

四国沿岸域を対象とした想定津波数値計算の 取扱いについて

UTILIZATION OF THE RESULTS OF TSUNAMI NUMERICAL SIMULATION FOR SHIKOKU ISLAND, JAPAN

近藤徹¹・高木利記²・大熊修³・柴木秀之⁴・原信彦⁵

Tooru KONDOU, Toshiki TAKAGI, Osamu OOKUMA, Hidenori SHIBAKI and Nobuhiko HARA

¹国土交通省 四国地方整備局 高松港湾空港技術調査事務所 技術開発課
(〒760-0017 香川県高松市番町1丁目6番1号)

²国土交通省 国土交通省 中国地方整備局 広島港湾・空港整備事務所 福山港出張所
(〒720-0812 広島県福山市霞町1-1-24)

³財団法人 沿岸技術研究センター 調査部 (〒102-0092 東京都千代田区隼町3-16)

⁴正会員 工博 株式会社 エコー 沿岸デザイン本部 (〒110-0014 東京都台東区北上野2-6-4)

⁵正会員 工修 株式会社 エコー 沿岸デザイン本部 (〒110-0014 東京都台東区北上野2-6-4)

Four prefectures of Shikoku Island, Japan were appointed as the promotion areas for a countermeasure against preventing Tonankai-Nankai earthquake disaster. In the coasts of Shikoku Island, the hazard maps based on tsunami numerical simulations are usually made as the basic data for making plan of preventing tsunami disaster. Tsunami numerical simulations performed on the various conditions in different areas, and they become data basis for a countermeasure of preventing. Using integrated numerical research system, which facilitates the tsunami numerical simulation on coasts of Shikoku Island, this report evidences the problems about the tsunami prediction, examining the effect of input condition on the numerical results. It is recommended considers using the tsunami numerical simulations as the basic data for the hazard maps of disasters area.

Key Words : *Tsunami, numerical simulation, coastal disaster, numerical research system*

1. はじめに

四国4県は、平成18年12月に「東南海、南海地震等に関する専門調査会」の第26回会合¹⁾において東南海、南海地震防災対策推進地域として指定され、津波対策が進められている。現在、四国沿岸においては、津波防災計画を作成するための基礎資料として、津波数値計算に基づくハザードマップや地域防災計画などの作成が実施されている。基となる津波計算結果は、中央防災会議で公表されている計算結果の利用や、中央防災会議による津波初期波源を用い、対象地区の地形近似を向上させた津波の再計算結果、あるいは、独自の津波初期波源（例えば、安政南海地震（1854年）の断層を危険側に移動させた想定津波波源モデル（以降、「想定安政南海モデル」と記述）を設定した津波計算結果が挙げられる。このように、地区によって様々な条件の津波計算が実施され、津波対策の基礎資料となっている。「津波・高潮ハザードマップマニュアル」²⁾では、計算条件の設定などの説明が記載されているが、実

地形での設定条件の違いによる計算結果の比較までは行われていない。そこで、本報告では、四国沿岸域の津波計算を容易に実施できる防災総合数値解析システム（以降、「本システム」と記述）を活用し、津波計算による浸水域の予測がかかえる問題点を、入力条件や計算結果などの比較から明らかにするとともに、ハザードマップや地域防災計画などの基礎資料としての津波計算結果の取扱いについて考察を行う。

2. 防災総合数値解析システムの概要

本システムは、図-1に示すように、5つのサブシステムと支援データベースで構成され、地形データなど入力データが共有化でき数値解析が同程度の品質を有するデータにより実施することができるシステムである。システムを構成する5つのサブシステムおよび支援データベースは、大別すると、波浪・高潮・津波の数値計算システムと、計算を支援、解析を行うシステムおよび解析用のデータベースの

3種類に分類される。なお、本報告では、本システムの内、津波計算システム、支援システム、支援データベースを用いて津波計算を行う。本システムの津波計算モデルの支配方程式は、連続式と海水の摩擦を考慮した Navier-Stokes の運動方程式を鉛直方向に積分した平面2次元の非線形長波理論式である。式(1)に連続式、式(2)、式(3)に x, y 方向の

