

# 津波被害のイメージ力を向上させる 津波動的ハザードマップ

## TSUNAMI DYNAMIC HAZARD MAP TO ENHANCE TSUNAMI DAMAGE IMAGING

富田孝史<sup>1</sup>・本多和彦<sup>2</sup>

Takashi TOMITA and Kazuhiko HONDA

<sup>1</sup>正会員 工博 港湾空港技術研究所 津波防災研究センター (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

<sup>2</sup>正会員 工修 港湾空港技術研究所 津波防災研究センター (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

Tsunamis cause various damages, resulting in a heavy toll in human live in many areas. From post tsunami surveys, it is also confirmed that some coastal and harbor structures, sand dunes and coastal vegetations can reduce the tsunamis behind them and mitigate disasters there. To prevent and mitigate tsunami disasters especially in the area that a tsunami comes soon after an earthquake occurs, structural measures to control tsunamis and non-structural measures to save human lives should be integrated depending on topographic, social, economical and cultural characteristics of the area.

In this paper, a dynamic hazard mapping technique is developed to help the understanding of vulnerable areas against not only the worst tsunami in the area but possible tsunamis and the enhancing of people's tsunami awareness to increase preparedness against possible tsunamis.

**Key Words :** *Tsunami, dynamic hazard map, visualization, numerical simulation, damage, inundation, velocity, wave pressure*

### 1. はじめに

津波災害の防止・軽減には、地域の特性にあったハードおよびソフト対策を構築する必要がある。そのために、想定される津波による浸水域や最大浸水深、津波到達時刻等を示した津波ハザードマップが地方自治体によって整備されてきている。

とくに人的被害を防ぐためには、地域住民等の迅速な避難が不可欠である。気象庁は、地震後速やかに津波警報等を発表し、国民に津波の危険性を示してきているが、後述するように、津波警報等や地方自治体による避難指示・勧告が発表されても、住民等が避難しないという問題が実在する。

また、地震発生から数分で津波が来襲することが予想される地域では、迅速に避難できるような避難所の配置に加え、防護構造物、堅牢な建物群などの津波を低減させるハード対策も有効である。実際、防護構造物等により津波被害が軽減した事例は少なくない。しかし、津波ハザードマップの作成では、構造物による防護性能は機能しないものとして最悪規模の被害想定を行うことがある。ハード対策の防護機能を考慮して人的被害ゼロを目指した総合的な津波防災対策の検討も必要であると思われる。

本研究では、地域において想定される最悪規模の

津波等に対する津波ハザードマップを補完し、その地域で起こりうる津波被害をイメージする能力を向上させるために、コンピュータを使用した動的ハザードマップを開発することを目的とした。これは、住民の防災意識向上だけでなく、地域の特性に合った総合的な津波防災の検討にも有効であると考えられる。

### 2. 避難しない住民

我が国では、津波警報等が発表されても、避難しない人は少なくない。例えば、2006年11月の千島列島沖の地震により津波が発生した際には、北海道沿岸や関東以北の太平洋沿岸に津波警報や注意報が発表され、これを受けて避難指示や勧告も地方自治体から発表された。特にオホーツク海沿岸には津波2m、北海道太平洋沿岸東部には津波1mの警報が発表された。この時の北海道の住民の避難行動に関する調査結果<sup>1)</sup>によると、北海道全体で避難すべき人のうち57.4%の人が避難しなかった。避難しなかった理由は、身に危険が及ぶような津波は来ないと思ったから、予想される津波の高さが1mまたは2m程度だったからなどである。

住民が避難しなかったのは、このような冬の北海

道だけではない。宮古島・八重山地方に、2002年3月26日と31日にそれぞれ津波2mと1mの警報が発表された際にも、避難しない人は多かった。その理由には2mの津波のイメージがわからない、2m程度の津波であれば防波堤により防げるといったなどである。2004年インド洋津波の前後で、避難しない理由は大きく変わっていないようである。

課題は、避難しない人を避難しようという気にさせることである。例えば、2007年ソロモン諸島沖地震津波の際には、インド洋津波による災害の知識や「海が異常に引いたら丘へ逃げろ」というソロモン諸島の伝承に基づいて住民は迅速な避難をしている<sup>2)</sup>。これは、住民の津波に対する意識向上の大切さを示している。さらに、一部の住民は、沖合から迫ってくる津波を視認して、避難を始めている。わが国でも、実際に津波を見ればほとんどの人は逃げると思われるが、津波を見る前に、すなわち地震があったときや津波警報が発表された時に、自分の身に及ぶ津波を想像できることも避難行動のきっかけとして重要であると考えられる。

