

本資料のうち、枠囲みの内容は、商業機密あるい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-122 改0
提出年月日	平成30年2月13日

V-3-別添 3-16 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	4
2.3 評価方針	7
2.4 適用規格	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	19
3.4 許容限界	22
3.5 評価方法	25

1. 概要

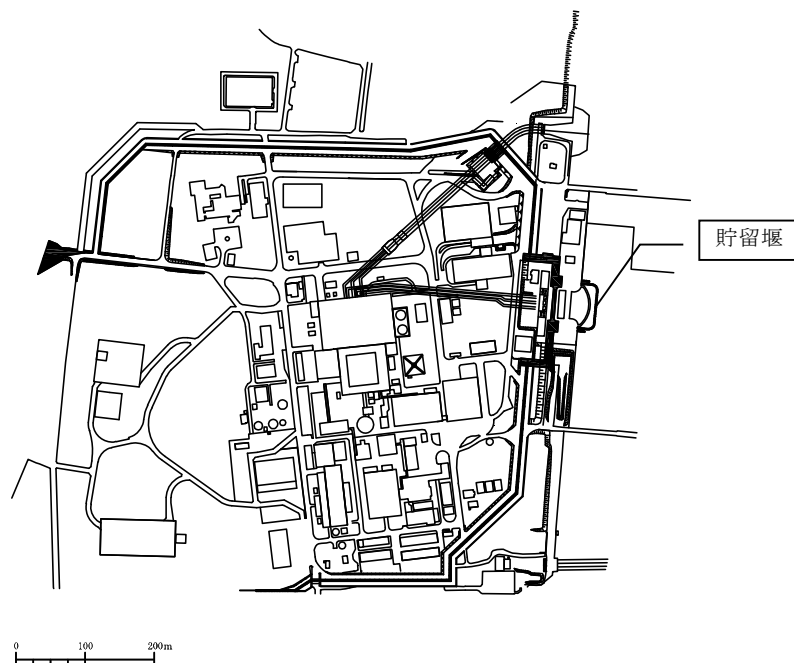
本資料は、V-3-別添 3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」に示すとおり、貯留堰が地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重、余震及び漂流物の衝突を考慮した荷重に対し、主要な構造部材の構造健全性を保持すること及び主要な構造体の境界部に設置する部材が有意な漏えいを生じない変形に留まることを確認するものである。

2. 基本方針

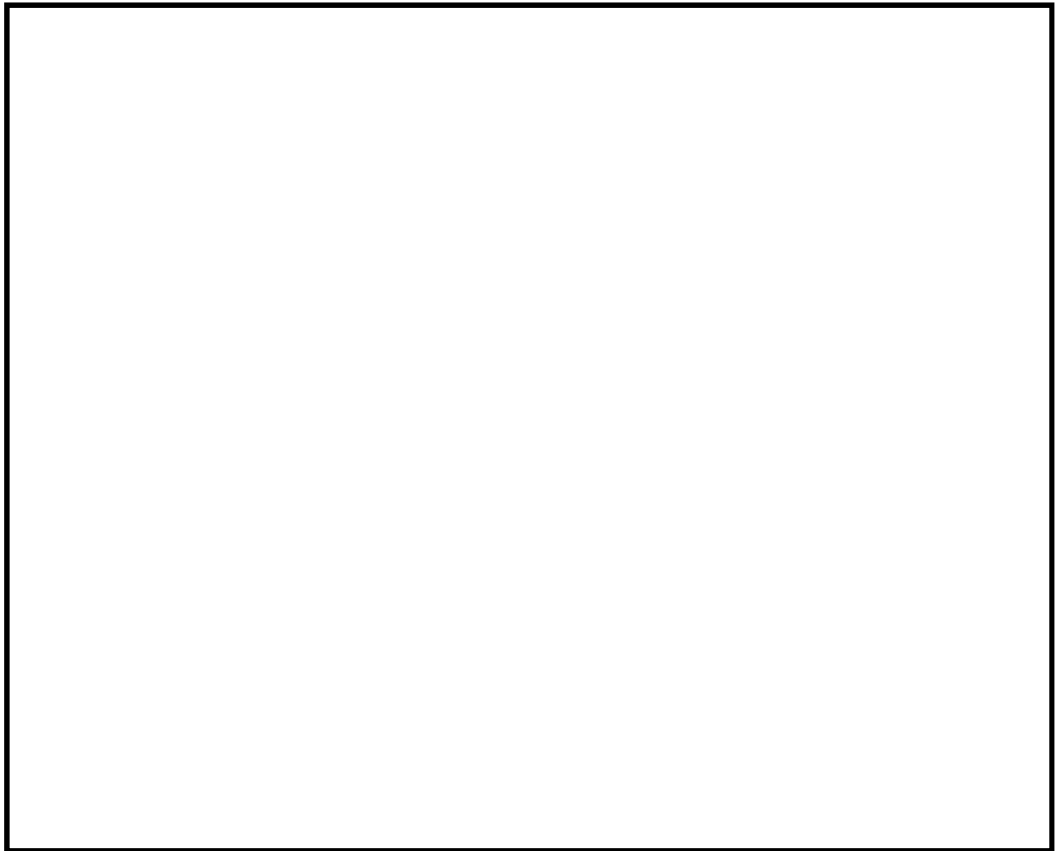
V-3-別添 3-1 「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」に示す「2.1 機能維持の方針」を踏まえ、貯留堰の「2.1 位置」及び「2.2 構造概要」を示す。

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)