運動方程式を示す。

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

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) \quad (2)$$

$$= fM - gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{1}{\rho} (-\tau_b) + A_h \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) \quad (3)$$

ここで、 η は水位変動量であり、 M, N は x, y 方向の流量フラックスであり、 f はコリオリ係数($f = 2\omega \sin \phi$ 、 ω は地球自転の角速度、 ϕ は緯度)であり、 g は重力加速度であり、 D は全水深($D = h + \eta$ 、 h は静水深)であり、 ρ は海水の密

度であり、 τ_b は底面せん断応力であり、 A_h は水平渦動粘性係数である。

なお、防災総合数値解析システムの詳細は近藤ら(2007)³⁾を参照されたい。

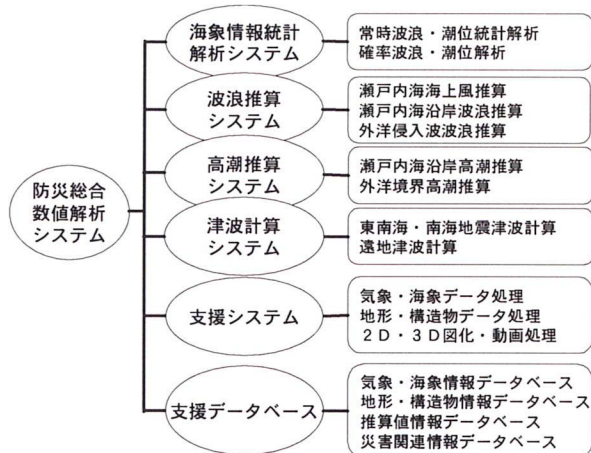


図-1 防災総合数値解析システムの構成

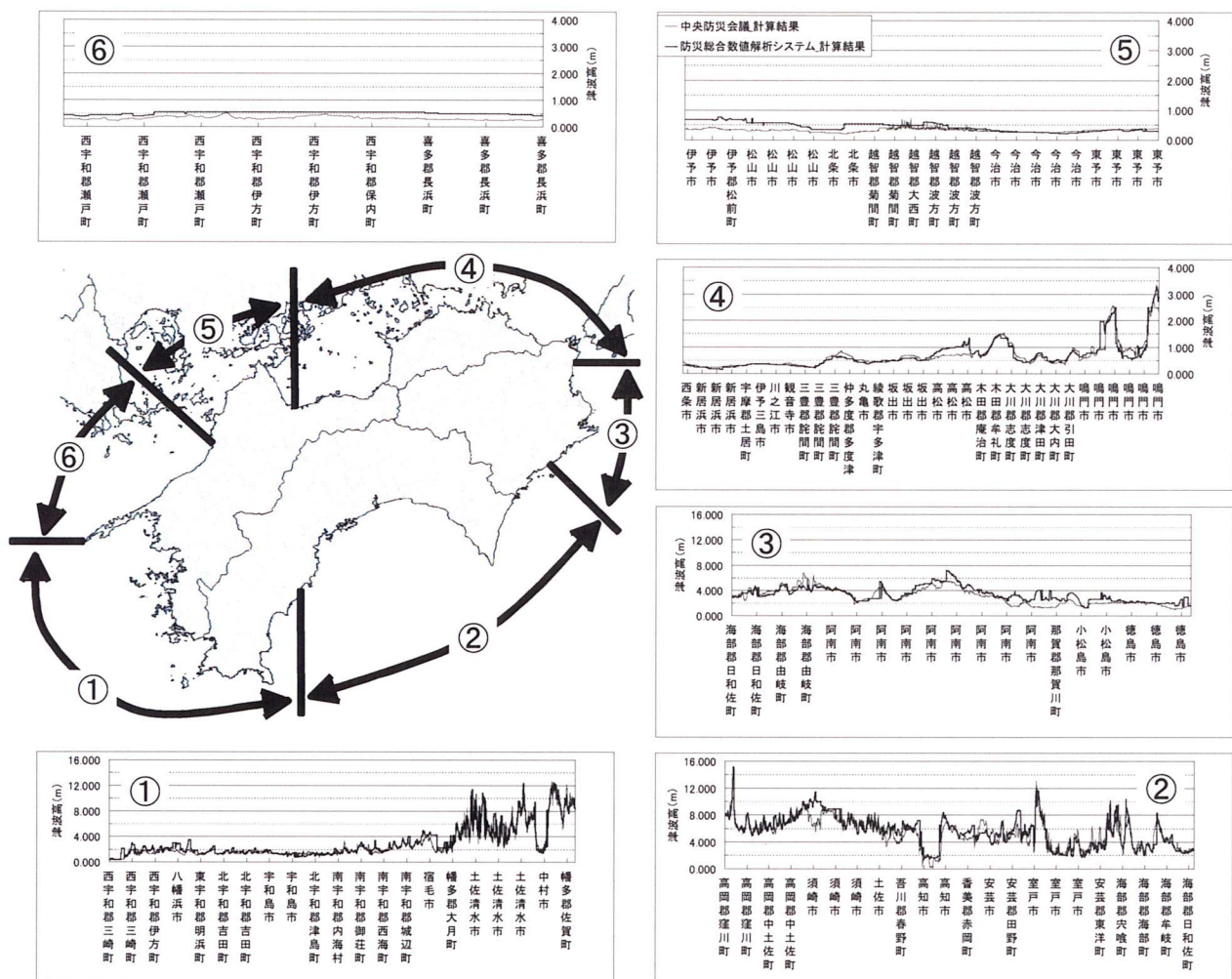


図-2 四国沿岸域における中央防災会議と本システムの津波高の比較

3. 四国沿岸域の津波高の比較

中央防災会議では、東海から九州までの広範囲を対象に計算を行っていることから、UTM の直交座標系（ZONE53，基準は北緯 0°，東経 135°）を用いている。一方、本システムでは、四国沿岸域を対象としているので、世界測地系第Ⅳ系（基準は北緯 33°，東経 133.5°）を用いている。図-2 は中央防災会議による想定東南海・南海地震津波を初期波源とした中央防災会議と本システムの沿岸域における津波高の比較である。ここで、中央防災会議の計算は、沿岸域を 50m 格子とし浸水計算を行っている。