

高分解能日本域アンサンブル GPV の 波浪計算への適用に関する基礎検討*

五洋建設株式会社 琴浦 毅
東北大学 大学院工学研究科 田中 仁

1. はじめに

海上工事では大型作業船を用いた大型構造物の吊り作業や、潜水士が海中作業を行うなど陸上工事とは異なる施工条件が発生することから、雨や風が原因となり作業中止となる陸上の建設現場とは異なり、海上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。そのため、海上工事では船舶の動揺などが施工安全管理、品質管理に直結することになるが、船舶の動揺の多くは外洋から来襲する波浪によって引き起こされるため、これまでも波浪観測結果¹⁾や波浪予報情報の入手をおこなったうえで、これまでの経験を踏まえ、作業の可否判断を行ってきた。近年では、波浪予報情報の元になる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。筆者らは、波浪推算モデルの施工可否判断への適用に着目して検討を進め、低波浪時に波浪推算モデルの精度が低下する要因を検証し、高周波数側のエネルギー過大評価が予測精度の低下要因であることを示し、その改善策の方向性を示した^{3)~9)}。その結果、波浪推算精度が向上することは期待されるが、施工現場においては精度の良い予測に加え、長期的な予測情報も求められる。長期予測情報を得られると、工程管理などへの活用が可能となるが、予測期間が延びるにつれ精度が低下することは確認されている³⁾。

そこで、本研究においては、低波浪時の予測精度向上を目指したモデルを用いて、長期予測への適用に関する基礎検討を実施した。

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 を使い、表-1 の条件の下、図-1 に示す計算領域を対象に実施してきた。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。

ところで、気象庁はこれまで 1 週間に 1 回配信していた 2.5 度格子の 1 ヶ月アンサンブルに加え、2017 年夏から 1 ヶ月アンサンブル GPV (高分解能日本域) の提供を開始した。この高分解能日本域のデータは日本周辺に限れば格子サイズが 50 km となっており、詳細なデータを得ることができるようになった。なお、アンサンブルデータとは、ある時刻に少しずつ異なる初期値を多数用意して多数の予測計算を実施し、その平均やばらつきの程度などの統計的な性質を利用して最も起こりやすい現象を予測するものである。森・平口¹⁰⁾はアンサンブルを活用し

* Basic study on wave ensemble calculation by Tsuyoshi Kotoura and Hitoshi Tanaka

た検証を実施しているが、当時のアンサンブルデータは1週間限度であったのに対し、現在では計算機能力などの発達により1ヶ月アンサンブルデータが得られるようになっている。

本研究では、1ヶ月アンサンブルデータは初期値を変えた合計50個の高解像度日本域データの配信を受け、そこに含まれる風データに対して波浪計算を行い、その結果について検討した(表-2)。

