

連続観測システムの構築によるネットワーク沖合長周期波観測

永井紀彦* ・橋本典明** ・川口浩二***
大山洋志**** ・岩崎峯夫***** ・久高将信*****

1. はじめに

本報告は、沖合における切れ目のない連続的な長周期波のネットワーク定常観測システムを構築し、全国沿岸の 10 観測地点における年間の観測データを解析したものである。(永井ら, 1999a)

2. ナウファス連続観測システムの構築

ナウファス波浪観測では、2 時間毎に 0.5 秒間隔で 20 分間の海面上下変動や水平流速のデータ取得を行い、波高・周期・波向などの有義波諸元を求めていた。しかし、1993 年北海道南西沖地震津波を契機として、切れ目なく連続的にデータ収集する観測がめざされた。長周期波観測情報は、津波来襲時ばかりではなく常時においても有用であることが期待されている。(永井ら, 1994)

表-1 に長周期波連続観測システムの概要を示す。新システムでは、ローパス数値フィルターをかけた波形記録を、波浪ファイルとは別の長周期波ファイルとして記録する。数値フィルターとしては、図-1 に示すデジタルフィルターを用いた。(岩崎, 1996) 図-1 の上段は、フィルター形状を示すインパルス応答であり、下段は、周波数応答特性である。この前後 50 秒間の数値フィルターによって、周期 30 秒以上の長周期波成分はそのまま通過させ、周期 15 秒以下のいわゆる風波成分はほぼ完全に通過させない周波数応答を得ることができる。

3. 予備検討現地観測によるシステム設計

データの整理・解析手法の検討を目的として、運輸省第二港湾建設局の御協力をいただき、仙台南港沖合いの水深 17 m 地点で現地観測を実施した。観測期間は 1994 年 9 月の 1 か月間であり、係留船舶が動揺した事例を含む台風 9424 号の海象擾乱を観測した。(永井ら, 1997a) この結果、「時化が去っても長周期波は残る」という事

実を示すとともに、連続観測によって得られる周波数スペクトルの長周期パワーによって、合理的に現象を説明できることを明らかにした。通常の波浪観測は 2 時間毎に行われていることを考えあわせて、長周期波データファイルは、以下のように作成することとした。

- (a) データ間隔: 5s 間隔 (連続)
- (b) データファイルの単位: 2 時間
- (c) 長周期パワー m_{L0} の演算

周波数スペクトルは FFT 法により求める。データ数は全 1440 データ中の 1024 に設定して、演算対象データを全データの中から順にずらして 5 回の FFT 計算を行い、5 個のスペクトルの平均をとって最終的なスペクトルを求める。スペクトルの演算結果は、下記 4 段階の周波数帯パワー (m_{0L}) としてとりまとめ、解析目的に応じた周波数帯のエネルギーの抽出を容易にする。

- ① 30-60 s, ② 60-300 s, ③ 300-600 s, ④ 600 s-
- (d) 換算長周期波高

風波における有義波高は、 $4\sqrt{m_0}$ とほぼ一致することから類推して、 $4\sqrt{m_{0L}}$ を算出して換算長周期波高とする。スペクトルの積分周波数帯は、上記①から④の結果を組

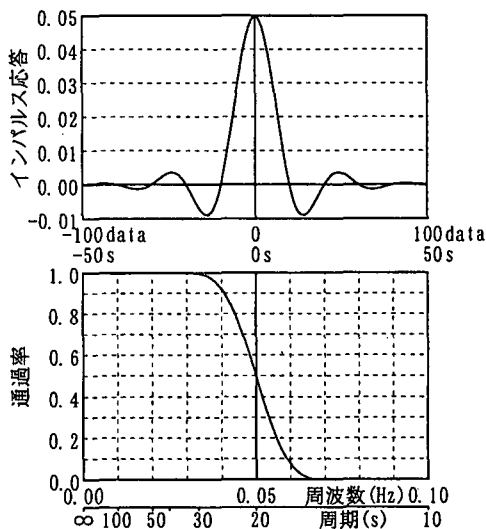


図-1 数値フィルターの形状と周波数応答

* 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所水工部
 ** 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所海洋環境部
 *** 正会員 工修 運輸省港湾技術研究所水工部
 **** 正会員 (財)沿岸開発技術研究センター
 ***** 正会員 工修 (社)海洋調査協会 兼 (株)カイジョー
 ***** 正会員 (株)エコー波浪情報室

