

渤海湾内の波浪に関する 簡易推算法の精度

Evaluation of simplified wave prediction method for wind generated waves in Bohai Bay

高山知司¹・木村雄一郎²

Tomotuka TAKAYAMA, Yuichiro KIMURA

¹正会員 京都大学防災研究所 海岸・海域災害分野 (〒611 京都府宇治市五ヶ庄)

²正会員 京都大学 工学研究科 都市環境工学 (〒606 京都市左京区吉田本町)

Statistical properties of wind generated waves in long and short terms must be investigated in order to get damage characteristics of oil production platforms in Bohai Bay and to develop countermeasures against the damages. Since wave data observed in the bay are quite not enough, a simplified wave prediction method has been developed. The wave prediction model employs weather charts easily available to estimate wind speed. As the results of comparison between predicted and measures waves the wave prediction method is evaluated to be applicable practically though there are some parts to be improved.

Key word: waves in Bohai Bay, simulation, observation, pressure, weather, wind, time

1. まえがき

近年、中国は目覚ましい発展を遂げており、経済や工業の発達は著しい。そして、それらの発達が顕著な地域は青島、上海といった渤海、東シナ海などに面した沿岸地域に広がる大都市が多くを占めており、都市部でのエネルギー需要が急増している。そういった経過から進められているのが、渤海湾における海上油田開発である。近年発見されたそれらの油田は、消費地に近く、また産出量が多いため、大きな注目を集めており、今後の中国の成長において欠かせないものと見られている。

しかし、渤海は中国北部に広がる華北平原に囲まれているため、冬季は大陸に発達する高気圧からの季節風を強く受け、風速が毎秒 20m以上に達することも度々あり、海上構造物の波浪による被害が懸念される。よって、リスクマネジメントや環境への配慮といった観点から、この海上油田地域における波浪を冬季風等の気象条件から予測し、海上プラットフォームの疲労破壊などの被害軽減に役立てることが必要とされているのが現状である。

本研究の目的は、渤海湾の海上油田である極浅海油田(図-1)における波浪・潮位変化を、天気図を用い

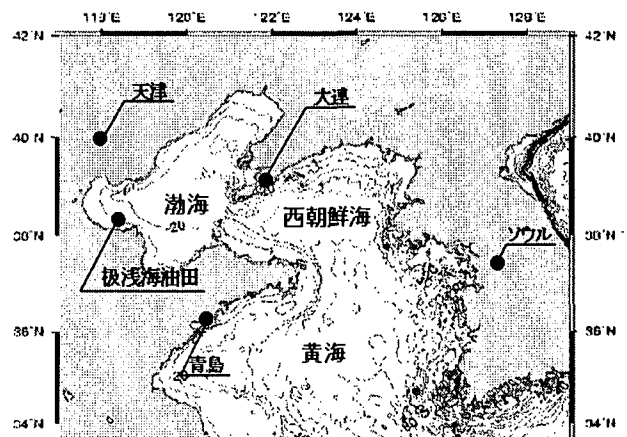


図-1 渤海湾周辺地図

た簡便な方法で予測する手法を開発することである。気象庁が提供している海上風の解析データは、日本国内のみが対象であり、また ECMWF 等の領域モデルは出力点が少なく、渤海全域を内挿できない。よって、もっとも容易に入手できる天気図を用いた。そこで、天気図から傾度風を推定し、それに補正項を乗じた海上風を入力情報として既存の波浪推算モデル(SWAN)を用いて推算し、実測値と比較してその妥当性を調べている。

2. 海・気象条件及び傾度風の算定

(1) 推算時期

波浪推算に必要なデータは地形データ及び風速データである。本研究において、波浪推算モデルを用いて推算する日時は、1999年11月7～11日までの5日間と、同年11月24～28日までの5日間の合計10日間である。これらの日時を選択したのは、現地観測によって得られた波浪や風のデータが、この時期のものしかないためである。また、この時期は、西高東低の冬型の気圧配置が東アジア一帯に広がっており、冬期季節風の影響が顕著に現れると考えられる。

(2) 地形条件

地形データが包括する領域は、対象としている渤海湾だけでなく、渤海と西朝鮮海全域及び黄海北部を含む広大な地域としている。領域を大きく設定したのは、境界位置における誤差が、推算結果に大きな影響が生じるのを避けるためである。

