

# 波浪観測網が捉えた2008年2月24日の日本海沿岸高波の特性

Storm Waves on Japan Sea Coast on February 24, 2008 Observed by NOWPHAS Network

永井紀彦<sup>1</sup>・平石哲也<sup>2</sup>・河合弘泰<sup>3</sup>・川口浩二<sup>4</sup>・吉永宙司<sup>5</sup>・大釜達夫<sup>6</sup>

Toshihiko NAGAI, Tetsuya HIRAIISHI, Hiroyasu KAWAI, Koji KAWAGUCHI,  
Hiroshi YOSHINAGA and Tatsuo OHKAMA

On February 24, 2008, a twin low pressure system caused very high wave condition on the whole coast of the Japan Sea. The Yorimawari-Nami, peculiar long period swells to the sea, entered Toyama Bay and gave unexpected damages in the coastal and port areas. This paper, therefore, describes the significant waves and spectrum profiles of the swells observed by the coastal wave observation network NOWPHAS. The significant wave height and period on the wave record reached 9.92 m and 16.2 s at Toyama Station on a submarine peninsula in the bay. The shallow water wave simulation with the Boussinesq model led the wave energy focusing in some areas due to the peculiar bathymetry with submarine peninsulas and steep slopes in the bay, called Aigame in the district.

## 1. はじめに

2008年2月23日～24日に発達した強い冬型気圧配置は、日本海全域を長時間にわたって気圧勾配の急なNNE-SSW方向の平行等圧線で覆い、日本海中部～南部海域に非常に発達した長い周期の波浪を発生させた。富山湾には顕著な寄り回り波が発生し、沿岸に多大な被害が生じた。

寄り回り波は、日本海北部に高波が発生して半日～1日後に、風も弱く静穏な海況の富山湾を、突然、高波が襲う事象として、昔から恐れられてきた。既往の研究では、富山湾沿岸でも局所的に波高が大きく異なること(吉田ら, 1986)や、周期帯波浪解析によると北海道西岸の波浪観測情報と良好な対応を示すこと(永井ら, 2002)などが、報告されている。

本稿は、日本海沿岸の波浪観測網や風速計(永井, 2002a)が捉えた記録をまとめ、この高波の発生・伝播・増幅特性を実証的に考察したものであり、今後の日本海沿岸域、特に富山湾沿岸域の減災に資することを目的とした緊急研究の成果をとりまとめたものである。

## 2. 気象擾乱の特徴

図-1は、日本時間2008年2月23日21時と24日9時の天気図を示す。日本海沿岸にはNNE-SSW方向に間隔の短い

平行な等圧線が広がり、波浪を発達させたことを示唆している。図-2は、秋田から輪島にかけての日本海沿岸の風観測結果を示す。いずれの風観測点でも、23日昼前後に突然強風状態となり、N-NWからの強風は24日午前中まで継続した。ただし、富山湾内の伏木富山風観測点では、風は比較的弱かった。

## 3. 日本海沿岸のナウファス波浪観測の現況

本稿では、図-3に示す全国港湾海洋波浪情報網(ナウファス)の日本海沿岸の18観測点で得られた波浪観測記録をとりまとめた。ここに、USW(超音波式波高計)と海象計(橋本ら, 1995)は、海底設置式波浪計であり、水圧センサーが併設されている。気泡等の混入により超音波センサーが海表面を定義できないときは、水圧変動記録をもとに表面波形を推定し有義波高と周期を推定した。

ナウファスでは、20分間単位でゼロアップクロス法による波浪諸元を算出するが、多くの観測点では切れ目のない連続観測となる20分間隔の観測システムを導入している。周波数スペクトルおよび方向スペクトルの解析結果を部分積分してとりまとめた周期帯毎の波高・波向情報も求めている(永井ら, 2004)。

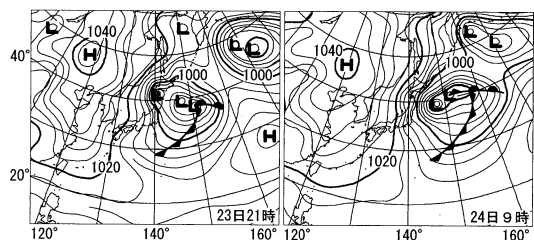


図-1 速報天気図(2008年2月23日21時と24日9時)

