

# 四国沿岸域を対象とした 防災総合数値解析システムの構築

杉浦 悠介

四国地方整備局 高松港湾空港技術調査事務所 (〒760-0071 香川県高松市番町1丁目6番1号)

四国沿岸域においては、今後発生が危惧される東南海・南海地震津波や、広域にわたる被害を及ぼした高波・高潮についての防災・減災対策が緊急の課題となっている。

このような対策のひとつとして、四国沿岸域で発生する高波・高潮・津波の現象に対する、防災・減災対策の基礎データを提供するために、数値解析技術を用いて災害を予測・解析し、防災施設の機能評価を行うことができる防災総合数値解析システムを構築した。

キーワード 津波, 高潮, 沿岸防災, 数値解析システム

## 1. はじめに

四国沿岸域においては、過去に四国沿岸各地に甚大な被害を及ぼした南海地震、東南海地震の今後30年以内に発生する確率が、50～70%と言われている。また、高潮に関しても、2004年の台風0416号の来襲では、高松で246mという既往最高の高潮を記録、台風0423号では、高知県菜生海岸の海岸護岸が高波によって破壊され、人命が失われることも起こっている。このように四国沿岸域では、高波・高潮・津波に対する減災対策は緊急の課題となっている。

そこで、このような対策の一つとして、四国沿岸域で発生する高波・高潮・津波の現象に対する、防災・減災対策の基礎データを提供するために、数値解析技術を用いて災害を予測・解析し、防災施設の機能評価を行うとともに、気象・海象情報などを収集、解析及び一括管理することが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)を構築した。

本論文は、本システム全体としての構成と、本システムで開発した波浪推算と高潮推算の結合モデル、及びシミュレーション結果について報告する。

## 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している。これにより、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となっている。

本システムを構成する5つのサブシステム及び支援デ

ータベースは、波浪・高潮・津波の計算システムと、計算の支援、解析を行う支援システム及び解析用のデータベースの3種類に分類される。海象情報統計解析システムは、観測・推算値(波浪、潮位)の統計解析を行うシステムである。波浪推算、高潮推算、津波計算システムは、計算の実施を行うシステムである。支援システムは、入力データの作成、修正など計算や解析を支援するシステムである。支援データベースは、観測値、推算値や入力する地形データなどを登録・保管するものである。

本システムは、簡易な操作性を重視し、メニュー画面による対話型のシステムとして構築している。

個々のシステム及びデータベースの内容について以下に示す。

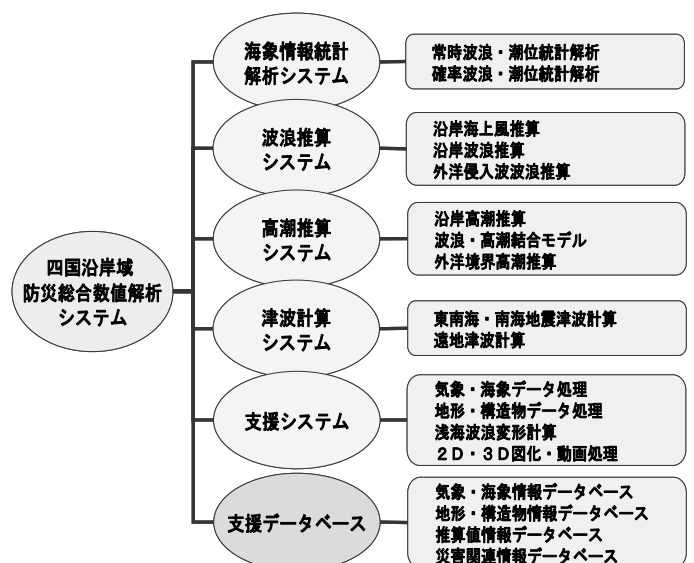


図-1 防災総合数値解析システムの構成

### (1) 海象情報統計解析システム

#### a) 常時波浪・潮位統計解析

支援データベースに登録・保管されている波浪・潮位観測データを使って、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、年間及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・潮位統計解析

支援データベースに登録・保管されている既往の波浪推算データ等を利用して、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。

