

千葉工業大学
千葉工業大学学員 ○小出和幸、三品智和
正員 村上和仁、瀧 和夫

1. はじめに

長雨時の扇状地河川では砂泥濃度の高い泥流が継続的に生じ、河床の局所的な洗掘を繰り返し観察することができる。このような局所洗掘は、山間地での裸地斜面の崩壊、農耕地での肥沃な表土の流亡、河川での人工植生の崩壊などの原因となるにも関わらず、局所洗掘機構は十分に解明されていない。そこで本研究では、水路実験を通し、その形状、溯上速度、河床勾配等から、堆積砂層表面に生じる繰り返し局所洗掘の特性について水理学的検討および解析を行った。

2. 実験装置及び方法

実験水路は長さ200cm、幅5cm、高さ45cmの矩形断面開水路を水平に設置し、所定の濃度に調整した泥水を水路上流端より連続的に流下させ、その時に生じる堆積面での泥水の水深、堆積河床勾配、洗掘面の溯上速度(洗掘面移動速度)を計測し、局所洗掘の特性を明らかにすることとした。実験条件は Table.1 に示すように泥水用砂粒子は粒径の異なるシリカ砂 $d_{50}=0.0025(\text{cm})$ 及び $0.0045(\text{cm})$ の2種類を用い、給砂量は $1.81\sim6.18(\text{g/s})$ 、給水量は $10.2\sim74.0(\text{cm}^3/\text{s})$ の範囲とし、これらの砂と水との砂泥濃度は $0.02\sim0.30(\text{g}/\text{cm}^3)$ による15条件で実験を行った。

実験手順は、まず水平に設置した水路の上流端より混合泥水を連続的に流下させ、水路床上に層状の沈降堆積層を形成させる。その後、水路下流区間の任意点より局所洗掘が生じ、この時の洗掘をカメラにて撮影し、画像処理及び解析を行った。

3. 実験結果

実験水路床上に形成される局所洗掘は、流水と砂層の平衡状態が確立された後、水路下流区間より局所洗掘が発生し、流れに逆らうように上流側へと移動した。その後、徐々に洗掘高さを増し、堆積砂面の流水と砂層の均衡が保たれると、洗掘高さは安定し、その洗掘形状を保ちつつ上流側に溯上することが観察された。この時の洗掘形状は Fig.1 に示す急峻な階段状と Fig.2 に示す緩慢なスロープ状の2種類が観察された。また、洗掘面の溯上速度(洗掘面移動速度)は泥水の流下速度($Fr=1.0\sim9.0$)に比して小さく、その平均溯上速度は約 $0.10(\text{cm}/\text{s})$ であることがわかった。さらに、階段状の洗掘の特徴として、泥水は洗掘面から剥離することなく、泥水の急激な巻き込み、すなわち、斜面に沿った流れとなっていることがわかった。このような局所洗掘現象は、水路内で一定の間隔で繰り返し生じている。

いま、流水の慣性力と洗掘に対する抗力との比であるホルトン数 Ho を用いて、堆積砂面の局所洗掘を表わすと

$$Ho = \frac{v \cdot v_r (s-1)}{ghl} \dots \dots \dots (1)$$

Table.1 Experimental conditions

Run	Material	$d_{50}(\text{cm})$	specific gravity	Water discharge (cm^3/s)	Sand discharge (g/s)	sediment concentration (g/cm^3)
1-5	Silica	0.0045	2.67	35.2	6.11	0.17
1-7	Silica	0.0045	2.67	41.9	3.03	0.07
1-11	Silica	0.0045	2.67	10.2	2.91	0.29
1-13	Silica	0.0045	2.67	20.6	6.18	0.30
1-15	Silica	0.0045	2.67	53.6	3.11	0.06
1-16	Silica	0.0045	2.67	72.2	2.98	0.04
2-4	Silica	0.0025	2.66	37.5	2.22	0.06
2-5	Silica	0.0025	2.66	32.3	2.64	0.08
2-11	Silica	0.0025	2.66	74	1.81	0.02
2-12	Silica	0.0025	2.66	70.6	2.33	0.03
2-25	Silica	0.0025	2.66	35.7	5.08	0.14
3-1	Silica	0.0025	2.65	15.0	4.50	0.30
3-2-1	Silica	0.0025	2.65	18.0	4.50	0.25
3-2-2	Silica	0.0025	2.65	18.0	4.50	0.25
3-2-3	Silica	0.0025	2.65	18.0	4.50	0.25

