

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～

INTEGRATED NUMERICAL RESEARCH SYSTEM FOR ESTIMATION OF
COASTAL DISASTER-APPLICATION FOR SHIKOKU ISLAND, JAPAN

近藤徹¹・安藤誠²・柴木秀之³・原信彦⁴

Tooru KONDOU, Makoto ANDO, 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 技術開発課長
(〒760-0017 香川県高松市番町1丁目6番1号)

²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)

³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)

⁴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)

The coasts of Shikoku Island, Japan are exposed to the tsunami, generated by Tonankai-Nankai earthquake and thus urgent countermeasures are needed. The storm surge, generated by two typhoons in 2004, caused a coastal disaster with flooding over a large area of Shikoku Island. It is necessary to gather and manage the damages by tsunami and storm surge in all coastal area. However, practically it is a hard to collect the disaster-related information and to analyze the damages. An alternative is numerical simulations. The numerical simulation is one of the best tools for the speedy analysis of disaster phenomena such as tsunami and storm surge that have large temporal spatial scales. The numerical system has been developed for coastal protection works of the coast of Shikoku Island. This system consists of three numerical simulation models (Wave, Storm Surge and Tsunami models), their supporting sub-systems and supporting databases. With this system, the coastal protection works can be supplied with more reliable information.

Key Words : Wave, storm surge, tsunami, coastal disaster, prevention, system

1. はじめに

2004年12月26日に発生したスマトラ沖地震に伴うインド洋津波による甚大な災害は、記録的な人的・物的被害規模になった。さらに、2005年8月25日にアメリカ合衆国南部沿岸で発生したハリケーン・カトリナによる高潮災害は、超過外力による防護施設の破壊が、災害を広域かつ甚大な規模まで拡大させることを改めて認識させた。

日本の国土において、津波に関しては、環太平洋地震帯の真上に位置しており、千島海溝、日本海溝、南海トラフ及び日本海東縁部を震源とする海溝型地震が繰り返し発生している。この地震に伴い、日本の沿岸部は、度々甚大な地震・津波災害に見舞われている。四国沿岸域を注目すると、今後30年以内に東南海、南海地震が発生する確率はそれぞれ60～70%、50%と平成19年1月10日に地震調査研究推進本部が発表しており、東南海・南海地震津波の防災対策は緊急の課題である。高潮災害では、2004年に1951年以降で史上最高となる10個の台風が日本に上陸した。特に、台風16号、18号は九州沿岸

や瀬戸内海西部で台風9918号以来に続く大災害となり、瀬戸内海沿岸各地に広域の被災がもたらされた。

津波・高潮・高波による災害現象は、時空間規模の大きな水理現象であるため、それに伴う災害も広範囲の沿岸域で発生する可能性が高い。この水理現象を、広範囲で同時に、かつ迅速に解析するためには、近年、電子計算機の機能が飛躍的に増大している点から数値解析が最も適切なものの1つであると考えられる。しかし、沿岸防災の数値解析を行うために必要な災害や防災の関連情報の収集・整理・分析は、多大な労力を要する点が障害となることが多い。

そこで、本研究では、四国沿岸域で発生する波浪・高潮・津波の現象について数値解析技術を用いて災害を予測・解析し、防護施設の機能評価を行うとともに、気象・海象情報、災害関連情報などの収集・解析・管理を行うことができる四国沿岸域を対象とした防災総合数値解析システム（以降、本システムとする）の構築を行う。

2. 本システムの効果

本システムを構築することにより、多くの効果を期待できる。現状では、波浪推算・高潮推算・津波計算は、個々に独立した数値解析が実施され、個別に入力データ（地形データなど）の作成と計算処理が行われる。また、波浪・潮位の観測データの収集整理および解析に関しても、独立して実施されている。そのため、各々で使用するデータの質が異なるうえに、情報の統一化が図られない。図-1は、システム構築に伴う効果を模式的に表すものであり、システム化が行われると、数値計算から観測データの収集整理および解析処理まで、1つのシステムにより実施することが可能になり、地形データや観測データを共有化できることとなる。そして、数値解析の入力データを管理・更新することにより、全ての数値解析は、同程度の品質を有するデータにより実施することが可能になる。ここで、本システムのハードウェア環境に関しては、容易に入手することが可能な市販のパーソナルコンピュータとその周辺機器により構成する。

