

混合砂れき床面の動的粗粒化に関する基礎的研究

金沢大学 工学部 正員 辻本 哲郎
 金沢大学 大学院 学生員 ○本橋 健
 岡田建築設計事務所 手島 一浩

1. まえがき

従来考えられてきた粗粒化現象 (armoring) は、上流および周辺からの給砂がまったくないとする静的粗粒化がほとんどである。しかし現実には、側岸がくずれることなどにより、絶えず河床の初期粒度分布と同じ砂が供給されているので、いわゆる動的粗粒化として取り扱うことが望ましい。そこで本研究では、混合砂れき床面における動的粗粒化の伝播過程モデルを考え、これによる数値計算結果に対し考察を加えた。

2. 動的粗粒化の伝播過程モデル

まず、解析モデルとしては、中川ら¹⁾が、粒径別 pick-up rate と粒径別 step length の概念を用いて記述した静的粗粒化の伝播過程モデルをもとにして、図-1 のように、移動床部分の上流に同一の初期粒度分布 P_{i0} ($i=1,2,\dots,5$: 粒度クラス) を有する給砂源を想定したものをを用いた。給砂源の部分の長さは最大粒径の平均 step length (粒径の約30倍) の 3~4 倍程度である。また移動床部分は時間経過とともに P_{i0} から $P_i(t)$ へと変化するが、給砂源の部分の粒度分布は時間によらず一定とする。ここで、最も重要な要素である粒径別無次元限界掃流力 τ_{*ci} は、中川ら²⁾によって提案された次式を用いた。

$$\frac{\tau_{*ci}}{\tau_{*c0}} = \begin{cases} \left\{ \frac{\ln 19 / \ln (19 \cdot \zeta_i)}{\ln 19} \right\}^2 & (\zeta_i > 0.4) \\ 0.85 / \zeta_i & (\zeta_i \leq 0.4) \end{cases} \quad \dots (1)$$

ただし、 τ_{*c0} は均一砂に対する無次元限界掃流力で、 $\tau_{*c0} = 0.05$ とする。また、 $\zeta_i = d_i / d_m$ (d_i : 第 i クラスの粒径、 d_m : 平均粒径) である。一方、給砂源の部分から第 k 区間に落下する第 i クラスの単位時間当りの給砂量 (個数) を \bar{Q}_{ik} とすると、

$$\bar{Q}_{ik} = \frac{P_{i0} \cdot \Delta x \cdot l}{A_2 \cdot d_i^2} \cdot P_{si} \cdot \mu_{ik} \quad \dots (2)$$

ただし、 A_2 : 砂の 2 次元形状係数、 P_{si} : 混合砂の粒径別 pick-up rate、 μ_{ik} : 粒径別 step length の分布確率のうち第 k 区間に落下する確率である。ここでは、給砂量を \bar{Q}_{ik} / N ($N=1,2,\dots,\infty$) のように変化させ、その影響を検討する ($N=\infty$ のときは静的粗粒化)。このとき、静的粗粒化の場合の基礎式にこのような給砂の項が付加されることになり、動的粗粒化における砂の収支式は次式のように表される。

$$n_{ik}(t+\Delta t) = n_{ik}(t) - \Delta M_{ik}(t) + \Delta Q_{ik}(t) + \frac{P_{i0}}{d_i^2} \sum_{j=1}^5 [\{ \Delta M_{jk}(t) - \Delta Q_{jk}(t) \} d_j^2] + \bar{Q}_{ik} \cdot \Delta t / N \quad \dots (3)$$

ここで、 n_{ik} : 河床表面に露出している砂の個数、 ΔM_{ik} : 微小時間 Δt の間に床面から離脱する砂の個数、 ΔQ_{ik} : 同じく床面に落下する砂の個数であり、それぞれの時刻 t における値を表している。

3. 数値計算結果とその考察

次に、上述のモデルを用いて、粗粒化の伝播過程についての数値計算を行った。計算に用いた混合砂は、0.1 ~ 1.0cm の粒径を 5 クラスで代表させたものである。また水流の摩擦速度は、混合砂の 70% 粒径に対する限界摩擦速度である 6.36cm/sec とした。図-2 は、移動床の上流端における粒度分布の時間的変化であり、給砂量の違いによって粗粒化の程度が変化していることがわかる。また、図-3 は、平均粒径の時間的変化を示したものであり、上流から下流へ粗粒化が伝播してゆく様子がよく読みとれる。図-4 は、給砂量の違いによる最終平均粒径 d_{mf} の変化である。これによると、 $N=10$ 以下で急激に静的粗粒化から動的粗粒化へと遷移しているようである。図-5 は、粒径別流砂量の時間的変化で、比較的小さい粒径のものは早い

