

# 農業用排水路の急傾斜部に設置した可搬魚道における流れの数値計算

## Numerical computation of flow in portable fishway installed on steep slope in agricultural drainage canal

吉成香貫花\*・須藤真弥\*\*・前田滋哉\*・高橋直己\*\*\*

\*茨城大学農学部 (〒300-0393 茨城県稲敷郡阿見町中央 3-21-1)

\*\*株式会社セラク (〒812-0011 福岡県福岡市博多区博多駅前 3-25-21)

\*\*\*香川高等専門学校建設環境工学科 (〒761-8058 香川県高松市勅使町 355)

YOSHINARI Kanuka\*, SUDO Naoya\*\*, MAEDA Shigeya\*, TAKAHASHI Naoki\*\*\*

\*Faculty of Agriculture, Ibaraki University (3-21-1 Chuo, Ami, Inashiki, Ibaraki, 300-0393)

\*\*SERAKU Co.,Ltd. (3-25-21 Hakata-eki-mae, Hakata-ku, Fukuoka, Fukuoka, 812-0011)

\*\*\* National Institute of Technology, Kagawa College (355 Chokushi, Takamatsu, Kagawa, 761-8508)

(Received 4 December 2020)

### Abstract

Unlike a permanent fishway, which is intended for large-scale and long-term use, a portable fishway is inexpensive and can be attached and detached. In this study, it is assumed that the portable fishway is installed on the steep slope of the agricultural drainage channel. Numerical calculation of flow in the fishway was performed by assuming that the flow is the horizontally two-dimensional to examine the installation angle of the portable fishway to the drainage canal. After determining Manning's roughness coefficient and the drag parameters of blocks in the fishway so that the local flow conditions in September 2019 can be reproduced, the computed water depth, flow velocity, and water surface shape in the fishway were analyzed with varied flow rate and fishway installation angle. As a result, even if the installation angle is the same as  $10^\circ$ , larger low water depth regions of less than 3cm appeared when the flow rate is  $0.7 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ . The computed water depth in the fishway decreased extremely when the installation angle was  $25^\circ$ . It was suggested that numerical computation would provide useful findings for the operation of portable fishways.

**Key words:** portable fishway, agricultural drainage canal, fish, ecological environment, numerical computation

### 要 旨

可搬魚道は大規模で長期的な使用を意図した恒久魚道と異なり、安価で着脱が可能である。本研究では可搬魚道を農業用排水路の急傾斜部に設置する場合を想定し、可搬魚道の排水路への設置角度を検討するため、魚道内の流れを平面2次元流と仮定し、数値計算を行った。2019年9月の現地の流れを再現できるようにマンニングの粗度係数や魚道内ブロックの抗力を決定したのち、流量や魚道設置角度を変化させたときに生じる水深、流速、水面形を分析した。その結果、設置角度が $10^\circ$ と同じでも流量が $0.7 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ の場合は魚道内に水深3cm未満の水深低下領域が広がること、設置角度が $25^\circ$ の場合は魚道内水深が極端に低下することがわかった。数値計算により可搬魚道を運用する上で有用な知見が得られることが示唆された。

**キーワード:** 可搬魚道, 農業用排水路, 魚類, 生態環境, 数値計算

### 1. はじめに

河川や水路の魚類生息場を保全する方法として、水系ネットワークの分断を避けることがしばしば指摘されている。分断回避の方法の一つが魚道の設置であり、これまで多くの研究がなされてきている(例えば、下田ら, 2003; 安田, 2013)。しかし既往研究の多くがコンクリートや巨石を用いる大規模で長期的な使用を意図した魚道(恒久魚道)を用いるものであり、この魚道の設置には多くの労力、費用、時間を要する。したがって、恒久魚道のみで水系における水生生物の遡上環境を保全す

るのは難しいと考えられる（高橋ら，2017）．そこで高橋ら（2019）は，安価に製作でき，設置に専門知識が不要なため，農家や地域住民等が必要に応じて着脱可能な可搬魚道を開発した．須藤ら（2020）は可搬魚道を農業用排水路の急傾斜部に設置し，小型水生生物の遡上を促す効果があるか実証試験した．その結果，魚道内流速は排水路急傾斜部の流速の半分以下に減少したこと，メダカ，ヨシノボリ，エビが魚道を遡上したことがわかった．しかし，可搬魚道の効果的な使用方法に関する研究は十分なされていない．そこで本研究では，可搬魚道の排水路への魚道主流方向の設置角度（以下，設置角度と表記）を検討するため，魚道内流れの数値計算を行った．

