

本資料のうち、枠囲みの内容は
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-1091 改0
提出年月日	平成30年9月19日

V-3-別添 3-2-9 貯留堰の強度計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	6
2.4 適用基準	10
3. 強度評価方法	11
3.1 記号の定義	11
3.2 評価対象断面及び部位	13
3.3 荷重及び荷重の組合せ	18
3.4 許容限界	25
3.5 評価方法	30
4. 評価条件	72
5. 評価結果	84
5.1 津波時の強度評価結果	84
5.2 重畳時の強度評価結果	94

1. 概要

本資料は、添付書類「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、貯留堰が地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震及び漂流物の衝突を考慮した荷重に対し、主要な構造部材の構造健全性を保持すること及び主要な構造体の境界部に設置する部材が有意な漏えいを生じない変形に留まることを確認するものである。

2. 基本方針

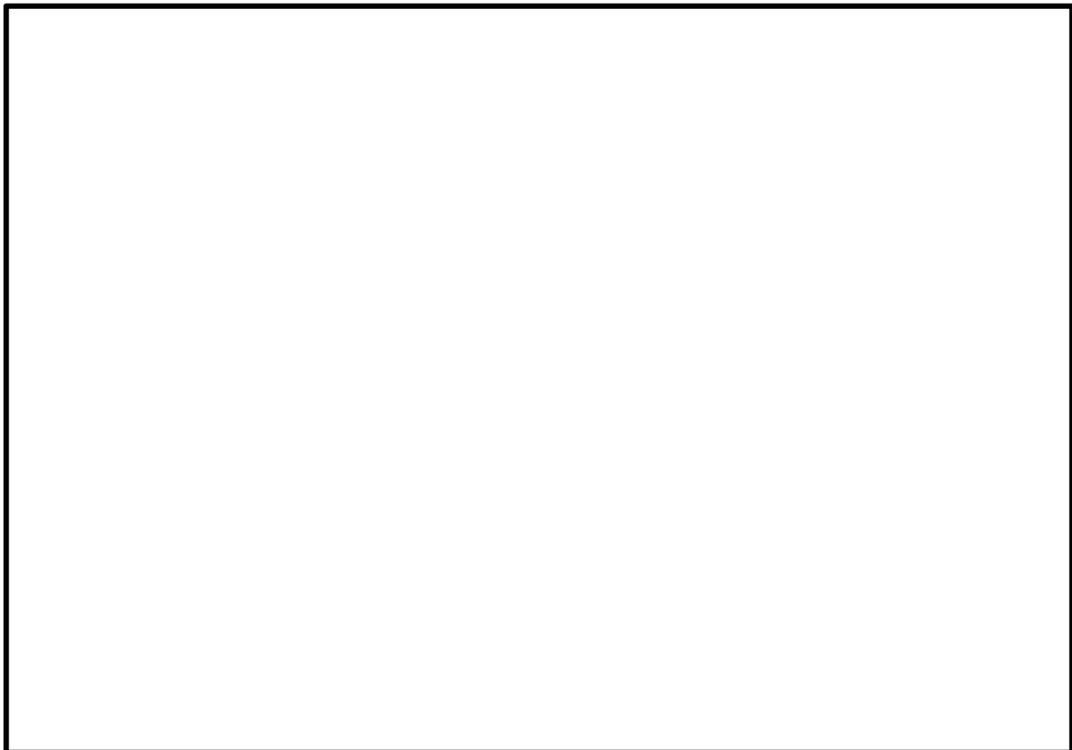
添付書類「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す「2.1 機能維持の方針」を踏まえ、貯留堰の「2.1 位置」及び「2.2 構造概要」を示す。

2.1 位置

貯留堰の平面配置図を第2-1図に示す。



第2-1図 (1) 貯留堰の平面配置図 (全体図)



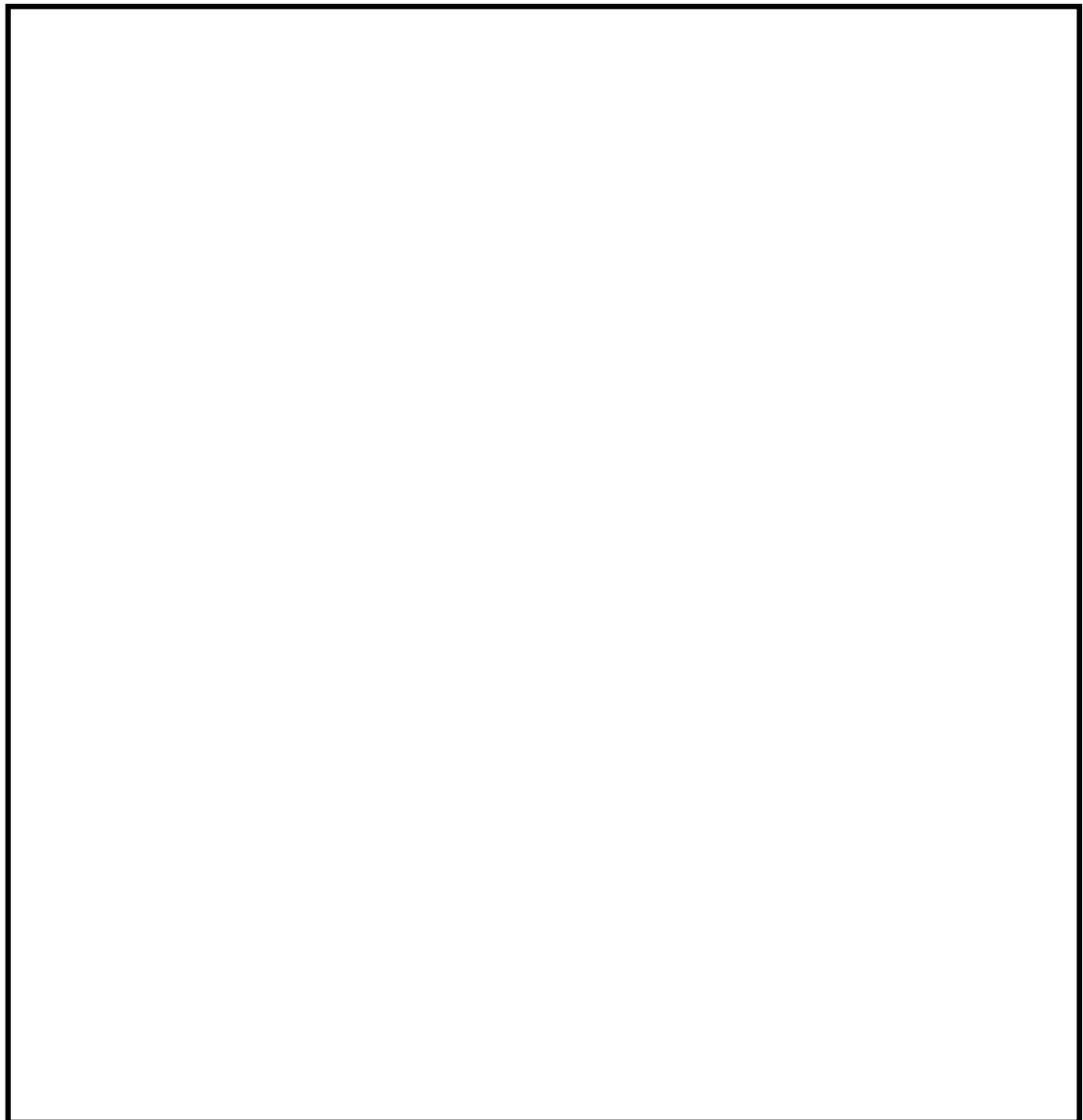
第2-1図 (2) 貯留堰の平面配置図 (拡大図)

2.2 構造概要

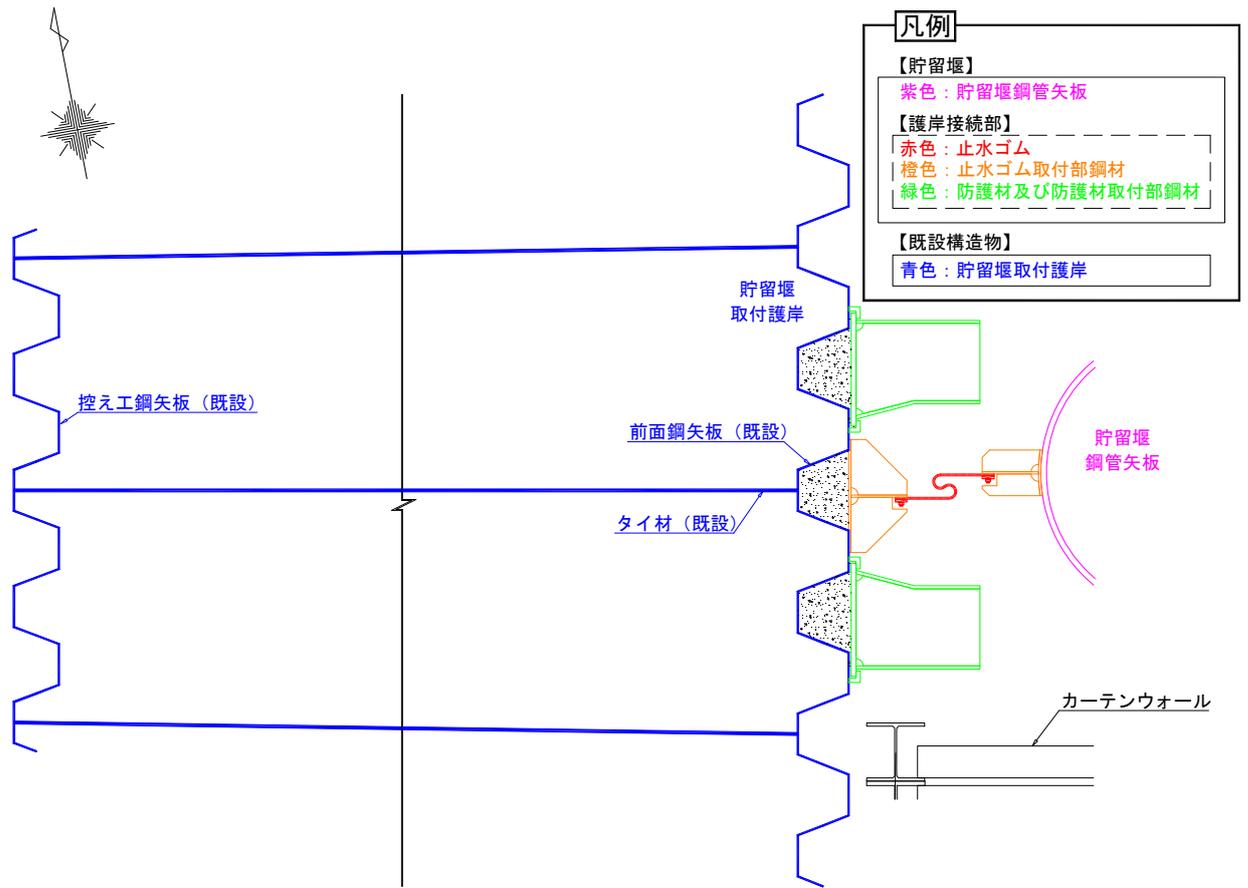
貯留堰は、その機能及び目的から貯留堰本体及び護岸接続部に区分され、このうち貯留堰本体は鋼管矢板と鋼管矢板同士を接続する鋼管矢板継手、護岸接続部は止水ゴム、防護材及びこれらを取り付けるための鋼材より構成される。

鋼管矢板は、 $\phi 2000$ mmの炭素鋼鋼管であり、全47本の鋼管矢板を連続的に打設することにより堰形状を構成する。鋼管矢板は、下端を岩盤に十分根入れすることにより支持性能を確保するとともに、天端は、非常用海水ポンプの取水に必要な水量を確保するため、海底地盤レベルT.P. -6.9 mに対して天端高さをT.P. -4.9 mとしており、約2 mの堰高さを有する。貯留堰の寸法は、約65 m \times 約24 mである。また、貯留堰には、海水による腐食防止のため、電気防食を施す。

貯留堰の平面図を第2-2図に、断面図を第2-3図に、標準図を第2-4図にそれぞれ示す。



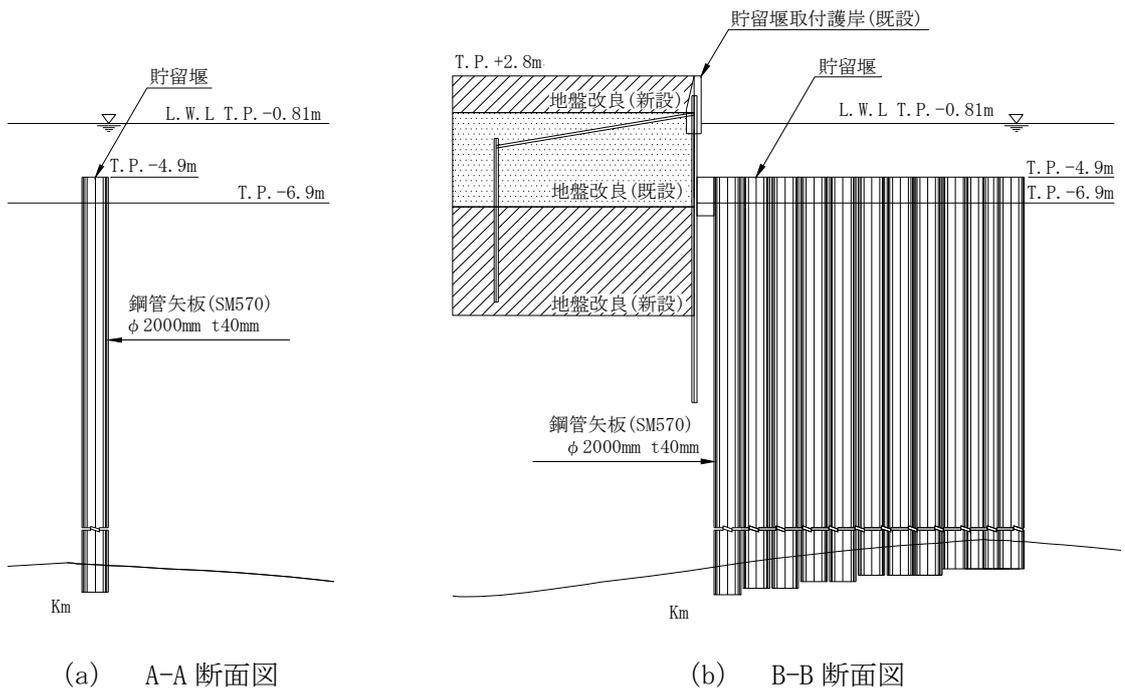
第2-2図 (1) 貯留堰の平面図



第 2-2 図 (2) 貯留堰の平面図 (A 部拡大)

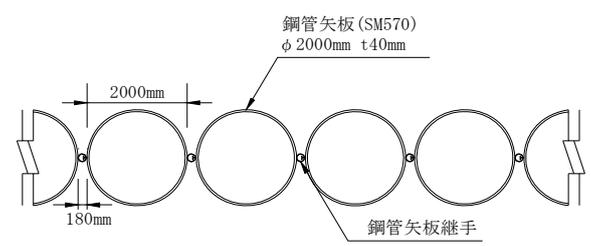


第 2-3 図 貯留堰の断面図



(a) A-A 断面図

(b) B-B 断面図



(c) 鋼管矢板継手部平面

第2-4図 貯留堰の標準図

2.3 評価方針

2.3.1 概要

貯留堰は、設計基準対象施設においては、Sクラス施設である浸水防護施設及び非常用取水設備である屋外重要土木構造物に、重大事故等対処施設においては、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

貯留堰の強度評価は、添付書類「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2 許容限界」におい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実施する。強度評価では、「3. 強度評価方法」に示す方法により、「4. 評価条件」に示す評価条件を用いて評価し、「5. 強度評価結果」より、貯留堰の評価対象部位に作用する応力等が許容限界以下であることを確認する。

貯留堰においては、その構造を踏まえ、津波及び余震荷重の作用方向や伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、津波に伴う荷重作用時（以下、「津波時」という。）及び津波に伴う荷重と余震に伴う荷重作用時（以下、「重畳時」という。）について行う。

貯留堰の強度評価は、設計基準対象施設として第 2-2 表の貯留堰の評価項目に示すとおり、構造部材の健全性評価及び構造物の変形性評価を行う。基礎地盤の支持性能評価については、貯留堰の鋼管矢板が 1 列に並んでいる構造であることから、津波荷重による接地圧への影響がほぼないこと及び重畳時の余震荷重よりも地震時の地震荷重の方が接地圧への影響が大きいことを考慮して、耐震計算書において実施する。

構造物の変形性評価については、止水ゴムの変形量を算定し、有意な漏えいが生じないことを確認した許容限界以下であることを確認する。

津波時の地盤剛性及び地盤ばねの上限値の設定は、第 2-1 表に示す地盤剛性 4 種類と地盤ばねの上限値 4 種類を考慮して、地盤の最も高い剛性と最も大きい強度の組合せによる構成式及び地盤の最も低い剛性と最も小さい強度の組合せによる構成式を地盤ばねの設定で用いることにより、各部位で安全側となる設計を行う。地盤の最も高い剛性と最も大きい強度の組合せは、初期剛性とピーク強度（平均）の組合せを用いる。地盤の最も低い剛性と最も小さい強度の組合せは、津波による影響が支配的な地表面付近の剛性を比較すると、敷地においては静弾性係数の方が地震時の収束剛性よりも小さいことから、静弾性係数と残留強度（ -1σ ）の組合せを用いる。

第 2-1 表 津波時の地盤剛性及び地盤ばねの上限値の組合せ

荷重条件	地盤剛性	上限値
津波時	初期剛性	ピーク強度（平均）
	余震時の収束剛性	ピーク強度（ -1σ ）
	地震時の収束剛性	残留強度（平均）
	静弾性係数	残留強度（ -1σ ）

第2-2表 貯留堰の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鋼管矢板	発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		止水ゴム 取付部鋼材	発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防護材	発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防護材 取付部鋼材	発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
止水性を損なわないこと	構造部材の健全性	鋼管矢板	発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		止水ゴム 取付部鋼材	発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防護材	発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防護材 取付部鋼材	発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
	構造物の変形性	止水ゴム	発生変形量が許容限界以下であることを確認	有意な漏えいが生じないことを確認した変形量

構造部材の健全性評価のうち津波時の検討では、第 2-3 表に示すように 2 次元静的フレーム解析における地盤ばねの剛性及び上限値を増減させた検討を実施し、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。また、重畳時の検討では、1 次元有効応力解析から地盤ばねの剛性及び上限値を設定した 2 次元静的フレーム解析を実施し、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。なお、重畳時の検討では、第 2-4 表に示すような地盤物性のばらつきの影響評価を実施する。

貯留堰の強度評価の検討フローを第 2-5 図に示す。

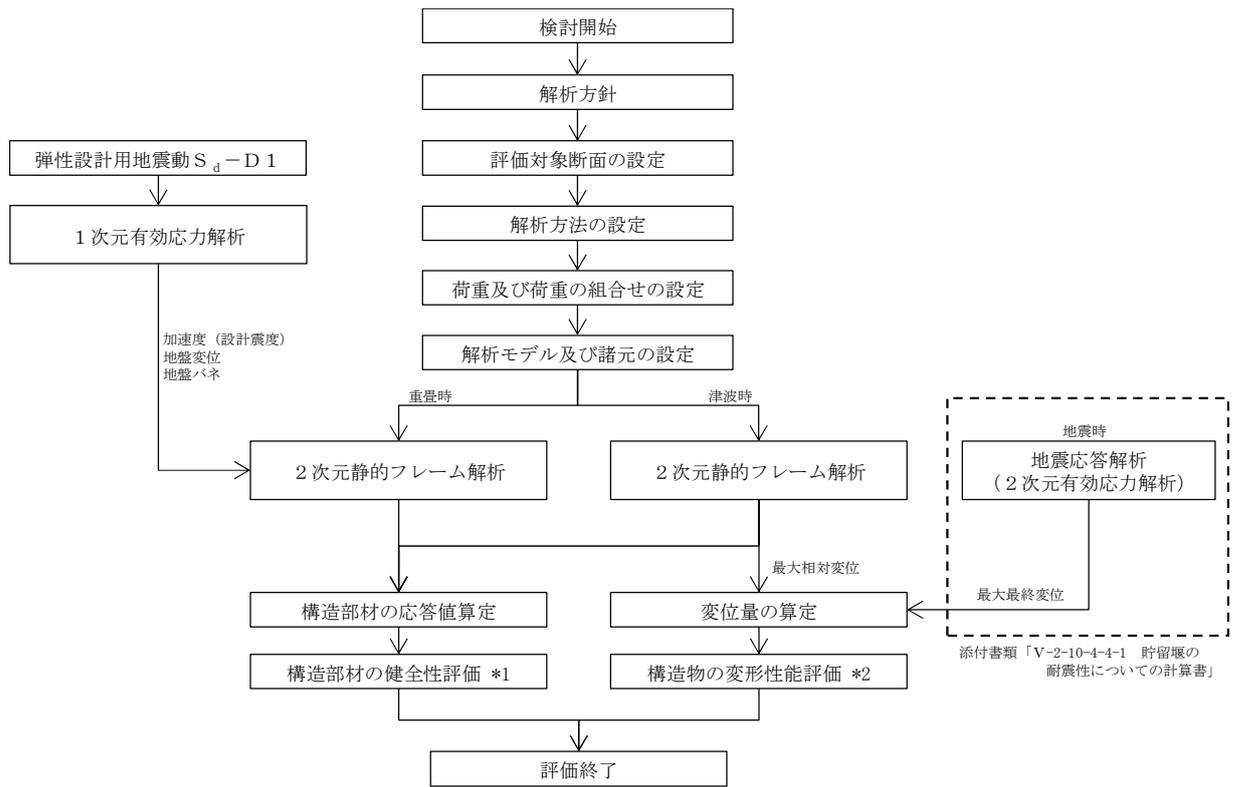
なお、重畳時の評価における入力地震動は、解放基盤表面で定義される弾性設計用地震動 S_d-D1 を 1 次元波動論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。

第 2-3 表 津波時の検討で考慮する地震動の影響評価ケース

検討ケース	地盤剛性	上限値
1	初期剛性	ピーク強度 (平均)
2	静弾性係数	残留強度 (-1σ)

第 2-4 表 重畳時の検討で実施する地盤物性のばらつき

検討ケース	① 原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース (基本ケース)	② 地盤物性のばらつきを考慮 ($+1\sigma$) した解析ケース	③ 地盤物性のばらつきを考慮 (-1σ) した解析ケース	④ 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	⑥ 地盤物性のばらつきを考慮 ($+1\sigma$) して非液状化の条件を仮定した解析ケース
液状化強度特性の設定	原地盤に基づく液状化強度特性 (標準偏差を考慮)	原地盤に基づく液状化強度特性 (標準偏差を考慮)	原地盤に基づく液状化強度特性 (標準偏差を考慮)	敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用



注記 *1：構造部材の健全性を評価することで、第2-2表に示す「構造強度を有すること」及び「止水性を損なわないこと」を満足することを確認する。

*2：構造物の変形性評価を実施することで、第2-2表に示す「止水性を損なわないこと」を満足することを確認する。

第2-5図 貯留堰の強度評価の検討フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準類を以下に示す。

- ・道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）
- ・道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）
- ・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（（社）土木学会，2005年）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説（（社）日本港湾協会，平成19年7月）
- ・防波堤の耐津波設計ガイドライン（国土交通省港湾局，平成27年12月一部改訂）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

強度評価に用いる記号を第3-1表に示す。

第3-1表 (1) 強度評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
g	m/s^2	重力加速度
h	m	浸水深
k_h	-	水平震度
k_v	-	鉛直震度
p_1	kN/m^2	直立壁前面の底面における波圧強度
p_2	kN/m^2	直立壁前面の天端面における波圧強度
p_3	kN/m^2	直立壁背面の底面における波圧強度
η_f	m	直立壁前面の静水面からの津波高さ
η_r	m	直立壁背面の静水面からの津波高さ
h'	m	直立壁の底面の水深
h_c	m	静水面から直立壁天端面までの高さ
P_c	kN	衝突荷重
P_d	kN/m^2	動水圧
P_t	kN/m^2	津波荷重
v	m/s	貯留堰位置での津波最大流速
W_c	kN	漂流物の重量
y	m	動水圧の作用高さ
γ_w	kN/m^3	海水の単位体積重量
ρ	kg/m^3	海水の密度
G	kN	固定荷重
K_{sd}	kN	余震荷重
σ	N/mm^2	曲げモーメント及び軸力による応力
σ_a	N/mm^2	短期許容曲げ圧縮応力度
M	$N\cdot mm$	最大曲げモーメント

