第Ⅱ部門

MPS 法による護岸マウンド前面の局所流速場と被覆ブロック崩壊予測の試み

京都大学工学部	学生会員	○高	橋	和	秀
京都大学大学院工学研究科	正会員	後	藤	仁	志
京都大学大学院工学研究科	学生会員	五十	一里	洋	行
京都大学大学院工学研究科	フェロー	酒	井	哲	郎

1. 研究の概要と目的

大型の越波排水路付低天端ケーソン護岸では,排水 路反射壁に衝突した来襲波の戻り流れによる護岸のマ ウンド表面の被覆ブロックの崩壊が大きな問題となる. 戻り流れの影響を判断するためには,被覆ブロック設 置地点での流速の計測が必要であるが,ケーソン前面 は,落下流により連行された多量の混入気泡により, 水理実験による流速の測定が困難である.そこで本研 究では,BoussinesqモデルとMPS 法のカップリングを 用いた数値造波水槽を用いて,戻り流れを含む局所流 速場を考慮した被覆ブロックの安定性の検討を C.E.R.C の式と比較しつつ実施する.

2. 水理実験の概要

実験は、図-1 に示す模型縮尺 1/60, 全長約 33m の二 次元造波水路で実施された.図-2 に護岸断面を示す. 入射条件は沖波波高 0.15m,周期 1.9s の規則波が造波 された.波高計は 6 本設置され,流速計は波高計 H5-2 と同じ地点に底面から 20.0mm,60.0mm,100.0mm, 140.0mm,180.0mm,220.0mm の高さに 6 本設置され た.各被覆ブロックの名称と実験後の崩壊率を図-3 に 示す.マウンドの法肩部(B5,B6)およびマウンド天端 部の沖側(C1)のブロックがほぼ全て崩壊・移動し, 天端部の沖側から 2 つめのブロック(C2)も一部であ るが,崩壊・移動した.



3. MPS-Boussinesq カップリングモデル $^{1)}$

3.1 数値解析の概要

本研究では砕波の生じない沖側の領域を Boussinesq 方程式で解き,砕波・越波現象が生じる斜面上の領域 を MPS 法²⁾で解く.境界の接続方法は,Boussinesq 方 程式の計算点における解(水深,流速)の内挿値を MPS 法の造波板の移動速度および高さとして与え,造波板 を強制移動させることで MPS 領域での造波を行う.用 いた数値造波水槽は実験の造波水路と同じスケールで ある.Boussinesq モデルと MPS 法の接続点は,ケーソ ン前面から 2.25m 沖側に設け,Boussinesq モデルの計 算における格子幅は 0.1m, MPS 法による計算の粒子径 は 0.01m に設定した.

3.2 実験結果と計算結果の比較

本研究では、まず実験でも計測が可能な地点(H5-1 および H5-2)において実験結果と計算結果を比較し、本 モデルの流速場に対する再現性を検証する.図-4 に瞬 間像、図-5 に波高計 H5-1 での水位時系列、図-6 に底 面から 100.0mmの位置での水平方向の流速時系列を示 す.流速は岸向きを正としている.実験値と計算値の 間に位相のずれが見られるが、水面形や最大値、最小 値については概ね良好に対応している.



Kazuhide TAKAHASHI, Hitoshi GOTOH, Hiroyuki IKARI and Tetsuo SAKAI

波高計(H5-2)



4. 被覆ブロックの崩壊判定

4.1 C.E.R.C の式³⁾の概要

本研究では,被覆材の所要質量の算定法として, C.E.R.C の式を用いた. C.E.R.C の式ではマウンド被覆 材の所要質量 W(t)が次式により与えられる.

$$W = \frac{\pi \rho_r U^6}{48g^3 y^6 \left(\frac{\rho_r}{\rho} - 1\right)^3 (\cos\theta - \sin\theta)^3}$$
(1)

ここに、 ρ_r :マウンド被覆材の密度 (t/m³), U:上面 における流速(m/s), g:重力加速度(m/s²), y:イスバッ シュ定数(=0.86)、 ρ :水の密度(t/m³)、 θ :斜面勾配で ある.本研究では、被覆ブロックの質量および密度は 既知であるので(W=1.06×10⁻⁴、 ρ_r =2.3),上式から逆算 して被覆ブロック崩壊時の限界流速を求め、それと数 値シミュレーションから得られる流速とを比較するこ とで、被覆ブロックの崩壊判定を行う.

4.2 計算結果

図-7 に排水路反射壁がある場合とない場合の被覆ブ ロック C1 上の水平方向の流速時系列を示す. 岸向き を正としている. t/T=-1.24, -0.24, 0.71, 1.69 付近で, 排水路反射壁がある場合の沖向き流速が最大値をとっ ており, 戻り流れの影響が確認できる. 排水路反射壁 がある場合について, C.E.R.C の式から被覆ブロック崩 壊時の限界流速と数値シミュレーションで得られた流 速との比較を図-8に示す.被覆ブロックが一部崩壊し た後の被災影響を確認するために、全面被覆の casel と, B6 および C1 を撤去した case2 の計算結果を併せ て記す. A1 および B1~B6 は斜面上に位置するため, 沖向き水平方向流速の最大値をとった. C1~C4 は水平 面上に位置するため, 沖向き, 岸向きに関わらず水平 方向流速の最大値をとっている.流速は全計算時間を 通しての最大値と,周期ごとの最大値の平均値を併記 した. casel では、最大流速のピークは法肩で発生し、 被覆ブロック B6 および C1 付近において最大流速が C.E.R.C の式から逆算した限界流速を大きく上回って いる. case2 では、最大流速が限界流速を上回る範囲が 広がり, B5 および C2 も含まれる.



図-8 被覆ブロック上の流速(上:case1,下:case2)

5. 結論

数値シミュレーションで再現された護岸前面流速場 は、沖向き水平流速に戻り流れの影響が顕著に見られ た.また C.E.R.C の式を適用すると、法肩部で限界流 速を上回っており、これは水理実験で見られた被覆ブ ロックの被害分布と一致した.

参考文献

- 後藤仁志・五十里洋行・酒井哲郎・奥田一弘:粒子法 と Boussinesq モデルのハイブリッド化に関する基 礎的研究,水工学論文集,第 50 巻,pp.1453-1458,2006.
- Koshizuka,S.,Tamako,H.and Oka,Y.:A particle method for incompressible viscous flow with fluid fragmentation,*Comp.Fluid Dyn.J.*,Vol.4,pp.29-46,1995.
- 3) U. S. Army Coastal Engineering Research Center:S hore Protection Manual, Vol. II, pp.7-215, 1973