

## 曲り柵における 3次元流れの数値解析 Numerical analysis of three-dimensional flow on baffle water tank

姫野敦行\*・皆川明子\*\*・前田滋哉\*\*\*

\*滋賀県立大学大学院環境科学研究科（〒522-8533 滋賀県彦根市八坂町 2500）

\*\*滋賀県立大学環境科学部（〒522-8533 滋賀県彦根市八坂町 2500）

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

HIMENO Nobuyuki\*, MINAGAWA Akiko\*\*, MAEDA Shigeya\*\*\*

\*Graduate School of Environmental Science, the University of Shiga Prefecture (2500 Hassaka-chou, Hikone-shi, Shiga, 522-8533)

\*\*Faculty of Environmental Science, the University of Shiga Prefecture (2500 Hassaka-chou, Hikone-shi, Shiga, 522-8533)

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

### Abstract

When agricultural canals are concretized and their flow velocity increase, it becomes difficult for aquatic organisms to live in them. However, in some cases, a water tank is installed at the bend or confluence of a canal, and this area can become a slow flow area. There have been some studies on the hydraulic analysis of canals, but none on the hydraulic analysis of the flow in water tanks. Therefore, a three-dimensional analysis of a baffle water tank was conducted using iRIC software. The results were compared with those of a model experiment, revealing that the flow direction was close to that of the model experiment. However, the error rate of the flow velocity was larger, especially in the main flow direction (x-direction). It is necessary to improve the accuracy of the analysis by further reviewing the calculation conditions.

**Key words:** hydraulic analysis, water use structure, agricultural canal, velocity, environmental protection

### 要 旨

農業水路がコンクリート化して水路内の流速が大きくなると生物の生息が困難な状況になる。しかし、水路の屈曲部や合流部には柵が取り付けられる場合があり、この部分が緩流域となり得る。水路における水理解析を用いた研究は行われているが、柵における流れの水理解析の研究例は存在しない。そこで iRIC ソフトウェアを用いて模型実験の結果と比較しながら曲り柵の 3次元流れ解析を行った。解析の結果は、流向に関しては模型実験と近い結果が得られたが、流速に関しては特に曲り柵の上流水路主流方向（x方向）で誤差率が大きくなった。今後、さらに計算条件を見直し、解析の精度を向上させる必要がある。

**キーワード:** 水理解析, 水利構造物, 農業水路, 流速, 環境保全

### 1. はじめに

メダカ類, ドジョウ類は水田や農業水路に生息する代表的な魚類であるが, 環境省および地方版のレッドリストに絶滅危惧種として記載される状況となっている。個体数減少の原因の一つとして農業水路の整備による水路のコンクリート化が考えられている。水路がコンクリート化し, 水路内の流速が大きくなれば生物の生息が困難な状況になる(端, 2005)。一方で, 農業水路を整備するとき, 水路の合流部には合流柵, 屈曲部には曲り柵と呼ばれる柵が取り付けられる場合がある。柵の取り付けには水の流れを安定させるという水理学的な目的があるが, それに加えて柵内には水路内と比較して流速の小さい部分が存在し, その部分が魚類をはじめとする水生生物の生息場となるという付加的な効果も期待できる。

このような水路内の流れを水理解析を用いて再現した研究として、杉山ら（1997）は、出入口に直線開水路を有する曲がり開水路の流れの3次元解析を行い、実験値と比較し、解析手法の妥当性、河川工学への有用性を示した。また、福岡・渡辺（1998）は固定床複断面蛇行水路を対象に流れの3次元解析を行い、実験値と比較することで数値モデルの適合性を確認した。

このように水路の流れに関する水理解析の研究は多く存在するが、水生生物の生息場となり得る樹の流れの研究例はほぼ存在しない。曲り樹内の流れは、曲り樹の壁面で潜り込む流れや、跳ね返るような流れが存在し、流れが直線的である水路内の流れと比較して複雑であるため3次元解析が必要である。曲り樹内の流れの3次元解析を用いることができれば、水路に対する曲り樹の取り付け位置や、水路幅と曲り樹の一边の長さの比を変化させることで、水生生物のより良い生息場となる曲り樹の条件を検討できる。

