

# 設計波以上の津波外力に対して局所的に安全率を変化させた防波堤の耐力に関する実験的研究

金沢工業大学 学生会員 ○小池 祐太郎  
金沢工業大学 正会員 有田 守

## 1. はじめに

2013年3月11日に発生した東日本大震災は大きな被害の爪痕を残した。多くの被害の原因となったのが想定よりも高い津波である。岩手県釜石市に存在する釜石港湾口防波堤は北提990m、南提670m、開口部330mからなる津波防波堤であり、最大の水深は63mにも達し、世界最大水深としてギネスブックに認定される大規模な防波堤である。宮島ら(2015)によると、この防波堤の設計津波波高は5.0mと設定されていたが、実際に発生した津波は約9mであり、設定していた設計波より大きな津波が襲来したため設計に用いられた安全率を大きく上まわり、多くのケーソンが滑動、転倒した。このような被害により現在の津波対策の基本的な考えとして粘り強い構造物を提案することが要求されるようになった。粘り強い構造物の例としては森安ら(2015)は既存の防波堤に補強工事として鋼管杭をケーソンの背後に設置することによってケーソンを重量式構造物から根入れ式構造物に転換させ、鋼材の粘り強さと地盤の抵抗を活用する方法や、諸星(2014)によると、コンクリートをパラペット形状に変更することや摩擦増大マット、石材、ブロックの設置などの処置を施すことで粘り強さを高める方法などが提案されている。

本研究では粘り強い構造物を提案するにあたり従来の提案より容易且つ、建設コストを抑える方法としてケーソンの安全率を変化させる手法を提案する。この手法は、設計波以上の津波波力に対して安全率を変化させ積極的に局所的崩壊を引き起こさせることにより防波堤の崩壊を最小に抑える設計方法を提案することを目的とする。

## 2. 実験概要

本研究は1/200スケールで行い、実験では縦15m×横5mの平面造波装置を用いた。また、ケーソンモデルは15cm四方の箱型モデルに砂利や錘などで重量を調整した。ケーソンは18個設置し、設置位置は造波板から9mの地点とした。その中の一部のケーソンの安全率を下げ、造波装置により発生させた波より、ケーソンが滑動、転倒した様子をカメラにより撮影し、その画像から滑動量を算出した。

## 3. 実験条件

本研究の実験条件は以下の表-1に示すものである。水深は20cm、天端は+5cmである。安全率(以下図中Fs)を下げたケーソンを設置する位置は18個あるケーソンのうち図-1より写真上部の壁側から数えて個数を決め、安全率を下げたケーソンを設置したケースを付け根部とし、同様に中心に安全率の下げたケーソンを設置した場合を中央部、写真下部の端側から数えて設置した場合を端部と表している。安全率を下げたケーソンの個数と配置する位置を変化させ実験を行った。

表-1 実験条件

安全率(重量kg)	0.8(3.0kg)	1.0(3.5kg)	1.1(3.75kg)	1.2(4kg)
波高(cm)	2.5	3.5	5	7.5
安全率を下げたケーソン(ケース)(個)	9	7	5	3
安全率を下げたケーソンを設置する位置	先端部	中央部	付け根部	

## 4. 実験結果

### (1) 造波後の結果

安全率の低いケーソンを先端部、中央部、付け根部の場合で実験を行った。津波の波力がケーソンに対して等分布荷重となり中央部の荷重が大きくなるため、中央部が最も滑動、転倒することが分かった。そのため、中央部に安全率を下げたケーソンを1個、2個設置したケースについて実験を行った。また、安全率を0.1程度下げただけでは全てのケースで安全率1.2の場合と滑動量にあまり変化が見られなかったため1.2の安全率

に 1.0 や 0.8 の安全率を組み合わせることとした。

図-1 は中央部の 2 個が安全率 1.0 のケーソンであり, その他安全率 1.2 のケーソンで, 入射波高は 5cm を作用させた実験結果である。図より中央部にある安全率 1.0(3.5kg)のケーソンが積極的に滑動することによりその他の安全率 1.2(4kg)のケーソンの滑動量が少なくなることがわかった。

