

三次元解析による魚道の水理特性の解明

国土交通省中国地方整備局 正会員 岡崎 大宜
岡山大学大学院環境学研究科社会基盤環境学専攻 学生会員 玉川 勝也
岡山大学環境理工学部環境デザイン工学科教授 正会員 前野 詩朗

1. はじめに

魚道は、魚類の移動への障害を軽減する手段として重要な水理構造物となっている。魚道は、一般に三次元形状を有するものが多いため、魚道の水理機能を適切に評価し、魚目線に立った魚道を新たに開発するためには、より精度の高い解析手法を用いて、あらかじめ三次元的な流況を検討することが不可欠である。

そこで本研究は、今後求められる魚道として、様々な魚種や甲殻類にも対応しうる魚道・許容水量幅のある魚道・維持管理の容易な魚道を提案し、数値解析を行い魚道の流況を考察することで、より自然環境に適合した魚道づくりに役立てることを目標としている。

2. 解析プログラムの実証実験

2.1. 実験・解析概要

水路は、長さ 5.0m、幅 0.4m、高さ 0.6m、勾配 1/10 の循環水路である。長さ 1.6m、幅 0.4m、高さ 0.40m、切り欠き幅：0.08m、切り欠き高さ：0.08m、の交互切り欠きプール型魚道模型（写真-1）を設置し、流量を 1.48l/s とし、流速と水面形の計測を行った。

解析には、FLOW-3D (FLOW Science 社)を用いた。解析モデルは、メッシュ間隔を 1cm とし、隔壁形状は実験と同じモデルを使用した。流量 1.48l/s を流入させ、流速の変化・水面形の変化がほとんど無くなったことから、定常状態になったと考えられる 45 秒後のデータを用いることとした。

2.2 結果の比較

図-2.1 は上流から 3 つめのプールの右岸から 3.5cm の断面の流速分布を示している。図より、流れの循環・方向など全体的な流れの傾向や越流流速は実験値を再現できていることがわかる。図-2.2 は、第 2 隔壁越流部の実験と解析の流速の差を実験値で割った無次元量：流速差/実験値(%)と実験と解析の流速ベクトルの角度の差を示している。図より、解析値と実験値は良く一致していることがわかる。また、図-2.3 に示す水面形より、解析は実験値を良く再現できていることがわかる。これらの結果より、FLOW-3D は、実験値を完全には再現できないものの、交互切り欠きのプールタイプ魚道の 3 次元的な流況を良好に再現できることがわかった。以下では、本解析法を用いて、階段式プールタイプ魚道の特性を解



写真-1 交互切り欠き

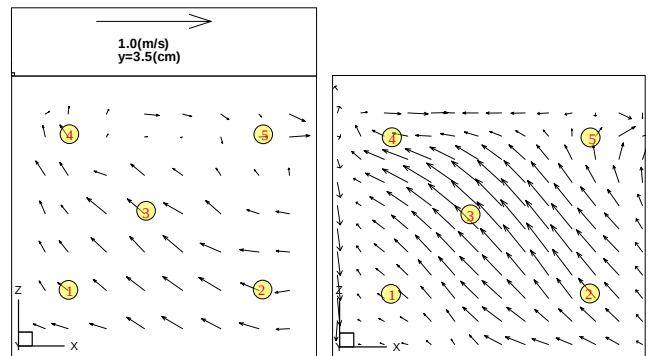


図-2.1 縦断流速分布 (y=3.5cm, 左：実験, 右：解析)

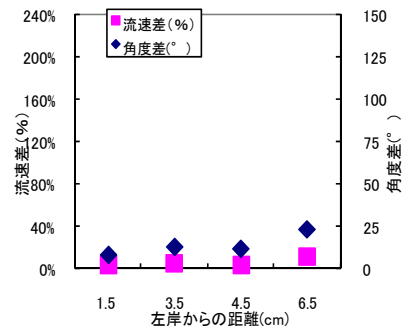


図-2.2 流速・角度比較(第2隔壁越流部)

