

「うねり性波浪」予測・監視システムの検討

宇都宮好博*・岡田弘三**・江口一平***・高山知司****・二瓶章*****

- * (財) 沿岸技術研究センター 波浪情報部 業務第二課長
 ** (財) 沿岸技術研究センター 波浪情報部 調査役
 *** (財) 沿岸技術研究センター 審議役
 **** (財) 沿岸技術研究センター 理事
 ***** 前 北陸地方整備局 新潟港湾空港技術調査事務所長

平成 20 年 2 月の富山湾の「うねり性波浪」による被災復旧のソフト面での対策として、地形・水深等による影響を考慮した適切な波浪変形モデルを活用した「うねり性波浪」の予測システム及び監視システムの構築のための検討を行った。先ず、詳細な海底地形データのある伏木地区では非線形モデルを適用し、詳細な海底地形データの無い富山地区では線形モデルを適用して、細分した波向き別の沿岸係数を作成した。なお、非線形モデルの結果と線形モデルの結果とを比較検証し、線形モデルの結果に非線形性の影響を取り込む方法を提案した。さらに、データ同化手法を取り入れた波浪予測に、上記で作成した沿岸係数を取り入れることによって、「うねり性波浪」の予測システムの実現性を検証した。次いで、予測を補う上で、監視システムも有効であることを示した。

キーワード：寄り回り波，うねり性波浪，ブシネスクモデル，波浪予測，波浪監視

1. はじめに

平成 20 年 2 月 23 日から 24 日にかけて富山湾を襲った『うねり性波浪（寄り回り波）』は、伏木富山港伏木地区の北防波堤や港湾緑地などに甚大な被害をもたらした。被災後、国土交通省北陸地方整備局は、『富山湾における「うねり性波浪」対策検討技術委員会』¹⁾を立ち上げ、委員会指導のもと調査を行った結果、港湾・海岸施設の補強に併せて、予測等により事前に情報を把握し、対処することが有効であるという結論を得た。

また、「寄り回り波」の予測の課題として、

- ① 観測地点における波浪予測の精度向上
- ② 藍瓶等複雑な地形の効果を反映させる
- ③ うねりの伝搬経路における「うねり性波浪」の監視

の 3 点を挙げている。

本業務²⁾は、地形・水深等による影響を考慮し、沖波の入手と同時に港内の任意の地点での波高予測が可能となるよう適切な波浪変形モデルを活用した予測システムを構築するとともに、うねり性波浪の監視システムを検討するものである。

2. 波浪変形モデルの特性を活かした予測システムの検討

詳細な海底地形データを有する伏木地区において

は、詳細なメッシュで非線形分散波モデル（ブシネスクモデル）を用いた波浪変形解析を実施した。また、線形モデル（エネルギー平衡方程式）を用いた波浪変形解析も実施し、これらの計算結果の比較検討から、モデルの差による影響度等を検討した。詳細な海底地形データがない富山地区においては、線形モデル（エネルギー平衡方程式）を用いた波浪変形解析を実施した。富山地区では、海底地形データが粗いために屈折効果が過小評価され、線形モデルであるために非線形効果が無視され、沿岸係数は適切に評価されない可能性がある。そこで、伏木地区で実施した 2 つのモデルに基づく沿岸係数の比較結果から、予測に適用可能な非線形の影響を取り入れて、富山地区での沿岸係数の比を割増率として乗じることとした。予測システムの検討フローを図-1 に示す。

図-2(1), (3)は水深分布図、(2), (4)は波高の倍率である。ブシネスクモデルでは波浪が構造物を透過するよう（無反射）に設定している。図中、周期 12 秒の場合、海底の尾根付近では波高の倍率が 1.2 倍程度である。一方、周期 8 秒以下の波浪の場合は、波高の倍率は 1 倍前後であった。したがって、周期 10 秒以下の波浪に対しては、エネルギー平衡方程式の沿岸係数をそのまま利用しても問題はないが、周期 10 秒以上の波浪に対しては、屈折により波高が増大し非線形性（有限振幅性）が顕著になる海底の尾根付近（図中の楕円域内）では、波高を 1.2 倍程度割り増す必要がある。

