

LESによるトレンチ周辺流れの三次元解析

岐阜大学工学部 正 員 藤田 一郎

岐阜大学工学部 正 員 河村 三郎

岐阜大学工学部 学生員 ○森田 卓光

1. はじめに

開水路に凹部（トレンチ）を開削すると、流速がその箇所で減少し、剥離、逆流、死水域といった複雑乱流が存在する水理学的に興味深い流れ場となる。河川においては、流送土砂の制御の目的でトレンチ部が設けられることがあるが¹⁾²⁾、近年では多自然型河川工法の一つとして、中小規模河川の小流量時の生態系を保全するためにもトレンチ部が設置される場合がある。ところが、このようなトレンチ部の流況、特に流れの時間変動特性や組織的な渦構造等については不明な点が多い。本研究では、非定常、高レイノルズ数乱流の三次元数値解析手法として発展してきたLarge Eddy Simulation (LES) をトレンチ部に適用し、解析を試みた。

2. 計算方法

LESの基礎方程式はSGSのスマゴリンスキーモデルに基づいて以下のように表せる。ただし、繰返し添え字は縮約規約にしたがうものとする。

連続式：

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

運動方程式：

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial (u_j u_i - \tau_{ji})}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \Omega_i \quad (2)$$

$$\tau_{ji} = (\nu + \nu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (3)$$

$$\nu_t = (C_s \Delta)^2 \left[\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right]^{1/2} \quad (4)$$

$$\Delta = (\Delta x_1 \Delta x_2 \Delta x_3) \quad (5) \quad P = \frac{P}{\rho} + \frac{2}{3} K_G \quad (6)$$

$$K_G = \frac{\nu_t^2}{(C\Delta)^2} \quad (7) \quad \Omega_i = (g_x, g_y, g_z) \quad (8)$$

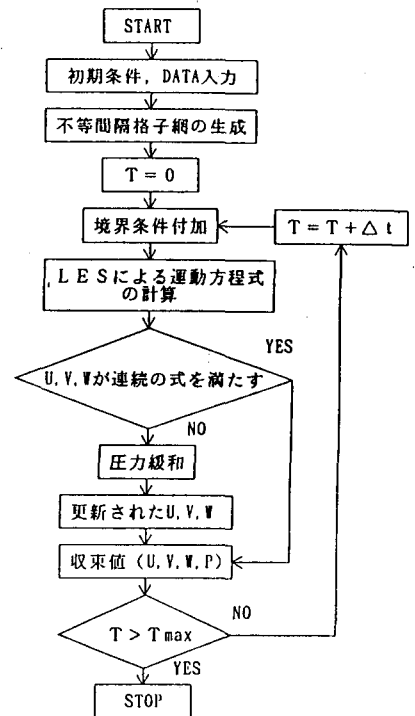


図-1 計算手順フローチャート

ここに、 u_i ：座標軸 x_i 方向 ($i = 1, 2, 3$) の流速成分、 x_i ：座標軸 (x_1 ：流下方向、 x_2 ：鉛直方向、 x_3 ：横断方向)、 τ_{ji} ：せん断力成分、 Ω_i ：外力成分、 ν ：動粘性係数、 p ：圧力、 K_G ：SGSの乱流エネルギー、 Δ ：格子平均サイズ、 C_s ：モデル定数 (0.1)、 C ：モデル定数 (0.094)、 ν_t ：渦動粘性係数 (スマゴリンスキーモデル)。

図-1に計算手順を示す。移流項の差分スキームには三次精度のQUICKESTスキームを、速度・圧力の同時緩和にはSMAC法を適用する。計算格子は壁面近傍で密な間隔となるような不等間隔のスタッガード格子とし、壁面近傍では壁法則を与える。初期条件としては、流入部の指数分布に一樣乱数を加えた流

速分布を全領域に与え、流出部では自由流出条件を与え、圧力は全て0とする。トレンチ部区間の格子数は $30 \times 17 \times 19$ とした。時間ステップは無次元時間で0.001, レイノルズ数 $Re=3280$, $Fr=0.52$ とした。

3. 計算結果

LESによる計算は三次元で行った。図-2に縦断面内平均流速ベクトルの水路中央断面の結果を示す。 U_{max} は流入部最大流速である。トレンチ流入部付近から中央部にかけて渦が見られ、トレンチ底面部には大きな逆流が存在している。図-3に横断面内平均流速ベクトルを示す。この場合、トレンチ流入部付近では流れがあまり拡散していないが、流下方向にすすむにしたがい徐々に拡散し、流出部付近で大きな二次流が発生する様子が計算されている。図-4には水平断面内流速ベクトルを示す。壁の影響により渦が側壁付近に発生していることがわかる。

