

富山湾沿岸に災害をもたらした2008年2月冬季風浪の 予測と追算シミュレーション

Forecast and Hindcast Simulations of Wind Waves Which Caused Disasters along Toyama Coasts on February 2008

間瀬 肇¹・安田誠宏²・Tracey H. Tom³・辻尾大樹⁴

Hajime MASE, Tomohiro YASUDA, Tracey H. TOM and Daiki TSUJIO

Severe coastal disasters were caused by high waves due to winter depression along the Toyama Coasts on February 2008. Hindcast simulations of wind and wave were carried out for the Hokuriku area by using the GFS-WRF-SWAN Wave Prediction System, and these results were found to be enough accurate compared with observed data. It was also confirmed that a real time wave prediction system using hourly analyzed atmospheric GPV is usable for the prediction of 'Yori-Mawari Wave' along the Toyama Coasts. The wave concentration along the breakwater of Fushiki Toyama Port due to refraction and diffraction by unique topography called 'Aigame' was simulated, and the concentration location corresponded well to the damaged location estimated from the damage analysis of the breakwater.

1. はじめに

2008年2月23日から24日にかけて発達した低気圧の影響により、北陸沿岸において高波や暴風による被害が相次いで発生した。富山県黒部市、入善町および朝日町の下新川海岸において防潮堤が被災するとともに、打上げ・越波による住居の破壊や浸水被害等が発生した。富山湾沿岸でも漁港・港湾施設に甚大な被害が生じた。富山湾沿岸に被害をもたらした波浪は、通常より長い周期を持つうねり性波浪であり、地元で「寄り回り波」と呼ばれているものである。この寄り回り波は、日本海北部の暴風域で発生し成長したうねりが長い距離を伝播して富山湾へ到達するものであり、その発生の時間差から天候が回復した頃に来襲したり、大波が発生する地域差が顕著となる、警戒が難しい波浪である。

本研究では、富山湾沿岸に災害をもたらした2008年2月下旬の冬季風浪の北陸沿岸および富山湾沿岸における波浪シミュレーションを行うとともに、富山湾内の伏木富山港で発生した防波堤滑動被災時の来襲波浪の空間分布を解析する。

2. 寄り回り波の特性

畑田・山口(1998)による寄り回り波の予測法についての研究の中で、以下のような特性が整理されている。

- ・北海道東方海上に停滞した異常低気圧に伴う北～北東方向の強風により、北海道西方海域で発達した高波浪が、湾口が北～北東に向いた富山湾内にまでうねりと

して伝わる水深1000mの等深線が海岸近くまで迫り、海底洋谷が発達した富山湾特有の海底地形の影響によって、湾内の一部地域に波高数m、周期10数秒の大波となって押し寄せる。

- ・寄り回り波の来襲に伴う沿岸部の被災は、大小あわせて年平均で2～3回である。
- ・被害は、氷見、伏木・新湊、水橋・滑川・魚津、入善・朝日の4地域に集中している。
- ・冬型気圧配置となる12月および1月に被災回数が多く、5月、6月、7月には被災は記録されていない。ただし、9月と10月には台風に伴う発生例もある。

