

LES による湾曲開水路乱流の再現

神戸大学大学院工学研究科 学生員 ○栗山 貴生
 神戸大学大学院工学研究科 正会員 中山 昭彦

1. はじめに

河川湾曲部の流れは河岸侵食や内岸での堆積に大きく影響し河川計画を検討する際、その流況を詳しく知る事は重要になる。湾曲開水路の数値解析は一次元、二次元解析、RANS, LES など種々の手法が適用されてきた。一次元、二次元解析では複雑な河川を表しにくい。三次元解析であっても RANS 計算はモデルに依存し、乱流構造で重要な瞬時の様子を捉えられない。LES は壁面の取り扱いや、SGS モデルの依存度など課題はあるが、瞬時変動を捉えることができるため、良好な再現ができる可能性があるが、これまで十分な検証がなされていない。そこで本研究では猪熊・中山¹⁾の手法に準じ、水面適合シグマ座標を用い、LES によって開水路湾曲部の横断面平均流速の分布と遠心力に起因する二次流ベクトルの再現を行い、本手法の検証として実験²⁾との比較を行う。

2. 計算手法

基礎式は空間平均した非圧縮流の N-S 式と連続式である。乱流モデルは標準 Smagorinsky モデルを用い、時間進行法は Crank-Nicolson 法を用いる。変数配置はコロケート格子、座標系は境界適合シグマ座標系、計算格子の時間進行には高さ関数を用い、水面での応力条件を満たすように流速を求めた後、水面位置を更新、一定比で計算格子を再分割する事により、計算格子を更新している。底面・壁面境界条件は No-slip 条件である。流入は毎ステップで直線部下流の断面の流速分布を与えることで乱れを発達させる。流出は自由流出である。

3. 計算条件

富永ら²⁾の実験を模擬した計算格子は図 1 である。格子数は(主流方向, 横断方向, 鉛直方向)=(220, 50, 30)であり、60° の湾曲部を有し、水路床勾配 $i=1/3000$, 中心曲率半径 2.7(m), 水路幅 0.9(m), 初期水深 0.155(m)の湾曲開水路である。平均流速 $U_m=0.240(m/s)$, 平均水深 $H=0.152(m)$ で、これらを基にしたフルード数は $Fr=0.196$, レイノルズ数は $Re=3.67 \times 10^4$ である。ただし、これらの値は湾曲入口上流 90(cm)の値である。

