

和歌山下津港海岸（海南地区）津波防波堤の技術課題とそれへの対応

小野寺隆柔*・高山知司**・水谷雅裕***・河崎尚弘****・竹田 晃*****

* 前（一財）沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

**（一財）沿岸技術研究センター 参与

*** 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 技術開発課 課長

***** 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 技術開発課 技術開発第二係長

和歌山下津港の海南地区においては、近い将来に発生が予測されている東海・東南海・南海さらには日向灘地震とこれらの地震に伴う津波によって、大きな被害が発生することが想定されており、この被害を軽減するために津波対策が急務となっている。本報告では、対策の一つである直立浮上式防波堤に関わる様々な技術課題について検討した結果とその経緯を報告する。

キーワード：津波，直立浮上式防波堤

1. はじめに

近畿地方では、南海トラフの近傍で発生する巨大な海溝型地震である東海・東南海・南海地震とそれらの地震に伴う津波により過去に大きな浸水被害を受けている。そして現在、南海トラフ近傍で発生した過去の地震の発生履歴から、今後30年以内に70%程度の確率で南海トラフ沿いに非常に大きな海溝型地震が発生し、それに伴う巨大津波の来襲が予測されている。

平成22年度までは3連動地震（東海・東南海・南海地震）をターゲットに直立浮上式防波堤の解析・設計を進めてきたが、2011年3月11日に発生したM9の巨大地震を受けて図-1に示すような4連動地震（東海・東南海・南海地震・日向灘）を外力とした設計に変更している。

この和歌山下津港海岸（海南地区）は多くの企業が立地しており、船舶によって原材料を輸入し、石油製品・鉄鋼製品などを輸出している。この海南地区が津波の襲来を受けた場合、その被害額は約5000億円に達すると推定されている（平成19年度調査）。

このような港湾地区を津波被害から防御する構造物として、常時は海底に格納され、船舶の運航に支障をきたさず、津波時には浮上して津波防御機能を発揮する可動

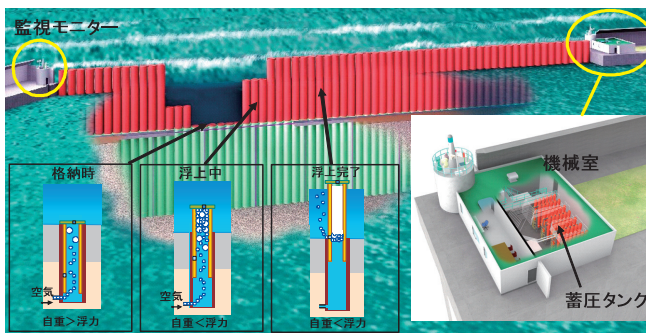


図-1 直立浮上式防波堤の概念図

式防波堤の1つである直立浮上式防波堤がある。本報告では、和歌山下津港における津波対策として検討を進めてきた直立浮上式防波堤の技術課題とそれに対する対応内容を報告する。

2. 技術課題

技術課題の代表的な項目を設計、施工、維持管理の観点から表-1にまとめた。この表で水色に着色した3項目について紹介する。

表-1 技術課題一覧

項目	キーワード
設計関連	要求性能
	FEM解析
	鋼管肉厚
	鋼管真円度
	軟岩層(本体・取付部)
	ラップ部の形状変更
施工関連	鋼材の初期不整の影響検討
	浮カタンク
	既存の防波堤との取付
	施工精度
	副管の材料試験
	共同溝
	施工時の吊り金具
	連結管
	側管索材
	鋼管ブラケット
維持管理関連	副管格納管
	残留変位対策(送気管)
	浮上時間の設定
	浮上と海流の流速
	第一波による浮上可能性検討
	機側室の設計条件
	運用体制
	浮上制御システム
	送気ルート
	送気システム
	副管方式の比較検討
通信方法	
送気管材質	
圧縮空気の製造と備蓄について	

3. ラップ部の形状変更

3.1 概要

この直立浮上式防波堤は、下部鋼管や共同溝（送気管・電線を保護するコンクリート製設備）が近接しているために、図-2に示すようにスペース的に余裕が無い。特に、副管の位置や外ダイヤフラム同士が干渉する等により施工が極めて困難と考えられた。

