

アイスハーバー型魚道における流れの時間的変動特性に関する実験的研究

九州工業大学大学院 学生員 ○澤田 尚人
九州工業大学工学部 正 員 浦 勝 秋山壽一郎
九州工業大学工学部 非会員 宗 正裕

1. はじめに

従来の階段式魚道の欠点を改善するものとして 現在、隔壁に非越流部と潜孔を持つアイスハーバー型魚道が多く採用されている。しかしながらこれらの寸法をどのように決定すべきか根拠が明確でない、本研究は実河川に設置されているアイスハーバー型魚道の縮尺模型を用いて流量算定式の検証を行うとともに、潜孔の大きさがプール内の水面変動・流速変動に与える影響を定量的に調べ、各変動量を最小とする潜孔の寸法を示した。さらに魚道の機能する流量範囲を拡張するため左右の越流天端高を変えた場合についても調べた。

2. 実験概要

実験魚道は図-1 に示すように、勾配 1/12.5、全長 4.0m、幅 $B=50\text{cm}$ のアクリル製水路に図-2 に示す形状 (Type1 又は Type2) の木製隔壁を 50cm 間隔でプール間水位差が $\Delta H=4\text{cm}$ になるように配置した。Type1 は遠賀川に設けられた魚道の 1/5 縮尺模型である。実験条件は、表-1 に示すように潜孔幅 B_o を変化させた Case1 から Case4 と、潜孔幅を Case3 と同じにし、右岸側の越流部天端高を上げ、左右の天端高の差を $d=4\text{cm}$ にした Case5 の計 5 ケースである。いずれのケースも潜孔高 $H_o=5\text{cm}$ ($H_o/B=0.1$) に固定して行った。越流部での変動流速は 2 次元電磁流速計を用い、水面変動は波高計を用いて、サンプリング周波数をそれぞれ 20Hz、3Hz、データ個数を 1024 個に設定して測定を行った。

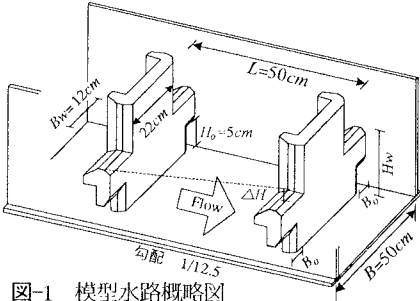


図-1 模型水路概略図

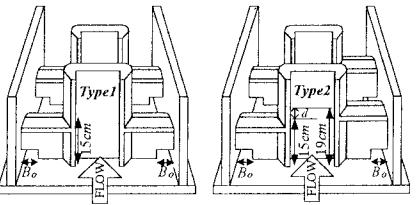


図-2 隔壁形状

表-1 実験条件

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
隔壁形状	Type 1	Type 1	Type 1	Type 1	Type 2
$B_o(\text{cm})$	0.0	4.0	6.0	8.0	6.0
$2B_o/B$	0.0	0.16	0.24	0.32	0.24
$h(\text{cm})$	3 ~ 6				3 ~ 10
h/h_o	0.5 ~ 1.0				0.5~1.67
$A_o/H_w B$	$(2/3) B_o/B$				

3. 実験結果および考察

実験で得られた魚道全流量 Q と越流水深 h との関係を図-3 に記号を変えて示す。なお、 h は設計越流水深 $h_o (=6\text{cm})$ で、 Q は設計越流流量 Q_{w0} (式 (2) で $h=h_o, C_w=1.0$ として算出) で、それぞれ無次元化している。魚道内理論流量は越流流量と潜孔流量の和であると考えると次式で表される。

$$Q = Q_w + Q_o \tag{1}$$

ここに $Q_w = C_w \cdot (2/3) h \sqrt{(2/3) g h} \cdot 2B_w$ ($C_w = 0.85$) $\tag{2}$

$Q_o = C_o \cdot \sqrt{2g \Delta H} \cdot 2B_o H_o$ ($C_o = 0.90$) $\tag{3}$

〈 〉内の流量係数は Case2~4 の実験値に最も合うように選んだものであり、これらの式による値を図-3 に実線で示した。上述の流量係数を用いると実験値はほぼ理論曲線にのり、式 (1) で魚道流量を表すことができる。しかし、越流部や潜孔部などの隔壁形状の違いや越流水深の変化により流況が変化するため流量係数には注意を払わなければならない。

次に図-4 にプール中央における水面変動強度 y/h_o と相対越流水深 h/h_o との関係を潜孔の大きさをパラメータとして示す。 $h/h_o=0.83$ 付近までは潜孔幅が大きくなるほど変動強度が増加する傾向がある。これはプール内の流れが潜孔流に

