

大礫床への浮遊砂の堆積および抜け落ちプロセスに関する実験的検討

国土交通省 国土技術政策総合研究所 正会員 山原康嗣, 小路剛志, 藤田光一

1. はじめに

ダム貯水池下流の河床材料特性は、下流の生物に与えるダム等の影響を評価する上で重要な現象の1つと捉えられている^{1),2)}。本研究では、ダム貯水池上下流での河床材料の比較分析結果³⁾や流砂系管理を行う上で粒径の大きく異なる礫・砂2つの粒径集団の挙動を捉える技術的枠組みが必要とされていること⁴⁾を踏まえ、図-1に示すように、動かない大礫河床上を、それより 10^2 オーダー小さい粒径の砂が浮遊卓越状態で通過する状況に焦点を絞り、大礫間の砂堆積現象について実験的検討を行った。砂の巻き上がりが礫間に部分的に存在する砂面から起こることに着目し、礫床上の浮遊砂の現象解析⁵⁾やその河床変動への組み込み⁶⁾についての既往の知見も踏まえ、特に与えた浮遊砂濃度と砂被覆面積割合との関係を計算する方法を検討した。

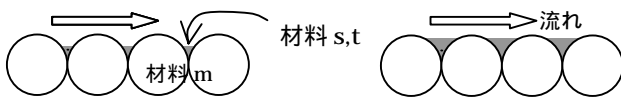


図-1 礫床上の砂流送（堆積）過程の概念図

2. 実験方法

(1) 実験装置の概要

実験水路には、長さ30m×幅1.0mの開水路を用い、そのうちの長さ17mにわたって、実河川の大礫床を再現する擬礫（径 D_m :98mmの半球）を相互に接触させて千鳥に配置した。実験水路の概要図を図-2に示す。

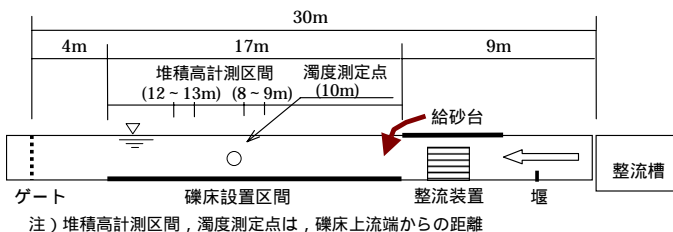


図-2 実験水路の概要

(2) 実験ケースおよび実験条件

実験は礫間への砂の堆積状況を見る 堆積過程実験と、堆積した砂が浮遊して抜け出す状況を見る 抜け落ち過程実験の二つのステージからなる。実験ケースと実験条件を表-1に示す。

堆積過程実験は、砂のない大礫床上に所定の清水流

量を流下させ、他の水理条件は変えずに投入砂量だけを段階的に上げていくというものである。各段階の土砂供給量の下で、定常状態を得てから、大礫間の砂の堆積高さを測定した。抜け落ち過程実験は、流量ケースごとに、堆積過程実験を完了した後、清水を断続通水し、通水時間と大礫間の砂の堆積の減少量を測定するものである。

表-1 実験ケース

河床勾配	砂粒径 d_s (mm)	流量 (m^3/s)	水深 (cm)	u_*'/w_0	浮遊砂平均濃度 (mg/l)	投入砂量 (kg/min)	CASE名
1/100	0.4	50	7.41	1.74	250	0.75	CASE 1
					1,000	3.0	
					2,000	6.0	
					3,000	9.0	
					4,000	12.0	
					6,000	18.0	
	0	0.0	CASE 2				
	100	11.40		2.16	250	1.5	
					1,000	6.0	
					2,000	12.0	
					3,000	18.0	
					4,000	24.0	
6,000			36.0				
0	0.0	CASE 3					
0.8	100		11.40	1.26	250	1.5	
					500	3.0	
					1,000	6.0	
					2,000	12.0	
					0	0.0	
		0			0.0		

・擬礫の径 D_m : 98mm ($d_s/D_m=0.004, 0.008$)
 ・濃度0, 投入砂量0.0は、抜け落ち過程実験時

(3) 測定条件

堆積した砂の計測は、礫床設置区間の上流端から8~9m, 12~13mの2区間について、区間内の礫間の砂面高を測定し、その平均値を堆積高または抜け落ち高とした。計測水深は礫床天端を基準とし、砂の堆積高は大礫の間の水路河床を基準とした。また、水路内の鉛直浮遊砂濃度分布は、大礫設置区間上流端から10mの地点で濁度計により測定した。

