本資料のうち，枠囲みの内容は商業機密
又は防護上の観点から公開できません。

東海第二発電所

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の設計方針について
(補足説明資料)

平成29年6月26日
日本原子力発電株式会社

目次　　鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の設計方針について

1. 概要
2. 第四系基底の標高分布及び防潮堤の種類について
3. 防潮堤の評価対象部位
4. 照査項目と設計方針
5. 設計方針（設計手順）
6. 施工実績（本設杭構造）
7. 道路橋示方書の適用性について

（参考）
　摩擦杭形式と支持杭形式の比較検討

1．概要

■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Ss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Ss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。

■防潮堤の計画にあたっては，敷地の大部分において鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁を配置することとしているため，当該資料では，鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の設計方針について説明する。

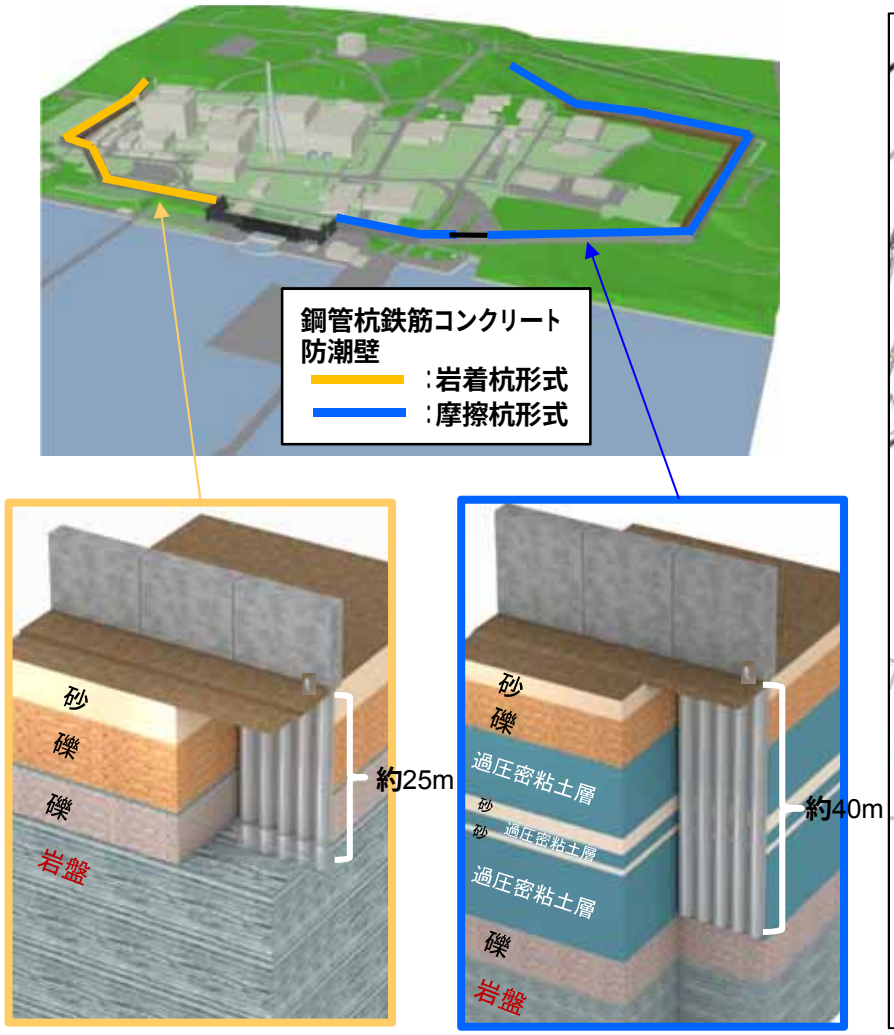
■この鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は，大口径で厚い肉厚の鋼管杭を地震･津波荷重に耐える構造躯体とし，杭間からの津波の浸水を防止する観点で，鋼管杭に鉄筋コンクリートを被覆する上部構造とした。この上部構造は，漂流物の衝突荷重や津波荷重に耐える鉄筋コンクリートの梁壁と鋼管杭の鉄筋コンクリート柱（SRC造）を一体化した構造とした。

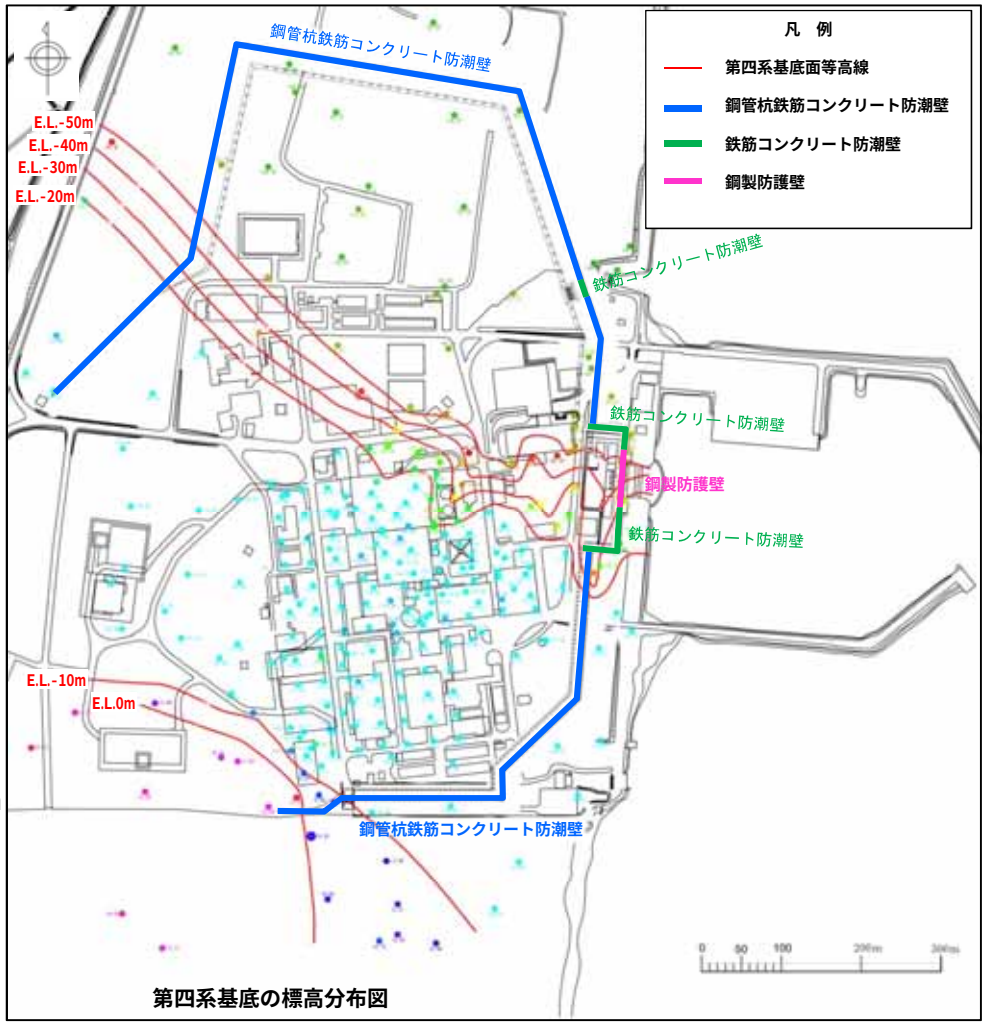
■また，鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の杭の支持形式については，敷地の地盤の特徴を踏まえ南部では岩盤に支持させる支持杭形式を，北部は非液状化層である過圧密粘土層だけでも必要な支持力を確保できる摩擦杭形式とした。

2．第四系基底の標高分布及び防潮堤の種類について

■ 防潮堤は，設計基準対象施設の津波防護対象設備（津波防護施設，浸水防止設備，津波監視設備及び非常用取水設備を除く。）の設置される敷地を含め，敷地全体を取り囲む形で設置する。
■ 敷地の第四系基底（岩盤上面）の標高分布及び防潮堤の構造形式とその配置を示す。

防潮堤鳥瞰図

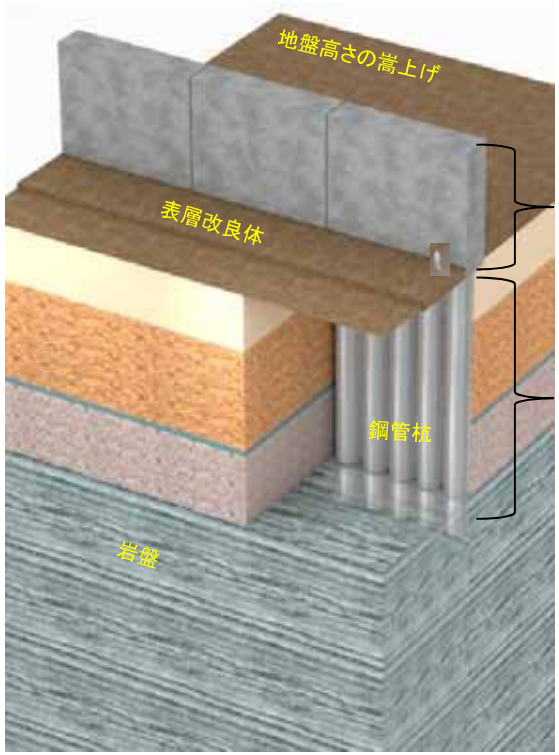




第四系基底の標高分布図

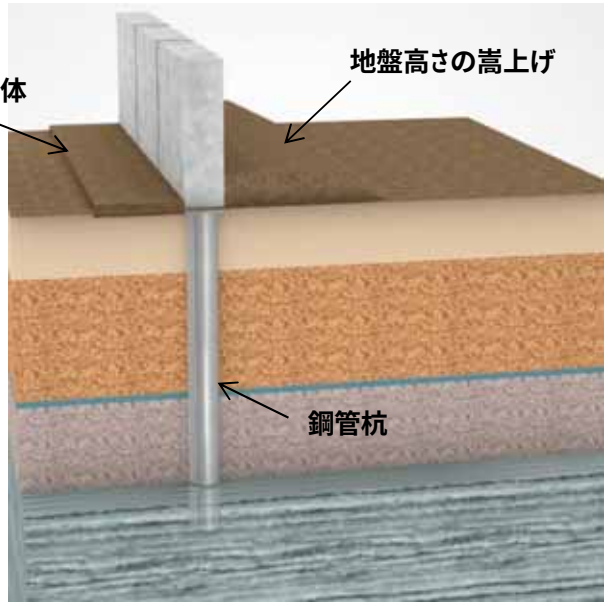
3．防潮堤の評価対象部位

■ 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の評価対象部位を下図に示す。



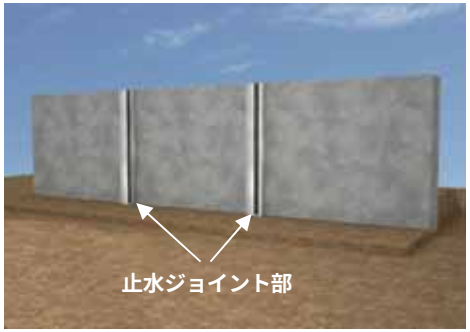
上部工
（鉄筋コンクリート，鋼管杭，
止水ジョイント部）

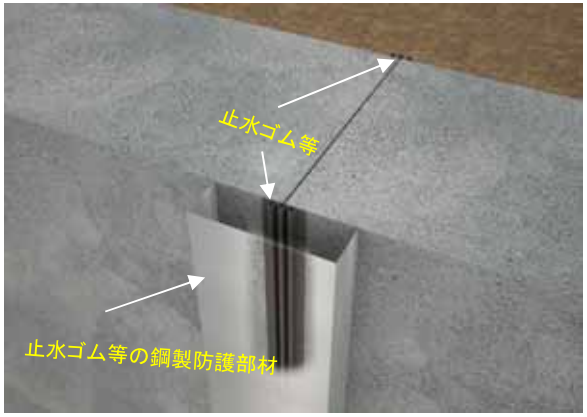
下部工
（支持地盤，鋼管杭）



評価対象部位		役割
上部工	鉄筋コンクリート	止水機能の保持
	止水ジョイント部	施工ブロック間の止水機能
上部工 下部工	鋼管杭	津波・地震荷重に耐える構造躯体であり，上部工・下部工を兼ねる
表層改良体		洗掘防止
地盤高さの嵩上げ		荷重に対する上部工の変位の抑制

止水ジョイント部





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

赤字：荷重条件
緑字：要求機能
青字：対応方針

表１　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

津波防護に関する施設は，津波の発生に伴い，津波防護対象設備がその安全性又は重大事故に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないような設計とする。「津波防護に関する施設の設計について」の要求機能，機能設計，構造強度設計を以下に示す。

<table>
<tr><th rowspan="2">施設名</th><th colspan="2">要求機能</th><th colspan="2">機能設計</th><th colspan="7">構造強度設計</th><th>上段：設計に用いる許容限界</th></tr>
<tr><th>審査ガイド</th><th>要求機能</th><th>性能目標</th><th>機能設計方針</th><th>性能目標</th><th>構造強度設計
（評価方針）</th><th colspan="3">評価対象部位</th><th>応力等の状態</th><th>損傷モード</th><th>下段：おおむね弾性の限界</th></tr>
<tr>
<td rowspan="18">鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁</td>
<td rowspan="18">基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド
5.1 津波防護施設の設計
津波防護施設については，その構造に応じ，波力による侵食及び洗掘に対する抵抗性並びにすべり及び転倒に対する安定性を評価し，越流時の耐性にも配慮した上で，入力津波に対する津波防護機能が十分に保持できるよう設計すること。
(1)要求事項に適合する設計方針であることを確認する。
(2)設計方針の確認に加え，入力津波に対して津波防護機能が十分保持できる設計がなされることの見通しを得るため，以下の項目について，設定の考え方を確認する。確認内容を以下に例示する。
① 荷重組合せ
a)余震が考慮されていること。耐津波設計における荷重組合せ：常時＋津波，常時＋津波＋地震（余震）
② 荷重の設定
a)津波による荷重（波圧，衝撃力）の設定に関して，考慮する知見（例えば，国交省の暫定指針等）及びそれらの適用性。
b)余震による荷重として，サイト特性（余震の震源，ハザード）が考慮され，合理的な頻度，荷重レベルが設定される。
c)地震により周辺地盤に液状化が発生する場合，防潮堤基礎杭に作用する側方流動力等の可能性を考慮すること。
③ 許容限界
a)津波防護機能に対する機能保持限界として，当該構造物全体の変形能力（終局耐力時の変形）に対して十分な余裕を有し，津波防護機能を保持すること。（なお，機能損傷に至った場合，補修にある程度の期間が必要となることから，地震，津波後の再使用性に着目した許容限界にも留意する必要がある。）

基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド
6.3 津波防護施設，浸水防止設備等
津波防護機能を有する施設，浸水防止機能を有する設備及び敷地における津波監視機能を有する設備のうち建物及び構築物は，常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力の組合せに対して，当該建物・構築物が構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有するとともに，その施設に要求される機能（津波防護機能，浸水防止機能）を保持すること</td>
<td rowspan="18">・鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は，地震後の繰返しの襲来を想定した入力津波に対して，余震，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した場合においても，津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう，津波による浸水及び漏水を防止することが要求される。

・鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は，基準地震動Ssに対し，津波防護施設が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（終局耐力時の変形）に対して十分な構造強度を有した構造であることが要求される。</td>
<td rowspan="18">・鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は，地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波に対し，余震，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した場合においても，想定される津波高さに余裕を考慮した防潮堤高さの設定及び構造体の境界部等への止水処置により止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。

・鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は，基準地震動Ssに対し，主要な構造部材の構造健全性を保持することで，津波時の止水性を保持することを機能設計上の性能目標とする。</td>
<td rowspan="18">・鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は，地震後の繰返しの襲来を想定した遡上波に対し，余震，漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した場合においても，
①想定される津波高さに余裕を考慮した防潮堤高さ（津波高さT.P.+15.4m～T.P.+17.9mに余裕を考慮した天端高さT.P.+18.0m～T.P.+20.0m）の設定により，敷地を取り囲むように設置する設計とする。
②防潮堤の上部工は，海側よりして5本の上部構造の天端から連続する鋼製の杭を鉄筋コンクリートで一体化させた壁を構築し，止水性を保持する設計とする。
③防潮壁は，鉄筋コンクリート製の上部構造を上部構造の天端から連続する鋼製の杭で，十分な支持性能を有する地盤に支持する設計とする。
④上部構造の内側の地盤高さを嵩上げすることにより止水性を保持する設計とする。
⑤上部構造の施工境界部や異種構造物との境界部は，波圧による変形に追随する止水性を確認した止水ゴム等を設置することによる止水処置を講ずる設計とする。
⑥津波の波力による浸食や洗掘，地盤内からの浸水に対して耐性を有する表層改良によりし，止水性を保持する設計とする。

・鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は，基準地震動Ssに対し，
①鋼製や鉄筋コンクリート製の耐性のある部材を使用することで止水性能を保持する設計とする。
②上部構造は，杭を介して連結させる構造とすることで変位を抑制し，鉄筋コンクリートによる止水性を保持する設計とする。
③上部構造の施工境界部や異種構造物との境界部は，試験等により地震時の変形に追随し止水性を確認した止水ゴム等を設置することによる止水処置を講じる設計とする。
④上部構造の内側の地盤高さの嵩上げが地震時に滑動・内部すべりを起こさない幅や強度を確保することで，津波時における止水性を保持する設計とする。
⑤表層改良は，セメント系の改良体とすることで，地震時に損傷しない設計とする。</td>
<td rowspan="18">・鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は，地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重や漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，鋼製の杭，鉄筋コンクリート製の上部構造，地盤高さの嵩上げ，セメント系の表層改良体で構成し，津波後の再使用性を考慮し，主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とし，十分な支持性能を有する地盤に設置する設計とするとともに，主要な構造体の境界部や防潮壁前面の地盤には，止水ゴム等の設置や表層改良体を設置し，有意な漏えいを生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。

