

既設護岸の津波防護を目的とした改良に関する技術検討について

竹田 晃¹

¹近畿地方整備局 神戸港湾空港技術調査事務所 技術支援 (〒651-0082兵庫県神戸市小野浜町7-30)

本検討は、既設の和歌山下津港海岸（海南地区）船尾側護岸の津波防護を目的とした施設への改良に伴う基本構造の検討を行ったものである。検討には、レベル1地震動、レベル2地震動（M6.5直下型、津波を伴う東南海・南海地震）のそれぞれに対して適切な性能規定を設定した。レベル1地震動に対する液状化の予測・判定を行った結果、裏埋土砂及びマウンド直下の砂層について「液状化層」と判断した。液状化対策を含めた工法の内、既設防潮堤の天端を嵩上げする直接基礎形式（既設一体案）を最適断面として選定し、動的解析（FLIP）などの安定照査を行った結果、設定した性能規定値を満足するものとなった。

キーワード レベル1地震動、レベル2地震動、FLIP、津波防護

1. はじめに

和歌山下津港の海南地区においては、東南海・南海地震等に伴う津波により、甚大な被害が想定されるため、直轄海岸事業による津波浸水対策事業を計画している。今回、設計を行う海南地区船尾側護岸(改良)は、この津波対策における防護ラインの一翼を担う施設であり、既設護岸を津波防護を目的とした施設に改良するものである。

本報告では、設計対象施設について、まず現況断面の耐震性を評価し、被災のメカニズムや施設の弱点を整理する。その後、施設が要求性能を満足するために必要な最適な改良断面の検討について報告をする。

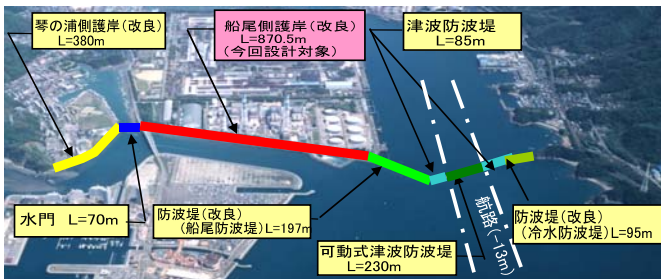


図-1 海南地区位置図

2. 設計条件

(1) 設計地震動

平成19年に仕様規定型から性能規定型へと改定された「港湾の施設に関する技術上の基準・同解説」を用いて設計を行った。入力地震動については、レベル1地震動及びレベル2地震動2種類（東南海・南海地震、M6.5直下型地震）で検討を行った。

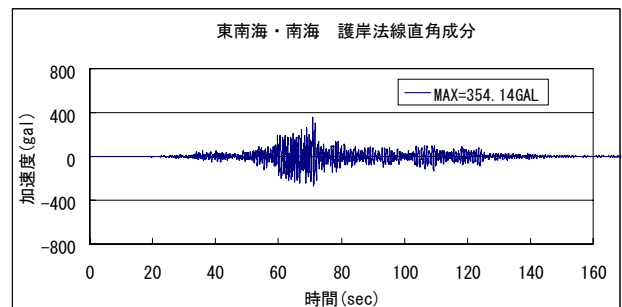


図-2 レベル2地震動（東南海・南海地震）

(2) 土質条件

土質調査結果では、基盤層は、南から北に向かって深くなっている。一方、粘性土と砂礫層の互層状態となっている洪積層の層厚は、南から北に向かって厚くなっていた。また、沖積層が浅は、多少の不陸はあるものの、ほぼ水平成層地盤であった。これらの土質調査結果に基づき、土層モデルを設定した。永続状態及び変動状態に対する安定照査に用いる地盤特性値は、試験回数やパラツキを考慮して設定を行った。

