

社団法人
日本造船研究協会報告

第73号

昭和48年1月

巨大船の速度計測および馬力推定法の精度向上に関する研究

.....第107研究部会

Investigation into the Speed Measurement and Improvement of Accuracy
in Powering of Full ShipsThe 107th Research Committee

Report No. 73

The Shipbuilding Research Association of Japan

Tokyo, Japan

January 1973

第107研究部会委員名簿 (敬称略、順不同)

部会長 委員	横尾 幸一 (船舶技術研究所) 安部 光弘 (三井造船) 池村 清 (運輸省) 乾崇夫 (東京大学) 牛島秀利 (住友重機械工業) 岡田高 (沖電気) 岡田淳一 (九州大学) 木本喜一 (盛岡計器) 柿島初雄 (大阪大学) 篠島秀雄 (大阪大学) 柴田幸二郎 (安立電波) 上甲健一 (大阪造船所) 須藤彰一 (日立造船) 田吉里哲夫 (東京大学) 田中磯一 (光電製作所) 永松秀一 (住友重機械工業) 花園史郎 (函館ドック) 伏見清喜 (昭和海運) 丸尾孟 (横浜国立大学) 宮崎正弘 (大阪造船所) 村松省吾 (三保造船所) 森川卓 (日本船主協会) 山崎芳嗣 (佐世保重工業) 渡辺恭二 (三菱重工業)	尾石 毛 (白鷲重工所) 泉植竹 (菱重工業) 宇田川野本 (日立造船) 小林野洋 (佐世保重工業) 芝田正実 (川崎重工業) 田中正明 (北辰電機製作所) 須藤正信 (佐野安船渠) 中道正朗 (北辰電機製作所) 木藤正信 (安立電氣管) 藤須田 (日本鋼管) 中渡伸 (阪島大學線) 渡品秀 (大無船學)	昭晃 (大日本鋼管) 信次郎 (佐世保重工業) 伊夫史 (川崎重工業) 貞洋 (北辰電機製作所) 正珠郎 (北辰電機製作所) 正信朗 (安立電氣管) 須田中 (阪島大學線) 藤原秀芳 (名村造船所) 堀北克朗 (運輸省) 原島喜代美 (古野電氣) 森崎正彦 (海上電氣) 矢富吉生 (石川島播磨重工業) 佐吉佐 (日本造船技術センター) 富佐 (三菱重工業)
-----------	---	--	--

編集委員会委員名簿 (敬称略、順不同)

委員長 委員	横尾 幸一 (船舶技術研究所) 乾崇夫 (東京大学) 伊藤譲 (日本造船技術センター) 篠島秀雄 (大阪大学) 須藤彰一 (明石船型研究所) 田吉里哲夫 (東京大学) 仲渡道夫 (広島大学) 丸尾孟 (横浜国立大学)	泉植竹 (三菱重工業) 木藤敏夫 (大阪大学) 橋高 (船舶技術研究所) 中田一朗 (大阪大学) 藤田孝 (三菱重工業) 渡辺恭二 (三菱重工業)
-----------	---	--

Member of SR-107

Chairman :	Dr. K. Yokoo	Mr. A. Ishige	Mr. K. Ikemura
Members :	Mr. M. Abe Mr. A. Izumi Mr. H. Ushijima Mr. Y. Okano Mr. H. Kakiki Mr. M. Shigeno Mr. K. Joko Mr. M. Sudo Mr. K. Tanaka Mr. H. Nukushina Mr. K. Fushimi Mr. K. Minohara Mr. S. Muramatsu Dr. A. Yazaki Dr. K. Watanabe	Prof. T. Inui Mr. S. Ueda Mr. S. Ueda Prof. J. Okabe Mr. M. Kobayashi Mr. K. Shibata Mr. T. Suzuki Prof. T. Tagori Prof. M. Nakato Mr. S. Hanazono Mr. K. Horinokita Mr. M. Miyazaki Mr. M. Mori Mr. Y. Yamazaki	Mr. S. Ueda Mr. T. Okada Mr. H. Okamoto Prof. H. Sasajima Mr. T. Shibata Mr. S. Sudo Prof. I. Tanaka Mr. S. Nagamatsu Mr. Y. Fujiwara Prof. H. Maruo Mr. J. Miyajima Mr. T. Morikawa Mr. T. Yoshitomi

Printing Committee

Chairman :	Dr. K. Yokoo	Mr. A. Izumi	Mr. Y. Ito
Members :	Prof. T. Inui Mr. S. Ueda Mr. S. Sudo Prof. I. Tanaka Prof. H. Maruo	Prof. H. Sasajima Mr. H. Takahashi Prof. M. Nakato Dr. K. Watanabe	Mr. T. Suzuki Prof. T. Tagori Mr. T. Fujita

Investigations into the Speed Measurement and Improvement of Accuracy in Powering of Full Ships

SR 107 Committee

The accurate prediction and full scale measurement of speed and power of ships are very important problems for ship builders and ship operators. The recent trend of remarkable increase in size and fullness of ships has laid emphasis on the urgent solution of these problems.

This report deals with investigations both into the method of measuring directly and accurately the ship's speed through water, and into the ship-model correlation method which is necessary for the prediction of power of ships.

In the first place, various types of speedometer were tested and the electro-magnetic type and the ultra-sonic type (Doppler Sonar) were chosen as proper devices. Next, velocity distributions were measured on a full ship model in order to find out proper positions for the apparatus to be attached.

At the full scale measurements on an ore-oil carrier of length 285 metres and 168,000 tons D. W., an electromagnetic type speedometer was fitted at square station 6 on the bottom and a Doppler Sonar type on the upper part of the bulb at the stem. The positions of both instruments were decided after theoretical calculations, model tests and practical considerations.

Velocity distributions inside the boundary layer at Sq. St. 6 were measured by means of changing the distance of the sensor from the ship's bottom. The speed of water particles located about 50 metres ahead of the ship was measured at the same time.

The model tests were carried out with current-meters fitted at corresponding positions. The results of these experiments have given the ship-model correlation data for the flow velocity around the ship.

Research works concerning the improvement of power prediction consist of model tests and full-scale measurements of an ore carrier of length 302 metres and 160,000 tons D. W.

Resistance tests, self-propulsion tests, propeller open tests, wave analyses, Pitot traverse measurements, streamline observations, and measurements of wake distributions at and shortly before the propeller disc were carried out on geometrically similar models of lengths 2m, 4m, 8m and 12m. The propeller open test and self-propulsion test were omitted in the case of 2m model, while streamline observation was not carried out in the case of larger models.

Standardized trial analysis and full-scale measurements of the wake distribution shortly before the propeller disc were carried out on the actual ship.

As a consequence, useful indications toward better ship-model correlation method have been obtained from the analysis of experiments on model and actual ships.

Principal conclusions deduced from these investigations are as follows;

1. The thickness of the boundary layer becomes smaller at the centre line of the ship's bottom.
2. Proper position for the electro-magnetic type speedometer falls between Sq. St. 7 and the midship.
3. Ratio of the relative thickness of the boundary layers between the ship and the model is approximately proportional to the ratio of the frictional resistance coefficient.
4. Correction factors for the Doppler Sonar type speedometer can be easily determined by the model tests.
5. Each type of speedometer can be used in practice if a small improvement is made to eliminate errors.
6. The three-dimensional extrapolator is necessary for the full form ships. Hughes' method is useful in the case of full load condition, but further consideration is needed in the case of ballast condition.

7. The relative rotative efficiency and the thrust deduction coefficient are nearly constant and independent of model size, while, on the other hand, a remarkable scale effect appears in the wake fraction.
8. Difference in the wave resistance coefficients between the results of resistance tests and those of wave analysis is greater at the ballast condition than at the full load condition.
9. Wave resistance coefficients obtained from the wave analysis increase with the model size.
10. Head loss measured by means of Pitot traverse method has a similar tendency among different model sizes and different loading conditions. Non-dimensional value of head loss decreases as the model size increases.
11. The wake distribution shortly before the propeller disc of the actual ship has been determined by means of the 5 hole Pitot tubes successfully.
12. Thickness of the wake seems to be approximately proportional to the frictional resistance coefficient, and the width of the wake belt of the actual ship is much smaller than that of the model.
13. The smaller the models, the greater the scale of trailing vortices. In the case of actual ships, the vortices have smaller scale but higher intensity than those of models. This fact seems to imply that the circulation is almost unchanged between the ship and the models.

CONTENTS OF REPORT:

Preface	1
Part 1. Investigations into Speedometer	2
§1 Introduction	2
§2 Examination of Various Types	3
§3 Preliminary Tests	16
§4 Measuring Instrumentation	30
§5 Full-scale Measurements	53
§6 Model Tests	85
§7 Discussions	91
§8 Conclusion	99
Reference	101
Appendix, A Guide to the Measurement of Ship Speed Relative to Water	102
Part 2. Power Prediction	105
§1 Introduction	105
§2 Geosim Tests	107
§3 Standardized Speed Trial	129
§4 Full-scale Measurement of Wake Distribution	146
§5 Ship-model Correlation	175
5.1 Scale Effect in Wake Distribution	175
5.2 Trial Analysis with the Aid of Geosim Tests	183
§6 Conclusion	186
Reference	188
Final Remarks	189

巨大船の速度計測および馬力推定法の精度向上に関する研究

目 次

緒 言	1
第1部 速度計測	2
§ 1 まえがき	2
§ 2 調 査	3
2. 1 必要性能	3
2. 2 各種対水速度計測方式	3
2. 3 検討および選定	8
§ 3 予備試験	16
3. 1 模型試験用ピトー管	16
3. 2 供試模型船	18
3. 3 試験方法	18
3. 4 試験結果	18
3. 5 流速分布についての考察	26
§ 4 計測器	30
4. 1 電磁式速度計	30
4. 2 超音波式速度計	40
§ 5 実船試験	53
5. 1 実船試験計画	53
5. 2 取付け工事	54
5. 3 実船試験概要	58
5. 4 試験結果および考察	59
§ 6 模型試験	85
6. 1 供試模型船	85
6. 2 翼車式流速計による前方流速計測方法	86
6. 3 ピトー管による船底流速計測方法	87
6. 4 試験結果および考察	88
§ 7 考 察	91
7. 1 実船と模型船の境界層の比較	91
7. 2 対水速度計による対水速度	93
7. 3 改良を要する点	98
§ 8 むすび	99
参考文献	101
付録 対水速度計測指針	102
第2部 馬力推定	105
§ 1 まえがき	105
§ 2 相似模型船による研究	107

2. 1 水槽試験法	107
2. 2 解析方法	108
2. 3 水槽試験結果	109
2. 4 考 察	113
§ 3 実船の速力試運転	129
3. 1 試運転状態並びに諸計測	129
3. 2 解 析	129
3. 3 $\triangle C_F$ 解析	130
§ 4 実船の伴流分布計測	146
4. 1 研究および成果の概要	146
4. 2 計測装置	147
4. 3 五孔ピトー管の検定	154
4. 4 トラスおよび計器の配置	158
4. 5 実船実験	163
4. 6 伴流計測結果とその考察	169
4. 7 実船実験全般を通じての感想	173
§ 5 実船と模型船の相関	175
5. 1 伴流分布の尺度影響	175
5. 2 実船試運転結果解析	183
§ 6 む す び	186
参考文献	188
緒 言	189

緒 言

船舶の対水速度および所要馬力を正しく推定し、かつ正しく計測することは、船舶の建造および運航上きわめて重要な問題であり、最近の船舶の巨大化、肥大化により、これらに対する要求はさらに厳しいものとなってきた。そこで、船舶の試運転に要する時間と経費を節減し、かつ、計測精度の向上をはかるために船舶の対水速度を直接正しく計測する方法を開発するとともに、船舶の馬力推定に必要な実船と模型船との相関関係を正しく求めるために、最近特に問題になっている大型肥大船を対象として幅広い研究を日本船舶振興会の補助金を得て3ヶ年計画で行った。

初年度である昭和44年度には、船舶の速度計測に関する研究の手はじめとして、各種の対水速度計測方法および対水速度計に関する調査および肥大模型船まわりの流速分布の計測を行なって、現時点における適当な対水速度計とその適当な計測位置を見出した。^{*}

第2年度である昭和45年度には^{**}、船舶の速度計に関する研究の続きとして、電磁式速度計の単独試験を行なうとともに速度計と超音波式速度計の実用化試験をD.W. 168,000トンの混載船で行なうことにして各種の調査および検討を行なった。また、新しく、抵抗成分分離に関する研究として3隻の相似模型に対して、抵抗・自航・プロペラ単独の各試験を行なうほか、後流、伴流、自由波形、流線等の観測を行なった。この試験研究の対応実船として選ばれた船は、D.W. 162,400トンの鉱石運搬船で、この実船については標準試運転および伴流分布の計測を行なう予定で、計測装置の設計および計測方法の検討を行なった。理想的には一つの実船で伴流分布の計測と速度計の実用化試験を行なうとともに、その船に対する数隻の縮率模型で抵抗成分分離に関する各種模型試験を行なうべきであるが、いろいろな都合から、伴流計測試験と速度計実用化試験は別の実船で行なうことになった。

最終年度である昭和46年度の研究は、対水速度計の実用化に関する研究として、上記混載船の船底のS.S. 6付近に電磁式速度計を装備して、船底下0~1mの間の対水速度を適当な間隔で計測するとともに、新しく開発された超音波式速度計を球状船首の前端に取付けて、船の前方位置における速力を計測した。

また、この実船に相似な模型船について、実船と同一相対位置における速力を計測し、実船試験の結果と比較検討した。抵抗成分分離に関する研究としては、昭和45年度に試験を実施した2、4、8mの相似模型船と全く相似な12m模型について、8m模型に対して行なったのと同様な試験、すなわち、抵抗試験、自航試験、プロペラ単独試験、後流および伴流の計測ならびに模型船の起す波についての計測を行ない、他の模型試験の結果と比較検討した。実船と模型船の相関に関する研究としては、上記の鉱石運搬船を使用してプロペラ前方位置における伴流を5孔管式伴流計測装置および超音波式伴流計測装置で計測し、相似な位置で計測した模型試験結果と比較した。また、一方同船の標準試運転を行なってその結果を解析し、相似模型船群の試験結果と比較検討した。^{***}

* 第107研究部会、船舶の速度計測および馬力推定法の精度向上に関する研究報告書、日本造船研究協会、研究資料No.109、昭和45年3月

** 第107研究部会、船舶の速度計測および馬力推定法の精度向上に関する研究報告書、日本造船研究協会、研究資料No.124、昭和46年3月

*** 第107研究部会、船舶の速度計測および馬力推定法の精度向上に関する研究報告書、日本造船研究協会、研究資料No.142、昭和47年3月

第1部 速度計測

§ 1 まえがき

船舶の対水速度は、従来は標柱間試運転における往復航走によって求められていた。最近のタンカ、撒穀貨物船などの巨大化に伴い、速力試運転における必要最小水深および助走距離が増加し、現在の標柱間試運転航路は巨大船速力試運転用としては適さないものが多くなっている。したがって、巨大船などについては、最近は深く広い海面において往復航走を行ない、ドップラ・レーダなどの電波式速度計により対地速度を測定し、その平均値をもって対水速度とせざるをえない現状である。

ところが、このような海域では海流や潮流により流れが複雑、不規則であり、また時間とともに変化する。巨大船のように往復航走に長時間を要する場合は、対地速度の平均値をとっても海流・潮流の影響を除去できず、対水速度を正確に求めることはできなくなる。もし船舶の対水速度を精度良く直接計測する方法が開発されれば、対水速度計測精度が向上し、また風の影響が少ない場合、1方向のみの航走で良いことになり、試運転に要する時間と経費を節減することができる。

以上のように、巨大船の速力試運転における対水速度直接計測の必要性がたかくなり、本部会の事業の一つとして採上げられることになった。

昭和44年度においては本調査研究題目に關しては、従来船舶用測程儀として採用された計測方法のみならず、巨大船試運転用として実用の可能性のありそうな各種対水速度計測方法について精度、安定度、装備および撤去工事量、取扱性などを調査検討した。

その結果、船体水中部に受感部を装備する計測方法を速度試運転への実用化試験に採用することにし、電磁式速度計がまず選定され、さらに予備試験として模型船周辺流速分布計測を行なってその結果から適当と考えられる取付け位置も大体決定された。また境界層の影響を受けないドップラー・ソナー式超音波速度計の採用も予定された。

昭和45年度においては、まず対水速度計実用化実船試験に使用する実船として住友重機械工業㈱において昭和46年8月竣工予定のDW16,800t混載船が決定された。一方船舶技術研究所の400m水槽で電磁式速度計の単独試験が行なわれるとともに測定桟長さの決定、本速度計を実船に装備し試験を行なう時必要な測定桟昇降装置の設計が行なわれた。超音波式速度計については検討が進められ、仕様、取付け位置、取付け方法などを定め、設計が行なわれた。また実船試験方法を検討した。

昭和46年度は以上により選定した実船を使用し、速度試運転時に船底に電磁式速度計を装備し、昇降装置により船底からの突出量を変え、船底付近流速分布を計測し、境界層内速度分布、境界層厚を求め、受感部を境界層外に置くために必要な突出量を知り、境界層外端のポテンシャル流の流速を求める試みを試みた。また、新しく開発された超音波式速度計を単独試験の後、船首水中部に取付け、船体の影響の極めて小さい船首前方における流速を計測した。さらに、この実船の模型を作製し、実船に対応する位置における流速を計測し、上記実船試験結果と比較検討し、電磁式速度計および超音波式速度計を使用して対水速度を求める方法の実用化の研究を行なった。

§ 2 調査

2.1 必要性能

巨大船の速力試運転における対水速度直接計測という目的により、対水速度計に必要な性能、すなわち計測速度範囲、計測精度、安定度、耐久性、装備の容易さ、取扱性などが決められる。

2.1.1 計測速度範囲

昭和44年末までにわが国で建造された載貨重量10万トン以上の巨大船のうち65例¹⁾について試運転最大速力を調べたところ、15Knから16Knの間にあるもの9例、16Knから17Knの間にあるもの33例、17Knから18Knの間にあるもの22例、18Knから18.5Knの間にあるもの1例であった。したがって、現在の巨大船試運転用としては10～18.5Kn程度の計測範囲でよいと考えられる。

2.1.2 計測精度

現在、速力試運転においては対地速度は小数点以下2桁までKnで表示することになっている。試運転解析結果でも対水速度はふつう小数点以下2桁までKnで表示している。ところが速度計測精度の絶対的基準ではなく、対水速度に小数点以下2桁の精度があるとは考えられない。昭和40年12月造船協会が日本造船工業会に報告した超大型船速力試運転施行方案³⁾によれば、対水速度において誤差0.1Kn弱が限度とされ、この方案の目標精度は許容誤差1/300としている。したがって、対水速度計の計測精度としては1/300すなわち±0.05Kn程度がえられれば充分であると思われる。

2.1.3 安定度および強度

この対水速度計は速力試運転において標準器として使用されるものである。海上では実験室に比較して計測器にとって条件が悪く、上記の精度を保持するためには高い安定度をもち、気温、湿度、水温、海水の物性値、電源電圧の変動、動搖などの影響を受けないことが望まれる。

また、受感部は海中の浮遊物と衝突することがあると思われるので、衝突により感度、精度が変化しないように十分な強度をもつ必要がある。

2.1.4 装備および撤去

この対水速度計は試運転用であり、試運転終了後直ちに撤去されると予想される。したがって、装備、撤去が容易で、装備のための設備および工事量が少なく、撤去のための入渠が不要であり、撤去工事の工数が少ないと望まれる。また、撤去後の装備跡が運航などに支障のないことを要する。

2.1.5 取扱性

この対水速度計は運航に使用するのではなく、速力試運転だけに使用すると考えられているので、特定の熟練者が扱うものと予想される。したがって、取扱いの容易であることは望ましいが、絶対的な条件とはならないであろう。

また、受感部や測定桿に海中の浮遊物がからまることがあると思われる。この場合、浮遊物のからまりを容易に発見でき、除去できることも重要であろう。

2.2 各種対水速度計測方式

船舶の対水速度計測は帆船時代から行なわれ、科学技術の進歩とともに各種の方式のものが考案され、実用に供されてきた。この各種の方式、および現在船舶用ではないが水中用の流速計として使用されている方式も含めて、その使用方法

および原理により分類すると次のようになる。

1) 曳 航 式

- (a) 回転翼車式
- (b) 抵 抗 式
- (c) 圧 力 式
- (d) 振 動 式

2) 船 底 式 (船側水中部および船首水中部を含む)

- (a) 回転翼車式
- (b) 抵 抗 式
- (c) 热 線 式
- (d) 圧 力 式
- (e) 電 磁 式
- (f) 超 音 波 式
- (g) 光 学 式

3) 船 上 式 (光 学 式)

4) そ の 他

以下、各方式について概略を述べる。

2.2.1 曳 航 式

曳航式とは船尾または船側から曳索で曳航して対水速度を計測する方式で古くから使用され、エドワードマッセイ式ログ、ウォーカー式ログ(パテント・ログ)⁴⁾、Kempf ログ⁵⁾、志波式ログ^{6)~9)}、圧力式曳航速力計¹⁰⁾、T M B ノットメーター¹¹⁾などがある。

従来曳航式に用いられた基本原理は回転翼車式、抵抗式、圧力式、振動式の4種である。

a) 回転翼車式

回転翼車式は、翼車を曳航し、水流による翼車の回転数を計測し対水速度を求める方式で、古くから使われた。この方式では、翼車単体の回転数と速度の関係の直線性は良く、精度、安定度に及ぼす海水物性値の影響は小さいと考えられる。しかしパテント・ログでは曳索により翼車の回転を船上に伝動するので、索長、使用中の索の直径変化、支持点の高さ、海水物性値、浮遊物のからまりなどが感度、精度に影響を及ぼす上、検定が実際上困難である。この欠点は志波式回転翼車式ログ^{6)~8)}、T M B ノットメーター¹¹⁾などでは改良されている。

b) 抵抗式

抵抗式はKempfが発明し、円錐形物体を曳航し、その抵抗から対水速度を求める方式である。円錐形物体単体の抵抗により速度を求める場合はレイノルズ数の影響は小さいと思われるが、没水深度を一定に保つ考慮が必要であろう。曳索の抵抗まで含む方法の場合は種々の影響があり、精度は悪いと考えられる。

c) 圧力式

圧力式は流線形物体を曳航し、物体先端の総圧と適当な位置の物体表面の静圧との差圧から対水速度を求める方式である。¹⁰⁾水温、海水物性値などの影響を若干受けると思われる。

d) 振動式

振動式は、志波が考案し、流れの中におかれた物体の背後に生じるカルマン渦の振動数の計測により対水速度を知る方式である。⁹⁾振動数と速度との関係は一般にレイノルズ数の影響を受けるが、物体の形状寸法を適当に選定すれば、一般船舶の実用速度範囲では振動数が速度に比例するとして差支えないようである。

これらの曳航式すべてを通じての欠点は、船の後流の影響を少なくするために長い索長を要することである。従来の例によれば、1軸普通型商船の速度を1%以内の誤差で測定しようとするならば、索長を A.P. 後方半船長以上とし、側方距離を玄側以上離すを要する⁷⁾といわれる。肥大船型においては、船尾ビルジ溝¹²⁾および船首波が崩れて生じる伴流¹³⁾の問題があり、側方距離をさらに増す必要があろう。また、船体の造波の影響のため、計測位置によりかなりの誤差を生じるので、船体寸法、船型、速度により適当な索長を選定しなければならないという困難さがある。

速度試運転のみならず、停止・後進試験などにも対水速度計の使用を望むならば、曳航式は不適当である。

2.2.2 船底式

船底に装備して対水速度を知るものは、船底測程儀と呼ばれ、古くから使用されている。これまで採用された基本原理は、回転翼車式、圧力式、電磁式および超音波式の4種である。

a) 回転翼車式

数個の羽根をもつ翼車を流れの中におき回転させ、その回転数から速度を求める方法であり、これまで流速計として各種のものが製作使用され、プライス型、ウォルトマン型、ウェックマン型、オット型、エリス型、アムスラ型、ハスケル型、森型、菅谷型、広井型など多くの形式がある。船舶用対水速度計として使用されたものには、イギリスのチャーチル・ログ、わが国では旧海軍の九二式測程儀、57式測程儀（北辰電機製作所製造）ノルウェーのNETログ、アメリカのN.L.W.ログ、イギリスのフォーブス・ログなどがあった。⁴⁾これらは船底から翼車を突出し、または船底から船内に導水しその間に翼車を設け、翼車の回転数を計測して対水速度を知るものである。

翼車式流速計の検定曲線は一般に $V = aN + b$ で表わされるものが多く、速度 V と回転数 N の間の直線性は良い。ここに a 、 b は定数である。翼車単体の精度は清水中では 0.1% 以内が可能で、水温などの影響も小さいが、海中では浮遊物がからむことがあり、翼車に付着したごみや軸受の状態、水流中の気泡の存在などが翼車の特性に影響を及ぼし、精度を保持できない恐れがある。この浮遊物のからみ、付着の除去は簡単ではない。浮遊物に衝突し変形し、特性がまったく変化してしまうことも考えられる。また、翼車に流れが斜に当たる場合や境界層内のように速度分布のある流れの場合も特性が変化するであろう。

b) 抵抗式

船体から適当な形状の物体を突出し、水流からうける抵抗値を計測し対水速度を知る方式が考えられる。現在実用されてはいない。

この方式では、物体の形状やレイノルズ数によるが、計測器出力は大体速度の自乗に比例する。単体での計測精度は力の変換方法によるが、力をすべて直接変換するならば 1% 程度であろう。また、海中浮遊物のからみ、付着、衝突による誤差や船体周辺の流れに多量の気泡が混入する場合の平均密度低下による誤差、速度分布の影響、流れが斜に当たる場合の誤差などが予想される。

c) 热線式

水流の乱れの計測などに熱線および熱フィルム流速計が使用されている。この計測法には定電流式と定温式と 2 種あり、現在は定温式が採用されている。流速と熱線加熱電圧の関係は、流速の平方根と電圧の自乗が直線関係にある。水中では、実験室で使用する場合でも精度は 1.0% 程度で、安定度も悪く、強度もなく、寿命も短い。船舶用にこの方法を利用する場合は、応答を遅くしても良いから、強度が増せ、寿命も延びると思われるが、水の汚濁、浮遊物のからまり、付着、気泡、水温などの影響が大きく、精度、安定度が悪いと思われる。また取扱いも面倒である。

d) 圧力式

圧力式の速度計は古くから現在に至るまで船底測程儀として使用され、ストラングメイヤ・ログ（ドイツ）、サル⁴⁾・ログ（スウェーデン）、北辰ログ（日本）、T.K.S.ログ（日本）、H.S.V.A. Stemログ（ドイツ）などがある。

この速度計の基本原理はベルヌーイの定理で、船底に設けたピトー管（総圧管）と静圧孔により流速の自乗に比例

する動圧をとり出し、機械機構により、または機械機構と電気回路の併用により比例目盛で速度を指示するものである。

圧力式ログの精度は速度により異なるが、 $\pm 0.15 \text{Kn}$ といわれる。¹⁴⁾また、海水の密度変化の影響を受けるが、平方根できくので影響は小さいと思われる。しかし、気泡の影響を受け易い点、気泡抜きなどの操作を要する点、比較的大型である点などの問題がある。

e) 電 磁 式

電磁式流速計はわが国では昭和41年から船舶用の電磁ログとして製造され実用されている。この方式の基本原理は電磁誘導で、磁界、流れ、起電力の方向を互に直角関係において受感部を船体外に出し、電極に発生する流速に比例する電圧を追従機構に入れて速度指示を行なう。^{15), 16), 17), 18)}

電磁ログの精度は $\pm 0.15 \text{Kn}$ といわれるが、原理上、圧力、密度、水温、電気伝導度の変化の影響を受けないので、装置単体の精度はもっと良く、安定度も良いと考えられる。また小型・軽量であり、気泡の影響を受けず、特性の直線性が良い。¹⁷⁾

f) 超音波式

超音波を利用して流速を計測する方法には、位相差検出法、パルス伝播時間差法、シングアラウンド法、ビーム偏位法、ドップラ・ソナー法と各種あるが、現在船舶用速度測程儀として使用されている方法はドップラ・ソナー法だけである。^{19), 20), 21), 22), 23), 24)}

位相差検出法は古くから多数の研究者により研究されたもので、流れの方向に距離 L を隔てて 2 組の送受波器をおき一方は流れの方向（順方向）、他の方は逆方向に超音波を発射する。それぞれに対向する受波器に超音波が到達するのに要する時間をそれぞれ t_1 、 t_2 とすれば、 $t_1 = L/(c+v)$ 、 $t_2 = L/(c-v)$ となり、 t_1 、 t_2 を知ることにより流速 V を知ることができる。ただし、 c は静止流体中の音速である。位相差検出法は $(t_2 - t_1)$ という時間差を位相差として計測するものである。順方向の送信波と受信波の位相差と逆方向の送信波と受信波の位相差との差 $\Delta\phi$ は $\Delta\phi = 2\pi f L V / c^2$ で与えられる。ただし、 f は周波数である。実際には 2 組の送受波器を用いないで、1 組を切換えて行なう方式が使用されている。この位相差検出法の根本的欠点は水中の音速に変化があると計測誤差を生じる¹⁹⁾ことである。流量計に使用された例では精度は 2% 弱、平均 1% といわれる。

パルス伝播時間差法は超音波パルスを使用して上記時間差 ($t_2 - t_1$) を計測する方式である。流れに角度 θ で相対して送受波器を置き、一方の送受波器から超音波パルスを発射し、他方でこれを受信する。送受波器の切換えの周期は送受波器間隔 L を超音波パルスが伝播するのに要する時間より十分長くする。この場合、時間差は $t_2 - t_1 = 2L V \cos \theta / c^2$ で与えられる。一般にこの ($t_2 - t_1$) は非常に小さいので、測定回路に種々の工夫がなされている。この方式も音速に変化があると計測誤差となる。^{19), 22)}

シングアラウンド法は、音速の変化の影響を受けないようにするために、伝播時間差を計測しないで、時間 t_1 、 t_2 の逆数すなわち周波数 f_1 、 f_2 を計測する方式である。順方向の送受波器の組において送波器から超音波パルスを発射すると、 t_1 時間後に受波器に受信されるが、その受信信号を増幅しその出力を再び前の送波器に入れ超音波パルスを発射させる。このように循環させて、一巡するのに要する時間の逆数すなわちシングアラウンド周波数 f_1 を計測する。逆方向の組についても同様にしてシングアラウンド周波数 f_2 を計測し、 f_1 と f_2 の差から流速が求められる。以上は送受波器を 2 組使用する場合であるが、送受波器を 1 組用い送受を一定周期で切換える方法もあり実用されて¹⁹⁾いる。このシングアラウンド法の精度は 2% 弱で直線性は 1% 程度といわれる。

ビーム偏位法は流れに垂直に超音波を発射すると、流れにより超音波ビームが偏位し下流側にずれる。したがって、送波器に對向する 2 つの受波器の出力の差により流速を知ることができる。この方法は音速の変化の影響を受け、再現性は良くなく、精度は 2% といわれる。¹⁹⁾

以上の位相差検出法、パルス伝播時間差法、シングアラウンド法、ビーム偏位法は、船舶の対水速度計として利用

する場合、船体から測定桿を突出し、その先端に送受波器を設けることになる。この4つの方では、水流中の気泡やごみがノイズの原因となる。

ドップラ・ソナー法は上記の4方式と異なり、超音波を所定の方向に発射し、所定距離の海水中に浮遊する粒子などからの反射波の周波数がドップラ効果により変化する現象を利用し、対水速度を知る方法である。これには、船首から水平に前方に向け超音波を発射する方法と船底から前後左右4方向に斜下に超音波を発射する方法と2つある。²³⁾ 後者では水深により水温、海流、潮流が変化すれば誤差を生じる。所定位置以外の水流中の気泡、浮遊物はノイズの原因となり、微細な粒子を反射物とするならば周波数を高くする必要がある。しかし周波数を高くすると減衰が増加し到達距離が減少する問題がある。このドップラ・レーダ法では装置単体としての精度は0.1%が可能と考えられる²³⁾ が、現在のドップラ・ソナー速度測程儀は精度1%程度といわれる。また、ドップラ・ソナー法は、受感部に浮遊物がからむことは少ないと想われる。

g) 光学式

光を流速の計測に用いる方法にレーザを利用するものがある。これは従来ダクト内の水流の流速分布計測に利用されている。^{25), 26)} その原理は水流中に浮遊する微粒子にレーザ・ビームを当て、粒子により反射されるレーザ・ビームのドップラ効果による周波数の変化を計測し、流速を知る方法である。精度は0.1%程度といわれる。²⁵⁾

この方法を船底測程儀として使用する案の一つに次のようなものがある。船底からやや斜前方および斜後方にレーザ・ビームを発射し、船底から一定距離の2点に焦点を結ばせる。その2点における散乱光を船底内の干渉計で受け、周波数のずれによる干渉縞が光学軸を横断する周期を計測することにより、焦点における流速を求めることができる。²⁶⁾ この方法の精度は0.25%を目標としているようである。

汚濁していない海域においては、この方法で船体近くの流速を計測できると思われるが、巨大船試運転用対水速度計としては海水中のレーザ・ビームの到達距離、適当な反射物の存在などの問題点がある。

2.2.3 船上式（光学式）

船上式の光学式速度計としては日聖丸実船実験などに使用された方式がある。これは船側を流れる海面または海中の気泡などとの相対速度を、船上に設けた回転鏡を使用して計測する方法である。^{6), 27)} この方法の場合、気泡などの目標物の位置は船側から遠くにはできないと思われる。

この方法は、計測器単体の精度は良いと思われるが、熟練を要するかも知れない点、気泡などの目標物までの距離を精度良く計測する必要がある点、動搖、波などにより計測が困難になるかも知れない点などの問題がある。

2.2.4 その他

以上その他に対水速度計測方法として2～3の方法が考えられる。その1つは流量、流速計測に使用されることがあるトレーサによる方法である。トレーサとしては温水、放射性アイソトープなどが使われる。これを船体前部から間欠的に流し、下流の検出器、例えば熱電対、ガイガーカウンタでそれを検出すれば流速を測ることができる。しかし精度や放射能などに問題がある。

また、電波を利用する方法もある。例えば、数個の電波ブイを試運転海面に自由に漂流させ、ブイ群の近くを航走し、ドップラ・レーダなどの方法で相対速度を時々刻々計測し、対水速度を知る方法が考えられる。しかし巨大船では試運転所要時間が長く、ブイの漂流距離が大きくなり不適当と思われる。この他に高水時の河川の流速計測用として開発された方法もある。²⁸⁾ これを船舶用対水速度計として使用すると、数個の電波ブイを試運転海面に漂流させ、その付近を航走し、船上2箇所例えば船首と船尾でその電波を受信し、その受信出力の位相差から、ブイに対する速度を求ることになる。この方法もブイの自由漂流の点で巨大船用としては不適当と思われ、また風波によるブイの動搖のため精度が不足する。

2.3 検討および選定

以上に述べた各種の対水速度計測方式のうちから巨大船試運転用として実用の可能性のあるものを選定するため、精度、安定度、工事量、取扱性などを比較検討する。Table 2.3.1(a)~(g)にその比較表を示す。

これらの方程式のうち、曳航式は計測水流位置の影響が大きく、必要な精度が容易にはえられないと考えられ、また船上式も問題点があり適当とはいえない。したがって、船底式のなかから選定することになる。

船底式の装備方法は大体2通りに別けられる。その一つは船体例えは船底から測定桿を突出させ、測定桿先端に取付けた受感部に当る流れの速度を計測する。したがって、流れに及ぼす船体の影響が無視できるほど十分に突出させるか、あるいはその影響を修正できるようにあらかじめ知つておく必要がある。十分に突出させる場合、装備位置によっては非常に長大な測定桿を要することになり、実行不可能であり、また水深により海流、潮流の変化がある場合は誤差を生じることになる。船体の影響を修正する場合は、受感部の位置が境界層内と境界層外のボテンシャル流内と2通りあり、海水の物性値の影響を減らすためには後者の方が良いと思われる。しかし測定桿はかなり長大になる。また高精度の水槽試験を行ない、その結果から高精度で実船の修正量を求める方法がえられていなければならない。また喫水、トリムなどの影響が少ないと装備することも望まれる。

船底から測定桿を突出させる方程式のうち、海水の物性値、浮遊物・ごみの影響が少なく、精度・安定度・直線性が良好と思われる方程式は現在のところ電磁式のようである。したがって、この方程式を測定桿を用いる形式の代表例として選定し、昭和45年度に単独性能試験、昭和46年度に実用化実船試験に使用した。

船底式の他の一つの装備方法は船首または船底の船体に直接受感部を取付けるもので、超音波式がこれにあたる。船体下方の水塊に対する速度を計測する方程式は、船体の影響を無視できるほど遠方の水塊を選べば水温、海流、潮流の水深による変化による誤差が入り適当ではないと考えられる。一方、船首から十分遠い前方の水塊に対する船の速度を計測できれば無修正で対水速度が求められる。この後者の方法にも反射率、減衰、到達距離に多少問題があるが、これらの問題は解決でき、したがって精度も向上できると予想し、昭和46年度の実用化実船試験用には、船体前方水塊に対する速度を計測する方程式の代表例として超音波ドップラ・ソナー式対水速度計も選定した。

Table 2.3.1(a) Comparison between Various Methods of Measurement of Speed
Relative to Water

装備位置による別		曳航式		
原	方式	回転翼車式	回転翼車式	抵抗式
	形式名	パテント・ログ	志波式ログ	Kempfログ
計測水流位置	船尾後方	船尾後方	船尾後方	
受感部	翼車	翼車	円錐形物体	
検出量	回転数	回転数	抵抗	
変換器				
理	変換量			
	受換量と速度の関係	$= \frac{V}{a} - b$	$= \frac{V}{a} - b$	$\approx a V^2$
	直線化機構	不要	不要	要す
性	精度	総合 1 %	総合 1 %	不明
度	直線性	良好	良好	不明
・	温度	ρ、ν参照	ρ、ν参照	ρ、ν参照
安	密度 ρ	小	小	やや大
定	粘性係数 ν	やや大きい	小	小
度	圧力	なし	なし	なし
・	電気伝導度	なし	なし	なし
安	音速 c	なし	なし	なし
定	屈折率	なし	なし	なし
度	浮遊物・ごみ・汚染	大	なし	小
に	気泡	小	小	小
及	機械部分	小	小	不明
ぼ	風	なし	なし	なし
す	喫水・乾舷	乾舷にあり	なし	なし
影	斜流	なし	なし	なし
響	波	小	小	小
能	動搖			
	計測水流位置	大	大	大
工	低速域精度	良	良	悪
事	後進指示	不可	不可	不可
	寸法・重量	長大・軽	長大・軽	長大・軽
	強度	大	大	大
工	取付	容易・工事量小	容易・工事量小	容易・工事量小
事	撤去	容易・工事量小	容易・工事量小	容易・工事量小
	撤去跡	なし	なし	なし
取	操作	容易	容易	容易
扱	検定	不能	可能	形式により可能
性	保守	簡単	簡単	簡単
	浮遊物からまり、汚染の発見	可能	可能	可能
	浮遊物からまり、汚染の除去	容易	容易	容易
	ログ実績	あり	あり	あり

Table 2.3.1 (b)

装備位置による別		曳航式		船底式	
原 理	方式	圧力式	振動式	回転翼車式	抵抗式
	形式名		志波式ログ	各種あり	
	計測水流位置	船尾後方	船尾後方	船体近く	船体近く
	受感部	圧力孔	振動片	翼車	物体
	検出量	動圧	周波数	回軛数	抵抗
	変換器	ペローズおよび抵抗器	接点	各種あり	
	変換量	電圧(または電流)	電圧(または電流)	"	
	変換量と速度の関係	= a V ²	= a V	= $\frac{V}{a} - b$	= a V ²
	直線化機構	機械機構	不要	不要	要す
	精度	不明	推定 0.1 Kn 以下	0.1 % (単体)	1 % 位か
精度・安定度に及ぼす影響	直線性	不明	推定 0.1 Kn 以下	0.1 % (単体)	不明
	温度	小 ρ 、 ν 参照	小	ρ 、 ν 参照	ρ 、 ν 参照
	密度 ρ	小	小	小	やや大
	粘性係数 ν	なし	小	小	小
	圧力	なし(差圧のため)	なし	なし	なし
	電気伝導度	なし	なし	なし	なし
	音速 C	なし	なし	なし	なし
	屈折率	なし	なし	なし	なし
	浮遊物・ごみ・汚染	小	小	大	大
	気泡	大	小	小	小
	機械部分	小	小	大	機構によりあり
	風	なし	なし	なし	なし
	喫水、乾舷	なし	なし	なし	なし
	斜流・剪断流	なし	なし	大	大
	波	小	なし	なし	なし
	動搖				
工事	計測水流位置	大	大	大	大
	低速域精度	悪	良	良	悪
	後進指示	不可	不可	可能	可能
	寸法・重量(測定桿を含む)	長大・軽	長大・軽	長・大	長・大
	強度	大	大	小	やや小
取扱性	取付	容易、工事量小	容易、工事量小	やや難、工事量大	やや難、工事量大
	撤去	容易、工事量小	容易、工事量小	やや難、工事量大	やや難、工事量大
	撤去跡	なし	なし	あり	あり
	操作	容易	容易	容易	容易
	検定	可能	可能	可能	可能
	保守	少し要注意	容易	要注意	少し要注意
ログ実績	浮遊物からまり・汚染の発見	可能	可能	やや困難の場合あり	やや困難の場合あり
	浮遊物からまり・汚染の除去	可能	可能	とくに困難	やや困難
ログ実績		あり	あり	あり	なし

Table 2.3.1 (c)

装備位置による別		船底式	
原 理	方式	熱線式	圧力式
	形式名		電磁式
	計測水流位置	船体近く	圧力ログ(各種)
	受感部	熱線	電磁ログ
	検出量	熱伝達	ピト一管
	変換器		動圧
	変換量	電圧または電流	電圧
	変換量と速度の関係	$= \sqrt{a + b\sqrt{V}}$	$= aV^2$
	直線化機構	電子回路	機械機構または電気回路並用
	精度	不良	$\pm 0.1\sim 5 \text{ Kn}$
精 度 ・ 安 定 度	直線性	不良	$\pm 0.1\sim 5 \text{ Kn}$
	温度	大	小、 ρ 、 ν 参照
	密度 ρ	小	小
	粘性係数 ν	小	なし
	圧力	なし	なし(差圧のため)
	電気伝導度	小	なし
	音速 C	なし	なし
	屈折率	なし	なし
	浮遊物・ごみ・汚染	大	小
	気泡	大	なし
能 能	機械部分	なし	小
	風	なし	なし
	喫水・乾舷	なし	なし
	斜流、剪断流	大(斜流)	小
	波	なし	なし
	動搖		
	計測水流位置	大	大
	抵抗域精度	悪	良
	後進指示	不能	可能
	寸法・重量(測定桿を含む)	長、大	長、とくに大
工 事	強度	小	大
	取付	やや難、工事量大	やや難、工事量特大
	撤去	やや難、工事量大	やや難、工事量特大
取 扱 性	撤去跡	あり	あり、大
	操作	やや複雑	やや複雑
	検定	可能	可能
	保守	要注意	比較的容易
	浮遊物からまり・汚染の発見	やや困難の場合あり	やや困難の場合あり
	浮遊物からまり・汚染の除去	困難	かなり困難
ログ実績		なし	あり

Table 2.3.1 (d)

装備位置による別		船底式		
		超音波式		
原 理	方式			
	形式名	位相差検出法	パルス伝播時間差法	シングアラウンド法
	計測水流位置	船体近く	船体近く	船体近く
	受感部	送受波器	送受波器	送受波器
	検出量	音波位相差	時間差	周波数
	変換器			
	変換量	位相差	時間差	周波数
変換量と速度の関係		= aV	= aV	= aV
直線化機構		不要	不要	不要
性 能	精度	2%弱	不明	2%弱
	直線性	2%弱	不明	1%
	温度	C参照	C参照	なし
	密度 ρ	C参照	C参照	なし
	粘性係数 μ	小	小	小
	圧力	なし	なし	なし
	電気伝導度	なし	なし	なし
	音速 C	大	大	なし
	屈折率	なし	なし	なし
	浮遊物・ごみ・汚染	大	大	大
	気泡	大	大	大
	機械部分	なし	なし	なし
	風	なし	なし	なし
	喫水・乾舷	なし	なし	なし
	斜流・剪断流	大	大	大
	波	なし	なし	なし
	動搖			
工 事	計測水流位置	大	大	大
	低速域精度	良	良	良
	後進指示	可能	可能	可能
	寸法・重量(測定桿を含む)	長、大	長、大	長、大
	強度	やや大	やや大	やや大
取 扱 性	取付	やや難、工事量大	やや難、工事量大	やや難、工事量大
	撤去	やや難、工事量大	やや難、工事量大	やや難、工事量大
	撤去跡	あり	あり	あり
	操作	容易	容易	容易
	検定	可能	可能	可能
浮 遊 物	保守	容易	容易	容易
	浮遊物からまり、汚染の発見	やや困難の場合あり	やや困難の場合あり	やや困難の場合あり
	浮遊物からまり、汚染の除去	かなり困難	かなり困難	かなり困難
ログ実績		なし	なし	なし

Table 2.3.1(e)

装備位置による別		船底式	
	方式	超音波式	超音波式
原 理	形式名	ビーム偏位法	ドップラーノード法
	計測水流位置	船体近く	船体前方
	受感部	送受波器	送受波器
	検出量	音量	周波数
	変換器		
	変換量	音量	周波数
	変換量と速度の関係	不明	$=c(c+v)/(c-v)$
性 能	直線化機構	要	要
	精度	2%	1% (総合)
	直線性	不明	不明
	温度	c参照	c参照
	密度 ρ	c参照	c参照
	粘性係数 μ	小	なし
	圧力	なし	なし
	電気伝導度	なし	なし
	音速 c	大	あり(比例)
	屈折率	なし	なし
	浮遊物・ごみ・汚染	大	大(ノイズ)
	気泡	大	小(ノイズ)
	機械部分	なし	なし
	風	なし	なし
	喫水・乾舷	なし	なし
	斜流・剪断流	大	なし
	波	なし	小
工 事	動搖		
	計測水流位置	大	船体充分前方ならばなし 船体充分下方ならば船体の影響はなくなるが 海流潮流が問題
	低速域精度	良	良
	後進指示	可能	可能
	寸法・重量	長・大	小・小
	強度	大	大
	取付	やや難、工事量大	やや容易、工事量やや大
	撤去	やや難、工事量大	やや容易、工事量やや大
	撤去跡	あり	あり(小)
	操作	容易	容易
取 扱 性	検定	可能	やや困難
	保守	容易	容易
	浮遊物からまり、汚染の発見	やや困難の場合あり	容易
	浮遊物からまり、汚染の除去	かなり困難	比較的容易
	ログ実績	なし	あり
			あり(対地速度計として) (24)

Table 2.3. 1 (f)

装備位置による別		船底式	船上式	その他(船底式)
原 理	方式	光学式	光学式	トローサ式
	形式名	レーザー法	回転鏡式	
	計測水流位置	船体近く	船体近く	船体近く
	受感部	レーザー、光電子増倍管回転鏡		熱電対、ガイガーメーター
	検出量	光量	回転数	温度、放射能と時間
	変換器			
	変換量	電流、周波数		
	変換量と速度の関係	$f = \frac{4nV}{\lambda} \sin \frac{\theta}{2}$ λ : 波長	$= aV$	$V \propto 1/t$ (放射能最大)
	直線化機構	要	不要	要
	精度	0.1% (単体)	良(単体)	悪
精 度・安 定 度に及ぼす影 韻	直線性		良(単体)	
	温度	ρ, n 参照	なし	計測位置による
	密度 ρ	小	なし	"
	粘性係数 ν	なし	なし	なし
	圧力	なし	なし	なし
	電気伝導度	なし	なし	なし
	音速 C	なし	なし	なし
	屈折率 n	小	小	なし
	浮遊物・ごみ・汚染	大	なし	なし
	気泡	大	なし	なし
	機械部分	なし	大	なし
	風	なし	なし	なし
	喫水・乾舷	なし	大	なし
	斜流、剪断流	大	大	あり
	波	なし	大	なし
能 力	動搖		大	あり
	計測水流位置	大	大	大
	低速域精度	良	良	悪
	後進指示	可能	可能	不能
	寸法・重量	長、大	小、軽	小
	強度	やや小	大	大
	取付	やや難、工事量大	容易、工事量小	やや難、工事量大
	撤去	やや難、工事量大	容易、工事量小	やや難、工事量大
	撤去跡	あり	なし	あり
	操作	容易	熟練要	容易
取 扱 性	検定	可能	可能	不能
	保守	やや容易	やや容易	要注意
	浮遊物からまり、汚染の発見	やや困難な場合あり		
	浮遊物からまり、汚染の除去	困難		
ログ実績		なし	あり(試用)	なし

Table 2.3.1(g)

装備位置による別		その他(船上式)	その他(船上式)
原 理	方式	電波式	電波式
	形式名	ドップラーレータ式	位相差式
	計測水流位置	船体から遠方	船体から遠方
	受感部	/	/
	検出量	周波数	位相差
	変換器	/	/
	変換量	/	一定時間中の同位相回数N
性 能 及 ぼ す 影 響	変換量と速度の関係	/	$V \propto \lambda N$
	直線化機構	要	不要
	精度	不明	0.2 Kn
	直線性	"	良
	温度	なし	なし
	密度 ρ	なし	なし
	粘性係数 ν	なし	なし
	圧力	なし	なし
	電気伝導度	なし	なし
	音速 C	なし	なし
	屈折率 n	なし	なし
	浮遊物・ごみ・汚染	なし	なし
	気泡	なし	なし
	機械部分	なし	なし
	風	大	大
	喫水・乾舷	なし	なし
工 事	斜流、剪断流	なし	なし
	波	大	大
	動搖	大	大
	計測水流位置	大	大
	低速域精度	良	良
取 扱 注	後進指示	可能	可能
	寸法、重量	大	小
	強度	大	大
	取付	容易、工事量やや大	容易、工事量小
取 扱 注	撤去	容易、工事量やや大	容易、工事量小
	撤去跡	なし	なし
取 扱 注	操作	容易	容易
	検定	不能	不能
	保守	容易	容易
	浮遊物からまり、汚染の発見	/	/
取 扱 注	浮遊物からまり、汚染の除去	/	/
	ログ実績	なし	なし

§ 3 予備試験

3.1 模型試験用ピトー管

模型船まわりの流速分布を知るために、今回は最も簡単で確実な、ピトー管を用いる方法によることとした。

計測位置は模型の船首部より船尾部にわたる6ヶ所とし(実験の項参照)、境界層内速度分布およびその外側のボテンシャル流場を3種の模型速度において計測する。

上記の使用目的および状態に適するピトー管の満たすべき条件は次のようなものである。(1)槽型、(2)トラバース型、(3)取り外し可能、(4)水柱式あるいは電磁式圧力計使用。

以上の諸点を考慮して次のようなピトー管を設計製作した。すなわち、装置全体は、ピトー管本体、本体と一体になつた内筒、模型船に固定する外筒、蓋、の4部分より成り、ピトー管本体を内筒内でスライドさせて計測位置のトラバースを行なう型式のものである。たゞ計測位置の違いに応じてピトー管および内筒部の構造を若干変える必要があるため、Table 3.1.1に示すように3種類製作した。

Table 3.1.1 Type and Number of Pitot Tubes

番号	ピトー管および内筒	個数	外筒	個数	蓋	個数
1	普通型	2				
2	船首変形型	1	} 共用	5	} 共用	6
3	横変形型	1	専用	1		

普通型は、船体中央船側部以外の計測位置で、船首変形型は船首F・P付近で、横変形型は船体中央船側部で使用する。前2者の製作図をFig.3.1.1、3.1.2にそれぞれ示した。前後のものについては、(1)水平にして使用するため、内筒と外筒との間にオーリングを入れて完全に水密にする。(2)同じ横断面にある他の普通型のものとの間に取り付け上の支障がないように、内外筒の長さを234mmに短縮する。という2点以外は普通型と同様であるので、図は省略した。普通型および船首変形型は、ピトー管の出入する底部の孔とピトー管との間の僅かの隙間から入った水が外筒内を満すようになっているが、計測への影響はない。またピトー管および蓋の取り付け、取り外しは、模型が水に浮んだままの状態で行なえるようになっている。船首変形型は、船首付近で発生が懸念される船首渦により流場の急激な変化がみられるかどうかを調べるために用いるものである。ピトー管の太さは、各管相互の干渉が無視しうること、厚さ10cmのオーダの境界層内の流速分布が知り得ること、圧力計として水柱を用いた時圧力の応答時間が20秒程度以下であること、などの条件から決定した。なお材料としては黄銅を用いた。

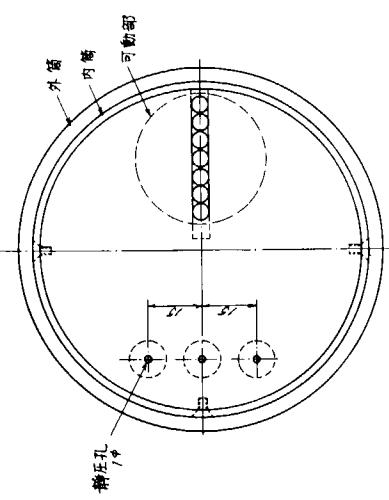


Fig. 3.1.1(b) Plan of Ordinary Type
Pitot Tubes

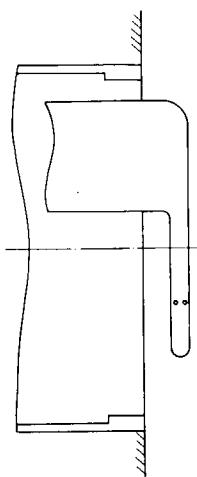


Fig. 3.1.1(a) Profile of Ordinary Type Pitot Tubes

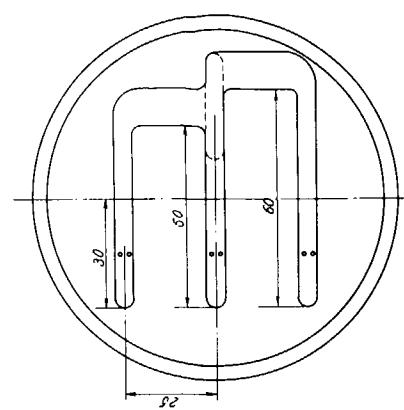


Fig. 3.1.2 Profile and Plan of Modified
Type Pitot Tubes for Bottom
of Bow

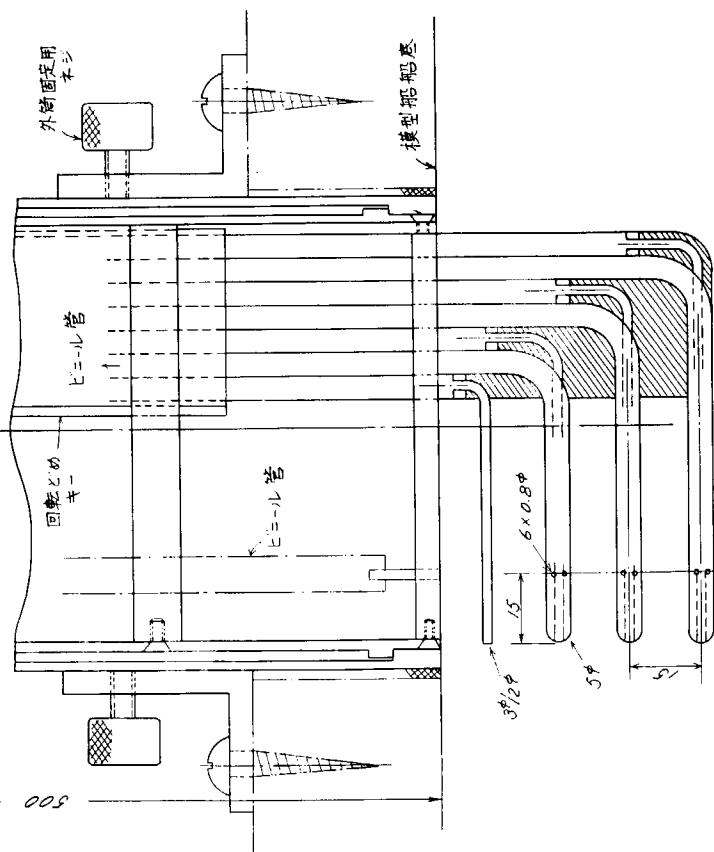
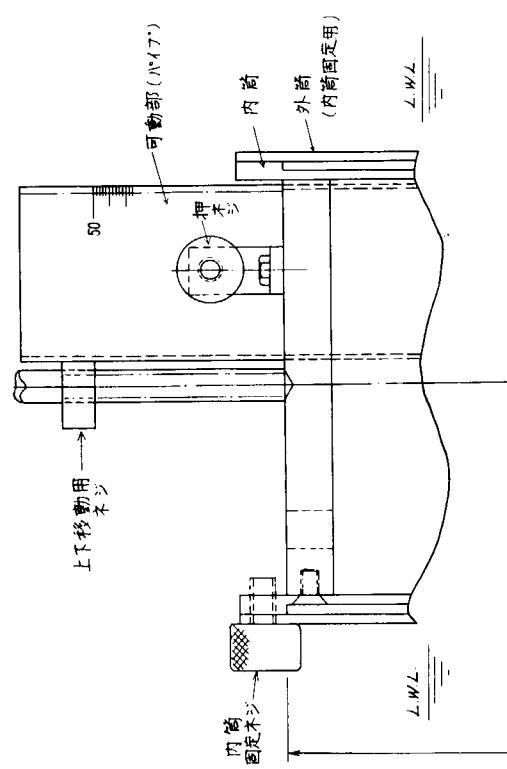


Fig. 3.1.2 Profile and Plan of Modified
Type Pitot Tubes for Bottom
of Bow

3.2 供試模型船

使用した模型船は、Fig. 3.2.1 の正面線図および船首尾形状と Table 3.2.1 の主要目をもつような垂線間長 6.00 m の木製模型 (M.S. #2632) である。なお、この模型船には、square station 9 1/2 および F.P. 前方 63.5 mm のところにスタッドがついている。

この模型船には Fig. 3.2.2 に示す計測個所に 3.1 で記述されたピトー管を取付けるための孔があいており、計測個所以外の穴は、ダミーによって、孔の表面が、船体表面と同一になるようにしてある。

3.3 試験方法

計測は計測個所 1 個所ごとに、載荷状態、模型船速度、ピトー管の模型船からの突出量を変えて行なわれた。載荷状態は、満載状態、バラスト状態 (5.505 % 排水量、1 % トリム) の 2 状態である。模型船速度は、満載状態に対しては、0.95 m/s、1.10 m/s および 1.25 m/s の 3 種、バラスト状態に対しては 1.10 m/s、1.25 m/s および 1.40 m/s の 3 種である。(これらの速度に対応するフルード数 $F_n = V_M / \sqrt{g L_D W_L}$ を Table 3.3.1 に示してある。)

また、試験の載荷状態および主要目を Table 3.2.1 にかかげてある。

また、Fig. 3.2.2 に示した計測個所と、そこに使用したピトー管の組合せを Table 3.3.2 に示した。

また、試験に使用したピト一定数 (P_c) の値を Table 3.3.3 に示した。ただし、ピト一定数 (P_c) は次式で定義される。

$$V_A = P_c \sqrt{2 g H}$$

ここで、 V_A ；流速 (m/s)

H ；水頭 (m)

g ；重力の加速度 (9.8 m/s²)

また、総圧管、静圧管による圧力は、ストレンジージを用いた圧力変換器を通して、ビシグラフで記録した。

3.4 試験結果

計測結果を Fig. 3.4.1 ~ 3.4.7 に示した。各図のうちわけを Table 3.4.1 に示してある。ただし、図中および Table の①②③…は Fig. 3.2.2 に示す計測個所を、F、B は各々満載状態、バラスト状態を示す。これらの図面は、横軸 V_A / V_M を、縦軸に y (mm) をとっている。ここで、 V_A 、 V_M 、 y は各ピトー管による流速、模型船速度、ピトー管の船体からの距離である。

計測時の水温は、⑤のとき 11.0 °C、他はすべて 12.5 °C である。

船体後半部 (④⑤⑥) の境界層内では、対水速度の計測値が大きく振動した。その振幅の最大値を、前記の図中で矢印 ($\leftarrow \circlearrowright$) で示すとともに、その計測記録の 1 例として Fig. 3.4.8(a)~(d) をかかげた。本図は、計測個所⑥の満載状態のビシグラフの記録で $V_M = 1.25$ m/s 近辺における総圧管、静圧管の圧力変動を示している。本図中には、船体表面からの距離も記入されているので、圧力変動と、船体表面からの距離の関係が判断できる。

Table 3.2.1 Principal Particulars of Ship Model

	Full Load Condition	Ballast Condition
L _{pp}	6.0000 m	
L _{DWL}	6.1200 m	
B	1.0435 m	
d _M	0.3410 m	0.1964 m
Trim	0 %	1.0 %
C _B	0.8450	0.8077
C _p	0.8497	0.8145
C _M	0.9945	0.9905
I · c · b	-2.60 %	-1.64 %

なお、Ballast Condition の排水量は、Full Load Condition の 55.05 %

Table 3.3.1 Test Speed of Ship Model

模型船速度 (V_M)	フルード数 (F_n)
0.95 m/s	0.124
1.10	0.144
1.25	0.163
1.40	0.183

Table 3.3.2 Measuring Position

ピト一管の種類	計測個所
船首変形型	①
普通型	② ③ ④ ⑥
横変形型	⑤

Table 3.3.3. Results of Calibration of Pitot Tubes

ピト一管の種類	ピト一管番号	ピト一管定数 (P_c)
船首変形型	1	0.991
	2	1.000
	3	1.021
普通型	1	0.980
	2	0.998
	3	1.003
	4	0.940
横変形型	1	0.993
	2	1.005
	3	1.010
	4	1.000

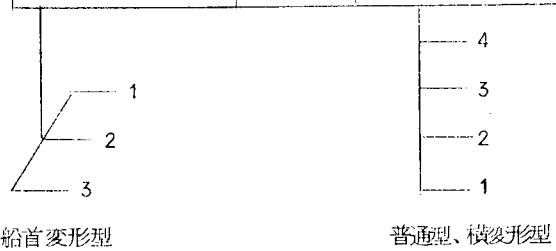


Table 3.4.1 Table for Reference to Figs. of Results

計測個所	載荷状態	ピト一管水平位置	Fig. No.
①	F	左舷側	2.5
		右舷側	
		船体中心線上	
②	B	左舷側	2.6
		右舷側	
		船体中心線上	
③	F	—	2.7
	B	—	
④	F	—	2.8
	B	—	
⑤	F	—	2.9
	B	—	
⑥	F	—	2.10
	B	—	
⑦	F	—	2.11
	B	—	

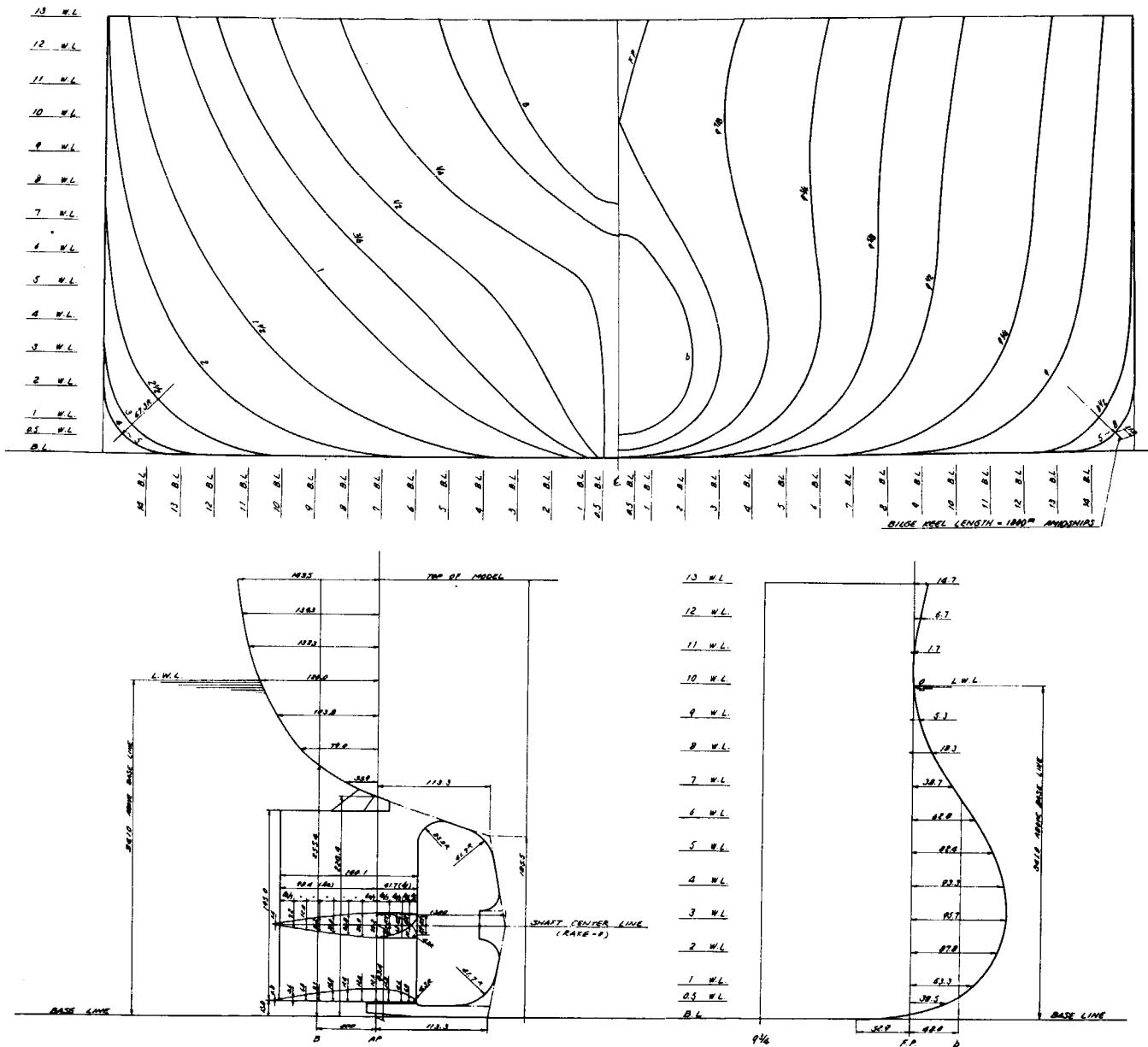


Fig. 3.2.1 Body Plan and Profiles of Bow and Stern

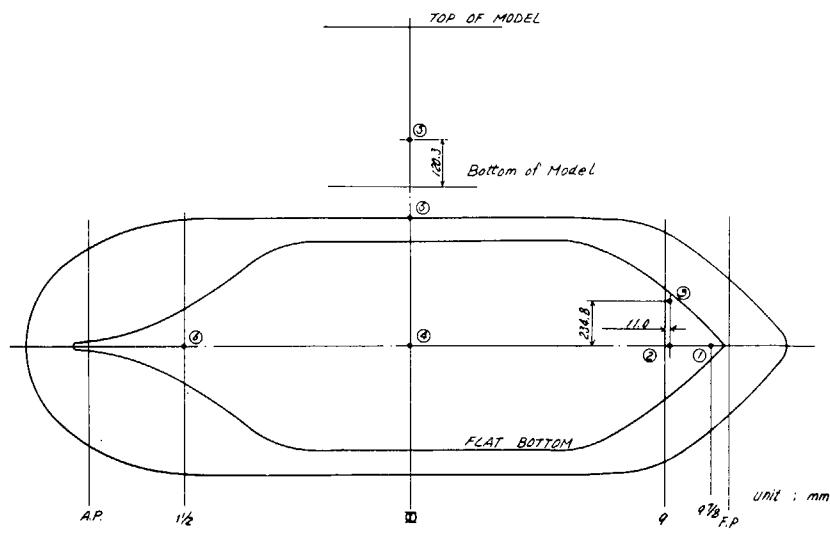


Fig. 3.2.2 Measuring Position

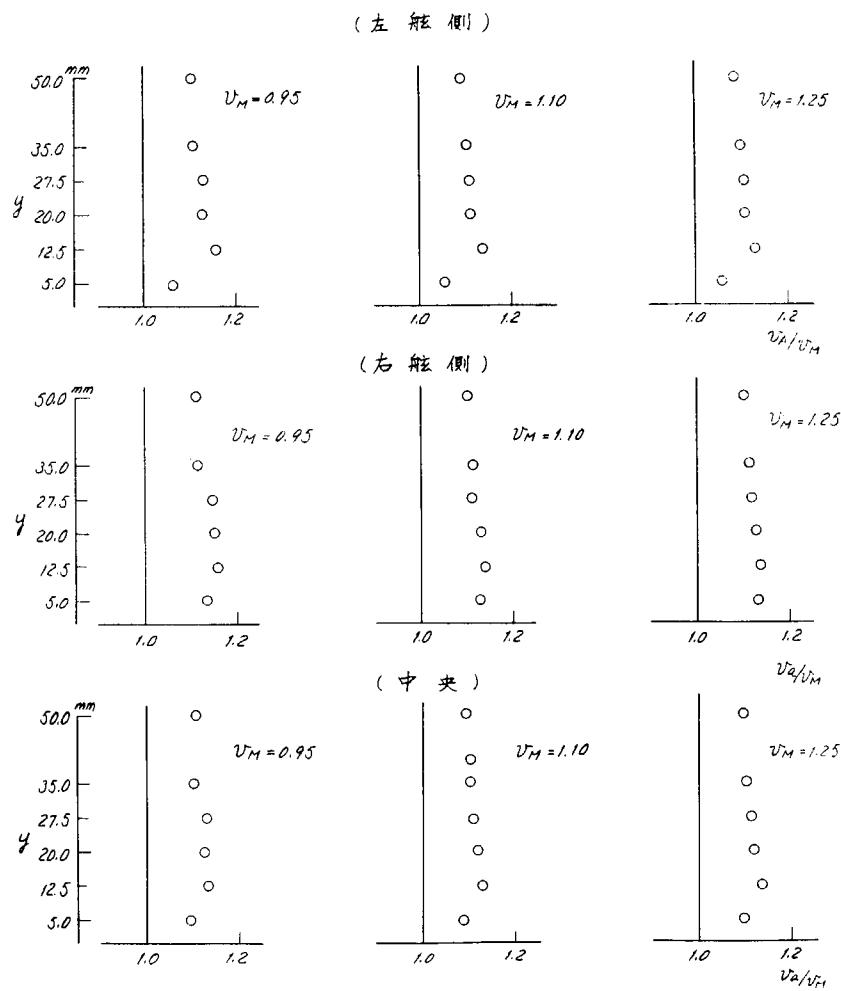


Fig. 3.4.1 Velocity Distribution at Position ①, Full Load Condition

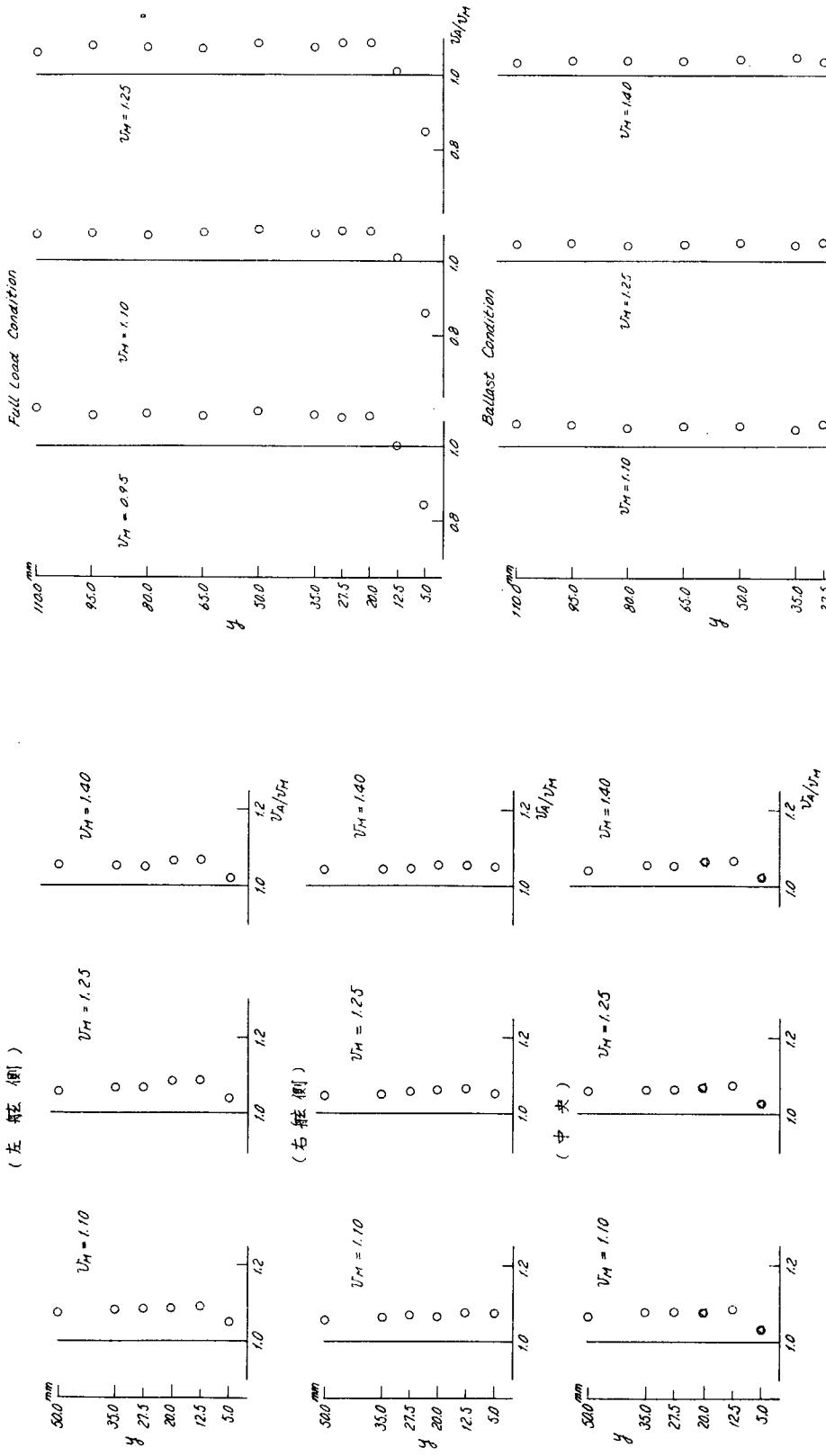


Fig. 3.4.2 Velocity Distribution at Position ①,
Full Load Condition

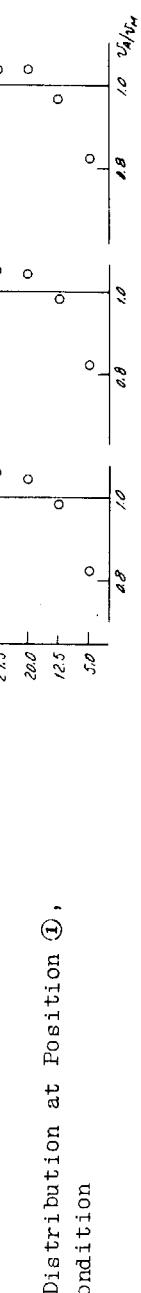


Fig. 3.4.3 Velocity Distribution at Position ②

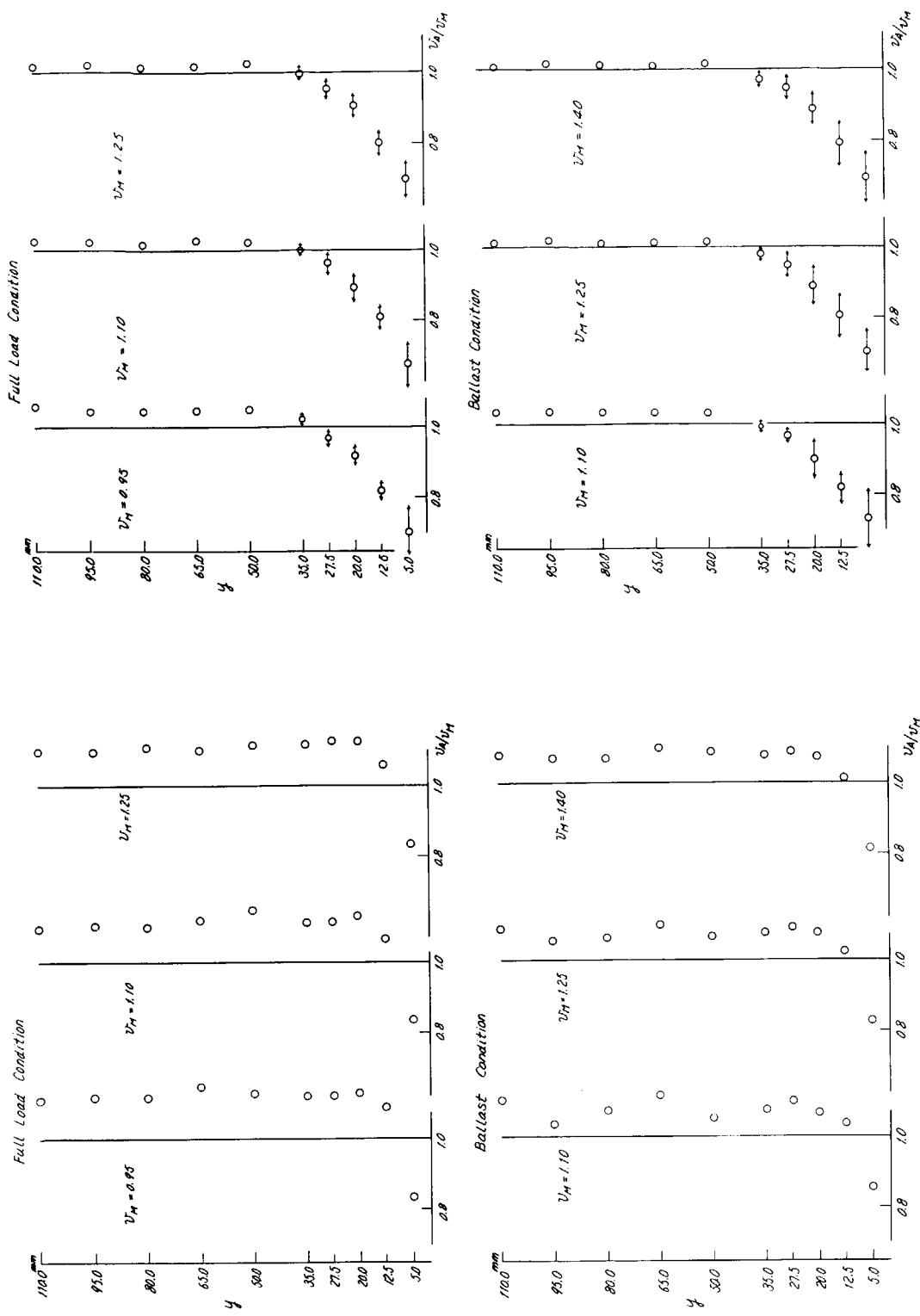


Fig. 3.4.4 Velocity Distribution at Position ③

Fig. 3.4.5 Velocity Distribution at Position ④

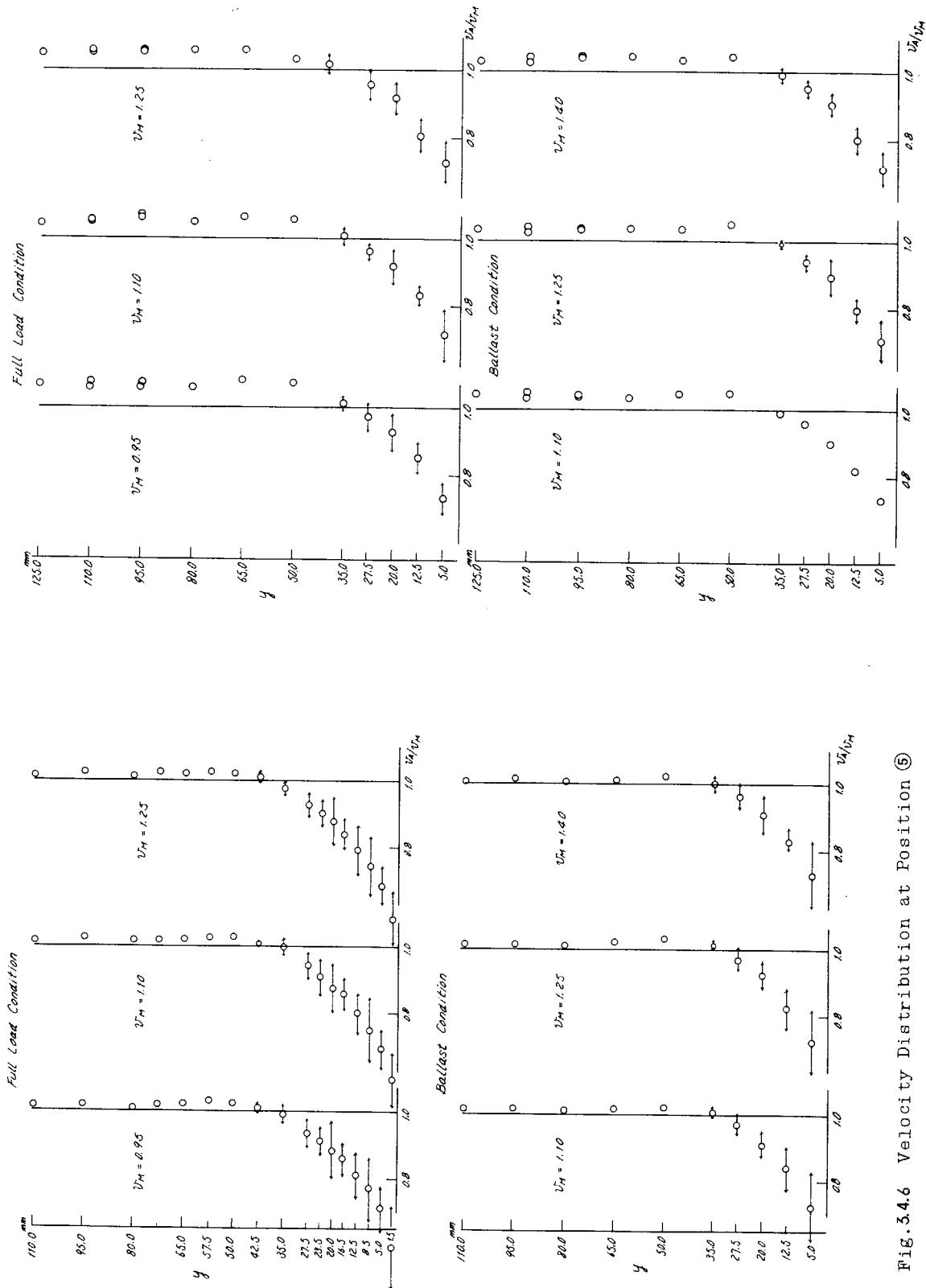


Fig. 3.4.6 Velocity Distribution at Position ⑤

Fig. 3.4.7 Velocity Distribution at Position ⑥

y : 模型船表面からの距離

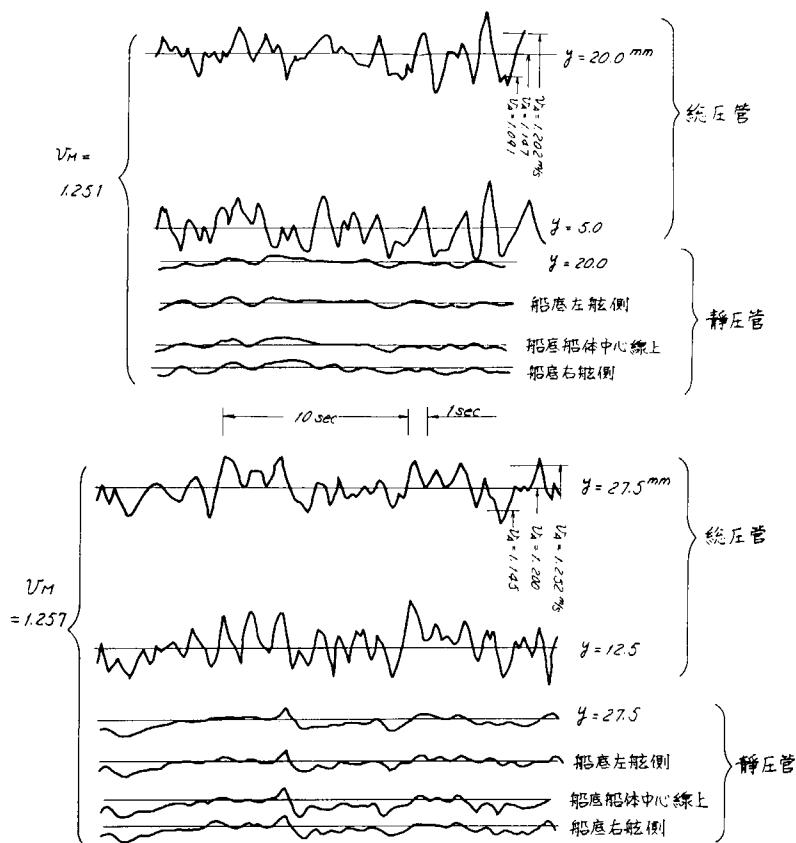


Fig. 3.4.8(a) Example of Pressure Fluctuation at Position ⑥,
Full Load Condition

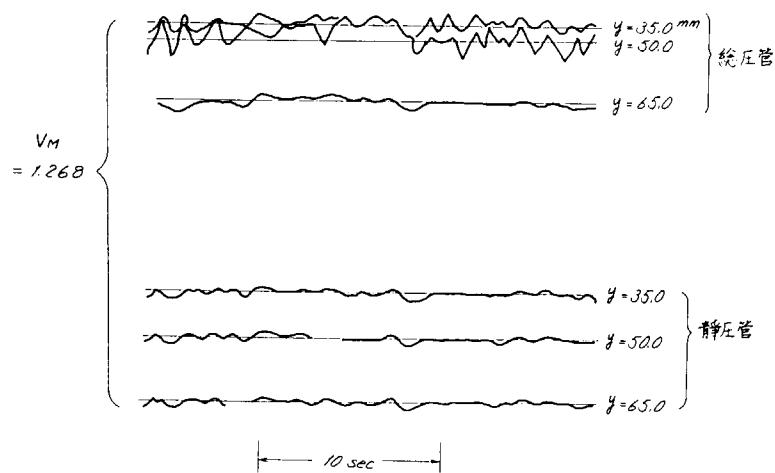


Fig. 3.4.8(b) Example of Pressure Fluctuation at Position ⑥,
Full Load Condition

3.5 流速分布についての考察

3.5.1 境界層外端流速

実験結果をみると、境界層外端流速 U_1/U_∞ の値は載荷状態によって異なるが、同一 station では計測位置が異っても、また航走速度が異っても、ほとんどその値は変化しない（前節 Fig. 3.4.1～3.4.7 参照）。この事実から、今考えている船の没水二重模型を仮想し、その各 station における断面を、面積不變のまゝ全部円に置きかえ、船と等価な回転体を考える。（以下これを等価回転体と称する）そしてこの回転体の表面速度を求め、（例えば Landweber の方法、DTMB Rept No. 689 1951）これを近似的に船の対応 station における境界層外端流速、 U_1/U_∞ とする。この方法は載荷状態ごとに計算する必要があるが、近似の程度はかなり良い。今回の実験状態につき (U_1/U_∞) の計算値を Fig. 3.5.1/c、それを実験値と比較したものを Table 3.5.1 に示す。船首端は bulb などがあるため一致していないが、その他のところでは、良好な推定値となっている。なおこの方法で求めた U_1/U_∞ を、神中一別所の流線近似計算法と組合せると、よりよい近似で船体表面の流線に沿った U_1/U_∞ の値を求め得る可能性がある。

