

基礎地盤とマウンドの洗掘に着目した防波堤の耐津波対策の越流模型実験

九州大学 学○西村謙吾 九州大学大学院 正 ハザリカ・ヘマンタ
学 門司直也 学 バブル・チョードゥリー 正 安福規之 正 石蔵良平

1. 背景と目的

2011 年の東北地方太平洋沖地震では、強い地震動とその後に巨大津波が発生した。東北地方の三陸海岸では過去に発生した明治三陸地震、昭和三陸地震の津波の教訓から海岸保全施設の整備が進められてきたが、防波堤や防潮堤などの海岸保全施設の多くが破壊され、沿岸部の地域では人命や財産に甚大な被害を受けた。国土交通省¹⁾は東北地方太平洋沖防波堤の被災パターンを津波波力型、越流洗掘型、堤頭部洗掘型、引波水位差型の 4 つに分類しており、越流洗掘型の被害の一例として八戸港北防波堤中央部では、津波の越流による流れと渦の発生でマウンドと基礎地盤が洗掘されてケーソンがマウンドから滑動・滑落を起こして破壊に至った²⁾。これより、被災形態は防波堤のケーソン本体の損傷よりもマウンドの洗掘やそれに伴う支持力の減少によるケーソンの滑動、滑落が原因であることは明らかである。従って、近い将来に発生が予測されている南海トラフ巨大地震における地震と津波の複合災害に対して「粘り強い」構造を持つ防波堤を整備することが急務な課題となっている。

地震や津波に対して粘り強い構造を持つ防波堤を構築するため、ハザリカら³⁾は鋼矢板、蛇籠式マウンド(蛇籠にマウンド材の基礎石を詰めたもの)、蛇籠式被覆工(蛇籠に礫を詰めたもの)を使用した防波堤基礎の補強構造を提案している。本研究では越流洗掘型の被災パターンに焦点を当て、鋼矢板と蛇籠の耐津波効果と破壊メカニズムを解明するために津波越流模型実験を行い、津波越流時における補強効果の違いを検討した。

2. 実験概要

2.1 津波越流模型実験装置の概要と実験方法

一方向の定常的な越流状態を再現できる津波越流模型実験装置を開発した。土槽の大きさは長さ 5000 mm、高さ 1000 mm、奥行き 400 mm で、模型断面を可視できるようにアクリル板と鉄枠で作製した。図 1 に実験装置の概略図を示す。所定の津波高を再現するため、予備実験の結果から予め 3 基の水位調節ゲートの高さ調整しておく。その後水中ポンプを起動させることで定常的な水の越流状態を再現する。尚、実際の津波作用時は波状段波や砕波段派による衝撃段波波力が作用する場合もあるが、本実験では津波越流による洗掘状況に焦点を当てているためそれらの段波は再現しない。実験はフルードの相似則に従うものとして各縮尺比を計算した。使用した相似則を表 1 に示す。

2.2 模型の作製方法と実験条件

防波堤は南海トラフ地震における津波被害が甚大であると予測される宮崎港防波堤を対象として作製し、長さの縮尺比(実物スケール/模型スケール)を 64 とした⁴⁾。

支持地盤は豊浦砂を用いて相対密度 90 % を目標に締固めで作製し、基礎地盤は豊浦砂を用いて相対密度 60 % を目標に空中落下法で作製した。マウンドは砕石 6 号(5 mm ~ 13 mm)を用いて作製した。鋼矢板模型は高さ 200 mm、幅 400 mm、板厚 3.2 mm の鋼板を用いた。蛇籠模型はメ

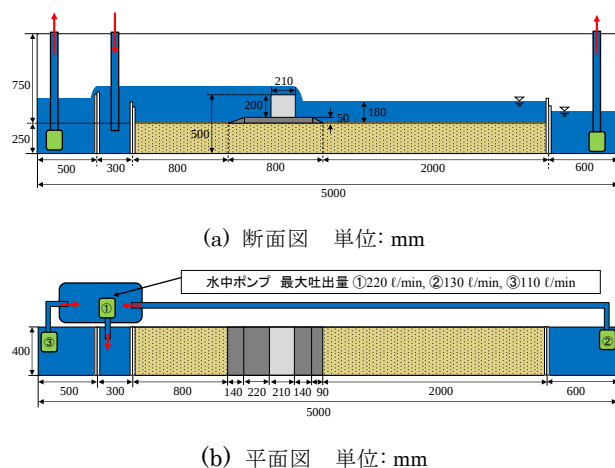


図 1 津波越流模型実験装置の概略図

表 1 使用した相似則

物理量	縮尺比	
	λ	
長さ	λ	64
密度	1	1
時間	$\lambda^{0.5}$	8
圧力(応力, 水圧)	λ	64
力	λ^3	262144
加速度	1	1
流速	$\lambda^{0.5}$	8
流量	$\lambda^{2.5}$	32768
透水係数	$\lambda^{0.5}$	8

ツシュ 10、目開き 2.04 mm、線径 0.50 mm のメッキ鉄の金網を用いて作製した。蛇籠式マウンドは金網でマウンドの碎石全体を覆った。蛇籠式被覆工は 10t 型の港湾築堤マットを参考に基本サイズが長さ 4.7 mm、幅 3.0 mm、高さ 1.6 mm の模型を 169 個作製し、中詰材として碎石 7 号(2.5 mm ~ 5 mm)を用いて蛇籠式マウンドの上面に設置した。ケーソンはアルミ製の箱型模型で、比重 2.3 を目標に中詰材として硅砂と鉛玉で重量及び重心位置を調整し、土槽奥行き方向に 3 函設置した。地盤、マウンド作製およびケーソンの設置後に水道水を注入することで地盤の間隙を満たして飽和させ、所定水面まで水を満たす。計測機器は図 2 に示すように間隙水圧計 14 個、水圧計 4 個、加速度計 2 個、カメラ 2 台を設置した。

