	引張	せん断
SM490Y	37.7	32.9

(3) ハッチ部

ハッチを構成する各部材の許容値は、「ダム堰施設技術協会 平成 28 年 ダム堰施設技術基準（案）（基準解説編設備計画マニュアル編）」を踏まえて表 5-4 の値とする。

表 5-4 ハッチを構成する各部材の許容限界

評価対象部位	材質	短期許容応力度 (N/mm ²)		
		曲げ	せん断	引張
ヒンジプレート (ハッチ側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジプレート (スキンプレート側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジピン	SM490Y	265	153	—
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	265	153	—
エンドプレート	SM490Y	265	153	—
スイングボルト	SM490Y	—	—	265
スイングボルトピン	SM490Y	273	157	—
ナット受部	SM490Y	273	157	—
スイングボルトピン受部	SM490Y	—	—	273

5.4 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり、浸水防止蓋の固有振動数は 20Hz 以上であることを確認したため、浸水防止蓋の耐震評価に用いる設計震度は、海水ポンプ室の地盤物性及び材料物性の不確かさを考慮したものとして添付書類「VI-2-2-7 海水ポンプ室の地震応答計算書」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 5-5 に示す。

表 5-5 設計震度

設置場所	床面高さ (m)	基準地震動 S _s の設計震度	
		水平方向 k _H	鉛直方向 k _V
揚水井戸 (第 2 号機海水ポンプ室防潮壁区画内)	O.P. 14.0	4.92	2.15

5.5 評価方法

浸水防止蓋を構成する各部材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。主桁については、スキンプレートからの荷重を主で負担する主桁（受部）と固定ボルトで躯体と固定する主桁（戸当り部）の評価を実施する。主桁（受け部）の評価は、評価上最も厳しい条件となる断面で実施する。主桁（戸当り部）については、スキンプレートに上向きの荷重が作用する場合の主桁と固定ボルトの偏心荷重による主桁（戸当り部）下フランジに対して評価を実施する。図 5-1 に評価の対象とする主桁を示す。スキンプレートについては、評価上最も厳しい条件となる断面で評価を実施する。図 5-2 に評価の対象とするスキンプレートを示す。また、図 5-3 に固定ボルトの納まりを示す。

5.5.1 主桁

(1) 主桁（受部）

主桁（受部）の支持条件は両端をピン支持とし、図 5-1 に示すとおり、主桁（受部）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

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

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)
	P_s	: 積雪荷重 (kN)
	k_v	: 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

(b) 主桁（受部）に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 $W_{s s'}$

$$W_{s s'} = (G + S_s + P_s) \cdot L_1 \cdot 10^{-3} / A$$

ここで、	$W_{s s'}$: 主桁（受部）に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m)
	G	: 主桁とスキンプレートの固定荷重 (kN)
	S_s	: 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)
	P_s	: 積雪荷重 (kN)
	L_1	: 主桁（受部）の負担幅 (mm)
	A	: 浸水防止蓋の面積 (m ²)

(c) 主桁 (受部) に作用する最大せん断応力度 τ

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

τ : 主桁 (受部) に作用する最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 主桁 (受部) に作用する最大せん断力 (kN)

A_s : 主桁 (受部) のせん断断面積 (mm²)

ここで, $Q = 1/2 \cdot W_{s s'} \cdot L_2 \cdot 10^{-3}$

Q : 主桁 (受部) に作用する最大せん断力 (kN)

$W_{s s'}$: 主桁 (受部) 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_2 : 主桁 (受部) 全長 (mm)

(d) 主桁 (受部) に作用する最大曲げ応力度 σ

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

σ : 主桁 (受部) に作用する最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 主桁 (受部) 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, $M = 1/8 \cdot W_{s s'} \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2$

M : 主桁 (受部) に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

$W_{s s'}$: 主桁 (受部) 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_2 : 主桁 (受部) 全長 (mm)

(e) 主桁 (受部) に作用する組合せ応力度

主桁 (受部) 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「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」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。

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

ここで, x : 組合せ応力度 (N/mm²)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

(2) 主桁（戸当り部）下フランジ

図 5-1 に示すとおり，スキンプレートに上向きの荷重が作用する場合の主桁（戸当り部）と固定ボルトの偏心荷重による主桁（戸当り部）下フランジに対して，支持条件を片持ち梁として評価を実施する。

(a) 基準地震動 S_s による地震荷重 S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

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)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 k_v : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

(b) 主桁（戸当り部）下フランジに作用する最大曲げ応力度 σ

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

σ : 主桁（戸当り部）下フランジに作用する最大曲げ応力度 (N/mm²)
 M : 主桁（戸当り部）下フランジに作用する最大曲げモーメント (kN・m)
 Z : 主桁（戸当り部）下フランジの断面係数 (mm³)

$$\text{ここで， } M = T_d \cdot L_3 \cdot 10^{-3}$$

$$Z = (B \cdot t_b) / 6$$

M : 主桁（戸当り部）下フランジに作用する最大曲げモーメント (kN・m)
 T_d : 固定ボルト 1 本当りに作用する引張力 (kN)
 L_3 : 固定ボルト中心位置から主桁（戸当り部）中心位置までの距離 (mm)
 B : 主桁（戸当り部）下フランジの有効幅 (mm)
 t_b : 主桁（戸当り部）下フランジの厚さ (mm)

(c) 主桁（戸当り部）下フランジに作用する最大せん断応力度 τ

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

τ : 主桁（戸当り部）下フランジに作用する最大せん断応力度 (N/mm²)
 Q : 主桁（戸当り部）下フランジに作用する最大せん断力 (kN)
 A_s : 主桁（戸当り部）下フランジのせん断断面積 (mm²)

$$\text{ここで， } Q = T_d$$

T_d : 固定ボルト 1 本当りに作用する引張力 (kN)

(d) 主桁（戸当り部）下フランジに作用する組合せ応力度

主桁（戸当り部）下フランジ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「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」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。

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

ここで、
 x : 組合せ応力度 (N/mm²)
 σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
 τ : せん断応力度 (N/mm²)

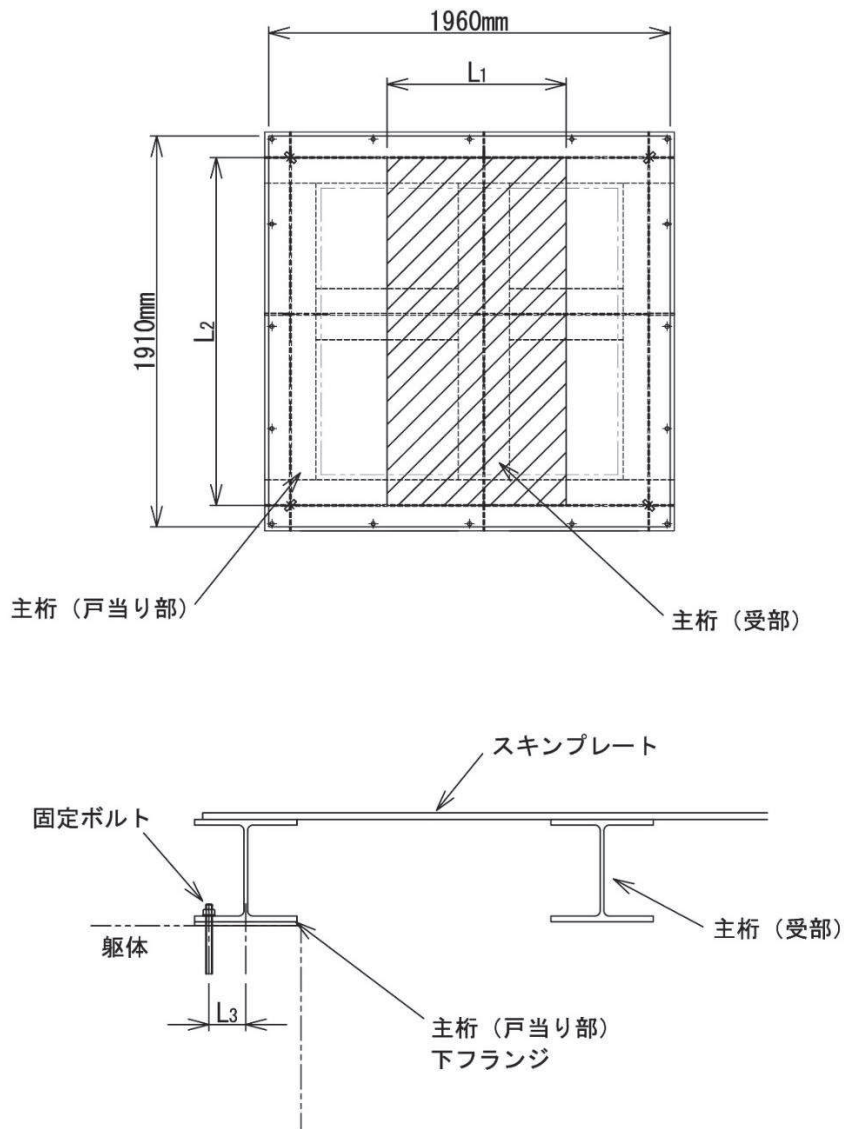


図 5-1 評価の対象とする主桁

(4) スキンプレートに作用する最大せん断応力度 τ

スキンプレートに作用するせん断応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\tau = W_{ss} \cdot L_4 \cdot L_5 \cdot 10^{-3} / (t \cdot (L_4 + L_5) \cdot 2)$$

- ここで、
- τ : スキンプレートに作用する最大せん断応力度 (N/mm²)
 - W_{ss} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m²)
 - L_4 : スキンプレートの支持長辺長さ (mm)
 - L_5 : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)
 - t : スキンプレートの厚さ (mm)

(5) スキンプレートに作用する組合せ応力度

スキンプレートに作用する曲げ応力度，せん断応力度を算定し，スキンプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。また，スキンプレート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「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」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。

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

- ここで、
- x : 組合せ応力度 (N/mm²)
 - σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
 - τ : せん断応力度 (N/mm²)

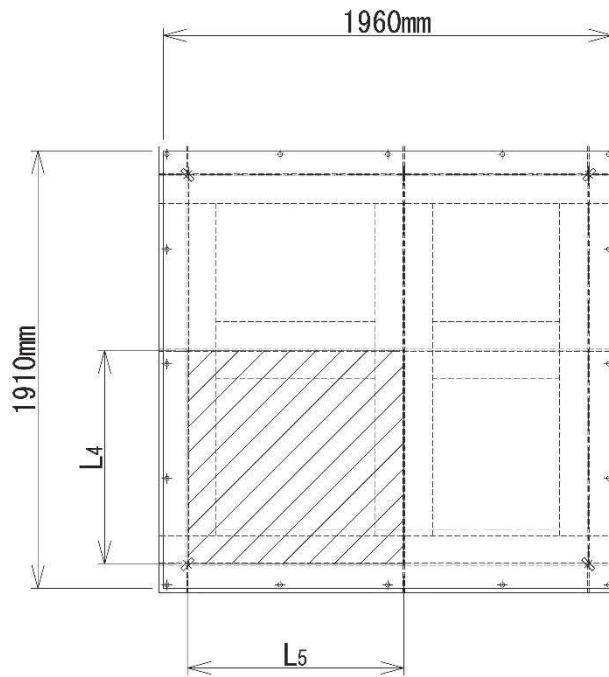


図 5-2 評価の対象とするスキンプレート

5.5.3 固定ボルト

- (1) 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_H$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)
 G : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (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

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_V$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)
 G : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 k_V : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

- (3) 固定ボルトに作用する引張力 T_d

$$T_d = S_s / N$$

ここで、 T_d : 固定ボルト 1 本当りに作用する引張力 (kN)
 S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)
 N : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数

- (4) 固定ボルトに作用するせん断力 q

$$q = S_s / N$$

ここで、 q : 固定ボルト 1 本当りに作用するせん断力 (kN)
 S_s : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)
 N : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数

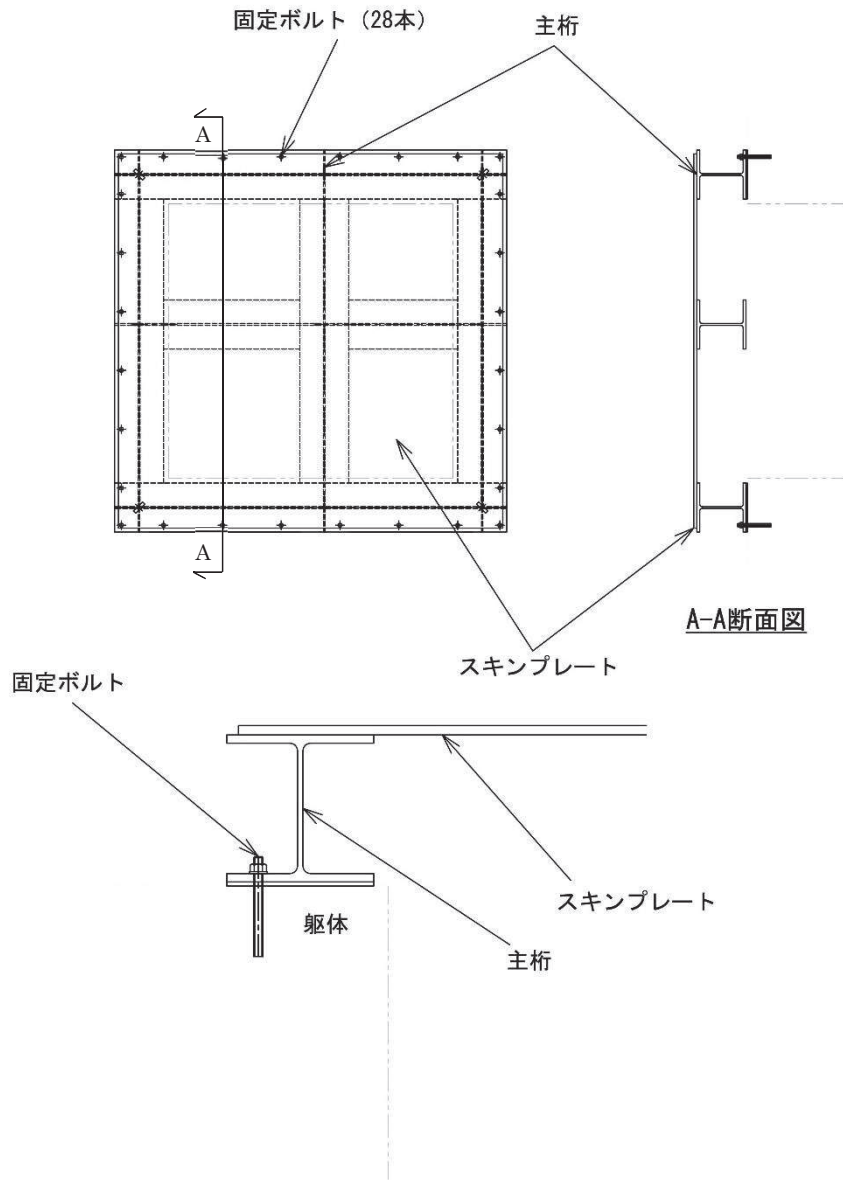


図 5-3 固定ボルトの納まり

5.5.4 ハッチ固定部

ハッチのヒンジ部及び締付部の構造概要を図5-4に、荷重算定式を図5-5に示す。ヒンジ部及び締付部の評価は、荷重の作用方向及び伝達過程を考慮する。ヒンジ部についてはヒンジプレート（ハッチ側，スキンプレート側），ヒンジピン，ヒンジ固定ボルト及びエンドプレートについて評価を行う。締付部については，スイングボルト，スイングボルトピン，ナット受部及びスイングボルトピン受部について評価を行う。

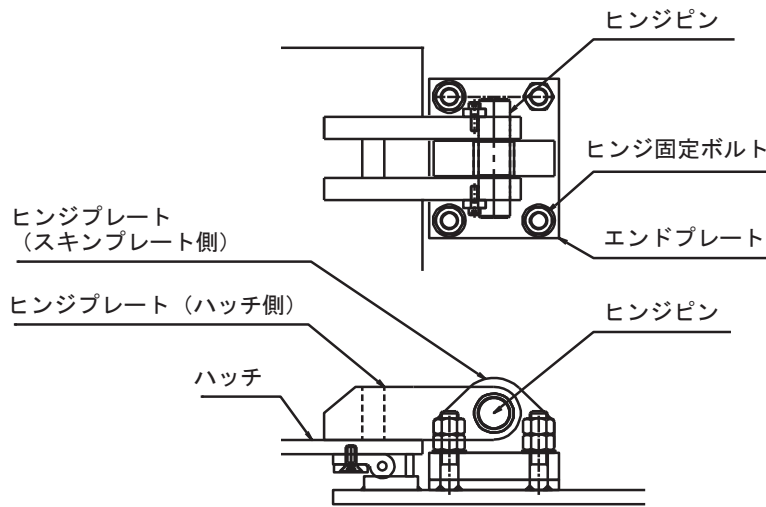


図5-4 (1) ヒンジ部の構造概要

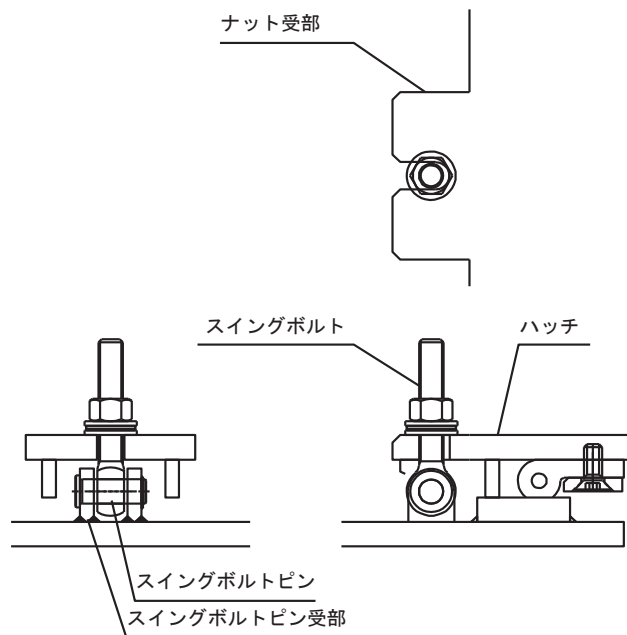
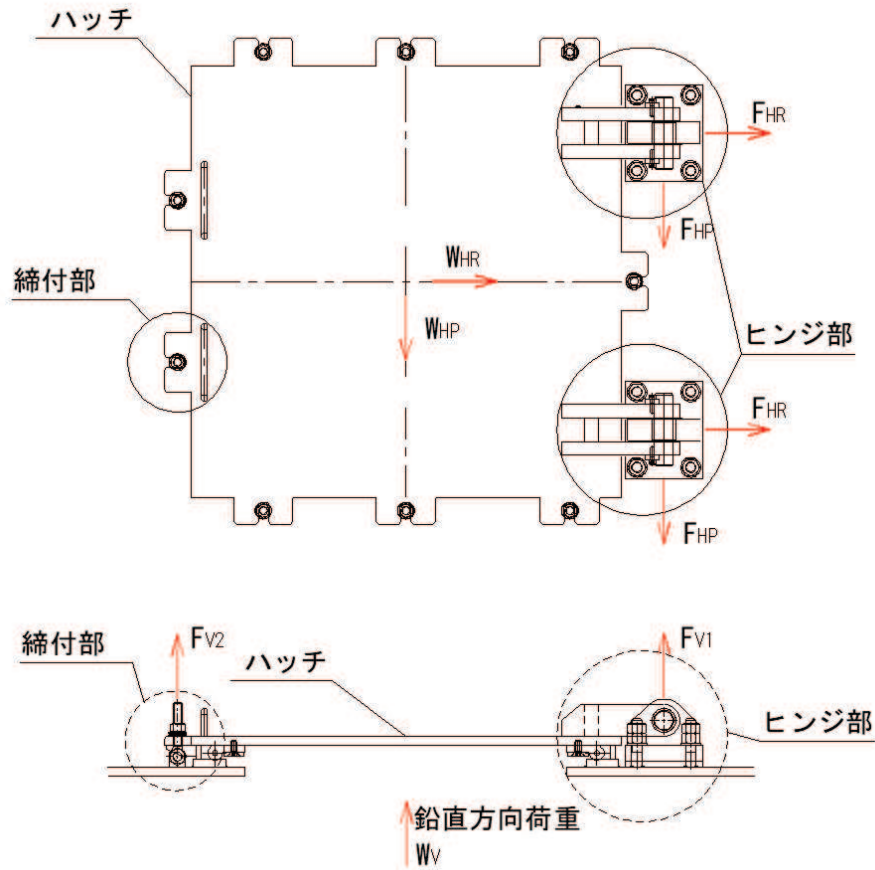


図5-4 (2) 締付部の構造概要



$$\begin{aligned}
 W_{HR} &= (G + P_s) \cdot k_H \\
 W_{HP} &= (G + P_s) \cdot k_H \\
 W_V &= (G + P_s) \\
 &\quad + (G + P_s) \cdot k_V \\
 F_{HR} &= \alpha_1 \cdot W_{HR} + W_R \\
 F_{HP} &= \alpha_2 \cdot W_{HP} \\
 F_{V1} &= \alpha_3 \cdot W_V \\
 F_{V2} &= \beta \cdot W_V
 \end{aligned}$$

ここで、

$$W_R = W_{HP} \cdot L_c / L_h$$

- W_{HR} : 水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- W_{HP} : 水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- W_V : 鉛直荷重 (kN)
- W_R : 水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力 (kN)
- L_c : ハッチ中心から回転軸までの水平距離 (mm)
- L_h : ヒンジ支点間水平距離 (mm)
- G : ハッチの固定荷重 (kN)
- P_s : 積雪荷重 (kN)
- 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
- F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
- F_{V2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)

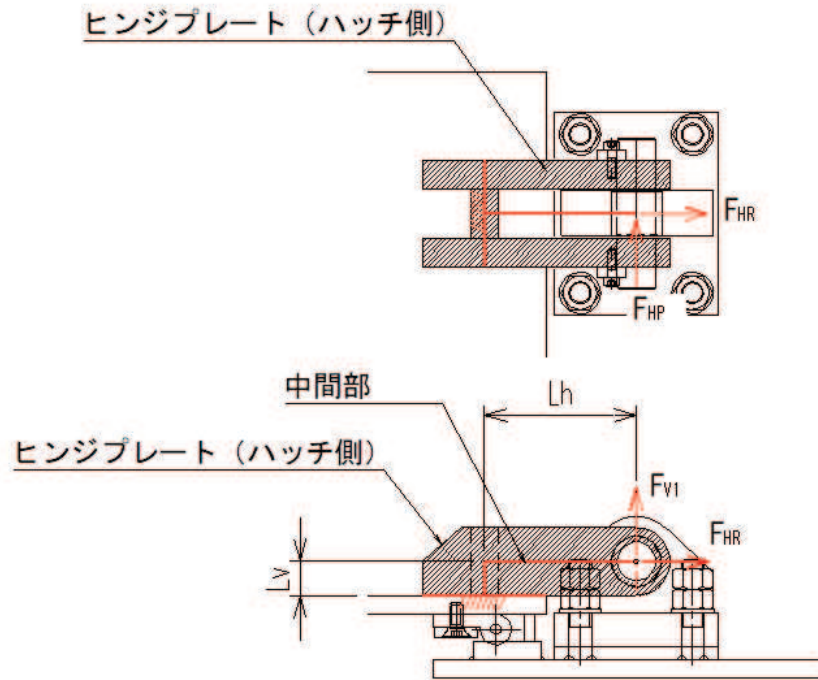
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta$: 分担率

$$(\alpha_1=0.5, \alpha_2=0.5, \alpha_3=0.1, \beta=0.1)$$

図 5-5 ハッチの構造概要及び荷重算定式

5.5.4.1 ヒンジプレート（ハッチ側）

ヒンジプレート（ハッチ側）の中間部及びハッチ接合部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及び応力算定式を図5-6に示す。



ヒンジプレート（ハッチ側） 中間部

$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bP} + \sigma_{bV1}$$

ここで、

$$\sigma_N = F_{HR} / A_1$$

σ_N : 軸方向引張応力度 (N/mm²)

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_h / Z_2$$

σ_{bP} : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

$$\sigma_{bV1} = F_{V1} \cdot L_h / Z_1$$

σ_{bV1} : 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_P : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

$$\Sigma \tau = \tau_P + \tau_v$$

τ_v : 鉛直方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

x : 合成応力度 (N/mm²)

$$\tau_v = F_{V1} / A$$

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

L_h : ヒンジ支点間水平距離 (mm)

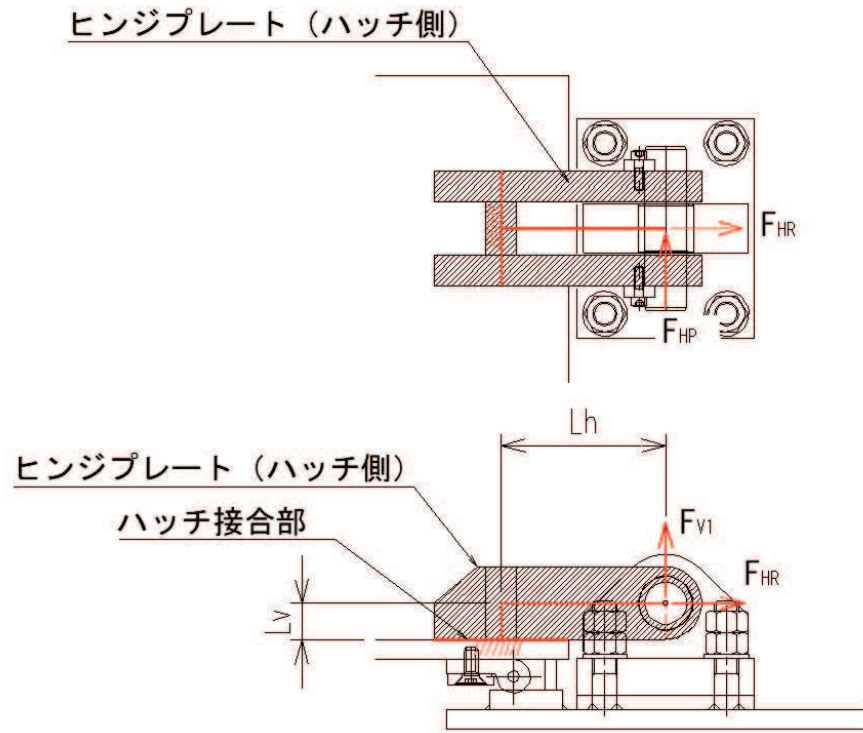
Z_1 : 回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部) (mm³)

Z_2 : 回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部) (mm³)

A_1 : ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (mm²)

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

図5-6 (1) ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及び中間部の応力算定式



ヒンジプレート（ハッチ側）ハッチ接合部

$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bV1} + \sigma_{bR} + \sigma_{bP} \quad \text{ここで,}$$

$$\sigma_N = F_{V1} / A_2$$

$$\sigma_{bV1} = F_{V1} \cdot L_h / Z_1$$

$$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L_v / Z_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_v / Z_2$$

$$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P + \tau_{PX}$$

$$\tau_R = F_{HR} / A$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

$$\tau_{PX} = F_{HP} \cdot L_h / Z_p$$

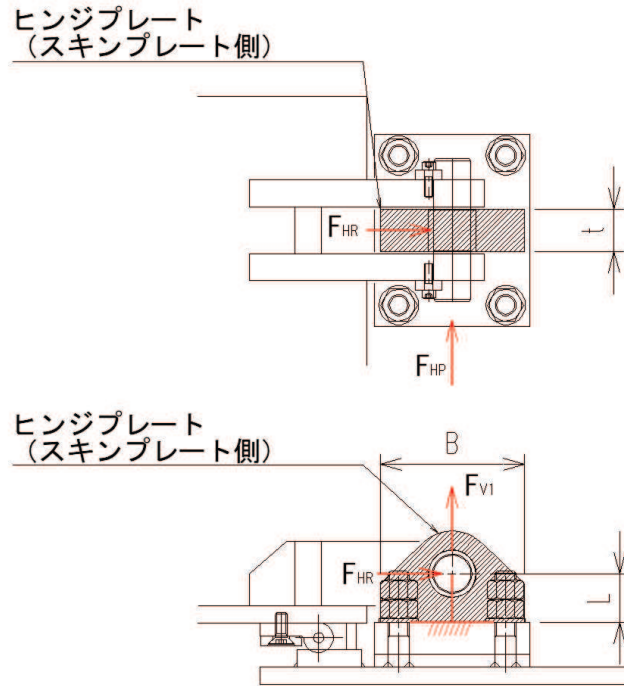
$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- σ_N : 軸方向引張応力度 (N/mm²)
- σ_{bR} : 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)
- σ_{bP} : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)
- σ_{bV1} : 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)
- τ_R : 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)
- τ_P : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)
- τ_{PX} : 回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度 (N/mm²)
- x : 合成応力度 (N/mm²)
- F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
- F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- L_h : ヒンジ支点間水平距離 (mm)
- L_v : ヒンジ支点間鉛直距離 (mm)
- Z_3 : 回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部) (mm³)
- Z_4 : 回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部) (mm³)
- Z_p : 極断面係数 (mm³)
- A_2 : ヒンジプレート（ハッチ側）の断面積 (mm²)

図5-6 (2) ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及びハッチ接合部の応力算定式

5.5.4.2 ヒンジプレート（スキンプレート側）

ヒンジプレート（スキンプレート側）のエンドプレート接合部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート（スキンプレート側）のモデル図及び応力算定式を図5-7に示す。



$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bR} + \sigma_{bP}$$

$$\sigma_N = F_{V1} / A$$

$$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L / Z_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L / Z_2$$

$$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P$$

$$\tau_R = F_{HR} / A$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

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

ここで、

σ_N : 軸方向引張応力度 (N/mm²)

σ_{bR} : 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

σ_{bP} : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_R : 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

τ_P : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

L : ヒンジ基部からピン穴間距離 (mm)

Z_1 : 回転軸平行方向回りの断面係数 (mm³)

Z_2 : 回転軸直角方向回りの断面係数 (mm³)

A : ヒンジプレート（スキンプレート側）の断面積 (mm²)

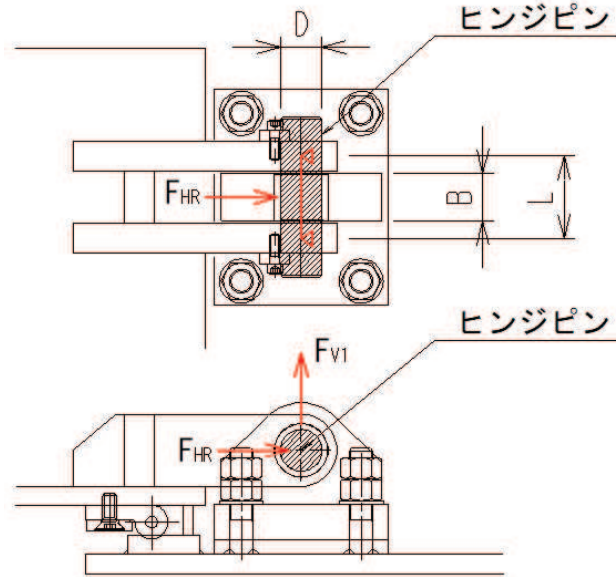
B : ヒンジプレート幅 (mm)

t : ヒンジプレート板厚 (mm)

図5-7 ヒンジプレート（スキンプレート側）のモデル図及び応力算定式

5.5.4.3 ヒンジピン

ヒンジピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジピンのモデル図及び応力算定式を図5-8に示す。



$$\sigma = F \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$F = \sqrt{F_{HR}^2 + F_{V1}^2}$$

$$\tau = F / 2 / A$$

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

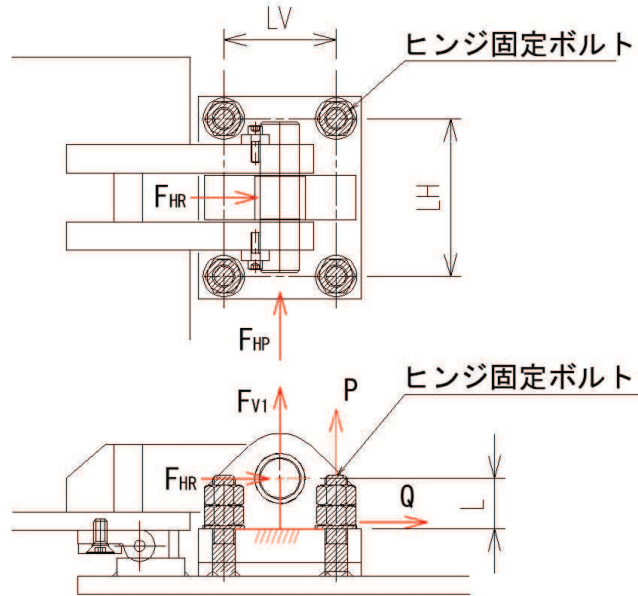
ここで，

- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- F : ヒンジピンにはたらく合成荷重 (kN)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- x : 合成応力度 (N/mm²)
- F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
- L : ヒンジ支点間距離 (mm)
- B : 荷重の載荷長 (mm)
- Z : 断面係数 (mm³)
- A : ヒンジピンの断面積 (mm²)
- D : ヒンジピンの直径 (mm)

図5-8 ヒンジピンのモデル図及び応力算定式

5.5.4.4 ヒンジ固定ボルト

ヒンジ固定ボルトに発生する引張応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式を図5-9に示す。



$$\sigma = P / A_4$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{V1} / (N_H \cdot N_V)$$

$$\tau = Q / A_4$$

$$Q = \sqrt{Q_R^2 + Q_P^2}$$

$$Q_R = F_{HR} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Q_P = F_{HP} / (N_H \cdot N_V)$$

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

ここで，

σ : 引張応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

P : ボルト引張力 (kN)

P_R : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)

P_P : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)

P_V : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)

Q : ボルトせん断力 (kN)

Q_R : 回転軸直角方向によるせん断力 (kN)

Q_P : 回転軸平行方向によるせん断力 (kN)

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

L : ヒンジ基部-ピン穴間距離 (mm)

L_V : 回転軸平行方向のボルトピッチ (mm)

L_H : 回転軸直角方向のボルトピッチ (mm)

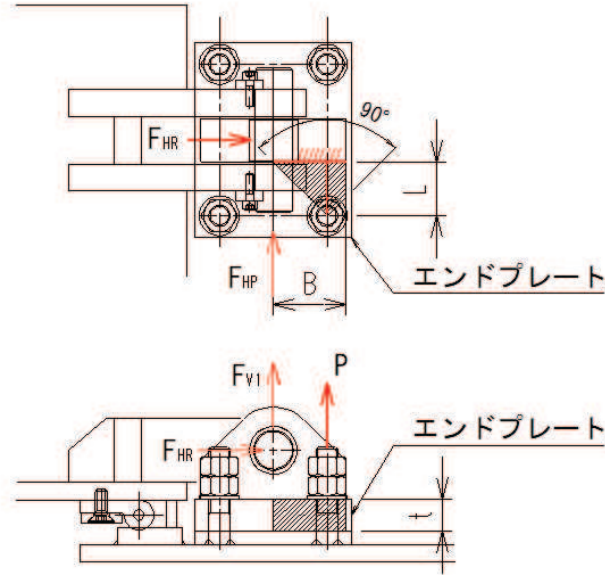
N_H : 回転軸平行方向のボルト本数

N_V : 回転軸直角方向のボルト本数

図5-9 ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式

5.5.4.5 エンドプレート

ヒンジプレート（スキンプレート側）に接合されヒンジ部固定ボルトにより支持されるエンドプレートに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。エンドプレートのモデル図及び応力算定式を図5-10に示す。



$$\sigma = P \cdot L / Z$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{V1} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = P / A$$

$$A = B \cdot t$$

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

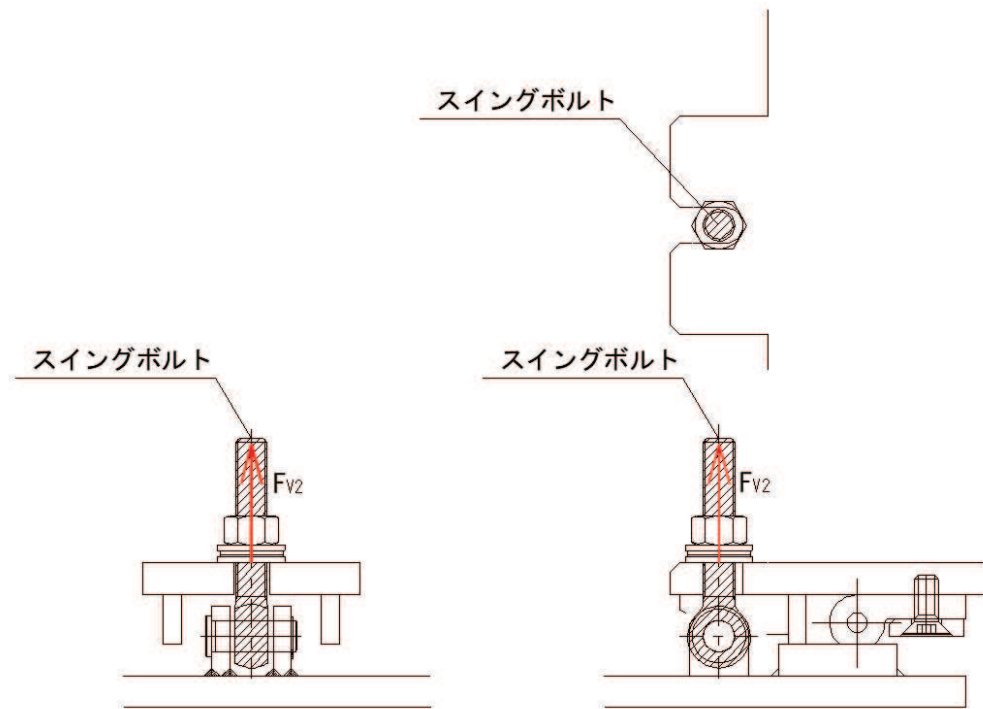
ここで，

- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- x : 合成応力度 (N/mm²)
- P : ボルト引張力 (kN)
- P_R : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)
- P_P : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)
- P_V : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)
- Z : 断面係数 (mm³)
- B : 有効断面幅 (mm)
- A : エンドプレートの有効断面積 (mm²)
- L : ヒンジ板表面からボルト穴までの距離 (mm)
- t : エンドプレートの板厚 (mm)
- L_V : 回転軸平行方向のボルトピッチ (mm)
- L_H : 回転軸直角方向のボルトピッチ (mm)
- N_H : 回転軸平行方向のボルト本数
- N_V : 回転軸直角方向のボルト本数

図5-10 エンドプレートのモデル図及び応力算定式

5.5.4.6 スイングボルト

スイングボルトに発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトのモデル図及び応力算定式を図5-11に示す



$$\sigma = F_{v2} / A$$

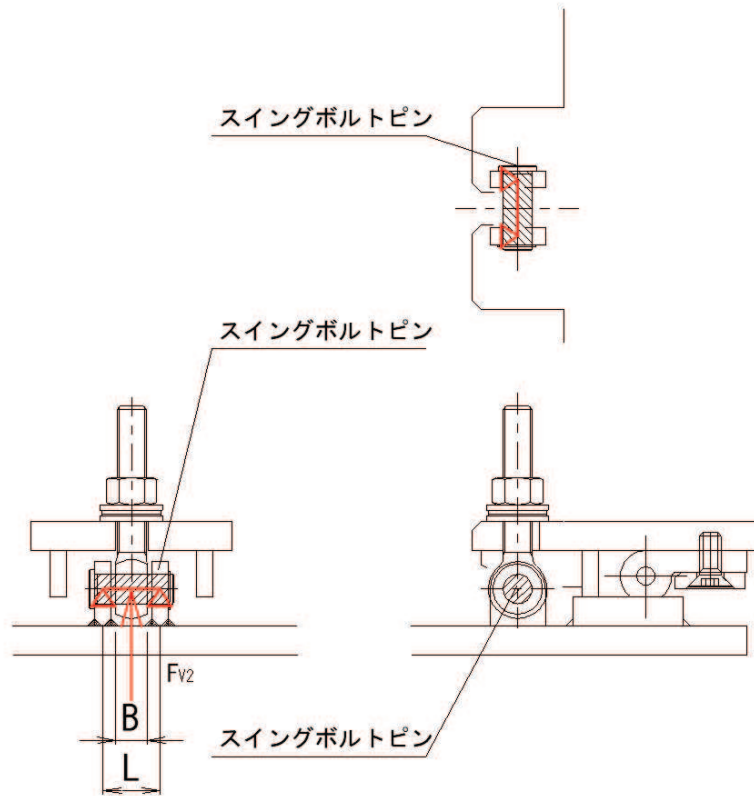
ここで、

- σ : 引張応力度 (N/mm²)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- A : スイングボルトの断面積 (mm²)

図5-11 スイングボルトのモデル図及び応力算定式

5.5.4.7 スイングボルトピン

スイングボルトピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式を図5-12に示す。



$$\sigma = F_{v2} \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$\tau = F_{v2} / 2 / A$$

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

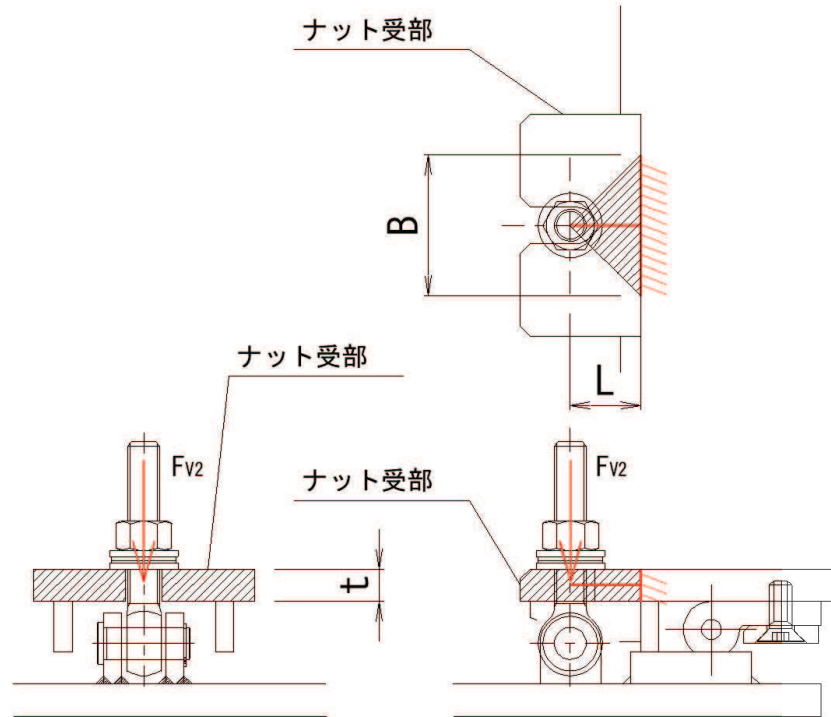
ここで，

- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- x : 合成応力度 (N/mm²)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- L : ヒンジ支点間距離 (mm)
- B : 荷重の載荷長 (mm)
- Z : 断面係数 (mm³)
- A : スイングボルトピンの断面積 (mm²)

図5-12 スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式

5.5.4.8 ナット受部

スイングボルトのナットから荷重を伝達するナット受部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ナット受金具のモデル図及び応力算定式を図5-13に示す



$$\sigma = F_{v2} \cdot L / Z$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = F_{v2} / A$$

$$A = B \cdot t$$

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

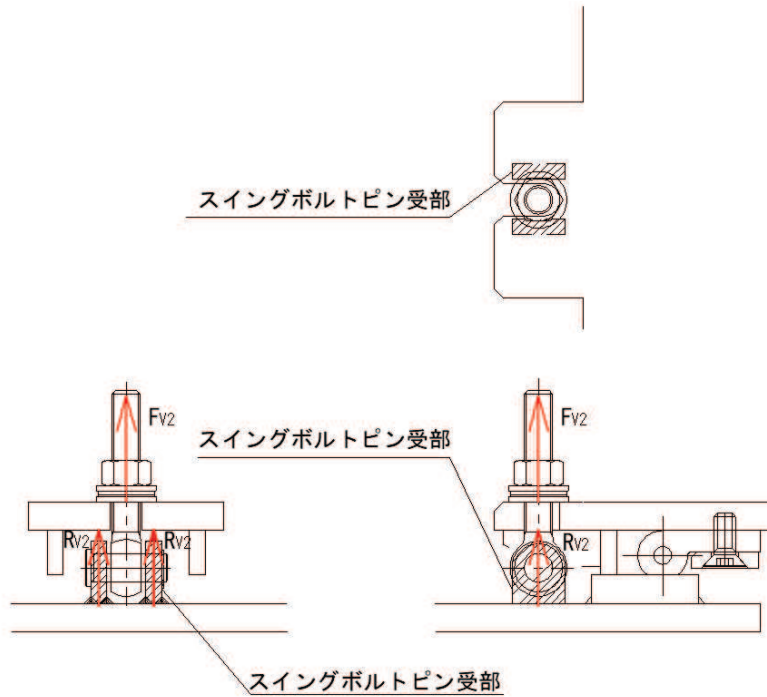
ここで、

- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- x : 合成応力度 (N/mm²)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- L : 腕長さ (mm)
- Z : 断面係数 (mm³)
- B : 有効断面幅 (mm)
- A : ナット受部の有効断面積 (mm²)
- t : ナット受部の板厚 (mm)

図5-13 ナット受部のモデル図及び応力算定式

5.5.4.9 スイングボルトピン受部

スイングボルトピンを支持し、ハッチ部（スキンプレート側）に荷重を伝達するスイングボルトピン受部に発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式を図 5-14 に示す



$$\sigma = R_{v2} / A$$

$$R_{v2} = F_{v2} / 2$$

ここで、

- σ : 引張応力度 (N/mm²)
- R_{v2} : スイングボルトピン受金具が負担する
締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- A : スイングボルトピン受部の断面積 (mm²)

図 5-14 スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式

5.6 評価条件

浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値を表 5-6 に示す。

表 5-6 (1) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (主桁, スキンプレート, 固定ボルト)

評価対象 部位	記号	単位	定義	数値
主桁 (受部)	G	kN	主桁とスキンプレーートの固定荷重	13.30
	P _s	kN	積雪荷重	1.13
	A	m ²	浸水防止蓋の面積	3.74
	L ₁	mm	主桁 (受部) の負担幅	875
	L ₂	mm	主桁 (受部) 全長	1700
	A _s	mm ²	主桁 (受部) のせん断断面積	1998
	Z	mm ³	主桁 (受部) の断面係数	8.46×10 ⁵
主桁 (戸当り部) 下フランジ	G	kN	主桁とスキンプレーートの固定荷重	13.30
	P _s	kN	積雪荷重	1.13
	L ₃	mm	固定ボルト中心位置から主桁 (戸当り部) 中心位置までの距離	90
	B	mm	主桁 (戸当り部) 下フランジの有効幅 (mm)	171
	t _b	mm	主桁 (戸当り部) 下フランジの厚さ	14
スキン プレート	G	kN	スキンプレーートの固定荷重	6.61
	P _s	kN	積雪荷重	1.13
	A	m ²	浸水防止蓋の面積	3.74
	L ₄	mm	スキンプレーートの支持長辺長さ	935
	L ₅	mm	スキンプレーートの支持短辺長さ	895
	β ₂	—	スキンプレーートの辺長比に応じた係数	0.4
	t	mm	スキンプレーートの厚さ	16
固定 ボルト	G	kN	主桁とスキンプレーートの固定荷重	13.30
	P _s	kN	積雪荷重	1.13
	N	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数	28

表 5-6 (2) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重：回転軸直角方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	9.66
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	L_h	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	L_v	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	4.08×10^4
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	9.25×10^4
	Z_3	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	1.02×10^5
	Z_4	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	1.49×10^5
	Z_p	mm ³	極断面係数	5.50×10^4
	A_1	mm ²	断面積	3500
A_2	mm ²	断面積	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	9.66
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	L	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数	1.22×10^5
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数	3.60×10^4
A	mm ²	断面積	5400	
ヒンジピン	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	9.66
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	ヒンジ支点間距離	69
	B	mm	荷重の載荷長	40
	Z	mm ³	断面係数	6283
	A	mm ²	断面積	1257
ヒンジ固定ボルト	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	9.66
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	L_v	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	L_h	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	N_h	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	N_v	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 5-6 (3) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重：回転軸直角方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	P_R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	2.42
	P_P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	0
	P_V	kN	鉛直方向荷重による引張力	0.31
	Z	mm ³	断面係数	1.15×10^4
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm ²	有効断面積	2160
スイングボルト	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	A	mm ²	断面積	157
スイングボルトピン	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm ³	断面係数	402
	A	mm ²	断面積	201
ナット受部	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm ³	断面係数	2987
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm ²	有効断面積	1120
スイングボルトピン受部	F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	A	mm ²	断面積	121.50

表 5-6 (4) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重：回転軸平行方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	16.86
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	9.66
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	L_h	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	L_v	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	4.08×10^4
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	9.25×10^4
	Z_3	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	1.02×10^5
	Z_4	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	1.49×10^5
	Z_p	mm ³	極断面係数	5.50×10^4
	A_1	mm ²	断面積 (中間部)	3500
A_2	mm ²	断面積 (接合部)	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	16.86
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	9.66
	L	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数	1.22×10^5
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数	3.60×10^4
	A	mm ²	断面積	5400
ヒンジピン	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	16.86
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	ヒンジ支点間距離	69
	B	mm	荷重の載荷長	40
	Z	mm ³	断面係数	6283
	A	mm ²	断面積	1257
ヒンジ固定ボルト	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	16.86
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	9.66
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	L_v	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	L_h	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	N_h	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	N_v	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 5-6 (5) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重：回転軸平行方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	P_R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	4.22
	P_P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	1.73
	P_V	kN	鉛直方向荷重による引張力	0.31
	Z	mm ³	断面係数	1.15×10^4
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm ²	有効断面積	2160
スイングボルト	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	A	mm ²	断面積	157
スイングボルトピン	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm ³	断面係数	402
	A	mm ²	断面積	201
ナット受部	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm ³	断面係数	2987
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm ²	有効断面積	1120.0
スイングボルトピン受部	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	1.24
	A	mm ²	断面積	121.50

6. 評価結果

浸水防止蓋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、すべ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 (1) 浸水防止蓋の耐震評価結果 (主桁, スキンプレート, 固定ボルト)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
主桁 (受け部)	曲げ	5	N/mm ²	325	N/mm ²	0.02 < 1.0
	せん断	5	N/mm ²	188	N/mm ²	0.03 < 1.0
	組合せ	10	N/mm ²	325	N/mm ²	0.04 < 1.0
主桁 (戸当り部) 下フランジ	曲げ	180	N/mm ²	325	N/mm ²	0.56 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	188	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	181	N/mm ²	325	N/mm ²	0.56 < 1.0
スキンプレート	曲げ	9	N/mm ²	325	N/mm ²	0.03 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	188	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	10	N/mm ²	325	N/mm ²	0.04 < 1.0
固定ボルト	引張	1.2	kN	37.7	kN	0.04 < 1.0
	せん断	2.6	kN	32.9	kN	0.08 < 1.0
	組合せ	—		—		0.01 < 1.0

表 6-1 (2) 浸水防止蓋の耐震評価結果 (荷重：回転軸直角方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	7	N/mm ²	265	N/mm ²	0.03<1.0
	せん断	1	N/mm ²	153	N/mm ²	0.01<1.0
	組合せ	7	N/mm ²	291	N/mm ²	0.03<1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	6	N/mm ²	265	N/mm ²	0.03<1.0
	せん断	2	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02<1.0
	組合せ	6	N/mm ²	291	N/mm ²	0.03<1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	5	N/mm ²	265	N/mm ²	0.02<1.0
	せん断	2	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02<1.0
	組合せ	6	N/mm ²	291	N/mm ²	0.03<1.0
ヒンジピン	曲げ	19	N/mm ²	265	N/mm ²	0.08<1.0
	せん断	4	N/mm ²	153	N/mm ²	0.03<1.0
	組合せ	21	N/mm ²	291	N/mm ²	0.08<1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	12	N/mm ²	265	N/mm ²	0.05<1.0
	せん断	10	N/mm ²	153	N/mm ²	0.07<1.0
	組合せ	21	N/mm ²	291	N/mm ²	0.08<1.0
エンドプレート	曲げ	11	N/mm ²	265	N/mm ²	0.05<1.0
	せん断	2	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02<1.0
	組合せ	11	N/mm ²	291	N/mm ²	0.04<1.0
スイングボルト	引張	8	N/mm ²	265	N/mm ²	0.04<1.0
スイングボルト ピン	曲げ	17	N/mm ²	273	N/mm ²	0.07<1.0
	せん断	4	N/mm ²	157	N/mm ²	0.03<1.0
	組合せ	18	N/mm ²	300	N/mm ²	0.06<1.0
ナット受部	曲げ	15	N/mm ²	273	N/mm ²	0.06<1.0
	せん断	2	N/mm ²	157	N/mm ²	0.02<1.0
	組合せ	15	N/mm ²	300	N/mm ²	0.05<1.0
スイングボルト ピン受部	引張	6	N/mm ²	273	N/mm ²	0.03<1.0

表 6-1 (3) 浸水防止蓋の耐震評価結果 (荷重：回転軸平行方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	23	N/mm ²	265	N/mm ²	0.09 < 1.0
	せん断	4	N/mm ²	153	N/mm ²	0.03 < 1.0
	組合せ	24	N/mm ²	291	N/mm ²	0.09 < 1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	10	N/mm ²	265	N/mm ²	0.04 < 1.0
	せん断	28	N/mm ²	153	N/mm ²	0.19 < 1.0
	組合せ	50	N/mm ²	291	N/mm ²	0.18 < 1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	21	N/mm ²	265	N/mm ²	0.08 < 1.0
	せん断	5	N/mm ²	153	N/mm ²	0.04 < 1.0
	組合せ	23	N/mm ²	291	N/mm ²	0.08 < 1.0
ヒンジピン	曲げ	33	N/mm ²	265	N/mm ²	0.13 < 1.0
	せん断	7	N/mm ²	153	N/mm ²	0.05 < 1.0
	組合せ	35	N/mm ²	291	N/mm ²	0.13 < 1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	26	N/mm ²	265	N/mm ²	0.10 < 1.0
	せん断	20	N/mm ²	153	N/mm ²	0.14 < 1.0
	組合せ	43	N/mm ²	291	N/mm ²	0.15 < 1.0
エンドプレート	曲げ	25	N/mm ²	265	N/mm ²	0.10 < 1.0
	せん断	3	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	25	N/mm ²	291	N/mm ²	0.09 < 1.0
スイングボルト	引張	8	N/mm ²	265	N/mm ²	0.04 < 1.0
スイングボルト ピン	曲げ	17	N/mm ²	273	N/mm ²	0.07 < 1.0
	せん断	4	N/mm ²	157	N/mm ²	0.03 < 1.0
	組合せ	18	N/mm ²	300	N/mm ²	0.06 < 1.0
ナット受部	曲げ	15	N/mm ²	273	N/mm ²	0.06 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	157	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	15	N/mm ²	300	N/mm ²	0.05 < 1.0
スイングボルト ピン受部	引張	6	N/mm ²	273	N/mm ²	0.03 < 1.0

VI-2-10-2-8-3 浸水防止蓋
(揚水井戸 (第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内)) 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	11
4.	固有値解析	13
4.1	固有振動数の計算方法	13
4.2	固有振動数の計算条件	16
4.3	固有振動数の計算結果	16
5.	構造強度評価	17
5.1	構造強度評価方法	17
5.2	荷重及び荷重の組合せ	17
5.3	許容限界	18
5.4	設計用地震力	20
5.5	評価方法	21
5.6	評価条件	39
6.	評価結果	44
7.	揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）の耐震評価	47
7.1	揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）の構造概要	47
7.2	評価方針	48
7.3	適用基準	50
8.	地震応答解析	51
8.1	評価対象断面	51
8.2	評価方針	54
8.3	地盤の応答解析モデル	55
8.4	地盤応答	73
9.	耐震評価	74
9.1	評価方針	74
9.2	許容限界	74
9.3	評価方法	75
9.4	評価結果	77

1. 概要

本資料は、添付書類「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浸水防止蓋（揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内））（以下「浸水防止蓋」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確認するものである。その耐震評価は浸水防止蓋の固有値解析及び応力評価により行う。

浸水防止蓋は、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。

あわせて、浸水防止蓋の間接支持構造物である揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）の構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を示す。

なお、浸水防止蓋及び揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）の耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

浸水防止蓋は、揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部に設置する。
浸水防止蓋の設置位置図を図2-1に示す。

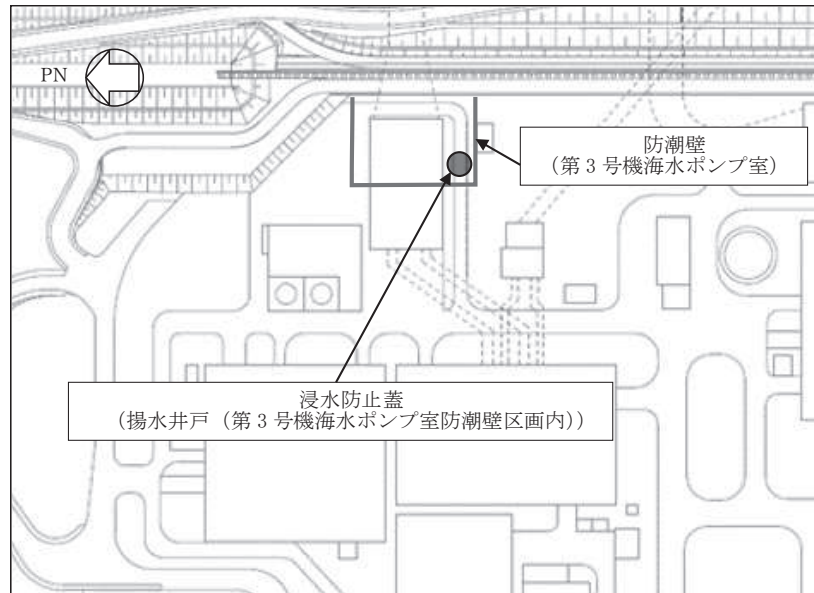


図2-1 浸水防止蓋の設置位置図

2.2 構造計画

浸水防止蓋の構造は、円形のスキンプレートに受桁（H 型鋼）を組み合わせた浸水防止蓋と、メンテナンス等のため開閉を行うハッチを組み合わせた構造とする。

浸水防止蓋は、揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部に固定ボルトにて固定する。浸水防止蓋の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 浸水防止蓋の構造計画

計画の概要		構造概略図
基礎・支持構造	主体構造	
揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）上部に固定ボルトで固定する。受桁は揚水井戸に溶接で固定する。	浸水防止蓋，受桁，ハッチ及び固定ボルトにより構成する。	

2.3 評価方針

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「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」に示す浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」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及び「8. 地震応答解析」から得られる加速度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。

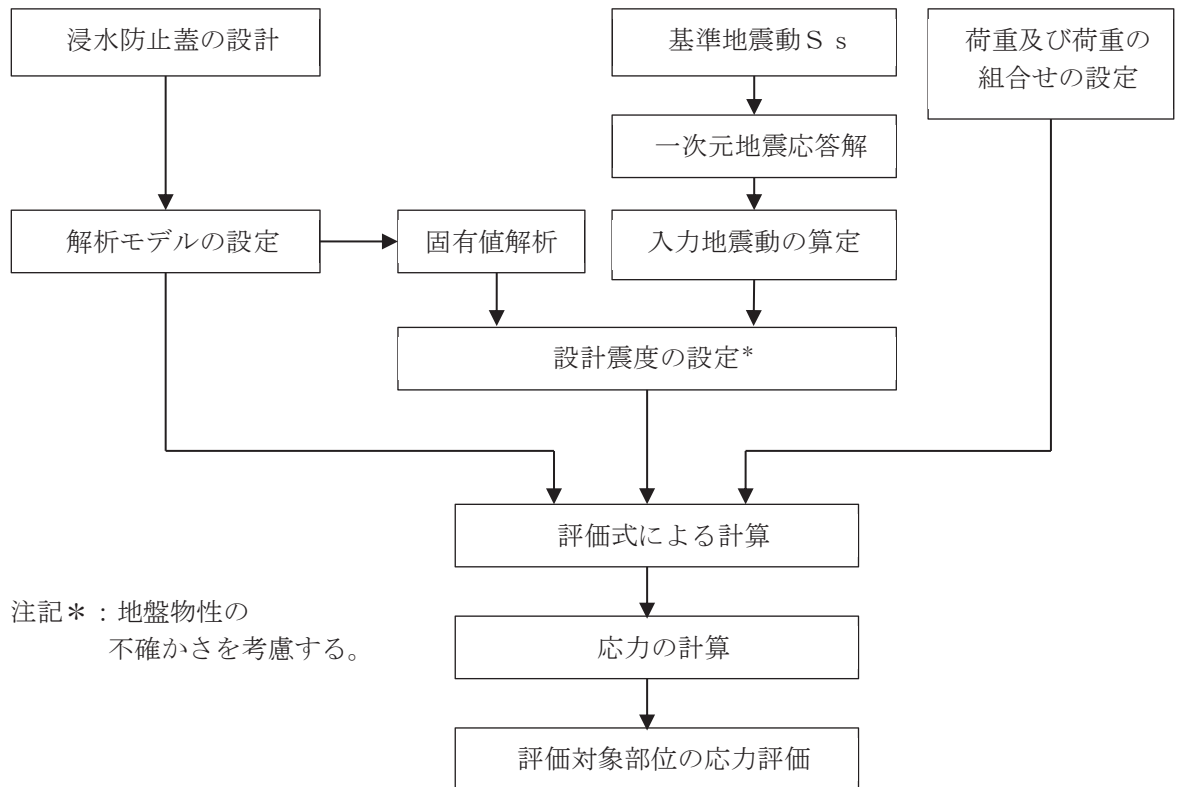


図 2-2 耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—
- (2) 機械工学便覧（日本機械学会）
- (3) ダム堰施設技術協会 平成 28 年 ダム堰施設技術基準（案）（基準解説編設備計画マニュアル編）

2.5 記号の説明

浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 (1) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (スキンプレート, 受桁, 固定ボルト)

記号	単位	定義
S_s	kN	基準地震動 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
P_s	kN	積雪荷重
W_s	N/m^2	1 cm 当りの積雪荷重
d_s	cm	積雪高さ
A	m^2	浸水防止蓋の面積
$W_{s s}$	kN/m^2	単位面積当りの等分布荷重
$W_{s s}'$	kN/m	単位長さ当りの等分布荷重
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	$kN \cdot m$	最大曲げモーメント
x	N/mm^2	組合せ応力度
L_1	mm	スキンプレートの支持短辺長さ
L_2	mm	スキンプレートの支持長辺長さ
L_3	mm	受桁の負担幅
L_4	mm	受桁全長
t	mm	スキンプレートの厚さ
N	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数
A'	mm^2	固定ボルトの有効断面積
σ_t	N/mm^2	固定ボルト 1 本当りに作用する引張応力度
τ_s	N/mm^2	固定ボルト 1 本当りに作用するせん断応力度

表 2-2 (2) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
共通	W_{HR}	kN	水平荷重 (回転軸直角方向)
	W_{HP}	kN	水平荷重 (回転軸平行方向)
	W_V	kN	鉛直荷重
	W_R	kN	水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力
	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	ハッチの固定荷重
	P_s	kN	積雪荷重
	L_c	mm	ハッチ中心から回転軸までの水平距離
	L_h	mm	ヒンジ支点間水平距離
	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重
F_{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	
ヒンジプレート (ハッチ側)	σ_N	N/mm^2	軸方向引張応力度
	σ_{bR}	N/mm^2	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	σ_{bP}	N/mm^2	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	σ_{bV1}	N/mm^2	鉛直方向荷重の曲げ応力度
	τ_R	N/mm^2	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	τ_P	N/mm^2	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	τ_v	N/mm^2	回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度
	τ_{PX}	N/mm^2	合成応力度
	σ	N/mm^2	合成応力度
	Z_1	mm^3	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)
	Z_2	mm^3	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)
	Z_p	mm^3	極断面係数
A	mm^2	断面積	

表 2-2 (3) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジプレート (スキンプレート側)	σ_N	N/mm ²	軸方向引張応力度
	σ_{bR}	N/mm ²	回転軸直角方向荷重の曲げ応力度
	σ_{bP}	N/mm ²	回転軸平行方向荷重の曲げ応力度
	τ_R	N/mm ²	回転軸直角方向荷重のせん断応力度
	τ_P	N/mm ²	回転軸平行方向荷重のせん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離
	Z_3	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)
	Z_4	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)
	A	mm ²	断面積
	B	mm	ヒンジプレート幅
t	mm	ヒンジプレート板厚	
ヒンジピン	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	ヒンジ支点間距離
	B	mm	荷重の載荷長
	Z	mm ³	断面係数
	A	mm ²	ヒンジピンの断面積
D	mm	ヒンジピンの直径	

表 2-2 (4) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
ヒンジ 固定 ボルト	σ	N/mm ²	引張応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	P	kN	ボルト引張力
	P_R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	P_P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	P_V	kN	鉛直方向荷重による引張力
	Q	kN	ボルトせん断力
	Q_R	kN	回転軸直角方向によるせん断力
	Q_P	kN	回転軸平行方向によるせん断力
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離
	L_V	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ
	L_H	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ
	N_H	本	回転軸平行方向のボルト本数
N_V	本	回転軸直角方向のボルト本数	
エンド プレート	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	P	kN	ボルト引張力
	P_R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力
	P_P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力
	P_V	kN	鉛直方向荷重による引張力
	Z	mm ³	断面係数
	B	mm	有効断面幅
	A	mm ²	エンドプレートの有効断面積
	L	mm	ヒンジ板表面からボルト穴までの距離
t	mm	エンドプレートの板厚	

表 2-2 (5) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (ハッチ部)

評価対象部位	記号	単位	定義
スイングボルト	σ	N/mm ²	引張応力度
	A	mm ²	断面積
スイングボルトピン	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	L	mm	ヒンジ支点間距離
	B	mm	荷重の載荷長
	Z	mm ³	断面係数
	A	mm ²	スイングボルトピンの断面積
	D	mm	スイングボルトピンの直径
ナット受部	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	x	N/mm ²	合成応力度
	F _{v2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重
	L	mm	腕長さ
	Z	mm ³	断面係数
	B	mm	有効断面幅
	A	mm ²	ナット受部の有効断面積
スイングボルトピン受部	t	mm	ナット受部の板厚
	σ	N/mm ²	引張応力度
	R _{v2}	kN	スイングボルトピン受金具が負担する締付部に作用する鉛直荷重
	A	mm ²	スイングボルトピン受部の断面積
	B	mm	スイングボルトピン受部の幅
t	mm	スイングボルトピン受部の板厚	

3. 評価対象部位

浸水防止蓋の評価対象部位は、「2.2 構造計画」に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。

浸水防止蓋の本体（ハッチ部以外）については、地震に伴う慣性力がスキンプレートに伝わり、受桁及び固定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、受桁及び固定ボルトを評価対象部位として設定する。浸水防止蓋のハッチ部については、閉止時を基本とした荷重の作用方向及び伝達過程を考慮する。ハッチ部に作用する慣性力は、ヒンジ部（ヒンジプレート（ハッチ側、スキンプレート側）、ヒンジピン、ヒンジ固定ボルト及びエンドプレート）及び締付部（スイングボルト、スイングボルトピン、ナット受部及びスイングボルトピン受部）を介して受桁に伝達されることから、ヒンジ部及び締付部の各部位を評価対象部位として設定する。評価対象部位を図3-1に示す。

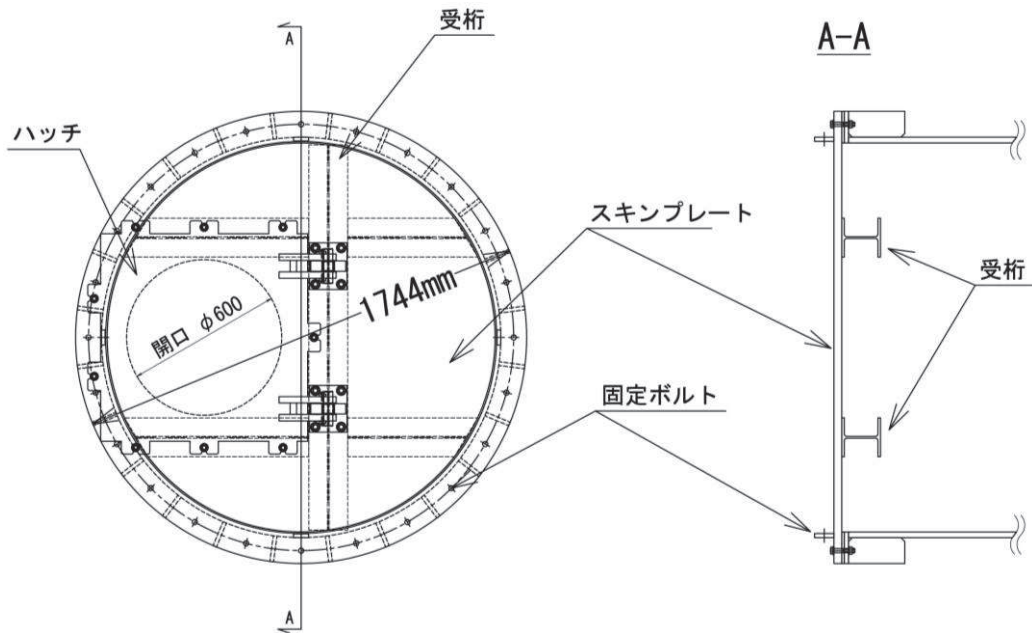
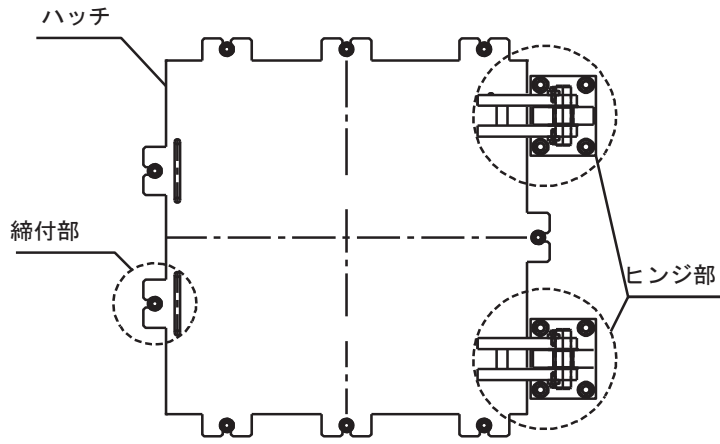
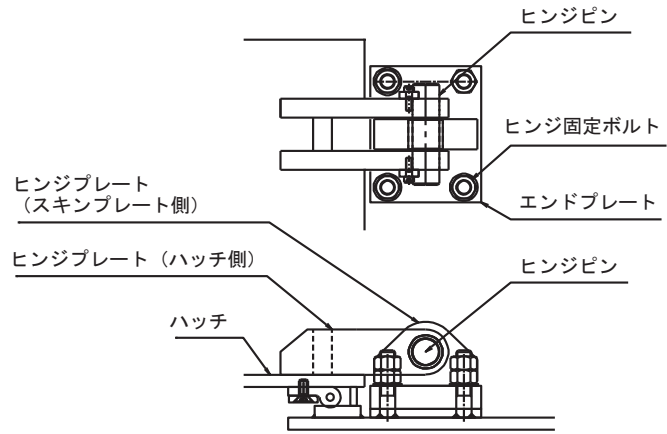


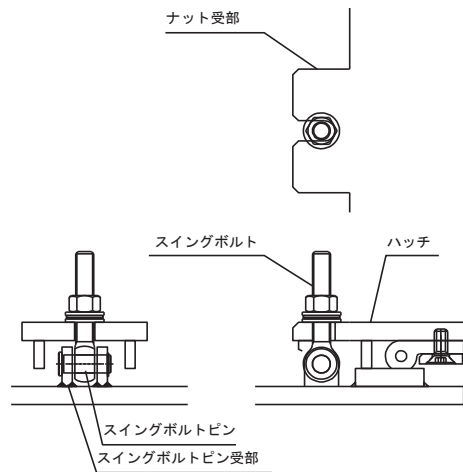
図3-1 (1) 評価対象部位（スキンプレート、受桁及び固定ボルト）



(ハッチ部の構造概要)



(ヒンジ部の評価対象部位)



(締付部の評価対象部位)

図 3-1 (2) 評価対象部位 (ハッチ部)

4. 固有値解析

4.1 固有振動数の計算方法

浸水防止蓋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

ハッチ部は基本閉止しスキンプレートと一体構造であることから、スキンプレートについては、円板に単純化したモデルとし、モデル化に用いる長さはスキンプレート直径とする。ハッチ部については、周囲をボルトで固定することから、四辺支持の長方形板に単純化したモデルとする。受桁については、剛な断面を有しているとともに、溶接で躯体と固定する構造であることから、両端固定支持に単純化したモデルとし、モデル化には、全長が最も長い受桁を対象とする。図4-1に解析モデル図を示す。

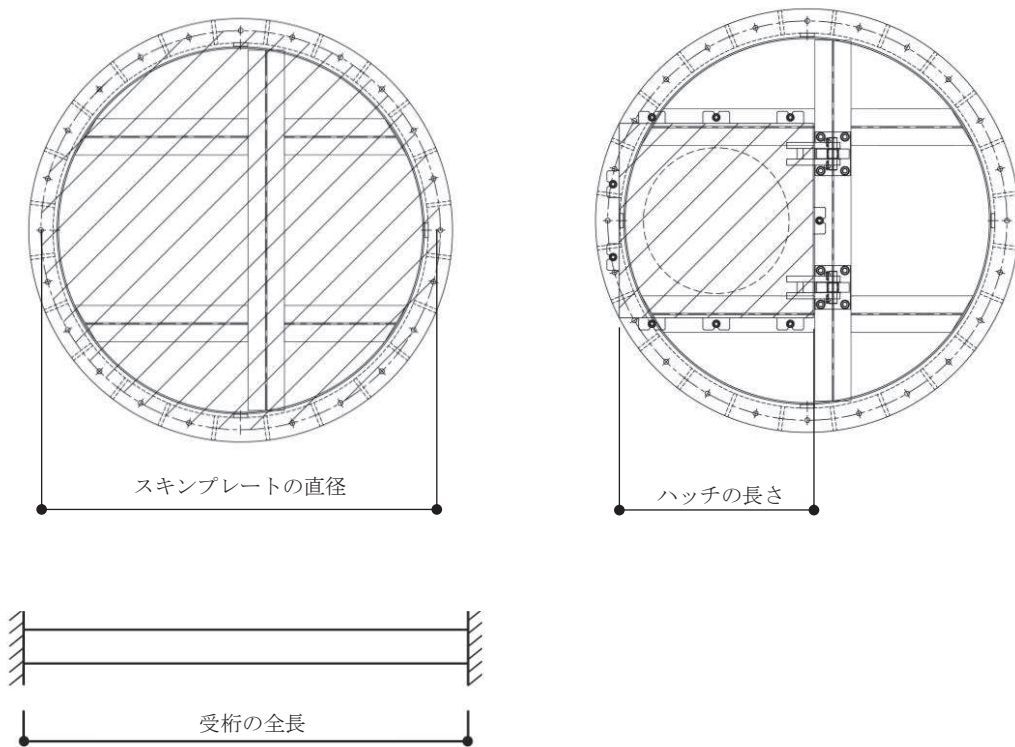


図4-1 スキンプレート、ハッチ及び受桁の固有値解析モデル

4.1.2 記号の説明

各部材の固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1(1) スキンプレートの固有振動数の計算に用いる記号

記号	単位	定義
f_1	Hz	一次固有振動数
t	mm	スキンプレートの厚さ
a	mm	スキンプレートの半径
E	N/mm ²	ヤング率
g	m/s ²	重力加速度
σ	-	ポアソン比
γ	N/mm ³	鋼材の単位体積重量

表 4-1(2) ハッチの固有振動数の計算に用いる記号

記号	単位	定義
f_2	Hz	一次固有振動数
t	mm	ハッチの厚さ
a	mm	ハッチの幅
b	mm	ハッチの長さ
E	N/mm ²	ヤング率
g	m/s ²	重力加速度
σ	-	ポアソン比
γ	N/mm ³	鋼材の単位体積重量

表 4-1(3) 受桁の固有振動数の計算に用いる記号

記号	単位	定義
f_3	Hz	受桁の一次固有振動数
L_3	mm	受桁の全長
E	N/mm ²	ヤング率
I_3	mm ⁴	受桁の断面二次モーメント
m_3	kg/mm	受桁の質量分布

4.1.3 固有振動数の算出方法

固有振動数 f を「機械工学便覧（日本機械学会）」、「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。

(1) スキンプレート

$$f_1 = \frac{11.00^2 \cdot t}{4\pi a^2} \sqrt{\frac{E \cdot g}{3 \cdot (1 - \sigma^2) \cdot \gamma}}$$

(2) ハッチ

$$f_2 = \frac{\pi \cdot t}{4} \cdot \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot g}{3 \cdot (1 - \sigma^2) \cdot \gamma}}$$

(3) 受桁

$$f_3 = \frac{4.73^2}{2\pi L_3^2} \sqrt{\frac{E \cdot I_3 \cdot 10^3}{m_3}}$$

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(1) スキンプレーートの固有振動数の計算条件

スキンプレーートの厚さ t (mm)	スキンプレーートの半径 a (mm)	ヤング率 E (N/mm ²)	重力加速度 g (m/s ²)	ポアソン比 σ (-)	単位体積重量 γ (N/mm ³)
16	872	2.05×10 ⁵	9.80665	0.3	7.7×10 ⁻⁶

表 4-2(2) ハッチの固有振動数の計算条件

ハッチの厚さ t (mm)	ハッチの幅 a (mm)	ハッチの長さ b (mm)	ヤング率 E (N/mm ²)	重力加速度 g (m/s ²)	ポアソン比 σ (-)	単位体積重量 γ (N/mm ³)
16	800	800	2.05×10 ⁵	9.80665	0.3	7.7×10 ⁻⁶

表 4-2(3) 受桁固有振動数の計算条件

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/mm)
1485	2.05×10 ⁵	5.63×10 ⁶	3.11×10 ⁻²

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

部位	固有振動数 (Hz)
スキンプレーート	62.65
ハッチ	384.04
受桁	311.06

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「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」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

浸水防止蓋の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$G + S_s + P_s$$

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)
 P_s : 積雪荷重 (kN)

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、浸水防止蓋を構成する部材の自重を考慮する。

(2) 積雪荷重(P_s)

積雪荷重として、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち、添付書類「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき 43cm の積雪量を想定し、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮する。

積雪荷重による質量は以下の式より算出する。

$$P_s = 0.35 \cdot W_s \cdot d_s \cdot A \cdot 10^{-3}$$

ここで、
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 W_s : 1cm 当りの積雪荷重 20 (N/m²)
 d_s : 積雪高さ 43 (cm)
 A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

(3) 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。地震荷重は浸水防止蓋の固定荷重及び積雪荷重に設計震度を乗じた次式により算出する。

$$S_s = (G + P_s) \cdot k$$

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)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 k : 基準地震動 S_s の設計震度

5.3 許容限界

許容限界は、添付書類「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

浸水防止蓋を構成する各部材の使用材料を表 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	SM490Y	t = 16 (mm)
ハッチ	SM490Y	t = 16 (mm)
受桁	SM490Y	H-150×150×7×10 (mm)
固定ボルト	SM490Y	M16
ヒンジプレート	SM490Y	ハッチ側 t = 25 (mm) スキンプレート側 t = 40 (mm)
ヒンジピン	SM490Y	径 40 (mm)
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	M20
エンドプレート	SM490Y	t = 32 (mm)
スイングボルト	SM490Y	M16
スイングボルトピン	SM490Y	径 16 (mm)
ナット受部	SM490Y	t = 16 (mm)
スイングボルトピン受部	SM490Y	t = 9 (mm)

5.3.2 許容限界

(1) スキンプレート，受桁，固定ボルト

鋼材の許容応力度は，「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」を踏まえて表 5-2 の値とする。

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	せん断
SM490Y	325	188

(2) ハッチ部

ハッチを構成する各部材の許容値は，「ダム堰施設技術協会 平成 28 年 ダム堰施設技術基準（案）（基準解説編設備計画マニュアル編）」を踏まえて表 5-3 の値とする。

表 5-3 ハッチを構成する各部材の許容限界

評価対象部位	材質	短期許容応力度 (N/mm ²)		
		曲げ	せん断	引張
ヒンジプレート (ハッチ側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジプレート (スキンプレート側)	SM490Y	265	153	—
ヒンジピン	SM490Y	265	153	—
ヒンジ固定ボルト	SM490Y	265	153	—
エンドプレート	SM490Y	265	153	—
スイングボルト	SM490Y	—	—	265
スイングボルトピン	SM490Y	273	157	—
ナット受部	SM490Y	273	157	—
スイングボルトピン受部	SM490Y	—	—	273

5.4 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり、浸水防止蓋の固有振動数が20Hz以上であることを確認したため、浸水防止蓋の耐震評価に用いる設計震度は「8. 地震応答解析」に示す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

設置場所	床面高さ (m)	基準地震動 S_s の設計震度	
		水平方向 k_H	鉛直方向 k_v
揚水井戸 (第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内)	O.P. 14.0	0.52	1.34

5.5 評価方法

浸水防止蓋を構成する各部材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。

5.5.1 スキンプレート

スキンプレートの支持条件は四辺固定とし、図 5-1 に示すとおり、評価上最も厳しい条件となるよう評価を実施する。曲げ応力度及びせん断応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」より以下の式にて算出する。

- (1) 基準地震動 S_s による地震荷重 S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

ここで、
 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)
 P_s : 積雪荷重 (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面積当りの鉛直方向の荷重 W_{ss}

$$W_{ss} = (G + S_s + P_s) / A$$

ここで、
 W_{ss} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m²)
 G : スキンプレートの固定荷重 (kN)
 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

- (3) スキンプレートに作用する最大曲げ応力度 σ

スキンプレートに作用する曲げ応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\sigma = \beta_2 \cdot W_{ss} \cdot L_1^2 \cdot 10^{-3} / t^2$$

ここで、
 σ : スキンプレートに作用する最大曲げ応力度 (N/mm²)
 β_2 : スキンプレートの辺長比に応じた係数
 W_{ss} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m²)
 L_1 : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)
 t : スキンプレートの厚さ (mm)

- (4) スキンプレートに作用する最大せん断応力度 τ
 スキンプレートに作用するせん断応力度は「機械工学便覧（日本機械学会）」に基づき次式により算出する。

$$\tau = W_{ss} \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot 10^{-3} / (t \cdot (L_1 + L_2) \cdot 2)$$

- ここで、 τ : スキンプレートに作用する最大せん断応力度 (N/mm²)
 W_{ss} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 (kN/m²)
 L_1 : スキンプレートの支持短辺長さ (mm)
 L_2 : スキンプレートの支持長辺長さ (mm)
 t : スキンプレートの厚さ (mm)

- (5) スキンプレートに作用する組合せ応力度
 スキンプレートに作用する曲げ応力度，せん断応力度を算定し，スキンプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。また，スキンプレート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「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」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。

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

- ここで、 x : 組合せ応力度 (N/mm²)
 σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
 τ : せん断応力度 (N/mm²)

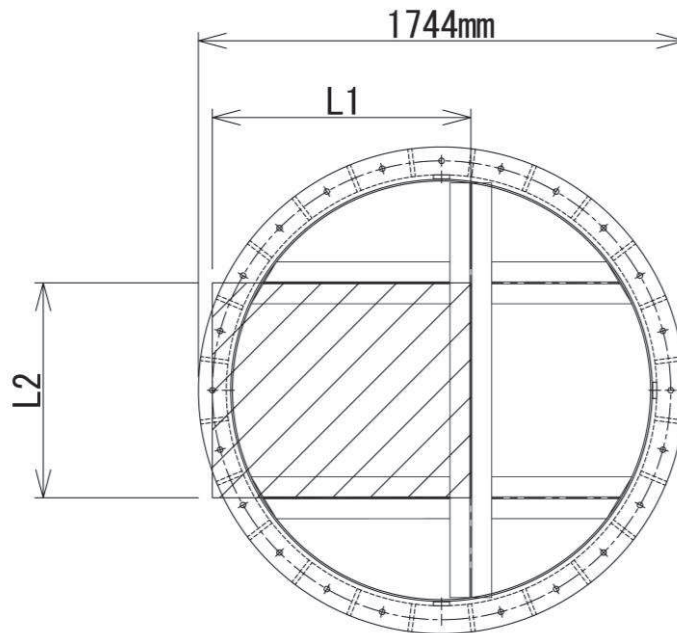


図 5-1 評価の対象とするスキンプレート

5.5.2 受桁

受桁の支持条件は両端を固定支持とし、受桁が負担する荷重は保守的にスキンプレートに上載される積雪荷重、スキンプレートの固定荷重の全重量及び地震荷重を受桁に作用させる。図5-2に評価の対象とする受桁を示す。

- (1) 基準地震動 S_s による地震荷重 S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)
 G : スキンプレートと受桁の固定荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 k_v : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

- (2) 受桁に作用する単位長さ当りの鉛直方向の等分布荷重 $W_{s s'}$

$$W_{s s'} = (G + S_s + P_s) \cdot L_3 \cdot 10^{-3} / A$$

ここで、 $W_{s s'}$: 受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)
 G : 受桁とスキンプレートの固定荷重 (kN)
 S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 L_3 : 受桁の負担幅 (mm)
 A : スキンプレートの面積 (m²)

- (3) 受桁に作用する最大せん断応力度 τ

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

τ : 受桁に作用する最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 受桁に作用する最大せん断力 (kN)

A_s : 受桁のせん断断面積 (mm²)

$$\text{ここで、 } Q = 1/2 \cdot W_{s s'} \cdot L_4 \cdot 10^{-3}$$

Q : 受桁に作用する最大せん断力 (kN)

$W_{s s'}$: 受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_4 : 受桁全長 (mm)

(4) 受桁に作用する最大曲げ応力度 σ

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

σ : 受桁に作用する最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 受桁に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 受桁の断面係数 (mm³)

ここで、 $M = 1/8 \cdot W s s' \cdot (L_4 \cdot 10^{-3})^2$

M : 受桁に作用する最大曲げモーメント (kN・m)

W s s' : 受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)

L₄ : 受桁全長 (mm)

(5) 受桁に作用する組合せ応力度

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「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」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。

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

ここで、 x : 組合せ応力度 (N/mm²)

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

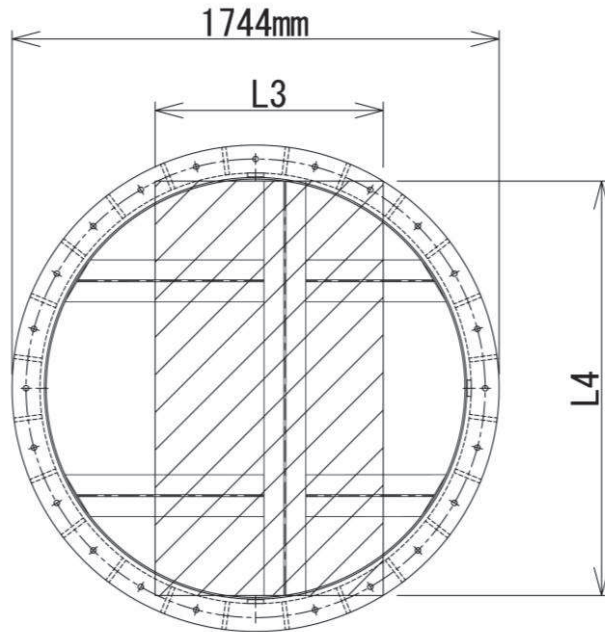


図 5-2 評価の対象とする受桁

5.5.3 固定ボルト

図 5-3 に固定ボルトの納まりを示す。

- (1) 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_H$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)
 G : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (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

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_V$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)
 G : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 k_V : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

- (3) 固定ボルト 1 本あたりに生じる引張応力度 σ_t

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

$$\text{ここで、} \quad T_s = S_s / N$$

σ_t : 固定ボルト 1 本あたりに生じる引張応力度 (N/mm)
 T_s : 固定ボルト 1 本あたりに生じる引張応力度 (kN)
 S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)
 N : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数
 A' : 固定ボルトの有効断面積 (mm²)

