

神戸大学工学部市民工学科 学生員 ○栗山貴生
 神戸大学大学院工学研究科 正会員 中山昭彦

1. 緒言

河川流の数値解析は一般的に1次元不等流解析や2次元解析が主流であり、現状では3次元解析はあまり行われていない。また、3次元であっても多くの既往の研究は水面を初期値で固定しているため、水面変動による影響を無視しているといえる。そこで、本研究では3次元解析手法の一つであるLES(Large Eddy Simulation)を用いて水面変動を考慮に入れた流況の再現を行い、実験結果¹⁾とRANS法²⁾との比較を行う。

2. 計算手法

本研究は猪熊・中山¹⁾の手法に準じて行う。基礎式は非圧縮を仮定した連続式とN-S式を用いる。水路床勾配は、図1の様にグリッド全体に角度 θ_1 の勾配があり、主流方向一般座標 ξ_1 とデカルト座標 x_1 との角度を θ_2 としてN-S式の重力項に次式で与える。

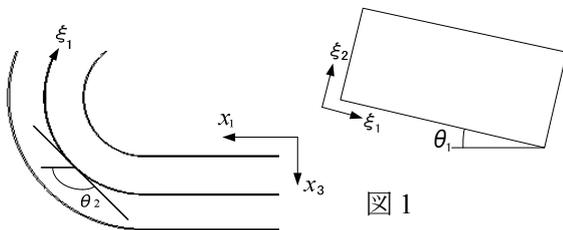


図1

$$g_1 = g \sin\theta_1 \cos\theta_2 \quad (1)$$

$$g_2 = -g \cos\theta_1 \quad (2)$$

$$g_3 = g \sin\theta_1 \sin\theta_2 \quad (3)$$

SGS 応力項は標準 smagorinsky モデルを適用することでモデル化を行う。格子と変数配置はコロケート、座標系は境界適合シグマ座標を用いる。自由水面の鉛直位置を h 、自由水面における単位法線ベクトルを n 、直交する単位接線ベクトルを s, t とする。デカルト座標系における応力テンソルを T とすると、自由水面

での垂直応力 τ_n 、接線応力 τ_s, τ_t は式(4)(5)(6)のようになる。

$$\tau_n = n^T T n \quad \tau_s = s^T T n \quad \tau_t = t^T T n \quad (4) (5) (6)$$

ただし、応力テンソル T は粘性係数を μ とすると式(7)である。

$$T_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \delta_{ij} p \quad (7)$$

気相側で接線方向の応力が0、法線方向の応力は表面張力と釣り合うとして、自由水面での曲率を K 、表面張力係数を σ とすると式(8)(9)(10)のように表わされる。

$$\tau_n + \sigma K = 0, \quad \tau_s = 0, \quad \tau_t = 0 \quad (8) (9) (10)$$

また、水面位置 h は式(8)(9)(10)によって得られた流速を式(11)に代入することによって求める。

$$\frac{\partial h}{\partial t} = u_2 - u_1 \frac{\partial h}{\partial x_1} - u_3 \frac{\partial h}{\partial x_3} \quad (11)$$

流入部には毎ステップで直線部下流の断面の流速分布を用いることで乱れを発達させる。流出は自由流出であり、底面での境界条件はNo-slip条件である。

3. 解析条件

Blanckaert¹⁾の実験を模擬した水路形状は図2である。193度の扇形で、計算格子は(主流方向,横断方向,鉛直方向)=(330,80,30)である。水路床勾配は1/950, 平均流速 $U_{av} = 0.40$, 平均水深 $H_{av} = 0.153$, レイノルズ数 $Re = 612000$, フルード数 $Fr = 0.33$ である。

