

# 富山湾沿岸におけるうねり性波浪の長周期ビート現象

河合 雅司<sup>1</sup>・田村 政彦<sup>2</sup>・茂田 誠<sup>3</sup>

## Long Period Beat Phenomena of Swells in a Coastal Water of Toyama Wan

Masashi KAWAI, Masahiko TAMURA and Makoto SHIGETA

### Abstract

The large swells invade the Toyama Wan from October to April every year, and cause wave disasters such as ship dragging anchor, grounding and so on, around the Toyama Wan. It is considered that the wave disasters are mainly caused by swells and water level fluctuations with long periods, and so beat phenomena of swells and periodic water level fluctuations are investigated using water level data observed from December, 2017 to March, 2018. The following results are obtained.

- (1) There were proper oscillations with periods of about 1.5 minutes, 13 minutes, 30 minutes and so on, in the coastal water of Toyama Wan.
- (2) It is confirmed that swells beat with period of about 30 minutes due to the periodic water level fluctuation with period of about 30 minutes.

These results suggest that swells beat with more long period such as a period of about 12 hours, due to ocean tide. It is a future problem to investigate a possibility that swells beat with more long period such as a period of about 12 hours, due to ocean tide.

**Keywords :** Ocean engineers, Long period waves, Swells, Beat phenomenon, Wave disasters

**キーワード:** 海洋工学, 長周期波, うねり性波浪, ビート現象, 波浪災害

### 1. はじめに

富山湾沿岸では、例年秋から春にかけて、周期 10 秒以上、波高数 m 程度のうねり性波浪が押し寄せ、船舶の転覆・漂流、越波現象等の波浪災害が繰り返して発生している<sup>(1)</sup>。伏木富山港では台風で生じた波により、2004 年 10 月に当時の航海訓練所練習船海王丸(2556 吨)が走錨・乗揚げ、2017 年 10 月には係留中の西アフリカ・トーゴ船籍の貨物船 REAL(1798 吨)が係留索の切断により漂流・乗揚げ、同じ日に富山高等専門学校の実習艇さざなみ(15 吨)が破損し

た。伏木富山港内におけるこのような災害は、台風で生じた沿岸浅瀬域における長周期波(固有振動)や、長周期波の影響によりうねり性波浪の波高が長周期波と同じ周期で変化し、その波高が周期的に大きく増大することが原因であると考えられる。

そこで、伏木富山港内におけるこのような波浪災害を防止するために、2017 年 12 月～2018 年 3 月に伏木富山港内の海老江沖に設置した波浪計のデータ等を用いて、伏木富山港内における長周期波やそれによるうねり性波浪のビート現象について調べた。

<sup>1</sup> 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

<sup>2</sup> 非会員 株式会社ソニック海象機器部 (〒190-0012 立川市曙町 1-18-2) masahiko-tamura@u-sonic.co.jp

<sup>3</sup> 非会員 株式会社ソニックカスタマーサービス部 (〒190-0012 立川市曙町 1-18-2) makoto-shigeta@u-sonic.co.jp



Fig.1 Swells surged on the Ebie coast on 23 Oct., 2017



Fig.2 The cargo ship grounded on wave dissipating blocks in Fushiki-Toyama Ko on 23 Oct., 2017

## 2. 沿岸域における波の特性

従来の研究により、沿岸域における波について、次のような特性があることが分かっている<sup>(2)(3)</sup>。

- (1) うねり性波浪が沿岸浅瀬域に浸入することにより、沿岸浅瀬域において数分周期の固有振動(長周期波)が生じる。
- (2) 移動性低気圧が富山湾周辺を通過することにより、富山湾沿岸域で 10 分～数時間周期の固有振動(長周期波)が生じる。
- (3) うねり性波浪と長周期波が相互に作用して、うねり性波浪の波高が長周期波と同じ周期で変化(ビート)し、その波高が周期的に増大する。
- (4) うねり性波浪が沿岸に押し寄せることにより、沿岸域で巨大な孤立波が生じる場合がある<sup>(4)</sup>。

