

# 床固め工下流部における洗掘に関する基礎的実験

山形大学大学院 学生会員 安田 勝紀  
 山形大学農学部 正 会 員 前川 勝朗  
 山形大学農学部 正 会 員 大久保 博

## はじめに

近年，最上川に合流する支川の合流部付近の床固め工においては，堰体下流側の洗掘が顕著なケースをみかけるようになってきた．ここでは床固め工下流に順次段差を与えるような形で洗掘対策を施す場合の水理的な基礎資料を得んとしたものである<sup>1)</sup>．

## 実験装置と実験方法

実験に用いた水路は，長さ10m，幅が0.4mの木製長方形水路で両側壁の一部は厚さ10mmの硬質透明アクリル板製である．実験は，水路中ほどの段落壁から約1.7m地点に堰上げ板を水路全幅に取り付けた．その上流床には堰上げ板高と同高に砂利を敷並べた．そして，通水した．実験は堰上げ板高を変化させ，堰上げ板地点で完全越流時の流れを実現させて行った．これは下流移動床と段落壁上流水路床の標高差Dを変化させたことになる．実験流量Qは7.5～35 /sである．水路床に用いた砂礫は次の3種類である．  
 ①：平均粒径が4.9mmで90%粒径は7.6mm，  
 ②：平均粒径が6.7mmで90%粒径は9.8mm，  
 ③：平均粒径22.7mmで90%粒径は27.5mm．  
 通水は可動堰天端標高と通水前の移動床標高（堰上げ板高）が同高状態で開始した．洗掘形状等の測定は，透明アクリル板に目盛を印しこれから読み取り，また写真撮影した．

Fig.1は洗掘の説明図である．ここで，S：下流水路の砂面標高とその下部の下流水路床標高の差，L1：段落壁から水路床の露出点までの水平長，L2：水路床上の露出長，L3：露出終点からほぼ安定な河床高までの水平長．なお，Fig.1は水路床が露出しているケースであるが，実験条件によっては水路床は露出せず，単に洗掘されるケースが生じるが，本報では水路床が露出するケースのみを対象とした．

## 鉛直段落部流れの基本的関係

Fig.2，Fig.3は土砂を伴わない場合の鉛直段落部の流れの模式図である．Fig.2は段落部下流で完全跳水を発生する場合で，Randは次式を示している<sup>2)</sup>．

$$L_d/W = 4.30 D^{0.27} \dots (1)$$

$$h_2/W = 1.66 D^{0.27} \dots (2)$$

D'：落下指数 $=q^2/(gW^3)$ ，q：単位幅当りの流量，g：重力の加速度，W：落下高，L<sub>d</sub>：落下距離，h<sub>2</sub>：完全跳水後の水深．Fig.3の潜没跳水長L<sub>sj</sub>については(3)式がある．

$$L_{sj} / h_2 = 4.9 S_b + 6.1 \dots (3)$$

ここで，S<sub>b</sub>： $= (h_3 - h_2)/h_2$ ．Fig.3のL = L<sub>d</sub> + L<sub>sj</sub> とする．Fig.1のように，本実験では土砂を伴う潜没跳水の流れを対象としている．したがって，Fig.1の(L1 + L2)，(L1 + L2 + L3)

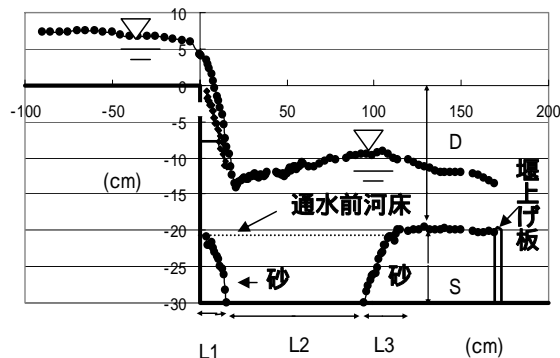


Fig.1 洗掘の説明図

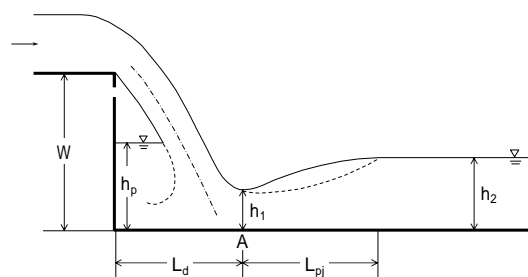


Fig.2 流れの模式図(段落部下流に完全跳水)

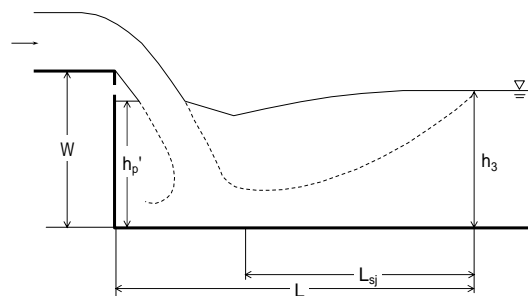


Fig.3 流れの模式図(段落部下流で潜没跳水)

とFig.3の $(L_d + L_{sj})$ などとの関係を検討することにある。

$L_d$ については(1)式より $L_d = f(D', W)$ であり( $f$ : 関数の意),  $L_{sj}$ は(3)式より $L_{sj} = f(S_b, h_2)$ である。 $h_2$ は(2)式より $h_2 = f(D', W)$ であり $L_{sj} = f(S_b, D', W)$ となる。関係式を実際に整理すると $L_{sj}/W = f(S_b, D')$ となる。これより $(L_d + L_{sj})/W = L/W = f(S_b, D')$ となる。完全跳水を対象とすると, Fig.2の $L_{pj} = 4.5h_2$ とすると $h_2 = f(D', W)$ であり $L_d + L_{pj} = L = f(D', W)$ であり,  $(L_d + L_{pj})/W = L/W = f(D')$ となる。

