

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-119 改0
提出年月日	平成30年2月13日

V-3-別添 3-2-2-1 防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）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	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	18
3.4 解析モデル及び諸元	20
3.5 許容限界	24
3.6 評価方法	26

1. 概要

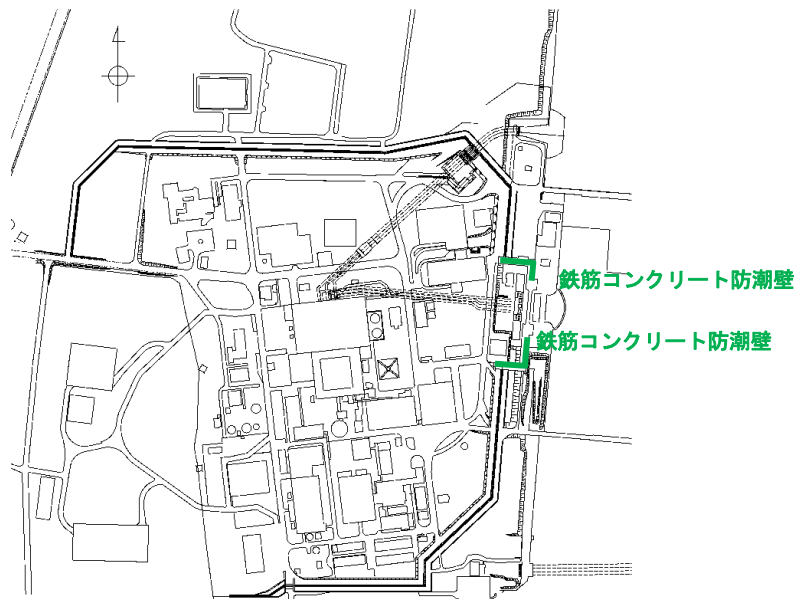
本資料は、V-3-別添 3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、鉄筋コンクリート防潮壁が繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水に伴う津波荷重や余震荷重等に対し、主要な構造部材の構造健全性を保持すること、十分な支持性能を有する地盤に設置していること及び主要な構造体の境界部に設置する部材が有意な漏えいを生じない変形に留まることを確認するものである。

2. 基本方針

鉄筋コンクリート防潮壁の検討対象断面位置は、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の方針」に示す「3.2 機能維持の方針」を踏まえて選定する。鉄筋コンクリート防潮壁の「2.1 位置」及び「2.2 構造概要」を示す。

2.1 位置

鉄筋コンクリート防潮壁の位置図を第2-1図に示す。



第2-1図 鉄筋コンクリート防潮壁位置図

2.2 構造概要

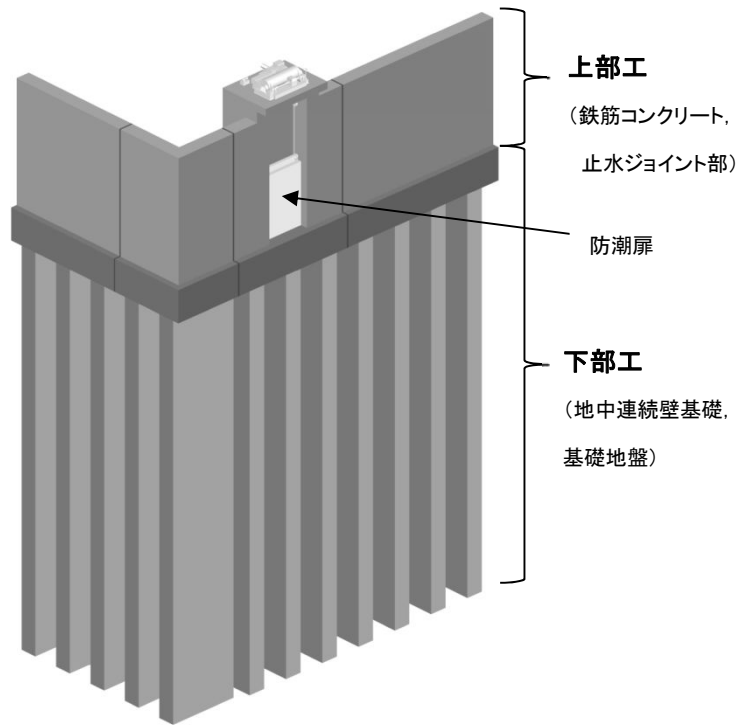
鉄筋コンクリート防潮壁は、1ブロック幅約11 m～20 m、天端高T.P. +20 m、奥行約10 mの鉄筋コンクリート造の構造物であり、ブロック間は止水ジョイントを施した構造である。鉄筋コンクリート防潮壁は、地中連続壁基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する。また、鉄筋コンクリート防潮壁に防潮扉及びフラップゲートを設置する。

鉄筋コンクリート防潮壁のたて壁と地中連続壁基礎とは、鉄筋コンクリートフーチングを介した剛結合で一体構造とする。

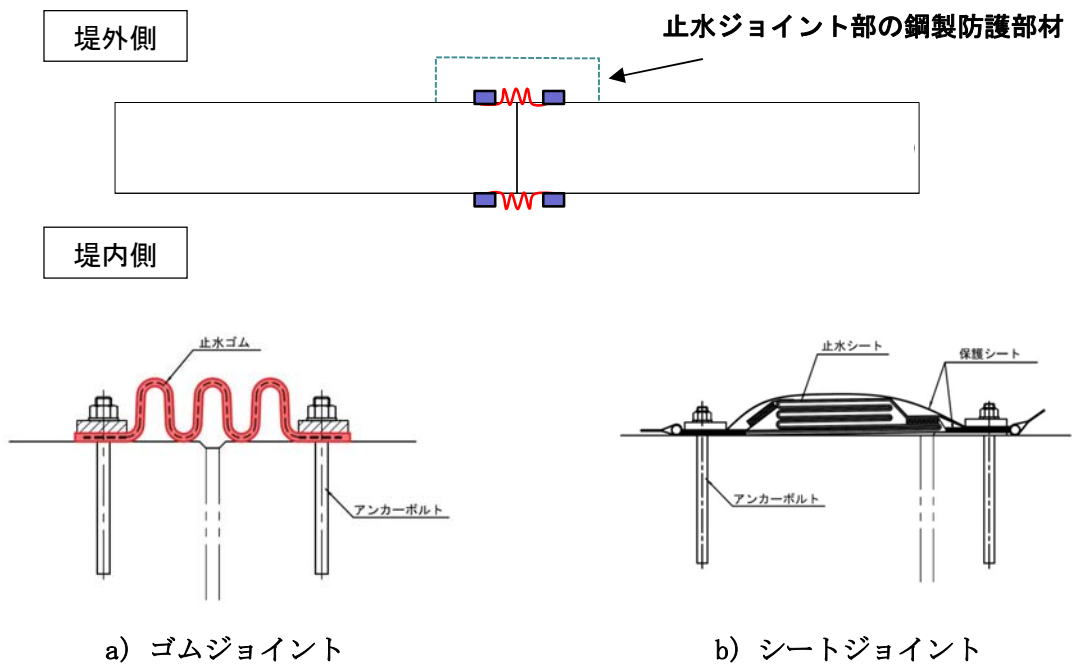
鉄筋コンクリート防潮壁の検討対象位置平面図を第2-2図に、概要図を第2-3図に、構造図を第2-4図に示す。



