

粒子法による三次元津波遡上解析とその利活用法の検討

九州大学大学院	学生会員	○江口	史門
九州大学大学院	正会員	浅井	光輝
理化学研究所	正会員	大谷	英之
愛媛大学大学院	非会員	一色	正晴

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震に伴う津波により、沿岸地域は甚大な被害を被った。この津波災害を踏まえ、今後危惧されている巨大津波に対して、沿岸地域の防災、減災技術の再検討が急務である。安全な沿岸地域の形成には、堤防・橋梁などのハード防災だけでなく、防災教育・ハザードマップ作成などを通じたソフト防災の両面を検討する必要がある。こうした津波対策を合理的に実践するためには、正確な津波遡上解析、また津波に伴う構造・人的被害シミュレーションの整備が必要であると考え、本研究では、地理情報システム（以降 GIS と略記）より得られた建物の立体位置情報（SHP データ）と数値標高データ（DEM データ）から、建物を含む地表面の詳細三次元解析モデルを作成するツールを構築し、これまでの研究で開発した大規模粒子法解析ツールにより津波遡上解析を実施することで防災減災への活用を検討した。解析対象地としては南海トラフ地震発生時に甚大な被害が予想される高知県高知市を選定した。なお、解析手法には大変形解析に適している粒子法の一つである SPH 法、中でも圧力精度向上のために修正した非圧縮条件緩和型 ISPH 法を採用した。解析手法の詳細については文献¹⁾を参照されたい。

2. 地表詳細モデル作成

精度よく津波遡上解析を実施するためには、都市部の構造群および標高分布を忠実に再現することが求められる。そこで本研究では、GIS を利用し建物群を含む地表の詳細モデルを作成するツールを構築した。なお、地表面形状は DEM データ、構造物の空間的配置は SHP データといった、それぞれ GIS に含まれるデータを参照した。作成手順を図-1 に示す。まず、GIS の両デー

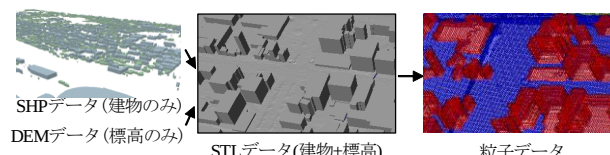


図-1 モデル作成手順

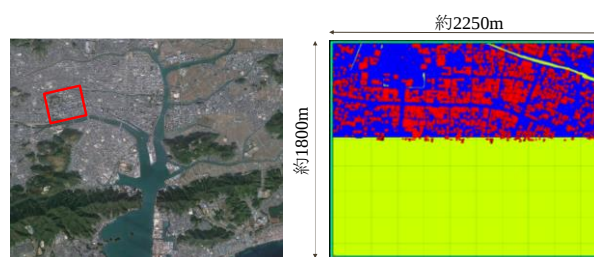


図-2 解析対象（高知市） 図-3 解析モデル（高知市一部）

タを合成し、建物群および地表面の表面データを CAD の中間フォーマットの一つである STL データとして再定義した。次に表面内部に粒子を等間隔に充填することで粒子データへ変換する。最後に、津波に相当する粒子データを流入させたい位置に設置することで解析モデルが完成する。なお、今回用いた GIS の SHP データには、堅牢構造物とそれ以外の小型構造物のデータが含まれていたが、今回の報告では、小型構造物が津波遡上現象に与える影響は比較的小さいものと考え、堅牢構造物のデータのみを用いて上記手順に従い解析モデルを作成することにした。

3. 解析例

3.1 解析概要

本章では、前章までで述べた解析手法とモデル化を用いて、実際の都市を対象に津波遡上解析を実施した。解析対象には高知県高知市を選定し、特に図-2 に示す鏡川沿いの地域を対象とした。また、図-3 に示す約 1800m×約 2250m の領域において、鏡川から北上方向（15°だけ北西に傾いている）へと津波が氾濫してくる

キーワード 津波遡上解析 粒子法 地表詳細モデル 防災 減災

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 ウェスト 2 号館 1102 号室 構造解析学研究室 TEL 092-802-3370

ことを想定した津波を与えることにした．ここで赤色部は構造物，黄色部は津波，青色部は地表面を表している．なお，津波の初期条件は，高知県南海トラフ地震対策課による津波浸水予想²⁾より簡易的に波高 5m，流速 5m/sec として与えた．解析条件は表－1 に示す通りである．

