

## 審査の結果の要旨

氏名 須野原 豊

港湾における津波対策としては、これまでは堤防、護岸、水門等の海岸保全施設や津波防波堤等のハード面の整備が進められてきた。また、これら施設の管理・操作を集中管理・自動化するため津波防災ステーションの整備に加え、ハザードマップ等のソフト面の整備と併せて、地域一体となつての避難訓練などの取り組みも進められてきている。しかしながら、既存施設の老朽化が進む中で、予算の制約等により、今後大規模に既存施設の改良や新たな施設整備を行うことは困難になりつつある。また、1960年のチリ地震津波の被災を契機として津波防波堤が建設された大船渡湾では、津波防波堤により2010年2月のチリ中部沿岸を震源とした津波に対しても、湾内の津波高さを5割程度に低減させるなどその効果が示されてきたが、津波防波堤によって湾の閉鎖性が高まった結果、堤内側の水質・低質の悪化などの新たな課題も生じてきている。このため、厳しい経済・社会環境の中で、港湾機能や立地企業活動を確保しつつ地域の津波防災能力を向上する港湾における新たな津波防災システムを構築することは、重要な行政課題として認識されている。

本論文では、港湾における新たな津波防災システムの具備すべき要件を、①港湾活動や水域利用・水環境との整合、②大規模地震に対する耐震性の確保、③津波波力に対する安全性の確保、④津波防災機能の確実な発現とフェールセーフ、⑤長期間にわたる津波防災機能の保持、⑥施行の確実性と建設コスト、⑦維持管理・運用の容易性と維持コスト、⑧港外側の周辺環境への影響等であると整理したうえで、これらの観点から、既存の高潮対策等で採用されている国内、海外のフラップゲート、セクターゲート、ゴム・幕式ゲート等の各構造形式について、津波防災システムとしての適用性を検討している。そして、既存のシステムの課題を克服する形で、新たな津波防災システムとして直立浮上式防波堤（英文名：Vertically Telescopic Breakwater）の開発に取り組んでいる。新たなシステムは、港口部の航路等の海底に埋設された下部鋼管内に格納されている上部鋼管（二重鋼管）を津波襲来時に陸上から送気した空気により浮上させて、鋼管群により防波堤を形成し、津波の港内への侵入を防止・低減するものである。浮上させる上部鋼管は、通常時は海底地盤内の下部鋼管内に格納されているため、船舶の入出港等の港湾機能や港湾内外の海水交換の制約にならない。また、地震時には地盤の挙動と追随した動きをするため、耐震性が極めて高い構造となっている。

構造上の特長を踏まえて、模型実験等、大型水理模型実験を実施し、鋼管間の開口率を5～10%とすると、津波の透過率は25～40%であったが、実際の港湾では長水路と異なり港内の水域の広がりがあるため、港内波高は侵入津波波高の10%程度迄減じられることなどが明らかとなった。その時の津波作用波圧は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に示されている波圧の80%程度であった。その後、静岡県沼津港の港口部において行った現地実証試験より、現地における鋼

管の打設等は従来の技術で対応可能であること、簡易な送気設備により上部鋼管をスムーズに浮上させられること、単位時間あたりの送気量により浮上時間をコントロールできることが確認された。また、浮上時間については数値シミュレーション結果とも一致していた。一方、現地での水平載荷試験により、波力は上部・下部鋼管のオーバーラップ部を介して伝達され、この部分の補強が必要であること、浮上中、波浪により繰り返し受ける衝撃力を緩和するための対策が必要であることが分かった。更に、現地埋設後2年半以上沈設させておいて再浮上させて、鋼管の状況を調査した結果、本システム検討時の想定通り、上部鋼管は上蓋部分を除けば腐食、付着生物の問題は発生していなかった。本実験での送気・制御システムは単純化したものであるが、実用化に向けては信頼性向上のための改良が必要となった。

実証試験結果等を踏まえてシステムの改良を行った。浮力タンクを上部鋼管内に内蔵させ、浮上のための送気量を削減して浮上時間の大幅な短縮を図り、オーバーラップ部の補強は、外ダイアフラム、環状補剛材及び鋼管の板圧増で可能であること、また、応力伝達は FEM 解析で再現可能であることを確認した。鋼管間の隙間からの波の透過率を改善するため、鋼管の間の港外側に副官を設置することとした。運転システムは、送気システムをはじめとした基本システムを完全二重化して、トラブル回避と津波襲来時の浮上の確実化を図った。維持管理費用の低減とヒューマンエラー回避のため、設備の小型化、省力化等を図った。

この直立浮上式防波堤の開発の進展を受けて、和歌山下津港海南地区で本直立浮上式防波堤を港口部に設置する新たな津波防災計画が策定された。津波防災計画では、防護ラインを既設の護岸・防波堤を結ぶラインとして、既存施設は嵩上げ・補強等の改良を、港口部には固定式防波堤と直立浮上式防波堤を新設するものである。事業は平成 21 年度の海岸事業の新規事業として採択され、既設護岸の改良等が進められてきている。直立浮上式防波堤については、現地の津波条件、地盤条件等踏まえた設計、システム検討等が行われ、23 年度から現地において、計画法線上に3連結の実機を設置して実機実験を行う。実機実験では、本格的な事業を進めるための浮上システム、バックアップシステム、操作監視システム等の検証・改良が実施される予定である。

以上、要するに、本研究では、港湾における新たな津波防災システムとして直立浮上式防波堤が開発された。港口部の航路等の海底に埋設された下部鋼管内に格納されている上部鋼管（二重鋼管）を津波襲来時に陸上から送気した空気により浮上させて、鋼管群により防波堤を形成し、津波の港内への侵入を防止・低減するものである。大型水理模型実験や現地実証試験を通して改良を重ね、和歌山下津港海南地区において、本直立浮上式防波堤を港口部に設置する新たな津波防災計画が策定された。本システムは、港湾周辺の津波被害を革新的に軽減するシステムとして、社会的・学術的意義が高い。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。