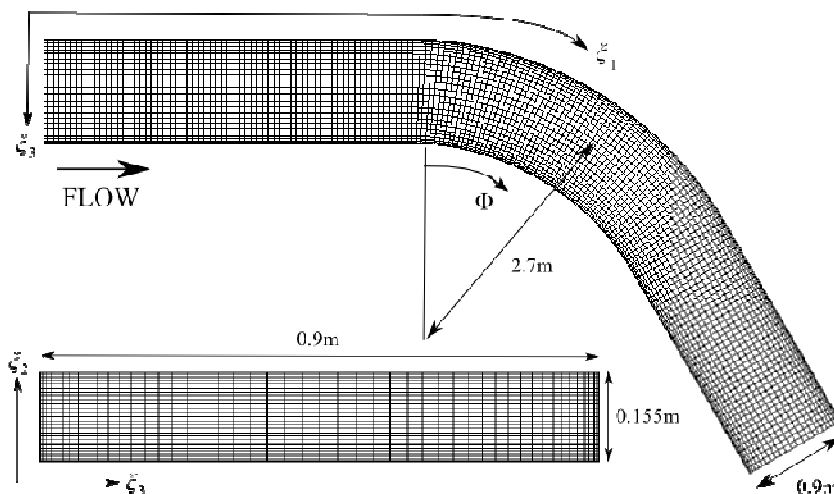


図 1 計算格子

図 2, 図 3 はそれぞれ本計算結果, 実験結果²⁾の 15°, 45°, 60° 断面における断面二次流ベクトルである。15° 断面について見ると、実験²⁾では明確に再現できなかった第一種二次流(図の時計回りの流れ)と第二種二次流(これ以降は外岸セルと呼ぶ)を本計算では明確に再現できている。45° 断面でも外岸セルは確認でき、実験結果²⁾と比べ発生位置は同位置であったが、60° 断面については、実験²⁾では中央付近で外岸セルが発生しているのに対し、本計算では変わらず水面付近に発生している。形状はほぼ円形である。また、湾曲角が大きくなるにつれ、二次流が大きくなっていく様子が本計算では再現できている。図 4, 図 5 はそれぞれ本計算結果, 実験結果²⁾の 15°, 45°, 60° 断面における平均主流速分布である。実験結果²⁾と比べ本計算では湾曲入口上流 90(cm)の底面付近の流速が小さい値を取って

4. 計算結果

図 2, 図 3 はそれぞれ本計算結果, 実験結果²⁾の 15°, 45°, 60° 断面における断面二次流ベクトルである。15° 断面について見ると、実験²⁾では明確に再現できなかった第一種二次流(図の時計回りの流れ)と第二種二次流(これ以降は外岸セルと呼ぶ)を本計算では明確に再現できている。45° 断面でも外岸セルは確認でき、実験結果²⁾と比べ発生位置は同位置であったが、60° 断面については、実験²⁾では中央付近で外岸セルが発生しているのに対し、本計算では変わらず水面付近に発生している。形状はほぼ円形である。また、湾曲角が大きくなるにつれ、二次流が大きくなっていく様子が本計算では再現できている。図 4, 図 5 はそれぞれ本計算結果, 実験結果²⁾の 15°, 45°, 60° 断面における平均主流速分布である。実験結果²⁾と比べ本計算では湾曲入口上流 90(cm)の底面付近の流速が小さい値を取って

キーワード LES, 湾曲開水路, 乱流,

連絡先 〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学工学研究科 TEL 078-803-6280

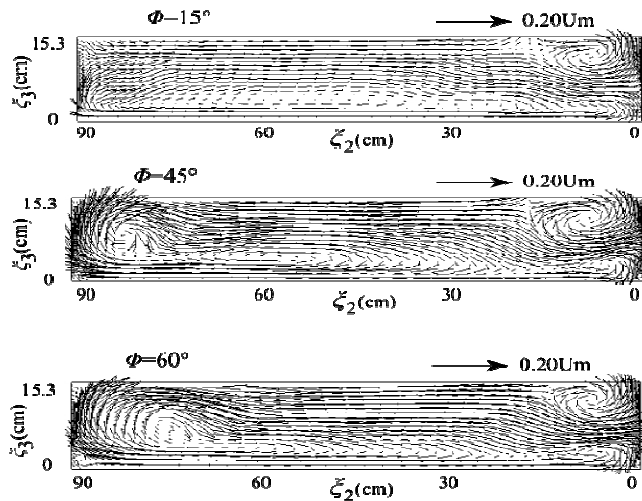


図2 断面二次流ベクトル(本計算結果)

