日本海に面した港湾での高波高の発生予測に関する基礎的研究

久保 雅義*・小宗 多恵**
斎藤 勝彦*・笹 健児***

Basic Research on Forecast of High Waves in Ports and Harbours Facing to the Sea of Japan

Masayoshi KUBO, Tae KOMUNE,
Katsuhiko SAITO and Kenji SASA

Abstract

In ports and harbors facing to the open sea, mooring ships have sometimes encountered severe wave condition in the winter, then the mooring ropes and fenders are broken. As the results, the accident of ship body damage has happened. In order to avoid such accidents, we should set the mooring criteria for the ship shifting to outside of the harbor. For the target N-port facing to the Sea of Japan, the critical offshore wave height is known to be 5m by our previous research, so we try to forecast the wave height before 2 or 4 hours earlier.

We propose several high wave forecasting methods using waves, winds and both data. If we use the 5 parameters method of wind and wave, we can forecast the critical conditions with 77% accuracy and 12 parameters method of wind, then 91% accuracy.

1. 緒 言

近年、港湾における急激な波高上昇によって、係留中の船体動揺、係留索の切断、防舷材や船体の損傷といった多数の被害が生じている⁽¹⁾。このような被害への対策として、既設の係留施設を持つ港湾においては、適切な係留限界判断の運用が重要であると考えられる。また、係留限界判断の要素として当該港湾海域における気象・海象条件の設定、そして近隣港湾での波高変化の観察が挙げられる⁽²⁾。よって、本研究では特定の港湾において係留限界判断のために必要となる詳細な波浪の特性について既存の統計データをもとに把握し、係留限界条件の設定や高波高予測について検討し若干の知見が得られたので報告する。

2. 波高予測と船舶の対応

2.1 重回帰分析による高波浪予測

本研究では、特定の港湾として日本海側に位置するN港を挙げる。N港における高波高発生条件について2変数の相関等を調べた結果、高波高の発生は冬季に集中していることが分かった⁽²⁾⁽³⁾。

そこで、高波浪月別発生頻度が高かった11月、12月、1月、2月に着目し波高予測を試みる。波高予測式を立てる際には、重回帰分析を用いる。この重回帰分析においてはN港の2時間後、もしくは4時間後の有義波高値を目的変数とし、N港の風速、有義波高データ⁽⁴⁾を説明変数として使用する。

* 正会員 神戸商船大学 (〒658 神戸市東灘区深江南町5-1-1)

** 非会員 郵船情報開発株式会社 (〒105 東京都港区西新橋3-2-5 御成門郵船ビル)

***正会員 株式会社郵船海洋科学 (〒140 東京都品川区南品川2-3-6)

本研究では、高波浪発生 の月別特性に着目し波高予測の検討を進める。分析種類の例としては、1992年12月の風速データを用いて重回帰分析を行い、波高予測式を立て、その式に1993年12月の風速データを代入することにより、1993年12月の波高予測値を算出する、という方法を採用している。

また、重回帰分析により得られた予測式そのものでは、予測波高値が実際に観測される高波高値に対応できない場合があった。そのため、本研究では重回帰分析によって得られた予測式（以下1次予測と呼ぶ）に、5 m以上の波高値とそれに対応する1次予測値の比率1.35をかけた予測式（以下2次予測と呼ぶ）を用いることによって、実際に観測される高波浪に対応できるようにした。

この1.35という比率は、1992年のデータを、そのまま予測式に代入して得た予測波高と5 m以上の観測波高との比率の平均値として得られた値である。

2.2 波高予測と船舶の港外避泊準備について

従来の波、風そして気圧分布を用いた特定地点での波高予測の研究⁽⁵⁾⁽⁶⁾では6時間後又は12時間後予測が多いが、これらの研究では海上工事を主たる対象としており、この場合には工事の準備等でこのようになりかなりの長時間予報が要求されているものと考えられる。しかしこの場合は当然のことであるが予測が実際の観測波高よりも遅れる等の問題を抱えている。特に急激な波の立ち上がりにおいてはこの遅れが顕著に出ることが指摘されている。このような時間遅れを解消するために対象港よりも南西に位置する他の港の情報を変数⁽⁷⁾として使用する方法も提案されているが、常に情報を交換することはそれなりに労力を伴うことになる。

