

第 138 研究部会

高速コンテナ船の馬力推定法の精度向上に 関する研究

報 告 書

昭和 48 年 3 月

社 団 法 人

日 本 造 船 研 究 協 会

目 次

§ 1. 緒 言	1
§ 2. 委 員 会	2
2.1 委 員 構 成	2
2.2 委員会開催状況	4
2.3 配 布 資 料	6
§ 3. トーションメータおよびスラストメータの調査ならびに検討	9
3.1 ま え が き	9
3.2 トーションメータ	9
3.3 スラストメータ	18
§ 4. 供試実船およびスラストメータの設計	25
4.1 ま え が き	25
4.2 供 試 船	25
4.3 スラストメータの製作仕様	26
§ 5. 抵抗成分分離に関する研究	27
5.1 ま え が き	27
5.2 水槽試験実施計画	27
5.3 供 試 船 型	28
5.4 水 槽 試 験 要 領	28
5.5 試験結果解析方法	30
5.6 4 m 模型試験結果	38
5.7 7 m 模型試験結果	44
5.8 あ と が き	59
§ 6. 結 言	61

§ 1 緒 言

船舶を計画するにあつては、速力と馬力の関係を知る必要があるが、この関係を精度よく求めるには、模型試験結果を使用すること、これに尺度影響の修正を施すことが必要である。この際実船と模型船との相関関係が分つていなければならないが、現段階においてはまだ明確にされていない点があり、このためには相関関係についての研究を行なうことが必要で、その一環として正確に測定された実船の性能が必要である。実船性能を正確に測定するためには、対水速度計、トーシヨンメータ、スラストメータ等が必要であり、相似則に関する模型試験としては、数隻の相似模型に対して、抵抗分離計測を含むきめの細かい実験を行なうことが必要である。

対水速度計および巨大船についての相関関係を求める研究は、昭和44～46年度の3ケ年にわたつて第107研究部会で行なわれ、対水速度計測の精度および巨大船の馬力推定精度のかなりの向上が期待される成果が得られた。

第138研究部会としては、第107研究部会にひきつづき、高速コンテナ船を対象として、実船と模型の相関関係を明らかにするとともに、現在使用されているトーシヨンメータの比較調査および、適当な計器の未開発なスラストメータの実用化をはかるための研究を行なうこととした。

昭和47年度として行なつた研究は、トーシヨンメータおよびスラストメータの調査、スラストメータの仕様の作成、4 mおよび7 m模型の水槽実験であつて、以下にその概略について述べる。

§ 2 委 員 会

2.1 委 員 構 成

2.1.1 委 員 会

(敬称略、順不同)

部会長	笹島 秀雄 (大阪大学)		
委員	安部 光弘 (三井造船)	石毛 昭 (白杵鉄工)	
	乾 崇夫 (東京大学)	大久保 広海 (日本郵船)	
	岡田 正次郎 (日立造船)	岡部 淳一 (九州大学)	
	岡本 洋 (川崎重工)	柿木 初喜 (盛岡計器)	
	川口 昇 (三菱重工)	岸本 修 (三井造船)	
	芝田 珠郎 (北辰電機)	上甲 健一 (大阪造船)	
	須藤 彰一 (明石船型研究所)	須藤 正信 (日本鋼管)	
	高橋 通雄 (神戸製鋼)	田古里 哲夫 (東京大学)	
	田中 一朗 (大阪大学)	仲渡 道夫 (広島大学)	
	永松 秀一 (住友重工)	花園 史郎 (函館ドック)	
	藤田 孝 (三菱重工)	藤原 芳夫 (名村造船)	
	丸尾 孟 (横浜国立大学)	森 正彦 (石川島播磨重工)	
	矢崎 敦生 (造船技術センター)	山崎 芳嗣 (佐世保重工)	
	横尾 幸一 (船舶技術研究所)	渡辺 恭二 (三菱重工)	

2.1.2 小委員会

(1) 調査小委員会

(敬称略、順不同)

主査	岡田 正次郎 (日立造船)		
委員	太田 治孝 (日本鋼管)	海津 源治 (住友重工)	
	岸本 修 (三井造船)	斎藤 泰夫 (川崎重工)	
	鈴木 敏夫 (大阪大学)	武井 幸雄 (船舶技術研究所)	
	田崎 亮 (石川島播磨重工)	田中 総 (石川島播磨重工)	
	辻田 孝 (三菱重工)	藤田 孝 (三菱重工)	
	松永恒規 (佐世保重工)		

