

波浪推算におけるメソ気象モデルの適用とその効果に関する検討

Study on Application of Mesoscale Meteorological Model for Wave Hindcasting

本田隆英¹・織田幸伸²・伊藤一教²

Takahide HONDA, Yukinobu ODA and Kazunori ITO

For a prediction of wave field where wave observation data do not exist, numerical wave estimation models such as SWAN are effective. For these models, global meteorological databases provided by ECMWF or NCEP can be used as wind input data; however these data may be coarse for wave hindcasting. In this study, to evaluate the fine wind field data for the wave hindcasting, the mesoscale meteorological model MM5 was applied. By applying the wind fields evaluated by MM5 to SWAN, the wave hindcasting was available with good accuracy. Moreover, for high waves produced by typhoon, it is well known that typhoon bogussing is effective, while wind field calculation at higher resolution without bogussing gave good estimations of wave fields as well.

1. はじめに

海洋工事では、設計波や稼働率などの波浪条件を設定するために、波浪頻度や暴浪時の波浪場を把握する必要がある。一般に、これらの波浪データは長期の波浪観測データを統計解析することによって求められが、特に海外などでは十分な波浪データが蓄積されておらず、適切な波浪条件を設定することが困難な場合があるのが現状である。そのような場合には、波浪条件の設定に波浪推算技術を活用することが可能である。近年、数値気象モデルの発展により、過去の現象を含めた地球規模の気象の再現が可能となっており、これに伴い波浪推算モデルによる波浪場の再現についても盛んに研究されるようになってきている。

間瀬ら(2008)や李ら(2008)は、メソ気象モデルと波浪推算モデルを組み合わせ、低気圧によるうねり性の高波浪場を再現している。また、台風接近時の波浪場の推算には台風ボーガスと呼ばれる擬似的な人口渦を気象モデルに適用することが一般的だが、吉野ら(2008)は台風ボーガスの適用手法を改良することにより、予測精度の向上を図っている。波浪予測の分野では、Traceyら(2008)が、毎時大気解析GPVデータを用いて、日本の沿岸域を対象に、観測点のない場所においてもリアルタイムに現在から数時間先までの波浪の状況を予測するシステムを開発している。これらの研究は、数日間の比較的短期間の波浪場の再現を目的としたものであるが、設計波や稼働率等を算定する場合には数年間の長期間波浪場の推算が必要となる。小林ら(2007)は、ECMWF(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)の

再解析データを用い、局地気象モデルMMSおよび第三世代波浪推算モデルSWANを用いて日本列島周辺の長期間波浪データベースを構築している。

ここでは実務適用の観点から、波浪統計解析に適用可能な、長期間の波浪場を過去の気象データから推算することを対象とする。気象データとしては、前述のECMWFやNCEP(National Centers for Environmental Prediction)の解析した気象データを用いることが出来るが、波浪推算の観点から時空間の解像度が十分とは言えないため、これらのデータを入力として気象モデルを適用し、より高解像の気象場を再現する必要がある。本研究では、この気象モデルの適用の効果について検討する。特に、前述の全球気象再解析データでは、台風のような局地的な風場の変化を再現するには解像度が十分でない場合が多く、また気象モデルを用いて気象場を再現する際には、台風ボーガスを適用する必要があるのが一般的である。そこで、台風来襲時の波浪場を再現する際に、ナッジングによるデータ同化や台風ボーガスの適用がその再現特性に及ぼす影響についても検討する。

2. 解析方法と解析領域

本解析では、NCEPによる客観解析気象データ(1.0°メッシュ)を入力とし、メソ気象モデル(MM5)により気象データを高解像度化する。次にこれを入力として、第三世代波浪推算モデルSWANにより波浪場を推算している。解析対象は、沖縄周辺海域とした。解析領域を図-1に示す。この領域では、中城湾と名瀬にナウファスの観測点が含まれる。本研究では、長期波浪場を対象としたその頻度特性(1年間)と、台風来襲時の波浪場変化(4日間)の2つについて検討しており、それぞれ以下の方法により解析した。