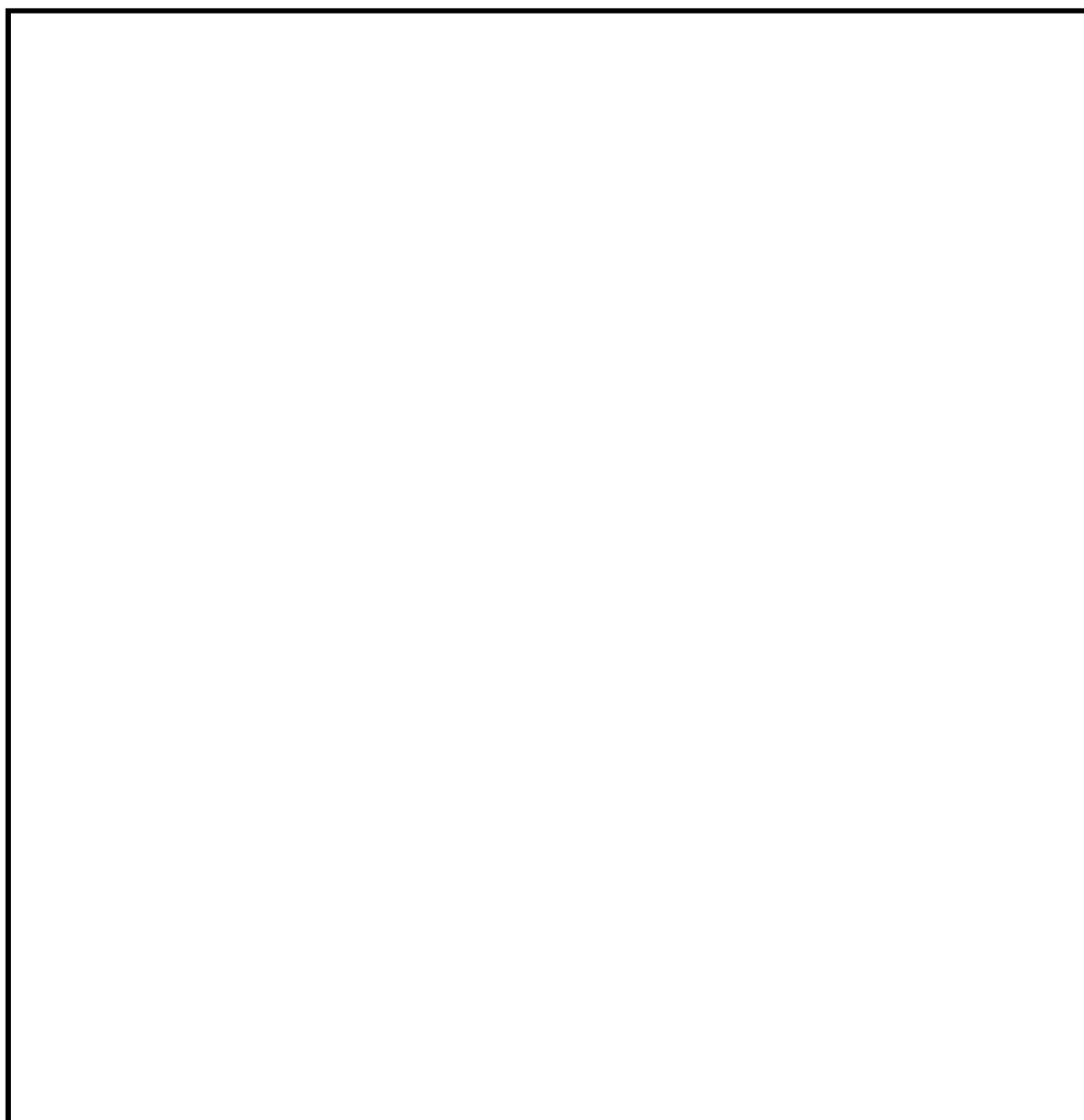
第2-1図(2) 貯留堰の平面配置図(拡大図)

2.2 構造概要

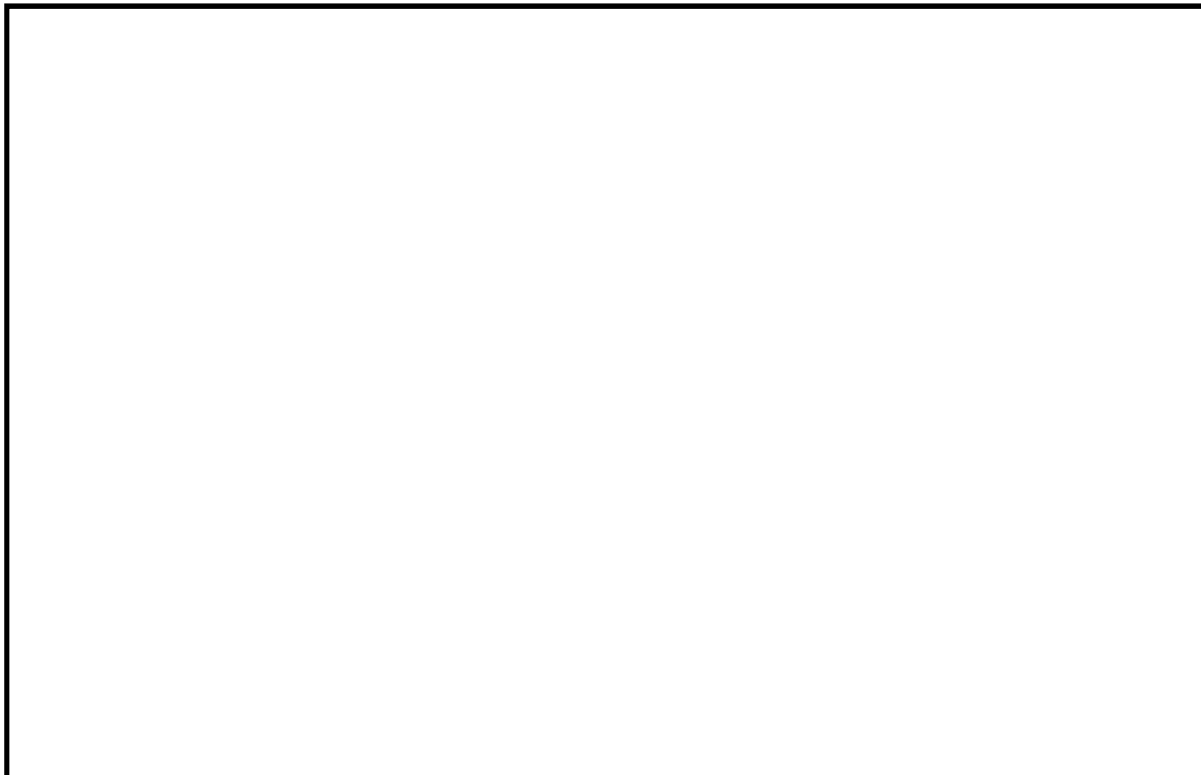
貯留堰は、その機能及び目的から貯留堰本体及び護岸接続部に区分され、このうち貯留堰本体は鋼管矢板と鋼管矢板同士を接続する鋼管矢板継手、護岸接続部は止水ゴム、防護材及びこれらを取り付けるための鋼材より構成される。

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。

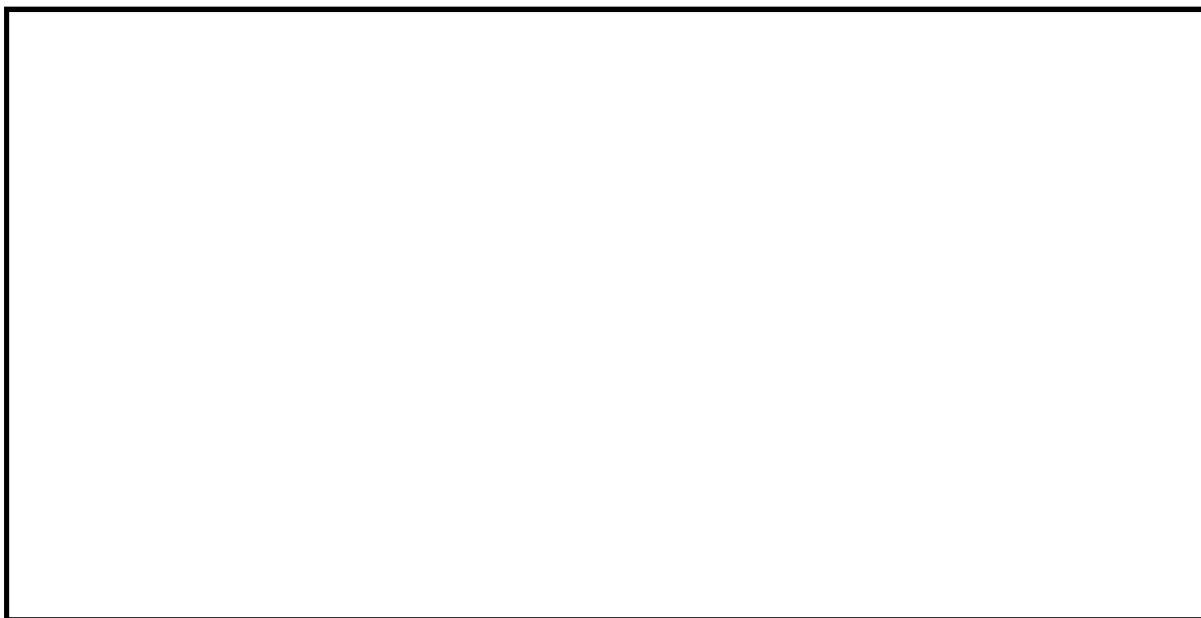
貯留堰の平面図を第 2-2 図、断面図を第 2-3 図、縦断断面図を第 2-4 図に示す。