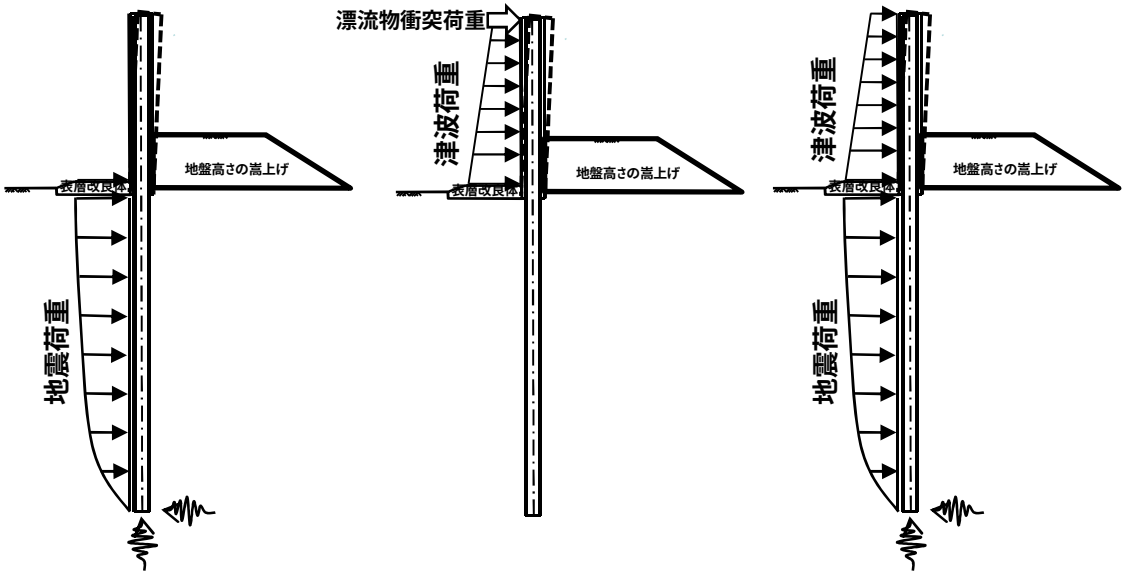
・鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は，基準地震動Ssによる地震時荷重に対し，鋼製の杭，鉄筋コンクリート製の上部構造，地盤高さの嵩上げ，セメント系の表層改良体で構成し，主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とするとともに，主要な構造体の境界部や防潮壁前面の地盤には，止水ゴム等の設置や表層改良体を設置し，有意な漏えいを生じない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。</td>
<td rowspan="2">基準地震動Ssによる地震時荷重，地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重，余震や漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，十分な支持性能を有する地盤に支持される設計とするため，作用する押し込み力や引抜力が許容支持力以下に留まることを確認する。</td>
<td rowspan="4">下部工</td>
<td colspan="2" rowspan="2">支持地盤</td>
<td rowspan="2">押込力，引抜力</td>
<td rowspan="2">支持機能を喪失する状態</td>
<td>「道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）」を踏まえ，極限支持力以下とする。</td>
</tr>
<tr><td>極限支持力以下</td></tr>
<tr>
<td rowspan="2">基準地震動Ssによる地震時荷重，地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重，余震や漂流物の衝突，風及び積雪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設計とするために，構造部材である鋼管杭が，おおむね弾性状態に留まることを確認する。</td>
<td colspan="2" rowspan="2">鋼管杭</td>
<td rowspan="2">曲げ，せん断</td>
<td rowspan="2">部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態</td>
<td>「道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）」を踏まえた短期許容応力度以下とする。</td>
</tr>
<tr><td>降伏応力度以下
せん断強度以下</td></tr>
<tr>
<td rowspan="2">基準地震動Ssによる地震時荷重，地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重，余震や漂流物の衝突，風及び積雪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設計とするために，構造部材である鉄筋コンクリートが，おおむね弾性状態に留まることを確認する。</td>
<td rowspan="10">上部工</td>
<td colspan="2" rowspan="2">鉄筋コンクリート</td>
<td rowspan="2">曲げ，せん断</td>
<td rowspan="2">部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態</td>
<td>「道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通編・Ⅴ耐震設計編）」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。（コンクリート標準示方書【構造性能照査編】でも確認。）</td>
</tr>
<tr><td>降伏応力度以下
せん断強度以下</td></tr>
<tr>
<td rowspan="2">基準地震動Ssによる地震時荷重，地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重，余震や漂流物の衝突，風及び積雪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設計とするために，構造部材である鋼管杭が，おおむね弾性状態に留まることを確認する。</td>
<td colspan="2" rowspan="2">鋼管杭</td>
<td rowspan="2">曲げ，せん断</td>
<td rowspan="2">部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態</td>
<td>「道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）」を踏まえた短期許容応力度以下とする。</td>
</tr>
<tr><td>降伏応力度以下
せん断強度以下</td></tr>
<tr>
<td rowspan="6">基準地震動Ssによる地震時荷重，地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重，余震や漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，主要な構造体の境界部に設置する部材を有意な漏えいを生じない変形に留める設計とするため，境界部に設置する止水ゴム，止水シートが有意な漏えいを生じない変形量以下であることを確認する。
また，止水ゴム等が止水性能を保持するための接続アンカーや鋼製防護部材は，おおむね弾性状態に留まることを確認する。</td>
<td rowspan="6">止水ジョイント部</td>
<td rowspan="2">止水ゴム等</td>
<td rowspan="2">変形，引張り</td>
<td rowspan="2">有意な漏えいに至る変形，引張り</td>
<td>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。</td>
</tr>
<tr><td>許容変形量以下
許容引張り力以下</td></tr>
<tr>
<td rowspan="2">鋼製
アンカー</td>
<td rowspan="2">引張り，せん断，引抜き</td>
<td rowspan="2">部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態</td>
<td>「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。</td>
</tr>
<tr><td>降伏応力度以下
せん断強度以下</td></tr>
<tr>
<td rowspan="2">止水ゴム等の鋼製防護部材</td>
<td rowspan="2">曲げ，引張り，せん断</td>
<td rowspan="2">部材が弾性域に留まらず塑性域に入る状態</td>
<td>「鋼構造設計基準」を踏まえた短期許容応力度以下とする。</td>
</tr>
<tr><td>降伏応力度以下
せん断強度以下</td></tr>
<tr>
<td rowspan="2">基準地震動Ssによる地震時荷重，地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重，余震や漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，地盤として滑動しない抵抗性を保持する設計とするため，地盤高さの嵩上げ部の盛土が滑動しないこと及び受働崩壊角にすべりが発生しないことを確認する。</td>
<td colspan="3" rowspan="2">地盤高さの
嵩上げ</td>
<td rowspan="2">すべり
（滑動）</td>
<td rowspan="2">地盤高さの嵩上げ部の盛土が滑動に至る状態。
上部構造背面の地盤がすべりに至る状態</td>
<td>「道路橋示方書・同解説（Ⅰ共通編・Ⅳ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。</td>
</tr>
<tr><td>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</td></tr>
<tr>
<td rowspan="2">基準地震動Ssによる地震時荷重，地震後の繰返しの襲来を想定した津波荷重，余震や漂流物の衝突，風及び積雪を考慮した荷重に対し，洗掘防止対策やボイリング対策としての機能を保持するため，表層改良体にせん断破壊が生じないことを確認する。</td>
<td colspan="3" rowspan="2">表層改良体</td>
<td rowspan="2">せん断</td>
<td rowspan="2">表層改良体がせん断破壊に至る状態</td>
<td>安全裕度を考慮したせん断強度以下とする。</td>
</tr>
<tr><td>せん断強度以下</td></tr>
</table>

鋼管杭

鋼管杭の設置目的

地震時や津波時の荷重に対する防潮壁としての構造健全性を確保する。

対象	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
鋼管杭	曲げ，せん断	短期許容応力度以下	道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編)
支持地盤	押込力，引抜力	極限支持力以下	道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編)



基準地震動Ｓsによる地震荷重　　津波荷重+漂流物衝突荷重　　余震+津波荷重

基準地震動Ｓsによる地震荷重

鋼管１本で躯体慣性力，地中変位に対して短期許容応力度以下であることを確認する。

津波荷重+漂流物衝突荷重

鋼管１本あたりの分担面積荷重に対して，短期許容応力度以下であることを確認する。

余震+津波荷重

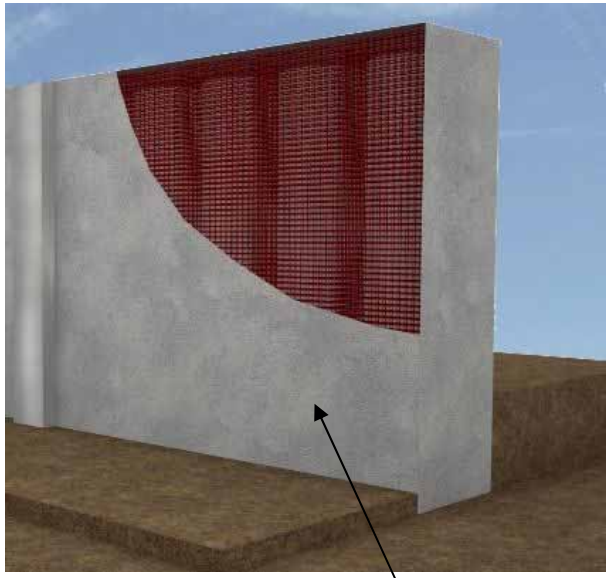
鋼管１本で余震+津波荷重に対して短期許容応力度以下であることを確認する。

鉄筋コンクリート

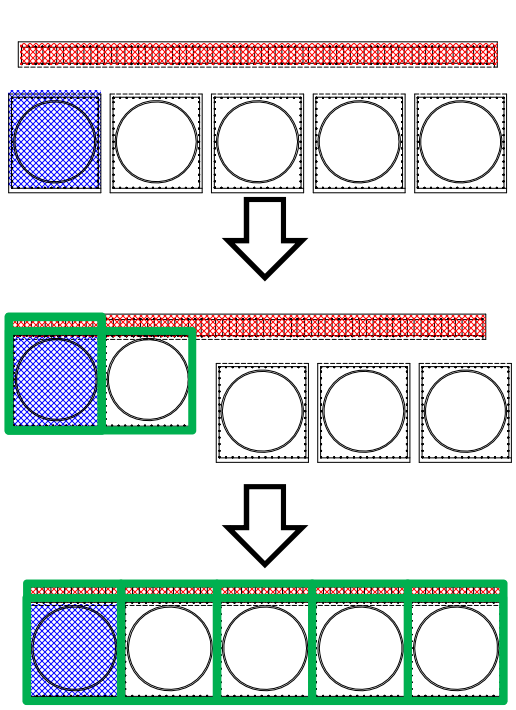
鉄筋コンクリートの設置目的

津波時において鋼管杭間の止水性を確保するため，鋼管杭に鉄筋コンクリートを被覆する。

対象	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
鉄筋コンクリート	曲げ，せん断	短期許容応力度以下	「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅴ耐震設計編)」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。 （コンクリート標準示方書【構造性能照査編】でも確認）



鉄筋コンクリートで被覆し
止水性を確保



鉄筋コンクリート梁壁
〔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〕

鋼管杭鉄筋コンクリート柱(SRC造)
〔下部工の鋼管杭から上部工に連続する鋼管を被覆した柱部材〕

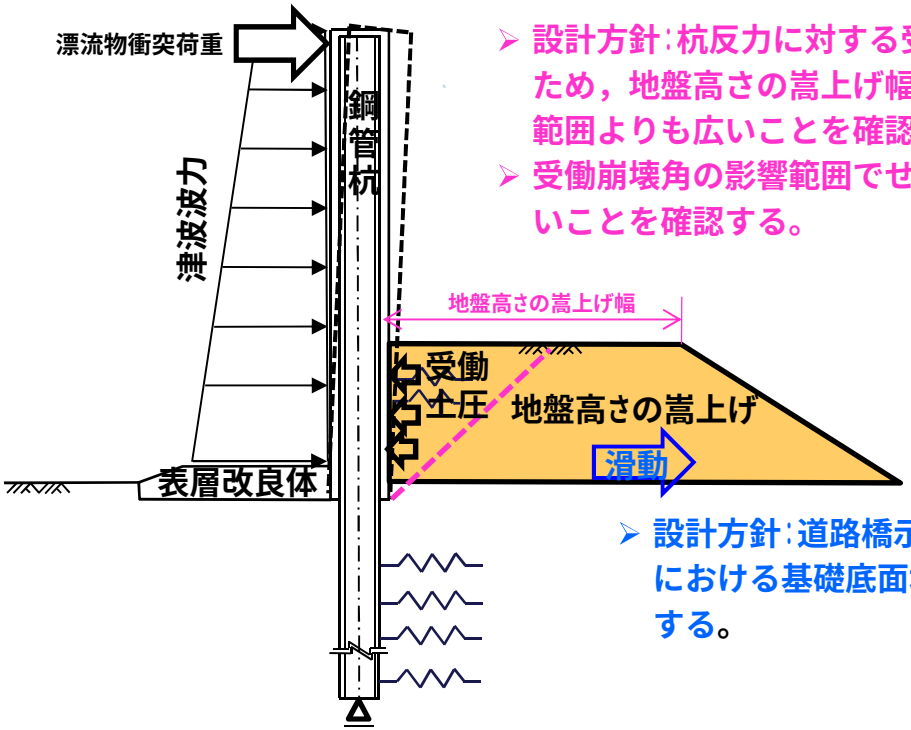
鉄筋コンクリート梁壁と鋼管杭
鉄筋コンクリート柱（SRC造）を
一体化する

地盤高さの嵩上げ

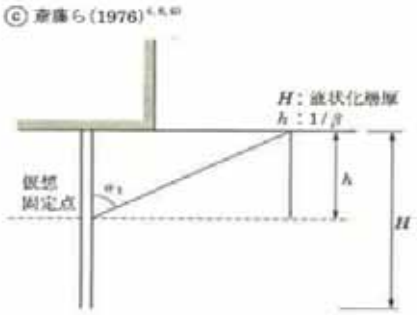
地盤高さの嵩上げの目的

津波等の荷重が防潮壁に作用する際，防潮壁背面で受働抵抗を期待でき，鋼管杭に発生する曲げモーメントの低減を図る。

対象	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
嵩上げ幅	杭の仮想固定点1/βの範囲の下端から受働崩壊角で地表面まで伸ばした線が，地盤高さの嵩上げ幅以内	地盤高さの嵩上げ幅以上	建築基礎構造設計指針
すべり（滑動）	・ 受働崩壊角の影響範囲でせん断破壊が発生しないことの有無 ・ 杭から受ける反力による地盤高さの嵩上げ部底面の滑動の有無	すべり安全率以上	道路橋示方書Ⅳ下部工編 耐津波設計に係る工認審査ガイド

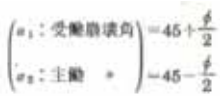


- 設計方針：杭反力に対する受働抵抗を発揮するため，地盤高さの嵩上げ幅が受働崩壊角の影響範囲よりも広いことを確認する。
- 受働崩壊角の影響範囲でせん断破壊が発生しないことを確認する。



建築基礎構造設計指針

- 設計方針：道路橋示方書・同解説Ⅳ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。



受働崩壊角の設定

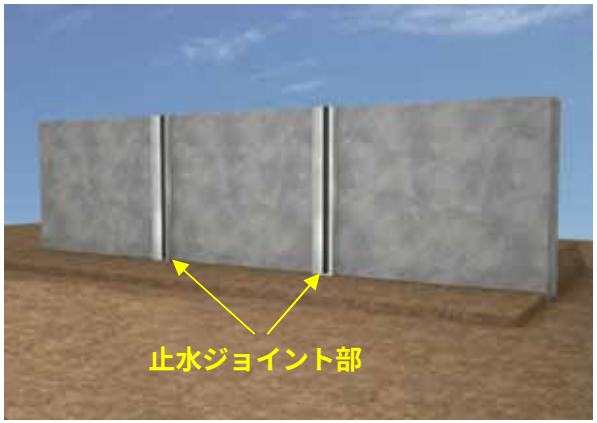
止水ジョイント部

止水ジョイント部の目的

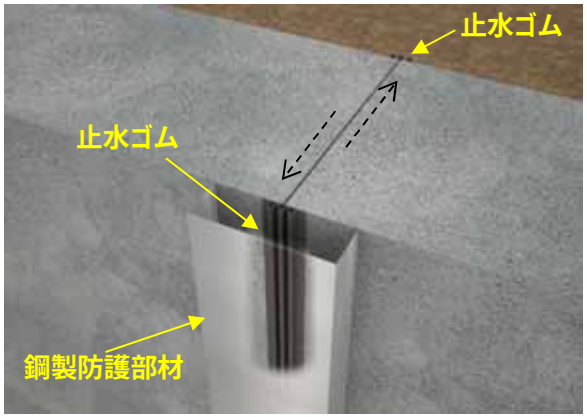
地震時や津波時の変形量に追随し，防潮壁間や異種構造物間の止水を目的とする。

対象	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
止水ゴム，止水シート	ゴム等止水材の引張，変形量	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設計から設定した許容変形量，許容引張強度	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
鋼製アンカー	・ 鉄筋コンクリート壁に定着させる鋼製アンカーの引張，せん断 ・ 定着側のコンクリートに対して，引張，せん断，コーンせん断，支圧	許容引張応力度※1，許容せん断応力度，許容押抜きせん断応力度，支圧応力度 ※1 鋼製アンカーの引張応力，付着応力，コーンせん断の照査は引張照査に含む	各種合成構設計指針・同解説
止水ゴム等の鋼製防護部材	漂流物が衝突した際の鋼材の圧縮，引張及びせん断，座屈	許容圧縮応力度，許容引張応力度および許容せん断応力度	鋼構造設計基準

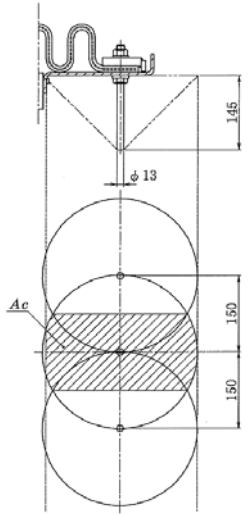
止水ジョイント部



施工ブロック間の変位例



コーンせん断の照査



表層改良体

表層改良体の目的

津波による防潮壁前面地盤の洗掘やボイリングによる浸水に対して表層地盤を改良し，堤内への浸水対策とする。

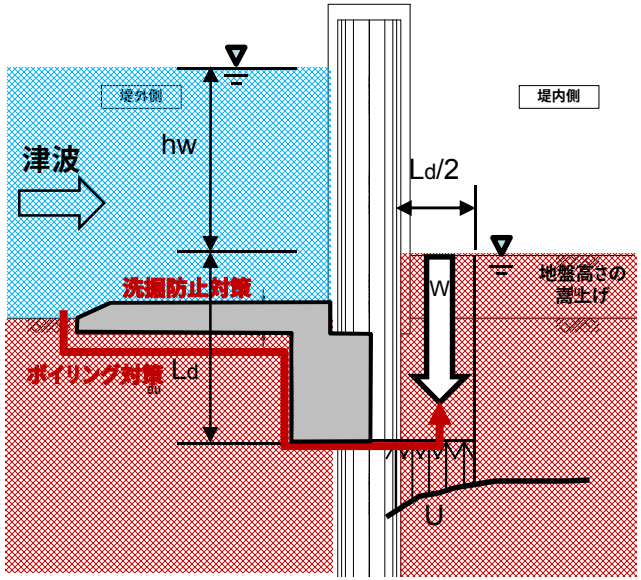
対象	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
表層改良体	表層改良体のせん断	安全裕度を考慮したせん断強度以下	室内試験により確認

- 洗掘防止対策

津波波力は、P_{max}＝464kN/m²であるため，堤外地盤の表層に対してセメント改良（q_u＝1000kN/m²）を実施し，津波波力よりも強度の高い地盤とすることで、洗掘防止対策とする。

- ボイリング検討

表層改良体を設置し，津波に伴う堤内側との水頭差に対して抵抗する。



W：土の水中重量
U：水の浸透力

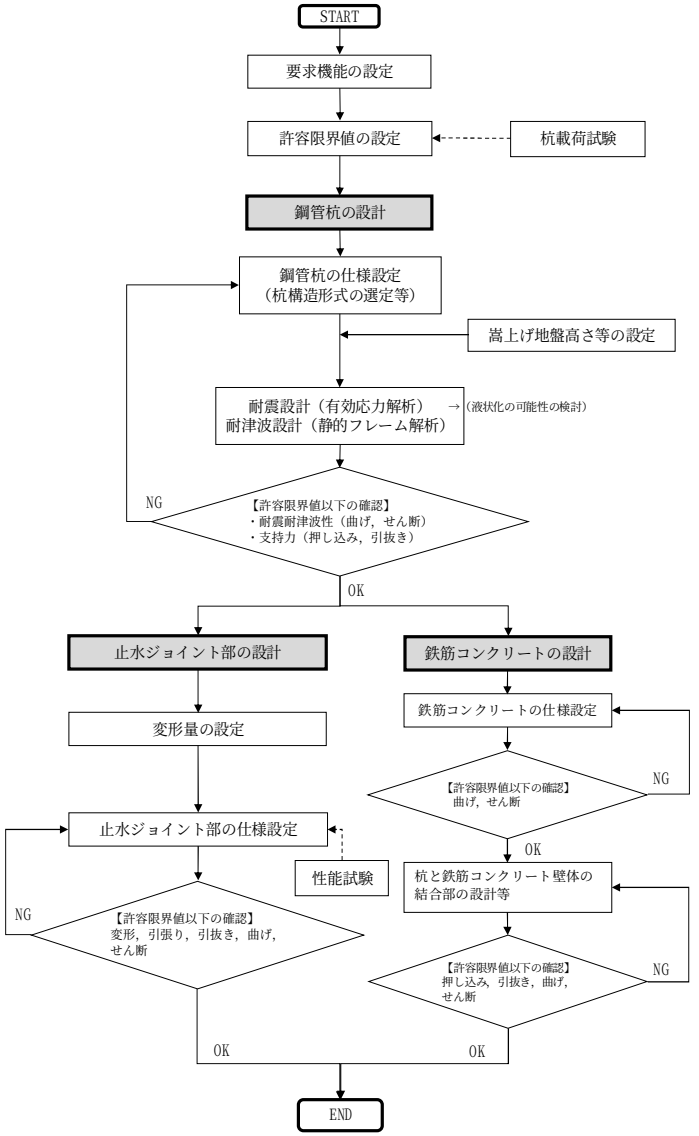
安全率Fs = W/U ≧1.2～1.5

5．設計方針（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ふまえ，評価項目に示す通り，各構造部材の構造健全性評価を行う。