## 2. 方法

### 2.1 可搬魚道

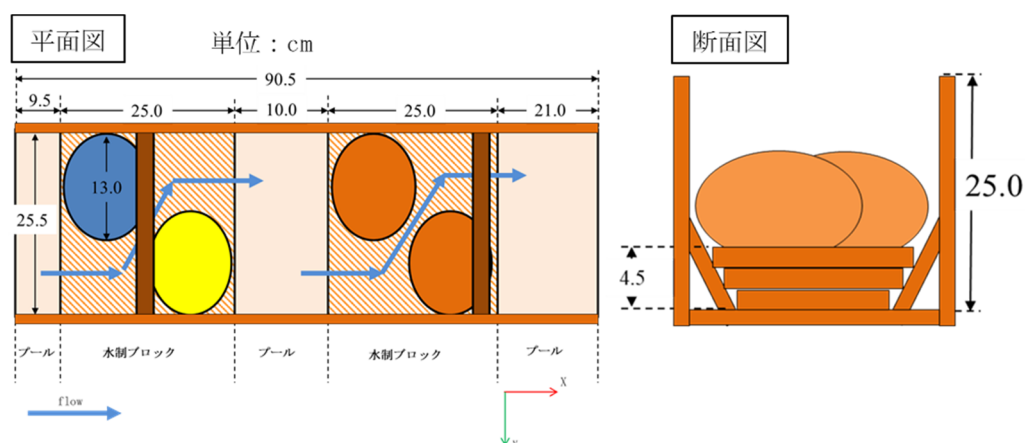


Fig. 1 可搬魚道の概要

高橋ら（2019）により農業水路に適用可能な可搬魚道が提案されており，本研究で使用した可搬魚道もそのうちの1つである（Fig. 1）．魚道は木製で，透水性の水制ブロック（スポンジ製）を設置することで魚道内の流速を低下させるとともに，横断面を台形にすることで，小型水生生物が水際を利用して遡上しやすい構造としている．また，遡上個体が休息できるよう，魚道上流端，中央，下流端にプールを設けている．

### 2.2 現地調査

茨城県美浦村興津地区の農業用排水路の急傾斜部を調査地とする．この水路は調査地の下流で高橋川に合流した後，霞ヶ浦に接続するため，当該水路には霞ヶ浦から魚類が遡上する．そのため調査地上流に魚溜や魚巣といった環境配慮工が導入されている．

急傾斜部の長さは0.74m，勾配は22.6°である（Fig. 2）．この急傾斜部で高速流が発生するため，例えば現地に生息しているトウヨシノボリの稚魚のような小型水生生物の遡上を阻害していると考えられる．須藤ら（2020）による2019年の5，7，9月の水理観測および著者らの2020年7，9月の観測では，急傾斜部の流速が1.2～1.8m/sである一方，可搬魚道内は設置角



Fig. 2 排水路急傾斜部に設置した可搬魚道

度が  $8^{\circ}$  ,  $10^{\circ}$  のとき最大で  $0.5\sim 0.9\text{m/s}$  と半分以下に抑制されていた。

## 2.3 数値実験

可搬魚道の流れを iRIC Nays2DH Ver.3 (Nelson et al. 2016) を用い平面 2 次元流れとしてモデル化した。支配方程式は浅水流方程式である。現地に設置した可搬魚道の下流端はそのまま排水路に接続しているため、魚道下流端水深は排水路の水深の影響を受ける。この状況を単純化するため、Fig. 3 のよう

