

プール式台形断面魚道における隔壁周辺の流況特性

Flow characteristics around weir in a pool type fishway with trapezoidal section

(株)エイトコンサルタント 正会員○大西 貴

日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻 高橋 直樹

日本大学理工学部土木工学科 正会員 安田陽一

日本大学理工学部土木工学科 フェロー会員 大津岩夫

まえがき 近年、河川に生息する多様な水生生物の遡上・降河に配慮した魚道整備が求められており、安田らは、側壁を傾け、隔壁落差 s に対してプール水深 H (図-1) を相対的に小さくした台形断面魚道を実河川に設置し、遊泳魚だけでなく、甲殻類や底生魚が遡上・降河していることを確認している¹⁾。また、従来のプール式魚道に比べ出水時後において、プール内に土砂が堆積していないことを確認されている^{2), 3)}。水工設計上、プール式台形断面魚道を有効に利用するためにはその水理特性を系統的に解明する必要がある。

ここでは、通常時のプール式台形断面魚道内に形成される流況（潜り込み流れ）の特性を明らかにするため、隔壁設置断面での側壁に沿った水面変動、隔壁背面（上流面）に沿った流速、および隔壁背面（上流面）に作用する圧力の特性について実験的に検討を加えた。

実験 写真1に示すプール式台形断面魚道模型（1/3 スケールを想定）は、魚道勾配 $i=1/7$ 、背面の傾斜勾配 90° 、越流面の傾斜勾配 45° 、側壁の勾配 $1:1.0$ の魚道である。 $H/s=2.5, 1.5$ において、隔壁設置位置での側壁に沿った水面変動 Δh を調べるため、水位の最大と最小の値を測定した。

ここに示す水面変動 Δh は隔壁設置位置の隔壁に沿った水位から、瞬間最大値と瞬間最小値の差として算定している。この計測の実験条件を表-1に示す。

また、流速および圧力を調べるために隔壁上流面の中央部、側壁側（図2参照）に圧力取出し孔およびピトー管を設置しプール底部から2cm毎に天端まで測定した。実験条件は、 $H/s=2.5$ の場合 $s/d_c=2.0, 1.3, 1.0$ の3ケース、 $H/s=1.0$ の場合、 $s/d_c=2.5, 1.3$ の2ケースの計5ケースである。ここに、 H はプール深さ、 s は隔壁間の高さ、 d_c は限界水深を示し、 H/s は相対プール深さを示す無次元量で、 s/d_c は相対隔壁落差高さである。

隔壁設置位置での水面変動 $H/s=2.5$ における s/d_c による隔壁設置位置での側壁に沿った水面変動 $\Delta h/d_c$ の変化を図-3に示す。図-3より、第2隔壁を除いて $s/d_c=1.4$ 近くで相対的な水面変動値 $\Delta h/d_c$ が最大となる。また、同一の s/d_c に対して隔壁の設置位置によって $\Delta h/d_c$ の値が異なる。これらは、台形断面の幾何学的な形状の影響を受けて主流の隔壁上流面に衝突する位置が異なったためと考えられる。 $H/s=1.0$ の場合を図-4に示す。図に示されるように、 $H/s=2.5$ の場合と異なり、 s/d_c が小さくなるほど $\Delta h/d_c$ が大きくなる傾向がある。これは、相対プール水深 H/s が小さいため、主流の隔壁への衝突が横断方向に変化しにくくなったためと考えられる。

隔壁上流面に沿った流速分布・圧力分布 隔壁上流面に沿う鉛直方向の流速 V （上向きを正）について $V/V_c = f(y/H, H/s, s/d_c, i)$ (隔壁設置場所、測定位置) で整理したものを図-5~7に示す。ここで V_c は限界流速である。また、隔壁上流面に作用する流体運動による圧力 p_d ($p_d = p - p_s$ を表し、 p_s は水の重量による圧力 ($p_s = \rho g(h + H - y)$: h = 隔壁上部の水深) である) について $p_d / (0.5 \rho V_c^2) = f(y/H, H/s, s/d_c, i)$ (隔壁設置位置、測定位置) の関係で整理したものを図-8~10に示す。

図に示されるように、 $H/s=1.0$ の場合、隔壁中央部と側壁側（図2参照）との間で流速分布および圧力分布の違いが小さいものの、 $H/s=2.5$ の場合にはその違いが大きい。 $H/s=2.5$ の場合、台形断面の形状の影響を受けて隔壁上流面に接近する流れの3次元性が強くなり、流速および圧力ともに側壁側と異なった分布になる。図-7~10に示されるように、圧力 p_d の極大値が生じている。これは隔壁上流面に衝突した流れによって極大値が生じたものと考えられる。特に、 $H/s=2.5$ の場合では、衝突付近 ($y/H=0.1 \sim 0.2$ 付近) でよどみ点が生じ、壁面に沿った鉛直方向の流速から上向き流れと下向き流れが生じていることが認められる（図-6, 7）。また、 $H/s=1.0$ の場合、 p_d の極大値が生じる y/H の位置が $H/s=2.5$ の場合に比べて上方にある。これは、プール水深