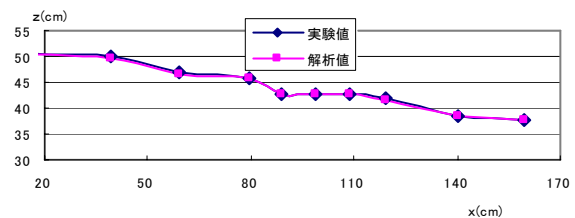


図-2.3 水面形

析的に検討する。

3. 階段式プールタイプ魚道（片側切り欠き・ノルウェー型）の流況解析

3.1 解析モデル

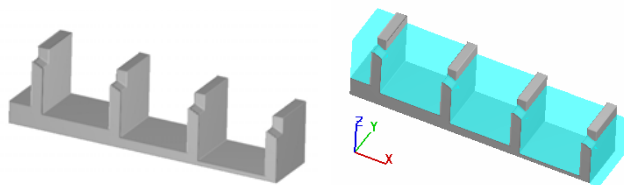


図-3.1 模型鳥瞰図 (左), 初期状態 (右)

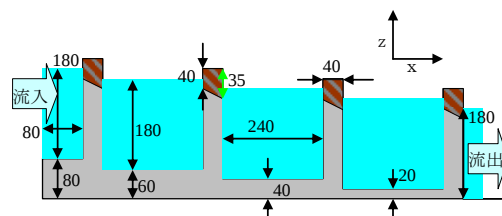
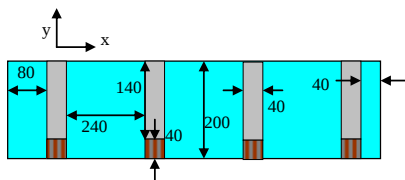
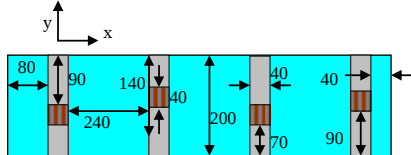


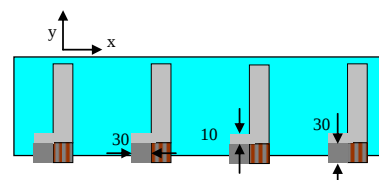
図-3.2 片側切り欠き縦断面図 (単位: cm)



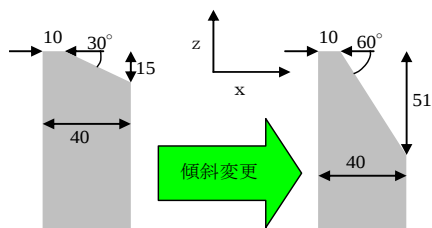
(a) 片側切り欠き平面図



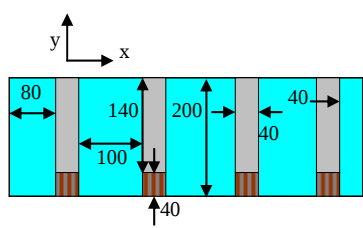
(b) ノルウェー型平面図



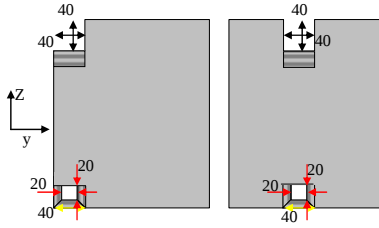
(c) 片側切り欠きシュート付き平面図



(d) 切り欠き部縦断面図



(e) 片側切り欠きプール長 100cm 平面図



(f) 下流から見た潜孔位置図

(左: 片側切り欠き, 右: ノルウェー型)

図-3.3 各ケースの断面図(単位: cm)

表-3.1 解析条件 (片側切り欠き, ノルウェー型)

