

(昭和 56 年 11 月 日本造船学会秋季講演会において講演)

コンテナ船の長期実船計測 (第 1 報)

正員 高 橋 幸 伯* 正員 小 畑 和 彦*
正員 能 勢 義 昭* 正員 杉 田 洋 一*

Long Term Full-Scale Measurements of a Container ship (First Report)

by Yukinori Takahashi, *Member* Kazuhiko Obata, *Member*
Yoshiaki Nose, *Member* Yohichi Sugita, *Member*

Summary

Long term fullscale measurements of a container ship (24,000 t DW type) on the PNW (Pacific North West) course have been operated for 52 months. Measurements and recordings have been conducted automatically using an automatic RMS meter which was developed by the authors. For three items of pitching angle, rolling angle and wave bending stress of upper deck, the RMS values, the maximum peaks, the minimum troughs and the zero cross mean periods for 30 minutes have been punched out in every three hours. The environmental condition data by the favor of the ship's crew are to be studied comparing with those ship's responses.

In this first report, the authors have studied the statistical distribution of the environmental conditions, and corresponding operating conditions specially in rough seas. The number of data of the rough sea condition of wind velocity ≥ 40 kt or wave height ≥ 5 m, were about 400 among the 5,200 total data.

1 ま え が き

波浪中を航走する船舶の、外界条件と船体応答との相関の理論解析は、最近非常に進歩してきており、その精度を確認するための実船計測も数多く実施されている。しかし、実船航走中の外界条件には、理論解析で取扱う少数のパラメータ以外にも、多数の複雑な要素が含まれており、ほぼ同一と考えられる外界条件下でも、船体応答には大きいばらつきが認められるのがふつうである。

船体応答の実船計測では、同一船舶または同型船による長期間の計測データを集積して、これを統計的に処理するという方法が要望されるわけである。また、船の一生というような長期予測の立場で、 10^{-8} 程度の確率の異常値の推定とか、累積疲労被害の推算をするためにも、相当長期間の実船計測データの集積が必要である。

わが国の実船計測では、研究組織や予算の関係もあって、比較的短期間の単発的なものが多く、息の長い長期連続の計測例はきわめて少ない。筆者らも、強度関係だけでも、これまでに高速貨物船 (SR 44, 49, 63)^{2),3)}、油送船 (SR 99)⁴⁾、ばら積船 (SR 118)⁵⁾、鉱石運搬船 (SR 124)⁶⁾ など、数多くの実船計測に参画してきたが、いず

れも単発的という憾みは免れなかった。

これらの経験に基いて、計測の簡易化・自動化の方策を樹てることができたので、SR 163 の一環として、北太平洋航路のコンテナ運搬船によって、完全自動の計測記録装置を用いて、5年度にわたる長期連続実船計測を行うことができた。その大要はすでに報告したが⁷⁾、その後若干の解析を加えたのでここに報告する。

2 計測船および計測方法

計測は、山下新日本汽船(株)のご好意により、同社のコンテナ運搬船「米州丸」(24,191 tDW)によって行った。同船の主要目を Table 1 に示す。航路は、神戸→名古屋→横浜→シアトル→バンクーバー→ポートランド→神戸の順でほぼ一定しており、約 1 カ月のサイクルで定期的に運航している。計測は、昭和 51 年 10 月の第 71 次航から、昭和 56 年 1 月の第 123 次航まで (計器補修のため、数次の欠落はあるが)、52 カ月にわたって連続して行われた。

計測項目は 3 エLEMENT に限定し、船体中央部上甲板の波浪曲げ応力、縦揺角および横揺角の 3 項目とした。波浪曲げ応力は、左右舷の応力を平均し、水平曲げ成分を除いた上下曲げのみとした。動揺計は、シリコンオイ