そこで本研究では港内係留船の港外避泊判断への波高予測に利用対象を絞った。港外避泊を行う場合の準備は2時間程度⁽⁸⁾であることが分かっているため、予測時間を従来よりも短くして4時間又は2時間に設定した。さらに一般的な波高値そのものの予測でなく予測波高が5 m⁽³⁾を越えるか否かに焦点を当てて以下の検討を進めている。

このように本研究では波高予測式の精度を上げるために、主として予測する時点の2時間前の各データを用いている。つまり、5 mという予測波高値が得られた時点では、実際の観測波高値が5 mに達するまでに2時間の余裕しかなく、事前準備無しでは係留限界状態への迅速な対応が困難となることが予想される。よって、本研究での高波浪予測を利用する場合は、波高が4 mを越える点を事前の判断点とし、その時点で港内に係留している船舶は港外避泊準備等を実施するものとする。そして、この状態で2時間毎の波高予測を行い、2時間後の予測値が5 mを越えれば、即港外避泊を実行することを前提として以下の議論を進める。

2.3 予測波高のとりえ方

図1に予測波高の捉え方を説明する。点線は観測波高、太実線は2次予測波高を表す。現時点を㊦とすると、今から2時間後に波高は㊦ (563cm) になると予測される。この場合、実際には2時間後の観測波高は㊧ (409cm) であったが、4時間後には観測波高は㊨ (508cm) に達した。N港では波高5 mを係留限界の目安としていることを考慮すると、予測波高と観測波高が5 mを越える点に2時間のずれが生じたものの、2時間分安全側の予測ができたことになる。つまり、この場合の予測は成功したと判断できる。以下、このような判定を各場合毎に行っていく。

3. 観測波高の時系列と各種予測波高の時系列の比較

以下に於いて各種予測手法毎に観測値の時系列と予測値の時系列との比較を行うが、全てのケースについての議論はページ数の関係で出来ないため、ここでは代表的な3つの例について考察を行う。なお以下で風速や波を5個または10個用いる場合を、省略して5変数、または10変数としている。

図1 予測波高の捉え方

3.1 風速データを利用した予測

(1) 5変数を用いての4時間前予測の場合

係留限界状態への対応可能時間としては、およそ4時間が妥当であると考えられる。よって、まず予測する時点の4時間から12時間前の5つのデータを用いて予測式を立てることを試みた。図2(a)に2次予測波高が5m近くになるケースを挙げる。図において、点線は観測波高、細実線は1次予測波高、太実線は2次予測波高を表している。以下にこれら各ケースについての考察を記す。

2次予測では、2月13日18時に波高が5mに達する。しかし、実際には観測波高は5mに達していない。よって、この場合はしなくてよい緊急出港を行ったことで、費用損失を生じたことになる。

11月28日に観測波高は5mに達する。2次予測では、その4時間前に5mに達すると予測される。よって、この場合2次予測は成功。

12月11日20時に観測波高は5mに達する。2次予測では、その4時間後に波高が5mに達する。よって、この場合の2次予測は危険側となり失敗。

これらの図から、予測する時点の4時間前のデータを用いて予測式を立てると、次のような問題が生じることが分かった。

①12月11日のように、波の立ち上がりが急な場合には、予測値として高波浪をとらえられない。

②実際の観測波に比べ予測波が遅れて出現する。

これらの問題を考慮し、以後の予測では、予測する時点の2時間前までのデータを用いて予測式を立てることにする。

(2) 5変数を用いての2時間前予測の場合

図2(b)に観測値波高または予測波高が5m近くになる風速5変数による予測例を上げる。

2次予測では、2月13日18時に波高が5mを越える。しかし、実際には観測波高は5mに達していない。よって、この場合は費用損失を生じる。

11月28日12時に観測波高は5mに達している。2次予測では、その6時間前に5mを予測している。よって、この場合の2次予測は成功。

12月11日16時から18時の間に観測波高は5mに達している。2次予測では、その2時間後に5mに達している。よって、この場合の2次予測は危険側となり失敗。しかし4時間前予測よりは5mに達する時刻の予測は早まっており改善されている。