3.5.2 境界層の厚さ

Fig. 3.4.1～3.4.7 の実験結果より直ちに境界層厚さ (δ) を見出すことは困難であるから、境界層内速度分布の $1/x$ 乗則を仮定し、次の二通りの方法での計算を試みた。Froude 以来の仮定に従い、船を平板と見なし、X を先端からの距離として次式を用いる。

$$\delta = 0.37 \cdot x \cdot \left(\frac{\nu}{U_\infty x} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (3.5.1)$$

なお乱流は先端より起っていると仮定した。つぎに船を先述の等価回転体とみなし θ を運動量厚さとして圧力勾配のある場合の近似式

$$\theta \left(\frac{U_1 \theta}{\nu} \right)^{\frac{1}{4}} = \frac{0.016}{U_1^4} \int U^4 dx \quad (3.5.2)$$

$$\theta = \frac{7}{72} \delta \quad (3.5.3)$$

を用いる。この場合も先端から乱流が起っているとした計算を行なった。

これらの計算結果は、実験を行なった模型船が、 $U_\infty = 1 \text{ m/s}$ で航走する場合を Fig. 3.5.2/c、実験値と計算値との比較、および $L_{pp} = 300 \text{ m}$ の実船に実験値を換算したものを Table 3.5.2 に示す。船の大きさや船速が異なる場合には Fig. 3.5.2 と次式を用いてその場合の δ を推定することができる。

$$\delta_s = \delta_m \times \left(\frac{L_s}{L_m} \right)^{\frac{4}{5}} \times \left(\frac{U_s}{U_m} \right)^{-\frac{1}{5}} \quad (3.5.4)$$

suffix s, m はそれぞれ実船、模型船を示す。

Fig. 3.5.2 および Table 3.5.2 より、模型船の δ の近似値推定は、船尾近傍を除き、圧力勾配を無視した平板の計算で十分である。今回実験した航走速度変化の範囲では、 δ の値の差は小さく、実験精度と併せて考え、同一と見なしてよい。station 1 1/2 の計測位置⑥の実験値の δ が小さいのは、その場所では流れが左右舷に分れるからと考えられる。

3.5.3 境界層内速度分布

境界層内速度分布 (u/U) の実験結果を Power Law $\frac{u}{U_1} = \left(\frac{y}{\delta} \right)^n$ に従うであろうという見込みで y/δ (y: 壁

からの垂直距離)により整理したものを Fig. 3.5.3 に示す。整理に際しては、実験結果の速度分布からまず一番確実な U_1 を定め、その後、先述の計算結果などを参考にしつゝ δ を何度かの trial により求め、 y/δ を横軸に u/U_1 をプロットした。一方、別に対数グラフに Fig. 3.5.3 と同じ U_1 と δ を用い、④、⑤、⑥の計測点の計測値をプロットし Power Law の指數 n の検討を行なった (Fig. 3.5.4)。これら 2 つのグラフは、いずれも U_1 と δ の推定いかんで、かなりプロット位置が移動するが、それにしても、模型船体表面に比較的近いところでは、ほとんどの乗則が、残りの大半、表面から比較的遠いところでは、明確ではないが、 $n = \frac{1}{6} \sim \frac{1}{7}$ が成り立っているようである。

境界層内速度分布形状に対する載荷状態の影響は、船首部計測位置①、②、③において、多少それらしき変化が認められるが、その他の点ではほとんど変化はなかった。

船首下端附近において、もし溝や、流れのねじれが起つておれば、それが検知できるようにと、計測点①には Fig. 3.1.2 のとき変形ピトー管を、また計測点③を特に船体中心線より離れたところに定めて計測したが、速度分布に明瞭な差異は生じなかった。しかし、これらの位置における実験値は他のところに比べいくぶん散布が大きいようである (Fig. 3.4.4)。

3.5.4 対水速度計の船体取付位置

対水速度計を用いて正確な船速を知るために、一般的にいって、船体表面からの突出量を大きくし、境界層の外側で使用する場合 U_1/U_∞ の値を正確に知っていなければならない。また境界層の内側で用いる場合には U_1/U_∞ とともに、 u/U_1 と y/δ の関係、すなわち速度分布の法則を正確に知っていなければならない。具体的に大型船を対象として考えると船首近くにつけたならば、 δ から突出することは可能であるが交叉流の存在、速度勾配の存在、載貨状態の影響が比較的大きいことなどから U_1/U_∞ の正確な推定は困難であり、船体平行部付近につけたならば、 U_1/U_∞ がほぼ一定であり、速度勾配も殆んどなくその値の推定の精度が上がるが、 δ 内の速度分布をかなり正確に知っておく必要がある。しかしながら今回の実験および計算結果より次例のような場所を選んで対水速度計を併用すれば、比較的精度よく船速の計測ができるであろう。

今、 $L_{pp} = 300\text{ m}$ の船に突出限界が 700 mm の対水速度計を取りつけることを考える。もし δ の外側の速度 (U_1/U_∞) を測ろうと思えば、Fig. 3.5.2 と (3.5.4) 式より、 δ が約 600 mm 以下のところを探せば、大体 station 7 から船首寄りのところに取りつけなければならない。幸い、station 7 付近では船体は平行部となつてあり、Fig. 3.5.1 から判断しても圧力勾配は小で、(U_1/U_∞) の計測は容易と思われる。また、この場所であれば、模型船において予め境界層の諸構造を行なつておくことも可能である。したがつて、このような場合に、対水速度計は比較的精度よく用いることができる。

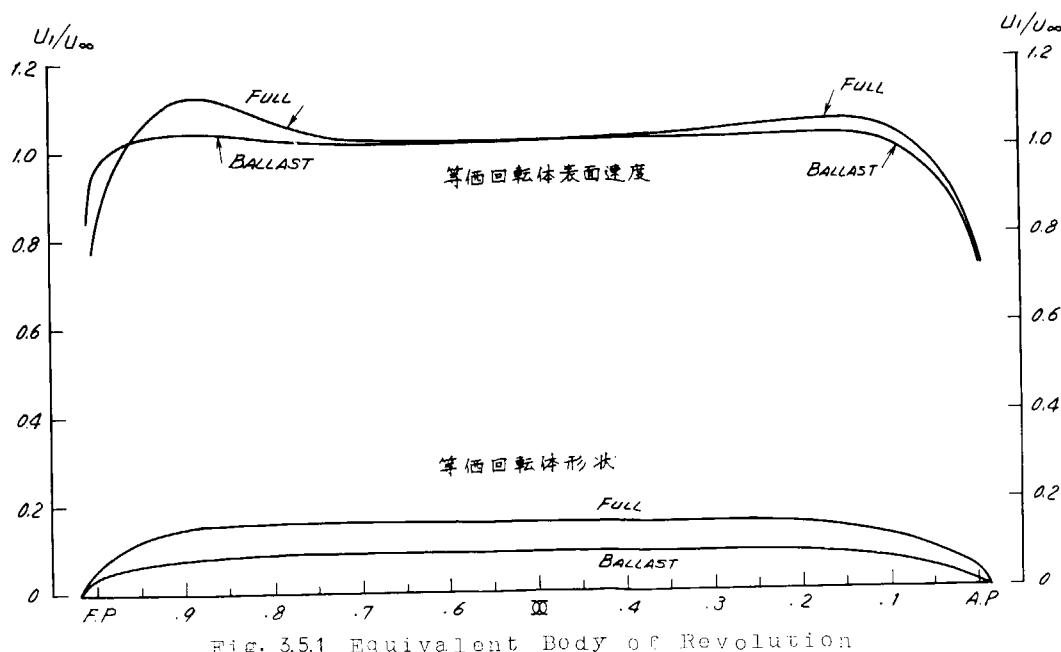


Fig. 3.5.1 Equivalent Body of Revolution

Table 3.5.1 Comparison between Experimental Results and Calculation

位置		U_1 / U_∞	
		Full	Ballast
① 中央	Exp.	1.15	1.08
	Cal.	0.92	1.00
②	Exp.	1.08	1.05
	Cal.	1.13	1.03
③	Exp.	1.13	1.08
	Cal.	1.13	1.03
④	Exp.	1.02	1.02
	Cal.	1.02	1.01
⑤	Exp.	1.03	1.03
	Cal.	1.02	1.01
⑥	Exp.	1.06	1.04
	Cal.	1.07	1.03

U_1 : 境界層外端流速

U_∞ : 模型船の速度

位置は Fig. 3.2.2 参照

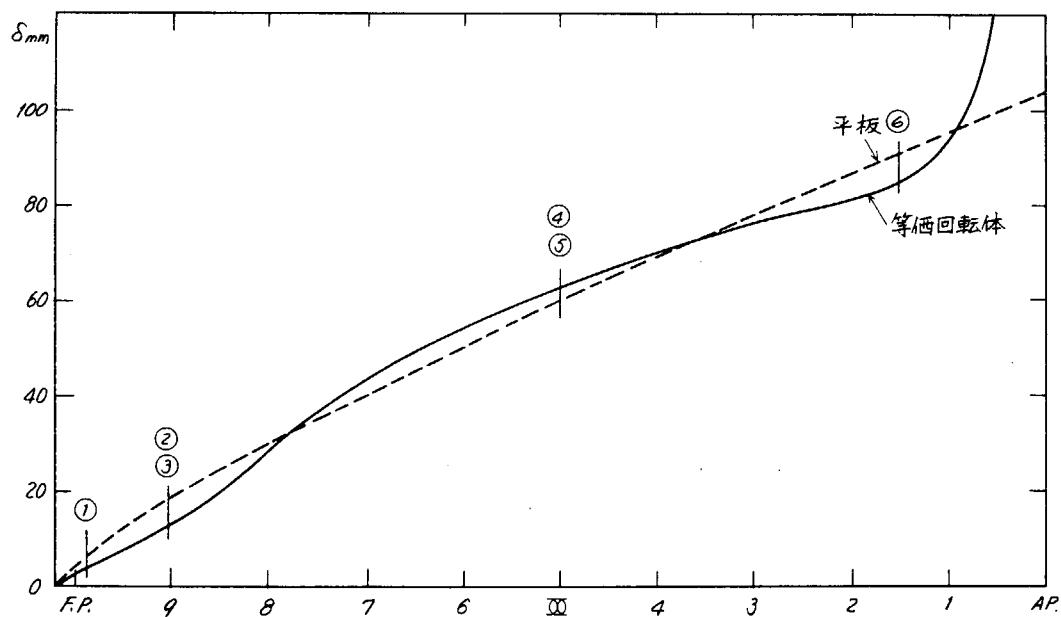


Fig. 3.5.2 Calculated Thickness of Boundary Layer, $L_m = 6 \text{ m}$, $U_\infty = 1.0 \text{ m/s}$

Table 3.5.2 Thickness of Boundary Layer (mm)

		模 型 船				实 船
计测点	U_{∞} (m/s)	0.95	1.10	1.25	1.40	7.5
①	Exp	6			→	92
	Cal. 平板	6.6	6.4	6.2	6.1	
	Cal. 回転体	4.2	4.1	4.0	3.9	
②	Exp	22			→	336
③	Exp	18			→	275
② & ③	Cal. 平板	19	18	17	17	
	Cal. 回転体	13	13	12	12	
④	Exp	50			→	765
⑤	Exp	50			→	765
④ & ⑤	Cal. 平板	61	59	57	56	
	Cal. 回転体	64	62	60	59	
⑥	Exp	55			→	840
	Cal. 平板	93	90	88	86	
	Cal. 回転体	86	83	88	80	

$L_m = 6.0 \text{ m}$

$L_s = 300 \text{ m}$

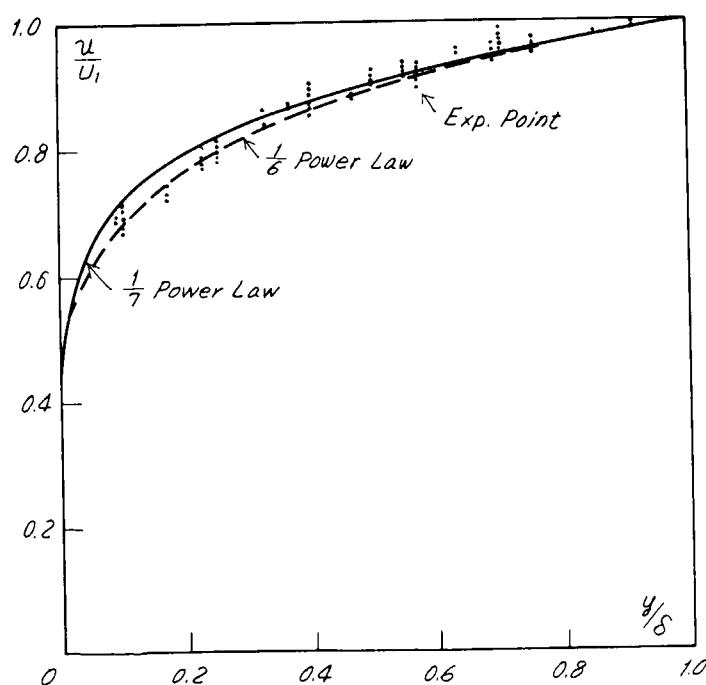


Fig. 3.5.3 Velocity Distribution of Boundary Layer

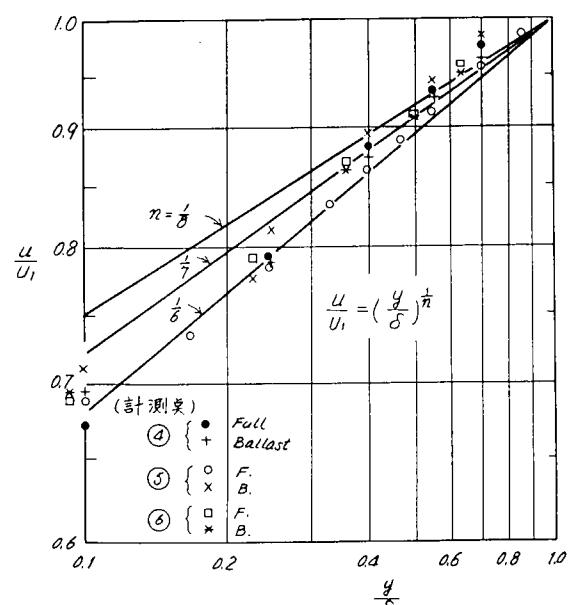


Fig. 3.5.4 Velocity Distribution of Boundary Layer

§ 4 計測器

4.1 電磁式速度計

4.4.1 装置

実船試験においては電磁式速度計を使用し、境界層外に受感部を置くための測定桿突出量を求め、また速度分布形状から境界層外端流速を求める方法を調べ、あわせて巨大肥大船の境界層と模型の境界層とを対比研究する目的のため、船底ごく近傍から境界層外まで速度分布の計測を行なうことも予定された。

本速度計は船舶用電磁式測程儀以上の目的に必要な改造を加えたもので、改造項目を下記に示す。

- (1) 速度発信器および速度受信器は2重目盛とし0.01 Knまで読み取り可能とする。
- (2) 電磁オシログラフに速度信号を記録できるよう速度発信器に出力回路を設ける。
- (3) 受感部の船底からの突出量を0~1 mの範囲で船橋から随時任意可変とする。
- (4) 航程発信器および航程受信器は設けない。

本電磁式速度計はTable 4.1.1に示す構成から成り、以下のような計測方式のものである。その系統図をFig. 4.1.1に示す。

Table 4.1.1 Component of Electromagnetic Speedometer

機器名	数量	備考
船底弁	1	
測定桿	1	
受感部	2	1個は予備
速度発信器	1	
速度受信器	1	
測定桿昇降装置	1	
測定桿突出量制御器	1	
測定桿突出量発信器	1	北辰電機から借用
測定桿突出量指示器	1	北辰電機から借用
電磁オシログラフ	1	住友重機械備品

船底に取り付けた船底弁を通して、測定桿の先端に取り付けた受感部を海中に突出させ、Fig. 4.1.2に示すように受感部からの海水中の磁界と船の運動による海水の流れとに直角方向に発生する船速に比例した誘起電圧はサーボ増幅器とサーボ機構を用いて速度指示をするとともにシンクロ電機を用いて遠隔指示をする。その性能はつきのようなものである。

Table 4.1.2 Principal Particulars of Electromagnetic Speedometer

速度範囲	0~25 Kn
速度指示	2指示針、全周2重目盛
速度目盛	0~1 Kn 長針 0.01 Kn きざみ 0~25 Kn 短針 0.5 Kn きざみ
応答速度	0~25 Kn の計測所要時間 2~3分
速度精度	0.05 Kn
出力	記録計用アナログ信号最大 10 mA
定格	連続
電源	A C 100 V, 60 Hz, 1φ
測定桿全長	約 1900 mm
速度発信器寸法	430 mm × 300 mm × 280 mm
速度受信器寸法	220 mm × 260 mm × 350

a) 船底弁

船底弁は青銅鋳物製で、測定桿を確実に保持するとともに、測定桿を引き抜いたときに海水が船内に浸入するのを防止するための弁を持った口径 75 mm のスルースバルブを主体とする構造のものである。

弁本体は案内フランジを介して取付座て 8 本のスタッド (M-16ねじ、ステンレス鋼 SUS 27) で取り付けられる。案内フランジは測定桿の防振用として、内側に防振ゴムが収めてある。

弁本体の上部フランジは測定桿の案内となるとともに海水の漏水防止用のパッキンが取り付けである。Fig. 4.1.3 に船底弁を示す。

b) 測定桿および受感部

桿体はネーバル黄銅製で、断面は流線型をしていて、先端に同じく流線型をした受感部が取り付けられる耐水圧構造のものである。

桿は桿体と頭部の接続箱およびハンドルから構成され、受感部励磁用および速度信号用の接続ケーブルがそれ一本付属している。

桿の長さは、受感部を境界層外まで突出させるため入手し得る最長のものを使用することにした。その全長は 1960 m で、供試船 2 重底内に装備できるぎりぎりの長さでもあった。

受感部はエポキシ樹脂にガラス繊維をまぜてモールドした外皮と内部にある交流磁界発生用の電磁石および速度信号受信用電極 (1 対) で構成された主要部と桿体取付金物からできている。

Fig. 4.1.4 に測定桿および受感部を示す。

c) 速度発信器

この電磁式速度計の中心となる機械的並びに電気的部分が収めてあり、受感部からの速度信号を受け速度を算出しこれをアナログ信号で発信する。

受感部からの速度信号は増幅され、增速・減速方向を選別してパルスマータを駆動する。パルスマータは速度ボテンショメータの刷子を回転させる。このボテンショメータの電圧は増幅され、比較トランジス位相を反転して速度信号と比較し、その電圧が 0 になるまでパルスマータは回転する。

パルスマータはまた速度指針、シンクロ発信機と記録計のアナログ信号用のボテンショメータを連動する。

速度指針は 2 刻式で 1 回転 1 Kn (1/100 Kn 単位) の長針と 1 回転 2.5 Kn (1/2 Kn 単位) の短針で速度を指示する。

シンクロ発信機は 1 回転につき 1 Kn と 2.5 Kn の粗細の 2 個で速度信号を速度受信器に発信する。

また点検用にダミー速度信号を出すボテンショメータを備え、スイッチで受感部の速度信号と切替えることができる。Fig. 4.1.5 に速度

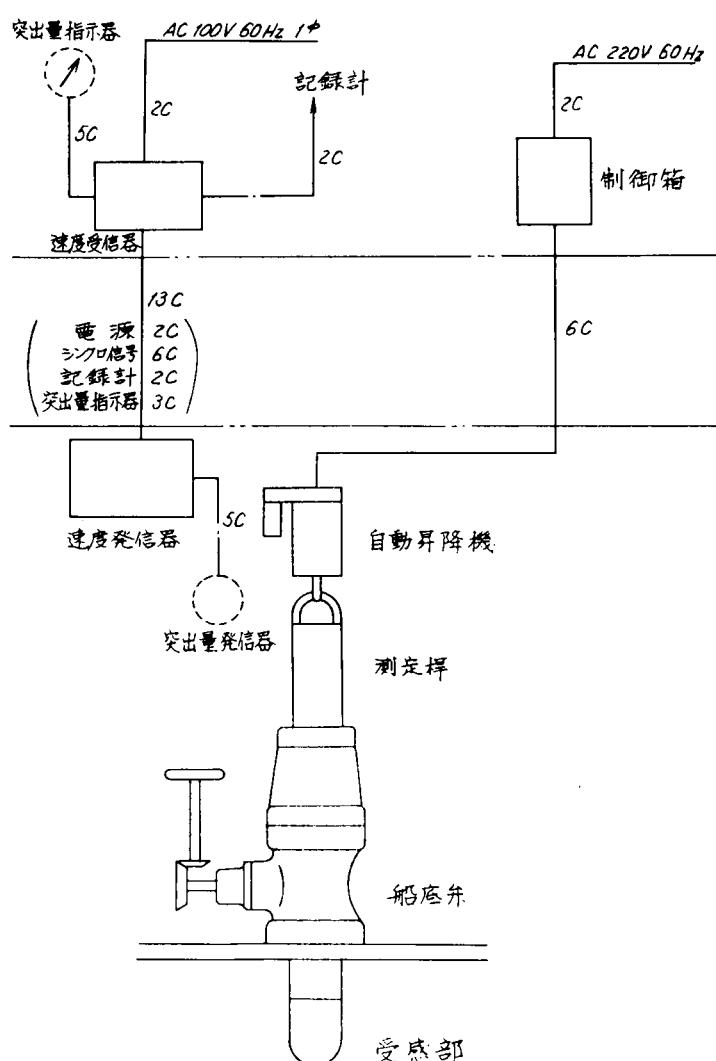


Fig. 4.1.1 System of Electromagnetic Speedometer

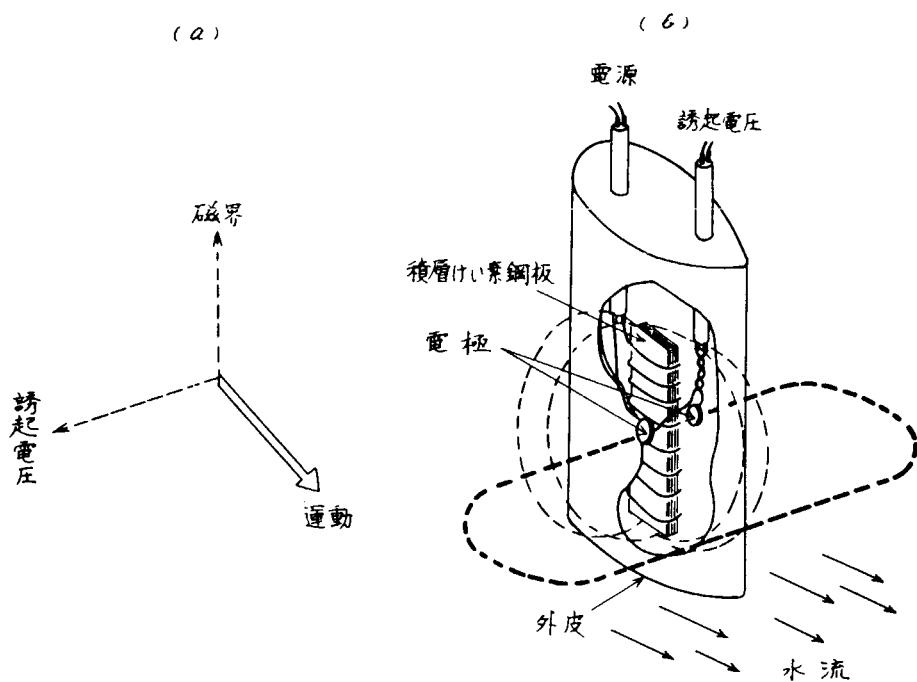
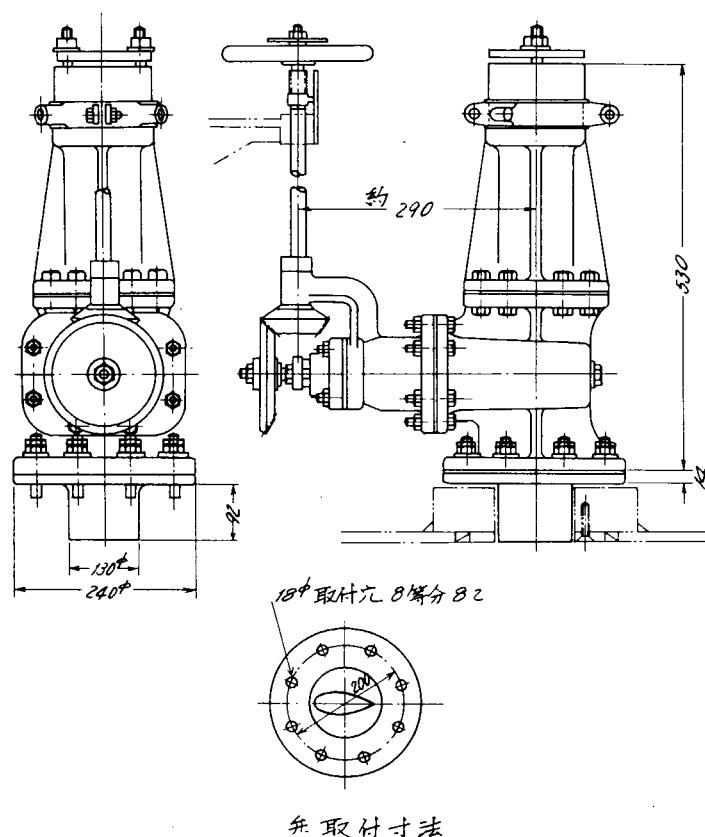


Fig. 4.1.2 Principle of Electromagnetic Speedometer



取付寸法

種別	主要材料
弁本体	青銅鋳物
取付ボルト	ステンレス鋼棒

Fig. 4.1.3 Bottom Valve

種別	主 本 取	材 体 手
	ネ-バル 銅	板

Fig. 4.1.4. Sensitive Rod

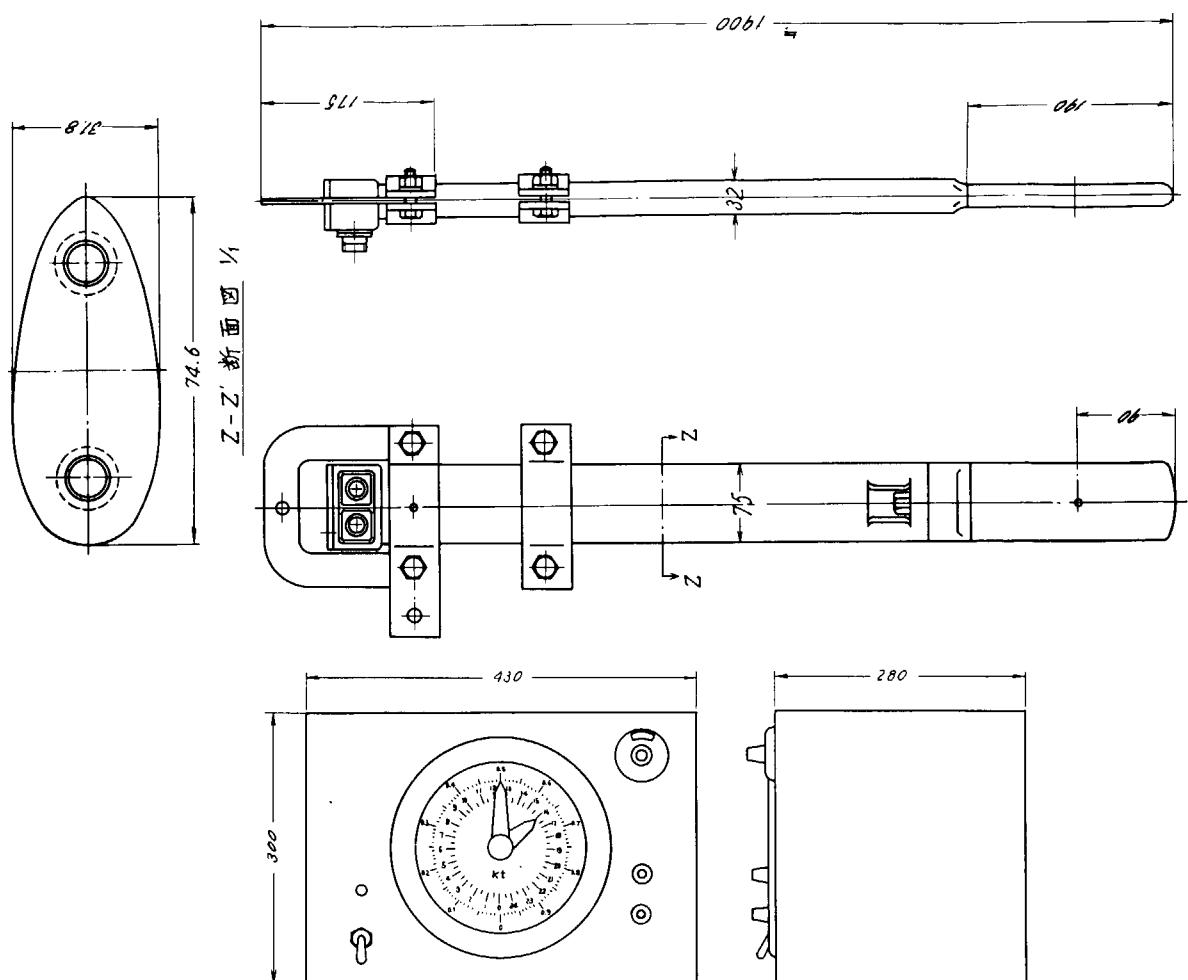


Fig. 4.1.5 Speed Transmitter

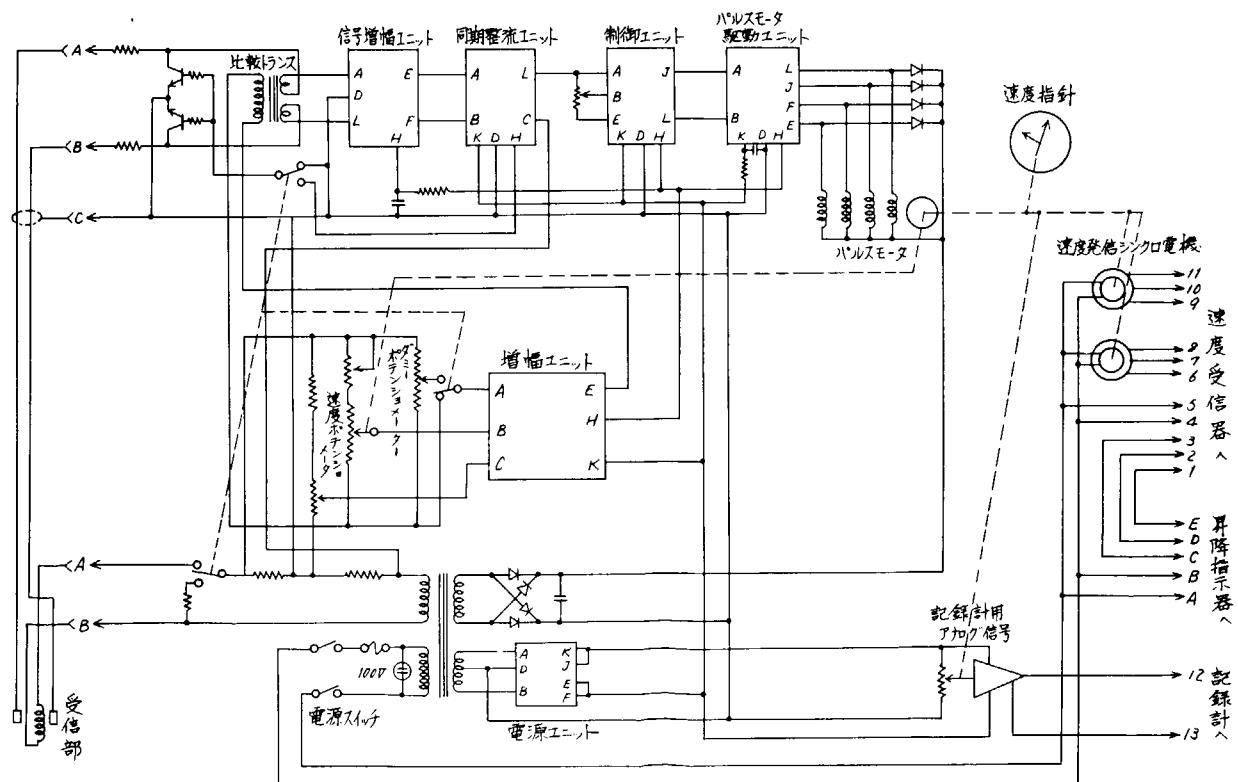


Fig. 4.1.6 Speed Receiver

発信器外形、Fig. 4.1.6に速度発信器結線図を示す。

d) 速度受信器

速度発信器と同様に精粗 2 個のシンクロ受信機で速度信号を受信して、2 針式で $1/100 \text{kn}$ 単位で速度を指示する。

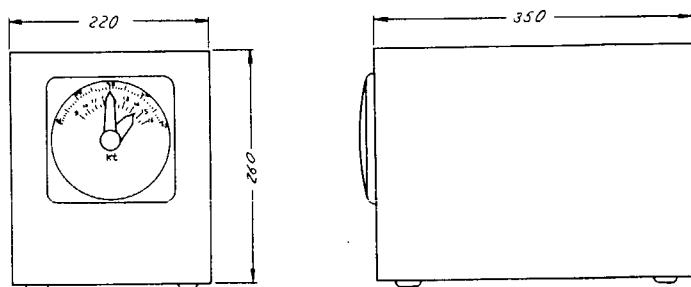


Fig. 4.1.7 に速度受信器外形を示す。

e) 異降装置

船底からの測定桿突出量を任意に変えることになっているので、このための各種の方法を検討し、遠隔操作により突出量の随時任意変更ができるような測定桿昇降装置を製作することにし椿本チェーン製作所のパワーシリンダと制御器を採用した。その要目はつぎの通りである。

Table 4.1.3 Principal Particulars of Traverse Apparatus

(1) パワーシリンダ	
型 式	LP1000-L10
電 源	AC 200/220V, 60/50Hz, 3φ
昇 降 ス ト ロ ー ク	1000 mm
推 力	1000 kg
制 御 方 式	ブレーキモートル
重 量	約 65 kg
数 量	1台
(2) 制 御 器	
制 御 方 式	寸動式
重 量	約 3 kg
数 量	1台

パワーシリンダの形状寸法を Fig. 4.1.8 に、制御器の形状寸法を Fig. 4.1.9 に示す。

昇降装置装備図を Fig. 4.1.10 に示す。パワーシリンダは図のように船底弁近くの船尾側に装備した。測定桿突出量の変化が受感部電極の位置で船底外板表面から 0 ~ 約 1,000 mm になるように、突出量発信器を取り付け、船橋の突出量指示器で突出量を角度で指示させた。

突出量の測定に使用した突出量発信器と突出量指示器間の結線は Fig. 4.1.11 に示す通りである。

突出量発信器はトルクシンクロ発信機を主体とし、回転腕の回転を 5 : 1 の平歎車で増大してシンクロに伝達している。測定桿の 1,000 mm 異降に対してシンクロは約 1 回転する。

また突出量指示器の形状寸法を Fig. 4.1.12 に示す。突出量指示器はシンクロ制御変圧器で突出量発信器シンクロ信号を受信し、サーボアンプとサーボモータによるサーボ機構で追従し、シンクロ発信機の回転角を最小 1 目盛 5 度と 0.1 度の 2 枚の目盛板で指示する。

測定桿突出量指示器の検定結果を Fig. 4.1.13 に示す。測定桿の突出量に対しその指示誤差は図のように突出量 0 の時 $\pm 2 \text{ mm}$ 、1,000 mm の時 $\pm 5 \text{ mm}$ 程度であった。

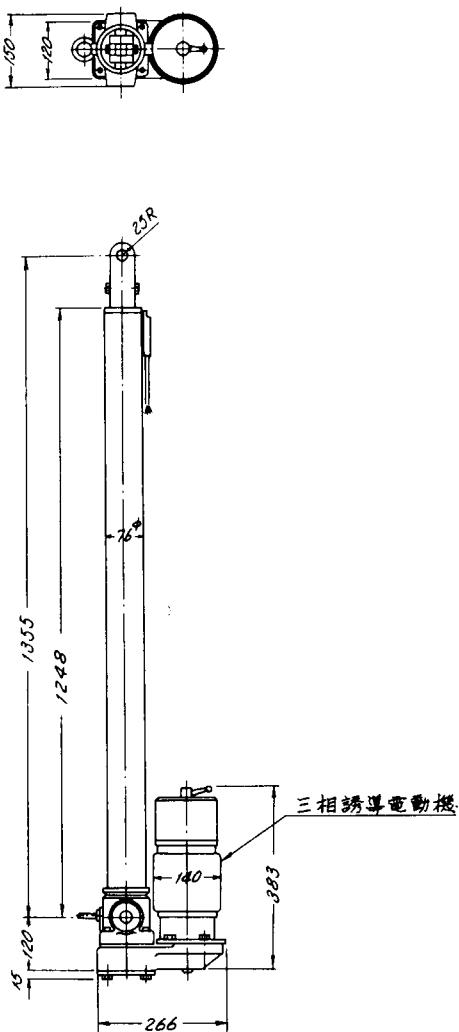


Fig. 4.1.8 Power Cylinder

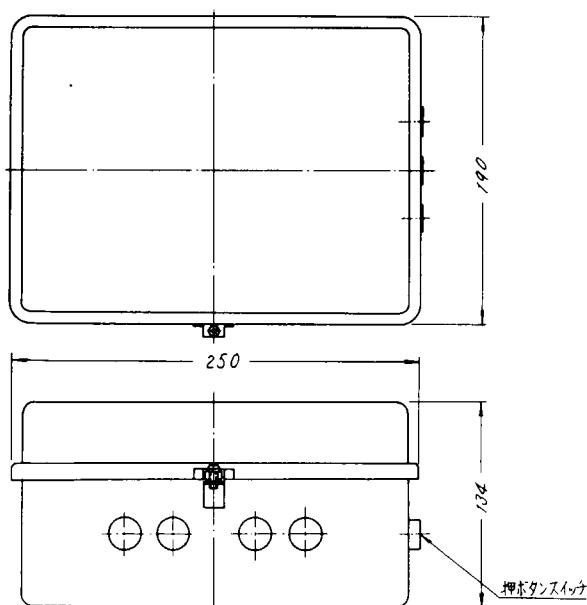


Fig. 4.1.9 Control Box

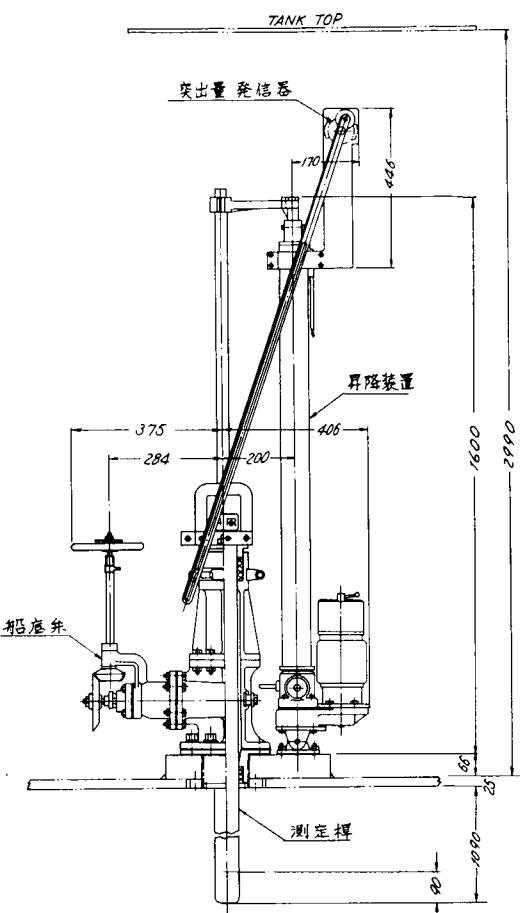


Fig. 4.1.10 Arrangement of Traverse Apparatus

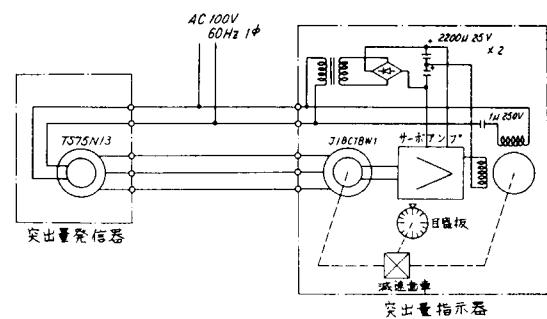


Fig. 4.1.11 Circuit of Indicator of Projection Value of Sensitive Rod

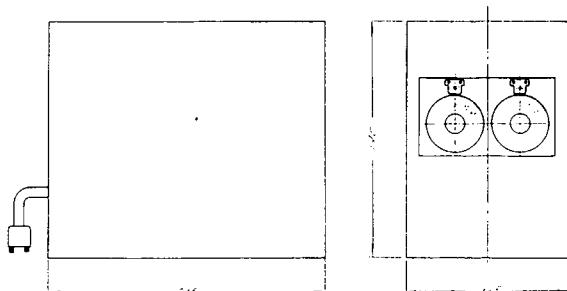


Fig. 4.1.12 Indicator of Projection Value of Sensitive Rod

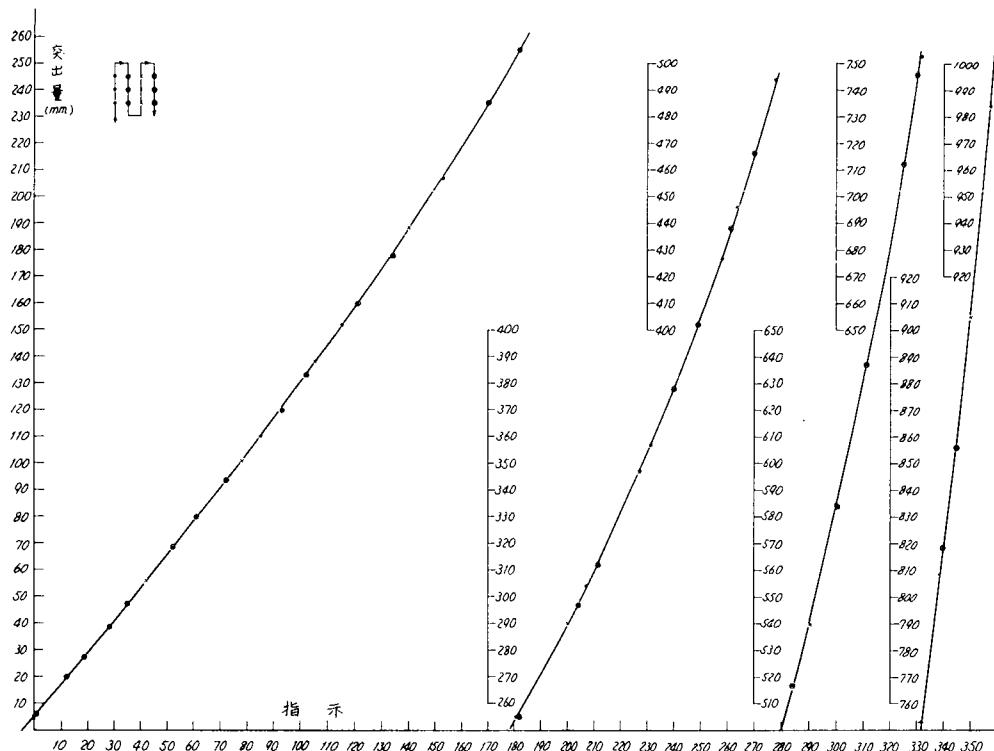


Fig. 4.1.13 Calibration Results of Indicator of Projection Value

4.1.2 単独試験

a) 試験要領

電磁式速度計の単独試験は船舶技術研究所 400 m 水槽を使用して行なった。電磁式速度計は、受感部が鉄、鋼材に近付くと受感部周りの磁場が変化し、感度、零点が変化する。従って、電磁式速度計の単独試験においては可能な限り磁気的に実船に等しくするため、実船船底外板と同じ厚さの鋼板に実船と同一寸法の座金を取付けた Fig. 4.1.14 に示す鋼板製架台を製作し、これに測定桿を取り付け試験を行なうこととした。まず、受感部に対する船底の影響および指向特性を計測したのち、船底影響および指向特性のない標準計測状態を定め、この状態で検定を行なった。その速度範囲は実船の速力から 0 ~ 8 m/s とした。また水槽残流による計測誤差を確認するために対地速度および対水速度の同時計測を行ない、計測精度の向上を計った。

b) 試験結果

(i) 船底影響計測

電磁式速度計は原理上、船底と受感部の距離、受感部の形状などにより電磁気学的および流体力学的影响を受け、計測誤差および偏差の原因となる。Table 4.1.4 の A は船底外板表面極く近傍における流速計測の可能性を調べるため速度 V 3 点について受感部突出量 y を変えた場合、B は標準状態を定めるため速度 5 m/s で走行し、y を変えた場合、また C は船底外板などによる受感部周辺の磁場変化などに起因する計器零点移動 B G を調べるために速度 0 m/s で y を変えた場合それについてえられた速度発信器の読み O p である。A B の結果を Fig. 4.1.15 に示す。これから y を 100 mm 以上にとれば、船底影響は無視しうることが判る。y = 0 の場合 V > 0 では BG の値より読みが大きくなっていることは、受感部電極が大きさを持ち船底外板表面から僅に離れた位置の流速を計測することになるためと思われる。y = 100 mm 以下の状態で計測する場合は、y をパラメータとして A の結果を図示した Fig. 4.1.16 により流速を求めることができる。ただし、精度の高い計測を行なうためには測定桿長さ方向に速度勾配のある流れの中で検定を行なう必要があろう。

(ii) 指向特性計測

速度計の指向特性計測結果を Table 4.1.5 に示す。これから士 4.8° 以内では指向特性を無視しうることが判る。

(iii) 標準状態の設定

上記船底影響および指向特性の計測結果から、本架台でとりうる最大突出量 $y_{max} = 400\text{mm}$ および流れに正対 ($\delta = 0^\circ$) を標準状態とした。

(iv) 残流計測結果

対地と対水の速度差は Table 4.1.6 に示すように本速度計所要精度内にあるので残流は無視できる。従って今回の単独試験では対水速度のかわりに対地速度を採用してよい。

(v) 検定結果

検定結果を Table 4.1.7、Fig. 4.1.16, 4.1.17 に示す。今回単独試験を行なった速度計受感部はすべて速度 $2, 5\text{ m/s}$ 附近で出力勾配が異なる。この原因は流体力学的効果によるものと考えられ、計測値の直線性が受感部の形状を変えることによって改善されることが従来の研究により確認されている。夫々の受感部による速度発信器読み O_P と直線近似との相対誤差は速度計の使用予定範囲においては所要精度内にある。Fig. 4.1.17 は Table 4.1.7 を図示したもので、2 本の直線 (P_1-I , P_1-H) は電磁式速度計 (P_1) の指示値を低速度域 ($0 \sim 2\text{ m/s}$) の勾配、高速度域 ($4 \sim 8\text{ m/s}$) の勾配でそれぞれ近似したものである。また Fig. 4.1.18 は速度発信器の読みと曳航速度の値の差を示したものであり、これによれば P_2 は他の受感部と多少違った傾向を示している。

c) 性能と問題点

- (i) 船速を計測するという目的のために要求される相対誤差 $1/300$ 程度の精度は本計器単体では可能である。
- (ii) 境界層内流速の精密計測のためには $y = 0$ 附近での測定棒のガタの除去とコンパクト化および速度勾配のある流れの中での試験が必要であるが、現段階においては、この程度の誤差が含まれてもやむを得ないものと思われる。
- (iii) 変動流の計測は今回の目的ではないが、その目的に、この速度計を使用する場合には、出力電流のアナログ表示方式の開発により可能となる。
- (iv) 速度発信器指示値の勾配が 2.5 m/s 附近で変化している原因としては受感部境界層の遷移による剝離点の大巾な移動が起り受感部周辺速度分布が変わるものと考えられるが確証はえられない。

d) 結論

受感部 P_1 および P_3 を実船試験用の速度計受感部として使用することに予定し、Fig. 4.1.16, 4.1.17 に相当する大きな図面を校正曲線として用意することにした。

なお、速度発信器指示値と実速度の差を示す指示差曲線は Fig. 4.1.18 に示すように傾斜し低速側と高速側で傾斜が異っている。感度調整により、このどちらかの傾斜を 0 にすることが可能であるが一方を傾斜 0 にすれば他方の傾斜が増すこと、再調整の必要性が少ないとことなどから、本単独試験における感度のまま実船試験に使用することにした。

Table 4.1.4 Effect of Steel Bottom on Indicated Value of Speed

V (m/s)	A			B		C		備 考
	速度発信器の読み (Kn)			y (mm)	速度発信器の読み (Kn) V=5.000	y (mm)	速度発信器の読み (Kn) E·G V=0 m/s	
0	1.500	2.250	3.000	50	9.48	0		
10	1.90	2.78	3.64	100	9.56	1.5	-0.05	
20	2.30	3.57	4.53 4.62	151	9.58	3.6	-0.20	
30	2.50	3.81	5.10	203	9.61	6.1	-0.25	1) y : 受感部突出量 2) 発信器の零点は $y = 400 \text{ mm}$, $V = 0$ にて設定 3) W.T = 11.7°C 4) 同じ列のデータは計測シリーズが 同じであることを示す。 5) 速度の計測値は 速度計指示値 (Kn) を示す (読み取り誤差士 0.01) 6) (c)の BG は相対値を示す。
45	2.70	4.05	5.44 5.44	257	9.61 9.63	8.6	-0.25	
60	2.70	4.10	5.40 5.54	382	9.63	10.1	-0.26	
75	2.70	4.10 4.10	5.55			34.1	-0.26	
90	2.68	4.06	5.60			37.4	-0.27	
120			5.60					
150	2.72	4.10	5.61					
200	2.74	4.10	5.63					
300	2.74	4.08	5.64					
400	2.74	4.08	5.64					

Table 4.1.5 Direction Characteristics

y (mm)	Op (Kn)	θ (度)	V (m/s)	備 考
200	9.60	0	5.000	1) θ : 受感部中心線と速度の間の角度 Op : 速度発信器の読み
200	9.59	4.8	5.000	
200	9.60	-4.8	5.000	

Table 4.1.6 Residual Current

対地速度 (m/s)	対水速度 (m/s)	備 考
1.500	1.503	1) 残流の最も大きいと思われる時期 (8 m/s 走行直後) 行なった計測値である。
2.000	2.000	
2.500	2.487	
3.000	2.985	

Table 4.1.7 Results of Calibration of Electromagnetic Speedometer

V (m/s)	Op (Kn)			備 考
	P ₁	P ₂	P ₃	
0.500	0.87 0.91	0.92	0.90	
1.000	1.77 1.81	1.85	1.79	
1.500	2.74 2.75			受感部番号 P ₁ =06053
2.000	3.64 3.64	3.65	3.61	P ₂ =06056
2.500	4.59 4.57			P ₃ =06064
3.000	5.58 5.62	5.62	5.73 5.60	
3.500	6.67			
4.000	7.62 7.67	7.78	7.66	
5.000	9.65	9.81	9.65	
6.000	11.64	11.79	11.64	
7.000	13.62	13.77	13.63	
8.000	15.60			

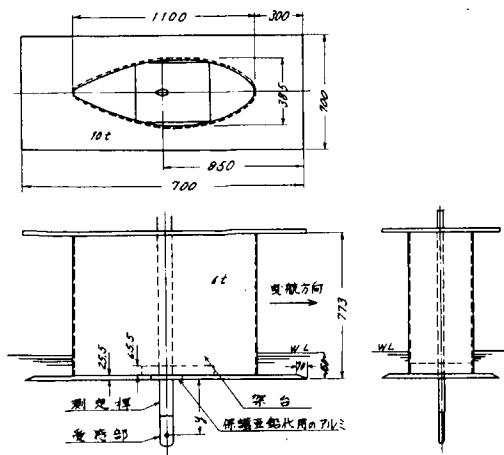


Fig. 4.1.14 Test Bed of Calibration

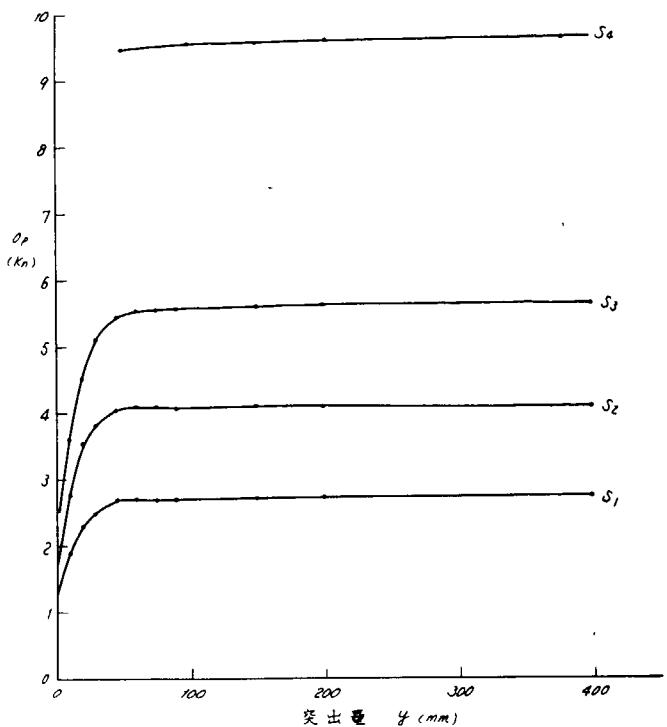


Fig. 4.1.15 Effect of Steel Bottom on Indicated Value of Speed

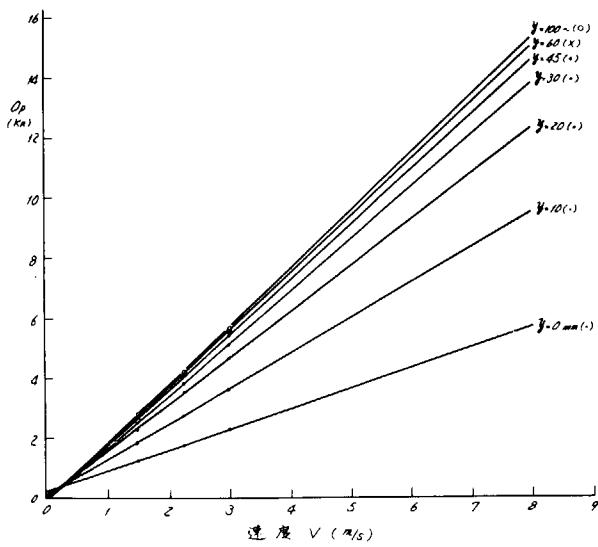


Fig. 4.1.16 Effect of Steel Bottom on Indicated Value of Speed

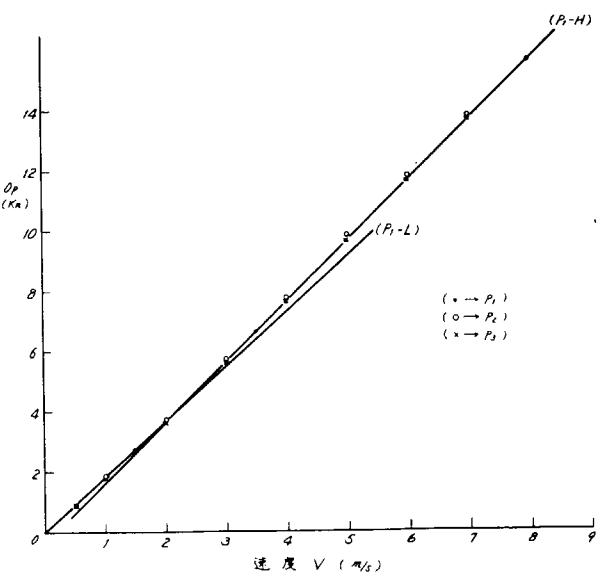


Fig. 4.1.17 Results of Calibration

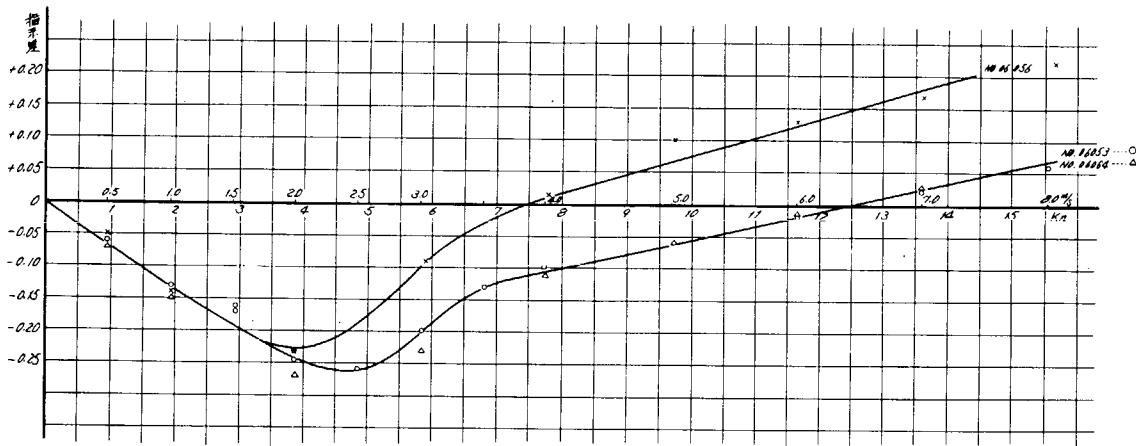


Fig. 4.1.18 Results of Calibration

4.2 超音波式速度計

4.2.1 装置

本部会発足当時、ドップラーソナー超音波式速度計は国産されていなかったが、その後開発されて使用できるようになったので採用することにした。

本装置は超音波パルス信号を船首から前方に発射し、船首前方所定距離にある海水塊内の極微小物からの反射超音波信号を利用して対水速度を計測するものである。この際、流れに及ぼす船体の影響を小さくするため、船首からかなり前方の海水塊からの反射信号のみをゲートして利用する。反射して来た信号の周波数と、発射した超音波とを比較して、その差から殆んど無修正で船舶の対水速度が求められることになる。

巨大船速力試運転において使用する目的から、要求される計測精度および原理上定まる性能限界とを考慮して次のように仕様を定めた。すなわち、

速 度 範 囲 $-10 \sim 25 \text{ Km}$ (前進、後進の表示は±)

速 度 分 解 能 0.1 Km

精 度 10 Km 以上 1% 以下 (0.5% を目標とする)
 10 Km 以下 0.1 Km 以下

(但し、音速補正を行った場合)

計測時間間隔 1 sec 以上

計測距離 $0 \sim 70 \text{ m}$ (可能ならば 100 m 以上を目標とする)

計測範囲 15 m 巾

送信周波数 200 KHz

送信パルス巾 20 msec

送信パルス間隔 $20 \sim 400 \text{ msec}$ (可変)

送信出力 100 W

受信部ゲイン 110 dB

電 源 $AC 100 \text{ V} \pm 5\%, 60 \text{ Hz}, 1\phi$

消費電力 200 W

速 度 表 示 3桁と符号±

及び B C D 4桁の出力が外部に取り出せる。

この装置においては殆んどを電気回路で構成し、また信号の電気的な処理も殆んどをデジタル処理とし精度信頼性の向上をはかった。本装置の構成を Table 4.2.1 に、ブロックダイヤグラムを Fig. 4.2.1 に、電路系統を Fig. 4.2.2 に、また本体形状を Fig. 4.2.3、4.2.4 に示す。

a) 本装置の動作の概要

送受信部には本体からのパルス変調された信号を増幅し、所定の距離まで到達できるパワーにする送信部がある。

パルス波で送信する場合、送信信号と受信信号とが時間的に遅っているので、振動子を送受波器兼用とすることが出来る。このために、送信部の出力と受信部の入力を切換える必要があり、この動作を行っているのが、切換の回路である。

振動子から放射した信号は、体積残響によってエコーとして反射する。この信号を振動子で受波し、受信部であるレベルまで増幅し、本体に送る。

b) 本体(ディスプレイ装置)

本体は信号処理部、演算部、表示部からなる。

信号処理部においては受信部から送られた信号は、かなりの距離の範囲に及ぶ速度情報を持っているので、これをある距離に設定するために、受信信号をゲートしなければならない。

Table 4.2.1 Component of Doppler Sonar Speedometer

機 器 名	数 量	備 考
振 動 子	1	
送 受 信 器	1	
本体(ディスプレイ装置)	1	
テ ー ブ パ ン チ ィ	1	古野電気から借用

これがゲート B の役目である。

これから出た信号は周波数追跡回路(B.T.)に入り、ここでパルス変調された信号の周波数と同じ周波数を有する連続波に変換する。

今、対水速度が v で、送信周波数が f_0 、受信周波数が f_r とすると、これらの関係は、

$$f_r = f_0 + 2v/c \quad v : \text{水中の音の速度}$$

となる。

これより、対水速度 v は

$$v = k (f_r - f_0) \quad k = c/2f_0$$

となる。

この演算を行なうのが、演算部の働きで、出力は BCD コード 4 衔になっている。

このコードを表示管に表示するために、BCD → 十進コード変換を行ない表示する。この場合には、3 衔で 0.1 KN までの表示としている。

以上の動作の時間関係のタイムチャートを Fig. 4.2.5 に示す。

c) 体積残響レベル

超音波を用いた対水速度計においては、体積残響を利用している。この設計に際して、体積残響レベルを知ることは不可避である。又、この残響レベルが周波数及び海の状態に対して、どのように変化するかも必要である。

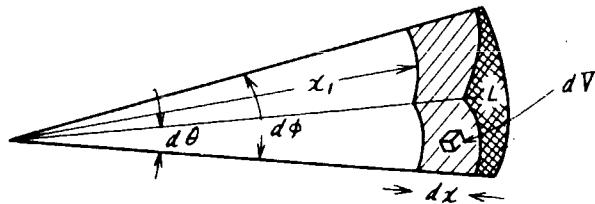
体積残響は、海中の浮遊物等による反射によって生じる。

この場合、浮遊物等の反射が等しく、又、単位面積当たり N 個の散乱因子が存在していると仮定すると受信レベル I_R

は次式で示される。

$$I_R = \int I_R dV$$

又は、 $dV = x_1^2 \sin \theta d\theta dx$



又、今パルス巾を△xとし、△x ≪ x1とすれば、

$$I_R = I_{S1} \left(\frac{x_1}{x_0} \right)^4 10^{-0.2\alpha x_1} N T_S x_1^2 \Delta x \int_0^{2\pi} \int_0^\pi R_s^2(\theta\phi) R_R^2(\theta\phi) \sin\theta \cdot d\theta \cdot d\phi$$

但し、

I_{S1} : 送信レベル α : 吸収係数 dB/m

T_s : 散乱因子の反射レベル

次に指向利得を $4\pi/G_{SR}$ で示せば I_R は次式になる。

$$I_R = I_{S1} x_0^4 \frac{\Delta x}{x_1^2} 10^{-0.2\alpha x_1} N T_S 4\pi/G_{SR}$$

又、単位距離を 1 m とすれば、

$$\frac{I_R}{I_{S1}} = \frac{\Delta x}{x_1^2} 10^{-0.2\alpha x_1} N T_S \frac{4\pi}{G_{SR}}$$

となる。

前述したように、あるパルス巾 (Δx) で送信し、その反射を受信し、そのレベルを測定すればよい。

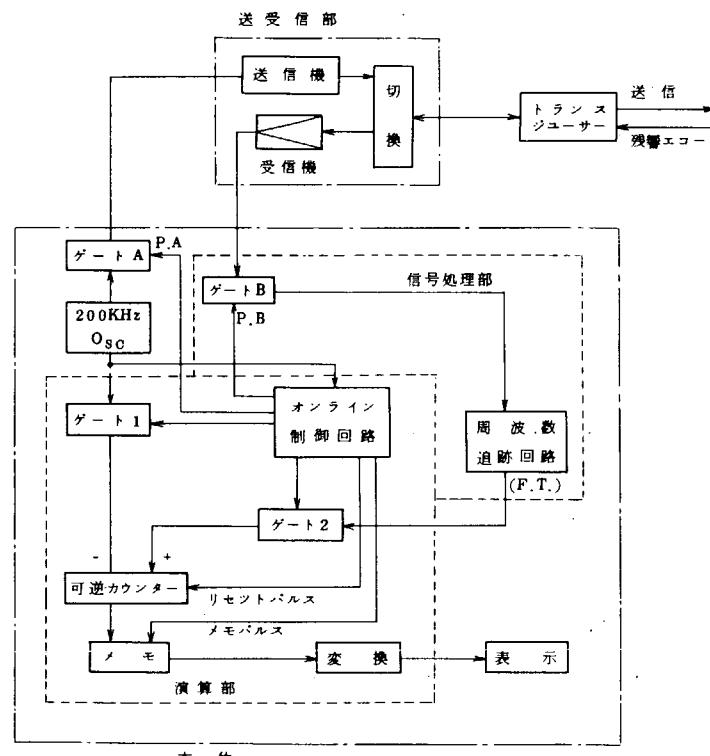


Fig. 4.2.1 Block Diagram of Doppler Sonar Speedometer

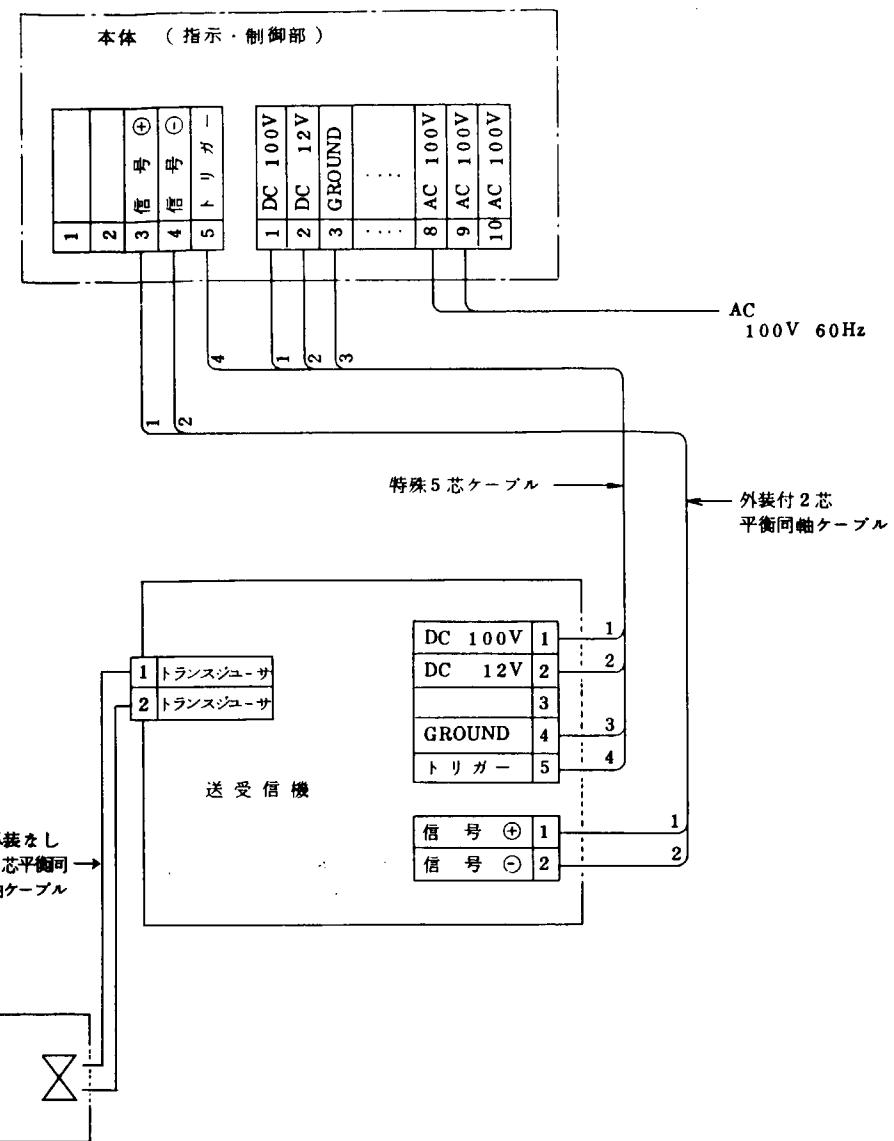


Fig. 4.2.2 Circuit of Doppler Sonar Speedometer

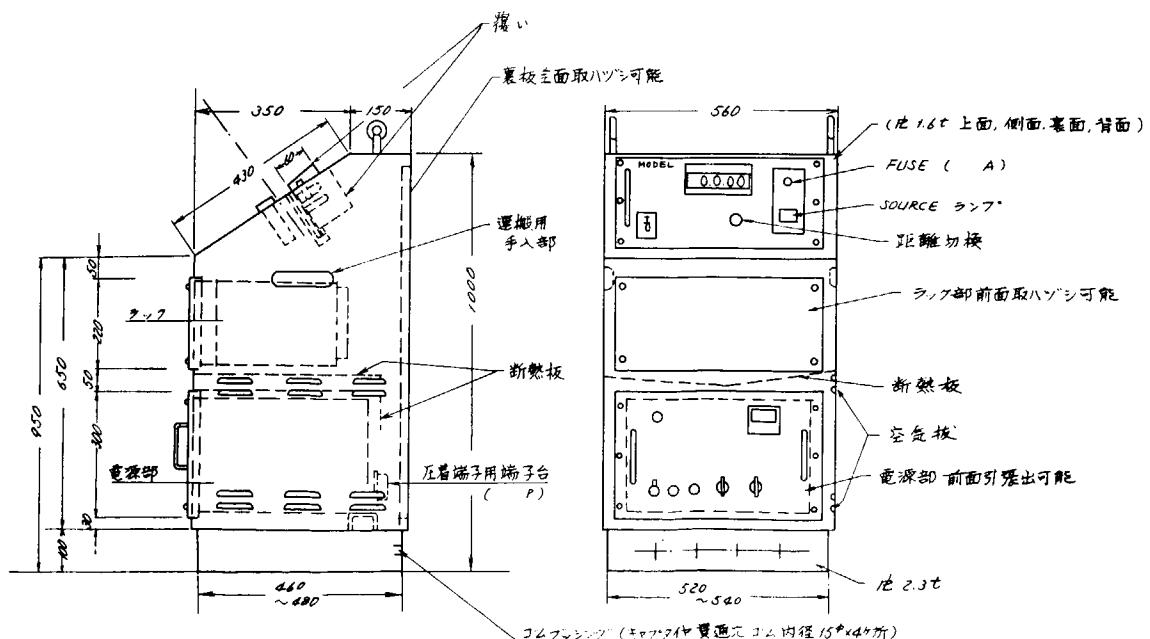
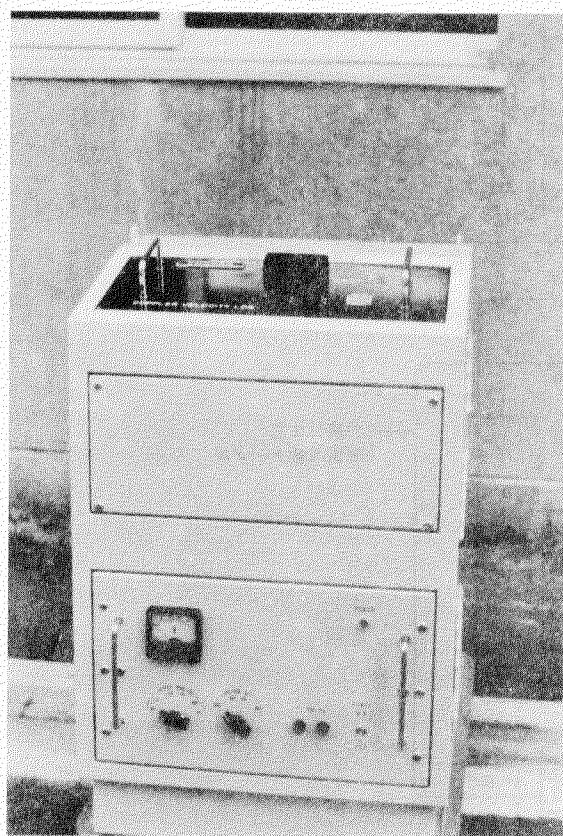


Fig. 4.2.3 Cabinet of Doppler Sonar Speedometer

(A) 本体



(B) 送受信器

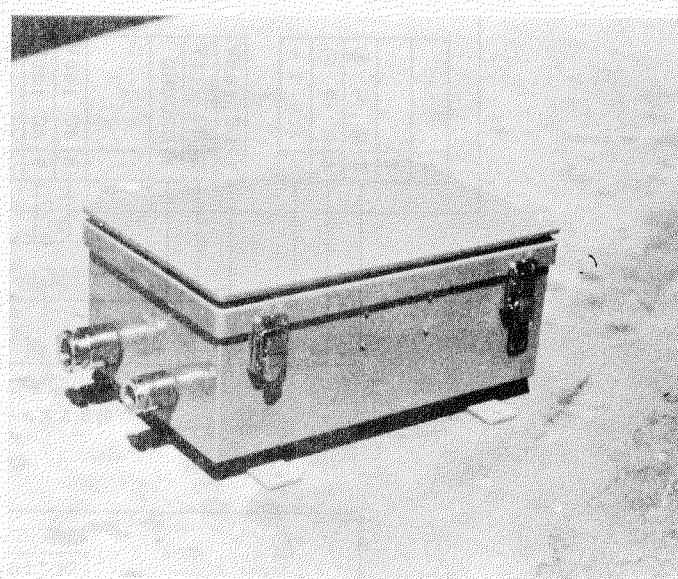


Fig. 4.2.4 Doppler Sonar Speedometer

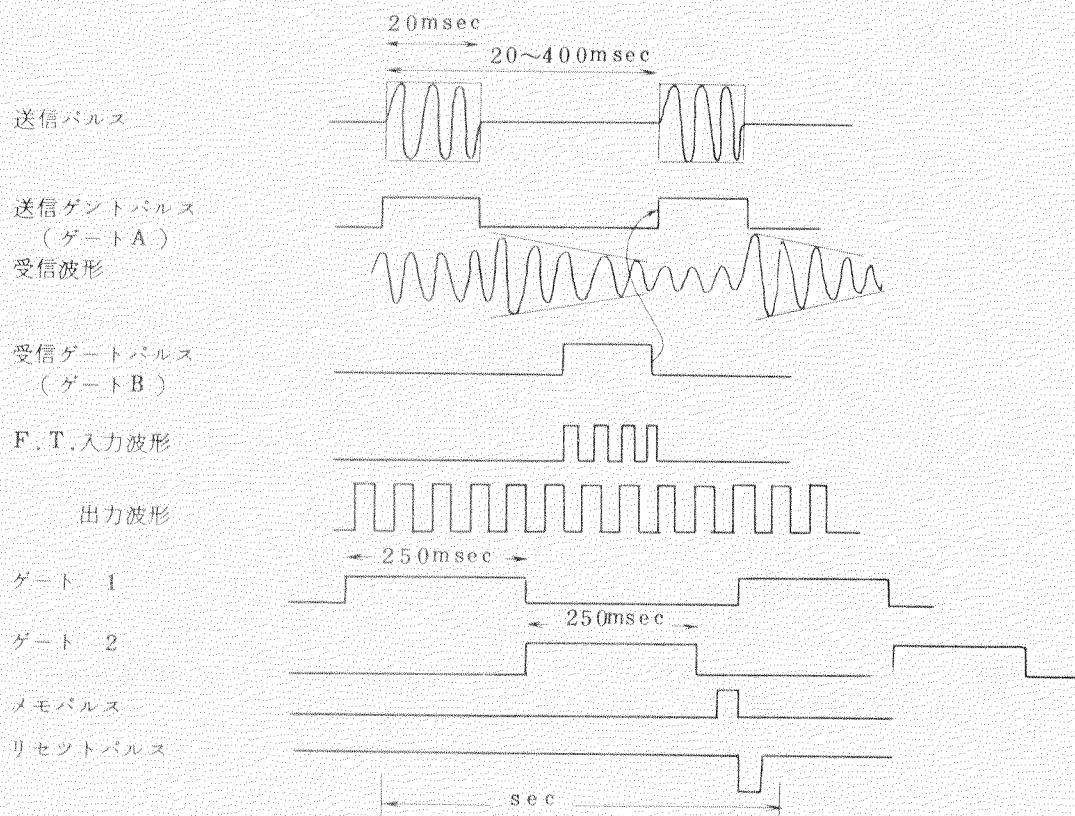


Fig. 4.2.5 Time Chart

4.2.2 単独試験

超音波式速度計の動作確認、調整、検定、精度調査のため、本船に装備する前に単独試験を行なった。

試験水槽における単独試験の結果、固定偏差が現われたので、さらに湖において零点確認試験を行なった。

a) 試験水槽における単独試験

試験水槽における試験内容は次の通りである。

(A) 予備試験

- (i) 残響レベル計測
- (ii) 音速計測
- (iii) 残流計測
- (iv) 精度確認

(B) 本試験

検定および精度調査

以上の試験を実施した試験場所は船舶技術研究所第2水槽(400m水槽)で試験期日は昭和46年5月17、18、19日である。

試験方法としては各試験項目に関して次の方法を採用した。

(i) 残響レベル計測

試験水槽における残響レベルがある程度以上なければ単独試験を行なうことができない。またこのレベルにより最大サンプリング距離が決まる。最大サンプリング距離は試験水槽水深からも制限される。振動子の深さを本水槽水深の1/2すなわち4mにすると、水面および水槽底からの反射を避けるためにはサンプリング距離は最大40mしかとれないことになる。したがって残響レベルが充分である場合でも最大40mとなる。

この残響レベルを知るため、サンプリング距離を変えて、水槽水そのままと水槽水中にバラフィン模型焼型用粘土と明礬を投入した場合について受信器出力信号をシンクロスコープで観測し、レベル計測を行なう。

(ii) 音速計測

本速度計のようにドップラーソナー式では音速変化の影響を受けるので音速を知っておく必要がある。

音速を直接計測するのは実際には面倒であるので、水温を計測し水温から音速を推定することにする。水槽の長さ方向の3位置において水深0~6m間でサーミスタ温度計により水温を計測する。

(iii) 残流計測

振動子および振動子支持支柱の後流による水槽残流を知るため、まず曳引車を走行させ、所定時間後再び曳引車を走行させ、対地速度と翼車式流速計により計測した対水速度とを比較する。

(iv) 検定および精度確認

速度0~6m/sの範囲で、サンプリング距離を2通り変えて、超音波式速度計指示を記録し、検定を行なうとともに指示値の安定度を調べる。

振動子は钢管および鋼板製の支持支柱により水深4mの位置に前方に向け保持し、支持支柱を曳引車に取付けさらに鋼索により支えた。振動子取付け状態をFig. 4.2.6に示す。

以上のことにより単独試験を行なった結果をTable 4.2.2~4.2.6、Fig. 4.2.7~4.2.10に示す。

Table 4.2.2および4.2.3、Fig. 4.2.7により粘土および明礬の投入により残響レベルがかなり上昇していることが明らかで、この投入によりサンプリング距離を大きくとることができた。Table 4.2.4に水温計測結果を示す。水深4mでの水温は12°Cであり、水中で塩分などがあれば音速は1459m/sとなる。ただし、粘土と明礬を投入した状態ではこの影響が出て音速が大きくなる可能性がある。しかし具体的な数値は判らない。Table 4.2.5に残流計測結果を示す。残流値は本単独試験においては超音波式速度計の計測誤差以下

である。検定および精度確認試験結果を Table 4.2.6 に、本速度計指示値の平均と曳引車速度の関係を Fig. 4.2.8 に示す。これによると速度に関係なく指示値は 0.2 ~ 0.3 Kn 低めにずれ固定した偏差が現われている。また、この時の標準偏差は 0.2 ~ 0.3 Kn である。試験結果によれば、サンプリング距離を 2.2.5 ~ 3.7.5 m、3.7.5 ~ 5.2.5 m、および 5.2.5 ~ 6.7.5 m と変えると平均値が多少変化する傾向がある。指示値の分布を求めた例を Fig. 4.2.9 に示す。

Fig. 4.2.8 中の計算値は曳引車速度を単位換算 ($m/s \rightarrow Kn$) したのみで、音速の修正は行なわなかった。この理由は真水の場合音速は 1459 m/s となり指示値は 2.9 % 大きくなるが、水中に粘土や明礬が混入している状態では多少音速が大きくなるので、指示値のずれは少なくなると思われたからである。また Table 4.2.6 において速度に対し比例的なずれが現われていないことからも、これがいえる。

Fig. 4.2.8 に示すような計算値とのずれおよびばらつきが生じる原因として次の 3 点が考えられるので検討する。

(A) 粘土と明礬の粒子が Fig. 4.2.9 に示すような動きをする。

(B) 水槽の壁や底および水面からの反射が影響する。

(C) 超音波式速度計の周波数追跡回路の誤動作

(A)については、サンプリング距離を変化させた場合、指示値の分布が少し変化するので、まず考えられない。また残流計測結果でも残流は僅であった。

(C)については周波数追跡回路のチェックを行なった。その結果、サンプル時間において入力周波数に追従していることを確認したので、この回路の誤動作ではない。

(B)については、シンクロスコープで入力信号波形を観測したところ、Fig. 4.2.10 に示すようにかなり干渉を受けていることが判った。

この原因是、水槽の壁や底および水面からの反射が種々の経路を通っており、これらの経路の時間的変化と送信パルスの周期が関係することにあるのではないかと思われたが、解明できなかった。

b) 湖での試験

上記水槽試験においては、精度 $\pm 0.1 Kn$ 以内 ($1.0 Kn$ 以下の場合) はえられず、速度にかかわらず指示値の平均にはほぼ一定した偏差が現われた。この偏差が海上でも現われるか否かを確認するため、湖で試験を行なうこととした。試験場所は兵庫県加東郡東条町東条湖で、試験期日は昭和 46 年 6 月 11 日である。当日の天候は南々東の風、曇時々雨で、水面にはさざ波が立っていた。

試験方法としては、振動子を湖岸の棧橋に水深 2 m の位置に約 5° 下方に傾けて取付け、超音波パルスを発射し、サンプリング距離 10 通りについて、超音波式速度計指示値を記録し、各サンプリング距離についてデータ数は 60 ~ 160 として平均値、標準偏差を求める方法を採用した。振動子を 5° 傾けた理由は水面および湖底の影響をできるだけ少なくするためである。Fig. 4.2.11 に振動子の取付け状態を、Fig. 4.2.12 および 4.2.13 に湖形状および超音波発射方向を示す。

試験当日、湖の状態は、振動子付近の水面の水はほぼ静止していたが、遠方では流速を他の方法で計測できなかつたので不明である。

試験結果を Table 4.2.7 に示す。この結果により、サンプリング距離が 2.2.5 ~ 3.7.5 m [番号(1)] の場合は平均値が 0.03 Kn、標準偏差が 0.01 Kn であり、仕様の精度 $\pm 0.1 Kn$ 以下に対してほぼ満足できることを示している。サンプリング距離をさらに大きくした例 [番号(2)~(10)] においては、かなりのばらつきが生じている。Fig. 4.2.14 に受信信号を示す。受信信号は 3 つの反射信号 (エコー) からなり最初のエコーはほぼ残響と考えられ、2 番目のエコーは約 6.0 m の距離の所にあるがこれはサイドローブの影響によるものと思われ、3 番目のエコーは約 12.0 m の距離にある湖底からの反射である。したがってサンプリング距離を大きくしてもこの試験では意味がなく

なることになった。

実船試験においては水深が十分に深く海底の影響がないので、サンプリング距離を22.5～37.5 mとした場合と受信信号はほぼ類似すると考えられ、残響レベルの問題だけが残る。これに関しては、入力信号を標準発振器から代用して入れて試験した結果、入力レベルが0 dBまで精度±0.1 Kn 以下で計測可能だったので、理論計算では残響レベルが溝底海水の平均程度ある場合はサンプリング距離70 m程度で対水速度の計測が可能となる。

c) 単独試験の結論

水槽試験においては偏差が-0.1～-0.3 Kn 程度現われた。この原因を水槽の壁と底の影響であると考え、湖においてさらに試験を行なった。

水槽試験結果では比例偏差は殆んどなく、固定偏差が-0.1～-0.3 Kn あったことと、湖での試験では比例偏差は確認できなかったが固定偏差はほぼないという結果がえられたことから、実船試験においては精度±0.1 Kn 以下(1.0 Kn 以下の場合)になると考えられる。