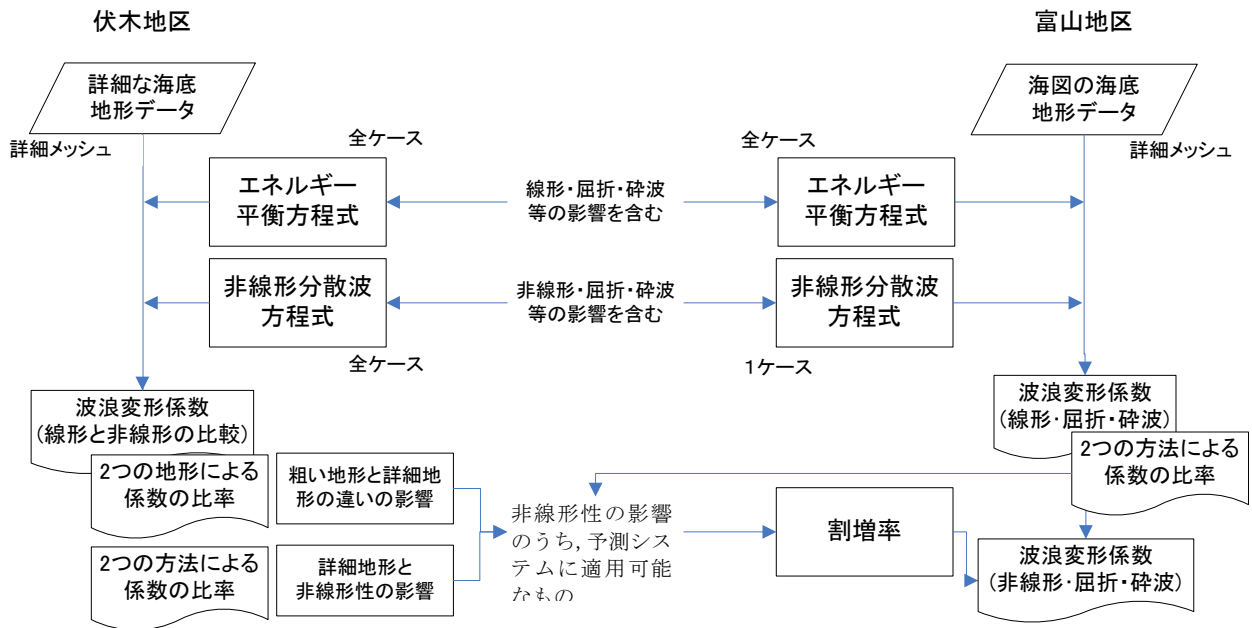


図-1 予測システムの検討フロー図

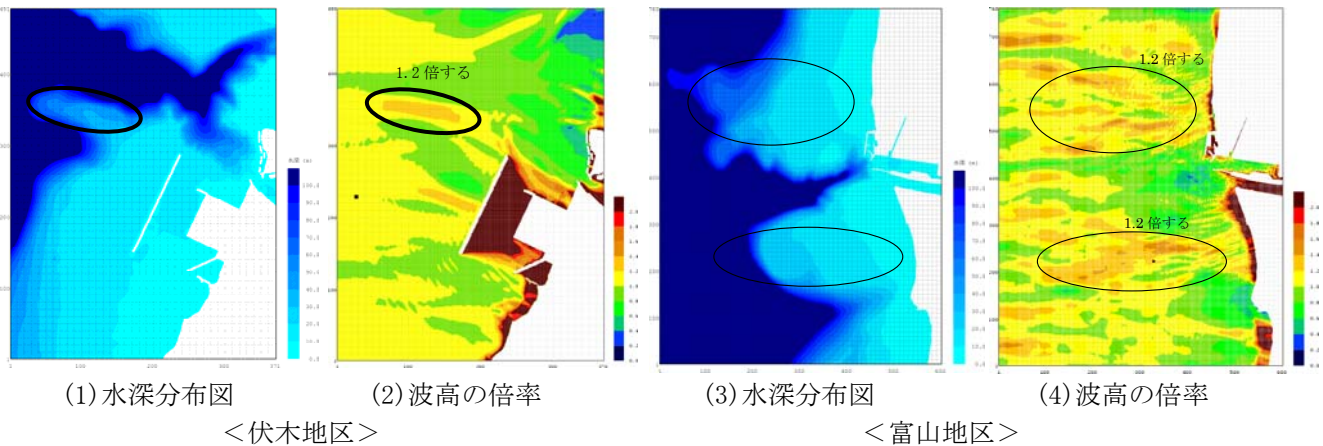


図-2 伏木地区・富山地区における水深分布図及びエネルギー平衡方程式の波高分布に対するブシネスクモデルの波高分布（倍率）
 （計算条件：入射波高 3 m，周期 12 秒，方向集中度 $S_{max}=75$ ）

