

日本海における波浪推算モデルを用いた 海上・潜水作業可否の予測精度

EXAMINATION OF WAVE PREDICTION ACCURACY FOR MARINE WORKS IN THE SEA OF JAPAN

森屋陽一¹・琴浦毅²・関本恒浩³

Yoichi MORIYA, Tsuyoshi KOTOURA and Tsunehiro SEKIMOTO

¹正会員 博(工) 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)

²正会員 修(工) 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)

³フェロー 博(工) 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)

In marine works, it is important to get the wave prediction results for safety operation and work executable judgment. Recently, the advanced wave prediction method using the WAM model has been utilized generally in marine works. However, the accuracy of the wave prediction results is not clear in marine work conditions.

GPV wind data of Japan area from the Japan Meteorological Agency is inputted to the WAM model. The wave prediction results of the sea of JAPAN are compared with the wave measurement results of NOWPHAS. The critical wave heights for possible work condition are 0.6m and 1.0m in marine works. The accuracy of the wave prediction results is clear for marine works in the sea of JAPAN.

Key Words : Wave prediction accuracy, WAM model, marine works, the sea of JAPAN

1. はじめに

海上・潜水作業を伴う海洋工事では、波浪条件が作業の安全性や可否判断に大きく影響するため、これまでも波浪観測結果や波浪予報の入手に努めてくるとともに、波浪予測を試みてきた^{1)~3)}。波浪予測は、直接作業時刻の海象条件が把握できるため、精度がよければ作業可否判断に非常に有用である。最近では、波浪推算モデルの高度化が進んでおり⁴⁾、波浪推算モデルによる予測結果をリアルタイムに配信するシステムも構築され、作業可否判断に利用され始めている^{5)~7)}。

しかしながら、波浪推算モデルの予測精度に関しては、高波浪に着目して検討されたものが多く、海上・潜水作業可否に着目した波高1m程度以下の波浪の予測精度に関しては、明確になっているとは言えない。また、工事場所によっては地形による遮蔽の影響を受けるとともに、工事内容によっては7日程度先までの長期の予測結果が必要となる場合もある。いずれにしても、地形の精度を規定する格子サイズや予測時間が予測精度に及ぼす影響も明確になっているとは言えない。

作業可否判断は、工事の安全性だけでなく、工期やコストにも大きく影響するため、現場での波浪予測結果の利用には、予測精度の明確化が非常に重要である。

本研究では、日本海側に着目して、波浪推算モデルを用いた1日先、3日先、7日先の波浪予測を実施し、海上・潜水作業可否に着目して、NOWPHAS(全国港湾海洋波浪情報網)の観測結果と比較することで、波浪の予測精度を明確にすることを目的とした。また、予測精度に及ぼす格子サイズの違いや予測時間の影響を明らかにするとともに、金沢港内での実際の浚渫工事の作業実施状況と波浪予測結果を比較し、波浪予測の実務への適用の可能性を検討した。

2. 波浪予測方法の概要

(1) 波浪予測モデル

波浪推算モデルとしてはWAMモデル⁸⁾を用い、モデルの各パラメータは表-1の通り設定した。波浪予測の解析領域を図-1に示す。今回の検討では日本海側のみを対象にしたため、ネスティングは行わなかった。また、日本海側の検討対象地点とその整理番号の一覧を表-2に示す。

表-1 WAMモデルのパラメータの設定

計算領域 (緯度)	北緯20° ~50°
計算領域 (経度)	東経120° ~150°
最小周波数	0.042Hz
周波数分割数	35
方向分割数	16
水深条件	深海
伝播計算時間刻み	300s
風データ時間間隔	3600s