第3-1表(2) 強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
Z	mm ³	断面係数
N	N	軸力
A	mm ²	有効断面積
τ	N/mm ²	せん断応力
τ_a	N/mm ²	短期許容せん断応力度
S	kN	せん断力
κ	—	せん断応力の分布係数

3.2 評価対象断面及び部位

3.2.1 評価対象断面

評価対象断面は、貯留堰鋼管矢板が縦断方向に対し一様な設備形状であることを踏まえ、鋼管矢板の周辺の地質状況に基づき設定する。

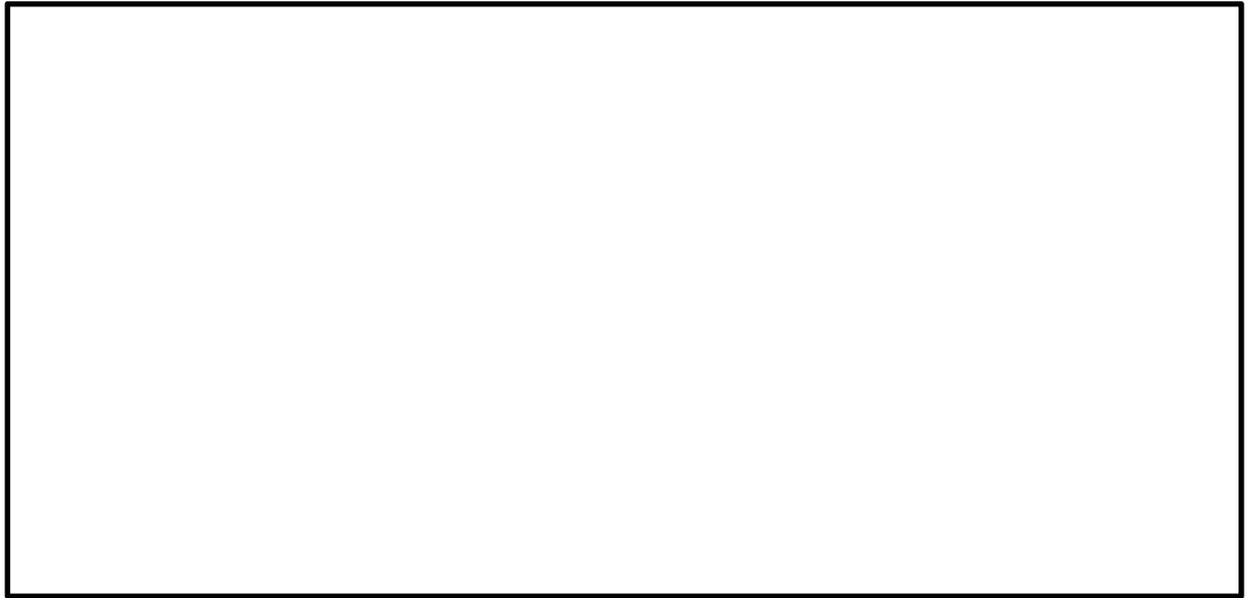
第3-1図に示す貯留堰の平面図及び第3-2図に示す断面図より、南北方向では北に向かって第四紀層が厚くなっていることから、貯留堰の本体に着目した検討断面として、以下の4断面より選定する。第3-3図に各断面の地層構成を示す。岩盤上面深度に着目し、岩盤上面標高が最も高い断面3と最も低い断面4を強度評価の評価対象断面とする。

断面1：貯留堰の長手方向直線部の北側端部（岩盤上面標高が低い断面）

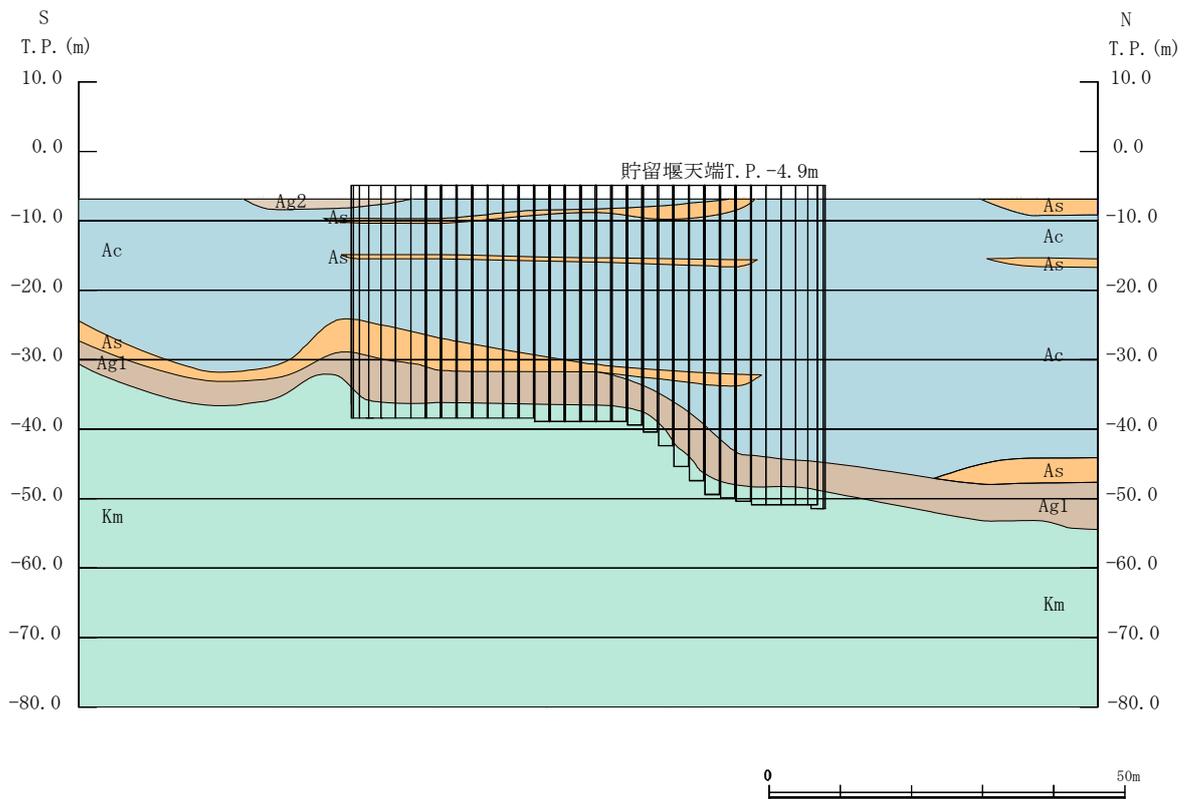
断面2：貯留堰の長手方向直線部の南側端部（岩盤上面標高が中間程度の高さの断面）

断面3：貯留堰の短手方向直線部の南側端部（岩盤上面標高が最も高い断面）

断面4：貯留堰の短手方向直線部の北側端部（岩盤上面標高が最も低い断面）

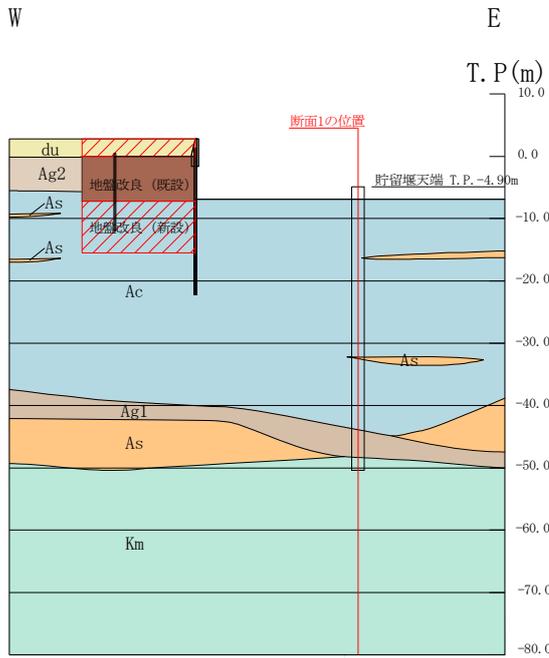


第3-1 図 貯留堰の平面図

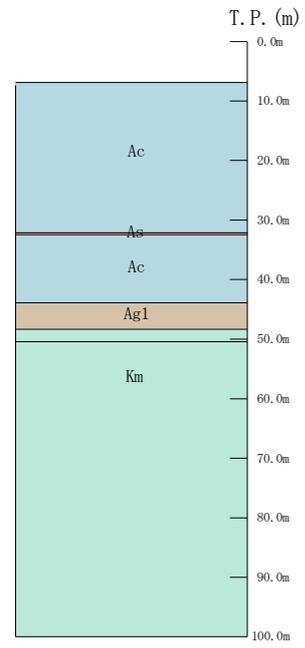


第3-2 図 貯留堰の断面図 (NS-2)

地層構成の抽出位置 (EW-2)

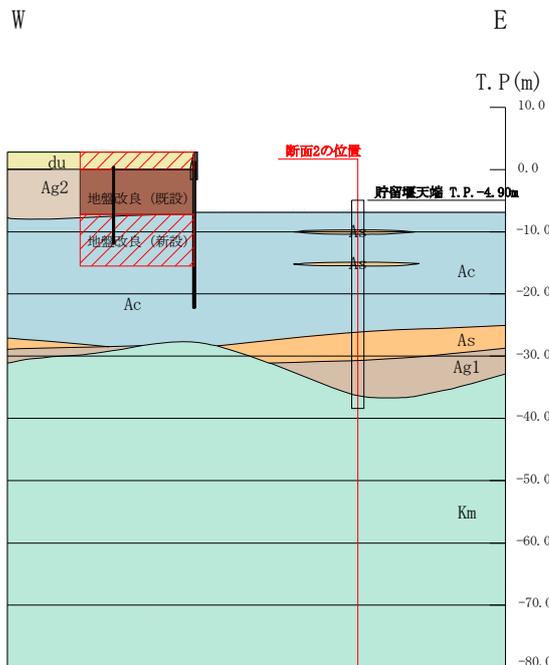


断面 1 (成層)

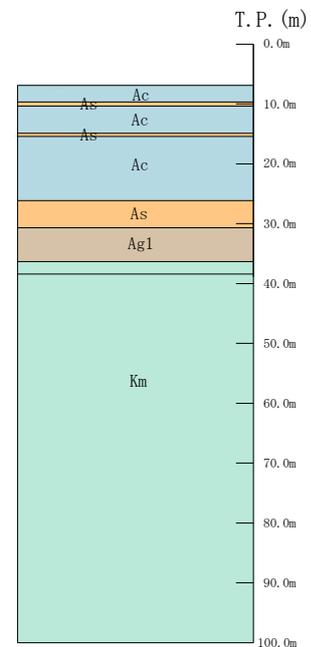


第3-3図 (1) 地層構成 (断面1)

地層構成の抽出位置 (EW-3)

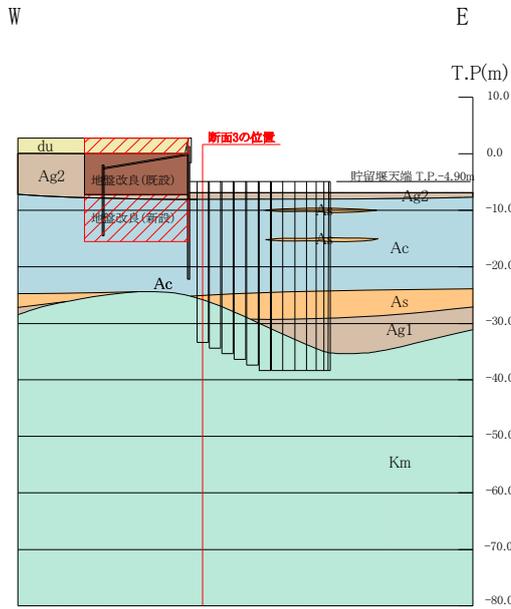


断面 2 (成層)

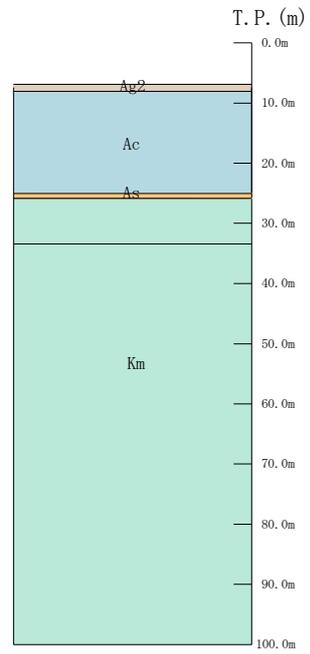


第3-3図 (2) 地層構成 (断面2)

地層構成の抽出位置 (EW-4)

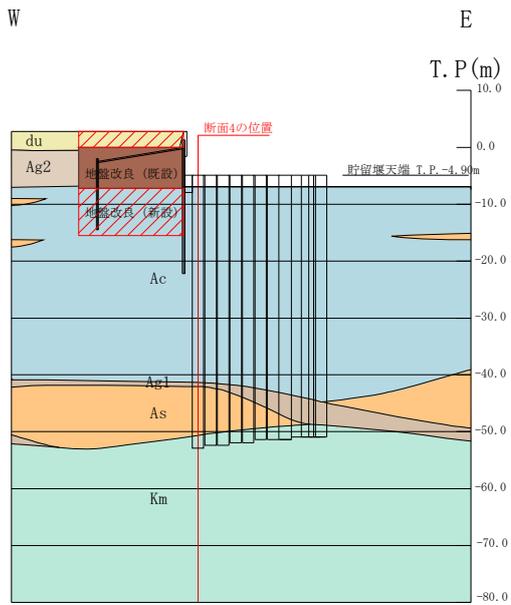


断面 3 (成層)

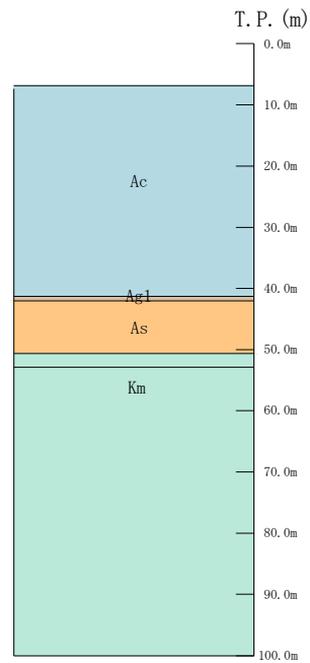


第3-3 図 (3) 地層構成 (断面 3)

地層構成の抽出位置 (EW-1)



断面 4 (成層)



第3-3 図 (4) 地層構成 (断面 4)

3.2.2 評価対象部位

評価対象部位は、貯留堰の構造上の特徴を踏まえ設定する。

(1) 鋼管矢板

構造部材の健全性が要求される鋼管矢板を評価対象部位とする。

(2) 止水ゴム取付部鋼材

貯留堰の護岸接続部に設置する止水ゴム取付部鋼材を評価対象部位とする。

(3) 防護材

貯留堰の護岸接続部に設置する防護材を評価対象部位とする。

(4) 防護材取付部鋼材

貯留堰の護岸接続部に設置する防護材取付部鋼材を評価対象部位とする。

(5) 止水ゴム

貯留堰の護岸接続部に設置する止水ゴムを評価対象部位とする。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度計算に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

なお、敷地に遡上する津波においては、別流路の緊急用海水ポンプを使用し必要な取水量を確保することから、その際は非常用海水ポンプの引き波時の運転継続に必要な取水量を期待しない。したがって、敷地に遡上する津波に対する貯留堰の強度評価は行わない。

3.3.1 荷重

貯留堰の強度評価において、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、構造物及び海水の自重を考慮する。

(2) 津波荷重 (P_t)

津波荷重として、貯留堰を越流する直前の津波波力と越流時の津波波力（静水圧差）を算定し、保守的なものを適用する。

(3) 衝突荷重 (P_c)

衝突荷重として、0.69 t である車両の FEMA (2012) * による漂流物荷重を適用する。第 3-2 表に衝突荷重を示す。

注記 * : FEMA : Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition, FEMA P-646, Federal Emergency Management Agency, 2012

第 3-2 表 衝突荷重

	流速 (m/s)	衝突荷重 (kN)
基準津波時	11	759

(4) 余震荷重 (K_{sd})

余震荷重として、構造物中心位置で実施した 1 次元有効応力解析の地表面最大加速度から水平震度及び鉛直震度を算定し、躯体慣性力や動水圧を考慮する。

なお、動水圧については、弾性設計用地震動 $S_d - D1$ を入力地震動とした、1 次元有効応力解析の地表面加速度に基づき設定した水平震度、及び Westergaard の式を用いて設定する。

3.3.2 荷重の組合せ

(1) 鋼管矢板

鋼管矢板の強度評価に用いる荷重の組合せは津波時及び重畳時に区分し、荷重の組合せを第3-3表に、荷重作用図を第3-4図及び第3-5図に示す。

なお、重畳時における津波荷重と余震荷重の作用方向に関して、貯留堰は地盤深度方向に長尺の鋼管矢板で構成されているため、津波荷重により鋼管矢板に発生する曲げモーメントによる影響が支配的であることから、津波荷重と余震荷重は同じ方向に作用させることが最も厳しい条件となる。

第3-3表 荷重の組合せ（鋼管矢板）

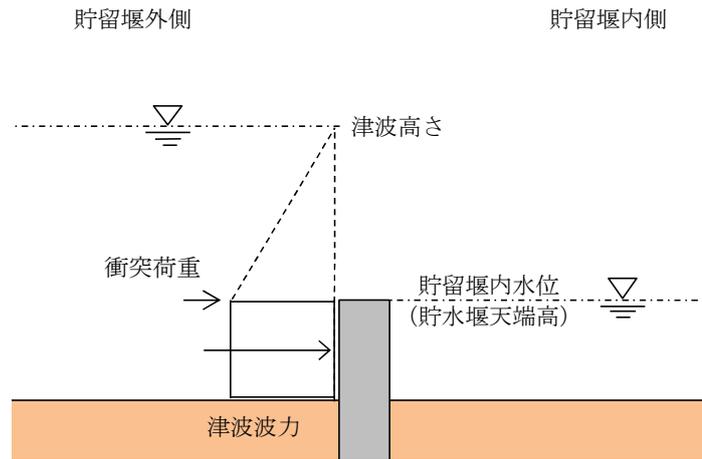
区分	荷重の組合せ
津波時	$G + P_t + P_c$
重畳時	$G + P_t + K_{s d}$

G : 固定荷重

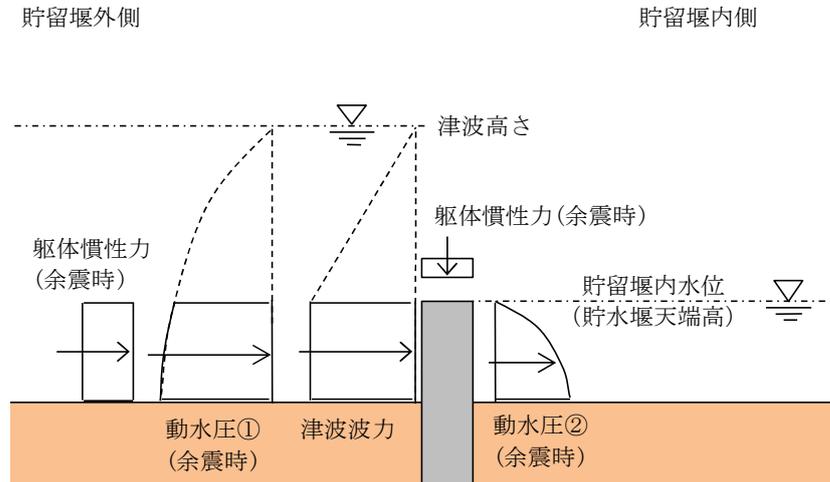
P_t : 津波荷重

P_c : 衝突荷重

$K_{s d}$: 余震荷重



第 3-4 図 荷重作用図 (鋼管矢板 津波時)



第 3-5 図 荷重作用図 (鋼管矢板 重畳時)

(2) 止水ゴム取付部鋼材

止水ゴム取付部鋼材の強度評価に用いる荷重の組合せは津波時及び重畳時に区分し，荷重の組合せを第3-4表に，荷重作用図を第3-6図及び第3-7図に示す。

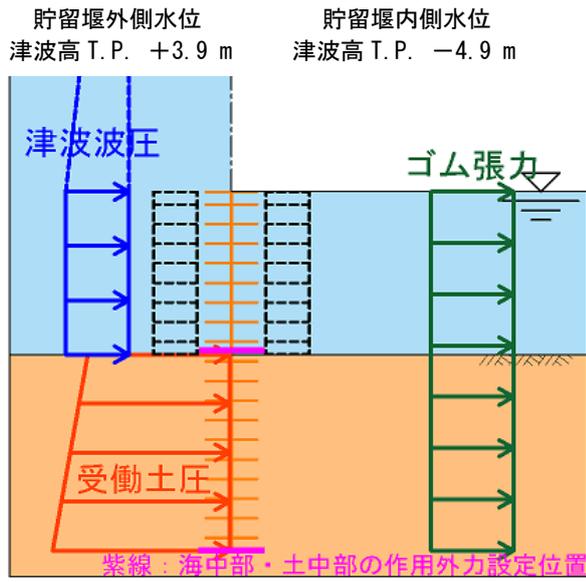
第3-4表 荷重の組合せ（止水ゴム取付部鋼材）

区分	荷重の組合せ
津波時	$G + P_t$
重畳時	$G + P_t + K_{s d}$

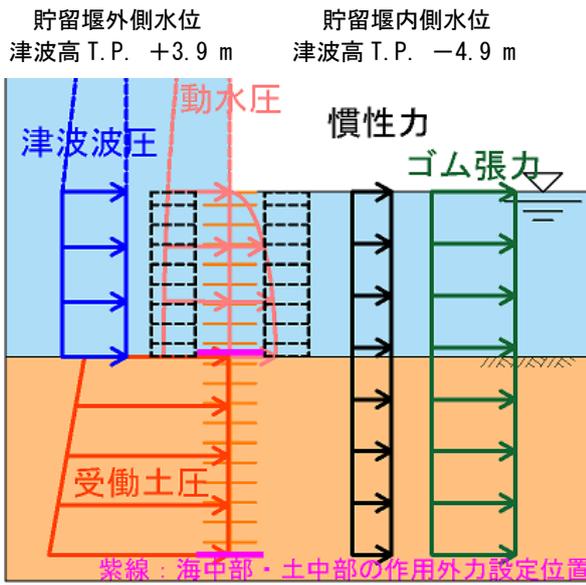
G : 固定荷重

P_t : 津波荷重

$K_{s d}$: 余震荷重



第3-6図 荷重作用図（止水ゴム取付部鋼材 津波時）



第3-7図 荷重作用図（止水ゴム取付部鋼材 重畳時）

(3) 防護材及び防護材取付部鋼材

防護材及び防護材取付部鋼材の強度評価に用いる荷重の組合せは津波時及び重畳時に区分し、荷重の組合せを第3-5表に、荷重作用図を第3-8図及び第3-9図に示す。

第3-5表 荷重の組合せ（防護材及び防護材取付部鋼材）

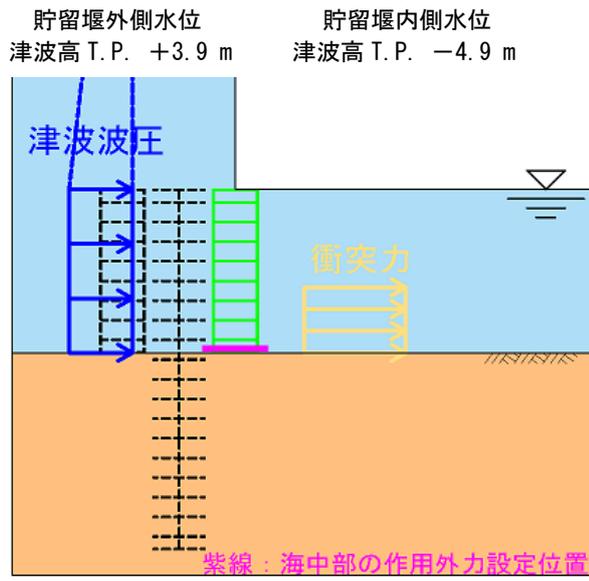
区分	荷重の組合せ
津波時	$G + P_t + P_c$
重畳時	$G + P_t + K_{sd}$

