

津波越流実験における基礎地盤の洗掘と浸透流に着目した防波堤基礎の補強構造に関する研究

九州大学工学部 学○榎本祐司

九州大学大学院 正 ハザリカ・ヘマンタ 九州大学大学院 学 劉 傑

1 はじめに

2011年3月11日に東北地方太平洋沖で最大震度7を観測する大きな地震が発生し、主に東北地方、関東地方を中心とする地域で強い揺れが観測された。この地震により、北海道、東北地方の沿岸部で大きな津波を記録し、これらの地域では大きな被害を受けた。国土交通省¹⁾によると、この大きな津波は防波堤・防潮堤を直接損傷させるものではなく、津波の越流によってマウンドや基礎地盤が洗掘され、ケーソンに滑動、滑落が発生したことが原因であると推測されている。したがって、今後の地震の被害を抑え、防波堤を強化する上で、マウンドと基礎地盤の洗掘力を抑える構造の開発は最重要課題である。

西村²⁾によると、防波堤に鋼矢板、蛇籠を用いて補強構造を施すことで、被害を軽減させることが提案されている。ここで、その研究の補強構造を図1に示す。その研究では、防波堤に補強をしないケーソンとマウンドのみの補強無の構造と、鋼矢板・蛇籠を図1のように用いた補強有との構造で津波越流実験を行い、ケーソンの変位を比較している。その変位は、補強無の場合で水平変位と鉛直変位がそれぞれ41.9 mm, 34.0 mmであるのに対し、補強有の場合で同変位が1.1 mm, 0.5 mmとなっている。この結果から、水理模型実験において、防波堤に鋼矢板、蛇籠といった補強部材を用いることで、ケーソンの被害が変位量比において97~98%軽減されるという研究結果が実証されている。

しかし、この研究においても、基礎地盤の洗掘長・洗掘深が発生しており、実スケールで考えた場合必ずしもケーソンが滑動・滑落しないとは言えず、大きな被害に直結する場合も考えられる。

そこで本研究では、課題解決を図るために、マウンドを含めた基礎地盤の洗掘について焦点を当て、防波堤の最適な補強構造の開発を目指すことを目的とし、その手法として水理模型実験を行うこととする。

2 実験概要

2.1 実験装置と実験方法

本研究における実験装置は、定常的な越流状態を発生させ、防波堤並びに周辺基礎地盤の挙動を評価することを可能にするものである。実験装置の内径は、長さ5000 mm、高さ1000 mm、奥行き400 mmである。図2、図3に実験装置の概略図を示す。実験の詳細は、水中ポンプ①を起動させて港外側から注水することで定常的な水の越流状態を発生させ、港内側に流れた水を水中ポンプ②でタンクに戻すことで水を循環させた。尚、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段波が発生しない場合を再現した。

2.2 実験条件と使用模型

東日本大震災における津波被害が甚大であった岩手県大船渡市の津波高を実験対象とし、長さの縮尺比(実物スケール/模型スケール)を64として実験を行った。朔望平均干潮位、津波高はそれぞれ実スケールで1.85 m, 16.7 mであったため^{3) 4)}、今回の模型実験では初期水位、港外側水位をそれぞれ2.89 cm, 29.0 cmを目標に実験を行った。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号の粒径を調整した5 mm~9.5 mm

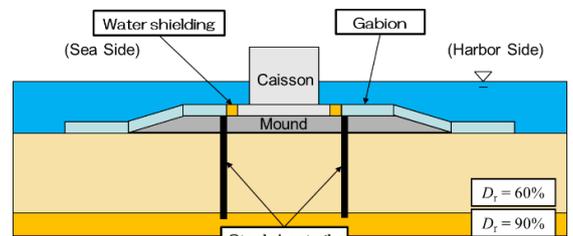


図1 既往の研究の補強構造

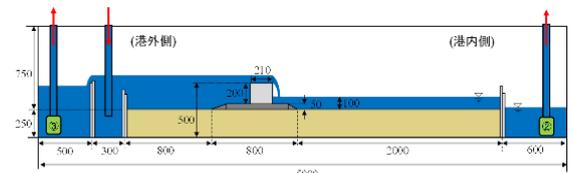


図2 実験装置の断面図

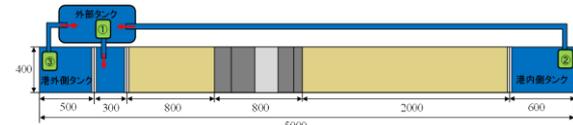


図3 実験装置の平面図

表2 実験装置、模型、補強部材の詳細

| | 高さ | 幅 | 備考 | 単位: mm |
|---------|------|-------|-------------------|--------|
| 実験装置 | 1000 | 5000 | 奥行き400 | |
| ケーソン | 200 | 210 | 奥行き132、3函設置 | |
| 鋼矢板 | 250 | 400 | 板厚2.3 | |
| 蛇籠(直方体) | 16 | 47 | 奥行き30 | |
| 蛇籠(台形) | 16 | 47.56 | 上幅47, 下幅56, 奥行き30 | |
| 遮水材 | 10 | 10 | 奥行き200 | |
| 消波ブロック | 60 | 80 | | |

のものを用いて作製し、ケーソンは比重 2.3 を目標にして作成したものを 3 函設置した。

使用した実験装置、模型、補強部材の詳細は表 2 の通りである。使用した補強部材は鋼矢板、蛇籠、遮水材、消波ブロックである。また本実験では、いくつかの補強ケースについて検証し、マウンドと基礎地盤の洗掘を抑制する最適補強構造の解明を目指すものとする。各補強構造の状況を図 4 に示す。実験ケースは、次の 3 ケースとした。Case1 では、蛇籠を港内側のみ用いることとし、Case2 では蛇籠を 2 層用いて、Case3 ではそれに加えて消波ブロックを用いる。

