

供用中の重力式岸壁の耐震改良について

福間 正*・小谷 拓**・松井 創***・平澤充成****・高津宣治*****

* (財) 沿岸技術研究センター 調査役

** (財) 沿岸技術研究センター 審議役

*** 前(財) 沿岸技術研究センター 理事

**** 国土交通省 近畿地方整備局 神戸港湾空港技術調査事務所 所長

***** 国土交通省 近畿地方整備局 神戸港湾空港技術調査事務所 前任建設管理官

和歌山下津港本港地区岸壁(-12m)は、耐震強化岸壁として整備され供用中であるが、近い将来において発生が懸念されている東南海・南海地震を想定して設計地震動を見直し、改訂された港湾基準など最新の技術・知見を適用して、耐震性向上を図るための改良工法を検討した。

キーワード：耐震強化岸壁，耐震補強，液状化対策，地盤改良

1. はじめに

和歌山下津港本港地区岸壁(-12m)は、耐震強化岸壁として整備され、当該地域の防災施設としての機能を果たしているが、近い将来において発生が懸念される東南海・南海地震など、最新の知見に基づき設計地震動を見直し、耐震性向上を図るために改良することが計画された。本稿では、当岸壁に対して設定された地震動に対して、性能規定の設定、現状断面での耐震性評価、改良工法の検討等を行ったので、その概要を報告する。

2. 条件の検討

2.1 基本構造検討に関わる条件

(1) 対象施設

本岸壁は、昭和60年度から平成6年度にかけて施工され、平成7年度から供用されている。

現地盤は、-7m前後であり、沖積粘土層を床掘置換工法で改良した上に、基礎捨石を施工してケーソンを設置した、重力式係船岸である。代表的な断面を図-1に示す。

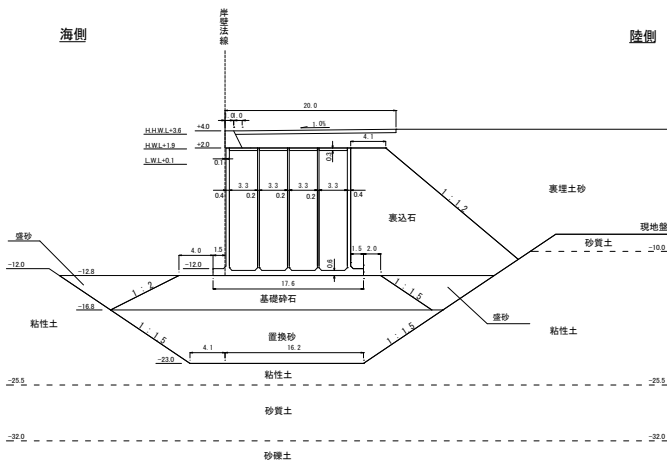


図-1 現況断面図

設計条件は、今回の耐震改良に関わる条件(設計地震動等)や置換砂等の性状を除き当初設計の条件を適用した。

当岸壁は供用中であることから、その利用を妨げない改良工法の選定が求められた。岸壁の利用状況は表-1のような状況である。

表-1 岸壁の利用状況

項目	内容
取扱貨物	原木、原塩等
最大船舶	20,000GT級
入港隻数	原木：2隻/年(大型船舶のみ：不定期) 原塩：8隻/年(不定期)
岸壁占有時間	原木：3日程度/回 原塩：2日程度/回
野積場利用 期間	原木：約1ヶ月(くん蒸期間を含む) 原塩：2～3日程度
野積場利用 面積占有率	原木：ほぼ100% 原塩：40%程度
その他	原木については、二次輸送(4996T)が行われており、H18d実績で16隻/年が出入りしていた。