- (4) 固定ボルト 1 本あたりに生じるせん断応力度 τ_s

$$\tau_s = q_s \cdot 10^3 / A'$$

$$\text{ここで、} \quad q_s = S_s / N$$

τ_s : 固定ボルト 1 本あたりに作用するせん断応力度 (N/mm²)
 q : 固定ボルト 1 本あたりに作用するせん断力 (kN)
 S_s : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)
 N : 浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数
 A' : 固定ボルトの有効断面積 (mm²)

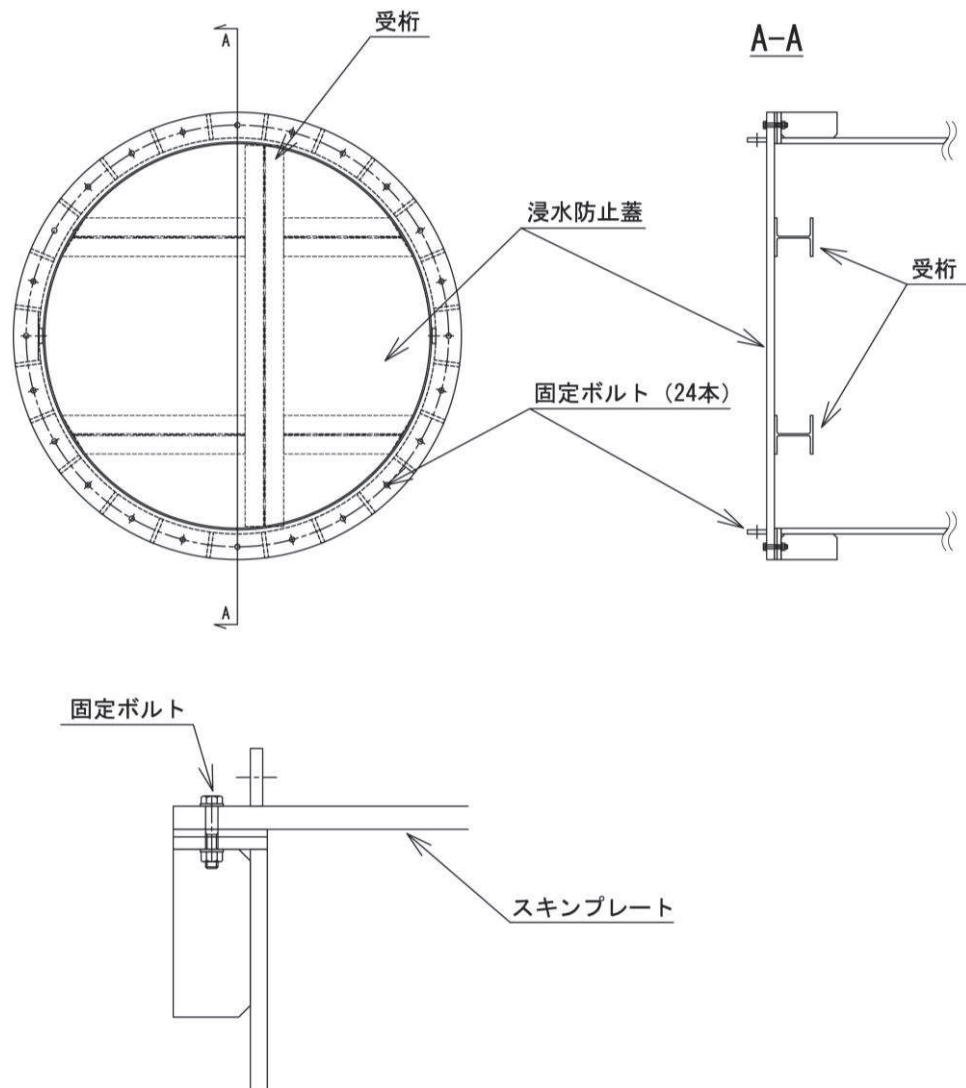


図 5-3 固定ボルトの納まり

5.5.4 ハッチ固定部

ハッチのヒンジ部及び締付部の構造概要を図5-4に、荷重算定式を図5-5に示す。ヒンジ部及び締付部の評価は、荷重の作用方向及び伝達過程を考慮する。ヒンジ部についてはヒンジプレート（ハッチ側，スキンプレート側），ヒンジピン，ヒンジ固定ボルト及びエンドプレートについて評価を行う。締付部については，スイングボルト，スイングボルトピン，ナット受部及びスイングボルトピン受部について評価を行う。

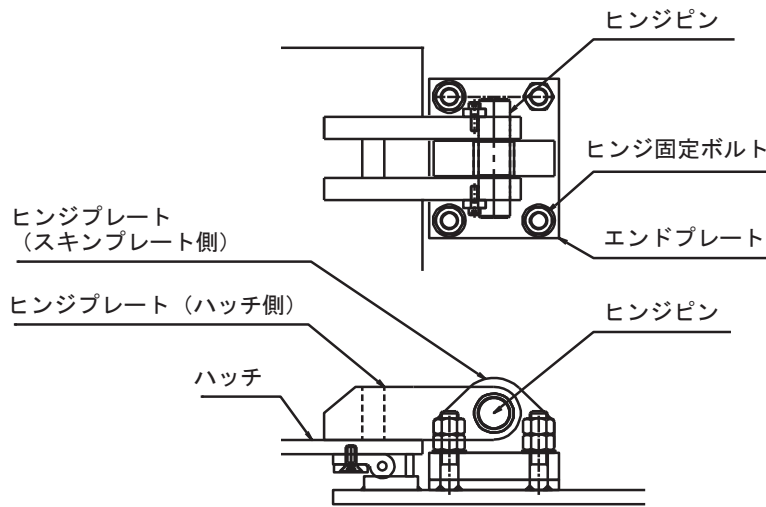


図5-4 (1) ヒンジ部の構造概要

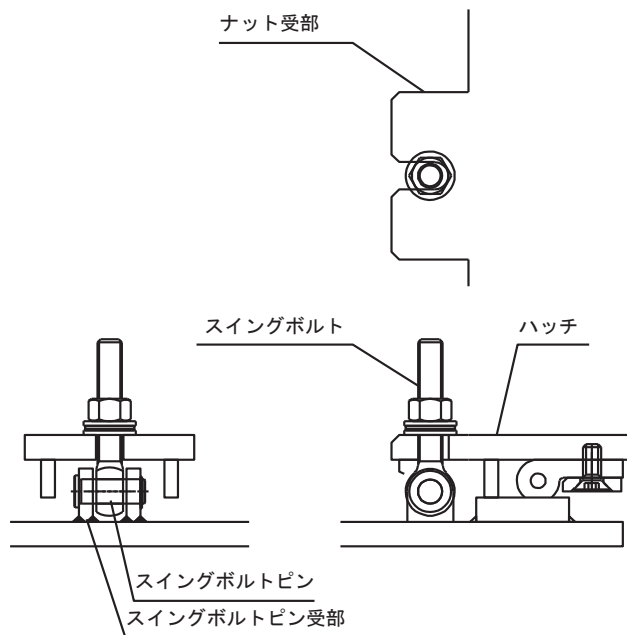
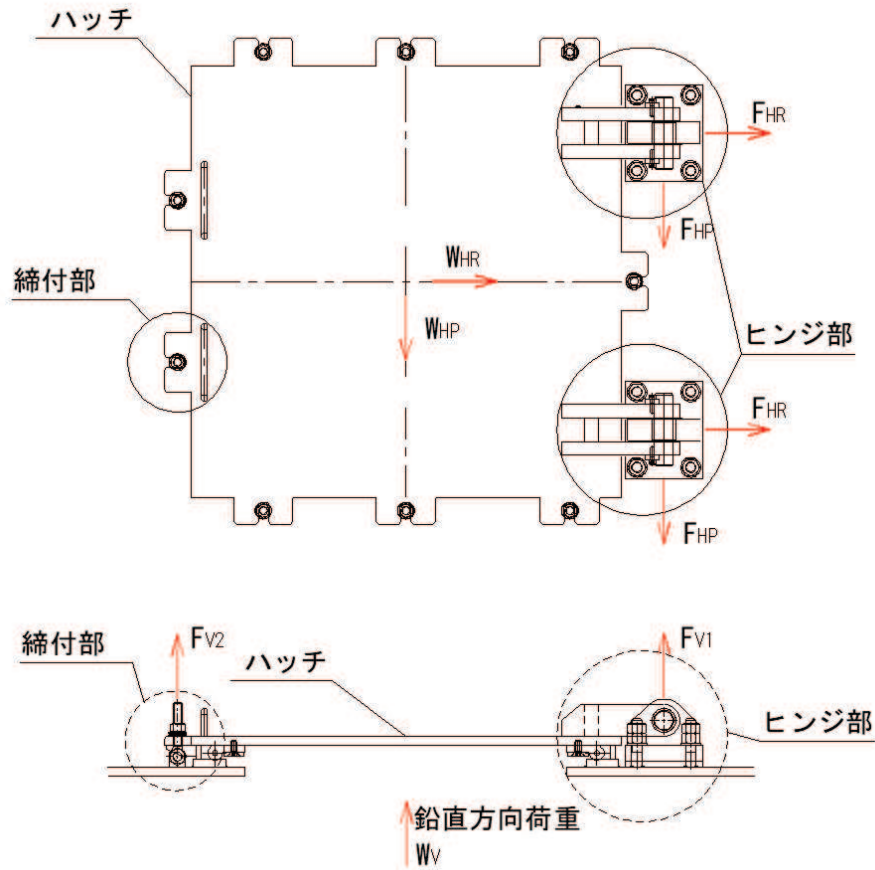


図5-4 (2) 締付部の構造概要



$$W_{HR} = (G + P_s) \cdot k_H$$

$$W_{HP} = (G + P_s) \cdot k_H$$

$$W_V = (G + P_s) + (G + P_s) \cdot k_V$$

$$F_{HR} = \alpha_1 \cdot W_{HR} + W_R$$

$$F_{HP} = \alpha_2 \cdot W_{HP}$$

$$F_{V1} = \alpha_3 \cdot W_V$$

$$F_{V2} = \beta \cdot W_V$$

ここで、

$$W_R = W_{HP} \cdot L_c / L_h$$

- W_{HR} : 水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- W_{HP} : 水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- W_V : 鉛直荷重 (kN)
- W_R : 水平荷重 (回転軸水平方向) による偶力 (kN)
- L_c : ハッチ中心から回転軸までの水平距離 (mm)
- L_h : ヒンジ支点間水平距離 (mm)
- G : ハッチの固定荷重 (kN)
- P_s : 積雪荷重 (kN)
- 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
- F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
- F_{V2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)

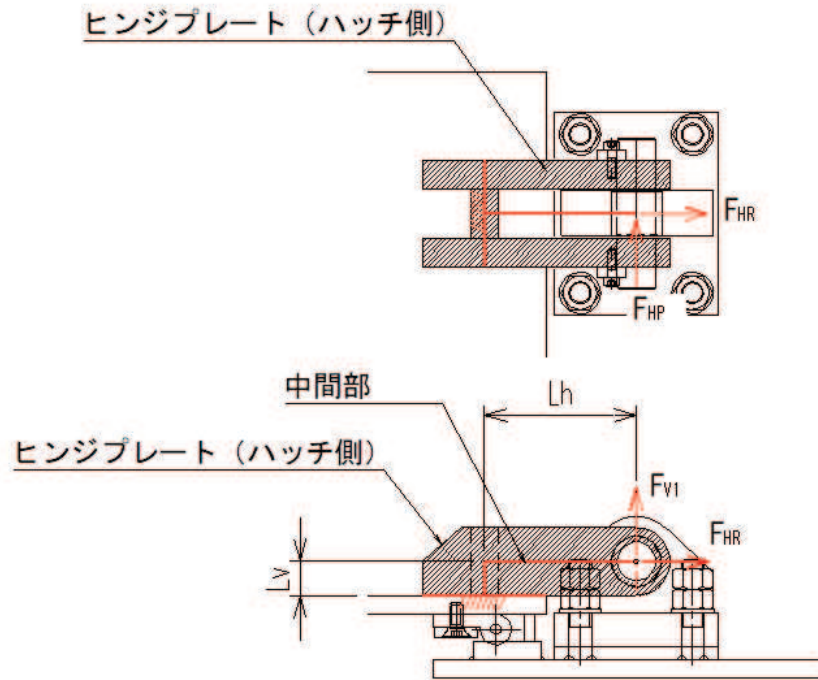
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta$: 分担率

$$(\alpha_1=0.5, \alpha_2=0.5, \alpha_3=0.1, \beta=0.1)$$

図 5-5 ハッチの構造概要及び荷重算定式

5.5.4.1 ヒンジプレート（ハッチ側）

ヒンジプレート（ハッチ側）の中間部及びハッチ接合部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及び応力算定式を図5-6に示す。



ヒンジプレート（ハッチ側） 中間部

$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bP} + \sigma_{bV1}$$

ここで、

$$\sigma_N = F_{HR} / A_1$$

σ_N : 軸方向引張応力度 (N/mm²)

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_h / Z_2$$

σ_{bP} : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

$$\sigma_{bV1} = F_{V1} \cdot L_h / Z_1$$

σ_{bV1} : 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_P : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

$$\Sigma \tau = \tau_P + \tau_v$$

τ_v : 鉛直方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

x : 合成応力度 (N/mm²)

$$\tau_v = F_{V1} / A$$

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

L_h : ヒンジ支点間水平距離 (mm)

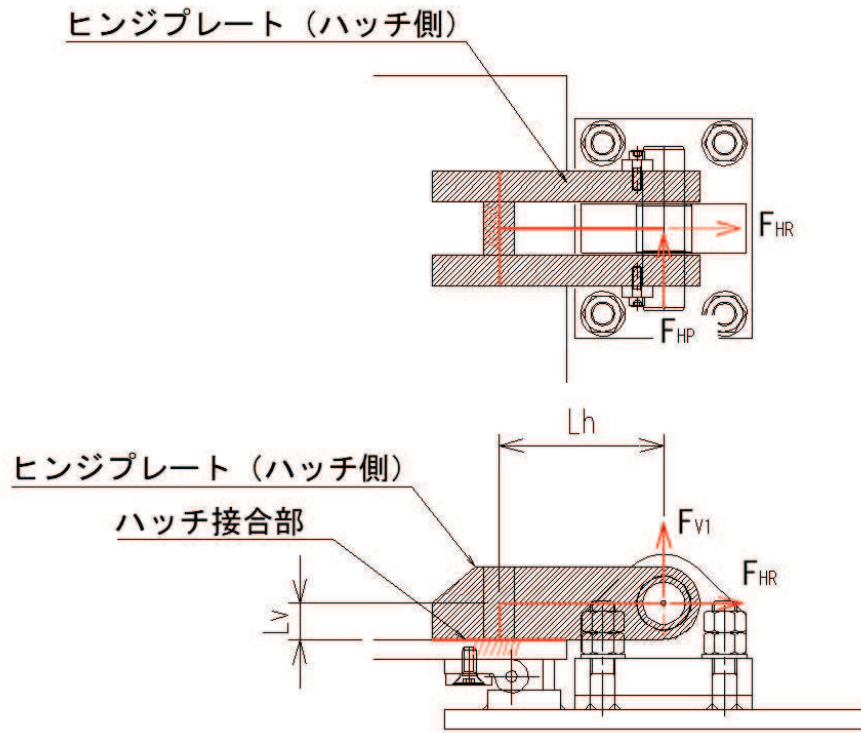
Z_1 : 回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部) (mm³)

Z_2 : 回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部) (mm³)

A_1 : ヒンジプレート (ハッチ側) の断面積 (mm²)

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

図5-6 (1) ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及び中間部の応力算定式



ヒンジプレート（ハッチ側）ハッチ接合部

$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bV1} + \sigma_{bR} + \sigma_{bP} \quad \text{ここで,}$$

$$\sigma_N = F_{V1} / A_2$$

$$\sigma_{bV1} = F_{V1} \cdot L_h / Z_1$$

$$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L_v / Z_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L_v / Z_2$$

$$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P + \tau_{PX}$$

$$\tau_R = F_{HR} / A$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

$$\tau_{PX} = F_{HP} \cdot L_h / Z_p$$

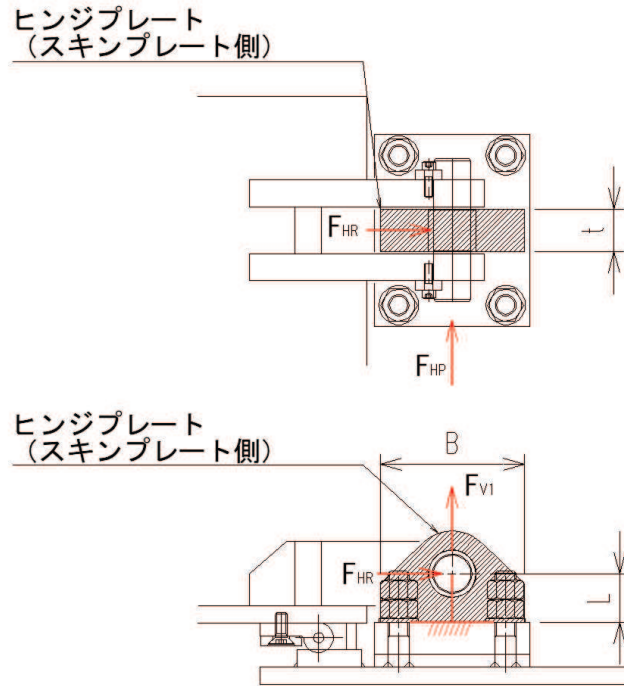
$$x = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

- σ_N : 軸方向引張応力度 (N/mm²)
- σ_{bR} : 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)
- σ_{bP} : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)
- σ_{bV1} : 鉛直方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)
- τ_R : 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)
- τ_P : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)
- τ_{PX} : 回転軸平行方向荷重のねじりせん断応力度 (N/mm²)
- x : 合成応力度 (N/mm²)
- F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)
- F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)
- F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)
- L_h : ヒンジ支点間水平距離 (mm)
- L_v : ヒンジ支点間鉛直距離 (mm)
- Z_1 : 回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部) (mm³)
- Z_2 : 回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部) (mm³)
- Z_p : 極断面係数 (mm³)
- A_2 : ヒンジプレート（ハッチ側）の断面積 (mm²)

図5-6 (2) ヒンジプレート（ハッチ側）のモデル図及びハッチ接合部の応力算定式

5.5.4.2 ヒンジプレート（スキンプレート側）

ヒンジプレート（スキンプレート側）のエンドプレート接合部に発生する曲げ応力度、せん断応力度、合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジプレート（スキンプレート側）のモデル図及び応力算定式を図5-7に示す。



$$\Sigma \sigma = \sigma_N + \sigma_{bR} + \sigma_{bP}$$

$$\sigma_N = F_{V1} / A$$

$$\sigma_{bR} = F_{HR} \cdot L / Z_1$$

$$\sigma_{bP} = F_{HP} \cdot L / Z_2$$

$$\Sigma \tau = \tau_R + \tau_P$$

$$\tau_R = F_{HR} / A$$

$$\tau_P = F_{HP} / A$$

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

ここで、

σ_N : 軸方向引張応力度 (N/mm²)

σ_{bR} : 回転軸直角方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

σ_{bP} : 回転軸平行方向荷重の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_R : 回転軸直角方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

τ_P : 回転軸平行方向荷重のせん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

L : ヒンジ基部からピン穴間距離 (mm)

Z_1 : 回転軸平行方向回りの断面係数 (mm³)

Z_2 : 回転軸直角方向回りの断面係数 (mm³)

A : ヒンジプレート（スキンプレート側）の断面積 (mm²)

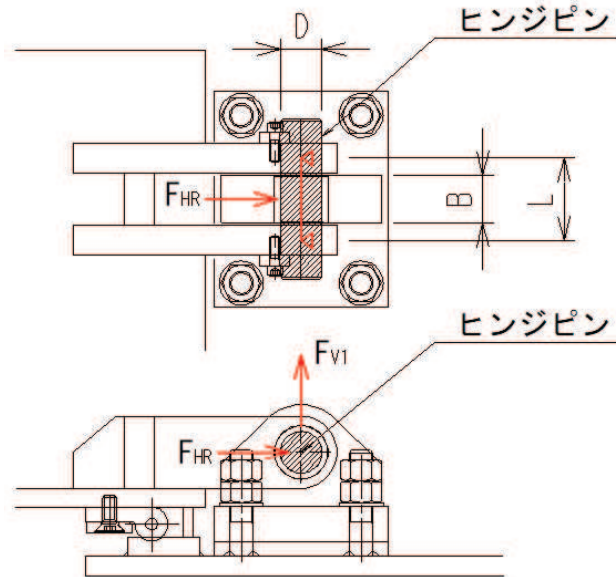
B : ヒンジプレート幅 (mm)

t : ヒンジプレート板厚 (mm)

図5-7 ヒンジプレート（スキンプレート側）のモデル図及び応力算定式

5.5.4.3 ヒンジピン

ヒンジピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジピンのモデル図及び応力算定式を図5-8に示す。



$$\sigma = F \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$F = \sqrt{F_{HR}^2 + F_{V1}^2}$$

$$\tau = F / 2 / A$$

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

ここで，

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

F : ヒンジピンにはたらく合成荷重 (kN)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

L : ヒンジ支点間距離 (mm)

B : 荷重の載荷長 (mm)

Z : 断面係数 (mm³)

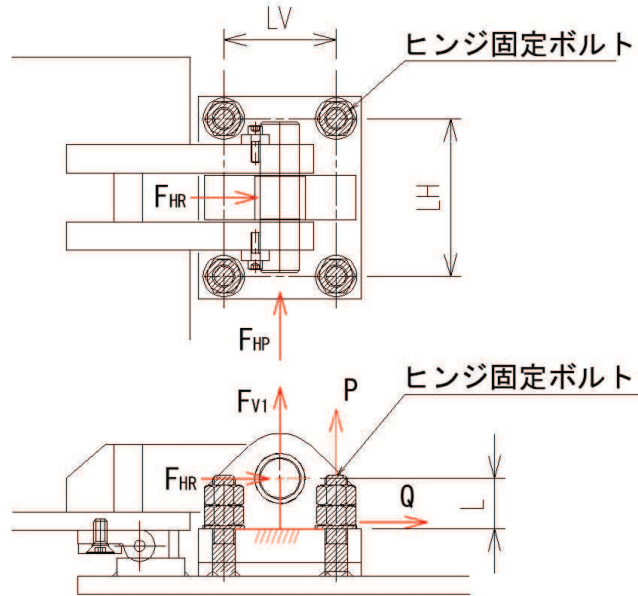
A : ヒンジピンの断面積 (mm²)

D : ヒンジピンの直径 (mm)

図5-8 ヒンジピンのモデル図及び応力算定式

5.5.4.4 ヒンジ固定ボルト

ヒンジ固定ボルトに発生する引張応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式を図5-9に示す。



$$\sigma = P / A_4$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{V1} / (N_H \cdot N_V)$$

$$\tau = Q / A_4$$

$$Q = \sqrt{Q_R^2 + Q_P^2}$$

$$Q_R = F_{HR} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Q_P = F_{HP} / (N_H \cdot N_V)$$

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

ここで，

σ : 引張応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

P : ボルト引張力 (kN)

P_R : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)

P_P : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)

P_V : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)

Q : ボルトせん断力 (kN)

Q_R : 回転軸直角方向によるせん断力 (kN)

Q_P : 回転軸平行方向によるせん断力 (kN)

F_{HR} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向) (kN)

F_{HP} : ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向) (kN)

F_{V1} : ヒンジ部に作用する鉛直荷重 (kN)

L : ヒンジ基部-ピン穴間距離 (mm)

L_V : 回転軸平行方向のボルトピッチ (mm)

L_H : 回転軸直角方向のボルトピッチ (mm)

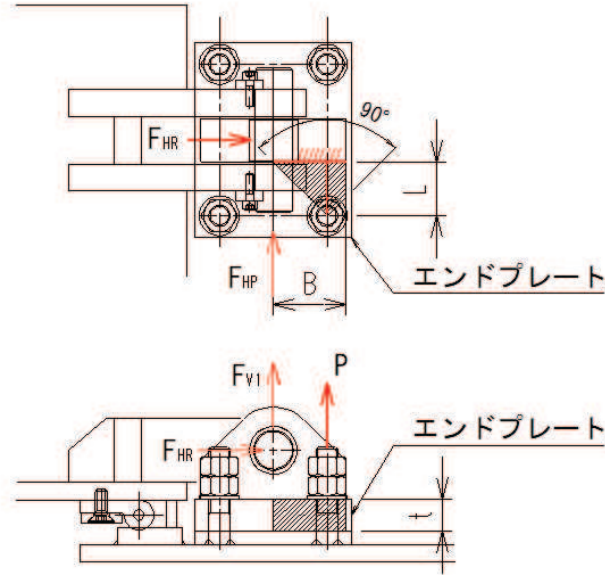
N_H : 回転軸平行方向のボルト本数

N_V : 回転軸直角方向のボルト本数

図5-9 ヒンジ固定ボルトのモデル図及び応力算定式

5.5.4.5 エンドプレート

ヒンジプレート（スキンプレート側）に接合されヒンジ部固定ボルトにより支持されるエンドプレートに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。エンドプレートのモデル図及び応力算定式を図5-10に示す。



$$\sigma = P \cdot L / Z$$

$$P = P_R + P_P + P_V$$

$$P_R = F_{HR} \cdot L / L_V / N_H$$

$$P_P = F_{HP} \cdot L / L_H / N_V$$

$$P_V = F_{V1} / (N_H \cdot N_V)$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = P / A$$

$$A = B \cdot t$$

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

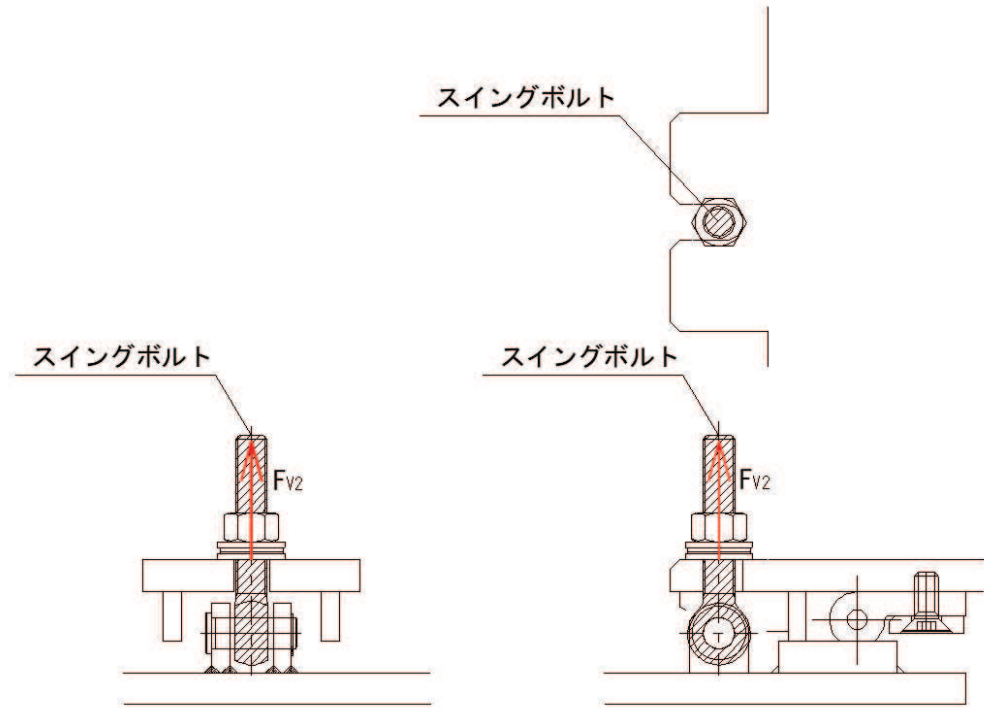
ここで，

- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- x : 合成応力度 (N/mm²)
- P : ボルト引張力 (kN)
- P_R : 回転軸直角方向荷重による引張力 (kN)
- P_P : 回転軸平行方向荷重による引張力 (kN)
- P_V : 鉛直方向荷重による引張力 (kN)
- Z : 断面係数 (mm³)
- B : 有効断面幅 (mm)
- A : エンドプレートの有効断面積 (mm²)
- L : ヒンジ板表面からボルト穴までの距離 (mm)
- t : エンドプレートの板厚 (mm)
- L_V : 回転軸平行方向のボルトピッチ (mm)
- L_H : 回転軸直角方向のボルトピッチ (mm)
- N_H : 回転軸平行方向のボルト本数
- N_V : 回転軸直角方向のボルト本数

図5-10 エンドプレートのモデル図及び応力算定式

5.5.4.6 スイングボルト

スイングボルトに発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトのモデル図及び応力算定式を図5-11に示す



$$\sigma = F_{v2} / A$$

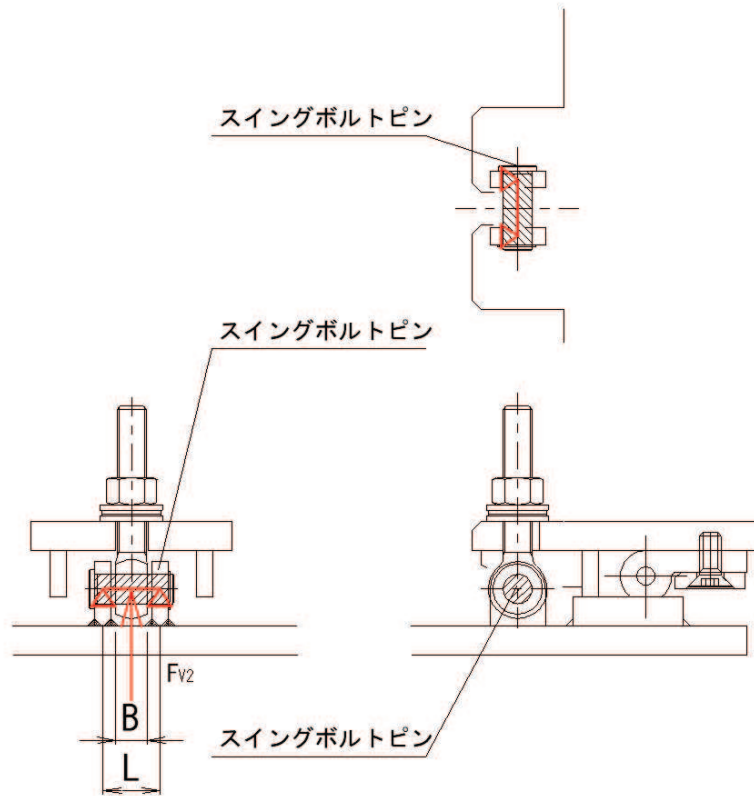
ここで、

- σ : 引張応力度 (N/mm²)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- A : スイングボルトの断面積 (mm²)

図5-11 スイングボルトのモデル図及び応力算定式

5.5.4.7 スイングボルトピン

スイングボルトピンに発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式を図 5-12 に示す。



$$\sigma = F_{v2} \cdot (2 \cdot L - B) / 8 / Z$$

$$\tau = F_{v2} / 2 / A$$

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

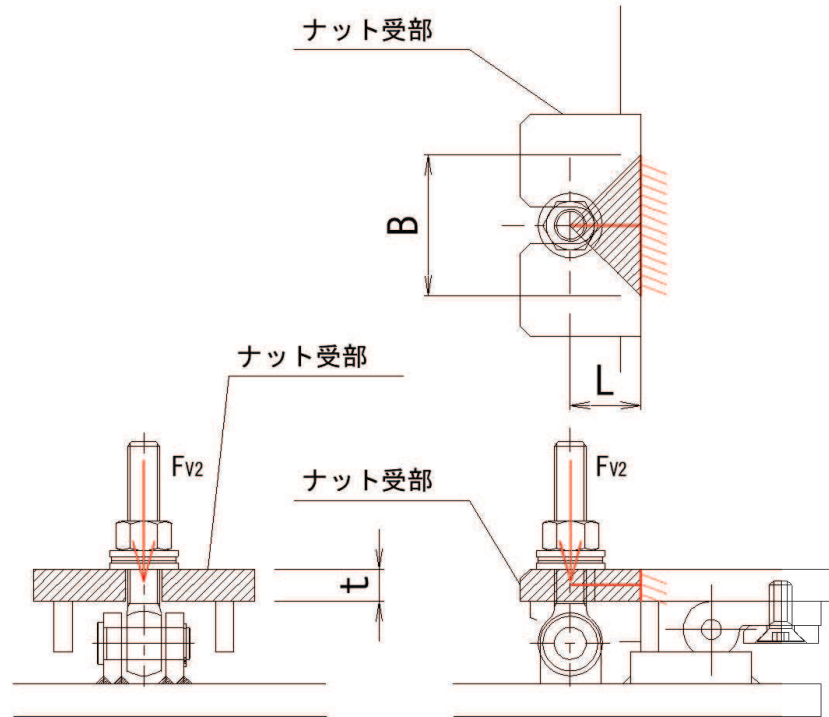
ここで，

- σ : 曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : せん断応力度 (N/mm²)
- x : 合成応力度 (N/mm²)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- L : ヒンジ支点間距離 (mm)
- B : 荷重の載荷長 (mm)
- Z : 断面係数 (mm³)
- A : スイングボルトピンの断面積 (mm²)

図 5-12 スイングボルトピンのモデル図及び応力算定式

5.5.4.8 ナット受部

スイングボルトのナットから荷重を伝達するナット受部に発生する曲げ応力度，せん断応力度，合成応力度が許容限界以下であることを確認する。ナット受金具のモデル図及び応力算定式を図5-13に示す



$$\sigma = F_{v2} \cdot L / Z$$

$$Z = B \cdot t^2 / 6$$

$$\tau = F_{v2} / A$$

$$A = B \cdot t$$

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

ここで、

σ : 曲げ応力度 (N/mm²)

τ : せん断応力度 (N/mm²)

x : 合成応力度 (N/mm²)

F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)

L : 腕長さ (mm)

Z : 断面係数 (mm³)

B : 有効断面幅 (mm)

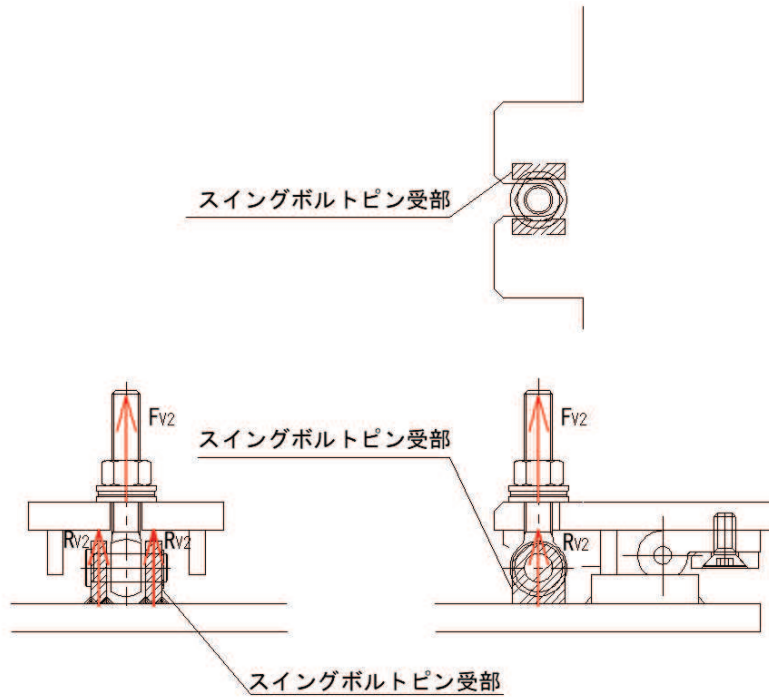
A : ナット受部の有効断面積 (mm²)

t : ナット受部の板厚 (mm)

図5-13 ナット受部のモデル図及び応力算定式

5.5.4.9 スイングボルトピン受部

スイングボルトピンを支持し、ハッチ部（スキンプレート側）に荷重を伝達するスイングボルトピン受部に発生する引張応力度が許容限界以下であることを確認する。スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式を図5-14に示す



$$\sigma = R_{v2} / A$$

$$R_{v2} = F_{v2} / 2$$

ここで、

- σ : 引張応力度 (N/mm²)
- R_{v2} : スイングボルトピン受金具が負担する
締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- F_{v2} : 締付部に作用する鉛直荷重 (kN)
- A : スイングボルトピン受部の断面積 (mm²)

図5-14 スイングボルトピン受部のモデル図及び応力算定式

5.6 評価条件

浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値を表 5-5 に示す。

表 5-5 (1) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (スキンプレート, 受桁, 固定ボルト)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
スキンプレート	G	kN	スキンプレートの固定荷重	4.94
	P _s	kN	積雪荷重	0.72
	A	m ²	浸水防止蓋の面積	2.39
	L ₁	mm	スキンプレートの支持短辺長さ	770
	L ₂	mm	スキンプレートの支持長辺長さ	927
	β_2	—	スキンプレートの辺長比に応じた係数	0.4
	t	mm	スキンプレートの厚さ	16
受桁	G	kN	スキンプレートと受桁の固定荷重	6.14
	P _s	kN	積雪荷重	0.72
	L ₃	mm	受桁の負担幅	822
	L ₄	mm	受桁全長	1485
	A	m ²	受桁のせん断断面積	910
	Z	mm ⁴	受桁の断面係数	2.13×10^5
固定ボルト	G	kN	スキンプレートの固定荷重	4.94
	P _s	kN	積雪荷重	0.72
	N	本	浸水防止蓋に取り付く固定ボルトの本数	24
	A'	mm ²	固定ボルトの有効断面積	157

表 5-5 (2) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重：回転軸直角方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	1.02
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	0.92
	L_h	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	L_v	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	4.08×10^4
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	9.25×10^4
	Z_3	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	1.02×10^5
	Z_4	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	1.49×10^5
	Z_p	mm ³	極断面係数	5.50×10^4
	A_1	mm ²	断面積 (中間部)	3500
A_2	mm ²	断面積 (接合部)	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	1.02
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	L	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数	1.22×10^5
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数	3.60×10^4
A	mm ²	断面積	5400	
ヒンジピン	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	1.02
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	0.92
	L	mm	ヒンジ支点間距離	69
	B	mm	荷重の載荷長	40
	Z	mm ³	断面係数	6283
	A	mm ²	断面積	1257
ヒンジ固定ボルト	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	1.02
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	0
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	0.92
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	L_v	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	L_h	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	N_h	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	N_v	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 5-5 (3) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸直角方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	P_R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	0.26
	P_P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	0
	P_V	kN	鉛直方向荷重による引張力	0.23
	Z	mm ³	断面係数	1.15×10^4
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm ²	有効断面積	2160
スイングボルト	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	0.92
	A	mm ²	断面積	157
スイングボルトピン	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	0.92
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm ³	断面係数	402
	A	mm ²	断面積	201
ナット受部	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	0.92
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm ³	断面係数	2987
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm ²	有効断面積	1120
スイングボルトピン受部	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	0.92
	A	mm ²	断面積	121.50

表 5-5 (4) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重：回転軸平行方向) (1/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
ヒンジプレート (ハッチ側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	1.78
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	1.02
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	0.92
	L_h	mm	ヒンジ支点間水平距離	135
	L_v	mm	ヒンジ支点間鉛直距離	35
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (中間部)	4.08×10^4
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (中間部)	9.25×10^4
	Z_3	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数 (接合部)	1.02×10^5
	Z_4	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数 (接合部)	1.49×10^5
	Z_p	mm ³	極断面係数	5.50×10^4
	A_1	mm ²	断面積 (中間部)	3500
A_2	mm ²	断面積 (接合部)	6600	
ヒンジプレート (スキンプレート側)	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	1.78
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	1.02
	L	mm	ヒンジ基部からピン穴間距離	50
	Z_1	mm ³	回転軸平行方向回りの断面係数	1.22×10^5
	Z_2	mm ³	回転軸直角方向回りの断面係数	3.60×10^4
	A	mm ²	断面積	5400
ヒンジピン	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	1.78
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	0.92
	L	mm	ヒンジ支点間距離	69
	B	mm	荷重の載荷長	40
	Z	mm ³	断面係数	6283
	A	mm ²	断面積	1257
ヒンジ固定ボルト	F_{HR}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸直角方向)	1.78
	F_{HP}	kN	ヒンジ部に作用する水平荷重 (回転軸平行方向)	1.02
	F_{v1}	kN	ヒンジ部に作用する鉛直荷重	0.92
	L	mm	ヒンジ基部ーピン穴間距離	50
	L_v	mm	回転軸平行方向のボルトピッチ	140
	L_H	mm	回転軸直角方向のボルトピッチ	100
	N_H	本	回転軸平行方向のボルト本数	2
	N_v	本	回転軸直角方向のボルト本数	2

表 5-5 (5) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値 (荷重: 回転軸平行方向) (2/2)

評価対象部位	記号	単位	定義	数値
エンドプレート	P_R	kN	回転軸直角方向荷重による引張力	0.45
	P_P	kN	回転軸平行方向荷重による引張力	0.18
	P_V	kN	鉛直方向荷重による引張力	0.23
	Z	mm ³	断面係数	1.15×10^4
	B	mm	有効断面幅	67.5
	A	mm ²	有効断面積	2160
スイングボルト	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	0.92
	A	mm ²	断面積	157
スイングボルトピン	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	0.92
	L	mm	ヒンジ支点間距離	30
	B	mm	荷重の載荷長	17
	Z	mm ³	断面係数	402
	A	mm ²	断面積	201
ナット受部	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	0.919
	L	mm	腕長さ	35
	Z	mm ³	断面係数	2987
	B	mm	有効断面幅	70
	A	mm ²	有効断面積	1120.0
スイングボルトピン受部	F_{V2}	kN	締付部に作用する鉛直荷重	0.92
	A	mm ²	断面積	121.50

6. 評価結果

浸水防止蓋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、すべ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 (1) 浸水防止蓋の耐震評価結果 (スキンプレート, 受桁, 固定ボルト)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
スキンプレート	曲げ	6	N/mm ²	325	N/mm ²	0.03 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	188	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	7	N/mm ²	325	N/mm ²	0.03 < 1.0
受桁	曲げ	5	N/mm ²	325	N/mm ²	0.02 < 1.0
	せん断	5	N/mm ²	188	N/mm ²	0.03 < 1.0
	組合せ	10	N/mm ²	325	N/mm ²	0.04 < 1.0
固定ボルト	引張	3	N/mm ²	325	N/mm ²	0.01 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	188	N/mm ²	0.01 < 1.0

表 6-1 (2) 浸水防止蓋の耐震評価結果 (荷重：回転軸直角方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	4	N/mm ²	265	N/mm ²	0.02<1.0
	せん断	1	N/mm ²	153	N/mm ²	0.01<1.0
	組合せ	4	N/mm ²	291	N/mm ²	0.02<1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	2	N/mm ²	265	N/mm ²	0.01<1.0
	せん断	1	N/mm ²	153	N/mm ²	0.01<1.0
	組合せ	2	N/mm ²	291	N/mm ²	0.01<1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	1	N/mm ²	265	N/mm ²	0.01<1.0
	せん断	1	N/mm ²	153	N/mm ²	0.01<1.0
	組合せ	1	N/mm ²	291	N/mm ²	0.01<1.0
ヒンジピン	曲げ	3	N/mm ²	265	N/mm ²	0.02<1.0
	せん断	1	N/mm ²	153	N/mm ²	0.01<1.0
	組合せ	3	N/mm ²	291	N/mm ²	0.02<1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	2	N/mm ²	265	N/mm ²	0.01<1.0
	せん断	2	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02<1.0
	組合せ	3	N/mm ²	291	N/mm ²	0.02<1.0
エンドプレート	曲げ	2	N/mm ²	265	N/mm ²	0.01<1.0
	せん断	1	N/mm ²	153	N/mm ²	0.01<1.0
	組合せ	2	N/mm ²	291	N/mm ²	0.01<1.0
スイングボルト	引張	6	N/mm ²	265	N/mm ²	0.03<1.0
スイングボルト ピン	曲げ	13	N/mm ²	273	N/mm ²	0.05<1.0
	せん断	3	N/mm ²	157	N/mm ²	0.02<1.0
	組合せ	13	N/mm ²	300	N/mm ²	0.05<1.0
ナット受部	曲げ	11	N/mm ²	273	N/mm ²	0.05<1.0
	せん断	1	N/mm ²	157	N/mm ²	0.01<1.0
	組合せ	11	N/mm ²	300	N/mm ²	0.04<1.0
スイングボルト ピン受部	引張	4	N/mm ²	273	N/mm ²	0.02<1.0

表 6-1 (3) 浸水防止蓋の耐震評価結果 (荷重：回転軸平行方向)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ヒンジプレート (ハッチ側) 中間部	曲げ	6	N/mm ²	265	N/mm ²	0.03<1.0
	せん断	1	N/mm ²	153	N/mm ²	0.01<1.0
	組合せ	6	N/mm ²	291	N/mm ²	0.03<1.0
ヒンジプレート (ハッチ側) ハッチ接合部	曲げ	3	N/mm ²	265	N/mm ²	0.02<1.0
	せん断	3	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02<1.0
	組合せ	6	N/mm ²	291	N/mm ²	0.03<1.0
ヒンジプレート (スキンプレート側)	曲げ	3	N/mm ²	265	N/mm ²	0.02<1.0
	せん断	1	N/mm ²	153	N/mm ²	0.01<1.0
	組合せ	3	N/mm ²	291	N/mm ²	0.02<1.0
ヒンジピン	曲げ	4	N/mm ²	265	N/mm ²	0.02<1.0
	せん断	1	N/mm ²	153	N/mm ²	0.01<1.0
	組合せ	5	N/mm ²	291	N/mm ²	0.02<1.0
ヒンジ固定ボルト	引張	4	N/mm ²	265	N/mm ²	0.02<1.0
	せん断	3	N/mm ²	153	N/mm ²	0.02<1.0
	組合せ	6	N/mm ²	291	N/mm ²	0.03<1.0
エンドプレート	曲げ	4	N/mm ²	265	N/mm ²	0.02<1.0
	せん断	1	N/mm ²	153	N/mm ²	0.01<1.0
	組合せ	4	N/mm ²	291	N/mm ²	0.02<1.0
スイングボルト	引張	6	N/mm ²	265	N/mm ²	0.03<1.0
スイングボルト ピン	曲げ	13	N/mm ²	273	N/mm ²	0.05<1.0
	せん断	3	N/mm ²	157	N/mm ²	0.02<1.0
	組合せ	13	N/mm ²	300	N/mm ²	0.05<1.0
ナット受部	曲げ	11	N/mm ²	273	N/mm ²	0.05<1.0
	せん断	1	N/mm ²	157	N/mm ²	0.01<1.0
	組合せ	11	N/mm ²	300	N/mm ²	0.04<1.0
スイングボルト ピン受部	引張	4	N/mm ²	273	N/mm ²	0.02<1.0

7. 揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）の耐震評価

7.1 概要

揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）（以下、「揚水井戸」という。）は、鋼製シャフトからなる構造物であり、マンメイドロック（以下「MMR」という。）を介しC_M級岩盤に設置する。揚水井戸の頂部開口部に浸水防止蓋を設置する。

揚水井戸に要求される機能の維持を確認するに当たっては、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。

7.2 評価方針

揚水井戸の耐震評価は地震応答解析に基づき実施し、表 7-1 に示すとおり、構造部材の健全性及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価については、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき発生する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、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認する。

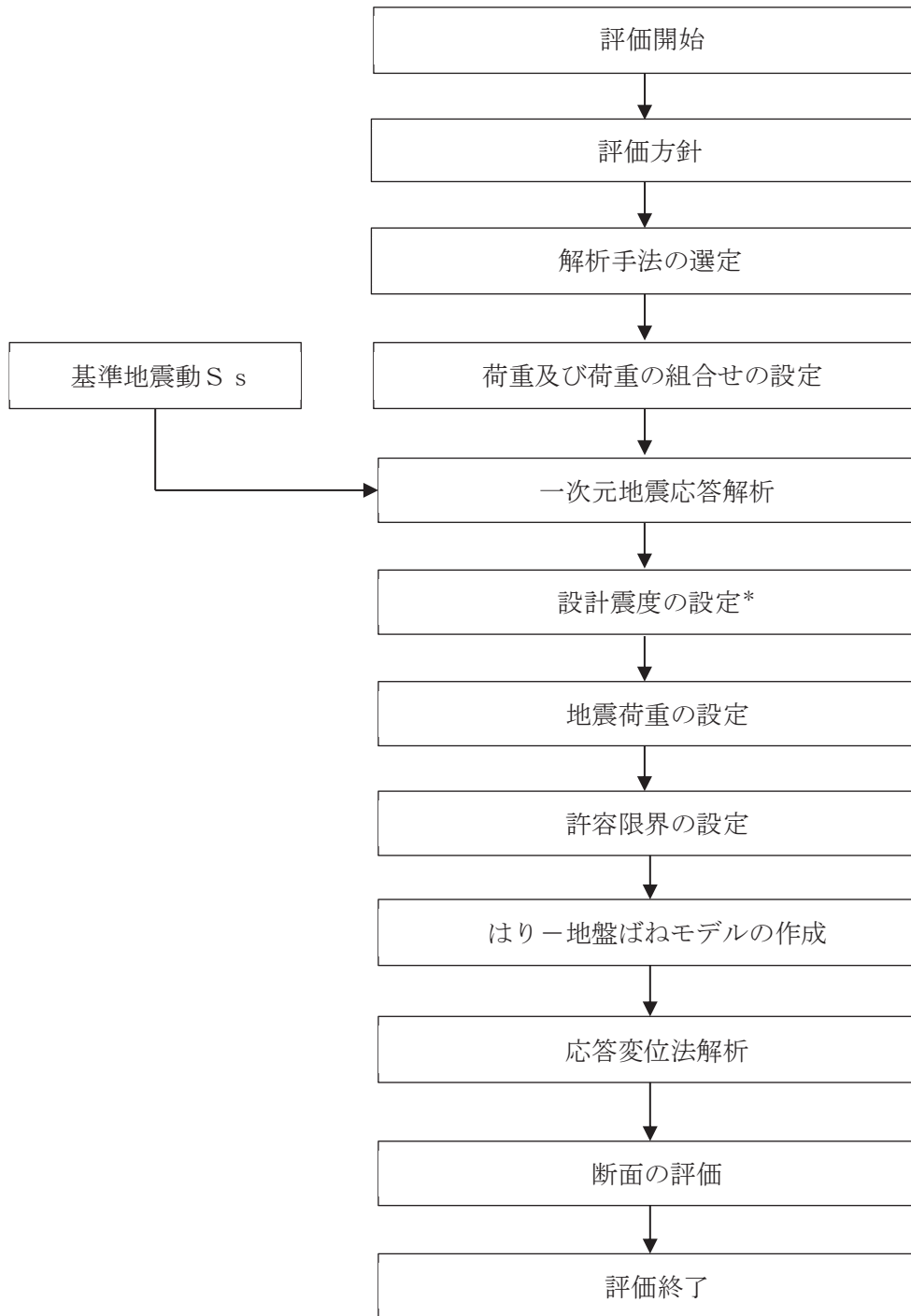
構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。

揚水井戸の耐震評価フローを図 7-1 に示す。

表 7-1 揚水井戸の評価項目

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	鋼製シャフト	発生する応力（曲げ軸力，せん断力）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	発生する応力（接地圧）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。



注記*：一次元地震応答解析にて算出された最大加速度による設計震度を設定する。

図 7-1 揚水井戸の耐震評価フロー

7.3 適用基準

適用する規格，基準類を以下に示す。

- (1) 日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編
- (2) 日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 - 1987)

8 地震応答解析

8.1 評価対象断面

評価対象断面の位置を図 8-1 に示す。また、揚水井戸の構造概要を図 8-2 及び揚水井戸設置位置の地質状況を図 8-3 に示す。

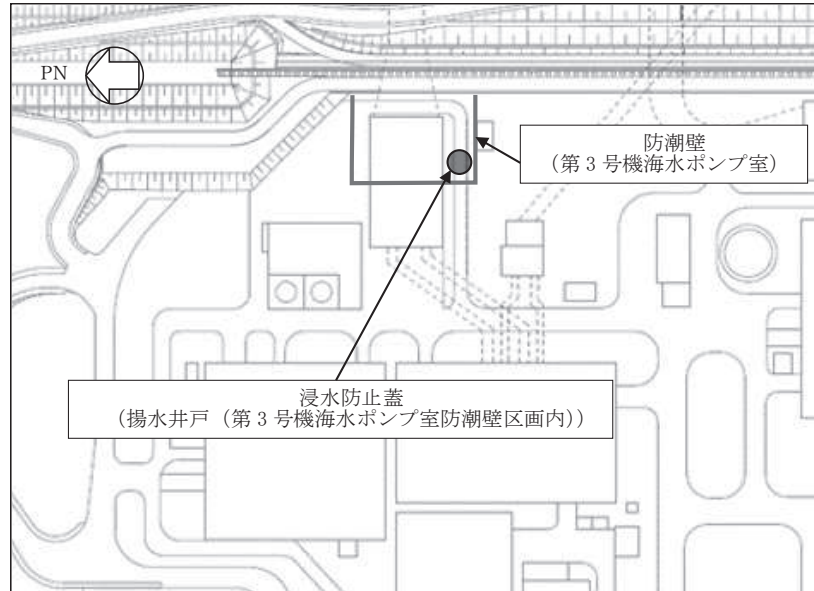
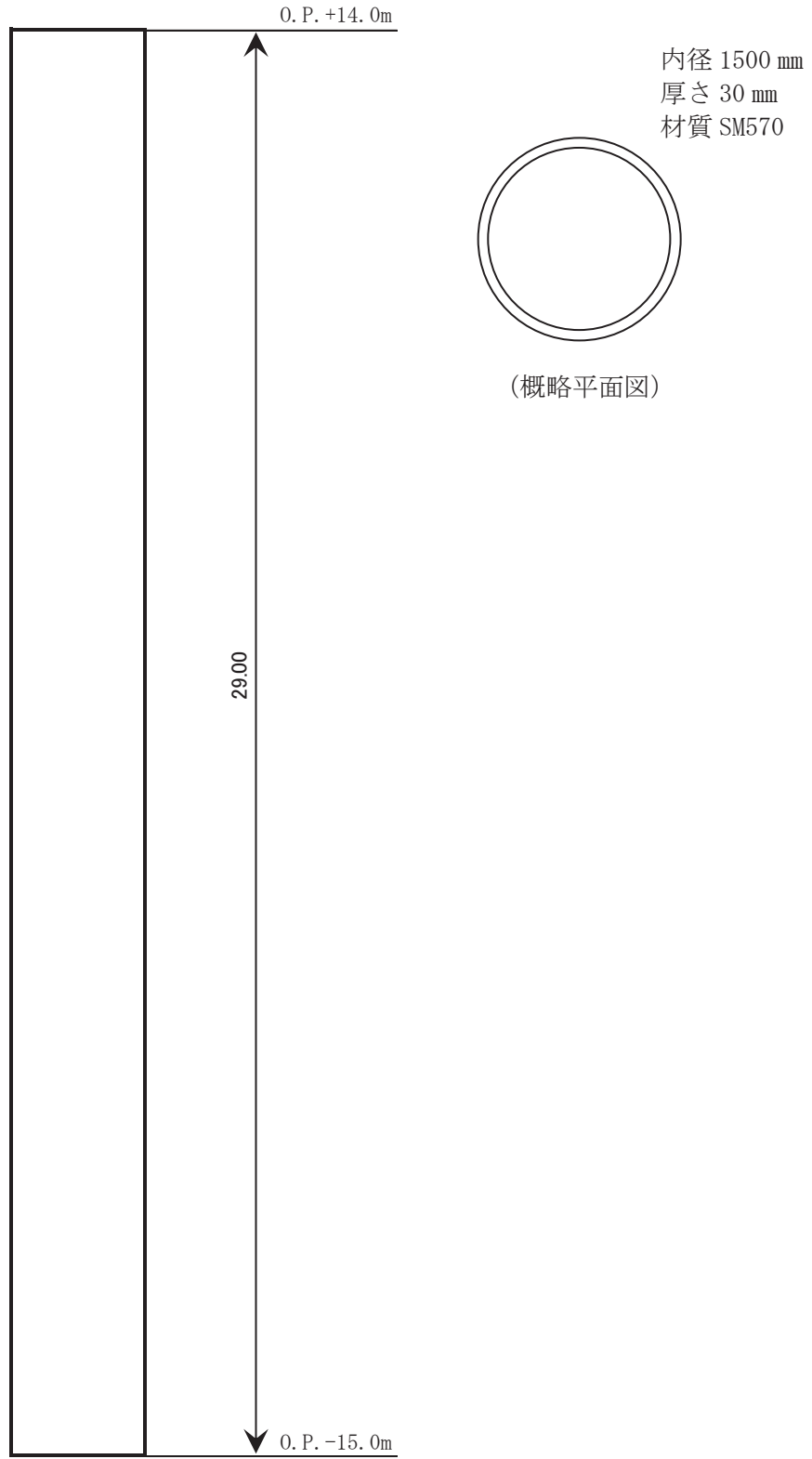


図 8-1 揚水井戸の平面配置図

O 2 ③ VI-2-10-2-2-8-3 R 2



(概略断面図) (単位 : m)

図 8-2 揚水井戸 構造概要図 (単位 : m)

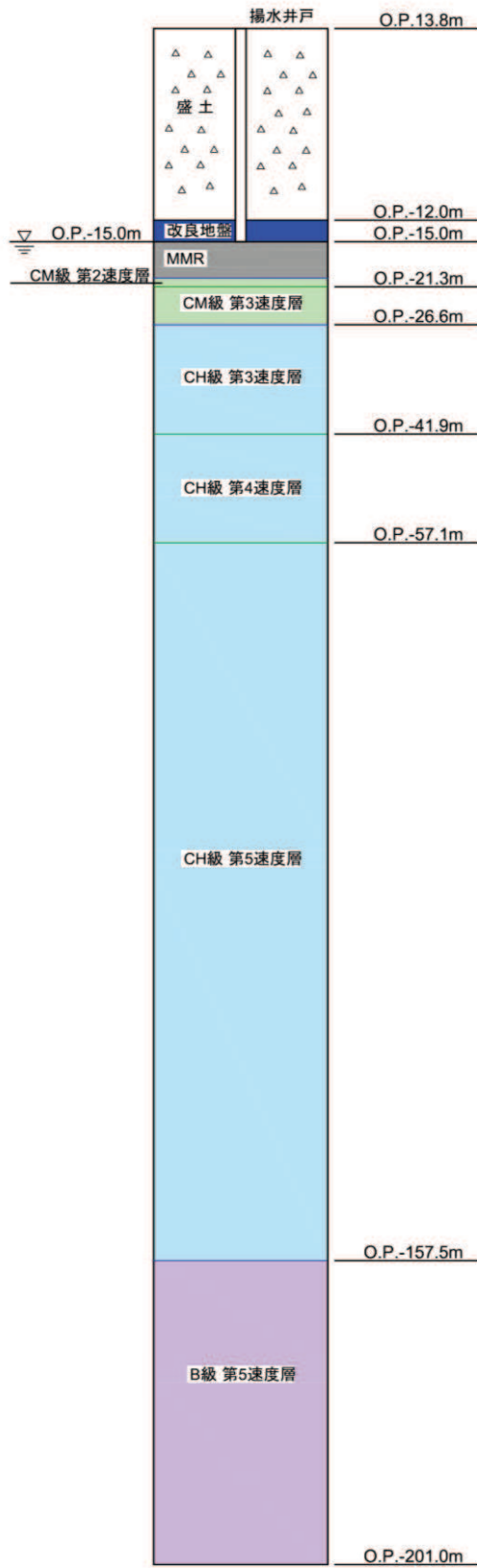


図 8-3 揚水井戸設置位置の地質状況

8.2 評価方針

揚水井戸設置位置の地盤の応答解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づき、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d-D2 に対して実施する。

地盤の応答解析は、「8.3 地盤の応答解析モデル」において設定した地盤モデルに基づき「8.4 地盤応答」を評価する。

地盤モデルには、地盤物性の不確かさを考慮し、地盤応答として地盤の地表面最大応答加速度を算出する。

8.3 地盤の応答解析モデル

地盤の応答解析は、基準地震動 S_s を用いて添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「6.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を踏まえて算定する。設計用震度は、入力地震動を地震応答解析モデルに入力して評価用地震動から算定する。

地震応答解析の概念を図 8-4 に、入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 8-5 に示す。揚水井戸は液状化の影響が及ばないように周囲を地盤改良するため、解析手法は全応力解析とする。また、地盤については、地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようなモデル化し、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

地盤の応答解析では地盤物性のばらつきを考慮する。地盤物性のばらつき考慮ケースを表 8-1 に解析ケースを表 8-2 に示す。

解析コードには、引戻し解析に「SHAKE Ver1.6」を使用し、地盤の応答解析による設計震度及び地盤変位算定には「TDAPⅢ Ver3.11」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

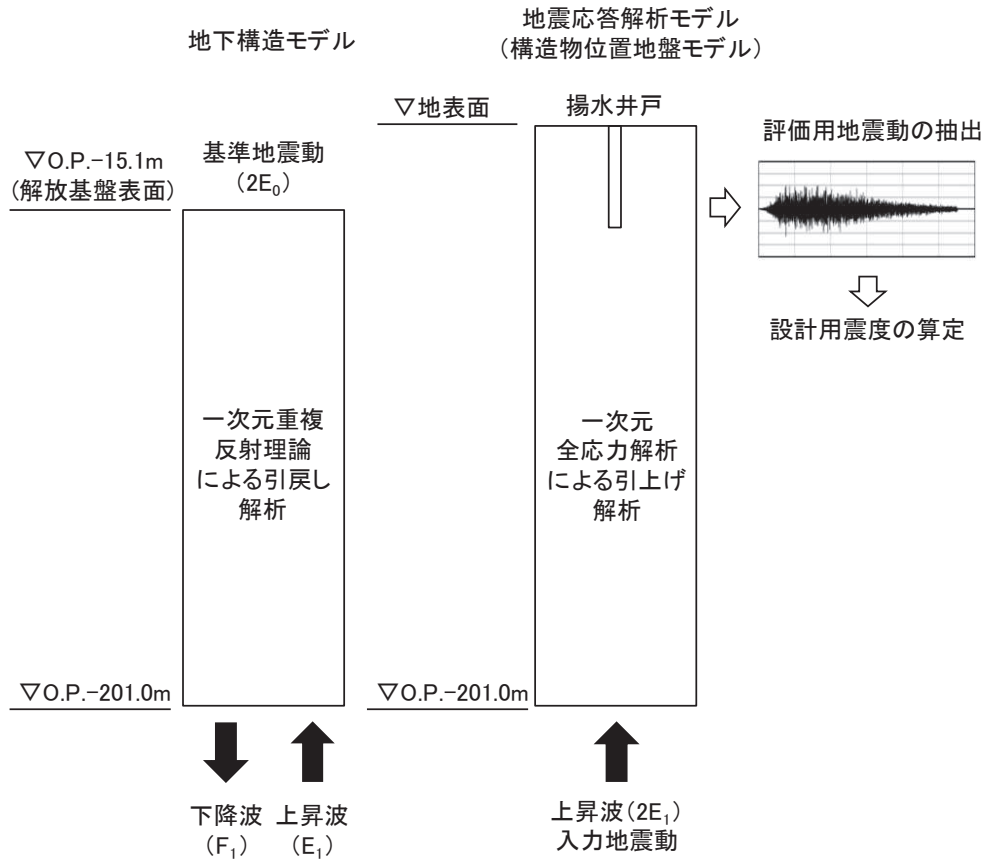


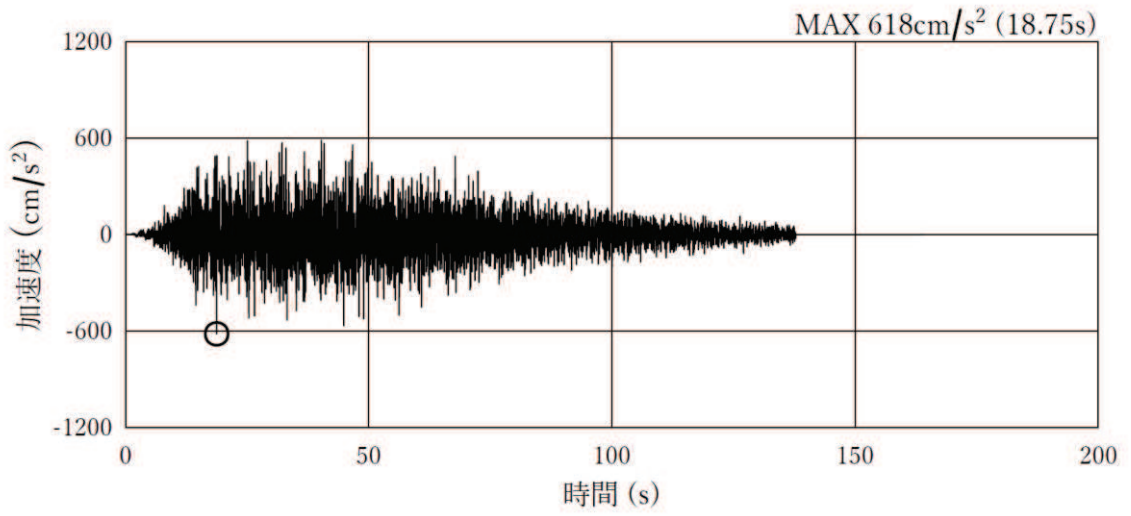
図 8-4 地震応答解析の概念

表 8-1 解析ケース（揚水井戸）

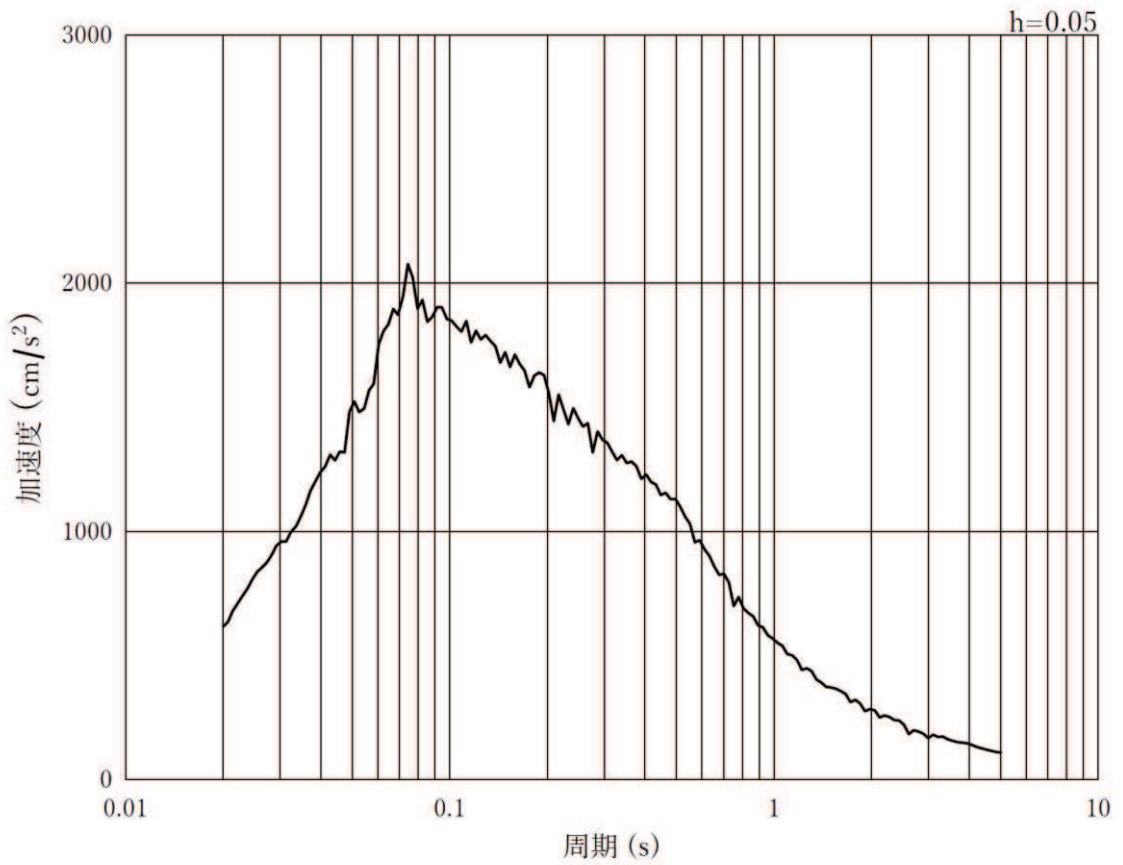
解析ケース	地盤物性
	盛土, 改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	平均値
ケース②	平均値 + 1σ
ケース③	平均値 - 1σ

表 8-2 設計震度算定における解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+ 1σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (- 1σ) を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値	平均値 + 1σ	平均値 - 1σ
地震動	S s - D 1	○	○	○
	S s - D 2	○	○	○
	S s - D 3	○	○	○
	S s - F 1	○	○	○
	S s - F 2	○	○	○
	S s - F 3	○	○	○
	S s - N 1	○	○	○
	S d - D 2	○	○	○

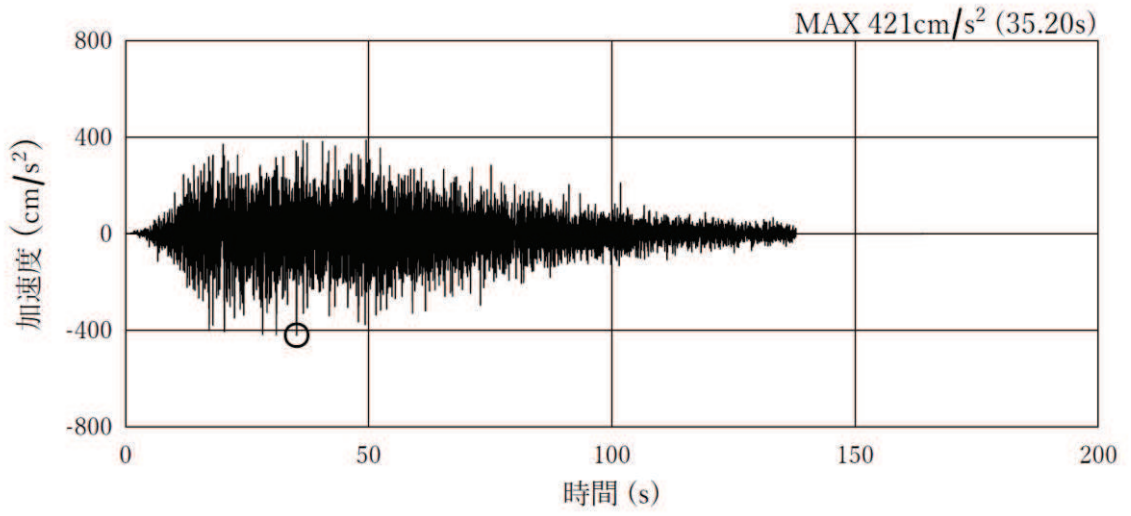


(a) 加速度時刻歴波形

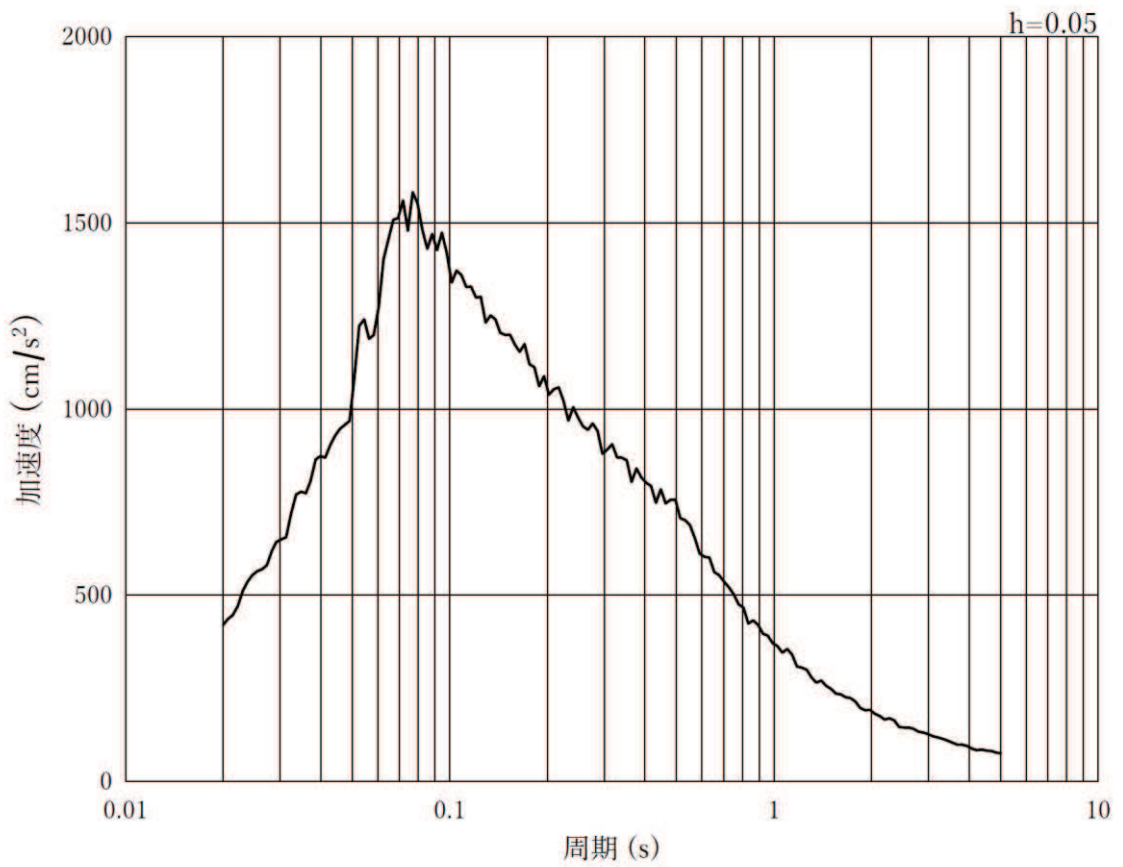


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - D 1)

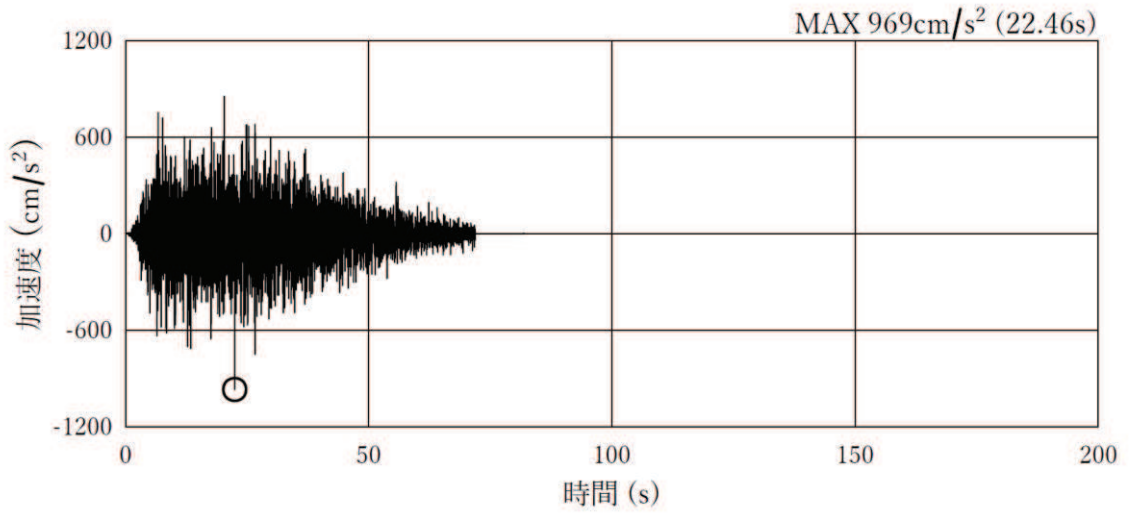


(a) 加速度時刻歴波形

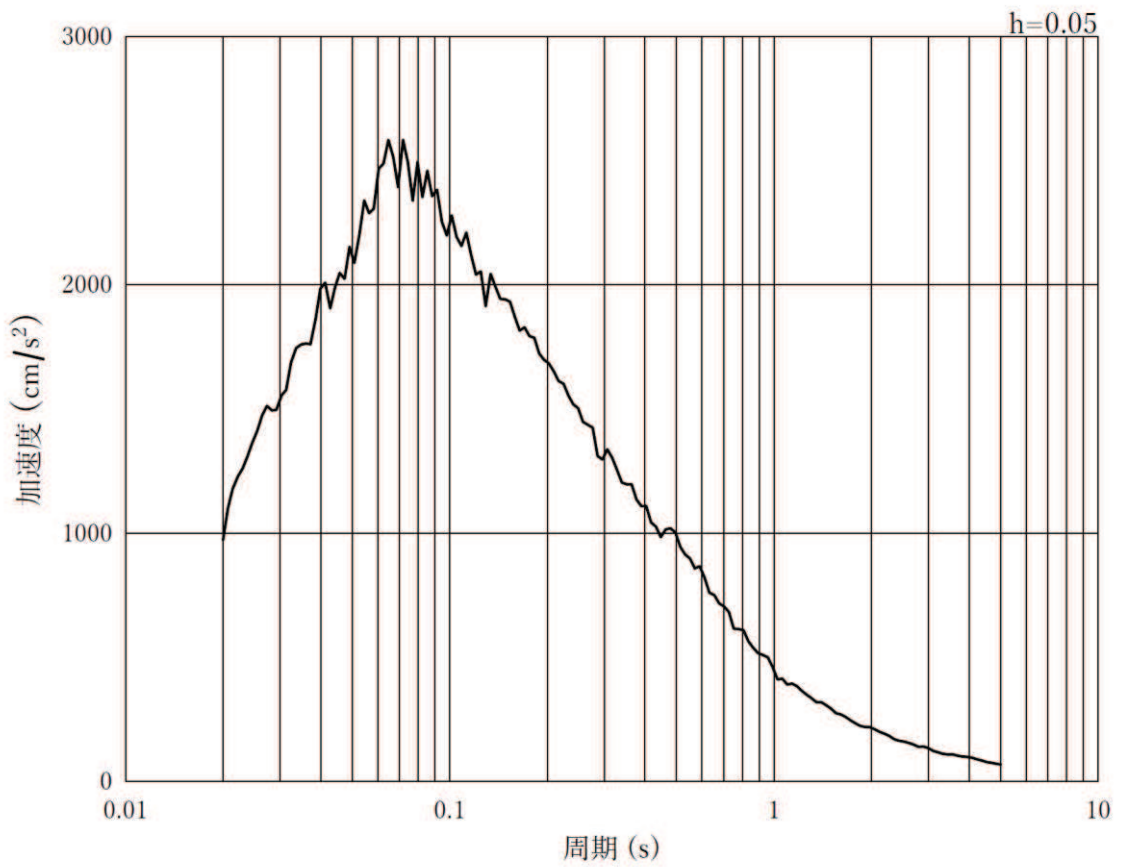


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - D 1)

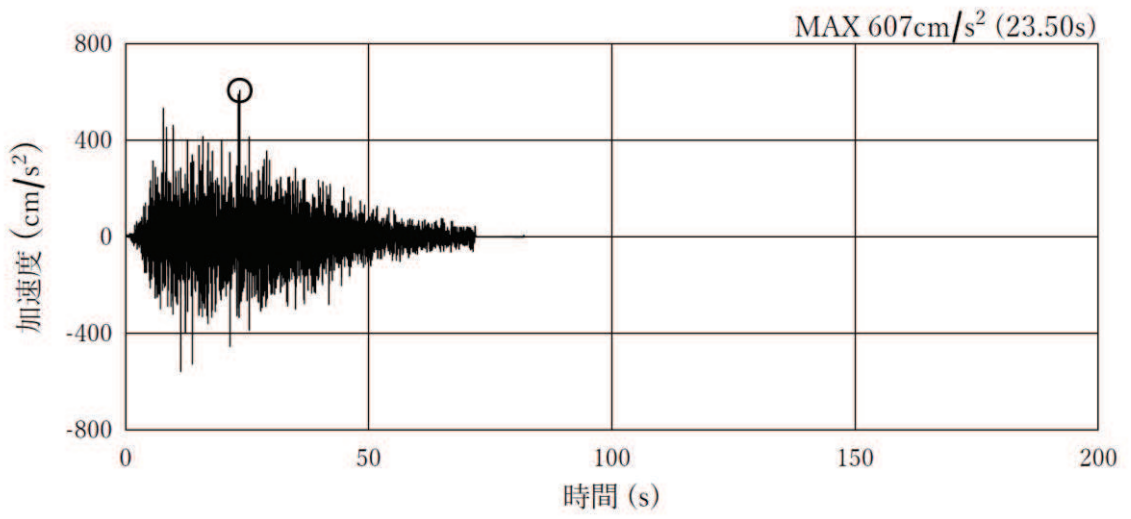


(a) 加速度時刻歴波形

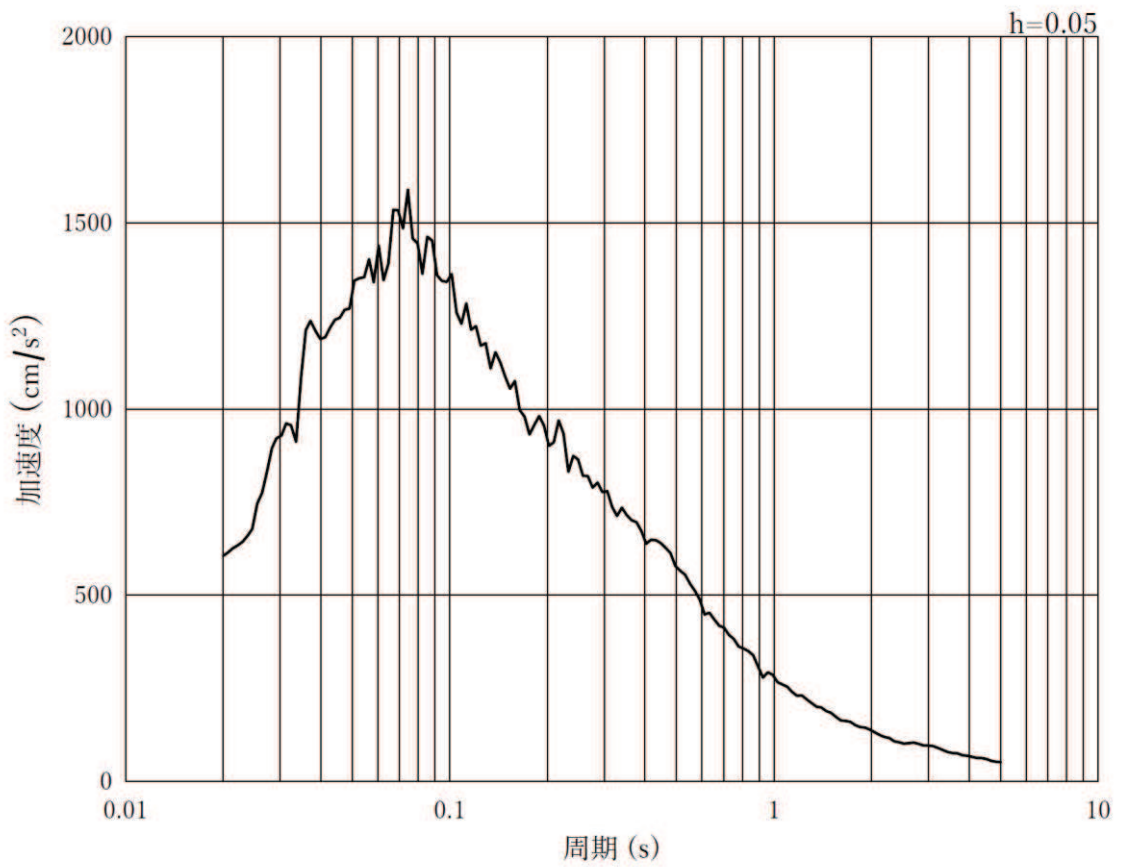


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(3) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - D 2)

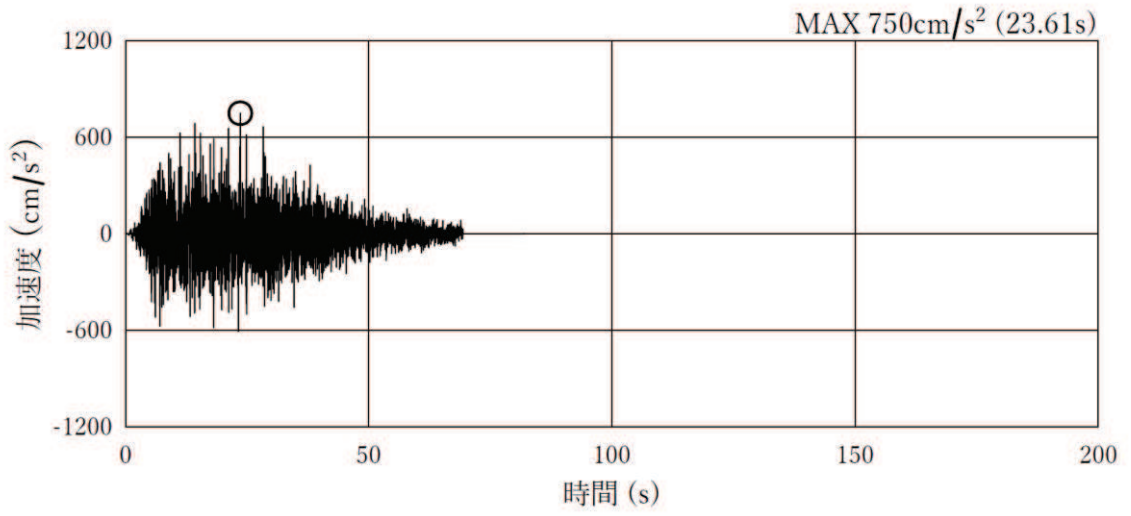


(a) 加速度時刻歴波形

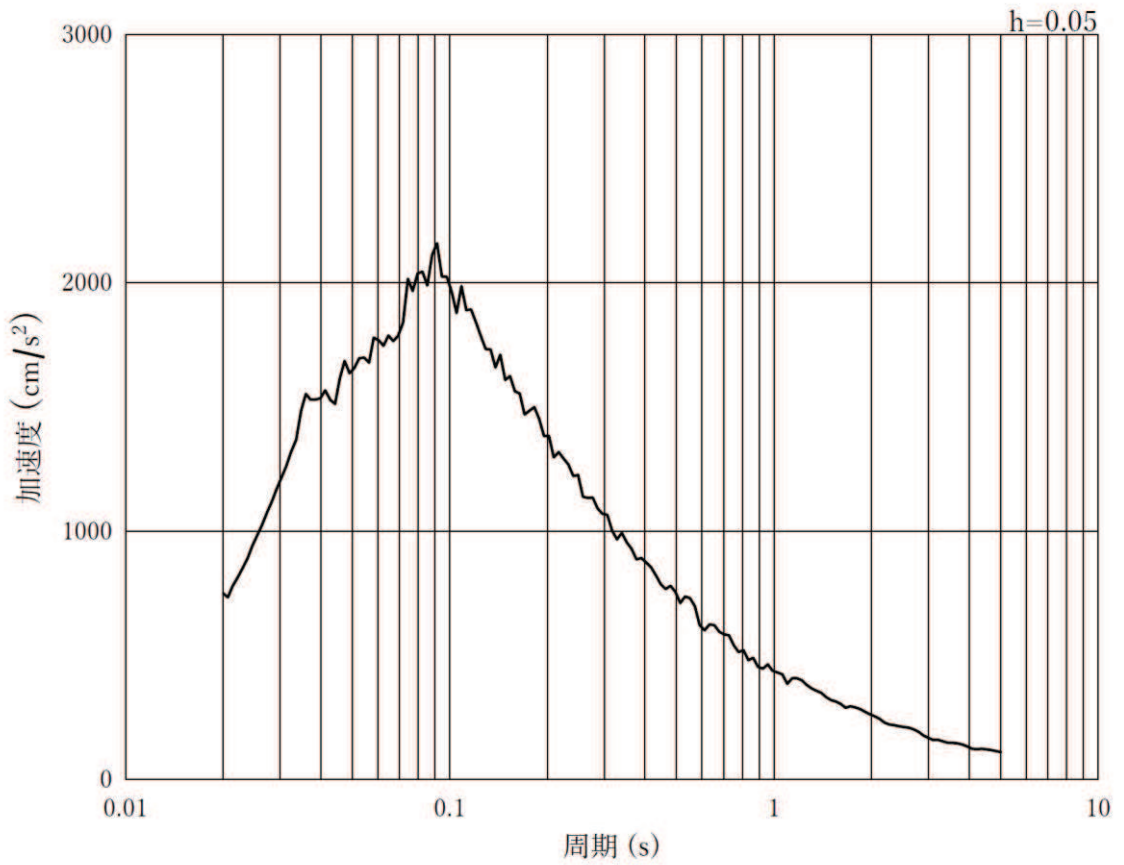


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(4) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - D 2)