(2) 抵抗成分分離小委員会

(敬称略、順不同)

主査	渡辺 恭二 (三菱重工)
----	--------------

委員	伊藤 讓 (造船技術センター)	乾 崇夫 (東京大学)
	須藤 彰一 (明石船型研究所)	田古里 哲夫 (東京大学)
	田中 一朗 (大阪大学)	田中 拓 (船舶技術研究所)
	仲渡 道夫 (広島大学)	藤田 孝 (三菱重工)
	丸尾 孟 (横浜国立大学)	横尾 幸一 (船舶技術研究所)

(3) 実船計測小委員会

(敬称略、順不同)

主査	笹島 秀雄 (大阪大学)	
委員	斎藤 泰夫 (川崎重工)	鈴木 敏夫 (大阪大学)
	武井 幸雄 (船舶技術研究所)	田中 一朗 (大阪大学)
	田中 稔 (石川島播磨重工)	辻田 孝 (三菱重工)
	仲渡 道夫 (広島大学)	本田 正信 (石川島播磨重工)
	岡田 正次郎 (日立造船)	藤田 孝 (三菱重工)
	山口 茂 (新興通信)	川末 代四末 (三菱重工)

2.1.3 討議参加者

(1) 委員会

(敬称略、順不同)

泉 晃 (三菱重工)	伊藤 讓 (造船技術センター)
上森 初之 (神戸製鋼)	木原 和之 (三菱重工)
小林 実 (北辰電機)	坂本 昭弘 (佐世保重工)
武井 幸雄 (船舶技術研究所)	田中 稔 (石川島播磨重工)
玉井 浩正 (川崎重工)	辻田 孝 (三菱重工)
山野 惟夫 (川崎重工)	吉野 信治 (三井造船)
鈴木 敏夫 (大阪大学)	片桐 徳二 (石川島播磨重工)

(2) 調査小委員会

(敬称略、順不同)

石山 一郎 (昭和測器)	小野 誠 (安川電機)
金城 正則 (ブリモ)	後藤 克夫 (明星電気)
斎藤 英隆 (東洋ポールドウイン)	桜井 俊夫 (昭和測器)
菅原 英夫 (新興通信)	杉山 宏 (共和電業)
福田 甲子郎 (電子工業)	宮崎 温敏 (明星電気)
山岸 久恭 (東洋ポールドウイン)	山下 重之 (東京計器)
結城 大 (共和電業)	横尾 幸一 (船舶技術研究所)
吉田 正 (古野電気)	渡辺 恭二 (三菱重工)
山本 定明 (住友重工)	

(3) 抵抗成分分離小委員会

(敬称略、順不同)

森 崎 栄 七 (大 阪 大 学) 鈴 木 敏 夫 (大 阪 大 学)

(4) 実船計測小委員会

(敬称略)

菅 原 英 夫 (新 興 通 信)