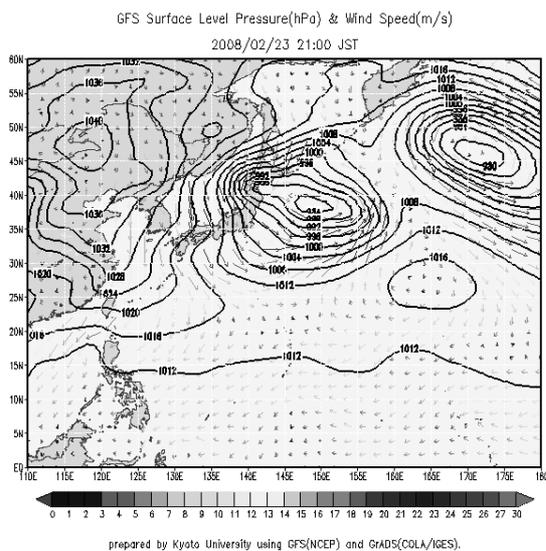
3. 波浪予測モデル

(1) GFS-WRF-SWAN 援用波浪推算システム

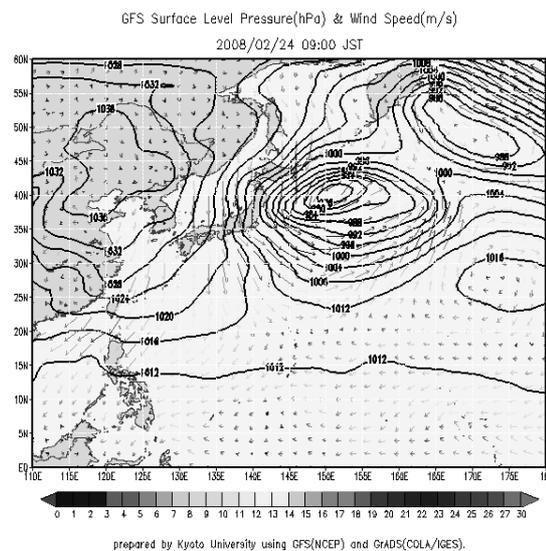
波浪シミュレーションにはGFS-WRF-SWAN 援用波浪推算システム(間瀬ら, 2005; Tomら, 2007)を用いた。追算期間は2008年2月20日から25日とした。まず、NCEP(National Centers for Environmental Prediction)の全球客観解析データ(FNL: Final Analysis)を用いて、SWAN(Simulating WAves Nearshore)により外部領域(5°N～55°N, 120°E～175°E)の波浪シミュレーションを行い、内部領域に対する境界条件を作成した。次に、NCEPのデータを用いてメソ気象モデルWRF(Weather Research and Forecasting model)により内部領域(36°N～39°N, 135°E～140.5°E)の気象計算を計算格子間隔5kmで行い、1時間毎の風速の空間分布を求めた。そして、そのWRF解析風データを入力条件とし、SWANにより内部領域(36.5°N～38.5°N, 136.5°E～139°E)の波浪追算シミュレーションを行った。水深データの格子間隔は1分である。

(2) 毎時大気解析GPVを用いたリアルタイム波浪予測システム

1	正会員	工博	京都大学教授	防災研究所
2	正会員	博(工)	京都大学助教	防災研究所
3			(株)サーフレジエント	
4	正会員	修(工)	パシフィックコンサルタンツ(株)	