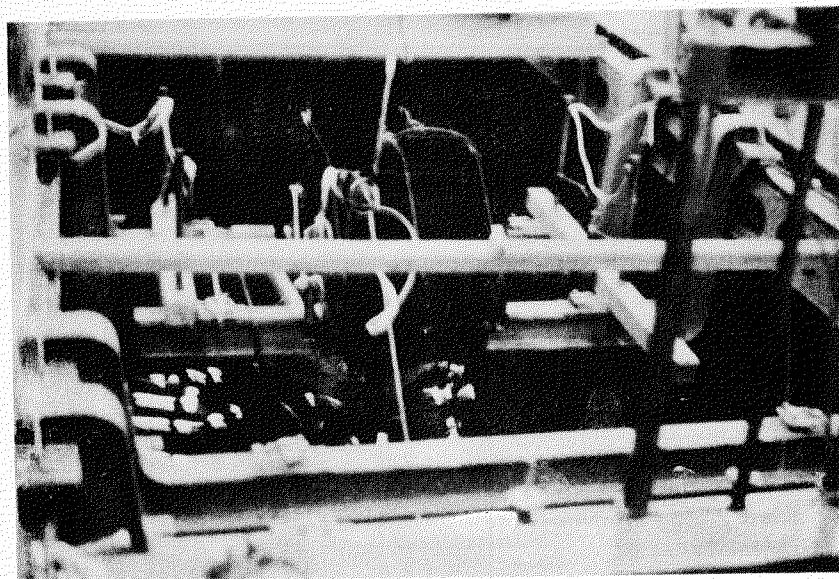


Fig. 4.2.6 Arrangement of Vibrator for Calibration at Towing Tank

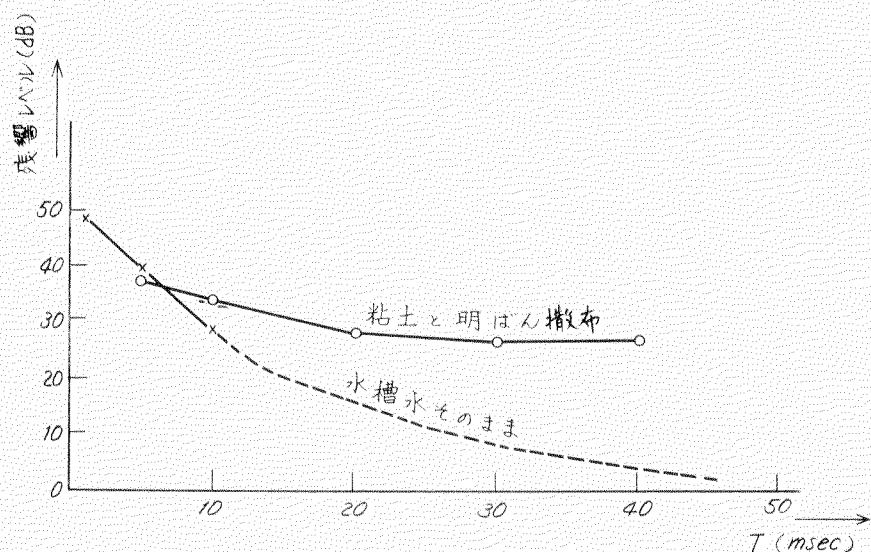


Fig. 4.2.7 Results of Measurements of Echo

Table 4.2.2 Echo Level in Towing Tank, Water

送信後の時間 (ms)	距離 (m)	残留レベル (dB)
1	0.75	48
5	3.75	40
10	7.50	28

Table 4.2.3 Echo Level in Towing Tank, with Clay and Alum

送信後の時間 (ms)	距離 (m)	残留レベル (dB)
10	7.50	34
20	15.00	28
30	22.50	26
40	30.00	26

Table 4.2.4 Water Temperature (°C)

水深(m)	水槽長さ方向の位置 (m)	5	17	30
		17.0	16.5	17.0
0		17.0	16.5	17.0
2		14.0	14.0	14.0
4		12.0	12.0	12.5
6		12.0	12.0	12.0
8		12.0	12.0	12.0

Table 4.2.5 Results of Measurement of Residual Current, near Water Surface

曳引車速度 (m/s)	対水速度 (m/s)	残流流速 (m/s)	前回走行時 曳引車速度 (m/s)
2.000	1.982	-0.018	5.000
2.000	0.988	-0.012	2.000

Table 4.2.6 Results of Calibration of Doppler Sonar Speedometer in Towing Tank

実験番号	曳引車速度		超音波速度計指示値		サンプル数	サンプリング距離(m)
	(m/s)	(Kn)	平均値(Kn)	標準偏差(Kn)		
4 6	0.5	1.0	0.9	0.22	59	22.5~37.5
4 7	1.0	2.0	1.7	0.19	24	"
4 8	1.5	2.9	2.6	0.18	42	"
4 9	2.0	3.9	3.6	0.20	38	"
5 0	2.5	4.9	4.5	0.20	43	"
5 1	3.0	5.9	5.5	0.19	43	"
5 2	4.0	7.8	7.4	0.24	35	"
6 1	0.5	1.0	0.9	0.20	71	62.5~67.5
6 2	1.0	2.0	1.8	0.30	86	"
6 3	1.5	2.9	2.9	0.16	41	"
6 4	2.0	3.9	3.7	0.14	80	"
6 5	3.0	5.9	5.6	0.17	40	"
6 6	4.0	7.8	7.6	0.18	34	"
6 7	5.0	9.8	9.6	0.24	25	"
7 1	5.0	9.8	9.5	0.19	35	37.5~52.5
7 2	2.0	3.9	3.7	0.15	106	"
7 3	1.0	2.0	1.7	0.19	210	"
8 1	1.0	2.0	1.6	0.15	131	22.5~37.5
8 2	2.0	3.9	3.5	0.19	101	"
8 3	4.0	7.8	7.5	0.25	43	"
8 4	6.0	11.7	11.4	0.25	21	"
8 5	1.0	2.0	1.7	0.16	104	52.5~67.5
8 6	2.0	3.9	3.7	0.16	86	"
8 7	4.0	7.8	7.6	0.19	46	"
8 8	6.0	11.7	11.6	0.21	24	"
9 1	0	0	-0.3	0.14	71	22.5~37.5
9 2	0	0	-0.3	0.15	65	37.5~52.5
9 3	0	0	-0.2	0.21	110	52.5~67.5

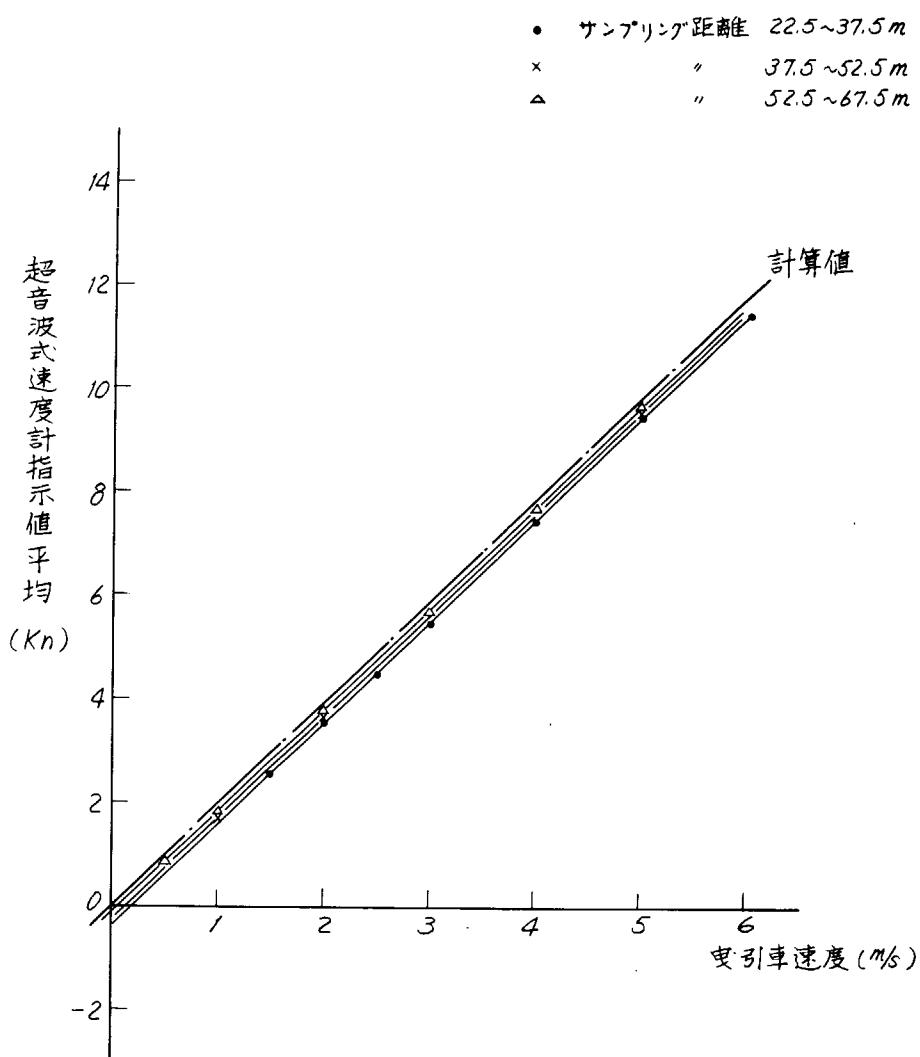


Fig. 4.2.8 Average of Indicated Value of Doppler Sonar Speedometer

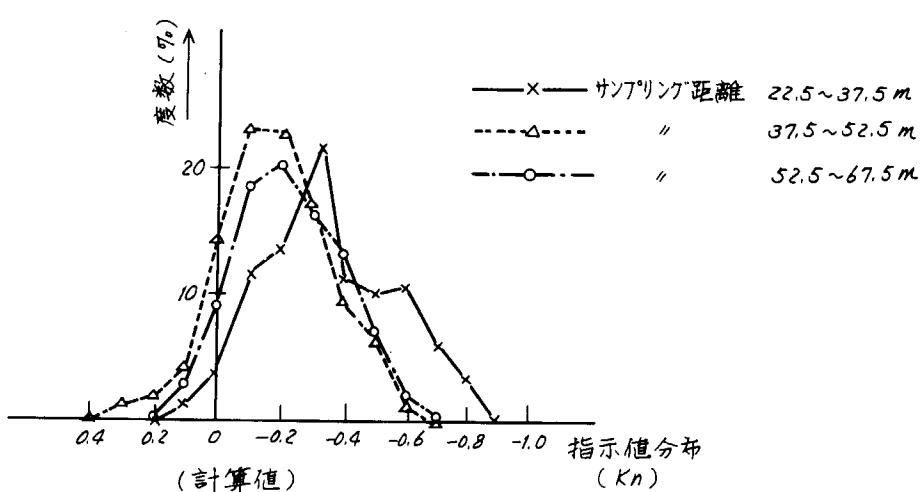


Fig. 4.2.9 Distributions of Indicated Value of Doppler Sonar Speedometer

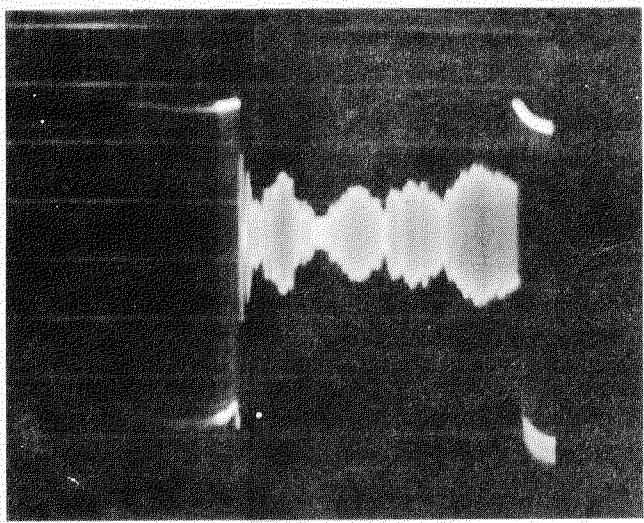


Fig. 4.2.10 Signal Received at Run,
Time Axis 10ms/div,
Amplitude 1V/div, AGC
Voltage 2.1V

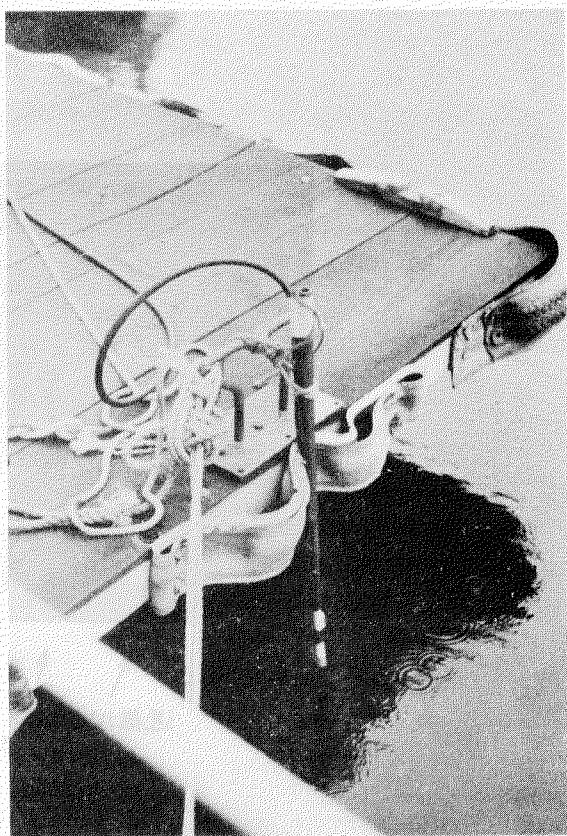


Fig. 4.2.11 Arrangement of Vibrator for
Calibration at Lake

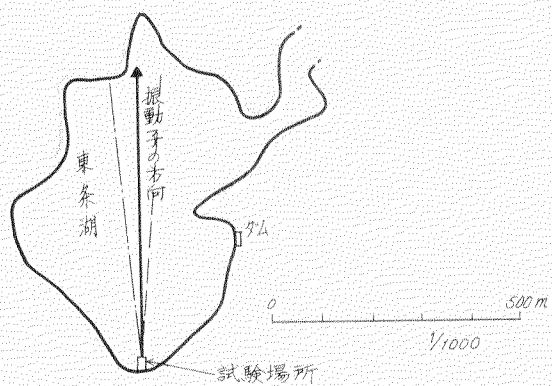


Fig. 4.2.12 Plan of Lake and Direction
of Vibrator

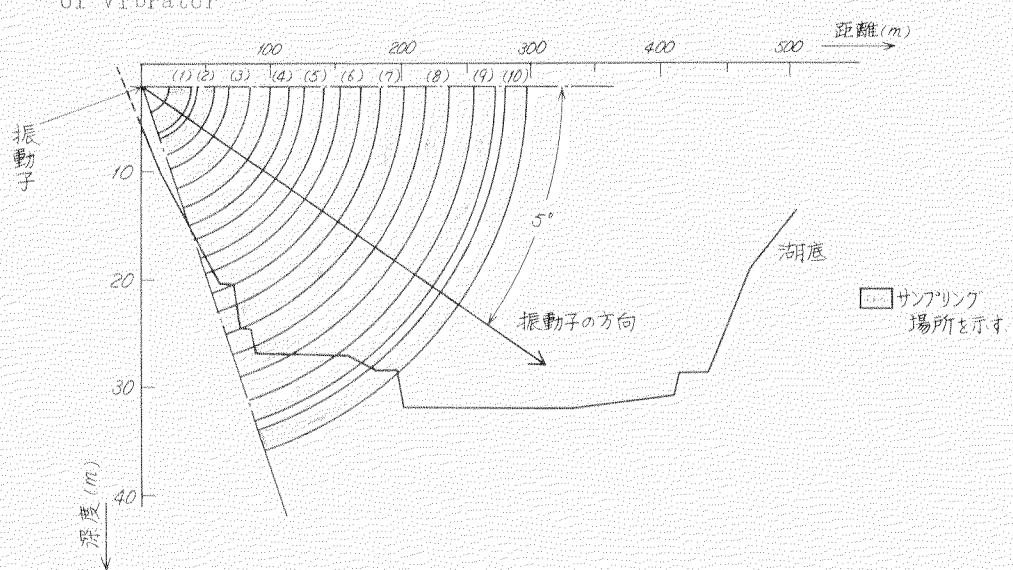


Fig. 4.2.13 Vertical Section of Lake and Direction of Vibrator,
Number in () shows Distance Number of Sampling

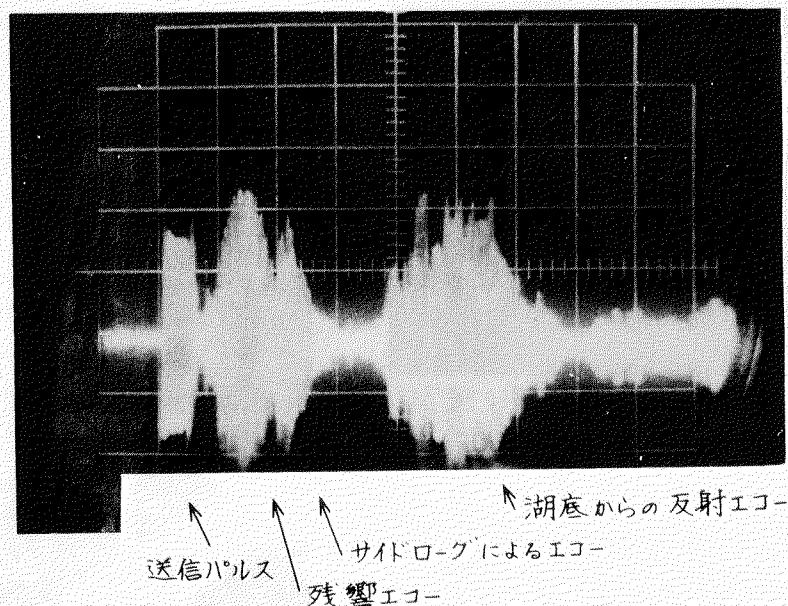


Fig. 4.2.14 Signal Received in Lake

Table 4.2.7 Results of Test of Doppler Sonar Speedometer in Lake

サンプリング距離番号	サンプル数	平均値(Kn)	標準偏差(Kn)
(1)	6.3	0.03	0.01
(2)	6.4	-0.15	0.05
(3)	8.3	-0.21	0.06
(4)	9.3	-0.25	0.23
(5)	8.8	-0.21	0.06
(6)	7.3	-0.26	0.04
(7)	9.9	-0.01	0.01
(8)	9.4	0.26	0.01
(9)	8.2	0.59	0.69
(10)	16.6	0.10	0.17

サンプリング距離番号については Fig. 4.2.13 参照

§ 5 実船試験

5.1 実船試験計画

対水速度計実用化実船試験供試船の主要目はつきのようなものである。

建造所	住友重機械工業㈱		
船主	第一中央汽船㈱	△(満載)	2 0 0,5 7 9 Kt
船名	はんぶとん丸	C B	0.82
船種	撒播兼油運搬船	主機 蒸気タービン	1基
D W	1 6 8,8 5 9 Kt	主機出力	2 8,0 0 0 PS (連続最大)
L p p	2 8 5.0 0 m	航海速力	1 5.4 0 Kn (満載)
B	4 7.4 0 m		
D	2 4.8 0 m		
a (満載)	1 7.6 1 5 m		

本船の公試は昭和46年8月末相模湾で、バラスト状態および満載状態について行なわれ、速度試運転においては、対地速度は安立電波工業㈱製船舶速度測定装置 MARSMEC-ASM2-A (通称電波ログ)により計測される。この速度試運転の主機負荷50%、75%、92% (常用)、および100% (最大出力)における各航走時に電磁式速度計および超音波式速度計について対水速度計実用化実船試験を行なうこととした。

電磁式速度計受感部を St. 6 (FPから114m) の船体中心線から左舷側7.6mの船底に装備するものとし、受感部の船底からの突出量は2重底高さおよび現用測定桿構造の制限により最大突出量1,000mmとし、船橋からの遠隔操作により0から1,000mmの範囲で変えうるよう、電動シリンダ式測定桿自動昇降装置を船底弁上に取付け、船橋に設置した突出量制御器により測定桿を任意の位置に設定できる構造とした。また昇降装置に突出量発信器を取り付け、船橋内には測定桿突出量指示器および速度受信器と電磁オシログラフを設置し、船橋内でその指示値を読み取り出力をアナログ記録し、流速変化の状態も計測できるようにした。

本公試速度試運転各航走時に必要な助走時間は出力整定後約2.5分、助走距離にして約6浬であり、電波ログによる対地速度計測を行なう1浬間の航走時間は4~5分程度である。一方電磁式速度計による計測は、境界層厚さおよび境界層内速度分布を求めるためには、測定桿突出量を5、10、20、30、40、50、60、80、100、150、200、300、500、700、900、1,000mmと16通り変えることが望ましく、しかも電波ログによる公試対地速度計測期間中の境界層外ポテンシャル流平均流速および流速変動状態を求めるため最大突出量1,000mmをその期間維持することが望ましい。速度分布計測時の場合、本電磁式速度計による計測所要時間は1突出量当たり約3.0secであるので、公試対地速度計測時間だけでは計測時間が不足する。したがって電磁式速度計による計測は、助走中電波ログによる対地速度指示値および測定桿最大突出時電磁式速度計指示値を記録し、整定したと認められたならば、突出量を5mmから順次に増し上記の通りに変え、指示値整定後平均値を読み取り2.0秒間程度速度発信器出力の電磁オシログラフ記録を行なう。つぎに電波ログによる公試対地速度計測時間中は測定桿突出量を最大とし、一定時間間隔で流速平均値を読み取るとともに電磁オシログラフにより連続記録をすることとした。

以上のような計測方法でも計測時間が不足する場合もあるかと考え、公試対地速度計測終了後も本船はしばらくは直進することを予定した。

超音波式速度計振動子は船首バルブ前端に前方に向け取付けるものとし、船首から超音波反射水塊までの距離 (サンプリング距離) を40、75、100、150、200mと変え、船橋内に設けたディスプレイ装置に時間間隔1秒ごとに速度を指示させ、各航走時に2分間つつ2回読み取るとともにテープパンチャにより記録することとした。超音波式速度計振動子の没水深度が小さい場合、サンプリング距離を大きくすると海面反射の影響が入り計測精度が悪化するので、バラ

メト状態における計測は参考程度にとどめ、満載状態を本計測に予定した。

電磁式速度計および超音波式速度計による計測時間中は試験結果の検討に資するため、公試記録以外に1分間隔で風向、風速、舵角、横傾斜、主機回転数を本船船橋装備の計器により読み取ることとした。また、本船には北辰電機製作所製圧力式ログが船尾に装備され、バラスト状態公試時では未調整であるが、満載状態のみならずバラスト状態においても1分間隔で船橋の運力受信器指示を読み取り参考にすることとした。本計測時の水温としては、速度試運転中のコンデンサ入口水温計測値を利用することとした。

以上の試験を行なうための準備として、停泊時に電磁式速度計については測定桿突出量指示装置の検定および速度発信器と受信器の同指試験、超音波式速度計については零点確認と残響レベル調査のためサンプリング距離を上記の5通りに変えた試験などを行なうこととした。

なお計器の動作確認と調整、計測方法の検討および修得のため、摺合わせ運転時に電磁式速度計および超音波式速度計による予備計測を行なうこととした。

以上の計測担当を下記に示す。

電磁式速度計………北辰電機 2名

超音波速度計………
古野電気 2名（摺合わせ運転および満載状態時）
東京大学 1名（バラスト状態時）

圧力式ログ
風向、風速、舵角
主機回転数
その他

読み取り記録………東京大学 1～2名
船 研………1名

電磁式速度計および超音波式速度計の装置一式はキャブタイヤケーブルを含め、本試験終了後直ちに撤去し、電磁式速度計船底弁のみ後日、本船が入渠工事で入渠の際に撤去することとした。

5.2 取付け工事

電磁式速度計および超音波式速度計の本船への取付け工事は進水前と入渠中に分けて実施された。進水前の工事は船首システムのBaselineより6.0mの高さに取付けられる振動子の取付け台および振動子から上甲板上の送受波器までのキャブタイヤコードを保護する保護パイプの取付けであり、入渠中は電磁式速度計測定桿用の船底への孔あけおよび船底弁と測定桿昇降装置を取付ける座金の取付け工事等が実施された。また入渠中に振動子～送受信器および送受信器～超音波式速度計本体（海図室内）までのキャブタイヤコードの配線（上甲板上約300m×2本）を行ない、同時にM.2 W. B. T. 内の電磁式速度計速度発信器、昇降装置および突出量発信器から二重底の水密マンホール（開放状態）～上甲板からstoolへ通じる交通トランク～上甲板上～速度受信器、制御器、および突出量指示器（海図室内）間のキャブタイヤコードの配線（約250m×2本）を行なった。

上記の計測機器の配置および配線の概略をFig. 5.2.1～5.2.5に示す。また取付けられた電磁式速度計測定桿、昇降装置、船底弁、振動子、保護パイプの写真をFig. 5.2.6～5.2.8に示す。

以上の工事の工程表をTable 5.2.1に示す。

なお船橋内の計測室として、海図室を電波ログ関係と共に用することとした。

工事全体を通じていえることは次の通りである。

1) 電磁式速度計関係

今回的方法でほぼその目的を達成できる。ただ作業中の計測室とM.2 W. B. T. 内との連絡には電話を利用すべきで、キャブタイヤコード中に電話用の線を余分に組み込んでおけば便利である。

狭いタンク内で船本来の作業と重なると危険なため、十分注意が必要である。

試運転中、M. 2 W. B. T.に立入ることは容易なので、計測室をこの付近に設け配線等を簡素にすることも可能であるが、運転中の状況を把握するには wheel house 内の海図室を計測室とした今回の方針が良かったと思われる。

2) 超音波式速度計関係

工事そのものは簡単であったが、今回の振動子および保護パイプの取付け方法では、破損の危険が大きいので一考を要する。満載状態時、この二者とも破損し計測不能に陥った。保護パイプの破損の原因はパイプを締める金具の間隔が広すぎたこと、振動子破損脱落の原因是不明であるが錨鎖の接触が考えられることなどがあげられ、今後類似の試験を行なう場合この対策を立てる必要がある。

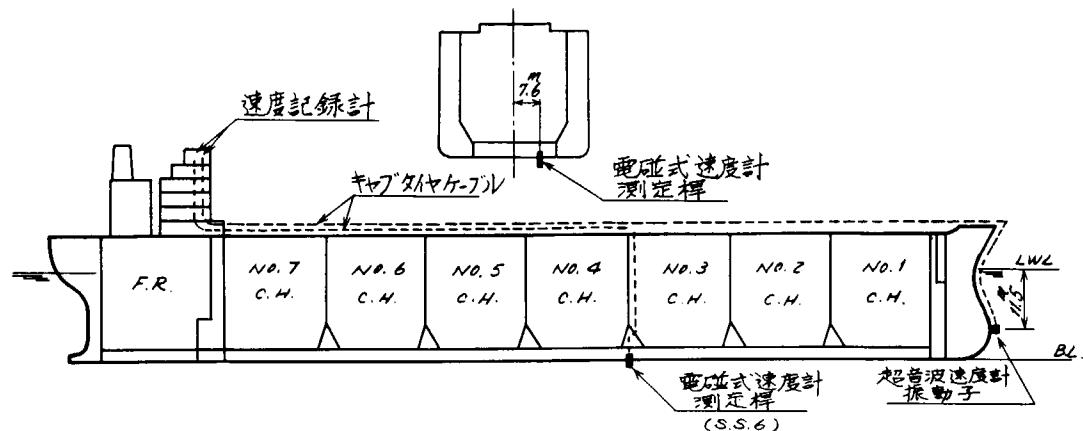


Fig. 5.2.1 Arrangement of Speedometers

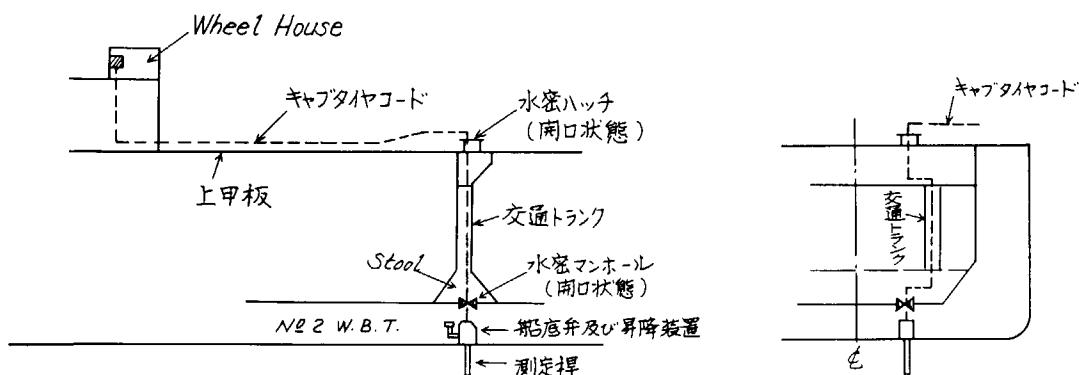


Fig. 5.2.2 Arrangement of Electromagnetic Speedometer

Fig. 5.2.3 Arrangement of Electromagnetic Speedometer

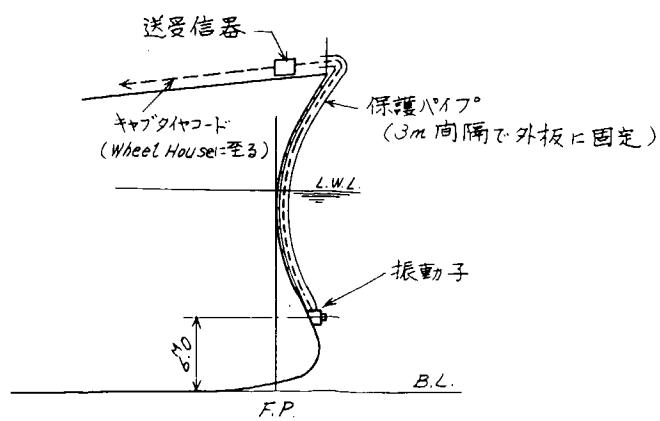


Fig. 5.2.4 Arrangement of Doppler Sonar Speedometer

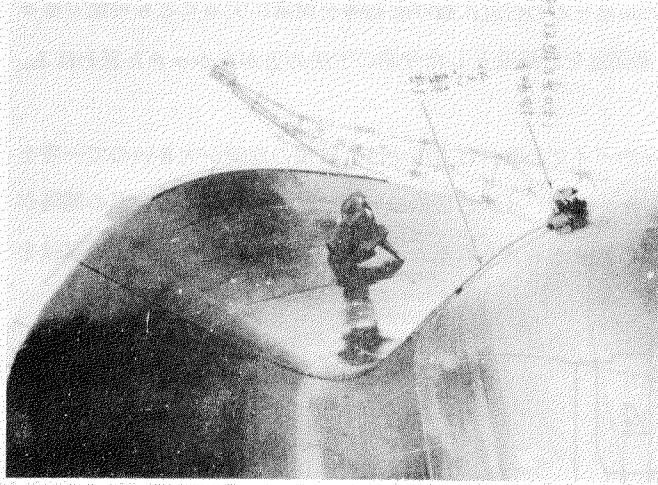


Fig. 528 Vibrator at Bow

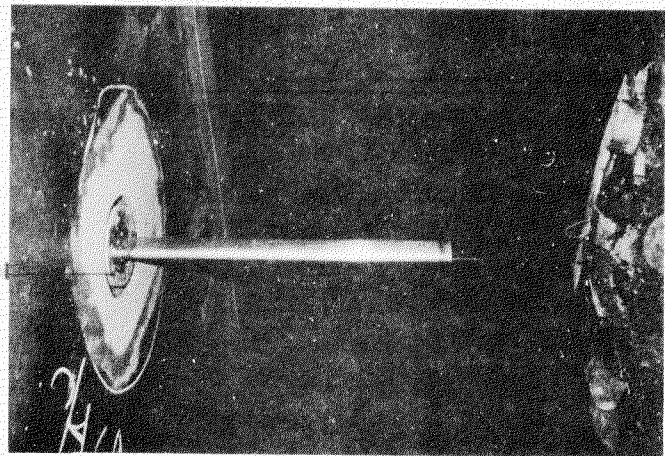


Fig. 527 Sensitive Rod

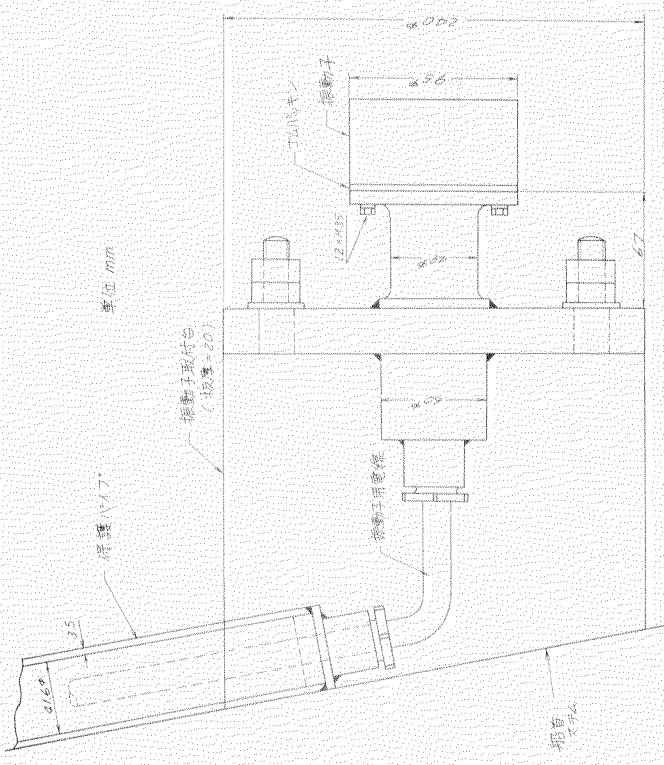


Fig. 525 Arrangement of Vibrator of Doppler
Sonar Speedometer

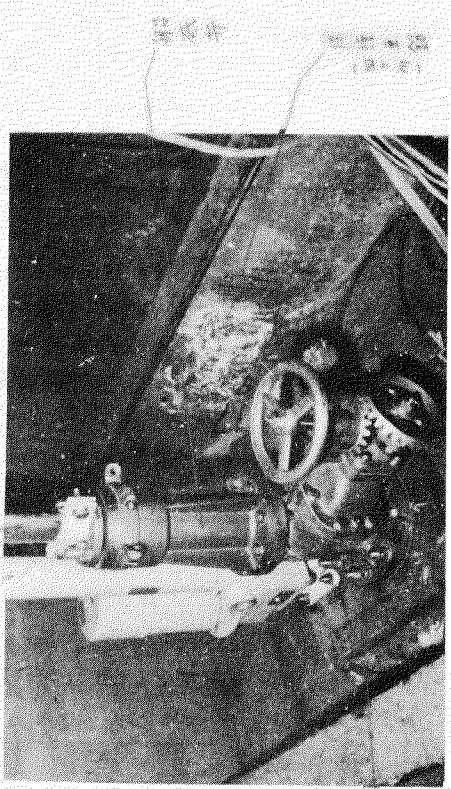


Fig. 526 Bottom Valve and Traverse Apparatus
in No. 2 W.B.T.

Table 5.2.1(a) Process of Fitting of Measuring Apparatus

	電磁式速度計関係	超音波式速度計関係	本船行動
46年 6月26日	装置納入(キヤブタイヤコードを除く)	—	浦賀綫装岸壁
7月1日	M2 W.B.T.へ持込む船底弁関係の部品の仕分け	装置納入(コード、変換器、テープバンチヤを除く)、パイプに付けるグランド納入(郵送)	
11日	北辰3名本船見学、作業打合せ	古野2名、本船見学、作業打合せ	横須賀米軍基地内 Berth M6入渠
12日	北辰2名: 座金取付 船底弁一部取付け(船底の水圧テストのため船底弁を取付け、バルブを閉じ盲蓋をする)	古野2名:保護パイプにグランド溶接、振動子仮付け、振動子～送受信機間のワイヤ配線、結線、本体、コード変換器、テープバンチヤの整備	同上ドックにて接合作業
13日	—	古野2名 送受信機～Bridge間のワイヤ配線及び導通テスト終了	
14日	北辰2名:船底弁、測定桿昇降装置取付け、測定桿の突出量を船底より計測(0位置マーキング)、バルブをあけ桿を船底外板位置まで下げた状態とする。→終了後ビニールカバーにて覆う。	—	
15日	北辰2名:船内への浸水を心配して弁部をかわすまで桿を引上げバルブを閉める。	—	
16日	—	—	出渠→追浜岸壁
20日	キヤブタイヤコード納入	—	
21日	北辰4名 キヤブタイヤコード(Bridge～M2 W.B.T.)の配線、ワイヤの末端処理	—	追浜綫装岸壁
22日	北辰3名 速力発信器～速力指示器の同期試験	—	
8月5日	北辰3名 結線作業、桿の昇降うまくゆかず	—	
6日	北辰3名 桿の昇降テスト、突出量～回転数チェック	—	

Table 5.2.1(b) Schedule of Work

昭和46年6月	10	20	7月	10	20	8月	10	20	9月
<hr/>									
本 船									
浦賀岸壁繫留			結合作業のため入渠			追浜岸壁繫留			摺合せ運転
									第一回公試
									第二回公試
電磁式速度計									
装置納入	部品仕分け	本船底付け等作業	船取付見学等作業	配線等	SR107小委員会	同上	同上	同上	装置撤去
				キャブタイヤコード納入					はしり
超音波式速度計									
装置納入		同上	配線導通テスト		同上	同上	同上	同上	

5.3 実船試験概要

実船試験期日は次の通りである。

昭和46年8月9日	停泊時試験
8月10～12日	摺合せ運転(バラスト状態)
8月16日	停泊時試験
8月18～20日	第1回公試運転(バラスト状態)
8月21～23日	第2回公試運転(満載状態)

試験海域は、停泊時試験においては東京湾内の横須賀沖であり、摺合せおよび公試運転時はすべて相模湾で、公試速度試運転コースは江島沖から伊東沖に至る45°～225°(水深600～1200m)である。

各試験は前記計画に従って行なわれた。その模様の概要は次の通りである。

1) 摺合せ運転

摺合せ運転時を利用して、電磁式速度計および超音波式速度計による予備計測を行ない動作確認、調整、計測手順の検討、練習を行なった。なお、船速は投板により計測した。

その結果、電磁式速度計による全計測を完了するには1往航時間約4分では不足することが判明したので、公試速度試運転においては船速がほぼ整定した頃を見計らって、公試対地速度計測開始以前から計測を開始することに決定した。

また流速変動のため電磁式速度計速度受信器の長針の変動が激しく読み取りにやや困難が感じられたので、応答を遅くし読み取りを容易に調整することにした。投板により計測した船速と電磁式速度計による計測値と対比した結果、本船の境界層厚さは予測値と大幅に相違して厚いと考えられた。

超音波式速度計は振動子に損傷があり、計測不能であった。試験終了後のデバラスト試験時を利用して振動子が水面に出た時点で点検したところ、振動子付近の断線と振動子の欠損が発見されたので、換装した。

2) 第1回公試運転(バラスト状態)

速度試運転当日は海面は平穏であったが、風が強く風速約10 m/sであった。計画に従い電磁式速度計、超音波式速度計とも正規の公試速度試運転時を利用して計測を実施した。投板による船速計測は日中だけ行なった。摺合せ運動の際、電磁式速度計計測結果に低速時の境界層厚さがやや薄いのではないかと思われる傾向があったので、低速時の境界層内速度分布を調べるために、特にプロペラ回転数35.7 rpmおよび20 rpm(dead slow)での計測を追加した。

超音波式速度計については、サンプリング距離を主機負荷50%の時約7.5 mとして計測したところ、計測中一時指示値に負の値が現われるなど甚しい不整を示したので、以後サンプリング距離が小さい場合だけ行なうことにして約6.0 ~ 5.0 mにして計測した。その記録は都合上テープパンチャによる紙テープの穿孔を行なわず、人がディスプレイ上の指示値を読み取って記録することにした。このため一部に読み取りもれ、読み取り誤りが入り、読み取り誤差が入る結果となった。

なお、超音波式速度計の停泊時試験は第1回公試運転前の停泊時に実施した。

3) 第2回公試運転(満載状態)

速度試運転当日は海面は平穏で風は2 ~ 5 m/sであった。

超音波式速度計は何らかの事故により出港以前に振動子に異常が発生したことが判り、計測不能に陥ったので、電磁式速度計のみにより正規の速度試運転時を利用して計測を実施した。今回は計測はすべて夜間であったので投板による船速計測は行なわなかった。

保護パイプ取付け金具の破損により、航走中保護パイプが振れ、システムに衝突し音響を発していた。公試運転終了後の調査では振動子が破損・紛失していた。

計測終了後直ちに測定桿昇降装置を撤去し、船底弁を締め、さらに盲蓋を取り付けて船内への浸水を防いだ。

なお、本船引渡しまでに船底弁を除くすべてが撤去された。船底弁は1年後の入渠工事の際に撤去される予定である。

5.4 試験結果および考察

速度試運転結果をTable 5.4.1および5.4.2に示す。日本造船学会試験水槽委員会の「速度試運転成績標準解析法」により風、潮流修正をしてえた対水速度、風修正を行なって潮流を推定し対地速を潮流の和として求めた対水速度、風修正を行なわずに潮流を推定し対地速度と潮流の和として求めた対水速度計3種をこれらのTableに記載した。参考までに標準解析法により対水速度を求める過程で使われた風、潮流の修正曲線をFig. 5.4.1 ~ 5.4.4に示す。

この海域の海流パターンは複雑で、これに潮流が加わるとさらに複雑となる。このため本船の1回計測点(公試対地速度計測位置)は全航走を通じて必ずしも同一地点ではなかった。バラスト状態時は風が強く、主機出力100%での往復航走における対地速度の差が2 Kn以上あり、試験状態としては良好とはいえないかった。また満載状態では潮流の影響を受け、2 ~ 5°の当舵をとったので、えられた船速は期待したほどのものではなかった。

電磁式速度計による計測結果を風向、風速、舵角、横傾斜、主機回転数、圧力式ログによる速度などの計測結果とあわせてTable 5.4.3に示す。船底極く近傍の計測値に、単独試験結果を利用して船底外板影響の修正を試みたが、良い結果がえられなかっただけでこの修正は行なわず、船底極く近傍の計測値は参考程度とみなすこととした。Fig. 5.4.5に電磁式速度計速度発信器出力の電磁オシログラフ記録例を示す。船底からの距離5.0 ~ 20.0 mm付近では大きな流速変動が認められた。

電磁式速度計計測結果により速度分布を画くとFig. 5.4.6に示すようになる。試験前に予測された境界層厚さは0.7 m程度であったが、今回の試験結果では、すべての例を通じて受感部は境界層外に突出していないと判断される。本船2重底高さおよび現用測定構造による制限から最大突出量を1000 mmとしたが、残念ながら突出量不足であった。この速

度分布から、本船のこの位置における境界層厚さは 1.1 ~ 1.3 m 程度ではないかと想像される。船底からの距離 300 ~ 500 mm 付近では、平板などの境界層と比較すると速度分布形状がやや凹んでいる傾向があり、船首船底の渦が原因かも知れない。この傾向は従来の実船境界層計測結果にも、程度の違いはあっても一般にみられるようである。肥大船ではこの渦が強く、この渦による攪拌のため境界層内の遅い流れが外へもたらされ境界層が厚くなり、予測と大差を生じてしまったとも考えられる。速度分布法則を調べるため、片対数目盛で速度分布を画くと Fig. 5.4.7 に示すようになる。結果全般を通じて船底からの距離 50 ~ 80 mm の位置で傾斜が変化し、外側では傾斜が小さくなっている、2 次元乱流境界層の outer layer で一般にみられる傾向とは逆になっている。また両対数目盛で速度分布を画くと Fig. 5.4.8 に示すようになる。この場合もすべての例を通じて、船底からの距離 50 ~ 80 mm の位置で速度分布傾斜が変化し、速度分布を指数法則で表わすときの指数 $1/n$ が約 $1/5 \sim 1/10$ に変化している。船底から 80 mm 以上離れた位置では指数は $1/8 \sim 1/10$ となり、船底からの距離 200 ~ 500 mm で少し変化している。船底外板影響の修正を行なっていないので船底極く近傍については明確ではないが、船底外板影響を無視できる距離約 80 mm 以上の位置においては、平均の指数は約 $1/9$ になる。しかし、渦の影響と考えられる速度分布の変形により、本試験結果速度分布を指数法則で表わすことは厳密にはできないように思われる。測定桿突出量を最大にして、助走時から公試対地速度計測終了まで、電磁式速度計指示値の平均を一定時間間隔で読み取った結果を Fig. 5.4.9 に示す。同様にして行なっていた電波ログによる対地速度計測結果と対比したところ、潮流変化とそれに対する船体応答の遅れを示すような相違がみられた。

超音波式速度計については本計測は第 2 回公試運転（満載状態）で行なう予定であった。しかし、第 2 回公試運転出港前に振動子が破損したので、実船試験を予定通り行なうことはできなかった。第 1 回公試運転（バラスト状態）時に予備計測を行ないデータが若干えられていたので、計測条件は多少異なるが、超音波式速度計による計測結果を Fig. 5.4.10 に示す。この時の振動子の水深は 2.5 m であった。トリムは 0.70 m で、超音波式速度計指示値に及ぼすトリムの影響は殆んど無視できる。主機負荷 50 % の時はサンプリング距離が過大であったため、速度指示値のはらつきが大きい。ただし、この図では主機負荷 50 % の時は、例えば負の速度など明らかに指示の誤りと認められる値を除いてある。サンプリング距離 50 m 程度の時は指示値のはらつきは小さくなっている。試みにサンプリング距離を 0 ~ 1.5 m 程度にしてみたが、船体の影響のため速度指示値がかなり小さくなり、実用上も計測は意義がないので読み取りは行なわなかった。

本超音波式速度計は、音速が 1500 m/s と違う場合には、速度計指示値に音速修正を行なう必要がある。実船試験においては音速の直接計測は困難であるから、音速に最も影響を及ぼす水温を計測し、塩分について 3.5 ‰ と仮定して音速を計算した。第 1 回公試運転では水温は 24 °C だったので、音速計算値は 1530 m/s となる。本超音波式速度計においては、音速を 1500 m/s としてドップラーシフトを速度に換算しているので、今回の場合 +2.0 % の修正が必要である。この修正を行なった結果を Table 5.4.4 に示す。

超音波式速度計指示値に音速修正を行なった値の真の対水速度に対する精度の検討は、基準となる真の対水速度が不明であるから、殆んど不可能である。試験水槽における単独試験では指示値に比例偏差が殆んど現われなかったこと、湖での試験では固定偏差がなかったことおよび試験水槽での単独試験の時受信信号が固定偏差と同じドップラーシフトを示す周波数で変調されていたが実船試験では、そのような変調は受けていなかったことから、サンプリング距離が大きくなる限りほぼ仕様の精度を満足していたと推定できる。しかし、振動子の水深が 2.5 m であったので、サンプリング距離が 2.9 m 以上になった場合は波の影響が入る可能性がある。この影響は波の状態により異なるが、その程度は未検討である。したがって、この実船試験でえた計測値の精度については波の影響を把握してからでないと明確な結論が下せないと考えられる。

残響レベル計測結果を Fig. 5.4.11 に示す。残響レベルは距離を R とすると $40 \log R$ の曲線に大体のっている。理論的にはこれに吸収減衰の項が加わるが、超音波周波数が 200 kHz の場合 $R = 100 \text{ m}$ では吸収減衰は 10 dB でありデータのはらつきからみて無視できる。この計測結果によると速度計測可能な最大サンプリング距離は約 90 m と考えられる。しかし、この計測場所は東京湾の 1 個所であり、場所が違えば海水中の微小物の量が違い、残響レベルも異なるこ

とが考えられる。第1回公試運転で主機負荷50%の時のサンプリング距離は過大で信号不足であったこと、また相模湾は東京湾より水がきれいで残響レベルが低いことが考えられる。残響レベルはドップラーソナー式の超音波式速度計の計測可能最大サンプリング距離を支配する最も重要なパラメータであり、計測場所を多くとりデータを集めることが望まれる。

以上による速度計測結果をあわせて Table 5.4.5 に示す。ただし電磁式速度計および超音波式速度計による速度計測値は船体の影響による流速変化の修正を行なっていない値である。この結果の傾向を見るため図示すると Fig. 5.4.12 に示すようになる。残念ながら、公試対地速度計測時と測定桿最大突出時と完全には一致できない場合があったので計測の同時性が少し失われた。したがって参考のため電磁式速度計測定桿最大突出時と同一時刻の超音波式速度計および圧力式ログによる計測値も示した。公試対地速度計測時の計測値（ただし、電磁式速度計計測値は完全には同一時刻ではないものを含む）を示す Fig. 5.4.12(a)、と電磁式速度計計測時の計測値を示す Fig. 5.4.12(b) と比較すると Fig. 5.4.12(a) では電磁式、超音波式および圧力式による速度計測値は類似した傾向を示し、ほぼ平行しているのに対し、Fig. 5.4.12(b) では各速度計測値の傾向にかなりの差がある。これは各速度計の指示がかなり変動していたこと、および計測法・計測位置の違いによる対水速度変化に対する遅れの違いがあることにより数秒程度の短時間の平均では不適当であることを示すと考えられる。電磁式および超音波式速度計ならびに圧力式ログによる各計測値が Fig. 5.4.12(a) ではほぼ平行していることから、公試対地速度計測時の対水速度がこのような傾向で各航走時に増減していたものと考えられる。電波ログによる対地速度計測値から解析して算定した対水速度は風の修正をして算定した潮流と対地速度の和としたものが、バласт状態では各対水速度計による計測値に最も傾向が似ている。しかし満載状態ではあまり合わない。満載状態では対地速度から風無修正で算定した潮流と対地速度の和としたものが各対水速度計による計測値に最も傾向が似ている。

Table 5.4.1 Results of Trial, Ballast Condition

NO OF RUNG	LBP B.M.D	285 M	H D	MEASURED	AT PERPENDICULARS	C _b	0.789	PROPELLER	WEATHER	DATE : Aug. 18 1971.	
										SEA COND. DATE OF LAST UNDOCKED	FINE
KIND OF TRIAL	1st official Trial	4.74 M	H D	AFT	9,885M	9,934M	C \otimes	0.992	PITCH	6.40M	Smooth 46. 7 16
PLACE OF TRIAL	Sagami Bay	24.8 M	H D	MIDSHIP	9,250M		S	15,130 m*	PITCH RATIO	0.7805	HIGH TIDE
DISTANCE BET' W POST	1,852M	TRIM BY THE GIEREN	1,389M	SAG	0.01M	HEEL	A \otimes	4,31 m*	IMMERSION	a/D=5.4%	LOW TIDE
		EQUIV. DRAUGHT (CORRECT FOR TRIM & DEFLN)									TIME OF ARRIVAL
		DISPLACEMENT									TIME OF ARRIVAL
KIND OF RUNG	COURSE	WIND	TIME ENTERED MILE POST	TIME BET' W MILE POST	RPM	SHP	SHIPS SPEED (IN KNOTS)	*	**	***	相對風
1/M	225° SE	N.E—3	13:54	24.6.32 SEC	66.2	13,200	14.586	14.49	14.565	14.386	風速(m/s) 風向(°)
2/M	45°	"	15:01	252.03	67.6	14,300	14.284	14.80	14.514	14.644	2.5 p-5° 24.0
3/M	225°	"	16:15	214.46	76.4	20,800	16.786	16.34	16.383	16.266	1.4.0 S-7° "
4/M	45°	"	17:32	230.47	76.4	20,900	15.620	16.34	16.221	16.290	2.0 0° "
5/M	225°	"	18:43	198.69	82.1	25,900	18.119	17.51	17.368	17.289	3.0 p-35° "
6/M	45°	"	19:55	221.12	81.9	25,850	16.281	17.26	17.110	17.221	1.7.0 P-10° "
7/M	225°	"	21:05	194.24	83.9	27,550	18.534	17.65	17.828	17.554	3.0 P-30° "
8/M	45°	"	22:18	218.54	83.4	27,700	14.73	17.47	16.787	17.424	1.9.0 0° "

対水速度* 「速度試運転成績標準解法」により算定した対水速度

対水速度** 「速度試運転成績標準解法」により風を修正して算定した潮流と対地速度の和

対水速度*** 風無修正で算定した潮流と対地速度の和

Table 54.2 Results of Trial, Full Load Condition

DATE : AUG. 21-22, 1971.

TRAILING FIN POSITION	LBP 285 M	LHD 47.4 M	LHD 248 M	AFT	FORE	MEASURED AT PERPENDICULARS	Cb	0.821	PROPELLER	WEATHER		Cloudy	
							Cp	0.825	DIA	820 M	SEA COND. DATE OF UNDOCKED	Smooth	
KIND OF TRIAL	2nd official trial			MIDSHIP	17.51 M	MEAN 17.52 M	C &	0.995	PITCH	6.40 M	LATEST OF HIGH TIDE	46.7 16	
PLACE OF TRIAL	Sugami Bay	TRIM BY THE STERN	-0.02 M	SAG.	0.17 M	HEEL	S	20270 m*	PITCH RATIO	0.7805			
DISTANCE BET'W POST	1,852 M	EQUIV. DRAUGHT (CORRECT FOR TRIM & DEFLN)			17.647 M		A &	834.31 m*	IMMERSION	a/D = 1.46%	LOW TIDE		
		DISPLACEMENT									TIME OF DEPARTURE a		
											TIME OF ARRIVAL D		
X MD OF RUNG	NO OF COUR- SE RUNG	WIND	TIDE	TIME ENTERED MILE POST	TIME BET'W MILE POST	RPM	SHP	SHIP'S SPEED (IN KNOTS)	相對風 電波口夕	* ** ***	水溫 風速 (m/s) 對水速度	風向 (°)	
5.0 %	1/M	225°	S - 1	22:30	270.66°	67.3	14,600	13.301	12.599	1.2401	130.71	5.0	P-15° 24.0
7.5 %	2/M	45°	"	0:04	285.31	67.1	13,960	12.618	12.599	13.381	129.82	11.0	0° "
9.2 %	3/M	225°	"	1:33	236.86	77.0	20,530	15.199	14.658	14.602	148.14	5.0	S- 6° "
10.0 %	4/M	45°	"	3:03	246.04	77.5	20,780	14.632	14.676	15.029	14.947	12.0	S- 5° "
	5/M	225°	"	4:36	224.69	83.0	25,780	16.022	15.807	15.812	5.0	0° "	
	6/M	45°	"	5:55	229.95	82.5	25,590	15.656	15.798	15.778	11.7	0° "	
	7/M	225°	"	8:18	219.48	85.0	28,310	16.402	16.448	16.041	16.322	6.0	S-10° "
	8/M	45°	"	9:43	220.79	85.6	28,220	16.305	16.607	16.975	16.440	10.0	S- 5° "

對水速度 * 「速度試運転成績標準解法」により算定した対水速度

対水速度 ** 「速度試運転成績標準解法」により風を修正して算定した潮流と対地速度の和

対水速度 *** 風無修正で算定した潮流と対地速度の和

Table 5.4.3 Results of Measurement by Electromagnetic Speedometer

計測 日時	測定桿 突出量 (mm)	電磁式 速度計 指示値 (Kn)	全 左 修正値	圧力式 ローラー ^ク 指示値 (Kn)	風 向 (deg)	風 速 (m/s)	舵 角 (deg)	横傾斜 (deg)	主 機 回転数 (r.p.m.)	備 考
846-8-18 13時-22分	1,023	14.2	14.15							
	5	3.9	4.15	(8.2)						(1)載貨状態：バラスト
23	10	5.15	5.30	13.5	13-P	1.9	1-S	+0.2	67	(2)主機負荷： 50 %
	20	6.80	6.95							(3)針 路： 225°
24	31	8.20	8.30	14.8			0.1-S	0	66	(4)突出量 0 mmは電極中心 が14 mm船底表面より 内側に入った状態
25	39	9.0	9.10	14.5	15-P	20	0.2-P	0	66	
26	50	9.9	9.95	14			0.2-S	0	66	
27	60	10.4	10.45	14.3			0.5-S	0	66	
28	90	11.05	11.10	14.2			0.6-S	+0.2	67	
	80	11.0	11.05							
29	100	11.1	11.15	14.5	15-P	1.2	0.6-S	+0.2	67	
	156	11.7	11.7							
30	203	12.0	12.0	14.8			1.4-S	+0.4	66	
	294	12.35	12.35							
31	514	13.20	13.20	14.5	15-P	1.1	0	+0.5	66	
	700	13.70	13.65							
32	900	14.15	14.10	14.5				+0.2	66	
33	1,023	14.30	14.25	14.0				0	66	
34	6	4.05	4.30	14.3			1.0-S	+0.2	67	
35	13	5.4	5.65	15.2			1.0-S	0	66	
36	19	6.40	6.55	14.0			0.5-S	+0.2	66	
37	54	9.70	9.75	14.8	16-P	1.0	0.5-S	0	66	
14時-50分	1,023	14.3	14.25	14.2	0	14.0	0.5-S	+0.2	67	
52	4.5	3.75	4.00	15.2			0	+0.2	68	
54	10	4.8	5.15	13.8	6-S	15.0	0.4-S	+0.2	67	
55	21	6.9	7.00	13.8			0.4-S	-0.2	67	
56	30	8.0	8.10	14.0			0.2-P	0	67.5	
57	39	8.8	8.9	14.1			0.2-P	+0.2	67.5	
	53	9.8	9.85							
58	59	10.1	10.15	13.8	8-S	13.0	0.4-P	0	67.5	
	80	10.55	10.60							
59	98	11.0	11.05	13.8			0.4-P	0	67.5	
15時-00分	156	11.35	11.35	13.8	5-S	13.5	0.2-S	0	67.5	(1)載貨状態：バラスト
	202	11.70	11.70							(2)主機負荷： 50 %
01	304	12.20	12.20	13.6	5-S	13.0	0	0	67.5	(3)針 路： 45°
02	500	13.00	13.00	13.6			0	0	67.5	
										(6)投 板： 14.28 Kn

計測 日時	測定桿 突出量 (mm)	電磁式 速度計 指示値 (Kn)	全 左 修正値	圧力式 ケ 指示値 (Kn)	風 向 (deg)	風 速 (m/s)	舵 角 (deg)	横傾斜 (deg)	主 機 回転数 (r.p.m)	備 考
	700	13.60	13.60							
S.46-8-18 15時-03分	900	14.15	14.10	14.4	7-S	14.0	0	-0.2	67.5	
0 4	1,023	14.35	14.30	14.2			0	-0.2	67.5	
16時-01分	1,023	16.4	16.3		15-P	3				(1)載貨状態：バラスト
0 5	5	4.2	4.45	16.2			0.2-P	0	75.5	(2)主機負荷： 75%
0 4	10	5.4	5.65	16.2	10-P	1.5	0.2-P	0	75.5	(3)針 路： 225°
	21	7.8	7.9							
0 5	30	9.4	9.45	16.5	15-P	3.0	0.8-S	0	75.5	
0 6	40	10.3	10.35	15.8			0.2-P	0	75.0	
	50	11.15	11.15		12-P	3.0				
0 7	60	11.7	11.7	16.8			0.2-P	0	76	
	81	12.1	12.1							
0 8	100	12.5	12.5	16.5	15-P	3.5	0.4-P	+0.2	76	
0 9	150	12.95	12.95	16.6	12-P	4.0	0.4-P	-0.2	76	(6)投 板： 16.9 Kn
	200	13.5	13.5							
1 0	300	14.05	14.00	16.5	10-P	2.9	0	+0.2	76	
1 1	500	14.75	14.65	16.4	5-P	3.0	0.2-P	0	76	
	700	15.5	15.40							
1 2	908	16.05	16.00	16.6			0.8-P	-0.2	76	
1 3	1,023	16.4	16.3	15.8	0	2.5	0.2-S	-0.2	76	
1 4	5	4.25	4.5	16.8			0.5-P	-0.2	75.5	
1 5	10	5.35	5.6	16.5	10-S	2.0	0.5-P	+0.2	76	
1 6	38	10.2	10.25	16.4			0.2-P	0	76	
1 7	51.5	11.15	11.20	16.6	0	2.5	0.2-P	0	76	
	98.5	12.40	12.40							
1 8	200	13.50	13.50	17.0	7-S	2.0	0.2-P	0	76	
17時-17分	1,023	16.1	16.0	16.8	5-S	14.5	0.4-S	-0.2	76	(1)載貨状態：バラスト
1 9	5	4.15	4.4	15.8			0.2-S	-0.2	76	(2)主機負荷： 75%
2 0	11	6.4	6.55	16.00	0	14.0	0.2-S	-0.2	75.5	(3)針 路： 45°
	21	7.7	7.8							
2 1	30	8.9	9.0	15.8			0.2-S	-0.2	75.5	
2 2	42	10.3	10.35	15.6	5-S	15.0	0.1-S	0	76	
	50	11.5	11.1							
2 3	61	11.4	11.4	15.6	5-S	15.0	0.8-S	0	76	
2 4	81	11.9	11.9	16.0	5-S	14.0	0.8-S	0	76	
	100	12.2	12.2							
2 5	151	12.6	12.6	15.5	3-S	15.0	0.2-P	0	75	(6)投 板： 17.06 Kn

計測 日時	測定桿 突出量 (mm)	電磁式 速度計 指示値 (Kn)	全 左 修正値	圧力式 ローラー ^タ 指示値 (Kn)	風 向 (deg)	風 速 (m/s)	舵 角 (deg)	横傾斜 (deg)	主 機 回転数 (r.p.m)	備 考
	200	1285	1285							
S46-8-18 17時-26分	302	13.65	13.60	16.4	3-S	15.0	0.2-P	0	76	
	500	14.5	14.45							
27	712	15.0	14.95	15.8	3-S	15.0	0.2-P	0	76	
	896	15.5	15.45							
28	1,023	15.85	15.75	16.2	0	15.0	0.2-P	0	75	
31	5.5	4.15	4.40	15.6	0	16.0	0.4-P	0	75	
	10	5.3	5.55							
32	20	7.3	7.40	15.8			0.2-P	0	75.5	
33	30	9.0	9.10	15.8			0.2-P	-0.2	75.5	
34	43	0.3	10.35	15.5			0.2-S	-0.2	75.5	
	60	11.2	11.25							
35	80	11.75	11.75	15.5			0.1-S	0	75	
	116	11.9	11.9							
36	153	12.45	12.45	15.4			0	0	75	
	230	13.00	13.00		5-R	17				
18時-30分	1,023	17.4	17.30	17.6			1.2-P	+0.2	81	(1)積貨状態：バラスト (2)主機負荷： 9.2 % (3)針 路： 225 °
33	5	4.3	4.55	17.4	30-P	3.0	0.2-P	+0.2	81.5	
34	10	5.45	5.70	17.8			0.2-P	0	81.0	
35	20	8.0	8.10	18.0	35-P	3.0	0.4-P	0	81.0	
36	30	9.75	9.80	17.8			0.8-P	0	82.0	
	40	11.0	11.05							
37	50	11.85	11.85	17.5			0.8-P	0	81	
38	60	12.85	12.85	17.3	30-P	2.5	0.8-P	0	81	
39	80	13.05	13.05	17			0.8-P	0	81.5	
40	101	13.15	13.15	17	25-P	3.0	0.8-P	0	81.5	
	152	13.90	13.85							
41	200	14.25	14.20	17.4			0.8-P	0	81	
	302	14.85	14.80							
42	496	15.60	15.55	17.8	35-P	3.5	1.0-P	0	81	
	700	16.50	16.40		35-P	3.5				
43	908	17.00	16.90	16.3			1.0-P	0	82	
44	1,023	17.25	17.15		38-P	3.0	0.2-S	+0.2	82	
46				17.4	45-P	2.0	0.2-P	+0.2	82	
19時-48分	1,023	17.0	16.90	17	5-S	16	0.1-P		81	(1)積貨状態：バラスト (2)主機負荷： 9.2 % (3)針 路： 45 °
	50	5	4.4	4.65	16.5		0.2-S		81	
	10	555	5.80							

計測 日時	測定桿 突出量 (mm)	電磁式 速度計 指示値 (Kn)	全 左 修正値	圧力式 ローブ 指示値 (Kn)	風 向 (deg)	風 速 (m/s)	舵 角 (deg)	横傾斜 (deg)	主 機 回転数 (r.p.m)	備 考
846-8-18 19時-51分	21	8.0	8.10	17.4	10-S	17	0.2-P		81	
	52	31	9.6	9.65	17.0			0.2-P	81	
	53	40	10.7	10.75	16.2			0.2-P	81	
		51	11.5	11.5						
	54	61	12.2	12.2	17.5	13-S	17	0.2-S	81	
		80	12.6	12.6						
	55	102	13.0	13.0	17.4	12-S	17.5	0	81	
		153	13.35	13.35						
	56	200	13.80	13.75	17.4			0	81	
		300	14.3	14.25						
	57	506	15.05	15.00	16.4			0.2-P	81	
		712	15.80	15.70						
	58	896	16.40	16.30	17.0	10-S	18	0.2-P	84	
	59	1,023	16.65	16.55	18.2	0	19	0.2-P	83	
20時-58分	1,023	17.8	17.7	17.0	50-P	1.5	0.2-P		84	
21時-00分	5	4.2	4.45	18.4				1.2-P	84	
		10	5.65	5.85						
		20	8.10	8.20						
	01	32	10.2	10.25	17.2	40-P	1.0	0.4-S		83
		40	11.0	11.05						
	02	50	12.05	12.05	17.5			0.4-S		83
	03	60	12.65	12.65	17.4	50-P	1.5	0.2-P		84
		78	13.15	13.15						
	04	100	13.55	13.50	17.4			0.2-I		83
		152	14.15	14.10						
	05	200	14.60	14.55	17.6			0.2-S		84
		302	15.2	15.15						
	06	500	16.15	16.05	17.8			0.5-S		83
	07	700	16.80	16.70	17.5	45-P	1.5	0.2-S		83
		904	17.45	17.35						
	08	1,023	17.80	17.70	17.8			0.2-P		84
	09				17.6	40-P	0	0		83
	10				17.8	30-P	1.0	0.2-S		84
	11				18.2			0.5-S		84
	12				18.0			0.2-S		83
	13				18.0	40-P	3.0	0		84
22時-00分	1,023	17.2	17.1	17.4				0.5-P		84

(1)載貨状態：バラスト

(2)主機負荷：100%

(3)針 路：225°

(1)載貨状態：バラスト

計測 日時	測定桿 突出量 (mm)	電磁式 速度計 指示値 (Kn)	全 左 修正値	圧力式 口 指示値 (Kn)	風 向 (deg)	風 速 (m/s)	舵 角 (deg)	横傾斜 (deg)	主 機 回転数 (r.p.m)	備 考
S46-8-18 22時-02分	5	4.4	4.65	17.0			0.2-P		83	(2)主機負荷：100%
	10	5.5	5.75							(3)針 路： 45°
03	20	7.8	7.90	17.2			0.4-P		83	
04	31	9.55	10.00	16.6			0.8-P		83	
	40	10.90	10.95							
05	50	11.45	11.45	17.4			0.8-P		83	
06	62	12.25	12.25	17.0			0.6-P		83	
	80	12.80	12.80							
07	100	13.15	13.15	17.5			0.4-P		83	
08	150	13.50	13.50	17.0	0	18	0.2-P		83	
	200	13.85	13.80							
09	300	14.40	14.35	17.4	0	20	0.8-P		83	
10	500	15.25	15.20	17.0	0	19	0.8-P		83	
	700	16.10	16.00							
11	900	16.60	16.50	17.0	0	20	1.0-P		83	
12	1,023	17.00	16.90	17.4			1.2-P		83	
S46-8-19 10時-40分	1,023	6.2	6.45							(1)載貨状態：バラスト
42	5.5	1.95	2.10	6.2	10-R	14.0	0.5-S	-0.2	37	(2)主機負荷： 30%
	10	2.30	2.45							(3)針 路：
43	20	3.0	3.20	6.4			0.5-S	-0.2	37	バラスト 低旋回試験
44	38	3.40	3.60	6.6			0.5-S	-0.2	37	
45	40	4.05	4.50	6.4			0.2-P	-0.2	36	
	50	4.35	4.60							
	60	4.65	4.90							
46	80	4.85	5.10	6.4	10-R	14.0	0.6-P	-0.2	36	
47	102	5.10	5.35	6.8			0.6-P	-0.2	36	
48	150	5.40	5.65	6.6			0.6-P	-0.2	37	
49	201	5.50	5.75	6.6	10-R	13.0	0.2-P	-0.2	37	
	302	5.80	6.00							
50	500	6.15	6.35	6.4	10-R	13.5	0	-0.2	37	
51	700	6.60	6.75	6.5	10-R	14.0	0.2-S	-0.2	37	
52	900	7.0	7.10	6.8			0.2-S	-0.2	37	
53	1,023	7.12	7.22		0	13				
13時-23分	1,023	2.8	3.00							低速時
	5	0.97	1.03							
	11	1.23	1.33							
	20	1.42	1.52							

計測 日時	測定桿 突出量 (mm)	電磁式 速度計 指示値 (Kn)	全 左 修正値	圧力式 ローラー ^グ 指示値 (Kn)	風 向 (deg)	風 速 (m/s)	舵 角 (deg)	横傾斜 (deg)	主 機 回転数 (r.p.m)	備 考
	30	1.83	1.98							
	40	2.00	2.15							
	50	2.13	2.28							
	61	2.35	2.50							
	80	2.50	2.65							
	101	2.56	2.76							
	150	2.57	2.77							
	201	2.81	3.01							
	300	2.92	3.12							
	500	3.14	3.34							
	700	3.29	3.49							
	900	3.45	3.65							
	1,023	3.5	3.70							
	42	2.35	2.50							
	80	2.63	2.78							
	150	2.85	3.05							
	500	3.25	3.45							
S46-8-21 19時-27分		12.5	12.5							
29	5	3.9	4.15	12.2	15-P	11	1.2-P	-1	66	(1)載貨状態：満載 (2)主機負荷：50% (3)針 路：225°
	10	4.7	4.95							
30	20	6.2	6.35	12.2			1.8-P	0	66	
31	30	7.35	7.45	12.6	10-P	12	1.5-S	0	67	
	40	8.1	8.20							
32	50	8.7	8.80	13.2			1.8-S	0	66	
33	60	9.2	9.25	12.8			0	0	66	
	81	9.5	9.55							
34	100	9.7	9.75	12.4			0.8-P	0	66	
	150	10.0	10.05							
35	200	10.4	10.45	12.8			0.2-P	0	67	
36	300	10.7	10.75	12.8			1-S	0	66	
37	500	11.5	11.5	12.4			0.5-P	0	66	
38	705	12.3	12.3	13			0.8-P		67	
39	900	12.7	12.7	13.4			0.8-P		67	
40	1,023	12.9	12.9	13.2			0.8-P		67	
41				12.4	15-P	12	0.8-P		66	
20時-47分	1,023	13.4	13.4				1.4-P	0	67	(1)載貨状態：満載 (2)主機負荷：50%
49	5	4.1	4.35	14	35-S	5	1.4-P	-0.2	67	

計測 日時	測定桿 突出量 (mm)	電磁式 速度計 指示値 (Kn)	全左 修正値	圧力式 ログ 指示値 (Kn)	風 向 (deg)	風速 (m/s)	舵 角 (deg)	横傾斜 (deg)	主機 回転数 (r.p.m)	備 考
	11	5.0	5.25							(3)針 路: 45°
S 46-8-21 20時-50分	20	6.55	6.70	13.8			0.5-P	0	67	
	30	7.60	7.70							
5 1	41	8.60	8.70	13.5			0.6-P	0	67	
	50	9.0	9.10							
5 2	60	9.3	9.35	13.6	30-S	5	1.4-P	0	66	
	80	9.8	9.85							
5 3	100	10.0	10.05	13.9			1.4-P	0	67	
	149	10.6	10.65							
5 4	203	10.85	10.90	13.2	30-S	5	1.4-P	0	67	
5 5	300	11.15	11.20	13.2			0.6-S	0	67	
	500	12.00	12.00							
5 6	700	12.6	12.6	13.4	30-S	5	1.2-P	0	67	
	900	13.1	13.1							
5 7	1,023	13.2	13.2	13.4	35-S	5	0.2-P	0	67	
22時-10分										(1)載貨状態: 満載
2 8	5	3.75	4.00	12.9			3-S	0	67	(2)主機負荷: 50%
2 9	10	5.65	5.85	13.2			0.8-S	0	67	(3)針 路: 225°
	21	6.20	6.35							
3 0	30	7.2	7.30	12.8	15-P	9	0.5-P	0	67	
	40	8.25	8.35							
	50	8.90	9.00							
3 1	63	9.30	9.35	12.8			0.8-P	0	67	
	82	9.70	9.75							
3 2	100	9.80	9.85	12.8	15-P	9	1.8-S	0	67	
3 3	155	10.2	10.25	13			0.2-P	0	67	
	202	10.8	10.85							
3 4	308	11.0	11.05	13.4			0.4-P	0	67	
	500	11.65	11.65							
	714	12.20	12.20							
3 5	920	12.60	12.60		12-P	8				
3 5	1,023	12.88	12.88							
23時-38分		13.0	13.0							(1)載貨状態: 満載
4 4	6	4.0	4.25							(2)主機負荷: 50%
4 5	10	4.65	4.90							(3)針 路: 45°
	20	6.10	6.30							
4 6	30	7.35	7.45							

計測 日時	測定標 突出量 (mm)	電磁式 速度計 指示値 (Kn)	全 左 修正値	圧力式 ローラ 指示値 (Kn)	風 向 (deg)	風 速 (m/s)	舵 角 (deg)	横傾斜 (deg)	主 機 回転数 (r.p.m)	備 考
S46-8-21 23時-47分	40	8.05	8.15							
	50	8.9	9.00							
48	60	9.35	9.40							
50	100	9.80	9.85							
51	80	9.70	9.75							
52	151	10.4	10.45							
	201	10.7	10.75							
53	300	11.15	11.20							
	500	11.7	11.7							
54	720	12.2	12.2							
	900	12.85	12.85							
55	1,023	13.05	13.05	13			0.2-S		67	
56				12.8	15-P	9	1.5-P		67	
57				13.4			0.5-S		67	
58				13.2			0.5-P		67	
59				13			0.2-P		67	
S46-8-22 00時-00分				12.8	0	9	0.2-P		67	
1				13			2.8-S		67	
2				13.4			1.2-P		67	
01時-03分		14.8	14.75							
30	5	4.4	4.65	15	4-S	5	0.5-P	±0.5	76	
	10	5.5	5.75							
31	20	7.15	7.25	15			0.5-P	±0.5	77	
32	30	8.4	8.50	15.2			1.6-P	-0.5	76	
	40	9.4	9.45							
	50	10.05	10.10							
33	60	10.3	10.35	15.4	10-S	5	1.6-S	0	77	
	81	10.9	10.95							
	102	11.3	11.3							
34	150	12.10	12.10	15.4			0.5-P	0	76.5	
35	200	12.25	12.25	15.4			1.8-S	0	77	
	300	13.10	13.10							
36	496	13.3	13.3	15.4			1.6-P	0	76.5	
	711	14.0	13.95							
	900	14.65	14.60							
37	1,023	14.95	14.90	15	5-S	5	1.5-S	0	77	
02時-29分		14.70	14.65							

(1)載貨状態：満載

(2)主機負荷：7.5%

(3)針 路：225°

(1)載貨状態：満載

計測 日時	測定桿 突出量 (mm)	電磁式 速度計 指示値 (Kn)	全 左 修正値	圧力式 ローブ 指示値 (Kn)	風 向 (deg)	風 速 (m/s)	舵 角 (deg)	横傾斜 (deg)	主 機 回転数 (r.p.m)	備 考
S46-8-22 02時-54分	5	4.45	4.70	14.6	10-S	12	0.8-P	0	76	(2)主機負荷：75% (3)針 路：45°
	10	5.5	5.75							
55	21	7.3	7.40	15.0			1.4-S	0	76.5	
56	30	8.55	8.65	15	10-S	12	2.4-P		76.5	
	40	9.3	9.40							
57	50	10.1	10.15	15			0.4-P		76.5	
	61	10.7	10.75							
58	80	11.0	11.05	14.2			0.8-S		77	
	100	11.1	11.15							
59	150	11.8	11.8	15			0.8-S		76	
	200	12.1	12.1							
03時-00分	304	12.65	12.65	14.8	5-S	12	2.5-P		76	
	500	13.3	13.3							
01	700	14.2	14.15	14.6			1.5-S		76.5	
02	900	14.6	14.55	15.2			2.2-P		76	
03	1,023	14.7	14.65	15.2	3-S	12	0.8-S		77	
04				15			2.2-P		76	
05				15.4	2-S	12	0.5-S		76	
06				15	5-S	12	3.2-P		76.5	
03時-45分		15.9	15.85							(1)載貨状態：満載
04時-26分	5	4.85	5.10	16			2.2-P		82.5	(2)主機負荷：92% (3)針 路：225°
27	10	6.9	7.00	16.2	0	5	3.4-P		82.5	
28	20	7.65	7.75	15.8			1.4-P		82.5	
29	30	9.20	9.25	15.8			0.6-P		82.5	
30	40	10.10	10.15	16	0	5	1.2-P		82.5	
31	50	10.65	15.6	15.6			1.4-P		82.5	
32	60	11.00	11.05	15.8			2.4-P		82.5	
33	80	11.50	11.50	15.8			2.0-P		83	
34	101	12.10	12.10	16			1.6-S		82.5	
35	150	12.70	12.70	16.4	0	5	0.6-P		82	
36	200	12.95	12.95	16.6			1.8-P		82	
37	300	13.40	13.40	16.4			0.8-P		82.5	
38	510	14.50	14.45	16.2			0.2-P		82.5	
39	703	15.10	15.05	16			0		82	
40	908	15.70	15.65	16.4	5-L	5	0.2-P		82	
41	1,023	15.90	15.85							
05時-30分		15.6	15.55	15.8	5-S	11	1.2-P		82	(1)載貨状態：満載

計測 日時	測定桿 突出量 (mm)	電磁式 速度計 指示値 (Kn)	全 左 修正値	圧力式 口 グ 指示値 (Kn)	風 向 (deg)	風 速 (m/s)	舵 角 (deg)	横傾斜 (deg)	主 機 回転数 (r.p.m)	備 考
S46-8-22 05時-32分	5.5	4.5	4.75	15.2			52-P		82	(2)主機負荷：9.2%
33	10	5.7	5.95	15.4	5-S	11	0.4-S		82	(3)針 路：45°
34	21	7.55	7.65	15.5			1.4-P		82	
35	30	9	9.10	15.8			1.4-P		82	
36	40	10	10.05	16.2	5-S	11.5	1.2-P		82	
37	50	10.6	10.65	16.2			1.2-P		82	
38	60	11	11.05	16.2			1.2-P		88	
39	80	11.75	11.75	15.8	5-S	11.5	1.2-P	-0.4	82	
40	100	11.9	11.9	15.8			3-P		81	
41	150	12.65	12.65	15.2			3.2-P		82	
42	200	12.95	12.95	16			3.2-P		82	
43	300	13.6	13.6	16.5			1-P		82	
44	515	14.35	14.40	16.4			3.2-P		82	
45	810	15.05	15.00	16.2			0.5-P		82	
46	900	15.45	15.40	15.5	0	12	0.2-P		82	
47	1,023	15.60	15.55	16.2			0.2-P		82	
07時-46分		16.2	16.10							(1)載貨状態：満載
08時-03分	5	4.8	5.05	16.4	15-S	6	1.6-S	-0.4	84	(2)主機負荷：100%
	11	5.9	6.10							(3)針 路：225°
04	20	7.6	7.7	16.4			1.8-P	-0.4	84.5	
	30	9.4	9.45							
05	40	10.4	10.45	16.4			0.4-P	-0.4	84.5	
	50	10.8	10.85							
06	60	11.4	11.4	16.4			0.2-P	-0.4	84.5	
	80	12.0	12.0							
07	100	12.35	12.35	16.6	12-S	6	1.2-P	-0.4	84.5	
	150	12.7	12.7							
08	200	13.35	13.35	16.4			1.8-P	-0.4	84	
	300	13.75	13.70							
09	500	14.50	14.45	16.4	15-S	6	1.8-P	-0.2	84	
	700	15.25	15.20							
10	900	16.05	16.00	16.6			1.9-P	0	84	
	1,023	16.15	16.05							
11				16.4			1.8-P	0	84.5	
12				16.4			1.8-P	-0.2	84.5	
13				16.8	10-S	6	1.8-P	-0.2	84	
14										

計測 日時	測定桿 突出量 (mm)	電磁式 速度計 指示値 (Kn)	全 左 修正値	圧力式 グローブ 指示値 (Kn)	風 向 (deg)	風 速 (m/s)	舵 角 (deg)	横傾斜 (deg)	主 機 回転数 (r.p.m)	備 考
S46-8-22 08時-15分										
16										
17				16.5			1.2-P	-0.4	84.5	
18				16.4	13-S	6	2.4-P	-0.2	84	
09時-00分		16.35	16.25							
23	5	4.95	5.20	16.8	7-P	12	0.8-P	0	84.5	
	10	6.05	6.25							
24	20	7.8	7.9	15.8			0	-0.2	84.5	
	30	9.5	9.55							
25	40	10.5	10.55	16.6	5-P	11	1.4-S	-0.2	84.5	
	50	11.1	11.15							
26	61	11.4	11.4	16.6			0	-0.2	84.5	
	80	12.1	12.1							
27	100	12.6	12.6	16.4			2.8-P	0	84.5	
	150	12.8	12.8							
28	203	13.3	13.3	16.6			0.8-S	0	84.5	
	300	14.1	14.05							
	500	14.9	14.85							
29	710	15.6	15.55	16.2	5-P	11	0.6-P	-0.2	84.5	
	900	16.05	15.95							
	1,023	16.20	16.15							

(1)載貨状態：満載

(2)主機負荷：100%

(3)針 路： 45°

Table 5.4.4 Results of Measurement by Doppler Sonar Speedometer

主機の負荷	航走番号	水温 °C	超音波式速度計による速度		サンプリング距離 (m)	サンプリング距離調整つまり位置	備考
			指示値平均 (Kn)	修正値 (Kn)			
50%	1/M	24	---	---	75	3.0	サンプリング距離过大により計測値不整
	2/M	"	12.31	12.56	75	3.0	同上
75%	3/M	"	15.93 (16.04)	16.25 (16.32)	60	2.5	
	4/M	"	15.55 (15.55)	15.86 (15.86)	60	2.5	
92%	5/M	"	16.92 (16.94)	17.26 (17.28)	50	2.4	
	6/M	"	16.65 (16.50)	16.98 (16.83)	50	2.4	
100%	7/M	"	17.29 (17.22)	17.64 (17.57)	60	2.5	
	8/M	"	16.57 (16.45)	16.90 (16.78)	50	2.4	

註 上欄速度値は公試対地速度計測中の平均、下欄()内速度値は電磁式速度計測定桿最大突出計測時と同一時刻の値

Table 5.4.5 Results of Measurements by Various Speedometer

計測日時	電波ログ		投板速度 (Kn)	電磁式速度計 (Kn) (修正値)	超音波式速度計 (Kn)	圧力式ログ (Kn)	載貨状態	主機負荷 (%)	針路 (deg)	備考
	対地速度 (Kn)	対水速度 (Kn)								
	風修正	風無修正								
S46-8-18 13時-33分	14.586	14.565	14.386	14.96	14.25	14.4 (14.0)	バラスト	50	225	(1)速度計測単位: Kn
15-04	14.284	14.514	14.644	14.28	14.30	14.0 (14.2)	"	50	45	
16-13	16.786	16.383	16.266	16.90	16.30	16.25 (16.32)	16.5 (15.8)	"	75	225
17-28	15.620	16.221	16.290	17.06	15.75	15.86 (15.86)	15.8 (16.2)	"	75	45
18-44	18.119	17.368	17.289		17.15	17.26 (17.28)	17.4 (17.1)	"	92	225
19-59	16.281	17.110	17.221		16.55	16.98 (16.83)	17.1 (17.0)	"	92	45
21-08	18.534	17.828	17.554		17.70	17.64 (17.59)	17.7 (17.8)	"	100	225
22-12	16.473	16.787	17.424		16.90	16.90 (16.78)	17.2 (17.4)	"	100	45
S46-8-21 22時-35分	13.301	12.401	13.071		12.88		12.885 (13.4)	満載	50	225
23-55	12.618	13.381	12.982		13.05		12.996 (13.0)	"	50	45
S46-8-22 01時-37分	15.199	14.602	14.814		14.90		15.000 (15.0)	"	75	225
03-03	14.632	15.029	14.947		14.65		14.766 (15.2)	"	75	45
04-41	16.022	15.807	15.812		15.85		15.929 (16.4)	"	92	225
05-47	15.656	15.808	15.778		15.55		15.90 (16.21)	"	92	45
08-10	16.402	16.041	16.322		16.05		16.144 (16.5)	"	100	225
09-29	16.305	16.975	16.440		16.15		16.334 (16.2)	"	100	45

