

東海第二発電所

津波による損傷の防止

(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁 の設計方針について)

平成 29 年 6 月

日本原子力発電株式会社

目次

- 1 . 防潮堤の要求機能と設計方針について
 - (1) 防潮堤に要求される機能
 - (2) 防潮堤高さの設定方針
 - (3) 設計方針
 - 1) 構造概要
 - 2) 設計手順
 - 3) 杭構造形式 (支持方式) の選定に係る方針
 - 4) 杭間隔の設定方針
 - 5) 群杭効果の設定方針
 - 6) 鋼管杭の設計方針
 - 7) 上部工 (鉄筋コンクリート壁) の設計方針
 - 8) 止水ジョイントの設計方針
 - 9) 地盤高さの嵩上げの設計方針
 - 1 0) 表層改良体の設計方針 (洗掘防止等対策)
- 2 . 施工実績 (本設杭構造)
- 3 . 道路橋示方書の適用性について
 - (1) 適用性検討の評価方針
 - 1) 検討位置
 - 2) 東海第二発電所の地盤の基本固有周期
 - 3) 道路橋示方書の加速度応答スペクトル
 - 4) 東海第二発電所の加速度応答スペクトル

5) 基準地震動 S_s と道路橋示方書のレベル 2 地震動の加速度
応答スペクトルの比較

4 . 杭構造基礎に関する設計基準類

1 . 防潮堤の要求機能と設計方針について

(1) 防潮堤に要求される機能

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁に関する要求機能と設計評価方針について表 1 に、鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の評価対象部位を図 1 に示す。

津波防護施設として防潮堤に求められる要求機能は、繰返しの襲来を想定した遡上波に対して浸水を防止すること、基準地震動 S_s に対して要求される機能を損なう恐れがないよう、構造物全体としての変形能力に対し、十分な構造強度を有することである。

上記の機能を確保するための性能目標は、遡上津波に対して余裕を考慮した防潮堤高さを確保するとともに構造体の境界部等の止水性を維持し、基準地震動 S_s に対して止水性を損なわない構造強度を有した構造物とすることである。

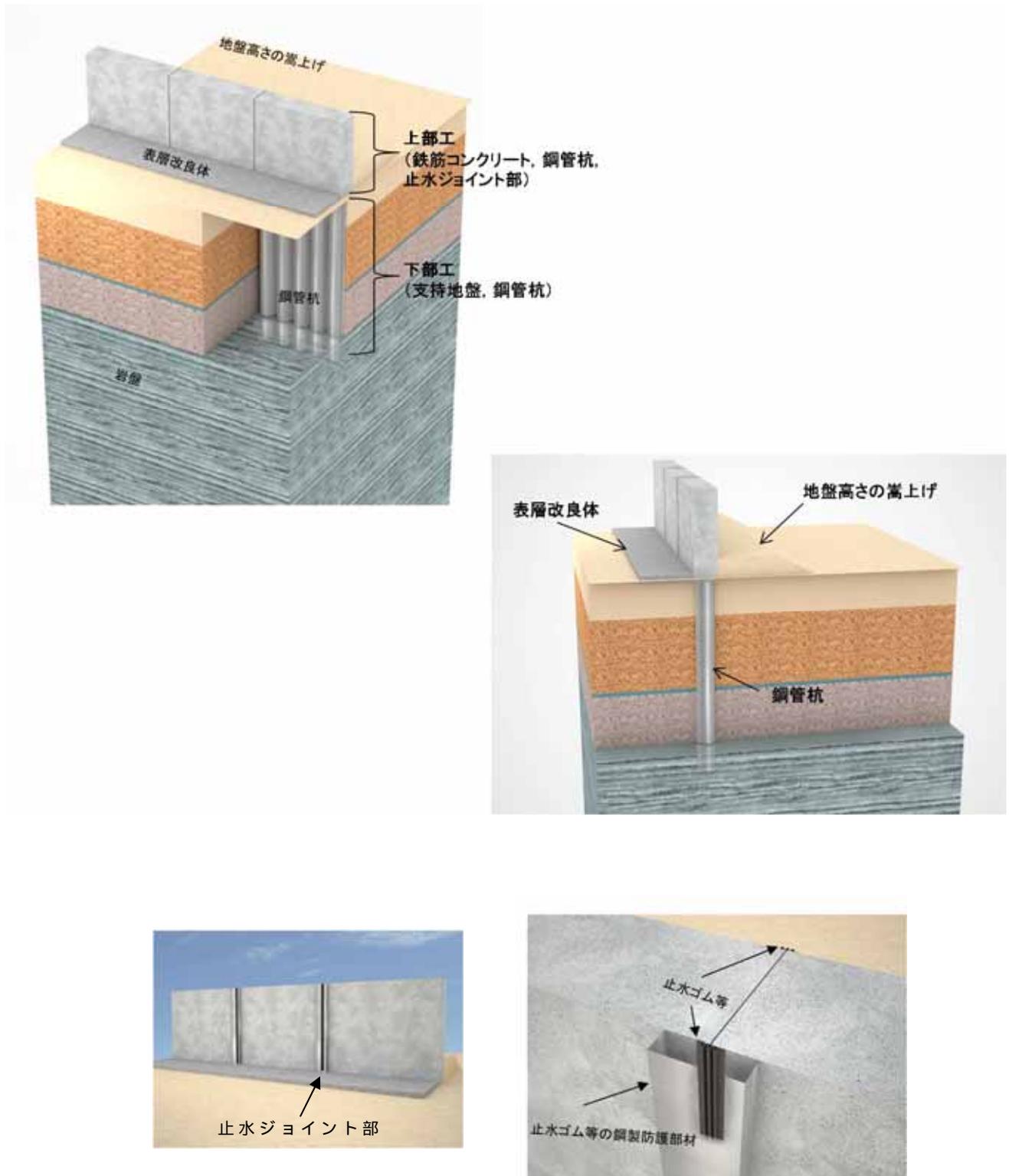


図1 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の評価対象部位

(2) 防潮堤高さの設定方針

防潮堤は，防潮堤の設計に用いる津波高さ（入力津波高さ）に対して余裕をもった防潮堤高さを設定している。入力津波高さと防潮堤高さの関係を表 2 に示す。

表 2 入力津波高さと防潮堤高さの関係

	敷地側面 北側	敷地前面 東側	敷地側面 南西側
入力津波高さ (潮位のばらつき等考慮)	T.P.+15.4m	T.P.+17.9m	T.P.+16.8m
防潮堤高さ	T.P.+18.0m	T.P.+20.0m	T.P.+18.0m
設計裕度	2.6m	2.1m	1.2m

防潮堤の高さが入力津波高さを下回らないようするため，支持地盤については，液状化の可能性の検討や粘性土層の過圧密比の確認を行う。また，地震や津波等の外力に対して各構造部材の構造健全性を保持するために，部位毎の機能損傷モードを明確にし，許容限界内の設計を行う。

(3) 設計方針

1) 構造概要

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は，鋼管杭を地盤に対して一列に打設し上部工は鋼管杭と鉄筋コンクリートを連結させ，敷地全体に設置する。また，上部工には伸縮性を有する止水ジョイント及び止水ゴム等の鋼製防護部材を一定間隔で設置するとともに，異種構造物間の境界部にも止水性維持のため止水ジョイント及び止水ゴム等の鋼製防護部材を設置する。鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の平面位置図を図 2 に，正面図及び断面図

を 図 3 に示す。

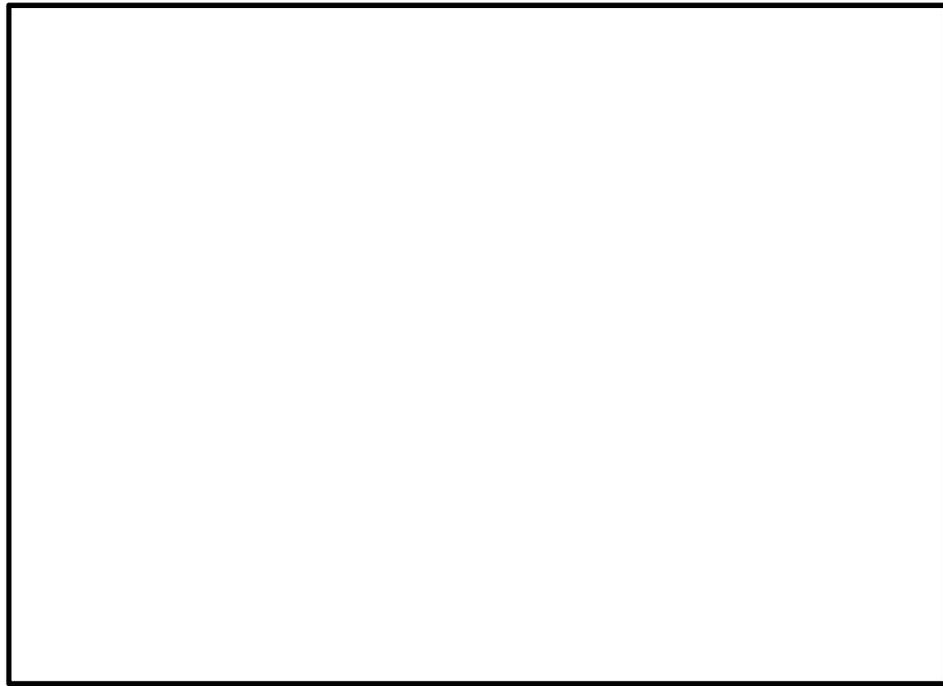


図 2 平面位置図

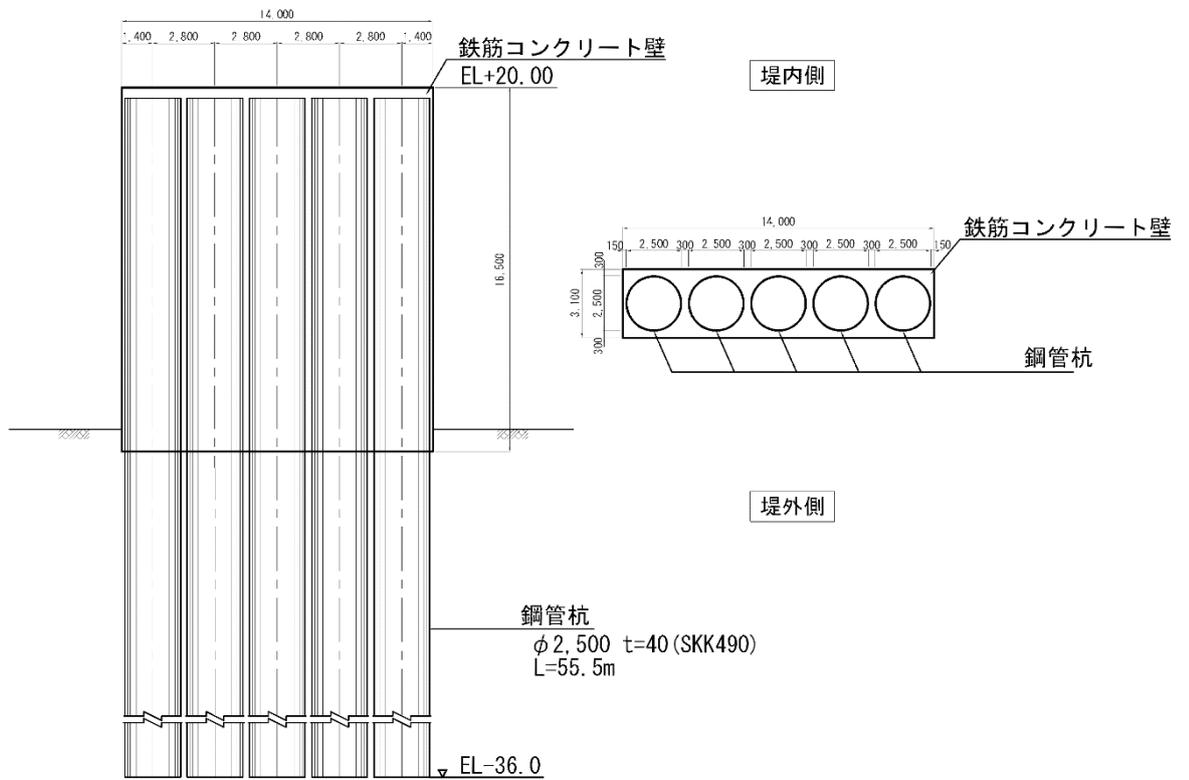


図 3 正面図及び断面図（摩擦杭構造）

2) 設計手順

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の耐震・耐津波評価は、津波防護施設であること、Sクラスの設計基準対象施設であることを踏まえ、表3の鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の評価項目に従い、各構造部材の構造健全性評価を行う。

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の構造健全性評価の検討フローを図4に示す。

表3 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の評価項目

構造強度設計			設計に用いる 許容限界	
評価対象部位	応力等の状態			
下部工	支持地盤	押込力, 引抜力	「道路橋示方書・同解説(I共通編・下部構造編)」を踏まえ、極限支持力以下とする。 極限支持力以下	
	鋼管杭	曲げ, せん断	「道路橋示方書・同解説(共通編・下部構造編)」を踏まえた短期許容応力度以下とする。 降伏応力度以下	
上部工	鉄筋コンクリート(鉄筋コンクリート梁壁)	曲げ, せん断	「道路橋示方書・同解説(共通編・耐震設計編)」を踏まえた短期許容応力度以下とする。(コンクリート標準示方書【構造性能照査編】でも確認。) 降伏応力度以下 せん断強度以下	
	鋼管杭(鋼管杭鉄筋コンクリート)	曲げ, せん断	「道路橋示方書・同解説(共通編・下部構造編)」及び「鉄骨鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説」を踏まえた短期許容応力度以下とする。 降伏応力度以下	
	止水ジョイント部	止水ゴム等	変形, 引張り	メーカー規格及び基準並びに必要に応じて実施する性能試験を参考に定める許容変形量及び許容引張り力以下とする。 許容変形量以下 許容引張り力以下
		鋼製アンカー	引張り, せん断, 引抜き	「各種合成構造設計指針・同解説」を踏まえた短期許容応力度以下とする。 降伏応力度以下 せん断強度以下
		止水ゴム等の鋼製防護部材	曲げ, 引張り, せん断	「鋼構造設計基準」を踏まえた短期許容応力度以下とする。 降伏応力度以下 せん断強度以下
地盤高さの嵩上げ	すべり(滑動)	「道路橋示方書・同解説(I共通編・下部構造編)」及び「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ、滑動に対する許容抵抗力以下、すべり安全率以上とする。 滑動に対する抵抗力以下 すべりに対するせん断強度以下		
表層改良体	せん断	安全裕度を考慮したせん断強度以下とする。 せん断強度以下		

