

## 大礫の間隙に位置する砂礫の移動に及ぼす遮蔽効果

早稲田大学大学院	学生会員	○ 中間 遼太
早稲田大学大学院 (当時)	学生会員	本合 弘樹
早稲田大学理工学術院 (当時)	正会員	平松 裕基
早稲田大学理工学術院	正会員	関根 正人

## 1. 序論

ダム直下の河川区間では上流からの土砂の供給が遮断されるため、河床低下や河床材料の粗粒化といった問題が生じており、地点によっては岩盤が露出するようなことまで発生している。このような河川の環境を改善するための対策として「置き砂」が実施されている。ところが、その効果を定量的に評価できるような予測手法は確立されていない。河床変動計算を行うためには、河床を構成する土砂粒子に働く掃流力を適切に評価することが不可欠である。著者らは、これまで粒度分布の幅が極端に広い河床で生じる流砂現象について検討を行ってきており、河床骨格を構成する移動しない大礫がそれ以外の砂礫に及ぼす遮蔽効果を段階的に明らかにしてきた<sup>1)</sup>。ところが、大礫以外の河床粒子間にも粒径差があるため、小粒径の粒子は大きな粒子により遮蔽されることから、この点を的確に評価することが求められる<sup>2)</sup>。本研究では、大礫に加えて二つの粒径の砂礫からなる河床を対象とした実験を行い、上記の点を検討することを目的とする。

## 2. 実験概要

河床を構成する材料は、移動することのない大礫、掃流砂として移動する砂礫、浮遊砂として移動する細砂やシルトの三種類に分類される。以下、これらをL粒子、M粒子、S粒子と呼ぶ。L粒子とS粒子の粒径は一通りに設定したが、M粒子については五つの粒径のものを用意し、これを対象に実験を行った。L粒子には粒径50mm、比重3.98のアルミナ製の球を、M粒子には1～5mmの五種類の粒径のガラスビーズ(比重2.5)を用いた。M粒子個々の無次元限界掃流力は、粒径の大きなものから順に、0.041, 0.050, 0.047, 0.042, 0.066である。S粒子としては60%粒径が0.21mm、比重2.65の珪砂を用いた。その最終沈降速度は0.025m/sである。実験には全長16m、幅0.2m、勾配1/250の矩形断面を有する水路を使用した。水路中央部には深さ50mmの凹部があり、そこにL粒子を格子状に敷き詰め、その間隙を所定の割合で混合したM-S粒子で充填した。

本論文では、移動可能な河床材料が二つの粒径からなるものとした条件下で行われた実験の結果について説明する。表-1に実験条件をまとめて示す。ここで移動する材料がいずれもM粒子からなる場合の河床を「L-M-M河床」と呼び、二種類のM粒子のうち大きい粒径のものをM<sub>a</sub>粒子、小さい粒径のものをM<sub>b</sub>粒子と呼ぶ。また、移動する材料がM粒子とS粒子からなる河床を「L-M-S河床」と呼び、このM粒子もM<sub>a</sub>粒子と呼ぶことにする。いずれの場合についても、二つの粒径の材料を同体積ずつ混合させたものを、L粒子の頂部まで充填し、この状態を初期河床とした。この初期河床に流量15L/sで通水を行い、河床が静的平衡状態に到ったと判断した時点で通水を終了した。河床に作用する摩擦速度の値についても表-1中に併記した。

## 3. 河床上で生じる遮蔽効果

大粒径の砂礫が小粒径のものに及ぼす遮蔽効果についてふれる前に、L粒子がそれより小さいMならびにS粒子の及ぼす遮蔽効果について説明しておく。河床表面にL粒子が露出すると、その背後の間隙では遮蔽効果により掃流力が低減される。L粒子群が及ぼす遮蔽効果は次式のように表される。

$$\frac{\Delta_M}{D_L} = 0.3 \times \left\{ \left( \frac{\tau_M}{\tau} \right)^{-1} - 1 \right\}^{0.5} \quad (1)$$

ここに、 $\Delta_M/D_L$ はL粒子頂部からM粒子頂部までの鉛直高さをL粒子の粒径 $D_L$ で除した無次元パラメータである。また、 $\tau$ は河床に平均的に作用する掃流力、 $\tau_M$ は間隙の表面に露出したMあるいはS粒子に作用する掃流力である。この式は、L粒子が河床に露出する度合いが大きくなるほど、間隙内の粒子に作用する掃流

キーワード：遮蔽効果、静的平衡状態、掃流砂、浮遊砂、大礫

連絡先：〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1, TEL 03-5286-3401

表-1 実験条件

Case	河床	移動材料の粒径D (mm)			摩擦速度 $u^*$ (m/s)
		$M_a$ 粒子	$M_b$ 粒子	S粒子	
5-3	L-M-M	5	3	-	0.057
5-2		5	2	-	0.056
5-1		5	1	-	0.057
4-2		4	2	-	0.056
4-1		4	1	-	0.057
3-1		3	1	-	0.057
5-S	L-M-S	5	-	0.21	0.054
4-S		4	-	0.21	0.057
3-S		3	-	0.21	0.058
2-S		2	-	0.21	0.058
1-S		1	-	0.21	0.059

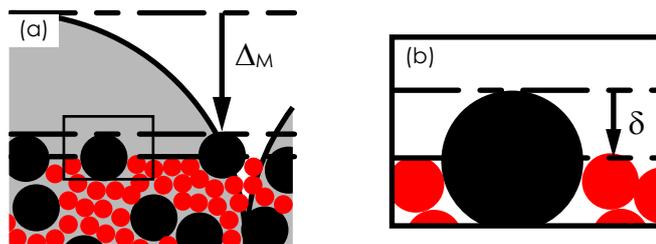


図-1 静的平衡状態の L-M-M 河床の鉛直構造：(a)河床の横断面の模式図で灰色の四分円がL粒子，黒円が  $M_a$  粒子，赤円が  $M_b$  粒子を模している，(b)河床表面に存在する  $M_a$  粒子と  $M_b$  粒子の様子を拡大して示している。