そこで、外ダイヤフラムをなくすことにより、施工を簡易化するとともに、水中切断の不要や外ダイヤフラムの補強材料の軽減、下部鋼管の打設精度の向上を期待し、改良案が提案された。

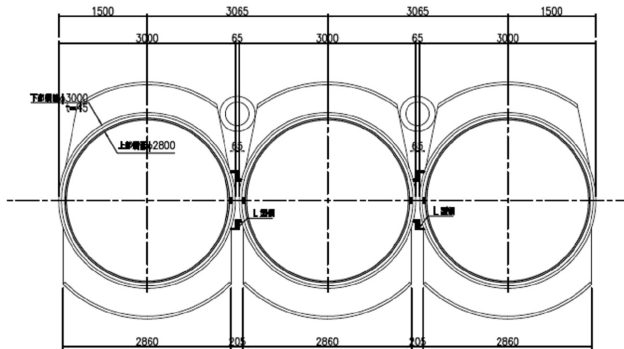


図-2 下部鋼管付近 平面図

3.2 補剛構造の比較

図-3に標準案と改良案の比較を示す。標準案では上部鋼管から下部鋼管への荷重伝達は、環状補剛材から上部スタビライザーを通して下部鋼管へと伝わる。その時、上部スタビライザーに大きな負荷がかかるため、外ダイヤフラムが必要となっていた。

しかし、改良案では上端部の環状補剛材を下げることで荷重伝達を環状補剛材からストッパーを通して下部鋼

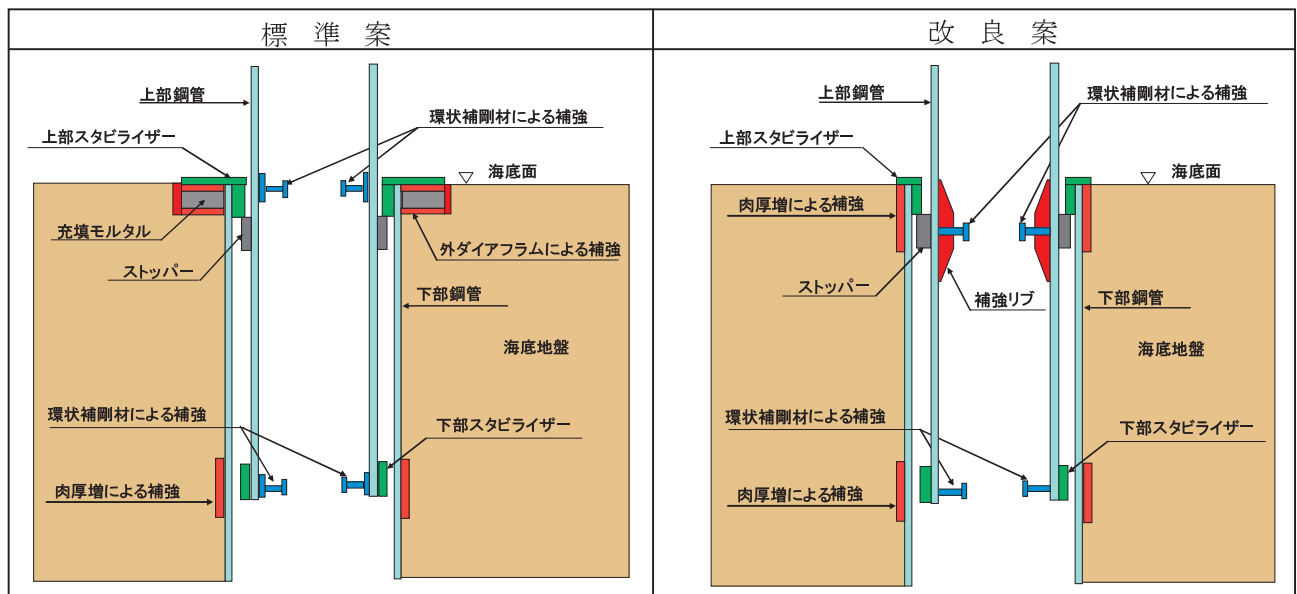


図-3 標準案と改良案の比較

管へ伝わるようにしている。

こうすることによって上部スタビライザーの負荷を軽減し、外ダイヤフラムを取り除くことを実現している。

3.3 解析

解析はABAQUS（3次元弾塑性FEM解析）を用いて行った。津波を想定した水平荷重とラップ部の変位量の関係を図-4に示す。標準案と改良案における耐力の違いはないことが分った。また、L2相当津波（4連動地震）において地盤の標準部や岩盤部でも耐力に問題ないことが分った。このことより、ラップ部の形状変更によって耐力に低下が生じないことが証明された。