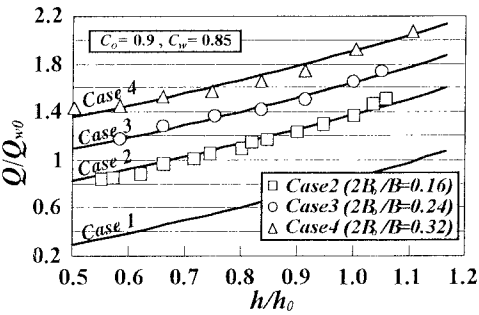


図-3 越流水深に対する流量変化

よって支配され水面変動に与える影響が大きいのである。しかし $h/h_0=0.83$ を越えると潜孔幅の増加によって水面変動が抑制される。これらのことから h/h_0 の広い範囲にわたって水面変動を極小とするのは○印の Case3 ($2B_o/B=0.24$) 近傍であることがわかる。図-5 に越流部における水面変動の相関関数より算出した水面変動の時間スケール T を無次元化したものを示す。Case1, Case2 では流量増加に伴い変動スケールが大きくなる傾向があるのに対し、Case3 では一定して小さい値を示している。変動スケールが小さくなる Case3 ではプール内で一定した流れが形成されているのに対し、Case1, Case2 では底部に一定な潜孔流が確保されていないため、プール内に大きな循環流が生じ、変動スケールが大きくなる傾向があると考えられる。図-6 に越流部における主流速の乱れ強度 ($u'/\sqrt{2g\Delta H}$) を示す。無次元化には理論潜孔流速を用いた。Case1 では水面変動強度と同様に $h/h_0=0.83$ 以降に急増している。Case3, 4 では流量変化に関係なく小さな値を示しているのに対し Case2 では流量増加に対してやや大きくなる傾向がある。このように、水面変動強度が越流部の主流速の乱れ強度に大きく起因していることがわかる。

次に Type2 の隔壁を有する魚道について調べた。図-7 は Case5 の $h/h_0=1.67$ における越流部主流速を理論潜孔流速で無次元化したコンターを示したものである。このとき右岸側は設計越流水深 ($h/h_0=1.0$) 時に対応する。左岸側では流れが集中し、表面流を加速するが、右岸側では遡上可能な流速域が存在する。Case5 の両岸越流部における主流速の乱れ強度を図-6 の右側に示す。左岸側は流れの集中のため乱れ強度は増大するが、その場合においても右岸側は越流水深が小さいため乱れ強度は一定して小さく保たれている。図-8 に Case5 における無次元化した魚道流量と相対越流水深の関係を示す。同図には式 (2) の流量係数を $C_w=1.5$ とした理論曲線を示している。図示した理論曲線はほぼ実験値に一致している。ただし、高流量時は左岸側越流部で落下流ならず、表面流状態となるため流量は理論値よりも大きくなる傾向がある。以上より、越流しはじめてから設計越流水深に達するまでを魚道の機能する範囲であると仮定すると、図-3 に示した Case3 に比べ Case5 は、この流量範囲を約 3 倍まで拡張できることとなる。

4. おわりに

本魚道の設計流量は式 (1) ～式 (3) でほぼ表すことができる。また潜孔幅は流れの安定や水面変動・流速変動の抑制のため、相対潜孔幅 ($2B_o/B$) が 22～24% の時が最適であった。さらに Type 2 では、Type 1 に比べて機能する流量範囲を広げることが可能である。

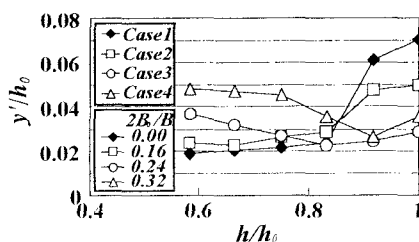


図-4 水面変動強度

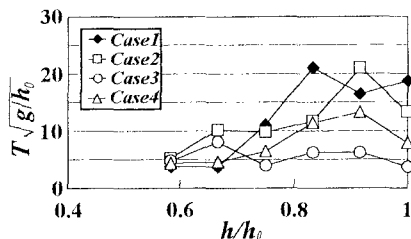


図-5 水面変動の時間スケール

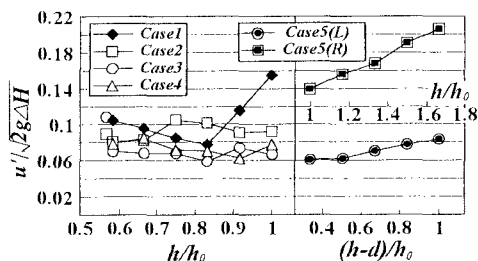


図-6 越流部主流速の乱れ強度

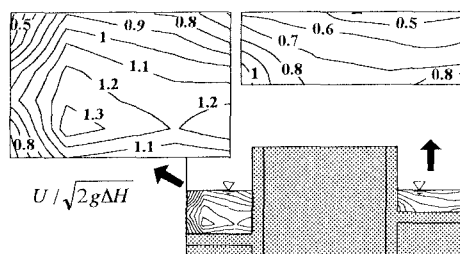


図-7 Type2における越流部主流速コンター

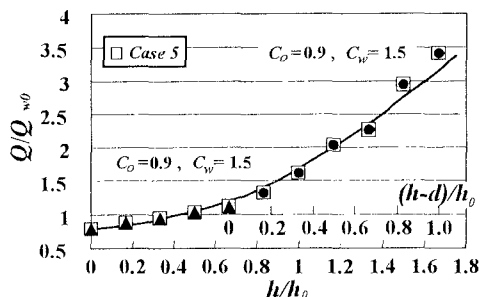


図-8 Case5における流量変化