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、津波浸水解析手法と高品質な可視化手法を組み合わせることで地域防災教育に資する複合的なツールを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、建物および地形形状に適合した非構造格子に写像したうえで、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。地域住民が津波災害を直感的に理解することが可能な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・訓練に有効なツールが完成した。

Key Words : tsunami, evacuation, Kesennuma, 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ソフト対処で人的被害を防ぐことを目指すこととなった。これまで講じられてきたソフト対策例として、津波ハザードマップ(図-1)が挙げられるが想定津波の浸水範囲や避難所・避難経路の把握には有効である。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異なり、津波の襲来状況は地域によってさまざまな形態を取る。そのため、従来の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、避難情報として改善の余地

があるものと考えられる。近年、津波シミュレーションにおいても津波発生直後に沖合のGPS波浪計データをもとに浸水予測を行うことを目的としたリアルタイム津波

図-1 従来の津波ハザードマップの例(南伊豆町)¹⁾

ハザードマップ²⁾の開発が進められている。一方で、津波シミュレーションにおいても従来の平面2次元解析のみではなく、3次元解析³⁾を用い構造物の形状を正確に反映した自由表面流れ解析手法が構造物に作用する波力の評価（例えば、有光⁴⁾、高橋⁵⁾）で用いられている。同時に、可視化の観点からも3次元解析は従来手法では表現ができない複雑な3次元挙動が表現手法として効果的であるものの、防災教育的な観点から浸水状況の可視化を目的とした研究事例はない。また、近年、発展の著しい立体視技術による投影⁶⁾があり、これらを複合的に利用することにより、利用者はあたかも津波を疑似体験することが可能となり、地域の防災教育等に有効となり得ることが期待できるものと考えられる。

防災教育の観点からは、地域住民が事前に襲来する津波のイメージを持つことが重要であり、そのためには津波現象を忠実に再現可能な解析と可視化を可能とするシステムの構築が重要となる。このため、本研究では、津波シミュレーションとしてはVOF法による自由表面流れ解析に基づく3次元津波シミュレーション手法を採用し、高精度に作成された都市モデルを用いて高品質に可視化するシステムの構築を行った。数値解析例として、東北地方太平洋沖地震津波時の浸水再現解析を実施し、可視化に際しては、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。このように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提案することを目的とする。

2. 浸水解析

宮城県気仙沼市鹿折地区を検討対象地点として、東北地方太平洋沖地震津波の浸水再現解析を実施した。浸水計算は清重⁷⁾の手法⁷⁾を参考として、波源～検討域付近に渡る広域を従来の平面2次元解析にて行い、さらに検討域付近の狭領域については、高精度な3次元解析を用いることでより詳細な水面形の再現を行った。

(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)⁸⁾を用い、Mansinha and Smylieの手法⁹⁾を用い断層パラメータより初期水位変動を計算した。

津波波源からの計算は、線形および非線形長波解析¹⁰⁾を差分スキームで離散化して検討域までの津波の伝播・浸水解析を実施した。(1)～(3)に非線形長波方程式の支配方程式を示す。(1)式は連続の式、(2)、(3)式はそれぞれx方向、y方向の運動量保存式を示し、海底摩擦項も含む。なお、(2)、(3)両式の左辺第2項と第3項が移流項であり、

これを消去し第4項の圧力の項のDをhに近似したものが線形長波理論となる。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2 M \sqrt{M+N}}{D^{7/3}} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2 N \sqrt{M+N}}{D^{7/3}} = 0 \quad (3)$$

ここで、 η ：水位、 M, N ：x, y 方向の線流量、 D ：全水深 ($h+\eta$)、 n ：マンニングの粗度係数、 g ：重力加速度である。

計算フローを図-2に示す。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-3に初期波源分布と計算領域（広領域）、図-4に計算領域（狭領域）、表-1に解析条件を示す。また、Manningの粗度係数は津波伝播過程では一律で0.025とし、遡上域では表-2のように設定した。

数値計算より求められた津波浸水範囲と実際の現地での津波浸水範囲の比較を図-5に示す。この結果、検討域における津波の浸水範囲や浸水状況は、本計算で妥当に再現できたといえる。

