

和歌山下津港海岸（海南地区）津波防波堤について

村井伸康*・由木誠**・平澤充成****・杉田博章***・黒川文宏*****

* 前（財）沿岸技術研究センター 調査部 研究員

**（財）沿岸技術研究センター 調査役

**** 前 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

***** 前 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 技術開発第一係長

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南海・南海地震とそ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、被害を軽減するための津波対策が急務となっている。本論文では、和歌山下津港の港口部における津波対策としての直立浮上式防波堤の適用について検討した結果を報告する。

キーワード：津波，港口部，可動式津波防波堤，直立浮上式防波堤

1. はじめに

近畿地方では、近い将来に発生が予測されている東海・東南海・南海地震とそれらの地震に伴う津波により大きな被害を受けることが想定されている。特に、地震の震源に近い和歌山県では、地震と津波で大災害となることが懸念されている。このような状況の中で、写真-1に示す和歌山下津港海南地区には、世界をリードする主要な企業が集積し、人口も密集しているため、一度被害を受けるとその影響は甚大であり、当該地区の津波防護対策が急務となっている。

これまで、当該地区の浸水被害については津波数値シミュレーションによって、用途地域別（住宅地・工場・農地・道路等）における浸水深などに起因する被害状況を整理するとともに、各用途地域の利用実態からどの程度まで浸水を抑える必要があるのか（許容浸水深）について検討した。さらに、重要施設の存在する地区における被害状況から、津波被害が重要施設の存在する地区へ与える影響を検討し、防護する区域の優先順位について検討した。

このような検討結果をふまえて、数ケースの防護パターンについてその効果を調べた結果、図-1に示すような最前線に防護ラインをおくパターンが最適案とされた¹⁾。ここで、図中の区間-1,2および既設防波堤の区間については、既設の構造物を嵩上げするなど、既往の工法による津波対策が可能である。しかしながら、既設防波堤に挟まれた航路部については、常時は航行船舶の通航を妨げることなく、津波来襲時は津波を遮蔽することが求められ、かつその構造規模を考慮に入れると既往の工法での対応が困難である。

本論文では、和歌山下津港の港口部における津波対策としての、直立浮上式防波堤の適用について検討した結果に

ついて報告する。



写真-1 和歌山下津港海南地区

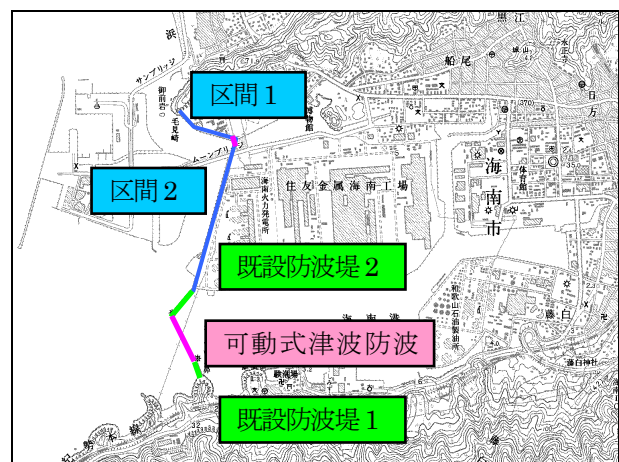


図-1 計画津波防護ライン

2. 検討する構造形式の選定

海南地区の港口部の航路は、計画水深13m、幅200mである。大型水門を、航路に対して斜めに設置するため、延長230mについては、常時は航路水深及び幅を確保しなければならない。また、津波来襲時には津波が防護できなくてはならない。そのために、水門は可動式の構造にする必要があった。複数の構造形式の中から、直立浮上式防波堤と浮体式フラップゲートの2形式の可動式津波防波堤が検討対象として選定された。両形式とも、津波防波堤としての実績がなく、開発中の形式であることから、特に津波防護の確実性に重点をおいて比較検討した。

動作性能やバックアップシステム、津波外力に対する設計、耐震性・耐久性、基礎の安定の項目などについて比較検討した結果、両形式ともこれらの項目に対して十分に対応できると判断されたが、海南地区においては、直立浮上式防波堤が技術的な熟度が総合的に高く、地域特性、建設コスト等も勘案して、選定された²⁾。

