

冬期日本海における波浪推算精度の検証*

五洋建設株式会社 琴浦 賀
東北大学 大学院工学研究科 田中 仁

1. はじめに

建設現場では雨や風による作業中止が発生するが、海洋工事ではそれに加えて波浪条件による作業中止も発生する。海中の潜水士のすぐ近傍に、クレーン船が数十トンのコンクリートブロックを吊り下ろすなどの作業を実施する海洋工事においては、船舶、吊り荷の動搖が施工安全性に直結する。そのため、これまでにも波浪観測結果¹⁾や波浪予報情報の入手に努めながら、これまでの経験を踏まえ、作業の可否判断を行ってきた。そのため、高精度の波浪予測により作業時刻の海象条件が把握できれば、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、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²⁾、作業可否判断に利用され始めている。しかし、これまでの波浪推算モデルに関する研究は高波浪に着目したものが多く、施工可否判断への適用に着目している事例は少ない^{3)~6)}。

そこで、本研究では施工可能日が少ないと考えられる冬季日本海を対象として、施工可否判断への適用を想定した波浪推算モデルの精度検証を実施することとした。

2. 波浪予測モデルの概要

本研究における波浪推算モデルは第三世代モデルである WAM を用い、表-1 の条件の下、図-1 に示す計算領域を対象に実施した。この計算領域は使用する風データである気象庁 GPV のひとつである GSMjp の領域と同じである。GSMjp は格子サイズが 20km、1 日 4 回のデータ配

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

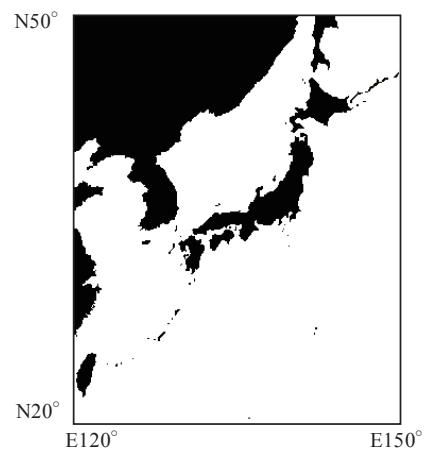


図-1 計算領域図

*Examination of wave prediction accuracy in the sea of Japan for winter season by Tsuyoshi Kotoura and Hitoshi Tanaka

信、最大 264 時間先までの予報を含んでいる気象関係の GPV である。気象庁からはこれ以外にも高頻度配信、細格子の LFM, MSM などが配信されているが、将来的に長期的な施工可否判断に適用することを目的としている本研究では予報時間が長い GSMjp を用いることにした。

図-2 は本波浪モデルのフローである。20km 格子で配信される GSMjp を 10km 格子に線形補間し、1 時間毎の風データを用いて 6 時間分の波浪推算計算を実施し、その時の波浪場を初期値として、次に配信された新しい風データを用いて波浪推算計算を実施する。このフローを繰り返すことで連続的な波浪推算結果が得られる。

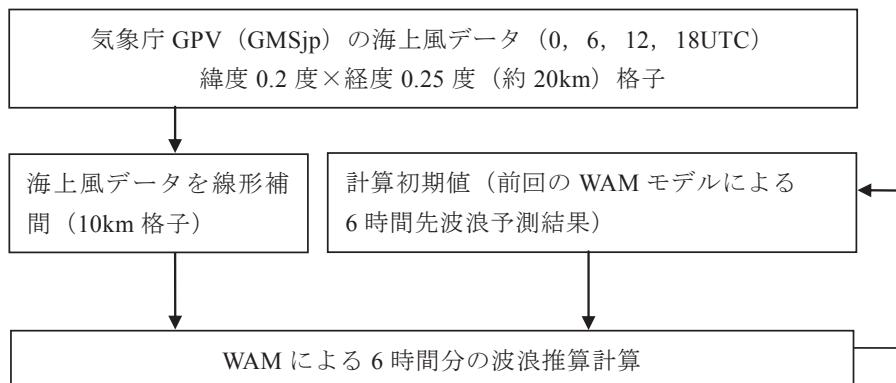


図-2 波浪予測モデルのフロー

3. 現地観測の概要

波浪推算モデルの検証は、新潟県上越市直江津港において海底設置型波高計により観測したデータを用いて実施した⁷⁾。観測期間は 2009 年 12 月 9 日～2010 年 1 月 8 日であり、表-2 は観測条件、図-3 は設置位置である。図-4 はその時に観測された有義波高、有義波周期の時系列を示しており、最大で有義波高 5m 前後の高波浪が来襲するなど静穏な海象は少なく、海洋工事の施工可否判断波高を 1.0m と設定すると、海洋工事が可能となる日は非常に少ない。