3. 実験結果

(1) 堆積過程実験の結果

各投入砂量の下で定常になった時の鉛直浮遊砂濃度の結果を図-3に示し、砂の堆積高と浮遊砂平均濃度との関係を図-4に示す。この結果、大礫間の砂の堆積高は、浮遊砂濃度の増加に伴い高くなり、礫の間を埋める砂の被覆面積は増加している。その一方で、本条件の砂投入では、礫間を埋めつくすまでには至っていない。

(2) 抜け落ち過程実験の結果

抜け落ち過程実験の結果を図-5に示す。通水開始後

キーワード 浮遊砂, 河床構成材料, 礫河道, 堆積過程, 水路実験

連絡先 〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地 環境研究部河川環境研究室 TEL 029-864-2587

しばらくは、計測区間上流側に堆積した砂の供給により、みかけの抜け落ち速度は遅いが、砂の堆積高が10mm程度以下になってからの抜け落ちは、ほぼ線形の傾向となった。

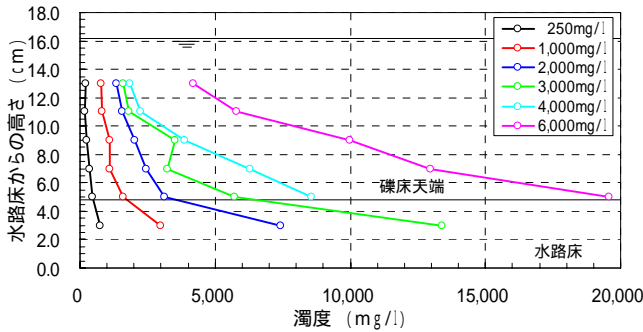


図-3 鉛直浮遊砂濃度分布の測定値 (CASE2)

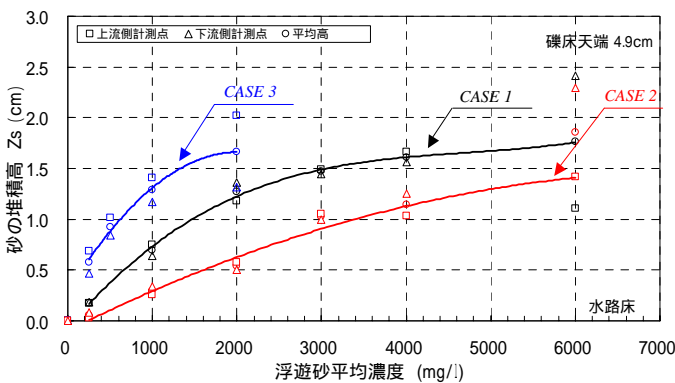


図-4 堆積高と浮遊砂平均濃度の関係：定常状態

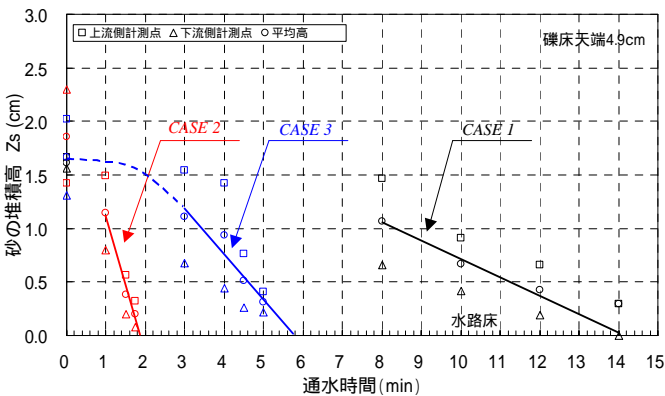


図-5 抜け落ち過程における砂の堆積高と時間変化

4. 浮遊砂濃度に応じた砂の堆積高の検討

以上の実験結果を踏まえ、砂の移動量を考慮した礫床における浮遊砂の堆積高の推定を試みる。堆積高が定常状態の場合、砂の沈降と巻き上げは釣り合っており、河床に占める砂面積率 a ($a=f(Zs/Dm)$) を考慮した次式が成立する。

$$Ca \cdot w_0 = a \cdot q_{su} \quad \dots (1)$$

ここで、 Ca ：基準点濃度（ここでは礫頂部での浮遊砂濃度）、 w_0 ：沈降速度、 q_{su} ：単位時間・単位面積あたりの巻き上げ量（ここでは、板倉・岸の式⁷⁾から算定した浮遊砂量）である。