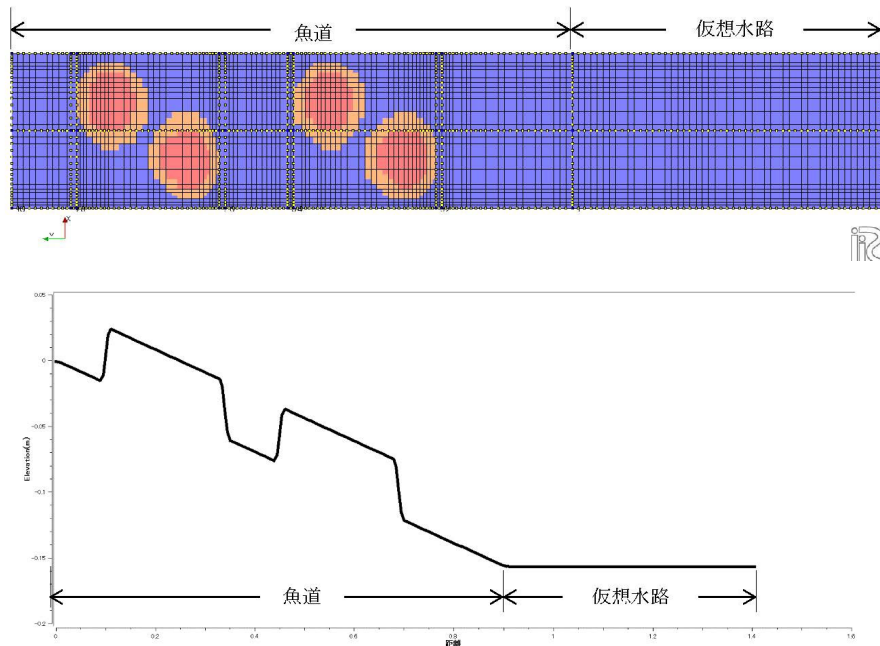


Fig. 3 解析領域の平面図（上）と立面図（下）

に魚道下流端に水平の台形断面水路を仮想的に接続し、魚道と仮想水路の全体を解析領域とした。解析領域は、 $5,643 (=171 \times 33)$  個の格子点を設けて四辺形格子に分割した。

モデルのキャリブレーションのため、須藤ら (2020) により行われた 2019 年 9 月 10 日の可搬魚道内 9 点 (Fig. 4 の水制ブロック領域内 6 点、プール内 3 点) における水深と流速の実測値を用いた。Nays2DH では路床の植生を直立円筒群に見立てることで植生による抗力を考慮することが可能である。この機能を利用し、可搬魚道内の水制ブロックは Fig. 3 の橙色と赤色部のように 2 段階の密生度を持つ「植生」としてモデル化した。この時の魚道設置角度は主流方向に  $10^{\circ}$  であり、魚道上流端流量は  $1.4 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$  だった。

数値実験は、まず魚道の設置角度を  $10^{\circ}$  とし、流量を  $0.7 \times 10^{-3}, 1.4 \times 10^{-3}, 2.8 \times 10^{-3}, 4.1 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$  (それぞれ Case 1,2,3,4) のように変化させて行った。次に、設置角度を  $25^{\circ}$  に増やし、流量  $1.4 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$  (Case 5) を与えることで、設置角度が  $10^{\circ}$  の場合に生じる流れと比較した。計算時間はいずれも 300 秒、計算時間刻みは  $5 \times 10^{-4}$  秒とした。

## 3. 結果と考察

### 3.1 キャリブレーション

Fig. 4 にキャリブレーションにおける計算水深・流速を示す。水深と流速の 9 測点の平均誤差率は 10.3%，

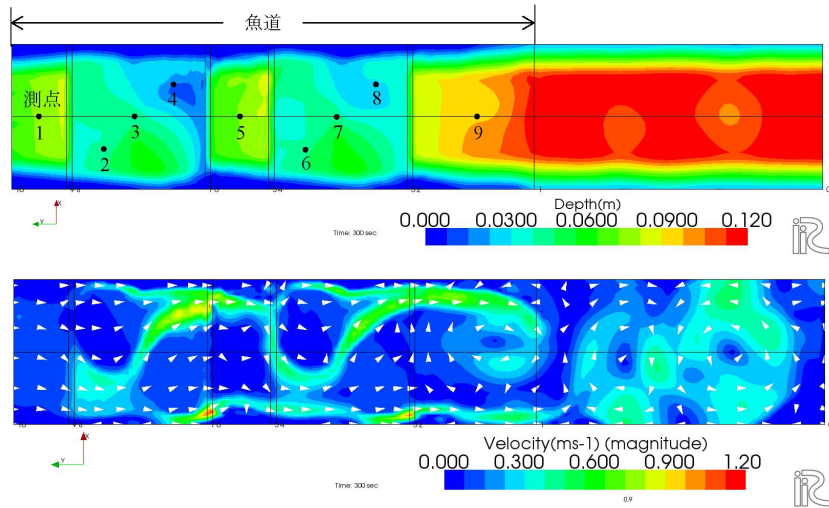


Fig. 4 キャリブレーションの300秒時点の水深（上）と流速（下）

43.5%だった。最下流部のプールは解析領域下流端の境界条件の影響を受けて流向が安定しにくいことが誤差の主要因の一つである。しかし流速はプールで遅く水制ブロック域で速い、測点2よりも4で、測点6よりも8で流速が大きいという実際の傾向を計算で捉えていた。したがって、得られたマンニング粗度  $0.015\text{m}^{-1/3}\text{s}$  (全領域一定), 植生密生度  $900, 800\text{m}^{-1}$ , 下流端水深  $0.122\text{m}$  を以後の数値実験で用いた。