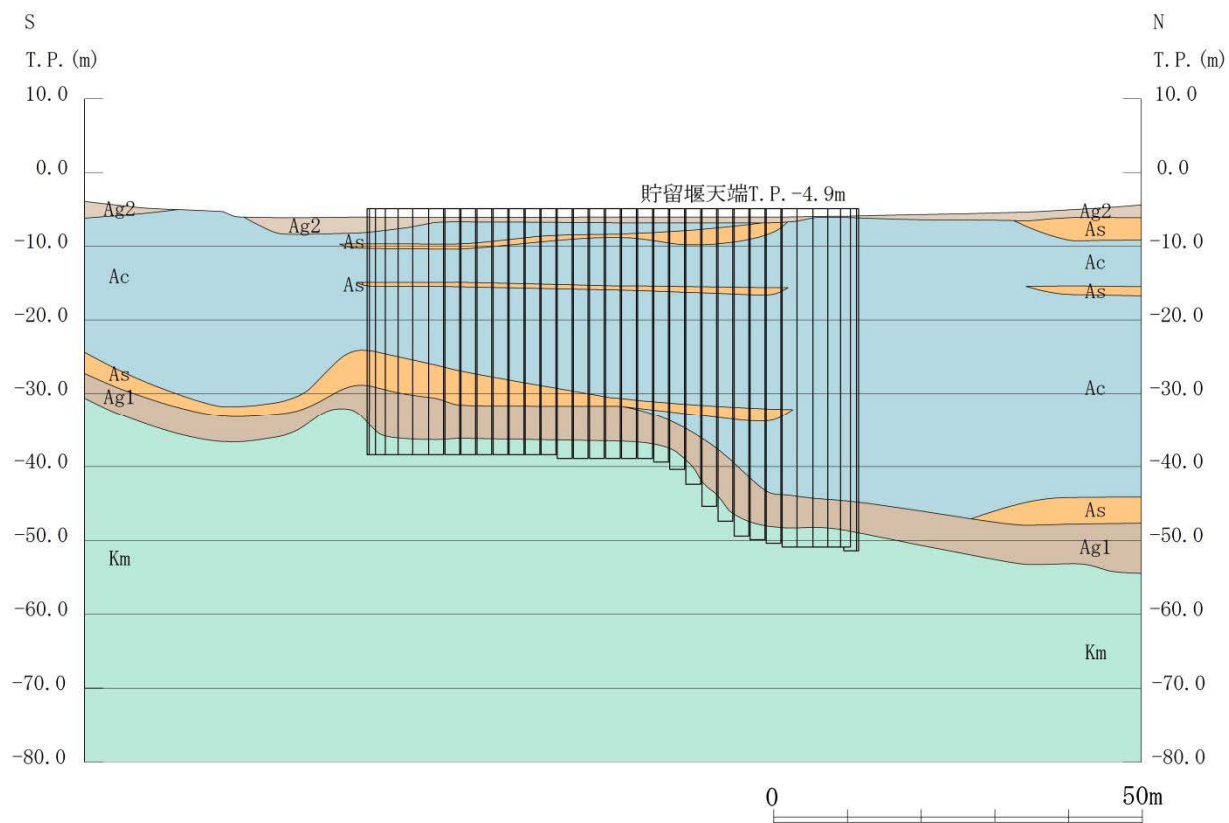
第 2-2 図 (1) 貯留堰の平面図



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



護岸平行方向断面

第 2-4 図 貯留堰の縦断断面図 (A-A 断面)

2.3 評価方針

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、V-3-別添3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」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、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となることを、「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」にて確認する。

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2-1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。

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。

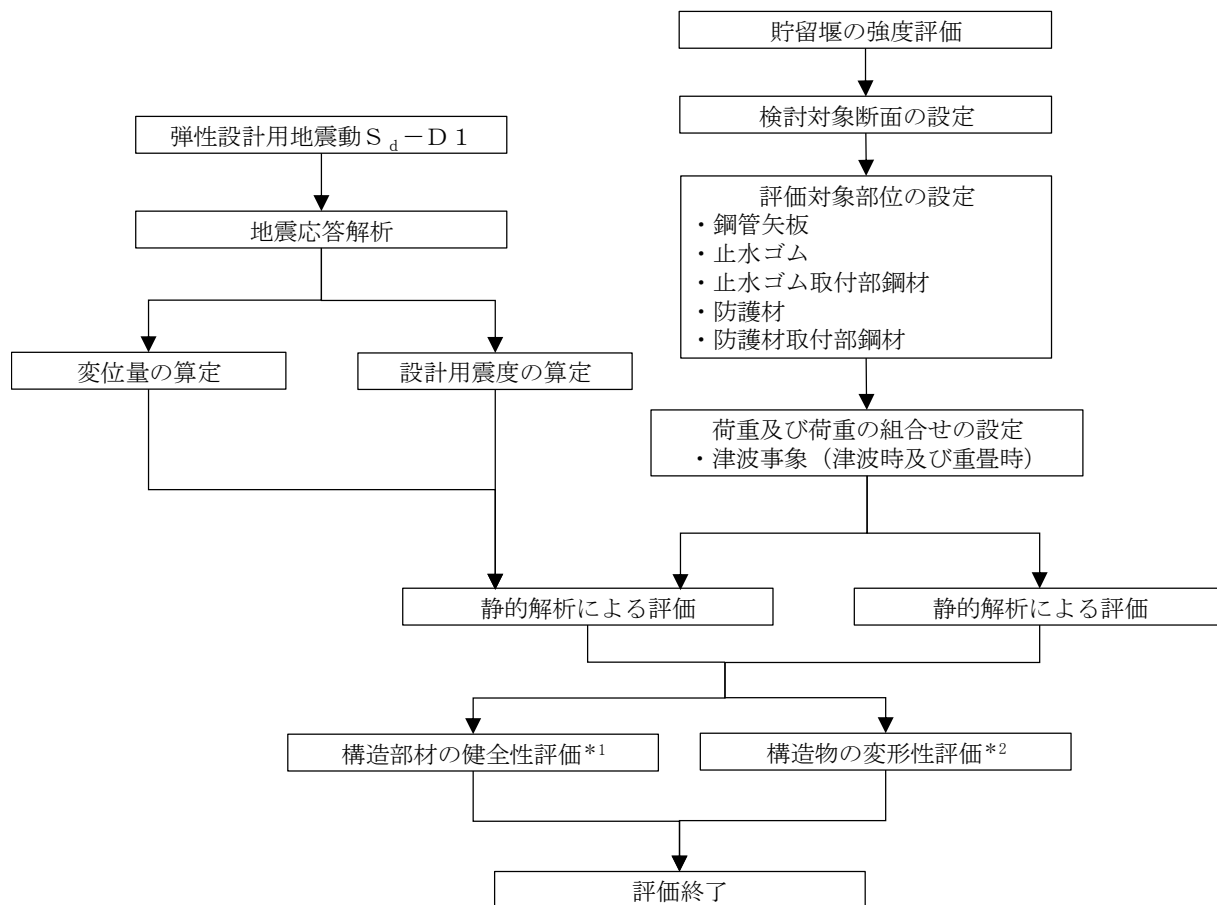
構造物の変形性評価については、止水ゴムの変形量を算定し、有意な漏えいが生じないことを確認した許容限界以下であることを確認する。