このような沿岸域における長周期波(固有振動)、うねり性波浪のビート現象等の水位変動現象は、錨泊中の船舶の走錨・乗揚げ、係留中の船舶の漂流・乗揚げ事故の主な原因となっていると考えられる。

## 3. うねり性波浪と水位の観測

本研究における水位観測地点を Fig. 3 に示す。富山高等専門学校では、2015 年 3 月 18 日より富山新港内の新臨海実習場検潮室(Fig. 4)において、水晶式水位計(観測精度:0.6cm)を用いて 1 秒毎に水位観測を行っている。水晶式水位計による水位観測は、2010 年 1 月から実施しているが、2015 年 3 月 18 日以降は検潮室の位置が、富山県営渡船堀岡発着場付近の旧臨海実習場から富山新港東水路の新臨海実習場へ移転して行われている。また、国土交通省北陸地方整備局は、富山沖(36°46'51"N, 137°12'06"E, 水深

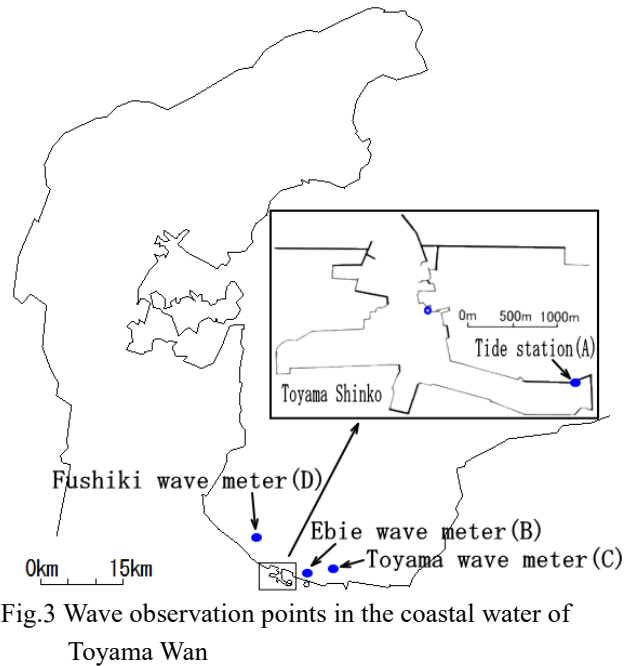


Fig.3 Wave observation points in the coastal water of Toyama Wan

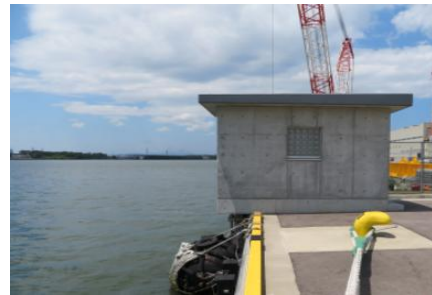


Fig.4 Tide station in Toyama Shinko

20.0m)と伏木沖(36°49'15"N, 137°04'29"E, 水深 46.4m)の2か所で超音波式波浪計を用いて 0.5 秒毎に波浪観測を行っている。さらに、富山高等専門学校と株式会社ソニックの共同研究「寄り回り波の観測に基づく予報に関する研究」(2017 年 10 月 4 日締結)で、射水市海老江沖(36°46.31'N, 137°09.56'E, 水深 10.5m)に 2017 年 12 月～2018 年 3 月まで、多機能型海象観測装置を設置して 0.5 秒毎に水位観測を行なった。この装置は、超音波センサ、水圧センサ、電磁流速センサおよび水温センサを内蔵し、装置内部の記録媒体(コンパクトフラッシュカード)に、水位、流速および水温を記録する機能を有している。しかし、内蔵されたリチウム電池(6V-30AH)4 個で約 4 か月連続観測するために、水圧センサのみ ON にし、他のセンサは OFF にして観測を行った。水圧センサは、分解能:1cm、測定精度:±0.5%FS、測定範囲:最大 20m である。

## 4. 観測データの解析結果(海老江沖)

海老江沖に設置した波浪計(Fig. 3(B)), サンプリング間隔 0.5 秒)で観測された 2017 年 12 月 1 日～2018 年 3 月 25 日までの有義波データ(有義波高と有義周

