

# 瀬戸内海の風場推算・波浪推算の高度化

西野 博史<sup>1</sup>・<sup>\*</sup>井上 省吾<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup>中国地方整備局 広島港湾空港技術調査事務所 調査課

(〒730-0029 広島市中区三川町2-10愛媛ビル6F)



本検討では、これまで瀬戸内海に來襲した台風等の気象擾乱を対象に、陸地の影響を考慮し、気象学に基づく物理方程式を支配方程式とする局地気象モデルによる海上風の推算を実施し、海上風の精度と、この海上風を用いた高潮・波浪の推算精度について検討を行った。

検討の結果、局地気象モデルによって瀬戸内海の海上風を精度良く推算でき、更にこの海上風を用いることで高潮や波浪についても精度良く推算できることが検証できた。

キーワード 風場推算, 局地気象モデル, 波浪推算, 第三世代波浪推算モデル

## 1. はじめに

日本の沿岸には 1959 年の伊勢湾台風などを契機に様々な高潮対策施設が築造されてきた。その成果もあり、伊勢湾台風から半世紀近く顕著な高潮・高波災害は起きなかった。ところが、1999 年の台風 9918 号は八代海、周防灘、広島湾など西日本の沿岸に高潮や高波を発生させ、数多くの港湾や海岸の施設を破壊し、高潮を直接の原因とする溺死者を出す災害に至った。また、2004 年には 1951 年以降で史上最高となる 10 個もの台風が日本に上陸し、瀬戸内海の沿岸でも多くの施設に被害が生じた。

瀬戸内海においても、これまで大規模な高潮・高波災害が発生した際には、施設の被災原因を特定するために、海上風・高潮・波浪の再現計算がなされてきた。しかし、実務で広く使われてきた海上風・高潮・波浪推算手法では、瀬戸内海のように複雑な陸上地形に囲まれた海域では、海上風・高潮・波浪を精度良く再現することは難しく、その推算精度は必ずしも十分ではなかった。

そこで、本検討では、近年に瀬戸内海に來襲した台風を対象に、陸上地形を考慮した高精度な海上風・高潮・波浪推算手法について検討を行った。

## 2. 風場推算

台風時において精度の高い高潮・波浪の推算を実施するには、一般的に精度の高い海上風の推算が必要である。

本章では、過去の台風事例を対象に、現在、広く実務で用いられている二次元台風モデル、マスコンモデル（以下では、従来法と記す）および気象場の数値予報モ

デル（以下では、気象モデルと記す）による台風時の風場推算を実施し、精度検証を行うとともに、両手法によって推算される風場について考察を行う。

### (1) 推算方法

#### a) 従来法

従来法は、台風の海面気圧や海上風の分布を台風の基本的なパラメータ（中心気圧、最大風速半径、移動速度）だけで表現する簡便な方法が用いられており、その手法には限界があると言われている。本検討では、以下の3つの従来法によって、風場を推算した。

モデル①：傾度風と場の風のベクトル合成モデル

台風の中心に向かって吹き込む風（気圧傾度風）と台風の移動効果（場の風）とをベクトル合成したものを海上風と考える二次元台風モデル。

モデル②：超傾度風を考慮したモデル

南北に長い内湾から離れた西方を台風の中心が北上する場合に、その内湾の高潮を推算するためには、台風の右半円で吹く南風を推算する必要がある。モデル①の欠点を補うため、風速の低減係数に超傾度風を考慮し、移動座標系で力学的な釣り合いを考えた二次元台風モデル。

モデル③：マスコンモデル

二次元台風モデルで得られる風場を陸上地形に沿ったリアルなものに修正するモデル。このモデルは質量保存則を束縛条件とした一次元変分法で陸上地形を考慮した大気の流れを求めるものである。

