初期条件の違いが粒度幅の極端に広い河床の鉛直構造に与える影響

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	〇 中川	裕貴
早稲田大学理工学術院	正会員	平松	裕基
早稲田大学大学院	学生員	鎌田	遼
早稲田大学創造理工学部(当時)		孫沢	慎一

1. 序論

本研究では、粒度幅が極端に広い材料からなる河床における流砂現象に着目した.このような河床はダム 直下の流砂の連続性が失われた区間で見られる.ダムからの排砂や置き砂などの対策が行われてきているが、 流砂機構については十分に理解されているわけではない.そこで、著者らは、河床材料を水流の作用によっ 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砂あるいはシルト (S 粒子)の三つの粒径集団に分け、それぞれを一つずつの粒径で代表させた基礎的な移動床水理実験を重ねて きた¹⁾.本論文では、初期条件の異なる二通りの実験を行い、上流側から供給される M-S 粒子の量に応じて到 達する動的平衡状態における河床の鉛直構造が初期河床の影響をどのように受けるかを明らかにする.

実験の概要

本実験では、L粒子として粒径が $D_L = 50 \text{ (mm)}$ のアルミナ製の球(比重 3.98)、M粒子として粒径が $D_M = 2 \text{ (mm)}$ のガラスビーズ、S粒子として粒径が $D_S = 0.21 \text{ (mm)}$ の硅砂を用いた.実験は長さ 16 m,幅 0.2 m,勾配 1/250の開水路で行われ、その上流端から 8.5 ~ 14 mの区間の底面に設けられている深さ 0.05 mの凹部に上 記の材料を敷き詰め模擬河床とした.ここでは、初期河床を「静的平衡状態にある河床」とした Case A と、「M-S 粒子をL粒子頂部まで充填した状態の河床」に設定した Case B の二通りの実験を行った.その他の実験条件 は表 -1 の通りである.実験時の流量 Q_w は 5 1/s 程度、M 粒子の供給量 Q_M は 0.4 cm³/s とし、S 粒子の供給量 $Q_S \approx 0 \sim 4.5 \text{ cm}^3$ sの範囲内の異なる値に設定した.参考までにS粒子の最終沈降速度は $w_{os} = 0.025 \text{ (m/s)}$ であり、M 粒子の無次元限界掃流力は $\tau^*_{MC} = 0.042$ 、河床に作用する平均の無次元掃流力は $\tau^* = 0.065$ 程度であった.

3. 動的平衡状態における河床の鉛直構造と粒度構成

写真-1 は動的平衡状態に到達した河床を切り出して撮影した横断面の様子を表している.写真-1 (a) と (b) の違いは,初期河床の状態にあり, (a) は静的平衡状態の河床を, (b) は M-S 粒子を L 粒子頂部まで充填した河床を初期河床として行った実験の結果であり,いずれも動的平衡状態における河床を表す.いずれの場合にも通水開始から河床が動的平衡状態に到るまでの間は赤色の M 粒子を供給し,河床が動的平衡状態に到ったと判断した時点で青色の M 粒子を供給するようにした.その後,水路下流端から流出してくる M 粒子がすべて青色のものになった時点で通水を終了した.写真-1 (a) を見ると,静的平衡状態の河床を初期条件とした場合には,供給された M-S 粒子により形成された層は二層に分けられ,上方には流砂と交換を絶えず繰り返す「交換層」が,その下方には流砂との交換がない「堆積層」が形成される.一方,写真-1 (b)の河床には赤色の M 粒子を含む「堆積層」は認められず,交換層の下方には初期状態から変化していない層が存在している.