本システムは基本的に対象港湾を 10m 格子として浸水計算を実施することが可能であるが、この比較に関しては、沿岸域を 150m 格子とし、非浸水計算としている。図より、局所的に見ると津波水位に数 m の差が生じている箇所がある。本システムは非浸水計算であり海と陸の境界条件を完全反射としていることから本システムの津波高の方が高い傾向にある。しかし、四国全域において津波高分布の傾向は一致している。このように広範囲で津波高を比較した場合には計算格子幅、浸水計算の有無の条件は違うものの、両者に大きな差異は見られない。

4. 地形近似精度の違い

(1) 計算格子水深データの地形近似精度

図-3 は、佐田岬周辺における海図や海底地形図などから作成した中央防災会議と本システムの計算格子水深平面分布である。両者を比較すると、図中の丸で示した佐田岬の南側と宇和島港の西側で中央防災会議の方が浅い。これは、基礎となる海図などのポイントデータの粗密差により両者に差が生じている。図-4 は中央防災会議による想定東南海・南海地震津波を初期波源とした、宇和島港周辺の中央防災会議と本システムの最大津波高分布である。なお、中央防災会議の最小格子間隔は 50m であるのに対し、本システムでは、宇和島港周辺を 10m 格子とし地形近似精度を高めている。地形近似精度と図-3 に示す水深の違いにより、津波の伝播挙動が変わり、最大津波高の分布傾向は一致するが、最大 0.4m 程度差が生じる。また、図-5 は浅川港周辺における中央防災会議と本システムの計算格子水深の差図である。中央防災会議の計算格子水深は、UTM 座標系から本システムと同様の世界測地系第Ⅳ系に変換している。図より、浅川港周辺においては、全体的に、中央防災会議の水深の方が本システムより深く、特に、図中の丸で示した島周辺の水深は 5m 程度、中央防災会議の方が深い。なお、島周辺の水深は 30m 以浅である。図-6 は中央防災会議と本システムの計算格子水深データを用いて中央防災会議による想定東南海・南海地震津波を初期波源とした津波水位平面分布であり、図-7 は抽出点水位時系列である。ここで、中央防災会議の地形デー

