

混合砂礫床の粒度分布の変化と流砂の機構

京都大学防災研究所 正員 芦田和男

京都大学防災研究所 正員 江頭進治

東京電力 正員 ○西野隆之

1 はじめに 混合砂礫床においては、アーマコートの破壊、形成に伴い流砂が質的にも量的にも大きく変動する。この様な流砂の機構を解明するには河床の粒度分布の変化機構を知ることが重要である。本報では、動的な平衡状態における河床の粒度分布について実験的検討を行うとともに、河床表面の粗粒化機構について考察する。

2 実験と実験結果の概要 実験は、図-1に示すような混合砂を、長さ9m、幅25cmにわたって敷きならし、流量 20(l/sec)のもとで、表-1に示す様に給砂量を3段階に分けて実施した。

平衡状態と判断した後、河床材料を1時間間隔で採取した。流砂は水路下流端で採取している。

図-2はRUN1-1における流砂量 Q_B と流砂の平均粒径 d_m の時間変化である。河床の状態から見て平衡状態と判断できるのは3時間過ぎである。平衡状態において流砂量は、時間的に変動しているが、その平均値は給砂量とほぼ一致している。平均粒径についても同様のことが言える。

図-3はRUN1-1における最終状態の河床の粒度分布である。河床面から深さ1cmまでの層(0-1)は他と比較して粗く、深さ1cmから深さ2cmの層(1-2)と深さ2cmから深さ3cmの層(2-3)においては逆に細かくなっている。深さ3cmから深さ4cmの層(3-4)ではほぼ初期材料の粒度分布に一致する。

実験結果を要約すれば、(1)平衡状態においては河床の粒度分布は表面の粗粒化した層と直下の細粒化した層によって特徴づけられる。(2)表面において、流砂と河床との粒子交換の際に小粒子は大粒子の間隙を通して下に落ち込む。(3)表層の粒子が流れに取り込まれない限り下層の粒子は流れに取り込まれない。以上の3点である。

3 粒度分布の変化機構 平野¹⁾の研究に代表されるような交換層の概念からみると、上述の現象は全て交換層内で起こっていると見なすことが出来る。そこで交換層内を二分割し、上層と下層における粒子交換を考えれば、河床の粒度分布の変化を表現できるはずである。図-4は、その概念図である。河床を構成する粒子の質量保存則は、粒子の移動速度を上向きの移動速度 E_i と下向きの移動速度 D_i に分ければ、

$$\frac{\partial f_i(1-\lambda)}{\partial t} + \frac{\partial E_i f_i}{\partial z} - \frac{\partial D_i f_i}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

ここに、 f_i は粒径 d_i の粒子の含有率である。

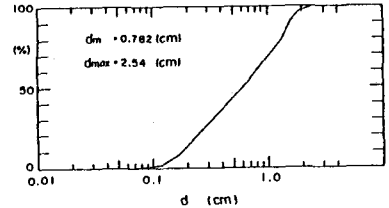


図-1

表-1

RUN NO.	1-1	1-2	1-3
Q_{BIN} (gf/sec)	35.02	87.22	10.94

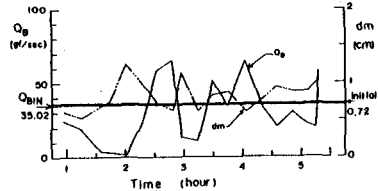


図-2

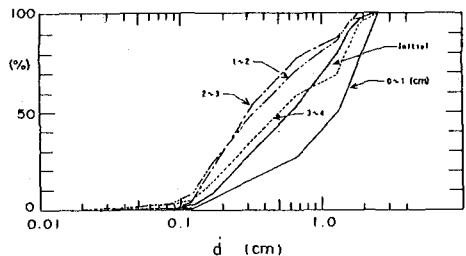


図-3

式(1)をI層、II層内で、それぞれ積分し、動的な平衡状態では

$$E_{bi} f_{xi} - D_{bi} f_{gi} = 0 \quad \text{であることを考慮すると、}$$

$$(1-\lambda) \frac{\partial (f_{xi} \delta)}{\partial t} - (E_{mi} f_{xi} - D_{mi} f_{xi}) = 0 \quad (2)$$

$$(1-\lambda) \frac{\partial (f_{xi} \delta)}{\partial t} + (E_{mi} f_{xi} - D_{mi} f_{xi}) = 0 \quad (3)$$

