

ISSN 0916-7897

海岸工学論文集

第 50 卷 (1)

PROCEEDINGS OF COASTAL ENGINEERING, JSCE

VOL. 50 (1)

2003 年 10 月

土 木 学 会

JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS

高潮・高波の簡易予測システムの構築とその運用

中平 順一*・吉田 武司*・高山 知司**・間瀬 肇***

台風の接近に伴う高潮と高波の発生・発達を予測するためには、対象海域の特性を踏まえて高潮と高波の推算モデルを適切に選定するとともに、それらを組み合わせた予測システムを構築することが不可欠である。本研究では、潮汐の干満差が大きく従来から高潮の被害が起きている有明海を対象海域とし、気象庁発表の台風情報をもとにパソコンにより数分程度の短時間で予測計算が行える簡易なリアルタイム予測システムを構築するとともに、その運用面についての検証を行った。本簡易予測システムは、海岸防災における水門操作や、高潮警戒地域の特定などを的確かつ迅速に行うための役割を担うためのものである。

1. はじめに

日本沿岸の高潮対策施設は、過去に大きな高潮災害をもたらした伊勢湾台風を始め、第二室戸台風やキティ台風などの既往最大級の台風により引き起こされた既往最大潮位や朔望平均満潮位に、モデル台風により推算された最大偏差を加えた潮位により防潮堤計画高を設定している。近年では、1999年の台風18号による高潮災害などによる計画高の見直しも行われている。このような台風は、設計レベルでは防潮施設の耐用年数が通常30年から50年であることから、数年に1回程度の頻度の台風では既存の防潮堤は十分にその機能を発揮することができる。ただし、防潮施設には通常開放されている水門や陸閘などの防潮ゲートがあり、高潮や津波の危険が生じた際にゲートを短時間で一斉に閉鎖する必要がある。

本研究では、潮汐の干満差が大きく従来から高潮被害が発生している有明海を対象海域とし、高潮と高波に対するゲート操作を適切に行うための助力として、対象海域における適切な推算モデルをもとに構成される高潮・高波の予測をリアルタイムで行うための簡易予測システムの構築を目指した。また、既往台風に対する予測システムの予測精度の検証と合わせて、台風の予測コースを用いた場合の予測値の精度についても検証する。

2. 簡易予測システムの要件

簡易予測システムの要件は、気象庁が発表する台風情報を入力することによって、海上風、潮位、河川遡上高、波高ならびに打上高を数時間から数十時間先まで数分程度の所要時間で予測できることである。また、操作性、予測精度および処理速度の向上といった作業の簡素化と的確化が必要とされる。

システムを構築するにあたっては、①パソコン上での操作性は特殊な技術を必要としない簡便なものとし、数

分程度の短時間で予測計算が行えること、②気象庁予報部が発表する台風予報図(円)をもとに予測コースを機械的に設定できること、③操作性を重視することによる誤差を許容できる用途に利用を限定すること、等を前提条件としてシステムの目的を以下のように設定した。

予測項目: 潮位、河川遡上高、波高、打上高

予測時間: 24時間予測(基準)

予測地点: 湾奥沿岸部

計算所要時間: 10分程度

データ入力項目: 台風予想経路、中心気圧

3. 対象とする海域特性

(1) 地形特性

具体的に対象とする有明海は、九州西部に南から深く入り組んだ大きな比較的細長い内湾であり、湾軸に対して南北96 km、平均幅は18 km、海域面積が満潮時で約1,700 km²であるが、水深は湾口で50 m、水深は平均で約20 m程度と浅く、沿岸域には干潟が広い範囲で分布している。また、開口幅は4 km程度の閉鎖的な海域である(図-1参照)。

