

千葉工業大学 学員 ○洞 啓介 森 郁平

千葉工業大学 正員 村上和仁 瀧 和夫

1. はじめに

降雨時等に肥沃な農耕地表土の流亡や、人口植生の破壊などの原因である局所的な洗掘が繰り返し生じ、そのメカニズムは未だに解明が不十分である。そこで、本研究では土壌の生成と流亡のバランスについて、疑似粘性を有する堆積砂層における繰り返し局所洗掘を水路実験により再現し、その特性について検討を行った。

2. 実験装置及び方法

本実験に用いた水路は、長さ 400 cm、幅 2 cm、高さ 45 cm の矩形断面開水路である。水路内の流心が蛇行流を伴った流れにならないように水路幅を 2cm と狭く取っている。河床材料にはシリカ砂 ($d_{50} = 30 \mu\text{m}$ 、 $45 \mu\text{m}$) を用い、給水量 Q_w (cm^3/s)、給砂量 Q_s (g/s) は表 1 に示すように 10.2~72.2 (cm^3/s) 及び 2.91~6.18 (g/s) の 8 条件とした。

水路上流端に給水装置、給砂装置および混合装置を設置し、水と砂の混合状態の泥水を流下させた。泥水中の砂分は水路を流下しながら水路床に沈降堆積する。さらに沈降堆積した砂層が増していくと、水路下流部から局所洗掘が生じる。この時の局所洗掘形状を連続的に撮影することにした。撮影したフィルムから水深、河床勾配、洗掘高、洗掘面遡上速度を計測する。なお、水深の計測地点は洗掘地点より上流部で流れが平衡状態にある箇所とする。また、洗掘高は洗掘面上端の頂点から洗掘点最下部までの高さとした。撮影したフィルムから得られた水深、河床勾配、洗掘高、洗掘面遡上速度から、流速、摩擦速度、フルード数、ホルトン数を算出し、粒径による洗掘特性を検討した。

表 1 実験条件

Run	d (cm)	Qw (cm^3/s)	Qs (g/s)
1-2	0.0045	21.0	0.56
1-5	0.0045	35.2	6.11
1-6	0.0045	35.0	8.46
1-13	0.0045	20.6	6.18
1-17	0.0045	35.8	1.83
2-3	0.0019	50.9	1.75
2-4	0.0019	37.5	2.22
2-13	0.0019	50.5	2.7
2-14	0.0019	38.2	3.33
2-22	0.0019	36.0	3.7
2-24	0.0019	35.9	4.46

3. 実験結果及び考察

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層状となって勾配を形成している様子が観察された。水路下流部から局所洗掘が始まり、流れに逆らうように上流側へと遡上し、流れとの平衡が保たれるとその形状と遡上速度はほぼ一定状態を継続することがわかった。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た流れであることが観察された。

いま堆積砂面を構成している砂粒子の平均粒径を d として無次元せん断力 $\tau_* = hI/(s-1)d_s$ と表わすことができる。ここに、 h : 水深 (局所洗掘が起こる直前の水深)、 I : 河床勾配 (局所洗掘地点より上流側)、 s : 流砂の無次元密度である。また、洗掘が生じ始めたときから勾配は一定となり限界勾配 I_c となることから、上記の式で表される無次元せん断力 τ_* は無次元限界せん断力 τ_{*c} とみなすことができる。よって、限界勾配 I_c と平均粒径 d_s との関係は式(1)と表わすことができる。

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

キーワード：疑似粘性、局所洗掘、河床勾配、遡上速度、洗掘高

〒275-8588 千葉県習志野市津田沼 2-17-1 TEL : 047-478-0452 FAX : 047-478-0474

ここで、本実験で用いた粒径 d_s と無次元限界せん断力 τ_{*c} は岩垣の式($R_* = \sqrt{(s-1)gd_s^3/\nu}$)より(1)'と表わすことができる。

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

$$I_c = 0.195 R_*^{-\frac{7}{16}} \frac{(s-1)}{h} d_s \quad (2.14 < R_* < 54.2 \text{ のとき})$$

(1)'

この関係式より限界河床勾配 I_c と粒径 d_s との関係は図1のように表わすことができる。ここで図中のプロットは実験結果を示し、実線は水深 h をパラメーターとして計算式(1)'を表わしたものである。

いま、泥流による慣性力と洗掘に対する抗力の比から求まるホルトン数を表わすと式(2)で表わすことができる。

$$Ho = \frac{V \cdot V_r (s-1)}{gh I_c} \quad (2)$$

ここに、 V_r : 遡上速度(洗掘面移動速度)、 V : 平均流速、 g : 重力加速度である。したがって上記の式(1)'、(2)とマンニングの粗度係数 n を用いて遡上速度 V_r と粒径 d_s の関係を表わすと(3)式となる。

$$\frac{V_r}{n} = 0.5 h^{\frac{23}{6}} d_s^{-\frac{7}{2}} \quad (3)$$

よって、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で示されるように平均粒径の $7/2$ 乗に比例することが認められた。また、すべての実験結果は遡上速度が平均粒径の $7/2$ 乗に反比例する実験式と良い一致が認められる。図中のプロットは実験結果を示し、実線は水深 h をパラメーターとして(3)式を表わしたものである。

4. まとめ

本研究では、水路実験を通じて局所洗掘の特性を検討した結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 洗掘面の遡上速度は砂粒子の粒径の大小で異なり、遡上速度は粒径の $7/2$ 乗に比例することがわかった。
- 2) 粒径が小さく遡上速度が大きいとき、ホルトン数は1以上となり緩慢なスロープ状、また粒径が大きく遡上速度が小さいとき、ホルトン数は1以下となり階段状の洗掘が生じることがわかった。

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, Vol. 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

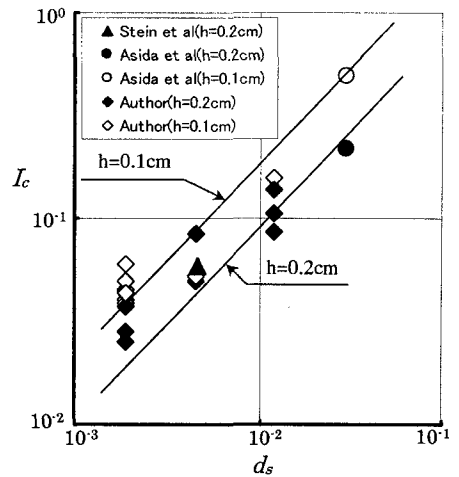


図1 粒径と河床勾配の関係

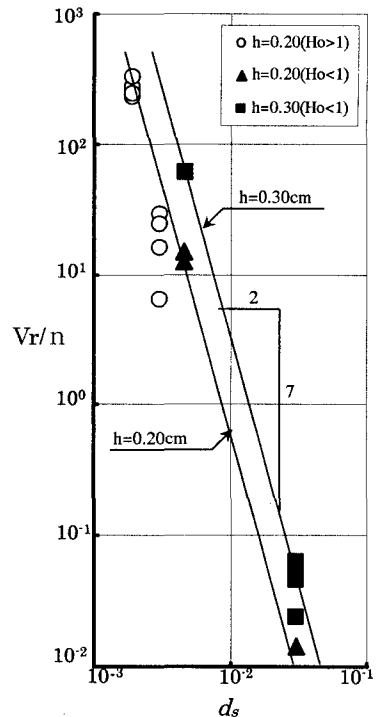


図2 粒径と遡上速度