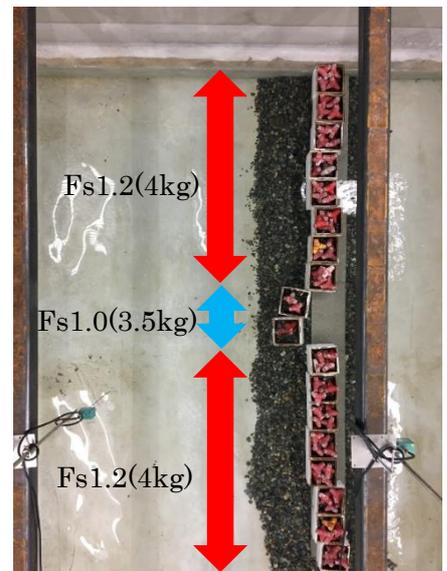


図-1 中央部 2 個安全率 1.0, 他安全率 1.2

(2) 移動量の算出

図-1 の実験結果における写真からピクセル数を計測し, 実際のケーソンの滑動量を算出した。また, 全て安全率 1.2 の場合と比較するため, 総滑動量の算出の際には安全率の低いケーソンは含めないこととした。算出するケースは実験結果(1)で述べたように中央部が最も影響を受けやすい為, 中央部 7 個, 3 個, 2 個, 1 個の 4 種類である。波高は 3.5cm である。図-2 には各ケースのケーソンの滑動量を示した。全てのケースの中央部で滑動量が大きいということが分かる。また, 図-3 では各ケースの安全率 1.2 の箇所の総滑動量を示している。全て安全率 1.2 の場合が最も多く滑動しており, 安全率の低いケーソンを多くしていくにつれ, 総滑動量が少なくなる。

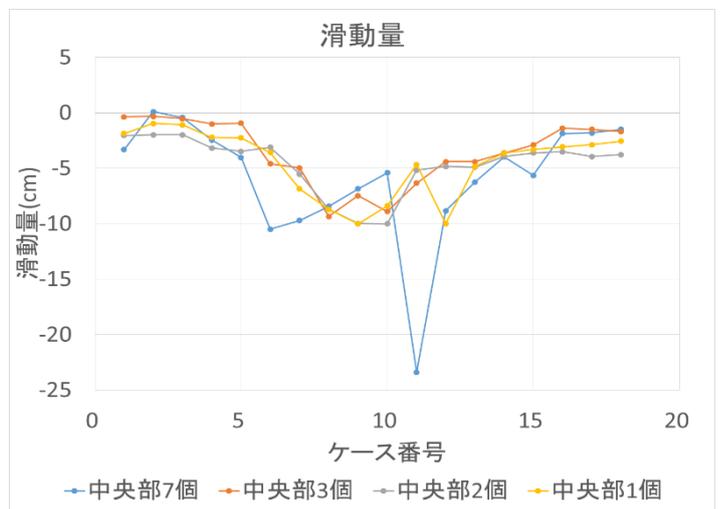


図-2 各ケースのケーソン別滑動量

5. まとめ

(1)津波は防波堤に対して, 中央部に波力が集中する形になり端部や付け根部に対して, 中央部の波力が大きくなる。

(2)中央部が多く滑動するため, 中央部に安全率の低いケーソンを配置すると, その他の安全率 1.2 のケーソンの滑動量は低減する。中央部 7 個のケーソンの安全率を低くした場合は約 52cm 滑動量が低下した。

(3)安全率の低いケーソンの数を増やすことによって安全率 1.2 のケーソンの総滑動量は低減する。中央部 1 個に安全率の低いケーソンを設置した場合は約 13cm 低減したが, 中央部 2 個では 21cm, 中央部 3 個では 44cm, 中央部 7 個で 52cm と徐々に総滑動量が低減した。

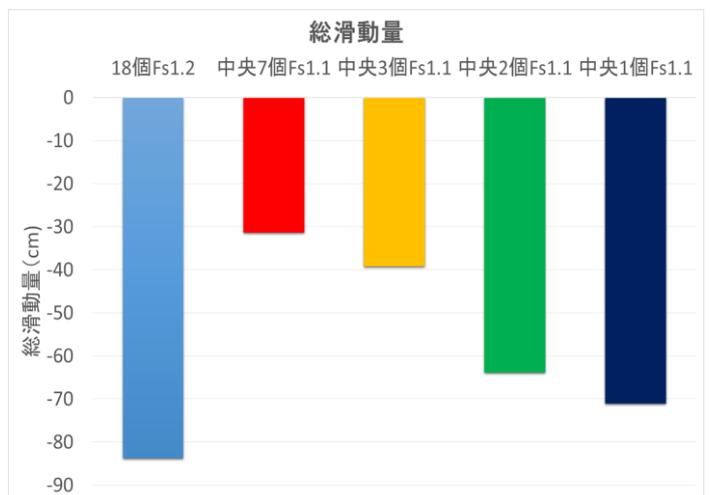


図-3 各ケースの総滑動量

参考文献

1)森安俊介, 田中隆太, 及川森, 辻井正人, 妙中真治, 久保田一男, 原田典佳: 大規模津波に備える粘り強い防波堤補強工法の開発, 新日鉄住金技報第 403 号, p.64, 2015.

2)諸星一信: 大震災からの港湾の復旧状況と東北の復興について, 一般社団法人日本埋立浚渫協会, <http://www.umeshunkyo.or.jp>, MarineVoice21 Vol.285, 2014.

3)宮島ら(他 32 名): 平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震における湾口施設等被害報告, 湾口空港技術研究所資料 1291, p.113, 2015.