

茨城沿岸における津波浸水想定区域調査

THE NUMERICAL SIMULATION FOR TSUNAMI INUNDATION ALONG THE IBARAKI COAST

松浦健郎¹・竹内仁²・中村茂³・秋田善弘³

Takeo MATSUURA, Hitoshi TAKEUCHI, Shigeru NAKAMURA and Yoshihiro AKITA

¹ 非会員 茨城県 土木部河川課 (〒310-8555 茨城県水戸市笠原町 978 番 6)

² 正会員 国際航業株式会社 コンサルタント事業本部 (〒183-0057 東京都府中市晴見町二丁目 24-1)

³ 非会員 国際航業株式会社 コンサルタント事業本部 (〒183-0057 東京都府中市晴見町二丁目 24-1)

In this investigation, numerical simulation for tsunami inundation was performed by using a detailed topographical model along the Ibaraki Coast. As a result, products such as tsunami inundation maps, computer graphic animations, GIS data, etc. were made to be used by local governments for making tsunami hazard maps or promoting tsunami disaster prevention measures.

The tsunami source model of Empo Boso-oki earthquake was adjusted using tsunami run-up heights along the coast evaluated from damage rate of buildings at each village. Furthermore, characteristics of tsunami run-up along the river were examined by numerical simulation, which is carried out under both conditions that the river discharge exists or not.

Key Words : tsunami, simulation, detailed topographical model, disaster prevention measures, GIS

1. はじめに

茨城沿岸は、福島県境から大洗町までの崖と砂浜が混在した海岸と大洗町から千葉県境である利根川までの長大な砂浜海岸から構成されており、北側半分の海岸は阿武隈山地を背後に控え、変化に富んだ海岸地形を持つ区間で、崖に囲まれた砂浜が連続する。南側の 90km 以上の延長をもつ長大な砂浜海岸は背後に砂丘が発達している。

一方、平成 16 年 12 月 26 日に発生したスマトラ島西方沖の地震に伴う津波被害を踏まえ、日本の津波対策においてもソフト・ハード面を併せた早急な整備の必要性が認識されている。茨城沿岸では地震の発生頻度が高い反面、大きな津波が来襲した記録が少ないが、1677 年延宝房総沖地震に伴う津波では 36 名の死者が記録されている。

茨城沿岸が津波の影響を受ける地震の発生場所として、日本海溝、千島海溝が考えられるが、ここでは甚大な津波被害を生じた明治三陸地震、昭和三陸地震、十勝沖地震などが発生してきた。また、宮城県沖地震については、今後 30 年以内に発生する確率が非常に高く、地震の切迫性が指摘されている上、過去の宮城県沖地震に伴って大きな津波が発生したことも知られている。また、現在の技術水準では、いつ・どこで地震が発生するか予測することは困難であり、その他の地震についても、発生までに時間

的な猶予があるわけではない。これらの津波による被災地域の被害を最小限に抑えるための総合的な防災対策を、緊急かつ計画的に進めることが必要である。

本調査は、ソフト・ハードの両面からの総合的な津波対策が求められている重要性・緊急性を考慮し、詳細地形モデルを用いた津波浸水シミュレーションを行い、ハザードマップの作成を始めとする今後の津波防災対策の基礎資料を作成することを目的とした。

2. 調査の内容

(1) 調査概要

本調査では、最新で正確なデータを用いた精度の高い予測を行い、津波シミュレーションを行った。シミュレーションの結果を用いた津波浸水想定区域図、動画 CG 等の作成、またそれらの成果を用いホームページで公開し、津波の災害イメージをわかりやすく示した。調査のながれを図-1 に示す。

