

継続して作用する津波波力に対するカウンターウェイトブロックの性能評価実験

日建工学株式会社 (正) 松下 紘資, (正) 〇大熊 康平
京都大学防災研究所 (正) 平石 哲也

1. はじめに

津波や波浪に対する防波堤の新しい港内側補強工法として、間瀬らりは図-1 に示すようなカウンターウェイトブロック（以下、CWB と記す）を提案している。CWBはフレーム形状のコンクリートブロックの孔部に中詰め石を詰める工法で、これまでに津波を想定した孤立波や波浪に対する効果は確認されている^{2),3)}が、継続して作用する津波波力に対する効果の検証はなされていない。そこで本研究では、継続作用する津波波力に対する CWB の効果を水理模型実験により検証した。

2. 水理模型実験の概要

実験は、長さ 30m×幅 0.7m×深さ 0.7m の水路を使用した。実験装置全体を図-2 に示す。水路の中央に仕切り板を設置し、片側に防波堤模型を設置した。水中ポンプを用いて流れが循環するようにし、定常流を発生させて継続作用する津波を再現した。流量(越流水深)は、水量調整バルブにより調整することができる。実験縮尺は 1/50 とした。実験断面を図-3 に示す。ケーソン模型の比重は実物に近い 21kN/m^3 とし、中心が重心位置となるよう調整した。CWB については、実物で 20t の模型(長さ 60mm×幅 60mm×高さ 30mm)を使用した。中詰め石と基礎マウンド石は、それぞれ実物で 30kg 相当と 50~200kg 相当の石を使用した。波高計については、図-4 に示すように港外側に 3 本、港内側に 4 本を 1m 間隔で設置し、評価にはそれぞれ港外側と港内側の平均値を用いた。実験ケース一覧を表-1 に示す。CWB 無しの場合をケース 0 とし、1 個、2 個、3 個まで設置数を増やした。なお、ケース 2 は CWB2 個を並列に並べたパターンで、ケース 3 は上に積み上げたパターンである。

本実験では、バルブ操作により 1.5mm/s 程度の速度で津波高さを上昇させた。図-5 に水位の時系列データの例を示す。堤体天端高は 70mm であり、水位が 70mm を越えたところから越流状態となる。越流水深が抵抗力の限界を超えると堤体が滑動し、水位が減少してい



図-1 CWB の使用イメージ

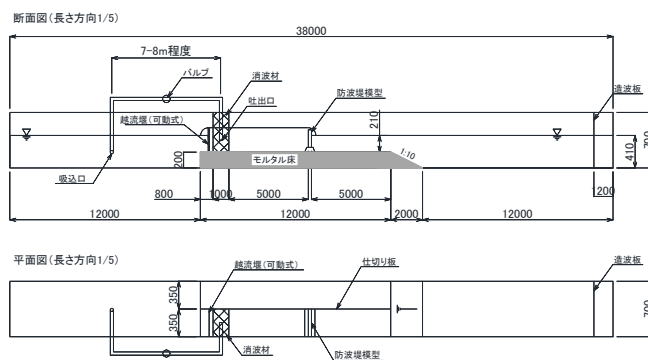


図-2 実験装置

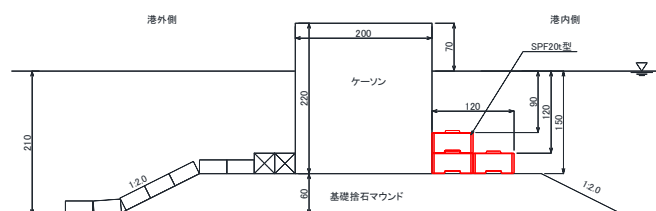


図-3 実験断面

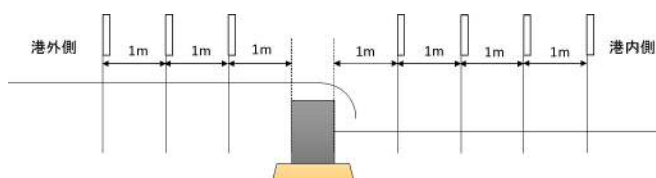


図-4 実験断面

表-1 実験ケース一覧

ケース 0	ケース 1 CWB1 個	ケース 2 CWB2 個	ケース 3 CWB2 個	ケース 4 CWB3 個

キーワード 津波, 波浪, 防波堤補強工法, カウンターウェイトブロック

連絡先 〒160-0023 東京都新宿区西新宿 6-10-1 日建工学株式会社技術部 TEL03-3344-6811

く、実験中、港内側の水位は 10mm 程度低下するものの、堤体が滑動するまではほぼ一定であった。

3. 結果と考察

式(1)を用いて、防波堤の滑動限界時の安全率 SF を求めた。

$$SF = P_{H_limit} / [f(W - P_B - P_U) + P_{R_CWB}] \quad (1)$$

ここに、 P_{H_limit} は滑動限界時の津波の水平波力、 f は堤体底面と基礎マウンドとの摩擦係数 (0.59 : ケース 0 の結果)、 W は堤体重量、 P_B は浮力、 P_U は津波の揚圧力、 P_{R_CWB} は CWB の滑動抵抗力計算値である。 P_{R_CWB} は、式(2)^{2),3)} により求めた。

$$P_{R_CWB} = n \times \mu W_{CWB} \quad (2)$$

ここに、 n は断面当たりの CWB 設置個数、 μ は CWB の摩擦係数 (0.75)、 W_{CWB} は CWB1 個の水中重量 (コンクリートフレーム+中詰め石) である。津波の水平波力 P_{H_limit} は、静水圧差による算定式⁴⁾ を用いて計算した。