### (2) 波浪推算システム

海上風推算結果を入力条件とし、外洋から沿岸域までを網羅した波浪推算を行うためのシステムである。

### (3) 高潮推算システム

海上風推算結果を入力条件とし、外洋から沿岸域までを網羅した高潮推算を行うためのシステムである。

### (4) 津波計算システム

東南海・南海地震等の近地津波計算と、チリ沖地震に代表される遠地津波計算の2解析手法で構成され、津波の特性により、線形長波型・非線形長波型・線形分散型のモデルを選択することができる。

計算領域については、中央防災会議による想定東南海・南海地震津波の計算格子間隔が、外洋域から1,350m、450m、150m、50mを用いているため、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ている。更に対象港周辺では、航空測量データ等を基礎データとした計算地形データを用い、浸水域の計算格子間隔を10mとし、精度の高い浸水域を表現している。

### (5) 支援システム

支援データベースに登録されている情報を計算入力データとして所定の書式に変換するシステムである。また、波浪・高潮・津波計算結果の図化・動画システムも含まれている。

### (6) 支援データベース

支援データベースは以下の4種類が登録されている。

#### ① 気象・海象情報データベース

気象図や台風情報、波浪・潮位情報、津波痕跡高情報

#### ② 地形・構造物情報データベース

地形境界データ・海底地形データ・地盤高データ・構造物データ・土地利用データ・津波初期波源データ

#### ③ 推算値データベース

本システムで計算された推算値データ

#### ④ 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情報

### 3. 波浪・高潮推算並列結合モデル

本システムでは、図-2 に示すように、波浪推算と高潮推算の結合モデルを開発している。波浪推算と高潮推算を結合することによって、波浪推算で得られた波浪諸元を高潮推算に取り込み、Wave Setup の効果及び越波量が評価できる。

#### (1) 波浪推算モデル

波浪推算モデルは、外洋から四国沿岸域までの領域（5,400m～450m 格子）について、第三世代波浪推算モデルである WAM モデルを用いる。WAM モデルによる推算で、対象港湾広域（150m 格子）との境界線で、各時刻の成分波スペクトル値を抽出する。対象港湾広域から詳細域までの領域（150m、50m 格子）は、得られた成分波スペクトル値を境界から入力し、第一世代波浪推算モデルの MRI モデルを用い、波浪推算を実施する。但し、本システムで用いる WAM モデルはデカルト座標系により水深変化を考慮したモデル、MRI モデルは浅海波浪推算に改良されたモデルである。

MRI モデルでは、合田（1990）の砕波限界波高式を用い砕波の判定を行う。砕波限界波高と推算波高の比の2乗を成分波スペクトルに乗じることで砕波を表現し、Radiation stress は成分波スペクトルから算出をしている。ここで、MRI モデルは、方向分散による回折の精度がやや低いことから、対象地区の50m格子領域に関しては、エネルギー平衡方程式による波浪変形計算結果を用いている。波浪変形計算は、7方位、8周期（4s～18s、2s 刻み）で計算を行い、この結果を用い、MRI モデルの各時刻の有義波高と有義波周期を補間し回折の精度を向上させている。なお、回折は間瀬ら（1999）のモデルを用い、砕波は、MRI モデルの方法と同様である。