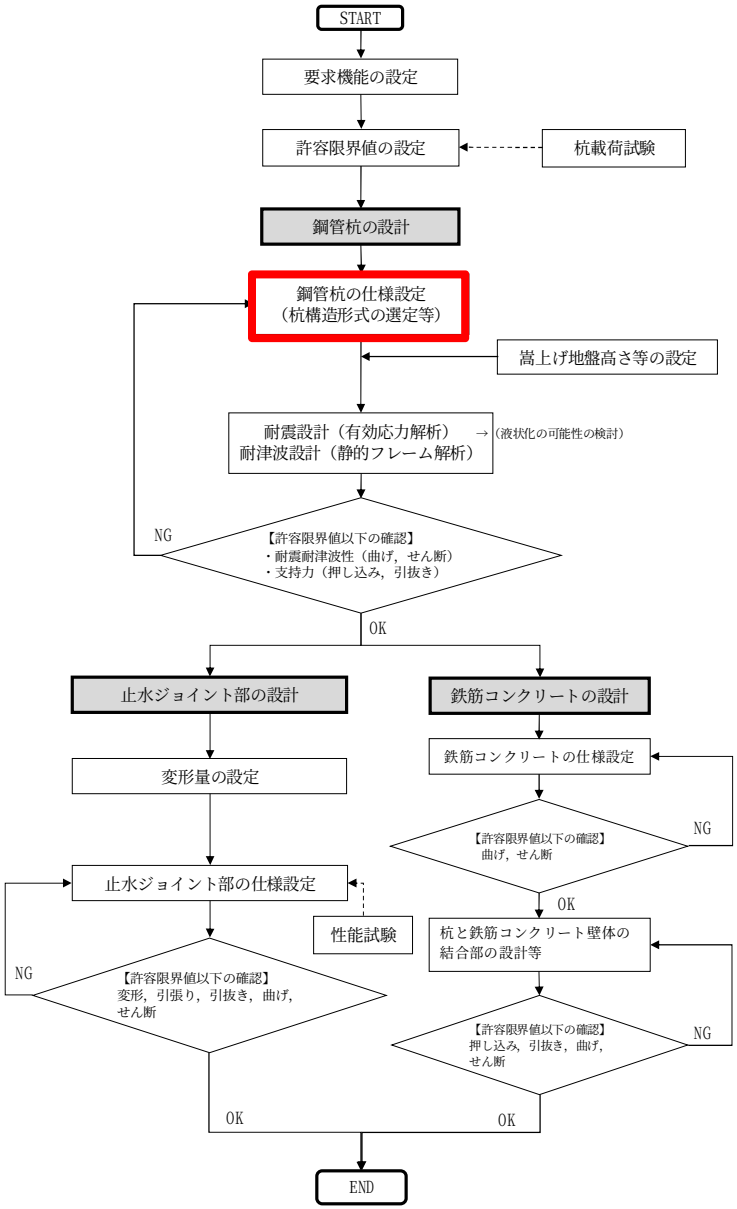
構造強度設計			設計に用いる許容限界
評価対象部位		応力等の状態	
下部工	支持地盤	押込力，引抜力	「道路橋示方書・同解説(I共通編・IV下部構造編)」を踏まえ，極限支持力以下とする。
	鋼管杭	曲げ，せん断	「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・IV下部構造編)」を踏まえた短期許容応力度以下とする。
上部工	鉄筋コンクリート	曲げ，せん断	「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・Ⅴ耐震設計編)」を踏まえた短期許容応力度以下とする。（コンクリート標準示方書【構造性能照査編】でも確認）。
	鋼管杭	曲げ，せん断	「道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編・IV下部構造編)」を踏まえた短期許容応力度以下とする。
	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。
	止水ジョイント部 鋼製アンカー	引張り，せん断，引抜き	「各種合成構設計指針・同解説」を踏まえた短期許容応力度以下とする。
	止水ジョイント部 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。
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・IV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。
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。

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮堤の評価項目



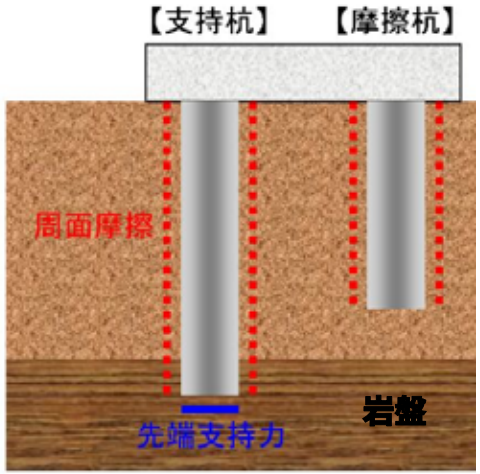
構造健全性評価の検討フロー

5．設計方針（設計手順）

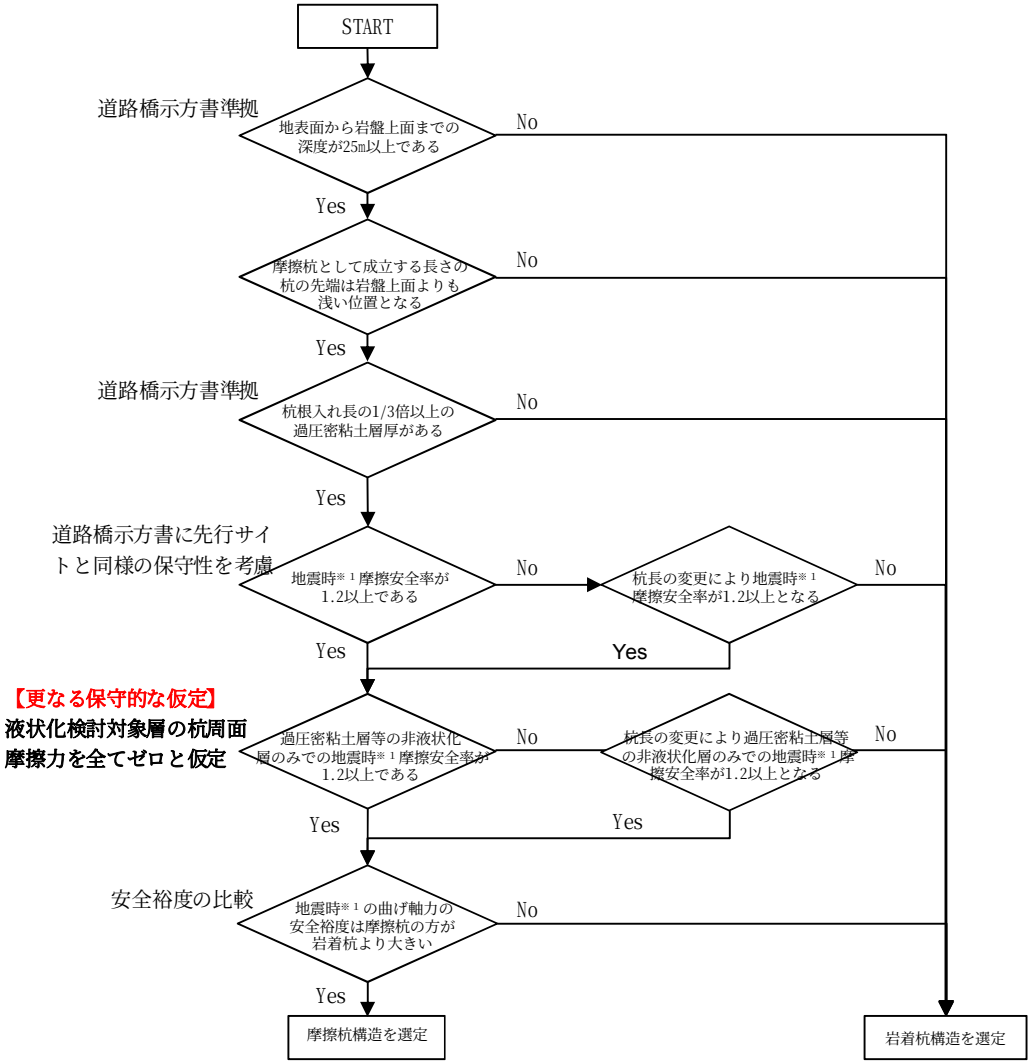

START
要求機能の設定
許容限界値の設定
杭載荷試験
鋼管杭の設計
鋼管杭の仕様設定
（杭構造形式の選定等）
嵩上げ地盤高さ等の設定
耐震設計（有効応力解析）
耐津波設計（静的フレーム解析）
→（液状化の可能性の検討）
NG
【許容限界値以下の確認】
・耐震耐津波性（曲げ，せん断）
・支持力（押し込み，引抜き）
OK
止水ジョイント部の設計
鉄筋コンクリートの設計
変形量の設定
鉄筋コンクリートの仕様設定
NG
【許容限界値以下の確認】
曲げ，せん断
止水ジョイント部の仕様設定
OK
性能試験
杭と鉄筋コンクリート壁体の
結合部の設計等
NG
【許容限界値以下の確認】
変形，引張り，引抜き，曲げ，
せん断
NG
【許容限界値以下の確認】
押し込み，引抜き，曲げ，
せん断
OK
OK
END

杭構造形式選定フロー

- 杭基礎の構造形式の選定については，杭構造形式の選定フローに基づき実施する。
- なお，摩擦杭構造を選定する最後の段階においては，有効力解析による液状化判定の結果，基礎地盤は液状化しないものと判定された場合においても，**更なる保守的な仮定として**，砂礫層の液状化状態を想定し，砂礫層の杭周面摩擦力を全てゼロとおいて，恒久的な非液状化層である過圧密粘土層のみで所要の安全率をもって鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁構造を支持可能であるか照査する。
- これにより，東海第二発電所の岩盤が深い区間については，最大限保守側に砂礫層の杭周面摩擦力を全てゼロと仮定しても，摩擦杭構造の成立性を見通せるか確認する。



【杭の支持力】
・岩着杭：周面摩擦力＋先端支持力
・摩擦杭：周面摩擦力

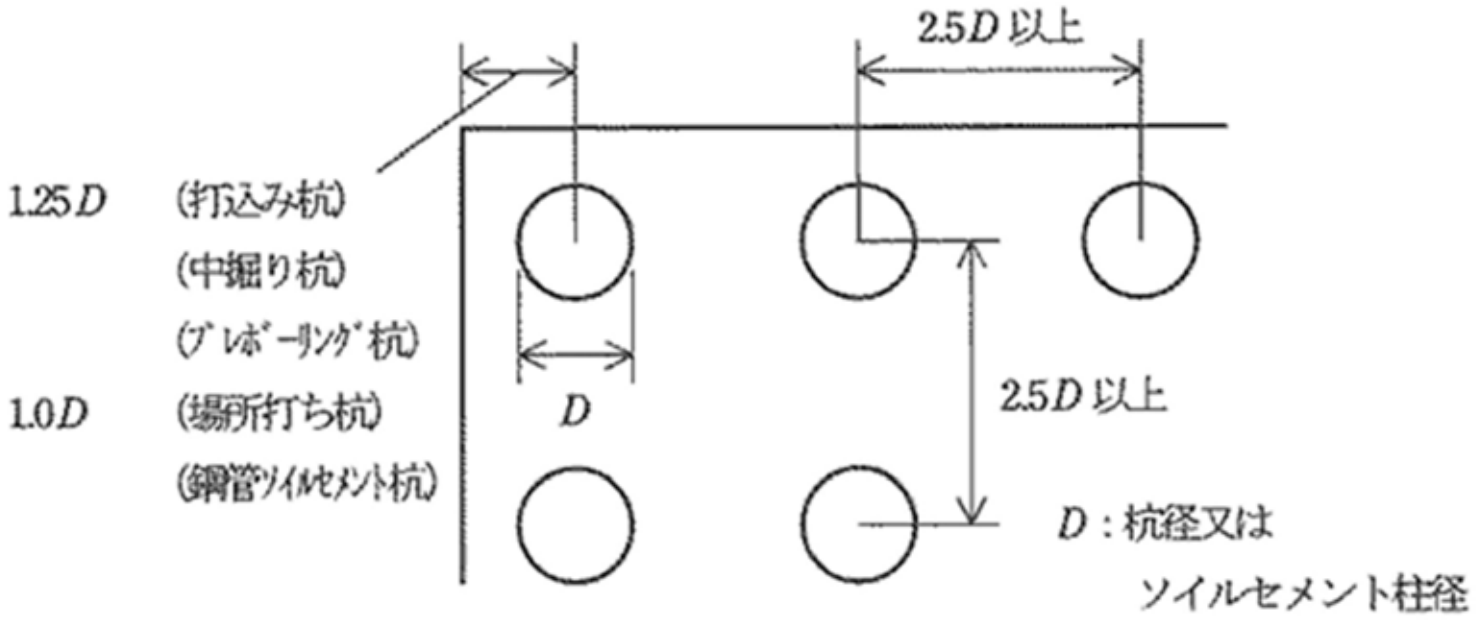


※1　基準地震動Ss入力時

【杭構造形式選定フロー】

杭間隔の設定方針

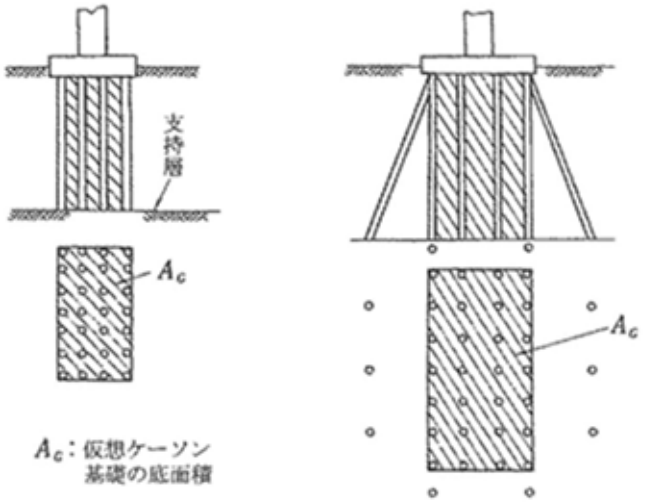
- 杭の配列については，上部工の形状や寸法，杭の寸法や本数，群杭の影響，施工条件等を考慮し決定する。
- 道路橋示方書では，杭の最小中心間隔が杭径の2.5倍未満である場合において群杭効果を考慮し，杭の軸方向支持力，水平方向地盤反力係数等を単杭の場合より低減することが規定されている。
- 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の設計においては，繰返し襲来する津波の波圧や基準地震動Ss等による荷重及びこれらに耐え得る大口径，高強度の鋼管杭の仕様を考慮した上で，適切な杭配置を検討するが，杭の最小中心間隔が2.5倍未満となる場合は，群杭効果を見込んだ設計を行う。



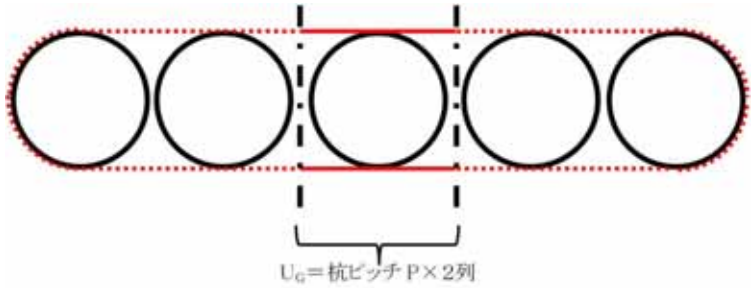
杭の最小中心間隔及びフーチング縁端距離

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えて支持力の上限値を算定する。



仮想ケーソン基礎（道路橋示方書）



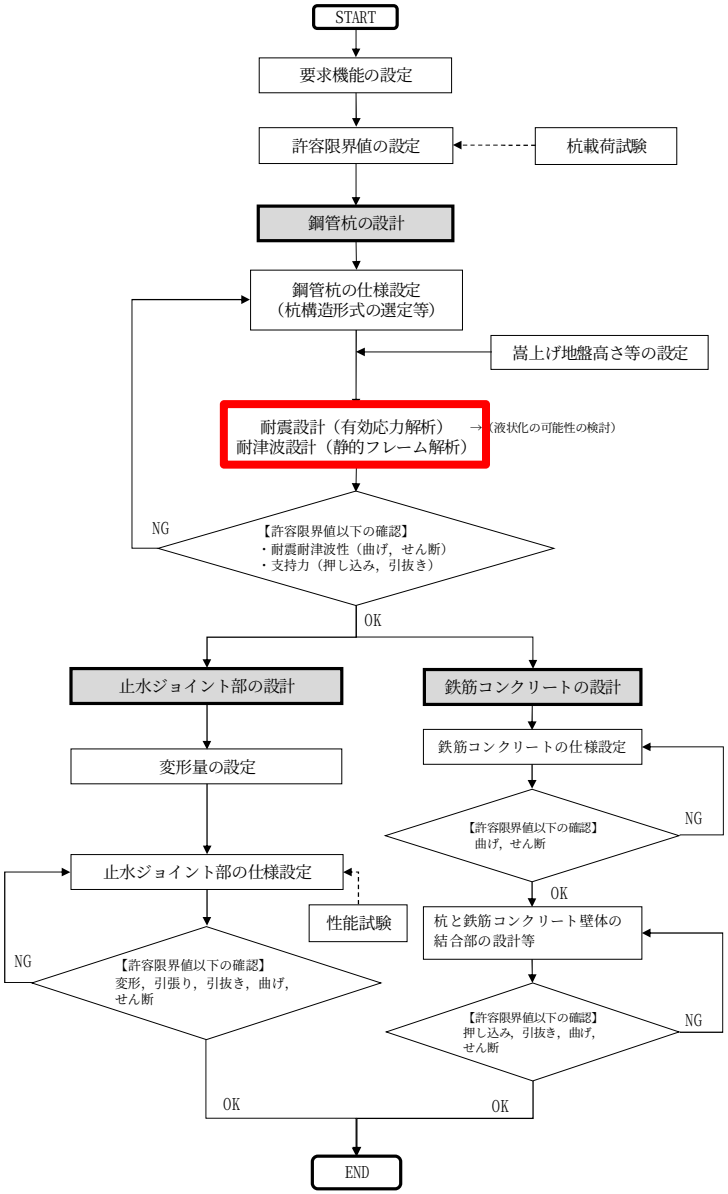
仮想ケーソン基礎の考え方による群杭の周長

・単杭の周長　$U＝\pi \times D$
・群杭を考慮した場合の周長　$U_G＝2×P$
　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。

$$Q_f＝U_G \Sigma L_i \tau_i$$

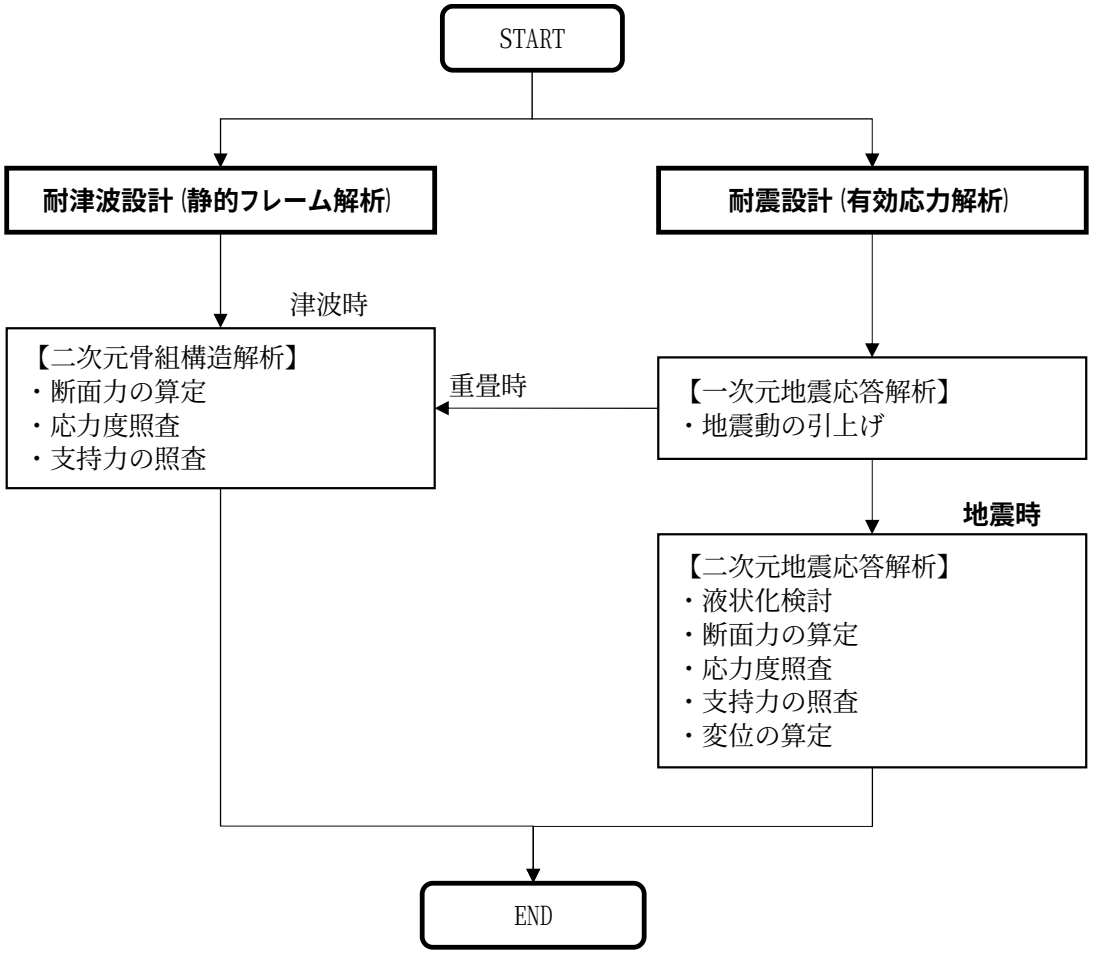
Q_f：群杭を考慮した場合の摩擦力(kN)
U_G：斜線を施した部分の周長(m)
　（1本の杭に対して上図の2本の赤線とする）
L_i：壁体底面から先端土層までの各層の厚層(m)
τ_i：各層の土のせん断抵抗力度(kN／m^2)

