

津波越流時における被覆ブロックの最適な形状に関する水理模型実験

九州大学 学 ○竹下 修平 正 笠間 清伸 中川 康之
九州大学 フ 善 功企 正 古川全太郎 八尋 裕一

1. 背景および目的

平成 23 年東北地方太平洋沖地震による津波により、東北地方各地の防波堤が被災し、甚大な被害が生じた。津波による防波堤の被災要因は3つに大別され、防波堤の前面と背面との水位差と津波波力によるケーソンへの水平力、越流と捨石マウンド内の浸透力による捨石マウンドの洗掘と抜け出し、捨石マウンド内の浸透力による捨石マウンドの支持力低下が挙げられる。なかでも捨石マウンドの洗掘・抜け出しを防ぐ対策として被覆ブロックの設置がある。そこで我々の研究グループ¹⁾が提案する浸透流を考慮した安定重量を算出する式(1)を用いて最も適当な形状を導き、水理模型実験によりその有効性を検討した。

2. 最適な形状の推定

式(1)に浸透流を考慮した安定重量算出式を示す。

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

ここで、 k_v : 体積係数、 k_a : 面積係数、 γ_s : 単位体積重量[kN/m³]、 C_D : 抗力係数、 f_r : 摩擦係数、 θ : マウンド角度[rad]、 G_s : 比重、 e : 間隙比、 i : 動水勾配 u : 流速[m/s²]である。

被覆ブロックの体積 V ・投影面積 A は、体積係数 k_v ・面積係数 k_a を用いて、それぞれ次のように表される。

$$V = k_v q^3 \quad (2)$$

$$A = k_a q^2 \quad (3)$$

ここで、 q は被覆ブロックの代表長さである。

図-1 に表される被覆ブロックに対して代表長さを L とし、被覆ブロックの形状を表すパラメータである $k_v \cdot k_a \cdot e$ を計算する。式(2)、(3)より

$$V = k_v L^3 = (\alpha - 2ab + ab^2 - \beta^2(\alpha - a))L^3 \text{ より、} \\ k_v = \alpha - 2ab + ab^2 - \beta^2(\alpha - a) \quad (4)$$

また、 $A = (\alpha - ab)L^2$ より、

$$k_a = \alpha - ab \quad (5)$$

間隙比 e は、隣り合う被覆ブロックに空隙がないと仮定すると、ブロックの体積と間隙の比で表されるため、次式となる。

$$e = \frac{2ab - ab^2 + \beta^2(\alpha - a)}{\alpha - 2ab + ab^2 - \beta^2(\alpha - a)} \quad (6)$$

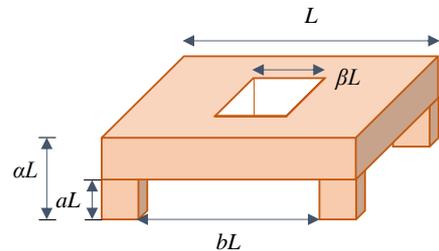


図-1 被覆ブロックの概念図

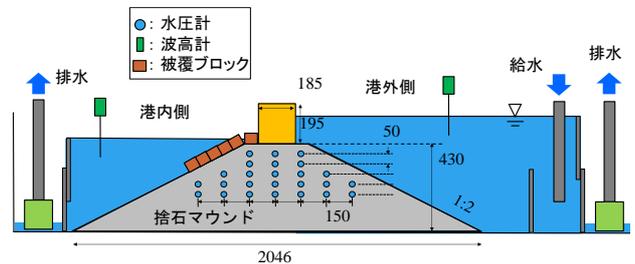


図-2 実験装置の概略と計測器の配置

式(4)、(5)、(6)から、パラメータ $\alpha \cdot \beta \cdot a \cdot b$ を変化させて $k_v \cdot k_a \cdot e$ を計算し、式(1)から最小となる安定重量 W を算出した。さらに次式から代表長さ L を求めた。

$$V = k_v L^3 = \frac{W_s}{\gamma_s} \text{ より} \\ L = \left(\frac{W_s}{k_v \gamma_s} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (7)$$

3. 水理模型実験の概要

本実験装置は岩手県釜石湾口防波堤南堤をモデルとして、1/100 の尺度となるよう作成した。図-2 に実験装置の概略と計測器の配置図を示す。

キーワード 防波堤、被覆ブロック、越流、浸透流

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 TEL 092-802-3384

図-3に示す Case1, Case2(穴あき), Case3(穴あき+脚つき)の被覆ブロックを使用した. Case3の代表長さ L を計算により求め, さらに浸透力を低減させることを目的とした中央部の穴と, マウンドとのかみ合わせ及び摩擦力の増加を目的とした脚の効果を調べるため, Case1 と Case2 の模型も作製した.