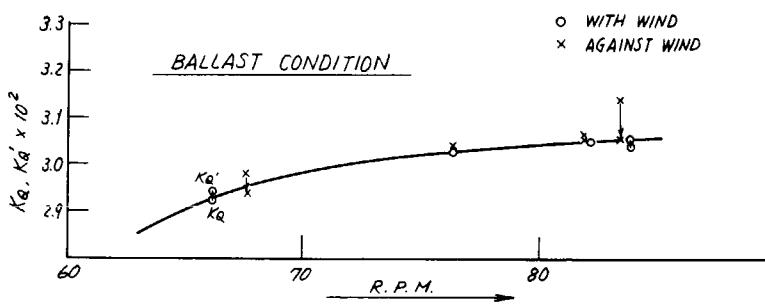


Fig. 5.4.1 Torque Coefficient Curve Corrected for Wind, for Ballast Condition

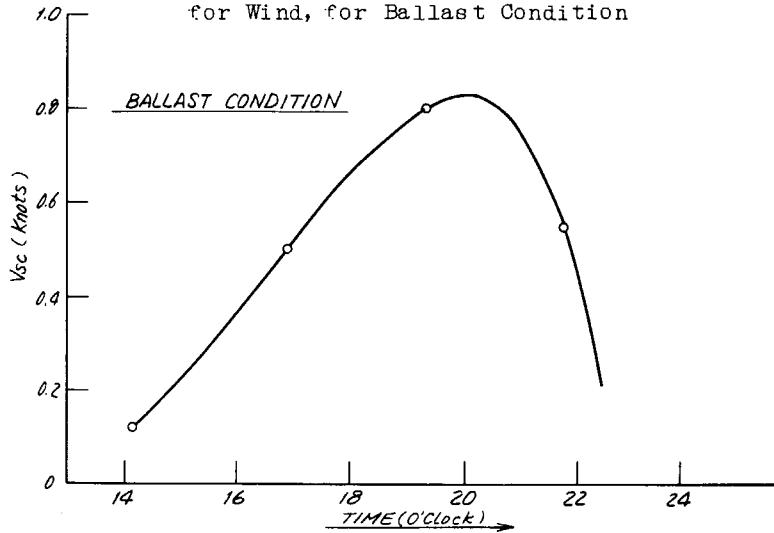


Fig. 5.4.2 Tidal Current Curve for Ballast Condition

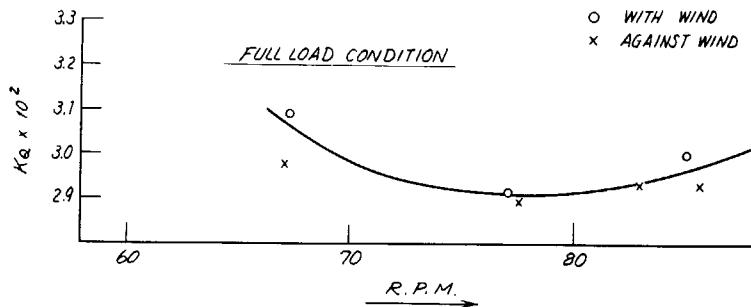


Fig. 5.4.3 Torque Coefficient Curve Corrected for Wind for Full Load Condition

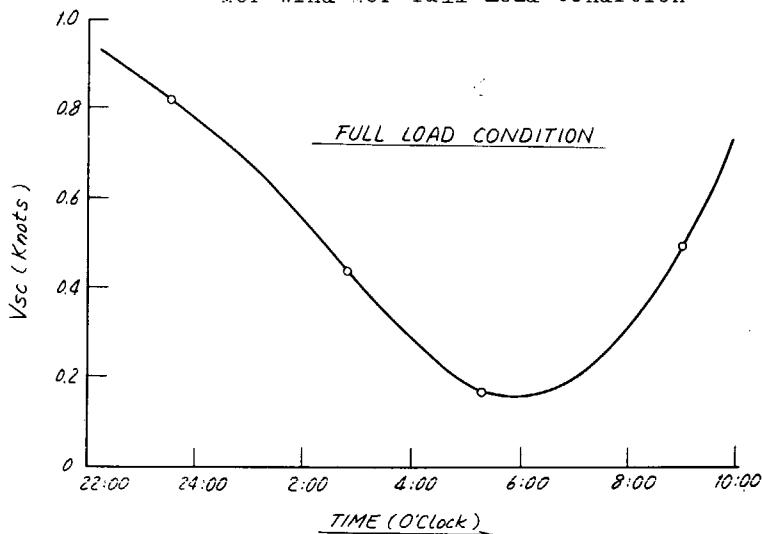
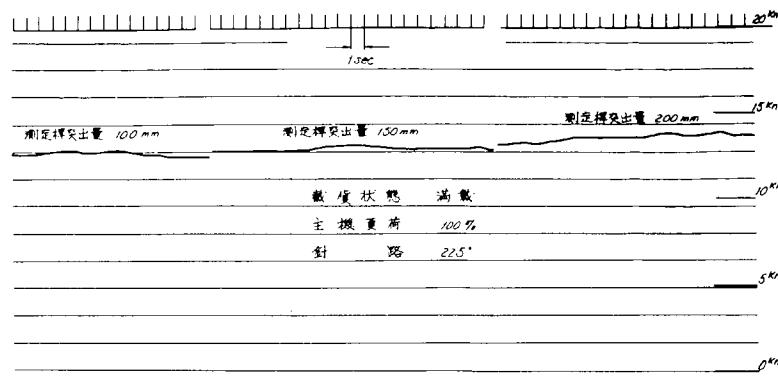
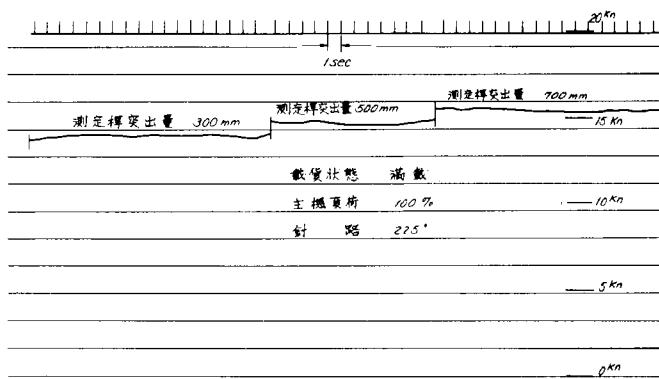


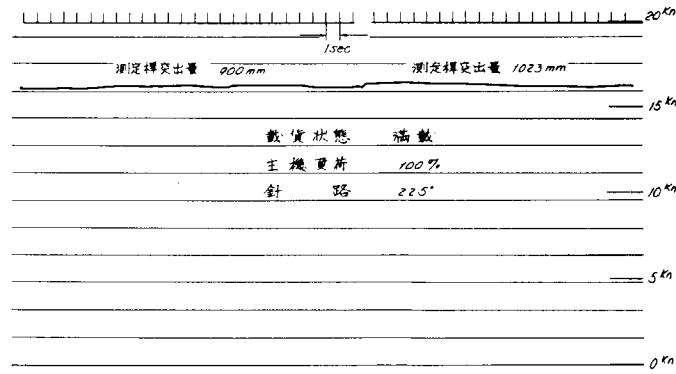
Fig. 5.4.4 Tidal Current Curve for Full Load Condition



(a)

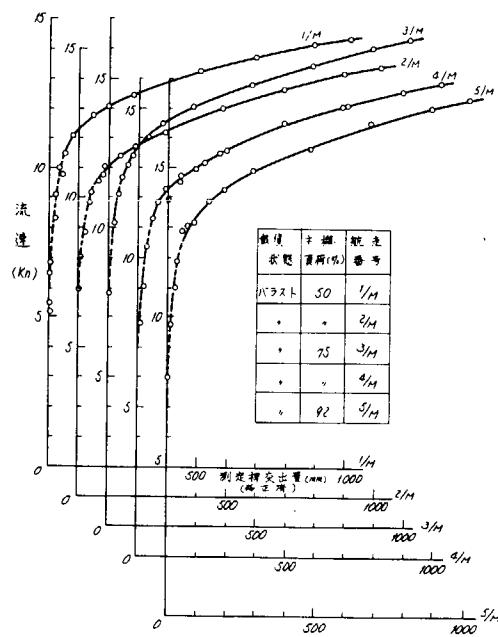


(b)

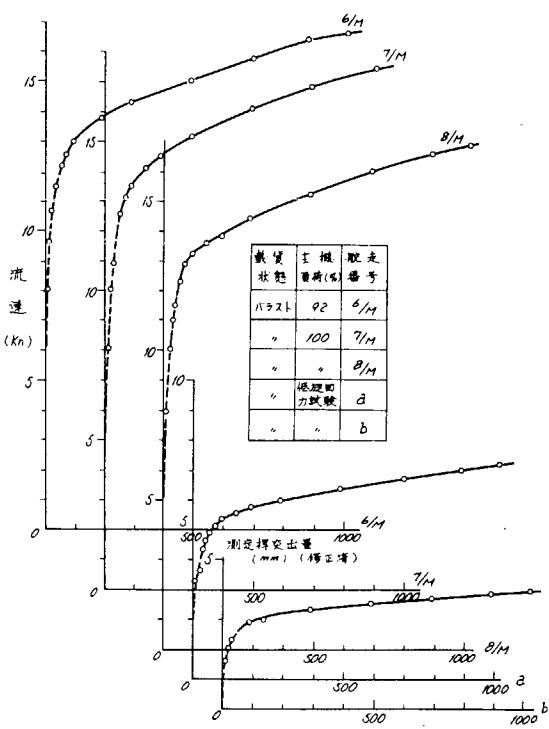


(c)

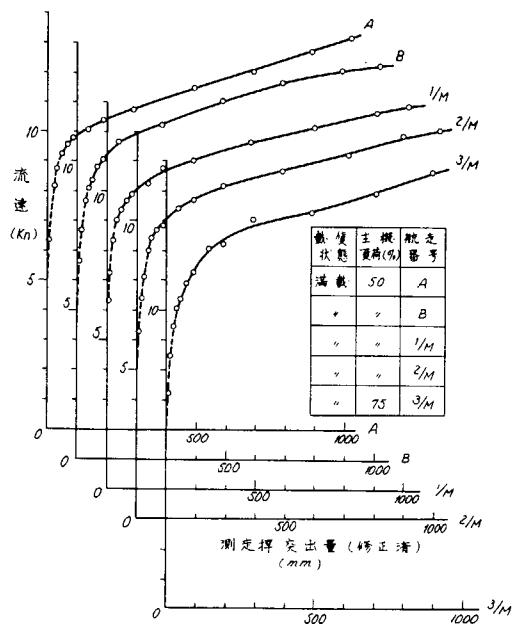
Fig. 5.4.5(a)~(c) Example of Oscillogram of Output of Electromagnetic Speedometer



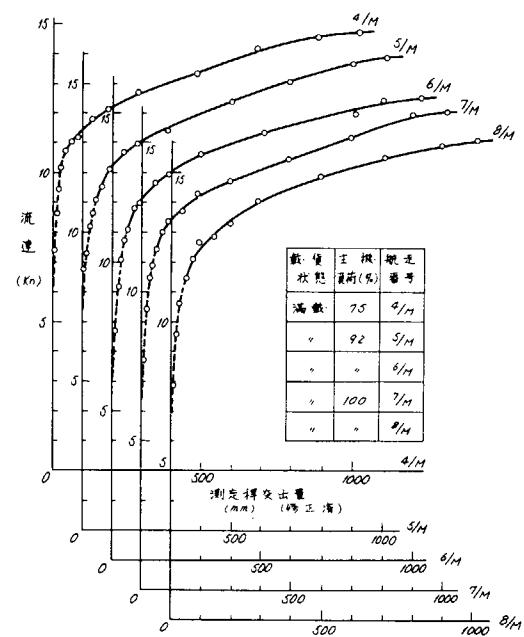
(a)



(b)

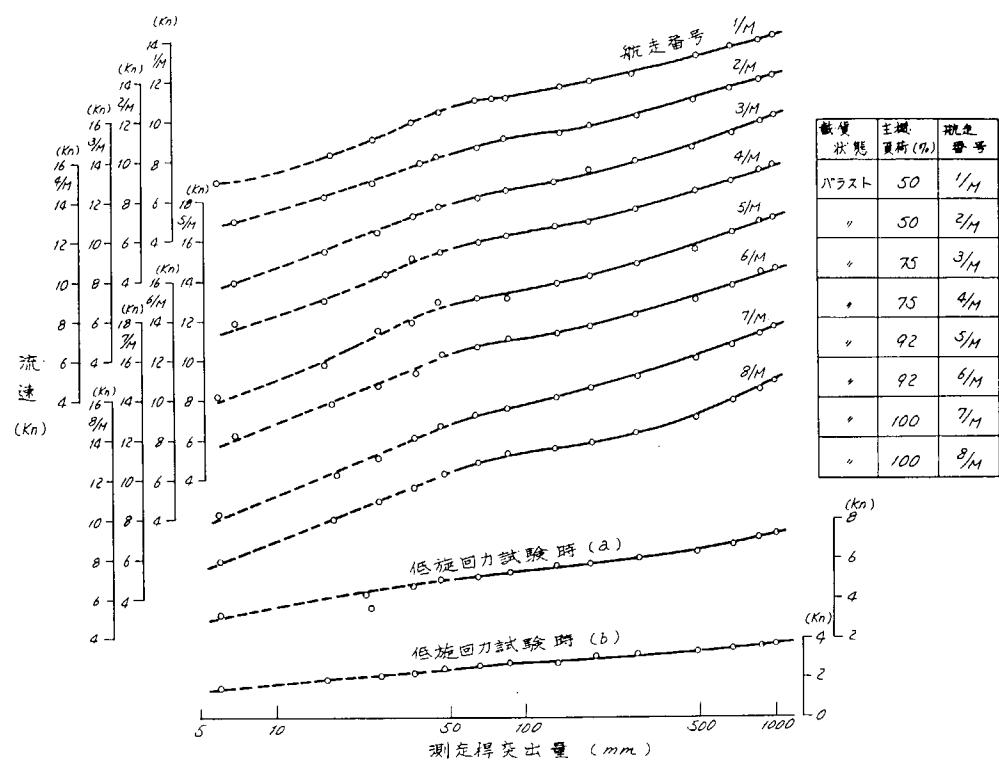


(c)

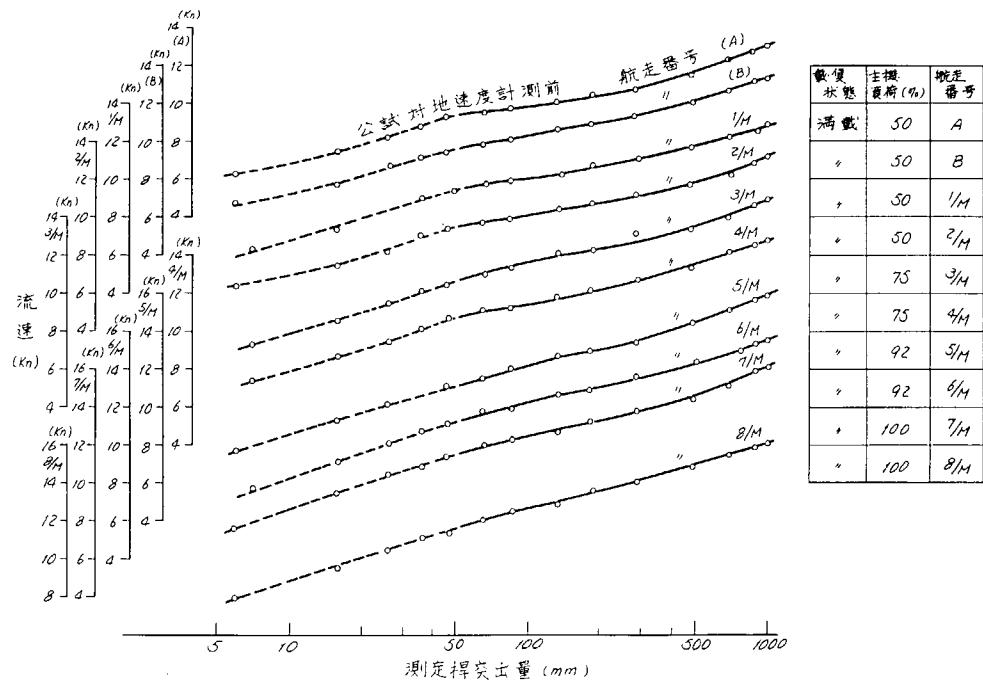


(d)

Fig. 5.4.6(a)~(d) Velocity Distribution of Boundary Layer

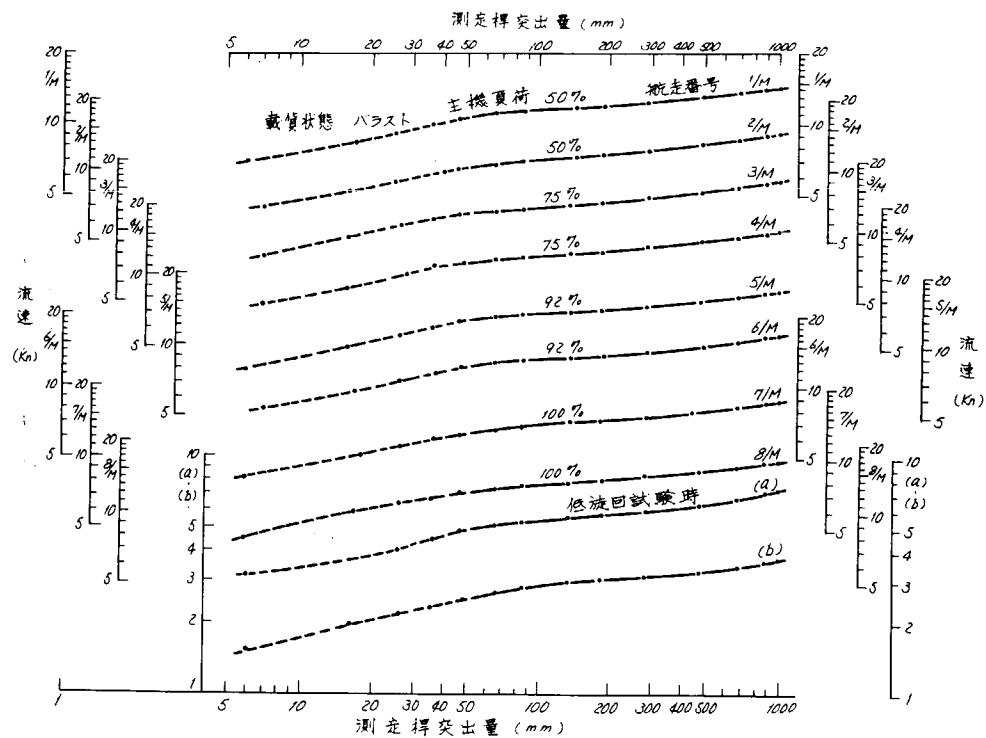


(a)

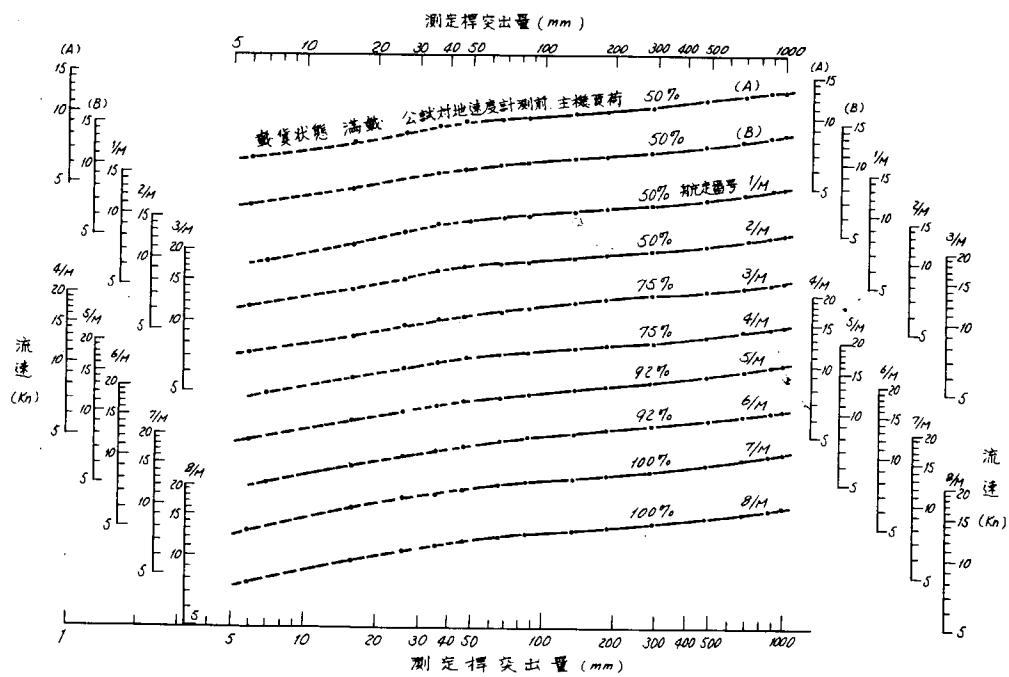


(b)

Fig. 5.4.7(a)~(b) Velocity Distributions of Boundary Layer



(a)



(b)

Fig. 5.4.8(a)~(b) Velocity Distributions of Boundary Layer

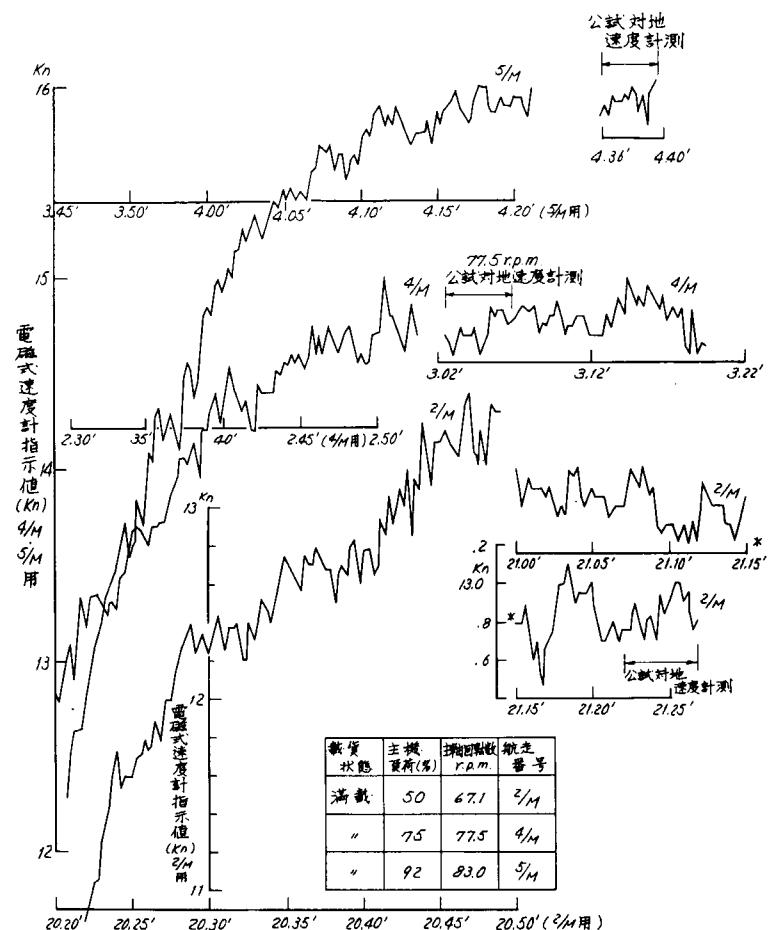


Fig. 5.4.9 Indicated Value of Electromagnetic Speedometer

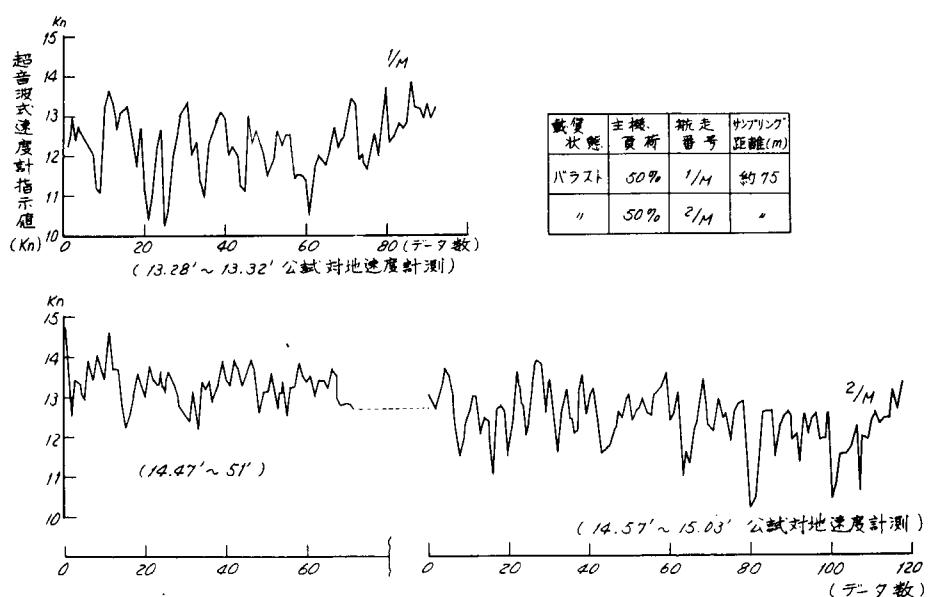
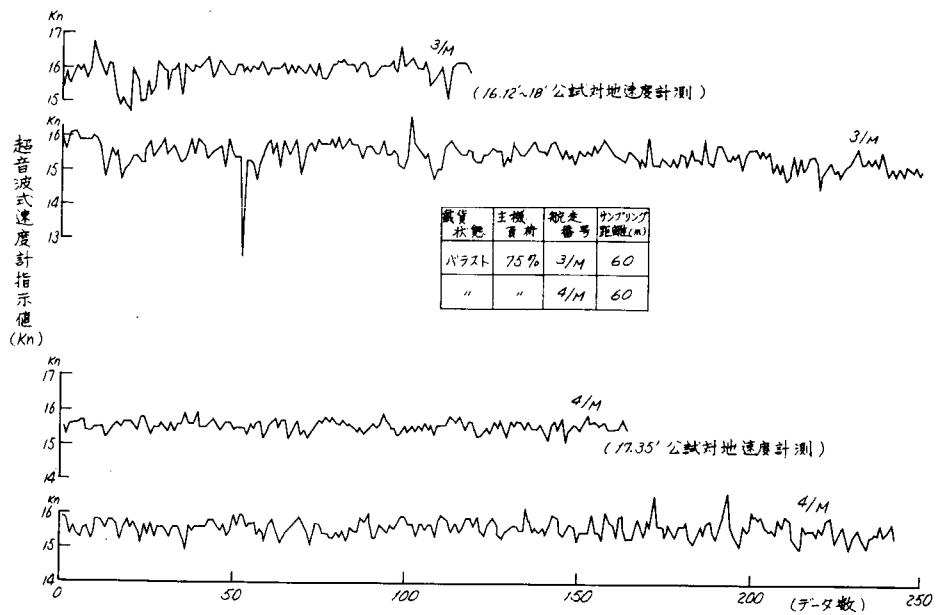
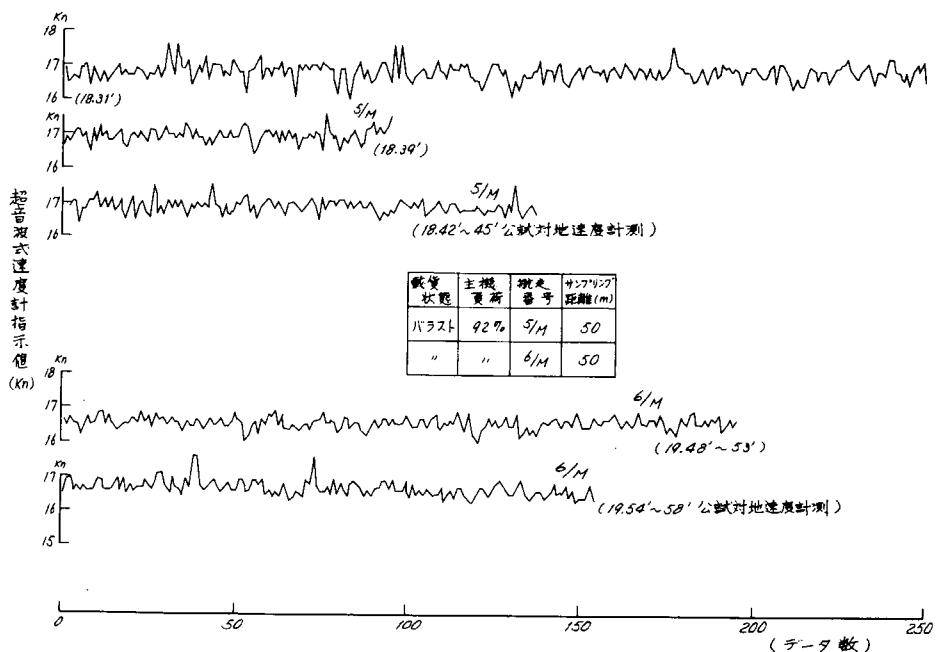


Fig. 5.4.10(a) Indicated Value of Doppler Sonar Speedometer



(b)



(c)

Fig. 5.4.10(b)~(c) Indicated Value of Doppler Sonar Seedometer

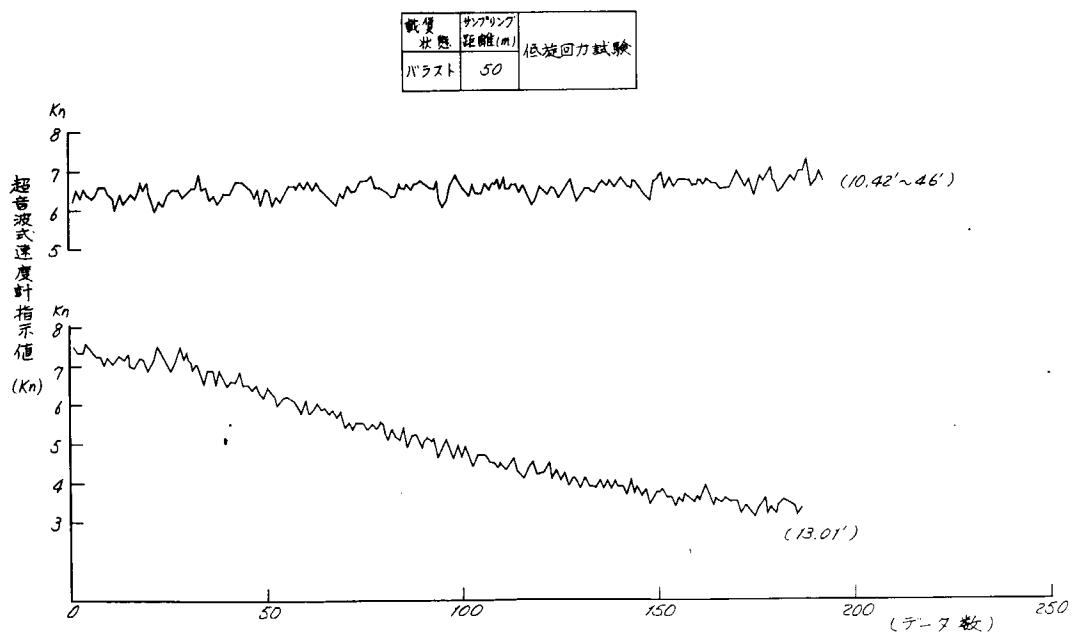
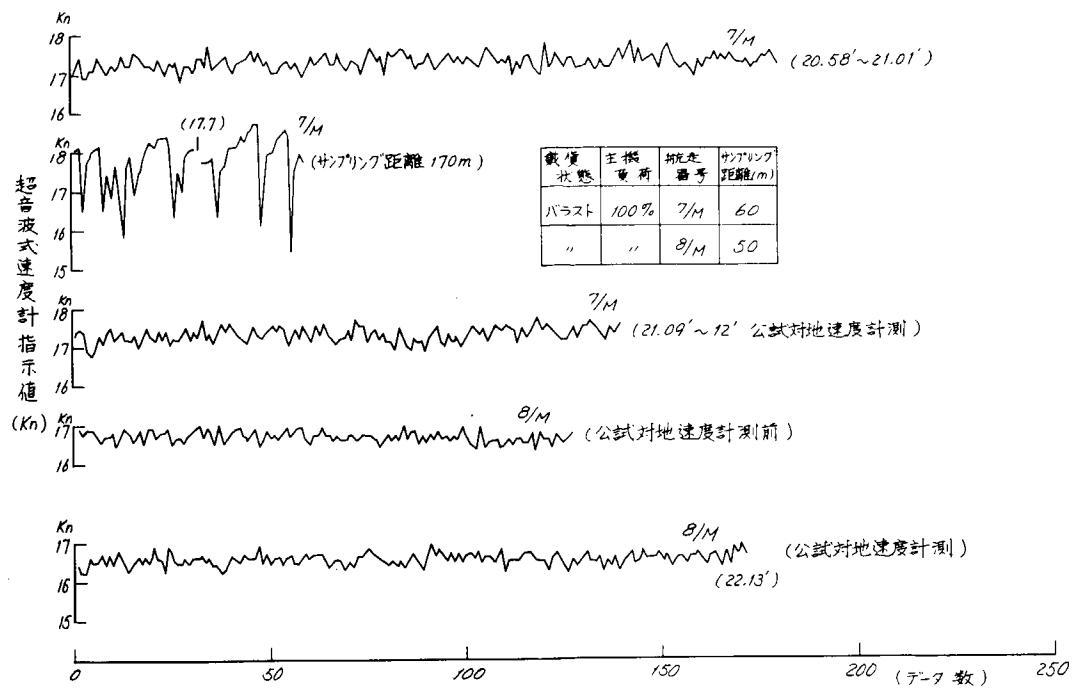
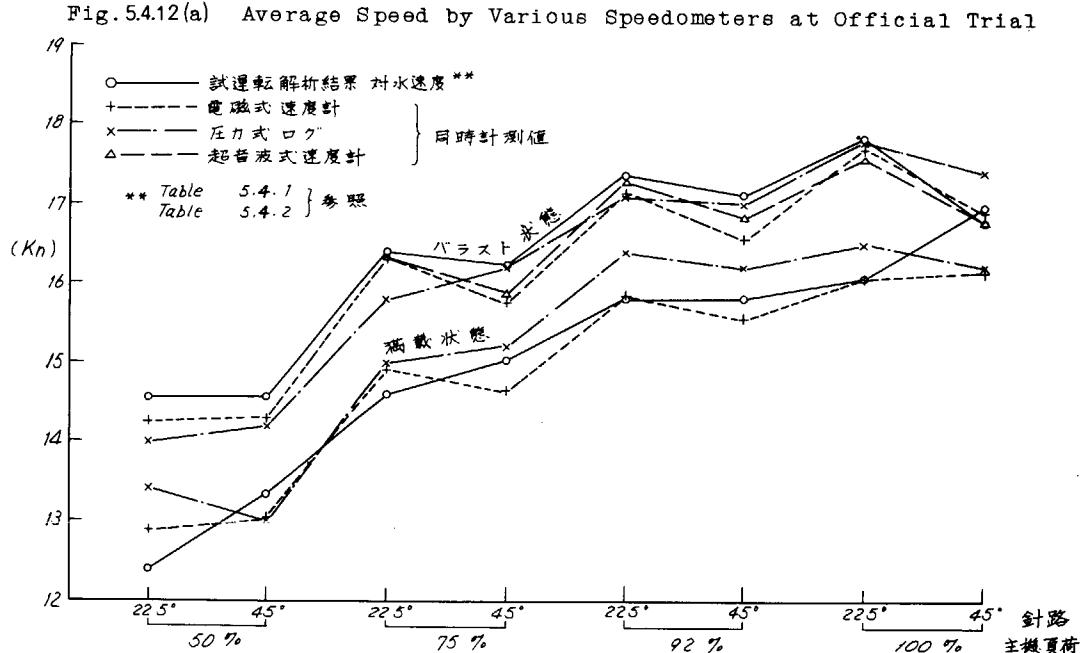
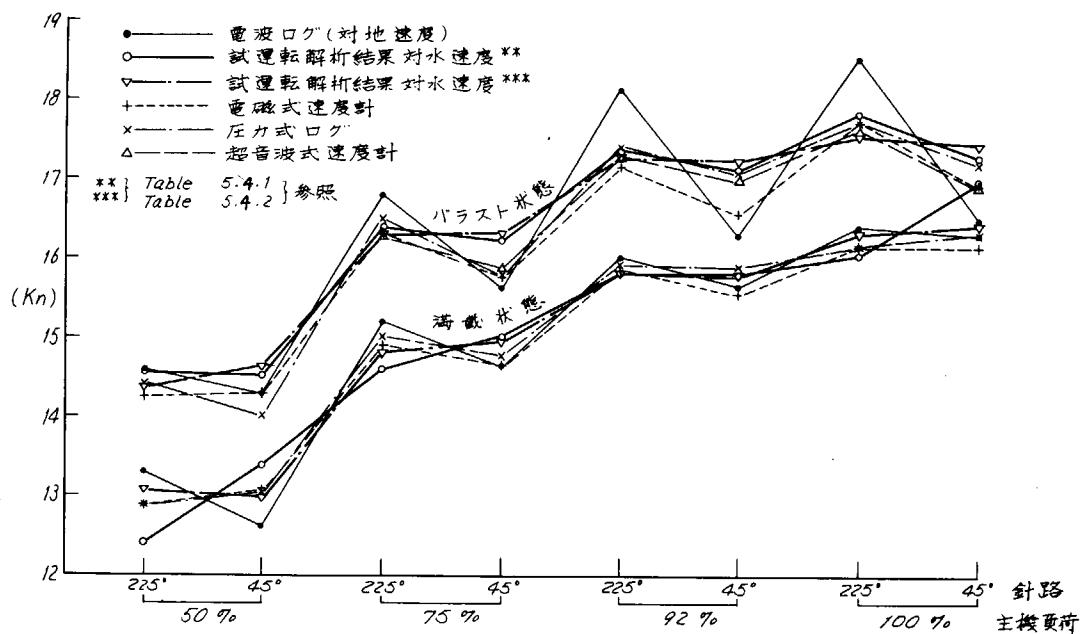
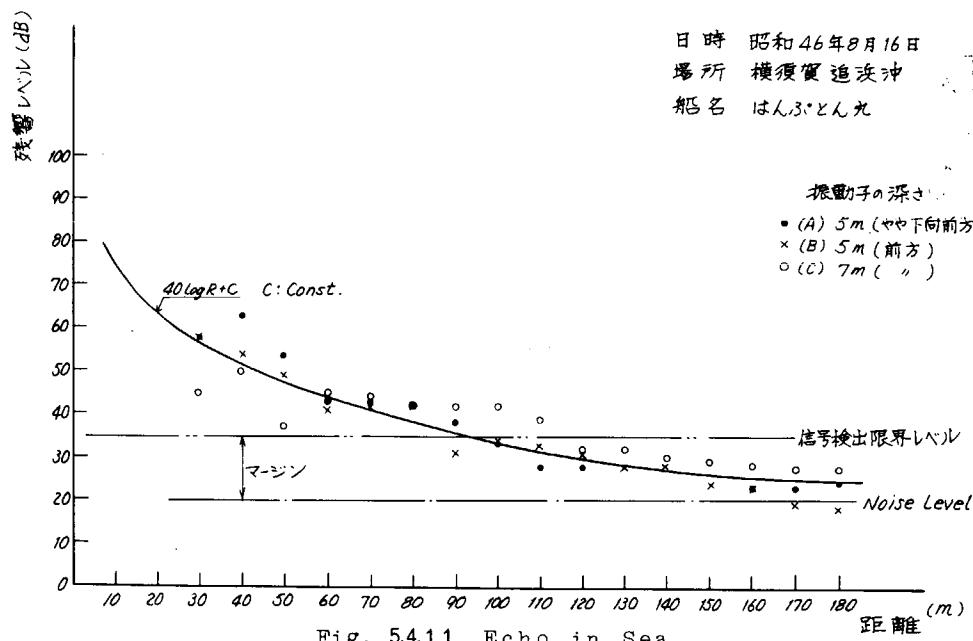


Fig. 5.4.10 (d)~(e) Indicated Value of Doppler Sonar Seedometer



§ 6 模型試験

6.1 供試模型船

実船試験供試船の模型 Model Ship No.2955 を使用した。その模型船船体主要目および実験状態を Table 6.1.1 前半部線図を Fig. 6.1.1 にそれぞれ示す。また実験は Table 6.1.1 に示す満載状態およびバラスト状態 ($\nabla/\nabla_F = 50\%$) の 2 状態で行なった。

Table 6.1.1 Principal Particulars of Ship Model and Test Condition

CONDITION 主要 状態	M. S.	No.	2955
L _{PP}	[m]		6.500
L _{DWL}	[m]		6.6112
B	[m]		1.0811
d	[m]	0.39935	0.39985
TRIM	[%]	0	
∇_M	[m ³]	2.30645	
S _M	[m ²]	10.67601	
C _B		0.8213	
C _P		0.8247	
C _M		0.9959	
ℓ_{CB}	[%]	-3.2409	
B/d		2.705	
L/B		6.012	
∇/L_{PP}^3		8.400×10^{-3}	
BALLAST	d	0.2260	0.1950
		0.2105	
	TRIM	0.48	
	∇_M	1.16261	
	S _M	8.05799	
	B/d	5.136	
∇/L_{PP}^3		4.23×10^{-3}	

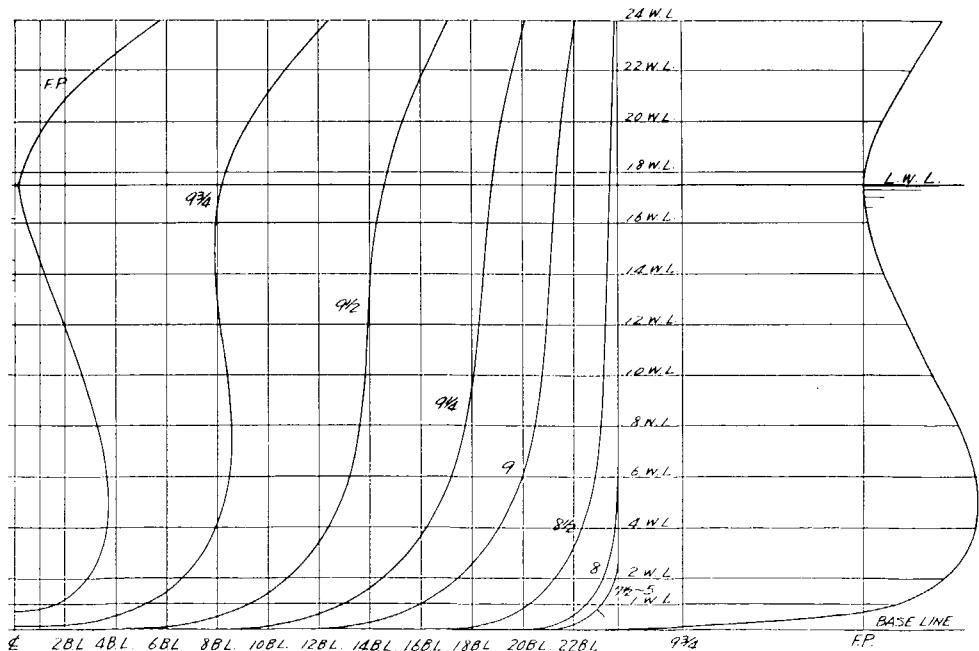


Fig. 6.1.1 Body Plan and Profile of Fore Part of Model

6.2 翼車式流速計による前方流速計測方法

6.2.1 実験装置

使用した翼車式流速計の概要を Table 6.2.1 に、外観を Fig. 6.2.1 にそれぞれ示す。

計測位置を Fig. 6.2.2 に示す。対水速度は翼車の回転数を流速計に内蔵した電磁式パルス発生器の出力をアンプを通してカウンターにより計数することにより検出する方式で、計測値はプリンターで印字させた。

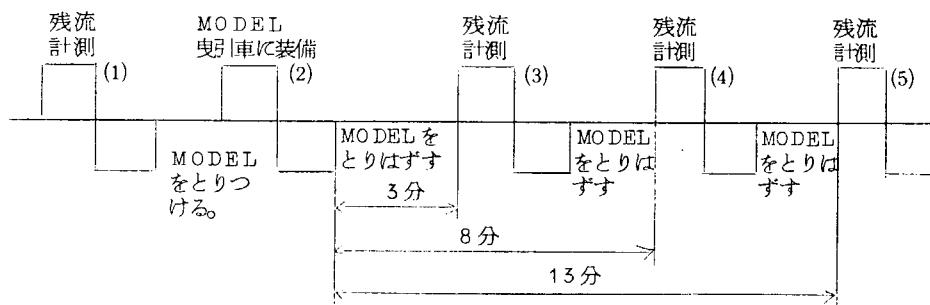
6.2.2 実験方法

a) 水槽残流の調査

水槽水の初期乱れ、および模型船航走後の残流の時間的変化などを調査して(b)で述べる模型船前方の流速計測の精度を高めるために下記のようなシーケンスで残流の計測を行なった。

すなわち、まず模型船をつけずに早朝、流速計により、水槽水の初期乱れを計測〔ステップ(1)〕するとともに、つぎに模型船を曳引車に装備して、所定の速度(1.2 m/s)で1回航走〔ステップ(2)〕し、その後直ちに模型船をとりはずして残流の時間的変化を計測するものである。

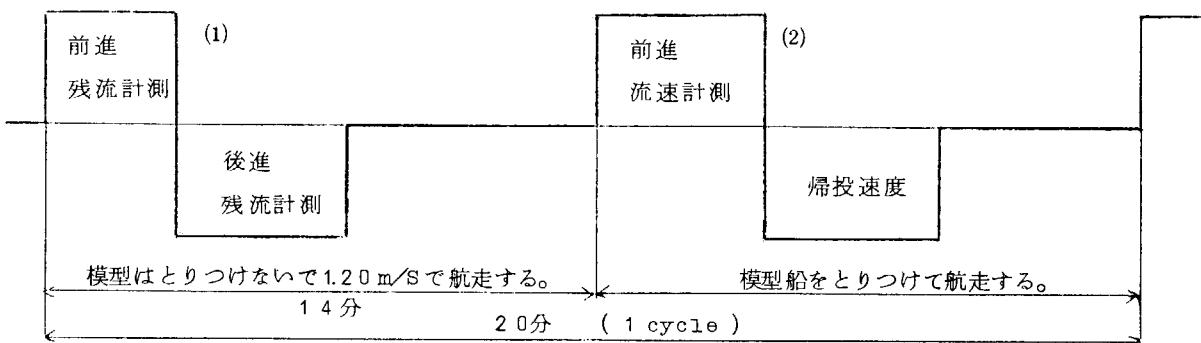
〔ステップ(3)～(5)〕



b) 前方流速計測

模型船前方の流速の計測は(a)の水槽中の残流の計測後、下記のようなシーケンスで計測を行なった。

すなわちまず模型船をつけず、残流を所定の速度(1.2 m/s)で前後進時に計測〔ステップ(1)〕し、つぎに模型船を曳引車に装備して1つの速度について航走〔ステップ(2)〕し前方の流速を計測した。その後はこれを1サイクルとして、4種類の速度について、同様計測を行なった。なお船体前方の流速計測時の模型船帰投速度は残流がなるべく少なくなるように前進速度の80%とした。



実験状態は滴載状態、バラスト状態の2状態とし上図中のステップ(2)の模型船速度は滴載状態については 1.00 m/s 、 1.16 m/s 、 1.23 m/s 、 1.27 m/s の4種類、バラスト状態については 1.12 m/s 、 1.26 m/s 、 1.34 m/s 、 1.36 m/s の4種類である。同一の実験速度で2回計測を行なった。

Table 6.2.1 Principal Particulars of Blade Wheel Type Current Meter

プロペラ直 径	14 mm、羽数 6
測定流速範 囲	0.5 ~ 4.0 m/sec
分 解 能	約 5.0 mm/sec (1秒間計数時)
出 力 パ ル ス 数	6 パルス / 1 回転
出 力 パ ル ス 電 壓	1 V 以上
電 源	AC 100V ± 10%、50 Hz
軸 受	ジュエル

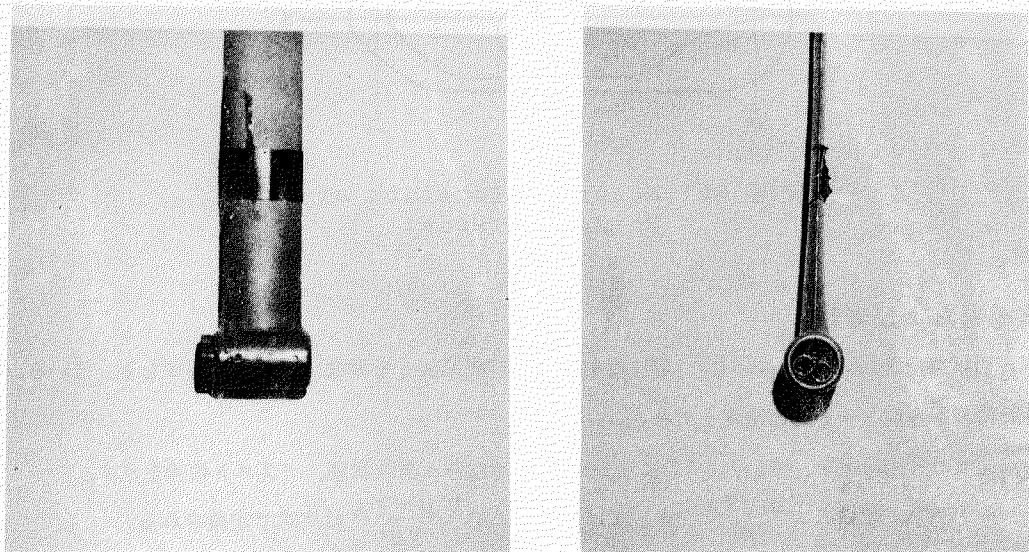


Fig. 6.2.1 Blade Wheel Type Current Meter

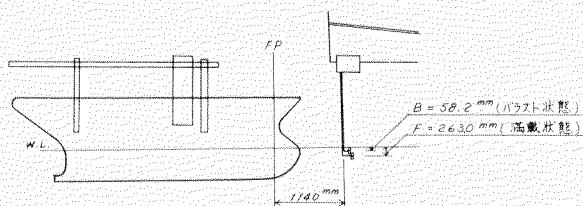


Fig. 6.2.2 Measuring Position for Velocity ahead Model

6.3 ピトー管による船底流速計測方法

6.3.1 実験装置

使用したピトー管は § 2 予備試験に記載した 4 本組の普通型ピトー管である。

6.3.2 実験方法

模型船の船底に Fig. 6.3.1 に示す位置 A、B 2ヶ所にピトー管群を取り付けた。位置 A は参考のため船底中心線上とし、位置 B は実船で電磁式速度計を取付けた位置に対応する。1つの速度につき、模型船底からのピトー管群の突出

量を3種変えて船体表面からの距離5~9.5mmの範囲の計12個所における流速の計測を行った。

試験状態、計測速度等は前記前方流速計測時と同じで計測を行った。使用したピトー管定数(PC)の値は表に示すとおりである。ここにピトー管定数(PC)は次式で表わされる。

$$V_A = PC \sqrt{2gH}$$

ここに V_A = 対水速度 [m/s]

H = 水頭 [m]

g = 重力の加速度 9.8 [m/s]

総圧および静圧はガラス管マノメータを用いて記録した。

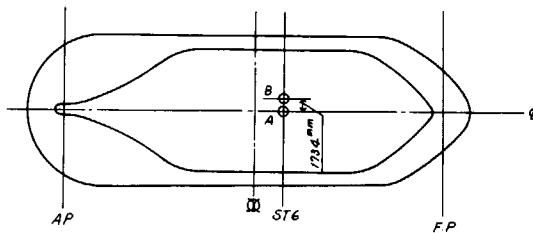


Fig. 6.3.1 Measuring Position at Bottom of Model

6.4 試験結果および考察

残流の調査の結果を Fig. 6.4.1 に示した。図中横軸は計測時間間隔 t を縦軸は残流速度 $\Delta V'$ をとっている。ここに $\Delta V'$ は(対水速度計による速度) - (対地速度)である。

前方の対水速度の計測結果を、Fig. 6.4.2 に示した。○、△は各々満載状態、バラスト状態を示す。

横軸にフールド数を、縦軸に $\frac{V'_M - V_A}{V_M'}$ をとっている。ここに $\frac{V'_M - V_A}{V_M'}$ は次式で定義される。

$$\frac{V_M + \Delta V' - V_A}{V'_M + \Delta V'} = \frac{V'_M - V_A}{V'_M}$$

ここに

V_M = その時の曳引車の対地速度

$\Delta V'$ = 残流速度

V_M' = 曳引車の対水速度

V_A = 模型船をつけて航走した時の翼車式流速計による対水速度

ピトー管による船底付近の流速 u の計測結果を Fig. 6.4.3 ~ 6.4.6 に示した。これらの図面は横軸に u/V_M 縦軸に y [mm] をとっている。ここに u 、 V_M 、 y は各々ピトー管による対水速度、模型船対地速度、ピトー管の船底からの距離である。計測時の水温はすべて 14.8 °C である。

ピトー管の検定は、§ 2. 予備試験の時に実行しているが、約 2 年前のことであるので検定をやりなおした。その結果を Table 6.4.1 に示す。

ピトー管 No.4 (総圧管) のところでは静圧が円筒の下面にあるので、1、2、3 のピトー管の静圧より推定して求めた。

翼車直徑 100 mm の流速計はプロペラシャフトの芯振れと、アンプ故障のため、実験に使用できなかったので翼車直徑 14 mm の流速計を使用した。

翼車式流速計のキャリブレーションは毎日早朝に行なった。計算に使用した、パルスと V'_M との関係式は次式のようになる。

$$V'_M = 0.00437 + 0.1034$$

ここで V'_M = 搾引車対水速度

P = パルス

水槽残流調査で模型船航走後の残流の時間的変化を満載状態、バラスト状態について調べてみると、満載状態の方が残流が高っている。満載状態で9分後の残流が6分後の残流に比べて少し高くなっているのは不可解である。

実験値に使用した残流は満載状態、バラスト状態とも(2)(b)のステップ(1)の値である。平均して残流は満載状態では $+5 \text{ mm/s} \sim +6 \text{ mm/s}$ 程度、バラスト状態では $\pm 4 \text{ mm/s} \sim \pm 5 \text{ mm/s}$ 程度であった。早朝の残流調査ではすべて、+の残流であった。早朝の残流調査での時間的変化の残流値と、実験点で使用した時間的変化の残流値は合っている。

今回の実験では変換器の個数の問題と時間的な関係でガラス管マノメータを使用した。マノメータの場合、時定数が目標値に対して、応答が遅いため、計測中はこのようなことを配慮して記録した。実験精度を高めるために0点を多く取り、修正した。

船底付近の流速の計測結果をみると A、B ピトー管で共通して言えることは、 u/V_M の値は載荷状態によっては異なるが、航走速度が異っても、ほとんどその値は変化しない。ただし A ピトー管満載状態では船底よりの突出し量が約 35 mm 以上、A ピトー管バラスト状態では約 42 mm 以上、B ピトー管満載状態では約 55 mm 以上、B ピトー管バラスト状態では約 60 mm 以上で、境界層の外側であると考えられる。静圧を推定したピトー管 #4 と推定しないピトー管 #1 とは実験点は良く合っている。

Table 6.4.1 Results of Calibration of Pitot Tubes

ピトー管位置	A		B
	1	2	3
ピトー管番号	1.00167	1.01268	1.04188
	1.01268	1.01014	
	1.01268	1.04188	
	1.03693	1.03693	

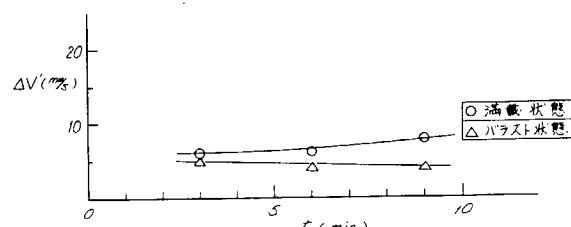


Fig. 6.4.1 Residual Current

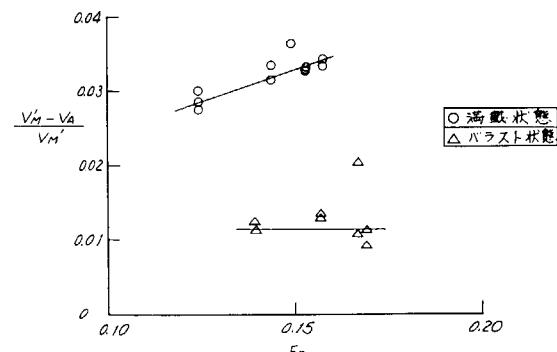


Fig. 6.4.2 Velocity ahead Model

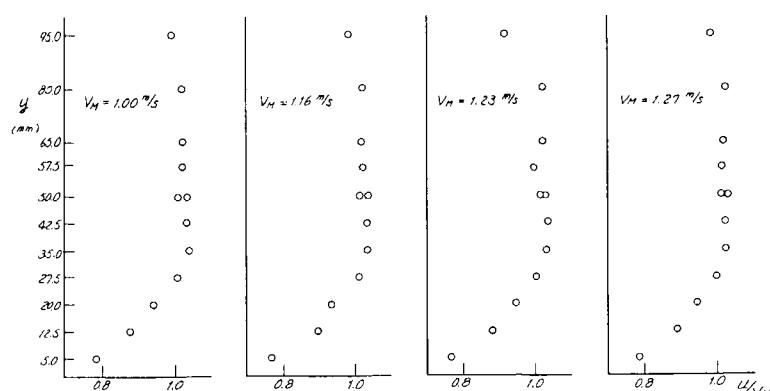


Fig. 6.4.3 Velocity Distribution at Position A,
Full Load Condition

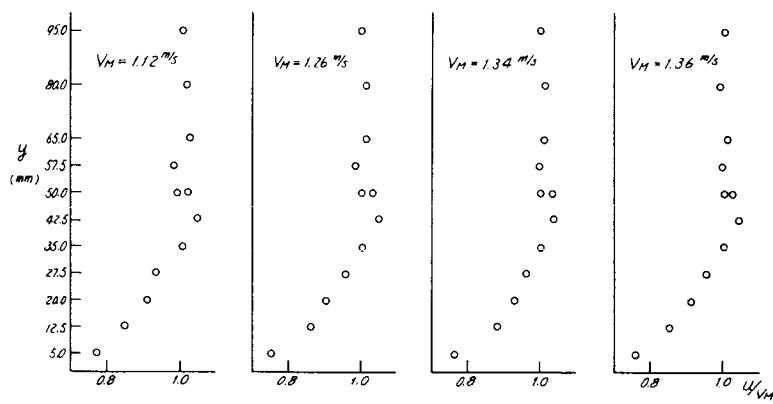


Fig. 6.4.4 Velocity Distribution at Position A,
Ballast Condition

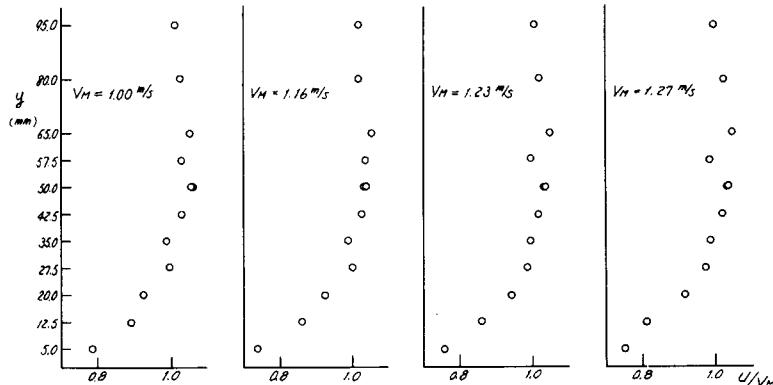


Fig. 6.4.5 Velocity Distribution at Position B,
Full Load Condition

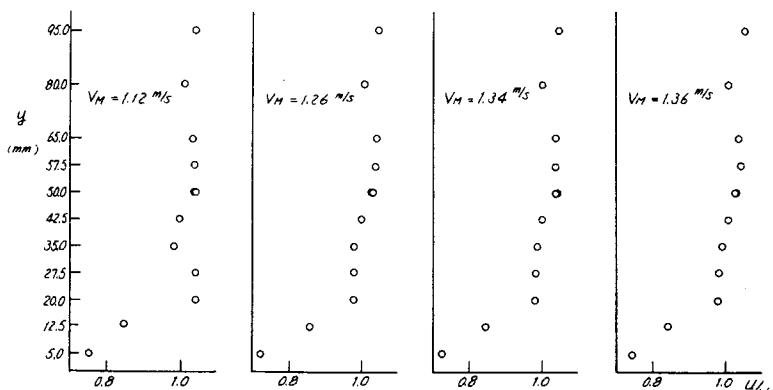


Fig. 6.4.6 Velocity Distribution at Position B,
Ballast Condition

§ 7 考 察

7.1 実船と模型船の境界層の比較

実験を行った速度範囲ではレイノルズ数変化がその大きさに比べて小さいため、境界層の厚さ δ の変化は4%程度に過ぎない。従って δ の決定時におけるあいまいさと実験精度から考えると、実験速度範囲では δ はほど同一として論じてよい。

さて、数多く計測された実船の境界層計測結果を無次元化して図示すると、ほとんど同一となるので模型船との比較には満載状態、バラスト状態共に主機出力9.2%のものゝ往航、復航を平均して代表的に用いた。

一方模型船の境界層計測結果は Fig. 6.4.3 ~ 6.4.6 及び Fig. 7.1.1 に示すように航走速度によってほとんど変わらないこと、および実験点の散布度が大きいことを考慮して Fig. 7.1.1 の如く4航走速度を重ねて書き、その平均線につき実船計測結果と比較を行った。

比較の図は Fig. 7.1.2 および Fig. 7.1.3 である。一見してわかることは模型船の境界層は層内を横切る二次流れや渦のための影響が目立ち、速度分布曲線の形状には凹凸がある。また Fig. 7.1.1 には模型船の船体中心線上の計測結果も示してあるが、これとオフ・センターの実船計測対応点とを比べると、前者の速度分布形状には二次流れなどの影響は少く、境界層厚さも船体中心線上ではオフ・センターの点よりも小さく、ほど平板のそれに等しいのに反し、実船計測対応点では二次流れや渦のため、速度分布形状は凹凸が多く、また境界層の厚さもかなり増大している。

これに対し、実船の計測結果で、この現象は目立つてはいないが、程度の差はあるが、影響はある模様で、速度分布曲線の緩やかな波打ち、同曲線の肩部附近の計測点の散布などがこれを暗示しており、曲線形状全体も模型船のものと類似しているといえる。

境界層外端流速についていえば局部的には変動があるが今回の計測位置(st. 6)では模型船、実船共に載貨状態にかかわらず航走速度(対水速度)の約1.03倍であり、昭和45年度における本研究部会の調査結果と一致している。

従ってこの航走速度の1.03倍を境界層外端流速とみなして Fig. 7.1.2 より境界層厚さ δ の推定を行うと Table 7.1.1 のようになる。

Fig. 7.1.3 は境界層の速度分布のいわゆる $1/n$ 乗則検定を行ったものである。この図は対数目盛りであるため船体に近い部分が拡大されているが計測装置の影響がある部分は点線で示した。この図をみると実船計測結果の n は約9、模型船の n は決定が困難であるがあえて定めれば7、程度であろう。また同図は、模型船と実船の境界層速度分布の関係は、同図の y/L のスケールをほど C_{fs}/C_{fm} (実船と模型船の摩擦抵抗係数の比) で伸縮すれば合致するという従来の説が大体成立することを示している。

Table 7.1.1 Thickness of Boundary Layer

載貨状態	模 型 船		実 船	相 等 平 板	
	船 体 中 心 線 上	実 船 計 測 対 応 点		模 型 船	实 船
満載および バラスト	35~40 mm	55~65 mm	1.1~1.3 m	約 38 mm	約 0.67 m

* 平板の値は $\delta = 0.37 \cdot x \cdot \left(\frac{\nu}{V_x}\right)^{1/5}$ の式による。

** (実船の C_f) / (模型船の C_f) = $1.38 \times 10^{-3} / 3.10 \times 10^{-3} = 0.445$

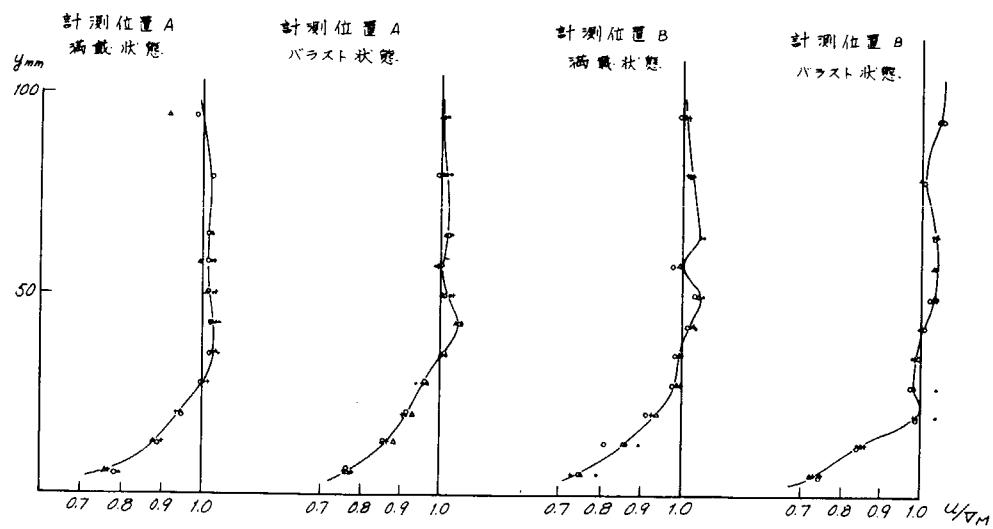


Fig. 7.1.1 Velocity Distribution of Ship Model

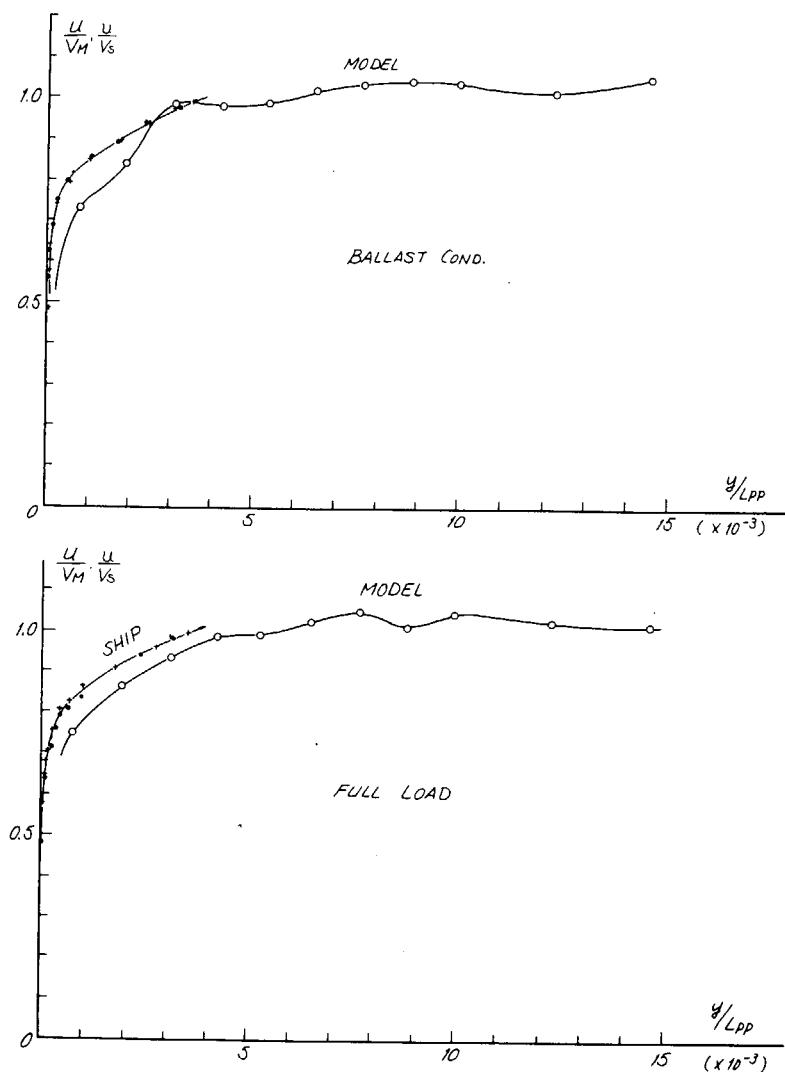


Fig. 7.1.2 Comparison of Boundary Layer between Ship and Model

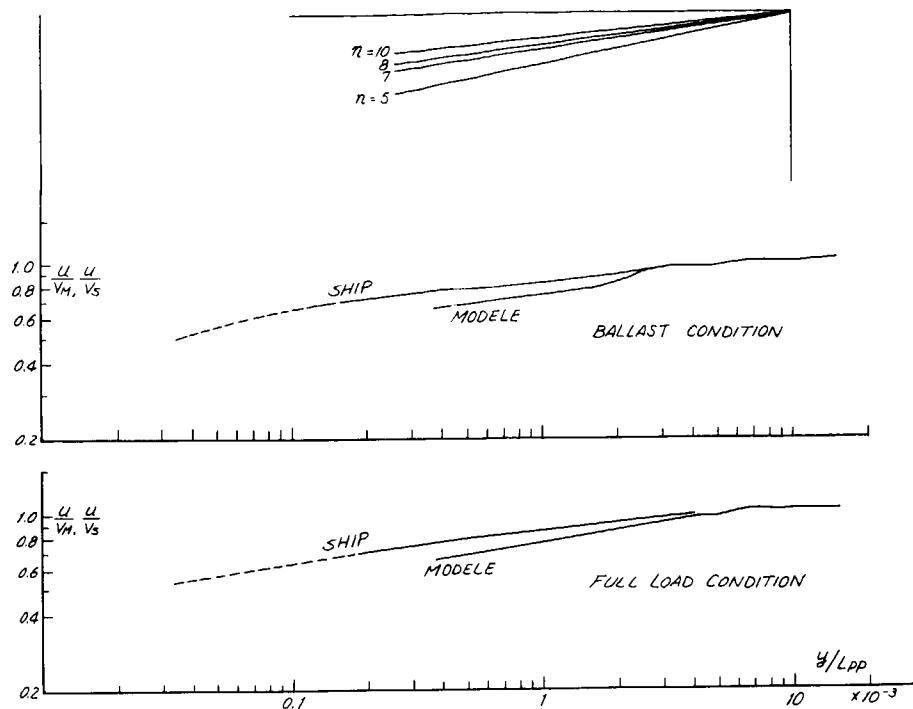


Fig. 7.1.3 Comparison of Boundary Layer between Ship and Model

7.2 対水速度計による対水速度

模型実験の結果えられた各対水速度計に対する流れに及ぼす船体の影響の修正係数を使用し、公試対地速度計測時における対水速度を算定した結果を Table 7.2.1 に示す。ただし、 C_1 、 C_2 、 C_3 は修正係数で、 C_1 は一様流の流速(対水速度)と境界層外端流速との比、 C_2 は境界層外端流速と受感部位置における流速との比、 C_3 は対水速度とサンプリング距離における流速との比である。模型船境界層速度分布の計測結果には船底の渦の影響と考えられる凹凸があるので、境界層厚さ C_1 の正確な値を求めにくい。 C_2 の値は速度分布の変形によりさらに一層推定しにくくなつたので、やむをえず、測定桿最大突出量 1,000 mm に相当する模型船船底からの距離として

$$1,000 \text{ mm} \times (\text{模型船の摩擦抵抗係数} / \text{実船の摩擦抵抗係数}) \times (\text{模型船の長さ} / \text{実船の長さ})$$

を採り、この位置における流速と境界層外端流速との比に実船と模型船境界層の指法則の指数の違いによる修正を加え、その逆数を C_2 とした。

以上の理由により C_1 C_2 の精度はよくないと考えられる。境界層速度分布計測結果についてさらに検討を続ける必要がある。船体中心線上に電磁式速度計測定桿を取付けば、そこでは境界層が薄く、渦の影響も小さいので $C_2 = 1.00$ となり、計測上非常に有利となることが予測される。 C_3 の精度は残流推定精度と翼車式流速計精度により決まるが、約 0.3 % 程度で悪くても 1 % 弱で今回の C_1 C_2 の精度よりかなり良いと考えられる。Table 5.4.1、5.4.2 に示す対地速度から解析して求めた対水速度と Table 7.2.1 の対水速度計による対水速度を比較するため、各航走ごとに比をとりその全航走の平均を求めてみると、電磁式速度計による対水速度は約 2 % 低く、超音波式速度計による対水速度はほぼ一致しているようである。電磁式速度計による結果が良くない原因は C_1 C_2 の模型実験による推定が今回は難しくなつたことであろう。「超大型船速力試運転実施方針」によれば対水速度の誤差 0.1 Kn が計測上限界といわれる。電磁式速度計自体の計測精度は ± 0.03 Kn 程度であるから、模型船境界層速度分布計測およびそれによる C_1 C_2 の推定を 0.3 % 程度の精度で行なうことが望まれるが、現状では不可能と考えられる。測定桿を船体中心線上に取付けるかあるいは測定桿長を増して境界層外に受感部を置く場合には修正係数の精度は向上する。しかしその場合でも 0.3 % の精度は困難であるが、適当な計測法の採用により 0.5 % 程度にはできると考えられる。

対水速度計による計測値を信頼する場合、模型実験結果を使用しないで、対地速度計測結果を併用して船体の流れに及ぼす影響を修正して対水速度および潮流を算定する方法が考えられる。

対地速度を V_G 、潮流を V_T 、対水速度を V_W 、電磁式速度計による計測値を V_E 、超音波式速度計による計測値を V_D 、圧力式ログによる計測値を V_P とすると

$$\begin{aligned} V_G + V_T &= V_W \\ &= C_1 \cdot C_2 \cdot V_E \\ &= C_3 \cdot V_D \\ &= C_4 \cdot V_P \end{aligned} \quad \dots \quad (7.2.1)$$

ただし、 C_4 は対水速度とピトー管総圧孔位置における流速との比とログの感度による修正係数の積である。

同一主機負荷における往復航走時の計測値を (7.2.1) 式に入れ、和をとり、往復航走時のそれぞれの計測値に針路を示す添字 225 および 45 をつけると

$$(V_G 225 + V_G 45) + (V_T 225 + V_T 45) = (V_W 225 + V_W 45) \quad \dots \quad (7.2.2)$$

(7.2.2) 式において潮流の速度は往復航走により符号が逆転し、 $(V_T 225 + V_T 45)$ の値は対地速度の和の $1/100$ ~ $1/200$ 程度と考え無視すると

$$\left. \begin{aligned} C_1 \cdot C_2 &= \frac{V_G 225 + V_G 45}{V_E 225 + V_E 45} \\ C_3 &= \frac{V_G 225 + V_G 45}{V_D 225 + V_D 45} \\ C_4 &= \frac{V_G 225 + V_G 45}{V_P 225 + V_P 45} \end{aligned} \right\} \quad \dots \quad (7.2.3)$$

$$\text{ただし、} |(V_G 225 + V_G 45)| \gg |(V_T 225 + V_T 45)|$$

となる。ここで、 C_1 は本船の場合、フルード数が小さいので、速度試運転の速度範囲内ではほぼ一定とみなすことができ、 C_2 は、レイノルズ数が大きいので速度による境界層厚さの変化が小さく、ほぼ一定とみなすことができるので、各主機負荷における値を平均する。

この平均の $C_1 \cdot C_2$ の値を使用して (7.2.1) 式から各航走時における対水速度および潮流を算定した。

C_3 および C_4 についても、速度試運転の速度範囲内では速度による変化が小さく、ほぼ一定とみなして、同様にして各主機負荷時における値を平均する。この平均の C_3 および C_4 を使用して (7.2.1) 式から各航走時における対水速度および潮流を算定した。

以上の計算結果を Table 7.2.2 に示す。Table 7.2.2 には比較のため対地速度から解析して求めた対水速度および潮流の値も記載した。

模型実験の結果では $C_1 \approx 0.97$ であるから、 $C_1 \cdot C_2 = 1.014$ および 1.008 の時 $C_2 \approx 1.05$ および 1.04 となり、一方 Table 7.2.1 に示す結果では C_2 は約 1.02 で、 C_2 の推定方法により $2 \sim 3\%$ の差が現われている。

C_3 の値については、模型実験の結果は $C_3 = 1.010 \sim 1.013$ であったのに對し上記の計算方法でえた値は 1.009 であり、この差は実験誤差または上記計算方法誤差範囲内にあると思われる。

本計算の結果と対地速度から解析して求めた結果とを比較すると、バラスト状態については、風修正を行なった値が一般に対水速度計の結果に近く、風修正を行なった時の潮流平均値を連ねる曲線のひき方を加減すると、主機負荷 7.5% 針路 45° の時を除き対水速度計の結果との違ひは大体対水速度計自体の計測誤差と流場変動による僅な計測誤差の和程度に収まるようである。Table 7.2.2(a)に潮流曲線をひき直した場合の対水速度、潮流も記載した。しかし、満載状態においては対地速度から求めた潮流は本計算結果より大きく、良い一致がえられたとはいえない。この原因として相模湾の潮流が複雑でしかも計測地点が一定していなかったこと、 $2 \sim 5^\circ$ の当て舵をとったことなどが考えられる。また風修正値の方が相違が大きいので風修正法の検討を要するかも知れない。

本実船試験における各対水速度計による計測値から求めた対水速度の総合精度については、基準となる真の対水速度が不明であるから、直接検討することはできない。しかし、以上の対水速度計による対水速度をみると、各対水速度計による値の差は一般に計器自体の誤差と計測流場の変動による僅な計測誤差の和程度と思われる。

Table 7.2.1 Ship Speed Relative to Water Corrected by Results of Model Experiments

載貨状態	主機負荷(%)	航走番号	針路 (deg)	電磁式速度計			超音波式速度計	
				C1	C2	対水速度(Kn)	C3	対水速度(Kn)
バ ラ ス ト 状 態	50	1/M	22.5	約0.97	約1.02	14.1	1.012	
		2/M	45			14.2		
	75	3/M	22.5	"	"	16.1	1.013	16.46
		4/M	45			15.6		16.07
	92	5/M	22.5	"	"	17.0	1.012	17.47
		6/M	45			16.4		17.18
	100	7/M	22.5	"	"	17.5	1.010	17.82
		8/M	45			16.7		17.07
満 載 状 態	50	1/M	22.5	約0.97	約1.02	12.8	1.029	
		2/M	45			12.9		
	75	3/M	22.5	"	"	14.8	1.032	
		4/M	45			14.5		
	92	5/M	22.5	"	"	15.7	1.033	
		6/M	45			15.4		
	100	7/M	22.5	"	"	15.9	1.033	
		8/M	45			16.0		

$$C_1 C_2 \approx 0.99$$

※ 註：計器自体の誤差

電磁式速度計 $\pm 0.03 \text{ Kn}$ 程度

超音波式速度計 1% 以下

圧力式ログ $\pm 0.2 \text{ Kn}$ 以下

Table 7.2.2(a) Ship Speed Relative to Water and Tidal Current Estimated from Results of Measurements of Speed Relative to Water and Ground.