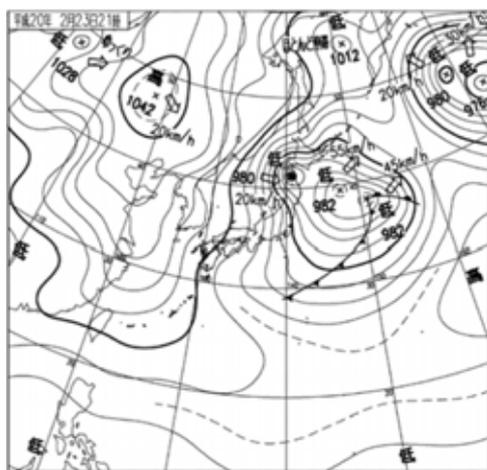


(a) 2008/2/23 21:00

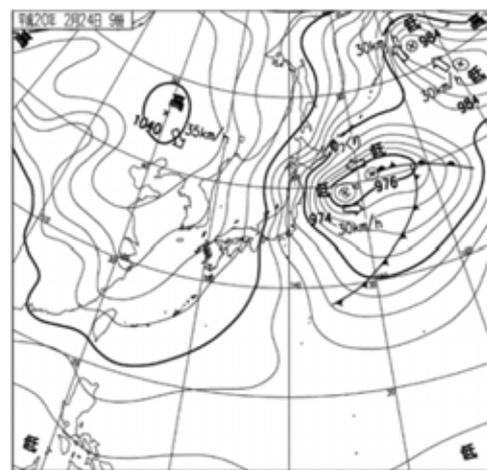


(b) 2008/2/24 9:00

図-1 NCEP 客観解析データの気圧および風データ



(a) 2008/2/23 21:00



(b) 2008/2/24 9:00

図-2 気象庁天気図

Tomら(2008)が開発している毎時大気解析GPVを用いたリアルタイム波浪予測システムを用い、波浪シミュレーションを行った。

外部領域は、 $5^{\circ}\text{N} \sim 55^{\circ}\text{N}$ 、 $120^{\circ}\text{E} \sim 175^{\circ}\text{E}$ の領域とし、10分間隔の海底地形データと0.5度毎のGFS(Global Forecast System)風データを用いてSWAN(Simulating WAVes Nearshore)により波浪計算を行い、内部領域に対する境界条件を作成する。内部領域は、 $24^{\circ}\text{N} \sim 47^{\circ}\text{N}$ 、 $126^{\circ}\text{E} \sim 149^{\circ}\text{E}$ の領域とし、2分間隔の海底地形データと毎時大気解析GPV風データを用いてSWANにより波浪計算を行う。

(3) 回折を考慮した多方向不規則波の波浪変形計算モデル

間瀬ら(1999)による波浪変形計算モデルを用いて、防波堤が滑動被災を受けた伏木富山港周辺の波浪変形計算を行った。計算格子間隔は10mとし、消波ブロック被覆

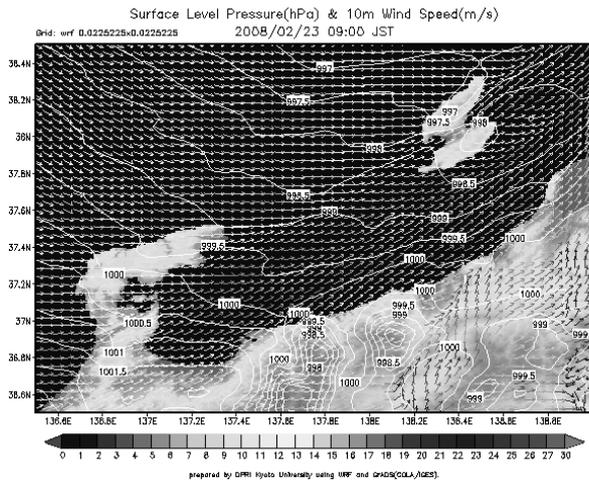
混成堤の反射率は0.5とした。波向きはNNEとNEの2ケースで計算した。

4. 北陸沿岸における冬季風浪シミュレーション結果および考察

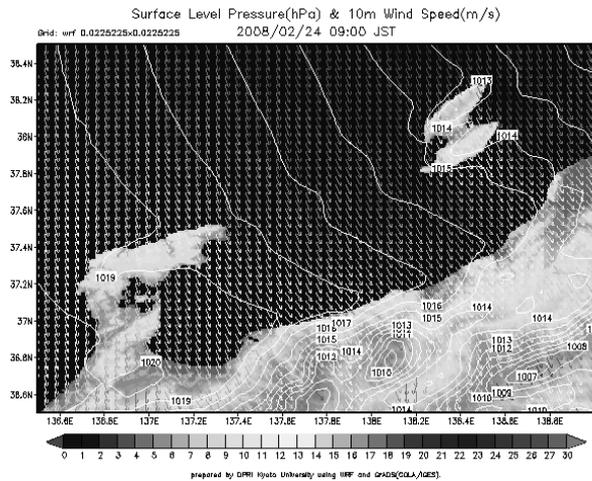
(1) 気象場シミュレーション結果

図-1にNCEPの全球客観解析データ(FNL)から抽出した気圧および風データを、図-2に気象庁の天気図を示す。(a)図が2008/2/23 21:00、(b)図が2/24 9:00のものである。23日に低気圧が日本海中部を発達しながら東北東に進み、24日に三陸沖に抜けた後停滞し、日本海で南北方向の等圧線が密になって冬型の気圧配置が強まった様子がFNLデータでもよく再現されており、本データを波浪追算シミュレーションに用いることの妥当性を確認できた。

