

冬期日本海における波浪・長周期波の現地観測

FIELD OBSERVATION ON LONG-PERIOD WAVES AT A NEARSHORE AREA OF THE JAPAN SEA DURING WINTER

中畑 禎¹・落合敏浩²・柏原裕彦³・関本恒浩⁴・花山格章⁵

Tadashi NAKAHATA, Toshihiro OCHIAI, Hirohiko KASHIWABARA, Tsunehiro SEKIMOTO
and Masaki HANAYAMA

¹工修 上越共同火力発電株式会社 技術部 (〒942-0001 新潟県上越市中央 3-14-15)

²上越共同火力発電株式会社 技術部 (〒942-0001 新潟県上越市中央 3-14-15)

³株式会社日本港湾コンサルタント (〒942-0011 新潟県上越市港町 1-9-1)

⁴正会員 博(工) 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須郡西那須野町四区町 1534-1)

⁵正会員 工修 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須郡西那須野町四区町 1534-1)

A filed observation on waves and long-period waves were conducted at the nearshore area of Naoetsu port during winter. Water surface elevations and water velocities were measured at 9 points inside and outside the Naoetsu port. The spectral properties of long-period waves were investigated. Comparing between observed long-period and bound waves calculated from primary wave spectra, it is confirmed that the long-period wave component in the nearshore area is mostly free wave.

key Words long-period waves, filed ovservation, bound waves

1. はじめに

港内係留船舶の動揺や海浜地形変化など港湾周辺の工学的な問題に長周期波(周期数十秒~数分の水面変動)が深く関わっていることが、近年の研究から指摘されている。こうした問題を解決するためには、長周期波の特性を把握するとともに、精度よく予測することが必要となる。

長周期波については、近年多くの現地観測が実施されたことにより良質のデータが蓄積されつつある(例えば、栗山ら, 2000¹⁾)。また、現地観測とともに水理模型実験およびブシネスク方程式などの非線形波動方程式を用いた数値解析を行うことにより、発生・発達機構および方向特性などが明らかになりつつある。しかしながら、長周期波は空間的に非常に広い範囲における現象であること、また、基本波と比較した場合に水位変動が微少な現象であることから、理論の検証について十分行われているとは言い難いのが実状である。

本研究では、日本海に面する直江津において波浪の現地観測を実施し、長周期波を含む波浪場について平面的な特性の評価を行った。また、長周期波の発生、発達機構の解明に向けた基礎資料として、関本・水口(1995)²⁾の方法

を用いることにより、通常波浪成分から長周期拘束波を算出するとともに、長周期成分と長周期拘束波の残差を自由長周期波とすることにより、長周期拘束波と自由長周期波についてエネルギー的な分離を試み、空間的・時間的変化の評価を実施した。

2. 現地観測の概要

図-1に示すように、日本海に面する新潟県直江津港内外において1999年1月18日~2月18日にかけて、9台の水

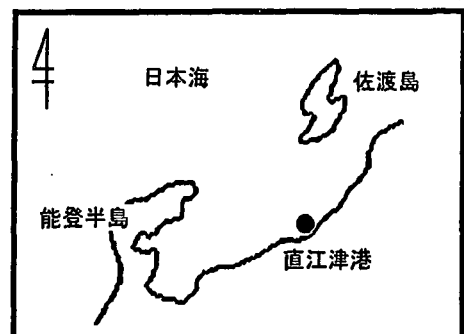


図-1 現地観測地点位置

圧センサー付超音波式波高計・2成分電磁流速計を設置し、波浪の現地観測を実施した。図-2に港湾形状および計測器配置図を示す。表-1に観測機器一覧を示す。港外には水深25mのA1地点から岸沖方向にA4地点（水深10m）まで波

