

洪水時における砂防堰堤に設置された折り返し魚道周辺の流速特性

Velocity characteristics downstream of a pool type fishway installed in Sabo dam during flood stage

日本大学理工学部 正員 ○安田陽一

まえがき

近年の河川整備においては、利水・治水だけでなく、生態系の保全にも配慮するために河川横断構造物に魚道を設置するところが多くみられる¹⁾。しかし、河川構造物周辺の洪水時の流れが、魚道を設置することによってどのように変化するのか不明な点が多い。

最近の研究では、突出型魚道、引き込み型魚道が設置された場合の洪水時における魚道周辺の流況特性が示され²⁾、プール式魚道内の構造によって洪水時の流れによる礫の排出機能が異なる³⁾ことが明らかにされている。しかしながら、従来の折り返し魚道における洪水時の水理特性が解明されていないため、洪水時に輸送される礫が魚道内および魚道下流側で堆積し、魚道としての機能を失うことが多い⁴⁾。

既設の河川横断構造物の魚道を整備する場合、魚道内での礫の排出機能を持たせる⁵⁾ことは、魚道管理上必要である。

本研究では、洪水時を対象に折り返し魚道下流端の設置位置、および魚道開口高さの違いにより、折り返し魚道下流側の流速場にどのような違いが見られるのか実験的に検討を行った。

実験条件

実験は、表1の条件のもとで行った。模型の堰堤、減勢池、および副ダムに対応する各記号を図1、2に示す。図中の記号は次の通りである。水路幅 B 、魚道幅 b 、魚道開口高さ S 、堰堤水通し袖部の高さ h とし、減勢池底面から堰堤水通し天端までの高さ H 、堰堤の高さ H_s 、副ダムの厚さ t 、副ダム天端下流端から魚道下流端までの距離 L_f 、減勢池 L 、減勢池底面から副ダム下流の底面までの高さ D 、減勢池底面から副ダム天端までの高さ d 、堰堤水通し幅 a とする。

なお、折り返し魚道内の構造は、側壁傾斜部および越流斜面が $1:1$ の勾配を有する台形断面である。魚道の模型に対応する各記号を図3、4に示す。図中の記号の説明を表2に示す。

実験

水路幅 80cm、長さ 18m を有する長方形断面水平水路に写真1に示す模型縮尺 $1/15$ の模型を設置し、魚道開口高さの無次元量 S/h 、副ダム天端の下流端から折り返し魚道下流端までの水平距離 L_f を魚道幅 b で無次元化した量 L_f/b を変化させて折り返し魚道下流側の流速測定を行い、折り返し魚道下流側の流速特性について検討を行った。なお、フルードの相似則に基づき実験を行