期)において、海老江沖で有義波高が 2m 以上、有義周期が 10 秒以上の寄り回り波が観測されたのは、2017 年 12 月 26 日～29 日、2018 年 1 月 3 日～4 日、1 月 10 日～11 日、1 月 24 日～26 日、2 月 18 日であった。2017 年 12 月の海老江沖で観測された波の有義波高と有義周期を Fig.5 と Fig.6 に示す。ここでは、観測期間中最も大きいうねり性波浪が押し寄せた 2017 年 12 月 26 日から約 3 日間の海老江沖 (Fig.3(B)) の水位変動について調べた結果を Fig.7 ～Fig.10 に示す。Fig.7 と Fig.8 は約 30 分周期のビ

ートが顕著に現れた時の水位変動であり、Fig.7 は、2017 年 12 月 26 日 16 時 5 分から 240 秒間、Fig.8 は 72 分間に海老江沖で観測された水位の平均水位を 0m とした海老江沖の観測水位である。ただし、潮汐による水位変動は除去したが、気圧による水位変動は除去していない。これらの図から、周期 10 数秒のうねり性波浪が、数分周期、約 30 分周期等の周期でビートしている様子が分かる。Fig.9 と Fig.10 は、2017 年 12 月 26 日 0 時 10 分から約 72.8 時間分の海老江沖 (Fig.3(B)) の観測水位から気圧による水位変

