2013年4月の寄り回り波について

麻柄 葵¹・河合 雅司²・三井 正雄³・眞岩 一幸⁴

On the Yorimawari Waves in April 2013

Aoi MAGARA, Masashi KAWAI, Masao MITSUI and Kazuyuki MAIWA

Abstract

The Yorimawari Waves that invade Toyama Bay and cause wave disasters on the coast are feared by the people on the coast of Toyama Bay through the ages. First of all, we should understand the features of the Yorimawari Waves in order to prevent these wave disasters.

Verification of the past studies on the Yorimawari Waves was carried out by using data observed when the Yorimawari Waves invaded Toyama Bay on 8 April 2013, and new features became clear in this study. They are as follows.

- (1) There is a case that big pyramidal wave appears near the coast, when the Yorimawari Waves are invading Toyama Bay.
- (2) The Yorimawari Waves surged to the coast with whitecaps from more than 1 km offshore, when sea level was high.

Further, authors tried to clear the mechanisms of the Yorimawari Waves. These results are reported in this paper.

Keywords : *Navigation and earth environment, The Yorimawari Waves, Swell waves, Wave disasters*

キーワード: 航海・地球環境, 寄り回り波, うねり性波浪, 波浪災害

1. はじめに

富山湾沿岸では、昔から突如来襲するうねり性波浪による災害が発生し、住民はこの波を寄り回り波と呼んで警戒してきた。寄り回り波による災害は、昭和時代に入ってから急に増加し、1970 年以降は、約 10 年周期で自治体等が災害対策本部を設置して対応しなければならないような波浪災害が発生している。最近では、2008 年に大きな波浪災害が発生し、入善町や黒部市は災害対策本部を設置して対応した。

これらの災害に対応するためには、寄り回り波の

特徴について理解しておくことや、予報システムの構築等が必要である⁽¹⁾。本研究の目的は、NOWPHAS 富山波浪計データ、水晶式水位計水位データ、気圧データ、波浪観測写真等を用いて 2013 年 4 月 8 日

Fig. 1 The Yorimawari Waves surged to the coast of Ebie with whitecaps from more than 1 km offshore at 12:40 JST 8 April 2013

¹ 学生会員 富山高等専門学校海事システム工学専攻 (〒933-0293 射水市海老江練合 1-2)

² 正会員 富山高等専門学校商船学科 (〒933-0293 射水市海老江練合 1-2) mkawai@nc-toyama.ac.jp

³ 非会員 株式会社ソニック海象機器部 (〒190-1295 西多摩郡瑞穂町箱根ヶ崎東松原 19-6)

⁴ 非会員 富山高等専門学校商船学科 (〒933-0293 射水市海老江練合 1-2) maiwa@nc-toyama.ac.jp

に富山湾に侵入した寄り回り波について調べ、従来から知られている寄り回り波の特徴について検証し、その原因の解明を試みるとともに、今回新たに確認された特徴について報告することである。

2. 寄り回り波の特徴

2013年4月8日12時40分頃に富山高等専門学校射水キャンパス屋上から撮影された寄り回り波の写真を Fig.1 に示す。これまでの研究により、富山湾に侵入する寄り回り波には、次の様な特徴があることが指摘されている⁽²⁾。

(1) 富山湾への侵入時期

寄り回り波は、一般に10月～3月にかけて富山湾に侵入する。ただし、数は少ないが4月または9月に侵入することもある。

(2) 突如来襲（意外性）

例年10月から3月にかけて、低気圧が富山湾周辺を通過し、風や風浪がおさまり天候も回復した頃に突如来襲する。

(3) 時間差攻撃

富山湾の東部と西部で、寄り回り波の来襲時間が数時間程度ずれている傾向がある。

(4) 地域性

複雑な海底地形の影響で寄り回り波が屈折し、大きな寄り回り波が押し寄せる沿岸とそうでない沿岸がある。

(5) 水位変動

寄り回り波来襲の1日程度前から、天文潮汐を除去した富山湾の水位が、気圧の影響により数10cm程度上昇している。(天文潮汐の除去に加えて気圧の影響も除去すると、図9に示すように1日程度前から水位が数10cm程度低下している。)