### 3.2 数値実験

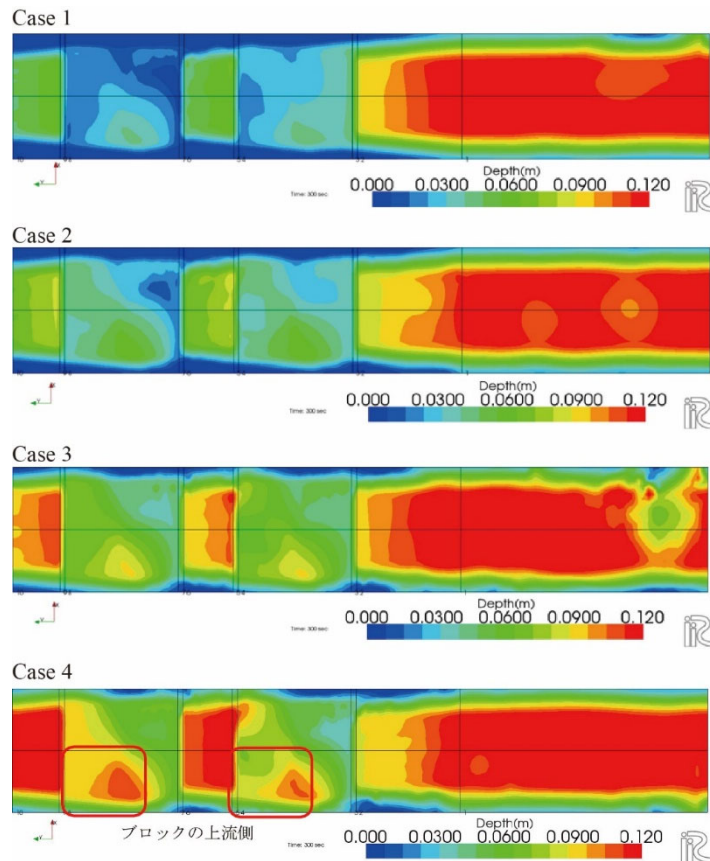


Fig. 5 300秒時点の水深 (Case 1~4)

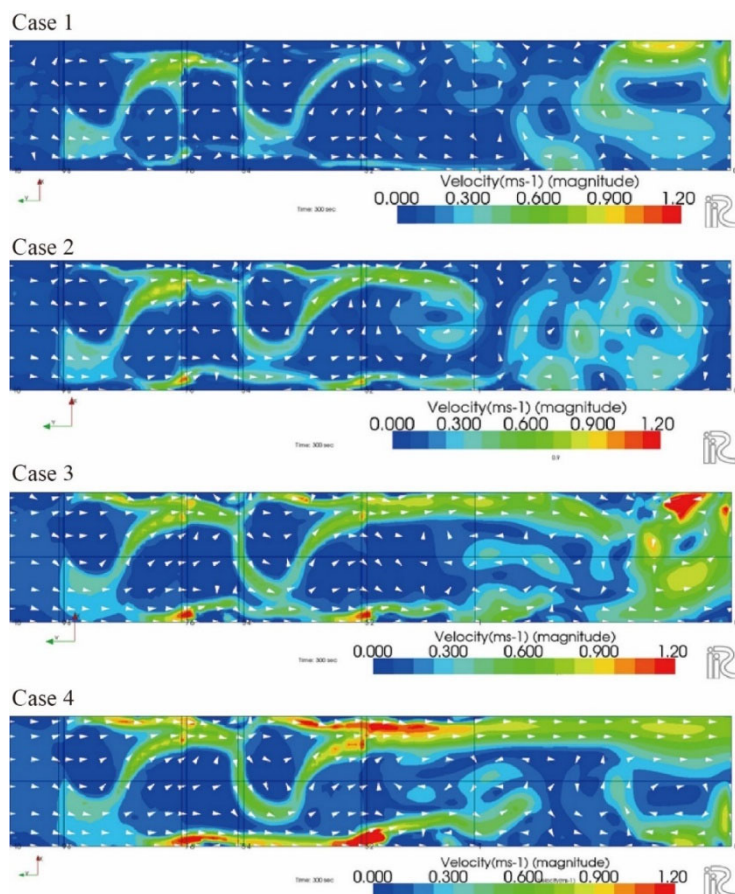


Fig. 6 300 秒時点の流速・流向 (Case 1~4)

