

津波に対する防波堤背後の腹付工の効果に関する水理模型実験

(株) 不動テトラ 正会員 ○三井 順
正会員 久保田真一
正会員 松本 朗

1. はじめに

防波堤の津波対策として、港内側への腹付工の設置が挙げられる。腹付工の効果に関しては気中での水平載荷実験や波浪作用下における実験を中心に多くの研究がなされており、滑動抵抗力の算定方法が実務に供されている¹⁾。その際、腹付工の被覆材部分は通常抵抗に寄与しないものとみなされるが、被覆材として消波ブロックを用いた場合に対してはこの仮定の妥当性は検証されていない。また、越流を伴う津波に対しての腹付工の効果に関してはいくつかの研究例はあるが(例えば、有川ら²⁾)、まだ十分には解明されていない。著者らは、特に消波ブロックの滑動抵抗の把握に主眼を置き、気中での水平載荷実験により防波堤背後の消波ブロックの滑動抵抗の検討を行っている³⁾。さらに本研究では津波越流時のケーソンの滑動実験を実施し、消波ブロックの滑動抵抗を検討した。

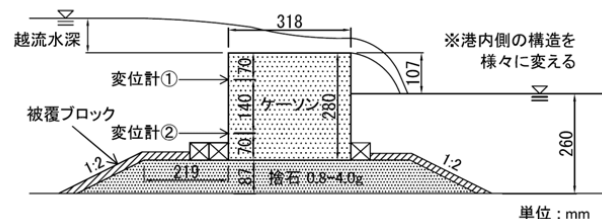
2. 滑動実験方法

実験には長さ50 m、幅1.0 m、高さ1.5 mの二次元水路を使用した。水路内の配置を図-1に示す。水路の水平床の一部を幅方向に仕切り、手前側の幅50 cmの水路内に防波堤模型を設置した。ポンプにより循環流を発生させ、防波堤を継続的に越流する津波を発生させた。防波堤の断面図を図-2に示す。模型縮尺は1/50とした。港内側の構造を様々に変えて実験を行った。ケーソン

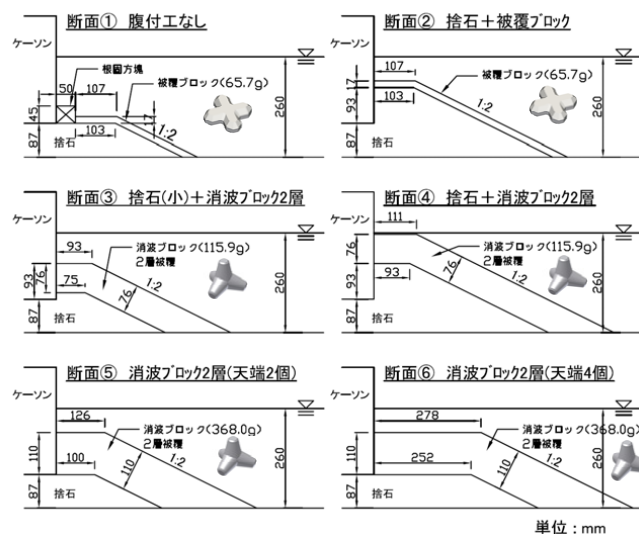
と水路壁とのクリアランスは5 mmとした。ケーソン本体はアクリル製であり、おもりを入れることで重量を調節した。本研究では滑動を発生しやすくするために、ケーソンの密度は 1.75 t/m^3 とした。ケーソンの重心位置がケーソンの中心となるようにおもりの位置を調節した。また、ケーソンの底面はモルタル製とした。事前に捨石マウンドとケーソンとの摩擦係数を測定した結果、5回の平均値は0.54であった。

津波の発生方法としては、ポンプを作動させながら防波堤の港外側に設置した越流堰の高さを一定速度で上昇・下降させることで、港外側水位を緩やかに上昇・下降させた。越流水深の最大値は16 cm程度(現地量で8 m程度)である。港外側水位の上昇速度は 0.2 cm/s 程度(現地量で 1.4 cm/s 程度)であり、これは東北地方太平洋沖地震津波の際の八戸港北防波堤における数値計算

【防波堤断面図】



【実験対象とした港内側の構造】



平面図(奥行き方向5倍で表示)

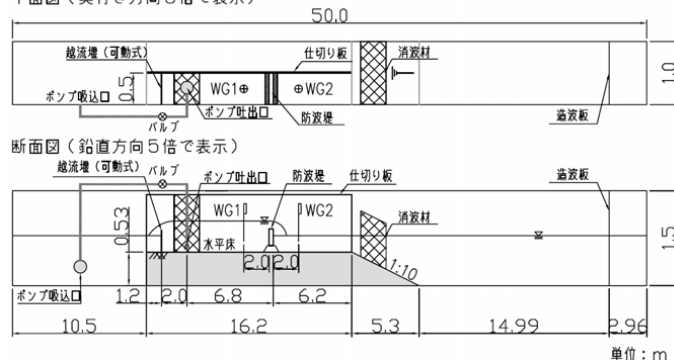


図-1 水路内配置図

図-2 防波堤断面図と実験対象とした港内側の構造

キーワード 津波, 防波堤, 腹付工, 滑動抵抗, 水理模型実験, 消波ブロック

連絡先 〒300-0006 茨城県土浦市東中貫町 2-7 (株)不動テトラ総合技術研究所 TEL:029-831-7411

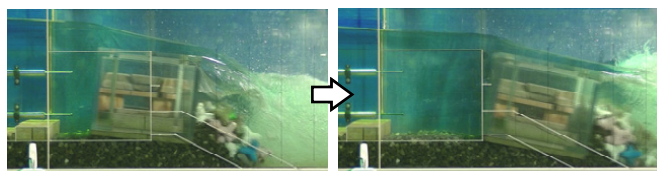


図-3 ケーソンの滑動状況 (断面③)