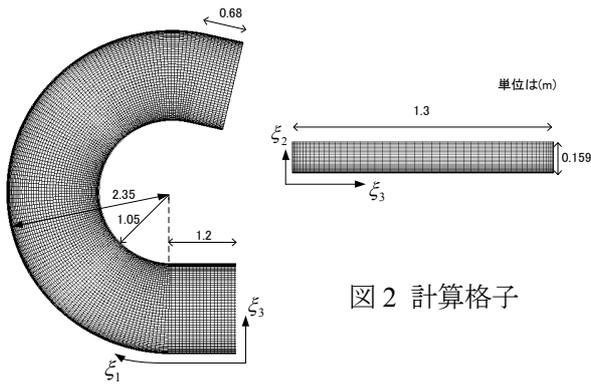


図2 計算格子

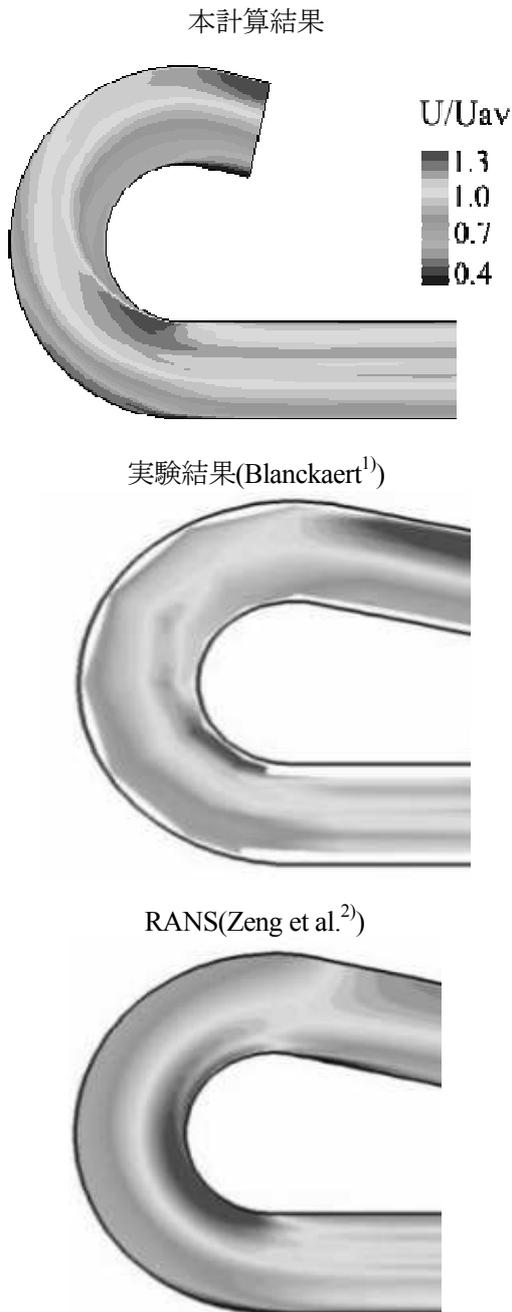


図3 水深平均流速分布

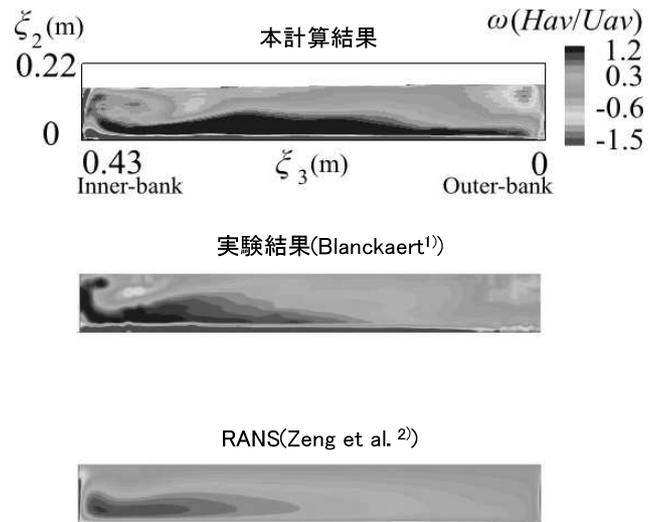


図3 90度断面主流方向渦度

4. 計算結果

図3について本計算結果は湾曲部入口の内岸と湾曲部出口の外岸で高速成分が現れていること、そしてその推移のしかたが RANS と比べ実験結果と良好な一致であった。また図4については RANS では再現できなかった内岸付近の分布形状を、本計算では良好な再現ができています。また、実験結果や RANS では再現できなかった水面の変動の様子も本計算結果からは確認できる。

5. 結論

実験結果との比較により、本 LES 手法が乱流構造の解析に有効であることを示すことができました。また、河川の防災を検討する際に重要な要素となる水面変動を再現できたことは大きな成果であった。

参考文献

- 1)Blanckaert, K. : Secondary currents measured in sharp open-channel bends. Proc. RiverFlow 2002, Eds. Bonusmar & Zech, Vol 1, pp.117-125, 2002.
- 2)Zeng, J. , Constantinescu, G , Blanckaert, K. and Weber, L. : Flow and bathymetry in sharp open-channel bends :experiments and predictions, Water Resources Research, Vol.44, Wo9401, 2008.
- 3)猪熊祐司, 三村豪, 中山昭彦 : LES による湾曲水路流れの 2 次流と水面変動の再現, 応用力学論文集 Vol.13, pp753-760, 2010.