### 3. 構造物による津波被害軽減

2004年インド洋津波、2006年ジャワ島地震津波や2007年ソロモン諸島沖地震津波は様々な被害を各所で発生させた。例えば、2mを超える浸水深の津波は、木造やレンガ造の家屋等を破壊した。

しかし、防波堤などの防護構造物、沿岸の盛土や砂丘、沿岸の植生などがそれら背後の津波被害を軽減することも実際にある。写真-1は、インド洋津波に襲われたスリランカのベルワラ漁港の津波後の航空写真と漁港背後の集落の様子を示したものである。現地調査<sup>3)</sup>によると浸水深（津波来襲時の推定天文潮位を基準にした高さ）は港内では2.35mに対して、港外では4.84mである。港内の浸水深を地盤上の浸水深に換算すると0.7mであり、この1m未満の浸水深の津波は、レンガ造の建物を破壊しなかった。漁港には開口幅約90mの防波堤があり、それによって港内に侵入する津波が低減され、その結果として津波被害が軽減した。

また、堅牢な建物は緊急避難所として利用できる。スリランカのカハワでは、浸水深4mの津波が押し寄せ、多くの人々が犠牲になった。しかし、写真-2に示すRCビルの小学校の建物は津波後も残存した。側壁に残る水跡に示されるように1階部分は完全に水没したが2階もしくはそれ以上にいれば助かる可能性は高い。

さらに、ソロモン諸島沖地震津波の現地調査<sup>2)</sup>によると、高さ3~5mの津波が来襲した集落ではほとんどの家屋が流失または損壊する被害が発生した。被災地の家屋の多くは茅葺きや木造であり、津波に対しては脆弱な建物である。しかし、海岸周辺に比べて地盤の高い山裾にあり、地震動に耐え残った高床式住居は津波後も残った。これは津波が住居本体

の下を流れ、住居本体の壁部分には津波波力が作用しなかったからである。また、実際に地震後も残った高床式住居に津波の流れの中から逃げ込んだ人もいた。

このように構造物の中には、津波を低減し、被害を軽減する機能を有し、または緊急避難所として利用可能なものもある。構造物の耐津波安定性や津波被害軽減機能を評価して、総合的な防災対策につなげることも重要である。

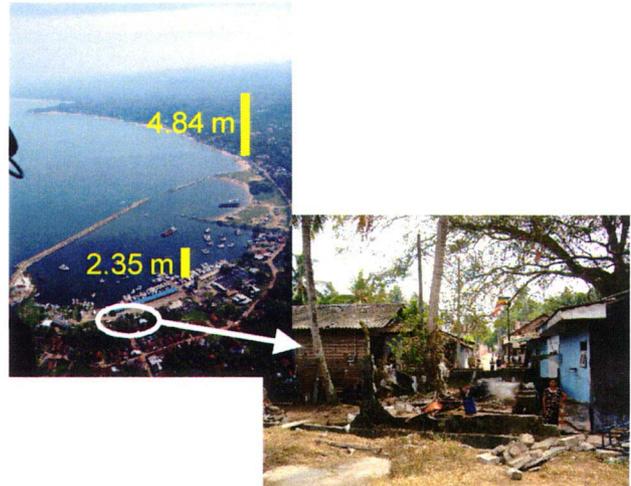


写真-1 スリランカ・ベルワラ漁港における津波被害軽減



写真-2 スリランカ・カハワの津波後も残った建物

### 4. 津波被害推定のための数値計算モデル

津波計算によく使用される数値計算モデルは、極浅海波理論に基づいた平面2次元モデルである。このモデルは、海岸に来襲する津波などの計算に多くの実績がある。

しかし、水深方向に一樣な流れとして津波を解析するこのモデルは、流体に鉛直方向の加速度が生じるような場所には基本的には適用できない。例えば、防波堤開口部の潜堤上を通過する津波の模型実験結果と比較したFujima, et al.<sup>4)</sup>や1993年北海道南西沖地震津波による奥尻島の最大遡上高さを検証した模型実験結果と比較した米山ら<sup>5)</sup>が示しているように、そのような場合は非静水圧の3次元モデルにより精度高く計算可能である。