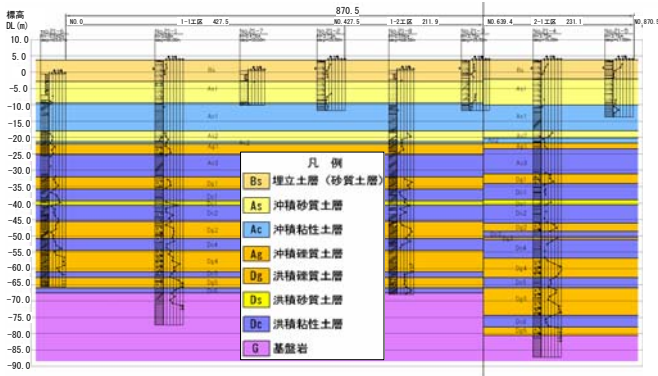


図-3 土層モデル

3. 液状化判定

液状化の予測・判定の対象とする土層は、「埋立地の液状化ハンドブック」に基づき地表面（海面下では海底面）から深さ 20m 以浅の砂質土および礫質土とした。粒度と N 値による土層毎の液状化判定及び詳細な繰り返し三軸試験による液状化判定を行った結果、総合的に判定を行うと、Bs 層及び As1 層については、レベル 1 地震動における液状化層と考えられ、As2 層及び Ag1 層については、液状化しない可能性が大きいと考えられる。

表-1 液状化の予測・判定結果

| 判定方法 | 粒度 | 等価N値・等価加速度 | FL判定 (繰り返し三軸試験) | 総合判断 |
|------|----|------------|-----------------|--------------|
| Bs層 | ○ | × | ○ | 液状化層と判断する |
| As1層 | ○ | × | ○ | 液状化層と判断する |
| As2層 | △ | × | — | 液状化しない層と判断する |
| Ag1層 | △ | × | — | 液状化しない層と判断する |

○: 液状化する、×: 液状化しない、△: 分類が困難

4. 性能規定の設定

東南海・南海地震に対しては、必ず津波が襲来するため、津波に対する使用性を確保する。一方、内陸活断層地震及び M6.5 直下型地震は発生確率が非常に低いため、高潮が同時に襲来する確率は非常に低い。よって、復旧期間に応じた確率波高を設定し、それに対する修復性を確保することを規定した。

(1) 許容越波流量

施設背後は、関西電力発電所となっており、越波・しぶき等の侵入により重大な被害が予想される。表-2 背後地の重要度からみた許容越波流量から 0.01 (m³/m/s) と規定した。

(2) 設計天端高

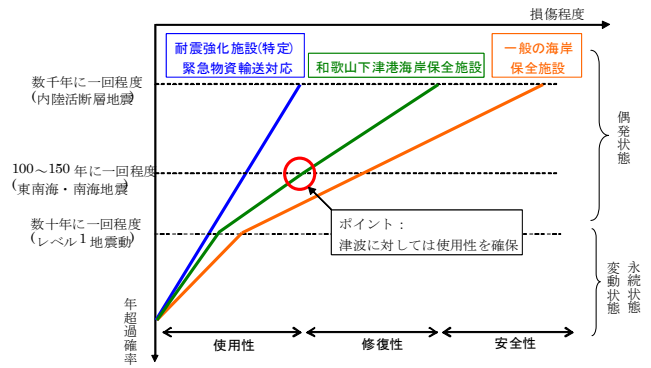
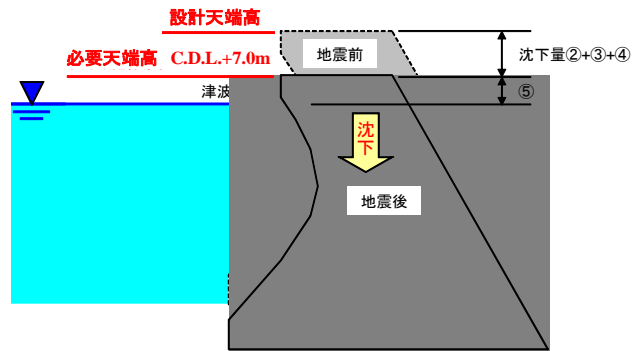


図-4 設計状態と要求性能のイメージ

表-2 背後地の重要度からみた許容越波流量 (m³/m/s)

| | |
|---|-----------|
| 背後に人家、公共施設等が密集しており、特に越波・しぶき等の侵入により重大な被害が予想される地区 | 0.01程度 |
| その他の重要な地区 | 0.02程度 |
| その他の地区 | 0.02~0.06 |



- ①津波高・・・最大水位C. D. L. +6.49m
- ②地殻変動量・・・0.24m(中央防災会議の東海・東南海・南海地震モデル)
- ③変形量・・・地震後の鉛直変位量 (FLIP解析により設定)
- ④排水沈下量・・・過剰間隙水圧の消散による沈下量 (FLIP解析後に算定)
- ⑤余裕高・・・50cm程度

