

沿岸長周期波の発生と伝播特性に関する研究

GENERATION AND PROPAGATION OF COASTAL LONG WAVES

青木 伸一
Shin-ichi AOKI

正会員 工博 豊橋技術科学大学 助教授 建設工学系 (〒441-8580 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)

Characteristics of generation and propagation of coastal long waves with periods of several minutes are discussed based on field data obtained at Akabane on the Enshu coast and at Are in Tsushima island. Differences in amplification of the long waves at the two locations are highlighted and discussed in relation with incident wave properties. Field data obtained by other researchers at different locations are used to compare the amplification characteristics. Wave heights of long waves at most locations are linearly proportional to the products of significant wave height and period. Generation of free long waves with large amplitude is indicated on gentle sandy beaches. Propagation of the free long waves in on-offshore and longshore directions are also discussed.

Key Words: long wave, wave amplification, wave propagation, bound wave, free wave

1. まえがき

沿岸で生じる周期数分程度の長周期波は、数秒～十数秒にエネルギーのピークをもつ通常の風波成分に比べると波高は小さいものの、港湾における副振動や係留船の長周期動揺を誘発したり^{1),2),3)}, 外洋に面した海岸や港周辺の漂砂現象に大きな影響を及ぼすことが指摘されている^{4),5)}. このような長周期波は防波堤など従来の波浪制御構造物ではコントロールすることが難しいばかりか、構造物の設置によって、かえって長周期波を増幅させたり、場合によっては新たな長周期波を生み出したりすることもありうるため、対策に苦慮している場合が多い。

このような長周期波の存在は観測によって古くから認識されており⁶⁾, 現地データの整理や種々の理論的なアプローチもなされてきたが、長周期波の増幅や伝播の特性など、その実態にはまだ不明な点が多い。ただし、近年、波高計などの観測装置の発達やコンピューターの性能向上によって時空間的に大量のデータを取得・解析することが可能になってきており、様々な状況下での長周期波に焦点を絞った現地観測により、その特性が次第に明らかになってきている。これまでの長周期波に関する研究の流れや位置づけについては、合田⁷⁾や関本⁸⁾が詳細なレビューを行っている。本研究は、著者らが行った2地点での現地観測結果を中心に、その他の研究者の観測結果もまじえて、長周期波浪の増幅と伝播に関する諸特性について考察したものである。

2. 現地観測の概要

著者らは、渥美半島太平洋岸の直線的な砂浜海岸に位置する赤羽根漁港沖(海底勾配0.01程度、波高計設置水深12~14m)において、1996年以来継続して台風期の波浪観測を行ってきた^{9),10),11)}. 図-1は各年の波高計の設置位置を示したものである。また、2001年2月~3月の期間、長崎県対馬の西海岸(岩礁海岸)に位置する阿連漁港沖および港内において冬期風浪の観測を行った。阿連漁港周辺の地形と波高計(3台)の設置位置を図-2に示す。沖側の波高計の設置水深は約21mである。

3. 長周期波の増幅特性

(1) 長周期波の分類と出現特性

比較的波高の大きな時期の波浪データ(潮汐成分は除く)をスペクトル解析すると、通常は周期20~30秒付近にエネルギーの極小値が現れ、それより長周期側で再びエネルギーが増大している場合が多い。この長周期波成分のうち、周期20秒~数分程度の波は、一般に20秒以下の風波やうねりの波浪特性との関連性が強く、特にその卓越周期は波群の包絡波の周期にほぼ対応している。一方、数分程度以上の長周期波は、短周期の波成分との関連性が低い場合が多く、気圧変動や風などの気象擾乱が原因で発生していると考えられている。本研究では、一般的ではないが、便宜上、前者を波群性長周期波、後者

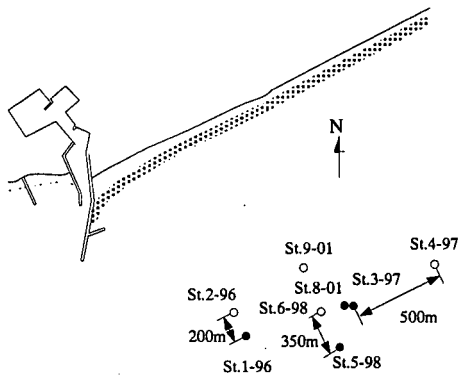


図-1 赤羽根漁港沖での波高計の配置

(各年とも2台の波高計を用いて同時観測。●は超音波式水位計, 水圧計および流速計を, ○は水圧計と流速計のみを有する波高計。前者については2時間おきに40分間, 後者については連続観測。サンプリング周波数は2Hz)

