

護床ブロック群の変形・破壊機構の数値解析

広島大学大学院 正会員 ○内田龍彦

広島大学大学院 学生会員 田中幸志

広島大学大学院 フェロー会員 福岡捷二

1. 序論

護床工の被害は構造物本体を危険に晒すため、護床工の安定性を確保すること重要である。本論文では、護床ブロック群の安定性を評価するために、護床ブロック群を有する流れについての解析モデルを構築する。そして、護床ブロック群の安定解析、及び変形・破壊の解析モデルを構築し、モデルの妥当性を実験結果を用いて検討する。

2. 解析方法

解析と検証の対象は写真-1に示す内田ら¹⁾の護床ブロック群の破壊実験である。護床ブロックにおいては流失したブロックの運動よりも流失せずに残されたブロック群がもつ護床工としての機能が重要となるため、以下に示すように護床ブロック群の変形・破壊の解析は静的安定解析に基づいて行う。解析フローの概略を図-1に示す。①護床ブロック群内外の流れの解析は以下の方法を用いる。流れの基礎方程式には護床工下流の変動を伴う水面形を適切に評価するために σ 座標系を用いる²⁾。護床ブロック群の抵抗は護床ブロック形状と配置を適切に取り込めば直接評価することが可能である。しかし、護床ブロック群は不規則な乱積みで配置されることがや護床ブロックの突起形状は水深に比して小さいことから、護床ブロック群の境界形状を厳密に評価することの実用上の意味は小さい。そこで、本論文では、護床ブロックの形状抵抗による流体力を抗力係数 C_D を用いた式(1)で与える。基礎方程式では、護床ブロックのボリュームを評価するために、固体相と液体相が混在する計算グリッド内の流体の占める割合を考慮し、式(1)を用いて導かれている。②護床ブロック群内の流体力分布はブロック群内の流れの圧力分布と形状抵抗項を用いて計算する。③安定解析は、表層ブロックを対象とする。釣り合い式には、移動限界流体力の測定により護床ブロックへの適用性が確認された図-2に示す円形物体の釣り合い式にブロックの突起形状の影響を考慮したもの¹⁾を用いる。ただし、解析では個別のブロックを扱うことは困難であるため、ブロック群が連続的な形状をもつとして、微小 δx 間においてブロック一個相当の力の釣り合いを考えた式(1)のパラメータ γ ($\gamma < 1$ で安定)を用いてブロック群の安定性を評価する。④護床ブロックの流失過程は各点において図-3に示す方法で計算する。最上層ブロックは $\gamma_1 < \gamma$ で流失し、 $\gamma < \gamma_2$ となる箇所まで流送される。ここで、ブロックの流送時間は考慮せず、 $\Delta t = 0$ としている。ブロック群の変形・破壊を連続的に表現するため、ブロックの流失が終わるかどうかの判定基準 γ_3 を定義する。これらの判定基準は、釣り合い式から $\gamma_1 = 1.0$ が与えられるが、 γ_2 、 γ_3 に関しては試験的に $\gamma_2 = \gamma_3 = 0.5$ を与えて計算している。

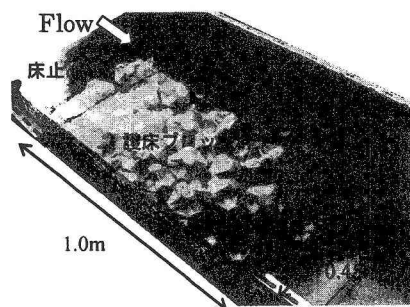


写真-1 護床ブロック群配置の様子

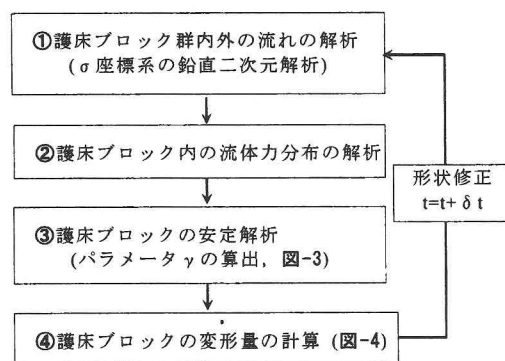
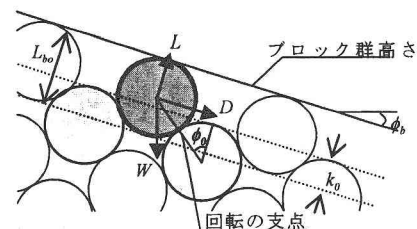


図-1 ブロック群の変形・破壊解析のフローの概略

・護床ブロックの形状抵抗

$$F_l = L_{bo} \frac{\rho C_D u_l |U|}{2} \quad (1)$$

L_{bo} : 護床ブロックの代表長さ



$$\gamma = \frac{\beta_D D + \beta_L \tan \phi_0 L}{\tan \phi_0 \cos \phi_0 - \sin \phi_0} \quad (2)$$