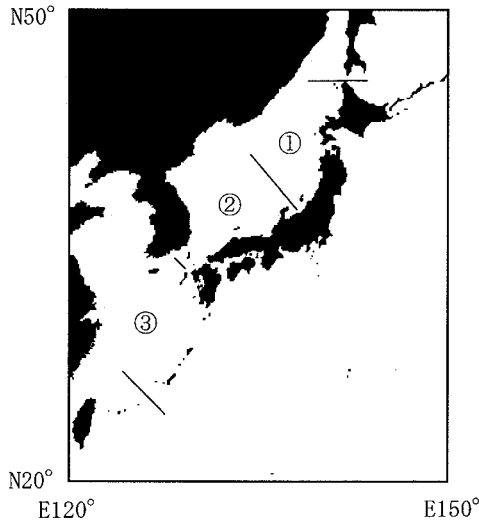


図-1 計算領域図

表-2 検討対象地点とその整理番号

①	1	留萌	②	11	輪島
	2	石狩新港		12	金沢
	3	瀬棚		13	柴山
	4	深浦		14	鳥取
	5	秋田		15	浜田
	6	酒田		16	藍島
	7	新潟沖		17	玄界灘
	8	直江津		18	伊王島
②	9	富山	③	19	名瀬
	10	伏木富山		20	那覇

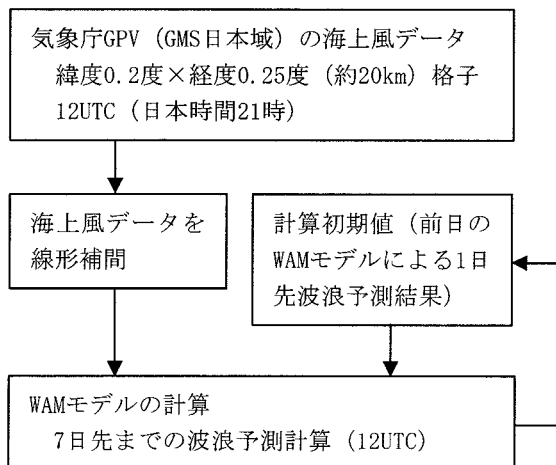


図-2 データ入力から予測までのフロー

解析対象期間は2008年7月1日～2009年6月30日の1年間とした。約20km格子の気象庁GPV (GMS日本域)海上風データを約10km格子に線形補間し、WAMモデルの入力条件とした。データ入力から予測結果出力までのフローを図-2に示す。ただし、地形の解像度の影響を確認するため、約20km格子と約50km格子の場合についても計算を行った。

(2) 作業可否基準と誤差許容値

作業可否の基準波高は、既往の研究³⁾と海上工事経験者へのヒアリング結果に基づき、ケーソン曳航・据付や潜水作業0.6m、消波ブロック据付や浚渫作業1.0mとした。予測精度の検証は、有義波高だけでなく、有義波周期および波向の1日先、3日先、7日先予測について、NOWPHASデータの20地点の速報値との的中率により行った。波高的中率の算定は、図-3に示す小名浜方式⁴⁾により行い、許容誤差は+10cmとした。ここで、作業可否の基準波高を1mとした場合、図-3に示すように、予測波高1.0m以下かつ観測波高1.1m以下は稼働的中、予測波高1.0mより大きくかつ観測波高1.0mより大きい場合は不稼働的中となる。的中率は全データに対する的中データの比率で定義される。また、予測波高が1.0mより大きく、観測波高が1.0m未満の場合は、作業ができる条件であるのに作業を中止することになるため、経済リスクとなり、逆に、予測波高が1.0m以下で観測波高が1.1mより大きい場合は、作業を行うという判断をしたのに、実際の波高は作業限界を超えているので、危険リスクとなる。

周期と波向の的中率は、観測値を基準に予測値が周期 $\pm 20\%$ 、波向 ± 22.5 度の範囲内であれば的中として算定した。なお、有義波周期はスペクトル平均周期の1.2倍とした。

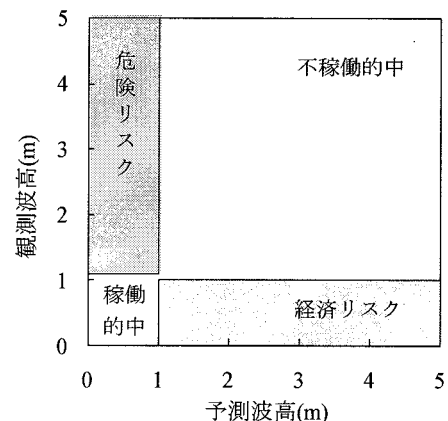


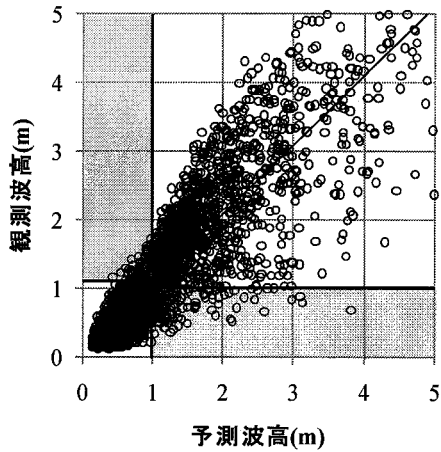
図-3 小名浜方式による的中率の定義 (許容誤差+10cm)

