

津波越流状態を模擬した水理実験によるケーソン式混成堤およびその基礎の変形挙動の観察

九州大学 学生会員○柳 慎一郎

九州大学大学院 国際会員 ハザリカ・ヘマンタ 学生会員 チョードゥリー・バブルー

学生会員 西村 謙吾 国際会員 安福 規之 国際会員 石藏 良平

1. 背景と目的

2011 年の東北地方太平洋沖地震に伴う津波によって防波堤や防潮堤などの海岸保全施設の多くが破壊された。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 つに分類している。被災パターンのうち越流洗掘型の場合、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、最終的に支持力不足で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。これより、防波堤の被災はケーソン本体の損傷に起因するものではなく、洗掘および浸透流によって基礎部分の支持力が低下し、水位差による水平力でケーソンが押されることで活動・滑落が発生したと推測される。したがって、防波堤の被災要因として、洗掘と浸透流だけでなく、支持力の低下や水平力などを総合的に考える必要がある。

本研究ではケーソン式混成堤の模型を用いて津波越流状態を模擬した水理模型実験を行った。実験の条件は無補強 (Case 1)、鋼矢板とコンクリートブロックを併用した基礎補強 (Case 2)、鋼矢板とスラグプレートを用いた基礎補強 (Case 3) の 3 つの条件で検証を行った。ケーソン模型の変位、加速度、マウンドと基礎地盤内の間隙水圧の測定に加え、動画撮影を行った。得られた結果を用いて、防波堤の基礎補強が津波越流によるマウンドや地盤の洗掘、浸透流に対してどのような効果を示すのか比較検討した。

2. 実験概要

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使用した。図-1 に実験装置の概略図を示す。内寸は長さ 5000 mm、高さ 1000 mm、奥行き 400 mm で、模型断面を可視できる。予め 3 基の水位調節ゲートの高さを調整しており、水中ポンプを作動させることで定常的な越流状態を再現した。本実験では定常的な越流状態の再現に焦点を当てているため、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、粘性を考慮せず、実物の 64 分の 1 のスケールで各計算を行った。

防波堤は南海トラフ地震における津波被害が甚大と予測されている宮崎港南防波堤を対象としており、支持地盤は豊浦砂を用いて相対密度 90 % を目標にして締固めで作製し、基礎地盤は相対密度 60 % を目標に空中落下法で作製した。マウンドは宮崎港南防波堤で実際に使用されている砕石の粒径を模型スケールに換算し、砕石 6 号 (5 mm ~ 13 mm) のうち 9.5 mm ふり通過分を用いて作製した。鋼矢板模型は長さ 200 mm、幅 400 mm、厚さ 3.2 mm の鋼板を用い、マウンドの法尻直下の地盤内に奥行き方向に支持地盤まで挿入した。

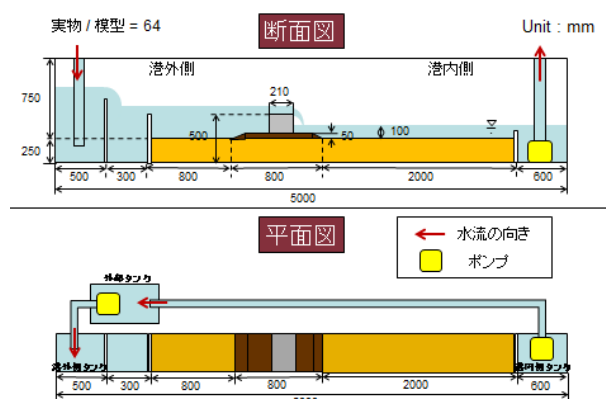


図-1 津波越流模型実験装置の概略図

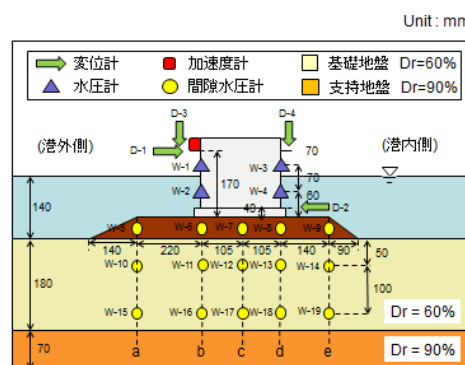


図-2 計測機器の配置

コンクリートブロックは長さ 60 mm、幅 50 mm、厚さ 40 mm のものをマウンドの上面に配置した。スラグプレートはマウンド下部に 1 枚上面に 4 枚の計 5 枚を使用した。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および重心位置を調整し、土槽奥行き方向に 3 函設置した。地盤とマウンド作製後に水道水を土槽下部からゆっくりと注入することで地盤を飽和させ、所定水面まで水を満たした。使用した計測機器は図-2 に示すように配置し、カメラ 1 台を用いて側面から動画撮影を行った。また、実験の前後で上空からの写真撮影も行った。初期水位は 14 cm で流量一定とし、15 分間の計測を行った。