ここに、 f_{II} 、 f_{III} は、それぞれI層、II層における粒径 d_i の含有率、 f_{qi} は流砂中の d_i の含有率である。I層とII層の境界での移動速度 E_{mi} 、 D_{mi} のうち、 E_{mi} は河床表面の移動速度 E_{bi} に強く依存していると考えられる

ので、これを次式のように表示する。

$$E_{mi} = m \cdot E_{bi} \quad (0 < m < 1) \quad (4)$$

実験結果に基づいて、(1) E_{mi} が存在するときのみ D_{mi} が存在し、(2)粒径 d_k の粒子が、第II層からpickupされた時に $d_k > d_i$ の粒子が第II層へ移動する。(3)移動速度は d_i の射影面積に反比例すると仮定すると、 D_{mi} は

$$D_{mi} = \beta \cdot \sum_{k=i}^n E_{mk} (1 - d(\frac{d_i}{d_k})^2) \quad (i \leq k, k \leq n) \quad (5)$$

$$(1 - d(\frac{d_i}{d_k})^2) \leq 0 \text{ ならば } (1 - d(\frac{d_i}{d_k})^2) = 0$$

I層、II層の境界における連続式

$$\sum_i D_{mi} f_{xi} = \sum_i E_{mi} f_{xi} \quad \text{より } \beta \text{ は}$$

$$\beta = \frac{\sum_i f_{xi} E_{mi}}{\sum_i f_{xi} \{ \sum_{k=i}^n E_{mk} (1 - d(\frac{d_i}{d_k})^2) \}} \quad (6)$$

式(2)、式(3)による数値解 ($\alpha = 1.5$, $m = 0.5$) と実験値との比較を図5(a)~(c)に示す。流砂量の多いRUN1-2を除けば、数値解は実験値に近い粒度分布を示している。

4 おわりに 動的な平衡状態における河床表面の粗粒化は、上述のモデルによってほぼ表現が可能である。しかし、流砂量の多い場合には実験値の精度の問題もあり、なお一層の検討を必要である。

また今後は、上述のモデルに含まれる δ 、 m と水理変数との関係を究明するつもりである。

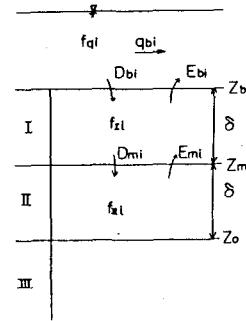


図-4

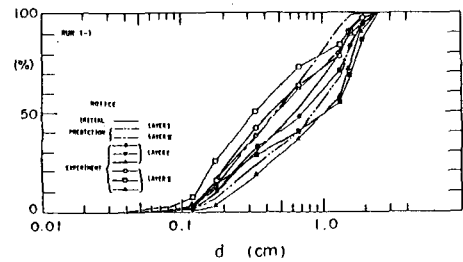


図-5 (a)

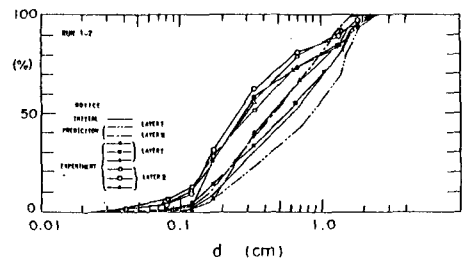


図-5 (b)

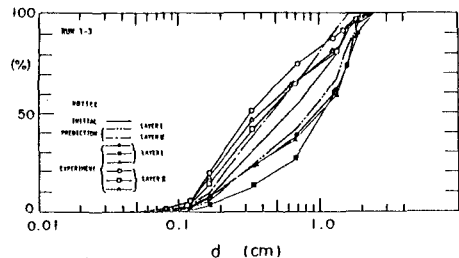


図-5 (c)