

日本船舶振興会昭和 44 年度補助事業
“船舶の構造・性能に関する基礎的研究”

研究資料 No. 109

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

昭和 45 年 3 月

社 团 法 人
日 本 造 船 研 究 协 会

はしがき

本報告書は日本船舶振興会の昭和44年度補助事業「船舶の構造・性能に関する基礎的研究」の一部として日本造船研究協会が第107研究部会においてとりまとめたものである。

第107研究部会委員名簿

(敬称略、順不同)

部会長	横尾 幸一 (船舶技術研究所)	
委員	安部 光弘 (三井造船)	石毛 昭 (日立鉄工所)
	泉 晃 (三菱重工業)	植竹 信次郎 (日立造船)
	牛島 秀利 (住友重機械工業)	宇田川 貞夫 (運輸省)
	岡田 高 (沖電気工業)	岡野 伊史 (佐世保重工業)
	岡部 淳一 (九州大学)	岡本 洋 (川崎重工業)
	小林 実 (北辰電機製作所)	滋野 正明 (佐野安船渠)
	柴田 幸二郎 (安立電波工業)	芝田 珠郎 (北辰電機製作所)
	鈴木 正 (安立電気)	須藤 彰一 (日立造船)
	須藤 正信 (日本鋼管)	田古里 哲夫 (東京大学)
	田中 一朗 (大阪大学)	田中 儀一 (光電製作所)
	仲渡道夫 (広島大学)	温品秀雄 (日本無線)
	花園 史郎 (函館ドック)	藤原芳夫 (名村造船所)
	伏見 清喜 (昭和海運)	丸尾 孟 (横浜国立大学)
	箕原 喜代美 (古野電気)	宮崎 正弘 (大阪造船所)
	宮島 次郎 (海上電機)	村松省吾 (三保造船所)
	森 正彦 (石川島播磨重工業)	森川 卓 (日本船主協会)
	矢崎 敦生 (日本造船技術センター)	山崎 芳嗣 (佐世保重工業)
	吉富 佐 (三菱重工業)	渡辺恭二 (三菱重工業)

目次

緒言	1
第1章 対水速度計測方法および対水速度計に関する調査	2
1・1 まえがき	2
1・2 必要性能	2
1・3 各種対水速度計測方式	3
1・4 検討および選定	7
第2章 肥大模型船まわりの流速分布の計測	16
2・1 まえがき	16
2・2 模型試験用ピトーメータについて	16
2・3 模型船まわりの流速の計測	19
2・4 流速分布についての考察	28

緒 言

船舶を計画するにあたって最も重要なことは、その安全性と経済性であり、経済性の観点からは、運航上重要な問題である速力をなるべく小さな所要馬力で達成することが望まれる。しかも、この速力は船舶を建造する際の契約書中の重要事項の一つであって、船主にとっても造船所にとっても、この速力を正しく推定し、正しく計測することが必要である。

現在のところ、実船の速力推定には模型試験の結果を適用しており、この際、実船と模型船の相関が重要になるが、この相似則の問題の根本がまだ明確にされていないため、模型試験の結果より実船の推進性能を推定する際の誤差が必ずしも満足すべき範囲に入っていないばかりでなく、殊に最近の巨大船・肥大船にあってはその船体周囲の水流状態がきわめて複雑なため、推定精度は全く不十分な状態であって、推定結果が実船の成績と著しく異なる場合が少なくない。したがって、実船と模型船の間の正しい相関関係を求めて、常に正しい速力・馬力の推定が可能なようにならなければならぬが、そのためには、広範囲にわたる基礎的研究や高精度の海上試運転施工方法等を組織的、能率的に行なうことが必要である。

相関関係の研究を始めるにあたっても、また、実船の推進性能を正しく把握するためにも、まず必要なのは、実船性能を正確に測定するための対水速度計・スラストメータ・トーションメータ等である。このうち最も重要な、最も基本的な対水速度を計測するための対水速度計としては曳航式・圧力式・電磁式等が実用されているが、取付位置・取付方法・キャリブレーションの方法等が必ずしも適当ではないので、正しい対水速度が得られているとはいえない。船の速度試運転にあたっては、より正確に求められる対地速度を、標柱間試運転航路における往復航走時間の平均や電波式速度計測装置で求め、これに風・浪・潮流等の修正を行なって対水速度を求めていく。しかるに、船舶の巨大化に伴って、その試験を正確に行なうために必要な最小水深や助走距離が増加したため、現在の標柱間航路は速度試運転航路として使えなくなってきたものが多いばかりでなく、日本近海のように潮流・海流が複雑に流れているところでは、その修正を正しく行なうことが困難である。

したがって、少くとも、巨大船の試運転時の速度計測については、正確な対水速度を測定するための新しい方法を考えられねばならない。標記の題目で3年計画の研究を行なうにあたり、初年度である昭和44年度では、まずこの対水速度計の研究を行なうこととし、現在使用されたりまたは開発途上にある各種対水速度計について調査研究するとともに、対水速度計を船体に取付ける位置として適当な場所を探すために大型肥大船模型のまわりの流速分布の計測を行なった。

第1章 対水速度計測方法および対水速度計に関する調査

1.1 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、撒積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。本部会の事業計画によれば、昭和46年度には2~3の方式について対水速度計実用化実船試験、昭和45年度はそのうちの1方式について対水速度計単独性能試験を行なう予定になっている。そのため、昭和44年度においては各種対水速度計測方法および対水速度計を調査し、巨大船速力試運転用として実用の可能性があり、昭和46年度の実船試験に使用を予定できる方式を選定し、昭和45年度に単独性能試験を行なう方式の選定を行なうことになった。

1.2 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、取扱いなどが決められる。

1.2.1 計測速度範囲

従来わが国で建造されてきた載貨重量10万トン以上の巨大船のうち⁽¹⁾65例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。

1.2.2 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、⁽²⁾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。⁽³⁾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実行方案によれば、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程度がえられればよいと思われる。

1.2.3 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いわば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。

1.2.4 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ことが望まれる。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。

1.2.5 取扱い性

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、特定の熟練者が取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。

1.3 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、実用に供されて来た。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) 热線式

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。

1.3.1 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)、Kempログ、熱線式曳航速力計、志波式ログなどがある⁽⁴⁾。

従来曳航式で用いられた基本原理は回転翼車式、抵抗式および熱線式の3種である。

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⁽⁶⁾⁽⁷⁾。この欠点は志波式ログなどでは改良されている。

抵抗式は、Kemp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入り、精度は悪いと考えられる。

(8)(9)
熱線式は、加熱線を曳航し、流速による加熱線の熱伝達率の変化を測定し、対水速度を求める方式であるが、水温、海水物性値、汚染などが感度、精度に影響を及ぼし、精度、安定度に問題がある。

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し、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といわれる。⁽¹⁰⁾ 肥大船型においては、船尾のビルジ窓、および船首波が崩れて生じる伴流の問題があり、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、計側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。

速力試運転のみならず、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。

1.3.2 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、ウェックマン式、オット式、エリス式、アムスラ式、ハスケル式、森式、菅谷式、広井式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、イギリスのチャルニキフ・ログ、わが国では旧海軍の九二式測程儀（北辰電機製作所製造）、ノルウェーのN. E. T. ログ、アメリカのN. L. W. ログ、イギリスのフォーブス・ログなどがあつた。⁽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 と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) 熱線式

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10%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・ログ（スウェーデン）、北辰ログ（日本）、TKSログ（日本）、H. S. V. A. Stem ログ（ドイツ）などがある。⁽⁴⁾

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-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。⁽¹²⁾ また、海水の密度変化の影響を受けるが、平方根で比例する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。⁽¹³⁾

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。

(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-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-法だけである。⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾

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ことである。⁽¹⁷⁾ 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。⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾

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。

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組用い遡受を一定周期で切換える方法もあり実用されている。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⁽¹⁷⁾。

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、送波器に向かう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⁽¹⁸⁾。

