

(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 1 報—水槽試験)

正員 乾 崇 夫* 正員 高 幣 哲 夫**

The Wave-Cancelling Effects of Waveless Bulb on the High Speed

Passenger Coaster M/S "KURENAI MARU"

(Part I-The Model Resistance and Propulsion Experiments)

By Takao Inui, Member

and Tetsuo Takahei, Member

Summary

In March 1961, a full-scale experiment was carried on the high speed passenger coaster M/S "KURENAI MARU" concerning the wave-cancelling effects due to a large bow-bulb which was specially designed according to the Waveless Form Theory.

Before the full-scale experiment was carried out, an extensive model test program was conducted. Three papers have been prepared to describe the model experiment, the full-scale experiment, and the wave-pattern stereo-analysis results respectively.

This is the first one of the three papers. Descriptions are made about the ordinary resistance tests and the self-propulsion tests which were carried on two similar models ($L=2.5\text{ m}$ and 5.5 m). A brief history of the developments of the Waveless Theory is also mentioned.

今春 3 月、瀬戸内海航路高速客船くれない丸を供試船として、Waveless 船型理論にもとづく超大型バルブの「船首波打消し」の実船試験が行なわれた。今回これを「水槽試験」・「実船試験」・「波形観測」の 3 篇にわけて報告する。以下はその第 1 部（前篇）「水槽試験」の報告であるが、ここでは他の 2 篇と異なり、記述の範囲を今回行なわれた実船試験のみに限定しないで、くれない丸の計画当初から現船型決定の経緯にまでさかのぼり、くれない丸がその計画・建造・就航・実船試験の各時点において東大水槽における Waveless 船型理論の発展の経過といかに交渉しあつたかをあきらかにすることに意を用いた。

Waveless 船型理論では在來の水槽試験のほかに、「波形分析」という新しい船型学的手法を重視する。今回も当然模型・実船の両方についてこの「波形分析」が試みられたが、この部分は一括して第 3 部（後篇）「波形観測」で取扱われている。

なお、第 2 部（中篇）「実船試験」では、中心となる速力試験のほかに Z 操船試験と旋回試験とともにふれられている。

1 くれない丸の計画・建造から竣工に至るまで

くれない丸はその姉妹船むらさき丸とならんで、性能・設備・グレイドとも瀬戸内海航路小型客船の在来レベルをはるかに抜いた画期的豪華船^{1),2)}である。第 1 表に本船の要目をその前身たるこがね丸・るり丸と比較して示した。この表からもわかるように本船はその計画の最初から、速力性能に特別重要な要求が打ち出されていた。航海速力 18 kn という数字がなにを基準として定められ、どのような効果をもたらすかについては付録 1 に略記した。文献 2) によれば関西汽船がその基本計画に着手したのは 31 年 12 月のことである。過給機付

* 原稿受付 昭和 36 年 6 月 20 日

* 東京大学工学部

** 茨城大学工学部

Table 1—Particulars for Passenger Coasters on the Osaka-Beppu Route

Name of Ship	KOGANE MARU	RURI MARU		KURENAI MARU
Order of Completion	1	2	3	4
When built	Aug. 1936	Dec. 1954	March 1961	Feb. 1961
L _{BP} (m)	74.5		74.0	80.0
L _{WL} (m)	77.4		78.0	83.6
L _{OA} (m)	80.2		80.8	86.7
B _{MLD} (m)	12.00		12.2	13.4
D _{MLD} (m)	5.80		5.80	6.25
T (Mean) (m)	3.58		3.66	3.9
Δ (Trim) (m)	0			1.0
Δ (Full) (t)	1,763		1,796	2,277
C_b	0.535		0.527	0.526
C_p	0.575		0.577	0.588
C_m	0.930		0.914	0.895
C_w	0.742		0.760	0.781
G.T. (T)	1,905.97		1,862.19	2,928.39
N.T. (T)	1,006.59		995.67	1,621.99
Passengers	710		911	1,113
Crews			72	79
Main Engine	MPRH 81,200×2	6 UET 39/65×2		Mitsubishi Kobe Sulzer 6 TA 048
M.C.R.(PS/R.P.M.)	1,200/260×2	1,200/280×2	2,000/275×2	2,700/250×2
V _s (at 85% M.C.R.)	13.0(1,020/202×2)	16.0	17.9(1,700/265×2)	18.0(4,210/235×2)

ジーゼル機関の発達によつて小型・軽量・大馬力の出力が出せるようになつたのが直接の契機となつた。

新三菱重工神戸造船所は戦前からこの種小型客船建造に豊富な技術経験をもつており、船主の上記基本構想に呼応して、当時から高フルード数域において造波抵抗の少ない小型客船船型の研究に特別の熱意をもつていた。その一端は同所重満造船設計部長（当時）の構想によるこがね丸 1/50 模型（金属製）についての「ポンプ式噴射推進」の水槽試験の計画立案にもうかがえる。この一風変つた水槽試験の概要を付録 2 に示す。本実験のねらいは最近機械効率向上の著しいポンプをプロペラの代り（あるいはその補助）に代用して、いわゆる噴射推進を行ない、そのさいに海水の汲みとり口を船首部水線下両側に開孔して、この付近の岐点圧を下げ、船首波従つて船の造波抵抗を減少せしめようというのである。実験は 32 年 9 月～10 月、東大水槽において抵抗試験のほか薬品塗膜法による船側波形測定実験が行なわれた。くれない丸と東大水槽との宿縁はこのときからはじまつたわけである。

この実験は同じく模型船の抵抗を測るにしても、ポンプには絶えず外から駆動用モーターを介して入力が供給され、一方抵抗動力計によつて測られる力は普通の意味での模型船の抵抗のほかに船内各部の pipe friction が加わり、さらにこれから噴射ジェットの推力が差し引かれたものであるため、それぞれ関係する諸量を精密に同時計測しなければ、実船への性能換算は無論のこと、模型船のみについてみても定量的に価値ある実験とはならない。この目的のために本模型は大きさや使用機器類・計測装置に不十分な点があつて付録 2 に示した資料といえども十分定量的なものとはいがたい。しかしながら船側波形の比較などから推して、ポンプの吸引力による船首波緩和の効果は期待したほどに顕著ではなく、このような方法で船体の造波効果をはつきりと眼にみえるほどに変化させることは、普通に考えられているよりも困難であることが経験された。このことと、いまひとつ本方式を実船に適用する場合に生ずる船首部構造上の諸問題や piping の問題など、あれこれ考えあわせて、この実験は一応打切りとした。東大水槽ではこの時点をさかいとして、その後、研究の焦点を年来の懸案であつた「波形分析法による Bulb Characteristics の抜本的な究明」に向けることにした。これが結局現在の「Waveless 船型理論」発見の端緒となつたことは既報⁹⁾の通りである。

上記ポンプ式噴射推進の実験も Waveless 船型理論も、ともに船体の造る波を減らすことをねらつてゐる点に変りはないが、次の 2 点で重大な相違がある。その第 1 は、前者が船体の造波特性を、船型の変化によつてではなく機械力の導入によつて、人為的に船体表面の一部に sink 的特性を付与し、それによつて本来おかれてゐる等価 source の density を弱めようというのであるのに反して、後者では主船体の等価 source はそのまま活かし、さらにこのほかに船首尾端に孤立した point doublet を附加して、いわゆる複合特異点分布系をつくり、このような複合が船体の形状や排水量の上では加算的である一方、造波特性の上では条件の選定次第で減算的な

複合になりうることを利用しているのである。第 2 の相違点は既に述べたように、前者ではその期待する消波効果を実現するためには、多少ともあれ、ポンプを動かすに必要なだけの機械的エネルギーの消費を前提としなければならないが、後者で必要なことは、船がその速力で走っているということと、あらかじめ Waveless 理論の教えるところに従つて、主船体と船首尾バルブの形状・大きさ・位置を逆位相・等振幅の 2 条件を満足するようにつくつておくということだけであつて、“波を消す”ことのために余分な機械的エネルギーを別に必要とする理由は全くない*。むしろこの意味ではマイナスどころかバルブの付加排水量だけ載貨重量がましたというプラスがあると考えてよい。

上記の相違のほか、実船適用のさいの構造上・用船上の難易についても、大型バルブ取付けの方が前者よりはるかに問題が少ないと判断された。

この頃からくれない丸の建造計画、とくにその線図決定の仕事と、東大水槽での Waveless 船型理論の発展のテンポとが互いにからみあつてくる。すなわち第 1 船くれない丸が神戸造船所で起工されたのは 34 年 8 月であるが、その船型はすでに大部分がその年の春までには決定されねばならなかつた。34 年春といえば、東大水槽では前記「Bulb Characteristics の抜本的究明」に関する仕事が一段落したばかりのころであつて、Waveless 船型理論は、未だ現在のような多数の実験的支持の材料をもたず、わずかに乾によつてその可能性が理論的に予測されていたに過ぎなかつた。