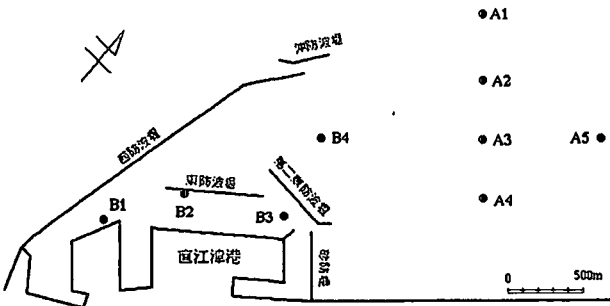


図-2 港湾形状および観測機器設置位置

表-1 観測機器一覧

計測項目	計測装置	装置名称	台数
波高・流速	水圧センサー付電磁流速計 超音波波高計	WAVE-HUNTER 94Σ	9

高計を設置した。また、沿岸方向には港口（B4地点）から直線的になるよう（A5地点、水深15m）波高計を設置した。港内には3地点と港口に設置した。

観測のサンプリング間隔は0.5secの連続観測を実施した。また、港外に設置した波高計（図中A1～A5）については無線テレメータにより陸上に設けられた受信局を通じ、同期を確保した。

観測された波浪データについて、水位変動のスペクトル解析結果から、波浪成分（周期20秒以下）および長周期波成分（周期20秒以上）を定義して水位変動および流速変動について正時から1時間ごとのデータセットを作成し、統計処理を実施した。

3. 現地観測結果

(1) 港外波浪特性

a) 経時変化

図-3に統計処理結果として、港外各点（A1～A5地点）の有義波高および長周期有義波高の経時変化を示す。観測期間中、4.0mを越える有義波高が観測されたのは、2月4

