

# 防波堤直下の捨石マウンドの津波対策工に関する水理模型実験

九州大学工学部 学生会員 ○飯笹 千恵 九州大学大学院 正会員 笠間 清伸  
九州大学大学院 フェロー 善 功企 九州大学大学院 正会員 春日井 康夫  
九州大学大学院 正会員 陳 光斉 九州大学大学院 正会員 八尋 裕一

## 1. はじめに

2011年3月に発生した東日本大震災では、津波により防波堤が被災し、甚大な被害が生じた。津波による防波堤の被災要因は大きく5つあり、越流によるマウンドの洗掘、目地からの流れによるマウンドの洗掘、防波堤全面と背後の水位差、防波堤に作用する水平力およびマウンドの支持力低下が挙げられる<sup>1)~3)</sup>。これまで、防波堤直下の捨石マウンド内における浸透流が防波堤の安定性に与える影響に関しては十分な検討がなされていない。そこで、本文では、岩手県釜石湾口防波堤南堤をモデルに波浪を模擬した水理模型実験ならびに防波堤の支持力実験を行い、地盤工学的な観点から捨石マウンドの安定性を定量的に評価した。

## 2. 実験概要

図-1に、実験装置の概要と計測器の配置を示す。縮尺1/100として、模型防波堤は幅185mm、高さ195mm、奥行き190mm、重さ13.90kgおよび密度 $2.03\text{g/cm}^3$ とした。実験時の捨石マウンドの飽和密度は $2.07\text{g/cm}^3$ とした。津波を模擬するために、循環流により防波堤の前後に水位差を発生させた。発生させた水位差は0mm、40mm、80mm、120mmおよび145mmとした。水位差0mmでのマウンド内の水圧を初期値とし、以降、各水位差において変化した水圧(以降、過剰水圧とよぶ)を測定した。さらに、水位差を作用させた条件で、模型防波堤上部から変位制御(2mm/min)で载荷し、支持力測定を実施した。実験は、捨石マウンドに対策工を施していない条件(以降 Case1 とする)と、対策工として港内側のマウンド天端に蛇籠を設置した条件(以降 Case2 とする)を行った。蛇籠は、捨石マウンドと同材料で作製し、断面 $60\times 60\text{mm}$ 、奥行き40mmで設置した。

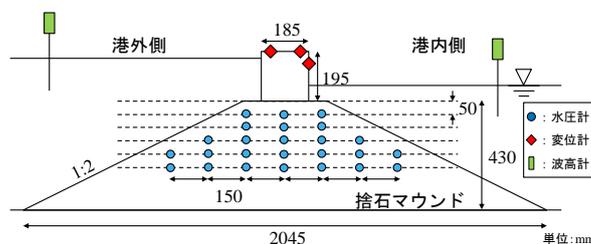


図-1 実験装置の概要と計測器の配置図

## 3. 実験結果と考察

### 3.1 捨石マウンド内の動水勾配

145mmの水位差を発生させた場合、Case1では防波堤のパイピング崩壊が発生し、Case2では発生しなかった。この原因を捨石マウンド内の動水勾配をもとに考察した。図-2に、Case1における鉛直方向の動水勾配分布を示す。鉛直方向の動水勾配は、マウンド天端の港外側で下向きに水が流れ、港内側では上向きに水が流れたことを確認した。特に、マウンド天端から法面方向約120mm(実スケール12m)の範囲では、上向きの浸透力が大きかったと考えられる。よって、水位差145mmにおいて港内側のマウンド天端が破壊した要因は、浸透力による影響であると考えられる。鉛直方向の浸透力が著しく大きく働いたため、パイピング崩壊が起きた可能性が高い。

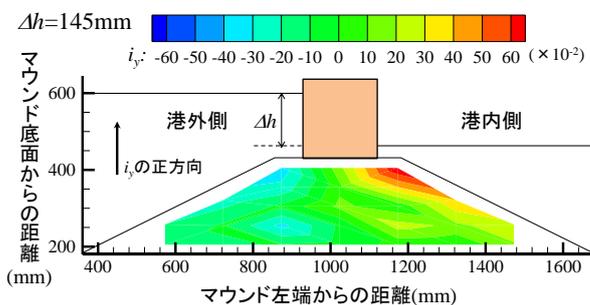


図-2 鉛直方向の動水勾配分布(Case1)

図-3に、Case2における鉛直方向の動水勾配分布を示す。Case1より、模型防波堤直下と港内側のマウンド天端での鉛直方向の動水勾配は小さくなり、Case2では、水位差145mmにおいて捨石マウンドは崩壊しなかった。これは、蛇籠により動水距離が長くなり、透水力が減少したためと考えられる。

### 3.2 捨石マウンドの支持力測定

図-4に、Case1, Case2の水位差120mm, 145mmにおける荷重沈下曲線を示す。図中の矢印は、載荷圧と浸透流により、捨石マウンドが浸透破壊したことを意味する。水位差が大きくなるほど、同じ載荷圧で沈下量は大きな値となった。これは、水位差により防波堤に生じる水平荷重および捨石マウンドの過剰水圧が大きくなり、捨石マウンドの支持力が低下したためと考えられる。