(3) 12変数の場合

図2(c)に観測波高または予測波高が5m近くとなる風速12変数による予測例を示す。全般的に先の5変数の場合と比較すると、観測波高の細かい上下の変化に対応できないという点で劣っている。観測波高変化では、そのような細かい上下の変化の途中で5mに達することがある。以下に2次予測波高が5mを越える各ケースについて考察を記す。

2次予測では、2月10日16時に波高が5mに達している。しかし、実際には観測波高は5mに達していない。よって、この場合は費用損失を生じる。

11月28日12時に観測波高は5mに達する。2次予測では、その4時間前に5mに達すると予測される。よって、この場合の2次予測は成功。

12月11日18時に観測波高は5mを越える。2次予測では、その2時間後に5m越えると予測される。よって、この場合の2次予測は危険側となり失敗。

このように3ケースの事例で見ると変数を増やしても5変数の場合と傾向はそれほど大きく変わらないが、この方法については後ほどさらに検討を加える。

3.2 有義波高データを利用した予測

図2(d)と(e)に示すように、全般的に有義波高データを用いた1次予測は観測波高に非常に近い値を取りながら変化する。しかしこの1次予測波高の変化は観測波高の後を追う形をとる。このため波高の予測による係留限界の判断という目的が達成されない。このような問題については文献5、6、7においても指摘されているところである。以下5変数と10変数を用いた場合の予測結果を示す。

(1) 5変数の場合

図2(d)に5変数の場合の例を示す。

図2 予測手法毎の観測波高と予測波高の時間変化

2次予測では、2月13日14時に波高が5 mに達している。しかし、実際には観測波高は5 mに達していない。よって、この場合は費用損失を生じる。

11月28日12時に観測波高が5 mに達する。2次予測では、その4時間前に予測可能である。よって、この場合の2次予測は成功。

12月11日18時に観測波高は5 mに達する。図では少し遅れて波高は推移しているが、2次予測でも同時刻に波高値は5 mに達する。よって、この場合の2次予測は成功。風を用いた場合には出来なかった予測が可能になった点で進歩が見られるといえよう。

(2) 10変数の場合

図2(e)に、この場合の3例を示す。

2次予測では、2月13日14時に波高が5 mに達している。しかし、実際には観測波高は5 mに達していない。よって、この場合は費用損失を生じる。

11月28日12時に観測波高は5 mに達する。2次予測では、その8時間前に予測可能である。よって、この場合の2次予測は成功。

12月11日18時に観測波高は5 mに達する。2次予測でも同時刻に波高が5 mに達する。よって、この場合の2次予測は成功。

10変数を用いると、予測波高は波高変化の全体をとらえる傾向が強くなる。これは風の場合と同じ傾向である。

3.3 有義波高データと風速データを併用した予測

図2(f)にこの場合の計算例を示す。

2次予測では、2月13日14時に波高が5 mに達する。しかし、実際には観測波高は5 mに達していない。よって、この場合は費用損失を生じたことになる。

11月28日12時に観測波高は5 mに達する。2次予測では、その6時間前に予測可能である。よって、この場合の2次予測は成功。

12月11日18時に観測波高は5 mを越える。2次予測でも同時刻に波高が5 mを越えている。よって、この場合の2次予測は成功。

風速データと波高データを併用しているために上記のどの場合よりも予測は良くなっている。波のみの予測よりも予測が良くなっているのも、これについてもさらに以下で検討を加える。