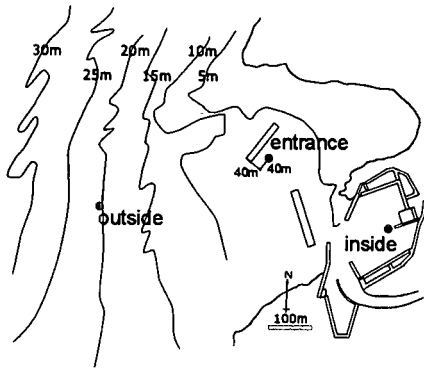


図-2 阿連漁港内外の波高計の配置

(図中の沖および港口部の波高計については超音波水位計, 水圧計および流速計を, 港内の波高計は水圧計と流速計のみを有する。沖および港内の波高計では連続データを, 港口部の波高計は2時間おきに40分間のデータを取得。サンプリング周波数はいずれも2Hz。)

を気象性長周期波と呼ぶことにする。長周期波に関する研究の多くは前者の波群性長周期波を対象としているが、本研究ではさらに周期の長い気象性長周期波まで含めて取扱うことにする。ただし、潮汐による数時間周期の変動までは含めない。

図-3および図-4は、赤羽根および阿連(沖側)における長周期波の時系列から求めたRMS値(標準偏差)の経時変化を有義波高と有義波周期の変化とともに示したものである。ただし長周期波成分の分類については、そのスペクトル形状より、赤羽根では30~300秒を波群性長周期波、300秒以上の波を気象性長周期波と定義した。一方阿連においては、風波の周期が短いことから、20~200秒の波を波群性長周期波、200秒以上の波を気象性長周期波とした。これらの波の抽出は、いずれもフーリエ変換による数値フィルターを用いて対象とする周期帯の波の時系列を再構成することにより行っている。

図-3および図-4より、両地点とも、波群性長

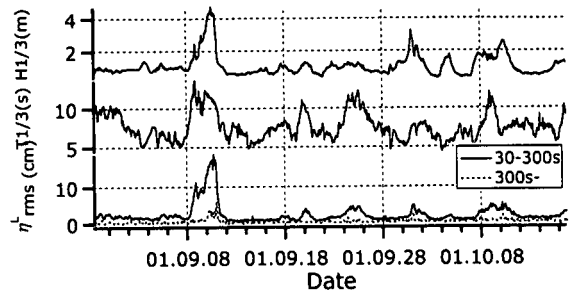


図-3 赤羽根における長周期波の経時変化 (St.8-01での観測値)

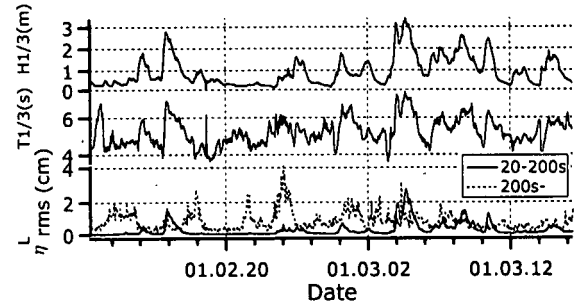


図-4 阿連における長周期波の経時変化 (沖側波高計の観測値)

周期波は有義波高および有義波周期の増大とともに増大する傾向がはっきり現れている。ただし、赤羽根の方が全体的にエネルギーレベルが高い。一方気象性長周期波については、両地点とも大きさは同程度であるが、阿連では波群性長周期波が小さいため、気象性長周期波が相対的に大きくなっている。また、特に阿連においては、気象性長周期波は有義波高や有義波周期と無関係に発生している場合も多く見られる。