図-2 プログラムの流れ

図-3 津波波源分布と計算領域（広領域）

図4 計算領域（検討域付近）

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	
37.5m		
12.5m		陸上遡上

表-2 粗度係数の設定値

土地利用	粗度係数
住宅地	0.040～0.080
工場地等	0.040
農地	0.020
林地	0.030
水域	0.025
その他(空地,緑地)	0.025

図-5 津波浸水範囲の比較（気仙沼市東北太平洋沖地震津波浸水図^{11）}との比較）

(2) 3次元解析

検討地域に対しては、さらにCADMAS-SURF/3D¹²⁾による高精度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。その他、地形構造物に対しては、ポーラスモデルを用いて形状近似精度を高め、セル単位で任意の位置に構造物や境界条件を設定することが可能である。造波モデルとしては、造波ソースを用い、境界条件としては、無反射モデルとしてSommerfeldの放射境界とエネルギー減衰帯が採用されている。また、気泡及び水滴の処理としては、TimerDoor法が用いられる。壁面境界は、本検討ではスリップとして設定した。以下に支配方程式を示す。なお、(4)式は連続の式を示し、(5)～(8)式はNavier-Stokes方程式を示す。

$$\frac{\partial \gamma_x u}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_y v}{\partial y} + \frac{\partial \gamma_z w}{\partial z} = \gamma_v S_p \quad (4)$$

$$\lambda_v \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial \lambda_x uu}{\partial x} + \frac{\partial \lambda_y vu}{\partial y} + \frac{\partial \lambda_z wu}{\partial z} = -\frac{\gamma_v}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \gamma_x v_e \left(2 \frac{\partial u}{\partial x} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \gamma_y v_e \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \gamma_z v_e \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right\} - \gamma_v D_x u - R_x + \gamma_v S_u \quad (5)$$

$$\lambda_v \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial \lambda_x uv}{\partial x} + \frac{\partial \lambda_y vv}{\partial y} + \frac{\partial \lambda_z wv}{\partial z} = -\frac{\gamma_v}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \gamma_x v_e \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \gamma_y v_e \left(2 \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \gamma_z v_e \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right\} - \gamma_v D_y v - R_y + \gamma_v S_v \quad (6)$$

$$\lambda_v \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial \lambda_x uw}{\partial x} + \frac{\partial \lambda_y vw}{\partial y} + \frac{\partial \lambda_z ww}{\partial z} = -\frac{\gamma_v}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \gamma_x v_e \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \gamma_y v_e \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \gamma_z v_e \left(2 \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right\} - \gamma_v D_z w - R_z + \gamma_v S_w - \frac{\gamma_v \rho^* g}{\rho} \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} \lambda_v &= \gamma_v + (1 - \gamma_v) C_M \\ \lambda_x &= \gamma_x + (1 - \gamma_x) C_M \\ \lambda_y &= \gamma_y + (1 - \gamma_y) C_M \\ \lambda_z &= \gamma_z + (1 - \gamma_z) C_M \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

ここで、 t ：時間、 x, y ：水平方向座標、 z ：鉛直方向座標、 u, v, w ： x, y, z 方向の流速成分、 ρ ：規準密度、 ρ^* ：浮力を考慮する密度、 p ：圧力、 v_e ：分子動粘性係数 ν と渦動粘性係数 ν_t の和、 g ：重力加速度、 γ_v ：空隙率、 $\gamma_x, \gamma_y, \gamma_z$ ： x, y, z 方向の面積透過率、 C_M ：慣性力係数、 D_x, D_y, D_z ：エネルギー減衰帯のための係数、 R_x, R_y, R_z ：多孔質（ポーラス）からの抵抗力、 S_p, S_u, S_v, S_w ：造波ソースのためのソース項とする。

計算地形は、国土地理院基盤地図情報（数値標高モデル）（5mメッシュ（標高）（2012.10.1更新版））¹³⁾を基本に一部に嵩上げ後の計画地盤高を反映させた地形を用いた。加えて、航空写真から判別した陸域の構造物を階層別にモデル化したものを付加した。構造物モデル化前後の計算地形を図-6に示す。

入射波は、図-7に示す平面2次元解析から得られた鹿折地区前面(図-4参照)での水位・流速時系列データを用い、造波ソースによる無反射境界として入射させた。

図-6 構造物の地形への反映

図-7 CADMAS/SURF-3Dで用いた水位時刻層
(平面2次元解析より得られた水位時刻層)

図-8 計算格子設定

表-3 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

図-9 CADMAS-SURF/3Dにおける浸水状況
(津波発生60分後)

検討範囲は図-4に示した平面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。CADMAS-SURF/3Dにおける計算領域の平面図および断面図を図-8に示す。なお、鉛直方向は格子サイズを5倍として表示した。計算格子間隔は水平方向は Δx 、 Δy ともに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ため、解像度を上げて $\Delta z = 1.0\text{m}$ とした。解析条件を表-3に示す。なお、東日本大震災で見られたような盛土下のボックスカルバートや橋梁を透過しての浸水は計算格子サイズを細かく設定することで再現可能である(例えば有川ら¹⁴⁾)ものの、計算負荷低減のため本研究では考慮していない。同様に、陸上施設の破壊に関しては計算上考慮していない。