4. 高波高予測の評価と予測精度の向上

4.1 高波高予測の評価

表1に、6種類の2次予測による観測波高の全予測結果を示す。この場合の記号◎、○、△、×の意味を以下に示す。

予測波高が観測波高よりも早い時刻に5 m以上を予測し、観測波高も5 mを越えた場合、予測は成功と評価する。この場合の記号を◎で表す。

観測波高に対して2次予測波高が5 m未満を正しく予測し、このため費用損失を生まなかった場合、記号は○で表す。この場合には、観測波高が極大値を持った時のみの比較でなくその前後にお

表1 各種予測の避泊判別結果

月	日	番号	風				波		風と波
		予測	4時間後	2時間後		2時間後		2時間後	
		変数	5変数	5変数	12変数	5変数	10変数	5変数	
1	2-3	1	○	○	○	○	○	○	
	4-5	2	⊙	×	×	⊙	⊙	⊙	
	6-7	3	×	⊙	×	⊙	⊙	⊙	
	14-15	4	○	○	○	○	○	○	
	17-19	5	×	×	⊙	⊙	⊙	⊙	
	23	6	○	○	○	○	△	○	
2	1-2	7	×	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	
	7-8	8	○	○	○	○	○	○	
	9-10	9	△	△	○	△	△	△	
	12-14	10	△	△	△	△	△	△	
	21-22	11	×	⊙	×	⊙	⊙	⊙	
11	21-22	12	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	
	23-24	13	△	△	△	△	△	△	
	27-28	14	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	
12	1	15	○	○	○	○	○	○	
	2-3	16	○	○	○	○	○	○	
	4-5	17	○	○	○	○	○	○	
	11	18	×	×	×	⊙	⊙	⊙	
	14-15	19	△	△	△	△	△	△	
	17	20	⊙	⊙	⊙	×	×	⊙	
	21-22	21	⊙	⊙	⊙	×	×	⊙	
	27-28	22	△	△	○	△	△	△	

いても2次予測波高が5 mを越えないことを条件としている。

観測波高は5 m以下なのに、2次予測波高が5 m以上で港外避泊を行った場合には費用損失を生む。しかしこの場合は安全側の処置であり失敗ではないので、記号としては△で表す。

観測波高が5 mを越えるのに、2次予測波高がこれを早めに予測できなかった場合には港内係留船は危険な状態になる。この場合の記号として×で表す。

表1より4時間後の予測はかなり精度が悪くなることが分かる。

風による予測の場合と波による予測の場合では、予測にかなり顕著な差が出る事が分かる。例えば予測番号2、18において風による予測は失敗しているが、波による予測では成功している。反対に予測番号20、21では波による予測は失敗しているが、風による予測は成功している。このように両者の予測にはかなり違いがあることが分かる。

風と波の両方を説明変数として使用した場合は両者の良いところが生かされて、それぞれ単独の場合よりもかなり予測が成功している。先ほど示した予測番号2、18、20、21は全て成功している。さらにこの予測では、費用損失発生(△)は5回あるが、予測危険側失敗(×)はない。その意味では、この予測手法は安全側であり、捨てがたい面を有していると言えよう。

以上の2次予測波高を横軸に、観測波高を縦軸にとって表すと図3のようになる。図には両者が一致した場合の原点を通る勾配1の直線も示している。これらの結果より今回の予測波高は観測値よりかなり大きめに出自することが分かる。この傾向は波高が小さいところで特に顕著である。

つぎに◎と○を予測の成功と見なして、各予測手法毎の成功数を全予測数(22個)で割ることによって成功率を定義する。同様にして費用損失率、失敗率を定義する。これらをまとめて表2に示す。これによれば、風速を用いる予測の場合は12変数を用いた予測で68%の成功率となり、波と風をそれぞれ5変数を用いる場合は77%という高い成功率を得た。