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、船体から測定程を出し、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、対水速度を知る方式である。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。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が、現在のドップラ・ソナードラム速度測程儀は精度1%程度といわれる⁽²¹⁾。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と思われる。

(g) 光学式

光を流速の計測に用いる方法にレーザー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⁽²²⁾。その原理は水流中に浮遊する微粒子にレーザー・ビームを当て、粒子により反射されるレーザー・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⁽²³⁾。

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ー・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。この方法の精度は0.25%を目標としているようである⁽²⁴⁾。

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ー・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。

1.3.3 船上式(光学式)

船上式の光学式速度計としては日星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⁽²⁵⁾。この場合、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。

1.3.4 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、流量測定に使用されることのある放射性アイソトープ法である。船体前部から放射性アイソトープを間欠的に流し、下流のガイガーカウント管でそれを検出すれば、流速を知ることができる。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。⁽²⁶⁾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個処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。

1.4 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 1.1 にその比較表を示す。

これらの方のうち、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れば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あらかじめ知りおく必要がある。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ぬ。また喫水、トリムなどの影響が少ない位置に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ものは現在のところ電磁式のようである。したがって、この方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用に予定した。

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り付けるもので、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式は、船体の影響を無視できるほど遠方の水塊を選び水温、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式の代表例として超音波ドップラ・ソナ-式対水速度計も選定した。

Table 1.1 各種対水速度計測方法比較表 (その1)

装備位置による別		曳航式		
原 理	方式	回転翼車式	回転翼車式	抵抗式
	形式名	・テント・ログ	志波式ログ	Kemp 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	/	/	/
	変換量	/	/	/
	受換量と速度の関係	$= \frac{V}{a} - b$	$= \frac{V}{a} - b$	$= a V^2$
性 能	直線化機構	不要	不要	要す
	精度	総合1%	総合1%	不明
	直線性	良好	良好	不明
	温度	ρ, ν 参照	ρ, ν 参照	ρ, ν 参照
	密度 ρ	小	小	やや大
	粘性係数 ν	やや大きい	小	小
	圧力	なし	なし	なし
	電気伝導度	なし	なし	なし
工 事	音速 C	なし	なし	なし
	屈折率	なし	なし	なし
	に 及 ぼ す 影 響	浮遊物・ごみ・汚染	大	小
	気泡	小	小	小
	機械部分	小	小	不明
	風	なし	なし	なし
	喫水・乾舷	乾舷にあり	なし	なし
	斜流	なし	なし	なし
取 扱 性	波	小	小	小
	動揺	/	/	/
	計測水流位置	大	大	大
	低速域精度	良	良	悪
	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
	取付	容易・工事量小	容易・工事量小	容易・工事量小
撤去	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
操作	操作	容易	容易	容易
	検定	不能	可能	形式により可能
	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 1.1 各種対水速度計測方法比較表 (その2)

装備位置による別		曳航式	船底式
原 理	方式	熱線式	回転翼車式
	形式名	---	各種あり
	計測水流位置	船尾後方	船体近く
	受感部	熱線	翼車
	検出量	熱伝達	回転数
	変換器	---	各種あり
	変換量	電圧 (または電流)	?
	変換量と速度の関係	$v = \sqrt{a + b \sqrt{V}}$	$v = \frac{\sqrt{a} - b}{a}$
性 能	直線化機構	電子回路	不要
	精度	不良	0.1% (単体)
	直線性	不良	0.1% (単体)
	温度	大	0.1% 参照
	密度 ρ	小	小
	粘性係数 μ	小	小
	圧力	なし	なし
	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	大
	気泡	大	小
	機械部分	なし	大
	風	なし	なし
	喫水、乾・玄	なし	なし
及 ぼ す 影 響	斜流、剪断流	なし	大
	波	小	なし
	動搖	---	---
	計測水流位置	大	大
	低速域精度	悪	良
	後進指示	不可	可能
	寸法・重量(測定用を含む)	小、軽	長、大
	強度	小	小
工 事	取付	容易、工事量小	やや難、工事量大
	撤去	容易、工事量小	やや難、工事量大
	撤去跡	なし	あり
取 扱 性	操作	やや複雑	容易
	検定	可能	可能
	保守	要注意	要注意
	浮遊物からまり・汚染の発見	可能	やや困難の場合あり
	浮遊物からまり・汚染の除去	容易	とくに困難
	ログ実績	あり	なし

Table 1.1 各種対水速度計測方法比較表 (その3)

装備位置による別		船底式		
原 理	方式	熱線式	圧力式	電磁式
	形式名	/	圧力ログ (各種)	電磁ログ
	計測水流位置	船体近く	船体近く	船体近く
	受感部	熱線	ピト-管	/
	検出量	熱伝達	動圧	電圧
	変換器	/	ペローズ	/
	変換量	電圧または電流	変位	電圧
	変換量と速度の関係	$= \sqrt{a + b/V}$	$= aV^2$	$= aV$
性 能	直線化機構	電子回路	機械式または電気回路並用	不要
	精度	不良	$\pm 0.15 \text{ Kn}$	$\pm 0.1 \text{ Kn}$
	直線性	不良	$\pm 0.15 \text{ Kn}$	$\pm 0.1 \text{ Kn}$
	温度	大	小, ρ, v 参照	なし
	密度 ρ	小	小	なし
	粘性係数 ν	小	なし	ごく少し
	圧力	なし	なし (差圧のため)	なし
	電気伝導度	小	なし	なし
	音速 C	なし	なし	なし
	屈折率	なし	なし	なし
	浮遊物・ごみ・汚染	大	小	小
	気泡	大	大	なし
	機械部分	なし	小	なし
	風	なし	なし	なし
	喫水・乾舷	なし	なし	なし
工 事	斜流, 剪断流	大 (斜流)	小	小
	波	なし	なし	なし
	動搖	/	/	/
	計測水流位置	大	大	大
取 棟	低速域精度	悪	悪	良
	後進指示	不能	不能	可能
	寸法・重量 (測定桿を含む)	長, 大	長, とくに大	長, 大
	強度	小	大	大
	取付	やや難, 工事量大	やや難, 工事量特大	やや難, 工事量大
	撤去	やや難, 工事量大	やや難, 工事量特大	やや難, 工事量大
	撤去跡	あり	あり, 大	あり
	操作	やや複雑	やや複雑	容易
保 守	検定	可能	可能	可能
	保守	要注意	比較的容易	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	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	かなり困難
ログ実績		なし	あり	あり

Table 1.1 各種対水速度計測方法比較表 (その4)

装備位置による別		船底式		
原 理	方式	超音波式		
	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 ν	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
	に浮遊物・ごみ・汚染	大	大	大
	及	大	大	大
	ぼ	機械部分	なし	なし
	す	風	なし	なし
	影	突水・乾舷	なし	なし
	響	斜流・剪断流	大	大
	波	なし	なし	なし
工 事	動搖	/	/	/
	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
取 扱 性	強度	やや大	やや大	やや大
	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
取 扱 性	操作	容易	容易	容易
	検定	可能	可能	可能
	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 1.1 各種対水速度計測方法比較表（その5）

装備位置による別		船底式		
方式		超音波式		
原理	形式名	ビーム偏位法	ドップラー・ソナー法	
	計測水流位置	船体近く	船体前方	船体下方(4ヶ所)
	受感部	送受波器	送受波器	送受波器
	検出量	音量	周波数	周波数
	変換器	/	/	/
	変換量	音量	周波数	周波数
	変換量と速度の関係	不明	$= f \frac{(C+v)}{(C-v)}$	やや複雑
	直流化機構	要	要	要
	精度	2%	1% (総合)	
	直線性	不明	不明	不明
性能	温度	C参照	C参照	C参照
	密度 ρ	C参照	C参照	C参照
	粘性係数 μ	小	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	大	あり(比例)	あり(大)
	屈折率	なし	なし	なし
	浮遊物・ごみ・汚染	大	大(ノイズ)	大(ノイズ)
	気泡	大	小(ノイズ)	小(ノイズ)
	機械部分	なし	なし	なし
	風	なし	なし	なし
	奥水・乾燥	なし	なし	なし
	斜流・剪断流	大	なし	なし
	波	なし	小	なし
能	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	良
	後進指示	可能	可能	可能
	寸法・重量	長・大	小・小	小・小
工事	強度	大	大	大
	取付	やや難、工事量大	やや容易、工事量やや大	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	やや容易、工事量やや大
	撤去跡	あり	あり(小)	あり(小)
取扱	操作	容易	容易	容易
	検定	可能	やや困難	困難
	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	容易	からまりなし
性	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)