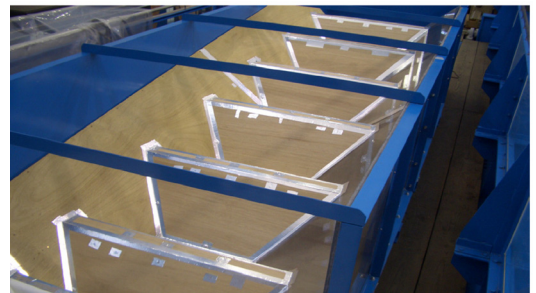


表-1 実験条件①

流量 Q (L/s): $6.9 \leq Q \leq 87.3$
相対プール深さ $H/s=1.0$ 1.5 2.0 2.5
$1.0 \leq s/d_c \leq 5.3$ d_c (m): 限界水深
隔壁間の落差高 s (m): 0.09 魚道勾配: 14%
越流面角度: 45度 背面角度: 90度
側壁角度: 45度

表-2 実験条件②

$H/s=2.5$	$H/s=1.0$
$s/d_c=1.0, 1.3, 2.0$	$s/d_c=1.3, 2.1$
隔壁間の落差高 s (m): 0.09	魚道勾配: 14%
越流面角度: 45度	背面角度: 90度
側壁角度: 45度	

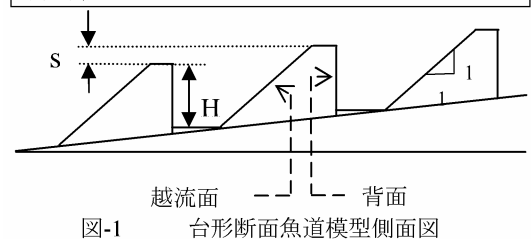


図-1 台形断面魚道模型側面図

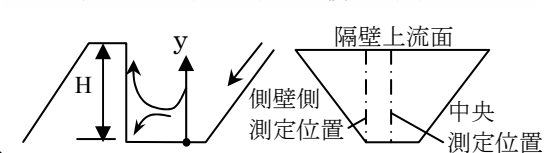
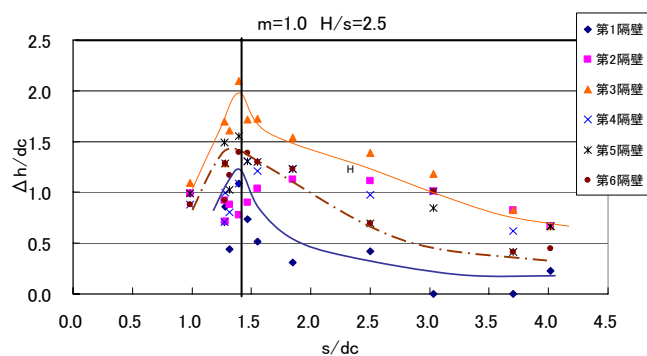
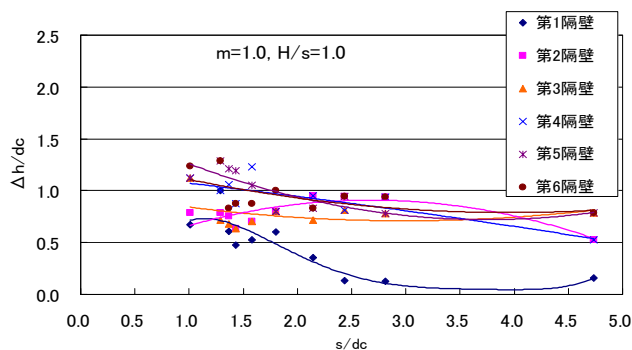
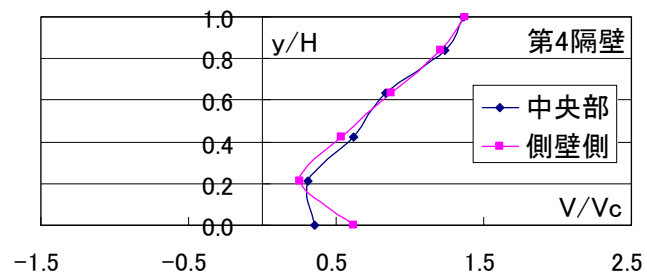
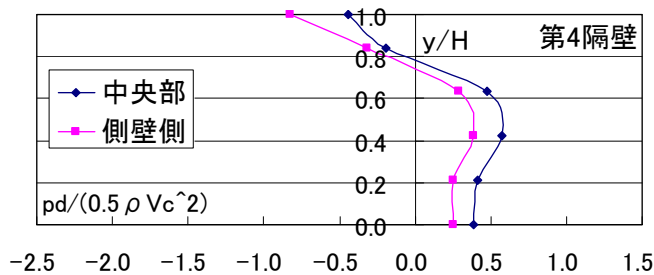
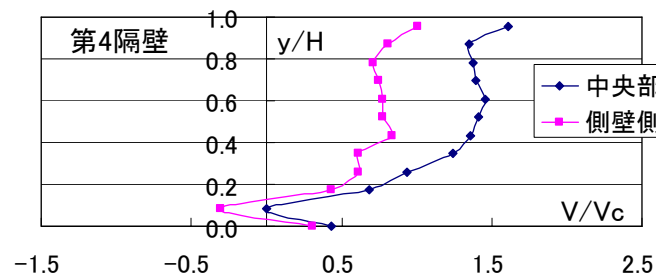
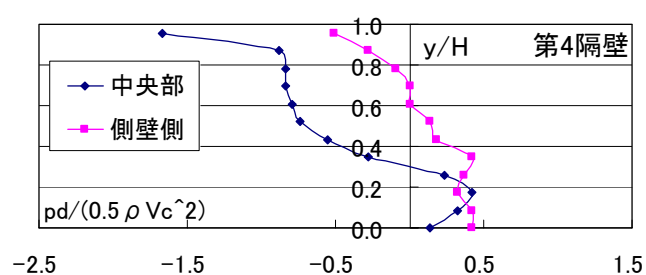
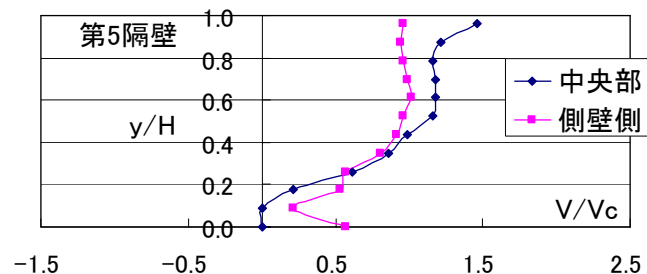
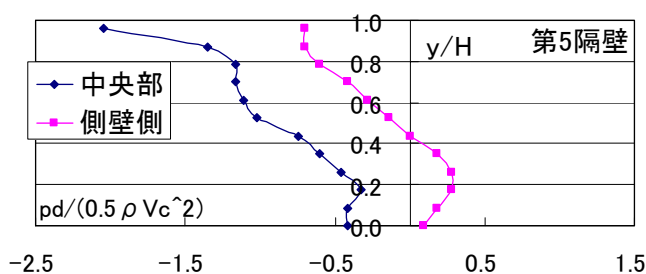