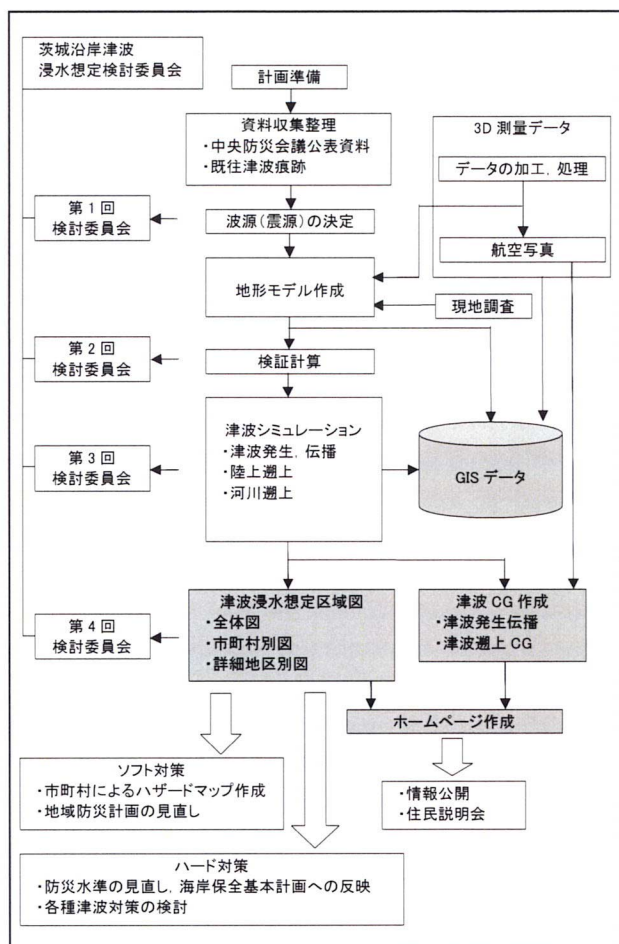


図-1 調査のフロー

(2)調査対象

本調査は、茨城沿岸全域（北茨城市～神栖市）を対象とした。調査対象地域を図-2 に示す。

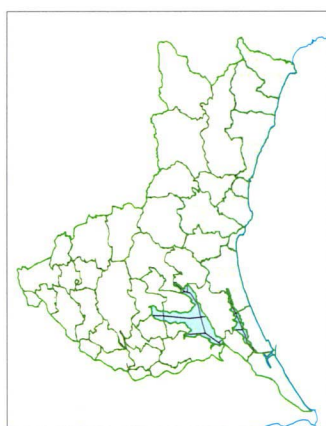


図-2 調査対象（沿岸部）

(3) 波源(震源)の設定

津波災害の予測における外力条件である震源は、茨城沿岸で影響が大きくなることを考慮し、明治三陸タイプ地震、延宝房総沖地震の2震源¹⁾を設定した。震源位置を図-3 に示す。

明治三陸タイプ地震は、中央防災会議の検討で繰り返し性が確認されている地震であり、明治29年

(1896年)発生の明治三陸地震の震源を起りうるレベルで拡大し、想定地震として設定している。本県では、当面のハード対策の目標地震として位置づけられる。

延宝房総沖地震は、繰り返し性は確認されていないが、延宝5年(1677年)に発生し、茨城沿岸の既往最大津波をもたらした。中央防災会議でも検討対象地震の候補として取り上げられ、波源の試算が行われている。この地震で茨城沿岸にもたらされる津波は想定する最大レベルに近いと考えられ、ソフト対策のための目標地震として位置づけられる。



図-3 震源位置

(4) 詳細地形モデル作成

詳細地形モデル作成は、陸域については河道・河川堤防・盛土等の地形データの精度向上のため2mメッシュの3D測量データから作成した。3D測量データは国土地理院提供および本調査によるものを用いた。シミュレーションに用いる地形情報は、格子内の平均的な地盤高を各格子の標高として与えるため、3D測量データで得られた樹木・家屋等のデータをフィルタリング処理により除去した。海域の地形モデル作成には深浅図・漁港平面図・港湾平面図等を活用した。また、空撮オルソ画像(地上解像度1m)で現状を視覚的に認識するとともに全沿岸の現地踏査を行い、海陸境界および道路・鉄道の盛土等施設の整備状況、人工改変の状況などを確認して地形データの作成に活用した。

Manningの粗度係数 n は、土地利用分類と空撮オルソ画像から48mメッシュ単位で陸域の粗度係数を与えた。土地利用分類と粗度係数の関係は小谷ほか²⁾を参考に、表-1のようにした。

