

異なる密度をもつ材料からなる模擬河床上で生じる土砂移動現象

研究代表者 平松 裕基
(理工学術院総合研究所 次席研究員)

1. 研究課題

研究代表者らは、これまで川底（以下、河床と呼ぶ）を構成する材料の大きさ（粒径）の最大と最小の違いが極端に大きな河床上で生じる土砂移動現象を明らかにすることを目指してきた。ダムが建設されると、その上流側から下流側への土砂の供給量が極端に減少してしまう。このような状態が長期間にわたって維持されると、河床の高さが低下する。それだけでなく、粒径が大きな材料は移動し難いため、河床表面を構成する材料が大きくなってしまふ。このように河川環境が変わった結果、アユの産卵場の減少など生態系へも悪影響が及んでいる。これらを改善するために、浚渫された土砂などを河道（川が流れるところ）の側岸部に設置し、これを洪水時の水流によって流下させる「置き砂」という対策などがなされている。この対策は神奈川県を流れる酒匂川流域に位置する河内川でも 2019 年にも実施された。この置き砂の効果を力学原理に則り十分な精度で定量的に評価する解析手法は確立されていない。そこで、基礎的な水理実験を通じて土砂移動現象の本質を解明することに努めてきた。

河床材料は一般に、移動しない大粒子、水流の作用を受けて河床近傍を移動する中粒子、河床近傍から水面付近にまで分布するように移動する小粒子の三つの粒径集団に分けられる。これらを L 粒子、M 粒子、S 粒子と呼び、それぞれ一つの粒径で代表させた実験を行ってきた。しかし、現地の河床は連続する粒度分布をもっている。そこで、それまでの実験結果を踏まえた上で、M 粒子群が複数粒径からなる条件下での実験を行った。

本研究で対象とする場で生じる現象を解明する上で重要なことは、L 粒子群が与える遮蔽効果を考慮することである。遮蔽効果とは、L 粒子群の露出の度合いが大きくなるにつれて M-S 粒子に作用するせん断力が小さくなることを指す。従来の複数粒径から構成される河床を対象に導かれた式を適用すると、L 粒子群の遮蔽効果を過小評価してしまうことがわかっている。研究代表者らが行っている一連の研究では、L 粒子群の遮蔽効果だけでなく、河床表層に現れる M 粒子群が与える遮蔽効果も明らかにすることを目指した。しかし、M 粒子群が与える遮蔽効果については未だ検討の余地が残されている。

この遮蔽効果をより深く理解することを目指して、異なる観点からの研究も行った。その一つとして、密度が異なる材料から構成される河床上で生じる現象にも注目することによって遮蔽効果を調べた。このような現象は、酒匂川上流域に位置する静岡県小山町でも見られる。密度が小さな火山砕屑物の一種であるスコリアを含む山腹斜面が台風によって崩壊した。崩壊した土砂が河道に供給されると、土砂の密度の大小によって移動のしやすさが異なるため、土砂移動は複雑になる。今年度は主として、河床材料を三つの粒径集団に分けて捉えた研究を行ってきたため、その結果について次章で説明する。これらの研究の成果として、河川管理や防災に役立つ情報を提供できることを目指している。

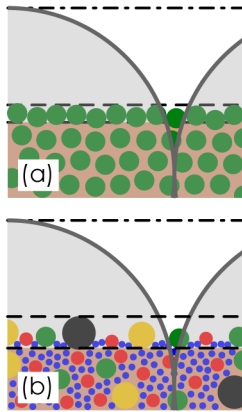


図-1 河床の鉛直構造：
(a) Case C, (b) Case F

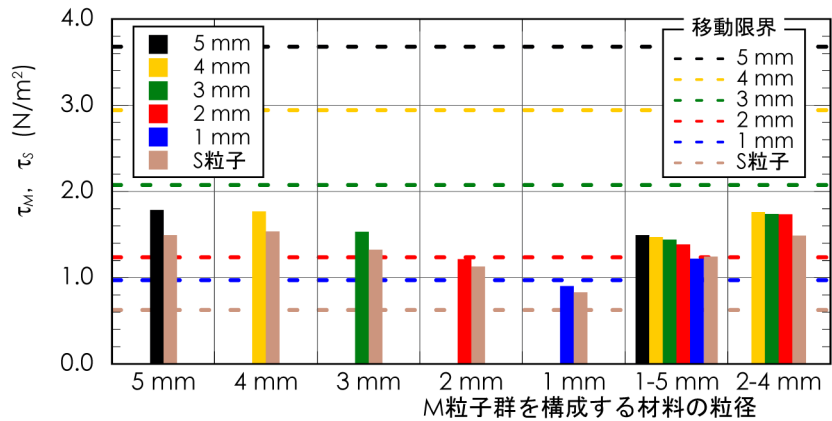


図-2 河床表層に現れる掃流砂礫群が与える遮蔽効果：破線は各粒径の材料の移動限界を表している。破線ならびに縦棒の色は粒子の色に対応している。

2. 主な研究成果

2.1 実験概要

実験には、L粒子として粒径 50 mm のアルミナ製の球（比重 3.98）、S粒子として粒径 0.21 mm の珪砂（比重 2.65）を用いた。M粒子には粒径が 5, 4, 3, 2, 1 mm のガラスビーズ（比重 2.5）を用いており、順に黒、黄、緑、赤、青に塗り分けられている。なお、粒子の粒径が大きいほど移動限界のせん断力も大きくなる。実験に用いた水路は全長 16 m, 幅 0.2 m, 勾配 1/250 であり、矩形断面を有している。

