

津波の引き波に対するケーソン式護岸の杭による滑動防止対策に関する模型実験

五洋建設(株) 正会員 ○吉田 誠, 三藤正明
 (株) エスイー 正会員 竹家宏治
 早稲田大学 フェロー会員 清宮 理

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震では、津波の影響で護岸・岸壁や防波堤など多数の港湾構造物が甚大な被害を受けた。津波による被災原因として、構造物前後の大きな水圧差や、流れによる洗堀・波圧などが挙げられる¹⁾。本研究では、津波の引き波による力として構造物前後の大きな水圧差に着目し、ケーソン式護岸の前面腹付やグラウンドアンカー等による滑動防止対策を提案するとともに、その対策効果を確認するため模型実験を実施した。ここでは、杭による滑動防止対策効果に関する基礎的検討について報告する。

2. 実験概要

実験模型断面を図1に示す。実験断面は1999年兵庫県南部地震で被災したケーソン式護岸を参考に決定した。模型の縮尺は、対象とする地盤の範囲と土槽の大きさを考慮して1/10とした。

実験は無対策の場合と、杭による滑動防止対策を行う場合の2ケース実施した。実験に用いた土槽は長さ3.0m、高さ1.0m、奥行き0.6mの箱型の剛土槽である。

基礎捨石(厚さ0.2m)、裏込石には、砕石5号、6号をそれぞれ用いた。埋土は飯豊珪砂6号による相対密度60%の中密地盤とし、気中落下法により作製した。基礎捨石と裏込石、埋土と裏込石の間には、防砂シートとして不織布(厚さ2.1mm)を敷設した。ただし、背後からの水が裏込石および基礎捨石の天端から浸透しやすいように、裏込石と基礎捨石の天端には防砂シートを敷設していない。これは、地震時に生じたケーソンと裏込石の隙間に、津波による水が流入することを想定したものである。

ケーソン模型(気中重量2.47kN)には、高さ700mm×幅500mm×奥行き590mmの箱型鋼殻を用い、中詰砂を投入した。ケーソン底面には、摩擦係数を調整するためメンブレンシート(厚さ3mm)を貼りつけた。摩擦係数の実測値は0.65である。杭模型は、剛体とみなせるように50mm角の鋼角柱(長さ500mm)とし、ケーソン前面側の土槽底面に固定した。杭とケーソンの間には、ケーソンの高さの下から1/3の位置にロードセルを設置し、杭による水平反力を計測した。ワイヤー式変位計を用いてケーソンの水平・鉛直変位を計測し、間隙水圧計により水・地盤内の水圧を計測した。

実験は次の手順で実施した。土槽底面からの水位が850mmとなるようにゆっくり注水したあと、ポンプアップにより前面水位を低下させることでケーソンに水圧差を作用させた。なお、ポンプアップした水を背面側

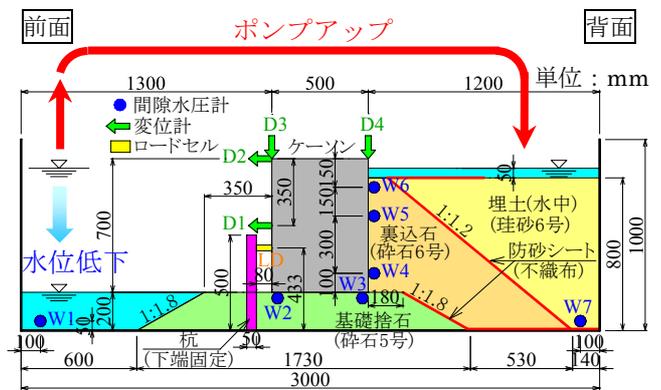
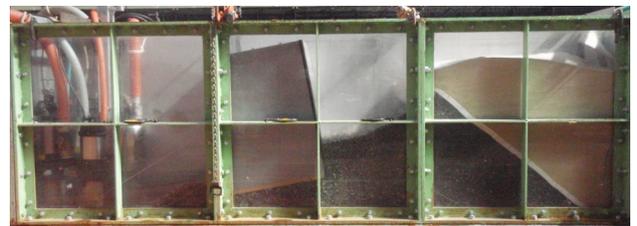


図1 実験模型断面図(杭による滑動防止対策)



(a) 無対策



(b) 杭による滑動防止対策

写真1 実験後の様子

に供給することで、背面水位を約 900 mm に保った。

3. 実験結果および考察

実験後の様子を写真 1 に示す。無対策の場合、ケーソンは前面側へ傾斜しながら変位し、天端(D2)が約 360 mm 水平変位した。ケーソン背後地盤と基礎捨石法先は崩壊し、地表面が著しく沈下した。一方、杭による滑動防止対策を施した場合、ケーソンの変位は認められなかったことから、杭による対策が有効であることが示唆された。