表－1 解析条件

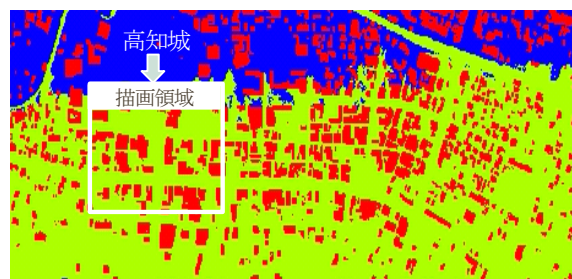
粒子間隔	総粒子数	時間増分	実時間	解析時間(8node)
2m	約 794 万	0.005sec	330sec	約 89 時間

3.2 解析結果

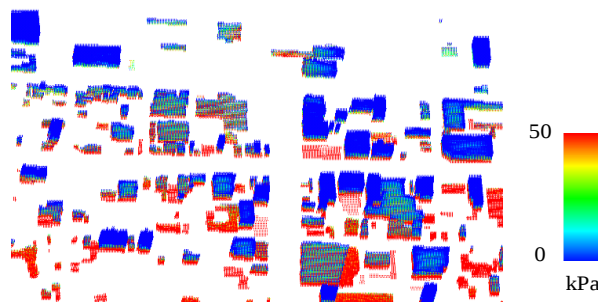
鏡川からの氾濫が始まってから，実時間で 330 秒経過した際の解析結果を図－4 に示す．この結果より，津波遡上開始から実時間で 330s 後には内陸まで津波が浸水するが，標高 44.4m 程度の高台にある高知城周辺には津波は到達せず，また高層ビルの 3 階から 4 階程度以上は水没していないことを確認した．同地区では，氾濫開始から 6 分程度で同図に示す程度の氾濫の危険性が高いため，地震発生後には迅速により安全な高知城周辺の避難場所へと避難することが重要である．以上のように，具体的な地域，建物群を詳細に再現し，津波遡上解析を実施すれば，具体的かつ精緻な防災マニュアルの立案ができるものと考え

4. 可視化方法の改良

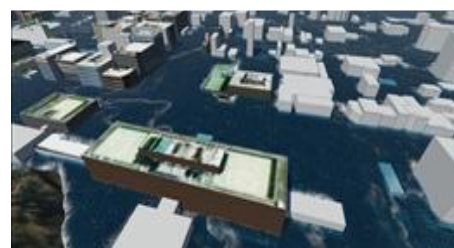
数値解析結果のより有効な防災・減災への活用を検討するため，可視化方法にも改良を加えた．例えば図－5 は，図－4 と同時刻における構造物に対する津波波圧のコンター表示を示している．なお，描画箇所は図－4 の白枠内である．同データを用いれば，たとえば木造家屋などの脆弱な家屋の危険性を具体的な数値として示すことが可能となるものと考え．しかしながら，一般市民に津波の危険性を伝え，また避難を促すための防災教育等に活用することを目的とした際には，同図のような可視化は不適切である．そこで本研究では，写実性に特化した三次元立体動画へと可視化方法を発展させた．まず，粒子法で解析した各時間ステップでの津波粒子表面を三角形メッシュで補完し，解析モデル作成の際に利用した建物群の STL データと統合した．その上で，建築分野での意匠設計に用いられている可視化ソフト Lumion を用い，建物・津波表面にそれぞれ実際の建物の写真，波を模擬した画像を貼り付



図－4 330 秒後の浸水域



図－5 ビルに作用する津波波圧分布（解析後 330 秒後）



図－6 立体動画スナップ画像

けることで図－6 のような立体的風景を描画した．なお，図－6 は，高知城が位置する高台に避難した際の，人目線での画像となっている．立体動画の特性として，周囲の建物と津波の相対的な位置関係を知ることができる．このことより，津波の脅威をより現実的に伝え，また防災意識を喚起するうえで有効であり，防災教育等への幅広い活用が期待できる．最後に，注意事項として，今回の解析結果は十分な空間分解能を有しておらず（粒子間隔 2m），また津波の流入条件に対しては検討の余地が残ることを注意書きしておく．

参考文献

- 1) Mitsuteru Asai et al. A stabilized incompressible SPH method by relaxing the density invariance condition, International Journal for Applied Mathematics, Volume 2012 (2012), Article ID 139583, 24 pages.
- 2) 高知県南海トラフ地震対策課(高知県版第 2 弾) 南海トラフの巨大地震による震度分布・津波浸水予測について (<http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/010201/nannkai-3.html>)