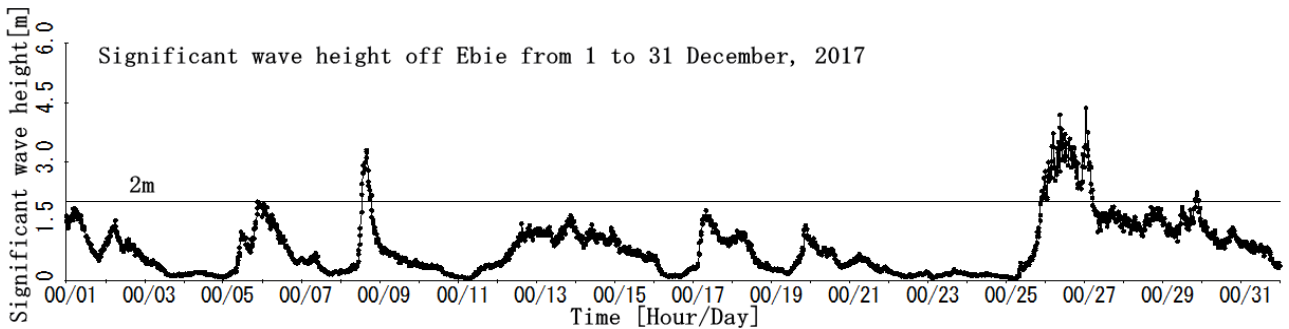


Fig.5 Significant wave height observed at Ebie in December, 2017

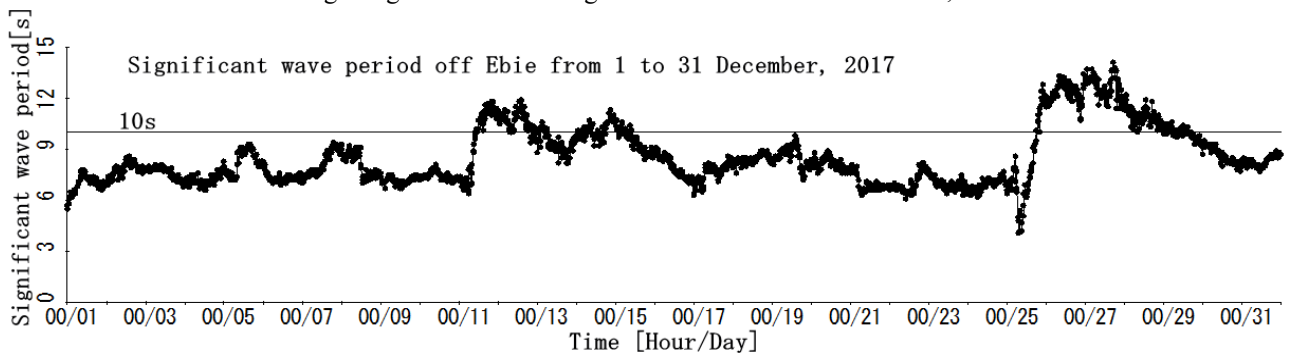


Fig.6 Significant wave period observed at Ebie in December, 2017

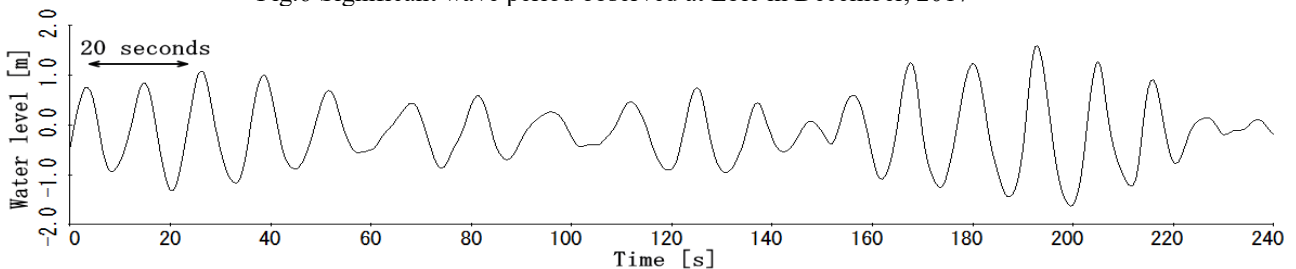


Fig.7 Water level observed off Ebie for 240 seconds after 16:05, 26 December, 2017

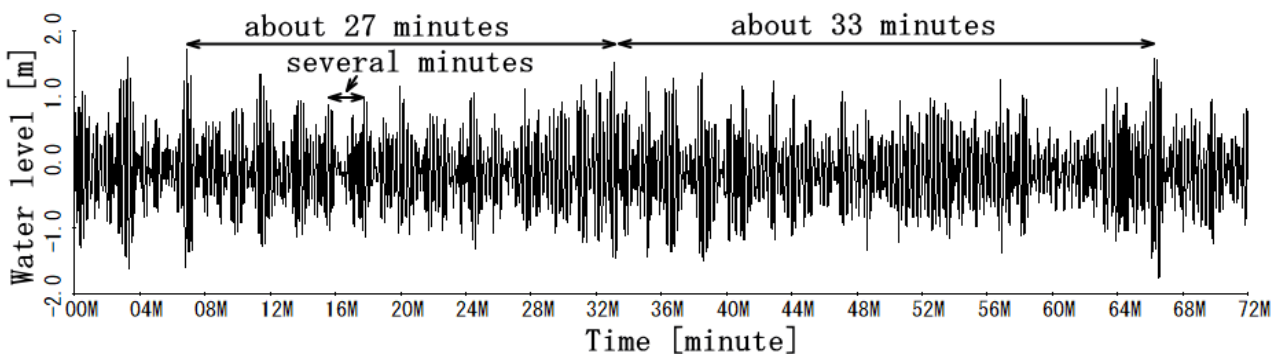


Fig.8 Water level observed off Ebie for 72 minutes after 16:05, 26 December, 2017

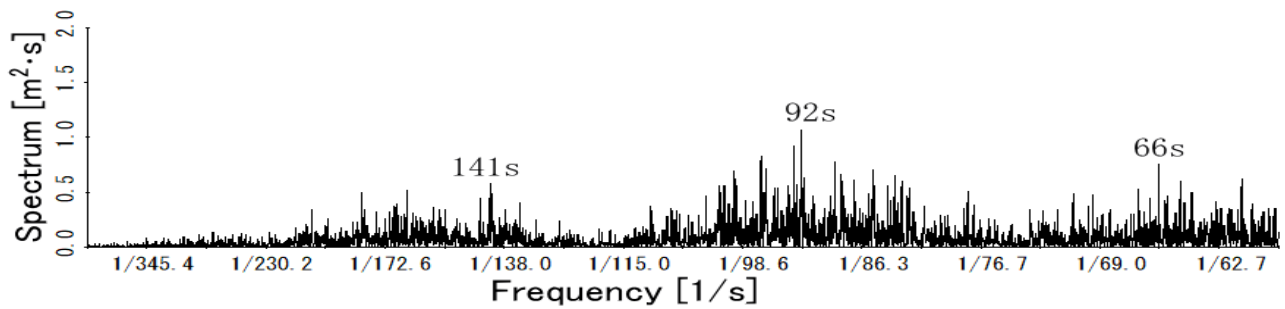


Fig.9 Spectra of waves with several minute period observed off Ebie for about 72 hours after 0:10 26 December, 2017