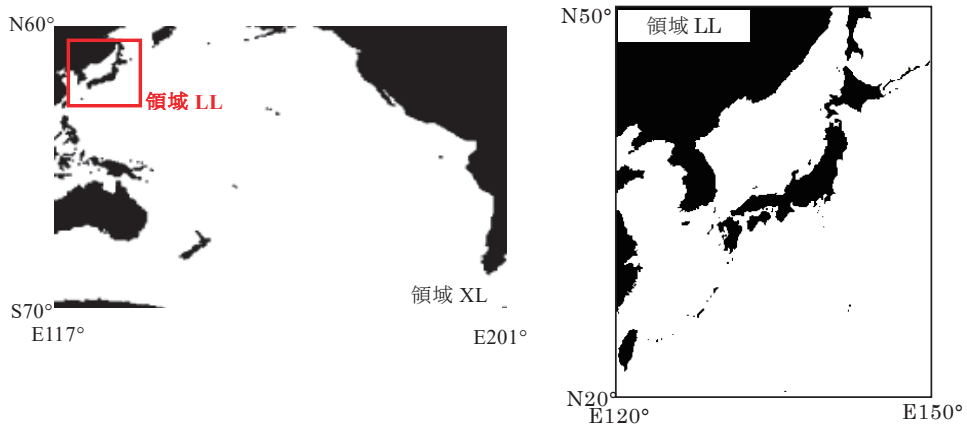


図-1 計算領域図

表-1 通常 WAM モデル

| 領域名 | LL | XL |
|-----------|-----------------|-----------|
| 計算領域 (北緯) | 20°~50° | -70°~60° |
| 計算領域 (東経) | 120°~150° | 117°~295° |
| 最小周波数 | 0.042Hz~1.174Hz | |
| 周波数分割数 | 35 | |
| 周波数間隔 | 倍率 1.1 | |
| 方向分割数 | 16 | |
| 水深条件 | 深海 | |
| 空間間隔 | 0.1° | 0.5° |
| 伝播計算時間刻み | 300s | 900s |
| 風使用データ | GSMjp | GSMgl |
| 風データ時間間隔 | 3600s | |

表-2 アンサンブル WAM モデル

| 領域名 | LL | XL |
|--------------------|--------------------------------|---------------|
| 計算領域 (北緯) | 20°~50° | -70°~60° |
| 計算領域 (東経) | 120°~150° | 117°~295° |
| 最小周波数 | 0.042Hz~1.174Hz | |
| 周波数分割数 | 35 | |
| 周波数間隔 | 倍率 1.1 | |
| 方向分割数 | 16 | |
| 水深条件 | 深海 | |
| 空間間隔 | 0.5625° | 2.5° |
| 伝播計算時間刻み | 900s | 900s |
| 風使用データ (50メンバー) | 1ヶ月アン サンブル (高分解能 日本域) | 1ヶ月アン サンブル |
| 風データ時間間隔 | 3600s | |

3. 波浪予測モデルのエネルギー逸散項

WAMのエネルギー逸散項はHasselmannの白波理論に基づくKomen et al.の理論が採用されており、高周波数域での適切なエネルギーバランスを得るため、 k^2 に関する項を加えられ評価されるが¹¹⁾、本研究では高周波数側のエネルギー過大評価を改善するために k^3 に関する項を追加した式を採用する⁹⁾。ただし、風波発達時はオリジナルの逸散項を用い、減衰期、すなわち風入力項 $\text{Sin}=0$ の時に新しい逸散項を導入することにした。これは、波の発達期のスペクトル形

状はオリジナルの逸散項でも良好な結果が得られたことを鑑み、風域を抜けた後の高周波数エネルギーの減少を期待するものである。

$$S_{ds} = (-\gamma_d)E, \quad \bar{E} = \iint E(f, \theta) df d\theta \quad (1)$$

$$\gamma_d = C_{ds} \langle \omega \rangle \left(\langle k \rangle^2 \bar{E} \right)^2 \left(a \frac{k}{\langle k \rangle} + b \left(\frac{k}{\langle k \rangle} \right)^2 + c \left(\frac{k}{\langle k \rangle} \right)^3 \right) \quad (2)$$

$$m_n = \int_0^\infty f^n E(f) df \quad (3)$$

ここで、 C_{ds} : 定数、 k : 波数、 $\langle \omega \rangle$: 代表角周波数、 $\langle k \rangle$: 代表波数、 $a+b+c=1.0$ 、 $a=b=0.5(1.0-c)$ 、 $c=0.0(\text{if Sin}=0.0)$ 、 $c=0.1(\text{if Sin} \neq 0.0)$

図-2 は鹿島における WAMorg と、風波発達時にも新しい逸散項を用いた WAMnew1 と、Sin=0の時に新しい逸散項を用いた WAMnew2 の比較である。新しい逸散項を用いると低波浪時における波高、周期の予測精度が向上していることが確認できるが、減衰期のみ適用することで低波浪時の予測精度がさらに向上していると考えられる。なお、他地点においてもおおむね同様の傾向を示すことが確認されたことから、減衰期のみ新しい逸散項を用いることが有用であると考えられる。