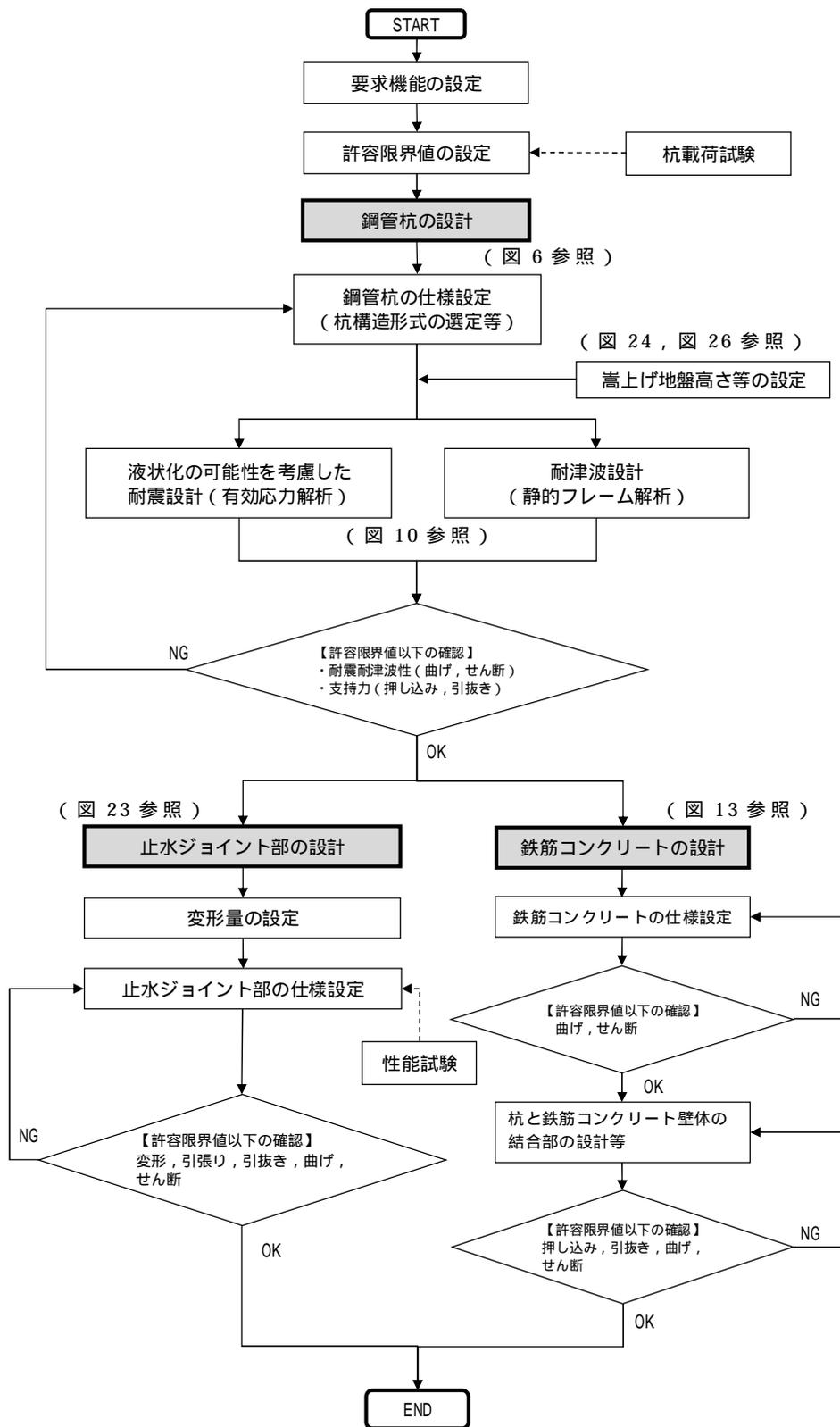


図4 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の構造健全性評価の検討フロー

3) 杭構造形式(支持方式)の選定に係る方針

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は鋼管杭基礎となるため、鋼管杭の支持方式の選定を行う。

鋼管杭は支持方式によって、支持杭と摩擦杭に分けられる。支持杭の場合は、杭の周面摩擦力に加え、杭の先端に上向きに働く先端支持力によって荷重を支える。摩擦杭の場合は、杭の周面と地盤との間に働く周面摩擦力によって荷重を支える。杭の支持方式に係るイメージを図5に示す。

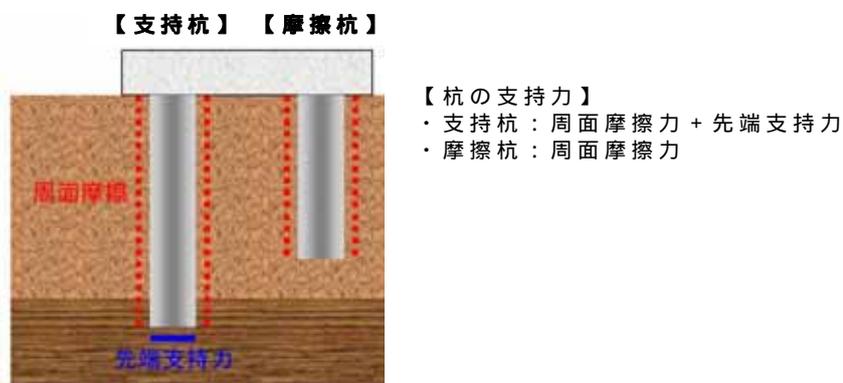


図5 杭の支持方式に係るイメージ

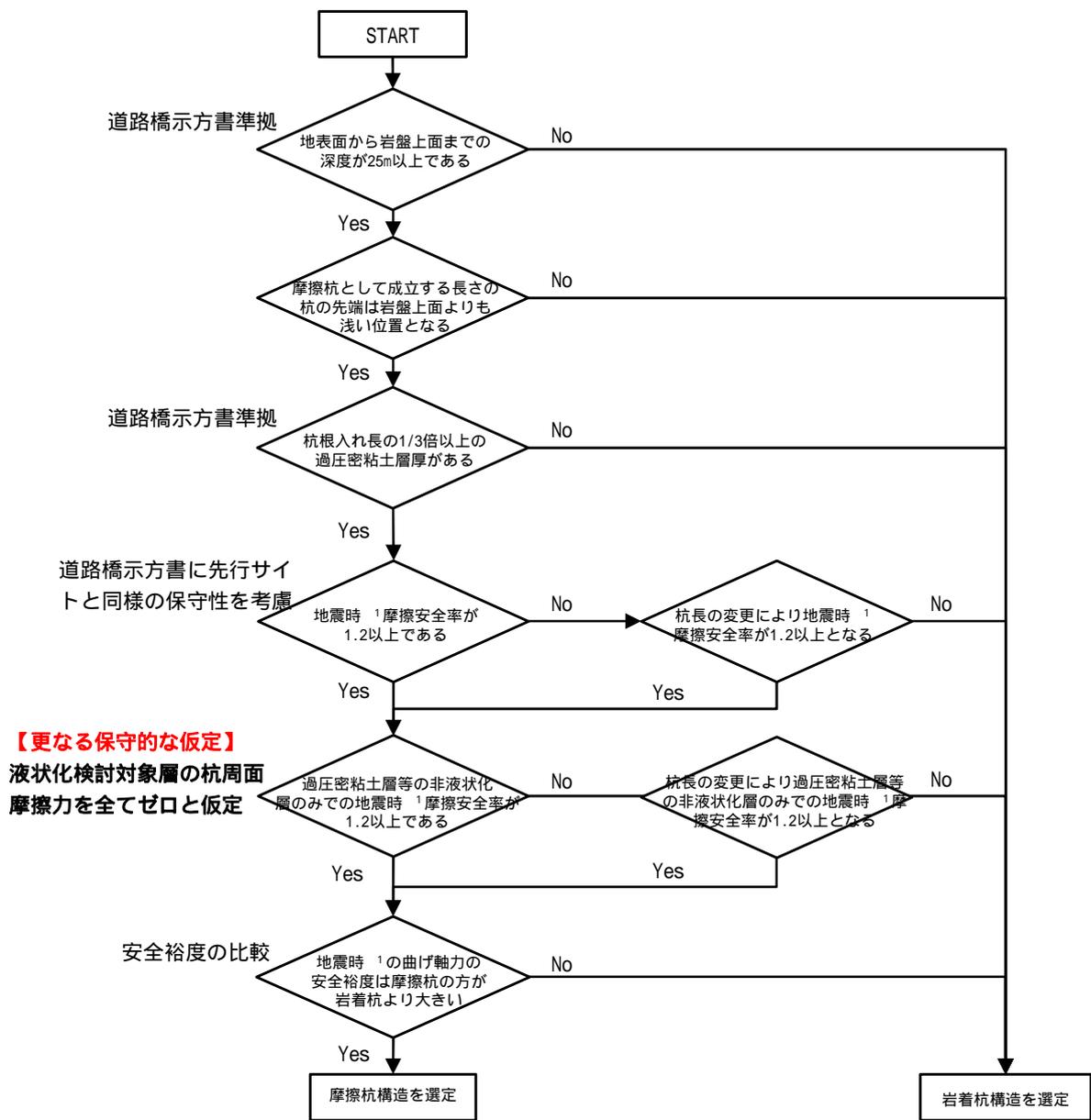
道路橋示方書には、支持力に対する安全率が、支持杭と摩擦杭の支持方式の違いによりそれぞれ設定されている。支持杭と同一の安全率を適用できる摩擦杭の条件を以下のように設定している。

著しい地盤沈下が現在進行中でないこと及び将来とも予想されないこと。

杭の根入れ長が杭径の25倍(杭径1m以上の杭については25m)程度以上あること。

粘性土地盤においては、杭の根入れ長の1/3以上が過圧密地盤に根入れされていること。

東海第二発電所の敷地には，岩盤上面深度が浅い上面深度区
間と深い区間があり，深い区間には，非液状化層であり，かつ
基礎杭の摩擦支持力を有する過圧密粘土層が存在する等の特長
があるため，摩擦杭を視野に入れた基礎構造の選定を行う。図
6 に杭構造形式の選定フローを示す。



1 基準地震動 Ss入力時

図 6 杭構造形式の選定フロー

4) 杭間隔の設定方針

杭の配列については，上部工の形状や寸法，杭の寸法や本数，群杭の影響，施工条件等を考慮し決定する。

道路橋示方書では，杭の最小中心間隔が杭径の 2.5 倍未満である場合において群杭効果を考慮し，杭の軸方向支持力，水平方向地盤反力係数等を単杭の場合より低減することが規定されている。図 7 に杭の中心間隔の考え方を示す。

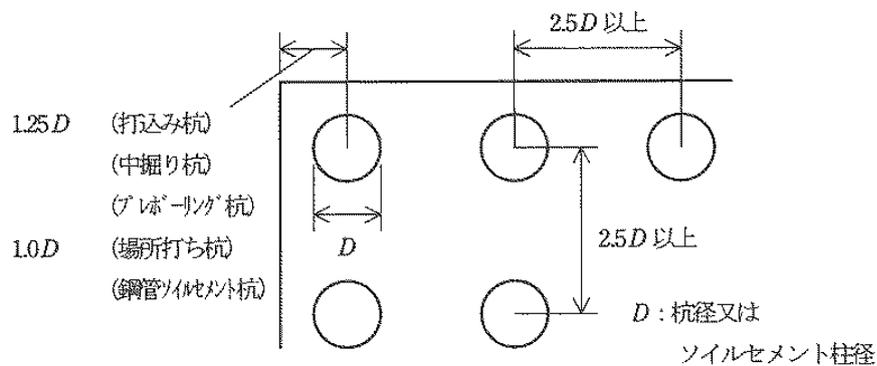


図 7 杭の最小中心間隔及びフーチング縁端距離

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の設計においては，繰返し襲来する津波の波圧や基準地震動 S_s 等による荷重及びこれらに耐え得る大口径，高強度の鋼管杭の仕様を考慮した上で，適切な杭配置を検討するが，杭の最小中心間隔が 2.5 倍未満となる場合は，群杭効果を見込んだ設計を行う。

5) 群杭効果の設定方針

摩擦杭における群杭の支持力は、杭中心間隔に応じた群杭の影響を考慮して、道路橋示方書の仮想ケーソン基礎の考え方を適用する。

杭中心間隔がある程度より密になると、杭と杭間の土塊が一体となって、あたかも 1 基のケーソン基礎としての挙動を示すようになり、杭 1 本当たりの支持力が低下するため、杭基礎を仮想ケーソン基礎と考慮して支持力の上限值を算定する。仮想ケーソン基礎のイメージを図 8 に示す。

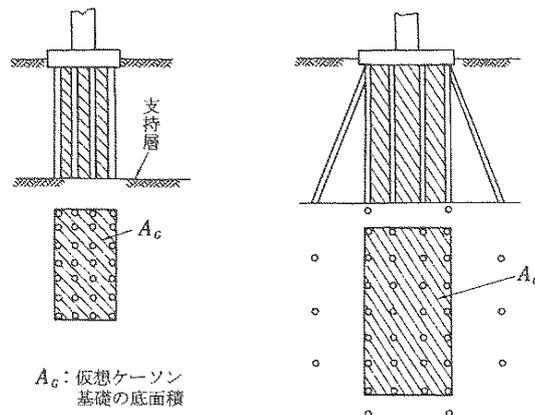


図 8 仮想ケーソン基礎のイメージ（道路橋示方書）

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁のように 1 列杭の場合においても、同様に図 9 の考え方を適用する。

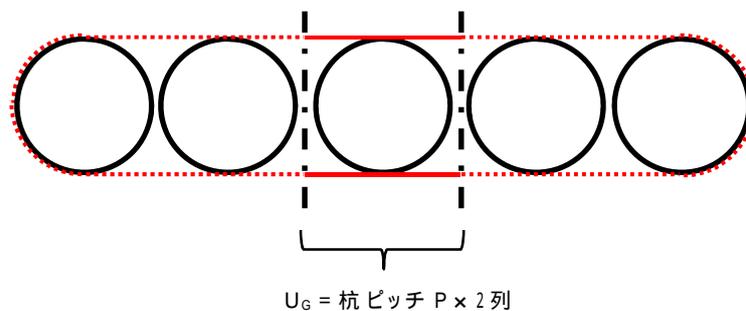


図 9 仮想ケーソン基礎の考え方による群杭の周長

・単杭の周長 $U = \pi \times D$

・群杭を考慮した場合の周長 $U_G = 2 \times P$

ここに、 P ：杭ピッチ(m)

群杭を考慮した場合の摩擦力は下式とする。

$$Q_f = U_G \sum L_i \alpha_i$$

Q_f ：群杭を考慮した場合の摩擦力(kN)

U_G ：斜線を施した部分の周長(m)

(1本の杭に対して図9の2本の赤実線とする)

L_i ：壁体底面から先端土層までの各層の厚層(m)

α_i ：各層の土のせん断抵抗力度(kN/m²)

6) 鋼管杭の設計方針

鋼管杭の設計フローを図10に示す。津波時及び余震との重畳時（津波＋余震）は静的フレーム解析，地震時は有効応力解析を実施し，杭体に発生する断面力を算定し，応力照査を実施する。

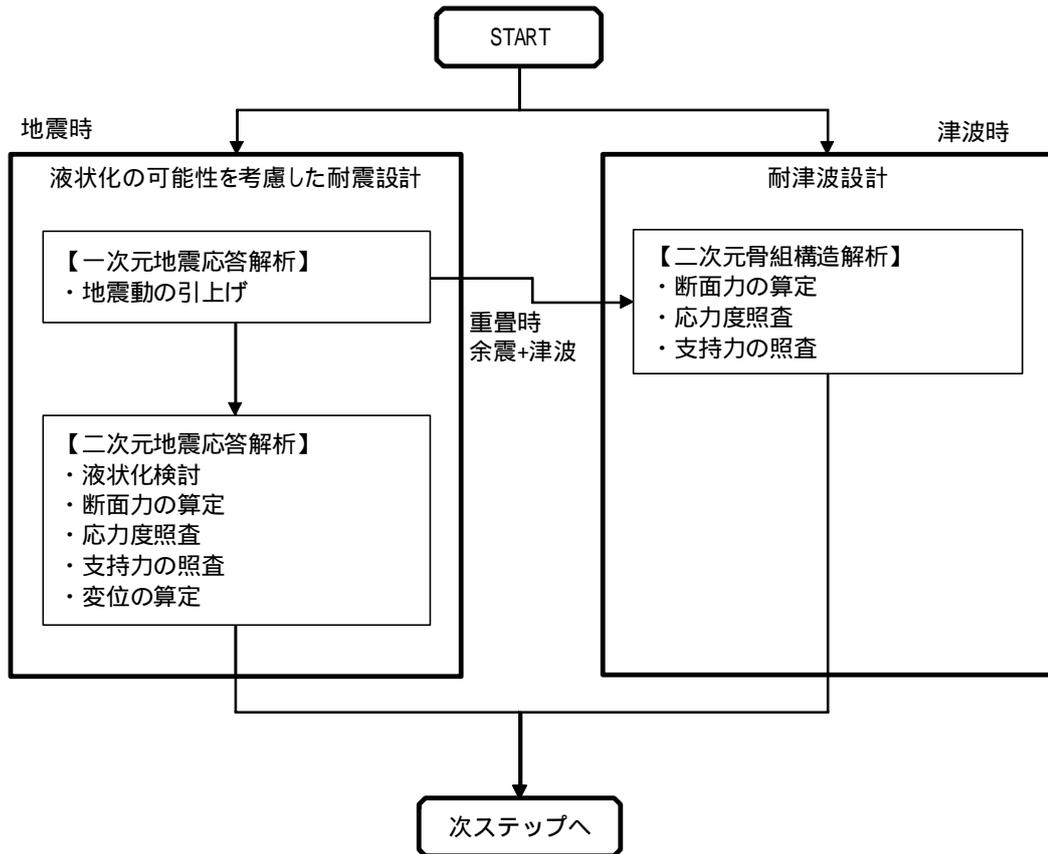


図10 鋼管杭の設計フロー

耐津波設計（静的フレーム解析）

鋼管杭を二次元梁要素とし，地盤バネを接続したモデルで静的フレーム解析を行う。死荷重及び積雪の長期荷重，津波による波力と漂流物衝突荷重，余震荷重等を外力として入力する。地盤バネは静的物性及びせん断強度により計算する。解析モデル概念図を図11に示す。