5．設計方針（設計手順）


START
要求機能の設定
許容限界値の設定
杭載荷試験
鋼管杭の設計
鋼管杭の仕様設定
（杭構造形式の選定等）
嵩上げ地盤高さ等の設定
耐震設計（有効応力解析）
耐津波設計（静的フレーム解析）
→（液状化の可能性の検討）
NG
【許容限界値以下の確認】
・耐震耐津波性（曲げ，せん断）
・支持力（押し込み，引抜き）
OK
止水ジョイント部の設計
鉄筋コンクリートの設計
変形量の設定
鉄筋コンクリートの仕様設定
【許容限界値以下の確認】
曲げ，せん断
NG
OK
止水ジョイント部の仕様設定
性能試験
杭と鉄筋コンクリート壁体の
結合部の設計等
NG
【許容限界値以下の確認】
変形，引張り，引抜き，曲げ，
せん断
【許容限界値以下の確認】
押し込み，引抜き，曲げ，
せん断
NG
OK
OK
END

鋼管杭の設計方針

■ 鋼管杭の設計フローを下図に示す。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。



鋼管杭の設計フロー

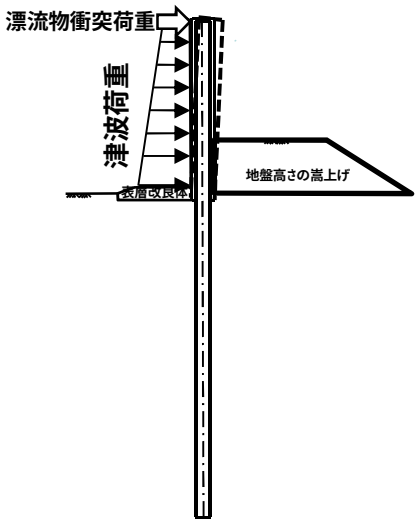
鋼管杭の設計方針

①耐津波設計（静的フレーム解析）

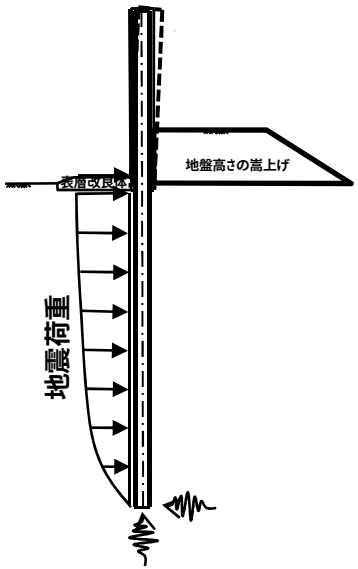
- 鋼管杭を二次元梁要素とし，地盤バネを接続したモデルで静的フレーム解析を行う。死荷重及び積雪の長期荷重，津波による波力と漂流物衝突荷重，余震荷重等を外力として入力する。地盤バネは静的物性及びせん断強度により計算する。
- 津波荷重に対しては，鋼管1本あたりの分担面積に対して加わる荷重に弾性範囲内で耐えうる設計とする。

②耐震設計（有効応力解析）

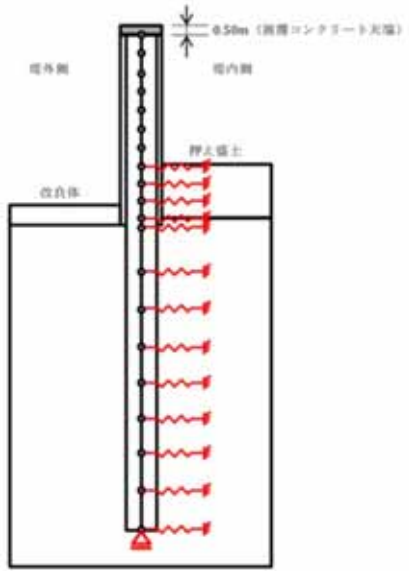
- 二次元地震応答解析を行い，地震時の鋼管杭の構造健全性について検討する。検討は，有効応力の変化に伴う地盤の挙動の変化を考慮することができる有効応力解析を用いる。
- 地震応答解析により算定された杭体の断面力を用いて，曲げモーメント･軸力に対する照査，せん断に対する照査を行い，許容限界以下であることを確認する。



津波荷重+漂流物衝突荷重

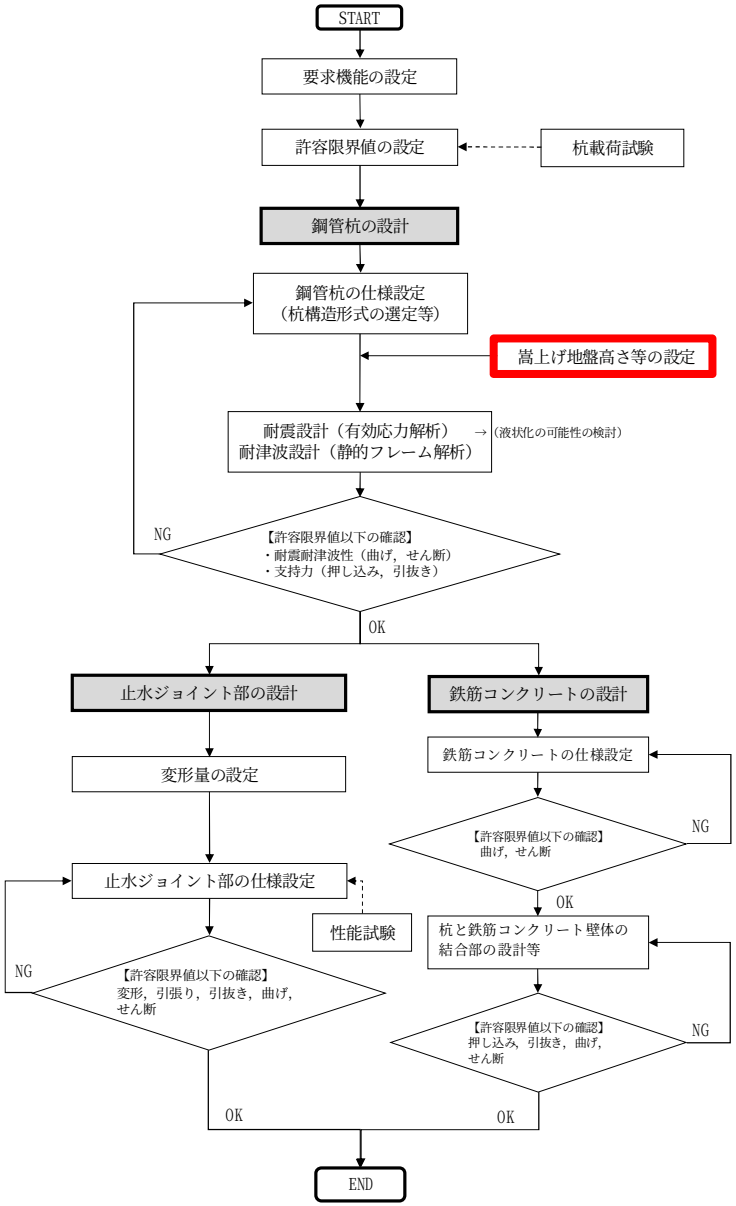


基準地震動Ｓsによる
地震荷重



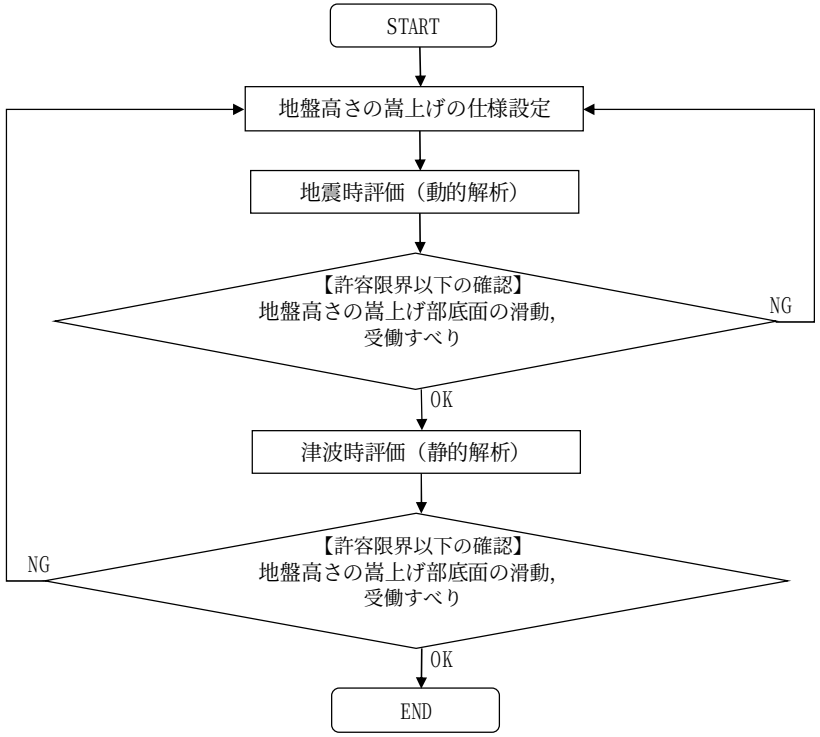
解析モデル概念図

5．設計方針（設計手順）

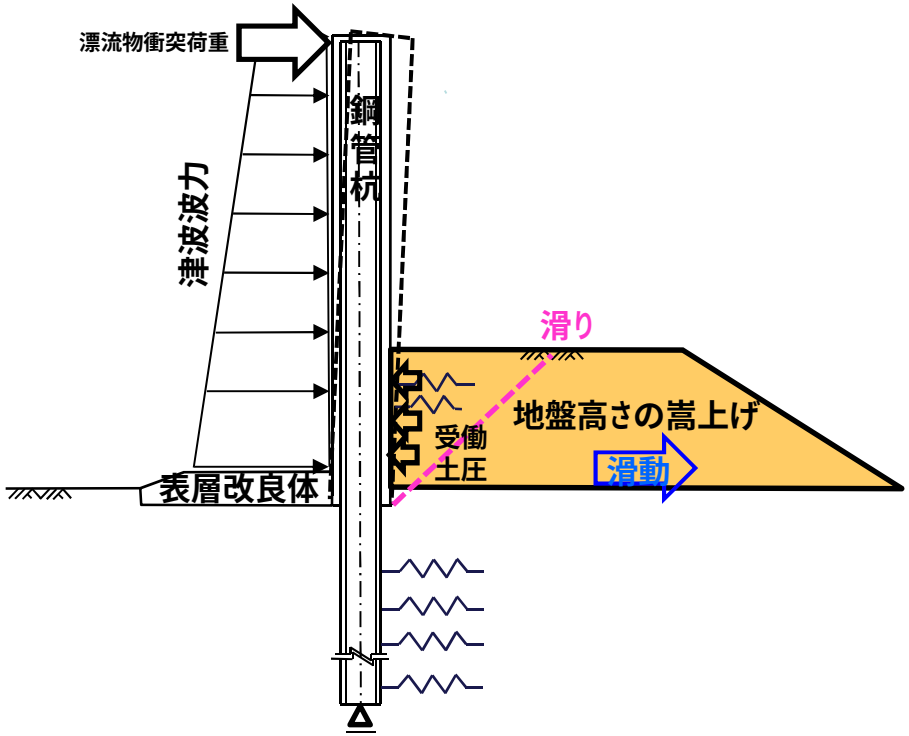

START
要求機能の設定
許容限界値の設定
杭載荷試験
鋼管杭の設計
鋼管杭の仕様設定
（杭構造形式の選定等）
嵩上げ地盤高さ等の設定
耐震設計（有効応力解析）
耐津波設計（静的フレーム解析）
→（液状化の可能性の検討）
NG
【許容限界値以下の確認】
・耐震耐津波性（曲げ，せん断）
・支持力（押し込み，引抜き）
OK
止水ジョイント部の設計
鉄筋コンクリートの設計
変形量の設定
鉄筋コンクリートの仕様設定
【許容限界値以下の確認】
曲げ，せん断
NG
OK
止水ジョイント部の仕様設定
性能試験
杭と鉄筋コンクリート壁体の
結合部の設計等
NG
【許容限界値以下の確認】
変形，引張り，引抜き，曲げ，
せん断
【許容限界値以下の確認】
押し込み，引抜き，曲げ，
せん断
NG
OK
OK
END

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，地震時及び津波時に地盤高さの嵩上げ部底面が滑動しないこと及び上部工背面の地盤が滑りに至らないことを照査する。
- 地盤高さの嵩上げ部の滑動の照査は，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Ⅳ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。
- 地盤高さの嵩上げ部のうち上部工背面の地盤の滑りの照査については，地震時と津波時に対して行うこととし，所要のすべり安全率以上であることを確認する。

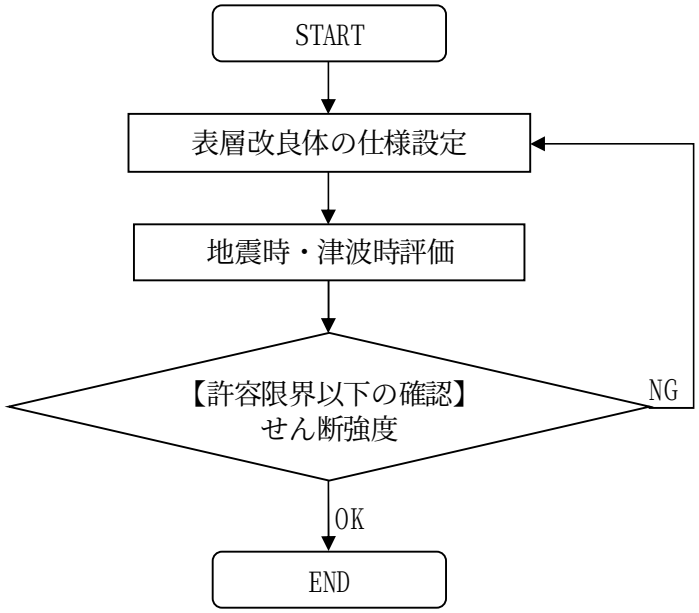


地盤高さの嵩上げの検討フロー

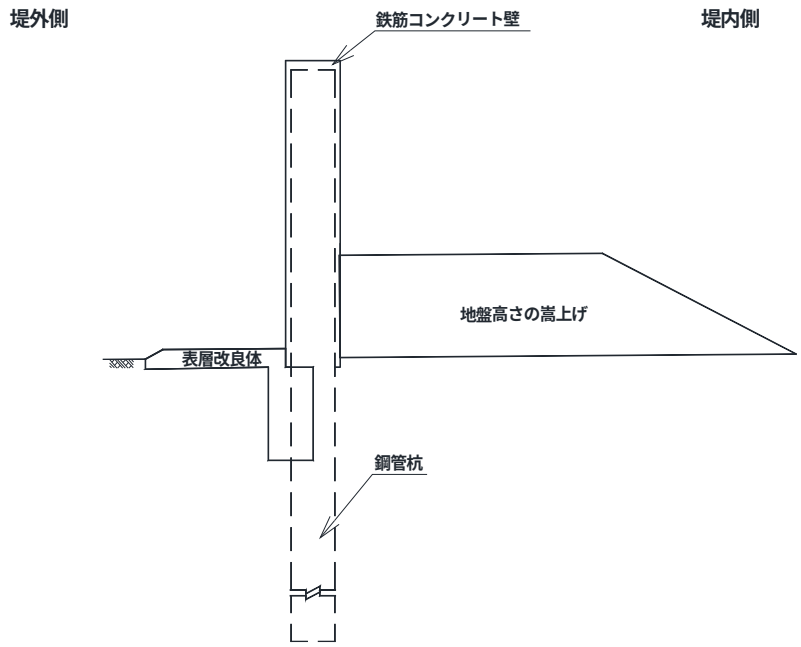


表層改良体の設計方針（洗掘防止対策）

- 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イリングを防止するため，表層地盤を1m程度地盤改良し，更に杭間を数m閉塞することにより対策を行う。更に，上部工の鉄筋コンクリート壁は，改良体表面から1m程度地盤に根入れする。
- 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。

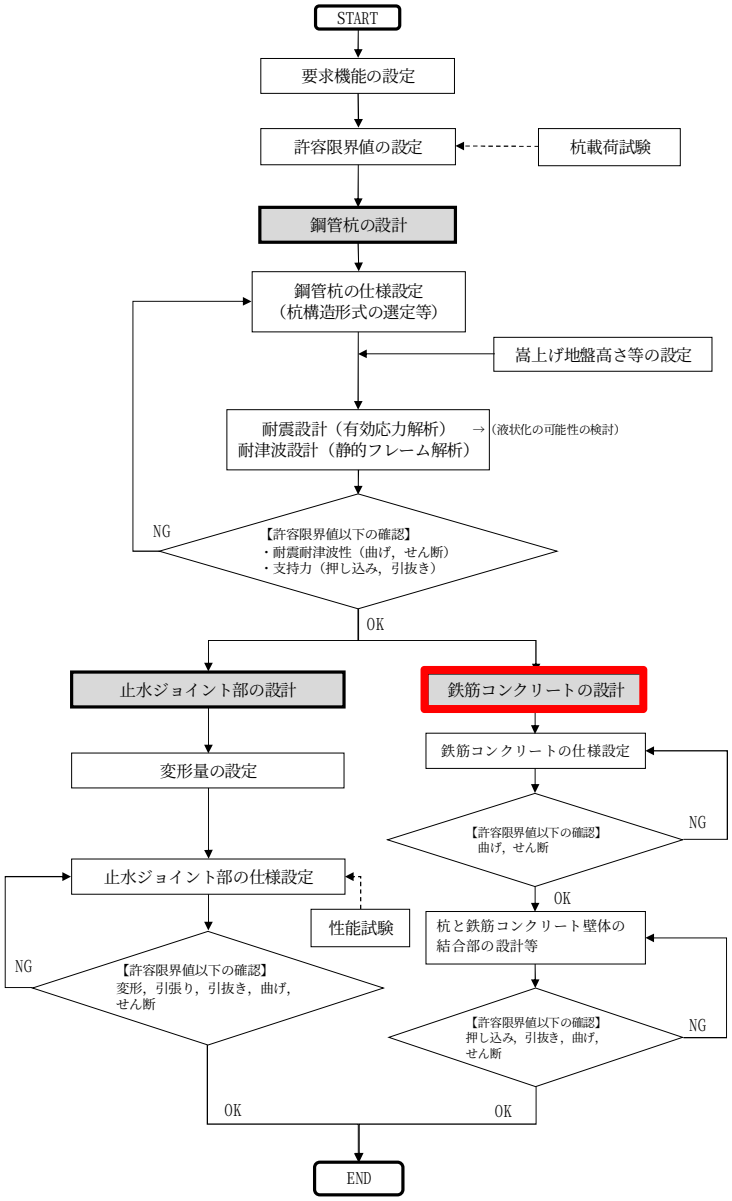


表層改良体の検討フロー



洗掘防止対策

5．設計方針（設計手順）

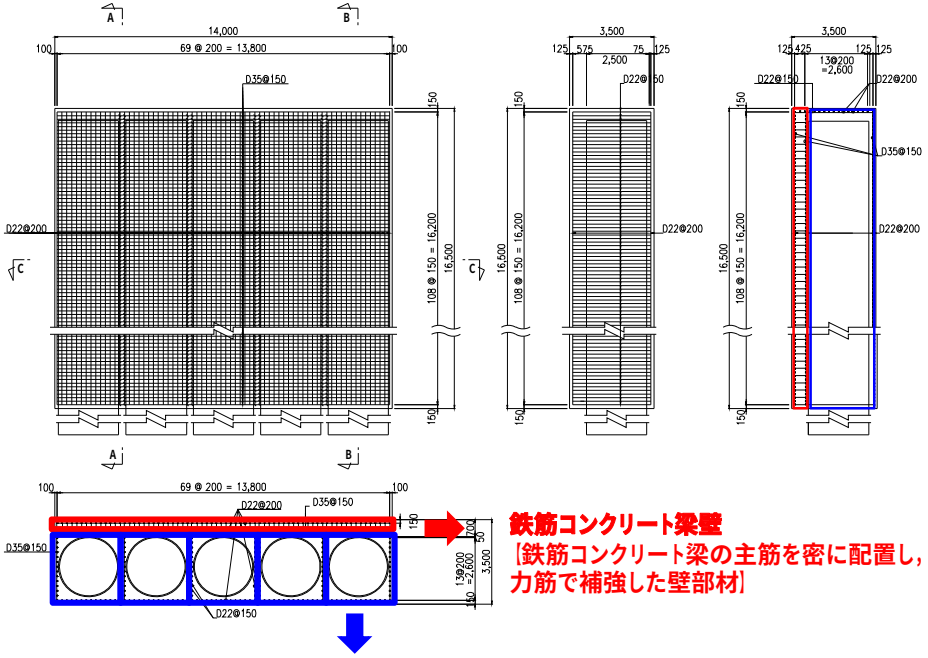

START
要求機能の設定
許容限界値の設定
杭載荷試験
鋼管杭の設計
鋼管杭の仕様設定
（杭構造形式の選定等）
嵩上げ地盤高さ等の設定
耐震設計（有効応力解析）
耐津波設計（静的フレーム解析）
→（液状化の可能性の検討）
NG
【許容限界値以下の確認】
・耐震耐津波性（曲げ，せん断）
・支持力（押し込み，引抜き）
OK
止水ジョイント部の設計
鉄筋コンクリートの設計
変形量の設定
鉄筋コンクリートの仕様設定
【許容限界値以下の確認】
曲げ，せん断
NG
OK
止水ジョイント部の仕様設定
性能試験
杭と鉄筋コンクリート壁体の
結合部の設計等
NG
【許容限界値以下の確認】
変形，引張り，引抜き，曲げ，
せん断
【許容限界値以下の確認】
押し込み，引抜き，曲げ，
せん断
NG
OK
OK
END