時間に流砂量が減少している。またNの大きい場合、最終的にはほとんど静的平衡状態で粗粒化が停止していることがわかる。一方、図には示されていないが、 $N=1$ (100%給砂) のとき、いわゆる動的平衡状態が生じ、プロセス全体を通じて初期粒度分布 P_{i0} のままであることも確かめられた。図-6は、流砂量の粒度分布の時間的変化の一例である。Parker³⁾は、粗粒化の末期には流砂量の粒度分布 f_i は p_{i0} に近づくと報告しているが、今回の計算結果では必ずしもそのような傾向は見られなかった。

4. あとがき

本報では、静的粗粒化の研究を進展させる形での動的粗粒化に関する理論的検討を行ったが、これらについては、実験的に検証する必要があるが、今後の課題としたい。また、河床上昇する場合の粒度分布の取り扱いや armor coat の破壊の問題など、解決すべき点も多いが、複雑な非平衡流送過程をとまなう動的粗粒化の基本的特性を説明するためには十分な結果が得られた。

- <参考文献> 1) 中川・辻本・原：京都大学防災研究所年報，第20号 B-2，1977。
 2) 中川・辻本・中野：第25回水理講演会論文集，1981。
 3) Parker：土木学会論文集，第375号 II-6，1986。

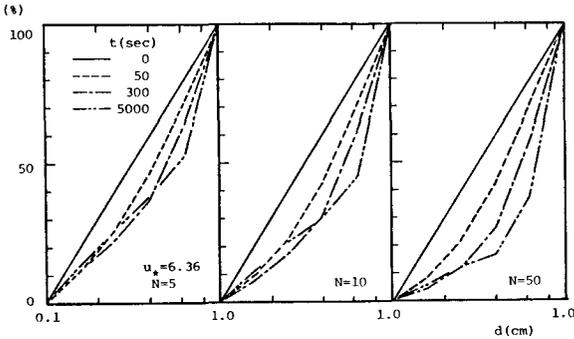


図-2 粒度分布の時間的変化

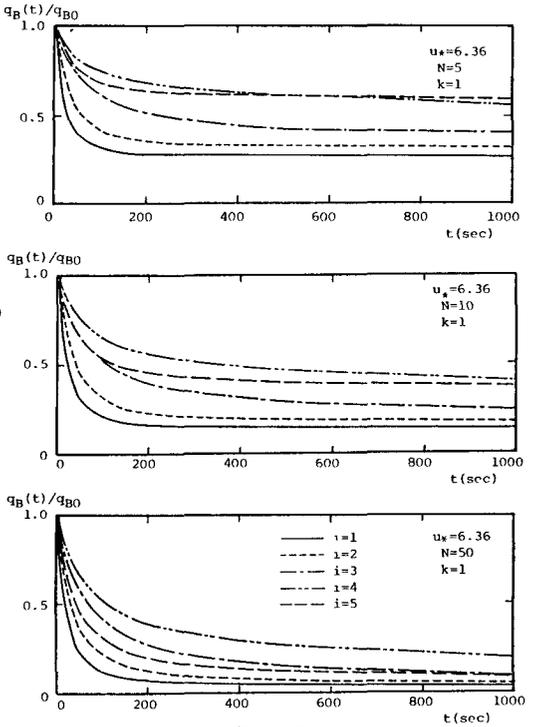


図-5 流砂量の時間的変化

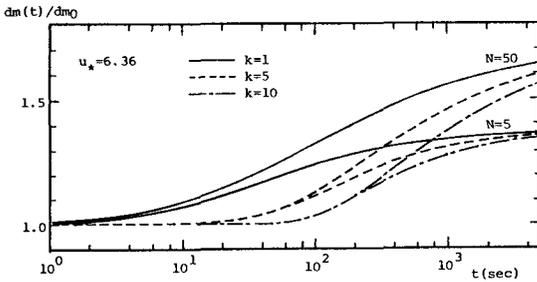


図-3 平均粒径の時間的変化

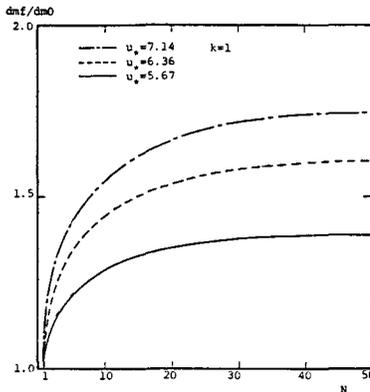


図-4 最終平均粒径

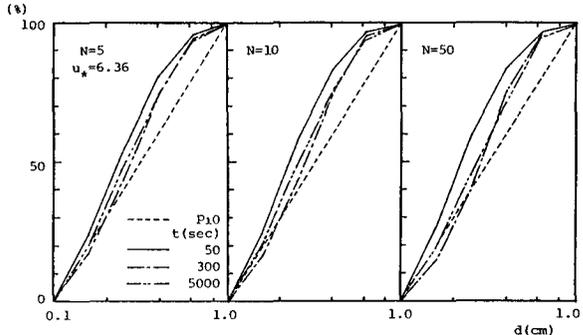


図-6 流砂量の粒度分布の時間的変化