九州工業大学工学部	学生員	首藤健次	
九州工業大学工学部	正会員	鬼束幸樹	秋山壽一郎
九州工業大学大学院	学生員	伊瀬知栄	Y

1.はじめに

現在,落差工を撤去し,1/10 勾配の斜水路とその下流部 にプール部を設置させる工法が注目されている.プール部 では洪水時に跳水を発生させる必要がある.ところで,ダ ム下流部で跳水位置を制御するものとしてUSBR-III型減勢 池が挙げられる.この減勢池は高フルード数用(4~18)に設 計されたものであり,実河川のような低フルード数(3以下 ¹⁾)でしかも接近流の河床勾配が1/10程度の流れでも減勢効 果があるか否かは不明である.本研究ではUSBR-III型減勢 池の河川への適用性を調べるために,流入水深および流入 フルード数を系統的に変化させて,跳水発生位置および跳水 長を計測した.仮に跳水発生位置が制御可能であれば,プー ル長の短縮に寄与し,非常に経済的である¹⁾.

2.実験装置および実験条件

USBR-III 型減勢池は図-1 に示されるように,シュートブロ ック,バッフルブロックおよびエンドシルで構成される. 長さ 20m,水路幅 0.6m の循環式水路内に模型を設置した.

実験条件を表-1 に示す.流入フルード数 Fr_1 および相対 段上がり高さ $\Delta y/h_1$ を系統的に変化させた.また,シュー トブロックおよびバッフルブロックを設置した効果を確認 するために,両ブロックを設置しない状態でも同様な実験 を行った.表中のAはエンドシルより上流側で跳水が発生 する A-jumpを,Sはエンドシルを超えた流れが一度空中を 飛んだ後に底面に着地する spray 状態を,×は装置の制約上計 測できなかったことを意味する.また,ケース名 F2.5h2.1B は Fr_1 が2.5 で $\Delta y/h_1$ が2.1 でブロックありを示し,F2.5h2.1N は 同様な水理条件でブロックなしを示す.

プール上流端から流下方向に x 軸,鉛直上向きに y 軸をと り,それぞれの時間平均流速を U,V,瞬間流速を ũ, v と した.計測項目は水深測定および流速測定である.ポイント ゲージを用いて水路中央断面における水面形の計測を行った. 続いて,電磁流速計を用いて水路中央断面における流速 ũ お よび v を計測した.計測点は跳水の規模に応じて変化させた が,おおよそ x 方向に 12 断面, y 方向に 12 点程度とした. 計測時間は 51.2s で計測間隔は 0.05s とした.なお,バッフル ブロックは横断方向に等間隔に設置されるが,対象とした流 れの水路中央はバッフルブロックの隙間に相当した.



図-1 斜水路対応型 USBR-III 型減勢池 表-1 実験条件(左:ブロックあり,右:ブロックなし)

$Fr \Delta y/h_1$	ⁱ 2.5	3.0	3.5	4.0		Fr_1 $\Delta y/h_1$	2.5	3.0	3.5	4.0
2.1	A	Α	Α	Α		2.1	Α	Α	Α	Α
1.0					1	10	0	0	0	0





図-2 水面形および流速ベクトル







- 3.実験結果および考察
- (1) 流れの様子

図-2に水面形および流入断面の断面平均流速 U_{m1} で無次 元化された流速ベクトル $\sqrt{U^2 + V^2}$ を示す.流れがバッフ ルブロックに衝突することで,プール内で跳水が発生して いる.ブロック設置によって強制跳水が発生したケースは, 表-1においてブロックなしでSだったものが,ブロックあ りでAとなったものである.

(2) 強制跳水の発生条件

図-3(a),(b)にブロックがない場合の水面形を示す.図 -3(a)より Fr_1 が2.5で $\Delta y/h_1$ が2.1の場合はプール内で跳水 が発生するが,それよりも $\Delta y/h_1$ が低下した場合は全ての ケースでスプレー状態となっていること,図-3(b)より $\Delta y/h_1$ が1.3では, Fr_1 が2.5~4.0の範囲では全てのケースで スプレー状態となっていることがわかる.