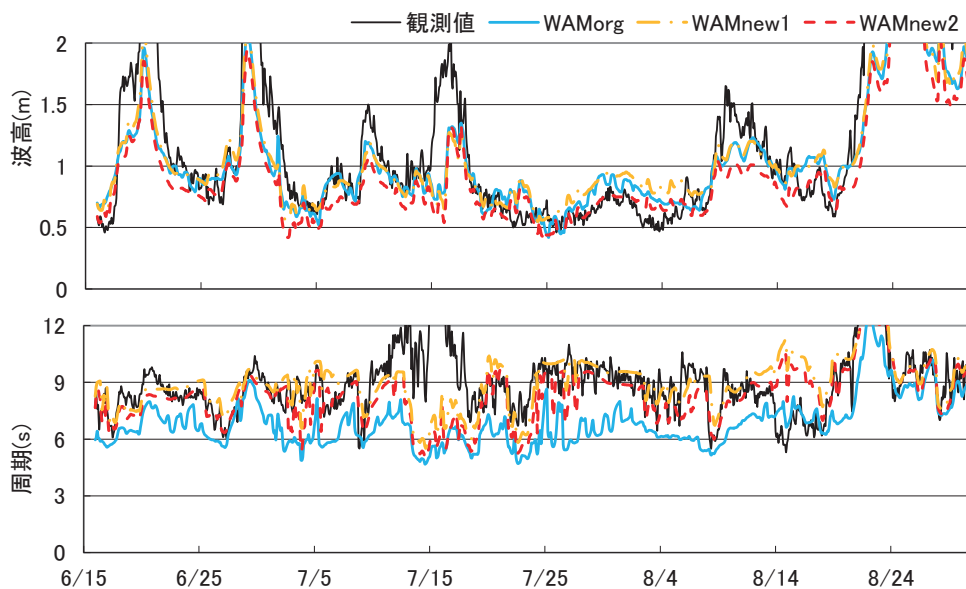


図-2 WAMorg と WAMnew の比較 (鹿島 : 2015/6/15~8/31)

4. アンサンブルデータを活用した波浪計算

上述したように、アンサンブルデータは50個の独立したデータが存在するが、すべてのデータをグラフに記載するのは煩雑になると考えられるため、表示方法には工夫が必要と考えた。そこで、アンサンブル計算を活用している台風の予報円を参考にすることにした。現在発表される台風の予測進路の予報円は、初期値の異なるアンサンブル計算の結果を用いて、70%の確率で進行する範囲を示したものである。このことを参考にして、波浪予測のばらつきも70%の確率に入る範囲を示すことでも有用であると考え、30日先までの予測データが50個出力されるデータから、最大値、平均値、最小値に加えて、標準偏差 σ を算出して、平均 $\pm\sigma$ も算出する。これは、平均 $\pm\sigma$ に入る確率がおおよそ70%である統計的性質を利用するためである。

グラフには最大値、平均値、平均値 $\pm\sigma$ を表示している。最大値は予測期間中の最大波高の可能性を示すものであり、施工の安全性を考慮する際に活用され、また、平均値 $\pm\sigma$ は期間中の予測値が概ねの傾向を把握することに活用されることを期待している。

図-3は鹿島におけるアンサンブル風データと、鹿島付近のMSMの風データの初期値を合わせて表示している。MSMは日本付近をおおよそ5km格子に分割し、3時間ごとに38時間先までの予測するGPVデータであり、その初期値はアメダスなどの観測値などから推算されているため、観測値と相関の高い高精度なデータであると考えられる。このグラフによると、MSM風データはアンサンブルデータの平均値 $\pm\sigma$ に包絡されている期間が多く、風速が $\pm\sigma$ を外れる場合にも最大値に包絡される傾向があることが分かる。

図-4は福島沖における波浪アンサンブル計算から得られた有義波高と有義波周期の各指標を示している。波高はおおよそ平均値 $\pm\sigma$ に包絡されているといえ、また、最大値のデータは期間後半において波高が増大する傾向が対応している。周期は精度がやや低下するものの、周期が増大する傾向などは最大値を参考にできる可能性がある。