Table 1.1 各種対水速度計測方法比較表 (その6)

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	アイソトープ式
	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		ガイガーチューブ
	検出量	光量	回転数	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	$f = \frac{4n}{\lambda} V \sin \frac{\theta}{2}$	$= aV$	$V \propto 1/t$ (放射能最大)
	直線化機構	要 λ : 波長	不要	要
	精度	0.1% (単体)	良 (単体)	悪
性能	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・玄	なし	大	なし
	斜流、剪断流	大	大	あり
	波	なし	大	なし
	動搖		大	あり
	計測水流位置	大	大	大
工事	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
取扱	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
性	操作	容易	熟練要	容易
	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 1.1 各種対水速度計測方法比較表 (その7)

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	ドップラレーダ式	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
	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
性 能	直線性	々	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
	奥水・乾舷	なし	なし
	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	低速域精度	良	良
	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
工 事	撤去	容易, 工事量やや大	容易, 工事量小
	撤去跡	なし	なし
	操作	容易	容易
檢 定	操作	容易	容易
	保守	容易	容易
	浮遊物からまり, 汚染の発見	/	/
性 能	浮遊物からまり, 汚染の除去	/	/
	ログ実績	なし	なし

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47・2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案の試案作成について, 日本造船学会誌, 第44・2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) 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
- (6) 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
- (7) 志波久光: 実船用新速度計実地試験報告, 造船協会雑纂, 第242号, 昭和17年5月
- (8) 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
- (9) 伊藤文雄, 川合敏郎, 武田幸男: 熱線流速計に関する実験, 日本航海学会誌, 第4・5号合併号, 昭和26年7月
- (10) 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
- (11) Bada 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
- (12) 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
- (13) 北辰電機ログEML-12, カタログKN-445B, 北辰電機製作所, 昭和44年6月
- (14) 北辰電磁ログ・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
- (15) 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
- (16) 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
- (17) 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
- (18) 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
- (19) 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
- (20) 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
- (21) マークアット・ドップラー・ソナー速度測程儀, カタログ, MP5044 The Marquardt Corporation, 昭和43年4月
- (22) 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
- (23) 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
- (24) 速度測定法及びその装置, 特許公報, 昭45年2月5日
- (25) 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 No2, 1940, JULY
- (26) 八重澤昭, 多喜田功: 流速計, 安立テクニカル, 第23号, 昭和44年2月

第2章 肥大模型船まわりの流速分布の計測

2.1 まえがき

従来の船底式対水速度計取付位置は機関室内であり、肥大船の機関室は船尾にあるため、船体の非常に後方位置で流速の計測を行なってきている。肥大船の船尾付近では境界層の厚みがかなり厚くなるうえに、対水速度計の船外への突出量には限度があるので、従来の船底式速度計は船体からの距離によって流速が相当変化しているところで流速を計測していることになる。しかも、船型によっては、同一点においてもかなり大きな速度変動を示している可能性もある。したがって、たとえ試運転時にキャリブレーションを行なったとしても、不適当な位置に対水速度計をとりつけたのでは、船の速力を精度よく求めることはできない。理想的にいえば、船型・載貨状態・トリム等の変化で境界層の厚み等が変化しない位置で、境界層外の流速を測定できるような対水速度が望ましい。船の後方ほど境界層が厚くなるうえ、対水速度計の船外への突出量には限度があるので、なるべく船首に近い所に計器を取付けるのが良いように思われるが、ポテンシャル流れの流速変化が場所により著しく変化するところでも真合が悪い。

以上のようなことを考慮の上、対水速度計取付けの適当な位置を探すために、肥大船模型1隻を使って、その代表的数ヶ所の位置において、境界層内外の流速分布を計測した。流速の計測に用いた計器は串型のピト-管である。

2.2 模型試験用ピト-管について

2.2.1 使用目的および使用状態

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-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ポテンシャル流場を3種の模型速度において計測する。

2.2.2 設計方針

前項の使用目的および状態に適するピト-管の満たすべき条件は次のようなものである。（1）桶型（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。

2.2.3 ピト-管

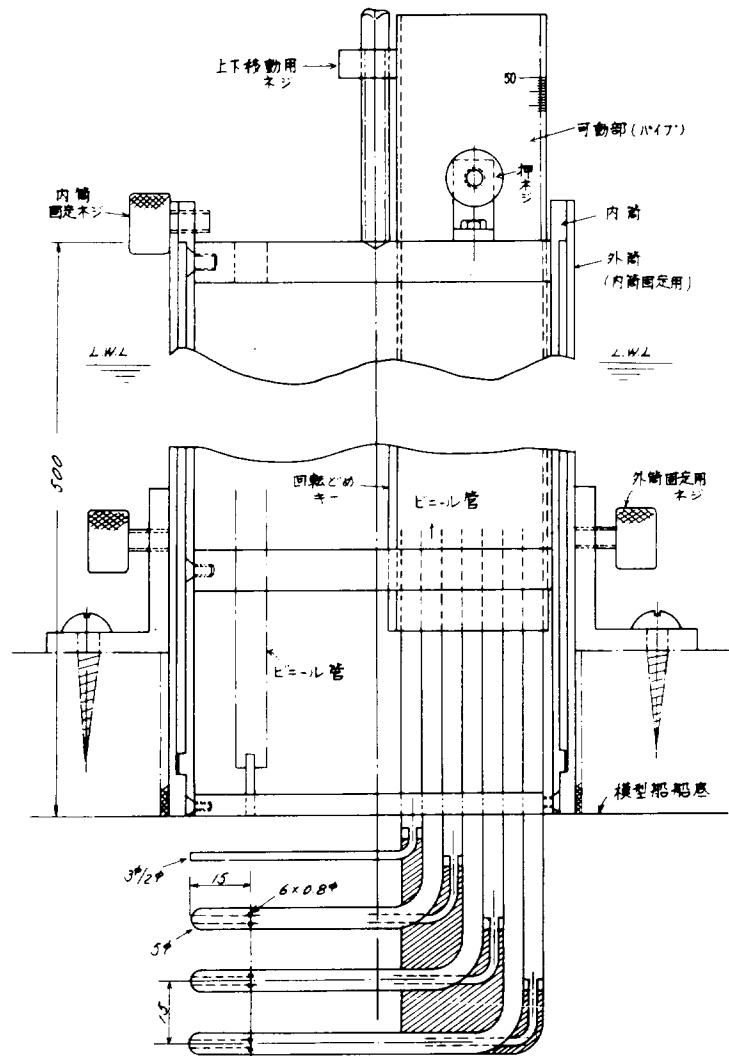
前2項を考慮して次のようなピト-管を設計製作した。すなわち、装置全体は、ピト-管本体、本体と一緒に内筒、模型船に固定する外筒、蓋、の4部分より成り、ピト-管本体を内筒内でスライドさせて計測位置のトラバースを行なう型式のものである。たゞ計測位置の違いに応じてピト-管および内筒部の構造を若干変える必要があるため、Table 2.1 に示すように3種類製作した。

Table 2.1

番号	ピト-管および内筒	個数	外筒	個数	蓋	個数
1	普通型	2	} 共用	5	} 共用	6
2	船首変形型	1				
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.2.1, 2.2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)同じ横載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、内外筒の長さと 234 mm 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間隙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、各管相互の干渉を無視しうること、厚さ 10 cm のオーダー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。なお材料としては真鍮を用いた。