G : 固定荷重

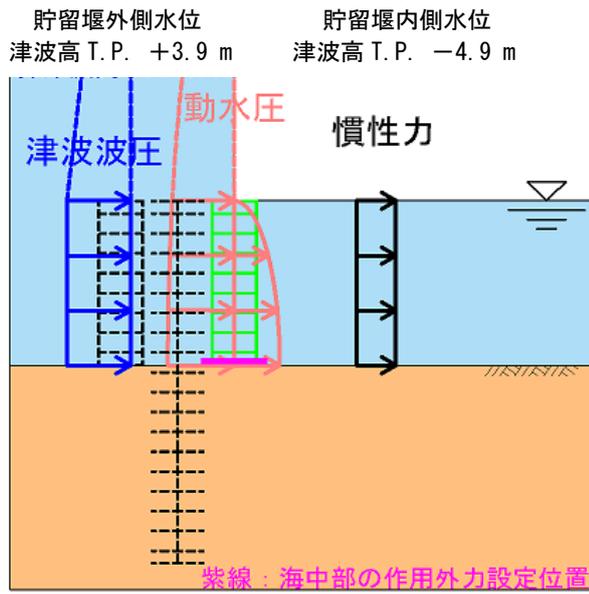
P_t : 津波荷重

P_c : 衝突荷重

K_{sd} : 余震荷重



第 3-8 図 荷重作用図 (防護材及び防護材取付部鋼材 津波時)



第 3-9 図 荷重作用図 (防護材及び防護材取付部鋼材 重畳時)

3.4 許容限界

許容限界は、「3.2 評価対象断面及び部位」にて設定した評価対象部位の応力や変形の状態を考慮し、添付書類「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 鋼管矢板

鋼管矢板の許容限界は、「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」に基づき，鋼管矢板の許容応力度に対して割増係数1.5を考慮し，第3-6表に示す短期許容応力度とする。

第3-6表 鋼管矢板の許容限界

評価項目			許容限界 (N/mm ²)
鋼管矢板 φ2000	SM570	短期許容曲げ応力度 σ_{sa}	382.5
		短期許容せん断応力度 τ_a	217.5

(2) 止水ゴム取付部鋼材

止水ゴム取付部鋼材の許容限界は、「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき，鋼材の許容応力度に対して割増係数 1.5 を考慮し，第 3-7 表に示す短期許容応力度とする。

第 3-7 表 止水ゴム取付部鋼材の許容限界

評価項目			許容限界 (N/mm ²)
止水ゴム 取付部鋼材	SM400	短期許容曲げ応力度 σ_{sa}	210
		短期許容せん断応力度 τ_a	120

また，止水ゴム取付部鋼材（SM400）は貯留堰取付護岸の前面鋼矢板（SP-V 型，SY295）に水中溶接にて設置する。水中溶接の評価に用いる SM400 の許容限界は，「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」及び「港湾鋼構造物防食・補修マニュアル（沿岸技術研究センター，2009 年版）」に基づき，鋼材の許容応力度に対して割増係数 1.5 を考慮し，第 3-8 表に示す短期許容応力度とする。ただし，「港湾鋼構造物防食・補修マニュアル（沿岸技術研究センター，2009 年版）」に基づき，水中溶接部の短期許容応力度は，気中溶接部の短期許容応力度から 30% 減じたものとする。

第 3-8 表 鋼矢板（貯留堰取付護岸）の許容限界

評価項目			許容限界 (N/mm ²)
止水ゴム 取付部鋼材	SM400	短期許容せん断応力度 (水中溶接部) τ_a	84

(3) 防護材

防護材の許容限界は、「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）」に基づき，鋼材の許容応力度に対して割増係数1.5を考慮し，第3-9表に示す短期許容応力度とする。

第3-9表 防護材の許容限界

評価項目			許容限界 (N/mm ²)
防護材	SM400	短期許容曲げ応力度 σ_{sa}	210
		短期許容せん断応力度 τ_a	120

(4) 防護材取付部鋼材

防護材取付部鋼材の許容限界は、「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に基づき，鋼材の許容応力度に対して割増係数 1.5 を考慮し，第 3-10 表に示す短期許容応力度とする。

第 3-10 表 防護材取付部鋼材の許容限界

評価項目			許容限界 (N/mm ²)
防護材 取付部鋼材	SM570	短期許容曲げ応力度 σ_{sa}	382.5
		短期許容せん断応力度 τ_a	217.5
	SM490	短期許容曲げ応力度 σ_{sa}	277.5
		短期許容せん断応力度 τ_a	157.5

また，防護材取付部鋼材は貯留堰取付護岸の前面鋼矢板（S P - V 型，SY295）に水中溶接にて設置する。水中溶接部の評価に用いる SY295 の許容限界は，「鋼矢板 設計から施工まで（鋼管杭協会，2007 年 4 月）」及び「港湾鋼構造物防食・補修マニュアル（沿岸技術研究センター，2009 年版）」に基づき，鋼矢板の許容応力度に対して割増係数 1.5 を考慮し，第 3-11 表に示す短期許容応力度とする。ただし，「港湾鋼構造物防食・補修マニュアル（沿岸技術研究センター，2009 年版）」に基づき，水中溶接部の短期許容応力度は，気中溶接部の短期許容応力度から 30%減じたものとする。

第 3-11 表 鋼矢板（貯留堰取付護岸）の許容限界

評価項目			許容限界 (N/mm ²)
前面鋼矢板	S P - V 型 SY295	短期許容せん断応力度 (水中溶接部) τ_a	105

(5) 止水ゴム

第3-12表に止水ゴムの変形量の許容限界を示す。止水ゴムの変形量の許容限界は、メーカー規格、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。

第3-12表 止水ゴムの変形量の許容限界

評価項目	許容限界
止水ゴム	貯留堰と貯留堰取付護岸の相対変位：1050mm

3.5 評価方法

貯留堰の耐震評価は、添付書類「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」に基づき設定する。

3.5.1 津波時

(1) 鋼管矢板

a. 解析概要

津波時に発生する応答値は、永久荷重に加え、基準津波による津波荷重を作用させるとともに、衝突荷重を貯留堰に作用させた2次元静的フレーム解析より算定する。

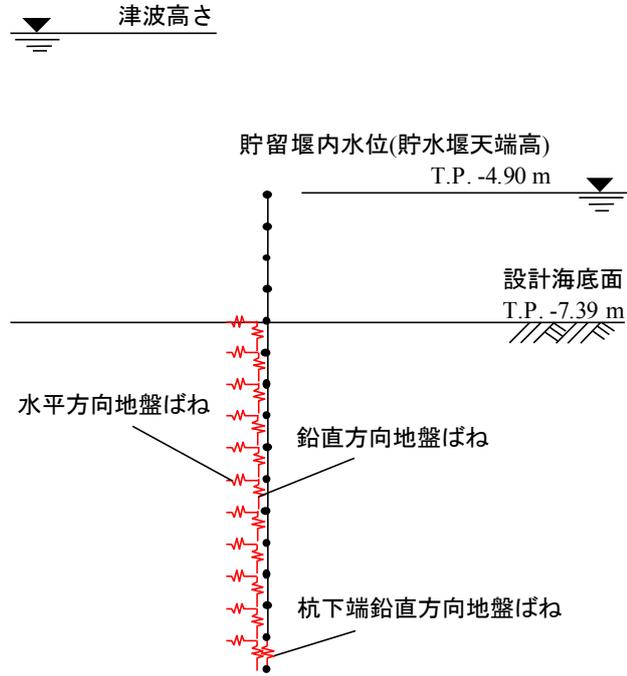
2次元静的フレーム解析には、解析コード「FREMING Ver. 14.1B」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「V-5-41 計算機プログラム（解析コード）の概要・FREMING」に示す。

b. 2次元静的フレーム解析

2次元静的フレーム解析では、貯留堰を構成する鋼管矢板に継手間隔を加えた2.18mを鋼管矢板1本あたりの分担幅とし、鋼管矢板の断面積や断面二次モーメント等を単位奥行きあたりに換算した物性値を用いる。貯留堰（鋼管矢板）を線形はり要素、地盤をバイリニア型の非線形ばね要素でモデル化する。津波時の検討で用いる解析モデルを第3-10図に示す。また、津波時の地盤ばねの設定は、第3-13表に示すとおり地盤抵抗が大きいと仮定した地盤ばね1、及び地盤抵抗が小さいと仮定した地盤ばね2の2ケースを考慮し、「道路橋示方書・同解説IV下部構造編（平成14年3月）」に従って算出する。

貯留堰外側

貯留堰内側



第3-10図 解析モデル

第3-13表 地盤ばねケース (津波時)

ケース名	地盤反力係数	地盤反力度の上限値	備考
地盤ばね1	初期せん断剛性から設定	ピーク強度 (平均値)から設定	地盤抵抗が大きいと仮定した場合
地盤ばね2	静弾性係数から設定	残留強度 (-1 σ 低減値)から設定	地盤抵抗が小さいと仮定した場合

c. 使用材料及び材料の物性値

使用材料を第3-14表に、材料の物性値を第3-15表に示す。

第3-14表 使用材料

諸元		
鋼管矢板	貯留堰	φ 2000 mm×t40 mm ^{*1} (SM570)

注記 *1：外側 1 mm の腐食代を考慮する。内側は中詰コンクリートを充填するため腐食代を考慮しない。

第3-15表 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鋼管矢板	77.0 ^{*1}	2.00×10 ⁵ ^{*1}	0.3 ^{*1}

注記 *1：道路橋示方書（Ⅱ鋼橋編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）

d. 地盤の物性値

地盤の物性値は、添付書類「V-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。地盤の物性値を第3-16表に示す。

第3-16表 (1) 地盤の解析用物性値一覧 (液状化検討対象層)

パラメータ				原地盤								豊浦標準砂
				埋戻土	第四系							
					f1	du	Ag2	As	Ag1	D2s-3	D2g-3	
物理特性	密度 () は地下水水位以浅	ρ	g/cm ³	1.98 (1.82)	1.98 (1.82)	2.01 (1.89)	1.74	2.01 (1.89)	1.92	2.15 (2.11)	2.01 (1.89)	1.958
	間隙比	e	—	0.75	0.75	0.67	1.2	0.67	0.79	0.43	0.67	0.702
変形特性	ポアソン比	ν_{CD}	—	0.26	0.26	0.25	0.26	0.25	0.19	0.26	0.25	0.333
	基準平均有効主応力 () は地下水水位以浅	σ'_{ma}	kN/m ²	358 (312)	358 (312)	497 (299)	378	814 (814)	966	1167 (1167)	1695 (1710)	12.6
	基準初期せん断剛性 () は地下水水位以浅	G_{ma}	kN/m ²	253529 (220739)	253529 (220739)	278087 (167137)	143284	392073 (392073)	650611	1362035 (1362035)	947946 (956776)	18975
	最大履歴減衰率	h_{max}	—	0.220	0.220	0.233	0.216	0.221	0.192	0.130	0.233	0.287
強度特性	粘着力	C_{CD}	N/mm ²	0	0	0	0.012	0	0.01	0	0	0
	内部摩擦角	ϕ_{CD}	度	37.3	37.3	37.4	41	37.4	35.8	44.4	37.4	30
液状化特性	液状化パラメータ	ϕ_p	—	34.8	34.8	34.9	38.3	34.9	33.4	41.4	34.9	28
	液状化パラメータ	S_1	—	0.047	0.047	0.028	0.046	0.029	0.048	0.030	0.020	0.005
	液状化パラメータ	W_1	—	6.5	6.5	56.5	6.9	51.6	17.6	45.2	10.5	5.06
	液状化パラメータ	P_1	—	1.26	1.26	9.00	1.00	12.00	4.80	8.00	7.00	0.57
	液状化パラメータ	P_2	—	0.80	0.80	0.60	0.75	0.60	0.96	0.60	0.50	0.80
	液状化パラメータ	C_1	—	2.00	2.00	3.40	2.27	3.35	3.15	3.82	2.83	1.44

第3-16表 (2) 地盤の解析用物性値一覧 (非液状化層)

パラメータ				原地盤					捨石
				第四系 (非液状化層)				新第三系	
				Ac	D2c-3	1m	D1c-1*1		
物理特性	密度 () は地下水水位以浅	ρ	g/cm ³	1.65	1.77	1.47 (1.43)	—	$1.72-1.03 \times 10^{-4} \cdot z$	2.04 (1.84)
	間隙比	e	—	1.59	1.09	2.8	—	1.16	0.82
変形特性	ポアソン比	ν_{CD}	—	0.10	0.22	0.14	—	$0.16+0.00025 \cdot z$	0.33
	基準平均有効主応力 () は地下水水位以浅	σ'_{ma}	kN/m ²	480	696	249 (223)	—	動的変形特性に基づき z (標高) 毎に物性値を 設定	98
	基準初期せん断剛性 () は地下水水位以浅	G_{ma}	kN/m ²	121829	285223	38926 (35783)	—		180000
	最大履歴減衰率	h_{max}	—	0.200	0.186	0.151	—		0.24
強度特性	粘着力	C_{CD}	N/mm ²	0.025	0.026	0.042	—		$0.358-0.00603 \cdot z$
強度特性	内部摩擦角	ϕ_{CD}	度	29.1	35.6	27.3	—	$23.2+0.0990 \cdot z$	35

注記 *1: 施設の耐震評価に影響を与えるものではないことから、解析用物性値として本表には記載しない。

z: 標高 (m)

第3-16表 (3) 地盤の解析用物性値一覧 (新第三系 Km層)

区分 番号	設定深度 TP (m) Z	適用深度 TP (m)	密度 ρ (g/cm^3)	静ポアソン比 ν_{CB}	粘着力 C_{CB} (kN/m^2)	内部摩擦角 ϕ_{CB} ($^{\circ}$)	せん断波 速度Vs (m/s)	基準初期 せん断剛性 G_{ma} (kN/m^2)	基準体積 弾性係数 K_{ma} (kN/m^2)	基準平均有効 主応力 σ'_{ma} (kN/m^2)	拘束圧 依存係数 mG, mK	最大履歴 減衰率 hmax(-)	動ポアソン比 ν_d	疎密波 速度Vp (m/s)
1	10	9.5 ~ 10.5	1.72	0.16	298	24.2	425	310,675	353,317	504	0.0	0.105	0.464	1,640
2	9	8.5 ~ 9.5	1.72	0.16	304	24.1	426	312,139	354,982	504	0.0	0.105	0.464	1,644
3	8	7.5 ~ 8.5	1.72	0.16	310	24.0	427	313,606	356,650	504	0.0	0.105	0.464	1,648
4	7	6.5 ~ 7.5	1.72	0.16	316	23.9	428	315,076	358,322	504	0.0	0.105	0.464	1,651
5	6	5.5 ~ 6.5	1.72	0.16	322	23.8	428	315,076	358,322	504	0.0	0.106	0.464	1,651
6	5	4.5 ~ 5.5	1.72	0.16	328	23.7	429	316,551	359,999	504	0.0	0.106	0.464	1,655
7	4	3.5 ~ 4.5	1.72	0.16	334	23.6	430	318,028	361,679	504	0.0	0.106	0.463	1,638
8	3	2.5 ~ 3.5	1.72	0.16	340	23.5	431	319,509	363,363	504	0.0	0.107	0.463	1,642
9	2	1.5 ~ 2.5	1.72	0.16	346	23.4	431	319,509	363,363	504	0.0	0.107	0.463	1,642
10	1	0.5 ~ 1.5	1.72	0.16	352	23.3	432	320,993	365,051	504	0.0	0.107	0.463	1,646
11	0	-0.5 ~ 0.5	1.72	0.16	358	23.2	433	322,481	366,743	504	0.0	0.107	0.463	1,650
12	-1	-1.5 ~ -0.5	1.72	0.16	364	23.1	434	323,972	368,439	504	0.0	0.108	0.463	1,653
13	-2	-2.5 ~ -1.5	1.72	0.16	370	23.0	435	325,467	370,139	504	0.0	0.108	0.463	1,657
14	-3	-3.5 ~ -2.5	1.72	0.16	376	22.9	435	325,467	370,139	504	0.0	0.108	0.463	1,657
15	-4	-4.5 ~ -3.5	1.72	0.16	382	22.8	436	326,965	371,843	504	0.0	0.108	0.463	1,661
16	-5	-5.5 ~ -4.5	1.72	0.16	388	22.7	437	328,467	373,551	504	0.0	0.109	0.462	1,644
17	-6	-6.5 ~ -5.5	1.72	0.16	394	22.6	438	329,972	375,262	504	0.0	0.109	0.462	1,648
18	-7	-7.5 ~ -6.5	1.72	0.16	400	22.5	438	329,972	375,262	504	0.0	0.109	0.462	1,648
19	-8	-8.5 ~ -7.5	1.72	0.16	406	22.4	439	331,480	376,977	504	0.0	0.109	0.462	1,652
20	-9	-9.5 ~ -8.5	1.72	0.16	412	22.3	440	332,993	378,697	504	0.0	0.110	0.462	1,656
21	-10	-11 ~ -9.5	1.72	0.16	418	22.2	441	334,507	380,420	504	0.0	0.110	0.462	1,659
22	-12	-13 ~ -11	1.72	0.16	430	22.0	442	336,026	382,147	504	0.0	0.110	0.462	1,663
23	-14	-15 ~ -13	1.72	0.16	442	21.8	444	339,074	385,614	504	0.0	0.111	0.462	1,671
24	-16	-17 ~ -15	1.72	0.16	454	21.6	445	340,603	387,352	504	0.0	0.111	0.461	1,654
25	-18	-19 ~ -17	1.72	0.16	467	21.4	447	343,671	390,842	504	0.0	0.112	0.461	1,662
26	-20	-21 ~ -19	1.72	0.16	479	21.2	448	345,211	392,593	504	0.0	0.112	0.461	1,665
27	-22	-23 ~ -21	1.72	0.15	491	21.0	450	348,300	381,471	498	0.0	0.112	0.461	1,673
28	-24	-25 ~ -23	1.72	0.15	503	20.8	452	351,403	384,870	498	0.0	0.113	0.461	1,680
29	-26	-27 ~ -25	1.72	0.15	515	20.6	453	352,959	386,574	498	0.0	0.113	0.460	1,664
30	-28	-29 ~ -27	1.72	0.15	527	20.4	455	356,083	389,996	498	0.0	0.114	0.460	1,672
31	-30	-31 ~ -29	1.72	0.15	539	20.2	456	357,650	391,712	498	0.0	0.114	0.460	1,675
32	-32	-33 ~ -31	1.72	0.15	551	20.0	458	360,794	395,155	498	0.0	0.115	0.460	1,683
33	-34	-35 ~ -33	1.72	0.15	563	19.8	459	362,371	396,883	498	0.0	0.115	0.459	1,667
34	-36	-37 ~ -35	1.72	0.15	575	19.6	461	365,536	400,349	498	0.0	0.115	0.459	1,675
35	-38	-39 ~ -37	1.72	0.15	587	19.4	462	367,124	402,088	498	0.0	0.116	0.459	1,678
36	-40	-41 ~ -39	1.72	0.15	599	19.2	464	370,309	405,577	498	0.0	0.116	0.459	1,685
37	-42	-43 ~ -41	1.72	0.15	611	19.0	465	371,907	407,327	498	0.0	0.117	0.459	1,689
38	-44	-45 ~ -43	1.72	0.15	623	18.8	467	375,113	410,838	498	0.0	0.117	0.458	1,678
39	-46	-47 ~ -45	1.72	0.15	635	18.6	468	376,721	412,599	498	0.0	0.117	0.458	1,681
40	-48	-49 ~ -47	1.72	0.15	647	18.4	470	379,948	416,134	498	0.0	0.118	0.458	1,688
41	-50	-51 ~ -49	1.73	0.15	660	18.3	472	385,416	422,122	498	0.0	0.118	0.458	1,696
42	-52	-53 ~ -51	1.73	0.15	672	18.1	473	387,051	423,913	498	0.0	0.118	0.458	1,699
43	-54	-55 ~ -53	1.73	0.15	684	17.9	475	390,331	427,505	498	0.0	0.118	0.457	1,688
44	-56	-57 ~ -55	1.73	0.15	696	17.7	476	391,976	429,307	498	0.0	0.119	0.457	1,692
45	-58	-59 ~ -57	1.73	0.15	708	17.5	478	395,277	432,922	498	0.0	0.119	0.457	1,699
46	-60	-61 ~ -59	1.73	0.15	720	17.3	479	396,933	434,736	498	0.0	0.120	0.457	1,702
47	-62	-63 ~ -61	1.73	0.14	732	17.1	481	400,255	422,491	492	0.0	0.120	0.457	1,709
48	-64	-65 ~ -63	1.73	0.14	744	16.9	482	401,921	424,250	492	0.0	0.120	0.456	1,695
49	-66	-67 ~ -65	1.73	0.14	756	16.7	484	405,263	427,778	492	0.0	0.120	0.456	1,702
50	-68	-69 ~ -67	1.73	0.14	768	16.5	485	406,939	429,547	492	0.0	0.121	0.456	1,705
51	-70	-71 ~ -69	1.73	0.14	780	16.3	487	410,302	433,097	492	0.0	0.121	0.456	1,712
52	-72	-73 ~ -71	1.73	0.14	792	16.1	489	413,679	436,661	492	0.0	0.121	0.456	1,719
53	-74	-75 ~ -73	1.73	0.14	804	15.9	490	415,373	438,449	492	0.0	0.122	0.455	1,705
54	-76	-77 ~ -75	1.73	0.14	816	15.7	492	418,771	442,036	492	0.0	0.122	0.455	1,712
55	-78	-79 ~ -77	1.73	0.14	828	15.5	493	420,475	443,835	492	0.0	0.122	0.455	1,716
56	-80	-81 ~ -79	1.73	0.14	840	15.3	495	423,893	447,443	492	0.0	0.122	0.455	1,723
57	-82	-85 ~ -81	1.73	0.14	852	15.1	496	425,608	449,253	492	0.0	0.123	0.455	1,726
58	-88	-90 ~ -85	1.73	0.14	889	14.5	501	434,232	458,356	492	0.0	0.124	0.454	1,726
59	-92	-95 ~ -90	1.73	0.14	913	14.1	504	439,448	463,862	492	0.0	0.124	0.454	1,736
60	-98	-101 ~ -95	1.73	0.14	949	13.5	509	448,210	473,111	492	0.0	0.125	0.453	1,736
61	-104	-108 ~ -101	1.73	0.13	985	12.9	513	455,282	463,485	486	0.0	0.126	0.452	1,733
62	-112	-115 ~ -108	1.73	0.13	1,033	12.1	519	465,995	474,391	486	0.0	0.127	0.451	1,737
63	-118	-122 ~ -115	1.73	0.13	1,070	11.5	524	475,016	483,575	486	0.0	0.127	0.451	1,754
64	-126	-130 ~ -122	1.73	0.13	1,118	10.7	530	485,957	494,713	486	0.0	0.128	0.450	1,758

NT2 補② V-3-別添 3-2-9 R1

e. 評価方法

鋼管矢板の強度評価は、鋼管矢板の曲げモーメント及び軸力より算定した応力及びせん断力より算定したせん断応力が「3.4 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

(a) 曲げモーメント及び軸力に対する照査

曲げモーメント及び軸力を用いて次式により算定した応力が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z}$$

ここで、

- σ : 鋼管矢板の曲げモーメント及び軸力より算定した応力 (N/mm²)
- M : 最大曲げモーメント (N・mm)
- Z : 断面係数 (mm³)
- N : 軸力 (N)
- A : 有効断面積 (mm²)

(b) せん断力に対する照査

せん断力を用いて次式により算定したせん断応力がせん断強度に基づく許容限界以下であることを確認する。

$$\tau = \kappa \frac{S}{A}$$

ここで、

- τ : 鋼管矢板のせん断力より算定したせん断応力 (N/mm²)
- S : せん断力 (N)
- A : 有効断面積 (mm²)
- κ : せん断応力の分布係数 (パイプ型断面の場合 $\kappa = 2.0$)