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余震に伴う入力地震動は、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 2-1 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



注記 *1：構造部材の健全性を評価することで、第2-1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2-1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 貯留堰の強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 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）
- ・ 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24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24年3月）
- ・ 港湾の施設の技術上の基準・同解説（国土交通省港湾局，2007年版）
- ・ 防波堤の耐津波設計のガイドライン（国土交通省港湾局，平成27年改訂）

3. 強度評価方法

3.1 記号の定義

貯留堰の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	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	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で ($\kappa = 2.0$)

3.2 評価対象断面及び部位

評価対象断面及び部位は、貯留堰の構造物の配置、荷重条件及び地盤条件を考慮し設定する。

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。

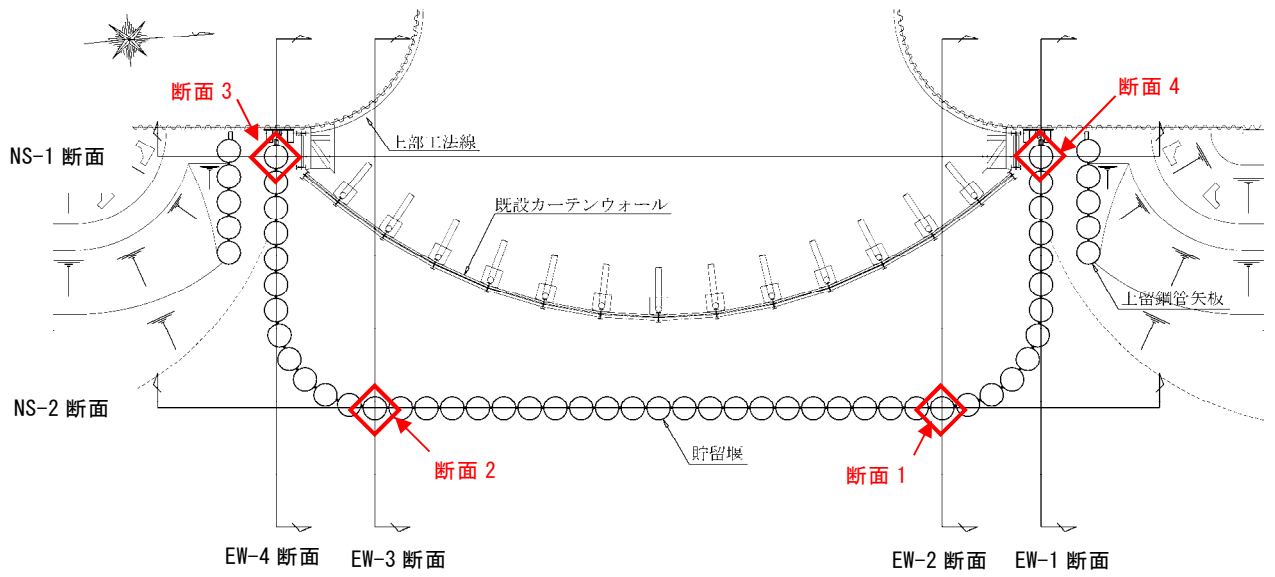
第3-1図に示す平面図及び第3-2図に示す断面図より、南北方向では北に向かって堆積層の基底面が深くなっていることから、貯留堰の本体に着目した検討断面として、以下の4断面より選定する。支持層である久米層の深度に着目して久米層の深度が最も高い断面3と最も低い断面4を強度評価の評価対象断面とする。

断面1：貯留堰の長手方向直線部の北側端部（Km層の上端標高が低い断面）

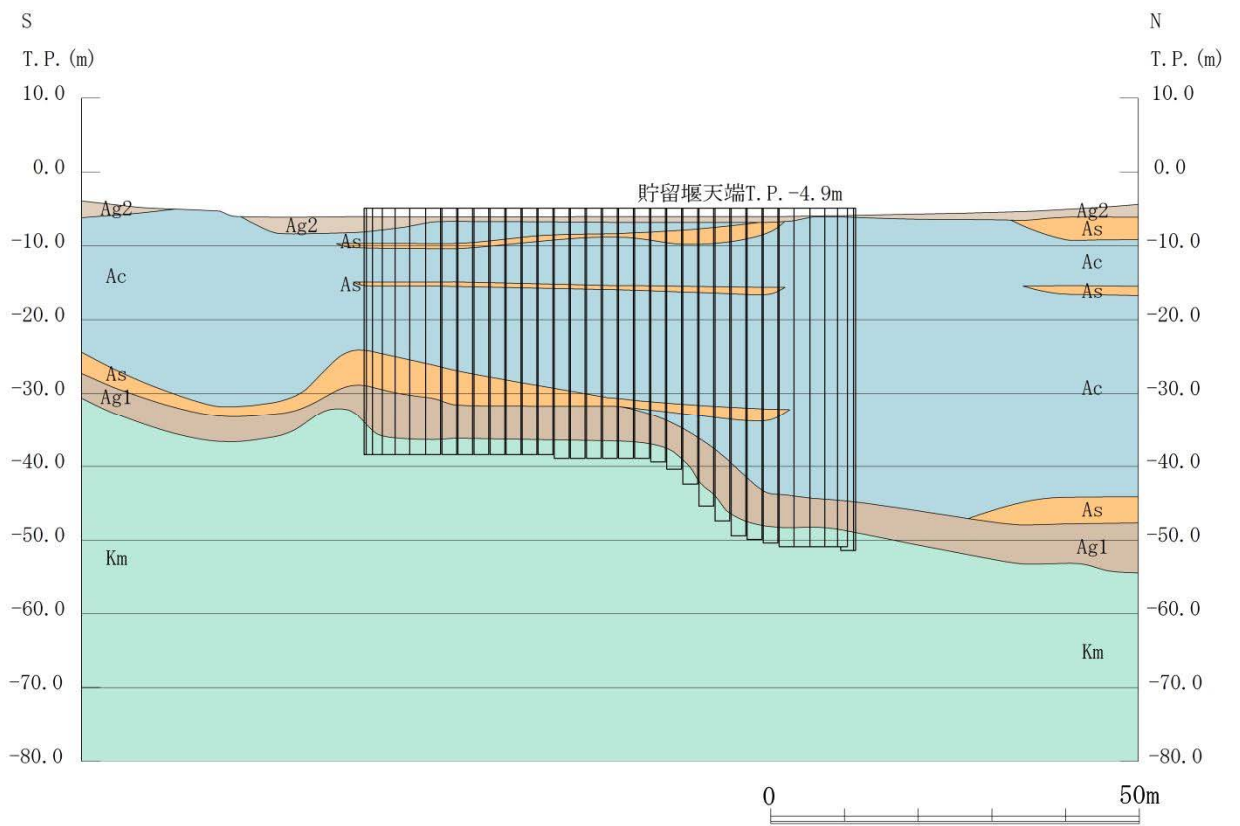
断面2：貯留堰の長手方向直線部の南側端部（Km層の上端標高が中間程度の高さの断面）

