

数値地図による沿岸地域モデリングと SPH 粒子法による流体解析

九州大学大学院 学生会員 ○ 林 高德
九州大学大学院 正会員 浅井 光輝
九州大学大学院 正会員 園田 佳巨

1. 緒言

日本は国土が狭く島国であることから沿岸地域の開発を積極的に行っている。構造設計の観点からの安全かつ安心な沿岸構造物の創造するためには、津波だけでなく高潮・暴波浪などに対する水害対策を念頭に置き、構造問題と流体問題を同時に解く新規の流体-構造連成シミュレータの開発が求められている。その基礎的段階として、構造による流体の流れの変化を正確に追跡するツールの開発が必要となる。そこで本研究では、流体の複雑に形状を変化する過程を解析可能なツールとして、メッシュフリー解析法の一つである粒子型解法 SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) 法に着目した。その SPH 法のオープンソースソフトウェア SPHysics を使用して、数値地図から沿岸部の解析モデルを作成し、解析するまでの一連の手順を構築した。解析例を基にその有用性を確認した。

2. SPH 法による疑似非圧縮性流体解析

(1) SPH 法の基礎

以下では、本研究の数値解析で用いた SPH 法の解析アルゴリズムを概説する。

SPH 法は、格子を必要としない粒子型解法の一つであり、粒子上 (計算点) に解くべき物理量を与える。このとき、物理量は影響範囲内に空間分布していることを想定して、その分布形状を重み関数 W により与える。すなわち、粒子 i 付近の粒子群 j における粒子質量、密度をそれぞれ m_j , ρ_j とすると、物理量 $f(x_i)$ を

$$f(x_i) \approx \sum_{j=1}^N \frac{m_j}{\rho_j} f(x_j) W(x_i - x_j, h) \quad (1)$$

として近似する。同様に、空間微分に関する項も次式を用いて粒子近似できる。

$$\nabla \cdot f(x_i) \approx \rho_i \sum_{j=1}^N m_j \left(\frac{f(x_i)}{(\rho_i)^2} + \frac{f(x_j)}{(\rho_j)^2} \right) \cdot \nabla W(x_i - x_j, h) \quad (2)$$

本研究では、非圧縮性粘性流体解析を実施するため、Navier-Stokes 方程式を SPH 法で解く。SPH 法の詳細は文献[1][2]に委ねる。

ここで、kernel 関数としては 3 次のスプライン関数を使用し、次式に示す状態方程式により圧力を評価する疑似非圧縮性流体解析を実施した。

$$p = B \left[\left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^\gamma - 1 \right] \quad (3)$$

ここで ρ_0 は参照密度として使用される初期密度であり、 γ は定数を表す。Monaghan に従い今回は、両者を 1000 kg/m^3 , 7 とした。 B は流体の圧縮性を決める定数であり 0.866 とした。なお、数値解析にはオープンソース SPH ソフト「Sphysics」[3]を用いた。

3. 沿岸部のモデリングと解析手順

(1) Sphysics による主な解析手順

Sphysics は、簡易プリプロセッサ SPHysicsgen も同時に提供されており、Matlab を用いた解析結果の出力 (ポストプロセス) までの一通りの解析が実施できる環境を提供している。(図-1 を参照)

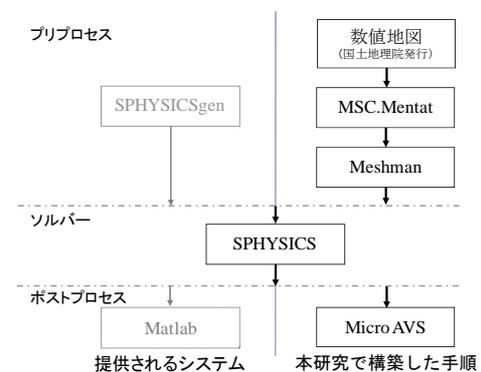


図-1 解析までの全手順

キーワード：SPH(smoothed particle hydrodynamics), 流体-構造連成

連絡先：〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番 九州大学 ウェスト 2 号館 11 階 1102 号室, Tel/Fax: 092-802-3370

本研究では、特にプリプロセス機能の向上などの理由から、一部手順の変更を行った。次節では変更を行ったプリプロセスについて簡単に説明する。

(2) プリプロセス

沿岸部の広域シミュレーションに向け、数値地図データより SPH 粒子法用解析データを作成するための手順を構築した。以下にその手順を示す。

1. 国土地理院発行の数値地図・標高座標データを、有限要素法用プリプロセッサ「MSC.Mentat」で4角形メッシュデータとして読み込む。
2. MSC.Mentatにて、4角形メッシュを3角形メッシュへと再分割し、STLデータとして出力する。
3. 汎用粒子型データ生成ソフト「Meshman」[4]を用い、STLデータを読み込み、閉じた解析領域内に規則的に粒子を発生させることで、粒子座標データを作成する。
4. 粒子座標データを「SPHysics」[3]用の入力データに変換する。その際、本研究で開発したデータコンバータを用いている。

