

非圧縮性流体用 SPH 法による 3 次元大規模津波シミュレーション

九州大学 学生会員 ○ 工藤 貴裕
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. はじめに

2011 年 3 月 11 日、東日本大震災は太平洋沿岸部の広範囲に深刻な津波被害をもたらした。今後は、津波に対する防災を再検討し、来たる大地震に備え、災害に強い沿岸部を整備することが緊喫の課題となる。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－構造の連成シミュレータの開発が求められる。その基礎段階として、地形の情報をできるだけ正しく反映し、かつ流体の複雑な形状変化の過程を解析するために、メッシュフリー解析法の一つである SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) 法を選択し、3 次元津波シミュレーションを行った。本研究では、スパコンに対応した並列解析技術を用いることで、解析時間を大幅に短縮した。その際、使用した九州大学のスパコンの使用時間制限により、所望の解析ステップまでを一度に解析できなかったことから、前回までの解析結果の最後の情報からリスタートさせることで、指定した解析ステップまで解析することを可能とした。

2. 内容

2.1 SPH 法

SPH 法とは、図-1 に示すように粒子法の一つの SPH 法は格子を必要としない離散化解析手法であり、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 h に空間分布していることを想定して、その分布形状を kernel 関数により与える。

すなわち、粒子 j の質量 m^j 、密度 ρ^j とすると、物理量 $f(x)$ は、

$$f(x) \approx \sum_{j=1}^N \frac{m^j}{\rho} f(x^j) W(x - x^j, h) \quad (1)$$

として近似する。

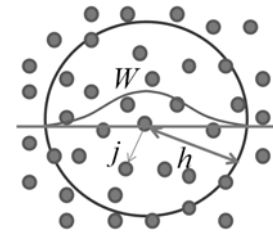
本研究では、非圧縮性流体解析用に開発された Incompressible SPH (ISPH) 法を用いて、以下に示す Navier-Stokes 方程式(1)と質量保存式(2)を解くことにした。

$$\frac{D\mathbf{u}}{Dt} = -\frac{1}{\rho^0} \nabla P + \nu \nabla^2 \mathbf{u} + \mathbf{g} \quad (2) \quad \frac{D\rho}{Dt} + \rho \nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (3)$$

ISPH 法では、Navier-Stokes 方程式の未知量となる速度場と圧力場を式(1)により粒子離散化し、射影法を用いることで速度場と圧力場を分離することで圧力のみを陰的に求める。ここで圧力については非圧縮性の仮定による質量保存則から導出される圧力ポアソン方程式(3)を用いて評価する。

$$\langle \nabla^2 P_i^{n+1} \rangle = \frac{\rho^0}{\Delta t} \langle \nabla \cdot \mathbf{u}_i^* \rangle \quad (4)$$

以上の計算では、圧力 P と速度 $\mathbf{u}$ が独立変数であり、これは与えられた条件から時々刻々と変化する変数である。ただし、圧力は速度分布が既知量であれば式(4)より評価できるため、リスタートするには各粒子の座標値と速度のデータを読み取り、これを初期条件として解けばよい。以上、リスタートオプションも含めた ISPH の計算フロー