断面3：貯留堰の短手方向直線部の南側端部（Km層の上端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（Km層の上端標高が最も低い断面）

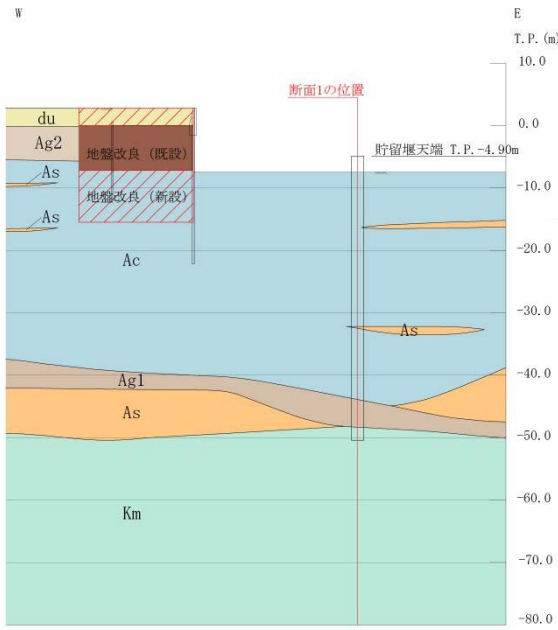


第 3-1 図 貯留堰の平面図

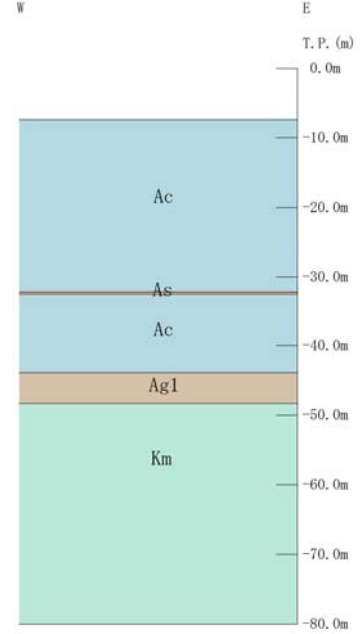


第 3-2 図 貯留堰の断面図 (NS-2)

地層構成の抽出位置 (EW-2 断面)

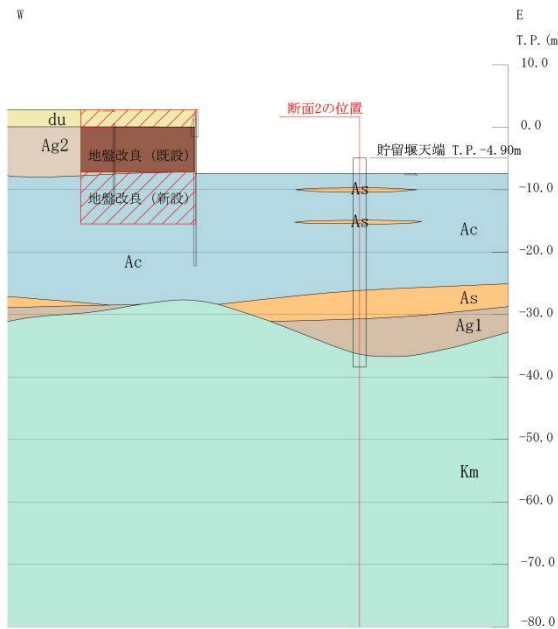


断面 1 (成層)

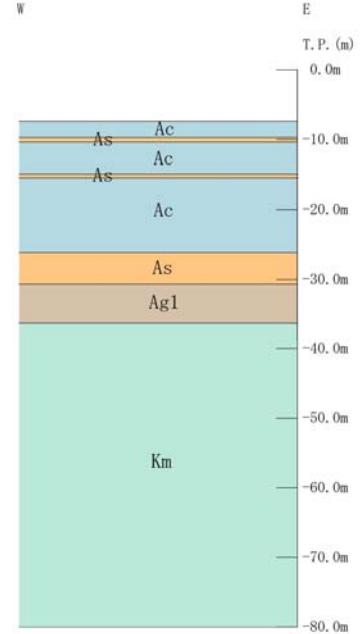


第 3-3 図 (1) 評価対象断面 (断面 1)

地層構成の抽出位置 (EW-3 断面)

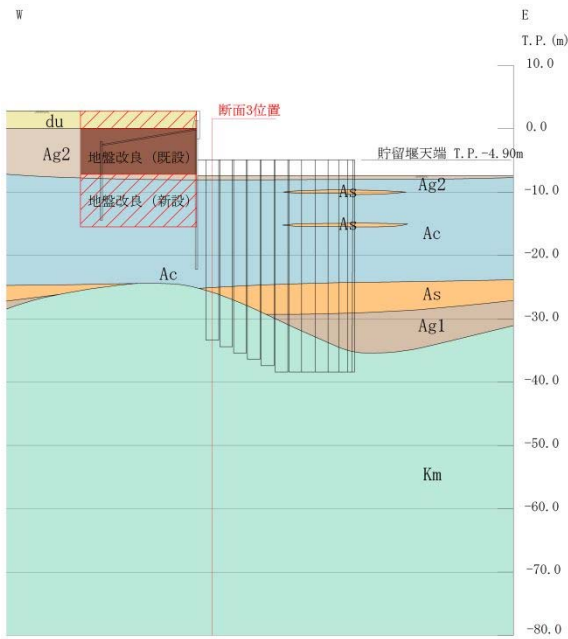


断面 2 (成層)

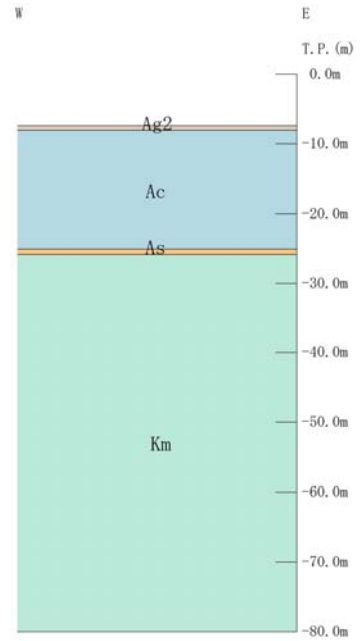


第 3-3 図 (2) 評価対象断面 (断面 2)

地層構成の抽出位置 (EW-4 断面)