・ 実験結果

Fig.4はFig.2, Fig.3の流れを対象に, 上述の手順で $S_b = 0.1 \sim 0.5$ として $(L_d + L_{sj})/(D+S)$ と $D'$ の関係を示したものである。Fig.4では $W=D+S$ としている。Fig.4のように,  $D'$ が大になるに伴って $(L_d + L_{sj})/(D+S)$ の値は大となる。また,  $D'$ が同じ時,  $S_b$ 値が大になるに伴い $(L_d + L_{sj})/(D+S)$ の値は大きくなる。Fig.5はFig.1のような形で実験を行い, 実験データを用いて(4)式と(5)式の実験式を求め,  $S_b$ ごとに $L/(D+S)$ と $D'$ ,  $L/(D+S)$ と $D'$ の関係を示したものである。

$$L/(D+S) = 10.41 D'^{0.268} S_b^{-0.275} \dots (4)$$

$$L/(D+S) = 15.08 D'^{0.269} S_b^{-0.176} \dots (5)$$

ここで,  $L = L_1 + L_2$ ,  $L = L_1 + L_2 + L_3$ とした。Fig.5のように,  $D'$ が大になるに伴い,  $L/(D+S)$ , また $L/(D+S)$ の値は大となる。しかし, Fig.4と異なり,  $D'$ が同じ時,  $S_b$ 値が大になるに伴い $L/(D+S)$ , また $L/(D+S)$ の値は小となる。河床砂の移動は速度に関係するので $S_b$ が大になると流速は減るのでこの点を反映しているよう。なお, Fig.5は平均砂粒径4.9mmの場合である。

Fig.6, Fig.7は $D'$ が0.005以下で平均砂粒径6.7mmと22.7mmの場合である。Fig.7において,  $S_b = 1.75$ ,  $S_b = 2.0$ の場合には $S_b = 1.50$ の場合と大差がない。なお, Fig.5とFig.7の図中には実測時の $S_b$ 値をいくつか書き入れた。

Fig.1の実験の際, 3種類の実験砂を用いたが, 本実験の範囲では砂粒径による $L$ などへの顕著な差異はみられなかった。 $L$ などへの主な関与因子は $D'$ ,  $(D+S)$ ,  $S_b$ であることが判明し, 実験式を提示した。

引用文献

- 1) 前川勝朗, 安田勝紀, 大久保博, 船田一彦 (2006): 床固め工の下流洗掘対策に関する水理基礎実験, 平成18年農土学会東北支部要旨, pp.52-53
- 2) 土木学会 (1999): 水理公式集 (平成11年度版), pp.273

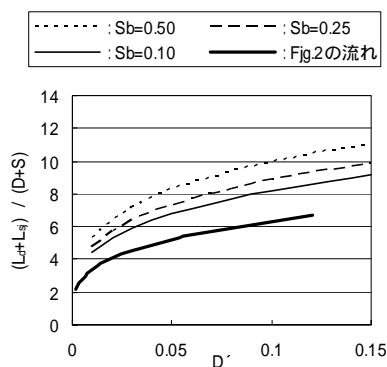


Fig.4  $(L_d + L_{sj})/(D+S)$ と $D'$

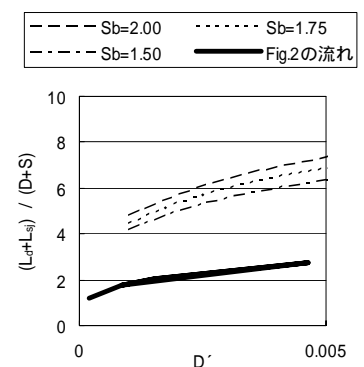


Fig.6

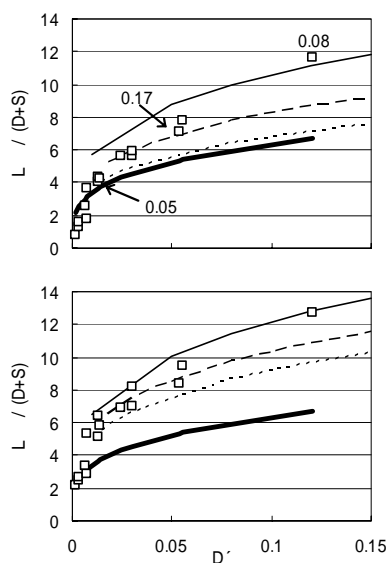


Fig.5  $L/(D+S)$ ,  $L/(D+S)$ と $D'$   
(平均砂粒径 4.9mm)

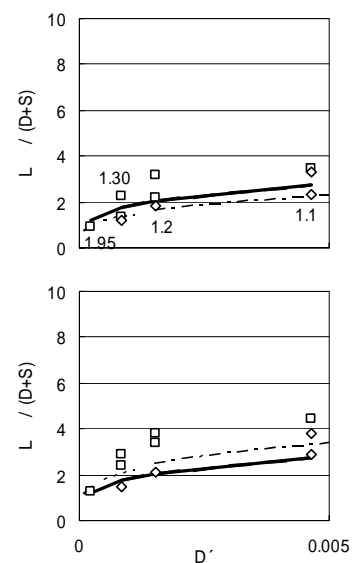


Fig.7 平均砂粒径  
( : 6.7mm, : 22.7mm)