図-5 設計天端高

$$\text{設計天端高} = \text{①} + \text{②} + \text{③} + \text{④} + \text{⑤}$$

$$\text{※地震後の必要天端高} = \text{設計天端高} - \text{②} - \text{③} - \text{④}$$

(3) 水平変位に対する許容損傷程度

地震後、隣り合う構造体の水平変位の違いにより凹凸変位量が生じて隙間から裏埋土が流出すると護岸の機能を失う。兵庫県南部地震での最大法線はらみ出し量と凹凸変位量の事例は、一井ら¹⁾によってまとめられている。これを参考に護岸における最大法線はらみ出し量の限界値は、壁幅(護岸の厚み)の2倍と規定した。

(4) 護岸残留傾斜角

護岸の変位が主に水平方向で、傾斜がほとんどみられ

ず、護岸周辺の地盤に大きなせん断ひずみが発生していない場合には、残留水平変位は、壁幅(護岸の厚み)の2倍まで許容できる。一方、護岸が水平に変位するとともに傾斜が見られる場合には、水平変位が壁幅の2倍以下の変位でも、目地開きが生じることになる。「被災した係留施設の残存耐力の評価手法の開発」²⁾を参考に許容残留傾斜角を8°と規定した。

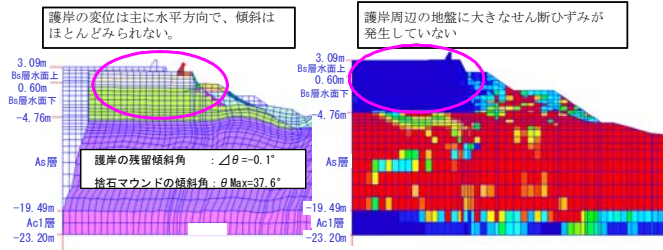


図-6 水平方向の変位が卓越するモード

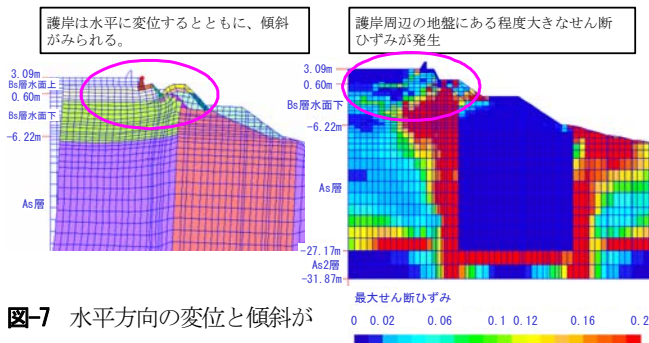


図-7 水平方向の変位と傾斜が卓越するモード

(5) 性能規定値

上述(1)から(4)をまとめた当該施設での性能規定値を表-3に示す。

表-3 性能規定値

| 想定地震動 | 対象波浪条件 | 対象構造物の状態(要求性能) | 許容損傷程度 | | |
|-------------------|--------|---|--|---|------|
| | | | 残留鉛直変位 | 残留水平変位 | 傾斜角 |
| レベル1地震動 | 高潮 | 使用性(防潮堤の機能を損なわず継続して使用することに影響を及ぼさないこと) | 地震後の施設天端高が、高潮の許容越波流量から規定される高さよりも低くならないこと。 | 残留水平変位量の限界値は、壁の厚さの2倍を基本とするが、防潮堤が傾斜する場合には、傾斜を考慮しても目地開きが生じない値とする。 | 8°以下 |
| レベル2地震動(東南海・南海地震) | 津波 | 津波に対する使用性(津波から背後地を防護できること) | 地震後の施設天端高が、津波高よりも低くならないこと(余裕高:50m程度)。 | | |
| レベル2地震動(M6.5直下地震) | 潮汐 | 修復性(生じる被害が軽微であり、かつ、想定される修復期間に海岸保全施設の機能の回復が可能な程度の損傷に留まること) | 地震後の施設天端高が、以下を満足すること。 復旧期間(1年)を想定し、復旧期間に応じた再現期間の波に対し所用の越波流量を満足すること 許容越波流量 \geq 越波流量(H.W.L.+10年確率波) | | |

