

(昭和 36 年 11 月 造船協会秋季講演会において講演)

# 高速客船くれない丸における Waveless Bulb の船首波打消しに関する研究 (第 2 報—実船試験)

正員 重 満 通 弥\* 正員 甲 斐 敬 二\*

The Wave-Cancelling Effects of Waveless Bulb on the High Speed Passenger Coaster M/S "KURENAI MARU" (Part II-The Full-Scale Experiment)

By Michiya Shigemitsu, *Member*  
and Keiji Kai, *Member*

### Summary

This is the second one of the three connected papers. This part concerns the full-scale experiment on the high speed passenger coaster M/S "KURENAI MARU", where a comparison is made between two different hull forms with and without the attached large bulb, which was specially designed according to the Waveless Form Theory.

Descriptions are made on the results of the turning test and the so-called serpentine test (zigzag test) as well as on the ordinary speed trials.

Besides a small amount of unexpected bottom fouling effects upon the hull resistance, coincidence is satisfactorily good between the tank predictions (refer to the First Report) and the trial results.

Concerning the manoeuvring characteristics, the attached large bulb F 4 has demonstrated itself as effective in decreasing somewhat the values of  $K'$  and  $T'$ , where  $K'$ ,  $T'$  are the dimensionless indices of manoeuvrability, recently introduced by Prof. Nomoto.

この報告は高速客船くれない丸に関する研究報告の第 2 部をなすもので、前報<sup>1)</sup>の後半に示した通常の意味での水槽試験 (抵抗・自航) と対応する実船の部分、すなわち速力試験における馬力計測結果とその解析を中心として述べたものである。このほかに実船では、模型船\*\*で現在のところ未だ実施されていない Z 操船試験・旋回試験をも実施し、船首波打消しの役目をもつ超大型バルブが、速力性能に貢献する一方で船の操縦性能にどのような副作用を与えるかを模型にさきがけて直接実船についてしらべてみたので、その結果についても報告する。

くれない丸の実船試験およびこれに関連して行なわれた水槽試験の全般を通じて、もっとも特徴的なところは模型船および実船の造る波の波形観測と波形分析とである。その内容は模型・実船の各波形の相似性比較という

Table 1—Docking Program of M/S Kurenai Maru for the Full-Scale Test

March 12, 1961	March 13	March 14	March 15	March 16	March 17
Sunday	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday
No.1 Dry-Docking (Washing the bottom)		No.2 Dry-Docking (Attaching the F4 Bulb, Exchanging the Propellers)			No.3 Dry-Docking (Detaching the F4 Bulb, Restoring the Propellers)
Full-Scale Measurement For As Built Condition (B1 Bulb)			Full-Scale Measurement For the Case attached with F4 Bulb		

原稿受付 昭和 36 年 6 月 20 日

\* 新三菱重工業株式会社神戸造船所

\*\* 運研 5.5m 模型を使用し、野本助教授の指導・協力のもとに近く実施の予定である。

見地から、第3部に統一的に取扱うことにした。ただ本報告では実船においても波形観測を重視したところから、速力試験の航走法にも従来にない新しい試みがなされたことを付記した。

### 1 実船試験の概要

くれない丸の船首波打消しの実船試験は、本船の中間検査の時期とあわせて、1961年3月13日に第1回（現型すなわち第1報の小型バルブ B1 付一第1~2 図参照）同16日に第2回（大型バルブ F4 付一第3~4 図参照）と前後2回にわたって実施された。両試験当日を含めて本船が今回の試験のために要した全日程を第1表に示す。本船はすでに就

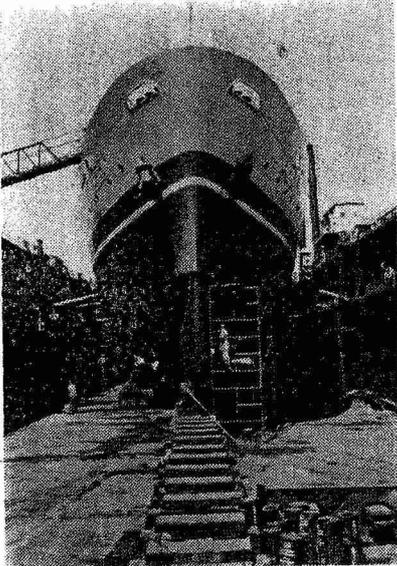


Fig. 1—The Front View of M/S Kurenai Maru As Built Condition (with Small Conventional Bulb B1)

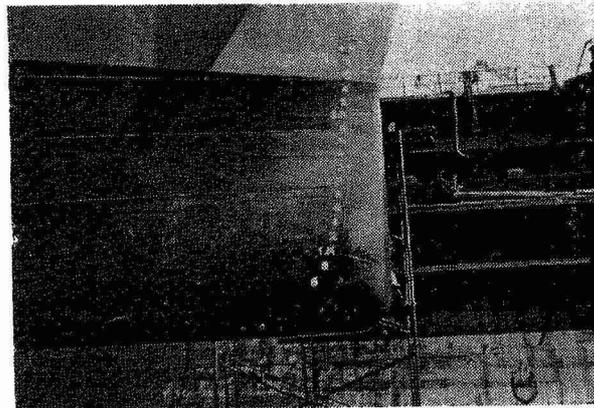


Fig. 2—The Stem Profile of M/S Kurenai Maru As Built Condition (with Small Conventional Bulb B1)

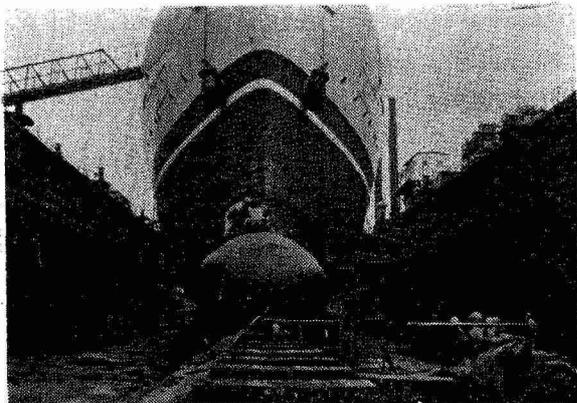


Fig. 3—The Front View of M/S Kurenai Maru attached with Large Waveless Bulb F4



Fig. 4—The Large Waveless Bulb F4 under Construction and Fitting to M/S Kurenai Maru

航中の客船であり、かつ春の観光期にも入っていたので、この日程表は非常にきりつめたものとなつた。とくに第1回試験終了後大型バルブを取付けるのになか2日の余裕しか与えられなかつたことは、工事担当者のもつとも苦心を要した点であつた。これと関連して、第1回試験直前の入渠時間がわずか20時間前後であつて、当時かなり汚損していた船底を全面にわたって新造時に近い程度の清浄な滑面状態に戻すだけの時間的余裕がなかつたことも今回の実船試験全般に大きなマイナスとなつた。このことは波形分析の立場から、計画通りの対水速力で速力試験の各航走を行ないたいという特殊な要求を満足する上にも、非常に重要なミスであつたことが解析の結果判明した。

試験種目は両日も（1）速力試験、（2）Z操船試験、（3）旋回試験の3種であり、ヘリコプター1機による各種の写真撮影が平行的に実施された。両試験日当日の本船の喫水その他の諸状態は出入港の2時点で正確に実測した。これから速力試験が行なわれた時間の中点に対し内挿した値を第2表に掲げる。

なお第2回(3月16日)の試験のさいには本船の船型が B1 から F4 に変えられたと同時に、プロペラも、また実船抵抗の変化に対応して変えられたことは第1報に既報の通りである(新旧両プロペラの要目は第1報の第3表参照)。

## 2 F4 バルブの製作および取付け

Waveless 船型理論にもとづいて設計された超大型バルブは、はじめ試験終了後もそのまま取外さないで就航するという方針であった。プロペラが新しく設計製作されたのもこの基本方針にもとづいてなされた処置であった。

しかし、その後別府港内の操船上の理由から、このバルブは試験終了後取外すという方針に変更された。今回製作された F4 バルブもこの第2の方針に従って、設計・工作が行なわれた。取付け・取外しが簡単容易で、船体を傷めないような構造であること、軽量であること、に意が用いられた。使用材料は主として 3.2mm 厚の鋼板とし、取付強度の条件をらくにするためにバルブ部分の浮力をなくすよう、バルブ表面の適当な箇所に空気孔をあけ、内部に海水が自由に入出するようにした。ただし空気孔の位置・大きさはバルブの流体力学的効果には全く影響のないように十分配慮した。