(2) 止水ゴム取付部鋼材

a. 構造概要

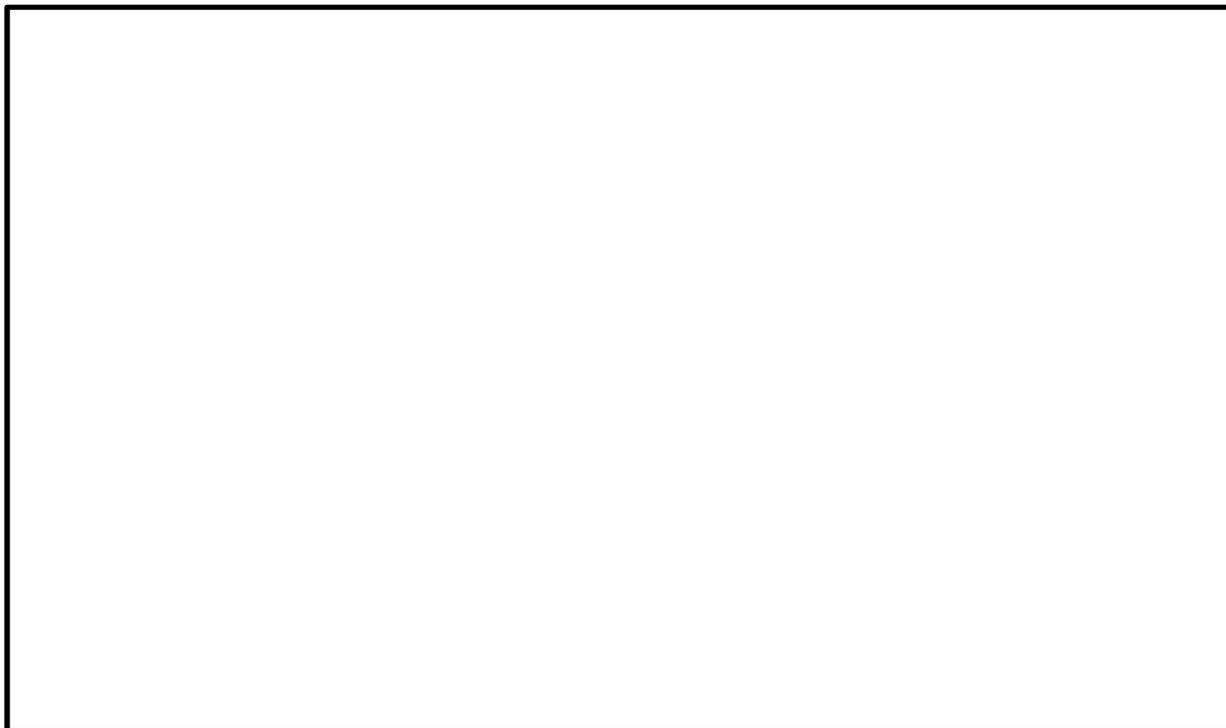
止水ゴム取付部鋼材の照査対象部材は、リブプレート及び現場隅肉溶接を行うベースプレートと貯留堰取付護岸矢板もしくは貯留堰鋼管矢板の溶接部とする。なお、スキンプレート及びリブプレート、並びにベースプレートの3種類のプレート間の溶接部は、工場溶接の完全溶込み溶接とするため、溶接部のど厚が母材と同等となり、母材と同等の耐力となる。したがって、完全溶込み溶接部の照査は省略する。

止水ゴム取付部鋼材に関する使用材料を第3-17表に、詳細構造図を第3-11図にそれぞれ示す。

第3-17表 使用材料（止水ゴム取付部鋼材）

諸元		
止水ゴム取付部鋼材	スキンプレート	t19 mm ^{*1} (SM400)
	リブプレート	t16 mm ^{*1} (SM400)
	ベースプレート	t16 mm ^{*1} (SM400)

注記 *1：断面照査においては片面1 mmの腐食代を考慮する。



第3-11図 詳細構造図

b. 解析概要

津波時に発生する応答値は，基準津波による津波荷重及び止水ゴムのゴム張力を作用させた線形はり構造として解析を行う。

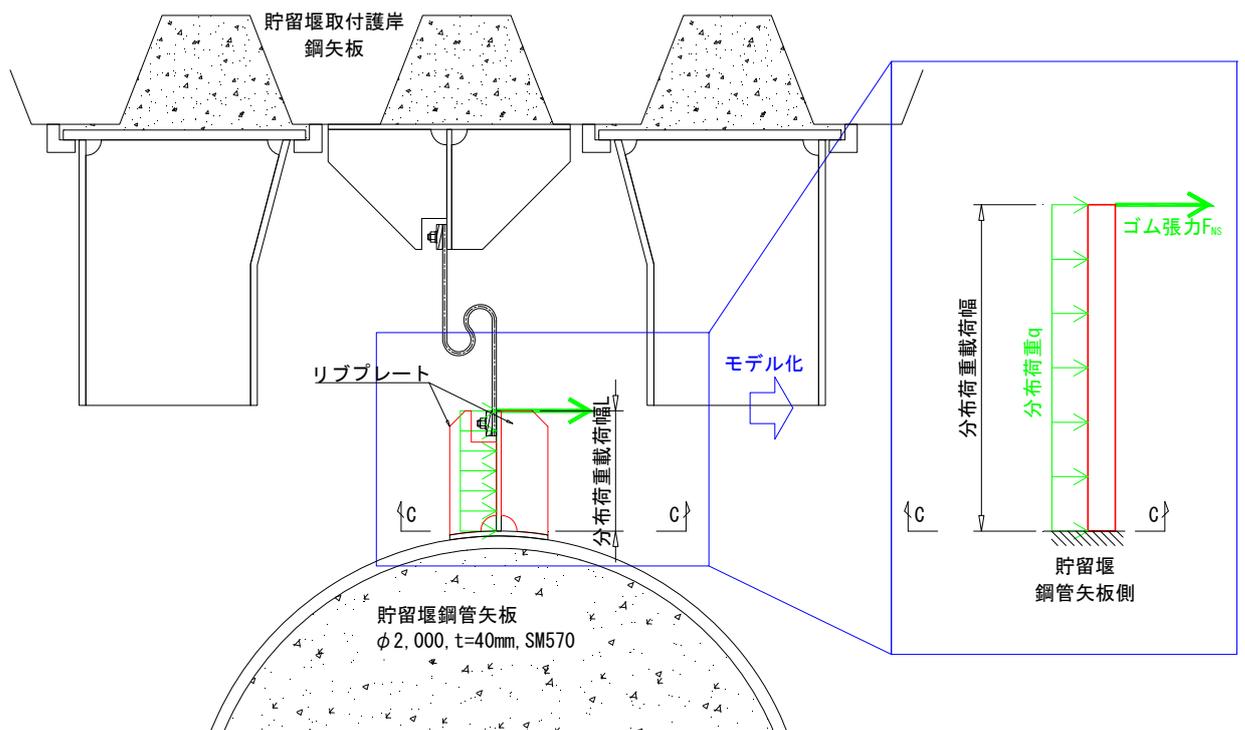
c. 部材ごとの解析方法

(a) リブプレート

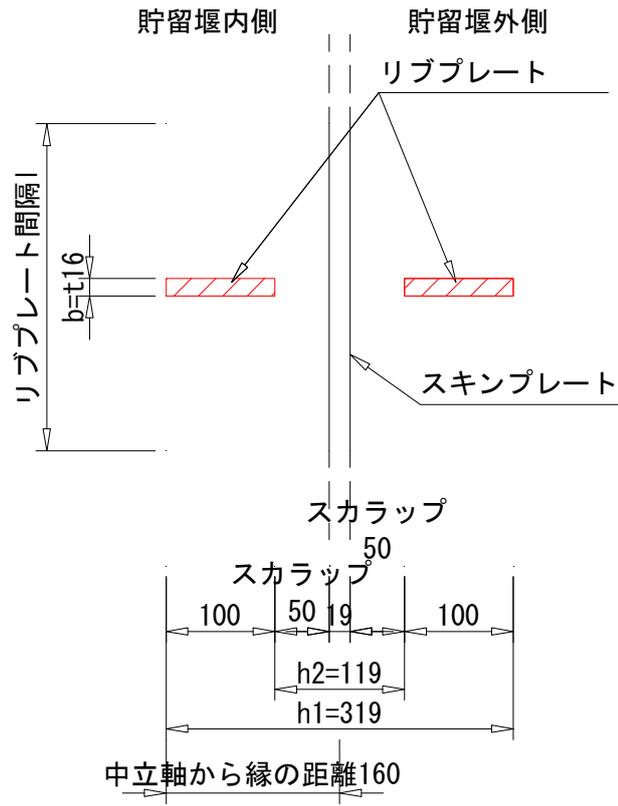
リブプレートは，貯留堰取付護岸の鋼矢板側と貯留堰の鋼管矢板側に設置する。リブプレートの照査については，照査結果が厳しくなる部材として，リブプレート幅の小さい貯留堰の鋼管矢板側に対して行う。

イ. モデル化

リブプレートに作用する荷重とモデル化の考え方を示した照査モデル図第3-12図に示す。また，照査断面を第3-13図に示す。



第3-12図 照査モデル図 (止水ゴム取付部鋼材 リブプレート)



第3-13図 照査断面 (止水ゴム取付部鋼材 リブプレート)

ロ. 断面照査方法

リブプレートに発生する断面力算出式，部材の断面性能算出式を以下に記す。

$$M_{max} = \frac{q \times L^2 \times l}{2} + F_{NS} \times L \times l$$

$$S_{max} = q \times L \times l + F_{NS} \times l$$

$$I = \frac{b \times h_1^3}{12} - \frac{b \times h_2^3}{12}$$

$$Z = \frac{I}{y}$$

$$A = b \times h_1 - b \times h_2$$

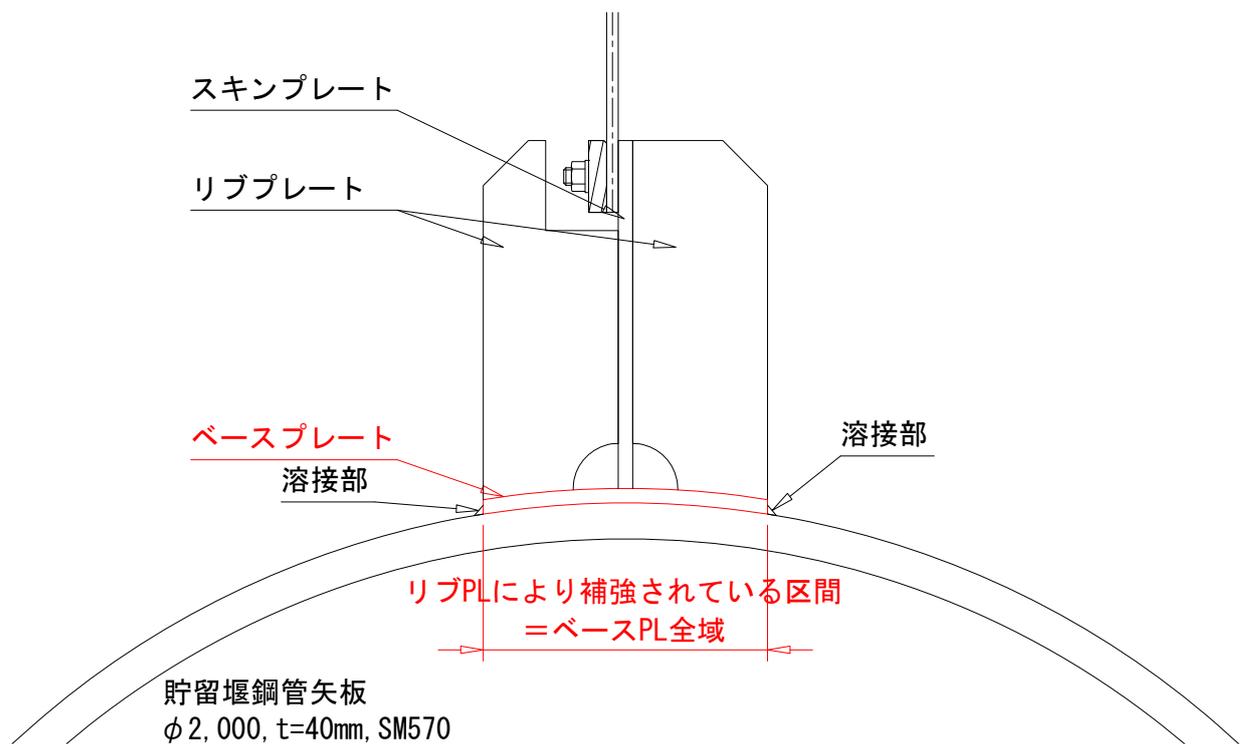
ここに，

- M_{max} : 最大発生曲げモーメント (kN・m)
- q : 分布荷重 (kN/m²)
- L : 分布荷重載荷幅=リブプレート張り出し長 (m)
- l : リブプレートスパン (m)
- F_{NS} : 止水ゴム引張力 (kN/m)
- S_{max} : 最大発生せん断力 (kN)
- I : 断面二次モーメント (m⁴)
- b : 板厚 (m)
- h_1 : 幅 (m)
- h_2 : 幅 (m)
- Z : 断面係数 (m³)
- y : 中立軸から縁の距離 (m)
- A : 断面積 (m²)

(b) ベースプレート

ベースプレート全域は、完全溶込み溶接を用いて取付けられたリブプレートによって補強されている。リブプレートの照査を行い、リブプレートが荷重に対し十分な耐力を有していることを確認することで、ベースプレートの発生応力が許容限界を超えないものと考えられる。したがって、リブプレートの発生応力が許容限界以下であることを確認のうえ、ベースプレートの照査は省略する。

照査モデル図を第3-14図に示す。



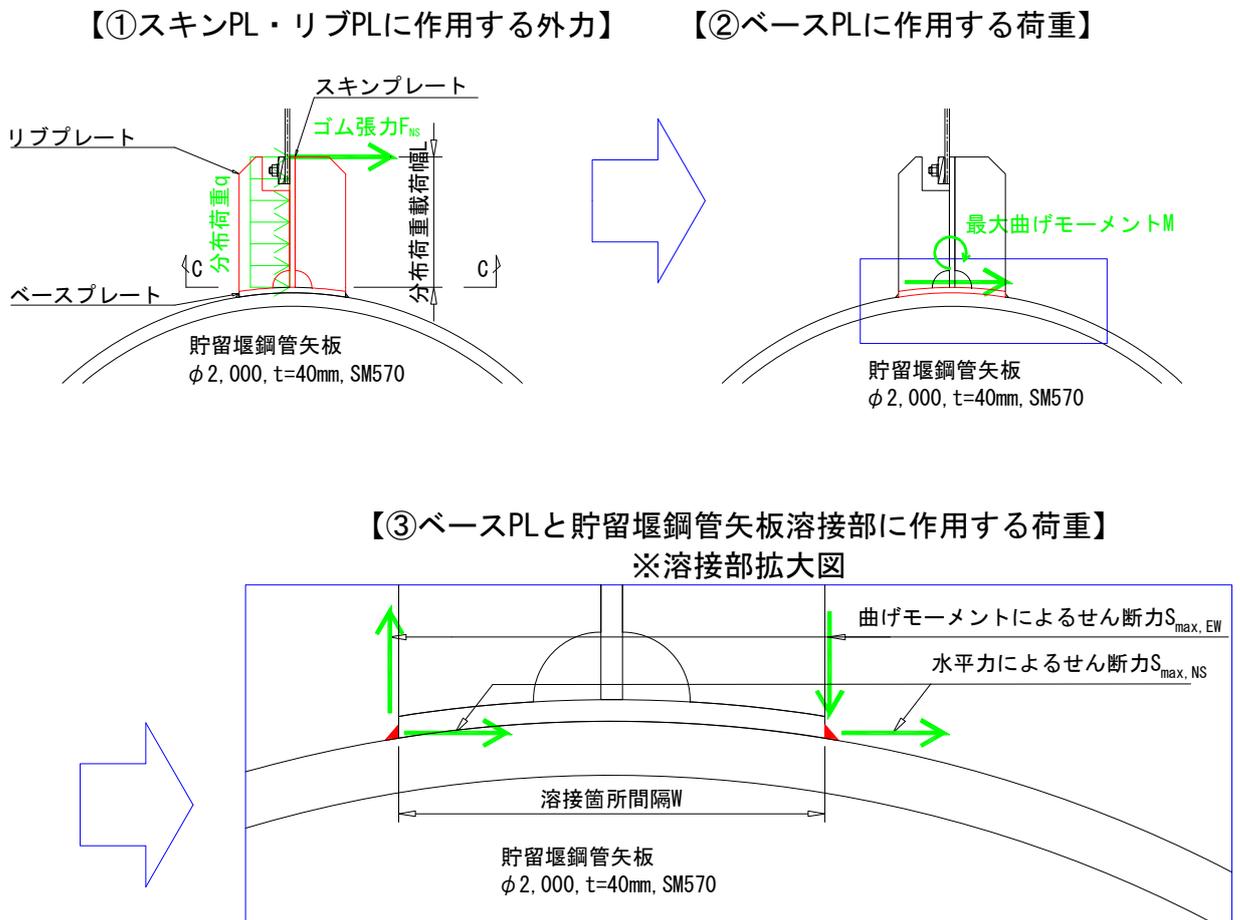
第3-14図 照査モデル図 (止水ゴム取付部鋼材 ベースプレート)

(c) ベースプレートと貯留堰鋼管矢板溶接部

ベースプレートは、貯留堰取付護岸の鋼矢板もしくは貯留堰の鋼管矢板に溶接する。ベースプレートと鋼矢板及びベースプレートと鋼管矢板の溶接部のうち、照査結果が厳しくなる溶接部として、第3-15図に示すとおり溶接箇所間隔 W が小さく、発生断面力が大きくなる貯留堰鋼管矢板側の溶接部に対して照査を行う。ここで、溶接部の許容応力度は母材の許容応力度のうち、低い方（SM400）の許容応力度となる。

イ. モデル化

ベースプレートと貯留堰鋼管矢板溶接部に作用する荷重とモデル化の考え方を示した照査モデル図を第3-15図に示す。



第3-15図 照査モデル図（止水ゴム取付部鋼材 ベースプレートと貯留堰鋼管矢板溶接部）

ロ. 断面照査方法

ベースプレートと貯留堰鋼管矢板溶接部に発生する断面力算出式、部材の断面性能算出式を以下に記す。

$$S_{max,NS} = \frac{q \times L \times h + F_{NS} \times h}{2}$$

$$S_{max,EW} = \frac{M}{W}$$

$$M = \frac{q \times L^2 \times h}{2} + F_{NS} \times L \times h$$

$$A = h \times a$$

$$a = \sqrt{b}$$

ここに、

$S_{max,NS}$: 水平力による NS 方向のせん断力 (kN)

q : 分布荷重 (kN/m²)

L : 分布荷重載荷幅=リブプレート張り出し長 (m)

h : 単位高さ (m)

F_{NS} : 止水ゴム引張力 (kN/m)

$S_{max,EW}$: 曲げモーメントによる EW 方向のせん断力 (kN)

W : 溶接箇所間隔 (m)

M : 曲げモーメント (kN・m)

A : 断面積 (m²)

a : のど厚 (m)

b : 脚長 (m)

d. 評価方法

止水ゴム取付部鋼材の強度評価は、曲げモーメント及び軸力より算定した応力及びせん断力より算定したせん断応力が「3.4 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

(a) 曲げモーメント及び軸力に対する照査

曲げモーメント及び軸力を用いて次式により算定した応力が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z}$$

ここで、

- σ : 曲げモーメント及び軸力より算定した応力 (N/mm²)
- M : 最大曲げモーメント (N・mm)
- Z : 断面係数 (mm³)
- N : 軸力 (N)
- A : 有効断面積 (mm²)

(b) せん断力に対する照査

せん断力を用いて次式によりせん断応力を算定する。

$$\tau = \kappa \frac{S}{A}$$

ここで、

- τ : せん断力より算定したせん断応力 (N/mm²)
- S : せん断力 (N)
- A : 有効断面積 (mm²)
- κ : せん断応力の分布係数
 - リブプレートの場合 $\kappa = 1.5$ (矩形断面)
 - 溶接部の場合 $\kappa = 1.0$

せん断力が一方向に作用する場合は、上式によりせん断応力を算定し、せん断強度に基づく許容限界以下であることを確認する。

せん断力が二方向に作用する場合は、上式により各方向のせん断応力を算定し、次式による確認を行う。

$$\left(\frac{\tau_x}{\tau_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau_y}{\tau_a}\right)^2 \leq 1.00$$

ここで、

- τ_x, τ_y : x 方向もしくは y 方向に作用するせん断応力 (N/mm²)
- τ_a : せん断応力の許容限界 (N/mm²)

(3) 防護材及び防護材取付部鋼材

a. 構造概要

防護材及び防護材取付部鋼材の照査対象部材は、以下のとおりとする。

- ・スキンプレートとリブプレート
- ・ベースプレート
- ・ベースプレート固定鋼材
- ・ベースプレート固定鋼材と貯留堰取付護岸矢板の溶接部（現場隅肉溶接）

なお、スキンプレート及びリブプレート、並びにベースプレートの3種類のプレート間の溶接部は、工場溶接の完全溶込み溶接とするため、溶接部のど厚が母材と同等となり、母材と同等の耐力となる。そのため、完全溶込み溶接部の照査は省略する。

防護材及び防護材取付部鋼材に関する使用材料を第3-18表に、詳細構造図を第3-16図にそれぞれ示す。

第3-18表 使用材料（防護材及び防護材取付部鋼材）

諸元		
防護材及び 防護材取付部鋼材	スキンプレート	t22 mm ^{*1} (SM400)
	リブプレート	t12 mm ^{*1} (SM400)
	ベースプレート	t32 mm ^{*1} (SM570)
	ベースプレート固定鋼材	t40 mm ^{*1} (SM490)