(2) 入力地震動

岸壁(-12m)において、地震観測が実施され、サイト増幅特性を見直した入力地震動(レベル1地震動、レベル2地震動)が設定された。

レベル2地震動として中央構造線帯地震、東南海・南海地震、M6.5直下型地震を入力地震動とした。東南海・南海地震の予測地震動を図-2に示す。

レベル2地震動：東南海・南海地震-NS方向

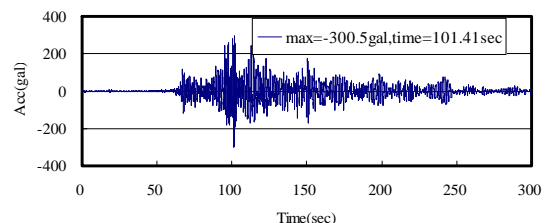


図-2 レベル2地震動

(3) 土質条件

既設構造物の設計時の土質調査データ及び今回の改良検討のために実施された置換砂・盛砂層の土質調査データに基づき土層モデルを設定し、地盤定数を設定した。代表的な想定土層断面図を図-3に示す。

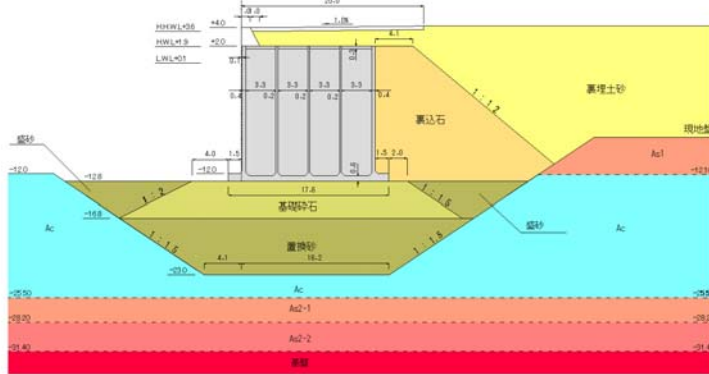


図-3 想定土層断面図

(4) 液状化判定

土質調査によれば、置換砂層において粒径数10cmの玉石が混入している箇所があったが、大方はN値10~20程度であった。また、現位置での透水試験の結果では、 $1.4E-02$ 及び $1.6E-01$ cm/sの透水係数が得られていた。

このように置換砂層は、部分的に透水性が大きい不均一な地盤であることが予想されたが、総合的な判断として、液状化の可能性のあるものとして検討を進めることとした。

レベル1地震動に関する変動状態における液状化判定結果を図-4に示す。

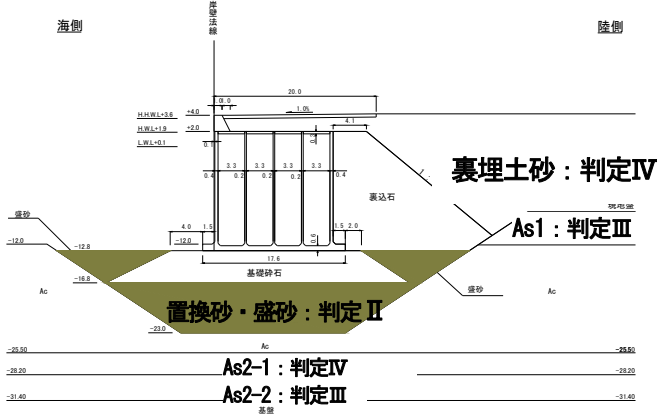


図-4 液状化判定結果

2.2 性能規定の検討

対象施設の防災対策上の位置付け（耐震強化施設（標準）緊急物資輸送対応）を考慮して性能規定を設定した。

(1) レベル1地震動に対する性能規定

地震発生後も使用性を満足するように以下の性能規定とした。

- ・残留水平変位の許容値：25cm

- ・残留鉛直変位の許容値：30cm
- ・エプロン(背後地)沈下量：50cm
- ・傾斜角：3°

残留水平変位の許容値は、重力式岸壁の被災程度と変形量の関係から、岸壁本体には異常がない程度の被災事例における最大はらみ出し量を参考に設定した¹⁾。

(2) レベル2地震動に対する性能規定

地震発生後に軽微な補修により緊急物資輸送船舶の接岸、緊急物資の背後地への輸送が可能となるように以下の性能規定とした。

- ・残留水平変位の許容値：200cm
- ・傾斜角：3°
- ・復旧目標：1週間程度でスムーズな緊急物資輸送が可能となること

残留水平変位の許容値は、兵庫県南部地震での被災後の岸壁の利用に関する調査結果等から、凹凸変位量が1.0m以下であれば、地震発生から数日間の内に、想定する緊急物資輸送船舶が係船できる可能性が高いこと、凹凸変位量は最大法線はらみ出し量の概ね半分以下となっていることから2.0mに設定した²⁾。

