

II—53

越流による河口砂州崩壊過程の数値計算

東北大学大学院 学生員 ○邵 小敏
 東北大学工学部 正 員 田中 仁
 東北大学工学部 正 員 首藤伸夫

1. はじめに

河口においては、波・河川流等の影響により複雑な地形変化を生じる。特に、河川流量が小さい時には、河口閉塞が生じることがある。出水時の湛水被害を防ぐために、人工開削などの対策があるが、洪水により砂州が自然的に崩壊することが最も望ましい。しかし、越流による砂州のフラッシュ現象は複雑で、不明な点が多い。そこで、著者らは越流による砂州崩壊実験を行うことにより、砂州崩壊の機構を考察し、斜面勾配などの影響を含む平衡流砂量式及び非平衡流砂量式を提案した¹⁾。ここでは、それらの式を用いて、砂州崩壊過程をシミュレートする。

2. 計算方程式、初期条件及び境界条件

流れの計算には、一次元の連続式とエネルギー式を用い、通常の不等流としての計算を行う。摩擦速度 u_* は次式で推定する¹⁾。

$$\frac{u}{u_*} = 7.66 (R/K_s)^{1/6} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 u は断面平均速度、 R は径深、 K_s は粗度係数である。砂移動の計算には、砂の連続式と次の砂の移動方程式¹⁾を用いる。

$$\frac{\partial}{\partial x} \{q_B (\tau_{*1} - \tau_{*1c})^{0.5}\} = \frac{\Delta C_1}{(\tau_{*1} - \tau_{*1c})^{0.5}} (q_{B1E} - q_B) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 q_B は流砂量、 q_{B1E} は不等流における平衡流砂量、 τ_{*1} 、 τ_{*1c} はsgdで無次元した剪断力および限界剪断力、 s は砂の水中比重、 g は重力加速度、 d は砂の粒径である。 Δ については第3節に述べる。また、平衡流砂量 q_{B1E} は実験から得られた次の平衡流砂量式を用いて求める。

$$q_{B1E} = 7.3 C_p \sqrt{C_1} \{(\tau_{*1} - \tau_{*1c})/C_1\}^{1/4} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、式中の係数 C_p 、 C_1 はそれぞれ平衡流砂量に対する圧力差及び勾配の影響修正係数であり、それぞれ次式のように表される¹⁾。

$$C_p = \{\tau_{*1} - \tau_{*1c} - 1.2d \frac{\partial(p)}{\partial x}\} / (\tau_{*1} - \tau_{*1c}) \quad \dots (4)$$

$$C_1 = \cos\theta \{1 - \sigma \tan\theta / (\sigma - \rho) / \mu\} \quad \dots\dots\dots (5)$$

ただし、 p は圧力、 ρ は水の密度、 μ は砂の静止摩擦係数、 σ は砂の密度である。

計算の初期条件は砂州崩壊の移動床実験の $t=6$ 秒での砂州形状とする。境界条件としては、流れについて越流量、砂については無供給条件を与える。

以上の諸式を差分化し、砂州崩壊のプロセスを再現できる。

3. 係数 Δ の決定及び計算結果

非平衡流砂量式(2)に現われる係数 Δ は次元を持つもので、次式のように表される¹⁾。

$$\Delta = \frac{\rho h}{\beta \sigma d} \quad \dots\dots\dots (6)$$

ただし、 β は砂の移動速度の自乗と有効剪断力 $\tau_{*1} -$

表-1 実験条件

RUN	粒径	初期 勾配	頂部 長さ	供給 流量	トゲ 底
	mm	θ	a (mm)	q_B (cm ² /s)	
RUN70	0.51	5.7°	0	150.1	あり
RUN50	0.51	6.6°	0	96.1	あり
RUN31	0.38	7°	0	74.8	なし
RUN30	0.38	7°	0	211.8	なし
RUN07	0.51	8°	20	104.5	なし
RUN01	0.51	8°	40	110.7	なし
RUN02	0.51	8°	40	249.0	なし
RUN08	0.51	8°	20	211.1	なし
RUN03	0.51	8°	40	351.0	なし
RUN04	0.51	8°	20	355.2	なし
RUN65	0.51	9.3°	0	185.2	あり
RUN04	0.51	16°	40	106.0	なし
RUN21	0.51	16°	20	234.1	あり
RUN20	0.51	16°	40	236.7	あり
RUN05	0.51	16°	40	260.0	なし
RUN06	0.51	16°	40	312.0	なし
RUN10	0.51	20°	20	102.4	なし
RUN11	0.51	20°	20	256.4	なし
RUN12	0.51	20°	20	314.5	なし