前面水位 0.76 m のときのケーソン周辺の水圧分布を図 2 に示す。前面水位 0.76 m は、無対策でのケーソン変位開始時点に相当する。前面水圧は水圧計 W1, W2 から推定した。同図によると、水圧分布は対策の有無によらず概ね同じとなった。背面水圧は三角形分布に近く、底面水圧はほぼ一定値を示した。なお、基礎捨石内の流速はかなり速かったと推測されるが、基礎捨石の流出は確認されなかった。

実験結果からケーソンへの作用外力(図 3)を算出し、さらにケーソンの滑動、転倒の耐力作用比を計算²⁾することで、津波による引き波がケーソンの安定性に及ぼす影響について調査した。ここで、裏込石の粘着力、内部摩擦角を 0 kPa, 40° と仮定した。耐力作用比と前面水位の関係を図 4 に示す。実験初期では前面水位の低下とともに耐力作用比が減少する傾向を示す。

無対策では、前面水位 0.76 m でケーソンが変位しはじめており、この時点では転倒モードが先行している。その後、前面水位の低下とともに前面・底面水圧が減少し、前面水位 0.71 m を境に滑動モード先行に変化している。耐力作用比が 1 以下になるとその値が急減しており、安定性が著しく低下する傾向を示す。

杭による対策を行った場合のケーソンの耐力作用比は、無対策と比べて大きく、特にこの傾向は滑動モードで顕著である。転倒の耐力作用比の最小値は 1.22 であり、無対策のケーソン変位開始時点での 1.15 より大きい。これらの結果から、杭による対策を行うことで、ケーソンの安定性が向上することが示唆される。

4. まとめ

本報告では、津波の引き波に対するケーソン式護岸の滑動防止工法として杭を取り上げ、その対策効果を確認するため模型実験を実施した。その結果、無対策の場合、ケーソンの滑動・転倒に対する耐力作用比が 1 以下になると安定性が著しく低下し、ケーソンが大きく変位することが確認された。杭による滑動防止対策を施すことで、ケーソンの滑動・転倒に対する安定性が向上し、変位が抑制される結果が示された。今後は、引き波時の洗堀、基礎マウンド内の流速分布、引き波時の浮力の考え方について検討していきたい。

参考文献

- 1) 高橋ら：2011 年東日本大震災による港湾・海岸・空港の地震・津波被害に関する調査速報，港湾空港技術研究所資料，No. 1231，2011。
- 2) (社)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，pp. 961-968，1999。
- 3) 竹家ら：津波の引き波時のケーソン式護岸のグラウンドアンカーによる滑動防止対策に関する模型実験，土木学会第 69 回年次学術講演会，2014。(投稿中)

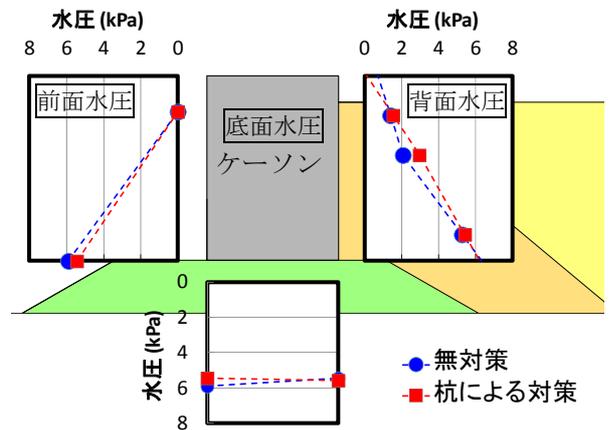


図 2 ケーソン周辺の水圧分布(前面水位 0.76m)

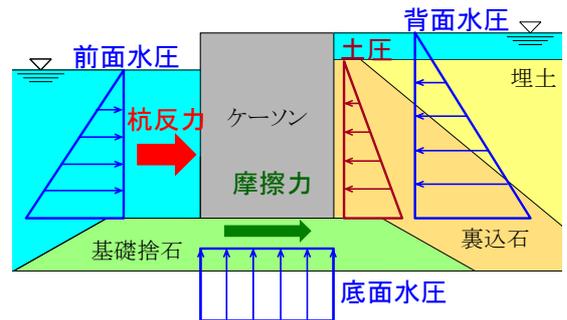


図 3 ケーソンへの作用外力概念

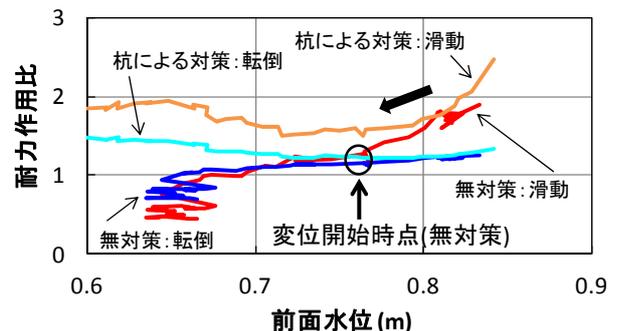


図 4 耐力作用比と前面水位の関係