

段落ち下流部の局所洗掘

日本電信電話 正 員 ○石倉 泰宏
鳥取大学 大学院 学生員 細谷 守生
鳥取大学 工学部 正 員 道上 正規
鳥取大学 工学部 正 員 檜谷 治

1. はじめに 本研究は、河床低下防止を目的として設置される段落ち直下流部における局所洗掘現象を実験的に明らかにしようとするものである。ここでは特に、段落ち上下流の水位差が比較的小さい場合に発生する、潜り噴流と波状跳水が交互に繰り返す流況下の洗掘現象の内部機構の解明を目的としている。また、従来、床固め直下流部の局所洗掘のモデル解析を試みているが、本研究においてもこのモデル解析法を一部修正して、その妥当性を検討した。

2. 実験の概要 実験は、幅30cm、長さ5mの水路を用い流量 段落ち高さおよび下流端水位を種々変化させて行なわれた。なお、河床形状および水面形状の測定には、高解像度ビデオカメラが用いられた。

3. 洗掘特性

1)最大洗掘深 段落ち直下流部では、段落ち上下流の水位差が比較的小さい場合には、主流水脈が河床へ接触することによる洗掘（潜り噴流）と水面付近にある主流水脈と河床の間に生じる逆流ローラーによる埋め戻し（波状跳水）が交互に繰り返して発生する（図-1参照）

図-2に最大洗掘深 Z_{sm} の時間的变化の一例を示す。図中 hc は限界水深、 g は重力加速度である。前述したような流況の変化により Z_{sm} はある程度の増減を繰り返すが全体的には洗掘が進行し、 $Z_{sm}/hc \sim (\sqrt{g/hc} \cdot t)^{1/2}$ となっている。最大洗掘深は、 $\sqrt{g/hc} \cdot t = 10^5$ の時点でも、厳密には、平衡状態に達してはいないが、工学的な意味を考え本研究においては、平衡最大洗掘深を $\sqrt{g/hc} \cdot t = 10^5$ の時点における最大洗掘深と定義した。図-3は洗掘孔下流における水位 Y_t を基準とした平衡最大洗掘深($Z_{sm,f}+Y_t$)と段落ち上下流の水位差 ΔH_t の関係を示したものである。潜り噴流のみ発生する条件下での平衡最大洗掘深 $Z_{sm,f}$ (図中の記号●)は、波状跳水と潜り噴流が交互に繰り返す条件下での $Z_{sm,f}$ (図中の記号○および◇)に比べかなり大きくなっている。したがって、 $Z_{sm,f}$ の算定に当っては水位差 ΔH_t が大きい場合とある程度小さい場合に分け別々に行う必要があり、その境界は、さらに詳細な検討を必要とするものの $\Delta H_t/hc=2.0$ と考えられる。図中に示す実線および破線は、従来提案されている水理構造物下流の平衡最大洗掘深の算定式のうち、本実験データに適合性の高いJaegerの式を一部修正して得られた