第2-2図 鉄筋コンクリート防潮壁 検討対象位置平面図

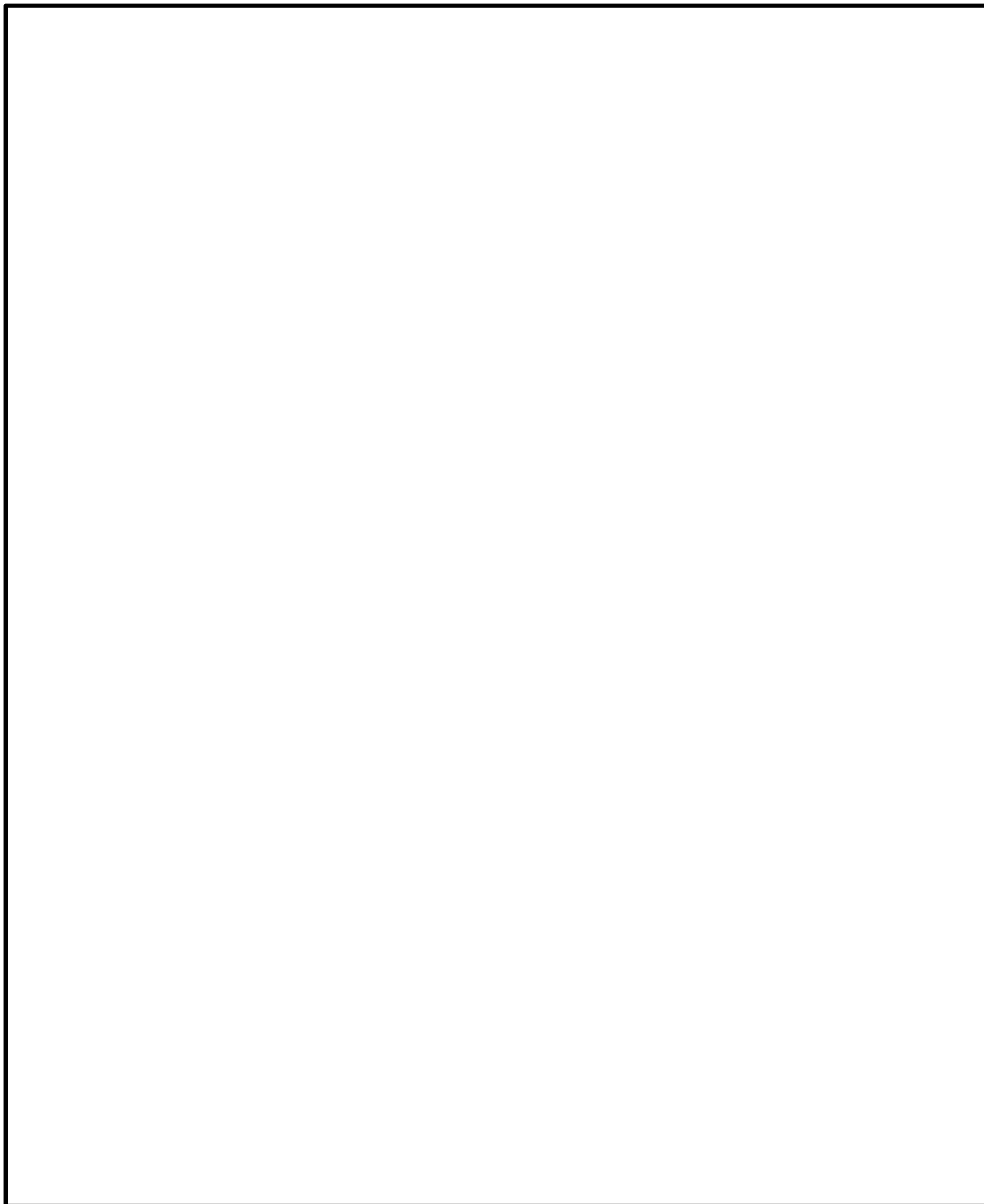


鉄筋コンクリート防潮壁の取水構造物の北側概要図

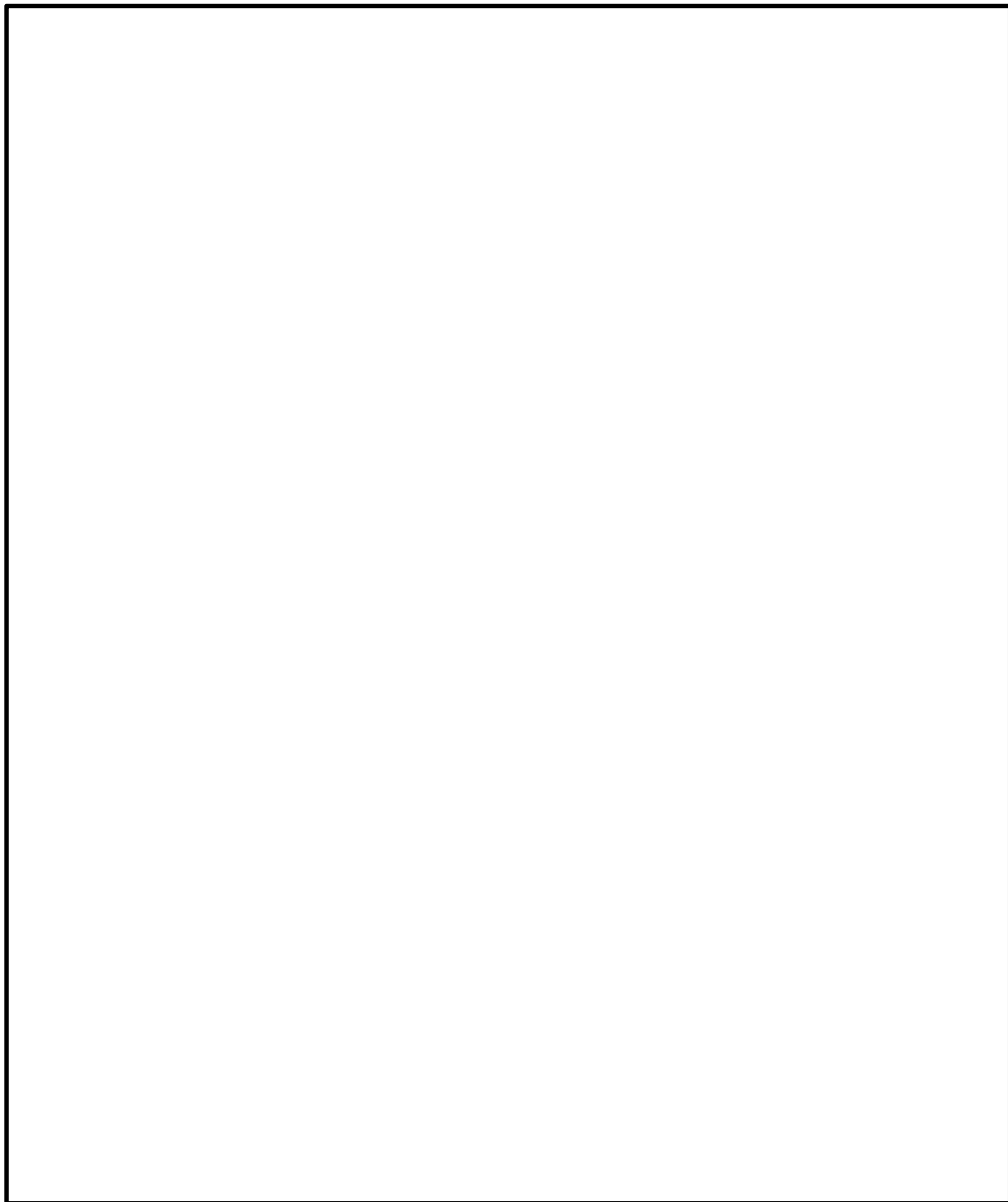


止水ジョイント部材の概要図

第2-3図 鉄筋コンクリート防潮壁構造概要図



第 2-4 図 (1) 鉄筋コンクリート防潮壁構造図 (フラップゲート部)