(2) 赤羽根と阿連での長周期波の増幅特性

図-5および図-6は、それぞれ赤羽根および阿連における2種類の長周期波のRMS値を有義波高と有義波周期の積 $H_{1/3}T_{1/3}$ を横軸にとって示したものである。ただし、図-5では、波群性長周期波については5年間の全てのデータセット(約1200個)を、気象性長周期波については2001年の観測値のみをプロットしている。これより、赤羽根では波群性長周期波のRMS値は、 $H_{1/3}T_{1/3}$ にほぼ線形的に増加すると見ることができ、その比例定数は0.003 [1/s]程度である。また、気象性長周期波については、増幅率が極めて小さいことがわかる。一方、図-6の阿連の観測値を見ると、赤羽根に比べて増幅率が非常に小さく、 $H_{1/3}T_{1/3}$ との関係も2次関数的な変化を示している。また、 $H_{1/3}T_{1/3}$ の小さな範囲で、大きな気象性長周期波が現れている点が特徴的で、その値は荒天時の波群性長周期波よりも大きいものも

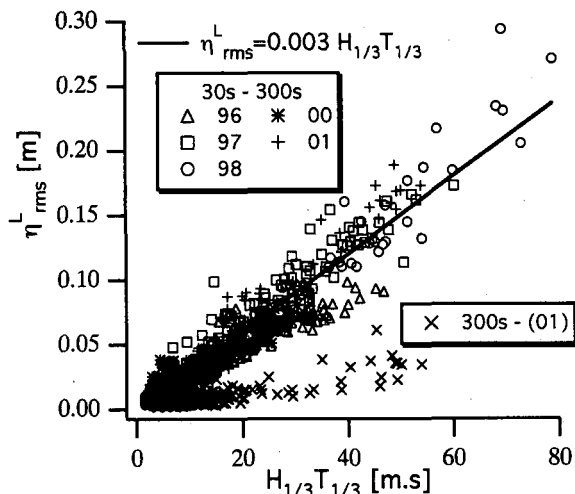


図-5 赤羽根における長周期波の増幅特性

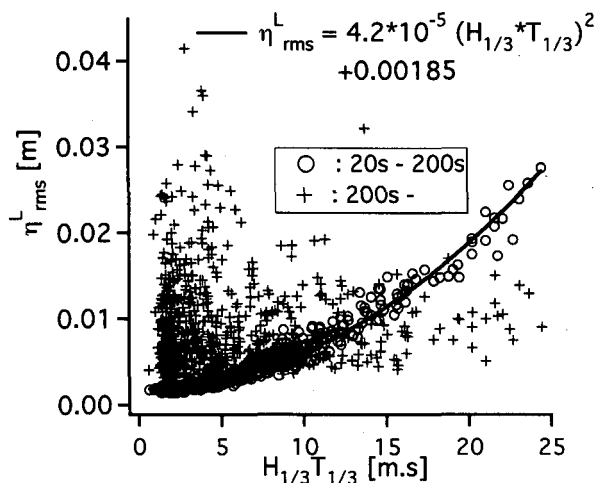


図-6 阿連における長周期波の増幅特性

みられる。以上のように、赤羽根と阿連のように、波浪条件や地形条件が異なる海岸での長周期波の増幅特性は大きく異なることがわかった。

(3) 長周期拘束波の特性

ここでは、波群性長周期波について若干理論的な考察を行う。波群性長周期波には、波群を構成する短周期波の非線型干渉によって生じて波群とともに進行する拘束波と、波群の変形過程で生じる自由波が存在する。発生機構から明らかなように、拘束波は、ローカルな波浪特性のみによって決まることから、図-5および図-6のような関係を見る場合には、拘束波の波高および周期への依存性をあらかじめ把握しておく必要がある。拘束波の理論については、Yoshida¹²⁾、Longuet-Higgins and Stewart¹³⁾、Ottesen-Hansenら¹⁴⁾等によって一方向進行波に関する解が示されている。またSand¹⁵⁾は進行方向の違いを考慮した解析解を示している。

Ottesen-Hansenらの一方向進行波の解を用いると、振幅(=a)が等しく、周波数が ω (波数k)と

$\omega + \Delta\omega$ (波数 $k + \Delta k$)の2つの波の2次干渉による長周期拘束波(周波数 $\Delta\omega$ で群速度 $c_g = \Delta\omega / \Delta k$ で進行する波)の解は、 $\Delta\omega / \omega$ が微小であるとする、次式で与えられる。

$$\frac{|\eta^L|}{h} = \frac{n\beta^2/\alpha + \beta^2/(\cosh 2\beta - 1) \frac{a^2}{h^2}}{n^2 - \beta^2/\alpha} \quad (1)$$