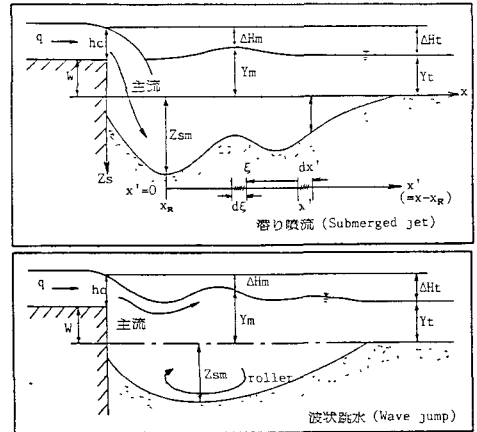


図-1 流れの模式図

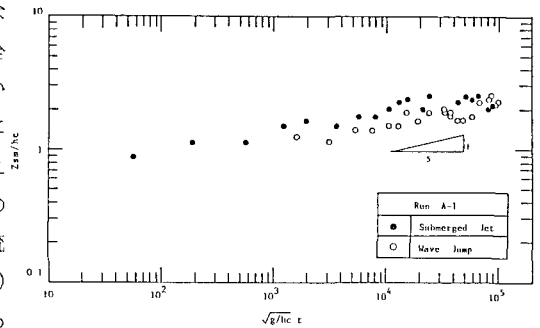


図-2 最大洗掘深の時間変化

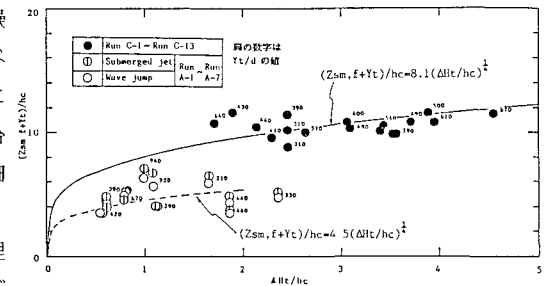


図-3 平衡最大洗掘深

もので砂粒径を d 、下流部水深を Y_t とすると、次式で表わされる。

$$(Z_{sm} + Y_t)/hc = \beta (Y_t/d) \quad (\Delta Ht/hc) \quad (1)$$

ただし、 $0 < \Delta Ht/hc < \approx 2$ のとき $\beta = 0.54$

$\Delta Ht/hc > \approx 2$ のとき $\beta = 1.06$

2) 流況の移行条件 段落ち上下流の水位差が比較的小さいと潜り噴流と波状跳水が交互に繰り返すが、その場合の移行条件について検討を行なった。図-4は、段落ち下流端と砂堆が形成される断面との水位差 ΔHm と最大洗掘深 Z_{sm} の流況移行直前における関係を示したものであり、図中の記号○および△は波状跳水から潜り噴流への移行限界を示しており、●および▲は逆に潜り噴流から波状跳水への移行限界を示している。図-4より実験的に移行条件式を決定すると、

波状跳水から潜り噴流への移行条件式

$$(Z_{sm} + W)/hc < 4.0 \quad \Delta Hm/hc \quad (2)$$

潜り噴流から波状跳水への移行条件式

$$(Z_{sm} + W)/hc > 9.0 \quad \Delta Hm/hc \quad (3)$$

である。なお、(2)、(3)式の適用範囲は図-3から判断して $0 < \Delta Ht/hc < 2$ と考えられる。

4 局所洗掘のモデル化

床固め直下流部の局所洗掘に関しては、既にモデル解析を試みているが、通水初期から予め落差 W を与えている本研究の場合にも W を考慮して同様なモデル解析を行うことができる。河床変動の基礎式は図-1の記号を用いると、

$$\frac{\partial z_s}{\partial t} = \frac{1}{1-\lambda} \cdot \frac{1}{L} \cdot \left\{ q_{B0}(x') - \int_0^{x'} q_{B0}(x' - \xi) \cdot \frac{1}{L} \exp\left(-\frac{\xi}{L}\right) d\xi \right\} \quad (5)$$

である。ただし、 λ は砂の空隙率、 L はstep length、 q_{s0} は平衡状態の流砂量である。各流況での河床面せん断応力を求め(5)式を数値解析することによって図-5、図-6に示す最大洗掘深と洗掘孔形状の時間的変化が求められる。最大洗掘深は比較的正確に算定されているが、洗掘孔形状については、洗掘孔内に形成される砂堆や洗掘孔下流部の形状に実測値と計算値に若干の差が見られる。この原因は数値計算において与えている河床せん断応力の算定などに問題があるものと考えられるが、今後の検討すべき課題であろう。

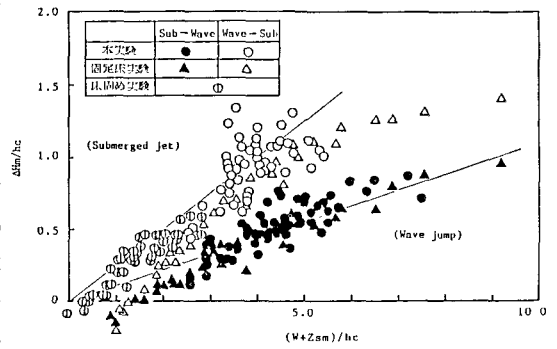


図-4 流況の移行条件

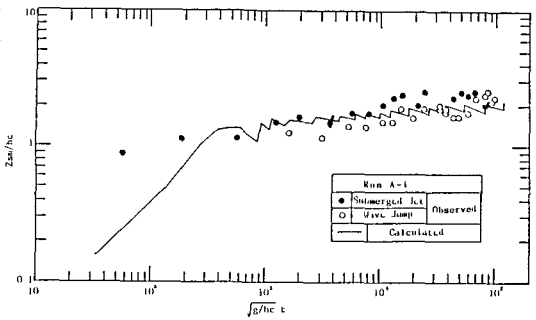


図-5 最大洗掘深の時間的変化 (計算値)

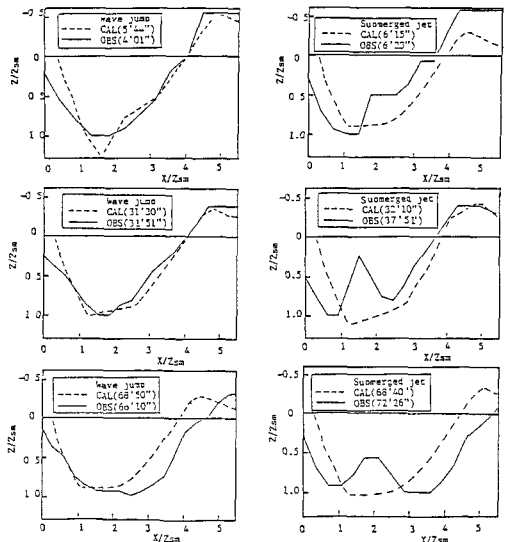


図-6 洗掘孔形状の時間的変化 (計算値)

(参考文献) 1) Peter, J.M. & K.Arungam: ASCE, Hy Vol 111, No.2, 1985, pp220 ~ 235

2) 道上、鈴木、川津: 京都大学防災研究所年報 第25号B-2 1982