3. 港外の予測精度

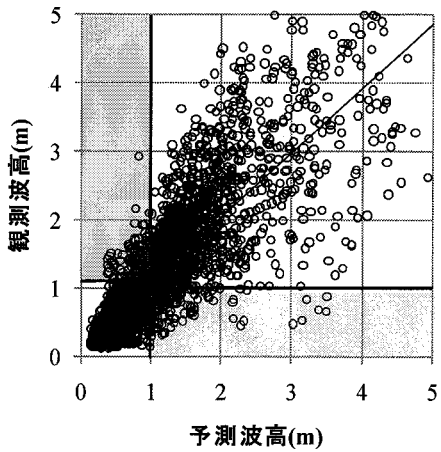
(1) 波高の的中率

日本海側の代表的な地点として金沢港の有義波高の観測結果と1日先、3日先、7日先の予測結果の比

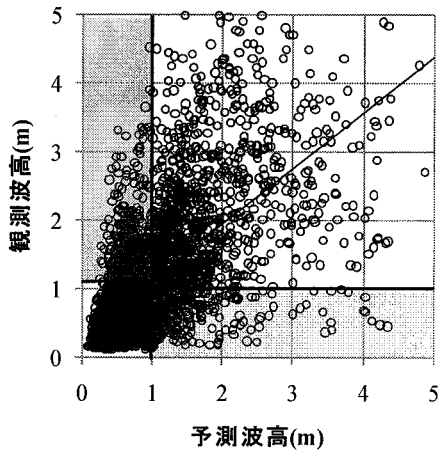
較を図-4に示す。図中には基準波高1.0mの場合の的中範囲を示した。また、1日先、3日先、7日先の予測結果のバイアス、相関係数、基準波高0.6mと1.0mの的中率を表-3に示す。ここで、WAMモデルの格子サイズは約10kmである。



(a) 1日先



(b) 3日先



(c) 7日先

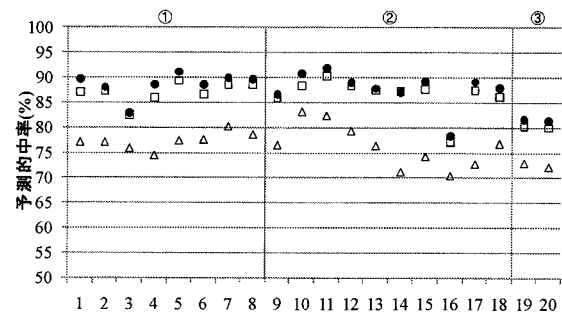
図-4 金沢港の波高の的中率の評価

表-3 金沢港の有義波高の予測結果の精度

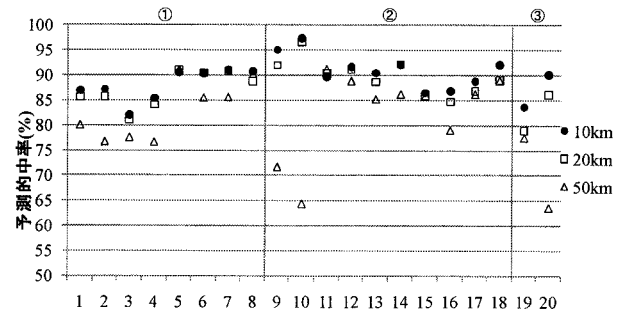
		1日先	3日先	7日先
バイアス		1.01	0.94	0.81
相関係数		0.78	0.69	0.42
基準波高 0.6m	的中率	89.0%	88.3%	79.3%
	経済リスク	7.0%	7.0%	11.6%
	危険リスク	4.0%	4.7%	9.1%
基準波高 1.0m	的中率	91.6%	90.1%	81.5%
	経済リスク	4.2%	4.1%	7.5%
	危険リスク	4.2%	5.8%	11.0%