D, L : 単位体積あたりのブロックの水中重量に対する抗力、揚力

ϕ_b, ϕ_0 : ブロック群の摩擦角、斜面勾配

図-2 円形状を仮定した護床ブロックの釣り合い

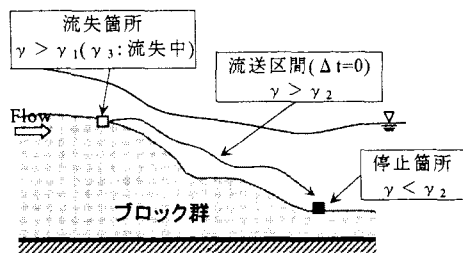


図-3 ブロック群の流失過程のモデル化

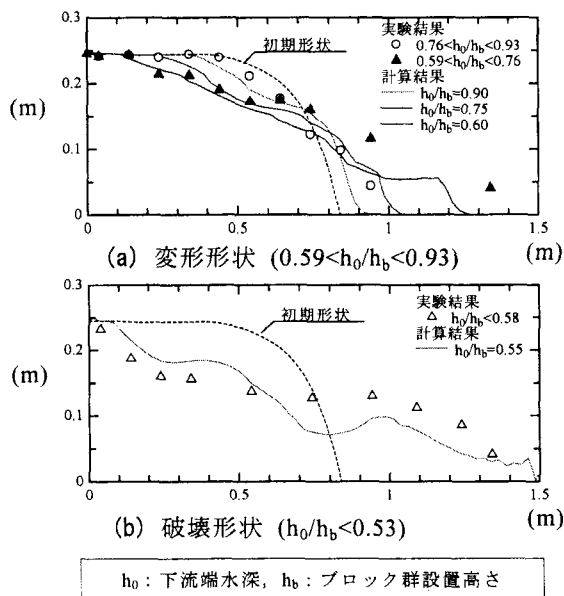
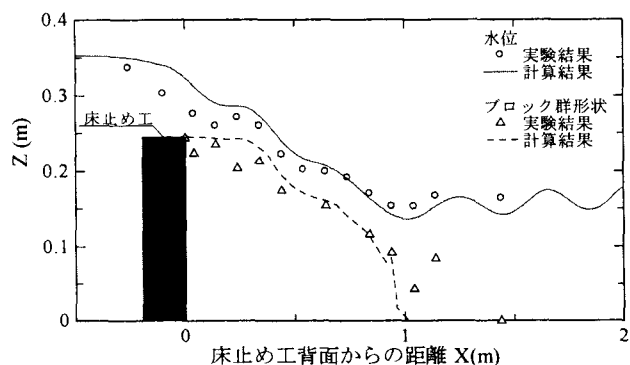
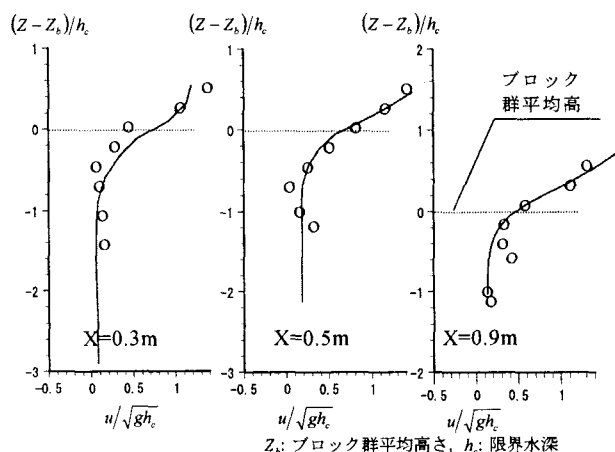


図-4 護床ブロック群の変形・破壊過程の計算結果と実験結果の比較



(a) 水面形の比較



(b) 鉛直流速分布の比較

図-5 変形したブロック群形状における実験結果と計算結果の比較

3. 護床ブロック群の変形・破壊機構の解析

図-4 は、護床ブロック群の変形・破壊過程の実験結果と計算結果の比較である。計算結果は、ブロック群の変形が進行するに従い、実験結果に比べてやや変形量が小さくなる傾向にあるが、水位低下によって護床ブロック群の下流端から変形し、破壊に至るまでの実験結果の過程の特徴を説明できている。図-5 は、下流の水位低下によって破壊した直後の変形したブロック群の(a)水面形と(b)鉛直流速分布の実験結果と計算結果を比較したものである。実験で破壊が生じる水理条件では、計算結果は床止め工直下のブロック群の流失が生じていない。これは、ブロック群が変形することによって体積密度が減少するなどのブロック群の配置条件の変化が考慮できていないためと、破壊時の下流ブロックの流失に伴う圧力変動により連動して生じる多量のブロックの流失が考慮されていないためと考えられる。また、流れの解析モデルでは式(1)から基礎方程式を導いており、ブロック群の抵抗が平均的に表されているため、床止め工直下のような護床ブロック群に衝突する激しい流れによるブロック群の抵抗や乱れを表すには十分とは言えない。しかし、下流部のブロック群形状とそれに沿う水面形は概ね再現されており、運動量交換がブロック群上層のみで活発に生じる鉛直流速分布特性を説明できている。このため、解析モデルは破壊機構を定量的に評価するには今なお課題があるが、ブロック群が変形し、破壊に至るまでの機構を計算でき、工学上重要と考えられるブロックの変形範囲について実験結果を再現できている。

4. 結論

護床ブロック群内外の流れの解析モデルを用いた護床ブロック群の変形・破壊の解析モデルを構築し、モデル化の妥当性を示した。

参考文献

- 1) 内田龍彦, 田中幸志, 福岡捷二: 護床工最下流粗度要素の移動限界と破壊の実験, 水工学論文集, 第48巻, pp.841-846, 2004.
- 2) 内田龍彦, 福岡捷二, 渡邊明英, 山崎幸栄: 二次元水理構造物を越流する流れの数値計算, 水工学論文集, 第47巻, pp.817-822, 2003.