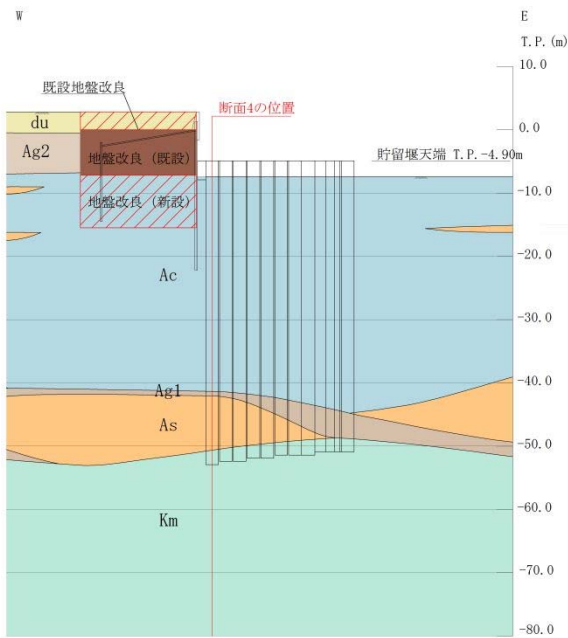


断面3 (成層)

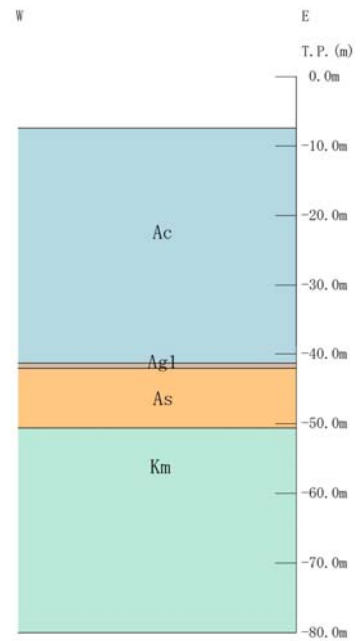


第3-3図 (3) 評価対象断面 (断面3)

地層構成の抽出位置 (EW-1 断面)



断面4 (成層)



第3-3図 (4) 評価対象断面 (断面4)

