

骨格となる大礫の配置が河床の静的安定状態に与える影響

早稲田大学理工学術院 関根 正人
早稲田大学大学院 ○ 平松 裕基
早稲田大学 門井 勇樹
早稲田大学大学院 三國 寛正

1. 序論

河川上流域には、出水時でも移動しないような大礫が露出し、これらが河床骨格を構成している区間が見られる。このような河床では、間隙に存在する砂礫やシルトの移動がこの大礫の遮蔽の影響を強く受けることになり、その結果として河床低下や粗粒化が生じている。こうしたことは河川環境上望ましくないことから、その改善を目指して排砂や置き砂などが行われている。しかし、このような河床における流砂機構に未解明の点が少なくなく、その効果を合理的に評価することすら容易ではない。著者らは、芦田・藤田¹⁾、福島・櫻井ら²⁾の研究を踏まえて、これまでに粒度幅が極端に広い河床を対象とした検討を進めてきている³⁾。本研究では、これまでの結果に基づき、河床骨格を構成する大礫の配置が河床の静的安定状態に与える影響を明らかにすることを目指した。

2. 実験の概要

実験は、全長 5 m、幅 0.1 m、高さ 0.1 m の正方形断面を有するアクリル製循環型閉水路を用いて行われた。水路の上流端から 2.5 ～ 3.5 m の底部に長さ 1.0 m、幅 0.1 m、高さ 0.05 m の凹部があり、ここに所定の材料を敷き詰めて模擬河床を形成している。この骨格となる大礫を L 粒子と呼び、これらを互いに密に接するように配置するものとした。L 粒子としてはアルミナ球を用い、これを格子状あるいは千鳥状に配置した場合についての実験を行った（図-1 参照）。格子状配置の場合には粒径 D_L が 50 mm のものを、千鳥状配置の場合には 40 mm のものをそれぞれ用いた。加えて、L 粒子間の間隔を縦断方向にさらに広くし、より粗な配置とした場合の検討も行うことにした。具体的には、図-1 に示された密な配置の状態から、グレーに着色された位置にある L 粒子を間引くことで粗な配置状態としている。また、格子状配置の場合には、さらにその間隔を広くした場合の実験も行った。すなわち、L 粒子間の縦断方向の距離を λ とすると、格子状に密な配置の場合には λ/D_L の値が 1 となるが、この比をそれぞれ 2, 3, 4 とした場合の実験も行った。実験では、この L 粒子からなる骨格の間隙に、掃流砂として移動する M 粒子（粒径 D_M が 5 mm のガラスビーズ）と浮遊砂として移動する S 粒子（60% 粒径 D_S が 0.21 mm の珪砂）を所定の比率で混合したものを充填する。ここでは、M-S 粒子の総体積に占める S 粒子の体積比率を R_{PS} と定義し、これを 0.0 とした「L-M 実験」、1.0 とした「L-S 実験」に加えて、 R_{PS} を 0.5 ～ 0.9 の範囲で変化させた場合の「L-M-S 実験」も行った。この実験では、水路上流から給砂は行わないものとし、模擬河床の静的安定状態に注目している。

3. 実験結果と考察

このような条件下で現れる河床の静的安定状態は、図-2 の概念図のようになることがわかっている³⁾。L-M 実験の場合には、M-S 粒子混合層の部分 M 粒子のみとなる。また、L-S 実験の場合には M 粒子層は形成されず、図の赤色の破線より下方に S 粒子のみの層が現れる。L 粒子頂部からこの破線の位置までの鉛直距離を Δ_i と定義すると、これがそれぞれの場合で異なる値をとることは言うまでもない。まず最初に、L-M 実験あるいは L-S 実験の結果について説明する。図-3 には、 Δ_i に相当する値を Δ_{Mo} ならびに Δ_{So} と表し、これらを L 粒子の粒径 D_L

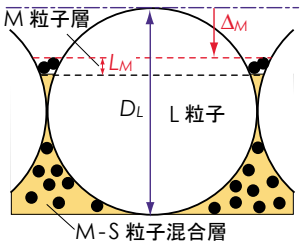


図-2 三粒径河床の静的安定状態の模式図

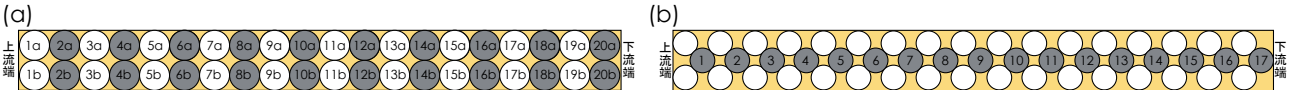


図-1 河床骨格の配置図：(a) 格子状配置の場合、(b) 千鳥状配置の場合

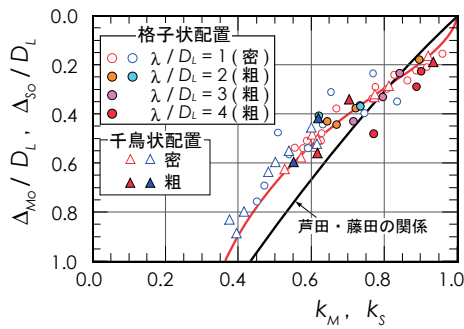


図-3 Δ_i/D_L と遮蔽係数 k_i との関係 (L-M ならびに L-S 実験) : 赤系統の色が L-M 実験, 青系統の色が L-S 実験の結果を示している。