5. 現況断面の性能規定評価

(1) 静的安定性の照査

現況断面における護岸の安定性照査の結果、高潮時と津波作用時における滑動と支持力及び高潮時の転倒について、耐力作用比1.00を満足しない結果となった。

表-4 既設護岸の安定性照査

| ケース | 滑動 | | | 転倒 | | | 支持力 | | |
|-------|-------|-------|-------|---------|---------|-------|----------------------|----------------------|-------|
| | 耐力 kN | 作用 kN | 耐力作用比 | 耐力 kN・m | 作用 kN・m | 耐力作用比 | 耐力 kN/m ² | 作用 kN/m ² | 耐力作用比 |
| 高潮時 | 66.2 | 126.9 | 0.52 | 212.2 | 239.8 | 0.89 | 353.6 | × | × |
| 津波時 | 82.1 | 107.7 | 0.76 | 208.0 | 182.6 | 1.14 | 353.6 | 491.1 | 0.72 |
| L1地震時 | 82.1 | 20.5 | 4.00 | 223.0 | 24.5 | 9.10 | 353.6 | 53.7 | 6.58 |
| 永続時 | - | - | - | - | - | - | 353.6 | 48.0 | 7.37 |

(2) 動的安定性の照査

有効応力解析プログラム (FLIP) を用いて、変動状態(レベル1地震時)及び偶発状態(レベル2地震時)における動的な安定照査を行った結果、レベル2地震時(東南海・南海地震)では、護岸の天端高について、約1.2m満足しない結果となった。その他の要求性能については、満足した結果を得られた。

表-5 東南海・南海地震時の天端高

| 現況天端高(C.D.L.) | 残留鉛直変位 | 排水沈下量 | 地殻変動 | 東南海・南海地震後の天端高(C.D.L.) |
|---------------|--------|--------|--------|-----------------------|
| +7.000m | 0.560m | 0.369m | 0.240m | +5.831m < +7.000m |

(3) 東南海・南海地震時のFLIP解析結果

既設護岸における基礎捨石の直下地盤(As1)及び背後地盤(Bs)で比較的大きなひずみの発生が確認できた。ひずみの発生場所が施設の弱点と考えられる。

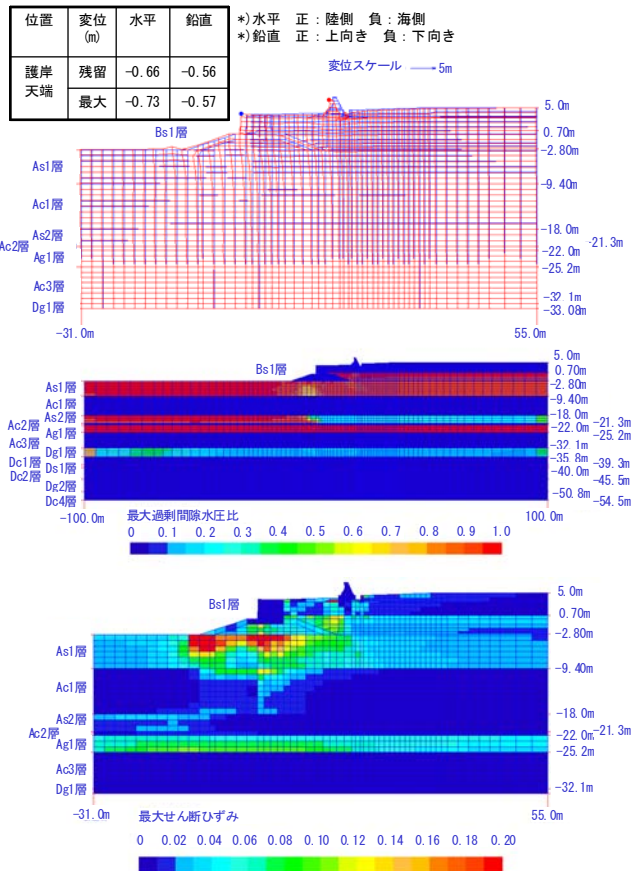


図-8 残留変形(上)、過剰間隙水圧比の最大分布(中)、最大せん断ひずみ(下)