3.2.2 評価対象部位

第3-4図に評価対象部位を示す。

(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

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) 止水ゴム取付部鋼材

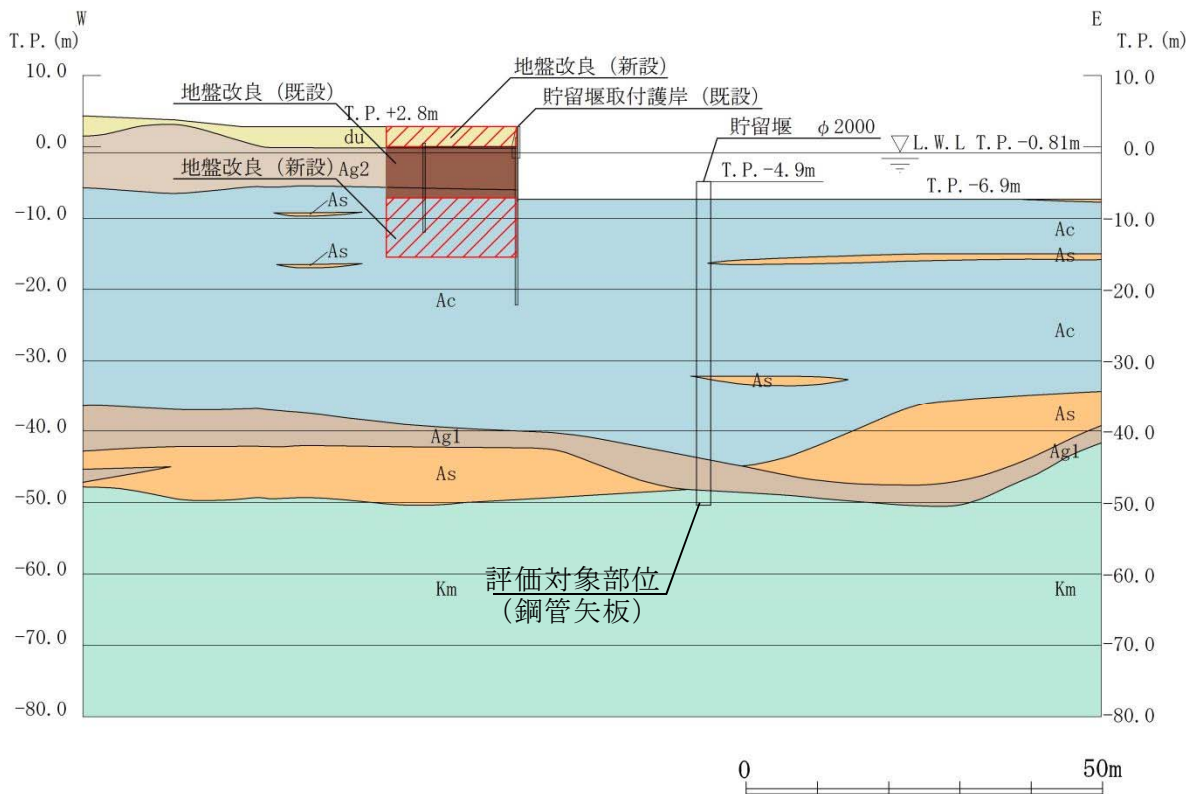
貯留堰の護岸接続部に設置する止水ゴム取付部鋼材を評価対象部位とする。

(4) 防護材

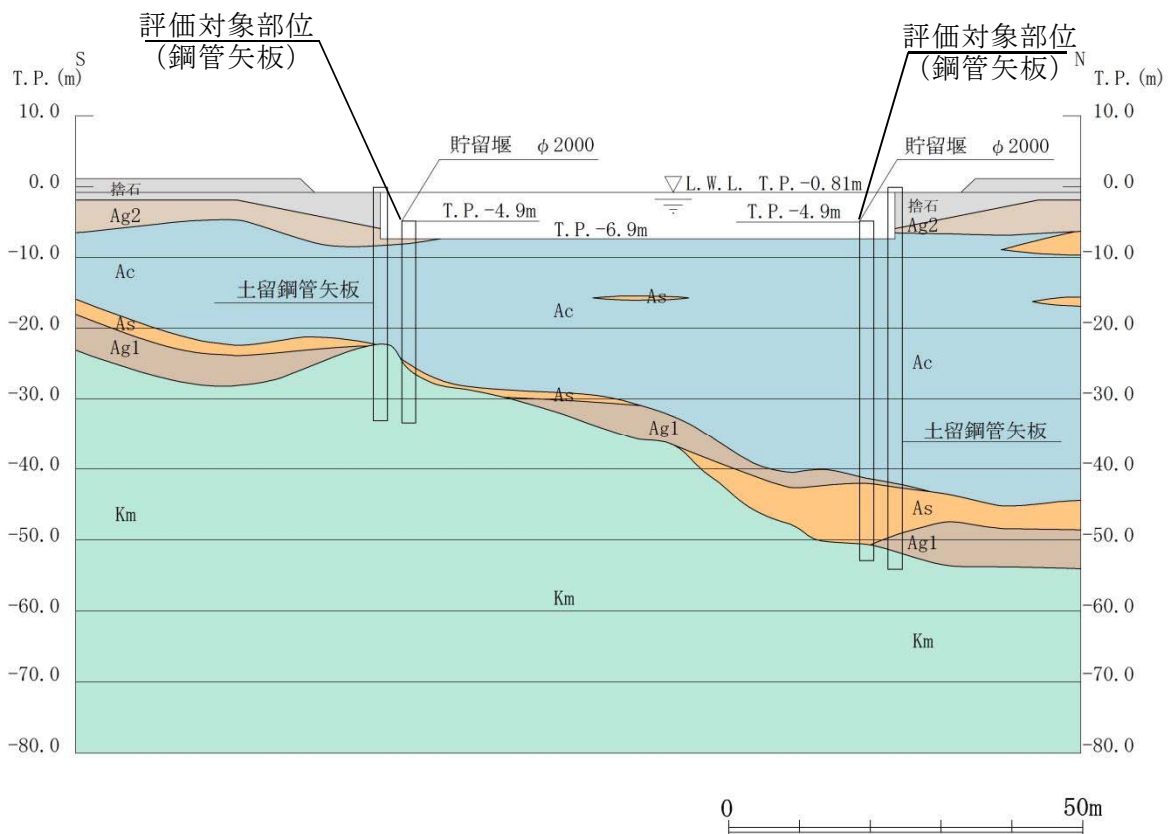
貯留堰の護岸接続部に設置する防護材を評価対象部位とする。

(5) 防護材取付部鋼材

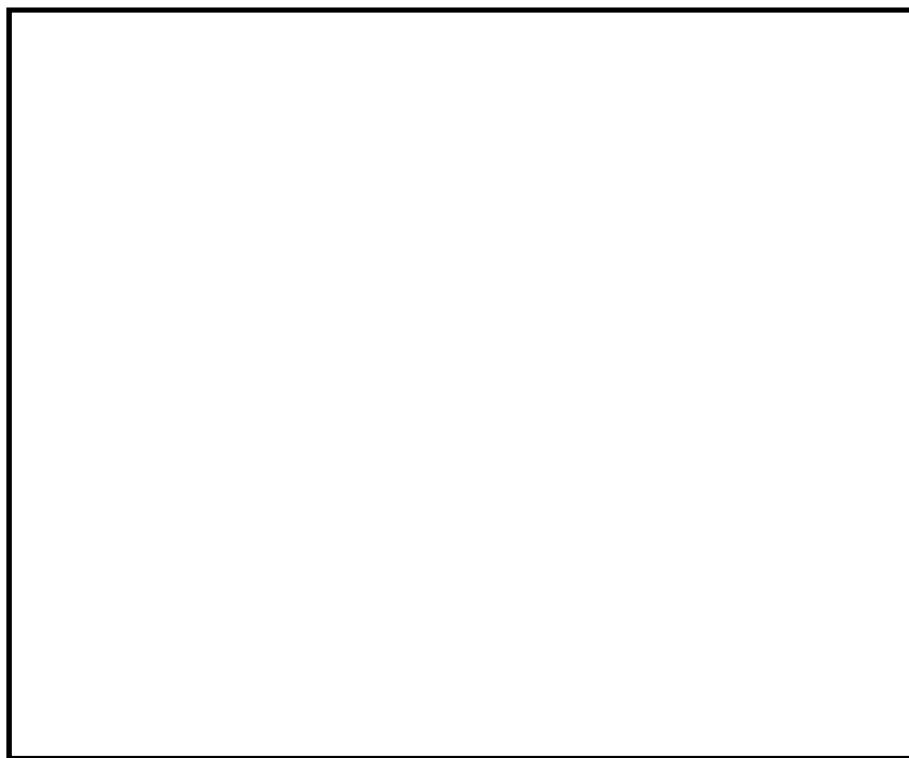
貯留堰の護岸接続部に設置する防護材取付部鋼材を評価対象部位とする。



第3-4図 (1) 評価対象部位 (1/3)



第3-4図 (2) 評価対象部位 (2/3)



第3-4図 (3) 評価対象部位 (3/3)

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、V-3-別添3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」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。

3.3.1 荷重

貯留堰の強度評価には以下の荷重を用いる。

(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、総排水トン 15t の漁船の衝突を考慮する。

(4) 余震荷重 ($K_{s,d}$)

余震荷重として、弾性設計用地震動 S_d -D1 による地震力及び動水圧を考慮する。

余震と津波の「重畳時」は余震荷重 ($K_{s,d}$) として水平慣性力及び鉛直慣性力を考慮する。地表面の最大加速度から水平震度及び鉛直震度を算定し、慣性力及び動水圧を作用させる。

a. 動水圧 (P_d)

余震と津波の「重畳時」は、余震による地表面最大加速度に応じた水平震度に基づき算定される動水圧を考慮する。

3.3.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを第3-2表に示す。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、荷重の作用図を第3-5図に示す。

