

被覆ブロックの破壊過程の Lagrange 型シミュレーション

京都大学工学研究科 学生員 原田英治
 京都大学工学研究科 正会員 後藤仁志
 京都大学工学研究科 フェロー 酒井哲郎

1. はじめに

海岸堤防の主要な機能の一つが海岸侵食の抑制である。侵食性海岸では、防波堤・離岸堤が多く設置され、水際地盤への作用波力を低減し、侵食を抑止している。防波堤・離岸堤は直接的な波力の作用を受けるので、堤体自体が激しい侵食力に曝される。それ故、堤本体が剛なコンクリート構造を有するか、完全に被覆ブロックで覆われるように設計される。さらに、堤脚部はしばしば洗掘を受けるので、消波ブロック・捨て石等の根固め工（洗掘防止策）が施される。したがって、防波堤自体が十分な耐侵食性能を発揮するには、来襲波に対して十分な安定性を有する捨て石・ブロック等の被覆材が必要不可欠である。

被覆材の安定性は、Hudson公式に代表されるように、単一ブロックに作用する駆動力（揚力）と抵抗力（重力）の均衡に基づいて論じられるのが一般的である。Hudson公式のように静的な力の釣り合いのみを論じる初期の理論は、捨て石のロッキングなど動的な特性を考慮した不安定性の議論へと発展し、洗練されてきたが、現在のところ単一被覆材の安定性を論じるに留まっており、ブロック群としての挙動すなわちブロック間干渉と被覆材の破壊抵抗との関連を論じたものは例がない。そこで、本研究では、ブロック間衝突を陽に取り扱える個別要素法型の数値シミュレーションによって、採石上に配置されたブロック群が破壊される過程を再現し、ブロック間相互作用と大規模な被覆材破壊の関連を考察する。

2. シミュレーションモデルの概要

複数要素間の相対位置関係を固定する剛体連結モジュールを組み込んで拡張した個別要素法型の粒状体モデルによって、採石（球状の単一粒子でモデル化）上に敷かれたブロック（球状粒子を剛体連結して成形）の運動を、振動流の作用下で追跡する。接触状態にある要素間にはバネ・ダッシュポット等を配して相互作用を評価し、剛体を構成する個々の要素については、重心まわりの回転を考慮しつつ、要素間の相対座標を変化させないように座標修正を行いつつ計算する。

底面付近の流速場の推定については非定常 $k-\epsilon$ 乱流モデルを用い、解析対象要素の直径を粗度とした粗面を想定した壁法則で壁面境界条件を与えた。対象とする水理条件では、ブロックの混入による流速場の変化が生じているが、ここでは計算機の演算能力の制約から、ブロック間相互作用の追跡に焦点をあてて、流体とブロック間に関する混相流的なモデル化は行っていない。

3. 被覆ブロックの破壊過程

被覆ブロックが僅かな不規則を伴う底面上に配置されることを考慮し、碎石層底面粒子の平均高さ回りに標準偏差が $d/3$ になるように固定粒子をランダム配置した（ d : 碎石径）。初期配列（パッキング直後）から振動流（周期 $T=2.0s$ 、境界層外縁の流速振幅 $U_{max}=74.0cm/s$ ）を作用させたときのブロックの運動の計算結果の一例を図-1に示す。要素径 $d=2.0cm$ 、比重 $\sigma/\rho=2.65$ の要素を用い、被覆ブロックは、鉛直方向に3個・水平方向に5個の要素を剛体連結した矩形のものとした。また、計算領域の左右は周期境界とした。

初期の状態から振動流を作用させると、一斉にブロックが移動し始める。その後ブロックNo.2は、 $t=0.7$ で示すように底面の碎石に引っ掛かり、水平方向への移動が抑制され転動しつつ $x=0.1m$ 付近に停滞する。これが後続のブロックの移動を阻害し、後続のブロックの渋滞を引き起こすことになる。この渋滞により、ブロック間に大きな力が作用し始め $t=1.1s$ のスナップショットのようにブロックが一体化しアーチ状の構造を形成する。流れが反転すると、ブロック間力が低減しアーチ状構造は崩壊する ($t=1.3s$)。振動流作用下では、このような単一ブロックのロッキングとブロック間衝突を通じて、アーチ状構造の形成、崩壊といった状況を繰り返すことが計算全体を通じて見られた。このような一連のブロック移動の中で、徐々にブロックが底面の碎石を牽引し、

