非圧縮性流体に拡張した SPH 法による 自由表面および移動境界を有する流れの数値シミュレーション The numerical simulation of flow which has free surface and deformation boundary by SPH method for incompressible fluid

○ 学 佐野友哉 (東北大院) 正 伊澤精一郎 (東北大工)
正 熊 鰲魁 (東北大工) 正 福西 祐 (東北大工)

Tomoya SANO*, Seiichiro IZAWA**, Ao-Kui XIONG** and Yu FUKUNISHI**

*Grad. School of Eng., Tohoku Univ., Aramaki-Aoba 6-6-01, Sendai 980-8579

**Dept. of Machine Intelligence and Systems Eng., Tohoku Univ., Aramaki-Aoba 6-6-01, Sendai 980-8579

Key Words: SPH method, Free surface, Algorithm of revise density

1 緒言 SPH 法は、連続体である流体を相互に影響しあう粒子の集合体としてモデル化し、流れ場の時間発展を計算する。岡地ら⁽¹⁾や黒田ら⁽²⁾は、SPH 法に密度均一化の手法を新たに導入して非圧縮流れを計算する手法を開発した。さらに流体の粘性を再現する研究も行い、定量的にもよい一致が得られている⁽²⁾。しかし、これまで SPH 法では、気体と液体の界面などの自由表面において密度差が大きくなり、計算が発散してしまうという問題があった。そこで、本研究では密度を補正するアルゴリズムを新たに導入し、ダム崩壊およびスロッシングのシミュレーションを行い実験結果との比較を行った。

2 数値解析法 個々の粒子の運動方程式は次式で表される。

$$\frac{dv_a}{dt} = - \sum_b m_b \left(\frac{P_b}{\rho_b^2} + \frac{P_a}{\rho_a^2} \right) \nabla_a W_{ab} + \sum_b m_b \frac{m_b(\mu_a + \mu_b)v_{ab}}{\rho_a \rho_b} \left(\frac{1}{r_{ab}} \frac{\partial W_{ab}}{\partial r_a} \right) + \mathbf{F}_a \quad (1)$$

ここで、 a, b は粒子番号、 m は質量、 ρ は密度、 $\mathbf{F}$ は外力、 μ は粘性係数である。カーネル関数 W には M4 スプライン関数を用いた。本研究では、圧力は基準圧力からの差圧として定義し、音速 c を用いた関係式 $c = \sqrt{dp/d\rho}$ より求めた。物理時間が 1 ステップ進むごとに時間進行を止め、分布が空間的に一樣になるようにその位置関係を調整する仮想タイムステップの操作を繰り返し行う非圧縮性密度均一化アルゴリズムを組み込んでいる。さらに本研究では、局所的な粒子分布から求まる重心位置を考慮することで表面にある粒子を特定し、これらの粒子には周囲の粒子の平均密度を与える密度補正を行うアルゴリズムも組み込んだ。

3 ダムの崩壊 Fig.1 は崩壊したダムが壁に衝突するまでのシミュレーション結果である。時間の経過と共に液柱が崩れ、やがて壁に到達すると側壁をつたい、波頭から粒子が飛び散る様子が捉えられている。fig.2 は時間経過と共に崩壊した液柱の先端到達位置について実験結果^{(3),(4)}との比較である。計算結果が実験結果によく似た振舞いをしていることがわかった。

4 スロッシング スロッシングを受ける容器内の水の振舞いについて、計算および実験を行った。容器の振動数、波の速度、および代表長さを用いた無次元周波数 f^* により結果を比較し

Fig. 1: Particle distribution (Collapse of a dam)

Fig. 2: The motion of leading edge

た。fig.3. は $f^* = 1.14$ で最高水位のピークをとる瞬間である。実験結果とよく似た流れ場が再現できている。

Fig. 3: Experiment versus simulation at $f^* = 1.14$ (sloshing of a tank)

参考文献

- (1) 岡地 範明, 第 16 回数値流体力学シンポ, CD-ROM(2002)
- (2) 黒田 将史, 第 16 回数値流体力学シンポ, CD-ROM(2002)
- (3) S.Koshizuka, Comput. Fluid Dynamics J., 4, 29(1995).
- (4) J. C. Martin, Philos. Trans. R. Soc. London Ser. A, 244, 312 (1952).