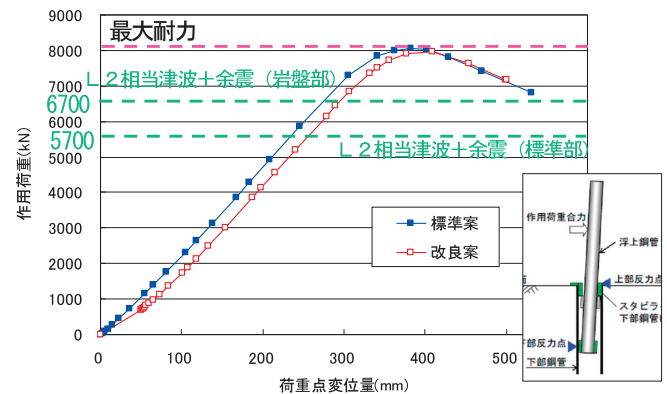


図-4 解析結果（荷重—変位曲線）

3.4 今後の展望

このラップ部の形状変更における解析を現地条件に合わせた詳細なFEM解析を行い、照査することとしている。また、標準案を大きく改造しているため、その製造工程や施工工程を詰めておくことが重要となる。特に上部鋼管のラップ部補強として縦リブの補剛材の溶接箇所が近接するため、この溶接施工後の精査が必要となる。

4. 浮力タンク

4.1 概要

直立浮上式防波堤は、浮上力として空気による浮力を利用している。図-5 に示す通り、この空気には2種類あり、①外部からの圧送空気、②上部鋼管の浮力タンク内の空気である。①は上部鋼管が浮上するために必要な浮力であり浮上空気室に貯められる。②は上部鋼管の初動を早めるための浮力であり、①の送気量と②のタンク容積の和が浮力となる。この②の浮力タンクについて説明する。

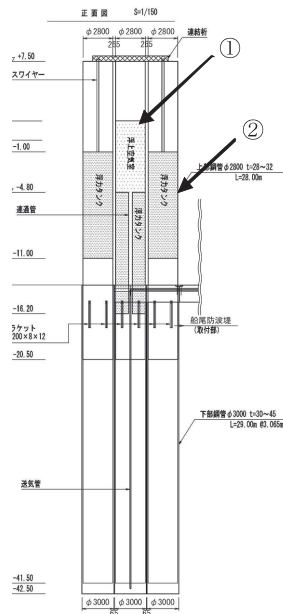


図-5 浮上空気室と浮力タンク位置

4.2 検討条件

検討条件として下記の内容がある。

- ①浮力タンク内の空気の圧力監視
 - ②空気の場合、破損時における空気漏れ
 - ③空気漏洩に対し、空気の再充填作業を行うが海底での作業が困難なため、上部鋼管の引き抜き作業の発生
- これらの条件を満足するためには、浮力タンク内に空気を詰めるだけでは十分でないと判断され、表-2 にある固形浮体を詰めることが考えられた。

表-2 固形浮体の材料

概要	実績	特徴	信頼性
非圧縮性浮体 ・空洞充填注入用ウレタンフォーム ・フォーム密度：100kg/m ³ ・吸水量：3g/100cm ² 以下	浮き魚礁	・軽量性である。(100kg/m ³) ・耐圧縮性が高い。 ・耐水性が良い。 ・形状対応性が高い。	・海洋の浮き等に使用実績もあり、使用上問題はない。 ・また、軽量盛土工法における材料としても使用されており、信頼性は高い。