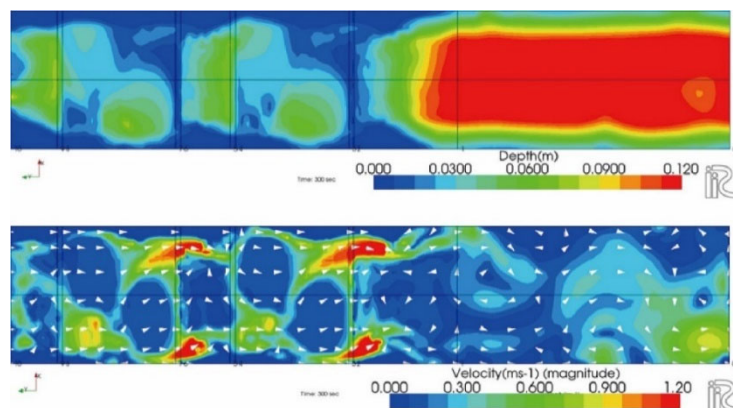


Fig. 7 300 秒時点の水深と流速・流向 (Case 5)

下流端水深を 0.122m に固定し，流量や設置角度を変化させて Case 1~5 の計算を行った．まず，Case 1~4 の計算終了時点の水深と流速を Fig. 5, 6 に示す．水深に関しては，下流端プール以外で流量が減少すると水深が減少，流量が増加すると水深が増加する傾向があった．特に Case 4 においてブロックの上流側 (Fig. 5 赤枠) で水深の増加が顕著であり，側壁に向かって水深が増加した．流速に関しては，流量増に伴い流速の大きい領域が広がる傾向があった．魚の遡上には体高の 2 倍を必要とすることから，Case 1 のように魚道内に水深 3cm 未満の領域が大きい場合は遡上できる魚種に限られる可能性がある．流量の増加によって，魚道内の水深が増加する一方で，流速の大きい領域が広がるため，水田周辺を生息域とするメダカのような小型水生生物にとっては，魚道内を遡上することが困難になると考えられる．

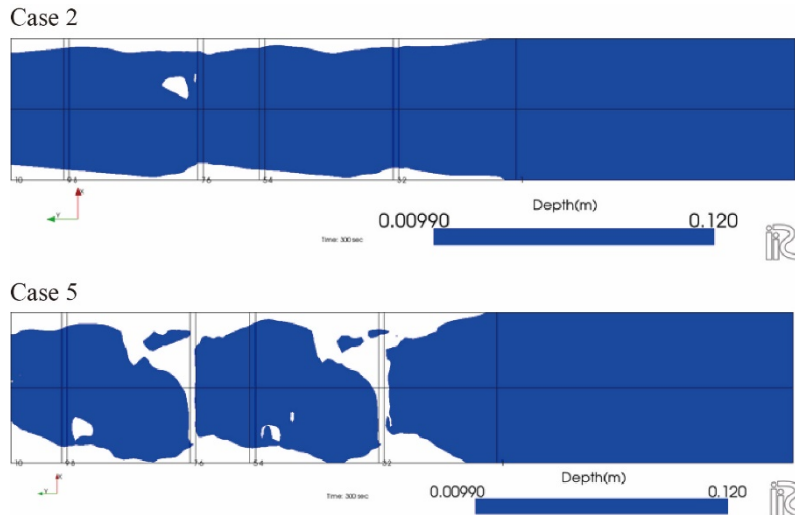


Fig. 8 300 秒時点の水深 1cm 以上の水域 (Case 2, 5)