3. 直立浮上式防波堤

3.1 構造概要

直立浮上式防波堤は、図-2に示すように上部鋼管と下部鋼管から構成される鞘管形式となっており、これを連続して並べる防波堤である。通常は海底に設置された下部鋼管内に上部鋼管が格納されており、津波来襲時は上部鋼管内に空気を送り、浮力により浮上させて港口部を閉鎖する構造となっている。また、空気を排気することによって再び上部鋼管を格納する。上部鋼管は連結桁により3本が一体化されており、浮上・沈降はこの3本を1セットとして同時に行うシステムとなっている。

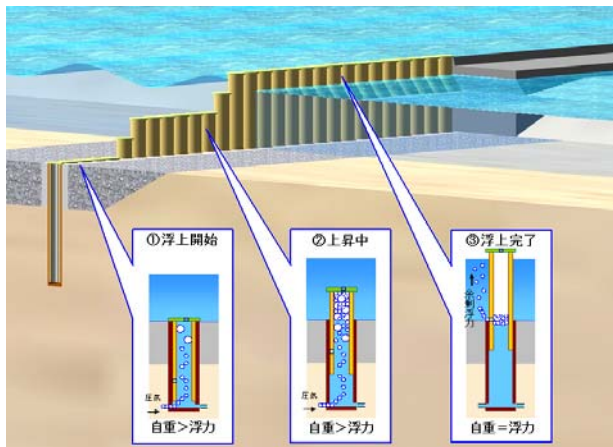


図-2 浮上式防波堤概略図

3.2 要求性能の設定

検討を進めるにあたり、本防波堤の目的および前提となる条件を明確にし、防波堤に求められる要求性能を設定した²⁾。

(1) 目的

可動式津波防波堤は、港内の人命・資産を津波から防護することを目的として設置される施設であり、津波による港内の水位上昇及び低下を抑制する機能を有するものとする。

(2) 要求性能

- ① 津波に伴う港内の水位上昇を適切に抑制できること。
 - ❖ 背後地が浸水しない水位を保持する。
- ② 津波に伴う港内の水位低下を適切に抑制できること。
 - ❖ 護岸、岸壁の安定が確保できる水位を保持する。
 - ❖ 船舶が着底しない水位を保持する（最低水位はL.W.L-1.0mとする）。
- ③ 誤動作等により偶発的に浮上することがないこと。
 - ❖ 可動部が航路を遮断し船舶航行を阻害することがないこと。

(3) 性能照査に関する作用の組合せ

可動式防波堤の性能照査に関する作用の組合せを表-1に示すとおり設定した。

表-1 作用の組合せ

状態	Case No.	作用	防波堤の状態	照査項目
				可動式防波堤
地震時	1	地震(レベル2)	格納時	鋼管が降伏に至らないこと
	2	地震(3連発地震)	格納時	同上
津波来襲時	3	津波	稼働時	同上
	4	津波+余震	稼働時	同上
	5	津波+漂流船舶の衝突*	稼働時	同上
	6	想定外の津波外力	稼働時	鋼管が全塑性に至らないこと
津波来襲後	7	地震時(南海地震)	稼働時	鋼管が降伏に至らないこと
	8	通常波浪時	稼働時	同上

*漂流船舶の規模はマリーナシティに係留している最大級の船型とする。

3.3 検討条件

(1) 基本条件

検討を行うための基本条件を表-2に示す。津波の水位は、別途検討が行われた津波数値シミュレーションの結果による。また構造物の天端高は、シミュレーション結果をもとに防波堤直近位置における最大津波水位に地震による地殻変動量(0.24m)および余裕高を考慮して設定した。

表-2 基本条件

潮位	HWL=DL+1.90m (TP+0.80m) LWL=DL+0.10m (TP-1.00m)
津波最大水位	DL+5.53m
構造天端高	DL+7.50m
航路部水深	計画水深=DL-13.0m
可動式防波堤延長	230m
設計供用期間	50年

