

土砂循環装置付実験水路を用いた掃流砂量式の評価に関する実験

国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究室 正会員 ○福島 雅紀
 国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究室 正会員 高部 一彦
 国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究室 正会員 末次 忠司

1. 目的

河道の整備・管理を行うにあたっては、河川環境に配慮することが一般認識として定着してきているが、その手法に関しては試行錯誤的なところが多い。また、河川工学の知見が集積され、水理模型実験や数値計算などの手法が精緻化され、河道へのインパクト（河川改修、砂利採取など）に対する応答（流況の変化等）がある程度評価できるようになってきた。しかし、河床材料の変化については、地形変化の精度と同様にほとんど評価できていないのが実情であろう。本研究では、そのような河床変動計算の基礎となる流砂量式を比較的大きな粒径の砂礫を循環できる装置を用いて評価した結果について報告する。小川ら¹⁾も同様な視点に立って流砂量式を評価しているが、土砂の循環は行わず平衡流砂量を上流から給砂する実験を行っている。本研究では、土砂も水路中を循環することからほぼ平衡状態での掃流砂量を評価できる点で特徴的であると言える。

2. 実験の概要

実験に用いた水路は、長さ 30m、幅 1m、深さ 0.8m の土砂循環装置付可変勾配式水路であり（図 1 参照）、掃流砂・浮遊砂をとともに下流端から上流端へ循環できるように設計されている。掃流砂は水路下流端に設置された篩いで分離され、ベルトコンベアによって上流端のバケットまで運搬される。また、浮遊砂は下流端の篩いを通り下流端水槽に到達するが、4基の攪拌機によって水中に浮遊させられ、水とともにポンプアップされ上流端水槽へと運搬される。

実験ケースを表 1 に示す。初期状態として水深と河床勾配を h_0 、 I_0 と設定し流量 Q を通水すると、流砂量は初期に多く発生し徐々にある値に漸近する。この流砂量が安定した時の河床勾配と水深が h 、 I である。なお、参考のため、河床波の発生の有無を示した。図 2 には河床材料の粒径加積曲線を示す。UB15、UB5 はそれぞれ粒径 15mm、5mm の均一砂を示し、MB41、MB11、MB14 はそれぞれ UB15 と UB5 を 4:1、1:1、1:4 で混合した混合砂を示す。これら 5 種類の河床材料に対して 5 つの水理条件のもと実験を行っている。

3. 実験結果

末次ら²⁾によると、Du Boys の研究に端を発し、現在に至るまで 30 以上の流砂量式が提案されている。ここでは、末次らと同様に、平均粒径として 60% 粒径を用い、現在広く使われている芦田・道上の式、MPM 式、佐藤・吉川・芦田の式について実験値との比較を試みる。なお、実験では粒径別に流砂量が

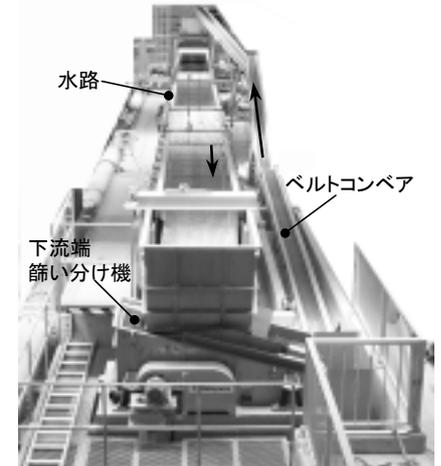


図1 土砂循環装置付可変勾配水路

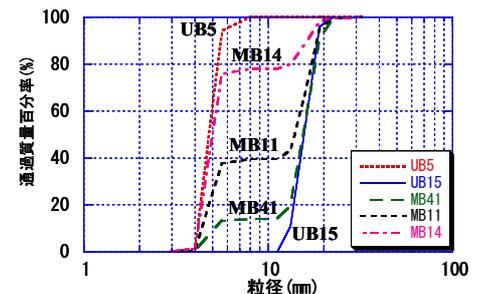


図2 粒径加積曲線(河床材料)

