

越流・浸透流を考慮した防波堤被覆材の安定重量に関する考察と水理模型実験

九州大学大学院 学生会員 ○井上 翔太 九州大学大学院 フェロー会員 善 功企
九州大学大学院 正会員 笠間 清伸 九州大学大学院 正会員 古川 全太郎
九州大学大学院 正会員 平澤 充成 九州大学大学院 正会員 八尋 裕一

1. はじめに

津波による防波堤の被災要因は大きく分けて3つあり、越流・浸透流による捨石マウンドの洗掘、防波堤の背面と前面の水位差と津波波力によるケーソンへの水平力、捨石マウンド内に発生する浸透流による支持力低下が挙げられる。なかでも越流・浸透流による港内側マウンドの洗掘については現在盛んに研究が行われている¹⁾²⁾。筆者らは防波堤の越流ならびに捨石マウンド内に発生する浸透流を考慮して、港内側マウンドを形成する捨石の安定重量 W_s を算出する式を提案した³⁾。

越流・浸透流による港内側マウンドの洗掘を防止するためには、浸透流を逃がしつつ、越流に耐えうる被覆材を港内側に設置することが有効だと考えられる。そこで本論文では、図-1のような開口部をもつ中空円筒形状の新たな被覆材を想定し、水理模型実験を通じて、その安定性を実験的に調査した。本研究の目的は、これらのプロセスを通して、防波堤の耐津波性能を向上させるために最も効果的な被覆材の形状を提案することである。

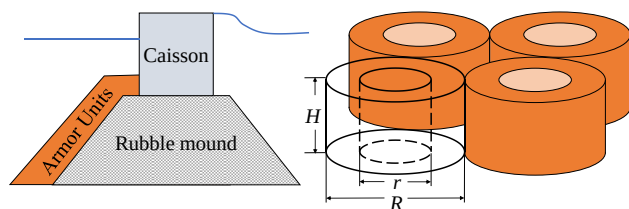


図-1 防波堤の被覆イメージと検討した被覆材の形状

2. 浸透破壊判定と越流に対する安定重量の計算式

津波越流発生時の港内側の被覆材の安定条件について、マウンド内の浸透流を考慮してHudson式の誘導を参考にしながら再検討したのが式(1)である。

$$W_s = \frac{k_a^3 \gamma_s C_D^3 u^6}{8k_v^2 g^3 \left[\left\{ f_r \left(\cos \theta - \frac{1+e}{G_s - 1} i \right) - \sin \theta \right\} (G_s - 1) \right]^3} \quad (1)$$

ここで、 C_D : 抗力係数、 u : 越流水が港内側マウンドに突入するときの流速、 g : 重力加速度[m/s²]、 f_r : 被覆材のかみ合わせおよび摩擦係数、 γ_s : 被覆材の単位体積重量[kN/m³]、 i : 動水勾配、 k_v 、 k_a はそれぞれ被覆材の形状より決まる体積係数、面積係数である。この式をのちに示す実験結果の分析に利用した。

3. 釜石港湾口防波堤を対象とした模型実験の概要

被覆材の形状や重量の違いによる被災形態の違いを明らかにし、提案した式の妥当性を評価するために、釜石港湾口防波堤をモデルとして、図-2に示す2種類配置方法、表-1に示す3種類の形状を組み合わせ、表-2に示すように、全6ケースの水理模型実験を実施した。その縮尺は1/100とした。

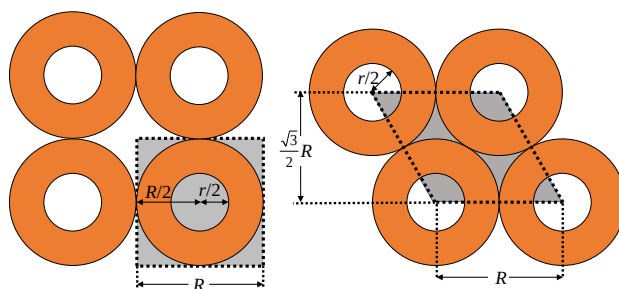


図-2 配置方法 (左: 正方形配置, 右: 三角形配置)

表-1 被覆材の諸元

形状	中空円筒		
密度[g/cm ³]	7.66		
高さ比 H/R	1/4	1/2	3/4
高さ H [mm]	7.2	9.6	13.2
外径 R [mm]	30	22	18
内径 r [mm]	15	10.5	8.5
重量 [N]	0.250	0.235	0.186

表-2 実験ケース

Case	1	2	3	4	5	6
H/R	1/4		1/2		3/4	
配置	正	三	正	三	正	三

※正: 正方形配置, 三: 三角形配置

キーワード 防波堤, 被覆材, 越流, 浸透流

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地ウエスト 2 号館 11 階 1110 号室 防災地盤工学研究室 Tel: 080-1702-0265

図-4, 5 に、港内外における水位差と被覆材の被害率 D を、それぞれの配置方法についてまとめたものを示す。なお水平方向に変位を確認した時点で被災したと定義し、被害率 D は模型被覆材の総数に対する被災した被覆材の数の割合として計算した。