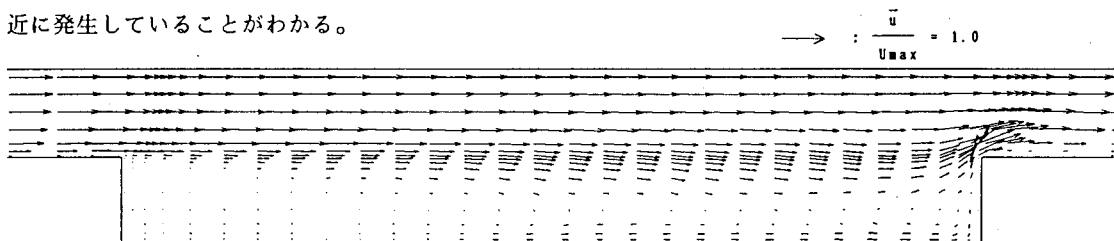


図-2 縦断面内流速ベクトル

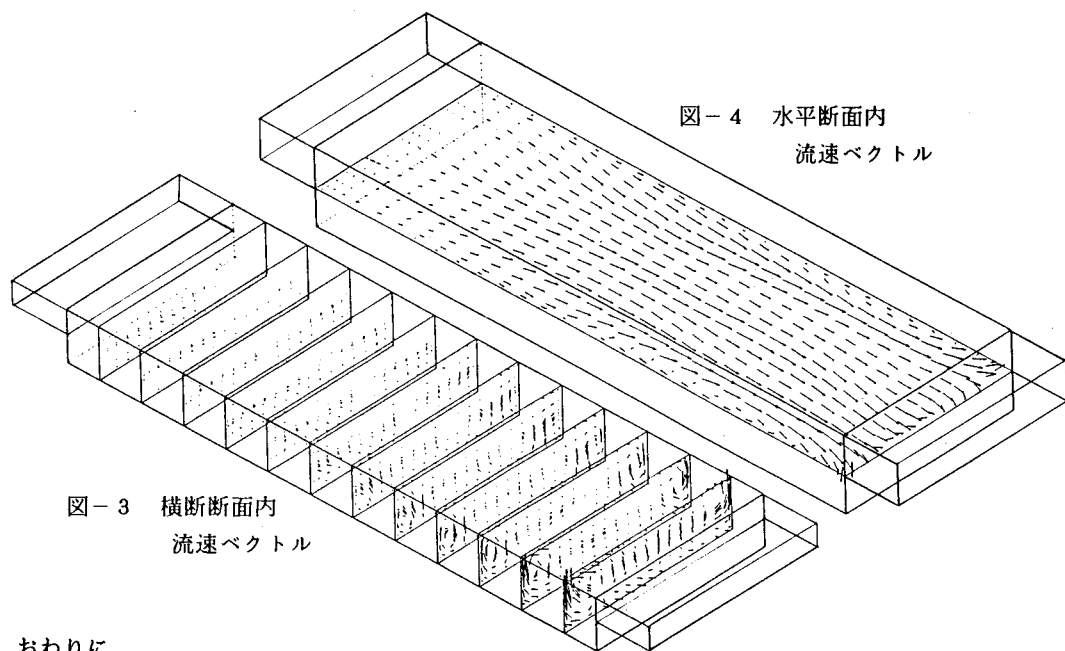


図-3 横断面内
流速ベクトル

図-4 水平断面内
流速ベクトル

4. おわりに

今回行った数値解析においては、格子間隔、初期状態の流速分布などによる影響はまだ確かめていない。今後は自由水面効果、格子サイズの影響、初期条件などの検討を行い、精度向上をはかるとともに深さを変えた流れ場のシミュレーションを行う予定である。

【参考文献】

- 1) Alfrink, B. J. and Rijn, L. C.: Two-equation turbulence model for flow in trenches, Journal of Professional Issues in Engineering, Vol. 109, No. 3, pp. 941-958, 1983.
- 2) 藤田・道上・檜谷: トレンチ内の流れと浮遊砂濃度分布の数値シミュレーション, 水工学論文集, 第35巻, pp. 187-192, 1992