表-1 新旧の観測データ収集システム

項目	新システム	旧システム
データ転送ファイル	波浪ファイル (現行と同じ) 長周期ファイル(連続) ±5s デジタルフィルター 5s 間隔データ 港内潮位ファイル 5s 間隔検潮データ	波浪ファイル 2時間毎 20 分間 0.5s 間隔データ
データ転送装置	新規開発データ転送装置 (WD 700)	波浪データ演算転送装置 (WD 600)
使用回線	INS 電話回線	一般電話回線

(注1) 海象計にも対応可能なシステム(橋本ら, 1995)

(注2) 港内検潮データのシステム化も考慮

表-2 長周期波解析対象地点の波高計設置条件

地点名	機種	水深 (m)
留萌	海象計(海底設置)	-50.0
酒田	超音波式(海底設置)	-45.1
輪島	海象計(海底設置)	-50.0
輪取	海象計(海底設置)	-30.0
苫小牧	海象計(海底設置)	-50.7
久慈	海象計(海底設置)	-50.0
釜石	超音波式(海底設置)	-49.0
港研(久里浜)	超音波式(空中発射)	-2.0
波浮	超音波式(海底設置)	-49.0
高知	超音波式(海底設置)	-25.0

(注) 高知では8月以降, 超音波式から海象計に更新

み合わせ, 任意に選定できるようにする。

4. 我国沿岸の長周期波の観測結果

(1) 検討対象地点と期間

表-2は, 検討対象波浪観測地点を示したものである。ここでは1996年12月から1997年12月までの, 表中の検討対象地点10地点の約1年間の観測結果をとりまとめた。

(2) 20分観測と連続観測との比較

図-2は, 日本海側の輪島と太平洋側の波浮における,

1996年12月の長周期波高を, 2時間の連続観測結果から求めた値と, 従来システムである20分間だけの観測結果から求めた値とで, 比較したものである。図中には, 実線で回帰直線を, 点線で回帰直線に平行に引かれた全観測値のうち95%のデータを含む範囲を示している。図を見てわかるように, 縦軸と横軸は, 十分に一致しているとは言いがたい。すなわち, 20分間だけの観測結果からは, 統計的に安定した値を得難いことを意味している。