* 東京大学生産技術研究所

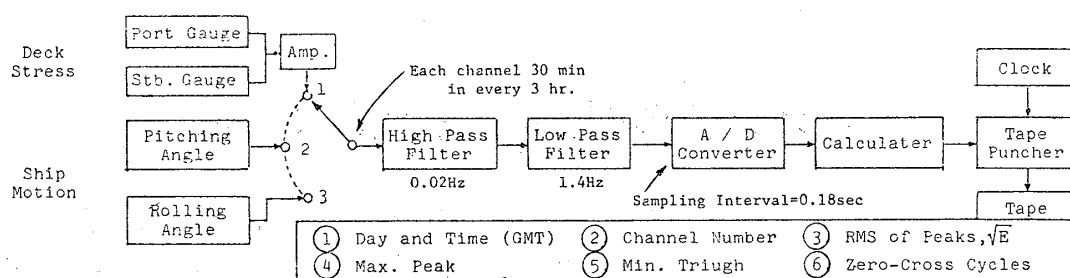


Fig.1 Block diagram of automatic RMS meter

Table 1 Details of "Beishu Maru"

BEISHU MARU (Container Carrier)			
Dimensions :	L _{pp}	200.0	m
	B _{mld}	30.0	m
	D _{mld}	16.3	m
Draft (Design) :		10.526	m
Displacement (Summer):		37,073	t
Dead Weight :		24,191	t
Gross Tonnage :		23,668	t
Machinery :	Mitsubishi Sulzer		
	34,200 PS /	108 RPM	
Ship Speed :		23.5	kt
Sectional Modulus I/y: Deck	184,825cm ² m		
	Keel 198,291cm ² m		
Owner:	Yamashita Shinnihon Steamship Co.		
Builder:	Mitsubishi Heavy Industry Co.		
Builted Year:	October 1970		
Voyage Course:	Pacific North West		
	Kobe		Seattle
	Nagoya		Vancouver
	Yokohama		Portland
Test Term :	51 months		
	from Oct.1976(71st Voyage)		
	to Jan.1981(123rd Voyage)		

Table 2 Calculation of RMS value

$\sqrt{E} = \text{RMS of } X_i = \sqrt{2} (\text{RMS of } x_i)$
$X_i = \text{Peak Values} = \text{Amplitudes}$
$x_i = \text{Variables Sampled in Same Time Interval}$

ルに浸した振子の回転角をポテンシオメータで検出する方式のもので、設置位置は工事の都合上船橋楼内としたので、船の重心位置よりは相当後方にある。

計測および記録には自動 RMS 計を用いた。これは、3時間ごとに上記3項目をそれぞれ30分間ずつ計測・演算および記録する自動装置で、Fig.1に示すとおり

- (1) 日時 (GMT) (4) 最大値
(2) チャンネル番号 (5) 最小値
(3) RMS 値 ($\sqrt{E}$) (6) 繰返数 (ゼロクロス)

の6項目を穿孔テープに打出すようになっている。RMS 値 ($\sqrt{E}$) は平均値を基準として測ったピーク値 X_i (片振幅) の RMS 値であるが、本装置では Table 2 のよ

うに、0.18 sec 間隔でサンプリングした瞬時値 x_i の RMS 値の $\sqrt{2}$ 倍として求めている。

毎日 GMT 0時から計測を開始して、90分間動作して90分間休止し、1日8回の計測を自動的に繰返したものである。神戸・名古屋・横浜間およびシャトル・バンクーバ・ポートランド間の沿岸域内のデータは採用しなかった。

気象・海象および操船条件などの外界条件は、本船の当直士官に依頼して、船舶気象通報に準じた記録表を3時間ごとに記入してもらい、陸上でパンチ入力して、船体応答と対応させるようにした。

この他に、きわめて少数ではあるが、加速度方式の投棄式波浪ブイを投入して、波浪の計測も若干行っている。この場合は、半自動式の磁気テープ式データレコーダに、3項目の船体応答と同時にアナログ記録し、スペクトル解析の対象とした。

3 外界条件

計測期間中の外界条件の頻度分布を Table 3に示す。波高は1mごとの16段階、波周期は2secごとの8段階、風速は10ktごとの9段階、船速は2ktごとの14段階、波との出合角は45°ごとの8方向に分けて分類した。

波高は、5,171データ中の80%は3.75m以下であり、5.75m、6.75m、7.75mを超えるものは、それぞれ2.7%、1.7%、0.9%となっており、13.75mを超えるものは報告されていない。SR 163において、1964～1974年の10年間の船舶気象観測表によって北太平洋の気象統計を行った表⁹⁾から、本船のコースに該当する海区だけを選んで集計した約80万のデータを採り、海区ごとのデータ数の重みを考慮して求めた頻度分布との比較を Fig.2に示す。10年統計の場合には、2m以下の波の頻度が相当高くなっている。最高波高は20m(気象庁での整理段階で上限は20mに抑えている)であるが、北太平洋全域10年間のデータ約370万の中には、20mという観測値が30以上現われており、14.75mを超えるものは268個(0.01%)ある。