そこで以下では風速12変数の場合と波と風5変数を用いた予測についてさらなる改良を試みる。

4.2 予測精度向上のための指標の導入

ここでは観測波高の時系列が2 m以下で極小値を取る時刻から、つぎに2 m以下で極小値を取る時刻ま

図3 2次予測波高と観測波高との比較

でを1ケースとしている⁽³⁾。以下では次の4項目を用いて検討を行う。

極小値

各ケースとして抽出したデータ内での最小波高極大値

各ケースとして抽出したデータ内での最大波高波高増加率

極小観測波高から次の観測波高まで2時間における波高の増加率

平均2乗誤差

1次予測では極大値が小さめに出ることは既に述べた。その対応策として1.35倍すれば予測値が観測値よりも遅れることは防げても、当然のことであるが大きめに出ることも生じる。つまり2次予測を重視することは費用損失を生じる場合が増える可能性を秘めている。

費用損失を生じる場合の時系列波形をよく見ると観測波形と1次予測波形とが時間遅れは多少あるものの両者は非常に良く似ていることに気付く。上で例として示した図2の2月13日から14日の波高変化はその代表例である。そこで極小値からの観測値と1次予測値とのずれの累積値を指標として検討する。このような指標として、ここでは平均2乗誤差 a を用いることにした。

$$a = \frac{\sum \{H_0(i) - H_E(i)\}^2}{N} \quad i=1,2,\dots,N$$

ここに $H_0(i)$ は i 番目の観測波高 (cm)、 $H_E(i)$ は i 番目の1次予測波高 (cm)、 $i=1$ は観測波高の極小値に対応し、 N はデータ個数である。

(1) 風速12変数の場合の新たな判別

風速12変数モデルの全体的な傾向をつかむために、極小から極大に至る22ケースについての性質を表3に示す。

表3における観測波高と対応する2次予測波高値はそれぞれ以下のように決めている。◎の場合は観測極大波高と対応する時刻もしくはそれ以前に5mを越えた時の値を、○と△の場合は観測極大波高値前後における極大値を、そして×の場合は観測極大波高と対応する時刻での極大値を示している。

重回帰式に基づく波高予測は滑らかな波高変化の予測は得意としているが、波高増加率が大きい場合、すなわち突然波高が大きくなり始める場合には、波高予測が著しく遅れることが分かっている。特に風速データによる場合は予測の遅れが著しい。この波高急成長の遅れを取り戻すために2次予測波高に何らかの遅れ分を加算すれば追従するであろう事はある程度予想できることである。そこで以下のような判別基準を導入する。この基準は港外避泊判断時期の遅れ回避に有益である。

表2 各種予測手法の避泊判別成功率

評価項目	風			波		風と波
	4時間後	2時間後		2時間後		2時間後
	5変数	5変数	12変数	5変数	10変数	5変数
◎	5	7	6	8	8	10
○	7	7	9	7	6	7
△	5	5	3	5	6	5
×	5	3	4	2	2	0
成功率%	55	64	68	68	64	77
観測率%	23	23	14	23	22	23
失敗率%	23	14	18	9	9	0

