

II-203

Bed Material Load の濃度分布特性に関する研究

早稲田大学理工学部 正会員 関根 正人
東洋建設 正会員 佐竹 宣憲

1. 序論

著者らは、河床構成材料の流送を、掃流砂・浮遊砂という枠を外して解析し、これを統一的に説明することを目的とした一連の研究を進めている¹⁾²⁾³⁾。その際に、土砂粒子の質点に関する運動方程式に基づいた従来の Saltation Model を拡張し、水流の乱れの影響を考慮に入れた解析モデルを構築した。本論文では、一連の解析の結果として得られた流送特性のうち、存在確率密度分布すなわち相対濃度分布の特性について論じるものである。

2. 解析の概要

本研究で用いた解析モデルについては、別論文²⁾³⁾に示したものと同一であるため、ここではその特徴を列挙するに止める。すなわち、(1) 流水中を移動する土砂粒子の運動を質点系の運動方程式に基づき解析する、(2) 河床面として粒径スケールのランダム性を有する平坦河床を想定する、(3) 乱流構造については、中川・欄津らによる実験結果とマルコフ連鎖の考え方に基づき、乱れの自己相関性および相互相関性を考慮に入れて簡便なモデル化を行い、これにより乱れの時系列データを生成する、などである。解析は、球でモデル化した砂粒子を対象とし、掃流力および水深・粒径比などの諸量を広範囲にわたって変化させて行った。そのうち、本論文では、Table-1 に示した条件下で行われた結果中心に説明する。

3. 濃度分布特性

各掃流力に対する土砂粒子の運動軌跡について、その典型的なものを示したのが Fig.1 である。Fig.1 より次のことがわかる。まず、case A では従来より掃流砂の軌跡として知られる規則的な軌道の連続に過ぎないが、case B 程度の掃流力で軌道に揺れが生じ始め、case C では浮遊砂の軌道として認識されてきた軌道に近いものが混在するようになる。さらに掃流力が増大し、case E に対応する掃流力の下で現れる軌跡はもはや浮遊砂として知られる軌道の連続と解釈する方が自然であると考えられる。

次に、これらの条件下における存在確率密度分布について検討した結果を Fig.2 に示す。ここで、存在確率密度とは、ある高さ z に存在する移動土砂量の全移動土砂量に対する割合を確率密度の形で表したものであり、その分布は濃度分布と相似となる。Fig.2 より、掃流力の増大に伴い、濃度重心が上昇することがわかる。しかし、 $u^*/w_o = 1.5$ に対応する case C に注目することは興味深いことがわかる。Fig.1 (c) および Fig.2 (c) よりわかるように、従来の分類からすれば浮遊砂と考えられるような軌道が、一連の軌跡の中でかなりの部分を占めるようになるが、その土砂粒子の跳躍高さが水深の5%を超えることは稀である。ここで、水深の5%の高さとは、従来の浮遊砂理論において基準点高さとして取られることが多い位置を表しており、これより上方で浮遊砂が、下方で掃流砂が存在するとされる。このことは、case C に対応する運動は、運動軌跡から明らかに掃流砂とは考えられず、一方、濃度分布から従来の浮遊砂としても扱えないことを意味することになり、この運動は従来の流砂理論の枠組みから逸脱し、十分説明し得ない第三の運動ということになってしまう。

次に、形式分布形自体について検討するために、本解析の結果得られた流送土砂の相対的な濃度分布式と、浮遊砂の濃度分布として従来より広く適用されてきた Rouse 分布との比較を試みる。Fig.3 (a), (b), (c) には、同一の掃流力の下で水深・粒径比 h/D が異なる場合の相対濃度分布を示した。図の縦軸は、各高さにおける存在確率密度を水深の5%の高さにおける値で除して得られる相対濃度である。Fig.3 (a), (b), (c) より、水深・粒径比 h/D によって相対濃度分布形は異なり、ある特定の h/D に対しては、その分布が Rouse 分布により比較的よく説明されることがわかる。これは、Fig.1 から推察されるように、土砂の運動が主として粒径スケールで起こっており、拡散理論で取り扱うような水深スケールのみにより支配されるものではないことを表している。この点に関して、粒径の影響がべき数の中でしか反映されない Rouse 分布式によって、すべての h/D に対する分布を説明できると考えることの方が無理であるといえる。また、Fig.3 (d) の場合には case E の結果を示したが、この条件の場合には Rouse 分布と比較的よく一致する結果となったが、Fig.2 (e) より明らかなように、基準点高さとして取られた位置の辺りでは、濃度（存在確率密度）勾配が極めて急であることがわかる。なお、参考までに、Fig.3 (a), (b), (c) の結果について、縦軸を粒径による無次元高さとの関係で整理し直すと、分布曲線はほぼ一本の曲線となり、粒径スケールで見ると、分布に相似性が成り立っていることがわかっていく。以上のことから、Bed material load といえども粒径スケールでの運動として捉えるべきであるという当然の結論が導かれる。

