

II-140

砂州越流時の掃流砂量に関する実験的研究

東北大学大学院 学生員○山本 潤

東北大学大学院 学生員 邵 小敏

東北大学工学部 正会員 首藤伸夫

1. はじめに 河口砂州の越流による崩壊は、従来の流砂量公式を用いた河床変動計算では精度良く推定できないことが知られている。小川ら¹⁾は、流砂の非平衡性を考える必要のあることを指摘した。邵ら²⁾は移動床実験により、流量や河床勾配を修正すれば、掃流砂量と流速との間に簡単な関係が見いだせることを報告している。ここでは移動床実験を追加し、流量や砂州の勾配の違いによる流砂量と流速の関係について検討する。

表-1 実験条件

砂州頂部の長さ a	砂州の勾配 θ	供給流量（単位幅） Q_0 (cm ³ /s-cm)		
$a=20$ (cm)	8°	条件 1	条件 2	条件 3
		104.5	261.1	355.2
	20°	条件 4	条件 5	条件 6
		102.4	256.9	364.5
$a=40$ (cm)	16°	条件 7 238.7	※跳水が生じないよう、水路を上げ底にしたもの。	
$a=20$ (cm)	16°	条件 8 234.1	※跳水が生じないよう、水路を上げ底にしたもの。	

2. 実験装置と実験方法 実験は幅15cm、高さ45cm、長さ5.5mの矩形開水路を用いて行った。砂州の模型は平均粒径0.51mm、比重2.65の川砂で作製した。砂州の下流側斜面の初期勾配と供給流量との組合せは表-1に示す通りである。水面と砂面の経時変化を3～5秒間隔で撮影し、単位時間当りの砂面と水面の変化を読みとった。

3. 実験結果と考察 実験中は上流側に一定流量を供給したにもかかわらず、砂州頂部での浸食にともなって上流側の水位が時間的に変動した。このため、砂州を越える流量は時間的に変化する。流量が変化し砂州形状が変わっても、常に砂州上に限界水深が発生し、上流側で常流、下流側では射流となった。以下、条件7の結果について述べる。

砂州を越える流量の時間変化を図-1で示す。砂州越流量 Q は、水槽に供給される流量 Q_0 および上流側水位の変化を考慮して、質量保存則に基づいて計算されたものである。ここで、水が越流し始めた時を $t=0$ とする。

図-2は砂州の経時変化を表している。砂州上流端の下方に座標原点をおき、下流向きに x 軸、鉛直上向きを z 軸とする。これらのグラフをそれぞれの条件ごとに照らし合わせると、砂州の崩壊を四つの部分に分けることが出来る。

砂州の崩壊過程

砂州越流量の変化

- (1) 斜面の浸食 ----- Q/Q_0 が0から緩やかになるまでの部分
- (2) 砂州頂下流端の後退 --- グラフの傾きが緩やかな部分
- (3) 砂州頂部の低下 ----- グラフの傾きが急な部分
- (4) 斜面の一樣低下 ----- 再びグラフの傾きが緩やかになる部分

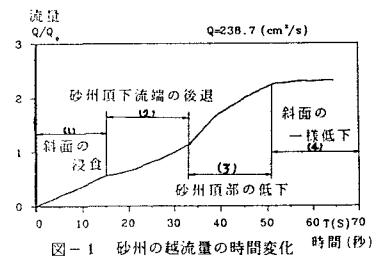


図-1 砂州の越流量の時間変化 時間(秒)

ただし、条件によっては(1)と(2)の境界がはっきりしなかったり、(4)になる前に跳水が生じて実験を中止したことがある。

水の供給を開始すると、まず、上流側の水位が緩やかに上昇した。砂州より上流部の貯水面積が大きいためである。たとえ供給流量がすべて上流側に貯留されとしても、その水位上昇は緩やかである。こうして水位が上昇し、それにともない(1)のように徐々に越流量が増加してゆく。この時はおもに砂州下流側斜面の浸食が進む。

