

粗砂・細砂の鉛直分級と河床表層砂の粗粒化

愛媛大学工学部 正 員 鈴木幸一

J R 西日本(株) 正 員 羽野敦之

愛媛大学大学院 学生員 〇奈尾賢治

1. はじめに

河川に治水, 利水目的でダムが建設されると, ダム下流側では上流からの流砂の遮断により河床が低下し河川構造物の根入れ不足などの種々の問題を生じるが, 河床表層砂の粗粒化による河床低下の緩和も報告されている. 本研究は, ダム下流部での流砂の非平衡状態における河床低下特性と河床表層砂の粗粒化 (armoring 現象) について実験的検討を行い, その内部機構について解明することを目的としている.

2. 実験概要

実験は長さ 7m, 幅 15cm の矩形断面水路に重信川河口の自然砂をメッシュが 2cm のふるいでふるった砂 (平均粒径 $d_{50}=4.1\text{mm}$, 標準偏差 $\sigma(=\sqrt{d_{84}/d_{16}})=2.75$) を厚さ 5cm, 下流端から 5m の区間に平坦に敷き詰め移動床とし上流から給砂のない非平衡状態で行った. 表-1 に示す水理条件で通水し, 所定の時間後 ($t=0.5, 1, 2, 4, 6, 12$ 時間) に一時止水し, 河床縦断形状の測定及び移動床の粒度分析のため下流端より 0.5m 間隔で 11 箇所, 2cm 厚 (最大粒径程度) の採砂を行った.

表-1 水理条件

Run No.	勾配 I	流量 Q (l/sec)
1	1/100	6.0
2	1/100	7.5
3	1/80	7.5

3. 実験的考察

図-1 は Run3 における初期河床, 通水後 30 分および 6 時間の河床縦断形状の実測値と計算値を示している. 計算値については, 従来なされている差分化による一次元河床変動計算法によって求めたが, 実測値とかなり良く一致している. しかし, 平野¹⁾による粒径別流砂の連続式を用いて計算した河床表層砂の平均砂粒径は図-2 にみられように実測値よりかなり小さくなっている. 計算値は移動層厚 (変動層厚) を大きく変化させてもあまり変化しなかった. 実測の河床表層砂の粗粒化の程度をより詳細に見たのが図-3 であり各通水時間での河床表層砂の平均粒径 d_{ms} を元河床砂の平均粒径 d_{mo} で無次元化した d_{ms}/d_{mo} の流下方向の変化を示している. 通水初期に大きく粗粒化し, それ以降全体的に徐々に粗粒化が進行している. 各断面でややばらつきがあるが, これは均一に採砂できていないことなどによる実験誤差である. 通水初期には大きく粗粒化しているが, 通水後 2 時間以降の粗粒化はほとんど進行しておらず, ほぼ安定した armor cort が形成されたものと思われる. そして, 河床表層砂は河床が大きく低下している間も粗粒化するが, 流下方向の平均粒径の変化は顕著ではない. 河床表層は河床低下が停止した時にすでに平均粒径が元河床粒度分布の 90% 粒径程度にいたるまで

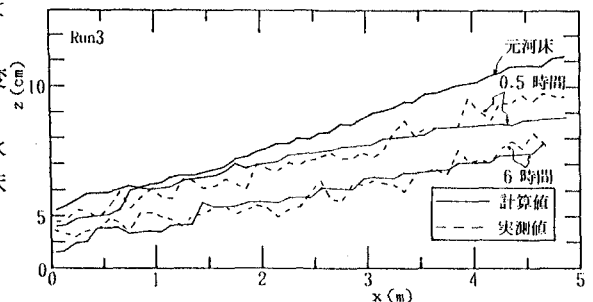


図-1 河床縦断形状の実測値と計算値

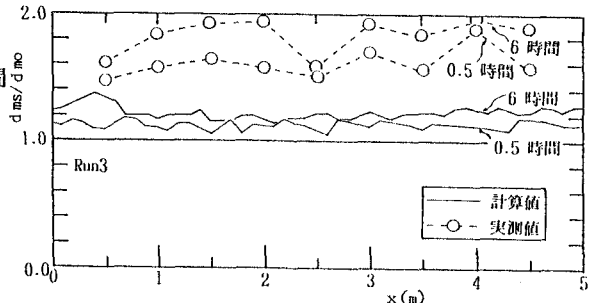


図-2 河床表層砂平均粒径の実測値と計算値

粗粒化している。Run1, Run2 についてもほぼ同様の結果を得た。しかし、初期掃流力の大きい場合には河床低下の進行が早く、また粗粒化の程度も大きくなっている。