本研究では、港湾空港技術研究所がこれまでに開発してきている高潮津波シミュレータSTOC<sup>6)</sup>を使って津波計算を行った。この数値計算では、大領域かつ詳細な津波計算を効率的に行うために、構造物と干渉するような臨海部の津波を解析するためのSTOC-ICと、大洋を伝播する津波を計算するためのSTOC-MLを接続した。

STOC-ICは、非静水圧の3次元の流動を対象として、式(1)の連続式と式(2)~(4)に示す渦動粘性モデルを組みこんだRANS方程式を基礎方程式とする。

$$\frac{\partial}{\partial x}(\gamma_x u) + \frac{\partial}{\partial y}(\gamma_y v) + \frac{\partial}{\partial z}(\gamma_z w) = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \gamma_v \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\gamma_x uu) + \frac{\partial}{\partial y}(\gamma_y vu) + \frac{\partial}{\partial z}(\gamma_z wu) - f_0 v \\ = -\gamma_v \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}(\gamma_x v_e 2 \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \gamma_y v_e \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right\} \\ + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \gamma_z v_e \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right\} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \gamma_v \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\gamma_x uv) + \frac{\partial}{\partial y}(\gamma_y vv) + \frac{\partial}{\partial z}(\gamma_z wv) + f_0 u \\ = -\gamma_v \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \gamma_x v_e \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \gamma_y v_e 2 \frac{\partial v}{\partial y} \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \gamma_z v_e \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right\} \\ \gamma_v \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\gamma_x uw) + \frac{\partial}{\partial y}(\gamma_y vw) + \frac{\partial}{\partial z}(\gamma_z ww) \\ = -\gamma_v \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \gamma_x v_e \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right\} \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \gamma_y v_e \left( \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \gamma_z v_e 2 \frac{\partial w}{\partial z} \right\} \end{aligned} \quad (4)$$

ここに、 $x, y$  および  $z$  はデカルト座標系、 $u, v$  および  $w$  はそれぞれ  $x, y$  および  $z$  方向の流速、 $\rho$  は流体の密度、 $p$  は圧力、 $g$  は重力加速度、 $v_e$  は渦動粘性係数、 $f_0$  はコリオリのパラメーターである。 $\gamma_v$  は液相体積率（計算セル内を占める液相の体積率）、 $\gamma_x, \gamma_y$  および  $\gamma_z$  はそれぞれ  $x$  軸、 $y$  軸および  $z$  軸に直交する面の面透過率（計算セル各面を占める液相の面積率）であり、地形変化や構造物の形状を滑らかに捉えるために導入したポーラスモデル<sup>7)</sup>である。

STOC-ICを数十km<sup>2</sup>の広がりをもつ港湾などに適用できるように、式(5)に示す連続式を鉛直方向に積分した式から水表面の位置を算出する手法<sup>4)</sup>を採用した。このために、碎波は再現できないが、数m程度の比較的大きな計算格子が使用できる。

$$\gamma_v \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \int_h \gamma_x u dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_h \gamma_y v dz = 0 \quad (5)$$

ここに、 $h$  は水深、 $\eta$  は水面変動である。

また、渦動粘性モデルは、水理模型実験との比較

から<sup>6)</sup>、実験結果をよく再現した式(6)に示すSGSタイプのモデル<sup>4)</sup>を使用することを基本とした。ただし、 $v_e$ を水平方向と鉛直方向に分けて、それぞれに定数を代入することも可能である。

$$v_e = \left( C_s \sqrt{\Delta x \times \Delta y \times \Delta z} \right)^2 \sqrt{\left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)} \quad (6)$$

ここに、上式は縮約規則により表記されており、 $\Delta x, \Delta y$  および  $\Delta z$  は各方向の計算格子サイズ、 $C_s$  は係数で0.2である。

STOC-MLは、準3次元の多層レベルモデルであり、計算領域を鉛直方向に多層に分割し、各層で静水圧を仮定する。静水圧を仮定することにより圧力計算を行わなくても良いので、計算負荷はSTOC-ICに比べて非常に少ない。特に津波の場合では、これまでの平面2次元モデルによる計算と同様に基本的には1層としている。基礎方程式は圧力の取り扱いおよび式(6)以外はSTOC-ICと同様である。