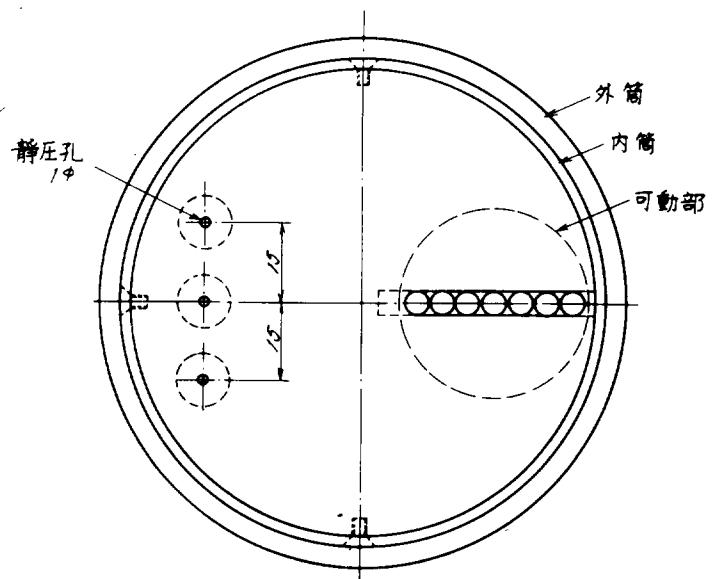


Fig. 2.1 (b) 普通型ピトー管船底部平面図

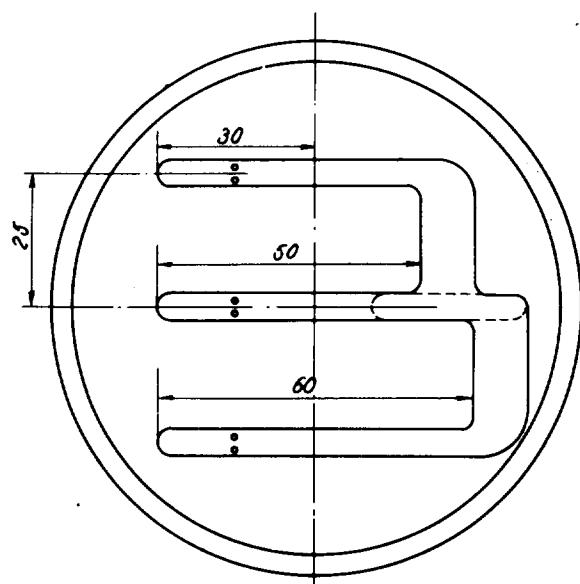
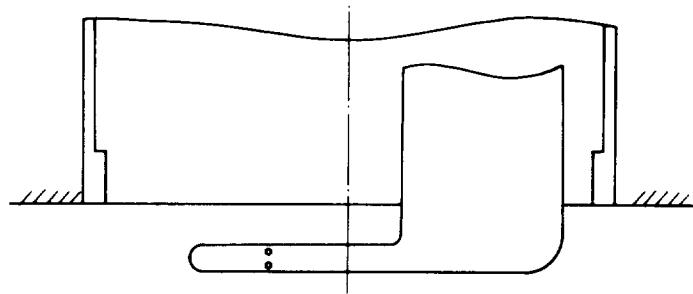


Fig. 2.2 船首変形型ピトー管側面図および平面図

2.3 模型船まわりの流速の計測

2.3.1 概 要

対水速度計の装備候補位置付近の流速の模様を調査する目的で、後述の肥大船模型を用いて、模型船の所定の位置における流速分布を、ピト-管により計測したものである。

2.3.2 試 験

使用した模型船は、Fig. 2.3 の正面線図および船首尾形状と Table 2.2 の主要目をもつような垂線間長 6.00 m の木製模型 (M. S. N. O. 2632) である。なお、この模型船には、スクエアステーション 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. 2.4 に示す計測個所に 2.2 で記述されたピト-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。

計測は計測個所 1 個所ごとに、載荷状態、模型船速度、ピト-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 2.3 に示してある。)

また、試験の載荷状態および主要目を Table 2.2 中にかげてある。

また、Fig. 2.4 に示した計測個所と、そこに使用したピト-管の組合せを Table 2.4 に示した。

また、試験に使用したピト-定数 (P_c) の値を Table 2.5 に示した。ただし、ピト-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 ; 対水速度 (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。

2.3.3 計測結果

計測結果を Fig. 2.5 ~ Fig. 2.11 に示した。各図のうちわけを Table 2.6 に示してある。ただし、図中および Table の①②③…は Fig. 2.4 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、横軸に v_A / v_M を、縦軸に L (mm) をとっている。ここに、 v_A , v_M , L は各々ピト-管による計測対水速度、模型船速度、ピト-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 (←○→) で示すとともに、その計測記録の 1 例として Fig. 2.12 (a) ~ (b) をかげた。本図は、計測個所⑥の満載状態のビシグラフの記録で $v_M = 1.25 \text{ m/s}$ 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 2.2

	Full Load Condition	Ballast Condition
L _{pp}	6,000.0 m	
L _{DWL}	6,120.0 m	
B	1,043.5 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 2.3

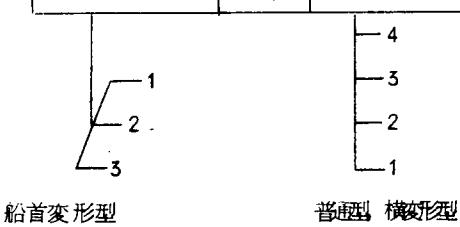
模型船速度 (\bar{V}_M)	フルート数 (F_N)
0.95 m/s	0.124
1.10	0.144
1.25	0.163
1.40	0.183

Table 2.4

ビト-管の種類	計測個所
船首変形型	①
普通型	②③④⑥
横変形型	⑤

Table 2.5

ビト-管の種類	ビト-管番号	ビト-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



計測個所	載荷状態	ビト-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
④	B		2.9
⑤	F		2.10
⑥	B		2.11