2.3 維持管理方針の検討

耐震性能を満たすための改良工事後の、当岸壁の維持管理のあり方について、基本的な考え方を検討した。

(1) 供用期間

維持管理計画の対象とする当該施設の供用期間は、施設が供用開始されてから50年間と設定した。

これは、今回の改良工事が置換砂層の地盤改良という、構造全体の中の部分的なものに限られることによる。

(2) 維持管理レベルの設定

改良地盤の維持管理レベルは、施工実績があり、耐久性が確認されている地盤改良工法を選定することを前提に、維持管理レベルIを適用するものとした。

(3) 点検診断における留意事項

FLIP計算による被災後の残留変形から、エプロン背後に生じた段差を解消し、緊急物資等の輸送に支障がないようにするためには、200m³程度の土量とブルドーザ1台以上が必要と試算された。

性能規定としての復旧目標を満足するためには、これらの資機材の調達等についての事前の準備と、日常的な点検が求められる。耐震強化施設の維持管理に当たっては、これらの手順を維持管理計画書等に記載しておくものとした。

3. 基本構造の検討

3.1 現状断面の耐震性の確認

(1) レベル1地震動によるFLIP解析

レベル1地震動に関するFLIP解析を実施した。岸壁天端における残留水平変位は約40cmとなり、現状断面では使用性を満足しているとは言えず、何らかの対策が必要である。

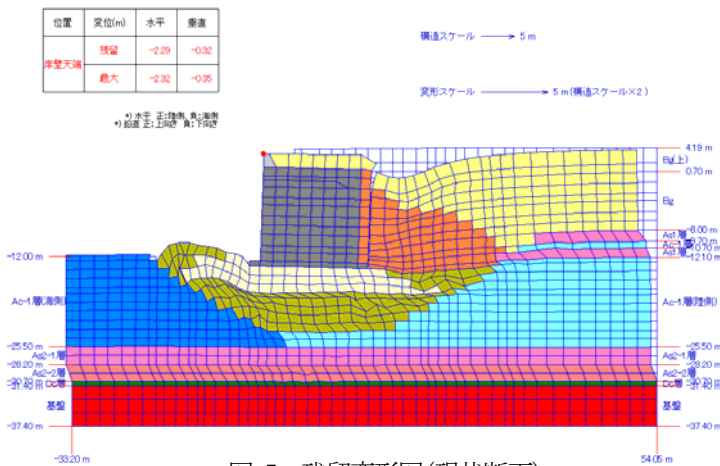
(2) レベル2地震動によるFLIP解析

レベル2地震動に関するFLIP解析を実施した。対象地震動は、中央構造線帯地震、東南海・南海地震、M6.5直下型地震である。

岸壁天端での残留水平変位量は、いずれの地震動とも、約2.3mとなり、要求性能を満足していない。

東南海・南海地震の残留変形図を図-5に示す。

なお、発生するひずみレベルが大きいことから、大きなひずみレベルまで実施された既往の液状化試験を調査し、その結果とFLIPによる解析結果を比較し、解析パラメータの妥当性を検証し、解析精度の向上を図った。



(3) 施設のウィークポイント

レベル2地震動、レベル1地震動ともに置換砂部で液状化が発生し、強度が低下することで、置換砂部にひずみが集中している。また、盛砂部も置換砂と同程度の等価N値であるため、置換砂を液状化対策すれば、盛砂部にひずみが集中する可能性が高い。よって、置換砂部・盛砂部での液状化が施設のウィークポイントとなっている。