計算メッシュ長(格子間隔)は、沖合から沿岸部へと次第に小さくなるように設定した。メッシュは2592m, 864m, 288m, 96m, 48m, 12mとし、一部河川については6mメッシュで計算した。計算に用いたそれぞれのメッシュ配置を図-4に示す。対象地域の津波の伝播・遡上や被害をより正確にシミュレーションするために、沿岸全域を12m(一部6m)で津波シミュレーションを行った。

表-1 Manning の粗度係数 n の設定

土地利用状況	n
海域・水域	0.025
田畑域・荒地	0.02
森林・林地	0.03
低密度居住区(建物密度 20%未満)・工業地・緑地等	0.04
中密度居住区(建物密度 20～50%)	0.06
高密度居住区(建物密度 50%以上)	0.08

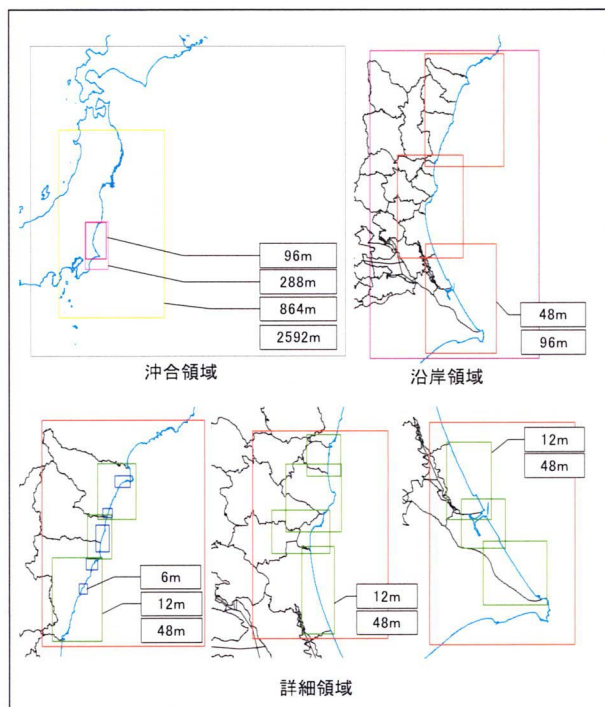


図-4 詳細計算領域の計算範囲

(5) 検証計算

断層モデルより Mansinha and Smylie の方法³⁾を用いて計算を行い、想定地震による垂直地盤変動量を求めた。

延宝房総沖地震については、古記録に記された沿岸村落の建物被害から津波痕跡高を推定し波源モデル調整の検証を行った。検証モデルは、中央防災会議試算の波源モデルの断層のすべり量を 1.0 倍から 1.5 倍の間で調整した。検証は、防災上安全側の想定を行うため、シミュレーションによる各地周辺の最大水位が痕跡高の推定幅の最大を再現できるモデルを採用した。図-5 に示すとおり、すべり量を 1.2 倍にしたモデルでは痕跡高の推定幅の最大に近い値となった。また、すべり量を調整した各計算結果より相田の K- κ 値を計算し痕跡高の再現性を比較したところ、すべり量 1.2 倍のモデルは K 値 1.006、 κ 値 1.221 となり、再現性良好と判断された。これらの理由から、最も良い再現性を示したすべり量を 1.2 倍としたモデルを本調査の想定地震とした。想定地震の断層パラメータを表-2 に、2 地震の垂直地盤変動量分布図を図-6 に示す。

