

コンピュータを用いたワンド内流れの解析

国土館大学工学部 学生員 ○小俣友和・鋤持昌也
正会員 山坂昌成・北川善廣

1. はじめに

本研究ではコンピュータによって、実験では測定困難な三次元的流れの解析を行い、ワンド内の流れを可視化する。解析には熱・流体解析ソフト「Storm / CFD2000」を用い、既存の実験と同一の条件を与えて計算する事で各々の結果を比較し、その整合性を吟味する。その上で、実験では不十分だった三次元における流れを分析し、コンピュータ解析が実験以上に有意義な測定方法たり得るかを検証する。また、ワンド内流れの特性を数値解析結果から検討する。

2. 解析方法

Storm は、質量保存則、運動量保存則およびエネルギーの保存則から構成されているナビエ-ストークス方程式を数値的に解くことを目的に開発された汎用コンピュータプログラムであり、有限体積法によって離散化する。各々の支配方程式を解くべき各変数について移流-拡散保存方程式にまとめること以下のようにする。

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{\partial (u_i \phi)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x_i} \right] + S_\phi$$

ここに Γ_ϕ は ϕ に対する有効拡散係数、 S_ϕ は ϕ に対する生成項を表わし、左辺の二つの項はそれぞれ物理量 ϕ の局所的時間変化率項及び移流項を表わす。そして右辺第一項は拡散項を表わしている。Storm は、支配方程式の共通の構造を唯一つの上記方程式にまとめ、それから全ての従属変数の解を導き出す。尚、有限体積離散化法は上式の積分形を用いる。

計算対象モデルワンドは、幅 16cm の本川に接続した 開口幅 8cm 奥行き 8cm の正方形ワンド¹⁾で、水深は 4.6cm である。ワンドの位置は $X=5.24\text{m} \sim 5.32\text{m}$ にあたる。

3. モデル作成

本研究シミュレーションを Storm で実行するにあたって、入力した変数値や条件、選択した項目は以下に列挙した通りである。

- ・座標・次元：直交 3 次元（鉛直：Y，横断：Z）
- ・領域数：X = 3，Y = 1，Z = 2
- ・領域長：原点から見て X = 5.24m，0.08m，4.0m
Y = 0.046m
Z = 0.16m，0.08m
- ・領域分割数：原点から見て X : 5，10，5，Y : 5
Z : 5，10
- ・解析条件：k-ε 乱流モデル
- ・モデル特性：真水 20℃，流体密度：998.2[kg/m³]
流体粘性率：0.001009[kg/m·s]
- ・流入速度：0.516[m/s]
- ・流入口：YZ 面
- ・流入部乱流運動エネルギー KINEN = 0.2[m²/s²]
- ・流入部乱流散逸率 EPSIL = 0.2[m²/s³]
- ・流出口：- YZ 面
- ・壁：XZ 面，YZ 面，- YZ 面以外のすべての面
- ・障害物

	最初	最後		最初	最後
I	1	1	I	3	3
J	1	1	J	1	1
K	2	2	K	2	2

- ・体積力：X = 9.81[m/s²]，Y = - 0.0178182[m/s²]
- ・時間ステップ：Automatic
- ・全計算時間：250[s]

尚、特に表記されていないその他の変数値、入力設定等はデフォルトのままである。

以上を Storm の所定のパネルに入力することで本研究のモデルワンドは完成する。その後、Storm ソルバーによって解析計算を行い、満足出来る結果が得られたら可視化の手順に入る。

4.可視化

計算が終了すると、CFD2000 / Fieldview 可視化プログラムを用いてモデル内の流れを可視化する．可視化プログラムを起動すると、自動的にモデルの輪郭図がグラフィックウィンドウに表示される．モデル、及び流れの表示方法は様々であるが、本研究では主に Coordinate Surface パネルを用いた各面におけるベクトルデータの表示、及びスカラー変数の値による色付け等を行う．図-1～4はこの方法によって可視化された同一モデル内の流れである．

水平面内を表した図-1を見ると、既存の実験で明らかのように、ワンド中心付近で流れが渦を巻く様子が見て取れる．更に、Y方向流れの大きさの変化にも特殊なものがあり、下流方向、しかも中心に近い部分で最大（赤色）となり、逆の部分では最小（青色）であることを色が示している．