第 2-4 図 (2) 鉄筋コンクリート防潮壁構造図 (防潮扉部)

2.3 評価方針

防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）は、Sクラス施設である浸水防護施設に分類される。

鉄筋コンクリート防潮壁の強度評価は、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、鉄筋コンクリート防潮壁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。

鉄筋コンクリート防潮壁の耐震評価項目を第 2-1 表に、強度評価フローを第 2-5 図に示す。

鉄筋コンクリート防潮壁の強度評価においては、その構造を踏まえ、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、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。

鉄筋コンクリート防潮壁は、上部工と下部工を一体とした3次元モデルで強度評価を行なう。地中連続壁基礎をはり要素、鉄筋コンクリート及びフーチングを平面要素でモデル化する。

鉄筋コンクリート防潮壁の強度評価は、設計基準対象施設として第 2-1 表の鉄筋コンクリート防潮壁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。

基礎地盤の支持性能評価については、鉄筋コンクリート防潮壁を支持する基礎地盤に発生す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。

構造物の変形性評価については、止水ジョイント部材の変形量を算定し、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。

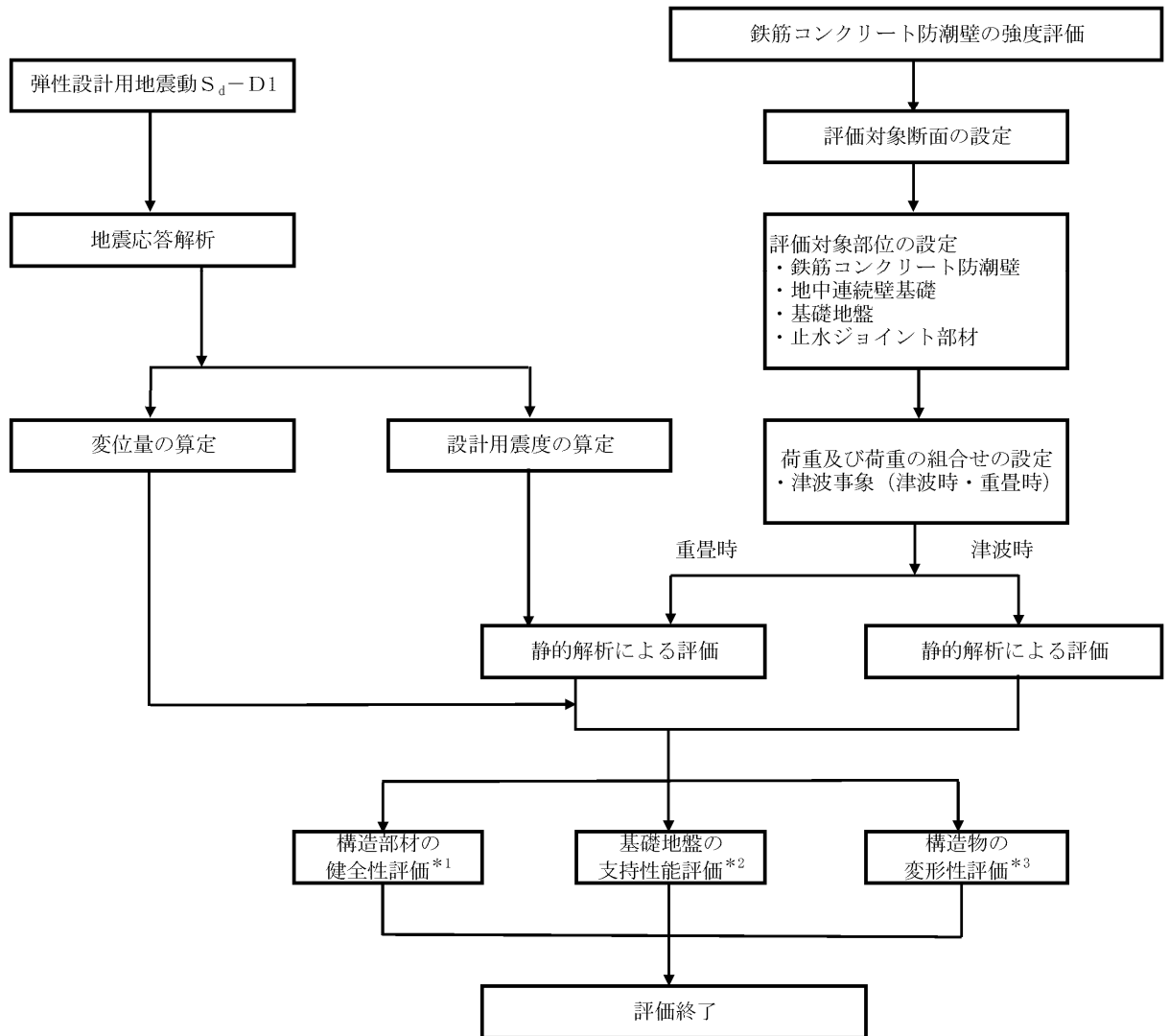
重畳時の評価における入力地震動は、解放基盤表面で定義される弾性設計用地震動 S_a-D1 を1次元波動論により地震応答解析モデル底面位置で評価したものをを用いる。

なお、防潮扉の評価をV-3-別添 3-2-4「防潮扉の強度計算書」に示す。

第2-1表 鉄筋コンクリート防潮壁の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート防潮壁	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
		地中連続壁基礎	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
		鋼製アンカー	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
		鋼製防護部材	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
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	接地圧が許容限界以下であることを確認	極限支持力*
止水性を損なわないこと	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート防潮壁	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
		地中連続壁基礎	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
		鋼製アンカー	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
		鋼製防護部材	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
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	接地圧が許容限界以下であることを確認	極限支持力*
	構造物の変形性	止水ジョイント部材	発生変形量が許容限界以下であることを確認	有意な漏えいが生じないことを確認した変形量

注記 * : 妥当な安全余裕を考慮する。



- 注記 *1：構造部材の健全性評価を実施することで、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：基礎地盤の支持性能評価を実施することで、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。
- *3：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 鉄筋コンクリート防潮壁の耐津波評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格、基準等を以下に示す。

