

水深積分モデルを用いた蛇行水路流れの数値計算について

徳島大学 学生会員 ○野村 明弘

徳島大学 正 会 員 武藤 裕則

徳島大学 正 会 員 田村 隆雄

1. 研究の目的と背景

河道や水路内の流れを計算するためのモデルとして、河道や水路に沿った一般座標系での水深積分モデルが汎用的に用いられている。その際、水路湾曲部や蛇行部では、二次流が生じるため、運動量輸送や底面せん断応力の評価に二次流の影響を考慮する必要がある、これまでに二次流のモデル化や二次流による運動量輸送を水深モデルに組み込む手法を考察するため、数多くの研究が行われてきた。

近年、パソコンの処理速度が向上し、流れの計算においても運動を三次元で考え複雑な方程式を解くことができるが、計算時間が長く、その後の結果の処理にも時間がかかるため、流れ全体を計算することは実用的ではない。

そのことから、実務の面では浅水流方程式に基づく平面二次元モデルが多く使われているのが現状である。ただし、これらは蛇行水路流れにおいて、曲がりによる遠心力や断面内の圧力勾配変化、自由水面の存在による乱流構造の変化という三次元で表される特性を二次元で表現する必要があり、実際の現象と誤差が生まれる要因となっている。

そこで、本研究では、二次流を考慮しないモデル、二次流のモデル化と二次流による運動量輸送を組み込み、さらに二次流による主流の流速分布変化を考慮したモデル、二次流の運動量輸送を遠心力として考えたモデルの3つのモデルについて水深積分モデルの高精度化について検討する。2つの連続蛇行水路の実験にモデルを適用し、二次流の取り扱い方の違いによって出る計算結果の適合性を検証する。

2. 解析手法

本研究において用いるモデルは一般座標系で表される水深積分モデルを用い、さらに遠心力の項を外力として付加しているものであり、連続式と運動方程式を以下に示す。

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{M}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{UM}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{VM}{J} \right) = +F_M - gh \left(\frac{\xi_x}{J} \frac{\partial z_s}{\partial \xi} + \frac{\eta_x}{J} \frac{\partial z_s}{\partial \eta} \right) \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & -\frac{\tau_{bx}}{\rho J} + \frac{\xi_x}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} (-\overline{u'^2} h) + \frac{\xi_y}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} (-\overline{u'v'} h) + \frac{\eta_x}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} (-\overline{u'^2} h) + \frac{\eta_y}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} (-\overline{u'v'} h) \\ \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{N}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{UN}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{VN}{J} \right) = +F_N - gh \left(\frac{\xi_y}{J} \frac{\partial z_s}{\partial \xi} + \frac{\eta_y}{J} \frac{\partial z_s}{\partial \eta} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & -\frac{\tau_{by}}{\rho J} + \frac{\xi_x}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} (-\overline{u'v'} h) + \frac{\xi_y}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} (-\overline{v'^2} h) + \frac{\eta_x}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} (-\overline{u'v'} h) + \frac{\eta_y}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} (-\overline{v'^2} h) \\ \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{h}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{Uh}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{Vh}{J} \right) = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 F ：遠心力であり以下の式で表される。

$$F = m \frac{v^2}{r} \quad (4)$$

F ：遠心力， m ：質量， v ：流速， r ：曲率半径である。

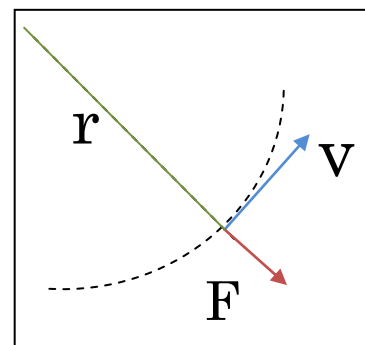


図1 遠心力の概念図

3. 適用する実験水路の概要

本研究でモデルを適用する水路について説明する.

水路幅 B	0.2m
流路長 L	2.0m
初期下流端水位 H	0.032m
初期上流端流量 Q	2.15ℓ/s
河床勾配 i_b	0.009

表 1 水路 L の解析条件

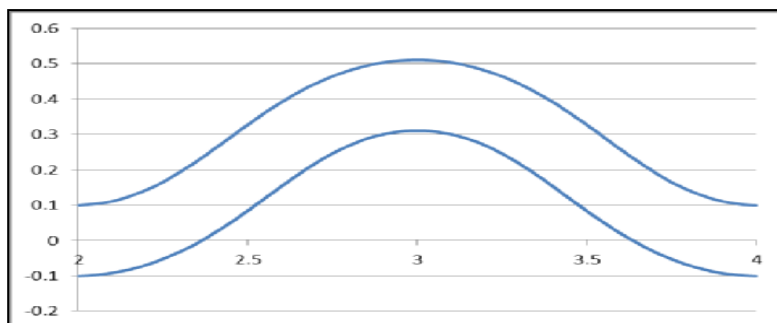


図 2 水路 L の水路形状(m)