しかし、表-2 のウレタンフォームでは海底の高水圧下の場合、吸水が起こり、重量が増加することが室内実験によって判明した。

吸水させないためには気泡を減らし、密度を増加させる手法があるが、それは反面、自重増加のため浮力減少が起きることになる。さらに浮力タンクにウレタンフォームを詰める作業が容易でないことも判明した。発泡ウレタンを高密度とした場合は、一度に充填することが出来ない。通常、発泡体は一気に膨れ上がるものが多いが、今回は発泡量を少なく設定したため、数十 cm づつ1層ごと積み上げて製造しなくてはならず、コスト(概算費用：1,000万円/本)が高く、施工期間が長くなる。

以上のことから、現在は固形浮体部分を空洞にした浮

力タンクを計画している。

4.3 設計方針

設計するために下記の項目を精査する。

- ①上部鋼管(中央管、側管)の重量
 - ②水中重量
 - ③想定水位(浮力・重力に關係)
- ①の重量は、表-3 に記述した鋼管、隔壁、補強材、環状補剛材、機械室、取付部品を総合して重量を算出する。(マイナス表記は孔による金属除去分)
- ②の水中重量は空中重量より浮力を差し引いたものであり、この重量が0以下になった場合、浮上してしまい、航行中の船舶との事故を引き起こしてしまうため、腐食による鋼管の重量減少を含めた精査が必要となる。
- ③想定水位は性能規定より、L.W.L.(D.L.+0.1m)の条件下において浮上できるように設計している。

これらの設定条件より浮力タンクを設定し、浮上シミュレーションや現地実験より浮上空気室の位置や容積を設定する。

表-3 中央管の重量(例)

項目	重量(kN)		LWL時の重量(kN)	
	空中	水中		
上部鋼管	7.5 ~ -12.5	366.2	318.1	344.5
	-12.5 ~ -20.95	191.8	166.6	157.3
	水抜き孔・空気孔	-2.5	-2.2	-2.2
	合計	555.5	482.5	499.6
隔壁+補強リブ+連通管等	65.9	58.9	60.5	
環状補剛材(上部)+ストッパー	31.7	30.2	30.2	
環状補剛材(下部)+スタビライザー	15.7	13.6	13.6	
機械室及び付属品	40.4	12.5	40.4	
頂部版及び取付部材(カブラー等)	34.8	29.1	34.8	
回転防止桁、梯子等	7.0	6.1	6.1	
副管(15.5m;2本・重錘含む)	17.1	11.3	12.3	
合計	768.1	644.2	697.5	

4.4 今後の展望

固形浮体が材質的、施工的に困難なことが判ったため、空気による浮力タンクを採用することになったが、それは同時に4.2に示した条件を再検討しなくてはならない。

①に関しては、浮力タンク内部に圧力を感知するセンサーを付けて管理することも考えられたが、センサーコードの孔が弱点となるため、設置は考えられていない。

②、③に対しては、溶接合否判定基準の厳密化と気密試験の実施を行うことにより、空気漏洩する可能性を出来る限り少なくすることとした。

浮力タンクは、一般的に上部鋼管に隔壁を設けるタイプ、またもう一つ浮力タンクを別に作成し、上部鋼管へ内蔵するタイプが考えられた。施工の難易度は前者が有利であり、後者のタイプは、前者に比べ維持管理が容易で破損に対して強い反面、製造の精度がかなり厳しい。そのため、上部鋼管に隔壁を設ける前者のタイプが選定されている。

5. 送気ルート

5.1 概要

直立浮上式防波堤は、蓄圧タンクやコンプレッサーのある機側室から供給された空気の浮力によって浮上する。すなわち送気管は直立浮上式防波堤のライフラインであり、津波発生前の地震で損傷を受けるようなことがあってはならない。

そこで、リスク回避やバックアップのため異なる2ルートを選定した。その選定内容について記述する。

5.2 検討条件

送気ルートを選定するため、①波浪の影響、②地震による変形、③埋没、④維持管理、⑤リスク回避について比較評価した。

最良のルートとして、船尾防波堤側(右)と冷水防波堤側(左)からの両方から送気を行い、機側室は2箇所設け、左右から送気することが考えられた。しかし、冷水側は急傾斜地であり、機側室を設置するのは困難であったため船尾側に1箇所機側室を設置することになった。

