

捨石マウンド内の浸透流に着目した防波堤の安定性に関する水理模型実験

九州大学大学院 正会員 ○笠間清伸, 善 功企, 春日井康夫, 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。これまで、さまざまな研究者により防波堤や防潮堤の被害メカニズムが研究^{1),2)}されてきており、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。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、本研究では、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 2.03g/cm^3 とした。実験時の捨石マウンドの飽和密度は 1.86g/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)で載荷し、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。

3. 実験結果

図-2 に、145mm の水位差を発生させた時の、Case1 における鉛直方向の動水勾配分布を示す。マウンド天端から法面方向約 120mm(実スケール 12m)の範囲において、鉛直方向の浸透流に起因して、パイピング崩壊が発生した。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。

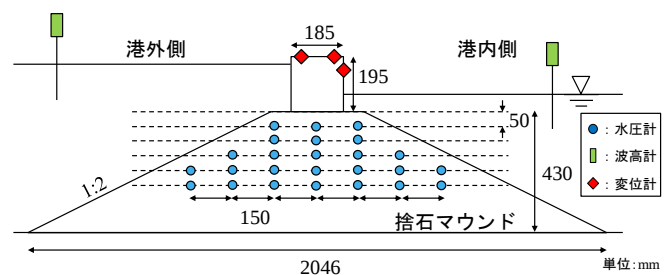


図-1 実験装置の概要と計測器の配置図

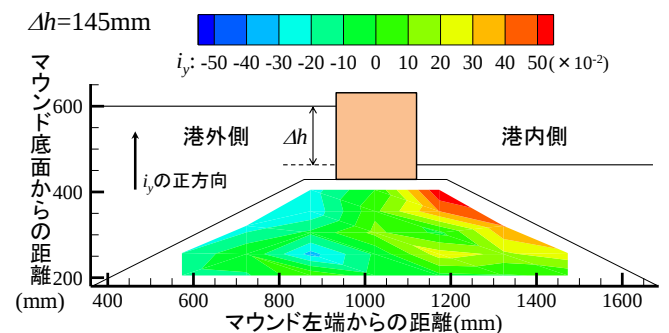


図-2 鉛直方向の動水勾配分布(Case1)

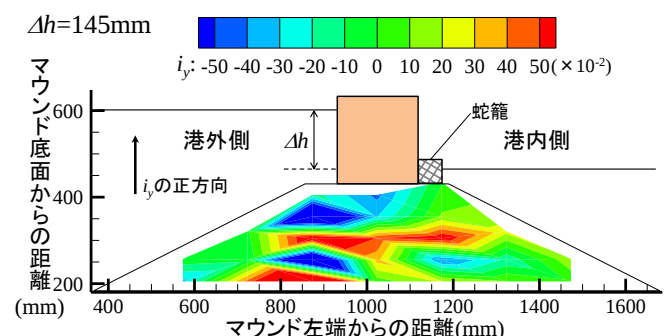


図-3 鉛直方向の動水勾配分布(Case2)

支持力, 浸透力, 模型実験

〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地 九州大学ウエスト 2 号館 11 階 1128 号室 TEL:092-802-3385

図-4 に, Case1 における港内側の捨石マウンドの浸透破壊に対する安全率を算出した. マウンド天端から法面方向約 480mm(実スケール 48m)の範囲では, 安全率は小さな値となった. 実験では, マウンド天端から法面方向約 250mm(実スケール 25m)の範囲でパイピング崩壊が発生しており, 算出した安全率と実験結果に差異が生じた.

図-5 に, Case1 と Case2 における水位差 120mm と 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個所である. 水位差 145mm では, Case1 は 22kN/m^2 , Case2 は 24kN/m^2 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. また, Case2 の方が, 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.

水位差による支持力低減量を評価するために, 図-6 に, Case1 ならびに Case2 における水位差と捨石マウンドの支持力保持率の関係を示す. 水位差が大きくなるほど, 支持力保持率は低減し, 最大水位差 145mm では, 支持力は約 40%まで低減した. このことは, 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内部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. また, Case2 における支持力は, Case1 に対して 5.8%~13.9% 増加した. この理由としては, 蛇籠による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, 透水力が減少したためである.
- (3) 地盤の浸透破壊に着目して安定性を評価すると, マウンド天端から法面方向約 480mm(実スケール 48m)の範囲で浸透破壊が起こる結果が得られた.

