

転波列性サージのスリットダム通過における初期ピークの低減に関する検討

名城大学 学生会員 ○仙波 学
 名城大学 正会員 新井 宗之
 名城大学 学生会員 石川 雄規

1. はじめに:急流河川での土砂災害制御のために、透過型の砂防堰堤が広く用いられる。これらのダムは、土砂流流下時に土砂,巨礫,流木の流下を抑制し、土砂災害を防ぐ効果がある。近年の集中豪雨等による土砂災害において、間欠的な多数のサージ状の土砂流が流下し被害を出していることが報告されている。土砂制御のための透過型砂防堰堤のひとつのスリットダムにおける転波列性サージの第一波目の捕捉後、後継のサージ群の通過,貯留過程,波動特性は不明な点が多い。傾斜水路を用いて、転波列性サージのスリットダムにおける貯留過程及び通過後の波動特性について明らかにすることを目的としている。

2. 実験方法:傾斜水路において間欠的なサージ状の流れは、流れの不安定性による転波列として生成することが可能である。図1は長さ56m、幅10cm、深さ15cmの透明硬質アクリル製の矩形断面水路である。給水系は、水路下流端の水槽の中に設置したボルトテック型のポンプで水を水路上流端の制水槽に流送して給水する循環式である。流量は給水ポンプをインバータにより制御を行っており、スリットダムのモデルは図2のような水路幅をB、スリット幅をbとした時、 $b/B=0.2, 0.4, 0.6$ の幅のモデルを使用している。実験は表1に示すように、流量Qは1035.6~1052.0cm³/s、平均水深hは1.09~1.11cm、断面平均流速vは94.6~97.2cm/sである。水路勾配θは3degである。流量の計測は水路下流端での計量柵により計測している。水深変動の計測は水路側面より動画を撮影し、その水面の解析により行っている。撮影位置は水路下流端より3.0m,3.8m,10.8m,11.6m、スリットダム設置位置は8.3mである。平均水深は水路下流端から11.6mの位置における約600秒間の水深変動の単純平均である。断面平均流速は、流量,平均水深から求めている。

3. 変動水面解析方法:側面より撮影した水面変動の動画を静止画に変換し、その静止画の水面の位置を、

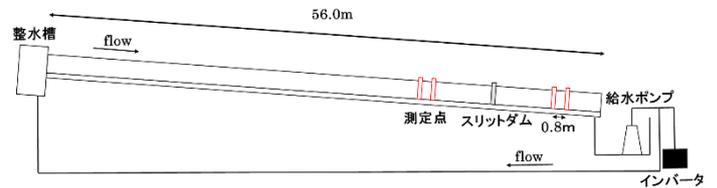


図1 実験水路概念図

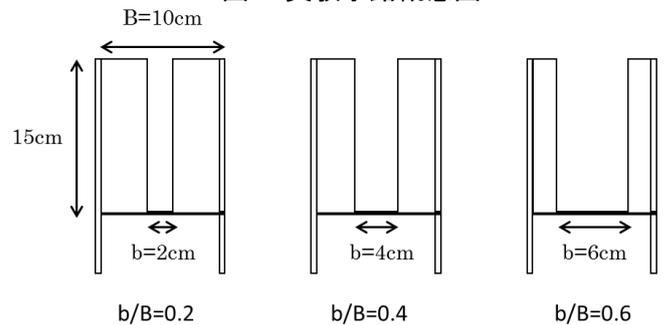


図2 スリット設置時の水路断面図

表1 実験条件

No.	スリット幅(b/B)	Q(cm ³ /s)	h(cm)	v(cm/s)	θ(deg)	C
1	0.2	1035.6	1.09	94.6	3.0	0
2	0.4	1050.1	1.08	97.2		
3	0.6	1052.0	1.11	94.7		

Mathematicaを用いた独自に開発した解析プログラムを用いて解析を行った。撮影した動画は300fpsであり、水面変動の解析時間間隔は $\Delta t=1/300\text{sec}$ である。画像のピクセル解像度は約 $\Delta t \approx 0.1\text{mm/pix}$ である。

4. 実験結果及び考察:図3はスリット堰の形状定義図である。スリット堰に湛水する水がスリットより流出する湛水面の水深をスリット底部からhとする。一様水路幅Bの直線水路で、スリット幅をbとすると、スリットからの流出量 Q_s は、

$$Q_s = C_s b \frac{2}{3} \sqrt{2gh}^{\frac{3}{2}}, \quad C_s: \text{流量係数} \quad (1)$$

である。堰への流入量 Q_i は、

$$Q_i = B h_0 v_0 \quad (2)$$

ここに h_0 : 流入水深, v_0 : 流入速度。

hにおける水平面積Aは、水路勾配をθとすると

$$A(h) = \frac{Bh}{\tan \theta} \quad (3)$$

である。スリット堰での連続式の関係から

$$-A(h) \frac{dh}{dt} + Q_i = Q_s \quad (4)$$

であるから、次式の関係式を得る。

$$\frac{dh}{dt} = -\frac{b}{B} \tan \theta C_s \frac{2}{3} \sqrt{2gh^2} + \tan \theta h_0 v_0 h^{-1} \quad (5)$$

