

Turbulent Structure of Flow in Curved Compound Open Channels

池田駿介(東工大工), ○粕谷 泉(東工大工), 河村一弘 (日本HP (株))

Syunsuke IKEDA*, Izumi KASUYA* and Kawamura KAZUHIRO**

*Dept. of Civil Eng., Tokyo Inst. of Tech., O-okayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8552, Japan

**Japan HP, Takaido-higashi, Suginami-ku, Tokyo 168-0072, Japan

In the curved compound channels, there are secondary flows induced by centrifugal forces and horizontal vortices at the junction of main channel and flood plains. We conducted experiments to measure the horizontal vortices and the velocity field of flow. A quasi-three-dimensional computation using SDS-Q3D model was performed, and the results were compared with the experiments. The result shows that this model is appropriate to simulate the entire flow field except for the inner junction of the main channel and the flood plains where 3D turbulence associated with boils is predominant.

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⁾。既往の研究として池田ら²⁾は、低水路幅の広い複断面湾曲流れで実験を行い、発生する水平渦を確認するとともに、2次流に着目して断面2次元計算を行い、主流速および2次流を良好に再現しているが、発生する水平渦については考慮していない。本研究では、低水路幅を変化させて実験を行い、内岸側・外岸側に生じる渦の様子を観察した。また同時に流れ場に生じる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) を円筒座標系に拡張して用いた。

2. 実験

実験水路は中心曲率半径450cm、水路幅100cm、水路床勾配1/500、湾曲角306°の循環式長方形断面水路 (Fig.1) を使用し、粗砂 (粒径1mm) を用いて低水路および高水敷を固定し形成した。低水路と高水敷は余誤差曲線でなめらかに結んでいる (Fig.2)。計測断面は複断面設置地点から12m (湾曲開始部より約200°) 流下した横断面とした。水面変動は低水路・高水敷境界部において、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_θ 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。

Fig.3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 (粒径130~150 μ m) を用いた。低水路幅の狭いCase B65では、図に見られるように両岸の水平渦が並んで存在している様子がみられた。低水路幅が大きい他のケースでは、外岸側の低水路・高水敷境界部において周期的

な水平渦が発生する一方、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、湾曲複断面において2次流が発達しており、この2次流によって外岸側の境界部では下降流が生じ、ボイルを抑制して水平渦構造が保たれるのに対し、内岸側では2次流が上昇流となり、乱れの3次元性が卓

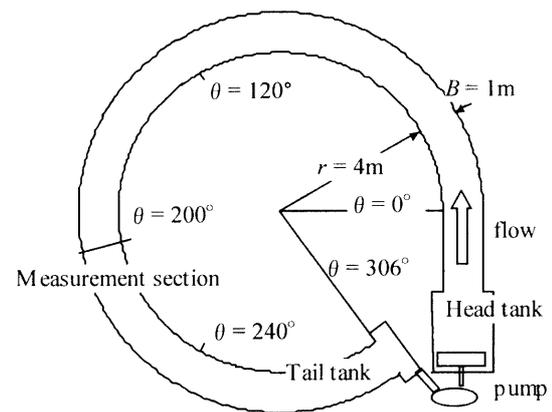


Fig.1 Plan view of curved channel

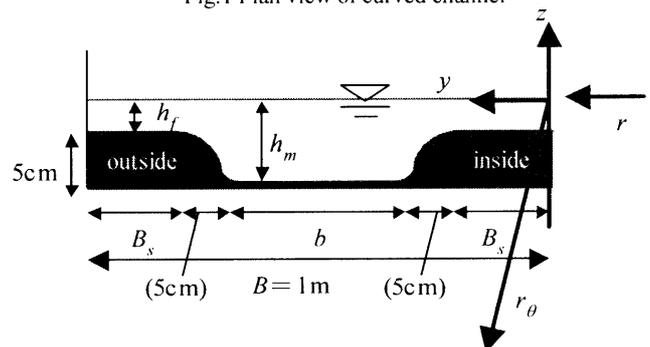


Fig.2 Schematic view of the cross section of compound channel

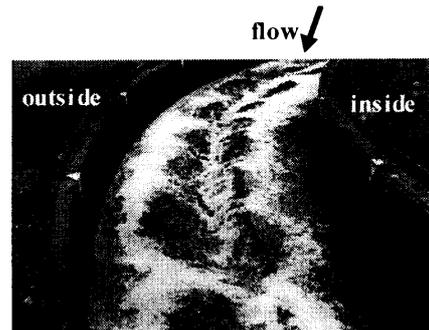


Fig.3 Visualization of flow near the water surface (Case B65)

Table.1 Experimental conditions

Run	A65	A75	A100	B65	B75	B100	
流量	Q (l/s)	12.9	21.0	35.9	6.9	11.0	24.1
平均低水路水深	h_m (cm)	6.5	7.5	10	6.5	7.5	10
平均高水敷水深	h_f (cm)	1.5	2.5	5.0	1.5	2.5	5.0
相対水深	h_f/h_m (-)	0.231	0.333	0.5	0.231	0.333	0.5
断面平均流速	U (m/s)	34.4	44.2	49.5	30.8	33.8	41.9
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

越するために水平渦構造を壊してしまう事が原因であると考えられる。Case B65における低水路・高水敷境界部の水面変動の時系列をFig.4に示す、この図により、外岸側と内岸側ではおよそ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通過を示しており、両岸に生じた渦が同位相で存在していることを確認できた。直線複断面水路では両岸に発生する渦が互いに干渉することにより逆位相で存在する事が知られている。湾曲複断面水路では外岸側の渦の方が2次流の影響で内岸側に比べて強度の大きな渦が形成され、その結果外岸側の強い渦が内岸側の弱い渦を支配して同位相で流下しているものと考えられる。