## 5. 計算結果の例

### (1) 計算の概要

#### a) 計算モデル

インド洋津波により被害を受けたスリランカの南部都市ゴールを計算対象にした。あらかじめ他の数値計算モデルとの比較を行い<sup>3)</sup>、STOC-MLの適用性を確認して、以下の計算を行った。なお、ゴールの中心部（後述する第8領域）にSTOC-ICを適用した計算も行った。STOC-ICの場合には鉛直方向に9層に分割し、層厚は水面付近で1.0mとし、海底に近づくに従い2.0m、4.5mと層厚を増大させた。

#### b) 水深、地形および構造物データ

沖合の水深には大洋水深総図(GEBCO)の1分間隔データを、沿岸では1/312,000~1/10,000の海図（米国製）から読みとった水深を使った。なお、座標系は、スリランカ周辺で歪みが少ないように東経81°を基準経度にしたUTM座標系である。

波源域からゴールに向けて次に示す8段階の計算領域接続を行った。第1領域は波源域、ベンガル湾およびモルディブを含む約3,100km×3,100kmの範囲で、計算格子サイズは3,645mである。これから順次計算格子サイズを1/3に小さくしながら、ゴール沿岸の3km×2.4kmの範囲に格子サイズ5mの第7領域、街の中心部周辺の1.25km×1.25kmの範囲に格子サイズ2.5mの第8領域を設定した。

陸上地形は、スリランカ政府による1/10,000のデジタルマップを使用した。このデータには建物データも含まれているので、計算上でも建物を津波の流れを阻害する構造物として考慮した。ただし、建物の高さはすべて地表面から5mとした。また、比較のために、小谷らの粗度係数<sup>8)</sup>により建物の存在を考慮した計算も行った。この場合は、建物がある計

算格子には高密度居住区用のマニングの粗度係数  $n=0.08\text{m}^{-1/3}\text{s}$  を設定した。建物等が無い計算格子の粗度係数は、すべての計算ケースにおいて田畑地に適用される  $n=0.02\text{m}^{-1/3}\text{s}$  を与えた。

### c) 断層モデル

大家ら<sup>9)</sup>による6個の小断層で構成される断層を、人工衛星 Jason-1 がとらえたインド洋を伝播する津波やスリランカにおける津波を説明するために著者らが修正した断層モデル<sup>10)</sup>を使用した。

## (2) 浸水に関する計算結果

図-1 および図-2 は、それぞれ建物を考慮した場合と粗度係数を使った場合の最大浸水深分布を示している。両者を比較すると、建物を考慮した場合の方が浸水域は狭くなり、内陸部では浸水深も浅くなっている。これは、陸上の建物などの構造物によって津波の遡上が弱められたことを示している。一方、図-1 の港内の東側にある☆付き矢印で示した周辺では建物群の周辺で津波の反射などにより局所的に浸水深が深くなっており、建物を考慮した場合には浸水深は 2.2m 程度に対し、粗度係数の場合には 1.8m 程度である。

図-1 の中の四角で囲まれる第 8 領域に STOC-IC を適用した計算結果は図-1 とほぼ同じであり、最大浸水深分布には非静水圧の効果は認められなかった。前述したように Fujima et al., 米山ら、さらに著者らの検討<sup>6)</sup> から、潜堤等の構造物を越流する、あるいは地形急変部を遡上する津波は非静水圧モデルにより高い精度で再現されたので、今回の計算で非静水圧の効果が顕著に現れなかったのは、対象とした地域が平坦であり、かつ構造物を顕著に乗り越える津波でなかったことが原因であると考えられる。

なお、日本政府現地調査団の報告書<sup>11)</sup>に記載された実際の浸水域と比較すると、図-2 は浸水域を過大に評価し、図-1 の方が一致度は高かった。

このように津波によって破壊されない建物を計算上に反映させることにより、それらによる津波低減を考慮することが可能である。

## 6. 計算結果の表示手法

### (1) 動的ハザードマップ

津波の計算結果を表示する手法として、紙面上に示されるハザードマップだけでなく、浸水状況の時々刻々の変化をみることができるカラー動画や航空写真等と重ね合わせた3次元動画も実用的に使用されている。これらのような動的な表示により、浸水過程を容易に把握することが可能である。しかし、このようなCGは一度作ってしまうと視点を変えることや異なる津波条件の結果を示すことはできない。また、例えば、避難の可否は、浸水深だけでなく流速にも依存するため、津波対策を検討するには、流速の情報も重要になる場合がある。

