

II-128 混合砂礫床における粗粒化機構

東京電力 正員 西野隆之
 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

1 はじめに 混合砂礫床においては、アーマコートの形成、破壊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。著者らは、動的な平衡状態における河床の粒度分布について検討を行い、全粒子が移動する状態においても河床が粗粒化していることを確認した¹⁾。本研究では、非定常な流れにおいても平衡状態の場合と同様に河床表面の粗粒化が起こるかどうか、実験的検討を行うとともに、そのプロセスを表現可能なモデルの構築をはかる。

2 実験と実験結果の概要 混合砂を、長さ9m、幅25cmにわたって敷きならし、上流から、10.94 gf/sec で給砂を行いながら、流量を増加率 6 l/hで 6 l/sec から 18 l/sec まで増加させ、その後、同じ割合で 6 l/sec まで減少させた。

図-1(a)、図-1(b)は、流砂の粒度分布の時間変化を示したものである。図中のInitialは使用材料の粒度分布である。流砂中の最大径に注目すれば、流量が増加する2時間までは、河床材料の全粒径が移動し、その後流量の減少とともに、大粒子が流砂中に含まれなくなり、粒子が選択的に運ばれているのが判る。

図-2(a)、(b)は水路下流(下流端から2m)における河床表面の粒度分布である。通水後2時間の場合を除き、粒子の移動状態に関係なく河床表面が粗粒化しているのが判る。

3 粒度分布の変化機構 河床表面の粗粒化は、鈴木・道上²⁾の研究にみられるように、小粒子が大粒子の間隙から下層に落ち込むことによって起こると考えられる。平野³⁾の研究に代表されるような交換層の概念から

みると、この様な河床表面の粒度分布変化は交換層内で起こっていると見なせる。そこで交換層内を二分割し、上層と下層とで粒子交換が行なわれるように粒度分布の変化モデルを考える。図-3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 Ei と下向きの移動速度 Di に分ければ、

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

ここに、 f_i は粒径 d_i の粒子の含有率である。

式(1)をI層、II層内で、それぞれ積分すれば、

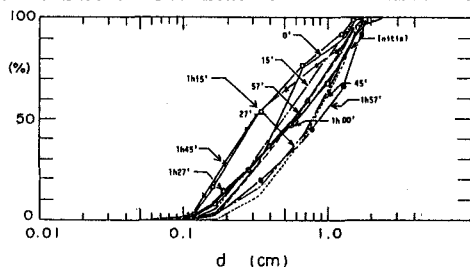


図-1 (a)

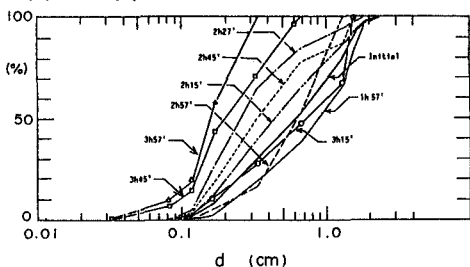


図-1 (b)

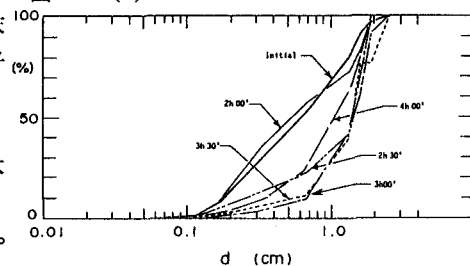


図-2 (a)

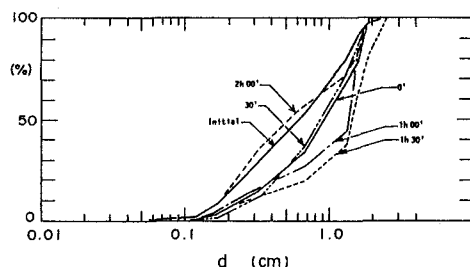


図-2 (b)