- コンクリート標準示方書（（社）土木学会，2002年制定）
- 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）
- 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）
- 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005年9月）
- 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年11月）
- 津波漂流物対策施設設計ガイドライン（（財）沿岸技術研究センター，（社）寒地港湾技術研究センター，2014年3月））
- 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）

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	kN	固定荷重
P	kN	積載荷重
P_s	kN	積雪荷重
P_t	kN/m ²	遡上津波荷重
P_c	kN	衝突荷重
K_{Sd}	kN	余震荷重
P_d	kN/m ²	動水圧
B	m	地中連続壁基礎の前面幅
D	m	地中連続壁基礎の側面幅
γ	kN/m ³	単位体積重量
P_{n1}	kN/m ²	最大津波波圧 (地表面の津波波圧)
P_{n2}	kN/m ²	壁天端の津波波圧
σ_{ca}	N/mm ²	コンクリートの許容曲げ圧縮応力度
τ_{a1}	N/mm ²	コンクリートの許容せん断応力度
σ_{ca}'	N/mm ²	コンクリートの許容支圧応力度
σ_c	N/mm ²	コンクリートの圧縮応力度
σ_{sa}	N/mm ²	鋼材の許容曲げ圧縮応力度
M	N・mm	最大曲げモーメント
N	N	軸力
S	kN	せん断力
Z	mm ³	断面係数
A	mm ²	有効断面積

第3-1表(2) 強度評価に用いる記号(2/2)

記号	単位	定義
f'_{ck}	N/mm ²	コンクリートの設計基準強度
f_{yk}	N/mm ²	鋼材の引張降伏強度
E_c	kN/mm ²	コンクリートのヤング係数
E_s	kN/mm ²	鋼材のヤング係数
F_s	--	安全率
u	kN/m ²	平均過剰間隙水圧
w	kN/m ²	土の有効重量
γ'	kN/m ³	土の水中単位体積重量
l	m	浸透流路長
h_w	m	水面から掘削底面までの高さ(水位差)

3.2 評価対象断面及び部位

鉄筋コンクリート防潮壁の評価対象断面は、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の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位を踏まえて設定する。

評価対象断面は、鉄筋コンクリート防潮壁の構造上の特徴や周辺地盤状況を踏まえて設定する。第3-1図に評価対象断面位置図を、第3-2図に評価対象の断面図を示す。

(1) 構造部材の健全性

構造部材の健全性に係る評価対象部位は、鉄筋コンクリート防潮壁、地中連続壁基礎の各鉄筋コンクリート部材について設定する。

(2) 基礎地盤の支持性能

基礎地盤の支持性能に係る評価対象部位は、鉄筋コンクリート防潮壁の下部工となる地中連続壁基礎を支持する基礎地盤とする。

(3) 止水ジョイント部材

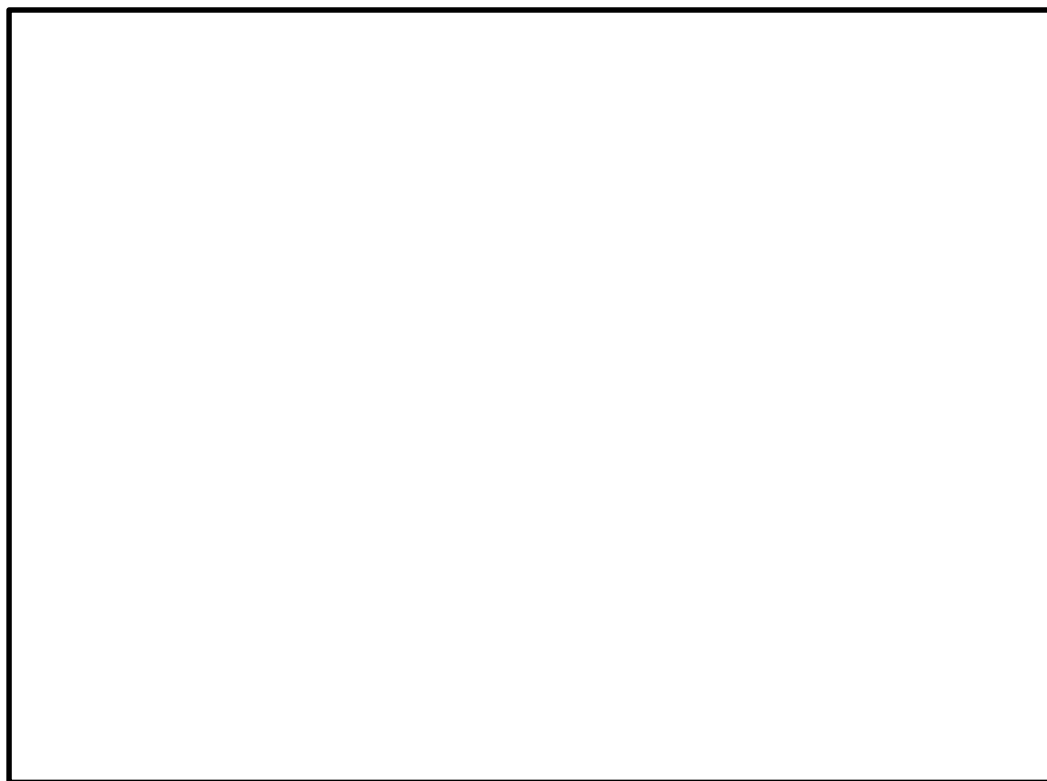
止水ジョイント部材の評価対象部位は、構造物間に設置するゴムジョイント及びシートジョイントとする。

(4) 鋼製アンカー

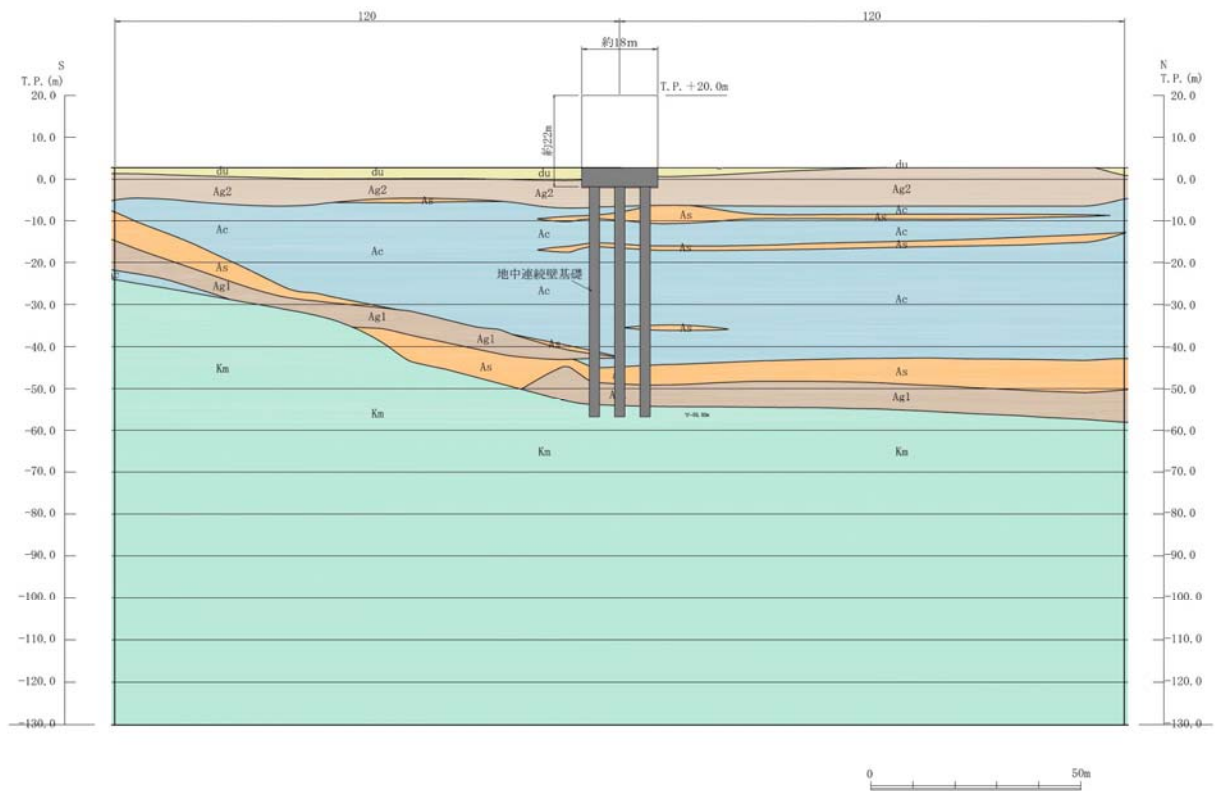
鋼製アンカーの評価対象部位は、止水ジョイント部材の取り付け部の鋼製アンカーとする。