表1 実験ケース一覧

ケース名	h_0 (m)	I_0	Q (m ³ /s)	h (m)	I	河床波
UB5-1	0.100	1/100	0.105	0.085	1/100	あり
UB5-2	0.200	1/100	0.258	0.209	1/145	あり
UB5-3	0.300	1/100	0.400	0.291	1/106	あり
UB5-4	0.300	1/200	0.382	0.287	1/188	あり
UB5-5	0.300	1/300	0.370	0.301	1/353	あり
UB15-1	0.100	1/100	0.097	0.100	1/105	なし
UB15-2	0.200	1/100	0.285	0.190	1/103	なし
UB15-3	0.300	1/100	0.524	0.308	1/137	なし
UB15-4	0.300	1/200	0.370	0.291	1/199	なし
UB15-5	0.300	1/300	0.302	0.295	1/332	なし
MB14-1	0.100	1/100	0.100	0.096	1/113	あり
MB14-2	0.200	1/100	0.261	0.191	1/137	あり
MB14-3	0.300	1/100	0.438	0.284	1/77	あり
MB14-4	0.300	1/200	0.380	0.296	1/241	あり
MB14-5	0.300	1/300	0.360	0.297	1/321	あり
MB11-1	0.100	1/100	0.098	0.101	1/105	なし
MB11-2	0.200	1/100	0.283	0.203	1/115	なし
MB11-3	0.300	1/100	0.515	0.306	1/125	あり
MB11-4	0.300	1/200	0.423	0.310	1/223	なし
MB11-5	0.300	1/300	0.345	0.300	1/333	なし
MB41-1	0.100	1/100	0.098	0.102	1/115	なし
MB41-2	0.200	1/100	0.285	0.196	1/114	なし
MB41-3	0.300	1/100	0.495	0.296	1/146	あり
MB41-4	0.300	1/200	0.401	0.293	1/238	なし
MB41-5	0.300	1/300	0.340	0.281	1/248	なし

キーワード 掃流砂, 混合粒径, 限界摩擦速度, 水路実験, 土砂循環装置

連絡先 〒305-0804 茨城県つくば市旭1 国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室 TEL 029-864-4864

計測されており、粒径別の流砂量についても比較する。混合粒径の場合、平均粒径よりも小さい粒径は移動しにくくなり、それよりも大きいものは移動しやすくなることが知られている。その関係を表現したモデルとして、Egiazaroffの式がある。また、その関係をさらに強調した関係式として辻本³⁾の式がある。

図3は、流砂量が安定した後の実測掃流砂量を上述した3つの式から算定される値と比較した結果である。図3(a)、(b)はそれぞれEgiazaroffの式、辻本の式を使って評価した結果である。また、図3(c)は均一粒径について比較した結果である。なお、均一粒径の場合には河床波が卓越したため、芦田・道上の式において有効無次元掃流力を無次元掃流力の6割程度として評価した。均一粒径の場合、小川らや末次らが述べているように、揚力型モデルである佐藤・吉川・芦田の式が実測値を最もよく表現していた。実験中の観察によると、揚力が卓越することで河床材料が浮遊し移動を開始する機会が多いことから、この結果を支持するものであった。一方、混合粒径の場合、 τ_* の狭い範囲であるが、芦田・道上の式やMPM式と実験値が良く一致している。限界摩擦速度の算定手法を(a)と(b)で変えて、その違いを検討したが、MB41の粒度分布ではほとんど影響を受けなかった。図4は粒径別(UB15, UB5別)に図3の結果を比較したものであるが、実験中の観察結果から、辻本が述べているように、どの粒径の河床材料もほぼ同じ水理量(摩擦速度)で移動を開始することから、限界摩擦速度の算定には辻本の式を用いた。15mm程度の材料の場合には、混合粒径の場合と同様に芦田・道上の式やMPM式と良く一致している。しかし、5mm程度の材料については、バラツキが大きく明確な結論を述べるできない。