目視波高は、1963年以降有義波 (Significant Wave)

Wind Velocity			Wind Direction			Wave Height			Wave Direction			Mean Wave Period			Wave Encounter			Ship Speed		
kt	Freq.	%	deg	Freq.	%	m	Freq.	%	deg	Freq.	%	sec	Freq.	%		Freq.	%	kt	Freq.	%
0	777	14.8	Calm	81	1.5	Calm	17	0.3	Calm	0	0	Calm	10	0.2	Calm	0	0	0	1	0.0
10	2093	39.8	345 N	317	6.0	0	83	1.6	345 N	241	4.7	1			Head	914	17.7	1	1	0.0
20	1727	32.9	15	231	4.4	0.75	1154	22.3	15	332	6.4	2						2	3	0.1
30	543	10.3	45	226	4.3	1.75	1712	33.1	45	311	6.0	3	1674	32.4				3	16	0.3
40	106	2.0	75	196	3.7	2.75	1157	22.4	75	230	4.5	4			Bow	1417	27.5	4	12	0.3
50	9	0.2	105	221	4.2	3.75	677	13.1	105	284	5.5	5						5	11	0.3
60	3	0.1	135	463	8.8	4.75	233	4.5	135	288	5.6	6	1907	36.9				6	27	0.9
70	0	0	165	574	10.9	5.75	56	1.1	165	465	9.0	7	1063	20.6				7	41	0.8
	5258	100	195	603	11.5	6.75	34	0.7	195	557	10.8	8	353	6.8	Beam	1033	20.0	8	58	1.1
			225	511	9.7	7.75	19	0.4	225	667	13.0	9	74	1.4				9	527	10.0
			255	612	11.6	8.75	13	0.3	255	727	14.1	10	83	1.6	Quarter	1190	23.1	10	2259	42.9
			285	704	13.4	9.75	4	0.1	285	726	14.1	11						11	2159	41.0
			315	519	9.9	10.75	7	0.1	315	322	6.3	12	5164	100	Follow.	607	11.5	12	0	0
				5258	100	11.75	4	0.1	345	5150	100	13			Total	5161	100	13	152	2.9
						12.75	1	0.0				14						14	3	0.1
						13.75	0	0				15						15	0	0
						14.75	0	0				16						16	5269	100
							5171	100				17						17		

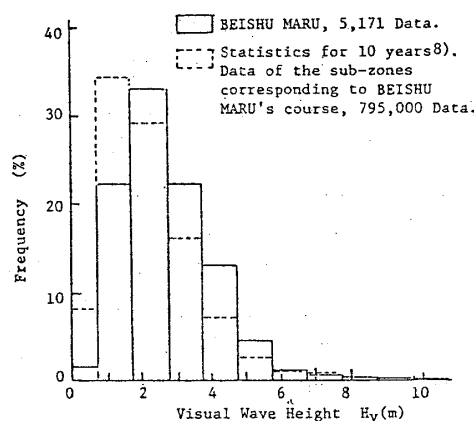


Fig. 2 Frequency diagram of visual wave heights

Visual Data By
Weather Ship •
Container Ship x

$H_{1/3} = H_v$

$H_{1/3} = 1.68 H_v^{0.75}$

Ref. 9)

Fig. 3 Visual wave heights vs. measured wave heights

±25% 程度あるものといわれている。熟練度にもよるが、船の大きさや船速および観測者の眼高などにも大きく影響されるようである。

目視波高 H_v と波浪ブイで計測した $H_{1/3}$ との比較を Fig. 3 に示す⁷⁾。残念ながら、波高のきわめて高い状態

での比較データはないが、ばらつきが相当大きいこと、専門家による気象観測船の目視データは相当精度が高いことなどがわかる。NV ルールでは、北大西洋における定点観測による多数の資料に基いた近似式と思われるが、