(3) 長周期波高の経時変化例

図-3は, 鳥取と輪島における長周期波高の経時変化例である。5本の折れ線は, それぞれ, 異なった周期帯で定義された長周期波高であり, 一番上の折れ線は, 有

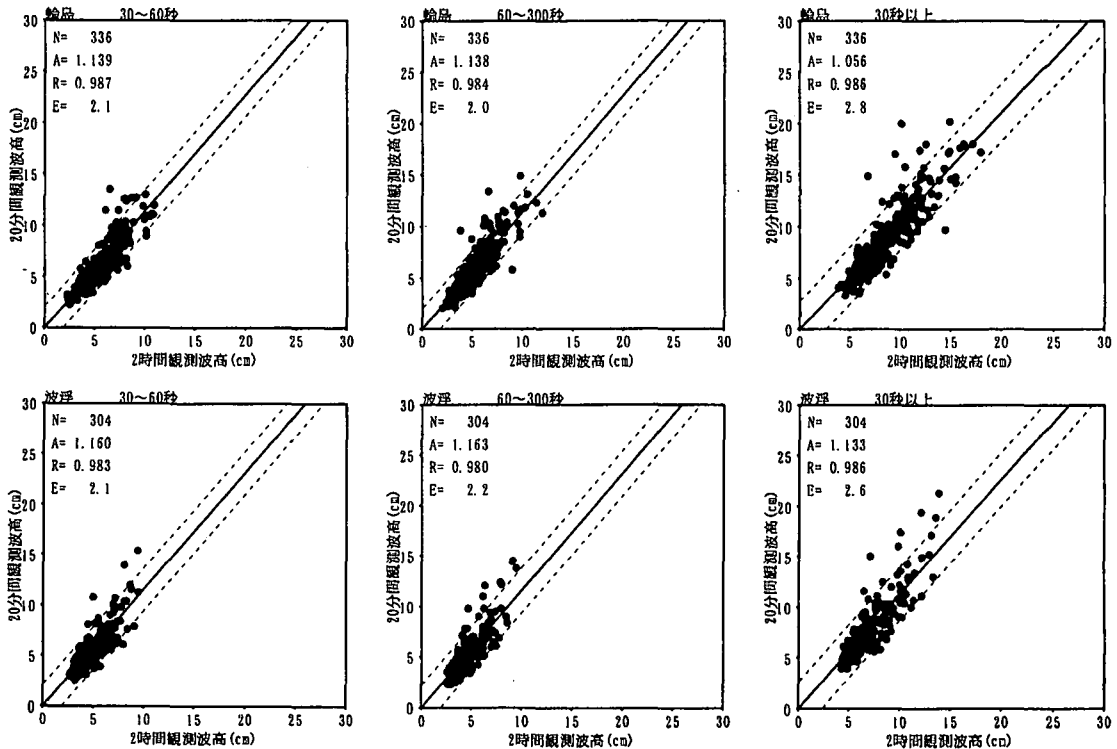


図-2 20分観測と2時間観測の比較例(輪島・波浮)

義波高に対応する $4\sqrt{m_0}$ を意味している。全エネルギーに対応した波高は、鳥取では21日の6時頃から21日の22時頃まで徐々に増加しているが、輪島では、21日の12時頃から14時ごろに急激な増加を示している。しかし、30秒以上で定義される長周期波高を見ると、鳥取では21日の4時頃から、輪島では21日の10時頃から、それぞれ増加が始まっていることがわかる。

(4) 長周期波高の出現頻度統計

表一3は、各観測地点の年間の有義波高・周期の平均値を示し、この諸元に対応する2次干渉長周期波高の推定を行ったものである。長周期波高の算定にあたっては、Bowerによる簡易式を用いた。(Bower, 1992)

他方、1年間の観測結果を周期帯毎にとりまとめた例として、輪島と波浮について示したものが表一4である。表一3から推定される拘束長周期波の簡易推定波高は、いずれも数mmのオーダーであり、表一4よりずっと小さい値となっている。すなわち、常時の長周期波高は、拘束長周期波としての算定値よりも大きく、自由波進行長波の存在が大きいことを意味している。

図一4は、各周期数帯で定義される長周期波高の季節・通年平均値をとりまとめたものである。長周期波の季節変動や海域別平均波高の変動は、通常の有義波高の変動と定性的にはよく対応しており、日本海沿岸では冬高く夏低い顕著な季節差が見られ、太平洋沿岸では日本海沿岸に比べて季節変動は複雑であり変動幅は小さいところが多かった。しかし、定量的に見ると、通年平均値では、地形条件や水深が異なっているにもかかわらず、各観測地点に共通して、30秒以上の全周波数で定義すれば4から8cm、30-60秒あるいは60-300秒で定義すれば2から4cmとなっており、通常の有義波高の平均値の分