(5) 鋼製防護部材

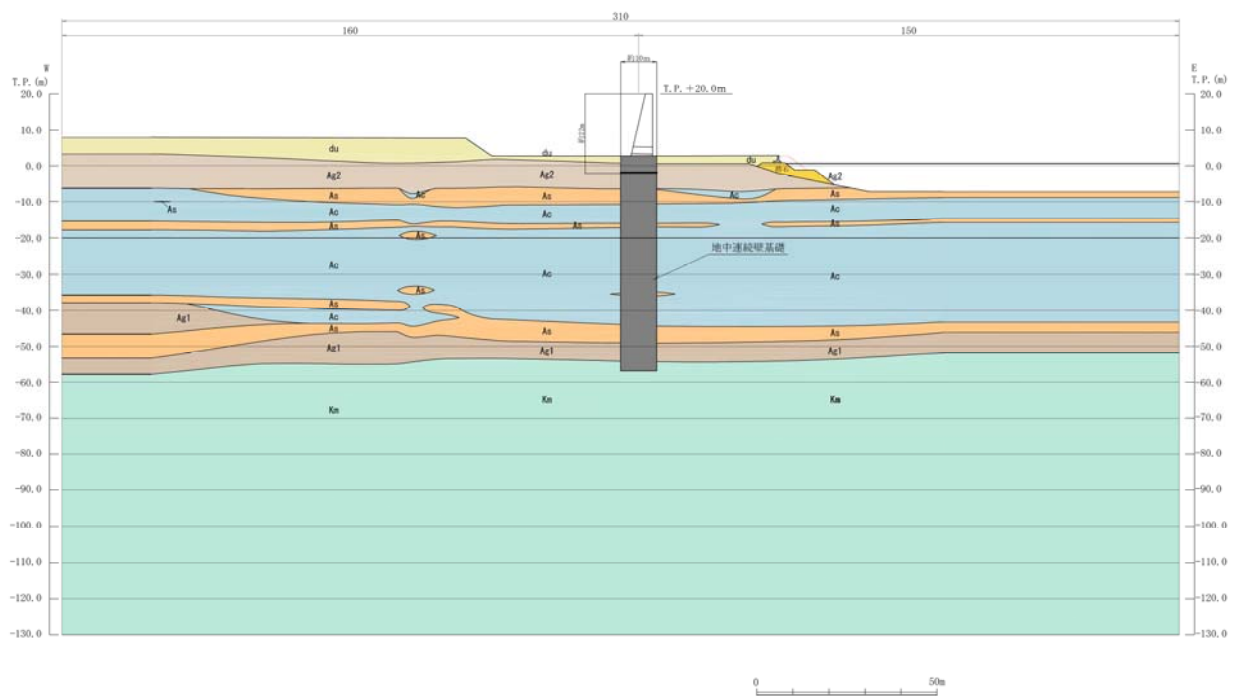
鋼製防護部材の評価対象部位は、止水ジョイント部材を防護する鋼製防護部材とする。



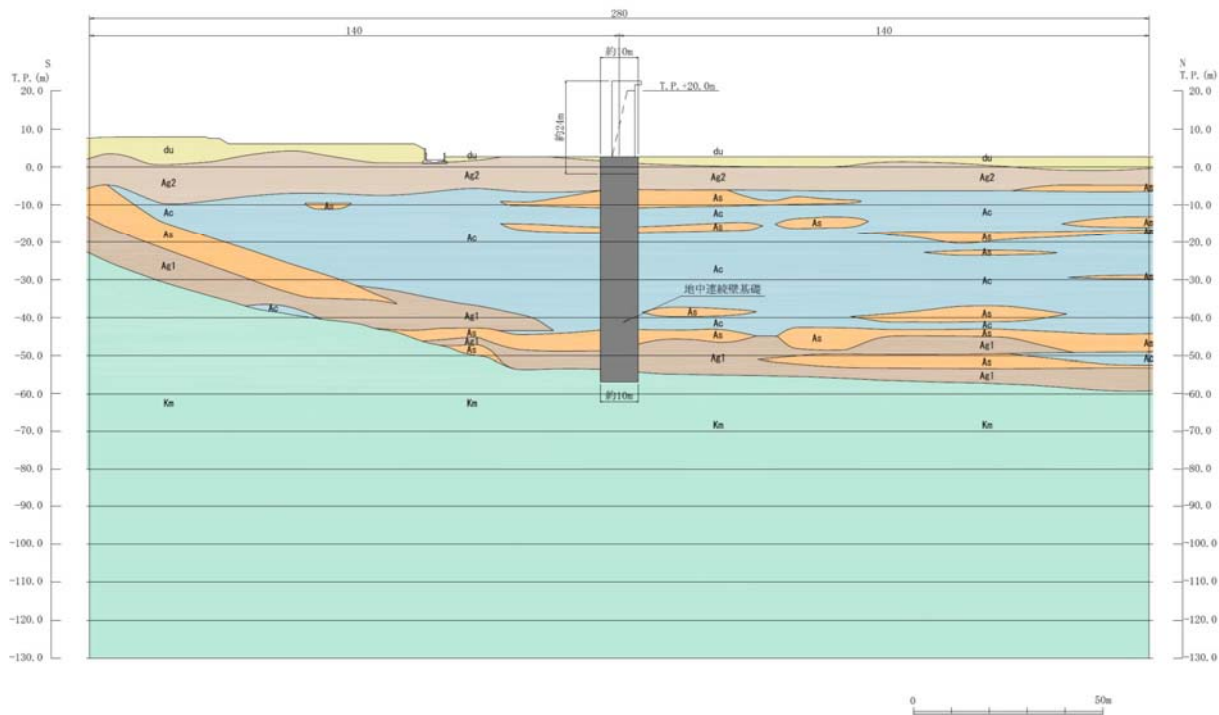
第3-1図 鉄筋コンクリート防潮壁の検討対象断面位置