34 年春から 35 年 2 月末にいたるその後の 1 年間は、くれない丸の船型がその細部にいたるまで確定され、それが建造にうつされた期間であるが、この期間はまた高幣^{4),5)}による「Waveless Bow の研究」が実施された期間でもあつた。Waveless 船型理論は上記高幣の研究およびそれに続く熊野^{6),7),8)}の「Waveless Stern の研究」によつて、いまでは十分な実験的支持をうることができたけれども、時間的前後の関係で、くれない丸の原船型決定の当初から、Waveless 理論に徹した船体線図を自信をもつて採用するということは不可能であつた。ただ本船計画速力のフルード数が L_{WL} ベースで $F=0.323$ と非常に高いので、(1) 船首にバルブをつけるべきであること、(2) バルブの大きさは従来の常識よりもはるかに大きい方が理論的にはよいはずであること、すなわち用船上我慢できる限り大きくすべきであること、(3) バルブの位置は水槽試験とくに波形分析法によつて実験的にもしらべる必要のあること、を前記重満部長に申入れ、結局最低限 (1) の点だけが採り入れられた。そしておくれせながら 34 年秋、高幣によつて、上述の Waveless Bow の研究と平行的に、くれない丸原船型船首形状性能の確認のための水槽試験と若干の理論計算とが東大水槽において行なわれた。この頃はもちろん実船試験の計画は未だなく、上記水槽試験はもつばら 35 年 2 月に予定されていた速力公試を対象に、計画速力の達成確認という点に主眼がおかれていた。その結果を付録 3 に掲げる。

くれない丸の現在の船型はここに示す小型バルブ B1 をそのまま採用しており、その大きさは第 2 表に示す通り、かなり小さい。その理由は上述の如く Waveless 理論の実験的支持の材料が当時未だほとんど出ていなかつたことと、本船は建造途上で、その重量配置など重要な設計値はみな確定されていて、排水量配分には小変更しか許されなかつたことによる。

以上、本章では後日の参考のために、くれない丸の建造が計画された初期の段階から、その竣工までの期間に東大水槽において払われた船型学的努力の一端を述べた。

以下の章では、記述を再び今春実施された実船試験に関する部分に戻し、第 2 部・第 3 部との対応があきらかになるようにとりはからつた。

2 くれない丸実船試験の計画とこれに関する水槽試験計画

35 年 2 月末くれない丸は無事竣工し、海上速力公試の結果も予期した通りの成績を収めて、3月初旬から文字通り内海の女王として大阪一別府航路にデビューした。この竣工後間もないくれない丸を供試船とする「船首波打消し」の実船試験の計画はその頃から神戸造船所において(東大水槽とは無関係に)船主の内諾をえて立案されており、35 年 3 月 25 日付で「高速客船くれない丸における球状船首の効果に対する模型ならびに実船試験」という題目のもとに昭和 35 年度運輸省応用研究補助金に対する交付申請書が提出された。これは幸いに運輸省

* 最近研究されている消音法のひとつに、逆音波を発生せしめて騒音その他の音を消す方式がある。この場合には逆音波発生のためのエネルギーが必要とされる。

当局の認めるところとなつて同年6月その採択が正式に決定された。*

さて35年1月から6月までの半年間は Waveless 船型理論にとつてまことに重大な時期でもあつた。在来船型学の常識を根本からくつがえす新しい実験的事実が、いずれもわれわれの理論を全面的に支持するという形となつて、つぎつぎと順調に、そして計画通りのテンポで積み重ねられていつた。なかでも……

◇計画速力で船首自由波の船側プロフィルがほとんど消えて straight となり、同時に船首波のうけもつ造波抵抗が完全にゼロになつたことを確認した2月はじめの冬のこと。

◇船首の場合に比較してはるかに大きな困難が予想されていた「船尾波打消し」、すなわち Waveless Stern の問題も、熊野・梶谷両工学士の努力によつて意外に早く解決し、これと前項高幣による Waveless Bow とを組み合わせて、眼の前に長さ 2.5m のわれわれの模型が疑いもなく「造波抵抗ゼロ」の状態で航走して行くのを夢うつつの気持で眺めていた5月なかばのある日のこと。

◇アルミ微粒箔粉とストロボ光源の併用によつてはじめて鮮鋭な模型船 Wave Patterns の撮影に成功し、いよいよこの研究最後のステップである全波紋ステレオ写真解析への確信を深めえた6月末のこと。

など、……そのときどきの感激が、それまでの張りつめた緊張感とともに思い出される。

このような実験的支持の材料をえた以上、Waveless 船型理論の信ぴよう(憑)性についてはもはや疑いの余地はなく、本実船試験に取付けられるべき大型バルブは当然実験終了後もそのまま取外さずに採用するのが船型理論からいつても正しく、また運航経済上の見地からみても賢明であるとの確信を抱くにいたつた。船主もはじめこの考え方と同調し、実験用バルブの大きさ・形状・位置については Waveless 船型理論からの純理的要要求だけで決めるのではなく、投錨・接岸あるいは入渠のさいの実際用船上の諸問題をも十分考慮した上で決定する手筈になつていた(しかし、この方針は後に船主側の意向が変つて変更された)。

なお Waveless 船型理論の本来意図するところは、主船体がどのような船型であつてもよいというのではなくあらかじめ主船体の形状、すなわちその造波特性を適当に選定しておいて、それがこれと組合わされるべきバルブの造波特性とちょうど逆位相・等振巾の関係に立つように計画することがその要諦である。かくしてこそ本理

Table 2(A)—List of Place, Time, Kinds of Tests, Kinds of Bulbs for the Kurenai Maru Experiments

TESTS FOR LOAD CONDITION (A) (TEST CONDITION)	PLACE L_{BP} (m) (SCALE)	MODEL		SHIP OFF AWAJI
		TOKYO UNIV. TANK	MEJIRO TANK	
		1 (1/80)	2.5 (1/31.3)	
TESTS FOR LOAD CONDITION (B) (TRAIL CONDITION)	(1) { RESISTANCE TEST WAVE PROFILE MEASUREMENT }		B 0, F 3, F 4 (July, '60)	B 1, F 4 (Aug. '60)
	(2) { PROPULSION TEST WAKE TEST PROP. OPEN TEST }			B 1, F 4 (Aug. '60)
	(3) { WAVE OBSERVATION STEREO-ANALYSIS }	B 0, F 4 (May, '61)	B 0, F 4 (Jan. '61)	HELICOPTER FLIGHT TEST ON B 1, F 4 (March, '61)
	(4) STEERING TEST			TURNING TEST AND SERPENTINE TEST ON B 1, F 4 (March, '61)
(1) { RESISTANCE TEST WAVE PROFILE MEASUREMENT }			B 0, B 1, B 2 B 3, B 4 (Nov. '59~ May, '60)	SPEED TRIALS ON B 1 (Feb. '60)

* この題目は適當ではない。Waveless 理論にもとづくバルブは従来の conventional bulb と異なり、バルブの位置・形状・大きさをはじめとし、主船体を含むあらゆる船型諸要素がすべて Waveless という思想のもとに統一的にきまつてくる。とくに計画フルード数と水線形状とが重要な鍵となる。

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） 79

論の価値が最大限に発揮され、造波抵抗がゼロにまで減少されるわけである。くれない丸の B1* パルプを除いた主船体の形状(第 2 表(C)の B0* に相当)は前章で述べた通り Waveless 船型理論とは全く無縁の形で定められたものであるから、当然上記のような完全消波の条件を満足してはいない。従つて今回のくれない丸による「船首波打消し」の実船試験は Waveless 理論からいえば、中途半端な、はなはだ不完全な demonstration に相当するものであつて、本理論の真骨頂をこれのみによつて十分に示しうるものでは決してないことを注意しておきたい。またこの問題に関連して、くれない丸が Waveless 理論適用のための供試船として、どういう点で適格性があり、どのような点で不適格であつたかを列挙すれば次の通りである。

有利な点：(1) 客船であるから喫水変化が少ない。

(2) 内海航路船であるから波浪の影響が少ない。

不利な点：(1) 前肩波と船尾波とが異常なほどに大きい。

(2) 別府港の水深が浅いため浅喫水でかつ船尾トリムのため船首喫水が浅く、船首パルプの設計が苦しくなる。

(3) 2 軸船のため船尾パルプの適用が困難。

なお本船の航海フルード数が 0.32 と非常に高い値を示していることは、完全消波に必要なパルプの所要大きさがそれだけ大きくならざるをえないという点でいく分不利である。しかし、反面において全抵抗中に占める造波抵抗の比率がそれだけ大きくなる**という点で「波消し」による運航経済上の効果はます。

実船試験にさき立つて行なわれた水槽試験の種類は第 2 表 (A) に示す通りであつて、これらのうち本報告で取扱うものは 35 年 7 月東大水槽 (2.5 m 模型) での抵抗試験と船側波形プロフィル測定 (パルプは B0, F3, F4 の 3 種)，および同年 8 月運研目白第 1 水槽 (5.5 m 模型) での抵抗・自航・伴流およびプロペラ単独試験 (パルプは B1, F4 の 2 種) である。なおこれとは別に 36 年 1 月、東大水槽で実施された 2.5 m 模型による Wave Patterns のステレオ写真測量 (パルプは B0, F4 の 2 種) については、今回発表の報告第 3 部「波形観測」にゆづる。

