

II-277

Bed Material Load の流送特性に関する研究

早稲田大学大学院
早稲田大学理工学部小川田大吉
関根 正人

1. はじめに

Bed Material Load は従来より掃流砂・浮遊砂の二つに分け、各々について研究が進められてきた。この際、浮遊砂の輸送は拡散として扱われ、かつ、河床とは分離して考えられてきた。そこで、土砂の濃度拡散係数や基準点濃度を合理的に評価することができない。これに対して、著者らは、掃・浮遊砂を分離するのではなく、同一の運動方程式に基づいて一括して解析することを提案し、運動軌跡に及ぼす水の乱れの影響、掃流砂から浮遊砂への遷移が起る限界や、浮遊砂が卓越する限界などについて明らかにした¹⁾。本論では、前報でのモデルを洗練化するとともに、Bed Material Load としての土砂の濃度分布や移動速度分布といった流送特性について検討した。

2. 数値シミュレーション

本論で用いたモデルは、前方で用いたモデルとおおむね同じである。詰まり、水の乱れを考慮しつつ、土砂粒子を球形とみなし、その質点における運動方程式を用いて、土砂の運動を追跡するものである。ただし、本研究では、Bed Material Load の流送特性について解析することを目的とするため、水の乱れのモデルを次に述べるように洗練化した。

すなわち、主流方向、鉛直方向の乱れ強度 σ_u, σ_w は、中川・禰津の結果²⁾を参考にして次のような式を用いた。

$$\sigma_u = 2.30u_* \cdot \exp(-z/h), \sigma_w = 1.27u_* \cdot \exp(-z/h)$$

このような乱れ強度のもとで、乱れ成分の確率密度は正規分布をとり、主流方向成分 $u'_f(t)$ は、 δt 時間前の $u'_f(t-\delta t)$ と自己相関関係をもつ。その自己相関係数は、 $\rho_f = \exp(-\delta t/T_L)$ として与えられるが²⁾、式中のLagrange 的時間スケール T_L は、禰津らによれば²⁾、次のように与えることができる。

$$T_L = \begin{cases} 1.3 \frac{\alpha}{\sigma_u} \sqrt{zh} & (z/h \leq 0.6) \\ \frac{\alpha}{\sigma_u} h & (z/h > 0.6) \end{cases}$$

さらに、鉛直方向の乱れ成分 w'_f は、 u'_f と相関関係があり、相互相関係数 ρ_{uw} は $\rho_{uw} = -0.342(1-z/h)/\exp(-2(z/h))$ のようになる。

以上に述べた各値を用いて、マルコフ連鎖の考え方のもとに主流、鉛直方向の乱れ成分の確率密度分布関数は、次のようになる。

$$p(u'_f(t)|u'_f(t-\delta t)) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma'_u} \exp\left[-\frac{(u'_f(t)-m_u)^2}{2\sigma'^2_u}\right], \quad p(w'_f(t)|u'_f(t)) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma'_w} \exp\left[-\frac{(w'_f(t)-m_w)^2}{2\sigma'^2_w}\right]$$

ここで、 $\sigma' = \sqrt{1-\rho_f^2} \times \sigma_u, m_u = \rho_f u'_f(t-\delta t), \sigma'_w = \sqrt{1-\rho_{uw}^2} \times \sigma_w, m_w = \rho_{uw}(\sigma_w/\sigma_u) \times u'_f(t)$ である。

本モデルの上記以外の詳細については、前報を参照されたい。今回は、表-1にあるような設定条件のもとに、数値模擬を多数回行い、Bed Material Load の流送特性についての解析を行った。

3. Bed Material Load の流送特性

本研究が対象としているのは、表1に示すように、case1からcase2に向かって、掃流砂が卓越する流れから、浮遊砂の卓越する流れへと遷移していく領域における、Bed Material Load の流送特性である。図1には、各条件に対して得られた存在確率密度を、図2には、移動速度の鉛直方向分布をそれぞれ示している。また、図2中の破線は、水の主流速分布である。この図より、土砂の移動速度に不連続性は見られず、鉛直方向に一様化していることがわかる。これは、掃流砂が卓越すると考えられてきた底面近傍の領域での土砂の移動速度は水の流速