写真1 実験に用いた折り返し魚道模型

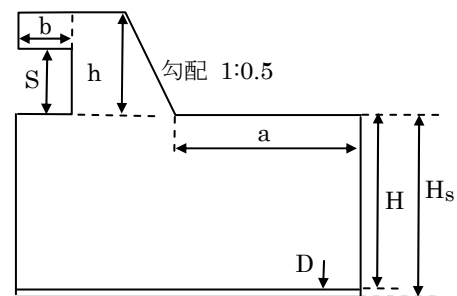


図1 砂防堰堤横断面図

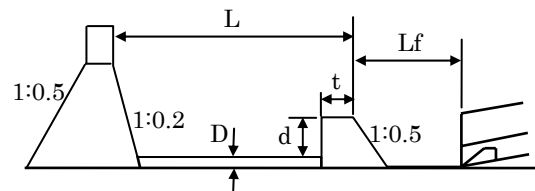


図2 砂防堰堤の減勢池および副ダムの縦断面図

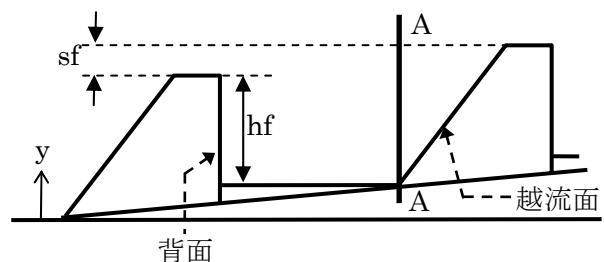


図3 台形断面魚道縦断面図

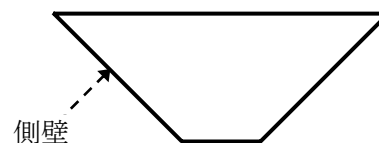


図4 台形断面魚道横断面図 (A-A断面)

キーワード：自由跳水、レイノルズ数、乱流境界層、フルードの相似則

連絡先：〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8; Tel.&Fax.: 03-3259-0409; E-mail: yokyas@civil.cst.nihon-u.ac.jp

第 35 回土木学会関東支部技術研究発表会第 II 部門

った。また、流速測定には I 型ブルーブを有する 2 次元電磁流速計を用いた。副ダム下流側の下流水位の設定は、静水状態で水位が魚道最下流端の隔壁の天端に位置する程度とした。

流況の説明

写真 1 に示す堰堤に設置された折り返し魚道模型を用い、流況の変化過程を検討したところ、流況は無次元量 d_c/h 、 L_f/b 、 S/h によって変化する。本実験では表 1 に示されるように、 d_c/h 、 L_f/b 、および S/h を変化させ、12 パターンの実験を行った。

$d_c/h=0.195$ の場合、 L_f/b 、 S/h の大きさに関わらず魚道内の流れは折り返し部を除いて全区間で射流が形成され、副ダムから越流した流れが下流の底部に衝突した直下流では一部射流となるが、直ちに跳水が形成され、魚道設置区間の下流側においては常流となる。(写真 2、3) $d_c/h \geq 0.430$ の場合(写真 4、5)、魚道を通する流れが副ダム水通し袖部に衝突し、水位上昇に伴い魚道の下流部で常流の流れが形成される。そのため、魚道内で潜り込み流れが形成される(写真 6)。

なお、潜り込み先端の位置は、 d_c/h 、 L_f/b 、および S/h によって変化する。

副ダム下流側の流況については、副ダムから越流した流れが副ダム下流の底部に衝突した後、射流となり、少なくとも魚道設置区間では、射流の流れが続いている。なお、本実験では、魚道から流出する流れが副ダムを越える流れによって、どのように影響されるのかを検討することが主目的である。このことから、魚道および副ダムから下流側の流況に影響されにくくするため、特に流量規模の大きい $d_c/h \geq 0.430$ の場合、魚道設置区間で射流の流れが形成されるようにしている。

表 1 実験条件

B (m)	0.80	t (m)	0.10
b (m)	0.13	L_f (m)	0.12 , 0.31
S (m)	0.067 , 0.20	L (m)	0.72
h (m)	0.20	d (m)	0.09
H (m)	0.37	D (m)	0.03
H_s (m)	0.40	a (m)	0.434
Q (m^3/s)	0.0141 , 0.0452 , 0.0762		
d_c/h	0.195, 0.430, 0.440, 0.610, 0.645		
L_f/b	0.90 , 2.30	S/h	1.00 , 0.333

注) d_c は水通しからの流出量から算定した限界水深である。

表 2 実験で用いた魚道模型の条件

隔壁間の落差高さ sf	$= 1.33$ (cm)
プール深さ hf	$= 2.66$ (cm)
相対プール高さ hf/sf	$= 2.00$
測定高さ y	$= 2、5、10$ (cm)
相対測定高さ $y/(sf+hf)$	$= 0.5、1.25、2.5$
魚道勾配	1/7
越流角度	45 度
隔壁上流面の傾斜角度	90 度
側壁勾配	45 度