金沢港の1日先予測のバイアスはほぼ1.0、予測時間が長くなるとバイアスが小さくなる。相関係数と的中率は予測時間が長くなると低下するが、基準波高が0.6mと1.0mのいずれの場合も予測時間が1日先および3日先であれば的中率はほぼ90%、7日先でもほぼ80%となる。

次に、基準波高0.6mと1.0mの日本海側各地点の1日先、3日先、7日先予測の有義波高の的中率を図-5に示す。横軸は表-2に示した観測点の整理番号である。WAMモデルの格子サイズは約10kmである。全地点で1日先および3日先予測は80%以上、7日先予測でも70%以上であり、地点によっては95%を超えているものもある。ただし、瀬棚 (No.3) や名瀬 (No.19) などの島の場合は、的中率が低い傾向にあり、WAMモデルで島による回折が考慮できていないことが影響している可能性がある。



(a) 基準波高0.6m



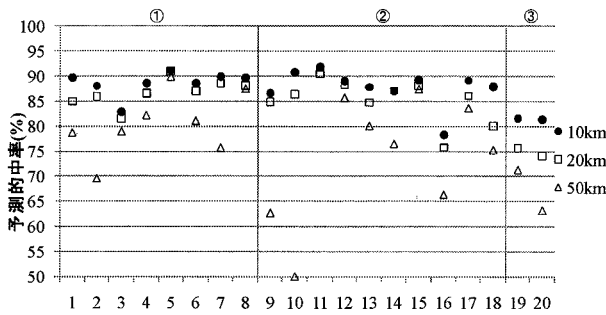
(b) 基準波高1.0m

図-5 予測時間による的中率

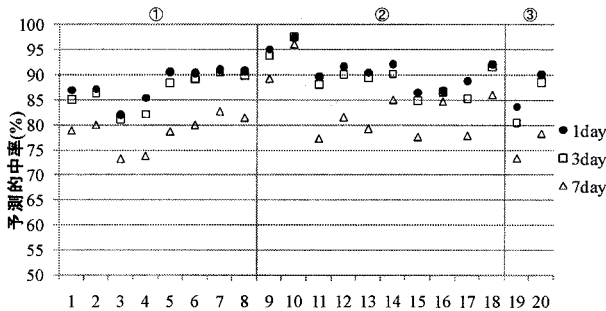
(2) 格子サイズの影響

格子サイズの違いによる基準波高0.6mと1.0mの1日先予測の有義波高の的中率を図-6に示す。横軸は表-2に示した観測点の整理番号である。当然ながら、格子サイズの小さい方が的中率は高いものの約10km格子と約20km格子の的中率の差は大きくない。NOWPHASの観測点のように、ある程度沖合での波浪予測を行う場合には、格子サイズとしては約20km以下とすればほぼ十分といえる。

また、格子サイズを約50kmとした場合に、急的に的中率が低下する地点がある。図-7は、格子サイズによる能登半島の地形を表わしたものであり、局所的には格子サイズにより地形による遮蔽の影響が異なることが予想される。波浪予測の出力点が地形による遮蔽の影響を受けるような場合は、格子サイズが粗いと波浪予測の精度に影響を与えることが十分に考えられる。以上より、沖合を予測する場合には、20km以下の格子サイズとすれば、ほぼ十分といえる。一方、地形による遮蔽の影響を受けるような予測出力点の場合には、予測精度に及ぼす格子サイズの影響は大きいいため注意が必要である。

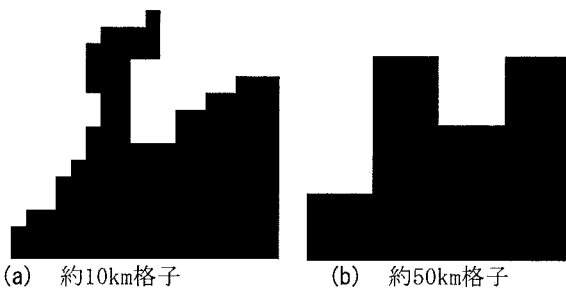


(a) 基準波高0.6m



(b) 基準波高1.0m

図-6 計算格子による的中率



(a) 約10km格子 (b) 約50km格子

図-7 格子サイズによる能登半島の地形

(3) 周期と波向の的中率

基準波高1.0mで有義波高が的中したと判定された場合の1日先予測の有義波周期の的中率を図-8に、波向の的中率を図-9に示す。横軸は表-2に示した観測点の整理番号である。格子サイズは約10kmである。1日先予測の有義波周期の的中率は40~80%、波向の的中率は25~65%であり、有義波高よりも低い。