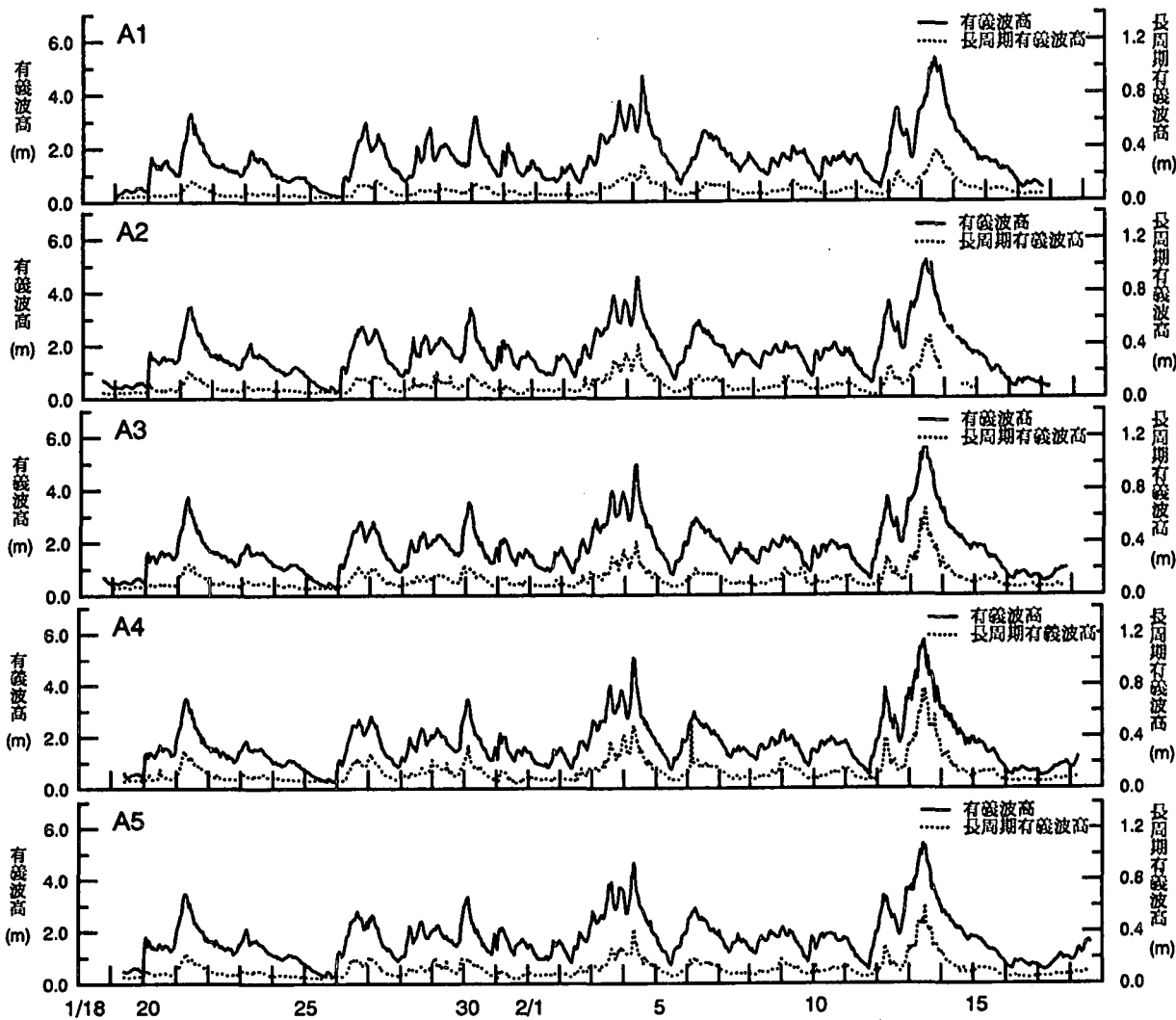


図-3 港外波浪の経時変化

日と2月13日の時化である。観測地点中もっとも沖側のA1地点における最大有義波高は2月13日9:00の5.31m、長周期波成分の最大有義波高も同時刻の0.37mであった。

2月13日の高波浪について着目すると、A1～A3地点までは有義波高が5mから6mへと増大しているが、A4地点で減少していることがわかる。この結果は、この時間帯における碎波帯がA4地点の沖側であったことを示している。

長周期波高については、波浪成分の発達・減衰とほぼ同様な傾向を示している。したがって、波浪成分がピークとなるときに、長周期波成分についてもピークとなっている。この結果、波浪との相関が高いといえることから、直江津港外においては波浪成分の発達に伴い、長周期波成分が発達するものと考えられる。

また、2月13日の高波浪時には波浪成分の有義波高について、A4地点で減少する傾向が見られたが、長周期波成分についてはA1からA4地点まで増加している。これは、A4地点付近が碎波帯であることから、長周期波の発生要因として碎波点の変動によるものの影響が大きいことが考えられる。そのため、沖から岸に向けて長周期成分のエネルギーが増加するものと考えられる。

図-4にA1地点の波向の経時変化を示す。2月4日や2月13日など高波浪時も含め、観測期間中では直江津港付近の汀線に対して直角方向であるNWの方向から来襲する波が多かったことがわかる。

b) スペクトル特性

2月13日の高波浪来襲時を対象に、波浪の発達・ピーク・減衰期の周波数スペクトル特性について検討した。波

浪の発達期として5:00、ピークとして9:00、減衰期として13:00のデータを使用した。図-5にはA1～A5地点の周波数スペクトルを示す。

まず、0.1Hz付近にピークを持つ波浪成分に着目すると、5:00から9:00には低周波側へのピーク周波数のシフトが見られる。しかし、減衰期となる9:00から13:00では移動はみられない。

長周期側のスペクトルに着目すると、波浪の発達・減衰に連動して変動する傾向が見られる。また、経時変化においても見られた沖から岸へ向かって有義波高（エネルギー）が増大している様子もはっきりと確認できる。ピーク周波数については、0.01Hz付近にその存在が見られるものの、空間的に見た場合にも時間的に見た場合にも出現位置に微妙なズレがある。これは、統計的な安定性の問題も考えられるが、沿岸における長周期波の挙動が複雑であることも理由の一つと考えられる。また、A3地点と同じ水深で東に約1km離れたA5地点においても同時刻に同じ周波数に明瞭なピークは見られないことから、長周期波成分は沿岸方向にも複雑な挙動を示すと考えられる。

(2) 港内波浪特性

a) 経時変化

図-6に港内に設置された波高計(B1～B4地点)において観測された波浪の経時変化を示す。港内における波浪は、港外波浪の波向や防波堤による反射、回折の影響を受けるため、各測点において有義波高の絶対値や経時変化の傾向がやや異なる。しかしながら、全体的な傾向としては港外