上記の実船試験ならびに各水槽試験をいかなる排水量・喫水のもとで実施するかについては船主側の希望を参考し、またくれない丸就航後の実際の使用平均状態をも調査して、これにあわせることにした。その具体的な数字は第 2 表 (B) に示す通りであつて、以下この報告ではこれをさきに付録 3 で取扱つた「公試状態」に対応させて、「試験状態」と呼称して、区別することにした。

Table 2(B)—List of Load and Draft Condition for the Kurenai Maru Experiments

	LOAD CONDITION (A) (TEST CONDITION)		LOAD CONDITION (B) (TRIAL CONDITION)	
	FOR TANK TEST	MEASURED*	FOR TANK TEST	MEASURED**
L _{BP} (m)	80.000		80.000	
L _{LWL} (m)	83.602	83.500	83.000	
B _{MLD} (m)	13.400		13.400	
B _{MLD} /L _{BP}	0.168		0.168	
T _F (EXT) (m)	3.026	3.067	3.200	3.053
T _A (EXT) (m)	4.826	4.687	4.200	
T _{MEAN} (EXT) (m)	3.926	3.877	3.700	
T _F /L _{BP} (%)	3.79	3.83	4.00	3.82
TRIM BY STERN (m)	1.800	1.620	1.000	1.122
$\Delta(t)$ FOR B1	2,338	2,325	2,080	2,074
$\Delta(t)$ FOR F4	2,377	2,364	—	—

Remarks * Measured at the Full Scale Test (March 13 & 16, 1961)

** Measured at the Official Trials (Feb. 13, 1960)

* パルプの番号については本文 3 章および第 2 表 (C) 参照のこと。

** 本船の場合約 46%。

Table 2(C)—List of Bulb Particulars for the Kurenai Maru Experiments

BULB No.	BULB SERIES FOR CONDITION (TEST CONDITION) (A)				BULB SERIES FOR CONDITION (B) (TRIAL CONDITION)				
	B 0	B 1	F 3	F 4	B 0	B 1	B 2	B 3	B 4
DISPLACEMENT $\Delta(t)$	2,333	2,338	2,353	2,377	2,074	2,080	2,104	2,123	2,122
WETTED SURFACE $S(\text{m}^2)$	1,243	1,247	1,266	1,288	1,086	1,090	1,102	1,124	1,103
$\Delta_B^* = \Delta - \Delta$ (B 0)	0	5	20	44	0	6	30	53	52
$\Delta_B/\Delta (\%)$	0	0.21	0.91	1.96	0	0.29	1.16	2.08	2.02
$S_B^* = S - S$ (B 0)	0	4	23	45	0	4	16	38	17
$S_B/S (\%)$	0	0.32	2.05	3.88	0	0.19	1.56	3.67	1.79
A_B/A_M^{**}	0	5.50	11.40	16.75	0	5.85	12.2	15.8	17.3
POSITION OF BULB CENTER (% L_{BP}) FROM FP (+FORWARD -, AFTWARD)	—	-0.7	1.5	1.5	—	-0.7	0	1.5	-2.5
PROJECTED LENGTH OF BULB FRONT FROM FP(1m)	—	0	1.800	3.000	—	0	1.000	2.350	0

* Δ_B and S_B denote the increment of displacement and wetted surface due to the attached bulb (the draft being kept constant)

** A_B =max. sectional area of bulb; A_M =max. sectional area of hull

3 バルブの形状・寸法と中心位置

第2表(C)には今回の実船試験の準備として「試験状態」を対象として計画された2種の大型バルブ(F3・F4)のほかに、34年の秋くれない丸建造の途上で「公試状態」を対象として比較実験された大小4種のバルブ(B1・B2・B3・B4)の要目が示されている。同表にはこのほかに全くバルブを有しない普通型船首B0(これは実在しない船型である)についても「公試」「試験」両状態での対応する数字を掲げてある。今回の実船試験は結局現在のくれない丸がもつ小型バルブB1と実験用大型バルブF4との間の比較という形で行なわれたが、ここではこれらのバルブの特長とそれが計画された条件について一括して述べる。なお第1図にくれない丸の正面線図と船首尾形状とを示す。

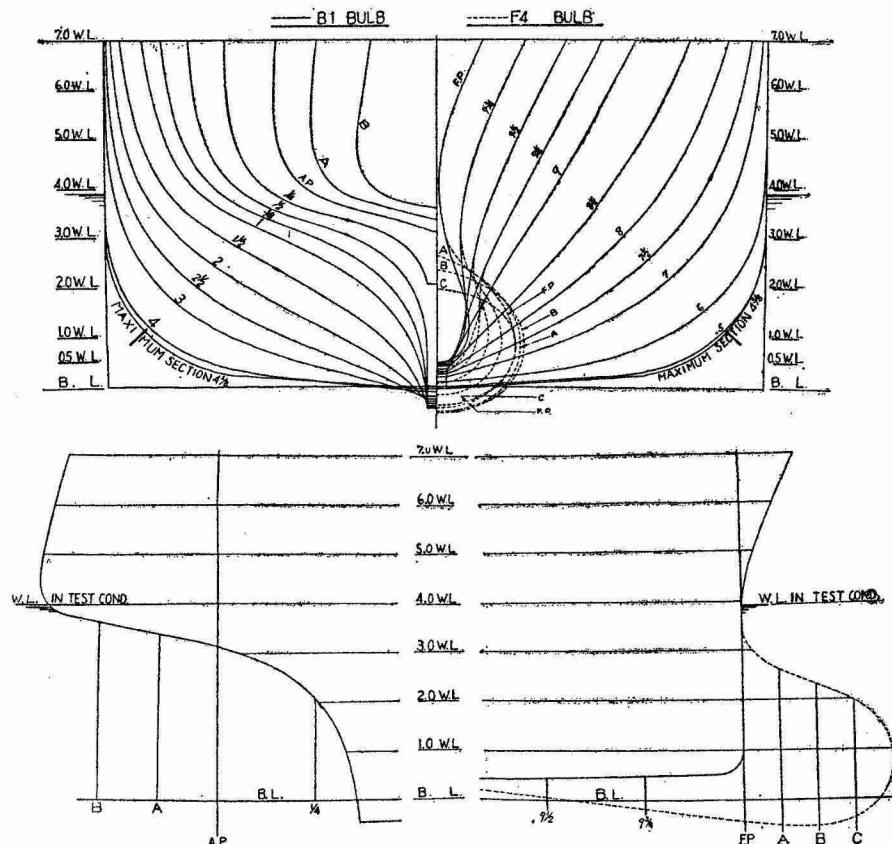


Fig. 1—Body Plan, Stem and Stern Profiles for M/S Kurenai Maru

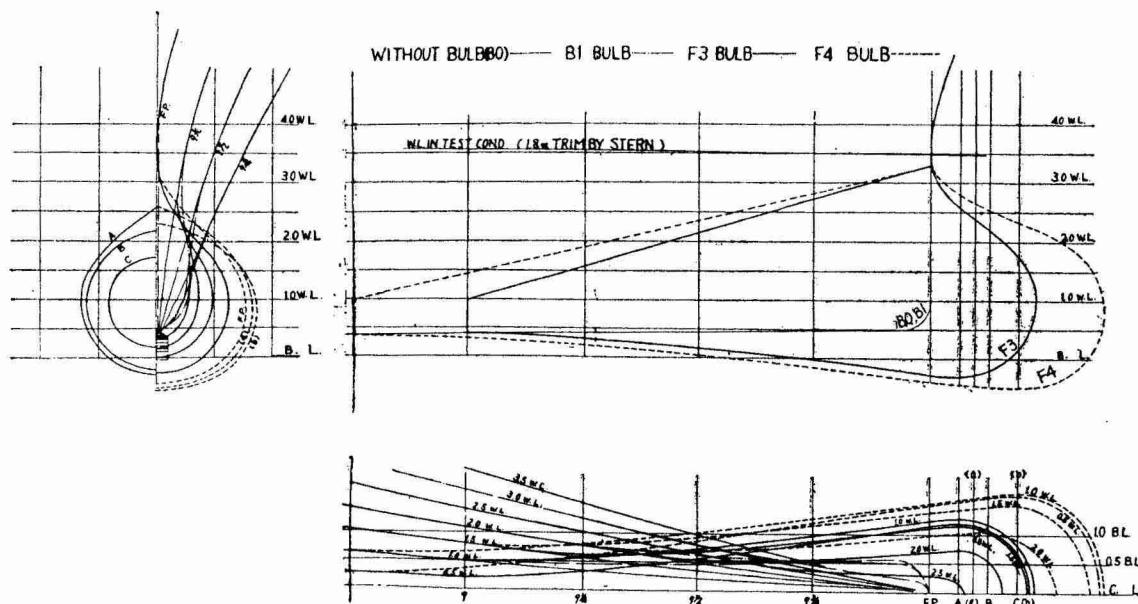
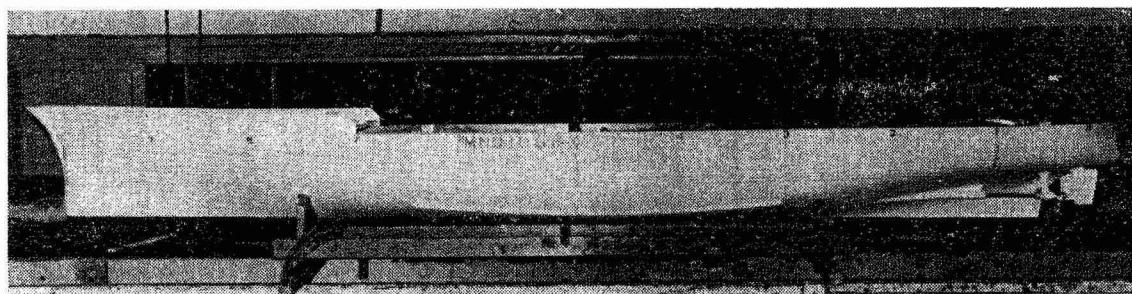
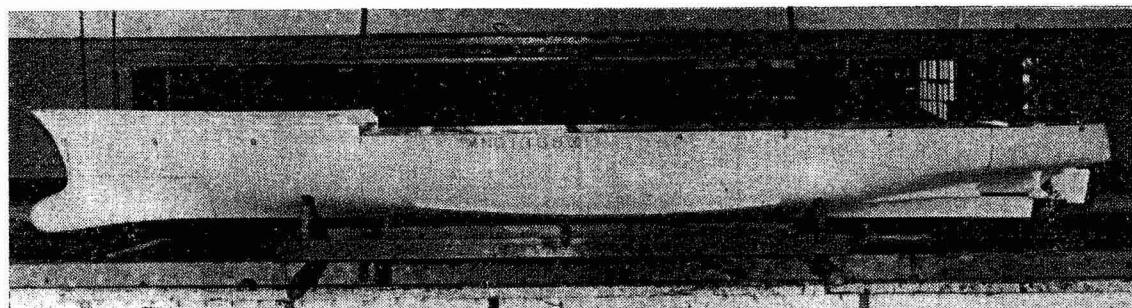