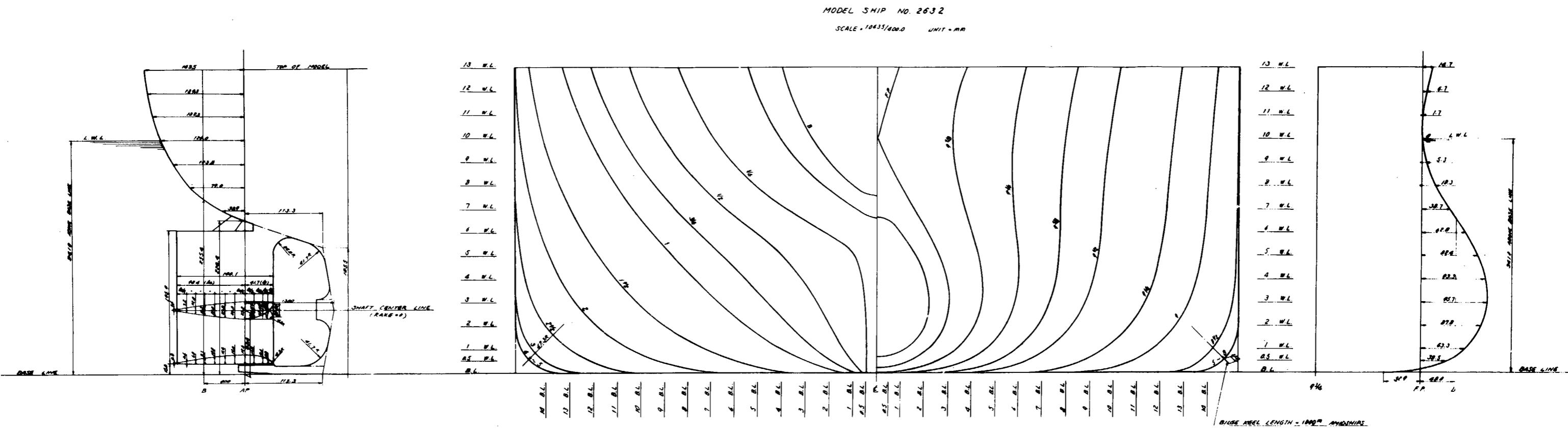


Fig. 2.3 船体正面線図および船首尾形状

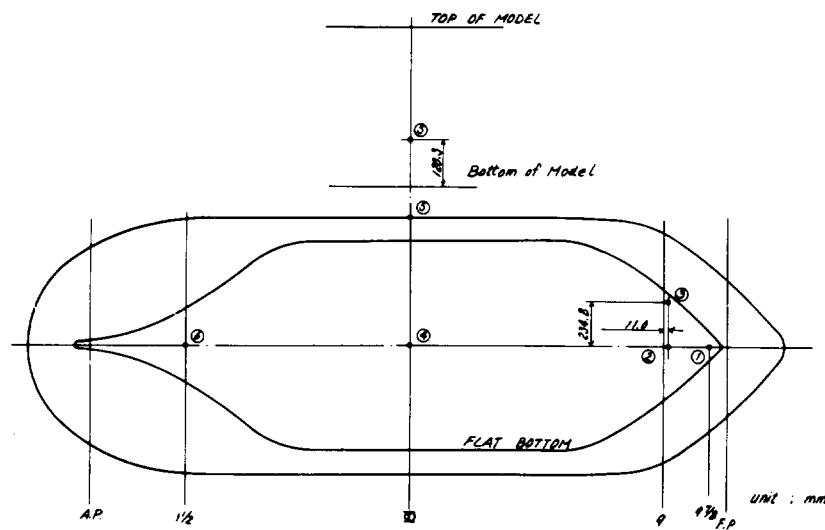


Fig. 2.4 計測箇所

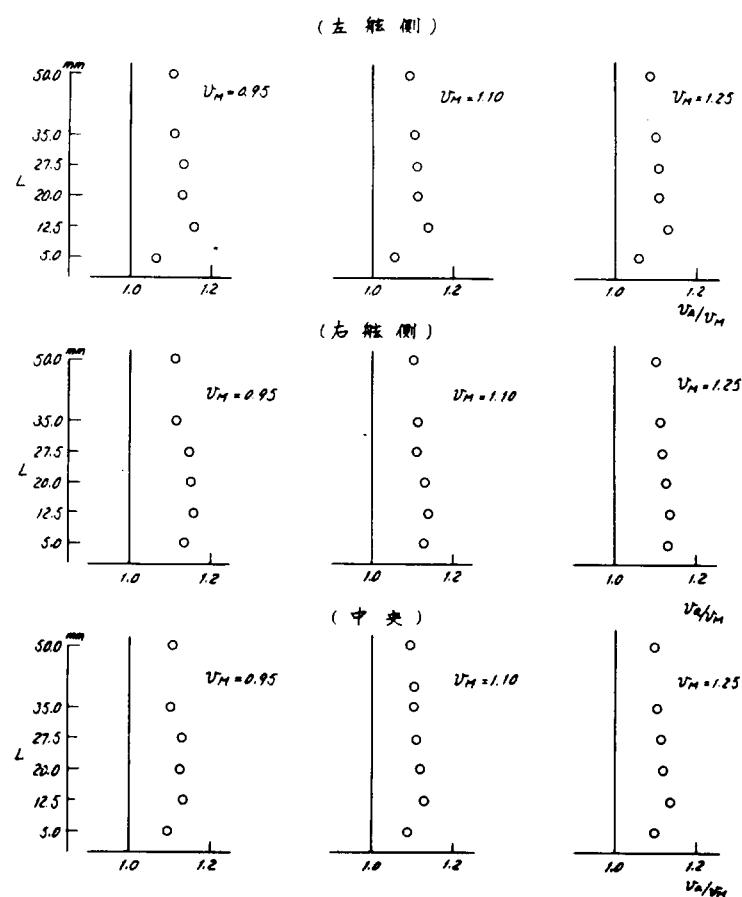


Fig. 2.5 ① 計測結果 (Full Load Condition)

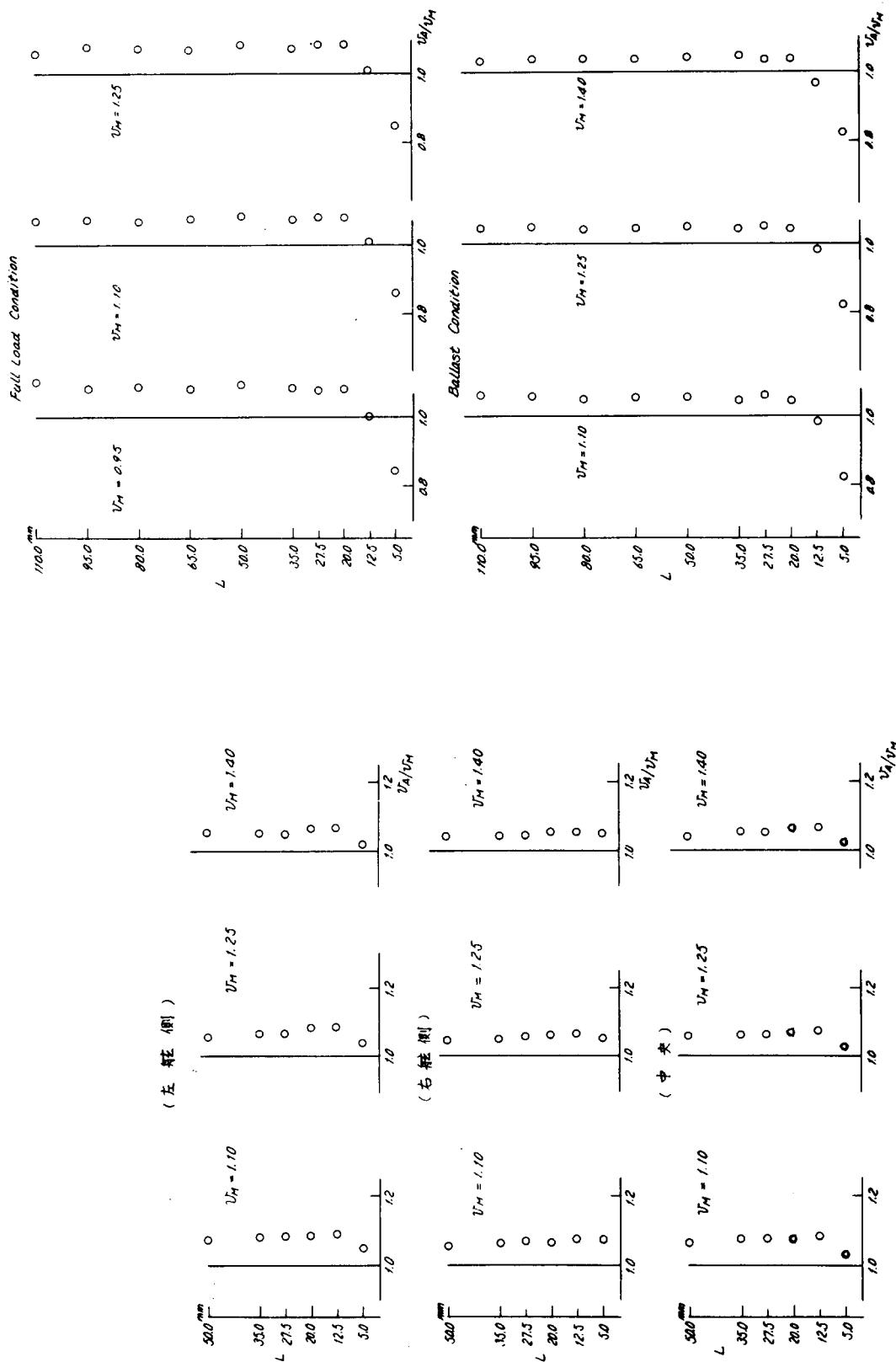


Fig 2.6① 計測結果 (Ballast Condition)