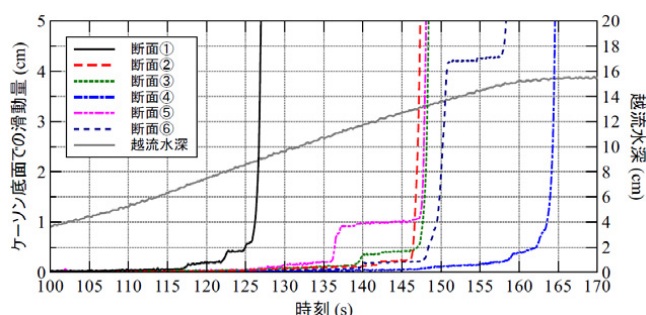


図-4 ケーソン滑動量の時系列

結果⁴⁾を参考にして設定したものである。

実験中はケーソン前面の上下2箇所（底面から7 cmと21 cm）で水平方向の変位を測定した。結果の整理では、2箇所測定した変位から求めたケーソン底面での滑動量を用いた。また、ケーソン前面から沖側2 m地点とケーソン背面から岸側2 m地点で水位を測定した。

3. 実験結果および考察

断面③の滑動状況を例として図-3に示す。ケーソンの動き出しの方向は概ね水平方向であり、被災形態としては滑動が主であった。他のケースも概ね同様の被災形態であった。

次に各断面でのケーソン変位の時系列を図-4に示す。図中には越流水深の時系列も示しているが、これはケーソンを固定した状態で別途測定したものを図示したものである。越流水深がある限界値を超えると急激に滑動量が大きくなっており、このような被災の形態は津波作用時のケーソンの被災の特徴であると言える。

図-5はケーソンの滑動限界時のスナップショットを示したものである。本研究では滑動量が5 mmとなった時点を滑動限界とした。断面②や断面④では法面のブロックがほぼ全て離脱し、捨石部も洗掘されていることがわかる。断面⑤や断面⑥はブロック質量が大きいこともあり、ケーソンの動き出し時点での被覆材の離脱は比較的軽微であった。

滑動限界時における越流水深を比較したものを図-6に示す。捨石部の面積が小さい腹付工（断面③）や消波ブロックのみの場合（断面⑤、⑥）でも腹付工なし（断面①）と比べて限界津波高が増大しており、消波ブロックの滑動抵抗力が発揮されていることがわかる。



図-5 滑動限界時のスナップショット

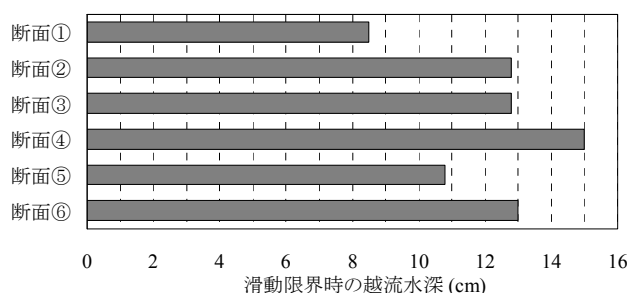


図-6 滑動限界時の越流水深の比較

4. まとめ

津波越流時のケーソン滑動実験により腹付工の効果を検討した。その結果、これまで明らかでなかった消波ブロックを用いた場合の滑動抵抗力に関する知見を得ることができた。被覆材部分の滑動抵抗力は従来の設計では通常考慮されないが、消波ブロック2層被覆の場合は滑動抵抗力が顕著に増加することが本実験により明らかとなった。また、津波に対する腹付工の効果の評価においては、越流による腹付工の洗掘を予測することが重要であり、今後の検討課題である。

参考文献

- 1) (社) 日本港湾協会(2007): 港湾の施設の技術上の基準・同解説。
- 2) 有川太郎, 佐藤昌治, 下迫健一郎, 富田孝史, 廉慶善, 丹羽竜也 (2013): 津波越流時における混成堤の被災メカニズムと腹付工の効果, 港湾空港技術研究所資料, No. 1269.
- 3) 三井順, 丸山草平, 松本朗, 半沢稔 (2015): 津波に対する防波堤背後の消波ブロックの滑動抵抗の検討, 土木学会第70回年次学術講演会講演概要集, II-179, pp.357-358.
- 4) 東山和博, 長谷川巖, 稲垣茂樹 (2013): 防波堤港内側マウンドの津波による越流洗掘に関する検討, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.69, No.2, pp.I_377-I_382.