

疑似粘性河床における流れと繰り返し局所洗掘

千葉工業大学 正会員 瀧 和夫

1. はじめに

土壌環境の中でも、土壌侵食が潜在的で大きな問題として存在している。堆積土砂面に生ずる局所洗掘の基本機構、すなわち、堆積表面を流下する種々の水流のエネルギーフラックスとそれによる堆積層の局所洗掘面の形状、洗掘速度との関係を知ることが問題解決に大きな情報を与えるものと考えられる。本研究では、堆積層に生じる局所洗掘において種々の運動エネルギーに対する洗掘量を水路実験を通して明らかにする。

2. 局所洗掘に関する理論的解析

2.1 粒子径と限界平衡勾配

水路上流端から流下する定常的な混合泥水中の砂は、水路を流下しながら水路床に沈降堆積し、さらに沈降堆積した砂は水路下流方向に勾配を持つ層を形成する。この時のフルード数は1.82~6.16の範囲であり、洗掘面を流れる流水は剥離することなく常に洗掘斜面に沿って流れる。

いま、このときの平衡勾配 I_c は次式で示される。

$$I_c = \tau_{*c} \frac{(s-1)}{h} d_s \quad (1)$$

(1)式は流れの持つクーリガン数によって無次元限界せん断力 τ_{*c} の関数形が異なり、

$$I_c = 0.14(s-1) \frac{d_s}{h} \quad (R_* < 2.14 \text{ のとき}) \quad (2)$$

$$I_c = 0.195(s-1) R_*^{16} \frac{d_s}{h} \quad (2.14 < R_* < 54.2 \text{ のとき}) \quad (3)$$

ここで、図1より(2)、(3)式が実験データの持つ傾向を良く表しているのがわかる。いま、ホルトン数 Ho と平衡勾配 I_c との関係は

$$Ho = \frac{V_r}{n} \cdot \frac{(s-1)}{gh^{1/3}} I^{-1/2} = 5 \times 10^6 I_c^{-4} \quad (4)$$

(2)、(3)式および(4)式から、遡上速度(洗掘面移動速

度) V_r は

$$\frac{V_r}{n} = 4.87 \times 10^{-4} h^{1/3} \cdot \left(\frac{d_s}{h} \right)^{-7/2} \quad (R_* < 2.14) \quad (5)$$

$$\frac{V_r}{n} = 0.149 R_*^{49/32} h^{1/3} \cdot \left(\frac{d_s}{h} \right)^{-7/2} \quad (2.14 < R_* < 54.2) \quad (6)$$

ここに、 V_r : 遡上速度(洗掘面移動速度)、 h : 水深、 n : マニングの粗度係数、 d_s : 粒径、 s : 砂の比重(=2.67)、 g : 重力加速度、 ν : 動粘性係数である。また、式中の R_* は $\sqrt{(s-1)gd_s^3/\nu}$ として表される。

自然状態で作り出される堆積河床面上の局所洗掘の遡上速度は図2からも明らかなように、1/3乗の水深をパラメータとして、相対水深 d_s/h の7/2乗に反比例する関係にあることがわかる。このことは、粒子径に対する水深の変化の割合が遡上速度に大きく影響されることを表しているものと考えられる。また、粒子径の大きな領域、あるいは濁水中の粒子密度(濁りの程度)の低い場合には(6)式が適用されることがわかる。