プール長	切り欠き傾斜	シュート	潜孔	ケース名
2.4m	30°	なし	なし	OL-30-00
2.4m	30°	あり	なし	OL-30-01
2.4m	30°	あり	あり	OL-30-10
2.4m	60°	なし	なし	OL-60-00
2.4m	60°	あり	なし	OL-60-01
2.4m	60°	あり	あり	OL-60-10
2.4m	60°	あり	あり	OL-60-11
1.0m	30°	なし	なし	Os-30-00
1.0m	30°	あり	なし	Os-30-01
1.0m	30°	あり	あり	Os-30-10
1.0m	60°	なし	なし	Os-60-00
1.0m	60°	あり	なし	Os-60-01
1.0m	60°	あり	あり	Os-60-10
1.0m	60°	あり	あり	Os-60-11

図-3.1, 3.2 に階段式プールタイプ魚道を模擬した解析対象モデルを示す。また, 図-3.3(a)に示す水路勾配 1/14 の片側切り欠き階段式プールタイプ魚道のモデルを基本にして, 図-3.3(b)の切り欠き位置をずらしたモデル, 図-3.3(c)の切り欠き部分にシュートを付けたモデル, 図-3.3(d)の切り欠き部の傾斜を変化させたモデル, 図-3.3(e)のプール長を 100cm に短縮したモデル, さらに, 図-3.3(e)の潜孔を付けたモデルを対象に解析を行った。解析条件を表-3.1, 3.2 に示す。ケース名の 1 文字目は, 片側切り欠きの One-side notch とノルウェー型の Norway の頭文字をとり頭文字をとり「O」, 「N」とし, 2 文字目は, プール長の 2.4m と 1.0m をそれぞれ Long と Short とし, Long と Short の頭文字をとり「L」, 「s」とた。ケース名の「30」, 「60」の部分は切り欠き傾斜の 30°, 60°を示しており, 最後の二文字はそれぞれシュートと潜孔の有無

を示しており, 無しの場合は「0」, 有りの場合は「1」と表記している。流入量は潜孔がないケースで 90(l/s)とし, 潜孔があるケースは 130(l/s)と 190(l/s)とし下流端条件は 1.8m で水位固定とした。粗度係数は底面, 側面, 隔壁のいずれも 0.013 とした。解析では流速・水面形の変化がほとんど無く, 定常状態となったと考えられる計算開始 30 秒後のデータを抽出することにした。

3.2 解析結果

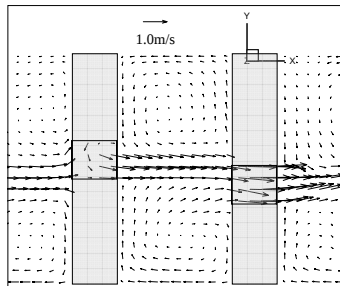
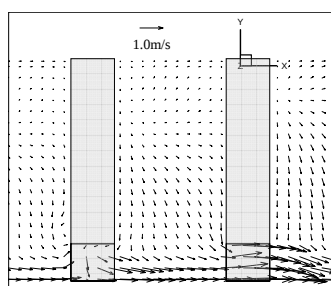
3.2.1 切り欠き位置

まず, 切り欠き位置による変化は, 図-3.4 に示すように片側切り欠きである Os-60-00 では, 越流が直線的に次の切り欠きへ流れている。しかし, ノルウェー型である Ns-60-00 は, 切り欠き位置がずれていることによって, 流れが遮られ, 流れの緩やかな場所ができている(図-3.5)。

3.2.2 切り欠き傾斜

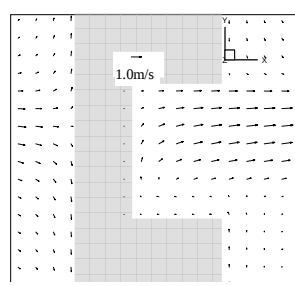
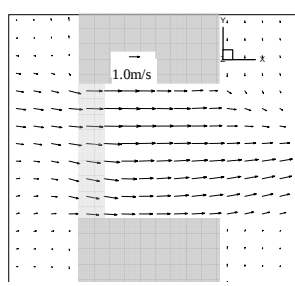
切り欠き傾斜の比較では, 傾斜角 30°の場合と 60°の場合を比較すると, 図-3.6 のように切り欠き傾斜が 30°の OL-30-00 方が越流流速は遅いが, プール内の流況は切り欠き傾斜 60°の OL-60-00 方がしっかりとした落下流が生じ, 安定した流況となっている。