注記 *1：断面照査においては片面1 mmの腐食代を考慮する。



第3-16図 詳細構造図（再掲）

b. 解析概要

津波時に発生する応答値は、基準津波による津波荷重及び衝突荷重を作用させた線形はり構造として解析を行う。

部材ごとの解析方法を以下に記す。

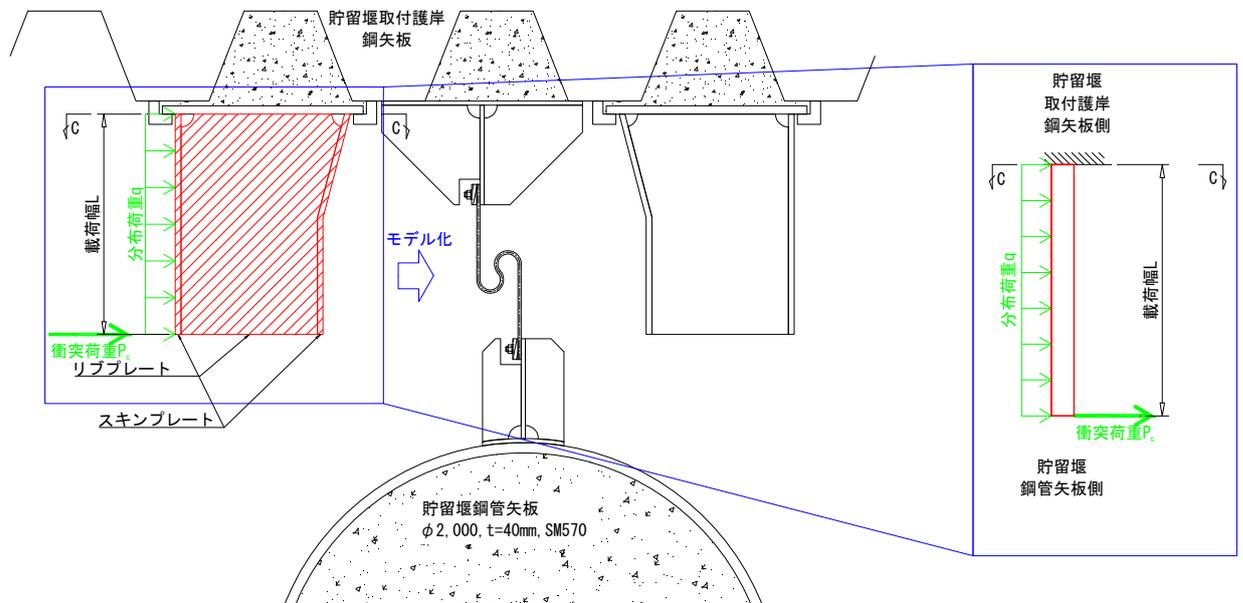
c. 部材ごとの解析方法

(a) スキンプレート及びリブプレート

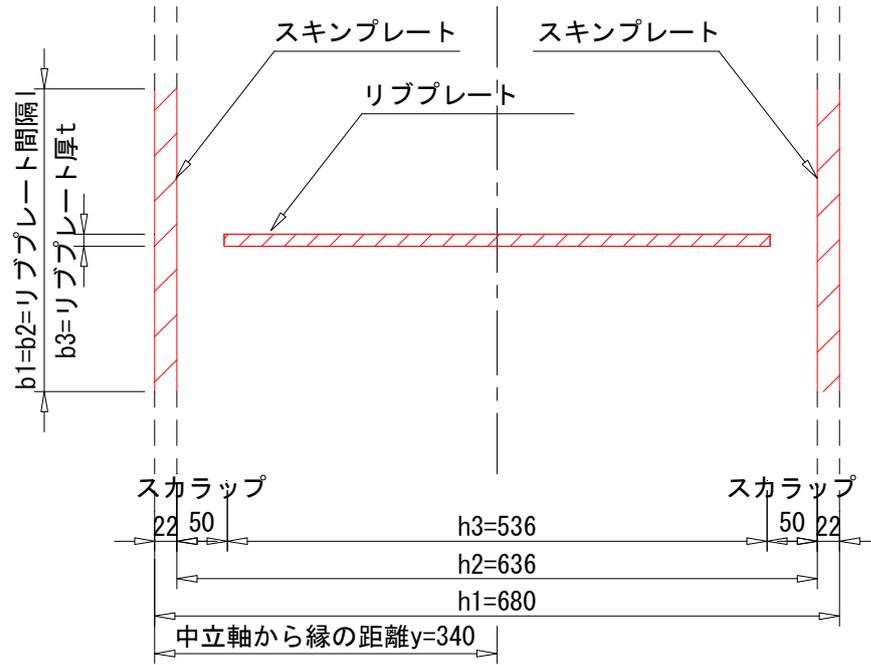
スキンプレート及びリブプレートに作用する荷重に対し照査を行う。

イ. モデル化

スキンプレート及びリブプレートに作用する荷重とモデル化の考え方を示した照査モデル図を第3-17図に示す。また、照査断面を第3-18図に示す。



第3-17図 照査モデル図（止水ゴム取付部鋼材 スキンプレート及びリブプレート）



第3-18図 照査断面（止水ゴム取付部鋼材 スキンプレート及びリブプレート）

ロ. 断面照査方法

スキンプレート及びリブプレートに発生する断面力算出式，部材の断面性能算出式を以下に記す。

$$M_{max} = \frac{q \times L^2 \times l}{2} + P_c \times L \times l$$

$$S_{max} = q \times L \times l + P_c \times l$$

$$I = \frac{b_1 \times h_1^3 - b_2 \times h_2^3 + b_3 \times h_3^3}{12}$$

$$Z = \frac{I}{y}$$

$$A = b_1 \times h_1 - b_2 \times h_2 + b_3 \times h_3$$

ここに，

M_{max} : 最大発生曲げモーメント (kN・m)

q : 分布荷重 (kN/m²)

L : 分布荷重載荷幅＝リブプレート張り出し長 (m)

l : リブプレートスパン (m)

P_c : 衝突力 (kN/m)

S_{max} : 最大発生せん断力 (kN)

I : 断面二次モーメント (m⁴)

b_1 : リブプレート間隔 (m)

b_2 : リブプレート間隔 (m)

b_3 : リブプレート厚 (m)

h_1 : 幅 (m)

h_2 : 幅 (m)

h_3 : 幅 (m)

Z : 断面係数 (m³)

y : 中立軸から縁の距離 (m)

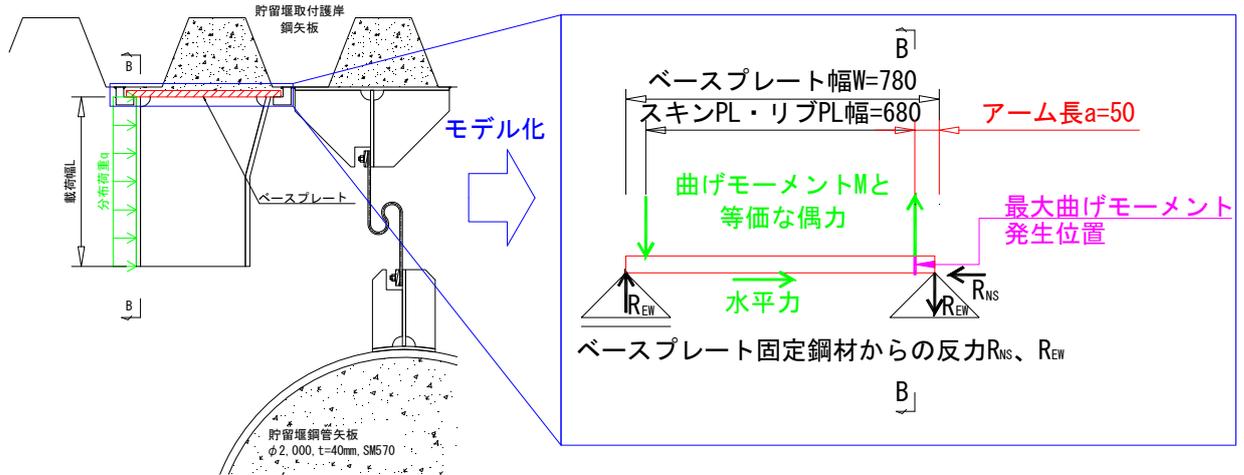
A : 断面積 (m²)

(b) ベースプレート

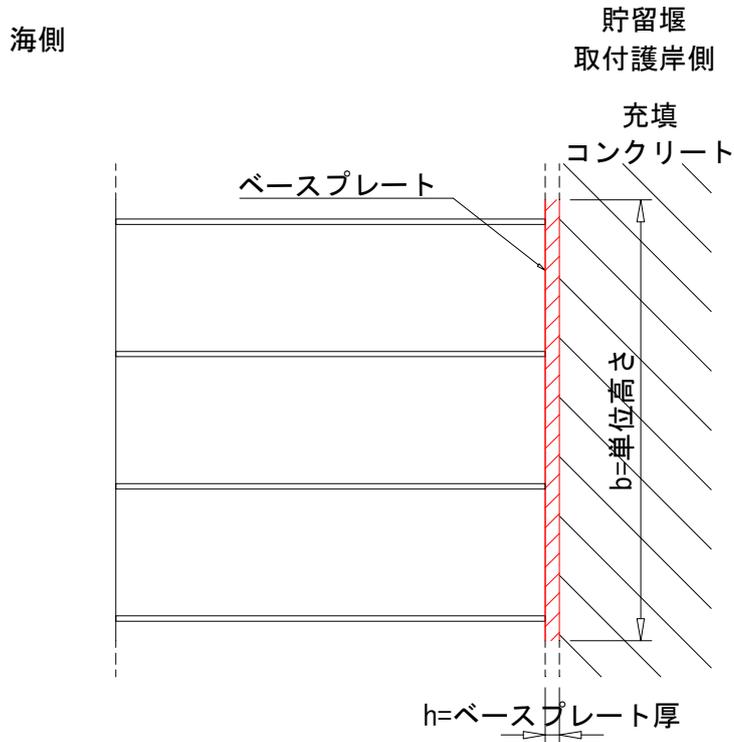
ベースプレートに作用する荷重に対し照査を行う。

イ. モデル化

ベースプレートに作用する荷重とモデル化の考え方を示した照査モデル図を第 3-19 図に示す。また、照査断面を第 3-20 図に示す。



第 3-19 図 照査モデル図 (止水ゴム取付部鋼材 ベースプレート)



第 3-20 図 照査断面 (止水ゴム取付部鋼材 ベースプレート)

ロ. 断面照査方法

ベースプレートに発生する断面力算出式，部材の断面性能算出式を以下に記す。

$$M_{max} = R_{EW} \times a$$

$$R_{EW} = \frac{M}{W}$$

$$M = \frac{q \times L^2 \times b}{2} + P_c \times L \times b$$

$$N_{max} = R_{NS}$$

$$R_{NS} = q \times L \times b + P_c \times b$$

$$S_{max} = R_{EW}$$

$$Z = \frac{b \times h^2}{6}$$

$$A = b \times h$$

ここに，

M_{max} : 最大発生曲げモーメント (kN・m)

R_{EW} : ベースプレート固定鋼材からの EW 方向反力 (kN)

a : アーム長 (m)

M : スキンプレート・リブプレートより受ける曲げモーメント (kN・m)

W : ベースプレート幅 (m)

q : 分布荷重 (kN/m²)

L : 分布荷重載荷幅＝リブプレート張り出し長 (m)

b : 単位高さ (m)

P_c : 衝突力 (kN/m)

N_{max} : 最大発生軸力 (kN)

R_{NS} : ベースプレート固定鋼材からの NS 方向反力 (kN)

S_{max} : 最大発生せん断力 (kN)

Z : 断面係数 (m³)

h : ベースプレート厚 (m)

A : 断面積 (m²)

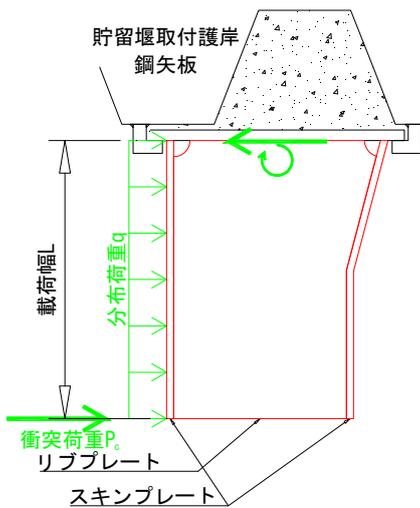
(c) ベースプレート固定鋼材

ベースプレート固定鋼材に作用する荷重に対し照査を行う。

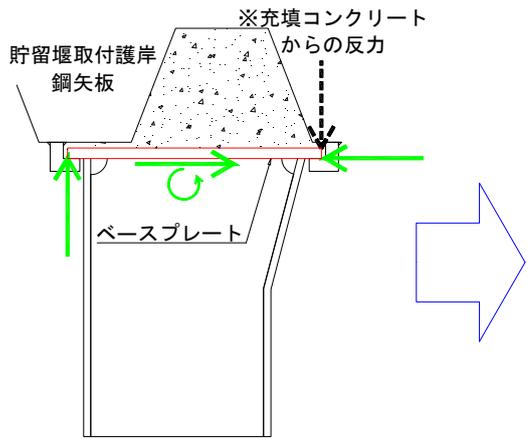
イ. モデル化

ベースプレート固定鋼材に作用する荷重とモデル化の考え方を示した照査モデル図を第3-21図に示す。また、照査断面を第3-22図に示す。

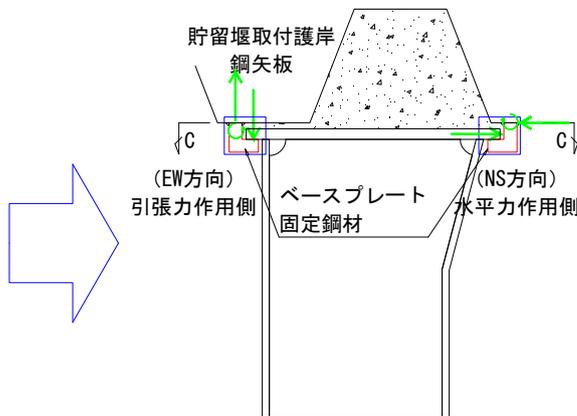
【①スキンPL・リブPLに作用する外力】



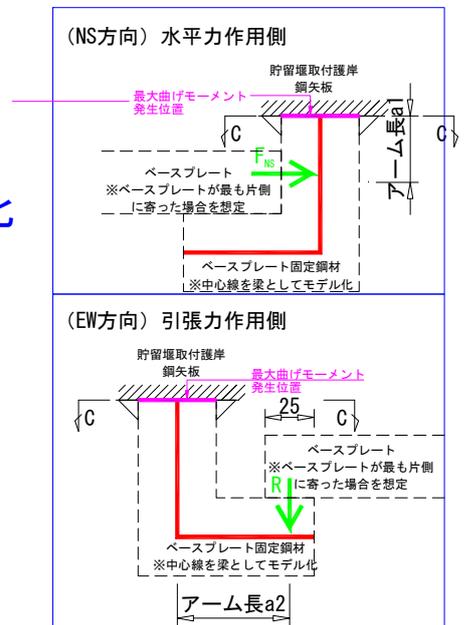
【②ベースPLに作用する荷重】



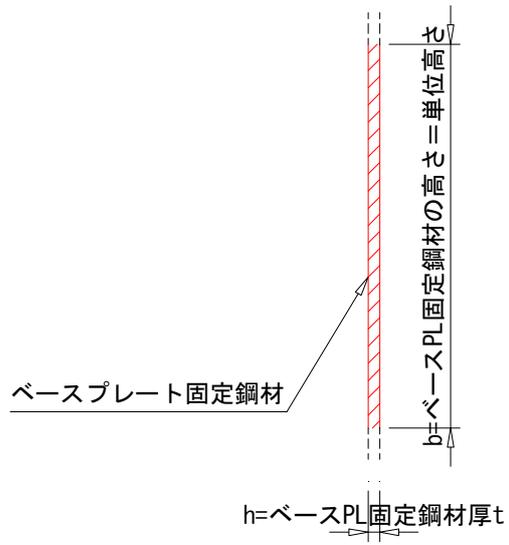
【③ベースPL固定鋼材に作用する荷重】



モデル化



第3-21図 照査モデル図 (止水ゴム取付部鋼材 ベースプレート固定鋼材)



第3-22図 照査断面（止水ゴム取付部鋼材 ベースプレート固定鋼材）

ロ. 断面照査方法

ベースプレート固定鋼材に発生する断面力算出式，部材の断面性能算出式を以下に記す。

$$M_{max,1} = F_{NS} \times a_1$$

$$F_{NS} = q \times L \times b + P_c \times b$$

$$S_{max,1} = F_{NS}$$

$$M_{max,2} = R \times a_2$$

$$R = \frac{M}{W}$$

$$M = \frac{q \times L^2 \times b}{2} + P_c \times L \times b$$

$$N_{max,2} = R$$

$$S_{max,2} = R$$

$$Z = \frac{b \times h^2}{6}$$

$$A = b \times h$$

ここに，

$M_{max,1}$: ベースプレート固定鋼材（水平力作用側）の
最大発生曲げモーメント（kN・m）

F_{NS} : ベースプレート固定鋼材（水平力作用側）に作用する
NS 方向の荷重（kN）

a_1 : ベースプレート固定鋼材（水平力作用側）のアーム長（m）

q : 分布荷重（kN/m²）

L : 分布荷重載荷幅＝リブプレート張り出し長（m）

b : 単位高さ（m）

P_c : 衝突力（kN/m）

$S_{max,1}$: ベースプレート固定鋼材（水平力作用側）の
最大発生せん断力（kN）

$M_{max,2}$: ベースプレート固定鋼材（引張力作用側）の
最大発生曲げモーメント（kN・m）

R : ベースプレートからのベースプレート固定鋼材に作用する
NS 方向反力（kN）

a_2 : ベースプレート固定鋼材（引張力作用側）のアーム長（m）

M : スキンプレート・リブプレートよりベースプレートが受ける
曲げモーメント（kN・m）

W : ベースプレート幅（m）

$N_{max,2}$: ベースプレート固定鋼材（引張力作用側）の最大軸力（kN）

$S_{max,2}$: ベースプレート固定鋼材（引張力作用側）の
最大発生せん断力（kN）

Z : 断面係数（ m^3 ）

h : ベースプレート固定鋼材厚（m）

A : 断面積（ m^2 ）

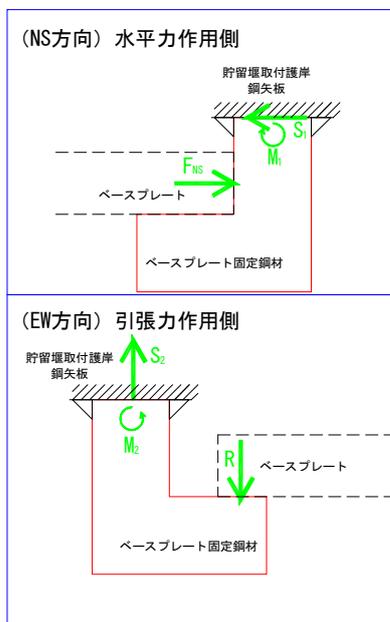
(d) ベースプレート固定鋼材と貯留堰取付護岸鋼矢板の溶接部

ベースプレート固定鋼材と貯留堰取付護岸鋼矢板の溶接部に作用する荷重に対し照査を行う。

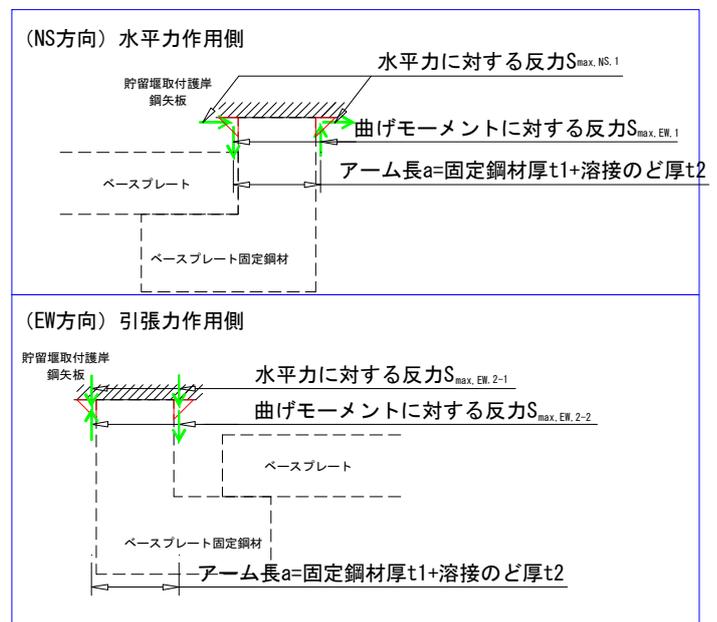
イ. モデル化

ベースプレート固定鋼材と貯留堰取付護岸鋼矢板の溶接部に作用する荷重とモデル化の考えを示した照査モデル図を第3-23図に示す。

【①ベースPL固定鋼材に作用する荷重（拡大）】



【②ベースPL固定鋼材と貯留堰取付護岸鋼矢板の溶接部に作用する荷重（拡大）】



第3-23図 照査モデル図

(止水ゴム取付部鋼材 ベースプレート固定鋼材と貯留堰取付護岸鋼矢板の溶接部)

ロ. 断面照査方法

ベースプレート固定鋼材と貯留堰取付護岸鋼矢板の溶接部に発生する断面力算出式、部材の断面性能算出式を以下に記す。

$$S_{max,EW,1} = \frac{M_1}{a}$$

$$a = t_1 + t_2$$

$$t_2 = \sqrt{b}$$

$$S_{max,NS,1} = \frac{S_1}{2}$$

$$S_{max,EW,2} = S_{max,EW,2-1} + S_{max,EW,2-2}$$

$$S_{max,EW,2-1} = \frac{R}{2}$$

$$S_{max,EW,2-2} = \frac{M_2}{a}$$

$$A = h \times t_2$$

ここに、

$S_{max,EW,1}$: 水平力作用側溶接部の EW 方向発生せん断力 (kN)

M_1 : ベースプレート固定鋼材 (水平力作用側) の
最大発生曲げモーメント (kN・m)

a : アーム長 (m)

t_1 : ベースプレート固定鋼材厚 (m)

t_2 : 溶接部ののど厚 (m)

b : 溶接部の脚長 (m)

$S_{max,NS,1}$: 水平力作用側溶接部の NS 方向発生せん断力 (kN)

S_1 : ベースプレート固定鋼材 (水平力作用側) の
最大発生せん断力 (kN)

$S_{max,EW,2}$: 引張力作用側溶接部の EW 方向発生せん断力 (kN)

$S_{max,EW,2-1}$: 引張力作用側溶接部の引張力による
EW 方向発生せん断力 (kN)

R : ベースプレートからベースプレート固定鋼材が
受ける反力 (kN)

$S_{max,EW,2-2}$: 水平力作用側溶接部の曲げモーメントによる
EW 方向発生せん断力 (kN)

M_2 : ベースプレート固定鋼材 (引張力作用側) の
最大発生曲げモーメント (kN・m)

A : 断面積 (m²)

h : 単位高さ (m)

d. 評価方法

防護材及び防護材取付部鋼材の強度評価は、曲げモーメント及び軸力より算定した応力及びせん断力より算定したせん断応力が「3.4 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

(a) 曲げモーメント及び軸力に対する照査

曲げモーメント及び軸力を用いて次式により算定した応力が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z}$$

ここで、

- σ : 曲げモーメント及び軸力より算定した応力 (N/mm²)
- M : 最大曲げモーメント (N・mm)
- Z : 断面係数 (mm³)
- N : 軸力 (N)
- A : 有効断面積 (mm²)

(b) せん断力に対する照査

せん断力を用いて次式によりせん断応力を算定する。

スキンプレートとリブプレートについては「道路橋示方書 (I 共通編・II 鋼橋編)・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成 14 年 3 月)」を参照し、せん断応力を算出する。

$$\tau = \kappa \frac{S}{A}$$

ここで、

- τ : せん断力より算定したせん断応力 (N/mm²)
- S : せん断力 (N)
- A : 有効断面積 (mm²) *

*スキンプレートとリブプレートの場合は腹板 (リブプレート) の面積のみ有効とする。

- κ : せん断応力の分布係数
 - スキンプレートとリブプレートの場合 $\kappa = 1.0$
 - ベースプレートの場合 $\kappa = 1.5$ (矩形断面)
 - ベースプレート取付部鋼材の場合 $\kappa = 1.5$ (矩形断面)
 - 溶接部の場合 $\kappa = 1.0$

せん断力が一方向に作用する場合は、上式によりせん断応力を算定し、せん断強度に基づく許容限界以下であることを確認する。

せん断力が二方向に作用する場合は、上式により各方向のせん断応力を算定し、次式による確認を行う。

$$\left(\frac{\tau_x}{\tau_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau_y}{\tau_a}\right)^2 \leq 1.00$$

ここで、

τ_x, τ_y : x 方向もしくは y 方向に作用するせん断応力 (N/mm²)

τ_a : せん断応力の許容限界 (N/mm²)

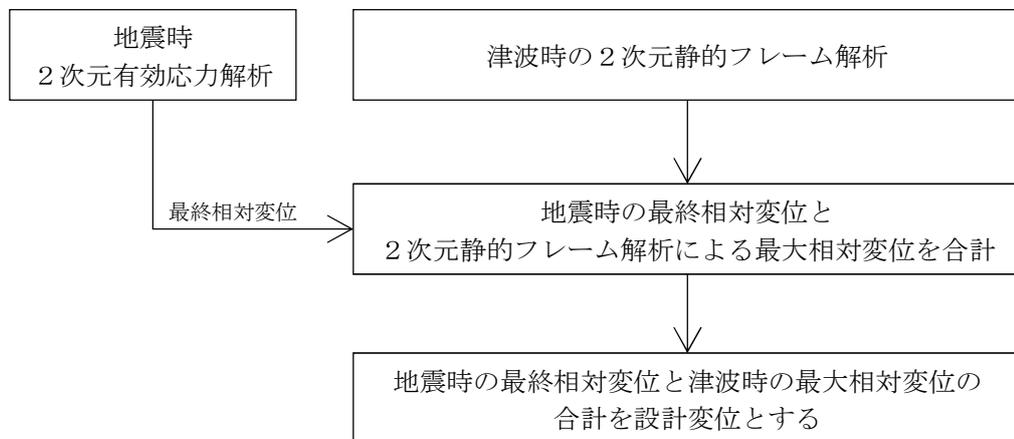
(4) 止水ゴム

a. 相対変位の考え方

止水ゴムの変形性評価に用いる津波時の構造物間の相対変位は、地震時における最終相対変位に、津波荷重及び衝突荷重を用いた2次元静的フレーム解析で算出した津波時の最大相対変位を加えたものとする。