- |         |                                       |
|---------|---------------------------------------|
| 1 フェロー  | 博(工)(独法)港湾空港技術研究所統括研究官                |
| 2 正 会 員 | 博(工)(独法)港湾空港技術研究所海洋・水工部長              |
| 3 正 会 員 | 工修 (独法)港湾空港技術研究所海洋・水工部<br>海象情報研究領域長心得 |
| 4 正 会 員 | 博(工)(独法)港湾空港技術研究所海洋・水工部<br>主任研究官      |
| 5 正 会 員 | 工修 (前)国土交通省北陸地方整備局<br>新潟港湾空港技術調査事務所長  |
| 6 正 会 員 | 工修 国土交通省北陸地方整備局<br>伏木富山港湾事務所長         |

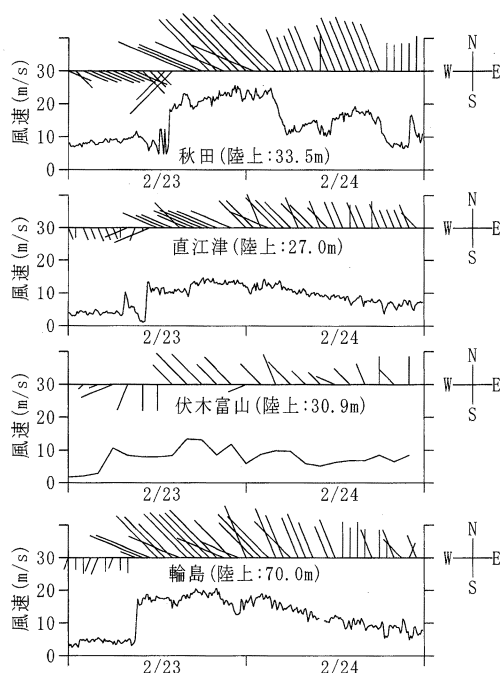


図-2 気象擾乱中の風向風速観測結果

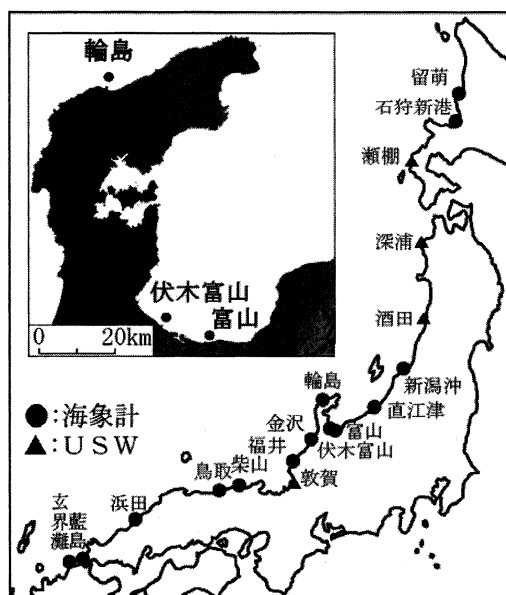


図-3 日本海沿岸のナウファス波浪観測点

#### 4. 日本海沿岸の観測波浪の特性

表-1に、2月23日～25日の各波浪観測点における最大観測有義波をその起時とともに示す。本気象擾乱は、日本海沿岸で、観測史上特筆すべき高波をもたらした（永井, 2002b）。既往最大観測有義波高を更新した観測点は、18地点のうち輪島（水深52m, 1979年以降）、富山（水