表-2 現地観測諸元

観測期間	2009 年 12 月 9 日 ～2010 年 1 月 8 日
水深	25m
観測モード	20 分連続観測
サンプリング間隔	0.5s
観測成分	4 成分 (水位、水圧、流速 (U, V))

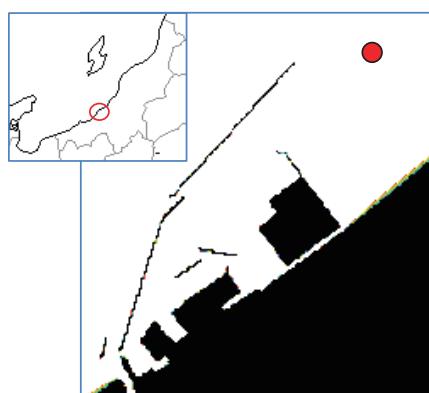


図-3 観測位置図

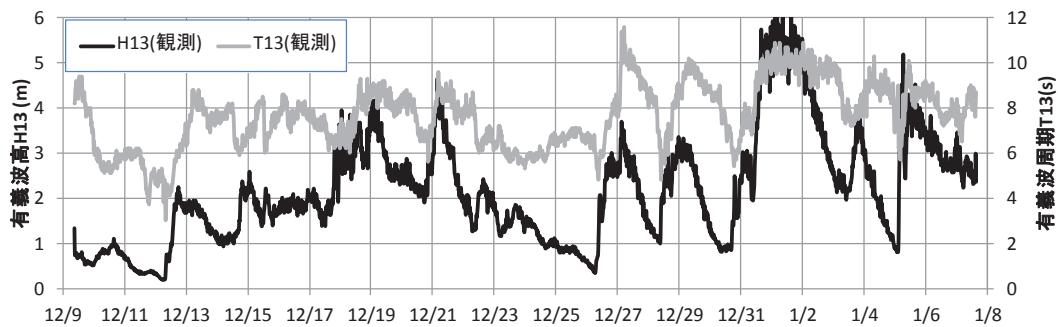


図-4 観測データ時系列

4. 波浪推算モデルの検証

WAM では方向スペクトルが計算されるため、有義波高、有義波周期については以下の式用いて算出した。

$$H_{1/3} = 4.004\sqrt{m_0}, \quad \text{ここで } m_0 = \int_0^{\infty} S(f) df$$

$$T_{1/3} = m_{-1}/m_0 \quad \text{ここで } m_{-1} = \int_0^{\infty} f^{-1} S(f) df$$

WAM を用いた波浪推算モデルによる結果と現地観測結果について時系列を図-5 に示した。波高的時系列を比較すると、高波浪のピークにおいては WAM が過小評価する傾向はあるものの、高波浪期間の前半の立ち上がりから後半の減少まで概ね対応している。また、波高 1.0m 以下の静穏な海象条件においても WAM の再現性は良い。

その一方で、周期の予測精度は波高の予測精度と比較すると低い。WAM は周期についてほとんどのケースで過小評価しており、高波浪期間で 1 秒程度、静穏期間では 2 秒程度過小評価していることが分かる。

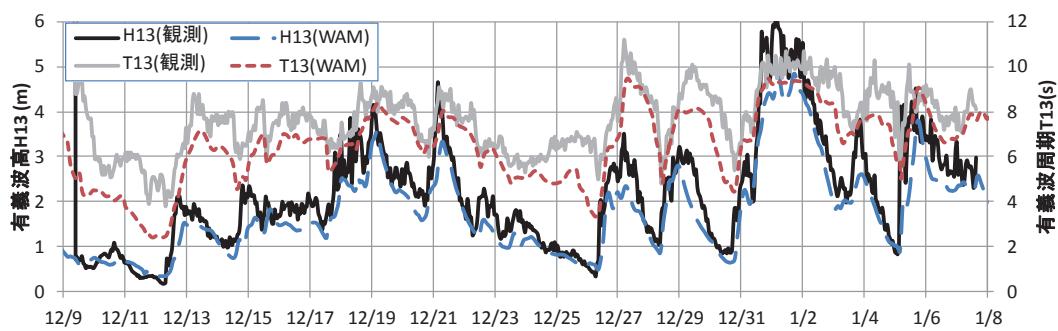


図-5 観測データと WAM の時系列

図-6は観測データとWAMの相関図である。波高の相関図を見るとWAMは2割程度過小評価しているものの、相関係数は非常に高い。周期については全体的に2秒程度以上の過小評価をしており、波高と比較すると相関係数は低い。