Fig 2.7② 計測結果

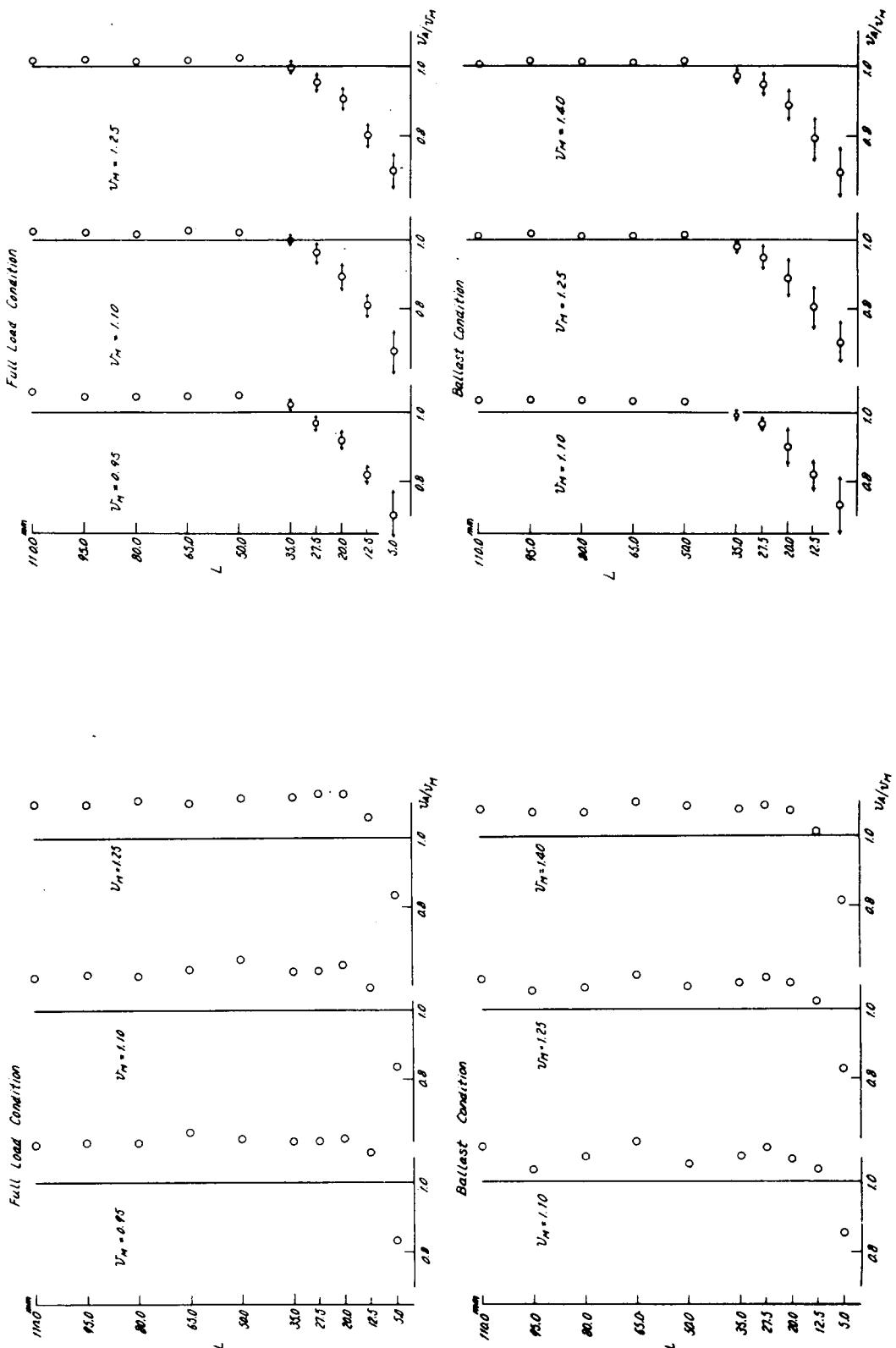
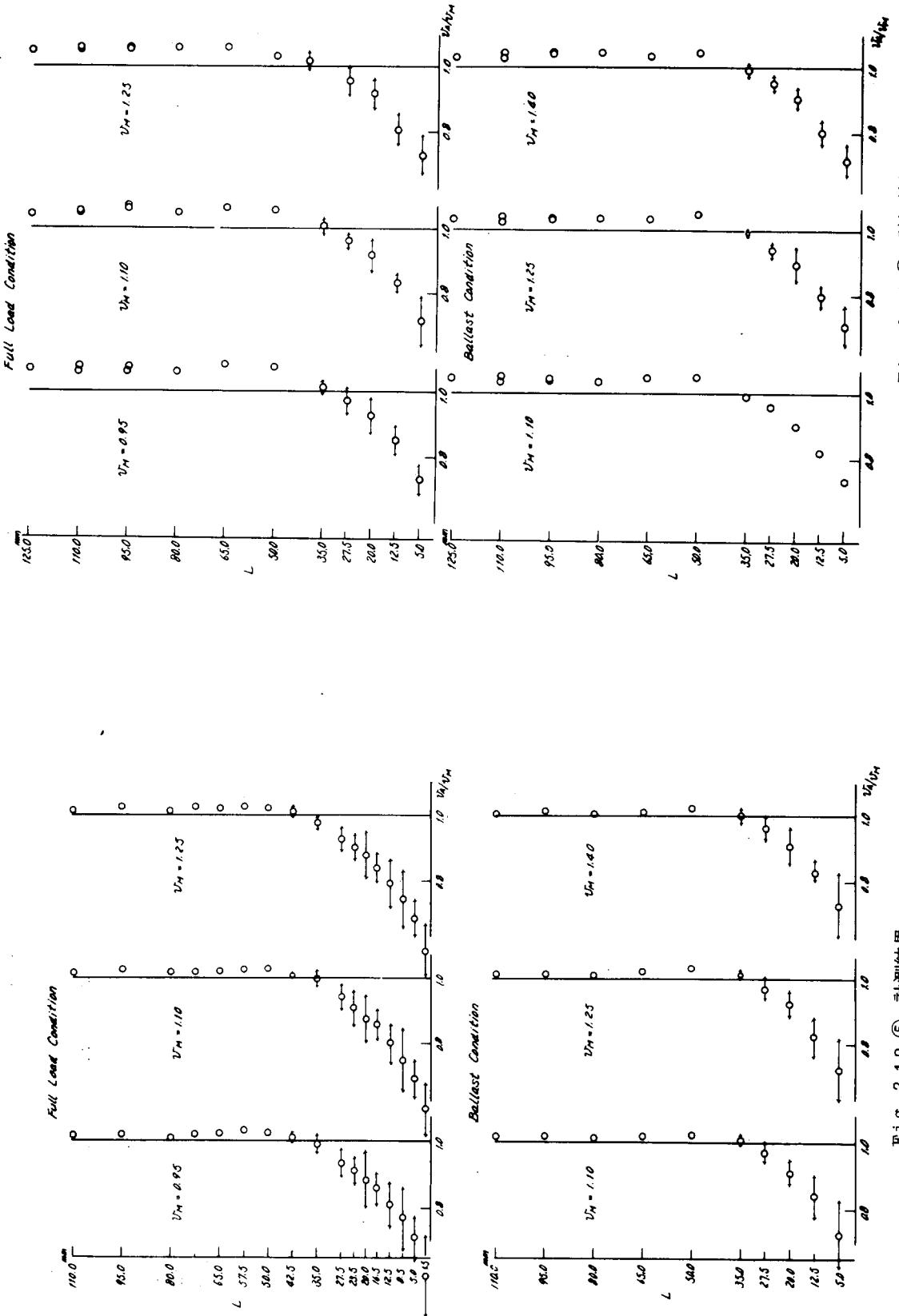