$$H_{1/3} = 1.68 \times H_v^{0.75}$$

という式を与えている⁹⁾。波高の低い場合は目視波高の方が低目に、波高の高いところでは高目に観測するという傾向があるようである。この式によれば、目視波高 13.75 m および 20 m のときの $H_{1/3}$ は、それぞれ 12.0 m および 15.9 m となるようである。一つの連続した観測の中で、N波に1波の最大期待値 $H_{\max-N}$ は、

$$H_{\max-20} = 1.22 H_{1/3} \quad H_{\max-100} = 1.52 H_{1/3}$$

$$H_{\max-50} = 1.40 H_{1/3} \quad H_{\max-200} = 1.62 H_{1/3}$$

となるので、ときどき巨大な波が来るような荒天状態では $H_{1/3}$ よりも高目に観測するという傾向があるものと思われる。

風速・風向・波向および波周期なども、10年間の長期統計とほぼ同様の分布を示している。

風速の分布は 30 kt 以下が大部分で 88% を占めており、40・50 および 60 kt を超えるものはそれぞれ 2.3・0.3 および 0.1% となっている。70 kt を超えるものは観測されていない。北太平洋全域 10年間の統計の約 370 万データの中には、50・60 kt を超えるものが 0.12・0.02% となっており、70 kt を超えるものは 174 個 (0.005%) となっている。

波との出合角度の頻度分布は大体

$$\begin{aligned} \text{Head : Bow : Beam : Quarter : Follow} \\ = 2 : 3 : 2 : 2 : 1 \end{aligned}$$

の比率となっている。

標準の航海速力は 23.5 kt であるが、近年はややスロウダウンして大体 20 kt 前後で走っているようで、19~20 kt のデータが全体の 84% を占めている。

4 船速および操船条件

4.1 波高と平均船速

波高と船速の関係を Fig. 4 に示す。1 m ごとの波高区分で船速の平均値をプロットしたもので、破線は Head および Bow (船首から $\pm 67.5^\circ$) の 2,327 個、点線は Follow および Quarter (船尾から $\pm 67.5^\circ$) の 1,796 個、実線はこれらに Beam (真横から $\pm 22.5^\circ$) 状態を加えた総数 5,155 個のデータについて求めたものである。総平均では、波高 4 m 以上 13 m までの範囲で、船速が 20 kt から 5 kt まで比較的滑らかに低下しているように見受けられる。しかし、これは Head および Bow の前方波の場合の傾向に支配されているもので、Follow および Quarter の後方波の場合には、ほとんど船速低下

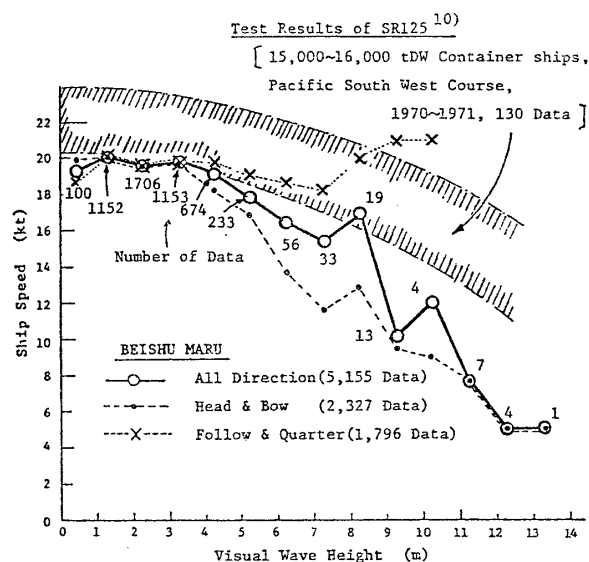


Fig. 4 Ship speed vs. wave heights

は認められない。

図中斜線で囲んだ部分は、SR 108 および SR 125 による実船計測の結果である¹⁰⁾。これは、175 m 級 (載貨重量 15,000~16,000 t) のコンテナ船数隻による PSW 航路での計測結果である。波との出合角別に符号を変えてプロットしてあるが、出合角による有意の差はあまりないようで、大体このバンド内に入っている。高速運航を行っていた昭和 45・46 年データのタであるから、絶対値は相当高くなっているが、全般的傾向は非常に類似したものと考えられる。

