

LESによるトレンチ内流れの非定常特性の検討

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
 岐阜大学大学院 学生員 ○森田 卓光

1. はじめに

一般に、段落ち流れのように断面形状が急変するような箇所では、剥離せん断層が発達し逆流域や数多くの剥離渦などが生成される。剥離せん断層では、せん断応力分布が急変するため乱れエネルギーの発生率や逸散率が非常に大きくなり、水理学的に興味深い流れ場となる。本研究で対象とする凹部（トレンチ）流れは、河川において流送土砂の制御の目的で設けられたり、最近では多自然型河川工法の一つとして設置される場合もある。これまで、この流れに対する多方程式モデルを適用した研究¹⁾は行われているが、この手法では流れの非定常特性が不明であるため、Large Eddy Simulation (LES) を単純な形状のトレンチ部に適用し、検討を行った。

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。

$$\text{連続式: } \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\text{運動方程式: } \frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial (u_j u_i - \tau_{ji})}{\partial x_j} = - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \Omega_i \quad (2)$$

$$\nu_t = (C_s \Delta)^2 \left[\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right]^{1/2} \quad (3) \quad \Delta = (\Delta x_1 \Delta x_2 \Delta x_3)^{1/3} \quad (4)$$

ここに、 τ_{ji} : せん断力成分、 Ω_i : 外力成分、 C_s : モデル定数、 Δ : フィルター幅、繰り返し添え字は縮約規約に従う。但し、スマゴリンスキーモデルをそのまま壁面まで適用することはできないので、 Δ に Van Driest型の壁面減衰関数を乗じている。計算では、移流項に三次精度のQUICKESTスキーム、圧力緩和にHSMAC法を適用し、時間ステップを無次元時間で $\Delta t = 0.001$ とした。壁面ではSpalding則、流出境界では自由流出条件を与えた。また、水面は簡単のため rigid lidとして取り扱う。

3. 計算結果と考察

図-1 にトレンチの縦断形状および、 $Re (= h \cdot U_{max} / \nu; U_{max}$: 流入表面流速, h : 流入部水深) $= 3280$, $Fr = 0.52$ の流れに対する瞬間的な流速ベクトル（中央断面）を示す。主流とトレンチの境界面が波状となる点や死水域サイズに関してはうまく実験値²⁾を再現している。またせん断層内には、大小様々なサイズの渦が存在し複雑な流況が計算されているが、瞬間値だけでは流れ場の時間経過に伴う大規模な変動特性を把握することは困難である。そこで、これらの非定常特性を調べるために、図-1 に示すように、主流とトレンチの境界面付近 ($Y/H = 1.2$) にトレンチ底面と平行に流下方向に検査線(A-A)を設けた。図-2 は、横軸に無次元時間、縦軸にトレンチ流入部か

らの距離をとった
 時間空間上に検査線
 上の流速3成分(u ,
 v , w)をプロットし
 たものであり、十
 分流れが発達した
 後の $T = 0 \sim 10$
 0 (実時間で10

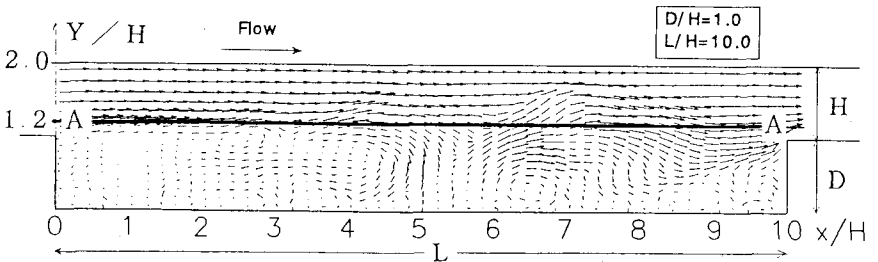


図-1 トレンチ形状と流速ベクトル図（縦断面）

秒間)の間のデータを対象としている。図にハッチングしてあるように、 $X/H=2.0$ 付近から発生した大きな渦の通過にともなう4つの大きな速度変動成分が流下方向に移流していく様子が u (流下)成分および v (鉛直)成分にみられ、その発生周期は2.5秒程度と思われる。ところが、 w (水平)成分には大きな渦の通過にともなう速度変動が見られず、水平方向に軸をもつ剥離渦が卓越していることがわかる。剥離渦の移流速度は、 $U_w=0.25\sim0.35$ 程度である。この地点の流下方向の平均流速($U_m=0.42$)と比較すると移流速度は、60~80%程度であり剥離渦は平均流よりゆっくり移動することがわかる。図-3は、同様のプロットを平均流速からの変動量(u', v', w')に対して行ったもので、図のハッチングした部分は負の変動量である。図-2の剥離渦が存在する箇所では、負の変動量が対応し、その間の流速が速い箇所では、正の変動量が対応する。従って、剥離渦が存在する箇所の流速は、平均流速より減少していることがわかる。