1 正会員 博(工) 大成建設(株)東北支店
2 正会員 博(工) 大成建設(株)技術センター

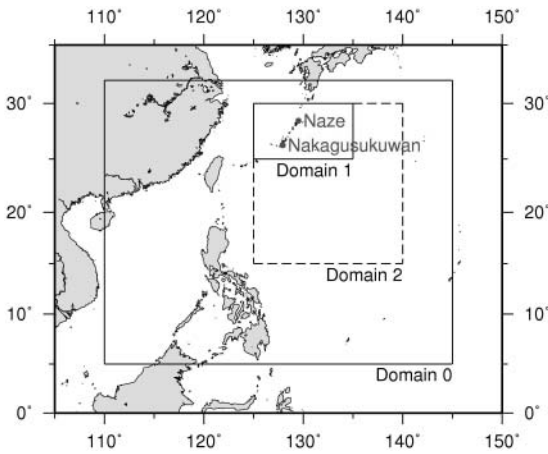


図-1 解析領域

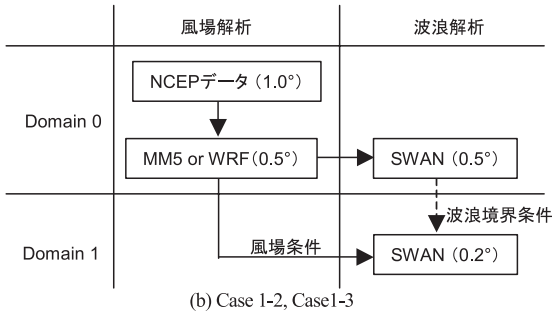
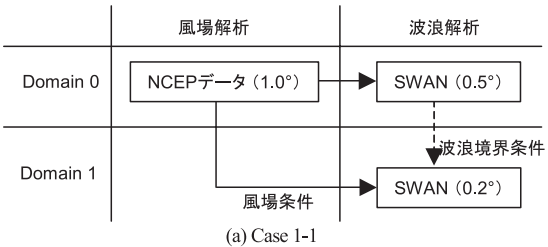


図-2 長期波浪場の推算方法 (括弧内はデータの解像度)

(1) 長期波浪頻度特性の解析方法

2005年の1年間の長期波浪場を対象に、図-2に示す2通りの方法により波浪場を解析し、気象モデルの有無による頻度特性の推算結果の違いについて検討した。南から来襲するうねり性の波を再現するため、南側に解析領域を広く取りDomain0とし、この領域のNCEPの気象データを入力値とした。波浪場の解析領域もDomain0（ただし、解析メッシュは 0.5° ）とし、ネスティング（1-wayネスティング）により沖縄近海の波浪場を 0.2° の高解像度で推算した。この際、NCEPの気象データを直接SWANの入力条件として計算する場合（Case 1-1）と、気象モデルにより 0.5° メッシュのデータに解像度を上げてから入力した場合（Case 1-2, 1-3）について比較した。ここでは、メソ気象モデルとしてMM5とWRFを適用した場合について

表-1 台風来襲時の波浪場推算方法

解析領域	解像度		
	NCEP	MM5	SWAN
Domain2	1.0°	0.2°	0.2°
MM5解析 オプション	データ同化		台風ボーガス
	Case2-1	○	×
	Case2-2	×	×
	Case2-3	×	○

解析しており、それぞれCase1-2, Case1-3とする。また、気象モデルの解析においては、データ同化を行っている。

(2) 台風来襲時の波浪変化特性の解析方法

2005年の大型台風0514号（最大中心気圧932hPa）を対象に、台風来襲時の波浪場を再現した。解析領域は、図-1のDomain2とし、MM5により 0.2° の高解像度データを求めた後、これを気象の入力データとしてSWANにより波浪場を推算した。一般に、台風来襲時の気象場をメソスケールモデルで精度良く再現するには、台風ボーガスを適用する必要がある。しかし、前述のような長期波浪場を対象とした場合、個々の台風毎にボーガスを設定するのは、多くの労力を必要とし、また、解析領域毎に適切な台風ボーガスが異なる可能性があるため、広域の波浪場を対象に適切なボーガスの入力条件を設定するのは困難な場合がある。一方、台風の中心付近は風速や風向が複雑に変化しており、風向きの方向性が一定の場合に比較して、気象の再現精度が波浪場の再現精度に及ばず影響は明らかでない。そこで、台風ボーガスにより気象場の再現精度を上げて波浪場の入力条件とした場合と、台風ボーガスを適用しない場合について比較検討した。また、台風来襲時には、気象場解析時にデータ同化を行う場合と行わない場合で、再現される気象場が大きく異なるため、この違いについても検討した。解析ケースを表-1に示す。なお、台風ボーガスの設定には、気象庁のベストトラックデータを用いた。また、台風ボーガスを適用した場合にデータ同化を行うと、台風がしだいに衰退しボーガスの効果が小さくなったため、ここでは両者を同時に適用したケースについては対象としない。（ただし、データ同化のパラメタを最適化することで、この現象は避けられる可能性がある。）