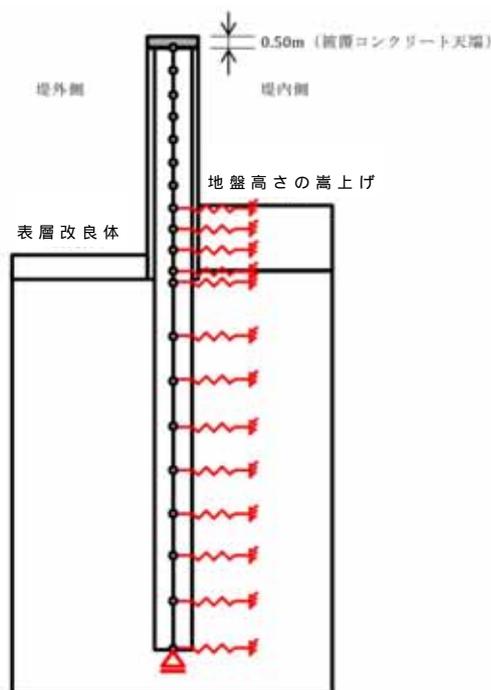


図 1 1 解析モデル概念図

耐震設計（有効応力解析）

二次元地震応答解析を行い、地震時の鋼管杭の構造健全性について検討する。検討は、有効応力の変化に伴う地盤の挙動の変化を考慮することができる有効応力解析を用いる。

a. 解析モデルの作成

地質断面図を参考に、解析モデルを作成する。鉛直方向は新第三系地盤である久米層（以下「Km層」という。）が比較的浅い位置に存在する南側断面では T.P. - 80m、Km層が深い位置に存在する北側断面については T.P. - 130m までモデル化する。水平方向は杭位置を中心に左右 100m までモデル化する。杭は梁要素でモデル化し線形要素とする。地盤はマルチスプリング要素でモデル化した非線形要素と水位以深は間隙水圧要素を配置する。

b. 地震応答解析

有効応力解析により，杭及び地盤の応答値を算定する。入力地震動は，一次元波動論により，東海第二発電所の解放基盤表面深度である T.P. - 370m から T.P. - 80m あるいは T.P. - 130m までをモデル化した剥ぎ取り地盤モデルを用いて，T.P. - 80m あるいは T.P. - 130m 位置で評価した地震動（2E）を用いる。

c. 照査

地震応答解析により算定された杭体の断面力を用いて，曲げモーメント・軸力に対する照査，せん断に対する照査を行い，許容限界以下であることを確認する。

(a) 曲げモーメント・軸力に対する照査

曲げモーメント・軸力は，以下の式で算出する。

$$= \frac{M}{Z} + \frac{N}{A}$$

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) せん断に対する照査

せん断力は，以下の式で算出する。

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

S : せん断力 (N)

A : 有効断面積 (mm²)

7) 上部工（鉄筋コンクリート壁）の設計方針

鉄筋コンクリート壁に要求される性能は、杭間の止水性を確保するものである。そのため、繰返し襲来する津波荷重が作用した場合の杭間に生じる荷重に対して弾性状態に留まる必要がある。

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の上部工は、下部工の鋼管杭から上部工に連続する鋼管を被覆した被覆型の鋼管コンクリート構造の部材（以下「鋼管杭鉄筋コンクリート（SRC造）」という。）及びその構造の堤外側に設置した鉄筋コンクリート梁の主筋を密に配置しせん断耐力筋で補強した壁部材（以下「鉄筋コンクリート梁壁」という。）から構成される。鋼管杭鉄筋コンクリート（SRC造）と鉄筋コンクリート梁壁は、鉄筋を全部材の外周にも配置することで一体として束ねられ、鋼管杭鉄筋コンクリート（SRC造）5本毎を1ブロックとして構成する。

津波や漂流物に対しては、堤外側の鉄筋コンクリート梁壁に津波や漂流物の荷重が伝わり、鉄筋コンクリート梁構造として鋼管杭鉄筋コンクリート（SRC造）を支点とした連続梁として抵抗する。その支点反力が鋼管杭鉄筋コンクリート（SRC造）の鋼管に伝わり、下部工の鋼管杭へ荷重伝達される。また、堤外側の鉄筋コンクリート梁壁により、1ブロック内の止水性を確保するとともに、ブロック間は別途に止水ジョイントを設けて止水する。

地震時に対しては、下部工の鋼管杭の応答変位により各杭間に生じる相対変位から発生する荷重に対して、鋼管杭鉄筋コン

クリート（SRC造）間を結んでいる鉄筋コンクリート梁壁により抵抗する。鉄筋コンクリート梁壁には，せん断耐力筋が密に配置されており，梁壁のせん断抵抗力により構造物全体の健全性を確保することができる。

なお，鋼管杭と鉄筋コンクリート構造との合成構造については，建築では多くの実績がある。また，土木においては，橋梁の高橋脚の曲げ及びせん断耐力改善のため，鋼管RC合成構造を適用し，多くの高速道路等の高架橋で採用されている実績を持つ。

上部工の構造図を図12に，設計フローを図13に示す。

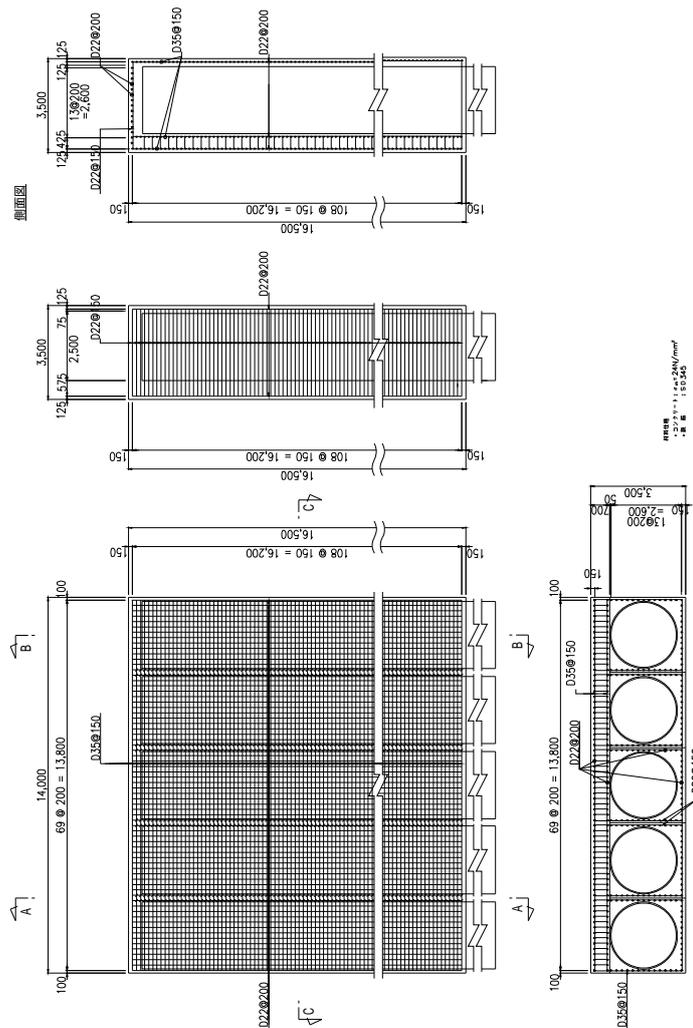


図 1 2 上部工の構造図

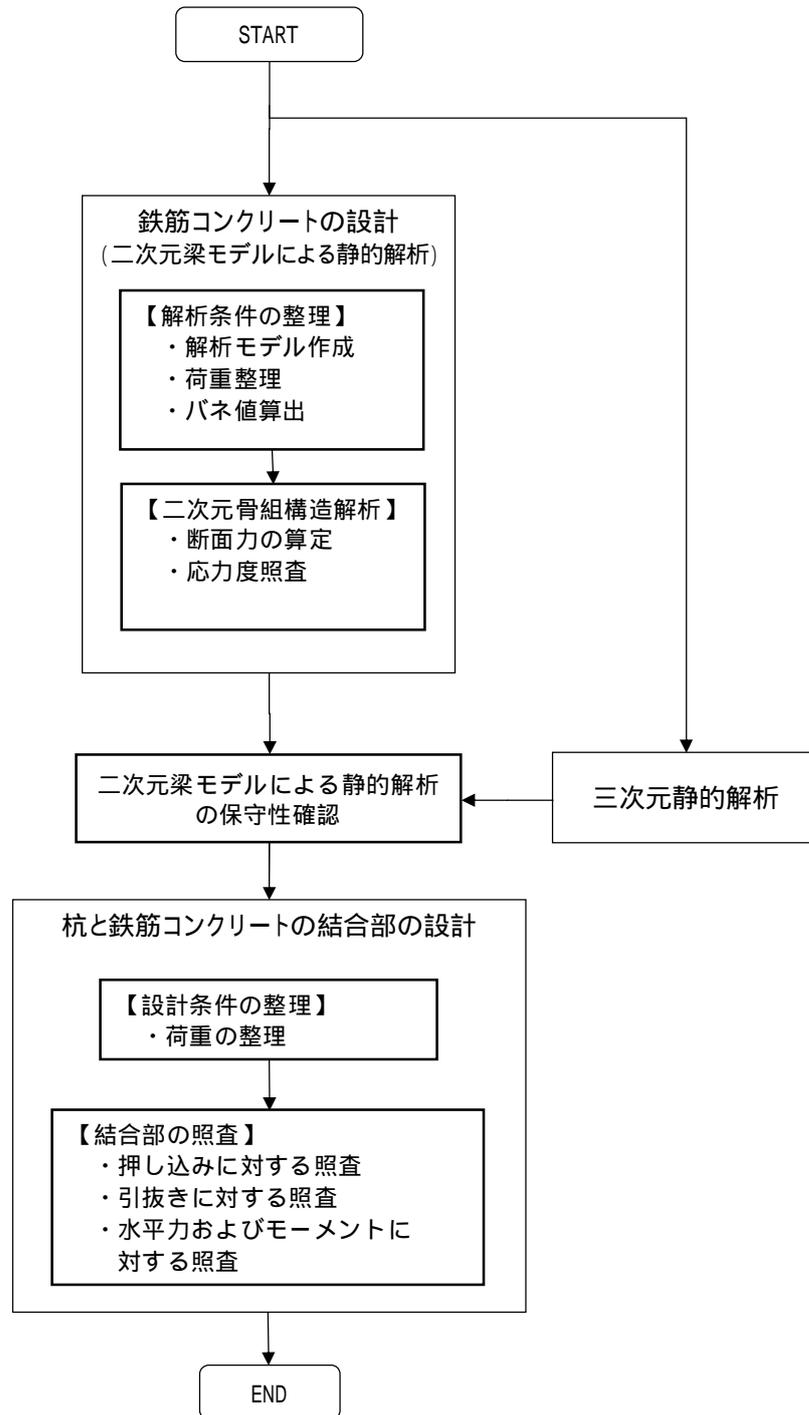


図 1 3 上部工の設計フロー

地震時・津波時の設計方針

鉄筋コンクリート梁壁のみを弾性支承上の梁でモデル化し（一本の連続梁としたモデル）、配置する鉄筋の仕様を検討する。鋼管杭のバネは道路橋示方書に基づき鉛直、水平バネの諸元を設定する。二次元梁モデル側面図を図14に、解析モデル概念図を図15に、二次元梁モデル概念図を図16に示す。

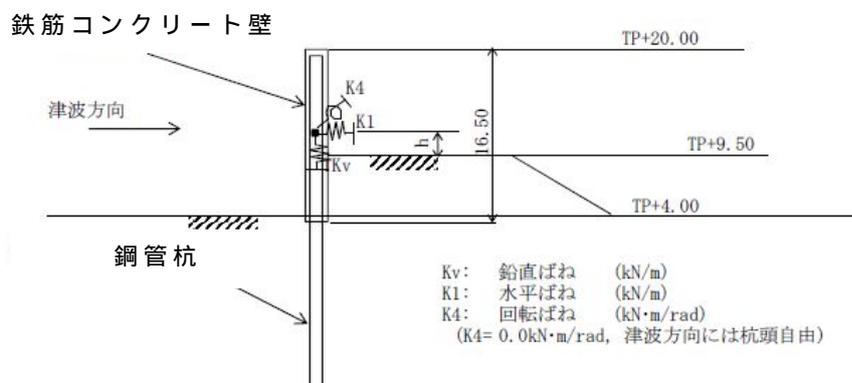


図14 二次元梁モデル側面図

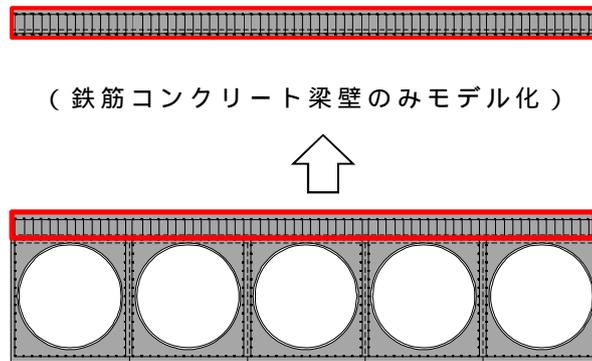


図15 解析モデル概念図

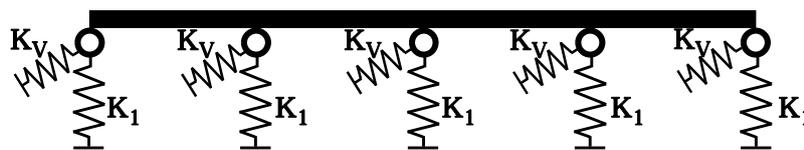


図16 二次元梁モデル概念図

津波荷重については，1ブロックあたりに作用する津波荷重を全て梁モデル分布荷重として載荷する（高さ方向の分布は考慮せず，全津波波圧を梁に分布荷重として載荷する）。

鉛直バネ定数 K_v は，以下の式により算出する。

$$K_v = a \frac{A_p E_p}{L}$$

ここで， A_p ：杭の純断面積（ mm^2 ）

E_p ：鋼管のヤング係数（ kN / mm^2 ）

L ：杭長（ m ）

a ：施工法別に杭の根入れ比（ L/D ）から決まる係数

杭の水平バネ（軸直角方向バネ）定数 K_1 （ kN / m ）は，以下の式により算出する。

$$K_1 = \frac{3EI\beta^3}{(1 + \beta h)^3 + 0.5} \quad , \quad \beta = \sqrt[4]{\frac{k_H D}{4EI}}$$

EI ：杭の曲げ剛性（ $\text{kN} \cdot \text{m}^2$ ）

h ：設計上の地盤面から上の杭の軸方向長さ（ m ）

β ：杭の特性値（ m^{-1} ）

k_H ：水平方向地盤反力係数（ kN / m^3 ）

D ：杭径（ m ）

水平バネに用いる水平方向地盤反力係数 K_{HE} については，以下の式により算出する。

$$k_{HE} = \eta_k \cdot \alpha_k \cdot k_H$$

η_k : 群杭効果を考慮した水平方向地盤反力係数の補正係数 (=2 / 3)

α_k : 単杭における水平方向地盤反力係数の補正係数 (=1.5)

k_H : 地震時の水平方向地盤反力係数 (kN / m³)

地盤バネについては，安全側の設計とするため，地盤のばらつきを考慮し，両端それぞれに +1 ， -1 に対応するバネを設置して，中央部分は平均値とする。

水平方向のバネは，杭の特性値 が考慮されるため，地盤の剛性が考慮されることになり， を算出する際に地盤反力係数が用いられるが，これに地盤の変形係数 E_0 が考慮されているため，この部分にはばらつきを与える。すなわち，地盤物性値として与えられている初期せん断剛性 G_0 の +1 ， -1 物性値を用いて +1 ， -1 時の変形係数を算出し，地盤反力係数へ反映する。

地盤の変形係数 E_0 は，以下の式により算出する。

$$E_0 = 2(1 + \nu_d)G_0$$

E_0 : 変形係数 (kN / m²)

ν_d : 動ポアソン比

G_0 : 地盤の剛性 (kN / m²)