3.2 地盤改良工法の選定

(1) 一次選定

本岸壁の耐震性能を確保するためには、置換砂部・盛砂部の液状化対策を行うことが効果的であることが分かった。

対策工法の選定は、適用可能な工法と現場の制約条件から比較検討の対象となる工法を絞り込んだ。

1) 検討対象工法

液状化対策の原理による分類に従って、以下に示す工

法について検討した。

- ・土圧低減工法
 - ①軽量盛土工法
- ・変形抑制工法
 - ①矢板工法
 - ②基礎工法 (CDM等)
- ・間隙水圧消散工法
 - ①碎石ドレーン工法
 - ②人工材ドレーン工法
- ・静的締め固め工法
 - ①砂杭静的圧入工法
 - ②グラウト材圧入工法 (直線削孔)
- ・固化処理工法
 - ①深層混合処理工法 (機械攪拌方式)
 - ②高圧噴射工法
 - ③浸透固化処理工法 (直線削孔)
 - ④浸透固化処理工法 (曲がり削孔)

2) 現場条件

一方、当現場の制約条件として、以下のような検討課題があった。

・岸壁の利用

本岸壁には、原塩、原木を積んだ大型船が10回/年程度着岸する。大型船着岸時には、岸壁及び野積場は一定期間占有されることになるため、岸壁の利用への影響が少なく、かつ施工効率が著しく低下しない工法を検討する必要がある。

・対象土層の性状

今回の土質調査結果によると、置換砂層には粒径数10cmの玉石がかなりの量で混入している。

・施工条件

①陸上部：エプロン (+4.00m) から、改良対象土層上面 (-16.80m) まで20.80m, 改良対象土層下面 (-23.00m) まで27.00m

②海上部：水面 (H.W.L: +1.90m) から、改良土層上面まで18.70m, 改良対象土層下面まで24.90m。

(いずれも設計断面による数値を示す)

③対策の対象である置換砂層は、主要部分がケーソン直下にあるため、ケーソン底版をくり抜くか斜め又は曲線状に迂回しなければ、対象土層に到達しない。なお、玉石の混在により曲線削孔は適用できないと判断された。

④海上あるいは背後地から斜め削孔の場合、当該土層に達するためには、基礎捨石層 (100~200kg)、裏込石 (1~100kg/個)、裏埋土砂 (最大粒径30cm) を貫通する必要がある。

3) 一次選定結果

対象工法に対して、現場条件を勘案して次の2工法並びにその組み合わせを二次選定対象工法として抽出した。

- ①浸透固化処理工法
- ②グラウト材圧入工法

③浸透固化処理工法とグラウト材圧入工法の組合せ

(2) 二次選定

1) 浸透固化処理工法の施工性検討

- ・実績のある最大施工深度は地表面下20mである。
- ・適用地盤として、玉石混じり砂礫層においては、直線削孔により、玉石を貫通して施工する。
- ・海上施工では、岸壁を供用しながら岸壁前面の地盤改良を行うため、移動が容易なSEP台船の使用を想定するが、SEP台船による施工実績はない。
- ・置換砂層と基礎捨石層の境界にはシート等が施工されていないため、薬液が基礎捨石層へ逸出する恐れがある。セメントベントナイトの充填で対応することが考えられるが、効果等は施工時に確認する必要がある。

2) グラウト材圧入工法の施工性検討

- ・最大施工深度の実績値は、施工基面；AP+7.80m、海底地盤高；AP-6.00m、改良下端；AP-20.50mである。
- ・適用地盤として、玉石が点在する置換砂層内において、注入位置が玉石内部になる場合が想定される。
- ・海上施工では、岸壁を供用しながら岸壁前面の地盤改良を行うため、移動が容易なSEP台船の使用を想定するが、SEP台船による施工実績はない。本工法の場合、外管引き抜き時に大きな反力が発生するため、SEP台船の補強対策等が必要になる。
- ・改良置換層の周辺の粘性土層を変位させる恐れがあるが、側方流動について検討・計測等を行った事例はない。