ここに、 $|\eta^L|$ は拘束波の振幅、 h は水深、 n は波速と群速度の比であり、 $\alpha = \omega^2 h / g$ 、 $\beta = kh$ とおいている。さらに、浅海波($kh \ll 1$)の近似を行うと、次式を得る。

$$\frac{|\eta^L|}{h} = \frac{3}{8\pi^2} \frac{gT^2}{h} \frac{a^2}{h^2} \quad (2)$$

(1)式と(2)式を比較して、(2)式の適用限界をみたのが図-7である。図は、各式の右辺の a^2/h の前の係数を G^* とし、 $\sqrt{g/h}T$ の関数としてプロットしたものであるが、 $\sqrt{g/h}T > 4$ の範囲では両者はほぼ一致している。この限界は、 $h=30\text{m}$ で $T > 7\text{s}$ 、 $h=10\text{m}$ で $T > 4\text{s}$ である。成分波の振幅 a の代わりに波高 H を用いて(2)式を変形すると

$$\frac{|\eta^L|}{h} \sim \frac{gT^2 H^2}{h^3} \quad (3)$$

となり、上記条件を満たす浅海域では、拘束波の振幅は波高と周期の積の2乗に比例することがわかる。図-6の阿連の増幅傾向はこの拘束波の特性をよく表している。従来は、拘束波の波高と有義波高との関係が論じられることが多かったが、有義波高と有義波周期の積で整理した方が現地データがよくまとまるのは上記の性質のためであろう。

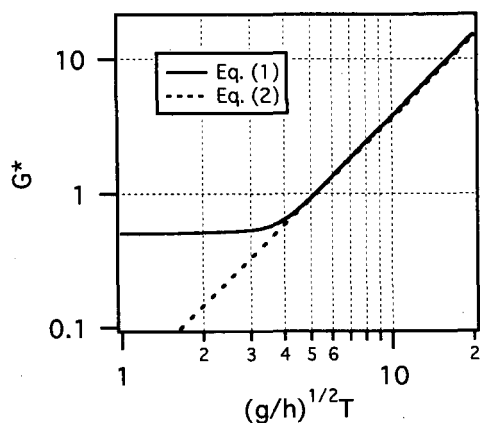


図-7 拘束波の伝達関数

(4) 波群性長周期波の増幅特性の比較

次に、日本の沿岸で観測されたいくつかのデータを用いて、上記の整理法で増幅特性を比較してみる。用いたデータは表-1に示す4種類である。い

いずれも水深が比較的大きな地点での観測データであるが、長周期波の増幅特性を比較するには、現象の複雑な砕波帯内よりも沖側の方が性質をとらえやすいと考えたためである。これらのデータには、周期の大きな気象性長周期波も含まれていることが考えられるが、ここでは特に配慮していない。図-8は長周期波のRMS値を $H_{1/3}T_{1/3}$ に対してプロットしたものである。ただし、長周期波の有義波高として与えられているデータは、1/4倍することによりRMS値に変換している。苫小牧のデータについては、渥美らにより赤羽根と同一の近似式が与えられており、図中に実線で示してある。これより、平塚、直江津、波崎のデータについては、 $H_{1/3}T_{1/3} > 10$ の範囲ではほぼ同程度の増幅率を示しており、概ね $H_{1/3}T_{1/3}$ に線型に変化していることがわかる。ただし、増幅率は赤羽根および苫小牧の2/3程度になっている。図中には図-6に示した阿連（対馬）における近似式も破線で示してあるが、平塚での長周期波の小さなケースは阿連と変動特性が似ている。