地震時の設計方針

地震時は，一次元波動理論に基づく地震応答解析より算定した地表面応答変位を強制変位としてバネ位置に面外へ載荷する。

鉄筋コンクリート壁の慣性力については，水平方向及び鉛直方向の両方向に分布荷重として載荷する。地震時に考慮す

る荷重及び変位の概念図を図 1 7 に示す。

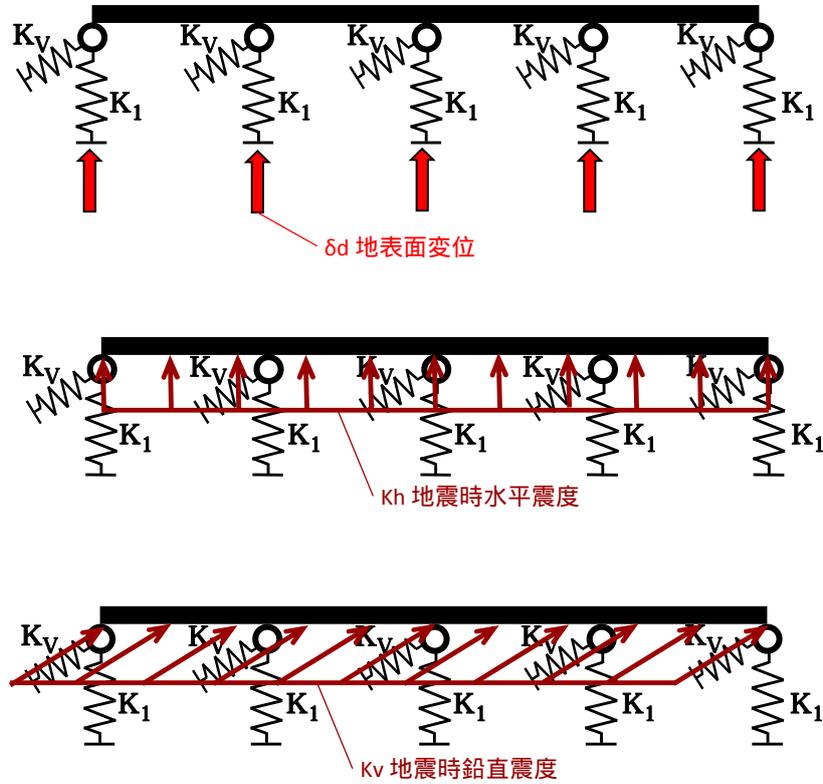


図 1 7 地震時に考慮する荷重及び変位の概念図

二次元梁モデルによる静的解析の妥当性確認

二次元梁モデルによる静的解析の妥当性を確認するために、三次元モデルを用いて津波時の三次元静的解析を行い、断面力比較を実施する。

三次元ソリッドによるモデル化の概念図を図 1 8 に、三次元シェルによるモデル化の概念図を図 1 9 に示す。

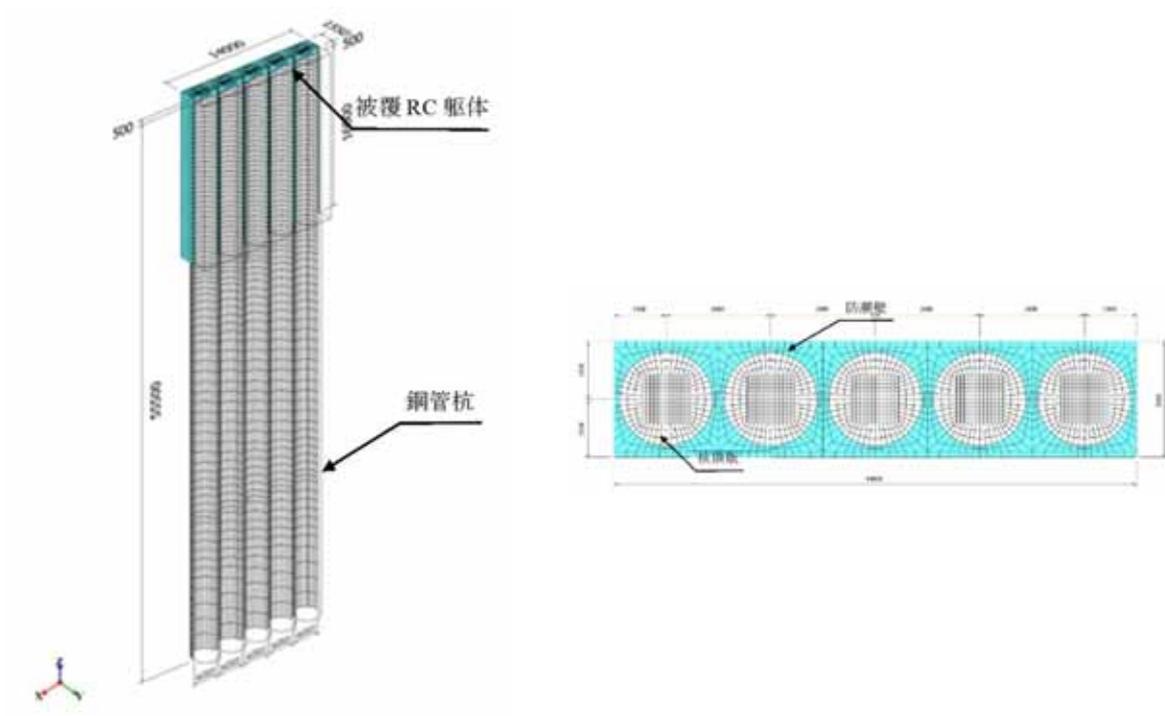


図 1 8 三次元ソリッドによるモデル化の概念図

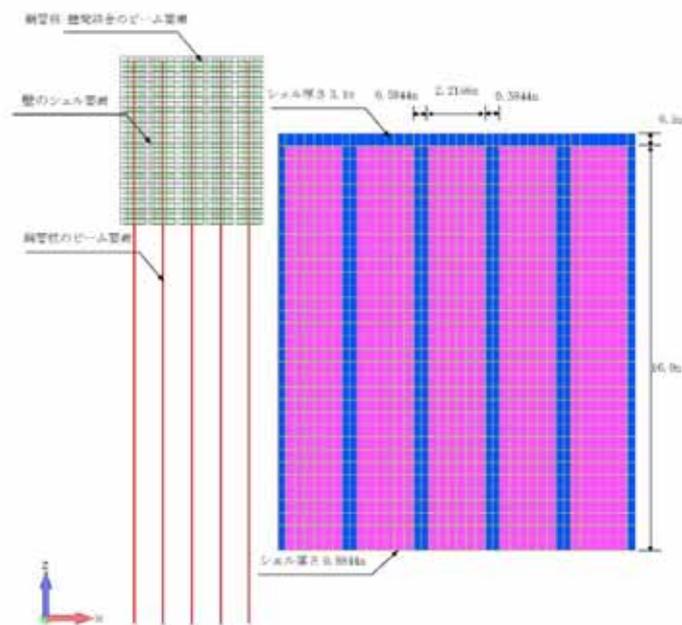


図 1 9 三次元シェルによるモデル化の概念図

鋼管杭と鉄筋コンクリートとの接合部

鋼管杭と鉄筋コンクリートの接合部は，鉄筋コンクリートが鋼管杭に生じる曲げモーメント及び杭軸力に追随し，杭軸方向に互いにズレない設計とする。

なお，鋼管杭と鉄筋コンクリート間のズレ(せん断応力)はコンクリートの付着力で鋼管に伝わるものとして評価し，杭周りのせん断応力度が付着強度以下であることを確認する。杭周りのせん断応力算出図を図 2 0 に示す。

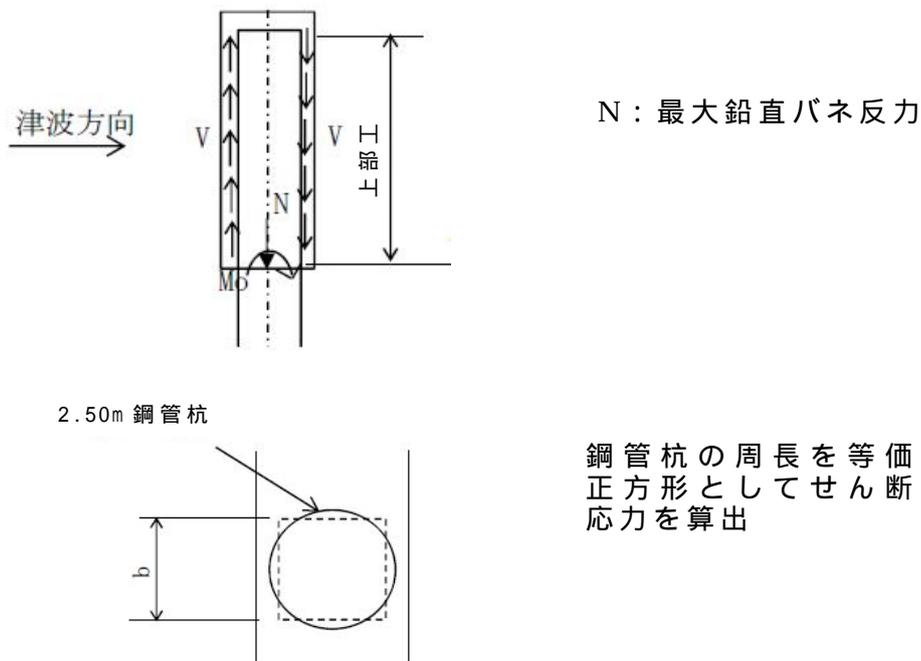


図 2 0 杭周りのせん断応力算出図

なお，更に保守的な検討として，鋼管杭と鉄筋コンクリートの接合部の付着力がゼロの場合を想定し，杭頭部の照査を行う。

鋼管杭と鉄筋コンクリートとの結合部については，道路橋示方書で示される結合方法 A による設計（杭頭を鉄筋コンク

リート壁躯体へ埋込み，埋込んだ部分によって杭頭拘束曲げモーメントに抵抗する方法）を参照し，杭頭部に作用する押し込み力，引抜き力，水平力及びモーメントのすべての外力に対して安全であることを照査する。すなわち，鉄筋コンクリート壁を構成するコンクリートの垂直支圧応力度，押抜きせん断応力度，引抜きせん断応力度を照査し，更に端部の鋼管杭については，水平押抜きせん断応力度及び支圧応力度を照査する。杭頭部に作用する荷重分布図を図 2 1 に示す。

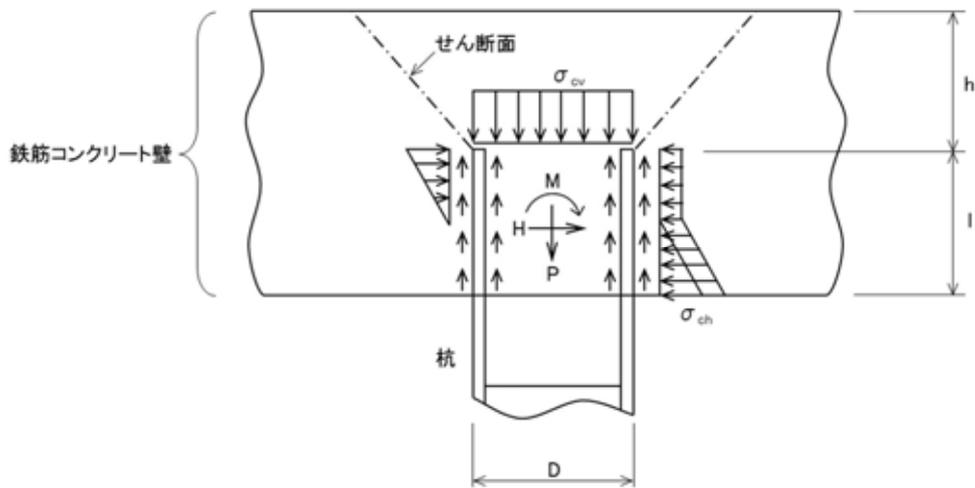


図 2 1 杭頭部に作用する荷重分布図

8) 止水ジョイントの設計方針

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の上部工は、鉄筋コンクリートからなるが、ひび割れ防止等の観点で一定間隔の施工ブロックを設定しその境界に伸縮性を有する止水ジョイントを設置する。また、鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁と地中連続壁タイプの鉄筋コンクリート防潮壁等、異種構造物間の境界にも止水ジョイントを設置する。止水ジョイント部の概念図を図22に示す。

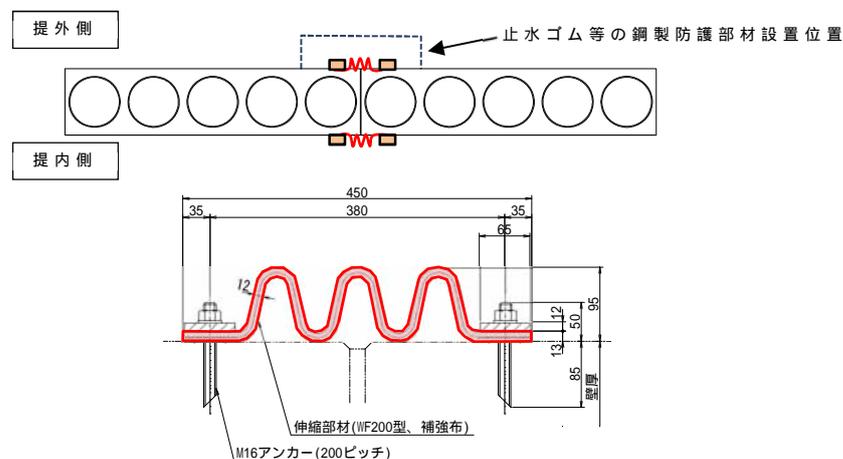


図22 止水ジョイント部の概念図

止水ジョイント部の構造健全性評価については、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析及び津波荷重を用いた静的フレーム解析に基づく止水ゴム等の変形量及び鋼製アンカーに発生する応力が短期許容応力度以下であることを確認する。

なお、止水ゴム等の許容変形量については、必要に応じて試験を実施し確認する。

また、漂流物衝突荷重による鋼製防護部材に発生する曲げ及びせん断応力等が短期許容応力度以下であることを確認する。止

水ジョイント部の設計フローを図 2 3 に示す。

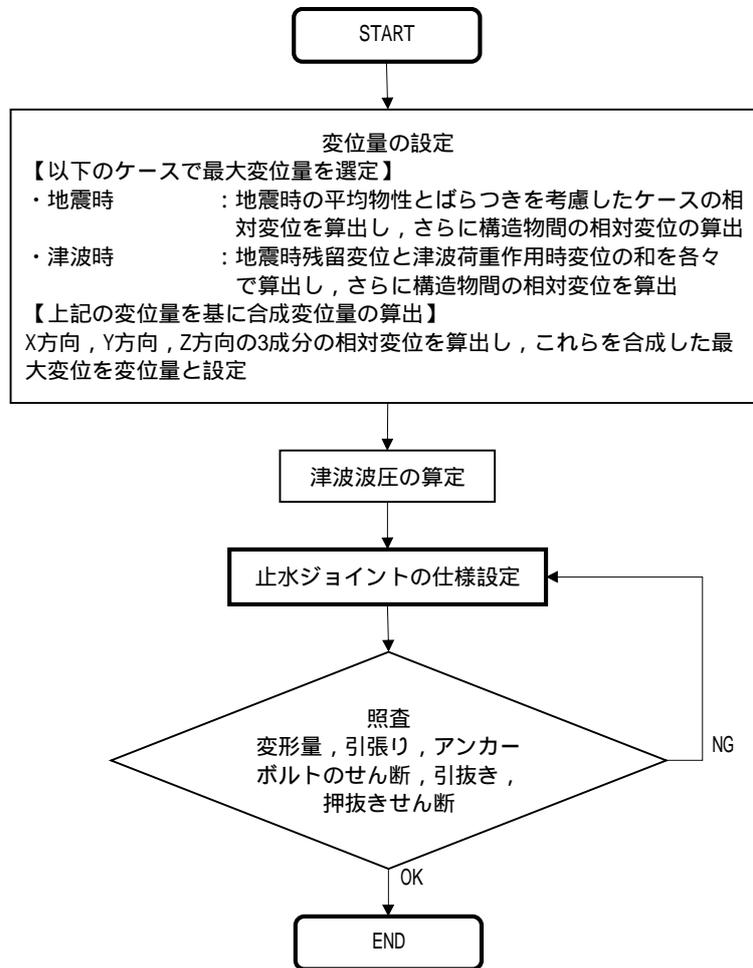


図 2 3 止水ジョイント部の設計フロー

9) 地盤高さの嵩上げの設計方針

地盤高さの嵩上げは、津波荷重に対する上部工の変位の抑制を目的とした地盤である。したがって、地盤高さの嵩上げ部底面が滑動しないこと、地盤高さの嵩上げ幅が受働崩壊角の影響範囲よりも広いこと及び受働すべりが発生しないことを確認する。地盤高さの嵩上げの検討フローを図24に示す。