4. おわりに

礫床河川の河床材料に近い平均粒径15mm程度の材料を水路に敷き詰め、各種の水理条件のもと、掃流砂量の計測を行った。土砂を下流端から上流端へと循環させることで、ほぼ平衡状態における掃流砂量を粒径ごとに計測した。混合粒径の限界摩擦速度の算定にあたっては、実験中の観察結果によると、辻本の式が妥当な結果を算出することが確認されたが、掃流砂量式の評価については十分な検討ができなかった。実験結果については、さらに幅広く水理条件を設定し、掃流砂量を計測している。今後、これらのデータ整理を含め、さらに詳細な解析を実施したい。

参考文献

1)小川ら：河川上流域の中礫を用いた掃流砂量測定実験，水工学論文集，Vol.47，2003，pp535-540 2)末次ら：土砂動態予測のための河床変動モデルの改良，国土技術政策総合研究所資料，Vol.69，2003，pp56-105 3)辻本：河床表層粒度構成の不安定現象としての縦断交互分級の形成機構，土木学会論文集，No.411/II-12，1989，pp143-150

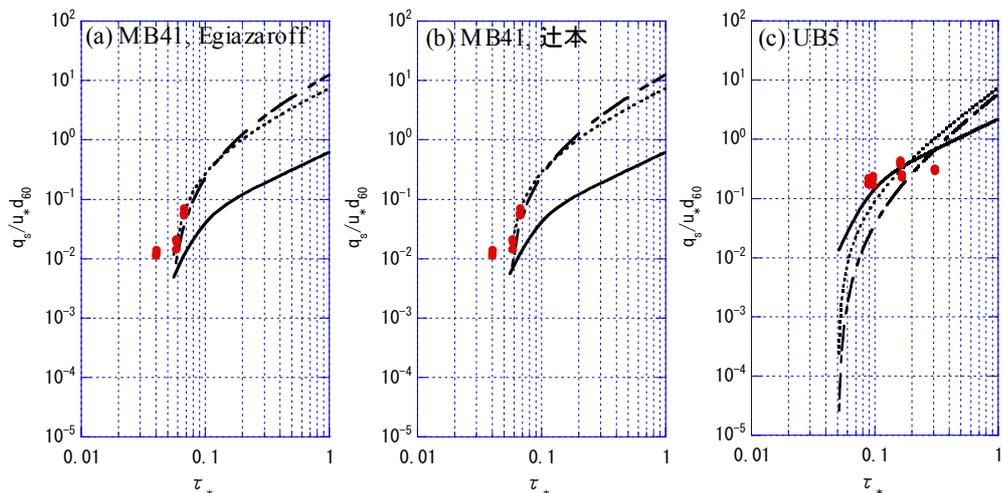


図3 流砂量式と実測流砂量との比較(一点鎖線:芦田・道上, 破線:MPM, 実線:佐藤・吉川・芦田)

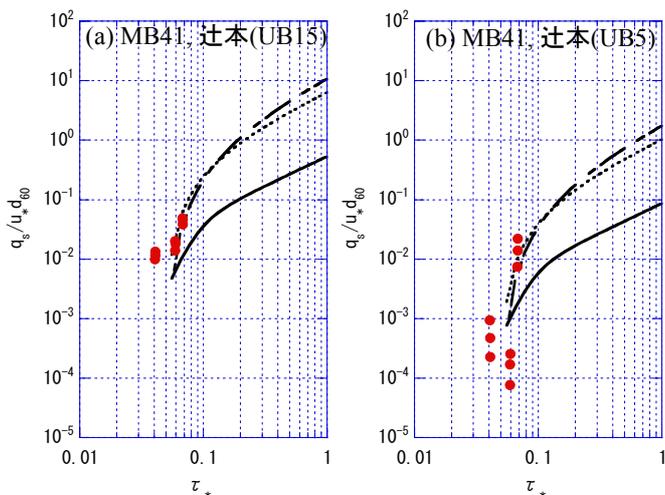


図4 流砂量式と実測流砂量との比較(粒径別)