図-9に最大浸水時である地震発生60分後のCADMAS-SURF/3Dによる津波浸水解析結果を示す。津波浸水範囲は、地形モデル化の際、平面2次元解析と異なり計算格子を5mメッシュとしたことや陸上構造物の破壊を考慮していないこと、現地盤の嵩上げを考慮した影響から、平面2次元計算と比較し小さくなった。しかしながら、全体としては浸水状況を良好に再現できたものといえる。

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手法の構築を行った。本論文では、通常行われる計算に用いた格子を可視化にも用いるのではなく、その格子を基に建物および地形形状に適合した新たな非構造格子を作成し、計算結果を写像したうえで、テクスチャマッピング手法やCG効果を付加して避難者視点に立った高品質な可視化画像の作成を行う。可視化は従来の手法に加え、以下の(1), (2)の手法を付加し高品質化した。図-10に可視化手順のフローチャートを示し、以下に各手順を説明する。

(1) 建物・地形データの修正と可視化用メッシュの作成

津波浸水解析に用いた計算格子は、図-11に示すように構造格子であるため、実際の構造物の幾何学的形状を正確に表現するには限界がある。また、計算格子のセル中心の標高値を用いて建物・地形の形状を表現すると、図-12に示す通り、建物の側面が台形形状となる。このため、この計算格子から得られる建物形状を浸水データと重ねて表示した場合に浸水面と建物壁面との間に不自然な隙間が生じることとなる。そこで、本研究では計算

図-11 計算に使用した格子の表面形状

格子のセル中心のデータを用いて建物の形状データを抽出し建物形状を修正し矩形化し、別途、可視化用の格子として構造物の幾何形状の適合性に優れる非構造格子を作成した。

図-12 格子の表面形状の詳細

a) 建物・地形の形状データの抽出

計算セル中心の標高データは、陸地の格子点は前章で示した国土地理院基盤地図情報データ（5m メッシュ）により与えられ、構造物の高さ情報は図-13に示すように航空写真から建物の階数データを5m間隔で推定し、1階あたりの高さを3mと仮定して与えた。

図-14に上空から見た格子点位置を示している。図中、赤丸が図-13の階数値データが与えられているセル中心点であり、図-12の建物上面の格子点を示す。建物の側壁が鉛直となるように、階数値が与えられているセル中心点を囲む4点（青丸）を新たに設定し、鉛直方向に赤丸の点と同じ高さデータを持つ節点（合計8点）を定義して、構造物形状を表す節点を再構築した。一方、地表面に対しては、計算格子のセル中心点を用いて、三角形の非構造格子で覆うものとした。地表面と構造物表面を合成したモデルを図-15に示す。図より構造物側壁が鉛直形状となり不自然さが解消されていることが分かる。

図-15に示す構造物表面に対して、次項で述べるテクスチャマッピングを行う。

図-13 建物の階数値データ

図-14 新節点の設置と新たな建物形状

図-15 新たな地表面と建物の形状データ

b) 水表面データの抽出

a)により作成された新たな格子点と津波遡上計算において水位の情報が得られるセル中心点を用いて、非構造格子に基づく可視化用メッシュを作成する。図-16に水表面の可視化用非構造格子を示す。図中、白い三角形は建物形状を浸水データと重ねて表示した場合に生じる隙間の領域であり、構造格子の場合には全ての構造物境界に層状に発生していたの隙間領域が、非構造格子を用いることで凹部領域に僅かに残るのみとなることがわかる。また、非構造格子への計算結果の写像は、線形補間を用いている。

図-16 可視化用非構造格子データ

(2) テクスチャマッピング

a) 建物・地形

前項において作成した建物および地表面に対して、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-17に示す。

図-17 建物・地形のテクスチャマッピング

図-18 津波水表面のテクスチャマッピング（上：テクスチャを使用していない，中：地形に航空写真を使用，下：浸水表面にCG効果を付加）

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0.5の等数値面を、図-15に示す非構造格子の節点上の点で評価して水表面として設定した。この際、(1)において新たに発生した節点での値は、セル中心点の値から線形補間により評価した。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ーデータを作成する。

図-18にテクスチャーマッピングによる津波画像の違いを示す。図-18(上)は、可視化に計算格子と同じものを用いたもので、構造物形状が正確に反映されていないことがわかる。また、テクスチャーマッピングを用いていない。一方、図-18(中)は、地形データに航空写真によるテクスチャー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-18(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。

(3) 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、空の色や雲等などもCGで与えた。

図-19に上記処理を施した津波浸水時の画像例を示す。

図-19 CG効果の追加

(4) 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¹⁵⁾を用いて、レイヤーを重ね合わせた。図-20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。

図-20 津波浸水時の避難路 (俯瞰動画の1シーン)