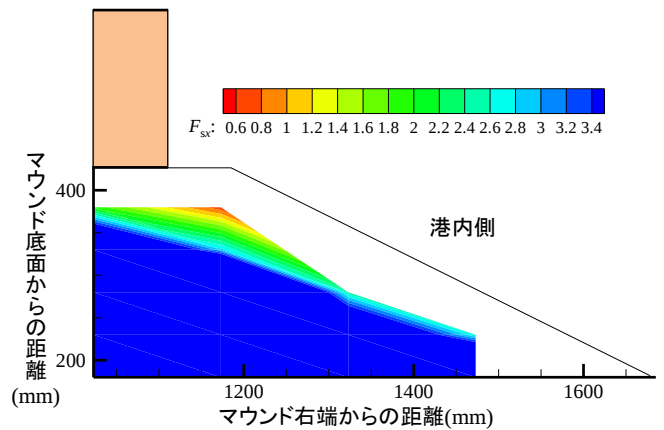


図-4 浸透破壊に対する安全率分布

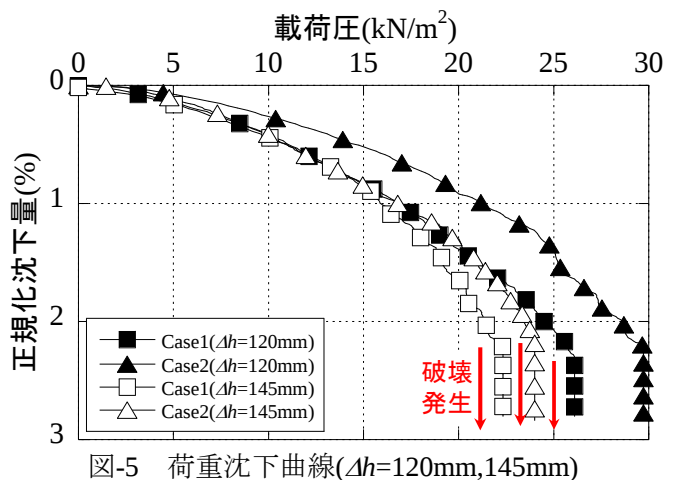


図-5 荷重沈下曲線($\Delta h=120\text{mm}, 145\text{mm}$)

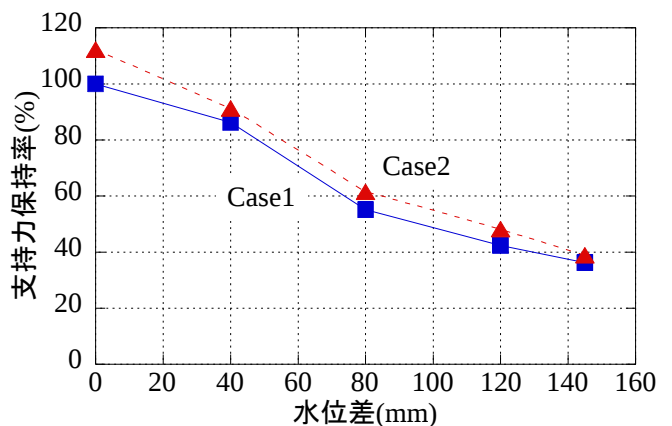


図-6 支持力保持率(Case1, Case2)

- (4) 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 40%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, マウンド支持力は 5.8%~13.9%増加した.

【参考文献】1) 今瀬達也ら: 捨石マウンドー海底地盤への津波浸透による混成堤の不安定化, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.67, No.2, I_551-I_555, 2011. 2) 笠間ら: 波による防波堤直下の捨石マウンドの安定性に関する水理模型実験, 防災・減災のための地盤構造物の設計・施工法に関するシンポジウム論文集, pp.145-148, 2012.