

急勾配複断面蛇行水路の流れ場の数値計算

九州大学	正会員	○高畑 洋
広島大学	正会員	渡辺明英
広島大学	フェロー会員	福岡捷二

1. はじめに

急勾配河川の横断面形状は、河道の成り立ちからこれを単断面形とするのが設計の基本と考えられている。しかし、最近は急勾配河川であっても堤外地の利用等の目的で複断面化の例が見られる。流速の大きい急勾配河川の複断面化は、流れの低水路への集中、大きな横断方向の水位差および激しい水面変動を生じさせることが指摘されている¹⁾。緩勾配水路における複断面蛇行水路の流れ場を数値計算で再現するには、非静水圧の3次元のモデルを用いる必要があることが示されている²⁾。ここでは、その解析モデルを急勾配の複断面蛇行流れにも適用して計算する。

2. 計算方法および条件

計算では、福岡らの実験²⁾の流れ場のシミュレーションを試みる。実験で用いられた水路は、全長22.5m、全水路幅2.2m、勾配1/300の鋼製水路に、低水路の幅が0.5m、中心線の振幅が0.2mの正弦曲線（蛇行度1.02、最大蛇行偏角17°）となるように高水敷を低水路底面より0.045mの高さに設置し、そこに人工芝を敷いたものである。水理条件は、流量33.7l/s、平均水深0.076m、相対水深0.4とし、低水路内の平均フルード数は0.72である。計算は3次元解析法による。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、非定常の3次元の運動方程式および連続式である。計算に際しては平均水深を与えて、基礎式を解いている。複断面蛇行水路の流れ場においては、移流による高水敷と低水路の間の流体の混合が現象に対し支配的である。移流項を精度良く表現するために、 ξ 方向の微分は周期境界条件を適用し、これをスペクトル選点法で計算する。渦動粘性係数は、カルマン定数 κ 、底面摩擦速度 u_* 、水深 h 、河床からの高さ z' を用いて、 $\kappa u_* z' (1 - z'/h)$ で表わされている。圧力 P は静水圧とそれからの偏差 δP に分離され、 δP がSMACスキームによって計算される。底面においては低水路と高水敷で流速係数がそれぞれ $\phi_m=18.0$ 、 $\phi_p=4.5$ となるような境界条件が与えられている。

3. 計算結果

水位コンター図を図.1、大きな水面変動のみられた図.1の下流端の×印の地点の水面変動を図.2に、水平面内の流速ベクトル図を図.3に示す。実験データを見ると、緩勾配の場合と比較して水位の縦横断