3.2.3 シュートの有無



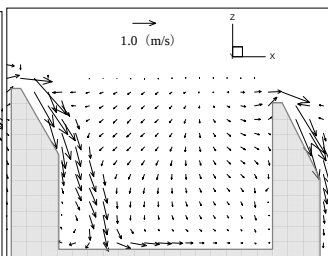
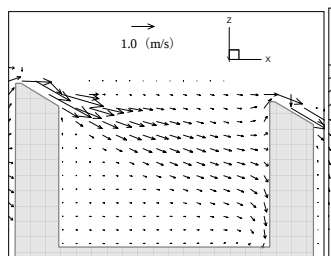
(a) Os-60-00 (z=202.5cm, 流量:90l/s) (b) Ns-60-00 (z=202.5cm, 流量:90l/s)

図-3.4 切り欠き位置比較平面図



(a) z=202.5cm (b) z=187.5cm

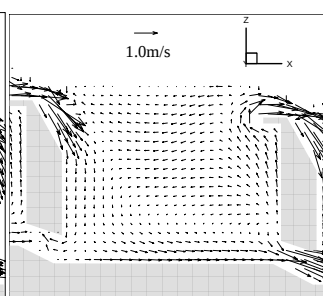
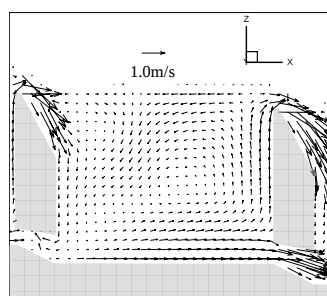
図-3.5 Ns-60-00 切り欠き部拡大平面図



(a) OL-30-00

(b) OL-60-00

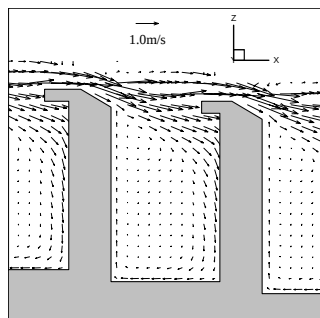
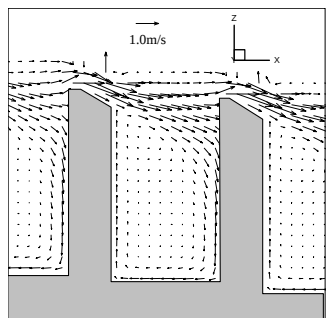
図-3.6 切り欠き傾斜比較縦断面図 (y=22.5cm, 流量 90l/s)



(a) NL-60-01

(b) NL-60-11

図-3.8 シュート有無比較縦断面図 (y=92.5cm, 流量 190l/s)

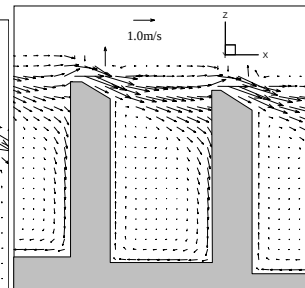
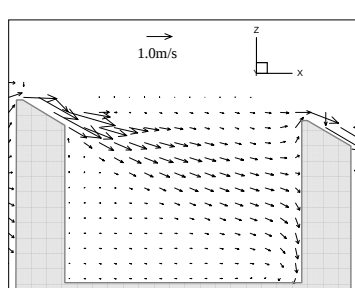


(a) Os-30-00

(b) Os-60-10

図-3.7 シュート有無比較縦断面図

(y=22.5cm, 流量 90l/s)



(a) OL-30-00

(b) Os-30-00

図-3.9 プール長比較縦断面図 (y=22.5cm, 流量 90l/s)