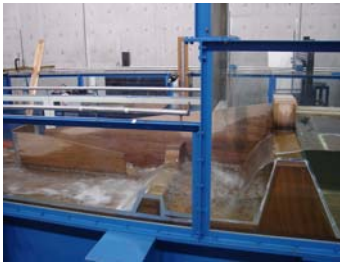


写真 2 $d_c/h=0.195$ の流況
($S/h = 1/3$, $L_f/b = 2.30$)



写真 3 魚道内を射流で流下する流況
($d_c/h = 0.195$, $S/h = 1.00$, $L_f/b = 0.90$)



写真 4 $d_c/h=0.430$ の流況
($S/h=1.00$, $L_f/b=0.90$)



写真 5 $d_c/h = 0.650$ の流況
($S/h = 1.00$, $L_f/b = 0.90$)



写真 6 魚道内で潜り込み流れが形成される流況
($d_c/h=0.650$, $S/h=1.00$, $L_f/b=0.90$)

第35回土木学会関東支部技術研究発表会第II部門

魚道開口高さによる魚道下流部の流速場の違い

折り返し魚道上流端の魚道開口高さ S/h の違いによって、魚道下流部および副ダム下流側の流速にどのような違いが生じるのか $S/h=1.00$ (全開放状態)、 $S/h=1/3$ (1/3 開放状態) の場合について検討を行った。 $y/(sf+hf)=0.5$ における時間平均された平面流速ベクトルを図5、6に示す。なお、流速ベクトル図の縦軸と横軸の座標は、魚道幅 b で無次元化し、流速ベクトル V を水通しからの流出量から算定した限界流速 V_c で無次元化した。

図5、6に示されるように、魚道下流付近(図中の破線で囲まれた部分)の流速を同一の d_c/h 、 L_f/b のもとで比較すると、 $S/h=1.00$ の場合、 $S/h=1/3$ の場合より魚道下流付近の流速が大きくなることが分かった。これは、魚道内に流入する流量が $S/h=1/3$ の場合より $S/h=1.00$ の場合が大きくなるため、相対落差高さ sf/d_{cf} (d_{cf} は魚道内の流量から算定した限界水深) が小さくなり魚道内の流水抵抗が小さくなったため、魚道から流出する流速が大きくなったものと考えられる。

測定高さによる魚道下流部の流速場の違い

同一の d_c/h 、 L_f/b 、 S/h 、 S/b のもとで、測定位置の違いによって流速場がどのように異なってくるのか検討を行った。 $y/(sf+hf)=0.5$ 、 $y/(sf+hf)=2.5$ における平面流速ベクトルを図6、7に示す。

図6、7に示されるように、 $y/(sf+hf)=0.5$ の場合、 $y/(sf+hf)=2.5$ の場合と比べて魚道から流出する流れの流速(図中の破線で囲まれた部分)が大きくなっていることが分かる。

魚道から流出した流れが、副ダムに衝突することにより、魚道下流側で常流の流れが形成され、潜り込み流れが形成される。この場合、底面近くの流速が大きくなっていることから、主流が底面付近を沿って流下しているものと推定される。

魚道下流端位置による魚道下流部の流速場の違い

折り返し魚道下流端位置 L_f/b の違いによって、魚道下流部の流速場にどのような違いがあるのか検討を行った。同一の d_c/h 、 S/h 、 S/b のもとで、 $y/(sf+hf)=0.5$ における平面流速ベクトルを図5、8に示す。

図5、8に示されるように、流速ベクトル(図中、破線で囲まれた部分)の流速場を比較すると、 $L_f/b=2.30$ の場合、 $L_f/b=0.90$ の場合に比べて流速が小さくなっていることが確認できる。これは、 L_f/b が大きい場合、魚道から流出した流れが、副ダムから越流した流れに干渉されやすいことが原因として考えられる。

あとがき

砂防堰堤に設置された折り返し魚道下流側の洪水時の流況特性を知るため、魚道から流出する流れが副ダムを越える流れによってどのように影響されるのかを検討したところ、 S/h を大きくすることによって、魚道下流部の流速が大きくなることが分かった。また、魚道から流出した流れ