本船の現型は小さいながらも小型バルブ B1 がついており、大型バルブ F4 と本船との取合わせのところまで一体として完成させてしまつたのでは現在の B1 バルブが邪魔になつて取付けができない。また本船は就航中の船で F4 バルブと本船との現場取合わせは3月12日朝でないとできない。しかも一方では F4 バルブ取付工事にはなか2日の余裕しか許されていない。以上の諸点を考慮して F4 バルブは基本ブロック①をもととして全部で 10 コの曲面ブロックに分割準備された。そのバルブ曲面分割の様を第5図に示す。基本ブロック①は F4 バルブ曲面の最前部と最下部とを形成しており、左右玄一体となつている。取付後の状態ではその最下端は本船キール・ラインより下方 1.05m だけたれ下がるので、ドック内のキール盤木を、3月12日第1回の入渠にそなえて、あらかじめ全長にわたり約 0.6m だけ高くし、かつ船首前方に当る長さ約 13m の部分のキール盤木を取除き、この位置に基本ブロック①を第6図の点線の如く設置しておいた。

3月12日第1回目入渠のさい本船の前後位置は同図左側のごとくとし、この状態で船底水洗い(ただしキール盤木の当つている部分は水洗いせず)を行ない、ついで F4 バルブの本船への取付位置の現場マーキングを行なつた。3月14日、第2回目入渠のさいは第6図に示す位置に本船を入渠せしめ、直ちに同図に示す外板面の位置に7コの吊上用アイプレート(eye plate)を溶接し、チェーンブロックを用いて前記 F4 バルブの基本ブロック①を斜後方に吊上げ、3月12日に行なつたマーキングに合わせて本船外板との交線に沿つて溶接した。残り9コバルブ曲面ブロックはその番号順に順次溶接し、困難が予想された外板とバルブの2曲面の交線上での接合も予定時間よりいくらか早く、3月15日夜無事に工事完了した。この場合板厚が薄いことによる歪の発生にも十分注意したが、そのでき上りはきわめて満足すべきものであつた。

なお実船試験の全日程を終了した直後の本船第3回目入渠のさい、この F4 バルブは直ちにガス切断して

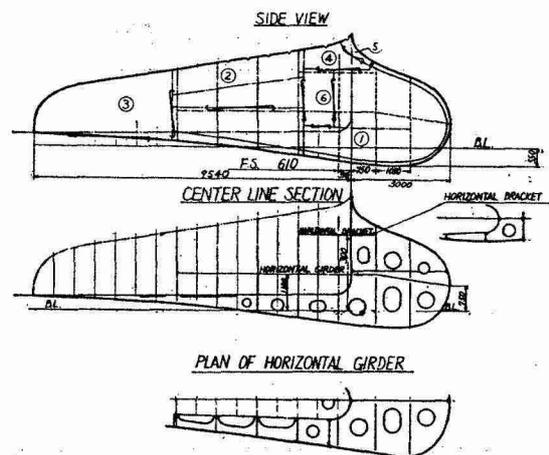


Fig. 5—Construction Plan for Large Waveless Bulb F4 (divided into 10 blocks)

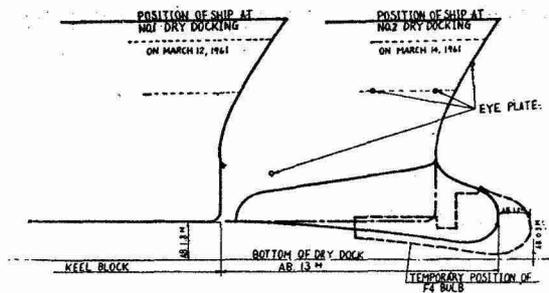


Fig. 6—Comparison of Relative Position of Ship and F4 Bulb at Twice Dry-Dockings on March 12 and 14, 1961

取除き、アンダーカットが残らぬように本船外板面の仕上げを行なつて3月12日以前の本船の現型状態に復元せしめた。

### 3 速力試験

#### 3.1 試験要領

試験海面は両日とも淡路沖1湊標柱を使用した(第7図参照)。第1日(3月12日)は終日の雨天で風も最大風速 8.0m/s を記録し、海面には若干の風浪が見受けられた。第2日(3月16日)はこれに引きかえ曇天で薄日ももれる無風(最大風速 2.8m/s)の好条件に恵まれた。なお第1日は雨のため視界も非常に悪く標柱が視認できないことが多く、対地速力は大部分後述の MARSMEC によつた。

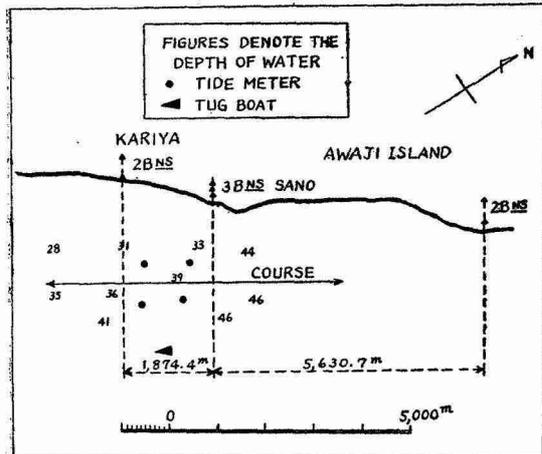


Fig.7—Position of Tug Boat and Tide Meters anchored alongside the Mile Course off Kariya, Awaji Island

既述の通り今回のくれない丸の研究では波形観測と波形分析とを重要な船型学的手法と考えている。波形分析では理論波形との比較がなされ、そのためには数種のかかり複雑な波形諸関数の数表が用意されている。しかしこれらの数表は種々の理論的配慮から  $K_0L(=1/F^2)$  の適当な round numbers に対して与えられているから、模型船も実船もその対水速力をこれに従つて選定しておくことが必要である。かくすれば理論波形との比較が容易となるばかりではなく、同一フルード数における実船の波と模型の波との対比も自動的にできることになる。

Table 2—List for Predicted Speed of Runs on M/S Kurenai Maru Full-Scale Test

$F(=V/\sqrt{Lg})$	0.267	0.289	0.316	0.333
$K_0L(=1/F^2)$	14	12	10	9
$V_s$ (Knots)	14.87	16.06	17.60	18.55

以上の考え方に沿つて、速力試験で選定する対水速力の値を次表(第2表)のごとくにあらかじめその目標値を設定して、できる限りこれに近づけるようにした。

上表の目標値は対地速力ではなく対水速力であるから各速力に対応する主機回転数の選定に当つて、まず潮流の影響はこれを考慮する必要がない。問題は(1)風圧抵抗に対する修正、と(2)船底汚損度あるいはプロペラ汚損度に対する修正、の2点である。このうち第2の

汚損に対する修正は、試験前の入渠によつてほとんど本船新造時と同程度の清浄度に戻るであろうというのが当初の予想であつた。すなわち本船引渡し当時の海上速力試験のさいの成績もあわせて考えて、第1報既報の自航試験のさいに採用した粗度修正量  $\Delta C_f=0.0003$  そのままの値で近似できるものと考えた(実際には清浄度の復元度が十分でなく、汚損の影響が入つてしまつたことは後述の通り)。

そこで(1)の風圧抵抗の問題に主眼をおき、各航走時10分前の相対風向・風速から風圧抵抗を本船上で計算し、直ちに所要回転数の修正値を求めるための計算図表を両試験状態(B1とF4)に対して用意した。

そのもととなつた本船水線上2重模型(1/150)の風洞実験その他については付録に示した。

速力試験に関連して行なわれた計測項目は次の通りである。計測値および解析値を第3~6表に示す。

対地速力：入出標の時間差を校正された3コのストップ・ウォッチで計測し、また当所電気式船舶速力計測装 MARSMEC をも併用した(第3表)。(なお対水速力用に志波式ログを借用の予定であつたが、他の実験と重なり使用できなくなった。)

軸馬力：本船は2軸船であるが、各軸に180°位相をずらした各1対の研野式振計を使用した。また参考としてマイハック型指圧器により主機の図示馬力を計測し、これから制動馬力を算出した(第4表)。なお軸馬力は1航走中に3回ずつ計測してその平均値を採用した。