緯度・経度を用いてこの領域を表すと、西端が $117^{\circ} 25' 42'' E$ 、東端が $121^{\circ} 18' 51'' E$ 、また南端が $34^{\circ} 40' 27'' N$ 、北端が $37^{\circ} 52' 27'' N$ となっており、距離にして東西方向(x方向)が432km、南北方向(y方向)が356kmである。この領域をx方向170グリッド、y方向140グリッドの格子状に区切り、1つの格子サイズを2540mとした。

研究の対象である極浅海油田は北緯 $38^{\circ} 40' 27''$ 、東経 $118^{\circ} 25' 42''$ で、渤海湾の南西の沿岸に位置している。また、渤海は非常に水深の浅い海で、最も水深の深い部分で40m程度、大部分が15～30mとなっている。研究の対象である極浅海油田も、海岸から5km以上も沖であるのに水深は9m程度である。

(3) 気象条件

気圧データも、地形データと同じ範囲を 170×140 グリッドの格子に区切り、それぞれの格子点毎に1Pa単位で気圧を与えた格子化データである。これらは、気象庁が0時、6時、12時、18時の6時間毎に発表する東アジア地域の天気図を元に作成している。また、波浪推算プログラムは、6時間毎のデータを与えても、間の空白を補完して計算するようプログラムされている。

a) 天気図：1999年11月7～11日

渤海湾付近の11月7日6時の天気図を図-2に示す。渤海上空には1014hPaの弱い低気圧があり、その影響で大連・青島の天気は雨となっているが、モンゴル東部にある1032hPaの高気圧の影響で、渤海の西側(天津付近)は快晴となっている。

11月8日6時の天気図を図-3に示す。7日に見られた低気圧はなくなり、渤海沿岸地域はすべて快晴となっている。しかし、9～11日にかけては天気が崩れており10日には雨天となっている。

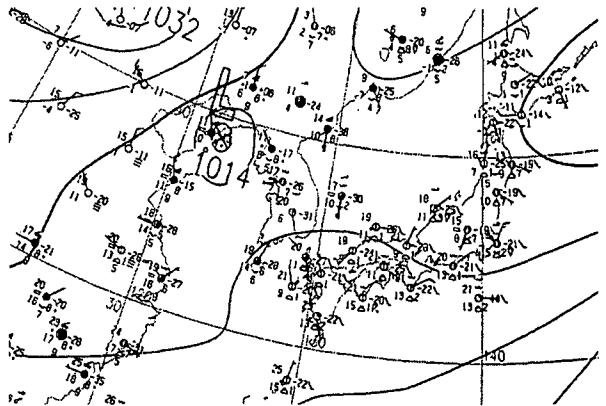


図-2 11月7日6時の天気図

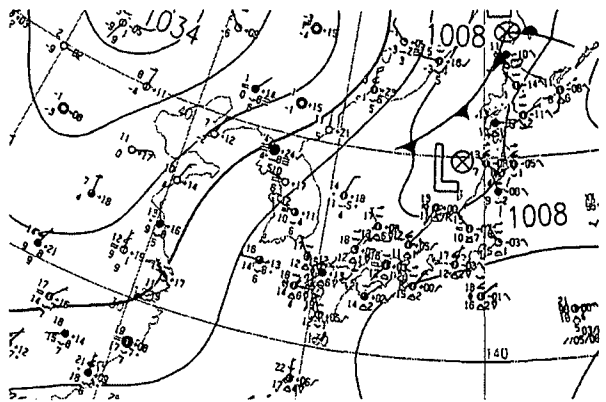


図-3 11月8日6時の天気図

b) 天気図：1999年11月24～28日

11月24日6時の天気図を図-4に示す。渤海上空に1010 hPaの低気圧から東西に前線が発達し、沿岸地域の天気は雨で、ロシア上空の高気圧はさらに発達し1056 hPaとなっている。25日についても同様に雨天で、天気は回復していない。