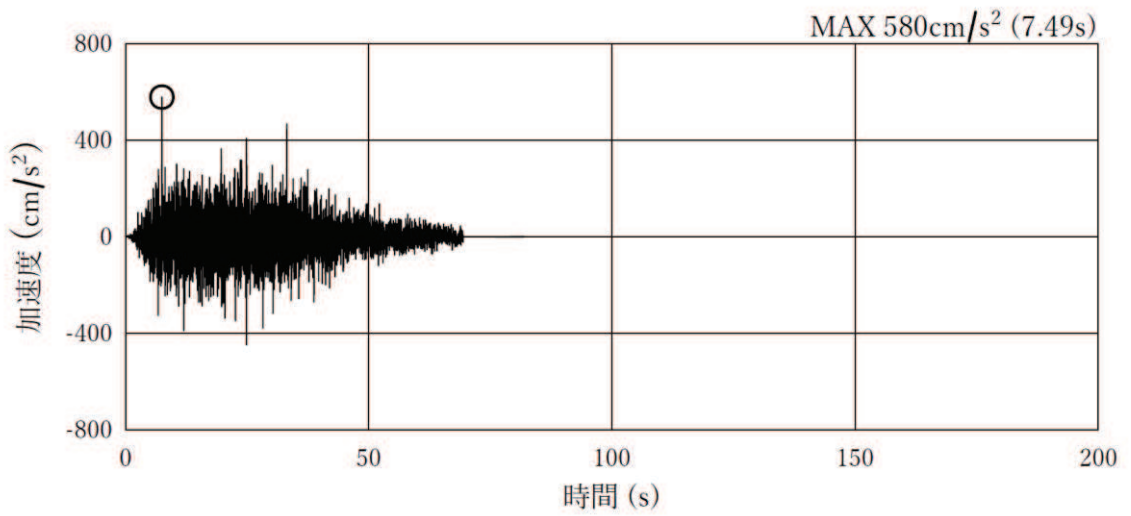


(a) 加速度時刻歴波形

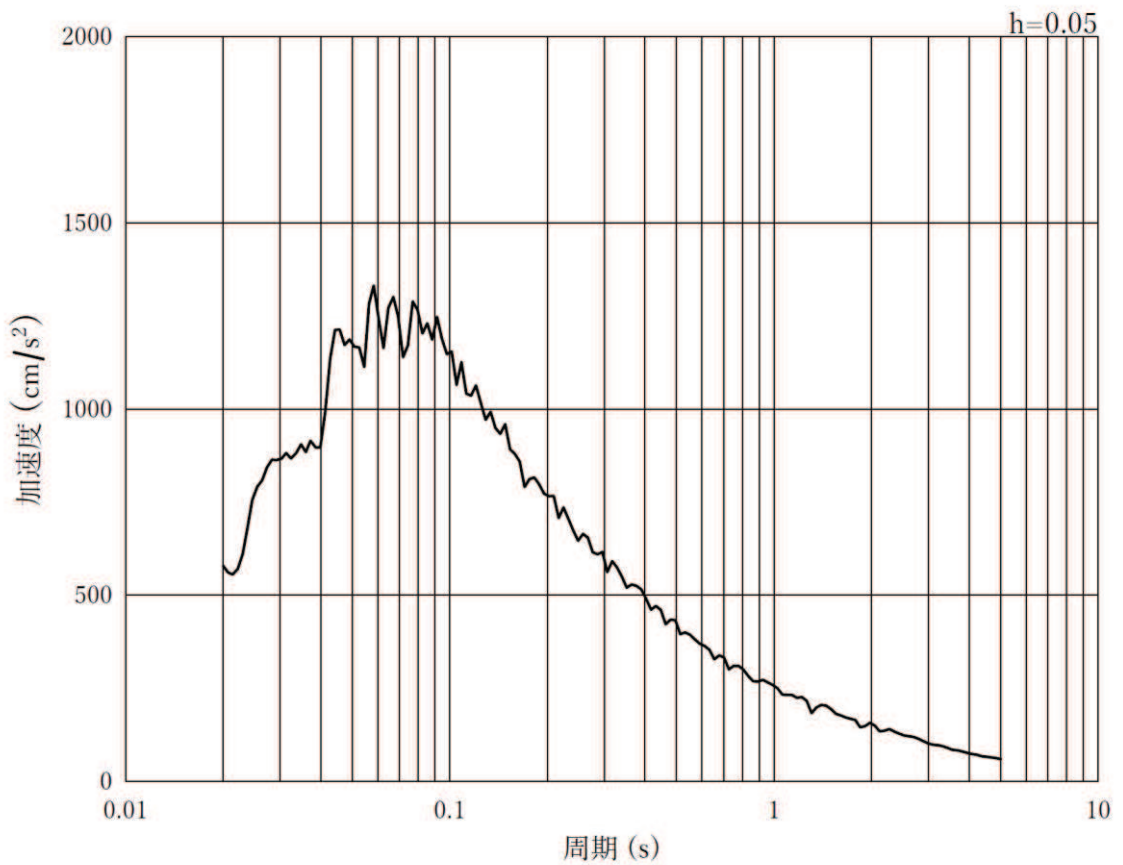


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(5) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - D 3)

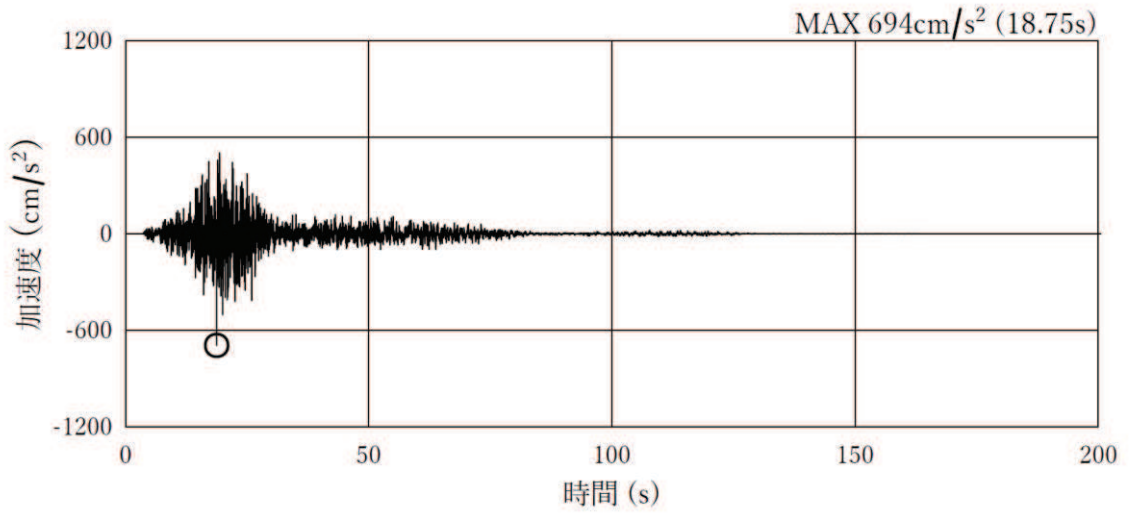


(a) 加速度時刻歴波形

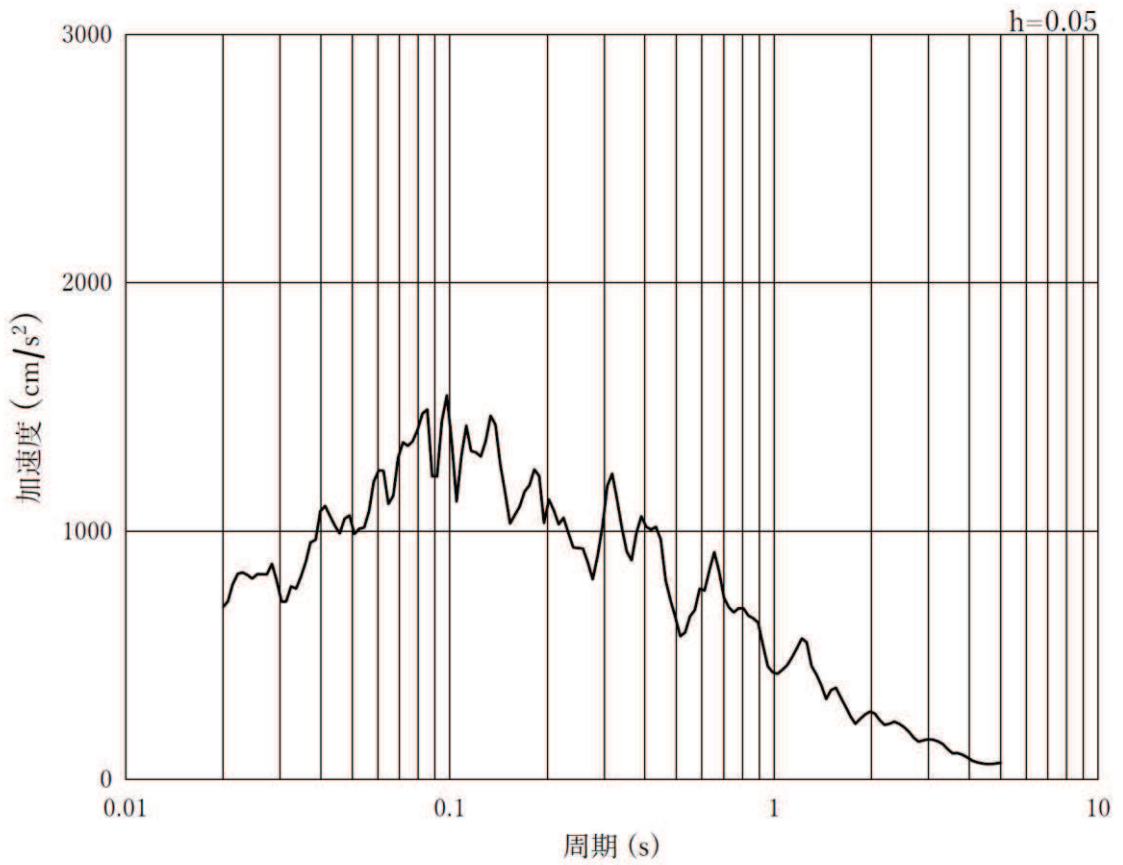


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(6) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - D 3)

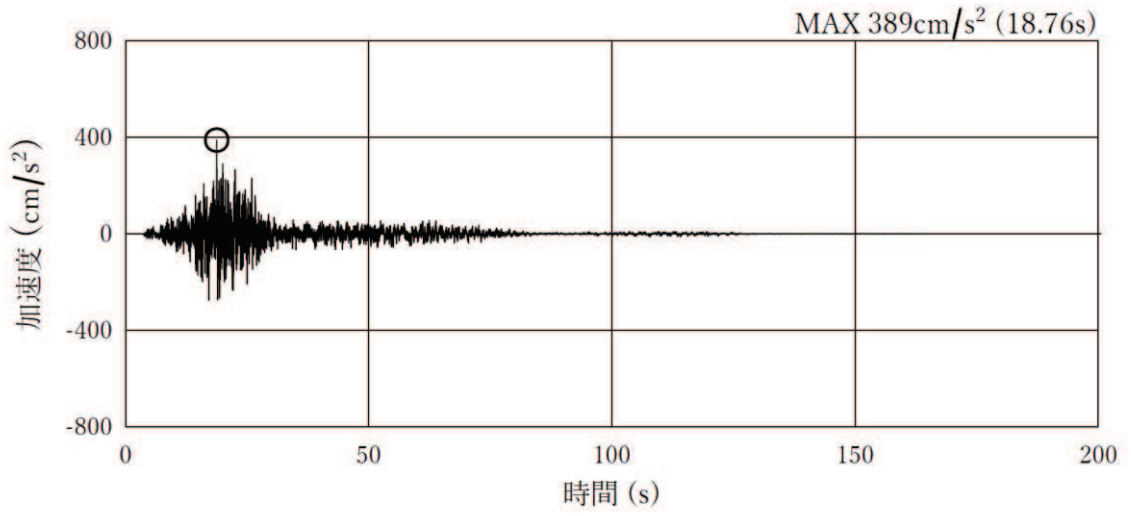


(a) 加速度時刻歴波形

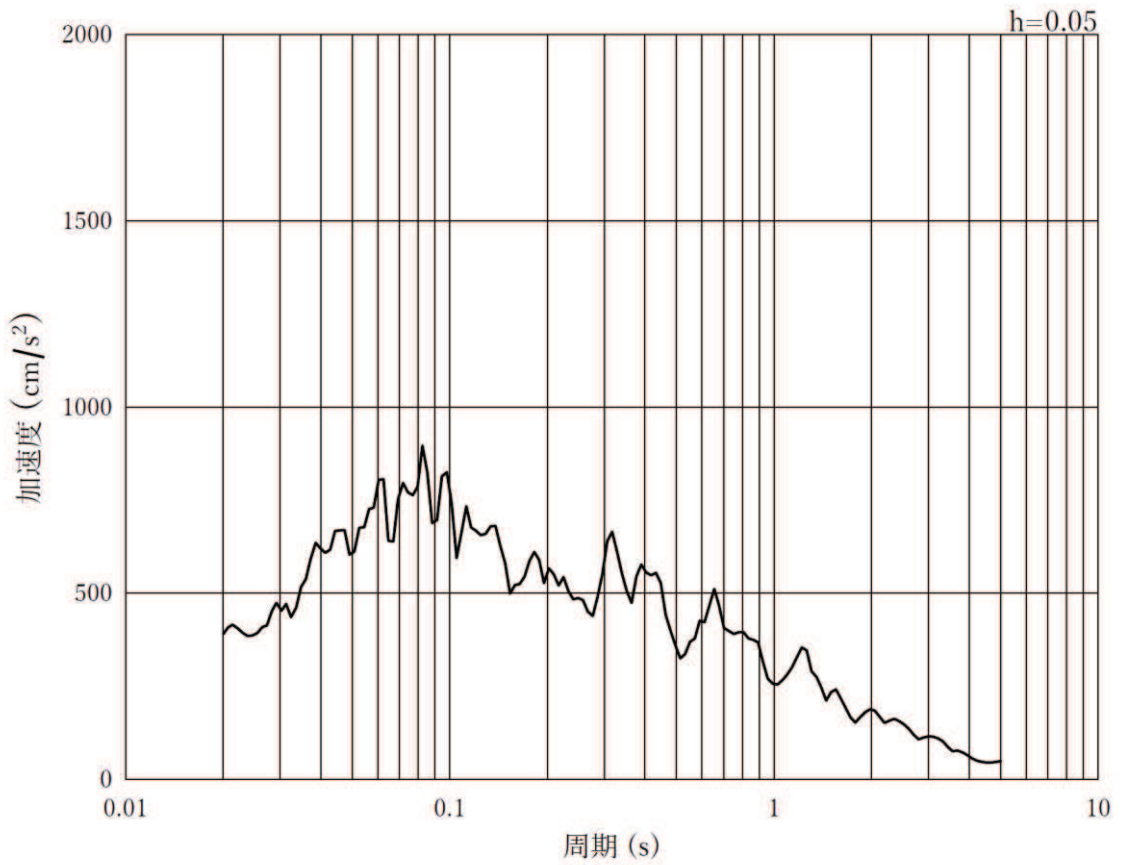


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(7) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - F 1)

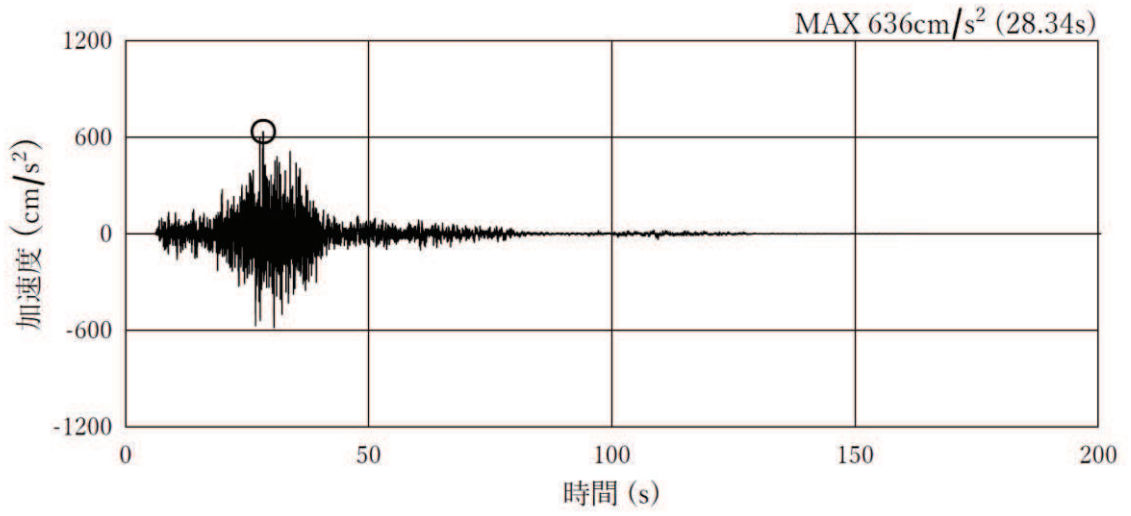


(a) 加速度時刻歴波形

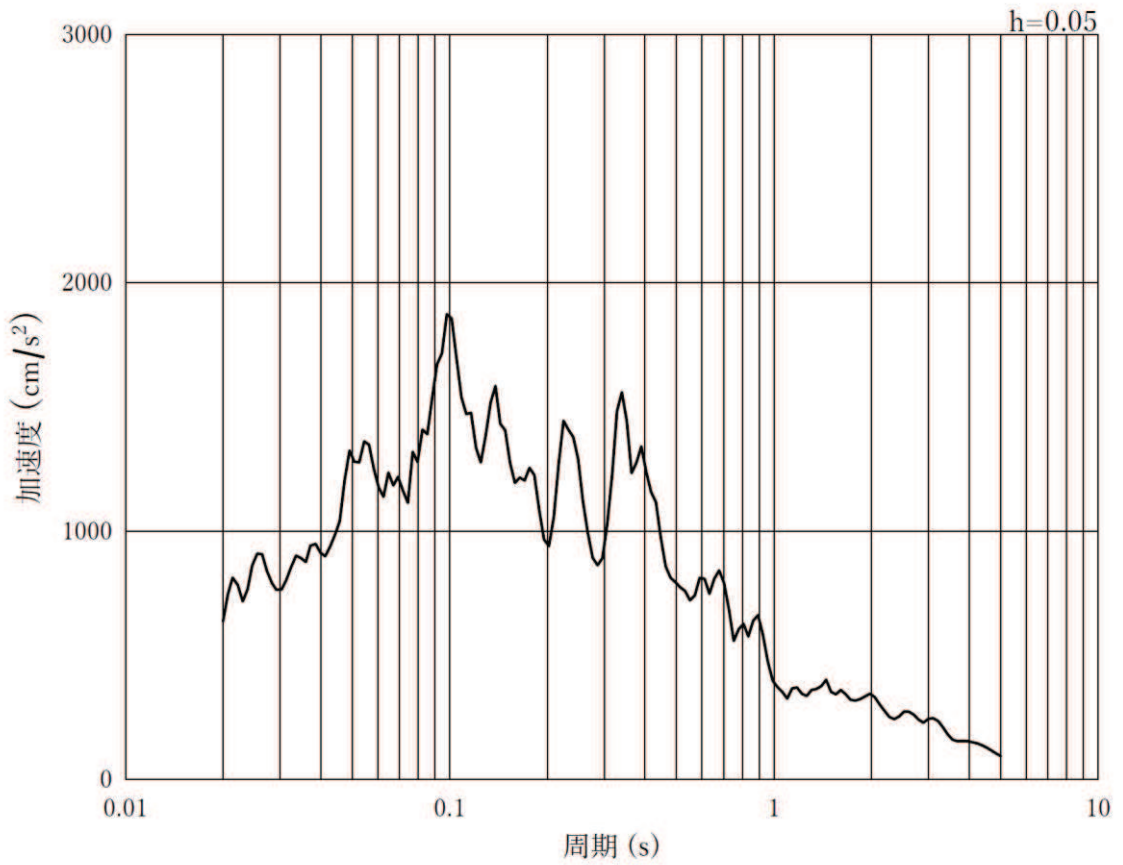


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(8) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - F 1)

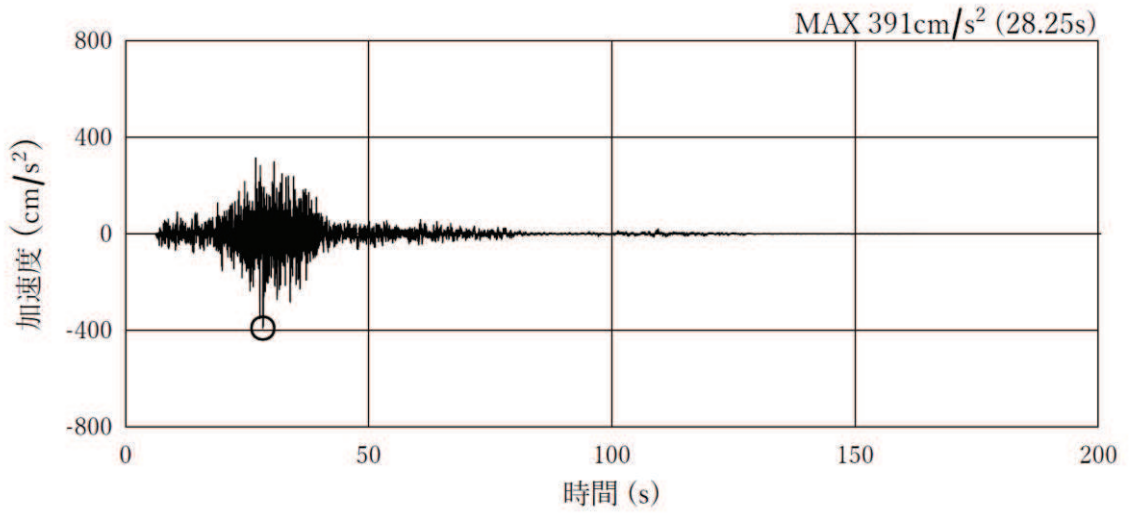


(a) 加速度時刻歴波形

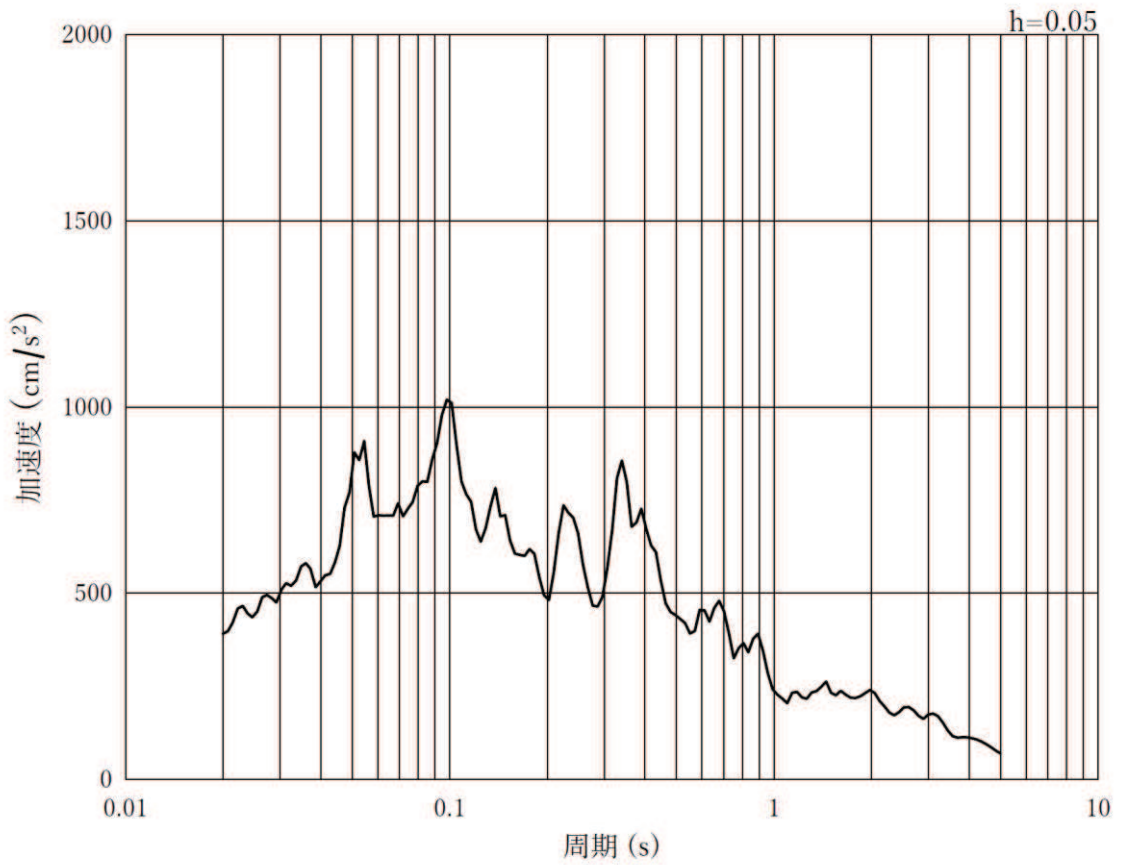


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(9) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - F 2)

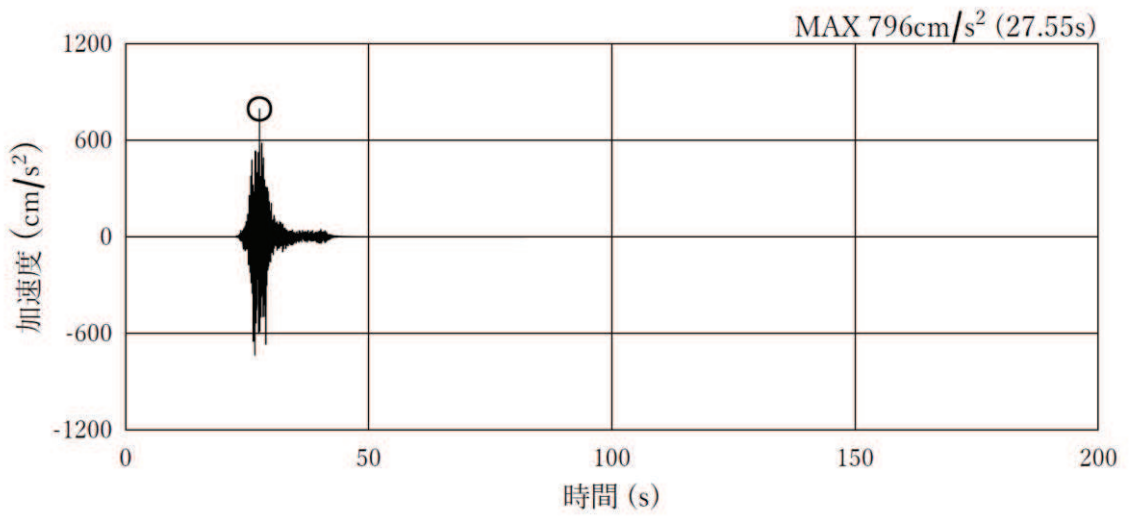


(a) 加速度時刻歴波形

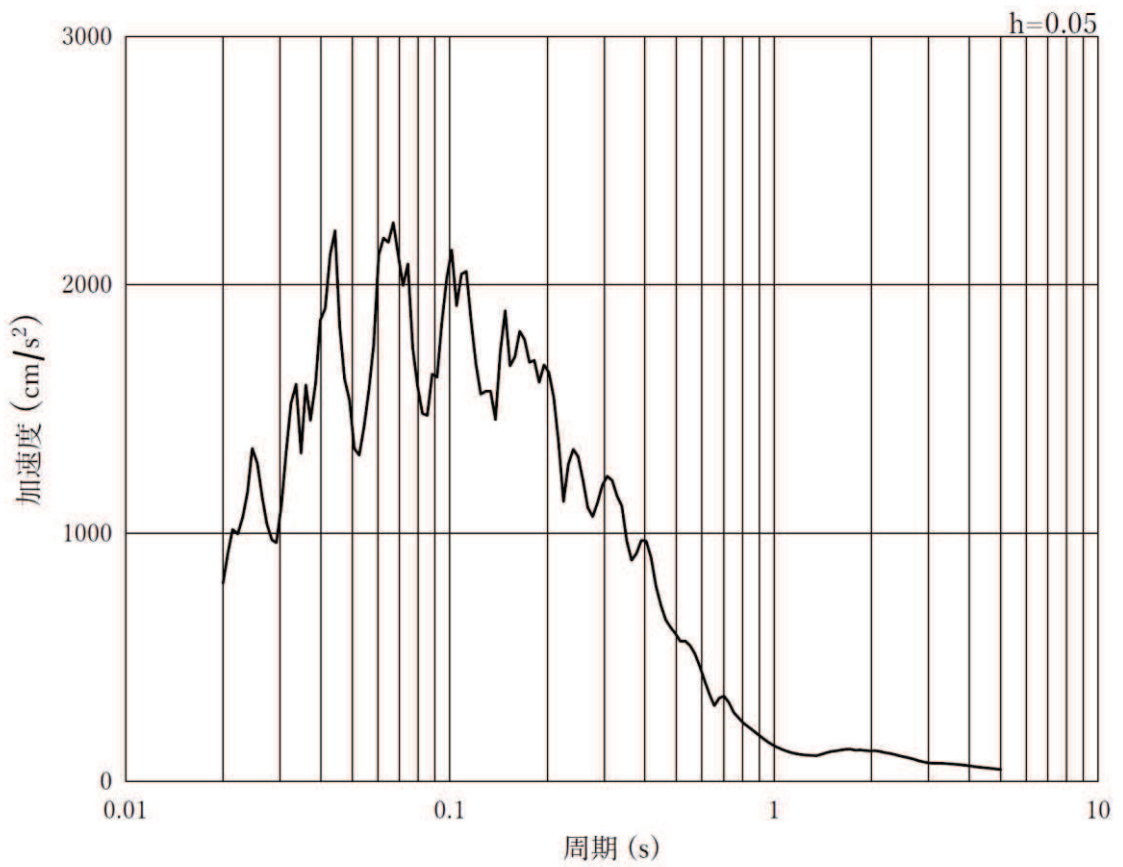


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(10) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : S s - F 2)

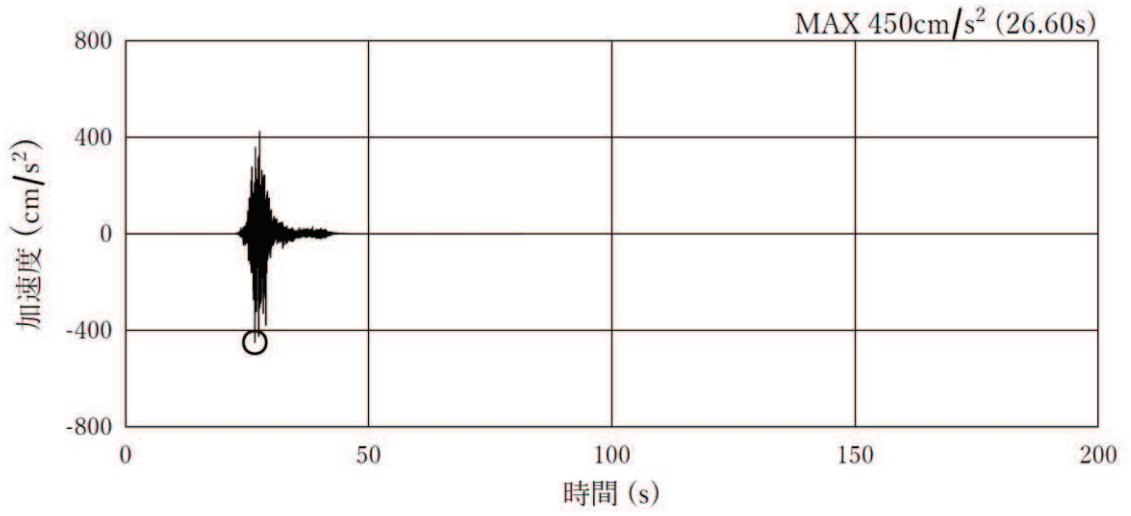


(a) 加速度時刻歴波形

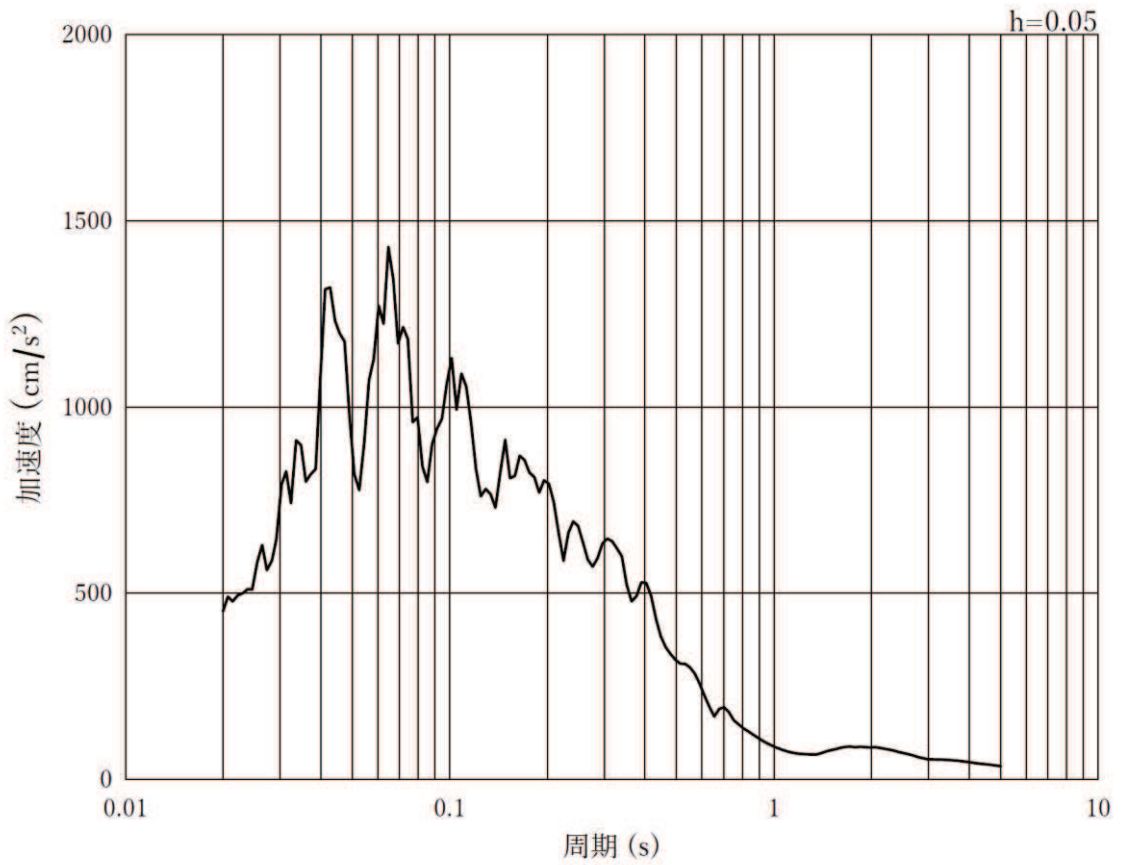


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(11) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S s - F 3)

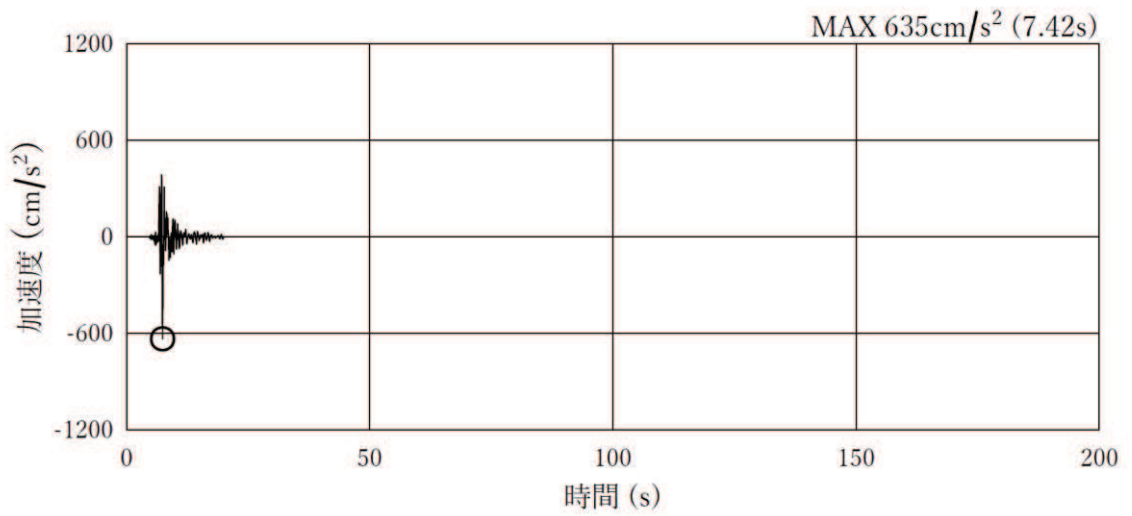


(a) 加速度時刻歴波形

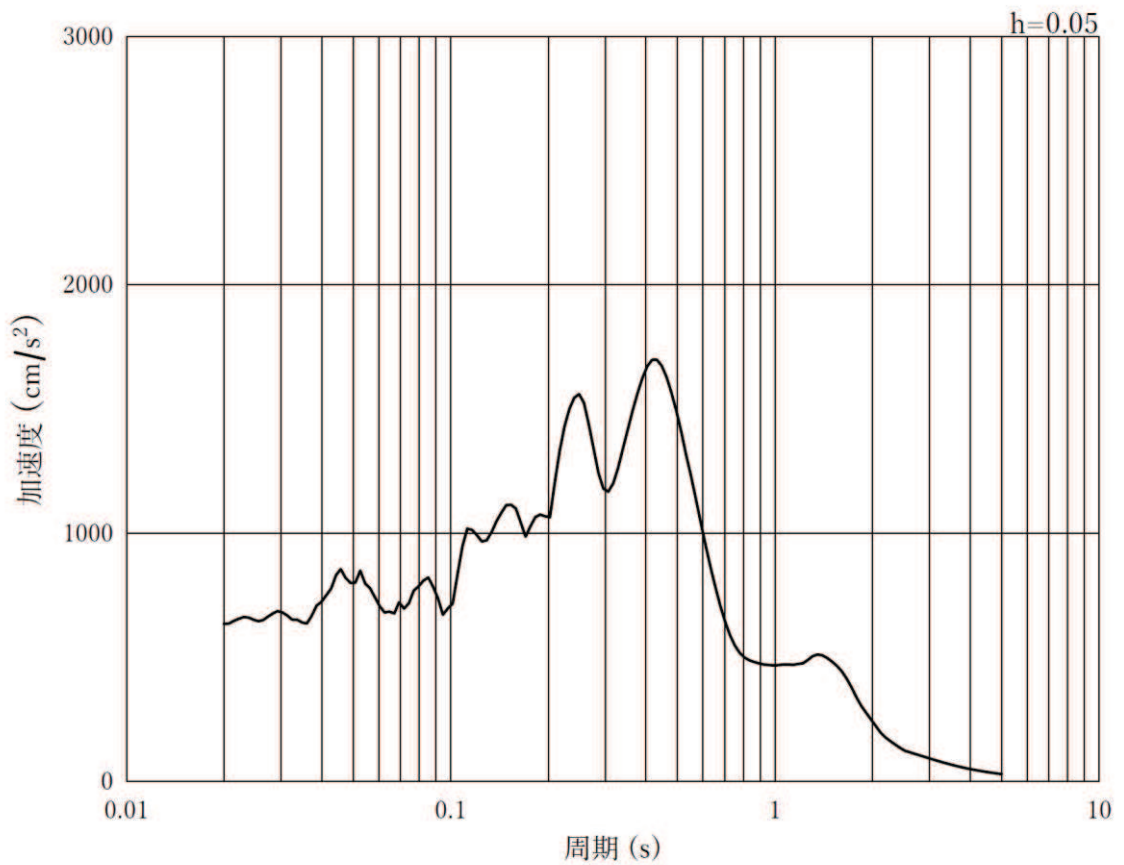


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(12) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - F 3)

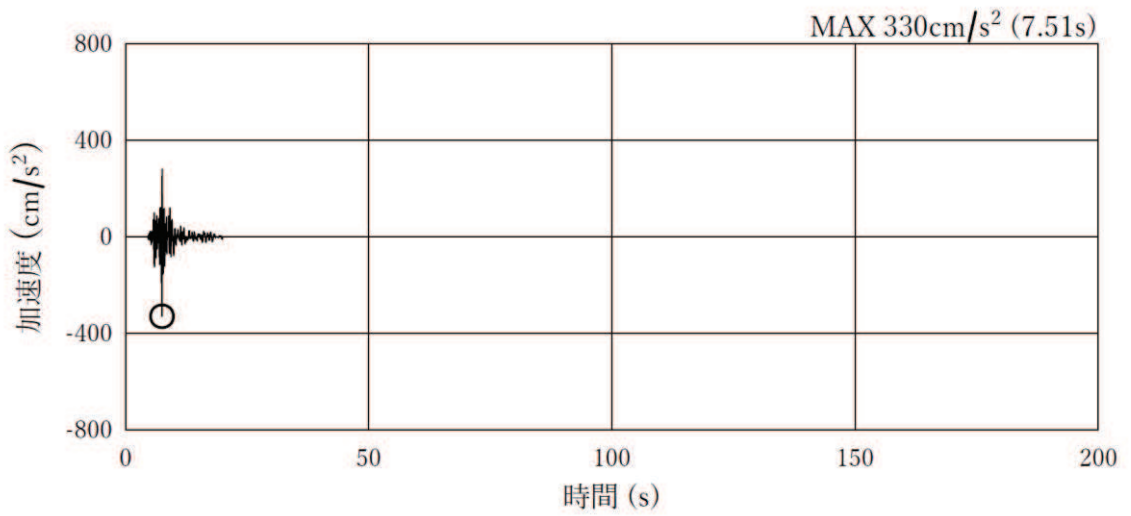


(a) 加速度時刻歴波形

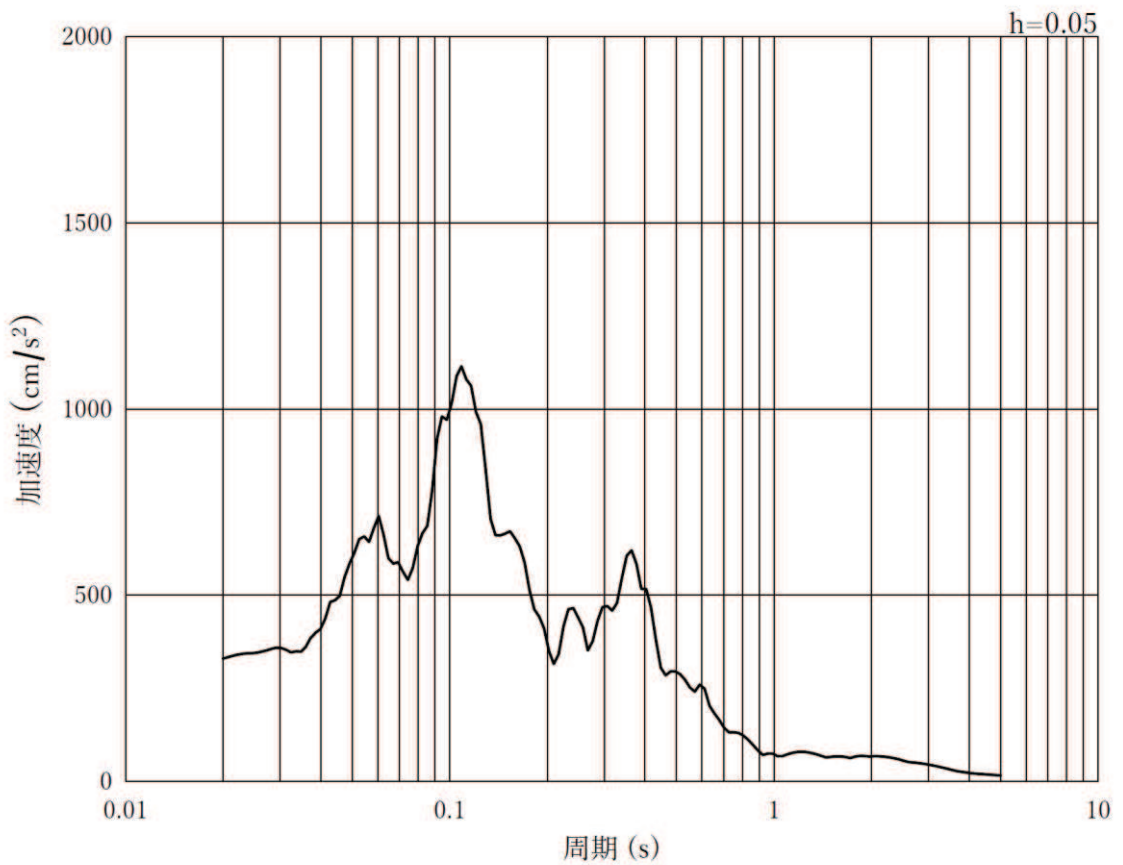


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(13) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向：S s - N 1)

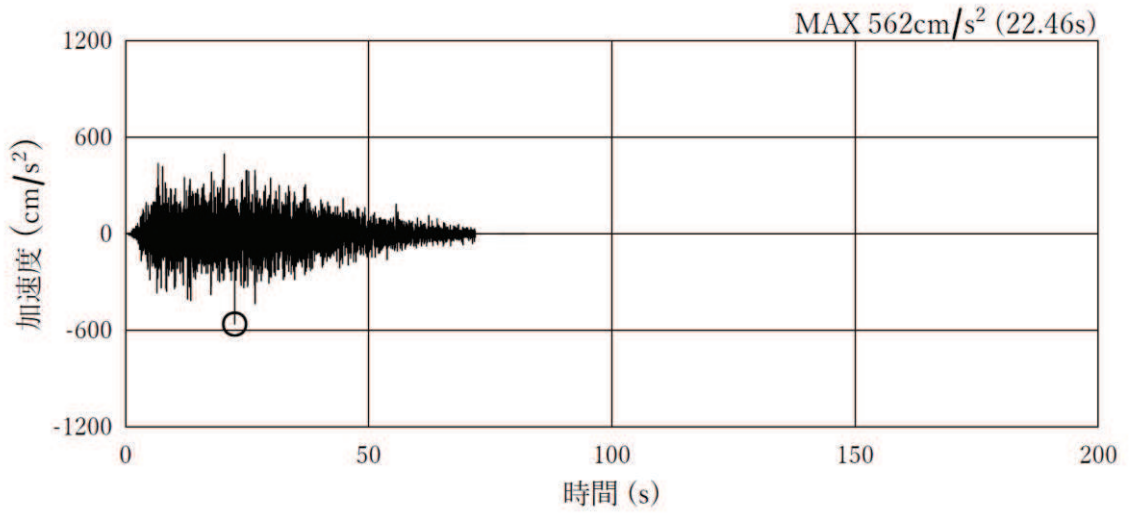


(a) 加速度時刻歴波形

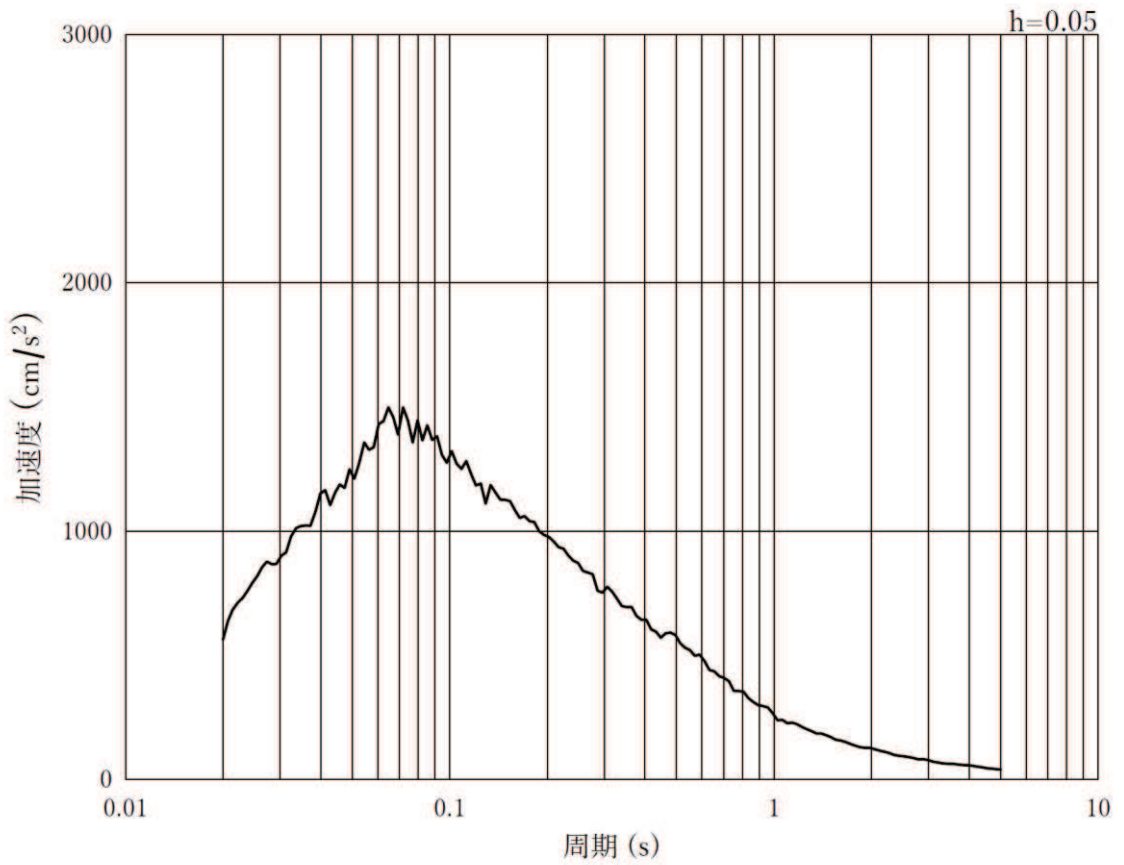


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(14) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S s - N 1)

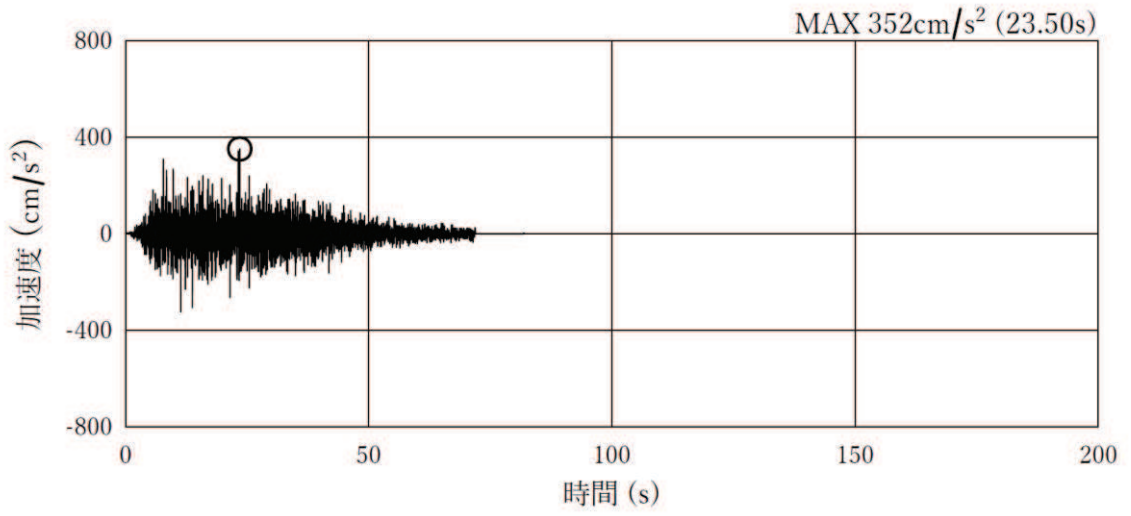


(a) 加速度時刻歴波形

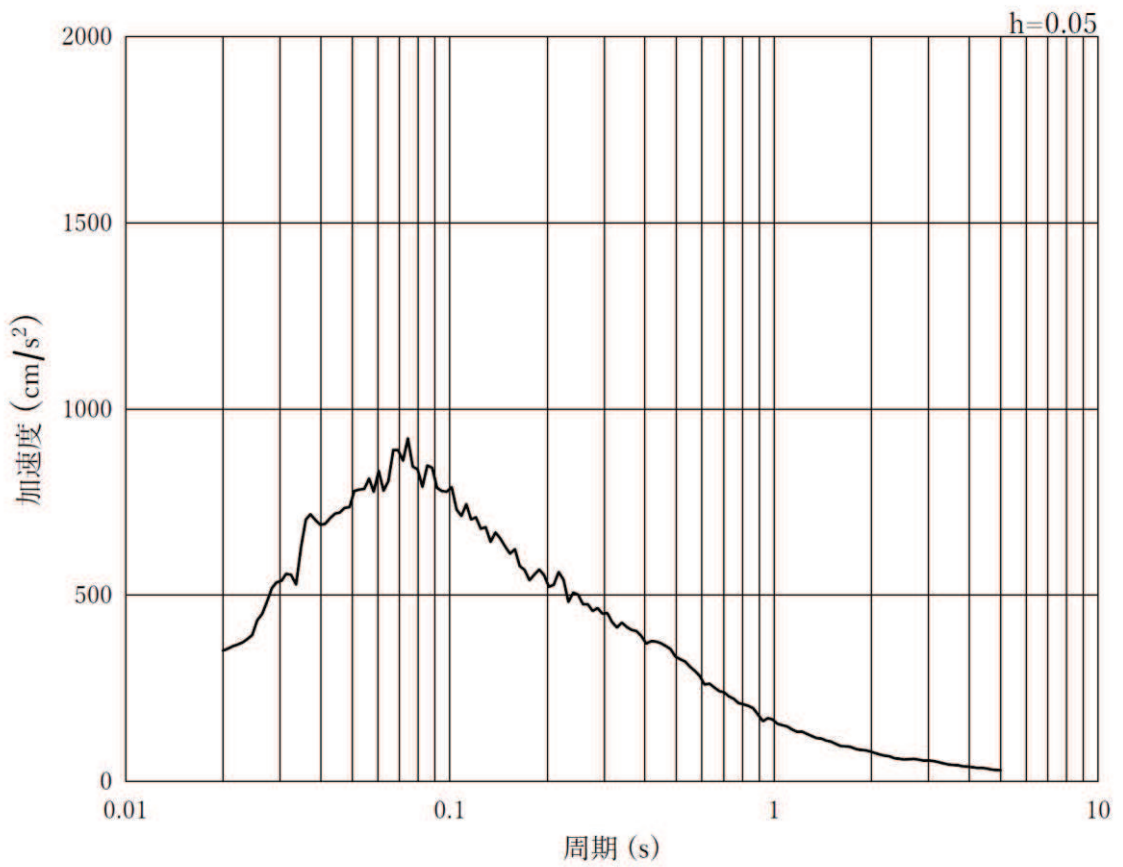


(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(15) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S d - D 2)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 8-5(16) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S d - D 2)

8.4 地盤応答

解析結果のうち、すべての基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d-D2 に対する地盤の地表面最大加速度を表 8-3 に示す。なお、弾性設計用地震動 S_d-D2 の応答加速度については、浸水防止蓋の強度評価における余震荷重の算定に用いる。

表 8-3(1) 地盤の最大応答加速度 (ケース①)

(cm/s^2)

方向	S_s-D1	S_s-D2	S_s-D3	S_s-F1	S_s-F2	S_s-F3	S_s-N1	S_d-D2
水平	371.3	371.3	345.1	-341.2	382.3	350.2	-477.2	265.3
鉛直	-1170.2	1308.9	1007.2	532.3	-747.5	-812.4	848.9	759.8

表 8-3(2) 地盤の最大応答加速度 (ケース②)

(cm/s^2)

方向	S_s-D1	S_s-D2	S_s-D3	S_s-F1	S_s-F2	S_s-F3	S_s-N1	S_d-D2
水平	364.5	365.5	340.9	-335.9	377.9	353.6	-460.2	265.6
鉛直	-1158.3	1298.2	-1059.2	537.3	-702.9	-780.6	809.6	752.1

表 8-3(3) 地盤の最大応答加速度 (ケース③)

(cm/s^2)

方向	S_s-D1	S_s-D2	S_s-D3	S_s-F1	S_s-F2	S_s-F3	S_s-N1	S_d-D2
水平	374.8	375.9	354.4	-348.3	394.8	344.9	-505.5	262.9
鉛直	-1182.7	1260.8	954.2	541.7	-792.5	-886.3	882.0	733.7

9 耐震評価

9.1 評価方針

揚水井戸の評価は、添付書類「VI-2-6 耐震設計の基本方針」に基づき、応力解析による断面の評価を行うことで、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能の確認を行う。

9.2 許容限界

9.2.1 構造部材の健全性に対する許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

排水シャフトの許容限界は、「日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編」に基づき、表9-1 示す短期許容応力度とする。

表9-1 鋼製シャフトの許容応力度及び短期許容応力度

鋼材	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容 応力度* (N/mm ²)
	許容引張応力度及び 許容圧縮応力度 σ_{sa}		
SM570 ($t \leq 40\text{mm}$)	許容引張応力度及び 許容圧縮応力度 σ_{sa}	255	382
	許容せん断応力度 τ_{sa}	145	217

注記*：「日本道路協会 平成14年3月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編」により鋼材の許容応力度に対して1.5倍の割り増しを考慮する。

9.2.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、添付書類「V-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表9-2に示す。

表9-2 基礎地盤の許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力	牧の浜部層	11.4

9.3 評価方法

9.3.1 構造部材の健全性評価

鋼製シャフトの応力解析は、「8. 地震応答解析」で得られる地盤変位を用いた応答変位法を用いる。鋼製シャフトは線形はり要素としてモデル化し、地盤は「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）」に基づき、地盤ばねでモデル化する。応答変位法では、水平方向の地盤ばねを介して地表面の地盤変位が最大となる時刻における地震時応力を算出する。

応答変位法に用いる地盤変位は表 8-2 に示す解析ケース①の地表面相対変位が最大となる時刻の変位分布とする。また、解析ケース②，③の地表面相対変位がケース①を上回る場合は、その変位分布を用いて検討を行う。

図 9-1 に解析モデルを示す。鋼製シャフトは曲げ及びせん断剛性を考慮した線形はり要素とする。鋼製シャフトの断面性能を表 9-3 に物性値を表 9-4 に示す。

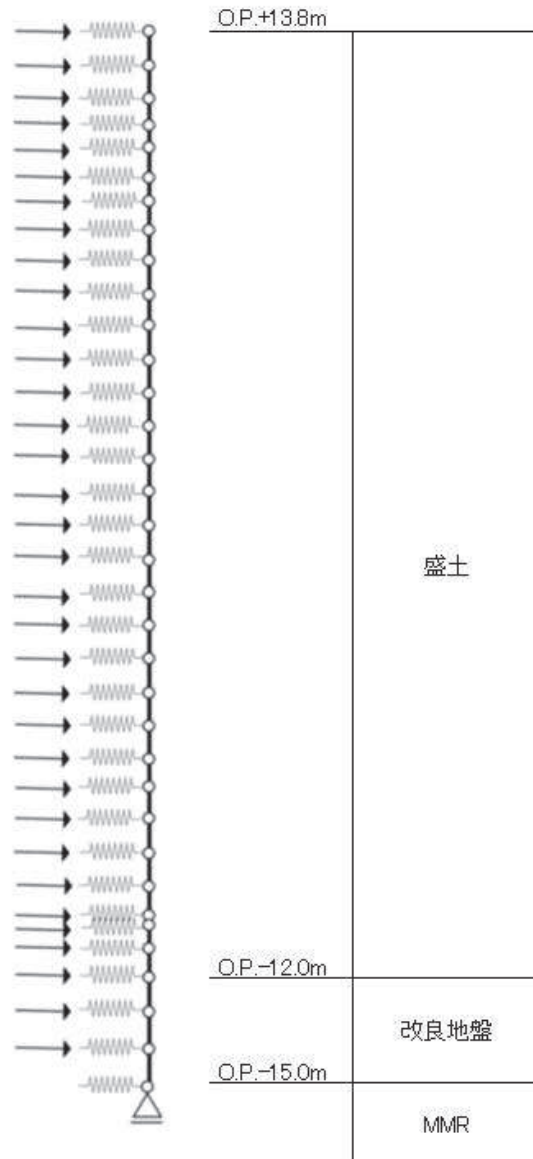


図 9-1 応答変位法解析モデル

表 9-3 揚水井戸 鋼製シャフトの断面性能

標高 O.P. (m)	内径 (mm)	厚さ* (mm)	断面係数 (mm ³)	せん断断面積 (mm ²)
13.8~-15.0	1500	30	5.06×10 ⁷	1.35×10 ⁵

注記*：鋼製シャフトの外面が土中に接し内面が湿潤状態となるため、各応力度の算定に当たっては、日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編に基づき、内側及び外側に 1mm の腐食代を考慮する。

表 9-4 揚水井戸 鋼製シャフトの材料物性

材料		単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鋼材	SM570	77.0	2.0×10 ⁵	0.3

9.3.2 基礎地盤の支持性能評価

鋼製シャフトの基礎地盤の支持性能評価は、「8. 地震応答解析」で得られる鉛直加速度を用いた地震時慣性力に対して評価を行う。

9.4 評価結果

9.4.1 構造部材の健全性評価

鋼製シャフトの断面力分布図を図9-2に示す。また、鋼製シャフトの評価結果を表9-5に示す。

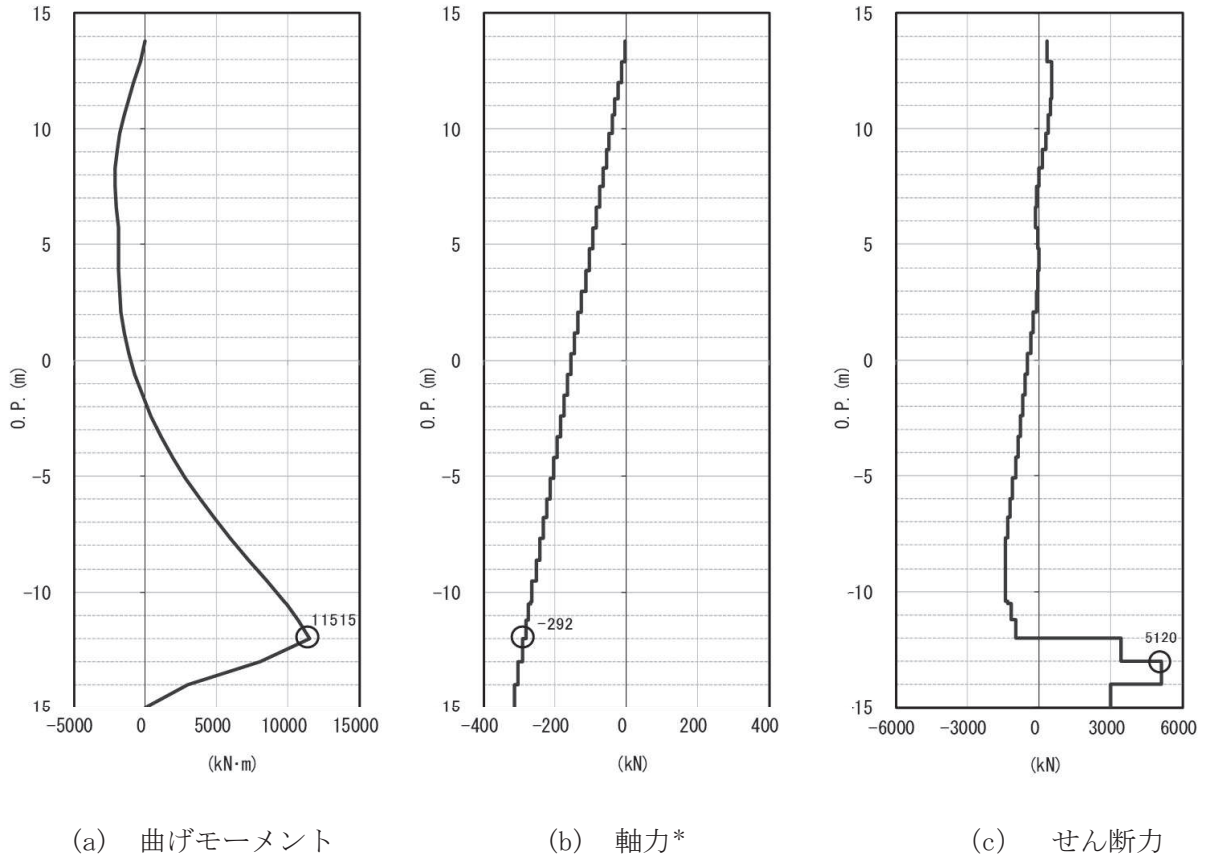


図9-2 断面力分布図

注記* : +引張, -圧縮として示す

表 9-5(1) 鋼製シャフトの評価結果 曲げ・軸力系の破壊に対する照査

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
		曲げ モーメント (kN/m)	軸力 (kN)			
S _s -N1	①	11515	-292	230	382	0.61

表 9-5(2) 鋼製シャフトの評価結果 せん断破壊に対する照査

地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
		せん断力 (kN)			
S _s -N1	①	5120	77	217	0.36

9.4.2 基礎地盤の支持性能照査

鋼製シャフトの基礎地盤の支持性能照査結果を表 9-6 に示す。

表 9-6 基礎地盤の支持性能評価結果

地震動	解析ケース	最大接地圧 R_u (N/mm ²)	極限支持力 R_{ua} (N/mm ²)	照査値 R_u / R_{ua}
S _s -D2	①	5.5	11.4	0.49

VI-2-10-2-8-4 浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ピット）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	8
3.1	応力評価の評価対象部位	8
4.	固有値解析	11
4.1	固有値解析のモデルの設定及び解析手法	11
4.2	固有振動数の解析結果	13
5.	耐震評価	16
5.1	応力評価方法	16
5.2	変形性評価方法	28
6.	評価結果	34
7.	第3号機補機冷却海水系放水ピットの耐震評価の概要	38
8.	耐震評価の基本方針	39
8.1	構造概要	39
8.2	評価方針	46
8.3	適用基準	50
9.	地震応答解析	51
9.1	地震時荷重算出断面	51
9.2	解析方法	53
9.3	荷重及び荷重の組合せ	60
9.4	入力地震動	62
9.5	解析モデル及び諸元	91
9.6	地震応答解析結果	103
10.	耐震評価	105
10.1	構造部材の健全性及び止水機能に対する評価方法	105
10.2	基礎地盤の支持性能に対する評価方法	120
10.3	許容限界	121
10.4	耐震評価結果	123

1. 概要

本資料は、添付書類「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浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ピット）（以下「浸水防止蓋」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確認するものである。その耐震評価は浸水防止蓋の固有値解析、応力評価及び変形性評価により行う。

浸水防止蓋は、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。

なお、浸水防止蓋の耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

浸水防止蓋は、第3号機補機冷却海水系放水ピットの上部に設置する。
浸水防止蓋の設置位置図を図2-1に示す。

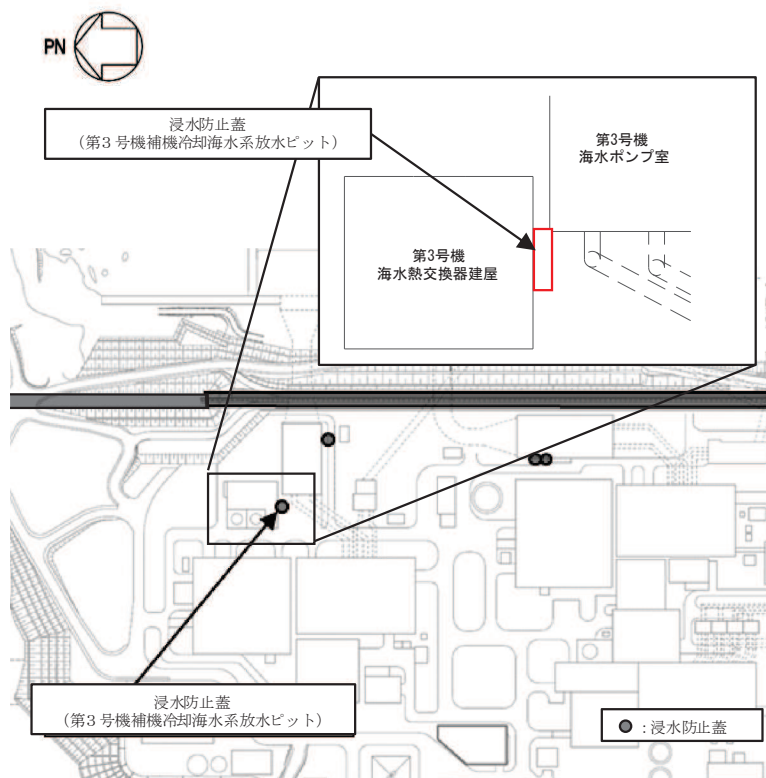


図2-1 浸水防止蓋の設置位置図

2.2 構造計画

浸水防止蓋は、第3号機補機冷却海水系放水ピットからの浸水を防止するため、近接する第3号機海水熱交換器建屋側面に鋼製ブラケットを介して固定ボルトにて固定し、地震時に異なる挙動を示す可能性がある第3号機補機冷却海水系放水ピットとの境界部には止水ジョイント（M型ジョイント）を設置することで止水性を確保する構造とする。

また、浸水防止蓋はメンテナンス等のため開閉を行うハッチを組み合わせた構造とする。

浸水防止蓋の構造計画を表2-1に示す。

表2-1 浸水防止蓋の構造計画

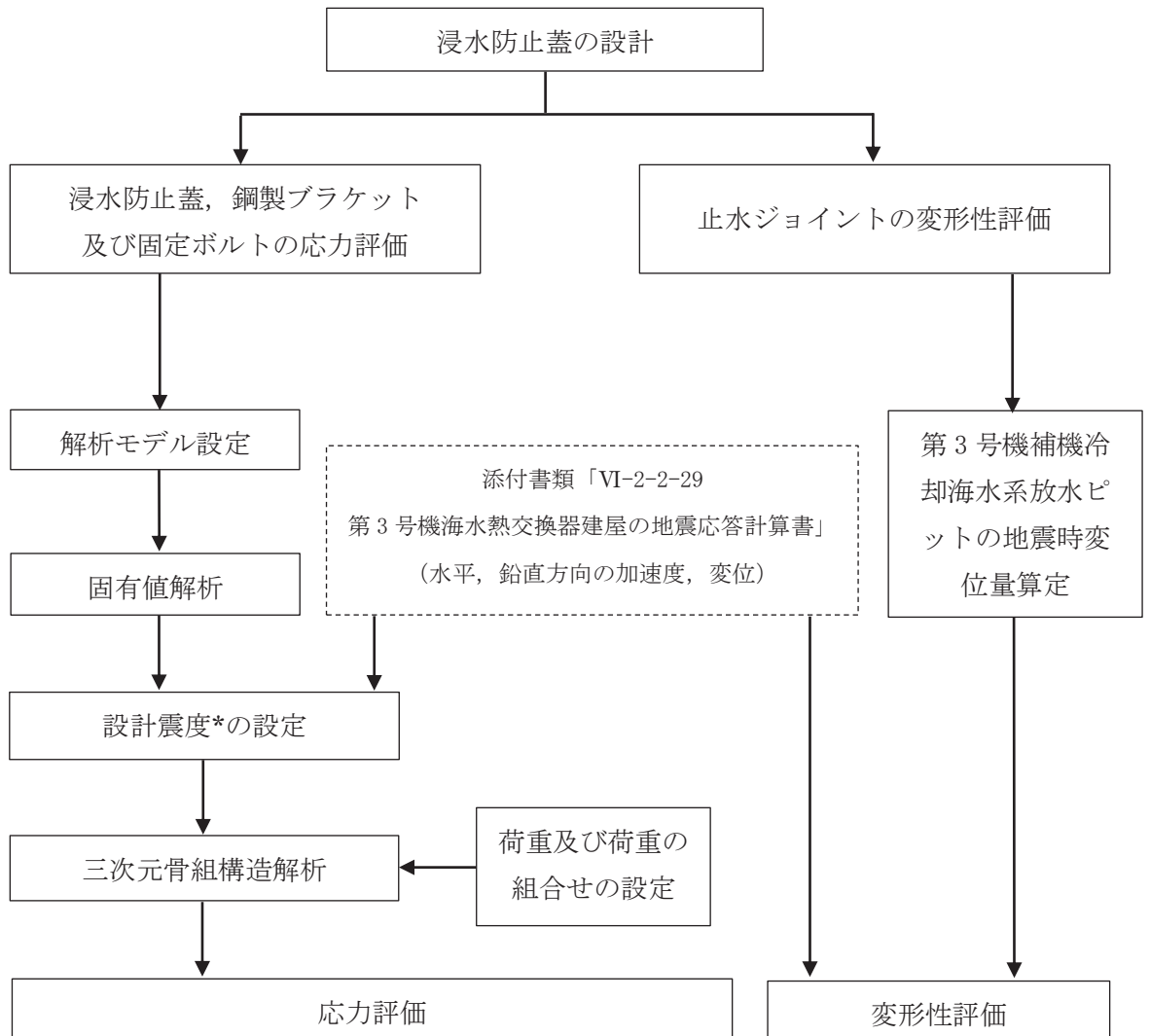
計画の概要		構造概略図
基礎・支持構造	主体構造	
十分な支持性能を有する第3号機海水熱交換器建屋側面に固定ボルトで固定する。	<p>浸水防止蓋、鋼製ブラケット及び固定ボルトにより構成する。</p> <p>第3号機補機冷却海水系放水ピットとの境界部には止水ジョイント（M型ジョイント）を設置する。</p> <p>また、浸水防止蓋にはハッチを設置する。</p>	<p>構造概略図</p> <p>平面図</p> <p>A-A断面</p> <p>B-B断面</p> <p>浸水防止蓋</p> <p>固定ボルト</p> <p>鋼製ブラケット</p> <p>止水ジョイント</p>

2.3 評価方針

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「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」に示す浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位において、応力評価と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。

浸水防止蓋、鋼製ブラケット及び固定ボルトの応力評価については、「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 S_s により算出した応力が許容限界内に収まることを、「5. 耐震評価」にて示す方法にて確認する。

止水ジョイントの変形性評価については、止水ジョイントは浸水防止蓋と第3号機補機冷却海水系放水ピットとの境界部に設置することから浸水防止蓋と第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大変位量の和が許容限界内に収まることを、「5. 耐震評価」にて示す方法にて確認する。応力評価及び変形性評価の確認結果を「6. 評価結果」に示す。耐震評価フローを図2-2に示す。



注記*：材料物性の不確かさを考慮する

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。

- (1) 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－
- (2) 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- (3) 日本産業規格（J I S）
- (4) 日本建築学会 2018 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説

2.5 記号の説明

浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2(1) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
S_s	kN	基準地震動 S_s による地震荷重
k	—	基準地震動 S_s の設計震度
$S_{sH(NS)}$	kN	基準地震動 S_s の水平方向 (N-S) の地震荷重
$S_{sH(EW)}$	kN	基準地震動 S_s の水平方向 (E-W) の地震荷重
S_{sv}	kN	基準地震動 S_s の鉛直方向の地震荷重
$k_{H(NS)}$	—	基準地震動 S_s の水平方向 (N-S) の設計震度
$k_{H(EW)}$	—	基準地震動 S_s の水平方向 (E-W) 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
P_s	kN	積雪荷重
W_s	N/m ²	1cm 当りの積雪荷重
d_s	cm	積雪高さ
A	m ²	浸水防止蓋の面積
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	N・mm	最大曲げモーメント
x	N/mm ²	組合せ応力度
A_s	mm ²	浸水防止蓋の単位幅あたりのせん断断面積
Z	mm ³	浸水防止蓋の断面係数
α	—	平板のモーメントに関する係数
β	—	平板のせん断力に関する係数
w	kN/m ²	浸水防止蓋に作用する単位面積当りの等分布荷重
w'	N/mm ² ・mm	浸水防止蓋に作用する単位幅当りの等分布荷重
l_x	mm	浸水防止蓋の短辺長
t	mm	浸水防止蓋の厚さ

表 2-2(2) 浸水防止蓋の耐震評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
T d	kN	固定ボルト 1 本当りに作用する引張力
q	kN	固定ボルト 1 本当りに作用するせん断力
R n	kN	固定ボルトの支点反力 (引張)
R m	kN・mm	固定ボルトの支点モーメント
R s	kN	固定ボルトの支点反力 (せん断)
B	mm	照査箇所のボルト間隔 (mm)
N	本	照査箇所の固定ボルトの本数
d n	mm	止水ジョイント部材の評価用変形量(開き方向)
d s	mm	止水ジョイント部材の評価用変形量(せん断方向)
d b _{NS}	mm	第 3 号機海水熱交換器建屋の地震時最大応答変位 (N-S 方向)
d b _{EW}	mm	第 3 号機海水熱交換器建屋の地震時最大応答変位 (E-W 方向)
d p _{NS}	mm	第 3 号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大応答変位 (N-S 方向)
d p _{EW}	mm	第 3 号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大応答変位 (E-W 方向)
N	本	ハッチに取り付く固定ボルトの本数
A'	mm ²	固定ボルトの有効断面積
σ_t	N/mm ²	固定ボルト 1 本当りに作用する引張応力度
τ_s	N/mm ²	固定ボルト 1 本当りに作用するせん断応力度

3. 評価対象部位

浸水防止蓋の評価対象部位は、「2.2 構造計画」に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や伝達過程及び変形を考慮し設定する。

3.1 応力評価の評価対象部位

応力評価の評価対象部位は、地震に伴う慣性力が浸水防止蓋及び鋼製ブラケットに作用し、鋼製ブラケットを固定している固定ボルトを介して躯体に伝達することから、浸水防止蓋、鋼製ブラケット及び固定ボルトを応力評価の評価対象部位として設定する。

また、浸水防止蓋のハッチ部については、閉止時を基本とした荷重の作用方向及び伝達過程を考慮する。ハッチ部に作用する慣性力は締付部（固定ボルト）を介して浸水防止蓋に伝達されることから締付部の固定ボルトを評価対象部位として設定する。

応力評価の評価対象部位について図 3-1 に示す。

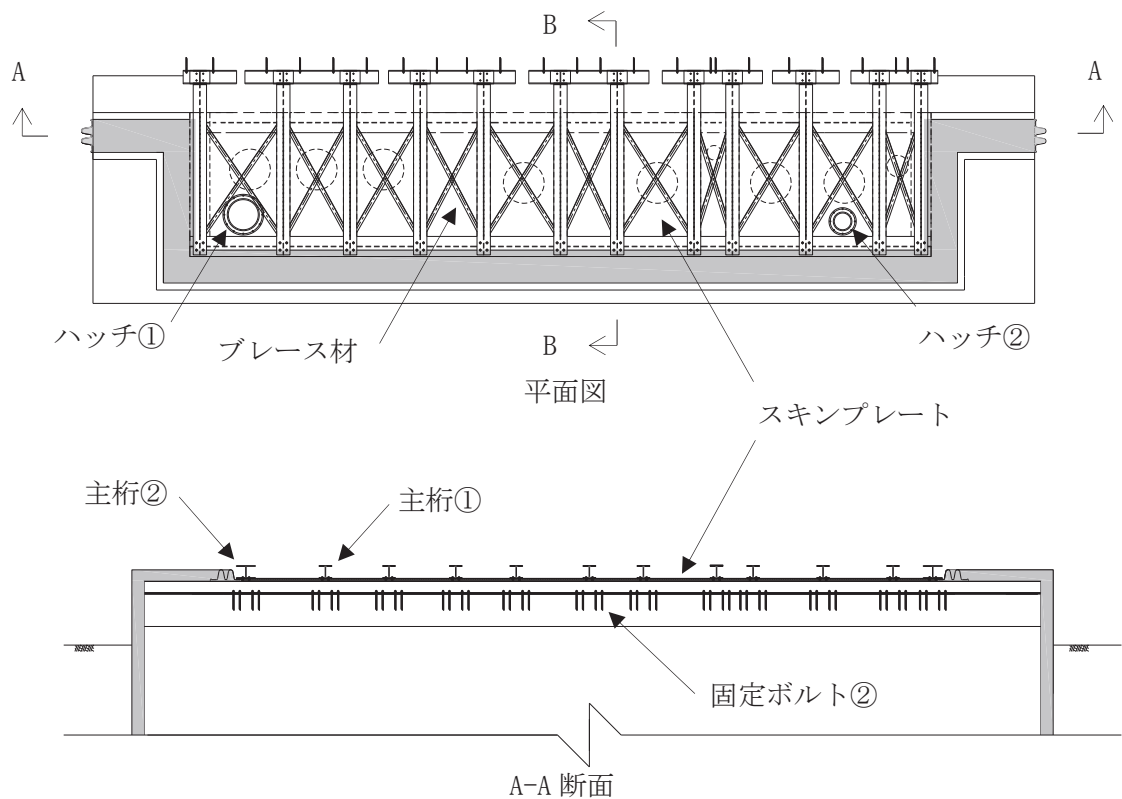
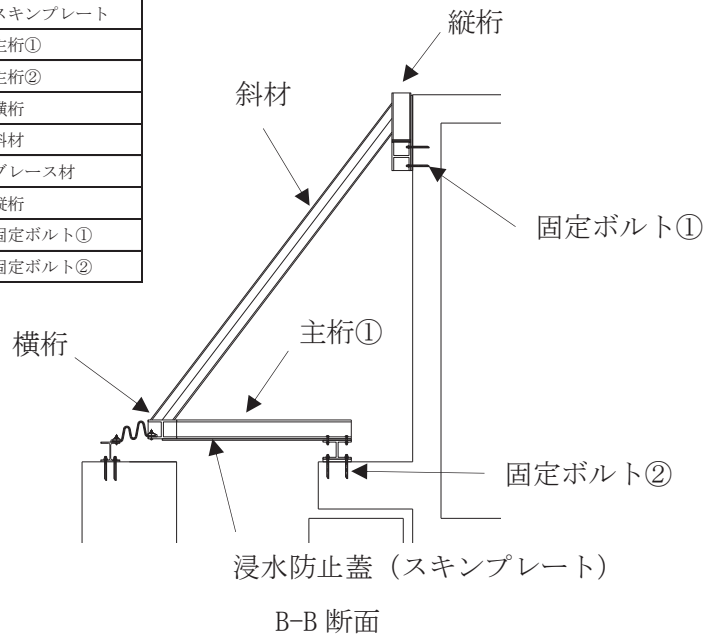
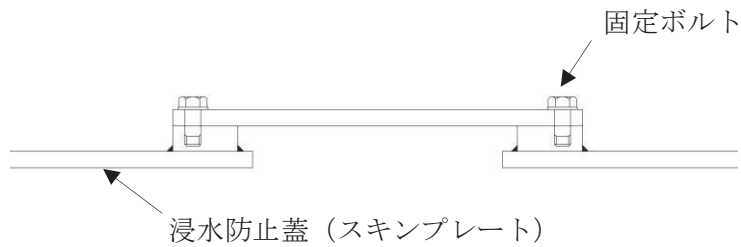


図 3-1(1) 評価対象部位 (応力評価)

評価対象部位	
浸水防止蓋	スキンプレート
鋼製ブラケット	主桁①
	主桁②
	横桁
	斜材
	ブレース材
	縦桁
固定ボルト	固定ボルト①
	固定ボルト②



ハッチ①断面図

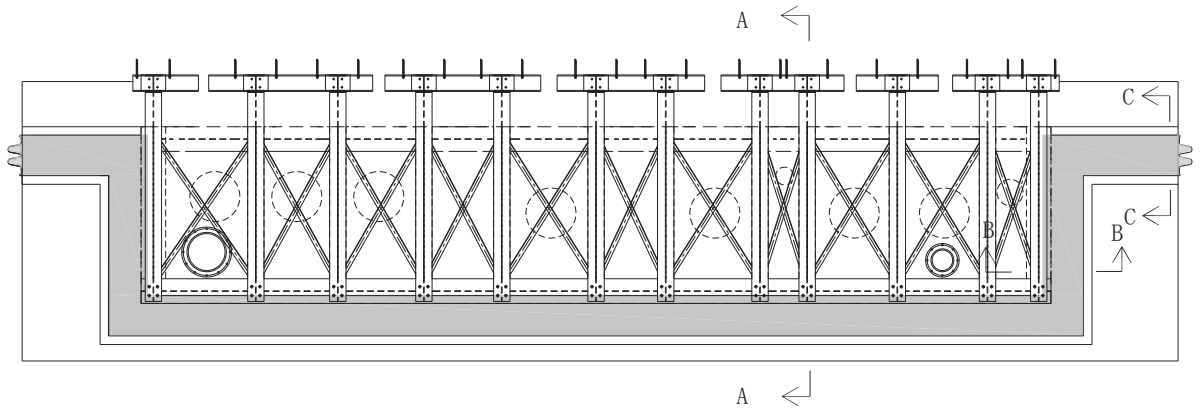


ハッチ②断面図

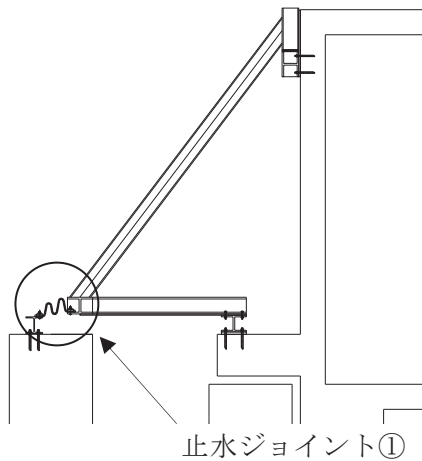
図3-1(2) 評価対象部位 (応力評価)

3.2 変形性評価の評価対象部位

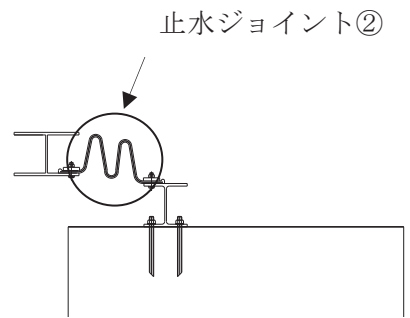
変形性評価の評価対象部位は、地震に伴う浸水防止蓋と第3号機補機冷却海水系放水ピットの変位が止水ジョイントに作用することから、止水ジョイントを変形性評価の評価対象部位として設定する。変形性評価の評価対象部位について図3-2に示す。



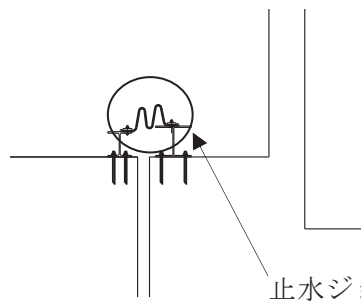
平面図



A-A 断面



B-B 断面



C-C 断面

評価対象部位	
止水ジョイント	止水ジョイント①
	止水ジョイント②
	止水ジョイント③

図3-2 評価対象部位 (変形性評価)

