

II-15 非平衡掃流砂量に関する実験的研究

東北大学工学部 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

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。

砂州の勾配 θ	供給流量 Q_0 (cm ³ /s-cm)		
	条件1	条件2	条件3
8°	104.5	261.1	355.2
20°	102.4	256.9	364.5

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3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。砂州より上部の貯水面積は大きい。このため、供給水量がすべて上流側に貯流されるとしても、その水位上昇速度は緩やかなものである。 $t=10$ 秒までは、こうした緩やかな水位上昇にともなって徐々に越流量が増加し、主に斜面部の浸食が進む。 $t=10\sim 20$ 秒の間では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ときが続く。 $t=20$ 秒には、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、上流側貯流量が減り、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、 $t=30$ 秒以降の $Q/Q_0=1$ の状態になる。

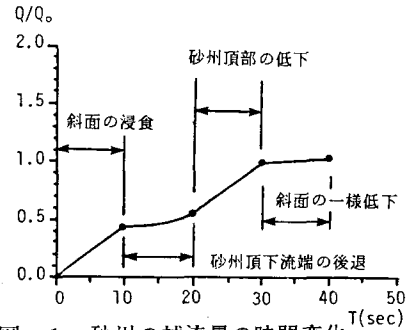


図-1 砂州の越流量の時間変化

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。図-3は、無次元化された流砂量 $\Phi = qs/\sqrt{sgd^3}$ の勾配 $\partial\Phi/\partial x$ の時間的、場所的変化を示している。 $x=0\sim 20$ cmの範囲では、図-2を見ると河床の変動が無いので、図-3では $\partial\Phi/\partial x=0$ となる。この範囲では平均流速 U が移動限界流速 U_c より小さく、また、これより上流からの砂の供給が無いためである。 $x=20\sim 50$ cmでは、初期砂州の頂部、 $t=40$ 秒での頂部を含む範囲であるが、ここでの河床変動は下流に行く程大きくなる。従って、図-3では、掃流砂量の勾配 $\partial\Phi/\partial x$ が増加している。 $x=50\sim 130$ cmでは砂州下流側斜面であ

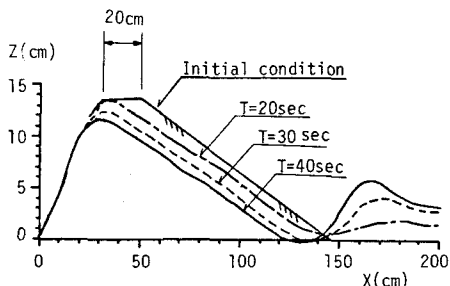


図-2 砂州の初期形状と経時変化

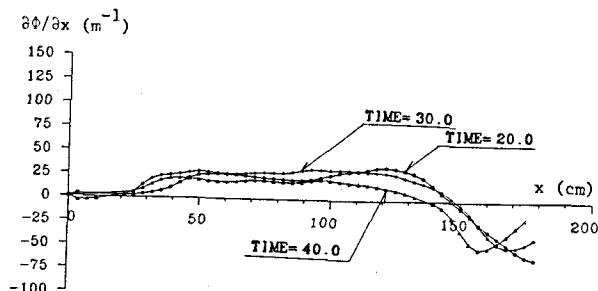


図-3 $\partial\Phi/\partial x$ の場所的経時的変化

るが、砂州が場所的にだいたい一定の速度 $\partial z/\partial t$ で浸食されている。その結果、毎時間 $\partial\Phi/\partial x$ がほぼ一定の値となった。どの時間でも、初期砂州下流端の $x=150\text{cm}$ 付近で再び $\partial\Phi/\partial x=0$ となり、流砂量が最大値になる。初期砂州下流端より下流では、砂州より持ち去られた砂が堆積することとなった。原型では、浸食堆積の分岐点がどの地点になるかは、実験のように簡単には決定されないであろうから、この地点より下流側の実験値の解釈にあたっては注意が必要である。

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。 $t=20$ 秒の実験値が系統的なズレを示しているのは、越流量が小さいために生じた実験誤差、砂州頂部形状の差による水理特性や移動砂形態の違いなどに原因すると思われる、今後の課題である。図中の直線は $t=20$ 秒を除き最小自乗法で得られた回帰直線である。

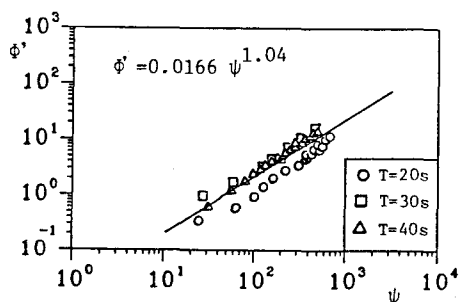


図-4 掃流砂量と平均流速の関係

表-2 回帰式 $\Phi'=b\Psi^a$ の値

	a	b
条件1	(1.37)	(0.0245)
条件2	0.98	0.0309
条件3	1.04	0.0166
条件4	(0.76)	(0.2750)
条件5	0.85	0.0389
条件6	0.92	0.0372
平均	0.95	0.0309

このように求めた直線のパラメーターを表-2に示す。

ここで、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。

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。掃流砂量、平均流速を斜面勾配で補正した結果、 $q_s/\sqrt{F_1sgd^3}=0.0309 [(UF_1^{-1}-U_c)^2/(sgd)]^{0.95}$ という掃流砂公式を得ることができた。

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, 首藤 (1989):東北支部講演概要, pp. 84~85. 3)邵, 田中, 首藤 (1990):東北支部講演概要.