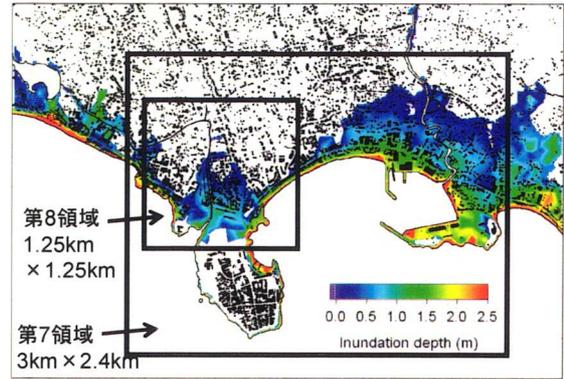


図-1 STOC-MLによる最大浸水深（建物を考慮）

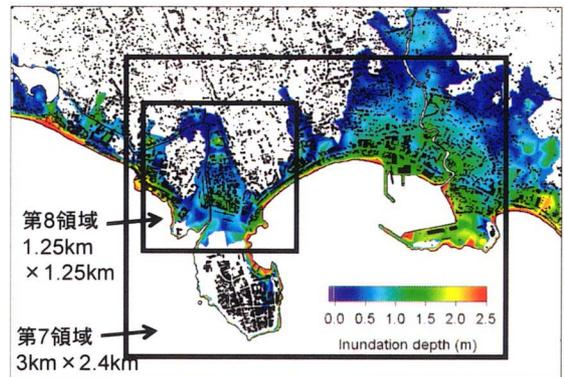


図-2 STOC-MLによる最大浸水深（粗度係数を使用）

そこで、本研究では、以下に示す事項に配慮して新しい動的ハザードマップを開発した。

- ・ユーザーの希望する視点や視線方向で結果を見ることが可能である。
- ・異なる条件の計算結果があれば、そのデータを入力することにより、結果を表示可能である。
- ・ユーザーの希望に応じて、浸水状況だけでなく流速や波圧を表示することが可能である。

開発した動的ハザードマップは、ノートパソコンでも表示可能としたので、任意の場所において結果を表示することが可能である。図-3～図-7 に動的ハザードマップの代表的な表示例をスナップショットにて示す。なお、図は論文の制約によりモノクロであるが、実際のものにはカラー表示である。

図-3 および図-4 は、津波の来襲状況や浸水域の変化の表示例であり、図-3 が遠景から見た港湾域全体の様子、図-4 がある地点の浸水状況を見るために対象地点に視点を近づけた時の表示例である。海面の見せ方には図-3 のように水面ポリゴンで表す方法と図-4 のように色で表現する方法を選択可能である。また、両図において港湾内を見る方向が異なっているように、視線方向を変化させることができる。このように、遠景から近景まで、そして視点などを任意に変化させることができるので、ユーザーの希望に対応した表示が可能である。

図-5 は、流速の結果を示したものであり、流速ベクトルの変化に対応して矢印の長さおよび向

きに変化する。これにより、どこに、どのようなタイミングで速い流速が現れるのかなどが把握できる。

図-6 は、非静水圧モデルで計算したときに直接的に得られる津波の波圧を円で示したもので、波圧の大きさに従って円の半径や色が変わる。これにより大きな波圧が生じる場所などが理解しやすい。なお、STOC-ML などのように波圧を計算しないモデルで計算した場合は、波圧データは表示できないが、浸水や流速は上記のように表示できる。

なお、流速や圧力については、数値計算で得られる所定の深さ位置での結果を表示させることが可能である。ただし、一度に表示できるのは、一つの深さ位置での流速や波圧であるが、別の深さを選択することにより、それを表示させることができる。

浸水深、流速、波圧などの物理量の表示だけでは発生する被害をイメージすることが困難な場合がある。そこで、図-7 に示すような、被害発生域を表示させる機能を持たせた。この図では、一例として木造家屋の半壊が生じ始める浸水深 1m<sup>12)</sup>を被害発生指標として採用し、被害発生域を赤(図では黒)マーカーで示した。なお、本計算では津波により家屋が破壊され、そこを津波が流れることは考慮できていないが、このような表示により市民等が被害発生をイメージする助けになると考えられる。