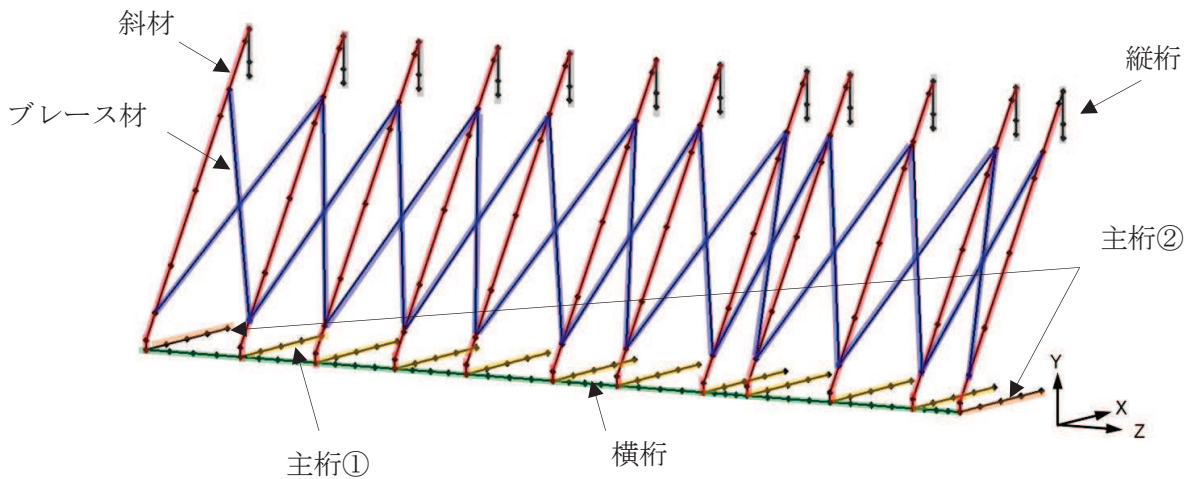
4. 固有値解析

4.1 固有値解析のモデルの設定及び解析手法

浸水防止蓋と鋼製ブラケットは一体化された三次元性を有する構造であることを踏まえ、図4-1に示す三次元フレームモデルにより固有値解析を実施する。

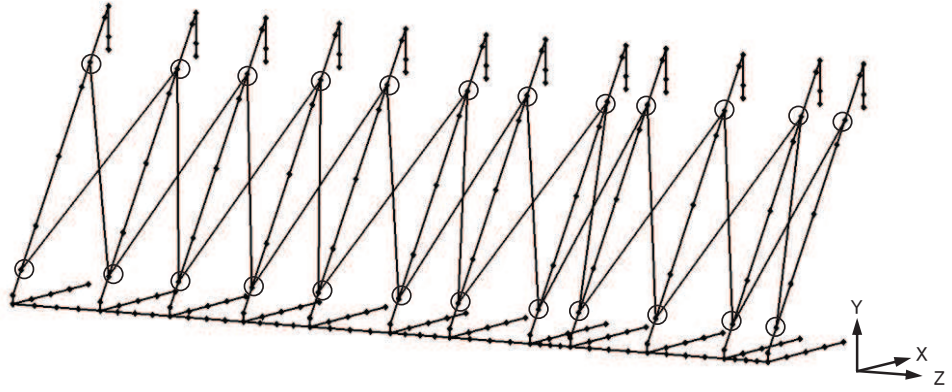
解析コードは「Engineer's StudioVer.6.00.4」を用いる。

解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



対象部材	材質	断面形状
— : 主桁①	SUS304	H-200×200×20×20
— : 主桁②	SUS304	H-200×300×20×20
— : 斜材	SUS304	H-200×200×8×12
— : 横桁	SUS304	H-200×300×20×20
— : ブレース材	SUS304	L-60×60×5
— : 縦桁	SUS304	H-200×200×8×12

図4-1(1) 固有値解析モデル (1/2)



記号	x	y	z
●	剛結	剛結	剛結
●	ピン	ピン	ピン

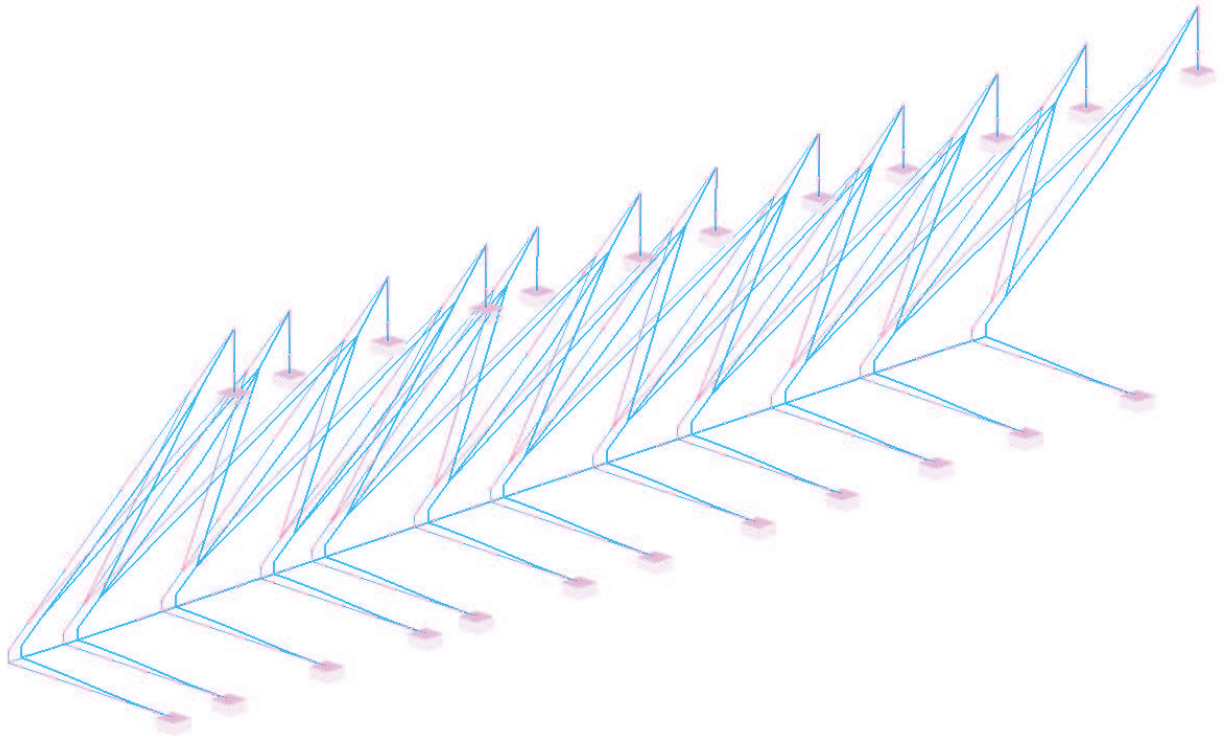
図 4-1(2) 固有値解析モデル (2/2)

4.2 固有振動数の解析結果

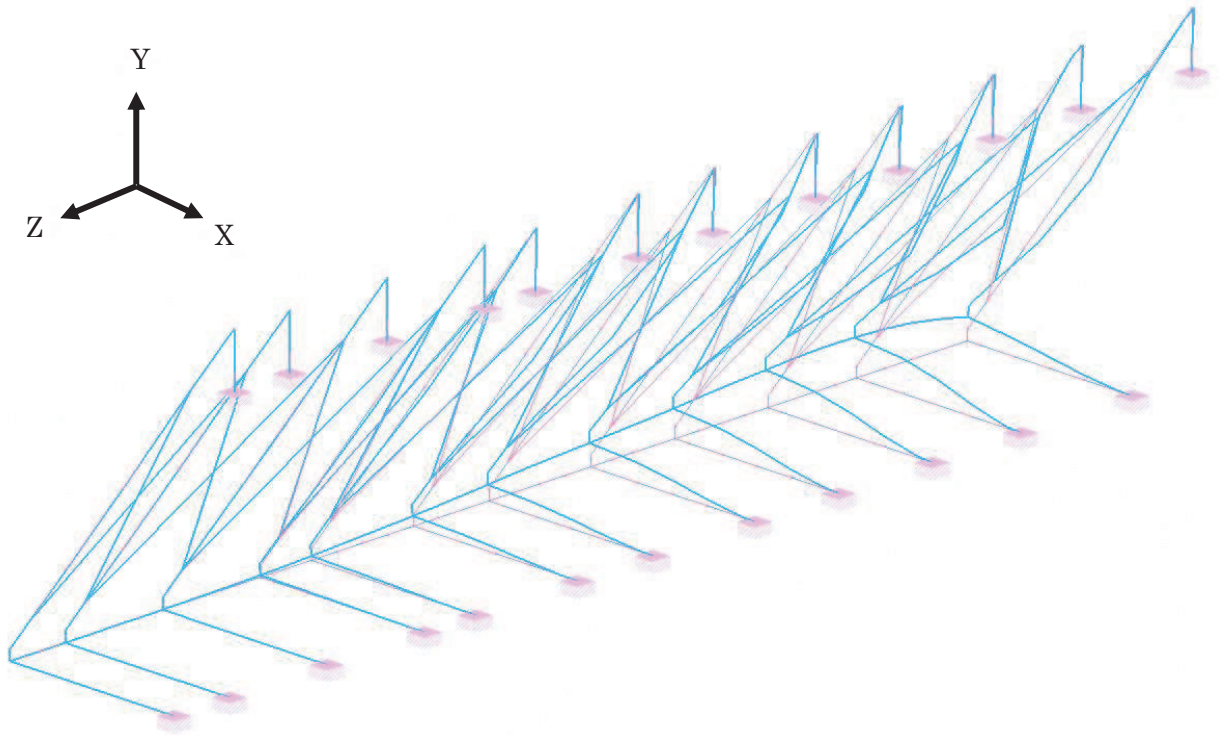
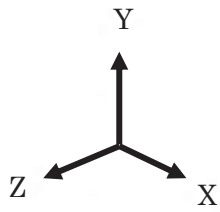
固有振動数の解析結果を表 4-1 及び図 4-2 に示す。固有振動数は 20Hz 以上であることから、剛構造である。

表 4-1 固有値解析結果

振動モード 次数	卓越 方向	固有振動数 f (Hz)
1	Z	24.17
38	Y	108.71
95	X	276.20

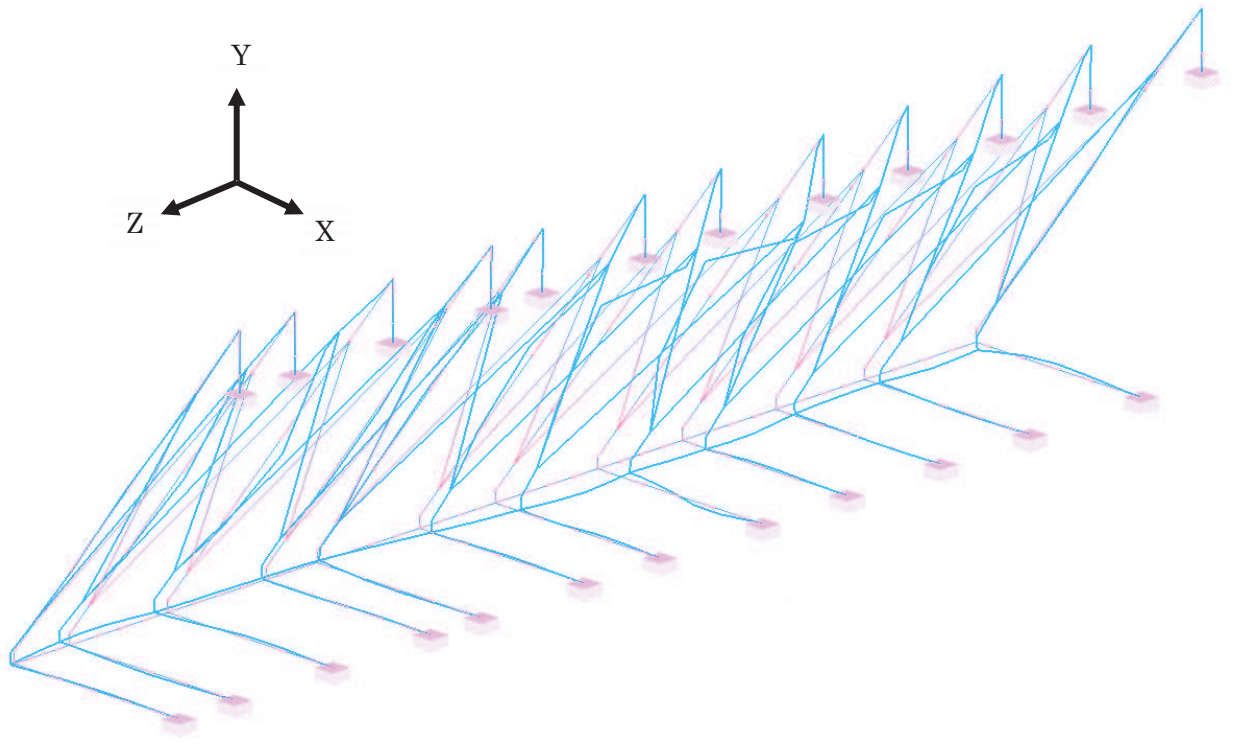


振動モード：1次，固有振動数 24.17Hz



振動モード：38次，固有振動数 108.71Hz

図4-2(1) 固有値解析結果 (1/2)



振動モード：95次，固有振動数 276.20Hz

図4-2(2) 固有値解析結果 (2/2)

5. 耐震評価

5.1 応力評価方法

浸水防止蓋、鋼製ブラケット及び固定ボルトの応力評価は、添付書類「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」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「5.1.2 許容限界」にて示す許容限界以下であることを確認する。

5.1.1 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の組合せ

浸水防止蓋の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$$G + P_s + S_s$$

ここで、 G : 固定荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

(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。

a. 固定荷重 (G)

固定荷重として、浸水防止蓋を構成する部材の自重を考慮する。

b. 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち、添付書類「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき 43cm の積雪量を想定し、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮する。

積雪荷重による質量は以下に式より算出する。

$$P_s = 0.35 \cdot W_s \cdot d_s \cdot A \cdot 10^{-3}$$

ここで、 P_s : 積雪荷重 (kN)

W_s : 1cm 当りの積雪荷重 20 (N/m²)

d_s : 積雪高さ 43 (cm)

A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

c. 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。地震荷重は浸水防止蓋の固定荷重及び積雪荷重に設計震度を乗じた次式により算出する。

$$S_s = (G + P_s) \cdot k$$

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)

P_s : 積雪荷重 (kN)

k : 基準地震動 S_s の設計震度

5.1.2 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

(1) 使用材料

浸水防止蓋、鋼製ブラケット及び固定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
浸水防止蓋	スキンプレート	SUS304	t = 16 (mm)
鋼製ブラケット	主桁①	SUS304	H-200×200×20×20 (mm)
	主桁②	SUS304	H-200×300×20×20 (mm)
	横桁	SUS304	H-200×300×20×20 (mm)
	斜材	SUS304	H-200×200×8×12 (mm)
	ブレース材	SUS304	L-60×60×5 (mm)
	縦桁	SUS304	H-200×200×8×12 (mm)
固定ボルト	固定ボルト①	SUS304	M20
	固定ボルト②	SUS304	M20
ハッチ①	スキンプレート	SUS304	t = 16 (mm)
	固定ボルト	SUS304	追而
ハッチ②	スキンプレート	SUS304	t = 16 (mm)
	固定ボルト	SUS304	追而

(2) 許容限界

a. 浸水防止蓋，鋼製ブラケット，ハッチ

浸水防止蓋，鋼製ブラケット及びハッチの許容応力度は，「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に基づき表 5-2 の値とする。

表 5-2 浸水防止蓋，鋼製ブラケットの短期許容応力度

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

b. 固定ボルト

固定ボルトの許容荷重は，「3. 評価対象部位」に記載した固定ボルトに作用する荷重の向きを踏まえて，「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定する。

地震荷重を考慮する場合の固定ボルトの許容荷重を表 5-3 に示す。

固定ボルトは躯体に埋め込まれていることから，固定ボルトが引張力を受ける場合においては，固定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，固定ボルトがせん断力を受ける場合においては，固定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固定ボルトの短期許容荷重

部位	材質	短期許容荷重 (kN)	
		引張	せん断
固定ボルト①	SUS304	50.2	35.1
固定ボルト②	SUS304	37.8	18.4

5.1.3 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり，固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため，応力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添付書類「V-2-2-29 第 3 号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書」の地震応答解析結果を用いる。荷重の組合せは表 5-4 のとおり，組合せ係数法 (1.0 : 0.4) により評価する。応力評価で用いる設計震度を表 5-5 に示す。

表 5-4 荷重の組合せ

ケース No.	荷重の組合せ
1	$G + P_s + 1.0 S_{sH(NS)} + 0.4 S_{sV}$
2	$G + P_s + 1.0 S_{sH(NS)} - 0.4 S_{sV}$
3	$G + P_s - 1.0 S_{sH(NS)} + 0.4 S_{sV}$
4	$G + P_s - 1.0 S_{sH(NS)} - 0.4 S_{sV}$
5	$G + P_s + 0.4 S_{sH(NS)} + 1.0 S_{sV}$
6	$G + P_s - 0.4 S_{sH(NS)} + 1.0 S_{sV}$
7	$G + P_s + 0.4 S_{sH(NS)} - 1.0 S_{sV}$
8	$G + P_s - 0.4 S_{sH(NS)} - 1.0 S_{sV}$
9	$G + P_s + 1.0 S_{sH(EW)} + 0.4 S_{sV}$
10	$G + P_s + 1.0 S_{sH(EW)} - 0.4 S_{sV}$
11	$G + P_s - 1.0 S_{sH(EW)} + 0.4 S_{sV}$
12	$G + P_s - 1.0 S_{sH(EW)} - 0.4 S_{sV}$
13	$G + P_s + 0.4 S_{sH(EW)} + 1.0 S_{sV}$
14	$G + P_s - 0.4 S_{sH(EW)} + 1.0 S_{sV}$
15	$G + P_s + 0.4 S_{sH(EW)} - 1.0 S_{sV}$
16	$G + P_s - 0.4 S_{sH(EW)} - 1.0 S_{sV}$

G : 固定荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

$S_{sH(NS)}$: 基準地震動 S_s の水平方向 (N-S) の地震荷重 ($(G + P_s) \times k_{H(NS)}$) (kN)

$S_{sH(EW)}$: 基準地震動 S_s の水平方向 (E-W) の地震荷重 ($(G + P_s) \times k_{H(EW)}$) (kN)

S_{sV} : 基準地震動 S_s の鉛直方向の地震荷重 ($(G + P_s) \times k_V$) (kN)

表 5-5 設計震度

設置場所	床面高さ (m)	基準地震動 S_s の設計震度		
		水平方向 (N-S) $k_{H(NS)}$	水平方向 (E-W) $k_{H(EW)}$	鉛直方向 k_v
第 3 号機海水 熱交換器建屋	O.P. 14.0	2.46	2.07	1.27

5.1.4 計算方法

浸水防止蓋，鋼製ブラケット及び固定ボルトに発生する応力より算出する応力度が，許容限界以下であることを確認する。

(1) 浸水防止蓋

浸水防止蓋は図 5-1 に示すとおり主桁間に分割して設置することから三辺固定スラブモデルとして断面力を算出する。評価箇所は図 5-1 に示すとおり，断面力が大きいと考えられる主桁間の幅最大の箇所とする。浸水防止蓋に作用する等分布荷重（鉛直震度含む）が作用している板に発生する曲げ応力及びせん断応力は「日本建築学会 2018 年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（図 5-2）より算出する。

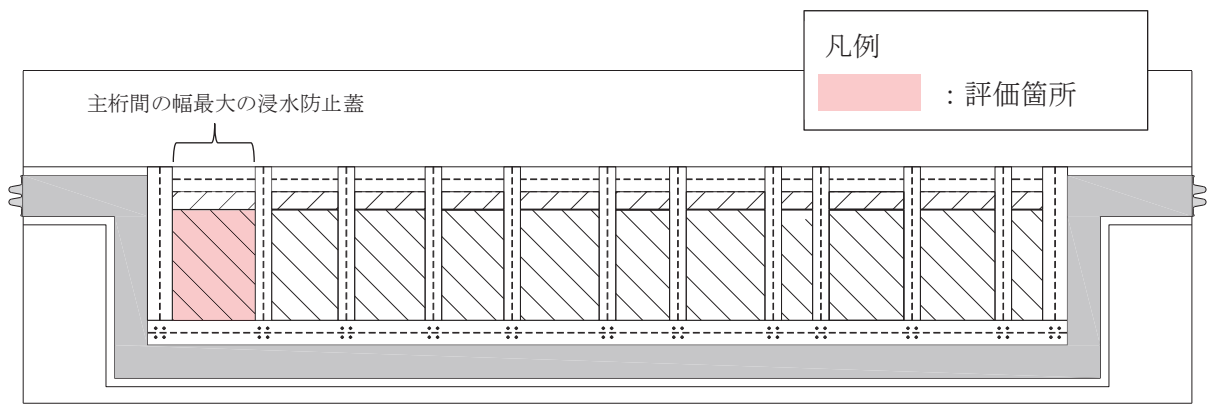


図 5-1 浸水防止蓋の評価箇所

a. 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 S_{sv}

$$S_{sv} = (G + P_s) \cdot k_v$$

- ここで、
- S_{sv} : 基準地震動 S_s の鉛直方向の地震荷重 (kN)
 - G : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)
 - P_s : 積雪荷重 (kN)
 - k_v : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

b. 浸水防止蓋に作用する単位面積当りの等分布荷重 w

$$w = (G + P_s + S_{sv}) / A$$

- ここで、
- w : 浸水防止蓋に作用する単位面積当りの等分布荷重 (kN/m²)
 - G : 浸水防止蓋の固定荷重 (kN)
 - P_s : 積雪荷重 (kN)
 - S_{sv} : 基準地震動 S_s の鉛直方向の地震荷重 (kN)
 - A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

c. 浸水防止蓋に作用する単位幅当りの等分布荷重 w'

$$w' = w / 1000$$

ここで, w' : 浸水防止蓋に作用する単位幅当りの等分布荷重
($N/mm^2 \cdot mm$)

d. 最大曲げ応力 σ

求めた曲げモーメントのうち最大となる曲げモーメントについて、以下の式にて最大曲げ応力を算出する。

$$M = \alpha \cdot w' \cdot l_x^2$$

ここで, M : 曲げモーメント ($N \cdot mm$)
 α : 平板のモーメントに関する係数
 w' : 浸水防止蓋に作用する単位幅当りの等分布荷重
($N/mm^2 \cdot mm$)
 l_x : 浸水防止蓋の短辺長 (mm)

$$\sigma = M / Z$$

ここで, σ : 最大曲げ応力 (N/mm^2)
 M : 最大曲げモーメント ($N \cdot mm$)
 Z : 浸水防止蓋の断面係数 (mm^3)

e. 最大せん断応力 τ

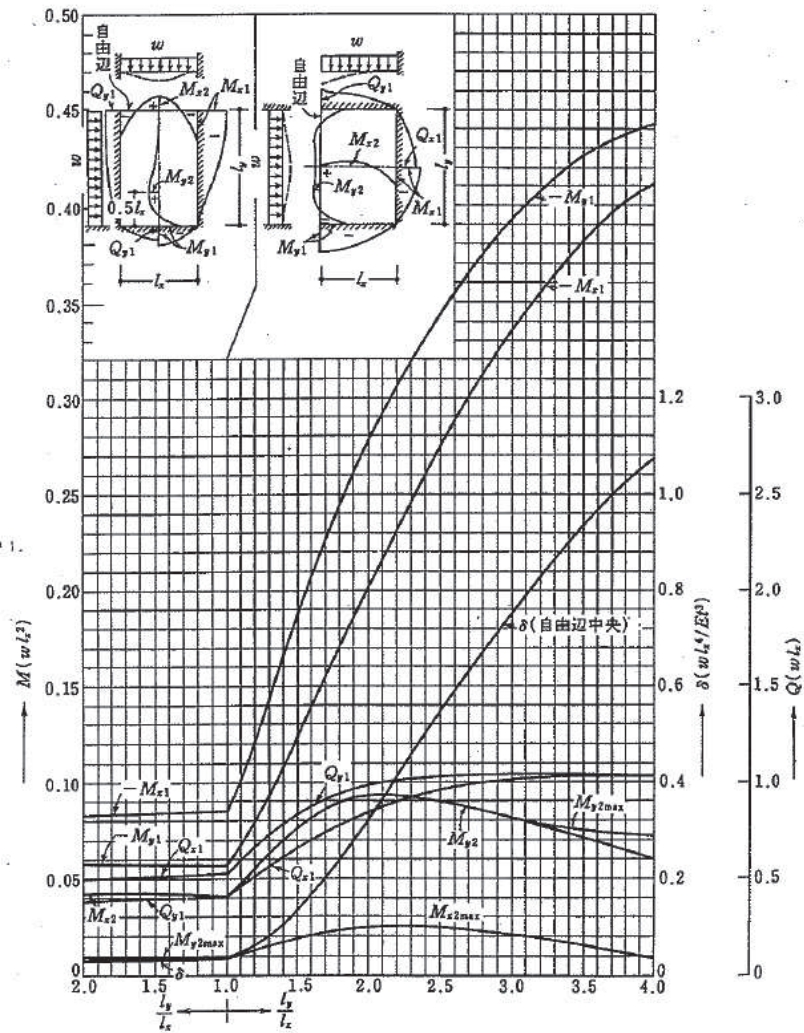
求めたせん断力のうち最大となるせん断力について、以下の式にてせん断応力度を算出する。

$$Q = \beta \cdot w' \cdot l_x$$

ここで, Q : せん断力 (N)
 β : 平板のせん断に関する係数
 w' : 浸水防止蓋に作用する単位幅当りの等分布荷重
(N/mm)
 l_x : 浸水防止蓋の短辺長 (mm)

$$\tau = Q / A_s$$

ここで, τ : 最大せん断応力度 (N/mm^2)
 Q : 最大せん断力 (N)
 A_s : 浸水防止蓋のせん断断面積 (mm^2)



付図 15.3 等分布荷重時 3 辺固定 1 辺自由スラブの応力図と自由辺中央のたわみ $\delta^0 (v=0)$

図 5-2 応力算出図

f. 曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検討

浸水防止蓋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「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準—許容応力度設計法—」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 : 最大曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : 最大せん断応力度 (N/mm²)

(2) 鋼製ブラケット

鋼製ブラケットの応力評価に用いるモデルは固有値解析を行ったモデルと同一とし、鋼製ブラケットの計算には解析コード「Engineer's StudioVer.6.00.4」を使用して評価部位に生じる断面力を求める。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。モデルに入力する荷重は、「5.1.1 荷重及び荷重の組合せ」に示すとおりである。

(3) 固定ボルト

鋼製ブラケットの解析により得られる固定ボルト部の応力により、固定ボルトに作用する応力度を算出する。なお、固定ボルト①の照査箇所のボルト本数は4本であり、また固定ボルト②の照査箇所のボルト本数は8本である。

a. 固定ボルトに作用する引張力 T_d

$$T_d = R_n / N + R_m / B / (N / 2)$$

ここで、 T_d : 固定ボルト1本当りに作用する引張力 (kN)
 R_n : 固定ボルトの支点反力 (引張) (kN)
 R_m : 固定ボルトの支点モーメント (kN・mm)
 B : 照査箇所のボルト間隔 (mm)
 N : 照査箇所の固定ボルトの本数 (本)

b. 固定ボルトに作用するせん断力 q

$$q = R_s / N$$

ここで、 q : 固定ボルト1本当りに作用するせん断力 (kN)
 R_s : 固定ボルトの支点反力 (せん断) (kN)
 N : 照査箇所の固定ボルトの本数 (本)

(4) ハッチ

固定ボルトに作用する荷重を以下の式により算出する。

なお、固定ボルト①の照査箇所のボルト本数は12本であり、また固定ボルト②の照査箇所のボルト本数は8本である。

- a. 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_H$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)
 G : ハッチの固定荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 k_H : 基準地震動 S_s の水平方向の設計震度

- b. 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_V$$

ここで、 S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)
 G : ハッチの固定荷重 (kN)
 P_s : 積雪荷重 (kN)
 k_V : 基準地震動 S_s の鉛直方向の設計震度

- c. 固定ボルト1本あたりに生じる引張応力度 σ_t

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

ここで、 $T_s = S_s / N$

σ_t : 固定ボルト1本あたりに生じる引張応力度 (N/mm)
 T_s : 固定ボルト1本あたりに生じる引張応力度 (kN)
 S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)
 N : ハッチに取り付く固定ボルトの本数
 A' : 固定ボルトの有効断面積 (mm²)

- d. 固定ボルト1本あたりに生じるせん断応力度 τ_s

$$\tau_s = q_s \cdot 10^3 / A'$$

ここで、 $q_s = S_s / N$

τ_s : 固定ボルト1本あたりに作用するせん断応力度 (N/mm²)
 q : 固定ボルト1本あたりに作用するせん断力 (kN)
 S_s : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)
 N : ハッチに取り付く固定ボルトの本数
 A' : 固定ボルトの有効断面積 (mm²)

5.1.5 計算条件

浸水防止蓋の応力評価に用いる入力値を表 5-6 に示す。

表 5-6 浸水防止蓋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
浸水防止蓋 (スキンプレート)	A_s	mm^2	浸水防止蓋の単位幅あたりのせん断断面積	16
	α	—	平板のモーメントに関する係数	0.085
	β	—	平板のせん断に関する係数	0.55
	l_x	mm	浸水防止蓋の短辺長	1250
	A	m^2	浸水防止蓋の面積	1.86
	Z	mm^3	浸水防止蓋の断面係数	42.67
固定ボルト①	R_n	kN	固定ボルトの支点反力 (引張)	13.2
	R_m	$\text{kN} \cdot \text{mm}$	固定ボルトの支点モーメント	5362
	R_s	kN	固定ボルトの支点反力 (せん断)	16.7
	B	mm	固定ボルトのボルト間隔	200
	N	本	照査箇所のボルト本数	4
固定ボルト②	R_n	kN	固定ボルトの支点反力 (引張)	1.9
	R_m	$\text{kN} \cdot \text{mm}$	固定ボルトの支点モーメント	4558
	R_s	kN	固定ボルトの支点反力 (せん断)	33.9
	B	mm	固定ボルトのボルト間隔	200
	N	本	照査箇所のボルト本数	8
ハッチ①	追而			
ハッチ②				

5.2 変形性評価方法

止水ジョイントは浸水防止蓋と第3号機補機冷却海水系放水ピットとの境界部に設置することから浸水防止蓋と第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大変位量の和が許容限界内に収まることを確認する。

浸水防止蓋の変位量は浸水防止蓋を支持する第3号機海水熱交換器建屋の地震時最大変位量は材料物性の不確かさを考慮したものとして添付資料「V-2-2-29 第3号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書」の算出結果を用いる。第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大変位量は「5.2.1 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地盤応答解析方法」に示す方法により算出する。

5.2.1 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地盤応答解析方法

第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震応答解析は添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて設定する。地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる二次元動的有限要素法により、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析（全応力解析）により行う。

5.2.2 第3号機補機冷却海水系放水ピットの解析断面

第3号機補機冷却海水系放水ピットの解析断面は、図5-3に示すとおりNS断面及びEW断面の2断面とする。

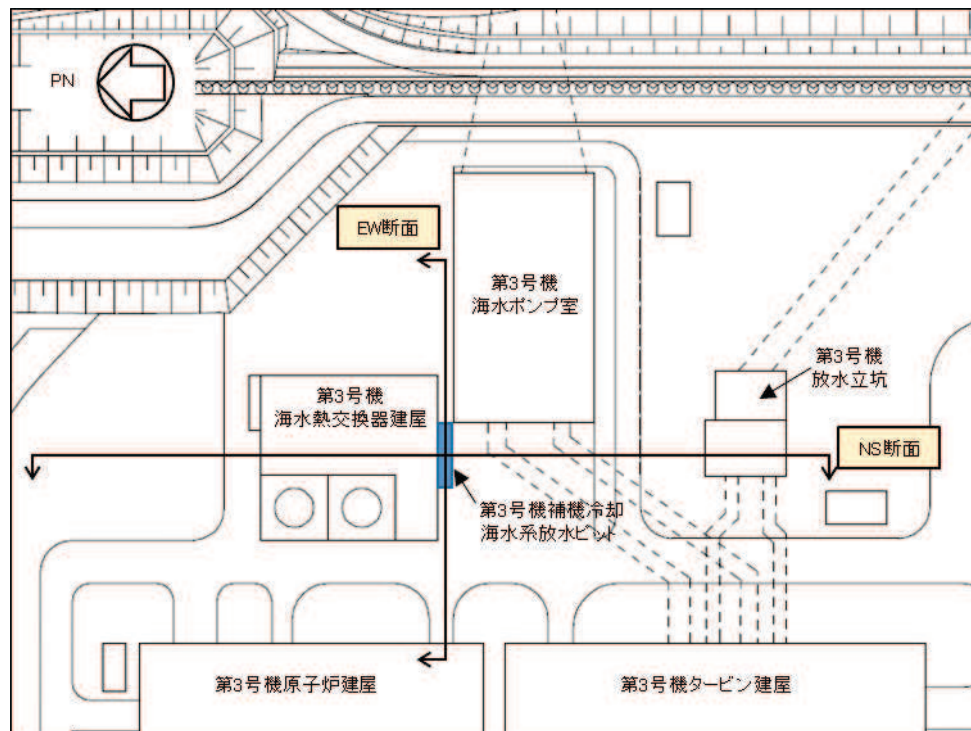


図5-3(1) 第3号機補機冷却海水系放水ピットの解析断面（断面位置図）（1/3）

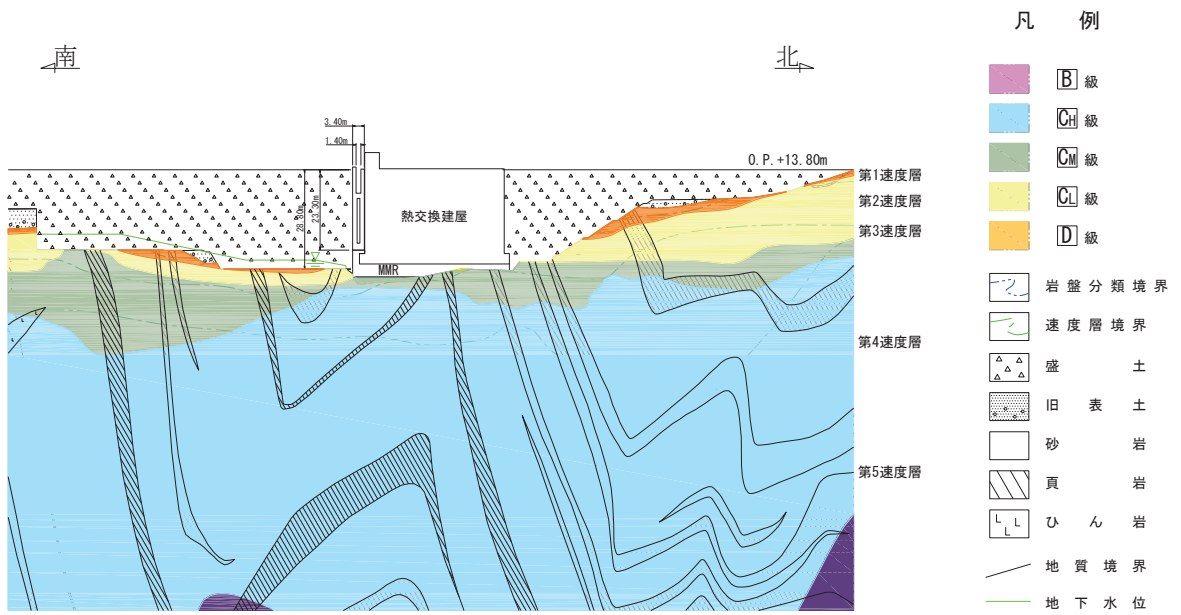


図 5-3(2) 第 3 号機補機冷却海水系放水ピットの解析断面図 (NS 断面) (2/3)

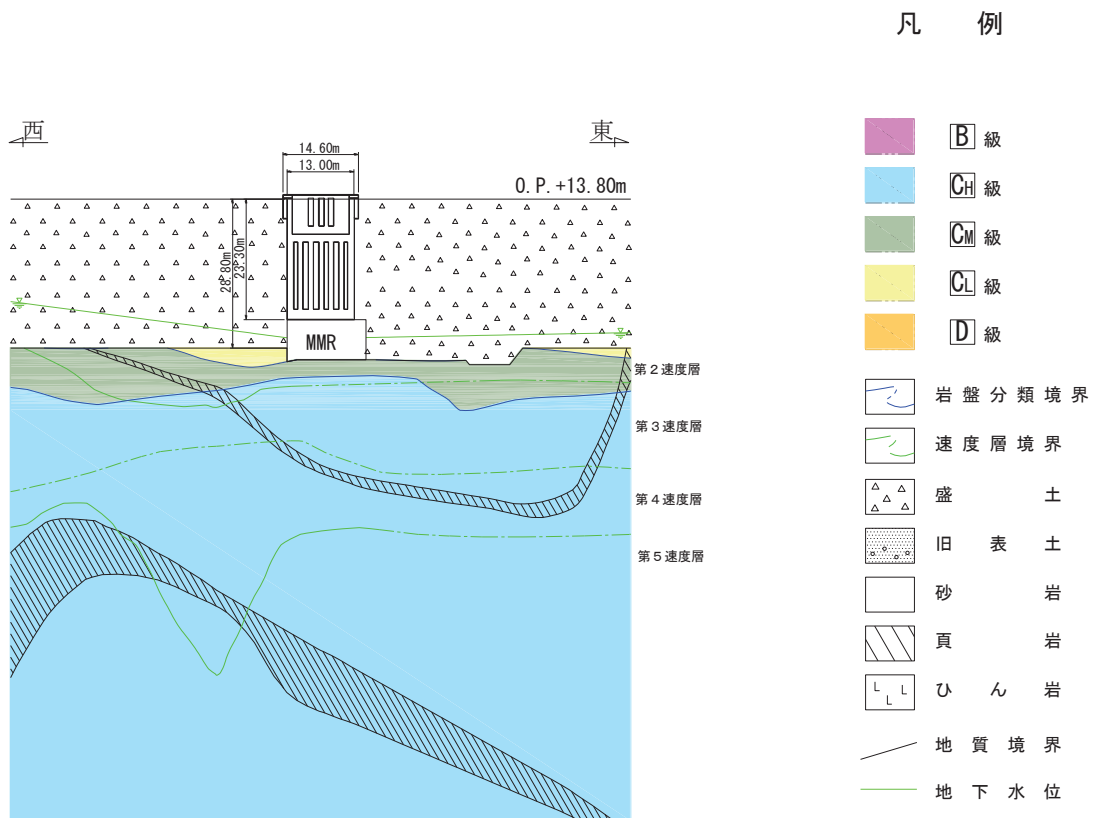


図 5-3(3) 第 3 号機補機冷却海水系放水ピットの解析断面図 (EW 断面) (3/3)

5.2.3 許容限界

止水ジョイント部材の変形量の許容限界は、漏水試験及び変形試験により、有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。表 5-7 に止水ジョイント部材の変形量の許容限界を示す。

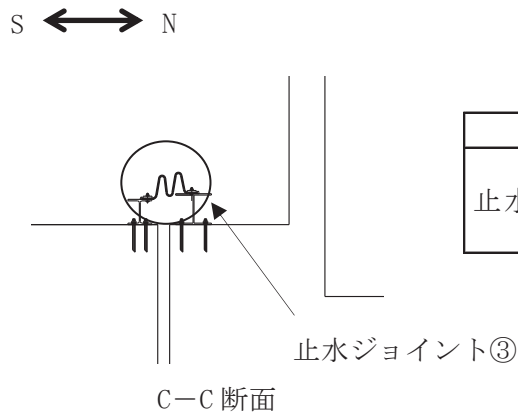
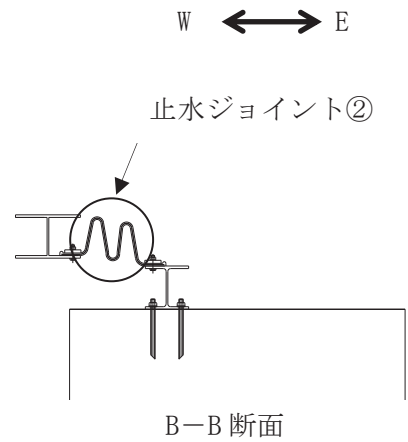
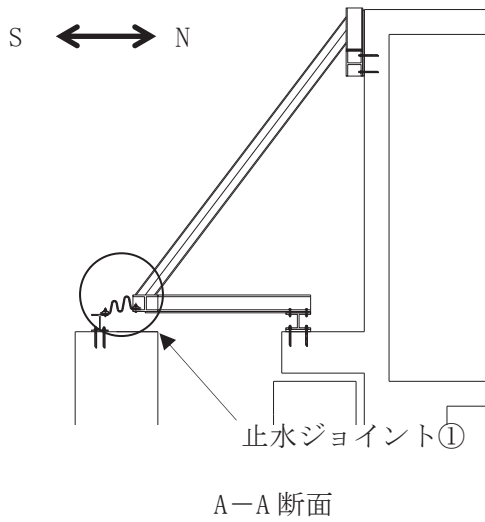
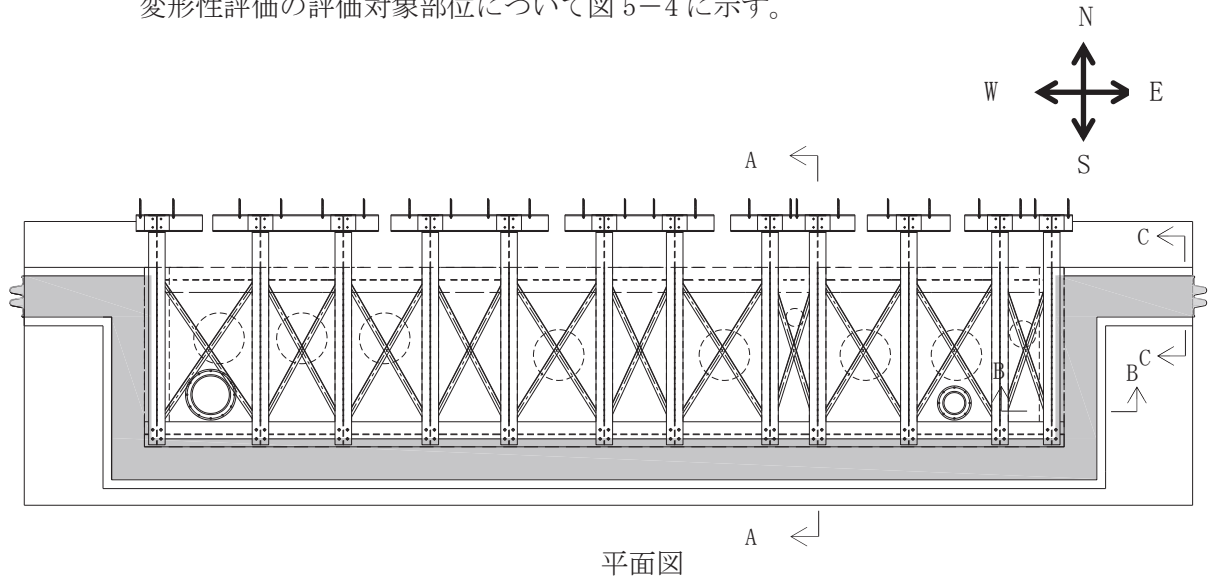
表 5-7 止水ジョイント部材の変形量の許容限界

評価項目	許容限界 (mm)	
	開き方向	せん断方向
変形量	550	550

5.2.4 計算方法

止水ジョイント部材の地震時の評価について、NS 方向及び EW 方向ともに、地震荷重による最大相対変位量が許容限界以下であることを確認する。

変形性評価の評価対象部位について図 5-4 に示す。



評価対象部位	
止水ジョイント	止水ジョイント①
	止水ジョイント②
	止水ジョイント③

図 5-4 変形性評価の評価対象部位

(1) 止水ジョイント①

- a. 止水ジョイント部材の開き方向の評価用変形量
- d_n

$$d_n = |d_{b_{NS}}| + |d_{p_{NS}}|$$

- ここで、 d_n : 止水ジョイント部材の評価用変形量(開き方向) (mm)
 $d_{b_{NS}}$: 第3号機海水熱交換器建屋の地震時最大応答変位
 (N-S方向) (mm)
 $d_{p_{NS}}$: 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大応答変位
 (N-S方向) (mm)

- b. 止水ジョイント部材のせん断方向の評価用変形量
- d_s

$$d_s = |d_{b_{EW}}| + |d_{p_{EW}}|$$

- ここで、 d_s : 止水ジョイント部材の評価用変形量(せん断方向) (mm)
 $d_{b_{EW}}$: 第3号機海水熱交換器建屋の地震時最大応答変位
 (E-W方向) (mm)
 $d_{p_{EW}}$: 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大応答変位
 (E-W方向) (mm)

(2) 止水ジョイント②

- a. 止水ジョイント部材の開き方向の評価用変形量
- d_n

$$d_n = |d_{b_{EW}}| + |d_{p_{EW}}|$$

- ここで、 d_n : 止水ジョイント部材の評価用変形量(開き方向) (mm)
 $d_{b_{EW}}$: 第3号機海水熱交換器建屋の地震時最大応答変位
 (E-W方向) (mm)
 $d_{p_{EW}}$: 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大応答変位
 (E-W方向) (mm)

- b. 止水ジョイント部材のせん断方向の評価用変形量
- d_s

$$d_s = |d_{b_{NS}}| + |d_{p_{NS}}|$$

- ここで、 d_s : 止水ジョイント部材の評価用変形量(せん断方向) (mm)
 $d_{b_{NS}}$: 第3号機海水熱交換器建屋の地震時最大応答変位
 (N-S方向) (mm)
 $d_{p_{NS}}$: 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大応答変位
 (N-S方向) (mm)

(3) 止水ジョイント③

a. 止水ジョイント部材の開き方向の評価用変形量 d_n

$$d_n = |d_{b_{NS}}| + |d_{p_{NS}}|$$

- ここで、
- d_n : 止水ジョイント部材の評価用変形量(開き方向) (mm)
 - $d_{b_{NS}}$: 第3号機海水熱交換器建屋の地震時最大応答変位
(N-S 方向) (mm)
 - $d_{p_{NS}}$: 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大応答変位
(N-S 方向) (mm)

b. 止水ジョイント部材のせん断方向の評価用変形量 d_s

$$d_s = |d_{b_{EW}}| + |d_{p_{EW}}|$$

- ここで、
- d_s : 止水ジョイント部材の評価用変形量(せん断方向) (mm)
 - $d_{b_{EW}}$: 第3号機海水熱交換器建屋の地震時最大応答変位
(E-W 方向) (mm)
 - $d_{p_{EW}}$: 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大応答
(E-W 方向) (mm)

6. 評価結果

浸水防止蓋の応力評価結果を表 6-1 に変形性評価結果を表 6-2 に示す。全ての部材において発生応力、応力度及び変形量が許容限界以下であることを確認した。

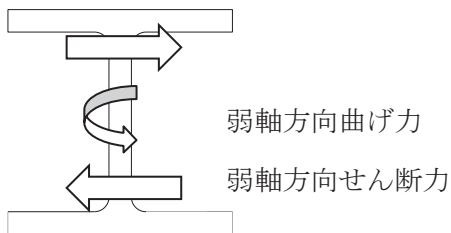
表 6-1(1) 応力評価結果 (浸水防止蓋) (1/5)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
浸水防止蓋 (スキンプレート)	曲げ	11	N/mm ²	205	N/mm ²	0.06 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	12	N/mm ²	205	N/mm ²	0.06 < 1.0

表 6-1(2) 応力評価結果 (鋼製ブラケット 弱軸方向) (2/5)

評価対象部位		発生値 (弱軸方向*) (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
主桁①	曲げ	39	N/mm ²	205	N/mm ²	0.20 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	118	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	40	N/mm ²	205	N/mm ²	0.20 < 1.0
主桁②	曲げ	41	N/mm ²	205	N/mm ²	0.20 < 1.0
	せん断	3	N/mm ²	118	N/mm ²	0.03 < 1.0
	組合せ	42	N/mm ²	205	N/mm ²	0.21 < 1.0
斜材	曲げ	19	N/mm ²	205	N/mm ²	0.10 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	20	N/mm ²	205	N/mm ²	0.10 < 1.0
横桁	曲げ	27	N/mm ²	205	N/mm ²	0.14 < 1.0
	せん断	3	N/mm ²	118	N/mm ²	0.03 < 1.0
	組合せ	28	N/mm ²	205	N/mm ²	0.14 < 1.0
ブレース材	軸力	5	N/mm ²	205	N/mm ²	0.03 < 1.0
縦桁	曲げ	15	N/mm ²	205	N/mm ²	0.08 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	16	N/mm ²	205	N/mm ²	0.08 < 1.0

注記* H鋼の弱軸について

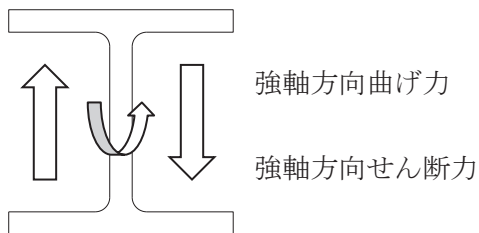


ブレース材には等辺山形鋼を用いているため強軸、弱軸はなく断面剛性は一樣

表 6-1(3) 応力評価結果（鋼製ブラケット 強軸方向）（3/5）

評価対象部位		発生値（強軸方向*） （応力度又は荷重）		許容限界		検定値
主桁①	曲げ	8	N/mm ²	205	N/mm ²	0.04 < 1.0
	せん断	3	N/mm ²	118	N/mm ²	0.03 < 1.0
	組合せ	10	N/mm ²	205	N/mm ²	0.05 < 1.0
主桁②	曲げ	7	N/mm ²	205	N/mm ²	0.04 < 1.0
	せん断	3	N/mm ²	118	N/mm ²	0.03 < 1.0
	組合せ	9	N/mm ²	205	N/mm ²	0.05 < 1.0
斜材	曲げ	7	N/mm ²	205	N/mm ²	0.04 < 1.0
	せん断	3	N/mm ²	118	N/mm ²	0.03 < 1.0
	組合せ	9	N/mm ²	205	N/mm ²	0.05 < 1.0
横桁	曲げ	4	N/mm ²	205	N/mm ²	0.02 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	118	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	6	N/mm ²	205	N/mm ²	0.03 < 1.0
ブレース材	軸力	5	N/mm ²	205	N/mm ²	0.03 < 1.0
縦桁	曲げ	14	N/mm ²	205	N/mm ²	0.07 < 1.0
	せん断	10	N/mm ²	118	N/mm ²	0.09 < 1.0
	組合せ	23	N/mm ²	205	N/mm ²	0.12 < 1.0

注記*：H鋼の強軸について



ブレース材には等辺山形鋼を用いているため強軸、弱軸はなく断面剛性は一樣

表 6-1(4) 応力評価結果 固定ボルト (4/5)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
固定ボルト①	引張	16.7	kN	50.2	kN	0.34 < 1.0
	せん断	4.2	kN	35.1	kN	0.12 < 1.0
	組合せ	-		-		0.13 < 1.0
固定ボルト②	引張	6.0	kN	37.8	kN	0.16 < 1.0
	せん断	4.3	kN	18.4	kN	0.24 < 1.0
	組合せ	-		-		0.08 < 1.0

表 6-1(5) 応力評価結果 (ハッチ部固定ボルト) (5/5)

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
ハッチ①	引張	追而				
	せん断					
	組合せ					
ハッチ②	引張					
	せん断					
	組合せ					

表 6-2 変形性評価結果

評価対象部位		地震時 最大変位量 (mm)		地震時 相対変位量 (mm)	許容限界 (mm)
		第 3 号機海水 熱交換器建屋	第 3 号機補機冷却 海水系放水ピット	評価用 変位量	
止水ジョイント ①	開き方向	20	52	72	550
	せん断方向	21	137	158	550
止水ジョイント ②	開き方向	21	137	158	550
	せん断方向	20	52	72	550
止水ジョイント ③	開き方向	20	52	72	550
	せん断方向	21	137	158	550

7. 第3号機補機冷却海水系放水ピットの耐震評価の概要

本資料は、浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ピット）（以下「浸水防止蓋」という。）の止水ジョイントが設置される第3号機補機冷却海水系放水ピットが基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び支持機能を有していることを確認するものである。

第3号機補機冷却海水系放水ピットに要求される機能の維持を確認するに当たっては、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。

浸水防止蓋の止水ジョイントの変形性評価に用いる第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時最大変位量は本書の地震応答解析による解析値を用いている。

8. 耐震評価の基本方針

8.1 構造概要

第3号機補機冷却海水系放水ピットの概要図を図8-2～図8-7に、概略配筋図を図8-8～図8-10に示す。

第3号機補機冷却海水系放水ピットは、浸水防止設備である浸水防止蓋の止水ジョイントの支持構造物としての支持機能、および津波に対する止水機能が要求される。

第3号機補機冷却海水系放水ピットは、岩盤上にマンメイドロック（以下、「MMR」という。）を介して設置される。また、中床版を配した二階建て構造となっており、上部・下部ともに各エリアが隔壁により仕切られている。

第3号機補機冷却海水系放水ピットは、加振方向に平行に配置される妻壁や隔壁等の面部材を耐震部材として考慮する箱形構造物である。第3号機海水熱交換器建屋とは緩衝材を介して接している。

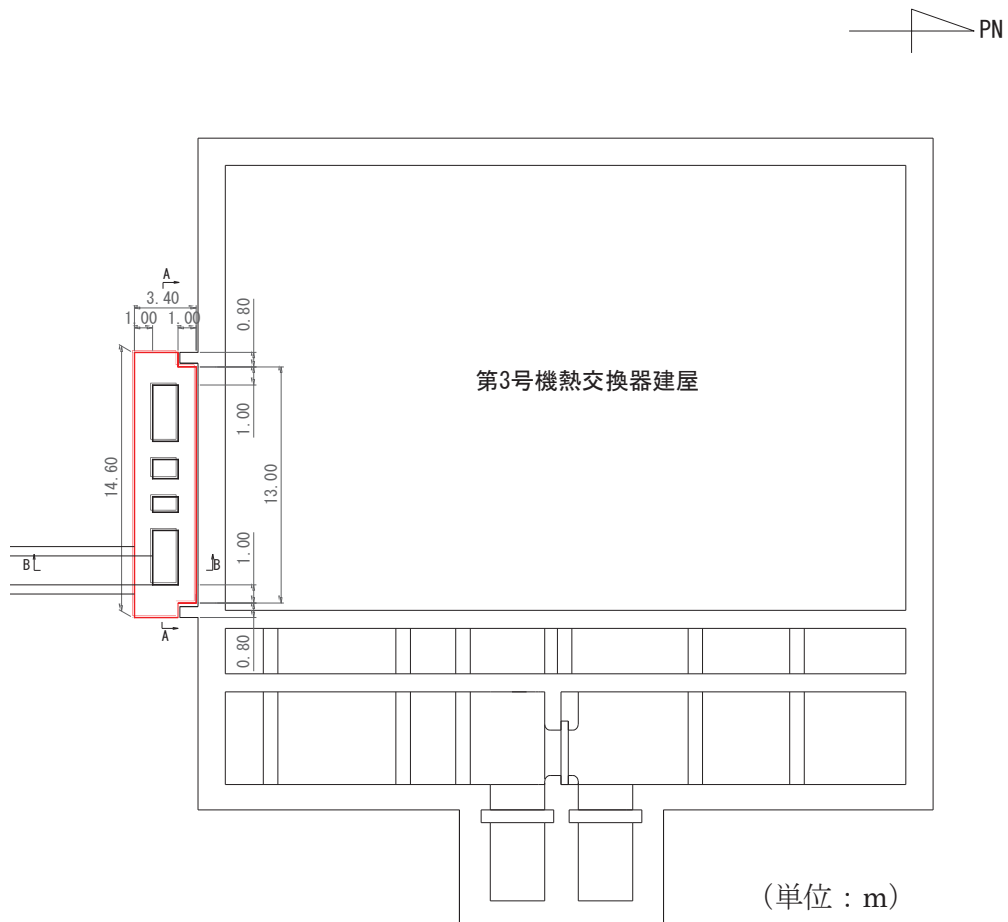
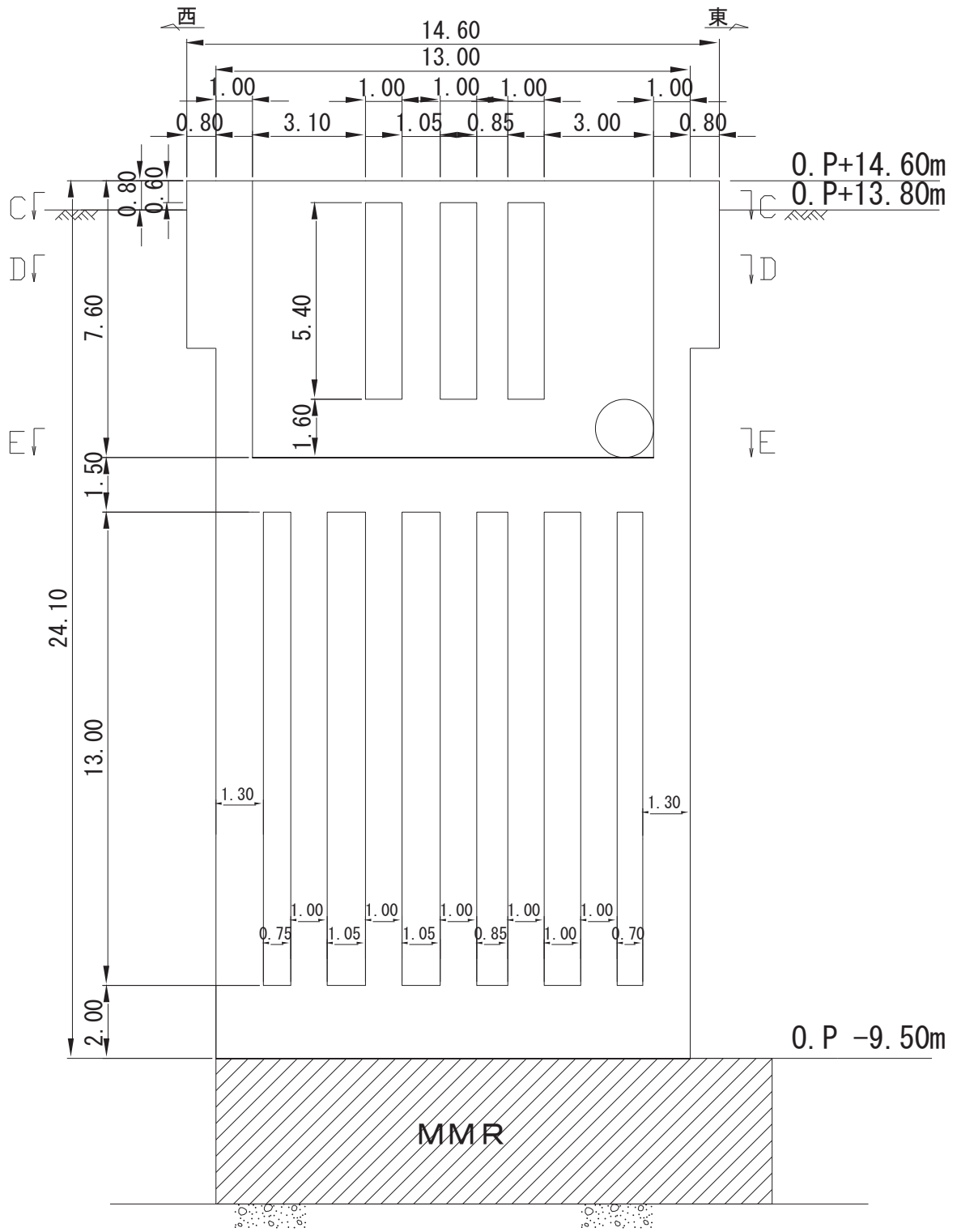


図8-2 第3号機補機冷却海水系放水ピット平面図



(単位 : m)

図 8-3 第 3 号機補機冷却海水系放水ピット縦断図 (A-A 断面)

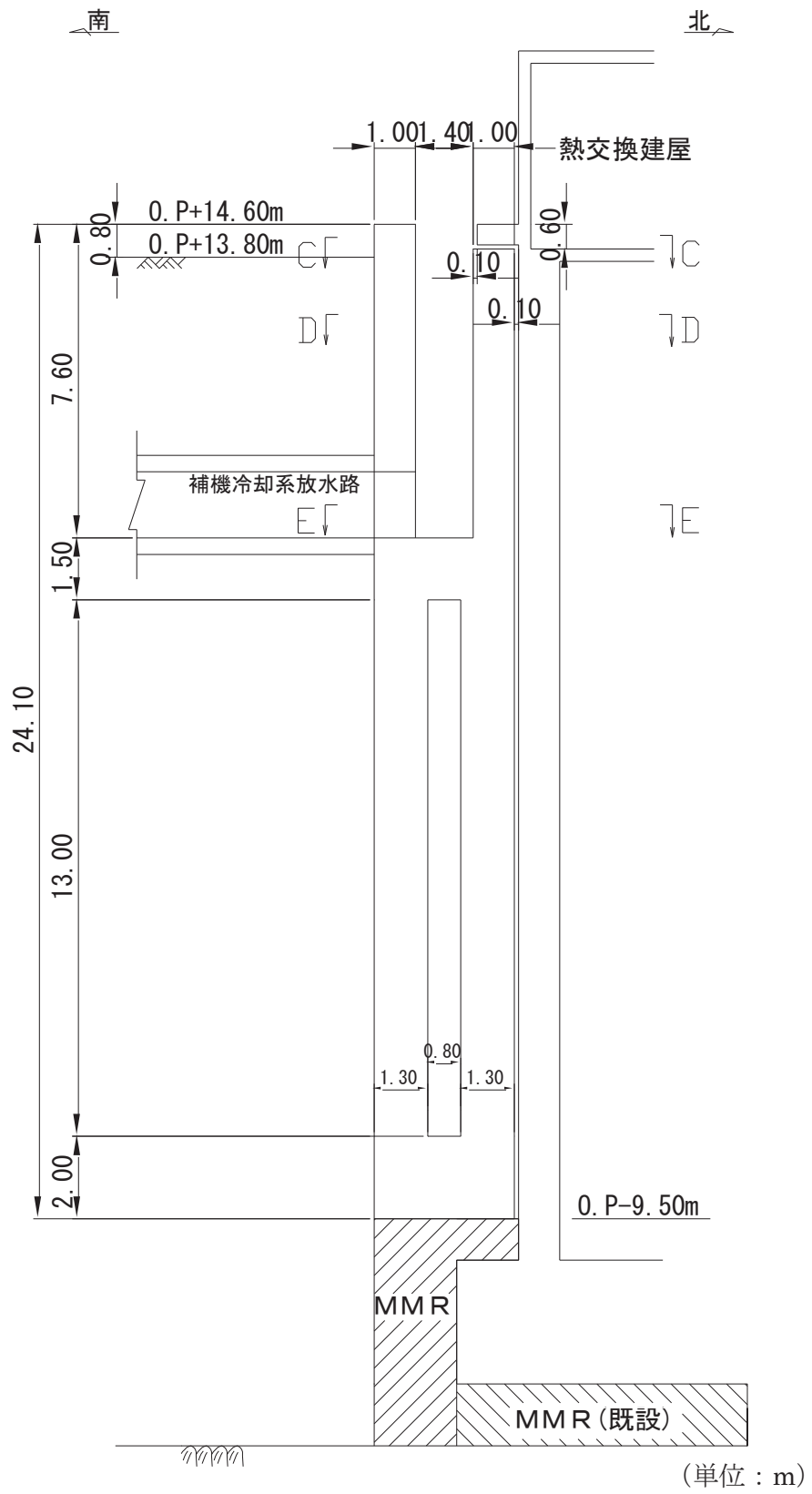


図 8-4 第 3 号機補機冷却海水系放水ピット横断図 (B-B 断面)

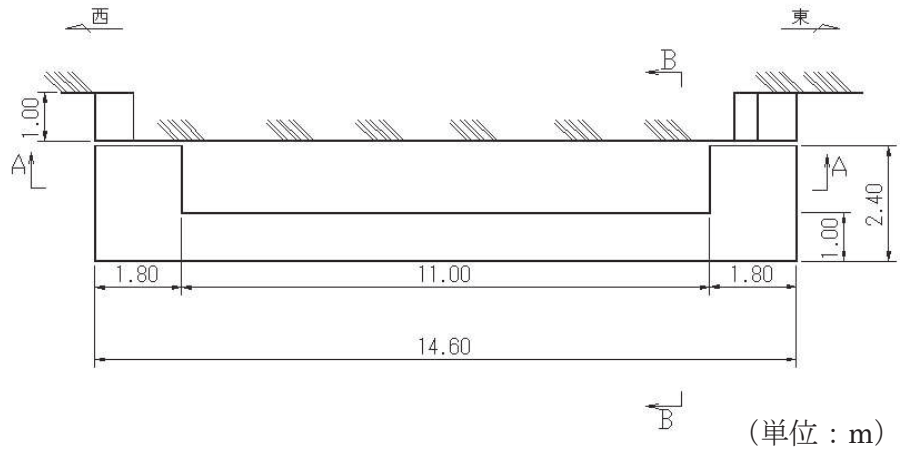


図 8-5 第 3 号機補機冷却海水系放水ピット平面図 (C-C 断面)

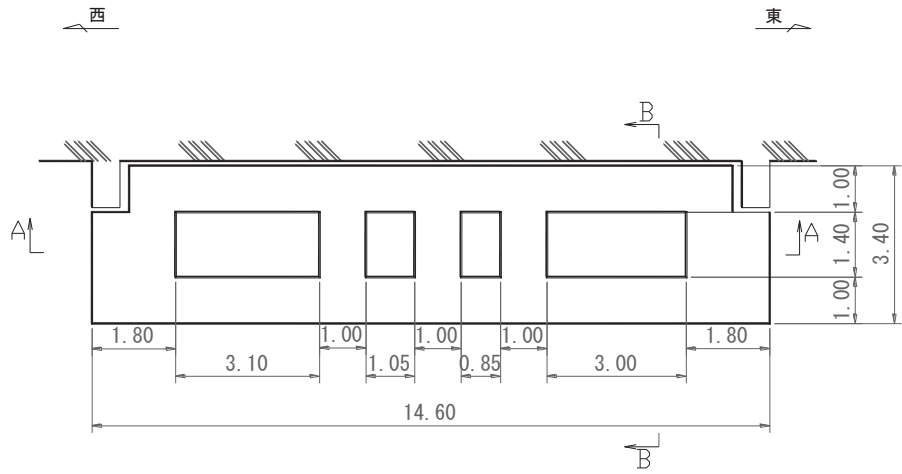


図 8-6 第 3 号機補機冷却海水系放水ピット平面図 (D-D 断面)

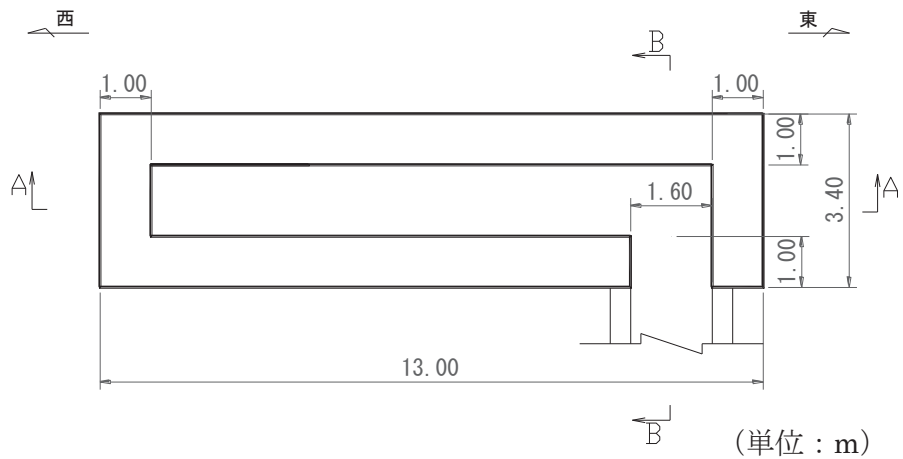


図 8-7 第 3 号機補機冷却海水系放水ピット平面図 (E-E 断面)

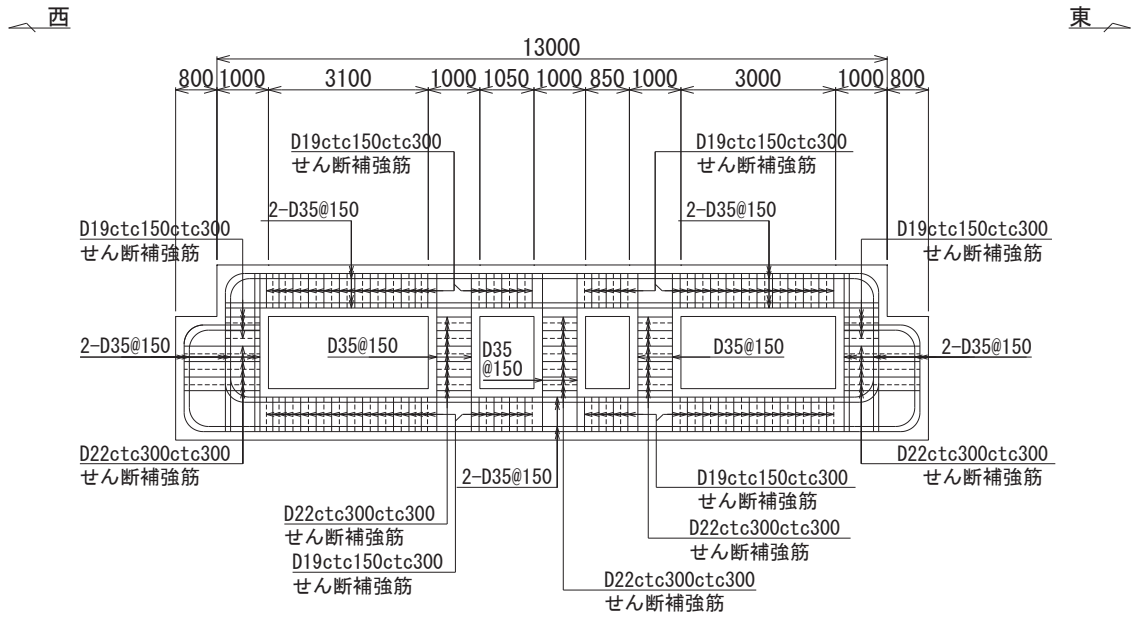


図 8-8 第 3 号機補機冷却海水系放水ピット概略配筋図 (平面図)

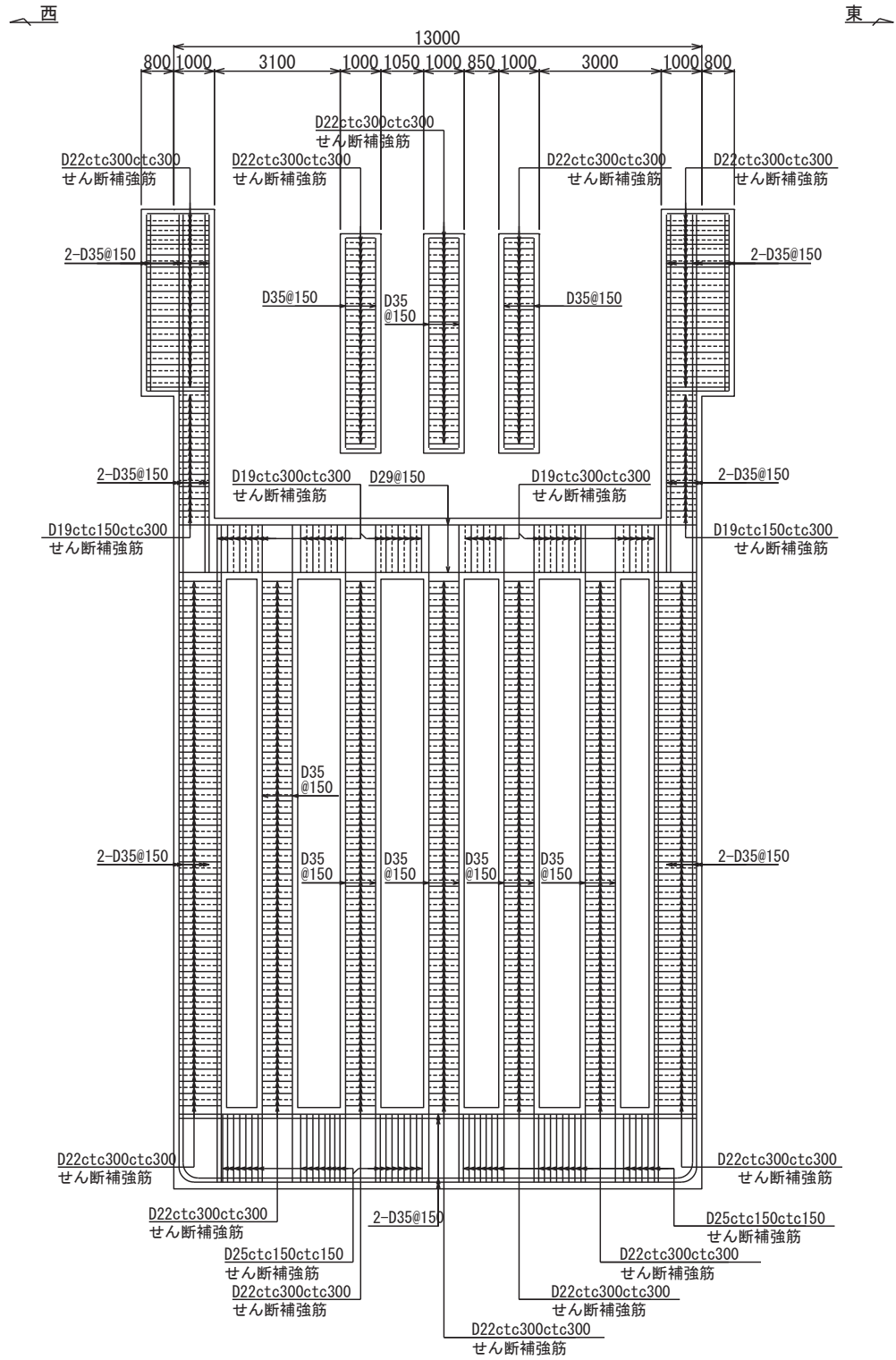


図 8-9 第 3 号機補機冷却海水系放水ピット概略配筋図 (縦断図)

8.2 評価方針

第3号機補機冷却海水系放水ピットは、浸水防止設備である浸水防止蓋の止水ジョイントを設置していることから基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び支持機能を有していること及び止水機能を確認する。

第3号機補機冷却海水系放水ピットの耐震評価フローを図8-11～図8-12に示す。図8-11は地震応答解析の評価フロー図であり、図8-12は構造部材の健全性評価の評価フロー図である。

地震応答解析は、「8. 基本方針」に基づき、「9.1 地震時荷重算出断面」に示す断面において、「9.2 解析方法」に示す水平地震動と鉛直地震動の同時加振による二次元有限要素法を用いた時刻歴応答解析により行うこととし、「9.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「9.5 解析モデル及び諸元」に示す条件を基に、「9.4 入力地震動」により設定する入力地震動を用いて実施する。

地震応答解析による地震時土圧、慣性力及び基礎地盤の接地圧は、第3号機補機冷却海水系放水ピットの耐震評価に用いる。

また、地震応答解析による第3号機補機冷却海水系放水ピット天端の地震時最大応答変位は浸水防止蓋の変形性評価に用いる。

第3号機補機冷却海水系放水ピットの耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、表8-1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。

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及び支持する機能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ついては、基礎地盤に生じる接地圧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。

基礎地盤の支持性能評価は、地震応答解析により算定される接地圧が、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づく許容限界を下回ることを確認する。

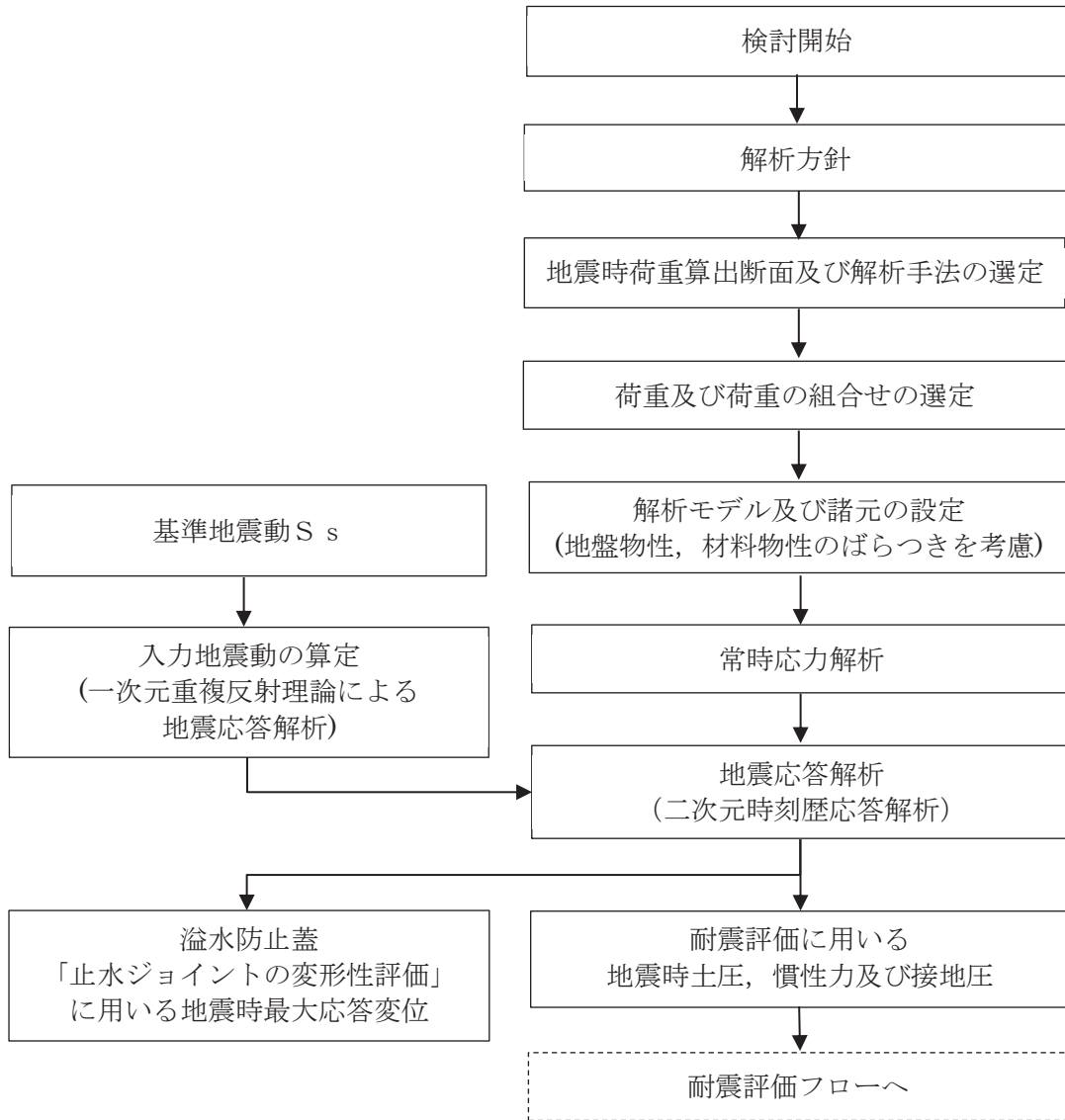


図 8-11 第 3 号機補機冷却海水系放水ピットの地震応答解析フロー

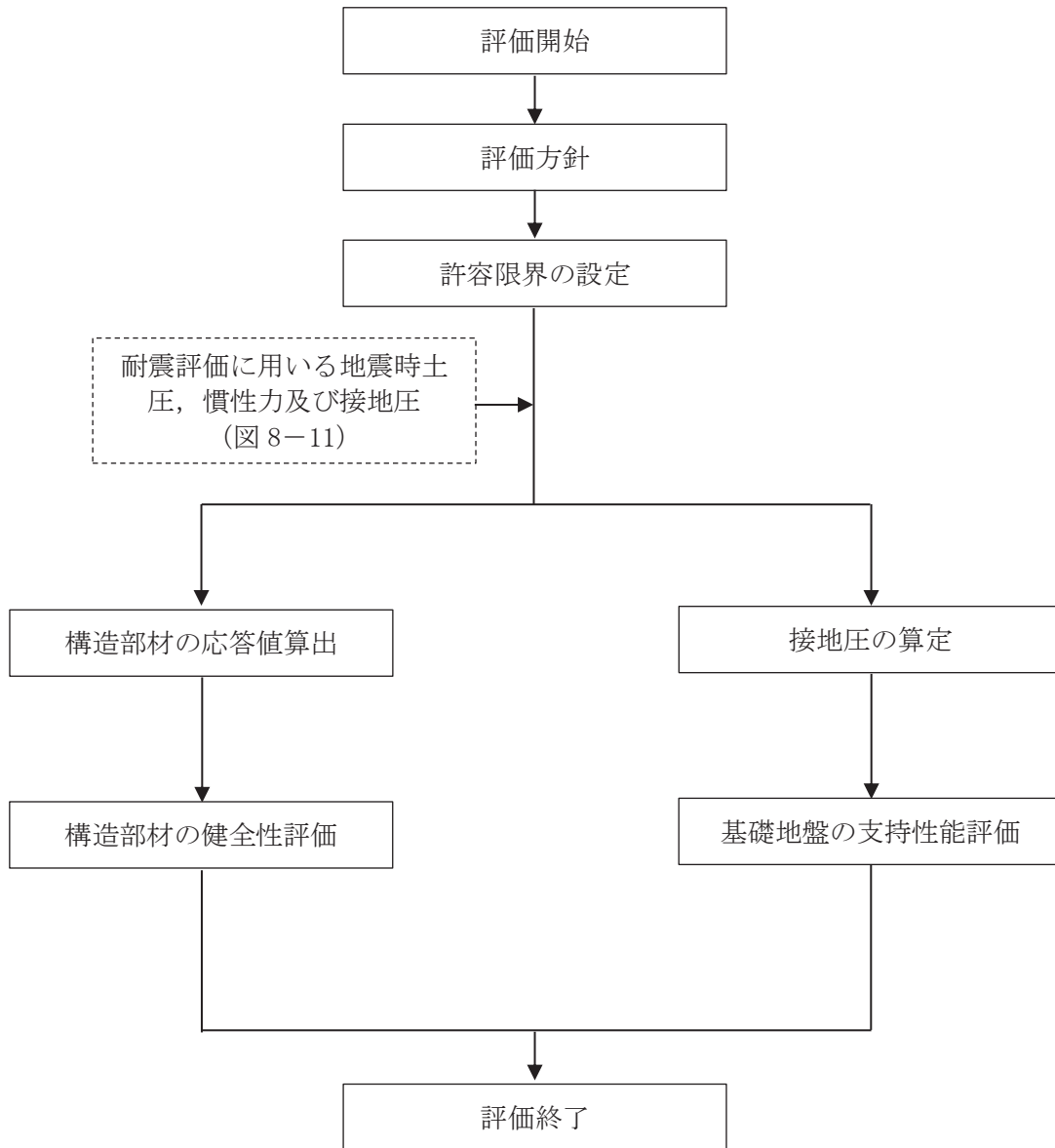


図8-12 第3号機補機冷却海水系放水ピットの耐震評価フロー

表 8-1 第 3 号機補機冷却海水系放水ピットの評価項目

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及び支持する機能を損なわないこと	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	発生応力度，断面力が許容限界を下回ることを確認	曲げ・軸力	短期許容応力度
				せん断力	短期許容せん断力
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認	岩盤の極限支持力*	
		MMR		MMR の支圧強度*	
止水機能を損なわないこと	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	発生応力度，断面力が許容限界を下回ることを確認	曲げ・軸力	短期許容応力度
				せん断力	短期許容せん断力

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

8.3 適用基準

第3号機補機冷却海水系放水ピットの耐震評価に当たっては、土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（以下「コンクリート標準示方書」という。）、日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV下部構造編、日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IIIコンクリート橋編及び原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）を適用する。

表 8-2 に適用する規格、基準類を示す。

表 8-2 適用する規格、基準類

項目	適用する規格、基準類	備考
使用材料及び材料定数	<ul style="list-style-type: none"> 土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編] 日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IIIコンクリート橋編 	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋の材料諸元(γ, E, ν) コンクリートの材料諸元(γ, E, ν)
荷重及び荷重の組合せ	<ul style="list-style-type: none"> 土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編] 	<ul style="list-style-type: none"> 永久荷重, 偶発荷重等の適切な組合せを検討
許容限界	<ul style="list-style-type: none"> 土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編] 日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV下部構造編 日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IIIコンクリート橋編 	<ul style="list-style-type: none"> 曲げ・軸力系の破壊に対する照査において, 発生応力度が短期許容応力度(コンクリート許容圧縮応力度 24.0N/mm^2, 鉄筋許容引張応力度 435N/mm^2) 以下であることを確認* せん断破壊に対する照査において, 発生せん断力が短期許容せん断力(コンクリート許容せん断応力度 0.975N/mm^2, 鉄筋許容引張応力度 294N/mm^2 から算出される許容せん断力) 以下であることを確認*
地震応答解析	<ul style="list-style-type: none"> 原子力発電所耐震設計技術指針 (J E A G 4 6 0 1 -1987) 	<ul style="list-style-type: none"> 有限要素法による二次元モデルを用いた時刻歴非線形解析

注記* : 妥当な安全余裕を考慮する。

9. 地震応答解析

9.1 地震時荷重算出断面

第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時荷重算出断面位置を図9-1に示す。地震時荷重算出断面は、南北・東西方向ともに構造物中心を通る断面(NS断面, EW断面)とする。地震時荷重算出用地質断面図を図9-2～図9-3に示す。

なお、加振方向に平行に配置され耐震上見込むことができる面部材の配置から、南北方向(NS断面)が弱軸方向となり、東西方向(EW断面)が強軸方向となる。

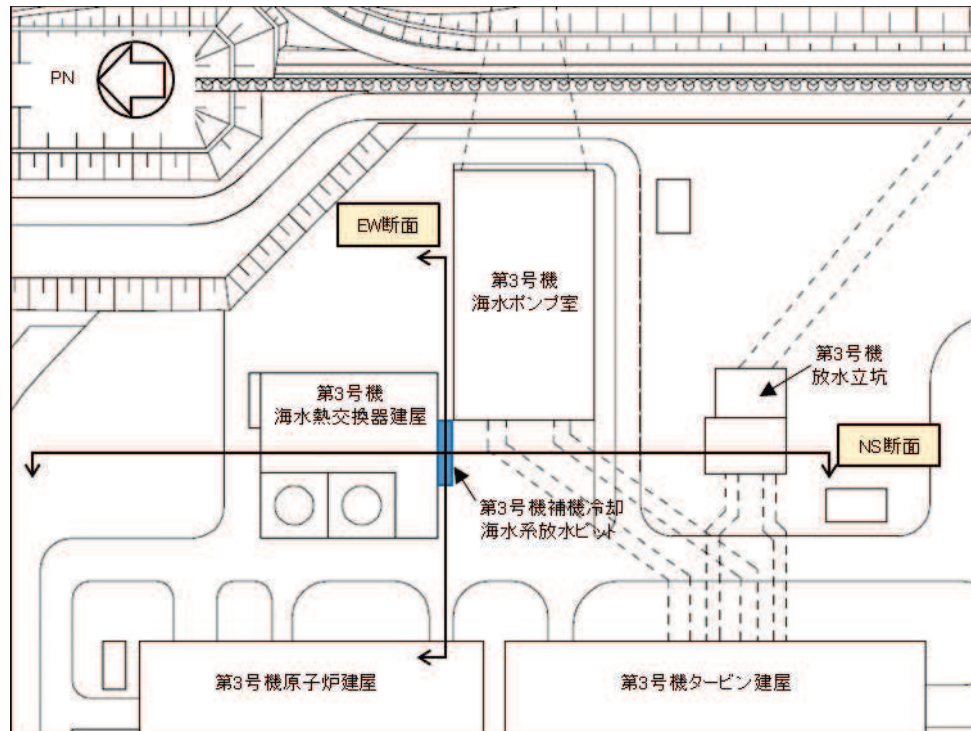


図9-1 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震時荷重算出断面位置図

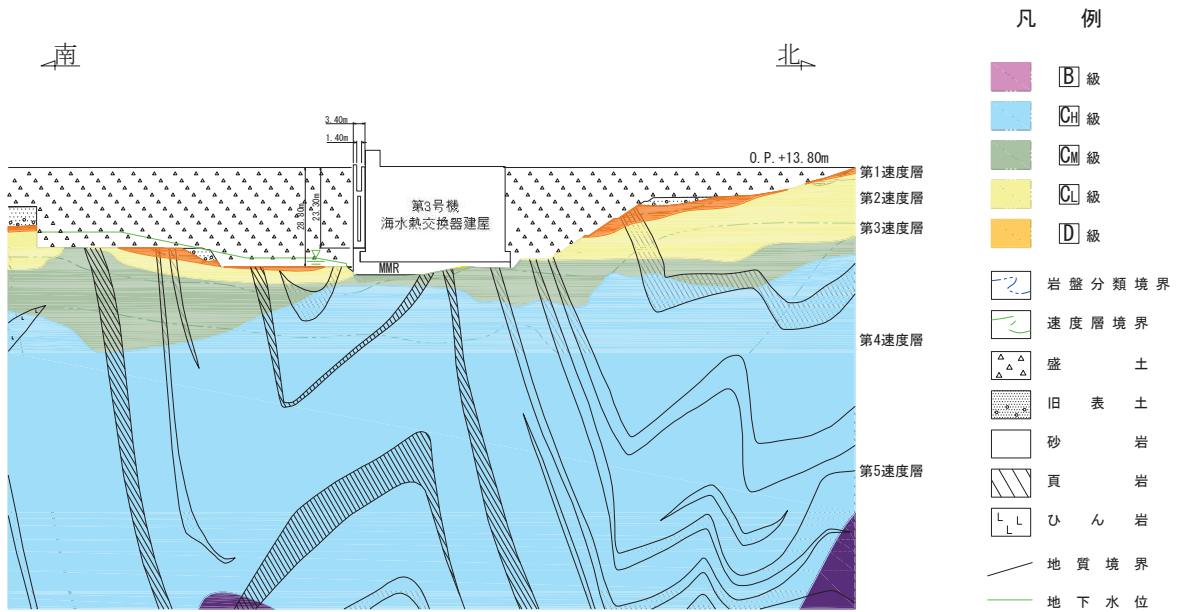


図9-2 第3号機補機冷却海水系放水ピット 地震時荷重算出用地質断面図 (NS断面)

