

脚部を有する被覆ブロックの耐津波特性

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の算出式を用いて被覆ブロックの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の算出式を示す。

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

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。また、被覆ブロックの体積 V [m³]・投影面積 A [m²]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[m]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)から $V = (\alpha - 2ab + ab^2 - \beta^2(\alpha - a))L^3$ より、

$$k_v = \alpha - 2ab + ab^2 - \beta^2(\alpha - a) \quad (4)$$

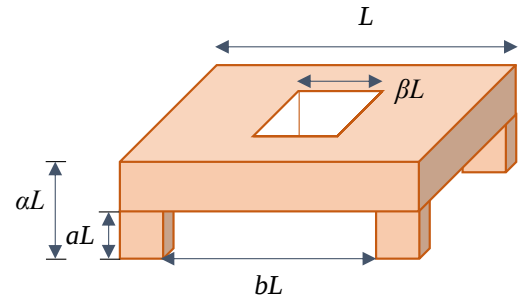


図-1 被覆ブロックの概念図

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。

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

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 [kN]を算出した。さらに次式から代表長さ L を求めた。

$$V = k_v L^3 = \frac{W_s}{\gamma_s} \text{ より}$$

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

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。

本実験装置は岩手県釜石湾口防波堤南堤をモデ

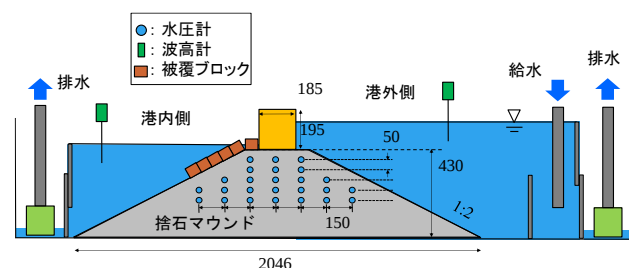


図-2 実験装置の概略と計測器の配置

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。

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 の模型も作成した。

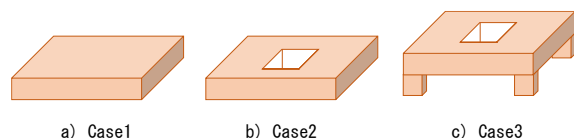


図-3 被覆ブロックの形状

表-1 にブロックの諸元を示す。なお、Case3 の安定重量 $W_s[N]$ の算出に用いたパラメータは、 γ_s は 22.54kN/m^3 , C_D は 0.1 , f_r は 0.7002 , θ は 0.4637 , G_s は 2.3 , e は 0.903 である。また動水勾配と流速は水位差 135mm における値を用い、 i は 0.0423 , u は 1.072m/s^2 を用いた。

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 $L[\text{mm}]$	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

実験では防波堤の前後に水位差を発生させ、0 ~ 135mm 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 では、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

低減する間隙をもつ 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。しかし、越流の発生した水位差 125mm 付近になると、マウンド天端に設置した被覆ブロックが浸透流により、ひっくり返るように被災した。越流が発生してから、Case1 は越流水の打ち込み位置で被害がすぐに発生したが、間隙のある Case2 と Case3 では水位差が 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。

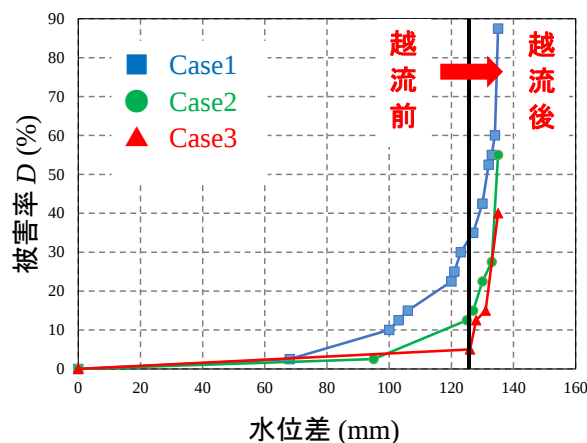


図-4 水位差と被害率の関係

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 について水位差 135mm での安定重量を算出し、最適形状として実験を行ったが、水位差 130mm 程度まで被害は抑えられたが、それ以上だと被害が発生したため、改良の余地がある。

謝辞：本研究は研究課題 25289149 「浸透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ことを記して、謝意を表したい。

〈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