Fig. 2—Details of Tested Bulbs (B0, B1 and F3, F4)



Profile for As Built Condition (With B1 - Bulb)



Profile for Tested Condition (With F4 - Bulb)

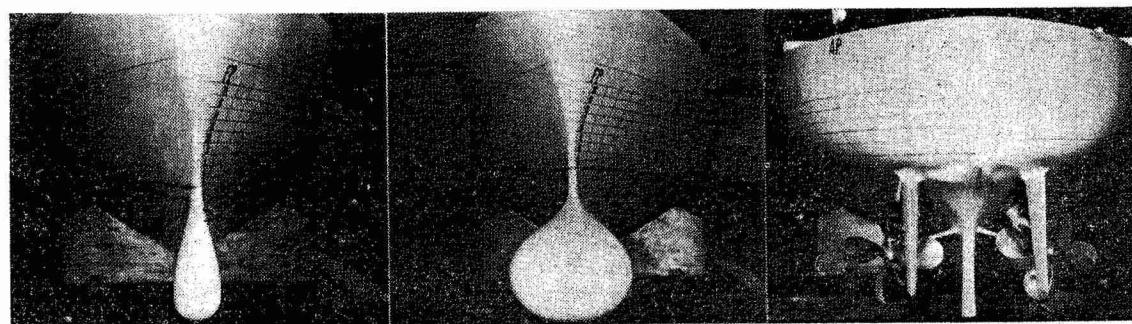


Fig. 3—5.5m Kurenai Maru Model (Mejiro No.1 Tank, Transport. Tech. Inst., Tokyo)

- (1) B0 (第2図)：バルブをもたない普通型船首で「くれない丸」の主船体をあらわす。
- (2) B1 (第1,2図)：くれない丸・むらさき丸が就航のはじめから現在にいたるまで運航している船型。思想はどちらかというと在来の古い球船首船型に近く、通常の投揚錨装置で許しうる範囲の大きさとして設計されたもの。ただしその位置についてはあらかじめ水槽試験によつて最適位置を確認してから決められたものではない。付録2に示す通りバルブの消波効果はごくわずか認められるものの(1)のB0との差は極めて小さい。なを、東大水槽2.5m模型についてはこのバルブB1は34年秋の実験にさいしパラフィンで成形されて実験後の保存を考慮していなかつた。そのため35年7月以後の「試験状態」についての実験では、この状態の代用としてB0、すなわちバルブなし主船体を使用した。
- (3) B2 (図面省略)：バルブの中心をFPにおき、その尖端のFPからの突出量を実船で1mに抑え、かつバルブ底部をkeel lineの延長上に止めたもの。パラフィンで成形。
- (4) B3 (図面省略)：バルブ中心をFPの前方1.5%Lにおき、B2をさらに大きくしたもの。木製で必要に応じ着脱可能とした。
- (5) B4 (図面省略)：大きさはB3をさらにわずかだけ大きくし、バルブ中心位置をFPの後方2.5%Lに下げたもの。B2・B3・B4の3種のバルブは大きさはあまり大差なく、中心位置を異にしたシリーズを形成している。位置としてはB3がもつともよく、B4がもつとも悪い(付録3参照)。
- (6) F3 (第2図)：位置・形状ともB3にほぼ等しい。B3とF3との比較から船首喫水の変化にもとづくバルブの効果の変化が推定できる。木製で互換可能。このF3バルブは実船試験終了後そのまま本船に装着して運航するという初期の方針に従つて計画された。計画に当つては投揚錨装置の改造方針や用船上の諸問題ともにらみあわせて、バルブの大きさ・形状にかなりの制限を加えた。
- (7) F4 (第1,2図)：船主の意向が變つて、バルブは実験後取外す(その理由は別府港の岸壁が短かいため)ことに変更され、F3バルブに加えた制限を緩和して、バルブの位置・形状・大きさともほとんどWaveless船型理論の要求する値に近寄せたもの。ただしバルブ底部のたれ下がりを、F3がkeel lineの延長線で制限されたのに対し、このF4では1.8mのトリム状態で本船の船尾喫水4.826mをこえないこととし、またバルブ尖端の位置がF3ではFPから1.8mであつたのを、FPから3.0mすなわち船首樓前端より前方に出ない

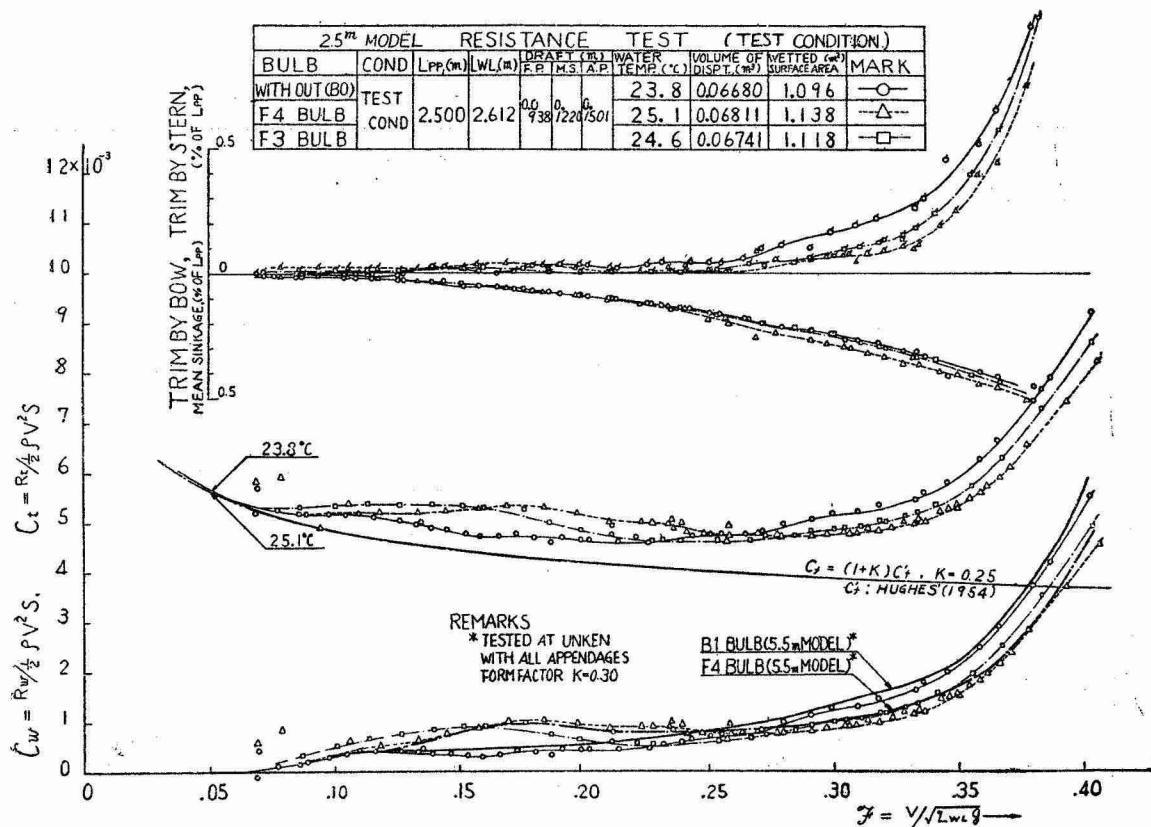


Fig. 4—Resistance Test Results on 2.5m Model (Tokyo Univ. Tank)