図-2 補足説明図

図-3 s/dc による $\Delta h/dc$ の変化($H/s=2.5$)図-4 s/dc による $\Delta h/dc$ の変化($H/s=1.0$)図-5 隔壁上流面に沿った流速($H/s=1.0$, $s/dc=1.34$)図-8 隔壁上流面に作用する圧力($H/s=1.0$, $s/dc=1.34$)図-6 隔壁上流面に沿った流速($H/s=2.5$, $s/dc=2.05$)図-9 隔壁上流面に作用する圧力($H/s=2.5$, $s/dc=2.05$)図-7 隔壁上流面に沿った流速($H/s=2.5$, $s/dc=2.05$)図-10 隔壁上流面に作用する圧力($H/s=2.5$, $s/dc=2.05$)

が相対的に小さいため、主流が上昇しやすくなったためと考えられる。さらに、 $H/s=2.5$ の場合、同一の H/s , s/dc に対して、隔壁上流面の中央部と側壁側とでは流速および圧力の分布が異なる (図 9, 10)。これは、相対プール深さが $H/s=1.0$ に比べて大きいため、台形断面の形状の影響を受けたことによるものと考えられる。また、隔壁場所によって隔壁中央部の圧力の大きさが異なる。これは、隔壁を越える流れの状況が隔壁設置場所によって異なり、隔壁上流面中央部に接近する流れが変化したためと考えられる。なお、隔壁上部付近においては側壁側の流速が中央部の場合に比べて小さくなっている。このことから側壁側では中央部の場合に比べて遊泳魚が遡上しやすい流れになりやすいことが推定できる。

まとめ

表-1.2 に示す実験条件のもとで流況特性を検討した結果、隔壁設置位置での側壁に沿った水面の変動特性が H/s および s/dc によって異なることを示した。また、隔壁背面に沿った流速分布及び隔壁背面に作用する圧力分布については、 H/s および s/dc によって背面の中央部と側壁側で異なる流速分布と大きさを示すことを明らかにした。

参考文献 1) 安田陽一ら他 4 名; 多様な水生生物の遡上・降河に配慮したスリット砂防堰堤に設置する魚道の提案とその効果, 第 11 回河川技術論文集, 土木学会, pp.487-492, 2003. 2) 安田陽一ら他 4 名; 長崎県千綿川に設置された台形断面魚道の特徴と魚道の効果, 第 11 回河川技術論文集, 土木学会, pp.435-440, 2005. 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.