(5) 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-21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。また、これらの動画は、3次元の立体視が可能な変換ソフトを用いることにより立体動画の作成が可能である。

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¹⁶⁾。

図-21 津波浸水時の避難者視点の動画例

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次元解析を行い再現した。浸水状況や浸水範囲は妥当に再現された。

・可視化に際して、建物および地形形状に適合した非構造格子を作成し、それに結果を写像した上で、テクスチャ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効果を付加することでフォトリアリスティックな津波浸水画像を作成することが可能となった。

・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可能であるものの、地域防災教育上の観点では、災害に対し固定観念化のおそれがあるため、使用に際し十分に注意が必要である。

・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、避難ルートを設定可能である。また、3次元映像変換技術により、立体映像を提示することが可能であり、地域住民の津波からの避難教育などに有用なツールが構築できたといえる。

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) 南伊豆町：南伊豆町港地区防災マップ（地震時），
<<http://www.town.minamiiizu.shizuoka.jp/docs/2013031200323/files/minamto1.pdf>>, 1p., (入手 2014.10.23) .
- 2) 富田孝史, 高川智博：沖合津波観測データを利用したリアルタイム津波ハザードマップシステムの開発, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.70, No.2, I_55-I_60, 2014.
- 3) 檜山和男：VR 技術の進歩とその 3 次元数値シミュレーションへの応用, 土木技術, Vol.68, No.7, pp.53-58, 2013.
- 4) 有光 剛, 小野 浩, 大江一也, 出口 恭, 川崎浩司：陸上構造物を考慮した遡上計算結果を用いた津波波力算定方法の適用性, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.70, No.2, I_786-I_790, 2014.
- 5) 高橋研也, 前田勇司, 西畑 剛, 古牧大樹：陸上構造物に作用する津波波圧と波向の影響に関する実験的研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.70, No.2, I_306-I_310, 2014.
- 6) 廣瀬通孝：バーチャルリアリティ, 産業図書, 302p., 1993
- 7) 清重直也, 吉次真一, 大久保佳美, 河原和文, 西畑剛, 伊野 同, 琴浦 毅：島根原子力発電所における浸水解析結果を用いた津波防波壁の設計, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.70, No.2, I_307-I_312, 2014.
- 8) 東北大学：東北地方太平洋沖地震を対象とした津波シミュレーションの実施 東北大学モデル(version1.1), <http://www.tsunami.civil.tohoku.ac.jp/hokusai3/J/events/tohoku_2011/model/dcre_ver1.1_111107.pdf>, 6p., (入手 2014.10.23) .
- 9) Mansinha, L. and Smylie, D. E. : The displacement fields of inclined faults, Seismol. Soc. Amer., Vol.61, pp.1433-1440, 1971.
- 10) 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, 第 45 巻, pp.356-360, 1998.
- 11) 気仙沼市：気仙沼市東北太平洋沖地震津波浸水図, <http://www.city.kesenuma.lg.jp/www/contents/1253258421312/files/shinsuimap_20110311.pdf>, 1p., (入手 2014.10.23) .
- 12) 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, 235p., 2010.
- 13) 国土地理院：基盤地図情報サイト, <<http://www.gsi.go.jp/kiban/>>, (入手 2014.10.23) .
- 14) 有川太郎, 渡邊政博, 窪田幸一郎：津波による橋梁の安定性に関する検討, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.69, No.2, I_911-I_915, 2013.
- 15) Lumion 3D : <<http://lumion3d.com/>>, (入手 2014.10.23) .
- 16) 川辺赳史, 檜山和男, 宮地英生, 岩塚雄大, 古牧大樹, 西畑剛：可聴化技術を用いた津波疑似体験システムの構築, 土木情報学シンポジウム講演集, Vol.39, pp.205-208, 2014.

(2014. 10. 27 受付)

STUDY ON 3D NUMERICAL ANALYSIS AND VISUALIZATION ON TSUNAMI INUNDATION FOR LOCAL DISASTER MITIGATION EDUCATION

Yuudai IWATSUKA, Daiki FURUMAKI, Takeshi NISHIHATA,
Takeshi KAWABE and Kazuo KASHIYAMA

In this study, we proposes the complex tool for local disaster prevention education by combining the tsunami numerical simulation and high quality visualization. we conducted the numerical simulation and its visualization about tsunami caused by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake in a partial area of Kesenuma-city, Miyagi. For our numerical models, we adopted planer 2D tsunami propagation model based on shallow water theory and 3D tsunami inundation model by directory solving Navier-Stokes equation. We converted the numerical results into the evacuator's view by using the texture mapping of the aerial photo and adding CG effect of the water surface, we realized the photographic visualization through which the residents can intuitively comprehend the disaster. It turns out to be useful to the education and training of tsunami evacuation.