相対風向・風速：本船はレーダー・マストの近くにコーシン・ペーンをもつている。これと、さらに念のため船首前端の遊歩甲板上4mの高さに41研究部会で使用した同種の風向風速計とを2コ併用する予定であつた。付録に示す風洞実験の結果では横風の場合、後者の方が較正曲線の性質が良好であることが判つていたが、実際には故障のため十分よく作動せず、もつばら前者、すなわち本船装備のコーシン・ペーンを使用する結果と

Table 3—List of Speed Measurements

Date	No. of Speed	No. of Run	Course	Entering Time in Mile Post	Time in Course	Speed measured by Stop Watch (Knots)	Speed measured by MARS-MEC (Knots)	Direction of Tide & Wind	Sea	Swell	Weather	Depth of Water (m)	Amp. of Roll	Steering Angle
March 13, 1961	I	1	213°	10:40			15.00		Smooth	Nil	Drizzling Rain	31~34	p0.3°~s0.3°	p2°~s3°
		2	33°	11:06			14.16		"	"	"	"	"	p2°~s2°
	II	3	213°	11:22	3'-43.9"	16.273	16.27		"	"	"	"	"	p3°~s2°
		4	33°	11:38			14.97		"	"	"	"	"	p3°~s3°
	III	5	213°	12:00			18.10		"	"	"	"	"	0°~s4°
		6	33°	12:16			16.68		"	"	"	"	"	p1°~s2°
	IV	7	213°	13:10	3'-12.8"	18.898	18.83		"	"	"	"	"	0°~s3°
		8	33°	13:33	3'-26.8"	17.636	17.59		"	"	"	"	"	p3°~0°
March 16, 1961	I	1	213°	10:54	4'-07.8"	14.704 "V <sub>0</sub> "	14.84		Dead Calm	Nil	Cloudy	30~34	p0.3°~s0.3°	p4°~0°
		2	33°	11:11	4'-17.7"	14.139	13.97		"	"	"	"	"	p2°~s2°
	II	3	213°	11:23	3'-45.3"	16.172	16.13		"	"	"	"	"	p2°~s1°
		4	33°	11:47	3'-59.1"	15.239	15.17		"	"	"	"	"	p2.5°~s1.5°
	III	5	213°	12:04	3'-24.5"	17.817	17.81		"	"	"	"	"	p2°~s1°
		6	33°	12:23	3'-40.7"	16.510	16.56		"	"	"	"	"	p1°~0°
	IV	7	213°	12:43	3'-10.4"	19.136	19.16		"	"	"	"	"	p1°~0°
		8	33°	13:05	3'-29.8"	17.367	17.27		"	"	"	"	"	p2°~s1°

Table 4—List of Power and RPM Measurements

Date	No. of Speed	No. of Run	Entering Time in Mile Post	Measured by Indicator (MAIHAK TYPE) & Tachometer						Measured by Torsion Meter (TOGINO TYPE)						
				BHP			RPM			SHP			BHP*	RPM		
				Port.	Starb.	Total	Port.	Starb.	Mean	Port.	Starb.	Total "SHP <sub>0</sub> "		Port.	Starb.	Mean "N"
March 13, 1961	I	1	10:40	1,018	1,028	2,046	188.3	189.9	189.1	972	1,041	2,013	2,021	187.2	189.9	188.6
		2	11:06	1,052	1,093	2,145	189.7	190.7	190.2	1,044	1,083	2,127	2,136	189.5	190.7	190.1
	II	3	11:22	1,347	1,362	2,709	205.2	206.4	205.8	1,306	1,360	2,666	2,677	205.3	206.4	205.9
		4	11:38	1,347	1,378	2,725	204.1	204.5	204.3	1,311	1,378	2,689	2,700	204.8	204.5	204.7
	III	5	12:00	2,098	2,075	4,173	233.8	233.7	233.8	1,998	2,038	4,036	4,052	231.2	233.7	232.5
		6	12:16	2,100	2,120	4,220	233.2	233.7	233.5	2,021	2,109	4,130	4,147	231.8	233.7	232.8
	IV	7	13:10	2,558	2,604	5,162	247.0	248.6	247.8	2,487	2,534	5,021	5,041	247.2	248.6	247.9
		8	13:33	2,580	2,573	5,153	247.3	245.9	246.6	2,471	2,516	4,987	5,007	244.8	245.9	245.4
March 16, 1961	I	1	10:54	918	948	1,866	180.0	180.0	180.0	878	957	1,835	1,842	179.9	180.0	180.0
		2	11:11	920	985	1,905	180.4	181.0	180.7	893	973	1,866	1,873	180.0	181.0	180.5
	II	3	11:23	1,231	1,303	2,534	197.4	195.5	196.5	1,160	1,259	2,419	2,429	195.8	195.5	195.7
		4	11:47	1,230	1,219	2,449	197.3	197.3	197.3	1,155	1,279	2,434	2,444	195.7	197.3	196.5
	III	5	12:04	1,700	1,777	3,477	218.3	218.0	218.2	1,617	1,767	3,384	3,398	216.6	218.0	217.3
		6	12:23	1,720	1,800	3,520	218.3	218.7	218.5	1,637	1,788	3,425	3,439	217.4	218.7	218.1
	IV	7	12:43	2,198	2,277	4,475	234.3	234.3	234.3	2,052	2,238	4,290	4,307	232.9	234.3	233.6
		8	13:05	2,198	2,285	4,483	234.3	235.5	234.8	2,066	2,240	4,306	4,323	233.6	235.3	234.5

Note; BHP\* = SHP<sub>0</sub> × 1.004 (Two bearings, loss = 0.002 for each bearing)

Table 5—Wind Measurements

Date	No. of Speed	No. of Run	Course	Entering Time in Mile Post	Speed of Ship (Knots)	Absolute Wind				Ahead Resist. Coeff. "K"	Relative Wind		
						Direction	Velocity (m/sec)	Relative Wind Direct.	Relative Wind Velocity (m/sec) "W"		Direction	Velocity (m/sec)	Corrected Velocity (m/sec)
March 13, 1961	I	1	213°	10:40	15.00	70°	4.8	P 37°	4.8	0.80	P 80°	0.3	—
		2	33°	11:06	14.16	73°	7.8	S 21°	14.2	0.92	S 20°	16.0	15.2
	II	3	213°	11:22	15.91	80°	4.8	P 35°	6.0	0.86	P 105°	2.5	—
		4	33°	11:38	14.97	60°	7.2	S 12.5°	14.5	0.93	S 21°	16.8	15.9
	III	5	213°	12:00	18.10	45°	7.8	P 43°	2.3	0.20	—	2.0	—
		6	33°	12:16	16.68	51°	8.0	S 8°	16.4	0.97	S 10°	16.7	16.0
	IV	7	213°	13:10	18.83	54°	7.3	P 42°	3.8	0.24	P 75°	3.4	—
		8	33°	13:33	17.59	70°	7.3	S 16°	15.5	0.92	S 22°	17.6	16.0
March 16, 1961	I	1	213°	10:54	14.704	113°	0.9	P 7°	7.5	0.99	P 20°	7.5	7.1
		2	33°	11:11	14.139	85°	1.9	S 10°	8.6	0.95	S 29°	8.6	8.0
	II	3	213°	11:23	16.172	100°	2.8	P 19°	7.7	0.92	P 42°	8.0	7.2
		4	33°	11:47	15.239	90°	2.6	S 13°	9.5	0.93	S 30°	9.4	8.7
	III	5	213°	12:04	17.817	80°	1.5	P 8°	8.2	0.97	P 24°	8.5	8.0
		6	33°	12:23	16.510	40°	2.3	S 2°	10.8	1.03	S 10°	10.4	10.0
	IV	7	213°	12:43	19.136	50°	2.0	P 4°	8.0	1.04	P 19°	8.0	7.6
		8	33°	13:05	17.367	55°	1.4	S 3°	10.3	1.04	S 13°	10.0	9.6

なつた。

絶対風向・風速： マイルコースのほぼ中央位置，コース中心から淡路島と反対側の沖合後 1.5km のところに当所曳船を錨泊し（第7図），その操舵室屋上に高さ約 1.5m の支持台を設け，その上にロビンソン・カップおよび風信儀を取付けて，連続的に 10 分間づつの平均の絶対風向および風速を計測し（第5表），入標直前の