4.2 荒天時の機関回転数

風速 40 kt 以上または波高 5 m (実際には 4.75 m) 以上の荒天時のデータのみを選んで、波高・機関回転数および船速の関係を Fig. 5 に示す。左の方 (波高 4 m 以下) で白丸で示した点は、荒天時以外のものも含めた総数によるものである。例えば、Head・Bow の状態では、波高 3.75~4.75 m のデータ 274 個のうち、10 個は風速が 40 kt 以上あったということになる。

Head・Bow の場合、全体ではさきに Fig. 4 でみたとおり滑らかな船速低下の傾向が現われているが、機関回転数別にみると、船速はほぼ回転数のみによって支配され、波高にはあまり影響されないようである。大体において

110 rpm のとき 18~20 kt

90 rpm のとき 16~18 kt

70 rpm のとき 8~12 kt

50 rpm のとき 4~6 kt

程度となっている。また、波高が 5 m 以上となると、90 rpm に落しているケースが 102 データ中 53 個と最も多く、波高 6 m 以上では 70 rpm が、8 m 以上では 50 rpm が多くなっている。また、波高 6 m 以上で 110 rpm

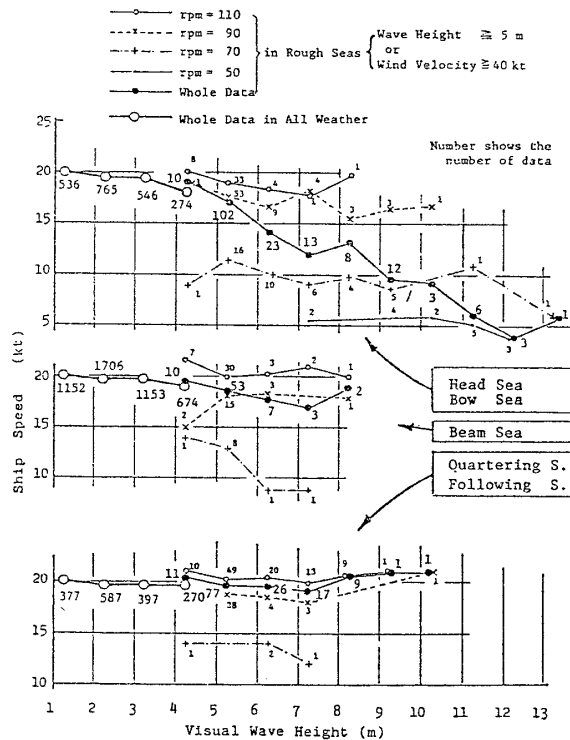


Fig. 5 RPM of main engine and ship speed vs. wave height

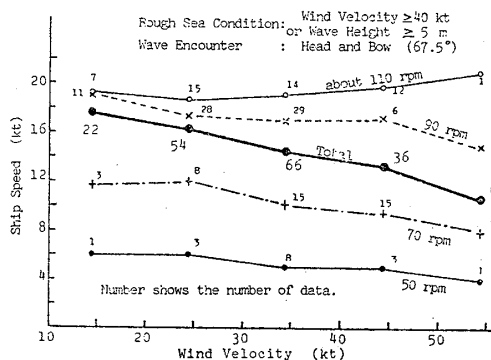


Fig. 6 RPM of main engine and ship speed vs. wind velocity

を維持している場合はきわめて稀である。

Beam Sea の場合は、低速回転で走る場合は少なく、50 rpm のデータは皆無である。荒天時には横波を避けて走っているようで、波高 8 m を超えるケースも報告されていない。

Follow・Quarter の場合は、波高に関係なく回転数だけで船速が決まる傾向がさらに顕著である。また、110・90・70 rpm の差も小さく、いずれも大体 18~22 kt の範囲に入っている。特に 110 rpm の場合は、ほとんど平水時の平均船速 20 kt を超える船速となっている。

同じく荒天時のみについて、Head および Bow の場合の、風速～回転数～船速の関係を Fig. 6 に示す。風速 40 kt 未満の点は、波高が 5 m 以上のもののみしかプロットしていないので、点数が少なくなっている。ここで

