

II-7 急変流に関する数値計算

東北大学大学院 学生員○木嶋卓也
東北大学工学部 正 員 首藤伸夫

1. はじめに

開水路急変流を数値計算により検討するには、いくつかの問題点がある。例えば、自由水面形の決定と、複雑な底面形状の近似である。その他、流線の曲率による遠心力の効果を見逃すことのできない場での乱流現象のモデル化がある。本研究では、計算領域の境界（底面形状、水面形）に対して Grid Generation Method を用いた数値的な写像を行い、物理平面を計算平面に変換し、一般座標系で計算を実施する。その上で、Navier-Stokes 方程式による層流計算、及び標準 $k-\epsilon$ モデルによる乱流計算を行い、LDV 流速計による詳細な水理実験結果と比較することにより、これらの計算方法の適用性を評価、考察する。

2. 急変流の実験

急変流の実験は、図-1に示すように、上部水平床から勾配 1:2 の斜面を流下し、下部水平床へと接続する流れである。水平床と斜面の接続部のカドには、流線の剥離が生じないように曲率を持たせてある。

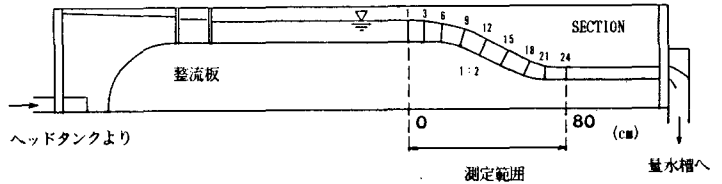


図-1 実験装置、測定断面

3. 実験値と計算結果の比較

以下の各図は、実験値（九点）と計算値（実線）を比較したものである。計算初期値として、上流端での実験値を対象区域全体に分布させた。

(1) 平均流速分布

N-S 方程式による層流計算では壁面乱流の影響を見逃しているため、斜面中央から下流にかけて壁面付近に於ける流速が加速され、実験値とは異なる分布形となっている。そのため計算による水面形は、場所によって多少、実験値との誤差が生じたが、流れ全体としての水面形の計算は、ある程度良く計算できていると言えよう（図-2）。乱流計算では、水面形状の変化に対して内部計算の収束性が悪いため、初めから水理実験による自由水面形状を境界形状として与えて計算を行った。平均流速分布は、斜面中央（断面12）付近までは計算値と実験値が良く一致している。しかし、斜面中

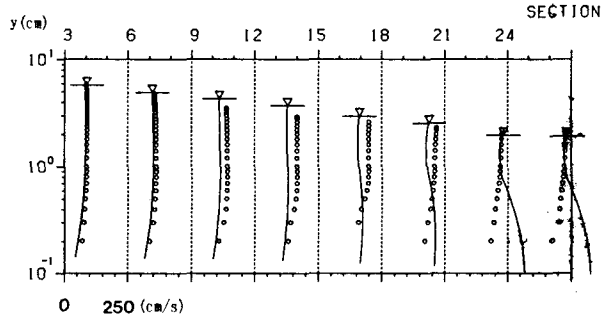


図-2 平均流速分布（層流計算）

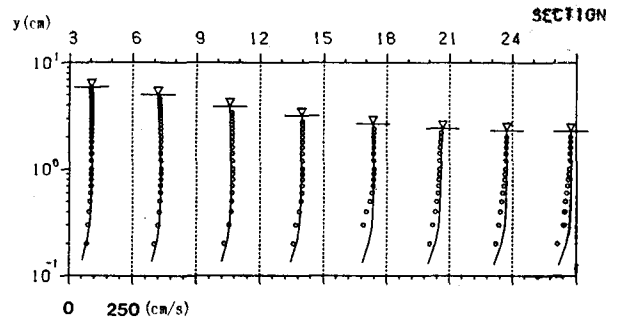


図-3 平均流速分布（乱流計算）

央から下流にかけて計算値の方は壁面付近での境界層の発達が見られず、境界層内での実験値との誤差が大きくなる（図-3）。しかし、誤差は、流れ全体に渡っても 18% 以内で計算できる。