case	u^*/w_0	$D(\text{cm})$	$h(\text{cm})$	h/D
A	0.5	0.04	20.0	500
B	1.0	0.04	20.0	500
C	1.5	0.04	20.0	500
D1	2.0	0.04	10.0	250
D2	2.0	0.04	20.0	500
D3	2.0	0.04	40.0	1000
E	4.0	0.04	20.0	500

Table.1 Calculating Condition

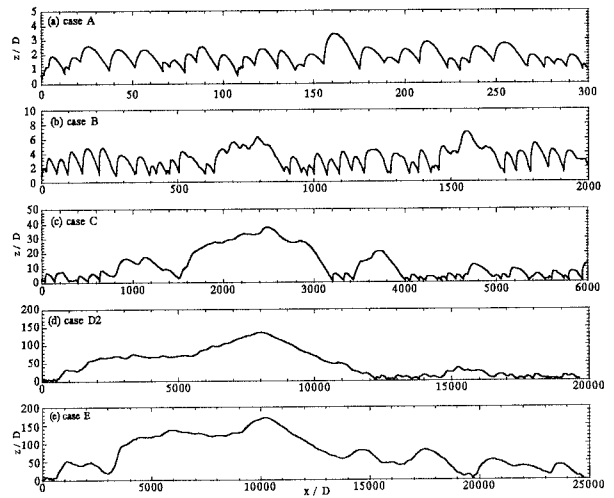


Fig.1 Typical particle trajectory of Bed material load

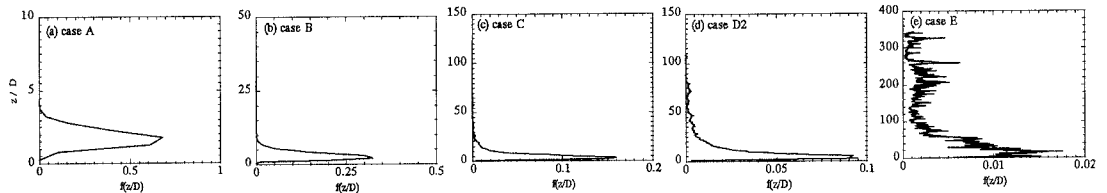


Fig.2 Probabilistic density distribution of Bed material load

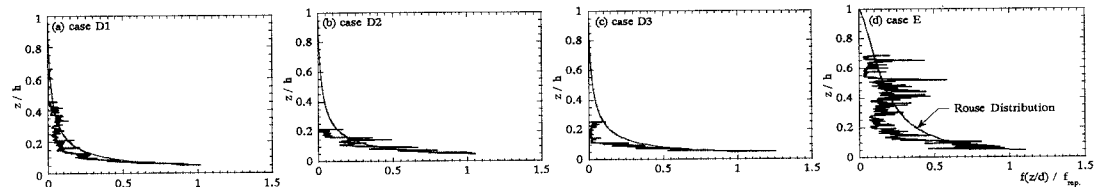


Fig. 3 Comparison of relative concentration distribution

4. 結論

本解析の結果、従来の流砂理論における次のような矛盾点と問題点が明らかになった。これらを以下に列挙し、結論とする。(1) Bed material load の運動の解析から、従来の掃流砂とも浮遊砂とも異なる運動が存在することが明らかになった。(2) 従来の浮遊砂が卓越する掃流力範囲における土砂の濃度分布についても、水深・粒径比の影響を顕著に受け、ある特定の h/D の場合に対しては、その分布がRouse分布に比較的良好に一致する。これは、Bed material load の運動についても、掃流砂と同様に粒径スケールの運動と捉えるべきであることを表している。(3) 基準点高さという概念は、便宜的なものに過ぎず、物理的に意味をなさないものであることが定量的に示された。

本研究では、現象の本質を理解することに力点を置き、解析モデルでもできるだけ簡略化されたものに止めた。モデル化の仕方により、得られる結果にいくらかの定量的な差が生じることは予想されるが、定性的には、上記の結論が根本から覆るものではないと考える。

参考文献

- 1) 関根・小川田：掃・浮遊砂が存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) 関根・小川田：Bed Material Load の流送特性に関する研究、第49回年次学術講演会概要集、2-A, 1994.
- 3) 関根・小川田・佐竹：Bed Material Load の流送機構に関する研究、土木学会論文集（投稿中）、1995.