3 実験結果と考察

図 5 に示すように洗掘孔の水平方向と鉛直方向の大きさを順に洗掘長と洗掘深の定義とし、基礎地盤を含めたマウンドの洗掘長と洗掘深の実験結果を図 6 に示す。

この実験結果より、提案した補強構造はマウンドの洗掘長・洗掘深を抑えることができると考えられる。

また、ケーソンに働く水平波力の計算式⁵⁾と図 7 に示した水圧計を用いて水平波力を計算したところ、表 4 に示したとおり水平波力の合計 P_H は 0.0384 kN となり、さらにこの水平波力と、安全率の計算式⁵⁾を用いて滑動と転倒に対する安全率を計算したところ、表 5 に示したとおり滑動に対する安全率が 1.27、転倒に対する安全率が 3.19 となり、理論上は安全であることが確認できた。

4 まとめと今後の展望

Case1 では、蛇籠を港内側だけ用いても蛇籠を港内外両方用いた場合と比べて影響がないことを検証し、Case2 では蛇籠を 2 層用いて、蛇籠式被覆工の散乱、マウンドの大きな洗掘の発生という 2 つの課題に対する対策を行う。さらに、Case3 ではそれに加えて消波ブロックを用いて、消波ブロックがある場合に発生する水位上昇を考慮した上での補強構造を想定したケースについて検証する。

本研究により、堤防の補強構造に関しては、既存の補強部材を別の形で用いることで、新たな補強部材を開発する必要がなく、効果的な補強構造となることが考えられる。

今後は、さらなるコスト縮減や施工性の向上に着目し、遮水材の効果を検討（港外側の遮水材を用いない場合）や、港内側の矢板をマウンド法尻にするとした場合の効果の検討を行い、より良い堤防補強設計の基礎資料となる研究を行い、社会に貢献してゆく所存である。

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。

【参考文献】

1)国土交通省：東日本大震災の記録, 2012, 2)西村謙吾：粘り強さを有する防波堤の基礎補強構造の開発とその耐津波性評価に関する研究, 九州大学大学院修士論文, 2017, 3)気象庁：潮汐・海面水位のデータ 各年の潮汐, 2016 年の大船渡の潮汐概況,

<http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/gaikyo/nenindex.php>, 閲覧 2017 年 12 月 26 日, 4)気象庁：東日本大震災における津波の高さ,

<http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h22/hakusho/h23/html/k1111000.html>, 閲覧 2017 年 12 月 26 日, 5)国土交通省：港湾の施設の技術上の基準, 同解説, 2014.

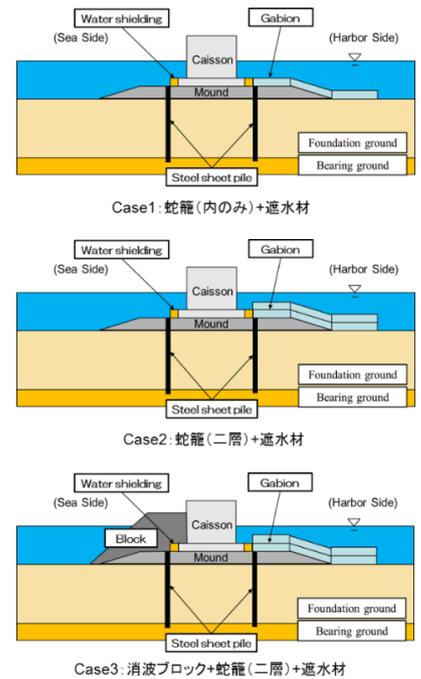


図 4 本実験の補強構造

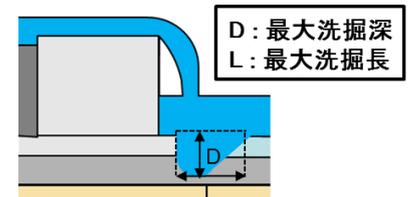


図 5 洗掘深・洗掘長の定義

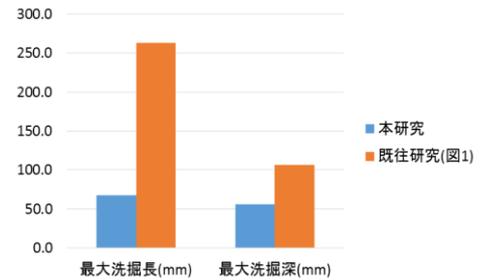


図 6 最大洗掘長と最大洗掘深

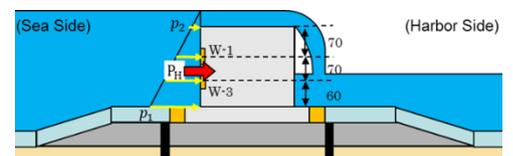


図 7 水圧計の位置

表 4 圧力の計算結果

| | W-1(kPa) | W-3(kPa) | PH(kN) |
|----------|----------|----------|--------|
| 本研究 | 1.32 | 1.59 | 0.0384 |
| 既往研究(図1) | 1.43 | 1.48 | 0.0374 |

表 5 安全率の計算結果

| | 滑動安全率 | 転倒安全率 | 構造解析係数 |
|----------|-------|-------|--------|
| 本研究 | 1.27 | 3.19 | 1.2 |
| 既往研究(図1) | 1.28 | 3.28 | |