富山湾および富山新港や海底谷等における副振動により、海面の高さが約30分周期または、数分周期で変動する。

(6) 偏向して富山湾に侵入

対馬海流によりうねりが右へカーブして富山湾に侵入する。

(7) 白波を伴う顕著な寄り回り波が周期的に来襲

約20～30分周期で、白波を伴う顕著な寄り回り波が沿岸に押し寄せる傾向がある。

3. 波浪観測データ

NOWPHASの富山波浪計(36°46'51"N, 137°12'06"E, 水深20m)で観測された2013年4月7日0時～4月10日0時までの有義波高と有義周期を Fig.2 と Fig.3 に示す。Fig.2 と Fig.3 から、4月7日20時頃から有義周期が急に増加しはじめ、8日0時頃には10秒を越え、有義波高も1m程度まで増加している。ここでは、寄り回り波を有義波高1m以上、有義周期10秒以上の波と定義し、寄り回り波が押し寄せた時刻を4月8日の0時(JST)頃とした。また、Fig.4の天気図から6日から7日にかけて低気圧が日本海を通過し、7日から8日にかけて低気圧が北海道付

Fig. 2 Significant wave height observed by NOWPHAS Toyama wave meter

Fig. 3 Significant wave period observed by NOWPHAS Toyama wave meter

Fig. 4 Surface weather maps at 9:00 JST from 6 to 8 April 2013, released by Japanese Meteorological Agency

Fig. 5 Tide station in Toyama New Port

近で停滞したことが分かる。これらから、北海道西方海域で発達した風浪がうねりとなって日本海を南下し、8日に富山湾へ侵入したものと推察される。ここで用いた波浪データは、国土交通省港湾局によって観測され、港湾空港技術研究所で処理されたものである。また、天気図については気象庁によりウェブ上で公開されているものを引用した。

4. 水位観測

吉田(1987)は、1981年12月16日に富山湾に押し寄せた寄り回り波を航空機から観測していた時に、魚津から富山へかけての沖合で寄り回り波よりもはるかに周期の長い長周期波動が沿岸部に存在していることを発見した⁽³⁾。この沿岸部に存在する長周期波動は、寄り回り波の侵入により生じた海底谷の副振動によるものと考えられるが、寄り回り波が富山湾へ侵入している場合は、数分周期や約30分周期等の様々な副振動が富山湾沿岸部で生じていることが知られている⁽²⁾。富山高等専門学校では、富山新港内で2010年1月より水晶式水位計(観測精度:0.6cm)を用いて1秒毎に水位を観測し、観測値はデジタルデータとして記録保存している。ただ、2011年6月までは過去60秒間の値を平均した平均水位を1秒毎に記録しており、数分周期の水位変動を十分に観測できなかったが、2011年7月以降は1秒毎の

水位をそのまま記録し、数分周期の変動についても正確に観測できる。これについては、参考文献(2)のFig. 2(b)と本論文Fig. 7を比較することにより確認できる。また、明確な数分周期の水位変動は、参考文献(5)の図7に既に示されている。富山湾における水位観測所の位置をFig. 5に示す。

60組の潮汐定数を計算するために、気圧による水位変動の補正を行った2011年8月1日0時から2012年8月4日0時までの369日間分の10分毎の水位データを使用した。気圧による水位変動補正式を(1)式に示す。

$$h' = h + (P - 1013.25) \quad (1)$$

h' : 補正水位[cm], h : 観測水位[cm], P : 気圧[hPa]

水位の気圧変動を補正するために使用した気圧データは、気象庁のホームページで公開されている富山県伏木の10分毎のデータを使用した。2011年8月1日0時0分～2012年8月4日0時0分までの10分毎369日間分の気圧補正を行った水位データを用いて最小自乗法による調和分解法により60組の潮汐定数を計算した⁽⁴⁾。本研究では、この様にして得た潮汐定数を用いて天文潮汐による水位変動を計算し、観測水位から天文潮汐による水位変動を取り除いた。

5. 寄り回り波侵入時の水位と沿岸波浪

富山新港内の水位観測所で、2013年4月1日から4月8日までの8日間に観測された水位を Fig. 6～Fig. 11 に示す。Fig. 6 は、2013年4月7日の12時から24時(JST)までの天文潮汐による水位変動を取り除いた水位であり、Fig. 7 は4月8日14時の1時間分の水位であり、天文潮汐による水位変動は取り除かれている。Fig. 8 は、4月1日から4月8日までの8日間の水位であり、天文潮汐による水位変動は取り除いている。さらに、Fig. 9 には天文潮汐による水位変動に加えて、気圧による水位変動を補正した水位を示す。Fig. 10 は、8日の観測水位をそのまま図にしたものであり、Fig. 11 は天文潮汐を取り除いた水位に加えて、沖合から白波を立てて大波が押し寄せた時間を縦線で示した。