#### b) 気象モデル

気象モデルとは大気の質量保存則、運動方程式、気体の状態方程式、熱や水蒸気の輸送方程式を計算し、

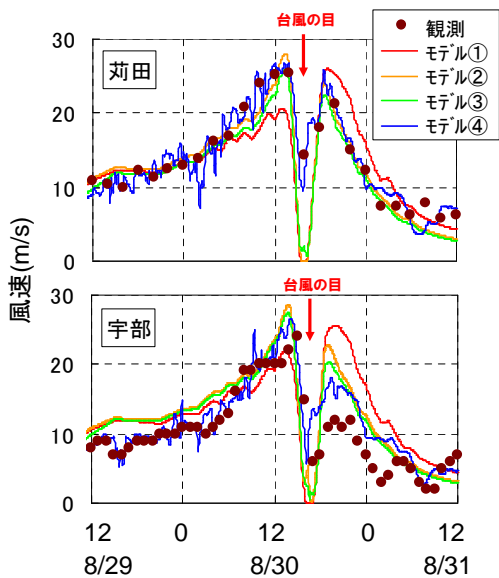


図-1 海上風の経時変化

大気中の水の蒸発、雲の発達、降雨等の物理過程を考慮して海面気圧や海上風を推算する気象モデルである。

モデル④：局地気象モデル

本検討では、気象モデルのひとつである局地気象モデル MM5 に、気象庁 GPV(気圧、気温、風速、水蒸気量などの三次元格子データ)の計算格子をより細かく設定した上で、台風ボ-ガス(台風の三次元的な気圧や風速の分布モデル)を挿入し、海上風を含む気象データを推算した。

## (2) 風場推算結果

図-1は、T0416時の萩田と宇部(位置は図-5を参照)を例に、風速の経時変化を示す。モデル①は、風速を台風目の通過前で過小に、通過後では過大に評価している。モデル②は、台風目の通過前後に対称な経時変化を与えており、モデル①よりも観測値に近い。モデル③の風速はモデル②の風速をもとに陸上地形の影響を考慮したものであるが、必ずしも観測値に近づいていない。モデル④が観測値に最も近く、最も精度が良かった。検討を行った他の台風(T9709, T0410, T0418, T0514, T0613)においてもモデル④の精度が最も良かった。

各モデルによる風場を、台風0416号の中心が周防灘の南に達したときを例に示したものが図-2である。モデル①では足摺岬の周辺から広島周辺にかけて風速が最大になっているが、モデル②ではモデル①よりも台風の中心側かつ北側で最大となっている。モデル③は、陸上地形を迂回し過ぎる傾向があり、例えば豊後水道から伊予灘に達した風が西の周防灘と東の伊予灘に分岐している。また、燧灘や大阪湾では風上側と風下側の両方に陸地があるために、風速がかなり小さくなっている。これまでマスコンモデルは実務で広く使われてきたが、この例のように風場の再現が難しい場合もあることが分かる。モデル④の風向は、モデル③ほど陸地による偏向はなく、モデル①やモデル③の風向に近い。風速はモデル②よりも全体的に大きく、土佐湾でも大きな風速になっている。モデル④では、宇和海から周防灘に吹き込む風が強く、沖合より陸の近くで風速が小さく現実に即した風場が得られた。