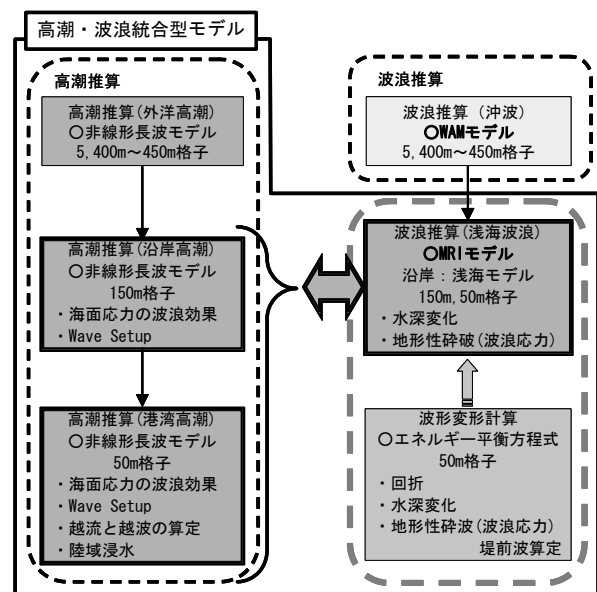


図-2 波浪・高潮推算並列結合モデルの概要

## (2)高潮推算モデル

高潮推算モデルは、鉛直積分した非線形長波モデルを使用し、気圧の低下による吸い上げと風の吹き寄せによる効果を考慮している。港湾詳細領域（50m 格子）では、越流浸水計算を実施するようにしている。離散化は、非線形項に風上差分を用いており、空間差分はスタaggerド格子とし、時間差分にはリーブ・フロッグ法を用いている。

## (3)波浪・高潮推算並列結合モデル

### a) 波浪・高潮推算並列結合モデル

波浪・高潮推算並列結合モデルは、外洋領域から対象港湾詳細領域までの高潮推算（5,400m～50m 格子）と、波浪推算での MRI モデル（150m～50m 格子）を結合し、同時計算している。MRI モデルから得られる Radiation stress を高潮推算に取り込み、波浪による水位上昇を考慮するようにしている。一方、高潮推算の潮位偏差を MRI モデルの水深に加え、水位変動による砕波位置の変化などを考慮することができ、より実現に近い波浪推算モデルとしている。これにより、高潮推算について対象領域で Wave Setup の効果を取り入れること、及び越流、越波を考慮した浸水計算を行うことが可能となっている。なお、越波に関しては、波浪推算から得られる有義波高と有義波周期から合田（1990）の越波量算定図により算出している。

### b) 海上風推算

波浪・高潮推算に用いる海上風、すなわち海面上 10m 高度の風は、台風モデルにより推算した自由大気の風を、海面摩擦を考慮して変換するものであるが、陸地の影響を考慮していない。波浪・高潮推算の精度は海上風の推算精度に大きく依存するので、本システムでは、観測値で推算風を補正することにより、陸に囲まれた瀬戸内海の海上推算風精度を向上している。

図-3 は補正值の基準点である。この地点での 16 方位別の観測風と推算風の相関解析を行い、風向・風速の補正值を設定し、その補正值を基に瀬戸内海全域を面的に補間している。

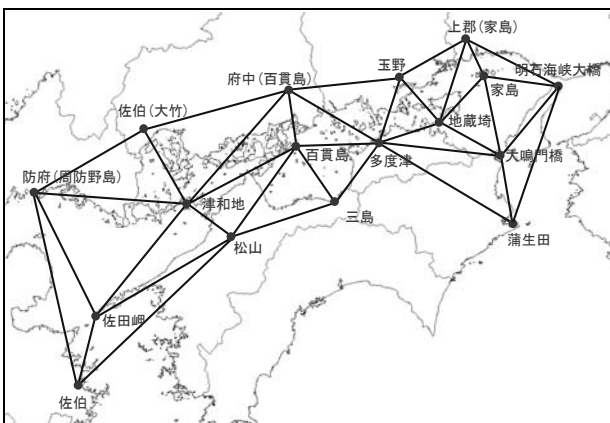
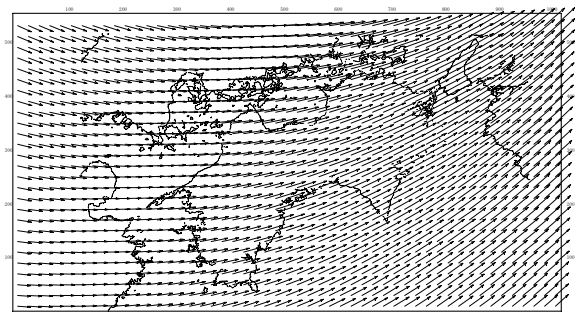