図-7は観測データ、WAMの有義波高、有義波周期の関係を示したものである。この図には波形勾配の線もあわせて描画している。このグラフを見ると、観測データは風波の限界波形勾配から、波形勾配の小さい条件 ($H_0/L_0=0.005$) の幅広い範囲において分布していることが分かる。その一方で、WAMは風波の限界波形勾配に近い波形勾配はあるものの、波形勾配の小さい条件についてはデータが存在しない。つまり、この領域の再現性の悪さが周期の予測精度の低下に起因していることが推察される。

この波形勾配が小さい条件は波高が1.0m以下であるため、海洋工事においては施工可能な条件となるが、周期に関しては予測精度が良くないことが予想される。海洋工事における船舶

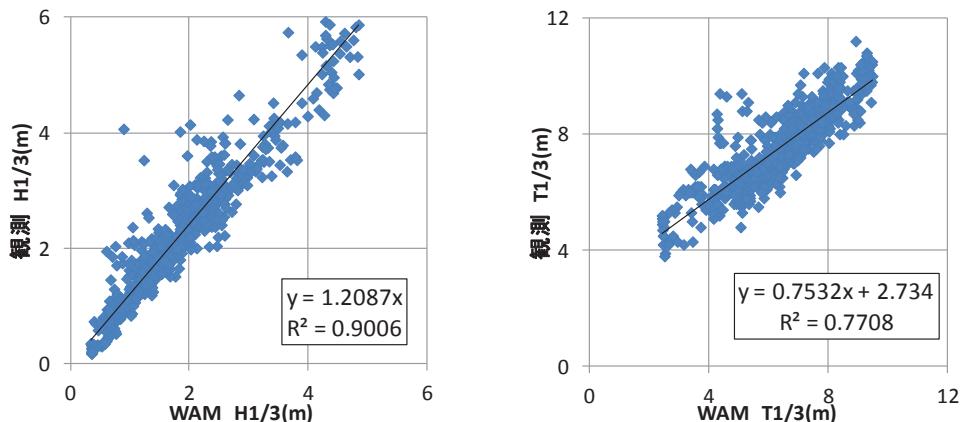


図-6 観測データとWAMの相関図

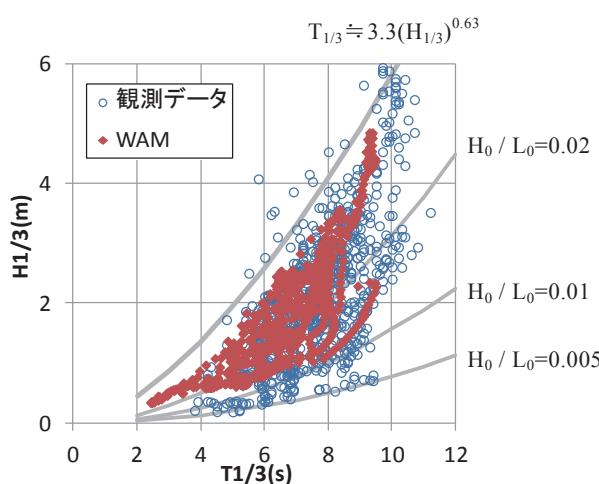


図-7 観測データとWAMの波高と周期の関係

や浮遊状態のケーソンの動搖は、浮体の固有周期にも起因するため、施工可否判断においては波高条件に加えて、周期条件が加わることも多い。現状の周期の予測精度では来襲する波浪が固有周期に一致するかどうかについて判断するのは難しいといえる。

5. 波浪推算モデルの精度低下要因検証

WAM は現地観測データと比較すると波高の予測精度は高いものの、特に低波浪時の周期の予測精度が低いことが確認された。この要因を検証するために、高波浪時と低波浪時の周波数スペクトルを比較した。図-8 には、高波浪の例として(1)12月19日0時、低波浪の例として(2)12月25日22時の観測データと WAM の周波数スペクトルについて比較を示している。なお、WAM の最小周波数を 0.0418Hz としているため、それより低周波数成分については評価できていない。

(1)12月19日0時の高波浪のデータについてはピーク周波数の位置とそのエネルギーについても良く対応しており、また、スペクトル形状についても高周波数、低周波数ともに良く対応しており、図-5 における有義波高、有義波周期ともに観測値とよく対応している。