ということを条件とした。

第3図に運研目白水槽で使用された 5.5m 模型の写真を示す。バルブの小さい方が B1, 大きい方が F4 であり、いずれも木製でバルブの部分だけ互換可能となつていて。

4 抵抗試験

東大水槽 2.5m 模型による各種バルブの抵抗試験を第4図に示す。Hughes 式に対する形状因子は $K=0.25$ と推定される（「公試状態」では $K=0.21$ であった）。F3 バルブ, F4 バルブの、それぞれ消波効果最大のフルード数は前者が $F=0.30$, 後者が $F=0.32$ である。本船の航海速力 18kn は $F=0.323$ であるから、F4 バルブはほぼこの速力に対して最適の設計となつてることがわかる。（付録4の理論計算の部参照）。なおこの 2.5m 模型は舵、ビルジ・キールなどの副部をつけていない。また乱流促進法は付録3の「公試状態」と全く同じ方法で行なつた。

運研目白水槽では副部付 5.5m 模型について B1, F4 の 2 種のバルブの抵抗試験が行なわれた。その結果を第5図に示す。第1回は乱流促進法を採用しないで、また2回目には S.S. 9 $\frac{1}{2}$ の位置に高さ 1mm, 幅 2.3mm の plate studs を 5mm 間隔で植えて測定された。B1 バルブについての結果では $F < 0.15$ の低速域であきらかに層流影響がみられるが、F4 についてはそれがない。形状因子は Hughes ベースで $K=0.30$ となつた。2.5m 模型での $K=0.25$ との差は主として副部による流線制禦の影響とみられる。 C_w 曲線の形で大小 2 つの模型の比較を前述の第4図に重ねて示してある。バルブ F4 については 5.5m 模型の C_w が 2.5m 模型の

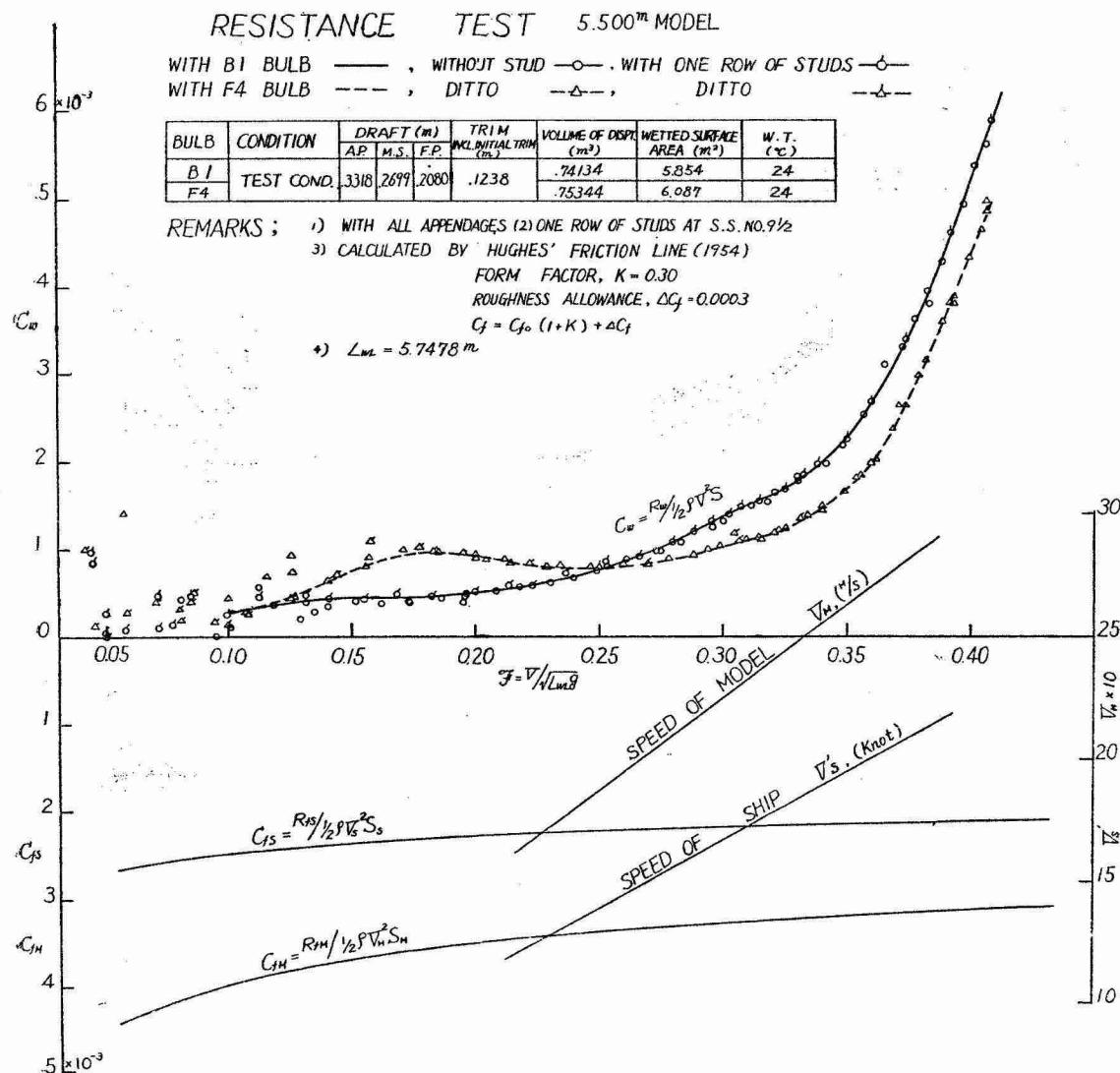


Fig. 5—Resistance Test Results on 5.5m Model (Mejiro No. 1 Tank)

EHP CURVES (TEST COND.)

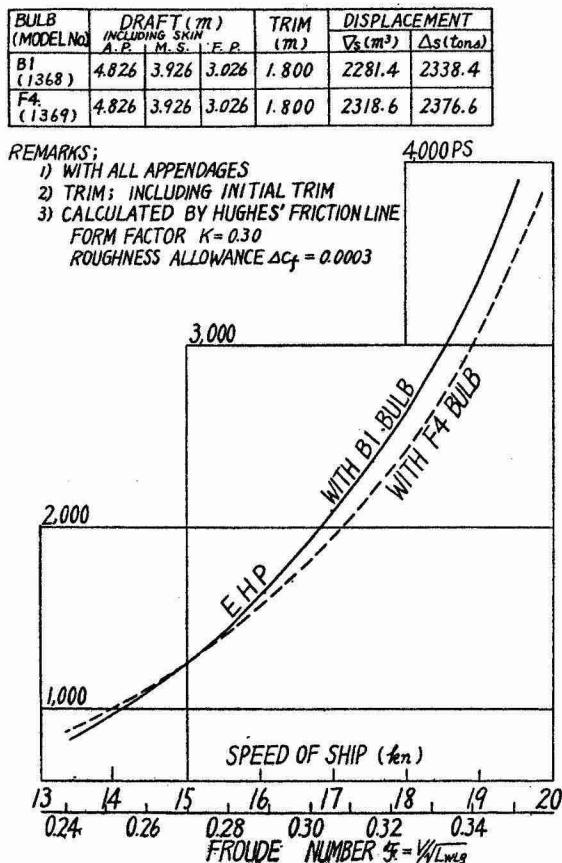
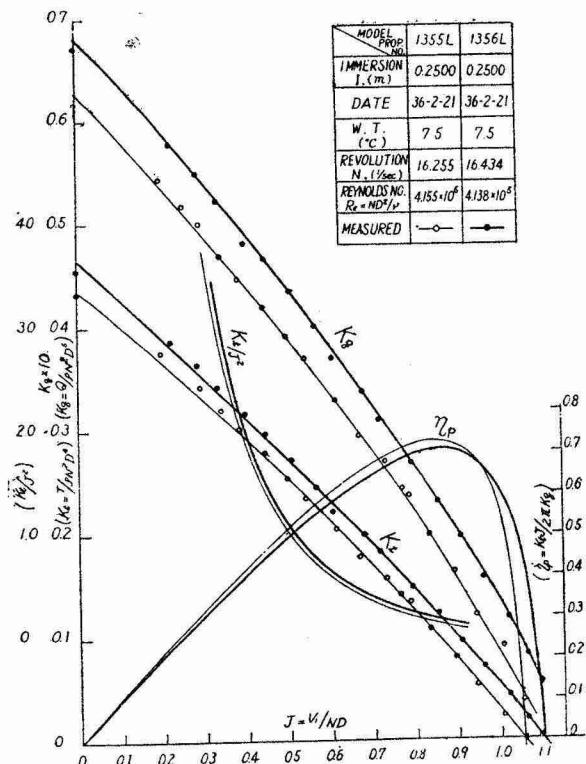


Fig. 6—EHP Prediction Curves for "Test Condition" (B1 and F4)

Fig. 7—Propeller Open Test Results
(Mejiro No. 1 Tank)