また、人の安全避難可能限界指標<sup>13)</sup>による被害域を示すことにより、地震発生からどれ程時間が経過したときにどの道路が使用不可になるのかなどの把握も可能である。船舶被害についても、津波高さ 1m 程度になると港内に係留された漁船に被害が発生し始める<sup>14)</sup>という指標も使用できる。

## (2) 動的ハザードマップに必要なデータ

### a) 背景画像に関するデータ

地形や建物など動的ハザードマップに必要なデータは以下のようなものである。

- ・ 海底および陸上を合わせた地形データ：津波計算などで使用した基準高さからの偏差として表した海底面の深さ(水深に相当)と地表面の高さ(標高に相当)のグリッドデータ。
  - ・ 建物データ：次の 2 種類の建物データを読み込むことができる。
    - ① 地形のグリッドデータに合わせた建物の高さデータ。
    - ② 動的ハザードマップの原点に対応した、任意の位置で任意の形状をもった建物データ。建物の実際の配置に合わせる事が可能である。
- 動的ハザードマップの表示上、不可欠なデータではないが、あると有効なデータは次のようである。
- ・ 航空写真データ：これを背景画像として貼り付けることにより、動的ハザードマップのリアリティが向上する。
  - ・ 建物側面のテクスチャデータ：近景を見る際に表示される建物側面にテクスチャデータを貼ることにより、リアリティが向上する。代表的な建物だけにでも適用すると有効である。

### b) 津波表示に関するデータ

最低限必要なデータは、STOC などで計算された、水位の時間・空間変動データである。ほかに流速等のベクトルデータ、波圧等のスカラーデータ、被害発生データがあれば、それぞれ表示することができる。とくに、建物等の損傷などの被害発生データは、

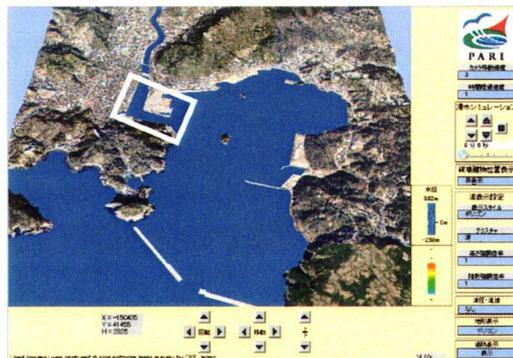


図-3 来襲津波や浸水の遠景表示(ポリゴン表示)



図-4 来襲津波や浸水の近景表示(水位を色別表示)  
(図-3の中の水四角の位置を左上方から俯瞰)

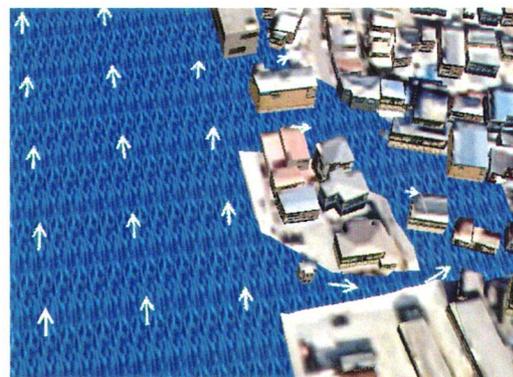


図-5 流速表示(流速を示す矢印を白色で強調)

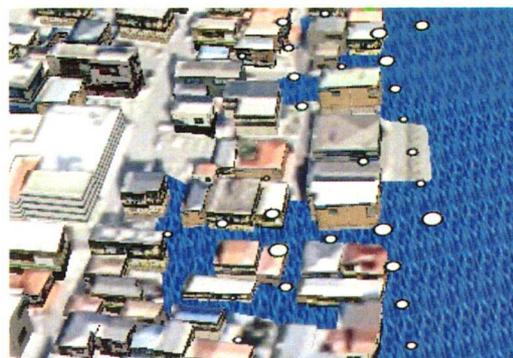




図-7 津波被害域の表示

計算格子の中心点において、被害発生指標に基づいて推定した被害発生時刻のグリッドデータである。

### (3) 動的ハザードマップの特徴と課題

本研究で提案した動的ハザードマップの表示について、国内外の行政担当者、学識経験者などから意見聴取した。以下に主要な意見を示す。

- ① 逃げる時間の無いような場所で、ハード対策を考えなければいけない時に役に立つ。
- ② 住民の住む町のシミュレーションなどは防災意識の向上に役立つ。
- ③ 住民の災害意識の固定化を生む危険性がある。
- ④ 詳細なデータがないのでできない。
- ⑤ 作成費用が高いのでないか。