載貨状態	主機負荷(%)	針路(deg)	電波ログによる対地速度(Kn)	対水速度(Kn)				潮流(Kn)			
				対地速度から		風修正		対地速度から		潮流	
				* * *	風無修正	* * *	風修正	* * *	風修正	* * *	電磁式超音波式計速度計
50	22.5	14.586	14.566	14.936	14.386	14.45	14.47	-0.02	-0.15	-0.20	-0.14
	4.5	14.284	14.514	14.464	14.644	14.49	14.07	0.23	0.18	0.36	0.21
75	22.5	16.786	16.386	16.406	16.266	16.53	16.40	1.658	-0.40	-0.38	-0.52
	4.5	15.620	16.220	16.230	16.290	15.97	16.01	15.88	0.60	0.61	0.26
92	22.5	18.119	17.369	17.359	17.289	17.39	17.42	17.49	-0.75	-0.78	-0.83
	4.5	16.281	17.111	17.061	17.221	16.78	17.14	17.18	0.83	0.78	0.94
100	22.5	18.534	17.824	17.894	17.554	17.94	17.80	17.79	-0.71	-0.64	-0.98
	4.5	16.473	16.783	16.973	17.424	17.13	17.05	17.29	0.31	0.50	0.95

電磁式速度計修正係数 $C_1 C_2 = 1.014$ ** Table 5.4. 1 の対水速度 **

超音波式速度計修正係数 $C_3 = 1.009$ *** Table 5.4. 1 の対水速度 ***

圧力式ログ 修正係数 $C_4 = 1.005$

Table 7.2.2(b) Ship Speed Relative to Water and Tidal Current Estimated from Results of Measurements of Speed Relative to Water and Ground

航 行 状 態	主 機 負 荷 (%)	針 路 (deg)	電 波 ロ グ に よ る 対地速度 (Kn)	対水速度 (Kn)				潮流 (Kn)			
				対地速度から		電磁式		圧力式		電磁式	
				**	* * *	風修正	風無修正	超音波式	超音波式	風修正	風無修正
滿 載 狀 態	50	2.25	13.301	12.401	13.071	12.99		12.90	-0.900	-0.250	-0.31
	75	4.5	12.618	13.381	12.982	13.16		13.01	0.963	-0.364	0.54
	92	2.25	15.199	14.591	14.814	15.03		15.02	-0.608	-0.385	-0.17
	100	4.5	14.632	15.029	14.947	14.77		14.79	0.397	0.315	0.14
空 載 狀 態	92	2.25	16.022	15.807	15.812	15.98		15.95	-0.215	-0.210	-0.04
	100	4.5	15.656	15.808	15.778	15.68		15.93	0.152	0.122	0.02
	100	2.25	16.402	16.041	16.322	16.18		16.17	-0.361	-0.080	-0.22

電磁式速度計修正係数 $C_1 C_2 = 1.008$

圧力式ログ修正係数 $C_4 = 1.002$

** Table 5.4.2 の対水速度 **

*** Table 5.4.2 の対水速度 ***

7.3 改良を要する点

本実船試験および模型実験により明らかになつた各対水速度計の改良を要する点は次の通りである。

7.3.1 電磁式速度計

肥大船において、船体中心線ごく近傍以外の船底では境界層が計算による予測値よりかなり厚くなることが認められたので、精度向上のため船底境界層外に受感部を置けるよう、境界層が薄い船体中心線ごく近傍に測定桿を取付けるか、または測定桿を充分に長くしそれに併ない充分な強度剛性をもたせる必要がある。

流速変動による速度受信器指針の振れが激しく、平均値を精度よく読取るのに困難を感じることがあるので改良を要する。電磁オシログラフによるアナログ記録では $1/300$ の読み取り精度をえることが困難であるから、速度表示をデジタル化し、プリンタによりデジタル記録することにし、アナログ記録は速度変動状態を知る参考用としても考えられる。その場合アナログ記録用出力の応答を早くし、また変動を拡大記録できることも望まれる。

境界層厚さおよび境界層内速度分布もあわせて計測する場合は計測所要時間が長くなり、公試対地速度計測時間中、測定桿突出量を最大に維持できないことがあった。今後類似実船試験を行なう場合は電磁式速度計2台を使用し、1台は常に境界層外側の流速を計測し、1台は測定桿を昇降して速度分布を計測することが望まれる。これにより速度分布計測中の境界層外端流速が判り、また対水速度の変化の状況を知ることができ計測上有利となる。

船底外板ごく近傍における流速計測は本実船試験では外板の影響の修正に問題があり、うまく行かなかつた。この修正法の確立を要する。外板ごく近傍における計測は他の計測法を採用しなければならないとも考えられる。

7.3.2 超音波式速度計

本実船試験においては、計測可能なサンプリング距離がやや小さく、流れに及ぼす船体影響の修正係数 C_3 は $1.010 \sim 1.013$ 程度になつてしまつた。船体影響無修正で対水速度を計測でき、模型実験または対地速度計測を不要にするためには、サンプリング距離をより大きくしなければならない。そのためには超音波出力の増大あるいは超音波周波数の低減を要し、海面反射の影響をさけるため振動子取付け位置を充分な水深にするか、 5° 以内で僅に下方に傾けなければならない。傾ける場合は $1/\cos(\text{傾斜角})$ の修正を行なうことになる。

超音波式速度計の指示はFig. 5.4.10に示すようにかなり変動し、その場で平均値の読み取りが困難であったので改良を要する。これはドップラーシフト検出を比較的短時間で行なつていて、平滑化があまりなされていないからである。この点は比較的簡単に回路改造により改良できる。またデジタル記録装置も付加されている方がよい。

設定サンプリング距離が過大で、残響レベルが低く、受信信号レベルが不足する場合、計測不能をディスプレイ装置に表示させ、さらにデジタルプリンタ出力も出さないようにするか、または計測不能を印字することが望まれる。

振動子および振動子への配線の今回の取付け方法は破損の恐れが多い。第1回公試運転前に2度も破損してしまつた。曳船、錨鎖、海中浮遊物体などとの接触、波浪衝撃等がその原因として考えられる。したがつてリセス内取付け、強固なカバーの取付けなど、装備方法を充分に考慮する必要がある。

以上の諸点を改良すれば、電磁式速度計および超音波式速度計の速度試運転への実用は可能であると考えられる。しかし、なお、今後さらに実船試験を行ない資料を増し、仕様、精度、取扱性、装備法などについて検討を続けることが望まれる。

§ 8 む す び

以上、巨大船速度試運転用対水速度計実用化のため、まず各種対水速度計測方法および対水速度計の調査検討を行ない、電磁式速度計と超音波式速度計を選定し、模型試験により適当な速度計取付位置を求めた。つぎに電磁式および超音波式速度計の単独試験を行なって性能を確認した。

対水速度計実用化実船試験供試船として、住友重機械工業株建造 DW 16800 t 混載船を選定し、公試運転時を利用して電磁式および超音波式速度計の試験を行ない、さらに本船に対応する模型船について流速分布計測を行なった。その結果得られた結論は次のとおりである。

- (1) 船体の影響が殆ど入らない点で対水速度計として都合がよいと思われるのは超音波式であり、超音波式対水速度計の開発を続けることが必要である。
- (2) 現用されている各種の曳航式、船底式では、圧力式、電磁式、翼車式、抵抗式、光学式、曳航式等の対水速度計のうち現在のところ精度、安定度、装備などの点で電磁式が最良である。
- (3) 船首付近の境界層外のポテンシャル流の流速は、載貨状態、位置によってかなり大幅に変化しているので、速度計測装置を境界層外に突出させることは可能ではあるが、電磁式速度計としては適当とはいえない。
- (4) 船体後部では境界層は厚く、実船でこの外方まで計測装置を突出させることはできない。そのため、流場は複雑な三次元性をもっているため速度分布の法則も未知な部分が多く、この附近の計測からは正確な航速を得ることはきわめて困難である。
- (5) 対水流速計の適当な取付け位置の一つとして station 7 横断面附近が考えられる。その理由は、
 - (a) 船体平行部分であり、しかも圧力勾配が小で、境界層外側速度 (U_1/U_∞) がほぼ一定となる。
 - (b) 計測装置を境界層外側に突出させ U_1/U_∞ の計測が不可能でない。
 - (c) 船尾附近に比して流場が安定しており、速度分布の形状も大体指指数法則に従うと予想される。
 - (d) この位置であれば、予め模型船で境界層の諸量の計測が可能である。（薄過ぎると計測不能）
 - (e) この位置で計測を行なえば U_1/U_∞ は載荷状態によりあまり変化しない。
- (6) 船速を計測するという目的のために要求される相対誤差 1/300 程度の精度は電磁式速度計単体としては可能であるが、境界層内の流速計測のためには、船底からの突出量が小さい場合の精度はかなりおちる。
- (7) 電磁式速度計についてはほぼ計画通り、バラスト、満載両状態とも実船試験を実施することができた。超音波式速度計についてはバラスト状態で予備計測を実施できたが、満載状態では振動子等の破損により試験を実施できなかった。
- (8) 実船境界層は予測より約 1.8 倍も厚いと推定される結果となった。したがって電磁式速度計測定桿の長さが、境界層外端流速計測のためには不足した。これは船体中心線ごく近傍に測定桿を取付けなかったため、船体中心線近傍では境界層が薄くほぼ予測と一致し測定桿長さは不足しないことが今回の模型実験結果から推定される。今後類似の実船試験あるいは実用化の時には、船体中心線上に取付けるかまたは測定桿を充分に長くすることが望ましい。
- (9) 本実船試験における測定桿位置での境界層速度分布にやや異常が認められた。これは渦の影響を受けているとも考えられる。
- (10) 模型実験においては速度分布形状に実船より甚しい異常が認められ、電磁式速度計に対する流れに及ぼす船体影響の修正係数を精度よく決定することは困難であった。しかし測定桿を船体中心線ごく近傍に取付ければ精度は向上できる。
- (11) 速度試運転において境界層外側の流速と速度分布の計測を行なう場合、電磁式速度計を 2 台併用することが望ましい。
- (12) 電磁式速度計による外板ごく近傍の速度分布計測のためには、指示値に及ぼす船底外板の影響の修正法を確立する必要がある。
- (13) 実船と模型船の境界層相対厚さの比は摩擦抵抗係数の比にほぼ一致するようである。
- (14) 本超音波式速度計で計測可能なサンプリング距離は約 50 ~ 60 m 程度であった。無修正で対水速度を計測するために

は、さらにサンプリング距離の増大をはかることが望まれる。

- (15) 超音波式速度計では、サンプリング距離過大で受信信号レベル不足の時、計測不能の表示が必要と考えられる。また同時に記録の中止あるいは計測不能の印字が望ましい。
- (16) 振動子および振動子配線の装備方法については、破損防止に充分な考慮を要する。
- (17) 超音波式速度計に対する船体影響の修正係数は模型船による実験で比較的精度よく求められる。
- (18) 本実船試験において各対水速度計指示の変動が激しく、平均の読み取りに困難が感じられた。平均の精度よい読み取りを可能にするを要する。
- (19) 基準となる真の対水速度が不明であるから、対水速度計の総合精度を明確にすることはできないが、各対水速度計による対水速度値間の相違は計器自体の誤差と流場変動による僅な計測誤差の和程度と思われる。
- (20) 対地速度から解析してえた風修正時の対水速度と対水速度計による対水速度との相違は、バラスト状態では計器自体の誤差と流れ場変動による僅な計測誤差の和程度であったが、満載状態では相違が大きかった。
- (21) 上記諸点を改良すれば、電磁式速度計および超音波式速度計の速度試運転への実用は可能であると考えられる。
- (22) 対水速度計の速度試運転への実用化のためには、さらに実船試験を重ね、検討を続けることが望ましい。

なお、速度試運転に對水速度計を使用する場合の指針を付録に示す。

参考文献

- (1) 新造船写真集、竣工船、船の科学、第18～23巻、昭和40～45年
- (2) 須藤 彰一：速力試運転と△ C_F 、日本造船学会誌、第472号、昭和43年10月
- (3) 試験水槽委員会：巨大船の海上試運転施行方針の試案作成について、日本造船学会誌、第442号、昭和41年5月
- (4) 井関貢、庄司和民：新訂航海計器学、海文堂、昭和37年8月
- (5) Kempf, G. : Measurements of Propulsive and Structural Characteristics of Ships, Trans. SNAME, Vol. 40. (1932)
- (6) 志波久光：実船用速度計について、船舶試験所研究報告、第4号、昭和16年12月
- (7) 志波久光：実船用速度計に就て（続報）、船舶試験所研究報告第5号、昭和17年12月
- (8) 志波久光：実船用新速度計実地試験報告、造船協会雑誌、第242号、昭和17年5月
- (9) 志波久光：新型速度計、造船協会論文集、第97号、昭和30年8月
- (10) 伊藤文雄、岡山栄二郎：特許第163001号曳航式水中速度計について、日本航海学会誌、創刊号、昭和24年9月
- (11) Fahlner, L. F. and Gibbons, T. : The Development and Evaluation of the TMB Knotmeter Type 205A, TMB Rep. 1026, Jun. (1956)
- (12) 田古里哲夫：船底彎曲部付近から発生する渦、日本造船学会誌第450号、昭和42年1月
- (13) Baba, E. : A New Component of Viscous Resistance of Ships, 日本造船学会論文集、第125号、昭和44年6月
- (14) 北辰ブレッシャ・ログ、カタログKN-442A、北辰電機製作所、昭和44年2月
- (15) 北辰電機ログEML-12、カタログKN-445E、北辰電機製作所、昭和44年6月
- (16) 北辰電機ログ・圧力式ログ性能比較表、北辰電機製作所、昭和43年3月1日
- (17) 芝田珠郎、柿木初喜：電磁ログについて、航海、24号、昭和41年9月
- (18) 電磁ログ（EML-12型）取扱説明書、北辰電機製作所、昭和42年10月
- (19) 山本美明：超音波流量計、オートメーション、第9巻、第6号、昭和39年6月
- (20) MET-201形瞬間風向風速温度計、カタログ424-1A、沖電気工業KK、昭和42年10月
- (21) SZ-6610超音波式乱流測定装置、カタログ、424-3A、沖電気工業KK、昭和42年10月
- (22) 小関隆嗣：超音波風速温度計、電子技術、第9巻第12号、昭和42年11月
- (23) マークアット・トップラー・ソナー速度測定儀、カタログ、MP5044 The Marquardt Corporation, 昭和43年4月
- (24) マークアット・ドップラー・ソナー、航法・入渠装置、カタログMP5043, The Marquardt Corporation 昭和43年1月
- (25) Goldstein, R. J., Kreid, D. K. : Measurement of Laminar Flow Development in a Square Duct Using a Laser-Doppler Flowmeter, A.S.M.E. J. of Appl. Mech. Dec. 1967.
- (26) 速度測定法及びその装置、特許公報、昭和45年2月5日
- (27) A New German Log, (A Portable Optical Instrument Operating on the Stroboscopic Principle and Giving Direct Indications of a Ship's Speed), Shipbuilding and Shipping Record Vol. LV NO.2, 1940, July
- (28) 八重樫淑昭、多喜田功：流速計、安立テクニカル、第23号、昭和44年2月
- (29) 「実船における境界層の計測、第1報～第3報」（九州大学応用力学研究所々報、第28号、32号、昭和42、44年）

付録 対水速度計測指針

本指針は巨大船速度試運転に對水速度計を使用する場合の速度計の選定、取付け位置、突出量、模型実験についてのみ述べることにする。

1. 速度計の選定

1.1 船体影響無修正の対水速度計測

船体から遠く離れた水塊の相対流速を計測する方式、例えばドップラー・ソナー式超音波速度計を使用する。水塊の距離として、船首前方の場合は船長の約50%以上をとりうる速度計を使用する。

1.2 船体影響修正を行なう対水速度計測

水塊の距離が上記より小さい場合、模型実験を行ない船体影響の修正を行なう。

船体近傍の流速計測による場合は、例えば単独試験済みの電磁式速度計を使用する。

2. 船体前方流速計測の場合（超音波速度計）

2.1 取付け位置

振動子取付け位置は船首材前面のなるべく水深の深い位置とする。もし水深が2~3mしかとれない場合には振動子を斜前下方に傾ける。その傾針角は超音波ビーム拡がり角（上下）の約1/2とする。

ただし、この場合は計測値に $1/\cos(\text{傾斜角})$ を乗じるを要する。 (5.4、7.3参照)

2.2 取付け方法

振動子および配線は、リセス内に取付けるかまたは錨鎖等による破損を防止できる強固なカバーの取付けを要する。

(7.3参照)

2.3 サンプリング距離

サンプリング距離は船長の25%以上とし、受信信号レベルが充分あり可能ならば、さらに大きくとることが望ましい。サンプリング距離が船長の約50%以下では模型実験による修正を要する。

2.4 受信信号レベル

受信信号レベルが充分あるか確認するを要する。できれば、受信信号レベルが不足の時は計測不能を表示できる計器とすることが望ましい。 (4.1、7.3参照)

2.5 速度読み取り記録

速度指示値が毎秒かなり変動するので、印字記録を1航走につき数分間以上行なうを要する。 (5.4、7.3参照)

2.6 模型実験

船体前方サンプリング距離における流速計測を模型船について行ない、実船計測値を修正する。模型船前方流速計測は超音波ビーム拡がり角を考慮し、その反射水塊直徑にほぼ等しい領域の平均流速を求めることが望ましい。所用計器は翼車式流速計によるものとし、水槽残流の計測も併せて行ない、水槽試験結果を修正するを要する。 (§6参照)

3. 船体近傍流速計測の場合(電磁式速度計など)

3.1 取付け位置

通常の船型では St. No. 6~7 の船体中心線近傍に取付ける。もし中心線からはずれた位置に取付けるならば、境界層厚の増加により測定桿突出量を増す必要がある。

船首に近い位置は載貨状態の影響が大きく、船尾に近い位置は載貨状態の影響が大きくしかも境界層厚も厚く流れの状態が複雑であるから好ましくない。

(3.3、7.1 参照)

3.2 測定桿突出量

測定桿先端流速受感部は必ず境界層外端より、境界層厚の 20 %程度以上突出させる。

実船境界層厚は模型船による実験から次式によりその概略値を推定する。

$$\delta_s = 1.2 \frac{C_{FS}}{C_{FM}} \frac{L_s}{L_m} \delta_m$$

ただし、 δ_s は測定桿取付け位置における実船の境界層厚、 δ_m は対応する位置における模型船の境界層厚、 L_s は実船の長さ、 L_m は模型船の長さ、 C_{FS} は実船の船首から測定桿取付け位置までの長さと船速に基づくレイノルズ数に対する平板の摩擦抵抗係数、 C_{FM} は模型船の船首から対応する位置までの長さと模型船速度に基づくレイノルズ数に対する平板摩擦抵抗係数、1.2 は実船と模型とで境界層内速度分布が異なることによる係数(実船 1/9乗則、模型 1/7乗則とし)である。

模型実験が間に合わない場合は、船底中心線ごく近傍における境界層厚の概略値は次式による平板境界層厚とする。

$$\delta = 0.37 \times \left(\frac{\nu}{Vx} \right)^{1/6}$$

ただし、 δ は平板境界層厚、 x は前縁からの距離、 V は流速、 ν は動粘性係数である。

中心線から $B/6$ ほど離れた位置における境界層厚は上式で与える値の 1.7 ~ 2.0 倍となることもあるので注意をする。

(7.1 参照)

3.3 速度読み取り記録

流速変動のため精度のよい読み取りに困難を感じることがあるので、速度計出力をデジタル化し 1 航走につき数分間以上印字記録し、また同時に変動を拡大したアナログ記録も行なうを要する。

(7.3 参照)

3.4 模型実験

実船計測に先立ち、模型船の対応取付け位置における速度分布を計測し、境界層厚、境界層外側流速を求める。

境界層厚を求めるための境界層内速度分布計測は小型ピトー管により行ない、境界層外側流速計測は小型翼車式流速計などにより精度 0.5 %以内で行なうことが望ましい。

(§6、7.2 参照)

3.5 実船境界層内速度分布の計測

測定桿が境界層外へ突出しているか確認するため、測定桿突出量を減らし速度分布を計測することが望ましい。

対水速度計測(境界層外側流速計測)と境界層内速度分布計測とを 1 台の速度計により行なう場合、公試運転航走時間では不足があるので、それぞれ専用の速度計を使用することが望ましい。

(5.1、5.2、7.3 参照)

第 2 部 馬 力 推 定

§ 1 まえがき

模型船の水槽試験結果から対応実船の推進性能を推定するいわゆる模型実船間の相関 (model ship Correlation)¹⁾ の問題は、水槽試験の結果を実用する上で最も重要な問題である。この問題については既に数多くの研究がなされており、また実用的には水槽試験結果をベースとして実船試運転成績を解析することにより、各種の船型に対する相関係数の実績が集積され、統計的な取扱いにより実船性能を推定する方法が確立されている。

しかし、最近の巨大船においては、模型船の船体まわりの流場がきわめて複雑で、実船の状態との対応が十分につかめていないので、実船性能推定の精度が不十分であり、模型試験結果から推定した実船性能と実績とが著しく相違する場合が少なくなく、模型試験結果を用いた実船性能推定精度向上の要求はますます強くなっている。この要求をみたすためには、従来の経験的、統計的な相関係数の資料にかわる、正しい意味をもつた相関係数を基礎とした相関方法の開発が必要であり、その基礎として、肥大船に対する船体抵抗および自航要素に対する尺度影響 (scale effect) の正しい把握が重要な問題としてクローズアップされてきた。

大きさの異なる相似模型船による水槽試験は、船体抵抗および自航要素の尺度影響の研究にとって有力な手段であり、肥大船に関する既にこのような研究が行なわれている。²⁾³⁾⁴⁾ しかしその後、後方波形の計測による造波抵抗の実測、後方 wake survey⁵⁾による粘性抵抗成分の実測等、抵抗成分分離計測の技術が発達⁶⁾、またwave breaking resistance⁷⁾に関する研究、船尾渦による抵抗成分に関する研究⁸⁾⁹⁾など、肥大船の抵抗成分に関する新しい研究が行なわれているので、これらの研究の成果を活用して、抵抗成分を正しく分離計測し、その性質を明らかにすることにより、船体抵抗に関する尺度影響を更に明確にすると期待される。

また、自航要素の尺度影響についても、肥大船模型に特有の船尾流場の問題⁸⁾⁹⁾を考慮して水槽試験およびその結果の解析を行なえば、従来より更に正しい尺度影響の把握ができるものと考える。

以上述べてきたように、数隻の相似模型船を使用して、抵抗成分分離計測を始めとする詳細な模型試験を行なえば、抵抗および自航要素の尺度影響はある程度まで明らかになるものと思われるが、模型試験と同じような実船試験が行なえれば、さらに一段と良い相関関係を導き出すことができる。

模型試験項目としては、抵抗、自航、プロペラ単独の各試験、伴流、後流、自由波形および流線の計測があるので、これらの項目について実船で実施可能なものを調べた。実船では実施が殆んど不可能なものがあるほか、造船所の種々の都合により、自航試験に相当する速度試運転を行なうことと、自航要素中最も尺度影響が大きい伴流の分布をプロペラ直前で計測することが選ばれた。

伴流の相関については定説といえるほどのものがまだみられず、過去のデータより求めた修正係数を延用する程度にとどまっているが、船舶の大型化の進んだ今日では係数の値が 1.0 を大きく離れ、単なる係数の導入で糊塗することは危険であり、設計業務上の大きな弱点となっている。

また最近は、肥大船のプロペラキャビテーションがしばしば取り上げられるようになった。このことは平均伴流値を用いてキャビテーション対策を考えることが既に許されなくなったことを示すもので、伴流の不均一さを考慮せざるを得ない段階にあると思われる。しかも、この不均一さは実船でのものが必要であり、加えて、前進方向の伴流値のみならず、その流向をも含めたものであることが要求され、従来に比し格段の精密推定を必要とするようになってきた。

上述のように、船尾流場の相関に関する要求が極めて高いにもかかわらず研究の進まない理由は、肥大船の船尾には剥離に基づく大きな縦渦が存在して非常に複雑な流場を形成しており、理論的扱いが困難で実験的に調べるほか信頼できる方法がなく、しかもその実験は模型の間だけで行なったのではどうしてもレイノルズ数変化の幅が狭くて十分な精度をもつ結果が得難い点にあった。そのため、実船において流場を調査することが久しく望まれていたのであるが、本部会においてよう

やく取上げられたものである。

この第2部の研究は2年計画で行なわれたものであって、昭和45年度には速度試運転および伴流分布計測の両実船試験の準備と、2, 4, 8m模型による模型試験、昭和46年度には実船試験用計測装置の製作、実船試験の実施と12m模型の模型試験が行なわれた。

供試実船は日立因島工場で建造された山下新日本汽船の大型鉱石運搬船“新鶴丸”で、その主要目は

長さ	L _{pp}	302 m
幅	B	44.2 m
深さ	D	24.2 m
喫水	d	17.0 m
載貨重量	DW	162,400トン
主機	ディーゼル	
	馬力 30,900 ps	, 回転数 114 rpm
プロペラ	1軸	
	直径 7.20 m	, ピッチ 4.98 m

§ 2 相似模型船による研究

船体抵抗、自航要素等の尺度影響の調査を目的として、肥大型船を対象として、4隻の相似模型船による抵抗・自航試験・伴流計測および抵抗成分分離計測等の諸試験を実施した。

供試船型は、当部会で実船における伴流計測および標準試運転を実施した16万DWT型鉱石運搬船である。

相似模型船による試験は、その結果から正しい尺度影響を求めるために、各模型船の試験条件を合わせておく必要があるが、今回の試験は、4隻の模型船をそれぞれ異なる試験水槽で試験したため、試験実施にさきだち、下記のとおり、水槽試験法ならびに試験結果解析法の標準を作り、各水槽は、この統一した方法により試験ならびに解析を実施した。

2.1 水槽試験法

2.1.1 模型船

模型船船体は共通の対応の実船線図をもとに作成した模型線図を共通に使用して作成した。また、舵、stern frame 等の船尾部の構造についても模型船用副部図を作成し、各模型船ともこの図をもとに製作し、各模型船間で、細部にわたって形状の統一をはかった。

乱流促進ビンは、SS 9½に植えたが、植付けのピッチは各水槽それぞれの方式によった。

各模型船の主要目を Table 2.1.1 に、また各模型船に対する水槽試験実施項目および試験担当場所を Table 2.1.2 に示す。

2.1.2 抵抗試験

試験状態は、満載状態およびバラスト状態とし、排水量計算は8m模型船に対する値を採用し、各模型船間で試験状態を統一し、ballast condition は実船試験の予想状態に合わせる。

計測項目は、速度(対水又は対地)、抵抗および船体沈下量とし、速度はなるべく対水速度を採用し、対地速度の場合は interval を充分とする。

計測速度範囲は、実船対応速度で、満載状態で 8Kn~20Kn まで 15~16 点、バラスト状態で 7Kn~21Kn まで 15~16 点。

抵抗試験時、船側波形写真を撮影する。速度は後方 wake survey を行なう速度とする。

2.1.3 自航試験

試験状態は、抵抗試験と同一とする。

計測項目は、トルク、スラスト、回転数、速度とし、速度は抵抗試験と同一計測法とする。

計測速度範囲は、実船対応速度で満載状態 12Kn~18Kn、バラスト状態、13Kn~19Kn、自航要素の平均線が引ける程度の点数とする。

SFC は、friction line にて ITTC-1957 line を用い、実船 $\Delta C_f = 0.2 \times 10^{-3}$ として算出する。

SFC 変更の自航試験を行なう。SFC = 0 (model point の自航) からスラスト = 0 までの間を 4~5 点 SFC を変化させて計測する。ただし、計測速度は、full load 16Kn、ballast condition 17Kn の各 1 点とする。

2.1.4 プロペラオーブン試験

自航試験解析用として、実船定格回転数に縮尺の平方根を乗じた回転数で試験を行なう。

他に Komp の定義による $Re_k \approx 4.5 \times 10^5$ ($Re_k = \frac{C_0 \cdot 7}{R} \sqrt{\rho^2 (1-S) + 4.84 (\frac{n D^2}{\rho})}$) に相当する回転数でも試験を行なうが、小型プロペラでは適宜回転数を減ずる。

オープン試験におけるアイドルのとり方はボスのみをつけて所定回転数においてプロペラのスリップ比数点に対応する速度で前進させ、その際のトルク、スラストをアイドルとして、プロペラの試験における計測値より控除する。

2.1.5 プロペラ位置wake計測

試験状態は抵抗試験と同じとする。ただし、舵は除いた状態とする。

計測位置はプロペラの0.7 Rにおける前後縁の中心位置とする。

計測点の配置はなるべく共通点を多くするようにし、計測点数もなるべく多くする。

計測速度は自航試験のSFC変更試験に合わせ、各状態1点とする。

計測装置は5孔ピトー管を用いる。

2.1.6 船側（プロペラ前方位置）wake計測

試験状態は、実船計測状態とし、プロペラ有無の両方について行なう。

計測位置は実船計測位置に合わせ、速度はなるべく実船試験対応速度に合わせる。

計測点の配置もなるべく実船相似の位置とする。

自航状態の場合、プロペラ回転数は自航試験時の対応速度の回転数とする。

計測装置はなるべく五孔ピトー管を用いる。

2.1.7 後方wake survey

試験状態は抵抗・自航試験と同じとする。

計測位置はA.P.より0.5 Lpp後方断面とする。

計測範囲としては、横方向はcenter lineより片幅1.5 B程度以上とする。深さ方向の計測ピッチはLpp/200とし、水面付近は適宜加減することとし、最大深度は船底のwakeを充分カバーする所までとする。

計測速度は、実船対応で満載状態15 kn、16 kn、17 kn、バラスト状態16 kn、17 kn、18 knとする。

計測装置は総圧、静圧が計測できるピトー管を用いる。

水面変位の計測はhead lossの積分領域を決められる程度に計測を行なう。

圧力の基準となる標準ピトー管は模型船の前方で模型船の影響のなるべくない所に設置する。

2.1.8 波形計測

試験状態は後方wake計測と同じとする。

計測位置は共通位置としてmodel center lineより、0.25 Lppだけ離れた所にP.U.を設置する。

計測速度は後方wake surveyと同一とする。

（注—抵抗成分分離の研究の資料として、満載状態18、19 knot、バラスト状態19、20 knotの高速の試験を追加した。）

2.2 解析方法

2.2.1 模型船関係

排水量計算は大型模型について計算をした値を各模型船の縮尺に応じscale downする。

諸解析の基準となる模型船長さは全てLppを用いる。

2.2.2 抵抗試験結果

Cf. line IC I.T.T.C-1957とHughesの両方を用い、剩余抵抗係数Cr(I.T.T.C)、造波抵抗係数(Hughes)を算出する。

抵抗の無次元表示は $C = R/\frac{1}{2}\rho v^2 s$ を用い、Froude数 $\sqrt{g/L_{pp}}$ ベースにプロットする。

2.2.3 抵航試験結果

自航試験の結果得られたT.Q.n.v_mは、 $k_t = T/\frac{\rho}{2}v_m^2 \nabla_a^{2/3}$ 、 $k_p = 2\pi n Q/\frac{\rho}{2}v_m^3 \nabla_a^{2/3}$ 、 $k_n = n \nabla_a^{1/3}/v_m$ で無次元表示する。ただし、 ∇_a ：副部付きの排水容積。

自航要素解析に際しては使用したSFCの値を用い、thrust identity, Taylor's definitionにより、 $t_w m \cdot \eta_R$ を計算する。

自航要素の解析には自航試験時回転数に近い回転数でのオープン試験結果を使用する。

2.2.4 プロペラオーブン試験結果

試験結果はJベースの $K_T = T/\rho n^2 D^4$, $K_Q = Q/\rho n^2 D^5$, η_o をプロットする。

2.2.5 プロペラ位置wake計測結果

計測結果はaxial方向のwake contour curveと各計測点において、流速ベクトルをYZ平面に投影した矢印で示す。

mean wakeの計算は、単純volume meanとする。

2.2.6 船側位置wake計測結果

プロペラ位置wake計測結果に準じる。

2.2.7 後方wake survey結果

解析方法はhead lossを積分する方法(三菱重工業のMTB-1659参照)を用いる。

静圧の計測結果はチェックのためにのみ利用する。

2.2.8 波形計測結果

計測位置共通の所に対するデータは三菱重工業の標準プログラムにより解析を行なう。

2.2.9 その他

解析結果の表示様式はなるべく統一し、表示スケールも統一する。

2.3 水槽試験結果

2.3.1 抵抗試験

抵抗試験結果は、谷口、田村の方法でblockage effectの修正を行なった上、比較を行なった。

満載状態およびバラスト状態に対する剩余抵抗係数曲線(1957 ITTC・friction line使用)の比較図をFig. 2.3.1に示す。ただし、4m模型船の抵抗試験は、広島大学および三菱重工業船型試験場の両水槽で実施しており、両水槽の試験結果にはかなりの差があったが、広島大学の試験では対水速度の計測を行なっておらず、上記の差は水槽の残留カレントの影響と考えられるので、比較には後者の試験結果を採用した。

剩余抵抗係数は、満載状態では模型船の長さによる相違が大きく、ほとんど全速度範囲を通じて長さが長いほど、剩余抵抗係数が小さい傾向が明瞭に見られる。

一方、バラスト状態では、フルード数0.12以下の低速では、満載状態と同様の傾向が見られるが、それ以上の速度では、模型船の長さと剩余抵抗の値の大小との間には、明瞭な関係は見られず、その他の模型船間の差も満載状態にくらべると小さい。

次に、Fig. 2.3.2に、各模型試験の結果から、Hughesの摩擦算式を使用して、Hughesの方法で求めたform factor(K)の値および造波抵抗係数曲線を示す。ただし、2m模型船に対しては、低速における計測値のバラツキが大きく、Hughesの方法による K を求めることができなかつたので、便宜上 C_w 曲線がなるべく8m模型船の結果と一致するよう K の値を推定した。同図に示す7m模型船の結果は、別途行なわれた7m相似模型船の結果（日立造船機提供の資料による）である。

この結果は、満載状態においては、模型船間で若干の相違はあるが、2m～12mの模型船を通じてかなり良い一致を示している。

一方バラスト状態では、2m模型船の結果をのぞき、模型船の長さが長くなるほど K の値は小さく、 C_w はフルード数0.12以上では逆に長さが長いほど大きい傾向が明瞭に見られる。2m模型船については、 C_w 曲線が8m模型船と一致するよう K を選定して解析した結果を示しているが、上記の傾向に沿って K をもっと大きく C_w を小さくした方が妥当であると思われる。

今回の試験のように、大きさの異なる相似模型船の抵抗試験結果がある場合には、 C_w はフルード数のみの関数であり、また K もフルード数によっては変化するが、レイノルズ数すなわち模型船の大きさ水温では変化しないという仮定のもとに、各模型船に共通な K および C_w を求める方法がある。Fig. 2.3.2およびFig. 2.3.4では、この方法により、各フルード数ごとの各模型船の全抵抗からHughesの摩擦抵抗係数(C_{fH})をさしひいたものを C_{fH} ベースにプロットした。これらのプロットにおいて同一フルード数に対する各模型船の値が一直線上にあれば、その直線の傾斜および $C_{fH}=0$ における値からそのフルード数に対する K および C_w を求めることができる。（この方法によって求めたform factor、造波抵抗係数の定義はHughesの方法により求めた K 、 C_w とは異なるが便宜上 K 、 C_w と表示した。）

満載状態については、Fig. 2.3.3に示すように低速部をのぞくと7m模型船を含む5隻の模型船の結果は、各フルード数ごとに平行な直線の上にほぼのっており、この方法で各模型船に共通な K および C_w の値を求めることが示している。このようにして求めた K 、 C_w の値はFig. 2.3.5に示す通り、Hughesの方法で求めた C_w 曲線よりも良い一致を示している。

バラスト状態については、Fig. 2.3.4に示すとおり、点のバラツキが非常に大きく、満載状態の場合のように、2m～12mの4模型船の点を通る直線をひくことができない。8mおよび12m模型船の結果を比較すると、低速部をのぞいて殆んど C_t-C_{fH} が一定という傾向もみられるが、一応、4m、8m、12m模型船の結果を重視して、満載状態の場合になって、Fig. 2.3.4に示すとおり、各フルード数に対して、平行な平均線を求めてみた。この直線から求めた K および C_w の値は、Fig. 2.3.2の中に示すように、Hughesの方法により求めた値にくらべ若干 K が低く、 C_w が大きい傾向になっている。また、この方法によって求めた K の値を使用して計算した各模型船の C_w 曲線はFig. 2.3.5に示すように、2m模型船の結果を除けば、各模型船に対する C_w 曲線のバラツキはHughesの方法による結果よりは少ないが、ITTC-1957 lineを使用した剩余抵抗係数曲線にくらべると改善が見られない。

2.3.2 波形計測

波形計測結果から求めた造波抵抗の値を、Fig. 2.3.2の図中に示したが、この量は、実船の計画速力付近では、Hughesの方法で求めた造波抵抗に対して、満載状態では1%程度、バラスト状態ではほとんど無視できる程度で非常に小さい。

実船計画速力に対応する速度（満載 17 kn、バラスト状態 18 kn）程度では、造波抵抗が小さいことに対応して、波高が非常に低く、波形の比較については充分な精度が期待できなかったので、抵抗分離試験に関する資料として、できるだけ高速での抵抗成分分離計測を行なったが、Fig. 2.3.6 に満載 19 kn、バラスト状態 20 kn における波形計測結果の比較を示す。

この結果を見ると、各模型船に対する波形は位相振幅とともに非常に良く一致している。

2.3.3 後方wake survey

各模型船につき、A.P. より 0.5 Lpp 後方で、進行方向に直角な平面内の総圧および静圧の計測を行なった。

この計測結果から、head loss による船体抵抗を求めたが、Fig. 2.3.7 は各模型船について求めた head loss の奥水方向の分布の比較である。

head loss は模型船が小さくなるほど相対的に大きくなっているが、奥水方向の分布の形状は模型船の大きさにかかわらず、満載状態、バラスト状態とも良く似た傾向をもっている。すなわち、head loss の奥水方向の分布は水面付近と船底よりさらに深い部分との 2 カ所に peak をもっており、伴流分布の下限は満載奥水の 2 倍程度の深度において、かつ、模型船の大きさや速度にかかわらず、ほぼ一定である。この下方の head loss の peak は、船尾に存在する内まわりの渦流による伴流の下降によるものと考えられるが、その分布形状が、模型船の大きさにかかわらず同じ傾向を持っていることは興味ある結果である。

これらの head loss の分布から算出した抵抗値、および波形計測から求めた抵抗値と、抵抗試験で求めた全抵抗との比較を Fig. 2.3.8 に示すが、満載状態では分離計測した抵抗成分の和と曳航抵抗とは、2 m 模型船を除いて良く一致している。バラスト状態では満載状態にくらべて、一致性が落ちるが、4 m、8 m 模型船では、ほぼ一致していると見ることができる。

ただし、小型模型船（2 m）では、肥大船においては、波形計測、後方流場計測とともに、計測量の絶対値が微少であるため、計測精度に問題があり、小型模型船による抵抗成分分離計測は現在の技術では困難である。

Fig. 2.3.9 および Fig. 2.3.10 は各水深における水平方向に対する head loss の分布の比較図である。Wave breaking resistance に対応する head loss の peak は、バラスト状態ではわずかに認められるが、満載状態では殆んど認められなかった。

2.3.4 プロペラ単独試験

2 m 模型船については自航試験は行なっておらず、模型プロペラは 4 m、8 m および 12 m 模型船用の 3 個（プロペラ直径は 95.36 mm、190.73 mm および 286.09 mm）であるが、回転数の相違を含めて 4 種のレイノルズ数で試験したプロペラ単独試験の結果を Fig. 2.3.11 に示す。通常の作動範囲では、レイノルズ数の増加により、推力係数 (K_T) は、わずかに増加、トルク係数 (K_Q) は逆に減少し、このためプロペラ効率はレイノルズ数の増加とともに増加しており、プロペラ特性に対する尺度影響は従来発表されている試験結果と同様の傾向を示している。²⁾³⁾¹⁰⁾

2.3.5 自航要素

4 m 模型船の自航試験は、広島大学および三菱重工業の両水槽で実施され、両水槽の試験結果にはかなりの差があったが、抵抗試験の場合と同じ理由で、自航要素の解析には後者の試験結果を採用した。

自航試験を行なった 12 m、8 m および 4 m の 3 模型船の自航要素すなわち、有効伴流係数 (w_m)、推力減少率 (t) およびプロペラ効率比 (η_T) の比較を Fig. 2.3.12、Fig. 2.3.13 に示す。なお、満載状態に対しては前述の 7 m 模型船の結果をも記入した。

プロペラ効率比 (η_T) については、4 m 模型船の値が小さく、模型船の大きさとともに増加する傾向も見られるが、

8 m および 12 m 模型船の結果の比較からみて、一般に云われているように、 η_r は模型船の大きさによってあまり変わらないと云ってよいと思う。

一般に自航要素のうち最も尺度影響が明瞭に見られる有効伴流係数 (W_m) については、満載状態の 4 m 模型船の場合をのぞき、満載、バラストの両状態とも模型船長さに対して、ほぼ同じ傾斜で W_m が減少する結果が得られている。

肥大船模型船の有効伴流係数の性質を調べる方法として、谷口等により提唱されている⁸⁾⁹⁾ プロペラ荷重度変更試験を行なった結果を Fig. 2.3.1.4 に示す。この試験は、自航試験時の曳航力 (SFC) を変更してプロペラ荷重度を変更し、プロペラ荷重度による有効伴流係数の変化を調整するもので、 $T/\rho v^2 D^2 = 0$ は、プロペラ推力が 0 になるように、模型船の曳航力を大きくした場合であり、この時の有効伴流の値は曳航時の nominal wake の値とはほぼ等しくなる。また、各模型船ICに対する $T/\rho v^2 D^2$ 最大の点は SFC を 0 とし、すなわち模型船の自航点で自航試験を行なった場合の値である。なお、通常の自航試験時のプロペラ荷重度は満載状態に対しては $T/\rho v^2 D^2 \approx 0.6$ 、バラスト状態に対しては $T/\rho v^2 D^2 \approx 0.45$ である。

このプロペラ荷重度変更試験の結果、バラスト状態では各模型船とも、 W_m の値は、バラツキはあるが、プロペラ荷重度に対してほぼ一定である。一方、満載状態では、4 m 模型船は W_m がほぼ一定であるが、8 m および 12 m 模型船では、 W_m の値は $T/\rho v^2 D^2 = 0$ より 0.6 あたりまでは、プロペラ荷重度の増加とともに直線的に減少し、これ以上のプロペラ荷重度はほぼ一定の値を示している。

この 8 m、12 m 模型船における、プロペラ荷重度による W_m の変化は肥大船に特有の一般的問題として指摘されており、プロペラの吸引力の影響で船尾船体まわりの流場が抵抗試験の場合と異なるものと解釈され、このような流場を F-タイプと名づけ、またこれに対して、肥大船においてプロペラ荷重度によって W_m が変化しない場合の流場を S-タイプと名づけられている。⁹⁾¹¹⁾

一般に、瘠型船では、古くから知られているように、プロペラ荷重度によって W_m はほとんど変化しないが、船尾が肥大化してくると、上記の F-タイプの傾向が現われ、さらに肥大化が進むと、再びプロペラ荷重度による W_m の変化は消え異常に大きな W_m が現われる。

本船型の場合、満載状態においては、船型は同一であるが模型船の大きさの相違により船尾流場のタイプの相違が現われ、4 m 模型船にのみ、S-タイプの流場が現われたものと判断される。

したがって、Fig. 2.3.1.2 における、4 m、8 m 模型船の W_m の相違は船尾流場のタイプの相違によるもので、通常の尺度影響とはわけて考える必要がある。すなわち、今回の相似模型船による試験から求められる、模型船の長さと、 W_m の値との関係に関する一般的結論としては満載状態においても、Fig. 2.3.1.2 の実線に示すように、バラスト状態の場合と同様に、模型船の長さの増大とともに、 W_m の値が単調に減少するものと考えるべきであろう。

なお、この結果からも、肥大船の W_m の尺度影響の調整、あるいは実船の伴流係数の推定には、模型船の船尾流場のタイプの判別が重要であることが認識される。

推力減少率 t については、満載状態の 4 m 模型船も含めて両載貨状態とも模型船の長さにかかわらず一定という常識的な結果が得られているが、船尾流場のタイプが異なる場合には、 t の値も異なるはずであり、この点では 4 m 模型船満載状態の t と W_m との関係には、疑問が残り、さらに検討をする必要がある。

2.3.6 プロペラ位置伴流計測

満載状態 (16 kn)、バラスト状態 (17 kn) につき、五孔管を用いて、プロペラ位置の流場計測を行なった。各模型船に対する計測結果を Fig. 2.3.1.5 に示す。4 m、8 m および 12 m 模型船の結果を比較すると模型船長さが短いほど伴流の大きい部分が横に拡がっている。模型船の長さの増加に伴ない境界層の厚さが相対的に薄くなり、プロペラ位置の伴流が小さくなっている状況をこれより詳細に知ることができる。一方流線方向の計測結果を見ると、プロペラ中心の左右に拡がっている伴流の大きい部分は内まわりの渦を形成しているが、その渦の中心位置、渦の大きさには模

型船の大きさによってほとんど相違がなく、流速のみに相違が見られる。

次に、各模型船に対するプロペラ位置の伴流計測の結果から得られたnominal wake W_{V_0} の値を、自航試験結果から求めた有効伴流 W_m 、およびプロペラ荷重度試験時の $C_T = 0$ における有効伴流 W_0 の値とともに次表に示す。

	4 m 模型船			8 m 模型船			12 m 模型船		
	W_m	W_0	W_{V_0}	W_m	W_0	W_{V_0}	W_m	W_0	W_{V_0}
満載状態	0.64	0.65	0.67	0.55	0.62	0.59	0.52	0.60	0.53
バラスト状態	0.63	0.61	0.64	0.60	0.59	0.59	0.55	0.53	0.53

2.3.7 流線観測

2 m および 4 m 模型船では、船体表面の流線観測を行なった。2 m 模型の流線観測は、東京大学工学部舶用機械工学科の回流水槽で行なわれ、2 段系の方法、楽品塗膜法および tuftgrid の方法が採用された。4 m 模型では、 $\frac{1}{2}SS$ 、約 $\frac{3}{8}SS$ 、プロペラ位置の 3 点で 5 孔管による計測を行なった。2 段系による結果を Fig. 2.3.1.6 限界流線を Fig. 2.3.1.7 に、 tuftgrid による結果を Fig. 2.3.1.8 に示す。

この試験結果によれば、船首船底に交差流が発生していることは明瞭で、満載状態の方が バラスト状態より交差流が強い。この交差流は下流に行くに従い外側に移り、船底中央の交差流が弱い領域も下流に行くに従い拡がり、船底では、s. 16.5 ~ 6 付近から下流では交差流がほとんど見られなくなる。これは、交差流の領域がビルジ部に押しやられ、縦渦として下流に流れで行くためと思われる。tuftgrid による試験結果は、実船伴流計測位置および A P 下流 54 mm の両位置とも、ビルジ渦が存在することを明らかに示している。

2.4 考 察

以上、昭和 45 ~ 46 年度に実施した 2 m、4 m、8 m および 12 m の相似模型船の試験結果の比較検討を行ない、肥大船の諸性能の尺度影響に関する資料を得た。

船体抵抗の尺度影響については、計測値のバラツキが大きく、詳細な解析を行なうには試験結果の精度の不足が感ぜられ、今後、小型模型船による肥大船抵抗試験の精度向上、大型模型船の試験結果に対する blockage effect などにつきさらに、研究を進める必要を感じたが、本研究により明らかとなつた点は次のとおりである。

船体抵抗の外挿を正しく行なうためには、まず、船体抵抗をそれぞれ異なつた相似則にしたがう造波抵抗 (wave breaking resistance を含む) と粘性抵抗とに正しく分離して取扱うことが必須の条件であり、このため、肥大船ではいわゆる三次元外挿法の必要なことが早くから云われ、わが国ではすでに広く採用されているが、今回の研究の結果でも、まず、満載状態については、三次元外挿法の必要性が明らかであり、またその form factor の値としては、低速時の全抵抗を粘性抵抗と見るいわゆる Hughes の方法がほぼ妥当であることが認められる。ただし、Hughes の方法では、低速時の抵抗計測精度の不足が、正しい K の値の推定の障害となつておらず、もっと適切な form factor の決定法が得られれば、肥大船の抵抗外挿の精度はさらに向上することが期待される。

バラスト状態の抵抗に関しては、今回の試験結果から判断すると、単純に低速時の船体抵抗が粘性抵抗であり、かつこの抵抗成分は相似船型では相当平板の摩擦抵抗に比例して変化するという、いわゆる Hughes の方法は成り立たないものと判断される。今回の検討結果では Hughes の方法による値よりも小さな form factor をとることにより、試験を行なった範囲の模型間では、より正しい外挿ができるものと推定される。しかし、相似模型船の結果から求めた form factor を用いて実船試運転の解析を行なった結果では、従来の Hughes の方法によるよりもかえって満載・バラスト両状態の ΔC_f ははなれる傾向にあり、このバラスト状態の抵抗外挿に関する問題が、適当な form factor の値の選定だけで解決される問題であるか、または別の新しい問題を含むものであるかは今回の検討だけでは明らかにすることができなかつ

た。肥大船のバラスト状態の抵抗の尺度影響については今回得られた資料の解析とともにさらに信頼すべき資料を数多く求めて研究を進める必要がある。

自航要素については、 η_r 、 t が模型船の大きさにほぼ無関係であることを確認し、また伴流係数については、4 m～12 mの模型船に対し尺度影響に関する資料が得られるとともに、船尾流場のタイプの判定の重要性が確認された。

Table 2.1.1 Principal Particulars of Ship Models

	12 m MODEL		8 m MODEL		4 m MODEL		2 m MODEL	
LOAD COND.	FULL	BALLAST	FULL	BALLAST	FULL	BALLAST	FULL	BALLAST
L _{pp} [m]	12,000		8,000		4,000		2,000	
B [m]	1.7563		1.1709		0.5855		0.2927	
d _m [m]	0.6755	0.2855	0.4503	0.1903	0.2252	0.0951	0.1126	0.0476
TRIM [%]	0	1.99	0	1.99	0	1.99	0	1.99
Δ_a [kg]	11,764.2	4,749.6	3,485.7	1,407.3	435.71	175.91	54.46	21.99
S _a [m ²]	32.625	22.914	14.500	10.184	3.625	2.546	0.9063	0.6365
C _B	0.826	0.789	0.826	0.789	0.826	0.789	0.826	0.789
C _p	0.832	0.802	0.832	0.802	0.832	0.802	0.832	0.802
C _m	0.993	0.984	0.993	0.984	0.993	0.984	0.993	0.984
L _{OB} [%]	-2.4	-3.2	-2.4	-3.2	-2.4	-3.2	-2.4	-3.2

Table 2.1.2 Items of Tank Tests

Item of Test	Length of Model			
	12 m	8 m	4 m	2 m
Resistance Test	○	○	○	○
Self-propulsion Test	○	○	○	-
Prop. Open Test	○	○	○	-
Wake Survey at Down Stream	○	○	○	○
Wake Survey at Prop. Position	○	○	○	○
Measurement of Wave Profile	○	○	○	○
Measurement of Stream Line	-	-	○	○
Laboratory	Ship Research Institute	Nagasaki Experimental Tank, MHI.	Hiroshima Univ., Nagasaki Experimental Tank, MHI.	Yokohama National Univ., Tokyo Univ.

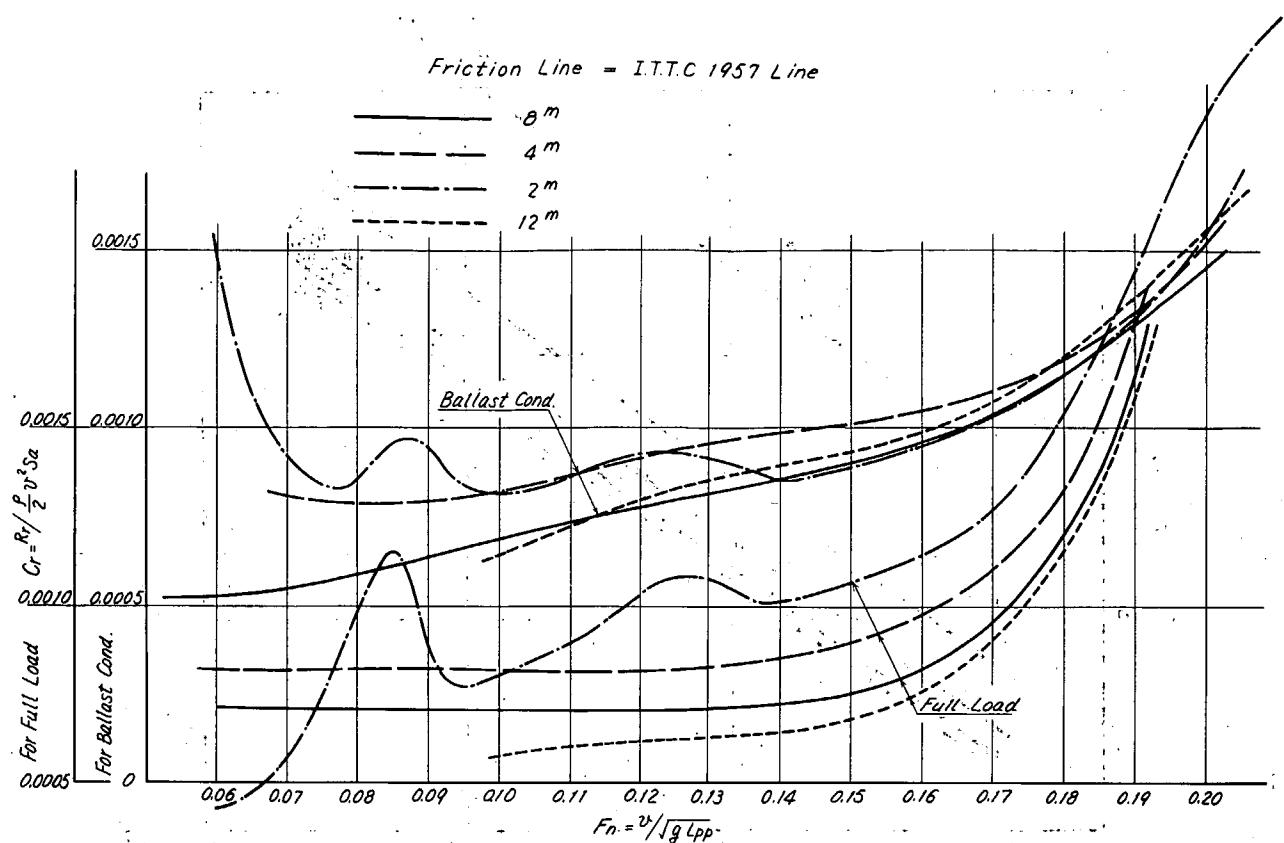


Fig. 2.3.1 Comparison of Residual Resistance Coefficient Curves

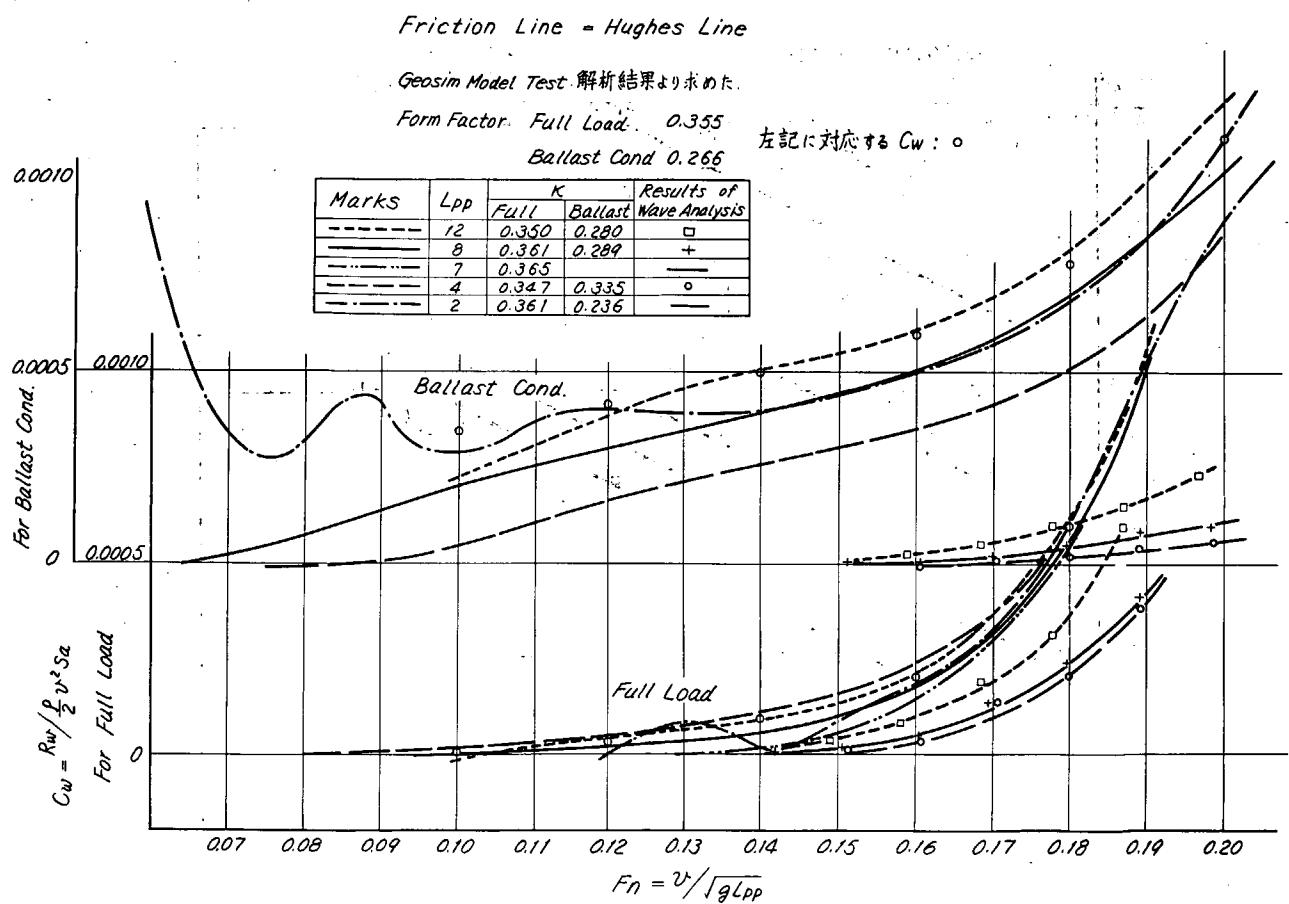


Fig. 2.3.2 Comparison of Wave Making Resistance Coefficient Curves

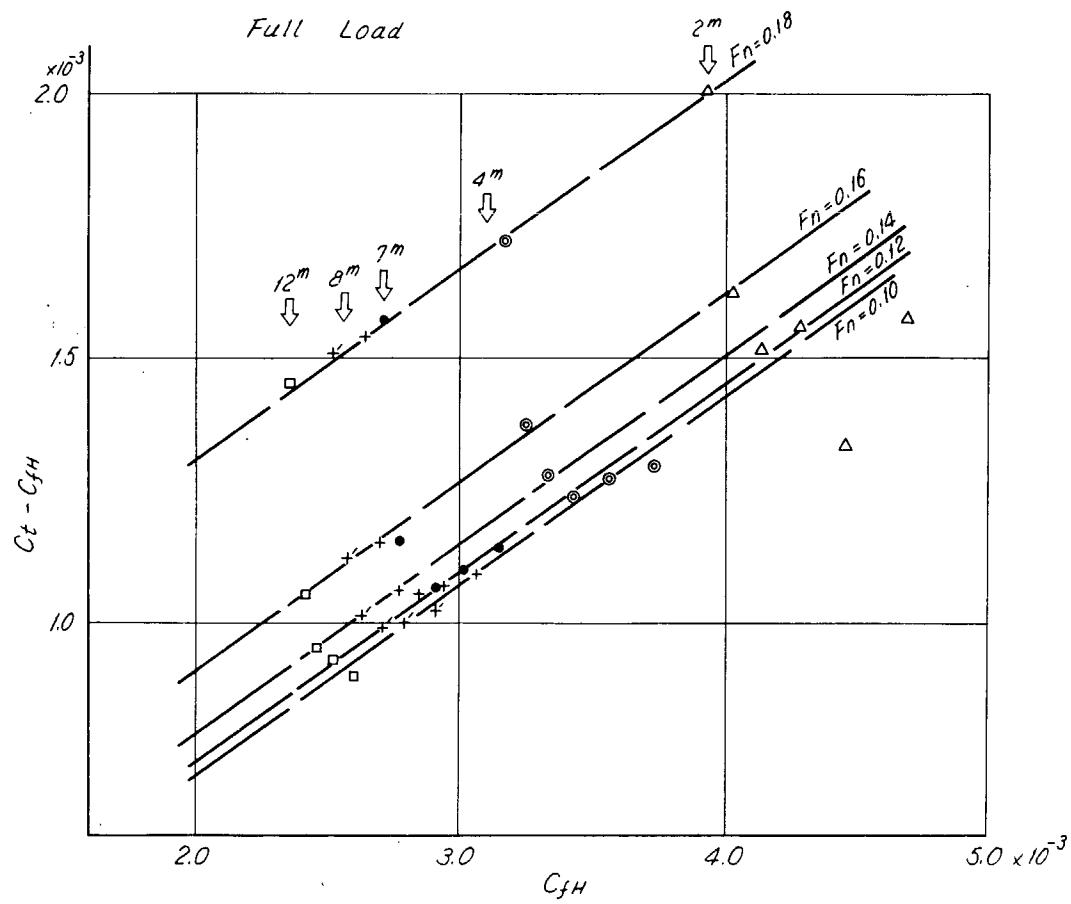


Fig. 2.3.3 Plot of $C_t - C_{fH}$ Based on C_{fH}

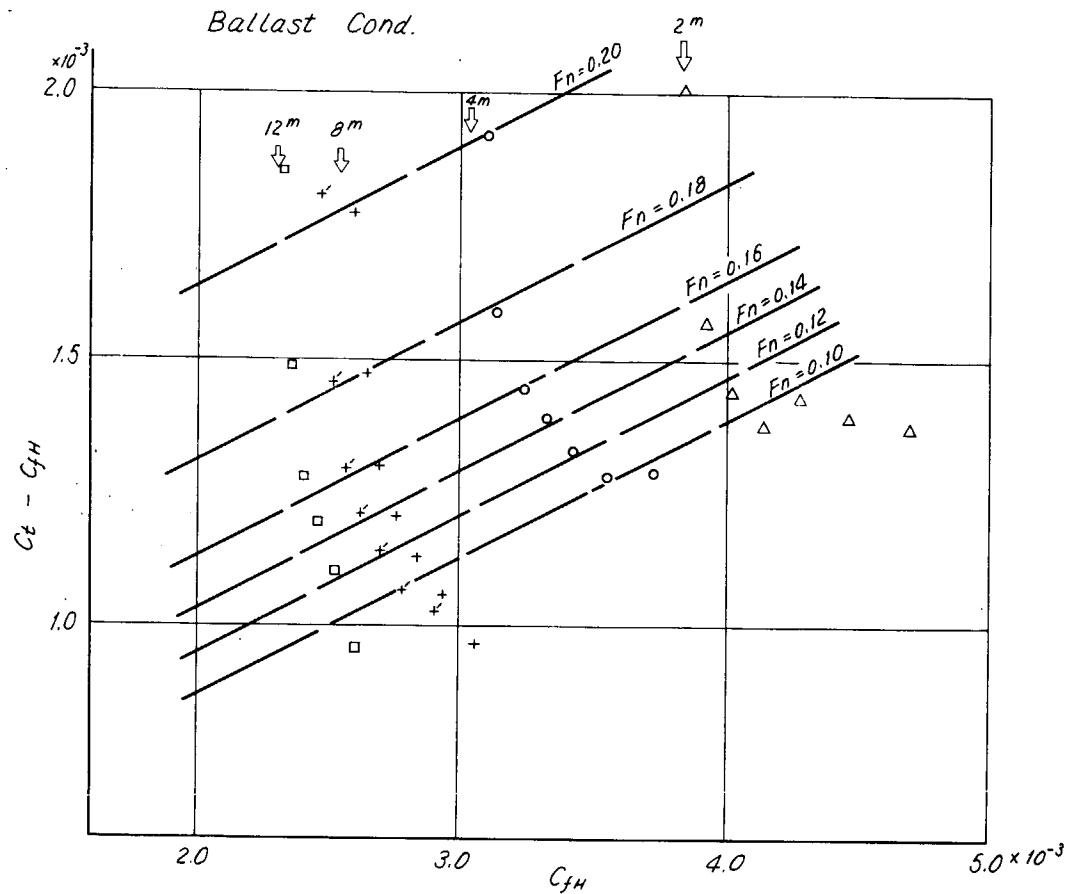


Fig. 2.3.4 Plot of $C_t - C_{fH}$ Based on C_{fH}

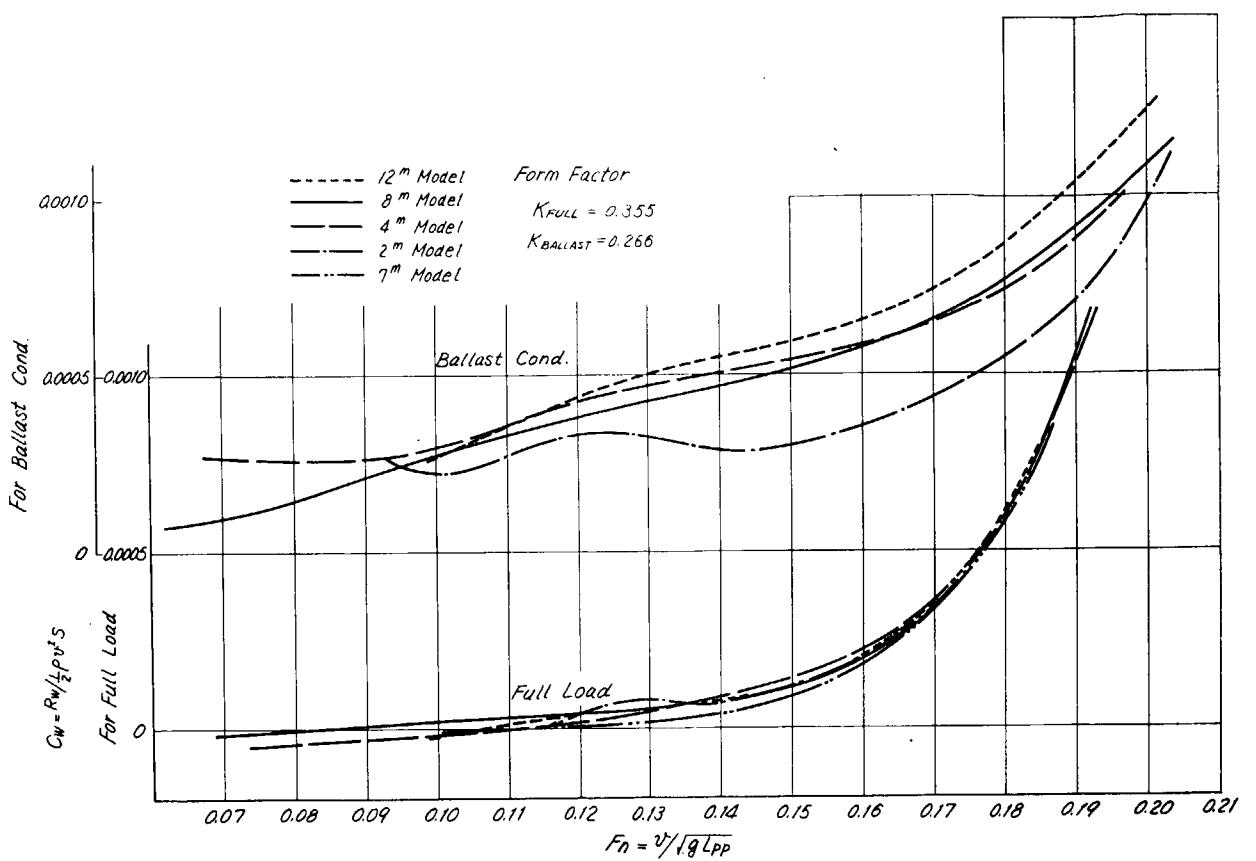


Fig. 2.3.5 Comparison of Wave Making Resistance Coefficient Curves

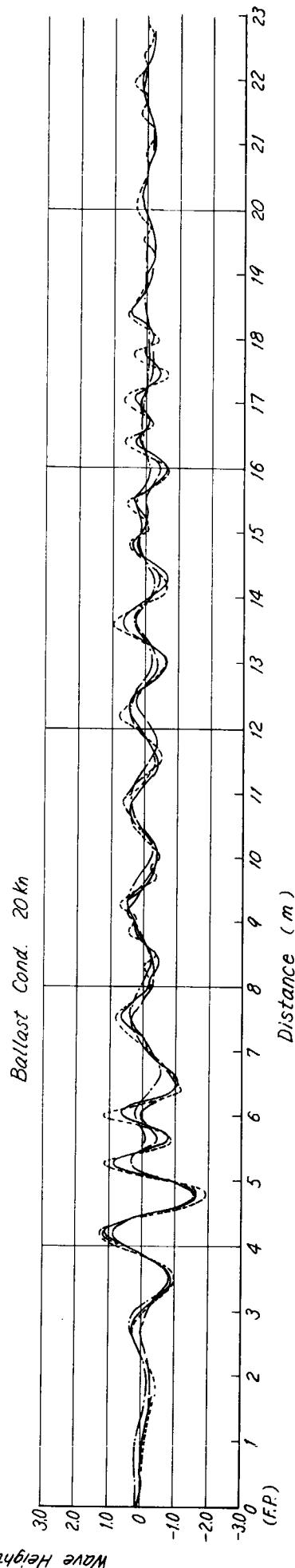
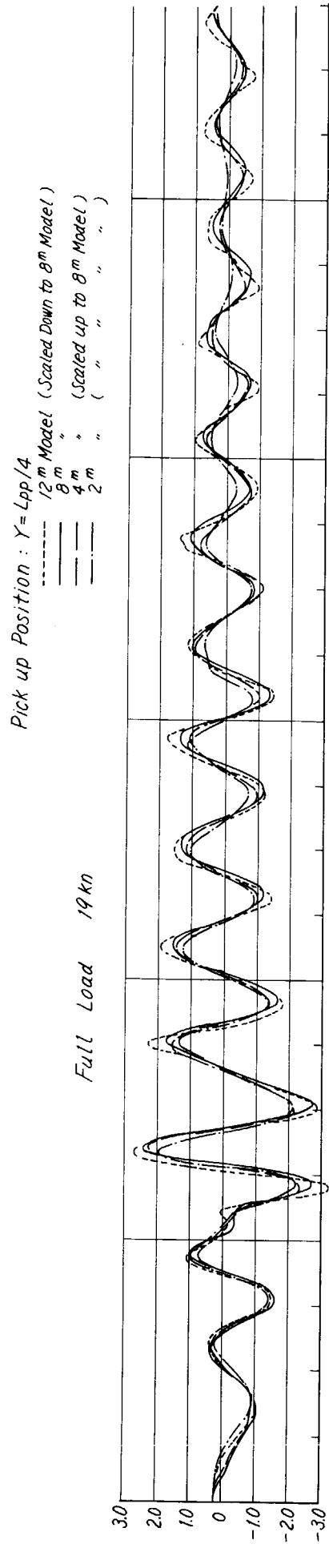


Fig. 2.3.6 Comparison of Wave Pattern

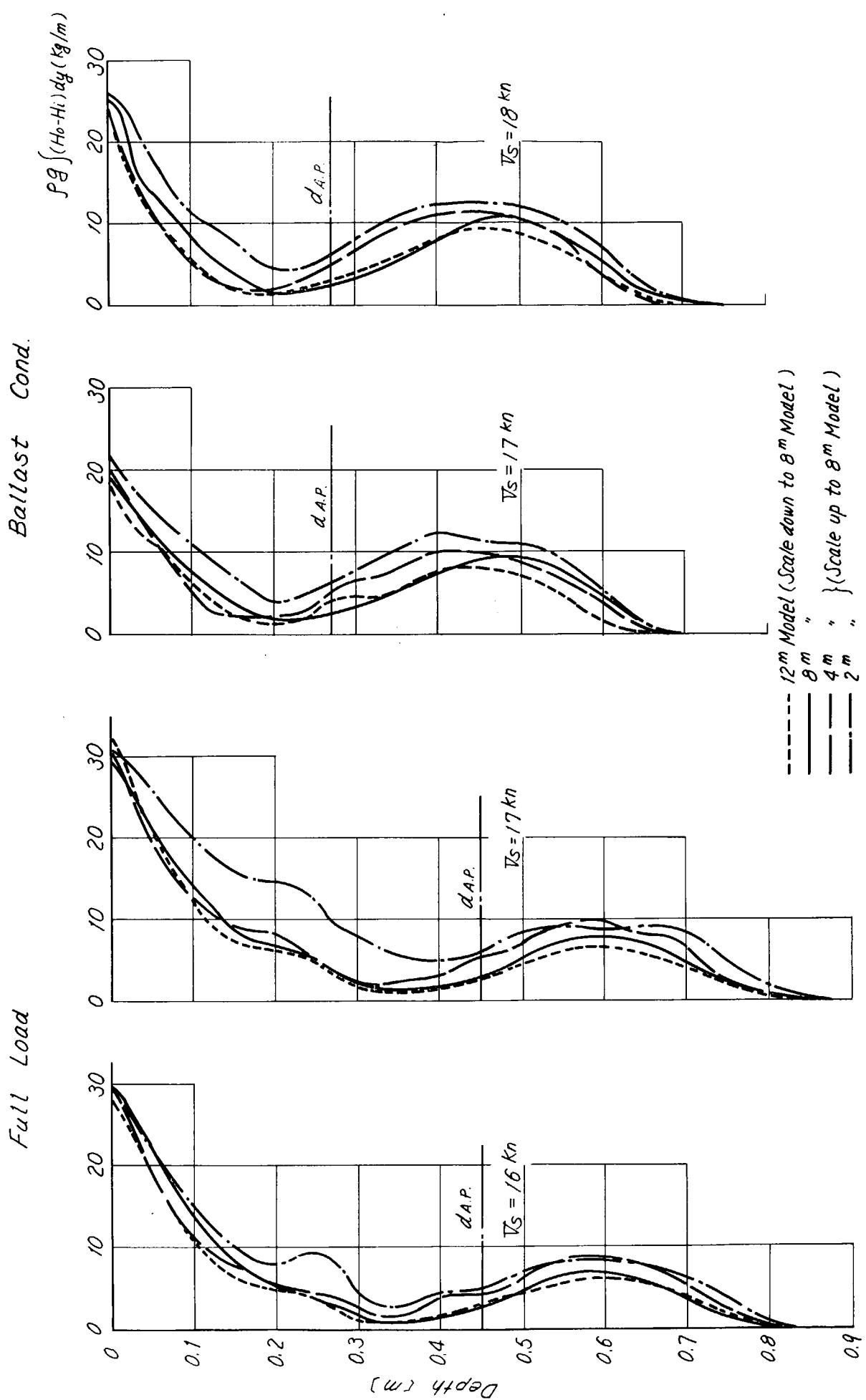


Fig. 2.3.7 Comparison of Head Loss Distribution

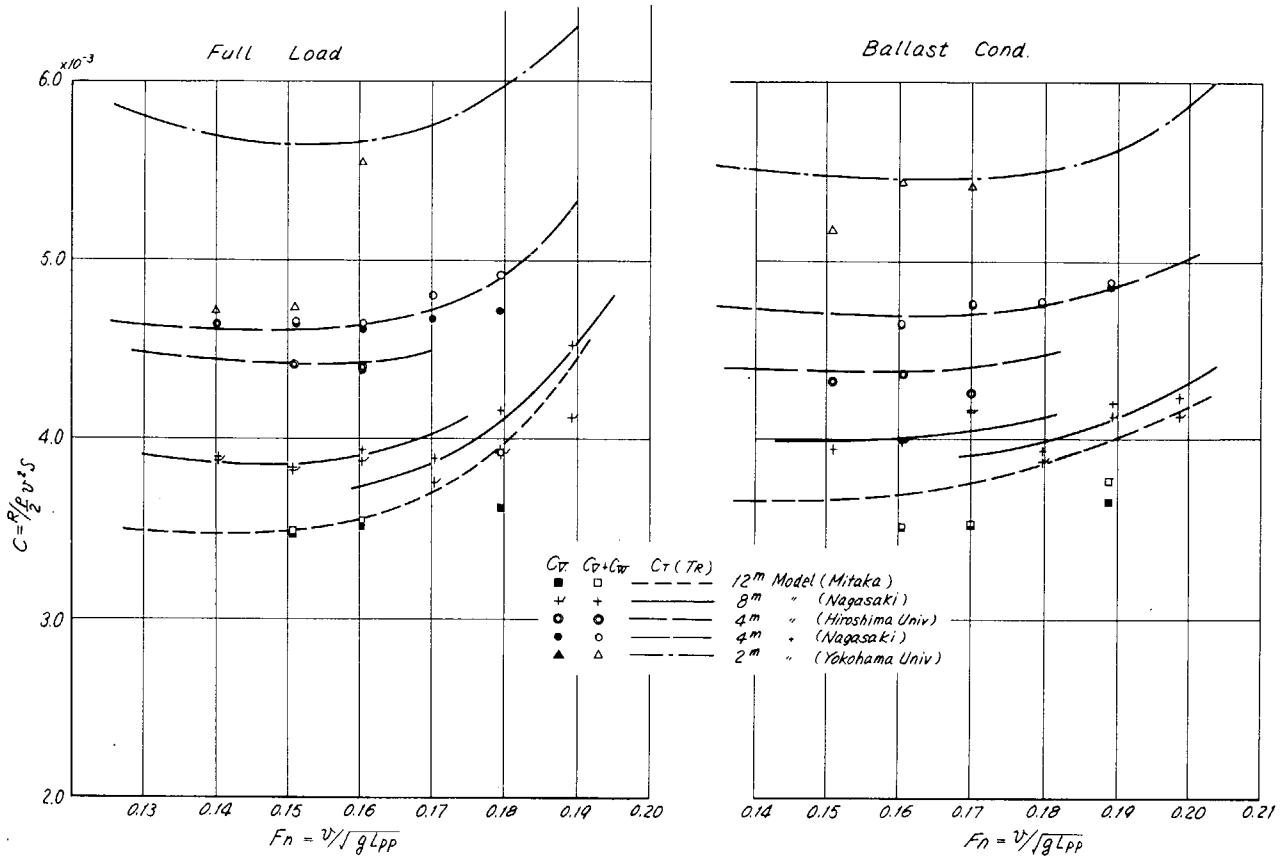


Fig. 2.3.8 Comparison of Test Results

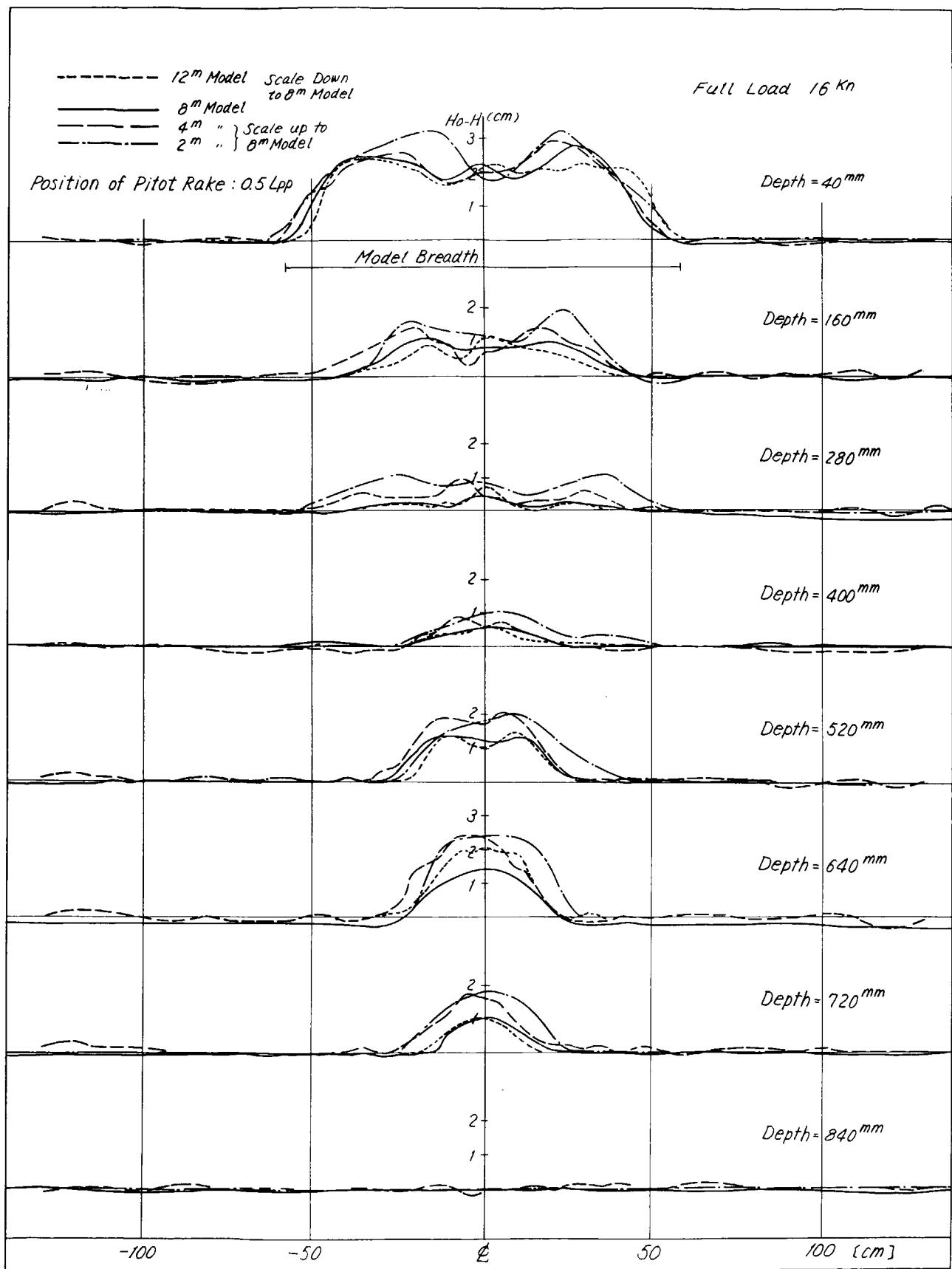


Fig. 2.3.9 Comparison of Head Loss Distribution

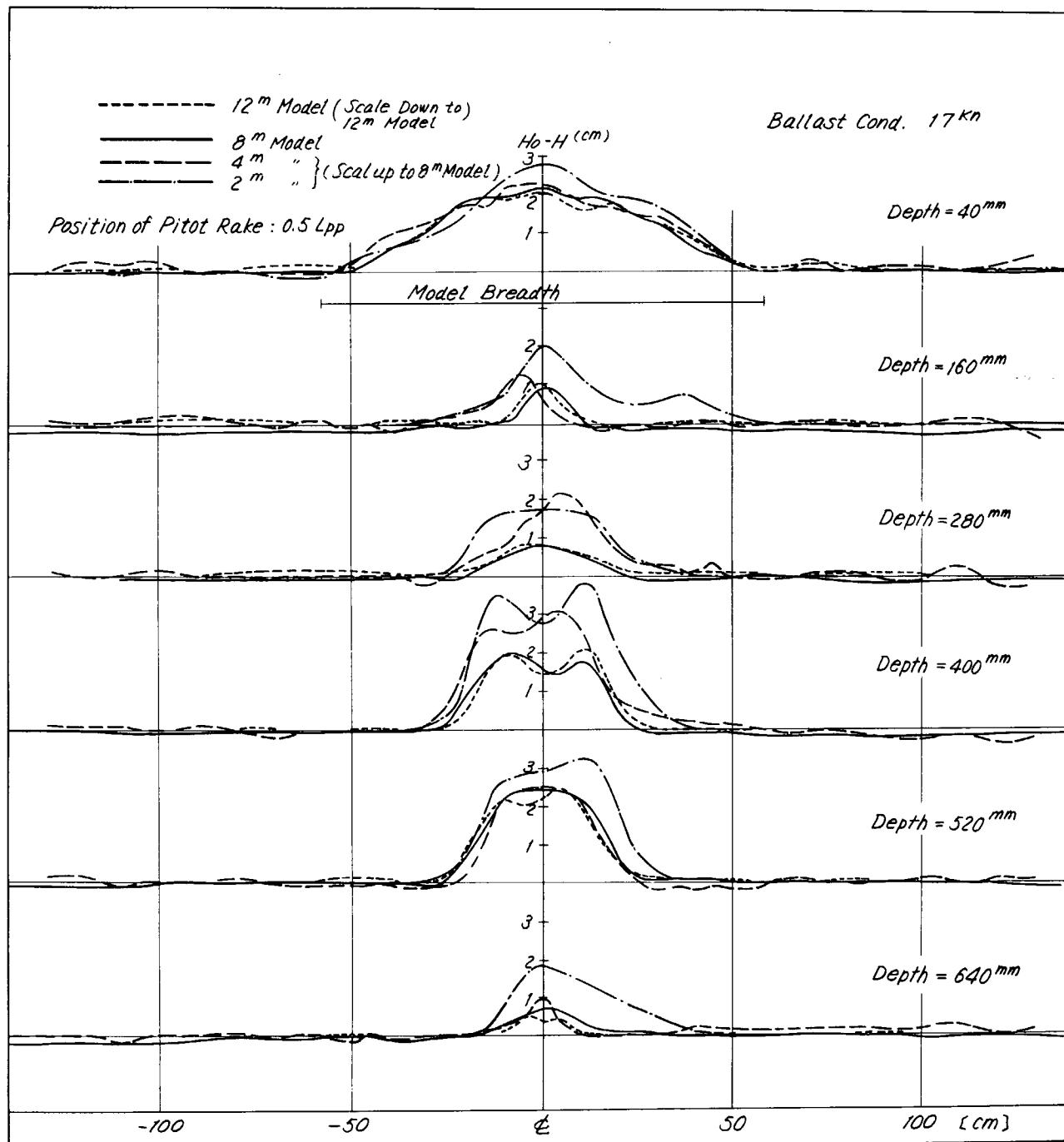


Fig. 2.3.10 Comparison of Head Loss Distribution

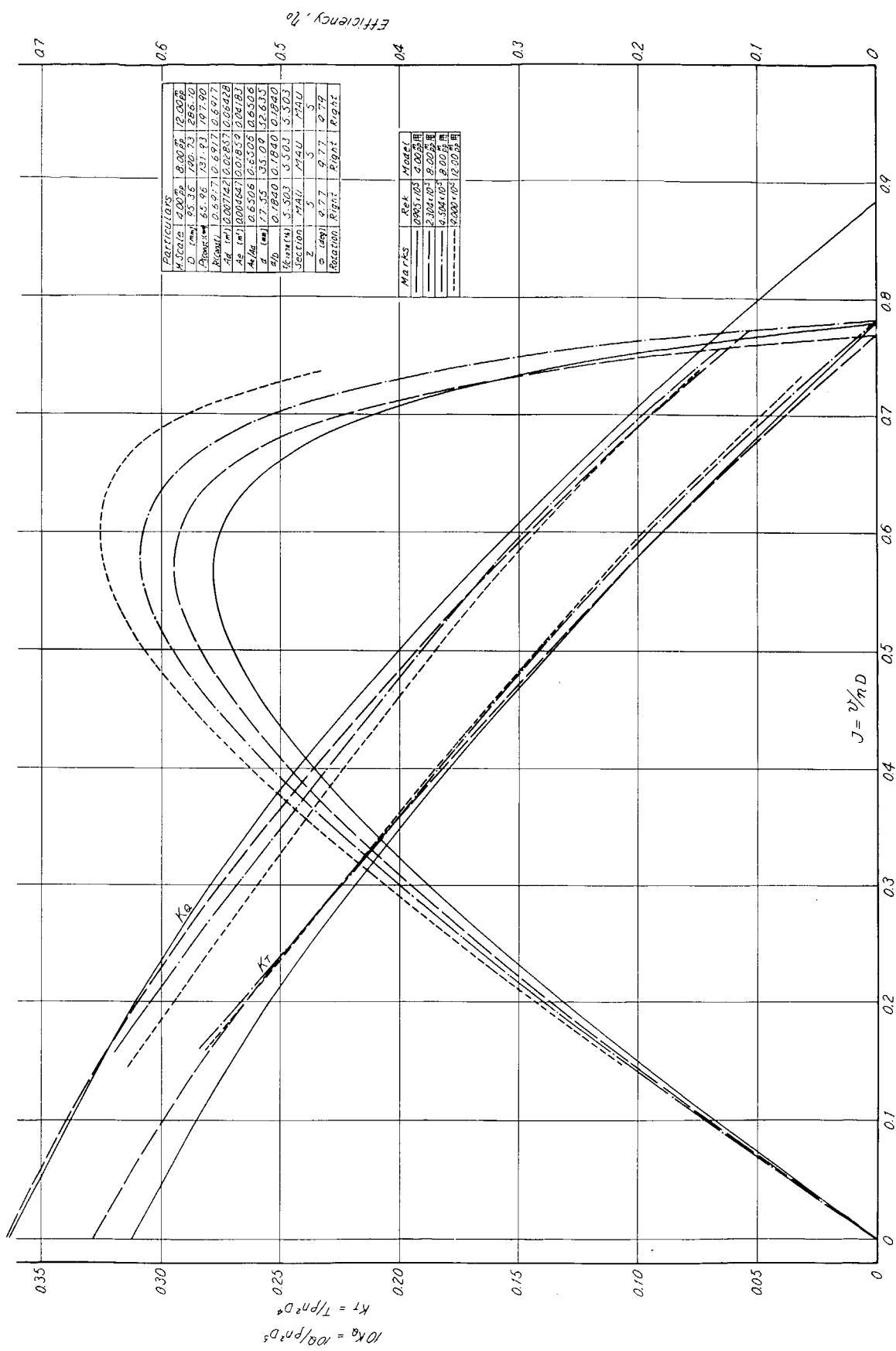


Fig. 2.3.11 Propeller Open Characteristic Curves

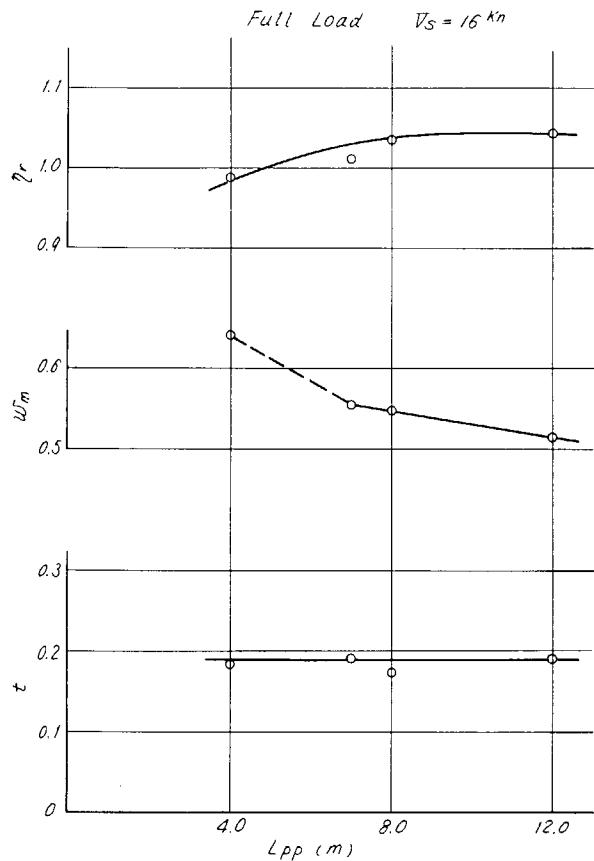


Fig. 2.3.12 Self Propulsion Factor

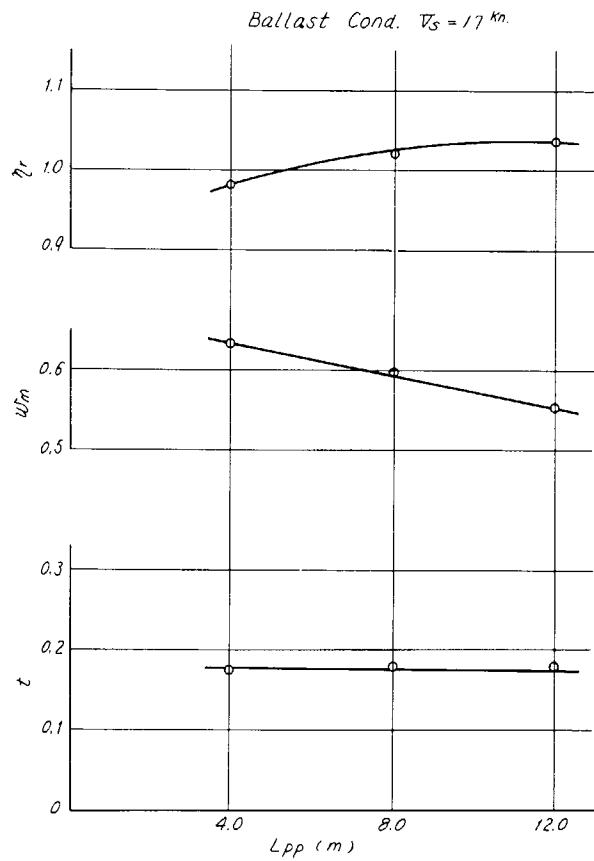


Fig. 2.3.13 Self Propulsion Factor

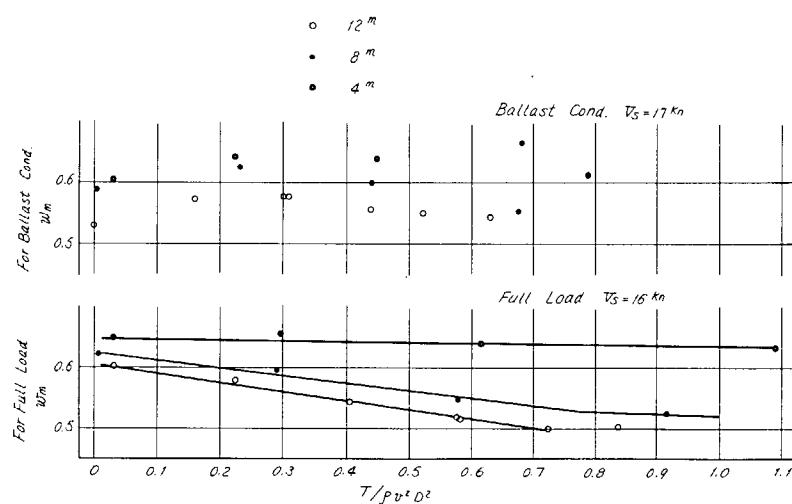


Fig. 2.3.14 Effect of Propeller Loading on Effective Wake

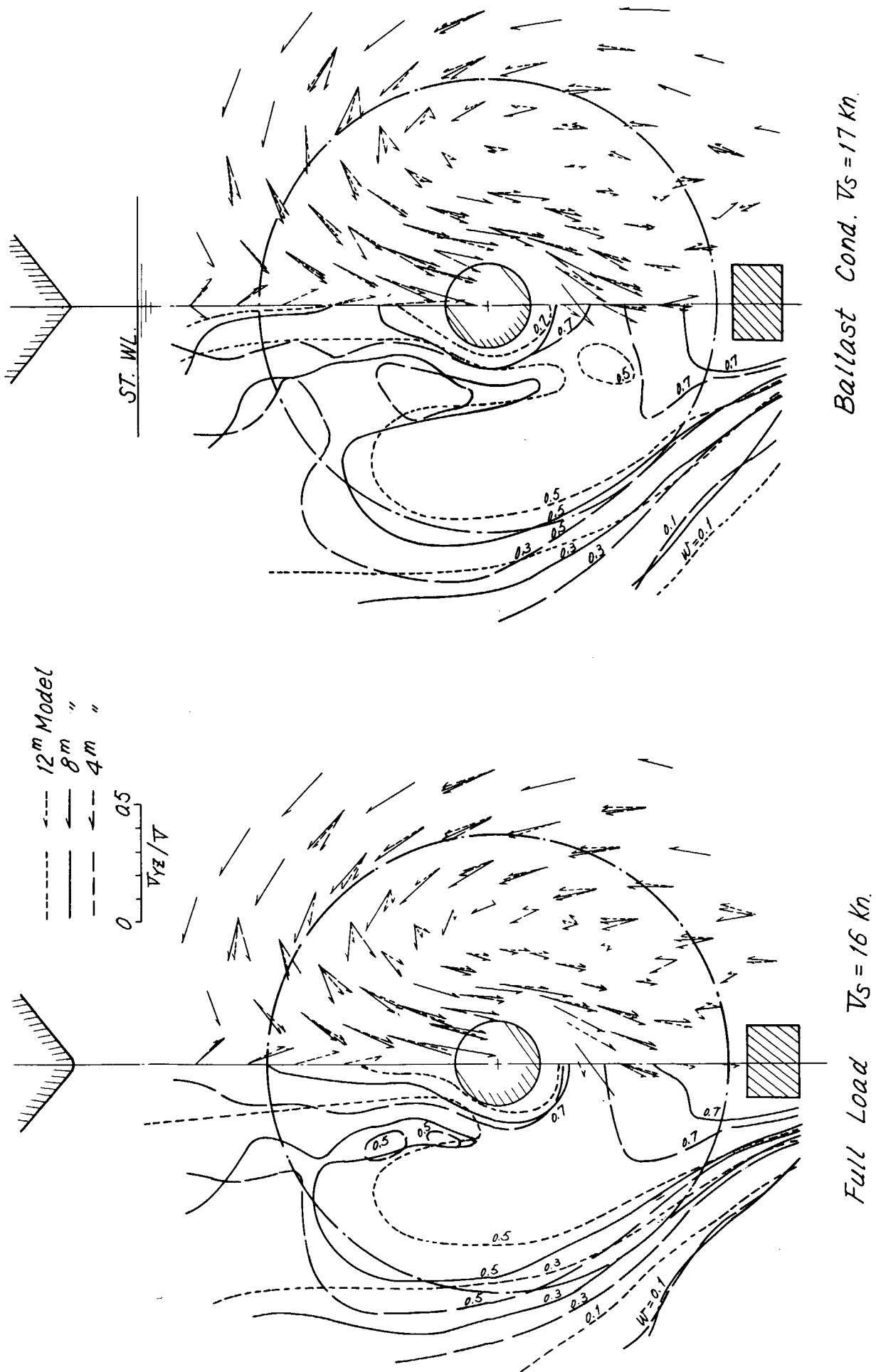


Fig. 2.3.15 Comparison of Flow Pattern at Propeller Position

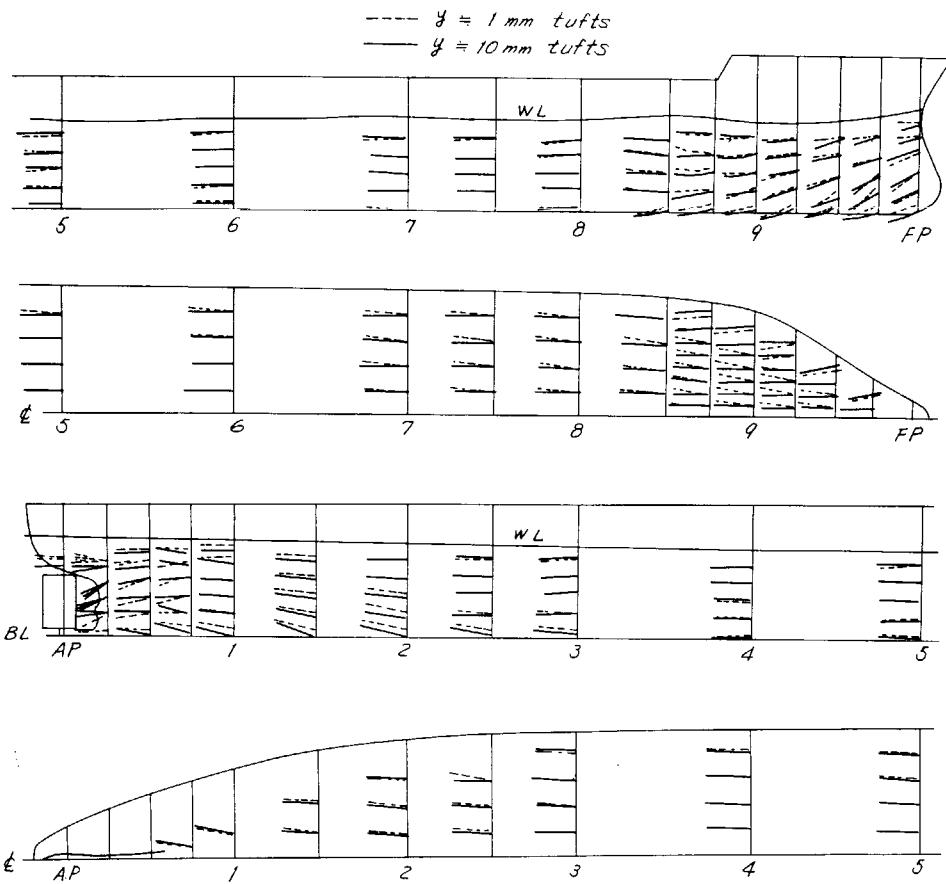


Fig. 2.3.16(a) Streamline Measured by Twin Tufts, Full Load Condition $F_n = 0.151$

