

# 浜益漁港における波浪予測の運用について

駒口友章\*・松岡道男\*\*・進藤信博\*\*\*  
木村克俊\*\*\*\*・窪内 篤\*\*\*\*\*

## 1. 緒 言

現場で簡便に利用できる波浪予測モデルとしては、重回帰モデル（須田ら，1983）をはじめとした数種類の統計モデルが開発され、その適用性および適用範囲が検討されてきた（例えば，須田ら，1985，小舟ら，1987）。これらの波浪予測モデルは，1～2日程度の短期間の波浪予測に対して特に有効であり，対象とする海域によっては波浪推算と同等以上の予測精度が期待できる。しかしながら，これらの多くは主に沖波波高を予測するものであり，浅海域の波浪を的確に予測するためには，その発生海域の局所的な風特性や周辺地形による遮蔽等の影響を考慮して沖波の予測値を補正する必要がある。著者らは石狩湾北部に位置する浜益漁港を対象とした重回帰型の波浪予測モデルを作成し，現地における実際の波浪予測の試行結果から，波浪予測情報の海上工事の施工管理における利用範囲および実用的な利用法を示した（駒口ら，1991a）。このときの波浪予測の手法は，現地で1日2回の波浪観測を行い，この結果を補正データとして波浪予測モデルに取り込み，将来の波高をパソコンにより簡便に予測する方式である。しかしながら，目視による波浪観測では波高 0.5 m～0.7 m 前後の観測精度を一定に保つことが困難であり，波浪予測の精度が低下する原因となる。そこで，平成3年度は現地の波浪情報をリアルタイムで得られるテレメータ式波高計を沖合に投入し，これによって得られる波浪観測値を用いて波浪予測を行う方式に改良した。

本研究は，秋口以降に海象が急変する石狩湾沿岸の浜益漁港を対象として効率的な施工管理が行えるように，テレメータ方式の波浪観測システムを併用した波浪予測方式を開発するとともに，波浪予測を精度良く行い，これを有効に利用できるように，波浪の発生海域の風特性と湾内の沿岸波浪との関係を調べたものである。

## 2. 浜益漁港における海上工事と気象判断

### （1）工事概要

石狩湾北部に位置する浜益漁港（第3種漁港）では，第8次漁港整備長期計画が進行中であり，平成元年度より群別地区に分港の建設が行われている。主な事業内容は，出漁日数の増大を図るための外郭施設の新設，漁港利用の高度化に対応するための船揚場，物揚場および用地等の整備である。図-1 および図-2 に，浜益漁港の位置および漁港修築事業計画の概略を示す。

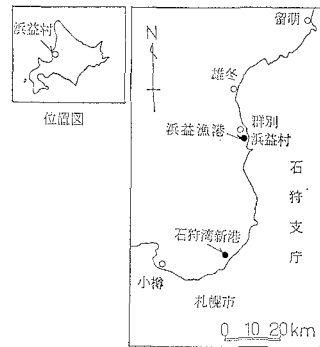


図-1 浜益漁港の位置および周辺地域

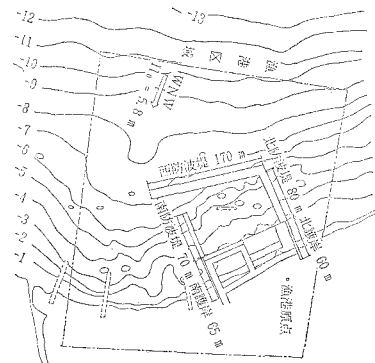


図-2 浜益漁港における漁港修築事業計画

### （2）海上工事と気象判断の関係

海上工事の実施に影響を及ぼす気象海象要素としては，天気，風，波浪，視程および降水等があるが，特に

\* 正会員 日本テトラポッド(株) 応用水理研究所  
\*\* 正会員 工修 日本テトラポッド(株) 応用水理研究所  
\*\*\* 正会員 日本テトラポッド(株) 札幌支店  
\*\*\*\* 正会員 北海道開発局開発土木研究所  
\*\*\*\*\* 正会員 北海道開発局小樽開発建設部