図-2～4は段階的な流れの変化の様子を抜粋したものであるが、これらによって渦の状態を鉛直断面で見ることができ、その流れの詳細な向きが分かる．ワンド上流部の図-2では流れの向きが図-1に対応して本川方向に向いているが、下流側の図-4ではワンド奥方向に向いている．流下方向中心の横断面を表す図-3では、横断流速がかなり小さくなっているが、全体的に本川方向であることより、ワンド内流れの渦構造の中心は、ワンド中央よりやや下流側に位置していることが読みとれる．図-2～4では、水面付近の流速が底面付近より大きくなる流速分布とはなっているが、流れの方向はほぼ一致しており、流れの三次元性は顕著ではないといえる．一方、水深を水平距離規模の8cmとした計算例では、図-3と同様の断面において、流れの三次元性が顕著になることが確認された．

5.結論と課題

今回示した正方形ワンドで水深が小さい場合には、ワンド内の流れはワンド中央付近を中心とする1つの渦構造をなし、その三次元性は顕著とはならなかった．今後は、ワンドのアスペクト比、水深を変化させて、種々の形状のワンド内流れの構造を明らかにする必要がある．

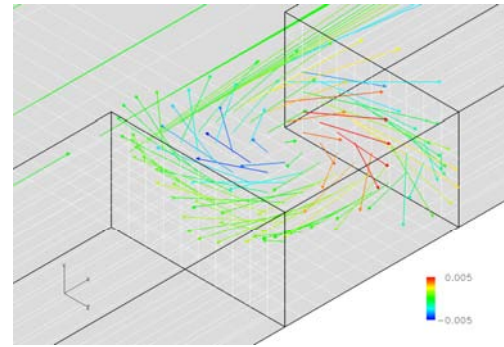


図-1 水平面の流速ベクトル図 (Y = 0.03m)

色付け: VVEL

最大 (赤): 0.005m/s, 最小 (青): -0.005 m/s

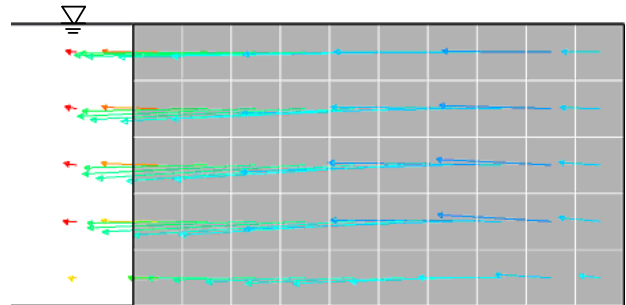


図-2 鉛直断面内の流速ベクトル図 (X = 5.26m)

色付け: UVEL

最大 (赤): 0.25 m/s, 最小 (青): -0.10 m/s

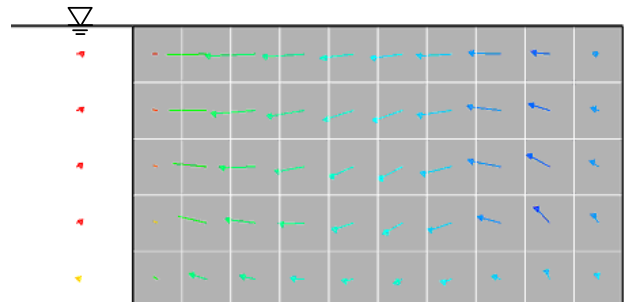


図-3 鉛直断面内の流速ベクトル図 (X = 5.28m)

色付け: UVEL

最大 (赤): 0.25 m/s, 最小 (青): -0.10 m/s

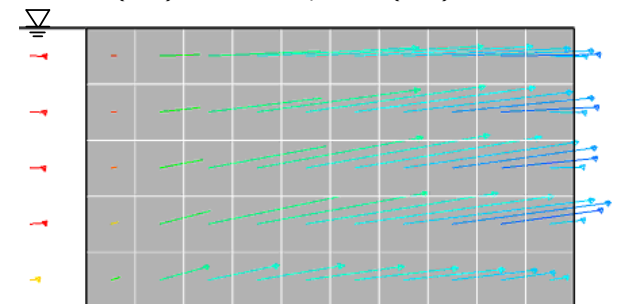


図-4 鉛直断面内の流速ベクトル図 (X = 5.30m)

色付け: UVEL

最大 (赤): 0.25 m/s, 最小 (青): -0.10 m/s