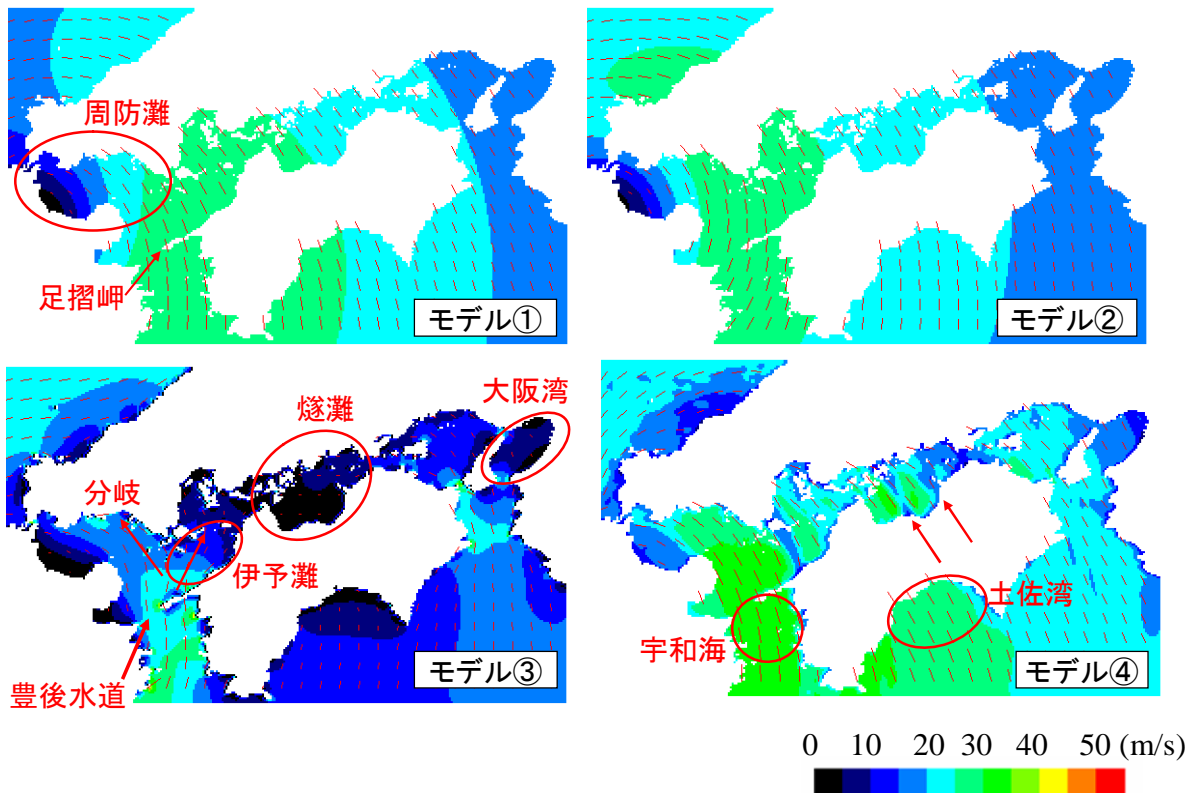


図-2 海上風の分布

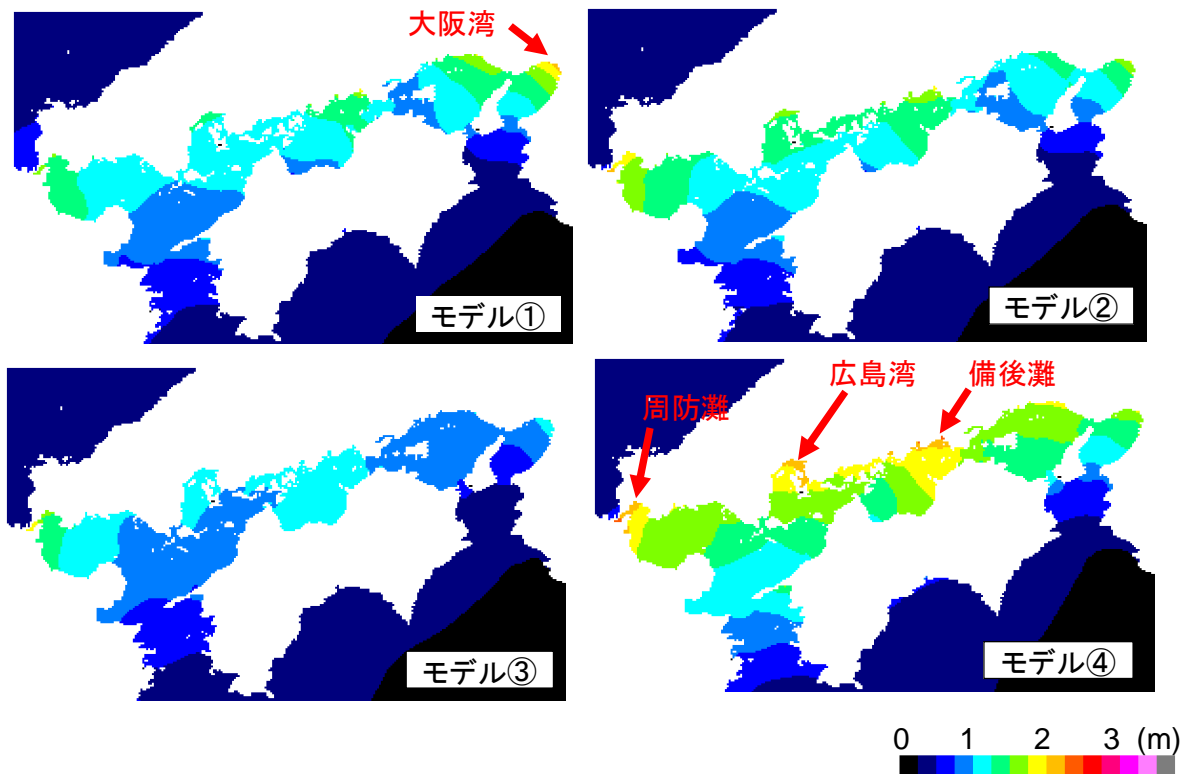


図-3 高潮偏差の分布

### 3. 高潮推算

2. で検討した各風場推算モデルによる風場を入力条件とし、高潮の数値計算モデルにより各風場推算モデル毎に高潮推算を行い、推算される高潮について考察を行う。

#### (1) 推算方法

高潮の数値計算モデルは、気圧・風の場を入力条件とし、気圧低下による海面の吸い上げ、風による海面のせん断応力、海底の摩擦応力、海水の渦動粘性などを考慮して、流れの連続の式や運動方程式を解くものである。

本検討では、この高潮の数値計算モデルの中でも最も一般的に用いられるモデルを用いた。