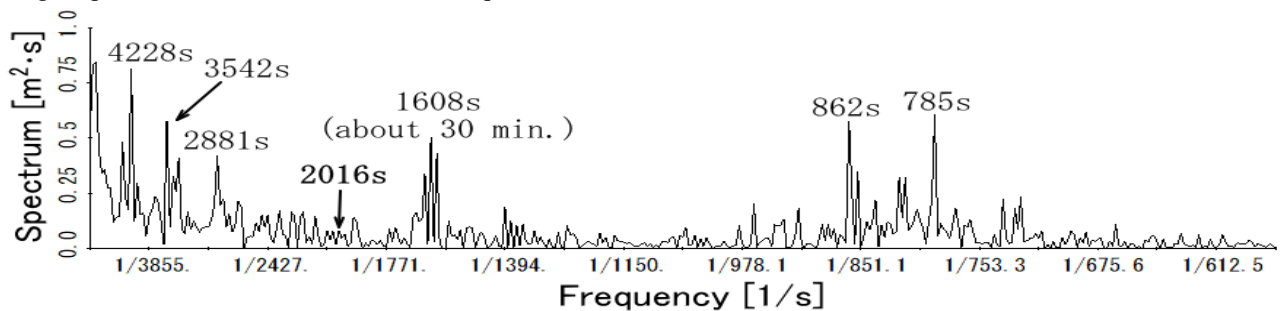


Fig.10 Spectra of waves with several ten minute period observed off Ebie for about 72 hours after 0:10 26 December, 2017

動と潮汐による水位変動を除去した水位のスペクトルである。本研究では、気圧は気象庁が伏木で観測した10分毎のデータを用いて、潮汐については気象庁が公表している富山の潮汐定数を用いて、気圧および潮汐による水位変動を計算した。

これらの図から、海老江沖には、周期1.1分、1.5分、13.1分、26.8分等の長周期波(固有振動)が存在しており、これらの長周期波によりうねり性波浪が数分周期、約30分周期等の周期でビートしていることが分かる。また、Fig.8における約30分周期のビート現象であるが、最初のビート周期は約27分、その次のビート周期は約33分になっており、2つのビート現象の周期は6分程度異なっている。海老江沖にはこの時、26.8分周期の水位変動の他に約1時間周期の水位変動が存在していた(Fig.10)。周期1608秒、波高0.07mと周期3542秒、波高0.07mの規則波を数学的に合成した波をFig.11に示す。Fig.11に示す様に、周期の異なる2つの波の合成波では、連続する2つの波の周期が若干変化する。Fig.8におけるビート周期の変化は、Fig.11に示す様に連続す

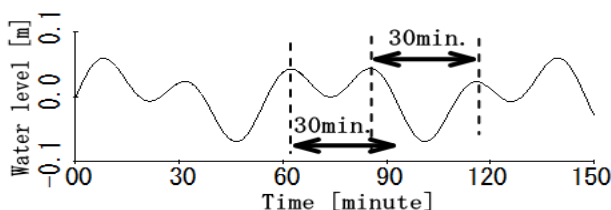


Fig.11 A composed wave of waves with periods of 27 minutes and 59 minutes

る2つの長周期波の周期が異なっていることにより生じていると考えられる。

## 5. 富山新港内の水位変動

富山新港内の水位変動の解析結果について紹介する。海老江沖で観測された水位データと同じ期間(2017年12月26日0時10分から約72時間分)に検潮室(Fig.3(A))で観測された水位(気圧と潮汐による水位変動は除去)のスペクトルをFig.12に示す。また、Fig.10とFig.12におけるピークスペクトルの値とその周期をTable1に示す。Table1より、周期1608秒(約30分周期)の富山新港内(Fig.3(A))のスペクトル値は、海老江沖(Fig.3(B))の値の7.2倍になっている。これは、富山新港内(Fig.3(A))における約30分周期の水位変動の波高は、海老江沖(Fig.3(B))における同じ波の波高の約3倍であることを示している。