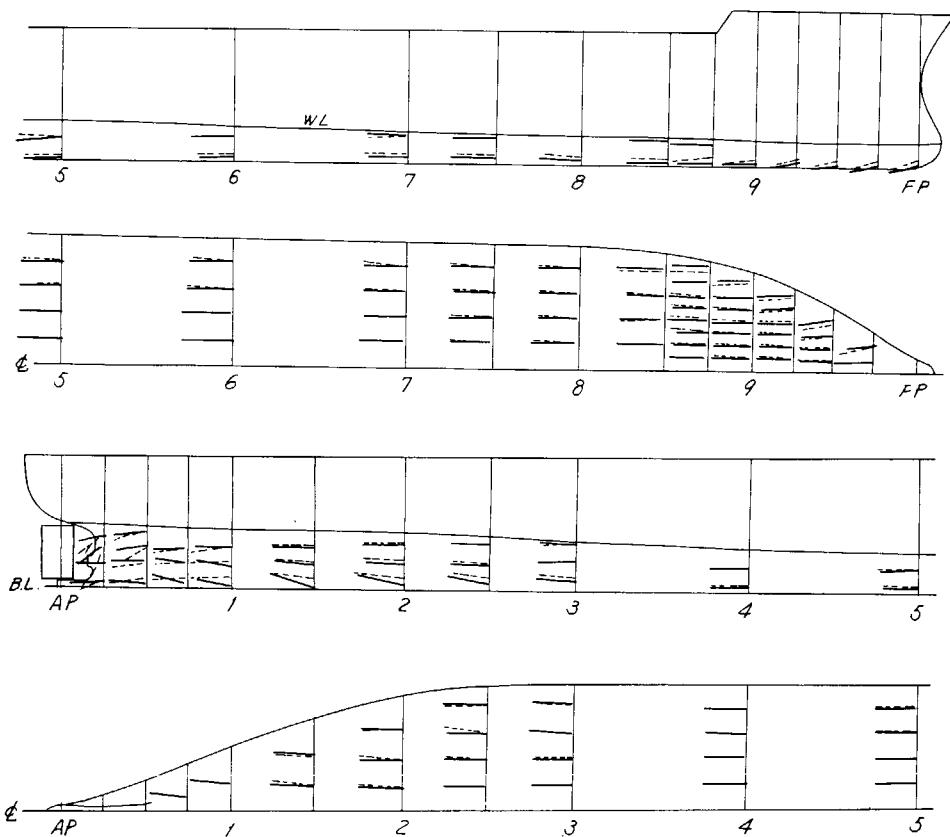


Fig. 2.3.16(b) Streamline Measured by Twin Tufts, Ballast Condition, $F_n = 0.160$

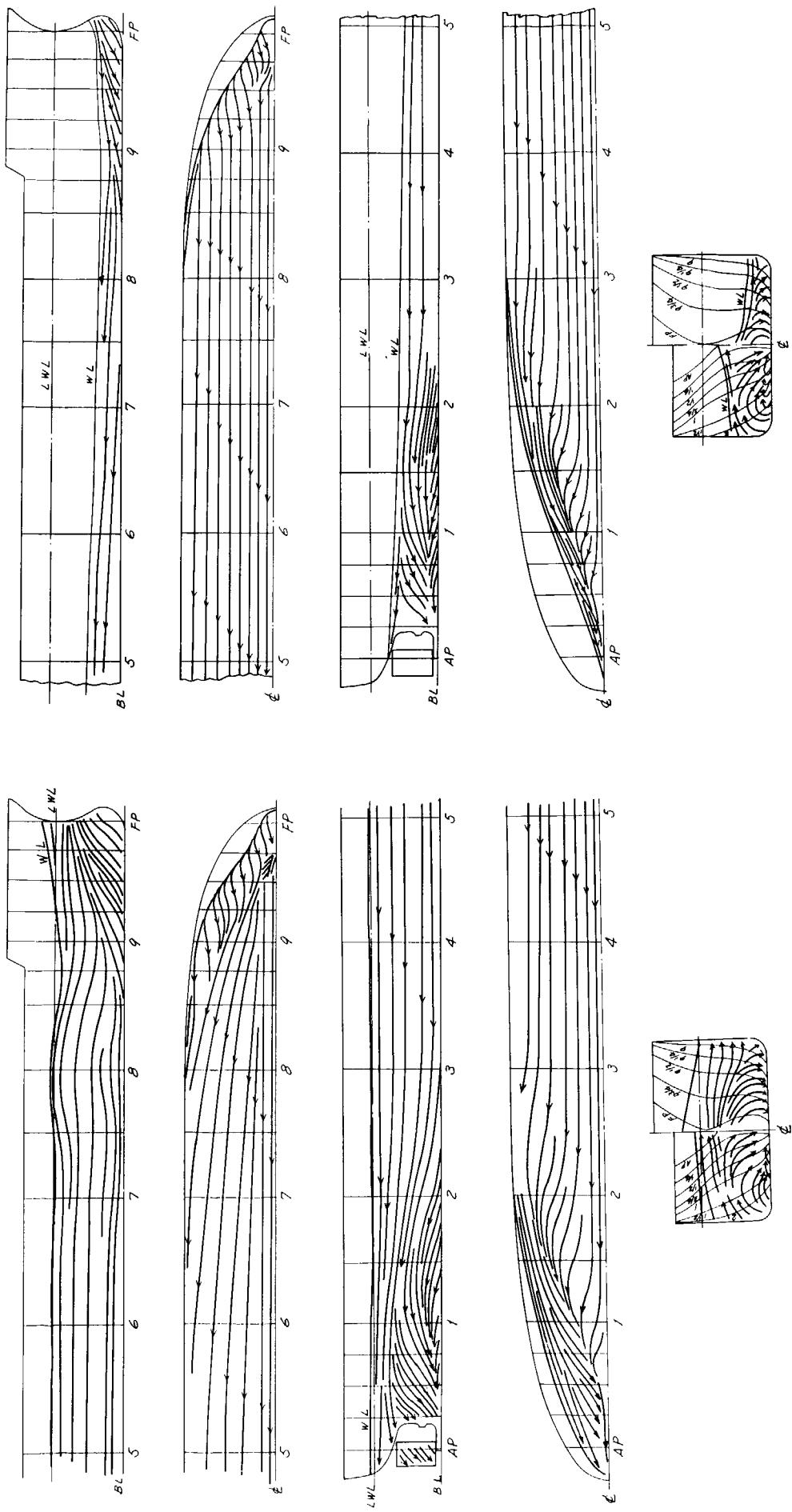


Fig. 2.3.17(a) Limiting Streamline, Full Load Condition,
 $F_n = 0.151$

Fig. 2.3.17(b) Limiting Streamline, Ballast Condition,
 $F_n = 0.160$

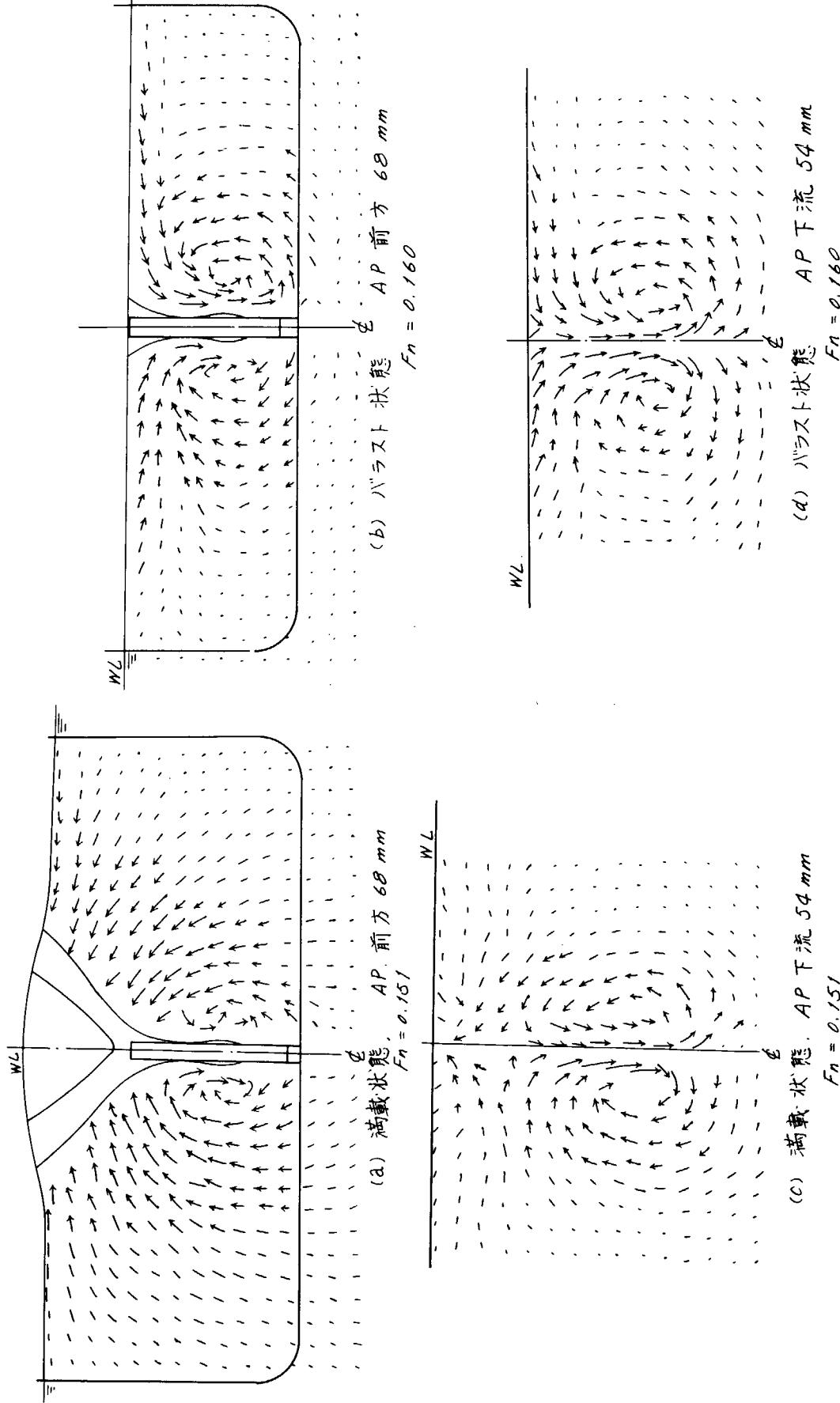


Fig. 2.3.18 Test Results by Tuft Grid

§ 3 実船の速力試運転

3.1 試運転状態並に諸計測

水槽試験においては、相似模型船群によって各抵抗成分に対する尺度影響が調査された。実船においては抵抗成分の分離計測まで行なうことは不可能であるが、できるだけ精確な速力試運転を実施して、相似模型船群による抵抗・自航試験に対応させ、尺度影響の研究に役立てることにした。したがって供試船は、前年度からの抵抗成分分離試験に供せられた相似模型船の対応実船新鶴丸（日立造船㈱因島工場建造、D.W. 16万トン鉱石運搬船）で、伴流計測に供せられたものとの同一船である。その主要目をTable 3.1.1に示す。

また、本船は鉱石運搬船であるために満載状態の試運転は行なわれず、バラスト状態（約40%満載排水量）のみについて実施された。それで、本船と全く同じ船体線図、主機およびプロペラを装備する姉妹船で、ただ油槽船として完成したので満載試運転の行なわれたA丸（昭和44年9月完工）の試運転資料をAPPENDIXとして添付した。

本船は伴流計測実施後入渠して、ピトー管等取付用のトラスおよび配線・配管等を取り外し、外板清掃を済ませた後に速力試運転を行なった。試運転状態は、できるだけ抵抗成分分離試験の状態に合わせるように努めたが、完全一致は見られなかつた。その詳細をTable 3.1.2に示す。

諸計測は、日立造船の通常の試運転施行法によつたもので、原則的には造船学会の「超大型船速力試運転施行要領」¹²⁾に則つてゐる。試運転全般にわたつて慎重に施行したが、特に入標前の助走に留意し、旋回終了後入標までの対水速度変化を、船底に装備した電磁ログによつて計測して、入標時の速度整定を確認した。対水速度変化の計測結果をFig. 3.1.1に、全般の計測値をTable 3.1.3に示す。

また本船には本部会の試運転計測用として日立造船式振計をとりつけたので、最終的にはその計測値を使用したが、本船備品としても古野電気製パルス式振計が装備されているので、同振計による計測値および主機制動馬力とを比較してTable 3.1.4に示す。両振計の指示の差は最大4%の2例があるが全体としてよく一致している。4%の差が見られる2例は、他の手掛りを制動馬力に求めるならば、SR107振計の指示はほぼ安定した値を示しているのに反して、本船振計の指示が制動馬力より著しく低いのが前記2例である。したがつてSR107振計の指示を採用したことはまず妥当なものと考えられる。

また参考用として、標柱間航走中に投板による対水速度計測も実施した。その結果はTable 3.1.3に併記したが詳細をTable 3.1.5に示す。

3.2 解析

まず、造船学会の「速度試運転成績標準解析法試案」¹³⁾によつて、風および潮流に対する修正を施した。解析に使用したプロペラ単独性能曲線は、船研AU-5型プロペラ系統的試験成績から推定したもので、Fig. 3.2.1に示す。また風の順逆とトルク常数の順逆とが合致せず、当日は頗る静穏であったので、ここでは風に対する修正は省略し、プロペラ回転数一トルク常数曲線のフェアリングのみを行なつた。そのトルク常数曲線をFig. 3.2.2に、潮流曲線をFig. 3.2.3に示す。また解析表をTable 3.2.1に示す。

以上の方法では風に対する修正に問題があつたので、あらためて谷口・田村の方法¹⁴⁾で解析を行なつた。そのトルク常数曲線をFig. 3.2.2に、潮流曲線をFig. 3.2.3にそれぞれ併記し、解析表をTable 3.2.2に示す。Fig. 3.2.3には対地速度と投板試験による対水速度との差として算出した潮流速度も記入しておいた。投板による対水速度計測値の精度の点に問題が残るが、同図に関する限り順風順潮流の場合対水速度が小さく、逆風逆潮流の場合対水速度が大きくなれる傾向が明らかで、船速に対する風の影響を無視することができないことを示唆しているように感ぜられる。したがつて、最終的には風に対する修正も施した“谷口・田村の方法”による解析結果を探ることが妥当と思われる。最終的な試運転成績をFig. 3.2.4に示す。

3.3 △CF 解析

このようにして確定した試運転成績は、相似模型船群の実尺試験の結果として評価されるべきものであるが、ここでは通常の△CF 解析を行なって、模型船と実船との相関を調べることとした。

解析の方法は、在来の資料との関連を見るために、この研究部会による特別の試験結果によることなく通常の方法に従がう方針としたが、日本造船技術センターにおける通常の船型試験においては、模型試験の状態と今回の実船試験の状態と著しく異なるので、解析に使用する模型試験の成績は、三菱重工業(株)長崎研究所船型試験場における 8 m 模型船の試験結果によった。プロペラの性能は Fig. 3.2.1 に示す推定曲線によっている。バラスト状態においては、信頼のできる解析法が確立されていないので、これまで最も広く採用されているいわゆる 2 次元解析法により、摩擦抵抗係数の値は Schoenherr のものを採用した。その詳細を Table 3.3.1 に示す。△CF および $1 - W_s / 1 - W_m$ の値は、在来の実績に比して、多少大きめの感はあるが、バラスト状態の試運転実績のばらつきを考えると、まず通常の成績として差支えないものと思われる。

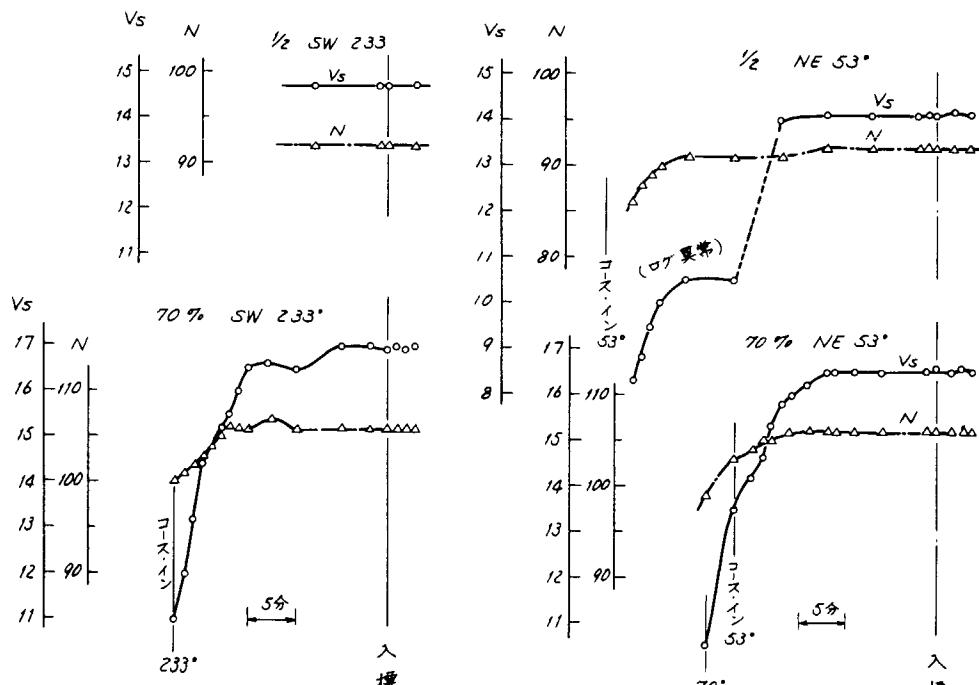
Table 3.1.1 Principal Particulars

船	名	新鶴丸
船	主種	山下新日本汽船(株)、日正汽船(株) 鉱石運搬船
船	垂線間長 Lpp	302 m 00
船	幅 (型) B	44 m 20
船	深 (型) D	24 m 20
船体	船体平行部長 /Lpp	0.39
船体	Lpp/B	6.833
船体	Lpp/D	12.479
船体	吃水 (型) d	17 m 00
船体	竜骨傾斜	0
船体	排水容積	189332 m³
船体	方形肥瘠係數 Cb	0.8265
船体	柱形肥瘠係數 Cp	0.8320
船体	中央横截面係數 Cx	0.9933
船体	浮心位置 (ヨリノ距離/Lpp)	3.03%
船部	噸数	92,113 ton
船部	総載貨重量	163,811 K.T.
船部	船首尾形状	球状船首、巡洋艦型船尾
船部	舵	流線型複板式釣合舵
船部	進水年月日	昭和 46 年 6 月 22 日
船部	建造所	日立造船(株) 因島工場
機関部	基型	1 基
機関部	式	日立 B & W 12 K 84 E F 型ディーゼル機関
機関部	定格出力	30900 PS
機関部	定格毎分回転数	114 R.P.M.
機関部	製造所	日立造船(株) 桜島工場
機関部	機関部位	船尾部
推進器	推進器数	1 基
推進器	型式	一体型
推進器	直径	7 m 200
推進器	ボス比	0.1840
推進器	螺距	根部 4 m 980 翼端 4 m 980
推進器	螺距比 (0.7 半径ニ於ケル)	0.6917
推進器	展開面積比	0.6495
推進器	投影面積比	0.5988
推進器	平均翼幅比	0.2500
推進器	中心翼厚比	0.0604
推進器	翼断面形状	エーロフォイル
推進器	翼傾斜角度	9° 46.3'
推進器	仕上形状態	上仕上げ
推進器	翼数	5 翼
推進器	定格毎分回転数	114 R.P.M.
推進器	回転方向	船首に向って時計方向
材質	翼	ニッケル・アルミニウム青銅
材質	ボス	ニッケル、アルミニウム青銅 (キャップ; マンガン黄銅)
材質	造船所	神戸製鋼(株) 吳工場

Table 3.1.2 Trial Conditions

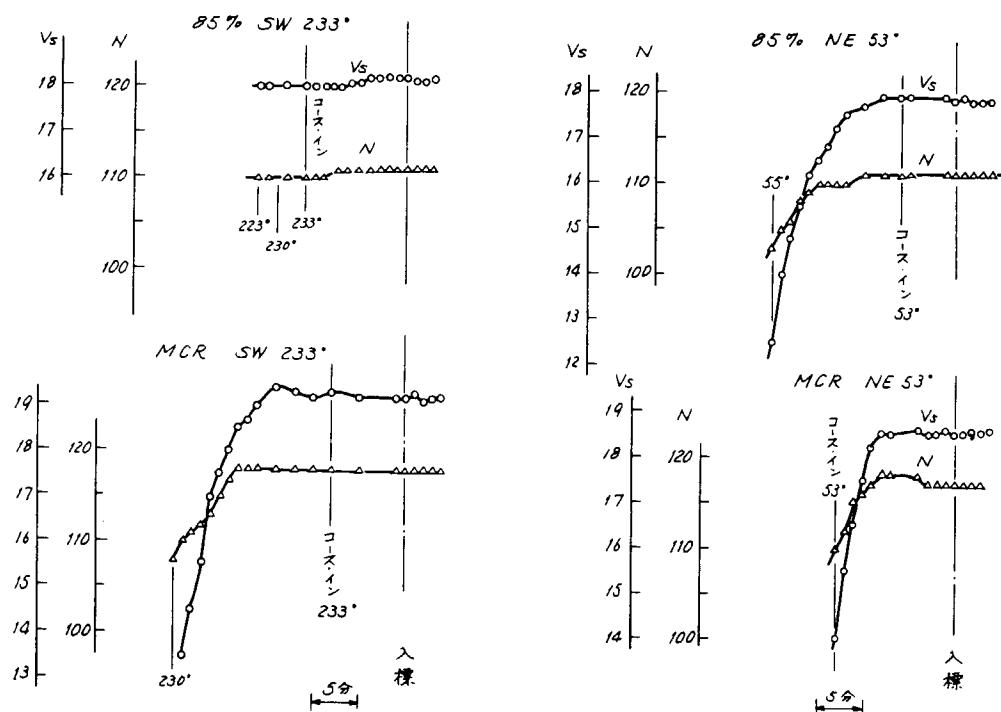
試運転の状態	約40% 満載排水量		
施行年月日	昭和46年9月2日		
出港時刻	午前6時 (愛媛県松山沖)		
入港時刻	午後8時 ("")		
使用標柱	佐田岬標柱		
水深	約90m		
天候	快晴		
風向及び風速	約7m/s 「ビューフォート」1		
海面状態	静穏 (滑らか)		
出渠年月日	昭和46年8月31日		
海水温度	碇泊場	25.5°C	(佐島沖)
	標柱間航路	23.5°C	(佐田岬沖)
海水比重	碇泊場	1.0213	(佐島沖)
	標柱間航路	1.0230	(佐田岬沖)
喫水	F P	※1 実船	※2 模型試験
		4m40	4m182
	A P	10m37	10m182
	平均	7m385	7m182
	MIDSHIP 右舷	7m38	7m182
	MIDSHIP 左舷	7m52	7m182
縱傾斜	平均	7m45	7m182
排水量	容積	76,295m³	
	重量	77,920t	77,600t
肥溝係数	方形 C_B	0.7898	
	柱形 C_P	0.8022	
	中央横截面 C_X	0.9845	
浸水面積		13,875m²	14,280m²
※3 推進器軸深度 I/D		0.781	
備考:			
1. 嘱水計測は9月1日 佐島沖出港時に実施した。			
2. 抵抗成分分離試験の実船対応喫水を示す。			
3.			
 $D = 7 \text{ m } 200$ $I = 10 \text{ m } 37 - 4 \text{ m } 75$ $= 5 \text{ m } 62$			

助走時 対水速度 プロペラ回転数の変化 (船橋指示計) (1)



(a)

助走時 対水速度・プロペラ回転数の変化 (船橋指示計) (2)



(b)

Fig. 3.1.1 Variations of Ship's Speed through Water and No. of Propeller Revolutions during the Approach Runs.

Table 3.1.3 Summary of Trial Results

試年 月 日	主負 機 の荷 物	航走番号 及 向	入標時刻 (h) (m)	標柱間 時 間 (m) (s)	潮の 順逆		航 風		測		馬 力 (SHP)	相 対 風 (m/s)	相 対 風 速 (Kt)	相 対 風 向 θ	
					ビューフォード 風 度	順	逆	順	海面 状態	対地速度 (Kt) Vs					
昭和 四 十六 年 九 月 一 日	1/2 1 SW 233°	8 - 4 0	4 - 0 24	順	1	順	逆	滑らかな海	1.633	1.52	左 右	9.434	1.5170	3.0	1.166 → ←
	2 NE 53°	9 - 5 6	4 - 5 28	逆	"	逆	"	"	1.352	1.51	左 右	9.474	1.5120	1.40	2.722 0°
	3 SW 233°	10 - 5 8	3 - 3 40	順	"	順	"	"	1.493	"	左 右	9.454	1.5150	"	62° → ←
34 常 用 (85% %)	4 NE 53°	11 - 5 6	4 - 1 32	逆	"	逆	"	"	1.850	1.72	左 右	10.740	2.2680	5.0	9.72 0°
	5 SW 233°	12 - 5 0	3 - 3 32	順	"	順	"	"	1.563	1.73	左 右	10.766	2.2640	1.45	2.818 → ←
	6 NE 53°	13 - 3 9	3 - 5 17	逆	"	逆	"	"	1.707	"	左 右	10.753	2.2660	"	50° → ←
	7 SW 233°	14 - 3 9	3 - 3 70	逆	"	逆	"	"	1.857	1.78	左 右	11.200	2.5610	5.0	9.72 3°
4/4	8 NE 53°	15 - 1 9	3 - 2 78	順	"	順	"	"	1.708	1.79	左 右	11.250	2.5720	"	22° → ←
									1.783	"	左 右	11.225	"	"	3°
									"	左 右	11.734	"	3.0330	6.5	1.264 → ←
									"	左 右	11.827	"	3.0590	1.25	2.430 → ←
									1.865	"	左 右	11.781	"	3.0460	"

備

考 1. SHP は日立造船式振替(電磁式)による計測値であり、摩擦係数(G)を831000Kg/cm²として算出した値である。

2. 風向速度はコンバステック上の右舷前端にある高さ約10 m のマスト上に取り付けられた電気式風向風速計による計測値である。

3. 対水速度計測は板板試験によつた。(標点間距離 150 m)

Table 3.1.4 Comparison of Horse Power Values by Three Methods

航走番号	主機の負荷	回転数 (R.P.M.)	S R 1 0 7 S . H . P	本船装備 S . H . P	B · H . P
M 1	1/2	9434	15,170	15,300	15,230
M 2	"	9474	15,120	15,100	15,550
M 3	3/4	10740	22,680	21,700	13,350
M 4	"	10766	22,640	22,000	23,520
M 5	85%	11200	25,610	25,300	26,610
M 6	"	11250	25,820	24,700	26,950
M 7	4/4	11734	30,330	30,400	30,820
M 8	"	11827	30,590	30,550	31,230

(注) SR107 の振り計………日立造船式(電磁式)
本船装備の馬力計………古野電気式(パルス式)

Table 3.1.5 Results of Speed Measurement by Float

見透し距離 150.00 M

出 力	1/4	1/2	3/4	常 用	最 大
航 走 方 向		233°	53°	233°	53°
投板見透し 通過時間	1	26.2	19.4	19.4	17.2
	2	25.6	19.6	19.4	17.0
	3	25.4	19.4	19.0	17.2
	4	25.0	19.4	19.2	17.2
	5	24.6	19.2	19.4	17.0
	6	24.6	19.2	19.2	17.0
	7	24.2	19.2	19.2	16.8
	8	24.0	19.2	19.2	17.0
	9	24.2	19.2	19.4	17.0
	10	24.0	19.2	19.4	17.0
	11	24.2	19.2	19.2	16.8
	12	23.8		19.4	
	13	24.4		19.4	
平均	24.1	19.2	19.3	17.0	16.9
対水速力	12.1	15.2	15.1	17.2	17.3
標柱間対地速力		16.33	13.52	18.50	15.63
対水・対地速力の差		1.1	1.6	1.3	1.7

(注) ↑ 標柱間航走時 ↓

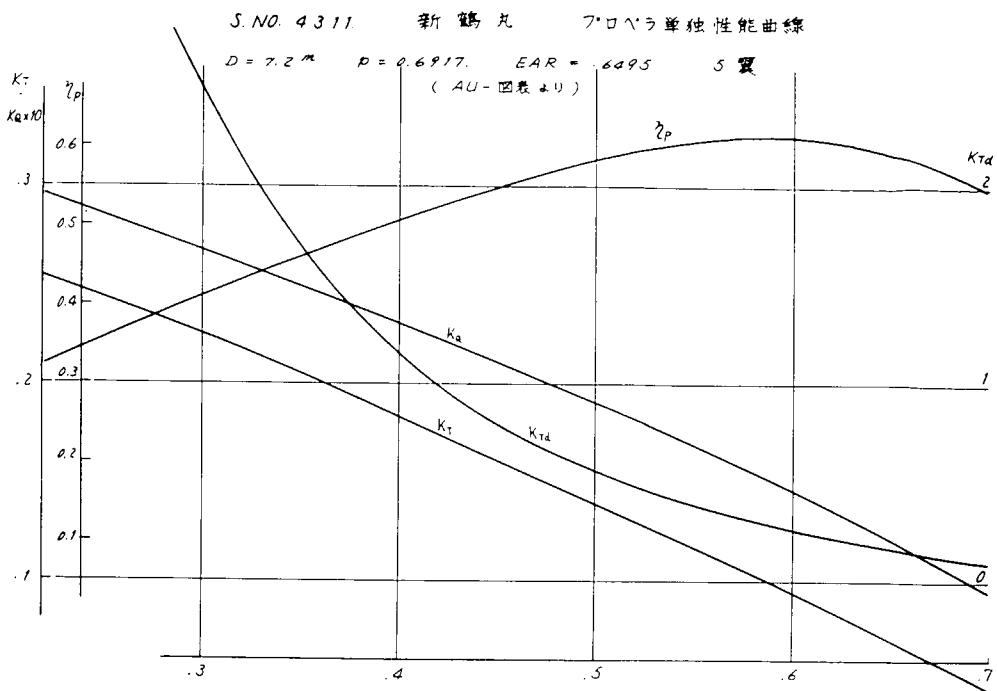


Fig. 3.2.1 Propeller Characteristic Curves in Open Water.

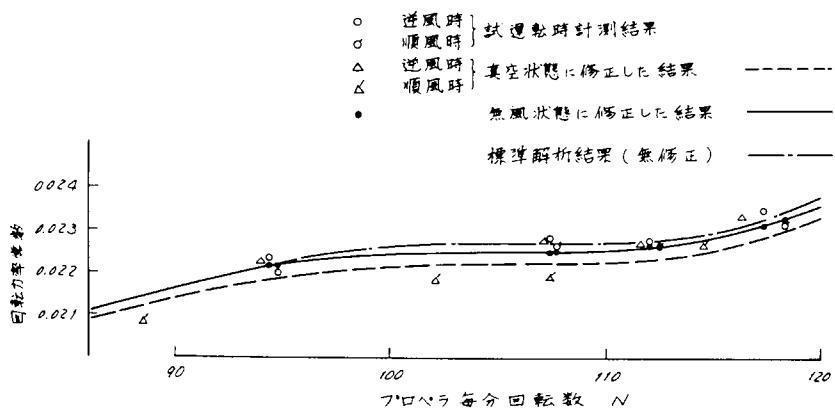


Fig. 3.2.2 Torque Coefficient Curves.

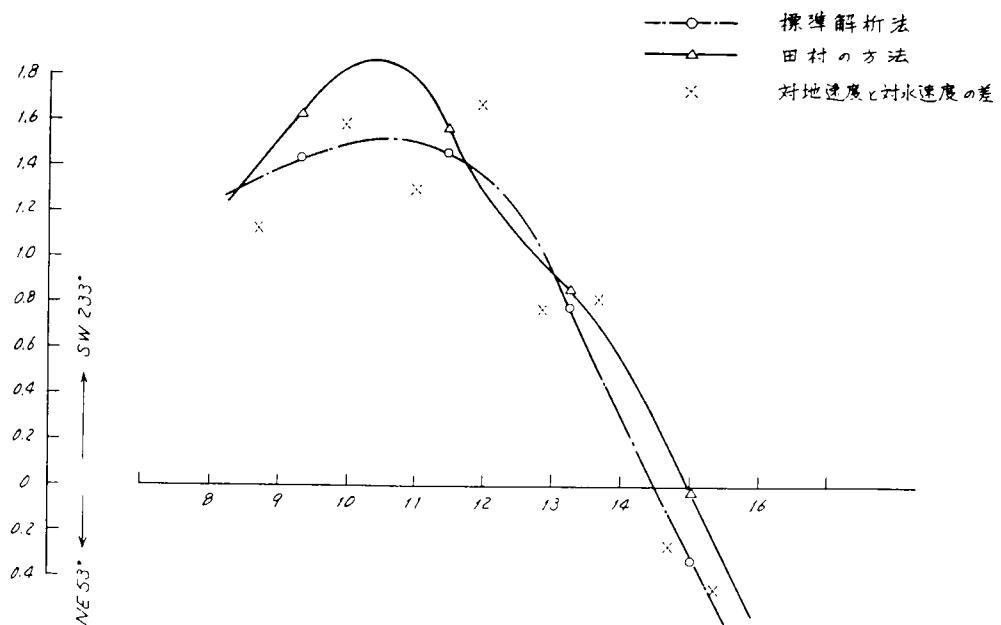


Fig. 3.2.3 Tidal Current Curves.

Table 3.2.1 Standard Analysis of Speed Trial Results

主要目		主機関 30900 BHP × 114 RPM							
主機の負荷		1/2		3/4		85%		4/3	
計測値	航走番号及方向	1SW223°	2NE 53°	3SW223°	4.NE 53°	5SW223°	6.NE 53°	7SW223°	8.NE 53°
	対地速度 Vs(kt)	16.33	13.52	18.50	15.63	18.57	17.08	18.74	19.05
	推進器毎分回転数 N	94.34	94.74	107.40	107.66	112.00	112.50	117.34	118.27
	馬力 (SHP)	15.170	15.120	22.680	22.640	25.610	25.820	30.330	30.590
※1	損失馬力	460	462	524	525	546	549	572	577
	伝達馬力 DHP	14.710	14.658	22.156	22.115	25.065	25.271	29.758	30.013
	N³ × 10⁻⁶	0.8396	0.8504	1.2388	1.2479	1.4049	1.4238	1.6156	1.6543
※2	回転力率常数 q	0.02234	0.02198	0.02280	0.02260	0.02275	0.02263	0.02348	0.02313
	V₁	0.4190	0.4285	0.4070	0.4125	0.4085	0.4125	0.3895	0.3985
※3	1 - w	0.565	0.701	0.551	0.724	0.575	0.634	0.560	0.577
	W mean	0.367		0.362		0.395		0.431	
風にに対する修正	相対風速 W (kt)	11.66	27.22	9.72	28.18	9.72	27.21	12.64	24.30
	相対風向 θ (度)	S 75	0	S 62	0	S 50	S 3	S 22	S 3
	無風状態に對する値 qc	0.02213	0.02217	0.02270	0.02270	0.02268	0.02270	0.02322	0.02340
	無風時・伝達馬力DHP	14.571	14.785	22.059	22.213	24.987	25.349	29.428	30.363
潮流にに対する修正	航走中間時刻	8-42.0	9-58.4	10-59.8	11-58.1	12-51.8	13-40.9	14-40.8	15-20.7
	一郡航走中間時刻	9-20.2		11-29.0		13-16.4		15-00.8	
	V _{so} × N'/N	16.33	13.46	18.50	15.59	18.57	17.00	18.74	18.90
	平均潮流速度	SW 1.44		SW 1.46		SW 0.79		NE 0.33	
修正結果	各航走時V _{sc} (kt)	SW 1.34	SW 1.49	SW 1.51	SW 1.37	SW 1.04	SW 0.50	NE 0.12	NE 0.51
	V _s	14.99	15.01	16.99	17.00	17.53	17.58	18.36	18.54
	N	94.34	94.74	107.40	107.66	112.00	112.50	117.34	118.27
	DHP	15.030	15.250	22.580	22.740	25.530	25.900	30.000	30.940
	△% V _s ³ / DHP	42.17	41.72	40.56	40.35	39.33	39.10	38.37	38.28
備		※1 定格出力に於ける摩擦損失を 1.8 % とし、次式により計算した。 定格における損失馬力 ···· 30900 × 0.018 = 556							
考		$\text{回転数 } N \text{ における損失馬力} \cdots 556 \times \frac{N}{114}$ $2. q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5}$ $= \frac{75 \times 60^3}{2 \pi \rho D^5} \frac{DHP}{N^3} = 1.275 \frac{DHP}{N^3} \quad (D = 7.2m)$ $3. 1 - w = \frac{V_1}{V_s} = \frac{D}{60 \times 0.5144} \frac{N V_1}{V_s} = 0.2333 \frac{N V_1}{V_s}$ $4. \text{回転力率常数と風との順逆が合っていない。この解析では風の計測値を不適当とみなして風に対する修正を行なっていない。}$							

Table 3.2.2 Analysis of Speed Trial Results by Tamura's Method.

主要項目		$I_{pp} = 302.00m$		$B = 44.20m$		$D = 24.20m$		主機関	$30.900 \frac{\text{BHP}}{\text{N}} \times 114 \frac{\text{RPM}}{\text{m}}$	備考	
主機の負荷		1/2		3/4		85%		4/4			
計測値	航走番号及方向	1 SW 223°	2 NE 53°	3 SW 223°	4 NE 53°	5 SW 223°	6 NE 53°	7 SW 223°	8 NE 53°	※ 1 定格出力における摩擦損失を1.8%とし次式により計算した。	
	対地速度 V_s (Kt)	16.33	13.52	18.50	15.63	18.57	17.08	18.24	19.05		
	推進器毎分回転数 N	94.34	94.74	107.40	107.66	112.00	112.50	117.54	118.27		
	馬力 (SHP)	15.170	15.120	22.680	22.640	25.610	25.820	30.330	30.590	定格における損失馬力 $30.900 \times 0.018 = 556$	
※ 1 損失馬力	460	462	524	525	546	549	572	577		$556 \times \frac{N}{114}$	
伝達馬力 (DHP)	14.710	14.658	22.156	22.115	25.065	25.271	29.758	30.013			
※ 2 回転力率常数 q	0.02234	0.02198	0.02280	0.02260	0.02275	0.02263	0.02348	0.02313		※ 2 $q = \frac{Q}{\sqrt{n^2 D^5}} = 1.275 \frac{\text{DHP}}{\text{N}^3}$	
前進係数 v_1	0.4190	0.4285	0.4070	0.4125	0.4085	0.4125	0.3895	0.3185		($D = 7.2 \text{ m}$)	
※ 3 $1 - w$	0.565	0.701	0.551	0.724	0.575	0.634	0.560	0.577		※ 3 $1 - w = \frac{V_1}{V_s} = 0.2333 \frac{N v_1}{V_s}$	
(1-w) mean	0.633		0.638		0.605		0.569			※ 4 $\Delta R = \frac{1}{2} \rho_a K W^2 A C_x = 9.761 \text{ KW}^2$	
風に對する修正	相対風速 w (m/s)	6.0	14.0	5.0	14.5	5.0	14.0	6.5	12.5	$\rho_a = 0.128 \text{ Kg} - S^2 / \text{m}^4$	
風向	相対風向 θ (度)	S.75	0	S.62	0	S.50	S.3	S.22	S.3	$A = 127 \text{ m}^2$	
風向影響係数 K	0.30	10.0	0.57	1.00	0.85	1.01	1.15	1.01		$C_x = 1.2$	
KW ²	10.80	19.600	14.25	21.025	21.25	19.796	48.59	157.81			
※ 4 風圧抵抗 ΔR (Kg)	1050	19130	1390	20520	2070	19320	3770	15400			
1-t	0.826		0.822		0.818		0.812				
※ 5 推進器前進速度 v_1 (m/s)	4.861		5.602		55.48		5.458			※ 5 $V_1 = (1-w)v = \frac{(1-w) \cdot V_s}{1.944}$	
修正	$\Delta \tau$	-0.00992	-0.18075	-0.00994	-0.14671	-0.01516	-0.14151	-0.02873	-0.11737	※ 6	
△v ₁	0.0015	0.0505	0.0010	0.0210	0.0015	0.0195	0.0035	0.0135		$\Delta \tau = \frac{\Delta R}{A(1-t)\sqrt{D^2}}$	
△q	-0.00006	-0.00113	-0.00004	-0.00078	-0.00006	-0.00073	-0.00013	-0.00050		$= 1.8443 \times 10^{-4} \frac{\Delta R}{(1-t)\sqrt{V_1^2}}$	
△q ₀₁	0.02228	0.02085	0.02276	0.02182	0.02269	0.02190	0.02335	0.02263		※ 7 $\Delta q = b \times \Delta v_1$	
△N	-0.34	-6.27	-0.28	-5.48	-0.41	-5.06	-1.04	-3.74		$(b = \frac{K_{01} - K_{02}}{V_{11} - V_{12}} = -0.03718)$	
N ₀₁	94.00	88.47	107.12	102.18	111.59	107.44	116.50	114.53			
q ₀	0.02182	0.02187	0.02223	0.02223	0.02229	0.02230	0.02282	0.02297		※ 8 $\Delta N = \frac{60 \cdot V_1}{D \cdot V_1^2} \Delta v_1 = -8.333 \frac{V_1 \cdot \Delta}{V_1^2}$	
△v ₀	0.50	0.011	0.63	0.41	0.53	0.38	0.80	0.19		$(v_1' = v_1 + \frac{1}{2} \Delta v_1)$	
V ₀	16.83	13.63	19.13	16.04	19.10	17.46	19.04	19.24			
潮流修正	航走中間時刻	8-42.0	9-58.4	10-59.8	11-58.1	12-51.8	13-40.9	14-40.8	15-20.7		
一郡航走中間時刻	9-20.2		11-29.0		13-16.4		15-00.8				
V ₀ × N'/N	16.83	13.57	19.13	16.00	19.10	17.38	19.04	19.09			
平均潮流速度	SW	1.630	SW	1.565	SW	0.860	SW	-0.025			
各航走時潮流	1.405	1.820	1.790	1.295	0.990	0.710	0.190	-0.235			
V ₀ '	15.425	15.450	17.340	17.335	18.110	18.170	18.850	19.005			
風に對する修正(無風時)	W' (m/s)	7.935	7.948	8.920	8.918	9.315	9.347	9.697	9.777		
△R' (Kg)	6145	6165	7765	7763	8469	8525	9178	9330			
△τ'	0.0581	0.0583	0.0555	0.0555	0.0620	0.0624	0.0700	0.0711			
△v ₁ '	-0.0090	-0.0080	-0.0070	-0.0070	-0.0090	-0.0090	-0.0080	-0.0080			
△q'	0.00033	0.00030	0.00026	0.00026	0.00033	0.00033	0.00030	0.00030			
q'	0.02215	0.02217	0.02249	0.02249	0.02262	0.02263	0.02312	0.02327			
* 10 DHP'	14585	14.785	21.855	22.007	24.922	25.271	29.302	30.195			
* 11 △v ₀ '	-0.320	-0.292	-0.287	-0.287	-0.380	-0.381	-0.361	-0.314			
最終結果	V _s	15.11	15.16	17.05	17.05	17.73	17.77	18.49	18.64		
	N	94.34	94.74	107.40	107.66	112.00	112.50	117.34	118.27		
	SHP'	15.050	15.250	22.580	22.530	25.470	25.820	29.870	30.770		
	Cadm.	431.4	429.8	413.7	410.8	407.9	406.4	393.5	391.3		

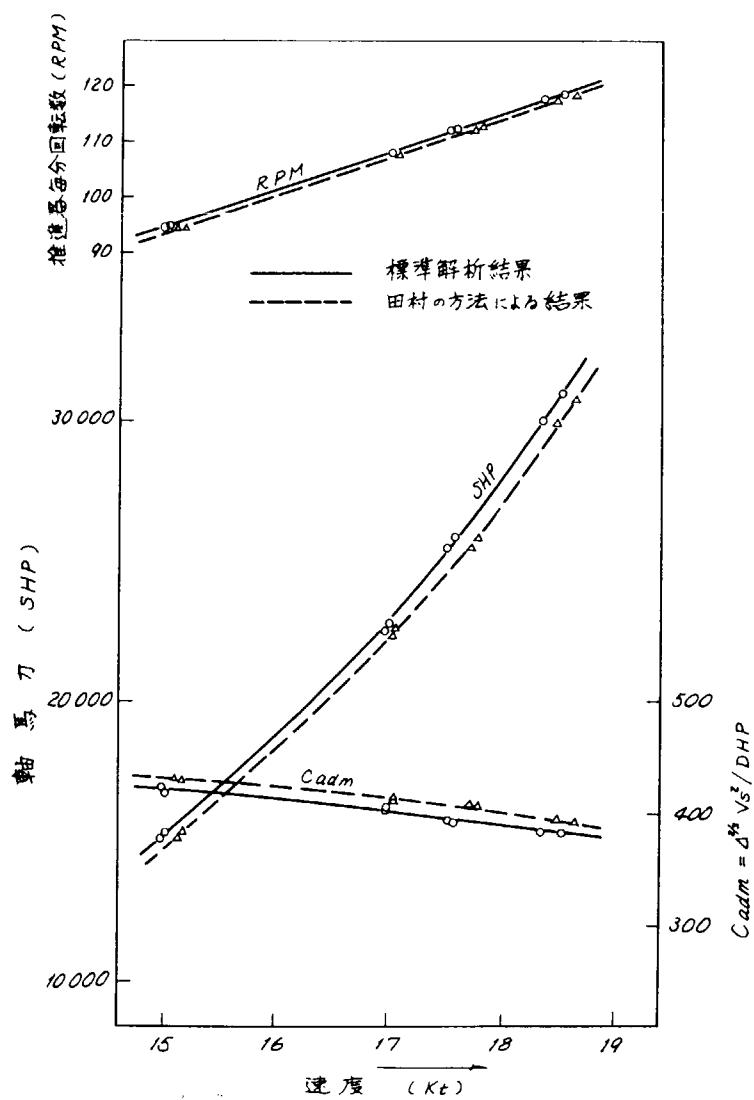


Fig. 3.3.1 Analytical Results of Speed Trials.

Table 3.3.1 ΔC_F - Analysis

出力	$1/2$		$3/4$		85%		M	C	R
V _s (Kt)	1.511	1.516	1.705	1.705	1.773	1.779	18.49	18.64	
N	94.34	94.74	107.40	107.66	112.00	112.50	117.34	118.27	
DHP	14.585	14.785	21.855	22.007	24.922	25.271	29.302	30.195	
*1 F _N	0.1429	0.1433	0.1612	0.1612	0.1676	0.1682	0.1748	0.1763	
RN $\times 10^{-9}$	2.409	2.417	2.718	2.718	2.827	2.836	2.948	2.972	
N ³ $\times 10^{-6}$	0.8396	0.8504	1.2388	1.2478	1.4049	1.4238	1.6156	1.6543	
η_R	1.015	1.016	1.021	1.021	1.024	1.024	1.028	1.029	
*2 K _{Q0}	0.02248	0.02252	0.02295	0.02295	0.02316	0.02317	0.02376	0.02394	
J	0.416	0.415	0.404	0.404	0.398	0.398	0.383	0.379	
*3 1 - W _s	0.606	0.605	0.594	0.595	0.587	0.587	0.567	0.561	
1 - W _M	0.405	0.405	0.405	0.405	0.407	0.407	0.410	0.411	
1 - W _s / 1 - W _M	1.496	1.494	1.467	1.469	1.442	1.442	1.383	1.365	
同上平均	1.495		1.468		1.442		1.374		
K _T	0.1762	0.1772	0.1820	0.1820	0.1845	0.1845	0.1912	0.1925	
N ²	8900	8976	11535	11568	12544	12656	13768	13987	
1 - t	0.822	0.822	0.820	0.820	0.823	0.823	0.823	0.823	
EHP	10420	10600	15700	15745	18070	18290	21430	22100	
V _s ³	3450	3484	4956	4956	5573	5630	6321	6476	
C _T $\times 10^3$	2.296	2.314	24.08	24.15	24.65	24.70	25.77	25.94	
Schoenerr Cr $\times 10^3$	0.964	0.965	1.057	1.057	1.103	1.106	1.170	1.184	
Schoenerr C _F $\times 10^3$	1.332	1.349	1.351	1.358	1.362	1.364	1.407	1.410	
Schoenerr C _{FO} $\times 10^3$	1.377	1.376	1.358	1.358	1.352	1.351	1.345	1.345	
Schoenerr $\Delta C_F \times 10^3$	-0.045	-0.027	-0.007	0	0.010	0.013	0.062	0.065	
備	<p>(1) $F_N = V / \sqrt{g L_{pp}}$ (長崎水槽の試験結果表示による)</p> <p>(2) $K_Q = 1.274 \times \frac{DHP}{N^3}$ $L_{pp} = 302.00\text{m}$</p> <p>$K_{Q0} = K_Q \times \eta_R$ $\nabla = 7629.5\text{m}^3$</p> <p>(3) $V_1 = 0.2333 \times N J$ $S = 13.875\text{m}^2$</p> <p>$1 - W_s = V_1 / V_s$</p>								
考	<p>(4) $EHP = 0.5351 \times V_s N^2 (1-t) K_T$ 水温 = 23.5°C</p> <p>(5) $C_r = 0.7602 \times \frac{EHP}{V_s^3} \times 10^{-3}$ $\nu = 0.9741 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$</p>								

Appendix, A 丸試運転成績

A 丸速力試験は、日の御岬（和歌山県）沖において、安立電波機製の船舶速力測定装置を使用して行なわれた。試運転状態をTable App.-1に、計測結果をTable App.-2に示す。試運転解析は満載及びバラスト状態について、それぞれTable App.-3及びTable App.-4に示し、トルク係数曲線及び潮流曲線をそれぞれFig. App-1及びFig. App-2に示す。最終成績はFig. App-3に示すとおりである。

ΔC_F 解析は満載状態のみについて実施した。対応する水槽試験は、日本造船技術センターにおける7m模型船によるものである。 ΔC_F 解析の詳細をTable App-5に示す。

-APPENDIX

A 丸 試 運 転 成 績

Table App-1 Trial Conditions ("A" Maru)

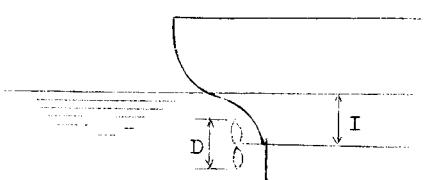
試 運 転 の 種 類		満 載 状 載	バ ラ スト 状 態
施 行 年 月 日		昭和 44 年 9 月 4 日	昭和 44 年 9 月 5 日
出 港 時 刻			
帰 港 時 刻			
出 港 年 月 日			
使 用 標 柱		日 1 御岬沖 (電 波 計 測)	
水 深		1 0 0 m	
天 候		晴	晴
風速 (ビューフォード風度)		4 ~ 5 m (0 ~ 1)	4 ~ 5 m (0 ~ 1)
海 面 状 態		静 穏 (僅にうねりあり)	同 左
海 水 溫 度		2 8 °C	2 8 °C
海 水 比 重		1.023	1.013
喫 水	F P	1 6.9 1 3 m	6.05 m
	A P	1 6.8 8 5 m	9.89 m
	平 均	1 6.8 9 9 m	7.97 m
	M S (平均)	1 7.1 4 0 m	
ト リ ム (艦に) に		0.028 m	3.84 m
排 水 量	容 積	1 8 8.6 2 2 m ³	8 2.4 7 6 m ³
	重 量	1 9 2.9 6 0 t	8 4.3 7 3 t
肥 瘦 係 数	C _B	0.826	0.780
	C _P	0.832	0.791
	C _X	0.993	0.986
浸 水 面 積		2 0.7 4 0 m ²	1 4.8 8 0 m ²
推進器軸深度(I/D)		1.686	0.714
備 考		I = 1 6.8 9 - 4.7 5 = 1 2.1 4	I = 9.8 9 - 4.7 5 = 5.1 4
 <p>D = 7.200</p>			

Table App-2 Summary of Trial Results ("A" Maru)

試年 月 日	主負 機の荷 方	航走番号及 向	入標時刻 (h)(m)	標柱間 時(m)	対地速度 (Kt) V _s	対水速度 (Kt)	推進器 每分回転数 N	馬力 (BHP)	相対風速		相 風 θ
									ビューフォード 度	度	
4/4	1. 190°	2 13	5-25.9	1	きわめて 静穏	1 1.045	7 5.50	8 5.60	7	p. 20°	
		2. 10°	3 53	5-13.0	1	"	1 1.502 1 1.274	7 7.65 7 6.58	7 9.060 8 7.10	7 s. 15°	
4/4	3. 190°	5 31	4.-3 1.6	1	"	1 3.254	9 2.40	1 4.630	8	p. 2°	
		4. 10°	6 50	4-25.0	1	"	1 3.546 1 3.400	9 1.84 9 2.12	7 15.270 7 14.955	7 s. 15°	
4/4	5. 190°	8 05	3-3 8.0	1	"	1 6.518	1 1.205	2 6.700	1 0	p. 10°	
		6. 10°	9 35	3-4 1.4	1	"	1 6.259	1 1.194	2 6.100	1 0	p. 5°
4/4	7. 190°	10 54	3-2 3.4	1	"	1 6.389	1 1.200	2 6.400			
		8. 10°	12 20	3-3 0.5	1	"	1 7.275	1 1.742	3 0.620	1 0	p. 10°
4/4	9. 190°	5 04	3-3 0.3	1	"	1 7.141	1 1.776	3 0.800	9	p. 5°	
		10 10°	6 00	3-2 9.9	1	"	1 7.102 1 7.189	1 1.759	3 0.710		
5/5	(バ ラ ス ト)										
MCR	11. 190°	6 57	3-1 6.3	1	"	1 8.343	1 8.36	1 1.696	3 0.600	7.5	
		12. 10°	7 51	3-1 7.1	1	"	1 8.266	1 8.60	1 1.707	3 0.200	1 2
							1 8.305	1 8.48	1 1.702	3 0.400	

Table App-3 Standard Trial Analysis of "A" Maru
(Full Load Condition)

主機の負荷		1/4		1/2		N O R		M C R	
計測値	航走番号及方向	1. 190°	2. 10°	3. 190°	4. 10°	5. 190°	6. 10°	7. 190°	8. 10°
	対地速度Vs(kt)	11.045	11.502	13.254	13.546	16.518	16.259	17.275	17.102
	推進器毎分回転数(N)	75.50	77.65	92.40	91.84	112.05	111.94	117.42	117.76
	馬力(BHP)	8360	9060	14630	15270	26700	26100	30620	30800
※1 損失馬力	614	631	751	747	911	910	955	957	
伝達馬力 DHP	7,746	8429	13879	14523	25789	25190	29665	29843	
N³ × 10⁻⁶	.43037	.46819	.78889	.77463	1.4068	1.4027	1.6189	1.6330	
※2 回転力率常数 q	.02293	.02293	.02241	.02388	.02335	.02288	.02334	.02328	
V₁	.405	.405	.417	.379	.394	.406	.394	.395	
※3 1 - W	.646	.638	.678	.599	.623	.652	.625	.634	
W mean	.642		.639		.638		.630		
る風修正に対する修正	無風状態に對する質 q_c	.02290	.02295	.02315	.02315	.02313	.02311	.02329	.02332
	無風時DHP₀ 伝達馬力	7736	8435	14337	14078	25540	25440	29595	29.895
潮流に対する修正	航走中間時刻	2-16	3-56	5-33	6-52	8-07	9-37	10-56	12-22
	一都航走中間時刻	3-06		6-13		8-52		11-39	
	Vso × N'/N	11.045	11.183	13.254	13.630	16.518	16.274	17.275	17.055
平均潮流速度	10° → .069		10° → .188		.122	190° ←	.110	190° ←	
	各航走時Vsc(Kt) 潮流速度	190° ← .080	→ 10° .242	→ 10° .248	→ 10° .090	190° ← .075	.145	.140	.057
修正結果	Vs	10.965	11.260	13.496	13.456	16.443	16.404	17.135	17.159
	N	75.50	77.65	92.40	91.84	112.05	111.94	117.42	117.76
	BHP	8350	9070	15090	14830	26450	26350	30550	30850
備考		※1 定格出力に於ける摩擦損失を3%とし次式により計算した。 $30,900 \times 0.03 = 927 \quad 927 \times N/N_0 = \text{回転数 } N \text{ の時の損失馬力}$ $\text{ここで } N_0 = 114 \text{ (定格回転数)}$ $2. q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} = 1.274 \times \frac{DHP}{N^3}$ $3. V_1 = 0.23328 N V_s, \quad 1 - W = \frac{V_1}{V_s}$ $4. \text{当日は極めて静穏であったので、風に対する修正は省略し } q - \text{曲線の順整のみを行なった。}$							

Table App-4 Standard Trial Analysis of "A" Maru
(Ballast Condition)

主機の負荷		N O R		M C R		$\frac{1}{2}$ (投板)
計測値	航走番号及方向	9. 190°	10. 10°	11. 190°	12. 10°	13. 337°
	対地速度 V_s (Kt)	17.141	17.150	18.343	18.266	15.25
	推進器毎分回転数 N	10626	10626	11696	11707	916
	馬力 (BHP)	22530	22900	30600	30200	14880
※1	損失馬力	864	864	951	952	746
	伝達馬力 DHP	21666	22036	29649	29248	14.134
	$N^3 \times 10^{-6}$	1.1998	1.1998	1.6000	1.6045	.7686
※2	回転力率常数 q	.02300	.02340	.02361	.02322	.02343
	V_1	.402	.392	.386	.396	.391
※3	1 - W	.581	.567	.574	.592	.548
	W mean	.574		.583		.548
る風修正	無風状態に対する値 q_c	.02320	.02320	.02342	.02342	.02343
正す	無風時伝達馬力 DHP_0	21.846	21.846	29.418	29.500	14.134
潮流に対する修正	航走中間時刻	5-06	6-02	6-59	7-53	
	一郡航走中間時刻	5-34		7-26		
	$V_{so} \times N' / N$	17.141	17.150	18.343	18.250	
	平均潮流速度	$10^\circ \rightarrow .005$		$.047 \leftarrow 190^\circ$		
	各航走時潮流速度 V_{sc} (Kt)	$\rightarrow 10^\circ .019$	$190^\circ \leftarrow .007$.035	.063	
修正結果	V_s	17.160	17.157	18.308	18.329	15.25
	N	10626	10626	11696	11707	916
	BHP	22710	22710	30370	30450	14880
		諸係数その他前表と同じ。				
	備					
	考					

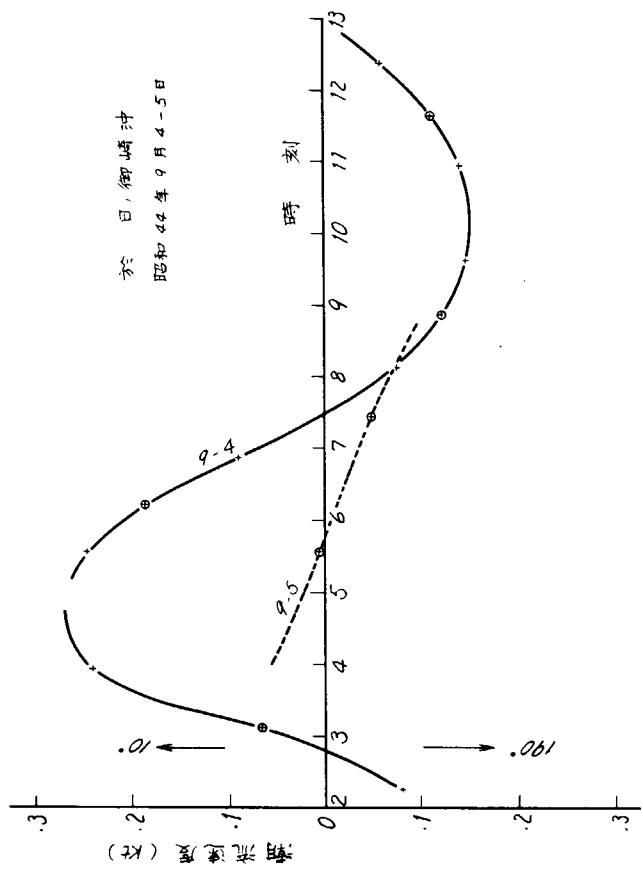
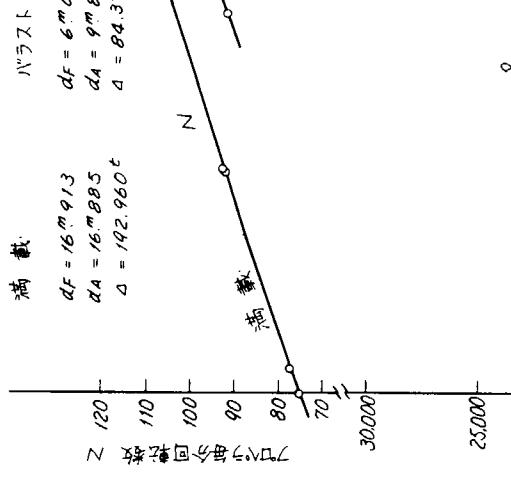
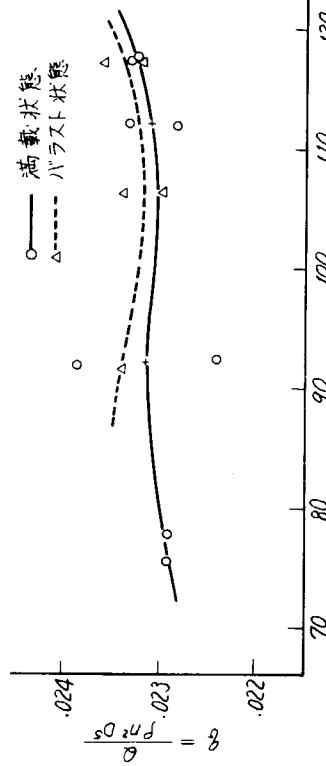


Fig. App-3 Analytical Results of Speed Trials ("A" Maru)

Table App-5 ΔC_F - Analysis of "A" Maru (Full Load Condition)

出 力		$\frac{1}{4}$		$\frac{1}{2}$		$\frac{3}{4}$		M C R	
V _s (kt)		10.965	11.260	13.496	13.456	16.443	16.404	17.135	17.159
N		75.50	77.65	92.40	91.84	112.05	111.94	117.42	117.76
D H P		7736	8435	14337	14.078	25.540	25.440	29.595	29.895
F _N		0.1926	0.1054	0.1263	0.1259	0.1539	0.1535	0.1604	0.1606
R _N × 10 ⁻⁹		1.963	2.015	2.416	2.408	2.943	2.936	3.067	3.072
N ³ × 10 ⁻⁶		0.4304	0.4682	0.7889	0.7746	1.4068	1.4027	1.6189	1.6331
η_R		1.030	1.030	1.029	1.029	1.021	1.021	1.020	1.020
K _{Q₀}		.02359	.02364	.02382	.02382	.02362	.02360	.02376	.02379
J		0.387	0.386	0.381	0.381	0.386	0.387	0.383	0.382
1 - W _S		0.622	0.621	0.608	0.607	0.614	0.616	0.612	0.612
1 - W _M		0.425	0.425	0.430	0.430	0.445	0.445	0.450	0.450
1 - W _S / 1 - W _M		1.463	1.461	1.414	1.412	1.380	1.384	1.360	1.360
同 上 平 均		1.462		1.413		1.382		1.360	
K _T		0.1895	0.1900	0.1920	0.1920	0.1898	0.1896	0.1912	0.1915
N ²		5700	6030	8538	8435	12555	12530	13790	13867
1 - t		0.820	0.820	0.814	0.814	0.809	0.809	0.811	0.811
E H P		5197	5660	9636	9491	16961	16870	19601	19773
V _S ³		1318	1428	2458	2436	4446	4414	5031	5052
C _T × 10 ³		2.005	2.016	1.994	1.981	1.940	1.944	1.981	1.991
Schoenherr Base	C W × 10 ³	0	0	.016	.016	.111	.109	.178	.181
	C F × 10 ³	1.411	1.406	1.376	1.377	1.346	1.346	1.339	1.339
	(1 + K) C F × 10 ³	1.771	1.765	1.727	1.728	1.689	1.689	1.680	1.680
	$\Delta C_F \times 10^3$	0.234	0.251	0.251	0.237	0.140	0.146	0.123	0.130
	同 上 平 均	0.243		0.244		0.143		0.127	
考	備	(1) $K_Q = 1.274 \times \frac{DHP}{N^3}$ $K_{Q_0} = K_Q \times \eta_R$ (2) $V_1 = 0.23328 \times N J$ $1 - W_S = V_1 / V_S$ (3) $EHP = 0.5351 \times V_S N^2 (1 - t) K_T$ ($F_N = 0.1$ 付近で $CW = 0$ とし) て全抵抗曲線から決定				$L_{WL} = 308.23m$ $\nabla = 188.622 m^3$ $S = 20.740 m^2$ $K = 0.255$ $(F_N = 0.1$ 付近で $CW = 0$ とし) て全抵抗曲線から決定			
	(4) $C_T = 0.7089 \times \frac{EHP}{V_S^3} \times 10^{-3}$				水温 = 28°C $\nu = 0.8858 \times 10^{-6} m^2/s$				

§ 4 実船の伴流分布計測

実船と模型船の相関については、肥大タンカの出現とともに従来の方法の再検討が要求される気運となり、抵抗については形状影響の考え方方が広く採用されるようになって、種々の問題は残されているにもせよ技術的には一説定説に近い形で今日に至っている。しかし自航性能では、最大の縮尺効果を受ける伴流の相関についての定説と云えるほどのものが未だみられず、過去のデータより求めた修正係数を延用する程度に止まっているが、大型化の進んだ今日では係数の値が 1.0 を大きく離れ、単なる係数の導入で湖塗することは危険であり、設計業務上の大きな弱点となっている。

また最近は、肥大船のプロペラキャビテーションが屢々取り上げられるようになった。このことは平均伴流値を用いてキャビテーション対策を考えることが既に許されなくなったことを示すもので、伴流の不均一さを考慮せざるを得ない段階にあると思われる。しかもこの不均一さは実船でのものであり、加えて前進方向の伴流値のみならず、その流向をも含めたものであることが要求され、従来に比し格段の精密推定を必要とするもうになってきた。

上述のように、船尾流場の相関に関する要求が極めて高いにもかかわらず、研究の進まない理由は、肥大船の船尾には剥離に基づく大きな縦渦が存在してはなはだ複雑な流場を形成しており、理論的扱いが困難で実験的に調べるほか信頼できる方法がなく、しかもその実験は模型の間だけで行ったのではどうしてもレイノイルズ数変化の幅が狭くて十分な精度をもつ結果が得難い点にあった。そのため、実船において流場を調査することが久しく望まれていたのであるが、ようやく本部会において取上げられたものである。

研究のスケジュールは、昭和 45 年度において実験計画の具体的立案、計測装置の検討および設計を大体完了し、46 年度は一部の設計変更、装置の発注、製作、実船実験の実施、結果の解析、模型実験結果との比較検討を行った。

実験の対象船は、日立造船因島工場において建造された山下新日本汽船の大型鉱石運搬船「新鶴丸」であり、本船の予行運転時（バラスト状態）を利用して、プロペラの僅か前方位置での伴流を主とする計測を行なうよう計画した。対応する模型船の長さは 2、4、8、12 m とした。

4.1 研究および成果の概要

計測方法は本船船尾部に鋼管製トラストを張り出し、これに下記の計器を取り付け、それらより出るビニル管および電線は全てトラス後面、船体外板を伝って甲板上のメーター類に導く方法をとったから、船体に穴を開けることは一切行っていない。

(1) 空気式五孔ピトー管	19 個	(2) 電気式五孔ピトー管	2 個
(3) 超音波式流速計	2 組	(4) 超音波ノイズマイクロフォン	2 個

これらのうち、(1)以外は数値記録として重視するのではなく、今後の計器開発に関する資料を得るのが主目的である。なお、トラスに危険な振動が発生した場合のモニタ用としてトラス基部の 5 個所にストレンジージを貼布した。内試運転は昭和 46 年 8 月 26 日に行なわれ、翌日最終ドックに入渠の際全計器およびトラスの撤去を終了した。

計測は標柱間航走時を主とし、ほかに参考記録として旋回時および緊急停止試験中のプロペラ遊転時にも行った。結果はかなりの好成績であったといつてよいであろう。主計器、空気式五孔管のうち 2 個だけが中途で計測不能となつたが残り 17 個は全部安定した記録をとることができた。例の少ないこの種の大がかりな実験としては、成功であるといえよう。唯一の手落ちは、空気管、キャブタイヤコードのトラスへの固縛が不十分であったことである。このため、上記の如き計測不能のものが生じたと思われる。固縛不良の欠陥は緊急停止時の逆行に対してとくに強く現われ、数個の空気式五孔管のみならず、他の計器のキャブタイヤコードまで抜けたり断線したりしたことが翌日の入渠時に発見された。緊急停止試験が本委員会の計測終了直後であったことと、他の計器類もそれぞれ 2 個を用意してあつたため、今後の開発にあたって注意すべき資料を得るという目的に対して大きな支障とならなかつたのは幸である。

五孔管式ピトー管の検定は実船実験終了後に船舶技術研究所大水槽において行なわれた。ただし、五孔管の製作精度は

十分良好で、その性能上のバラツキは無視し得ると判断され、また予備用1個と実際使用したもの1個についての実験結果もこれを実証した。そのため、解析は全五孔管に対し一つの特性曲線により行なうことができたが、これは解析の手間を非常に楽にしたことになる。しかし、外板に近い2～3の管では、臨界レイノルズ数範囲に入るものがあった。検定試験では遷移域の特性も求めてあるが、事柄の性質上あえてこれを使用せず、超臨界の曲線により全部の解析を行なつてある。これらの管では多少の誤差は免かれないのであろう。もっと大きい球の五孔管を使ってこのような欠点を避けることも考えられぬでもないが、実際にはいろいろの支障が伴なつて実行は困難であろう。

解析の結果は、伴流分布、計測面内の分速度その方向、これより算出した渦度分布として図示し、またこれらを8 mおよび12 m模型の結果とも比較してある。解析の現段階でいえることは、レイノルズ数の増加とともに伴流分布は横方向に縮まり、実船の有効伴流値が小さくなることは説明していること、実船においても船尾渦の存在が明瞭に認められ、その渦度分布は伴流域の中に含まれていて、その値（無次元値に直して）は伴流域の縮少とともに強まって、船尾渦のサイクレーションは不変といえそうな傾向を示すことなどである。

しかし伴流値ならびに渦度に関する上記二つの特性も、方向としていえるだけで、少し丁寧に見ると伴流と渦度とは一つの渦の性質として相互に関連を持ち、尺度影響としてその相関法則を定量化するためにはなお十分の検討を加える必要がある。

始めに述べたように、空気式五孔管以外の計器を取付けた目的は伴流の計測数値を得るというよりは、むしろ今後新しい計器として使用したり開発したりするにあたって注意すべき資料を得るためにあった。全部が満足に動作したわけではないが、期待した資料は十分得ることができた。これらの結果から流場調査用計器としての超音波式および電気式五孔管を評価すると、変動の時間的経過を知り得る特長を別にすれば、いま直ちに空気式五孔管の確実さに取って代り得るものではなく、また高価であること多数点を計測する場合には大きな支障となるであろう。しかし超音波式は今回のような大掛かりな支持トラストなしでも使用出来る利点が考えられるので、今後の開発如何によっては実用の可能性があると判断される。

なお、この実船実験に際しては8ミリおよび16ミリの記録映画を撮影したことを附言する。

4.2 計測装置

4.2.1 空気式五孔ビト一管

本報告書において用いる空気式五孔ビト一管とは五孔ビト一管¹⁵⁾の5個の孔における圧力を空気式マノメータ¹⁶⁾により測定する方式のものをいう。

五孔ビト一管の測定原理の概略は次のようである。

Fig. 4.2.1において5個の孔のうち、縦3つの圧力差 $P_C - P_T$, $P_C - P_B$ を用いると、垂直面に投影した流速ベクトルと流入角度が求められ、横3つの圧力差 $P_C - P_S$, $P_C - P_P$ を用いると水平面の要素が求められる。（4.3参照）したがって、それらを合成すれば速度と方向が知られ、さらに P_C を計測すればその点の静圧も求め得る。

4.2.2 空気式マノメータ

空気式マノメータとはビト一管の圧力取込孔とマノメータのゲージ液の間の圧力伝達を封入された空気によって行う方式のマノメータで、文献¹⁶⁾で発表され、また五孔ビト一管についての使用例は文献¹³⁾に紹介されている。この方式を採用すれば乾舷が10 m以上もある甲板上でもマノメータの使用が可能である。

今回使用したマノメータは、その本数が多いこと、封入空気圧が2～3 kg/cm²にも達すること、ビト一管孔よりの海水浸入による誤差などを考慮して次のような対策をとった。

マノメータのゲージ液は水銀としゲージ下端にはダンパーを設け、ゲージ管は軟質透明ビニール管を用いた。船尾振動による液柱のゆれを防止するためにマノメータをバネでつり下げる。また、Fig. 4.2.5に示すように空気通路の途

中に抵抗管をうけ、流量の制限を行なわせるとともに、抵抗管出口からピトー管頭部までの圧力低下を小さくし、通気を止めた後のゲージ液の動きを小さくする。通気状態をチェックするために目視型流量計を取付ける。

マノメータの概略図をFig. 4.2.2と写真4.2.3～4.2.4 IC、ブロック図をFig. 4.2.5 IC示す。

Fig. 4.2.5 ICにおいて、電磁弁を開にすると空気はビニール管内の水を押し五孔管の先端より吹き出す。この場合水銀マノメータの示す圧力値は、五孔管先端の静圧とマノメータより五孔管側の空気管内圧力損失との和である。ここで電磁弁を閉にすれば、空気の流れは止まり、後者の圧力損失が無くなるので、五孔ピトー管先端の圧力値がマノメータにて正しく指示される。今回用いたマノメータは、抵抗管の抵抗が残りの空気管の抵抗に比し充分大きいので、五孔管各孔の圧力差による流量変化が少なく常時電磁弁開でも測定可能と思われる。

抵抗管は長さ200m内径1mm外径2mmのビニール管である。通気圧力は五孔管No.1～7は2.0%、No.8～14は1.8%、No.15～19は1.5%として、水深差による空気吹き出し量の差を小さくした。マノメータから五孔管まで全体の系の整定時間は通気を止めてから約10秒、その間の水銀柱の動きは5～10mm位である。マノメータに示された圧力は基準時刻と共に35ミリカメラに写して記録し、またカメラのフラッシュ接点を利用して電気式五孔管、超音波式流速計、振動モニタ等の記録計に同時マークを入れた。

4.2.3 電気式五孔ピトー管

電気式五孔ピトー管とはFig. 4.2.6 IC示すように五孔管の各孔の圧力を直接抵抗線式圧力変換器によって電気的出力に変換し、電磁オシロに連続記録させる方式のものである。外径その他は空気試と全く同じであり「計測方法の開発」という意味でNo.20およびNo.21の五孔ピトー管を採用することにした。

圧力変換器そのものの較正は後日大阪大学水槽において水深4mまでの静水圧で実施した。

4.2.4 超音波式流速計

本装置は送波器から発射された超音波が水中の微粒子で発射される時のドップラ効果を利用して水塊の流速を計測するもので、この詳しい原理については省略する。

仕様、性能をTable 4.2.1 IC、ブロックダイヤグラムをFig. 4.2.7 IC示す。

Fig. 4.2.8 IC検出器を示す。

本装置の検定は東京大学工学部の回流水槽を使用して、広井式流速計による比較測定により行った。

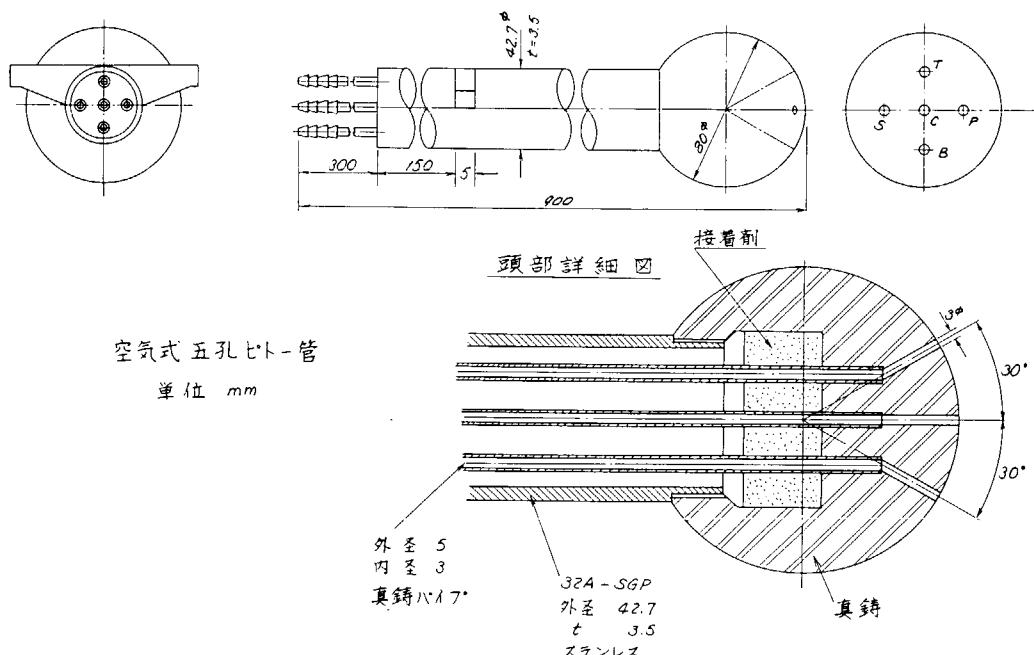


Fig. 4.2.1 Five Hole Pitot Tube
— 148 —

Fig. 4.2.9 はチャンネル1 (Ch-1) 及びチャンネル2 (Ch-2) を流れに正対させた時の検定結果である。本回流水槽の性能上 0 ~ 3.6 kn の範囲しか検定を行なえなかつたが直線性は良好である。これより速度が高い場合についても、測定原理から及び回路特性の直線範囲を充分広くしてあることから、仕様速度範囲内では、直線性が保たれていると推定される。

Fig. 4.2.10 は Ch-1 及び Ch-2 の流向特性を示す。測定原理の通り、Cosine 特性になつていると認められる。

なお超音波式流速計により船尾流場を計測する場合には、プロペラのキャビテーションなどに起因する超音波のノイズが悪い影響を与える可能性が考えられるので、今回船尾超音波ノイズ音場のスペクトルを計測し、将来超音波式流速計を設計するときの一助とすることにした。

計測方法および使用機器のブロック線図を Fig. 4.2.11 に各部の性能を Table 4.2.2 に、スペクトルアナライザの検定結果を Fig. 4.2.12 に示す。

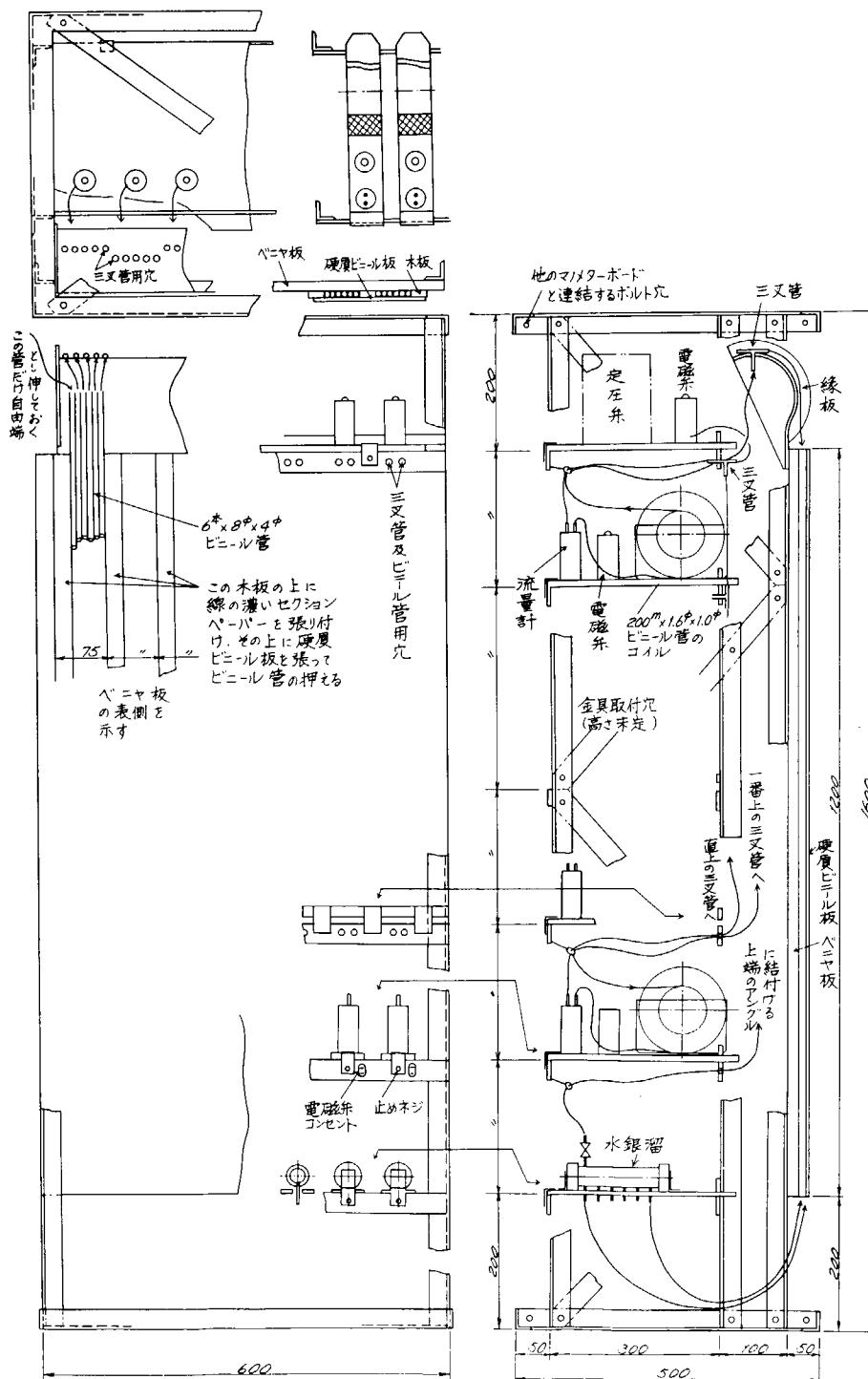


Fig. 4.2.2 Air Blow Type Manometer.