タを用いた津波計算結果は、中央防災会議が公表しているデータではなく、本システムにより計算を実施したものである。また、両者とも最小計算格子間隔は 50m である。津波第 1 波来襲時間である地震発生 20 分後では両者に大きな違いは見られない。すなわち、津波第 1 波来襲までは、計算格子水深の差異は津波水位に大きな影響を与えない。しかし、30 分後の引きの状況では、図-5 の丸で示した箇所、両者に水位差が生じ、津波第 3 波来襲時間である 70 分後では、浅川港港口部で 1m 以上の水位差となり、計算格子水深の違いが津波の伝播挙動に影響を与えていることがわかる。図-7 の時系列図を見ると、津波第 3 波目で最大津波高となり、最大津

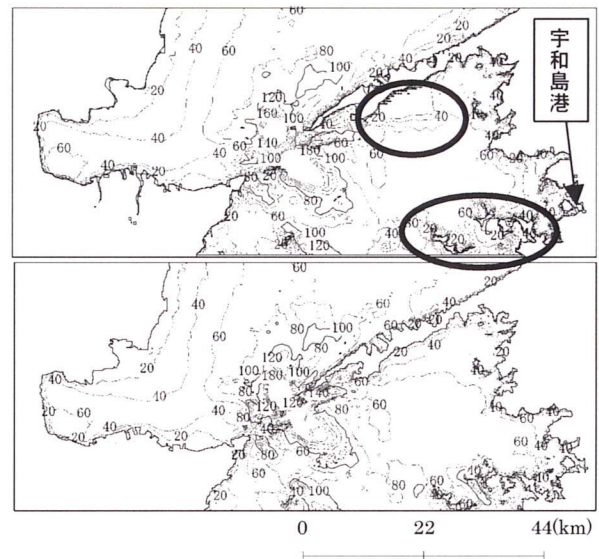


図-3 佐田岬周辺における計算格子水深平面分布
(上：中央防災会議，下：本システム)