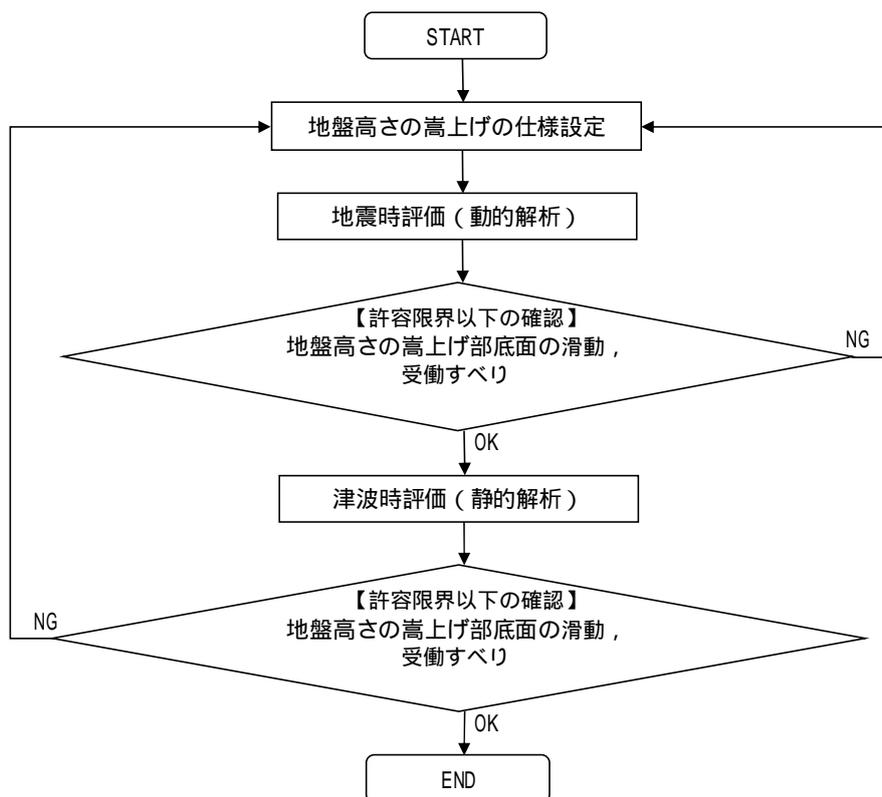


図24 地盤高さの嵩上げの検討フロー

地盤高さの嵩上げ部の滑動・すべりの照査は、地震時と津波時に対して行うこととし、道路橋示方書・同解説（共通編・下部構造編）の直接基礎における基礎底面地盤のせん断抵抗力の照査方法を適用する。嵩上げ幅の確認については、建築基礎構造指針を適用する。また、すべり安全率については、耐津波設計に係る工認審査ガイドを適用する。

10) 表層改良体の設計方針（洗掘防止等対策）

繰り返し襲来する津波に対する防潮堤前面の洗掘防止やボーリング防止のため、表層地盤及び鋼管杭の杭間を地盤改良により対策する。更に、上部工の鉄筋コンクリート壁は、改良体表面から1m程度以上地盤に根入れする。洗掘防止対策図を図25に示す。

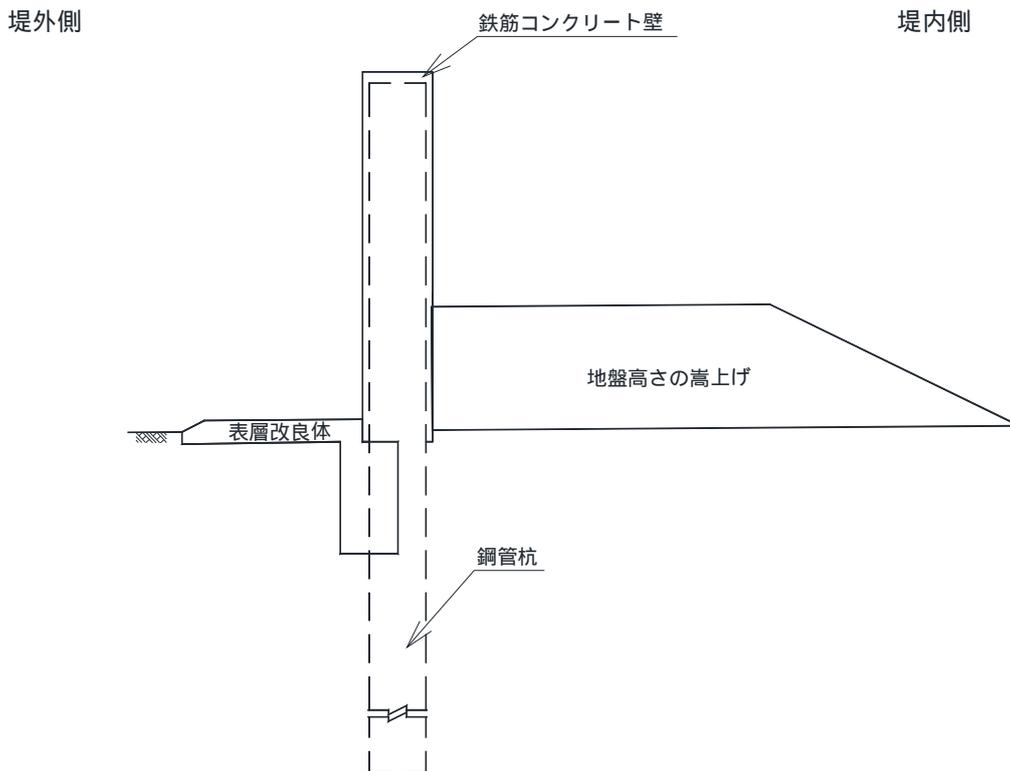


図 2 5 洗掘防止対策図

表層改良体は、地震時においてせん断破壊が生じない設計とするため、地震時における表層改良体に発生するせん断応力が安全裕度を考慮した許容せん断応力以下であることを確認する。

また、津波時における洗掘に対しても、津波波力に対して十分な抵抗性があることを確認する。表層改良体の検討フローを

図 2 6 に示す。

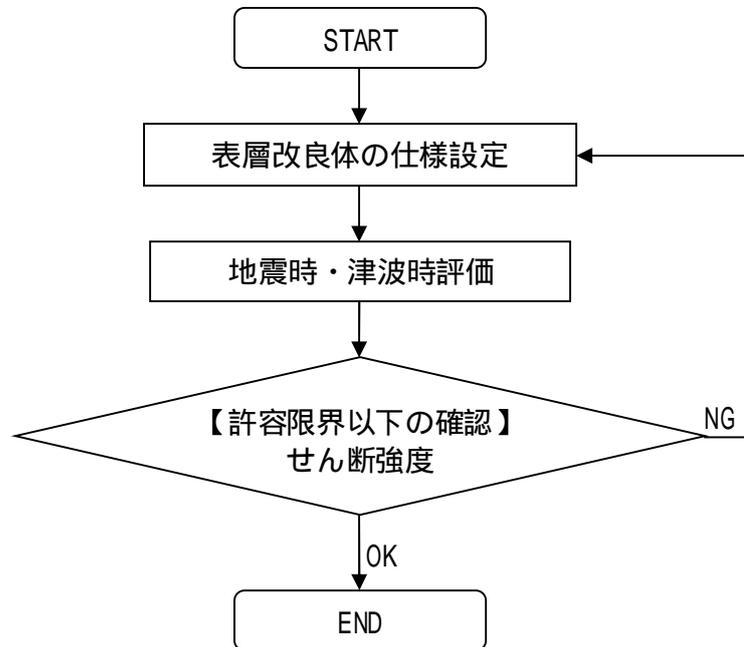


図 2 6 表層改良体の検討フロー

なお、敷地南西部においては、防潮堤が丘陵地に接合することから、洗掘防止対策として、接合部地山に対して地盤改良等の対策を行う。

2. 施工実績（本設杭構造）

杭の最小中心間隔が 2.5D 未満であり，かつ一列配置とした本設構造物の実績について調査した結果を表 4 に，施工事例写真を図 27 に示す。

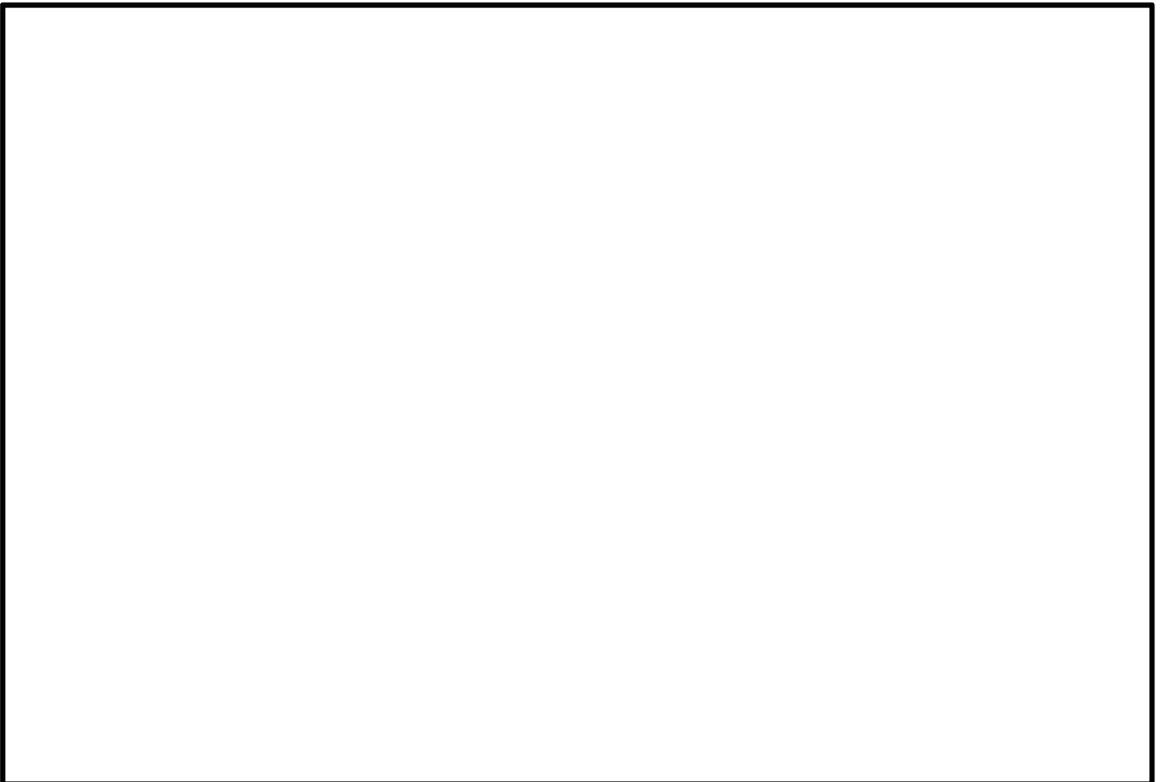
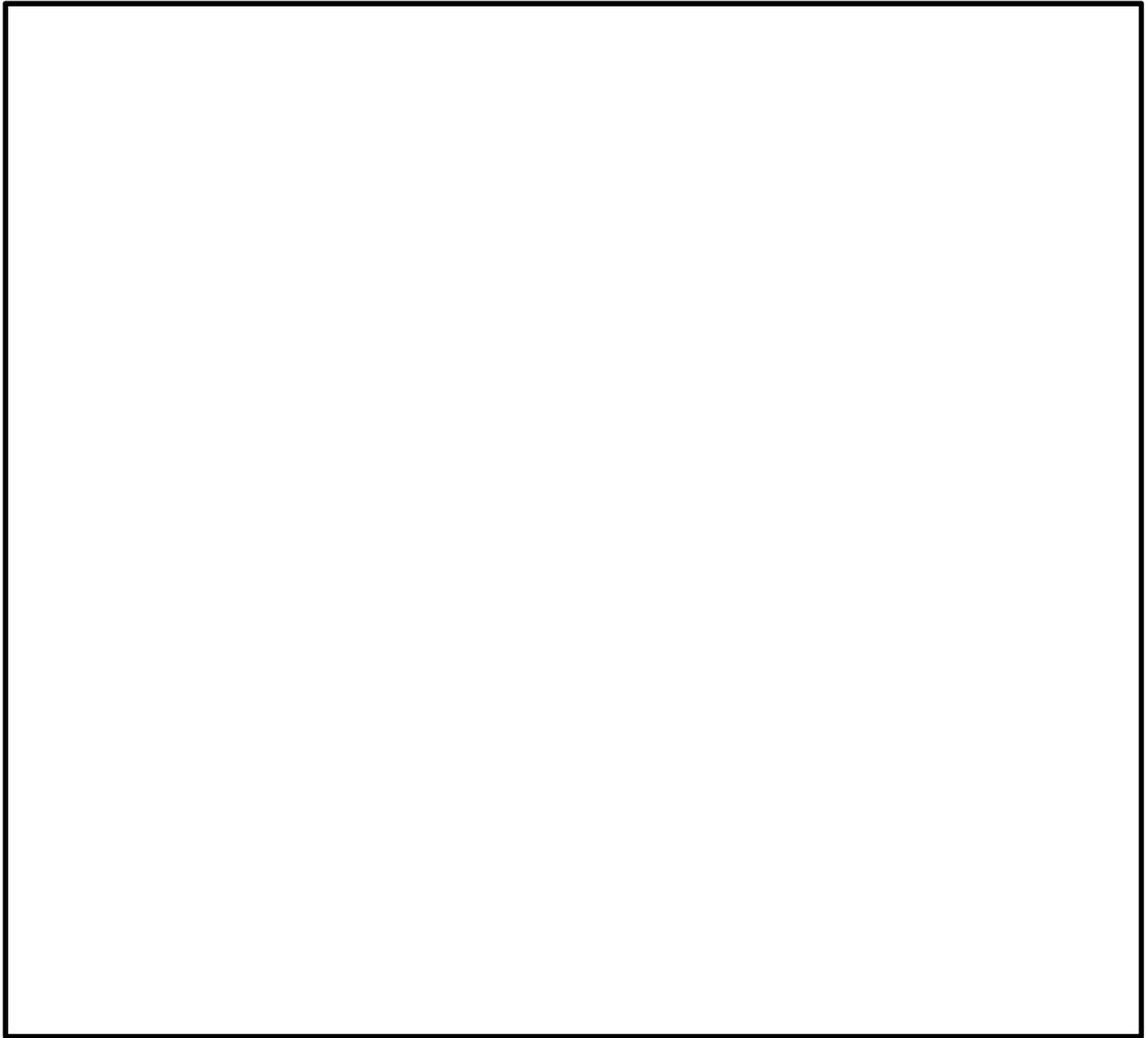
表 4 一列杭の本設構造物の実績