次に、伏木富山港で貨物船の乗揚げ、富山高等専門学校実習艇の破損等が発生した2017年10月22日～23日の富山新港内の波について紹介する。国土交通省の富山波浪計(Fig.3(C))と伏木富山波浪計(Fig.3(D))で観測された有義波高と有義周期をFig.13とFig.14に示す。これらのデータから2017年10月23日0時頃から周期約10秒、波高4m以上の波が沿岸に押し寄せていたことが分かる。そして、検潮室(Fig.3(A))で観測された10月22日の水位をFig.15に、23日0時20分から72分間と1時10分

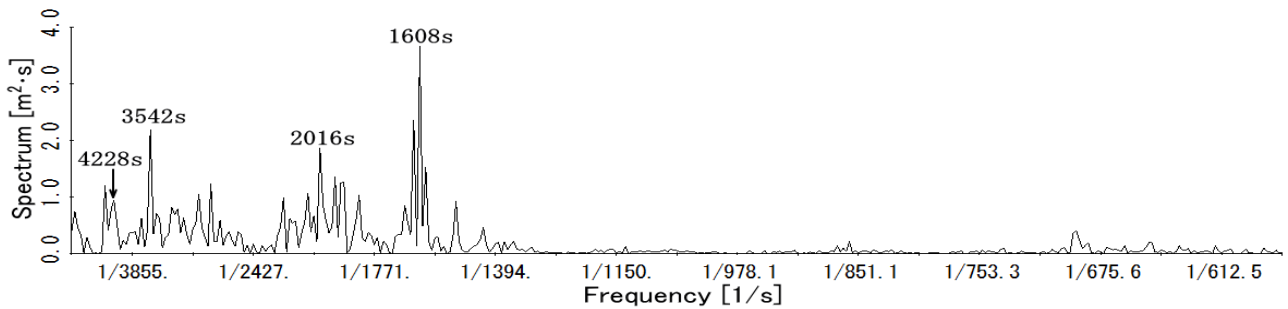


Fig.12 Spectra of waves with several ten minute period observed at tide station in Toyama Shinko for about 72 hours after 0:10 26 December, 2017

Table 1 Peak spectra of water levels observed at Point A and Point B in Fig. 3

Peri. of pk. spec. [s]	1608	2016	3542	4228
Pk. spec. (Point A) [m²s]	3.67	1.86	2.20	0.95
Pk. spec. (Point B) [m²s]	0.51	0.08	0.58	0.81

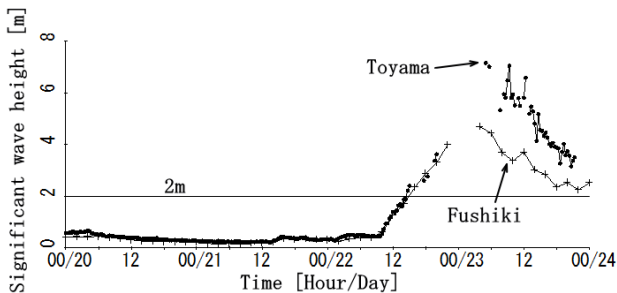


Fig.13 Significant wave height observed by Toyama wave meter and Fushiki wave meter from 20 to 23 October, 2017

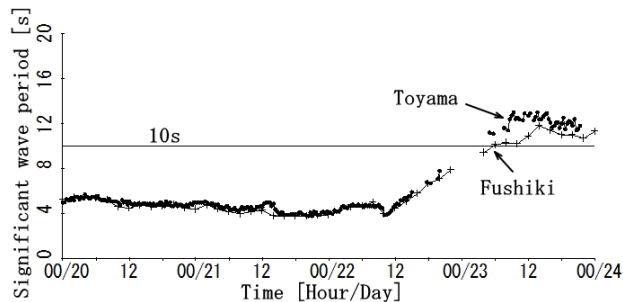


Fig.14 Significant wave period observed by Toyama wave meter and Fushiki wave meter from 20 to 23 October, 2017