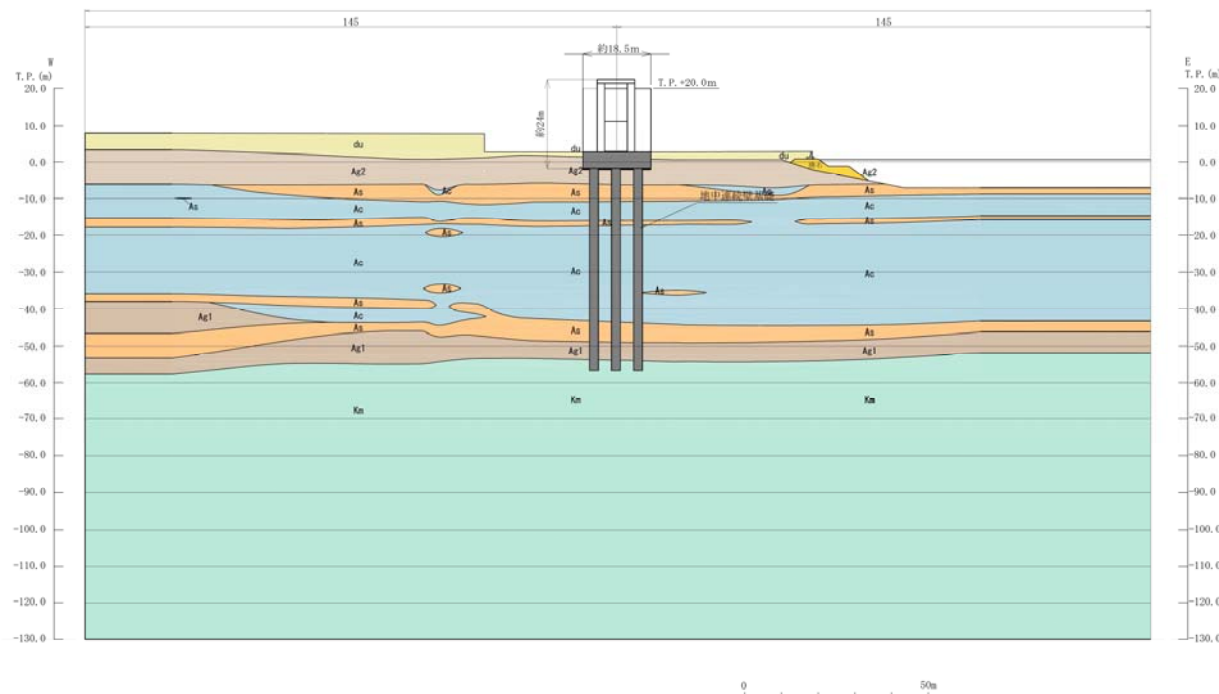
第3-2 図 (1) 鉄筋コンクリート防潮壁断面図 (①-①断面)



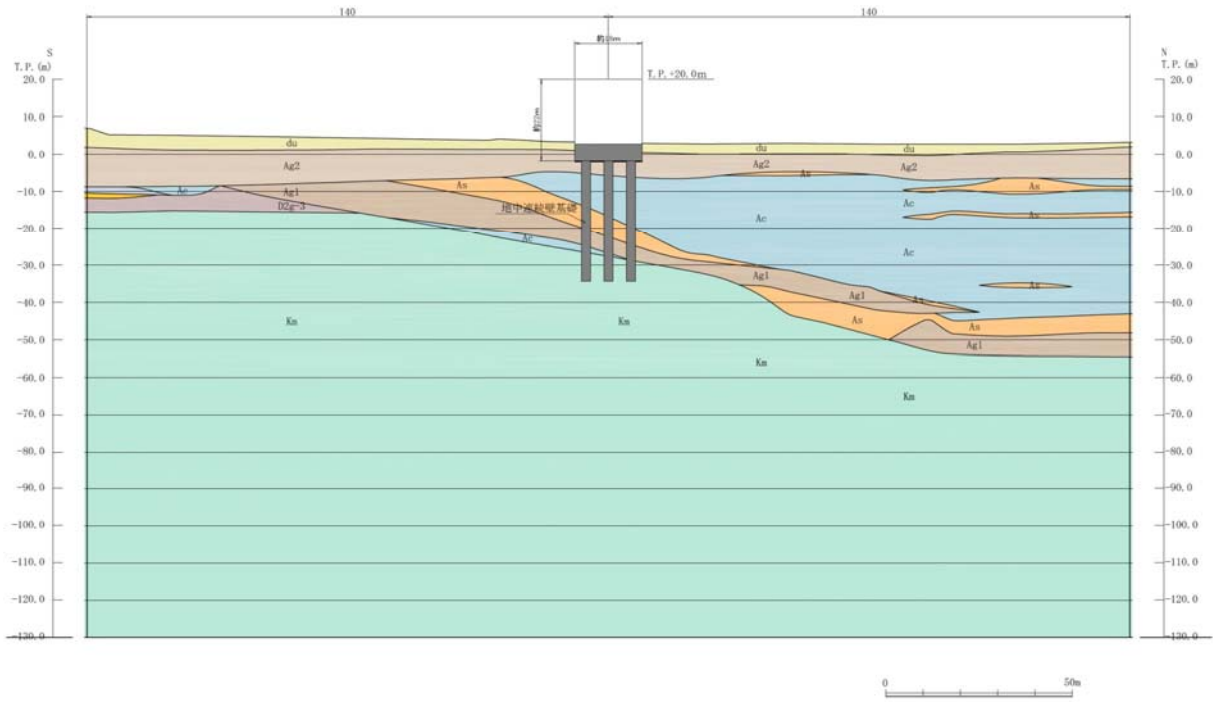
第3-2 図 (2) 鉄筋コンクリート防潮壁断面図 (②-②断面)