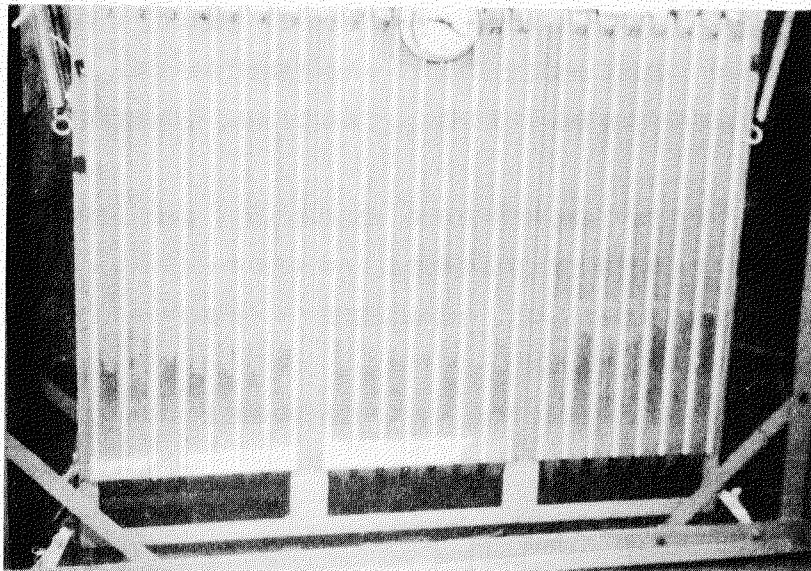


Fig. 4.2.3 Air Blow Type Manometer (Front View)

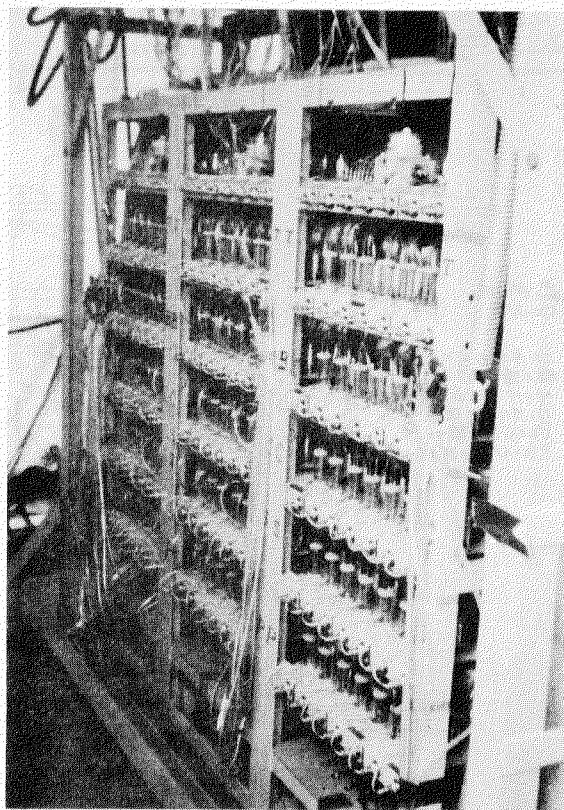


Fig. 4.2.4 Air Blow Type Manometer (Rear View)

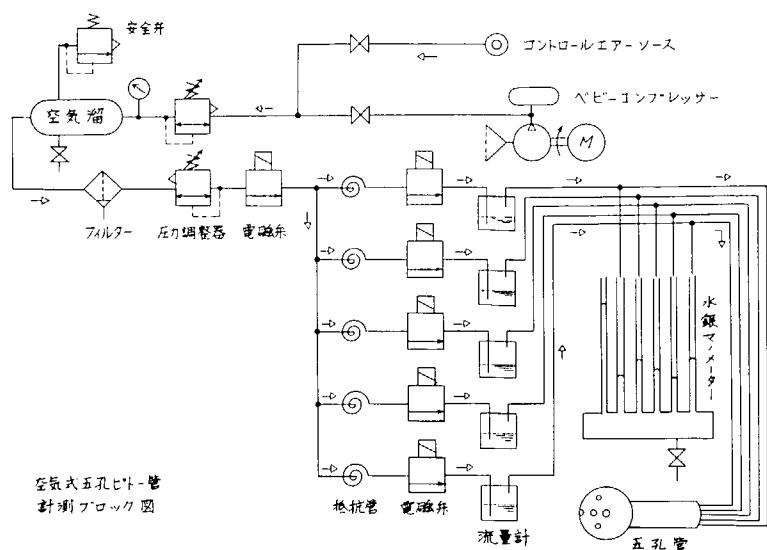


Fig. 4.2.5 Block Diagram of Air Blow Type Manometer System.

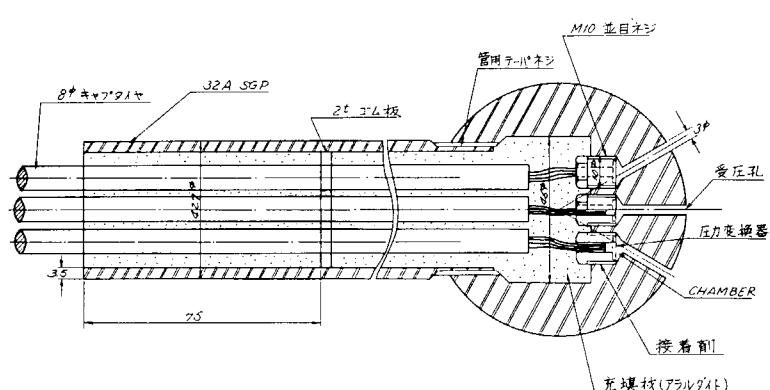


Fig. 4.2.6 Five Hole Pitot Tube. (Electric Transducer Type.)

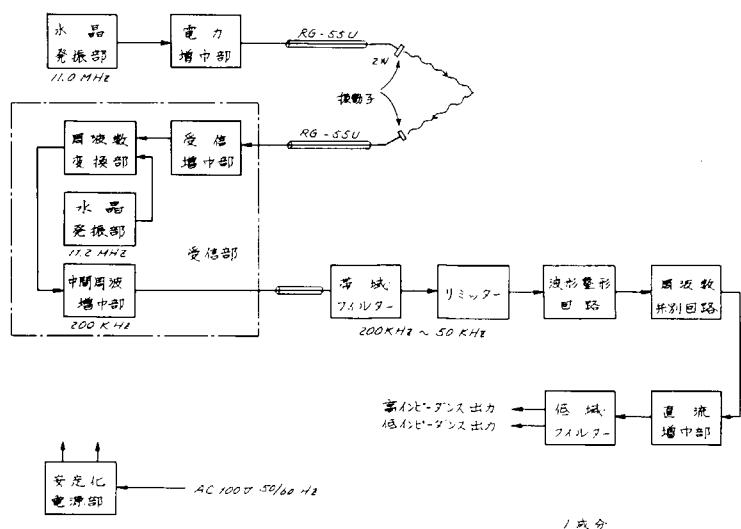


Fig. 4.2.7 Block Diagram of Doppler Sonar System.

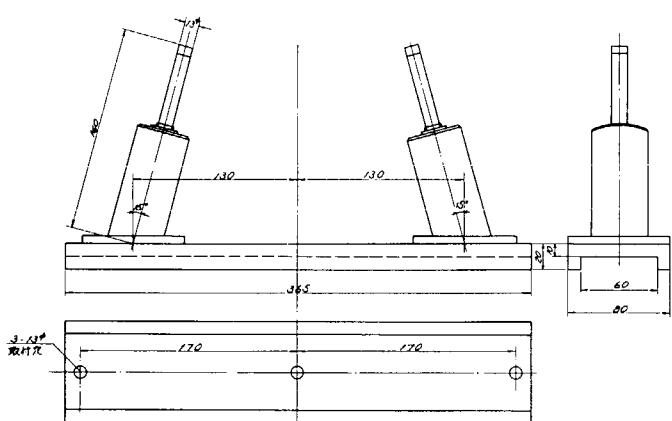


Fig. 4.2.8 Speed Probe of Doppler
Doppler Sonar.

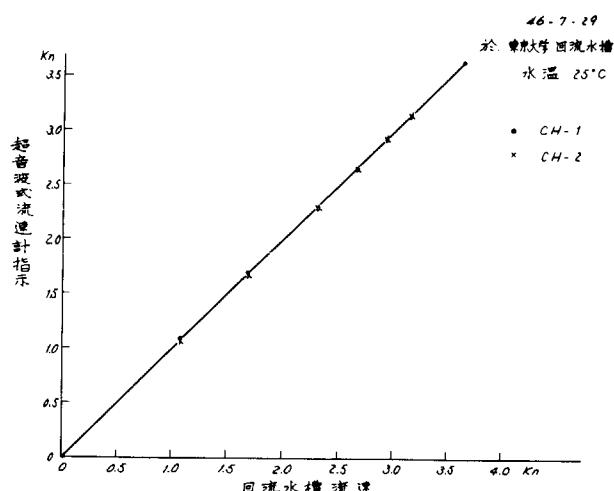


Fig. 4.2.9 Result of Calibration
of Doppler Sonar.

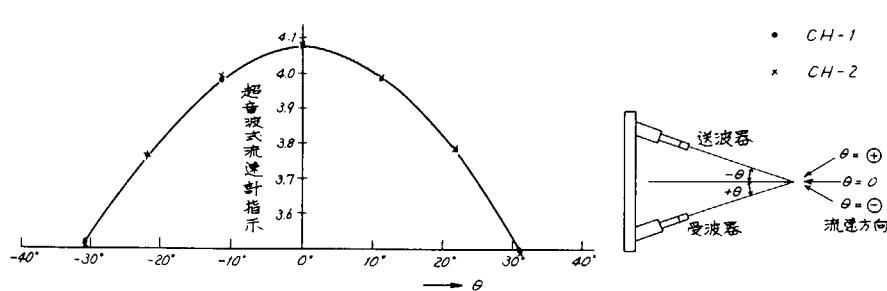


Fig. 4.2.10 Directional Sensitivity of Doppler Sonar.

Table 4.2.1 Characteristics of Doppler Sonar

項目	性能
超音波周波数	1 1.0 M H Z
超音波周波数安定度	1×10^{-6}
測定範囲	0 ~ 10 kn) 直読 0 ~ 20 kn) レンジ切換式
精度	1% F S
ドリフト	0.1% / H 以内
応答周波数	0 ~ 10 Hz 及び 0 ~ 1 Hz
出力	± 1 V 負荷 1 kΩ 以上
高インピーダンス用	± 30 mA 負荷 10 Ω 以上
低インピーダンス用	2 W 1 μv 200 KHz 約 10 mm φ
振動子励振出力	5.0 cm
受信感度	3.0°
中間周波数	約 1°
測定水塊寸法	1.5 級 kn 表示
測定点までの距離	フルスケール 10 kn 及び 20 kn
ビーム交叉角	0 及び 10 kn
ビーム巾 (半値巾)	海水最大水深 10 m
指示計器	A C 100 V ± 10 V 50 ~ 60 Hz
校正出力	300 × 300 × 200 mm
使用条件	153 × 300 × 102 mm
電源	
計測器本体寸法	
送受信本体	
受信ヘッドアンプ	

Table 4.2.2 Characteristics of Propeller Noise Measurement Apparatus.

機器名	型式	性 能
ノイズマイクロフォン I	チタン酸バリウム	周波数特性 1 ~ 100 KHz 検定済 (沖電気 ST - 6503 型)
ノイズマイクロフォン II	硫酸リチウム	" 100 KHz ~ 2MHz 未検定 (日本電波工業製)
増幅器	F . E . T .	入カインピーダンス $30 M\Omega$ (沖電気 ST - 65 型) 利得 10 db 帯域 $50 \text{ KHz} \sim 2 \text{ MHz} \pm 3 \text{ db}$
スペクトルアナライザ	ヘテロダイン式	分析周波数 $50 \text{ KHz} \sim 1.6 \text{ MHz}$ (自作) 中心周波数 $200 \text{ KHz} \sim 1.4 \text{ MHz}$ 周波数掃引幅 0 ~ 400 KHz 帯域幅 $\pm 3 \text{ KHz} \sim 3 \text{ db}$
メモリースコープ	MS 5103B + SP-30HB	(岩崎通信機製)

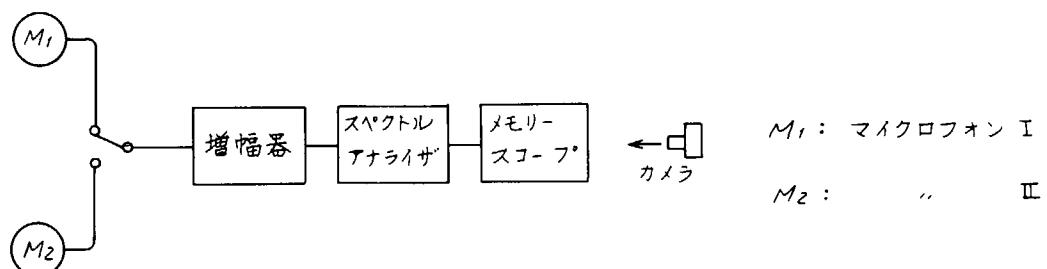


Fig. 4.2.11 Block Diagram of Propeller Noise Measurement System.

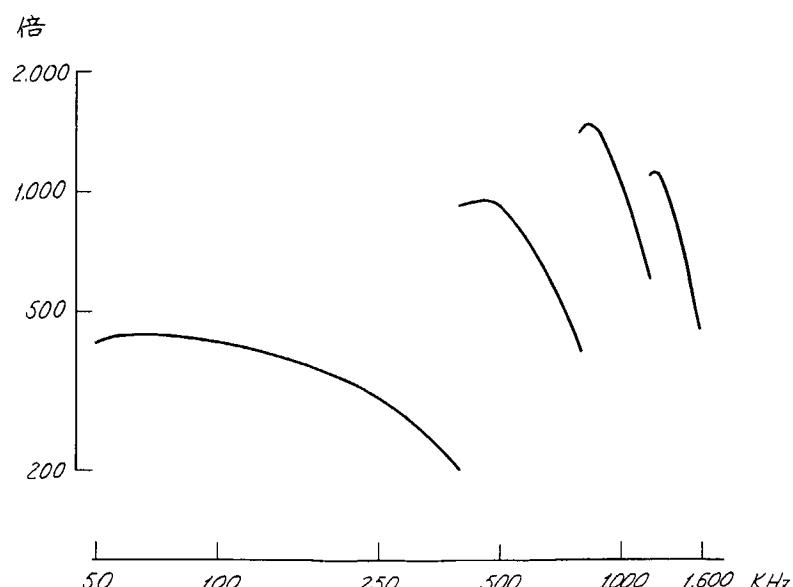


Fig. 4.2.12 Result of Calibration of Spectrum Analyser.

4.3 五孔ピトー管の検定

4.3.1 検定方法

検定装置を Fig. 4.3.1 に示す。実験にあたってはスオードの影響をさけるため、スオード中心より五孔管先端までの距離をスオード直径の 5 倍になるようにした。また、スオードまわりには流線型のおおいを取り付けた。

五孔管の中心までの深度は 400 mm とし、角度振りはすべて水平面内で行なった。

検定速度範囲は 0.5 m/s ~ 6.5 m/s である。速度上限は実船実験の速度まで行なうことがのぞましいが、検定装置の強度的制約から上の値に止めた。

マノメータは普通実験室で使用される型式でゲージ液として低速域に対しては水を高速域に対しては水銀を使用した。

さらに実船計測に使用した空気式マノメータの精度を調べるために、その一組を取り出し、ビニール管も実際の長さ 70 m のままを使用しゲージ液のみ水に代えて実験を行った。

検定は予備用五孔管について詳細に行ない、確認のため実際に使用された No. 18 五孔管についても数点を計測したが、両者殆んど一致した結果が得られたので、ここでは予備用五孔管の結果のみを示す。

4.3.2 検定結果

Fig. 4.3.2 に示した記号を用い、角度を求める函数 $f_h (= \frac{P_s - P_p}{2 P_c - P_s - P_p})$ 、速度を求める函数 $g_h (= \frac{P_c - P_p}{\frac{1}{2} \rho (v_h)^2})$ 、作図の便宜上 $10. g_h$ とした) と R_n 数 ($= \frac{V D}{\nu}$) との関係を示したのが、Fig. 4.3.3 および Fig. 4.3.4 である。 f_h は $\beta_h = 0^\circ \sim 25^\circ$ の範囲では R_n に無関係に一定値を示すが、 β_h が大きくなるにつれて低 R_n 域でこの特性がくずれる。Fig. 4.3.4 に関しては低 R_n 域 ($\beta_h = 0 \sim 30^\circ$) と高 R_n 域 ($\beta_h = 0 \sim 40^\circ$) で異った一定値を示し、その間に明瞭な遷移域が存在する。なおこの結果は水平 \oplus 方向の振り角におけるものであるが、 \ominus 方向の振り角についても、チェック的な意味で検定を行ない、 \oplus 方向とほぼ一致した結果を得た。このことから、五孔管の製作精度が良好であったと判断し、 $\beta_v (\pm)$ の振り角に対する検定は省略した。

f_h および $10. g_h$ が一定値を保つ範囲を Fig. 4.3.5 に示す。Fig. 4.3.4 にみられるように $\beta_h = 30^\circ$ までについて考えれば、臨界 R_n の上下で特性が異なっている。それぞれの特性を使って描かれた g 関数の検定曲線を Fig. 4.3.6 に示す。

空気式による結果を Fig. 4.3.7 に示す。図中に 2.5 kg/cm^2 と記された実験点以外のものは全部減圧弁圧力設定値が 1.8 kg/cm^2 の場合に得られた結果であり、前述の Fig. 4.3.3 および Fig. 4.3.4 の値とよい一致を示している。このことは吹出し用空気圧力に十分な注意さえはらえれば、空気吹出し式による流速計測が可能であることを示している。

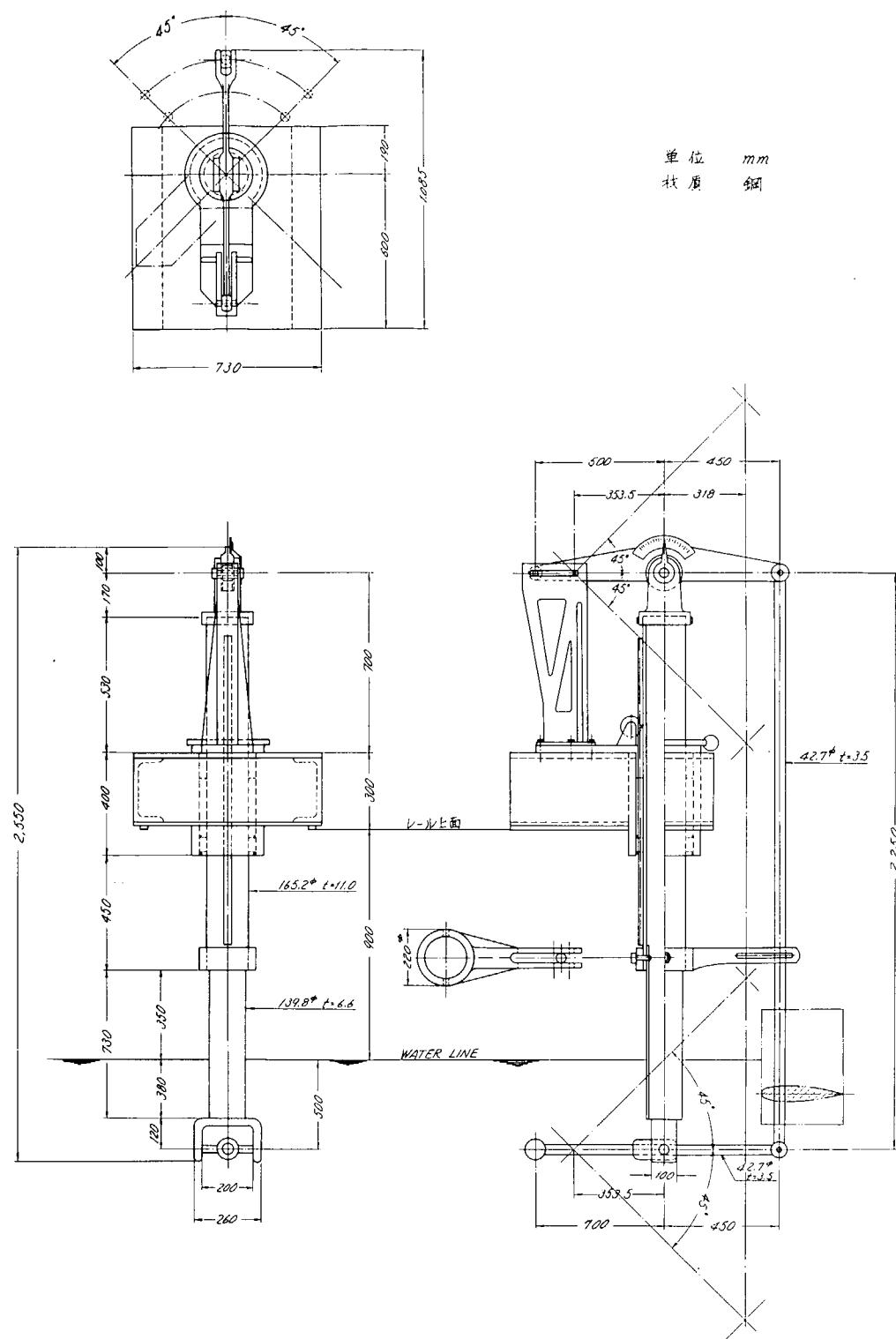


Fig. 4.3.1 Calibration Device of Five Hole Pitot Tube.

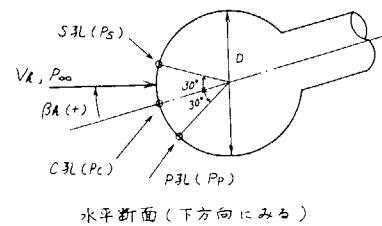


Fig. 4.3.2 Notation.

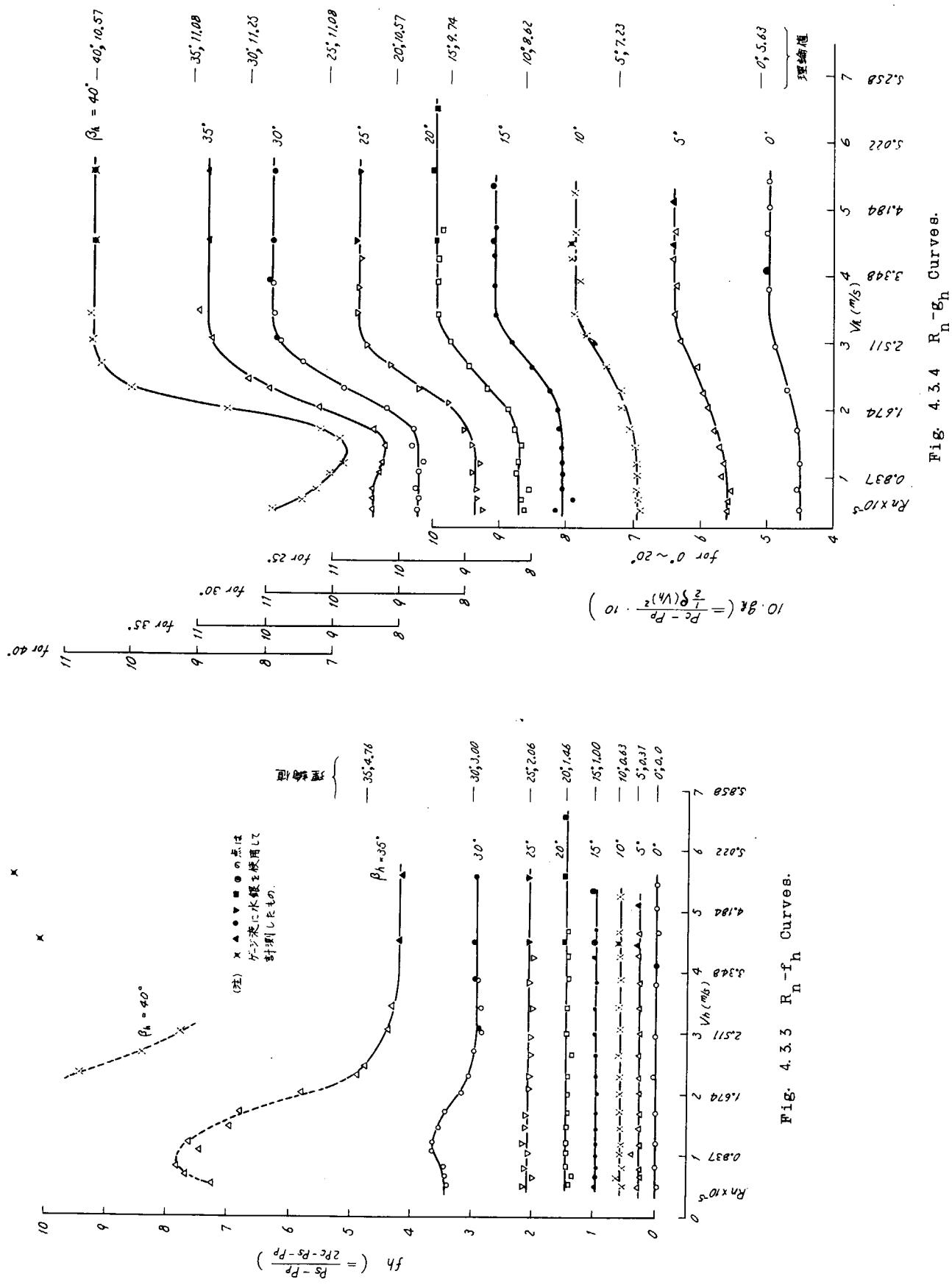
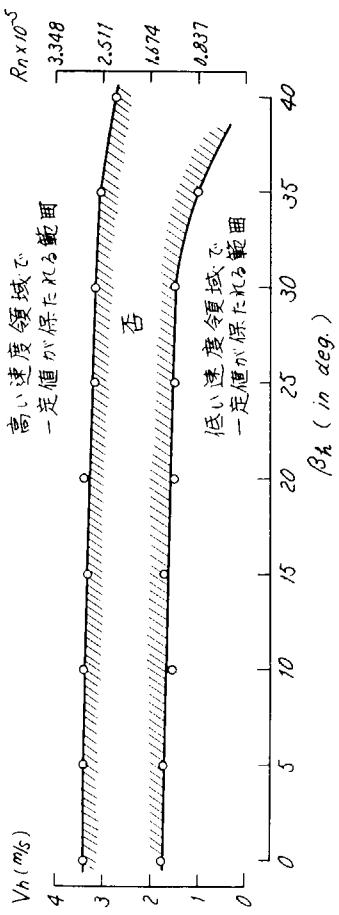


Fig. 4.3.4 $R_n - f_h$ Curves.

Fig. 4.3.5 $R_n - f_h$ Curves.

f_h



f_h

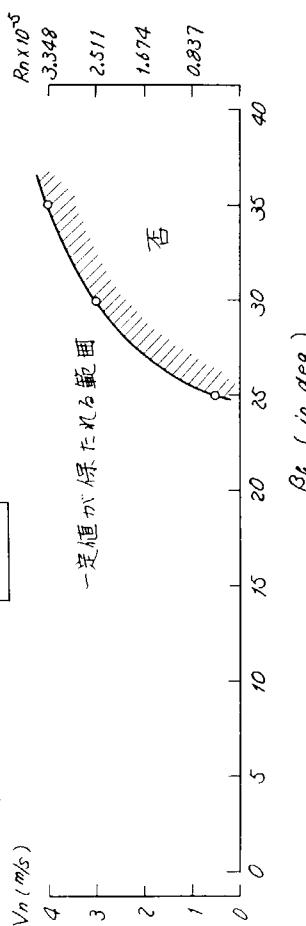


Fig. 4.3.5 Range of Constancy of f_h and g_h .

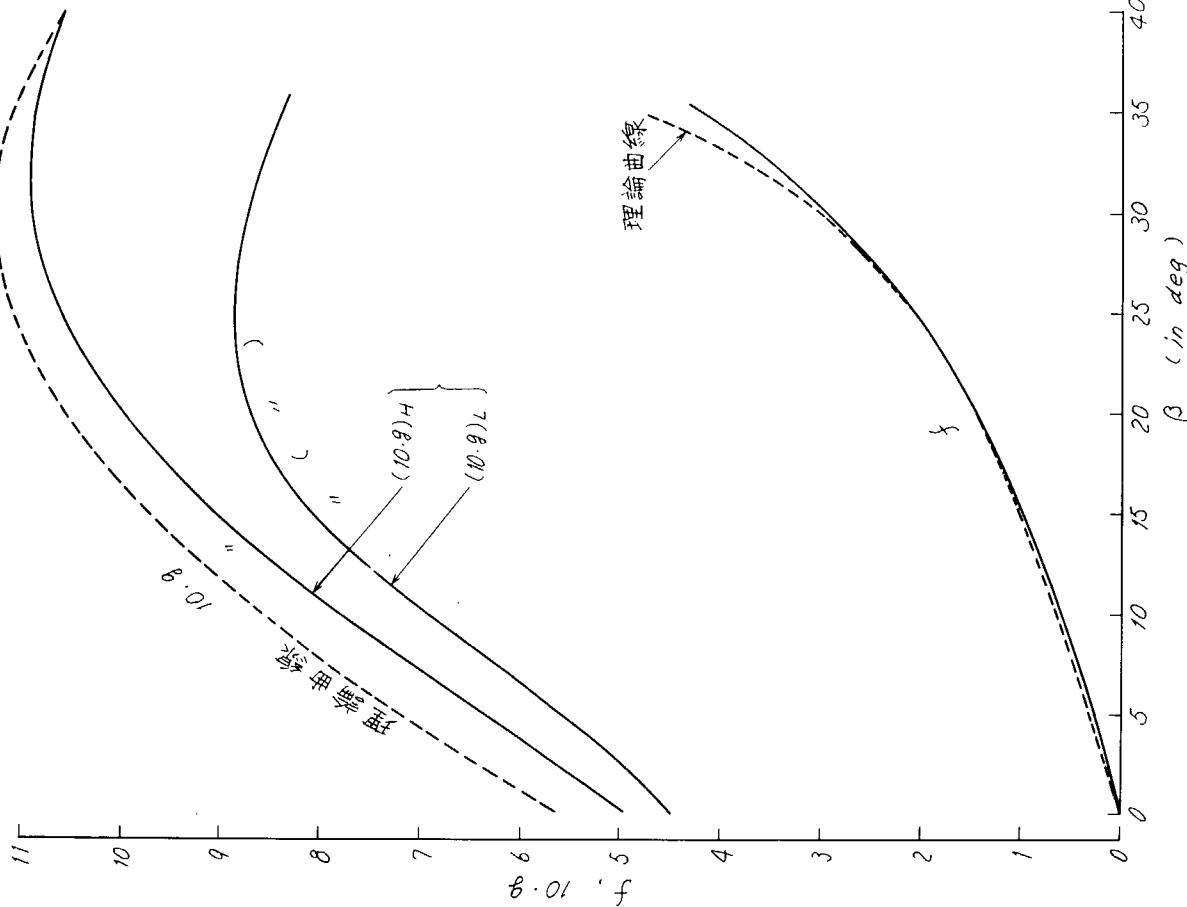


Fig. 4.3.6 Calibration Curves of f_h and g_h .

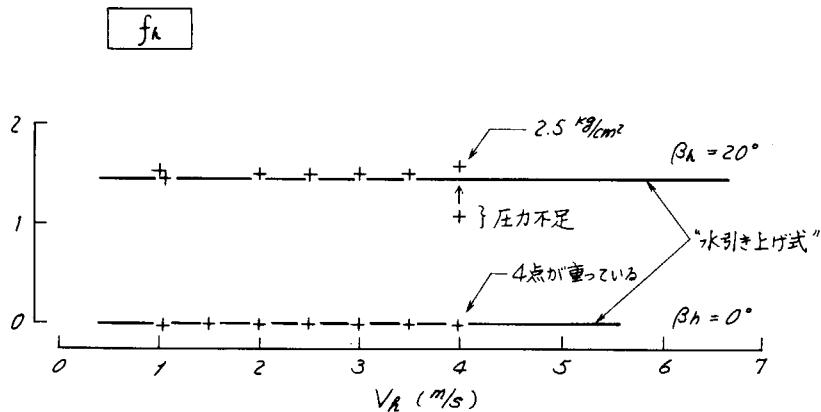
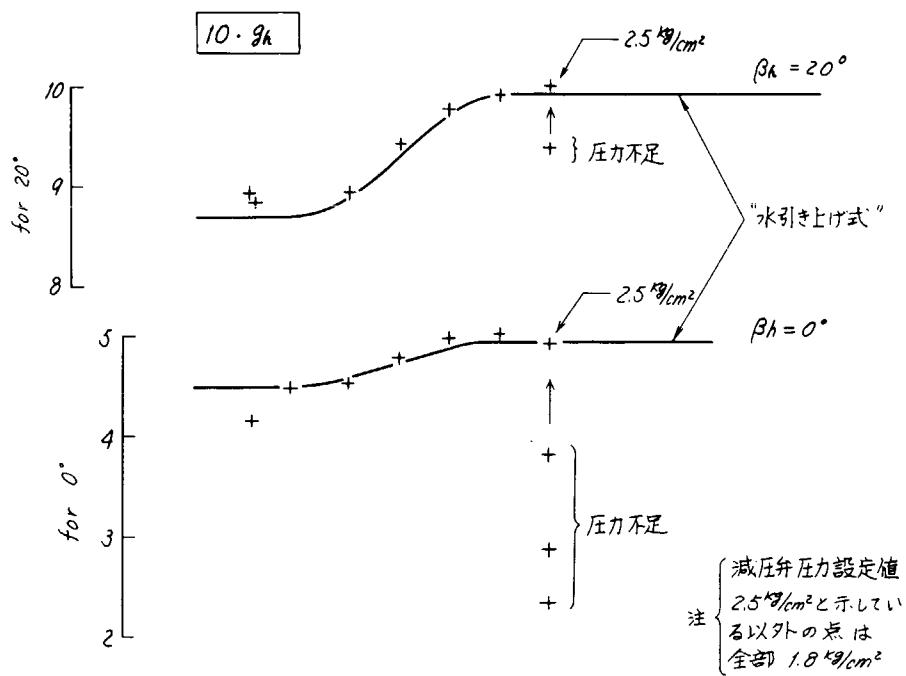


Fig.4.3.7 f_h and g_h Obtained by Use of Air Type Manometer

4.4 ト拉斯および計器の配置

4.4.1

Fig. 4.4.1 に正面線図とト拉斯の取付け状態を示し、Fig. 4.4.2 にその詳細を示す。

船体のブロックバット、ドラフトマーク、各種吸排出孔などの位置、振動上の問題、模型船における伴流計測の便宜などを考慮して、FR No. 13 の船尾隔壁の位置の流場を計測することにした。計測面は船体中心線と直角とし、五孔ビト一管は船体中心線に対して 20° 外向きで水平に取付けることにした。実船への取付精度は水平、垂直方向共 1° 以下であった。 20° というのは、ほぼ船体表面に平行に取付けることにより五孔ビト一管に対する流れの流入用を小さくすることを意図したものである。なお計測は左舷のみとした。

ト拉斯は、呼径 125 mm の extra heavy steel pipe (外径 139.8 mm 肉厚 9.5 mm) によって組立てられている。これは振動の面より決められた寸法であり、強度的には十分である。

ト拉斯は水流によるカルマン渦及びプロペラに基づく振動をうけるのでト拉斯設計の際、それらとの共振をさけるために振動計算を行なって十分剛な構造とした。計算は 3 次元ワクトラス構造を Table 4.4.1 に示す 3 種の平面構造に置き換えて行なった。結果は同表に示されているとおりである。海水中の附加質量は排水容積 × 海水の密度と仮定し、振動

16万トン型 鉱石運搬船 “新鶴丸”

$L_{PP} \times B \times D \times d = 302^M 0 \times 44^M 2 \times 24^M 2 \times 17^M 0$

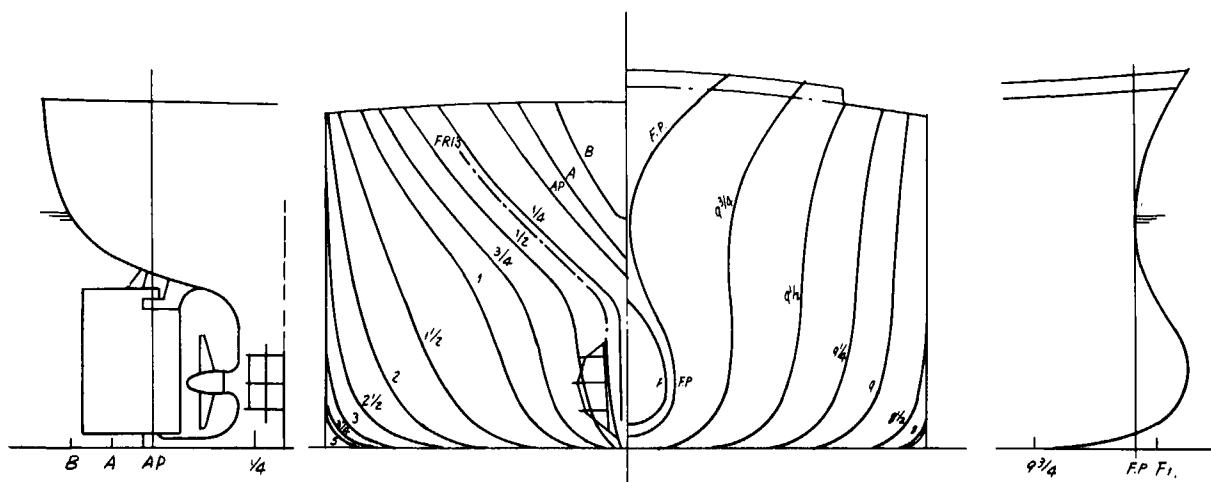


Fig. 4.4.1 Body Plan and Profiles.

FR 13 SECTION

船首に向ってみる SNO 4311 左舷のみにつく

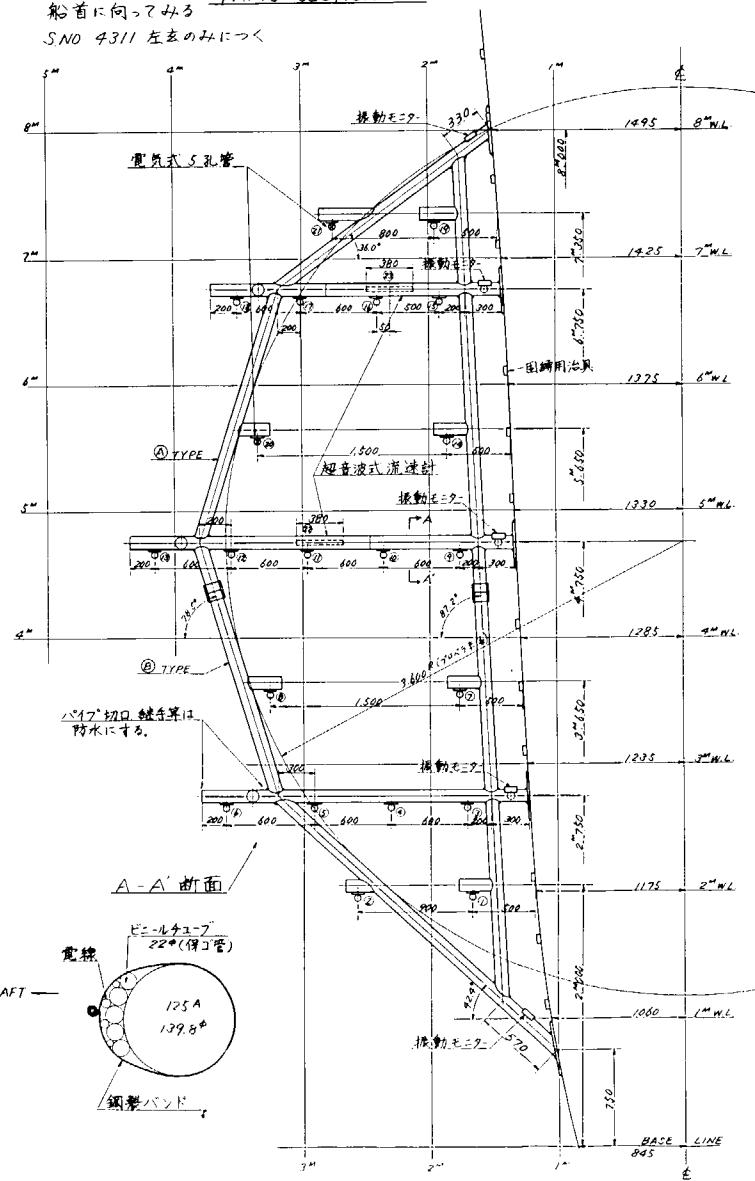


Fig. 4.4.2(a) Truss and Arrangement of Five Hole Pitot Tubes.

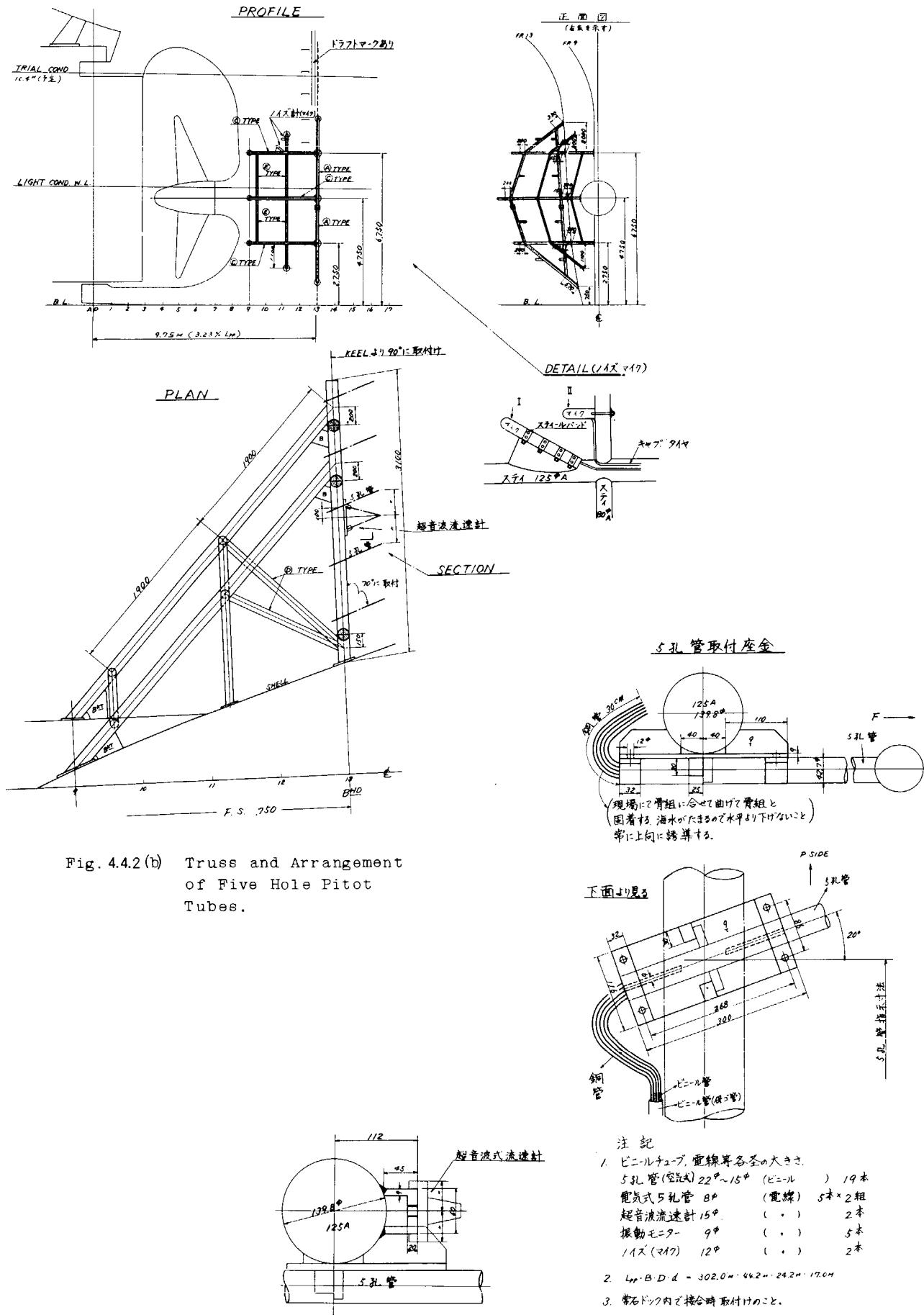


Table 4.4.1 Calculated Natural Frequency of Truss in Air

振動系	計算モデル	固有振動数
(a) 中央部材面の水平振動		空気中 5076 cpm
(b) 前面部材面の水平振動		4452 (水中 3570)
(c) 前面部材面の垂直振動		4939

数が最小の(b)についてのみ計算した。

上の結果は、カルマン渦あるいはプロペラに基づく振動数500~1200 cpm より十分高くトラスは共振するところないと判断された。

計算値を確認するために、入渠時にトラスに五孔管を取付けた状態で、空中での振動テストを実施した。計測結果は水平方向の振動数が5100 cpm、垂直方向の振れは記録されなかった。

航走中のトラスの挙動をモニタするために、トラスの根元5ヶ所にストレン、ゲージを取りつけて監視した。この際の計測によれば、直進、旋回中とも船速にはほとんど無関係に、約3000 cpmの振動が記録された。したがって、この値が海水中での固有振動数であると考えられる。

4.4.2 計器の配置

トラスに取付けられる計器は次のとおりである。

空気式五孔ピトー管	19本
電気式五孔ピトー管	2本
超音波式流速計	2組
クイスマイクロフォン	2本
振動モニタ用ゲージ	5組

各計器には番号を付してあるが、下から順に上に向って#1 ~ #19までが空気式五孔管、#20、#21が電気式五孔管、#22、#23が超音波式流速計である。なお超音波流速計は、計器自体の性能を調査する意味もあって、空気式五孔管から補間できるよう、#10、#11および#15、#16の空気式五孔管の中間に配置した。プロペラノイズ計測用のマイクロフォンはトラスにプロペラディップの方に向かって後向きに取付けた。

Fig. 4.4.3に、取付けトラスから計測室までのビニル管、キャブタイヤコードの導設および配置要領を示す。実船計測を行なうための前提として、船体には孔をあけないという条件があったため、計器から出てくるビニル管、キャブタイヤコードはすべて甲板上の計測室まで船側をはわせなければならない。このため、管およびコードの長さは約70 mにおよんだ。

ビニル管は外径5 mm内径3 mmのものを使用し各五孔管から出る5本のビニル管をまとめて1本の保護管（外径22 mm、内径15 mm、ワイヤ入りビニル管）に挿入した。

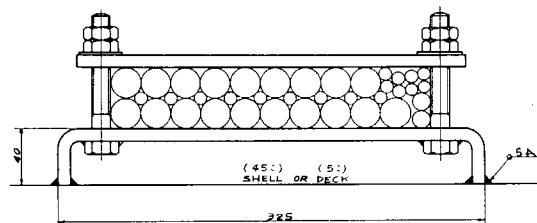
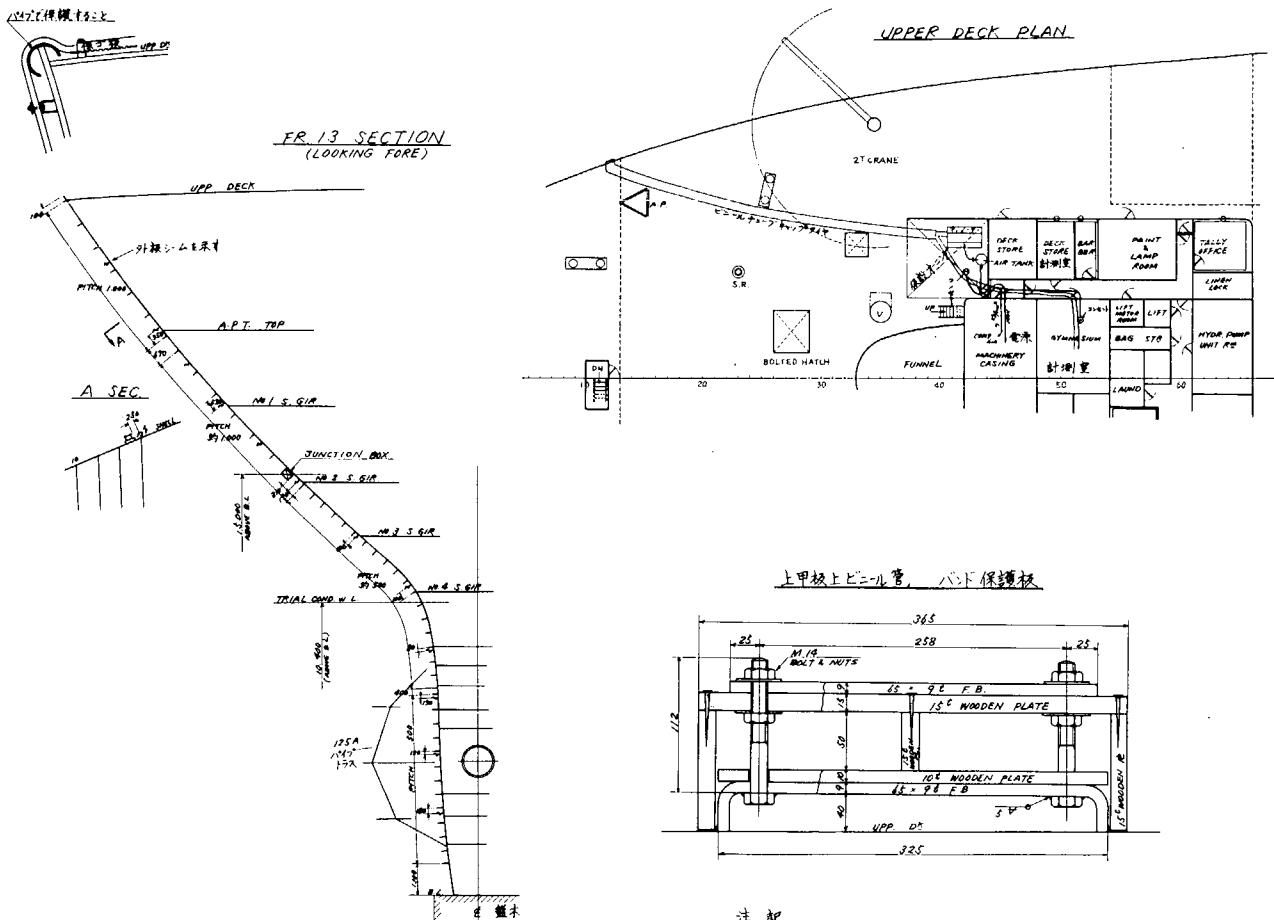


Fig. 4.4.3 Arrangement of Manometer Tubes.

4.5 実船実験

8月26日の内試運転時を利用して実船の伴流計測を行なった。実験当日は快晴に恵まれ、海象も穏やかであった。当日の計測順序は下記のとおりである。

テストの翌日本船の入渠の際船底の状況を観察したが、問題となる程の船底の汚損は生じていなかった。

- (1) 吃水計測
- (2) 計器のゼロ点調整
- (3) 計器の作動テスト
- (4) 伴流計測
- (5) プロペラ遊転時伴流計測
- (6) 計器のゼロ点チェック

4.5.1 内試運転結果

伴流解析の基礎となる船速、回転数などの計測結果は次のとおりである。

Table 4.5.1に速力試験の計測値と潮流修正を行った結果を示す。

Fig. 4.5.1には回転数と速力(潮流修正済み)との関係を図示する。風の修正についてはコースが島影にあり風向風速が不規則なため、検討の結果これを行なわないことにした。潮流は(i)2台の潮流計を試運転コース近傍に設置して(Fig. 4.5.2)計測(ii)マイルポスト速力による推定(風の影響は考慮しない)(iii)標柱間航走時投板によって求めた対水速力と対地速力との差から求める。の三方法で求め検討の結果(ii)を採用した。(Fig. 4.5.3 参照)

投板計測間隔は150m、投板落下位置は舷側より約25mである。上記(ii)の速力と比較すると、投板は約3%ほど高い値を示した。(Fig. 4.5.1 参照)

プロペラ遊転時の伴流の計測を緊急停止試験時の惰力航走時を利用して行なった。この時の船速(Fig. 4.5.4)は投板で求めたが、伴流解析に用いる船速としては、この速力を上記(ii)のマイルポストから求めた速力と投板速力の差だけ修正したものを用いた。

4.5.2 伴流計測

a) 空気式五孔管による計測

マイルポスト間航走中のマノメータの指示圧力は35mmカメラにより1秒おきに15枚づつ2回、通算30枚記録した。Fig. 4.5.6~4.5.7はM.1.2 五孔管の例である。これを見ると水銀柱の変動には目視で感じたほどの周期性は認められず、 V_x 、 V_y 、 V_z のバラツキは意外に少なくて(V_x の変動は大きようであるが伴流値にすれば数%の変動に過ぎない)、読み取り精度(約1mm)を考慮すれば10点程度の平均で十分であると思われる。したがって以後の解析に用いる値は30点中10点の V_x 、 V_y 、 V_z の平均とした。

電算機による解析の際の入力はPC-PT、PC-PB、PC-PS、PC-PP および船速Vであり、出力は V_x/V_s 、 V_y/V_s 、 V_z/V_s 、 V_{xyz}/V_s 、 V/V_s 、 R_n 、 α 、 β 、 β_v 、 β_h である。

座標系を Fig. 4.5.5 に記号の意味を以下に示す。

P : マノメータ上で基準線より読み取った水銀柱の圧力値

脚付 C、T、B、S、P は五孔ピトー管の孔の位置 (Fig. 4.5.5 参照)

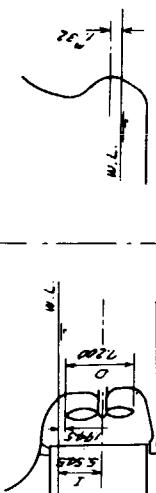
v : 流入速度

V_s : 船速 (4.5.1 参照)

M : マイルポスト航走時

C : プロペラ遊転時

Table 4.5.1 Experiment Conditions.

S. NO. 4311 "新鶴丸"		RESULT OF PROGRESSIVE SPEED TRIAL (BALLAST CONDITION)											
Date	26th Aug. 1971	Measured course distance			1.852.5m			Sea water			S.G. 1.0213	Temp 25.5°C	
Place	off Yuge Island	Depth of sea water			ECHO SOUNDER 船のため海図による 27m~38m(水面より海底まで)			Swell			NO SWELL		
Weather	Fine	Sea condition			smooth			Air			Temp 25°C	Pressure 1.016 mb	
		Ship's condition											
Draught	For a (at R.P.)	4. m 4.5	Block coefficient (Cb)	0.789	Propeller immersion :-			Bulb immersion :-					
Aft. (at A.P.)	Midship	P 7.50 S 7.40	Prismatic coefficient (Cp)	0.802	I/D = 0.770								
	Aft.	10. 37	Water plane coefficient (Cw)	0.831									
	Mean	7.40	Midship section coefficient (Cx)	0.984									
Trim by stern		5. 94	Wetted line length	300.1 m									
Deflection Sagg		0. 05	Wetted surface	13,780 m ²									
Displacement (Δ)	7,830 t (7,620 t) ²		Date of undocking					FINAL DOCK					
Engine load	Direction No. of course	Time start of test	Elapsed time over the course	Mean speed (Kt)	Mean r.p.m.	Mean BHP	Mean BHP	Tidal current	Wind velo. and direction	Tide correction	Speed corrected (Knots)	Sea condition	当て舵
M 1/2 W	23.5°	10時 - 00分	4分 - 29秒2	13.377	83.5	120.60	12.190	→ ▲	↗ 2m/s	+0.137	13.514	SMOOTH	0
1/2 M 1/2 E	5.5°	10時 - 50分	4分 - 17秒1	13.692	84.2	123.20		→ ▲	↗ 2m/s	-0.374	13.632	"	右 1.5°
M 85 W	23.3°	11時 - 24分	3分 - 43秒9	16.083	104.8	25.620	25.290	→ ▲	↗ 2m/s	+0.510	16.593	"	左 1°
M 85 E	5.3°	12時 - 03分	3分 - 31秒2	17.050	104.0	24.950		→ ▲	↗ 2m/s	-0.548	16.502	"	0
M 4/4 W	23.3°	12時 - 46分	3分 - 25秒1	17.557	114.5	32.100		→ ▲	↗ 2m/s	0.428	17.985	"	0
4/4 M 4/4 E	5.3°	13時 - 13分	3分 - 16秒8	18.298	115.0	32.100	32.400	→ ▲	↗ 2m/s	-0.510	17.988	"	左 0.5°

Remarks :-

1. Speed measured by Mile Post
2. 水深 マイルポスト東側約27m
西側約38m

3. Gide correction

Ref. Fig 5.4.2 (風の修正は行わぬ)

T : 旋回時

1/2, 85, 4/4 : それぞれ主機出力 50%、85%、100% MCR

E : 航路東向

W : 航路西向

α : V_{YZ}/V_S ベクトルが水平軸 (Y 軸) となす角

β : 五孔管の中心軸と V とのなす角

β_V, β_H は前述の通り

検定曲線として Fig. 4.3.6 の f および 2 本の g 曲線を使用し、全出力データについて R_n を求めると、ほとんどが臨界 R_n より大きいことがわかったので遷移域の不安定性などを考慮して、出力値としては (1.0, g) H によるものを採用した。

なお使用した定数は次の通りである。

$$\rho_{Hg} = 1386.7 \frac{kg \cdot S^2}{m^4}, \rho_{sea} = 1041.3 \frac{kg \cdot S^2}{m^4}, \nu_{sea} = 0.93245 \times 10^{-6} \frac{m^2}{S}$$

b) 電気式五孔管による計測値

M.2.1 の五孔ピトー管用のローパスフィルタが不調だったので、この五孔管については、フィルタなしで計測を実施した。計測記録の一例を Fig. 4.5.8 ~ 4.5.9 に示すが高周波成分のため線が太い。

参考までに Fig. 4.5.10 に旋回試験時の記録を示す。8 Hz の周波数成分となり現象が明瞭に記録されている。これは旋回時にしばしば経験される激しい船体振動によるものと考えられる。

平均値を読み取ったあとの解析は空気式と全く同じ方法によった。

c) 超音波式流速計による計測値

流速の連続記録値（5秒毎に区切りその区間の平均値をプロットしたもの）の一例を Fig. 4.5.11 に示す。ビシグラフに記録された流速状況を Fig. 4.5.12 及び Fig. 4.5.13 に示す。前者は周波数応答度を 1 Hz、後者は 10 Hz とした場合である。今回の計測位置は水面に近いことから、気泡含有率が高く、また多少の気泡もたらも流速計測値には大きな影響を及ぼしていないようと考えられ、妥当な実船伴流が計測できたと判断してよいであろう。

なお、本船の発生する気泡の利用が期待できない場合（停船中または低速航行中や右旋回中）には超音波反射が弱く計測不能となることがある。これに対して現在のところ抜本的な対策を講ずることは困難であり超音波周波数の上昇と送波出力の増加により改善する余地はあつても、現在の起音波振動子の製作技術からいつて大きな期待はかけられない。超音波ノイズの計測結果を Fig. 4.5.14 に示す。

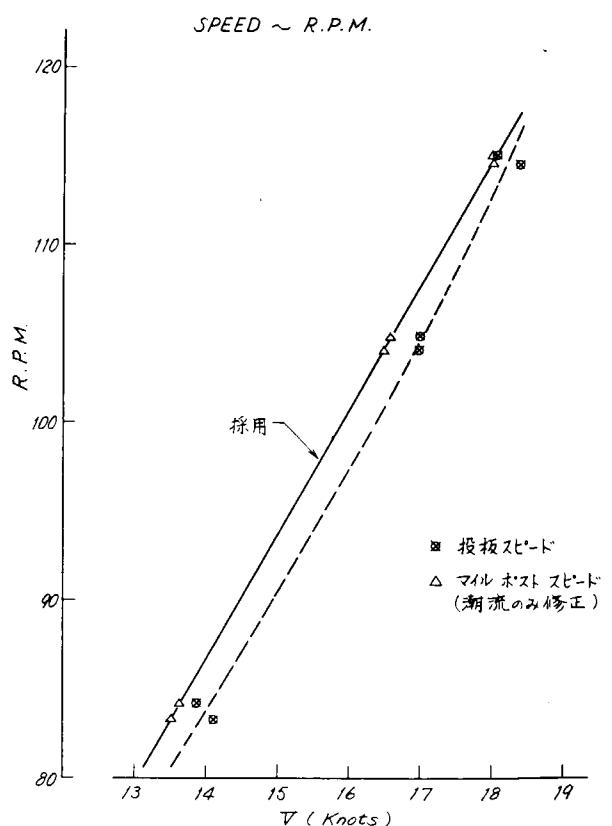


Fig. 4.5.1 Speed - r.p.m. Curves.

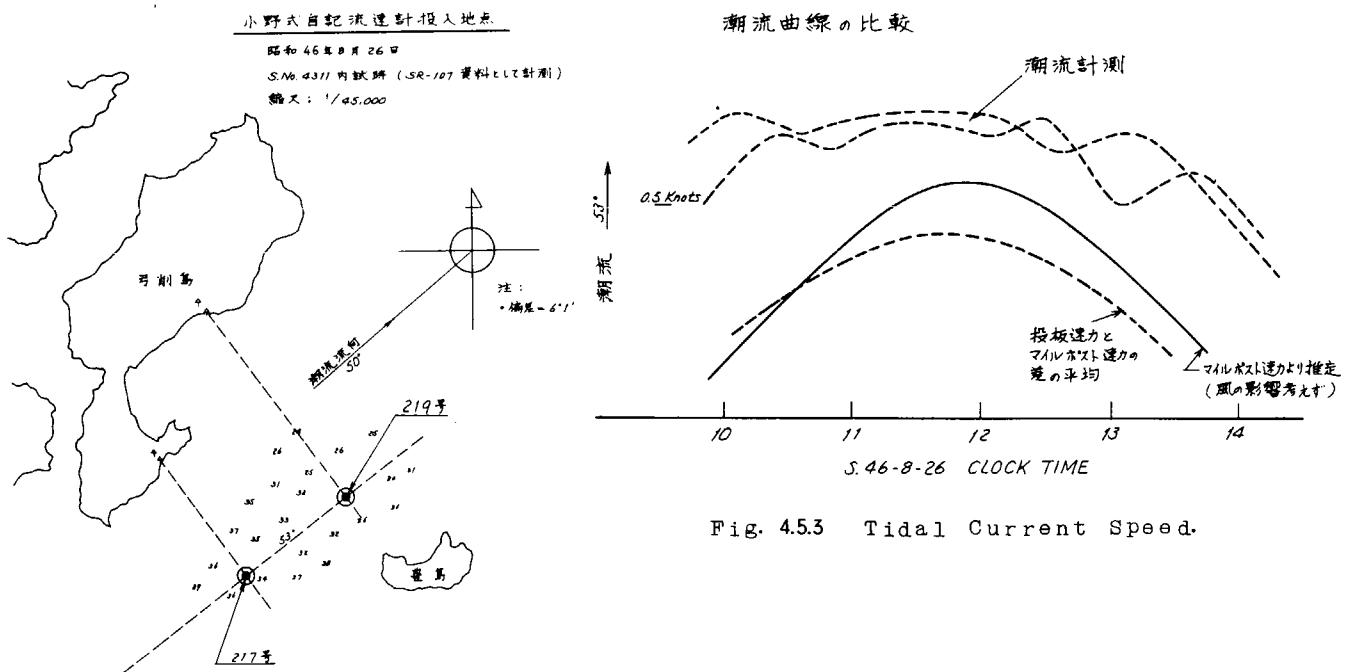


Fig. 4.5.2 Location of Tidal Current Meters and Test Course.

Fig. 4.5.3 Tidal Current Speed.

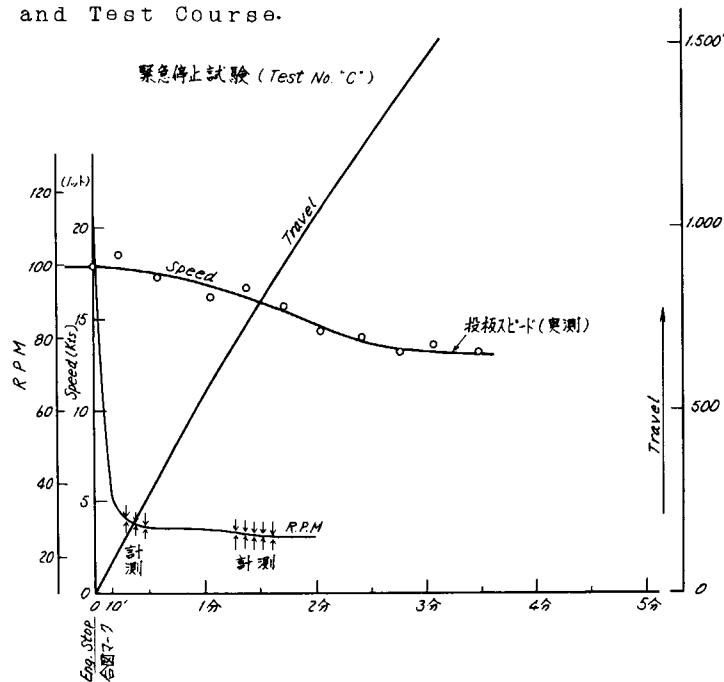


Fig. 4.5.4 Speed and r.p.m. Curves at Crash Astern Test.

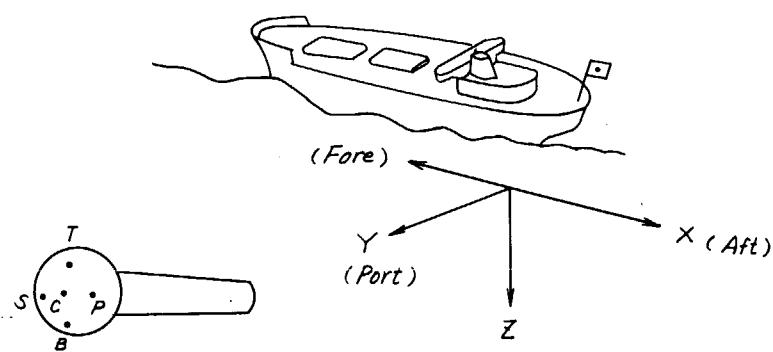


Fig. 4.5.5 Coordinates.

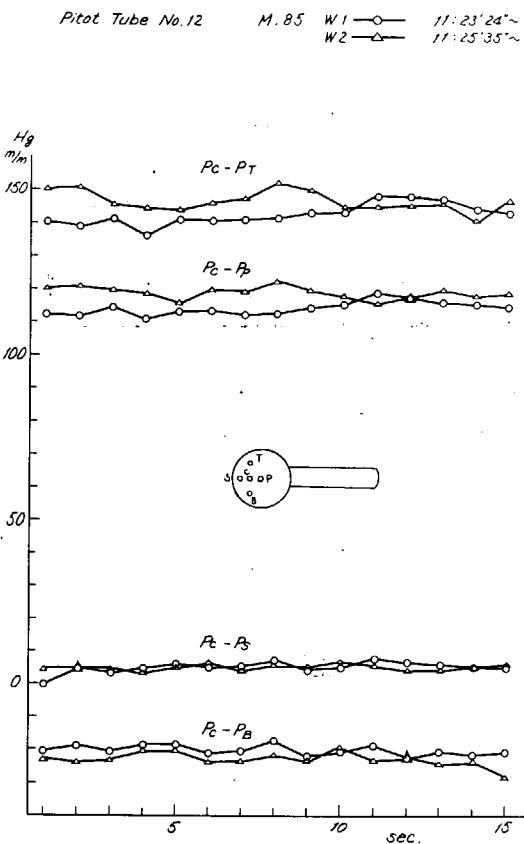


Fig. 4.5.6 Fluctuation of $P_C - P_T$, etc.

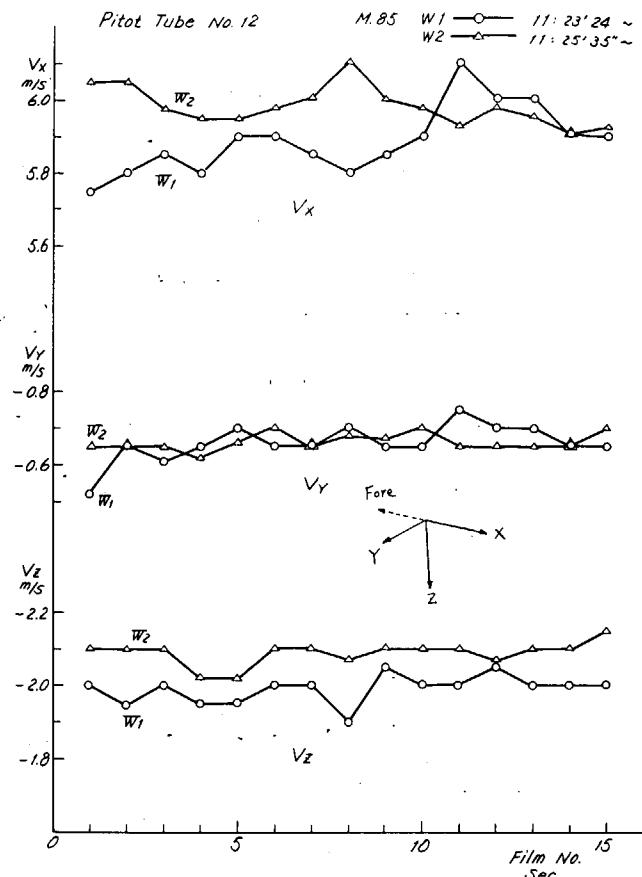


Fig. 4.5.7 Fluctuation of V_x , V_y and V_z .

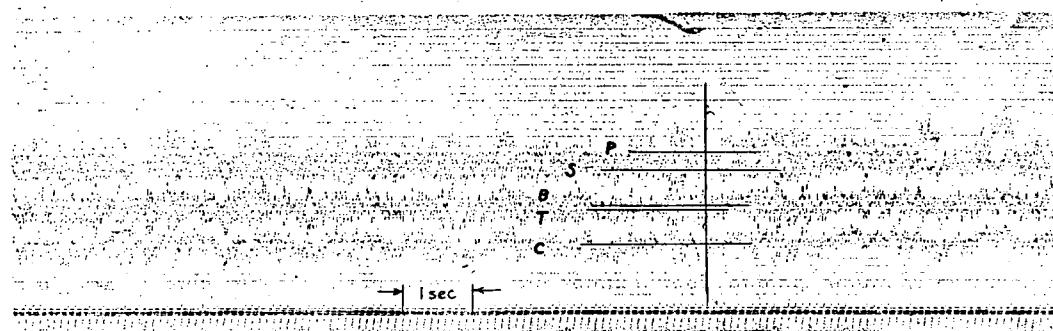


Fig. 4.5.8 Record of No.21 Five Hole Pitot Tube.
(Transducer Type, without Low-Pass-Filter.)

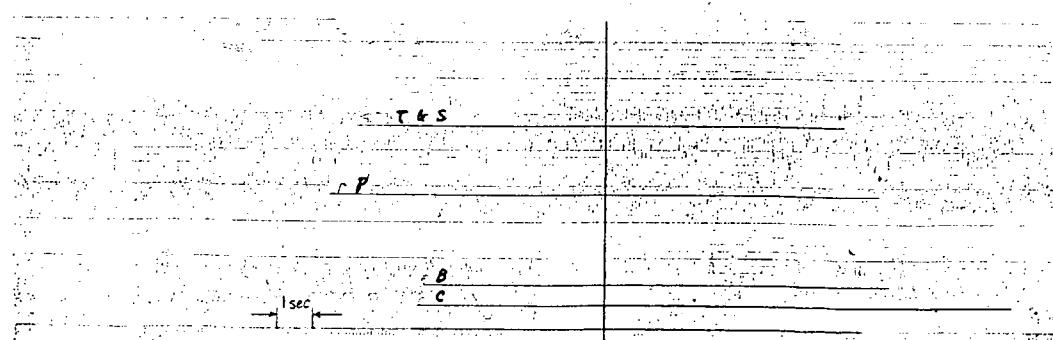


Fig. 4.5.9 Record of No.20 Five Hole Pitot Tube.
(Transducer Type, with Low - Pass - Filter.)

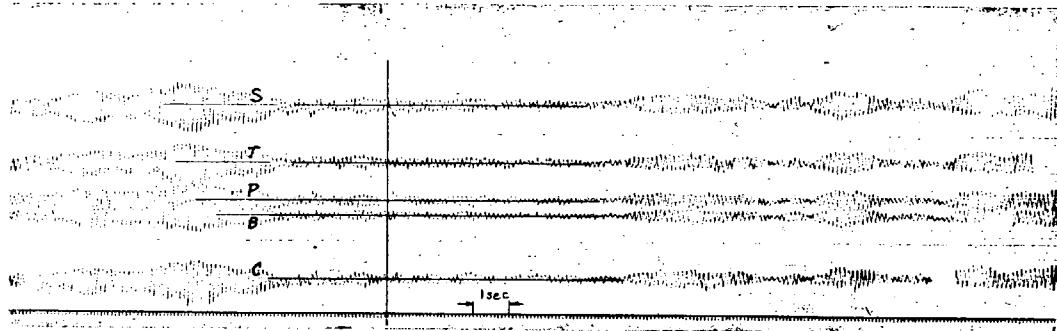


Fig. 4.5.10 Pressure Fluctuation at Turning Test.
(Exp. No. 8, M-85, Starbord Turning.)

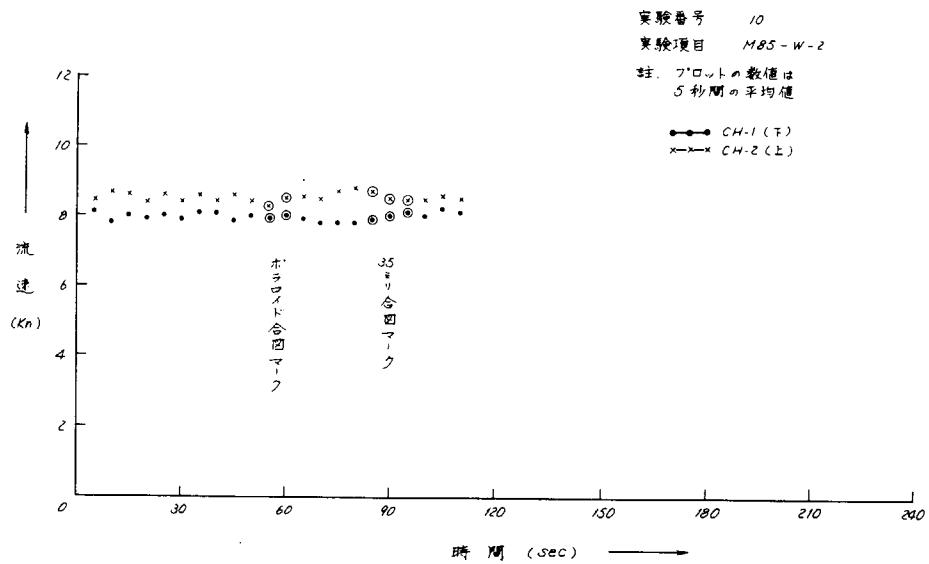


Fig. 4.5.11 Results of Doppler Sonar Measurment.

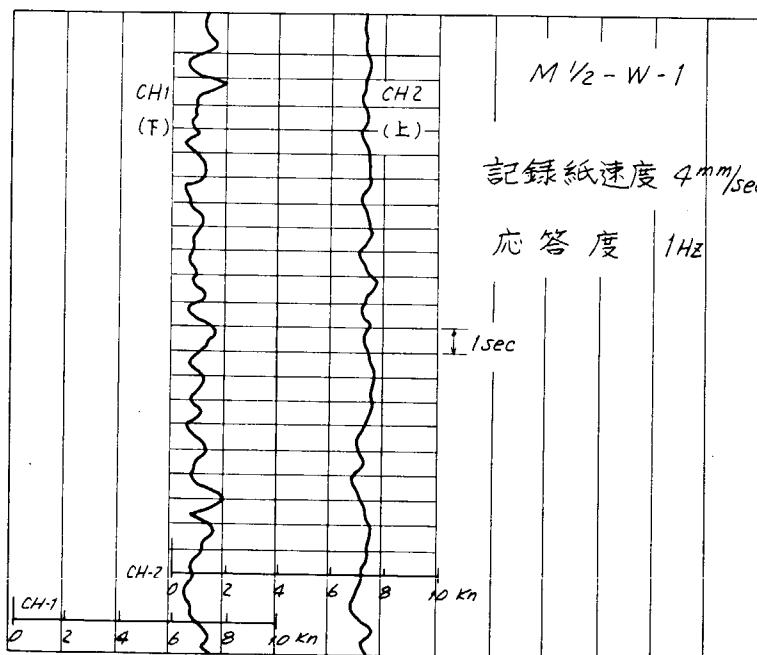


Fig. 4.5.12 Results of Doppler Sonar Measurment.

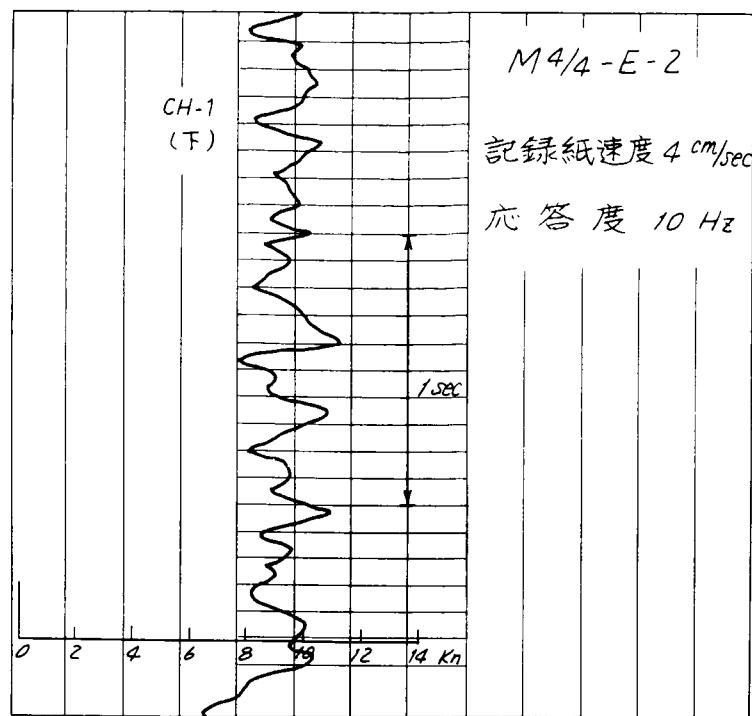


Fig. 4.5.13 Results of Doppler Sonar Measurement.

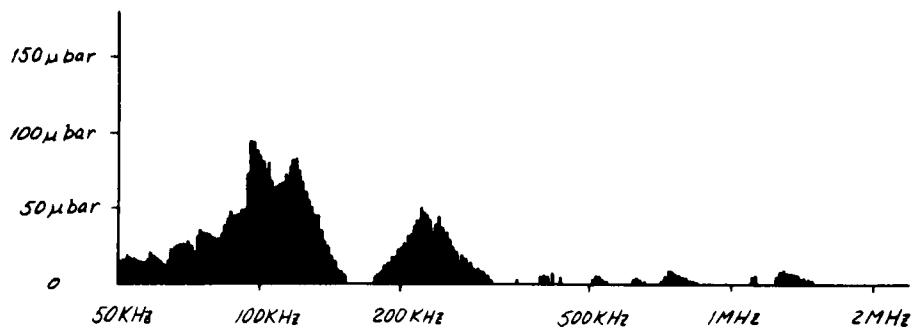


Fig. 4.5.14 Propeller Noise Spectrum.