表-1 気象擾乱中の最大観測有義波

| 地点名  | 最大有義波と起時 |                  |       |       | 観測<br>間隔 |
|------|----------|------------------|-------|-------|----------|
|      | 水深(m)    | 起時               | 波高(m) | 周期(s) |          |
| 留萌   | 49.8     | 24 日 3 時 0 分     | 3.80  | 9.0   | 20 分     |
| 石狩新港 | 22.4     | 24 日 4 時 0 分     | 4.78  | 10.3  | 20 分     |
| 瀬棚   | 52.9     | 24 日 5 時 0 分     | 4.83  | 10.3  | 20 分     |
| 深浦   | 51.0     | 24 日 0 時 20 分    | 6.96  | 11.1  | 20 分     |
| 酒田   | 45.9     | 24 日 4 時 0 分     | 7.99  | 12.3  | 20 分     |
| 新潟沖  | 34.5     | ※ 24 日 0 時       | 6.46  | 9.7   | 2 時間     |
| 直江津  | 32.7     | 23 日 19 時 0 分    | 6.40  | 10.2  | 20 分     |
| 富山   | 20.0     | 24 日 16 時        | 9.92  | 16.2  | 1 時間     |
| 伏木富山 | 46.4     | 24 日 14 時        | 4.22  | 14.2  | 2 時間     |
| 輪島   | 52.0     | ※ 24 日 12 時 20 分 | 7.73  | 13.2  | 20 分     |
| 金沢   | 21.1     | 23 日 20 時 40 分   | 6.10  | 10.7  | 20 分     |
| 福井   | 36.7     | 23 日 23 時 20 分   | 6.70  | 11.0  | 20 分     |
| 敦賀   | 18.8     | 23 日 17 時 0 分    | 1.61  | 5.6   | 20 分     |
| 柴山   | 41.1     | 24 日 3 時 0 分     | 6.88  | 10.6  | 20 分     |
| 鳥取   | 30.9     | 24 日 11 時 20 分   | 5.89  | 11.9  | 20 分     |
| 浜田   | 50.1     | 24 日 2 時         | 5.39  | 10.1  | 2 時間     |
| 藍島   | 21.1     | 23 日 13 時 40 分   | 2.37  | 7.0   | 20 分     |
| 玄界灘  | 39.5     | 24 日 5 時 40 分    | 4.24  | 9.6   | 20 分     |

注) ※印は、波高ピーク付近に欠測があったことを表す。

深20m, 2002年以降), 柴山(水深41m, 2000年以降)の3地点である。特に富山では, 有義波高が9.92m, 有義波周期が16.2sに達し, これまでの既往最大観測有義波(2004年台風23号, 有義波高6.75m, 有義波周期8.3s; 永井ら, 2005)を大きく上回った。北海道西岸から富山湾までの沿岸では, 南下するほど波浪が発達し, 波高や周期が大きくなっている。これに対して, 能登半島以西の沿岸では, 西に行くほど最大有義波高が相対的に低くなっている。これらは, 冬型気圧配置に伴う北風が日本海の東部で強かったためであると推定される。

表-1中の代表的な8観測点における全周期帯の有義波高（実線），有義波周期（破線），波向（矢印），10-30sの周期帯に限った波高（太線）の経時変化を図-4に示す。富山湾内を除く観測点では，23日夕刻頃に急激な波浪の発達が見られた。23日深夜までは，図-4の何れの観測点でも，有義波高が時間とともに増加したが，周期10-30sのうねり成分の波高はまだ全周期帯の有義波高よりかなり小さかった。したがって，強風による波浪の発達過程であったと推定される。その後，高波浪状態は24日まで継続したが，その継続時間は南西側の観測点ほど長かった。留萌では24日午前中に低波浪状態に戻り，玄界灘では25日になっても高波浪状態が継続した。このことは，能登半島以西では，近傍で発達した風波来襲の後に，北から伝わってきたうねりが続けて来襲したためであろう。

富山湾内の観測点である富山と伏木富山では、能登半島による遮蔽のためと推定されるが、23日の風浪の発達はありません。24日になってから発達した。高波浪期間中を通じて、全周期帯と10-30sの周期帯の波高