#### (2) 高潮推算結果

図-3 は T0416 を例に、モデル①から④の海上風・海面気圧で推算した最大高潮偏差の分布を示す。①では大阪湾、④では備後灘、広島湾、周防灘で顕著な高潮偏差が得られた。②と③は、④に近い分布となった。

図-4は、T0416を例に、図-5に示す16地点の最大高潮偏差を示す。モデル①による推算値は、観測値より全体的に小さく、バラツキも大きい。④による推算値は、周辺地形の込み入った数地点を除けば、よく一致している。T0416を含む6つの台風を通じて最も高潮の推算精度の良かったのは、④によるものである。

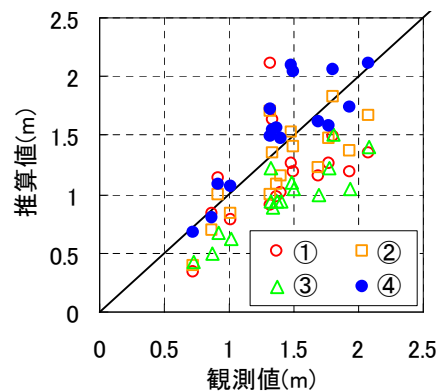


図-4 高潮の推算精度

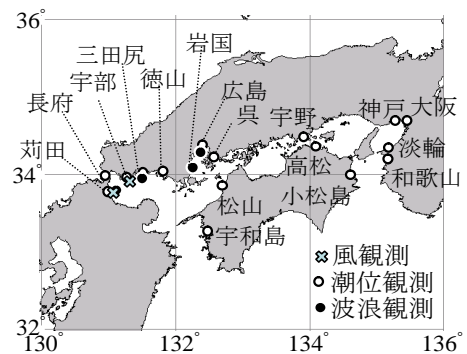


図-5 風、潮位、波浪の観測地点

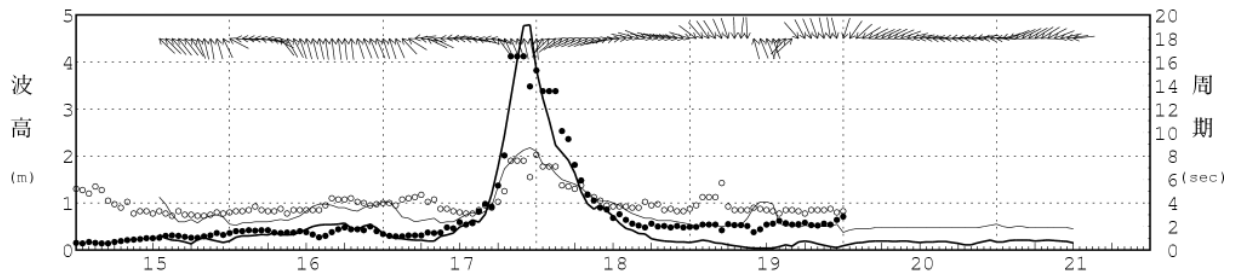


図-6 波浪の経時変化(T0613 三田尻)