4.6 伴流計測結果とその考察

4.6.1 解析結果

伴流分布 ($W = 1 - \frac{V_x}{V_s}$) を、Fig. 4.6.1 ~ 4.6.5 に V_y, V_z のベクトル表示を Fig. 4.6.6 ~ 4.6.10 に示す。

Fig. 4.6.1 1 ~ 4.6.1 2 には船尾縦縫の渦度分布を示す。

伴流分布図を作る際、測定値をクロスフェアリングしたが、その段階で五孔管 No. 8 が全体的にわずか低め (W で 0.02 位) の値を示し、No. 14 が M. 85W 以後、No. 1 1 が M. 4/4 W 以後各々カーブよりはずれた。理由ははっきりしない。電気式による流速は両管とも周りの空気式による値よりやゝ小さいが超音波式による値はかなりよい一致を示している。

なお船尾の超音波ノイズのスペクトル (Fig. 4.5.14) によると 1000 KHz ~ 300 KHz 附近にかなり強いスペクトルがあるので、使用周波数 1.1 MHz の超音波流速計に与える影響は殆んどないと考えられ、使用周波数を 1 MHz 程度まで低くしても支障は少ないとと思われる。

4.6.2 考 察

a) 伴流分布図について

Fig. 4.6.1 ~ 4.6.5 に示される伴流分布にはくびれがあり、後出の V_y , V_z 分布の項で詳しく述べるように、船尾ビルジ渦の存在が認められる。主機出力の違いによる w の差 (Fig. 4.6.5) は多少認められるようではあるが、西行と東行の差 (Fig. 4.6.1~4.6.3) や同一航走中の変動 (Fig. 4.5.7) 等を考慮すると、有意の差とは考えにくい。

一方プロペラ遊転時の結果 (Fig. 4.6.4) はプロペラ作動のものとは明らかに差があるが、模型より大きい伴流値であることからみても、これをもって実船の抵抗状態の伴流分布図であるとは言いきれないであろう。この原因としては、プロペラ吸込み以外の影響、たとえば船速が低下中であること、プロペラが完全な遊転状態でないこと ($N = 25.5 \text{ rpm}$)、僅かではあるが偏針していることなどが考えられる。

航走中の実船伴流を模型の伴流分布と比較すると分布形状はよく類似しているが、実船では伴流の幅がかなり狭くなっているのが明かである。しかし尺度影響の定量化などについては別項で述べる。

b) V_y , V_z 分布について

Fig. 4.6.6~4.6.10 より船尾渦の存在は明らかであり、 V_y , V_z 分布の主機出力による差およびプロペラ遊転時の形状変化等については(a)において述べたこととは、同様のことが言える。ここでは渦ベクトルの X 方向成分について考えることとし、M. 85W の渦度分布を Fig. 4.6.11 に示す。ここで渦度の表示としては次のような無次元値を用いた。

$$\xi = \frac{\int V_y dy + V_z dz}{\Delta A \cdot V / L} \quad (\Delta A \text{ は面積要素})$$

これ等の図によると実船の渦領域は伴流分布と同様に狭くなり、渦が伴流と共に移動することが明らかである。³ M. W. L. 壁面近くに ξ の大きな所が存在するが、ここは伴流値が大きく、五孔管 (A6.3, A6.7) の R_n は不足であった。しかし R_n の差による ξ の誤差は高々 10 % 程度であり、あまり大きな変化はしない。他方参考文献 17) の結果と比較しても、同じような位置で V_y , V_z のバラツキが見られるなど同様の傾向を示しているので、一応正しい値を示しているものと考えられる。

なお肥大模型船の限界流線の観測によると、この附近は、二次剝離を起している個所であり、実船においても同様の現象が起きているとも考えられる。

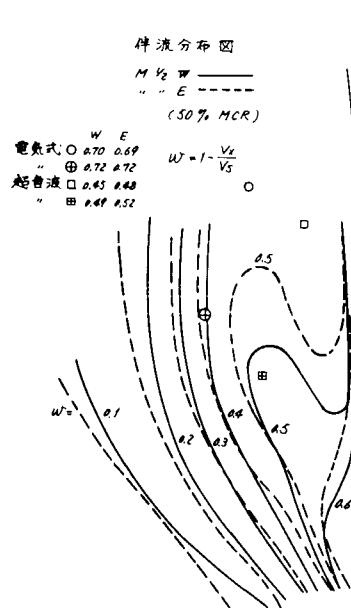


Fig. 4.6.1 Wake Distribution (1/2 Engine Load)

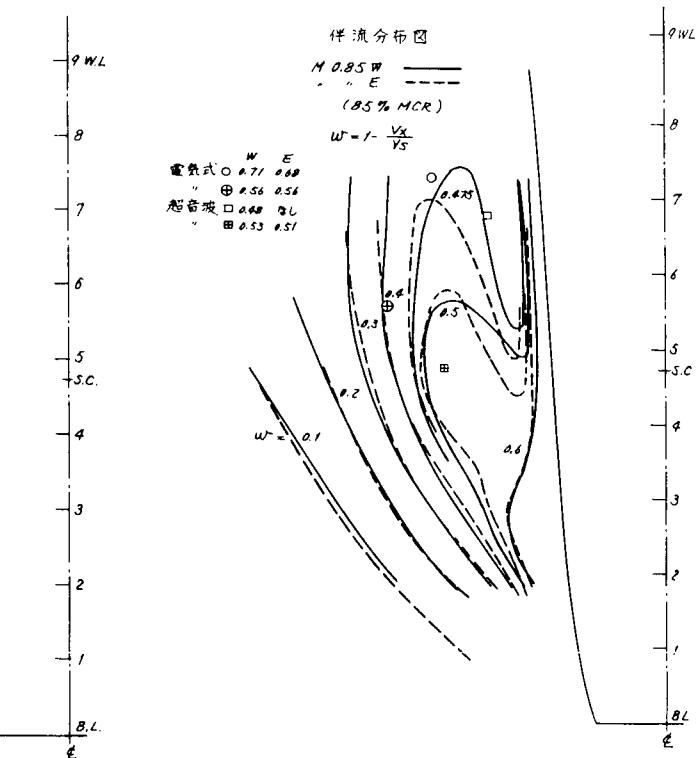


Fig. 4.6.2 Wake Distribution (0.85 Engine Load)

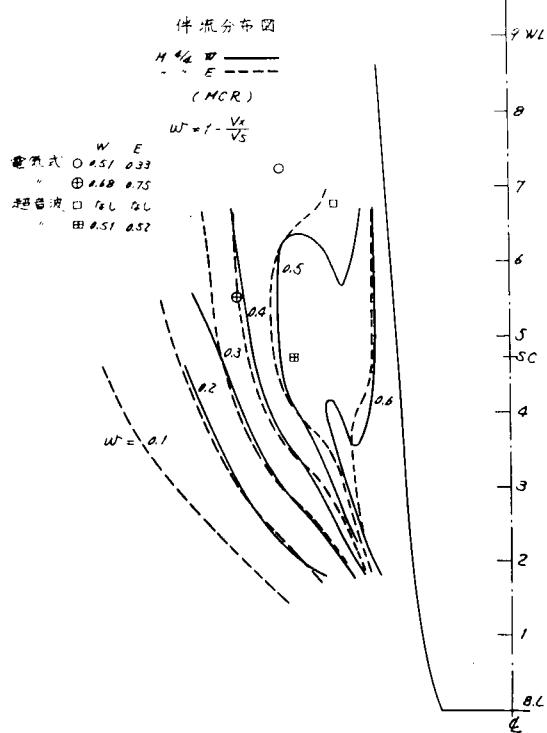


Fig. 4.6.3 Wake Distribution.
($\frac{4}{4}$ Engine Load)

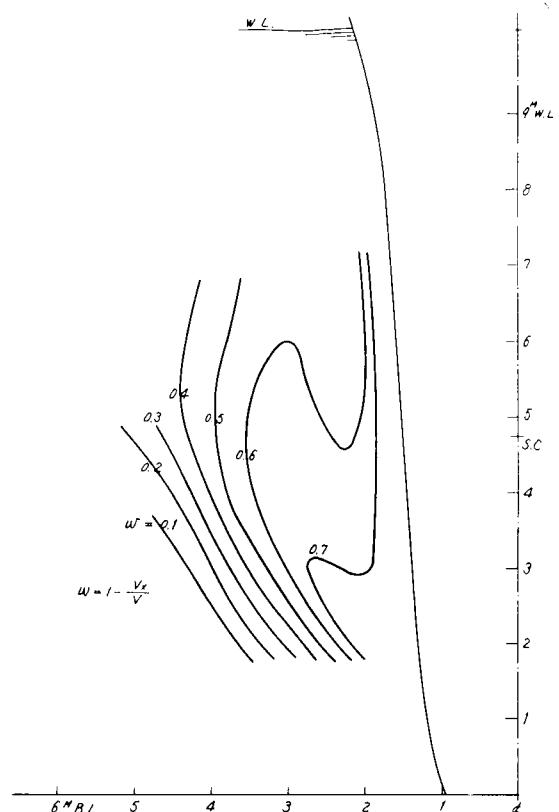


Fig. 4.6.4 Wake Distribution.
(Near-Zero Engine Load)

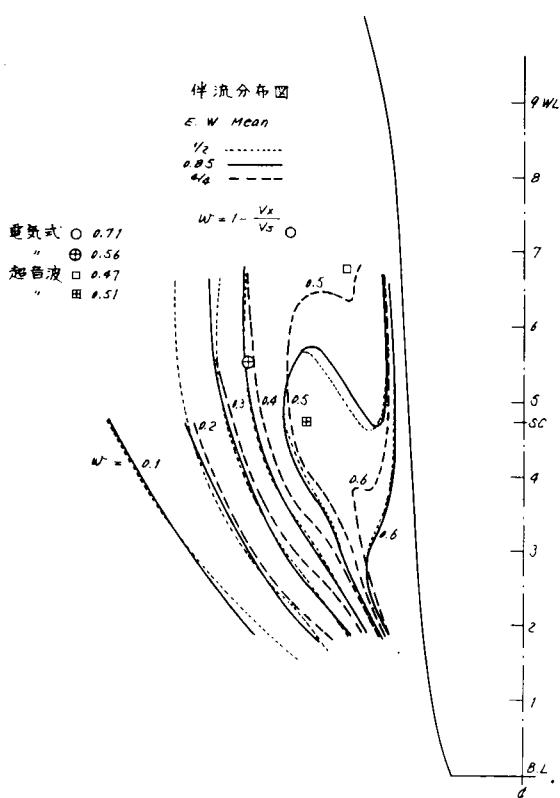


Fig. 4.6.5 Variation of Wake Distribution
due to Engine Loads.

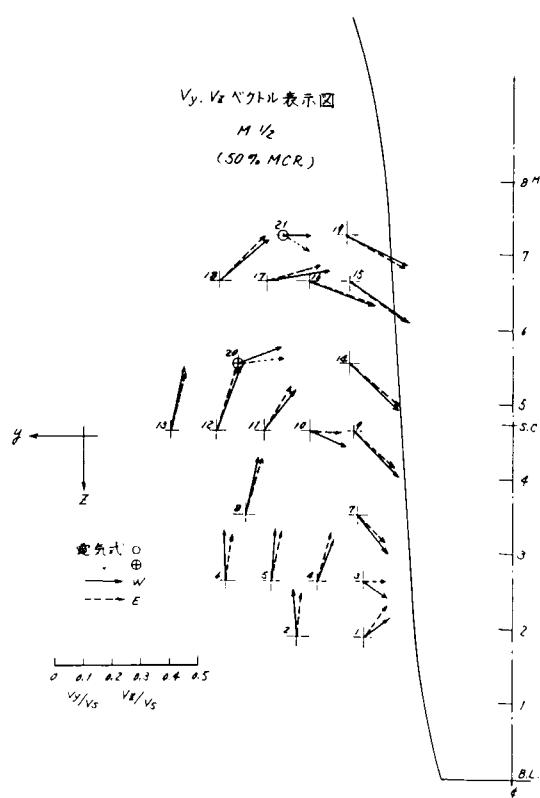


Fig. 4.6.6 Vector Expression of Vy and Vz.
($\frac{1}{2}$ Engine Load)

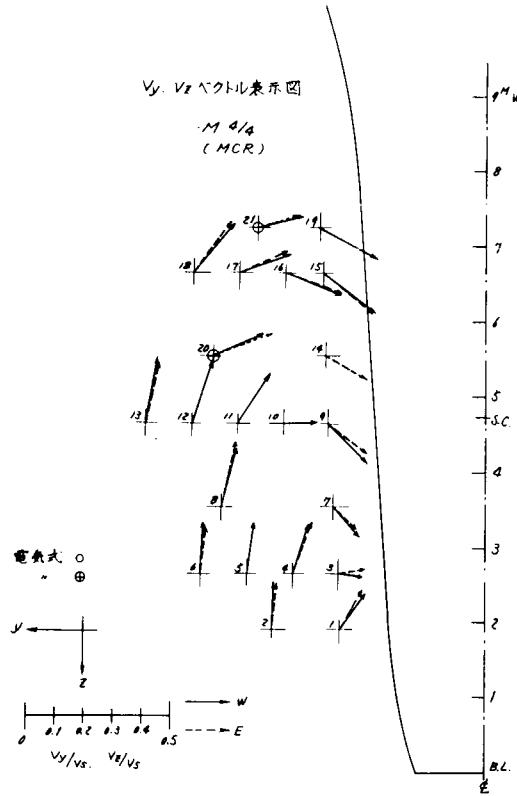


Fig. 4.6.7 Vector Expression of Vy and Vz. (0.85 Engine Load)

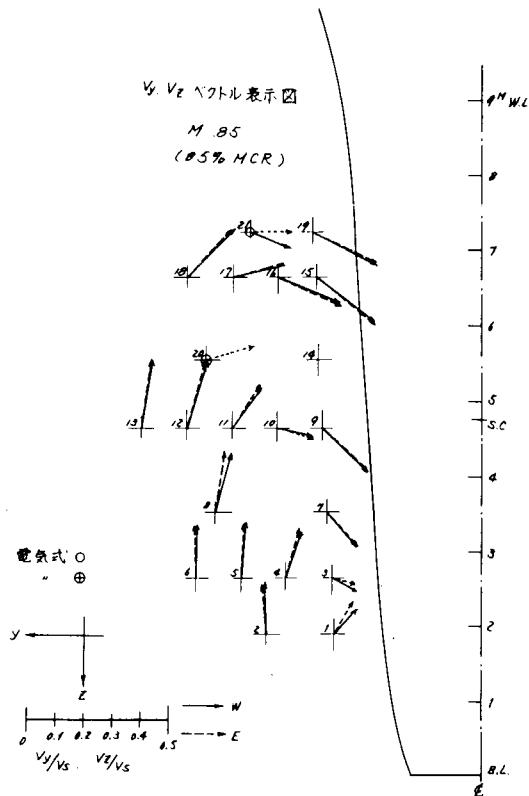


Fig. 4.6.8 Vector Expression of Vy and Vz. ($\frac{4}{4}$ Engine Load)

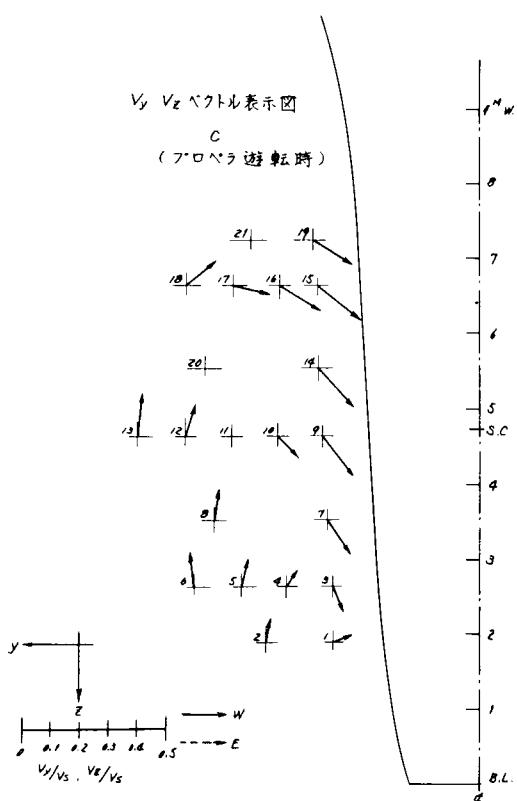


Fig. 4.6.9 Vector Expression of Vy and Vz. (Near-Zero Engine Load)

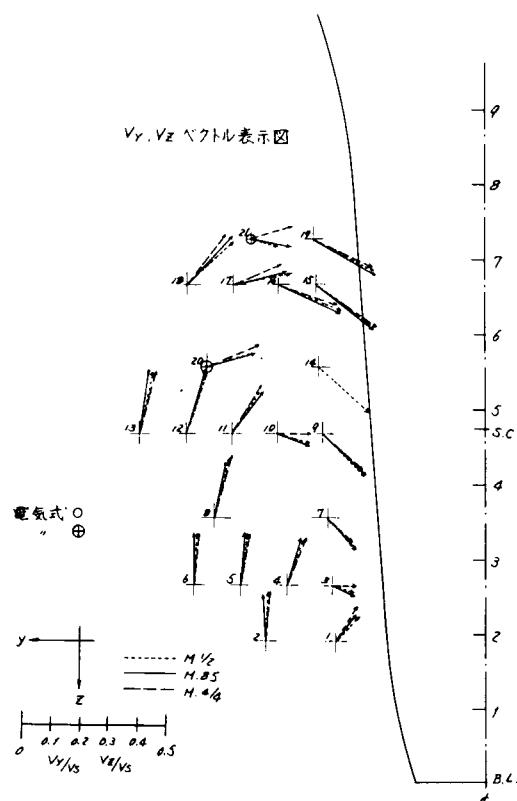


Fig. 4.6.10 Variation of Vector Expression of Vy and Vz. due to Engine Load

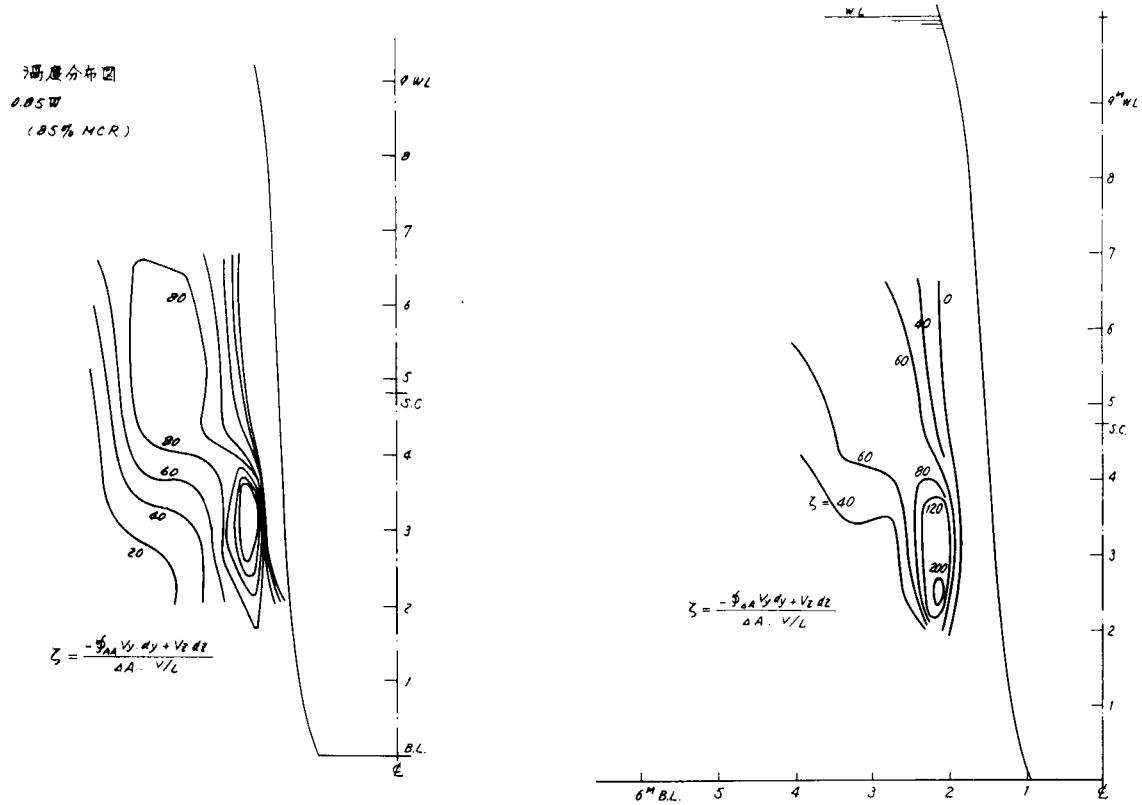


Fig. 4.6.11 Vorticity Distribution
(0.85 Engine Load)

Fig. 4.6.12 Vorticity Distribution
(Near-Zero Engine Load)

4.7 実船実験全般を通じての感想

今回の実船実験に対する準備、実験、解析までの一連の作業を終って、特に重要と感じられたもの、あるいは今後この種の実験を行なう場合に参考になると思われるものを、多少重複の嫌いはあるが拾い上げると次のようになる。

1) 五孔ビト一管

最も重要なのは後の解析を可能にし、容易にするためのレイノルズ数と工作精度の問題である。前者は臨界レイノルズ数の範囲を如何にして避けるかであり、後者は各管の特性曲線を一致させるのが目的である。

まず後者から考えると、製品になってから使用者側でその精度を調べることは容易でなく、下手な検査ならやらない方がよい位のものである。従って製作者側において十分完全な治具を用意するよう要求すべきである。しかしそれにしても余り小さい五孔管にすることは精度を落とすことになるから、球の直径は少なくとも数cm程度にすることが望ましいであろう。

前者については球の大きさに上記のような制限があり、普通商船の速度を対象とする場合には、おのずと超臨界レイノルズ数を使用範囲に選ばざるを得ないことになるが、伴流の大きい場所までカバーすることは困難なことである。ことに水温の低い季節の実験なら一層甚だしく、相当大きな球にしなければならない。流速の分布が既知なら、低速部だけ臨界レイノルズ数以下になるより小さい球を使うことも考えられぬではないが、実際問題としてはいやなことである。このように考えてくると、実船実験の時期としては夏期を選ぶように心掛けることが必要ではなかろうか。今回の実験では最初から夏期を心掛けたわけではなく、調べて始めてレイノルズ数問題の困難さに気付いた次第であるが、8 cm球を使用してなお2.3の管にレイノルズ数不足を来たした。

2) マノメータ

九州大学応用力学研究所および佐世保重工での実験結果を参考にして空気式を選んだが、これは成功であった。空気式を使用したためのトラブルは全くなかったといってよい。また使用する液体は、静圧をも測定したいため作業の単純化をねらって、当初の予定を変更し、全部水銀としたのであるが、このために特に読み取り精度の不足を感じたことはない。

なおマノメータ関係において本委員会が実施した改良点、すなわち抵抗管、水銀通路のダンバ、空気流通の可視装置、空気の防塵フィルタ、マノメータ全体の防振装置など何れも上記の経験を基にして考えられたものであり、その効果は十分發揮されていたと思われる。今後も採用されて無駄ではないであろう。

3) 空気管、キャブタイヤコード等

五孔管あるいは他の計器より甲板上のメータ類までのビニル管やキャブタイヤコードは長さが70mにも及んだ。ビニル管の処置として、九州大学の例に倣い各五孔管毎に保護管を使用したのは保護のみならず整理上にも便利であったが、五孔管出口との接続部が弱点になる。改良を要する点である。

これらの管あるいはコードの誘導方法であるが、今回はいささか慎重を欠いたようで、本実験における最大の欠陥となった。一部は前進時にも、また多くは後進時のプロペラ後流によって故障が発生した。トラスの後面および水面下外板に錫管あるいはその半割りを沿わせ、その中に収容すればよかつたのであろう。

4) トラス構造

この実験では固定のトラス構造を採用した。佐世保重工の実験のようにアームを回転させる方式もあり、それぞれ利点、欠点が考えられるから一概に何れを良しということはできない。固定式は、機構が簡単であり、剛構造にして固有振動数を高くし易いことが最も大きい利点であろう。しかし船体に何箇所も溶接で固定せねばならず、撤去も面倒で、予行運転と公試運転の間に入渠がない場合には採用が困難である。今回は入渠があったので、簡単に取外しができた。

トラスの設計に当っては、水抵抗から来る強度は問題ではなく、振動数の見地から寸法が決った。そして振動の原因はカルマン渦よりもプロペラと主機から来るものが問題であった。トラスの固有振動数の算定は相当丁寧に行われ、空気中の振動実験とは割合いで近かったが航走中の値より逆算した水の見掛けの質量は推定値よりもかなり大きくなつた。流れが傾いているから計器および台座、空気管などから来る影響が大きいのかも知れない。

5) 保護装置

船体の前後部接合時にトラスを船体に溶接し、その後直ちに五孔管および空気管を取付けた。他の電気的計器は配置を上方にして、空中に出し試運転直前吃水調整までに取付ければよいこととした。したがって空気式五孔管のみは一ヶ月余も水中に置かれて汚損の心配があるし、空気管も溶接火花で損傷するおそれなしとしない。さらに五孔管やトラスが作業艇に当られることも考えられる。また試運転航走中に蓮やビニル類などが五孔管を覆う可能性もないとはいきれず、その対策として潜水夫の同伴が検討されたが、試運転スケジュール上停船すること自体が困難とわかって放棄された。

結局、運転中の事故についてはあきらめることとし、運転までの保護だけを実行したのであるが、これらの心配が杞憂に終り、計測の目的を果し得たことは幸運であったと云えよう。

6) 計器類の輸送、取付、検査、実験準備等

計測者側はとくに計器の性能にとらわれがちで、それらを手違ひなく放置したり、作動可能の状態にまでもつくる準備作業などについては気が廻りにくいやうである。現場に来てからあれこれ注文を出しても滑かに事は進ばない。今回の実験に対しては、造船所側の委員がこの辺の事情をよく察して非常によくリードしたため、こうしたトラブルは殆んど聞かれなかった。注意しなければならぬ大切な事項の一つである。

5. 実船と模型船の相関

5.1 伴流分布の尺度影響

伴流の尺度影響を調べるため、§4に述べた実船実験と全く同一の計測位置で、4m、8m、12mの3隻の模型船につきプロペラ前方の流入速度場の計測を実施した。計測には五孔管を使用し、実船の船速16.5km/hにほぼ対応する速度で行なった。プロペラ荷重比($C_T = T / \rho V^2 D^2$)その他の詳細はTable 5.1.1に示す。なお参考のためプロペラを外した曳航状態での計測も実施した。以下これらの結果を相互に比較して、尺度影響について考察する。

まずFig. 5.1.1～5.1.3に3隻の模型の自航状態における伴流分布図を、またFig. 5.1.4～5.1.6に計測面内の速度成分 V_X 、 V_Y 、 V_Z のベクトル図を示す。これらの結果と§4に示した実船の結果とを比較すると、分布形状は類似しているが、伴流域の幅は船が大きくなると共に狭まることが知られる。この傾向を見易くするために、実船の計測トラスの3本の水平部材上に取りつけた五孔管列を含む水平面内の V_X 、 V_Y 、 V_Z の分布を書いたのがFig. 5.1.7～5.1.9である。これには参考としてプロペラを外した状態での値も同時に記入した。(実船はプロペラ遊転時の計測値である。)

この図からも幅方向の縮少は明らかである。縮率を定量的に論ずるために文献13)の方法に従うものとすると、 $w = w_p + w_f$ (ただし w_p は伴流のポテンシャル成分、 w_f は摩擦成分)と仮定した時、 w_f の分布は境界層厚さの比、すなわち C_f の比で縮まるものと考えられる。Fig. 5.1.7の V_X についてそれを行なったものがFig. 5.1.10である。実船の C_f では ΔC_f として0.0002を加えてある。これによると3隻の模型についてはほとんど一本の線にまとまっているが、実船の値とは一致せず、縮少度が若干強すぎることがうかゞわれる。そこでこれを更に修正し、最終的には模型、実船を通じて成立する V_X の相関関係を求めることが必要であるが、それには V_X のみでなく、渦をふくめた他の種々の要素の影響についても妥当な説明のなしうるものでなければならない。この目的に対しては現在の資料だけではまだ不十分であるので、今回はこれ以上断定的な結論を導くことはさけることとする。

次に渦について考察する。Fig. 5.1.4～5.1.6からすでに明らかなように伴流域中に縦渦が存在し、船の寸法が大となるにつれて渦の幅も伴流域と共に縮むことが示されている。渦に注目するには速度ベクトルの他に渦度を求めることが望ましいので、それを計算したものがFig. 5.1.11～5.1.13である。実船の値は§4に示した。これらの図から渦の尺度影響として次のことが指摘できる。まず渦度の最大の点を仮に中心と呼ぶことにすると、模型間ではほとんどその位置は変わらないが、実船では明らかに船側に近づく。また渦領域の幅についてもほぼ同じことがいいうるので、これらから縦渦も伴流域の幅と同じ割合、すなわち C_f にほど比例して縮少すると結論しうると思われる。

一方、渦度の値については、点の数が十分多いとはいえないのに、コンターカーブの引き方に多少任意性があるが、傾向として実船になるほど最大値が大きくなることが知られる。これは渦を囲む閉曲線上に取った循環 I' の一一定性を想像させるもので、この検証のため、二三の閉曲線に対して I' を求めた所Fig. 5.1.4のような値が得られた。ただ計測領域が十分広いとはいえないのに、渦度ゼロになる領域がはっきりしていないことと、船側近傍には渦度が負になる部分が存在しており、(今回はこの領域を算入していない。)

この取扱いで問題がないわけでもないので、値自体にはまだ不定性が残されている。しかし、この結果は、第一近似としては I' 一定と考えてよいということを意味すると受取ってよいであろう。

今後この問題については更に十分検討する必要があるものと思われる。

最後に参考データとして、静圧 Δp ならびに総圧 H の無次元値の分布をFig. 5.1.15～5.1.20に示した。両図とも、12mの模型の値は計測していないため、含まれていない。これら図では、渦中心付近で圧力低下がみられる事が共通した特徴である。たゞ実船の Δp は模型に比べて値がかなり大きい。この原因は今の所模型と実船の流場の相違とみるほかないが、明確ではない。 H の分布はこの検討にも役立つ筈であるが、分布図にはとりわけ不合理な点もないようと思われるのと現在は、これ以上深く論ずることはできない。

Table 5.1 Test Conditions

	F_n	N (r.p.m.)	$C_T = \frac{T}{PD^2 V^2}$	W.T. (°C)
Ship (.85W)	0.156	104.8	0.401*	25.5
Ship (C)	0.138	25.5	~ 0	25.5
12M Model	0.170	(r.p.s.) 9.3	0.455	14.2
8M	0.161	10.35	0.441	16.7
4M	0.161	14.75	0.449	14.3

* from Trial Analysis

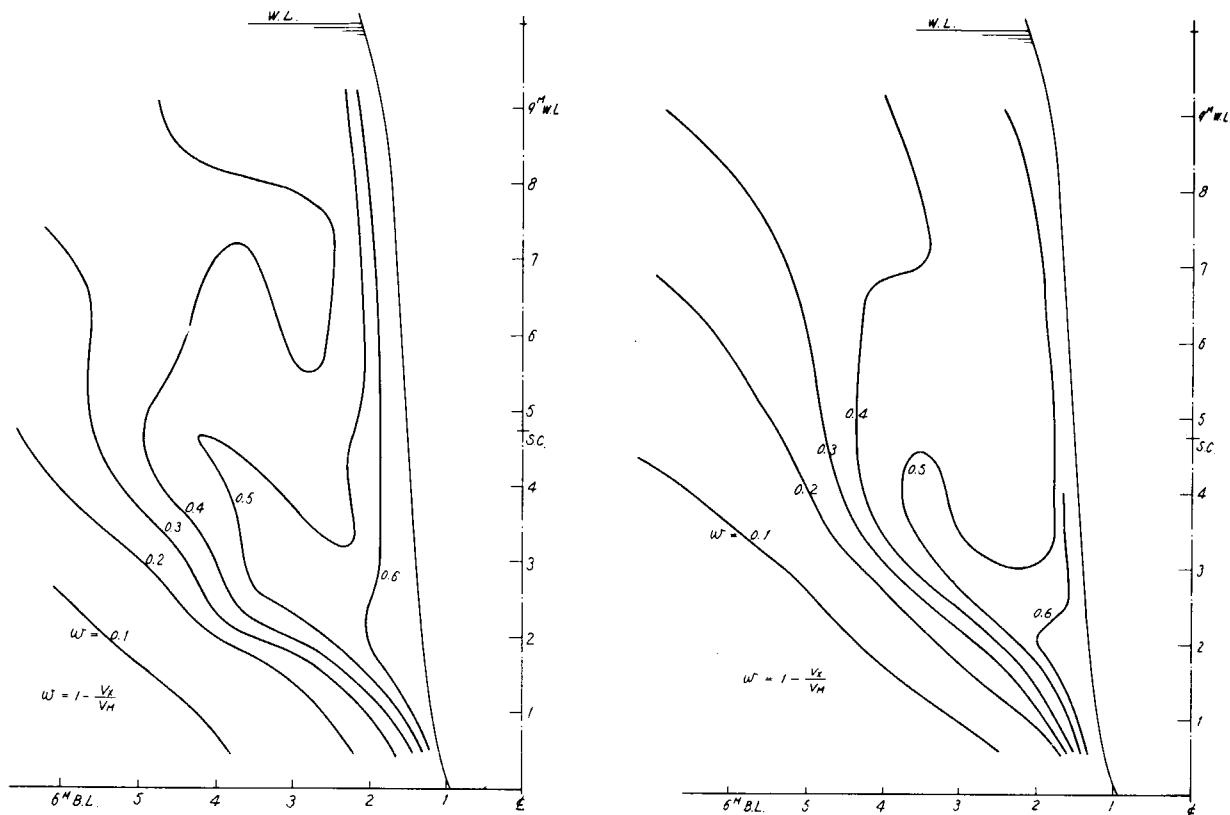


Fig. 5.1.1 Wake Distribution.
(4M Model, with Propeller)

Fig. 5.1.2 Wake Distribution.
(8M Model, With Propeller.)

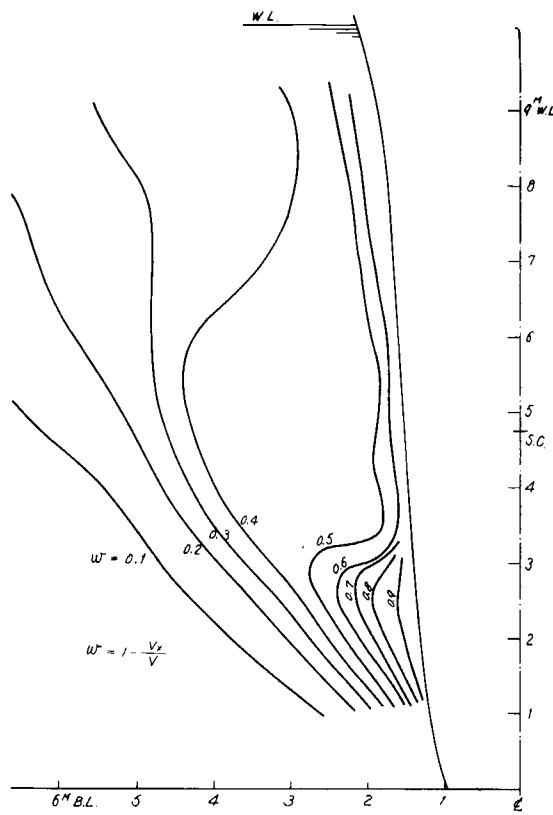


Fig. 5.1.3 Wake Distribution.
(12M Model, with Propeller.)

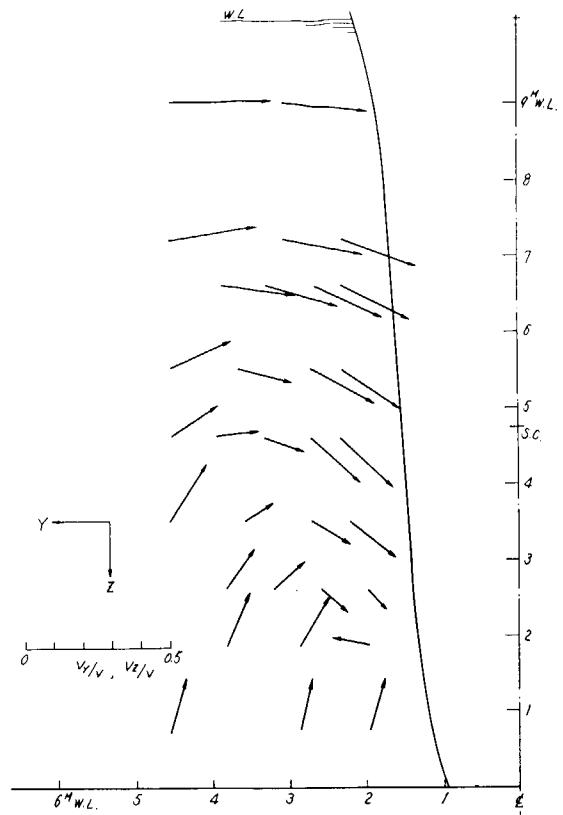


Fig. 5.1.4 Vector Expression of V_y and V_z .(4M Model, Propeller.)

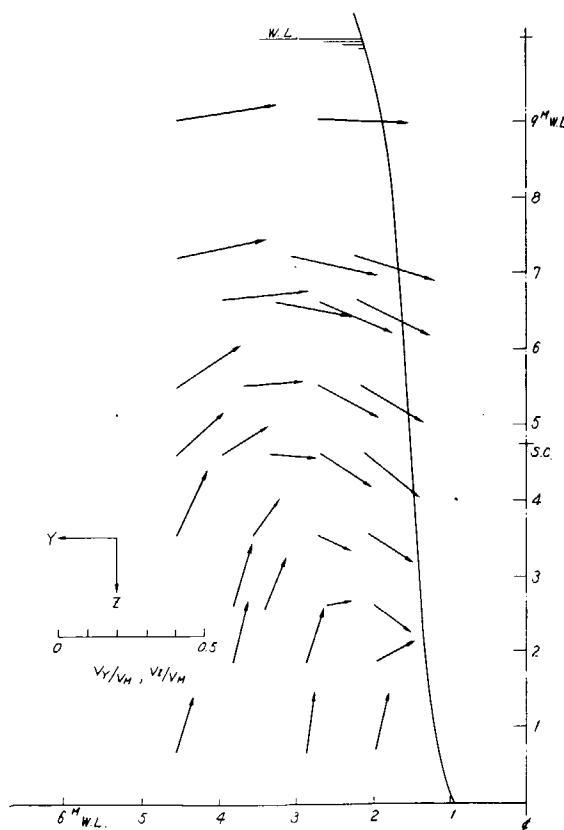


Fig. 5.1.5 Vector Expression of V_y and V_z .(8M Model, Propeller.)

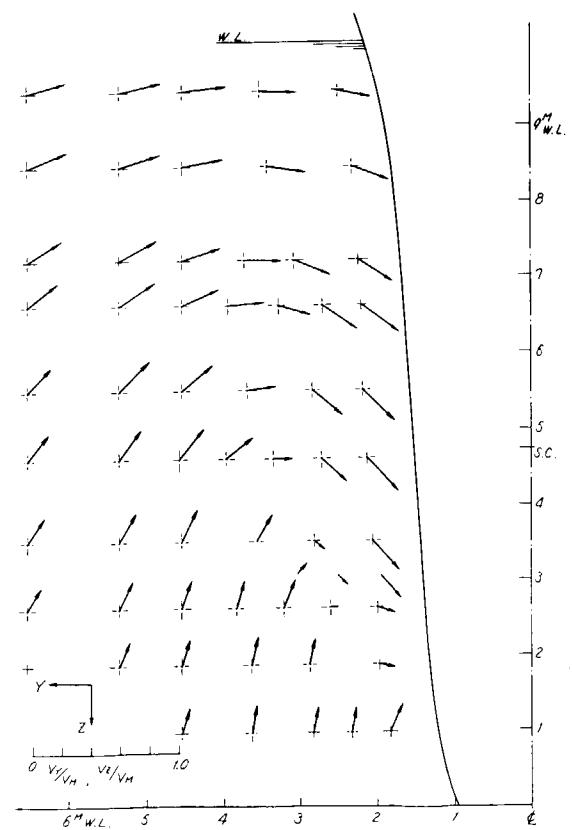


Fig. 5.1.6 Vector Expression of V_y and V_z .(12M Model, Propeller.)

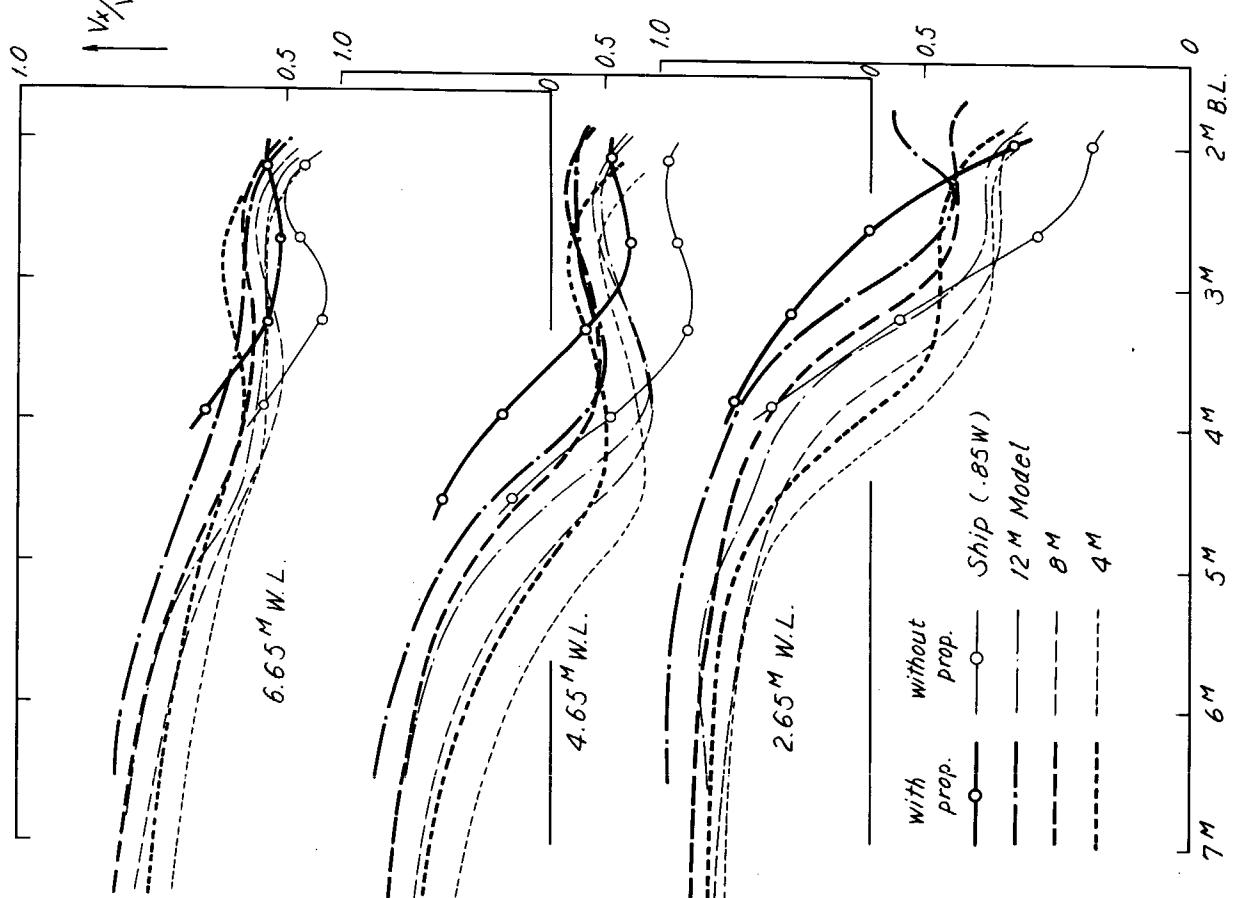


Fig. 5.1.7 Velocity Distribution. (V_x/V)

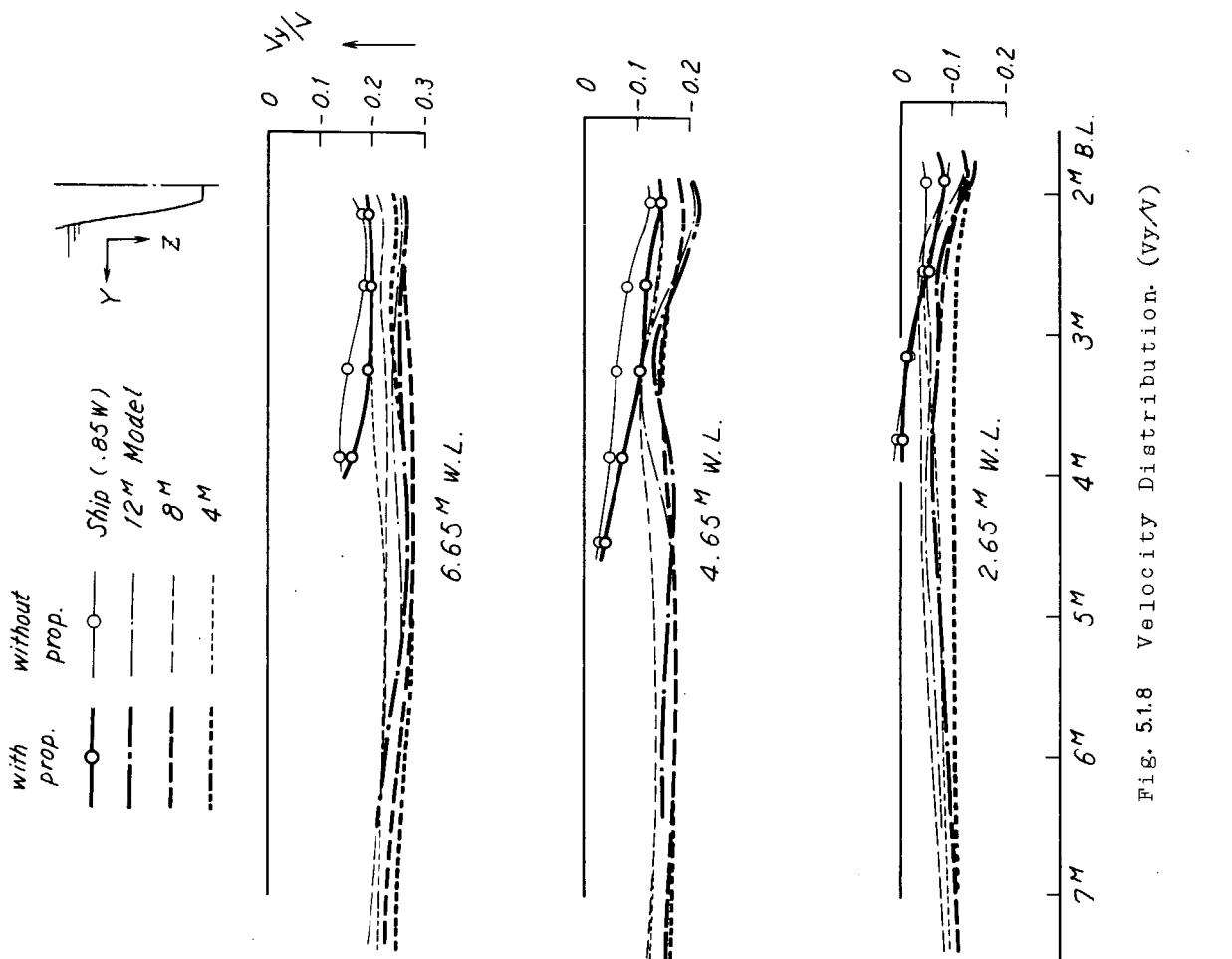
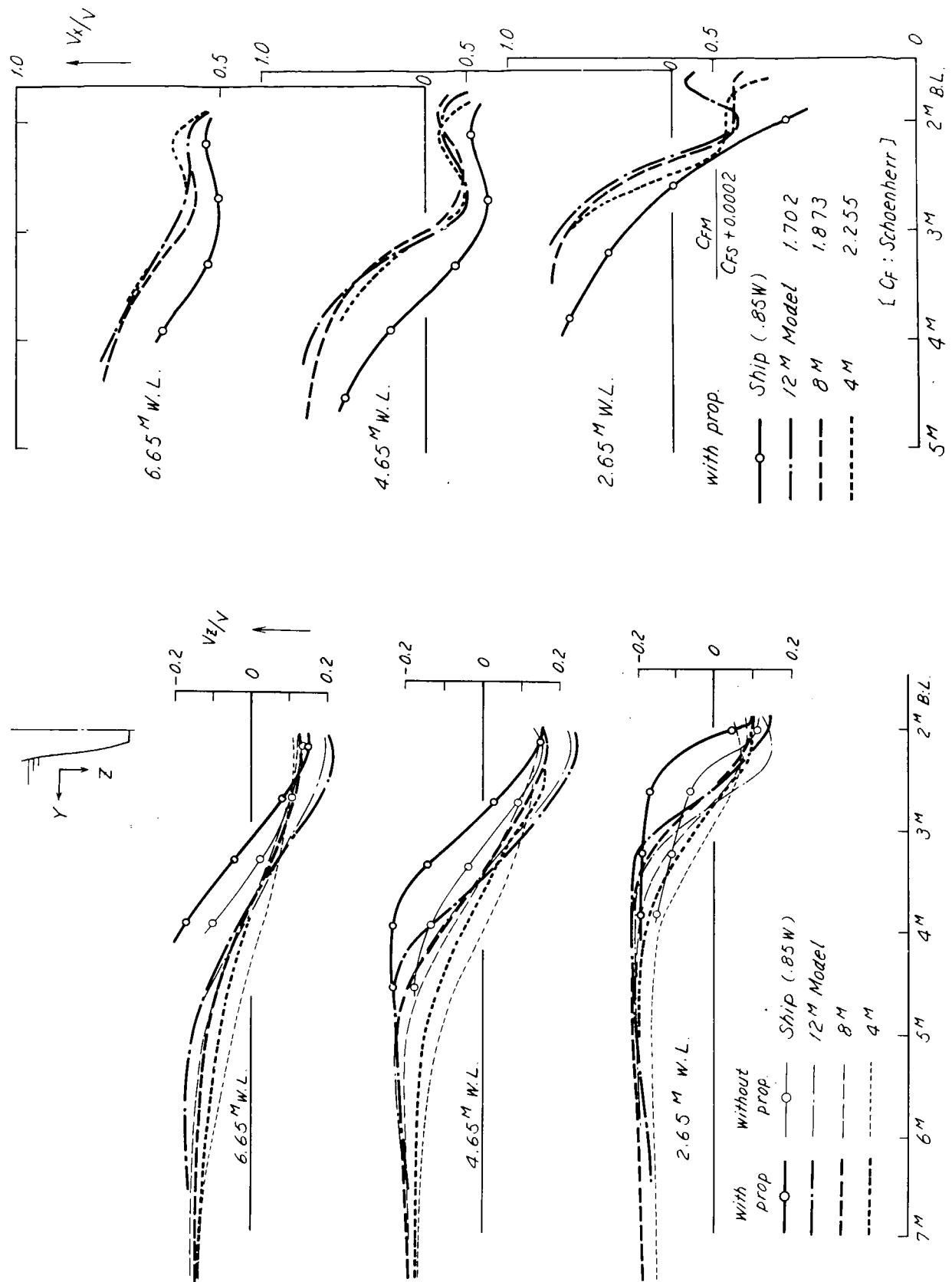


Fig. 5.1.8 Velocity Distribution. (V_x/V)



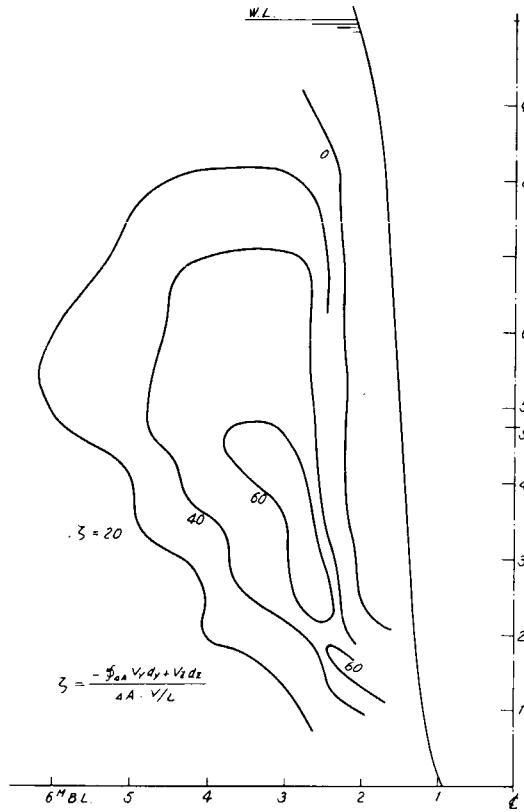


Fig. 5.1.11 Vorticity Distribution.
(4M Model, with Propeller.)

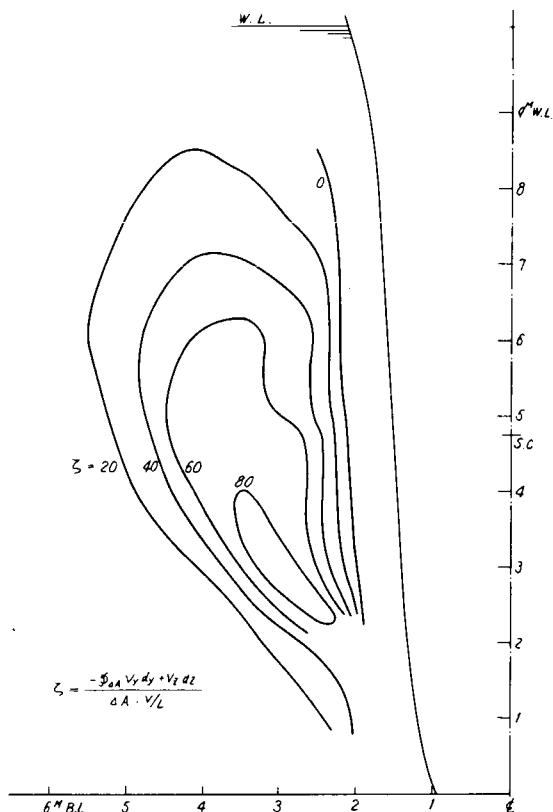


Fig. 5.1.12 Vorticity Distribution.
(8M Model, with Propeller.)

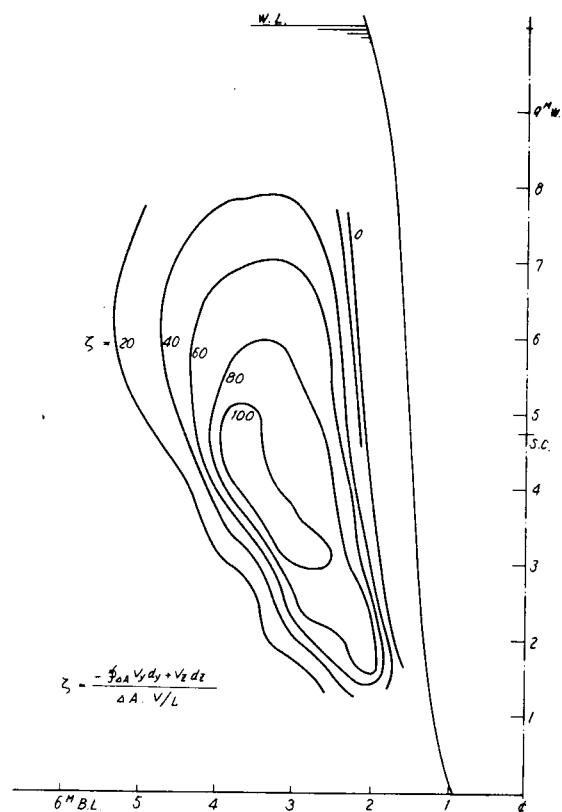
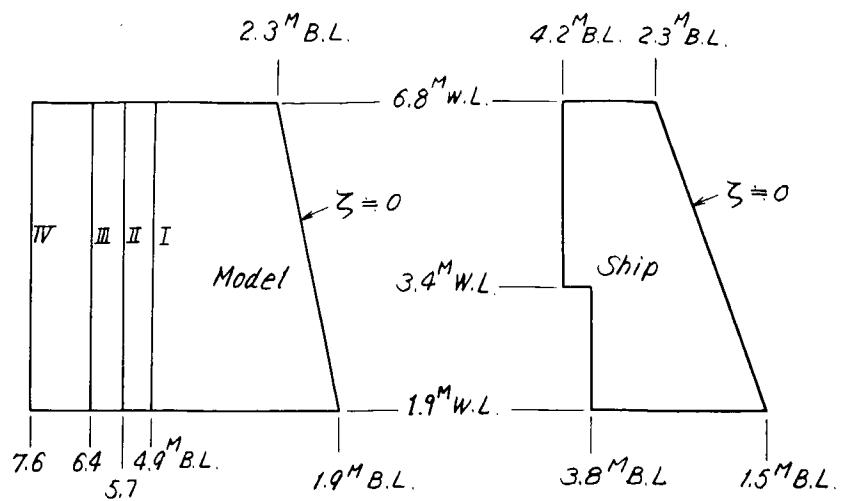


Fig. 5.1.13 Vorticity Distribution.
(12M Model, with Propeller.)



積分領域

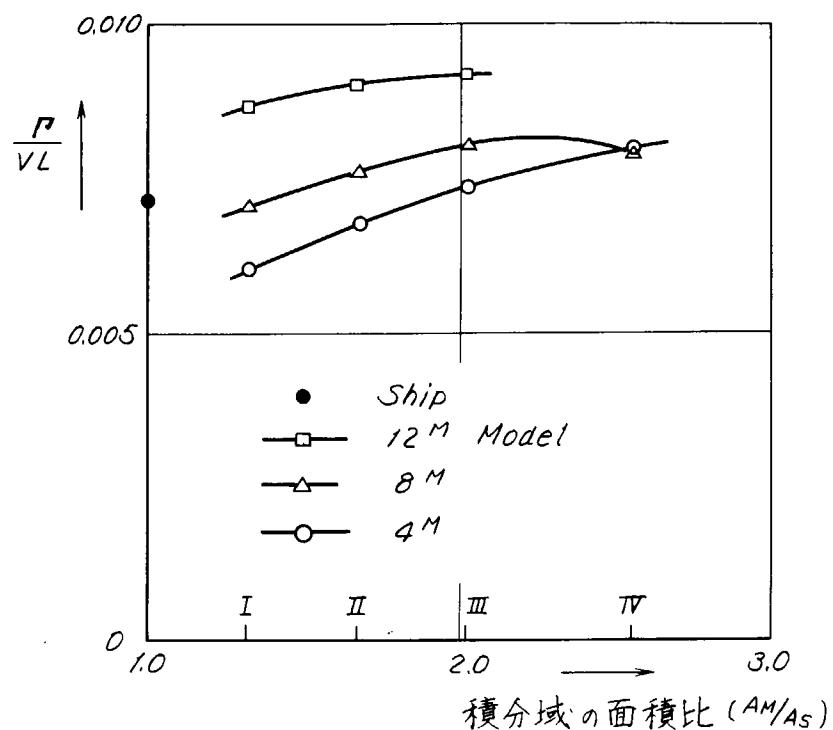


Fig. 5.1.14 Circulation.

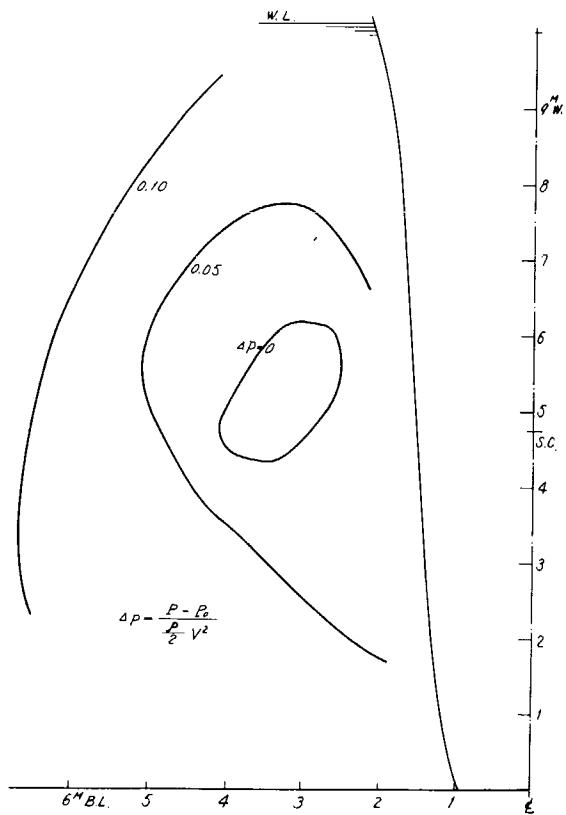


Fig. 5.1.15 Static Pressure Distribution.
(4M Model, with Propeller.)

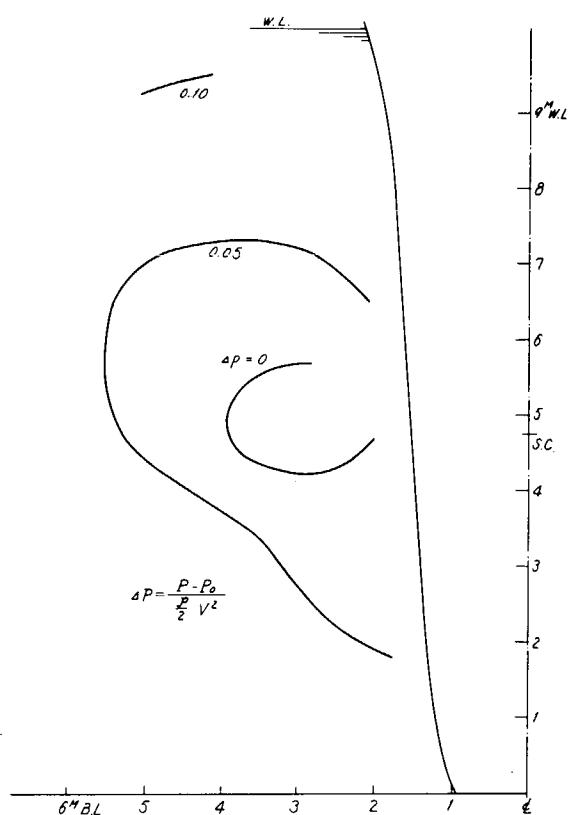


Fig. 5.1.16 Static Pressure Distribution.
(8M Model, with Propeller.)

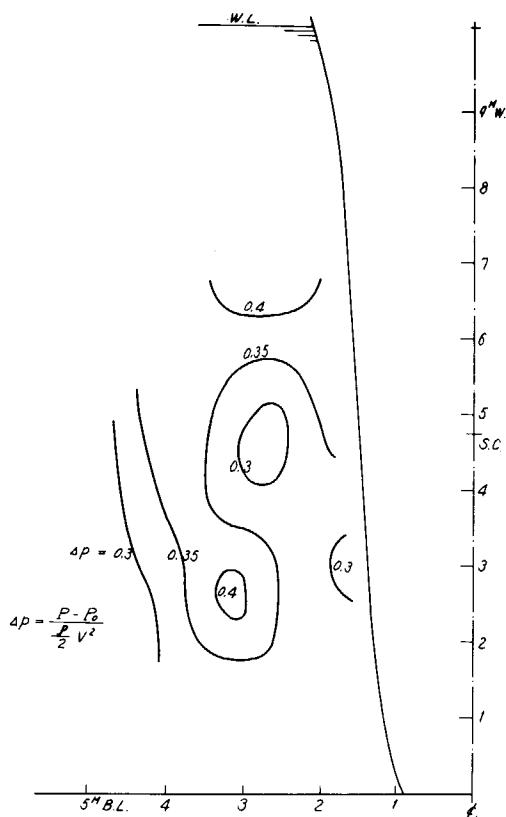


Fig. 5.1.17 Static Pressure Distribution.
(Ship, 0.85 Engine Load)

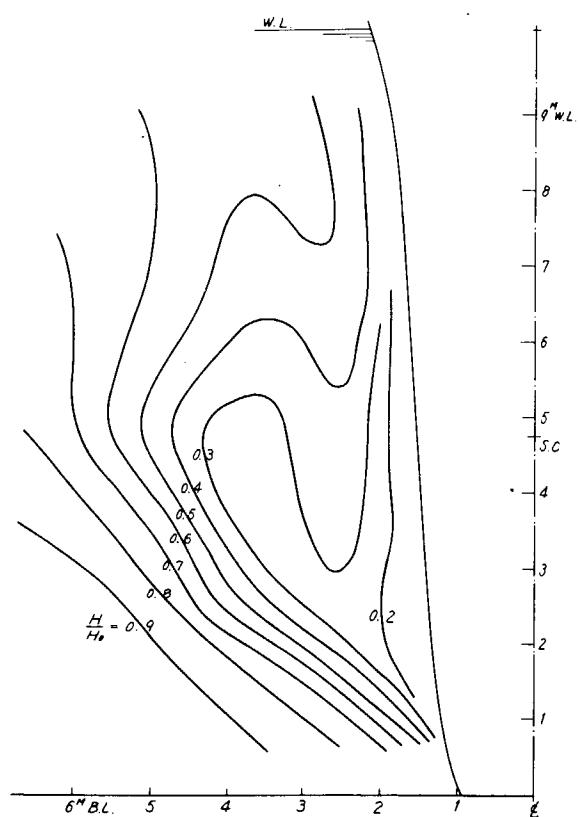


Fig. 5.1.18 Total Head Distribution.
(4M Model, with Propeller.)

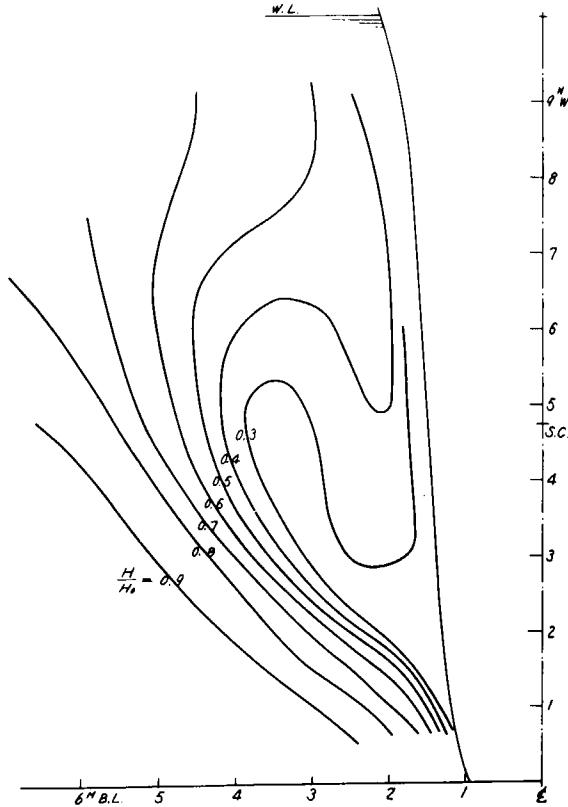


Fig. 5.1.19 Total Head Distribution
(8M Model, with Propeller)

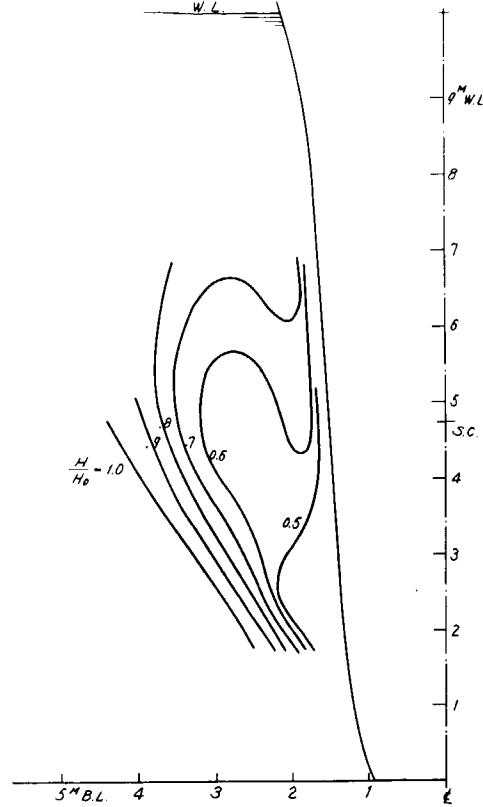


Fig. 5.1.20 Total Head Distribution.
(Ship, 0.85 Engine Load)

5.2 実船試運転結果解析

抵抗成分分離計測試験に供せられた相似模型船の対応実船新鶴丸（日立造船株式会社因島工場建造 DW 16 万トン鉱石運搬船）では、実船の伴流計測が実施されるとともに、速力試運転においてできるだけ精確な馬力、速力等の計測が実施され、その結果が、尺度影響の研究資料として提供された。本船の速力試運転は軽荷状態で実施されたが、本船と全く同じ船体線図、主機およびプロペラを装備したタンカ A 丸（昭和 44 年 9 月完工）の満載試運転の結果も提供されたので、今回行なわれた模型試験をベースとして、これらの相似実船の試運転成績解析結果の検討を行なった。

5.2.1 伴流係数

自航試験および実船試運転の結果から求められる有効伴流係数は、解析に使用されるプロペラ特性により若干その値が変化する。本研究においては、自航試験結果解析には、それぞれの模型船の自航試験に使用したプロペラの単独特性（単独試験時の回転数は、自航プロペラ回転数をとる）を用いており、求められた有効伴流係数 W_m の値は Fig. 2.3.1.2 ～ Fig. 2.3.1.3 に示されている。

これらの W_m と実船の有効伴流係数 W_s との関係を見るために、各模型船および実船の粘性抵抗、 $(1 + K) C_{fH} + \Delta C_f$ (C_{fH} は各模型船および実船の船長に対する Hughes の摩擦係数の値、 ΔC_f は試運転解析結果を採用して 0.2×10^{-3} とする。) をベースに各模型船および実船の W_m 、 W_s をプロットしたものを Fig. 5.2.1 に示す。

ここで、実船試運転成績解析に使用したプロペラ特性は、8 m 模型船用のプロペラを用いてできるだけ高い回転数で単独試験を行なった結果 ($R_{ok} = 4.5 \times 10^5$) である。

Fig. 5.2.1 によると、バласт状態の W_m 、 W_s は 4 m 模型船より実船まで一本の直線にのっている。且つ、両状態に対する W_m 、 W_s の平均線は、 $C_v = 0$ で、 $W = 0.25$ の同一点を通ることが認められる。

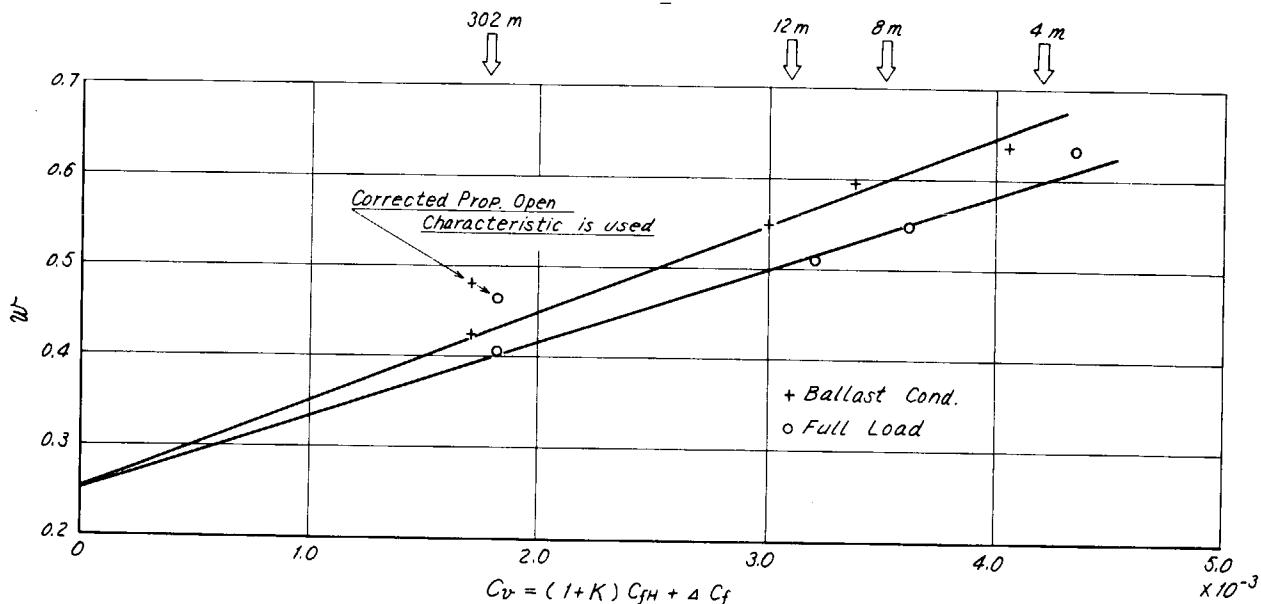


Fig. 5.2.1 Plot of w Based on C_{fH}

これは伴流が船体の大きさに無関係な一定の値と、粘性抵抗に比例する部分との和として与えられ、且つ一定の値の部分は載貨状態にかかわらずほぼ一定という事を示しており、伴流をポテンシャル伴流 W_p と粘性伴流 W_f にわければ、 W_f は摩擦抵抗係数に比例するという考え方に対応しており、興味深い結果である。¹⁸⁾

試運転解析により求められる W_s の値は、使用するプロペラ単獨特性により若干相違するが、単に経験的相関係数を求めて実船性能推定に使用する場合は、一定の方法を使用すれば、実用上さしつかえない。

しかし、Fig. 5.2.1 に示すように、 W_s の絶対値について検討を行なう場合には、使用するプロペラ単獨特性についても、より正しい特性を使用する必要がある。

実船プロペラの単獨特性の推定法については、参考文献 19) 2) に、プロペラ特性の尺度影響を考慮した推定法が示されているのでこの方法により、試運転解析を行ない、実船の有効伴流を求めた結果を Fig. 5.2.1 に示した。その結果は模型プロペラの特性を用いて解析した結果とは明らかな相違があり、模型実船間の相関の精度向上のためには、合理的な実船プロペラ特性の推定をベースとした、有効伴流の尺度影響について更に研究を進める必要があると考える。

本解析結果は、相似模型試験結果を用いて実船試運転結果の解析を行なった一例にすぎず、 $C_V = (1+K) C_{fH} + \Delta C_f$ のかわりに $\frac{C_V}{1+K}$ を用いた方が妥当かとも考えられ、今回の結果のみから結論を求める事はできないが、今回の研究においては、相似模型船および対応実船について、プロペラ前方の対応位置について行なった流場計測結果も得られており、伴流の尺度影響の研究に対して有益な資料を提供したものと考える。

5.2.2 $1-W_s/1-W_m$ について

伴流係数に対する模型実船間の相関係数、 $1-W_s/1-W_m$ の値を両載貨状態の試運転解析結果につき求めたものを Fig. 5.2.2 に示す。ただし、 W_m は 8m 模型船の値、 W_s は 8m 模型船用プロペラの単獨特性 ($Re K=4.5 \times 10^5$) を用いて解析したものである。

バラスト状態の最高速の点を除くと一般に、バラスト状態の方が $1-W_s/1-W_m$ が大きく、その比は約 1.1 である。

この比は前に述べた、肥大船尾船型の自航試験における F-タイプ流場と S-タイプ流場における $1-W_m$ の比にはほぼ等しく、したがって、本船型における満載状態、バラスト状態の $1-W_s/1-W_m$ の相違は、参考文献 9) に述べられているように、自航試験における船尾流場の性質の相違によるものであると判断される。

5.2.3 ΔC_f

船体抵抗に関する模型船間の相関の資料として ΔC_f の値を Fig. 5.2.2 に示す。

図中、実船で示した値は、8 m 模型船抵抗試験結果より求めた K および Cw を用いて解析した値である。満載状態については、速力により ΔC_f の値のバラツキが大きく、低速と高速とで約 0.1×10^{-3} の差があるが、満載 16 ~ 17 Kn、バラスト 17 ~ 18 Kn の値で比較すると、バラスト状態の ΔC_f は満載の値にくらべて 0.1×10^{-3} 以上大きな値を示している。

今回の相似模型試験の結果から推定した抵抗係数を用いたときの ΔC_f の値の変化を見るために、4 m ~ 12 m の抵抗試験結果を総合して推定した K, Cw を用いて推算した実船抵抗を用いて解析した ΔC_f の値を同図中に点線で示す。各載貨状態とも ΔC_f の値は速力によってかなり変動しており明確な結論を下すことはできないが、16 ~ 18 Kn 付近の値で見ると、両状態とも ΔC_f の値は約 0.2×10^{-3} となり、両状態の差は、少なくなっている。

相似模型試験から推定した実船抵抗の値は、Fig. 2.3.3, Fig. 2.3.4 に示した C_{CH} ベースの C_t - C_{CH} の図から各フルード数ごとの Cw および全速度範囲に共通な K の値を推定し、これらの値より実船抵抗を求めたものである。

満載状態については、平均線に対して点のバラツキも少なく、信頼できる K, Cw の値が得られているが、バラスト状態に対しては、点のバラツキが大きく得られた K, Cw の値の精度には疑問がある。

したがって、今回の結果だけから Fig. 5.2.2 に示した二通りの ΔC_f の値につき、それらの合理性の比較の結論を求めるることはできないが、バラスト状態の K の値については、今後とも相似模型試験等により資料を収集し、研究を進めてゆく必要がある。

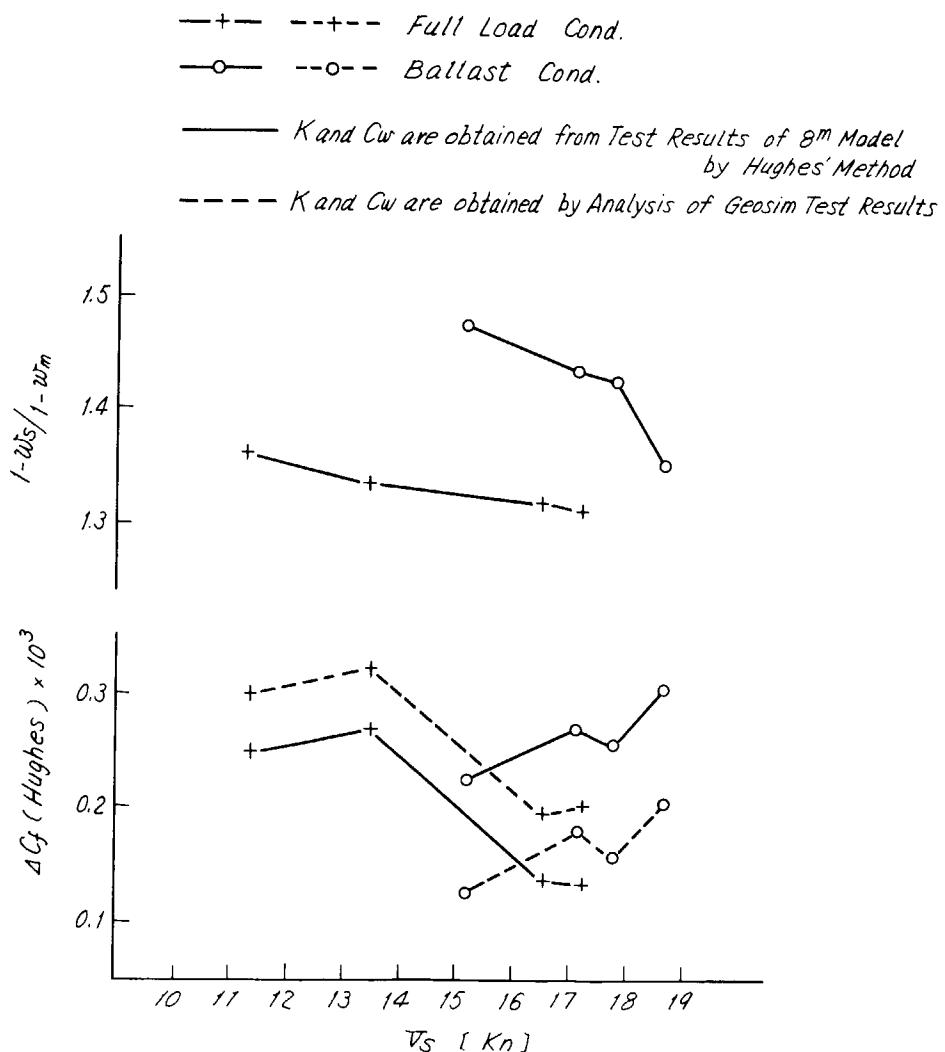


Fig. 5.2.2 Results of Analysis of Ship Trial

§ 6 むすび

以上に述べてきたように、相似模型による研究としては 2、4、8、12m の模型船についての詳細なる水槽試験を行ない、抵抗成分および自航要素の尺度影響をほぼ明らかにすることができたが、対応実船である日立造船㈱因島工場建造の D.W. 162,400トンの鉱石運搬船新鶴丸についても標準試運転を行ない、実船と模型との比較を行なった。実船と模型の相関に関する研究としては、自航要素中最も尺度影響の大きい伴流に焦点を合せ、この新鶴丸のプロペラ直前の位置における伴流分布の計測を模型および実船で行なった。

以上の研究の結果得られた結論は次のとおりである。

6.1 相似模型船による研究結果

- (1) 剰余抵抗係数は、満載状態では殆んど全速度範囲を通じて長さが長い模型船のものほど小さい傾向を明瞭に示しているが、バラスト状態では 0.12 以上のフルード数ではそれほど明瞭な傾向は見られず、その値の模型船間の差も満載状態に比べると小さい。
- (2) 低速抵抗から K を求める Hughes の方法によると、満載状態ではかなり良く一致しているが、バラスト状態では K および C_w の値が模型船によってかなり異なっている。
- (3) 相似模型船群の資料を使って求めた K 、 C_w の値も満載状態では良い結果を示すが、バラスト状態ではそれほどよい結果は得られなかった。したがってバラスト状態の抵抗についてはさらに詳細な検討が必要と思われる。
- (4) 波形計測結果から求めた造波抵抗の値は、かなり小さい量であり、計画速力付近の速度においても Hughes の方法で求めた造波抵抗に対して満載状態では半分以下、バラスト状態では、ほとんど無視できる程度である。
- (5) 波形計測による C_w の値は、模型の大きさとともに大きくなる。たとえば 12m 模型は 8m 模型にくらべて満載状態で約 30%、バラスト状態で約 50% の増加になっている。これは longitudinal parallel cut の波形を用いた造波抵抗計測に見られる傾向で、詳細な波形の検討が必要であるが、wake による波の減衰が原因をなしていると思われる。
- (6) 模型船の A.P. より 0.5 LPP 後方で進行方向に直角な平面内で計測した head loss は、模型船が小さくなるほど相対的に大きくなっているが、奥水方向の分布の状態は模型船の大きさにかかわらず、良く似た傾向を示している。すなわち、head loss の奥水方向の分布は、水面近傍と船底よりさらに深い部分との 2ヶ所に peak をもっており、その下限は満載奥水の 2倍程の深度によよぶ。
- (7) 大型模型船において head loss の分布から算出した抵抗値と波形解析から求めた抵抗値との和は、抵抗試験から求めた船体抵抗とほぼ一致する。
- (8) プロペラの特性に対する尺度影響は、従来発表されている試験結果と同様の傾向を示しており、レイノルズ数の増加とともに K_Q は小となり、 K_T と η_0 は大となっている。
- (9) 有効伴流係数は、満載およびバラスト両状態とも模型船の長さが増加するにつれて、同じような傾斜で減少している。
- (10) 今回の試験結果では、スラスト減少係数 τ は模型船の長さにかかわらずほぼ一定となっている。
- (11) プロペラ効率比については、4m 模型船の値が小さく、模型船の大きさが増加するにつれて増加する傾向も見られるが、8m および 12m 模型の結果の比較からみて、これ以上の大きさでは余り変わらないものと考えて良いものと思われる。
- (12) プロペラ位置の伴流は、模型船が小さくなるほど横に広く拡がっており、模型船の長さの増大につれて境界層の厚さが相対的に薄くなり、伴流が小さくなっている状況を詳細に知ることができる。
- (13) プロペラ位置の伴流の大きい部分は内まわりの渦を形成しているが、その渦の中心の位置、渦の大きさは模型船によって大差なく、流速のみに相違が見られる。

6.2 実船と模型船のプロペラ直前における伴流分布の比較結果

- (1) 模型船および実船とも、伴流分布にはくびれがあり、船尾 ピルジ渦の存在が認められる。
- (2) 8 m、12 m の模型船および実船では伴流分布の形状は似ており、レイノルズ数が大きくなるほど伴流の幅が小さくなっているが、尺度影響を定量化するにはさらに詳しい検討を必要とする。
- (3) レイノルズ数が大きくなるほど渦領域は狭くなり、渦度は大きくなり、定性的には船尾渦のサーキュレーション一定の方向にあるものと考えられる。
- (4) 五孔管による実船伴流の計測としては空気式で 19 点、電気式で 2 点計測を行なったが、電気式の計測値はその周りの空気式の計測値よりやや小さかった。
- (5) 超音波式流速計は、五孔管式と異なって大きなトラス構造を必要としないという大きな魅力があるが、まだ開発途上であるため若干の問題がある。今回は計測位置が水面に近いところにあったため、流れの中の気泡含有率が高く、妥当と思われる実船伴流が計測されたが、気泡の利用が期待できない場合は計測不能となる恐れがある。
- (6) 船尾の超音波ノイズとしては、その高調波成分が 1 MHz 以上まで認められるが、その勢力は微弱である。したがって周波数 1 MHz の超音波式流速計に与える影響はほとんどないものと考えられるし、使用周波数を 1 MHz まで低くしても支障が少ないものと思われる。

参考文献

- (1) 横尾幸一：“An Investigation into Ship Model Correlation” Report of T.T.R.I., No.45 (昭和36年)
- (2) 谷口 中：“Study on Scale Effect of Propulsive Performance by Use of Geosims of a Tanker” 日本造船学会論文集、第120号(昭和41年)
- (3) 横尾幸一外：“船尾形状を異にする巨大船の尺度影響について”、日本造船学会論文集、第128号(昭和45年)
- (4) 横尾幸一外：“Scale Effect Experiment or Tanker Models”, Proceedings of the 12th I.T.T.C. (1969)
- (5) 馬場栄一：“Study on Separation on Ship Resistance Components”, 日本造船学会論文集、第125号(昭和44年)
- (6) 馬場栄一：“A New Component of Viscous Resistance of Ships”, 日本造船学会論文集、第125号(昭和44年)
- (7) 笹島秀雄外：“肥大船船尾流場と縦渦による誘導抵抗（その1）”、日本造船学会論文集、第128号(昭和45年)
- (8) 渡辺恭二：“肥大船の自航試験に現われる不安定現象について”、日本造船学会論文集、第126号(昭和44年)
- (9) 谷口 中外：“肥大船の船尾流場に関する研究”、三菱重工技報、vol. 7, No.4 July (1970)
- (10) 横尾幸一外：“Some Scale Effect Experiments on Propeller”, Report of T.T.R.I., No.43 (1960)
- (11) 谷口 中：“Problems connected with model tests for cargo merchant ships”, Proceeding of 12th ITTC-Group Discussion(1) (1969).
- (12) 試験水槽委員会：“巨大船の海上試運転実施方案の作成について”造船協会誌、第442号(昭和41年)
- (13) “速度試運転成績標準解析法試案”、造船協会雑纂、第262号(昭和19年)
- (14) 谷口 中外：“風圧抵抗修正の新しい方法について”、西部造船会会報、第18号(昭和34年)
- (15) STUNTZ, G.R.& Others：“Series 60—The Effect of Variations in Afterbody Shape upon Resistance, Power, Wake Distribution, and Propeller Excited Vibratory Forces”, TSNAME, vol. 68 (1960)
- (16) 熊井豊二外：“実船における境界層の計測(1)”、西部造船会会報、第36号(昭和43年7月)および“実船における境界層の計測(2)”、西部造船会会報、第40号(昭和45年)
- (17) 高橋 雄外：“実船における船尾流速分布の計測 — 主として計測法について — ”、西部造船会会報、第42号(昭和46年)；“追加資料 — 実船における船尾流速分布の計測”、西部造船会会報、第43号(昭和47年)および横尾幸一外：“実船と模型船における伴流分布の比較”日本造船学会論文集、第130号(昭和46年)
- (18) 笹島秀雄外：“肥大船の伴流分布”、造船協会論文集、第120号(昭和41年)
- (19) 谷口 中：“船舶推進性能における模型と実船の相関について”、造船学会誌、第459号(昭和42年)

結 言

S R 1 0 7 部会に含まれた研究は、どのグループで行なわれた研究も非常に大きな努力と時間を要するものばかりであって、試験の遂行については完全に所期のとおりに行なわれたが、各グループにおける成果を総合的に取りまとめて馬力推定の向上をはかるためには、更にきめの細かい研究を行なう必要がある。

試験研究にあたってのいろいろな問題点については、それぞれの項目において述べられているが、研究全体を通じて考えると、最も大きなものとしては、相似模型船の研究として長さの異なる模型船の試験を別々の水槽で行なったことおよび各項目を盛込んだ総合的の実船試験を行なうことことができなかつたことであろう。これらは、研究および水槽の時間的制約と実船の利用し得る都合とによるもので、誠にやむを得ないものであったが、そのためにかなりの不分明な点が残された。実船に対する抵抗分離計測は非常に難しく、ものによっては不可能とも考えられるが、将来には模型船に対して行なつたのとほぼ同様な計測が実船でも行なわれることが望まれる。

また、本報告は速度計実用化に関する研究と実船と模型の相関に関する研究の一例であつて、このような問題に対しても data の集積が問題解決の大きな手段となるので、他の多くの船型に対しても同様な研究が行なわれることが望まれる。