表-1 海上工事と気象判断

| 工 種      | 主 要 作 業         | 1サイクル当りの必要日数 | 気象判断の時期 |
|----------|-----------------|--------------|---------|
| 基 礎 工    | 石材積込・海上運搬・据付    | 1.5日         | 前日の昼    |
|          | 捨石均し            | 1日           | 当日の朝    |
| 本 体 工    | ケーソン回航・仮置・据付    | 1日           | 前日夕方    |
|          | 中詰め材填充・水中コンクリート |              |         |
| 根固工(6t)  | 方塊据付・被覆ブロック据付   | 1日           | 前日の昼    |
| 上部工・胸壁工  | 型枠脱型・型枠組立・目地取付  | 1日           | 2日前の夕方  |
|          | 上部・胸壁コンクリート打設   |              |         |
| 消波工(20t) | 積込・海上運搬・据付      | 0.5日         | 半日ごと    |
| 消波工(2t)  |                 | 1日           | 前日夕方    |

波浪の予測は重要である。浜益漁港では、8月中旬以降は日本海特有の季節風および前線等の影響による風浪が卓越し、海象が急変することがあるが、平成3年度の海上工事は8月下旬～9月下旬に行う計画であったことから、この時期の精度の良い波浪予測が必要であった。表-1に海上工事と気象判断の関係を示す。

### 3. 波浪予測手法の改良および現地の試行結果

#### (1) 従来の予測方法の問題点

従来、浜益漁港では式(1)の重回帰型モデルによって波浪予測を行っている。

$$\log(Y) = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \quad \dots(1)$$

ここで、 $Y$ は予測波高、 $a_0$ は定数、 $a_1, a_2, \dots, a_n$ は回帰係数、 $x_1, x_2, \dots, x_n$ は説明変数である。このときの説明変数は、予測時点までに得られている波浪の目視観測値と極東天気図から読み取った多数点の気圧値である。このモデルを用いて平成2年度に実施した波浪予測の結果は、作業限界波高 0.5m および 1.0m に対する的中率は各々 90%, 98% とかなり高いが、0.7m とした場合に 73% であり、0.5m に対する的中率よりもかなり低くなっている(駒口ら, 1991a)。これは目視による波浪観測では0.7m前後の波浪を正確に読み取ることが困難であるためと考えられる。著者らが現地観測による目視値と波高計による実測値との比較を行った結果によれば、作業限界波高が低くなると目視値が全体的に実測値よりも大きめとなる傾向が確認されている(駒口ら, 1991b)。このように、作業限界波高が 0.7m の場合には、波浪の観測誤差が予測精度を低下させる原因となり、海上工事の施工管理における波浪予測結果の利用範囲を狭くする結果となっている。また、浜益漁港では過去の波浪記録がないため、重回帰係数は石狩湾新港の波浪観測値に対して同定するように求め、現地の波浪観測値によって予測値を補正する方法を用いている。このため、石狩湾新港と浜益漁港との地域性の違いから、浜益漁港の予測値と実際の来襲波浪との間に時間差が生じる

ことがある。したがって、特に高波浪が発生する気象条件について、石狩湾内の風特性と沿岸波浪との関係を詳細に把握して波浪予測を行う必要がある。

#### (2) 波浪自動観測システムの導入

前述の問題点を考慮して、平成3年度は波浪観測の精度を正確かつ一定に確保し、また、波浪情報がリアルタイムで得られるテレメータブイ式波高計による波浪自動観測システム(アレック電子(株)製)を導入し、これを併用して波浪予測を行う方式に改良した。このシステムは、20m以浅の浅海に係留した海上ブイ局で波浪観測を行い、陸上局のレシーバーに VHF/FM 電波によってデータを搬送するものである。海上ブイ局は、あらかじめセットされた

時間になると、陸上局からの呼び出しに応じて自動的に水圧変動を計測し、その測定データを無線電波によって陸上局に搬送し、陸上局ではパソコンで受信した時系列データを即時に解析して波浪諸元を算出する。図-3に波浪自動観測システムの構成を示す。現在のシステムでは、毎日 3, 9, 15, 21 時の現地の波浪情報(有義波, 最大波, 1/10最大波, 平均波の諸元およびデータの時系列)を自動的に算出するとともに、過去の波浪の統計値データの時間変化を即時に図化することができる。また、海上ブイ局の全ての電源はソーラバッテリーで供給されるので長期間の連続運用が可能である。ただし、この波高計は水圧式波高計であることから、超音波式波高計の観測値との同時比較を行い、水圧波形から表面波形への補正係数を決定する必要がある。本研究の検定結果では、補正係数  $n=1.35$  であった。