次に、11月26日6時の天気図を図-5に示す。低気圧は日本の北方に移動し、渤海付近の天気は回復し

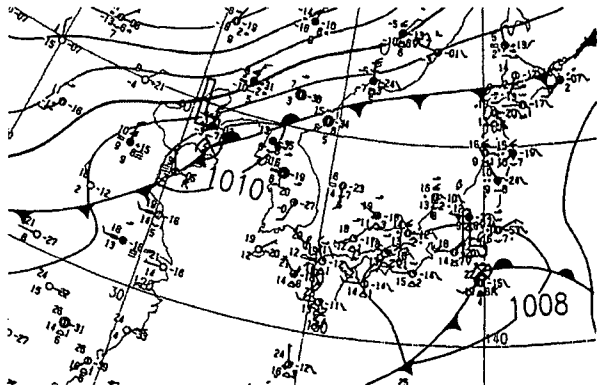


図-4 11月24日6時の天気図

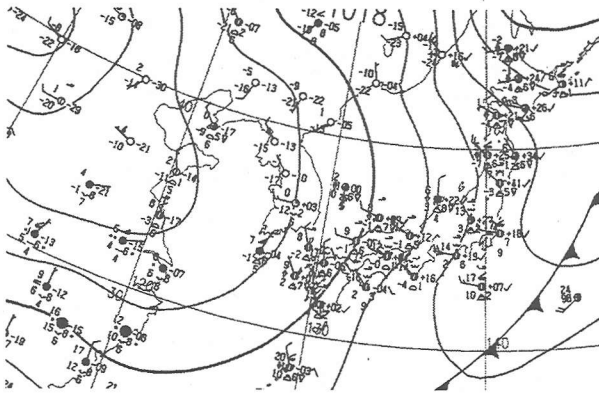


図-5 11月26日6時の天気図

表-1 渤海湾沿岸における日中の天気

	7日	8日	9日	10日	11日
天気	晴	晴	曇	雨	曇
	24日	25日	26日	27日	28日
天気	曇	雨	晴	曇	晴

て快晴となっている。27日には、やや天気は崩れるが、28日には天気は再び回復し快晴となっている。

計10日間の天気をまとめたものを表-1に示す。

(4) 傾度風の算定

波浪推算に用いる風速データは、犬飼ら(2002)と同様に気圧勾配から求めた傾度風を補正して用いることにした。次式が気圧勾配とコリオリ力の釣り合いから得られる傾度風の計算式である²⁾。

$$u = -\frac{1}{f\rho_a} \frac{\partial P}{\partial y} \quad (1)$$

$$v = \frac{1}{f\rho_a} \frac{\partial P}{\partial x} \quad (2)$$

ここで、 u : x方向風速、 v : y方向の風速、 f : コリオリ係数、 ρ_a : 大気密度である。上式から得られる傾度風は、地表面との摩擦による減衰を考慮していないため、そのまま計算すると実測値より大きな値を示す。これを、海面上10mにおける海上風として用いるためには、補正係数を乗じる必要がある。一般的に摩擦による減衰を考慮するには補正係数として0.6~0.7の値が用いられる。そこで、補正係数を0.60, 0.65, 0.70として、それぞれ風速を推算したところ、図-6の結果が得られた。推算した風速の最大値が最も実測値に近いものは、補正係数が0.65の場合である。そこで、傾度風の減衰係数の値として0.65を用いることにした。

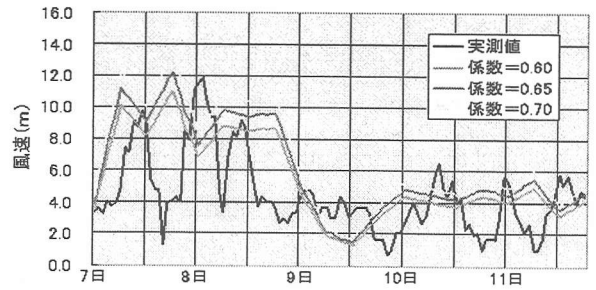
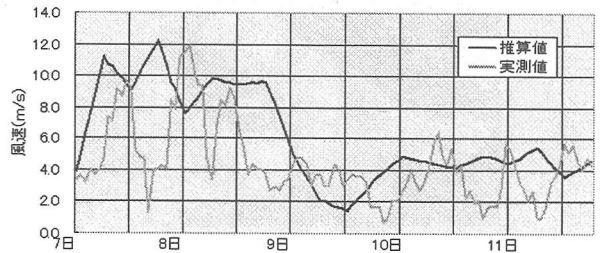