3. 実験結果

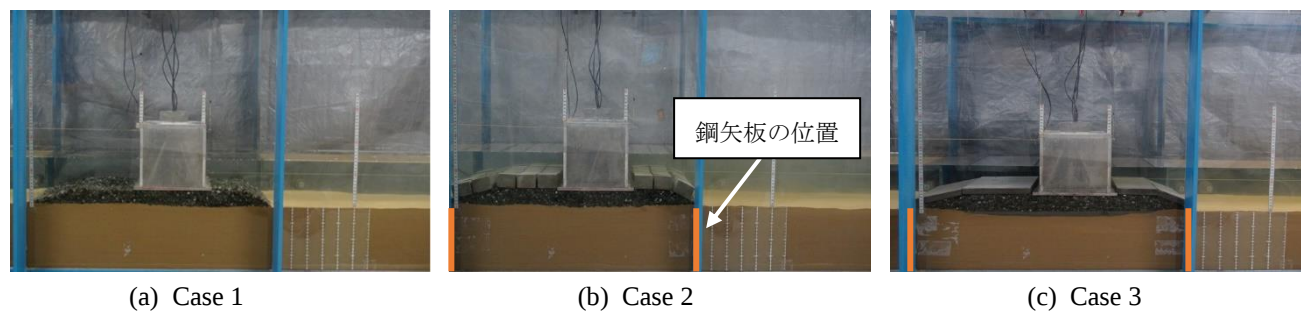


図-3 各 Case の給水開始時の様子

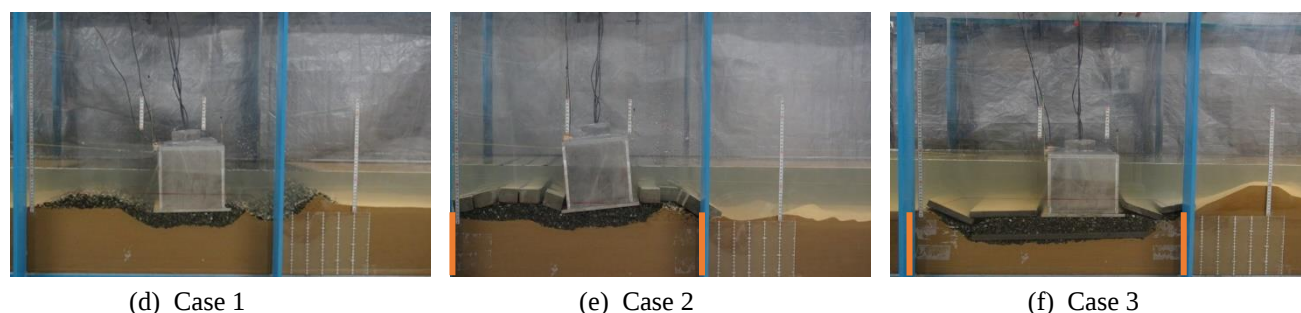


図-4 各 Case の実験終了時の様子

図-3 と図-4 に実験前後の防波堤模型の様子を示し、図-5 に各 Case の港外側と港内側のケーソンの鉛直変位を示す。Case 1 と Case 3 の沈下量はほぼ等しく、最大で約 5cm の沈下が認められた。Case 2 は約 2cm 沈下しており、倒壊に至るまでの時間が伸びたことから、今回実施した条件の中で最も粘り強い構造と言える。また、Case 3 はケーソン端点の鉛直変位の差が他の条件に比べて小さいことから、破壊の過程におけるケーソンの傾斜が緩やかであることがわかる。Case 3

はマウンド下部に敷設したスラグプレートが基礎地盤の吸出しを助長してしまいその結果沈下量が増加してしまった。しかし、越流水塊の直撃による港内側マウンドの洗掘は大幅に軽減できており、港内側マウンド上部にプレート状のものを設置することは洗掘防止に効果があることがわかった。

4. 結論

今回の実験で以下の結果が得られた。

- 1) コンクリートブロックと鋼矢板の組み合わせは沈下量が小さく、粘り強い構造と言える。
- 2) マウンド下部にプレートを設置すると、マウンドの沈下を助長してしまうが、ケーソンの傾斜角度は緩やかになる。
- 3) 港内側マウンド上部にプレート状のものを設置することは越流水塊による洗掘の防止に効果がある。

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試料-3，東北港湾における津波・震災対策について，平成 23 年 9 月。2) 西村謙吾：津波越流による防波堤基礎の洗掘および浸透流破壊が再現可能な越流模型実験装置の開発，九州大学卒業論文，2015。

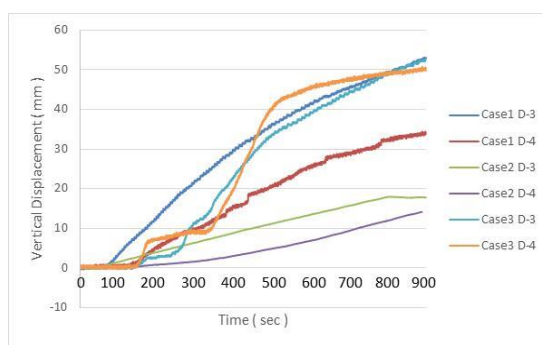


図-5 ケーソン模型の鉛直変位