

発生から陸地への遡上までのマルチスケール津波解析

九州大学大学院 学生会員 ○ 榎野泰河
九州大学大学院 正会員 浅井光輝

海洋研究開発機構
海洋研究開発機構

古市幹人
西浦泰介

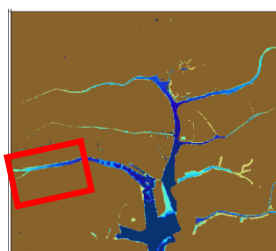
1. 目的

東日本大震災においてマグニチュード 9.0 という我が国観測史上最大の巨大地震、大津波が発生し、東北地方の沿岸部を中心に、甚大かつ広域的な被害をもたらした。最大クラスを想定した災害への備えが不十分であったことが指摘されており、大規模地震の被害想定、対策の見直し、「減災」の考え方を防災の基本理念として位置付け、想定し得る最大規模の浸水等への対策以下の措置が講じられている。減災のためには、津波による沿岸地域への安全性・危険性を把握することが重要であり、特にソフト防災の一環として行う津波防災地域づくりにおいては、浸水域が的確に推定できる手法が必要とされている。本研究では、可能な限り正確に津波被害を想定するための、特に遡上後の浸水までを含む津波解析手法を開発することを目的とし、1. 津波初期水位設定方法の見直し、2. 粒子法による 3 次元遡上解析の高詳細化の 2 点を実施した。ここでは、特に後者について詳細に述べる。

2. 粒子法による 3 次元遡上解析の高詳細化

2.1 粒子数と計算コスト

これまでの事前検討より、精度の高い津波遡上解析を行うための粒子解析モデルの空間解像度としては、街区の道路を解像できる 2m 程度が最低限必要であり、さらに収束解を得るには 50cm 程度まで解像度を上げる必要があることが確認されている。しかしながら、



解像度	総粒子数
2m	110 万
1m	520 万
0.5m	1 億 6700 万

図-1 計算領域と粒子数の関係

そのような高分解能の粒子モデルのまま津波遡上解析の対象を都市全体として設定すると、解析モデルの大規模化は避けられない。図-1 に示す領域だけでも膨大な粒子数が必要となる。本研究では高知市を解析対象地の一つとしているが、同地域を 2m でモデリングした場合、粒子数は 1 億を超え、スパコンの使用を前提としても、解析時間の制約と使用するメモリ量の制約の両面からこれ以上の大規模化には限界が生じた。そこで本研究では、高速化と省メモリ化などの計算効率と解析精度の両面を配慮した手法の開発を行った。

2.2 圧力評価の陽解法化

本研究では、解析手法として安定化 ISPH (Incompressible Smoothed Particle Hydrodynamics) 法を陽解法化した陽的 ISPH 法を用いる。安定化 ISPH 法は圧力を陰的に評価する ISPH 法の一つであり、一般的には共役勾配法などの連立一次方程式の求解が必要となる。このため、係数行列をメモリに保存する必要があるため使用メモリが増え、また連立一次方程式求解のコストも粒子数に対して 1.5 乗程度で増加するため、大規模問題の解析が困難となる。陽的 ISPH 法では、陰的な圧力評価スキームを陽的に発展させることにより、こうした計算コストの問題を解決する。

2.3 2 次元スライスグリッドを用いた動的負荷分散

上記の陽解法化に加えて、並列化効率を向上させるためには領域分割方法とその通信方法も重要になる。本研究では領域分割手法として、図-2 に示す 2 次元スライスグリッドによる分割を用いることにした。本

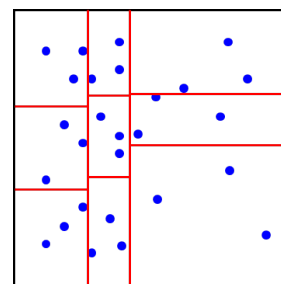


図-2 計測モデル

手法では直交系において x 方向に ($I=1,2,3,\dots,N_x$) の列要素に一次元領域分割を行い、 y 方向には各列で各々異なる分割 ($J=1,2,3,\dots,N_y$) を行う。各要素は袖領域を持ち、そ

キーワード: 粒子法, 津波遡上解析, 拡張スライスグリッド

連絡先: 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地, E-mail: makino@doc.kyushu-u.ac.jp