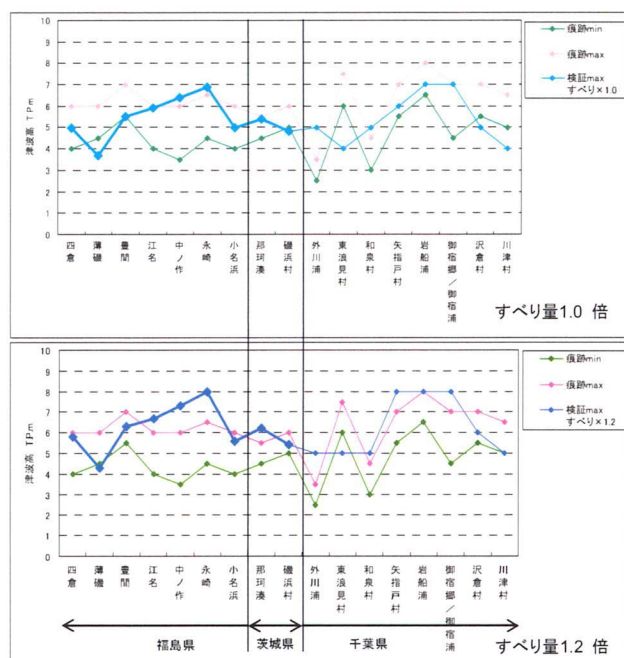


図-5 延宝房総沖地震 津波痕跡高調査

表-2 断層パラメータ

断層パラメータ	想定地震	
	明治三陸タイプ地震※1	延宝房総沖地震※2
地震モーメント M_0 (Nm)	1.00E+22	3.51E+21
モーメントマグニチュード M_w	8.6	8.29
要素断層数	913	972
断層面積 S (km ²)	22903.36	26117.51
平均すべり量 D (m)	深さ 0～10km	9.73
	深さ 10～16km	8.39
	深さ 16～32km	5.23
	深さ 32km～	3.96

※1: 専門調査会提供のデータより記載

剛性率 $\mu: \mu = \rho V_s^2$ 平均すべり量 $D: D = M_0 / \mu S$

V_s および ρ は、専門調査会資料を参考に、以下のように設定

深さ 0～10km $V_s = 3.4$ km/s $\rho = 2.67$ g/cm³

深さ 10～16km $V_s = 3.67$ km/s $\rho = 2.7$ g/cm³

深さ 16～32km $V_s = 3.9$ km/s $\rho = 2.8$ g/cm³

深さ 32km～ $V_s = 4.5$ km/s $\rho = 3.3$ g/cm³

※2: 専門調査会提供のデータより、上記を仮定して算出した(すべり量は 1.2 倍)

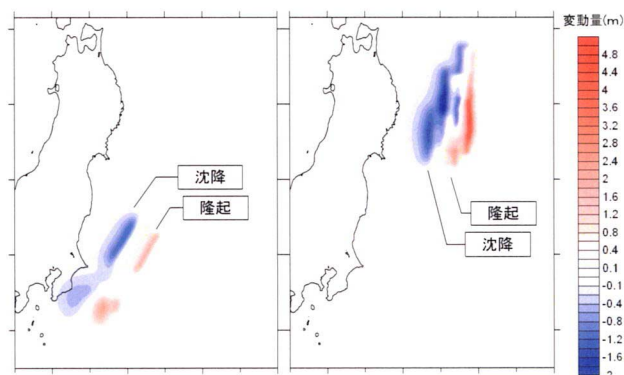


図-6 地盤変動量分布動量分布

(左: 延宝房総沖地震, 右: 明治三陸タイプ地震)

(6) 津波シミュレーション

a) シミュレーションの条件

津波シミュレーションを行い、浸水予測を行った。計算は、最も沖合の領域においては線形長波方程式を、それ以外の領域においては非線形長波方程式を基礎式とし、Leap-Frog 差分法により行った。12m（一部 6m）メッシュでは遡上計算を行い、構造物での越流計算は本間公式を適用した。潮位条件は朔望平均満潮位（T.P+0.70m）とし、Mansinha and Smylie の方法で求めた垂直地盤変動量を加えた水位を初期水位として計算を行った。計算時間は地震発生から 3 時間とした。また、想定する 2 地震はともに茨城県での揺れが強くない（津波地震であったと指摘されている）ため、護岸・堤防などの海岸保全施設は破壊されないものとした。

b) シミュレーションの結果

シミュレーションの結果を図-7 に示す。延宝房総沖地震津波では、海岸における水位が大洗町北部～北茨城市で 6m を超える場所が多く、特に北茨城市北部、日立市南部では 10m 前後まで上がる場所があると予測された。また市街地への浸水も予測された。一方、明治三陸タイプ地震津波では、海岸における津波最大水位は全県でほぼ 2m 前後であり、市街地への氾濫はなく、浸水は港湾・漁港・河川・砂浜等に限定されると予測された。