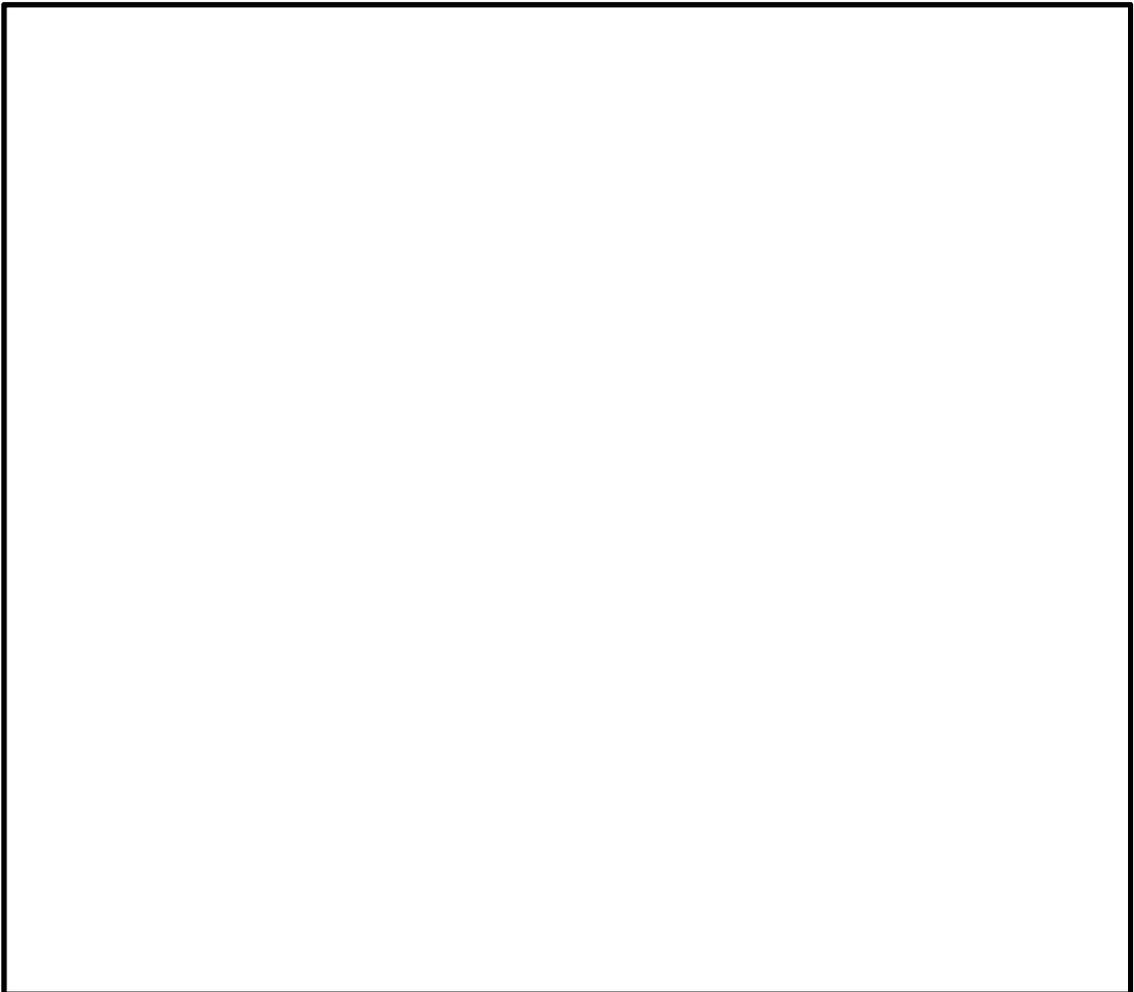
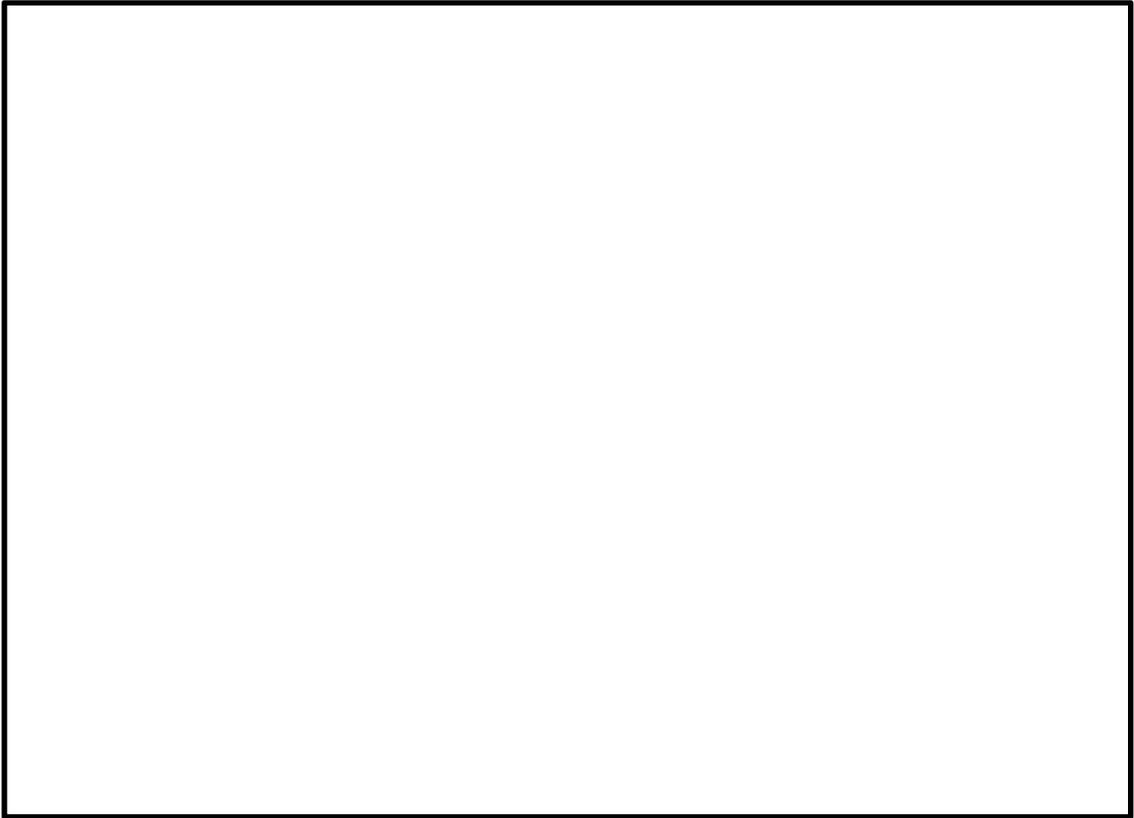
工事区分	件数			
	国土交通 省等	都道府県	民間 (高速道路, 鉄 道, ガス等)	計
河川護岸	10 件	115 件	1 件	126 件
海岸岸壁	39 件	47 件	1 件	87 件
道路（高速道路, 橋梁, トンネル等）	13 件	55 件	26 件	94 件
造成 (擁壁, 法面, 改良等)	2 件	8 件	3 件	13 件
その他	2 件	5 件	7 件	14 件

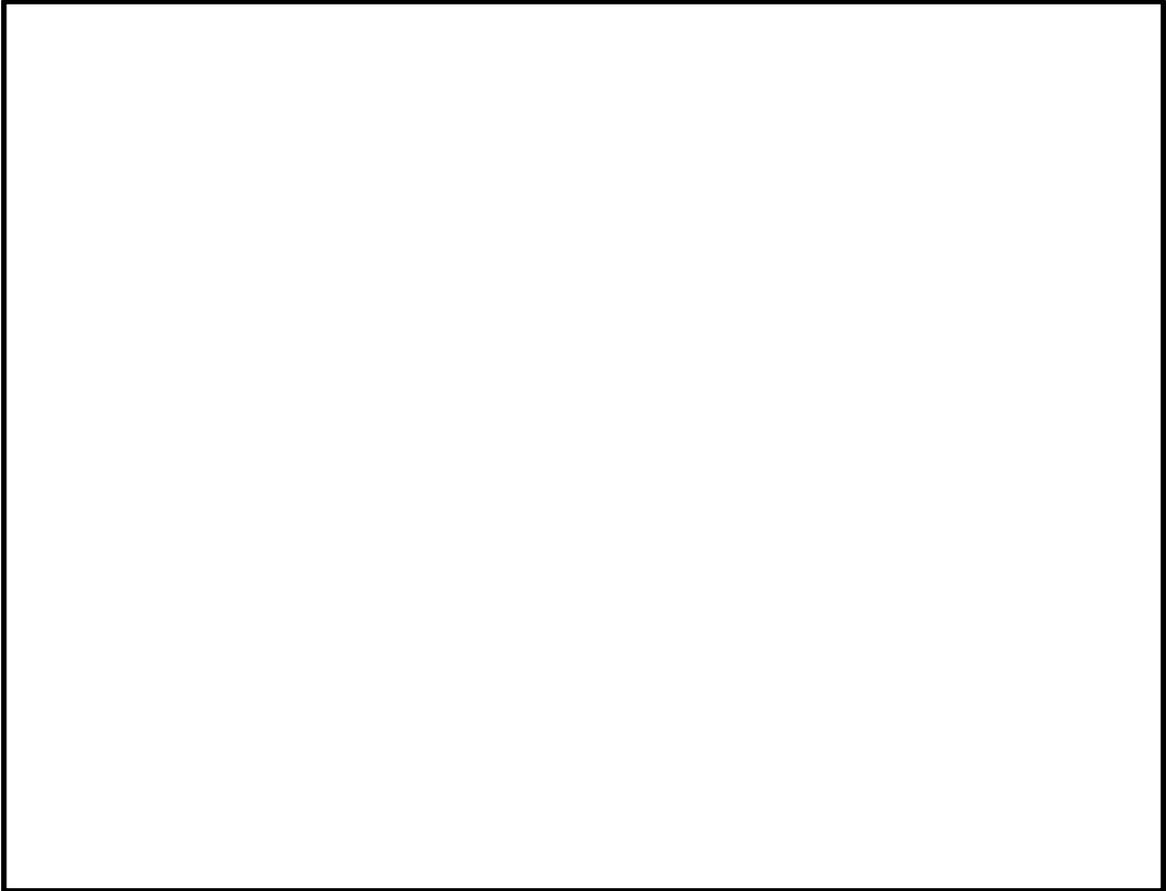
(2017 年 6 月 日本原子力発電(株)調査)

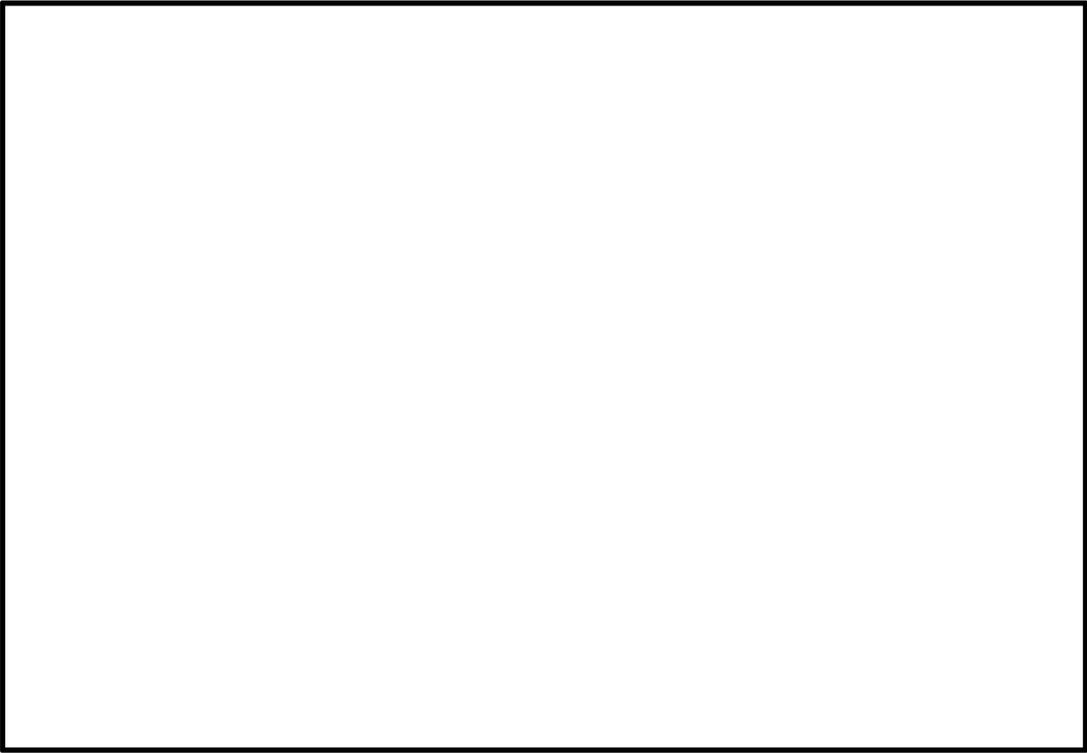


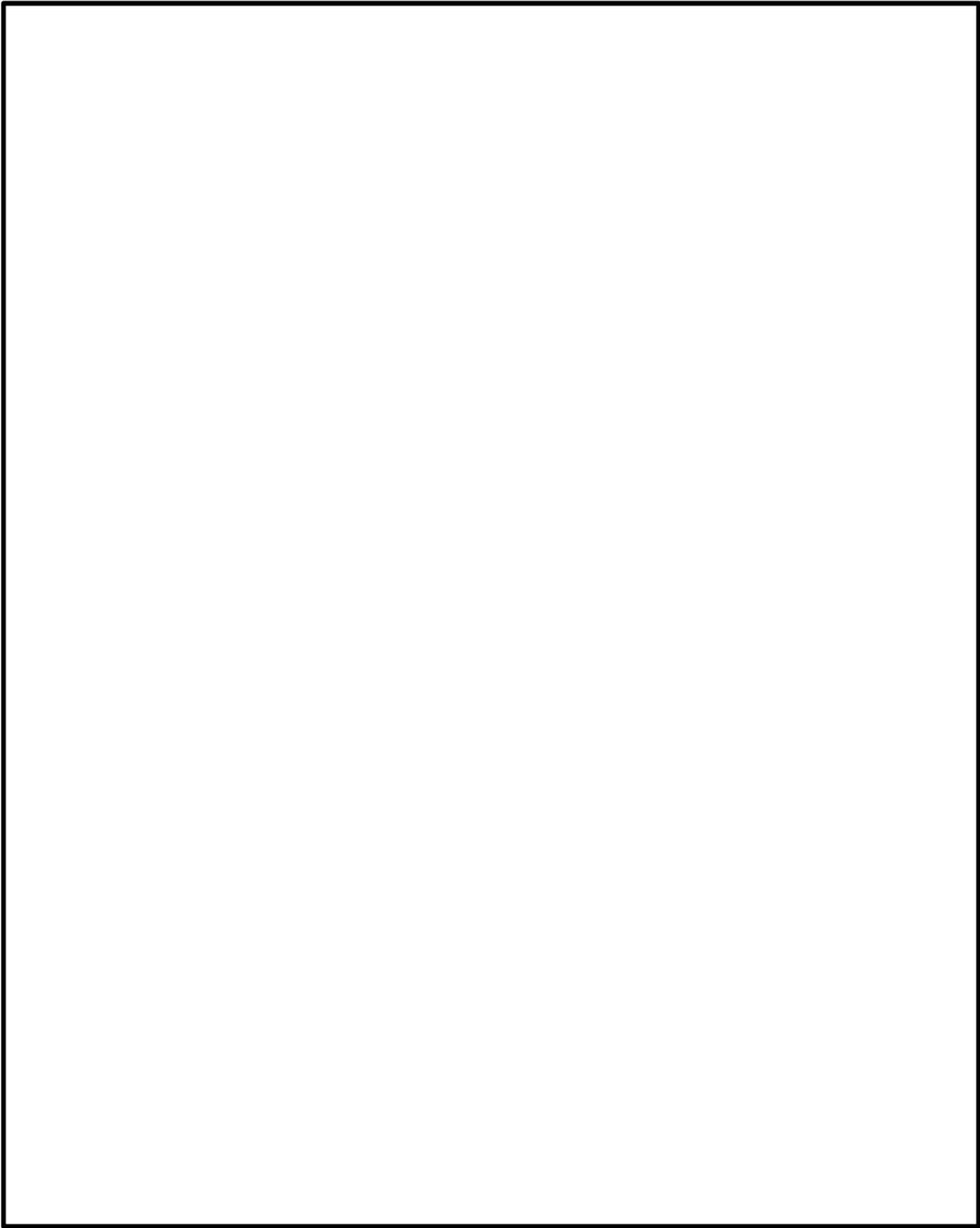


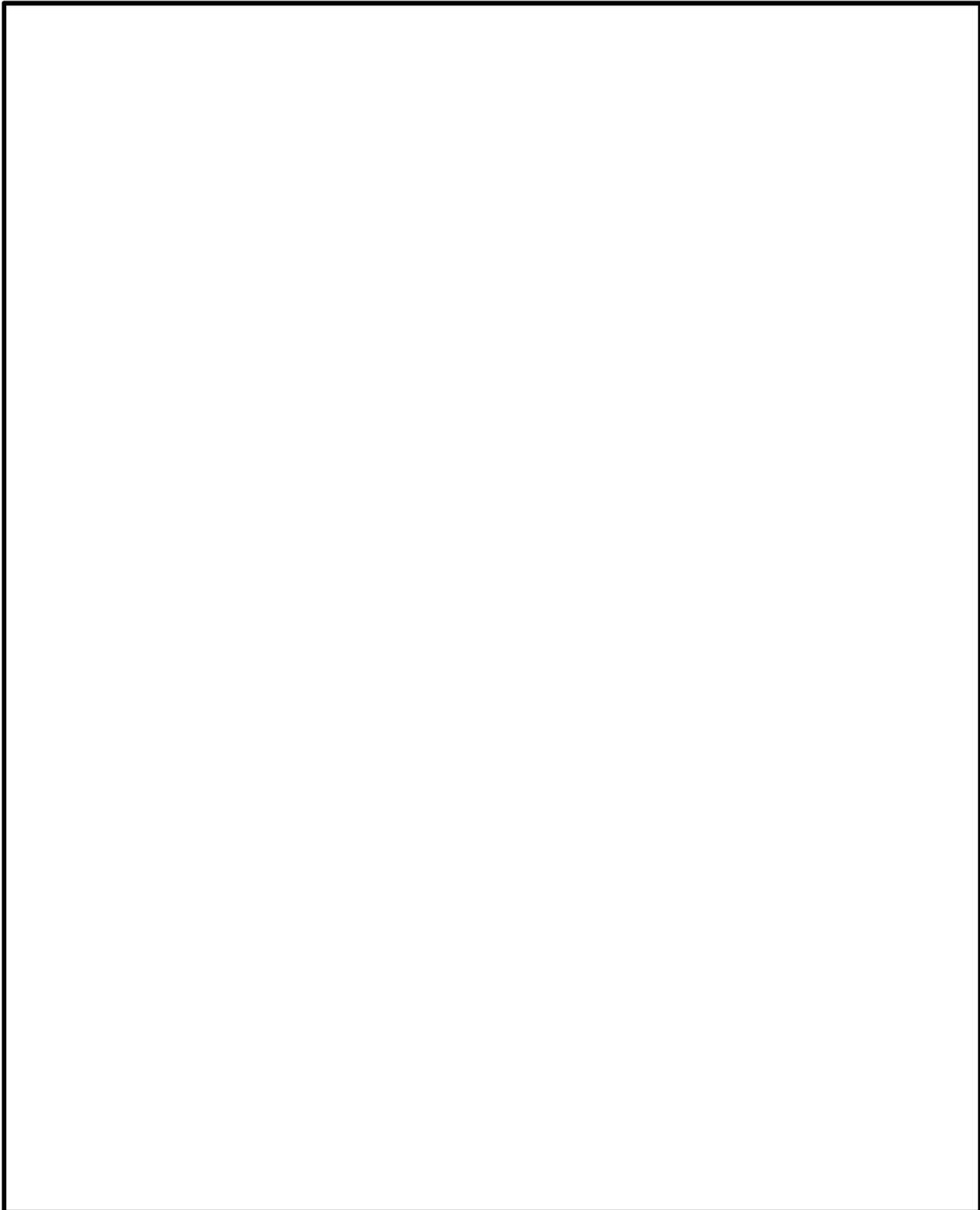












なお，これら施工実績の中で，設計情報が確認できたものについては，土圧算定や地盤反力係数の算定，液状化の判定など随所にわたって道路橋示方書が引用されていることを確認した。