意見①や②は、動的ハザードマップを開発した目的であり、それが理解されたようである。一方、意見③は数値計算により津波やその被害を推定する際に避けることのできない課題である。これを克服することを目指して、本研究ではコンピュータを使用して様々な条件下での結果を見ることができるようにした。ただし、結果を示すときの住民との対話も重要であると考えられる。また、津波警報等が発表されたにも関わらず大きな被害が発生しなかったときなどに、被害状況や被害が発生しなかった理由を数値計算によって説明することにより、津波に対する防災意識の向上が期待できる。また、意見④や⑤に関しては、少なくとも我が国においては、国土院等が全国の海岸において航空レーザー測量を実施しており、地形の詳細データが入手可能である。発展途上国などにおいては、今後の我が国などの国際協力によるデータ整備が期待される場所である。

## 7. まとめ

本研究では、津波によって生じる被害に関する数値計算結果をユーザーの希望する視点や視線方向などに対応して表示可能な動的ハザードマップを開発した。さらに、これは、計算結果データを変更することにより、異なる津波に対しても結果の表示が可能である。また、数値計算において非静水圧モデル

を使用すれば構造物等に作用する波圧が直接的に計算できるので、その結果を動的ハザードマップに入力することで結果の可視化ができる。

しかし、計算される流速や波圧の精度の検証、津波による家屋等破壊の計算への考慮、漂流物の考慮などの津波計算上の課題、動的ハザードマップにおける表示や使用の仕方に関する課題があり、今後も引き続き改良等を加えていく所存である。

謝辞：本研究の一部は鉄道建設・運輸施設整備支援機構の運輸分野における基礎的研究推進制度平成18年度採択課題「津波災害のプロセスの把握とシミュレーションによる再現に関する研究」の一部として実施した。ここに記して謝意を表す。

### 参考文献

- 1) 群馬大学大学院工学研究科片田研究室：平成18年11月15日千島列島の地震における北海道の行政と住民の津波対応に関する調査報告書、2008。
- 2) 港湾空港技術研究所津波防災研究センター：ソロモン諸島地震津波に関する緊急現地調査報告（速報）、（掲載箇所：<http://www.pari.go.jp/information/news/h19d/1/tunami.htm>）
- 3) 富田孝史，本多和彦，菅野高弘，有川太郎：インド洋津波によるスリランカ，モルディブ，インドネシアの被害現地調査報告と数値解析，港空研資料，No.1110，2005。
- 4) Fujima, K., Masamura, K., Goto, C.: Development of the 2D/3D hybrid model for tsunami numerical simulation, Coastal Eng. J., Vol.44, No.4, pp.373-397, 2002。
- 5) 米山望，松山昌史，田中博好：1993年北海道南西沖地震津波における局所遡上の数値解析，土木学会論文集，705/II-59, pp.139-150, 2002。
- 6) 富田孝史，柿沼太郎：海水流動の3次元性を考慮した高潮・津波シミュレータ STOC の開発と津波解析への適用，港空研報告，第44巻，第2号，pp.83-98，2005。
- 7) 榊山勉，阿部宣行，鹿島遼一：ポーラスモデルによる透過性構造物周辺の非線形波動解析，海岸工学論文集，第37巻，pp.554-558，1990。
- 8) 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。
- 9) 大家隆行，越村俊一，柳澤英明，今村文彦：2004年インド洋大津波によるバンダ・アチェ市街地の津波氾濫解析と被害評価，海岸工学論文集，第53巻，pp.221-225，2006。
- 10) 富田孝史，本多和彦：スリランカにおけるインド洋津波の数値計算による再現に向けて，海岸工学論文集，第53巻，pp.251-255，2006。
- 11) スマトラ沖大地震及びインド洋津波被害政府調査団：調査報告書，2005。
- 12) 首藤伸夫：津波強度と被害，津波工学研究報告，第9号，pp.101-136，1992。
- 13) 須賀堯三：利根川の洪水語り継ぐ流域の歴史，利根川研究会編，山海堂，1995。
- 14) 日本海難防止協会：日本海中部海域における津波発生時の港湾に泊船舶の安全対策に関する調査研究報告書，1998。