影響半径内の総粒子数 N 個

図-1 粒子配置と影響半径

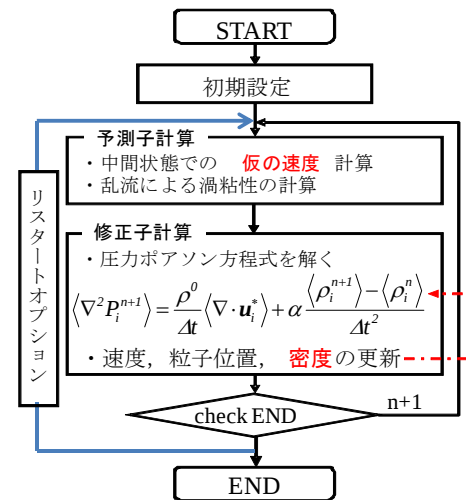


図-2 リスタートオプション付き ISPH の計算フロー

を図-2にまとめて示す。

2.2 解析モデルの作成手順

本研究では、数値地図から解析モデルを作成した後、SPH法による流体解析を、リスタートオプションを複数回適用させて行う手法を構築した。図-3にそのプロセスを示す。解析モデルの作成手順としては、まず、地形を正方形メッシュで区切り、各メッシュに標高座標値の情報が記録された数値地図から、標高をz座標として各座標に、x, y座標を加えたデータに変換する。ここで、粒子法解析モデルの作成に必要な情報は、解析対象の表面形状であるため、次に、MSC.Mentatを使って変換したデータを、CADデータとしては表面を定義するSTL形式として出力する。最後に、これに流体部のソリッド情報を追加定義したものを粒子発生ソフトAVS/Expressを使って読み込み、SPH解析用の粒子情報（解析モデル）を作成した。解析結果は、出力された時系列データを可視化ソフトMicroAVSに入力して可視化させた。

3. 適用例

適用例としては岩手県宮古市田老町沿岸部を選択した。なお、解析モデル作成においては、岩手県の依頼により(株)防災技術コンサルタントが作成した10mメッシュの地表面データを元に、粒子間隔5m、総粒子数約700万個の解析モデルを作成した。また津波の入力方法としては、図-4に示すように沖合の一定区間に津波流入エリアを設定し、このエリアから高さ10m、水平方向に速度10m/sの波を断続的に供給させることにした。その解析結果を図-5に示す。同図のカラーコンターは水平左向き速度を表わしている。

実時間250秒、総時間ステップ25000回の解析（時間増分を0.01secに固定）に約72時間の時間を要した。使用した九州大学のスパコンは、一回の利用時間が24時間に制限されており、リスタート機能を2回使うことで解析を完了した。

4. おわりに

湾内の地形データを10mの解像度でモデル化し、粒子法により津波遡上解析を3次元問題として解析するために、解析プログラムの並列化とリスタート機能を開発した。これにより、約700万粒子を用いた解析が九州大学のスパコンにより3日間で実施可能となった。

現行の解析モデルでは、解像度の問題から田老町の特徴的な津波防波堤が明確にモデル化されておらず、得られた解析結果の精度は不十分である。今後は元データである地表面データに防波堤を含む主要な構造物のデータを反映させ、より現実的な津波遡上解析へと発展させる予定である。

謝辞

解析モデルの作成においてご協力頂きました(株)防災技術コンサルタントの三上隆様、千田健一様、館澤寛様、及びデータの使用を許可下さりました岩手県関係者各位に深謝致します。

参考文献 1)酒井謙，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

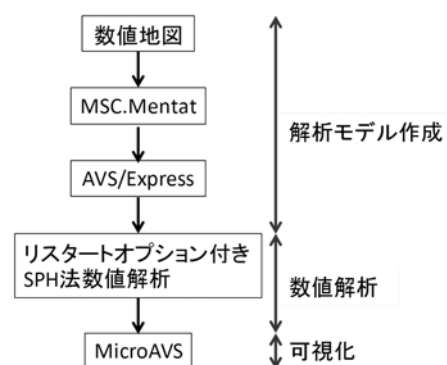


図-3 モデル作成から可視化までのプロセス

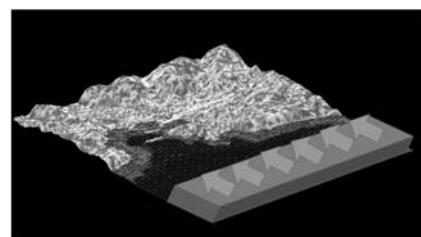


図-4 津波発生方法

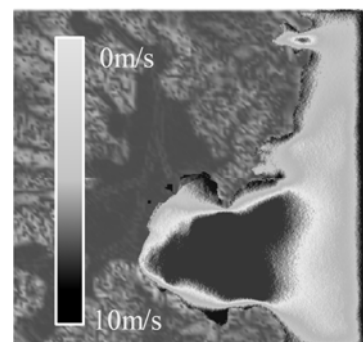


図-5 解析結果