ここで、

$$\eta = \frac{b}{B} \tan \theta C_s \frac{2}{3} \sqrt{2gt} \quad (6)$$

とおくと式(5)は次式となる。

$$\frac{dh}{d\eta} = -\left(h^{\frac{1}{2}} - a^3 h^{-1}\right) \quad (7)$$

ここに、

$$a^3 = \frac{3B}{2b} \frac{h_0 v_0}{C_s \sqrt{2g}} \quad (8)$$

式(8)を変形すると、

$$\frac{h}{h^{\frac{3}{2}} - a^3} \frac{dh}{d\eta} = -1 \quad (9)$$

式(9)の微分方程式は $h = a^2$ で係数特異点となる。

これは、流入量と流出量が等しい条件の h であることを意味している。式(9)の a を定数として、変数分離より式(9)の解析解を求めると次式を得る。

$$\frac{(a - \sqrt{h})^2}{(a - \sqrt{h})^2 + 3a\sqrt{h}} = \text{Exp} \left[\frac{3}{\sigma} \left\{ C_0 - \eta - 2\sqrt{h} + \frac{2a}{\sqrt{3}} \text{Ark tan} \frac{a+2\sqrt{h}}{a\sqrt{3}} \right\} \right] \quad (10)$$

ここに、 C_0 : 積分定数。

積分定数 C_0 は、初期条件の η, h より定まる。No.1 の実験を図4に示す。(a)はスリット堰より上流側の水深変動、(b)はスリット通過後の下流側位置での水深変動を表している。図中の下矢印が最初のピークを示しているが、下流側ではそのピークが低減していることがわかる。実験結果の最初のピークの流入水深 h_{pu} とスリット通過後の水深 h_{pd} の比は $h_{pd}/h_{pu} \approx 0.5$ である。式(7)を用いて No.1 と同程度の実験条件、 $h=0.10\text{cm}$, $v=94\text{cm/s}$, $T=1.64\text{sec}$, $C_s=0.74$, $\theta=3^\circ$ 等で、波形を \sin 関数として計算すると最初の水深のピークの比は実験結果と同程度の $h_{pd}/h_{pu} \approx 0.5$ である。図5に実験結果からの最初の

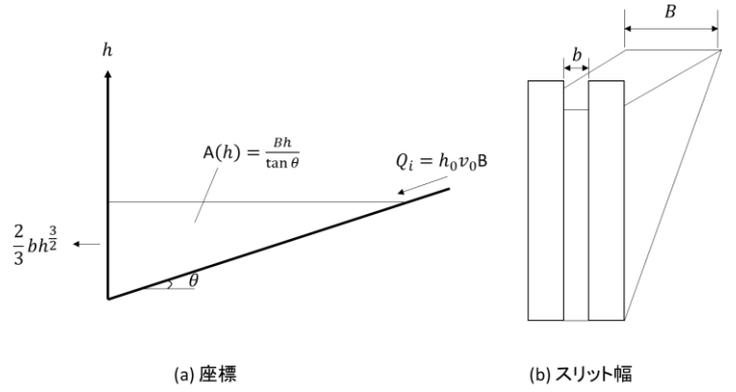
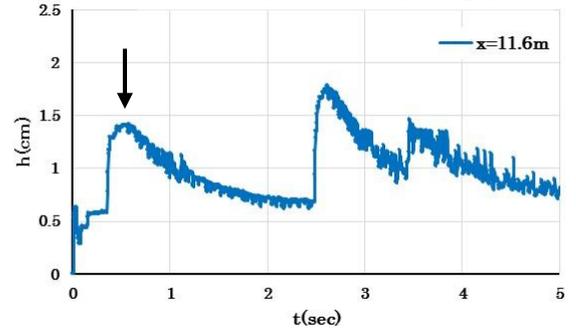
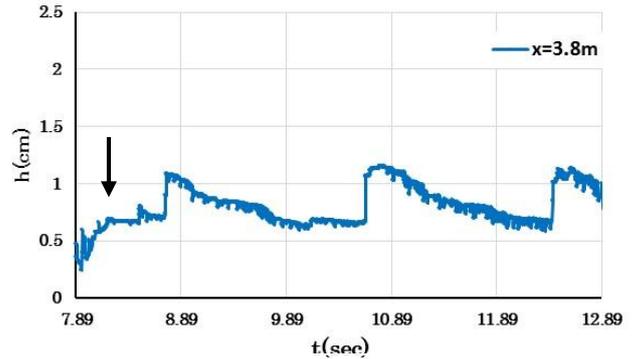


図3 スリット堰の形状定義図



(a) x=11.6m(上流側)での水面変動



(b) x=3.8m(下流側)での水面変動

図4 No.1 水面変動

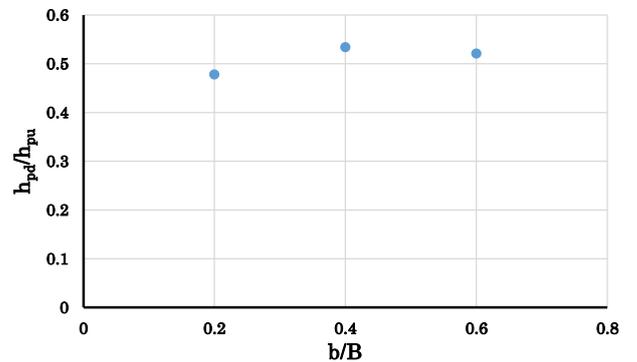


図5 第1波のピーク低減

ピークの低減率を示す。いずれも $h_{pd}/h_{pu} \approx 0.5$ 程度であることがわかる。

謝辞 これらの実験は京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリーで行った。ここに記して関係各位に謝意を表します。