3. 長期波浪頻度特性の検討

(1) 時系列結果

図-3に、図-2に示した各解析ケースについて、中城湾のナウファス観測点における風速、有義波高及び平均周期のナウファス観測結果と解析結果の時系列を示したものである。図-3には、常時波浪の継続する3月と高波浪

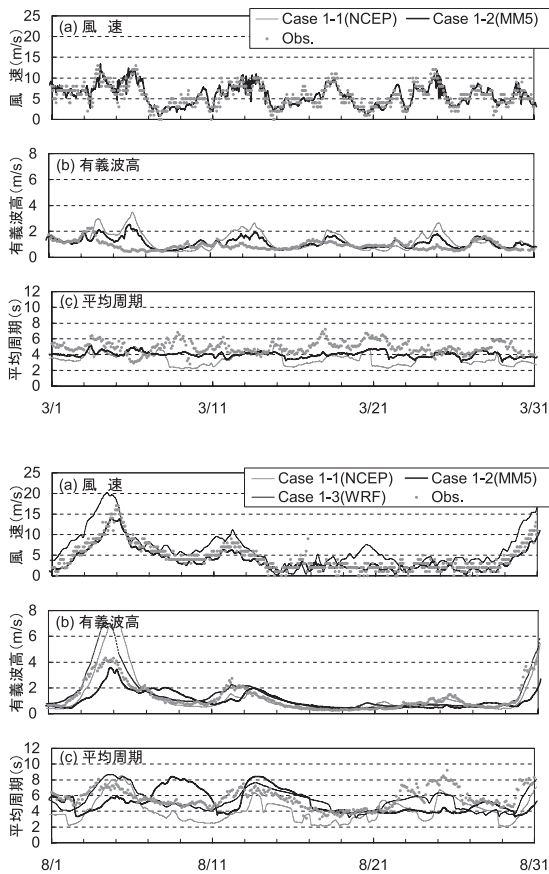


図-3 中城湾における時系列結果

のイベントの発生する8月について示した。なお、気象モデルとしてWRFを用いた解析は、高波浪の観測された6月から11月までの6ヶ月間のみを対象に解析した。

風速については、Case1-3のWRFを用いた場合が若干強風時に大きな値を示しているものの、どのケースも比較的精度良く再現できていると言える。

常時波浪（3月）の場合、NCEPのデータを直接適用したCase1-1では、波高を時々過大評価している一方で、周期は過小評価となっていることが分かる。MM5を適用した場合（Case1-2）にもこの傾向が見られるが、Case1-1に比較すると改善されていることが分かる。NCEPのデータでは、後述の台風を過小評価していることから分かるように、解像度が十分でないため局所的な風の変化を再現出来ずに、風場が一様化する。これにより、風域の変化が緩やかになり、風速の小さい場合には実際よりも波形勾配の大きい波が現れていると考えられる。

8月の時系列を比較すると、NCEPデータを直接入力したCase1-1とWRFを用いたCase1-3が強風時のイベントを過大評価している。ただし、その他の期間における強風時のイベントでは、これら各ケースの大小関係に一定の