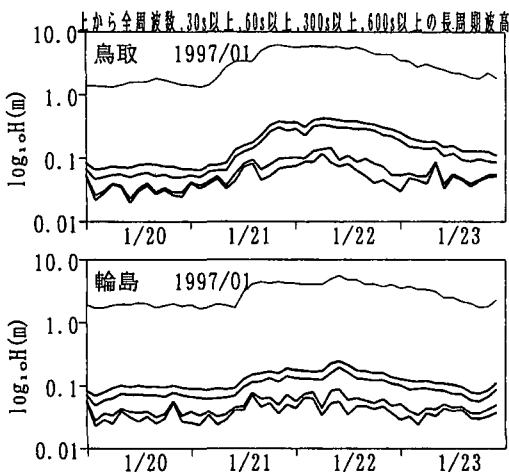
表一3 年平均有義波に対する2次拘束波高の推定

地点名	水深 h (m)	1997年平均有義波		拘束波高 H_s (m)
		$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (s)	
留萌	-50.0	1.07	5.4	0.0011
酒田	-45.1	1.28	6.1	0.0025
輪島	-50.0	1.20	6.0	0.0017
鳥取	-30.0	1.07	6.0	0.0037
苫小牧	-50.7	0.75	6.8	0.0008
久慈	-50.0	1.17	7.7	0.0026
釜石	-49.0	0.87	8.9	0.0020
波浮	-49.0	1.50	7.6	0.0044
高知	-25.0	0.83	7.5	0.0051

表一4 長周期波候統計の例(輪島・波浮)

輪島		通年：'97/1~'97/12					
波高階級 (cm)	30-60 s 波高		60-300 s 波高		30 s 以上波高		
	観測数	出現率	観測数	出現率	観測数	出現率	
- 1	0	0.0	0	0.0	0	0.0	
1- 5	2877	65.7	3239	73.9	641	14.6	
5-10	1370	31.3	1020	23.3	3099	70.8	
10-20	92	2.1	80	1.8	584	13.3	
20-50	0	0.0	0	0.0	15	0.3	
50-	0	0.0	0	0.0	0	0.0	
欠測					41	0.9	
全観測					4380		
平均値		4.6		4.2		7.4	

波浮		通年：'97/1~'97/12					
波高階級 (cm)	30-60 s 波高		60-300 s 波高		30 s 以上波高		
	観測数	出現率	観測数	出現率	観測数	出現率	
- 1	0	0.0	0	0.0	0	0.0	
1- 5	2601	59.4	2823	64.5	445	10.2	
5-10	974	22.2	744	17.0	2779	63.4	
10-20	22	0.5	30	0.7	360	8.2	
20-50	0	0.0	0	0.0	12	0.3	
50-	0	0.0	0	0.0	1	0.0	
欠測					783	17.9	
全観測					4380		
平均値		4.5		4.2		7.2	



図一3 気象擾乱時における長周期波高の経時変化例 (1997. 1. 20-1. 23, 鳥取, 輪島)

布と比較して、沿岸全域で観測地点毎の相違が比較的小さくなっている。季節平均の変動を見ると、日本海側の夏期と冬期の差は2倍以下程度であり、やはり有義波高の季節変動比よりも小さい。(永井, 1997b)

なお、図一4の季節区分は、波浪観測年報にあわせて、12月から2月を冬、3月から5月を春、6月から8月を夏、9月から11月を秋と定義し、1月から12月までを通年としているため、四季の累計期間と通年の期間では1か月間のずれがある。(例えば、永井ら 1999b など)

図一5および図一6は、それぞれ、日本海側(留萌・輪島・鳥取)および太平洋側(苫小牧・波浮・高知)における30秒以上の全周波数で定義される長周期波高の出現分布を対数軸上で整理し、対数正規分布と比較したものである。長周期波高の出現分布は、対数正規分布から極端にはずれたものではなかったが、両海域に共通して、