プール長が短い 1.0m の場合には、図-3.7 に示す Os-30-00 と Os-30-10 の比較より、シュートが付く (Os-30-1) ことにより、越流した流れがプール内に潜り難くなり、表面流のまま直接次のシュート上部を通過することで、流速が速くなることがわかる。一方、プール長が 2.4m で潜孔付きの流量 190l/s (図-3.8) の場合には、シュートが湧昇流を抑えているため越流部の流速が低減され、シュート付きの NL-60-11 の場合の方が、魚類が遡上しやすい流況となる。

3.2.4 プール長 2.4m と 1.0m

プール長が 2.4m と 1.0m の場合を比較すると、図-3.9 に示すようにプール長 1.0m の Os-30-00 の場合の方が越流流速が小さくなっている。これは、プール間落差が影響していると思われる。しかし、流量を増やした場合の図-3.10 を比べると、

プール内の流況は、プール長が 2.4m の NL-60-01 の方が安定しており、魚類の休憩に適している。また、図-3.11 に示すように、越流水深は、プール長 2.4m の場合が 8cm から 15cm であるのに対して、プール長 1.0m の場合は 16cm から 22cm とプール長 1.0m の方が越流水深が大きくなっている。

3.2.5 潜孔付き

潜孔付きの場合の流況としては、図-3.12 のように片側切り欠きの流量 130l/s では、潜孔のハンチ部の流れに、緩い流れの経路があり、底生魚や小型魚もハンチ部分を使い、遡上できる流況となっている。また、ノルウェー型の潜孔付きの場合の図-3.13 では、流量が 190l/s の場合も、同様に、壁際に、緩い流れや、一部逆流が生じており、潜孔付きの魚道は、魚道としての機能を発揮できる水量の幅が大きいといえる。

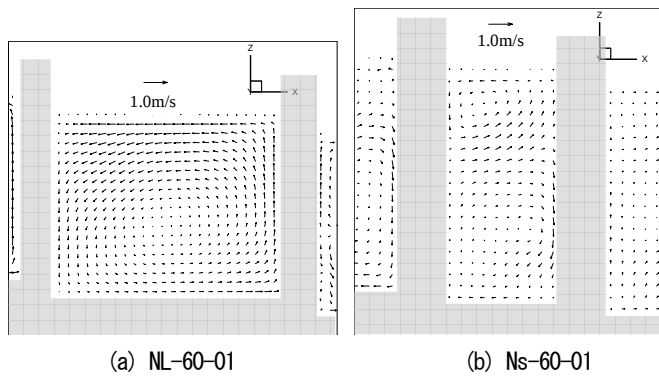


図-3.10 プール長比較縦断面図 (y=47.5cm, 流量 190l/s)

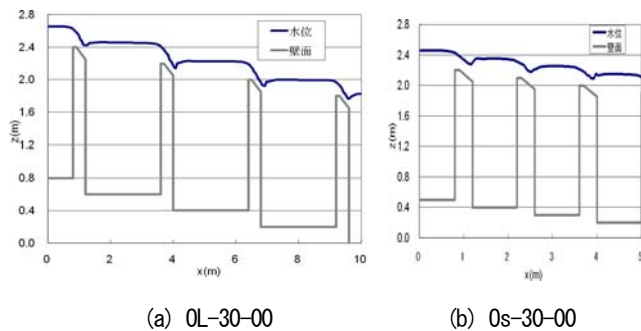


図-3.11 プール長比較水面形 (y=22.5cm, 流量 90l/s)

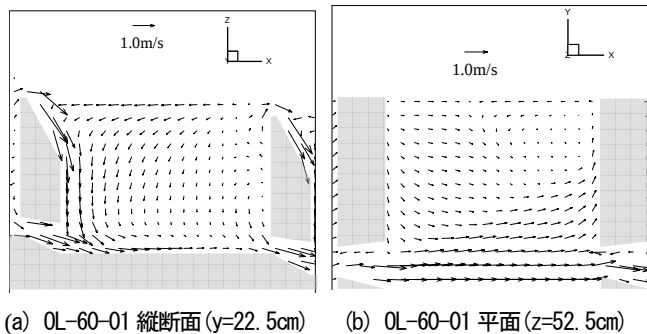


図-3.12 潜孔付き流況図 (流量 130l/s)