図-3 風向・風速補正用の三角形要素構成図

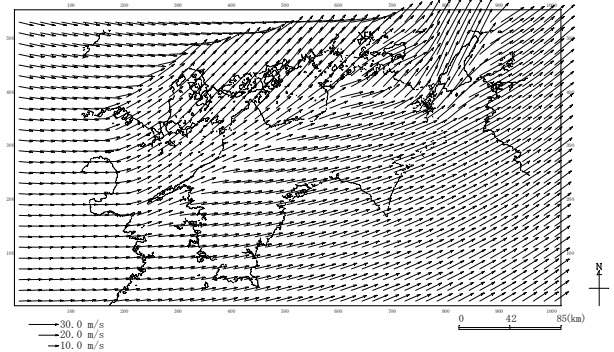
図-4 は海上風推算のベクトル平面分布図である。台風モデルでは、同心円状にベクトルが向いている。一方、補正した推算海上風は、瀬戸内海の長軸にベクトルが変化し、陸上地形の影響を考慮したものとなっている。

図-5 は高松における海上風推算により得られた潮位偏差と観測値との相関解析の結果である。検証した気象擾乱は 5 台風（台風 9119 号、9918 号、0416 号、0418 号、0423 号）を用いている。台風モデルと比較すると、補正した推算海上風の方が回帰係数がより 1 に近く、最大潮位偏差も観測値に近い値となる。