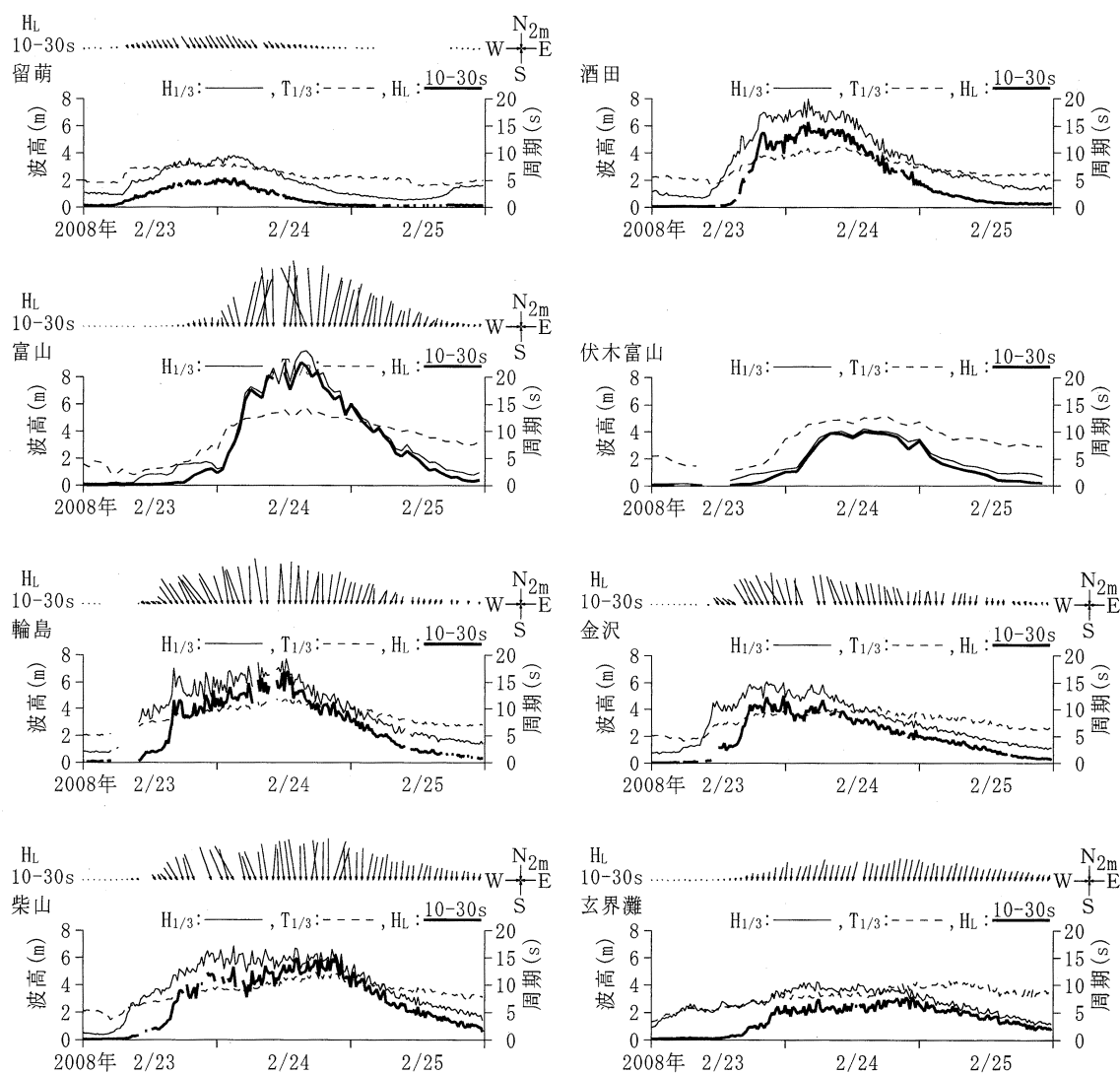


図-4 主要な沿岸観測点の波浪経時変化

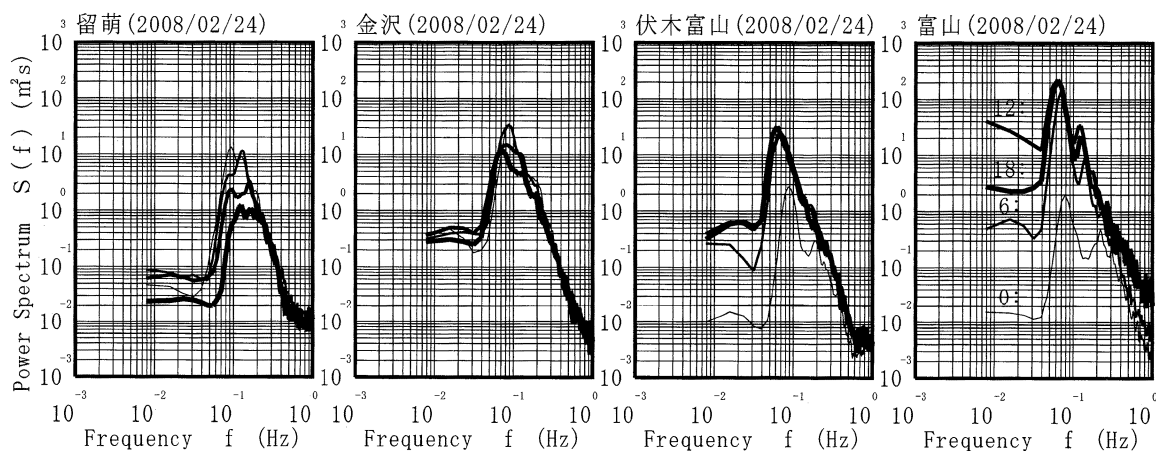


図-5 周波数スペクトルの時間変化

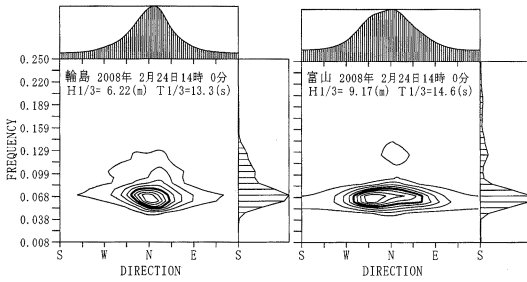


図-6 実測方向スペクトル(24日14:00, 輪島・富山)

がほぼ等しく、10s以下の風浪成分は小さかった。富山湾内の両観測点の観測最大有義波高に大きな相違があった原因は、両観測点の能登半島による遮蔽条件の相違に加えて、局所的な波浪の屈折も影響している可能性が高い。

図-5は、留萌、金沢、伏木富山、富山における、24日0時、6時、12時、18時の周波数スペクトルを示す。時刻の経過とともに線を太くして重ね描きしている。日本海北部の留萌では時間とともに波浪は徐々に減衰した。富山湾外の金沢では、減衰は小さく、ピークは長周期側に徐々にシフトしており、風浪からうねり性の波浪に変化したことがわかる。富山湾内の伏木富山（設置水深46.4m）と富山（20.0m）では、風速がピークの0時に波浪は極めて低かったが、その後、周波数0.06~0.07Hz（周期14~16s）にピークを有する周期の長い波浪成分が急に発達した。富山ではこれより高い周波数にも小さなピークが現れている。図-2で示したように、24日12時以降は、富山湾の内外で風速がピーク時に比べ大きく減衰しているので、富山湾内では、周期の長いうねり性の波浪、すなわち顕著な寄り回り波が見られたことが理解できる。

図-6は、富山湾内の波高が最大になった時間帯の14時について、富山湾外の輪島と湾内の富山の方向スペクトルを示す。両観測点ともにピーク周波数は0.06Hz（周期16s程度）であり、富山湾近傍海域には発達したうねりが来襲したことがわかる。