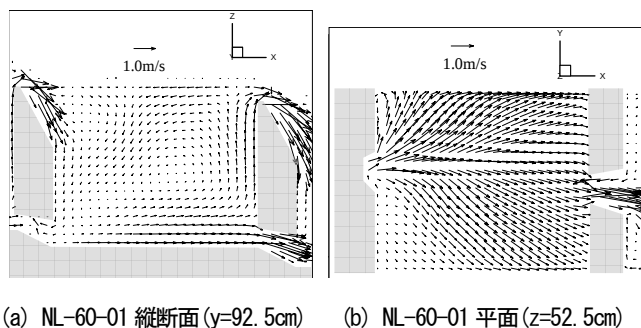


図-3.13 潜孔付き流況図 (流量 190l/s)

4. 結論

本研究では、FLOW-3D を用いてプールタイプ魚道の様々なケースを解析し、切り欠き位置、切り欠き傾斜、シュート

の有無、プール長、潜孔の有無を比較することで、魚道の水理特性の一部を明らかにし、魚類の遡上に関する検討を行った。その結果、以下のようなことが明らかにされた。

- (1) ノルウェー型は、越流部に流速の弱まる経路ができ、泳力の弱い魚にも配慮した魚道であるといえ、あらゆる魚種が遡上しやすい型である。
- (2) 切り欠き傾斜角度が流れに与える影響について、落下流となる 60° の方が流れが安定している。また、越流水深も 60° の方が高くなる。
- (3) シュートの有無は、プール長が長く、切り欠き傾斜の大きい落下流状態のときは、湧昇流を抑える効果があり、魚類が遡上しやすくなる。
- (4) プール長は長い方がプール内の流況は安定し、より休憩に適しているが、プール間落差が大きくなると、越流部の流速は速くなる。そのため、同じプール間落差では、堰などの高低差の小さい構造物に魚道を併設する場合は、プール長を短くし、総延長を短くすることができる。逆にダムなどの高低差が大きな場合は、十分休憩できるようにプール長を長くとる必要がある。

- (5) 潜孔付き魚道は、魚道が機能する水量の幅が大きいことや小型魚・底生魚への配慮の面から、ある程度の水量が確保できる場合には取り付けの方がよい。しかし、プール長や切り欠きの傾斜によってはプール内の流況が悪くなる場合があるので、事前の流況予測が重要になる。

以上のことをまとめると、今回の解析したケースの中では、高低差の大きい構造物に併設する魚道には、ノルウェー型のプール長 2.4m、切り欠き傾斜 60° 、シュートと潜孔付きのタイプが適していると考えられ、高低差が小さい場合は、ノルウェー型のプール長 1.0m、切り欠き傾斜 30° 、シュート無し、潜孔付きのタイプが適していると考えられる。

今後の課題としては、切り欠き位置のずらし方や潜孔の位置・大きさ、プールの幅や高さを変えて解析を行うことや、アイスハーバー型などの他の魚道を対象に解析を進める必要がある。

参考文献

- 鬼束幸樹・秋山壽一郎・木内大介・高橋康行・飯國洋平 (2007) : 階段式魚道における切り欠き位置が魚の遡上率に及ぼす影響, 水工学論文集, 第 51 巻, pp1279-1284.
- 国土交通省河川局 (2005) : 魚がのぼりやすい川づくりの手引き
- 中村俊六・財団法人リバーフロント整備センター (1995) : 魚道のはなし, 山海堂.
- 廣瀬利雄・中村中六 (1991) : 魚道の設計, 山海堂.
- 前野詩朗・小川信 (2002) : プールタイプ魚道の数値解析, 水工学論文集, 第 46 巻, pp421-426.