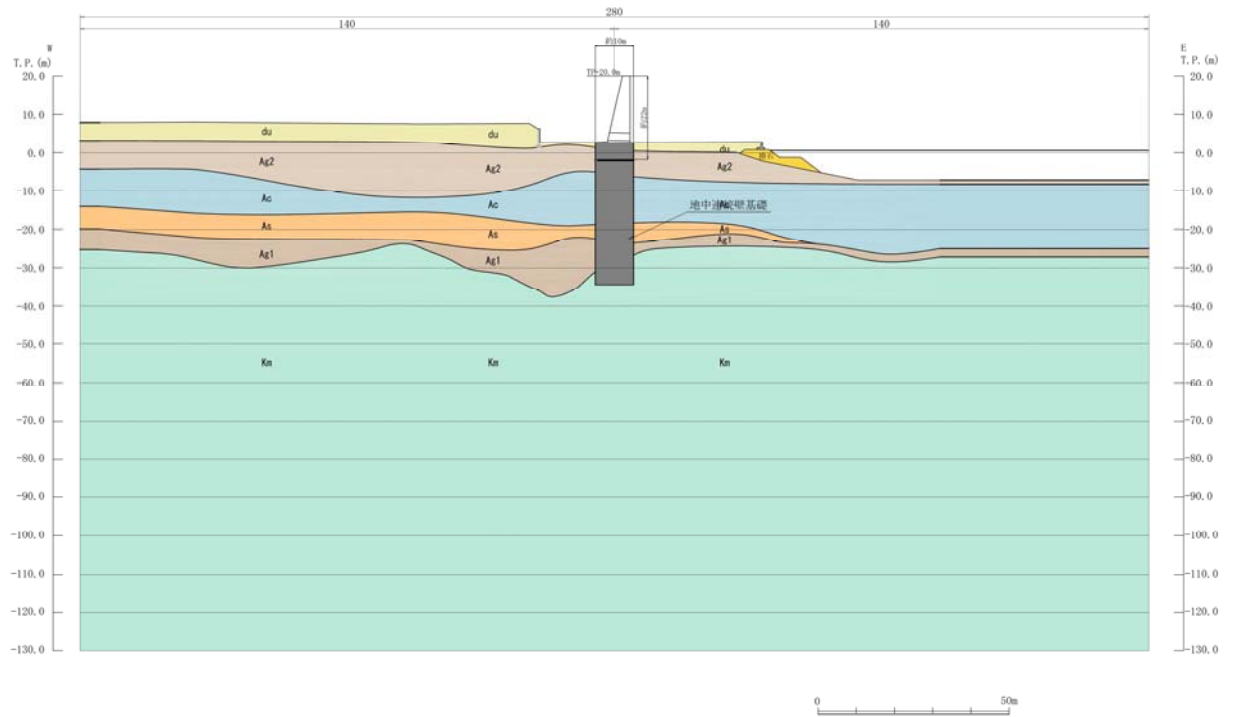
第 3-2 図 (3) 鉄筋コンクリート防潮壁断面図 (③-③断面)



第 3-2 図 (4) 鉄筋コンクリート防潮壁断面図 (④-④断面)



第 3-2 図 (5) 鉄筋コンクリート防潮壁断面図 (⑤-⑤断面)



第 3-2 図 (6) 鉄筋コンクリート防潮壁断面図 (⑥-⑥断面)

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

鉄筋コンクリート防潮壁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、躯体自重を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、機器及び配管荷重を考慮する。

(3) 遡上津波荷重 (P_t)

遡上津波荷重については、防潮堤前面における最大津波水位標高と防潮堤設置地盤標高の差分の $3/2$ 倍を考慮して算定する。

(4) 余震荷重 (K_{sd})

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。

重畳時は、余震荷重 (K_{sd}) 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、積雪荷重に対応する慣性力を作用させる。

(5) 衝突荷重 (P_c)

衝突荷重として、総排水トン 15 t の漁船の衝突を考慮する。

(6) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、30 cm の積雪を考慮する。

(7) 風荷重 (P_K)

津波荷重作用時には風荷重の受圧面が存在しないため、津波荷重作用側には風荷重を考慮しない。また津波の作用方向と逆向きの風荷重は、保守的に考慮しない。

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組合せは津波時及び重畳時に区分する。

第 3-2 表 荷重の組合せ

区分	荷重の組み合わせ
津波時	$G + P + P_t + P_c + P_s$
重畳時	$G + P + P_t + K_{sd} + P_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重

P_t : 遡上津波荷重

K_{sd} : 余震荷重

P_c : 衝突荷重
 P_s : 積雪荷重

3.4 解析モデル及び諸元

3.4.1 鉄筋コンクリート防潮壁の解析モデル

鉄筋コンクリート防潮壁は、上部工と下部工を一体としたフレーム解析モデル及び地震応答解析モデルで強度評価を行なう。鉄筋コンクリート防潮壁の3次元フレーム解析モデルの解析モデル概念図を第3-3図に示す。

(1) 構造物のモデル化

地中連続壁基礎をはり要素，鉄筋コンクリート及びフーチングを平面要素でモデル化する。

(2) 地盤のモデル化

フレーム解析モデルにおいて，地盤は，非線形バネ要素でモデル化する。

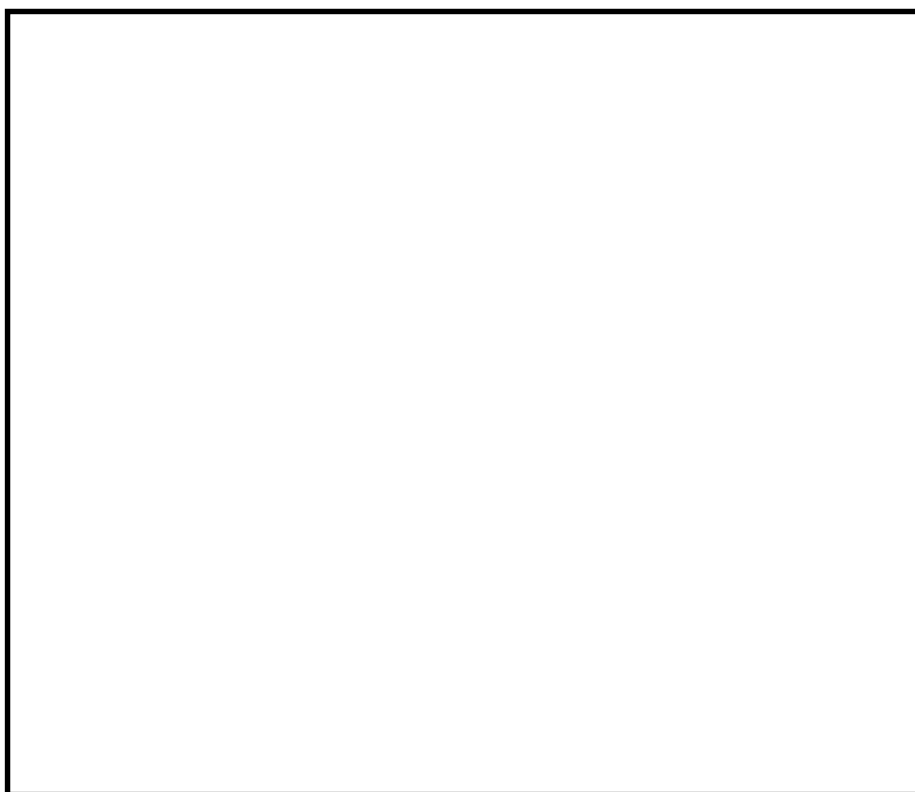
地震応答解析モデルにおいて，地盤は，剛性と減衰の非線形特性を考慮してモデル化する。

3.4.2 鉄筋コンクリート防潮壁（上部工）の解析モデル

上部工である鉄筋コンクリートについては，堤軸直交方向が弱軸断面方向となるため，縦壁下端を固定端とする片持ち梁で保守的に評価する。上部工の解析モデル概念図を第3-4図に示す。