Table 7—Analysis of Speed Test

Condition of Bulb (Date)	With B1 Bulb (March 13, 1961)								With F4 Bulb (March 16, 1961)							
	I		II		III		IV		I		II		III		IV	
No. of Speed	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Speed (Knots) $V_{s0}'$	15.00	14.16	16.27	14.97	18.10	16.68	18.8 <sup>0</sup>	17.59	14.704	14.139	16.172	15.239	17.817	16.510	19.136	17.367
$N'$ (RPM)	188.6	190.1	205.9	204.7	232.5	232.8	247.9	245.4	180.0	180.5	195.7	196.5	217.3	218.1	233.6	234.5
SHP <sub>0</sub>	2,013	2,127	2,666	2,689	4,036	4,130	5,021	4,987	1,835	1,866	2,419	2,434	3,384	3,425	4,290	4,306
$AR = \frac{1}{\rho_a} K U^2 AC_R (\Psi = 0)$	-89.436	-900.126	-150.224	-948.762	-5.134	-1,265.896	-16.816	-1,072.482	-270.205	-340.920	-264.669	-407.254	-316.470	-582.805	-322.958	-535.354
$V_{s0}$ (m/sec)	7.716	7.284	8.369	7.701	9.311	8.580	9.686	9.048	7.564	7.273	8.319	7.839	9.165	8.493	9.844	8.934
$n$ (RPS)	3.143	3.168	3.432	3.412	3.875	3.880	4.132	4.090	3.000	3.008	3.262	3.275	3.622	3.635	3.893	3.908
Froude Number	0.2695	0.2544	0.2859	0.2690	0.3252	0.2997	0.3383	0.3161	0.2646	0.2544	0.2910	0.2742	0.3206	0.2971	0.3444	0.3125
$1-t$ (Tank Exp.)	0.855	0.857	0.853	0.855	0.845	0.855	0.841	0.850	0.848	0.847	0.852	0.848	0.845	0.853	0.832	0.848
$Ar = AR/2\rho_a(1-t)v_p^2 D^2$	-0.00111	-0.01138	-0.00162	-0.01059	-0.00005	-0.01159	-0.00014	-0.00914	-0.00348	-0.00440	-0.00296	-0.00453	-0.00299	-0.00545	-0.00275	-0.00441
DHP <sub>0</sub>	1,899	2,013	2,544	2,567	3,901	3,996	4,880	4,848	1,725	1,756	2,302	2,317	3,257	3,298	4,156	4,171
$K_q$	0.02220	0.02298	0.02286	0.02347	0.02434	0.02484	0.02512	0.02573	0.02405	0.02430	0.02500	0.02485	0.02580	0.02585	0.02650	0.02630
$K_{q1}$	0.02213	0.02230	0.02276	0.02286	0.02434	0.02424	0.02512	0.02529	0.02379	0.02397	0.02479	0.02452	0.02560	0.02549	0.02632	0.02601
$n_1$ (RPS)	3.141	3.123	3.431	3.369	3.875	3.830	4.131	4.050	2.984	2.989	3.247	3.254	3.606	3.609	3.878	3.886
$K_{t0}$	0.02223	0.02228	0.02292	0.02286	0.02437	0.02439	0.02539	0.02522	0.02393	0.02396	0.02462	0.02466	0.02561	0.02565	0.02635	0.02638
$\Delta v_0$	-0.005	0.110	-0.010	0.103	0.008	0.086	-0.055	0.124	0.016	0.046	0.056	0.028	0.031	0.033	0.026	-0.014
$V_0 = V_{s0} + \Delta v_0$	7.711	7.394	8.359	7.804	9.319	8.666	9.631	9.172	7.580	7.319	8.375	7.867	9.196	8.526	9.870	8.920
$V_s$ (m/sec)	-0.113	0.165	-0.193	0.211	-0.242	0.252	-0.247	0.216	-0.082	0.134	-0.170	0.242	-0.293	0.350	-0.406	0.453
$v_0 = V_0 + V_s$	7.598	7.559	8.166	8.015	9.077	8.918	9.384	9.388	7.498	7.453	8.205	8.109	8.903	8.876	9.469	9.373
$AR' = \frac{1}{\rho_a} K v_0^2 AC_R (\Psi = 0)$	280.112	277.243	308.908	311.702	399.776	385.893	427.276	427.640	278.786	269.522	326.655	319.056	384.596	382.267	435.051	426.275
Froude Number	0.2658	0.2644	0.2791	0.2804	0.3175	0.3120	0.3283	0.3284	0.2407	0.2410	0.2579	0.2587	0.2812	0.2819	0.2982	0.2990
$1-t$ (Tank Exp.)	0.856	0.856	0.853	0.853	0.849	0.852	0.844	0.844	0.845	0.845	0.847	0.848	0.849	0.850	0.853	0.852
$Ar' = AR'/2\rho_a(1-t)v_p^2 D^2$	0.00437	0.00426	0.00416	0.00424	0.00452	0.00433	0.00445	0.00450	0.00447	0.00431	0.00455	0.00442	0.00450	0.00445	0.00451	0.00440
$K_{q1}'$	0.02244	0.02249	0.02311	0.02306	0.02456	0.02457	0.02556	0.02540	0.02420	0.02422	0.02488	0.02491	0.02585	0.02589	0.02658	0.02661
$n_1'$ (RPS)	3.157	3.182	3.446	3.426	3.891	3.895	4.148	4.106	3.015	3.022	3.277	3.290	3.638	3.651	3.910	3.925
$K_{t0}'$	0.02242	0.02247	0.02308	0.02303	0.02450	0.02452	0.02551	0.02534	0.02411	0.02413	0.02482	0.02485	0.02580	0.02583	0.02657	0.02657
$\Delta v_0'$	-0.030	-0.0030	-0.027	-0.029	-0.025	-0.025	-0.025	-0.024	-0.024	-0.024	-0.030	-0.028	-0.031	-0.030	-0.032	-0.034
$v_0' = v_0 + \Delta v_0'$	7.568	7.529	8.139	7.886	9.052	8.893	9.359	9.364	7.474	7.430	8.178	8.081	8.872	8.846	9.437	9.339
$N'$ (RPM)	188.6	190.1	205.9	204.7	232.5	232.8	247.9	245.4	180.0	180.5	195.7	196.5	217.3	218.1	233.6	234.5
DHP	1,918	1,968	2,568	2,519	3,927	3,945	4,956	4,775	1,729	1,744	2,285	2,317	3,257	3,296	4,161	4,214
BHP = 1.05 × DHP	2,014	2,066	2,696	2,645	4,123	4,142	5,204	5,014	1,815	1,831	2,399	2,433	3,420	3,461	4,369	4,425
$V_s'$ (Knots)	14.71	14.64	15.82	15.52	17.60	17.29	18.19	18.20	14.53	14.44	15.89	15.71	17.25	17.20	18.35	18.16

Note:  $\rho_a = 0.1251$  (kg·s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>) for Air,  $\rho_s = 1014.51$  (kg·s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>) for Sea Water

Table 6—Tidal Current Measurements

March 13, 1961					March 16, 1961				
No. of Speed	No. of Run	Course	Follow or Face	Velocity (Knots) "V <sub>c</sub> "	No. of Speed	No. of Run	Course	Follow or Face	Velocity (Knots) "V <sub>c</sub> "
I	1	213°	Follow	0.22	I	1	213°	Follow	0.16
	2	33°	Face	0.32		2	33°	Face	0.26
II	3	213°	Follow	0.37	II	3	213°	Follow	0.33
	4	33°	Face	0.41		4	33°	Face	0.47
III	5	213°	Follow	0.47	III	5	213°	Follow	0.57
	6	33°	Face	0.49		6	33°	Face	0.68
IV	7	213°	Follow	0.48	IV	7	213°	Follow	0.78
	8	33°	Face	0.42		8	33°	Face	0.88

Note ; The velocity V<sub>c</sub> shows the component of the tide along the course.