それに比し平行的に僅かに高く出ているが、その差は小さく、ほぼ副部の影響程度と考えられるので、両者の一致は良好であるといつてよい。5.5 m 模型の結果から実船の EHP を算出したのが第6図である。ここでは $\Delta C_f = 0.0003$ と仮定した。

5. 自航試験・伴流試験・プロペラ単独試験

運研目白水槽では前記 5.5 m 模型の B1・F4 について自航試験・伴流試験が行なわれた。また自航試験に使用された模型プロペラについて単独試験が実施され、自航要素の解析には、これによるプロペラ特性曲線が使用された。

小型バルブ B1 と大型バルブ F4 とでは造波抵抗の差から同じ M.C.R. 出力で 18.9 kn → 19.3 kn と約 0.4 kn の速力上昇が見込まれる。このため F4 に対してはくれない丸が現在装備しているプロペラは不適当となる。そこで F4 に対してもつとも条件のあつた最適プロペラをあらためて設計し、模型船にも実船にもこれを新しく製作することにした。その要目を第3表に示す。また2つの模型プロペラについて行なわれた単独試験の成績を第7図に示す。

Table 3—Propeller Particulars

HULL FORM COND.	B1 BULB	F4 BULB
NUMBER OF PROP.	2	2
TYPE	AEROFOIL SECTION ONE BODY	AEROFOIL SECTION ONE BODY
DIAMETER (m)	2.750 (0.1891)	2.730 (0.1877)
BOSS RATIO	0.211	0.212
PITCH (CONSTANT)	2.640	2.730
PITCH RATIO	0.960	1.000
EXP. AREA RATIO	0.553 (0.555)	0.560
MAX. BLADE WIDTH RATIO	0.327	0.335
BLADE THICKNESS RATIO	0.0538	0.0542
TYPE OF SECTION	UNKEN AERO-FOIL	UNKEN AERO-FOIL
ANGLE OF RAKE	0°	0°
NUMBER OF BLADES	4 (ONE BODY)	4 (ONE BODY)
RPM AT M.C.R.	250	250
DIRECTION OF TURNING	OUTWARD	OUTWARD

Remark: Dimensions in parentheses are for models

自航要素（推力ベース）を第8図に示す。また翼車型流速計によつて別に測定したいわゆる公称伴流値を第9図に示す。大型バルブで F4 は船首波打消しによつて造波伴流が小さくなつてゐるが、もともと計画速力付近でその値は負になつてゐるため、結局伴流率が増したことになる。さらにプロペラ直径も若干小さくしてあるので摩擦伴流も増加し、これらが利いてプロ

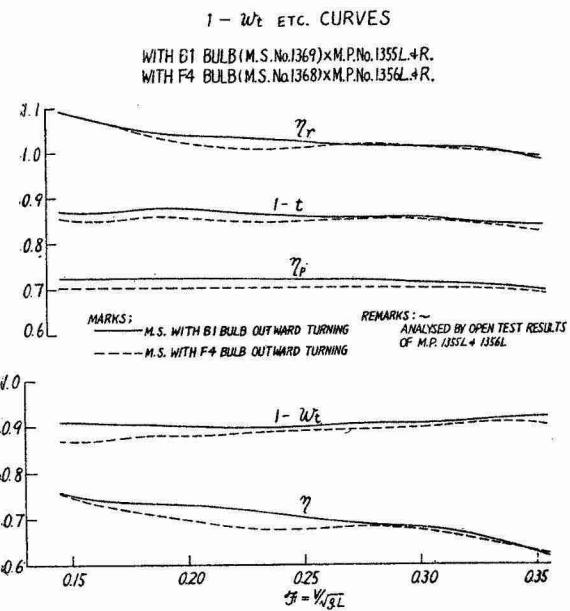


Fig. 8—Self-Propulsion Factors for 5.5 m Model (Mejiro No. 1 Tank)

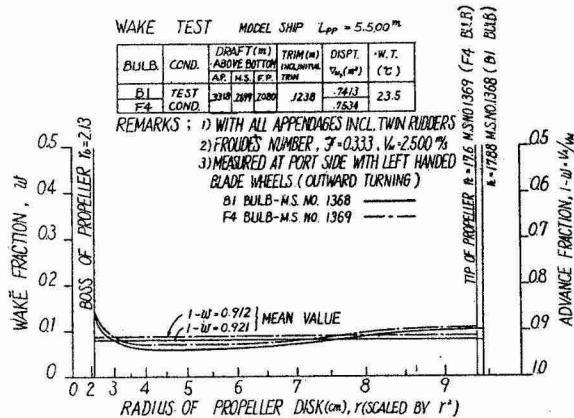


Fig. 9—Nominal Wake Fraction for 5.5 m Model (Mejiro No. 1 Tank)

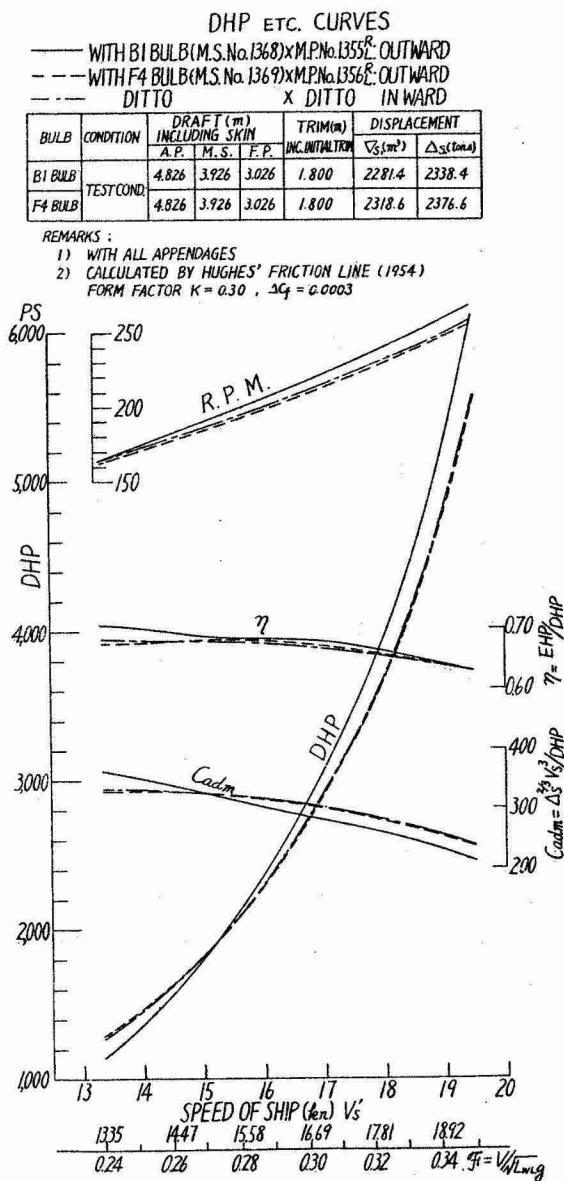


Fig. 10—DHP, RPM, etc. Prediction Curves

ペラ直径の減少によるプロペラ単独効率の僅かな低下を十分カバーし、推進効率はほとんど差はない。しかし船殻効率では F4 の方がわずかに B1 よりもよくなっている (w が大きく、 t がほとんど変わらない)。一般に 2 軸船の自航試験では 1 軸船の自航試験よりも模型プロペラの直径が小さくなり、それだけトルク計測値の信頼度が落ちるとみられる。従つてトルクの計測誤差の入らない船殻効率で比較してみると、この場合意味のないことではないと考えられる。最後にこれらの自航要素が尺度影響をもたないものとして、実船にもそのままの値で適用し、実船の DHP, N などを算定した結果を第 10 図に示す。

また本船は 2 軸であり、プロペラの回転は慣例に従つて外廻りとなつていて。しかるに本船の船尾波が異常に高く、竣工時の海上公試のさいの観察では外廻りプロペラが余計にその傾向を助長しているかにみられた。そこで模型については念のため内廻りの実験も行なつて、2 軸プロペラの回転方向による推進性能の比較を行なつた。その結果は第 10 図にみるように、ほとんどその差が認められないが、いずれかといえばわずかに外廻りの方が有利な結果となつている。

む　す　び

以上くれない丸実船試験に関する報告の前編という形で、その基礎となつた各種水槽試験の結果と、さらにさかのぼつて本船建造計画の当初から実船試験にいたる間、東大水槽を中心として行なわれた船型学的努力の一端

を述べた。

おわりに本研究に対し終始御激励と御指導とをいただいた恩師山県昌夫先生、および実船試験の機会を与えて下さった運輸省当局・関西汽船・新三菱重工業神戸造船所、さらに多忙なスケジュールのなかを水槽試験に十分の日数をさいて下さった運研船舶推進部の各位、この実験・解析に協力していただいた大学院の梶谷・池畠両君に対してそれぞれ厚くおん礼申し上げる。