表3 風速12変数を使用した予測手法の改善

月	日	番号	風と波	極小値での立ち上がりにおける波高増加率	極小値の発生		極大値または5mを越えた時の		平均2乗誤差a	1次予測値	2次予測値	採用予測値
					日/時と波高	日/時と波高	日/時と波高	日/時と波高				
					波高	日/時	波高	日/時				
				増加率	日/時 (cm)	日/時 (cm)						
1	2-3	1	○	57cm/2h	2/18	69	3/04	258	846	268	362	268
	4-5	2	◎	43cm/2h	4/00	120	5/06	537	370	399	539	539
	6-7	3	◎	206cm/2h	8/22	55	7/12	507	9041	383	517	517
	14-15	4	○	9cm/2h	14/00	51	15/04	267	1557	296	400	296
	17-19	5	◎	21cm/2h	17/20	165	19/22	504	645	405	547	547
	23	6	○	172cm/2h	23/02	35	23/06	310	4499	335	452	335
2	1-2	7	◎	41cm/2h	1/08	36	2/08	542	689	422	569	569
	7-8	8	○	1cm/2h	7/06	87	8/04	345	588	342	461	342
	9-10	9	△	10cm/2h	9/14	29	10/24	426	1487	438	591	591
	12-14	10	△	35cm/2h	12/12	156	14/02	406	674	417	563	563
	21-22	11	◎	125cm/2h	22/00	15	22/08	539	19210	553	746	746
	21-22	12	◎	13cm/2h	21/00	35	22/10	501	922	377	509	509
11	23-24	13	△	78cm/2h	23/14	99	24/16	435	1375	413	557	557
	27-28	14	◎	80cm/2h	27/20	73	28/14	537	1985	426	575	575
12	1	15	○	105cm/2h	1/12	27	1/18	331	2612	339	458	339
	2-3	16	○	20cm/2h	2/18	72	3/04	295	1125	296	400	296
	4-5	17	○	39cm/2h	4/10	192	5/02	309	304	317	428	317
	11	18	◎	172cm/2h	11/12	20	11/20	551	20455	420	580	580
	14-15	19	△	26cm/2h	14/12	173	15/14	447	694	402	542	542
	17	20	◎	33cm/2h	17/04	46	17/14	518	7342	430	581	581
	21-22	21	◎	8cm/2h	21/06	26	22/06	508	1151	400	539	539
	27-28	22	△	0cm/2h	27/00	43	27/20	448	2314	392	529	529

第1基準：極小値における波高増加率が $100\text{cm}/2h$ 以上で、2次予測値が4m台に達した段階で a が5000を越え始めた場合には、2次予測波高値に50cmを加えた値を持って採用予測波高値とする。もし a が5000を越えなければ第2基準に従う。

さらに費用損失が起こる場合には先に述べたように平均2乗誤差が小さいので費用損失回避の基準として以下の判別基準を導入する。

第2基準： a が1000未満であれば1次予測を採用する。

a が1000以上であれば2次予測を採用する。

つぎに、図4に判別の過程を示す。まず、観測値が得られた場合、第1基準で予測波高を算定する。もし、採用予測値が5mを越えれば緊急出港する。つぎに、第2基準で予測波高を算定する。この場合も採用予測値が5mを越えれば緊急出港する。この計算を2時間毎に繰り返す。

図5に例を示す。12月1日の例では12時に極小値を取り、この時の波高変化率は $105\text{cm}/2h$ となる。このため第1基準に従って判断を開始する。2次予測は18時に4mを越え始めるが16時の a は5000以下なので、第2基準により判定する。

12月11日の例では20時に2次予測波高が4mを越える。18時の a は18000で5000を越えるので2次予測波高に50cmを加え採用波高504cmで5mを越えるため避泊を開始する。

12月15日の例では2次予測波高が8時に5mを越える。しかし6時の a は750であり、1000以下であるので1次波高を採用波高として避泊は行わない。

上記において a として色々な値を閾値として設定したが、これらの値は限られた港における値であって必ずしも普遍性を持つ値か否かは現段階では不明である。この値の普遍性については今後の課題としておく。しかしこの a を用いることにより、用いない時よりも優れた結果が出ることは明らかであり、その意味において a の有効性は明らかである。

図4 港内係留と港外避泊の判別フロー

図5 風速12変数を用いた予測手法に於ける平均2乗誤差と予測波高との関係

このように2つの判別基準を設けて、波高を評価し直した結果を表3にまとめている。この判別基準の設置により、予測成功(◎)6回→9回、費用損失回避(○)9回→11回、費用損失発生(△)3回→1回、予測危険側失敗(×)4回→1回となり、2次予測のみの場合よりもかなり予測精度の向上が実現できている。先に定義した成功率は91%となり、かなりの確かな予測手法であることが分かる。しかし、予測危険側失敗(×)1回を含む以上、今後更に改良をしなければ使用できない。その意味では、現状では参考的な予測手法として使用する事は出来よう。