第3-2表 荷重の組合せ

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

G : 固定荷重

P_t : 津波荷重

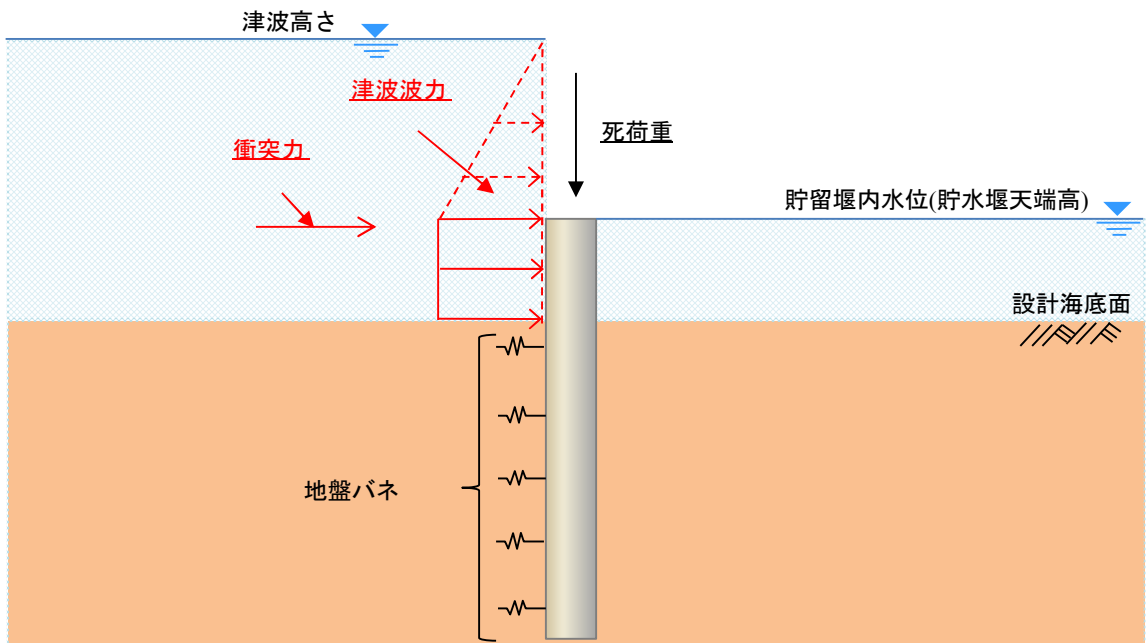
P_d : 動水圧

P_c : 衝突荷重

$K_{s d}$: 余震荷重

貯留堰外側

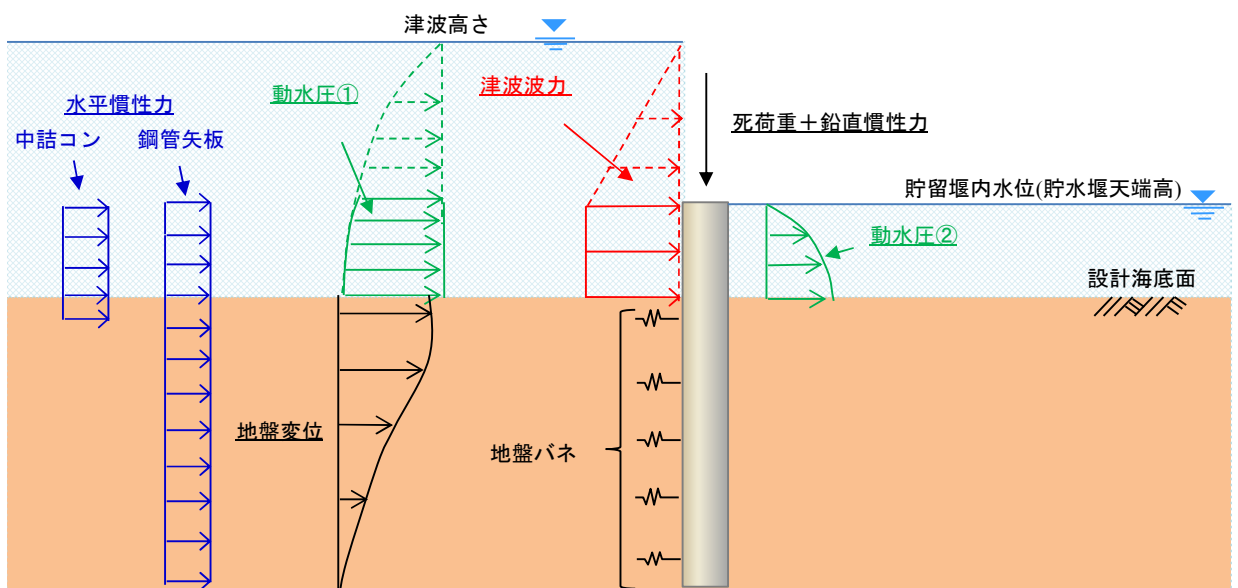
貯留堰内側



第 3-5 図 (1) 荷重の作用図 (津波時)

貯留堰外側

貯留堰内側



第 3-5 図 (2) 荷重の作用図 (重畳時)

3.4 許容限界

許容限界は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.4.1 構造部材の健全性

(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 24 年 3 月）」に基づき，第 3-3 表に示す短期許容応力度とする。短期許容応力度は，基準津波時における鋼材の許容応力度に対して 1.5 倍の割増しを考慮する。

第 3-3 表 鋼管矢板の許容応力度（短期）

評価項目			短期許容応力度 (N/mm ²)
鋼管矢板 φ 2000	SM570	許容曲げ応力度	382.5
		許容せん断応力度	217.5

(2) 止水ゴム

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 3-4 表に止水ゴムの変形量の許容限界を示す。

第 3-4 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) 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24年3月）」に基づき，第3-5表に示す短期許容応力度とする。短期許容応力度は，基準津波時における鋼材の許容応力度に対して1.5倍の割増しを考慮する。

第3-5表 止水ゴム取付部鋼材の許容応力度（短期）

評価項目			短期許容応力度 (N/mm ²)
止水ゴム 取付部鋼材	SS400	許容曲げ応力度	210
		許容せん断応力度	120

(4) 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24年3月）」に基づき，第3-6表に示す短期許容応力度とする。短期許容応力度は，基準津波時における鋼材の許容応力度に対して1.5倍の割増しを考慮する。

第3-6表 防護材の許容応力度（短期）

評価項目			短期許容応力度 (N/mm ²)
防護材	SS400	許容曲げ応力度	210
		許容せん断応力度	120

(5) 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24年3月）」に基づき，第3-7表に示す短期許容応力度とする。短期許容応力度は，基準津波時における鋼材の許容応力度に対して1.5倍の割増しを考慮する。

第3-7表 防護材取付部鋼材の許容応力度（短期）

評価項目			短期許容応力度 (N/mm ²)
防護材 取付部鋼材	SM570	許容曲げ応力度	382.5
		許容せん断応力度	217.5

3.5 評価方法

貯留堰の評価方法は、V-3-別添 3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」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. 解析方法

鋼管矢板で津波に抵抗するため、鋼管矢板をモデル化した静的フレーム解析を行い、津波時の鋼管矢板の構造健全性を確認する。

b. 解析モデル及び諸元

(a) 解析モデル

解析モデルは鋼管矢板を2次元はり要素でモデル化し、地盤抵抗を表現するため、地盤バネを設置する。

(b) 使用材料及び材料の物性値

使用材料を第3-8表に、材料の物性値を第3-9表に示す。

第3-8表 使用材料

諸元	
鋼管矢板	SM570

第3-9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	2.00×10^5	0.3

c. 鋼管矢板の評価

鋼管矢板の評価は、鋼管の曲げモーメント及び軸力より算定される応力及びせん断力より算定されるせん断応力が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される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 : 鋼管杭の曲げモーメント及び軸力より算定される応力 (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される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 : 鋼管杭のせん断力より算定されるせん断応力 (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 (2.0)

(2) 止水ゴム

発生変位量が「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。

(3) 止水ゴム取付部鋼材

止水ゴム取付部鋼材に発生する曲げ応力及びせん断応力が「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。

(4) 防護材及び防護材取付部鋼材

防護材に発生する曲げ応力及びせん断応力が「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。

3.5.2 重畳時

(1) 地盤応答解析

a. 解析方法

重畳時の検討で実施する地震応答解析は、地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮できる有効応力解析を実施する。有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮して設定することを基本とする。

地中土木構造物への地盤変位に対する保守的な配慮として、地盤を強制的に液状化させることを仮定した影響を考慮する場合は、原地盤よりも十分に小さい液状化強度特性（敷地に存在しない豊浦標準砂に基づく液状化強度特性）を設定する。

上部土木構造物及び機器・配管系への加速度応答に対する保守的な配慮として、地盤の非液状化の影響を考慮する場合は、原地盤において非液状化の条件を仮定した解析を実施する。

地震応答解析には、解析コード「FLIP Ver. 7.3.0_2」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、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(a) 地盤

V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に示す有効応力解析用地盤物性値に基づき、地盤の有効応力の変化に応じた地震時挙動を考慮できるモデルとする。

(b) 減衰特性

時刻歴非線形解析における減衰特性については、固有値解析にて求められる固有振動数に基づく Rayleigh 減衰を考慮する。

b. 解析モデル及び諸元

(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、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。

c. 入力地震動

入力地震動は、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の底面位置で評価したものを
用いる。

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、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(2) 静的解析

a. 鋼管矢板

鋼管矢板の重畳時の評価は「(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。

b. 止水ゴム

止水ゴムの重畳時の評価は「(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。

c. 止水ゴム取付部鋼材

止水ゴム取付部鋼材の重畳時の評価は「(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。

d. 防護材及び防護材取付部鋼材

防護材の及び防護材取付部鋼材の重畳時の評価は「(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。