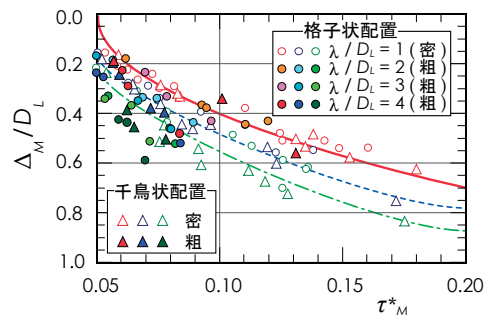


図-4 Δ_M/D_L と無次元掃流力 τ^*_M との関係 (L-M-S 実験) : 図中の赤系統の色, 青系統の色, 緑系統の色はそれぞれ R_{PS} が 0.0, 0.5, 0.7 の結果を示している。

で除した無次元量を縦軸として, 遮蔽係数 k_i を横軸とした, 両者の関係を整理したものである。ここに, 間隙中の M 粒子あるいは S 粒子の上面に作用する摩擦速度 u^*_i を, 河床に作用する平均摩擦速度 u^* で除した値を遮蔽係数 k_i と定義した。なお, k_i については, L-M 実験の場合には k_M , L-S 実験の場合には k_S と表記することにした。図中の赤の実線は実験的に導かれた, $\Delta_i/D_L = 0.40 \times (k_i^2 - 1)^{0.5}$ の関係を図示したものであり, この図より, (a) L-S 実験と L-M 実験のいずれにおいても同一の関係が成り立つこと, (b) L 粒子の配置が格子状あるいは千鳥状であっても, その骨格の粗密の程度がこの程度まで変化してもほぼ同一の値をとること, などを見てとることができる。次に, L-M-S 実験の結果について説明する。図-4 は, L 粒子頂部から M 粒子層上面までの鉛直距離 Δ_M を L 粒子の粒径 D_L で除した無次元量を縦軸に, M 粒子の無次元掃流力 τ^*_M を横軸にとったものである。図中の実線は図-3 中のものと同一の Δ_{M0} についての関係を示している。この図から, R_{PS} が大きくなるほど Δ_M も大きくなることわかるほか, R_{PS} が 0.5 の場合には破線, 0.7 の場合には一点鎖線のような関係が成り立つことがわかる。また, 格子状あるいは千鳥状とした配置であっても河床の鉛直構造に大きな差が現れないことも確かめられた。

さらに, 図-3 および図-4 に基づき L 粒子の配置を粗なものとした場合の影響について簡単に考察を加えておく。ここでは, 格子状配置の場合を例に説明する。L 粒子を一系列程度間引いて $\lambda/D_L = 2$ としても, 平均的な河床の構造に変化は見られない。さらに, この間隔を $\lambda/D_L = 3$ ならびに 4 とすると, この値が大きくなるほど M ならびに S 粒子に及ぼされる遮蔽効果は弱まる傾向にあるものの, 顕著なものとは認められないことがわかる。最後に, λ/D_L を 3 ならびに 4 とした場合の局所的な河床状態について述べていく。流量が小さい場合には, L-M 実験で得られた Δ_M あるいは L-M-S 実験で得られた Δ_{M0} は縦断方向に概ね均一の分布となる。一方, 流量が相対的に大きな場合には, Δ_M/D_L ならびに Δ_{M0}/D_L の最大値と最小値の差は 0.1 程度となることがわかった。また, M 粒子層の厚さに関しては, L 粒子の上流近傍で大きな値をとる傾向にあり, そこからさらに上流側へ離れるほど小さくなり, おおよそ M 粒子の粒径 D_M の 0.9 倍程度の値になることがわかった。なお, この厚さは, 別途行われた「M-S 実験」(河床が M 粒子と S 粒子のみから構成される場合) の場合の M 粒子頂部から S 粒子層までの鉛直距離とほぼ一致する。

4. 結論

本研究は, 出水時でも移動することのない大礫から微細砂までの粒度幅が極端に広い材料からなる河床を対象としたものであり, その静的安定状態について実験的に明らかにすることができた。河床骨格を構成する大礫の縦断方向への間隔を変化させた実験も行ったところ, この間隔を大礫の粒径で除した値 λ/D_L が 2 程度までであれば, 河床の静的安定状態における鉛直構造はほとんど変化しない。しかし, この値が 3 程度になると大礫の遮蔽の影響がほとんど及ばない区間が現れることが確認された。本研究の遂行に当たり, 日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究 C (研究代表者: 関根正人, No.21560546) の助成を受けた。ここに記して謝意を表します。

参考文献:

- 1) 芦田・藤田: 平衡・非平衡浮遊砂量算定の確率モデル, 土木学会論文集, 第 375 号 / II -6, 107-116, 1986.
- 2) 福島・櫻井・箱石: 大きな石による河床再生技術に関する実験的検討, 水工学論文集, 第 54 巻, 763-768, 2010.
- 3) 関根・平松・三國・門井: 三つの粒径集団からなる河床の静的安定状態と遮蔽効果, 水工学論文集, 第 56 巻, 931-936, 2012.