Fig. 6 と Fig. 7 から、寄り回り波の侵入前には約30分周期の副振動が存在し、侵入中には数分周期の副振動が存在していることが確認できる。また、Fig. 8 と Fig. 9 から、寄り回り波が沿岸に押し寄せ

る約1日前から、富山湾沿岸の水位が数10cm高くなっていることが確認できるが、水位増加の原因は、気圧の影響によるものであり、気圧による水位変動を補正した場合は、寄り回り波が押し寄せる約1日前に富山湾沿岸の水位は最も低下している。(Fig. 9 参照)そして、水位が平均的な状態に戻った頃(8日0時頃)に、寄り回り波が押し寄せていることが分かる。

次に、寄り回り波侵入時の沿岸波浪であるが、錬合海岸沖合(1km 以上沖合)から白波を立てて押し寄せたのを観測した時間は、12時21分、12時43分、13時23分、13時45分、15時40分であった。錬合海岸では、20～30分周期で大きな波浪が押し寄せることが分かっており、12時から16時までの間にこれら以外にも白波を立てて押し寄せたと思われるが、常時観測していないので確認出来なかった。Fig. 10 より、8日12時～16時は満潮から干潮へ向かう時間帯となっており、水位が高くなっている時に大波が押し寄せていることが分かる。Fig. 11 は、大波が白波を立てて押し寄せた時間と天文潮汐を取り除いた水

Fig. 6 Water level without astronomical tide in Toyama New Port from 12:00 to 24:00 JST 7 April 2013

Fig. 7 Water level without astronomical tide in Toyama New Port from 14:00 to 15:00 JST 8 April 2013

Fig. 8 Water level without astronomical tide in Toyama New Port from 1 to 8 April 2013

Fig. 9 Water level without astronomical tide and meteorological tide by atmospheric pressure in Toyama New Port from 1 to 8 April 2013

Fig. 10 Water level observed by water gauge in Toyama New Port on 8 April 2013

Fig. 11 Water level without astronomical tide in Toyama New Port from 12:00 to 16:00 JST 8 April 2013

Vertical lines show times when big swells surged to the coast with whitecaps at more than 1 km offshore

Fig. 12 Big wave off the coast of Ebie at about 15:30 8 April 2013

位の関係を示しているが、20 分～30 分程度の周期で大波が押し寄せる原因についてはよく分からない。

次に、寄り回り波が富山湾沿岸に押し寄せていた 4 月 8 日 15 時 30 分頃に、海老江海岸 (Fig. 5 参照) の沖合で巨大な孤立波の発生を確認した。その孤立波を Fig. 12 に示す。海面から消波ブロックの上端までの高さが 2m 程度あるので、この孤立波の波高は

8m 程度であると思われる。海老江海岸には水面下 2m 程度のところに幅 60m 程度の潜堤が海岸線と平行に、かつ帯状に設置されているが、この孤立波はその潜堤の沖合で発生したものであり、潜堤や消波ブロックで反射した波と沖合からの波が重なり合って生じた孤立波 (三角波) であると考えられる。この孤立波は、観測機器等により測定していないので正確な値を示すことはできないが、目視観測から Fig. 1 に示した 1km 以上沖合から白波を立てて押し寄せる大波の 2 倍以上の波高であったと思われる。また、Fig. 1 に示したような大波は、20 分～30 分程度の周期で押し寄せる傾向があるが、この孤立波の発生に周期性はなく、沿岸構造物からの反射波と沖合からの波の合成により、下から突き上げるように突如発生しており、この様な巨大な孤立波を観測したのは今回が初めてで、1 回観測しただけである。ただし、波高数 m 程度の孤立波は頻繁に生じている可能性があり、小型船舶にとっては非常に危険であるので、今後孤立波が発生しやすい水域について調べる事が重要であると思われる。

