

II-142 河床における粒度分布の形成機構

建設省 正 高村裕平
 京都大学防災研究所 正 芦田和男
 京都大学防災研究所 正 江頭進治

1. はじめに 最近、全砂礫が移動する状態においても河床表層が粗粒化していることが指摘され、しゃへい係数の見直しを行うことによって、この現象の説明が行われている。¹⁾²⁾これに対し、芦田・江頭³⁾らは、選択的輸送の概念に加えて粒子層の中での粒子交換を考えて粗粒化現象の解析を行っている。本研究では、粗粒化現象に対するこのモデルの適用性および従来の選択的輸送モデルとの相違点について検討する。

2. 粒度分布の形成モデル 河床を構成する砂礫層を図-1のようにモデル化すれば、第1、2層における d_i の質量保存則は次式のように導かれる。³⁾

$$\frac{\partial f_i^1}{\partial t} = \frac{F_i^1}{\Delta} \frac{\partial z_b}{\partial t} - \frac{1}{(1-\lambda)\Delta} \{ (E_{ib}f_i^1 - D_{ib}f_i^1) - (E_{im}f_i^2 - D_{im}f_i^1) \}$$

$$\frac{\partial f_i^2}{\partial t} = \frac{F_i^2}{\Delta} \frac{\partial z_b}{\partial t} - \frac{1}{(1-\lambda)\Delta} (E_{im}f_i^2 - D_{im}f_i^1)$$

$$F_i^1 = \begin{cases} -f_i^1, (\partial z_b / \partial t > 0) \\ f_i^1 - f_i^2, (\partial z_b / \partial t < 0) \end{cases} \quad F_i^2 = \begin{cases} f_i^1 - f_i^2, (\partial z_b / \partial t > 0) \\ f_i^2 - f_i^1, (\partial z_b / \partial t < 0) \end{cases}$$

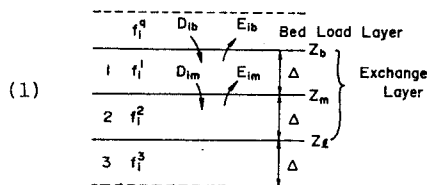


図-1

ここに、 f_i^1, f_i^2, f_i^3 は、第1、2層および、流砂における d_i の含有率、 λ は間隙率、 E_i, D_i は粒子移動速度の上向きおよび下向き成分で、添字 b は河床面、 m は第1層と第2層との境界を意味する。 Δ は各層の厚さ、 $\Delta = d_{max}/2$ (d_{max} は最大径)である。河床変動がない場合には、第2層と第3層との境界 $Z = Z_m$ において砂粒子の移動はない。このモデルは $E_{ib}, E_{im}, D_{ib}, D_{im}$ が与えられると閉じる。そこで、 E_{ib} には中川・辻本⁴⁾の研究成果を適用し、さらに、 $E_{im} = \alpha E_{ib}$ ($\alpha \leq 0.5$)とする。また、 $D_{ib} = q_b / (l_i f_i^1)$ (l_i はstep-length)とおき、 D_{im} についてはつぎのように考える。第2層から粒径 d_k の粒子が第1層へ移動したとき、第1層からこれより小さい成分が落ち込むものとし、これを次式で推定する。

$$D_{im} = \gamma \sum_{k=i}^n E_{km} \left\{ 1 - \beta \left(\frac{d_i}{d_k} \right)^2 \right\}, \quad 1 - \beta \left(\frac{d_i}{d_k} \right)^2 = 0, \quad \left(\beta \left(\frac{d_i}{d_k} \right)^2 > 1 \right) \quad (2)$$

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^n E_{im} f_i^2 / \sum_{i=1}^n \left[f_i^1 \sum_{k=i}^n E_{km} \left\{ 1 - \beta \left(\frac{d_i}{d_k} \right)^2 \right\} \right]}$$

ここに β は係数 ($\beta \geq 1$) で、 $\beta = 1 \sim 1.5$ 程度の値である。

本モデルによれば、河床変動がない場合には第1層の粒度分布変化は、流砂との粒子交換および第2層との粒子交換によって起こり、第2層のそれは、第1層との粒子交換によって起こる。したがって、全粒子が活発に移動し、流砂量とその粒度分布が変化しない平衡状態においても河床表面近傍は粗粒化し、その下層に細粒化した層が形成されることが表現されている。

図-2は、平衡状態における第1層と第2層の平均粒径の変化を見たものである。計算条件は、最大径 2.5cm、初期平均粒径0.782cm、 $q_b = 0.528 \text{ cm}^2/\text{s}$ などである。平均粒径の平衡値は、 q_b, α, Δ には殆どよらず、境界における粒子交換条件を規定する係数 β のみに依存し、図示のような曲線を描く。