以上より本研究では、曲り樹内の流れの3次元解析を行い、模型実験による実測値と比較することで水理解析の妥当性を検証することを目的とする。

## 2. 方法

### 2.1 模型実験

三重県松阪市朝見地区に設置されている合流樹をモデルとし、1/2の縮尺で模型を作製した。材料には12mmの合板を用いた。曲り樹の大きさは縦50cm、横50cm、深さ15cm、上水路と下水路はともに幅を30cm、深さ15cm、長さを180cmとした。流量は $0.01\text{m}^3/\text{s}$ とし、水を整水槽、上水路、曲り樹、下水路、受水槽の順で流し（Fig. 1）、受水槽に溜まった水をポンプ（KOSHIN, PZ-650）2台で整水槽に送り、循環させた。曲り樹の水深と流速を測定し、水深の測定にはポイントゲージ、流速には3次元電磁流速計（KENEK, VP3500）を用いた。

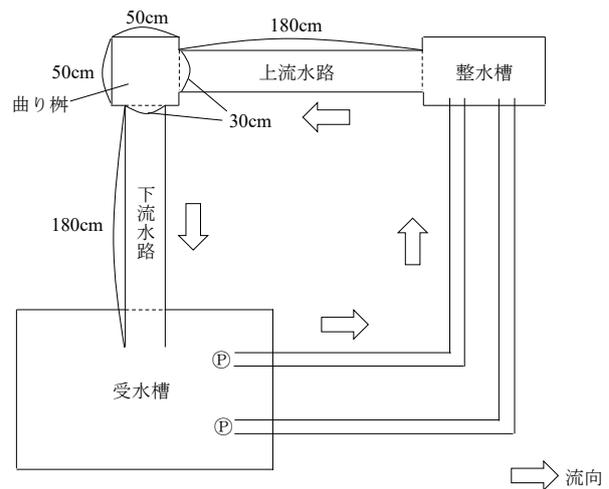


Fig. 1 模型実験の水の流れ

### 2.2 数値解析

iRIC ソフトウェアの NaysCUBE を用いて解析を行った。曲り樹とその上・下水路を計算領域とした。格子の生成は横断測量データを用いて行い、格子の縦横はそれぞれ2cmとした。鉛直方向格子分割数は6とした。模型実験では下水路の流末が低下背水となっていることから、計算格子上の下水路の末端に10cmの段落ちを設けた。計算時間は100s、計算タイムステップは0.0005s、マンニングの粗度係数は0.015とした。上流端に流量 $0.01\text{m}^3/\text{s}$ 、下流端に等流水深を与えた。

### 2.3 模型実験と数値解析の結果の比較

上水路主流方向を $x$ 、下水路主流方向を $y$ 、鉛直上向きを $z$ とする（Fig. 2）。数値解析の $t=30\text{s}$ における曲り樹内96点（1水平断面あたり16点、 $z$ 方向に $z=1, 4, 8, 11, 15, 19\text{cm}$ の6断面）の流速と16点の水深（Fig. 3）、曲り樹全体の流向を比較した。