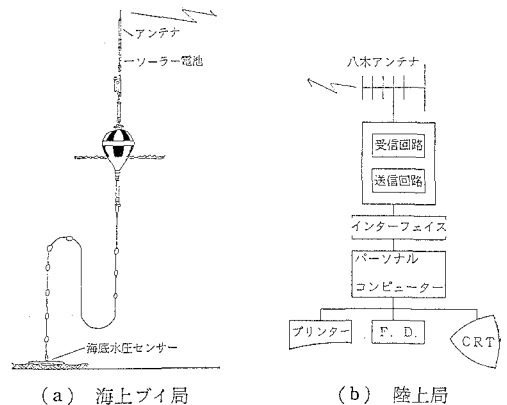
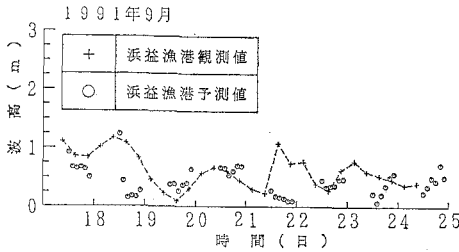


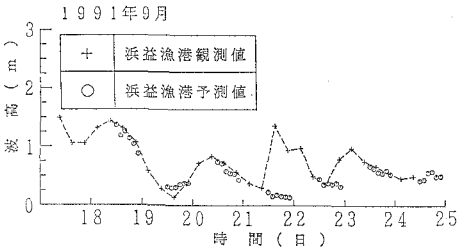
図-3 簡易波浪観測システムの構成

#### (3) 波浪予測結果および考察

ここでは、平成3年9月17日～25日の波浪予測結果を報告する。この時期は消波ブロックの据付および水中コンクリート工が実施される予定となったので、作業限界波高 0.5m～0.7m 前後に対する精度の良い波浪予測が必要であった。図-4は、有義波および 1/10 最大波に



(a) 有義波に対する予測結果



(b) 1/10 最大波に対する予測結果

図-4 波浪予測の実施結果(地点: 浜益)

ついて、2時間ごとの予測値と実測値を比較した結果を示す。図中、破線は実測値の時間変化を示したものであり、○は予測値である。図-4(a)から有義波に対する予測結果をみると、予測値は実測値の変化傾向を平均的に示しており、0.5m~0.7m前後の両者の対応は十分であるが、波高が小さくなる時期を実測値の変化よりも早めに予測する傾向がある。一方、図-4(b)から1/10最大波に対する予測結果をみると、全体的に予測値と実測値の時系列の変化は非常に良く一致しており、予測値は0.5m~0.7m前後の実測値の変化を精度良く予測できていた。これらの結果の差の原因としては、水圧式波高計による観測波高が、実際の波高よりも少し小さく算出された可能性がある。また、9月21日~22日の期間にはいずれの場合にも予測値と実測値との対応は低下しているが、この時期の極東天気図によれば、21日には日本海の低気圧が北東進し、日本の南に前線が停滞したため、日本付近は西高東低の気圧配置となっており、21日午後から日本海沿岸は大時化となったものである。このように、秋口に低気圧が日本列島の北側を通過するルートをとる場合には、石狩湾内の風向はSWからWへ、さらにNWへと変化し、湾内の海象が急速に悪化することが多く、この時期の海上工事の施工管理には十分な注意が必要であることが確認された。以上、テレメータブイ式波高計による観測値を用いて波浪予測を行った結果、現地波浪の実測値と予測値との対応は十分であった。特に、作業限界波高を安全側に想定して1/10最大波に対する波浪予測を行った結果では、現地波浪の大きさおよび時系列変化を非常に精度良く予測できた。また波浪自動観測システムに

よって、作業開始前の現地の波浪状況(波高、周期および波浪の時間変化など)をリアルタイムで把握することができるので、この結果を波浪予測結果と併用して用いることによって、より確実な施工管理が可能となった。