3. 予測システムのフロー構築と検証

予測システムは、当センターが開発した新 COMEINS（平成 21 年度からデータ同化手法を導入）をベースとして、図-3 に示す予測フローによるものとした。本システムの特徴は以下のとおりである。

- ① 近海，沿岸の領域では，入力とする海上風に，メソ気象モデル MSM（解像度 5 km）の海上風を用いることにより，高波予測の改善を図っている。
- ② NOWPHAS 沿岸波浪観測値を同化することによって，予測情報に誤差があった場合にも，波浪観測が行われていない任意の場所で誤差を補正し精度を上げることができる。

過去の顕著なうねり性波浪の来襲事例について，構築した予測システムの検証を実施した。その典型的な一例を図-4 に示す。データ同化により，伏木地

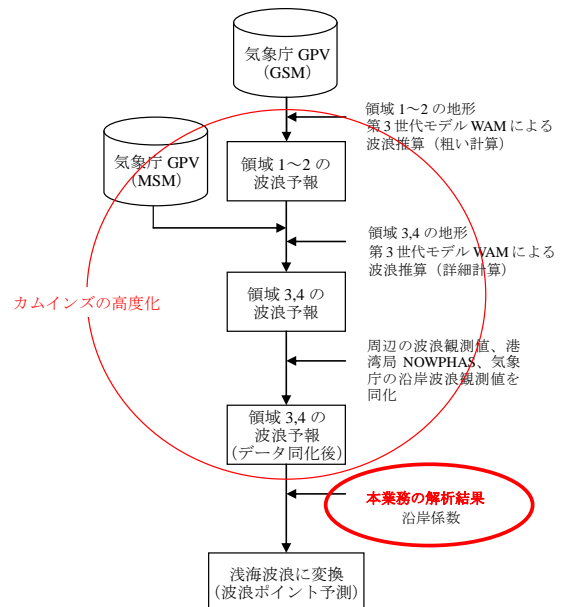


図-3 予測フロー図

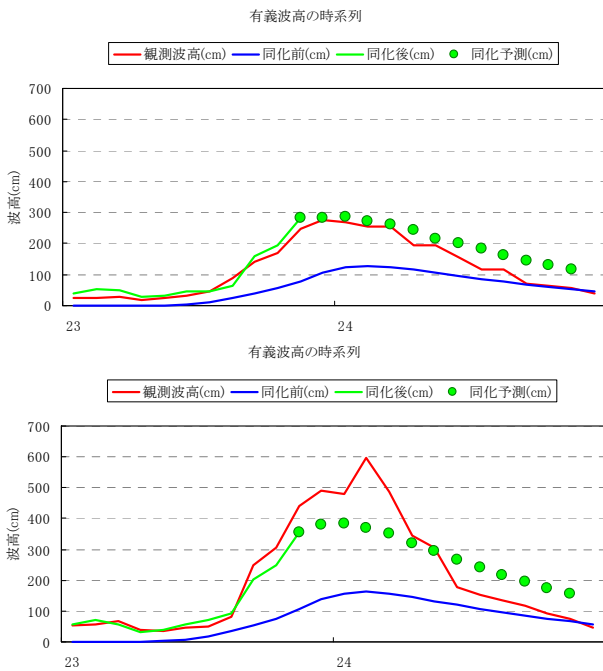


図-4 予測システム検証結果の一例
(平成 16 年 2 月 23 日～24 日)
(上図：伏木地区，下図：富山地区)

区では概ね予測値は実測値と一致し、富山地区でも実測値に近づいた（但し、ピークは十分に捕らえていない）。他の事例も概ね同様の傾向があった。

これは、同時刻の観測地点における観測値と予測値の誤差の情報を基本として、データ同化を将来に適用するためであると思われる。そこで、精度向上のためには、上流側の NOWPHAS 地点との誤差共分散行列の更新を利用したデータ同化を実施する必要がある。また、データ同化による波浪予測でも予測しきれない場合にも、過去の「うねり性波浪」来襲時の特徴を踏まえて、「うねり性波浪」来襲時の気象・海象条件を事前に把握し、観測値等を監視することが有効と思われる。