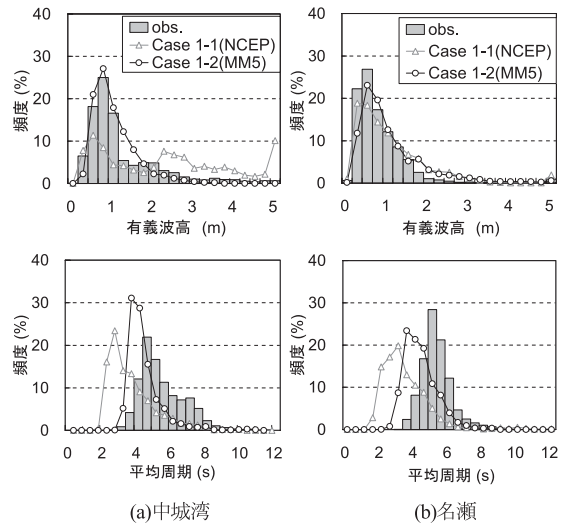


図-4 波浪の頻度分布

傾向は確認されない。前述の通り、気象場の解像度が不十分で、局所的な風場の変化を正確に再現できない場合には、解析点により実際の値を過大評価するか過小評価するかという傾向に定性的な特性がない。そのため、イベント毎に波浪場を過大に見積もる場合と過小に見積もる場合があると考えられる。特に、後述する台風のイベントにおいてはこの不確実性が顕著に表れる。周期については、各ケースにおいてばらつきが大きい。周期と波高を比較すると、必ずしもその増減は対応しておらず、波高が小さい場合にも周期が長くなっている場合がある。このことから、今回の解析領域の外側から入ってくるうねり性の波の影響が大きく関係していると考えられる。波高が小さく周期の長い波は、設計波としては大きな問題とはならないが、作業船の稼働率に大きく影響するため、これらの波をどう評価するかが今後の課題である。

(2) 頻度分布

図-4は、図-3に例示した時系列を統計解析することにより求めた有義波高と平均周期の頻度分布を、中城湾、名瀬のそれぞれについて示したものである。

有義波高については、MM5を用いたCase1-2が観測結果を精度良く再現できていることが分かる。ただし、時系列で示したように、高波浪時の波高の再現精度が低い。高波浪領域の精度は低くなっている。しかし、海上工事の稼働率を算定する上では十分な精度が確保できていると考えられる。一方、Case1-1では、特に中城湾において観測値を再現できておらず、MM5による気象場の高解像度化の効果が大きいことが分かる。

周期については、Case1-1、Case1-2ともに、観測結果を過小評価している。前述したように、気象データの解像度の影響と解析領域外からのうねり性の波を正しく評価

できていない影響が、波高頻度よりも周期の頻度に顕著に表れていることが分かる。ただし、Case1-1とCase1-2を比較すると、気象モデルの適用による再現精度の改善効果は大きいと言える。なお、WRFを用いた場合にも、MM5を用いた同等と同様の傾向を示している。

4. 台風来襲時の波浪変化特性の検討

(1) 台風ボーガスの適用効果

台風0514号来襲時の時系列について、台風ボーガスを検討した場合（Case2-3）としない場合（Case2-1）について、台風の中心気圧と最大速度を比較したものを、図-5に示す。比較対照として、気象庁発表のベストトラックデータについても示している。なお、再現された台風の進路は解析ケース毎に異なっており、したがって、図-5に示した結果は、同一点の値とはなっていない。NCEPのデータと台風ボーガスを適用しないMM5による解析データは中心気圧、最大風速ともにほぼ同程度の値となっており、ベストトラックデータと比較すると台風を過小評価していることが分かる。一方、台風ボーガスを適用した場合には、最大風速については、ほぼベストトラックデータと同程度となっており、中心気圧についても、ベストトラックデータに近い値となっている。台風ボーガスの適用による局所的な気象変動の再現精度が向上していることが分かる。

(2) 台風来襲時の波浪変化の再現特性

図-6に、中城湾における観測値と計算値の時系列比較を示す。風速については、観測値の最大値が20m/s以下となっており、陸地境界の影響を受けている可能性があるため、Case2-1の再現性が高いように見えるが、実際は過小評価の可能性がある。Case2-2とCase2-3を比較すると、風の継続時間は短くなるものの、最大風速についてはデータ同化をしないことにより、ボーガス適用のケースと同等の結果が得られている。

波高および周期の時系列では、各ケースともに、ピークが観測値よりも早く出現している。台風中心の位置をベストトラックデータと比較すると、ベストトラックデータの方が到達時間が34時間程遅くなっている。このため、波浪のピークが早く現れていると考えられる。一方、風の時系列ではピークがほぼ一致しているように見えるが、観測データが地形の影響を受けているため、風向きにより風速が変動し、台風到達時のピークが観測結果に正しく現れていないと考えられる。

