

水路急変部における流れの数値解析

佐賀大学大学院 ○学 北田 幸夫
 佐賀大学理工学部 正 大串 浩一郎
 佐賀大学理工学部 学 宇城 輝
 佐賀大学理工学部 学 大塚 雅伸

(1) はじめに

洪水氾濫が頻発している現状を考えると、氾濫水の流動過程を検討し、土地利用計画や氾濫原管理などの治水対策を講じるための実用的な数値解法の開発が望まれる。氾濫水挙動の正確な予測のためには、常射流混在流れの水理解析を行う必要がある。一般に氾濫原の地盤形状はフラットでなく、様々な構造物等のため凸凹しており、中には急変部をともなう場合もあるであろう。一方、一次元として取り扱いやすい水路や河川における各種水理構造物の近傍にも急変部をともなう場合が多い。急変部が存在すると、一般に流線は剥離して局所的にきわめて複雑な流況を示す。これらの現象を正確に把握するためには、水理実験を行うことが望ましいが、実験で取り扱う範囲には限界がある。そこで今回は、まず一次元での急変部における流れの数値解析を行った。急変部における流れは、鉛直方向加速度が無視できないため、一次元的に取り扱うには限界がある事が一般に知られているが、本研究ではこの様な流れに対し、どのようにすればできるだけ高い精度で1次元解析が行えるか、という実用的な見地に立った考察を行った。

(2) 実験装置及び方法

実験に用いた水路は長さ18m、深さ0.4m、幅0.4mの矩形断面であり、底面勾配は1/800である。材質は左右壁面がガラス、底はステンレス製である。水路上流部に三角せきを設け、この越流水深により流量を求めた。水深測定にはポイントゲージを、流速測定にはレーザー流速計をそれぞれ用いた。今回は2種類の実験を行った。まず最初に実験水路中央部に水門を設置し自由流出によって定常跳水を発生させ、水深の測定を行った。次に水門を取り去り、長さ0.1m、高さ0.035m、幅0.4mの木製角柱を底部に固定し、完全越流及びもぐり越流の状態での水深、流速を測定した。

(3) 計算方法

本研究の数値計算には、陽的な予測子、修正子の2ステップスキームである、MacCormackスキームを用いた。このスキームは内部格子点に対するものであり、境界格子点の計算にはBoxスキームを用いた。境界条件として上流側に流量、下流側に水深を与えた。また、数値振動を滑らかにするため、Jamesonらによって開発された人工粘性をスキームに加えた。

(4) 精度検証

今回使用した数値計算の精度を検証するため、急変部を含まない常射流混在流れについて実験と計算の両方を行った。図-1は実験値

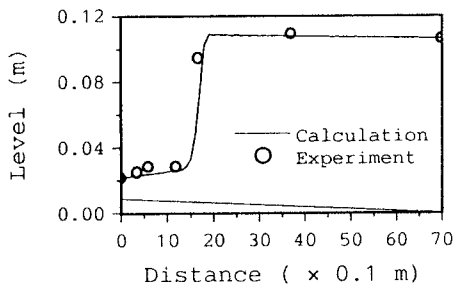


図-1 急変部を含まない流れ

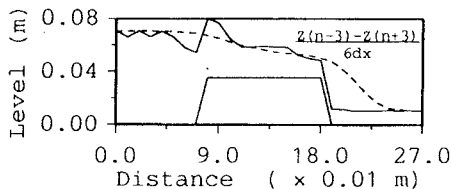
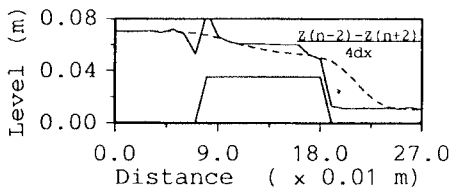
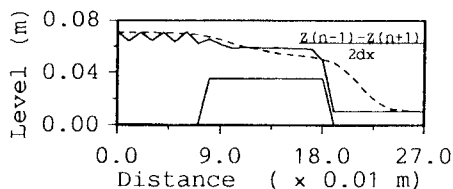


図-2 完全越流(水面形)
 (---- 実験値、—— 計算値)

(○印)と計算値(実線)の水面形を比較したものである。流量は $0.01486 \text{ m}^3/\text{s}$ 、水門開度は 0.0245 m であり、計算条件は $\Delta T = 0.001 \text{ sec}$ 、 $\Delta X = 0.1 \text{ m}$ である。上流端境界は、水門から射流で自由流出した後のベナコントラクト部分とし、下流端境界は跳水発生後常流となり安定した部分とした。この図からわかるように、実験値と計算値は非常に良く一致しており、跳水の発生位置も正しく再現されている。以上のことから、急変部を含まない場合は本計算によるシミュレーションが精度良く行われることがわかった。