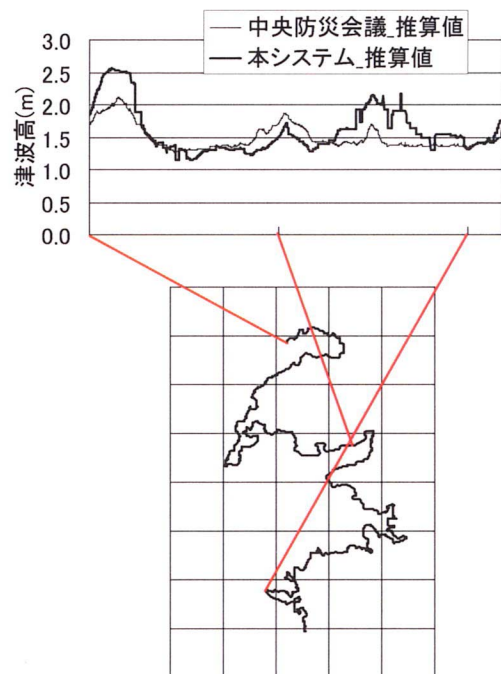


図-4 宇和島港沿岸域の最大津波高

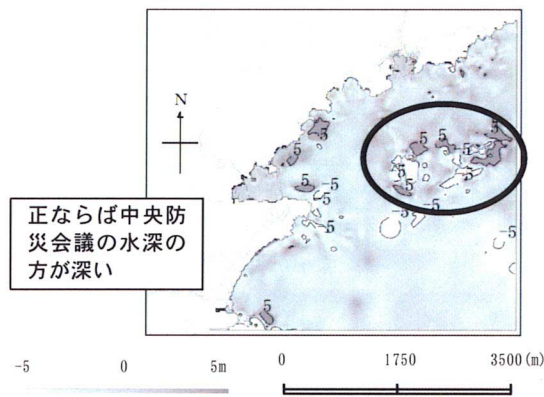


図-5 中央防災会議と本システムの格子水深差図

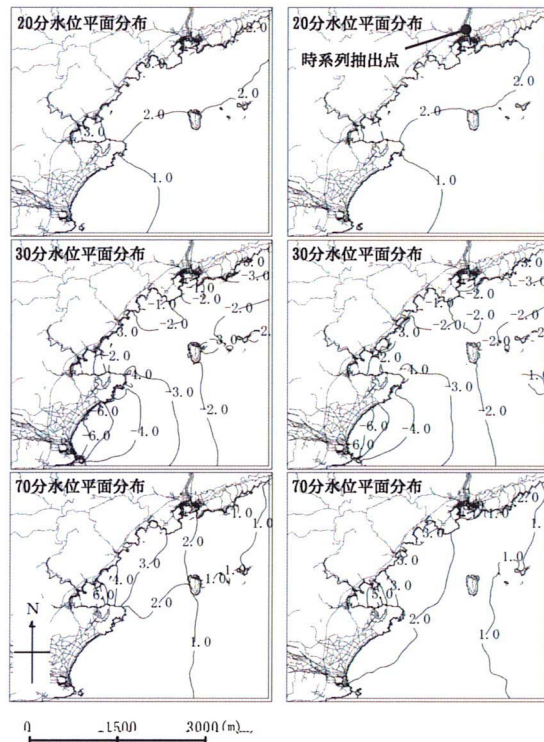


図-6 浅川港周辺の水位平面分布
(左：中央防災会議，右：本システム)

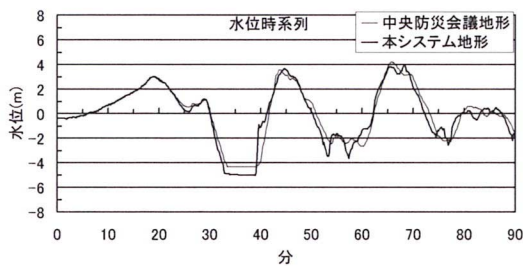


図-7 抽出点水位時系列

波高は中央防災会議の方が 0.3m 高く、2.5 分来襲時間が速い。よって、特に、反射波が発生する第 2 波目以降で最大津波高となる場合には地形近似精度はより重要となる。

計算格子水深データの作成に当たっては基となる海図や海底地形図などのポイントデータを出来る限り密にし地形近似精度を確保する必要があるが、沿岸

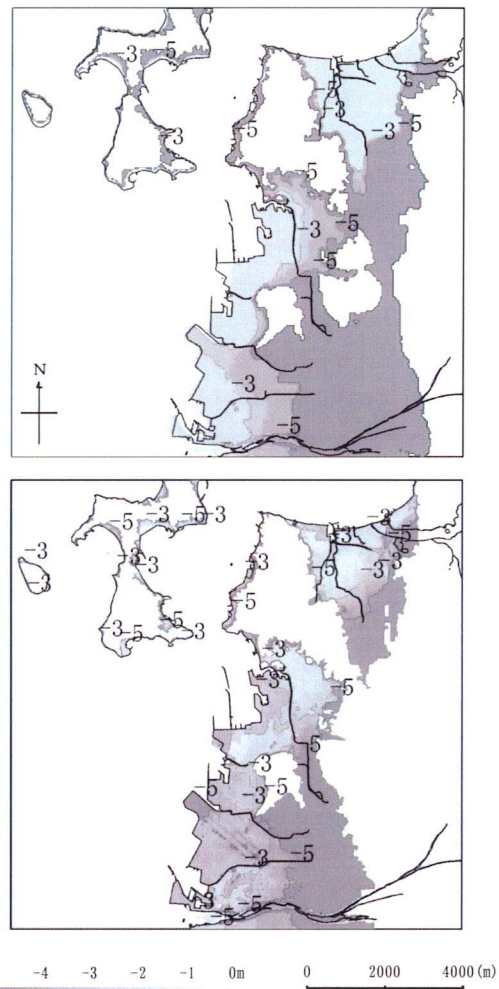


図-8 松山港周辺の地盤高平面分布
(上：中央防災会議，下：本システム)