図-10に例として金沢港の観測結果と予測結果の有義波高と有義波周期の相関を示す。図から波形勾配が小さい ($H_0/L_0=0.01$ 以下) 条件でのWAMモデルの再現性が低いことが確認できる。この波形勾配の小さいうねり性波浪に対する予測精度の悪さは、有義波周期の的中率の低さの一因であるとともに、波向の的中率の低さにも関係していると考えられ、うねり成分の精度向上はWAMモデルの今後の課題である。

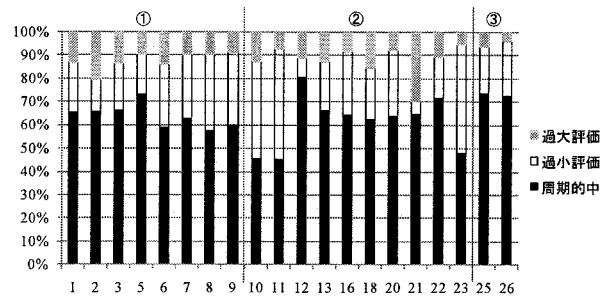


図-8 有義波周期予測的中率(約10km格子)

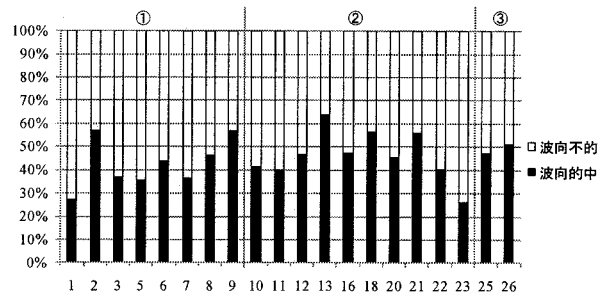


図-9 波向予測的中率(約10km格子)

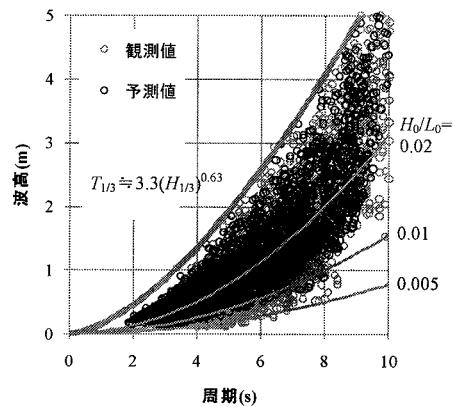


図-10 金沢港の波高と周期の相関

4. 港内波浪予測と実務への適用

(1) 金沢港の浚渫工事の概要

日本海側の金沢港の港内浚渫作業を例に、風速10m/s、波高1.0mを作業可否の基準として、実際の荒天待機期間と気象庁GPVの風速および回折等を考慮した作業位置での波浪予測結果との比較を行った。金沢港の平面図と浚渫位置を図-11に示す。