3 . 道路橋示方書の適用性について

(1) 適用性検討の評価方針

東海第二発電所における杭基礎の設計では、主に道路橋示方書を適用することから、道路橋示方書において耐震性能の照査に用いられているレベル2地震動と東海第二発電所の基準地震動 S_s の加速度応答スペクトルのレベルを比較した。

1) 検討位置

検討位置は，二次元有効応力解析等で防潮堤の強度計算を実施する断面の位置であり，摩擦杭を適用する岩盤の深い地点を選定した。検討地点の位置図を図 2 8 に，検討地点の地質断面図を図 2 9 に示す。

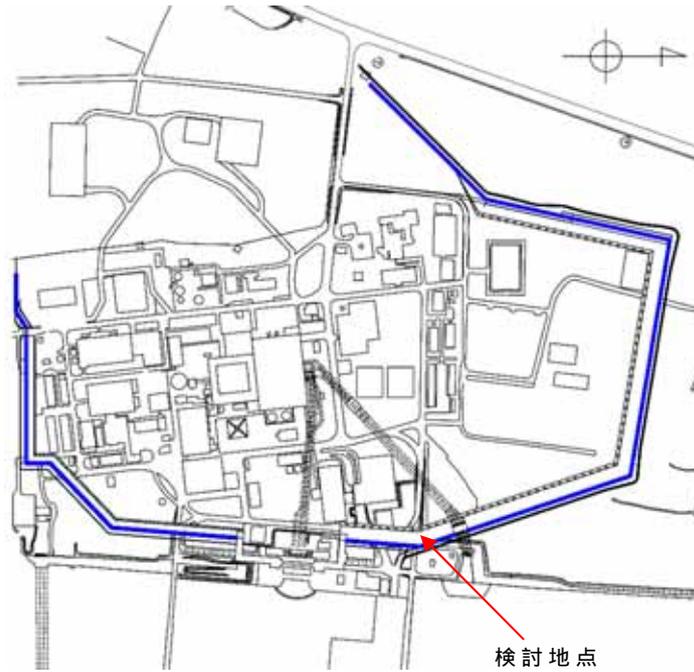


図 2 8 検討地点の位置図

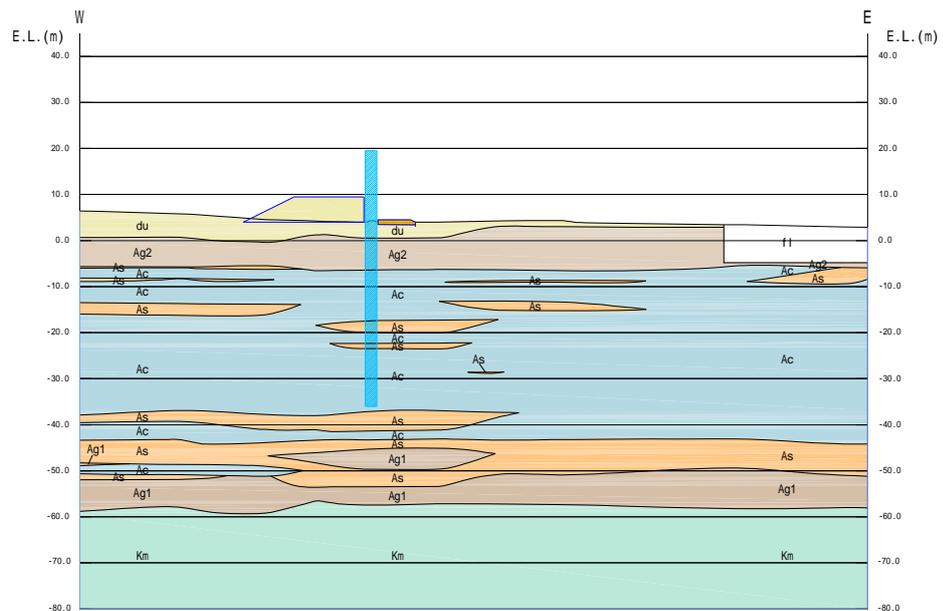


図 2 9 検討地点の地質断面図

2) 東海第二発電所の地盤の基本固有周期

検討地点における地盤の基本固有周期を算出して、道路橋示方書における地盤種別の判定を行う。地盤の基本固有周期は以下の式による。

$$T_G = 4 \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{si}}$$

T_G : 地盤の基本固有周期 (s)

H_i : i 番目の地盤の厚さ (m)

V_{si} : i 番目の地層の平均せん断弾性波速度 (m/s)

i : 当該地盤が地表面から耐震設計上の基盤面まで n 層に区分される地表面から i 番目の地層の番号

耐震設計上の基盤面は K m 層とし、それ以浅の地層を対象に地盤の固有周期を算出した。

道路橋示方書における耐震設計上の地盤種別は、表 5 に基づき行い、種地盤 (固有周期 1.08 秒) となった。

表 5 道路橋示方書における耐震設計上の地盤種別

地盤種別	地盤の基本固有周期 T_G (s)
種	$T_G < 0.2$
種	$0.2 \leq T_G < 0.6$
種	$T_G \geq 0.6$

3) 道路橋示方書の加速度応答スペクトル

道路橋示方書では、地盤種別ごとに耐震設計に用いる加速度応答スペクトルを与えている。また、地震動の種別もプレート境界型地震動を対象にした Type と内陸直下型地震動を想定した Type で判別している。道路橋示方書で示されている地震動の標準加速度応答スペクトルを図 30 に示す。

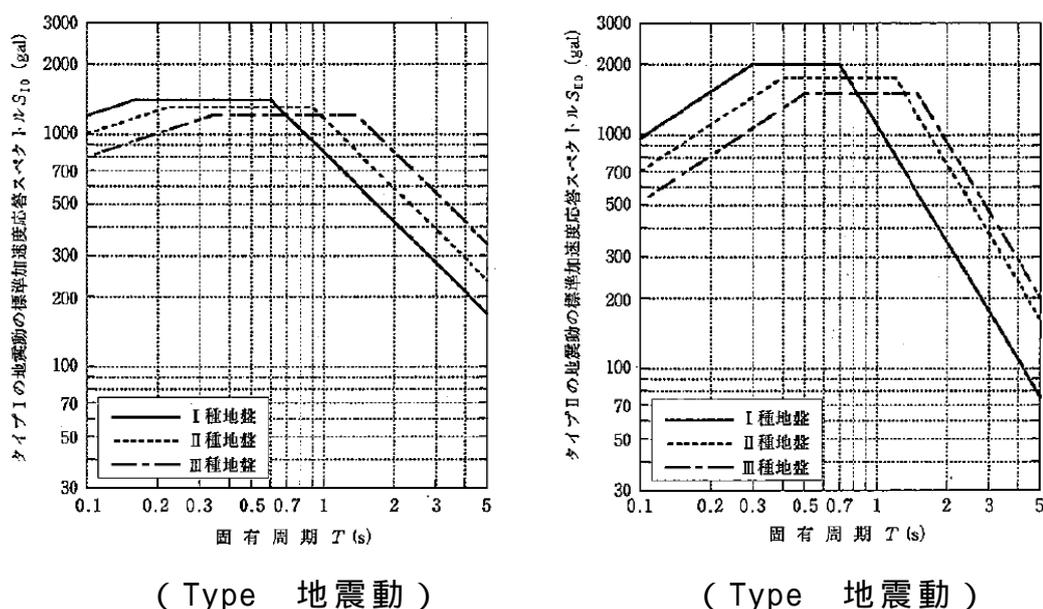


図 30 地震動の標準加速度応答スペクトル（道路橋示方書）

なお、道路橋示方書の耐震設計では、観測された波形を図 30 に示したスペクトルに近い特性を有するように振幅調整を行い用いている。

種地盤の動的解析で用いられている地震動は表 6 に示すとおりであり、3 波の平均値で照査を行うとしている。また、Type I、Type II それぞれの地震波を図 31 及び図 32 に示す。

表 6 種地盤の動的解析で用いられる地震動

(道路橋示方書)

Type	- -1	平成 15 年十勝沖地震大樹町生花観測点地盤上 EW 成分
	- -2	平成 23 年東北地方太平洋沖地震山崎震動観測所地盤上 NS 成分
	- -3	平成 23 年東北地方太平洋沖地震土浦出張所構内地盤上 EW 成分
Type	- -1	平成 7 年兵庫県南部地震東神戸大橋周辺地盤上 N12W 成分
	- -2	平成 7 年兵庫県南部地震ポートアイランド内地盤上 NS 成分
	- -3	平成 7 年兵庫県南部地震ポートアイランド内地盤上 EW 成分

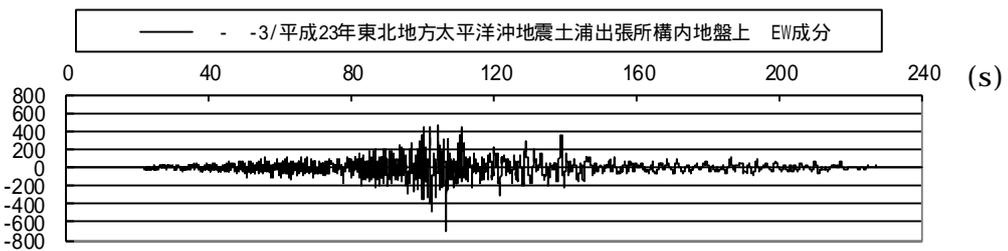
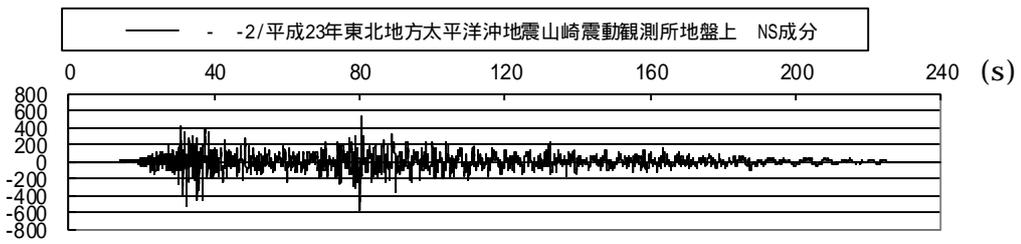
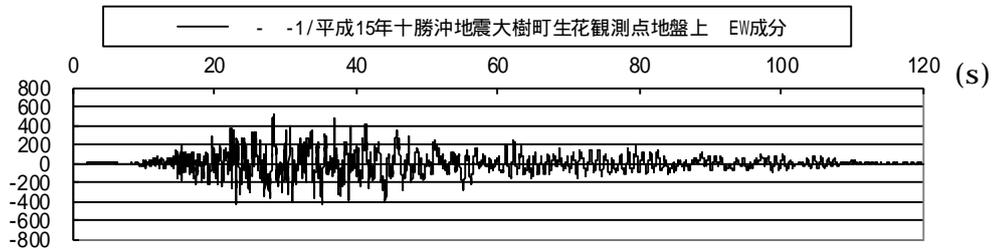


図 3 1 種地盤 Type 地震動で用いられる地震波
(道路橋示方書)

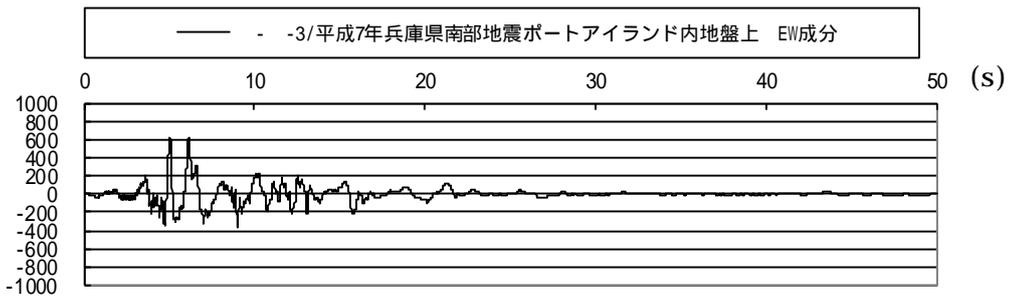
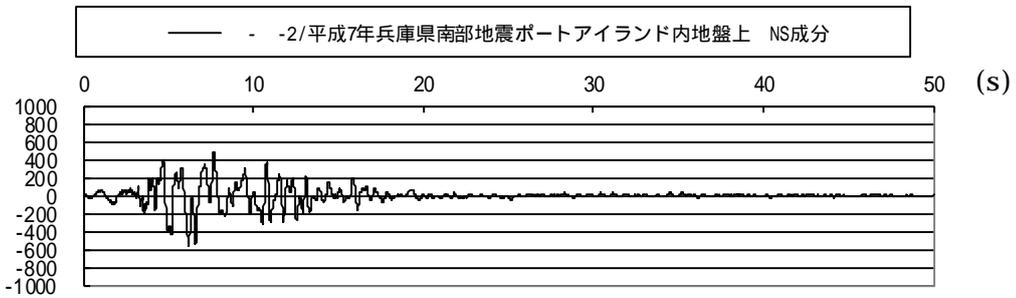
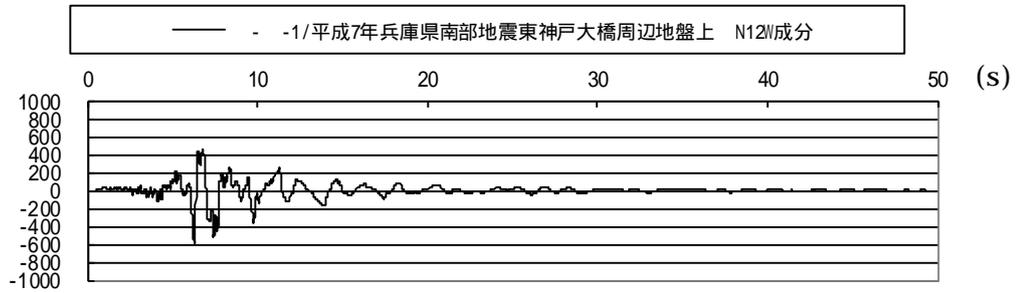


図 3 2 種地盤 Type 地震動で用いられる地震波
(道路橋示方書)

4) 東海第二発電所の加速度応答スペクトル

東海第二発電所の基準地震動 S_s の一覧表を表 7 に、加速度時刻歴波形（水平（NS 方向））を図 3 3 に、加速度時刻歴波形（水平（EW 方向））を図 3 4 に示す。

表 7 東海第二発電所の基準地震動 S_s

地震動	最大加速度 [cm/s^2]		
	NS 成分	EW 成分	UD 成分
S_s -D1	870		560
S_s -11	717	619	579
S_s -12	871	626	602
S_s -13	903	617	599
S_s -14	586	482	451
S_s -21	901	887	620
S_s -22	1009	874	736
S_s -31	610		280