域や島周辺の水深データ作成には注意が必要である。

(2) 計算格子地盤高データの地形近似精度

図-8 は松山港周辺の中央防災会議と本システムの地盤高の平面分布である。計算格子地盤高データは、鉛直方向下向きを正としている。中央防災会議の格子間隔は 50m である。本システムの地盤高は、都市計画図 (1:2,500) を基に最小格子間隔を 10m として計算格子地形データを作成している。図より、中央防災会議の地盤高は、沿岸域ほぼ全域で 2m 程度、本システムでは 3~4m 程度となり、1m 程度の差が生じる。このように、地盤高が違えば、浸水の開始時間、範囲、深さなどが変わることとなる。

図-9 は松山港周辺の中央防災会議と本システムの最大浸水深平面分布である。対象津波は中央防災会議による想定東南海・南海地震津波である。地盤高の違いから浸水範囲および浸水深が大きく異なり、中央防災会議の結果では、浸水深は、0.01~1m で広い範囲で浸水が広がっているのに対し、本システムでは、中央防災会議に比べ浸水範囲は狭いものの、地盤高の比較的低い場所では、浸水深が 1m 以上となる。このように、地盤高の地形近似精度は、浸水

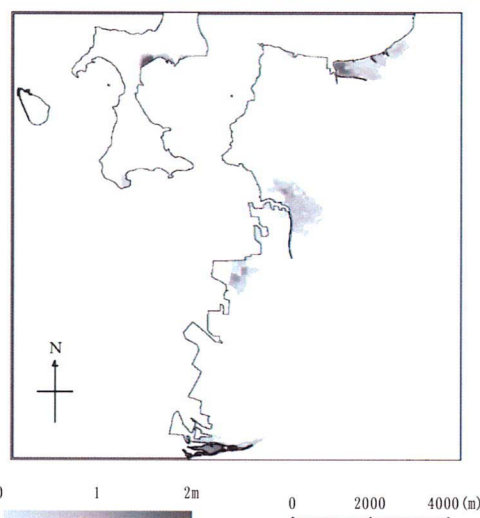
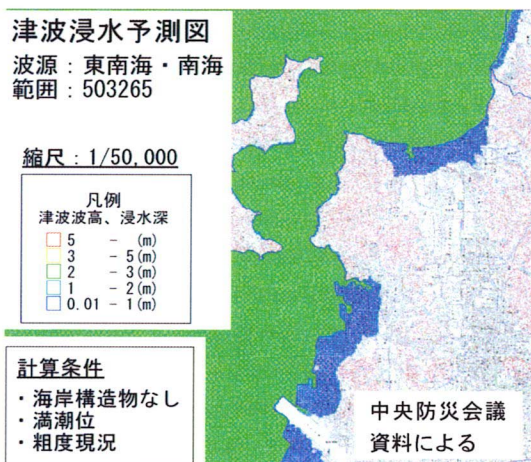


図-9 松山港周辺の最大浸水深平面分布
 (上：中央防災会議，下：本システム)

範囲や浸水深に大きく影響し、ハザードマップの作成や避難経路の策定をする場合など非常に重要である。したがって、浸水予測をする場合には、都市計画図や航空測量データなど精度の高いデータを用いて計算地形データを作成する必要がある。ここで、都市計画図に関しては「2000 年度平均成果」⁴⁾以前に作成された図面を使用する場合には、水準点の高さを確認し、現在の基準に変更する必要がある。

5. 地盤変動量の違い

図-10 は、中央防災会議による想定東南海・南海地震津波と想定安政南海モデルによる初期水位分布の比較である。東南海・南海地震の津波波源域は、陸域に近いので、想定する津波波源の違いにより、沿岸域の地盤変動量は変わる。例えば、高知港周辺では、中央防災会議による想定東南海・南海地震による地盤変動量は 2m 程度沈降するのにに対し想定安政南海モデルは、0.7m 程度の沈降となる。また、室津港周辺では、中央防災会議による想定東南海・南海地震による地盤変動量は 2m 以上隆起するのにに対し想定安政南海モデルは、0.8m 程度の隆起とな