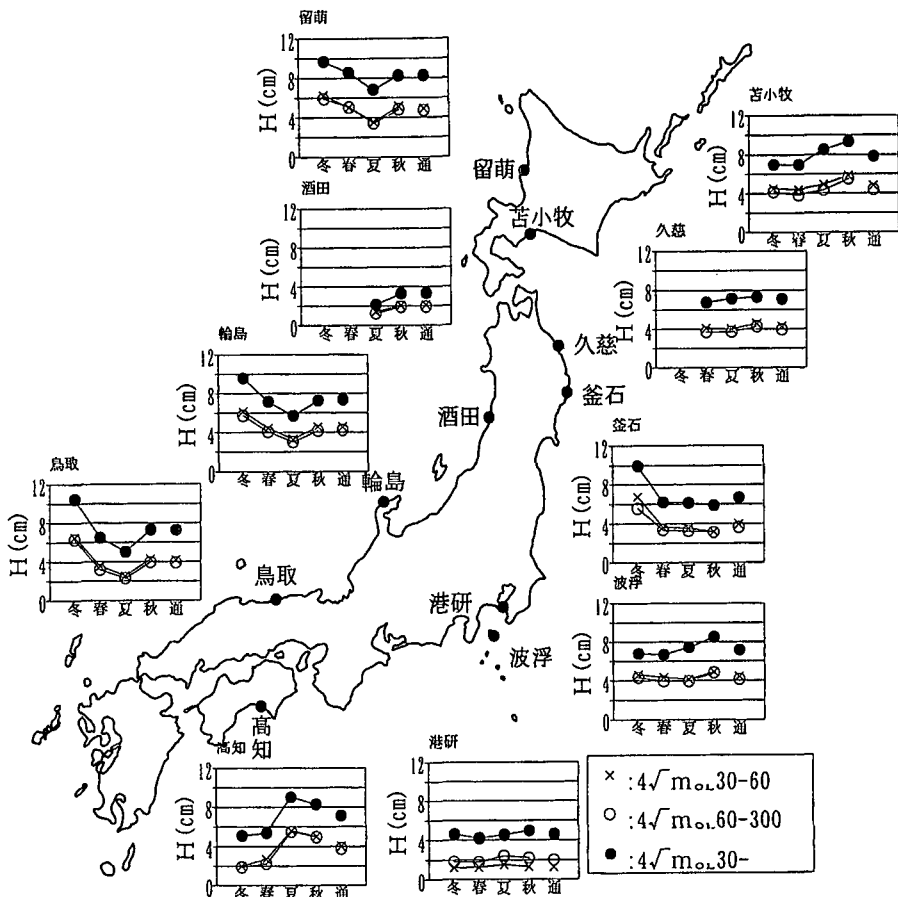


図-4 長周期波高の季別・通年出現分布特性

北ほど正規分布に近く、南ほど正規分布からはずれているようであるが、この原因は明かではない。

5. ま と め

長周期波観測記録の管理・解析手法を検討するための仙台新港沖合における現地実証実験を実施を経て、世界ではじめて、沖合における長周期波のネットワーク定常観測システムを構築し、我国沿岸 10 観測地点における 1 年間の長周期波の観測結果を示した。その結果、常時波浪に見られる長周期波成分の大きさは、拘束長周期波として算定される値よりもはるかに大きく、大部分が自由波進行長波成分となっていることが、明らかにされた。

6. お わ り に

以上の述べたように、ナウファスの長周期波観測は、波浪観測と一体化され、新たな局面を迎えることとなった。今後は、より長期間・多観測地点の長周期波統計を年々蓄積する計画である。あわせて、下記テーマについても、検討を進める所存である。

- ①長周期波データの解析活用手法の検討
- ②長周期波予測手法の開発
- ③長周期波の波向の検討

本報告で紹介したナウファス連続観測システムの構築は、運輸省港湾局、各港湾建設局、北海道開発局、沖繩総合事務局をはじめとしたナウファス関係機関のご支援があって初めて実現できたものである。また、長周期波パラメータに関する検討にあたっては、(財)沿岸開発技術研究センター波浪情報部が平成 9 年度に自主研究として設立した「港湾内における長周期波の船体動揺への影響に関する研究委員会」(委員長：高山知司京都大学教授)のご指導を賜った。

これらの数多くの関係の方々には、改めて謝意を表する。

参 考 文 献

岩崎峯夫 (1996): デジタルフィルターを用いた津波計, カイジョー技報, Vol. 2, No. 4, (株)カイジョー, pp. 51-58.
 永井紀彦・菅原一晃・橋本典明・浅井 正・東山 茂・戸田和彦 (1994): 平成 5 年北海道南西沖地震の沖合津波波形, 海岸工学論文集, 第 41 巻, pp. 221-225.