図-3にWRFを用いて内部領域についてダウンスケー

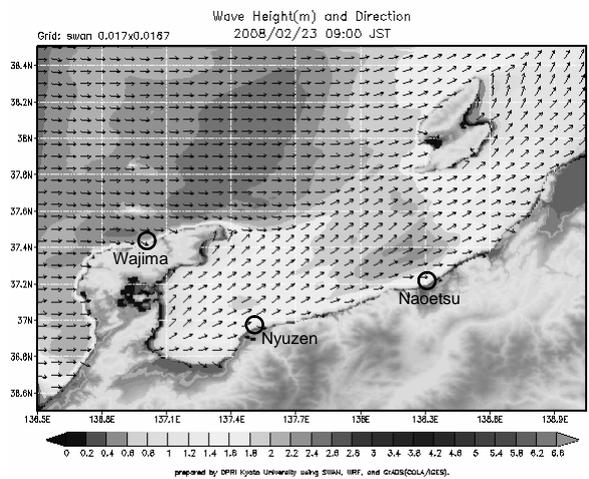


(a) 2008/2/23 9:00

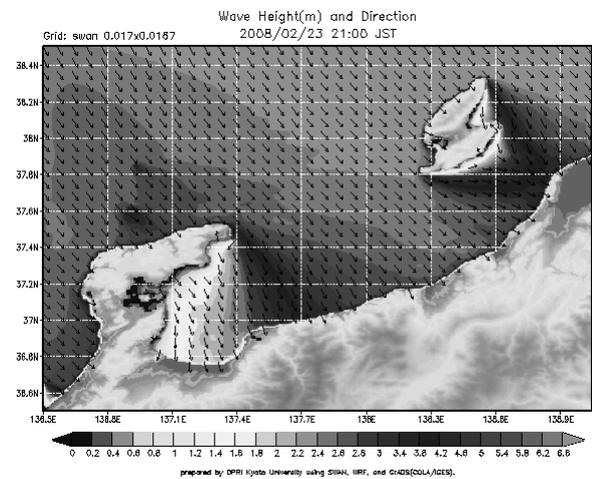


(b) 2008/2/24 9:00

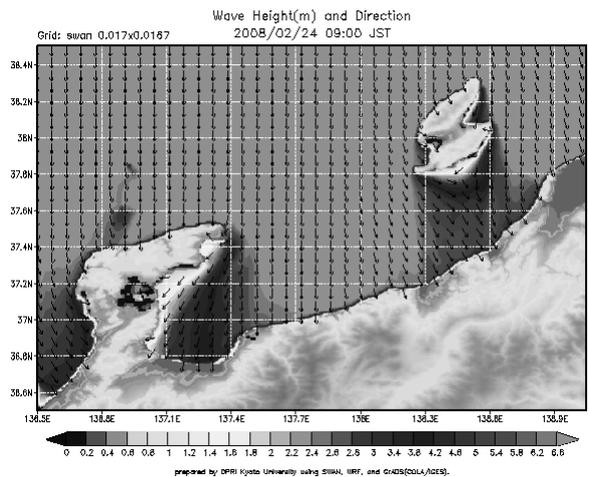
図-3 WRF による風速・風向のシミュレーション結果



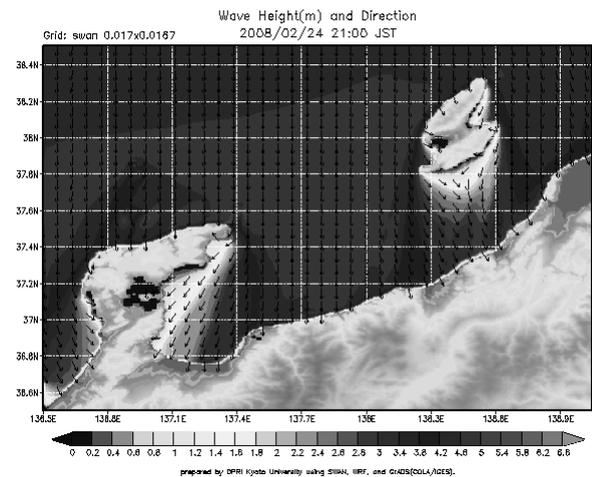
(a) 2008/2/23 9:00



(b) 2008/2/23 21:00



(c) 2008/2/24 9:00



(d) 2008/2/24 21:00

図-4 SWAN による冬季風浪の追算シミュレーション結果

リングした気象場の解析結果を示す。(a)図の2/23 9:00 時点では低気圧が日本海にあるために、等圧線は北陸沿岸に沿って東西方向になっており、風向はWSW～SWにな

っている。それが、(b)図の2/24 9:00の時点では等圧線が南北方向に変化し、風向はNNWで20m/sを超える強風が発生していたことがWRFによる解析結果からわかる。