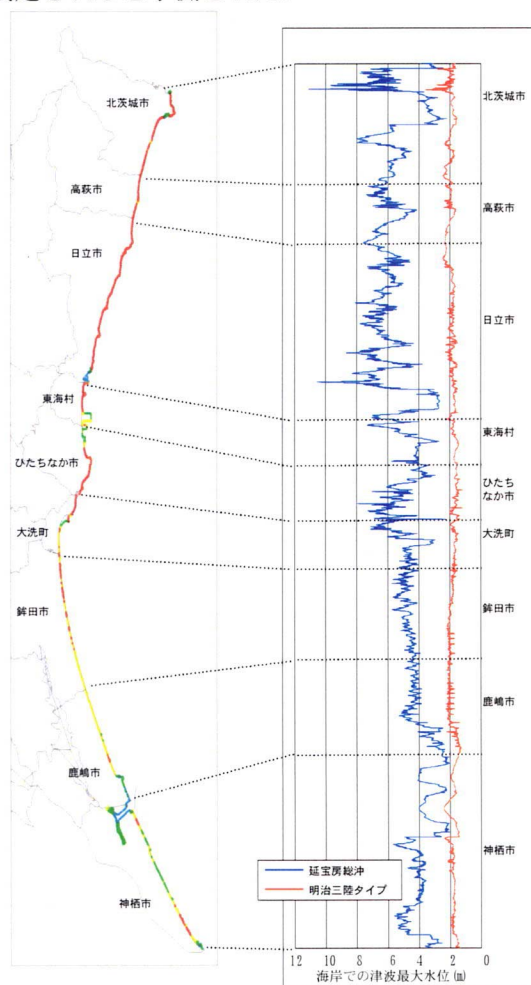


図-7 想定津波の海岸における最大水位予測結果

(7) 河川遡上検討

a) 検討方法

河川流量が津波遡上に及ぼす影響を確認するため、河川遡上の検討を行った。検討対象のモデル河川は大北川（北茨城市）とした。検討は 12m メッシュ（一部 6m）を用いて河川流量を考慮した場合、考慮しない場合の遡上計算を実施して行った。

b) モデル河川の特徴

大北川は流量観測河川であり、縦横断面図も整備されていることから、遡上計算結果の比較を行い、手法適用の可否の検討に適している。当河川は河口砂州が発達しており、砂州は非常によく締まっている。大北橋までは左岸はパラペット状の護岸となっており、右岸堤内地は川根付近まで標高 5m 以下の低地が広がっている。また、花園川合流地点より上流は天端の高い堤防が築かれている。3D 測量データと国土地理院の数値地図 50m メッシュ標高データを合成した、大北川の河口付近の 12m メッシュ地形データを図-8 に示す。

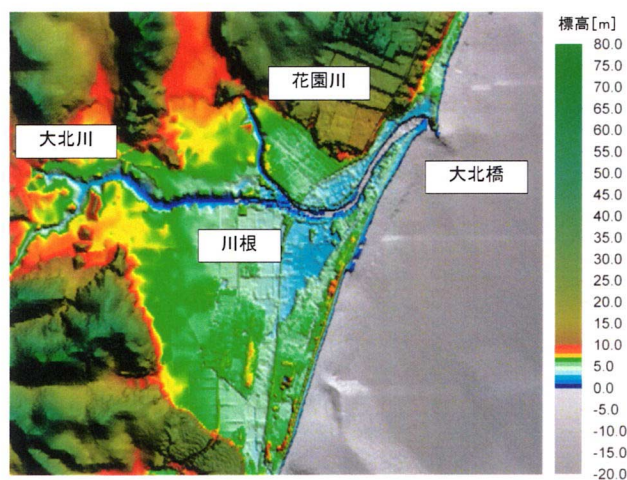


図-8 大北川河口付近の標高データ

c) 河川遡上シミュレーション結果の比較

河川流量を考慮した場合のシミュレーションは、海から河川まで一連のデータモデルで作成し、河川の上流側で津波遡上の影響を受けない地点から平水流量（1.0m³/s）を流し、海の沖側境界を透過境界として川と海が定常状態となるような状態で地震・津波を発生させた。計算に用いた波源は延宝房総沖地震とした。

