粘土河床上に配置した模擬巨石による河床変動と砂礫の捕捉効果

早稲田大学理工学術院 正会員 関根 正人
早稲田大学大学院 学生員 ○ 芦澤 穂波
早稲田大学大学院 学生員 佐藤 裕
早稲田大学大学院 学生員 吉川 文崇

1. 序論

多摩川や北海道の河川で，河床表面に粘土が固結してできた土丹層（軟岩層）が露出し，河川管理上，問題となっている．この問題に対して，年平均最大流量規模の洪水外力に対して河道内に留まることができる巨石を配置し，砂河床を回復させる試みが行われている．本研究では，粘土河床に巨石等を設置した際に生じる河床変動メカニズムの解明を目的として，基礎的な実験を行った．

2. 実験の概要

本研究では，全長4.9m，幅10cm×高さ10cmの矩形断面を有する循環式アクリル製管水路を用いて実験を行った．移動床区間は長さ1.4mとなっており，底部は周囲より5cmほど低く設置されている．ここに，T.Aカオリン（60%粒径0.007mm，比重2.65）を水含有率R_{wc}=0.9になるように練り混ぜ，全長1.0mの粘土供試体を作成し，これを模擬河床とした．ここに，水含有率R_{wc}とは供試体内に含有される水の粘土に対する重量比率を示す．この模擬河床上に巨石を模した球体（直径2.5cm，比重3.93）を3粒径間隔で設置した．模擬河床の上流側に位置する凹部には硅砂3号（60%粒径1.56mm，比重2.65）からなる砂河床区間を設けている．この区間の底板を上昇させることで，流水の作用によって所定の量の砂が供給される仕組みになっており，砂が通水によって掃流砂として輸送されるようにした．これにより所定の給砂量q_bが供給できる．模擬河床として用いた粘土供試体は，練り混ぜた後，静水下で15時間静置させて十分な圧密を加えた．また，浸食深の計測にはレーザ式変位センサを用いた．

実験条件を**表-1**に示す．CaseX-1～X-3は粘土河床，Y-1は砂河床での実験を表す．流量を0.270m^3/sとしており，硅砂3号に対する無次元掃流力はτ^*=0.079となる．この実験では給砂を行うことにしているが，その量は平衡掃流砂量の値q_eをMeyer-Peter & Müllerの式を用いて評価し，その0.50倍の量q_b程度とした．この際の無次元掃流力はτ_c^*=0.046である．

表-1 実験条件

Case	給砂量比 q_b/q_e	通水時間 [min]
X-1	0.50	30
X-2	0	60
X-3	0.50	90
Y-1	0.50	30

3. 模擬巨石による遮蔽効果と混合層の耐浸食性

実験結果を**図-1**に示す．**図-1(b)**は30分前の状態からの浸食深の変化を示しており，**図-1(c)**は模擬巨石として配置した球体とその近傍をの除いた河床の平均を基準0とし河床高さをコンター図に示している．

図-1(a)より，CaseX-1では河床表面に混合層が広がり，球体の周囲により砂が堆積している様子がわかる．ここで，混合層とは粘土と砂からなる層のことを示し，掃流砂として輸送されてきた硅砂が粘土河床に入り込むことで形成される．CaseX-2では表面上にのっていた砂と混合層の一部が剥がされ，混合層と粘土が露出した層が混在した河床が形成されている．CaseX-3で，砂が堆積し，砂層が広がっている様子がわかる．**図-1(b)**の浸食深コンター図を見ると，CaseX-1とCaseX-2では河床低下し，CaseX-3で河床が上昇していることがわかる．**図-1(c)**より，球体の前面は円弧状に浸食にされて河床が低くなっており，球体の背後は遮蔽効果によって高く盛り上がっていることがわかる．

粘土河床上に球体を設置すると，その遮蔽効果によってその背後に掃流力の小さい場ができる．その効果から，小規模な出水に相当する掃流力が作用しても混合層が維持されたと推測される．著者らの研究[1)]により，粘土河床の表面に混合層が形成されると耐浸食性が増すことがわかっている．CaseX-3では混合層上に砂が堆

キーワード：粘土河床，模擬巨石，掃流砂，浸食速度，遮蔽効果，砂礫の捕捉効果
連絡先：〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1，TEL 03-5286-3401，FAX 03-5272-2915