この時の採用予測値と観測値との関係を図6に示している。図3(c)と比べると勾配1の直線に近づいていることが分かる。

(2) 風と波5変数の場合の新たな判別

風と波を用いた波高予測では、予測値が観測値よりも遅れるという欠点はあるものの1次予測は観測値と非常に近い値で推移する。このために平均2乗誤差を用いてもその特徴をつかむことが出来ず、風12変数の場合の予測の第2基準を使うとかえって費用損失を多く生む結果となる。

そこでこの場合には、平均2乗誤差や波高増加率を判別基準には使用せず、以下のような基準を設定する。

第3基準：2次予測値が5m未満では1次予測値を採用

第4基準：2次予測値が5m以上では2次予測値を採用

この基準を用いた場合の評価結果を表4に示す。この結果は表1に示した結果と成功率は同じであるが、2次予測のみを用いる場合よりも、予測値は観測値により近くなっていることが分かる。

さらに表4を詳細に見れば分かるが、観測波高は1次予測値もしくは2次予測値のいずれかにかなり近い。このことは1次予測と2次予測の判別基準をもっとうまく選べば、予測精度の向上が期待できることを示している。これは特に費用損失を引き起こしている判別基準について言えることで、さらに良好な判別基準の選定が今後に残された課題と言える。

この時の採用予測値と観測値との関係を図7に示している。図3(f)と比べると勾配1の直線に近づいていることが分かる。

図6 予測波高の改善

表4 風と波を使用した予測手法の改善

月	日	番号		風と波 予測 2時間後 実数 5変数 増加率	極小値の発生 の立ち上 がりにお ける波高 増加率		極小値の発生 日/時と波 高		極大値または5 mを超えた時の 日/時と波 高		平均2 乗誤差 a	1 次 予測値	2 次 予測値	採 用 予測値
		予測	2時間後		日/時	(cm)	日/時	(cm)						
1	2-3	1	○	57cm/2h	2/18	69	3/04	258	848	268	362	268		
	4-5	2	◎	43cm/2h	4/00	120	5/06	537	370	399	539	539		
	6-7	3	◎	206cm/2h	6/22	55	7/12	507	9041	383	517	517		
	14-15	4	○	9cm/2h	14/00	51	15/04	267	1557	296	400	296		
	17-19	5	◎	21cm/2h	17/20	165	19/22	504	645	405	547	547		
	23	6	○	172cm/2h	23/02	35	23/06	310	4499	335	452	335		
2	1-2	7	◎	41cm/2h	1/08	36	2/08	542	689	422	569	569		
	7-8	8	○	1cm/2h	7/06	87	8/04	345	588	342	461	342		
	9-10	9	△	10cm/2h	9/14	29	10/24	426	1487	438	591	591		
	12-14	10	△	35cm/2h	12/12	156	14/02	406	674	417	563	563		
	21-22	11	◎	125cm/2h	22/00	15	22/08	539	19210	553	746	746		
11	21-22	12	◎	13cm/2h	21/00	35	22/10	501	922	377	509	509		
	23-24	13	△	78cm/2h	23/14	99	24/16	435	1375	413	557	557		
	27-28	14	◎	80cm/2h	27/20	73	28/14	537	1985	426	575	575		
12	1	15	○	105cm/2h	1/12	27	1/18	331	2612	339	458	339		
	2-3	16	○	20cm/2h	2/18	72	3/04	295	1125	296	400	296		
	4-5	17	○	39cm/2h	4/10	192	5/02	309	304	317	428	317		
	11	18	◎	172cm/2h	11/12	20	11/20	551	20455	420	580	580		
	14-15	19	△	26cm/2h	14/12	173	15/14	447	694	402	542	542		
	17	20	◎	33cm/2h	17/04	46	17/14	518	7342	430	581	581		
	21-22	21	◎	8cm/2h	21/06	26	22/06	508	1151	400	539	539		
	27-28	22	△	0cm/2h	27/00	43	27/20	448	2314	392	529	529		