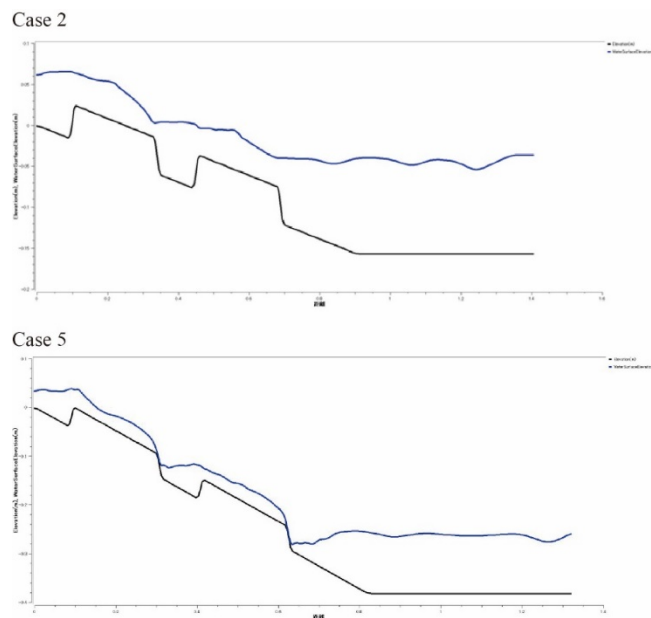


Fig. 9 300 秒時点の路床高と水位 (Case 2, 5)

次に、設置角度を $25^\circ$ に増加させたCase 5の計算終了時点の計算水深・流速をFig. 7に示す。Fig. 8はCase 2と5で水深が1cm以上の魚道内領域のみを抽出したものである。また、Fig. 9は魚道中央縦断面における路床高と水位である。Case 2と5を比較すると、設置角度の増加により水深は全測点で減少することがわかる。設置角度が $25^\circ$ の場合は、ブロック区間とプールの間の段落ち部で水深が極めて小さくなるため、遡上するには魚が跳躍する必要があると考えられる。したがってCase 5のような水理条件では設置角度 $25^\circ$ は好ましくないことがわかる。

#### 4. おわりに

排水路急傾斜部に可搬魚道を設置した場合に生じる流れを数値計算で予測した。設置角度を固定した場合、流量の変化により魚道内の水深や流速は大きく変化した。また、魚道の設置角度が大きい場合は水深が小さすぎる領域が拡大することがわかった。これらの結果は、数値計算を援用することで好まし

くない可搬魚道の設置角度が推定できることを示唆している。将来的には例えば、可搬魚道を現地水路に設置する場合は、履歴データ等から水路の流量を予測しておき魚道内の流れ計算をすることで、遡上させたい魚類にとって好ましい水深や流速を確保できる魚道設置角度を事前に求めておくといった魚道の運用方法が考えられる。また、この可搬魚道はブロックを容易に追加することができる。そのため、あらかじめ魚道内の流れ計算をもとにブロックを追加し、急傾斜の条件での設置に対応する、という運用も考えられる。今後の課題として、魚道と魚道を設置する水路の一体的な流れ解析をすることで魚道が水路の流れ環境に与える影響を推定し、魚類の遡上をより促すような魚道の設置角度や水路内の設置位置を選定すること、魚道構造を改良すること等が挙げられる。

**謝辞**：本研究は公益財団法人河川財団の河川基金（2020-5211-031）の助成を受けた。記して謝意を表す。

#### 引用文献

- Nelson, J. M., Shimizu, Y., Abe, T., Asahi, K., Gamou, M., Inoue, T., Iwasaki, T., Kakinuma, T., Kawamura, S., Kimura, I., Kyuka, T., McDonald, R. R., Nabi, M., Nakatsugawa, M., Simões, F. R., Takebayashi, H., Watanabe, Y. (2016) The international river interface cooperative: public domain flow and morphodynamics software for education and applications, *Adv Water Resour*, 93, pp.62-74.
- 下田和孝, 中野繁, 小野有五 (2003) : プールタイプ魚道の設置が北海道の通し回遊魚の流程分布に与える効果, *魚類学雑誌*, 50 (1) , pp.15-23.
- 須藤真弥, 前田滋哉, 高橋直己 (2020) : 水路急傾斜部に設置した可搬魚道における魚類遡上の調査, *応用水文*, 32, pp.65-71.
- 高橋直己, 長尾涼平, 林和彦, 多川正 (2017) : V型断面簡易魚道の流況特性と小型水生生物の魚道利用状況, *土木学会論文集 B1 (水工学)* , 73, No.4, I\_391-I\_396.
- 高橋直己, 木下兼人, 本津見桜, 柳川竜一, 多川正 (2019) : 農業水路における小型水生動物の移動環境創出に適する魚道構造の検討, 第74回農業農村工学会中国四国支部講演会.
- 安田陽一 (2013) : 技術者のための魚道ガイドライン - 魚道構造と周辺の流れからわかること -, コロナ社, 35p.