Case A～E は M 粒子群が単一粒径、Case F, G は複数粒径からなる条件に相当する。Case F は 1～5 mm, G は 2～4 mm の M 粒子によって構成されている。なお、異なる粒径の M 粒子が全て同体積となるような比率とし、全ての Case で M 粒子群の総体積と同じ量の S 粒子を混合した。その上で、この混合比率で M-S 粒子が空間的に一樣になるように初期河床を準備した。また、流量 $Q = 15$ (l/s) の条件下で河床が静的平衡状態に到達するまで通水を行った。このときの河床に作用する摩擦速度は $u^* = 0.058$ (m/s) 程度であった。

2.2 河床表層を構成する掃流砂礫群が与える遮蔽効果

図-1 は、静的平衡状態に到達した後の河床を水路側方から見たものを模式的に描いたものである。(a)は Case C, (b)は Case F の河床であり、図中の四分円が L 粒子、円が M 粒子、パールオレンジの部分 S 粒子と空隙を表している。この図に示すように、河床表面に M 粒子のみからなる層が現れる。また、図-1 (b)を見ると、粒径の大きな材料ほど上面位置が高くなることからわかる。

通水終了後、L 粒子頂部から M 粒子一粒ずつの中心までの鉛直距離を計測した。当研究室で導いた「L 粒子群が与える遮蔽効果を表す式」に計測値を代入することによって、M 粒子一粒ずつの中心に作用するせん断応力 τ_M を評価した。同様の手法によって S 粒子に作用するせん断応力 τ_S も算出した。これらの値を粒径毎に平均をとって整理した結果を図-2 に示した。この評価方法では L 粒子群が与える遮蔽効果のみを考慮しているため、L 粒子以外から受ける遮蔽の影響については無視したことになる。図中の破線は、各粒径の粒子のみからなる河床上での移動限界の値を表しており、破線ならびに縦棒の色は粒子の色と対応している。

まず、M 粒子群が単一粒径からなる Case A～E について説明する。M 粒子に着目しながら図-2 を見ると、粒子に作用するとして算出された掃流力 τ_M は破線で示した移動限界よりも小

さくなっていることがわかる。これは、M 粒子の移動が停止した後も M 粒子群の間隙から S 粒子が抜け出すことにより、M 粒子上面の位置が下がるためである。さらに、S 粒子に着目して図に説明を加える。ここで、L-M-S 河床における浮遊限界と S 粒子のみの均一粒径河床での浮遊限界が等しいと仮定する。この仮定を踏まえて結果を見ると、S 粒子の浮遊限界を表す図中の破線と各縦棒との差異は M 粒子による遮蔽効果を見逃したために現れたと考えることができる。すなわち、この差異が大きいほど M 粒子層による遮蔽効果が大きく、S 粒子に実際に作用している掃流力は τ_s として算出された値よりも小さい。

最後に、M 粒子群が複数粒径からなる Case F, G についても説明する。図-2 を見ると、M 粒子の粒径が小さくなるほど τ_m が小さくなっていく傾向にあることがわかる。これは、粒径が小さくなるほど M 粒子の高さが低くなるためである。

3. 共同研究者

関根 正人（創造理工学部・社会環境工学科・教授）

4. 研究業績

4.1 学術論文

平松裕基・本合弘樹・関根正人：大礫群の間隙に存在する掃流砂として輸送される砂礫の三次元構造，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.74, No.5, pp.I_913-I_918, 2018.

4.2 総説・著書

特にありません

4.3 招待講演

特にありません

4.4 受賞・表彰

特にありません

4.5 学会および社会的活動

1. 本合弘樹・関根正人・平松裕基・中川裕貴：骨格が大礫により構成された河床に生じる鉛直分級とその構造，砂防学会研究発表会，pp.313-314, 2018.
2. 関根正人・本合弘樹・平松裕基・中川裕貴：掃流砂として移動する砂礫の粒度分布の違いが混合砂礫河床の鉛直構造に与える影響，土木学会第 73 回年次学術講演会，pp.115-116, 2018.
3. Hiramatsu, Y. and Sekine, M. (2019). Static equilibrium state of riverbed with extremely wide range of sediment grain sizes, 11th River, Coastal and Estuarine Morphodynamics Symposium（講演予定）.
4. 土木学会 基礎水理部会 部会員

5. 研究活動の課題と展望

河床表層を構成する M 粒子群が与える遮蔽効果などについてはさらに明らかにする必要がある。実河川を対象として河床変動計算を行うためには、その他にも明らかにすべきことがある。これらに関する水理実験を引き続き行った上で、置き砂の効果を定量的に把握できる手法を構築することを目指す。これらの検討の結果が、河川管理や防災に貢献する情報の礎となるよう努めていく予定である。