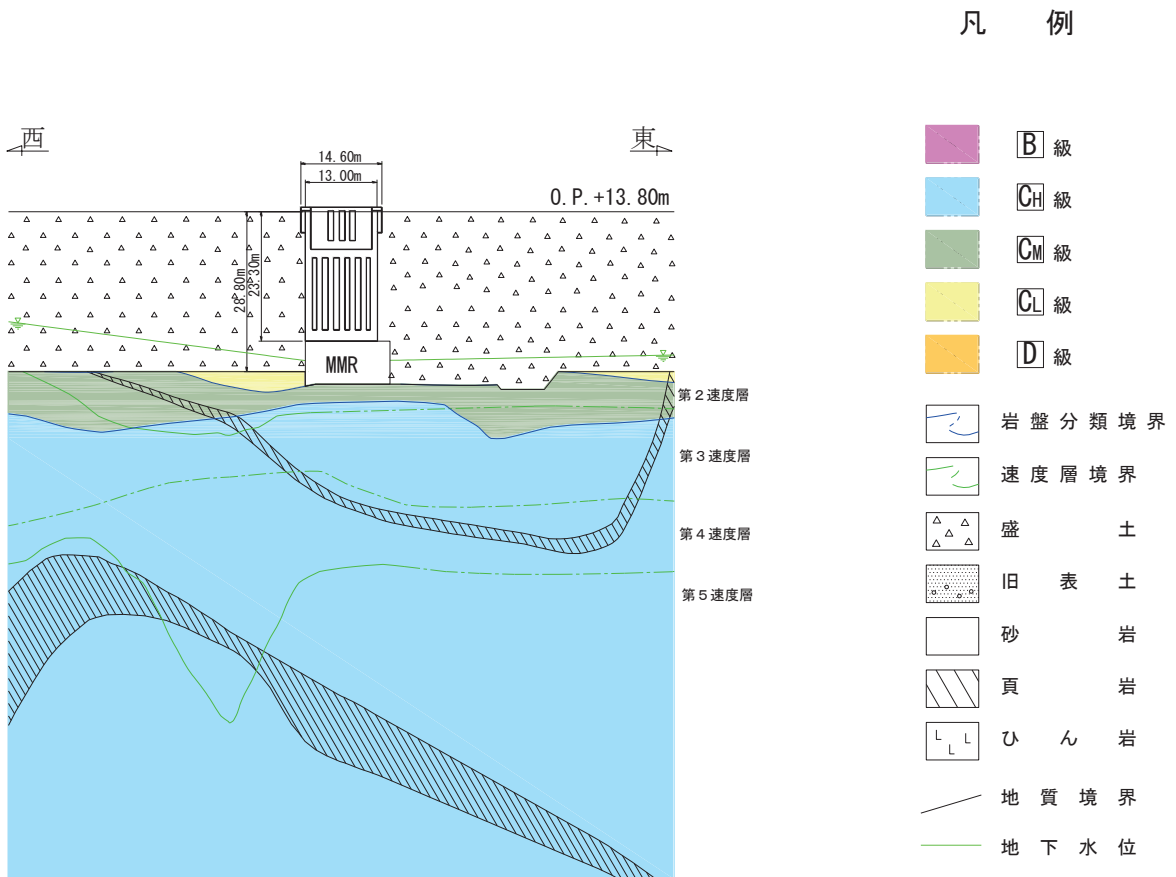


図9-3 第3号機補機冷却海水系放水ピット 地震時荷重算出用地質断面図 (EW断面)

9.2 解析方法

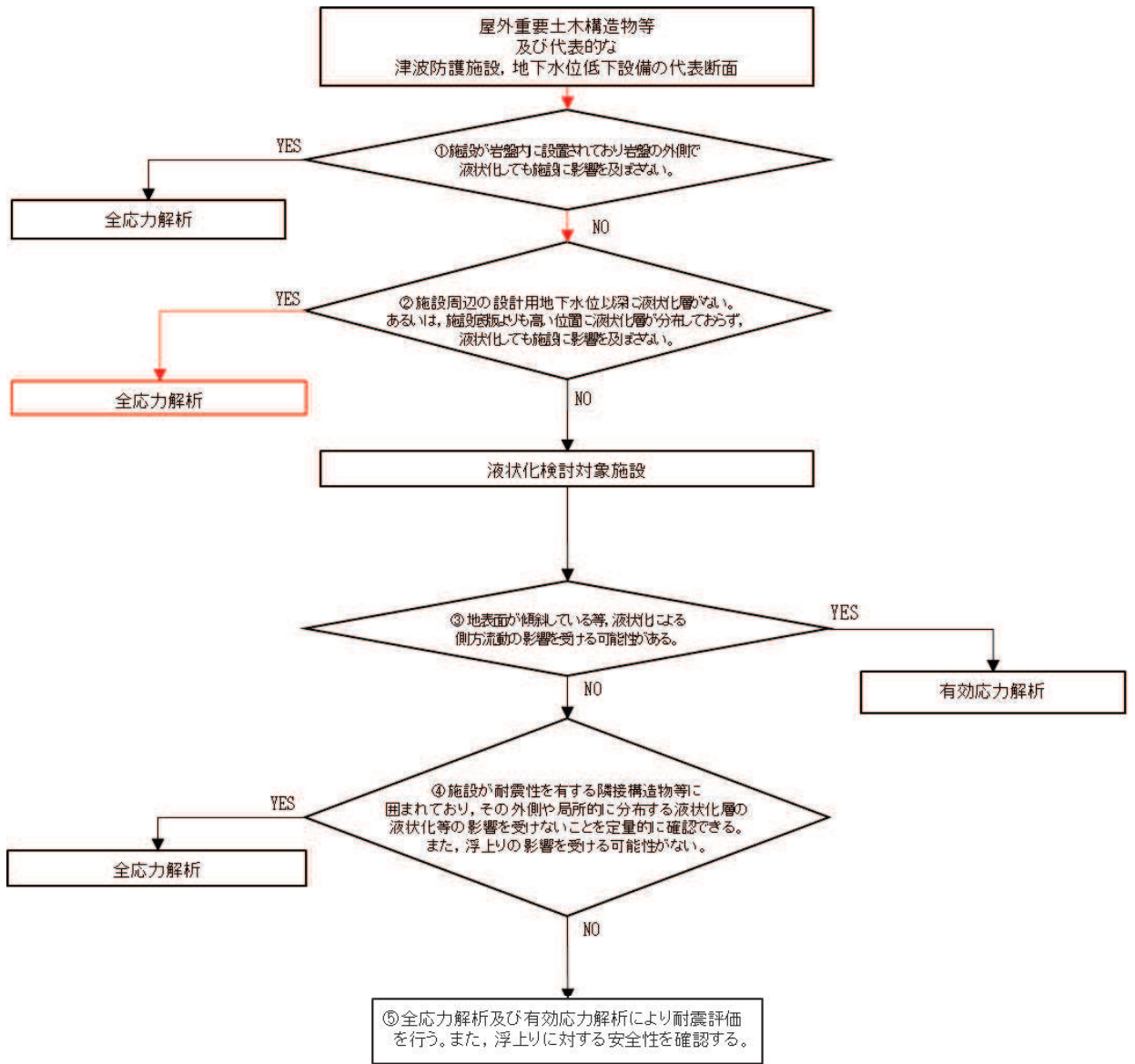
第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震応答解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる二次元有限要素法により、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析により行うこととし、解析手法について、図9-4に示す解析手法の選定フローに基づき選定する。図9-2、図9-3に示すとおり、第3号機補機冷却海水系放水ピット近傍の設計用地下水位は躯体底板より低いこと、また躯体より離れた箇所（南側及び西側）には躯体底板標高より上部に地下水位以深の盛土が存在するが、19～23m程度の土被りがあることから液状化の影響はないと判断した。従って、解析手法は「②全応力解析」を選定する。

南北方向において第3号機補機冷却海水系放水ピットは一部MMRを介して海水熱交換器建屋に支持され、また緩衝材を介して接しており、隣接構造物の地震応答が第3号機補機冷却海水系放水ピットに伝達することが考えられるため、隣接構造物となる海水熱交換器建屋をモデル化する。第3号機補機冷却海水系放水ピットのモデル化については、第3号機補機冷却海水系放水ピット中心位置において各構造部材と等価な剛性を有する線形はり要素にてモデル化する。

地震応答解析については、解析コード「Soil Plus Dynamic 2015 Build3」を使用する。なお解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

地震応答解析手法の選定フローを図9-5に示す。



注記*：三次元構造解析に複数断面の荷重を作用させる場合、断面によって解析手法が異なる場合でも保守的に荷重の大きい組合せを採用する。

図 9-4 解析手法の選定フロー

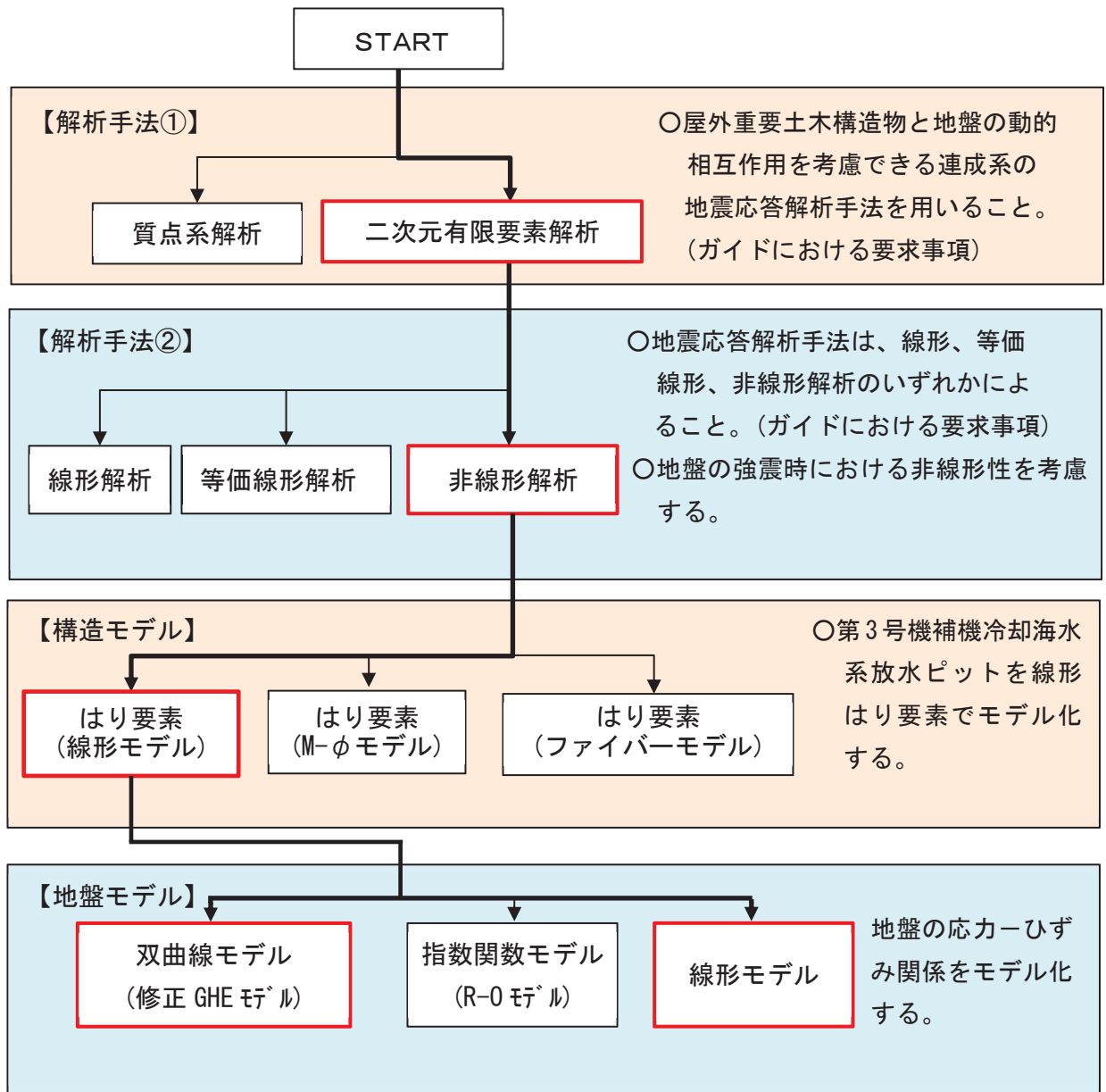


図 9-5 地震応答解析手法の選定フロー

9.2.1 構造部材

第3号機補機冷却海水系放水ピットの構造部材は、線形はり要素にてモデル化し、水平方向には構造物の幅に応じた仮想剛梁を設置する。

9.2.2 地盤物性及び材料特性の設定

地盤物性及び材料物性のばらつきの影響を考慮するため、表 9-1 に示す解析ケースを設定する。

第3号機補機冷却海水系放水ピットは、MMR 上に設置され、南北方向では、北側に海水熱交換器建屋が分布し、南側には盛土が分布する。一方、東西方向では、両側面に盛土が分布し、主たる荷重は盛土の土圧となることから、盛土、旧表土の初期せん断弾性係数のばらつきを考慮する。

初期せん断弾性係数の標準偏差 σ を用いて設定した解析ケース②及び③を実施することにより地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

また、材料物性のばらつきとして構造物の推定強度に基づいて設定した解析ケース④を実施することにより、材料物性のばらつきの影響を考慮する。

詳細な解析ケースの考え方は、「9.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定」に示す。

表 9-1 解析ケース

解析ケース	材料物性 (コンクリート) (E_0 :ヤング係数)	地盤物性	
		盛土, 旧表土, 改良地盤 D級岩盤 (G_0 :初期せん断弾性係数)	C級岩盤 C級岩盤 C級岩盤 B級岩盤 (G_d :動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基礎強度	平均値	平均値
ケース②	設計基礎強度	平均値 1σ	平均値
ケース③	設計基礎強度	平均値 1σ	平均値
ケース④	実測に基づく 圧縮強度*	平均値	平均値

注記* : 新設構造物のため, 推定した圧縮強度とする

9.2.3 地震応答解析の解析ケースの選定

(1) 浸水防止蓋の止水ジョイントの耐震評価における解析ケース

浸水防止蓋の止水ジョイントの耐震評価においては、すべての基準地震動 S_s に対し解析ケース①（基本ケース）を実施する。ケース①（基本ケース）により得られた最大応答変位と第3号機海水熱交換器建屋の地震応答解析により得られた最大応答変位（基本ケース）の合計値が最大の地震動を用いてケース②～④を実施する。浸水防止蓋の止水ジョイントの耐震評価における解析ケースを表9-2に示す。

表9-2 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース	材料物性 (コンクリート) に異質性を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値	平均値+1 σ	平均値-1 σ	平均値
材料物性		設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度	推定に基づく圧縮強度 ^{※2}
地震動位相	S _s -D1	++ ^{※1}	○	基準地震動 S_s (7波) に水平動の位相反転を考慮した地震動 (7波) を加えた全14波により照査を行ったケース① (基本ケース) により得られた最大応答変位と第3号機海水熱交換器建屋の地震応答解析により得られた最大応答変位 (基本ケース) の合計値が最大の地震動を用いてケース②～④を実施する。	
		+- ^{※1}	○		
	S _s -D2	++ ^{※1}	○		
		+- ^{※1}	○		
	S _s -D3	++ ^{※1}	○		
		+- ^{※1}	○		
	S _s -F1	++ ^{※1}	○		
		+- ^{※1}	○		
	S _s -F2	++ ^{※1}	○		
		+- ^{※1}	○		
	S _s -F3	++ ^{※1}	○		
		+- ^{※1}	○		
	S _s -N1	++ ^{※1}	○		
		+- ^{※1}	○		

注記*1：耐震評価にあたっては、土木学会 2005年 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアルに従い、水平方向の位相反転を考慮する。地震動の位相について、++の左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

*2：新設構造物のため推定した圧縮強度を使用する。

(2) 躯体の耐震評価における解析ケース

躯体の耐震評価においては、すべての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。解析ケース①において、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び地盤の支持力照査の照査項目ごとに照査値が 0.5 以上となるすべての照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いて、解析ケース②～④を実施する。耐震評価における解析ケースを表 9-3 に示す。

表 9-3 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
		基本ケース	地盤物性のばらつき (1σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (1σ) を考慮した解析ケース	材料物性 (コンクリート) に考慮した解析ケース
地盤物性		平均値	平均値 1σ	平均値 1σ	平均値
材料物性		設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度	推定に基づく圧縮強度 [※]
地震動位相	S_s -D1	++ [※]	○	基準地震動 S_s (7 波) に水平動の位相反転を考慮した地震動 (7 波) を加えた全 14 波により照査を行ったケース① (基本ケース) の結果から、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の照査項目ごとに照査値が 0.5 以上となる照査項目に対して、最も厳しい (許容限界に対する裕度が最も小さい) 地震動を用いてケース②～④を実施する。 すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 未満の場合は、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②～④を実施する。	
		+- [※]	○		
	S_s -D2	++ [※]	○		
		+- [※]	○		
	S_s -D3	++ [※]	○		
		+- [※]	○		
	S_s -F1	++ [※]	○		
		+- [※]	○		
	S_s -F2	++ [※]	○		
		+- [※]	○		
	S_s -F3	++ [※]	○		
		+- [※]	○		
	S_s -N1	++ [※]	○		
		+- [※]	○		

注記*1：耐震評価にあたっては、土木学会 2005 年 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアルに従い、水平方向の位相反転を考慮する。地震動の位相について、++の左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

*2：新設構造物のため推定した圧縮強度を使用する。

9.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

9.3.1 耐震評価上考慮する状態

第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪を考慮する。埋設構造物であるため風の影響は考慮しない。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の影響を受けないことから考慮しない。

9.3.2 荷重

第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重及び内水重量を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、積雪荷重 P_s を含めて地表面に 4.9kN/m^2 を考慮する。

(3) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である43cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第86条第2項により、積雪量1cmごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮する。

(4) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

9.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 9-4 に示す。

表 9-4 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S_s)	$G + P + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重 P_s を含めて 4.9kN/m^2 を地表面に考慮)

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

9.4 入力地震動

入力地震動は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元重複反射理論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図9-6に入力地震動算定の概念図を、図9-7～図9-20にEW断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを、図9-21～図9-34にNS断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には、解析コード「Ark Quake Ver. 3.10」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

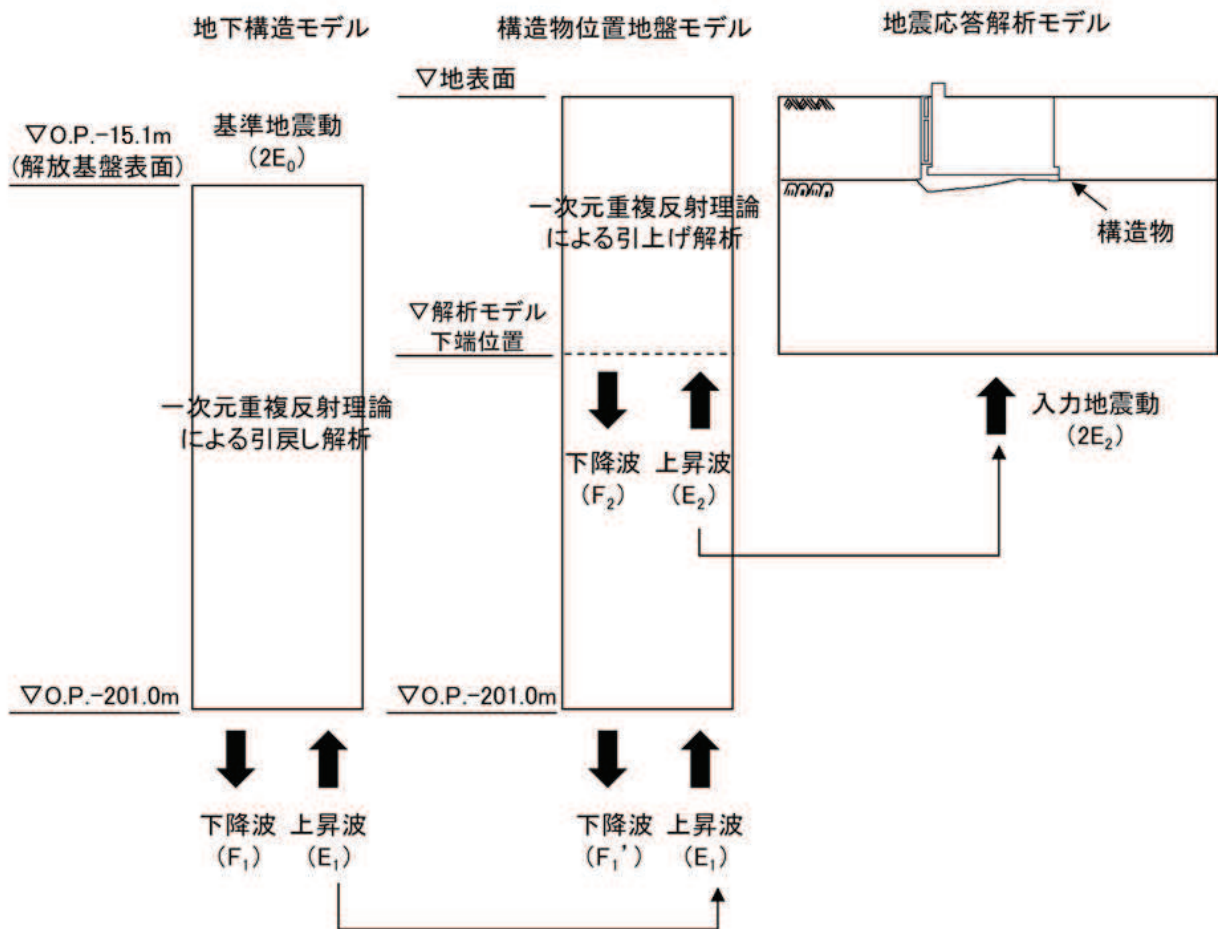
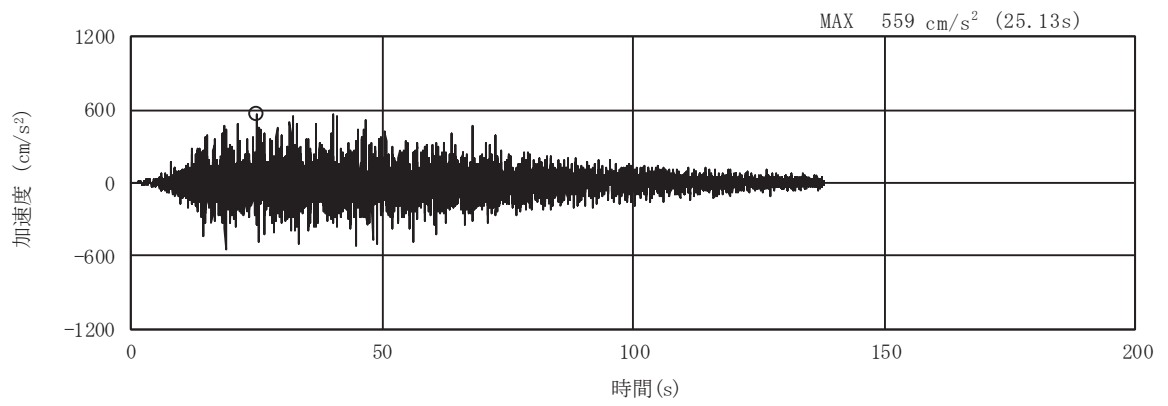
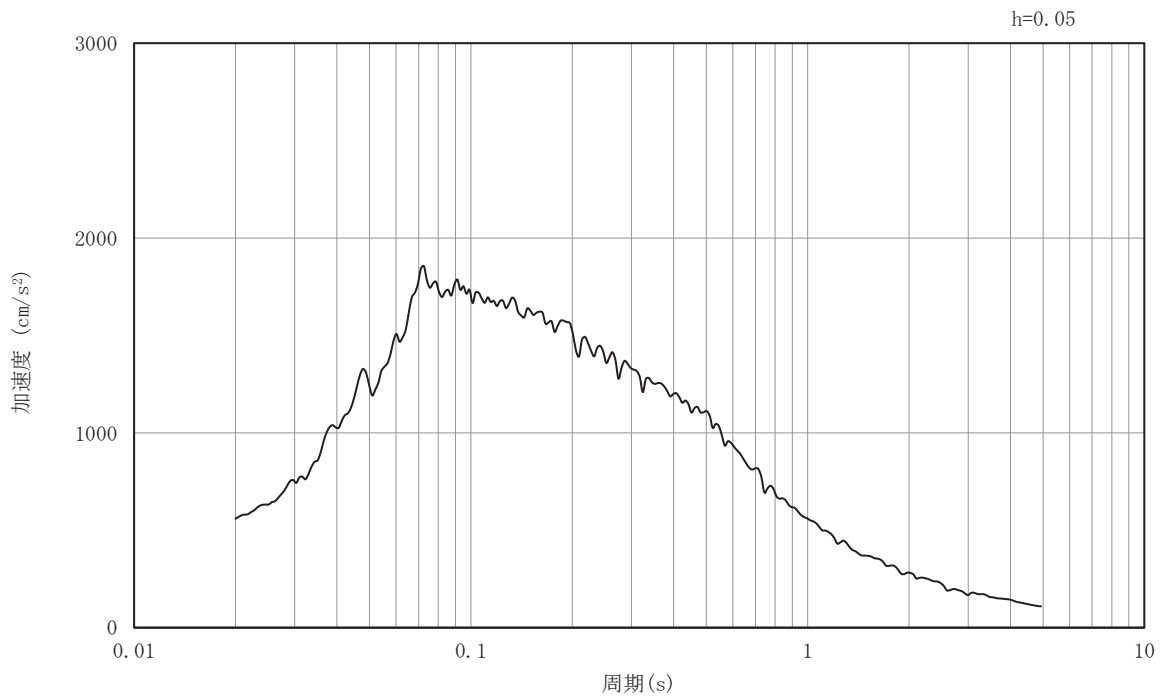


図 9-6 入力地震動算定の概念図

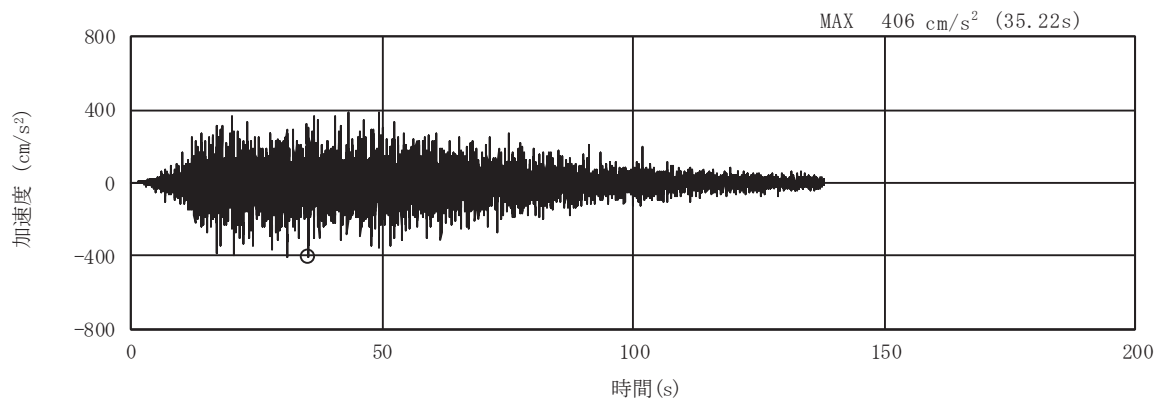


(a) 加速度時刻歴波形

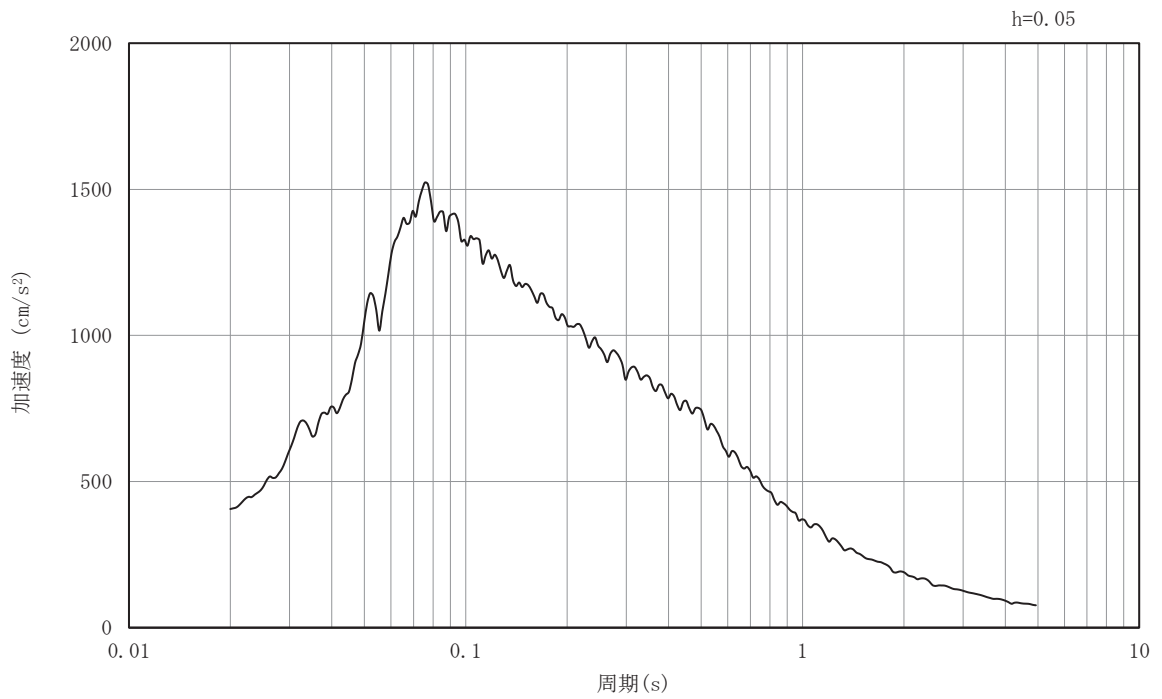


(b) 加速度応答スペクトル

図9-7 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(EW断面 水平成分 : S s - D 1)

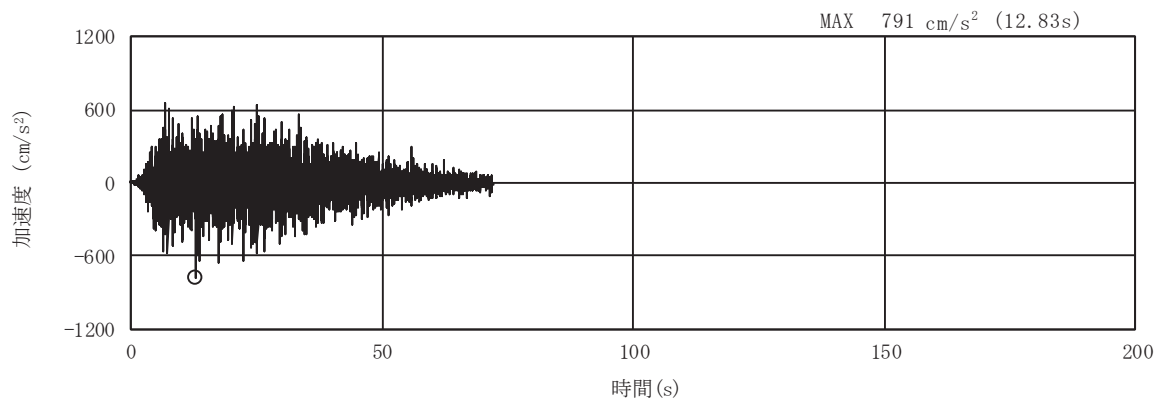


(a) 加速度時刻歴波形

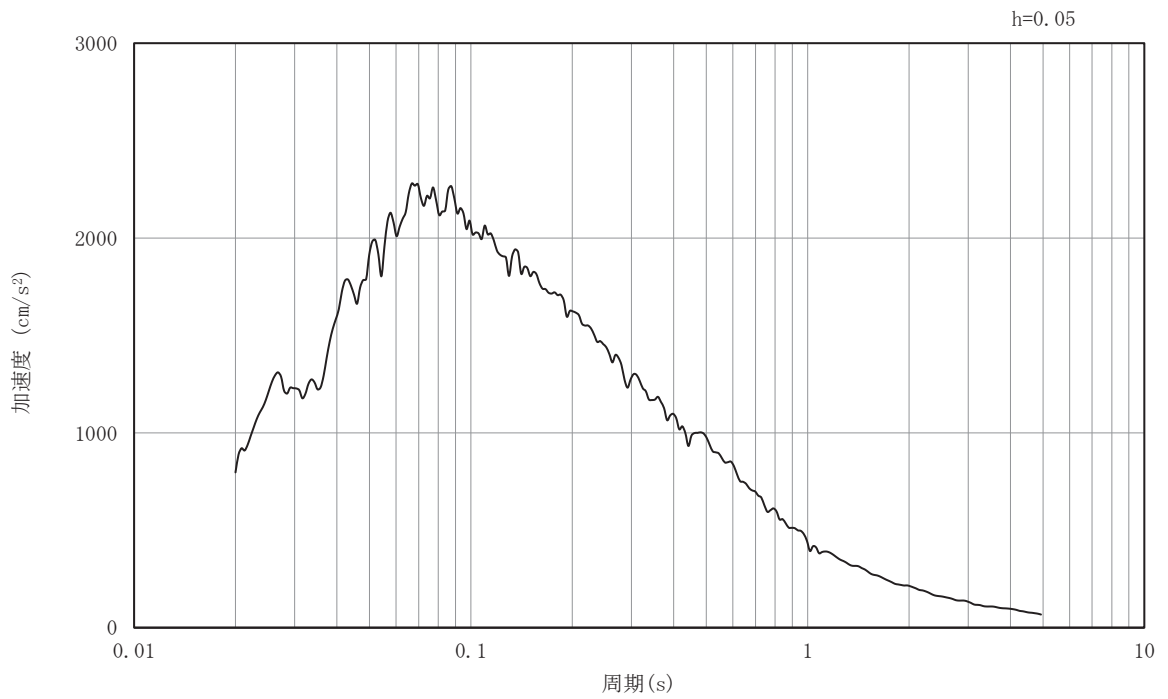


(b) 加速度応答スペクトル

図9-8 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(EW断面 鉛直成分：S s - D 1)

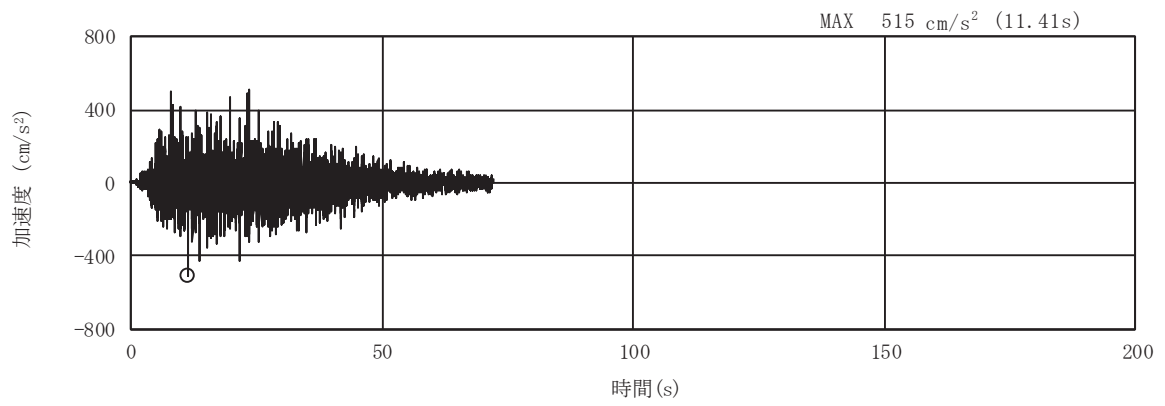


(a) 加速度時刻歴波形

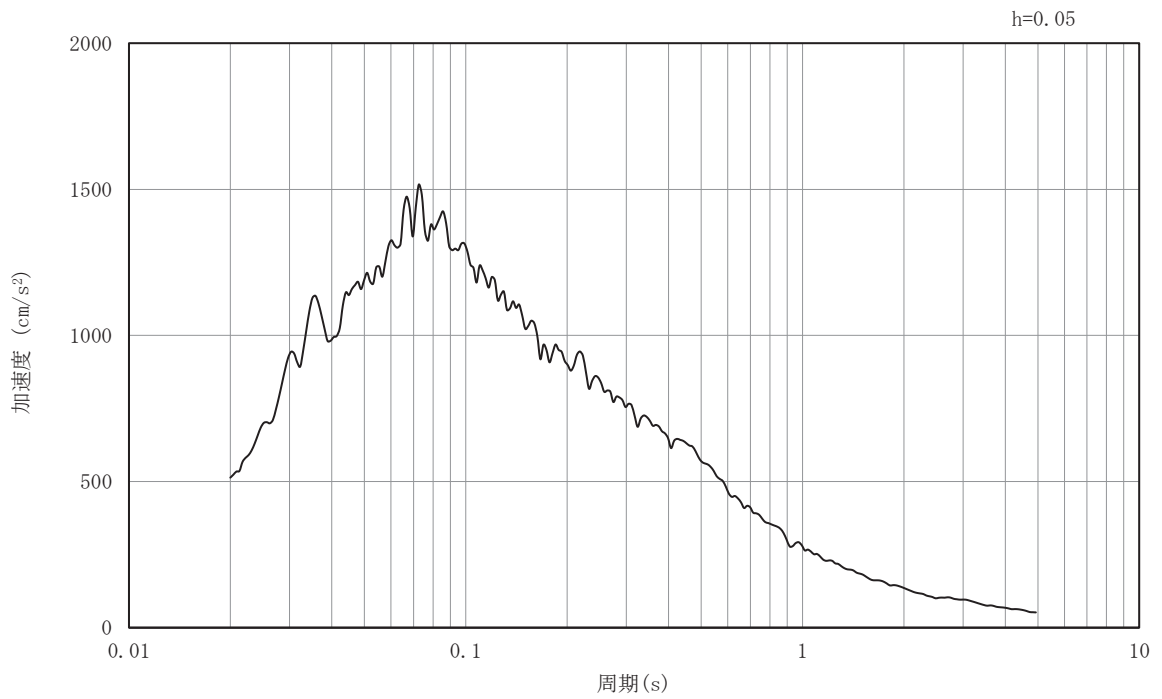


(b) 加速度応答スペクトル

図9-9 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(EW断面 水平成分 : S s - D 2)

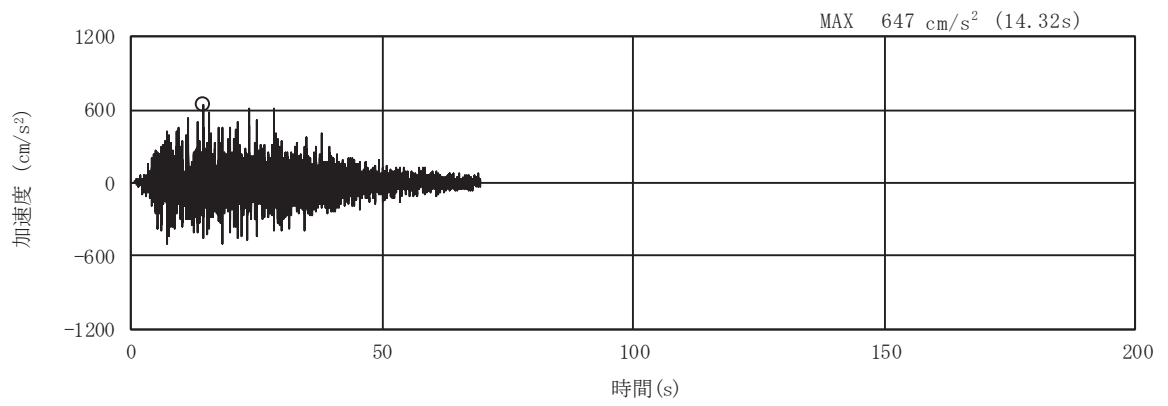


(a) 加速度時刻歴波形

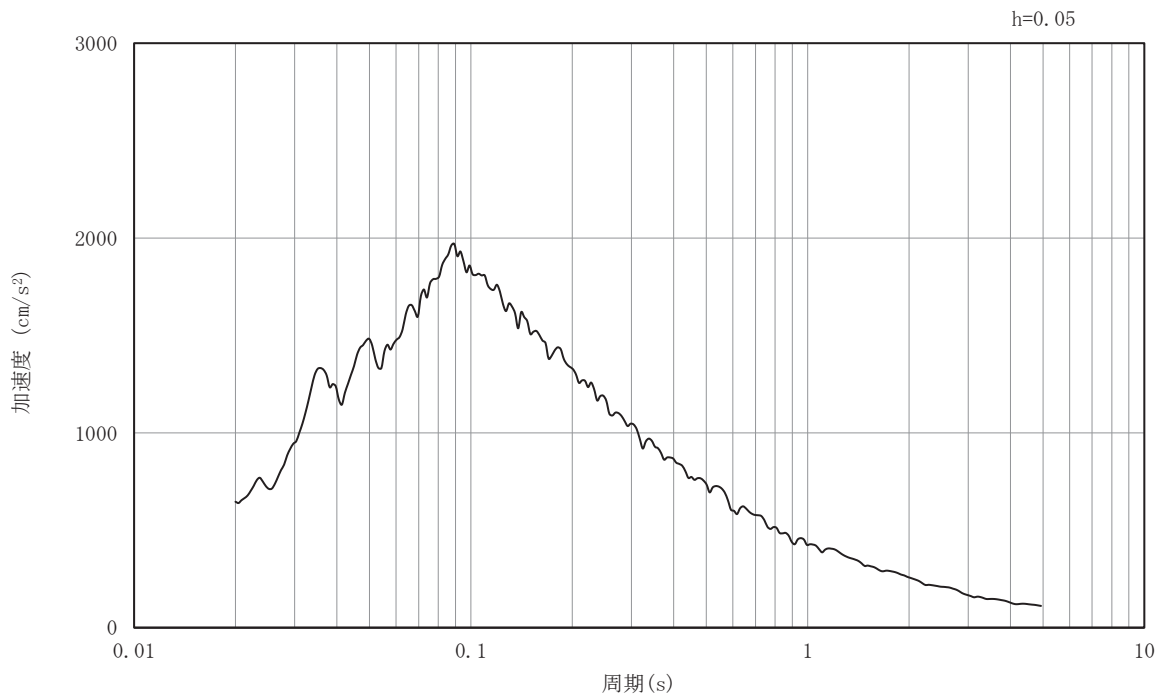


(b) 加速度応答スペクトル

図9-10 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(EW断面 鉛直成分 : S s - D 2)

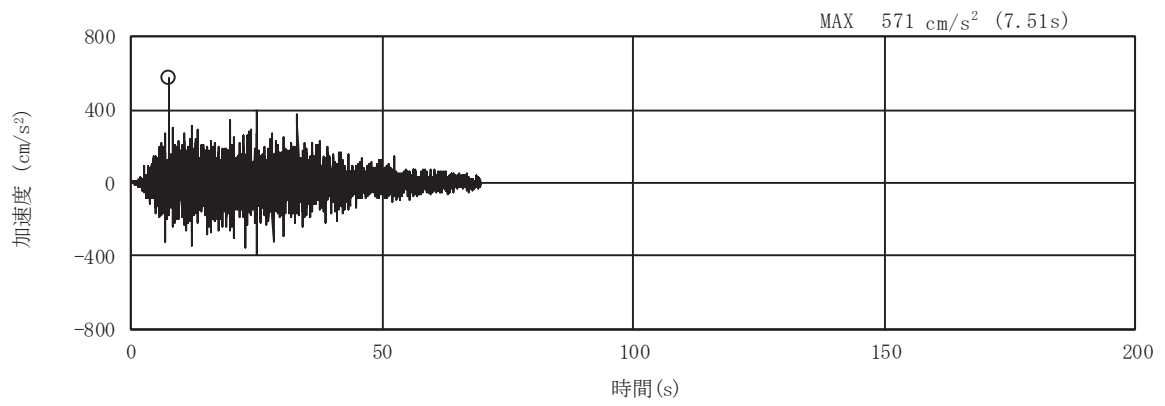


(a) 加速度時刻歴波形

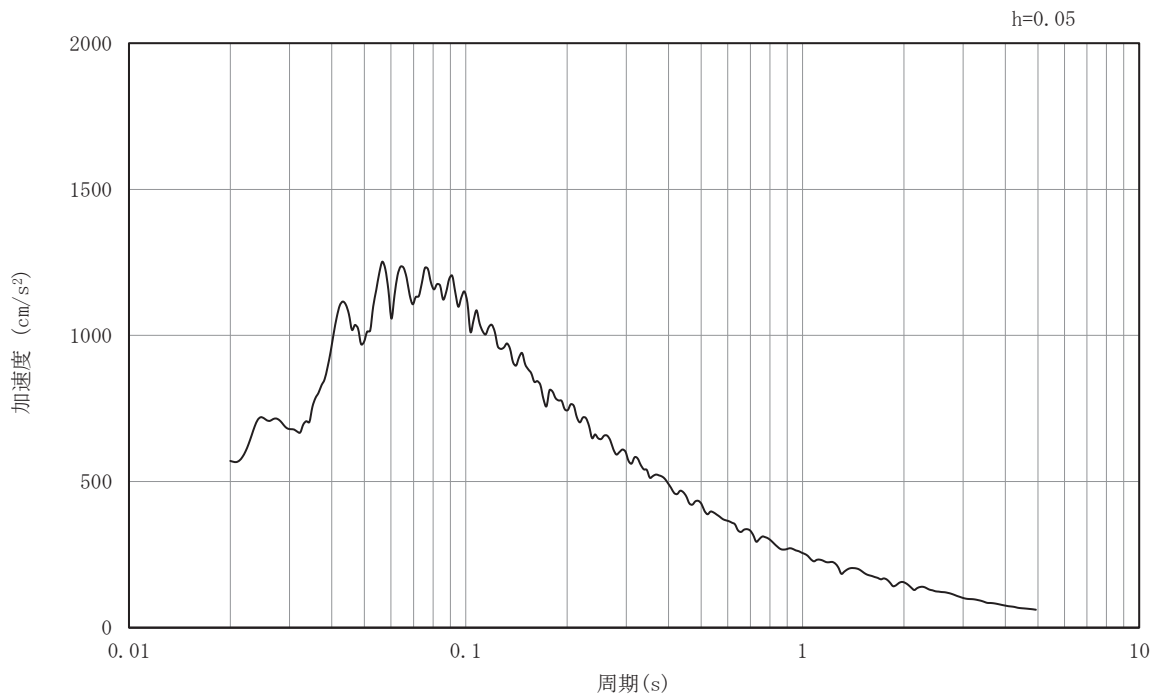


(b) 加速度応答スペクトル

図9-11 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(EW断面 水平成分 : S s - D 3)

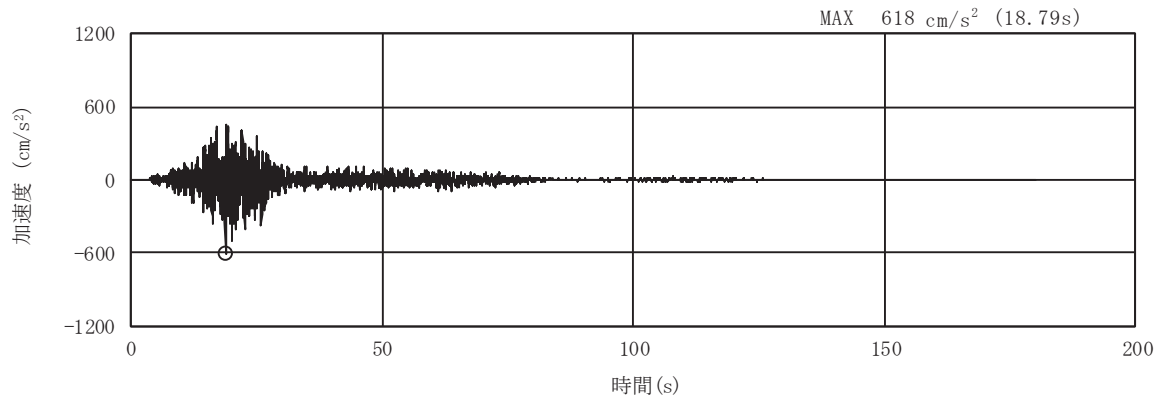


(a) 加速度時刻歴波形

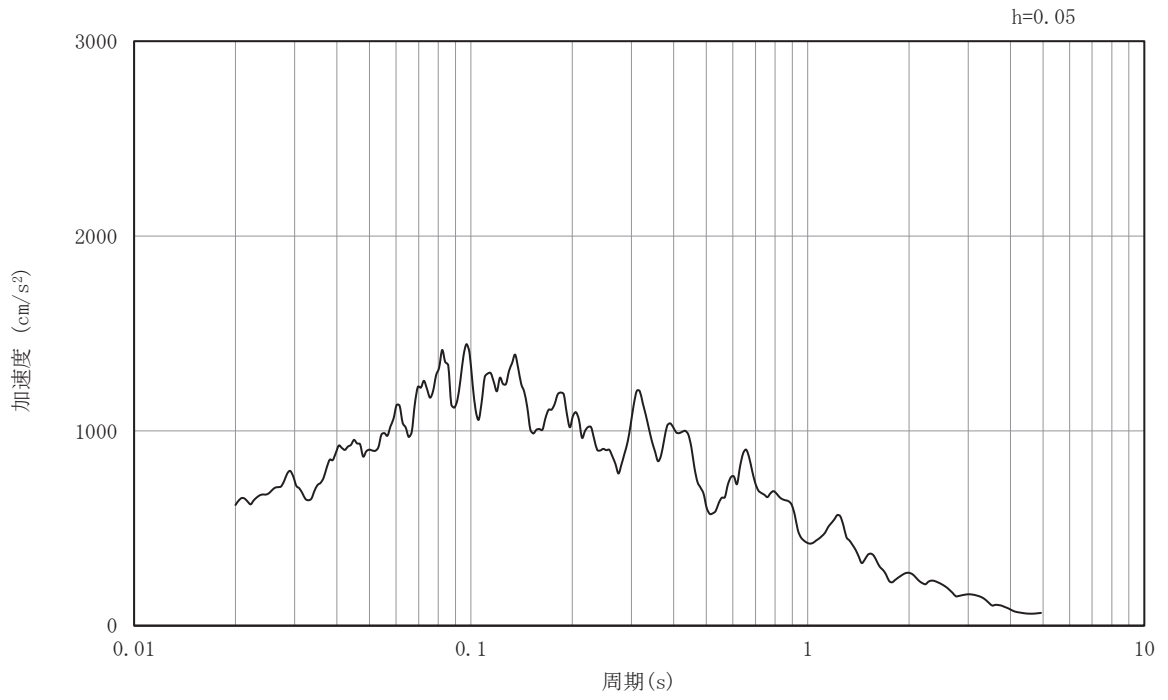


(b) 加速度応答スペクトル

図9-12 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(EW断面 鉛直成分 : S s - D 3)

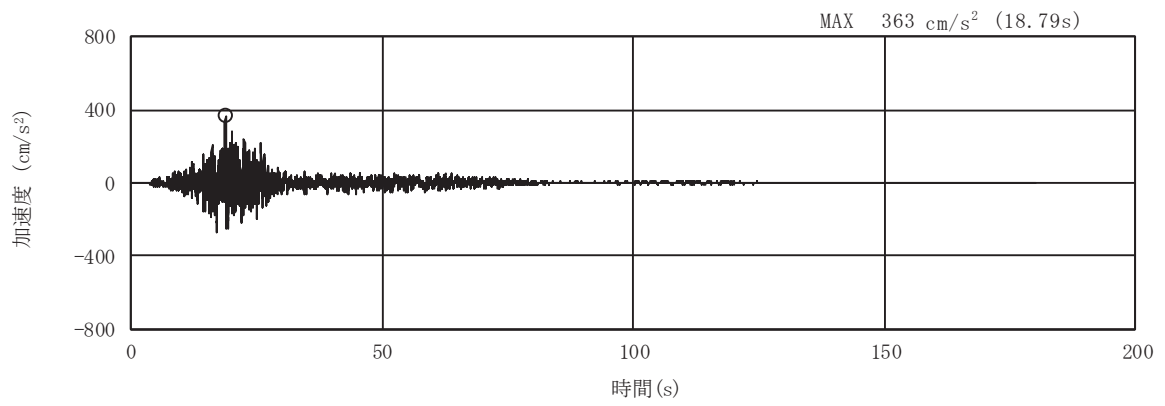


(a) 加速度時刻歴波形

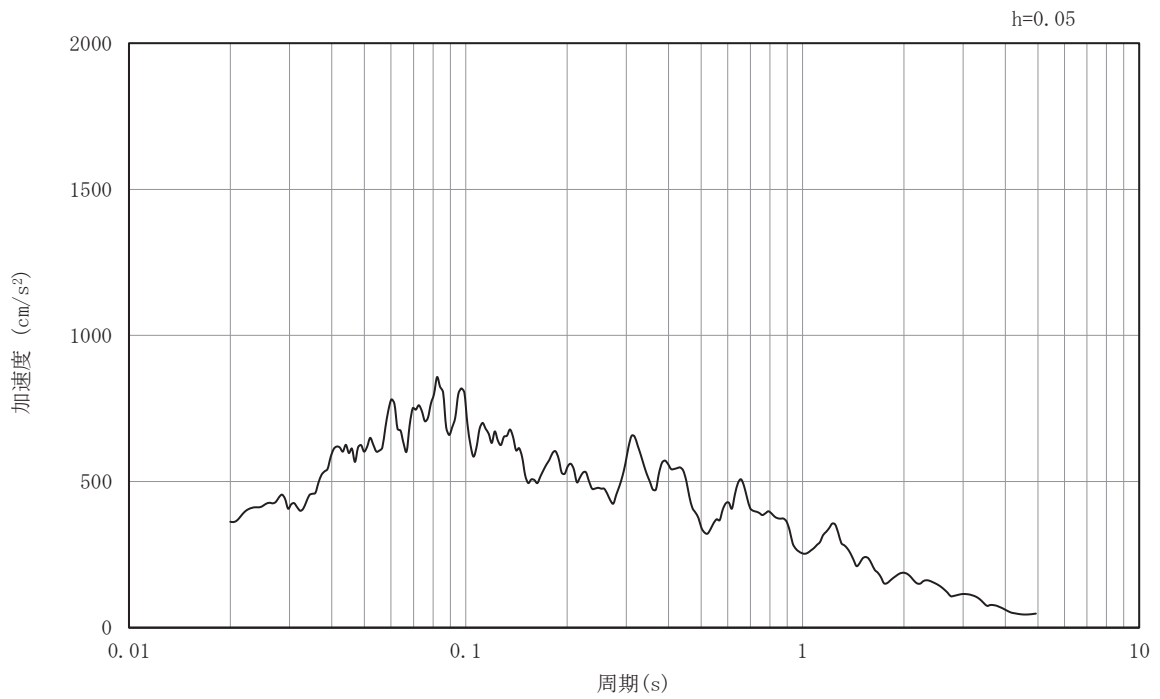


(b) 加速度応答スペクトル

図9-13 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(EW断面 水平成分 : S s - F 1)

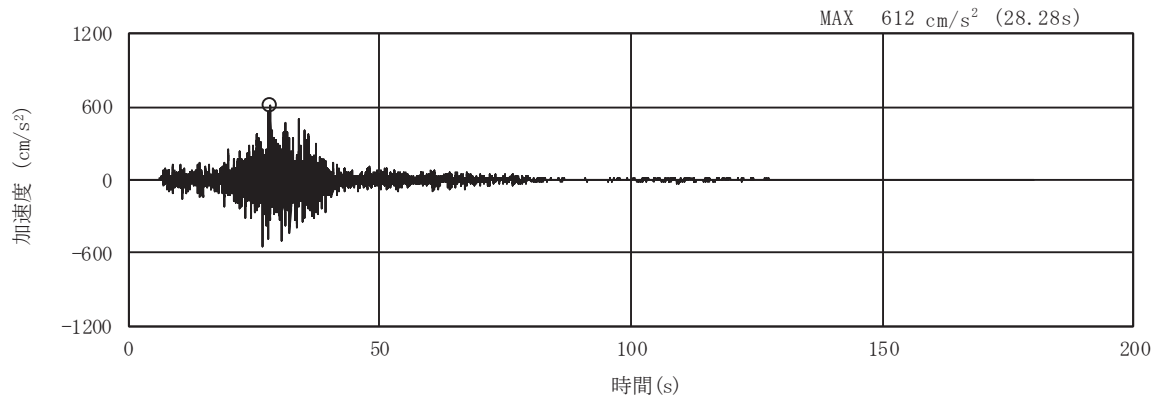


(a) 加速度時刻歴波形

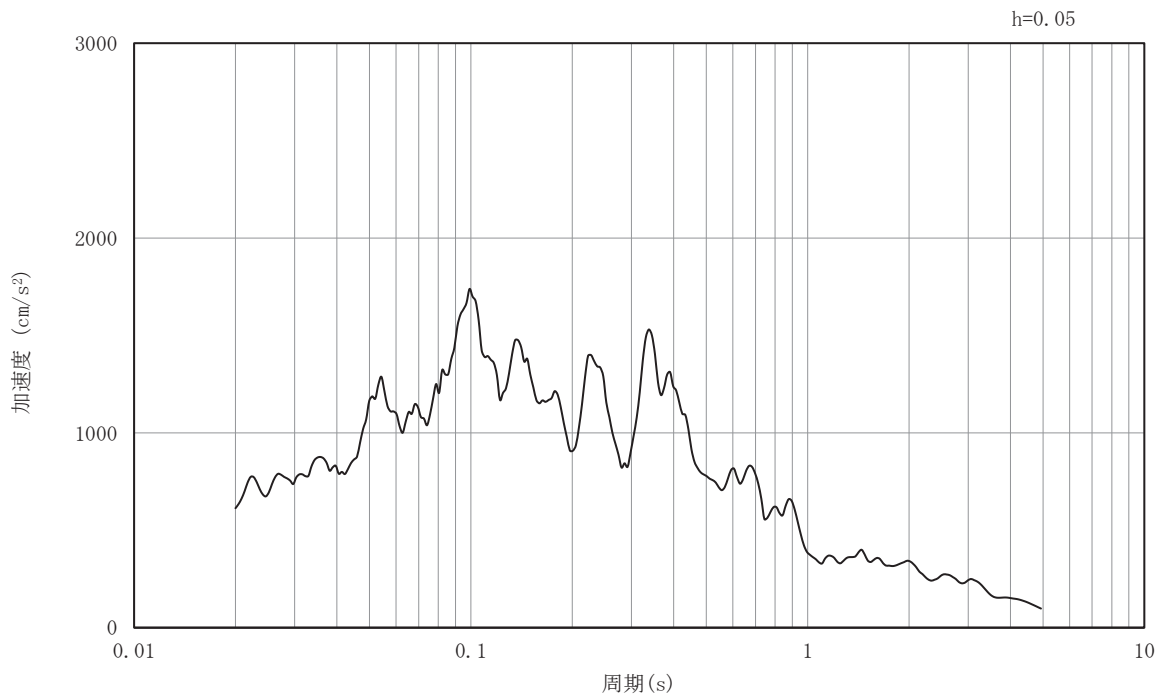


(b) 加速度応答スペクトル

図9-14 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(EW断面 鉛直成分 : S s - F 1)

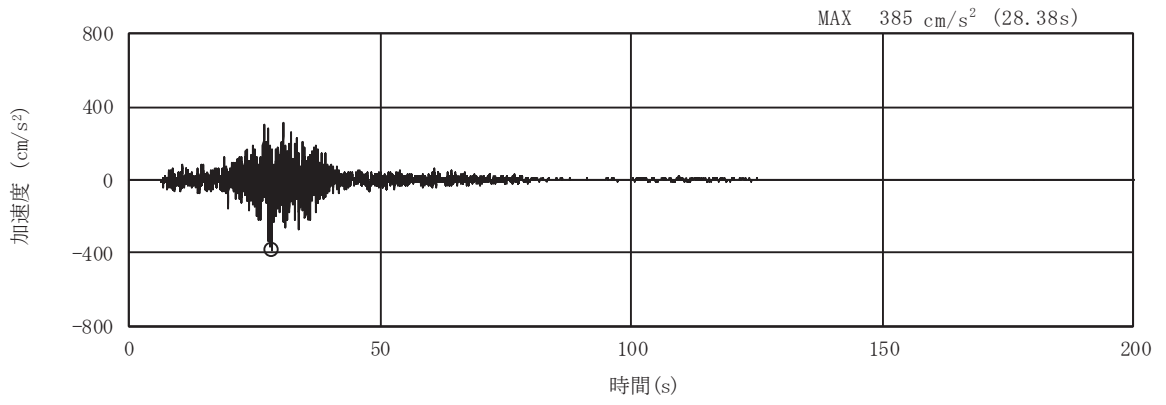


(a) 加速度時刻歴波形

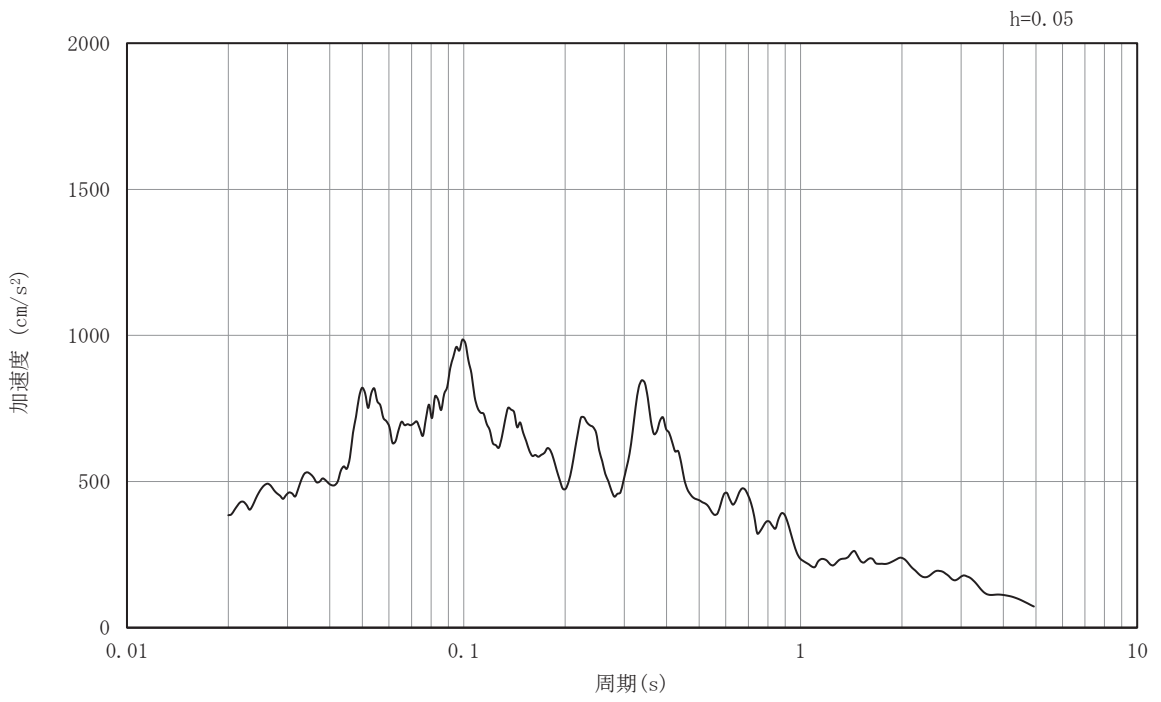


(b) 加速度応答スペクトル

図9-15 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(EW断面 水平成分 : S s - F 2)

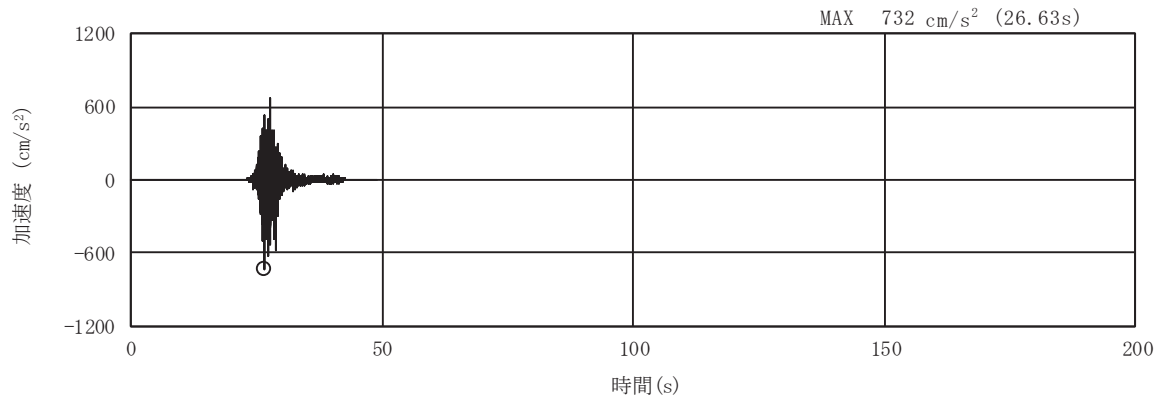


(a) 加速度時刻歴波形

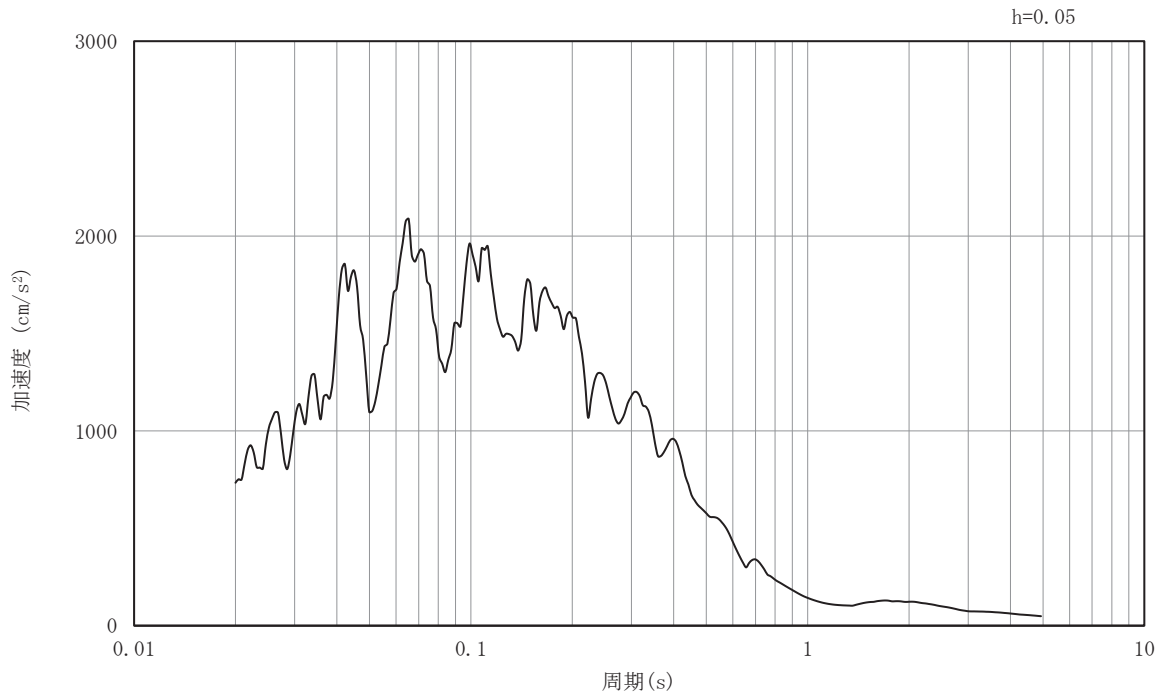


(b) 加速度応答スペクトル

図9-16 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(EW断面 鉛直成分 : S s - F 2)

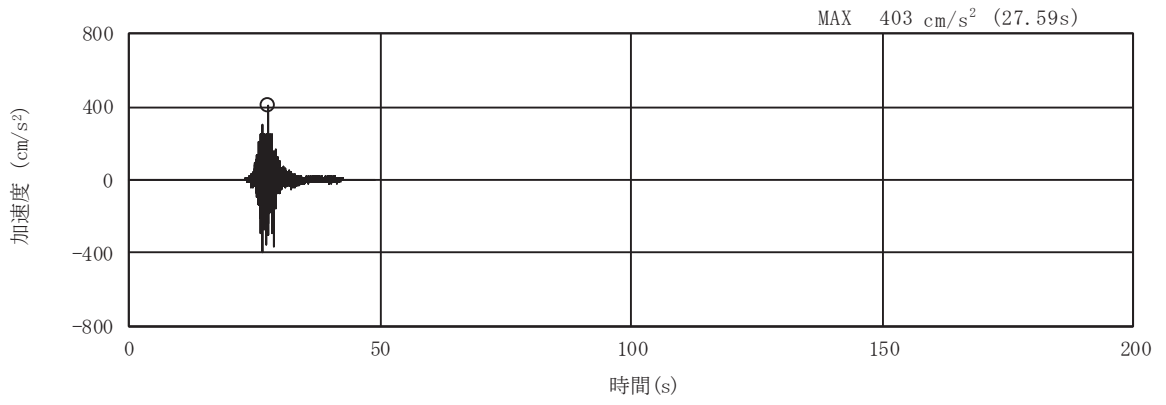


(a) 加速度時刻歴波形

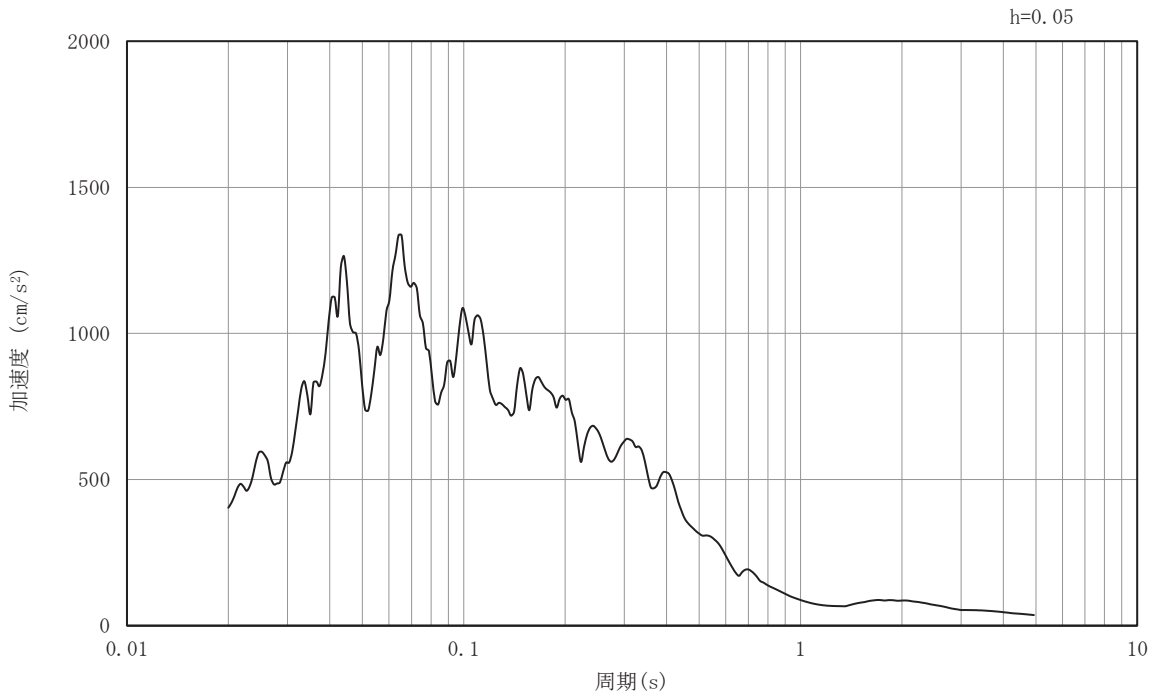


(b) 加速度応答スペクトル

図9-17 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(EW断面 水平成分 : S s - F 3)

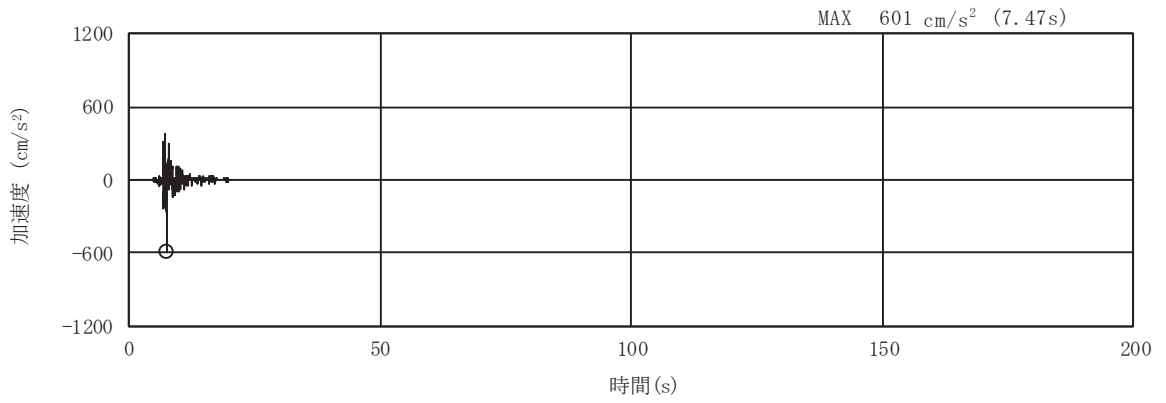


(a) 加速度時刻歴波形

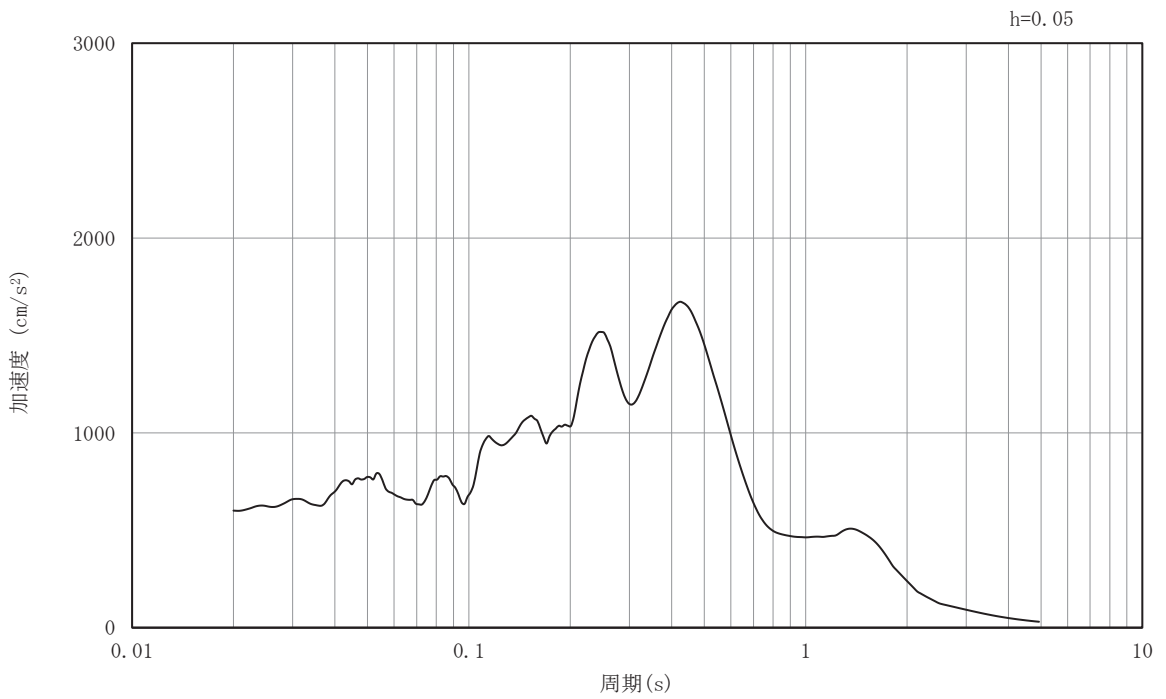


(b) 加速度応答スペクトル

図9-18 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(EW断面 鉛直成分 : S s - F 3)

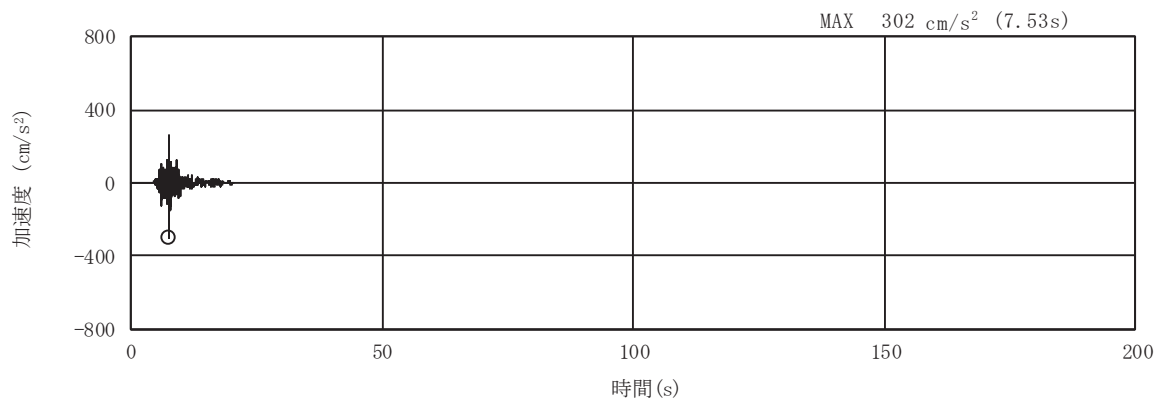


(a) 加速度時刻歴波形

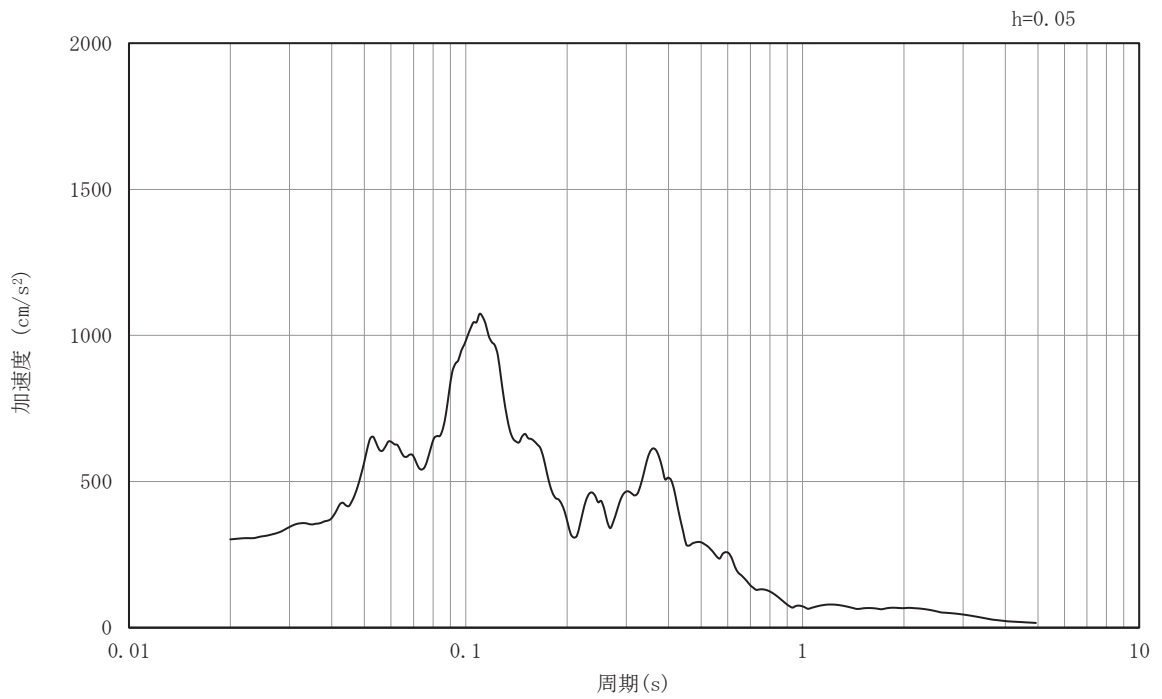


(b) 加速度応答スペクトル

図9-19 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(EW断面 水平成分 : S s - N 1)

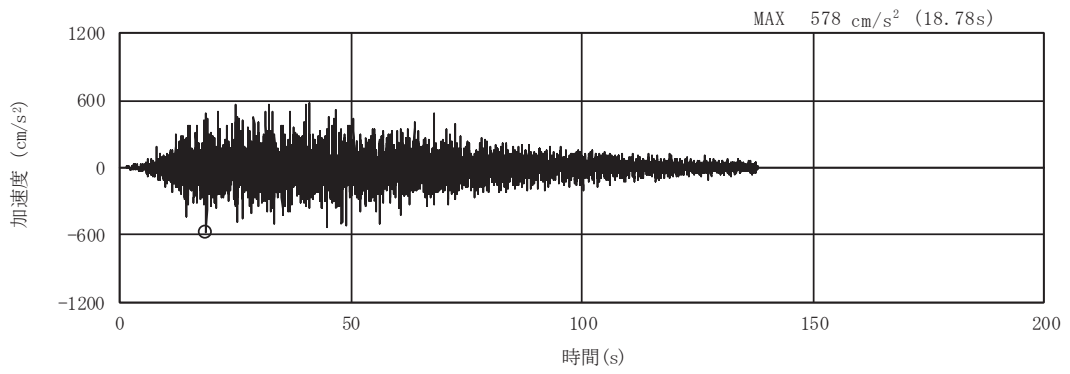


(a) 加速度時刻歴波形

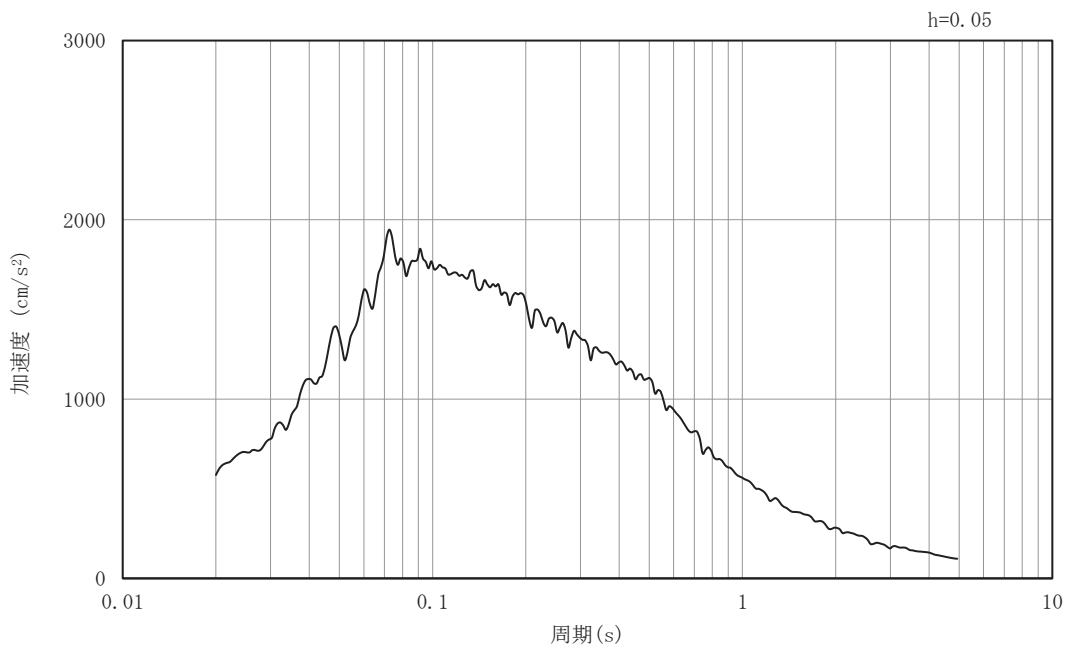


(b) 加速度応答スペクトル

図9-20 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(EW断面 鉛直成分 : S s - N 1)

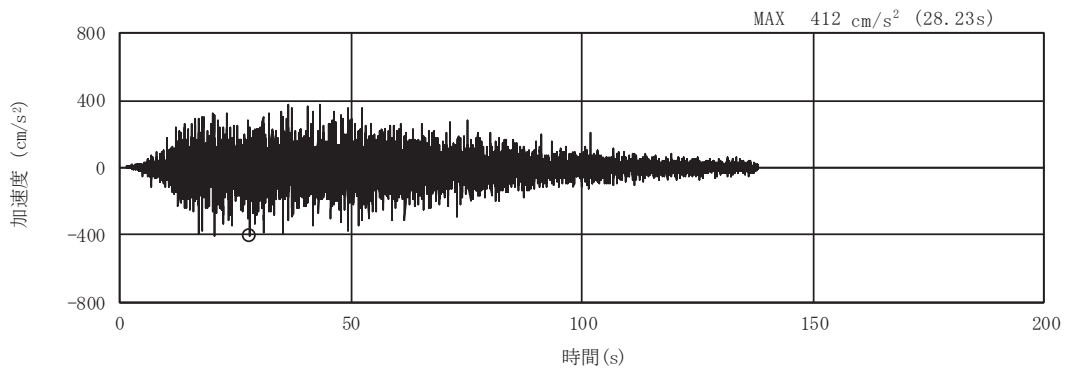


(a) 加速度時刻歴波形

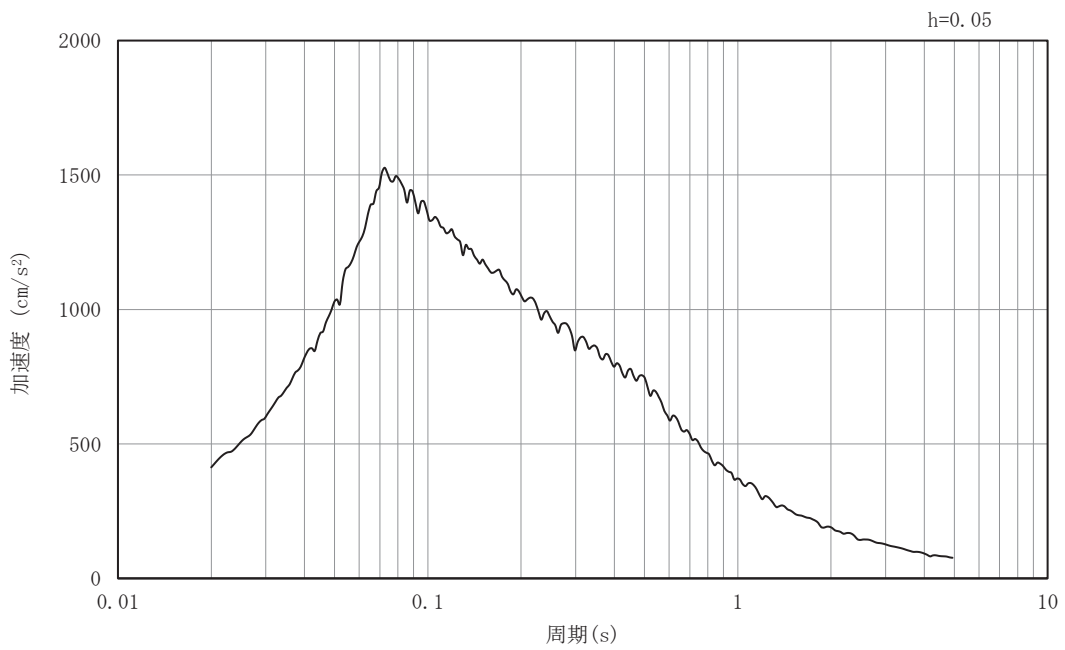


(b) 加速度応答スペクトル

図9-21 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(NS断面 水平成分：S s - D 1)