## 5. 波浪推算による日本海沿岸の波浪分布の考察

日本海全域を対象にWAMによる波浪推算を実施した。表-2にその計算条件を示す。ここでは、橋本ら（2004）や鈴山ら（2005）に倣い、波浪スペクトルの周波数および方向分割数をそれぞれ35および32分割とし、さらに、WAMにおけるエネルギーソース関数のうち風から波へのエネルギー輸送における海面抵抗係数に、Cycle-3で採用されているWuの式を用いた。

図-7は日本海沿岸（表-2の第二領域に相当）の最大有義波分布を示す。この推算結果は、北海道西岸から富山湾に向かって波高は大きくなり、能登半島より西側では

表-2 波浪推算の計算条件

|        | 第1領域                              | 第2領域                         |
|--------|-----------------------------------|------------------------------|
| 計算範囲   | 北緯 20~55°<br>東経 115~170°          | 北緯 32~46°<br>東経 127.5~142.5° |
| 格子数    | 221×141                           | 301×281                      |
| 格子間隔   | 0.25°                             | 0.05°                        |
| 周波数分割数 | 35 (0.04177248~1.06718952 Hz)     |                              |
| 方向分割数  | 32 ( $\Delta\theta=11.25^\circ$ ) |                              |
| 海上風    | 速報天気図に基づく傾度風モデル                   |                              |
| 水深データ  | 500m メッシュ水深データ<br>(日本海洋データセンター提供) |                              |