上部工（鉄筋コンクリート壁）

■ 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。

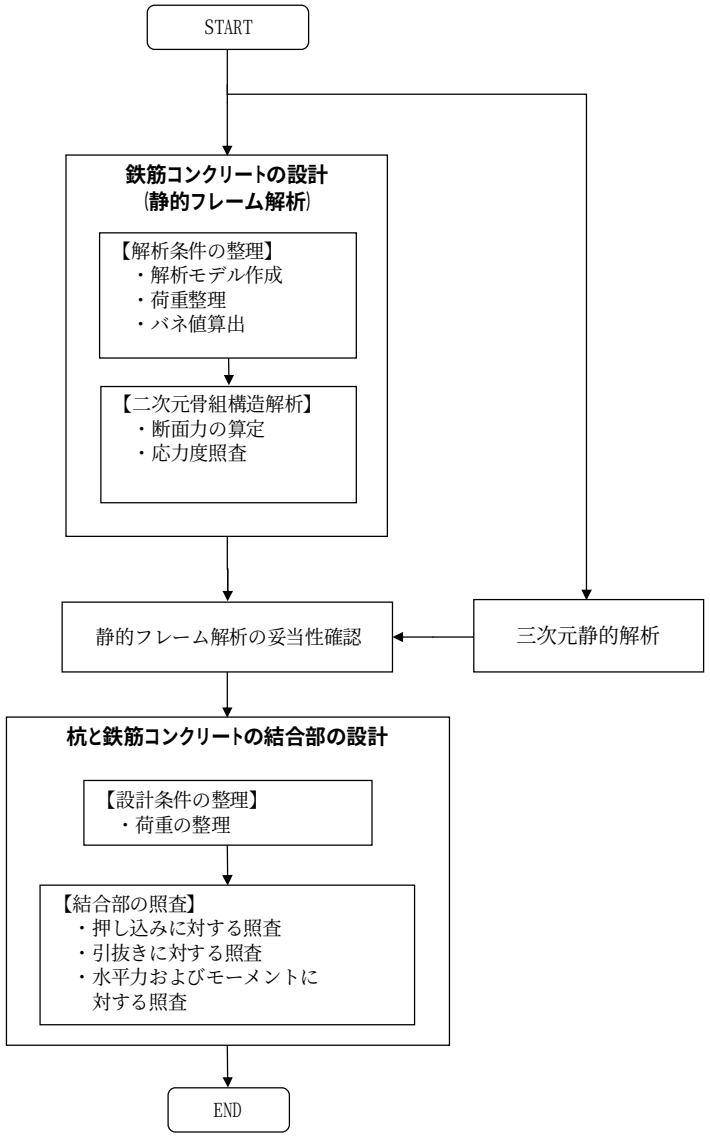
■ 鋼管杭を地震･津波荷重に耐える構造躯体とし，杭間からの津波の浸水を防止する観点で，鋼管杭に鉄筋コンクリートを被覆する上部構造とした。この上部構造は，漂流物の衝突荷重や津波荷重に耐える鉄筋コンクリートの梁壁と鋼管杭の鉄筋コンクリート柱（SRC造）を一体化した構造とした。

上部工（鉄筋コンクリート，鋼管杭）



鉄筋コンクリート梁壁
【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】

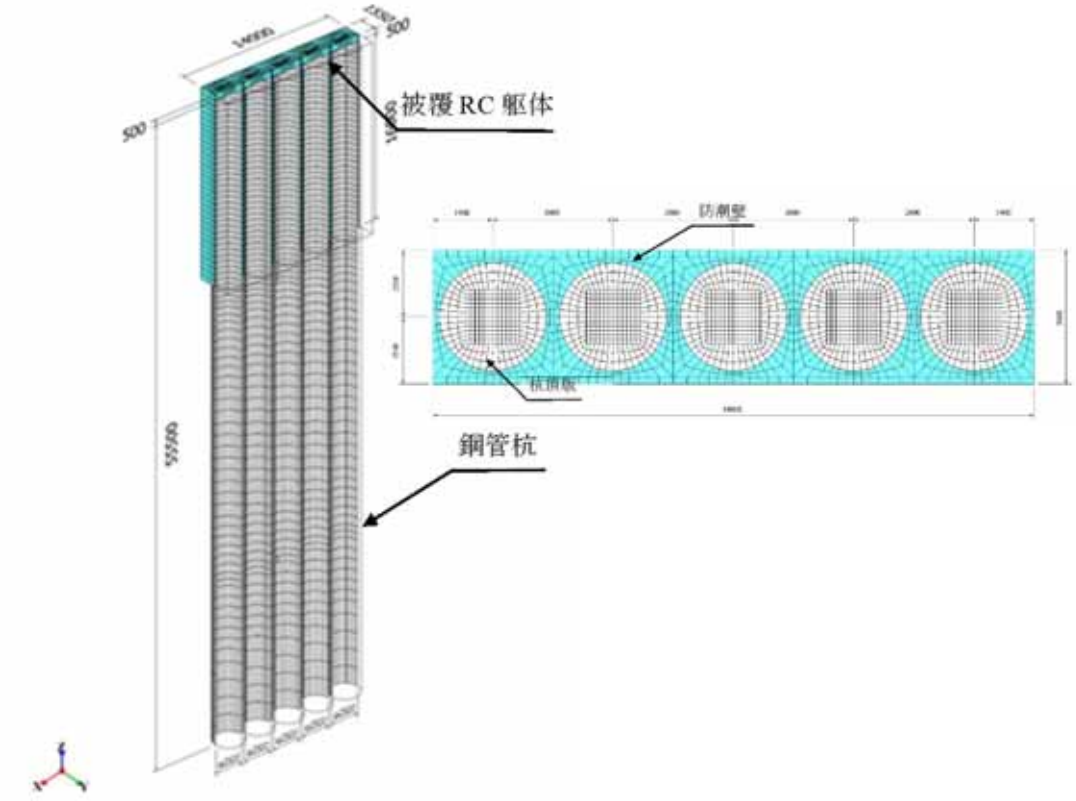
鋼管杭鉄筋コンクリート柱
【下部工の鋼管杭から上部工に連続する鋼管を被覆した柱部材】



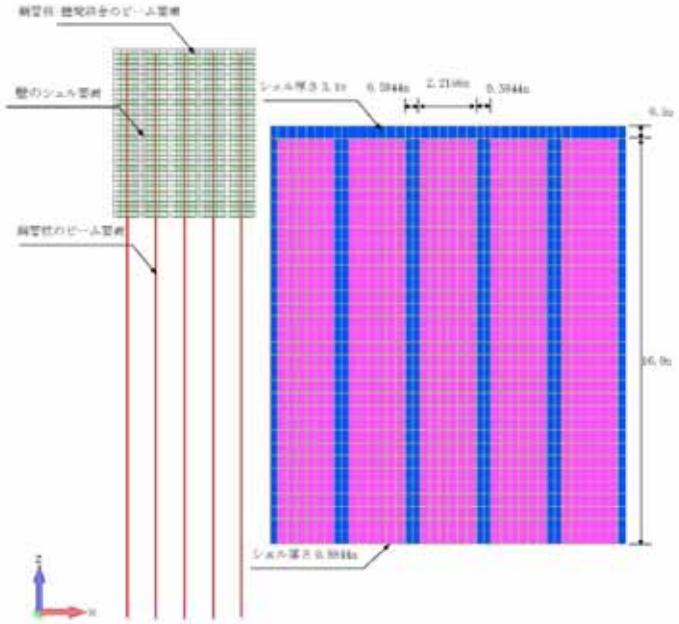
上部工の設計手順

上部工（鉄筋コンクリート壁）

二次元梁モデルの妥当性の確認のため，三次元モデルによる津波時の評価を行い，断面力を比較をする。その結果により、モデル化の保守性を確認する。

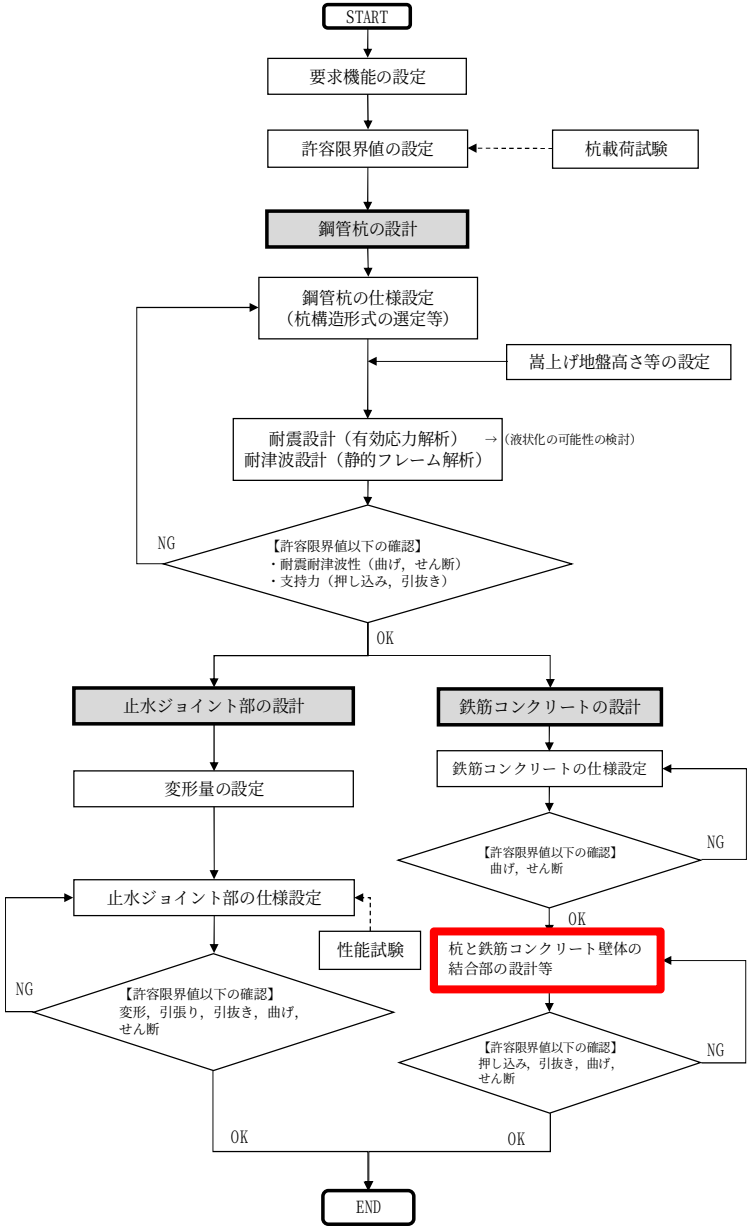


三次元ソリッドによるモデル化



三次元シェルによるモデル化

5．設計方針（設計手順）

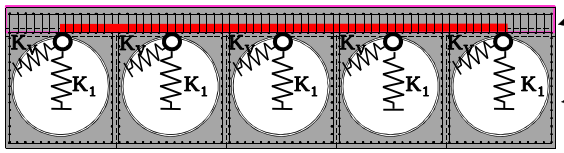

START
要求機能の設定
許容限界値の設定
杭載荷試験
鋼管杭の設計
鋼管杭の仕様設定
（杭構造形式の選定等）
嵩上げ地盤高さ等の設定
耐震設計（有効応力解析）
耐津波設計（静的フレーム解析）
→（液状化の可能性の検討）
NG
【許容限界値以下の確認】
・耐震耐津波性（曲げ，せん断）
・支持力（押し込み，引抜き）
OK
止水ジョイント部の設計
鉄筋コンクリートの設計
変形量の設定
鉄筋コンクリートの仕様設定
【許容限界値以下の確認】
曲げ，せん断
NG
OK
止水ジョイント部の仕様設定
性能試験
杭と鉄筋コンクリート壁体の
結合部の設計等
NG
【許容限界値以下の確認】
変形，引張り，引抜き，曲げ，
せん断
【許容限界値以下の確認】
押し込み，引抜き，曲げ，
せん断
NG
OK
OK
END

二次元梁モデルの概要

モデル化方針

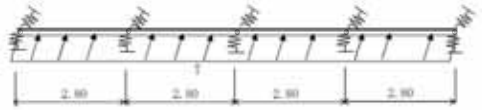
鉄筋コンクリート梁壁を，二次元の梁でモデル化し（鉄筋コンクリート梁壁を一本の梁要素に集約し，鋼管杭の剛性を考慮しないモデル），配置する鉄筋の仕様を検討する。

二次元梁要素

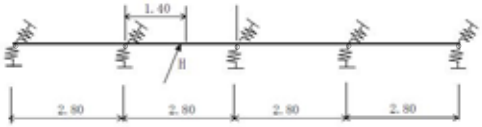


鉄筋コンクリート梁壁（モデル化）

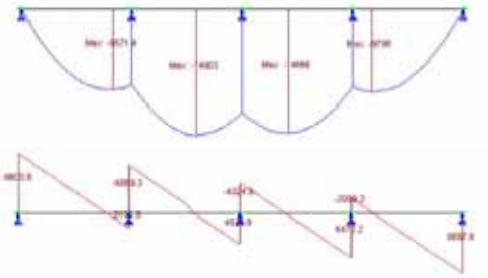
鋼管コンクリート柱



津波荷重載荷図



漂流物荷重載荷図



・地盤のばらつきについては，杭バネとして梁モデルに付加する。
・左右にそれぞれ，+1σに相当するバネ，-1σに相当するバネとしてモデル化する。

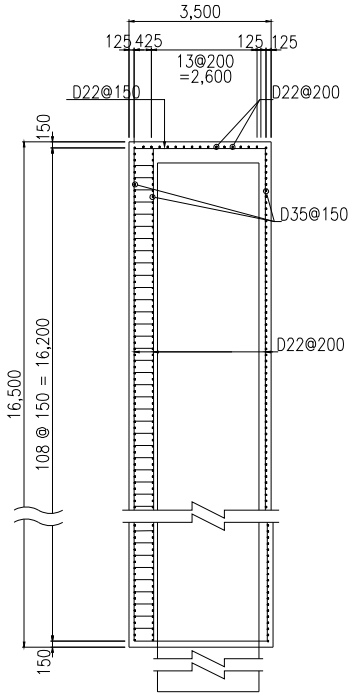
- 二次元梁モデルは津波や漂流物の衝突荷重に耐えうる構造である鉄筋コンクリート梁壁のみをモデル化する。
- 各支点（鋼管杭の中央部）には地盤の水平抵抗及び鉛直抵抗を模擬するバネを設置する。
- バネと梁要素はピン結合され，水平方向バネには水平方向反力，鉛直方向バネには鉛直方向反力が伝わる。
- 津波時に載荷する荷重は，津波荷重と漂流物の衝突荷重とするが，津波荷重は地表面付近の最大荷重を梁モデルに分布荷重として載荷する。
- 漂流物は最も曲げモーメントが大きくなる個所に載荷する。

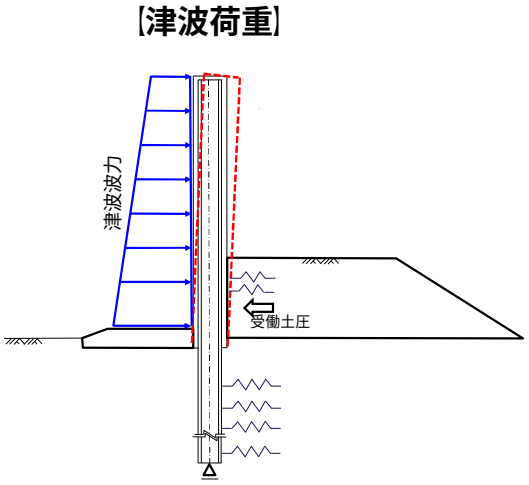
曲げモーメント図とせん断力図の一例

上部工の照査（津波の波圧）

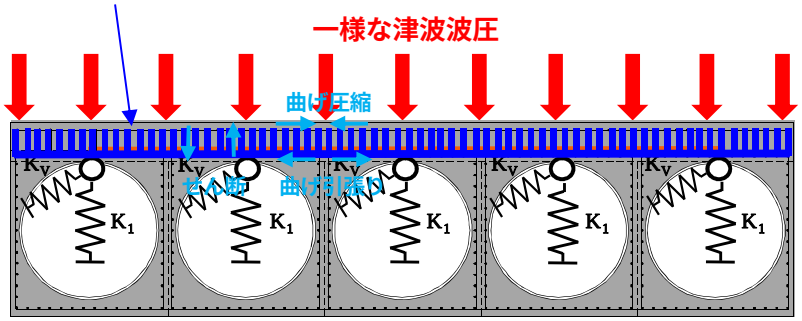
確認事項

上部構造体に津波荷重が作用した場合の，鉄筋コンクリート梁壁に生じるコンクリート圧縮･せん断応力や鉄筋の引張･せん断応力を照査する。





一様な波力に対して、鉄筋コンクリート梁壁内の引張鉄筋、せん断耐力鉄筋の照査を行う。
（青色：主筋，せん断耐力鉄筋）

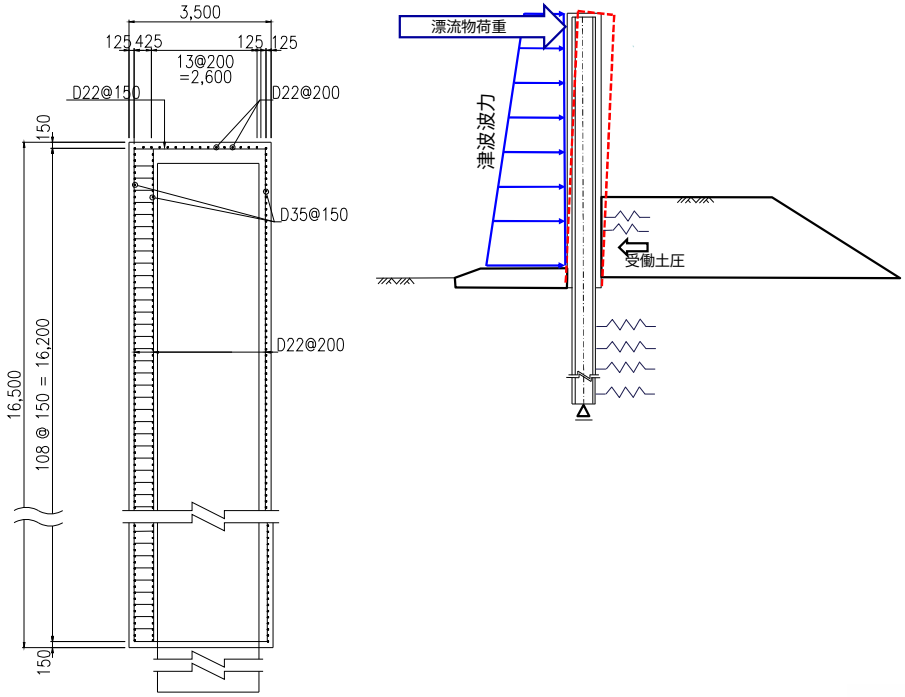


上部工の照査（漂流物の衝突）

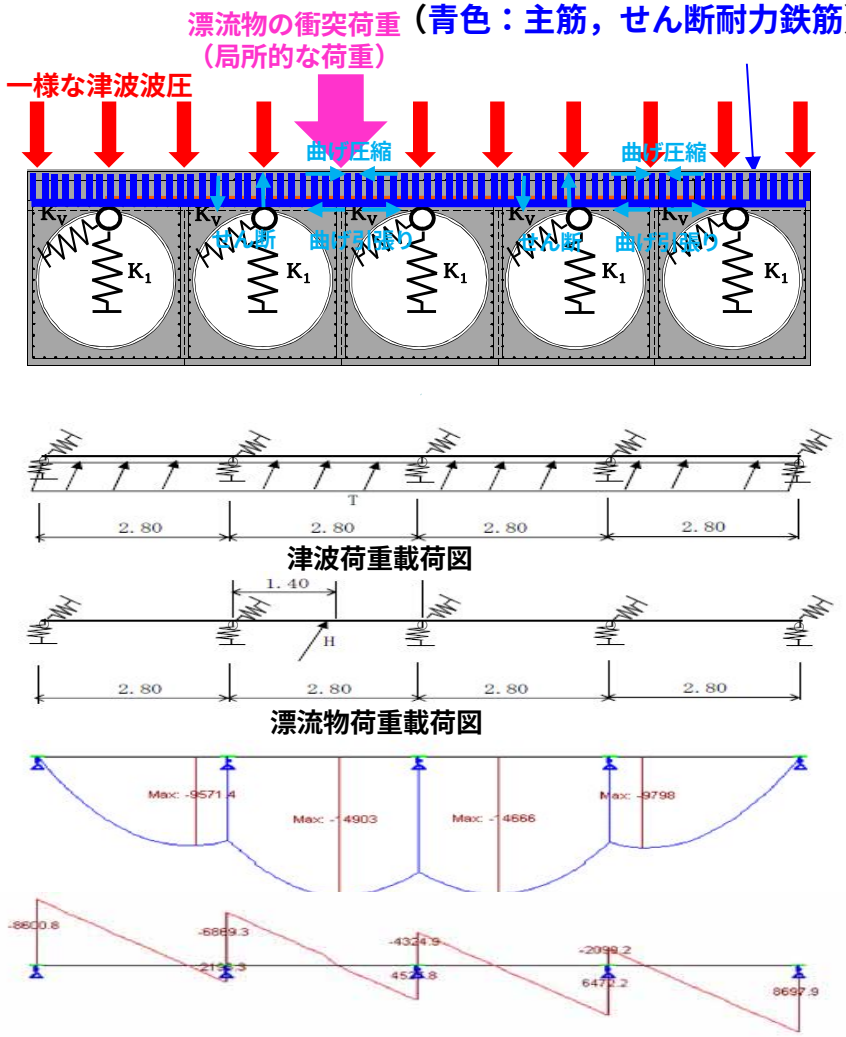
確認事項

上部構造体に津波荷重や漂流物衝突荷重が作用した場合の，鉄筋コンクリート梁壁や鋼管コンクリート柱に生じるコンクリート圧縮･せん断応力や鉄筋の引張･せん断応力を照査する。