図-6 傾度風から海上風への補正係数の比較

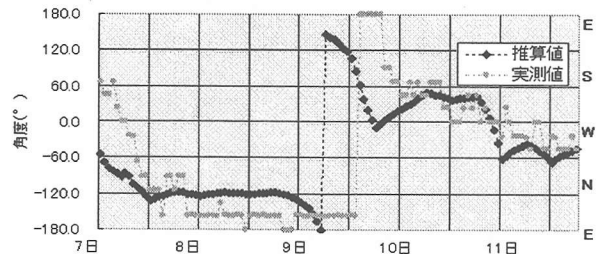
3. 推算結果と実測値の比較

(1) 11月7~11日

11月7~11日における風速の絶対値、風向、波高、波の周期に関して実測値と推算値の比較をそれぞれ図-7と8に示す。これらの図中には実測値と推算値の時系列が示されている。4図ともに横軸は時間(日)であり、図-7(a)の縦軸は風速(m/s)、図-7(b)の縦軸は西風を 0° 、北からの風を負、南からの風を正とし $180^\circ \sim -180^\circ$ の範囲で表した角度($^\circ$)、図-8(a)の縦軸は波高(m)、図-8(b)の縦軸は波の周期(s)である。



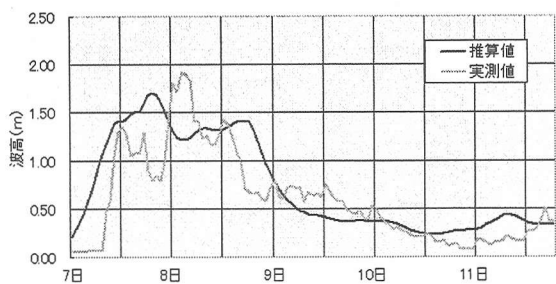
(a) 風速



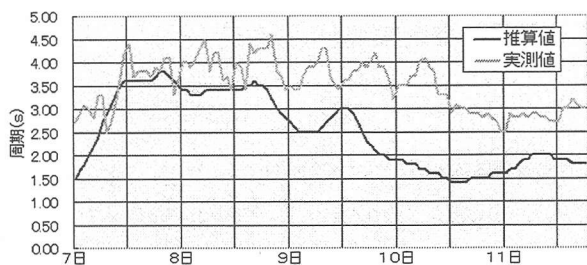
(b) 風向

図-7 11月7~11日の風に関する推算値と実測値の比較

図-7から推算値と実測値をそれぞれ比較すると、風速に明確な違いがあるにもかかわらず、推算値と実測値は7日と8日ともに北東からの風が吹いていて、極端な違いは見られない。その理由としては、気象条件として与えている天気図が6時間毎であるための確に当時の気象を再現できないという点も考えられるが、図-2の天気図と図-7から推測して、昼間に暖まった陸上の気温が日没によって急激に下がり、海上の温度と逆転したことによって、北東からの風が弱められたと



(a) 波高



波の周期

図-8 11月7～11日の波に関する
推算値と実測値の比較

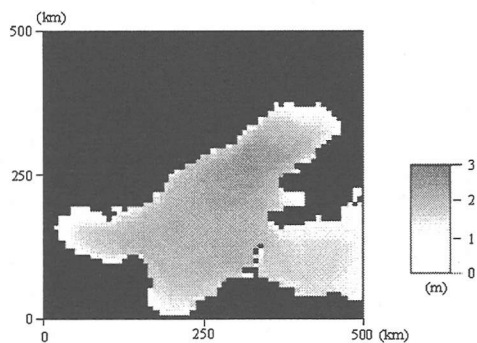


図-9 11月7日20時における湾内の波高分布

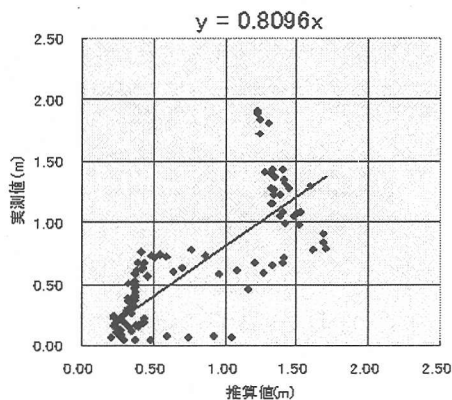


図-10 11月7～11日の波高の推算・実測値の分布

考えられる。9～11日にかけては、表-1からも分かるように晴天ではないため7日と8日のような陸風、海風の現象は起こっていない。

図-8(a)では、推算値の変化の傾向は実測値とかなりよく似ており、これらの相関係数を求めると0.78であった。図-7(a)の7日と8日における風速の実測値と推算値に差があるにもかかわらず波浪推算値についてよ

