

オリフィスが設置された開水路流れの LES による数値解析

Flow analysis of open channel with orifices by Large Eddy Simulation

浪平篤・高木強治・小林宏康

Namihira A., Takaki K., Kobayashi H.

1. はじめに

オリフィスが開水路に設置されると、流れは大きな抵抗を受けるとともに、オリフィスを通過する地点で加速される。一方で、隔壁によって遮られる領域では逆流や淀みが発生し、流れの構造は非常に複雑となる。本研究では、このような流れに対して LES による数値解析を行い、その再現性を検討した。

2. 数値解析方法

水の運動を 3 次元非圧縮性 Navier-Stokes 方程式で表現し、数値解析手法として Large Eddy Simulation (LES) を採用した。LES とは差分格子以上の比較的大きな渦を直接計算し、それより細かいスケール (SGS) の渦に対してはモデル化を行って計算する方法である。SGS の乱れエネルギー k_g の輸送に関する基礎式として式 (1) ~ (4) を用いた。ここで u_i は x_i 軸方向の流速、 ν は動粘性係数、 ν_g は SGS の渦動粘性係数、 Δx_i は x_i 軸方向の差分格子間隔、 Δx はフィルタ幅、 k_g 、 C_e 、 C_v はモデル係数である。また、自由水面の処理には VOF 法を適用した。VOF 法とは離散化した解析空間の各差分セルに含まれる流体を存在比率 F で表す方法で、 $F=0$: 気体セル、 $0 < F < 1$: 水面セル、 $F=1$: 流体セルと定義されている。 F 値の移流計算は式 (5) により行う。

各方程式はデカルト座標系の有限差分法によって離散化した。

$$\frac{\partial k_g}{\partial t} + u_j \frac{\partial k_g}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(\nu + \frac{\nu_g}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k_g}{\partial x_j} \right\} + R_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - C_e \frac{k_g}{\Delta} \quad (1)$$

数値解析は模型実験¹⁾に準じた形状の水路 (Fig.1) を対象とした。差分格子間隔は $\Delta x_i = 2\text{cm}$ ($i=1 \sim 3$) とした。最上流オリフィスへの流入境界と最下流オリフィスからの流出境界では、流量が 48 l/s となるように一定の

$$R_{ij} = \nu_g \cdot \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \cdot \delta_{ij} \cdot k_g \quad (2)$$

$$\nu_g = C_v \cdot \Delta \cdot k_g^{1/2} \quad (3) \quad \Delta = (\Delta x_1 \cdot \Delta x_2 \cdot \Delta x_3)^{1/3} \quad (4)$$

$$\frac{\partial F}{\partial t} + u_1 \frac{\partial F}{\partial x_1} + u_2 \frac{\partial F}{\partial x_2} + u_3 \frac{\partial F}{\partial x_3} = 0 \quad (5)$$

流速を与えた。その分布は模型実験結果¹⁾を近似して定めた。初期条件として、穿孔内部と同じ x_2 、 x_3 座標では流入境界、

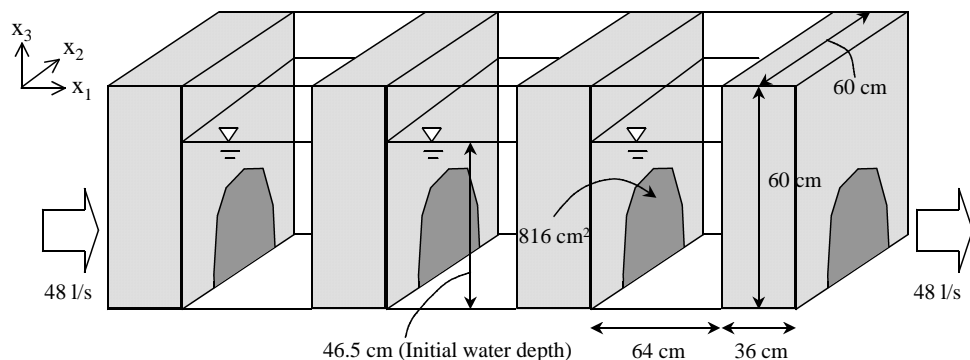


Fig.1 Schematic illustrations of open channel with orifices

流出境界と同じ流速分布を与え、それ以外では流速 0 とした。

3. 数値解析結果

強制的に流れを与えた流入境界と流出境界の影響を除くため、上流から 2 番目と 3 番目のオリフィスの間(領域 A とする)を考察の対象とする。また、計算開始から 60s で流況が安定したため、流速の時間平均値をその後の 60s 間から求めた。