から 10 分間の水位を Fig. 16(a), (b) に示す。Fig. 15 より、10 月 22 日の 12 時以降、富山新港内にうねり性波浪が侵入して港内で固有振動が生じ、これによりうねり性波浪のビートが始まり、波高が時間とともに増大していることが分かる。しかし、10 月 23 日 01 時 37 分に停電のため観測が停止し、これ以降のデータは取得できなかった。また、Fig. 16 より、周期約 10 秒の波が数分周期、約 30 分周期等でビー

トし、周期的に波高が増大していることが分かる。検潮室の場所は富山新港の最奥部であるにも係らず、23 日の 1 時頃の波高は大きい時で約 1.5m であり、この時の富山新港沖の有義波高を 5m と推定すると  $1.5\text{m}/5\text{m}=0.3$  となり、富山新港最奥部の波高は富山新港外の波の有義波高の約 30%であることが分かる。

新潟港湾空港技術調査事務所の平面水槽で行われた造波実験により、水平浅瀬域に規則波を入射すると、水平浅瀬域で長周期波(固有振動)が生じ、生じ

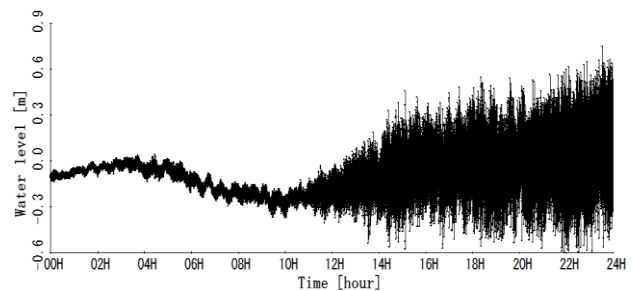
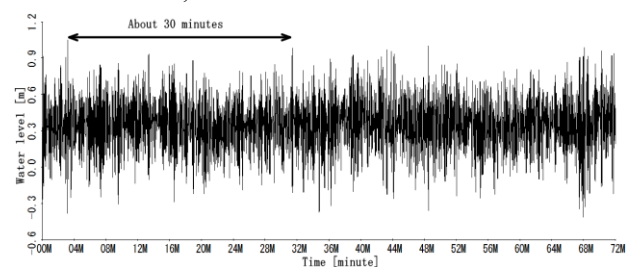
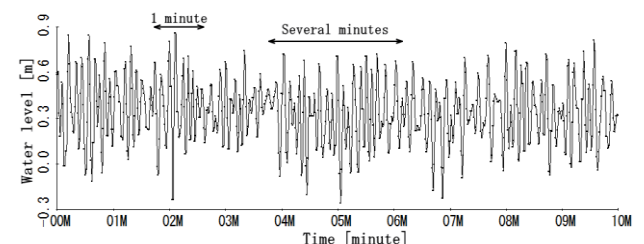


Fig.15 Water level observed at tide station on 22 October, 2017



(a) Water level for about 72 minutes after 00:20



(b) Water level for 10 minutes after 01:10

Fig.16 Water level observed at tide station on 23 October, 2017



た長周期波の影響で規則波が長周期波の周期でビートし、規則波の波高が2倍になることが分かっている<sup>(5)</sup>。スペクトル解析の結果、検潮室(Fig. 3(A))の地点では、1608 秒(約 30 分)周期の長周期波の波高は、海老江沖(Fig. 3(B))の約 3 倍であることが分かっており、検潮室におけるうねり性波浪の約 30 分周期のビート現象は、富山新港内の 1608 秒周期(約 30 分)の長周期波によるものであると思われる。また、検潮室(富山新港最奥部)付近の数分周期の長周期波は、海老江沖と比べて非常に小さく、うねり性波浪の数分周期のビート現象については、別の場所でビートしたものが、検潮室まで伝播したと思われるが、この点については検証が必要である。

