

(52) 地域防災教育のための3次元津波浸水解析とその可視化に関する研究

岩塚 雄大¹・古牧 大樹²・西畑 剛³・川辺 赴史⁴・檜山 和男⁵

¹正会員 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)

E-mail:Yuudai.Iwatsuka@mail.penta-ocean.co.jp

²正会員 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)

E-mail:Daiki.Furumaki@mail.penta-ocean.co.jp

³正会員 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)

E-mail:Takeshi.Nishihata@mail.penta-ocean.co.jp

⁴学生会員 中央大学 理工学部都市環境学科 (〒112-8521 東京都文京区春日一丁目13-27)

E-mail:kawabe@civil.chuo-u.ac.jp

⁵正会員 中央大学教授 理工学部都市環境学科 (〒112-8521 東京都文京区春日一丁目13-27)

E-mail:kaz@civil.chuo-u.ac.jp

本論文は、地域防災教育に資する津波浸水解析とその可視化手法について提案するものである。宮城県気仙沼市の一地区を対象として、2011年東北地方太平洋沖地震津波に関する浸水解析とその可視化手法について示す。

数値解析は、浅水長波式に基づく平面2次元の津波伝播解析とナビエストークス式を直接解いた3次元津波浸水解析モデルを併用した。計算結果は、テクスチャマッピング手法やCG効果を付加することで避難者視点に立った動画へ変換した。住民が津波災害を直感的に理解することができるフォトリアルスティックな可視化を避難者目線で実現することで、津波からの避難教育・訓練に役立つツールが完成した。

Key Words : tsunami, evacuation, Kesenuma, scientific visualization, photorealistic visualization

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震津波は、想定を上回る規模であったため、沿岸各地に甚大な被害をもたらした。陸上に遡上した津波は、臨海部の施設を破壊し、人的被害も多数発生した。本災害を契機に、我が国では津波に対して、災害規模に応じた対応を取る事となった。すなわち、設計外力以下の津波に対しては、対策構造物で浸水等を防ぎ、設計超過津波に対しては、早期の警報発令や避難誘導といった情報による対処で人的被害を防ぐことを目指すというのがその概要である。しかしながら、設計を超過して陸上に氾濫した津波の浸水深や遡上速度、襲来方向などは、想定津波や地形等により変わってくると考えられ、津波の襲来状況は地域によって様々な形態を取る。そのため、津波浸水に関するハザードマップを示すだけでは、地域住民が事前に襲来する津波をイメージすることは難しく、避難情報としては不十分と思われる。

本研究では、東北地方太平洋沖地震津波時の浸水再現

解析を実施し、解析結果を可視化した。可視化に際して、避難者が避難経路上の津波の襲来速度や襲来する方向等をイメージし易くなるよう意図した。以上、浸水計算から地域防災教育の一助となり得る可視化までの手法の詳細を示すことを本研究の目的とする。

2. 浸水解析

宮城県気仙沼市鹿折地区を検討対象として、東北地方太平洋沖地震津波の浸水再現解析を実施した。浸水計算は、平面2次元解析および3次元解析の順に行った。

(1) 平面2次元解析

平面2次元解析では、津波波源から検討域の浸水まで広域に渡る津波の伝播、浸水を再現した。津波波源は東北大学モデル (Ver.1.1)¹⁾を用いて、Mansinha and Smilieの手法²⁾で初期水位変動を決定した。計算は、線形および

非線形長波解析を差分スキームで離散化して波源から検討域までの津波の伝播・浸水解析を実施した。解析負荷軽減のため、複数の計算領域を用意してネスティングした。空間格子サイズを広域では広く、検討域に近づくにつれて解像度が上がるよう小さくなるようにし、最小12.5mで計算した。図-1に初期波源分布と計算領域、表-1に解析条件を示す。検討域における津波の浸水開始時間や浸水範囲は、本計算で妥当に再現できた。