表-1 に示したCASE1, 2 (粒径 0.4mm) について、

実測 Ca (図-3) を用いて(1)式から計算上の砂面積率を求め、幾何形状から砂堆積率 ($Zs/(Dm/2)$) に換算した計算値と実験値との比較を図-6 に示す。この結果、濃度が低いケースでは計算上堆積しない値となるなど、実測値と計算値(点線)にずれが生じている。このずれを補正するため、板倉・岸の式の摩擦速度 u_{*c} に、礫による遮蔽を考慮した係数を乗じて再度計算した。実測値を再現するように同定した補正係数は図-7 のとおりであり、堆積率と線形の関係をもつ。この関係を直線近似して計算を行うと浮遊砂量と堆積率の関係が再現できる。一方、本検討に用いた補正係数(遮蔽係数)と混合粒径による芦田・藤田の式⁵⁾の遮蔽係数を比較した場合、本検討の補正係数は高めの値となっている(図-7)。この補正係数のずれについての物理的な検討は今後の課題であり、礫の形状などの考慮が必要である。

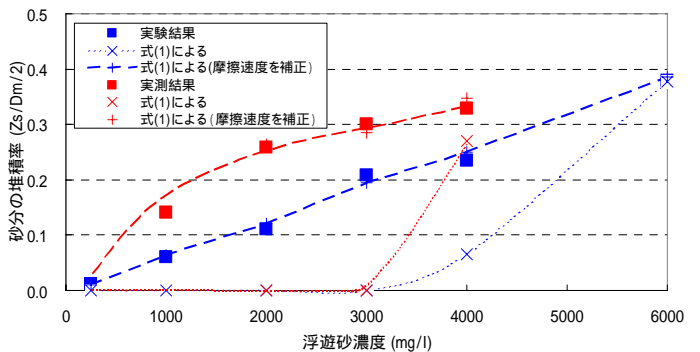


図-6 浮遊砂濃度と堆積率の関係

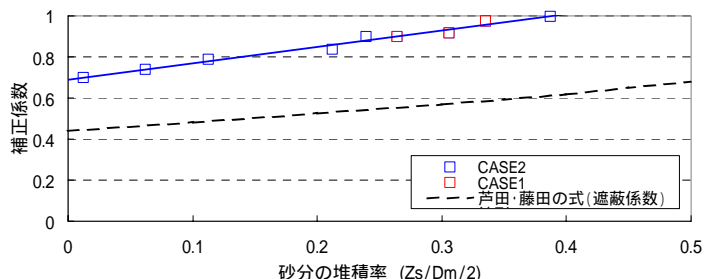


図-7 堆積率と補正係数の関係

参考文献

- 1) 辻本哲郎：ダムが河川の物理的環境に与える影響 - 河川工学及び水理学的視点から - , 応用生態工学, Vol.2, No.2, pp.103-112, 1999 .
- 2) 谷田一三,竹門康弘：ダムが河川の底生生物に与える影響, 応用生態工学, Vol.2, No.2, pp.153-164, 1999 .
- 3) 山原康嗣,藤田光一,小路剛志ほか：ダム上下流で水理条件がほぼ同様な河道区間の河床材料比較, 河川技術論文集, 第13巻, 2007 (投稿中).
- 4) 辻本哲郎,藤田光一：流砂系管理に向けての学術・技術の展開の方向, 河川技術論文集, 第10巻, 2004 .
- 5) 芦田和男,藤田正治：平衡および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/ -6, pp.107-116, 1986 .
- 6) 関根正人,矢島英明：礫・シルト充填河床モデルを用いた植生を伴う流路の変動解析 水工学論文集, 第49巻, pp.991-996, 2005 .
- 7) Itakura, T. and Kishi, T.: Open channel flow with suspended sediments, Proc. of ASCE, 106, HY8, pp.1325-1343, 1980 .