宮崎港に來襲すると予測される津波高(H.W.L.からの水位)は、数十年から数百年に 1 回の発生頻度であるレベル 1 津波では 5 m、南海トラフ巨大地震発生時など数百年から千年に 1 回の発生頻度であるレベル 2 津波では 12.9 m である⁵⁾。従って、それぞれ 78 mm、201 mm が模型スケールにおける津波高であるが、本実験では前者の津波高を再現した。又、本実験では図 3 に示した無補強、蛇籠・2 列鋼矢板補強の 2 通りを検証する。

3. まとめと今後の展望

実験結果より、蛇籠・2 列鋼矢板で補強された防波堤基礎が洗掘に強いことが確認できた。蛇籠式マウンドはマウンドに拘束効果を与えて支持力を向上させてケーソンの滑動・滑落を抑制し、蛇籠式被覆工は津波の運動エネルギーを減衰させ、鋼矢板は浸透流による吸出しの遮断と基礎地盤の洗掘防止に効果があると推測される。今後は蛇籠補強のみ、鋼矢板補強のみなど様々な補強パターンに対して検討を行っていく。

得られた最大水位差から防波堤の前背面における静水圧差を用いて波力を計算し、ケーソンの安定性を確認する⁶⁾。洗掘状況の時間的変化についての動画撮影から、マウンドと基礎地盤の最大洗掘深さと洗掘幅を計測する。又、マウンド、被覆工、基礎地盤の被災率(損壊量/初期量)を計算する。これらの得られたデータを元に蛇籠補強と鋼矢板補強の耐津波効果を解明する。最終的に、振動台模型実験と津波越流模型実験の結果を比較することで地震と津波による複合災害に対して「粘り強い」構造を持つ防波堤の補強構造の確立を目指す。

謝辞：本研究は日本鉄鋼連盟による「鋼構造・教育助成事業」の重点テーマ研究の助成金で賄われており、ここに記して感謝の意を表す。又、本研究を進めるにあたり、原忠氏(高知大学教授)、笠間清伸氏(九州大学大学院准教授)から貴重な意見を頂き、ここに感謝の意を表す。

〔参考文献〕(1)国土交通省東北地方整備局港湾空港部：第 3 回東北港湾における津波・震災対策技術検討委員会資料-3、東北港湾における津波・耐震対策について、平成 23 年 9 月。(2)国土交通省港湾局：防波堤の耐津波設計ガイドライン【参考資料Ⅱ】、港湾構造物の津波による被害レビューと防波堤の耐津波設計を行う上での留意点、平成 25 年 9 月。(3)ハザリカ・ヘマンタ：鋼矢板と蛇籠マウンドによる防波堤の耐震・耐津波補強工法の構築、一般社団法人日本鉄鋼連盟、2013 年度「鋼構造研究・教育助成金事業」研究発表会、pp.83~88、2012。(4)門司直也、ハザリカ・ヘマンタ、石蔵良平、春日井康夫、笠間清伸、原忠、山崎直哉：地震と津波に耐える防波堤基礎の複合補強構造の耐震性に関する研究、地盤工学会特別シンポジウム・東日本大震災を乗り越えて・発表論文集、pp.724~730、2014。(5)内閣府、南海トラフの巨大地震モデル検討会：南海トラフの巨大地震による深度分布・津波高について(第一次報告)巻末資料、平均すべりモデル(大すべり域を設定しない)、平成 24 年 3 月。(6)国土交通省港湾局：防波堤の耐津波設計ガイドライン本編、【参考②】防波堤(混成堤)に対する津波波力の算定手順、pp.21~25、平成 25 年 9 月。

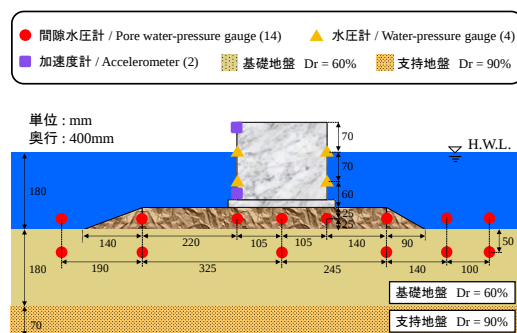


図 2 計測機器の配置図

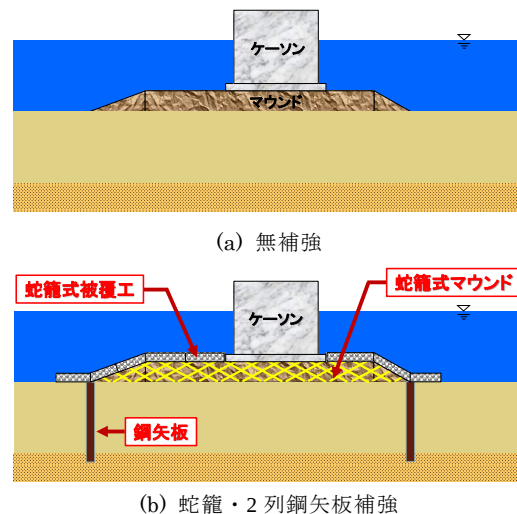


図 3 実験における補強パターンの概略図