

神戸大学大学院自然科学研究科

学生員 ○椿 涼太

神戸大学都市安全研究センター

正会員 藤田一郎

1 はじめに

開水路は、その水路形状によって流れ場がさまざまなに変化する。たとえば、形状が大きく変化する場合には流れの剥離がみられ、渦の発達を伴った複雑な流れ場となる。このような流れ場では、水位や流速が局所的に大きく変化し、河道損傷や破堤、洗掘などの災害をもたらす原因となるが、逆に変化に富む流れ場にこそ豊かな生態系がみられるという点も見逃すことはできない。

河川計画、設計において環境、生物の多様性は、重要な課題であるが、その実現のためには変化に富む河道が不可欠である。そのような河道上でさまざまな流量での流れを把握することが、環境、安全面で必要となる。そこで本研究では、複雑な河道形状での流れを再現できる、非構造格子を用いた数値解析手法の開発を行った。

2 数値モデル

2.1 基礎式

基礎式として用いたのは平面二次元流れの連続式と運動方程式である。これをベクトル表記で示したものが以下の式(1)である¹⁾。

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial E}{\partial x} + \frac{\partial F}{\partial y} + S + v \left(\frac{\partial}{\partial x} h \frac{\partial G}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} h \frac{\partial G}{\partial y} \right) = 0$$

$$U = \begin{pmatrix} h \\ uh \\ vh \end{pmatrix}, \quad E = \begin{pmatrix} uh \\ u^2 h + \frac{1}{2} gh^2 \\ uvh \end{pmatrix}, \quad F = \begin{pmatrix} vh \\ uvh \\ v^2 h + \frac{1}{2} gh^2 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$S = \begin{pmatrix} 0 \\ -gh(S_{0x} - S_{fx}) \\ -gh(S_{0y} - S_{fy}) \end{pmatrix}, \quad G = \begin{pmatrix} 0 \\ u \\ v \end{pmatrix},$$

$$H = h \begin{pmatrix} 0 \\ -\frac{u}{v'^2} \\ -\frac{u'v'}{v'^2} \end{pmatrix}, \quad I = h \begin{pmatrix} 0 \\ -\frac{u}{v'^2} \\ -\frac{u'v'}{v'^2} \end{pmatrix}$$

ここに、 h :水深、 u, v : x, y 方向の平均流速、 g :重力加速度である。

乱流拡散係数 D_h は以下のように与えた。

$$D_h = \alpha u_* \quad (2)$$

ここで、 α :係数、 u_* :摩擦速度である。

2.2 数値解法

空間差分には二次風上手法である MUSCL 法を用い、時間積分には二次精度のアダムス・バッシュフォース法を採用した。

2.3 境界条件

上流端では流量を与えた。下流端では水位を与えた。また、壁面は滑り無し条件とした。

3 格子生成法

非構造格子の生成にはアドバンシングフロント法を利用し、生成する格子の大きさを調整することで、格子密度を調節した。密度調整は(a)均一な大きさに敷き詰める方法、(b)せん断が強くはたらく部分を密に配置する方法、(c)境界近傍を細かくとるという三種を試みた(図-1)。

4 他の計算手法との比較

木村らは、側岸に死水域を有する開水路の実験ならびに数値計算を行い、その周期性と渦構造についての検討を行っている²⁾。この研究では、水理実験により、境界面付近にせん断不安定に起因しセシユの影響を受けた周期的な大規模渦が発生し(図-2)、周期的な速度変動が生じる。このような流れ場の非定常特性を平面2次元の数値解析により再現し、計算においても実験と同様な大規模渦が再現できることを確認している。

本研究で開発したモデルの検証を目的とし、木村らの対象としたものと同様の条件を本研究のモデルで再現し、本手法の妥当性、ならびに性質の検討と確認を行った。

4.1 計算格子

対象とする水路の形状を図-3に示す。木村らは格子

間隔を、壁面近傍ならびにせん断層付近で最小0.22mmの不等間隔直交格子を用いている。本研究の計算格子は図-1に示す三種の方法を比較し、非定常性の再現に優れた等間隔格子を用いることにした。格子間隔は約1mmとし、格子数は8万である。