図-4(a),(b)にブロックがある場合の水面形を示す.図-4(a)より*Fr*₁が2.5の場合は,Δ*y*/*h*₁が0.9以下の時はスプレ

ー状態となっているが, $\Delta y/h_1$ が1.3以上の時はプール内で跳水が発生している.一方,図-4(b)より $\Delta y/h_1$ が1.3の時には Fr_1 が2.5~4.0の範囲ではすべてプール内で跳水が発生していることがわかる.すなわち図-3および図-4より,エンドシルの高さ Δy を流入水深 h_1 以上に設定すれば,プール内で強制的に跳水させることが可能といえる.(3)跳水長の変化

ブロックの設置が跳水長に及ぼす影響を検討するには,同一水理条件でブロックがある場合とない場合の跳水長を比較する必要があるが,表-1 に示したように,ブロックがない場合は多くのケースで spray 状態となり,実験値から 直接評価することが困難である.一方,直角壁の段上がりを有する流れにおける跳水長は次式で求められる²⁾.

$$\frac{L_r}{h_2 - h_1} = \left(-0.075 \frac{\Delta y}{h_1}\right) Fr_1 + \frac{\Delta y}{h_1} + 2.5 (1 \le \Delta y/h_1 \le 5 , 3.5 \le Fr_1 \le 12.5)$$
(1)

本実験におけるシルは直角壁ではなく斜面のため式(1)が適用できるか不明で ある.そこで,ブロックがない場合の実測された跳水長 *L*,'と式(1)から求めら れた跳水長 *L*,,'を図-5 に示した.なお,共役水深の計算値は次式で求められる.

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1 \right) \tag{2}$$

両者に多少の差違があるものの,式(1)を用いた予測値がある程度エンドシルを 有する流れに適用できると判断される.そこで,ブロックがない場合の跳水長の 予測値 L_{rc} 'を計算し,ブロックがある場合に実測された跳水長 L_r との比 L_r/L_{rc} ' を算出した,図-6に跳水長の減少率 L_r/L_{rc} 'と $\Delta y/h_1$ の関係を示す.減少率 L_r/L_{rc} ' がおよそ0.5程度であることから,シュートブロックおよびバッフルブロックを 設置することで,跳水長が約半分になっていることが証明された.

4.おわりに

本研究は, USBR-III 型減勢池を河道内に設置することで, 跳水制御が可能 かどうかを実験的に検討したものである.以下に結論を示す.

(1) 流入フルード数が 4 以下の場合,エンドシルの高さを流入水深以上にすればプール内で強制的に跳水を発生 させることが可能である.

(2) シュートブロックおよびバッフルブロックを設置することによって,跳水長が約半分になる.

(3) 本研究で提案した斜水路対応型 USBR-III 型減勢池を河川に適用することで,コスト削減に貢献できる. 参考文献

1) 鬼束幸樹,秋山壽一郎,伊瀬知栄人,首藤健次,水工学論文集,第49巻,2005(印刷中).

2) 鬼束幸樹,秋山壽一郎,伊瀬知栄人,木内大介,水工学論文集,第48巻, pp.865-870, 2004.



図-4(a) $\Delta y / h_1$ が水面形に及ぼす影響(ブロックあり)



図-4(b) Fr₁が水面形に及ぼす影響(ブロックあり)

 L'_{r}

 $h'_{-} - h$

0

1.5

L

 L'_{rc}

0.5

0

2

図-5 ブロックがない場合の跳水

長の実測値と計算値

F2.5h2.1N

F4.0h2.1N

□ F3.5h2.1N

4 $L'_{r}/(h'_{2}-h'_{1})$ 8

 $Fr_{1} = 2.5$

 $1 \Delta y/h_1 1.5$

▼ F2.5h2.1

o F2.5h1.3△ F2.5h0.9

▼ F3.0h2.1N

との関係

0.5

図-6 跳水長減少率とフルード数