3. 本システムの概略設計

本システムは、図-2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、個々のシステムは、簡易な操作性を重視し、対話型入力のためのメニュー画面により、マニュアルレス化を図る。個々のシステムおよびデータベースについて以下に内容を示す。

(1) 海象情報統計解析システム

(a) 常時波浪・潮位統計解析

通常時の観測波浪・潮位（潮位偏差）の出現頻度や時系列図等を作成し、年間および経年の発生特性を解析するシステムである。

(b) 確率波浪・潮位解析

既往の波浪推算結果などを利用して、対象海域内の任意の海域点における代表確率年の値を算定するシステムである。四国沿岸を対象とし、過去数十年における擾乱時の波浪推算結果などを主データベースとし、任意の地点の波浪・潮位（潮位偏差）特性を求めることができる。

(2) 波浪推算システム

波浪推算システムは、スペクトル法の第1世代のMRI¹⁾を基にした浅海波浪推算モデルと、外洋および内湾の波浪推算ともに、非線形相互作用を考慮した第3世代モデルWAM²⁾を採用する。なお、海象情報統計解析システムで用いる波浪推算は、WAM

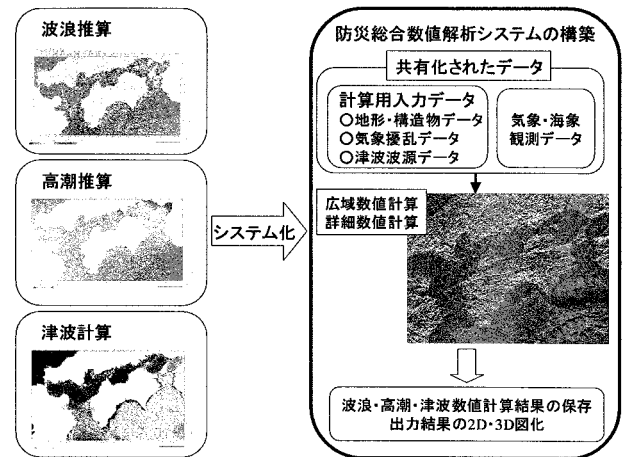


図-1 本システムの構築に伴い期待される効果の模式

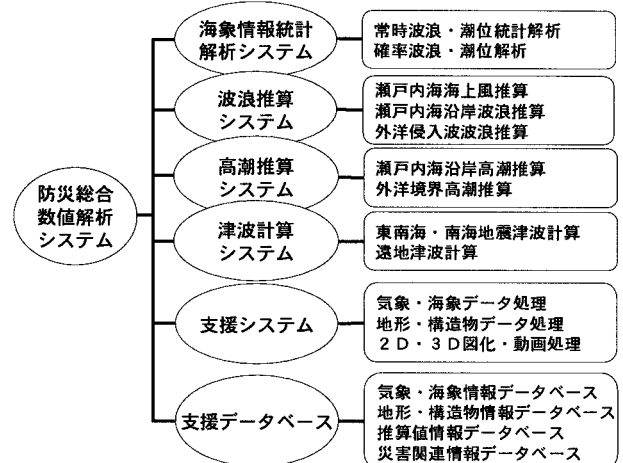


図-2 防災総合数値解析システムの構成

を用いる。一方、WAMは高潮推算モデルのデカルト座標系と異なり緯度経度座標系による推算モデルであり、波浪推算結果（波高、周期、ラディエーション応力）を高潮推算モデルに適切に取り入れることが難しい。そこで、現段階では、高潮推算との結合に用いる波浪推算モデルは、デカルト座標系でも計算が可能であるMRIを採用する。

また、波浪の発達の外力となる海上風推算については、Myersモデル³⁾を台風の気圧分布推定式とした台風モデル、気象図（天気図）から求められた気圧情報を利用した傾度風モデル、連続式を変分法の拘束条件とするマスコンモデル⁴⁾、流体の基礎方程式を直接的に解くペンシルベニア州立大学と米国大気研究センターで共同開発されたメソ気象モデルMM5⁵⁾の4種類が用意されている。