(2) 被災時の波浪追算シミュレーション結果

図-4に北陸海域における波浪シミュレーション結果を示す。2/23 9:00までは波浪はほとんど発達しておらず、有義波高 $H_{1/3}$ は1m以下で、波向は能登半島沖ではW、富山湾から新潟沿岸にかけてはWSWであった。その後、風速の増大に伴って波浪が急激に発達し、2/23 21:00には波向が全域的にNWになるとともに、沖合いで波高が5mを超えるようになった。この時、富山湾内では波はまだ発達しておらず、2m程度であった。波向はNに徐々に変化し、2/24 9:00にはさらに波が発達し、能登半島と佐渡島との沖合いで、波高が6m以上になっている。佐渡島北東を回折して高波浪が両津湾に入り込む様子や、高波浪帯が上越地方から西方向へ、能登半島の遮蔽域である富山湾に徐々に移っていった様子もわかる。富山湾における波向はNNE~NEで、波高は3~4.5mに増大している。なお、この時間帯の伏木富山港での観測値は約4mであった。2/24 21:00には徐々に波高が小さくなり始めているが、波が高い状態が継続している。このような追算結果の平面分布を元に、高波浪が発生した地域やその時間帯を特定でき、災害解析に資することができる。

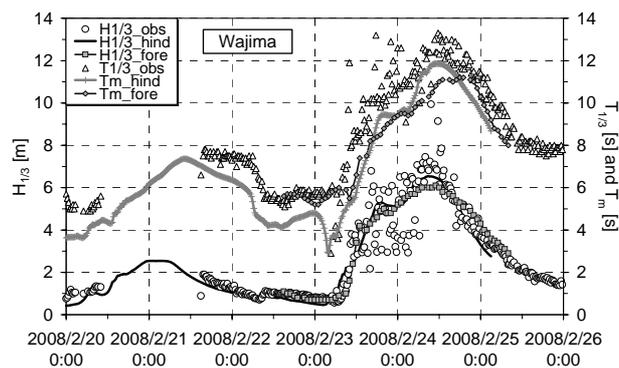
図-5に冬季風浪の追算結果(hindcast)および予測結果(forecast)を示す。ただし、周期に関しては、計算結果は1次のスペクトルモーメントから求めた平均周期、観測値は時間波形から求めた有義波周期であり、一般的に前者は後者より小さくなる。(a)図が輪島、(b)図が直江津、(c)図が入善(田中)である。輪島および直江津の2地点におけるナウファス観測結果(observation)と比較する。各点の位置は図-4(a)に示した。

輪島および直江津について追算結果と観測結果を比較したところ、有義波高、周期ともに再現性は非常に高く、追算シミュレーション結果の信頼性は高いことがわかった。

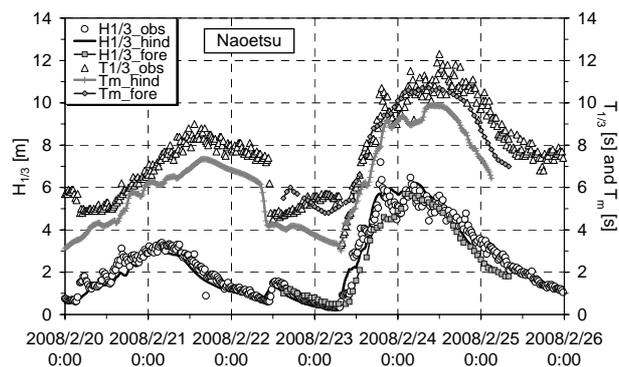
入善にある田中海象観測所(北緯:36度57分21秒、東経:137度29分41秒、水深:12.77m)においては、2月24日14時に有義波高の最大値が観測され $H_{1/3}=6.62\text{m}$ 、 $T_{1/3}=13.9\text{s}$ であった。図-5(c)に示した入善付近での出力点は約1.2km沖側であり、田中観測所は沿岸にある施設である。そのため、観測値には浅水変形や反射の影響が入ったために、シミュレーション結果よりはやや大きめの値が観測されたと考えられる。輪島および直江津の再現精度を考慮すると、入善沖での波浪も満足できる精度で再現できたといえる。

