粒度幅の大きな材料からなる河床近傍で生じる土砂粒子間の遮蔽効果

早稻田大学理工学術院	正会員	平松	裕基
早稲田大学大学院	学生員	〇 本合	弘樹
早稻田大学理工学術院	正会員	関根	正人

1. 序論

本研究は、ダム直下の河川区間に生じている粒度幅の極端に広い河床を対象としている.河床材料は、水流によって移動しない大礫(L粒子)、掃流砂として移動する砂礫(M粒子)、浮遊砂として移動する細砂やシルト(S粒子)の三種類に分けられる.著者らは、各粒径集団を一つの粒径で代表させた実験を行った上で、M粒子群が複数粒径からなる条件下で検討した¹⁾.その結果、L粒子群の間隙内では図-1に示すようなM粒子のみからなる層(M粒子層)が形成されることなどがわかっている.

2. 実験概要

模擬河床材料として,L粒子には粒径 50 mmのアルミナ製の球(比重 3.98),S粒子には粒径 0.21 mmの硅砂(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.M粒子の無次元限界掃流力は順に 0.050,0.050,0.047,0.042,0.066 であり,次元をもっ た値に換算すると粒径が大きいほど移動限界が大きくなる.また,S粒子の最終沈降速度は w_{os} = 0.025 (m/s) で あった.実験には全長 16 m,幅 0.2 m,勾配 1/250 の矩形断面を有する水路を用いており,水路上流端から 8.5 ~14 mの移動床区間にL粒子が格子状に敷き詰められている.

実験条件を表-1にまとめた. Case A~EはM粒子が単一粒径, Case F, Gは複数粒径からなる条件に相当する. M粒子群の混合比率はこの表に示される通りであり,全てのCaseでM粒子群と同体積のS粒子が混合されている.この混合比率でM-S粒子が空間的に一様になるように混合し,移動床区間のL粒子群の頂部まで粒子を充填する.そして,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.なお,この値はL粒子とM粒子に等しくせん断力が作用するとした平均値であり,M粒子群に実際に作用するせん断力を表しているものではない.

3. 大礫群ならびに掃流砂礫群が与える遮蔽効果

まず,遮蔽効果に着目した検討を行うために用いた式について述べる.当研究室では,河床全体に作用する掃流力の平均値に対してL粒子群の間隙内に存在する粒子に作用する掃流力がどの程度減衰するかを調べた結果,以下に示す式を提案した²⁾.

$$\Delta_{\rm M}/D_L = \alpha \times (H_{\rm M}^{-2} - 1)^{0.5} \tag{1}$$

ここに、 Δ_M はL粒子頂部からM粒子層上面までの鉛直距離、 D_L はL粒子の粒径、比例定数αは0.3、 H_M は 遮蔽係数 (= u^*_M/u^*)、 u^* は河床に作用する摩擦速度の平均値、 u^*_M はM粒子層上面に作用する摩擦速度である。 本論文では、掃流力がM粒子の質量中心に作用すると捉え、L粒子頂部からM粒子中心までの鉛直距離を Δ_M と定義することにした.なお、 Δ_M の定義をこのように変えたとしても、式(1)ならびに式中の比例定数αの 値は変わらないことを確認している。さらに、この式はL粒子が与える遮蔽効果を表しているため、L-S河床 でも同じ関係式が適用できる。すなわち、式中の Δ_M を Δ_s 、 u^*_M を u^*_s に置き換えたことに相当する。式(1)を 用いると、 Δ_s と u^* の二つの値から u^*_s を逆算することができる。

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、求めた Δ_M を式(1)に代入することによりM粒子一粒ずつの中心に作用する掃流力 τ_M を評価した.そして、粒径毎に平均をとった値を図-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、各材料の粒径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.

キーワード:遮蔽効果,掃流砂,静的平衡状態,粒度幅の極端に広い河床,大礫 連絡先:〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1, TEL 03-5286-3401





次に、図-2に基づいて結果を説明する.まず、M粒子群が単一粒径からなる Case A ~ Eに注目する.M 粒子に着目しながら図を見ると、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、河床が静的平衡状態に到る過程¹⁾で、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. Δ_M が大きくな る結果としてL 粒子群の遮蔽効果が強くなり、M 粒子に作用する掃流力が移動限界よりも小さくなった.さ らに、S 粒子に着目して図に説明を加える. τ_M と同様に、 τ_S は Δ_S と u^* を式(1)に代入することにより求めた. 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 を無視して計算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.

ここで、M、S粒子間にも同様に、式(1)で表した関係の適用を試みた. すなわち、静的平衡状態に到達した後のM粒子を移動しないもの(L粒子)と見なし、M粒子に作用する掃流力 τ_M と比較してS粒子に作用するとして試算した値 τ_s 、がどの程度減衰するのかを調べた. その結果、 τ_s 、が浮遊限界より小さくなり、M粒子層による遮蔽効果を過大評価してしまう傾向にあることがわかった. このことから、M粒子がS粒子に与える遮蔽効果は、L粒子がM粒子に与える効果よりも小さいものの、考慮する必要があると考えられる.

最後に、M粒子群が複数粒径からなる Case F, Gについてもふれる.例として図-2中の Case Fに注目する 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が見て取れる.これは、粒径が小さくなるほ ど Δ_M が大きくなることによるものであり、Case A ~ E と同様に S 粒子など小さな粒径の粒子が輸送され粒子 上面の位置が低下していくことで移動限界以下となっている.しかし、粒径 2 ならびに 1 mm の粒子に着目す ると、M 粒子群が複数粒径からなる Case F の方が単一粒径の Case D, E よりも粒径 2 ならびに 1 mm の粒子に 作用する τ_M の計算値が大きくなった.これは、より大きな粒子から受けた遮蔽効果を考慮せずに計算したこ とによるものである.この傾向は、M 粒子群の粒径が 2 ~ 4 mm からなる Case G についても確認できる.

4. 結論

本研究では,移動しない大礫が河床表面に露出する場を対象とした実験を行うことにより,M粒子群が与 える遮蔽効果について調べた.今後は,M粒子群による遮蔽効果を定量的に評価していく予定である.

謝辞:本実験の実施に当たり,楓高志君(当時,早稲田大学学部学生)の協力を得た.ここに記して謝意を表します. 参考文献:

- 1) 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_918, 2018.
- 2) Sekine, M. and Hiramatsu, Y.: Gravel Sorting and Variation of Riverbeds Containing Gravel, Sand, Silt and Clay, Gravel-Bed Rivers: Processes and Disasters, pp.591-608, John Wiley & Sons, Ltd, 2017.