波高および周期について各ケースを比較すると、Case2-1では波浪を過小評価しているが、Case2-2は、ピーク時刻はズレているものの有義波高および有義波周期の最大値を良好に再現している。Case2-2では、台風ボーガスは考慮していないが、解析格子間隔を 0.2° と細かく設定し

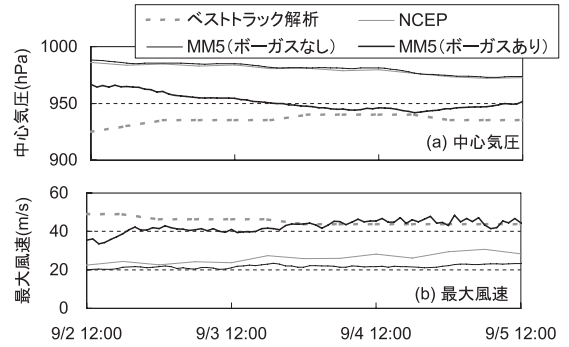


図-5 台風の中心気圧と最大風速

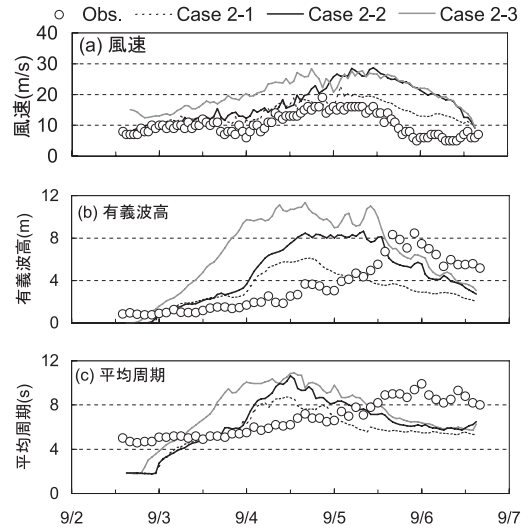


図-6 波浪推算結果（中城湾）

ているため、メソ気象モデルで台風がある程度再現されたものと考えられる。一方、ベストトラックデータから台風ボーガスを設定し、これを投入したCase2-3は、波高、周期ともに観測結果を過大評価した。本ケースでは、ボーガスの設定条件を単純にベストトラックデータから一意に決定しているが、台風ボーガスの適用方法によっては、波高を過大評価する可能性があるため、注意が必要である。設計波算定の実務的観点から考えると、設定が複雑なボーガスの活用より、細かい計算格子で算定する方が実用的である可能性が示唆される。

図-7、8に風速と有義波高の空間分布を各ケースについて示す。Case2-1は明らかに風場、波浪場ともに過小評価しているが、Case2-2、2-3では風速、波高ともに最大値の分布範囲はCase2-3の方が広いものの、その最大値は同等の値を示している。今回は1つの台風イベントのみを対象に解析したが、長期間の再現結果をもとに極値統計解析をする場合には、各近接地点間の違いは小さくなるため、この空間的な分布範囲の相違の影響は小さくなる

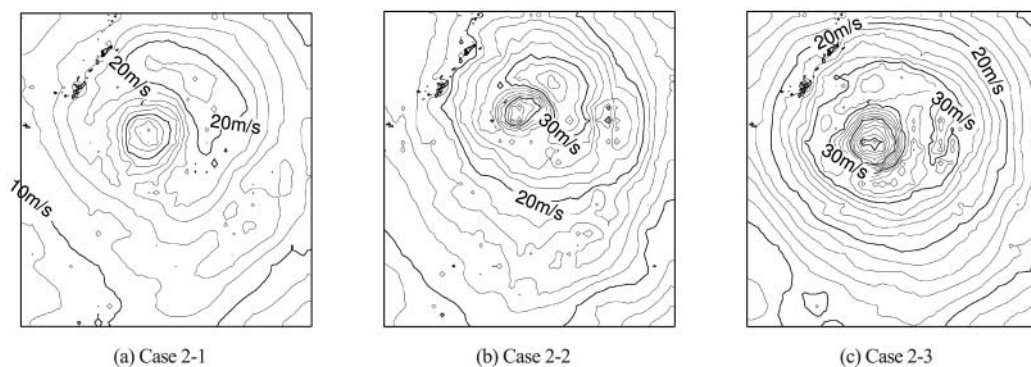


図-7 台風来襲時における風速の平面分布 (Domain2)