4. 数値解析例（福岡市百道浜地域）

福岡県早良区百道浜地区周辺の解析例を図-2に示す。なお、津波を水柱崩壊により模擬するものとした。解析モデルは境界部も含み全体で157,466粒子で構成しており、200ステップの解析に約72時間を費やした。ポストプロセスには、KGT製のMicroAVS[5]を使用し、固体粒子(地盤)に航空写真を張ること(テクスチャマッピング)で臨場感を増している。解析結果については今後精度向上に努める必要があるが、津波時の川への遡上などが表現されている(図中破線内を参照)など、定性的には十分な結果が与えられている。

5. 結論

津波あるいは高潮・暴波浪などに対する水害対策を念頭にした新規の流体-構造連成シミュレータの開発に向け、SPH法による沿岸部の解析ツールの開発を行った。現段階においては、構造物(地形)を剛体として扱っているため、構造物への力の受け渡し、流体衝撃圧などの評価には至っていないが、粒子法による可能性を十分に確認することができた。今後は、解析精度の検証と共に、流体の衝撃力を受ける構造物の非線形解析を高精度かつ効率的に解析可能にすることによって、流体による構造物の破壊などを表現可能にするシミュレータ構築に努めたい。

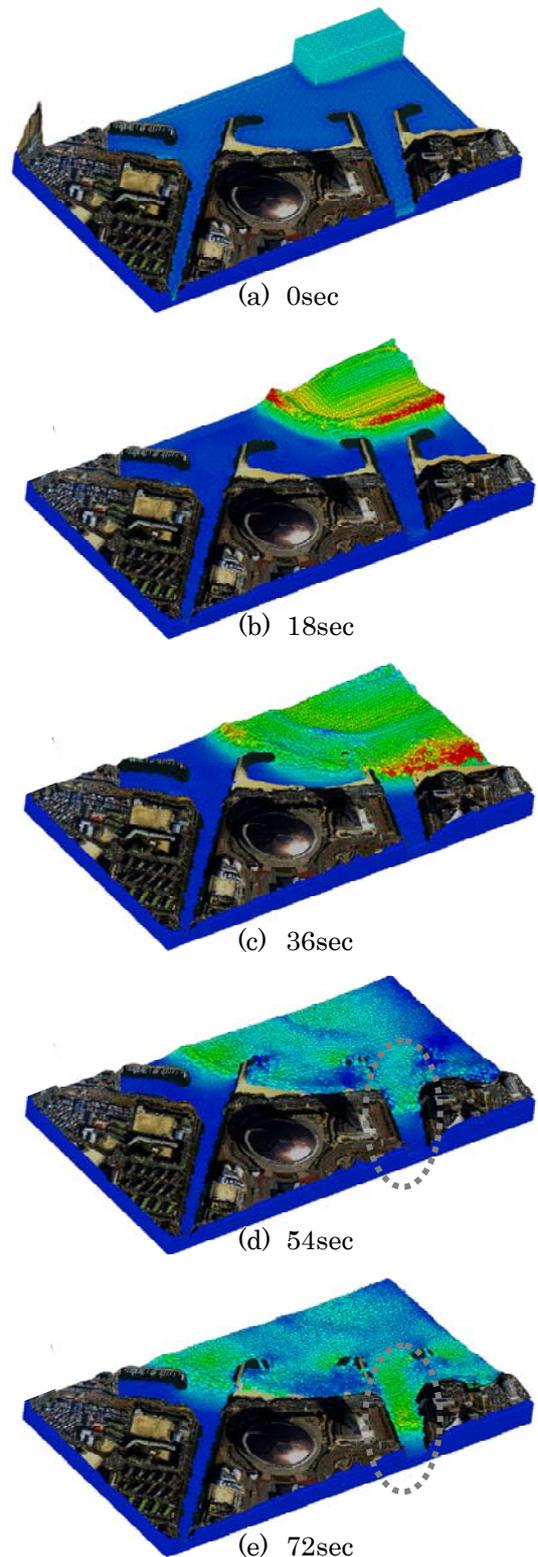


図-2 解析例(水柱の崩壊により津波を模擬)

参考文献

- 1) Monaghan, J.J.: Simulating free surface flow with SPH, *Journal of Computational Physics*, Vol. 110, pp 399-406, 1994 Series A 326, pp.565-584, 1972
- 2) 酒井讓, ほか2名: SPH法による非圧縮性粘性流体解析手法の研究, *日本機械学会論文集 B 編*, 70巻 666号, pp.47-54, 2004
- 3) <http://wiki.manchester.ac.jp/sphysics/>
- 4) <http://meshman.jp/meshman/particleGenHPC.html>
- 5) <http://www.kgt.co.jp/feature/microavs/>