その一方で、(2)12月25日22時の低波浪のデータについては WAM のピーク周波数が高周波数側にずれており、また、低周波側の形状は現地観測に近いものの、エネルギーについては過小評価している。また、高周波数側の形状については大きく異なっている。観測データではピーク周波数からほぼ一様にエネルギーが減少しているのに対し、WAM では 0.4Hz 程度にもピークが存在している。WAM のエネルギーは低周波数側で過小評価、高周波数側で過大評価しており、全体のエネルギーは現地観測と整合しているため波高はあってはいるものの、そのエネルギー分布が異なっているため、周期の精度は悪い結果となっていると考えられる。

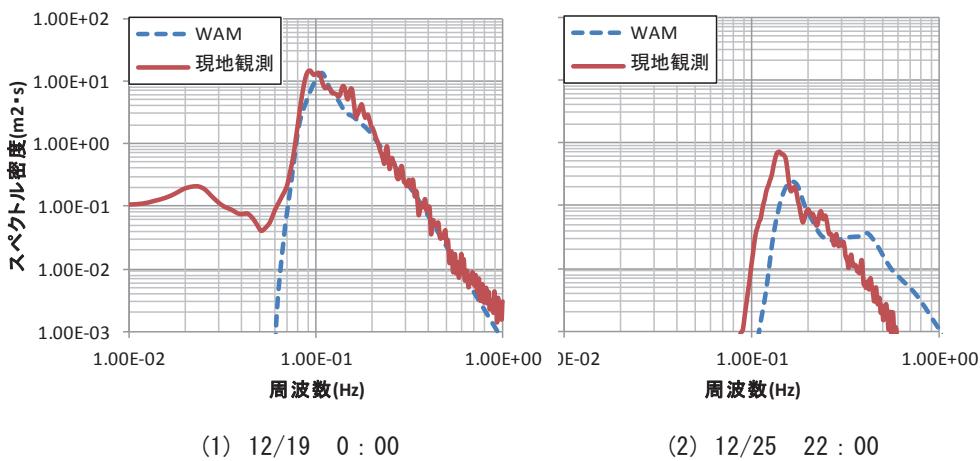


図-8 観測データと WAM の周波数スペクトルの比較

6. おわりに

海洋工事の施工可否判断に着目して、冬期日本海の WAM を用いた波浪推算精度について検証したところ、波高の予測精度は高いものの、周期は全般的に過小評価しており、精度は高くな

いことが確認された。また、波形勾配が小さい領域における予測精度の向上が必要であることが確認された。さらに、スペクトル形状の比較から、WAMでは、特に低波浪時において高周波数側に現地データには存在しないエネルギーが確認され、このエネルギー分布の相違が周期の予測精度低下の要因であることが推察された。したがって、低波浪時の予測精度向上はエネルギー分布の改善を図ることが今後の課題であると考えられる。

参考文献

- 1) 川口浩二, 猪股勉, 関克己, 藤木峻: 全国港湾海洋波浪観測年報 (NOWPHAS 2012), 港湾空港技術研究所資料, No.1282, 2014, 125p.
- 2) 江口一平, 岡田弘三, 中田琢志, 内田洋平, 崎田和彦, 宇都宮 好博: 沿岸気象海象情報配信システムの高度化, pp.61-66, 土木学会論文集B3 (海洋開発), 2014.
- 3) 森屋陽一, 琴浦毅, 関本恒浩: 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, 海洋開発論文集, 第26巻, pp.447-452, 2010.
- 4) 琴浦毅, 森屋陽一, 関本恒浩: 波浪推算の計算領域が海上作業可否の判定精度に及ぼす影響, 土木学会論文集B3 (海洋開発), Vol. 67, No. 2, pp.I_880-I_885, 2011.
- 5) 琴浦毅, 森屋陽一, 関本恒浩: 瀬戸内海における波浪推算モデルを用いた海上作業可否の判定精度, 土木学会論文集B3 (海洋開発), Vol. 68, No. 2, pp.I_959-I_964, 2012.
- 6) 琴浦毅, 片山 裕之: リーフ地形周辺の海上作業可否に着目した波浪予測モデルの検討, 土木学会論文集B3 (海洋開発) Vol. 71 (2015) No. 2 p. I_215-I_220.
- 7) 泉宮尊司, 小林雄一, 石橋邦彦, 関本恒浩, 高橋研也, 若松 厚, 石垣 順, 井上俊二, 干渉合成法を用いた長周期波の伝播・反射特性の解明および水位予測, 海岸工学論文集, 第66巻(1), pp. 176-180, 2010.