#### 4. 石狩湾内の風特性と沿岸波浪の関係

今回の予測結果でもみられるように、重回帰型の波浪予測モデルは特異な気象攪乱や地域性の強い波浪に対しては予測精度が低下するので、波浪予測を精度良く行うためには波浪の発生海域の風特性と沿岸波浪の関係を十分に把握する必要がある。前報では、石狩湾周辺の気象海象資料の収集整理および石狩湾全体を対象とした波浪変形計算の実施によって、浜益漁港周辺の一般的な海象特性を考察した(駒口ら, 1991a)。本研究では、さらに石狩湾内に高波浪を発生させた気象要因について波浪推算モデルを適用し、風域場の変化と沿岸波浪(石狩地点および浜益地点)の関係を詳細に調べることにする。

##### (1) 気象概況

表-2に、計算対象期間と沿岸波浪の状況を示す。

表-2 計算対象期間および沿岸波浪

| ケースNo | 計算の対象期間               | 石狩地点の有義波の最大値 |           |           | 高波浪の発生要因          |
|-------|-----------------------|--------------|-----------|-----------|-------------------|
|       |                       | 発生時刻         | $H_{1/3}$ | $T_{1/3}$ |                   |
| ケース1  | 1990年9月2日<br>~ 9月5日   | 4日11時        | 2.0m      | 7.2sec    | 前線を伴った低気圧が日本海を通過  |
|       |                       |              |           |           |                   |
| ケース2  | 1990年10月4日<br>~ 10月7日 | 発生時刻         | $H_{1/3}$ | $T_{1/3}$ | 台風21号に刺激された低気圧の通過 |
|       |                       | 7日8時         | 2.2m      | 7.5sec    |                   |

ケース1の期間は、停滞前線と寒冷前線を伴った低気圧が日本海を通過したことによって高波浪が発生したものである。当初は、1つの低気圧であったが、9月3日3時には日本海北東部に副低気圧が発生し、これが発達して気圧の谷ができていた。また、その後低気圧は北東方向に進んだ。この低気圧の進行にともなう、石狩地点での風向は2日から4日にかけてSE~S~W~NEへと急速に変化し、風速の最大値は7~8m/s程度であったが、浜益地点の風向は概ねE方向であり、風速の最大値は4~5m/sであった。一方、ケース2は北海道の北から東に移動していた低気圧が台風21号の影響によって発達し、日本海北東部沿岸に強風をもたらしたものである。台風21号は非常にゆっくりとした速度で日本列島に近づいて上陸したが、台風の接近とともに北海道の北部の低気圧は徐々に発達して前線を発生させた。この結果、前線をともなった低気圧は日本海の北東部沿岸にW~NW方向からの強風域を形成したため、石狩地点および浜益地点では高波浪が発生している。また、この期間は湾内全域に10月6日の午後から7日にかけてNWを中心とする強風が継続して吹送した。

## (2) 計算結果および考察

本研究では、スペクトル法の波浪推算モデルである山口・土屋モデル（山口ら，1978）を日本海に適用して石狩湾沿岸の波浪を計算した。なお、風域場は大気境界層モデル（Cardone, 1969）により推算した結果を用いた。

### a) ケース 1 の結果

図-5 に石狩地点における波浪の推算値と実測値との比較を示す。石狩地点の波浪の実測値は 9 月 4 日の早朝からの発達が顕著であり、4 日 11 時には有義波高 2.0 m、有義周期 7.0 sec となった。また、4 日の波向は NW~NNW であった。図-5 によると、石狩地点の推算値は全体的に実測値の変化を良く再現している。一方、浜益地点では、8 月末から 9 月初めにかけて波高 1.0~1.5 m となっているが、4 日は波高 0.70~0.75 m となり、波向は WNW であった。また、石狩湾内の風向は時計回りに S から W、さらに N から NE へ変化した。図-6 に、石狩地点の波浪の方向スペクトルの時間変化を示す。この結果をみると、石狩地点では初めに SW