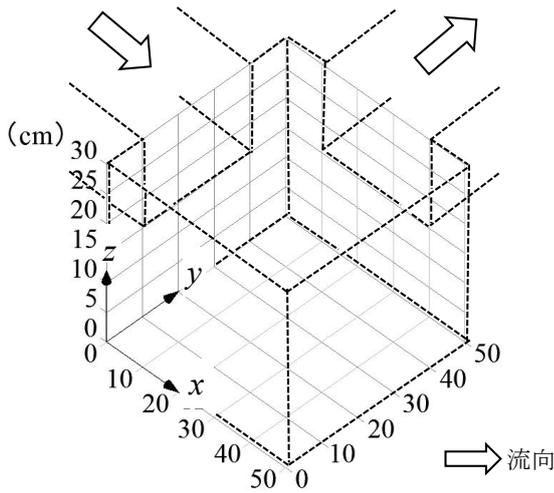


Fig. 2 軸の設定

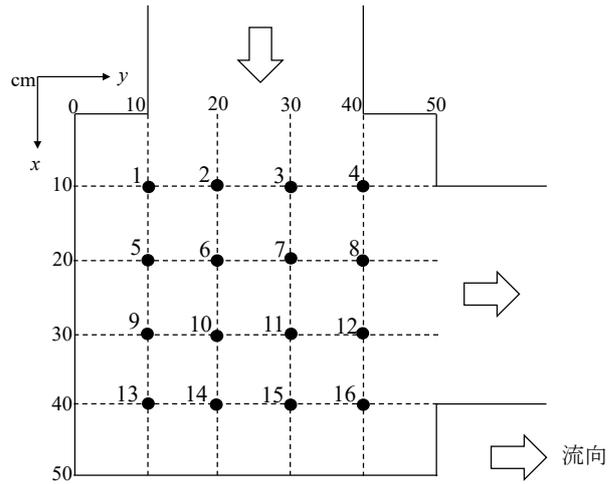


Fig. 3 測点と測点番号

### 3. 結果と考察

上流水路の水深は計算値で 8.81cm, 模型実験の値で 7.89cm とほぼ一致し, 曲り柵内の水深は計算値, 模型実験の値ともにおおよそ 23cm で一致していた (Fig. 4). 一方, 曲り柵内 96 点の流速を比較すると, 計算値と模型実験の値の結果は解離していた (Fig. 5). しかし, 流速を  $x, y, z$  方向に分けて比較すると (Fig. 6),  $y, z$  方向では概ね一致しており,  $x$  方向の誤差が大きいことが分かった. 流向に関しては断面ごとに比較すると模型実験での流れがうまく再現できていた (Fig. 7).

$x, y, z$  方向の流速のうち, 計算値と模型実験の値の誤差が大きかった  $x$  方向の流速について Fig. 3 に示した 16 測点における  $z$  断面ごとの誤差率の絶対値の平均値を計算すると,  $z=1\text{cm}$  で最大の 1035.2% となり, それ以外の断面と比較して極端に大きくなった (Fig. 8).

数値解析の流速ベクトル図を見ると (Fig. 7 右下), 底面付近の断面では, 模型実験では見られない上流水路から曲り柵底面にほぼ垂直に落ちる流れが見られた. この流れが底面付近の断面の計算値を大きくしていると考えられる. なお, 計算条件の鉛直方向分割数を増加させても, 上流水路から曲り柵底面に落ちる流れは小さくならなかった.