Fig.2 は領域 A の中央縦断面 (x_1 - x_3 平面)における平均流速ベクトル分布である。上流側オリフィスからの流入がほぼそのまま下流側オリフィスに流れ込んでおり、オリフィス天端より上部部では主流方向に対し逆流となっている。このような基本的な流況は模型実験結果¹⁾と同じ傾向だが、模型実験では下流側オリフィス入口より 5cm 上流の断面で下降流となっているのに対し、数値解析では上昇流となっている。

Fig.3 は領域 A の水路底から高さ 5cm の平面 (x_1 - x_2 平面)における平均流速ベクトル分布である。上流側オリフィスからの流入は拡散しながら流下し、下流側オリフィスの直前で流れはオリフィスへと集中している。このような流況は模型実験結果¹⁾と同じ傾向である。

Fig.4 は Fig.2 と同じ断面における瞬間流速ベクトル分布である。模型実験¹⁾では確認していないが、上流側オリフィスの直下流で発生し、発達しながら下流方向に輸送される渦が見られる。

4. まとめ

オリフィスが設置された開水路流れに対して LES による数値解析を行った。時間平均した流況については、類似した形状の水路で行われた模型実験結果¹⁾とほぼ同じ傾向が得られた。オリフィス直上流における下降流を再現できなかったことについては、初期条件や境界条件の与え方を検討する必要がある。

参考文献

1) 高木ら：開水路に連続して設置されたオリフィスの水理特性，H13 農士学会大会講要 pp.30-31 (2001)

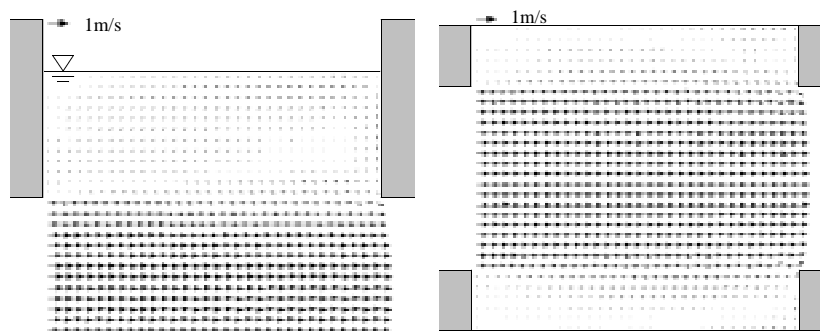


Fig.2 Vector description of vertical-streamwise average velocity

Fig.3 Vector description of spanwise-streamwise average velocity

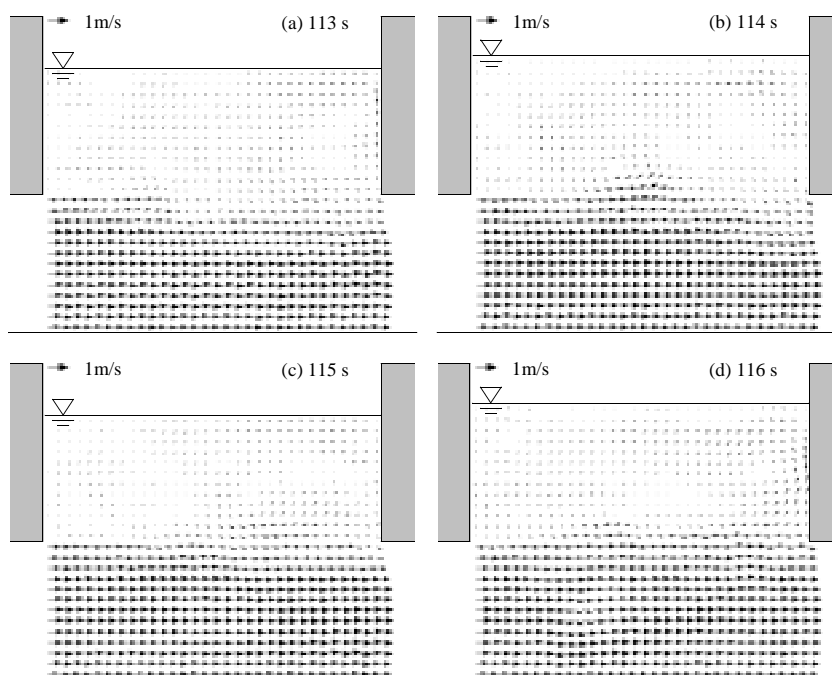


Fig.4 Vector description of vertical-streamwise instantaneous velocity