(3) 高潮推算システム

高潮推算システムは、外洋から沿岸域まで解析することが可能である。なお、沿岸域においては波浪推算で得られたラディエーション応力を取り入れることにより、Wave Setup による潮位偏差の上昇を考慮することが可能である。Wave Setup を考慮した

高潮推算に関しては、柴木ら（2001）⁶⁾を参考にする。これに加え、波高、周期を取り入れ、プログラム内で越波流量推定図⁷⁾から越波流量を推定し、越流と同時に越波による陸上域の浸水計算を可能としている。ここで、推算海上風については、波浪推算システムと同様のモデルを用いることが可能である。

(4) 津波計算システム

津波計算システムは、東南海・南海地震などの近地津波と、チリ地震に代表される遠地津波の計算の2解析手法で構成され、津波の特性により、線形長波・非線形長波・線形分散波のモデルを選択することができる。

(5) 支援システム

(a) 気象・海象データ処理

支援データベースに登録されている気象図、数値気象情報（GPV データ）や波浪情報、潮位などの気象・海象の観測データを計算入力データとして所定の書式に変換するためのシステムである。

(b) 地形・構造物データ処理

波浪・高潮・津波計算入力用の地形関連データ（水深・地盤高・構造物等）を編集するためのシステムであり、本システムと同様の書式であれば、既往調査の地形関連データの編集も可能である。これにより、既往の数値計算も行うことができる。

(c) 2D・3D 図化・動画処理

波浪・高潮・津波の計算結果について、2D・3Dの図化・動画を出力するためのシステムである。

(6) 支援データベース

(a) 気象・海象情報データベース

気象図、数値気象情報や、台風の中心気圧や移動速度をまとめた台風パラメータおよび波浪情報、潮位、津波痕跡高などを収集すると共に、データベースへの登録を行う。

(b) 地形・構造物情報データベース

計算入力用の地形データ等を登録するデータベースである。新規に登録する場合には、四国沿岸を対象としていることから、座標原点は世界測地系Ⅳを基準とする。保存するデータは、①地形境界データ、②海底地形データ、③地盤高データ、④構造物データ、⑤土地利用データ、⑥津波初期波源データである。

(c) 推算値データベース

本システムで計算された推算データを登録するデータベースである。本システムと同一の書式であれば既往の推算結果も登録が可能である。

(d) 災害関連情報データベース

既往調査において整理された高潮・津波災害および地域防災計画などの管内被災・防災関連情報を登録するデータベースである。

4. 本システムの運用と利活用

本システムは、一括した管理を行うことを目的としているので、システム内のデータの維持・管理およびシステムを用いた数値計算の実施はシステムを作成した事務所（システム管理事務所）が行う。本システムを用いた数値解析結果や観測データなどの情報の提供は、基本的に依頼のあった直轄事務所や県、市町村など自治体の管理者に提供することを基本とし、住民への提供方策については、今後の課題と位置付けている。

本システムは、大きく分析機能と、防災機能の2つ機能を有する。分析機能としては、整備計画の立案や事業化のために、再現計算により災害要因の解明、施設の被災要因の解明、対策案などの基礎資料を提示する。防災機能としては、今後の施設補強・改修計画の立案や維持管理のために、設計波浪および設計潮位を超過する外力が発生する場合の予測計算結果を提供する。そして、予測計算結果に関しては、施設の危険度評価だけでなく、ハザードマップ作成用の浸水図の基礎資料としても提供する。

5. 波浪・高潮・津波計算の計算領域

本システムでは、四国沿岸域を対象として波浪・高潮・津波計算を行うことから、以下に示す領域構成とする。

(1) 津波計算領域

中央防災会議⁸⁾による想定東南海・南海地震津波の計算格子間隔は、外洋域から1350m、450m、150m、50mを用いている。本システムも、50m格子までは、これと同様の計算格子間隔を用いる。ただし、浸水計算を行う計算格子については、「津波・高潮ハザードマップマニュアル」⁹⁾によると、計算格子間隔が浸水シミュレーションに与える影響を考慮し、浸水範囲の計算格子間隔は12.5m格子程度とすると精度の高い浸水域を表現できるとしていることと、将来的に、航空測量による地盤高データの活用を考慮すると、10mおよび2m格子の整備を行うことが望ましい。そこで、本システムで導入する浸水計算を行う計算格子間隔は、10mとする。よって、50mと10mの計算格子の結合は、1:5となる。図-3は津波計算用の計算領域図である。地形近似の精度と計算時間を考慮し、瀬戸内海を含む四国沿岸域は、150m格子とし、50m、10m格子は対象地区周辺に設定する。なお、150m格子は、東西2領域に分割する。