検討対象期間は浚渫工事が行われていた2009年11月10日から2010年1月10日までの約2カ月間とした。

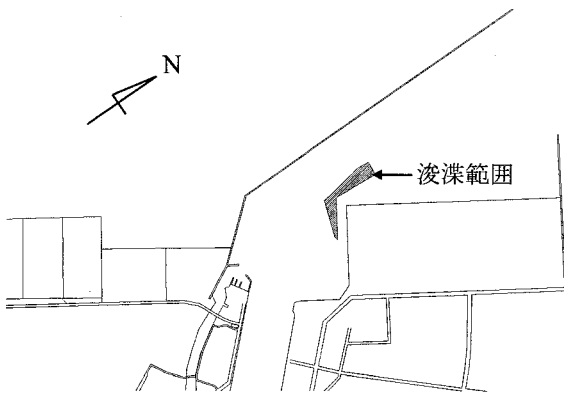
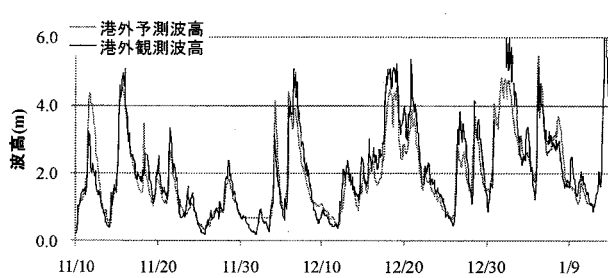
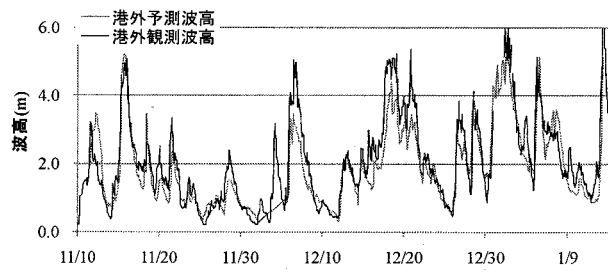


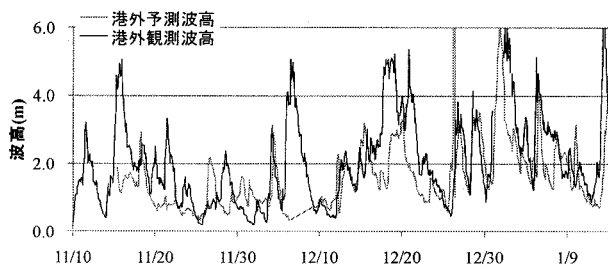
図-11 金沢港の平面図と浚渫位置



(a) 1日先予測



(b) 3日先予測



(c) 7日先予測

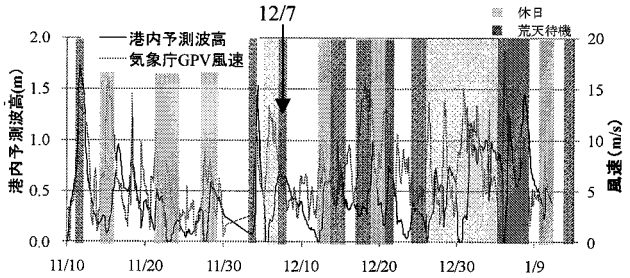
図-12 港外の予測波高と観測波高

(2) 予測結果と荒天待機期間の比較

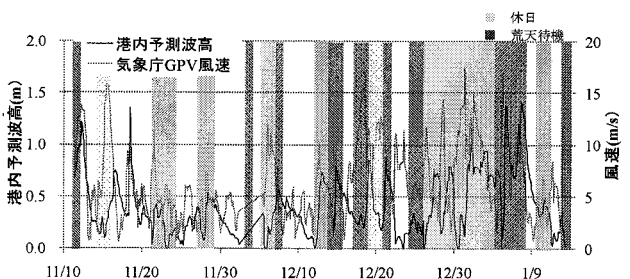
金沢港の港外の予測結果と観測結果の有義波高を時系列で比較したものを図-12に示す。格子サイズは約10kmである。1日先および3日先予測であれば、波高3.0m以上の高波浪時に予測波高は観測波高に比べてやや過小評価となっているものの、波高3.0m未満については、ほぼ対応した結果となっている。

港外の予測結果に対応する回折係数をグリーン関数法⁹⁾を用いて算定し、港外の予測波高に乗じることで港内の浚渫位置の波高を算定した。回折係数の値は港外の有義波周期と波向に依存し、0.07~0.40程度である。

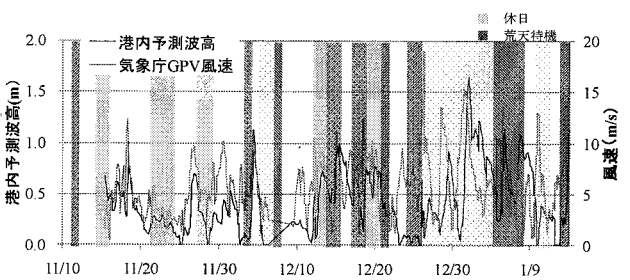
港内浚渫位置の予測波高および気象庁GPVの風速値と荒天待機期間の比較結果を図-13に示す。1日先および3日先の予測結果であれば、予測波高が基準以上なる期間と荒天待機期間とはほぼ対応しており、実務への適用可能性を示すものといえる。ただし、例えば、1日先予測での12月7日(図中矢印)の場合は、港内予測波高は0.6m程度となるにもかかわらず、荒天待機期間となっている。この時の港外予測波高は4m近くあり、乗じる回折係数が小さすぎる可能性がある。回折係数は、港外の予測結果の有義波周期および波向に対応して算定するため、12月7日の予測結果と実作業状況の不整合は、港外の有義波周期や波向の予測精度の低さにあると考えられる。