津波時の構造物間の相対変位算出方法のフローを第3-24図に示す。

なお、地震時の構造物間の相対変位に対する止水ゴムの変形性評価は、添付書類「V-2-10-4-4-1 貯留堰の耐震性についての計算書」において実施するものとする。



第3-24図 相対変位算出方法のフロー（津波時）

b. 評価方法

止水ゴムの変位量は3方向の合成変位量として以下のとおり算定し、その合成変位量が許容限界以下であることを確認する。なお、貯留堰のX方向（護岸法線平行方向）の変位量は、負方向（貯留堰外側方向）よりも正方向（貯留堰内側方向）が大きいため、あらかじめ負方向側（貯留堰外側方向）へのオフセット距離を考慮した設置位置とする。

変位方向の定義を第3-25図に、各変位及び距離の定義を第3-26図にそれぞれ示す。

$$\delta = \sqrt{\delta x^2 + \delta y^2 + \delta z^2}$$

$$\delta x = \delta x(-) + Lx$$

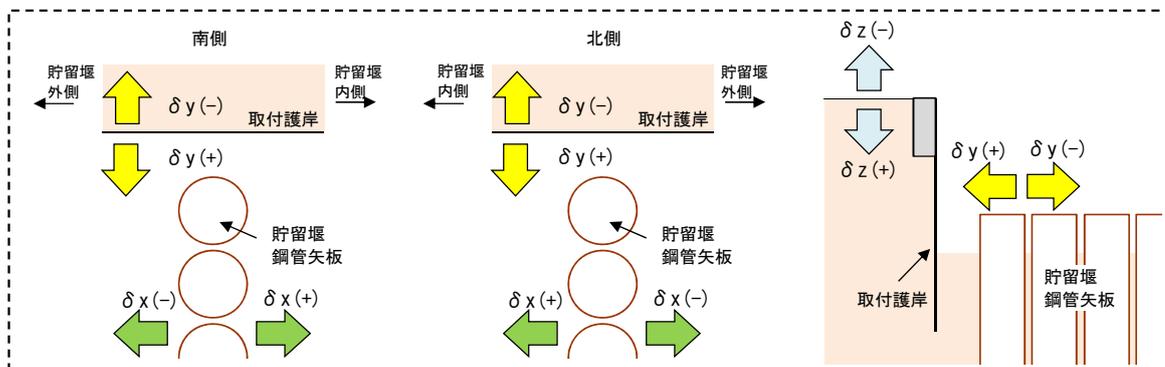
$$\delta y = \delta y(-) + Ly$$

$$Ly = \delta y(+) + W$$

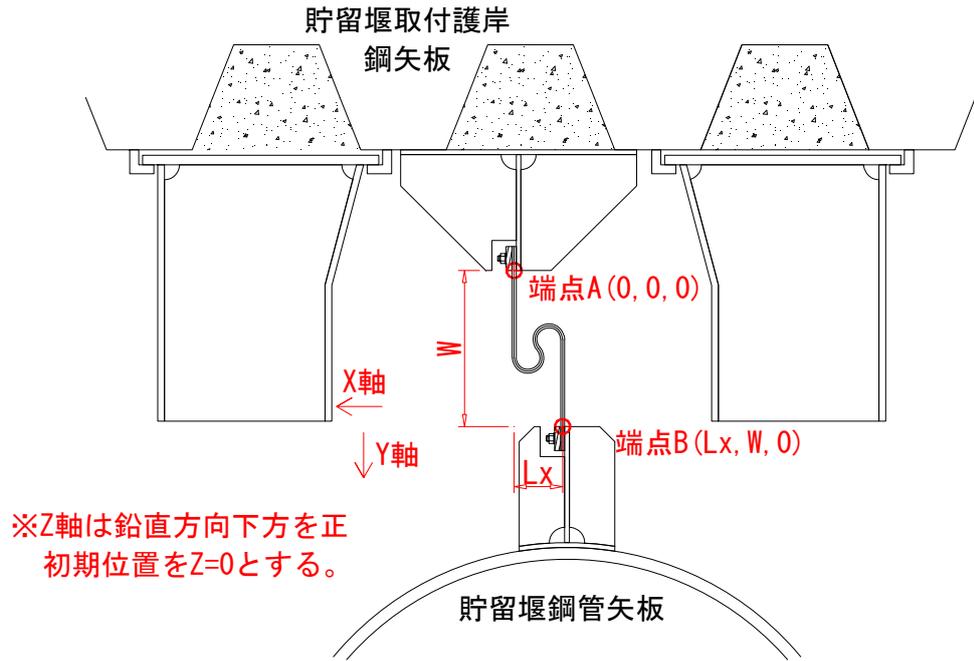
$$\delta z = \delta z(+)$$

ここに、

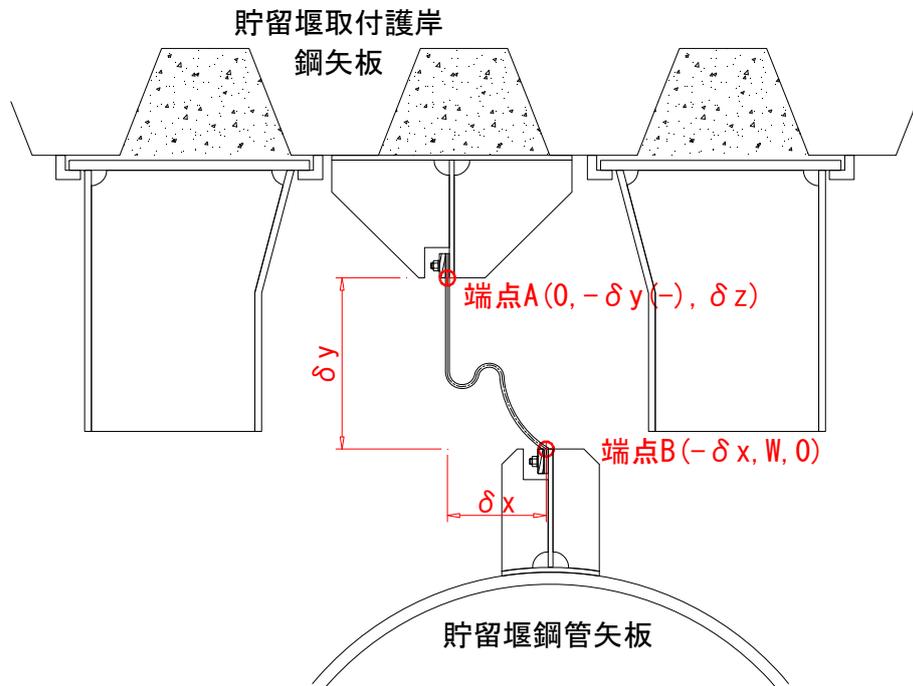
- δ : 止水ゴムの設計変位 (cm)
- δx : X方向（護岸法線平行方向）の変位 (cm)
- δy : Y方向（護岸法線直角方向）の変位 (cm)
- δz : Z方向（鉛直方向）の変位 (cm)
- $\delta x(+, -)$: 貯留堰鋼管矢板の絶対変位（取付護岸の変位=0）(cm) ,
+方向=貯留堰内側方向, -方向=貯留堰外側方向
- $\delta y(+, -)$: 貯留堰鋼管矢板と取付護岸との相対変位 (cm) ,
+方向=取付護岸が近づく方向, -方向=取付護岸が離れる方向
- $\delta z(+, -)$: 貯留堰鋼管矢板と取付護岸との相対変位 (cm) ,
+方向=取付護岸の沈下方向, -方向=取付護岸の上昇方向
- Lx : X方向（護岸法線平行方向）のオフセット距離 (cm)
- Ly : Y方向（護岸法線直角方向）の初期離隔距離 (cm)
- W : 変形時に止水ゴムと鋼材が干渉しないために必要な裕度 (cm)



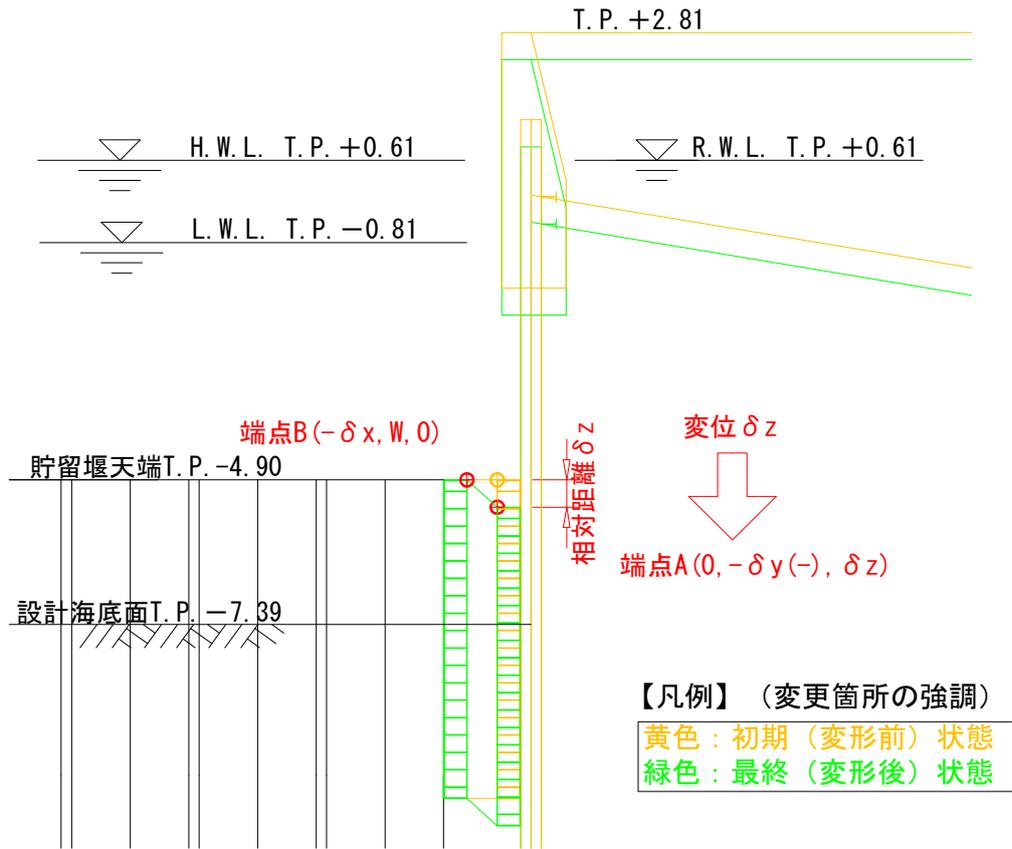
第3-25図 変位方向の定義



第3-26 図 (1) 各変位及び距離の定義 (1 / 3)



第3-26 図 (2) 各変位及び距離の定義 (2 / 3)



第3-26 図 (3) 各変位及び距離の定義 (3 / 3)

3.5.2 重畳時

(1) 鋼管矢板

a. 解析概要

鋼管矢板で津波荷重及び余震荷重に抵抗するため、鋼管矢板をモデル化した2次元静的フレーム解析を行い、重畳時の鋼管矢板の構造健全性を確認する。2次元静的フレーム解析で考慮する余震に伴う地盤変位や静的震度は、構造物中心位置の地盤モデルに対する1次元有効応力解析より設定する。

2次元静的フレーム解析については、解析コード「FREMING Ver. 14.1B」を、1次元有効応力解析については、解析コード「FLIP Ver. 7.3.0_2」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、それぞれ、添付書類「V-5-41 計算機プログラム（解析コード）の概要・FREMING」及び「V-5-10 計算機プログラム（解析コード）の概要・FLIP」に示す。

b. 2次元静的フレーム解析

2次元静的フレーム解析モデルは、「3.5.1 津波時」と同様とする。

なお、重畳時の地盤ばねの設定は、第3-19表に示す解析ケースにおいて、 S_d 波による1次元有効応力解析を実施し、地表面加速度最大時刻、地表面変位最大時刻及びせん断ひずみ最大時刻における物性により設定し、第3-20表に示す3ケースを考慮する。

第3-19表 2次元静的フレーム解析における1次元有効応力解析検討ケース（重畳時）

検討ケース		①	②	③	④	⑤	⑥
		原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース(基本ケース)	地盤物性のばらつきを考慮(+1 σ)した解析ケース	地盤物性のばらつきを考慮(-1 σ)した解析ケース	地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	地盤物性のばらつきを考慮(+1 σ)して非液状化の条件を仮定した解析ケース
液状化強度特性の設定		原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	原地盤に基づく液状化強度特性(標準偏差を考慮)	敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用
地震波	S_d -D1	1	1	1	1	1	1
計		1	1	1	1	1	1

第3-20表 地盤ばねケース（重畳時）

ケース名	地盤反力係数	地盤反力度の上限値	備考
地盤ばね3	S_d 波による1次元有効応答解析から地表面最大加速度発生時刻における地盤物性により設定		地盤抵抗が大きいケース
地盤ばね4	S_d 波による1次元有効応答解析から地表面最大変位発生時刻における地盤物性により設定		地盤抵抗が小さいケース
地盤ばね5	S_d 波による1次元有効応答解析から最大せん断ひずみ発生時刻における地盤物性により設定		

c. 1次元有効応力解析

(a) 解析モデル

解析モデルは、構造物設置位置の地層構成に基づきモデル化する。

(b) 地盤の物性値

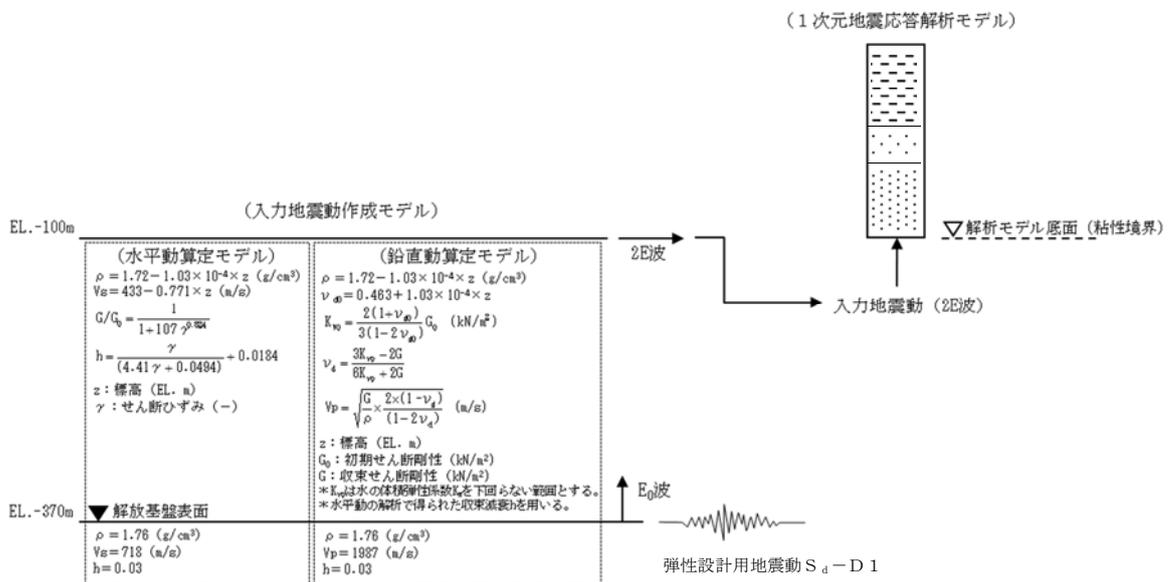
地盤の物性値は、「3.5.1 津波時」と同様とする。

(c) 入力地震動

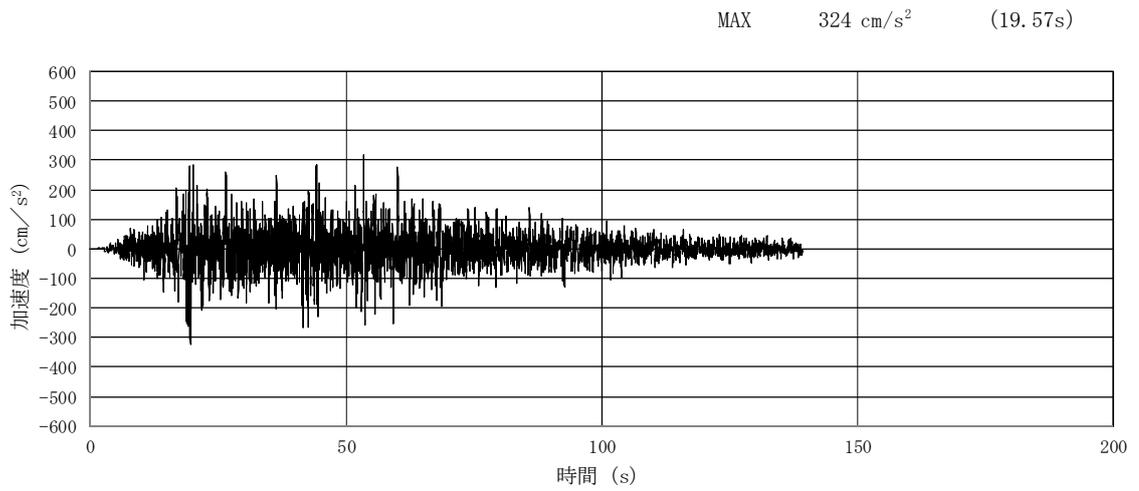
入力地震動は、添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

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弾性設計用地震動 S_d-D1 を1次元波動論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。入力地震動算定の概念図を第3-27図に、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第3-28図にそれぞれ示す。

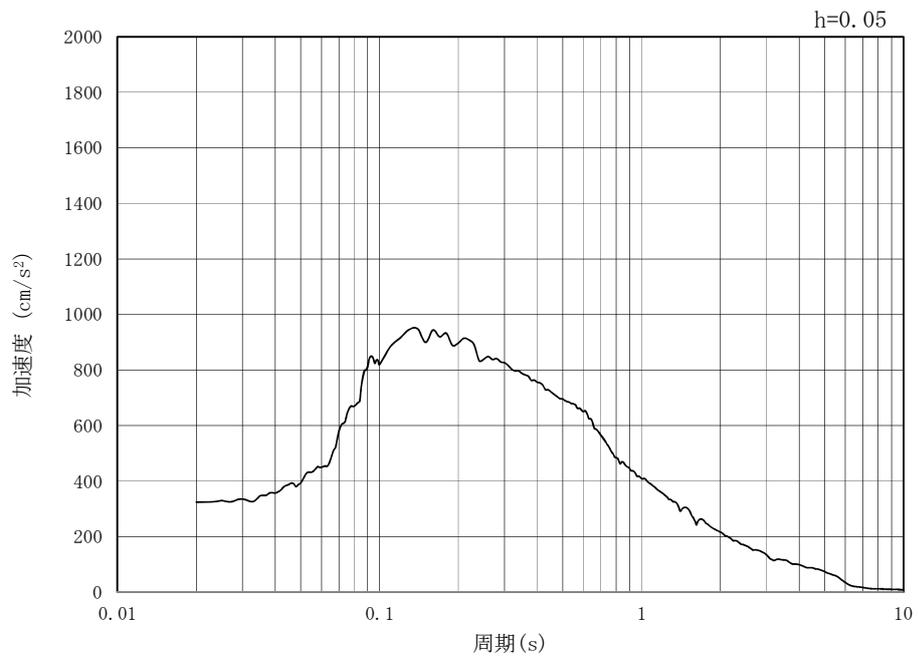
入力地震動の算定には、解析コード「k-SHAKE Ver. 6.2.0」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「V-5-25 計算機プログラム（解析コード）の概要・k-SHAKE」に示す。



第3-27図 入力地震動算定の概念図



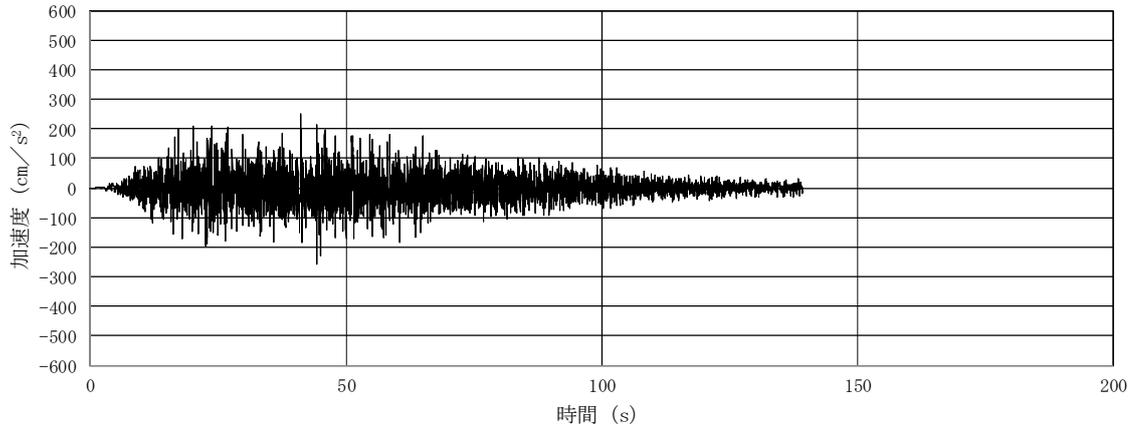
(a) 加速度時刻歴波形



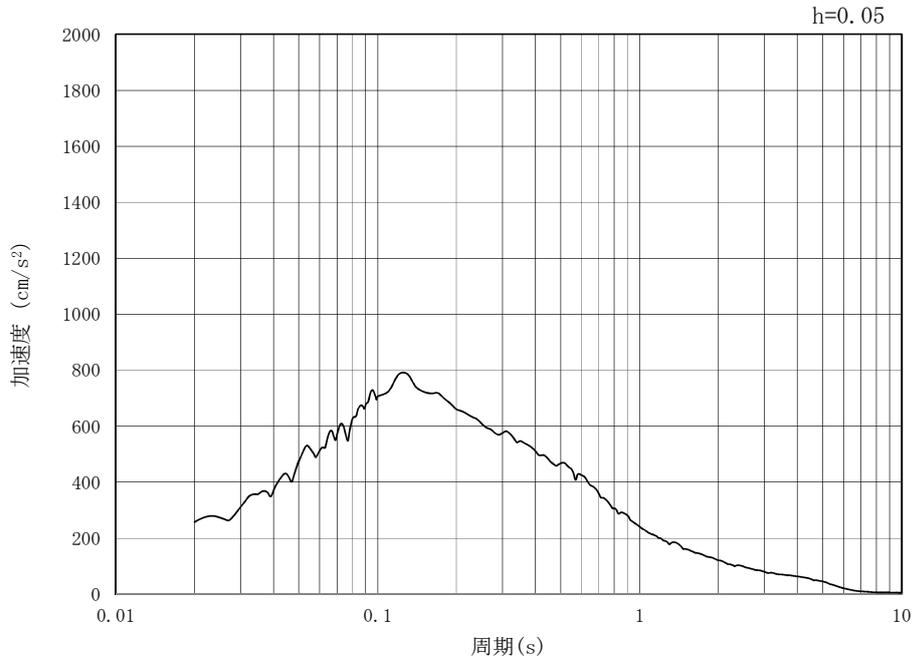
(b) 加速度応答スペクトル

第3-28 図 (1) 入力地震動の加速度時刻歴及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : S_a-D 1)

MAX 258 cm/s² (44.24s)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

第3-28図 (2) 入力地震動の加速度時刻歴及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：S_d-D1)