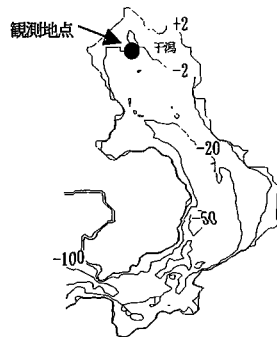


図-1 有明海の水深分布

(2) 既往台風の通過コース

1990年～1999年の10年間に九州直撃コースをとった台風は図-2に示すように16個あり、そのほとんどが九

* 正会員 八千代エンジニアリング株式会社
** フェロー 工博 京都大学教授 防災研究所
*** 正会員 工博 京都大学助教授 防災研究所

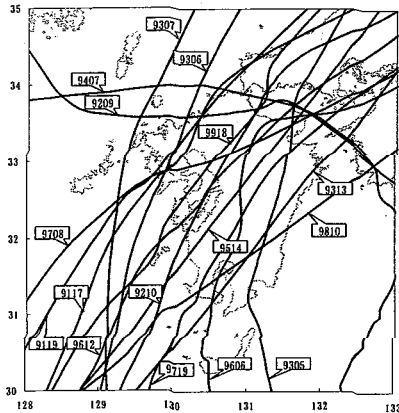


図-2 九州を直撃した台風進路

州の南南西から北上して上陸している。これをコース別に3種類に分類すると、以下のようなものである。

- 西側を北上 (type-I) : 9117, 9119, 9306, 9307
- 北部を東から西 (type-II) : 9209, 9407
- 東側を北上 (type-III) : その他 (10 台風)

(3) 台風時の海象特性

有明海では湾奥部で定点観測が行われており、この観測データをもとに海象特性を整理した。潮位変化は、大潮時の潮位差が5 m 以上と極めて大きく、小潮時には2 m を下回ることもある。台風時の潮位偏差は台風のコースと規模によりばらつきはあるが、コース別に台風接近時の最大風速と潮位偏差の最大値との関係をプロットした図-3(a)によると、潮位偏差は風速以外に風向の違いによる影響が大きく、風向が北向きとなる type-I では4 ケースとも1 m 以上の潮位偏差が生じ、その他のコースは概ね1 m 以下の値が観測されている。

波浪特性については、有明海は前述のように開口部の狭い閉鎖的な海域であり、特に湾奥では外洋波浪の影響を受けないものと考えられる。湾奥部では年間を通して10 m/s 以上の風が吹いても湾奥の波高は50 cm 程度で、主に台風来襲時の北向きの強風時に1~2 m 程度の波高が観測されている。台風時の波高の最大値と最大風速との関係をプロットした図-3(b) によると湾奥の波高は潮位偏差と同様に台風進路による風向の影響を受け、北向きの強風時に波高の増大が見られる。ただし、type-I の2つのケース(円内)については、40 m/s 程度の風速が観測されているものの最大で50 cm 程度の波高しか観測されていない。これは、荒天時には欠測があるなどの観測値の精度も考えられるが、風速が最大となる時間に干潮であったのが原因であると考えられる。

4. 簡易予測システムの構成要素モデル

簡易予測システムの構成は図-4 に示す通りである。

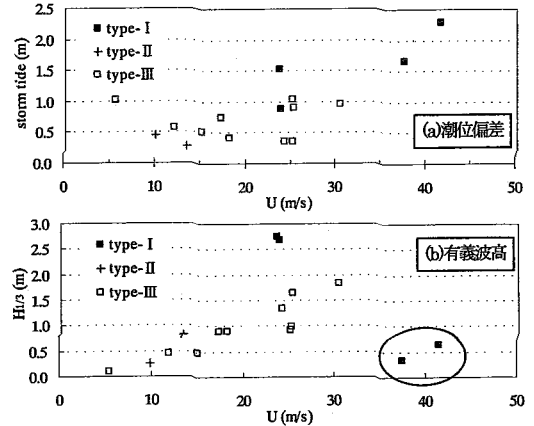


図-3 台風時の潮位偏差・波高の最大値と最大風速

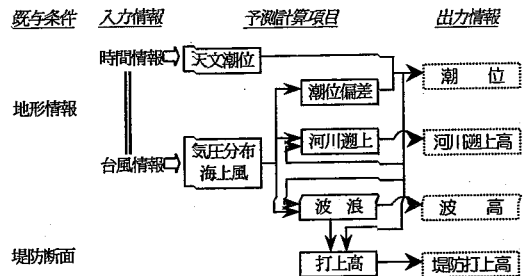


図-4 システム構成

(1) 海上風予測モデル

台風の移動に伴う気圧場の予測は Myers の式を用い、傾度風を算定して風域場を予測する。また、リアルタイム予測を行うために簡便性を重視して、本システムの構築にあたっては地形の影響は無視するものとした。

気圧分布式に含まれる台風定数の設定を、台風規模を表す強風半径 (1,000 hPa を示す台風中心からの距離) を用いると精度が悪くなるので、予測開始時の現地実測気圧を初期値として用いると精度が良くなることから、予測開始時に台風定数を逆算して推定する方法を採用する。これは、有明海沿岸域でいくつかの観測所のデータをリアルタイムで入手することができることを前提としている。

