

広い混合粒径から成る河床の鉛直分級形成機構に関する研究

中央大学大学院 学生会員 ○熱海 孝寿
中央大学研究開発機構 フェロー 福岡 捷二

1. 序論

石礫河川の河床材料は、幅の広い粒径分布と多様な粒子形状を有しており、鉛直分級や大粒径粒子の遮蔽効果など、石礫河川の流砂機構に及ぼす粒径分布の影響は大きいことが知られている。著者ら¹⁾は、粒径分布が1オーダーの幅を有する粒径集団を用いて数値移動床実験を実施し、鉛直分級の形成や各粒径粒子群の運動の分析を行った。既往の研究では、1ケースだけの結果を分析していた。本研究では、初期河床構造の作成方法を変えて複数の数値実験を実施し、鉛直分級とその形成過程について分析を行った。

2. 数値移動床実験の概要

数値移動床実験に用いた実験水路の諸元は、水路長 4.01 m, 幅 1.02 m, 勾配 1/30 の直線水路である。図-1 は、河床表層の粒度分布を示している。Talbot 型の粒度分布を参考に設定し、粒径 $d=1.5\sim 20$ cm の粒度分布を設定した。図-2 は、数値解析に使用した粒子形状を示す。粒径 $d=1.5\sim 4$ cm は、図-2(a)に示す単一の球形状とした。計算速度を速める目的で、粒径 $d=6\sim 15, 17.5\sim 20$ cm は、それぞれ、図-2(b), 2(c) に示す複数の球を連結して、球形状を模した形状に設定した。初期水位は、2.0 m として与え、境界条件は、縦横断境界に周期境界条件を適用した。

表-1 は、数値移動床実験の実験条件を示す。通水開始 80 秒時点の水理量を示しており、粒子速度ベクトルの絶対値が 0.05 m/s 以下の粒子を河床粒子として平均河床高を算出した。解析の全領域で空間平均を行い水深やフルード数を算出した。数値実験は、合計 3 ケースを行った。Case1 は、粒子の重心位置に乱数を与えて投入位置を決定し、初期河床を形成した。Case2 は、初期河床を平坦にとするため、Case1 より粒子群を多めに投入した後、Case1 の初期の平均河床高以上の粒子を取り除き、平坦な初期河床を作成した。Case3 は、河床表層を細粒化する目的で、Case1 と同様に初期河床を作成した後、通水 20s に最小粒径 $d=1.5$ cm の粒子群を 5 万個追加で投入した。図-3 は、各粒径の無次元流砂量を示している。縦断距離 $x=2$ m 断面で計測し、 $t=60\sim 80$ s で時間平均した値である。Case3 は、 $d=1.5$ cm の粒子群の追加により全粒径の流砂量が増えている。数値解析法は、Fukuoka ら²⁾の解法を用い、流れは Euler 的に、粒子運動は剛体として Lagrange 的に解析する。格子幅は、最小粒径 $d=1.5$ cm を 4 分割する値に設定した。

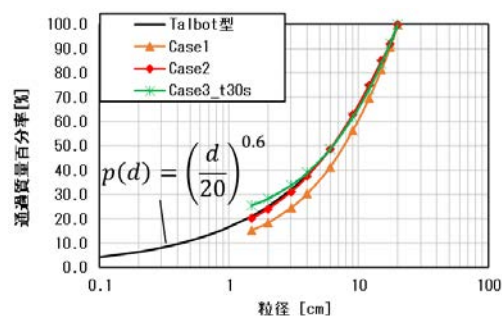


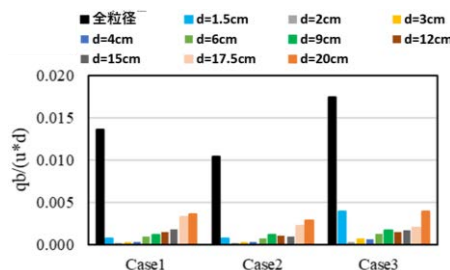
図-1 表層粒子群の粒度分布

(a) $d=1.5\sim 4$ cm (b) $d=6\sim 15$ cm (c) $d=17.5\sim 20$ cm

図-2 粒子形状

表-1 実験条件

	Case1	Case2	Case3	
流量 Q ($t=80$ s)	m ³ /s	9.51	9.90	9.77
断面平均流速 U	m/s	5.61	5.90	5.98
水深 h	m	1.66	1.64	1.60
フルード数 $U/(gh)^{0.5}$	-	1.39	1.47	1.51
摩擦速度 $(ghI)^{0.5}$	m/s	0.74	0.73	0.72
無次元掃流力 τ_* ($d=20$ cm)	-	0.17	0.17	0.16
無次元掃流砂量 $q_b/(u_*d)$	-	0.0136	0.0104	0.0174
平均河床高 z_b ($t=80$ s)	-	0.34	0.36	0.40
パッキング厚	m	0.41	0.41	0.40 ※ $t=30$ s
水路勾配 I	-	1/30	1/30	1/30

図-3 各粒径の無次元流砂量($t=60\sim 80$ s の平均値)

キーワード 石礫河川, 鉛直分級, 数値移動床

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27-31214 中央大学研究開発機構 TEL 03-3817-1615