計値測はそのつど本船に連絡した。前述の風圧抵抗に対する主機回転数調整にはこの報告を利用した。

潮流： 第7図に示すごとくコースをはさんで4ヶ所の位置に小野式自記検流計4コを設置し、水面下約2mでの潮流の流向・流速の連続記録をとつた(第6表)。また検流計のパイには旗竿を立てて、これをコースの目印に利用した。

波形撮影： 模型船の場合と同様に(1)船側波形プロフィール、と(2)直上空からの波紋の Bird's eye views との2種の写真を撮影した。前者には曳船が、後者にはヘリコプターが使用された(その詳細については第3報参照)。

連絡方法： 本船・ヘリコプター・曳船の3者間および本船と姉妹船むらさき丸との間の連絡には超短波無線電話を使用した。これによつて3月16日には速力試験の計画を実験のさいちゆうに1部変更して、第3報に述べるごとく2船並航時の波形比較写真撮影の機会をとらえることに成功した。

その他： 本船上で海象(風浪とうねり)・天候・水深・船体動揺・舵角の記録をとつた(第3表)。

### 3.2 速力試験の解析

速力試験の解析には谷口氏<sup>2)</sup>の方法を採用した(第7表)。解析の途中経過(RPS~トルク常数曲線)を第8図に、またその最終結果を第9, 10図に示す(第10図は潮流曲線)。第9図には水槽試験からの推定曲線も入れてあるが、後者の方が若干低いBHPを示している。しかし、状態B1とF4との差についてみれば両者ともその傾向はよく一致している。すなわち本船の計画馬力(主機最大連続出力)5400psに対して速力は18.45kn(B1)から19.00kn(F4)までまし(速力差0.55kn)、また計画速力18.45knでの所要馬力を比較すると5,400ps(B1)が4,690ps(F4)にまで下がる(馬力差710ps)。すなわち船

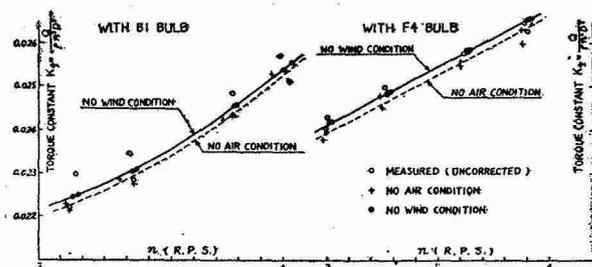


Fig. 8—Correction of Torque Constant  $K_q$  for "No Wind Condition"

首波打消しによる造波抵抗減少の効果が約13%の馬力節減をもたらすことが実船についても確認されたわけである。この値はまたF4バルブを設計したさいの理論計算による推定値とも非常によく一致している。

最後に今回の速力試験の結果、B1・F4とも実測馬力が水槽試験からの推定値より若干高く出ている理由については、主として船底汚損による粗度影響と考えられる。これをしらべるために、粗度修正量  $\Delta C_f$  の値を解析したのが第8表である。本船新造当時の  $\Delta C_f$  は約0.0003であることが当時の試運転成績から推定されていたが、第8表によると第1日(B1)に対し  $\Delta C_f$ (平均)=0.00079、第2日(F4)で同じく0.00052となつている。試験前の入渠時間が不十分で船底水洗いもキール盤木の移動をするいとまもなく、ましてあらたに塗装し直すことができなかつたことを考えると、この程度の  $\Delta C_f$  の増加は予想できるところである。ここで当然第1回入渠時のキール盤木の配置が問題となるところであるが、船底の全長76.6mにわたり約80コの盤木を配置し、

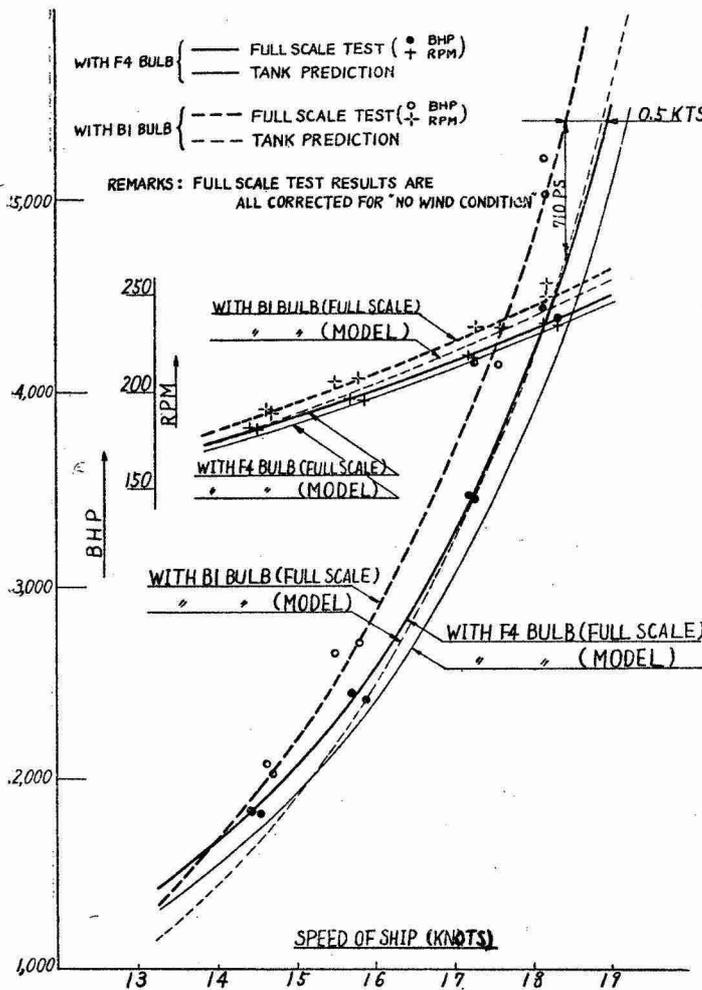


Fig. 9—Result of Analysis of Speed Test on M/S Kurenai Maru

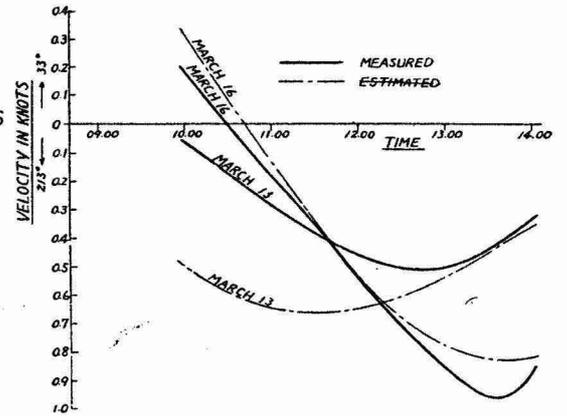


Fig. 10—Comparison of Measured and Predicted Velocity Component of Tidal Current alongside the Kariya Course

その盤木と盤木との空間の間隔は0.6~0.7 m、盤木の幅は約 0.3m ということである (第 11 図)。本船は浅喫水船であり、浸水面積のうち船底面の部分が大きな比率を占めているので、上記の盤木配置によって、船底面が横縞状の粗面となつたことは  $\Delta C_f$  の増加にかなりきいていたものと想像される。第2日目に対する  $\Delta C_f$  が第1日目よりも若干小さくなつてゐるのは、本船船底とキール盤木との相対的位置関係が第2回入渠のさいに第1回のそれと變つて前記縞状の粗度が著しく緩和されたであらうことと、第1日目の  $\Delta C_f$  には粗度影響

Table 8—Analysis of Roughness Correction  $\Delta C_f$

	With B1 Bulb				With F4 Bulb			
	.267	.289	.316	.333	.267	.289	.316	.333
Froude Number	.267	.289	.316	.333	.267	.289	.316	.333
BHP	2,115	2,895	4,280	5,520	1,995	2,630	3,765	4,775
DHP	2,014	2,757	4,076	5,257	1,900	2,505	3,586	4,548
$N'$ (RPM)	192	209.5	235	253	185	201	224	240
$n$ (RPS)	3,200	3,492	3,917	4,217	3,083	3,350	3,733	4,000
$V_s'$ (Knots)	14.87	16.06	17.60	18.55	14.87	16.06	17.60	18.55
$V_s$ (m/sec)	7.649	8.261	9.053	9.542	7.649	8.261	9.053	9.542
$K_q$	0.02204	.02324	.02465	.02584	.02433	.02506	.02609	.02683
$J$	.801	.781	.757	.737	.834	.823	.805	.794
$v_i$	7.049	7.500	8.154	8.547	7.019	7.527	8.204	8.670
$1-w$	.922	.908	.901	.896	.918	.911	.906	.909
$\eta_p$	.719	.704	.702	.692	.707	.705	.701	.697
$\eta_r$	1.018	1.014	1.012	1.005	1.017	1.017	1.008	1.001
$1-t$	.854	.857	.851	.844	.851	.855	.847	.838
$\eta$	.678	.674	.671	.655	.667	.673	.661	.643
EHP	1,365	1,858	2,735	3,443	1,267	1,686	2,370	2,924
$r_w$	.00335	.00437	.00563	.00657	.00300	.00344	.00422	.00496
$EHP_w$	361	593	1,005	1,374	326	470	759	1,045
$EHP_f$	1,004	1,265	1,730	2,069	941	1,216	1,611	1,879
$C_f$ (Rough)	.00260	.00261	.00271	.00276	.00234	.00240	.00242	.00241
$C_{f0}$	.00147	.00145	.00143	.00142	.00147	.00145	.00143	.00142
$C_f$ (Smooth) = $(1+0.30)C_{f0}$	.00191	.00189	.00186	.00185	.00191	.00189	.00186	.00185
$\Delta C_f = C_f$ (Rough) - $C_f$ (Smooth)	.00069	.00072	.00085	.00091	.00043	.00051	.00056	.00056