以上のように、 $H_{1/3}T_{1/3}$ と長周期波のRMS値の関係を波浪および地形条件の異なる数箇所のデータで

比較したところ、拘束波の特徴を示す対馬のデータは他の地点に比べて長周期波が非常に小さく、増幅特性も異なることがわかった。 $H_{1/3}$ あるいは $H_{1/3}T_{1/3}$ に線型な増幅特性を裏付けるデータは他の研究者によっても示されている^{20),21)}。よく用いられている合田の予測式⁷⁾も H/h が小さい場合には波高と周期の積に線型な表現式となっている。Okihiro²²⁾らは、数地点で得られた波浪データを用いて、方向分散を考慮した拘束波の計算を行って長周期波の観測値と比較している。その結果、拘束波の計算値は観測値に比べてかなり小さくなり、観測された長周期波の波高は有義波高と線型な関係を示すことが述べられている。また、Herbersら^{23),24)}は、拘束波をバイスペクトルを用いて求めているが、やはり観測値は計算された拘束波よりも大きく現れており、自由波のエネルギーが大きいと述べている。Bowers²⁵⁾は方向分散を考慮して拘束波を計算し、実測値との差を自由波としてその増幅特性をいくつかの地点の観測値を用いて調べている。その結果、自由波の波高は、有義波高に対しては0.93~1.32乗、スペクトルピーク周期に対しては0.99~1.59乗にそれぞれ比例するような近似式を得ている。Herbersら²⁴⁾も、計算した拘束波を実測値から差し引くことによって自由波を求め、その特徴を調べているが、やはり自由波のエネルギーについては短周期波のエネルギーと線型に近い関係にあることを示している。さらに彼らは、自由波の大きさや地形の関係についても論じており、大陸棚の幅が狭い海岸や岩礁海岸では自由波のエネルギーが小さいと述べている。

以上のような研究成果から類推すると、長周期波が $H_{1/3}T_{1/3}$ に線型に増幅するケースでは、拘束波に比べて自由波が卓越して存在していると考えられる。自由波の発生原因については様々な要因が考えられており、関本⁸⁾は種々の要因について詳細に検討している。基本的に自由波の発生は波群の変形と関連づけられるため、拘束波と自由波の増幅特性は類似していると予想されるが、砕波のような大規模なエネルギー逸散を伴う過程で自由波が生じる場合には、その増幅特性が拘束波と異なった性質を有することも考えられる。事実、Symondsら²⁶⁾によって提案された砕波点の変動モデルを用いれば、発生する自由波は砕波波高に線型的となりうることを示されており^{8),27)}、また実測結果により、汀線での長周期変動の振幅は砕波波高に比例することもわかっている²⁸⁾。これらより、砕波帯沖合で観測される自由波は、砕波帯から沖方向に伝播してきたものと考えるのが妥当であろう。したがって、Herbersら²⁴⁾が指摘したように、岩礁海岸では大規模な砕波が生じないため、自由波の発生が小さくなることが予想される。本論文で示したように、阿連では波群長周期波

表-1 比較に用いた現地データの詳細

出典	場所	期間	海岸性状	水深 (m)	砕波点付近海底勾配	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (s)
藤縄ら ¹⁶⁾	相模湾奥平塚	1974 台風来襲時	河口近傍の砂浜海岸	20	0.03	0.5~3	10.5~16
渥美ら ¹⁷⁾	苫小牧東港沖	1992~1996 の長周期波高5cm以上のケース	港湾近傍の砂浜海岸	18.5	0.005	-	5~20
中畑ら ¹⁸⁾	新潟直江津港沖	1999年 冬期風浪	港湾近傍の砂浜海岸	25	0.015	~5.5	5.5~10.5
栗山ら ¹⁹⁾	茨城波崎	1997年 冬期風浪	砂浜海岸	24	0.01	~5	5.5~13.5

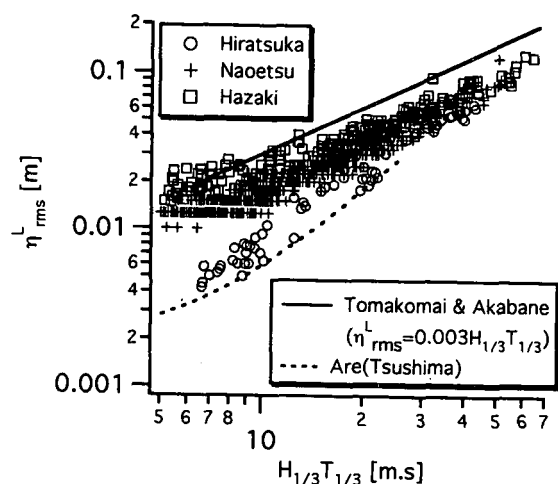


図-8 長周期波の増幅特性の比較

成分が小さく拘束波が卓越していたのはそのためであろう。それに対して、苫小牧や赤羽根では広い砂浜海岸で生じる大規模な砕波の影響で自由波のエネルギーが大きくなっていることが予想される。