が、副ダムに衝突することで、魚道下流内に潜り込み流れが形成され、主流が底面付近を沿って流下していることから、 $y/(sf+hf)=0.5$ の場合、 $y/(sf+hf)=2.5$ の場合に比べて魚道延長上の下流側の流速が大きくなっていることが分かった。さらに、 L_f/b を大きくすることによって、魚道から流出した流れは、副ダムから越流した流れに干渉されやすくなり魚道延長上の下流部の流速が小さくなったことが分かった。

参考文献

- 1) 中村俊六；“魚道のはなし”，山海道，全225ページ，1995.
- 2) 安田陽一，大津岩夫；洪水時における河川横断構造物周辺の流況特性に対する魚道設置の影響，河川シンポジウム，河川技術論文集，第14巻，2007.
- 3) 安田陽一；魚道構造による出水時でのプール内の礫の排出効果，第4回流体力の評価とその応用に関する講演集，土木学会，基礎水理部会，2006，CD-ROM.
- 4) 安田陽一，大津岩夫；洪水時に輸送された礫の排出可能な折り返し魚道の提案，第62回年次講演会，土木学会，2007，CD-ROM.
- 5) 安田陽一；魚道整備における工学と生態学との連携，日本水産学会誌，特集 河川管理-ダムと水産，Vol.73, No.1, pp.116-119, 2007.
- 6) 高橋正行，安田陽一，大津岩夫；階段状水路の流水抵抗と水理設計法，第4回流体力の評価とその応用に関する講演集，土木学会，基礎水理部会，pp.57-64, 2006

謝辞

本研究は平成19年度科学研究費（基盤研究C）（課題番号：18560503）の補助を受けた。ここに記して謝辞を申し上げる。

第 35 回土木学会関東支部技術研究発表会第 II 部門

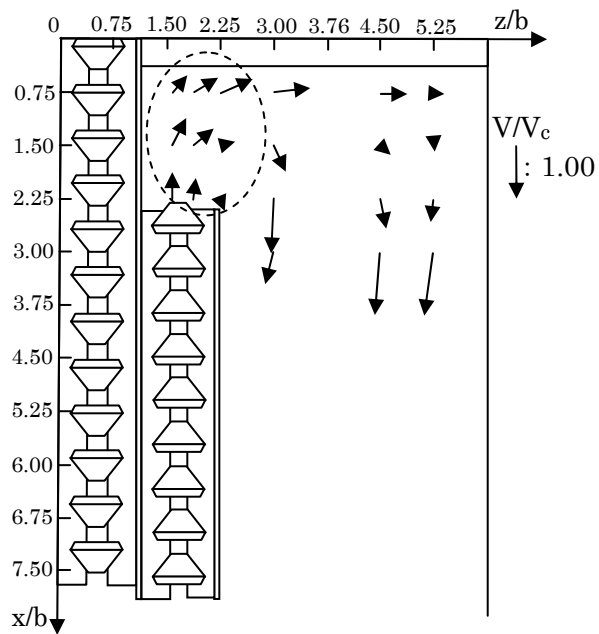


図 5 $y/(sf+hf)=0.5$ における平面流速ベクトル図
($d_e/h=0.4645$, $L_e/b=2.30$, $S/h=1/3$, $S/b=0.501$)