図-6 に実験結果を示す。(a)の安全率の計算結果をみると、いずれのケースにおいても 1.0 を上回っており、CWB が所定の滑動抵抗力を発揮していることがわかる。

(b)は、式(3)により計算した、CWB の滑動抵抗力計算値の安全率 SF_{CWB} である。

$$SF_{CWB} = [P_{H_limit} - f(W - P_B - P_U)] / P_{R_CWB} \quad (3)$$

ここに、右辺分子は CWB が実験で発揮した滑動抵抗力であり、(滑動限界時の津波波力 - ケーソン抵抗力) で計算した。 SF_{CWB} は 1.08~1.59 で計算値以上の抵抗力を発揮しているものの、松下ら³⁾ の孤立波による実験ではいずれのケースも概ね 2.0 以上の安全率が得られており、これらに比べると低い値となった。これは、継続作用する津波波力によって生じる基礎マウンド内の浸透力が少なからず影響したものと考えられる。基礎マウンド内の浸透力を適切に評価するには、フルードの相似則において実験縮尺を考慮した重力場を再現する必要があるが、施設の都合上困難である。ただし、本実験のように通常の重力場で実施した模型実験の方が実物よりも浸透力の影響が大きくなることから、本実験で安全率 1.0 を確保できていれば、実物でそれ以上の安全率を期待することができる。本実験ではいずれのケースも 1.0 以上の安全率が得られており、現地でも CWB は所定の抵抗力を発揮できるものと推察される。

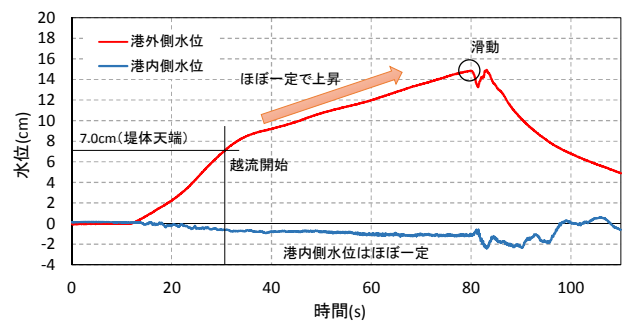
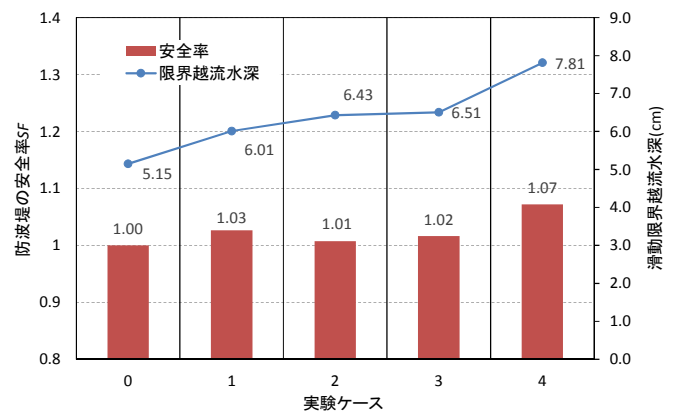
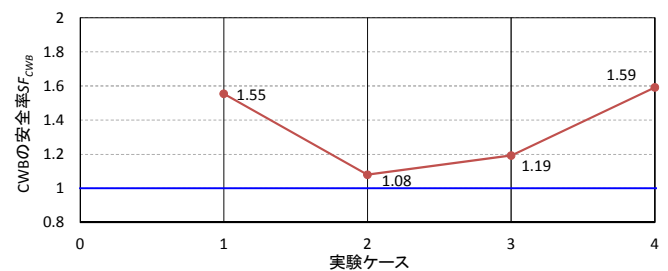


図-5 水位の時系列データの一部



(a)防波堤の安全率 SF と滑動限界越流水深



(b)CWB の滑動抵抗力計算値の安全率 SF_{CWB}

図-6 実験結果

4. おわりに

本研究では、継続作用する津波波力に対する CWB の効果を水理模型実験により検証した。その結果、CWB は所定の滑動抵抗力を発揮していることが確認された。

参考文献

- 1) 間瀬 肇, 平石 哲也, 川田 達也, 行本 卓生, 徳永 誠之, 松下 紘資: 偶発波浪対策としてのカウンターウェイトブロックの開発, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.67, No.2, pp.I_696-I_700, 2011.
- 2) Hiroshi Matsushita: Breakwater Reinforcement Method against Large Tsunami, PIANC Yearbook 2013, pp.111-130, 2013.
- 3) 松下 紘資, 平石 哲也, 間瀬 肇, 岸本 治: 偶発作用に対するカウンターウェイトブロックの性能評価に関する実験的研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.70, No.2, pp.I_468-I_473, 2014.
- 4) 港湾局: 防波堤の耐津波設計ガイドライン, 2015.