長周期波の実測データを解析した文献の中には、拘束波によって沿岸の長周期波が説明できるとする論文も数多く見かける²⁹⁾。著者ら¹¹⁾は、成分波の主波向きを考慮して時系列レベルで拘束波を計算する近似計算を提案し、赤羽根の観測データについて拘束波と自由波の分離を行ったところ、実測長周期波と拘束波の波高が同程度であっても、位相のずれにより拘束波と同程度の自由波が存在していることを示しており、エネルギーレベルだけの比較では自由波の存在を見落とす可能性があることに注意する必要があるであろう。図-9は赤羽根の96年の岸沖方向流速成分に対して拘束波と自由波を分離した例である。

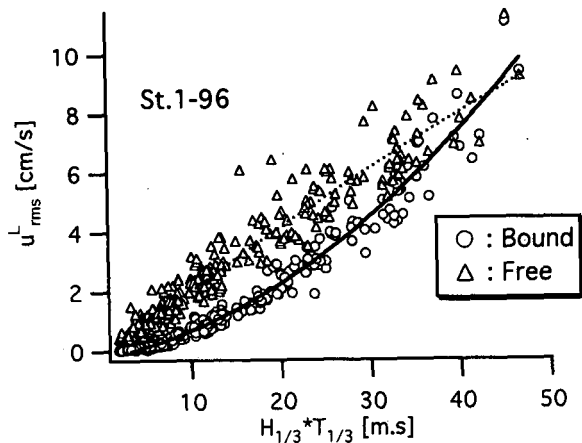


図-9 流速成分に対する拘束波と自由波の分離

4. 長周期波の伝播特性

(1) 波群性長周期波の伝播

前述したように、拘束波についてはローカルな波条件で決まるため、伝播特性が問題になるのは自由波の方である。砕波帯で発生した自由波は、沖向きあるいは沿岸方向に伝播し、条件によっては沿岸域にトラップされると考えられる。図-10は、赤羽根における長周期波の底部流速のRMS値の経時変化を、岸沖方向と沿岸方向に分けて示したものであるが、沿岸方向にも岸沖方向と同程度の流速成分が存在しており、その増幅特性も類似している。また、岸沖および沿岸方向に離れた2地点の流速変動の相関を調べたところ、いずれも高い値を示し、岸沖および沿岸方向への長周期波の伝播を確認することができた。同じ赤羽根のデータに対して、山村ら¹⁰⁾は2地点間の相互相関を用いて、またHossainら³⁰⁾は、新しい入反射分離法を用いて岸沖方向に伝播する波の特性を解析しているが、いずれも波高が大き

くなると、岸向きに拘束波が、沖向きに自由波が卓越して伝播していることを示している。

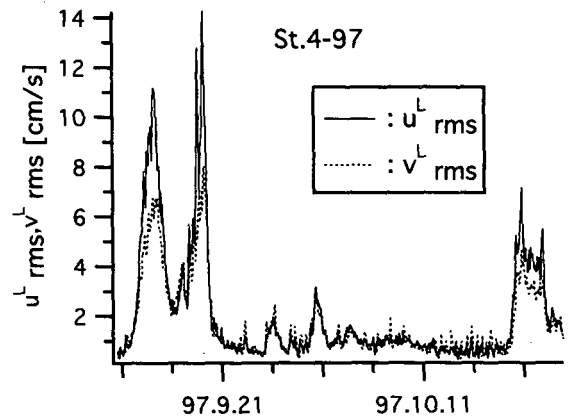


図-10 岸沖(u)および沿岸(v)方向流速のRMS値の経時変化(赤羽根97年)

