

MPIを用いた建物の倒壊を考慮した津波解析手法の構築

中央大学大学院	学生員	金澤 功樹
中央大学	正会員	凌 国明
(株)エイト日本技術開発	正会員	大川 博史
中央大学	正会員	樫山 和男

1. はじめに

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う津波によって、沿岸部は甚大な被害を受け多くの人命が失われた。この災害によって、津波による被害を事前に予測することの重要性が再認識された。一般的に遡上域における津波解析では、土地利用及び構造物の影響を考慮することについては、マニングの粗度係数を変えることによって行ってきた。しかし、従来の手法では建物の影響及び倒壊について考慮することは困難であった。

著者らは、有限要素法を用いた建物倒壊を考慮した津波解析手法の有効性については検討されているが、実地形を対象とする場合、建物を精度よく再現するには細かいメッシュを用いる必要がある。また、メッシュ数に比例して計算コストも膨大となるため大規模な解析を行うためには並列計算の導入が必要不可欠である。

本研究では、MPIに基づく並列化を行った上で、建物の倒壊を考慮した津波解析手法と従来の建物の影響をマニングの粗度係数で表現する手法との解析結果について定量的な比較を行った。

2. 解析手法及び並列化について

図-1に解析フローチャートを示す。

(1) 支配方程式

支配方程式には、以下に示す非線形性と分散性を考慮した Boussinesq 方程式（非線形分散波方程式）を用いる。

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \mathbf{A}_i \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\mathbf{N}_{ij} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial x_j} \right) = \frac{\partial^2}{\partial t \partial x_i} (\mathbf{K}) + \mathbf{R} - \mathbf{G} \mathbf{U} \quad (1)$$

ここで、 \mathbf{U} は未知数ベクトルであり、 \mathbf{A}_i 、 \mathbf{K} 、 \mathbf{R} 、 \mathbf{N}_{ij} 、 \mathbf{G} はそれぞれ移流項、分散項、水底勾配項、拡散項、摩擦項に対する行列である。

(2) 解析手法

空間方向の離散化には SUPG 法に基づく安定化有限要素法¹⁾を、時間方向の離散化として、2次精度を有する Crank-Nicolson 法を用い、連立一次方程式の解法には、Element-By-Element 処理による Bi-CG STAB 法を用いる。移動境界手法、流体力評価手法、及び建物倒壊手法の詳細は参考文献²⁾を参照されたい。

(3) 並列化

並列計算にはノード間の情報交換をメッセージ通信で行う MPI³⁾を用いた。逐次計算のプログラムをノード間の通

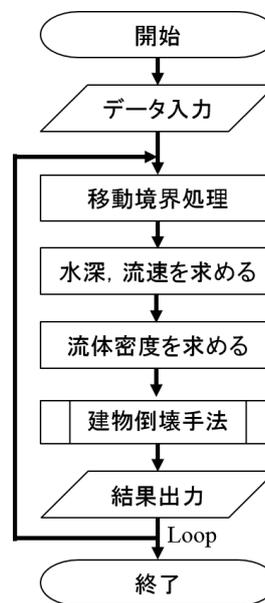


図-1 解析フローチャート

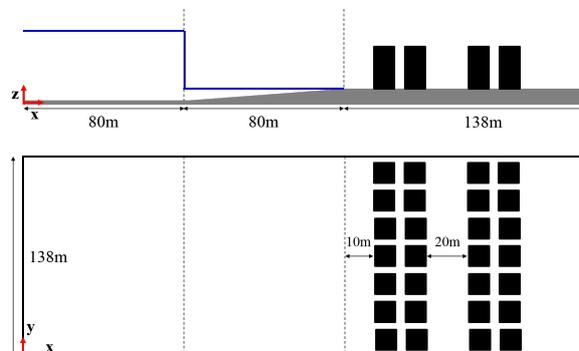


図-2 陸域に複数の建物を有する津波遡上問題

信を考慮して並列計算プログラムに書き換えることによって並列化を行った。

3. 複数構造物を有する津波解析例

図-2に示す解析モデルを用いて本手法と建物の影響をマニングの粗度係数で表す手法においてそれぞれ解析を行い本手法の妥当性を検証する。解析モデルは沖合に仮想段波を発生させ、陸域に遡上させるものである。また、陸域には36棟の建物が存在する。初期水位は5.0mと2.0mのバ

KeyWords: 津波, 並列計算, 建物倒壊, 安定化有限要素法

連絡先: 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL: 03-3817-1815 E-mail: a14.sgns@g.chuo-u.ac.jp