水路幅 B	0.15m
流路長 L	1.7m
初期下流端水位 H	0.053m
初期上流端流量 Q	1.382ℓ/s
河床勾配 i_b	0.001

表 2 水路 M の解析条件

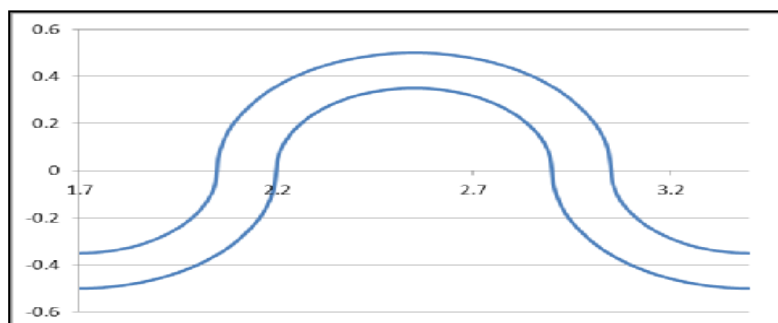


図 3 水路 M の水路形状(m)

4. 解析結果

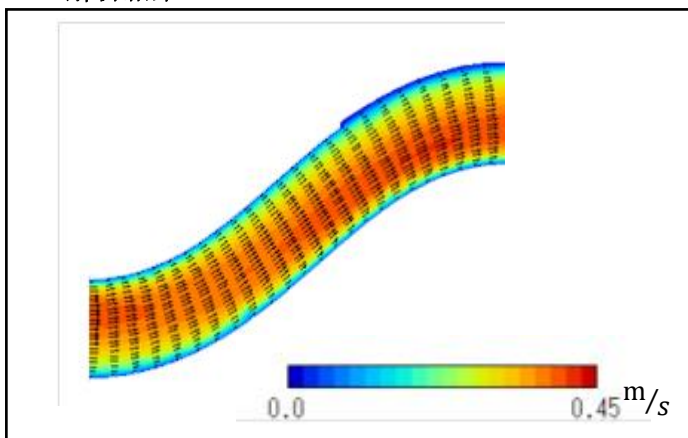


図 4 水路 L の解析結果

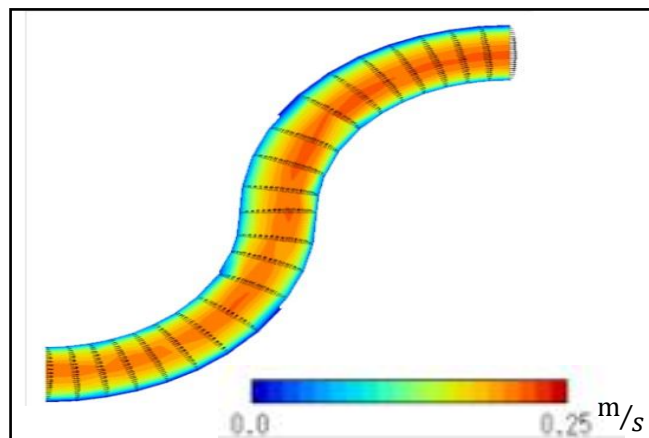


図 5 水路 M の解析結果

水路 L では遠心力を考慮することによって横断方向の運動量輸送をうまく表せているといえるが、水路 M では曲率が大きく連続して変わることによって遠心力による運動量輸送が過大・過少評価されて計算されてしまっている。また最大流速点の位置がずれるのは、ずれている断面より上流の断面での影響を受けているためである。

壁面近傍での流速も誤差が出やすいが、これは二次流の取り扱い方を変えてもあまり影響がでなかった。

5. 結論

遠心力を考慮することによって、運動量輸送による流速の偏りを再現することはできたが、曲率が大きく連続して変わる水路に対して運動量輸送が過大・過少評価される傾向があるため、最大流速点の位置がずれることがある。そういう場合にモデルを適用する場合には何かしらの工夫が必要である。また、壁面近傍での流速に対して二次流の取り扱い方の違いによる影響は出ていなかったため、壁面近傍の流速を考慮する際には、二次流以外の要因を考慮する必要がある。