方向を中心としたエネルギー成分が発達し、その後、風域場の変化にともなって NE 方向からのエネルギーが増加するため、9 月 3 日には 2 方向からのエネルギーが合成されて NW の波向の高波浪となったことがわかる。ここで、S~SW の風向の場合は石狩地点では吹送距離が十分でないため、波浪の発達は小さいが、一方、浜益地点では湾内発生波が来襲すると考えられる。逆に、風向が N~NE 方向の場合は石狩地点の波浪は十分に発達するが、浜益地点の波浪はあまり発達しない。したがって、このケースのように石狩湾内の風向が S~W~N~NE へと変化する場合には、初めに浜益地点の波浪が発達し、その後に時間遅れを経て石狩地点の波浪が発達しはじめるものと考えられる。

### b) ケース 2 の結果

ケース 2 では、石狩地点の波浪の実測値は 10 月 6 日午後から 7 日にかけて高波浪となったが、これは低気圧によって強風域が形成され、風向が NW 寄りとなった時期とはほぼ一致している。石狩地点では有義波の最大値として 7 日 8 時に波高 2.2 m、周期 7.5 sec であり、浜益地点の観測結果は 7 日に波高 2.0 m、周期 5.0 sec、波向は NW であった。図-7 に、石狩地点における風向風速の推算値と観測風の比較を示す。また、図-8 には石狩地点における波浪の推算値と実測値の比較を示す。図-7 をみると、石狩地点における観測風は、10 月 4 日~5 日までは小さかったが、6 日午後から強風となった。これに対して、推算値は全体的に観測風の傾向を良く再現しているが、5 日深夜から 6 日午前にかけての計算結果が少し大きめである。このため、図-8 に示した波浪

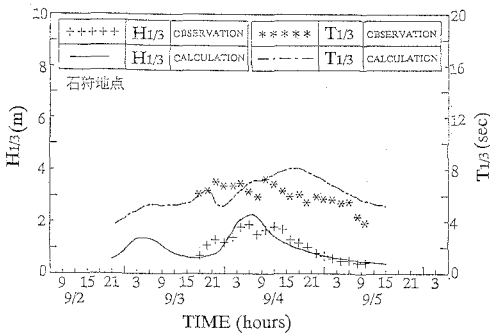


図-5 波浪の推算値と実測値の比較結果

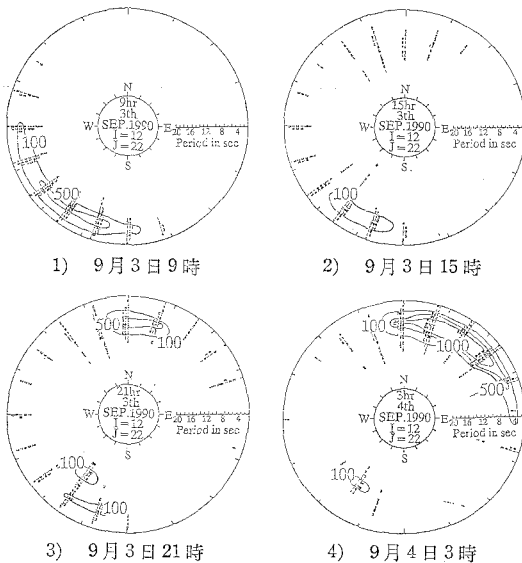


図-6 波浪の方向スペクトルの時間変化

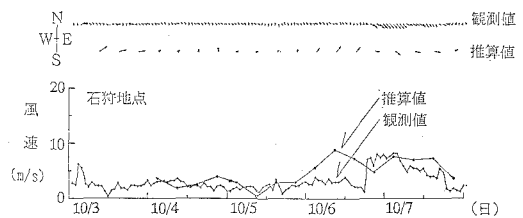


図-7 風モデルの推算値と観測風の比較結果

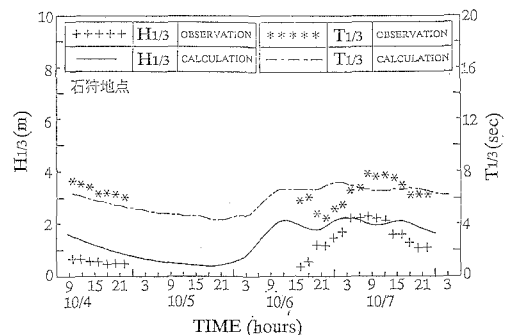


図-8 波浪の推算値と実測値の比較結果

表-3 浜益地点と石狩地点の来襲波浪の比較 (1990年度)