2.2 委員会開催状況

2.2.1 委員会

第1回委員会 4 7. 4. 4 (火) 1 4. 0 0 ~ 1 6. 0 0

主な審議事項

- 部会の運営方針
- 研究分担
- 供試船

第2回委員会 4 7. 5. 2 3 (火) 1 4. 0 0 ~ 1 6. 0 0

主な審議事項

- 供試船
- 小委員会メンバー

第3回委員会 4 7. 8. 1 8 (金) 1 4. 0 0 ~ 1 7. 0 0

主な審議事項

- 供試船
- 小委員会の設置
- 模型試験用線図

第4回委員会 4 7. 1 0. 4 (水) 1 4. 0 0 ~ 1 7. 0 0

主な審議事項

- 研究の中間報告
- 48年度研究計画

第5回委員会 4 8. 2. 1 0 (土) 1 0. 0 0 ~ 1 5. 0 0

主な審議事項

- 47年度研究報告

2.2.2 小委員会

(1) 調査小委員会

第1回小委員会 4 7. 6. 5 (月) 1 3. 3 0 ~ 1 5. 3 0

主な審議事項

- 研究の進め方
- トルク・スラスト計測の現状

第2回小委員会 47.7.6(木) 10.30~15.00

主な審議事項

- トルク・スラストメータ資料
- 実験用トルク・スラストメータ

第3回小委員会 47.8.11(金) 10.30~13.20

主な審議事項

- スラストメータアイデアプラン
- トルクメータ

第4回小委員会 47.9.26(火) 10.30~14.00

主な審議事項

- スラストメータ仕様書および見積書
- 48年度研究経費

第5回小委員会 48.1.10(水) 10.30~14.15

主な審議事項

- 47年度研究報告

(2) 抵抗成分分離小委員会

第1回小委員会 47.9.26(火) 10.30~15.00

主な審議事項

- 47年度研究計画
- 模型試験方案
- 48年度研究計画

第2回小委員会 47.12.15(金) 14.00~16.00

主な審議事項

- 47年度研究報告のとりまとめ方針
- 4m 模型試験中間報告
- 今後の予定

第3回小委員会 48.2.9(金) 13.30~17.00

主な審議事項

- 4mおよび7m 模型試験結果
- 47年度研究報告

(3) 実船計測小委員会

第1回小委員会 48.2.21(水) 11.00~17.00

主な審議事項

- 48年度実験計画
- スラスト計測法

2.3 配布資料

2.3.1 委員会資料

第1回委員会

- (1) 委員名簿(案) (造 研)
- (2) 高速コンテナ船の馬力推定法の精度向上に関する研究
研究計画書 (造 研)
- (3) 実船における伴流計測結果 (三 井)

第2回委員会

- (1) 実船における伴流計測結果
— 外板に沿った流向・流速 — (三 井)

第3回委員会

- (1) SR108 供試船型について (造 研)

第4回委員会

- (1) 調査小委員会(第4回)議事録 (造 研)
- (2) 抵抗成分分離に関する水槽試験実施方案 (三菱長研)
- (3) 模型船線図 (")
- (4) 昭和48年度研究計画(案) (造 研)

第5回委員会

- (1) 抵抗成分分離に関する研究昭和47年度報告原稿 (三菱長研)
- (2) 4m 模型試験結果 (阪 大)
- (3) 7m 模型試験結果 (三菱長研)
- (4) トーションメータおよびスラストメータの調査ならびに検討 (日立技研)
- (5) スラストメータ (")

2.3.2 小委員会資料

(1) 調査小委員会

第1回小委員会

- (1) 調査小委員会委員名簿(案) (造 研)
- (2) 高速コンテナ船の馬力推定法の精度向上に関する研究計画書 (造 研)

第2回小委員会

- (1) 軸馬力計の改良について (岡田主査)
- (2) トルクおよび軸馬力の速隔測定用マイソック・トーションメータについて (田崎委員)

- (3) 研野式トルク計 (斎藤委員)
- (4) 無接触方式による新しい船用軸馬力計 (岸本委員)
- (5) Electric Torsion Meter (太田委員)
- (6) Jungner Instrument AEM-1 Power Meter (")
- (7) 無接触方式による船用軸馬力計 (三菱重工)
- (8) S. No. 930軸馬力計取扱説明書 (海津委員)
- (9) Type-6101テレメータ仕様書 (")
- (10) 振り動力計 (武井幹事)
- (11) 実船におけるスラストの測定 (岡田主査)
- (12) スラストメータ資料 (鈴木幹事)
- (13) 青雲丸プロペラ推力測定装置 (太田委員)
- (14) 国鉄型船舶主軸推力計について (海津委員)

第3回小委員会

- (1) スラストメータ性能仕様案 (明星電気)
- (2) 船舶用スラストメータ (共和電業)
- (3) 船舶スラスト荷重測定方案 (東洋ポ-ルドウィン)
- (4) スラストメータ (付録 Type6101テレメータ仕様書) (新興通信)

第4回小委員会

- (1) スラストメータの仕様書および見積書 (新興通信)
- (2) " (東洋ポ-ルドウィン)
- (3) スラストメータ、スラスト計測見積 (鈴木幹事)
- (4) SR138第3回委員会議事録 (造 研)

第5回小委員会

- (1) 昭和48年度研究費一覧表 (造 研)
- (2) 47年度研究報告書目次 (横尾委員)
- (3) 47年度研究報告書案
- § 1 緒 言 (横尾委員)
- § 3 トーションメータおよびスラストメータの調査ならびに検討 (武井幹事)
- § 4 供試実船およびスラストメータの製作仕様 (横尾委員、武井幹事)
- § 6 結 言 (横尾委員)
- (4) 調査小委員会報告 (案、粗稿) (武井幹事)

(2) 抵抗成分分離小委員会

第1回小委員会

- (1) SR108模型線図 (渡辺主査)
- (2) SR138線図 (造船技術センター)

- (3) 模型試験方案 (渡辺主査)
- (4) 48年度研究費一覧表 (造 研)