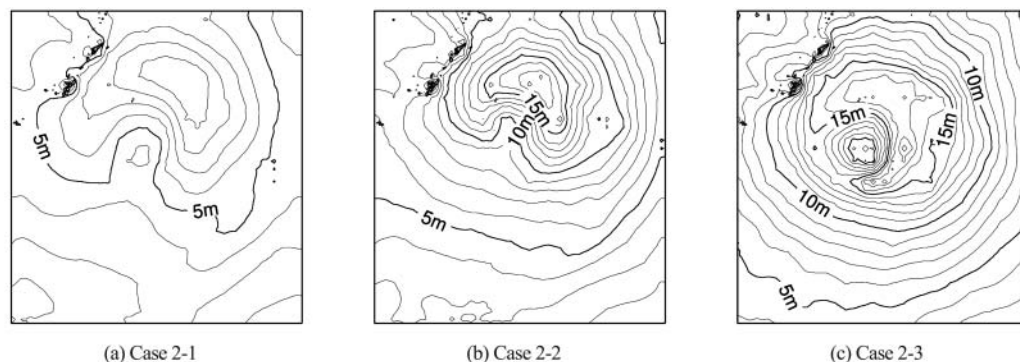


図-8 台風来襲時における有義波高の平面分布 (Domain2)

と考えられる。したがって、設計波を対象とする場合には、台風ボーガスを適用せずに 0.2° 程度の解像度で気象モデルを導入することにより、波浪場を評価できる可能性が示された。

5. まとめ

本研究では、NCEPなどの全球気象データから波浪場を推算することを目的に、メソ気象モデルの導入手法について実務適用の観点から検討した。得られた結論を以下に示す。

- ・ NCEPデータ等の解像度 1° 程度の気象データを直接を用いて波浪場を推算した場合、波浪場を過小評価する。一方、気象モデルにより気象場を高解像度化することにより、その推算精度は向上する。
- ・ 波浪の頻度を対象とする場合、常時波浪については台風ボーガス等により個別の台風の影響を考慮しなくても、上記手法により精度良く再現可能である。
- ・ 特に台風来襲時は、気象モデルを適用しないと波浪を著しく過小評価する。
- ・ また、台風来襲時の波浪を再現するには台風ボーガスの適用が有効な手段であるが、気象モデルにより求めた高解像度の気象場を入力条件とすることにより、ボ

ーガスなしでも波高の空間的な最大値は再現可能である。今後、極値統計解析を対象とした場合の、波浪場の再現精度について検討する予定である。

謝辞：本研究の実施にあたり、岐阜大学的小林智尚教授、吉野純助教に貴重な助言をいただいた。また、WRFを用いた解析では、(株)サーフジェンドに多大な協力をいただいた。ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 小林智尚・佐々木博一・吉野 純・安田孝志 (2007) : ERA40 にもとづく日本列島周辺長期波浪データベースの構築, 海岸工学論文集, 第54巻, pp.141-145.
- 間瀬 肇・安田誠宏・Tracey H. Tom・辻尾大樹 (2008) : 富山湾沿岸に災害をもたらした2008年2月冬季風浪の予測と追算シミュレーション, 海岸工学論文集, 第55巻, pp.156-160.
- 吉野 純・児島弘展・安田孝志 (2008) : 台風予測精度向上のための渦位に基づく新しい台風ボーガス手法の構築, 海岸工学論文集, 第55巻, pp.436-440.
- 李 漢洙・山下隆男・駒口友章・三島豊秋 (2008) : メソ気象・波浪推算モデルによる2008年2月の寄り廻り波の再現計算, 海岸工学論文集, 第55巻, pp.161-165.
- Tracey H. Tom・間瀬 肇・安田誠宏 (2008) : 毎時大気解析GPVを用いたリアルタイム波浪予測システムの開発とその検証, 海岸工学論文集, 第55巻, pp.186-190.