3. 実験結果

図-4は、各高さの粒子群の重心位置の時間変化を示している。通水前の粒子群を鉛直方向5cmの層ごとに、重心位置から所属する層を分類した。図中の実線は、初期に設定した各層に所属する粒子群に対して、重心位置の鉛直方向成分を平均した値を示している。図-4(a)から小粒径粒子群は、初期に表層の高い位置にいた粒子群は、 $z=0.28\text{ m}$ に落ち込んでいる様子が確認できる。一方、表層の高い位置にいる中粒径粒子や大粒径粒子は、跳躍運動の開始と共に、鉛直方向の高い位置に遷移している。表層の高い位置にいる中粒径や大粒径粒子群が離脱し、その空隙を小粒径粒子群が埋める為、鉛直分級が形成された。また、 $z=0.25\text{ m}$ 以下の粒子群は、いずれの粒径も移動せず位置を変えていないことが確認できた。

図-5(a), (b)はそれぞれCase1とCase3の各粒径集団の体積割合の鉛直分布を示している。いずれも、通水後80sの鉛直分級が形成された時間の値である。Case3について、新たに投入した小粒径粒子群も通水により河床表層下に移動する。そして、小粒径粒子群の直上に中粒径や大粒径の堆積が生じた。この為、鉛直分級が発達した河床構造は、Case1とCase3共に類似していること図-5(a), (b)より確認できた。

4. 結論

最大粒径に対する無次元掃流力0.17程度と表層粒子が活発に移動する混合粒径数値移動床実験を行った。その結果、数十秒程度で安定した鉛直分級が形成された。本実験の数値実験条件では、初期の河床構造が違ってても、平衡状態に至った河床構造にほとんど変化がないことが分かった。

参考文献

- 1) 熱海孝寿, 福田朝生, 福岡捷二: 混合粒径数値移動床水路実験による粒子群の跳躍と鉛直分級に関する研究, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.77, No.2, pp. I_619-I_624, 2021.
- 2) Fukuoka, S., Fukuda, T., Uchida, T.: Effects of sizes and shapes of gravel particles on sediment transports and bed variations in a numerical movable-bed channel, *Advances in Water Resources*, Vol.72, pp.84-96, 2014.

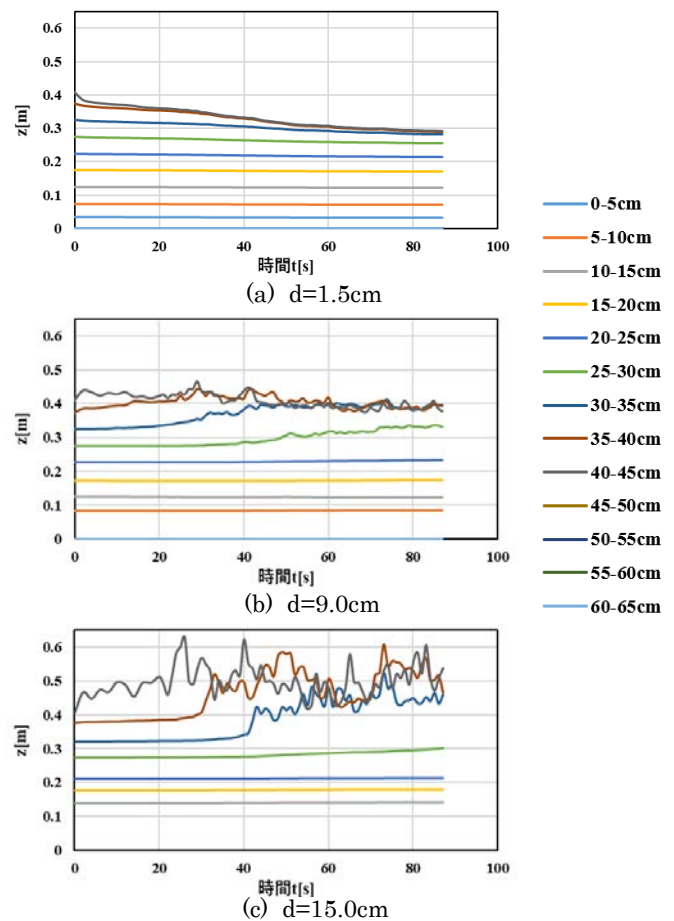


図-4 各高さの粒子群の重心位置の時間変化(Case2)

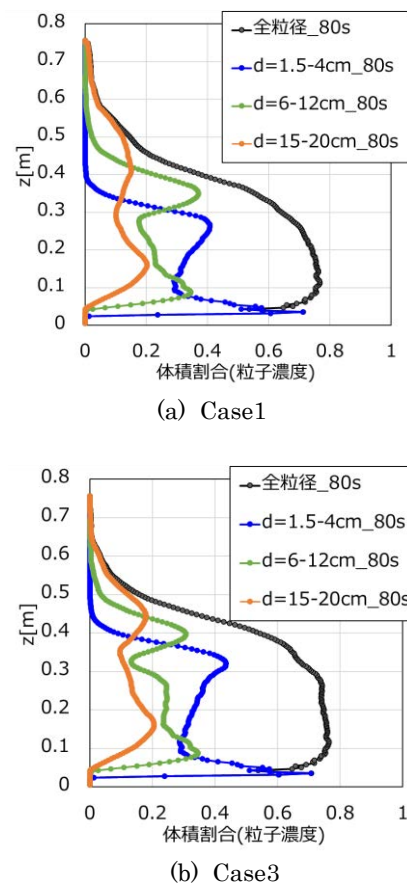


図-5 鉛直分級形成後の河床構造 (t = 80s)