図-5は同様に、鹿島における有義波高と有義波周期の各指標を示している。波高は全体的に過大評価であるが、観測値の波高が増大している時期はアンサンブルの最大値が増大している時期と概ね対応している。また、平均値 $\pm\sigma$ の変動は大きくないが、全体の傾向としては期間後半に向けて波高が増大する傾向はとらえられているといえる。周期についてはおおよそ平均値 $\pm\sigma$ に包絡されていると考えられ、有用な情報であると考えられる。

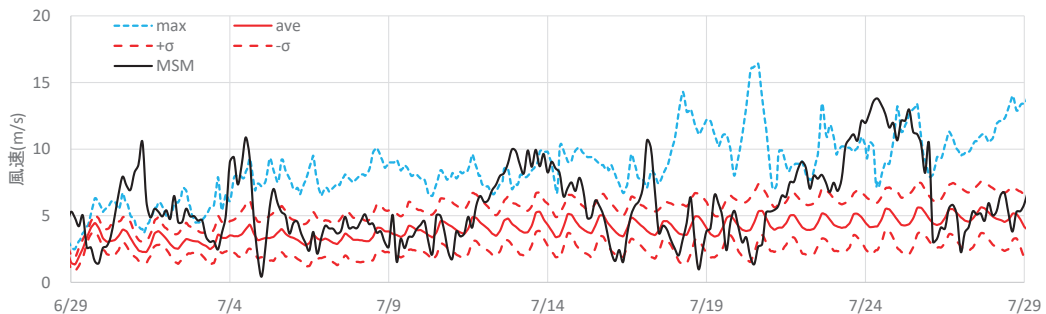


図-3 風速アンサンブルデータ (鹿島: 2017/6/29~7/29)