河川流量を考慮しない場合との結果を比較した。河口付近の陸域への浸水は、図-9 に示すように流量を考慮した場合の方が若干広く、図-10 に示すように水位もやや高くなるメッシュがあったが、浸水メッシュ数の増加は約 0.6%、5cm 以上の差があるメッシュは約 1.2% にとどまるため、浸水程度はほぼ同等であったと判断した。よって堤内での津波浸水域の評価結果には大きな差がないため、本調査では河川流量を考慮しない浸水想定を実施した。

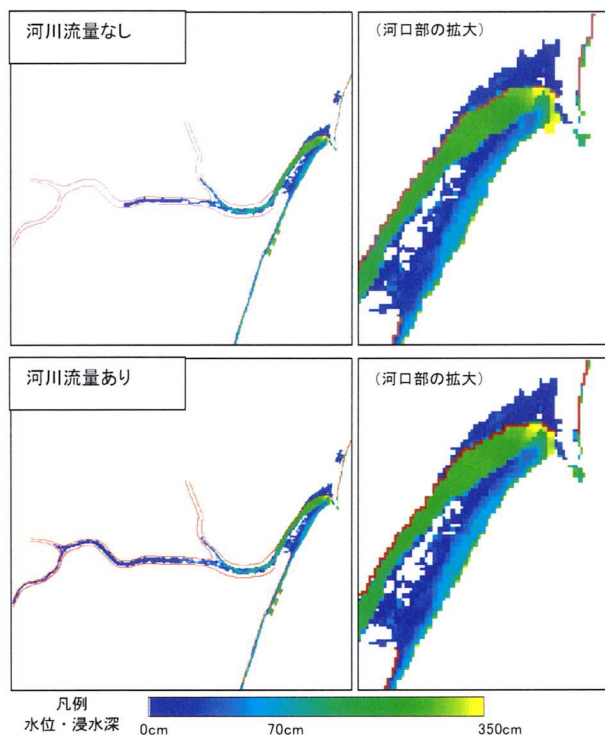


図-9 浸水予測結果

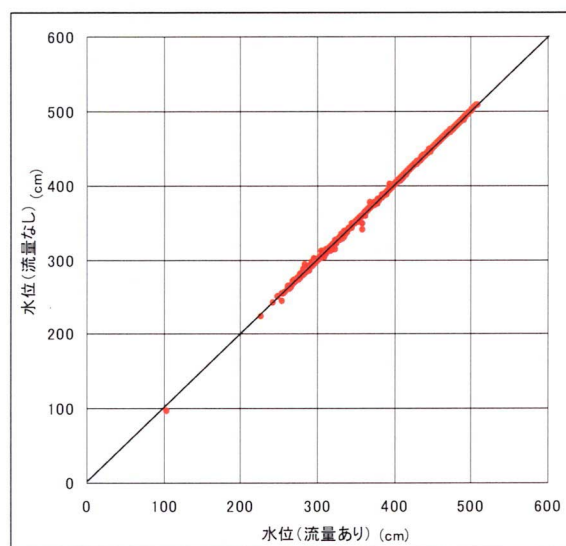


図-10 浸水メッシュの水位の比較

(8) 成果の作成

2つの想定津波の結果を基に、市町村が津波防災対策に活用できる資料として次の成果を作成した。

a) 津波浸水想定区域図

視覚的に津波の影響範囲を示した浸水想定区域図（茨城沿岸を対象とした全体図、各市町村を対象とした市町村別図、特に浸水範囲が広く、かつ人口や施設が集中する地区を対象とした詳細図の3種類）を作成した。浸水想定区域図には2つの想定津波の最大浸水範囲を表示し、各地で予測される最大遡上高、津波到達時間を表記した。図の背景には、全体図・市町村別図には数値地図を、詳細地区別図には空撮オルソ画像を用い、より視覚的に津波の影響範