5. 結 語

本研究により得られた主な結果をまとめると以下の通りである。

- (1) 重回帰分析において変数として風速を用いることにより、70%程度の成功率を持つ波高予測が可能であることが分かった。
- (2) 風速12変数を用いての予測モデルでは、判別基準として平均2乗誤差と極小値における波高増加率を用いて2つの基準を設定することにより、予測精度を68%より91%へ上げることが出来る。しかし予測危険側失敗(×)1回を含む以上、今後更に改良を要するが参考的な予測手法として使用できる。
- (3) 風と波を用いた波高予測では、予測値が観測値よりも遅れるという欠点はあるものの1次予測は観測値と非常に近い値で推移するために平均2乗誤差を用いてもその特徴をつかむことが出来ず、かえって費用損失を多く生む結果となる。そこでこの場合には2次予測を主体にした2つの基準を設定した。この予測手法では費用損失発生(△)が5回生じるものの予測危険側失敗(×)0回であることより安全側の予測手法といえる。

図7 予測波高の改善

参 考 文 献

- (1) 白石 悟・久保雅義・上田 茂・榊原繁樹 (1995) : 係留システムに着目した長周期波に対する船舶の動揺抑制対策, 海岸工学論文集第42巻, pp.941-945.
- (2) 永井紀彦・菅原一晃・橋本典明・浅井 正 (1993) : 沿岸波浪の日変動特性と波浪の特異日, 港湾技術研究所報告第32巻 第2号, pp.115-152.
- (3) 久保雅義・小宗多恵・斎藤勝彦・笹 健児・津金正典・榊原繁樹 (1997) : 係留限界判断のための港湾波浪統計利用に関する基礎的研究, 日本航海学会論文集, 第96号, pp.303-311.
- (4) 運輸省第一港湾建設局新潟調査設計事務所: 観測台帳(統計編), 風・潮位台帳(1992, 1993, 1994).
- (5) 小舟浩治・橋本典明・亀山 豊・久高将信 (1987) : 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.
- (6) 太田隆夫・木村 晃 (1996) : 局所ファジィ再構成法を用いた波浪予測の試み, 海岸工学論文集, 第43巻, pp.241-245.
- (7) 青野利夫・後藤智明・佐藤一央 (1993) : 沿岸波浪観測値を利用した重回帰波浪予測, 港湾技術研究所報告, 第32巻, 第3号, pp.39-63.
- (8) 久保雅義・津金正典・笹 健児・榊原繁樹 (1997) : 係留限界を支配する諸要因に関する基礎的研究, 日本航海学会論文集, 第96号, pp.313-322.

質 疑 応 答

和気博嗣(神戸商船大学) : 1次予測式に乗ずる比率(1.35)の値を変えた場合の影響は如何でしょうか。

久保雅義 : この1.35という比率は、1992年のデータを、そのまま予測式に代入して得た予測波高と5m以上の観測波高との比率の平均値として得られた値です。そのためこの比率を大きくすれば2次予測の値が大きくなるため一般的には5m以上の予測失敗(×)のケースは減ります。例えば表3のケース2の2次予測は5mを越えますので2次予測としては成功します。この場合には第2基準を使用することを提案しましたので、この場合の平均2乗誤差 $a = 779$ より1次予測採用となり、予測失敗を避けることは

出来ません。

また係数の増加により費用損失発生（△）のケースも増えます。例えばケース17やケース22の場合は係数によっては〇→△となります。

さらにこの22ケースのみで最も適した係数を設定することは作為的になりすぎますので、ここではあくまでも平均値で議論を進めています。比率の変化による改善法でなく、他の根本的改善法を以後検討したく考えています。