(2) 高潮予測モデル

気圧低下と海上風の吹き寄せによる潮位変化の予測は、着目する湾奥部のメッシュを細かく、その他の海域を粗くすることにより、湾奥での精度向上と計算時間の短縮を目指したモデルの作成が可能であることから、差分法による平面2次元 FEM モデルを採用する。また、水深が比較的浅い海域であることから単層モデルを用いる。

地形モデルの作成にあたっては、外洋との海水交換を考

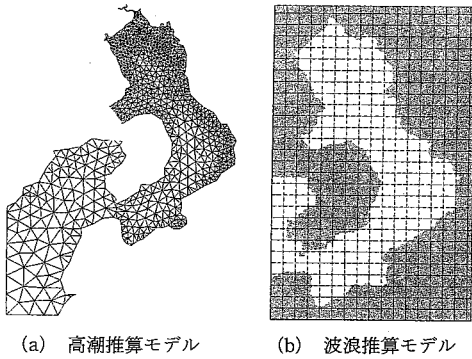


図-5 高潮と波浪の計算格子

表-1 システムの構成

項目	条件
海上風予測	台風: Myers
高潮予測	天体潮位: 27分潮重ね推算法 気象潮位: 平面2次元FEM 河川遡上: 1次元基礎方程式
高波予測	波浪推算: SWAN
打上高予測	算定図: Saville (簡易式で対応)
OA環境	使用PC: pentium III 700MHz程度 動作環境: microsoft Windows98 / WindowsNT4.0 使用言語: Microsoft Visual BASIC6.0 : Compaq Visual FORTRAN6.0

慮するため、図-5(a)のように計算領域を広げる。

(3) 波浪推算モデル

波浪推算は簡易的な有義波法から第3世代モデルまであるが、一般的に気象予報に用いられている波浪推算モデルは非線形エネルギー伝達を精密に評価する第3世代モデルのWAM (WAMDI group, 1988) やMRI-IIIといったものである。しかし、WAMやMRI-IIIは深海域を対象としていることから、特に水深の浅い閉鎖海域での予測には適していない。

浅海域の波浪推算モデルとしては、浅海での3波共鳴や伴う砕波の影響を導入した第3世代の浅海波浪推算モデルSWAN (Ris, R. C., 1997) が開発されている。SWANの日本沿岸での妥当性は間瀬ら (2001) により示されている。

有明海においては、特に浅海域での予測精度を必要とすることから、本システムの構築にあつてはSWANを採用することとし、計算パラメータと計算格子間隔の調整により計算時間の短縮を図るものとした。

(4) 河川遡上高および打上高予測モデル

河川への遡上高は、河道断面を単純化して、開水路の不定流基礎方程式 (連続の式, 運動方程式) に風による抵抗を考慮したLeap Frog法により予測する。

海岸施設への波の打上高は、対象地域の前面海域が干潟であるため1/100よりも緩い勾配であり堤脚水深が浅いこと、既設堤防断面が複合断面として取り扱えることなどから、堤防断面の条件に適合するサピールの仮想勾配法によって打上高を予測する。

5. 簡易予測システムの構築と検証

(1) システム構成

実際の簡易予測システムとして、台風情報の入力から結果の出力まで、図-4の流れを持つシステムを構築した。各予測モデル間で必要なデータの入出力は自動で行い、システムを操作するには台風情報を入力して計算を

スタートさせるのみであり、必要な予測結果を選択することにより予測結果を得られるシステムである。表-1には簡易予測システムを構築する各要素モデルの一覧を示してある。

(2) 計算時間の短縮

各予測モデルのうち、特に波浪推算モデルは計算パラメータや格子間隔などによって計算時間が数時間から数分まで変化する。ここでは、計算精度の低下を最小限となるように計算パラメータ (Holthuijjesenら, 2000) の設定を行った。すなわち、SWANにおける非線形の4波共鳴など複雑な計算は行わず、砕波と海底摩擦等の影響を考慮するのみのパラメータ設定を行った。

また、潮位を変動させて波浪推算を行うと、計算時間が倍以上かかる上、場合によっては計算がストップしてしまう等の問題を解決できなかったことから、現段階では予測時間内の潮位条件を一定値として与えることとした。