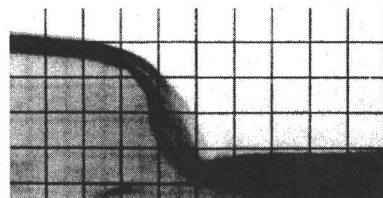


Fig.1 Steep shape as a step

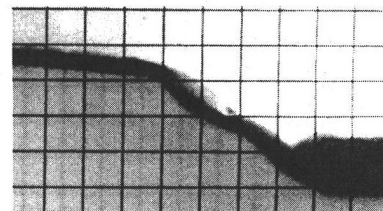


Fig.2 Gradual slope shape

キーワード : 疑似粘性、局所洗掘、洗掘面移動速度、河床勾配、排出土砂量

〒275-8588 千葉県習志野市津田沼 2-17-1 (千葉工業大学) TEL : 047-478-0452 FAX : 047-478-0452

となる。ここに、 h を水深(cm)、 I を河床勾配、 v を断面平均流速(cm/s)、 v_r を洗掘面移動速度(cm/s)、 s を泥水の比重、 g を重力加速度(cm/s²)とする。ホルトン数 Ho が1より小さい場合は、洗掘面の抵抗力が流れの慣性力より卓越した現象を意味し、Fig.1 に示す階段状の局所洗掘を指す。一方、Fig.2 に示される緩慢なスロープ状の局所洗掘は、流れによる慣性力が卓越した現象でホルトン数は1より大きくなる。ここで(1)式の断面平均流速 v をマンニングの平均流速式($v=n^{-1}h^{2/3}I^{1/2}$)を用いて整理すると

$$Ho = \frac{v_r (s - 1)}{n g h^{1/3}} I^{-1/2} \dots \dots \dots (2)$$

となる。ここに、 n をマンニングの粗度係数とする。いま(2)式の洗掘面移動速度は、河床勾配の関数であると実験より示唆している。そこで実験結果より、ホルトン数 Ho と河床勾配の関係を Fig.3 に示した。Fig.3 より、ホルトン数 Ho と河床勾配の関係は、

$$Ho = 10^{-5} I^{-4} \dots \dots \dots (3)$$

であることが認められ、この関係を(2)式に代入すると洗掘面移動速度は次のように表わすことができる。

$$\frac{v_r}{n} = 10^{-5} \frac{g h^{1/3}}{(s - 1)} I^{-7/2} \dots \dots \dots (4)$$

ここで、Fig.4 は、洗掘面移動速度と河床勾配の関係を示したものである。図中のプロットは実験結果を示し、実線は(4)式による計算結果を示している。なお、(4)式の泥水の比重、水深は変動幅が小さく平均値とした。これらより、洗掘面移動速度は、河床勾配の 7/2 乗に反比例することが明らかとなり、(4)式の妥当性が示された。

4.まとめ

本研究の結果より、堆積砂面に生じる局所洗掘について、以下の特性が明らかとなった。

- 1) 局所洗掘形状は、ホルトン数 Ho で整理できることがわかった。すなわち、 $Ho>1$ で緩慢なスロープ状と急峻な階段状、 $Ho<1$ で急峻な階段状洗掘形状にわけることができる。また、急峻な階段状では、流水は洗掘面から剥離することなく、常に斜面に沿った流れであることが明らかとなった。
- 2) 流れの慣性力と洗掘面の抗力との均衡が保たれて以降は、局所洗掘の形状の差異にかかわらず、その形状を保ちつつ、約 0.10 (cm/s) の速さで上流側に遡上することがわかった。
- 3) 遡上速度(洗掘面移動速度)は、河床勾配の 7/2 乗に反比例し、河床勾配が緩くなるほど、遡上速度は速くなることがわかった。

参考文献

- 1) 芦田和男、沢井健二、裸地斜面における流路の形成過程に関する研究(3)、京都大学砂防年報、vol19(B)、pp329-343、1976
- 2) Ashis.K.D, Kitamura.T, Tsujimoto.T, 2-D Simulation of Overland Flow Around Gully Headcut, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol.44, pp.635-640,2000
- 3) Stein.O.R, Julien.P.Y, Criterion Delineating the Mode of Headcut Migration, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.119, No.1, pp.37-50, 1993
- 4) Mishina, T. Taki, K. Murakami, K, Cyclic Erosion Formed by Multiphase Flow in Alluvial Fan, ICMF, New Orleans, USA, May 2001, (accepted for oral presentation)

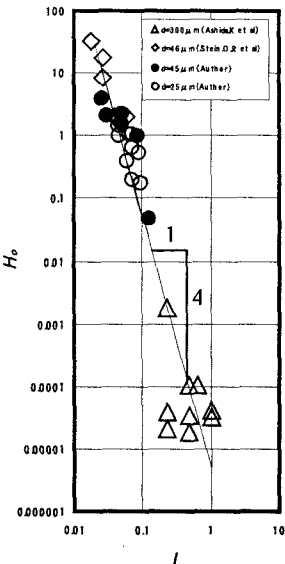


Fig.3 Relationship Between Horton number and bed slope

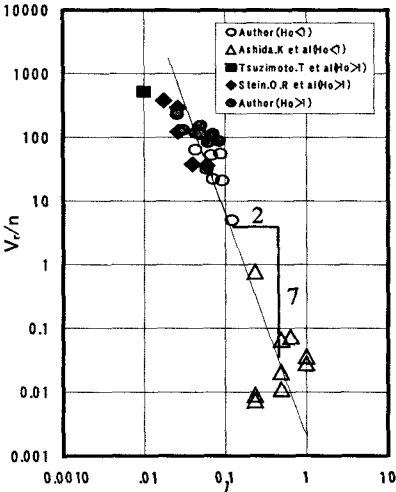


Fig. 4 Relationship Between V_r/n and bed slope