Note;  $C_{f0}$  is based on Hughes' 1954 Line

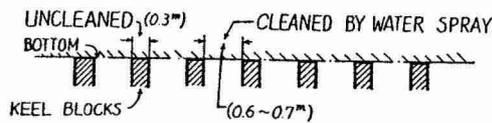
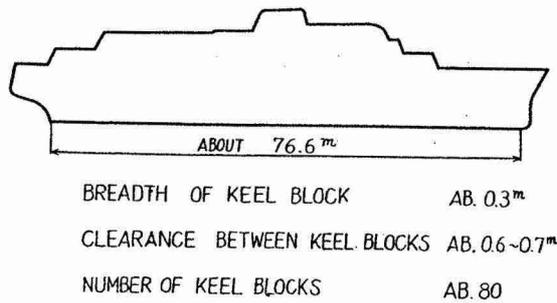


Fig. 11—Arrangements of Keel Blocks at Dry Docking on March 13, 1961

のに本船装備のプロペラ\*の翼面粗度もわずかに第2日の新造プロペラより劣っていたであろうことにもよるものと思われる。いまかりにこれを真の $\Delta C_f$ は第2日のそれに等しいとし、残余はすべてプロペラ効率の差によると仮定して、等価のプロペラ効率低下値を求めてみると第9表のごとくプロペラ効率が約0.70~約0.65と約0.05(7%)だけ低下したということになる。

4 操縦性試験

Waveless 船型理論にもとづいて設計された超大型バルブが船の操縦特性にどのような影響をもたらすかをしらべるために、Z操船試験と旋回試験とを前述の速力試験の直後に実施した。

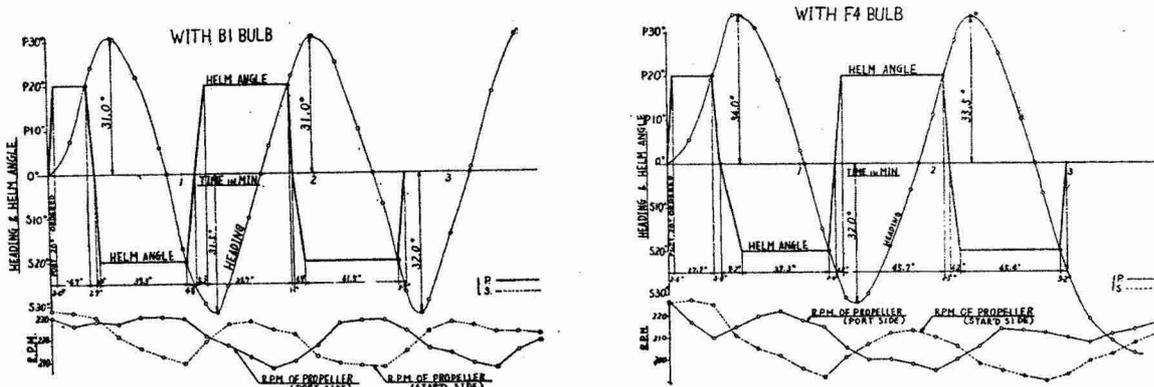
4.1 Z 操船試験

速力約 17.5kn で直進中に取舵面 20° を操舵し本船が 20° 左舷に回頭したとき面舵 20° を操舵し、右舷 20° 回頭で再び取舵 20° を操舵する。

以下これを数回くりかえし、その間の本船の針路・舵角・プロペラ回転数などを計測した。その結果を第 12 図

Table 9—Analysis of Equivalent Difference of Propeller Efficiency

Froude Number	.267	.289	.316	.333
$C_f'$	.00234	.00240	.00242	.00241
EHP <sub>f</sub>	902	1,165	1,547	1,803
EHP	1,263	1,758	2,552	3,177
$\eta$	.627	.638	.626	.604
$\eta_p'$	.665	.666	.655	.638
$\eta_p$	.719	.704	.702	.692
$\eta_p - \eta_p'$	.054	.038	.047	.054
$(\eta_p - \eta_p')/\eta_p(\%)$	7.5	5.4	6.7	7.8



Left—for As Built Condition with Small Conventional Bulb B1  
Right—for the Case attached with Large Waveless Bulb F4

Fig. 12—Result of Serpentine Test on M/S Kurenai Maru

Table 10—Results of Serpentine Test on M/S Kurenai Maru

	$K_m'$	$T_m'$	$K' \textcircled{\text{C}}$	$T' \textcircled{\text{C}}$
With B1 Bulb	1.05	1.49	0.95	1.65
With F4 Bulb	0.84	1.46	0.77	1.44

\* 左舷プロペラの1翼は、半径比0.6のfollowing edgeが操船中の事故で小欠損をうけている。

に示す。これから阪大野本助教授の導入された無次元操縦性指数  $K'$ ,  $T'$  を求めると前頁の表 (第10表) のごとくとなる。

ここに  $K_m'$ ,  $T_m'$  はZ操船試験全時間についての平均,  $K'_{(8)}$ ,  $T'_{(8)}$  はこれから最初の1山を除いて、過渡現象の影響のより少ない残りの部分について求めた平均である\*。なお  $K'$ ,  $T'$  は操縦性指数  $K$ ,  $T$  から次のごとく無次元化されたものである。

$$K' = K/(V/L), \quad T' = T(V/L), \quad \text{ここに } V = \text{船速}, L = L_{BP}.$$

上記の結果は若干常識的な予想とくいちがって出ていて、興味深い。すなわち、上表からみると F4 バルブによつて  $K'$ ,  $T'$  とともに若干減少し、旋回性はいくぶん低下し、追従性は逆にいくらかよくなっている。元来バルブはかなり大きく船首前方に突出して水線下船体プロファイルの図心はかなり前方に移動する。これは一般的には追従性には不利なはずであるが、今回は F4 バルブの船首波打消し効果が大きくきいて、これにより旋回運動中船首部船体に働く横抵抗が減じ、横抵抗の実さいの作用中心が後方に移動し、その結果、旋回に対する抵抗モーメントが増加するものと考えられる。なお同様の傾向が旋回試験にも現われている。

#### 4.2 旋回試験

速力約 17.5kn で直進中に面舵一杯 (35°) を操舵し定常旋回におちつくまでの旋回軌跡をスリット法で計測した。その計測結果を第13図に示す。これから次表 (第11表) の値がえられる。

Table 11—Results of Turning Test on M/S Kurenai Maru

	R	L/R	$K_s' = (L/R)/\theta_R$
With B1 Bulb	312m	0.513	0.84
With F4 Bulb	336m	0.476	0.78

Remarks: R=Radius for steadyturning circle  
L=L<sub>BP</sub>  
 $\theta_R$ =Rudder angle (in radian)

上表によれば F4 バルブ付では指数  $K_s'$  がやや小さく、旋回力のわずかな低下を示している。

以上Z操船試験・旋回試験の結果から判断して今回くれない丸に試験的に取付けた超大型バルブは操縦性に対して、追従性・安定性の増大と、旋回性の低下とを招いていること、しかし旋回性の低下の幅はきわめて小さく総合的には追従性の増加の方がこれを補つていて、当初 Waveless Bulb について一部に懸念されていたような操縦性に関する心配はあまりないことが判明した。