(2) 波浪・高潮計算領域

波浪・高潮は、外洋から日本沿岸域に來襲する台風を追跡し計算を行うことから、津波計算に比べ広い範囲の計算を行う必要がある。また、津波計算は、近地津波では最大で24時間程度の計算時間であるの

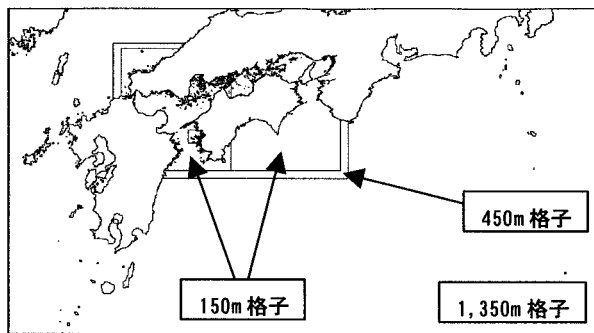


図-3 津波計算用の計算領域図

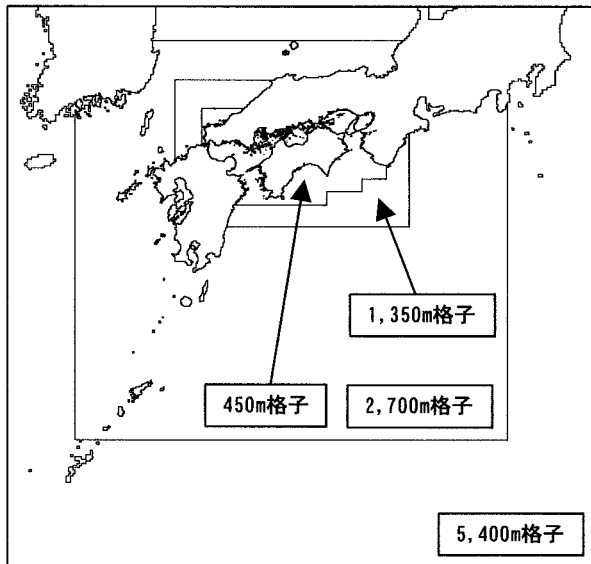


図-4 波浪・高潮推算用の計算領域図

に対し、波浪・高潮推算は、3～4日間の計算時間となる。よって、計算に要する時間を津波計算と同程度とするには、津波計算で用いる計算格子間隔よりも大きくし、本システムでは5,400m, 2,700m, 1,350m, 450m, 150m, 50m格子として設定する。なお、越流および越波による浸水計算は、50m格子のみとする。図-4は波浪・高潮推算用の計算領域図である。地形近似の精度と計算時間を考慮し、瀬戸内海を含む四国沿岸は、450m格子とし、150m, 50m格子は対象地区周辺に設定する。ここで、450m格子の南東側が階段状になっている箇所は水深が深いため、450m格子の領域とすると、計算時間間隔を短くする必要がある。そこで、計算に要する時間の短縮を考え、水深の深い箇所は1,350m格子の計算範囲とする。

6. 数値計算ソフトウェアの計算処理と図化・動画処理の例

(1) 地形情報データ処理

図-5は、計算格子情報の編集画面であり、図-6は、計算格子水深および構造物天端高の編集画面である。図中の右のボタンで編集項目を選択し計算情報の編



図-5 計算格子情報の編集画面



図-6 計算格子水深および構造物天端高の編集画面

集を行う。主な特徴として、①表示エリアの拡大・縮小、②計算・非計算点の変更、③格子数値・線境界天端高編集が挙げられ、これにより、多様な地形条件での計算が可能となる。