τ_{ic} の比例係数である。著者ら¹⁾は $\rho=1$, $\mu=1$, $\sigma=2.65$, $\beta=72.25$ ($\approx 8.5^2$)としたが、ここでは、砂州崩壊実験データにもとに Λ を決める。ただし、実験は表-1に示しているように2種類の粒径で行った。表中の「上げ底あり」とは、観測区間内の砂面上に跳水が生じないように、長さ1mにわたって底面を高さ1cmだけ高めたことを意味する。

非平衡性の強さを表す無次元パラメータ $\Pi = \phi_{B1E}/\phi_B - 1$ と $\Omega = (\tau_{i1} - \tau_{ic})^{0.5} \cdot \partial\{\phi_B(\tau_{i1} - \tau_{ic})^{0.5}\} / \partial X / \phi_{B1C}$ との関係を図-1に示す。図-1(a)及び図-1(b)はそれぞれ粒径0.38mm及び0.51mmのデータを示したものであり、砂州侵食流域のものをプロットした。式(2)より、図中のデータを直線で結んだ時、傾きが Λ である。図より、いずれの粒径でも非平衡性の強さに関係せずに $\Lambda \approx 4.5/d$ となることが判る。この値を式(6)に代入し、さらに、 $\rho=1$, $\mu=1$, $\sigma=2.65$ とすれば、 $\beta=83.9$ ($\approx 9.2^2$)になる。これは、流速分布に対数則を適用するならば、底面から粗度高さ(=粒径)の1.8倍の高さにおける流速を砂の移動速度とすることを意味する。

図-2は表-1に示したRUN21の実験結果と計算結果との比較である。 Λ は図-1で得られた関係式を用いた。ただし、実験RUN21は上げ底がある場合の実験である。上げ底の表面位置は図中の $Z_b=1\text{cm}$ での太い直線に対応する。点線は初期条件、印は各時刻の実験値、実線は計算値を表す。計算で $t=24$ 秒以降に砂面が上げ底以下に低下しないのは、砂面が $Z_b < 1\text{cm}$ とならない条件を与えたためである。図-2より、計算値と実験値はよく一致することが判った。

4. 結論

本研究で得られた主要な結論は次の通りである。

- (1)、実験データのもとで、非平衡流砂量式の係数 Λ が得られた。
- (2)、砂州崩壊の数値計算結果は実験結果とよく一致した。

謝辞： 本研究に対し、文部省科学研究費（一般研究(C)No. 01550396、代表：東北大学 首藤伸夫）の補助を受けたことを付記する。

参考文献：

- 1) 邵小敏・田中仁・首藤伸夫(1991)：非平衡流砂運動を伴う砂州崩壊，水工学論文集第35巻，pp. 435-440。

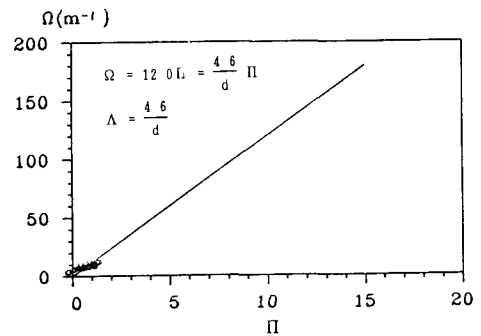


図-1(a) Λ と非平衡性との関係 ($d=0.38$)

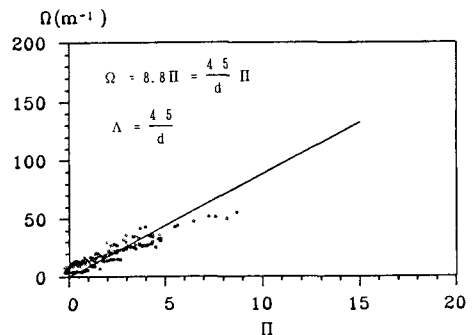


図-1(b) Λ と非平衡性との関係 ($d=0.51$)

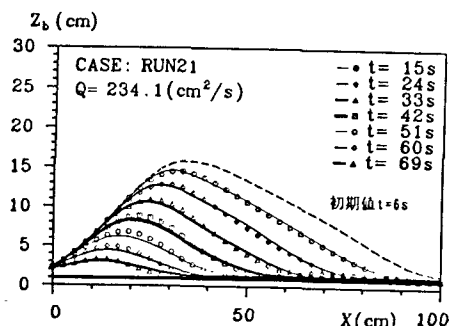


図-2 砂州の経時変化 (RUN21)