

波浪ブイによる外洋波観測実験

Ocean Wave Measurements with Simple Wave Buoy

高橋 幸伯*・小畑 和彦*・杉田 洋一*

小林 敬幸**・中川 朝彦*

Yukinori TAKAHASHI, Kazuhiko OBATA, Yoichi SUGITA, Hiroyuki KOBAYASHI, Asahiko NAKAGAWA

1. はじめに

航行中の船舶の運動性能や構造強度に影響する因子は、波・風・それらとの出会角度・船の速度・積荷状態など数多くあるが、その中でも波浪が最も重要な因子となっている。周期や振幅が一定の規則波中での応答や、あるプログラムによって合成された不規則波中での応答などについては、理論解析でも水槽実験でも多くの成果が挙げられているが、これを実船に適用する場合に、実海面における波浪の実態については、まだ未知の部分が多い。

従来の波浪データは、ほとんどが目視観測によるもので、平均的な波高と波周期程度しか判らないのが普通である。実際の海面はきわめて数多くの規則波が合成された不規則波と考えられるので、精密な船体応答解析のためには、その周波数構造を明らかにした波スペクトルを求める必要があり、そのためには計器観測によるしか方法はない。

筆者らは波浪ブイの改良開発・目視観測と計器観測の

データの比較検討などを基にして、船舶設計の基礎資料となるべき海洋波浪情報の質と量の向上を計ることを目的として、波浪ブイの改良試作と、外洋における観測実験(実船計測)を行ったが、その結果の要点を以下に報告する。

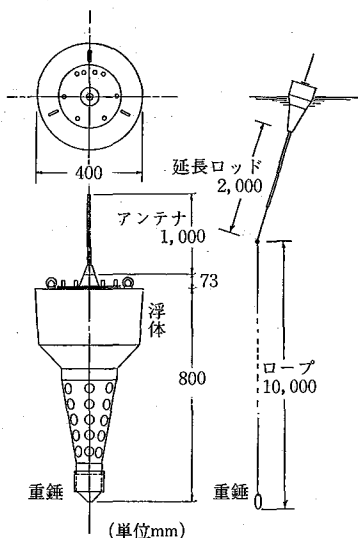
2. 波浪ブイの改良試作

波浪ブイはさきに筆者らの開発した加速度検出方式を踏襲することとし、これまでの数次の観測結果に基づいて若干の改良を加えた。

今回の加速度式波浪ブイの外観を第1図に、概略仕様を第1表に示す。検出部・送信部・電源部が収納されているブイを船から海面に投下し、ブイ上下方向加速度を抵抗線歪ゲージ式の加速度計で検出して、その信号をFM変調して発信する。この信号を本船上で受信し、2回積分を行ってブイ上下方向の変位をすなわち波高として記録するわけである。

波浪ブイは、動揺のため上下加速度だけでなく、水平方向の加速度も絶えず受けており、これがノイズ信号となる場合が多い。このブイの動揺を抑えるため、従来はブイ下端から重錘を垂らしていたが、今回はブイ下端に長さ約2mの延長ロッドをつけ、その先端から重錘を垂らすようにして、ブイ傾斜時の復原モーメントの増大を計った。各種ノイズの悪影響を避け計測の安定化を計るため、受信部の積分増幅回路にも若干の改良を加えた。

試験的の波浪観測では、極力ブイを回収するようにしているが、回動不能の場合もあり、本来は投棄式を建前としているもので、ブイ本体に小さい孔をあけており、



第1図 波浪ブイ外観

第1表 波浪ブイ仕様

1. 型 式:	加速度検出方式投棄型
2. 測定範囲:	波 高 0.2 — 15 m, 精度 5% 波周期 3 — 20秒, 精度 1%
3. 送信機:	送信周波数 39.80 MHz (付図/) 発振方式 水晶制御 24通信 変調方式 FM-FM 送信空中線 垂直ロッドアンテナ 1 m 出力 0.5 W 送信持続時間 2.0 時間 信号到達距離 40 km
4. 重 量:	20 kg 程度

* 東京大学生産技術研究所 第2部

** 日本海事協会

研究速報

投下後約 2 時間で自沈するようになっている。

3. 外洋における観測実験

3.1 実験航海 実海面における観測実験は、気象庁の気象観測船“啓風丸”の好意によって同船の波浪観測計画に合わせた共同実験の形で、昭和 57 年 11 月と 58 年 11 月の 2 回、また、運輸省船舶技術研究所および海上保安所庁との共同実験の形で、海上保安庁の巡視船“しきね”によって、昭和 59 年 2 月に 1 回、いずれも本州南方海上で計測実験を行った。