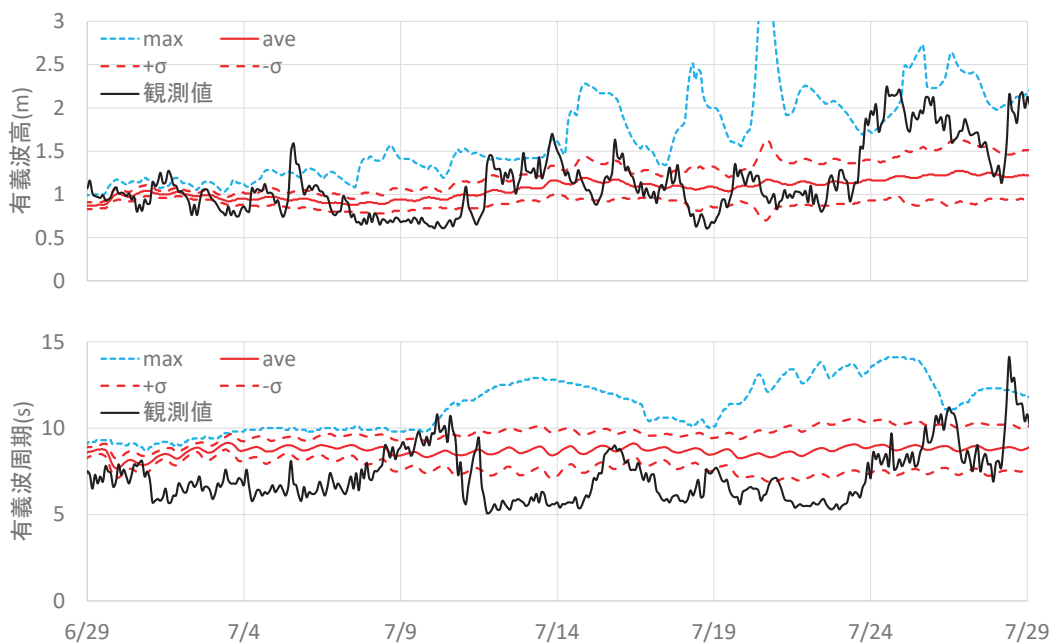


図-5 波浪アンサンブルデータ（福島県沖：2017/6/29～7/29）

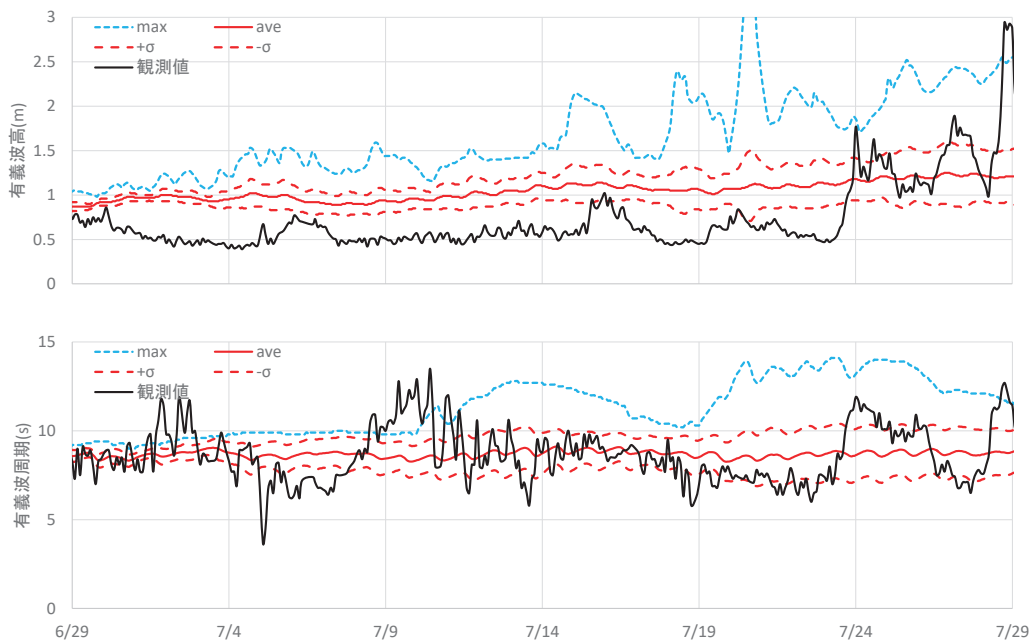


図-6 波浪アンサンブルデータ（鹿島：2017/6/29～7/29）

5. おわりに

新しい逸散項を減衰期のみに適用した WAM モデルを波浪アンサンブル計算に適用した。その結果、平均値± σ と最大値を合わせて提供することで、1 か月間の波浪の傾向を把握し、施工管理へ活かせる可能性があることが確認できた。つまり、GSMjp の予報時間の 264 時間以降についてはアンサンブル波浪データを活用することで、長期予測情報の提供が可能となると考えられる。

ただし、これまでのモデルで用いていた格子サイズ 10 km と比較すると、アンサンブル波浪データの格子サイズは 50 km 程度となるため、風や波浪などの物理値が平滑化されてしまう可能性があり、その影響については継続して検証する必要がある。

また、福島沖では波高、鹿島においては周期が平均値± σ に含まれるという異なる傾向となった。これについては、使用している WAM が深海モデルであるため地形の影響が考慮できていないことなどが影響していることも考えられ、地形の影響を含めた検証が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 川口浩二, 櫻庭敏, 藤木峻: 全国港湾海洋波浪観測年報 (NOWPHAS 2014), 港湾空港技術研究所資料, No.1319, 2016, 126p.
- 2) 江口一平, 岡田弘三, 中田琢志, 内田洋平, 窪田和彦, 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) 琴浦毅, 田中仁: 冬期日本海における波浪推算精度の検証, 東北地域災害科学研究 第 52 巻 (2016) p. I_115-I_120.
- 8) 琴浦毅, 田中仁: 波浪推算モデルによる低波浪時の有義波推算精度を低下させる要因の検討, 土木学会論文集 B3 (海洋開発) Vol. 72 (2016) No. 2 p. I_271-I_276.
- 9) 琴浦毅, 田中仁: 波浪推算モデルの低波浪時推算精度向上に関する研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発) Vol. 73 (2017) No. 2 p. I_971-I_976.
- 10) 森 信人, 平口 博丸: アンサンブル波浪予測の精度と価値について, 土木学会論文集, 2004 巻 (2004) 768 号 p. 167-177.
- 11) The WAMDI Group: The WAM model – A third generation ocean wave prediction model, Journal of physical oceanography, pp1775-1810, 1988.