

複断面開水路湾曲部流れの実験および準三次元数値解析

東京工業大学

学生会員 粕谷 泉

東京工業大学

フェロー会員 池田駿介

日本ヒューレットパッカード株式会社 正会員 河村一弘

1. はじめに

相対水深の小さい複断面湾曲部の流れは、複断面形状特有の周期的で大規模な水平渦と湾曲部特有の遠心力に起因する2次流が混在する非常に複雑な流れ場である¹⁾。著者らは、同流れ場を対象に1方程式モデルを用いた平衡領域の断面2次元計算を行い、主流速や2次流を良好に再現しているが水平渦が発生する外岸側低水路高水敷境界部では流れ場を精度良く再現できていない²⁾。本研究では、複断面湾曲水路を対象に実験と、流れ場に生じる2次流および水平渦の影響を取り入れた数値解析を行った。乱流モデルとしては、灘岡ら³⁾が開発した準3次元浅水乱流モデル(SDS-Q3Dモデル)を用いた。

2. 実験

(1) 実験概要

実験水路は中心曲率半径450cm、水路幅100cm、湾曲角306°の循環式長方形断面水路(図-1)を使用し、粗砂を用いて低水路と水路の両側に高水敷を設置した。低水路と高水敷は余誤差曲線でなめらかに結んだ。水路勾配は1/500、底面粗度は1mmである。横断面図は図-2に同じである。計測断面は複断面設置地点から12m(湾曲してから約200°)流下した横断面とした。低水路・高水敷境界部において、水平渦の周期は電磁流速計を用いて、水面変動は容量式波高計を用いて測定した。水平成分時間平均流速は流れの向きにピトー管を合わせ、流速の絶対値と流下方向となす角度から主流方向流速 u_q と横断方向流速 u_r を求めた。流速の測定間隔は横断方向に2.5～10.0cm、鉛直方向に0.5～1.0cmで、水深平均流速は加重平均法で算出した。

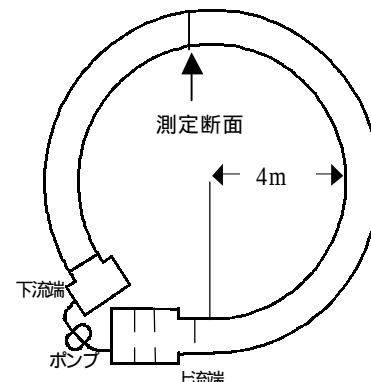


図-1 実験水路

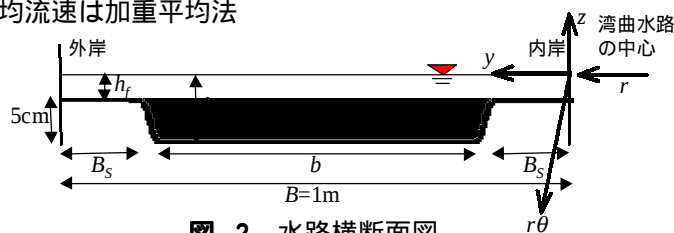


図-2 水路横断面図

表-3 実験条件

Case		A65	A75	A10.0	B65	B75	B10.0
流量	Q (L/s)	12.9	20.99	35.85	6.92	10.99	24.08
平均高水敷水深	h _m (cm)	6.5	7.5	10	6.5	7.5	10
平均低水路水深	h _l (cm)	1.5	2.5	5	1.5	2.5	5
相対水深	h _l /h _m (-)	0.231	0.333	0.5	0.231	0.333	0.5
断面平均流速	U (cm/s)	34.4	44.19	49.45	30.76	33.82	41.88
低水路幅	b (cm)	40	40	40	10	10	10
片側高水敷幅	B _s (cm)	25	25	25	40	40	40

写真-4は実験水路における水表面付近の流況の可視化写真である。可視化には塩化ビニル粒子を用いた。Case A65では外岸側の低水路・高水敷境界部において周期的な水平渦が発生している一方、内岸側の境界部には明瞭な水平渦を確認できなかった。これは2次流が外岸側の境界部では下降流となりボイルを抑制するためであり、逆に内岸側では2次流が上昇流となり乱れの三次元性が卓越するため水平渦構造を壊してしまうためだと考えられる。次に低水路幅が狭いCase B65について見てみる。実験の可視化写真および計算の渦度分布からも両岸の渦が



a) Case A65(外岸側)



b) Case A65(内岸側)



c) Case B65

写真-4 水表面付近の流況の可視化

keywords: 水平渦, 二次流, 渦列の干渉, 準三次元解析

連絡先; 152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 TEL 03-5734-2597 FAX 03-5734-3577

干渉し並んで存在している様子がわかる。そこで低水路・高水敷境界部における水面変動の時系列を見てみると(図-6)。およそ外岸側と内岸側では同位相で水位低下が生じていることがわかる。水位低下は水平渦の中心が通過したことを示すため、水平渦の干渉によって外岸側の渦と内岸側の渦が同位相で存在していると考えることができる。

渦列の干渉は直線複断面水路でも見られているが、この場

合両岸の渦が逆位相で存在する。このように同じ渦列の干渉現象でも違いが生じるのは、直線複断面水路では両岸の渦の方が2次流の影響で内岸側に比べて強いために、強い渦が弱い渦を支配しているためだと考えられる。