3.2 観測結果 観測実験結果の一覧を第 2 表に示す。各

年で記録された高い波のデータのみ表示してあり、計測番号の若い順に昭和 57・58・59 年となっている。

目視観測 (observation) の項は、船内乗組みの気象観測員の目視観測および船内装備の風速風向計・温度計などによる計測結果である。風(wind)・風浪(wind wave)およびうねり (swell) の方向 (direction) は、船との相対角度ではなく真方向 (北からが 0 度, 東からが 90 度, 南からが 180 度) となっている。風浪およびうねりの波高と周期は、いわゆる有義波 (significant wave) に相当するもので、厳密には、連続して観測した波高を大き

第 2 表 波浪観測例

NUMBER			1.3	2.2	2.3	3.1	
DATE AND POSITION		DATE TIME POSITION	1982 11/12 11:35 31-32N 134-37E	1983 11/12 08:35 28-58N 134-59E	1983 11/12 11:35 28-59N 135-00E	1984 2/27 11:45 34-00N 139-30E	
OBSERVATION	Wind	Direction Speed (m/s)	290 7.6	310 10.5	310 10.7	315 18.0	
	Temp.	Air (deg) Surface (deg)	19.6 24.6	21.8 25.0	22.0 25.0		
	Wave	Direction Period (sec) Height (m)	290 4 2.0	310 4 1.5	310 4 1.5		
	Swell	Direction Period (sec) Height (m)	260 9 3.0	290 8 1.5	290 8 2.0	5.0	
タ ッ ガ ー 式 波 浪 計	STATISTICAL ANALYSIS		Wave Height	1.8 2.9 3.6 4.8	1.5 2.3 2.9 3.8	1.5 2.4 3.0 3.7	
	No. of data 2400 No. of wave 163-173 Sampling 0.5(s)						
	Wave	IT-BER (sec) IT(1/3) (sec) IT(1/10) (sec) IT-Max (sec)	7.2 7.8 7.9 7.5	7.3 7.8 7.7 7.5	7.1 7.8 7.8 8.0		
	SPECTRAL ANALYSIS		E-Value (cm)	11055	7407	7536	
	Wave Height	1.9 3.0 3.8	1.5 2.4 3.1	1.5 2.5 3.1			
	No. of date 1200 Lag No. 60 Sampling 1.0(s)	Period	IT zero (sec) IT p-p (sec)	7.2 6.0	7.2 6.0	7.2 5.9	
加 速 度 式 波 浪 計	STATISTICAL ANALYSIS		Wave Height	1.8 2.1 3.1 5.0 0.8	1.5 1.8 2.6 5.0 0.7	1.7 1.9 2.8 4.7 0.8	3.7 4.1 5.7 8.7 1.6
	No. of wave 73-137 Sampling 0.48(s)						
	Period	IT zero (sec)	5.5	5.8	5.4	7.5	
	SPECTRAL ANALYSIS		Wave Height	1.9 3.1 3.9 0.8	1.6 2.6 3.3 0.7	1.8 2.9 3.7 0.7	3.8 6.1 7.7 1.5
	No. of wave 73-137 Sampling 0.48(s)						
	Period	IT zero (sec) IT p-p (sec)	5.4 3.7	5.9 4.1	5.7 4.1	7.4 3.8	
			Peak Frequency (rad)	0.7	0.5	1.0	0.7
			Band Parameter	0.7	0.7	0.7	0.9

研究速報

い順に並べて、高い方から1/3の数だけ採ったものの平均波高(1/3最大平均波高)と平均周期であるが、実際には必ずしも1/3という数が守られているとは限らないようである。

計器観測の項では、“啓風丸”での計測の場合は、同船装備のタッカー式波浪計とわれわれの加速度式波浪ブイの、いずれも統計解析とスペクトル解析の結果を併記してある。いずれも約20分間程度の計測結果で、統計解析は平均水位から波の山(peak)または谷(trough)までの極値(peak value)を拾って統計的に解析したもの、スペクトル解析は計測値を等時間間隔にサンプリングして電算機処理をしたものである。