(2) 計算ソフトウェア

数値計算ソフトウェアは、波浪推算・高潮推算・津波計算の3種類のソフトウェアが用意されている。ここでは、津波数値計算ソフトウェアを例として図-7に津波数値計算プログラム作成システムの画面例を示す。このソフトウェアは、画面に必要な項目が表示され選択・変更が可能な対話型であり、エディタなどを開かず津波数値計算のプログラム作成から計算実行まで行うことができる。なお、地震初期波形は、断層パラメータを設定してプログラム内で地震初期波形を算出する場合と、中央防災会議などの平面的な初期水位分布を読み込む場合の2種類を選択することができる。計算後の保存に関しては、出力された結果だけでなく入力データ、プログラムと共に所定のフォルダに保存する。

(3) 2D・3D図化・動画処理

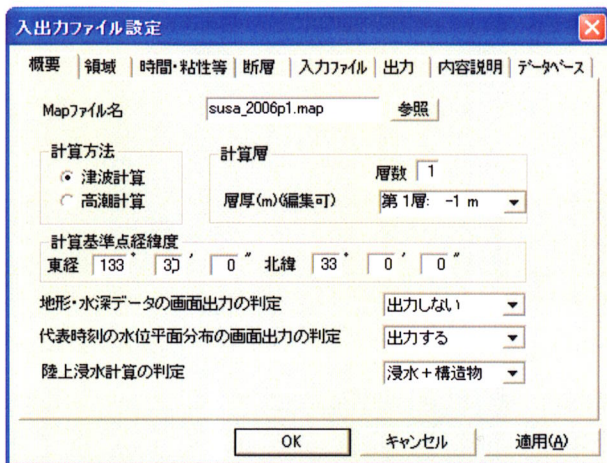


図-7 津波数値計算ソフトウェアシステムの画面例

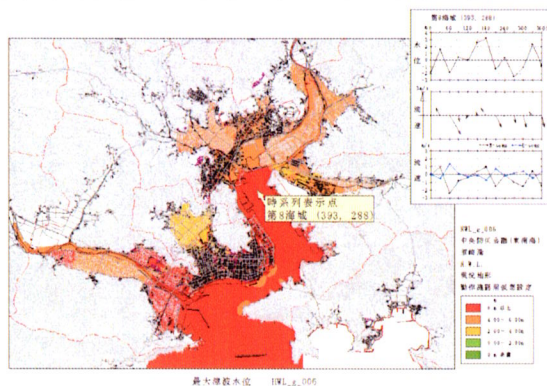


図-8 平面図図化出力の表示例

(a) 2D 図化処理

所定のフォルダに登録されている出力結果を対話型のソフトウェアで図化出力することができる。各項目（計算ケース、出力表示内容など）を選択することにより、最大水位分布や流速分布などを出力することができる。電子地図データに関してもデータが所定の書式で登録されていれば推算結果と重ねて表示することができる。また、各対象港湾において計算領域の構成が同じであれば、両者の差図を出力することも可能である。図-8 は平面図図化出力の表示例である。平面図の水位がある箇所をダブルクリックすると、図中の右上にその箇所の水位、流速の時系列を表示することが可能である。

(b) 3D 動画処理

対話型のソフトウェアにより 3D の動画出力データを作成することができる。流れとしては、出力時刻毎の推算結果を全て BMP 形式に変換し、そのファイルを 1 つにまとめて AVI 形式の動画ファイルを作成する。電子地図データを用いて建物を表示させることも可能である。