囲がわかるように配慮した。一例を図-11に示す。

b) CG

津波の災害イメージを分かり易く示すことを目的として動画CGを作成した。CGは、津波が発生してから伝播して陸域に襲来する様子を示した津波発生伝播CG、空撮オルソ画像を背景図とした津波遡上の状況を示す2次元および3次元CGを作成した。CGの画面例を図-12に示す。

c) GISビューワ

津波シミュレーション用に作成したデータ群を市町村・関係機関等で被害想定調査やハザードマップ作成等に再利用してもらうために、GISデータとして整理し配布した。GISビューワの画面例を図-13に示す。

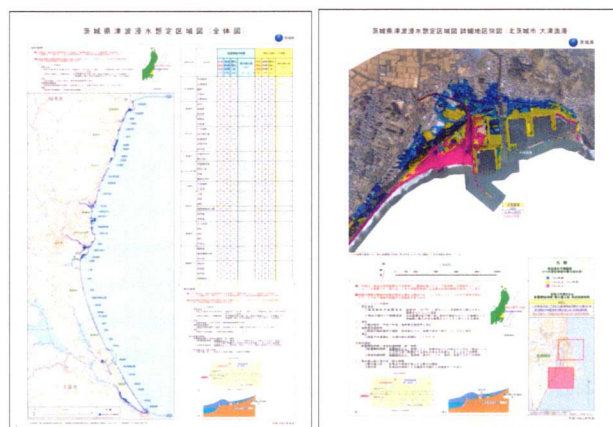


図-11 津波浸水想定区域図(左:全体図, 右:詳細地区別図)

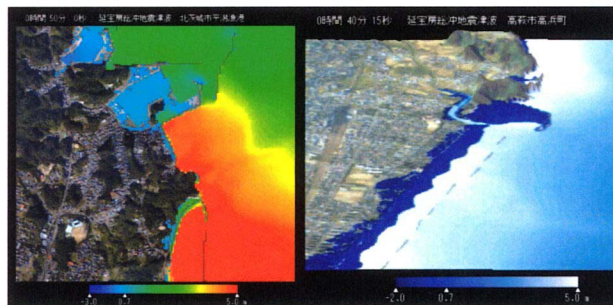


図-12 津波CG(左:遡上2次元, 右:遡上3次元)

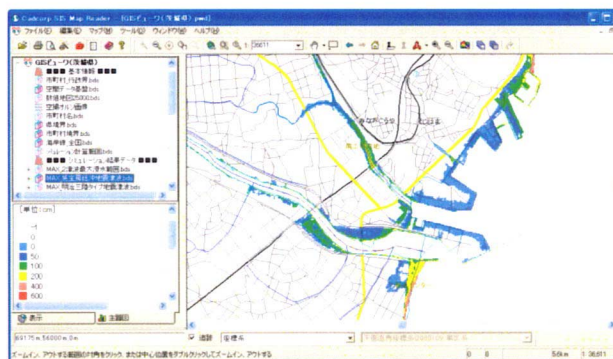


図-13 GISビューワ

3. 成果の活用への展望

最後に、茨城県の今後の津波災害対策を進める上で、本調査の成果をどのように活用していくかについて述べる。想定される成果活用の流れを図-14に示す。

津波災害対策は、「自助」「共助」「公助」に類別される。沿岸市町村においては、本調査の成果である津波浸水想定区域図、GIS データを活用し、「自助」「共助」を推進する一つの手段として津波ハザードマップを作成し、それを活用して避難計画を策定したり、防災教育・防災意識啓発を進めたりする役割が期待される。茨城県は、そのためのデータ提供やハザードマップ作成支援を行っていく予定である。津波防災に関係する国・県・公共機関には、本調査成果を提供して、各機関の防災対策に活用していただくことが望ましい。