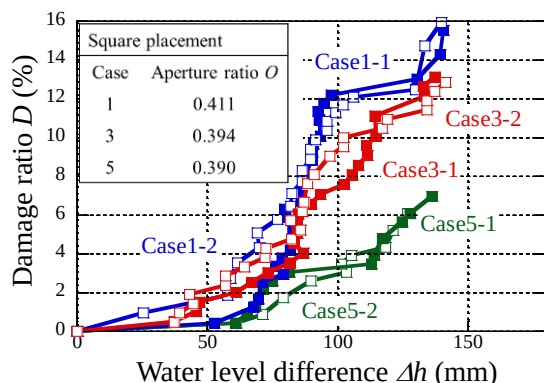


図-4 正方形配置での被害率 D と水位差

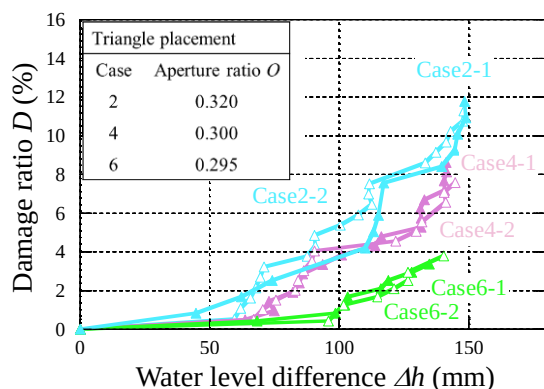


図-5 三角形配置での被害率 D と水位差

図-6, 7 に越流発生時の模型被覆材の安全率と越流水深の関係を示す。ここでの安全率は式(1)を用いて求めた安定重量と模型被覆材の重量の比であり、それぞれ、越流水が被覆材に真上から(代表長さ $q = R$)、真横から打ち込んだ($q = \sqrt[3]{R^2 H}$)と仮定している。ここで、安全率が1を下回ったときに崩壊するとしている。

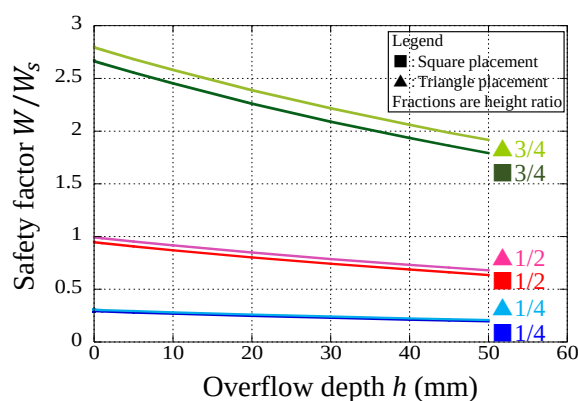


図-6 被覆材の形状による安全率の比較 ($q = R$)

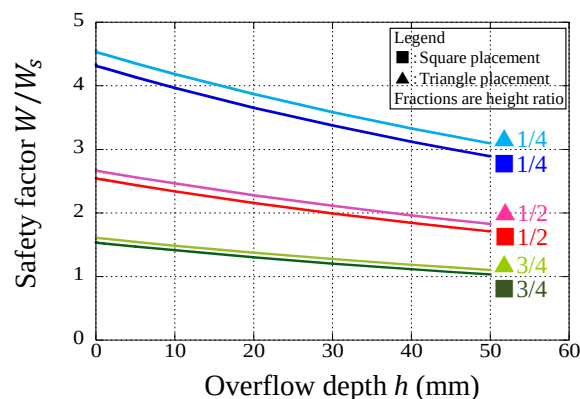


図-7 被覆材の形状による安全率の比較 ($q = \sqrt[3]{R^2 H}$)

4. 実験結果とまとめ

図-4, 5 より、正方形・三角形配置の違いによらず、高さ比 H/R が大きくなるほど被害率が小さくなることわかる。どのケースにおいても、越流が発生した水位差 120 mm 程度となる以前から法面上の模型被覆材が一部滑り落ちるように移動する現象が見られた。これは捨石マウンド内に発生した浸透流により、模型被覆材が浮き上がったのである。

図-6 をみると、高さ比 3/4 の模型被覆材は安全率が1を上回っているが、実験では被災している。高さ比 3/4 の被覆材は斜面に設置した際に滑動や転倒が発生しやすいが、理論式ではその点を考慮していないためであると考えられる。

図-6 では高さ比が大きくなるほど、図-7 では小さくなるほど越流・浸透破壊に対して模型被覆材が安定となることを示している。このことから、越流水の打ち込み角度に起因する代表長さの選択は大きな影響を持っているといえる。また、高さ比 3/4 が最も被害率が小さいという実験結果は図-6 の結果に一致するとえ、適切な代表長さを選択することにより、実現現象を再現できる可能性があることがわかる。

謝辞：本研究は科学研究費補助金基盤研究(B)：研究課題 25289149「浚渫土防災ブロックを活用した新形式津波防波堤の開発研究」(研究代表者：笠間清伸)の成果の一部である。また、本研究は一般財団法人港湾空港総合技術センターの研究開発助成を受けた。関係者各位には深甚の謝意を表したい。

参考文献

- 1) 有川 太郎 et al. : 津波越流時における混成堤の被災メカニズムと腹付工の効果, 港湾空港技術研究所資料, No.1269, 2013
- 2) 丸山 草平 et al. : 防波堤港内側マウンド被覆材の津波に対する安定性に関する実験, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.68, No.2, I_7-I_12, 2012.
- 3) 井上翔太 et al. : 越流・浸透を考慮した捨石マウンドの安定重量に関する水理模型実験, 土木学会論文集 B3 Vol. 71 No.2, 2015.