(a) 1日先予測



(b) 3日先予測



(c) 7日先予測

図-13 予測波高と荒天待機期間の比較

5. おわりに

本研究により、得られた結論をまとめると以下となる。

- ① 気象庁 GPV (GMS 日本域) の海上風データを入力とした WAM モデルによる日本海側の波浪予測的中率は、海上・潜水作業可否に着目した基準波高 0.6m および 1m の場合、1 日先および 3 日先予測は 80% 以上、7 日先予測でも 70% 以上である。
- ② 沖合を予測する場合には、20km 以下の格子サイズとすれば、ほぼ十分といえる。ただし、地形による遮蔽の影響を受けるような予測出力点の場合には、予測精度の及ぼす格子サイズの影響は大きいいため注意が必要であるといえる。
- ③ 有義波高が的中したと判定された場合の有義波周期および波向的中率は、1 日先予測でも有義波周期 40~80%、主波向 25~65% であり、有義波高的中率に比べて低い。波形勾配の小さいうねり性波浪に対する WAM モデルの精度の悪さが一因にあると考えられる。
- ④ 金沢港内の浚渫工事を例に、波浪則結果と実際の荒天待機日を比較し、1 日先および 3 日先予測であれば予測波高が基準以上なる期間と荒天待機期間とは対応していることが確認できた。このことは、WAM モデルを用いた波浪予測結果の実務への適用可能性を示すものといえる。

謝辞：本研究を行うにあたり、九州大学大学院の橋本典明教授には、WAM モデルを用いた波浪予測について有益な助言をいただきました。五洋・りんかい日産特定建設工事共同企業体の坪田敏夫所長には、金沢港の浚渫工事での荒天待機期間や工事休止日の情報を提供していただきました。また、波浪予測結

果の検証に利用した NOWPHAS データは (財) 沿岸技術研究センターのカムインズシステムにより入手させていただきました。ここに記して関係者に謝意を表します。

参考文献

- 1) 土屋義人, 鹿島遼一, 鈴木義和, 近藤浩右, 泉雄士: 日本海中部沿岸における波浪の相関予測法, 第 31 回海岸工学講演会論文集, pp. 149-153, 1984.
- 2) 小舟浩治, 橋本典明, 亀山豊, 久高将信: 重回帰式を用いた波浪予測手法の適用について, 第 34 回海岸工学講演会論文集, pp. 167-171, 1987.
- 3) 駒口友章, 進藤信博, 川合紀章, 木村克俊: 海上工事の施工管理における波浪予測の運用について, 海岸工学論文集, 第 38 巻, pp. 961-965, 1991.
- 4) 例えば, 土木学会海岸工学委員会研究現況レビュー小委員会: 新しい波浪推算法とこれからの海域施設の設計法, 土木学会, 2001.
- 5) Tracey H. Tom, 間瀬肇, 安田誠宏: 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, 2008.
- 6) 江口一平, 松浦邦明, 松藤絵里子, 本橋昌志, 三嶋宣明, 岡田弘三: NOWPHAS 沿岸波浪観測値の沿岸波浪予報へのリアルタイム同化による予報精度の向上—沿岸気象海象情報配信システム (COMEINS) の高度化—, 海洋開発論文集, 第 25 巻, pp. 885-890, 2009.
- 7) 辰巳賢一, 安田誠宏, 森信人, 間瀬肇: リアルタイム気象・水象予測の Web 配信システムの開発, 海洋開発論文集, 第 25 巻, pp. 891-896, 2009.
- 8) 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, 1999.
- 9) 近藤浩右, 清水琢三, 山田耕一: グリーン関数法を用いた港内波方向スペクトルの計算法, 第 34 回海岸工学講演会論文集, pp. 106-110, 1987.