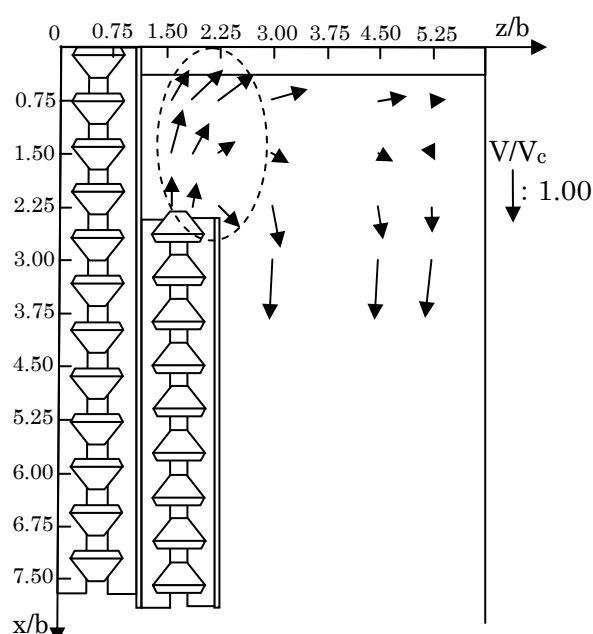


図 6 $y/(sf+hf)=0.5$ における平面流速ベクトル図
($d_e/h=0.645$, $L_e/b=2.30$, $S/h=1.00$, $S/b=1.50$)

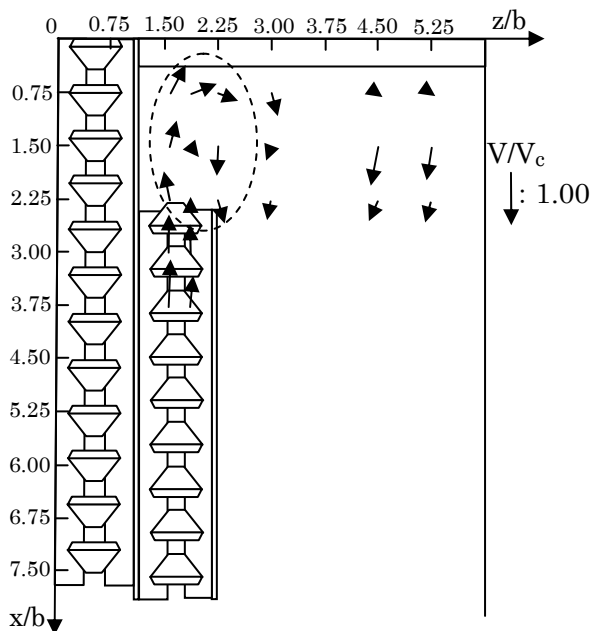


図 7 $y/(sf+hf)=2.5$ における平面流速ベクトル図
($d_e/h=0.645$, $L_e/b=2.30$, $S/h=1.00$, $S/b=1.50$)

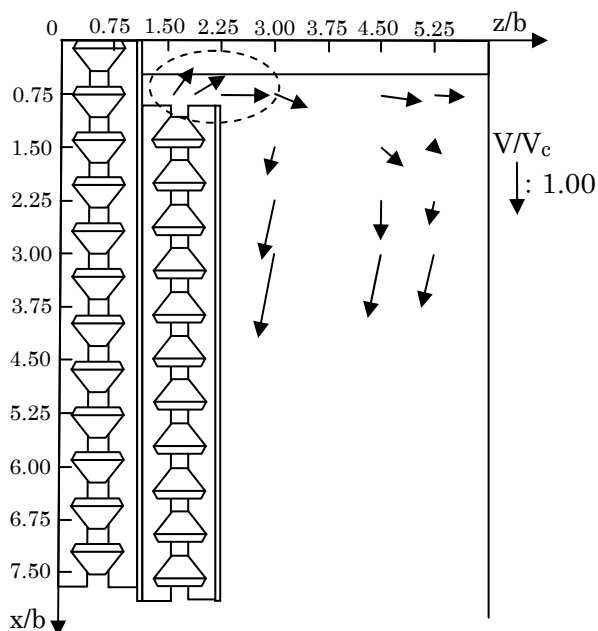


図 8 $y/(sf+hf)=0.5$ における平面流速ベクトル図
($d_e/h=0.645$, $L_e/b=0.90$, $S/h=1/3$, $S/b=0.501$)