5.3 選定検討

まず、主系統と副系統に優先順位をもたせた。素材も同じ物であった場合、同じ条件下では同時破損も考えられるため、主系統(SUS管)と副系統(テフロン管)と材質を使い分けた。SUS管は通常使用される衝撃に強いステンレス管であり、テフロン管は柔軟性に優れたフレキシブル管である。

検討条件に述べた内容を鑑み、図-6に記載するルート選定案を考えた。総合的評価より主系統をルート5(港内の海底面)副系統をルート3(港内の堤防側)とした。

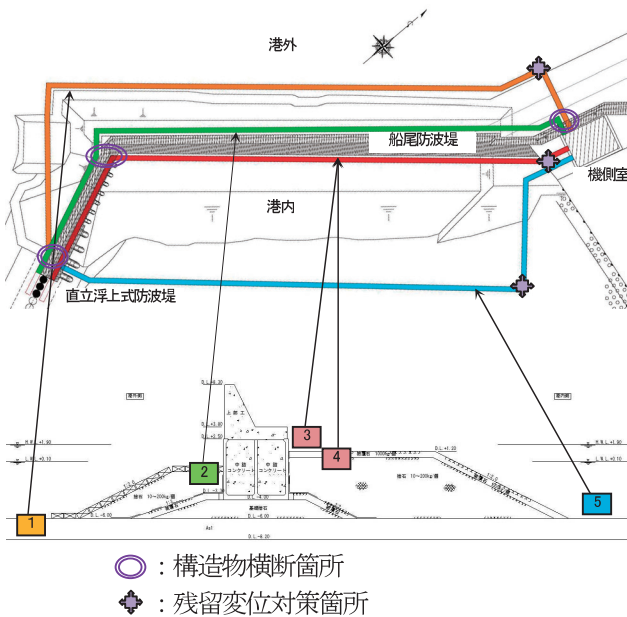


図-6 ルート選定案 平面図および断面図

その理由として、地震直後を想定して比較した場合、港内側は静穏度が保持されているのに対して、港外側は消波ブロックの撤去、マウンドの掘削や維持管理面から問題面が多いため1, 2, 4は不採用とした。

5.4 今後の展望

様々な問題が考えられるが、主に送気ルートについて越流に関する問題、共同溝の斜面施工の問題、送気ルートはリスク回避で港内・港外両方に必要なため、機側室から港内ルートを通り、取付部(組杭式鋼管)を通して港外へ設置する施工方法の検討、地震時の残留変位問題が想定される。

特に残留変位については、地震応答解析結果で最大1mの残留変位があり、それについて何箇所かに、図-7に記載する変位対策を施す予定であるが、その施工性と有効性を確認する必要がある。

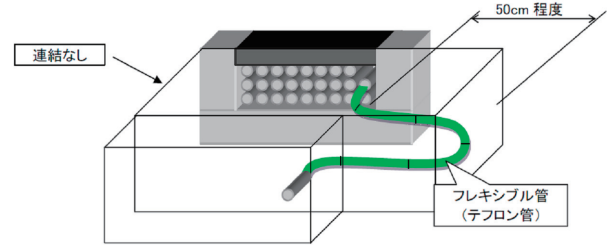


図-7 残留変位対策 (イメージ図)

6. おわりに

平成20年度に工法が選定された以降、設計・施工の両方面より検討を続けてきた。平成23年には試験堤を施工することが決まり世界初の試みが試行錯誤で進められている。この報告に記載した技術課題は一部であり、施工中の計測システム(鋼管打設精度)、施工後の計測システム(鋼管の傾斜度、真円度)、直立浮上式防波堤を運用するシステム等様々な困難が想定される。

7. 謝辞

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業務の一部を取りまとめたものである。検討に際し、検討委員会(委員長:高山知司京都大学名誉教授)の委員および整備局関係者には、貴重なご意見・ご指導をいただいた。ここに記して厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省近畿地方整備局:平成22年度 和歌山下津港海岸(海南地区)津波防波堤(基本断面)検討業務 報告書, 2011.
- 2) 国土交通省近畿地方整備局:平成23年度 和歌山下津港海岸(海南地区)津波防波堤技術検討業務 報告書, 2012.