

広島大学工学部 正会員○渡辺明英

広島大学工学部 正会員 福岡捷二

1. はじめに

低水路が堤防とは異なる線形で蛇行している河道に高水敷上にも水が流れる場合には、高水敷上の流水は堤防に沿った形で流れ、高水敷高さよりも下の低水路内の流れは低水路の線形に沿った形で流れるために、3次元的に複雑な流れ場を形成することが指摘されている^{1) 2) 3)}。しかし、位相差・蛇行度と流れ場及び河床変動の関係は十分に言及されていない。このような種々の条件下での流れ場を検討するには数値解析を行うことが望ましい。複断面蛇行流れの数値解析例としてJin・Egashiraらの研究⁴⁾や中辻らの研究⁵⁾があるが、これらは静水圧と浅水流を仮定したものである。Jin・Egashiraらは、高水敷の高さより上層と下層で流れが異なることに着目して、静水圧分布と2層流れの仮定を用いて2次元計算を行ったが、下層の流れは実験結果^{1) 2) 3)}と異なっている。

本文では、静水圧分布を仮定したモデルと仮定しないモデルを用いて3次元流解析を行うことにより、複断面蛇行河道における流れ場を解析し、実験結果を精度良く再現するモデルについて検討している。

2. 解析方法及び計算条件

基礎方程式は、 x y 平面直交座標から ξ η 平面一般曲線座標に変換した3次元の運動方程式と連続式である。ここで、水路形状と流れ場が流下方向に周期的であると仮定して、3次元流速場 (u, v, w, p) と水位 η と並びに各計量テンソルを水路の蛇行波長を1次モードとしたフーリエ級数で表す。これらを運動方程式、連続式に代入して、時間積分することにより流速 u, v, w を求められる。流下方向への微分は、フーリエ級数から求められる。ただし、波数空間のみで計算を行うと、フーリエ級数の乗算が3次になるために、非線形項等の計算量が膨大になるので、FFTを用いたスペクトル選点法⁶⁾によって計算した。断面内での微分は2次精度の差分で近似し、移流項は2次精度で風上化した。圧力 P は静水圧とそれからの偏差 δP に分離され、 δP はSMACスキーム⁷⁾によって計算される。 δP は表面セルでは0とし、表面で水位が与えられる。水位は水深積分した連続式から与えられ、表面の w は運動学的境界条件から与えられる。渦動粘性係数は $\kappa u_* h / 6$ とし、境界ではスリップ条件を与え、抵抗係数でせん断力を評価した。静水圧を仮定したモデルは、上記の圧力偏差 δP を0におき、 w を u, v を連続式に代入して鉛直積分して求めるモデルに簡略化したものである。

図1に、水路形状とそのメッシュイメージを示す。これより、格子点の座標を読み取って、その座標をフーリエ変換し、計量テンソルを作成した。メッシュは 32×60 であり、スペクトル選点法を用いる本モデルでは0～7次モードまで解析される。なお、低水路形状は最大角 45° 、幅50cmのsine-generated-curveであり、1区間の距離は x 座標で4.1mである。高水敷水深4cm、低水路水深8.5cmをそれぞれ水深方向に4分割、8分割した。水路勾配は1/600である。

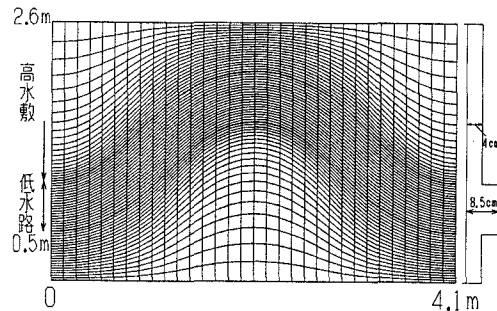


図1 水路形状とメッシュイメージ

3. 解析結果

図2、3はそれぞれ静水圧モデルと非静水圧モデルにおける水位コンターを示す。どちらも低水路の外岸側で水位が高くなることや高水敷上では蛇行部の後でコンターの間隔が密で、流れが入り込む手前で間隔が広くなるなど³⁾の特徴が表れている。しかし、静水圧モデルでは、波線で囲まれた部分で水位分布が非静水

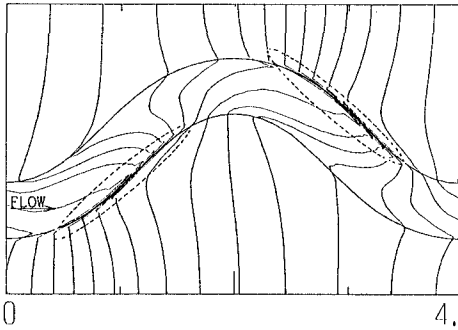


図2 水位コンター(0.5mmピッチ, 静水圧)

