

各種混合粒径モデルが河床変動・粒度変化計算に与える影響について

北海道大学工学院環境フィールド学専攻 学生員 ○有田 圭吾

北海道大学工学研究院 正会員 岩崎 理樹

1. はじめに

河床の土砂は通常様々な粒径を持った混合砂である。土砂はそれぞれの粒径ごとに移動し、河川地形と粒度分布が相互に影響することで変化する。河川地形や粒度分布の予測は治水や環境保全といった点から重要である。しかしながら、混合粒径からなる土砂移動をモデル化することは容易ではない。これまで数多くのモデルが提案されているものの、これらを河床変動・粒度変化解析に適用した際の特性の分析や結果の不確実性評価が求められている状況である。

これらの背景の下、本研究では既に提案されている混合粒径モデルの比較、評価を目的とし、Orrú et al., 2016 による実験¹⁾を基に、三峰性の粒度分布を持つ一次元混合砂河床を再現し、各モデルについて数値計算を行い、モデルの比較、検討を行った。

2. 混合粒径モデル

混合粒径モデルの特徴は、主に遮蔽効果と掃流砂量の評価にある。本研究では、これらとともに、代表粒径の定義の違いについても比較し検討している。

2. 1 代表粒径

河床変動計算においては、算術的な平均 D_m だけでなく、粒径を対数にとり平均化した幾何平均 D_{sg} を代表粒径に用いる。

2. 2 遮蔽効果

遮蔽効果とは、異なる粒径をもつ粒子の干渉によって粒子の移動限界が粒径ごとに変化していく現象のことである。土砂の移動限界は無次元掃流力 τ^* を用いて評価される。これは土砂を移動させるせん断力である掃流力 τ を無次元化した変数である。また、移動しない最大の τ^* を無次元限界掃流力 τ_c^* という。本研究では遮蔽効果式としてEgiazaroff²⁾式、浅田³⁾の式、芦田・道上⁴⁾の式を用いた。なお、代表粒径における無次元限界掃流力は、岩垣⁵⁾の式によって求めている。

2. 3 掃流砂量

掃流砂量とは、河床が十分に存在し、平衡状態に達したときに、各粒径階層ごとの運搬される砂量を表す。本研究では掃流砂量式としてMeyer-Peter-Muller⁶⁾ (MPM)式、芦田・道上⁴⁾の式、Wong & Parker⁷⁾の式を用いた。

2. 4 Wilcock & Crowe⁸⁾によるモデル

このモデルは、実際に土砂が移動している河床表層の粒度分布から土砂量を評価している点、砂による礫の移動限界への影響を考慮している点が特徴として挙げられる。なお、このモデルは遮蔽効果式と掃流砂量式が一体化して評価されている。

3. 実験の概要

この実験では、全長 14.40m、幅 4.0m の水路を用いている。土砂は F1 (砂)、F2 (礫)、F3 (粗い礫) の 3 種類あり、それぞれ平均粒径は 0.001m、0.006m、0.01m である。上流端では礫と粗い礫が半分ずつ混合され、 $x = 0.88(\text{m})$ から 0.40(m) ずつ砂が 10% ずつ増えるように配置されている。また、下流部 6.67(m) では砂が敷き詰められている。河床勾配は 0.0022 であり、給砂は行われていない。また、下流端ではテールゲートによって水位が調節されている。

この実験はアーマリングの形成に関する実験 T1 ($-16(h) \leq t \leq 0$) と破壊に関する実験 T2 ($0 \leq t \leq 4(h)$) に分かれており、それぞれ流量が $0.0465(\text{m}^3\text{s}^{-1})$ 、 $0.0547(\text{m}^3\text{s}^{-1})$ である。

アーマリングとは、土砂の細粒分が抜けて河床が粗い礫で覆われた状態になる現象のことを指す。

実験 T1 を通して、混合砂が敷き詰められた上流部では河床が低下したほか、平均粒径が増加しアーマリングが形成された。一方、実験 T2 では、混合砂領域において流量の増加に伴いアーマリングが破壊され、その後より粗い粒子で構成されたアーマリングが再形成された。この時、破壊された土砂が混合砂領域の下流側に移動・堆積し、平均粒径の増加とともに混合砂領域と均一砂領域の

キーワード 河床変動、掃流砂、混合粒径モデル、アーマリング、遮蔽効果

連絡先 〒060-8628 北海道札幌市北区北 1 3 条西 8 丁目 工学部 A413

北海道大学 工学部 水圏防災・環境研究室 TEL 011-706-6197

境界が流れ方向に移動した。

4. 結果と考察

4. 1 代表粒径

T1 においては、幾何平均が算術平均より小さい値をとる傾向にあり、これによって移動限界を減少させ河床低下を促進させていることを示唆している。T2 においては混合砂領域で粒度分布や河床変動は双方のケースにおいて平衡状態に達したため、同じような結果となった。