4. 「うねり性波浪」監視システムの検討

4.1 監視の基本的考え

富山湾に発生する「うねり性波浪」（通称、寄り回り波）は、周期が非常に長く、波高の大きい波浪が日本海を北北東から南～南南西方向へ伝播してきて、富山湾の「藍瓶」と呼ばれる深い海谷を形勢する海底地形により局所的に変形され、波高がさらに増大して、沿岸に来襲したものであると考えられている。したがって、発生域から富山湾へ伝播する波浪群の位置等の状況を監視することで、いつ富山湾において「寄り回り波」が出現するかを予想することが可能になると考えられる。

上記の考えに基づいて、数値計算により得られた「うねり性波浪」の予測情報を補完するため、「うねり性波浪」を発生させる気象・波浪条件及び伝播途中の波浪実況を監視する方法を検討した。

4.2 監視の対象

監視の対象は、「うねり性波浪」とし、以下の条件とした。

- ・有義波高 2 m 以上、かつ
- ・波形勾配 0.020 以下、又は有義波周期 10 秒以上

4.3 監視システムの概念設計

寄り回り波のように周期が 15 秒を越える「うねり性波浪」の波浪予測は、現在でも困難である。「うねり性波浪」は、北海道西方海域において発達した巨大な波浪が、日本海を南下し富山湾へ伝播してくる波浪であるので、沖合いの海上風、波浪 GPV 及び日本海沿岸に配置された NOWPHAS 観測網を監視することで、「うねり性波浪」来襲の監視ができると思われる。そこで、「うねり性波浪」を予測・監視するシステムを図-5 に示すフローによるものとした。

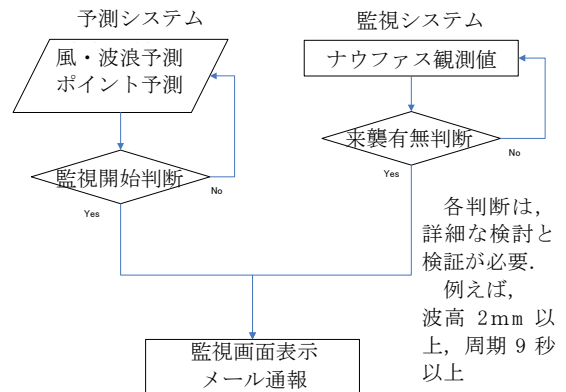


図-5 予測・監視システムフロー図

4.4 警戒監視開始の条件設定

(1) 沖合海上風予測値及び波浪予測値

過去 5 年間、22 事例の「うねり性波浪」来襲時（ピーク時）の 6～48 時間前の日本海の気象・海象の格子点値を用いて、北系（北東～北西）の海上風・波浪の統計値を算出し、監視格子点、監視開始、閾値を設定した。監視格子点（うねり性波浪来襲 24 時間前の監視格子点の例）を図-6 に示す。検証の結果、（6～24 時間前迄の）18 時間（4 時刻）のうち 12 時間（3 時刻）連続して、50%以上の格子点で、風速 14m/s、波高 4.0m 以上が予測された場合に監視を開始すれば、22 事例中、顕著事例を含む 13 事例で「的

中」であった。したがって、予測時刻が48時間よりも先の時点で、当該海域の海上風、波浪が先の条件を満たす場合に監視開始とすれば、富山湾に「うねり性波浪」のピークが来襲する24時間前までに監視を開始できる(ただし、見逃し事例はある)。

検証事例によっては「見逃し」の事例も存在した。運用にあたっては、予測システムだけではなく、監視システムも併用することが望ましい。また、精度向上のためには、予測や監視の閾値設定を、今後も検討していくことが望ましいと思われる。

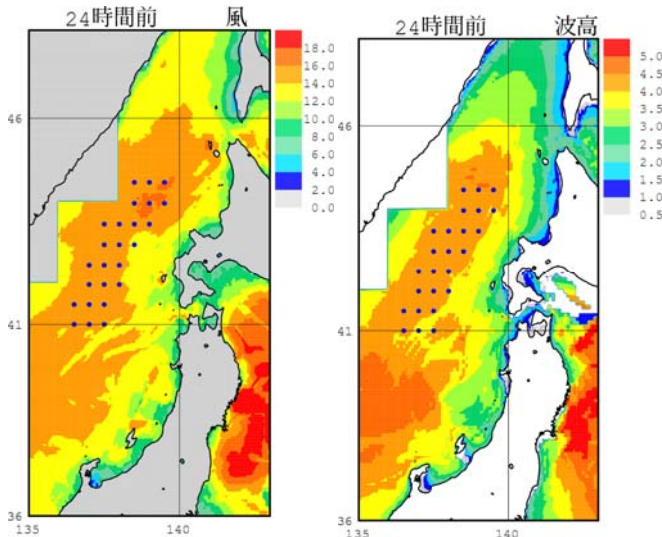


図-6 監視する格子点 (24時間前)