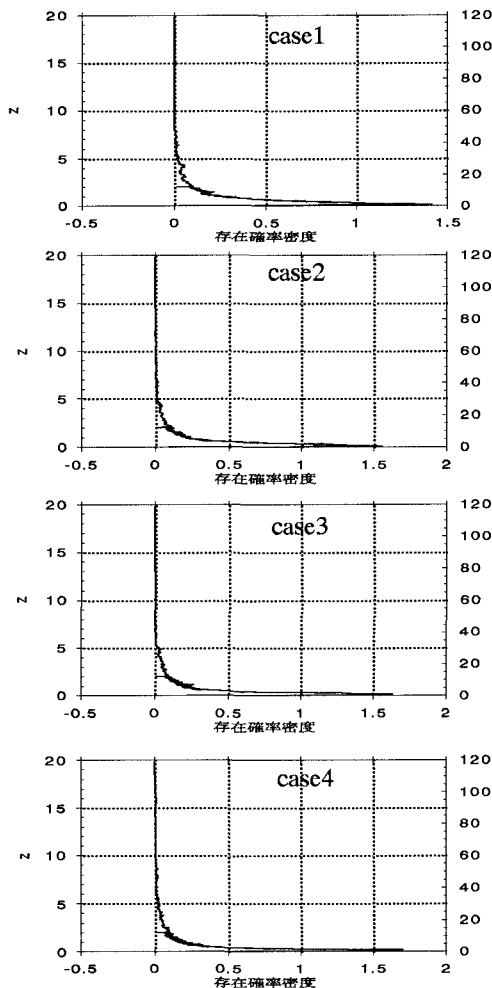


図1：各条件における存在確率密度

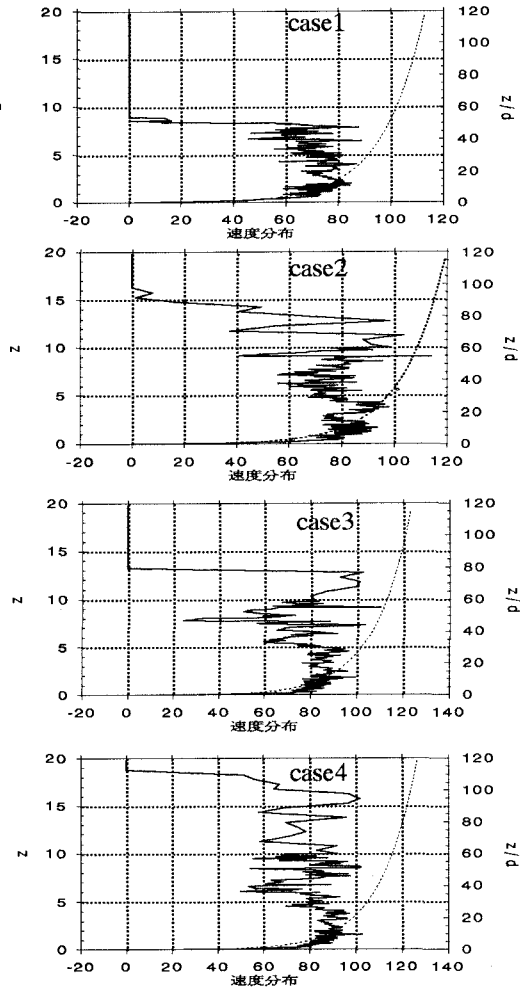


図2：各条件における速度分布

に比べてかなり遅いとされてきた従来の結果と結果とは異なり、この領域の土砂の移動にも水の乱れの影響が顕著に効くことを表している。

	case1	case2	case3	case4
u^*/w_0	0.4	0.6	0.8	1
粒径 (mm)	0.876	0.571	0.44	0.366

表1：計算の設定条件（ただし全て水深は20cm）

4. おわりに

本論では、Bed Material Load の流送特性を明らかにするために、前報のモデルを修正した数値シミュレーションを行った。その結果、以下のことが明らかになった。すなわち、掃・浮遊砂が混在する流れにおいては、底面近傍で特に掃流砂として移動すると考えられてきた区域でも、土砂の移動に乱れが顕著に効き、移動速度がこれまで言われてきた値より大きくなるとともに、水深方向に一様化する結果となった。このことは、掃流砂量と、基準点濃度を基に算出される浮遊砂量との和で全流砂量を算出するという従来の理論では、掃流砂量すら精度よく予測されない恐れがあることを示している。なお、本研究で示した計算結果は十分な量のデータによるものとは言い難く、結果の信頼性に問題が残されていることも確かである。この点に関しては、モデル自体の検証とともに今後検討していく予定である。

参考文献

- 1) 関根・小川田：掃・浮遊砂が混在する流れにおける土砂の運動に関する研究、水工学論文集、第38巻、pp.597-602, 1994.
- 2) 中川・辻本：移動床流れの水理、pp.40-107, 技報堂.