3. 数値計算概要

SDS-Q3Dモデルは基礎式の水平流速成分を鉛直分布関数とその重みの積の和として与えてGalarkin法を用いて重みつき積分し、二次元計算の枠組みで準3次元的に鉛直構造を捉える。本研究は円筒座標系を用いた。実験結果により主流速分布は対数分布、横断方向流速分布は2次流分布に近い分布形であり、また2次流による運動量交換を調整できるように主流方向、横断方向にそれぞれ3本の鉛直分布関数を与えた。数値計算は実験と粗度を合わせた再現計算を行った。計算領域は曲率半径を $R(m)$ として r 方向に $100cm$ 、 q 方向に $q_{max}=90^\circ R/4^\circ$ とした。計算格子は $Dr=1.0cm \cdot CDq=q_{max}/360$ とした。境界条件は上下流端を周期境界条件、左右壁をslip条件とした。初期条件は流下方向に平衡領域で計算を行い、主流速成分に1%の擾乱を加えたのち空間全体に与えた。以上による主流速分布の結果を実験値と比較すると図-7のようになり、およそその流れを再現できた。またその渦度の分布は、図-8のように表され、位相の一致する渦を再現することができた。

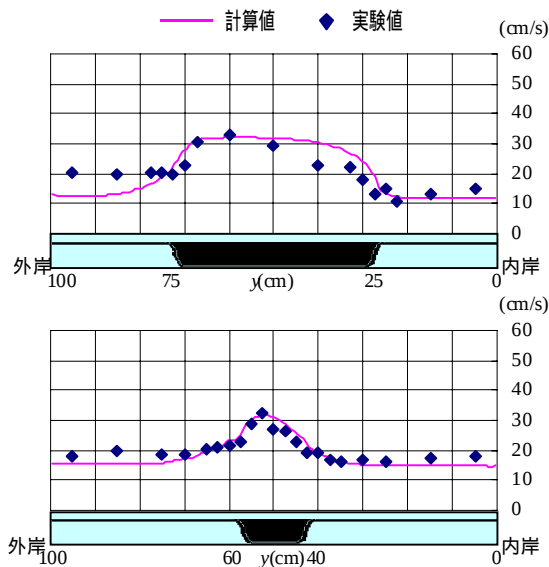


図-7 水深平均主流速分布

4. 結論

複断面湾曲流れを対象に、実験と準3次元浅水乱流モデルを用いた数値計算を行い、以下の結論を得た。

1. 乱れの三次元性が強い内岸側低水路・高水敷境界部を除いて、本モデルは流れ場を精度良く再現することができる。
2. 低水路幅が狭く両岸の渦列が干渉すると渦列の配置が同位相になる。

参考文献

- 1) 今本博健, 久下俊夫: 複断面流れの水理特性に関する基礎的研究, 京都大学防災研究所年報, 第17号B-2, pp.1-15, 1973.
- 2) 池田駿介, 福元正武, 花村斉, 河村一弘: 複断面河道湾曲部の水平組織渦および2次流に関する研究, 水工学論文集, 投稿中
- 3) 灘岡和夫, 八木宏: SDS&2DHモデルを用いた開水路水平せん断乱流の数値シミュレーション, 土木学会論文集, No.473/II-24, pp.35-44, 1993.

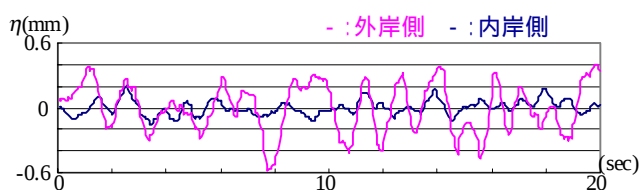


図-6 低水路・高水敷境界部における水面変動

(Case B65)

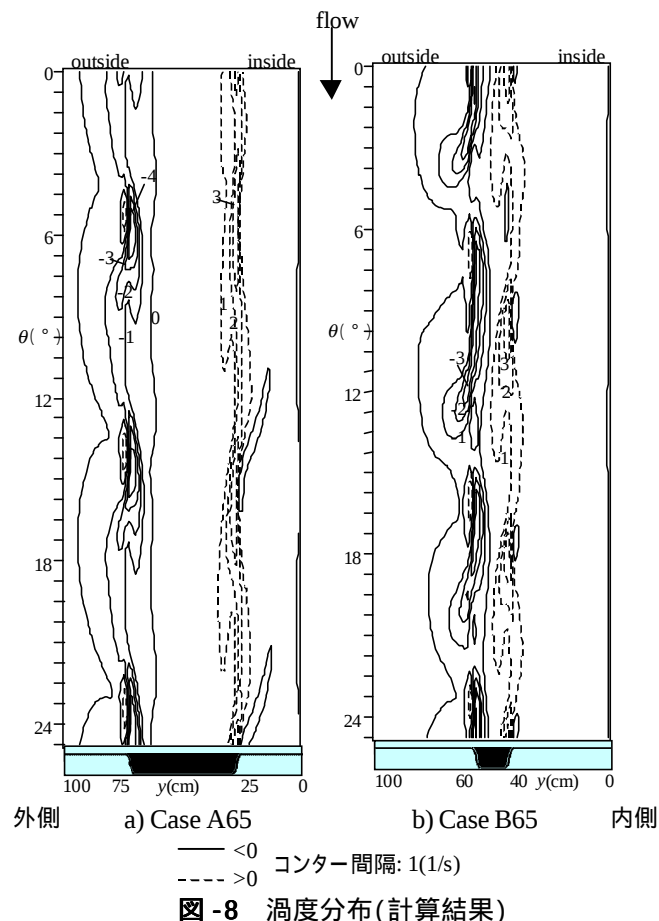


図-8 渦度分布(計算結果)