(3) リアルタイム波浪予測結果

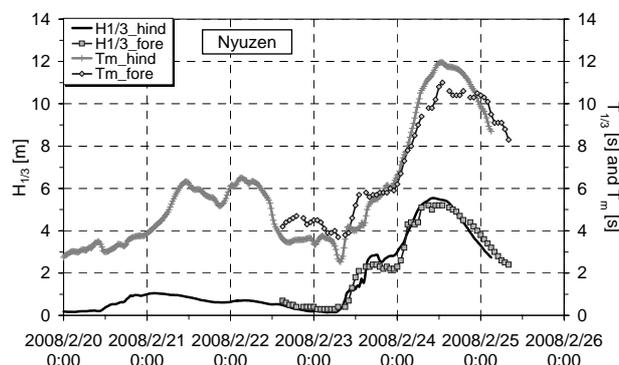
毎時大気GPVを用いた予測結果(図中,foreで示した)については、いずれの地点においても、2月23日正午頃からの波高の増大傾向の追従性がよく2月24日10時~12時頃にピークに達する状況も予測できている。追算結果および観測結果に比べて、波高と周期の最大値が若干



(a) 輪島 (37°25'51"N, 136°54'08"E)



(b) 直江津 (37°14'09"N, 138°16'25"E)



(c) 入善(田中), 36°57'21"N, 137°29'41"E

図-5 冬季風浪の追算結果、予測結果および観測結果

小さめに予測されているが、あらかじめその誤差を考慮しておけば、寄り回り波発生の実タイム予測に十分に活用できると考えられる。

5. 伏木富山港における波浪シミュレーション結果および考察

(1) 伏木富山港周辺の海底地形

図-6に波浪変形計算に用いた伏木富山港周辺の深浅図を示す。伏木富山港の東側の小矢部川および庄川河口は、「あいがめ(藍瓶)」と呼ばれる海底谷が海岸近くまで迫った地形になっており、水深が非常に深い。伏木富山港の西側および富山新港の沖では等水深線がほぼ平行で、

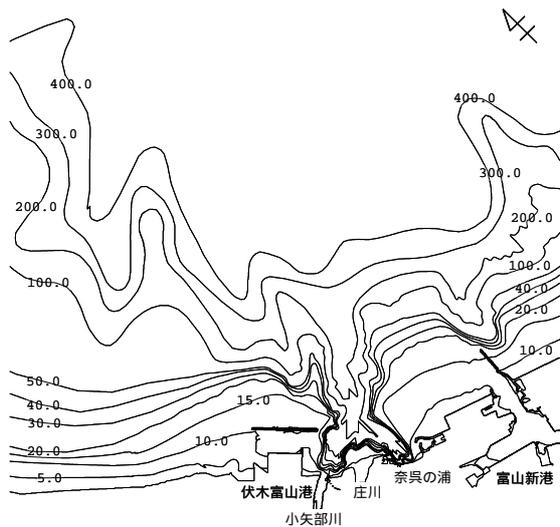


図-6 伏木富山港周辺の深浅図 (単位: m)

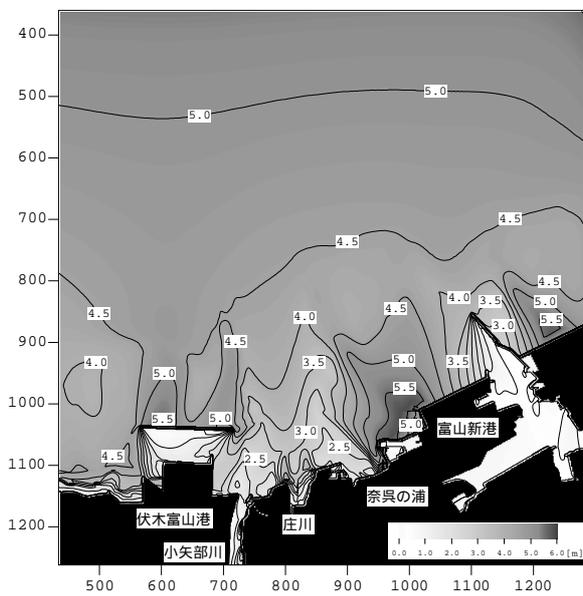


図-7 伏木富山港における波浪変形計算結果 (波向NE)