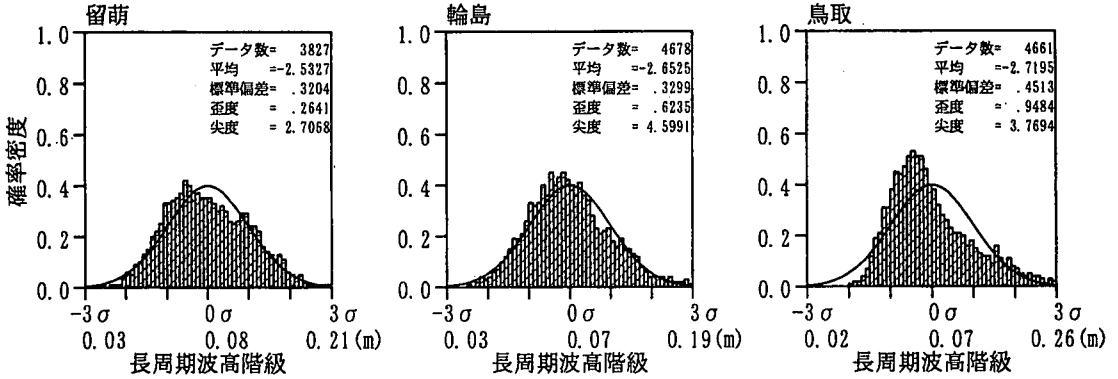


図-5 長周期波高の出現分布 (留萌・輪島・鳥取)

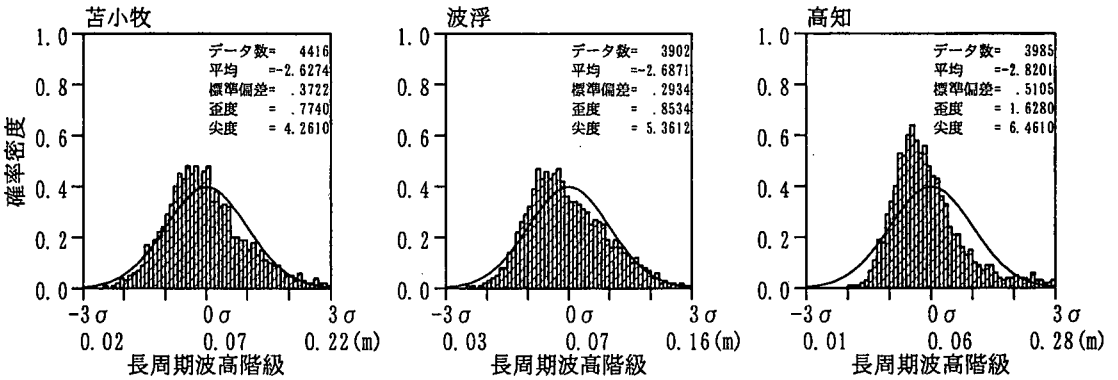


図-6 長周期波高の出現分布 (苫小牧・波浮・高知)

永井紀彦 (1997a): ナウファス (全国港湾海洋波浪情報網) による我国沿岸の波浪特性の解明, 港研資料 No. 863, 113 p.
 永井紀彦・白石 悟・橋本典明・川口浩二・清水勝義・上野成三・小林昭男・東江隆夫・柴田孝雄 (1997b): 現地連続観測による沖合長周期波の発達・減衰過程と港内係留船舶の動揺, 海岸工学論文集, 第 44 巻, pp. 226-230.
 永井紀彦・橋本典明・川口浩二・佐藤和敏・菅原一晃 (1999a): ナウファスの連続観測化による我国沿岸の長周期波の観測, 港研報告, 第 38 巻, 第 1 号, pp. 29-69.

永井紀彦・佐藤和敏・菅原一晃・川口浩二 (1999b): 全国港湾海洋波浪観測年報 (NOWPHAS 1997), 港研資料 No. 926, 364 p.
 橋本典明・永井紀彦・高山知司・高橋智晴・三井正雄・磯部憲雄・鈴木敏夫 (1995): 水中超音波のドップラー効果を応用した海象計の開発, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp. 1081-1085.
 Bower, E. C. (1992): Low Frequency Waves in Intermediate Water Depths, Proc. 23th ICCE, Vol. 1, pp. 832-845.