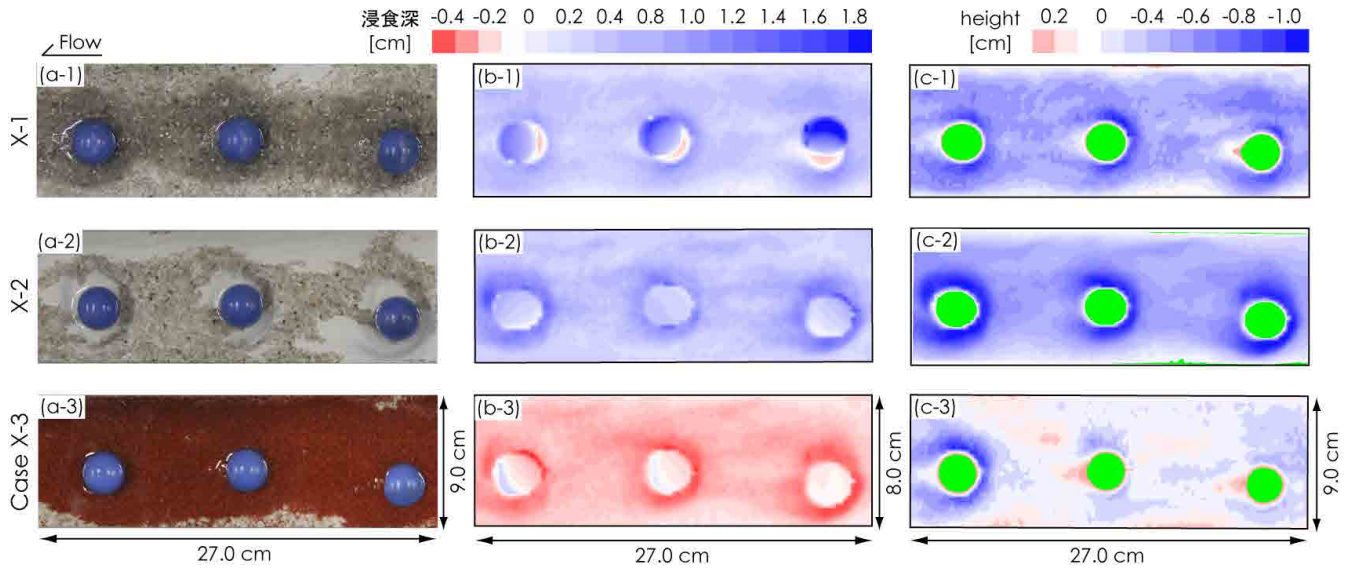

図 -1　通水後の河床の状態：(a) 河床表面の写真，(b) 浸食深コンター図，(c) 河床高コンター図である．なお，球体が通水前後で移動したことで浸食深が大きく出ているが，その影響を除き粘土河床の最大浸食深を出すと 1.1cm となっている．

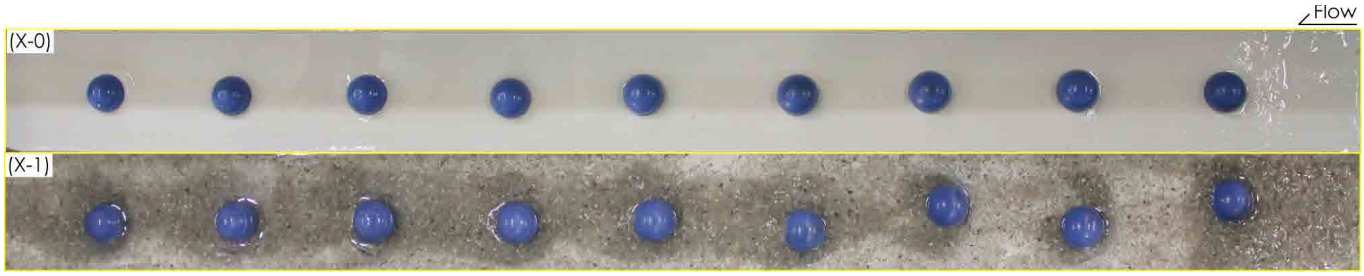

図 -2　河床全体の状態：(X-0) 通水前，(X-1) 通水後

積し砂層が形成されたことで，河床が上昇したと考えられる．以上より，粘土河床上に球体を設置し通水のみと給砂する実験を交互に繰り返すと，平衡流砂量の 0.50 倍の給砂量であっても砂河床を形成することができると推測される．球体一つを含み，球体同士の間を境目とした間隔を一周期と規定すると，一周期ごとの平均浸食速度は，CaseX-3 が 2.18×10^{-4}cm/sec, CaseX-2 が 1.84×10^{-4}cm/sec, CaseX-3 が -2.26×10^{-4}cm/sec となっている．CaseX-3 は砂が堆積しているため，浸食速度がマイナスになっている．

4. 水流の作用による球体の変位

通水前後の河床の変化を**図 -2** に示す．通水前の球体の位置を原点とし，その変位を写真から計測した．流下方向には，模擬河床に設置されている球体すべてが微小に上流側へ移動しており，平均変位は 0.48cm となっている．一方，直交方向では左右交互に変位する傾向がみられ，上流に置かれた球体 4 個は順に 0.89cm, -1.05cm, 0.32cm, -1.38cm（右岸方向を＋とする）となっている．なお，砂河床の実験においても，流下方向には同様の傾向がみられ，直交方向にはより顕著な結果となった．流下方向の変位は，主として前面が洗掘されることによって球体が安定性を失い，前に転がった結果であると考えられる．このような変位は，球体背後に発生するカルマン渦の影響によるものである．

5. 結論

本研究では，粘土河床に巨石に模した球体を配置し，非平衡場における河床変動を解明するため，基礎実験を行った．その結果，球体の配置によってその背後に掃流力が小さくなる場ができ，粘土層の上に砂層が形成されることがわかった．本研究の成果は，固結化した粘性土が露出した河床を砂河床に回帰させる持続的な対策につながるものと言えることから，引き続き検討を行い，現象の解明を進めていく．

参考文献：

1) 関根正人，池田憲昭，芦澤穂波，佐藤裕：砂礫の移動に起因する粘土河床の浸食促進・抑制効果と河床変動プロセス，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.74，No.4，pI_1087-I_1092，2018.