(2) 開口率

前述の要求性能①、②を満足するためには、津波シミュレーション結果から、航路部の開口率は3%以下に抑える必要があることがわかった。直立浮上式防波堤は、鋼管杭を鉛直に並べた構造であり、上部鋼管杭の間は6%程度の開口率となっている。このため、副管を設けて開口率3%以下になるように対策を施した。

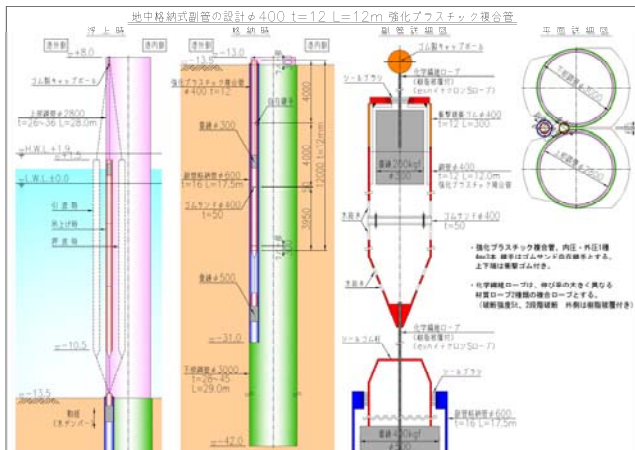


図-3 副管構造

3.4 浮上制御システムの概要

直立浮上式防波堤の浮上制御フローを図-4に、システムの概要を図-5に示す。

津波警報が発令されて、防波堤の浮上に対して支障となるような船舶が港口部に進入しないように警報等で排除した後、あらかじめ蓄圧タンクに蓄えられた空気を、上部鋼管内の浮上空気室に送気することにより、防波堤を浮上させる。その際、機器の故障や送気管の破断等により、

防波堤が浮上できなかった場合には、予め用意しているバックアップシステムにより浮上させる。

バックアップシステムとしては、予備の蓄圧タンクを用いて空気を送気し、防波堤を浮上させることが検討されている。この場合の送気管は通常時のシステム(以下、主システムと称す)とは別系統としている。また、さらなるバックアップシステムとして、上部鋼管内の浮力タンク内に蓄えられている圧縮空気の圧力を解放し、空気を浮上空気室に移送することにより浮力を確保し、防波堤を浮上させることも検討されている。