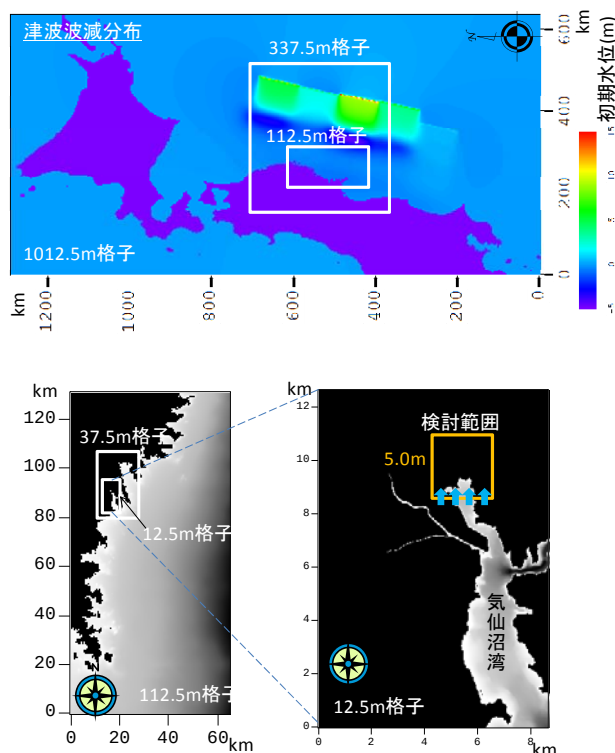


図-1 計算領域および基礎方程式

表-1 解析条件（平面2次元解析）

格子サイズ	基礎式	解析内容
1012.5m	線形長波	津波伝搬
337.5m		
112.5m	非線形長波	陸上遡上
37.5m		
12.5m		

表-2 解析条件（CADMAS-SURF/3D）

解析手法	差分法 (SMAC法)
計算領域	2000m×1250m×30m
計算格子間隔	水平: $\Delta x = \Delta y = 5.0\text{m}$ 鉛直: $\Delta z = 1.0\text{m}$
総計算セル数	3,000,000
計算時間間隔	自動制御 (最大クラン数0.1)
密度	$1.0 \times 10^3 \text{kg/m}^3$
動粘性係数	$1.0 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$
乱流モデル	使用しない

(2) 3次元解析

検討地域に対しては、別途、CADMAS-SURF/3D³⁾による浸水解析を実施した。CADMAS-SURF/3Dは、3次元のNavier-Stokes式をSMAC法を用いて直接差分計算し、自由表面にはVOF法を適用する。そのため、3次元的な陸上街路地形への津波浸水や砕波等の現象も良好に再現し得る。計算は、平面2次元解析から得られた沖合の津波水位・流速時系列データを用いて、造波ソースによる無反射境界として津波を入射させた。検討範囲は図-1に示した通り、平面2次元解析の12.5m格子の一部とし、南側境界から津波を入射させる。計算格子間隔は水平方向は5mで一定としたが、鉛直方向は津波の遡上への影響が大きいので、解像度を上げて1.0mとした。解析条件を表-2に示す。なお、陸上施設の破壊に関しては、計算上、考慮していない。

3. 津波の可視化

前章で解析した津波浸水解析結果を地域防災教育の観点から可視化する。図-2に可視化手順のフローを示すとともに、以下、各手順を説明する⁴⁾。

(1) テクスチャマッピング

a) 建物・地形

解析に用いた建物レベルデータをそのまま使用した場合、建物形状は、図-3右上に示す通り、側面が台形形状となる。ここを同図右下に示すように矩形へ修正して陸上標高データと同化させた後、航空写真画像をテクスチャとして貼り付ける。テクスチャマッピング後の画像を図-4に示す。

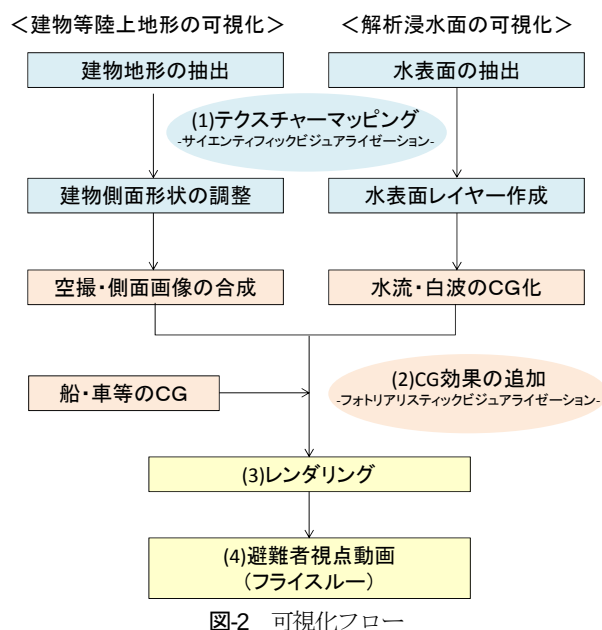


図-2 可視化フロー

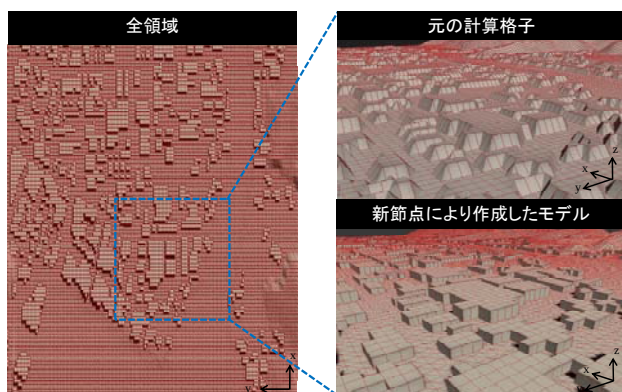


図-3 建物形状モデルの修正例



図-4 建物・地形のテクスチャマップ

b) 浸水面

陸上遡上した津波に対し、CADMAS-SURF/3DにおけるVOF関数計算値0.5の位置を水表面として設定した。各時間における水表面データに水色を着けたテクスチャデータを作成する。