(2) NOWPHAS 波浪観測値

過去5年間、22事例の「うねり性波浪」来襲時(ピーク時)の0~24時間前のNOWPHAS観測地点(留萌、瀬棚、深浦、酒田、新潟沖、輪島、直江津、富山、伏木富山)の有義波高、有義波周期の観測値を用いて、警戒監視開始の条件設定を行った。検証の結果、周期10秒以上という条件を周期9秒以上という条件に変え、条件に該当する地点が1地点でもあれば監視開始とすれば、22事例中、顕著事例を含む21事例での中であった。富山、伏木富山にうねり性波浪が来襲する数時間~20時間前にほぼ前兆を捉えることが可能である。

5. おわりに

5.1 予測・監視の画面案

「うねり性波浪」の予測・監視には、伏木地区・富山地区の実測値・予測値、数時間前のNOWPHAS地点実測値、半日~数日前の日本海北部の風・波浪等が必要であるので、図-7に示すような画面が必要と思われる。

5.2 今後の課題

本業務の検討においては、データ同化技術を取り入れた精度の高い沖波波浪予測結果を使用した

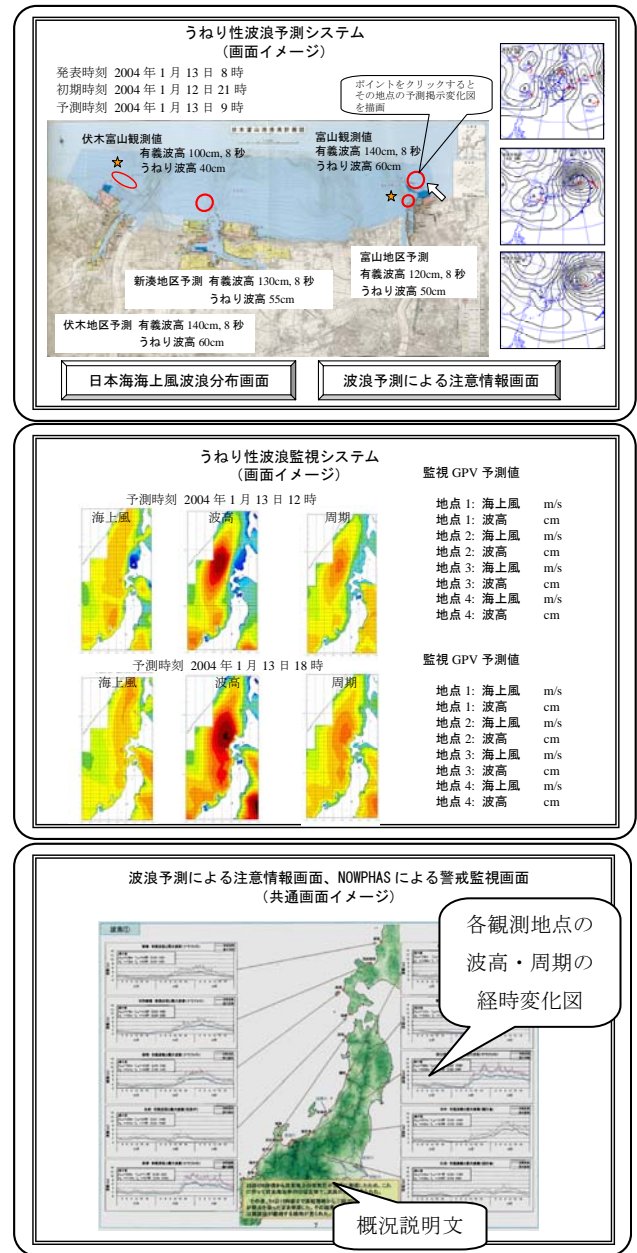


図-7 予測・監視の画面案

参考文献

- 1) 北陸地方整備局：富山湾における「うねり性波浪」対策検討技術委員会報告書，平成20年10月。
- 2) 新潟港湾空港技術調査事務所・(財)沿岸技術研究センター：平成20年度「うねり性波浪」解析検討調査報告書，平成21年3月。