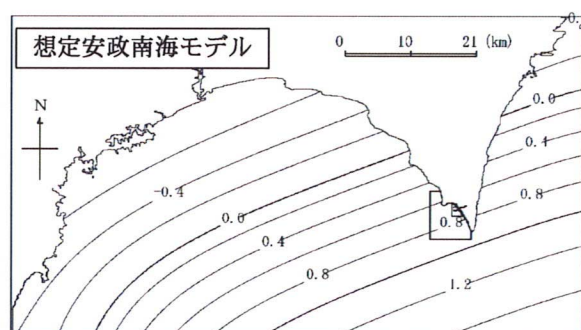
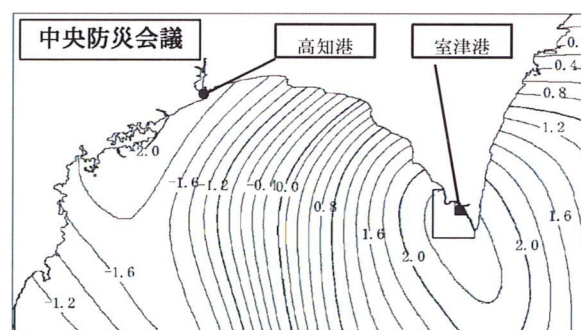


図-10 津波初期波源平面分布
 (上：中央防災会議，下：想定安政南海モデル)

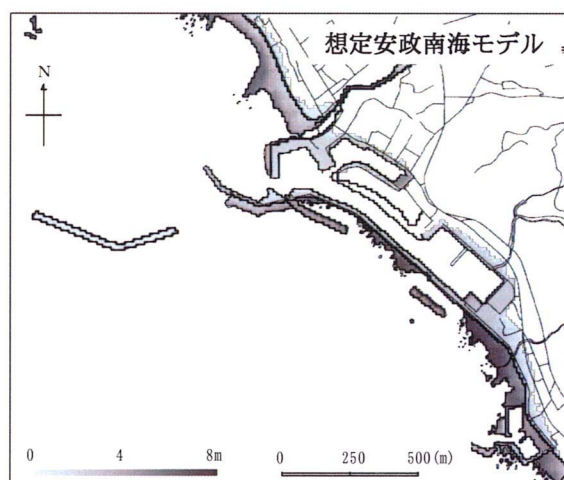
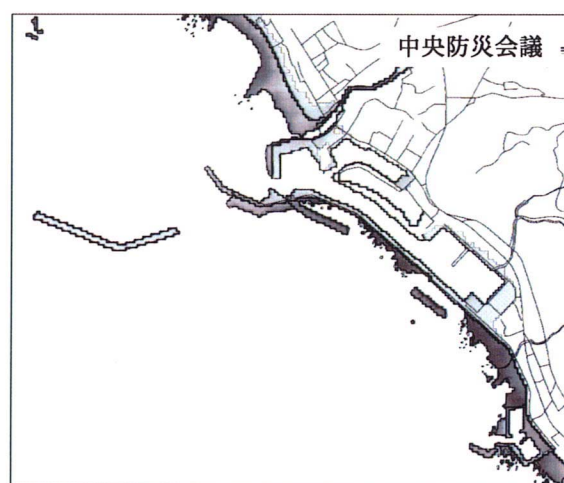


図-11 室津港の最大浸水深平面分布
 (上：中央防災会議，下：想定安政南海モデル)