図-5にテクスチャマッピングによる津波画像の違いを説明する。図-5（上）には解析結果に特別な処理を施していない。一方、図-5（中）は地形データに航空写真によるテクスチャマッピングを施した後、水面も透過したテクスチャーとしており、津波状況が把握しやすいサイエンティフィックビジュアライゼーションが実現されている。図-5（下）はさらに水表面に白波等のCG効果を加えているが、これに関しては次節で述べる。

(2) CG効果の追加

津波の水表面色は、現地のビデオ映像等を参考に決定し、よりフォトリアリスティックな画像となるように、水表面のポリゴン勾配に応じて白波が立った水流のCG効果の付加や、水面の凹凸を表現する指数および気泡量の調整等を行った。また、建物側面、漂流船舶や車なども必要に応じてCGで与えている。さらに空の色や雲等も様々なパターンが提示可能である。



図-5 津波水表面のテクスチャマップ（上：テクスチャーを特に入っていない，中：地形に航空写真を使用，下：浸水面にCG効果を付加）



図-6 CG効果の追加（建物地形、浸水面、船舶・車、空色等のCG）

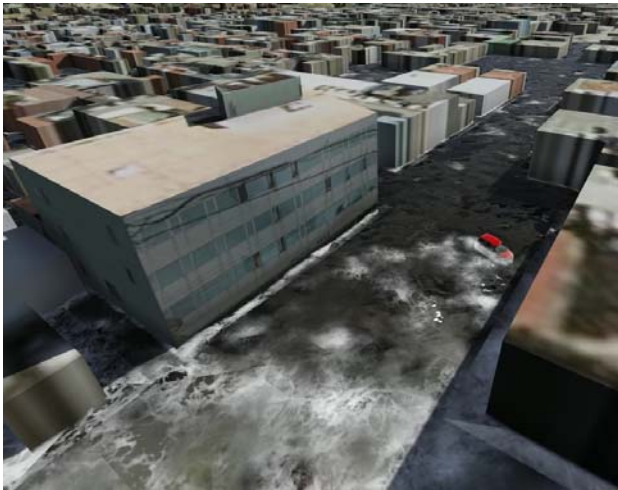


図-7 津波浸水時の避難路（俯瞰動画の1シーン）



図-8 津波浸水時の避難者視点の動画例

図-6に上記処理を施した津波浸水時の画像例を示す。

(3) レンダリング

解析に用いた陸上地形標高表面や津波の時間毎の水表面テクスチャーをレイヤーデータ化し、3次元レンダリングソフト⁵⁾を用いて、レイヤーを重ね合わせた。図-7に上記処理を施した津波浸水時の避難路の俯瞰図を示すが、津波の浸水経過に合わせた動画が実現される。

(4) 避難者視点動画

避難者からの津波襲来状況を可視化するため、フライスルー動画を作成した。図-8に避難者視点からの津波浸水時の画像例を示す。これにより、任意の避難開始位置、避難開始時間、避難先に対し、避難者の移動目線で津波襲来状況が把握できるため、津波防災教育にも役立つと考えられる。

なお、津波の解析結果をより臨場感高く表現するには、結果の可視化のみでなく可聴化も重要となる。可聴化については、波の先端に津波の音源を設置し、距離減衰を考慮したものを利用者に提示する試みを行っている。

4. おわりに

本論文では、地域防災教育に資する津波浸水解析とその可視化手法について提案した。適用例として、東北地方太平洋沖地震津波時の気仙沼市の浸水状況を数値解析で再現し、避難者視点による津波の可視化を実施した。得られた結論を以下に示す。

- ・津波波源から検討域までの津波の伝播、浸水を浅水長波理論による平面2次元解析およびCADMAS-SURF/3Dによる3次元解析によって再現した。浸水開始時間や浸水範囲は妥当に再現された。
- ・テクスチャーマッピング手法によって、航空写真画像や津波浸水画像を張り合わせ、CG効果を加えることでフォトリアリスティックな津波浸水画像を合成することに成功した。今回は再現画像を作成したが、天候や時間帯など様々なシチュエーションに応じた想定津波画像の作成にも対応できる。
- ・フライスルー動画を用いることで、避難者視点の津波来襲動画を作成した。様々な避難時間帯、避難ルートを設定できるので、地域住民の津波からの避難教育などに有用なツールが出来たと言える。

謝辞：本研究の一部は科学研究費（基盤研究（B）24360183）の援助を受けている。

参考文献

- 1) 東北大学： http://www.tsunami.civil.tohoku.ac.jp/hokusai3/J/events/tohoku_2011/model/darc_ver1.1_111107.pdf, pp. 6, 2011.
- 2) Mansinha, L. and Smylie, D. E. : The displacement fields of inclined faults, *Seismol. Soc. Amer.*, Vol.61, pp. 1433-1440, 1971.
- 3) 沿岸技術研究センター：CADMAS-SURF/3D 数値波動水槽の研究・開発，沿岸技術ライブラリー，No.39, pp. 235, 2010.
- 4) 奥野恭平，樫山和男，古牧大樹：水環境シミュレーションのための可視化に関する研究，土木学会関東支部第41回技術研究発表会，I-33, 2014.
- 5) <http://lumion3d.com/>（参照 2014.6.10）