

II-355 SGS乱流モデルによる合流部流れの解析

大連理工大学 程 亮

岐阜大学 河村三郎, 藤田一郎, 中谷剛

1. まえがき

合流部における流れの構造解析は、基礎的な流れの解明という点や実用の点において非常に重要であり、これまで実験的、解析的あるいは数値的な研究が行われてきている¹⁻³⁾。そのうち、数値解析による方法では、合流角が小さく合流部下流で流れが剥離しない場合には比較的良好な結果が得られているが、合流角が大きく剥離が生じる場合には再循環領域(死水域)の規模が実際よりも小さく計算されており、まだ十分な解析は行われていないように思われる。そこで本研究では、二次元の直角合流部を対象とし、乱流モデルとしてSGSモデルを使用してその適用性について検討した。

2. 計算モデル

計算モデルには、下記の基礎方程式を使用する。

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} = \nu \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right] + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} (-\tau_{ij}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 p :圧力、 u_i : i 方向の流速、 τ_{ij} :subgridスケールの乱流せん断応力、 ρ :密度、 ν :動粘性係数。

合流部では大規模な剥離渦の形成が卓越していると考えられるので、本研究では Large-Eddy Simulation の手法のひとつであるSmagorinskyのsubgridスケールの乱流モデル(SGSモデル)を二次元の流れ場に適用した。SGSモデルは次式によって表わされる。

$$\tau_{ij} = -\nu_t \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \quad \dots\dots\dots (3) \quad \nu_t = (C_s \Delta)^2 \left| \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right| \quad \dots\dots (4)$$

ここに、 ν_t :渦動粘性係数、 Δ :各格子点の平均間隔、 C_s :モデル定数。

基礎方程式の離散化にはC.W.Hirtらによって提案されたVOF法⁴⁾を適用し、移流項の差分スキームとしてはドナーセルと中央差分近似を組み合わせたスキームを用いた。圧力場は、圧力と速度を同時調整して求めた。計算領域は長方形のスタッガード格子に分割し、側壁で密な間隔となるようにした。側壁では no-slip、流出境界では ϕ を変数として $\partial\phi/\partial x = 0$ を用いた。

3. 計算結果

$Re=9 \times 10^4$ における流路幅比(支流幅/主流幅) $=2/3$ 、流量比 Q_r (支流流量/全流量) $=0.6$ の直角合流部の流れを計算した例を以下に示す。初期値としてはポテンシャル流を与え、上流の境界条件はある時間ステップ内で実測流速分布になるように変化させた。その後、粘性作用等を考慮して非定常計算を進めた。

Fig.1には、十分に剥離領域が発達した後の流速分布を示す。Fig.2には対応する流線を示す。計算に用いた計算格子は必ずしも十分小さなものではないが、剥離領域内に存在する渦構造が良好に計算されていることがわかる。最下流の剥離渦は上流側の渦から運動量を吸収して流下方向に伸び、次に横断方向に発達し、最後には不安定になって下流に放出される様子が計算された。また、大規模渦の移流速度は平均的に主流の

40~50%であり、開水路の表面流況から得られた結果²⁾とほぼ一致した。

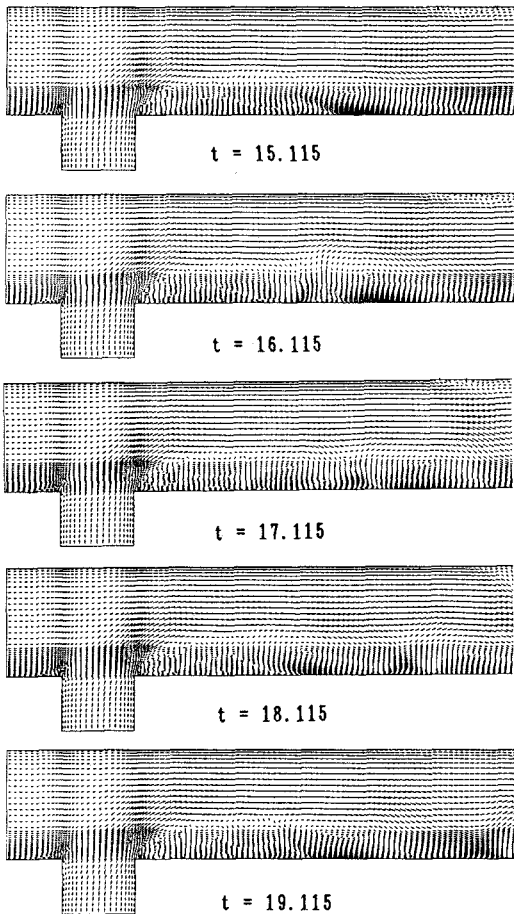


Fig.1 流速ベクトル ($Re=90000$, $Qr=0.6$)

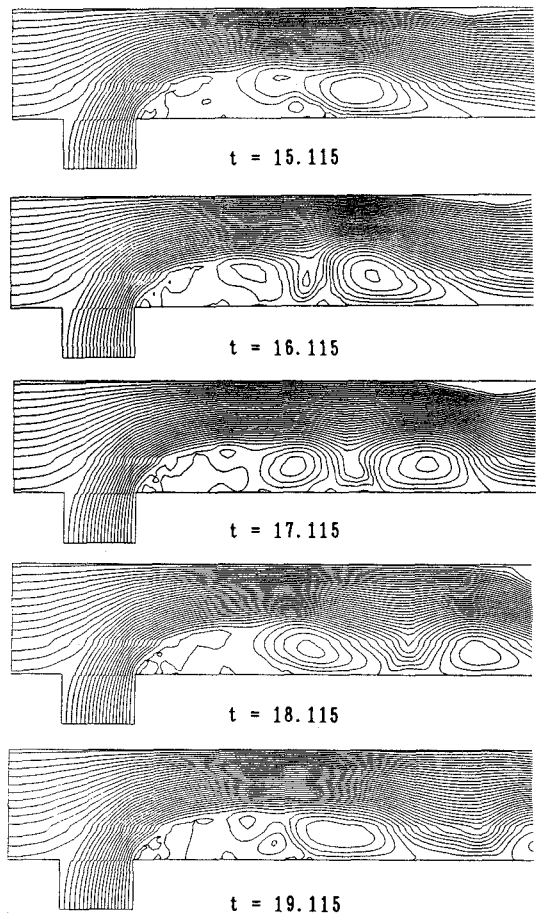


Fig.2 流線 ($Re=90000$, $Qr=0.6$)

4. あとがき

SGSモデルによって二次元的な合流部の流況を計算し、合流部剥離渦の挙動を良好にシミュレーションすることができた。剥離泡内の微細な構造については、まだ不十分な点がみられるので、異なる格子網を用いた計算等によってさらに詳細な検討を行う考えである。

参考文献

- 1) 藤田・河村：開水路合流部流れの三次元構造，水工学論文集，Vol. 34，pp. 301-306，1990.
- 2) 藤田・河村・和田：画像計測による開水路直角合流部の表面流況解析，水工学論文集，Vol. 34，pp. 683-688，1990.
- 3) Weeakoon, S.B., Tamai, N. and Kawahara, Y.: Bed topology, bed shear stress distribution and velocity field in confluence, pp. 307-312, 1990.
- 4) Hirt, C.W. and Nichols, B.D.: Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries, J. Comp. Physics, Vol. 39, pp. 201-225, 1981.