

流れによる繰返し局所洗掘の発生に関する実験的研究

千葉工業大学大学院

学生員

○坂本康明

千葉工業大学

フェロー

瀧 和夫

1. はじめに

移動床流れにおける流水と河床堆積物の相互作用は、流水の条件や堆積物の幾何学的特性等に起因し砂漣、砂堆といった種々の形態を生み出す。これら多様な河床形態の発現は流域内での土砂動態に多大な影響を与えるという点で、多くの研究者の対象となってきた。著者らは、その中でも特徴的な繰返し局所洗掘(cyclic erosional steps)について、室内模型水路による実験的研究^{1), 2)}から土砂侵食・運搬機構の体系化を試みている。本報では河床形状の時間的変動の観測を行い現象の特異性について整理するとともに、現象の特性値についての考察を行った。

2. 実験方法

本研究で用いている水路は、著者らの従来の研究¹⁾で用いられたものと同様で全長 4m、水路幅 2cm の矩形水路(アクリル製)である。幅狭な設計により流況の横断面での変動を無視し、三次元的な効果を抑制している。また、水路側面には測定用の透明な 1cm 四方の格子線フィルムを貼付してある。河床材料として用いたのは市販されている珪砂であり、中央粒径 $d_{50}=37\mu\text{m}$ 、 $75\mu\text{m}$ の 2 種類を本実験では使用した。いずれも砂粒子密度 ρ_s は 2.65 に近い値である。

水路投入前に水と河床材料を容器内で混合攪拌させ、混合泥水を定水頭タンクから一定流量で自然流下させる形式となっている。水路下流端には土砂の堆積を容易にするため砂止め堰を設けている。データ収集については、河床形の変化を水路側面方向からデジタルカメラにより撮影・記録した画像から目視により水深、勾配等の測定を行った。測定項目の定義については図 1 に示す。ここに、 $h_n(\text{cm})$ は水深、 I は平衡勾配(洗掘部の遡上軌跡からなる勾配)、 $z(\text{cm})$ は波高、 $\lambda(\text{cm})$ は波長、 $v_r(\text{cm/s})$ は遡上速度である。 h_n については、平衡勾配 I と平行にある河床上での水深を代表値として測定した。流速 $v_n(\text{cm/s})$ については測定流量 Q と h_n より算出した。

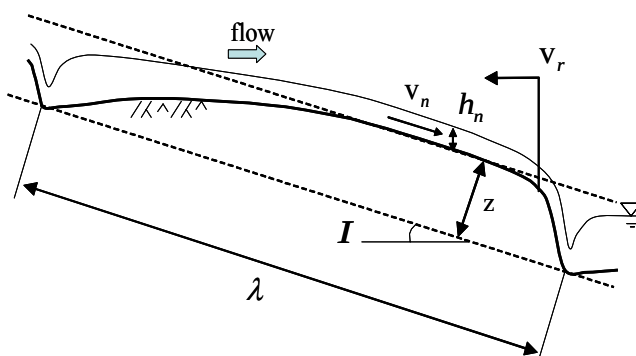


図 1 各測定項目定義図

表 1 実験データ一覧

Run	$d_{50}[\mu\text{m}]$	$Q[\text{cm}^3/\text{s}]$	c	$h_n[\text{cm}]$	I	$v_n[\text{cm/s}]$	$z[\text{cm}]$	$\lambda[\text{cm}]$
1-1	37	29.7	0.05	0.63	0.034	0.19	7.1	126
1-2	37	11.7	0.01	0.28	0.039	0.15	3.0	—
1-3	37	10.6	0.05	0.32	0.076	0.22	4.1	125
1-4	37	29.4	0.05	0.53	0.026	0.25	5.9	127
1-5	37	28.7	0.03	0.43	0.017	0.25	4.6	100
1-6	37	17.2	0.03	0.37	0.021	0.24	3.6	58
1-7	37	34.6	0.04	0.68	0.017	0.24	4.5	113
1-8	37	25.7	0.02	0.52	0.028	0.25	3.1	197
1-9	37	16.8	0.04	0.37	0.059	0.28	3.4	89
1-10	37	16.9	0.02	0.39	0.027	0.19	2.7	124
2-1	75	17.0	0.01	0.35	0.046	0.39	1.5	114
2-2	75	18.1	0.02	0.45	0.068	0.49	1.8	42
2-3	75	16.4	0.04	0.43	0.075	0.48	2.1	40
2-4	75	25.2	0.01	0.61	0.059	0.54	2.3	51
2-5	75	21.2	0.02	0.52	0.052	0.70	2.0	63
2-6	75	22.2	0.04	0.53	0.063	0.52	1.8	56
2-7	75	25.1	0.05	0.56	0.043	0.56	3.3	71

3. 実験結果及び考察

3.1 基礎データ

測定した基礎データの一覧を表 1 に示す。ここに、 c は無次元泥水濃度である。特性値に着目すると、 λ の値は 40 ~ 127cm の間で変動しており、非常にばらつきが大きいと考えられる。その他、 z の値は 1.5 ~ 7.1cm、 v_r の値は 0.15 ~ 0.70cm/s の間で変動した。