4.2 計算条件

計算条件を表-1に示す。

4.3 考察

本条件では、境界面付近でせん断不安定に起因した変動がみられる。図-5に示したものは点A,Bでの水深変動である。木村らは渦粘性係数にかかる定数(式(2)を参照)に0.3を用いている。本研究で0.3を用いた場合、水深、流速の変動幅が非常に小さくなり、0.2を用いたところ同様の流況を再現することができた。この原因として、本研究ではせん断層付近の格子幅が1mmであり、木村らのものより大きい。ため、再現できる渦のスケール幅が狭くなり、格子による小スケール渦の

散逸が強く効いたのではないかと考えられる。木村らは、他に1.25mm格子での計算を行っており、これによって得られた計算値の変動幅は、0.22mm格子を用いたものより狭くなっている。図-6に示したのはs-s断面での水面変動であるが、ほぼ同様の結果が得られている。

5 まとめ

本研究では、非構造格子を用いた数値モデルを開発し、構造格子による計算結果と比較してその有用性を確認した。今後は実河川形状での計算を行い設計評価手法としての信頼性ならびに適用範囲の検討を行っていきたい。

参考文献

- 1) 枝末玲, 秋山寿一郎, 浦勝, 有田由高: 非構造格子を用いた有限体積法に基づく平面二次元洪水流数値モデル, 水工学論文集, Vol.45, pp.895-900, 2001.
- 2) 木村一郎, 細田尚: 側岸に死水域を有する開水路流れの非定常解析, ながれ, Vol.12, pp.399-408, 1993.

表-1 計算条件

単位幅流量	25.5 cm ² /s
下流端水深	0.01 m
水路床勾配	1/500
フルード数	0.81
レイノルズ数	2781

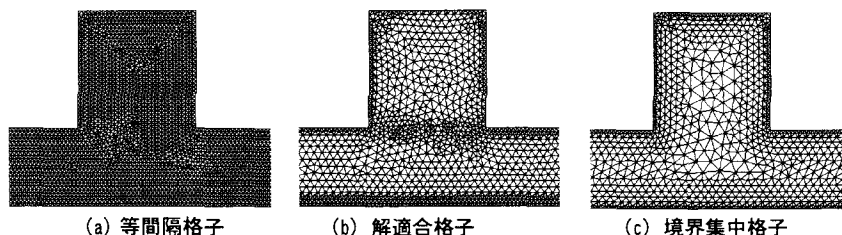


図-1 計算格子

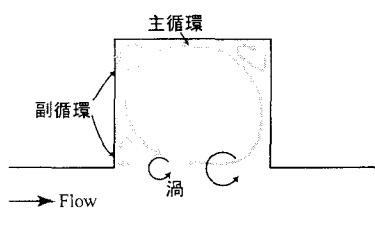
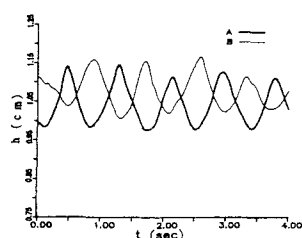
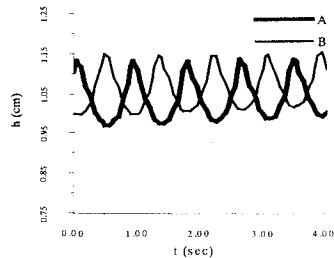


図-2 流況



(a) 木村らの計算



(b) 本研究

図-5 水深変動

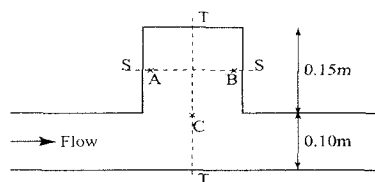
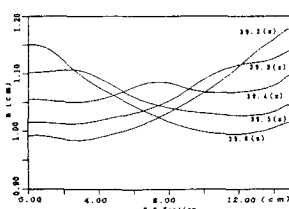
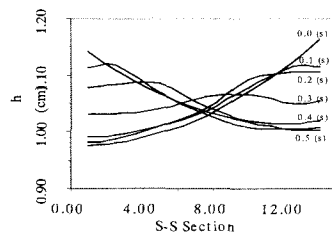


図-3 水路形状



(a) 木村らの計算



(b) 本研究

図-6 水面変動