## 6. おわりに

2017 年 12 月～2018 年 3 月に伏木富山港内に設置した波浪計のデータ、富山新港内検潮室の水位データを用いて、伏木富山港内の長周期波とうねり性波浪のビート現象について調べた結果、次のことが明らかになった。

- (1) 海老江沖には、うねり性波浪侵入時に数分周期、約 30 分周期等の長周期波(固有振動)が存在しており、これらの長周期波によりうねり性波浪が数分周期、約 30 分周期等でビートしていることを確認した。
- (2) 富山新港最奥部では、うねり性波浪がビートすることにより、その波の最大波高は海老江沖の波の有義波高の約 30%であった。

うねり性波浪が約 30 分周期でビートする現象については、レーダ観測による以前の研究で、ビート現象をレーダ観測により捉えた可能性があることが初めて報告された<sup>(6)</sup>。以前の研究により、約 30 分周期の水位変動によって、うねり性波浪が約 30 分周期でビートすることは分かっていた。本研究では、同様の現象を波浪計による観測で複数回捉えることにより、長周期(約 30 分周期)の水位変動によって、うねり性波浪が長周期でビートすることを確認した。

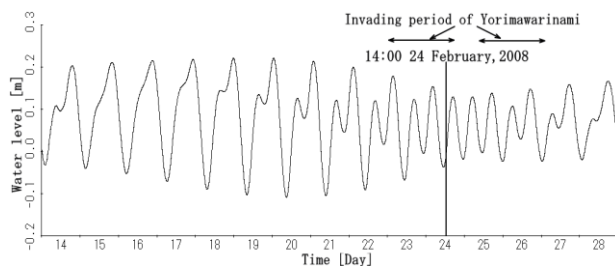


Fig.17 A relation between Yorimawarinami and tide in Toyama Wan

沿岸域における最も顕著な水位変動は潮汐である。富山湾において2008年2月に大きい寄り回り波が押し寄せた時刻と潮汐の関係を Fig. 17 に示す。寄り回り波と潮汐の関係について調べると、Fig. 17 に示す様に潮汐が1日周期から半日周期、または、半日周期から1日周期に変化する時期に大きい寄り回り波が押し寄せる傾向があることが分かる。本研究では、うねり性波浪が約 30 分周期の水位変動によって約 30 分周期でビートすることを示したが、うねり性波浪は潮汐により約 12 時間周期でビートしている可能性がある。そして、潮汐によりうねり性波浪が約 12 時間周期でビートすることの検証、および、富山新港内におけるうねり性波浪のビート現象について詳しく調べることは、今後の課題である。

## 謝辞

本研究で用いた NOWPHAS 富山波浪計と伏木波浪計(Fig. 5 の C と D)のデータは、国土交通省港湾局によって観測され、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所港湾空港技術研究所で処理されたものである。また、うねり性波浪の予測に関する共同研究の提案をし、波浪計を提供して頂くことによって本研究成果を得るきっかけを作って頂いた株式会社ソニックの三井正雄氏に心から感謝の意を表す。

## 参考文献

- (1) 吉田清三：富山湾の海難と寄り回り波, 海難防止資料, pp. 34-38, 1987. 8.
- (2) 河合雅司・後藤佑介・北村康司・川口清司：沿岸におけるうねり性波浪による水位変動の検証, 日本航海学会論文集, 第 134 巻, pp. 44-51, 2016. 7.
- (3) 河合雅司・北村康司・後藤佑介・川口清司：富山湾沿岸における長周期水位変動について, 日本航海学会論文集, 第 135 巻, pp. 19-26, 2016. 12.
- (4) 麻柄葵・河合雅司・三井正雄・眞岩一幸：2013 年 4 月の寄り回り波について, 日本航海学会論文集, 第 130 号, pp. 93-98, 2014. 7.
- (5) 河合雅司・永松宏一・後藤佑介：水平浅瀬域の固有振動と入射波のビート現象について, 日本航海学会論文集, 第 137 巻, pp. 59-65, 2017. 12.
- (6) 矢橋鮎・河合雅司・西井典子・平山圭一：レーダによるうねり性波浪観測の有効性について, 日本航海学会論文集, 第 138 巻, pp. 27-34, 2018. 7.