図4 港外波向の経時変化

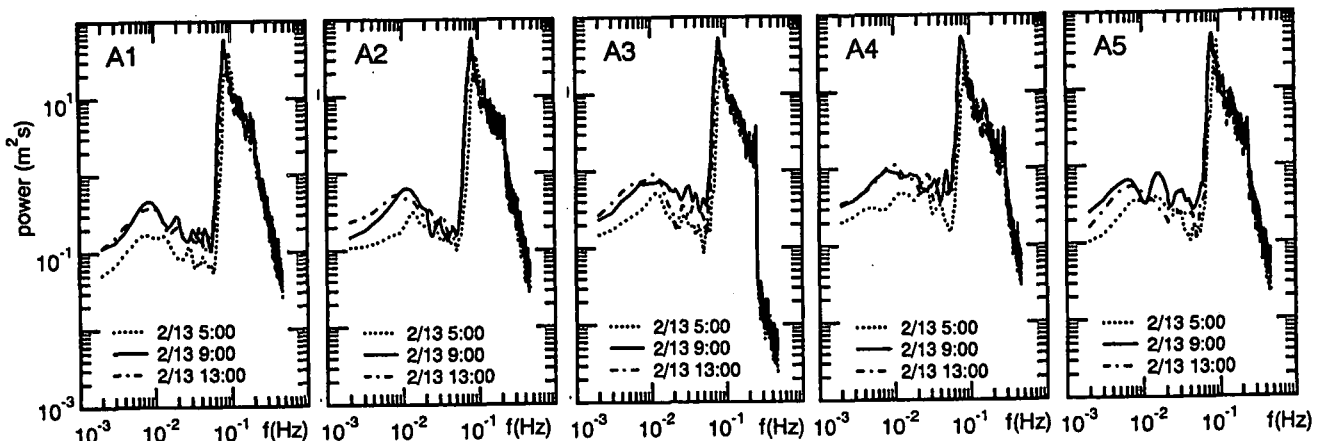


図5 周波数スペクトル (港外地点)