キーワード：土砂侵食，繰返し局所洗掘，フルード数，粒子レイノルズ数

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

3.2 河床形の時間的変動

洗掘発生前後の河床高および水面形の時間的変動を記録した。その様子を図 2 に示す。これは Run1-10 のデータである。泥水投入時を $t=0s$ としている。対象としている領域は $x=50\sim170cm$ の区域（水路上流端は $x=0$ ）である。

河床形状は平坦な状態を保ったまま積層されていたが、 $t=14700s$ において河床形状に変化が現れた。それに伴い流れも変化し、フルード数の減少がみられた。やがて洗掘が発達し、 $t=33065s$ になると、複数の洗掘部が繰り返し侵食を続ける状態へと変化した。これにより河床形が一定の形状を保ったまま遡上していく様子が観測された。形状の安定化に伴い流れも一波長上で整理され、堆積領域、平衡領域、侵食領域の 3 つに分けられると考えられる。跳水下流側では常流となり堆積が卓越し、流下するにつれフルード数が増加し不安定な平衡状態になり、その後落水部において侵食が卓越する。これらの領域の存在により、一波長上において侵食と堆積のバランスが保たれ洗掘が循環すると考えられる。

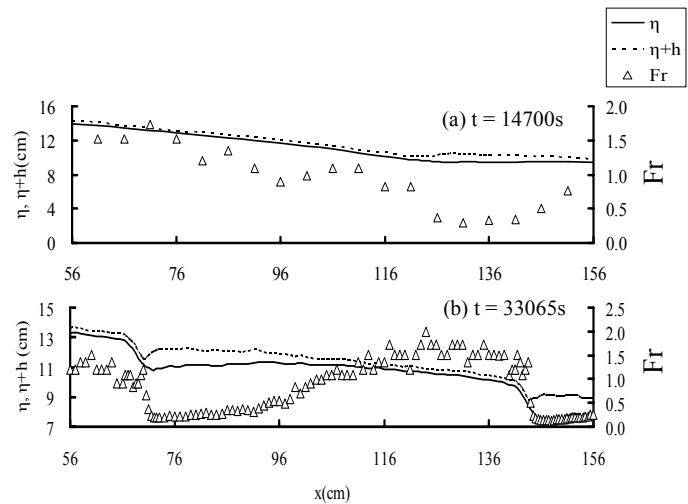


図 2 河床形の時間的変動

η : 河床高, $\eta+h$: 水面高, Fr : フルード数

3.3 特性値についての分析

局所洗掘の特性値（波長、波高、遡上速度）と各パラメータ（ g , v_n , h_n , μ , l , ρ , ρ_s ）との関係について検討するため、単純な次元解析を行った。ここに、 g は重力加速度である。結果、粒子レイノルズ数と無次元遡上速度の間に高い相関性がみられた。結果を図 3 に示す。粒子レイノルズ数は以下の式より得た。

$$Re_* = \frac{u_* d_{50}}{\nu} \quad (1)$$

ここに、 u_* は摩擦速度（ $u_* = (gh_n l)^{1/2}$ ）である。 ν は動粘性係数であり、ここでは 20 の値を用いている。図 3 より、遡上速度は粒子レイノルズ数の増加に伴い高くなっており、正の相関性があると考えられる。

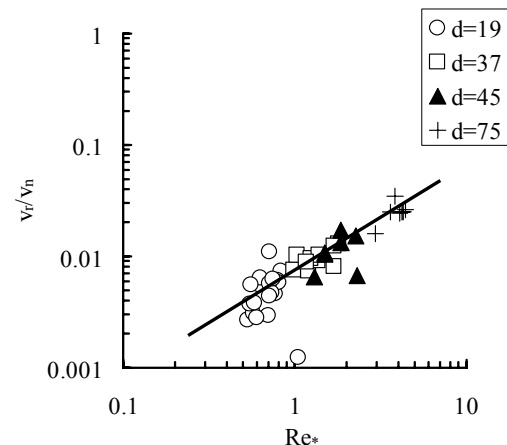


図 3 粒子レイノルズ数と無次元遡上速度の関係

4. おわりに

室内模型実験の実施により、繰り返し局所洗掘について考察を行った。河床形状変化の観測より、流れの不安定性が現象に起因することが示唆された。また、特性値についての次元解析の結果より、無次元遡上速度と粒子レイノルズ数との間に相関性がみられた。

参考文献

- 1) 上野 龍, 坂本 康明, 瀧 和夫: 泥水混相流による繰り返しヘッドカット移動特性の実験的研究, 日本混相流学会年会講演会 2007 年会講演論文集, pp.184-185, 2007.
- 2) Kazuo Taki, Gary Parker: Transportational cyclic steps created by flow over an erodible bed, Journal of Hydraulic Research Vol. 43, No. 5, pp.488-501, 2005.