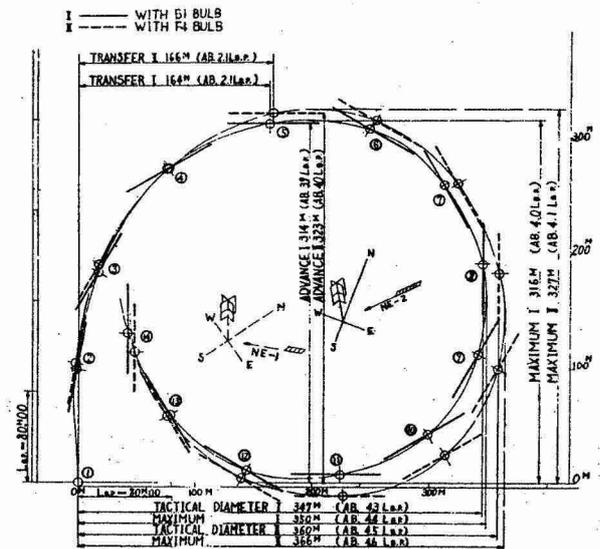


Fig. 13—Result of Turning Test on M/S Kurenai Maru

### 5. む す び

以上述べたところを要約すると、今回の実船試験の結果、Waveless 船型理論によつて設計された F4 バルブが実船のスケールにおいても模型船と全く同様に、理論の示す通りの、船首波打消し→造波抵抗減少の効果をもたらしていることが示された (これはさらに第3報の波形観測によつて現実に起こっている波の比較という形で一層具体的に示されている)。

また同時に実施されたZ操船試験と旋回試験の結果は、F4 バルブが常識的予測と反対に追従性・安定性に対してはむしろ有利な結果をもたらすこと、およびこれに伴つて旋回性はごく僅か低下はするが、その低下の幅は極めて小さく實際上あまり苦にならない程度であることが示された。

今回の実船試験は、くれない丸の主船体形状が Waveless Form の諸条件を満足していないため、F4 バルブによる船首波打消しの効果も、当初からある限界がわかっていたのであるが、その限界のわくのなかで、今後の

\* この解析は野本助教授による。ここに記して謝意を表する。なお同助教授によれば  $K'_{(8)}$ ,  $T'_{(8)}$  の方が  $K_m'$ ,  $T_m'$  より信頼できる。

実船試験の結果は理論および水槽試験と完全に近い一致を示した。このことは今後 Waveless 船型理論を実船に適用する上にも、ひとつの有力な実証的材料となるものと考えられる。以上のことが契機となつて関係方面の本理論に対する関心が高まり、その実用化が促進されることを期待するものである。

最後に本実船試験を実施するにあたり御援助をいただいた、運輸省・運輸技術研究所・関西汽船株式会社をはじめ、潮流・風その他の計測などに御協力いただいた第5管区海上保安本部水路部およびZ操船試験について御指導・御協力いただいた大阪大学野本謙作助教授の各位に対して厚く感謝の意を表わす次第であります。

## 文 献

- 1) 乾・高幣：高速客船くれない丸における Waveless Bulb の船首波打消しに関する研究（第1報—水槽試験）（昭 36・11 造船協会講演会にて発表予定）
- 2) 高幣・乾：同上（第3報—波形観測）（同上）
- 3) 谷口・田村：風圧抵抗修正の新しい方法について，西部造船会会報，18号（昭 34・8）
- 4) 川島栄一：大型高速船の実船摩擦抵抗値の解析について，関西造船協会会誌，74号（昭 28・12）
- 5) 野本謙作：船の操縦性について（1）・（2）造船協会論文集 99号（昭 31・7），101号（昭 32・8）
- 6) 木下・岡田：船体上部構造物の空気抵抗について，船舶 33 卷1号（昭 35・1）
- 7) 試験水槽委員会：標準試運転施行要領試案ならびに速度運転成績標準解析法試案，造船協会雑纂，262号（昭 19・1）

## 付録 くれない丸水線上船体鏡像模型の風洞実験

速力試験の解析には風圧抵抗の修正が必要である。くれない丸は浅喫水高速客船であつて上部構造物が長く、また高く、貨物船などに比して風圧抵抗が大きくなることは容易に想像される。

さらに、今回の速力試験は波形分析の見地から予め選んだ対水速力において各回の航走を行なうという新しい試みが必要とされた。そのためにはあらかじめ各種の風向・風速の状態下における風圧抵抗の正しい値を予測して、主機回転数を慎重に決定する必要がある。

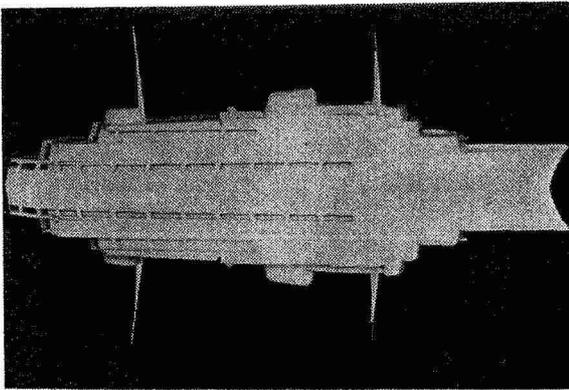


Fig. A1—1/150 Double Model of M/S Kurenai Maru for Wind Tunnel Experiment

以上2つの目的から本船の試験状態の喫水線に対応する水線上船体鏡像模型（尺度 1/150，第 A1 図）について風洞実験を行なった。また同じ模型について本船上に常設および仮設せられた2コの風向・風速計（Koshinvane）の校正実験を行ない、とくに後者の仮設用支持台の所要高さを決定する資料とした。

風洞は当所研究部流体力学研究課所属の 1.0m 正八角形ゲッチングン型風洞を使用した。本風洞は小さいながらも天秤の測定精度がよいので、模型寸法が小さいにもかかわらず実験としては信頼できる結果がえられた。実験風速は相対風向角  $\psi=0^\circ$  に対し、その風圧抵抗係数  $C_R(\psi=0^\circ)$  と風速  $U$  との関係をあらかじめ  $U=20\sim$

45m/s の範囲でしらべ、風速  $U$  による影響が非常に小さいことを確かめた上で、 $U=20\text{ m/s}$ 、 $40\text{ m/s}$  の2種の風速を実験風速として採用した\*。

風圧合力の大きさとその方向，風圧モーメント（風圧中心位置）については通常用いられている下記の無次元表示に従って解析した。

$$(1) \text{ 風圧合力係数 } C_R = \frac{R}{\frac{1}{2} \rho U^2 (A \cos^2 \psi + B \sin^2 \psi)}, \quad (\text{第A2図})$$

$$(2) \text{ 風圧合力偏角 } \alpha, \quad (\text{第A3図})$$

\* この場合の  $C_R(\psi=0^\circ)$  の値は  $0.43$  ( $U=20\text{ m/s}$ )， $0.41$  ( $U=40\text{ m/s}$ ) であつた。