文 献

- 1) 甲斐敬二：瀬戸内海航路高速客船くれない丸について、船の科学 13 卷、4 号 (1960) pp. 62—67
- 2) 古屋孝二：くれない丸の船内装飾について、同上 pp. 68—75
- 3) 乾・高幣・熊野：球状船首の造波効果に関する水槽試験、造船協会論文集 108 号 (1960)
- 4) 高幣哲夫：Waveless Bow の研究 (その 1)，同上
- 5) 高幣哲夫：同上 (その 2)，造船協会論文集 109 号
- 6) 熊野道雄：Waveless Stern の研究 (その 1)，造船協会論文集 108 号
- 7) 熊野道雄：同上 (その 2)，同上 109 号
- 8) 熊野道雄：同上 (その 3)，同上 110 号 (1961 予定)
- 9) 工業経済 (35 年 3 月 4 日号)
- 10) 関西汽船：瀬戸内海の観光船として大阪一別府航路に優秀客船の新造を計画するに当り財政融資を要望する理由について (昭和 32.12.)
- 11) 田古里 哲夫：乱流促進法について (その 1)，造船協会論文集 109 号 (1961)
- 12) 田古里 哲夫：同上 (その 2)，同上 110 号 (1961 予定)

付録 1 くれない丸の速力性能に関する船主の基本的構想

関西汽船では瀬戸内海の観光的価値から考えて、阪神一別府航路の昼間航行実現を年来の宿願としていた。くれない丸・むらさき丸はこの夢を実現するために計画・新造されたものである。従つて本船に対する速力性能への要求はいわば絶対的な至上命令といつてもよいぐらいのものであつた。これについての船主立案の基本構想は次の通りである。

(1) 航海速力 (ただし 85% M.C.R.) は最低 18 kn を下らないこと。
 (2) L_{BP} は 80m, LOA は 86.7m を絶対にこえないこと。以上のうち (1) の速力については、大阪一別府間の計画航海時間を 14 時間 20 分として出てきた数字である。この航海時間は国立公園瀬戸内海の昼間航行を可能とし⁹⁾、かつ本船にとり、営業上ライバル的な関係に立つ国鉄急行列車「高千穂」の同区間陸路所要時間 13 時間 57 分*にもほぼ対抗できるギリギリ最低の数字である。すなわち航海速力 18 kn というのは絶対必要条件であつて十分条件ではない。

(2) の船の長さに対する制約は、別府港内のいささか貧弱に過ぎる施設現状からおさえられたもので、狭い港内で自力で発着できるためには上記の長さが用船上の限界だということである。この条件は本船計画の当初から、最終の実船試験用大型バルブの計画にいたるまで終始 negative situation として働いた。私見では長い将来のことを見て、当然港内施設の拡充をはかるべきものと判断される。

上記の速力と長さとの関係から、本船の航海速力に対する速長比は LOA ベースで 1.11, L_{BP} ベースで 1.07 となる。これによつて本船は従来のたんなる国内交通船としての役割のほかに、いまひとつ全く新しい国際的観光船という華やかな役割をも果たしうることになつたわけである。船主も両船建造計画の当初からこの新しい観点を強調し¹⁰⁾、一方運輸省はじめ関係当局もこの点に十分の理解と支持とを与え、観光国策

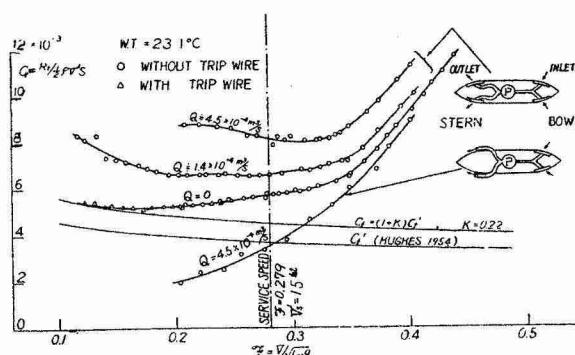


Fig. A 1—"Apparent Resistance" Test Results for the Pumping Effects on M/S Kogane Maru 1/50 Model (Tokyo Univ. Tank)

* 現在 (36 年 6 月) は 13 時間 12 分に短縮されている。

の一環として開発銀行から両船建造費に対する財政融資の便が与えられたことは周知の通りである。

付録 2 こがね丸 1/50 模型によるポンプ式噴射推進の水槽試験

本文にも述べた通り、この実験は入出力に関し同時計測すべき諸量が多く、今回は装置の不備でこれらすべてが満足すべき精度で測定できたわけではないが、この機会に後日の参考として結果のみを記録にとどめておく。第 A1 図は抵抗試験の結果である。模型が小さい割合に抵抗測定そのものの精度は悪くない（小容量の特殊精密抵抗動力計を使用した）。実験はポンプを作動しない $Q=0$ の場合を含めて 4 種ある。そのうち 1 種はポンプからの排水噴射を水線上船尾玄側から直接空中に出したもの、他はすべて水線下船尾両側の開孔部を介して出したものである。パラメーター Q は単位時間のポンプの揚水量で、これは厳密には船速によつても変わることもあるが、ここでは静止時のポンプ揚水量較正試験の値をそのまま使用した。ポンプ駆動用小型モーターが交流モーターであつて精密な制御ができる性質のものであつたから、この値そのものも大体の概略値である。ここに示された模型船全抵抗の値は本文にも述べたように真の（というか狭義の）全抵抗から噴流による推力を差引きさらにポンプに結合されている船首側および船尾側の導水管の管摩擦が加わつたものである。ここではその両方とも同時計測はなされていない。一見して明らかなことは管摩擦が非常に大きくなっていること、および水線上から直接大気に噴射した方が有利らしい、ということである。またポンプ吸引力による船首部造波抵抗の減少効果が期待したほどのものでないことも、およそ想像される。このことは、第 A2 図に掲げる船側波形の比較からもよくわかる。この図は $K_0L = 14, 12, 11, 10, 9, 8, 7$, ($K_0L = gL/V^2 = 1/F^2$) の 7 種の F 数についてポンプを作動 ($Q = 4.5 \times 10^{-4} m^3/s$, 水線下排水) したときと、作動しないときとの船側波形を Chemical Film(Benzoic Acid) で測定したものである。理論的にいえば、船体に等価な吹出し分布の強さは速力に比例するから、どの速力においても同じ比率で原吹出しを緩和させるためには、ポンプの揚水量を速力に比例して増強させねばならないはずである。1, 2 の例外はあるがこの傾向はこの実験結果にも大体出ているようである。ただし $K_0L = 7$ の結果は、両波形のゼロ線にズレがあつたのではないかという疑問がもたれる。

付録 3 くれない丸公試状態に対する 2.5m 模型抵抗試験

実験はすべて喫水一定の比較方式を採用した。はじめ without stimulation で 1 回抵抗試験を行ない、2 回目には S.S. $9^{1/2}$ に高さ 1mm、幅 2.3mm、ピッチ 4~5mm の plate studs 1 列を採用、3 回目にはこれにさらに FP から $0.01 L$ 後方の位置に高さ

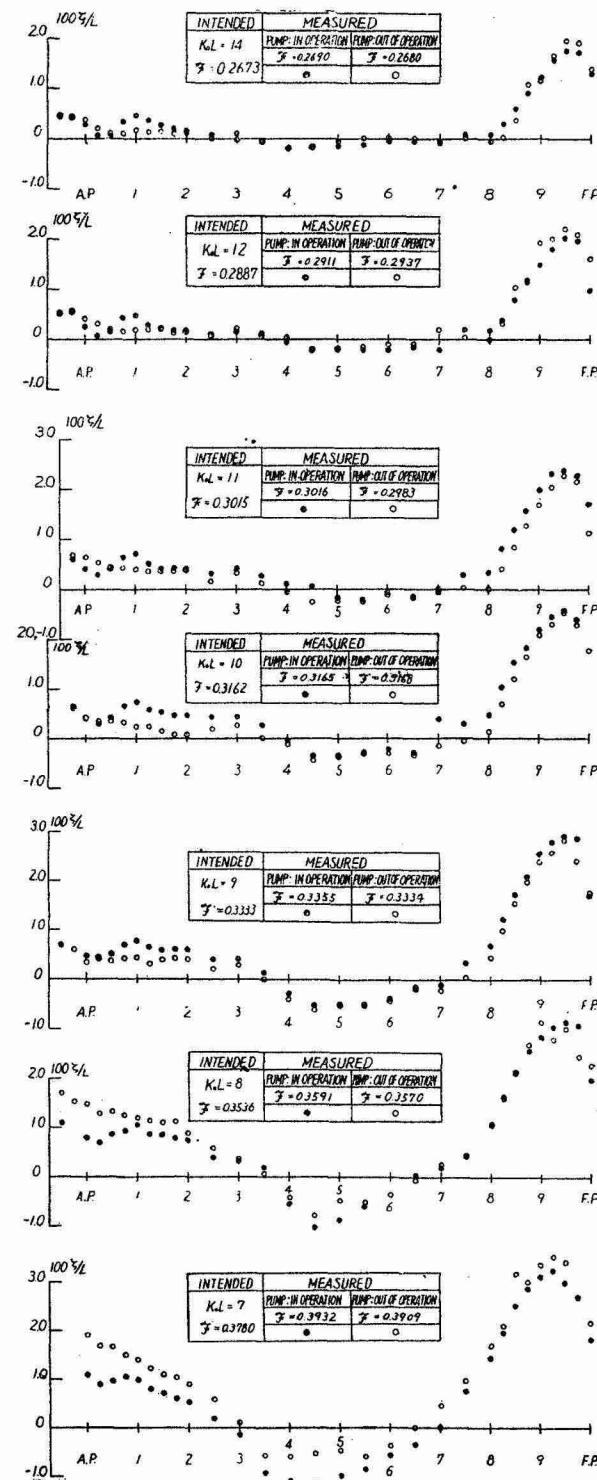


Fig. A 2—Wave Profile Measurements for the Pumping Effects on M/S Kogane Maru 1/50 Model (Tokyo Univ. Tank)