キーワード：被覆ブロック、ブロック間相互作用、個別要素法

連絡先：〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学工学研究科 土木工学専攻

TEL: 075-753-5099 FAX: 075-761-0646

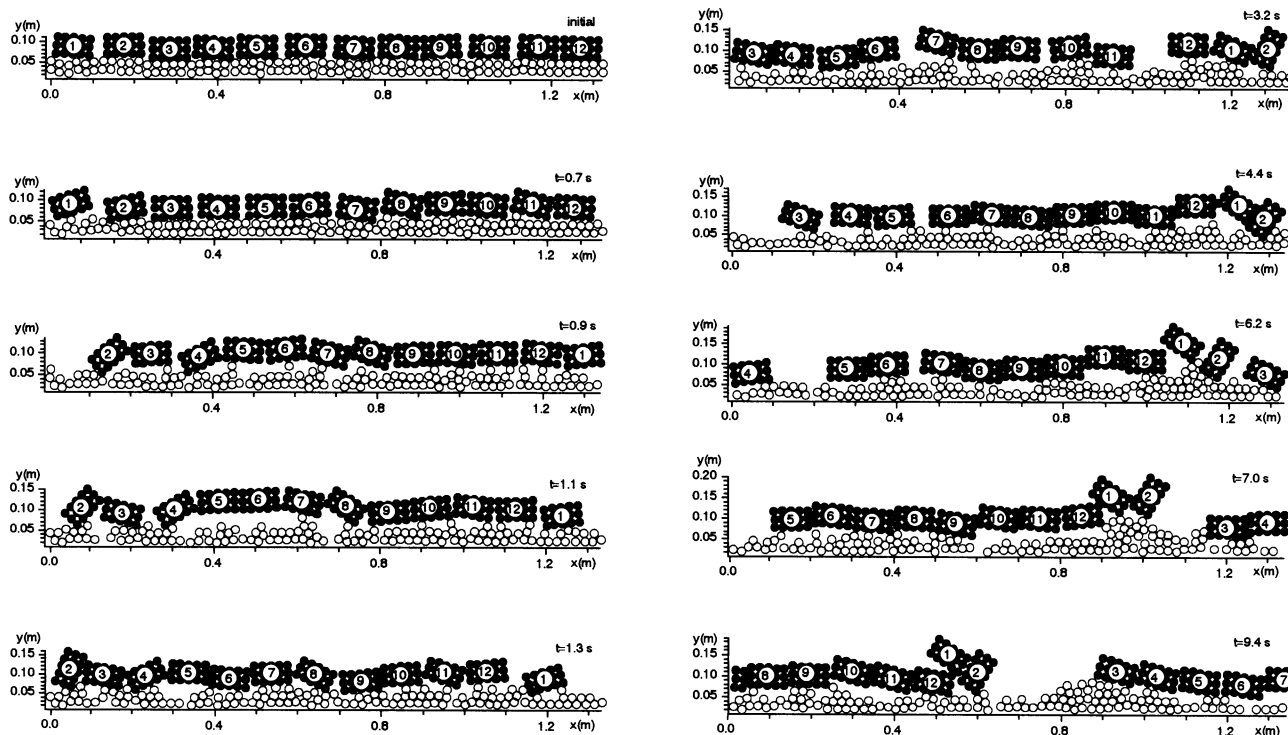


図-1 スナップショット

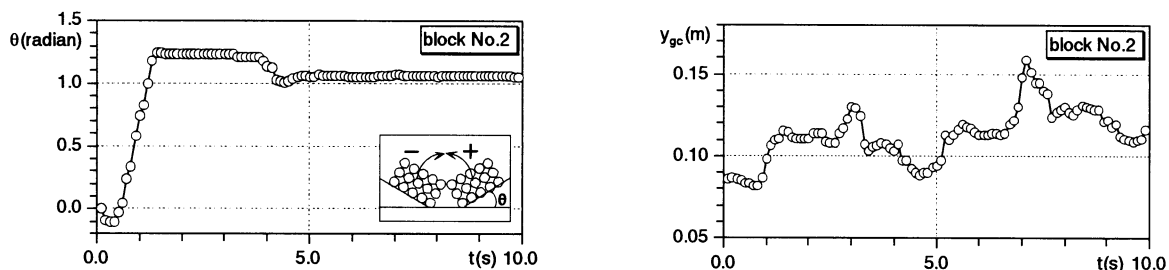


図-2 被覆ブロックの回転角・重心

ridgeを誘発し底面を起伏の激しい形状に形成して行く様子が、 $t=3.2-9.4$ sのスナップショットより分かる。この底面のridgeが原因で、 $t=6.2-9.4$ sに示すようにブロックNo.1はブロックNo.12の上に寄り掛かるようにして、底面の碎石から離脱している。

被覆ブロックの運動特性の変化を定量的に把握するため、被覆ブロックNo.2を例に、鉛直方向の重心(y_{gc})と回転角(θ)の時系列を図-2に示す。被覆ブロックNo.2が、小刻みな上下運動を伴い $t=1.0$ s前後で反時計回りに大きく回転し、その後ブロックの傾きを維持しつつ上下方向に運動していることが理解できる。

4. おわりに

本稿では、ブロック間衝突を陽に取り扱える個別要素法型の数値シミュレーションによって、碎石上に配置されたブロック群が破壊する過程を再現した。今後、被覆ブロック間に混入物がある場合や被覆ブロックの形状を変えたシミュレーション等を行い、被覆ブロックの移動形態に関する詳細なデータを集積するとともに、水理実験との比較による定量的評価や計算の3次元化の検討をする予定である。