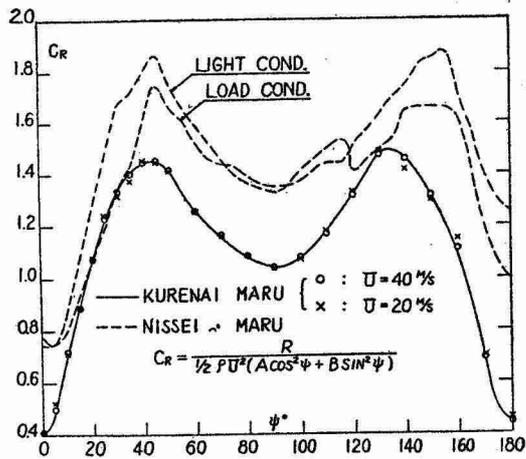


Fig. A 2—Curves for Resultant Wind Force Coefficient  $C_R$

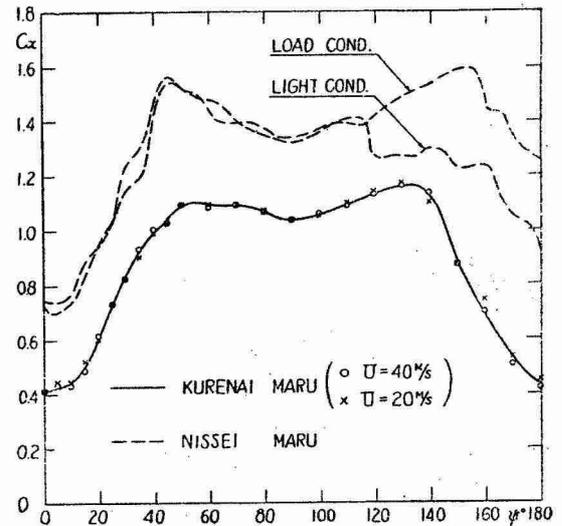


Fig. A 5—Curves for Wind Drag Coefficient  $C_x$

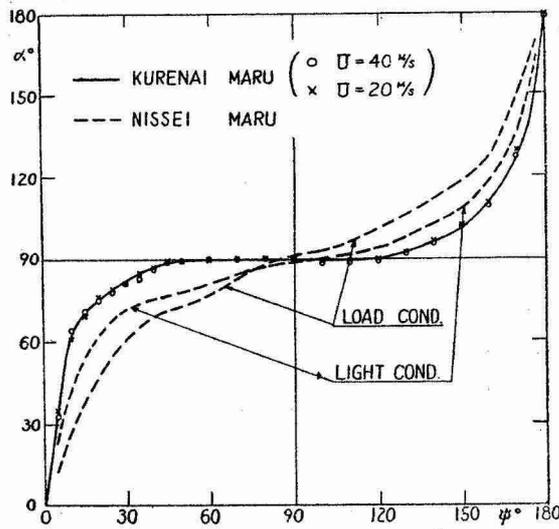


Fig. A 3—Curves for Direction of Resultant Wind Force  $\alpha^\circ$

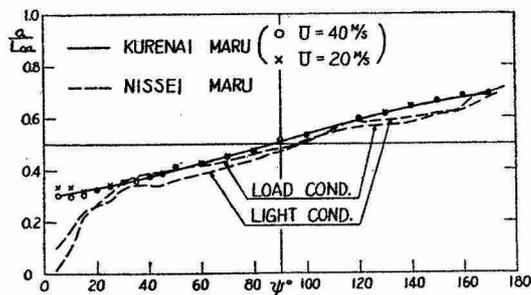


Fig. A 4—Curves for Distance from Fore Perpendicular  $a$  of the Centre of Resultant Wind Force

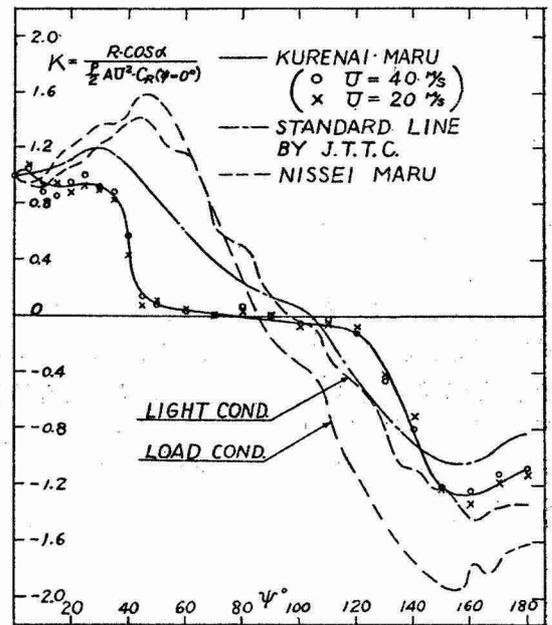


Fig. A 6—Curves for Wind Direction Effect Coefficient  $K$

- (3) 風圧中心位置  $a/LoA$  ( $a$ は船首 FPから), (第 A 4 図)
- (4) 風圧抗力係数

$$C_x = \frac{R \cos(\alpha - \psi)}{\frac{1}{2} \rho U^2 (A \cos^2 \psi + B \sin^2 \psi)}, \quad (\text{第 A 5 図})$$

- (5) 風向影響係数  $K = \frac{R \cos \alpha}{\frac{1}{2} \rho U^2 A C_R(\psi=0)}$ , (第 A 6 図)

ここに

$U$  = 相対風速 (m/s),  
 $A$  = 水線上正面面積 ( $m^2$ ),

$\psi$  = 相対風向偏角  
 $B$  = 水線上側面面積 ( $m^2$ )

である。本船の  $A, B, L_{OA}$  の値は下表の通りである。

	Model (1/150)	Ship
$A$	84.1 cm <sup>2</sup>	189.2 m <sup>2</sup>
$B$	370.0 cm <sup>2</sup>	832.5 m <sup>2</sup>
$L_{OA}$	57.8 cm	86.7 m

上記の諸量を第 A 2~A 6 図に示した。なおこれらの図には参考として日本造船研究協会第 1 部会が阪大大型風洞を使用して日聖丸 1/75 模型 ( $L_{OA}=1.842m$ ) について実施 (日立造船技術研究所担当) した結果<sup>6)</sup>を重ねた。また第 A 6 図には試験水槽委員会制定の標準曲線<sup>7)</sup>をも入れた。

これからみると本船が採用している上部構造物の流線化が  $C_R(\psi)$ , とくに  $C_R(\psi=0^\circ)$  の値と斜横風の場合の  $K$  とを小さくすることによりかなり有効であったことがわかる。なお試験当日本船上での毎航走直前の主機回転数の決定には第 A 6 図からあらかじめ用意しておいた  $\sqrt{K} \sim \psi$  曲線を使用した。

最後の第 A 7 図は風速計取付位置の影響に関する風洞実験の結果である。本船はレーダー・マスト上, 第 A 7 図 $\textcircled{B}$ の位置 (遊歩甲板上からの高さ約 16m) に建造の当初から固有の Koshinvane を有している。今回の実船試験にさいして, 相対風向・風速の測定をこれのみに頼って

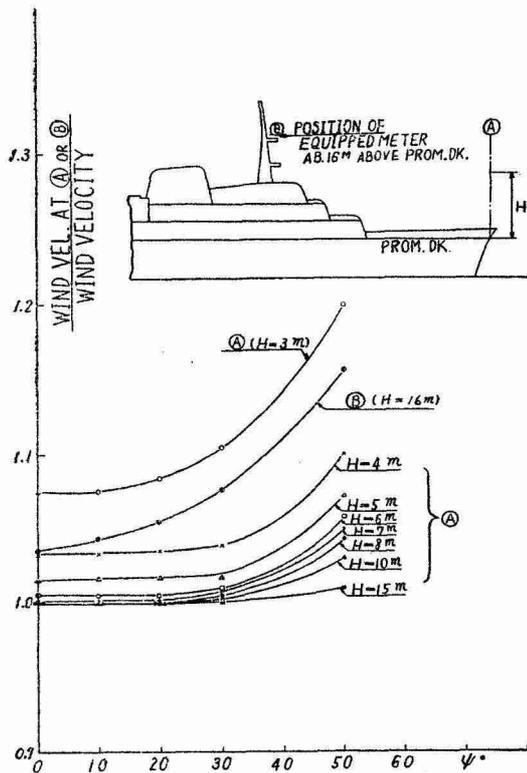


Fig. A 7—Effect of Position of Windvane upon the Measured Wind Velocity

差し支えないかどうか, もし第 2 の Koshinvane を取付ける必要があるならばその位置・高さはどのように選定すべきであるか, ということをしらべるのがこの実験の目的であった。図で明らかなように $\textcircled{B}$ の位置は風向角  $\psi$  が  $10^\circ$  をこえるとかなり悪い特性を示し, 上部構造物の影響がここまで及んでいることを示唆している。一方船首 $\textcircled{A}$ の位置に臨時の支柱を立て, 第 2 の Koshinvane (第 41 部会で使用したものを借用) を取付けるとき, 遊歩甲板上からの高さ  $H$  を種々変えて, もっとも効率のよい高さ  $H_{min}$  を求めたところ,  $H_{min}=4m$  という結果がえられた。すなわち $\textcircled{A}$ 位置の  $H=3m$  は $\textcircled{B}$ 位置よりも著しく悪く,  $\textcircled{A}$ 位置  $H=4m$  では逆に風向偏角  $\psi$  の大きいところの特性が $\textcircled{B}$ に比し非常によくなっている。一方高さ  $H$  をこれ以上まして, たとえば  $H=5m$  以上としても, 特性のよくなる程度は上記の場合ほど著しくない。