(2) 乱れエネルギー (κ 値), エネルギー消散率 (ε 値) 分布

乱流計算による平均流速分布と同様に, 斜面中央から下流へ行くほど境界層内壁面付近での実験値との誤差が大きくなり, 実験値にみられるような水深方向への κ 値の増加が計算されていない (図-4). ε 値分布にも同様のことがいえる (図-5). これには, 初期値としての κ 値, ε 値の与え方に問題があるのではないと思われる. すなわち, 上流端での κ 値, ε 値の特徴が下流にも色濃く残される結果となっているからである. 特に, ε 値に関しては, 測定値のバラツキが大きく影響しているものと考えられる. 従って, κ 値, ε 値の流れ全体に渡っての誤差は, 約 65%, 70% と大きなものとなった.

(3) 底面圧力水頭

乱流計算による圧力計算では, 境界層内の渦動粘性係数 ν_t 値の誤差が大きく, うまく計算できなかったため, 近似計算として, 境界条件には層流条件を用い, さらに, 流線の曲率による遠心力の影響を考慮した

(図-6). 図中, 丸印の付いた点線が実験値, 実線が計算値である. 近似計算ではあるが, 遠心力の影響が大きい急変部では, 層流計算に比べ誤差は小さくなった.

4. おわりに

層流計算では, 自由水面形, 圧力分布とも本計算手法で安定した計算ができることが確かめられ, 特に, 水面形の計算は, かなり良い精度で計算ができる.

しかし, κ - ε モデルを用いた場合には, 水面形の変化に対して内部乱流構造の計算の収束性が悪くなり, 水面形状を安定して計算することが困難であった. また, κ 値, ε 値に関しては, 実験値の精度の点もあり, κ - ε モデルがどの程度まで使用可能かについての結論を得ることはできなかった.

急変流では境界層の発達が余り見られず, 境界層内部における乱流構造が上方へ伝わりにくい. そのため, 計算では, 境界層内の壁面条件の与え方が流れ全体の計算精度そのものに大きくに影響する.

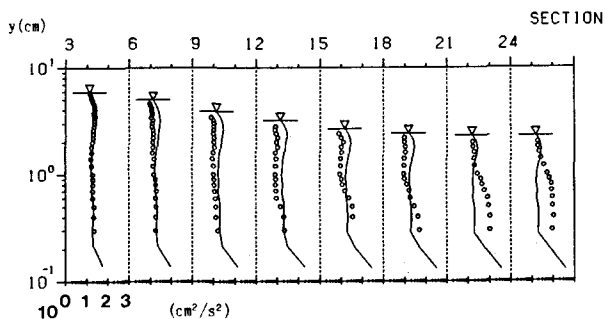


図-4 κ 値分布 (乱流計算)

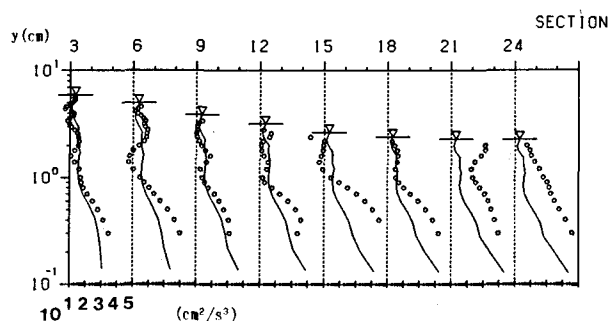


図-5 ε 値分布 (乱流計算)

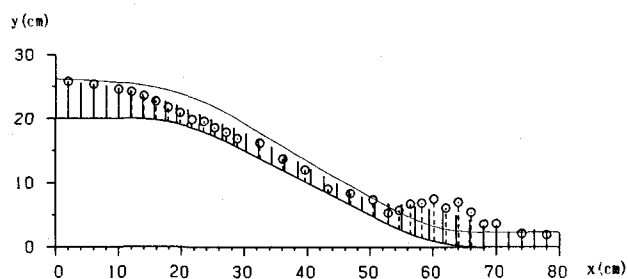


図-6 底面圧力水頭 (乱流計算)