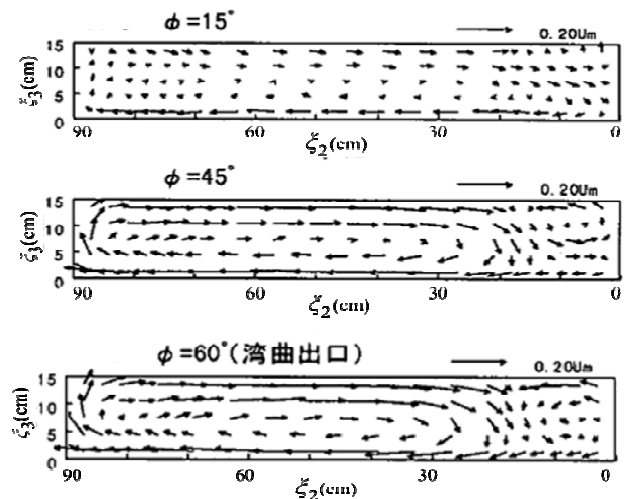
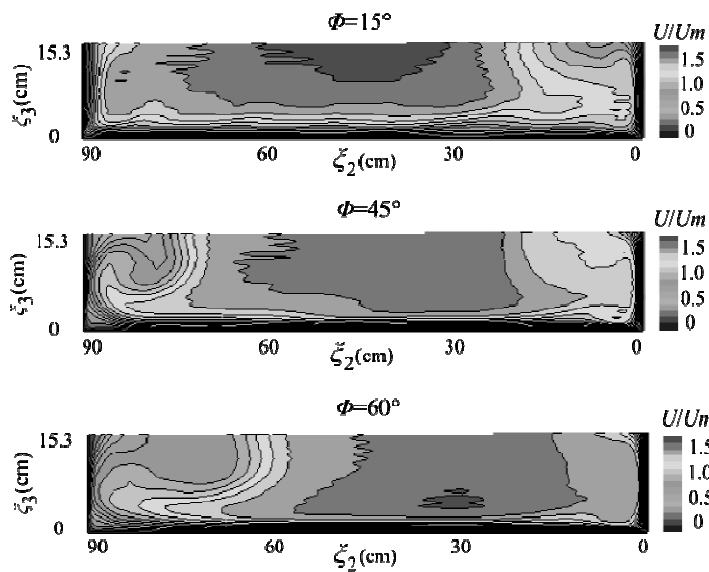
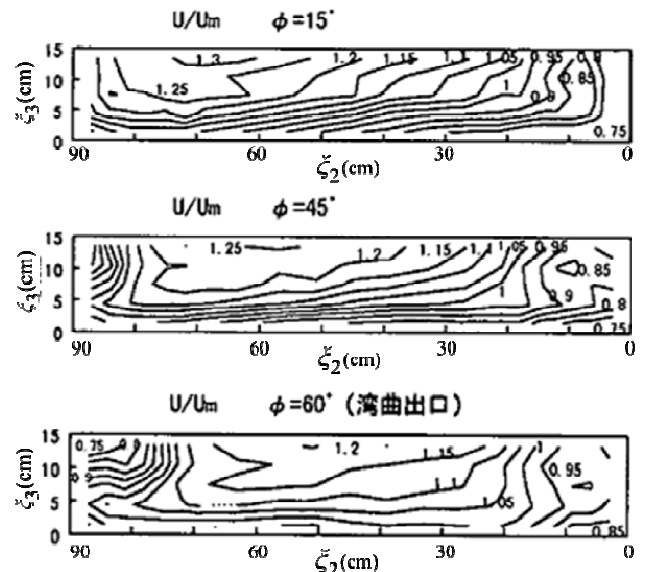
図3 断面二次流ベクトル(実験結果²⁾)

図4 断面平均主流速分布(本計算結果)

図5 断面平均主流速分布(実験結果²⁾)

るため、オーダーは本計算では実験結果²⁾と比べ大きな値を取った。15°断面では、図4を見るとピーク値は水面中央付近に分布している点は実験結果²⁾と相違が見られるが、ピーク値よりやや小さい値の分布は内岸寄りであることは一致している。45°断面では高速成分が中央に分布しているのに対し、実験結果²⁾ではやや内岸、60°断面では高速成分が本計算結果では外岸に推移しているのに対し、実験結果ではほぼ中央付近に分布している。

5. まとめ

水面適合シグマ座標を用いたLESを湾曲開水路に適用することにより、湾曲部で生じる二次流や断面平均流速の再現を行い、同時に遠心力による水面変動を再現することができた。実験²⁾との比較では相違点が見られたが、二次流ベクトルと流速、共に傾向は捉えられたと言える。より正確な再現を行うため、壁面モデルの導入やSGSモデルの検証を今後の課題とする。

6. 参考文献

- 1) 猪熊祐司, 三村豪, 中山昭彦: LESによる湾曲水路流れの2次流と水面変動の再現, 応用力学論文集 Vol.13, pp753-760, 2010.
- 2) 富永晃宏, 長尾正志, 千葉茂樹: 幅水深比のちいさな長方形断面開水路の湾曲部流れ構造に関する研究, 土木学会論文集, No.607/II-45, pp.19-28, 1998.