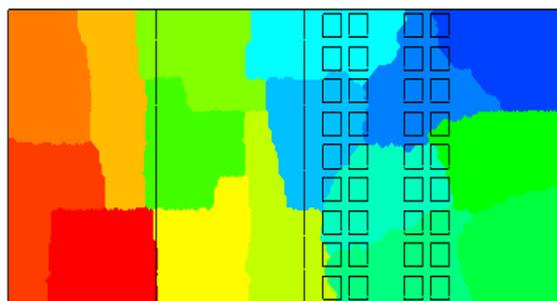


図-3 解析領域の分割図

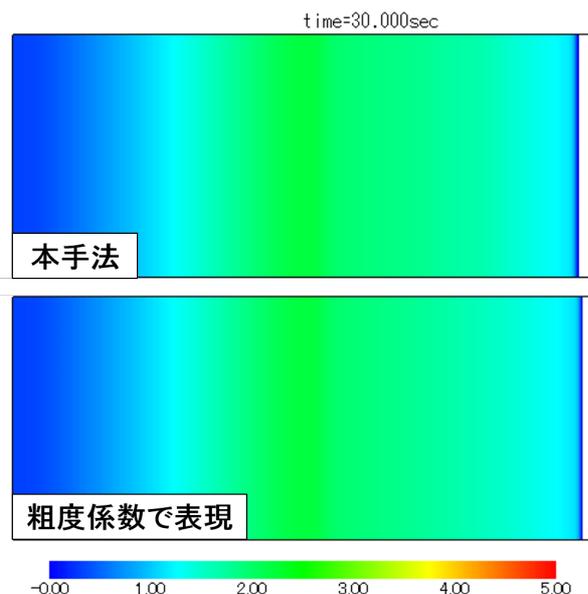


図-4 初期水位：5.0mの水位変動量の解析結果

ターンの解析を行い、両手法の解析結果の比較を行う。

(1) 解析条件

図-3に解析領域の分割の様子を示す。解析領域はフリーのソフトウェアであるMETIS⁴⁾を用いて16分割した。建物の倒壊の判定は、建物に作用する流体力がその建物の抗力値を超えた場合に倒壊と判定する。建物の抗力値は既往の研究⁵⁾を参考にしている。建物は木造と仮定し、抗力値は38.0kN/mとする。建物の形状は全て10m×10mの正方形とし、4.0m間隔に配置している。また、建物群の間隔は20.0mとしている。境界条件として解析領域境界にはslip条件、建物の境界にはno-slip条件を与えている。マニングの粗度係数は既往の研究⁶⁾を参考にし、海域は $0.025\text{m}^{-\frac{1}{3}}\cdot\text{s}$ 、陸域は $0.020\text{m}^{-\frac{1}{3}}\cdot\text{s}$ 、建物領域は $0.080\text{m}^{-\frac{1}{3}}\cdot\text{s}$ としている。時間増分量は0.01秒とし、解析時間は50秒としている。また、本論文では建物倒壊時に増加させる流体密度及び流体密度の移流は考慮していない。

(2) 解析結果

図-4に初期水位が5.0mのパターンの30秒時点の解析結果を、図-5に初期水位が2.0mのパターンの50秒時点の解析結果を示す。図の上段が本手法における解析結果、下段

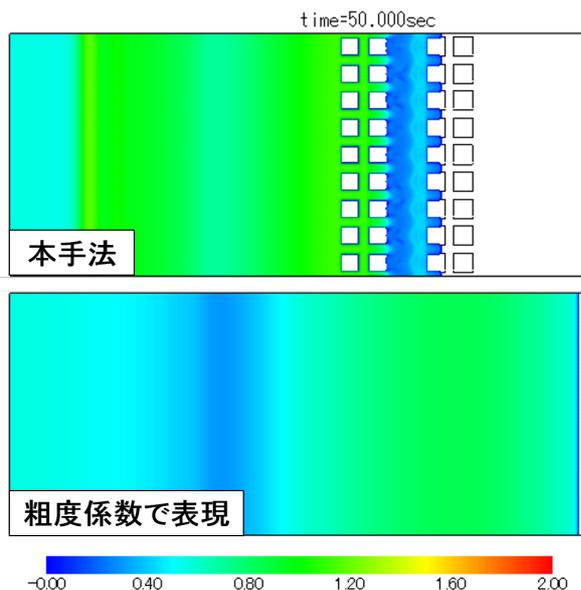


図-5 初期水位：2.0mの水位変動量の解析結果

が建物の影響をマニングの粗度係数で表現する手法の解析結果である。図-4より建物が倒壊する場合には、両手法に差異は見られなかった。図-5より、建物が倒壊しない場合には、両手法の浸水域の解析結果に明確な差異が表れることが分かる。

4. おわりに

並列化された本手法とマニングの粗度係数によって建物を考慮する手法における津波遡上域の解析結果を比較し、以下の結論を得た。

本手法は、建物が倒壊する場合には、建物の影響をマニングの粗度係数で表現する手法と比較して両手法に大きな差異は表れなかった。一方で、建物が倒壊しない場合には、津波浸水域の時間的変化に大きな差異が表れた。よって簡便な手法ではあるが、本手法は従来の手法に比べて、建物の影響を正確に考慮できる手法であることが確認できた。また、並列化した場合でも、逐次計算と同様の結果が得られた。

今後の課題として、断層を含む沖合の領域も含めた解析領域に対し本手法を適用していくことなどが挙げられる。

参考文献

- 1) 日本計算工学会：第3版 有限要素法による流れのシミュレーション，丸善出版株式会社，2017。
- 2) 利根川大介，榎山和男：安定化有限要素法による非線形分散波理論に基づいた津波遡上解析手法の構築研究，応用力学論文集，12，pp127-134，2009。
- 3) 日本計算工学会：並列計算入門，丸善株式会社，2003。
- 4) Karypis, G. and Kamur, V.: Multilevel k-way partitioning scheme for irregular graphs, J. Parallel and Distributed Computing, 48, No.1, pp 96-129, 1998。
- 5) 飯塚秀則，松富英夫：津波氾濫流の被害想定，海岸工学論文集，47，pp. 381-385，2000。
- 6) 小谷美佐，今村文彦，首藤伸夫：「GISを利用した津波遡上計算と被害推定法」海岸工学論文集，45，pp.356-360，1998。