水位差による支持力低減量を評価するために、図-5に、捨石マウンドの極限支持力と水位差の関係を示す。水位差が大きくなるほど、捨石マウンドの支持力は低下することがわかった。これは、マウンド内の浸透力と防波堤に作用する水平力が起因したためと考えられる。水位差120mmでは、Case1は31kN/m<sup>2</sup>、Case2は36kN/m<sup>2</sup>の載荷圧で捨石マウンドが崩壊した。水位差145mmでは、Case1は16kN/m<sup>2</sup>、Case2は27kN/m<sup>2</sup>の載荷圧で捨石マウンドが崩壊した。これは、載荷により模型防波堤の沈下が進行し、水位差が捨石マウンドにおよぼす浸透力が卓越したためと考えられる。しかし、Case2の方が、同じ載荷圧に対して沈下量は小さな値となり、捨石マウンドの崩壊が発生する際の載荷圧は大きな値となった。これは、蛇籠の有効上載圧による捨石マウンドの支持力の増加ならびに3.1節で説明した、動水距離の増加により捨石マウンド内に発生する浸透力が減少したためであると考えられる。

### 4. まとめ

- 1) 無対策の防波堤では、水位差145mm(実スケール14.5m)においてパイピング現象が発生し、捨石マウンドが崩壊した。これは、模型防波堤直下と港内側のマウンド天端で動水勾配が大きな値となり、鉛直上向きの浸透力が大きくなったためである。
- 2) 港内側の捨石マウンド上に蛇籠を設置した場合、水位差145mm(実スケール14.5m)において捨石マウンドは崩壊しなかった。これは、蛇籠により動水距離が長くなり、動水勾配および透水力が減少したためである。
- 3) 津波による水位差が大きくなるにつれて、捨石マウンドの支持力は約50%低減した。しかし、捨石マウンド上に蛇籠を設置したことにより、同じ水位差に対するマウンド支持力は8.3%~41%大きくなった。

<参考文献>1) 有川太郎ら：釜石湾口防波堤の津波による被災メカニズムの検討—水理特性を中心とした第一報—、港湾空港技術研究所資料, No.1251, pp.43-46, 2012.3. 2) 大矢陽介ら：防波堤基礎地盤の地震時変形特性に関する1g場模型振動実験と有効応力解析、港湾空港技術研究所資料, No.1227, pp.4-6, 2011.3. 3) 宮田正史ら：ケーソン式防波堤の大変形破壊に伴う作用波力の変化に関する実験的研究、土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.B2-65, No.1, pp.881-885, 2009.

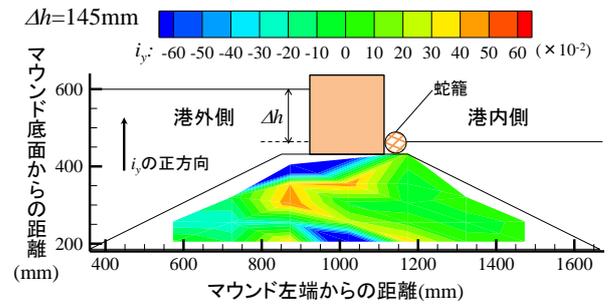


図-3 鉛直方向の動水勾配分布(Case2)

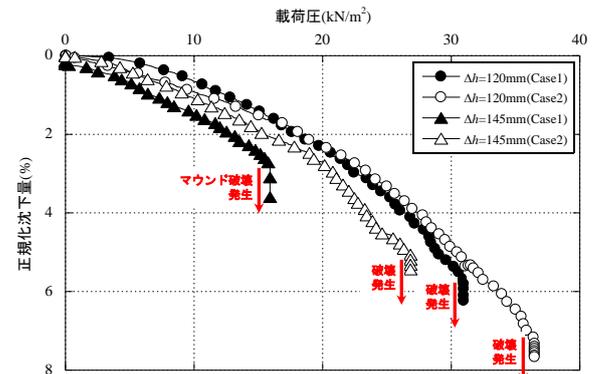


図-4 荷重沈下曲線(Case1, Case2)

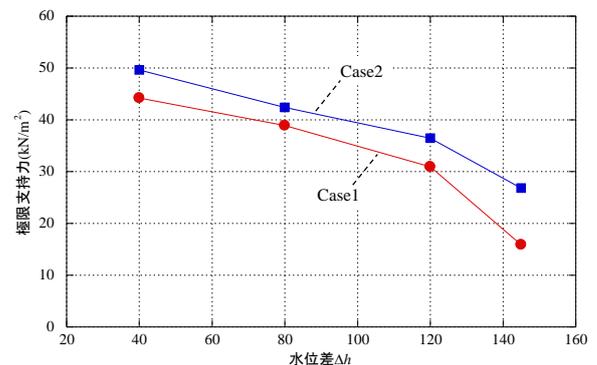


図-5 極限支持力(Case1, Case2)