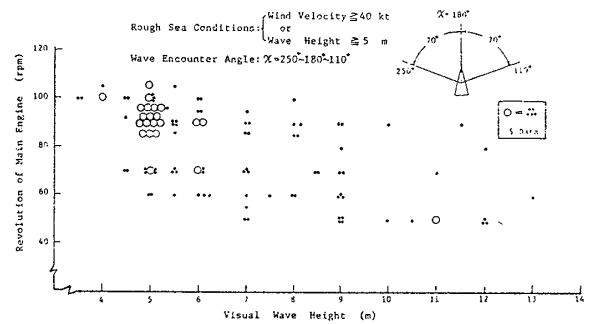


Fig. 7 RPM of main engine vs. wave height

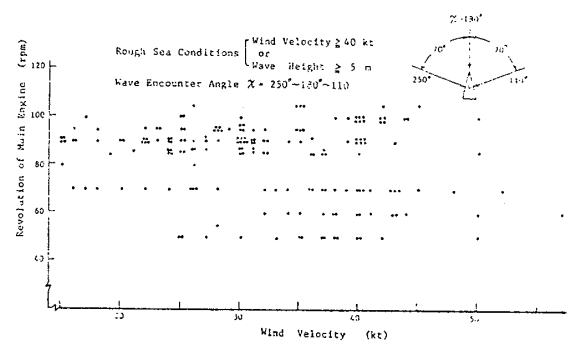


Fig. 8 RPM of main engine vs. wind velocity

も、船速は風速増加とともに直線的に下がるようにみえるが、回転数別に見るとほぼ一定で、風速は直接には船速にあまり影響を与えていない。ここには図示しなかったが、Beam および Quarter・Follow の場合も、全く同様の傾向が認められた。また、風速が 20 kt 未満でも、波高が 5 m 以上となると、90 または 70 rpm に下げている場合も多く、回転減速は風速よりも波高を基準に行っていることが多いようである。

このことは、Fig. 5 および Fig. 6 に対応して、波高～回転数および風速～回転数の関係を図示した Fig. 7 および Fig. 8 を見ると一層明らかである。いずれも波高 5 m 以上または風速 40 kt 以上の荒天時のみのデータで、正船首から $\pm 70^\circ$ までの前方波のみを採ったものである。Fig. 7 では、相当のばらつきはあるが、通常回転数 110 rpm から最低の 50 rpm 付近まで、波高と回転数の大体の関係を示す平均線が引けそうである。一方、Fig. 8 では、風速と回転数との間に有意の相関はほとんどないといってもよい。ただ前述のとおり、本図で風速 40 kt 未満の範囲では、波高 5 m 未満のデータは含まれていないことに注意する必要がある。

4.3 荒天時の出合角度

さきに Table 3 中で示した波との出合角度の分布と、上記の風速 40 kt 以上または波高 5 m 以上の荒天時のみの出合角度の分布を重ねて Fig. 9 に示す。あまり顕著な差は見られないが、荒天時には、Head・Beam および Quarter が減少し、Bow と Follow が増加している。特