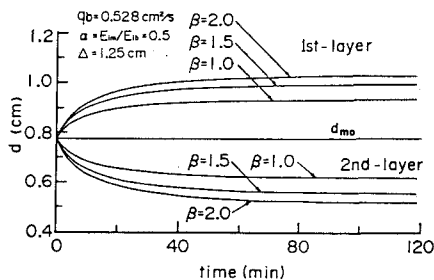


図-2

3. 水路実験への適用 幅25cmの水路に最大径10mm、平均粒径3.02mmの砂礫を長さ7.8m、勾配0.0145に敷きならし、給砂なしの条件で流量 $q = 267 \text{ cm}^2/\text{s}$ を通水し、下流端流砂量とその粒度分布、河床材料の粒度分布を調べた。河床材料の採取は、上流端より 2m、4m、6m 付近で深さ方向に3層行っている。各層の採砂

厚は最大径の 1/2 になるように配慮したが、実際には、5~7 mm 程度であった。この実験に対し、上述のモデル(便宜上 Two-layer model と呼ぶ)および従来の選択的輸送モデル(One-Layer model)を適用し、流砂量、流砂の粒度分布、河床砂の粒度分布等を解析しよう。なお、One-layer model は式(1)において $\Delta \rightarrow 2\Delta$, $E_{im} = D_{im} = 0$ と置いたものであって、従来のものに一致する。計算に当たって、粒子の移動限界は芦田・道上⁵⁾の修正 Egi azaroff 式によって推定し、層厚は $\Delta = d_{max}/2 = 5\text{mm}$ としている。

図-3 は下流端流砂量、図-4 は流砂の粒度分布に関する実験値と計算値を示している。流砂量についてみると、いずれのモデルも流砂の通減部において若干の問題が残るが、One-layer model においてその傾向は著しい。粒度分布については、両モデルとも大局的には実験値を再現しているが、粒径の大きい部分において Two-layer の方が良好な結果を得ている。

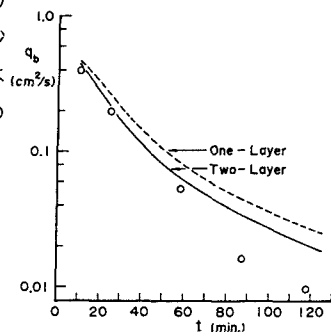


図-3

One-layer と Two-layer とにおけるこのような結果の違いは、河床表層の粒度分布の形成過程の相違に起因している。

図-5 は、上流から 2、4、6m における河床表層の平均粒径の時間変化を示したものである。実験値と各モデルとの比較に当たっては、表層の厚さが互いに異なっていることに留意が必要であるが、実験値は、Two-layer model によってよく再現されている。なお、実験初期の平均粒径は計算値に比べてかなり小さくなっている。これは、輸送過程にある流砂が、給水停止に伴って河床表面に堆積するからであると推察される。

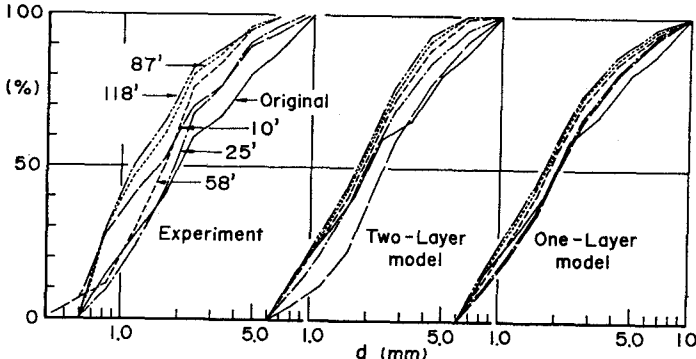


図-6 は、 $x = 4\text{m}$, $t = 126.5$ 分のデータについて、第 1 層(表層)と第 2 層における粒度分布について、実験と計算値を比較したものである。採砂厚と計算における層厚との違いはあるものの、第 1 層の粗粒化と第 2 層の細粒化は、計算によってかなりよく再現されている。

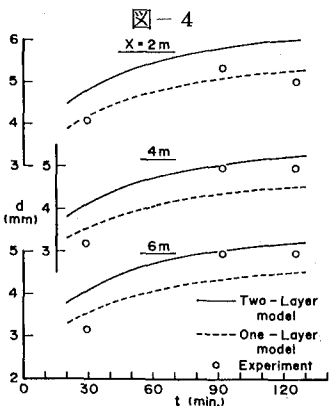


図-5

4. あとがき 平衡状態における表層の粗粒化や非平衡状態における粗粒化が Two-layer Model によって説明できることが判明した。今後、表層の粗粒化と流砂機構との問題について検討したい。

参考文献

- 1) Parker, G; 粗粒化について、土木学会論文集、375号、II-6、1986.
- 2) 鈴木・加藤; 動的平衡状態における混合砂礫河床表層の粗粒化、水理講演会、1989.
- 3) 芦田・江頭・西野; 混合砂礫床の粒度分布変化と流砂の機構、京大防災研年報、31号B-2、1988.
- 4) 中川・辻本; 水流による砂礫の移動機構に関する基礎的研究、土木学会論文集、244号、1975.
- 5) 芦田・道上; 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究、土木学会論文集、206号、1972.

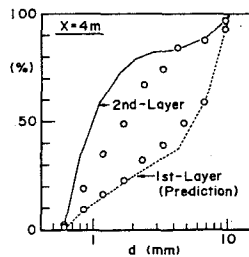


図-6