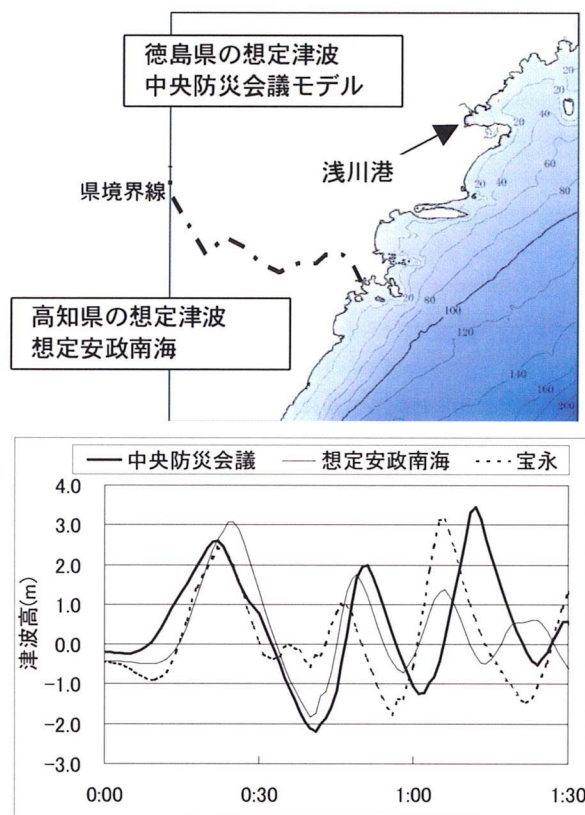


図-12 浅川港内における津波の時系列

る。図-11 は室津港における中央防災会議による想定東南海・南海地震津波と想定安政南海モデルの最大浸水深平面分布である。浸水範囲に大きな違いは見られない。しかし、浸水深は、地盤変動量の小さい想定安政南海モデルの方が深い。地盤変動量を考慮する場合には、津波高だけでなく、地盤変動量が浸水範囲及び浸水深に影響を及ぼす。

6. 想定津波の違い

徳島県の想定津波は、中央防災会議による想定東南海・南海地震津波である。隣接する高知県の想定津波は想定安政南海モデルである。隣接する地域で想定津波が異なると境界において津波高や浸水範囲など不連続になる可能性がある。そこで、中央防災会議による東南海・南海地震津波、想定安政モデル、宝永地震津波（1707）の3種類の津波初期波源を用いて浅川港を対象に津波計算を行う。図-12 は浅川港内における津波の時系列である。これより、津波第1波到達時間が速い津波は、中央防災会議による想定東南海・南海地震津波あり、第1波が最大となる津波は、想定安政南海地震津波となる。このように、想定される津波の挙動は様々である。よって、避難計画などを立てる場合には、津波到達時間ある

いは浸水開始時間が最も速い津波を想定する必要がある。また、ハザードマップの作成などには浸水範囲が最も広くなる津波を想定する必要がある。したがって、それぞれの目的に応じ想定する津波が地域ごとに変わる可能性がある。

7. おわりに

本システムは四国沿岸域の津波計算を容易に実施できることから、いくつかの港湾を対象に数値計算を実施し、中央防災会議の津波計算結果と比較を行い、浸水予測が抱える問題点を明らかにすることができた。

中央防災会議は、東海から九州までの広範囲を対象に計算を行っており、その結果を対象地域の地域防災計画に取り入れる場合には、計算格子水深データの地形近似精度を確認する必要がある。将来的にはきめ細かな防災対策を検討する上で、本システムの計算で示したように、地形近似精度を向上させた津波計算により検証を行うことが望ましい。また、想定する津波波源の違いにより、沿岸に伝播する津波の挙動は様々に変化する。そのため、防災対策に万全を期すためには、津波到達時間が速い条件や浸水範囲が最も広い条件など、目的により想定する津波波源を選択することも重要である。

本報告においては、どの計算結果が妥当か否かを論じるものではない。津波計算は想定津波を外力としており不確定要素があることから、1つの計算結果だけでなく、目的に応じた計算を実施し個々の結果の特性を把握しておくことが望ましい。また、津波計算の成果を活用するにあたり、計算結果だけを明示するのではなく、その目的およびそれに付随する条件についても明確にし、計算結果を取扱うことが重要である点を、今後の課題として問題提起するものである。

参考文献

- 1) 東南海、南海地震等に関する専門調査会：第26回資料3, <http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai/26/siryou3.pdf>, 2006.
- 2) 内閣府（防災担当）、農林水産省農村振興局、農林水産省水産庁、国土交通省河川局、国土交通省港湾局：津波・高潮ハザードマップマニュアル、財団法人沿岸開発技術研究センター、2004.
- 3) 近藤徹、安藤誠、柴木秀之、原信彦：防災総合数値解析システムの構築～四国沿岸域を対象として～、海洋開発論文集、第23巻、pp.75-80, 2007.
- 4) 国土交通省国土地理院：基本水準点2000年度平均成果改定に伴う公共水準点成果改定マニュアル(案)、国土地理院技術資料A1-No.302.