それから、浸食は砂州頂部にも及び次第に下流側から欠けてゆくが、まだ砂州頂部の初期高度は維持され

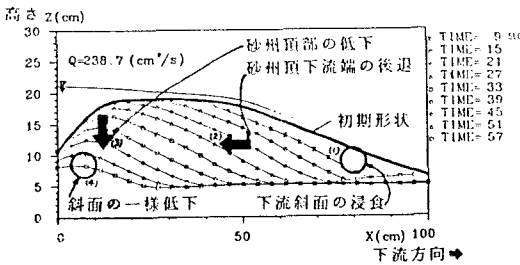


図-2 砂州の初期形状と経時変化

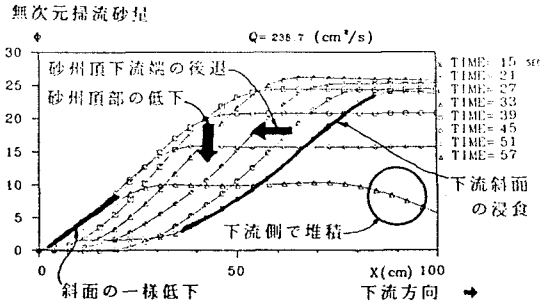


図-3 掃流砂量の場所的経時的変化

ているため、上流側での水位上昇があったとしても全体としての越流量の増加は小さく、越流量に大きな変化の無い状態が続く。(3)では、ついに砂州頂部の低下が始まり、その速度は急速に越流量を増加させるため、越流量は急激に増加する。そのうち、上流側貯留量が減り、供給流量と越流量、越流による砂州頂低下速度、越流量の増加、などの間にバランスがもたらされて、(4)のように再び越流量の変化が緩やかになる。

図-3は掃流砂量の場所的、時間的変化を示している。横軸は図-2と同じく水平距離とし、縦軸は無次元化された掃流砂量 $\Phi = q_s / \sqrt{sgd}$ とした。座標原点では、それより上流からの砂の供給が無いので $\Phi = 0$ である。下流に行くにしたがって、河床が低下したぶんだけ掃流砂量は増加する。これは、掃流砂量が河床低下量の積分であるから当然である。

図-4は、砂州浸食中の掃流砂量と平均流速との関係を示す。平均流速は砂州越流量の時間的変化を考慮して求めた。掃流砂量、平均流速とも勾配の影響を補正する必要がある。補正係数³⁾ $F_1 = (1 - \tan \theta / \mu_r) \cos \theta$ を用い、無次元掃流砂量を補正した $\Phi' = \Phi / \sqrt{F_1}$ を縦軸に、さらに同じく補正した平均流速 $U / \sqrt{F_1}$ を使った無次元掃流力 $\Psi = (U / \sqrt{F_1} - U_c)^2 / (sgd)$ を横軸にとっている。ここで U_c は限界流速である。図中の直線は最小自乗法で得られたもので、 $q_s / \sqrt{F_1 sgd} = 0.0864 [(U / \sqrt{F_1} - U_c)^2 / (sgd)]^{0.88}$ であたえられる。ただし、条件1と条件4は流量が小さ過ぎ、横断方向に一樣の流れが形成されず、三次元的に砂州が崩壊した。この2つと、水を流し始めた時の値を除くと、補正した掃流砂量と平均流速との関係は、供給した流量や砂州の勾配にかかわらず、ほぼ一定になった。

ここで、 $\theta = 0$ つまり $F_1 = 1$ をこの式に代入すると、掃流砂量は理論的に従来の式に近づくはずである。しかし、本実験の掃流力の範囲で比較すると、例えば土屋・青山の式は図中の破線となり、掃流砂量が大きく異なる。その原因は、まだ不明である。

4. おわりに 移動床実験により、流量や砂州勾配の違いによる流速と掃流砂量の関係について検討した。平均流速を正確に見積り、また、掃流砂量や平均流速を斜面勾配で補正した結果、掃流砂量と平均流速の関係は条件が異なっても一本の曲線でほぼ近似することができた。

参考文献：1) 小川, 首藤 (1985): 東北地域災害科学研究報告, 第21巻, pp. 22~25.

2) 邵, 田中, 首藤 (1990): 水工学論文集第34巻, pp. 373~378.

3) 邵, 田中, 首藤 (1990): 東北支部講演概要.