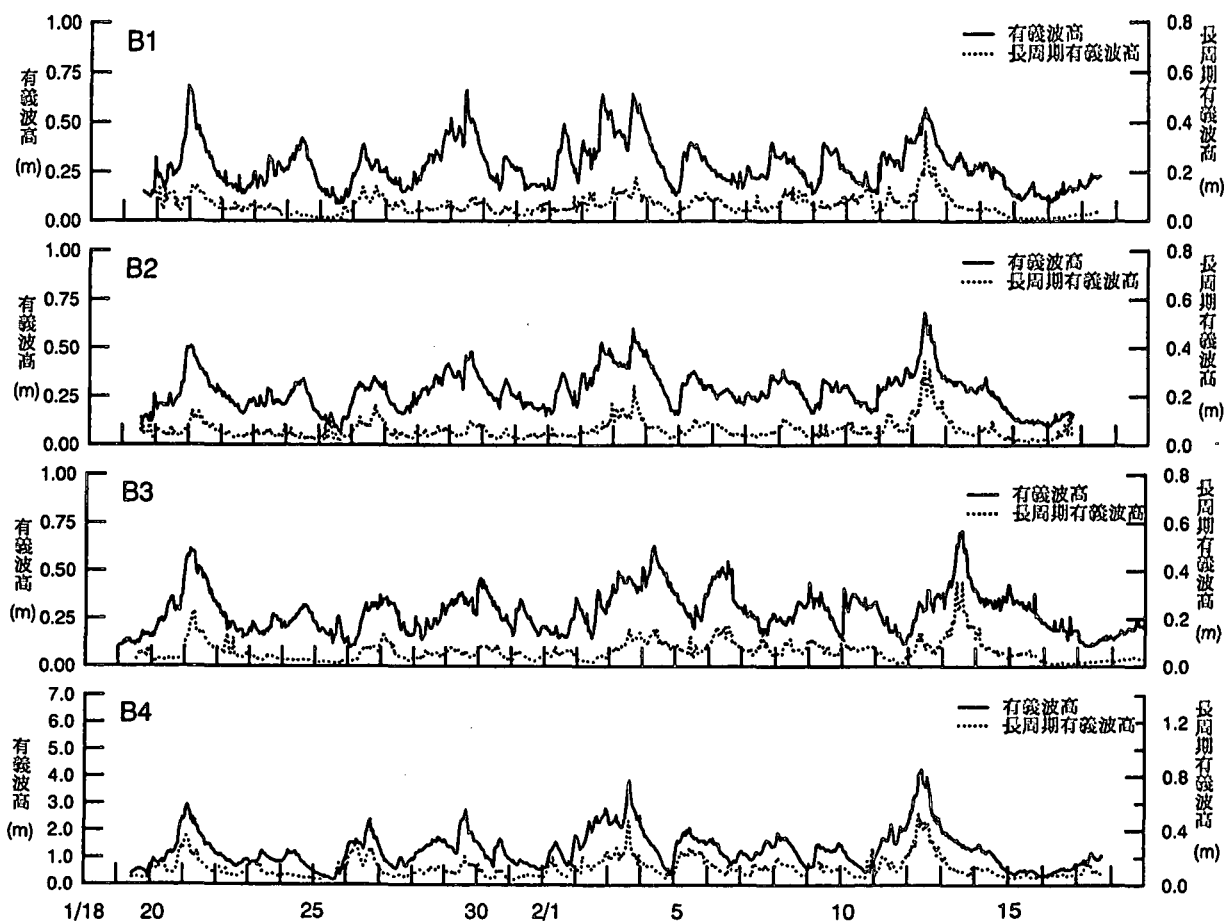


図6 港内波浪の経時変化

波高の増大に伴い、港内波高も増大するといえる。

長周期波成分については、港外での特性と同様に波浪成分の増大に伴い、長周期波高が増大する傾向が見られる。したがって、港外の特性和同様、港内においても波浪成分と長周期波成分の相関が高いといえる。

上述の結果から、直江津港内における長周期波の発達・減衰は、港内で発達する副振動成分の影響よりも、港外波浪の発達・減衰の影響を大きく受けているものと考えられ

る。

b) スペクトル特性

図-7に周波数スペクトルを示す。港外地点と同様に2月13日の5:00、9:00、13:00を対象とした。

港口に位置するB4地点のスペクトルは港外地点と同様な傾向を示すといえる。B1～B3地点の波浪成分については、港外や港口と比較した場合、エネルギーが大きく減少していることから防波堤による遮蔽の効果が確認できる。

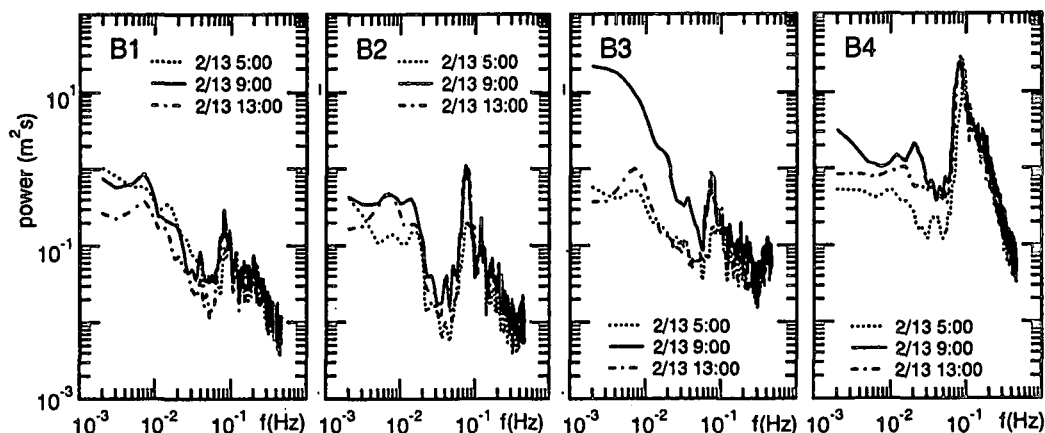


図7 周波数スペクトル（港内観測地点）

長周期波成分については、そのピークエネルギーが波浪成分と同等もしくは長周期波成分の方が大きくなる傾向がある。また、港外・港口・港内と長周期波のエネルギーについて比較した場合、港内各点において長周期波成分には大きなエネルギー減少が見られないことから、港外から大きく減衰することなく港内に伝播していると考えられる。