Fig. 2.8 ③ 計測結果

Fig. 2.9 ④ 計測結果



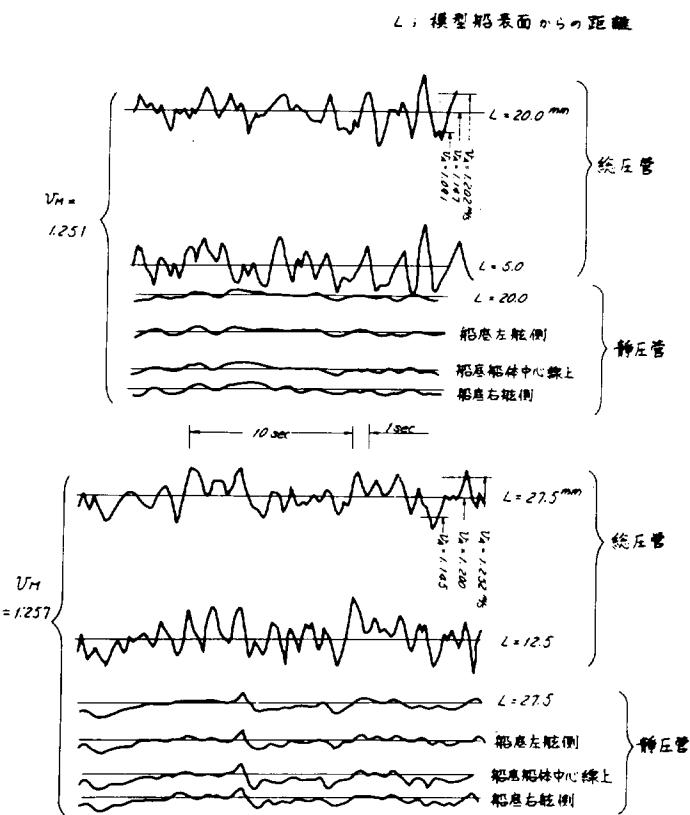


Fig 2.12 (a) 境界層内の振動の1例(⑥のFull Load Condition)

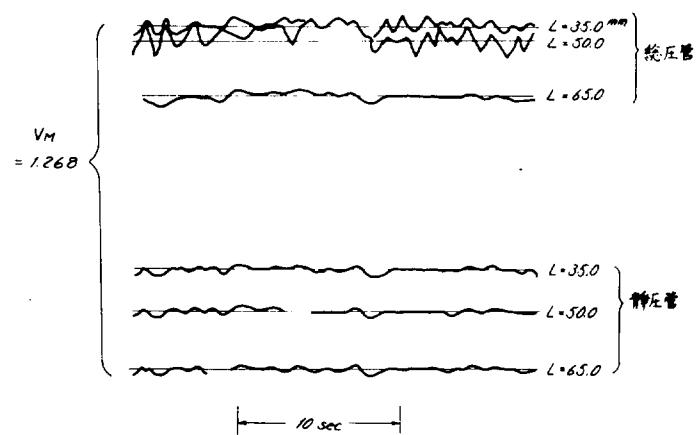


Fig 2.12 (b) 境界層内の振動の1例(⑥のFull Load Condition)

2.4 流速分布についての考察

2.4.1 境界層外側速度 (U_1/U_∞)について

実験結果をみると、 U_1/U_∞ の値は載荷状態によって変るが、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.2.5~Fig.2.11 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、面積不変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における境界層外側の速度、 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. 2.13)に、それを実験値と比較したものをTable 2.7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-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。

2.4.2 境界層の厚さ (δ)について

Fig.2.5~Fig.2.11の実験結果より直ちに境界層厚さを見出すことは困難であるから、境界層内速度分布の $1/7$ 乗則を仮定し、次の二通りの方法での計算を試みた。(1)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。

$$\delta = 0.37 \cdot x \cdot \left(\frac{\nu}{U_\infty x}\right)^{\frac{1}{5}} \quad (2.1)$$

なお乱流は先端より起っていると仮定した。(2)船を先述の等価回転体とみなしあり θ を運動量厚さとして圧力勾配のある場合の近似式

$$\theta \left(\frac{U_i \theta}{\nu}\right)^{\frac{1}{4}} = \frac{0.016}{U_1^{\frac{1}{4}}} \int U^4 dx \quad (2.2)$$

$$\theta = \frac{7}{72} \delta, \quad (2.3)$$

を用うる。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. 2.15に、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 2.8に示す。船の大きさや船速が異なる場合にはFig. 2.15と次式を用いてその場合の δ を推定することができる。

$$\delta_s = \delta_m \times \left(\frac{L_s}{L_m}\right)^{\frac{4}{5}} \times \left(\frac{U_s}{U_m}\right)^{-\frac{1}{5}} \quad (2.4)$$

Suffix s, m はそれぞれ実船、模型船を示す。

Fig. 2.15 およびTable 2.8 より(1)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。(2)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、実験精度と併せ考え、同一と見なしてよい。(3) Station 11/2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。

2.4.3 境界層内速度分布 (u/U_1)について

境界層内速度分布の実験結果をPower Law $\frac{u}{U_1} = \left(\frac{y}{\delta}\right)^{\frac{1}{n}}$ 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. 2.14に示す。整理に際しては、実験結果の速度分布か

らまづ一番確実な 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、 λ/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. 2.14 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 の指数 n の検討を行なった (Fig. 2.16)。これら 2 つのグラフは、どちらも 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、それでも、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、もし渦や、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. 2.2 のご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つた。しかし、それらの位置における実験値は他のところに比べて分散が大きいようである (Fig. 2.8)。

2.4.4 対水速度計の船体取付位置について

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、(1) 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_∞ の値を正確に知つていなければならない。(2) 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 λ/δ の関係、すなわち速度分布の法則を正確に知つ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 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_∞ の推定の精度が上るが、 δ 内の速度分布をかなり正確に知つておく必要がある。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流速計を併用すれば、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 700mm の対水流速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. 2.15 と (2.4) 式より、 δ が約 600mm 以下のところを探せば、大体 7 station 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、7 station では船体は平行部となっており、Fig. 2.13 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計測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、対水流速計は比較的精度よく用いることができる。

本節執筆に際し、「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報、第 28 号、32 号、昭和 42.4.4 年) に教示を受けるところが多大であったことを附記し、著者らに謝意を表わす。