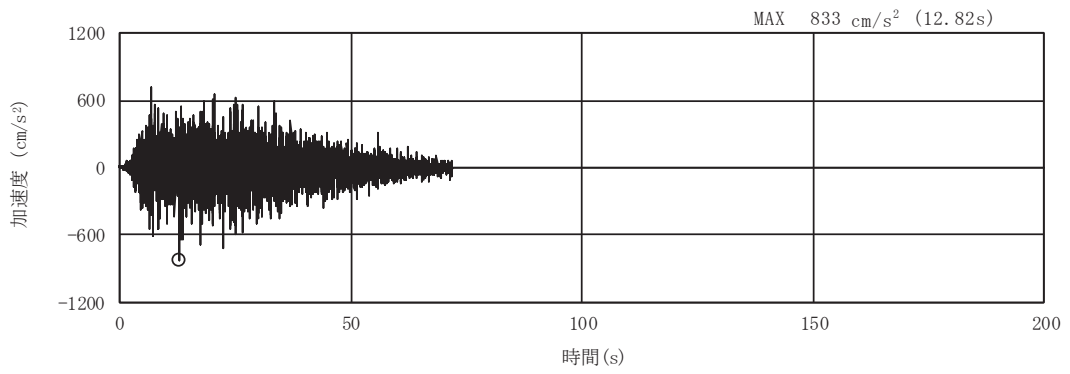


(a) 加速度時刻歴波形

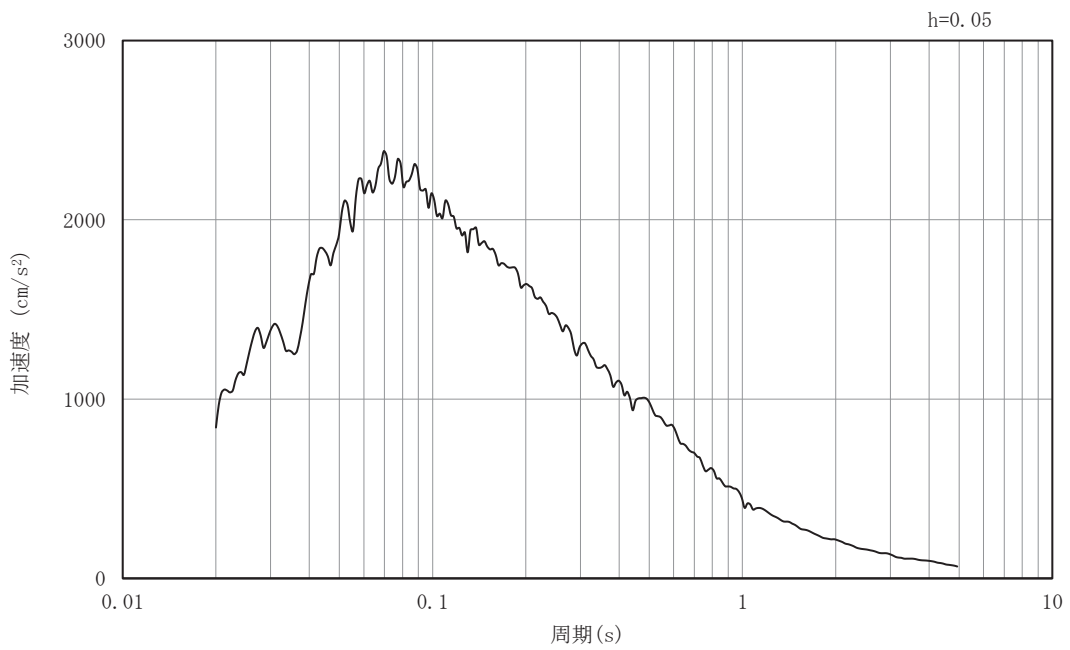


(b) 加速度応答スペクトル

図9-22 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(NS断面 鉛直成分：S s -D 1)

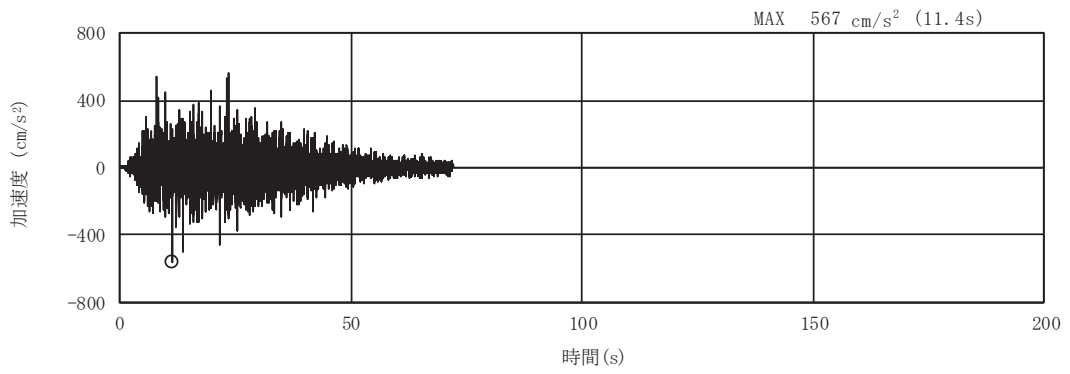


(a) 加速度時刻歴波形

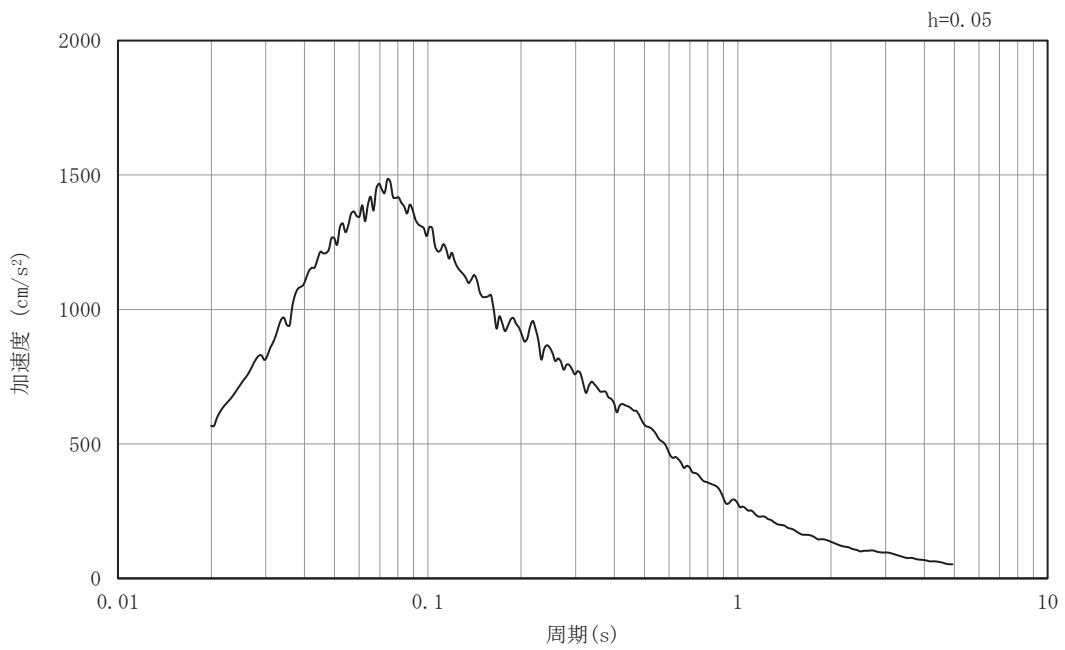


(b) 加速度応答スペクトル

図9-23 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(NS断面 水平成分：S s - D 2)

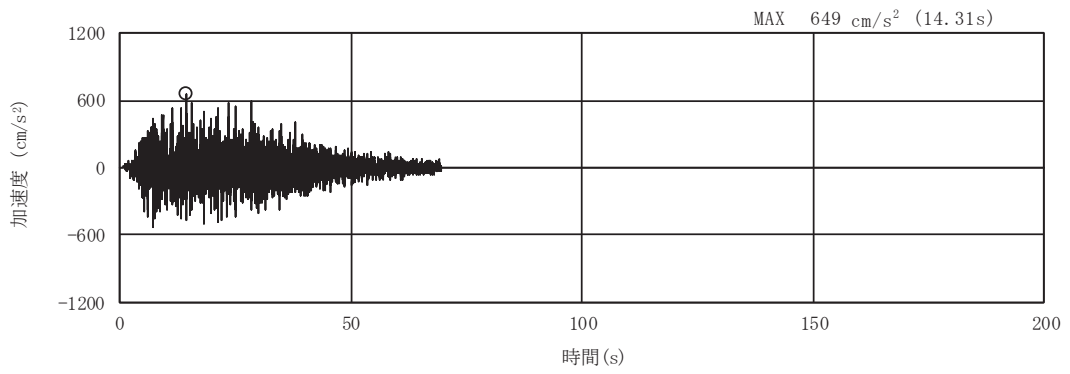


(a) 加速度時刻歴波形

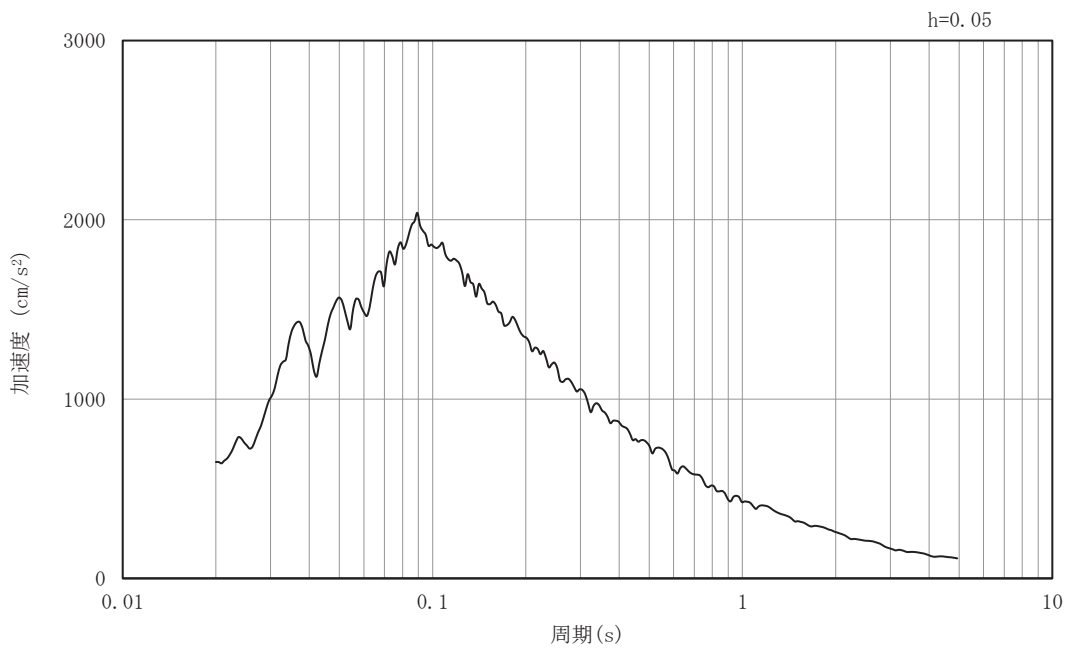


(b) 加速度応答スペクトル

図9-24 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(NS断面 鉛直成分: S s - D 2)

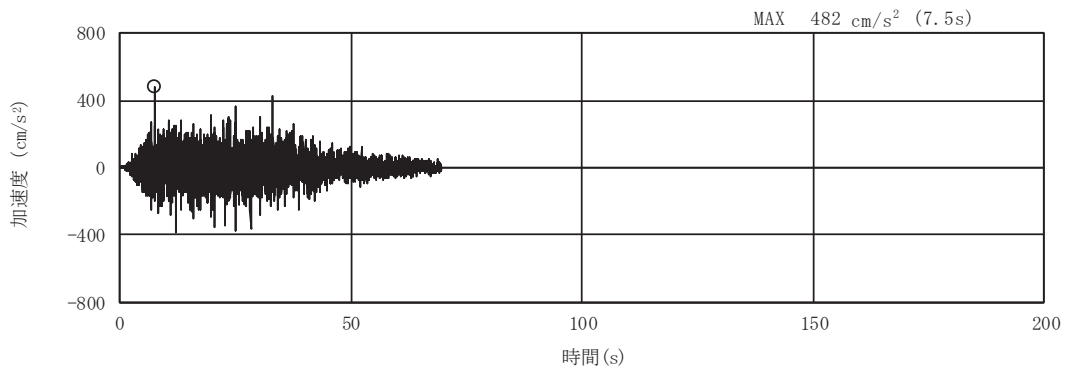


(a) 加速度時刻歴波形

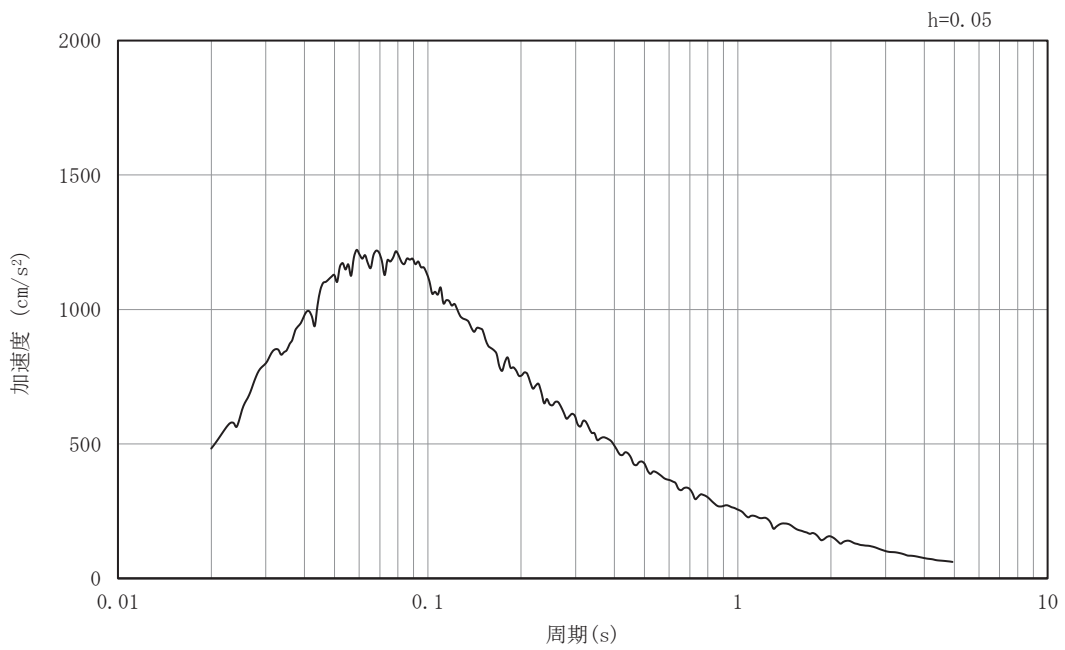


(b) 加速度応答スペクトル

図9-25 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(NS断面 水平成分：S s - D 3)

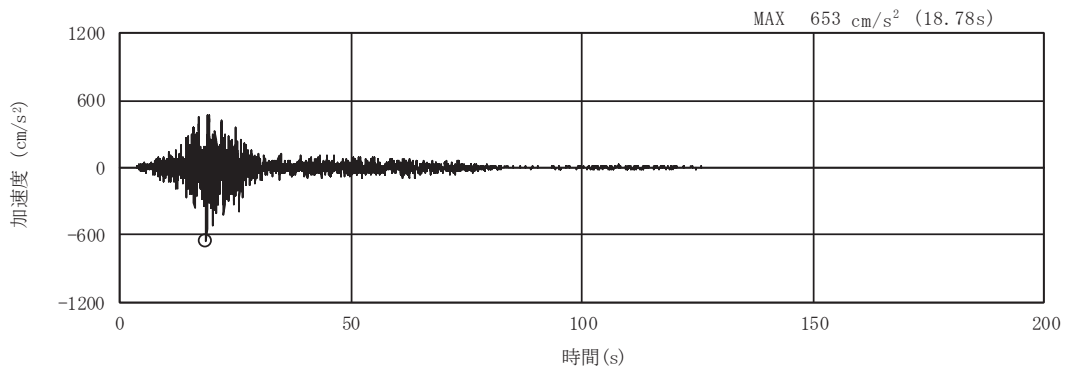


(a) 加速度時刻歴波形

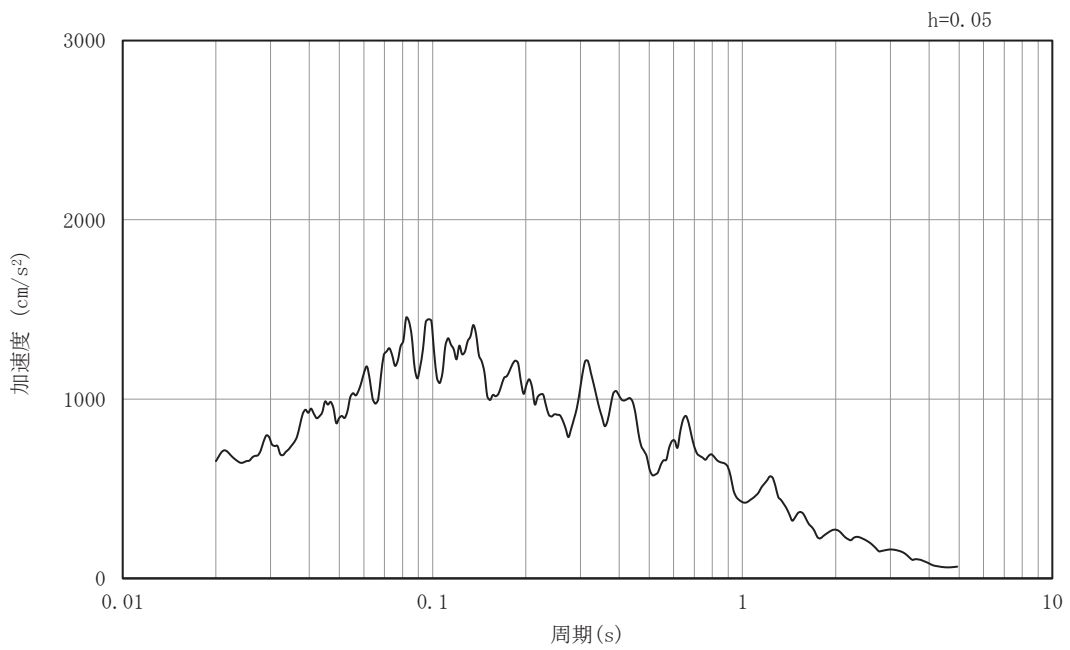


(b) 加速度応答スペクトル

図9-26 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(NS断面 鉛直成分：S s - D 3)

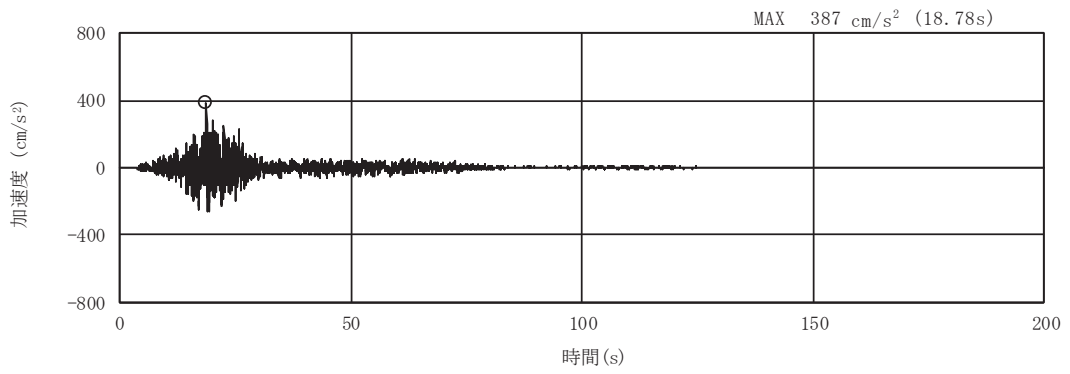


(a) 加速度時刻歴波形

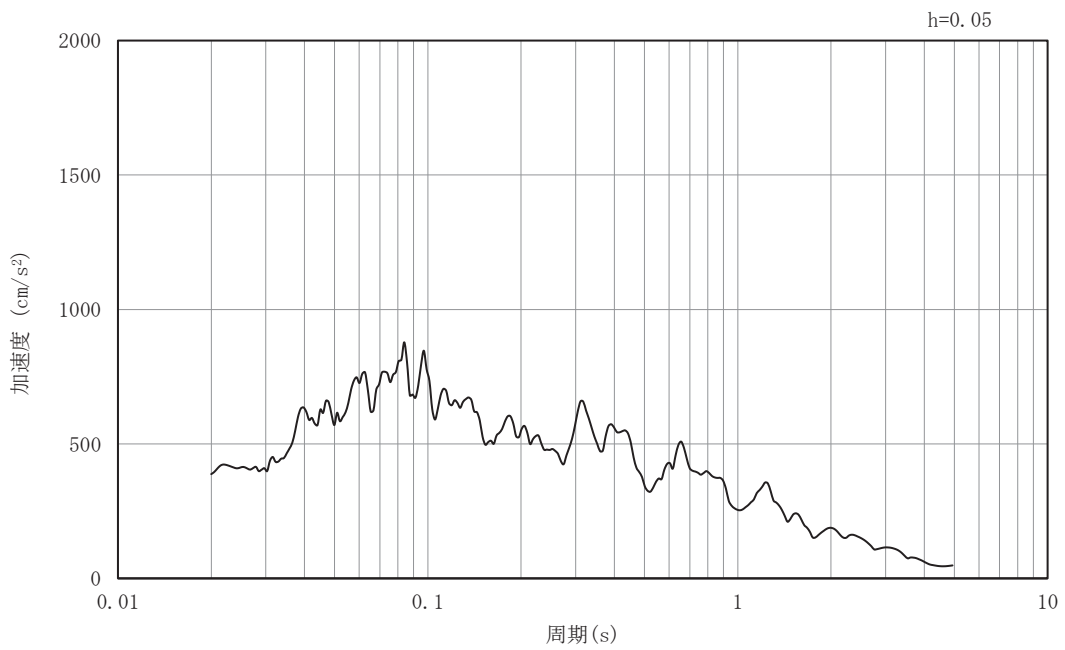


(b) 加速度応答スペクトル

図9-27 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(NS断面 水平成分：S s - F 1)

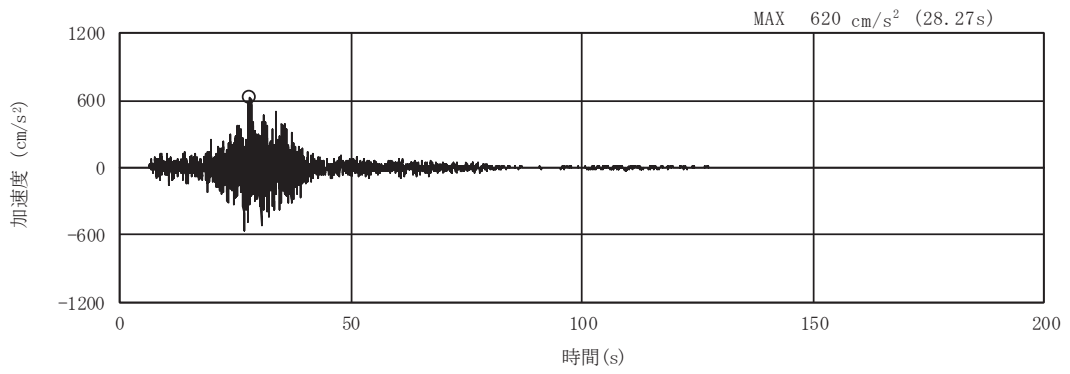


(a) 加速度時刻歴波形

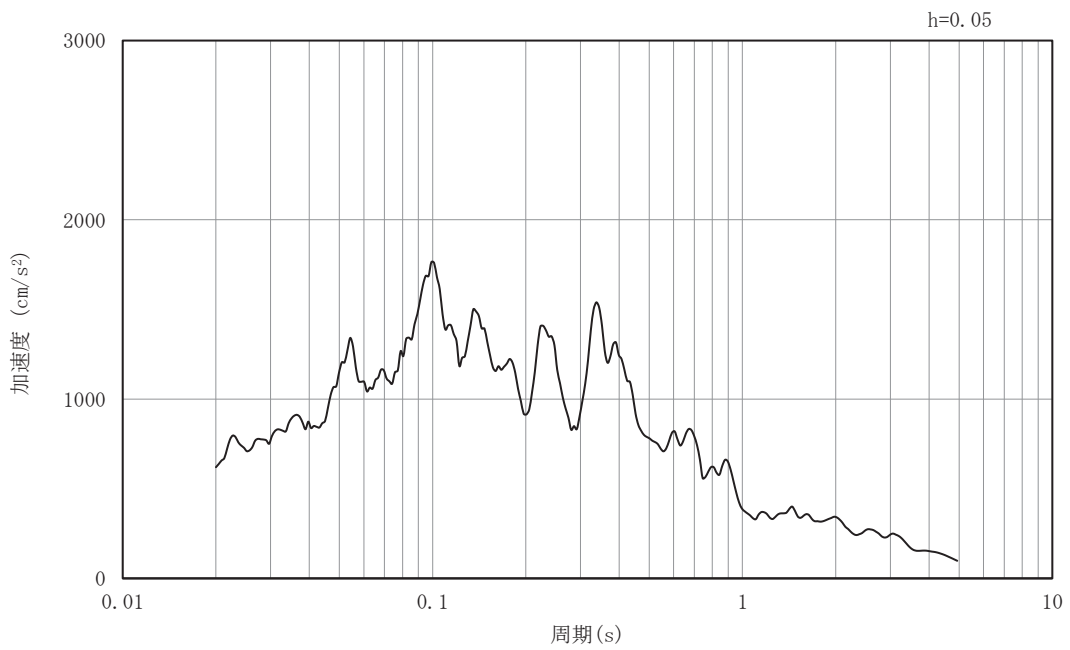


(b) 加速度応答スペクトル

図9-28 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(NS断面 鉛直成分：S s - F 1)

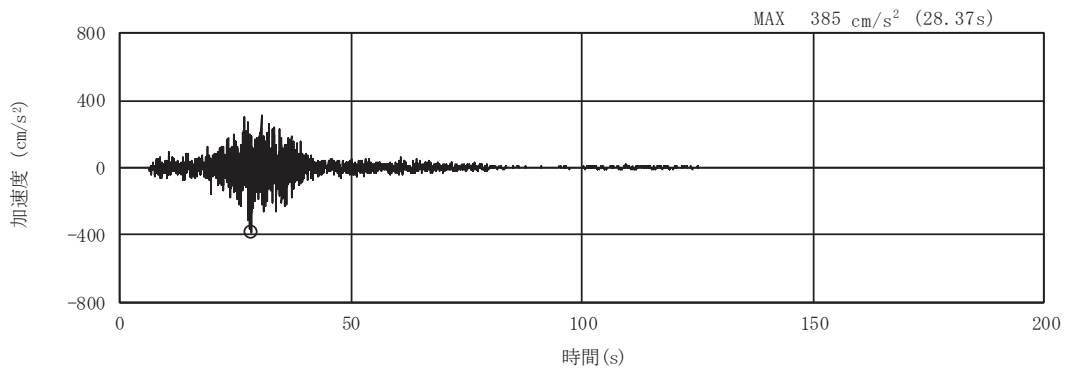


(a) 加速度時刻歴波形

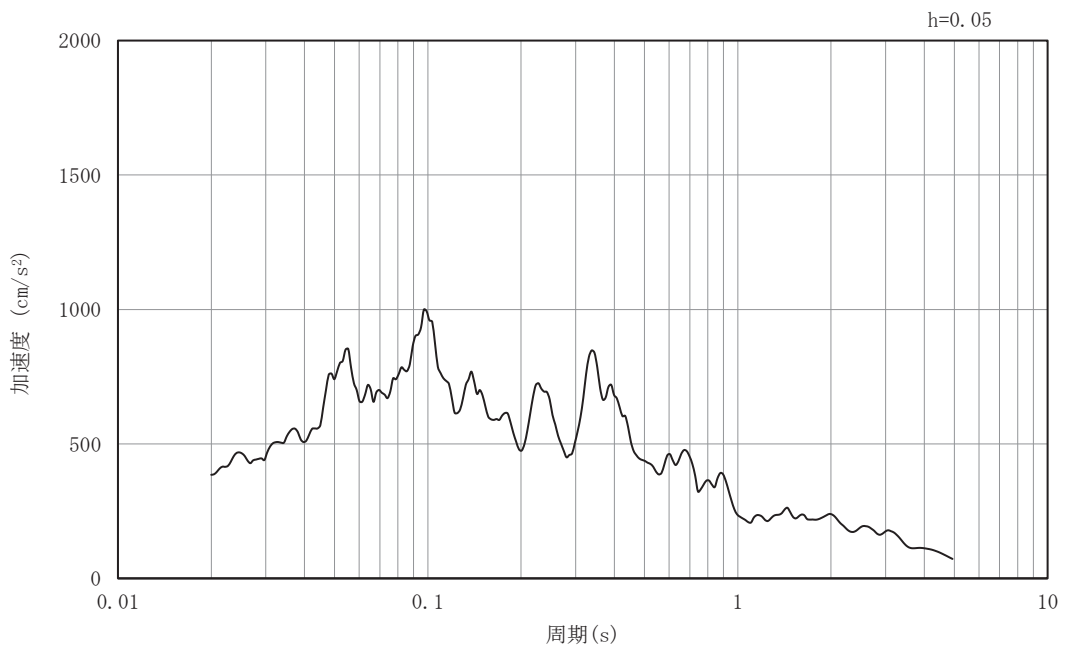


(b) 加速度応答スペクトル

図9-29 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(NS断面 水平成分：S s - F 2)

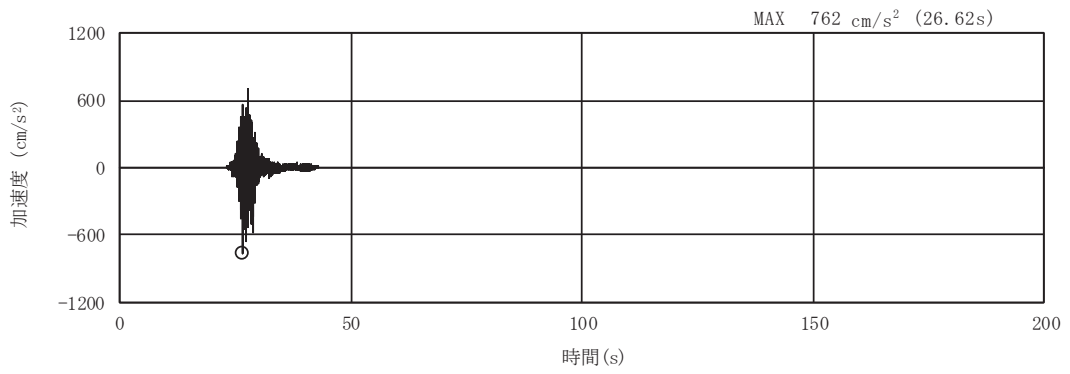


(a) 加速度時刻歴波形

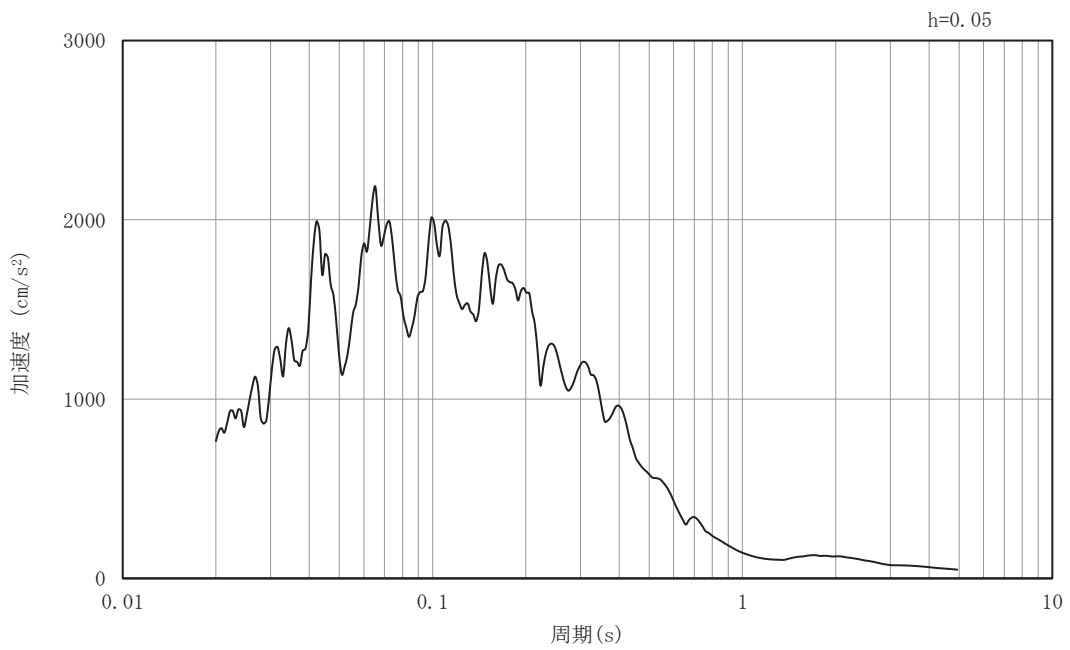


(b) 加速度応答スペクトル

図9-30 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(NS断面 鉛直成分：S s - F 2)

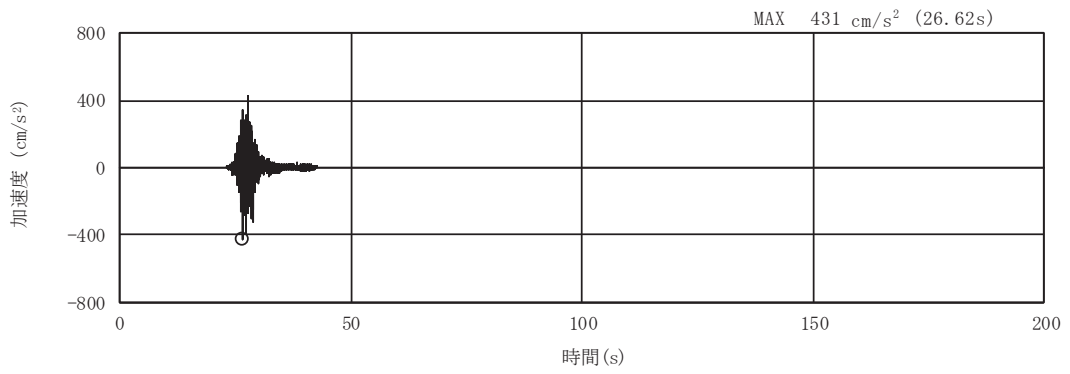


(a) 加速度時刻歴波形

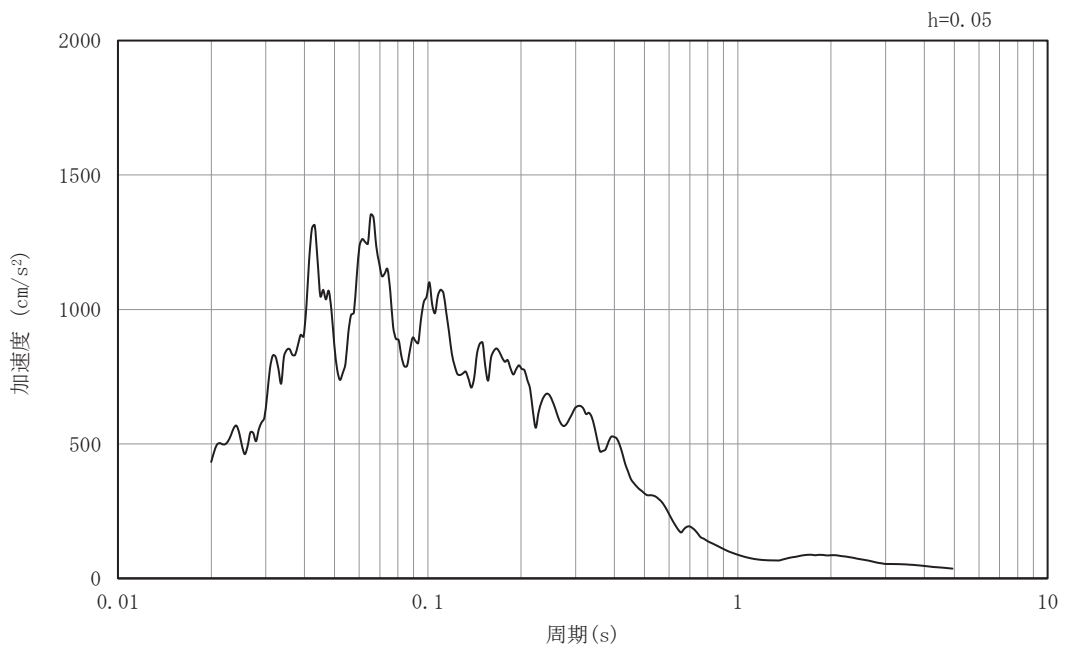


(b) 加速度応答スペクトル

図9-31 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(NS断面 水平成分：S s - F 3)

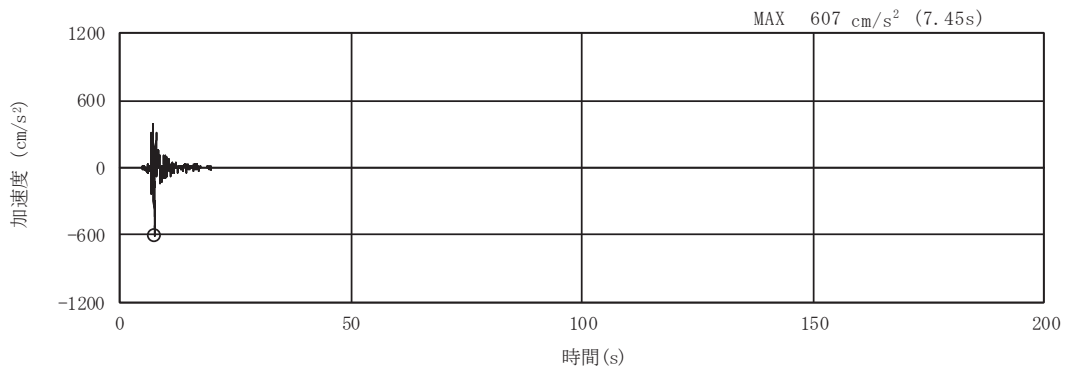


(a) 加速度時刻歴波形

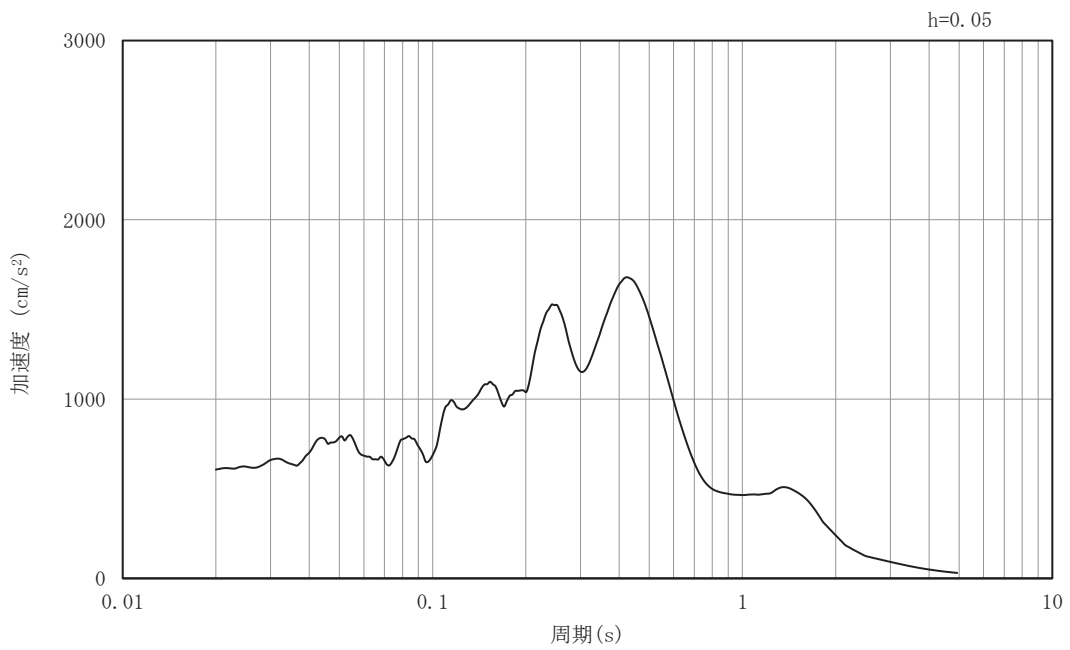


(b) 加速度応答スペクトル

図9-32 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(NS断面 鉛直成分：S s - F 3)

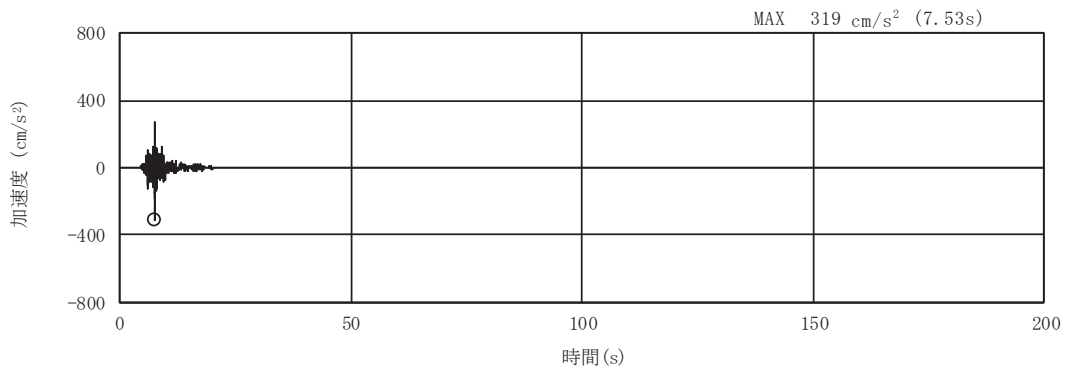


(a) 加速度時刻歴波形

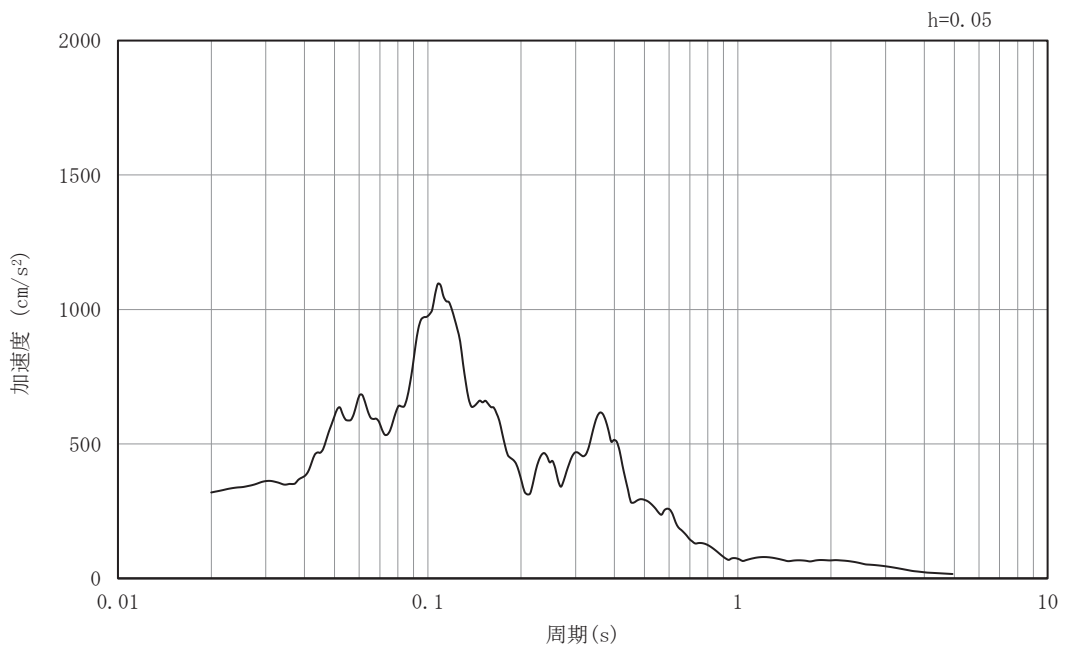


(b) 加速度応答スペクトル

図9-33 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(NS断面 水平成分: S s - N 1)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図9-34 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(NS断面 鉛直成分: S s - N 1)

9.5 解析モデル及び諸元

9.5.1 解析モデル

(1) 解析領域

二次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析モデルの解析領域は、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分に広い領域とする。

具体的には、原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）を参考に、図9-35に示すとおりモデル幅を構造物基礎幅の5倍程度以上、構造物下端からモデル下端までの高さを構造物幅の2倍程度以上確保する。

なお、解析モデルの境界条件は、側面及び底面ともに粘性境界とする。

地盤の要素分割については、波動をなめらかに表現するため、対象とする波長の5分の1程度を考慮し設定する。

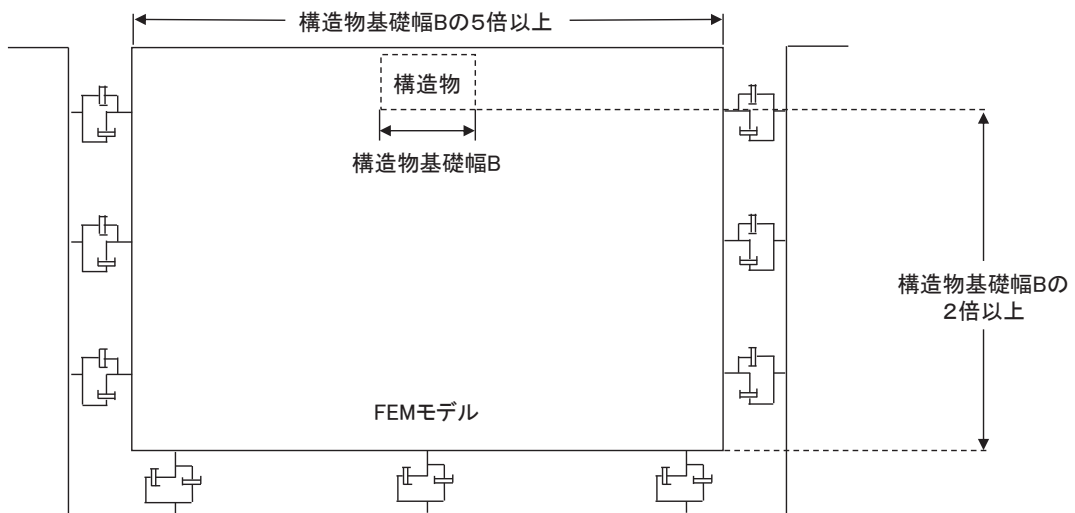


図9-35 モデル化範囲の考え方

(2) 境界条件

二次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析モデルの境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

第3号機補機冷却海水系放水ピットは断面形状に応じた断面諸元を有する構造はり（線形はり要素）によりモデル化する。

第3号機補機冷却海水系放水ピットの幅，並びに底版部の健全性等を適切に評価するため，水平方向には構造物寸法と等しい仮想剛はりを設置する。軸剛性及び曲げ剛性は線形はり要素の1000倍，質量はゼロとする。

構造物の解析モデル詳細を図9-36に示す。

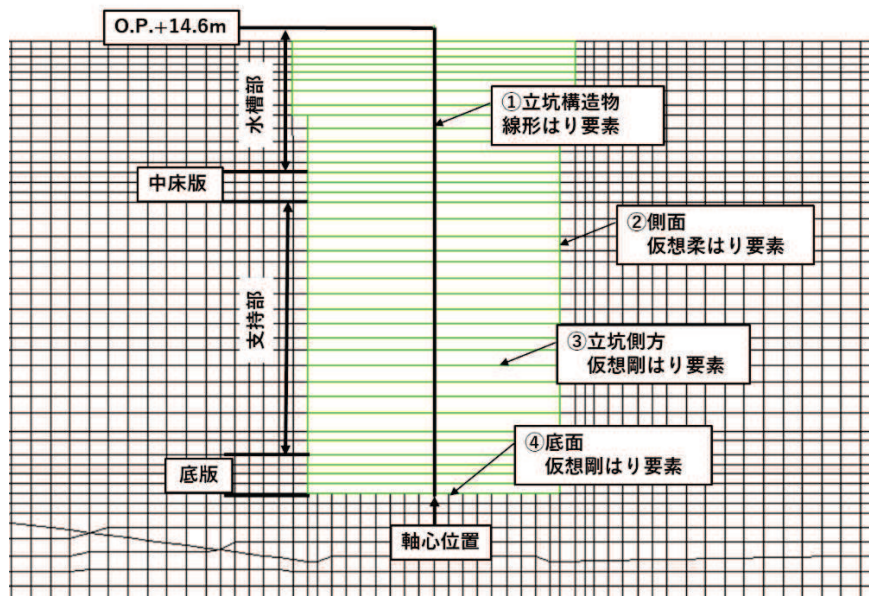


図9-36(1) 構造物の解析モデル(EW)

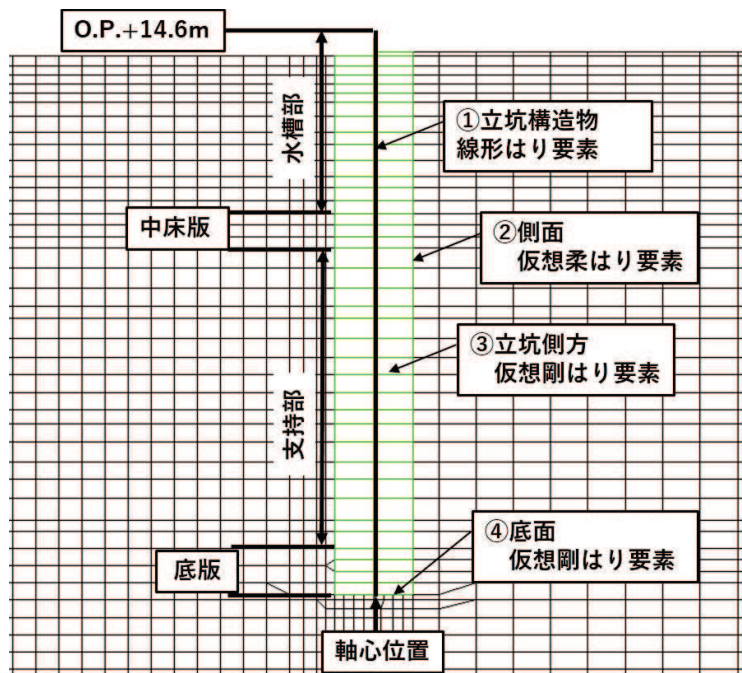


図9-36(2) 構造物の解析モデル(NS)

(4) 隣接構造物のモデル化

NS 方向において隣接構造物となる第 3 号機海水熱交換器建屋は、第 3 号機補機冷却海水系放水ピットと緩衝材を介して接しており、荷重の伝達を考慮する必要がある。そのため、第 3 号機海水熱交換器建屋と等価な剛性を付与させたモデルとする。構造部材については、平面応力要素によりモデル化する。

等価剛性モデルの設定方法は第 3 号機海水熱交換器建屋の S R モデルは添付資料「V-2-2-29 第 3 号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書」を参考に節点位置における変位と新たに作成した二次元平面応力要素モデルの変位が等しくなるようにコンクリートのせん断弾性係数を補正し、等価剛性モデルに付与する。剛性の調整方法を図 9-37 に、剛性の調整結果を図 9-38 に示す。

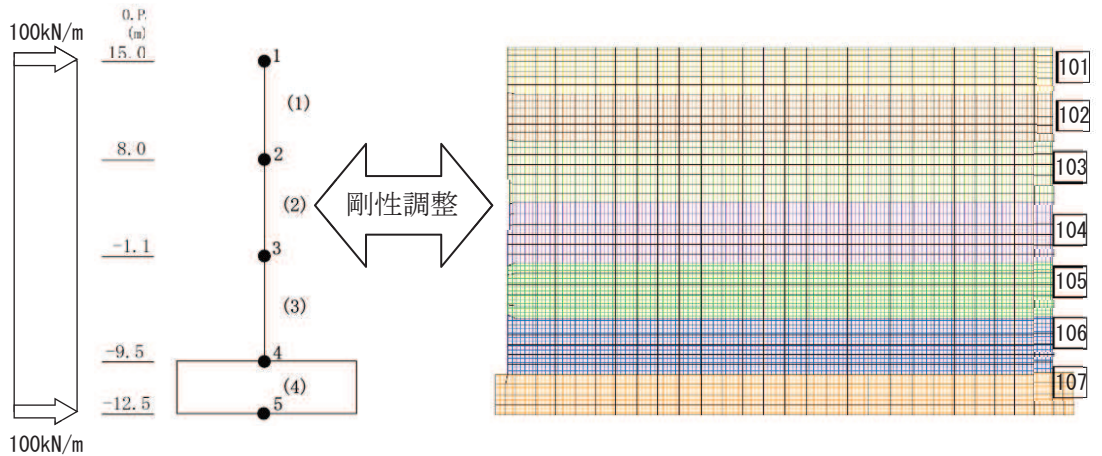


図 9-37 剛性の調整方法

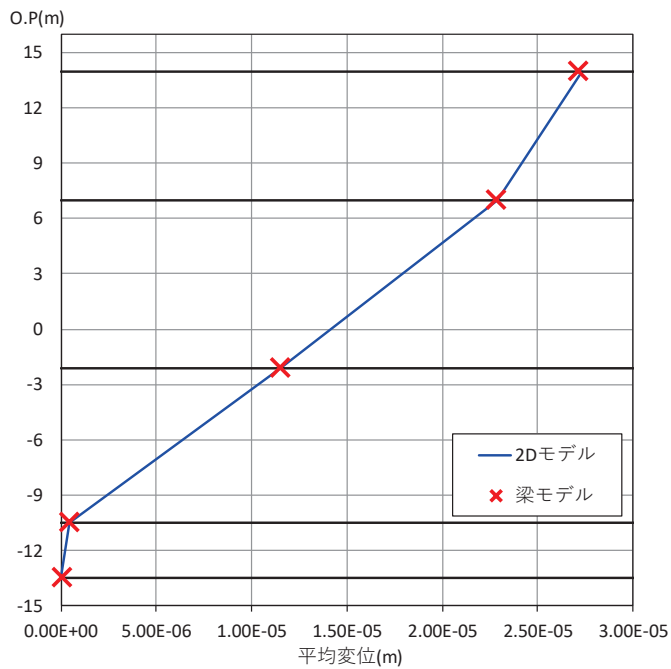


図 9-38 剛性の調整結果

(5) 地盤のモデル化

D級を除く岩盤は線形の平面ひずみ要素でモデル化する。また、盛土、旧表土及びD級岩盤は、地盤の非線形性をマルチスプリング要素で考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震応答解析モデルを図9-39～図9-40に示す。

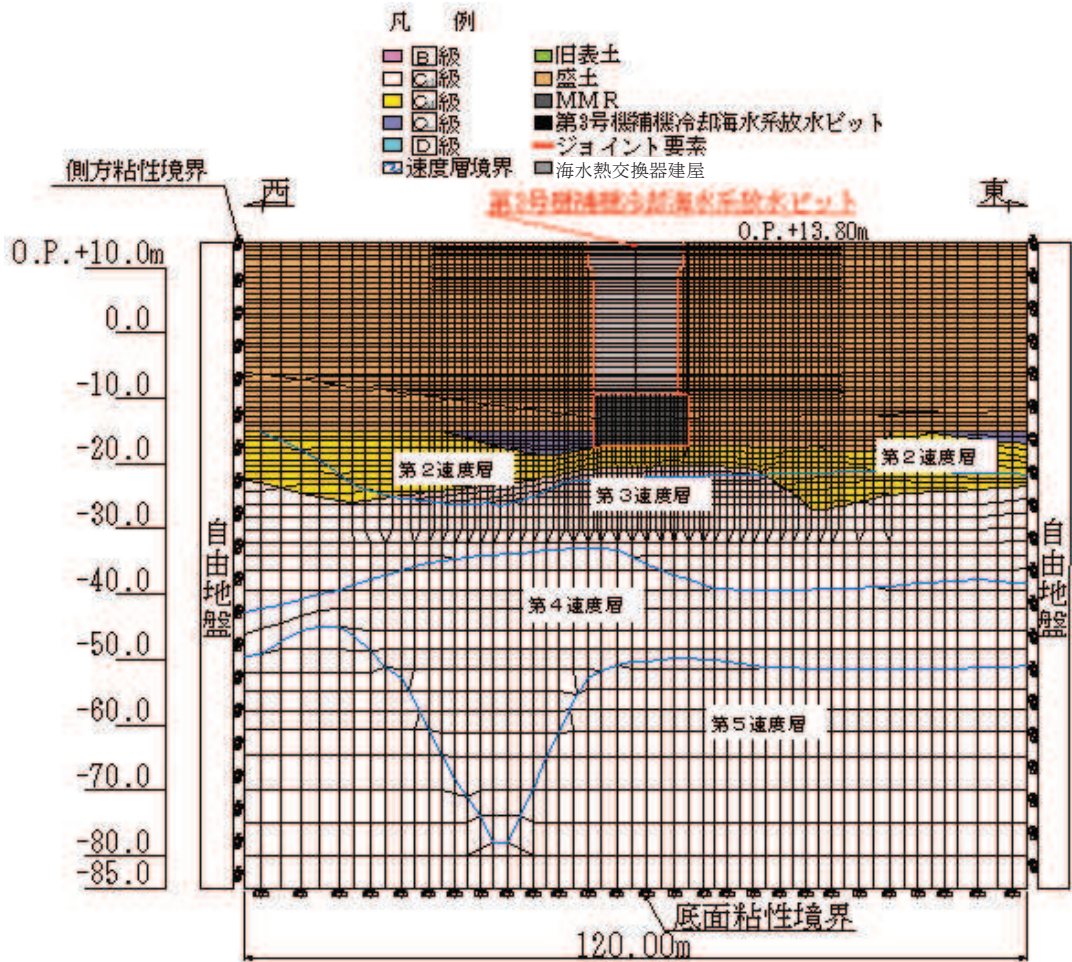


図9-39 第3号機補機冷却海水系放水ピットの地震応答解析モデル図 (EW断面)

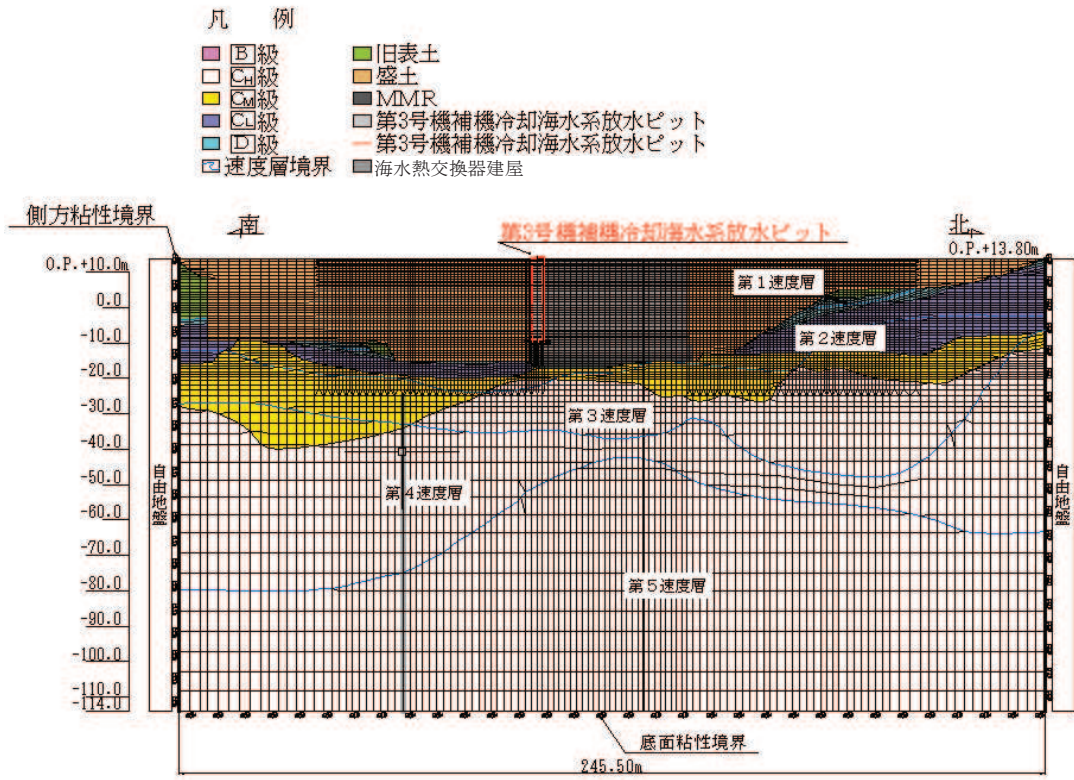


図 9-40 第 3 号機補機冷却海水系放水ピットの地震応答解析モデル図 (NS 断面)

(6) ジョイント要素の設定

地盤と構造体の接合面にジョイント要素を設けることにより，強震時の地盤と構造体の接合面における剥離及びすべりを考慮する。

ジョイント要素は，地盤と構造体の接合面で法線方向及びせん断方向に対して設定する。法線方向については，引張が生じた場合，剛性及び応力をゼロとし，剥離を考慮する。せん断方向については，地盤と構造体の接合面におけるせん断抵抗力以上のせん断荷重が生じた場合，せん断剛性をゼロとし，すべりを考慮する。

せん断強度 τ_f は次式の Mohr-Coulomb 式により規定される。粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ は周辺地盤の c ， ϕ とし，添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき表 9-5 のとおりとする。また，要素間の粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ は，境界の各強度のうちせん断強度が小さい地盤強度を設定する。

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi$$

ここで，

τ_f : せん断強度 (kN/m²)

c : 粘着力 (kN/m²)

ϕ : 内部摩擦角 (度)

σ' : 破壊面の直応力 (kN/m²)

表 9-5 周辺地盤との境界に用いる強度特性

周辺の状況	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (度)
盛土 ^{*1}	100.0	33.9
盛土 ^{*2}	60.0	30.0
旧表土 ^{*1}	0.0	38.7
旧表土 ^{*2}	80.0	26.2
D級	100.0	24.0
C ₁ 級	460.0	44.0
C ₂ 級	780.0	50.0
C ₃ 級	1290.0	54.0
既設MR	3104.4	40.0
新設MR	6000.0	40.0

注記*1：地下水位以浅

*2：地下水位以深

ジョイント要素のばね定数は、数値解析上、不安定な挙動を起こさない程度に十分な値とし、松本らの方法（松本ら：基礎構造物における地盤・構造物境界面の実用的な剛性評価法，応用力学論文集 Vol.12 pp1061-1070，2009）に従い，表 9-6 のとおり設定する。
 ジョイント要素の力学特性を図 9-41 に示す。

表 9-6 ジョイント要素のばね定数

地盤	せん断剛性 k_s (kN/m^3)	圧縮剛性 k_n (kN/m^3)
盛土	1.0×10^6	1.0×10^6
岩盤	1.0×10^7	1.0×10^7

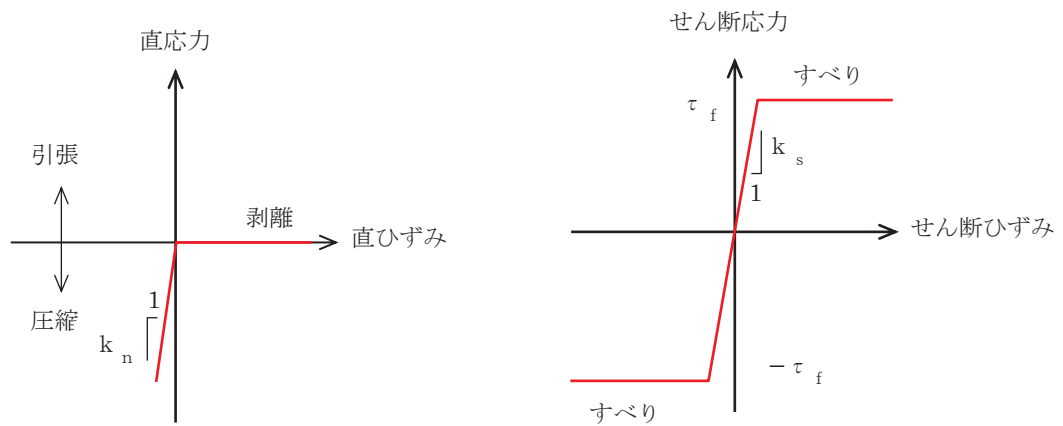


図 9-41 ジョイント要素の力学特性

第3号機補機冷却海水系放水ピットは第3号機海水熱交換器建屋と緩衝材を介して接しており、この間にも境界条件としてジョイント要素を設置して圧縮力の伝達を考慮している。この間のジョイント要素のばね定数を表9-7に示す。圧縮剛性の第一勾配は緩衝材の剛性から設定し、緩衝材の厚さ(10cm)までの変位に対して適用する。第二勾配は数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きい値として設定し、緩衝材の厚さ以上の変位が生じた場合、衝突を考慮する。力学特性を図9-42に、ジョイント要素の配置図を図9-43に示す。

表9-7 第3号機補機冷却海水系放水ピットと第3号機海水熱交換器建屋間のジョイント要素のばね定数

緩衝材厚さ	圧縮剛性 (第一勾配) k_{n1} (kN/m^3)	圧縮剛性 (第二勾配) k_{n2} (kN/m^3)
10cm	$6.9 \times 10^{3*}$	1.0×10^7

注記* : 緩衝材の剛性から設定

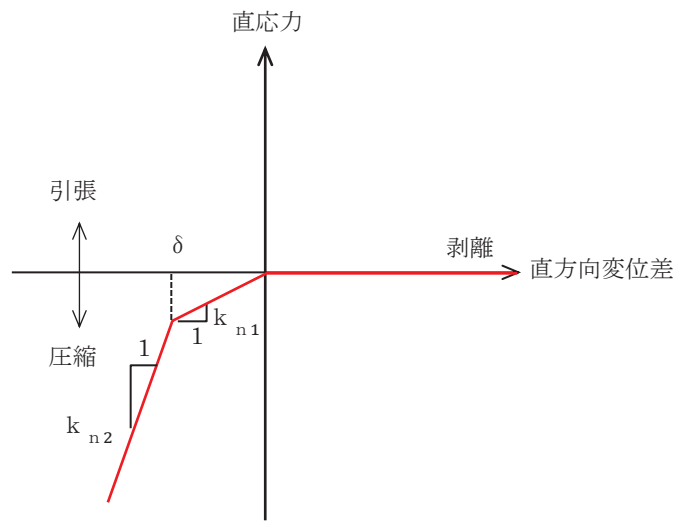


図9-42 第3号機補機冷却海水系放水ピットと第3号機海水熱交換器建屋間のジョイント要素の力学特性

凡 例

- | | |
|---------|--------------------|
| ■ B級 | ■ 旧表土 |
| □ CH級 | ■ 盛土 |
| ■ CM級 | ■ MMR |
| ■ CL級 | □ 第3号機補機冷却海水系放水ピット |
| ■ D級 | — ジョイント要素 |
| □ 速度層境界 | ■ 海水熱交換器建屋 |

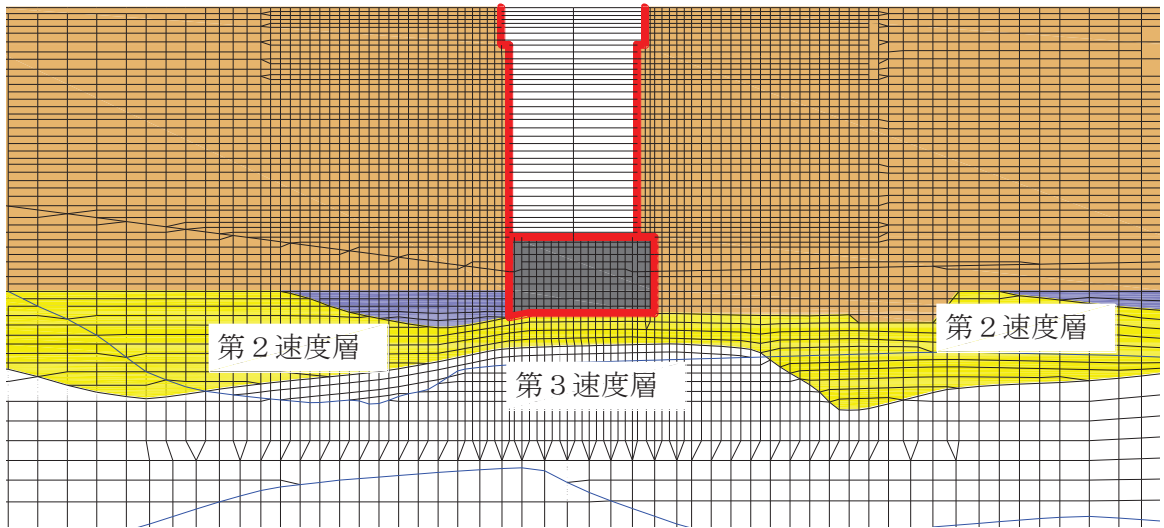


図9-43(1) ジョイント要素の配置図 (EW断面)

凡 例

- | | |
|---------|--------------------|
| ■ B級 | ■ 旧表土 |
| □ CH級 | ■ 盛土 |
| ■ CM級 | ■ MMR |
| ■ CL級 | □ 第3号機補機冷却海水系放水ピット |
| ■ D級 | — ジョイント要素 |
| □ 速度層境界 | ■ 海水熱交換器建屋 |

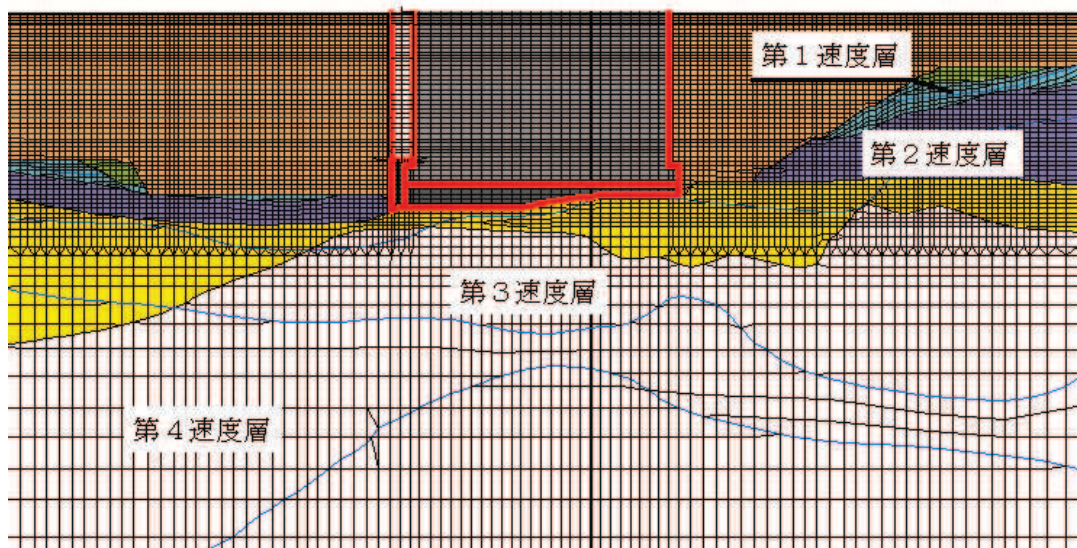


図9-43(2) ジョイント要素の配置図 (NS断面)

9.5.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 9-8 に、材料の物性値を表 9-9 に示す。

表 9-8 使用材料

材料	仕様
コンクリート	設計基準強度 50.0N/mm ²
鉄筋	SD345, SD490

表 9-9 材料の物性値

材料	項目		材料諸元	備考
鉄筋コンクリート	単位体積重量 (kN/m ³)		24.0	
コンクリート	ヤング係数 (N/mm ²)	設計基準強度	3.30×10 ⁴	解析ケース ①, ②, ③
	ポアソン比			

9.5.3 地盤の物性値

地盤については、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

9.5.4 地下水位

設計用地下水位は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。設計用地下水位の一覧を表 9-10 に、設計用地下水位を図 9-44～図 9-45 に示す。

表 9-10 設計用地下水位の一覧

施設名称	地震時荷重算出断面	設計用地下水位
第 3 号機補機冷却海水系 放水ピット	EW 断面	O. P. -13.00m～O. P. -6.00m
	NS 断面	O. P. -14.00m～O. P. -4.875m

凡 例

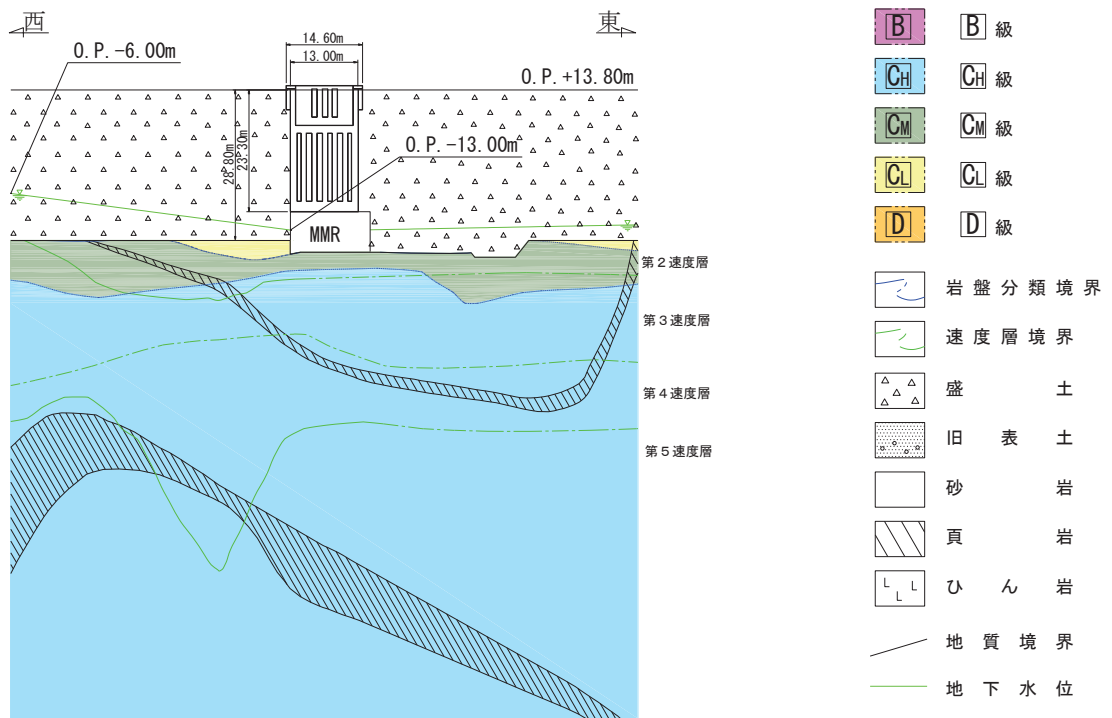


図 9-44 設計用地下水位 (EW 断面)

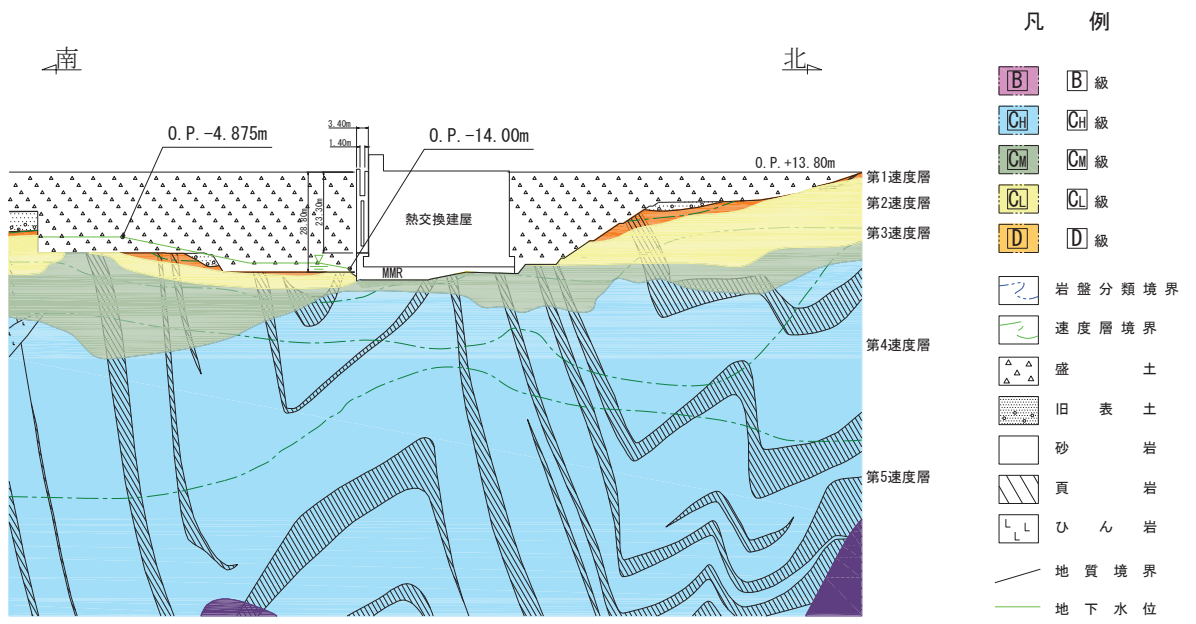


図 9-45 設計用地下水位 (NS 断面)

9.6 地震応答解析結果

9.6.1 浸水防止蓋の変形性評価に用いる EW 断面の解析結果

基準地震動 S s に対する，第 3 号機補機冷却海水系放水ピット天端位置での地震時最大応答変位結果を表 9-11 に示す。

表 9-11 地震時最大応答変位結果 (EW 断面)

地震動名		最大応答変位 (mm)			
		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
S s-D1	++	59			
	-+	55			
S s-D2	++	52			
	-+	56			
S s-D3	++	48			
	-+	46			
S s-F1	++	74			
	-+	72			
S s-F2	++	77			
	-+	70			
S s-F3	++	38			
	-+	36			
S s-N1	++	130			
	-+	137	135	136	136

今回ケース①により得られた最大応答変位と第 3 号機海水熱交換器建屋の地震応答解析により得られた最大応答変位の合計値が最大であった地震動 (S s-N1 (-+)) のケース②~④を実施。

9.6.2 浸水防止蓋の変形性評価に用いる NS 断面の解析結果

基準地震動 S_s に対する，第 3 号機補機冷却海水系放水ピット天端位置での地震時最大応答変位結果を表 9-12 に示す。

表 9-12 地震時最大応答変位結果 (NS 断面)

地震動名		最大応答変位 (mm)			
		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
S _s -D1	++	42			
	-+	40			
S _s -D2	++	43			
	-+	45	42	43	45
S _s -D3	++	37			
	-+	41			
S _s -F1	++	42			
	-+	38			
S _s -F2	++	42			
	-+	44			
S _s -F3	++	26			
	-+	46			
S _s -N1	++	51	49	51	52
	-+	45			

今回ケース①により得られた最大応答変位と第 3 号機海水熱交換器建屋の地震応答解析により得られた最大応答変位の合計値が最大であった地震動 (S_s-D2 (-+)) のケース②~④を実施。また，ケース①で最大応答変位となった地震動 (S_s-N1 (++)) のケース②~④を実施。

10. 耐震評価

10.1 構造部材の健全性及び止水機能に対する評価方法

10.1.1 評価方針

第3号機補機冷却海水系放水ピットの詳細設計フローを図10-1、各部材評価で照査対象とする鉄筋を図10-2、各部材評価で照査対象とする鉄筋種別概念を図10-3、各部材評価で照査対象とする鉄筋を表10-1に示す。

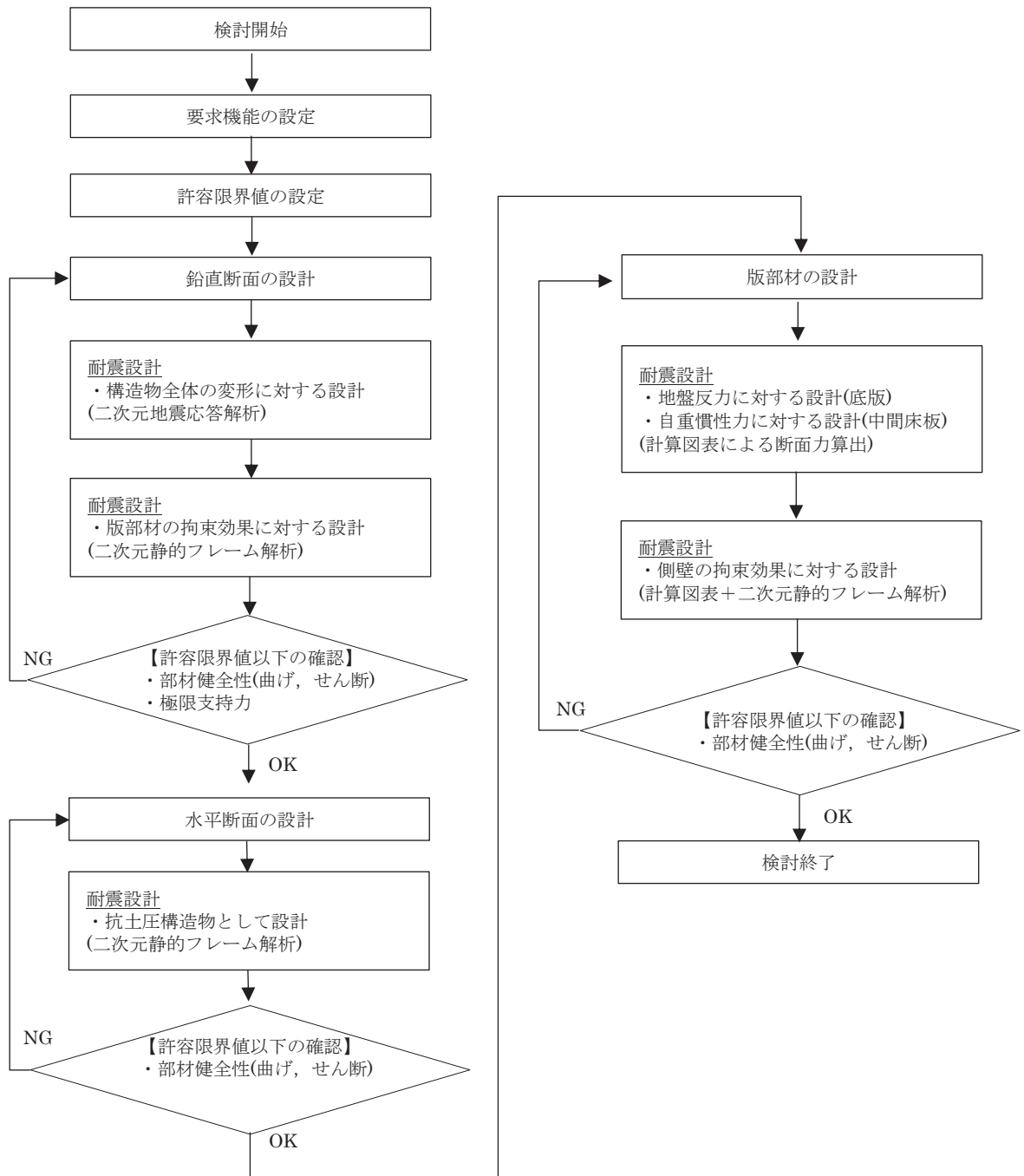
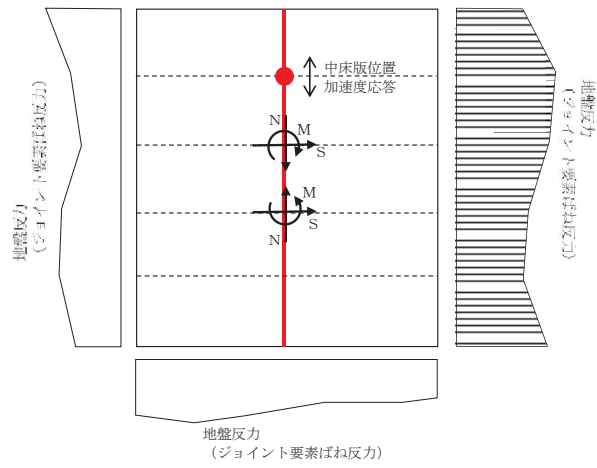
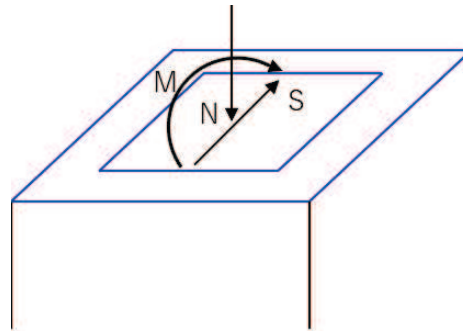


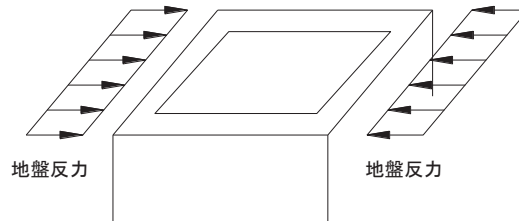
図10-1 詳細設計フロー



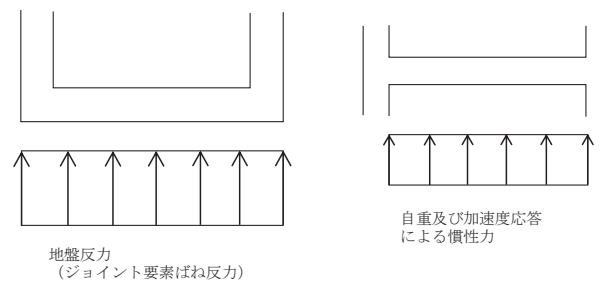
a) 二次元地震応答解析からの応答値の抽出



b) 鉛直方向梁要素の鉛直断面設計



c) 水平断面の設計 (二次元静的フレーム計算)



d) 中床版及び底版の設計

図 10-2 部材評価概念図

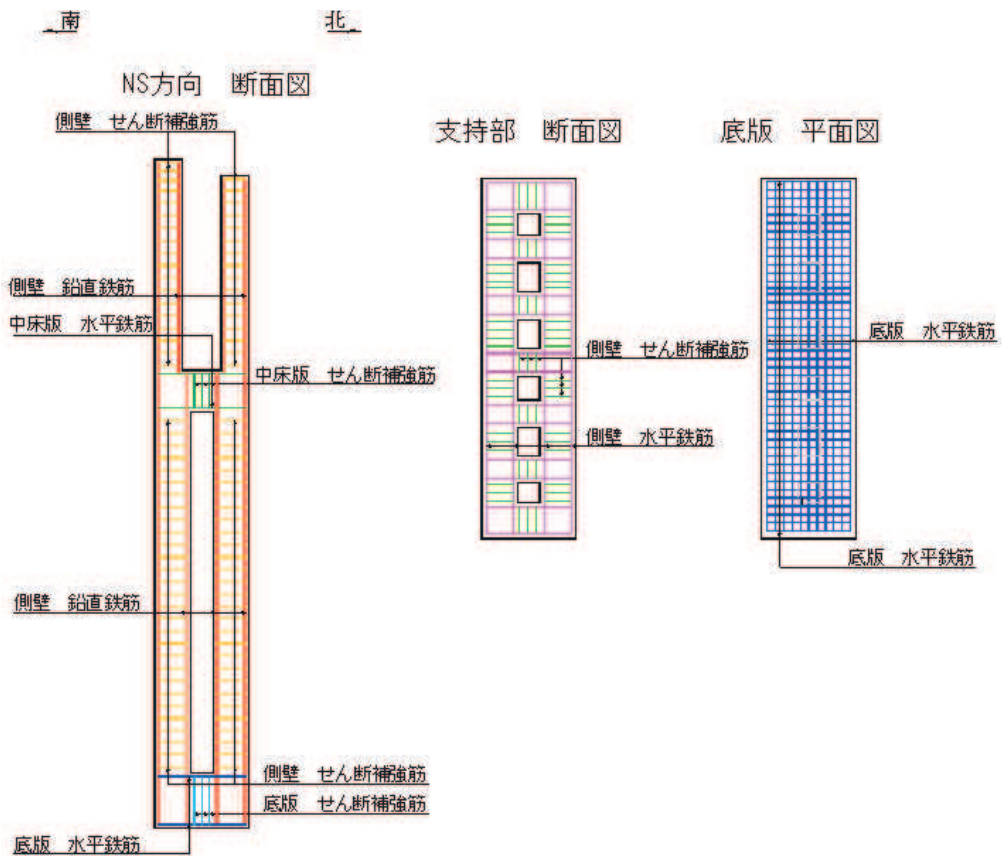


図 10-3 各部材評価で照査対象とする鉄筋種別概念図

表 10-1 各部材評価で照査対象とする鉄筋

部材	照査対象鉄筋	記号	部材評価	備考
側壁	鉛直鉄筋	—	構造物線形はり要素の鉛直断面設計(曲げ軸力)	
	水平鉄筋	—	構造物線形はり要素の鉛直断面設計(せん断力)	*
			水平断面の設計(曲げ軸力)	
	せん断補強筋	—	水平断面の設計(せん断力)	
底版	水平鉄筋	—	底版の設計(曲げモーメント)	
	せん断補強筋	—	底版の設計(せん断力)	
中床版	水平鉄筋	—	中床版の設計(曲げモーメント)	
	せん断補強筋	—	中床版の設計(せん断力)	