その他、計算時間の短縮に最も効果的なのはメッシュを粗くすることで、比較計算の結果、3kmメッシュの水

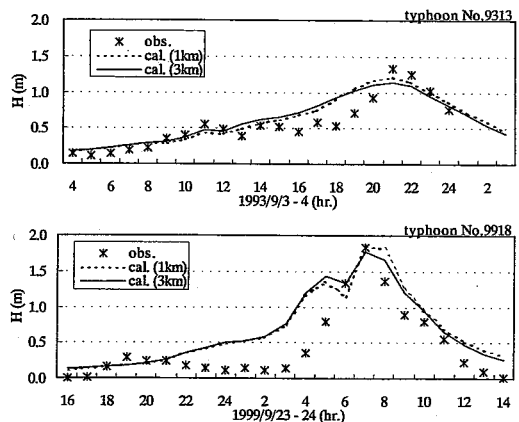


図-6 格子間隔による計算結果の変化

深モデルによりシステムを構築することとした。この結果、図-6に示すように格子間隔が1 kmと3 kmでは特にピーク時において若干誤差が大きくなるが、目立った差異はない。

以上の設定により、最終的には波浪推算に要する計算時間を5分まで短縮することができ、24時間予測に対し全体で目標の10分程度にまで短縮することができた。

6. システム運用の検証

構築した簡易予測システムの運用に際しては、実用面を想定して運用方法を示すとともに、その運用方法に準じた場合の予測精度を検証した。

(1) 既往台風に対する予測精度

実際に総合予測システムを用いて既往台風に対する予測精度を検証した結果を図-7に示す。

図-7より、予測誤差は以下の通り整理できる。

- ①潮位：有明海の西側を通過：±20 cm 以内
直撃もしくは東側通過：-30 cm 以内
- ②波高：有明海の西側を通過：-50 cm 程度
直撃もしくは東側通過：+50 cm 程度
風の予測が正の場合：±30 cm 以内
- ③打上高：有明海の西側を通過：-1 m 以内
直撃もしくは東側通過：+80 cm~1.5 m 以内
風の予測が正の場合：±50 cm 以内

これらの誤差は、台風経路の予報が的中したと場合の予測誤差を意味する。

(2) システムの運用方法

本システムは台風予報をもとに予測計算を行うことを目的としていることから、まず、気象庁が発表する台風予報図をもとに台風経路を想定する。

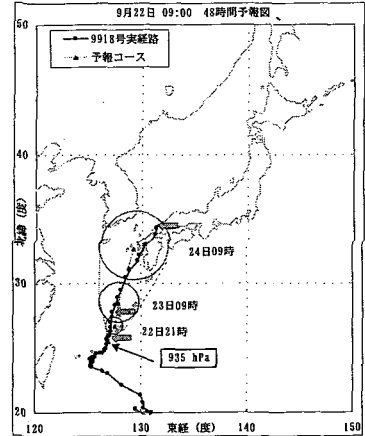


図-8 予報円と実経路 (矢印: 実績位置)

本システムの対象である有明海は、日本本土の南西端に位置していることから、本土上陸後の著しい中心気圧の低下と移動速度の変化は、西から東へ向かうコース以外では特に問題とならないと考え、基本的には予測開始時の気圧を変化しないものとして与え、移動速度は予報円に準じる。

(3) システム運用による予測誤差

気象庁による台風予報は、通常予報円により提供している。予報円的中率は70%程度とされている。本研究において図-8のようにして的中率の検証を行った結果、予報円的中率が60%、コース的中率は90%であった。