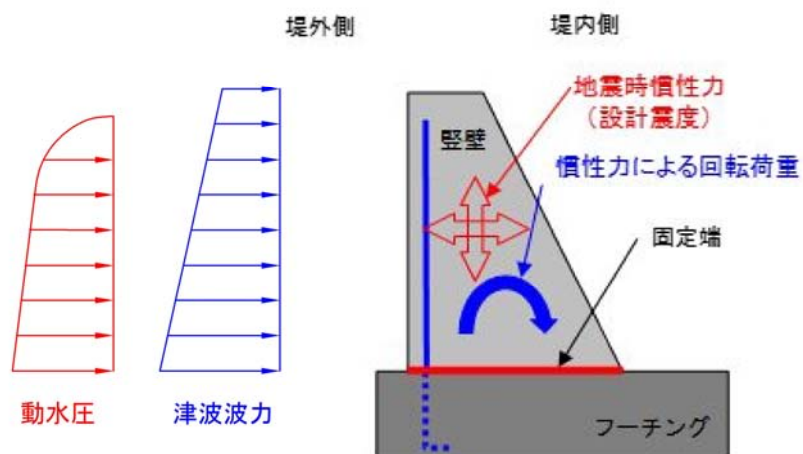


(a) 津波時の解析モデル概念図



(b) 重畳時の解析モデル概念図 (堤軸直角方向地震力の例)

第3-3図 鉄筋コンクリート防潮壁の津波時及び重畳時の3次元フレームモデル概念図



第3-4図 鉄筋コンクリート防潮壁（上部工）の重畳時の解析モデル概念図

3.4.3 使用材料及び材料の物性値

使用材料を第3-3表に、材料の物性値を第3-4表に示す。

第3-3表 使用材料

材料		諸元
コンクリート	地中連続壁基礎	設計基準強度 40 N/mm ²
	防潮壁	設計基準強度 40 N/mm ²
鉄筋		SD345, SD390, SD490

第3-4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
鉄筋 コンクリート	設計基準強度 40 N/mm ²	24.5	3.1×10 ⁴	0.2
鋼材	SM400, SM490	77.0	2.05×10 ⁵	0.3

3.4.4 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。

3.5 許容限界

鉄筋コンクリート防潮壁の許容限界は、「3.2 評価対象断面」にて設定した評価対象断面の機能損傷モードを考慮し、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の方針」の「4.2 許容限界」にて示している許容限界を踏まえて設定する。

(1) 鉄筋コンクリートの許容限界

許容応力度については、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（（社）土木学会，2002 年制定）及び「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 表のとおり設定する。短期許容応力度は，基準津波時におけるコンクリート及び鉄筋の許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。また，T.P. +24m 津波時はコンクリートの許容応力度に対して 2.0 倍，鉄筋の許容応力度に対して 1.65 倍の割増しを考慮する。

第 3-5 表 許容応力度（短期）

評価項目			短期許容応力度 (N/mm ²)	
			基準津波	T.P. +24m 津波
コンクリート	$f'_{ck}=40$ N/mm ²	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	21.0	28.0
		許容せん断応力度 τ_{a1}	0.825*	1.1*
鉄筋	SD345	許容引張応力度 σ_{sa}	294	323.4
	SD390	許容引張応力度 σ_{sa}	309	339.9
	SD490	許容引張応力度 σ_{sa}	435	478.5

注記 *：斜め引張鉄筋を考慮する場合は、「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]（（社）土木学会，2002 年制定）」に準拠し，次式により求められる許容せん断力 (V_a) を許容限界とする。

$$V_a = V_{ca} + V_{sa}$$

ここで，

V_{ca} : コンクリートの許容せん断力

$$V_{ca} = 1/2 \cdot \tau_{a1} \cdot b_w \cdot j \cdot d$$

V_{sa} : 斜め引張鉄筋の許容せん断力

$$V_{sa} = A_w \cdot \sigma_{sa} \cdot j \cdot d / s$$

τ_{a1} : 斜め引張鉄筋を考慮しない場合の許容せん断応力度

b_w : 有効幅

j : 1/1.15

d : 有効高さ

A_w : 斜め引張鉄筋断面積

σ_{sa} : 鉄筋の許容引張応力度

s : 斜め引張鉄筋間隔

(2) 基礎地盤の支持性能評価における許容限界

基礎地盤の支持性能については、構造物の接地圧が基礎地盤の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。基礎地盤の極限支持力は、「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）による評価値とし，V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき算定する。

(3) 止水ジョイント部材

止水ジョイント部材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 3-6 表に止水ジョイント部材の変形量の許容限界を示す。

第 3-6 表 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
止水ジョイント 部材	ゴムジョイント	水平：200 mm，鉛直：200 mm，軸直角：200 mm
	シートジョイント	防潮壁天端相対変位：2 m

(4) 鋼製アンカー

鋼製アンカーの許容限界は，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）」に基づき設定する。コンクリートの許容限界は，第 3-5 表に示す短期許容応力度を許容限界とする。

(5) 鋼製防護部材

鋼製防護部材の許容限界は，「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会，2005 年 9 月）」，「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年 11 月）及び「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（（財）沿岸技術研究センター，（社）寒地港湾技術研究センター，2014 年 3 月）」に基づき設定する。

3.6 評価方法

鉄筋コンクリート防潮壁の評価方法は、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の方針」の「5. 強度評価方法」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。

鉄筋コンクリート防潮壁の強度評価は、解析結果により得られる照査用応答値が「3.5 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。

(1) 津波時

a. 鉄筋コンクリート防潮壁

鉄筋コンクリート防潮堤は、堤軸方向に同様な断面が連続する構造であることから、堤軸直交方向が弱軸断面方向となる。

上部工については、フーチングとの連結部を固定端とする片持ち梁として評価する。

b. 地中連続壁基礎

地盤バネを設定した3次元フレームモデルに津波荷重等を載荷して評価する。

c. 基礎地盤の支持力

地中連続壁基礎底面において基礎地盤に作用す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。

d. 止水ジョイント部材

本震後の津波時における変形量が許容限界以下であることを確認する。

e. 鋼製アンカー

津波荷重が止水ジョイント部材へ載荷された際に、アンカーの引張応力及び鉄筋コンクリートのせん断応力が許容限界以下であることを確認する。

f. 鋼製防護部材

鋼製防護部材に発生する応力が許容限界以下であることを確認する。

(2) 重畳時

a. 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。

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。

イ. 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化とする。

ロ. 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

イ. 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。

ロ. 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 を、1次元波動論によって地震応答解析モデルの底面位置で評価したものをを用いる。

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。

b. 評価方法

(a) 鉄筋コンクリート防潮壁

鉄筋コンクリート防潮堤は、堤軸方向に同様な断面が連続する構造であることから、堤軸直交方向が弱軸断面方向となる。

上部工については、フーチングとの連結部を固定端とする片持ち梁として評価する。

(b) 地中連続壁基礎

地盤バネを設定した3次元フレームモデルに津波荷重や余震荷重等を考慮して評価する。

- (c) 基礎地盤の支持力
地中連続壁基礎底面において基礎地盤に作用する接地圧が、極限支持力に基づく許容限界値以下であることを確認する。
- (d) 止水ジョイント部材
止水ジョイント部材の重畳時の評価は、本震後の余震時と津波の重畳時における変形量が許容限界以下であることを確認する。
- (e) 鋼製アンカー
鋼製アンカーの重畳時の評価は「(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。
- (f) 鋼製防護部材
鋼製防護部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。