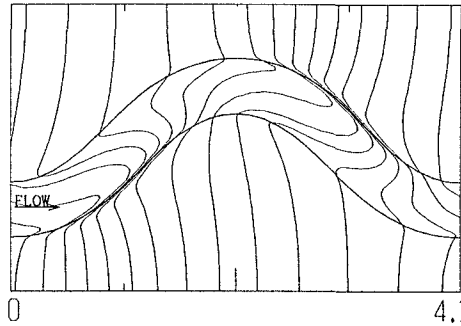


図3 水位コンター(0.5mmピッチ, 非静水圧)

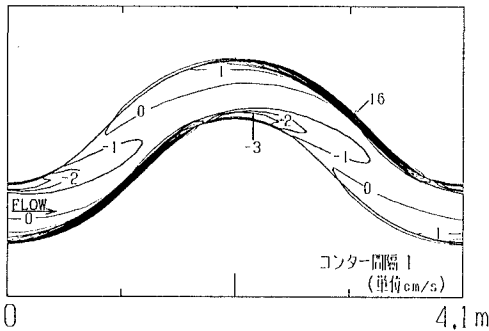


図4 高水敷高さの鉛直方向流速分布(静水圧)

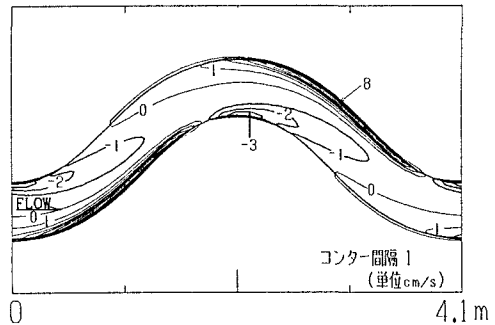


図5 高水敷高さの鉛直方向流速分布(非静水圧)

図4、5は、高水敷高さにおける鉛直流速 w の値をコンターで同様に示したものである。低水路の流れが河岸に当たる部分で大きな上昇流が生じている。静水圧モデルでは、上昇流の生じる範囲が集中し最大鉛直流速が非静水圧モデルの2倍まで大きくなっている。図6は、非静水圧モデルの高水敷高さより上で平均した流速ベクトルとそれより下で平均した流速ベクトルを重ねて示したものである。高水敷高さより上では堤防に沿って流れ、高水敷高さより下では低水路に沿って流れている。最大流速は内岸側から次の内岸側に向かう位置で生じている³⁾。高水敷上の流れが低水路に入る箇所では、上層と下層とで流れの向きが大きく異なり、下層では外岸に向かう流れが生じている^{1) 2) 3)}。非静水圧モデルは高水敷乗り上げ部分の流向と流速が異なるだけで、多くの範囲ではほぼ同様な結果が得られた。

4. おわりに

3次元流モデルにより、低水路が蛇行している河道内の流れを特徴^{2) 3)}を再現できることが確かめられた。静水圧モデルでは高水敷乗り上げ部の周りで流れが異なっているが、大局的には問題ないと考えられる。

[参考文献] 1) 芦田他: 水工学論文集第34巻pp. 397-402, 1990. 2) 武藤他: 水工学論文集第34巻pp. 711-716, 1996.

3) 福岡他: 水工学論文集第34巻pp. 941-946, 1996. 4) H. Jin他: 水工学論文集第40巻pp. 717-724, 1996.

5) 中辻他: 水工学論文集第40巻pp. 1083-1088, 1996. 6) 保原充他編: 数値流体力学, 東京大学出版, 1992.

7) 荒川忠一: 数値流体力学, 東京大学出版, 1994. 8) 渡辺他: 土木学会中国支部年次講演会概要集, 1996.

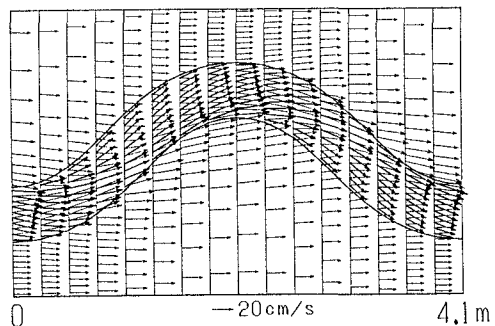


図6 流速ベクトル(太線: 下層の鉛直平均流速)