7. 本システムによる数値計算結果

本システムにより計算された波浪・高潮・津波の計算結果を以下に示す。

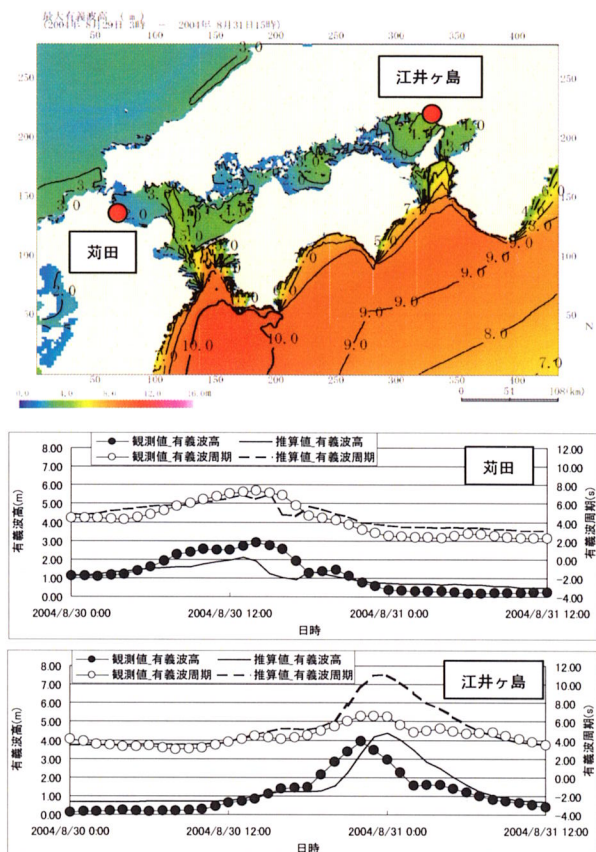


図-9 台風0416号の波浪推算

(1) 波浪推算結果

図-9 は、台風 0416 号の波浪推算結果（最大有義波高平面分布と菊田、江井ヶ島の有義波高・周期の時系列）である。推算モデルは MRI とし、海上風推算モデルは台風モデルとする。最大有義波高の平面図より外洋に面する沿岸域では、5m 以上となり、瀬戸内海沿岸では、2～4m 程度の波高となる。菊田と江井ヶ島の時系列図から、菊田では、周期はよく一致しているが、波高は 1m 程度、推算値の方が観測値より低い。江井ヶ島では、波高のピークは2時間程度ずれているが、波高はよく一致している。

(2) 高潮推算結果

図-10 は、台風 0416 号の波浪推算結果（最大潮位偏差平面分布と高松、松山の潮位偏差時系列）である。モデルは、海上風推算モデルは台風モデルとし、Wave Setup を考慮した高潮推算モデルである。最大潮位偏差平面分布より瀬戸内海では、1m 以上の潮位偏差となる。高松、松山における時系列より、最大潮位偏差のピーク値は、両者共に観測値の方が推算値に比べやや高いものの、時系列的にはよく一致している。なお、時系列図の高松、松山の観測値は異常潮位として観測値からそれぞれ 0.17m、0.14m 引いた値をとっている。

(3) 津波計算結果

図-11 は、中央防災会議による想定東南海・南海

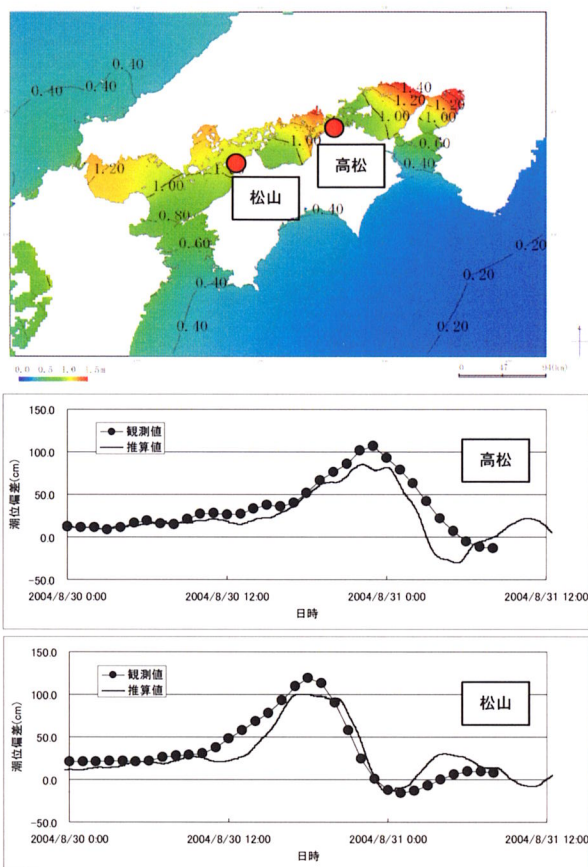


図-10 台風0416号の高潮推算

地震津波の初期波形を入力条件とし、宇和島港を対象とした津波計算結果（最大津波水位平面分布と、宇和島港における中央防災会議と本システムによる沿岸の推算値の比較）である。外洋に面する沿岸域では、5m を超える津波水位となり、瀬戸内海では1m 程度である。中央防災会議の推算値と本システムによる推算値の比較より、両者に最大 0.4m 程度の差が見られるが、津波水位の傾向はほぼ一致している。