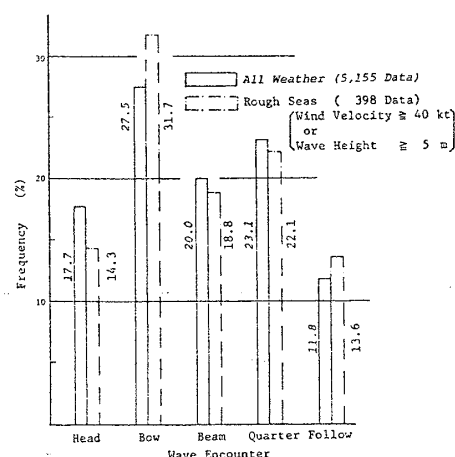


Fig. 9 Frequency distribution of wave encounter angle

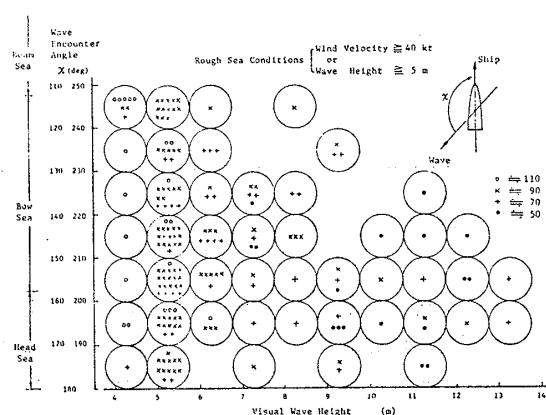


Fig. 10 Heading angle vs. wave height

に Head の減少と Bow の増加の傾向が目立つ。荒天時にはスラミング衝撃を避けて、波を斜前方から受けるよう操船することが多いものと思われる。

この荒天時のみのデータについて、横軸に波高を 1 m ごとに区分し、縦軸に波と一出合角と 10° ごとに区分して、Head および Bow ($\chi=250^\circ\sim180^\circ\sim110^\circ$) の場合の頻度分布を示したのが Fig. 10 である。各円内の記号は機関回転数を示すものである。

荒天時には、回転数低下による意識的減速だけでなく、意識的に出合角を変えている場合も多いと考えられる。一般的には、荒天時にスラミング衝撃を避けるためには、前方 2 点 ($\pm 22.5^\circ$) の方向から波を受けるように走るのがよいとよくいわれている。深沢・山本¹¹⁾の解析ではフレア角の大きいコンテナ船の場合には、船体強度のみについていえば、前方 2 点はあまり好ましい方向ではなく、波長が船長より長い場合は前方 4 点 ($\pm 45^\circ$)、短い場合は真正面に波を受ける方が望ましいという結果を得ている。本船の場合には、 $\pm 10^\circ\sim 30^\circ$ の頻度が特に高く、前方 4 点付近の Bow および $\pm 10^\circ$ 以内の Head は意識的に避けている傾向がみられる。また、荒天中を前方 4 点付近または $\pm 10^\circ$ 以内で航走する場合は、回転

は最低の 50 rpm 付近に落しているようである。

5 船体応答

外界条件および操船条件と船体応答の相関については、次報以降に詳述するつもりである。

応答としては、縦揺・横揺および甲板応力の 3 項目のみしか計測していないので、スラミング現象についての情報はあまり期待できない。

SR 125 の報告¹⁰⁾によると、意識的な減速や操舵は、スラミングを意識した場合が最も多いようで、船首の上下加速度を基準にして考えると整理しやすいこと、縦揺および横揺との相関は不明確で、減速によってかえって動揺が大きくなっている場合も多いことなどを挙げている。本船の場合も、操船条件と動揺との相関はあまり明かではないが、結果的には甲板応力があまり高くないような操船が行われているように見受けられた。

6 むすび

北太平洋航路のコンテナ運搬による、長期連続の自動式実船計測の第 1 報として、外界条件・操船条件および船速について報告した。船体応答については次報以降に報告する予定である。

本計測実施に当って、長期間格別の御協力をいただいた山下新日本汽船(株)および米州丸の関係者各位に深甚の謝意を表する。

参考文献

- 1) SR 200-1: “実船試験の展望”, 造研報告, 85 (1977).
- 2) SR 44, 49: “高速船の応力頻度ならびに甲板荷重の実験的研究”, 造研報告, 49 (1965).
- 3) SR 63: “船舶の耐航性に関する実船試験”, 造研報告, 65 (1968).
- 4) SR 99: “航海中の船体応力頻度に関する実船試験”, 造研研究資料, 62 (1967), 76 (1968), 96 (1969).
- 5) SR 118: “大型鉱石運搬船の船体各部応力に関する実船試験”, 造研報告, 72 (1972).
- 6) SR 124: “大型鉱石運搬船の船首部波浪荷重および鉱石圧に関する実船試験”, 造研報告, 81 (1976).
- 7) SR 163: “気象・海象および船舶の波浪中応答に関する統計解析ならびに実船計測”, 造研報告, 97 (1981).
- 8) SR 163: “Winds and Waves of the North Pacific Ocean 1964~1973—Statistical Diagrams and Tables—”, 日本造船研究協会, 1980.
- 9) Det Norske Veritas: “Rules for the Design Construction and Inspection of Offshore Structures, 1977, Appendix A, Environmental Conditions”, NV, 1978.
- 10) SR 125: “超高速コンテナ船の耐航性に関する研究”, 造研研究資料, 157 (1972).
- 11) 深沢塔一・山本善之: “Slamming による崩壊強度より見た高速船の Flare 形状と操船について”, 造船学会論文集, 148 (1980).