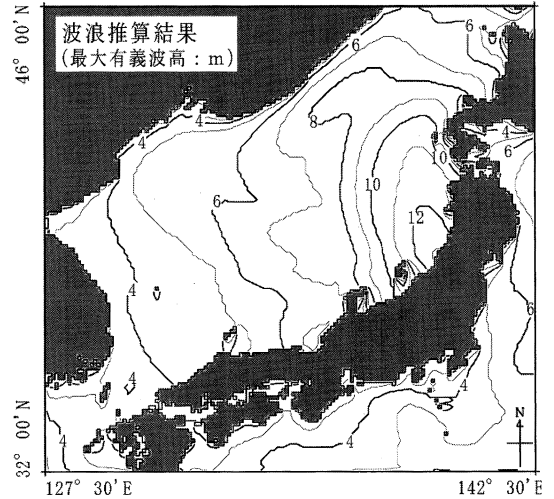


図-7 波浪推算(WAMモデル)による最大有義波高分布

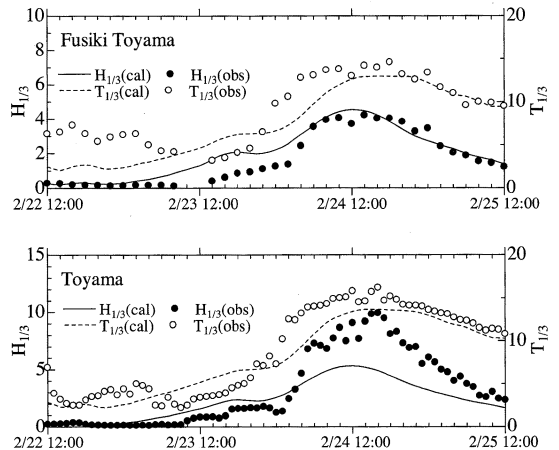


図-8 実測値と推算値の比較

遠ざかるほど低い、という波浪観測結果を定性的に正しく再現している。

図-8は、富山および伏木富山の両波浪観測点における推算値を観測値と比較したものである。寄り回り波のピーク時刻やピーク時の周期は、両観測点とも良好に再現している。しかし、ピーク時の有義波高については、伏木

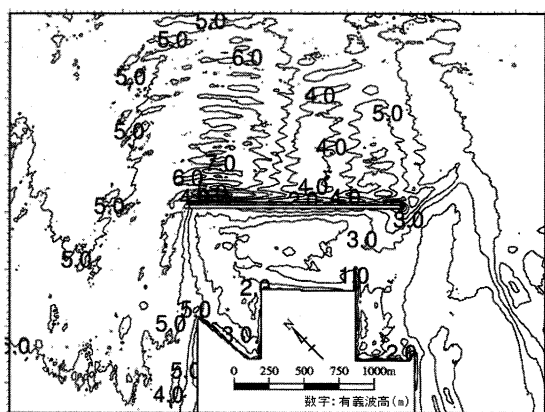


図-9 伏木地区防波堤周辺の波高分布計算結果(NE波向)

富山観測点はよく再現しているが、富山観測点では過小評価している。今回用いたWAMの計算では、水深変化による屈折を考慮しているが、格子間隔が0.05°(約5km)と粗く、水深変化に伴う波浪の浅水変形も考慮していない。このため、東西に“あいがめ”と言われる急深の谷状の地形が東西に近接している富山観測点の波浪状況は、本波浪推算では十分に再現できなかった。

#### 6. 波浪変形計算による富山湾内波浪分布の考察

富山湾の沿岸部では、“あいがめ”の存在による局所的な海底地形の複雑な変化が、波浪の複雑な屈折変形をもたらし、沿岸方向に波浪の高さが大きく変化することが知られている。本稿では一例として、防波堤ケーソンに大きな滑動被災が生じた伏木地区(射水市万葉地区)における防波堤前面の波高変化を非線形波浪変形モデル(平山, 2002)で推定した。本モデルは、既に台風期の被災メカニズムの推定に活用されており、また、現地観測データからもその精度が検証されており、適用性は高い(平山ら, 2005)。