3) 対策工法の比較検討

ケーソン直下の対象土層の改良を行うため、斜め削孔を基本とし、SEP台船への反力を低減するため、海側を鉛直削孔する場合も検討した。

改良仕様は、浸透固化処理工法の場合、改良率70%、グラウト材圧入工法の場合、8%改良で検討した。

地震時の残留変形量が性能規定を満足する範囲で、経済性、施工の確実性等を勘案して、斜め削孔による浸透固化処理工法³⁾を選定した。選定した工法の断面図を図-6に示す。

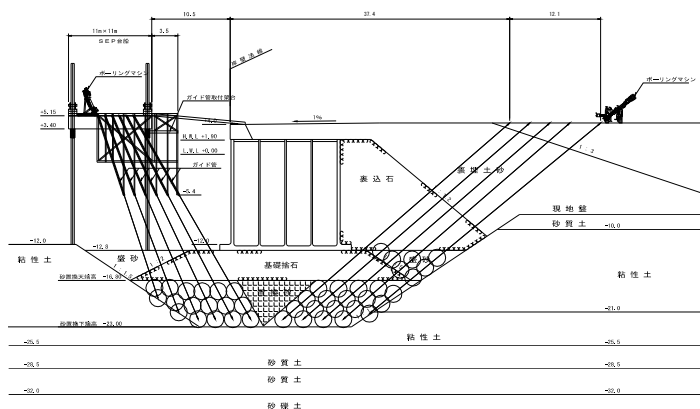


図-6 採用断面(浸透固化処理工法)

(3) 改良諸元の検討

レベル1地震動及びレベル2地震動に対する耐震性能照査を行い、対策工法として選定された浸透固化処理工法の妥当性を確認した。

選定した工法に対する東南海・南海地震の残留変形図を図-7に示す。

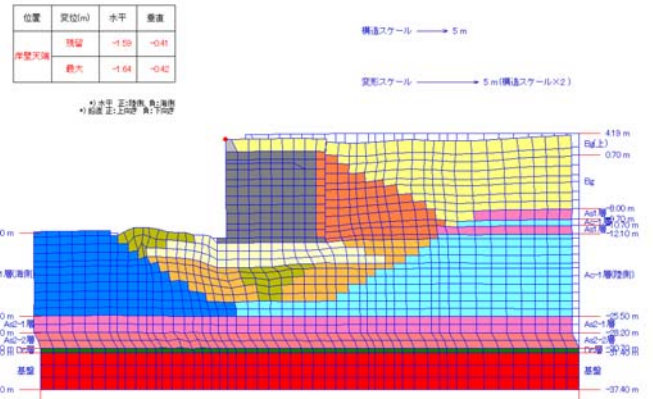


図-7 残留変形図(改良後)

4. 技術課題の抽出

以下のような技術課題が抽出され、試験施工により、確認することとなった。

- 1) 海上施工に用いるSEPの削孔時の安定性
- 2) 海上施工時の削孔精度の確認
- 3) 玉石分布状況の不確定性
- 4) 薬液注入時の構造物・地盤変位等の影響の確認
- 5) 薬液注入時の圧力、流量の管理記録からの逸出防止効果の確認
- 6) 施工能率に与える玉石の影響の確認
- 7) 施工時の環境への影響

5. おわりに

本稿は国土交通省近畿地方整備局神戸港湾空港技術調査事務所発注による「和歌山下津港本港地区岸壁(-12m)(改良)基本構造検討調査」での検討の一部を取りまとめたものであり、検討の実施に当たっては、「和歌山下津港本港地区岸壁基本構造検討会」(座長：井合 進 京都大学防災研究所教授)を設置し、委員、関係者各位のご指導、助言を踏まえて取りまとめた。ここに記して、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 小泉哲也, 他: 被災した係留施設の残存耐力の評価手法の開発, 港湾技研資料, No.912, 1998.
- 2) 一井康二, 他: 地震時における重力式岸壁の許容被災変形量の評価, 第10回日本地震工学シンポジウム, K-4, 1998.
- 3) 財沿岸技術研究センター: 浸透固化処理工法技術マニュアル(改訂版), 2008.