く似ているのは、両日に吹いている風向が北東の風であり、渤海では吹送距離が長いから、風からエネルギーを十分に得ることができ、これによって風が凪いでも波高はそれをすぐには追従しないためと考えられる。

図-8(b)における有義波の周期の推算値のグラフは、5日間を通して、図-8(a)の波高の推算値の変化を追従するように変化している。

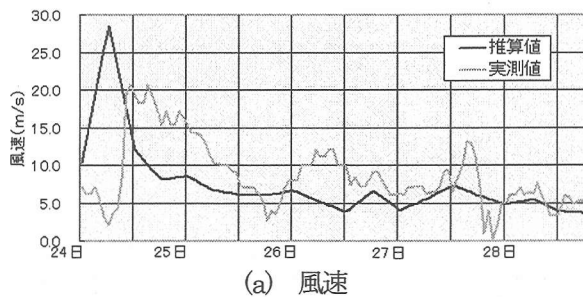
また、図-8(a)において推算値が最大値となる7日20時における渤海内の波高分布を図-9に示す。最も高い波高を示している海域は、湾内で最も深い水深を有している場所でもあり、湾内で水深が20m以上の深さを有する部分と、推算結果で2m以上の波高を示している海域はほぼ一致している。北東の風(図-7(b)参照)は急速に波浪を発達させるが、南西方向に進むにしたがって水深が浅くなるため、屈折によって波のエネルギーが広範囲に分散し波高は減衰していると考えられる。

ここで、横軸を推算値、縦軸を実測値として分布をプロットしたものが図-10であり、分布に対する近似曲線の傾きは0.81で、実測値よりも推算値が2割程度大きい。

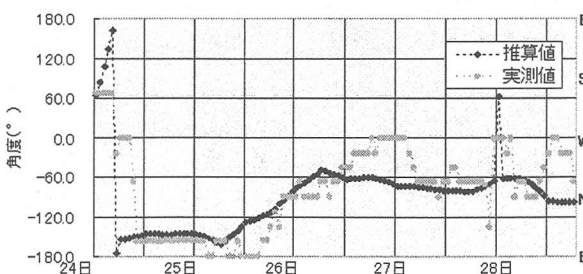
(2) 11月24～28日

同様に11月24～28日における風速の絶対値、風向、波高、波の周期に関して実測値と推算値の比較を図-11と12に示す。

図-11で、実測値と推算値は24日の0時には風速10m/s前後で、その後急速に強まり、両者とも大きな風速を示している点では傾向は似ているといえるが、極大値の現れる時刻が異なっている。この相違が現れ