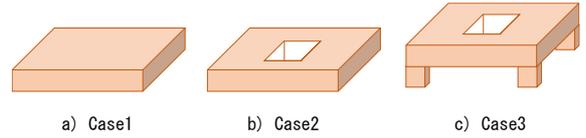


図-3 被覆ブロックの形状

表-1 被覆ブロックの諸元

模型の種類	Case1	Case2	Case3
重量 [N]	0.45	0.42	0.47
代表長さ L [mm]	46		
α	0.2	0.2	0.4
β	0	0.33	0.33
a	0	0	0.2
b	0	0	0.6
間隙比 e	0	0.12	0.90

表-1にブロックの諸元を示す. 実験では防波堤の前後に水位差を発生させ, 0~135 mm まで変化させた. ブロックの被災の程度は式(8)による被害率 D で決定した.

$$D = \frac{\text{被災した被覆ブロック}}{\text{被覆ブロックの総数}} [\%] \quad (8)$$

4. 実験結果

図-4に被害率 D と水位差の関係を示す. 脚のついていない Case1 と Case2 は越流が発生する以前に全体的に法面上を滑るように移動した. これは被覆ブロックが浸透流により下から力を受けたためである. Case1 と Case2 を比べると浸透流を逃がす間隙をもつ Case2 の方が浸透流での被害は抑えられていた. 一方, 脚のついた Case3 では滑り落ちるような移動は発生しなかった. また, 越流が発生してから水位差が 130mm 付近までは越流水による被害は抑えられていたが, 130mm を超えると越流水により全体的に被災した.

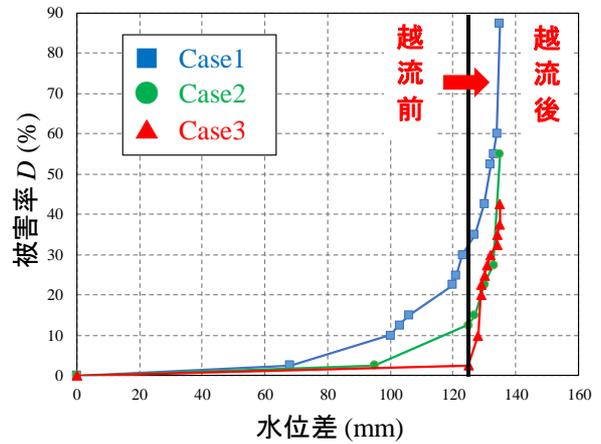


図-4 水位差と被害率の関係

式(1)により求めた被覆ブロックの安定重量と, 実際の模型の重量で比をとり, 安全率 W/W_s を算出した. 図-5に水位差と安全率の関係を示す. 実験結果と同様に, 最適形状として算出した Case3 が最も安全率が高い結果となった.

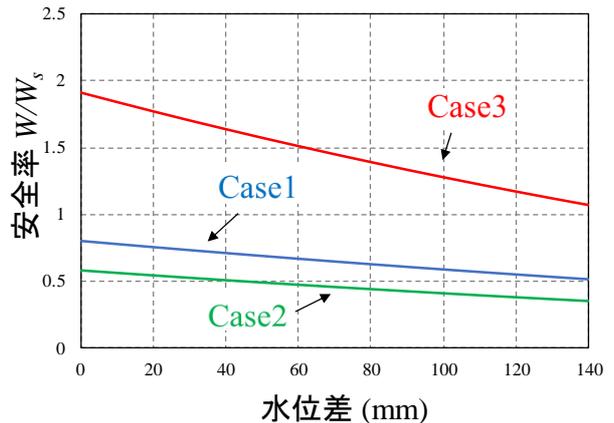


図-5 水位差と安全率の関係

5. まとめ

- 1) 間隙のある被覆ブロックは浸透流による被害が抑えられた.
- 2) 脚のある被覆ブロックは浸透流による滑り落ちるような移動が抑えられた.
- 3) Case3 では越流が発生してから水位差が 130mm 付近までは越流水による被害は抑えられていたが, 130mm を超えると越流水により全体的に被災した.
- 4) 各ケースの水位差に対する安全率を算出し, Case3 が最も高い結果となった.

〈参考文献〉

1) 井上翔太・笠間清伸・平澤充成・善功企・古川全太郎・八尋裕一: 越流・浸透流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, 土木学会論集 B3 (海洋開発) Vol.71 (2015) No.2p.I, 2015