3. 数値計算

本計算では円筒座標系で記述されるSDS-Q3Dモデル³⁾を用いた。SDS-Q3Dモデルでは基礎式の水平流速成分を鉛直分布試行関数とその重みの積の和として与えてGalerkin法を用いて重みつき積分することにより、準3次元的に鉛直構造を捉えることができる。本計算では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本の鉛直分布試行関数を与えており、この試行関数に関しては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ることを用いている。

数値計算は実験を行った流れ場を対象として行い、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。初期条件として流下方向に平衡領域での計算を行い、その時間平均流速に1%の擾乱を加えた後、得られた値を計算領域全体に与えた。水深平均主流速に関する計算結果と実験値の比較をFig.5に示す。本モデルにより、およそその流れを再現できる事がわかる。図中で内岸側の高水敷低水路境界部において計算値が大きくなっているのは、実際の流れで生じているボイルなど流れの3次元性については本モデルでは考慮されていないことが原因であると考えられ、また高水敷において再現性が悪いのは、高水敷においては水深が小さく、測定点が限定されてしまうことによる実験精度上の問題である。

数値計算による横断方向の運動量交換量をFig.6に示す。低水路幅が小さくなるにつれて横断方向の運動量交換が増大している。そこで計算結果による渦度の空間分布をみると (Fig.7), Case B65で生じた渦は流下方向に傾いており、内岸側外岸側に生じた渦が互いに干渉し合うことで渦の構造自体が変化していると考えられ、この渦の干渉によって横断方向運動量交換が促進されたものと考えられる。

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. 相対水深が小さい流れ場において水平渦が大きく発達することを確認した。
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。
3. 乱れの3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。

参考文献

- 1) 今本博健, 久下俊夫: 複断面流れの水利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, 第45巻, pp.493-498, 2001.
- 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.

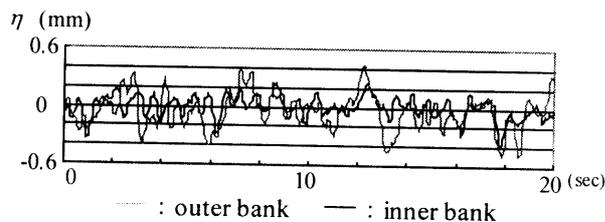


Fig.4 Temporal variation of water surface at the boundaries between main channel and flood plains (Case B65)

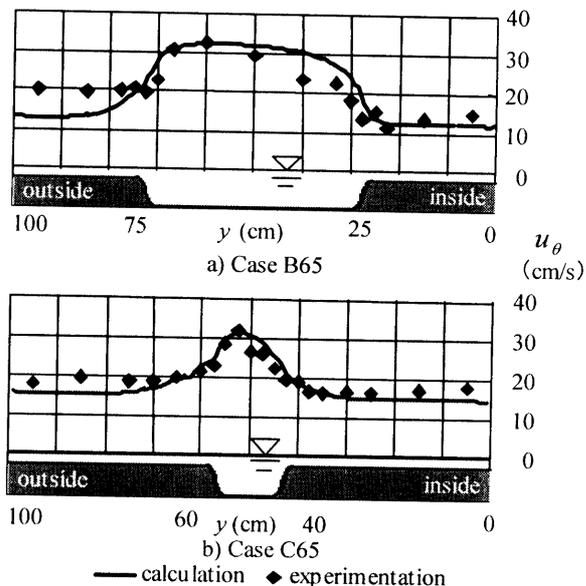


Fig.5 Temporally and depth averaged velocity distribution

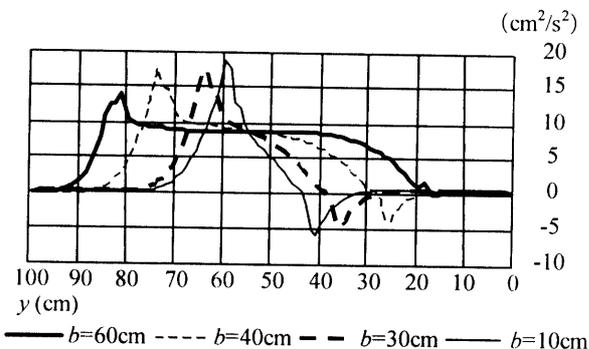


Fig.6 Calculated lateral momentum transport ($h_m=6.5\text{mm}$)

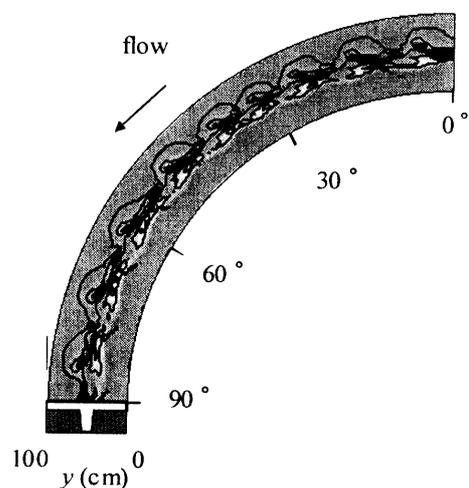


Fig.7 Calculated spatial distribution of vorticity (Case B65)