【津波荷重＋漂流物衝突荷重】

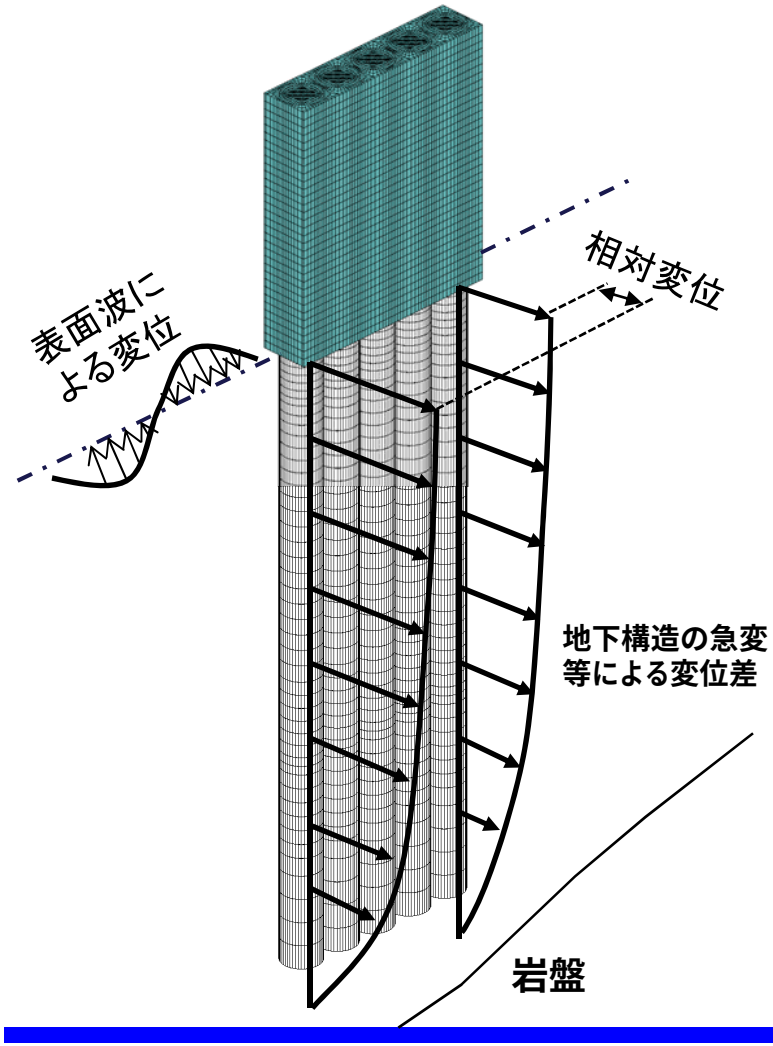


津波荷重に加えて、漂流物衝突荷重を集中荷重として与え、鉄筋コンクリート梁壁内の引張鉄筋、せん断耐力鉄筋の照査を行う。

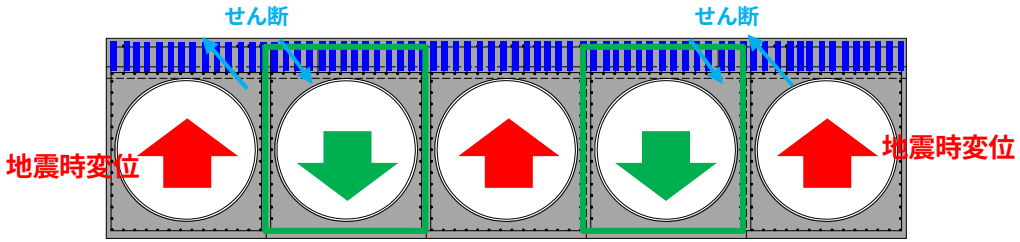


地震時相対変位の検討

地盤の不整形性や表面波による鋼管杭間の相対変位の影響を確認する。



鉄筋コンクリート壁梁のせん断抵抗力で抵抗する。
（青色，緑色：せん断耐力鉄筋）

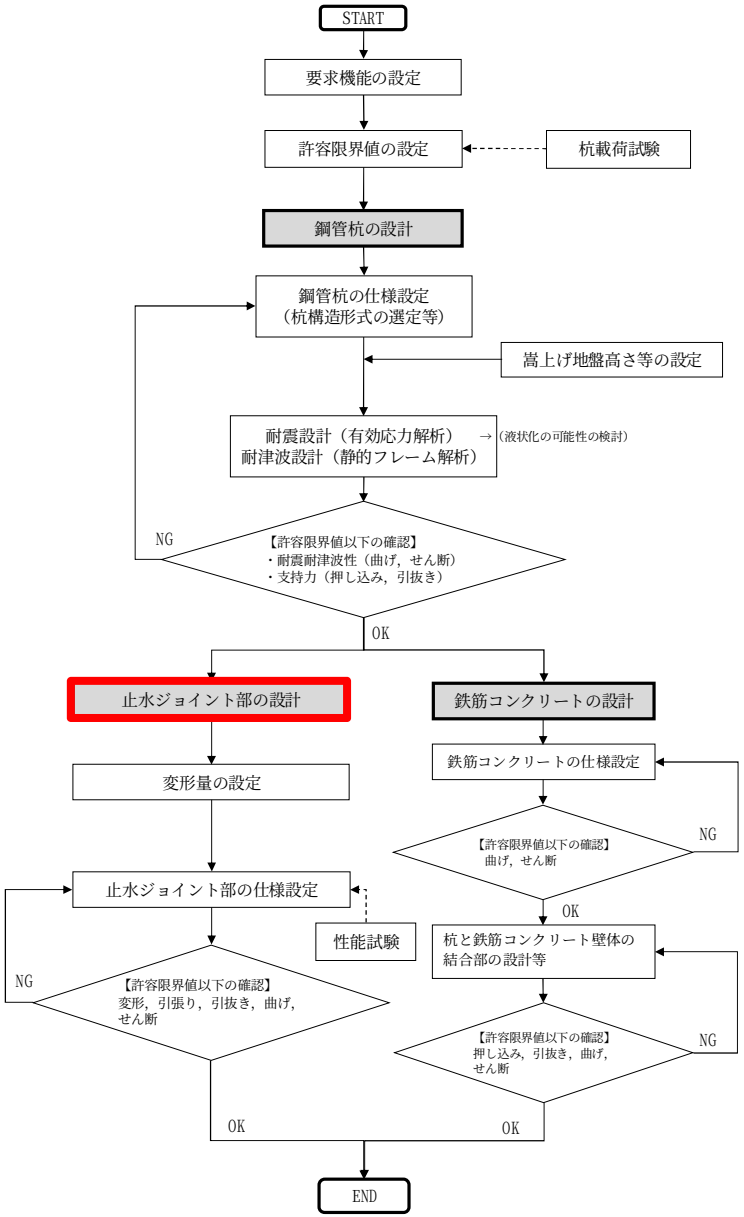


- 表面波による変位は共同溝設計指針に従い算出する。
- 地盤の不整形性等による相対変位の影響については，一次元波動論による入力動の検討を行い，部位毎の相対変位量等を把握する。

⇩

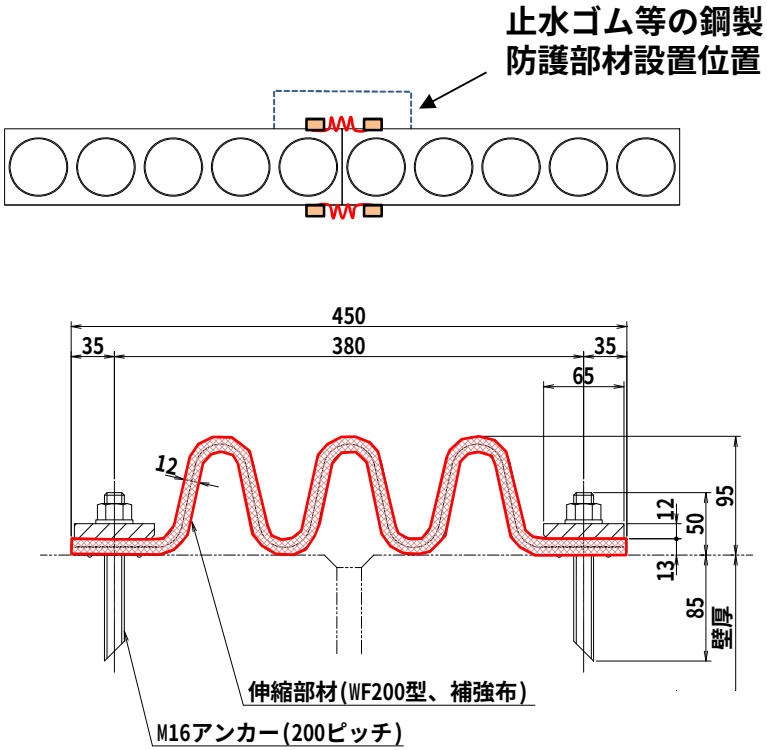
必要に応じて三次元有限要素法解析と鉄筋コンクリート躯体を骨組みモデルで表現した二次元骨組みモデルとを比較し，後者の保守性の検証を実施する。

5．設計方針（設計手順）

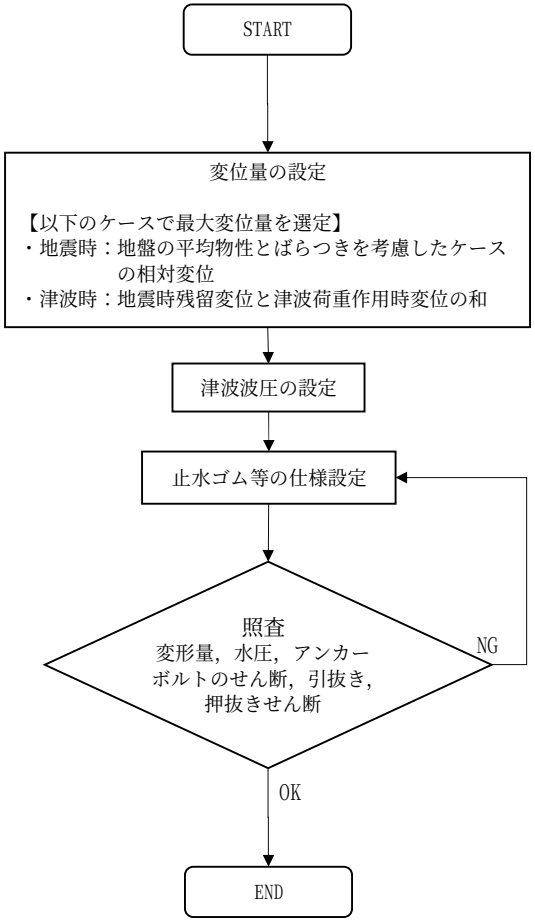

START
要求機能の設定
許容限界値の設定
杭載荷試験
鋼管杭の設計
鋼管杭の仕様設定
（杭構造形式の選定等）
嵩上げ地盤高さ等の設定
耐震設計（有効応力解析）　→（液状化の可能性の検討）
耐津波設計（静的フレーム解析）
NG
【許容限界値以下の確認】
・耐震耐津波性（曲げ，せん断）
・支持力（押し込み，引抜き）
OK
止水ジョイント部の設計
鉄筋コンクリートの設計
変形量の設定
鉄筋コンクリートの仕様設定
NG
【許容限界値以下の確認】
曲げ，せん断
OK
止水ジョイント部の仕様設定
性能試験
杭と鉄筋コンクリート壁体の
結合部の設計等
NG
【許容限界値以下の確認】
変形，引張り，引抜き，曲げ，
せん断
【許容限界値以下の確認】
押し込み，引抜き，曲げ，
せん断
NG
OK
OK
END

止水ジョイントの変形量評価方針

- 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必要がある。
- 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構造健全性評価については，基準地震動Ss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。
- 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概念図