次に、河床表面の高さならびに交換層内の粒度構成について説明する.L粒子頂部から動的平衡状態における M 粒子上面までの鉛直距離を Δ_M ,S粒子上面までの鉛直距離を Δ_S と定義する.また、交換層の厚さを δ_E 、 交換層内の空隙率を λ 、この層内の M-S 粒子の総和に占める M 粒子の体積比率を R_M とする.実験の結果を図 -1にまとめて示す.図の横軸は S 粒子の供給量 Q_S であり、縦軸はそれぞれ (a) Δ_M 、 Δ_S を D_L で除した値,(b) 交換層内の空隙率 λ 、(c) M 粒子の体積比率 R_M 、(d) 交換層の厚さ δ_E を D_M で除した値である.まず、図 -1 (1a)

-052

キーワード:極端に粒度幅の大きな河床材料,河床の動的平衡状態,鉛直構造,交換層,堆積層 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

 表 -1 実験条件: Case A は静的平衡状態を, Case B は M-S 粒子がL 粒子頂部まで充填された状態を初 期河床とした実験を表す.

Caro	流量Q _₩ 給砂量(cm ³ /s)		摩擦速度	
Cuse	(m ³ /s)	Q _M	Qs	υ* (m/s)
A-1	0.0050		0.0	0.046
A-2	0.0050		0.2	0.046
A-3	0.0052	0.4	0.4	0.046
A-4	0.0051		1.4	0.045
A-5	0.0052		2.5	0.045
A-6	0.0049		3.8	0.039
A-7	0.0050		4.5	0.038
B-1	0.0053	0.4	0.2	0.046
B-2	0.0053		0.4	0.046
B-3	0.0050	0.4	1.4	0.047
B-4	0.0052		3.8	0.042



河床の鉛直構造: (a) Case A, (b) Case B の動

的平衡状態の河床である.



図-1 動的平衡状態における河床の鉛直構造: 左側の(la)~(ld)が Case A,
(2a)~(2d)が Case B の結果を示す. 図中の青色ならびに赤色の一点鎖線
は初期河床における M 粒子ならびに S 粒子上面の高さを表している.

について説明する. Q_s の値が相対的に小さい場合には、L粒子群の間隙の表面にM粒子のみによる層が現れる. ただし、 Q_s の値が大きくなるにつれてこのM粒子間の間隙へのS粒子の充填が進み、M粒子のみによる層の厚さが小さくなり、 $Q_s = 0.4$ (cm³/s)のときM粒子とS粒子上面の高さが一致し、この層が存在しない動的平衡状態に到る. さらに Q_s の値を大きくすると、M-S粒子からなる「交換層」の上面がより高い位置に現れるとともに、 $Q_s を 0.4$ cm³/s以下にした場合と比べて、層内のM粒子同士の間隔は大きくなる. また、 $Q_s = 3.8$ 、4.5 (cm³/s)になるとL粒子頂部とこの層の上面の高さが完全に一致する状態となる. また、Q = 1 (lb)と(lc)より、空隙率入は0.4 ~ 0.6 の範囲内の値になり、 Q_s が大きくなるにつれて層内のM粒子の体積比率 R_M の値は小さくなることなどが確認できる. さらに、Q = 1 (ld)はS粒子の供給量 Q_s と交換層の厚さの関係を示したものである. $Q_s = 0$ (cm³/s)のとき δ_E/D_M の値は1.3 程度になり、 Q_s の増加に伴い δ_E はM粒子の粒径 D_M の3倍程度に漸近する傾向にある. 図 - 1 の右側の列の(2a) ~ (2d)を左側の(1a) ~ (1d)と比較すると、Case BはCase Aとほぼ同じ値をとり、 Q_s に伴う河床の変化には大きな差異は認められないことがわかる. これらの結果から、M-S粒子をL粒子頂部まで充填した初期河床の場合に堆積層が形成されることはないという点を除けば、河床の変化や鉛直構造に及ぼす初期河床の違いの影響は無視しうる程度のものであると判断される.

4. 結論

写真 -1

本論文では、粒度幅の広い河床を対象に、初期条件の違いが動的平衡状態における河床の鉛直構造に与える影響について検討を行った、今後さらなる検討を続け、流砂機構のメカニズムに迫りたいと考える.

参考文献:1) 平松裕基・関根正人・劔持尚樹:骨格となる大礫を伴う河床の動的平衡状態の鉛直構造,土木学会論文集 B1(水 工学), Vol.71, No.4, I_865-870, 2015.