力が低減されることを表している。

次に、L-M-M河床やL-M-S河床で  $M_a$  粒子が及ぼす遮蔽効果について検討する。概念図を図-1に示す。この図のように、L粒子がM粒子に及ぼす遮蔽効果と  $M_a$  粒子がより小さな粒子に及ぼす遮蔽効果が本質的に変わらないとすると、 $M_a$  粒子の露出の度合い  $\delta/D_{Ma}$  が遮蔽効果を左右するパラメータの一つとなり、これが大きいほど  $M_b$  粒子に作用する掃流力が低減されると考えられる。ここでは、 $M_a$  粒子の頂部から  $M_b$  粒子の頂部までの鉛直高さを  $\delta$  とする。図-2(a)に  $\delta/D_{Ma}$  と  $\tau_{Mb}/\tau_{Ma}$  の関係を示した。 $\tau_{Ma}$  は式(1)により算定される  $M_a$  粒子に作用する掃流力  $\tau_M$  とするが、 $\tau_{Mb}$  としては  $M_b$  粒子の限界掃流力の値に等しいとする。これは、L-M-M河床の場合には、静的平衡状態において  $M_b$  粒子は移動限界の状態となるためである。一方、 $M_a$  粒子と  $M_b$  粒子の粒径の比  $D_{Mb}/D_{Ma}$  もまた重要なパラメータとなる。具体的には図-2(b)に示すとおりである。これより、両者の粒径比が小さい、言い換えると粒径差が大きいほど  $M_b$  粒子に作用する掃流力は低減され、遮蔽の効果が大きくなるのがわかる。このように、 $M_a$  粒子による  $M_b$  粒子への遮蔽の効果は、 $\delta/D_{Ma}$  と  $D_{Mb}/D_{Ma}$  の二つのパラメータにより変化することになる。L-M-S河床の場合の結果も同一の傾向を示すことから、図中にはこの結果もあわせて示してある。ただし、図-2に示された実験の結果は、横軸にとられたパラメータではないもう一方のパラメータを同じ値に設定して行われたものではない。この図を見るに当たってはこの点に注意を要する。掃流力の低減の度合い  $\tau_{Mb}/\tau_{Ma}$  は、上記の二つのパラメータの関数として定式化され、この式の誘導を行う段階まで来ているが、これについては次の機会に報告する。

#### 4. 結論

本研究では、河床を移動する材料を二種類の粒径粒子とした実験を行うことにより、掃流砂として移動する  $M_a$  粒子がより小さな粒子に与える遮蔽効果について検討した。また、この実験結果に基づき、掃流力の低減は、 $M_a$  粒子の露出の度合いと粒径比をパラメータとした関数で表されることを報告した。

#### 参考文献：

- 1) 関根正人・平松裕基・三國寛正：三つの粒径集団からなる河床の静的安定状態に関する実験的研究，水工学論文集，第55巻，pp.733-738，2011。
- 2) 平松裕基・本合弘樹・関根正人：大礫群の間に露出する大粒径の砂礫がさらに小さな砂の移動に及ぼす遮蔽効果，土木学会論文集B1(水工学)，土木学会論文集B1(水工学) Vol.75, No.2, pp.1\_907-1\_912, 2019。

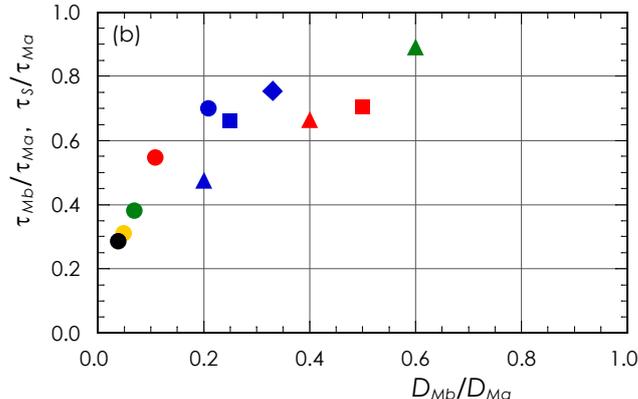
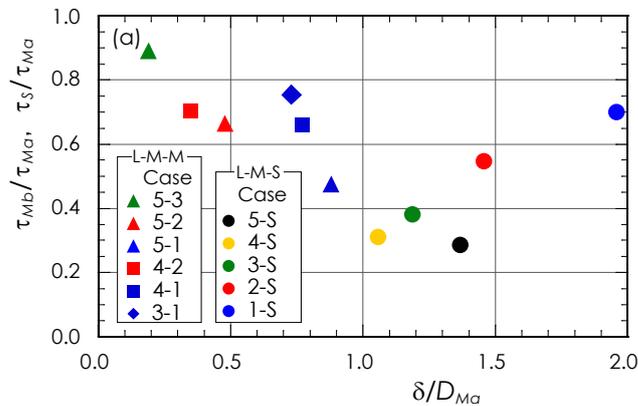


図-2  $M_a$  粒子による遮蔽効果：(a)露出の度合い  $\delta/D_{Ma}$  と掃流力の比  $\tau_{Mb}/\tau_{Ma}$ 、 $\tau_S/\tau_{Ma}$  の関係を示しており、(b)粒径の比  $D_{Mb}/D_{Ma}$  と掃流力の比の関係を示している。