防波堤付近の水深は 10 ~ 15 m 程度である。

(2) 波浪変形計算結果

図-7 に伏木富山港周辺の波浪変形計算結果を示す。あいがめで屈折した波浪が、西側の伏木富山港および東側の奈呉の浦に収斂している様子が再現できている。滑動被災した北防波堤前面における波浪については、被災が著しかった東寄りのB区間 (滑動量 1 ~ 12 m) に波浪が集中し、 $H_{1/3} = 5.0 \sim 5.5$ m に増大する計算結果が得られた。高山ら (2008) によると、5.0 ~ 5.5 m の波高が 8 ~ 12 時間来襲したと仮定した場合、被災防波堤のケーソンが 1 ~ 11 m 程度滑動するという結果が得られており、被災解析の観点から波浪計算結果の信頼性を確認できた。また、防波堤西寄りにおいても波高が増大して前面で $H_{1/3} = 5.5$ m 以上になっているが、これらの区間では、既往最大波高を更新した台風 0423 号来襲後に設計条件が見直され、重

量の重い消波ブロックが用いられていたこともあって、防波堤は被災しなかった。

6. 結論

2008 年 2 月に富山湾沿岸に災害をもたらした冬季風浪を数値解析することにより、北陸沿岸における波浪の時系列変化および富山湾への高波の伝播状況の再現を行った。有義波高、周期ともに再現性は非常に高く、波浪追算シミュレーション結果の信頼性は高いことがわかった。

波浪追算結果の平面分布の時系列変化を元に、高波浪が発生した地域やその時間帯を特定でき、災害解析に資することができた。また、寄り回り波発生のリアルタイム予測の可能性も示すことができた。さらに、「あいがめ」で屈折した波浪が、西側の伏木富山港に収斂している様子を波浪変形シミュレーションで再現し、防波堤の滑動を引き起こす波浪状況であったことを明らかにした。

波浪変形計算に用いた富山湾の水深データは、(独) 港湾空港技術研究所 海洋・水工部 波浪研究チームからご提供いただいた。ここに謝意を表します。また本研究は、第 1 著者の国土交通省建設技術研究開発助成、(財) 鹿島学術振興財団研究助成、第 2 著者の科学研究費若手(B) (課題番号: 20710143) による研究の一部であることをここに付記し、感謝いたします。最後に、今回の冬季風浪災害で被災した方々にお悔やみを申し上げ、一日も早い復旧・復興を心より願います。

参考文献

- 高山知司・辻尾大樹・安田誠宏 (2008): 消波ブロック被覆堤の被災事例に基づく滑動要因の検討, 海岸工学論文集, 第 55 巻 (印刷中)。
- 畑田佳男・山口正隆 (1998): 富山湾における特異波浪「寄り回り波」の予測法に関する予備的検討, 愛媛大学工学部紀要, 第 17 巻, pp.261-271。
- 間瀬 肇・木村雄一郎・Tracey H. Tom・小川和幸 (2005): GFS-WRF-SWAN 援用波浪推算システムの構築と検証, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp.181-185。
- 間瀬 肇・高山知司・国富將嗣・三島豊秋 (1999): 波の回折を考慮した多方向不規則波の変形計算モデルに関する研究, 土木学会論文集, No.628, II-48, pp.177-187。
- GFS: A medium range synoptic forecasting system developed and processed, NCEP, <http://www.emc.ncep.noaa.gov/modelinfo>
- SWAN: A numerical wave model for obtaining realistic estimates of wave parameters in coastal areas, lakes and estuaries from given wind-, bottom-, and current conditions, Delft University of Technology, <http://fluidmechanics.tudelft.nl/swan/default.htm>
- Tracey H. Tom・間瀬 肇・勝井伸信・安田 誠宏・小川 和幸 (2006): ハリケーン・カトリナによる高波の解析, 海岸工学論文集, 第 53 巻, pp.421-425。
- Tracey H. Tom・間瀬 肇・安田誠宏 (2008): 毎時大気解析 GPV を用いたリアルタイム波浪予測システムの開発とその検証, 海岸工学論文集, 第 55 巻 (印刷中)。
- WRF: A mesoscale numerical weather prediction model, NCAR (the National Center for Atmospheric Research), <http://wrf-model.org/>