以上のように、主システムとバックアップシステムにより、システムの信頼性を確保することとしている。

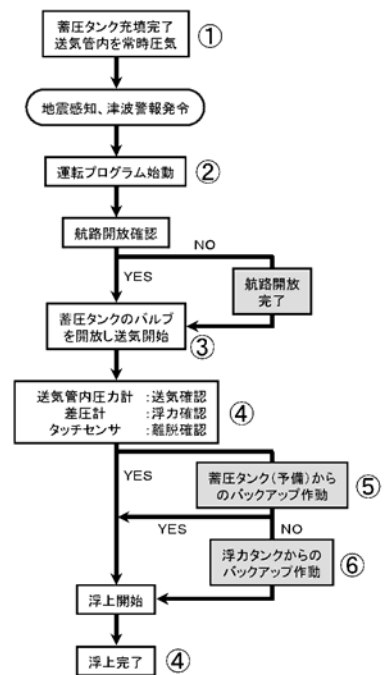


図-4 浮上制御フロー

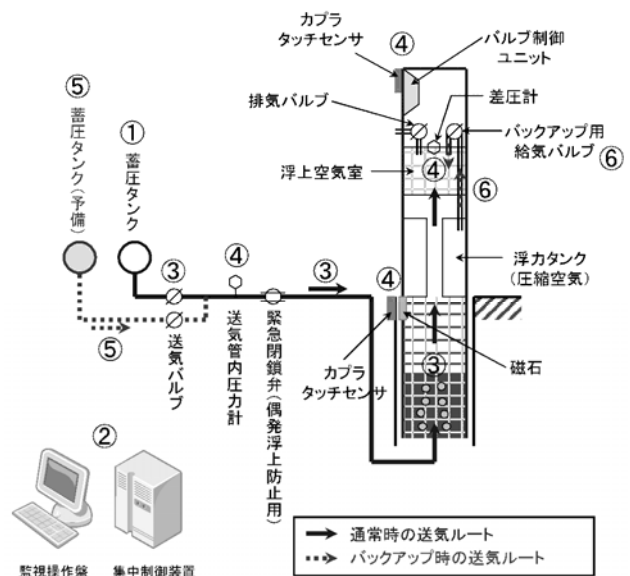


図-5 システム概要


3.5 性能確保に向けた維持管理の検討

維持管理に関する検討として、送気形式の検討、送気管材質の検討、通信方式の検討、副管形式の検討、上部鋼管内の固形浮体の検討などを行っている。ここでは、可動式防波堤上部鋼管内の固形浮体の検討について紹介する。上部鋼管内に設置する浮力タンクについては、

- ① 浮力タンク内の空気の圧力監視が必要となる。
- ② 空気漏れが発生する可能性がある。
- ③ 空気の漏洩に対し、空気の再充填作業が必要となるが、海底での作業が困難であり、上部鋼管の引き抜き等が必要となる。

等により、固形浮体の採用が維持管理上必要な条件となる。固形浮体には以下の材料が想定される。

表-3 固形浮体の材料

概 要	
	<ul style="list-style-type: none"> ・空洞充填注入用 ウレタンフォーム ・フォーム密度：100kg/m³ ・吸水量：3g/100cm²以下
特 徴	<ul style="list-style-type: none"> ・軽量である。 ・耐圧縮性が高い。 ・耐水性が良い。 ・形状対応性が高い。
信頼性	<p>海洋の浮き等に使用実績もあり、使用上問題はない。</p> <p>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。</p>

4. 課題と展望

直立浮上式防波堤を設計・施工・運用するにあたっては、様々な課題がある。以下に主な課題を列記するとともに、それらの解決策や展望について記述する。

(1) 信頼性の確保

津波来襲時に確実に浮上させるためには、浮上動作を制御するシステムの信頼性の確保が極めて重要である。特に、浮上動作は電気システムによる操作となるため、システムを構成する各種の電子機器、計測器等の信頼性を評価するとともに、バックアップによるシステムの多重化等を図ることにより、信頼性を確保する必要がある。

(2) 施工精度の確保

直立浮上式ゲートは、構造上、隣接する上部鋼管の間に開口部を有することとなる。要求される津波防護性能を確

保するためには、開口部を所定の間隔以下にする必要がある。下部鋼管を高い精度で打設する必要がある。下部鋼管は大口径の鋼管杭となることから、打設の際の導棒を工夫するなど、施工精度を確保する必要がある。

(3) 維持管理手法の確立

可動式津波防波堤は、稼働頻度が極めて低い施設であり、維持管理手法を検討するにあたってはその特殊性を考慮する必要がある。また、ひとたび津波が発生すると、短時間で安全かつ確実に稼働する必要がある。通常時の維持管理が極めて重要である。

したがって、施設を常に健全な状態に保つことを目的として、点検・整備の項目・方法・頻度等を検討するとともに、定期的に施設を稼働させる管理運転等を実施することが必要となると考えられる。

(4) 運用体制の確立

可動式津波防波堤は、いつ来るかわからない津波に対して短時間で確実に稼働させる必要があるため、24時間体制で運用する必要がある。一方で、稼働頻度が極めて低い施設であることから、可動式津波防波堤を運用するための体制を構築することは、行政コストを増大させる要因ともなるため、既存の24時間体制の組織等と連携を図りながら体制を構築していく必要があると考えられる。

5. まとめ

いつ発生するかわからない津波に対して、可動式防波堤は常に待機状態にあり、有事の際に確実に機能するための検討を行ってきた。今後は設計・施工・運用における課題について更なる検討が必要である。

6. 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「平成21年 和歌山下津港海岸(海南地区)津波防波堤等の技術検討業務」での検討の一部を取りまとめたものである。検討に際し、検討委員会の委員各位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18年度 効率・効果的な津波対策の整備手法に関する技術的検討 報告書、P.2-13, 2007.
- 2) 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：平成20年度 新技術を活用した津波対策の適用性に関する技術検討 報告書、P.2-74, 2009.