

II-288

河床低下に伴う armor coat の形成特性

愛媛大学大学院 学生員 岩月 章浩

愛媛大学工学部 正 員 鈴木 幸一

1. はじめに 流砂のある河川にダムが築造された場合、下流側では河床低下が問題となるが、河床表層砂の粗粒化が河床低下を抑制している。Gessler¹⁾は河床低下(rotational degradation)中は河床表層砂は粗粒化しないとしている。一方、平野²⁾は河床低下中と河床低下停止後(parallel degradation)とで粗粒化機構を分ける物理的意味が不明であるとしている。本研究では、このようなダム下流部における河床低下特性と河床低下に伴う混合砂礫河床表層砂の粗粒化(armoring 現象)を実験的に検討する。

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

2. 実験の概要と実験結果 実験は長さ 7m, 幅 15cm の矩形断面水路に自然砂を 2cm メッシュのふるいでふるった砂(平均粒径 $d_{50} = 4.10\text{mm}$, 標準偏差 $\sigma (= \sqrt{d_{84}/d_{16}}) = 2.75$) を 5m に亘り平坦に敷き詰め移動床として行った。水路上流端から給砂しない状態で表-1

に示す水理条件で通水を行い、所定の時間後 ($t = 0.5, 1, 2, 4, 6, 12$ 時間後) に一時止水し、河床縦断形状の測定および河床表層砂を下流端より 50cm 間隔で 6ヶ所から約 2cm 厚(最大粒径程度)採取しその粒度組成を測定した。

図-1 は Run3 における下流端を $x = 0\text{m}$ として上流側へ $x = 3\text{m}$ の区間の河床縦断形状の時間的変化を示したものである。最大砂粒径は 2cm であり河床表面には、粗砂の突出による凹凸が見られるが河床波は形成されていなかった。経過時間が 2 時間後 ($t = 2\text{h}$) までは、粗砂・細砂ともに流送されていて、河床は全体で大きく低下するが、下流側に比べ上流側の低下割合の方が大きいようである。それ以降は上流端では粗砂の移動は見られず河床の低下が停止し、下流側では低下率を減じながらも低下し続けており、流出量も減少していく。このため、河床勾配は初め小さくなるが上流端での低下が終了した後再びやや大きくなっている。なお Run1・Run2 についても上述の特性はほぼ同様であった。

図-2 に河床表層砂の平均粒径 d_{ms} の各時間における場所的变化を示す。 d_{ms} は通水後 4 時間後 ($t = 4\text{h}$) までは大きくなっているが、それ以降はほとんど変化していない。また、流下方向の平均的な変化はほとんど認められない。そこで d_{ms} を流下方向に平均して $\bar{d}_{ms}$ とし、その時間的変化を上流部 ($x = 3\text{m}$)、中流部 ($x = 1.5\text{m}$) および下流部 ($x = 0.5\text{m}$) の各地点における河床低下量 ($- \Delta z$) の時間的変化とともに示したのが図-3 である。河床表層砂は河床低下中も大きく粗粒化しており、上流側での低下が停止しても粗粒化は続いている。しかし、河床全体の低下がほぼ停止した状態では、安定した armor coat が形成されているようである。河床低

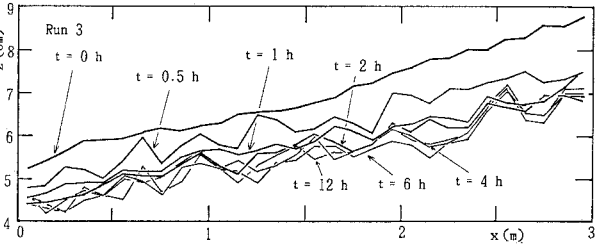


図-1 河床縦断形状の時間的変化

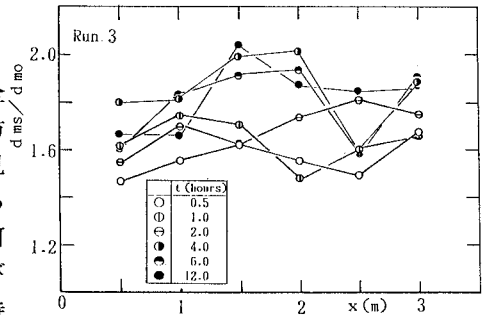


図-2 河床表層砂の場所的・時間的変化

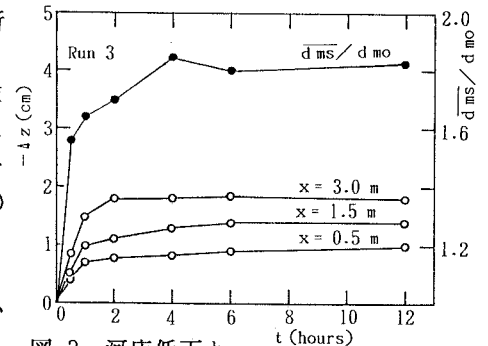


図-3 河床低下と表層平均粒径の時間的変化

下も粗粒化もほぼ終了した4時間後における摩擦速度 (Run 1: 6.8 cm/s, Run 2: 6.3 cm/s, Run 3: 8.2 cm/s) と元河床の粒度分布を用いて, Gessler の方法によって算出した粒度分布と実測値による粒度分布を加積曲線として示したのが図-4である。流量の小さい Run1 が Run2・Run3 に比べあまり粗粒化していないことがわかる。また, 計算値による粒度分布は実測値に追従しているとはいいがたく, 各Run 間の差異も見られない。すなわち, 計算による最終的な河床表層砂の粒度分布は摩擦速度というよりは元河床の粒度分布に強く支配されていると考えられ, Gessler の理論では実測の最終的な粗粒化現象も十分説明しきれない。