このことから、簡易予測システムの情報入力時点で既に台風情報の精度は70%程度の精度となるが、本システムの予測値がどの程度精度が低下するかを検証を行っ

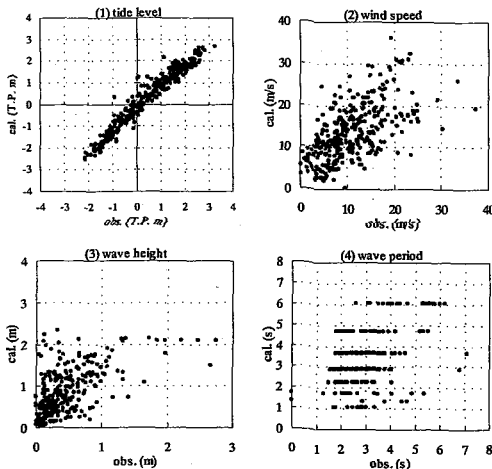


図-7 実経路によるシステムの検証結果

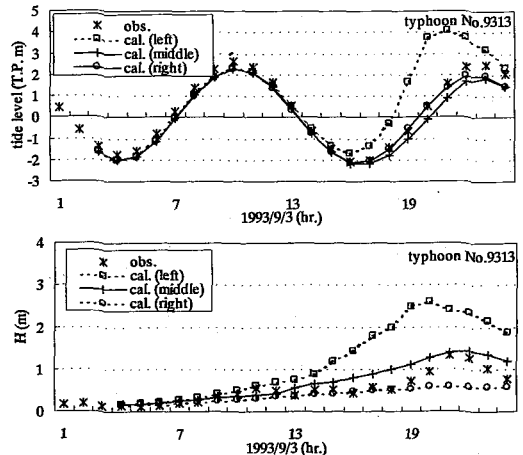


図-9 予測コースによる潮位と波高の予測値の比較

た。

計算結果 (cal.) の left は予報円の進行方向に向かって左側を通る場合の予測結果, 同じく middle が中心, right が右側を通るコースによる予測結果である。図-9 は 9313 号の予報円に対する予測計算の結果である。9210 号は実経路が予報円の中心よりも若干東側 (進行方向に向かって右側) を通ったもので, 予測計算は最接近の約 12 時間前に開始したものである。この図からわかるように, コースにより大きく予測値が変化し, 特に波高は予報円の左側と右側を移動する場合で 2 倍以上の差が生じる。このため, 本システムの予測精度よりも台風の予測コースによる誤差が大きくなるのが改めて明確になった。

その他に本研究で取り上げていない高潮と波浪の相互作用による影響も予測を行う上で重要な要素の一つである。既往の研究では, 佐藤ら (2001) により高潮と波浪の相互作用を考慮しない場合に, 高潮と波浪の推算値は 15% 程度の誤差が生じたと報告されている。

7. ま と め

本研究で構築した簡易予測システムに関する考察および問題点を以下にまとめる。

1) 高潮予測は様々な台風のコースに対応するために干潟の水深を補正したことにより誤差が増大したものの, 20 cm 程度の誤差に収めることができた。波浪の予測精度は海上風の予測精度に左右されるため, 波浪の予測精度を向上させるためには, 海上風予測モデルの改良が必要である。

2) 全般的には台風予報円の精度によって, 高潮や高波の予測値が大きく変化する。それに伴って, 実際より

も小さく予測されることも考えられることから, この簡易予測システムは防災面から考えた場合, 台風予報円の中で 3 コース以上を設定して予測を行い, その予測結果の最大値と最小値の中に真の予測値が含まれるものとして取り扱うこととする。

3) 波浪予測に関して潮位変動の影響を今回は無視して高潮位の安全側で予測するようにシステムを設定している。精度の向上にあたっては, 高潮予測との連動や相互作用を考慮した予測の研究を行う必要がある。

最後に, 本研究で用いた有明総合観測タワーのデータは, 国土交通省九州地方整備局武雄工事事務所より提供頂いたものであり, ここに謝意を表する。

参 考 文 献

- 磯崎一郎・鈴木 靖 (1999): 波浪の解析と予報, 東海大学出版, 274 p.
- 佐藤孝夫・末永正次・橋本典明・中垣 壽・宇都宮好博 (2001): 相互作用を考慮した波浪高潮結合モデルの開発, 海岸工学論文集, 第 49 巻, pp. 216-220.
- 間瀬 肇・平尾博樹・國富將嗣・高山知司 (2001): SWAN を用いた日本沿岸波浪推算システム構築と適用性の検証, 海岸工学論文集, 第 48 巻, pp. 236-240.
- 土木学会編 (1983): 新体系土木 有限要素法, 技報堂出版, 302 p.
- Holthuijzen, L. H. et al. (2000): SWAN CycleIII ver.40.11, User Manual, 124 p.
- Ris, R. C. (1997): Spectral modeling of wind waves in coastal areas, ISSN 0169-6548, Vol. 22, pp. 1389-1405.
- The WAMDI group (1988): The WAM model-A third generation ocean wave prediction model, J.Phys. Oceanogr., 18, pp. 1775-1810.
- Saville, T., Jr. (1958): Wave run-up on composite slope, Proc. 6th Coastal Engg. Conf., ASCE, pp. 691-699.