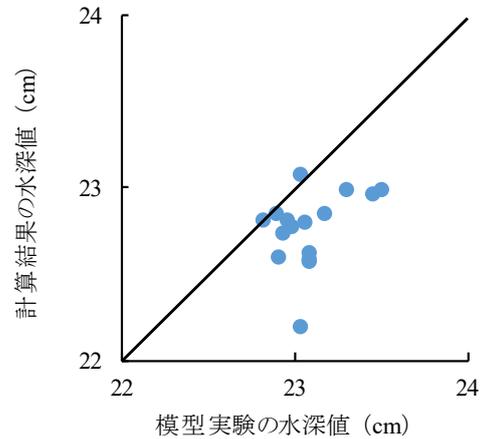


Fig. 4 数値解析と模型実験の水深の比較

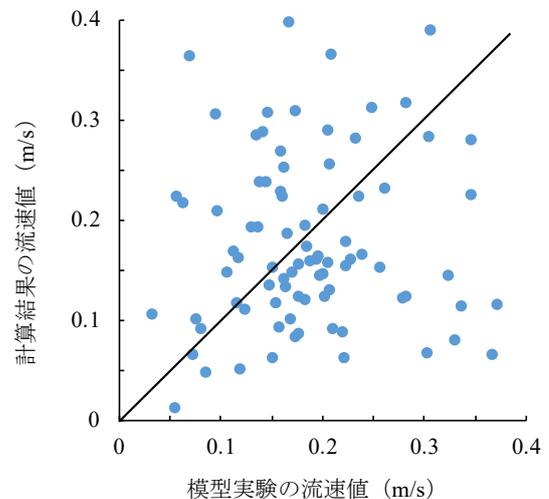


Fig. 5 数値解析と模型実験の流速の比較

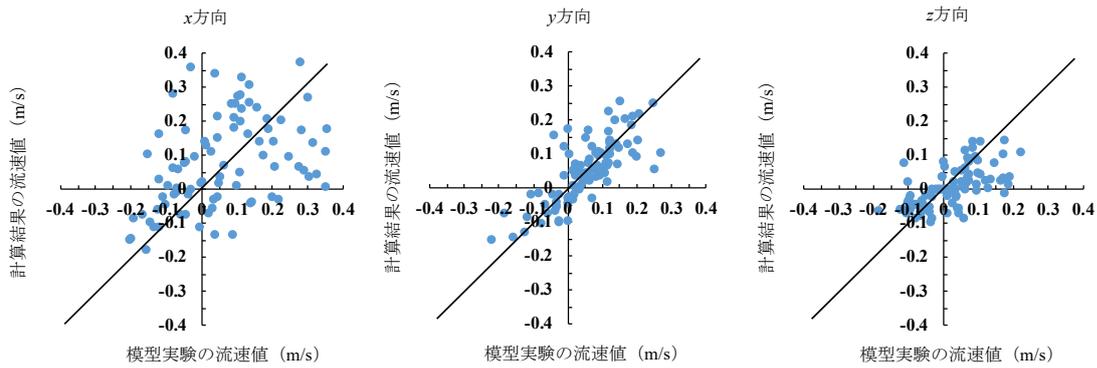


Fig. 6 数値解析と模型実験の流速の  $x$ ,  $y$ ,  $z$  成分ごとの比較

#### 4. おわりに

数値解析結果の妥当性を検証するには、計算流速と実験流速の  $x$ ,  $y$ ,  $z$  成分の差がそれぞれ許容範囲にあることが重要であると考えられる。今回の解析では、底面付近の  $x$  方向の流速が特に解離していたため、全体の流速が一致しなかった。しかし、曲り柵内の流向は三次元的に概ね一致しており、マンシングの粗度係数を調整するなど、計算条件を見直すことで、NaysCUBE を用いた解析の精度を向上させることができると考えられる。

謝辞:本研究は JSPS 科研費(基盤研究 B)20H03095 の助成を受けた。また、iRIC (international River Interface Cooperative) 提供のソフトを利用した。記して謝意を表す。

#### 引用文献

- 端 憲二 (2005) : メダカはどのように危機を乗り越えるか 一田んぼに魚を登らせる一, 農山漁村文化協会, pp.45-65.
- 杉山 均・秋山光庸・亀澤正之 (1997) : 曲がり開水路乱流の構造解析と二次流れ遷移に関する研究, 土木学会論文集, No.572/II-40, pp.11-21
- 福岡捷二・渡辺明英 (1998) : 複断面蛇行水路における流れ場の 3 次元解析, 土木学会論文集, No.586/II-42, pp.39-50

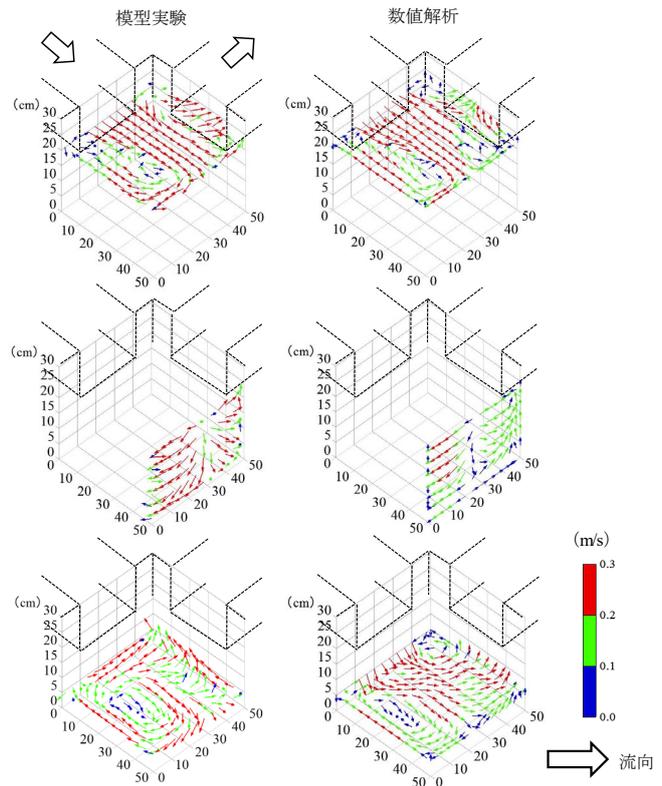


Fig. 7 数値解析と模型実験の流速の比較

(上:  $z=21$  中:  $x=49$  下:  $z=5$ )

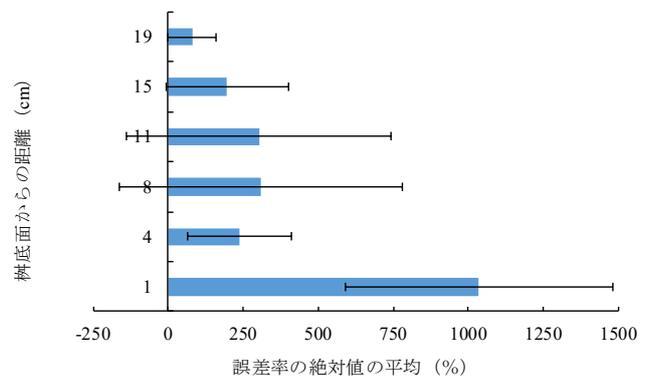


Fig. 8 16 測点における深さごとの流速  $x$  成分の誤差率