波高(wave height)の項において、 H -BARは総平均(\bar{H})、 $H(1/3)$ は1/3最大平均、 $H(1/10)$ は1/10最

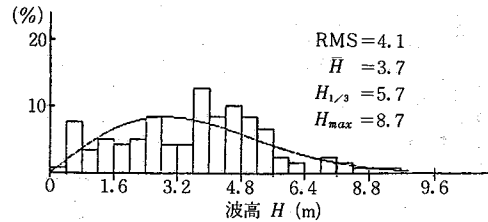
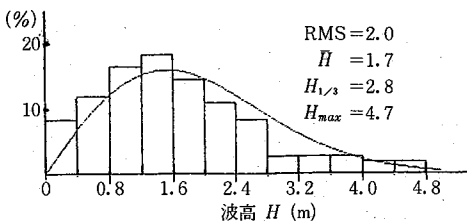
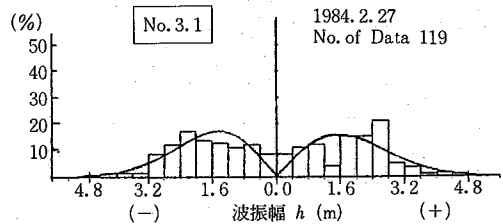
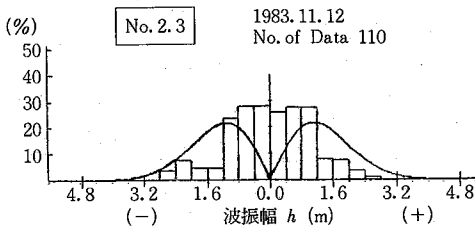
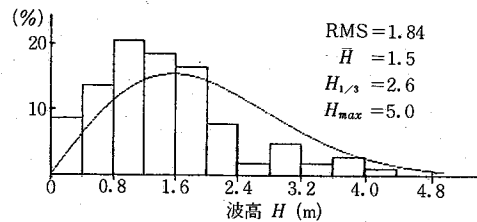
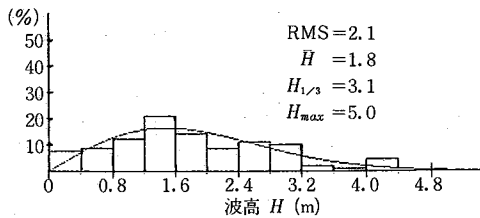
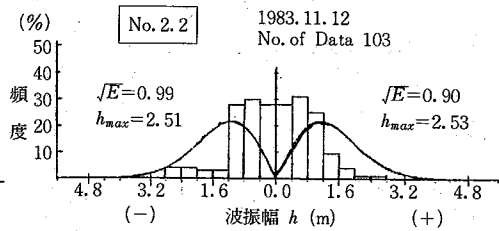
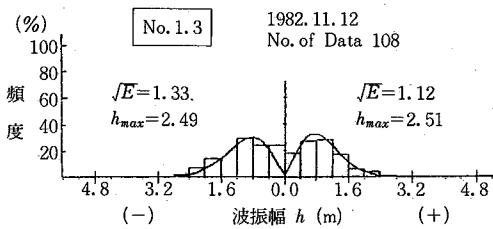
大平均、 H -Maxは最大波高、 H -rmsは自乗平均の平方根(root mean square, RMS)を示す。周期の項において T zeroはzero crossの周期を、 T p - p は、peak-to-peakの周期を示す。

3.3 短期分布 各測定における波高の頻度分布を第2図に示す。それぞれ、上段は波振幅(片振幅)をプラス側(山側)とマイナス側(谷側)とに分け、下段は波高(複振幅)を、それぞれ0.4mずつに区切ってその出現頻度をヒストグラムとし表したものである。