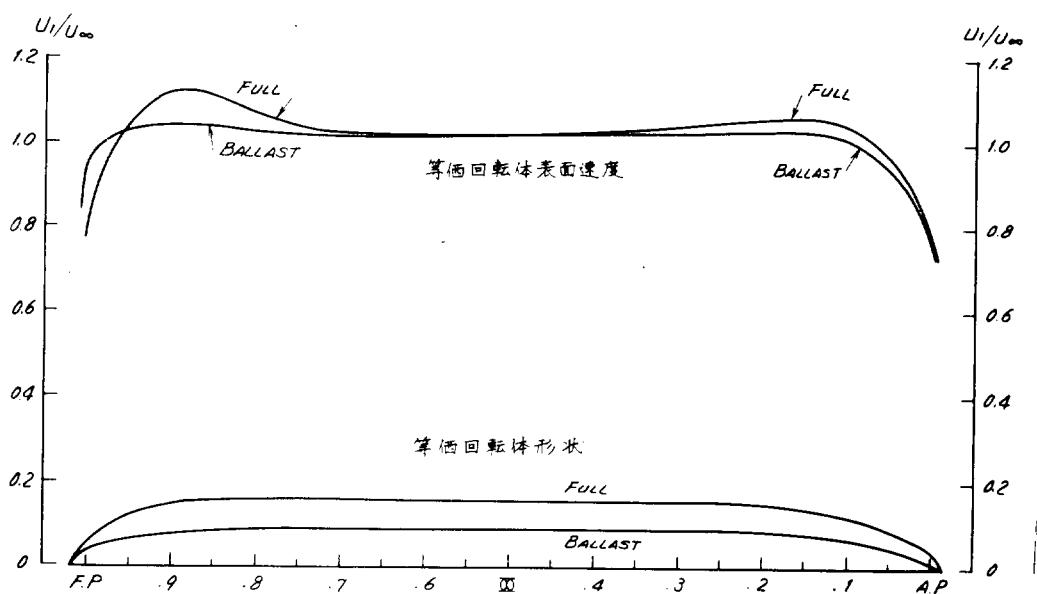


Fig. 2.13

Table 2.7 実験値と計算値の比較

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 : 境界層外側の速度

U_∞ : 模型船の速度

位置は Fig. 2.4 参照

Boundary Layer
Velocity Distributions

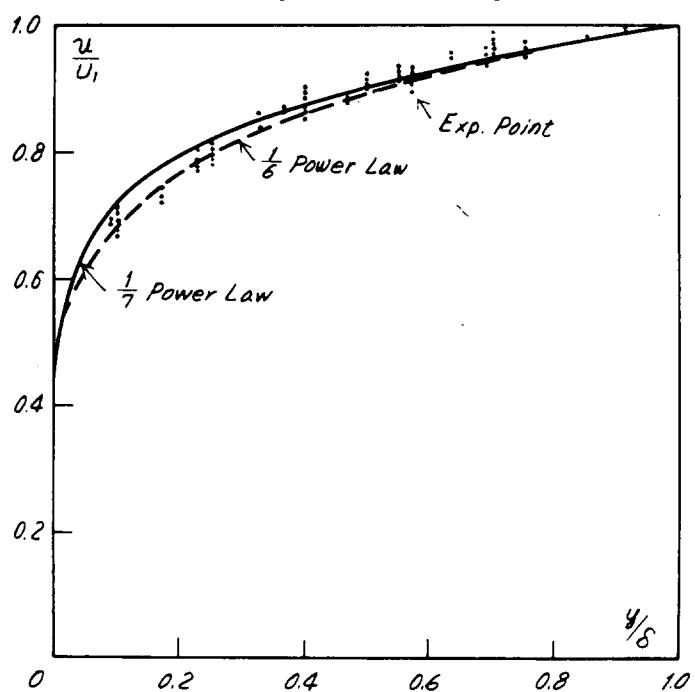


Fig. 2.14

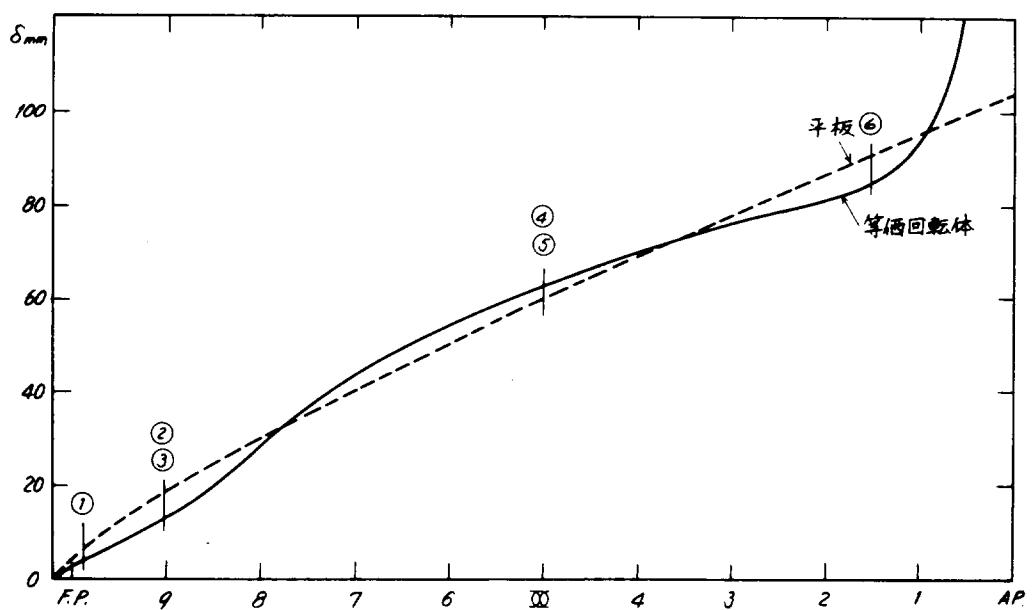


Fig. 2.15 境界層厚さ(計算) $L_m = 6\text{ m}$ $U_\infty = 1.0 \text{ m/s}$

Table 2.8 境界層厚さ δ (mm)

		模 型 船				实 船
计测点	U_∞ m/s	0.95	1.10	1.25	1.40	
(1)	Exp.		6			$\rightarrow 92$
	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			$\rightarrow 336$
(3)	Exp.		18			$\rightarrow 275$
(2) & (3)	Cal. 平板	19	18	17	17	
	Cal. 回転体	13	13	12	12	
(4)	Exp.		50			$\rightarrow 765$
(5)	Exp.		50			$\rightarrow 765$
(4) & (5)	Cal. 平板	61	59	57	56	
	Cal. 回転体	64	62	60	59	
(6)	Exp.		55			$\rightarrow 840$
	Cal. 平板	93	90	88	86	
	Cal. 回転体	86	83	81	80	

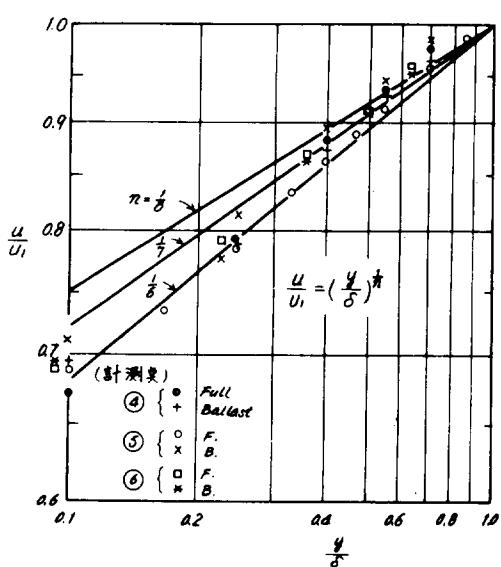
 $L_m = 6.0 \text{ m}$ $L_s = 300 \text{ m}$ 

Fig. 2.16 境界層内速度分布

結 言

本年度に実施した対水速度計に関する各種調査と肥大船模型の船体周りの流速の計測の結果得られた主な結論は

1. 対水速度計として理想的と思われるものは超音波式であるが、対水速度計として容易にすぐ使用できるのはないので、超音波式対水速度計をなるべくすみやかに開発することが必要である。
2. 現用されている電磁式、圧力式、翼車式、抵抗式、光学式、曳航式等の対水速度計のうちでは、いろいろな点において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、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あっても、計測された流速から正確な船速を推定することは困難である。
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。そのうえ、流場は複雑な3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走速度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横截面附近が考えられる。その理由は、
 - (1) 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。
 - (2) 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。
 - (3) 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數法則に従うと予想される。
 - (4) 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）
 - (5) 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。

以上の結論から、対水速度計に関する調査としては、昭和45年度には電磁式対水速度計の単独性能試験を行なうとともに、超音波式対水速度計の調査を続行し、昭和46年度の実船試験には、できればこの両者の速度計を装備したいと思っている。

また、昭和45年度からは抵抗成分分離に関する研究も始める予定で、中小型模型船によって、抵抗・自航・プロペラ単独の3試験のほか、後流計測、船尾部伴流計測、自由波形計測、流線観測等の試験を昭和45年度に、大型模型による同種の試験および、伴流計測を含めた実船試験を昭和46年度に予定している。予算の関係上、あるいは肥大船についての試験しか実施できないとも思われるが、この試験が十分な規模と精度で行なわれることが、実船と模型船の相関に関する研究をみのらせるのに絶対に必要である。