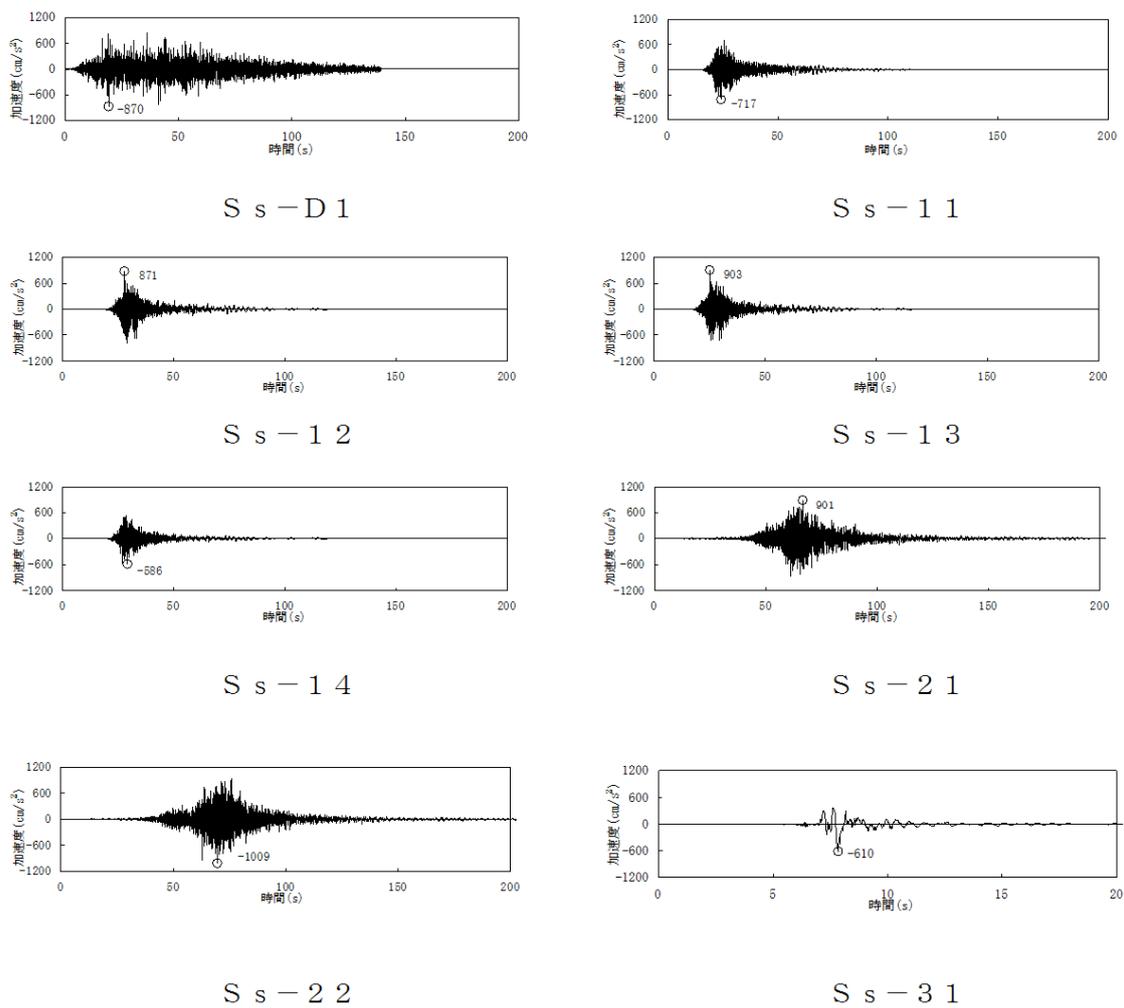


図 3 3 東海第二発電所の加速度時刻歴波形 (水平 (N S 方向))

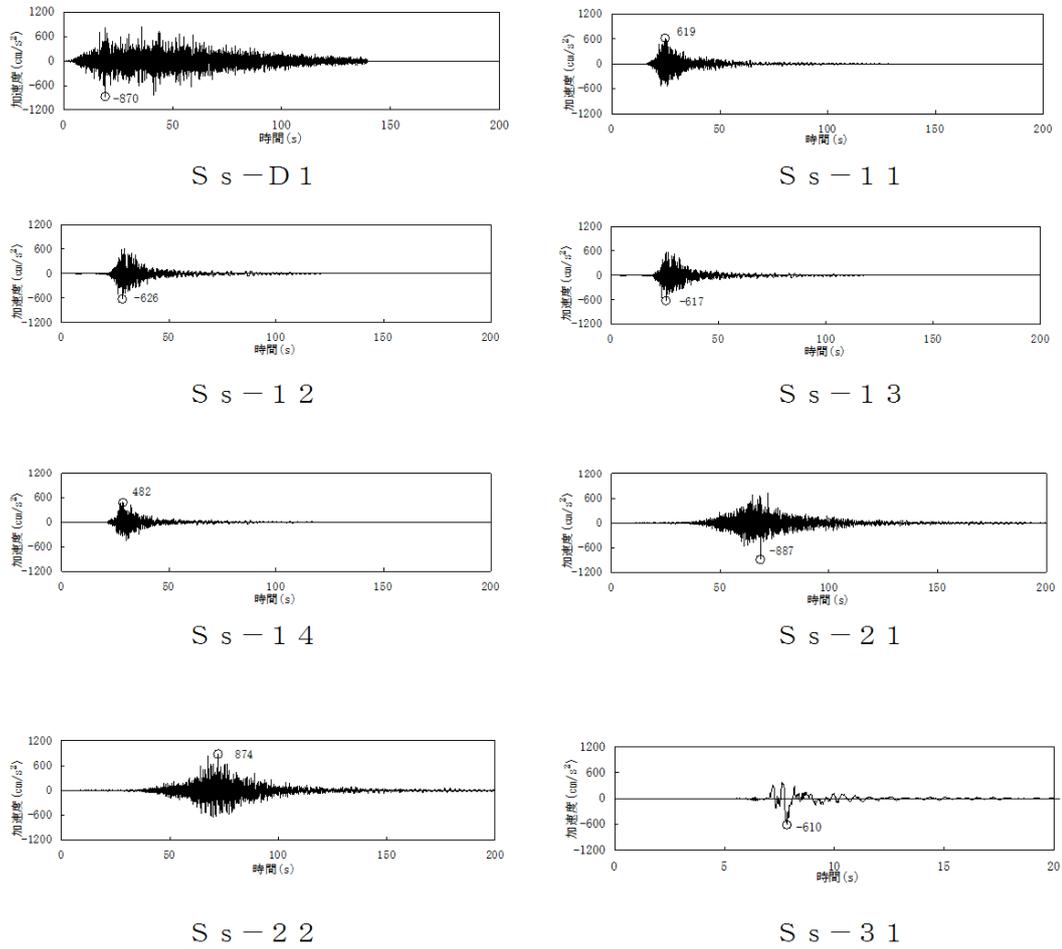


図 3 4 東海第二発電所の加速度時刻歴波形（水平（E W方向））

5) 基準地震動 S_s と道路橋示方書のレベル2地震動の加速度応答スペクトルの比較

東海第二発電所の地震波及び道路橋示方書の地震波を用いて、加速度応答スペクトル及び疑似速度応答スペクトルを作成した。

東海第二発電所で用いる地震動は、検討地点の地層構成を基に、一次元等価線形解析により地表面まで引き上げた時刻歴応答加速度を用いて応答スペクトルを作成した。

また、応答スペクトルを比較する際、道路橋示方書の Type 地震動については、プレート境界型地震動であるため東海第二発電所の S_s -21 及び S_s -22 を対象とし、Type 地震動については、内陸直下型地震動を対象としているため東海第二発電所の S_s -11 ~ S_s -14 及び S_s -31 波と比較した。なお、東海第二発電所の S_s -D1 波については Type , Type 両方と比較した。スペクトル解析結果を図 3 5 及び図 3 6 に示す。

応答スペクトルを比較した結果、道路橋示方書の応答スペクトルが全ての地震動を概ね包含する結果となった。

以上より、道路橋示方書の地震動と東海第二発電所の基準地震動 S_s のレベルが地表面において、ほぼ同等であることを確認した。

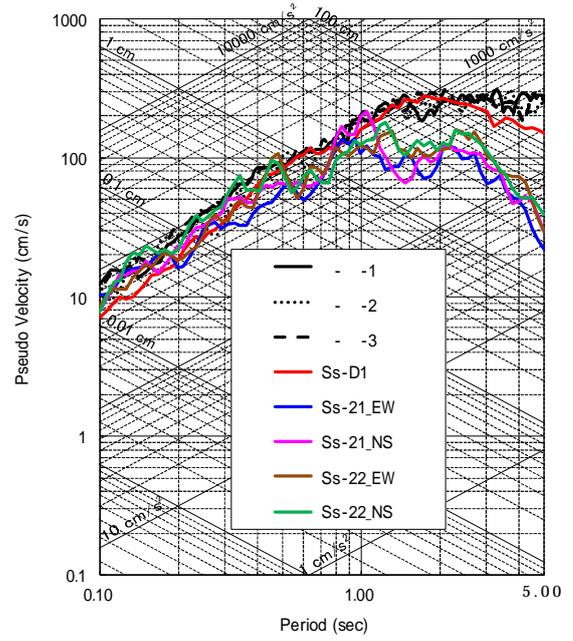
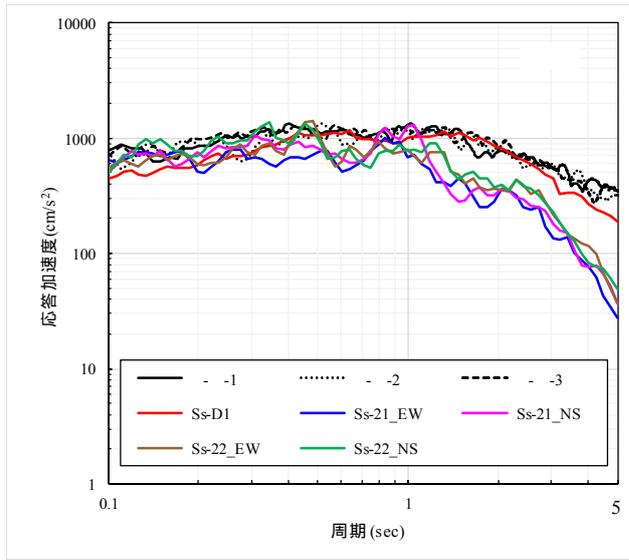


図 3 5 基準地震動 S_s と Type 地震動との比較

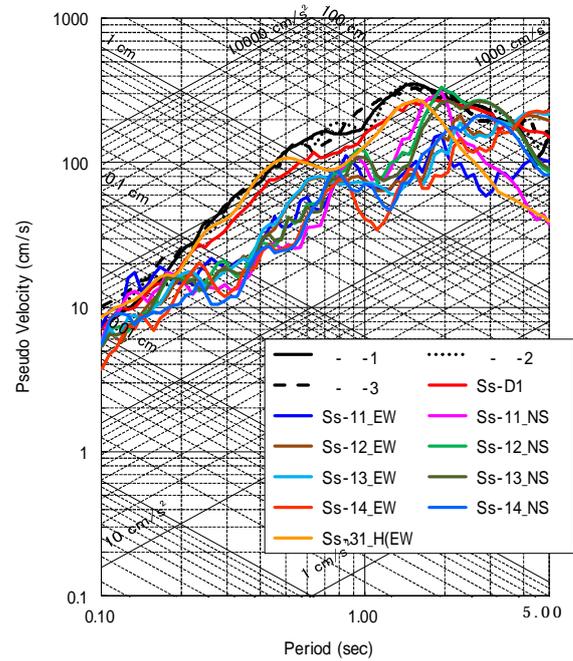
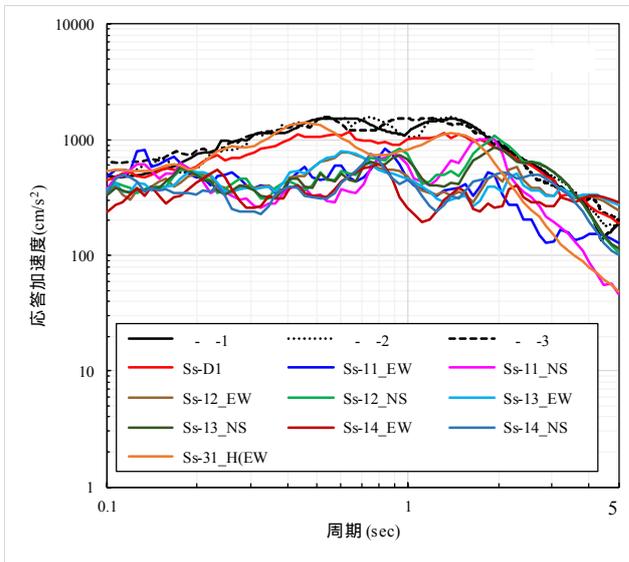


図 3 6 基準地震動 S_s と Type 地震動との比較

4 . 杭基礎に関する設計基準類

杭基礎に係る設計基準としては，道路橋示方書・同解説（公益社団法人 日本道路協会）の他，杭基礎設計便覧（公益社団法人 日本道路協会），杭基礎施工便覧（公益社団法人 日本道路協会）に代表される。

（ 1 ）道路橋示方書・同解説 下部構造編（公益社団法人 日本道路協会）

道路橋下部構造の技術基準として，杭基礎の種類や選定方法，設計手法等がとりまとめられており，橋梁下部構造以外の土木構造物の杭基礎においても，同基準を参考として計画・設計している。下部構造の技術基準の変遷を表 8 に示す。

（ 2 ）杭基礎設計便覧

道路橋示方書・同解説を補完するものとして，道路橋示方書の背景や設計の基本的な考え方，新しい研究成果等を紹介したもの。

（ 3 ）杭基礎施工便覧

道路橋示方書・同解説を補完するものとして，道路橋示方書の規定の解説や既存工法の説明，施工計画に関するもの，施工管理の具体的な内容，施工上のトラブル事例と対策等について紹介したもの。

杭基礎設計便覧・杭基礎施工便覧

昭和 61 年	杭基礎設計便覧	刊行
平成 4 年	杭基礎設計便覧	改訂
	杭基礎施工便覧	刊行
平成 18 年	杭基礎設計便覧	改訂
	杭基礎施工便覧	改訂
	（ 現段階での最新基準 ）	

表 8 下部構造の技術基準の変遷

年・月	名称	内容
S39.3(1964)	道路橋下部構造設計 指針 くい基礎設計編	設計の一般事項
S41.11(1966)	道路橋下部構造設計 指針 調査及び設計一般	クーロン土圧による土圧計算 粘性土に粘着力を考慮 許容応力度・許容支持力の規定
S43.3(1968)	道路橋下部構造設計 指針橋台・橋脚設計 篇直接基礎設計篇	斜橋の橋台に働く土圧，地震荷重の統一的な算定方法 を規定 直接基礎の設計の規定
S43.10(1968)	道路橋下部構造設計 指針くい基礎の施工 篇	鉄筋コンクリート杭，PC杭，鋼杭を中心に規定 継手，杭頭仕上げについて規定
S45.3(1970)	道路橋下部構造設計 指針ケーソン基礎設 計篇	くい基礎・ケーソン基礎・直接基礎の範囲を示す 鉛直，水平の荷重分担要素の明確化 ケーソンの設計に必要な項目の規定
S48.1(1973)	道路橋下部構造設計 指針 場所打ち杭の 設計施工篇	場所打ち杭の定義(深礎も場所打ち杭) 杭の設計径，コンクリートのヤング係数，許容支持 力度を規定具体的な施工手引きとして，機械掘削・ 人力掘削に分けた。
S55.5(1980)	道路橋示方書・同解 説 IV 下部構造編の刊 行	部材照査方法に関してコンクリート橋編と整合 杭基礎の鉛直支持力の算定方法を改訂 中掘り杭工法の設計施工規定
H2.2(1990)	道路橋示方書 IV 下部 構造編	各種基礎の設計法の適用範囲に関する解説の充実 地盤反力係数の算定式やフーチングの剛体判定式の 統合 岩盤上直接基礎の許容支持力度や弾性体基礎の許容 変位量の規定 高強度水中コンクリートや太径鉄筋の規定 暴風時の取り扱いの見直し
H5.11(1993)	道路橋示方書 IV 下部 構造編	下部構造の設計における活荷重の載荷方法の見直し 胸壁設計における断面力算定式の見直し
H8.12(1996)	道路橋示方書 IV 下部 構造編	橋梁の各部位に地震時保有水平耐力法を導入したこ とに伴う照査方法の規定 部材のじん性向上のための細目 建設費縮減のための構造形状の単純化 鋼管矢板基礎の規定 ケーソン基礎設計法の改訂
H14.3(2002)	道路橋示方書 IV 下部 構造編	死荷重作用時の鉄筋の許容応力度の規定 コンクリート部材の塩害対策規定 フーチングの曲げ及びせん断に対する設計法の見直 し 直接基礎の極限支持力算定式の見直し プレボーリング杭工法，鋼管ソイルセメント杭工 法，パイロハンマ杭工法の規定 場所打ち杭，中掘り杭，鋼管矢板基礎及び地中連続 壁基礎の支持力推定式の見直し
H24.3(2012)	道路橋示方書 IV 下部 構造編	従来よりも降伏点の高い鉄筋SD390，SD490を規定 橋台部ジョイントレス構造の設計を規定 橋台背面アプローチ部の規定 道路橋基礎に求められる基本事項を規定 回転杭工法の規定