止水ジョイント部の検討フロー

6．施工実績（本設杭構造）

■杭の最小中心間隔が2.5D未満の場合であり、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示す。

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

6．施工実績（本設杭構造）

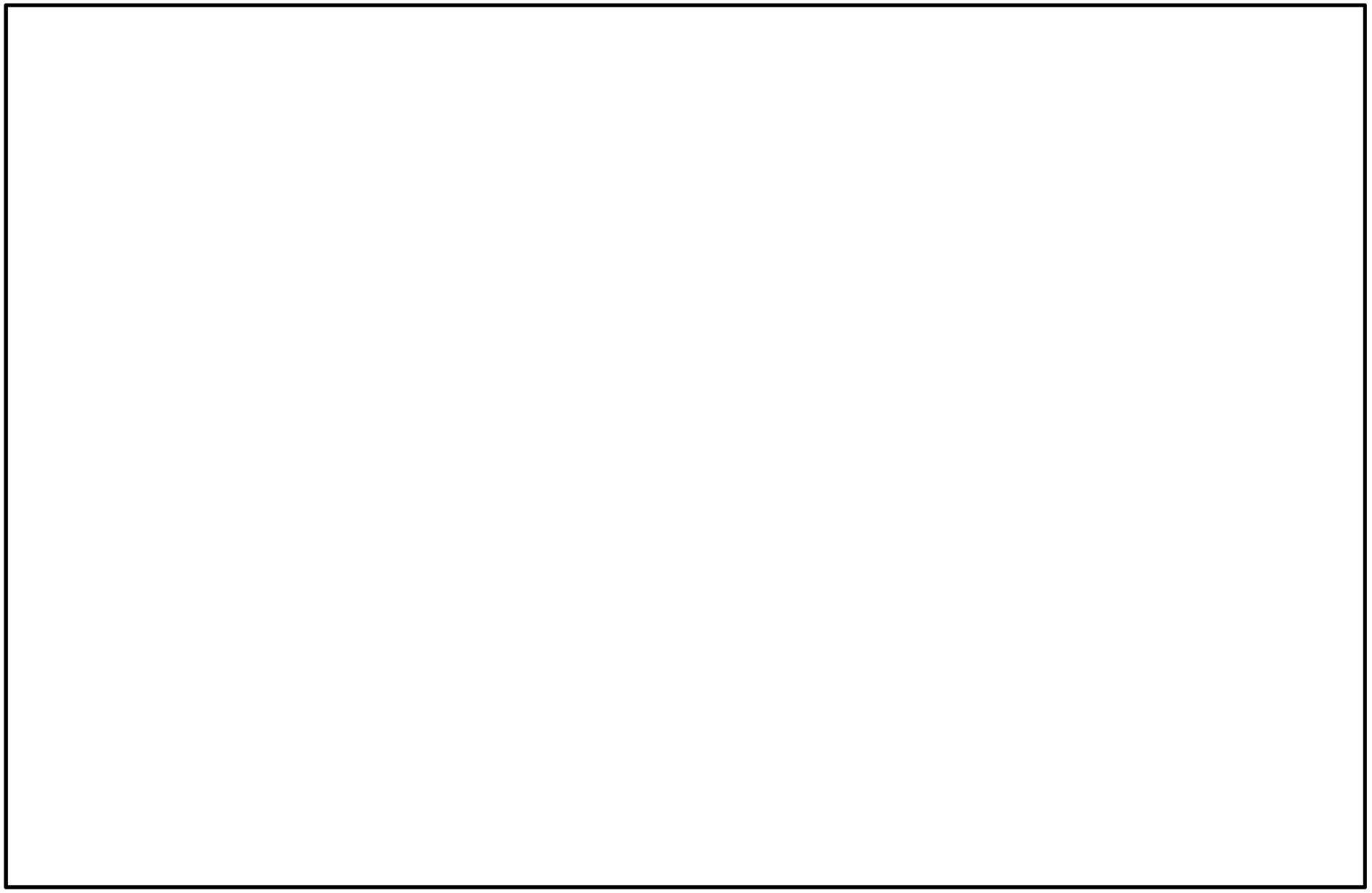
6．施工実績（本設杭構造）

6．施工実績（本設杭構造）

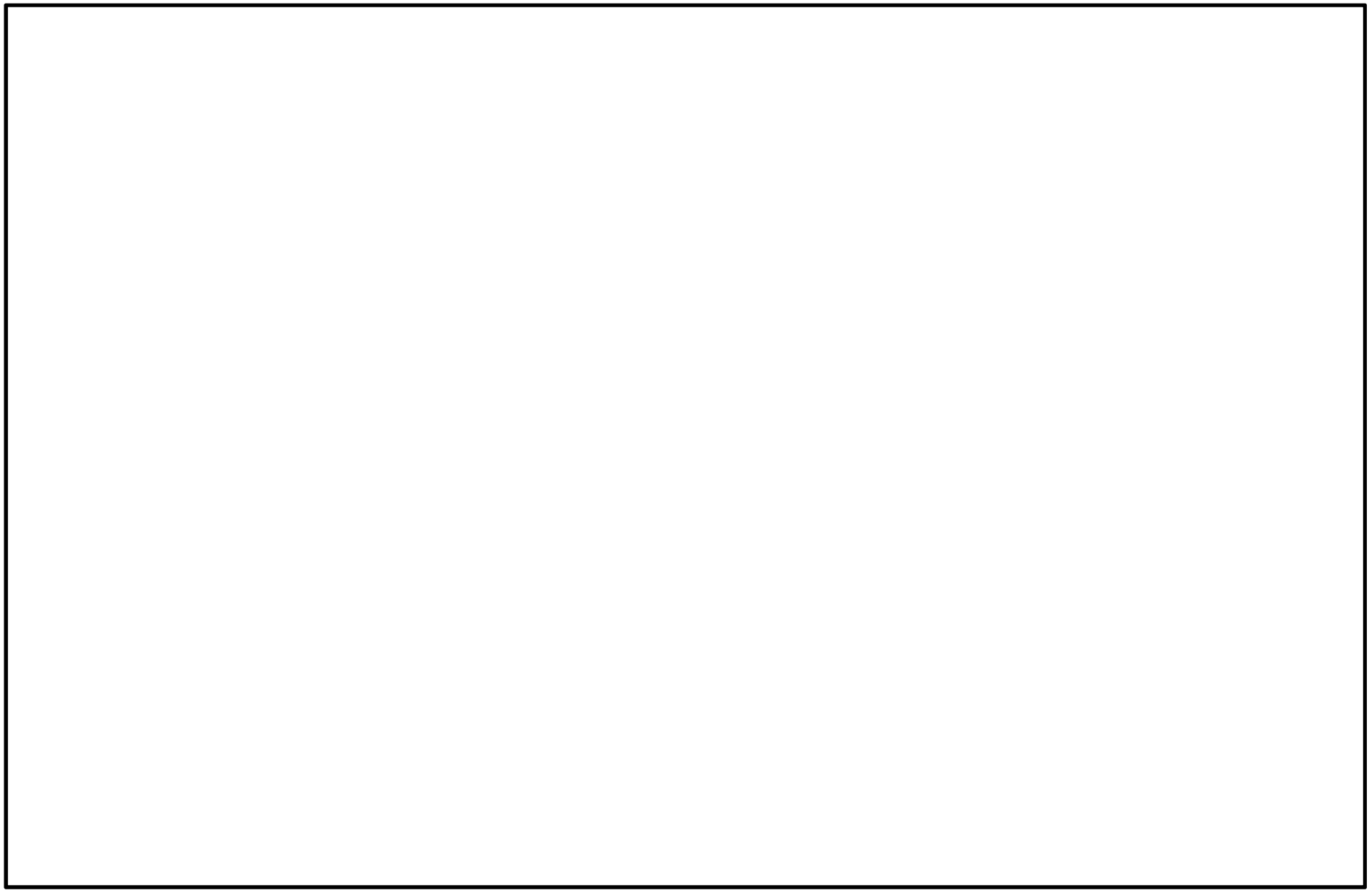
6．施工実績（本設杭構造）

6．施工実績（本設杭構造）

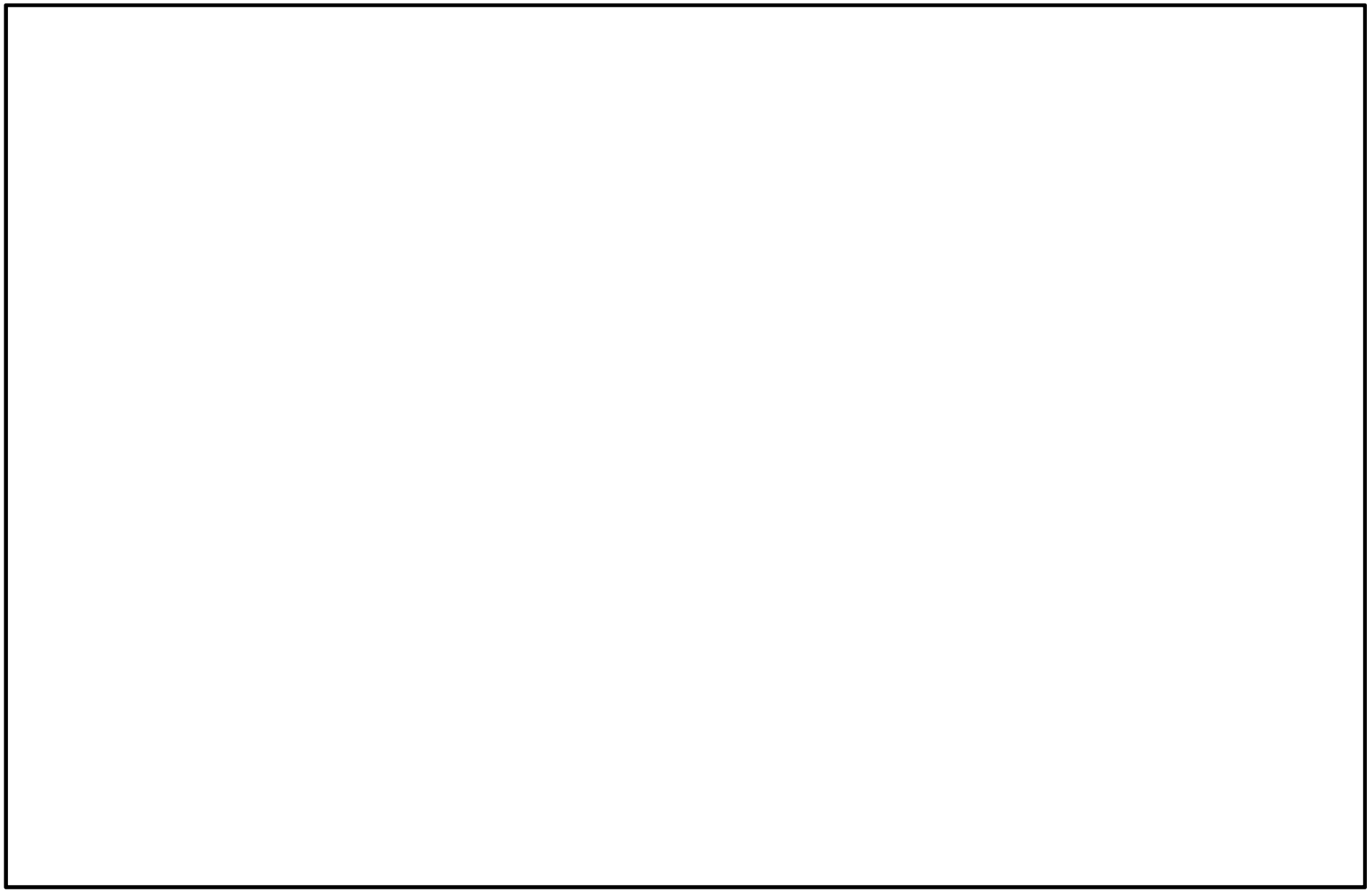
6．施工実績（本設杭構造）



6．施工実績（本設杭構造）

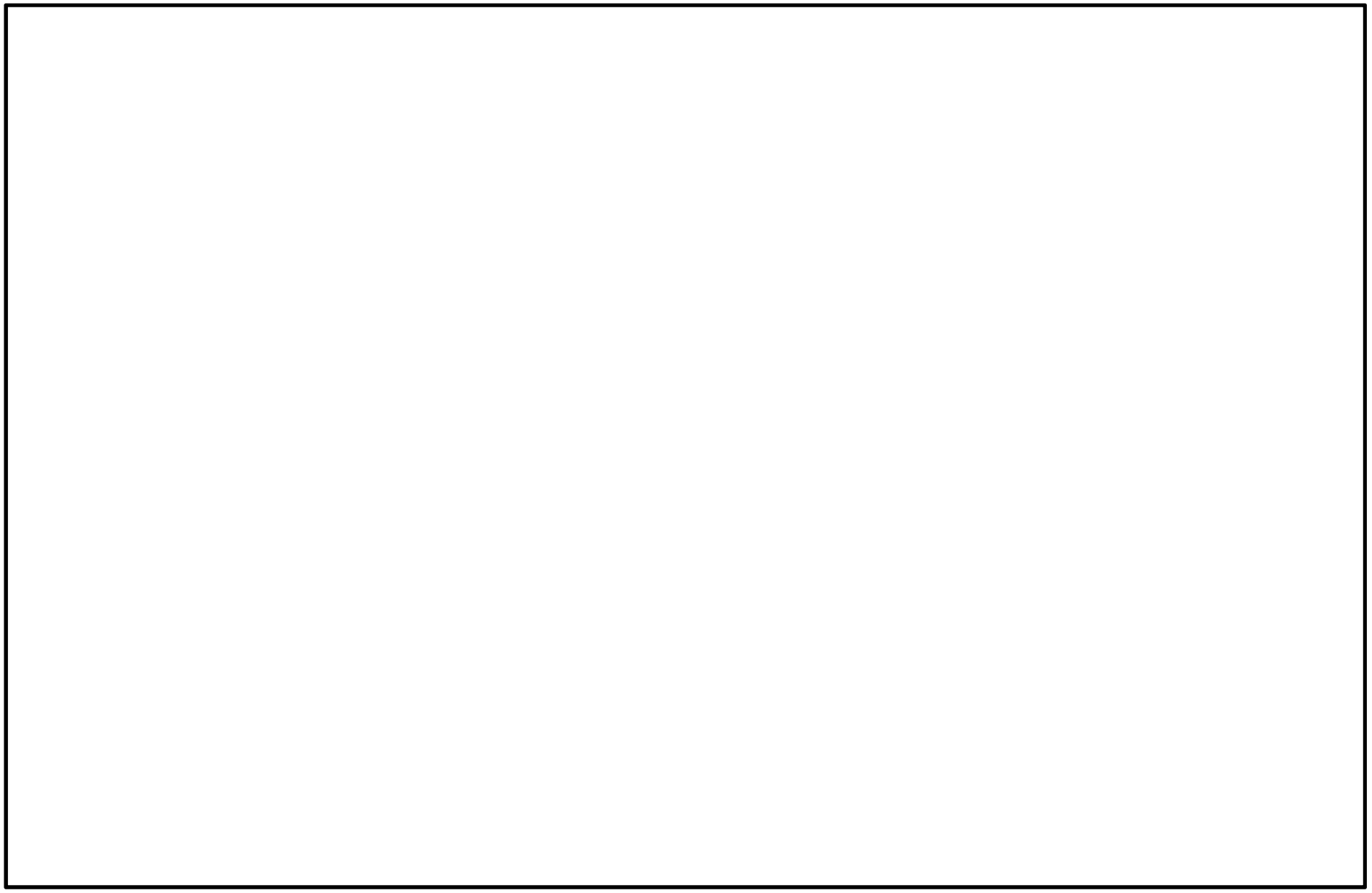


6．施工実績（本設杭構造）

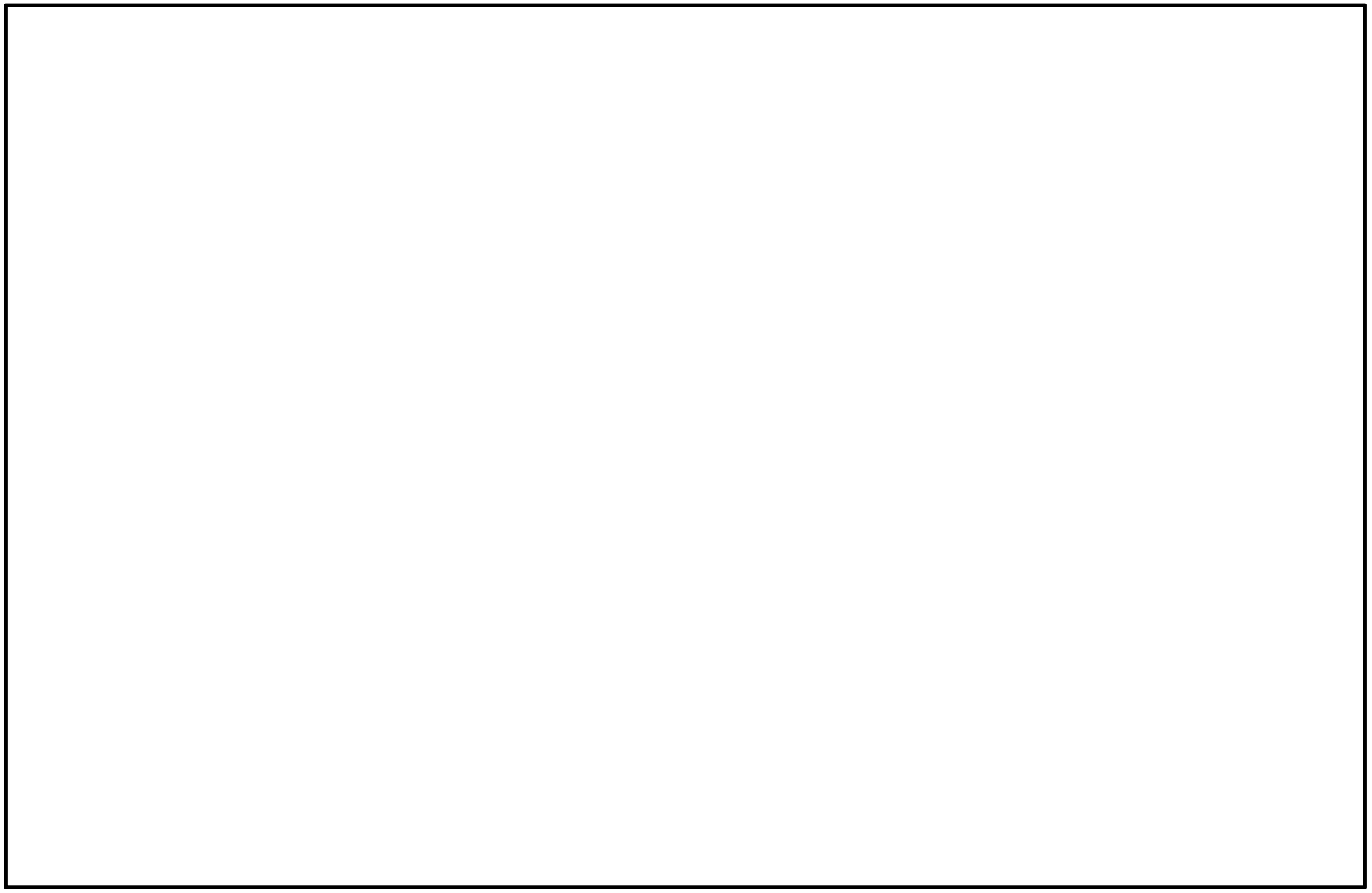


6．施工実績（本設杭構造）

6．施工実績（本設杭構造）



6．施工実績（本設杭構造）



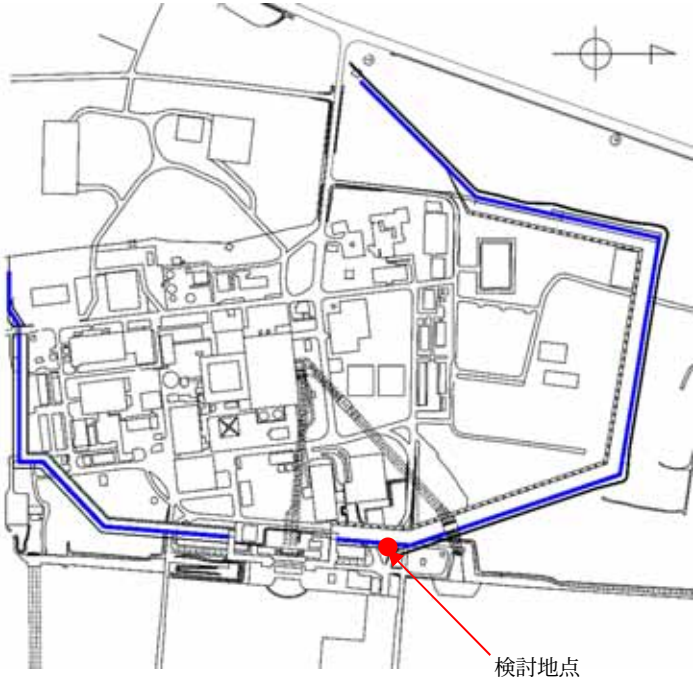
6．施工実績（本設杭構造）

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。

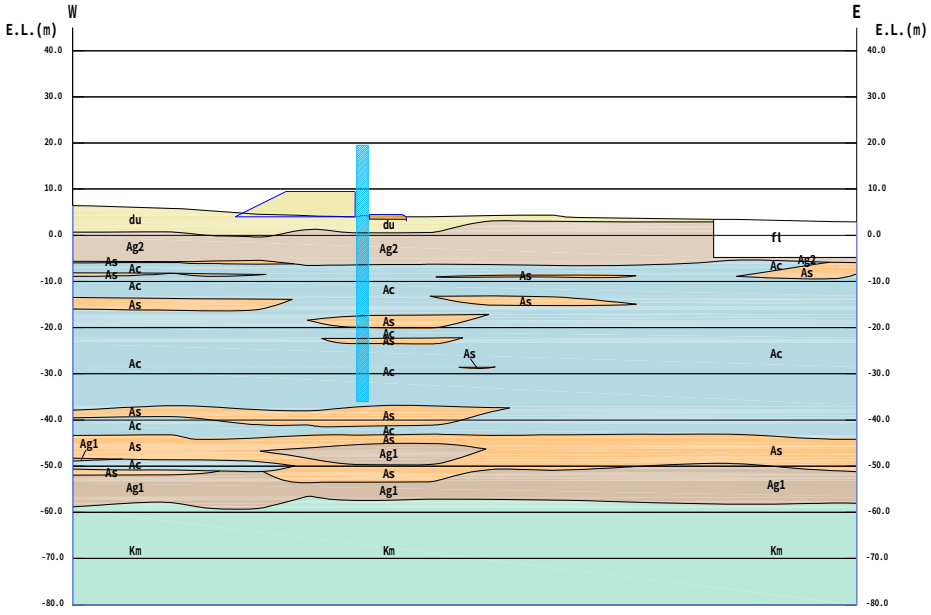
7. 道路橋示方書の適用性について

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Ssの加速度応答スペクトルのレベルを比較した。

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



検討地点の地質断面図

東海第二発電所の地盤の固有周期

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

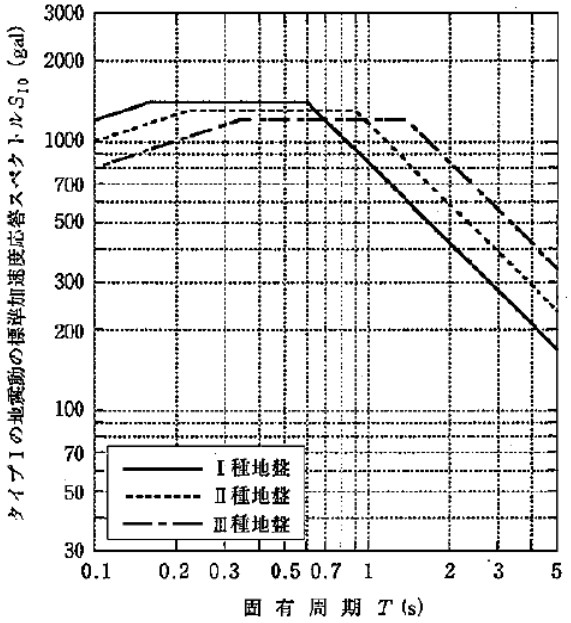
耐震設計上の基盤面はKm層とし，それ以浅の地層を対象に地盤の固有周期を算出した。
道路橋示方書における耐震設計上の地盤種別は，III種地盤（固有周期1.08秒）となった。

道路橋示方書の耐震設計上の地盤種別

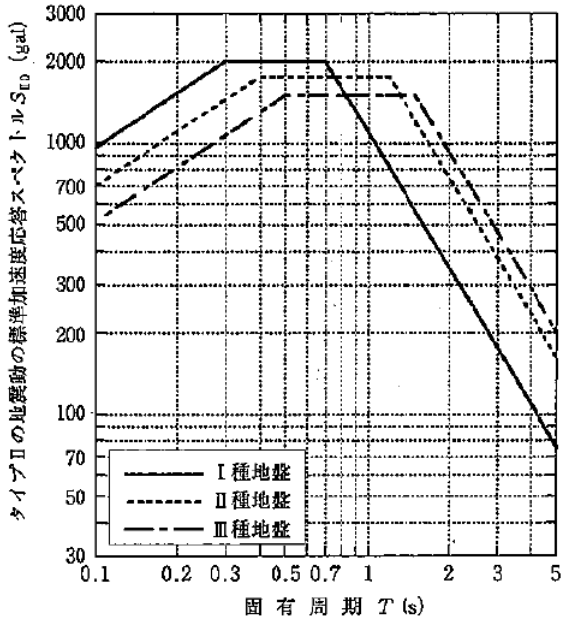
地盤種別	地盤の基本固有周期T_G（s）
I 種	T_G＜0.2
II 種	0.2≦T_G＜0.6
III種	0.6≦T_G

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

■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。
■地震動の種別もプレート境界型地震動を対象としたTypeⅠ、断層直下型地震動を想定したTypeⅡ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示す。



(TypeⅠ地震動)



(TypeⅡ地震動)

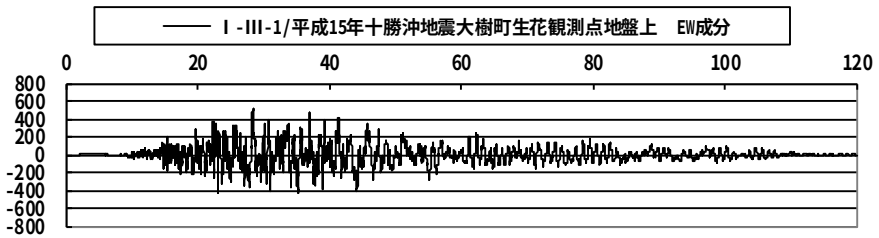
地震動の標準加速度応答スペクトル（道路橋示方書）

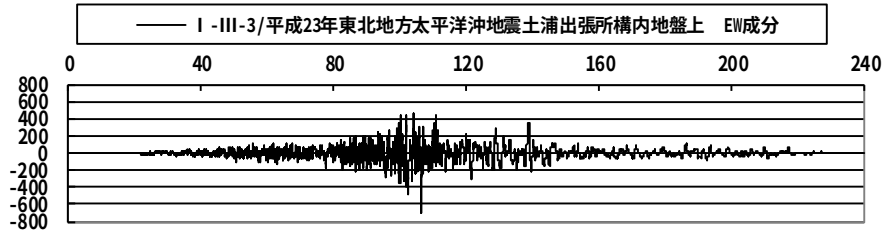
道路橋示方書のIII種地盤の動的解析で用いられる地震動

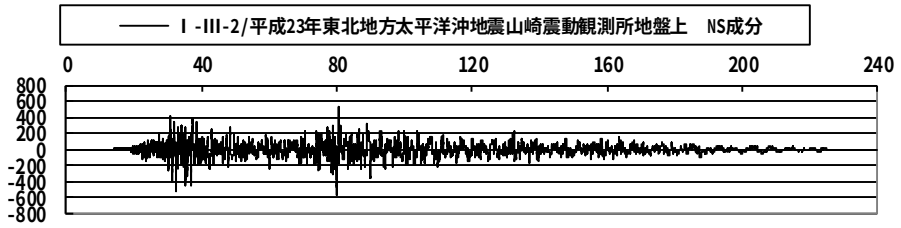
III種地盤の動的解析で用いられる地震動
(道路橋示方書)

Type Ⅰ	Ⅰ-III-1	平成15年十勝沖地震大樹町生花観測点地盤上　EW成分
	Ⅰ-III-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
	Ⅰ-III-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 Ⅱ	Ⅱ-III-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
	Ⅱ-III-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
	Ⅱ-III-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