(5) 急変部における流れ

図-2に、水路底面に木製角柱を固定し、完全越流とした場合の実験値(破線)と計算値(実線)の水面形比較図を示す。流量は $0.00396 \text{ m}^3/\text{s}$ であり、計算条件は $\Delta T = 0.001 \text{ sec}$ 、 $\Delta X = 0.01 \text{ m}$ である。上段の図が底面勾配を $2 \Delta x$ 間をとった場合で、以下 $4 \Delta x$ 間、 $6 \Delta x$ 間をとった場合である。いずれの場合でも段落ち直後付近で実験値と計算値が大きくずれている。これらの原因は、実験では段落ち部で流線が剥離し、局所的にきわめて複雑な流況を示すが、計算ではこれらのことが表現されていないためだと考えられる。また、底面勾配を $2 \Delta x$ 間をとった場合は上流側で緩い振動が起こっているが、 $4 \Delta x$ 間や $6 \Delta x$ 間をとった場合の様に大きな振動のピークは発生しておらず、これらの図の中では底面勾配は $2 \Delta x$ 間をとった場合が最も好ましいことがわかった。

次に、急変部における渦領域を把握するために測定した水平方向の流速ベクトルを図-3に示す。この図より、段落ち部で下流側へ約 6 cm 、段上り部で上流側へ約 4 cm 付近まで急変部による流れの影響が表れていることがわかる。そこで、図-4に示すように、急変部による流れの影響部分を除いた有効断面を水が流れるものと考え、急変部を人工的になだらかにして(点線)計算を行った。その結果、実験値(破線)と計算値(実線)は良く一致するようになり、水の流れる有効断面を考慮することが妥当であることがわかった。

次に、もぐり越流とした場合の、実験で得られた水平方向の流速ベクトルを図-5に示す。この図より、完全越流時ともぐり越流時の有効断面が異なっていることがわかる。図-6に実験値(破線)と完全越流時の有効断面を用いた場合の計算値(実線)の水面形比較図を示す。段落ち部で若干のずれがあるが、全体的にはほぼ一致しており、もぐり越流時に完全越流時の有効断面を考慮しても再現性が良いことがわかった。

(6) おわりに

以上より、水路急変部の流れの数値解析では、完全越流時の急変部による渦の発生部分を除いた有効断面を水が流れるものと考えて1次元の計算ができることがわかった。しかしながら、種々の急変部の計算を行う場合、問題として残るのが有効断面の推定であり、これについては今後の課題として取り組んでいきたい。

[参考文献]

- 梶 東一郎：水理学I、II，森北出版，1974。
 梶 東一郎、荒木 正夫：水理学演習 下巻，森北出版，1962。
 Chaudhry, M.H.：Open-Channel Flow，Prentice-Hall，1993。

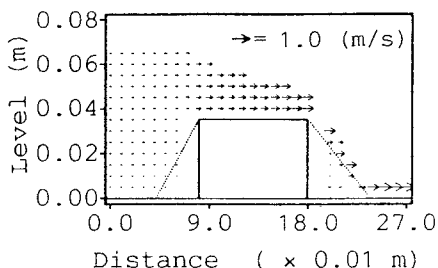


図-3 完全越流(流速ベクトル)

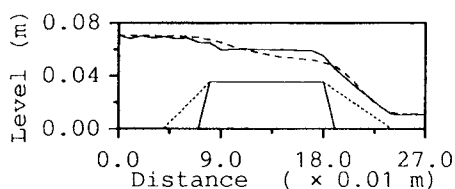


図-4 完全越流(水面形)
(---- 実験値、—— 計算値)

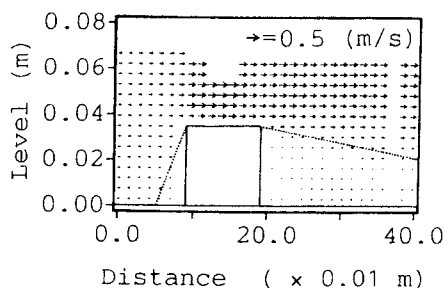


図-5 もぐり越流(流速ベクトル)

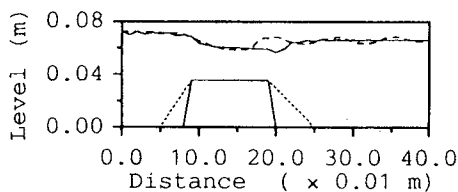


図-6 もぐり越流(水面形)
(---- 実験値、—— 計算値)