2.2 流れと洗掘のエネルギー

水路床上に堆積した砂粒子が局所的な洗掘を受

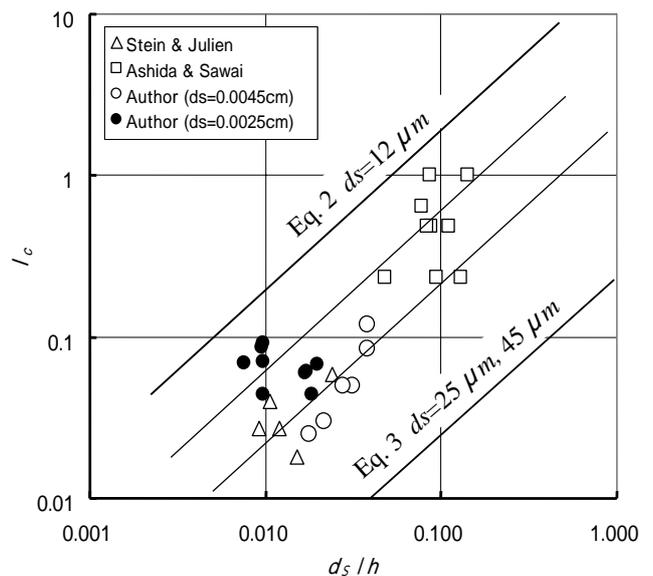


図1 疑似粘性底泥層表面が持つ平衡勾配

キーワード 繰り返し局所洗掘, 疑似粘性底泥, ホルトン数, 遡上速度

連絡先 〒275-8588 習志野市津田沼 2-17-1 千葉工業大学工学部 生命環境科学科 TEL 047-478-0452

け、さらに、その洗掘面が流れに逆らうように上流側へと遡上する時、洗掘面がもつ運動エネルギー E_v は次式で表わされる。

$$E_v = \frac{1}{2} M_v v_r^2 \quad (7)$$

また、単位時間あたりの洗掘量 M_v が $M_v = s B h_e v_r$ であることから、 $s=2.67$ 、 $B=1$ として、

$$E_v = 7.01 \times 10^2 h_e^{-2} M_v^3 \quad (7)'$$

同様に、流水がもつ運動エネルギーはマンニングの平均流速式および(5)、(6)式から、

$$E_f = \frac{1}{2} M_f v^2 \quad (8)$$

ここに(8)、(4)、(5)、(6)式およびマンニングの粗度係数 0.012、さらに、(7)' 式の洗掘面の運動エネルギーとから、(8)式は次式のように書き改めることができる。

$$E_v = 3.66 \times 10^6 h^8 h_e \left(\frac{d_s}{h} \right)^{-6} E_f^{-3} \quad (9)$$

(9)式から洗掘面の洗掘エネルギーは粒子径、水深、洗掘高をパラメータとし、流水の運動エネルギーの3乗に反比例するような関係にあることがわかる。

このことは、流水の運動エネルギーの増加は堆積面の洗掘エネルギーの増加に直接的につながるものではなく、むしろ、減退を引き起こすと考えられる。したがって、運動エネルギーの大きな、すなわち、流速の大きな領域ではホルトン数は $Ho > 1$ 、洗掘形状は緩慢なスロープ状に、さらに、洗掘面の遡上速度は小さくなるものと考えられる。一方、 $Ho < 1$ の領域では、洗掘形状は急峻な階段状であり、遡上速度は大であることから、流水からのエネルギーが堆積面の局所洗掘へ効率良く変換されることが考えられる。

3. まとめ

本研究の結果より、疑似粘性河床における局所洗掘について、以下の特性が明らかとなった。

- 1) 砂粒子の堆積面の限界勾配は粒子径をもととする相対水深に比例する。
- 2) 洗掘面の遡上速度は砂粒子の粒径と水深で作られる相対水深の大小で異なり、 $7/2$ 乗に反比例することが明らかとなった。
- 3) 洗掘面の洗掘に要するエネルギーは洗掘量の3乗に比例し、また、洗掘面の洗掘エネルギーは粒子径、水深、洗掘高をパラメータとする流水の運動

- エネルギーの3乗に反比例するような関係にある
- 4) 流水から局所洗掘へのエネルギーの伝達効率の相違が洗掘形状の急峻形状や緩慢なスロープ状を形成するものと考えられる。

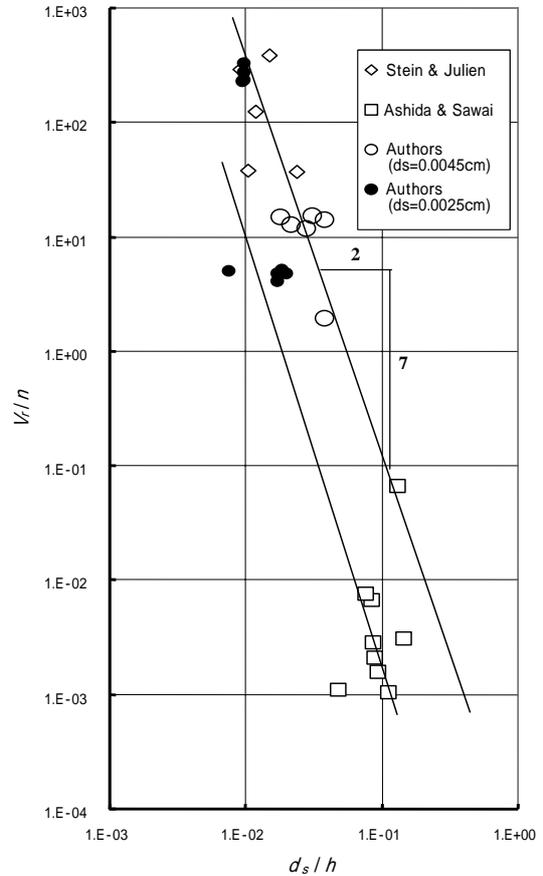


図2 相対水深と洗掘面の遡上速度との関係

参考文献

- [1] 芦田和男・沢井健二(1975) 裸地斜面における流路の形成過程に関する研究(3)、京都大学防災研究所年報、pp. 371 ~ 385
- [2] O.R.Stein, P.Y.Julien(1993) Criterion delineating the mode of Headcut migration, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE,Vo1.119, No.1 pp. 35 ~ 50
- [3] 岩垣雄一(1956) 限界掃流力に関する基礎的研究、土木学会論文集、第 41 号、pp1 ~ 21
- [4] 三品智和・矢内栄二・瀧和夫・Gary PARKER(2001) 疑似粘性を有する堆積砂層の局所洗掘、河川技術論文集、第 7 巻、p 469 ~ 474.