B1・B2・B3 地点における長周期波成分に着目すると、全体的には時間的・空間的に複雑な挙動を示しているが、0.007Hz 付近に共通したピークが見られることから、B1・B2・B3 方向のモードの存在が考えられる。

4. 長周期拘束波の推定

長周期波の発生・発達機構を明らかにしていくための基礎資料として重要と考えられる、長周期拘束波と自由長周期波の関係に関して現地観測結果をもとに評価を行った。対象としたのは港外岸沖方向に一直線に配置された A1～A4 地点（水深 25～12m）で観測された 2 月 13 日の 5:00、9:00、13:00 の波浪である。

長周期拘束波の周波数スペクトルについては、関本・水口（1995）²が示したように、波浪成分の方向スペクトルに非線形核関数を用いることによって算出することができる。そこで、算出された長周期拘束波についてエネルギー的な検討を行う。また、自由長周期波を長周期波成分と長周期拘束波の残差として表すことによって評価し、長周

期拘束波との比較を行う。

図-8 に観測された長周期波成分および算出した長周期拘束波の周波数スペクトルを示す。長周期拘束波のエネルギーは非常に小さく、特に沖の A1 地点では長周期波全体の 5% 程度のエネルギーしかないことがわかる。また、岸に近い地点ほどエネルギーは大きくなるものの、長周期波全体の 15% 程度である。したがって、港外での長周期波はそのほとんどが自由長周期波として存在しているものと考えられる。

また、Bowers（1992）³の方法による長周期拘束波の算出も併せて行い、上述した非線形核関数を用いた結果との比較を行った。図-9 に A1 地点における 2 月 13 日 0:00～23:00 の長周期波有義波高の算出結果を示す。Bowers の方法においても長周期拘束波の定性的な推定は可能である。しかしながら、長周期波高が大きいときに Bowers の方法による結果が過大傾向であることから、定量的評価する場合には過大となる可能性がある。したがって、長周期波について長周期拘束波と自由長周期波に分離して評価する場合など、長周期拘束波を正確に評価する場合には理論的に導かれた手法が必要と考える。