の領域の粒子群は MPI 通信により整合性を毎ステップ担保する．粒子法による計算では，時間とともに粒子配置が大きく変動するため，適切な領域を更新する動的負荷分散が必要となる．粒子法の並列計算では，粒子数を均等化することで動的負荷分散を実現することが多い．しかし，粒子法の計算では自由表面近傍，壁粒子近傍，内部領域では計算コストが異なるため，粒子数の均等化だけでは適切な負荷分散が実現できないことがある．本論文では前ステップで生じた各計算ノードの計算時間・通信時間を計測し，次ステップでの計算時間・通信時間の均等化を図った動的負荷分散を行った．

2.3 計算領域の拡張

津波遡上のような時間とともに面内に解析領域が段階的に広がる問題を想定したとき，初めから全ての領域を対象に領域分割を実施すると，まだ水の達していない計算する必要のない壁粒子の箇所まで分割を行うことになり効率を落とす原因になる．そこで本研究では，領域分割方法として 2 次元スライスグリッドによる分割と動的負荷分散法を基礎技術とし，津波遡上に併せて解析領域(壁粒子)を逐次拡張する拡張スライスグリッド法を開発した．

3. 拡張スライスグリッド法による実地形を用いた津波遡上解析への適用例

開発した拡張スライスグリッド法を用いて，高知市を対象として津波遡上解析を実施した．図-3 に高知市周辺の地形データ (6km×6km) を示す．図-4 に分割図後の初期状態の地形モデルを示しており，今回は 32×32 の 1024 プロセスを用いた分割とした．図-3 中の色は一つ一つが各プロセスの担当する領域を示している．河口に流入領域を設け，10m の波を 10m/s で流入させる解析を実施した．なお，粒子径は 1m とし，タイムステップは 0.0005s としている．粒子径 1m，総粒子数約 50,000,000 という大規模計算において，高速かつ安定な解析を実施できた．本解析で利用した計算資源にはまだ余裕があり，さらなる高分解能(粒子径 0.5m 程度)の計算も視野に入った．これにより，構造物に作用する流体力の評価などの細かな検討や，浸水域を基にしたハザードマップの作成などが可能になると考えられ，津波防災におけるソフト防災，ハード防災の両面から多岐にわたっての応用が今後期待できる．

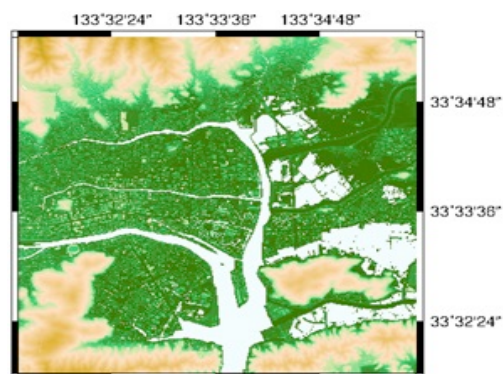


図-3 高知市周辺の地形モデル

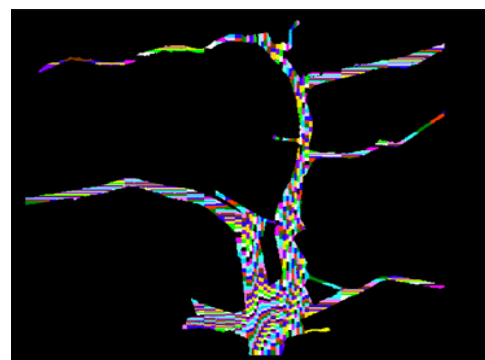


図-4 分割後のモデル

4. 結論

地震シナリオから津波伝搬までの一連の災害を物理シミュレーションにて実施することで，断層破壊伝搬を考慮できる津波解析を実施した．有限要素法により与えられた最終的な地殻変動量を使用することで，従来法による予測では過小評価になる可能性があることを確認し，「想定し得る最大規模の浸水」の想定の見直しの必要性を確認した．次に，市街地での津波遡上解析に向け，拡張スライスグリッド法の開発を行い，テストモデルを通して高い効率で大規模計算が可能であることを確認した．最後に，開発手法を用いてこれまでは不可能であった高詳細な津波遡上解析を可能とした．今後の課題としては，2 次元津波伝搬解析との接続などが残されているものの，適切な流入を見積もることができれば，津波防災・減災の実務への応用が期待できる解析手法を構築することができた．

謝辞：本研究は JSPS 科研費 JP17H02061, JP17H02057 の助成を受けたものです．本研究成果 (の一部) は、理化学研究所のスーパーコンピュータ「京」を利用して得られたものです (課題番号：hp180207)．