4. おわりに

LESにより、トレンチ内の流速や渦の非定常特性を把握することができた。今後は、トレンチ形状の異なる計算を行い、形状ごとの流れの特性に対する検討を行う予定である。

【参考文献】

- 1) Alfrink, B. J. and Rijn, L. C. : Two-equation turbulence model for flow in trench, Journal of Professional Issues in Engineering, Vol. 109, No. 3, pp. 941-958, 1983.
- 2) I. Fujita, S. Komura and T. Kanda: Measurements of Turbulent Flow in A Trench Using An Image Processing Technique, Proc. 5th Intl. Sympo. on Refined Flow Modeling and Turbulence Measurements, pp. 309-316, 1993.

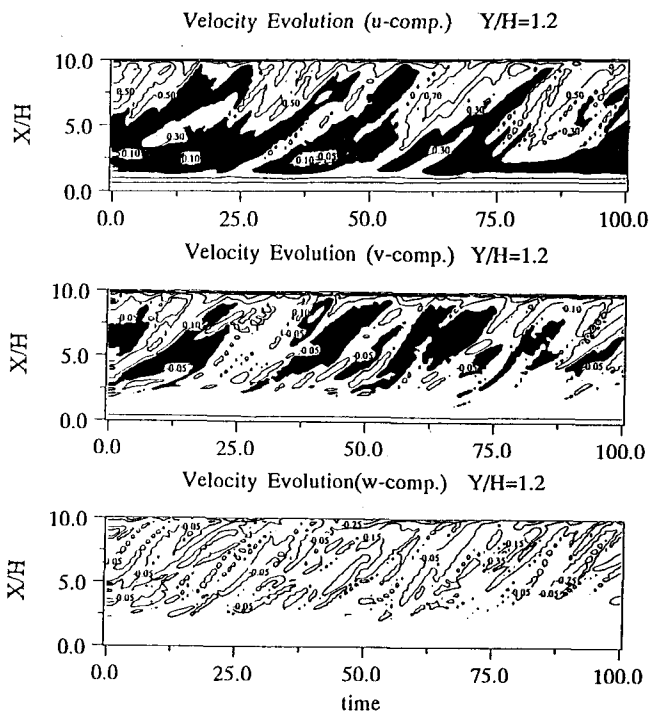


図-2 各流速成分の時間変化

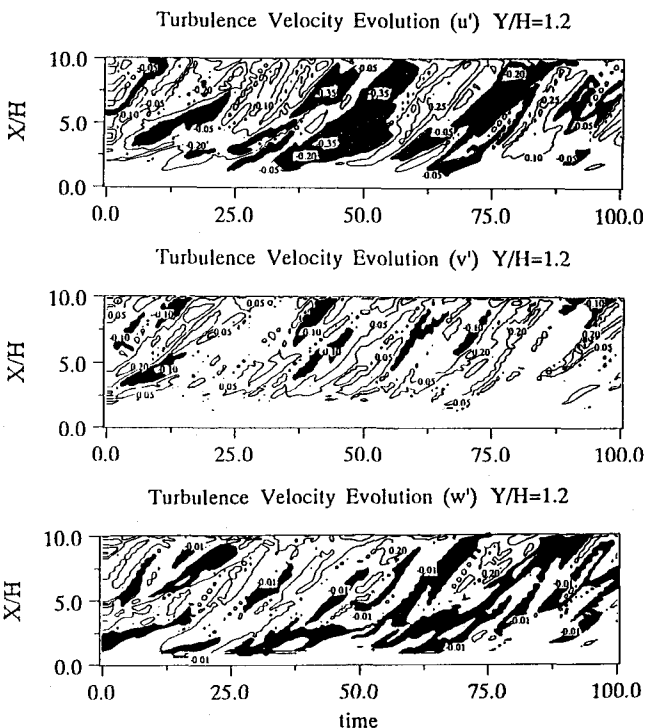


図-3 乱れ速度の時間変化