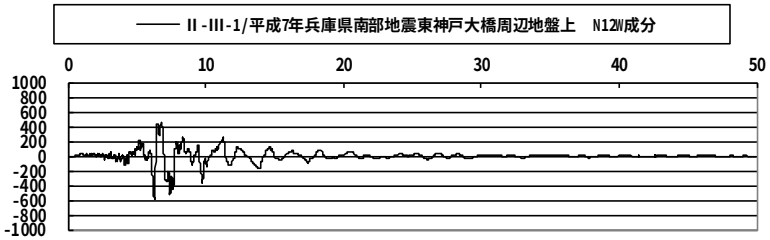
道路橋示方書のレベル2地震動の加速度時刻歴波形

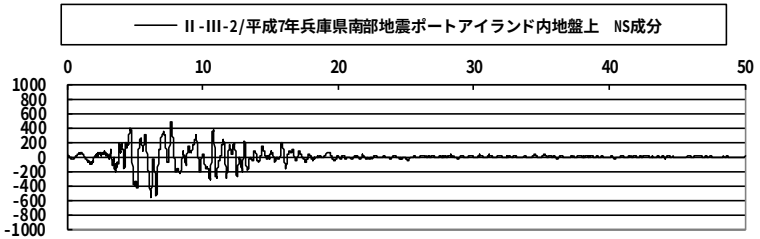


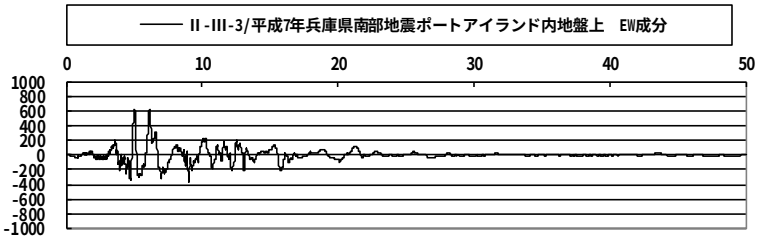




III種地盤TypeⅠ地震動で用いられる地震波
(道路橋示方書)







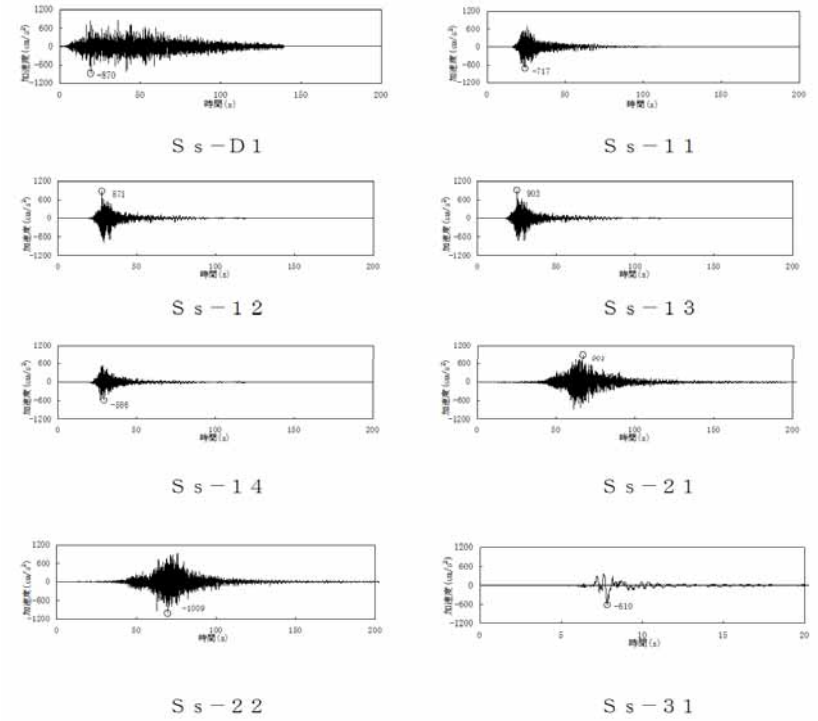
III種地盤TypeⅡ地震動で用いられる地震波
(道路橋示方書)

東海第二発電所の基準地震動Ssの最大加速度

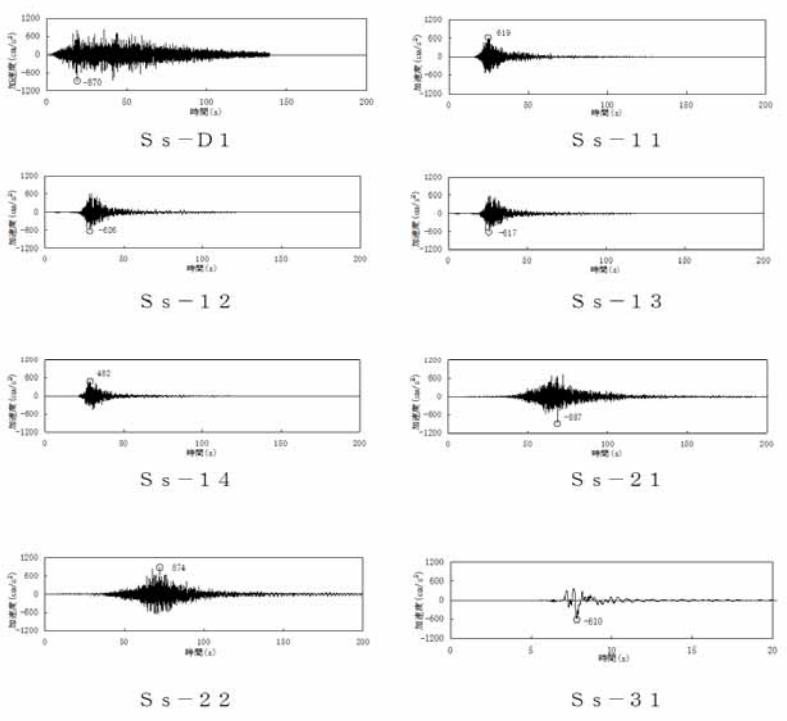
東海第二発電所の基準地震動Ss

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

東海第二発電所の基準地震動Ssの加速度時刻歴波形



加速度時刻歴波形（水平（NS方向））



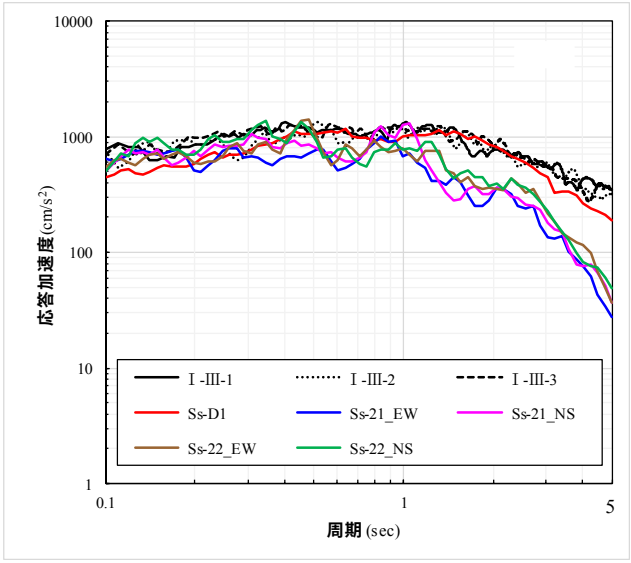
加速度時刻歴波形（水平（EW方向））

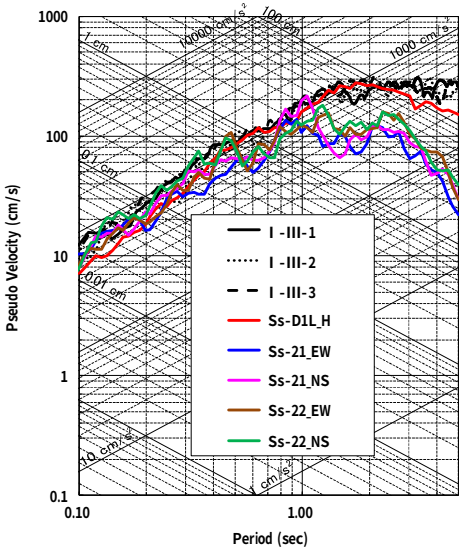
東海第二発電所の基準地震動Ｓｓと道路橋示方書のレベル2地震動の加速度応答スペクトル比較)

■ 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。

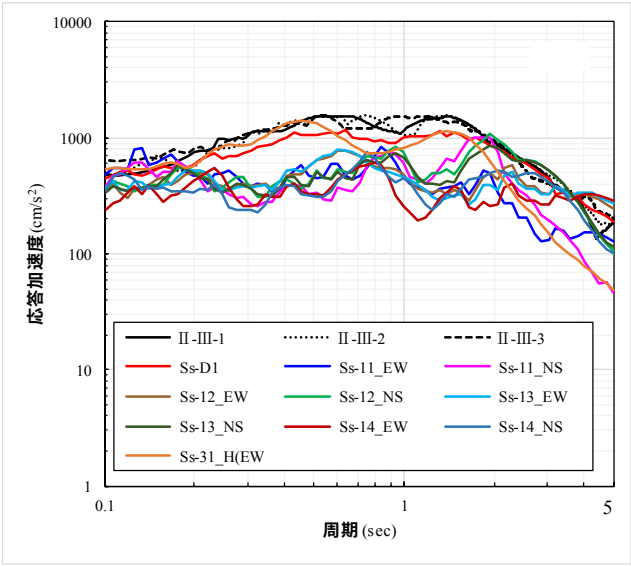
■ 応答スペクトルを比較した結果，道路橋示方書の応答スペクトルが基準地震動Ｓｓのスペクトルを概ね包絡する結果となった。

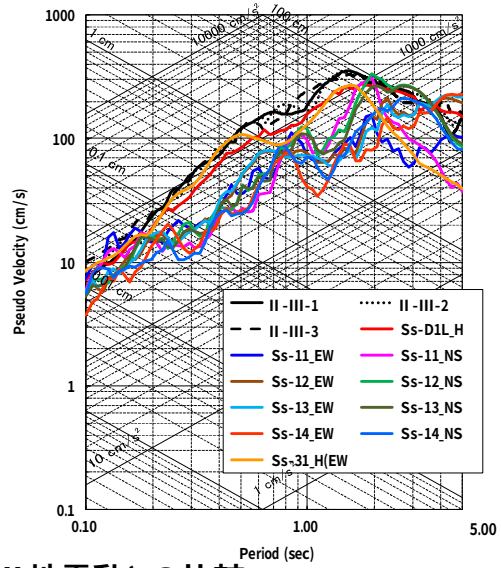
以上より，道路橋示方書の地震動と東海第二発電所の基準地震動Ssのレベルが地表面において、ほぼ同等であることを確認した。





基準地震動SsとTypeⅠ地震動との比較

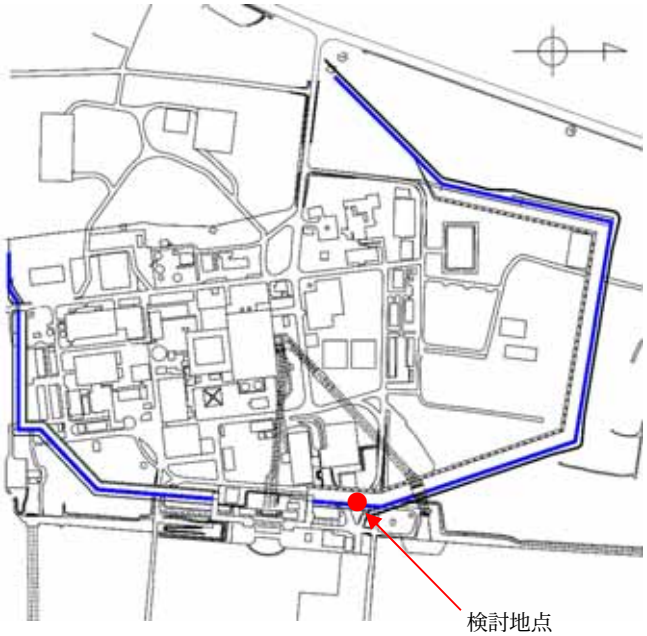




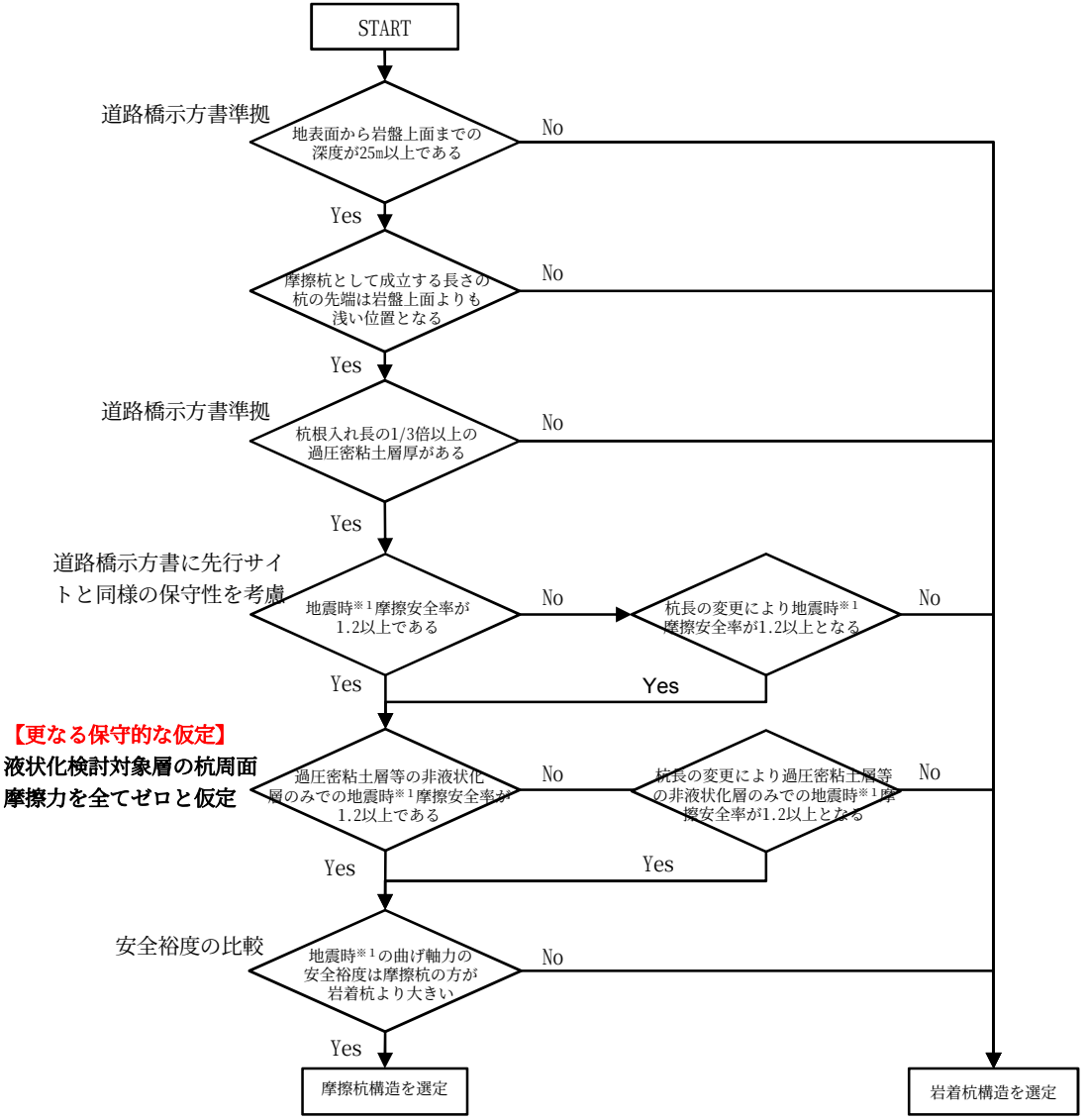
基準地震動Ss とTypeⅡ地震動との比較

参考　摩擦杭形式と支持杭形式の比較検討 (1/3)

構造形式選定フローに基づき，敷地北側の岩盤が深い箇所において摩擦杭の成立性が確認された地点にて，支持杭形式を採用した場合の検討を行い，安全裕度の比較を行った。



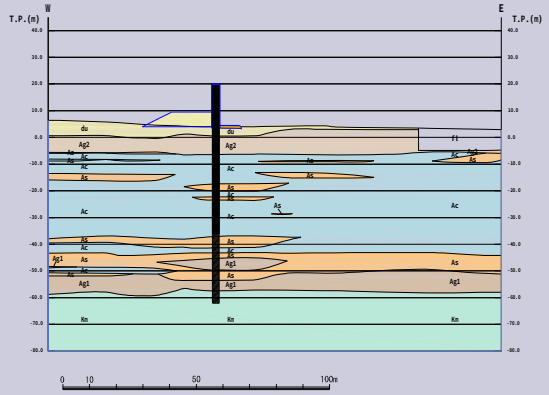
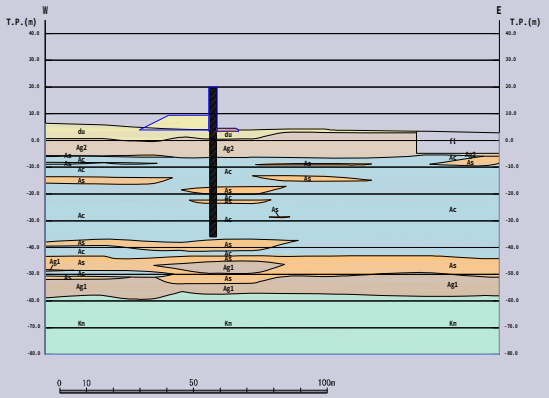
検討地点の位置図



※1　基準地震動Ｓs入力時

参考　摩擦杭形式と支持杭形式の比較検討 (2/3)

- 支持杭形式と摩擦杭形式で有効応力解析を実施し，地震時の照査結果を比較した。
- 曲げ軸力やせん断の照査については，摩擦杭形式の方が支持杭構造より安全裕度が大きいことを確認した。

杭構造形式	支持杭形式	摩擦杭形式
評価断面		
杭の曲げ軸力	地震時の安全率：1.2	地震時の安全率：1.8
杭のせん断力	地震時の安全率：4.8	地震時の安全率：10.3
杭の根入れ長	根入れ全長：65.5m 粘性土層への根入れ長：29.0m	根入れ全長：40.5m 粘性土層への根入れ長：26.0m
杭の支持力	地震時の安全率： ・7.5（全地層の周面摩擦力＋先端支持力） ・5.1（粘性土層のみの周面摩擦力）	地震時の安全率： ・3.2（全地層の周面摩擦力） ・2.7（粘性土層のみの周面摩擦力）
地震時水平相対変位	地盤の平均物性とばらつきを考慮したケースの相対変位：0.06m	地盤の平均物性とばらつきを考慮したケースの相対変位：0.05m
地震時鉛直相対変位 （杭天端の最大相対変位）	地盤の平均物性とばらつきを考慮したケースの相対変位：0.00m	地盤の平均物性とばらつきを考慮したケースの相対変位：0.01m

参考　摩擦杭形式と支持杭形式の比較検討 (3/3)

有効応力解析に基づく結果 (基準地震動Ss-D1++)　**支持杭形式**

	項 目	評価結果	安全率	判定
鋼管杭の照査	杭の曲げ軸力	234.5N/mm^2 ≦ 277.5N/mm^2	1.2	OK
	杭のせん断力	32.8N/mm^2 ≦ 157.5N/mm^2	4.8	OK
	杭支持力 (全層周面摩擦＋先端支持力)	3,786kN/本 ≦ 28,492kN/本	7.5	OK
	杭支持力 (粘性土の周面摩擦力のみ)	3,786kN/本 ≦19,190kN/本	5.1	OK
	地震時水平相対変位	0.06m	－	－
	地震時鉛直相対変位 (杭天端の最大相対変位)	0.00m	－	－

有効応力解析に基づく結果 (基準地震動Ss-D1++)　**摩擦杭形式**

	項 目	評価結果	安全率	判定
鋼管杭の照査	杭の曲げ軸力	150.5N/mm^2 ≦ 277.5N/mm^2	1.8	OK
	杭のせん断力	15.4N/mm^2 ≦ 157.5N/mm^2	10.3	OK
	過圧密粘土層への根入長	粘性土層長25.97m ＞ 粘性土層根入れ長13.33m 全層根入れ全長40.5m ⇒ 40.5/3=13.5m (⇒1/3*L以上)	－	OK
	杭支持力 (全層周面摩擦)	2,806kN/本 ≦ 9,110kN/本	3.2	OK
	杭支持力 (粘性土の周面摩擦力のみ)	2,806kN/本 ≦ 7,670kN/本	2.7	OK
	地震時水平相対変位	0.05m	－	－
	地震時鉛直相対変位 (杭天端の最大相対変位)	0.01m	－	－

① 曲げ軸力及びせん断力の比較

地震時の曲げ軸力やせん断力の安全裕度は，摩擦杭の方が支持杭より大きい結果となった。

② 支持力の確認

有効力解析による液状化判定の結果，基礎地盤は液状化しないものと判定されたが，**更なる保守的な仮定として**，砂礫層の液状化状態を想定し，砂礫層の杭周面摩擦力を全てゼロとおいたとしても，恒久的な非液状化層である過圧密粘土層のみで十分な安全率をもって鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁構造を支持可能であることを確認した。

以上の①，②より，東海第二発電所の岩盤が深い区間については，更なる保守的な仮定として砂礫層の杭周面摩擦力を全てゼロとしても，摩擦杭形式の成立性を見通せると判断した。