このように、瀬戸内海の海上風を補正した波浪・高潮推算並列結合モデルを開発し、より実現に近い条件で推算を実施することが可能となっている。

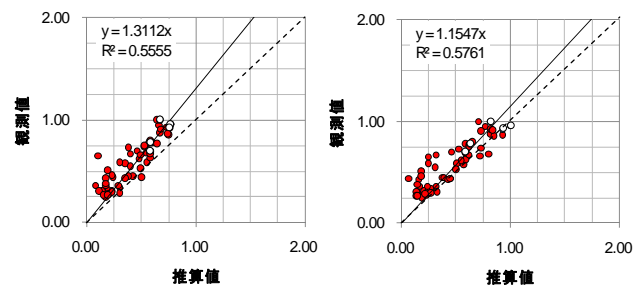


(a) 台風モデル



(b) 台風モデル+補正

図-4 海上風推算ベクトル平面分布図



(a) 台風モデル

(b) 台風モデル+補正

※白丸：観測値と推算値のピークデータ

図-5 高松における推算風と観測風の相関解析結果

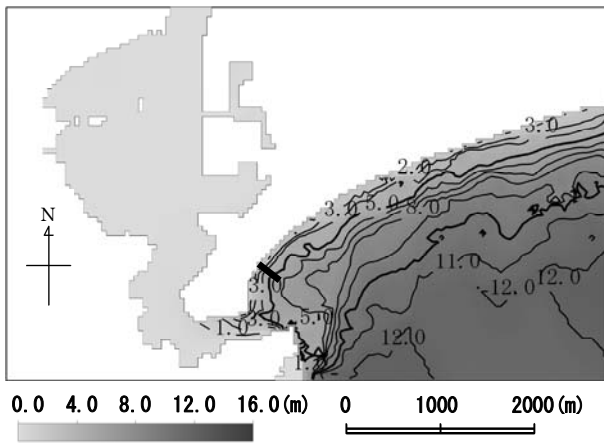


図-6 最大有義波高平面分布図

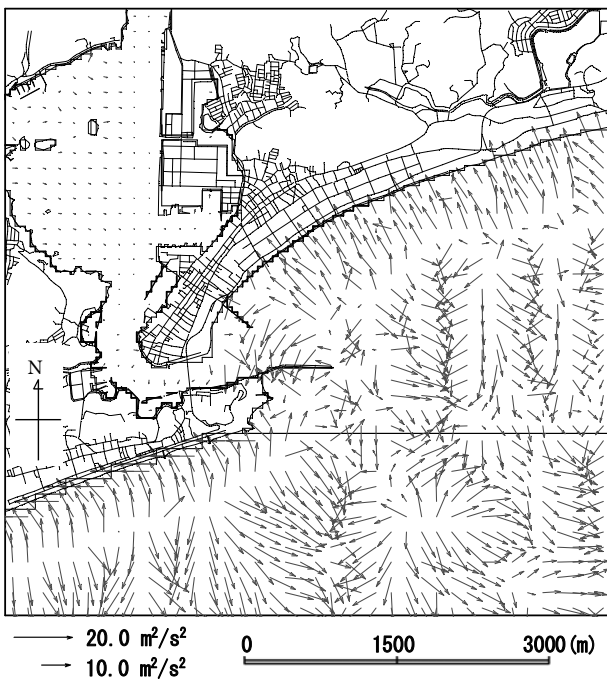


図-7 Radiation stress 発散項ベクトル平面分布図

#### 4. 波浪・高潮推算並列結合モデルによる計算例

本システムで開発した波浪・高潮推算並列結合モデルを使って、高知県浦戸湾を対象に台風7010号来襲時の地形による再現シミュレーションを実施し、異常潮位偏差の再現性を検証した。

図-6は、台風7010号来襲時の地形における最大有義波高平面分布図である。沖合では12m程度の波高が発達し、海岸線では3~4m程度に波高が減衰している。これにより、沿岸部に沿って碎波による波高の減衰が確認できる。

図-7は、外洋に面する沿岸域における高潮の最盛期である1970年8月21日9時のRadiation stress発散項ベクトル分布図である。推算結果では、浦戸湾湾口を含む沿岸域付

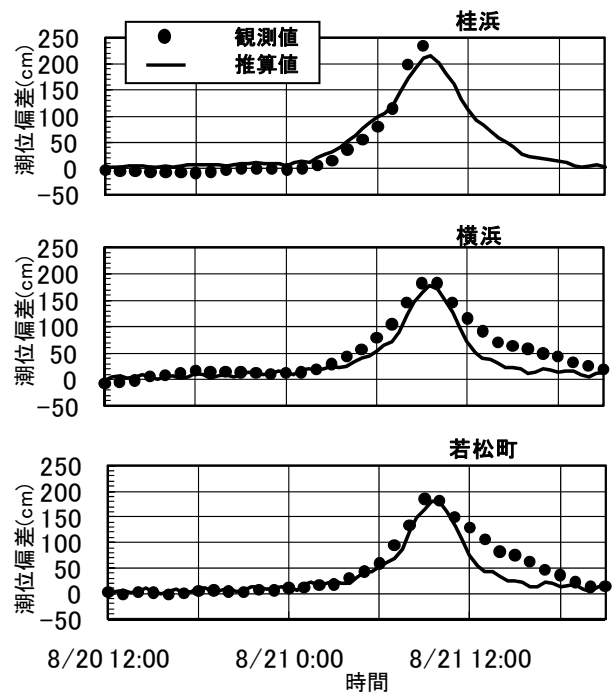


図-8 推算値と観測値の潮位偏差時系列図

近のベクトルは岸方向に向いており、沿岸域での水位上昇が確認できる。

図-8は、潮位の観測地点における観測値と推算値の潮位偏差の時系列である。推算結果において、台風来襲前から最大潮位偏差となる時刻までは、3地点ともに観測値と一致している。最大潮位偏差については、浦戸湾湾口部に位置する桂浜では、推算値の方が潮位偏差は低いが、湾奥に位置する横浜、若松町では概ね一致している。台風通過後について、潮位偏差の低下は観測値よりも推算値の方が速い。

結果として、本システムの波浪・高潮推算並列結合モデルを使った計算結果では、観測記録と同程度の潮位偏差を表現することができている。

#### 5. おわりに

今後は本システムの運用を図りながら、より実際の物理現象に近いモデルの開発を検討していきたい。また、四国沿岸域の各自治体からの要望を踏まえ、地域の防災・減災対策に資する技術的支援のツールとして、本システムを有効に活用していきたいと考える。

#### 参考文献

合田良実 (1990) : 港湾構造物の耐波設計, 鹿島出版会, 333p.  
 間瀬肇・高山知司・国富将嗣・三島豊秋 (1999) : 波の回折を考慮した多方向不規則波の変形モデルに関する研究, 土木学会論文集, No.628 II-48, pp.177-187.