沿岸に押し寄せる大波 (怒濤) については 1989 年

1月29日に新湊沿岸で撮影されているが⁽³⁾、Fig. 12の孤立波は水面が下から突き上げられるように瞬間的に盛り上がりできた波であり、1989年の怒濤とは異なっている。富山湾沿岸におけるこの様な巨大な孤立波を映像で捉えたのは、本研究が初めてであると考えている。

2012年11月10日8時から12時頃にかけて寄り回り波が侵入しており、11時頃にプレジャーボート(全長約5m)が氷見市阿尾の港へ入港しようとした時に、港の沖合約350mで突然大波を受けて転覆する海難が発生した(2012年11月11日北日本新聞参照)。幸い乗員は救助されて無事であったが、有義周期10秒以上、有義波高2m以上の寄り回り波が侵入している時は、非常に危険であり、寄り回り波の侵入が予測される場合には、小型船の出港は避けるのが適切である。

6. おわりに

富山高等専門学校では、2010年から水位観測データをデジタル記録しているが、2011年6月までは60秒間の平均水位であり、数分周期の水位変動については十分な観測ができなかった。従って、寄り回り波と水位の関係について、これまで十分な解析は行われていなかった傾向があるが、災害を防止するためには寄り回り波の特徴について正確に把握しておく必要がある。そこで、2013年4月8日に富山湾沿岸に押し寄せた寄り回り波について、水位観測データや写真撮影等のデータを用いて寄り回り波の特徴について検証した結果、既に知られている次のことを確認した⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁵⁾。

- (1) 気圧による水位変動の補正をしない場合は、侵入の1日程度前から沿岸の水位が数10cm高くなっている。
- (2) 観測水位において、天文潮汐による水位変動に加えて気圧による水位変動を補正すると、侵入の1日程度前に水位が低下し、その後水位が増加し平均的な水位になった頃に寄り回り波が侵入していた。
- (3) 侵入前には約30分周期の水位変動が存在し、侵入してからは数分周期の水位変動が存在していた。
- (4) 約20分～30分程度の周期で1km以上沖合から白波を立てて寄り回り波が押し寄せる場合がある。これらの特徴において、(2)以外は以前から指摘されていたものであり、ほぼ普遍的な特徴と考えられるが、(2)は2013年2月の水位データに基づいて最近指摘されたもの⁽⁵⁾であり、数年間分の寄り回り波侵

入時の水位データを用いて、さらに検証が必要である。そして、次の知見を新たに得た。

(1) 侵入時には、沿岸部で巨大な孤立波(三角波)が発生する場合がある。

(2) 1km以上沖合から白波を立てて約20分～30分程度の周期で押し寄せる寄り回り波は、天文潮汐を含む実際の水位が高くなっている時間帯に、発生していた。

うねり性波浪が侵入している時は、沿岸部で海底地形の影響等により生ずると思われる大波や、沿岸構造物からの反射波により生じる孤立波(三角波)に注意する必要がある、寄り回り波の侵入が予測される場合は、小型船の出港は避けた方がよい。そして、孤立波が発生しやすい水域について調べることで、及び、(4)の原因について、水位変動との関係で説明することを試みたが、大波が押し寄せた時刻と水位変動に明確な相関はみられず原因は不明であるので、この原因の解明については、今後の課題である。

謝辞

本論文をまとめるにあたり、井上篤次郎博士から貴重な助言を頂いたことに心から感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 河合雅司・笹谷敬二・千葉元・西井典子：富山湾における波浪災害に関する一考察，日本航海学会論文集，第120号，pp.137-143，2009.3.
- (2) 河合雅司・門村英城：寄り回り波・津波の予報に関する基礎研究，日本航海学会論文集，第125号，pp.129-135，2011.9.
- (3) 吉田清三：必読北陸の海難に学ぶ，海難防止研修読本，pp.207-221，1999.5.
- (4) 村上和男：最小自乗法による潮汐・潮流の調和分解とその精度，運輸省港湾技術研究所港湾技研資料，No.369，1981.3.
- (5) 河合雅司・三井正雄：富山湾の寄り回り波について，第30回技術発表会(一般社団法人海洋調査協会)で講演，2013年10月2日，一般社団法人海洋調査協会会員専用ウェブサイト論文掲載，内容：2012年11月～2013年3月までの波浪データと水位データを用いて、寄り回り波侵入時の水位(数分周期、約30分周期の変動)および能登半島先端で富山湾沿岸に押し寄せる寄り回り波を事前に捉えることができるかどうかの検証。