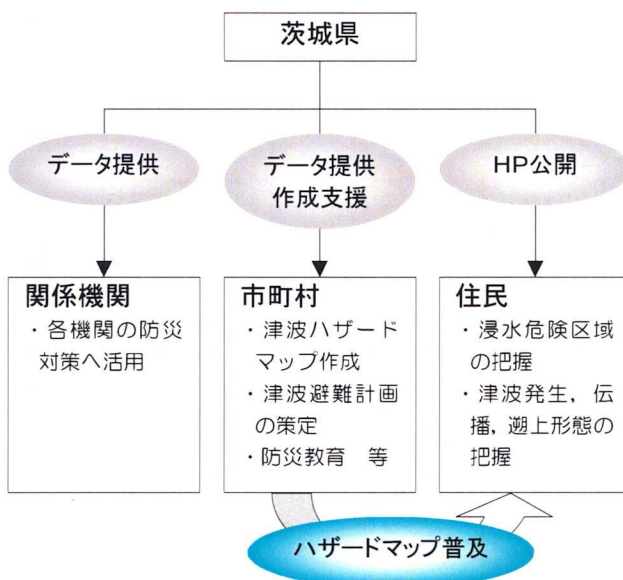


図-14 成果活用の流れ

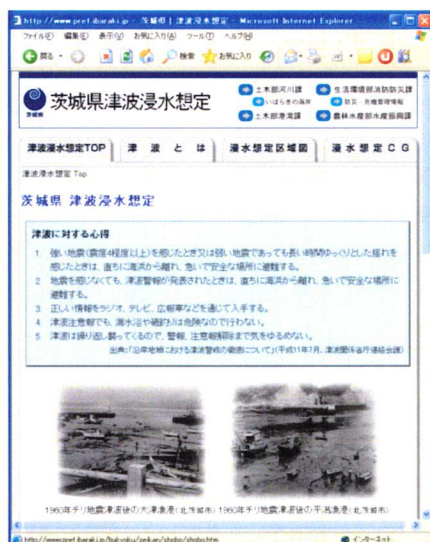


図-15 成果を公開した茨城県河川課のホームページ

また、図-15のように茨城県河川課のホームページで成果を公開しており、住民が浸水想定区域図や津波CGを参考に、浸水危険区域や津波の状況を把握する一助となることを狙っている。

なお、結果の活用については後述の検討委員会において、誤解がなく分かりやすい適切な用語の使用、市町村で扱いやすい浸水想定区域図の図郭、今後の津波防災対策の進め方等が議論された。津波浸水想定区域図作成にあたっては、この議論の結果を反映させた用語の使用、市町村へのヒアリングを実施した。また、平成19年9月に沿岸市町村や関係機関への説明会を実施し、本調査の結果を説明したほか、今後の津波防災対策推進の際の本調査成果活用方法についてアドバイスした。

4. 結論

本調査では茨城沿岸を対象に、詳細な津波シミュレーションを行った。本調査の特徴として、以下の4点が挙げられる。

- ①中央防災会議試算の波源モデルに対し、独自の痕跡調査結果で調整したモデルを用いて垂直地盤変動量の計算を行った。
- ②全県沿岸にわたり12m（一部6m）メッシュの詳細地形モデルによる津波シミュレーションを行い、精度の高い浸水予測を実施した。
- ③河川遡上計算において河川の流水の有無によるシミュレーション結果の違いを検討した。堤内での津波浸水域の評価結果には大きな差がないため、河川の流水を考慮せずに計算を行った。
- ④シミュレーション結果を用い、今後のハザードマップ作成等の津波防災対策に活用できる有用な基礎資料を作成した。

謝辞：

本調査は「茨城県沿岸津波浸水想定検討委員会」（委員長：三村信男茨城大学教授、副委員長：今村文彦東北大学大学院教授）における想定条件、評価手法、結果の活用等に関する議論を参考にして実施しました。ここに委員会にて貴重な意見を頂いた委員の方々に謝意を表します。

参考文献

- 1) 中央防災会議：「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」（第7回）資料、2005。
- 2) 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。
- 3) Mansinha, L. and D. E. Smylie：The displacement fields of inclined faults, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 61, pp.1433-1440, 1971。