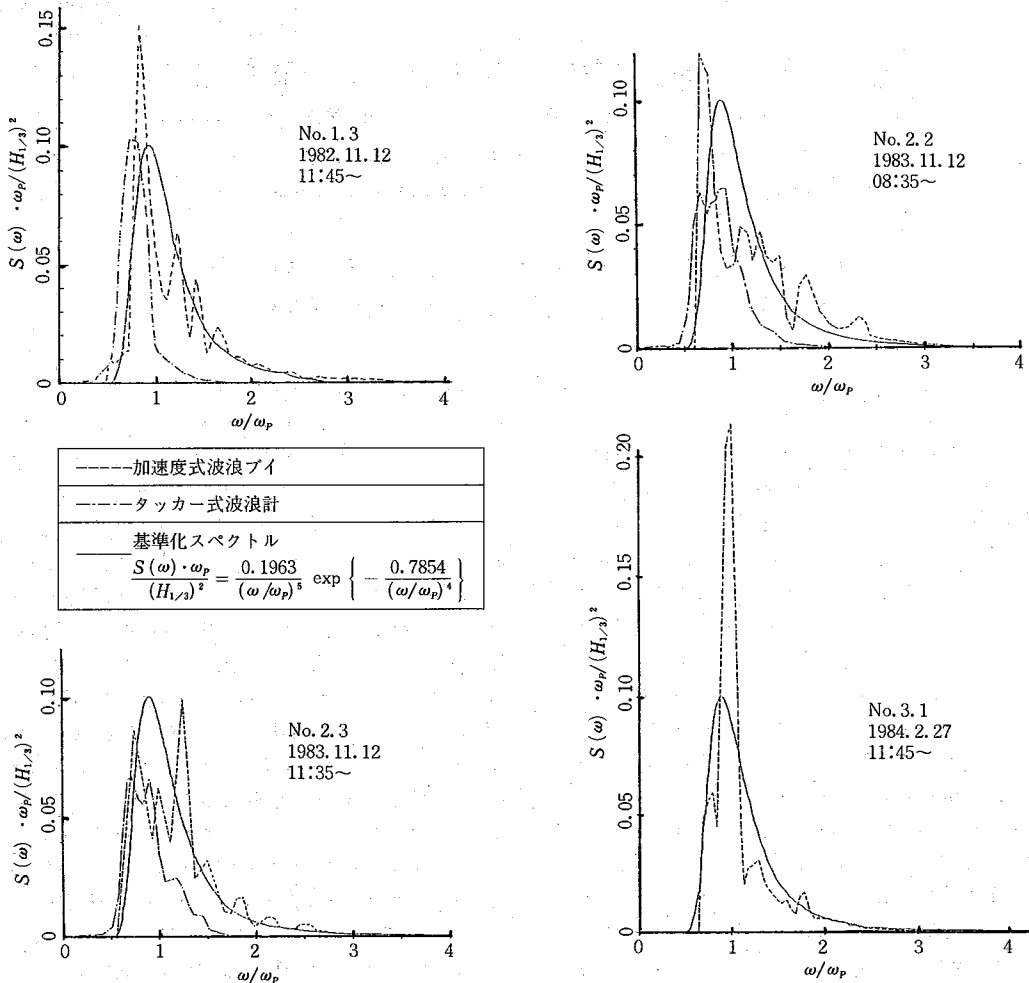
十分発達した波のある海面では、短期間(20~30分程度)の波振幅(h)の頻度分布はRayleigh分布

$$f(h) = \frac{2h}{E} \exp\left(-\frac{h^2}{E}\right) \quad (1)$$

に適合するといわれている。ここに、 E は累積頻度密度



第2図 波振幅および波高の頻度分布



第3図 波スペクトル

で、スペクトル解析においては h の自乗平均 (mean square) に相当する値である。図中の実線の曲線はそれぞれ E の値を用いて(1)式によって計算したものである。下段では波振幅 h の代わりに波高 H を、 E の代わりに各波高の自乗平均を用いている。いずれも実測のヒストグラムと非常によい一致を示している。

昭和59年2月の計測では、有義波高約6m、最大波高約9mにも達する荒天で、ブイの回収は不可能で放棄せざるを得なかった。

3.4 波スペクトル 各観測時における波スペクトルを第3図に示す。いずれも、横軸は平均周波数 (ω_p) で除し、縦軸は有義波高 $H_{1/3}$ の自乗で除して無次元表示としている。破線で加速度式波浪ブイの、鎖線でタッカー式波浪計の解析結果を、実線で有義波高 $H_{1/3}$ と平均周波数 ω_p との二つのパラメタを用いて、波スペクトルを近似する式として Pierson-Moskowitz の提唱した。

$$\frac{S(\omega) \cdot \omega_p}{(H_{1/3})^2} = \frac{0.1963}{(\omega/\omega_p)^5} \exp\left\{-\frac{0.7854}{(\omega/\omega_p)^4}\right\} \quad (2)$$

によって計算した基準化スペクトルを示した。

波浪ブイとタッカー式との比較では、解析プログラムにおける周波数バンドの設定が相異しているためもあって、バンドの両端部では、様子が異なっているが、大体においてよい一致を示しているものと思われる。

4. おわりに

走行中の船舶から簡便に外洋波浪を計測することができる投棄式の波浪ブイの改良試作と、実海面における観測実験を行い、ほぼ所期の目的を達することができた。準備工事も必要とせず、特に熟練も要らない計測装置として、特に荒天中の船舶応答の実船計測などに際しては、きわめて有用なものと思われる。

この研究は、一部文部省科学研究費補助金によるものである。(1984年4月10日受理)