4. 鉛直分級モデル

上述の実測での大きな粗粒化現象を説明するために河床表層移動層における粗砂・細砂の鉛直分級モデルを考える。このモデルは、粗砂の移動した後には細砂は沈み込めるが逆に細砂の移動した穴には粗砂は落ち込めないことにより生じるというものである。すなわち、河床表層砂が活発に移動している rotational degradation 時には鉛直分級が生じているとする。図-4に示すように、最大粒径を d_L とし厚さ δ の移動層中に粒径 d_i の砂は $p_{is} (= p_{io})$ だけ存在するとする。粒径の大きい方から $i = 1, 2, 3, \dots, N$ と番号をつけると分級が完全になされる (分級率 $\beta = 1$) ときは、容積 $d_L \times 1 \times 1$ の表層が大きい粒径の砂から順次入り満たされるが、粒径 d_M の砂までで満たされてしまったとすると空隙率を $\lambda_o = \lambda_s$ とし

$$p_{10}\delta + p_{20}\delta + \dots + p_{M0}\delta \equiv \sum_{k=1}^M p_{k0}\delta = d_L$$

となる。しかし、完全に分級するという考えにくく分級率を平均的に β とすると、河床表層砂 (厚さ d_L) の粒度組成 p_{is} は次式で表される。

$$i = 1 : p'_{is} = \frac{\beta p_{io}\delta}{d_L}$$

$$2 \leq i \leq M : p'_{is} = \frac{\beta p_{io}\delta}{d_L} + \sum_{k=1}^{i-1} \left\{ \frac{(1-\beta)p_{k0}\delta}{d_L} \cdot \frac{p_{io}}{\sum_{i=k+1}^N p_{io}} \right\}$$

$$M < i \leq N : p'_{is} = \sum_{k=1}^{i-1} \left\{ \frac{(1-\beta)p_{k0}\delta}{d_L} \cdot \frac{p_{io}}{\sum_{i=k+1}^N p_{io}} \right\}$$

$$p_{is} = p'_{is} / \sum_{k=1}^N p'_{is}$$

河床低下が停止した後は河床表層砂からの細砂の抜け出しによって流下方向に粒度組成が変化する水平分級が生じる。このときの河床表層砂の粒度組成は従来提案されている粒径別流砂の連続式を用いる。図-5は河床低下がほぼ停止した通水後2時間まで完全 ($\beta = 1$) に鉛直分級が生じ、それ以降水平分級が生じるとして計算した河床表層砂平均粒径の場所的・時間的変化を示したものである。図-3の実測値をかなりよく説明していることがわかる。

5. おわりに

今後、検討すべき問題として移動層厚 δ や分級率 β の決定方法などが残っている。

参考文献:

1) 平野宗夫: 土木学会論文報告集, 第195号, pp.55~65, 1971.

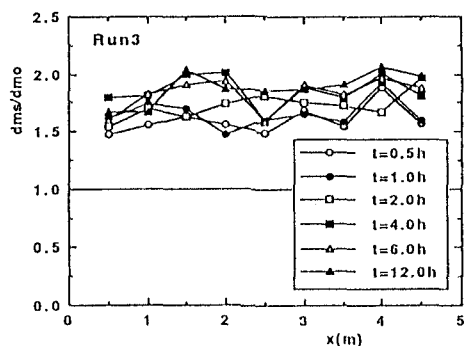


図-3 表層砂平均粒径の場所的・時間的変化 (実測値)

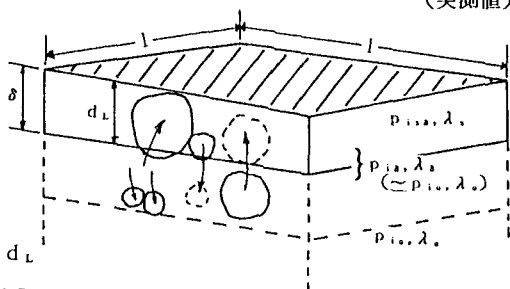


図-4 鉛直分級の模式図

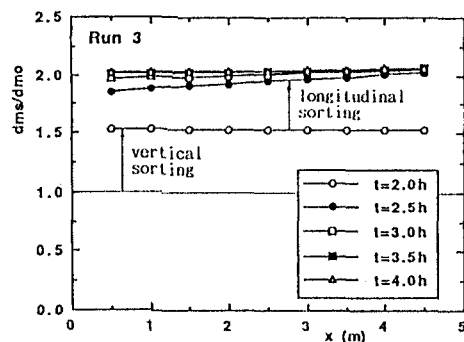


図-5 表層砂平均粒径の場所的・時間的変化 (計算値)