(d) 減衰定数

固有値解析により求められる固有振動数及び初期減衰定数に基づく要素剛性比例型減衰を考慮する。また、非線形特性をモデル化する地盤の履歴減衰を考慮する。

d. 使用材料及び材料の物性値

使用材料及び材料の物性値は、「3.5.1 津波時」と同じである。

e. 地盤の物性値

地盤の物性値は、「3.5.1 津波時」と同じである。

f. 評価方法

鋼管矢板の強度評価は、「3.5.1 津波時」と同じ方法により、許容限界以下であることを確認する。

(2) 止水ゴム取付部鋼材

a. 構造概要

止水ゴム取付部鋼材の構造概要は、「3.5.1 津波時」と同じである。

b. 解析概要

重畳時に発生する応答値は、慣性力、動水圧、基準津波による津波荷重及び止水ゴムのゴム張力を作用させた線形はり構造として解析を行う。

c. 部材ごとの解析方法

部材ごとの解析方法は、「3.5.1 津波時」と同じである。

d. 評価方法

評価方法は、「3.5.1 津波時」と同じである。

(3) 防護材及び防護材取付部鋼材

a. 構造概要

防護材及び防護材取付部鋼材の構造概要は、「3.5.1 津波時」と同じである。

b. 解析概要

重畳時に発生する応答値は、慣性力、動水圧及び基準津波による津波荷重を作用させた線形はり構造として解析を行う。

c. 部材ごとの解析方法

部材ごとの解析方法は、「3.5.1 津波時」と同じである。

d. 評価方法

評価方法は、「3.5.1 津波時」と同じである。

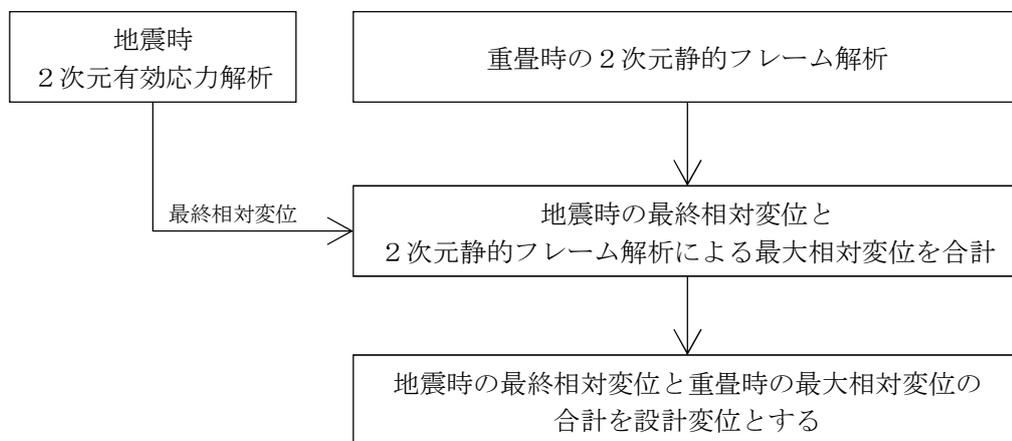
(4) 止水ゴム

a. 相対変位の考え方

止水ゴムの変形性評価に用いる重畳時の構造物間の相対変位は、地震時における最終相対変位に、津波荷重、動水圧及び余震荷重を用いた2次元静的フレーム解析で算出した重畳時の最大相対変位を加えたものとする。

重畳時の構造物間の相対変位算出方法のフローを第3-29図に示す。

なお、地震時の構造物間の相対変位に対する止水ゴムの変形性評価は、添付書類「V-2-10-4-4-1 貯留堰の耐震性についての計算書」において実施するものとする。



第3-29図 相対変位算出方法のフロー（重畳時）

b. 評価方法

評価方法は、「3.5.1 津波時」と同じである。

4. 評価条件

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件を以下に示す。

(1) 津波時

第4-1表 強度評価に用いる条件（津波時，断面3，鋼管矢板一般部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
h	浸水深	2.49	m
k_h	水平震度	—	—
k_v	鉛直震度	—	—
p_1	直立壁前面の底面における波圧強度	114.0	kN/m^2
p_2	直立壁前面の天端面における波圧強度	88.9	kN/m^2
p_3	直立壁背面の底面における波圧強度	25.1	kN/m^2
η_f	直立壁前面の静水面からの津波高さ	8.80	m
η_r	直立壁背面の静水面からの津波高さ	0.0	m
h'	直立壁の底面の水深	2.49	m
h_c	静水面から直立壁天端面までの高さ	0.0	m
P_c	衝突荷重	759	kN
P_d	動水圧合力	—	kN/m
P_t	津波荷重	88.9	kN/m^2
v	貯留堰位置での津波最大流速	11.0	m/s
W_c	漂流物の重量	0.6	kN
y	動水圧の作用高さ	—	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	738	kN
K_{sd}	余震荷重（水平方向慣性力）	—	kN/m^2
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	—	kN/m^2
σ_a	短期許容曲げ圧縮応力度	382.5	N/mm^2
Z	断面係数	0.11832	mm^3
A	有効断面積	0.246	mm^2
τ_a	短期許容せん断応力度	217.5	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	—
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	—
	せん断応力の分布係数（溶接部の場合）	1.0	—

第4-2表 強度評価に用いる条件（津波時，断面4，鋼管矢板一般部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
h	浸水深	2.49	m
k_h	水平震度	—	—
k_v	鉛直震度	—	—
p_1	直立壁前面の底面における波圧強度	114.0	kN/m^2
p_2	直立壁前面の天端面における波圧強度	88.9	kN/m^2
p_3	直立壁背面の底面における波圧強度	25.1	kN/m^2
η_f	直立壁前面の静水面からの津波高さ	8.80	m
η_r	直立壁背面の静水面からの津波高さ	0.0	m
h'	直立壁の底面の水深	2.49	m
h_c	静水面から直立壁天端面までの高さ	0.0	m
P_c	衝突荷重	759	kN
P_d	動水圧合力	—	kN/m
P_t	津波荷重	88.9	kN/m^2
v	貯留堰位置での津波最大流速	11.0	m/s
W_c	漂流物の重量	0.6	kN
y	動水圧の作用高さ	—	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	1107	kN
$K_{s d}$	余震荷重（水平方向慣性力）	—	kN/m^2
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	—	kN/m^2
σ_a	短期許容曲げ圧縮応力度	382.5	N/mm^2
Z	断面係数	0.11832	mm^3
A	有効断面積	0.246	mm^2
τ_a	短期許容せん断応力度	217.5	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	—
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	—
	せん断応力の分布係数（溶接部の場合）	1.0	—

第4-3表 強度評価に用いる条件（津波時，断面3，鋼管矢板端部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
h	浸水深	2.49	m
k_h	水平震度	—	—
k_v	鉛直震度	—	—
p_1	直立壁前面の底面における波圧強度	114.0	kN/m^2
p_2	直立壁前面の天端面における波圧強度	88.9	kN/m^2
p_3	直立壁背面の底面における波圧強度	25.1	kN/m^2
η_f	直立壁前面の静水面からの津波高さ	8.80	m
η_r	直立壁背面の静水面からの津波高さ	0.0	m
h'	直立壁の底面の水深	2.49	m
h_c	静水面から直立壁天端面までの高さ	0.0	m
P_c	衝突荷重	759	kN
P_d	動水圧合力	—	kN/m
P_t	津波荷重	117.1	kN/m^2
v	貯留堰位置での津波最大流速	11.0	m/s
W_c	漂流物の重量	0.6	kN
y	動水圧の作用高さ	—	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	738	kN
$K_{s d}$	余震荷重（水平方向慣性力）	—	kN/m^2
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	—	kN/m^2
σ_a	短期許容曲げ圧縮応力度	382.5	N/mm^2
Z	断面係数	0.11832	mm^3
A	有効断面積	0.246	mm^2
τ_a	短期許容せん断応力度	217.5	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	—
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	—
	せん断応力の分布係数（溶接部の場合）	1.0	—

第4-4表 強度評価に用いる条件（津波時，断面4，鋼管矢板端部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
h	浸水深	2.49	m
k_h	水平震度	—	—
k_v	鉛直震度	—	—
p_1	直立壁前面の底面における波圧強度	114.0	kN/m^2
p_2	直立壁前面の天端面における波圧強度	88.9	kN/m^2
p_3	直立壁背面の底面における波圧強度	25.1	kN/m^2
η_f	直立壁前面の静水面からの津波高さ	8.80	m
η_r	直立壁背面の静水面からの津波高さ	0.0	m
h'	直立壁の底面の水深	2.49	m
h_c	静水面から直立壁天端面までの高さ	0.0	m
P_c	衝突荷重	759	kN
P_d	動水圧合力	—	kN/m
P_t	津波荷重	117.1	kN/m^2
v	貯留堰位置での津波最大流速	11.0	m/s
W_c	漂流物の重量	0.6	kN
y	動水圧の作用高さ	—	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	1107	kN
$K_{s d}$	余震荷重（水平方向慣性力）	—	kN/m^2
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	—	kN/m^2
σ_a	短期許容曲げ圧縮応力度	382.5	N/mm^2
Z	断面係数	0.11832	mm^3
A	有効断面積	0.246	mm^2
τ_a	短期許容せん断応力度	217.5	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	—
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	—
	せん断応力の分布係数（溶接部の場合）	1.0	—

(2) 重畳時

第4-5表 強度評価に用いる条件（重畳時，地盤ばね3，断面3，鋼管矢板一般部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
h	浸水深	2.49	m
k_h	水平震度	0.27	—
k_v	鉛直震度	0.05	—
p_1	直立壁前面の底面における波圧強度	114.0	kN/m^2
p_2	直立壁前面の天端面における波圧強度	88.9	kN/m^2
p_3	直立壁背面の底面における波圧強度	25.1	kN/m^2
η_f	直立壁前面の静水面からの津波高さ	8.80	m
η_r	直立壁背面の静水面からの津波高さ	0.0	m
h'	直立壁の底面の水深	2.49	m
h_c	静水面から直立壁天端面までの高さ	0.0	m
P_c	衝突荷重	—	kN
P_d	動水圧合力	73.1	kN/m
P_t	津波荷重	88.9	kN/m^2
v	貯留堰位置での津波最大流速	11.0	m/s
W_c	漂流物の重量	—	kN
y	動水圧の作用高さ	1.19	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	738	kN
$K_{s d}$	余震荷重（水平方向慣性力）	10.6	kN/m^2
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	1.9	kN/m^2
σ_a	短期許容曲げ圧縮応力度	382.5	N/mm^2
Z	断面係数	0.11832	mm^3
A	有効断面積	0.246	mm^2
τ_a	短期許容せん断応力度	217.5	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	—
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	—
	せん断応力の分布係数（溶接部の場合）	1.0	—

第 4-6 表 強度評価に用いる条件（重畳時，地盤ばね 3，断面 4，鋼管矢板一般部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
h	浸水深	2.49	m
k_h	水平震度	0.21	—
k_v	鉛直震度	0.07	—
p_1	直立壁前面の底面における波圧強度	114.0	kN/m^2
p_2	直立壁前面の天端面における波圧強度	88.9	kN/m^2
p_3	直立壁背面の底面における波圧強度	25.1	kN/m^2
η_f	直立壁前面の静水面からの津波高さ	8.80	m
η_r	直立壁背面の静水面からの津波高さ	0.0	m
h'	直立壁の底面の水深	2.49	m
h_c	静水面から直立壁天端面までの高さ	0.0	m
P_c	衝突荷重	—	kN
P_d	動水圧合力	56.9	kN/m
P_t	津波荷重	88.9	kN/m^2
v	貯留堰位置での津波最大流速	11.0	m/s
W_c	漂流物の重量	—	kN
y	動水圧の作用高さ	1.19	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	1107	kN
$K_{s d}$	余震荷重（水平方向慣性力）	8.2	kN/m^2
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	2.7	kN/m^2
σ_a	短期許容曲げ圧縮応力度	382.5	N/mm^2
Z	断面係数	0.11832	mm^3
A	有効断面積	0.246	mm^2
τ_a	短期許容せん断応力度	217.5	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	—
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	—
	せん断応力の分布係数（溶接部の場合）	1.0	—

第4-7表 強度評価に用いる条件（重畳時，地盤ばね4，断面3，鋼管矢板一般部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s ²
h	浸水深	2.49	m
k _h	水平震度	0.05	—
k _v	鉛直震度	0.04	—
p ₁	直立壁前面の底面における波圧強度	114.0	kN/m ²
p ₂	直立壁前面の天端面における波圧強度	88.9	kN/m ²
p ₃	直立壁背面の底面における波圧強度	25.1	kN/m ²
η _f	直立壁前面の静水面からの津波高さ	8.80	m
η _r	直立壁背面の静水面からの津波高さ	0.0	m
h'	直立壁の底面の水深	2.49	m
h _c	静水面から直立壁天端面までの高さ	0.0	m
P _c	衝突荷重	—	kN
P _d	動水圧合力	13.5	kN/m
P _t	津波荷重	88.9	kN/m ²
v	貯留堰位置での津波最大流速	11.0	m/s
W _c	漂流物の重量	—	kN
y	動水圧の作用高さ	1.19	m
γ _w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m ³
ρ	海水の密度	1030	kg/m ³
G	固定荷重	738	kN
K _{s d}	余震荷重（水平方向慣性力）	1.9	kN/m ²
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	1.5	kN/m ²
σ _a	短期許容曲げ圧縮応力度	382.5	N/mm ²
Z	断面係数	0.11832	mm ³
A	有効断面積	0.246	mm ²
τ _a	短期許容せん断応力度	217.5	N/mm ²
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	—
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	—
	せん断応力の分布係数（溶接部の場合）	1.0	—

第4-8表 強度評価に用いる条件（重畳時，地盤ばね4，断面4，鋼管矢板一般部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
h	浸水深	2.49	m
k_h	水平震度	0.05	—
k_v	鉛直震度	0.03	—
p_1	直立壁前面の底面における波圧強度	114.0	kN/m^2
p_2	直立壁前面の天端面における波圧強度	88.9	kN/m^2
p_3	直立壁背面の底面における波圧強度	25.1	kN/m^2
η_f	直立壁前面の静水面からの津波高さ	8.80	m
η_r	直立壁背面の静水面からの津波高さ	0.0	m
h'	直立壁の底面の水深	2.49	m
h_c	静水面から直立壁天端面までの高さ	0.0	m
P_c	衝突荷重	—	kN
P_d	動水圧合力	13.5	kN/m
P_t	津波荷重	88.9	kN/m^2
v	貯留堰位置での津波最大流速	11.0	m/s
W_c	漂流物の重量	—	kN
y	動水圧の作用高さ	1.19	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	1107	kN
$K_{s d}$	余震荷重（水平方向慣性力）	1.9	kN/m^2
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	1.2	kN/m^2
σ_a	短期許容曲げ圧縮応力度	382.5	N/mm^2
Z	断面係数	0.11832	mm^3
A	有効断面積	0.246	mm^2
τ_a	短期許容せん断応力度	217.5	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	—
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	—
	せん断応力の分布係数（溶接部の場合）	1.0	—

第4-9表 強度評価に用いる条件（重畳時，地盤ばね5，断面3，鋼管矢板一般部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
h	浸水深	2.49	m
k_h	水平震度	0.05	—
k_v	鉛直震度	0.01	—
p_1	直立壁前面の底面における波圧強度	114.0	kN/m^2
p_2	直立壁前面の天端面における波圧強度	88.9	kN/m^2
p_3	直立壁背面の底面における波圧強度	25.1	kN/m^2
η_f	直立壁前面の静水面からの津波高さ	8.80	m
η_r	直立壁背面の静水面からの津波高さ	0.0	m
h'	直立壁の底面の水深	2.49	m
h_c	静水面から直立壁天端面までの高さ	0.0	m
P_c	衝突荷重	—	kN
P_d	動水圧合力	13.5	kN/m
P_t	津波荷重	88.9	kN/m^2
v	貯留堰位置での津波最大流速	11.0	m/s
W_c	漂流物の重量	—	kN
y	動水圧の作用高さ	1.19	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	738	kN
$K_{s d}$	余震荷重（水平方向慣性力）	1.9	kN/m^2
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	0.4	kN/m^2
σ_a	短期許容曲げ圧縮応力度	382.5	N/mm^2
Z	断面係数	0.11832	mm^3
A	有効断面積	0.246	mm^2
τ_a	短期許容せん断応力度	217.5	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	—
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	—
	せん断応力の分布係数（溶接部の場合）	1.0	—

第4-10表 強度評価に用いる条件（重畳時，地盤ばね5，断面4，鋼管矢板一般部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
h	浸水深	2.49	m
k_h	水平震度	0.05	—
k_v	鉛直震度	0.02	—
p_1	直立壁前面の底面における波圧強度	114.0	kN/m^2
p_2	直立壁前面の天端面における波圧強度	88.9	kN/m^2
p_3	直立壁背面の底面における波圧強度	25.1	kN/m^2
η_f	直立壁前面の静水面からの津波高さ	8.80	m
η_r	直立壁背面の静水面からの津波高さ	0.0	m
h'	直立壁の底面の水深	2.49	m
h_c	静水面から直立壁天端面までの高さ	0.0	m
P_c	衝突荷重	—	kN
P_d	動水圧合力	13.5	kN/m
P_t	津波荷重	88.9	kN/m^2
v	貯留堰位置での津波最大流速	11.0	m/s
W_c	漂流物の重量	—	kN
y	動水圧の作用高さ	1.19	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	1107	kN
$K_{s d}$	余震荷重（水平方向慣性力）	1.9	kN/m^2
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	0.8	kN/m^2
σ_a	短期許容曲げ圧縮応力度	382.5	N/mm^2
Z	断面係数	0.11832	mm^3
A	有効断面積	0.246	mm^2
τ_a	短期許容せん断応力度	217.5	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	—
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	—
	せん断応力の分布係数（溶接部の場合）	1.0	—

第4-11表 強度評価に用いる条件（重畳時，地盤ばね4，断面3，鋼管矢板端部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
h	浸水深	2.49	m
k_h	水平震度	0.05	—
k_v	鉛直震度	0.04	—
p_1	直立壁前面の底面における波圧強度	114.0	kN/m^2
p_2	直立壁前面の天端面における波圧強度	88.9	kN/m^2
p_3	直立壁背面の底面における波圧強度	25.1	kN/m^2
η_f	直立壁前面の静水面からの津波高さ	8.80	m
η_r	直立壁背面の静水面からの津波高さ	0.0	m
h'	直立壁の底面の水深	2.49	m
h_c	静水面から直立壁天端面までの高さ	0.0	m
P_c	衝突荷重	—	kN
P_d	動水圧合力	17.8	kN/m
P_t	津波荷重	117.1	kN/m^2
v	貯留堰位置での津波最大流速	11.0	m/s
W_c	漂流物の重量	—	kN
y	動水圧の作用高さ	1.19	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	738	kN
$K_{s d}$	余震荷重（水平方向慣性力）	2.1	kN/m^2
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	1.7	kN/m^2
σ_a	短期許容曲げ圧縮応力度	382.5	N/mm^2
Z	断面係数	0.11832	mm^3
A	有効断面積	0.246	mm^2
τ_a	短期許容せん断応力度	217.5	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	—
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	—
	せん断応力の分布係数（溶接部の場合）	1.0	—

第4-12表 強度評価に用いる条件（重畳時，地盤ばね4，断面4，鋼管矢板端部）

記号	定義	数値	単位
g	重力加速度	9.80665	m/s^2
h	浸水深	2.49	m
k_h	水平震度	0.05	—
k_v	鉛直震度	0.03	—
p_1	直立壁前面の底面における波圧強度	114.0	kN/m^2
p_2	直立壁前面の天端面における波圧強度	88.9	kN/m^2
p_3	直立壁背面の底面における波圧強度	25.1	kN/m^2
η_f	直立壁前面の静水面からの津波高さ	8.80	m
η_r	直立壁背面の静水面からの津波高さ	0.0	m
h'	直立壁の底面の水深	2.49	m
h_c	静水面から直立壁天端面までの高さ	0.0	m
P_c	衝突荷重	—	kN
P_d	動水圧合力	17.8	kN/m
P_t	津波荷重	117.1	kN/m^2
v	貯留堰位置での津波最大流速	11.0	m/s
W_c	漂流物の重量	—	kN
y	動水圧の作用高さ	1.19	m
γ_w	海水の単位体積重量	10.1	kN/m^3
ρ	海水の密度	1030	kg/m^3
G	固定荷重	1107	kN
$K_{s d}$	余震荷重（水平方向慣性力）	2.1	kN/m^2
	余震荷重（鉛直方向慣性力）	1.3	kN/m^2
σ_a	短期許容曲げ圧縮応力度	382.5	N/mm^2
Z	断面係数	0.11832	mm^3
A	有効断面積	0.246	mm^2
τ_a	短期許容せん断応力度	217.5	N/mm^2
κ	せん断応力の分布係数（パイプ型断面の場合）	2.0	—
	せん断応力の分布係数（矩形断面の場合）	1.5	—
	せん断応力の分布係数（溶接部の場合）	1.0	—

5. 評価結果

5.1 津波時の強度評価結果

評価対象部位ごとに津波時の評価結果を示す。

(1) 鋼管矢板

津波時における貯留堰鋼管矢板の解析結果を示す。なお、貯留堰の貯留堰取付護岸側の端部の鋼管矢板は、止水ゴム等の付属物によって受圧面積が大きくなるため作用外力が一般部と比較して大きくなる。鋼管矢板の強度評価においては、その荷重増分を考慮しない鋼管矢板（一般部）と、その荷重増分を考慮する鋼管矢板（端部）に対する評価結果をそれぞれ整理する。

a. 鋼管矢板（一般部）

(a) 曲げ軸力に対する照査

鋼管矢板に対して許容応力度法による照査を行った結果、曲げ軸応力が短期許容応力度以下であることを確認した。

断面計算に用いた断面諸元を第5-1表に、曲げ軸力に対する照査結果を第5-2表に示す。なお、照査に用いた断面積及び断面係数は鋼管矢板延長1 mあたりの値とする。

第5-1表 鋼管矢板（SM570）断面諸元

断面	板厚 (mm)	断面積 (m ² /m)	断面係数 (m ³ /m)	備考
3	40	0.110	0.05289	腐食 1.00mm 考慮（海中部）
4	40	0.110	0.05289	腐食 1.00mm 考慮（海中部）

第5-2表 (1) 曲げ軸力に対する照査結果（断面3）

ケース名	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ軸 応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
地盤ばね1	1997	134	39	382.5	0.10
地盤ばね2	2561	169	50	382.5	0.13

第5-2表 (2) 曲げ軸力に対する照査結果（断面4）

ケース名	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ軸 応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
地盤ばね1	2276	140	44	382.5	0.12
地盤ばね2	2712	156	53	382.5	0.14

(b) せん断力に対する照査

鋼管矢板に対して許容応力度法による照査を行った結果、せん断応力が短期許容応力度以下であることを確認した。

断面計算に用いた断面諸元は前出の第 5-1 表に、せん断力に対する照査結果を第 5-3 表に示す。

第 5-3 表 (1) せん断力に対する照査結果 (断面 3)

ケース名	せん断力 (kN)	せん断応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
地盤ばね 1	570	10	217.5	0.05
地盤ばね 2	570	10	217.5	0.05

第 5-3 表 (2) せん断力に対する照査結果 (断面 4)

ケース名	せん断力 (kN)	せん断応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
地盤ばね 1	570	10	217.5	0.05
地盤ばね 2	570	10	217.5	0.05

b. 鋼管矢板（端部）

津波時と比較して，重畳時における作用外力が大きいため，津波時の検討を省略する。

(2) 止水ゴム取付部鋼材

津波時と比較して、重畳時における作用外力が大きいため、津波時の検討を省略する。

(3) 防護材及び防護材取付部鋼材

防護材及び防護材取付部鋼材の照査結果を第5-4表から第5-21表に示す。

a. スキンプレート及びリブプレート

第5-4表 作用する断面力（スキンプレートとリブプレート）

曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
204	-	251

第5-5表 断面性能（スキンプレートとリブプレート）

断面積 (m ²)	断面係数 (m ³)	備考
0.005340	0.004207040	腐食 1.00mm 考慮（海中部）

第5-6表 断面照査結果（スキンプレートとリブプレート）

評価項目	発生応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
曲げモーメント	48	210	0.23
せん断力	47	120	0.40

b. ベースプレート

第5-7表 作用する断面力 (ベースプレート)

曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
44	835	873

第5-8表 断面性能 (ベースプレート)

断面積 (m ²)	断面係数 (m ³)	備考
0.030000	0.000150000	腐食 1.00mm 考慮 (海中部)

第5-9表 断面照査結果 (ベースプレート)

評価項目	発生応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
曲げモーメント	321	382.5	0.84
せん断力	44	217.5	0.21

c. ベースプレート固定鋼材

第5-10表 作用する断面力 (ベースプレート固定鋼材 水平力作用側)

曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
28	-	835

第5-11表 断面性能 (ベースプレート固定鋼材 水平力作用側)

断面積 (m ²)	断面係数 (m ³)	備考
0.038000	0.000240667	腐食 1.00mm 考慮 (海中部)

第5-12表 断面照査結果 (ベースプレート固定鋼材 水平力作用側)

評価項目	発生応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
曲げモーメント	116	277.5	0.42
せん断力	33	157.5	0.21

第5-13表 作用する断面力 (ベースプレート固定鋼材 引張力作用側)

曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
50	873	873

第5-14表 断面性能 (ベースプレート固定鋼材 引張力作用側)

断面積 (m ²)	断面係数 (m ³)	備考
0.038000	0.000240667	腐食 1.00mm 考慮 (海中部)

第5-15表 断面照査結果 (ベースプレート固定鋼材 引張力作用側)

評価項目	発生応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
曲げモーメント	231	277.5	0.84
せん断力	34	157.5	0.22

d. ベースプレート固定鋼材と貯留堰取付護岸鋼矢板溶接部

第5-16表 作用する断面力

(ベースプレート固定鋼材と貯留堰取付護岸鋼矢板溶接部 水平力作用側)

曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	(EW 方向) せん断力 (kN)	(NS 方向) せん断力 (kN)
-	-	510	418

第5-17表 断面性能

(ベースプレート固定鋼材と貯留堰取付護岸鋼矢板溶接部 水平力作用側)

断面積 (m ²)	断面係数 (m ³)	備考
0.013850	-	腐食 1.00mm 考慮 (海中部)

第5-18表 断面照査結果

(ベースプレート固定鋼材と貯留堰取付護岸鋼矢板溶接部 水平力作用側)

評価項目	(EW 方向) 発生応力 (N/mm ²)	(NS 方向) 発生応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
せん断力	37	30	105	0.21

第5-19表 作用する断面力

(ベースプレート固定鋼材と貯留堰取付護岸鋼矢板溶接部 引張力作用側)

曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
-	-	912

第5-20表 断面性能

(ベースプレート固定鋼材と貯留堰取付護岸鋼矢板溶接部 引張力作用側)

断面積 (m ²)	断面係数 (m ³)	備考
0.013850	-	腐食 1.00mm 考慮 (海中部)

第5-21表 断面照査結果

(ベースプレート固定鋼材と貯留堰取付護岸鋼矢板溶接部 引張力作用側)

評価項目	発生応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
せん断力	97	105	0.93

(4) 止水ゴム

a. 止水ゴムの変形量照査

津波時と比較して、重畳時における相対変位が大きいため、津波時の検討を省略する。

b. 鋼材どうしの離隔距離に関する変形量照査

津波時と比較して、重畳時における相対変位が大きいため、津波時の検討を省略する。

5.2 重畳時の強度評価結果

評価対象部位ごとに重畳時の評価結果を示す。

(1) 1次元有効応力解析結果

a. 断面3

断面3における1次元有効応力解析結果から地表面最大加速度、地表面最大変位、最大せん断ひずみをまとめたものを第5-22表に示す。

第5-22表 1次元有効応力解析結果（断面3）

検討ケース	① 原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース(基本ケース)	② 地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)した解析ケース	③ 地盤物性のばらつきを考慮(-1σ)した解析ケース	④ 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	⑥ 地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)して非液状化の条件を仮定した解析ケース
地表面最大加速度 (cm/s ²)	144	154	158	109	263	260
地表面最大変位 (cm)	5.57	4.96	6.98	8.15	7.19	6.80
最大せん断ひずみ	6.59×10^{-2}	5.80×10^{-2}	7.33×10^{-2}	9.42×10^{-2}	-6.60×10^{-3}	-6.37×10^{-3}

第5-22表より、地盤ばね3は地表面最大加速度が発生する⑤原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース、地盤ばね4は地表面最大変位が発生する④敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース、地盤ばね5は最大せん断ひずみが発生する④敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケースに基づき設定する。それぞれ、地表面最大加速度発生時刻、地表面最大変位発生時刻、最大せん断ひずみ発生時刻における平均有効主応力 σ'_m 及びせん断ひずみ γ の深度分布により求められる地盤剛性及び反力上限値を用いて地盤ばねを設定する。

各地盤ばねケースにおいて鋼管矢板に与える地盤変位は、それぞれ地表面最大加速度発生時刻、地表面最大変位発生時刻、最大せん断ひずみ発生時刻の地盤変位を与える。

b. 断面4

断面4における1次元有効応力解析結果から地表面最大加速度、地表面最大変位、最大せん断ひずみをまとめたものを第5-23表に示す。

第5-23表 1次元有効応力解析結果(断面4)

検討ケース	① 原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース(基本ケース)	② 地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)した解析ケース	③ 地盤物性のばらつきを考慮(-1σ)した解析ケース	④ 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	⑥ 地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)して非液状化の条件を仮定した解析ケース
地表面最大加速度 (cm/s ²)	180	181	181	108	201	204
地表面最大変位 (cm)	11.28	10.37	12.259	12.256	9.40	8.02
最大せん断ひずみ	3.86×10^{-2}	3.97×10^{-2}	3.89×10^{-2}	4.86×10^{-2}	-3.86×10^{-3}	-3.26×10^{-3}

第5-23表より、地盤ばね3は地表面最大加速度が発生する⑥地盤物性のばらつきを考慮(+1σ)して非液状化の条件を仮定した解析ケース、地盤ばね4は地表面最大変位が発生する③地盤物性のばらつきを考慮(-1σ)した解析ケース、地盤ばね5は最大せん断ひずみが発生する④敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケースに基づき設定する。それぞれ、地表面最大加速度発生時刻、地表面最大変位発生時刻、最大せん断ひずみ発生時刻における平均有効主応力 σ'_m 及びせん断ひずみ γ の深度分布により求められる地盤剛性及び反力上限値を用いて地盤ばねを設定する。

各地盤ばねケースにおいて鋼管矢板に与える地盤変位は、それぞれ地表面最大加速度発生時刻、地表面最大変位発生時刻、最大せん断ひずみ発生時刻の地盤変位を与える。

(2) 鋼管矢板

重畳時における貯留堰鋼管矢板の解析結果を示す。なお、貯留堰の貯留堰取付護岸側の端部の鋼管矢板は、止水ゴム等の付属物によって受圧面積が大きくなるため作用外力が一般部と比較して大きくなる。鋼管矢板の強度評価においては、その荷重増分を考慮しない鋼管矢板（一般部）と、その荷重増分を考慮する鋼管矢板（端部）に対する評価結果をそれぞれ整理する。

a. 鋼管矢板（一般部）

地盤ばねの設定に用いた地盤物性を第5-24表に示す。

第5-24表 地盤ばねの設定に用いた地盤物性

地盤ばね	検討断面	地盤物性
地盤ばね3	断面3	検討ケース⑤ 原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース
	断面4	検討ケース⑥ 地盤物性のばらつきを考慮（+1 σ ）して非液状化の条件を仮定した解析ケース
地盤ばね4	断面3	検討ケース④ 敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース
	断面4	検討ケース③ 地盤物性のばらつきを考慮（-1 σ ）した解析ケース
地盤ばね5	断面3	検討ケース④ 敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース
	断面4	検討ケース④ 敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース

(a) 曲げ軸力に対する照査

鋼管矢板に対して許容応力度法による照査を行った結果、曲げ軸応力が短期許容応力度以下であることを確認した。

断面計算に用いた断面諸元は前出の第 5-1 表に、曲げ軸力に対する照査結果を第 5-25 表に示す。

第 5-25 表 (1) 曲げ軸力に対する照査値 (断面 3)

ケース名	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ軸 応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
地盤ばね 3	7209	269	139	382.5	0.36
地盤ばね 4	10901	222	208	382.5	0.54
地盤ばね 5	10864	216	207	382.5	0.54

第 5-25 表 (2) 曲げ軸力に対する照査値 (断面 4)

ケース名	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ軸 応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
地盤ばね 3	1688	285	35	382.5	0.09
地盤ばね 4	8343	254	160	382.5	0.42
地盤ばね 5	9867	202	188	382.5	0.49

(b) せん断力に対する照査

鋼管矢板に対して許容応力度法による照査を行った結果、せん断応力が短期許容応力度以下であることを確認した。

断面計算に用いた断面諸元は前出の第 5-1 表に、せん断力に対する照査結果を第 5-26 表に示す。

第 5-26 表 (1) せん断力に対する照査値 (断面 3)

ケース名	せん断力 (kN)	せん断応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
地盤ばね 3	1541	28	217.5	0.13
地盤ばね 4	2568	46	217.5	0.21
地盤ばね 5	2564	46	217.5	0.21

第 5-26 表 (2) せん断力に対する照査値 (断面 4)

ケース名	せん断力 (kN)	せん断応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
地盤ばね 3	298	6	217.5	0.03
地盤ばね 4	2413	44	217.5	0.20
地盤ばね 5	1927	36	217.5	0.17

b. 鋼管矢板（端部）

貯留堰の貯留堰取付護岸側の端部は，防護材等の付属物によって作用外力が一般部と比較して大きくなる。ここでは，それらの荷重を考慮した鋼管矢板端部に対する静的フレーム解析結果を示す。なお，「a. 鋼管矢板（一般部）」において照査値が最も大きくなったケースに対して検討を実施するものとする。鋼管矢板（端部）の検討ケースを第5-27表に示す。

第5-27表 検討ケース（鋼管矢板（端部））

検討断面	検討ケース	
	地盤ばね	地盤物性
断面3	地盤ばね4	検討ケース④ 敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース
断面4	地盤ばね4	検討ケース③ 地盤物性のばらつきを考慮（ -1σ ）した解析ケース

(a) 曲げ軸力に対する照査

鋼管矢板に対して許容応力度法による照査を行った結果、曲げ軸応力が短期許容応力度以下であることを確認した。

断面計算に用いた断面諸元を第 5-28 表に、曲げ軸力に対する照査結果を第 5-29 表に示す。

第 5-28 表 鋼管矢板端部 (SM570) 断面諸元

断面	板厚 (mm)	断面積 (m ² /m)	断面係数 (m ³ /m)	備考
3	40	0.115	0.05517	腐食 1.00mm 考慮 (海中部)
4	40	0.115	0.05517	腐食 1.00mm 考慮 (海中部)

第 5-29 表 曲げ軸力に対する照査結果 (鋼管矢板端部)

ケース名	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ軸 応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
断面 3	11493	233	210	382.5	0.55
断面 4	8581	265	158	382.5	0.41

(b) せん断力に対する照査

鋼管矢板に対して許容応力度法による照査を行った結果、せん断応力が短期許容応力度以下であることを確認した。

断面計算に用いた断面諸元は前出の第5-28表に、せん断力に対する照査結果を第5-30表に示す。

第5-30表 せん断に対する照査結果（鋼管矢板端部）

ケース名	せん断力 (kN)	せん断応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
断面3	2577	44	217.5	0.20
断面4	2396	42	217.5	0.19

(3) 止水ゴム取付部鋼材

止水ゴム取付部鋼材の照査は、作用外力が大きくなる土中部の部材に対して行う。止水ゴム取付部鋼材の照査結果を第5-31表から第5-36表に示す。

a. リブプレート

第5-31表 作用する断面力 (リブプレート)

曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
32	-	96

第5-32表 断面性能 (リブプレート)

断面積 (m ²)	断面係数 (m ³)	備考
0.002744	0.000221434	腐食 1.00mm 考慮 (海中部)

第5-33表 断面照査結果 (リブプレート)

評価項目	発生応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
曲げモーメント	145	210	0.70
せん断力	52	120	0.44

b. ベースプレートと貯留堰鋼管矢板溶接部

第5-34表 作用する断面力（ベースプレート貯留堰鋼管矢板溶接部）

曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	(EW 方向) せん断力 (kN)	(NS 方向) せん断力 (kN)
-	-	339	160

第5-35表 断面性能（ベースプレート貯留堰鋼管矢板溶接部）

断面積 (m ²)	断面係数 (m ³)	備考
0.004660	-	腐食 1.00mm 考慮（海中部）

第5-36表 断面照査結果（ベースプレート貯留堰鋼管矢板溶接部）

評価項目	(EW 方向) 発生応力 (N/mm ²)	(NS 方向) 発生応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
せん断力	73	34	84	0.92

(4) 防護材及び防護材取付部鋼材

防護材及び防護材取付部鋼材の照査を第5-37表から第5-54表に示す。

a. スキンプレート及びリブプレート

第5-37表 作用する断面力（スキンプレートとリブプレート）

曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
14	-	32

第5-38表 断面性能（スキンプレートとリブプレート）

断面積 (m ²)	断面係数 (m ³)	備考
0.005340	0.004207040	腐食 1.00mm 考慮（海中部）

第5-39表 断面照査結果（スキンプレートとリブプレート）

評価項目	発生応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
曲げモーメント	3	210	0.02
せん断力	6	120	0.05

b. ベースプレート

第5-40表 作用する断面力 (ベースプレート)

曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
3	-	58

第5-41表 断面性能 (ベースプレート)

断面積 (m ²)	断面係数 (m ³)	備考
0.030000	0.000150000	腐食 1.00mm 考慮 (海中部)

第5-42表 断面照査結果 (ベースプレート)

評価項目	発生応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
曲げモーメント	24	382.5	0.07
せん断力	3	217.5	0.02

c. ベースプレート固定鋼材

第5-43表 作用する断面力 (ベースプレート固定鋼材 水平力作用側)

曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
4	-	106

第5-44表 断面性能 (ベースプレート固定鋼材 水平力作用側)

断面積 (m ²)	断面係数 (m ³)	備考
0.038000	0.000240667	腐食 1.00mm 考慮 (海中部)

第5-45表 断面照査結果 (ベースプレート固定鋼材 水平力作用側)

評価項目	発生応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
曲げモーメント	17	277.5	0.07
せん断力	4	157.5	0.03

第5-46表 作用する断面力 (ベースプレート固定鋼材 引張力作用側)

曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
3	58	58

第5-47表 断面性能 (ベースプレート固定鋼材 引張力作用側)

断面積 (m ²)	断面係数 (m ³)	備考
0.038000	0.000240667	腐食 1.00mm 考慮 (海中部)

第5-48表 断面照査結果 (ベースプレート固定鋼材 引張力作用側)

評価項目	発生応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
曲げモーメント	14	277.5	0.06
せん断力	2	157.5	0.02

d. ベースプレート固定鋼材と貯留堰取付護岸鋼矢板溶接部

第5-49表 作用する断面力

(ベースプレート固定鋼材と貯留堰取付護岸鋼矢板溶接部 水平力作用側)

曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	(EW 方向) せん断力 (kN)	(NS 方向) せん断力 (kN)
-	-	73	53

第5-50表 断面性能

(ベースプレート固定鋼材と貯留堰取付護岸鋼矢板溶接部 水平力作用側)

断面積 (m ²)	断面係数 (m ³)	備考
0.013850	-	腐食 1.00mm 考慮 (海中部)

第5-51表 断面照査結果

(ベースプレート固定鋼材と貯留堰取付護岸鋼矢板溶接部 水平力作用側)

評価項目	(EW 方向) 発生応力 (N/mm ²)	(NS 方向) 発生応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
せん断力	5	4	105	0.01

第5-52表 作用する断面力

(ベースプレート固定鋼材と貯留堰取付護岸鋼矢板溶接部 引張力作用側)

曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
-	-	55

第5-53表 断面性能

(ベースプレート固定鋼材と貯留堰取付護岸鋼矢板溶接部 引張力作用側)

断面積 (m ²)	断面係数 (m ³)	備考
0.013850	-	腐食 1.00mm 考慮 (海中部)

第5-54表 断面照査結果

(ベースプレート固定鋼材と貯留堰取付護岸鋼矢板溶接部 引張力作用側)

評価項目	発生応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
せん断力	6	105	0.06

(5) 止水ゴム

a. 止水ゴムの変形量照査

本照査では、貯留堰鋼管矢板と貯留堰取付護岸が離れる側に相対変位した場合に、発生変形量が許容限界以下であることを確認する。

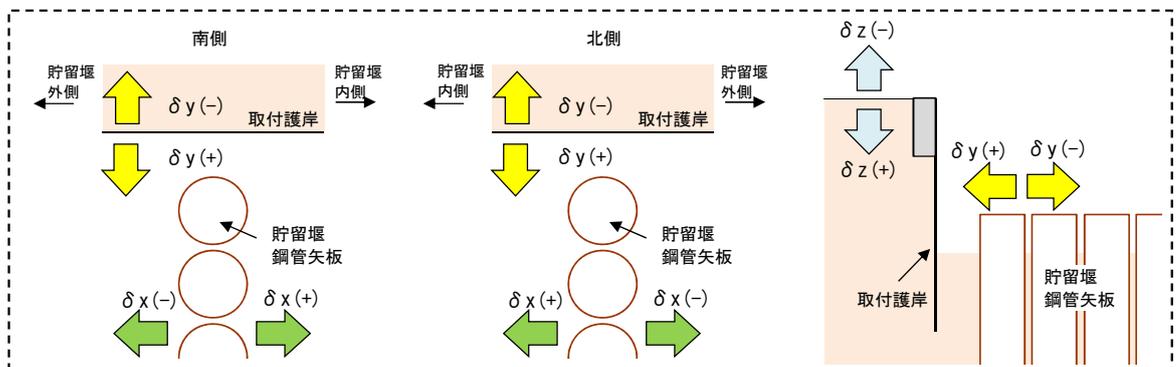
相対変位量算出結果を第5-55表に示す。最終相対変位は、地震時の2次元有効応力解析結果から抽出した検討ケース④（敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース）の値である。また、最大相対変位についても、重畳時における2次元静的フレーム解析のうち相対変位が最大となる検討ケース（地盤ばね4，検討ケース④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース）の値である。

ただし、重畳時の2次元静的フレーム解析から得られる最大相対変位は δx 方向のみであるため、 δy 方向及び δz 方向の最大相対変位については、より保守的に結果を評価するために、地震時の2次元有効応力解析結果から抽出した値を重畳時の値として採用した。

第5-55表 相対変位量算出結果

変位方向	ケース	+方向 (cm)			-方向 (cm)			備考
		最終相対変位	最大相対変位	(※3)合計	最終相対変位	最大相対変位	(※3)合計	
$\delta x(+, -)$	重畳時	31.0	(※1) 15.1	46.1	—	(※1) 15.1	15.1	地震時 (NS-1)
$\delta y(+, -)$		0.2	(※2) 7.2	7.4	0.0	(※2) 3.0	3.0	地震時 (EW-1)
$\delta z(+, -)$		8.2	(※2) 12.4	20.6	0.0	(※2) 0.1	0.1	地震時 (EW-1)

※1：重畳時の2次元静的フレーム解析結果より算出した値の最大値
 ※2：地震時の2次元有効応力解析結果より算出した値の最大値
 ※3：止水ゴムの変形性照査に用いる解析値（最終相対変位と最大相対変位との合計）



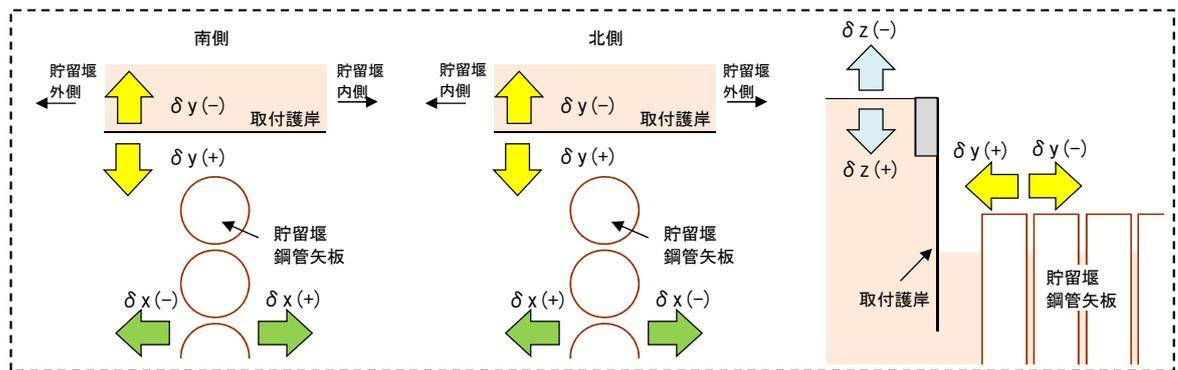
第5-1図 変位方向の定義（再掲）

重畳時における止水ゴムの変位量に対する照査を行った結果、発生する変位量が許容限界以下であることを確認した。変形性照査結果を第5-56表に示す。

第5-56表 変形性照査結果

	変位 (cm)					
	$\delta x(+, -)$		$\delta y(+, -)$		$\delta z(+, -)$	
	+	-	+	-	+	-
解析値	46.1	15.1	7.4	3.0	20.6	0.1
裕度	-	-	44.6	-	-	-
(※2) 設計用値	47.0	16.0	(※1) 52.0	3.0	21.0	1.0
オフセット距離 (cm)	(※3) 13.0		-		-	-
各成分の変位量 (cm)	(※4) 34.0		55.0		21.0	
合成変位量 (cm) (設計変位)	68.0					
許容限界 (cm)	105.0					

- ※1：変形時に止水ゴムと鋼材が干渉しないために必要な裕度（44.6cm）を考慮したY方向の初期離隔とする。
- ※2：設計用値は必要な裕度を考慮したうえで、解析値をcm単位で切り上げた値とする。
- ※3： $\delta x(+, -)$ について、合計変位量大きい本震時の+方向と-方向の値から中間地点を求め、法線方向の止水ゴム設置位置（オフセット距離）を決定する。
 - ・中間地点：(47cm+22cm) / 2 = 34.5cm
 - ・オフセット距離：47cm - 34.5cm = 12.5cm → 13cm（+方向）
- ※4：+方向へのオフセット距離13cmと-方向の設計用値16cmの和、及び+方向の設計用値47cmと+方向へのオフセット距離13cmの差を比較して、より大きい値が保守側となる。



第5-2図 変位方向の定義（再掲）

b. 鋼材どうしの離隔距離に関する変形量照査

本照査では、貯留堰鋼管矢板及び貯留堰取付護岸鋼矢板が近づく側に相対変位した場合の、止水ゴム取付部鋼材が対面をなす止水ゴム取付部鋼材、あるいは防護材取付部鋼材どうしの離隔距離を確認する。

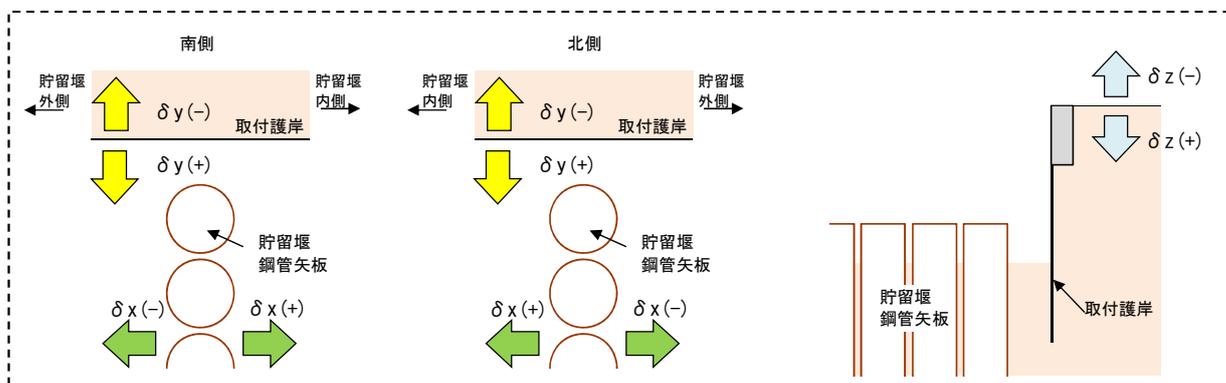
照査で用いる変位量は、「a. 止水ゴムの変形量照査」と同様、第5-55表に示す算出結果を用いることとし、照査に用いる解析値は、第5-56表に示す $\delta x(+, -)$ 及び $\delta y(+)$ とする。

近づく側に相対変位した場合における変形量照査結果を第5-57表に示す。貯留堰鋼管矢板及び貯留堰取付護岸鋼矢板が、地震時の最終相対変位及び重畳時の最大相対変位を考慮した場合において、鋼材どうしが接触することのない離隔距離が確保されていることを確認した。

第5-57表 変形量照査結果（近づく側に相対変位した場合）

方向	① 変位量（解析値）	② 初期離隔距離	③ 最終離隔距離 ※
$\delta y (+)$	7.4 cm	52.0 cm	44.6 cm
$\delta x (+)$	46.1 cm	62.0 cm	15.9 cm
$\delta x (-)$	15.1 cm	36.0 cm	20.9 cm

※ ③最終離隔距離 = ②初期離隔距離 - ①変形量



第5-3図 変位方向の定義（再掲）