4. 2 遮蔽効果

図－1 に計算結果を示す。T1 における結果から、Egiazaroff 式や芦田・道上の式の場合、代表粒径は比較的小さい値をとる傾向にあり、アーマリングが十分に形成されていないことがわかる。このことはこれらの式が砂の無次元限界掃流力を過大に評価していることを示唆している。また、Wilcock & Crowe のモデルでは他のモデルと異なり、礫・粗い礫の掃流砂量が少なからず生じている。このことは、砂による礫の移動限界低下への影響が表れていると推察できる。

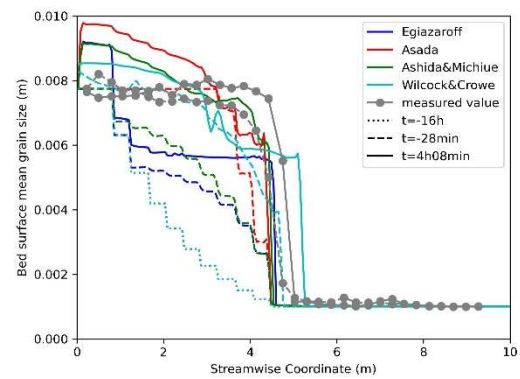
T2 においては、混合砂領域の上流側で Wilcock & Crowe のモデルを除き平均粒径が実験値に比べて大きい値をとった。また河床変動から、Wilcock & Crowe のモデルのみ混合砂領域と均一砂領域の境界の移動が発生していることがわかる。さらに、Wilcock & Crowe のモデルは計算された期間すべてにわたって粗い礫の移動が起きていることがわかる。このことは、T1 と同様、砂による礫の移動限界低下への影響が表れていると推察できるとともに、アーマリングの破壊・再形成の予測については、遮蔽効果や移動限界の評価が大きく影響することがわかった。

4. 3 掃流砂量式

T1 においては、混合砂領域に着目すると、Wilcock & Crowe のモデルを除けば、各モデルでの河床高さの計算に大きな違いはない。また T2 においても、Wilcock & Crowe のモデルを除けば、混合砂領域では河床変動・平均粒径の計算結果に大きな差異は生じなかった。このことは、Wilcock & Crowe のモデルを除き大きな河床変動が生じず、モデルごとの掃流砂量の違いが計算結果には大きく影響しなかったためと推察できる。

5. まとめ

実験との比較を通じて、代表粒径の計算では、幾何平均の場合において低い値をとり、これによって移動限界が減少し河床低下を促進していることが示唆された。遮



図－1 代表粒径の時間変化（遮蔽効果モデル）

蔽効果式においては、Egiazaroff 式と芦田・道上の式が砂の移動限界を過大に評価していることが示唆された。一方、砂による礫の輸送量への影響を評価している Wilcock & Crowe のモデルにおいては、他のモデルにはない礫の移動が発生していることが確認できた。また、アーマリングの破壊・再形成の予測においては遮蔽効果や移動限界の評価が非常に重要であることが示唆された。掃流砂量式においては、今回のケースでの混合砂の計算に対する大きな影響は見られなかった。

参考文献

- 1) Clara Orrú, Astrid Blom, and Wim S.J.Uijtewaal: Armor breakup and reformation in a degradational laboratory experiment, *Earth Surface Dynamics*, 4, 461-470, 2016.
- 2) Egiazaroff, I.V. : Calculation of Nonuniform Sediment Concentrations, *Proc. ASCE, HY 4*, 1965.
- 3) 浅田宏, 石川晴雄: 水流による河床砂礫の分級機構に関する研究 (Ⅲ). 電力中央研究所報告. 第 71015 号. 1972.
- 4) 芦田和男, 道上正規: 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究. 土木学会論文報告集. 第 206 号. Pp59-69. 1972.
- 5) 岩垣雄一: 限界掃流力の流体力学的研究, 土木学会論文集, 第 41 号, pp.1-21. 1956
- 6) Meyer-Peter, E. and Muller, R. : Formulas for Bed-Load Transport. I.A.H.R., Stockholm, 1948.
- 7) M, Wong and G, Parker: Reanalysis and Correction of Bed-Load Relation of Meyer-Peter and Müller Using Their Own Database, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol.132, Issue 11, 2006
- 8) P. R. Wilcock, J. C. Crowe: Surface-based Transport Model for Mixed-Size Sediment, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 129, Issue 2, 2003