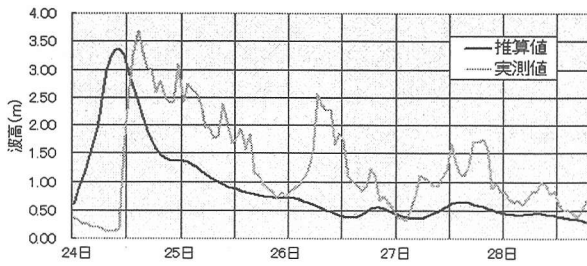


(a) 風速

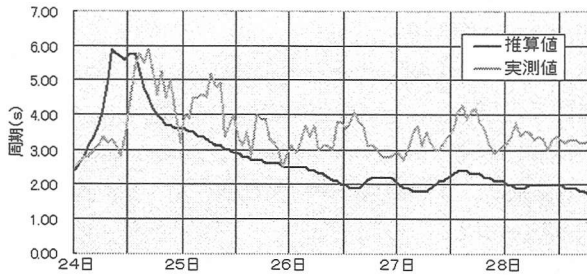


(b) 風向

図-11 11月24～28日の風に関する
推算値と実測値の比較



(a) 波高



(b) 波の周期

図-12 11月24～28日の波に関する
推算値と実測値の比較

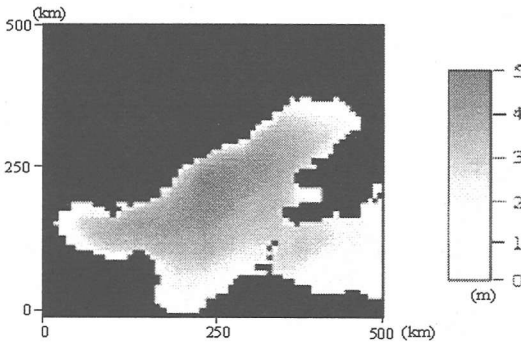


図-13 11月24日6時における湾内の波高分布

る理由として、25日0時付近の風は、図-4に現れている温暖前線が渤海湾上空を通過したためと考えられる。この温暖前線は勢力を西側に向けながら移動しているため前線付近には東風が吹いているはずであり、図-11(b)に示すように東の風が観測されている。また、26日と27日に観測されている風であるが、この原因となっているのは図-5の天気図から推測して、等圧線には現れていない低気圧によると推測され、渤海の南西には弱い低気圧が存在することが付近の風向から読み取れる(図-5は26日の天気図であるが、27日においても26日と似た気圧配置となっている)。両日の風の原因は、この低気圧によって見かけよりも実際は等圧線の間隔が狭く、強い風が観測されていると考えられる。さらに、27日0時付近と28日18時付近で実測値と推算値の風向がずれている理由は、表-1から両日は晴天であり、それらの風向が西の風であることから、陸風によるものと考えられる。

図-12(b)における有義波の周期の推算値については、7～11日の結果同様、波高の推算値(図-12(a))が示す

変化と似ていることがわかる。

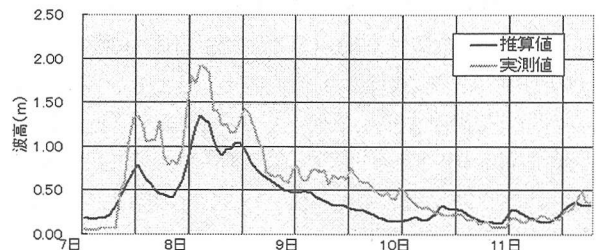
ここで、図-12(a)の推算値が最大波高を示している24日10時における、渤海内の波高分布を図-13に示す。図-13によると、湾内中央部の東側で最も波高が高くなっており、5mに達している。この時刻には東風が吹いており(図-11(b)参照)、西方に向かうにつれて波浪は発達し波高は高くなる。しかし、水深が浅くなる湾内西側の沿岸部では、碎波によって波浪は減衰している。観測地点においては、7～11日の結果と同様に、屈折によって波のエネルギーが分散し、この値は最大波高の7割程度である。

(3) 実測風を用いた波浪推算

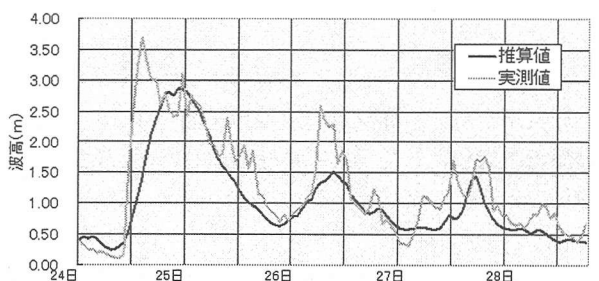
既に述べたように11月7～11日に関しては、比較的高い精度で現象を再現できていると思われるが、24～28日に関しては、風速がうまく再現されていないこともあり、精度の高い結果は得られていない。そこで、風速が再現されていれば精度の高い結果が得られるかを検討するために、観測地点(極浅海油田)において観測された風速が計算領域内すべてに一樣に吹いていると仮定し、推算を行って当時の状況の再現を試みた。

11月7～11日と24～28日の波高の推算結果と実測値の比較を図-14(a)と(b)に示す。横軸は時間(日)、縦軸は波高(m)を示している。また、図-14(a)と(b)に関して、図-10と同様に分布をプロットしたものを図-15(a)と(b)に示す。

11月7～11日の波高について、図-7(a)では7日と8日に実測値が極小を示した際に推算値はその変化を追従しなかったが、図-14(a)ではその変化を追従している。また、図-15(a)における近似曲線の傾きは1.45であり、