(2) 気象性長周期波の伝播

3. では波群生長周期波の増幅特性のみ述べたが、気象性長周期波については、その発生・増幅のメカニズムがまだよく分かっていない。図-4に示した阿連における気象性長周期波の増幅については、気圧データと対比したところ、低気圧が通過する際に大きな長周期波が発生することが多いことが分かったが、気圧データの分解能などの問題から、要因を特定することは難しい。図-11は、図-2に示す3台の波高計による水面波形の記録から求めた、200秒以上の成分の波の時系列を示したものであるが、長周期の変動が港外から港内に伝播し、伝播とともに増幅されている様子が見られる。したがって、このような気象性長周期波は、沿岸で発達するのではなく、沖合で発達し沿岸に伝播してくる性質のものであろうと推察される。

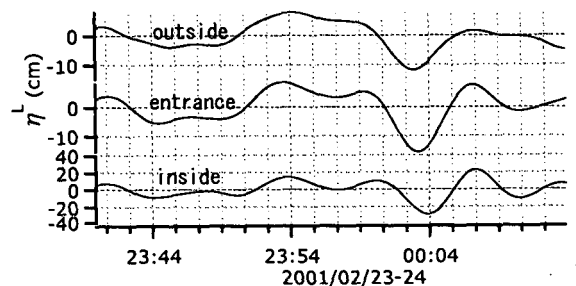


図-11 長周期波の港内への伝播の例(阿連)

5. あとがき

本論文では、著者らが行った赤羽根および阿連での観測データを解析するとともに、他の研究者のデータの再整理と文献レビューにより、長周期波の

増幅特性と伝播についてその特性を論じた。異なる論文を読む度に異なる結論に出会うといった状況で、やや強引に議論を展開してみた。依然として不明な点が多いが、近年精力的に行われている数多くの観測データの蓄積と理論的な研究により、ぼんやりとはあるが、長周期波の特性が明らかになりつつあるといったところであろう。

謝辞：本研究を行うにあたり、豊橋技術科学大学院生の岡辺君にはデータの解析に尽力戴いた。また、対馬の観測では、大阪大学の出口教授・荒木助手、復建調査設計の河野・原・稲垣の諸氏、阿連漁協の新宮氏、および(有)アイオーテクニクの井戸氏に大変お世話になった。ここに記して謝意を表す。また、本論文を書くに当たり快くデータを提供していただいた、国土交通省港湾空港研究所の栗山氏、五洋建設(株)の花山氏および上越共同火力(株)の方々には感謝するとともに、五洋建設(株)の関本氏には、論文執筆の機会を与えていただいたことに御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 山本正昭：銚子漁港内外の長周期波の通年観測，第29回海講論文集，pp.198-203，1982。
- 2) 菅沼史典，神谷昌文，渥美洋一，小泉信男：現地観測による長周期波の発生頻度と船体動揺発生予測の検討，海岸工学論文集，第42巻，pp.951-955，1995。
- 3) 田端竹千穂，田所篤博，平石哲也，玉城重則：港湾における長周期波の増幅現象に関する現地観測，海岸工学論文集，第42巻，pp.301-305，1995。
- 4) 加藤一正，柳島慎一，栗山善昭，磯上知良：荒天時のバーム地形の侵食—長周期波に着目した現地観測—，海岸工学論文集，第36巻，pp.354-358，1989。
- 5) 松本朗，松岡道男，中山哲巖，山本潤，灘岡和夫，八木宏：中小港湾埋没機構解明に向けての長期連続現地観測の試み，海岸工学論文集，第40巻，pp.491-495，1993。
- 6) 宇野木早苗：港湾のセイシュと長周期波について，第6回海講論文集，pp.1-10，1959。
- 7) 合田良実：不規則波浪に伴う長周期波の諸研究について，第31回水工学に関する夏季研修会講義集，Bコース，pp.B-6-1-20，1995。
- 8) 関本恒浩：港湾内外の長周期波の特性とその評価に関する研究，中央大学学位論文，130p.，1999。
- 9) 青木伸一，喜岡渉，山村易見，舟橋香，相川久紀：台風の通過に伴う沿岸長周期波の増幅と伝播に関する現地観測，海岸工学論文集，第44巻，pp.216-220，1997。
- 10) 山村易見，青木伸一：外洋に面した小規模港湾内外における長周期波の挙動，海岸工学論文集，第45巻，pp.311-315，1998。
- 11) 山村易見，青木伸一，舟橋香：入射波の方向分散を考慮した拘束長周期波の推定と自由長周期波の伝播特性，海岸工学論文集，第46巻，pp.286-290，1999。
- 12) Yoshida, K.: On the ocean wave spectrum, with special