#### 4. 波浪推算

2. で検討した局地気象モデルによる風場を入力条件とし、第三代波浪推算モデルのひとつである、WAM モデル（気象擾乱における精度が高く、近年、外洋を対象としてよく用いられるモデル）により瀬戸内海の波浪推算を行い、推算される波浪について考察を行う。

##### (1) 推算方法

本検討では、瀬戸内海のような内湾域を対象に局地気象モデルによる高精度な海上風を波浪推算の入力風場とした場合に適切な波浪を推算できるよう、第三代波浪推算モデル WAM に以下の改良を行ったモデルを用いた。

##### a) エネルギーソース項に地形性砕波項を導入

瀬戸内海などの複雑な地形に囲まれた海域での推算精度を向上させるため、WAM を含めたこれまでの波浪推算モデルには考慮されていなかった汀線付近での波高の増大による砕波を考慮する「地形性砕波項」をエネルギーソース項へ新たに導入した。

##### b) 風から波へのエネルギー輸送項の修正

局地気象モデルによる精度の高い内湾海上風を入力風場とした波浪推算を行った場合、その結果が過大評価となるケースがしばしばある。このため、波浪推算モデルにおいて風から波に伝えられるエネルギーを表現している「風から波へのエネルギー輸送項」を修正した。

① 風が海面に吹き付けることによるせん断応力の度合いを表現する「海面抵抗係数」の修正を行った。

最近の観測結果に基づく研究で、一定風速以上になると海面抵抗係数は逆に減少するという報告がなされていることに鑑み、海面抵抗係数に上限を設けた。

② 波浪発達率の風向依存性について、逆風の効果を適切に評価できるよう修正した。

##### (2) 波浪推算結果

図-6 に代表例として T0613 の三田尻における推算値と観測値を示した波浪の経時変化を示す。また、図-7 に同ケースの波高の相関解析図を示す。相関係数は 0.95、回帰係数は 0.92 であり、波浪推算の結果は精度が高く、本検討における改良により、瀬戸内海のような内湾域に適合した波浪推算モデルを構築できたといえる。

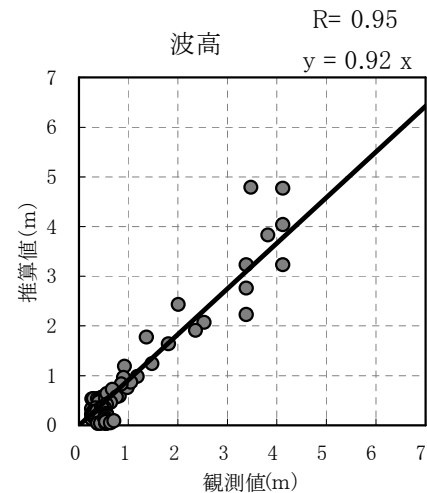


図-7 相関解析結果 (T0613 三田尻)

#### 5. おわりに

本検討をまとめると以下のとおりである。

- (1) 局地気象モデルによって瀬戸内海の海上風を精度良く推算できた。
- (2) 局地気象モデルによる風場を入力条件とした高潮推算によって瀬戸内海の高潮を精度良く推算できた。
- (3) 局地気象モデルによる風場を入力条件とし、更に第三代波浪推算モデル WAM を改良することにより、瀬戸内海の波浪を精度良く推算できた。

広島港湾空港技術調査事務所では、本件で検討を行った局地気象モデル、改良を行った第三代波浪推算モデル WAM により、瀬戸内海の風場推算、波浪推算を実施しており、実務へ適用しているところである。

##### 参考文献

吉田秀樹・村永 努・惟住智昭・河合弘泰・川口浩二 (2007) : 局地気象モデルを用いた台風時の長期海上風推算に関する検討, 土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集, 講演番号 2-007.

Ohsawa, T., T. Nakano, K. Matsuura and K. Hayashi (2006): Introduction of a JMA-type typhoon bogus scheme into MM5 to improve hindcasting of coastal sea surface winds, J. Wind Engg, Vol.31, No.3, pp.193- 196.