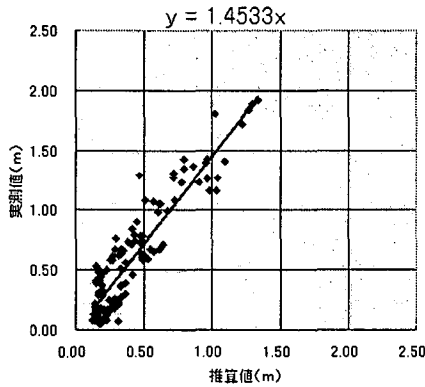


(a) 11月7～11日における波高

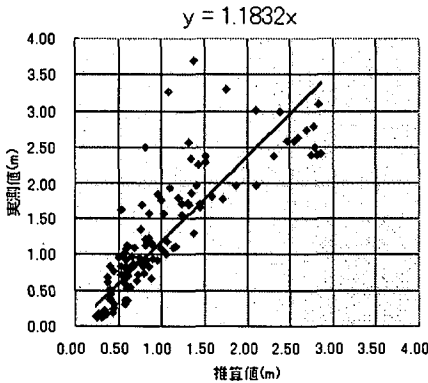


(b) 11月24～28日における波高

図-14 観測された風を用いて算定した
推算値と実測値の比較



(a) 11月7～11日における波高



(b) 11月24～28日における波高

図-15 観測された風を用いて算定した
推算値と実測値の分布

実測値と推算値から相関係数を求めると 0.92 となる。よって、それぞれの傾向は非常に類似しているが、推算値は実測値より 3 割程度小さくなっていることがわかる。

11月24～28日の波浪推算の結果について、図-12(a)では26日と27日に実測値が示している極大を推算値は示さなかったが、図-14(b)では26日の9時頃と27日の18時頃に極大値が現れている。しかし、双方とも推算値は実測値より小さい。図-15(b)における近似曲線の傾きは1.18であり、実測値と推算値から相関係数を求めると0.83となる。よって、7～11日の結果同様に、それぞれの傾向は類似しているが、推算値は実測値より2割弱小さくなっていることがわかる。

4. あとがき

天気図を用いて簡易な波浪推算を開発するために、渤海湾を対象にしてその精度を検討した結果は以下の通りである。

(1) 風速に関して、天気図から算定した海上風の風速は、平均的な変化は比較的良好に再現できており、極大値は概ね一致しているが、日変動的な変化はうまく再現できない。風向については、比較的良好に実測値を再

現できている。

(2) 渤海全域での波の分布に関して、波は風の進行方向に向かって急速に発達し、風下にあたる海域で最も高い波高を示すが、水深が20m未満の海域では波浪は屈折や碎波によって減衰する。

(3) 有義波高に関する結果

a) 天気図から算定した海上風を用いて推算した波浪は、比較的良好な精度で実測値と一致する場合（相関係数は0.78）もあったが、全体的には実測値より1割程度大きい傾向があった。

b) 観測地点で得られた風を計算領域内で一様に吹いていると仮定し、それを用いて波浪を推算した結果は、実測値に非常に似た傾向（相関係数は0.9前後）を示す。しかし、推算結果は実測値に比べて1～3割小さな波高を示した。

(4) 有義波高の周期に関して、波高の推算値と似た傾向の曲線を描き、波高の推算値が実測値より小さいときは、周期においても実測値より小さい値を示した。

以上のように、本簡易推算法は実用的にはある程度適用できることがわかったが、推算を行う際に以下のような問題点が明らかになった。

(1) 天気図に示されている等圧線の間隔が広く、それらの幅が一様でない場合、そのときの気圧勾配を再現するのは難しい。

(2) 計算領域を前線が通過した場合、傾度風以外の空気の流れが生じ、現段階ではその流れが傾度風に与える影響を推定することができない。

(3) 推算の対象となっている日が晴天であった場合、地表と海面の温度差から陸風が生じ、これも現段階ではその風が傾度風に与える影響を推定することができない。

そこで、今後は気圧配置を迅速かつ的確に再現できるようなプログラムを作成する。また、研究対象とする海域が陸風や海風の影響をどの程度受けるかを分析し、その海域の特性を調査し、推算の精度を高めたい。

参考文献

- 1) Li, H., Hu, S.J. and Takayama, T. (2001): Optimal active control of wave-induced vibration for offshore platforms, China Ocean Eng., Vol.15, No.1, pp.1～14.
- 2) 犬飼直之・早川典生・福島祐介(2002): 天気図を用いた海上風の推算法について, 海岸工学論文集, 第49巻