5. まとめ

直江津港周辺で実施した波浪の現地観測により取得したデータをもとに、波浪・長周期波の特性について検討したところ、以下に示す結果が得られた。

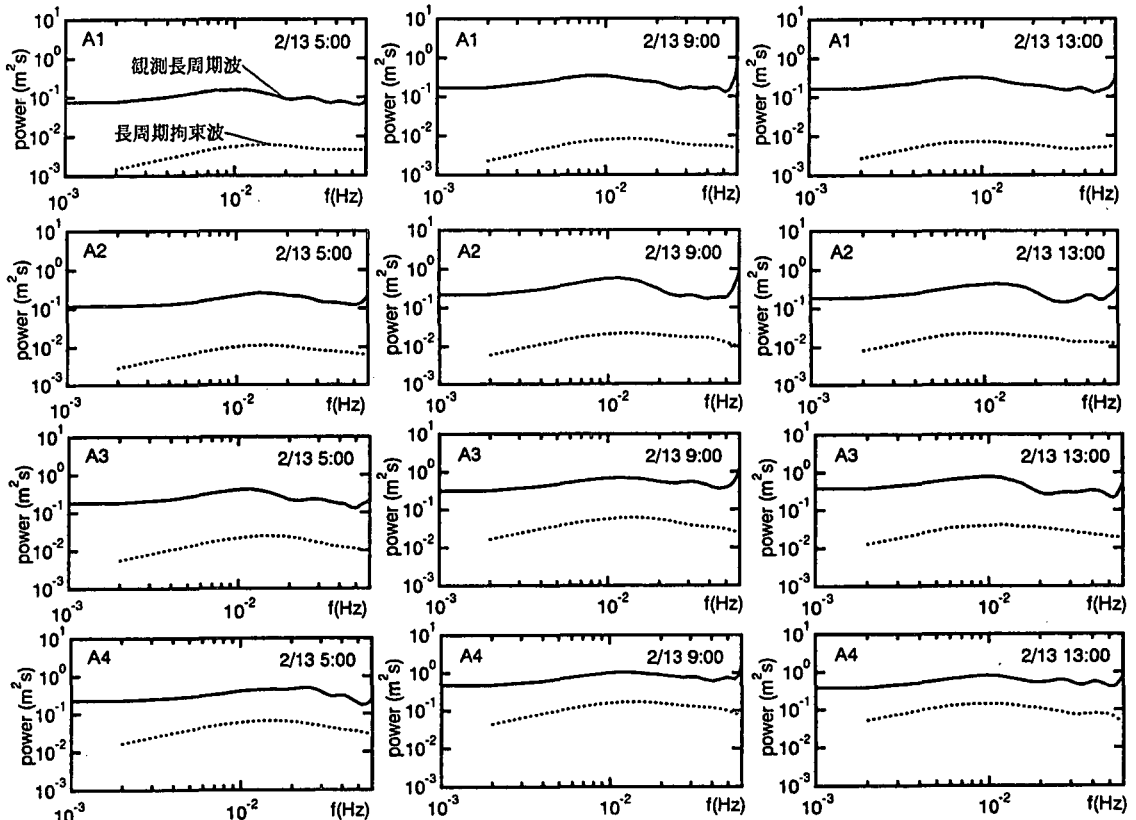


図-8 長周期波の周波数スペクトル

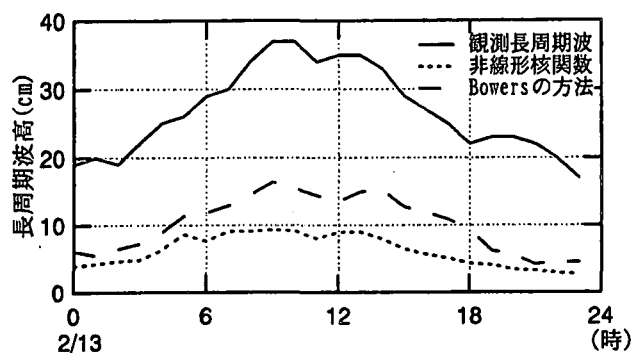


図9 長周期拘束波の有義波高の比較 (A1 地点)

①良質な波浪データが取得できたことから、冬期直江津港内外における波浪特性および長周期波特性について明らかにすることができた。

②港外の長周期波成分は波浪成分との関連が強く、その発達および減衰は波浪成分の波高に追従している。港内の波浪成分および長周期波成分についても港外波浪との相関が高い。

③長周期波のエネルギーは沖の観測点より砕波帯付近の観測点の方が大きくなる傾向がみられる。したがって、自由長周期波の発生要因として、砕波帯の変動によるものの影響が大きいと考えられる。また、長周期拘束波のエネルギーについても砕波帯付近と沖側を比較すると沖側の地点は非常に小さい。

④長周期拘束波の算出には Bowers の方法を用いても定性的な評価は可能であるが、特に長周期波高の大きい場合に、過大評価傾向がみられる。

参考文献

- 1) 栗山善昭・灘岡和夫・武若聡・岡安章夫・片山裕之・森信人・内山雄介・中島剛・田村仁・堀口敬洋・澤田浩一：浅海域における長周期水理現象に関する総合的現地観測，海岸工学論文集，第47巻，pp231-235，2000。
- 2) 関本恒浩・水口優：非線形2次長周期波の方向スペクトル，海岸工学論文集，第42巻，pp286-290，1995。
- 3) Bowers, E. C. : Low frequency waves in intermediate water depths, 23rd ICCE, Venice, pp832-845, 1992。