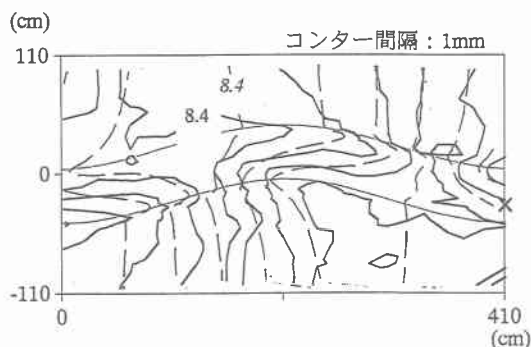


図.1 水位コンター図
実線：実験、破線：計算
数字は低水路下流端底面からの高さ

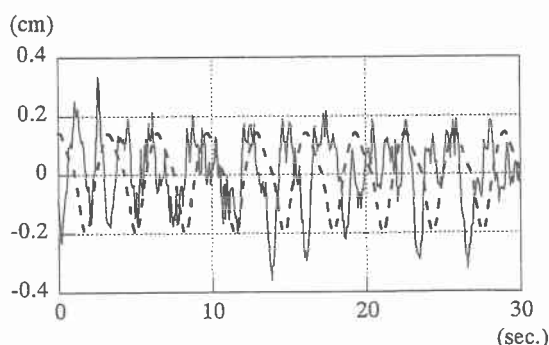
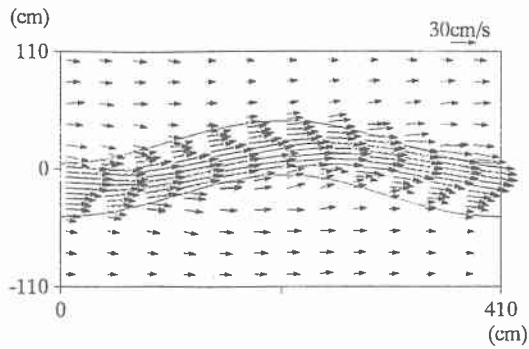
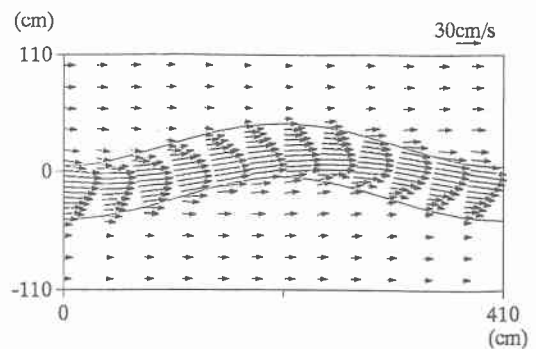


図.2 水面変動の時間変化
実線：実験、破線：計算
縦軸は平均水面からの偏差



(a) 実験

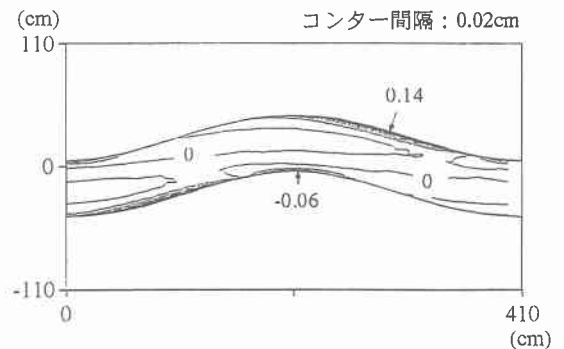


(b) 計算

図.3 平面流速ベクトル図

実線：水面下2cm（高水敷高さより上）、破線：水面下5cm（高水敷高さより下）

方向の勾配および流速の大きさは大きくなるが、これらの分布形はほぼ同様である。急勾配の場合でも低水路と高水敷の間の流れの混合が現象を支配するという流れ場の構造になっている。計算において得られた流量は32.1 l/s である。水位分布については計算は実験結果をほぼ再現している。水面変動については実験結果のそれは計算結果と比較して周期が小さく、また変動の様子も不規則である。流速ベクトルの大きさは実験に較べて若干小さいが、その分布形はほとんど同様であり、ここで用いた数値計算モデルは急勾配水路でも有効であると考えられる。計算

図.4 圧力偏差 $\Delta P/\rho g$ (単位: cm)

結果における水面変動のパターンが実験結果と一致していないことおよび流速が実験に較べて若干小さいことの原因は、実験において流れ場が完全に平衡状態に達していない一方、計算では流れ方向に周期境界条件をとり、無限に長い水路の流れ場を再現しているという条件の相違によるものと考えられる。図.4 は、計算における静水圧からの圧力偏差 ΔP を、低水路内の高水敷高さより下での鉛直平均水頭値で示している。流れが低水路河岸にぶつかる変曲断面の、ところで大きな圧力の上昇がみられ、反対に最大曲率断面の内岸側で圧力の降下がみられる。

4. 結論

急勾配複断面蛇行水路の流れ場の構造は、緩勾配のそれと基本的に同様であり、スペクトル法を用いる非静水圧の3次元モデルを用い、精度の高い計算が可能である。

参考文献

- 1) 福岡ほか：水工学論文集第43巻，pp.317-322，1999.
- 2) 福岡・渡辺：土木学会論文集II-42，pp.39-50，1998.