図-9では、NEを上方向とし伏木地区防波堤周辺の有義波高分布の計算結果を示す。計算条件の詳細は、全国的な長周期うねりの特性を調べた調査(平山ら, 2008)を参照されたい。この計算領域の左上端に伏木富山波浪観測点が位置している。伏木富山観測点では、24日14:00に有義波高4.22m、有義波周期14.2sの極大波を観測したので、この計算でも境界での入力条件に用いた。入射波向はNEとし、多方向性を示す $S_{max}$ は75とした。図に示すように、防波堤沿い両端の区間の沖合では、反射波の影響もあり、7mを越える波高が現れている。これに対して中央部の区間の沖合では4m程度である。このように、沖波が同一であっても局所的に波高が大きく変化し、

局所的な地形や構造物の影響によって波のあたり方は異なる。すなわち、“あいがめ”による波浪の屈折の効果が、計算結果にも現われていることがわかる。

#### 7. おわりに

本稿では、2008年2月24日に日本海沿岸に来襲した高波の観測結果を紹介するとともに、波浪推算および浅海域波浪変形計算をあわせて実施することにより、寄り回り波の特性把握を試みた。本稿が、今後の寄り回り波に対する防災に資することを強く願うものである。本稿で紹介したような精緻な波浪観測結果が得られたのは、国土交通本省港湾局をはじめとした全国の数多くの関係者によるナウファスの開発・改良の努力の結果である。また、本研究の一部は、科学研究費(課題番号19360225: Freak Waveの出現予測法の構築とその出現特性の解明)の成果でもあることも付記し、ここに謝意を表する。

#### 参考文献

- 鈴山勝之・橋本典明・永井紀彦・吉田秀樹(2005): 様々な地形条件下における波浪推算の精度向上のための幾つかの検討, 海岸工学論文集, 第52巻, pp.171-175.
- 永井紀彦(2002a): 風力エネルギー活用観点から見た沿岸域洋上風力の特性, 港湾空港技術研究所資料No.1034, 34p.
- 永井紀彦(2002b): 全国港湾海洋波浪観測30年統計(NOWPHAS 1970-1999), 港湾空港技術研究所資料No.1035, 388p.
- 永井紀彦・額田恭史・岩崎峯夫・久高将信(2002): 切れ目のない連続観測とスペクトル周期帯表示による全国沿岸の長周期波観測情報システム, 土木学会, 海洋開発論文集第18巻, pp.149-154.
- 永井紀彦・小川英明・額田恭史・久高将信(2004): 波浪計ネットワークによる沖合津波観測システムの構築と運用, 土木学会, 海洋開発論文集 第20巻, pp.173-178.
- 永井紀彦・里見茂(2005): 2004年台風による高波の観測結果(NOWPHAS2004特別号), 港湾空港技術研究所資料No.1100, 65p.
- 橋本典明・永井紀彦・高山知司・高橋智晴・三井正雄・磯部憲雄・鈴木敏夫(1995): 水中超音波のドップラー効果を応用した海象計の開発, 土木学会, 海岸工学論文集第42巻, pp.1081-1085.
- 橋本典明・川口浩二・池上正春・鈴山勝之(2004): 東京湾におけるWAMの波浪推算特性に関する検討, 海洋開発論文集, Vol.20, pp.845-850.
- 平石哲也・平山克也・加島寛章・春尾和人・宮里一郎(2008): 選発波浪荷重による被害例とその特性, 海岸工学論文集, 第55巻, 印刷中.
- 平山克也(2002): 非線形不規則波浪を用いた数値計算の港湾設計への活用に関する研究, 港湾空港技術研究所資料No.1036, 162p.
- 平山克也・南靖彦・奥野光洋・峯村浩治・河合弘泰・平石哲也(2005): 2004年に来襲した台風による波浪災害事例, 港湾空港技術研究所資料No.1101, 42p.
- 吉田清三・石森繁樹・加藤雅司(1986): 寄り回り波と海難, 航海, 第87号, pp.55-61.