| 月 | 日  | 時  | 石狩湾新港波高計 |       |     | 浜益漁港(群別地区) |       |    |
|---|----|----|----------|-------|-----|------------|-------|----|
|   |    |    | 波高m      | 周期sec | 波向  | 波高m        | 周期sec | 波向 |
| 8 | 24 | 10 | 1.30     | 4.90  | WNW | 2.00       | 5.00  | W  |
|   |    | 16 | 1.00     | 6.10  | NW  | 2.00       | 4.00  | W  |
|   | 25 | 10 | 1.10     | 6.00  | NNW | 1.00       | 4.00  | NW |
|   |    | 16 | 1.00     | 6.10  | NW  | 1.00       | 4.00  | W  |
| 9 | 16 | 16 | 1.40     | 5.50  | WNW | 1.20       | 3.00  | NW |
|   | 20 | 16 | 1.30     | 5.40  | NNW | 1.00       | 5.00  | SW |

の追算値は6日深夜から実測値と良く対応している。また、表-3は浜益地点および石狩地点で波高1m以上が観測された場合について、両地点の来襲波浪を比較した結果を示す。表-3をみると、石狩地点では積丹半島の遮蔽の影響があるため、NWよりも少しN寄りの波浪が高波浪となっており、浜益地点では石狩地点の波向よりもW方向寄りの場合に高波浪となる傾向がある。以上の結果から、石狩湾内の波浪は低気圧の移動や前線の通過によって、湾内の風向がW~NW方向寄りになった場合に急速に発達して高波浪となることがわかる。

## 5. 結 語

本研究では、石狩湾沿岸の浜益漁港において効率的な海上工事の施工管理を行うために、テレメータ方式の波浪自動観測システムを併用した波浪予測方式を開発するとともに、波浪予測を精度良く行い、予測情報を有効に利用するために、石狩湾内の風特性と沿岸波浪の関係を調べた。主要な成果を要約すれば以下の通りである。

① テレメータ方式の波浪自動観測システムを併用して波浪予測を行った結果、波浪の実測値と予測値との対応は十分であり、現地波浪の大きさおよび時系列変化を

精度良く予測することができた。また、波浪自動観測システムによって、作業開始前の波浪状況がリアルタイムで把握できるので、観測結果と予測結果を併用することによって、より確実な施工管理が行えるようになった。

② 石狩湾内の沿岸波浪は、低気圧の移動などの影響で湾内の風向がW~NW方向寄りに変化する場合に急速に発達する。また、湾内の風向が時計回りにS~W~N~NEへ変化する場合は、初めに浜益地点の波浪が発達し、その後時間遅れを経て石狩地点の波浪が発達する。

今後は、現地波浪の時系列特性を有効に波浪予測モデル取り入れることにより、より長期間を対象とする波浪予測の精度の向上を図る予定である。

## 参 考 文 献

- 駒口友章・進藤信博・河合紀章・木村克俊 (1991a): 海上工事の施工管理における波浪予測の運用について, 第38回海岸工学論文集, pp. 961-965.
- 駒口友章・池田正徳・久保田俊樹 (1991b): 現場における波浪予測手法とその適用について, 第46回年次学術講演会講演概要集, 第2部, pp. 980-981.
- 小舟浩治・橋本典明・龜山 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.
- 須田 薫・湯沢 昭 (1983): 波浪予測に基づく外海シーパースの待ち行列に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 第339号, pp. 177-185.
- 須田 薫・湯沢 昭 (1985): 統計的波浪予測の予測限界, 建設工学研究振興会年報, No. 20, pp. 9-15.
- 山口正隆・土屋義人・小矢田 宏・渡辺 健 (1978): 有限風域場における波浪の数値予知法, 第26回海岸工学講演会論文集, pp. 96-100.
- Cardone, V. J. (1969): Specification of the wind distribution in the marine boundary layer for wave forecasting, New York Univ. School of Eng. and Sci., Rept. GSL-TR62-1, 131 p.