0.5 mm, ピッチ 4~5 mm の plate studs をもう 1 列加えた。バルブ付の場合には後者の代りにバルブ曲率中心を頂点とする 60° 半頂角の円錐面とバルブとの仮想交線を考え、この位置に studs をうえて層流剥離を防いだ。形状因子 K はバルブの有無により多少変化するはずであるが、いまは一応不変と仮定した。最近の東大水槽における田古里講師の研究^{11), 12)}によれば studs の固有抵抗は量的に従来予想されていたよりも小さく、 $F > 0.30$ 以上の高速域でも 2 列 studs の結果をほとんどそのまま無修正で採用して実用上差支えないことが知られている。今回もこれに従うこととした。その結果を第 A 3 図に示す。これによれば、バルブなし船首船型 B0 と現在のくれない丸がもつ小型バルブ B1 との差は低速域を除いてほとんど差がない。また B2 バルブによる造波抵抗の減少効果は $F = 0.30$ でもつとも顕著であつて、これは付録 4 に示したのと同様の理論計算の結果とよく一致する。

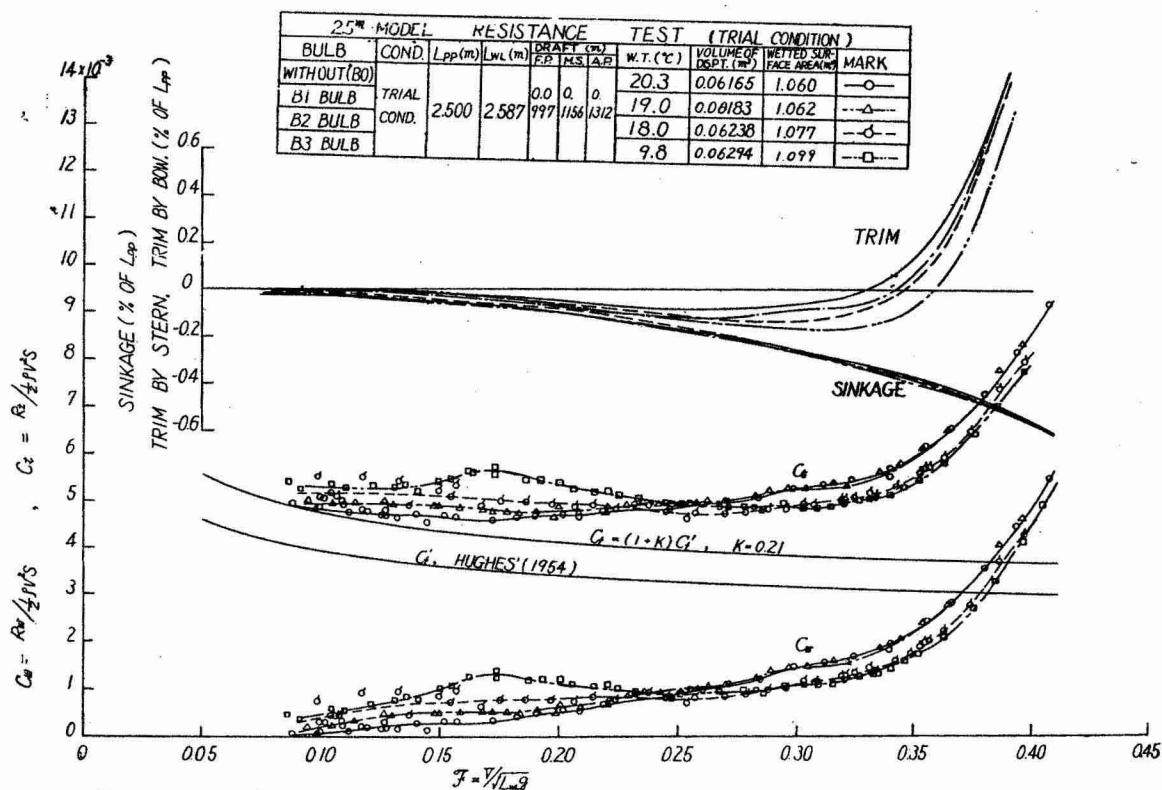


Fig. A 3—Resistance Test Results on 2.5 m M/S Kurenai Maru Model for Trial Condition (Tokyo Univ. Tank)

付録 4 F 4 バルブに関する設計理論

F 4 バルブを例にとり、バルブの理論的設計方針の 1 例を説明する。バルブの設計上大切なのは第 1 にその中心位置であり、第 2 はその形状・大きさである。とくにその位置は大切である。くれない丸の場合、主船体の形状が Waveless 理論の見地からは非常に歪められた、いやな船型となつてゐるため、これに適合するバルブの設計もそれだけ困難が加わることになる。まずその位置は、バルブの尖端が船首材前端を出ないことという制約があるので、第 2 の条件たるバルブの所要大きさとのかね合いと、浸水面積の増加による摩擦抵抗上の不利を考えあわせて、バルブ中心を FP より前方 1.5% L ときめた。造波抵抗だけの見地からいえば、最適中心位置はいま少し前方にあることが推定できるが、上記の枠内ではこの位置が最適と考えられた。

つぎに、バルブの大きさ・形状については下記の計算から定めた。

主船体船首部の形状から判断してその造波特性を喫水方向は V 型、水線方向は cos 型でいざれも近似できるものとすると、その素成波振幅関数は

$$A_F(\theta) = \frac{a_1 \cdot L}{\pi} \cdot K_0 L \cdot \frac{1 - \frac{V(K_0, T, \theta)}{K_0 T \sec^2 \theta}}{\frac{(K_0 L \sec \theta)^2 - \pi^2}{\sec^2 \theta}}$$

ここで

$$V(K_0, T, \theta) = 1 - \exp(-K_0 T \sec^2 \theta)$$

くれない丸については

$$a_1 = 0.8 \quad T/L = 0.04$$

ととつた。速度 $F=0.316$ ($K_0L=10$, 本船の航海速力にほぼ等しい) における $A_F(\theta)$ の値は第 3 報の第 2 図の実線のようになる。またバルブの素成波振幅関数は次の式で与えられる。

$$B_F(\theta) = 2(K_0L)^2 \cdot L \cdot \left(\frac{a_0}{L} \right)^3 \cdot \sec^4 \theta \cdot \exp(-K_0 f \sec^2 \theta)$$

ここで, a_0 はバルブの有効排水容積に相当する球の半径, f はバルブの有効中心位置の深さである。

くれない丸では F 4 バルブに対して

$$a_0/L = 0.023, f/L = 0.027$$

ととつた。この F 4 バルブについて上記と同じ速度 $F=0.316$ についての値を示すと第 3 報の第 2 図の点線のようになる。

このようにして求めた $A_F(\theta)$, $B_F(\theta)$ から $A_F^2(\theta) \cos^3 \theta$, $\{A_F(\theta) - B_F(\theta)\}^2 \cos^3 \theta$ の囲む面積比を求めて F 4 バルブによる船首造波抵抗の減少の程度を推定すれば、少なくとも約 1/5 以下に減少しているものと考えられる。

船首バルブによる造波抵抗に対する利得を次のような推定のもとに概算すれば、抵抗試験の結果とほぼ一致する値となる。

まず、全造波抵抗のうち船首波が受持つ抵抗の割合を 50% とする。すなわち船首波による抵抗が船尾波および前後の両肩波による抵抗とほぼ等しいものと考える。通常の船型では造波抵抗のうち船首波による抵抗の占める割合は少なくとも 60%, あるいはそれ以上に達するものもあると考えられるが、本船は特に幅が広く、実際船尾波の観察からも、船尾波および肩波による抵抗が普通船型に比べて大きな比率をもつていることが知られたからである。

さて前掲（本文）第 4~5 図より明らかのように、バルブなしの造波抵抗について、速度 $F=0.316$ ($K_0L=10$) における基本項の値はほぼ

$$(C_w) \text{基本項} = 1.50 \times 10^{-3}$$

このうち船首波によるものを 1/2 とみて 0.75×10^{-3} とすれば、船首バルブによつてこのうちの 4/5 が打消されるとして、この速度におけるバルブによる C_w の利得は $0.75 \times 10^{-3} \times (4/5) = 0.60 \times 10^{-3}$ と推定される。実験の結果によれば同図より、 C_w の減少は

$$\begin{aligned} & (C_w) \text{基本項} - (\text{バルブ付の場合の } C_w) \text{基本項} \\ & = 1.50 \times 10^{-3} - 0.95 \times 10^{-3} \\ & = 0.55 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

となり、ほぼ上記の推定値に一致する。上の式でバルブ付の場合は、この速度の付近で干渉項がほとんど零となると考えられ C_w 曲線がそのまま基本項に等しいものとした。