- reference to the beat phenomena and the "1-3 minute waves", J. Oceanogr. Soc. Japan, Vol.6, No.2, pp.49-56, 1950.
- 13) Longuet-Higgins, M. S. and R. W. Stewart: Radiation stress and mass transport in gravity waves, with application to surf beat, J. Fluid Mech., Vol.13, pp.481-540, 1962.
 - 14) Ottesen-Hansen, N. E., S. E. Sand, H. Lundgren, T. Sorensen and H. Gravesen: Correct reproduction of group-induced long waves, Proc. 17th ICCE, pp.784-800, 1980.
 - 15) Sand, S. E.: Long waves in directional seas, Coastal Engineering, Vol.6, No.3, pp.195-208, 1982.
 - 16) 藤縄幸雄，岡田憲司，渡部勲：波浪に伴う長周期波の特性(I)，国際防災科学技術センター研究報告，第15号，pp.159-191，1976。
 - 17) 渥美洋一，和歌山義樹，國田淳，関口信一郎，川口勉，平石哲也，青木伸一，上田茂：長周期波の港内侵入過程の現地観測と長周期波高予測式の検討，海岸工学論文集，第44巻，pp.221-225，1997。
 - 18) 中畑禎，落合敏浩，柏原裕彦，花山格章，森屋陽一，関本恒浩：冬期日本海の現地観測に基づく浅海域への入射長周期波の評価，海岸工学論文集，第48巻，pp.256-260，2001。
 - 19) 栗山善昭，山田貴裕，西守男雄：沿岸砂州と長周期波との相互作用に関する現地観測，海岸工学論文集，第48巻，pp.156-160，2001。
 - 20) 笠井雅広，佐藤慎司：台風に伴う波浪と長周期変動，海岸工学論文集，第46巻，pp.301-305，1999。
 - 21) 堀沢真人，佐藤典之，大中晋，青野利夫，Eric C. Cruz，早川淳：港内外長周期波の現地観測とその予測手法，海岸工学論文集，第45巻，pp.301-305，1998。
 - 22) Okihiro, M., R. T. Guza and R. J. Seymour: Bound infragravity waves, J. Geophys. Res., Vol.97, No.C7, pp.11.453-11.469, 1992.
 - 23) Herbers, T. H. C., S. Elgar and R. T. Guza: Infragravity-Frequency (0.005-0.05) Motions on the shelf. Part I: Forced waves, J. Physical Oceanogr., Vol.24, pp.917-927, 1994.
 - 24) Herbers, T. H. C., S. Elgar R. T. Guza, and C. O' Reilly: Infragravity-Frequency (0.005-0.05) Motions on the shelf. Part II: Free waves, J. Physical Oceanogr., Vol.25, pp.1063-1079, 1994.
 - 25) Bowers, E. C.: Low frequency waves in intermediate water depth, Proc. 23rd ICCE, pp.832-845, 1992.
 - 26) Symonds, G., D. A. Huntley and A. J. Bowen: Two-dimensional surf beat: long wave generation by a time-varying breakpoint, J. Geophys. Res., Vol.87, No.C1, pp.492-498, 1982.
 - 27) Mizuguchi, M.: A simple analysis of long wave generation by time-varying breakpoint, Coastal Engineering in Japan, Vol.38, No.2, pp.105-110, 1995.
 - 28) Huntley, D. A., M. Davidson, P. Russell, Y. Foote and J. Hardisty: Long waves and sediment movement on beaches: Recent observations and implications for modelling, J. Coastal Res., Vol.15, pp.215-229, 1993.
 - 29) 永井紀彦，橋本典明，清水勝義，平井宣典，伊藤一教，東江隆夫：長期連続観測による沖合長周期波の変動特性，海岸工学論文集，第43巻，pp.216-220，1996。
 - 30) Hossain, A., 北野利一，喜岡渉：沖浜における長周期波の挙動，海岸工学論文集，第48巻，pp.271-275，2001。