$$(1-\lambda) \frac{\partial (f_{i,i} \delta)}{\partial t} = (1-\lambda)(f_{i,i} - f_{i+1,i}) \frac{\partial Z}{\partial t} - E_{bi} f_{i,i} + D_{bi} f_{q,i} + E_{mi} f_{i+1,i} - D_{mi} f_{i,i} \quad (2)$$

$$(1-\lambda) \frac{\partial (f_{i+1,i} \delta)}{\partial t} = (1-\lambda) X_i \frac{\partial Z}{\partial t} - E_{mi} f_{i+1,i} + D_{mi} f_{i,i} \quad (3)$$

$$X_i = f_{i,i} - f_{i+1,i} \quad \left(\frac{\partial Z}{\partial t} \geq 0 \right) \quad X_i = f_{i+1,i} - f_{i,i} \quad \left(\frac{\partial Z}{\partial t} < 0 \right)$$

ここに、 $f_{i,i}$ 、 $f_{i+1,i}$ 、 $f_{i+1,i}$ は、それぞれI、II、III層における粒径 d_i の含有率、 $f_{q,i}$ 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。

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

実験結果に基づいて、次のように仮定する。(1) E_{mi} が存在するときのみ D_{mi} が存在する。(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 と d_k の射影面積比に依存する。以上より、 D_{mi} は、

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

$$(1 - \alpha \left(\frac{d_i}{d_k} \right)^2) \leq 0 \quad \text{ならば} \quad (1 - \alpha \left(\frac{d_i}{d_k} \right)^2) = 0$$

I層、II層の境界における連続式

$$\sum_{i=1}^n D_{mi} f_{i,i} = \sum_{i=1}^n E_{mi} f_{i+1,i} \quad \text{より} \quad \beta \text{は}$$

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n f_{i+1,i} E_{mi}}{\sum_{i=1}^n f_{i,i} (\sum_{k=i}^n E_{mk} (1 - \alpha \left(\frac{d_i}{d_k} \right)^2))} \quad (6)$$

河床変動計算に上述のモデルを組み込んだ数値計算結果($\alpha=1.5$, $m=0.5$)と実験値との比較を図4(a)~(c)に示す。(a)~(c)はそれぞれ通水1時間後、2時間後、3時間後の河床表面の粒度分布を示したものである。流砂量の多い2時間後を除けば、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 河床表面の粗粒化は、全粒子が活発に移動する状態でも起こっているようであり、上述のモデルでほぼ証明できる。このモデルによれば流砂量がかかなり大きくても河床表層は粗粒化するが、上述の2時間のデータにはこうした傾向は見られなかった。このような条件において河床表層の粒度分布が実際にはどうなっているのかは、なお一層の検討が必要である。

参考文献

- 1) 芦田和男、江頭進治、西野隆之 混合砂礫床の粒度分布の変化と流砂の機構 土木学会関西支部講演概要集
- 2) 鈴木幸一、道上正規 混合砂礫河床の粗粒化と流砂量 第32回水理講演会論文集3) 平野 宗夫 armoringをとまなう河床低下について 土木学会論文報告集 195号

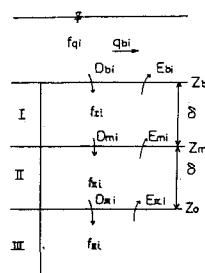


図-3

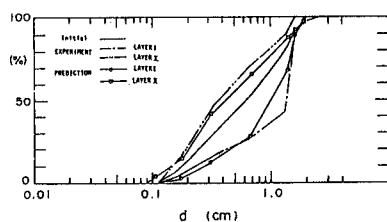


図-4 (a)

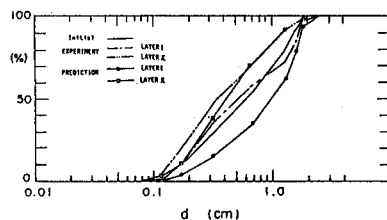


図-4 (b)

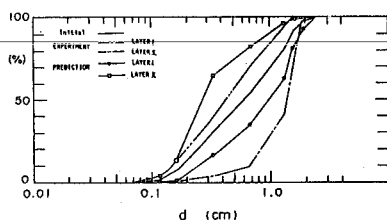


図-4 (c)