3. 粗粒化機構 観察によれば, armor coat の形成には2つの形態があり, 1つは Run2 および Run3 のように流量が大きく河床表層が大きく乱されて移動層厚 δ が大きい場合には細砂が抜け出して(図-5(a)) 空隙率 λ の大きい armor coat が形成される。一方, Run1 のように流量が小さく河床表層があまり乱されない場合は抜け出す細砂の他に一部の細砂が粗砂底部空間へ沈み込み(図-5(b)) 細砂の層を底部に持つ armor coat が形成される。すなわち, armor coat の形成されたときの粒度分布は河床表層がどの程度乱されたかにより変動することがわかった。

4. 河床低下と粗粒化の解析上の問題点

図-6 の記号図を用いると粒径 d_i の砂に関する連続式は

$$\frac{\partial}{\partial t} \left\{ (1-\lambda) i dz \right\} = - \frac{\partial q_i}{\partial x}, \text{ただし, } i, \lambda = \begin{cases} i_o, \lambda_o : z < \eta - \delta \\ i_s, \lambda_s : \eta - \delta < z < \eta \end{cases}$$

であり^{2) 3)}, この式を用いて河床低下および armoring 現象の解析を行う場合, 空隙率 λ_s , 移動層厚 δ および粒径別流量 q_i を精度よく推定できる方法をまず検討しなければならない。

λ_s は図-7のように粒度分布の標準偏差 σ と分布形が上に凸か下に凸のタイプを示す $p (\equiv d_{50}/d_{100})$ によって変化し, 実験的には $\lambda = \lambda_o \cdot \exp\{-\alpha(\sigma-1)^{1/2}\}$ ($\lambda_o \approx 0.4$, $\alpha : p$ によって変化する) である。⁴⁾

δ は最大砂粒径程度²⁾ が考えられているが, 静的平衡に近い armoring 現象の解析においてはほぼ妥当であろう。しかし, 粗砂も活発に移動している rotational degradation の場合には河床波が形成されることがあり, δ は最大砂粒径よりずっと大きくなると考えられ, δ と掃流力との関係(模式的には図-8)を明らかにしなければならない。

参考文献: 1) Gessler, J: Proc. ASCE, Vol.96, 1970, 2) 平野: 土木学会論文集, 第195号, 1971, 3) Parker: 土木学会論文集, 第375号, 1986, 4) 鈴木, 他: 愛媛大学工学部紀要, 第12巻, 1991

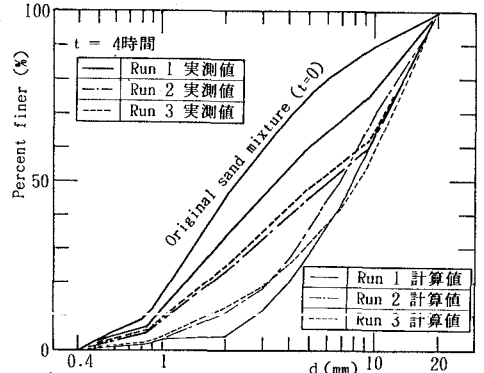


図-4 表層砂粒度分布と Gessler の方法による計算値

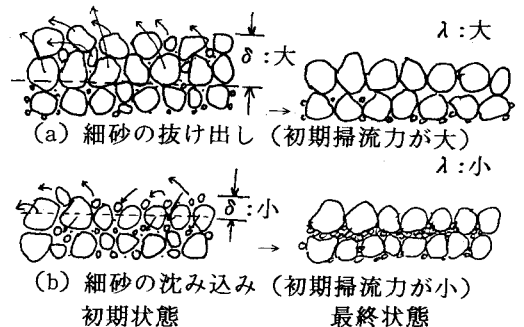


図-5 粗粒化の概念図

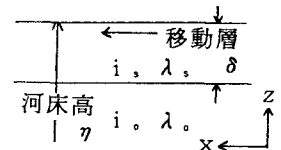


図-6 記号図

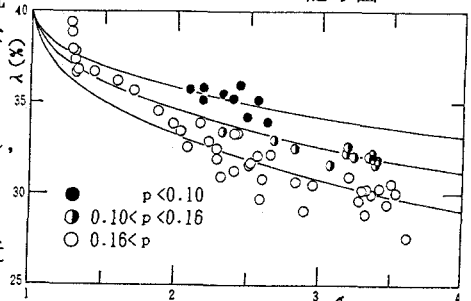


図-7 混合砂の空隙率

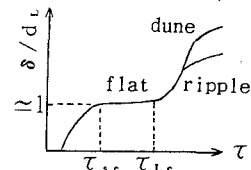


図-8 δ の大きさの概念図