8. おわりに

四国沿岸域を対象として、波浪・高潮・津波の数値解析におけるシステムを構築すると共に気象・海象情報などのデータを収集・整理し、一括で管理することが可能な防災総合数値解析システムの構築を行った。これにより、①時空間規模の大きい津波・高潮の現象を四国沿岸域で同時に解析することができ、同じ基準により被災状況などを評価することが可能となった。②観測データおよび数値計算結果が統一的な書式に保管され、データの提供などを迅速に行うことが可能となった。③地形条件など多様な想定条件に関する予測が容易になった。今後、推算値と観測値の差異を埋める方策として最新の研究成果を随時本システムに取り入れていくつもりである。

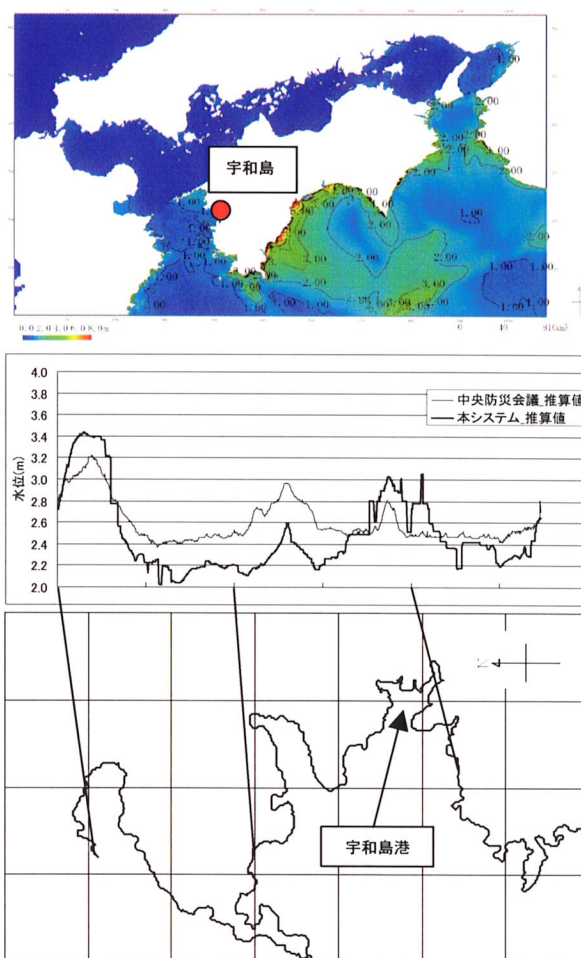


図-11 中央防災会議の初期水位を用いた津波計算

参考文献

- 1) Isozaki, I and T. Uji: Numerical Prediction of Ocean Wind Wave, Papers in Met. And Geophys., Vol.23(4), pp.347-359, 1973.
- 2) 橋本典明, 川口浩二, 真期俊行, 永井紀彦: 第3世代波浪推算法(WAM)の推算精度に関する検討, 港湾技術研究所報告, 第38巻, 第4号, p.3-47.
- 3) Fujita, T.: Pressure distribution within typhoon, Geo. Mag. 23, pp.437-451, 1952.
- 4) 日本気象協会: 内湾の海上風と波浪の推算に関する研究—海上風の実用推算モデルの開発, 90p.,1988.
- 5) Dudhia, J.: A nonhydrostatic version of the Penn State-NCAR Mesoscale Model: Validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front, Mon Wea. Rev., Vol. 121, pp.1493-1513.
- 6) 柴木秀之, 加藤史訓, 山田浩次: 密度成層と Wave Setup を考慮した土佐湾異常高潮の推算, 海岸工学論文集, 第49巻, pp.286-290, 2001.
- 7) 合田良實: 港湾構造物の耐波設計 波浪工学への序説, 鹿島出版会, 1977.
- 8) 中央防災会議: 東南海, 南海地震等に関する専門調査会資料, 2001~2006.
- 9) 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.