注記*：側壁における水平方向の鉄筋の設計について、二次元地震応答解析モデルにおける側壁の面内方向のせん断力に対するせん断力照査で設計する水平鉄筋（面内方向のせん断補強筋）と、水平断面フレーム解析モデルにおける同側壁の面外方向の最大荷重に対する曲げ軸力照査で設計する水平鉄筋（主鉄筋）は同じ方向の鉄筋であり、両設計で算定される必要水平鉄筋量を足し合わせた合計必要水平鉄筋量以上を同側壁の面内方向に配置する。これとともに、水平断面フレーム解析モデルにおける同側壁の面外方向の最大荷重に対するせん

断力照査で設計するせん断補強筋を同側壁の面外方向に配置する。

本構造物は南北方向よりも東西方向の寸法が大きく、隔壁等の配置から弱軸方向、強軸方向が明確である。そのため、評価は弱軸方向である南北方向で行い、上記の設計計算により面内方向の合計必要鉄筋量以上の鉄筋を、強軸方向である東西方向にも配置するものとする。

10.1.2 評価対象断面の方向

本構造物の位置を図 10-4 に示す。

本構造物は大きく分けて放流水を一時的に貯留する区画（水槽部）、それを支持する区画（支持部）に分けられ、それぞれの区画に南北方向に複数の隔壁を有する箱型構造物である。また外形寸法は南北方向が 3.4m であるのに対して東西方向の寸法は 13.0m である。これらから弱軸断面方向、強軸断面方向は明確であり、評価対象断面は南北方向とする。南北方向の設計計算により算出された必要鉄筋量以上の鉄筋を構造物全周に配置するものとする。

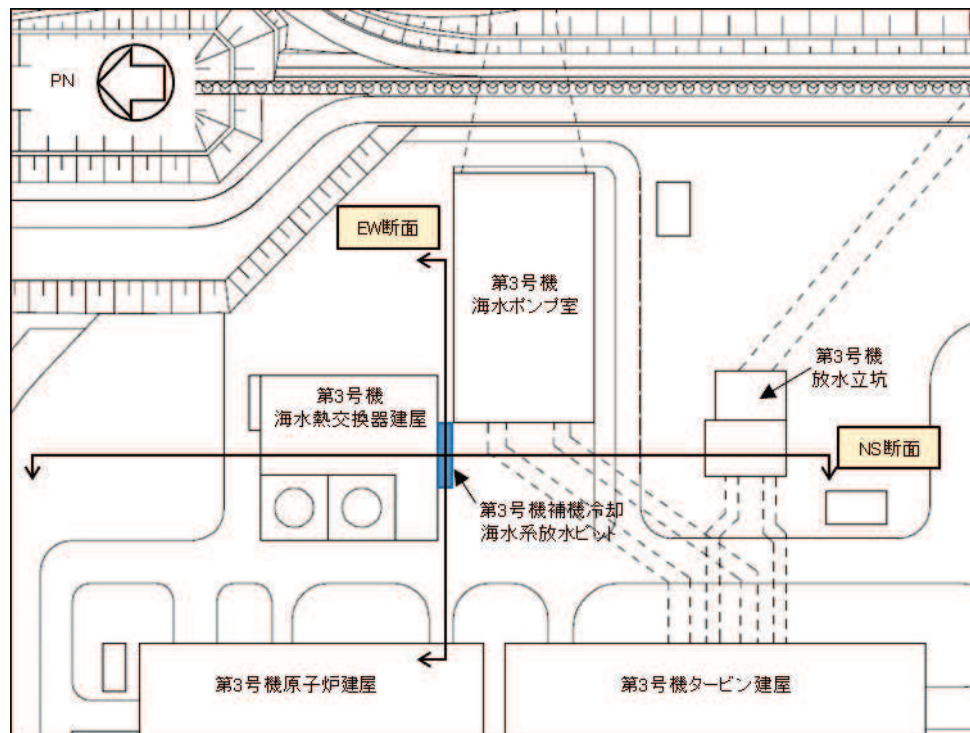


図 10-4 第 3 号機補機冷却海水系放水ピット平面配置図

10.1.3 鉛直断面に対する耐震評価

(1) 鉛直断面の曲げ軸力に対する評価

第3号機補機冷却海水系放水ピットは選定された断面（南北方向）を解析断面として選定し、二次元地震応答解析を実施し部材の設計を行う。鉛直鉄筋は二次元地震応答解析において算出される線形はり要素の発生断面力（曲げモーメント及び軸力）を用いて照査を行い、構造部材の曲げ軸力による発生応力が許容限界以下であることを確認する。図10-5に線形はり要素の鉛直断面設計概念図を示す。

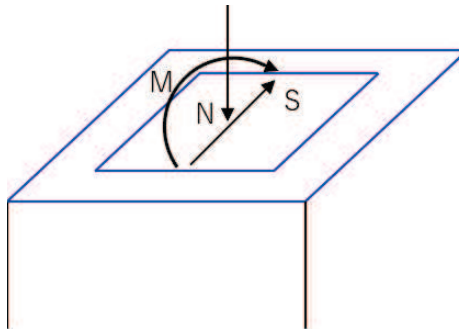


図10-5 線形はり要素の鉛直断面設計概念図

図10-6に鉛直鉄筋配置の概念図を示す。鉛直鉄筋を配置する範囲は長辺方向の側壁内とする。側壁の開口幅は側壁よりも大きいため、この区間は開口部以外に配置される鉄筋のみを有効として照査を行うことで開口の影響を考慮する。

なお、ここに示されていない区間（南北方向側壁及び隔壁）の鉛直鉄筋は南北方向の設計計算により算出された必要鉄筋量と同じ鉄筋量とする。

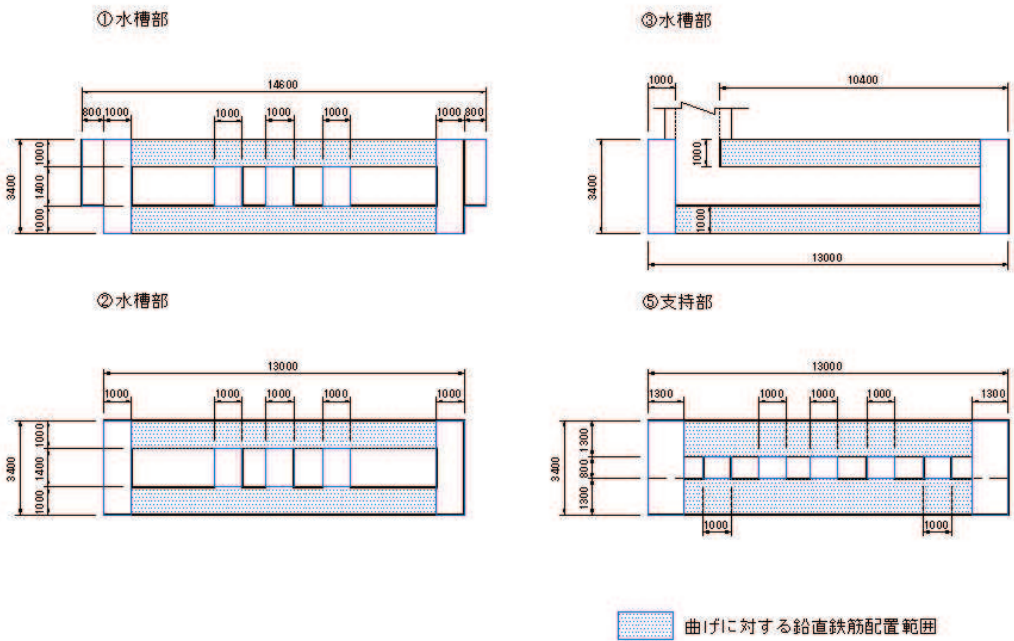
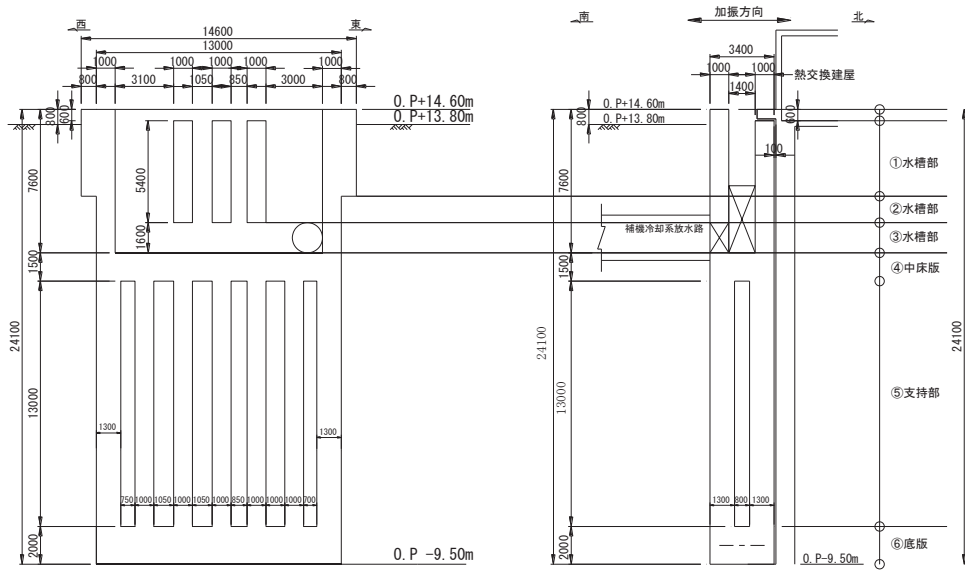


図 10-6 鉛直鉄筋配置概念図

(2) 鉛直断面のせん断力に対する評価

鉛直断面のせん断照査については、発生せん断力（ S ）に対して図 10-7 に示す有効断面積（ A_w ， 図中赤塗範囲）で抵抗するものとし、せん断応力度 τ が「日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・III コンクリート橋編」に示される短期許容せん断応力度 τ_{a1} 以下である場合にはせん断補強筋は不要である。

短期許容せん断応力度 τ_{a1} を超える場合はせん断補強筋（ A_{s1} ）が必要となり、二次元地震応答解析により算出される線形はり要素の発生せん断力を用いて照査を行い、構造部材の発生せん断力が鉄筋コンクリートとしての許容限界すなわち短期許容せん断力 V_a 以下であることを確認する。

本構造物を 1 本の線形はりとしてモデル化した場合、加振方向の側壁（耐震壁）ははり要素のウェブとして機能する。はり要素に発生する面外せん断力に対し、はり要素のウェブでせん断に抵抗するものとし、はり要素のせん断応力度 τ を算定する。このときの A_w ははりの有効せん断面積（＝ウェブの断面積）である。

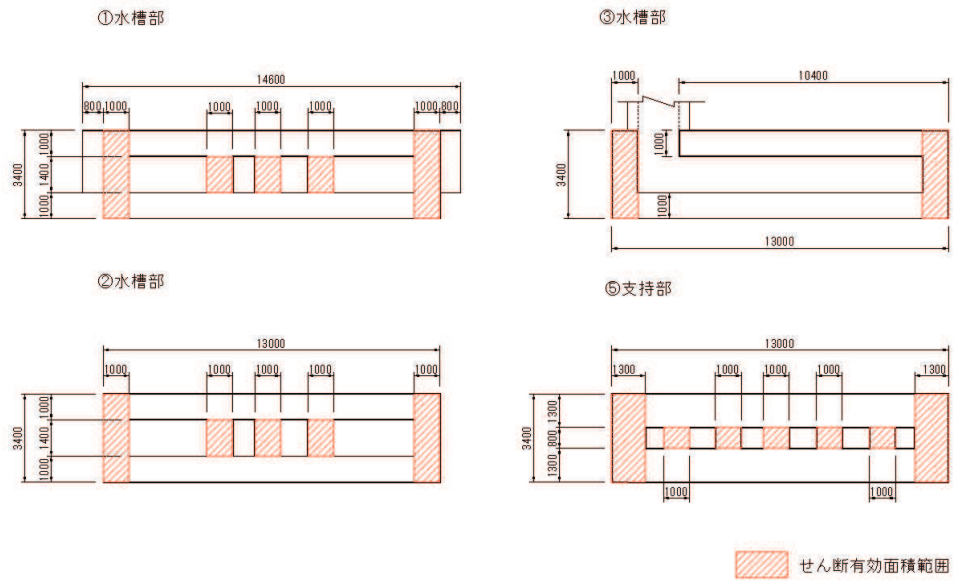
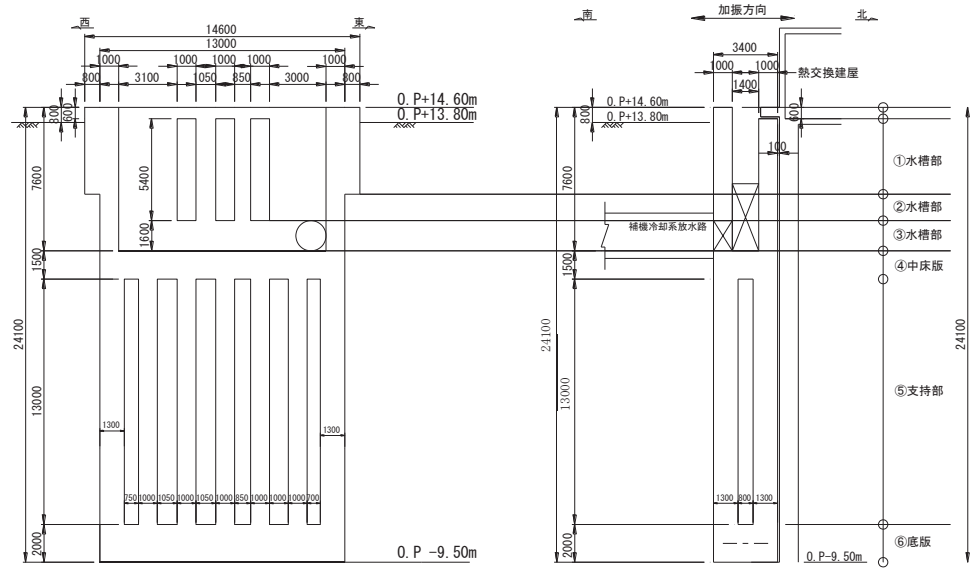


図 10-7 せん断有効断面積概念図

(3) 版部材が側壁を固定することによる隅角部の評価（曲げ）

側壁と版部材の隅角部には，各部材の剛性に起因する端曲げが発生するために，隅角部における曲げモーメントの廻り込みに対する影響検討を行う。

a. 版部材の拘束効果による側壁の検討

図 10-8 に版部材から側壁に廻り込む曲げモーメントを算定する場合の概念図を，図 10-9 にはり要素の設置する形状ばねの算出方法を示す。

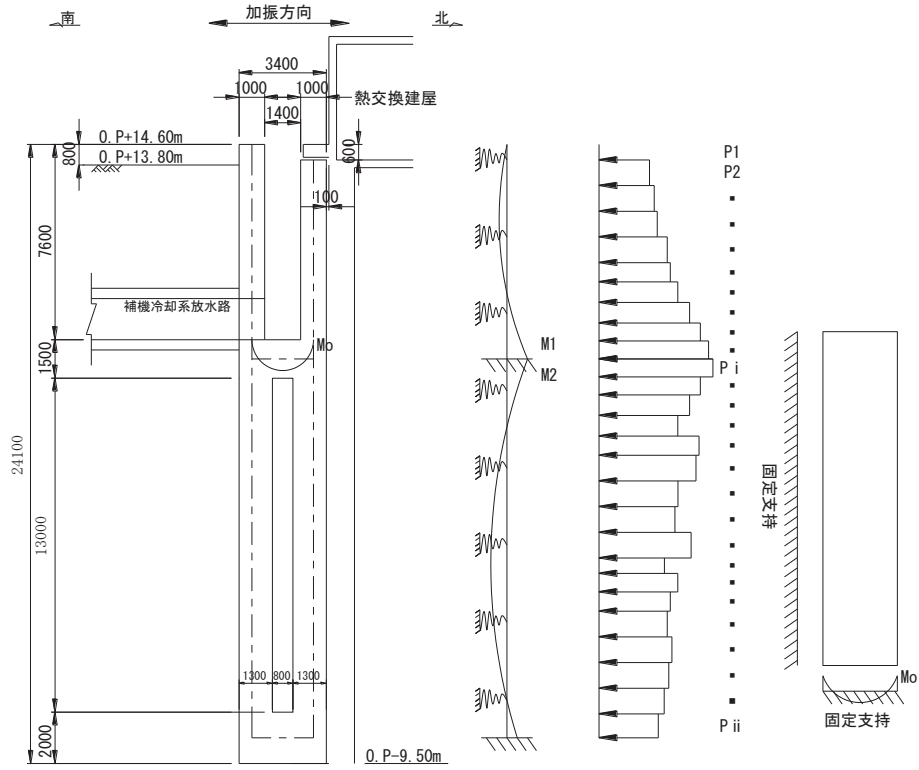


図 10-8 版部材から側壁に廻り込む曲げモーメント概念図

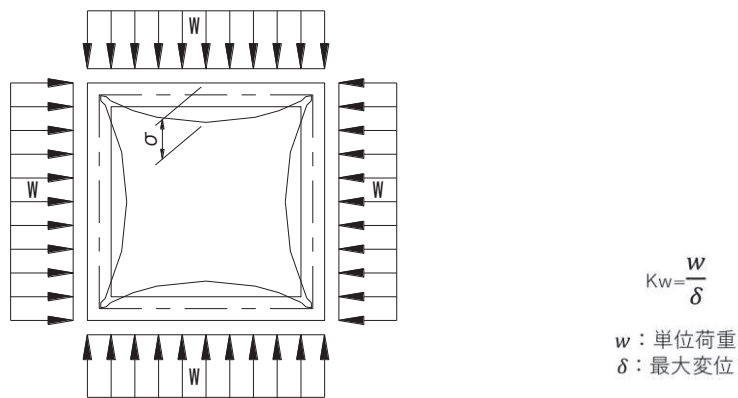


図 10-9 矩形立坑の形状ばねの算出方法

版部材と側壁の隅角部には、版部材の曲げモーメント (M_0) が側壁に廻り込む。また、側壁が版部材に支持される拘束効果により、地震時荷重を面外方向に受けた場合に曲げモーメントが反転する (M_1 , M_2)。この現象は二次元地震応答解析において考慮することができない。このためここでは、側壁と版部材の結合部における曲げモーメント増分の廻り込みを考慮した検討を行う。

版部材の端曲げモーメント (M_0) は、境界条件を固定支持として「日本建築学会1999年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」により算定する。

側壁は版部材中心間距離で固定支持された、単位幅を有するはり要素でモデル化し、地震時荷重を作用させた場合に、支持位置に発生する曲げモーメント (M_1 , M_2) を算定する。

地震時荷重については各鉛直スパンの地盤反力 (ジョイント要素の直方向反力) の合算値が最大となる時刻の地盤反力分布を用いる。

本検討において側壁を単位奥行き当たりのはり要素でモデル化するが、実際には直交壁が存在し、側壁の変形を抑制している。そのため、立坑の形状ばねを考慮した弾性床上のはりとしてモデル化を行い曲げモーメントを算定する。矩形断面の形状ばねの算定は、側壁、直交壁で閉鎖された形状に対し、単位荷重を作用させた場合に側壁に発生する最大変位を用いて算出する。

版部材の端曲げモーメント (M_0) 及び版部材に拘束された側壁に発生する端曲げモーメント (M_1 , M_2 のうちモーメントの連続性を考えて両者の最大値を用いる) の和を設計曲げモーメントとする。

上記により得られる設計曲げモーメントから鉛直鉄筋の引張応力度を算定し、鉛直断面の設計における鉛直鉄筋の引張応力度に加算した照査を行い、必要な場合は補強鉄筋を配置する。

b. 側壁の拘束効果による版部材の検討

版部材については版部材の端曲げモーメント (M_0) 及び側壁から版部材へ廻り込むモーメント (M_1 , M_2 のうち最大値) の和を設計曲げモーメントとする。

上記により得られる設計曲げモーメントから版部材主鉄筋の引張応力度を算定し、版部材の設計における版部材主鉄筋の引張応力度を加算した照査を行い、必要な場合は補強鉄筋を配置する。

10.1.4 水平断面に対する耐震評価

(1) 設計断面の選定

水平断面については，構造物側壁及び隔壁を線形はり要素としてモデル化した二次元静的フレーム解析に常時荷重，地震時荷重を作用させたときに発生する断面力に対し，水平鉄筋及びせん断補強筋の設計を行う。

作用させる荷重は，二次元地震応答解析結果から抽出した構造物側方の地震時地盤反力（ジョイント要素ばね反力）のうち全時刻最大値と，二次元地震応答解析と同じメッシュで鉛直方向に重力加速度を載荷して算出した常時地盤反力（ジョイント要素ばね反力）の和である。

構造物の曲げモーメント，軸力，せん断力による発生応力度が許容限界以下であることを確認する。なお，ここで設計する主鉄筋（ A_s ）は，二次元フレーム解析モデルの側壁面外方向の地震時最大地盤反力で生じる曲げ軸力に対する鉄筋である。

図 10-10 に水平断面の設計断面選定図を示す。

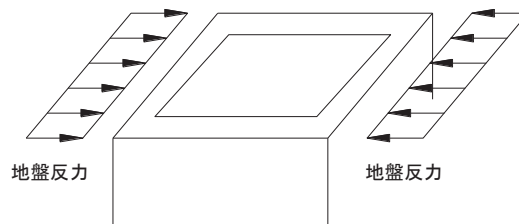


図 10-10 水平断面の評価概念図（フレーム計算）

本構造物は側壁の厚さ，隔壁の枚数が異なることから，図 10-11 に示す 2 断面を選定し，設計を行う。

ルに準拠して、各分割要素が断面厚または有効高さの 2.0 倍以下として設定する。

図 10-12 に二次元静的フレーム解析における剛域の考え方を示す。二次元静的フレーム解析においては、「土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」に準拠し、隅角部に剛域を設ける。

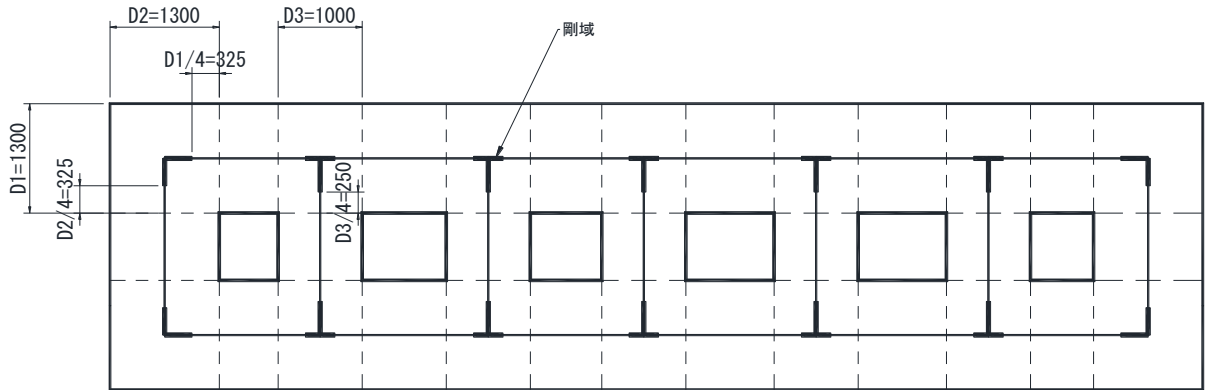


図 10-12 二次元静的フレーム解析における剛域の考え方

b. 開口部を含む水平断面（対象：水槽部検討断面）

側壁に開口部がある場合、及び全高にわたり設置されていない隔壁が存在する場合については構造物側壁及び隔壁を線形はり要素としてモデル化し、側壁開口部または隔壁欠損部上下に位置する部材に相当する等価剛性を入力した静的フレーム解析により水平断面の照査を行う。

等価剛性は、開口部、欠損部を考慮しない状態で算出された剛性を検討高さで除すことにより奥行き 1.0m 当たりで設定する。

境界条件、はり要素の要素分割及び剛域の設定は、a. 開口部がない水平断面と同じ設定とする。

(3) 荷重条件

図 10-13 に水平断面の荷重図を示す。

地盤と構造物の連成系モデルによる二次元地震応答解析結果に基づき、水平断面の検討では、構造物の両側に地盤からの最大荷重を作用させる場合（両押し時）と、片側のみに地盤からの最大荷重を作用させる場合（片押し時）について検討する。また、片側のみ荷重を載荷させる場合は、構造物の、南北方向の非対称性を考慮して片側一方ずつ載荷する。従って都合三つの荷重状態について検討する。

水平断面の設計荷重として、図 10-13 に示すように、両押し時は二次元地震応答解析により得られる構造物側方の地震時地盤反力（ジョイント要素ばね反力）の全時刻最大値を抽出し、構造物平面の両側から同じ最大荷重を常時荷重とともに作用させる。

片押し時は、両押し時と同じ地震時地盤反力の最大値を構造物平面の片側から最大荷重として常時荷重とともに作用させる。

常時荷重については常時土圧を考慮する。設計断面の適用範囲毎に最浅部（最小）と最深部（最大）の常時荷重を算定し、図 10-13 に示すように、構造物水平断面の静的フレーム解析に用いる。

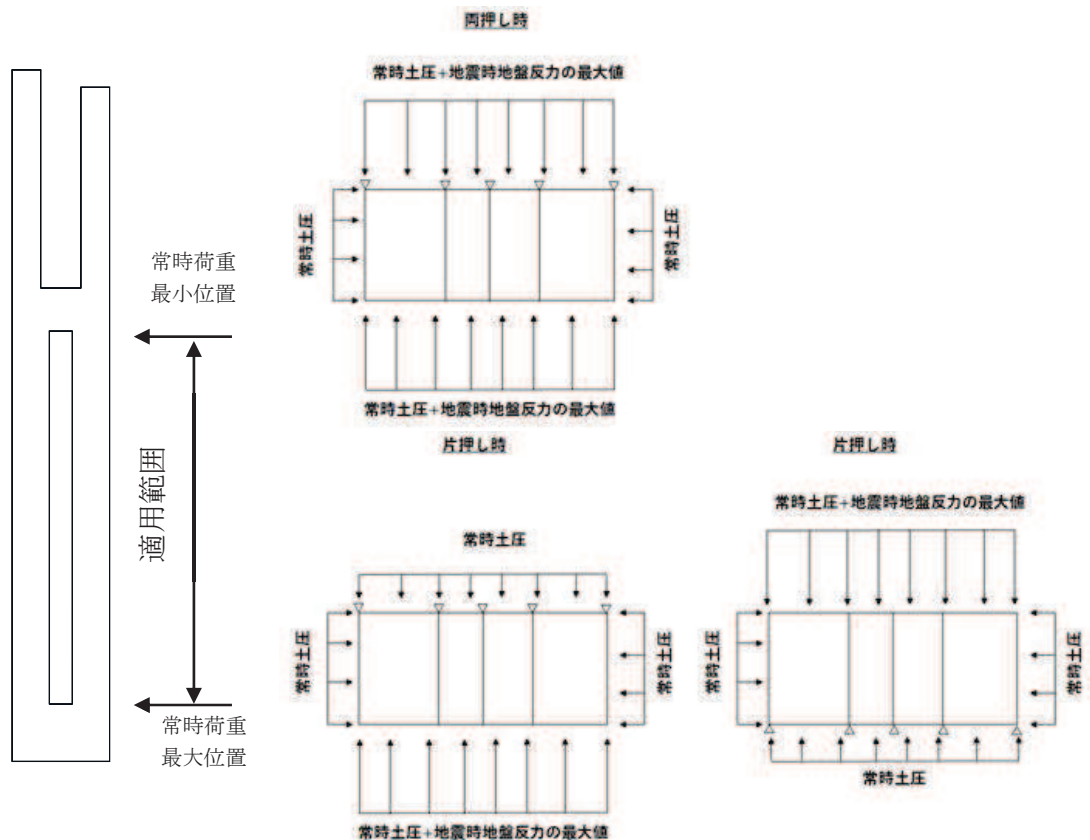


図 10-13 構造物水平断面の荷重図

10.1.5 版部材の設計

底版及び中床版については，種々の境界条件の下で理論式により導き出された平板の断面力計算図表「日本建築学会 1999年 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」により設計断面力を算定する。

スパンは側壁及び隔壁の中心間距離とし，境界条件は単純支持とする。

設計荷重は，中床版は躯体及び内水の慣性力，底版は仮想剛梁要素（底面）下面の地盤反力（ジョイント要素ばね反力）とし，平板全面に等分布として一律載荷する。慣性力算定のための鉛直方向加速度，仮想剛梁要素（底面）下面の地盤反力はいずれも検討地震動最大とする。

なお，設計断面力の算定及び評価は最もスパンが長い位置で行い，算定された必要鉄筋量と同量を全スパンにおいても配置する。

中床版及び底板断面力の算出寸法を図 10-14 に示す。

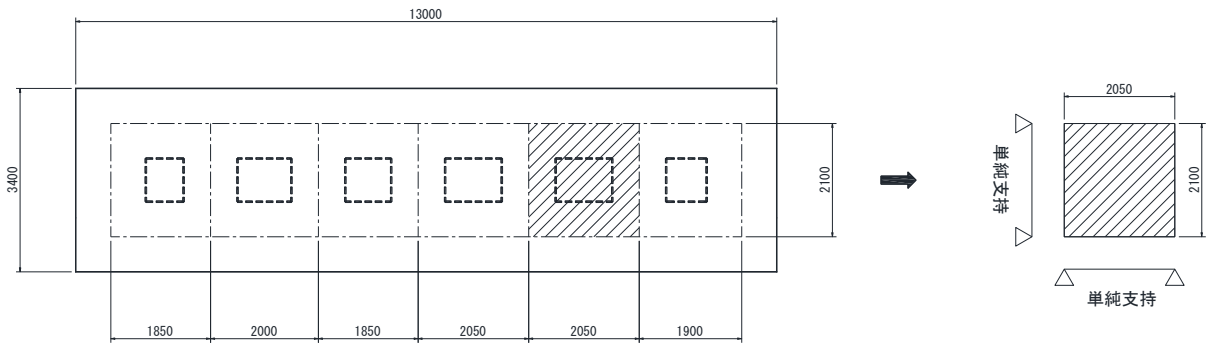


図 10-14 中床版及び底板断面力算出寸法

10.2 基礎地盤の支持性能に対する評価方法

基礎地盤の支持性能に係る評価対象部位は第 3 号機補機冷却海水系放水ピットを直接支持する MMR と、新設する MMR を支持する基礎地盤とし、発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認する。

10.3 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

(1) 構造部材の健全性に対する許容限界

構造強度を有することの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・III コンクリート橋編に基づき、短期許容応力度とする。また、せん断破壊に対する許容限界は、コンクリートと鉄筋の短期許容応力度から算定した短期許容せん断力とする。コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 10-2～表 10-3 に示す。

溢水防止蓋の止水ジョイントを支持する機能及び止水機能を要求されるが、短期許容応力度により照査を行うため、構造強度を有することの確認と許容限界が同一となることから、全部材に対して構造強度を有することを確認することで、支持する機能及び止水機能を損なわないことの確認も同時に行う。

表 10-2 コンクリートの許容応力度及び短期許容応力度

設計基準強度	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	f'ck=50.0(N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ'_{ca}	16.0
許容せん断応力度 τ_{al}		0.65	0.975

注記*：日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・III コンクリート橋編により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

表 10-3 鉄筋の許容応力度及び短期許容応力度

鉄筋の種類	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	SD490	許容引張応力度 σ_{sa}	290
SD345	196		294

注記*：日本道路協会 平成 24 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

(2) 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤（牧の浜部層）に発生する接地圧に対する許容限界は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力とする。

基礎地盤（牧の浜部層）の許容限界を表 10-4 に示す。

表 10-4 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力	牧の浜部層	11.4

MMR（新設）に発生する接地圧に対する許容限界は、土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]に基づき、コンクリートの支圧強度とする。

MMR（新設）の許容限界を表 10-5 に示す。

表 10-5 MMR（新設）の支持性能に対する許容限界

評価項目	MMR（新設）	許容限界 (N/mm ²)
支圧強度	コンクリート ($f'_{ck}=30.0\text{N/mm}^2$)	$f'_a=30.0$

10.4 耐震評価結果

10.4.1 第3号機補機冷却海水系放水ピットの断面諸元

鉛直断面，水平断面及び版部材の評価に用いる断面諸元を表10-6に示す。

表10-6 鉄筋コンクリート断面諸元

部材	部材厚 (mm)	X方向 (水平方向)		Y方向 (鉛直方向)		せん断補強筋
		配置鉄筋	芯かぶり (mm)	配置鉄筋	芯かぶり (mm)	
底版	2000	2-D35@150 2-D35@150	130	2-D35@150 2-D35@150	165	D25@150×150
中床版	1500	D29@150 D29@150	130	D29@150 D29@150	165	D19@300×300
側壁①	1000	2-D35@150 2-D35@150	130	2-D35@150 2-D35@150	165	D19@150×300
側壁②	1300	2-D35@150 2-D35@150	130	2-D35@150 2-D35@150	165	D22@300×300
側壁③	1800	2-D35@150 2-D35@150 2-D35@150	130	2-D35@150 2-D35@150 2-D35@150	165	D22@300×300
隔壁①	1000	D35@150 D35@150	130	D35@150 D35@150	165	D22@300×300

10.4.2 鉛直断面に対する耐震評価結果

(1) 構造部材の曲げ軸力に対する評価結果

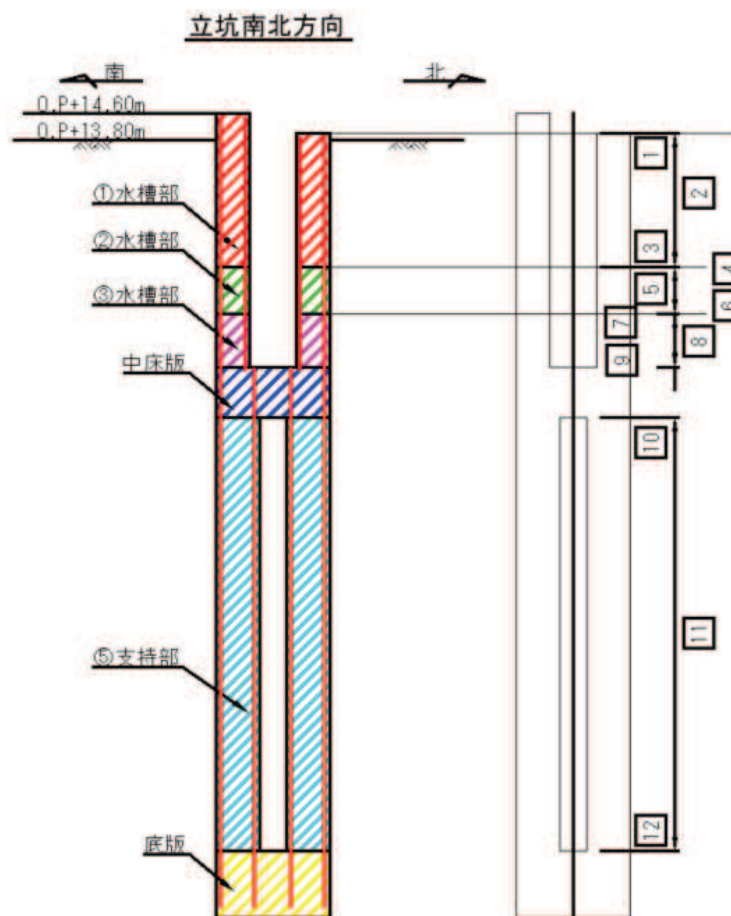
コンクリートの曲げ軸力に対する照査結果を表10-7に、断面力図を図10-15に示す。

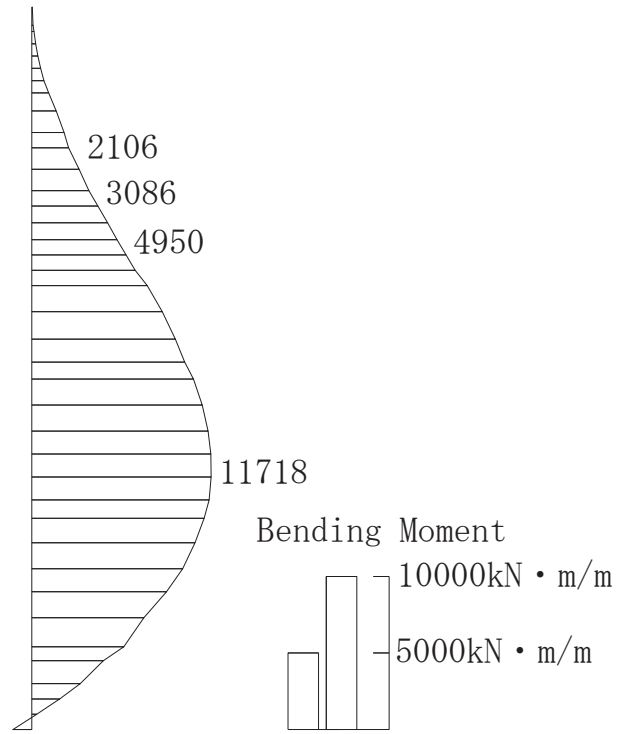
また、鉄筋の曲げ軸力に対する照査結果を表10-8に、断面力図を図10-16に示す。

許容応力度法による照査を行った結果、評価位置においてコンクリートの圧縮応力度と鉄筋の引張応力度が短期許容応力度以下であることを確認した。

表 10-7 各評価位置における曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（鉛直断面コンクリート）

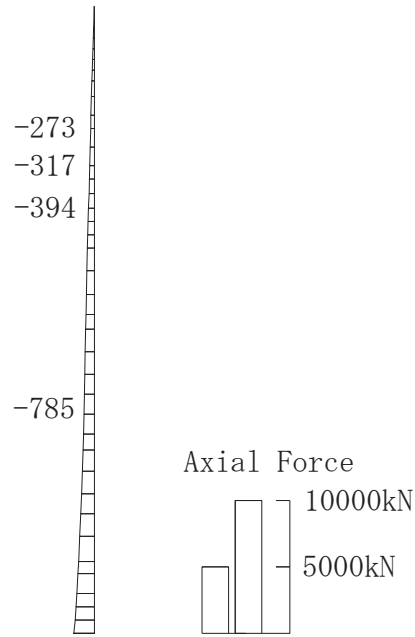
評価位置	断面性状			鉄筋仕様	解析ケース	地震動	発生断面力		発生応力度 $\sigma'c$ (N/mm ²)	短期許容応力度 $\sigma'ca$ (N/mm ²)	照査値 $\sigma'c / \sigma'ca$	
	部材幅 (mm)	部材高 (mm)	有効高 (mm)				曲げモーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)				
①水槽部	3	14600	3400	2900	4-D35@150 4-D35@150	①	Ss-D1 (+)	-2793	228	1.97	24	0.09
②水槽部	6	13000	3400	2900	4-D35@150 4-D35@150	①	Ss-D2 (++)	4405	-284	2.61	24	0.11
③水槽部	9	13000	3400	2900	4-D35@150 4-D35@150	①	Ss-D2 (++)	6214	-423	4.02	24	0.17
⑤支持部	11	13000	3400	2750	4-D35@150 4-D35@150	④	Ss-D2 (+)	11718	-785	7.88	24	0.33



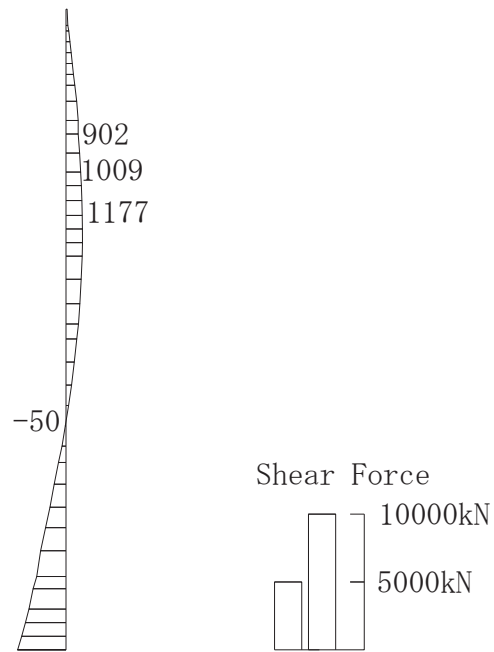


(a) 曲げモーメント (kN・m/m)

図 10-15(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値となる時刻の断面力
(鉛直断面コンクリート, ⑤支持部, 解析ケース④)



(b) 軸力 (kN/m)

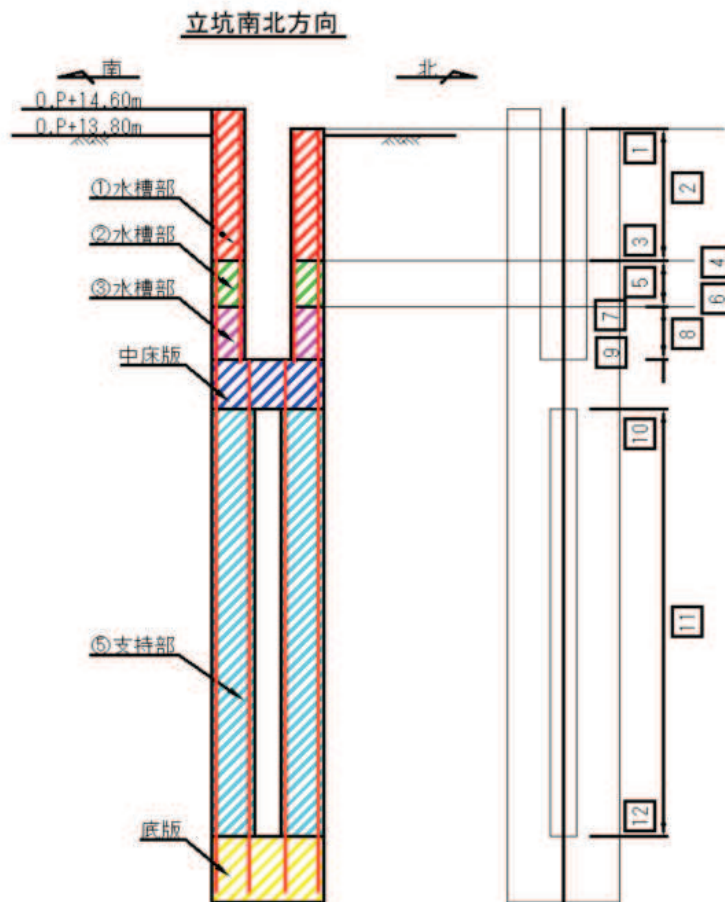


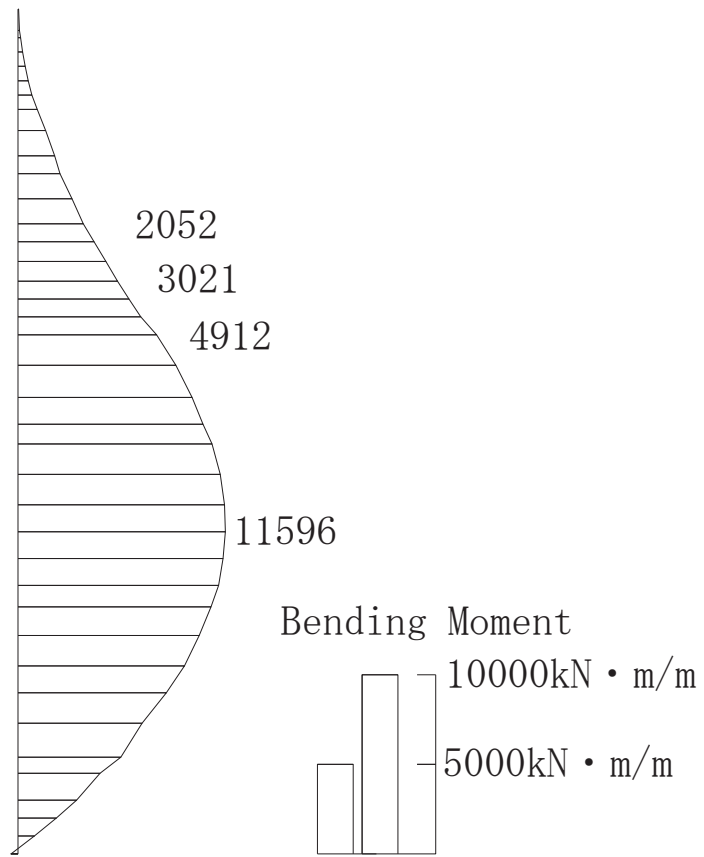
(c) せん断力 (kN/m)

図 10-15(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値となる時刻の断面力
(鉛直断面コンクリート, ⑤支持部, 解析ケース④)

表 10-8 各評価位置における曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（鉛直断面鉄筋）

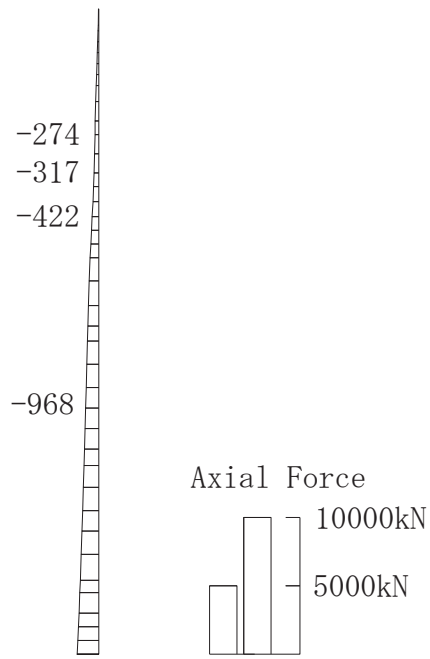
評価位置	断面性状			鉄筋仕様	解析ケース	地震動	発生断面力		発生応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容応力度 σ_{sa} (N/mm ²) 部材幅 (mm)	照査値 σ_s / σ_{sa} 部材高 (mm)	
	部材幅 (mm)	部材高 (mm)	有効高 (mm)				曲げモーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)				
①水槽部	3	14600	3400	2900	4-D35@150 4-D35@150	①	Ss-D1 (+)	3089	-257	85	435	0.20
②水槽部	6	13000	3400	2900	4-D35@150 4-D35@150	①	Ss-D2 (++)	4405	-284	105	435	0.25
③水槽部	9	13000	3400	2900	4-D35@150 4-D35@150	①	Ss-D2 (++)	6214	-423	142	435	0.33
⑤支持部	11	13000	3400	2750	4-D35@150 4-D35@150	④	Ss-D2 (+)	11596	-968	355	435	0.82



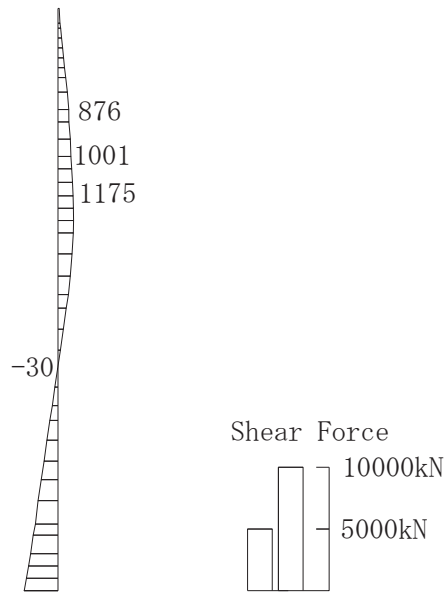


(a) 曲げモーメント (kN · m/m)

図 10-16(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値となる時刻の断面力
(鉛直断面鉄筋, ⑤支持部, 解析ケース④)



(b) 軸力 (kN/m)



(c) せん断力 (kN/m)

図 10-16(2) 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値となる時刻の断面力
(鉛直断面鉄筋, ⑤支持部, 解析ケース④)

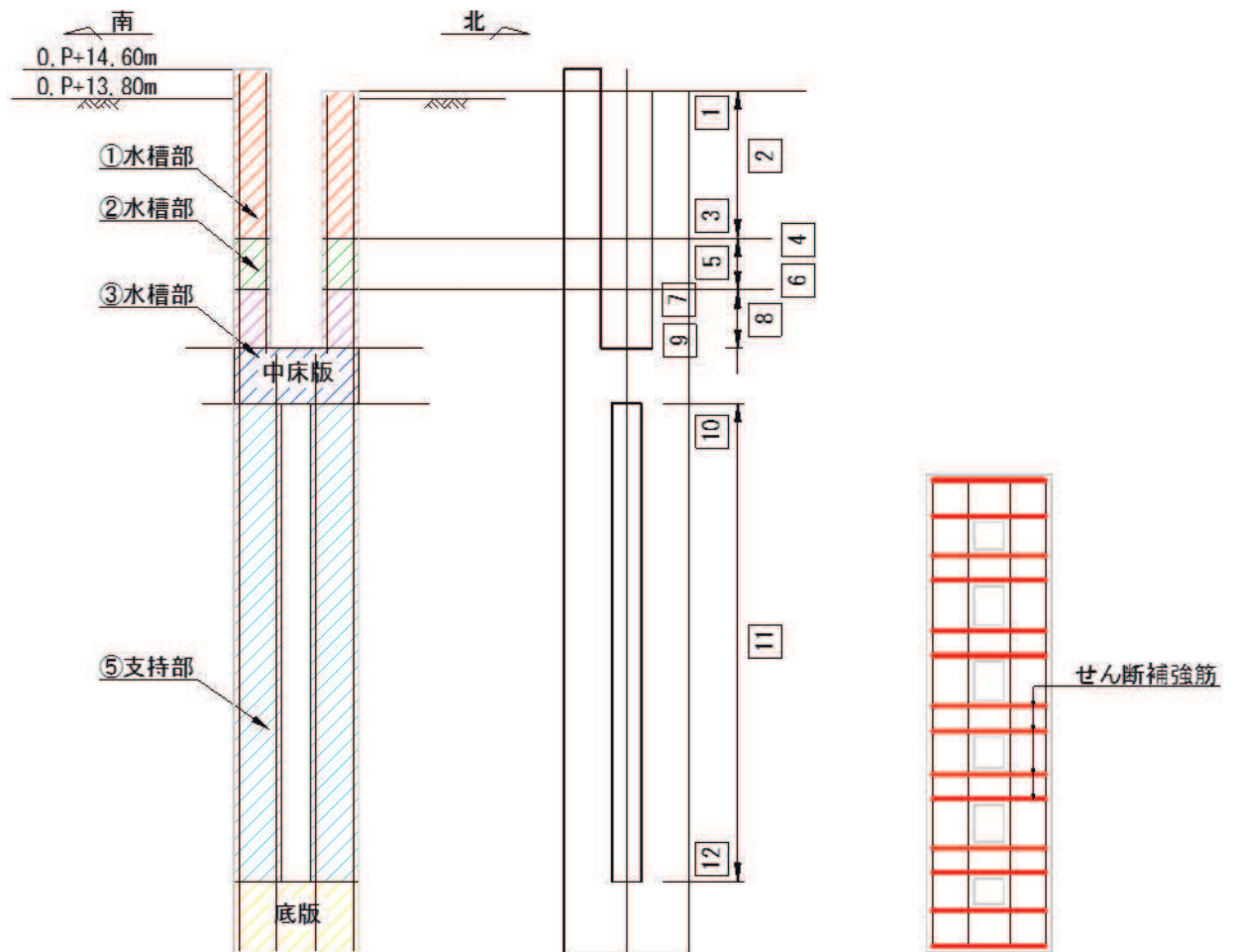
(2) 鉛直断面のせん断力に対する耐震評価結果

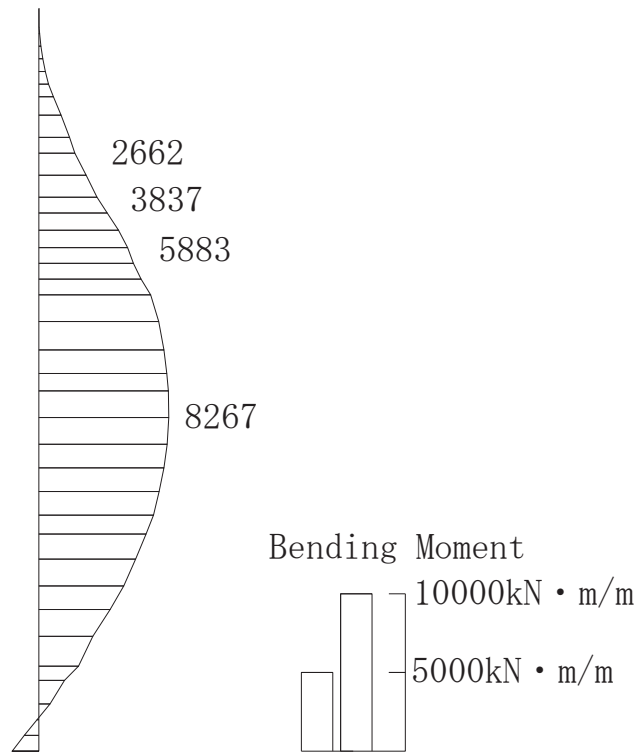
せん断力の破壊に対する照査結果を表 10-9 に示し、断面力図を図 10-17 に示す。鉛直断面のせん断力に対する照査を行った結果、評価位置においてせん断応力度が短期許容せん断応力度以下である又はコンクリートの負担するせん断力 (V_c) と、斜め引張鉄筋の負担するせん断力 (V_s) を合わせた短期許容せん断力 (V_a) が、発生せん断力 (V) 以上であることを確認した。

表 10-9 各評価位置におけるせん断力破壊に対する最大照査値（鉛直断面）

評価位置		断面性状			鉄筋仕様	解析ケース	地震動	発生せん断力 V (kN)	短期許容せん断力 Va (kN)	照査値 V / Va
		部材幅 (mm)	部材高 (mm)	有効高 (mm)						
①水槽部	2	14600	3400	2900	4-D35×2 2-D35×3	①	Ss-D2 (++)	18198	72050	0.26
②水槽部	6	13000	3400	2900	4-D35×2 2-D35×3	③	Ss-D2 (-+)	15516	72050	0.22
③水槽部	9	13000	3400	2900	4-D35×2	①	Ss-D2 (++)	17485	39716	0.45
⑤支持部	12	13000	3400	2750	4-D35×2 2-D35×5	①	Ss-F3 (-+)	-34233	91988	0.38

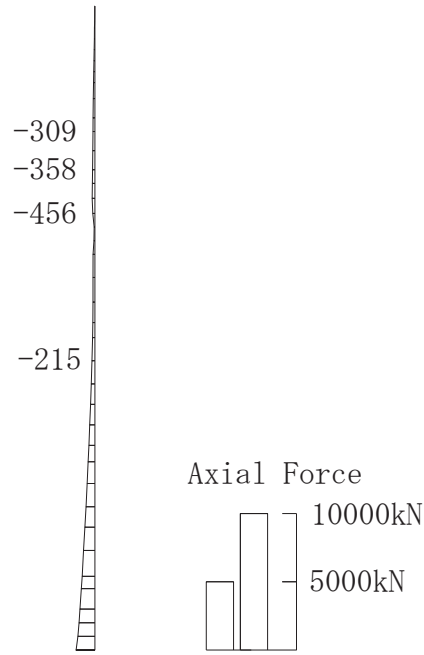
立坑南北方向



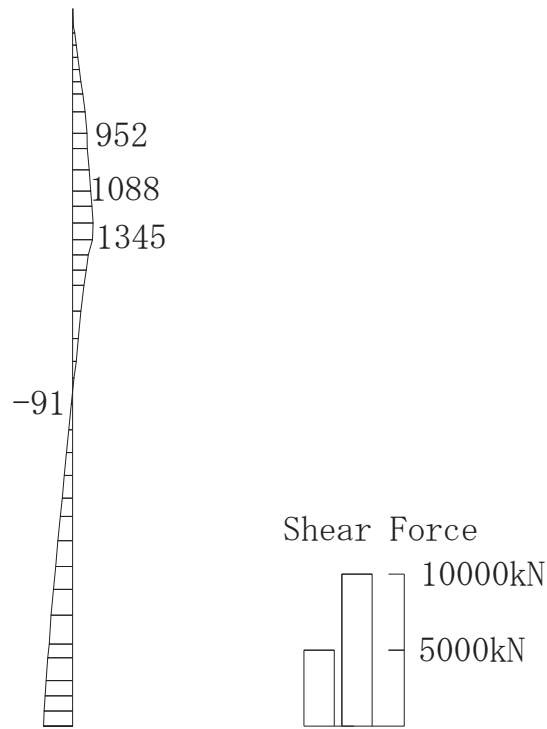


(a) 曲げモーメント (kN・m/m)

図 10-17(1) せん断力の破壊に対する最大照査値となる時刻の断面力
(鉛直断面, ③水槽部, 解析ケース①)



(b) 軸力 (kN/m)



(c) せん断力 (kN/m)

図 10-17(2) せん断力の破壊に対する最大照査値となる時刻の断面力
(鉛直断面, ③水槽部, 解析ケース①)

10.4.3 水平断面に対する耐震評価結果

(1) 水平断面の曲げ軸力に対する評価結果

コンクリートの曲げ軸力に対する照査結果を表 10-10 に、断面力図を図 10-19 に示す。
鉄筋の曲げ軸力に対する照査結果を表 10-11 に、断面力図を図 10-20 に示す。

許容応力度法による照査を行った結果、評価位置においてコンクリートの圧縮応力度と鉄筋の引張応力度が短期許容応力度以下であることを確認した。

水平方向の設計断面は 2 断面とし、地震時荷重の載荷方法（両押し、片押し（熱交間建屋側）、片押し（盛土側））、地震時荷重の方向及び常時土水圧の大小により 1 つの設計断面に対し 1 地震波につき 9 ケースの解析を行い、側壁及び中壁の応力度照査を行っている（図 10-18）。

各照査表においては、1 地震波に対し 9 ケースの解析を行い、照査値が最大となる組合せに対する照査結果を示す。

許容応力度法による照査を行った結果、評価位置においてコンクリートの圧縮応力度と鉄筋の引張応力度が短期許容応力度以下であることを確認した。

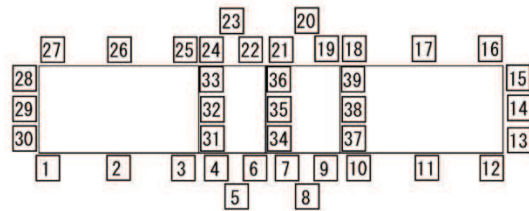
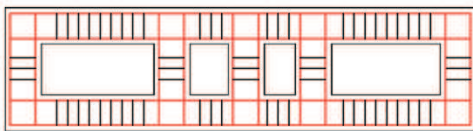
地震時荷重の 載荷方法	両押し	片押し(熱交換建屋側)	片押し(盛土側)
常時土圧 最小			
左右地盤反力 最大			
常時土圧 最大			
凡例			

図 10-18 照査表における決定ケースの識別方法

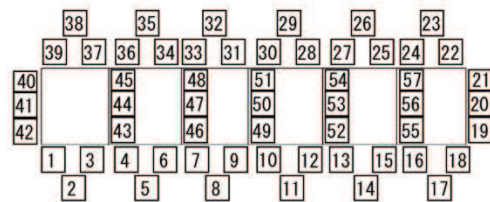
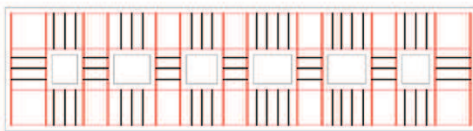
表 10-10 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（水平断面コンクリート）

評価位置	荷重方法	断面性状			鉄筋仕様	解析ケース	地震動	発生断面力		発生応力度 $\sigma'c$ (N/mm ²)	短期許容応力度 $\sigma'ca$ (N/mm ²)	照査値 $\sigma'c / \sigma'ca$	
		部材幅 (mm)	部材高 (mm)	有効高 (mm)				曲げモーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)				
水槽部 長辺	11	片押し (海水熱交換建屋側)	1000	1000	820	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-D1 (++)	438	341	2.55	24	0.11
水槽部 短辺	15	両押し	1000	1000	820	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-D1 (++)	815	1151	4.95	24	0.21
水槽部 隔壁	39	片押し (海水熱交換器建屋側)	1000	1000	870	D35@150 D35@150	①	Ss-D1 (++)	268	1650	2.61	24	0.11
支持部 長辺	35	片押し (盛土側)	1000	1300	1120	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-F3 (++)	135	227	0.52	24	0.03
支持部 短辺	20	両押し	1000	1300	1120	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-F3 (++)	133	721	0.75	24	0.04
支持部 隔壁	52	片押し (盛土側)	1000	1000	870	D35@150 D35@150	①	Ss-F3 (++)	28	1544	1.42	24	0.06

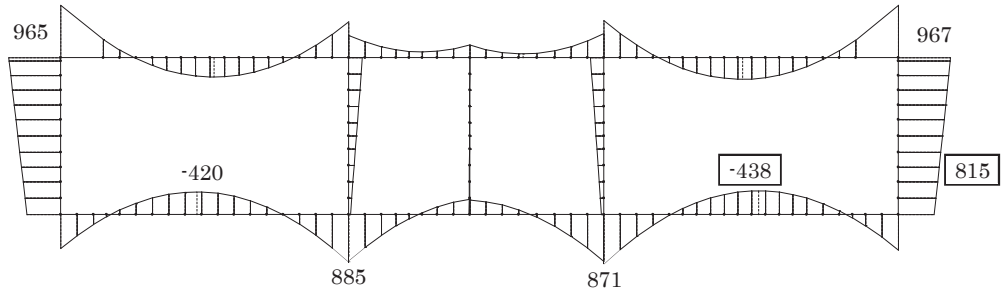
水槽部



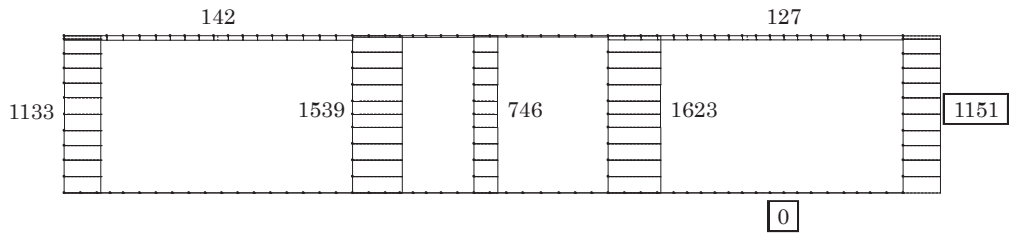
支持部



曲げモーメント (kN・m/m)



軸力 (kN/m)



せん断力 (kN/m)

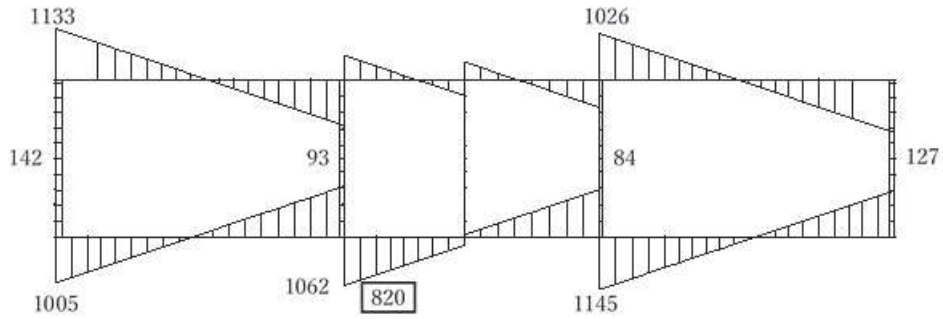


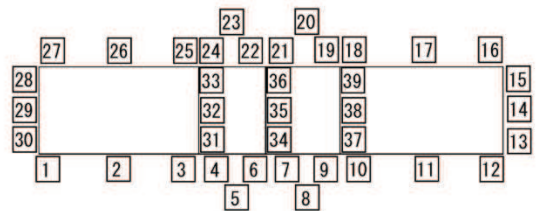
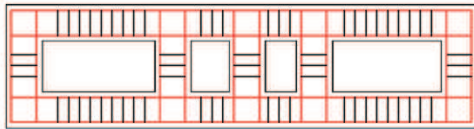
図 10-19 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値となる時刻の断面力
(水平断面コンクリート, 水槽部短辺, 解析ケース①)

O 2 ③ VI-2-10-2-8-4 R 2

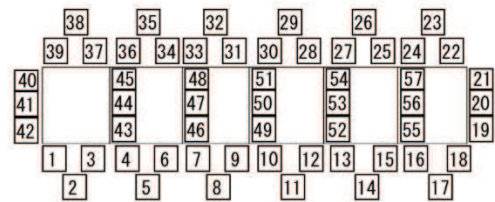
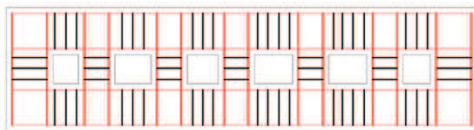
表 10-11 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（水平断面鉄筋）

評価位置	荷重 方法	断面性状			鉄筋仕様	解 析 ケ ー ス	地 震 動	発生断面力		発生 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期 許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}	
		部材 幅 (mm)	部材 高 (mm)	有効 高 (mm)				曲げ モーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)				
水槽部 長辺	11	両押し	1000	1000	820	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-D1 (-+)	438	0	55	435	0.13
水槽部 短辺	15	両押し	1000	1000	820	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-D1 (-+)	815	1151	59	435	0.14
水槽部 隔壁	33	片押し (海水 熱交換 器建屋 側)	1000	1000	870	D35@150 D35@150	①	Ss-D1 (-+)	183	1112	-5 (圧縮)	435	-
支持部 長辺	14	両押し	1000	1300	1120	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-F3 (-+)	94	0	9	435	0.03
支持部 短辺	20	両押し	1000	1300	1120	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-F3 (-+)	54	263	-1 (圧縮)	435	-
支持部 隔壁	45	片押し (海水 熱交換 器建屋 側)	1000	1000	870	D35@150 D35@150	①	Ss-F3 (-+)	11	470	-6 (圧縮)	435	-

水槽部



支持部



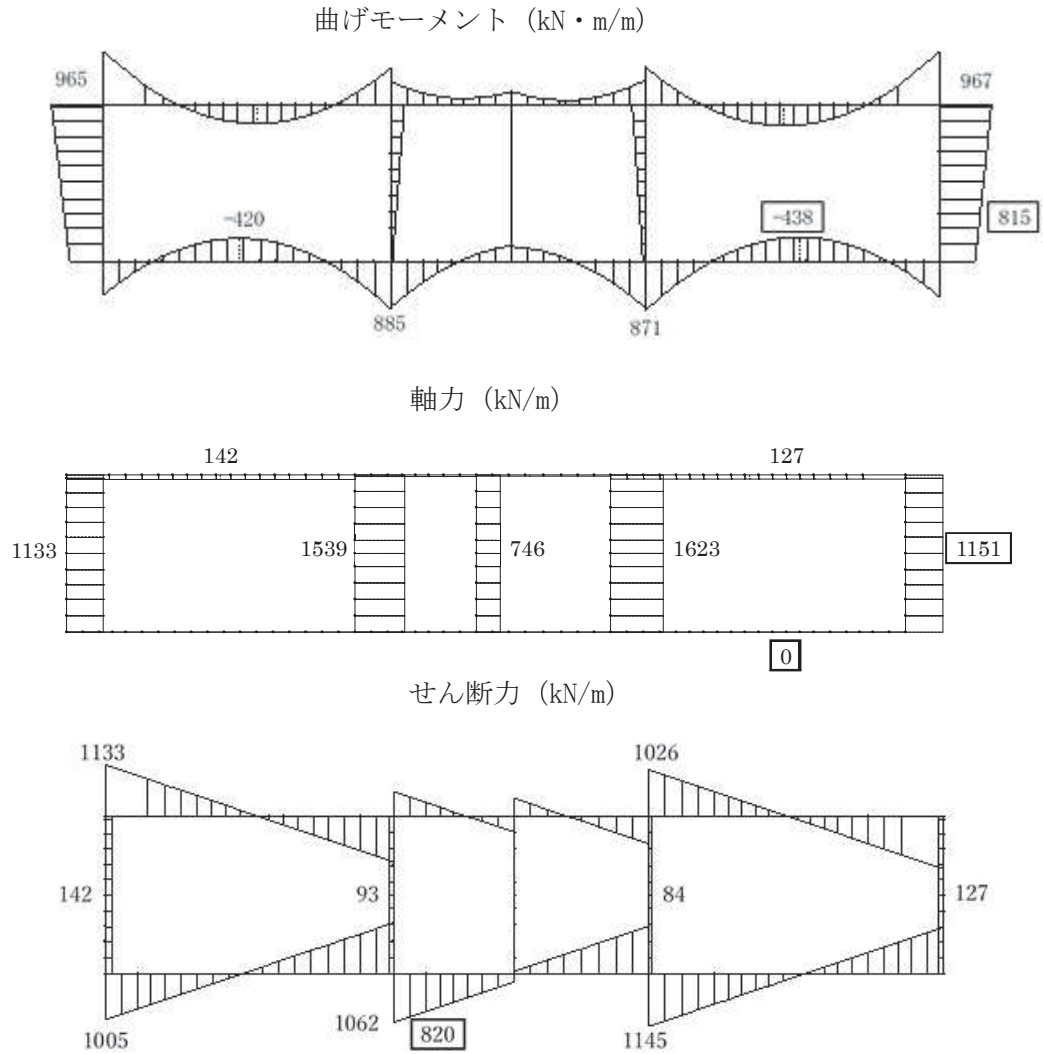


図 10-20 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値となる時刻の断面力
(水平断面鉄筋, 水槽部短辺, 解析ケース①)

(2) 水平断面のせん断力に対する耐震評価結果

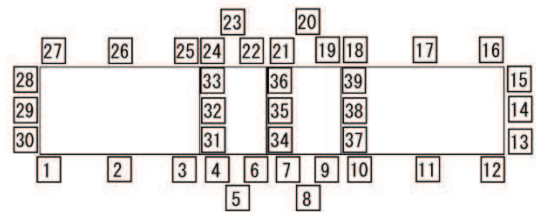
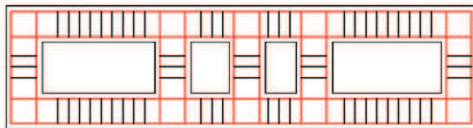
せん断力の破壊に対する照査結果を表 10-12 に、断面力図を図 10-21 に示す。水平断面のせん断力に対する照査を行った結果、評価位置においてせん断応力度が短期許容せん断応力度以下である又はコンクリートの負担するせん断力 (V_c) と、斜め引張鉄筋の負担するせん断力 (V_s) を合わせた短期許容せん断力 (V_a) が、発生せん断力 (V) 以上であることを確認した。

また、水平鉄筋に対しては、面外方向の最大土圧により発生する応力度と、面内方向のせん断力により発生する応力度を足し合わせた応力度が短期許容応力度以下であることを確認した。表 10-13 に水平鉄筋の足し合わせ最大照査値を示す。

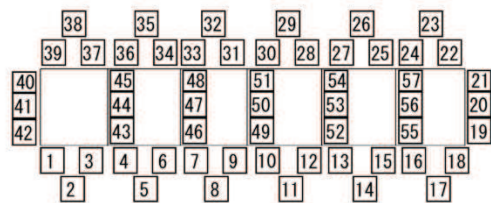
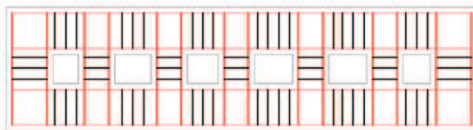
表 10-12 せん断力の破壊に対する最大照査値（水平断面）

評価位置	荷 方 法	断面性状			鉄筋仕様	解 析 ケ ー ス	地 震 動	発生せん断力 V (kN/m)	短期許容 せん断力 Va (kN/m)	照査値 V/Va	
		部材 幅 (mm)	部材 高 (mm)	有効 高 (mm)							
水槽部 長辺	9	両押し	1000	1000	820	D19@150× 300	①	Ss-D1 (-+)	820	1682	0.49
水槽部 短辺	30	片押し (盛土 側)	1000	1000	820	D22@300× 300	①	Ss-D1 (-+)	421	1682	0.26
水槽部 隔壁	31	片押し (海水熱 交換器 建屋側)	1000	1000	870	D22@300× 300	①	Ss-D1 (-+)	241	1325	0.19
支持部 長辺	39	片押し (海水熱 交換器 建屋側)	1000	1300	1120	D22@300× 300	①	Ss-F3 (-+)	450	1706	0.27
支持部 短辺	19	片押し (海水熱 交換器 建屋側)	1000	1300	1120	D22@300× 300	①	Ss-F3 (-+)	137	1706	0.09
支持部 隔壁	52	片押し (盛土 側)	1000	1000	870	D22@300× 300	①	Ss-F3 (-+)	64	1325	0.05

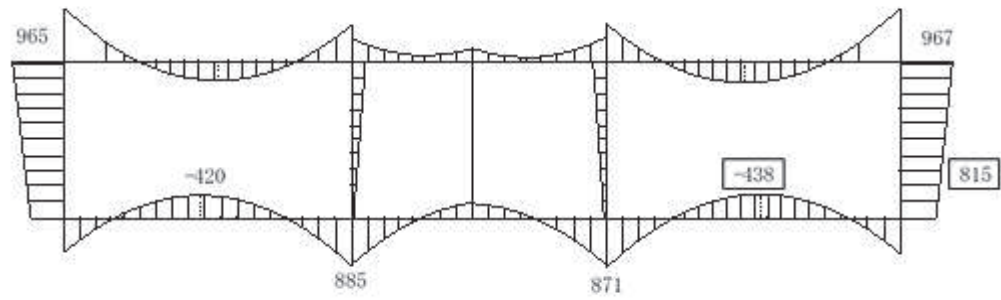
水槽部



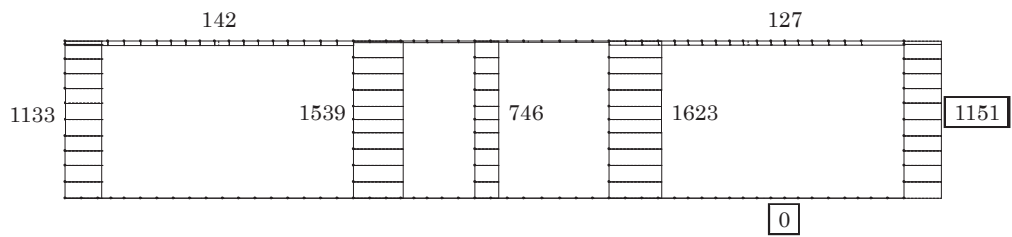
支持部



曲げモーメント (kN・m/m)



軸力 (kN/m)



せん断力 (kN/m)

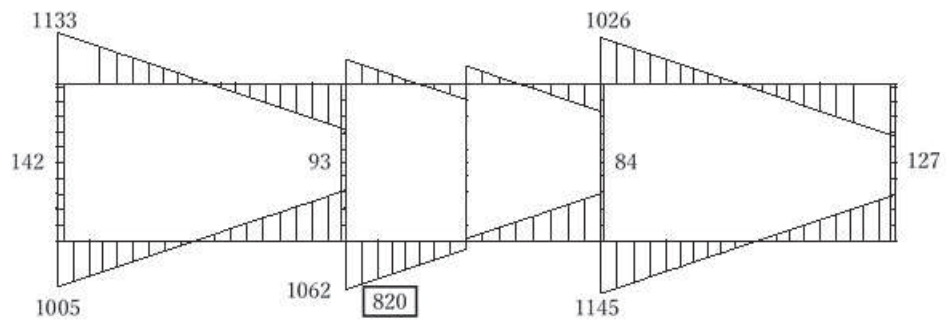


図 10-21 せん断破壊に対する最大照査値となる時刻の断面力
(水平断面, 水槽部長辺, 解析ケース①)

表 10-13 水平鉄筋足し合わせ最大照査値

評価位置	検討方法 ※	断面性状			鉄筋仕様	解析ケース	地震動	発生応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
		部材幅 (mm)	部材高 (mm)	有効高 (mm)						
水槽部 短辺	面外方向 検討	1000	1000	820	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-D1(+)	59	294	0.21
	面内方向 検討	1000	1000	820	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-D1(+)	74	294	0.26
	合計	1000	1000	820	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-D1(+)	133	294	0.46
水槽部 隔壁	面外方向 検討	1000	1000	870	D35@150 D35@150	①	Ss-D1(+)	-5(圧縮)	294	-
	面内方向 検討	1000	1000	870	D35@150 D35@150	①	Ss-D1(+)	74	294	0.26
	合計	1000	1000	870	D35@150 D35@150	①	Ss-D1(+)	74	294	0.26
支持部 短辺	面外方向 検討	1000	1000	820	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-F3(+)	-1(圧縮)	294	-
	面内方向 検討	1000	1000	820	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-F3(+)	60	294	0.21
	合計	1000	1000	820	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-F3(+)	60	294	0.21
支持部 隔壁	面外方向 検討	1000	1000	870	D35@150 D35@150	①	Ss-F3(+)	-6(圧縮)	294	-
	面内方向 検討	1000	1000	870	D35@150 D35@150	①	Ss-F3(+)	60	294	0.21
	合計	1000	1000	870	D35@150 D35@150	①	Ss-F3(+)	60	294	0.21

注記* 面外方向検討：二次元フレーム解析により算定される，最大土圧が作用することにより水平方向主鉄筋に発生する応力度

面内方向検討：鉛直断面のせん断力に対し，水平方向主鉄筋をせん断補強筋とみなして算定する応力度

10.4.4 中床版に対する耐震評価結果の曲げに対する耐震評価結果

(1) 中床版の曲げ軸力に対する評価結果

コンクリートの曲げ軸力に対する照査結果を表 10-14 に示す。

鉄筋の曲げ軸力に対する照査結果を表 10-15 に示す。

許容応力度法による照査を行った結果、評価位置においてコンクリートの圧縮応力度と鉄筋の引張応力度が短期許容応力度以下であることを確認した。

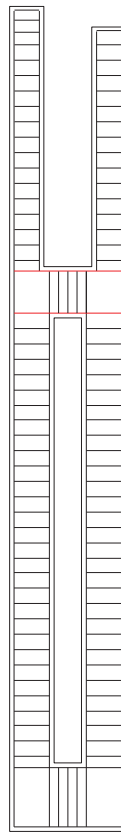
表 10-14 中床版曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（コンクリート）

評価位置	断面性状			鉄筋仕様	解析ケース	地震動	発生断面力		発生応力度 $\sigma'c$ (N/mm ²)	短期許容 応力度 $\sigma'ca$ (N/mm ²)	照査値 $\sigma'c$ / $\sigma'ca$
	部材幅 (mm)	部材高 (mm)	有効高 (mm)				曲げ モーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)			
④中床版	1000	1500	1370	D29@150 D29@150	①	Ss-D1 (+)	33	0	0.14	24	0.01

表 10-15 中床版曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（鉄筋）

評価位置	断面性状			鉄筋仕様	解析ケース	地震動	発生断面力		発生応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
	部材幅 (mm)	部材高 (mm)	有効高 (mm)				曲げ モーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)			
④中床版	1000	1500	1370	D29@150 D29@150	①	Ss-D1 (-+)	25	0	5	435	0.02

中床版評価位置図



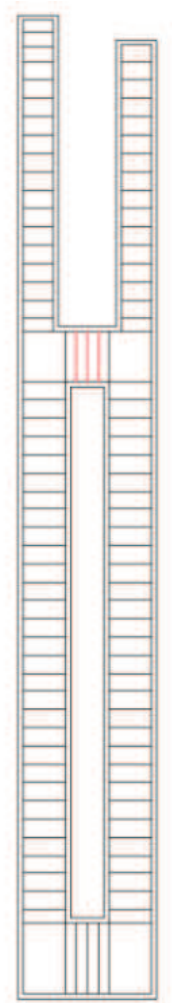
(2) 中床版のせん断に対する耐震評価結果

せん断力の破壊に対する照査結果を表 10-16 に示す。中床版のせん断力に対する照査を行った結果、評価位置においてせん断応力度が短期許容せん断応力度以下である又はコンクリートの負担するせん断力 (V_c) と、斜め引張鉄筋の負担するせん断力 (V_s) を合わせた短期許容せん断力 (V_a) が、発生せん断力 (V) 以上であることを確認した。

表 10-16 せん断力の破壊に対する最大照査値

評価位置	断面性状			鉄筋仕様	解析ケース	地震動	発生せん断力 V (kN/m)	短期許容せん断力 V_a (kN/m)	照査値 V/V_a
	部材幅 (mm)	部材高 (mm)	有効高 (mm)						
④中床版	1000	1500	1370	D29@150 D29@150	①	Ss-D1(+)	146	1076	0.14

評価位置図



10.4.5 底版に対する耐震評価結果

(1) 底版の曲げ軸力に対する評価結果

コンクリートの曲げ軸力に対する照査結果を表 10-17 に示す。

鉄筋の曲げ軸力に対する照査結果を表 10-18 に示す。

許容応力度法による照査を行った結果、評価位置においてコンクリートの圧縮応力度と鉄筋の引張応力度が短期許容応力度以下であることを確認した。

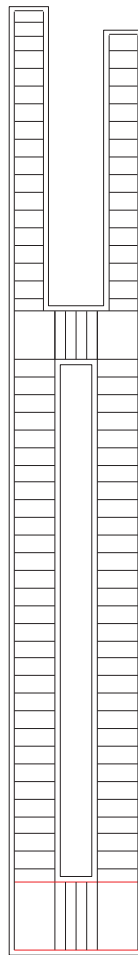
表 10-17 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（コンクリート）

評価位置	断面性状			鉄筋仕様	解析ケース	地震動	発生断面力		発生応力度 $\sigma'c$ (N/mm ²)	短期許容 応力度 $\sigma'ca$ (N/mm ²)	照査値 $\sigma'c$ / $\sigma'ca$
	部材幅 (mm)	部材高 (mm)	有効高 (mm)				曲げ モーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)			
底版	1000	2000	1820	2-D35@150 2-D35@150	④	Ss-D2 (-+)	1609	0	2.50	24	0.11

表 10-18 底版曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（鉄筋）

評価位置	断面性状			鉄筋仕様	解析ケース	地震動	発生断面力		発生応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
	部材幅 (mm)	部材高 (mm)	有効高 (mm)				曲げ モーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)			
底版	1000	2000	1820	2-D35@150 2-D35@150	④	Ss-D2 (-+)	1225	0	61	435	0.15

評価位置図



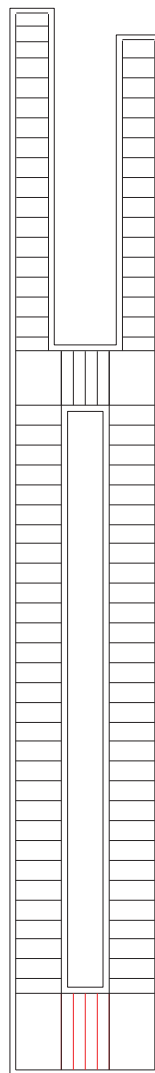
(2) 底版のせん断に対する耐震評価結果

せん断力の破壊に対する照査結果を表 10-19 に示す。底版のせん断力に対する照査を行った結果、評価位置においてせん断応力度が短期許容せん断応力度以下である又はコンクリートの負担するせん断力 (V_c) と、斜め引張鉄筋の負担するせん断力 (V_s) を合わせた短期許容せん断力 (V_a) が、発生せん断力 (V) 以上であることを確認した。

表 10-19 せん断力の破壊に対する最大照査値

評価位置	断面性状			鉄筋仕様	解析ケース	地震動	発生せん断力 V (kN/m)	短期許容せん断力 V_a (kN/m)	照査値 V/V_a
	部材幅 (mm)	部材高 (mm)	有効高 (mm)						
底版	1000	2000	1820	D25@150×150	④	Ss-D2 (+)	7012	11249	0.63

評価位置図



10.4.6 版部材が側壁を固定することによる隅角部の評価結果

版部材が側壁を固定することによる隅角部の評価結果について、表 10-20 に底版及び中床版主鉄筋の曲げに対する評価結果を、表 10-21 に側壁鉛直鉄筋の評価結果を示す。

構造物躯体における許容応力度法による照査を行った結果、評価位置において鉄筋の引張応力度が短期許容応力度以下であることを確認した。

以上より、版部材が側壁を固定することによる隅角部の発生値は、許容限界以下であることを確認した。

表 10-20 中床版，底版の評価結果

評価位置	断面性状			鉄筋仕様	解析ケース	地震動	発生断面力		引張応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}	
	部材幅 (mm)	部材高 (mm)	有効高 (mm)				曲げモーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)				
中床版	計算図表	1000	1500	1370	D29@150 D29@150	①	Ss-D2(++)	32	0	7	435	0.02
	拘束効果による曲げ	1000	1500	1370	D29@150 D29@150	①	Ss-D2(++)	385	0	72	435	0.17
	合計	1000	1500	1370	D29@150 D29@150	①	Ss-D2(++)	417	0	78	435	0.18
底版	計算図表	1000	3000	2820	2-D35@150 2-D35@150	②	Ss-D2(+)	1556	0	80	435	0.19
	拘束効果による曲げ	1000	3000	2820	2-D35@150 2-D35@150	②	Ss-D2(+)	153	0	8	435	0.02
	合計	1000	3000	2820	2-D35@150 2-D35@150	②	Ss-D2(+)	1709	0	88	435	0.21

表 10-21 側壁鉛直鉄筋の評価結果

評価位置	断面性状			鉄筋仕様	解析ケース	地震動	発生断面力		引張応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}	
	部材幅 (mm)	部材高 (mm)	有効高 (mm)				曲げモーメント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)				
側壁 (中床版部)	鉛直断面の曲げ軸力破壊による照査	13000	3400	2900	4-D35@150 4-D35@150	①	Ss-D2(++)	6214	423	142	435	0.33
	中床版からの拘束効果による曲げ	1000	1000	820	2-D35@150 2-D35@150	①	Ss-D2(++)	417	0	57	435	0.14
	合計	/	/	/	/	/	/	/	/	199	435	0.46
側壁 (底版)	鉛直断面の曲げ軸力破壊による照査	13000	3400	2750	4-D35@150 4-D35@150	②	Ss-D2(+)	5913	1976	234	435	0.54
	中床版からの拘束効果による曲げ	1000	1300	1120	2-D35@150 2-D35@150	②	Ss-D2(+)	1709	0	155	435	0.36
	合計	/	/	/	/	/	/	/	/	389	435	0.90

10.4.7 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

(1) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能に対する最大照査値を表 10-22 に、照査結果を表 10-23 に示す。
また、最大接地圧分布図を図 10-22 に示す。

第 3 号機補機冷却海水系放水ピットの基礎地盤に発生する最大接地圧が、極限支持力を下回ることを確認した。

表 10-22 基礎地盤の支持性能最大照査値

地震動		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
S _s -D 1	++	0.10			
	-+	0.12			
S _s -D 2	++	0.11			
	-+	0.09	0.08	0.08	0.09
S _s -D 3	++	0.09			
	-+	0.10			
S _s -F 1	++	0.08			
	-+	0.11			
S _s -F 2	++	0.12			
	-+	0.09			
S _s -F 3	++	0.10			
	-+	0.10			
S _s -N 1	++	0.12			
	-+	0.11			

表 10-23 基礎地盤の支持性能照査結果

解析ケース	地震動	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
①	Ss-N1(++)	1.3	11.4	0.12

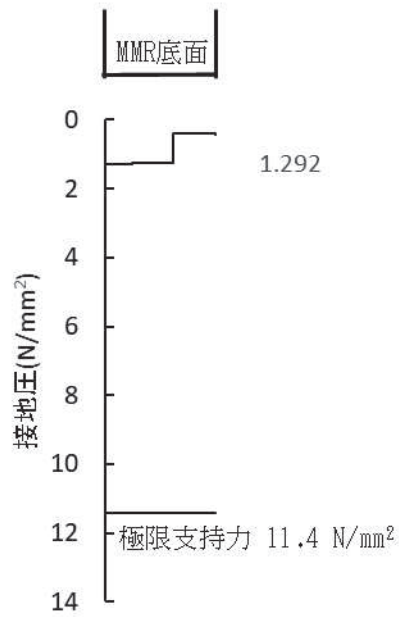


図 10-22 基礎地盤の最大接地圧分布図

(2) MMR (新設)

MMR (新設) の支持性能対する最大照査値を表10-24に、照査結果を表10-25に示す。
また、最大接地圧分布図を図10-23に示す。

第3号機補機冷却海水系放水ピットのMMR (新設) に発生する最大接地圧が、支圧強度を下回ることを確認した。

表10-24 MMRの支持性能最大照査値

地震動		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
S _s -D1	++	0.18			
	-+	0.18			
S _s -D2	++	0.19			
	-+	0.21	0.20	0.20	0.21
S _s -D3	++	0.16			
	-+	0.17			
S _s -F1	++	0.17			
	-+	0.16			
S _s -F2	++	0.17			
	-+	0.17			
S _s -F3	++	0.16			
	-+	0.16			
S _s -N1	++	0.16			
	-+	0.15			

表 10-25 MMR（新設）の支持性能照査結果

解析ケース	地震動	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	支圧強度 f'_a (N/mm ²)	照査値 R_d/f'_a
④	Ss-D2(++)	6.1	30.0	0.21

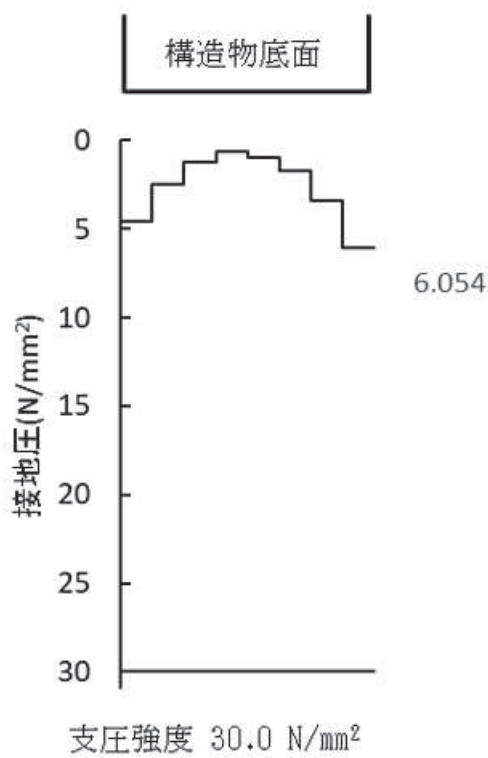


図 10-23 MMR（新設）の最大接地圧分布図

VI-2-10-2-8-5 浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋）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	8
4. 固有値解析	10
4.1 固有値解析の計算方法	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	12
5. 構造強度評価	13
5.1 構造強度評価方法	13
5.2 荷重及び荷重の組合せ	13
5.3 許容限界	15
5.4 設計用地震力	16
5.5 評価方法	17
5.6 評価条件	28
6. 評価結果	30

1. 概要

本資料は、添付書類「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浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）及び浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）（No.1）、（No.2）（以下、「浸水防止蓋」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確認するものである。その耐震評価は浸水防止蓋の固有値解析及び応力評価により行う。

浸水防止蓋は、浸水防護施設としてSクラス施設に分類される。以下、浸水防止設備としての構造強度評価を示す。

なお、浸水防止蓋の耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

浸水防止蓋は、第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリアの床面に設置する。
浸水防止蓋の設置位置図を図2-1に示す。

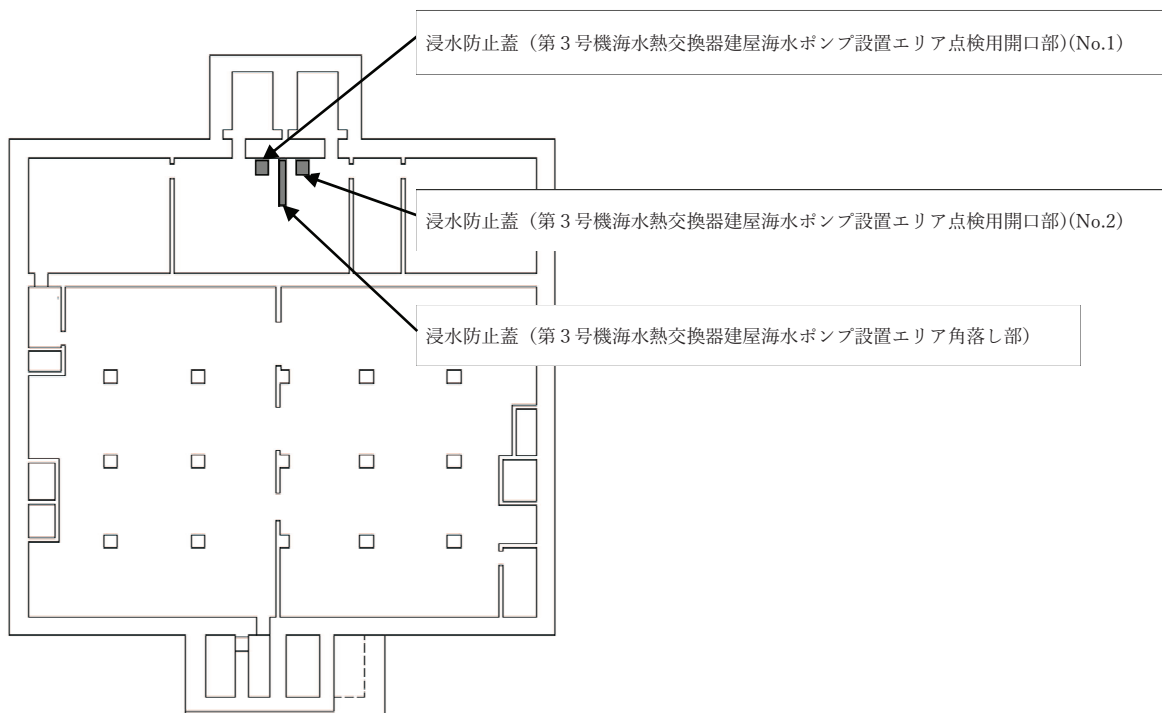


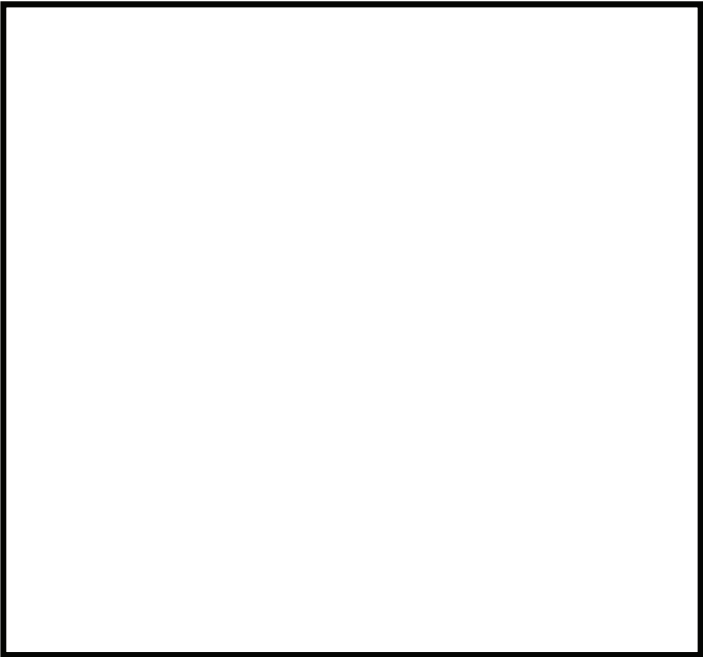

図2-1 浸水防止蓋の設置位置図
(第3号機海水熱交換器建屋 地下中2階)

2.2 構造計画

浸水防止蓋の構造は、長方形又は正方形のスキンプレートに主桁（溝形鋼又は鋼板）を組合せた構造とする。

浸水防止蓋は、第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア床面に設置する固定ボルトにて固定する。浸水防止蓋の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 浸水防止蓋の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア床面に設置する固定ボルトで固定する。	浸水防止蓋及び固定ボルトにより構成する。	
		浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）
		
		浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1), (No. 2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 評価方針

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「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」に示す浸水防止蓋の構造を踏まえ、「3. 評価対象部位及び評価対象設備」にて設定する評価対象部位において、「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。

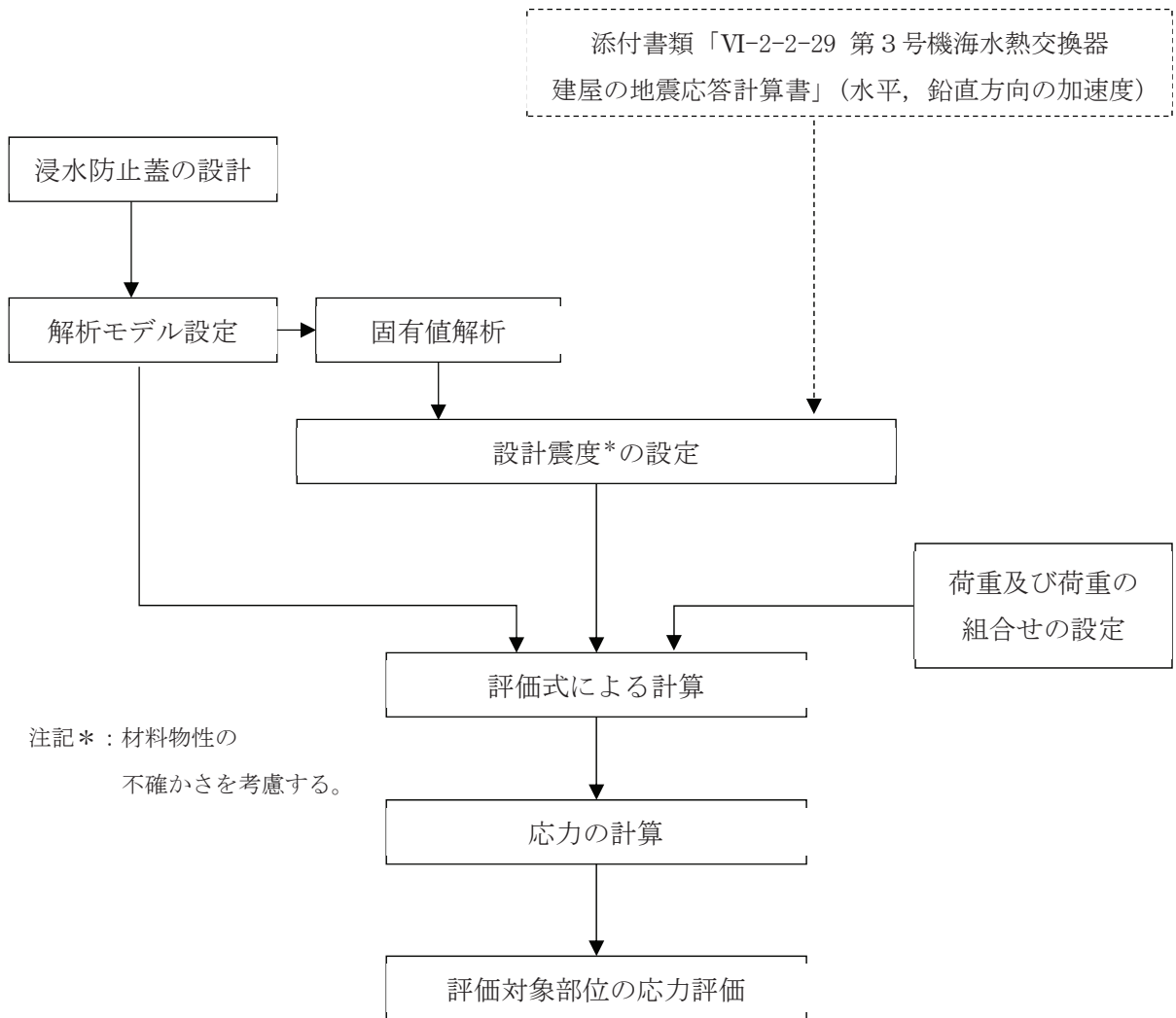


図 2-2 耐震評価フロー

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（昭和 25 年 5 月 24 日法律第 201 号）
- ・ 建築基準法施行令（昭和 25 年 11 月 16 日政令第 338 号）
- ・ 日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説
- ・ 日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-
- ・ 機械工学便覧（日本機械学会）

2.5 記号の説明

浸水防止蓋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 (1/2)

記号	単位	定義
S_s	kN	基準地震動 S_s による地震荷重
k_H	-	基準地震動 S_s に伴う水平方向の設計震度
k_V	-	基準地震動 S_s に伴う鉛直方向の設計震度
G	kN	固定荷重
P_s	kN	積雪荷重
W_s	N/m ²	1 cm 当りの積雪荷重
d_s	cm	積雪高さ
A	m ²	浸水防止蓋の面積
W_{s_s}	kN/m ²	単位面積当りの等分布荷重
W_{s_s}'	kN/m	単位長さ当りの等分布荷重
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	主桁のせん断断面積
Z	mm ³	主桁の断面係数
L_1	mm	主桁の負担幅
L_2	mm	主桁全長
L_3	mm	スキンプレートの支持長辺長さ
L_4	mm	スキンプレートの支持短辺長さ
β_1	-	スキンプレートの辺長比に応じた係数
t	mm	スキンプレートの厚さ

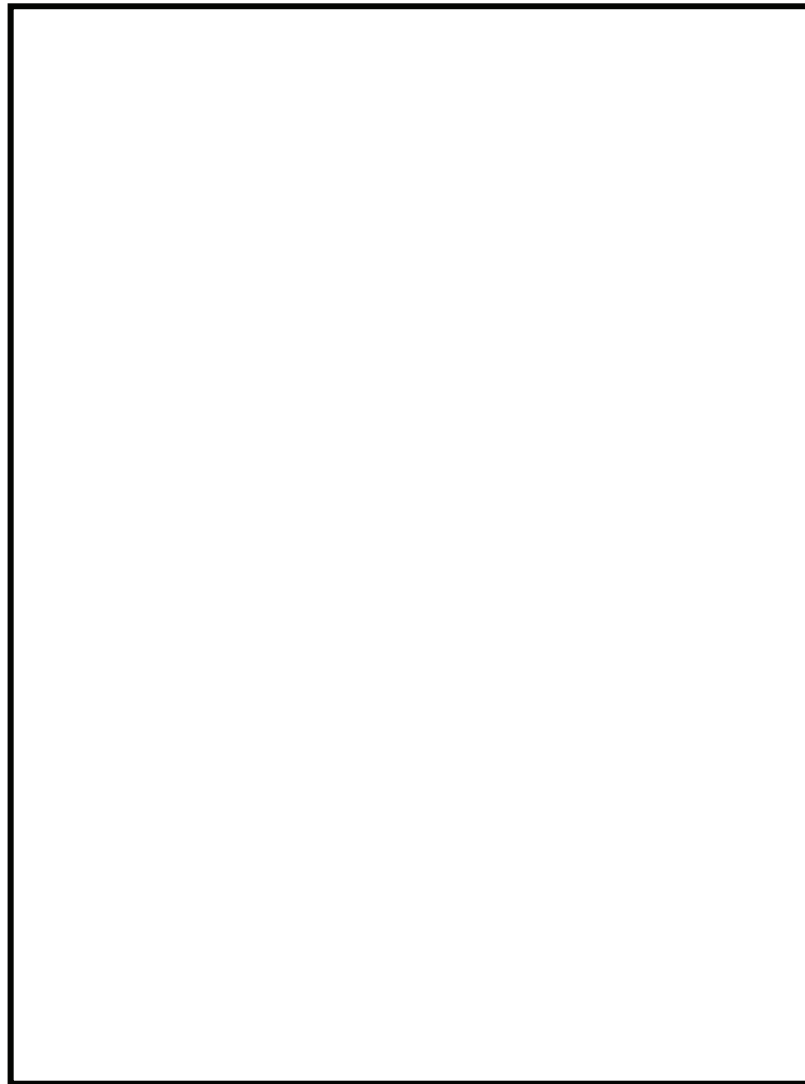
表 2-2 耐震評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
N	本	固定ボルト (2) の本数
T_d	kN	固定ボルト (2) 1 本当りに作用する引張力
q	kN	固定ボルト (2) 1 本当りに作用するせん断力
σ_t	N/mm ²	固定ボルト (1) 1 本当りに生じる引張応力度
τ_s	N/mm ²	固定ボルト (1) 1 本当りに生じるせん断応力度
T_s	kN	固定ボルト (1) 1 本当りに作用する引張力
q_s	kN	固定ボルト (1) 1 本当りに作用するせん断力
A'	mm ²	固定ボルト (1) の有効断面積
n_s	本	固定ボルト (1) の本数
σ_f	N/mm ²	枠下フランジに生じる最大曲げ応力度
M_f	kN・m	枠下フランジに作用する最大曲げモーメント
Z_f	mm ³	枠下フランジの断面係数
L_7	mm	枠ウェブ中心から下フランジ端部までの距離
τ_f	N/mm ²	枠下フランジに生じる最大せん断応力度
Q_f	kN	枠下フランジに生じる最大せん断力
A_f	mm ²	枠下フランジのせん断断面積
Q_w	kN	枠ウェブに作用する最大せん断力
τ_w	N/mm ²	枠ウェブに生じる最大せん断応力度
A_{sw}	mm ²	枠ウェブのせん断断面積
C_w	kN	鉛直方向の地震荷重により枠ウェブに作用する最大圧縮力
σ_{cw}	N/mm ²	鉛直方向の地震荷重により枠ウェブに生じる最大圧縮応力度
A_w	mm ²	枠ウェブの断面積
T_a	kN	固定ボルト (2) の短期許容引張荷重
q_a	kN	固定ボルト (2) の短期許容せん断荷重
σ_b	N/mm ²	ベースプレートに生じる最大曲げ応力度
M_b	kN・m	ベースプレートに作用する最大曲げモーメント
Z_b	mm ³	ベースプレートの断面係数
L_8	mm	ベースプレートの評価長さ
B	mm	ベースプレートの有効幅
t_b	mm	ベースプレートの板厚
τ_b	N/mm ²	ベースプレートに生じる最大せん断応力度
Q_b	kN	ベースプレートに作用する最大せん断力
A_{sb}	mm ²	ベースプレートのせん断断面積

3. 評価対象部位及び評価対象設備

浸水防止蓋の評価対象部位は、「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、浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1), (No. 2)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、浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）及び浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1)を評価対象設備とする。

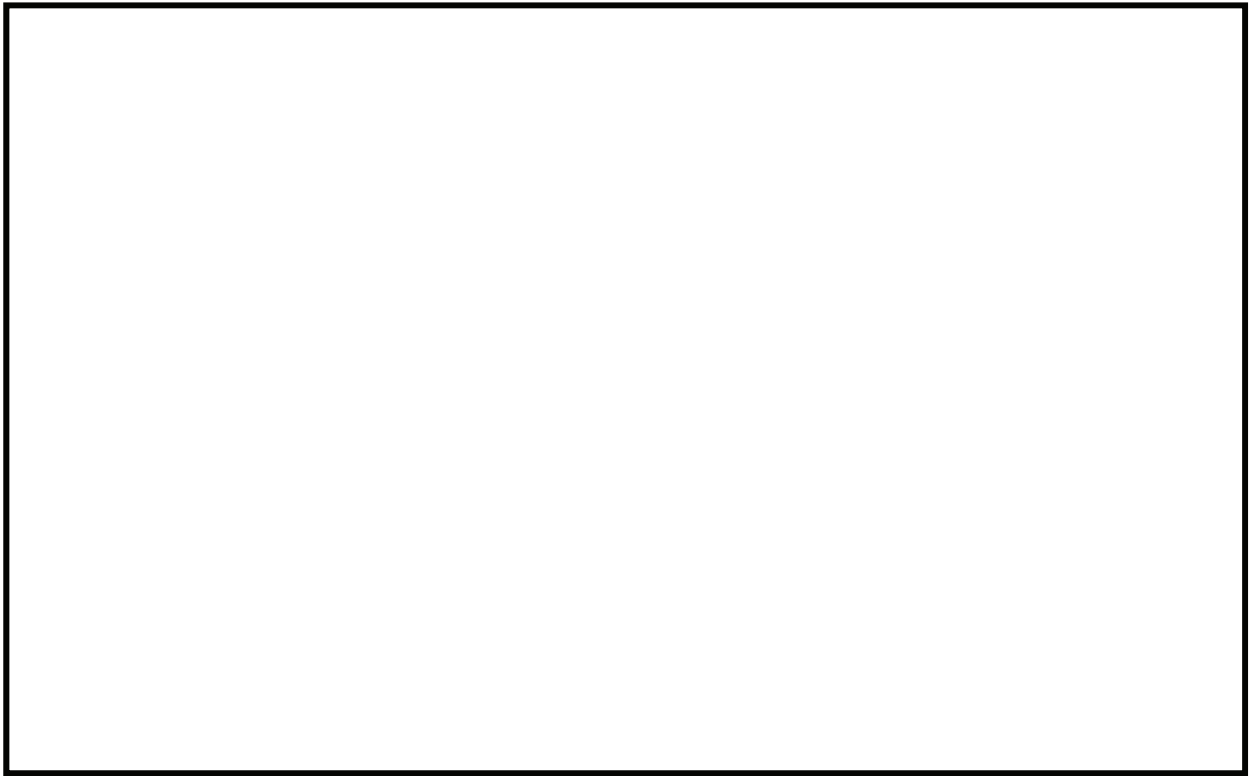
浸水防止蓋の評価対象部位は、地震に伴う慣性力が浸水防止蓋のスキンプレート、主桁、固定ボルト(1)、**枠及びベースプレート**に伝わり、浸水防止蓋を固定する固定ボルト(2)を介して躯体に伝達されることから、浸水防止蓋の評価対象部位は、スキンプレート、主桁、固定ボルト(1)、固定ボルト(2)、**枠及びベースプレート**とする。評価対象部位を図3-1に示す。



浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）

図3-1 評価対象部位 (1/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



浸水防止蓋（第3号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）（No.1），（No.2）

図3-1 評価対象部位（2/2）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 固有値解析

4.1 固有値解析の計算方法

浸水防止蓋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

浸水防止蓋は、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、固定ボルト (1)、**杵及びベースプレート**を介し、固定ボルト (2) にて浸水防止蓋と躯体を固定する構造であることから、浸水防止蓋の主桁を両端支持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。

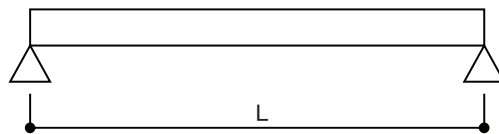


図 4-1 浸水防止蓋の固有値解析モデル

4.1.2 記号の説明

浸水防止蓋の固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 浸水防止蓋の固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	一次固有振動数
L	mm	はり長さ
E	N/mm ²	ヤング率
I	mm ⁴	断面二次モーメント
m	kg/mm	質量分布

4.1.3 固有振動数の算出方法

一次固有振動数 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。

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

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/mm)
浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建 屋海水ポンプ設置エリア角落し部）	420	1.93×10^5	7.11×10^5	0.097
浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建 屋海水ポンプ設置エリア点検用開口 部）(No. 1), (No. 2)	1000	1.93×10^5	4.50×10^6	0.080

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 固有振動数の算出結果

設備名称	固有振動数(Hz)
浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）	335
浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1), (No. 2)	163

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「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生じる応力等が「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

浸水防止蓋の評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$$G + S_s + P_s$$

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)

P_s : 積雪荷重 (kN)

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、浸水防止蓋を構成する部材の自重を考慮する。

(2) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち、添付書類「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき 43cm の積雪量を想定し、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮する。

積雪荷重による質量は以下に式より算出する。

$$P_s = 0.35 \cdot W_s \cdot d_s \cdot A \cdot 10^{-3}$$

ここで、 P_s : 積雪荷重 (kN)

W_s : 1cm 当りの積雪荷重 20 (N/m²)

d_s : 積雪高さ 43 (cm)

A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

(3) 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 による慣性力を考慮する。ここで、地震荷重は、浸水防止蓋の固定荷重及び積雪荷重に設計震度を乗じた次式により算出する。

$$S_s = (G + P_s) \cdot k$$

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)

P_s : 積雪荷重 (kN)

k : 基準地震動 S_s に伴う設計震度 (k_H または k_V)

5.3 許容限界

許容限界は、添付書類「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

浸水防止蓋を構成するスキンプレート、主桁、固定ボルト (1)、固定ボルト (2)、**枠及びベースプレート**の使用材料を表 5-1 に示す。

表 5-1 使用材料

設備名称	評価対象部位	材質	仕様
浸水防止蓋 (第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部)	スキンプレート	SUS304	t = 16 (mm)
	主桁	SUS304	C-80×40×5×5 (mm)
	固定ボルト (1)	SUS304	M16
	固定ボルト (2)	SUS304	M16
	ベースプレート	SUS304	t = 19 (mm)
浸水防止蓋 (第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部) (No. 1), (No. 2)	スキンプレート	SUS304	t = 12 (mm)
	主桁	SUS304	PL-16×150 (mm)
	固定ボルト (1)	SUS304	M30
	固定ボルト (2)	SUS304	M16
	枠	SUS304	H-150×150×7×10 (mm)
	ベースプレート	SUS304	t = 19 (mm)

5.3.2 許容限界

(1) スキンプレート、主桁、固定ボルト (1)、枠、**ベースプレート**

鋼材の許容応力度は、「**日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-**」を踏まえて表 5-2 の値とする。

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	圧縮
SUS304	205	205	118	192

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 (J I S) に基づく。

(2) 固定ボルト (2)

固定ボルト (2) の許容荷重は、「3. 評価対象部位及び評価対象設備」に記載した固定ボルト (2) に作用する荷重の向きを踏まえて、「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定する。

地震荷重を考慮する場合の固定ボルト (2) の許容荷重を表 5-3 に示す。

なお、固定ボルト (2) は躯体に埋め込まれていることから、固定ボルト (2) が引張力を受ける場合においては、固定ボルト (2) 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、固定ボルト (2) がせん断力を受ける場合においては、固定ボルト (2) 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固定ボルト (2) の短期許容荷重

設備名称	材質	短期許容荷重 (kN)	
		引張	せん断
浸水防止蓋 (第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部)	SUS304	32.1	22.3
浸水防止蓋 (第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部) (No. 1), (No. 2)		32.1	22.5

5.4 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり浸水防止蓋の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため、浸水防止蓋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として添付書類「VI-2-2-29 第 3 号機海水熱交換器建屋の地震地応答計算書」の地震応答解析結果を用いる。浸水防止蓋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

設置場所	床面高さ (m)	基準地震動 S_s の設計震度	
		水平 k_H	鉛直 k_V
第 3 号機海水熱交換器建屋 MB2F	0. P. 2. 0	1.87	1.11

5.5 評価方法

浸水防止蓋を構成する主桁、スキンプレート、固定ボルト (1)、**枠及びベースプレート**に発生する応力度並びに固定ボルト (2) に発生する応力が、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 及び図 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、固定ボルト (1)、固定ボルト (2)、**枠及びベースプレート**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 に示すとおり、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

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

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)

P_s : 積雪荷重 (kN)

k_v : 基準地震動 S_s に伴う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方向の等分布荷重 W_{s_s}'

$$W_{s_s}' = (G + S_s + P_s) \cdot L_1 \cdot 10^{-3} / A$$

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)

G : 固定荷重 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

L_1 : 主桁の負担幅 (mm)

A : 浸水防止蓋の面積 (m²)

(3) 主桁に生じる最大せん断応力度 τ

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

τ : 主桁に生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q : 主桁に生じる最大せん断力 (kN)

A_s : 主桁のせん断断面積 (mm²)

ここで、 $Q = 1/2 \cdot W_{s_s}' \cdot L_2 \cdot 10^{-3}$

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_2 : 主桁全長 (mm)

(4) 主桁に生じる最大曲げ応力度 σ

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

σ : 主桁に生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

M : 主桁に生じる最大曲げモーメント (kN・m)

Z : 主桁の断面係数 (mm³)

ここで, $M = 1/8 \cdot W_{ss}' \cdot (L_2 \cdot 10^{-3})^2$

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_2 : 主桁全長 (mm)

(5) 主桁に生じる組合せ応力度 x

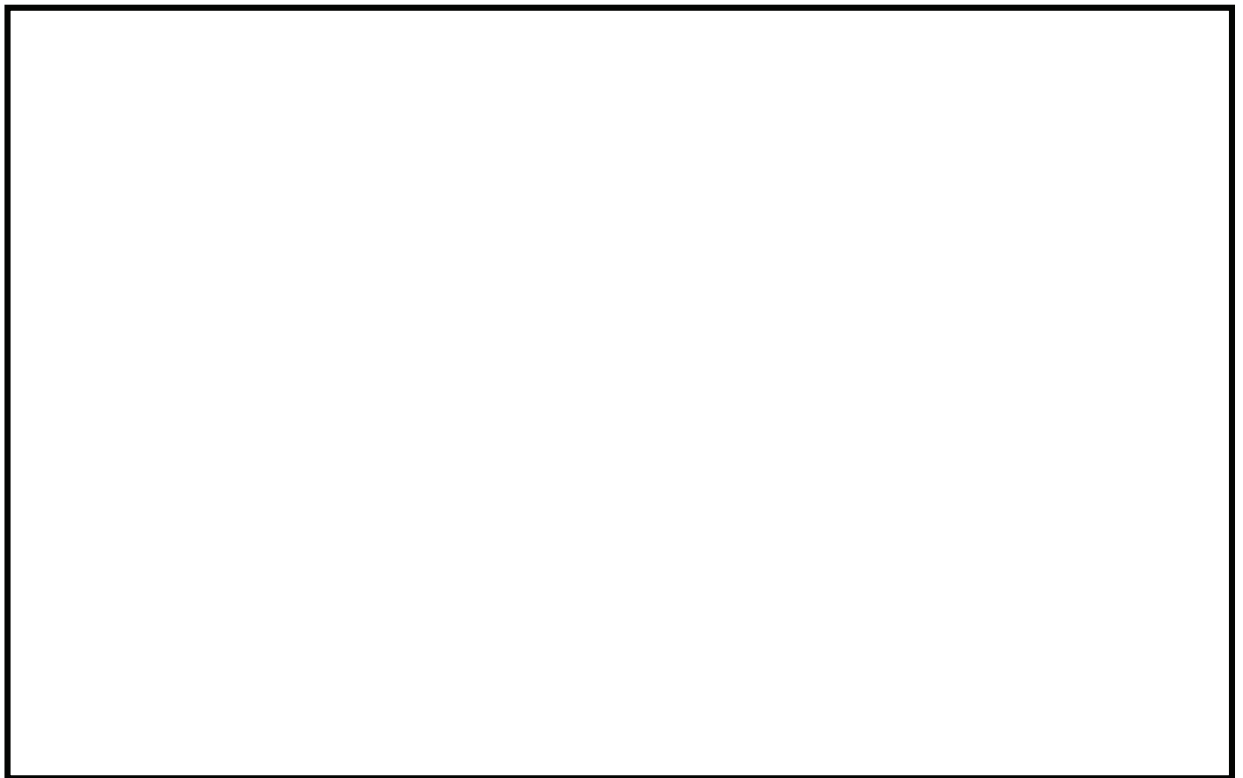
主桁に生じる曲げ応力度とせん断応力度から, 組合せ応力度を「日本建築学会 2005 年鋼構造設計規準 -許容応力度設計法-」に基づく次式により算定し, 短期許容引張応力度以下であることを確認する。

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

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

σ : 最大曲げ応力度 (N/mm²)

τ : 最大せん断応力度 (N/mm²)



(a) 角落し部 (平面図)

(b) 点検用開口部 (平面図)

図 5-1 評価の対象とする主桁

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.5.2 スキンプレート

図5-2に示すとおり、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

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

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)

P_s : 積雪荷重(kN)

k_v : 基準地震動 S_s に伴う鉛直方向の設計震度

(2) スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重 W_{s_s}

$$W_{s_s} = (G + S_s + P_s) / A$$

ここで、 W_{s_s} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重(kN/m²)

G : 固定荷重(kN)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重(kN)

P_s : 積雪荷重(kN)

A : 浸水防止蓋の面積(m²)

(3) スキンプレートに生じる最大曲げ応力度 σ

スキンプレート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する。

$$\sigma = \beta_1 \cdot W_{s_s} \cdot L_4^2 \cdot 10^{-3} / t^2$$

ここで、 σ : スキンプレートに生じる最大曲げ応力度(N/mm²)

W_{s_s} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重(kN/m²)

L_4 : スキンプレートの支持短辺長さ(mm)

β_1 : スキンプレートの辺長比に応じた係数

t : スキンプレートの厚さ(mm)

(4) スキンプレートに生じる最大せん断応力度 τ

$$\tau = W_{s_s} \cdot L_3 \cdot L_4 \cdot 10^{-3} / \{2 \cdot (L_3 + L_4) \cdot t\}$$

ここで、 τ : スキンプレートに生じる最大せん断応力度(N/mm²)

W_{s_s} : スキンプレートに作用する単位面積当りの鉛直方向の等分布荷重(kN/m²)

L_3 : スキンプレートの支持長辺長さ(mm)

L_4 : スキンプレートの支持短辺長さ(mm)

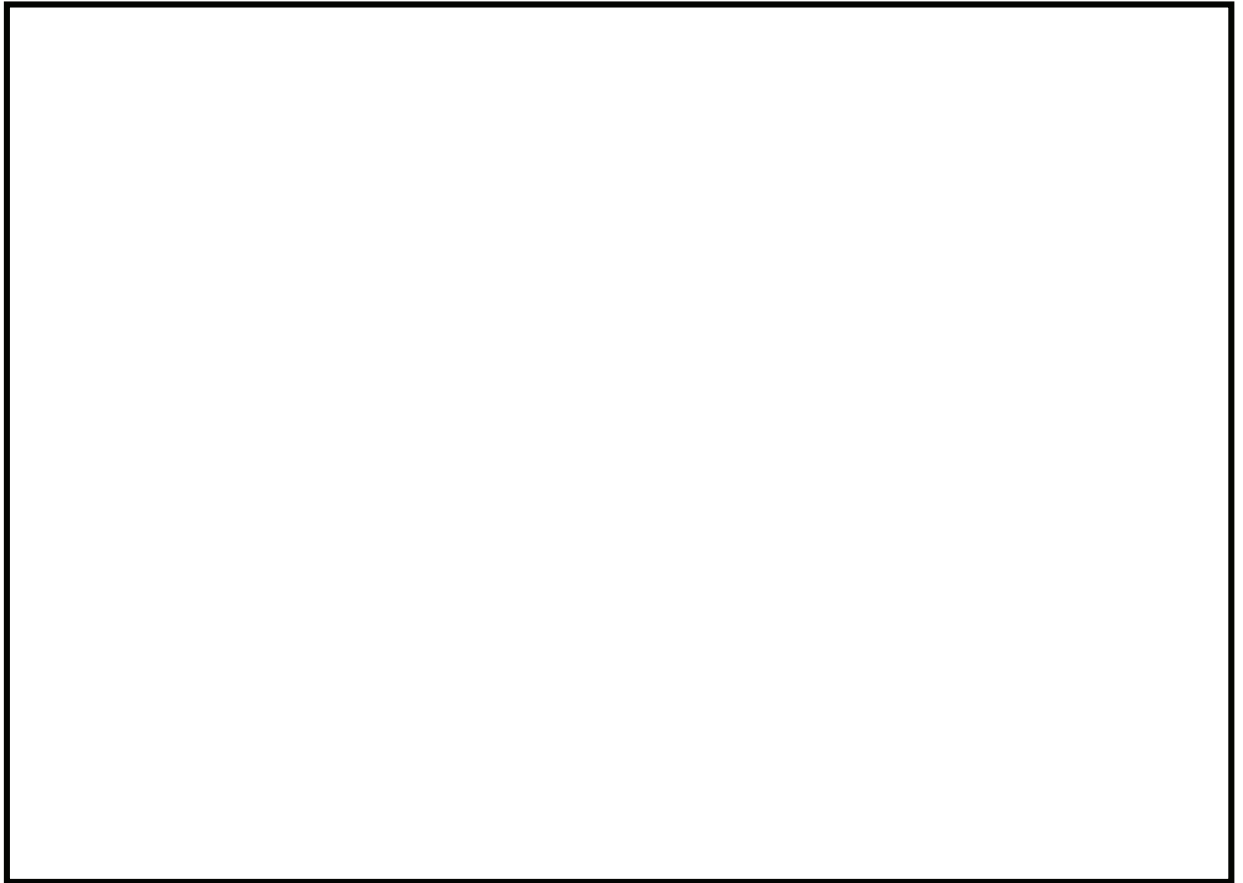
t : スキンプレートの厚さ(mm)

(5) スキンプレートに生じる組合せ応力度 x

スキンプレートに生じる曲げ応力度，せん断応力度を算定し，スキンプレートの短期許容応力度以下であることを確認する。またスキンプレート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「日本建築学会 2005 年 鋼構造設計規準 [許容応力度設計法]」に基づく次式により算定し，短期許容引張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 : 最大曲げ応力度 (N/mm²)
- τ : 最大せん断応力度 (N/mm²)



(a) 角落し部 (平面図)

(b) 点検用開口部 (平面図)

図 5-2 評価の対象とするスキンプレート

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.5.3 固定ボルト (1)

- (1) 基準地震動
- S_s
- による水平方向の地震荷重
- S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_H$$

ここで, S_s : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s に伴う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

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_V$$

ここで, S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

k_V : 基準地震動 S_s に伴う鉛直方向の設計震度

- (3) 固定ボルト (1) 1 本当りに生じる引張応力度
- σ_t

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

ここで, $T_s = S_s / n_s$

σ_t : 固定ボルト (1) 1 本当りに生じる引張応力度 (N/mm²)

T_s : 固定ボルト (1) 1 本当りに作用する引張力 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)

n_s : 固定ボルト (1) の本数 (本)

A' : 固定ボルト (1) の有効断面積 (mm²)

- (4) 固定ボルト (1) 1 本当りに生じるせん断応力度
- τ_s

$$\tau_s = q_s \cdot 10^3 / A'$$

ここで, $q_s = S_s / n_s$

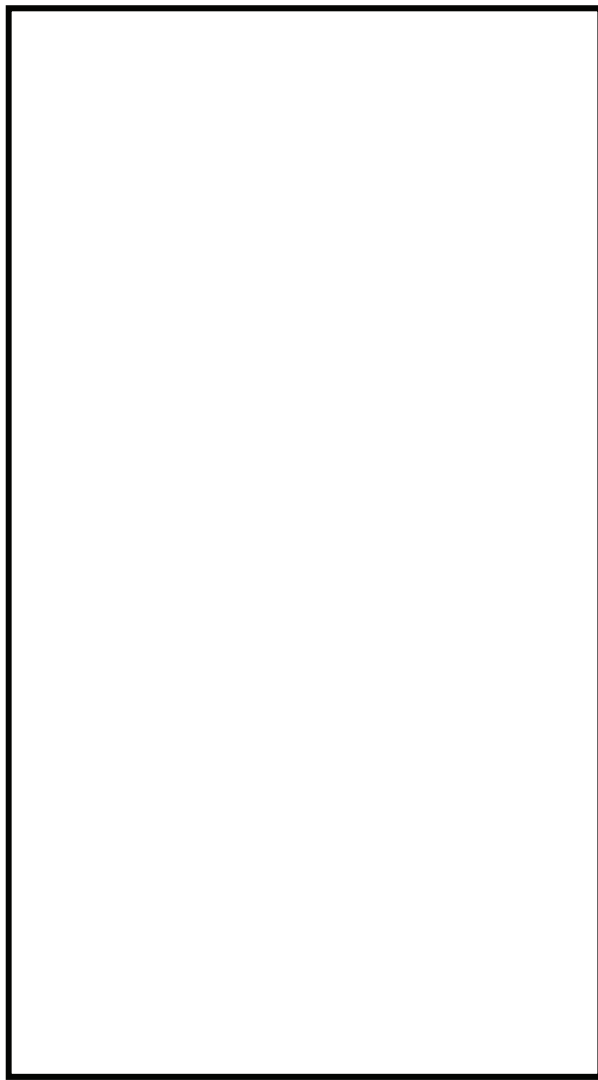
τ_s : 固定ボルト (1) 1 本当りに生じるせん断応力度 (N/mm²)

q_s : 固定ボルト (1) 1 本当りに作用するせん断力 (kN)

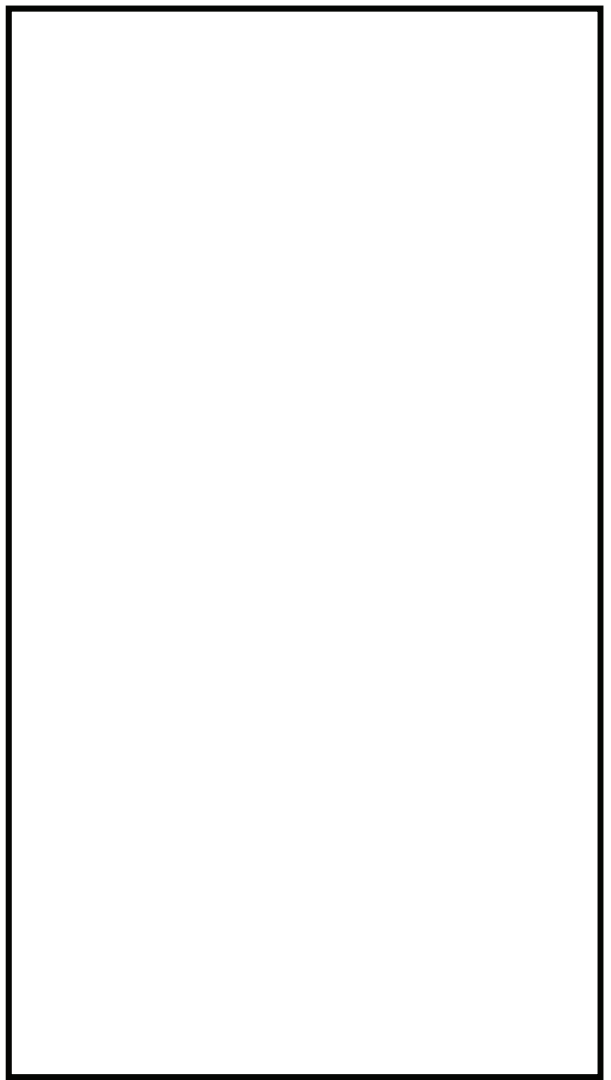
S_s : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)

n_s : 固定ボルト (1) の本数 (本)

A' : 固定ボルト (1) の有効断面積 (mm²)



平面図



A-A 断面図



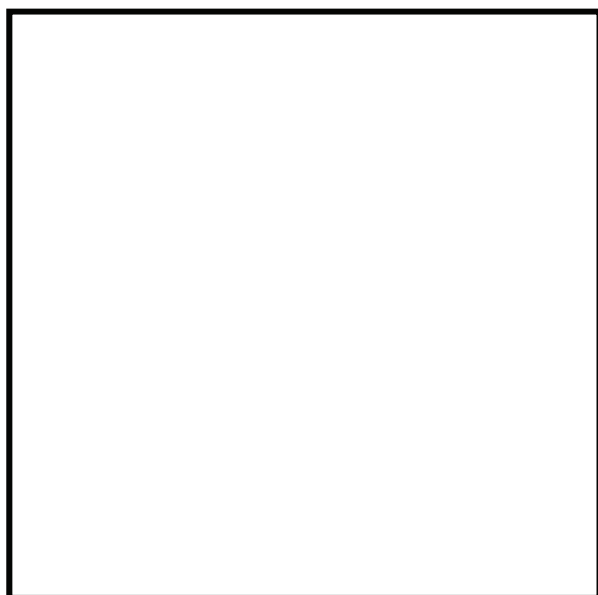
B-B 断面図

a 部詳細図

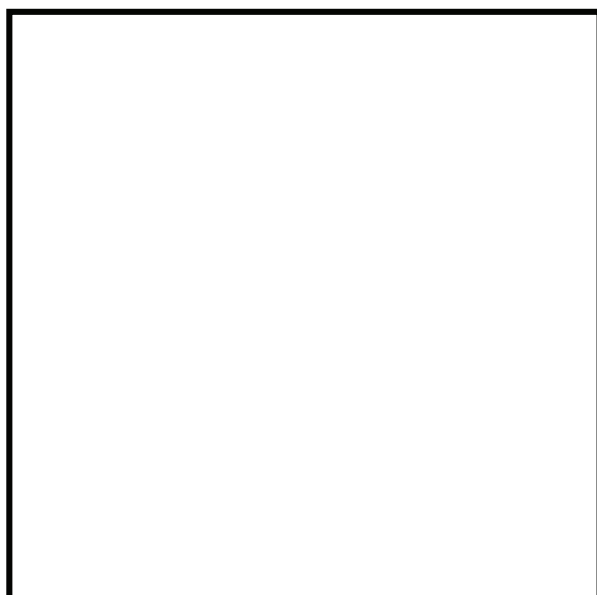
a-a 断面図

図 5-3 固定ボルト (1), 固定ボルト (2), 枠及びベースプレートの納まり (1/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



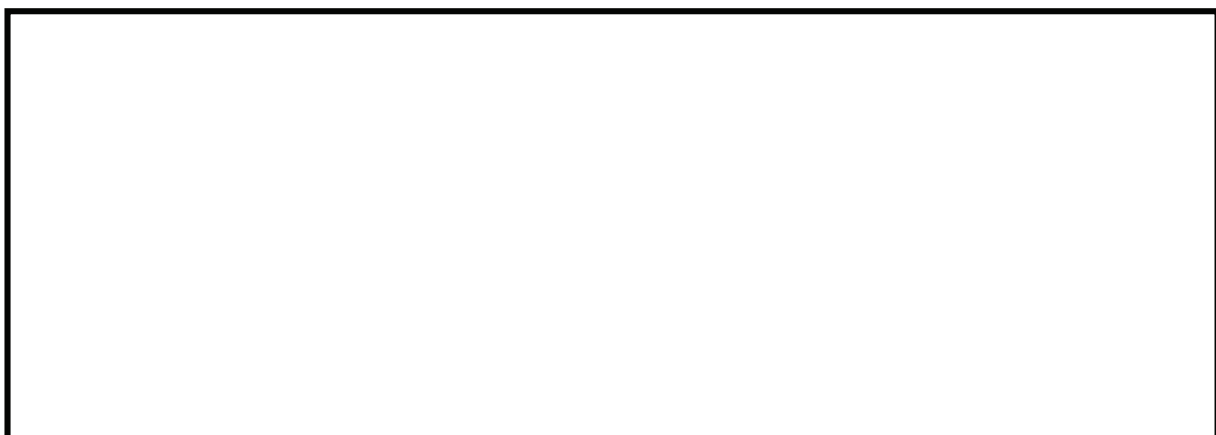
平面図



A-A 断面図



B-B 断面図



a 部詳細図

a-a 見下げ図

図 5-3 固定ボルト (1), 固定ボルト (2), 枠及びベースプレートの納まり (2/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.5.4 固定ボルト (2)

- (1) 基準地震動
- S_s
- による水平方向の地震荷重
- S_s

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_H$$

ここで, S_s : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s に伴う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

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_V$$

ここで, S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

k_V : 基準地震動 S_s に伴う鉛直方向の設計震度

- (3) 固定ボルト (2) 1 本当りに作用する引張力
- T_d

$$T_d = S_s / N$$

ここで, T_d : 固定ボルト (2) 1 本当りに作用する引張力 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)

N : 固定ボルト (2) の本数 (本)

- (4) 固定ボルト (2) 1 本当りに作用するせん断力
- q

$$q = S_s / N$$

ここで, q : 固定ボルト (2) 1 本当りに作用するせん断力 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (kN)

N : 固定ボルト (2) の本数 (本)

- (5) 組合せ評価方法

組合せによる評価を「日本建築学会 2010 年 各種合成構造設計指針・同解説」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。

$$(T_d / T_a)^2 + (q / q_a)^2 \leq 1$$

ここで, T_d : 固定ボルト (2) 1 本当りに作用する引張力 (kN)

T_a : 固定ボルト (2) の短期許容引張荷重 (kN)

q : 固定ボルト (2) 1 本当りに作用するせん断力 (kN)

q_a : 固定ボルト (2) の短期許容せん断荷重 (kN)

5.5.5 枠

枠上フランジについては、直接荷重を負担しない構造となっていることから、下フランジ及びウェブについて評価を実施する。

(1) 枠下フランジに生じる最大曲げ応力度 σ_f

$$\sigma_f = (M_f \cdot 10^6) / Z_f$$

σ_f : 枠下フランジに生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

M_f : 枠下フランジに作用する最大曲げモーメント (kN・m)

Z_f : 枠下フランジの断面係数 (mm³)

ここで、 $M_f = S_s / 8 \cdot L_7 \cdot 10^{-3}$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)

L_7 : 枠ウェブ中心から下フランジ端部までの距離 (mm)

G : 固定荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

k_v : 基準地震動 S_s に伴う鉛直方向の設計震度

(2) 枠下フランジに生じる最大せん断応力度 τ_f

$$\tau_f = Q_f \cdot 10^3 / A_f$$

$$Q_f = S_s / 8$$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_v$$

τ_f : 枠下フランジに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q_f : 枠下フランジに生じる最大せん断力 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)

A_f : 枠下フランジのせん断断面積 (mm²)

G : 固定荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

k_v : 基準地震動 S_s に伴う鉛直方向の設計震度

(3) 枠下フランジに生じる組合せ応力度 x

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

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

σ_f : 枠下フランジに生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

τ_f : 枠下フランジに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

- (4) 水平方向の地震荷重により枠ウェブに作用する最大せん断力 Q_w

$$Q_w = S_s / 2$$

$$S_s = (G + P_s) \cdot k_H$$

Q_w : 枠ウェブに作用する最大せん断力 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

P_s : 積雪荷重 (kN)

k_H : 基準地震動 S_s に伴う水平方向の設計震度

- (5) 水平方向の地震荷重により枠ウェブに生じる最大せん断応力度 τ_w

$$\tau_w = (Q_w \cdot 10^3) / A_{s_w}$$

τ_w : 水平方向の地震荷重により枠ウェブに生じる
最大せん断応力度 (N/mm²)

Q_w : 枠ウェブに作用する最大せん断力 (kN)

A_{s_w} : 枠ウェブのせん断断面積 (mm²)

- (6) 鉛直方向の地震荷重により枠ウェブに作用する最大圧縮力 C_w

$$C_w = S_s / 4$$

C_w : 鉛直方向の地震荷重により枠ウェブに作用する最大圧縮力 (kN)

S_s : 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (kN)

- (7) 鉛直方向の地震荷重により枠ウェブに生じる最大圧縮応力度 σ_{cw}

$$\sigma_{cw} = (C_w \cdot 10^3) / A_w$$

σ_{cw} : 鉛直方向の地震荷重により枠ウェブに生じる最大圧縮応力度 (N/mm²)

A_w : 枠ウェブの断面積 (mm²)

5.5.6 ベースプレート

ベースプレートは片持ち梁として評価を実施する。

- (1) ベースプレートに生じる最大曲げ応力度 σ_b

$$\sigma_b = (M_b \cdot 10^6) / Z_b$$

σ_b : ベースプレートに生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

M_b : ベースプレートに作用する最大曲げモーメント (kN・m)

Z_b : ベースプレートの断面係数 (mm³)

ここで, $M_b = T_d \cdot L_s \cdot 10^{-3}$

T_d : 固定ボルト (2) 1本当りに作用する引張力 (kN)

L_s : ベースプレートの評価長さ (mm)

$$Z_b = (B \cdot t_b^2) / 6$$

B : ベースプレートの有効幅 (mm)

t_b : ベースプレートの板厚 (mm)

- (2) ベースプレートに生じる最大せん断応力度 τ_b

$$\tau_b = (Q_b \cdot 10^3) / A_{sb}$$

$$Q_b = T_d$$

τ_b : ベースプレートに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

Q_b : ベースプレートに作用する最大せん断力 (kN)

A_{sb} : ベースプレートのせん断断面積 (mm²)

- (3) ベースプレートに生じる組合せ応力度 x

$$x = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_b^2}$$

x : 組合せ応力度 (N/mm²)

σ_b : ベースプレートに生じる最大曲げ応力度 (N/mm²)

τ_b : ベースプレートに生じる最大せん断応力度 (N/mm²)

5.6 評価条件

浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値を表 5-5 及び表 5-6 に示す。

表 5-5 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部）
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
共通	G	kN	固定荷重	3.040
	P _s	kN	積雪荷重	0.481
主桁	A	m ²	浸水防止蓋の面積	1.6
	L ₁	mm	主桁の負担幅	430
	L ₂	mm	主桁全長	420
	A _s	mm ²	主桁のせん断断面積	400
	Z	mm ³	主桁の断面係数	1.78×10 ⁴
スキン プレート	A	m ²	浸水防止蓋の面積	1.6
	L ₃	mm	スキンプレーートの支持長辺長さ	430
	L ₄	mm	スキンプレーートの支持短辺長さ	420
	β ₁	-	スキンプレーートの辺長比に応じた係数	0.4
	t	mm	スキンプレーートの厚さ	16
固定 ボルト(1)	n _s	本	固定ボルト(1)の本数	36
	A'	mm ²	固定ボルト(1)の有効断面積	157
固定 ボルト(2)	N	本	固定ボルト(2)の本数	27
ベース プレート	L ₈	mm	ベースプレートの評価長さ	36
	Z _b	mm ³	ベースプレートの断面係数	4332
	B	mm	ベースプレートの有効幅	72
	t _b	mm	ベースプレートの板厚	19
	A _{s_b}	mm ²	ベースプレートのせん断断面積	1368

表 5-6 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1) 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
共通	G	kN	固定荷重	3.138
	P _s	kN	積雪荷重	0.301
主桁	A	m ²	浸水防止蓋の面積	1.0
	L ₁	mm	主桁の負担幅	250
	L ₂	mm	主桁全長	1000
	A _s	mm ²	主桁のせん断断面積	2400
	Z	mm ³	主桁の断面係数	6.00×10 ⁴
スキン プレート	A	m ²	浸水防止蓋の面積	1.0
	L ₃	mm	スキンプレーートの支持長辺長さ	250
	L ₄	mm	スキンプレーートの支持短辺長さ	200
	β ₁	-	スキンプレーートの辺長比に応じた係数	0.5
	t	mm	スキンプレーートの厚さ	12
固定 ボルト (1)	n _s	本	固定ボルト (1) の本数	8
	A'	mm ²	固定ボルト (1) の有効断面積	561
固定 ボルト (2)	N	本	固定ボルト (2) の本数	15
枠	L ₇	mm	枠ウェブ中心から下フランジ端部までの距離	75
	A _w	mm ²	枠ウェブの断面積	7000
	A _{s w}	mm ²	枠ウェブのせん断断面積	7000
	Z _f	mm ³	枠下フランジの断面係数	14170
	A _f	mm ²	枠下フランジのせん断断面積	10000
ベース プレート	L ₈	mm	ベースプレートの評価長さ	80
	Z _b	mm ³	ベースプレートの断面係数	9627
	B	mm	ベースプレートの有効幅	160
	t _b	mm	ベースプレートの板厚	19
	A _{s b}	mm ²	ベースプレートのせん断断面積	3040

6. 評価結果

浸水防止蓋の耐震評価結果を表 6-1 及び表 6-2 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 浸水防止蓋(第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア角落し部)
の耐震評価結果

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値
主桁	曲げ	3	N/mm ²	205	N/mm ²	0.02 < 1.0
	せん断	2	N/mm ²	118	N/mm ²	0.02 < 1.0
	組合せ	5	N/mm ²	205	N/mm ²	0.03 < 1.0
スキンプレート	曲げ	2	N/mm ²	205	N/mm ²	0.01 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	3	N/mm ²	205	N/mm ²	0.02 < 1.0
固定ボルト (1)	引張	1	N/mm ²	205	N/mm ²	0.01 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
固定ボルト (2)	引張	0.2	kN	32.1	kN	0.01 < 1.0
	せん断	0.3	kN	22.3	kN	0.02 < 1.0
	組合せ	-		-		0.01 < 1.0
ベースプレート	曲げ	2	N/mm ²	205	N/mm ²	0.01 < 1.0
	せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
	組合せ	3	N/mm ²	205	N/mm ²	0.02 < 1.0

表 6-2 浸水防止蓋（第 3 号機海水熱交換器建屋海水ポンプ設置エリア点検用開口部）(No. 1)の

耐震評価結果

評価対象部位		発生値 (応力度又は荷重)		許容限界		検定値	
主桁	曲げ	4	N/mm ²	205	N/mm ²	0.02 < 1.0	
	せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0	
	組合せ	5	N/mm ²	205	N/mm ²	0.03 < 1.0	
スキンプレート	曲げ	2	N/mm ²	205	N/mm ²	0.01 < 1.0	
	せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0	
	組合せ	3	N/mm ²	205	N/mm ²	0.02 < 1.0	
固定ボルト (1)	引張	1	N/mm ²	205	N/mm ²	0.01 < 1.0	
	せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0	
固定ボルト (2)	引張	0.3	kN	32.1	kN	0.01 < 1.0	
	せん断	0.5	kN	22.5	kN	0.03 < 1.0	
	組合せ	-		-		0.01 < 1.0	
枠	下フランジ	曲げ	3	N/mm ²	205	N/mm ²	0.02 < 1.0
		せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
		組合せ	4	N/mm ²	205	N/mm ²	0.02 < 1.0
	ウェブ	圧縮	1	N/mm ²	192	N/mm ²	0.01 < 1.0
		せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0
ベースプレート	曲げ	3	N/mm ²	205	N/mm ²	0.02 < 1.0	
	せん断	1	N/mm ²	118	N/mm ²	0.01 < 1.0	
	組合せ	4	N/mm ²	205	N/mm ²	0.02 < 1.0	

VI-2-10-2-8-6 浸水防止蓋（第2号機軽油タンクエリア）
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	8
4.	固有値解析	9
4.1	固有振動数の計算方法	9
4.2	固有振動数の計算条件	10
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
5.3	許容限界	13
5.4	設計用地震力	16
5.5	評価方法	16
5.6	評価条件	20
6.	評価結果	22

1. 概要

本資料は、添付書類「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地下軽油タンク燃料移送ポンプ室アクセス用浸水防止蓋（No.1）、（No.2）及び地下軽油タンク機器搬出入用浸水防止蓋（以下「浸水防止蓋」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確認するものである。その耐震評価は、浸水防止蓋の固有値解析及び応力評価により行う。

浸水防止蓋は、浸水防護施設としてS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。

なお、浸水防止蓋の耐震評価においては、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生したことを考慮する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

浸水防止蓋は、軽油タンクエリア上部に設置する。

浸水防止蓋の設置位置図を図 2-1 に示す。

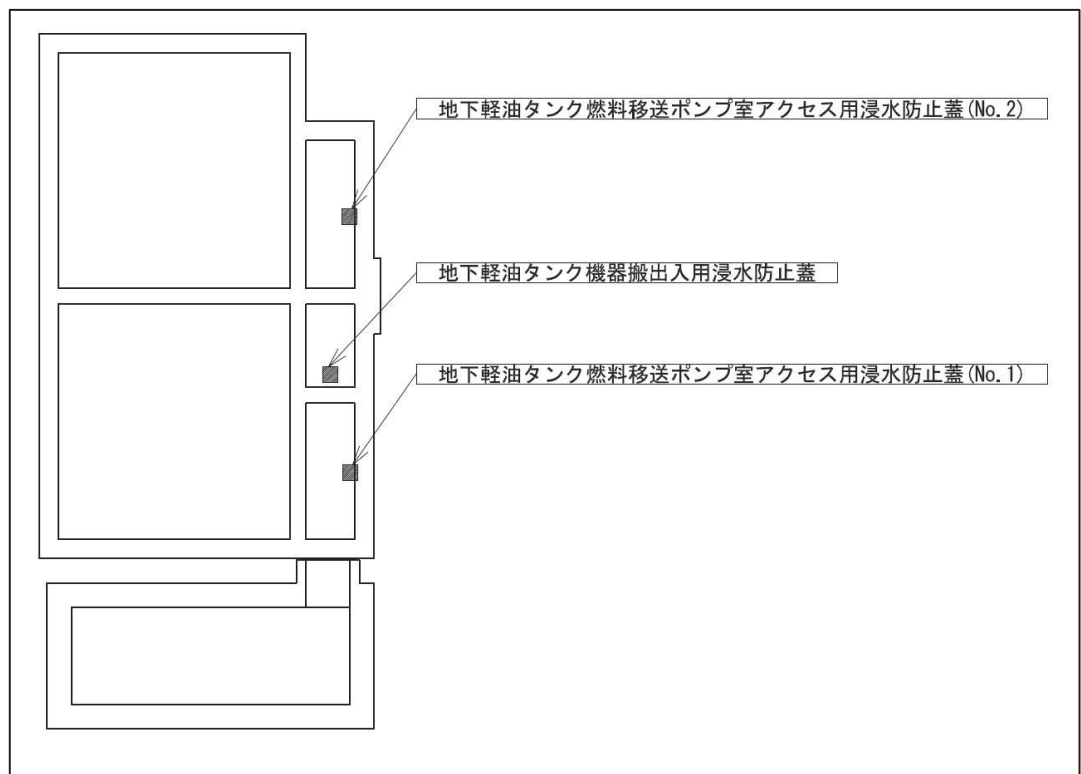
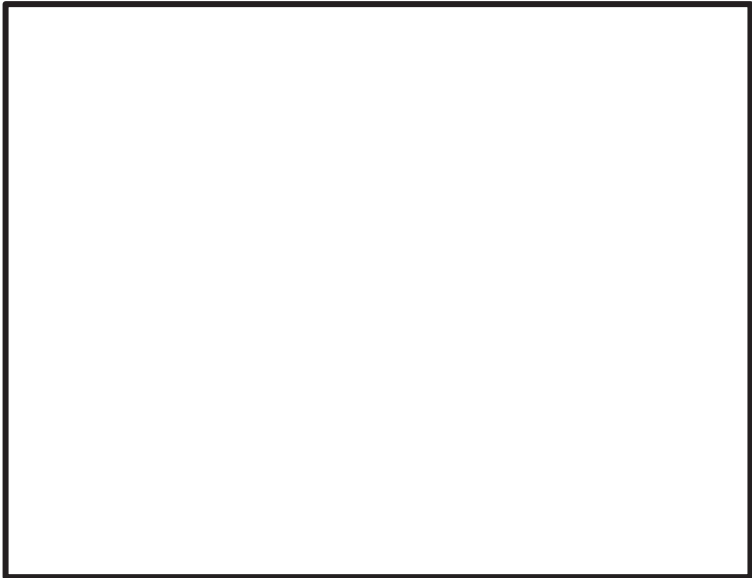
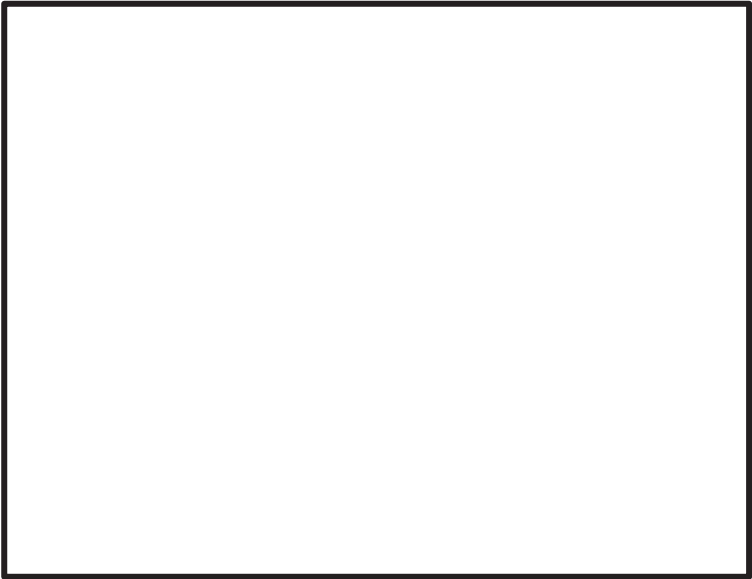


図 2-1 浸水防止蓋の設置位置図（軽油タンクエリア上部）

2.2 構造計画

浸水防止蓋は、軽油タンクエリア上部（開口部）に固定ボルトにて固定することで止水性を確保する構造とする。浸水防止蓋の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 浸水防止蓋の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
軽油タンクエリア上部（開口部）に固定ボルトで固定する。	浸水防止蓋及び固定ボルトにより構成する。	 <p>地下軽油タンク燃料移送ポンプ室アクセス用浸水防止蓋 (No. 1), (No. 2)</p>  <p>地下軽油タンク機器搬出入用浸水防止蓋</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 評価方針

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「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」にて示す浸水防止蓋の構造を踏まえ「3. 評価対象部位」にて設定する評価対象部位において、「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」にて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。

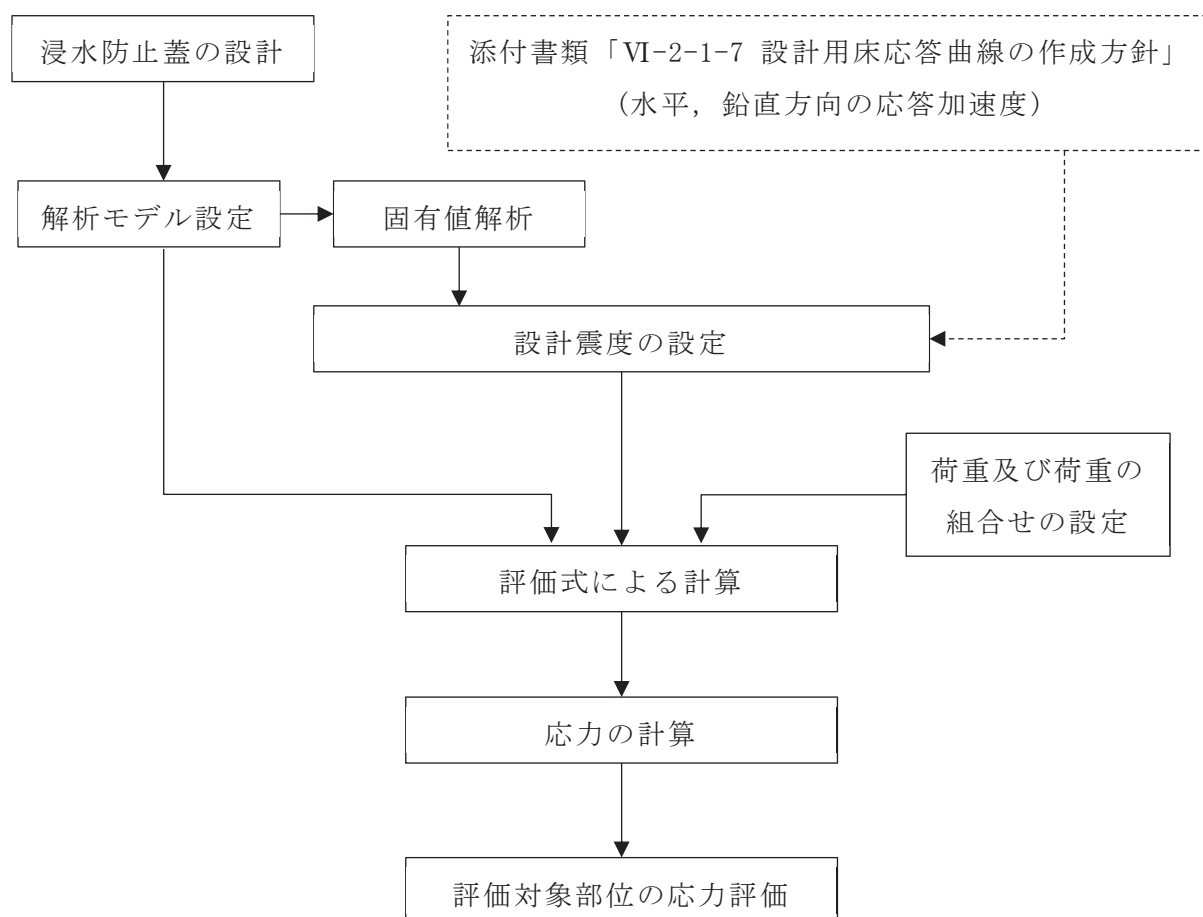


図 2-2 耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- (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)) (以下, 設計・建設規格という。)
- (2) 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)
- (3) 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)
- (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) (以下「J E A G 4 6 0 1」と記載しているものは上記 3 指針を指す。)
- (5) 機械工学便覧 (日本機械学会)
- (6) 日本産業規格 (J I S)

2.5 記号の説明

浸水防止蓋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 (1/2)

記号	単位	定義
a	mm	浸水防止蓋の幅 (長辺)
b	mm	浸水防止蓋の長さ (短辺)
g	m/s ²	重力加速度
t	mm	浸水防止蓋の厚さ
m	kg	浸水防止蓋を構成する部材の重量
D	N	固定荷重
P _s	Pa	積雪荷重
F	MPa	許容応力算定用基準値 設計・建設規格 SSB-3121.1(1)a.(b)に定める, S _y 及び 0.7・S _u のいずれか小さい方の値とする。
f _b	MPa	許容曲げ応力 設計・建設規格 SSB-3121.1(4)に定める値とする。
f _s	MPa	許容せん断応力 設計・建設規格 SSB-3121.1(2)に定める値とする。
f _t	MPa	許容引張応力 設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値とする。
f _{t s}	MPa	せん断応力と引張応力を同時に受けるボルトの許容引張応力
S _y	MPa	設計・建設規格の付録図表 Part5 表 8 に規定される材料の設計降伏点
S _u	MPa	設計・建設規格の付録図表 Part5 表 9 に規定される材料の設計引張強さ
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
K _{H s s}	N	基準地震動 S _s による水平方向の地震荷重
K _{V s s}	N	基準地震動 S _s による鉛直方向の地震荷重
A	mm ²	浸水防止蓋の面積
ω	Pa/cm	積雪の単位荷重
β ₂	—	浸水防止蓋の曲げ応力算定に用いる係数
σ _{b s s}	MPa	浸水防止蓋に加わる曲げ応力
σ	MPa	浸水防止蓋に発生する曲げ応力とせん断応力の組合せ応力
τ _{s s}	MPa	浸水防止蓋に加わるせん断応力
A _b	mm ²	ボルトの断面積
n	本	ボルトの本数

表 2-2 耐震評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
τ_{kss}	MPa	ボルト 1 本あたりに加わるせん断応力
f_{t0}	MPa	ボルトに作用する許容引張応力 (f_t を 1.5 倍した値)

3. 評価対象部位

浸水防止蓋の評価対象部位は、「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。

浸水防止蓋に対して積雪及び地震（ S_s ）による荷重が作用し、これらの荷重は鋼製の浸水防止蓋から浸水防止蓋を固定している鋼製の固定ボルトに伝達することから、主要構成部材である浸水防止蓋及び固定ボルトを評価対象部位として設定する。

浸水防止蓋の耐震評価における評価対象部位について図 3-1 及び図 3-2 に示す。



図 3-1 評価対象部位（地下軽油タンク燃料移送ポンプ室アクセス用浸水防止蓋
(No. 1) , (No. 2))



図 3-2 評価対象部位（地下軽油タンク機器搬出入用浸水防止蓋）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 固有値解析

4.1 固有振動数の計算方法

浸水防止蓋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

浸水防止蓋は、全周囲を固定ボルトにて固定された構造であることから、荷重がかかる浸水防止蓋は図 4-1 に示す周辺固定の長方形板モデルとする。

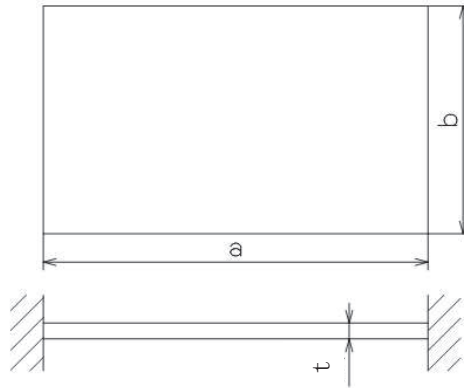


図 4-1 浸水防止蓋の概略モデル

4.1.2 記号の説明

浸水防止蓋の固有振動数算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
T	s	固有周期
f	Hz	一次固有振動数
b	mm	浸水防止蓋の長さ（短辺）
t	mm	浸水防止蓋の厚さ
g	m/s ²	重力加速度
λ	—	振動数係数（板モデルの固有振動数算出）
E	MPa	縦弾性係数 設計・建設規格の付録材料図表 Part6 表 1 より温度を考慮して求めた値
ρ	kg/m ³	材料の密度
ν	—	ポアソン比

4.1.3 固有振動数の算出方法

固有周期 T 及び周辺固定の長方形板モデルの一次固有振動数 f は、「機械工学便覧（日本機械学会）」より、次式を用いて算出する。

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

$$f = \frac{\lambda \cdot \pi \cdot \frac{t}{2}}{2 \cdot b^2} \sqrt{\frac{E \cdot g}{3 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \rho}}$$

4.2 固有振動数の計算条件

表 4-2 に固有振動数の計算条件を示す。

表 4-2 固有振動数の計算条件 (1/2)

設備名称	材質	浸水防止蓋の厚さ t (mm)	浸水防止蓋の幅 a (mm)	浸水防止蓋の長さ b (mm)	振動数係数 λ^{*1}
地下軽油タンク 燃料移送ポンプ室 アクセス用浸水防止蓋 (No.1) , (No.2)	SUS304	16	1.336×10^3	1.070×10^3	2.74
地下軽油タンク 機器搬出入用浸水防止蓋	SUS304	16	1.336×10^3	1.030×10^3	2.74

表 4-2 固有振動数の計算条件 (2/2)

温度条件 ^{*2} (°C)	縦弾性係数 E (MPa)	重力加速度 g (m/s ²)	ポアソン比 ν	材料の密度 ρ (kg/m ³)
40	1.94×10^5	9.80665	0.3	7.93×10^3

注記*1：浸水防止蓋の振動数係数 λ は、いずれも $1 < a/b < 1.5$ のため、より小さな値として算出される $a/b = 1.5$ の場合の定数 $\lambda = 2.74$ を用いた。

*2：屋外設備としての環境条件を考慮する。

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

機器名称	固有振動数 (Hz)
地下軽油タンク燃料移送ポンプ室アクセス用浸水防止蓋 (No. 1) , (No. 2)	90.03
地下軽油タンク機器搬出入用浸水防止蓋	97.16

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

浸水防止蓋の耐震評価は、添付書類「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」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

浸水防止蓋の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$$D + S_s + P_s$$

ここで、D : 固定荷重

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重

P_s : 積雪荷重

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 (D)

常時作用する固定荷重として、浸水防止蓋を構成する部材の自重を考慮し、以下の式により算出する。

$$D = m \cdot g$$

ここで、D : 固定荷重 (N)

m : 浸水防止蓋を構成する部材の重量 (kg)

g : 重力加速度 (m/s^2)

(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、浸水防止蓋の固定荷重及び積雪荷重に設計震度を乗じた次式により算出する。

地震荷重を以下の式より算出する。

$$K_{H s s} = C_H \cdot (D + P_s \cdot A)$$

$$K_{V s s} = C_V \cdot (D + P_s \cdot A)$$

ここで、 $K_{H s s}$: 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (N)

$K_{V s s}$: 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (N)

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

D : 固定荷重 (N)

P_s : 積雪荷重 (Pa)

A : 浸水防止蓋の面積 (mm^2)

(3) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、添付書類「VI-1-1-2 発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうち、添付資料「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき 43cm の積雪量を想定し、平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮する。

積雪荷重による質量を以下の式より算出する。

$$P_s = 0.35 \cdot \omega \cdot 43$$

ここで、 P_s : 積雪荷重 (Pa)

ω : 積雪の単位荷重 (Pa/cm)

5.3 許容限界

許容限界は、添付資料「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

浸水防止蓋を構成する浸水防止蓋，固定ボルト①，固定ボルト②及び固定ボルト③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
浸水防止蓋	SUS304	厚さ 16 mm
固定ボルト①②③	SUS304	M16

5.3.2 許容限界

浸水防止蓋の許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」にて設定している許容限界を踏まえ、設計・建設規格に準じた許容応力を用いる。なお、浸水防止蓋の浮き上がりによるボルトの引張が起こらないため、固定ボルトの発生応力においては引張を考慮しないことから、引張応力及び組合せ応力については許容限界を設定しない。

浸水防止蓋及び固定ボルトの許容限界を表 5-2 に、許容応力評価条件を表 5-3 に、許容応力算出結果を表 5-4 にそれぞれ示す。

表 5-2 浸水防止蓋及び固定ボルトの許容限界（許容応力）

許容応力 状態	許容限界* ¹ (MPa)					
	浸水防止蓋			固定ボルト①②③		
	一次応力			一次応力		
	曲げ	せん断	組合せ* ²	引張	せん断	組合せ* ³
Ⅲ _{AS} * ⁴	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	f_{ts}

注記*¹：曲げ及びせん断は、J E A G 4 6 0 1 を準用し、「その他の支持構造物」の許容限界を適用する。組合せは、設計・建設規格による。

*²：曲げとせん断の組合せである。

*³：せん断応力と引張応力を同時に受けるボルトの許容引張応力 f_{ts} は、次のいずれか小さい方の値から算出。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \tau_{kss}$$

$$f_{ts} = f_{t0}$$

*⁴：地震後、津波後の再使用性や津波の繰返し作用を想定し、当該構造物全体の变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 許容応力評価条件

評価対象部位	材料	温度条件 (°C)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)
浸水防止蓋	SUS304	40	205	520	205
固定ボルト①					
固定ボルト②					
固定ボルト③					

注記*： $F = \text{Min} [S_y, 0.7 \cdot S_u]$ とする。

表 5-4 許容応力算出結果

許容応力 状態	評価対象 部位	許容限界 (ボルト以外)			許容限界 (ボルト)	
		一次応力			一次応力	
		曲げ (MPa)	せん断 (MPa)	組合せ (MPa)	引張 (MPa)	せん断 (MPa)
Ⅲ _A S	浸水防止蓋	204	117	204	—	—
	固定ボルト①	—	—	—	—	117
	固定ボルト②	—	—	—	—	117
	固定ボルト③	—	—	—	—	117

5.4 設計用地震力

「4. 固有値解析」に示したとおり，浸水防止蓋の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため，浸水防止蓋の耐震評価に用いる設計震度は，添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す軽油タンク室（ポンプ室）における最大応答加速度の 1.2 倍を考慮して設定する。

耐震評価で用いる設計震度を表 5-5 に示す。

表 5-5 設計震度

地震動	設置場所及び床面高さ (m)	水平方向設計震度 C_H^*	鉛直方向設計震度 C_V^*
基準地震動 S_s	軽油タンク室（ポンプ室） O.P. 13.80	1.69	0.95

注記＊：「4. 固有値解析」より，浸水防止蓋の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため，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。

5.5 評価方法

浸水防止蓋，固定ボルト①，固定ボルト②及び固定ボルト③に発生する応力より算出する応力度が，許容限界以下であることを確認する。

5.5.1 浸水防止蓋

四辺を固定された長方形板に等分布荷重が作用した際に，浸水防止蓋に発生する曲げ応力及びせん断応力は，「機械工学便覧（日本機械学会）」より以下の式にて算出する。

(1) 最大曲げ応力

$$\sigma_{b s s} = \frac{\beta_2 \cdot \left(\frac{D + K_{v s s}}{A} + P_s \right) \cdot b^2}{t^2}$$

ここで， $\sigma_{b s s}$: 浸水防止蓋に加わる曲げ応力 (MPa)

β_2 : 浸水防止蓋の曲げ応力算定に用いる係数

D : 浸水防止蓋の固定荷重 (N)

$K_{v s s}$: 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (N)

A : 浸水防止蓋の面積 (mm²)

P_s : 積雪荷重 (Pa)

b : 浸水防止蓋の長さ（短辺）(mm)

t : 浸水防止蓋の厚さ (mm)

(2) 最大せん断応力

$$\tau_{s s} = \frac{D + K_{V s s} + P_s \cdot A}{t \cdot (a + b) \cdot 2}$$

- ここで、 $\tau_{s s}$: 浸水防止蓋に加わるせん断応力 (MPa)
 D : 浸水防止蓋の固定荷重 (N)
 $K_{V s s}$: 基準地震動 S_s による鉛直方向の地震荷重 (N)
 P_s : 積雪荷重 (Pa)
 A : 浸水防止蓋の面積 (mm²)
 t : 浸水防止蓋の厚さ (mm)
 a : 浸水防止蓋の長さ (長辺) (mm)
 b : 浸水防止蓋の長さ (短辺) (mm)

(3) 組合せ応力評価

浸水防止蓋に発生する曲げ応力やせん断応力の組合せ応力を以下の式より算出する。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{b s s}^2 + 3 \cdot \tau_{s s}^2} \quad *$$

注記* : 設計・建設規格 SSB-3121.1

- ここで、 σ : 浸水防止蓋に発生する曲げ応力とせん断応力の組合せ応力 (MPa)
 $\sigma_{b s s}$: 浸水防止蓋に加わる曲げ応力 (MPa)
 $\tau_{s s}$: 浸水防止蓋に加わるせん断応力 (MPa)

5.5.2 固定ボルト①

固定ボルト①に作用するせん断荷重は、浸水防止蓋の水平方向荷重をすべての固定ボルト①で負担するものとして評価する。固定ボルト①のせん断応力を以下の式より算出する。

$$\tau_{k s s} = \frac{K_{H s s}}{n_1 \cdot A_{b 1}}$$

$$K_{H s s} = C_H \cdot (D_1 + P_s \cdot A)$$

ここで、 $\tau_{k s s}$: ボルト 1 本当たりに加わるせん断応力 (MPa)

$K_{H s s}$: 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (N)

C_H : 基準地震動 S_s による水平方向の設計震度

D_1 : 浸水防止蓋の固定荷重 (N)

P_s : 積雪荷重 (Pa)

A : 浸水防止蓋の面積 (mm^2)

n_1 : 固定ボルト①の本数 (本)

$A_{b 1}$: 固定ボルト①の呼び径断面積 (mm^2)

5.5.3 固定ボルト②

固定ボルト②に作用するせん断荷重は、浸水防止蓋、固定ボルト①及び中間リングの水平方向荷重をすべての固定ボルト②で負担するものとして評価する。固定ボルト②のせん断応力を以下の式より算出する。

$$\tau_{k s s} = \frac{K_{H s s}}{n_2 \cdot A_{b 2}}$$

$$K_{H s s} = C_H \cdot (D_2 + P_s \cdot A)$$

ここで、 $\tau_{k s s}$: ボルト 1 本当たりに加わるせん断応力 (MPa)

$K_{H s s}$: 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (N)

C_H : 基準地震動 S_s による水平方向の設計震度

D_2 : 浸水防止蓋、固定ボルト①及び中間リングの固定荷重 (N)

P_s : 積雪荷重 (Pa)

A : 浸水防止蓋の面積 (mm^2)

n_2 : 固定ボルト②の本数 (本)

$A_{b 2}$: 固定ボルト②の呼び径断面積 (mm^2)

5.5.4 固定ボルト③

固定ボルト③に作用するせん断荷重は，浸水防止蓋，固定ボルト①，中間リング，固定ボルト②及び埋込リングの水平方向荷重をすべての固定ボルト③で負担するものとして評価する。固定ボルト③のせん断応力を以下の式より算出する。

$$\tau_{k s s} = \frac{K_{H s s}}{n_3 \cdot A_{b 3}}$$

$$K_{H s s} = C_H \cdot (D_3 + P_s \cdot A)$$

ここで， $\tau_{k s s}$: ボルト 1 本あたりに加わるせん断応力 (MPa)

$K_{H s s}$: 基準地震動 S_s による水平方向の地震荷重 (N)

C_H : 基準地震動 S_s による水平方向の設計震度

D_3 : 浸水防止蓋，固定ボルト①，中間リング，固定ボルト②及び埋込リングの固定荷重 (N)

P_s : 積雪荷重 (Pa)

A : 浸水防止蓋の面積 (mm^2)

n_3 : 固定ボルト③の本数 (本)

$A_{b 3}$: 固定ボルト③の呼び径断面積 (mm^2)

5.6 評価条件

浸水防止蓋の耐震評価に用いる入力値を表 5-6 及び表 5-7 に示す。

表 5-6 浸水防止蓋（地下軽油タンク燃料移送ポンプ室アクセス用浸水防止蓋（No.1）
（No.2））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
浸水防止蓋	D	N	浸水防止蓋の固定荷重	3.040×10^3
	a	mm	浸水防止蓋の長さ（長辺）	1.336×10^3
	b	mm	浸水防止蓋の幅（短辺）	1.070×10^3
	A	mm ²	浸水防止蓋の面積	1.430×10^6
	t	mm	浸水防止蓋の厚さ	16
固定ボルト①	D ₁	N	浸水防止蓋の固定荷重	3.040×10^3
	n ₁	本	固定ボルト①の本数	8
	A _{b1}	mm ²	固定ボルト①の呼び径断面積	201.1
固定ボルト②	D ₂	N	浸水防止蓋，固定ボルト①及び中間リングの固定荷重	4.590×10^3
	n ₂	本	固定ボルト②の本数	12
	A _{b2}	mm ²	固定ボルト②の呼び径断面積	201.1
固定ボルト③	D ₃	N	浸水防止蓋，固定ボルト①，中間リング，固定ボルト②及び埋込リングの固定荷重	6.472×10^3
	n ₃	本	固定ボルト③の本数	16
	A _{b3}	mm ²	固定ボルト③の呼び径断面積	201.1

表 5-7 浸水防止蓋（地下軽油タンク機器搬出入用浸水防止蓋）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
浸水防止蓋	D	N	固定荷重	2.550×10^3
	a	mm	浸水防止蓋の長さ（長辺）	1.336×10^3
	b	mm	浸水防止蓋の幅（短辺）	1.070×10^3
	A	mm ²	浸水防止蓋の面積	1.376×10^6
	t	mm	浸水防止蓋の厚さ	16
固定ボルト①	D ₁	N	浸水防止蓋の固定荷重	2.550×10^3
	n ₁	本	固定ボルト①の本数	8
	A _{b1}	mm ²	固定ボルト①の呼び径断面積	201.1
固定ボルト②	D ₂	N	浸水防止蓋，固定ボルト①及び中間リングの固定荷重	4.295×10^3
	n ₂	本	固定ボルト②の本数	12
	A _{b2}	mm ²	固定ボルト②の呼び径断面積	201.1
固定ボルト③	D ₃	N	浸水防止蓋，固定ボルト①，中間リング，固定ボルト②及び埋込リングの固定荷重	6.178×10^3
	n ₃	本	固定ボルト③の本数	16
	A _{b3}	mm ²	固定ボルト③の呼び径断面積	201.1

6. 評価結果

浸水防止蓋の耐震評価結果を表 6-1 に示す。全ての部材において発生応力が許容応力以下であることを確認した。

表 6-1 耐震評価結果

評価対象部位		評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
地下軽油タンク 燃料移送ポンプ室 アクセス用 浸水防止蓋 (No. 1) , (No. 2)	浸水防止蓋	曲げ	10	204
		せん断	1	117
		組合せ*	11	204
	固定ボルト①	せん断	4	117
	固定ボルト②	せん断	4	117
	固定ボルト③	せん断	4	117
地下軽油タンク 機器搬出入用 浸水防止蓋	浸水防止蓋	曲げ	8	204
		せん断	1	117
		組合せ*	9	204
	固定ボルト①	せん断	4	117
	固定ボルト②	せん断	4	117
	固定ボルト③	せん断	4	117

注記*：浸水防止蓋の組合せ応力値は曲げとせん断の組合せである。