第2回小委員会

- (1) 47年度研究報告 目次(案) (横尾委員)
- (2) 48年度研究計画書 (造 研)
- (3) 4m模型試験結果 (阪 大)

第3回小委員会

- (1) 抵抗成分分離に関する研究昭和47年度報告原稿 (三菱長研)
- (2) 4m模型試験結果 (阪 大)
- (3) 7m模型試験結果 (三菱長研)

(3) 実船計測小委員会

第1回小委員会

- (1) 実船計測小委員会委員名簿(案) (造 研)
- (2) 供試船概要 (三菱神戸)
- (3) スラストメータ仕様書 (新興通信)
- (4) スラストメータ(組立図、部品図) (阪 大)
- (5) 広大大型強度試験室パンフレット (広 大)
- (6) 研究費一覧表(48年度)(案) (造 研)

§ 3 トーションメータおよびスラストメータの調査ならびに検討

3.1 ま え が き

本研究部会の目的としている研究項目のうち、トーションメータおよびスラストメータの現状の調査と、その調査結果に基づいて、もし適当な計器を新しく開発することが望ましい場合には、それに対する検討および仕様の作成などの項目を分担するために、調査小委員会が設置された。小委員会の構成ならびに委員会の開催状況は既に前に述べられたとおりである。

調査小委員会としては、本研究部会から与えられた上記の研究を実施するにあたって、まずトーションメータおよびスラストメータが現在各造船所でどのように使用され、またどのような型式のものが多いか、さらにそれらの精度などについての実情を詳しく調査し、その結果によつて以後の方針を検討することにした。

以下、トーションメータとスラストメータに区分し、調査結果およびその検討の順に報告する。

3.2 トーションメータ

3.2.1 各種トーションメータの調査

トーションメータは古くから数多くのものが考案されてきている。¹⁾

比較的新しいものでも10数種をかぞえることができる。

トーションメータの原理は、Fig. 3.2.1に示されているように、中間軸の一定距離間の換れ角 θ 、あるいは換れの変位 δ を計測し、これを(3.2.1)式に入れることによつてトルクが求められると言うことである。

$$Q = \frac{\pi D^4}{32 \ell} \theta G, \quad \theta = \frac{\delta}{r} \quad (3.2.1)$$

ここで、 Q ; 軸トルク

D ; 軸の直径 ($r = D/2$)

G ; 横弾性係数

θ ; θ 換れ角

ℓ ; 測定間距離

δ ; 換れによる変位 である。

したがつて、種々のトーションメータの相違点は換れの変位 δ あるいは換れ角 θ の検出方式にあると言つてもよい。この際に(3.2.1)式の中にある他の値も正確である必要があり、その中でも横弾性係数 G が問題となりやすいと思われるので、これについては第117研究部会の「大径中間軸の横弾性係数に関する研究」で調査研究された超音波計測装置により計測するなど注意を払う必要がある。

各種トーションメータの中で現在、各造船所において船舶の試運転時あるいは、本船装備用として比

較的よく用いられているもののうち代表的な数種について、調査結果に基づいてその概略を以下に述べることにする。

(1) 研野式トーシヨンメータ²⁾

本トーシヨンメータは、軸の振れの変位を光学的に検出して、これをある時間フィルムに記録させる方式となつている。

Fig. 3.2.2のように、中間軸上に一定距離をおいて光源(ランプ)SとミラーMをおく。軸にトルクが加わるとランプとミラーは相対的な回転変位をする。したがつて、Fig. 3.2.2に示されているようにフィルム上の反射光の像が R_1 から R_2 に移動して、フィルムが送られているために一本の線として記録される。このとき、光の反射の法則から $\overline{R_1 R_2} = 2\theta$ の関係があり、振れの変位が測定できるわけである。トルクの零線は前後進のターニングを行なつて同じく反射光の像をフィルムに記録して平均をとる。

この方式の利点は、純光学式であるため増巾器などによる零移動が全くないこと、また欠点としては、フィルムを現像しないと測定結果がわからないことである。

本トーシヨンメータは、考案されて以来、造船所あるいは研究所において試運転時の計測用として使用されており、非常に多くの実績がある。

(2) マイハツク・トーシヨンメータ

この型式のものは、船舶の試運転用として、わが国で最も多く使われているものの一つである。原理は、Fig. 3.2.3に示されているように軸に取付けられた2個の固定環の間に張られたワイヤの固有振動数の変化が、振れ変位による張力の変化に比例することを利用したものである。作動時のワイヤの固有振動数はFig. 3.2.4に示されているように、これを電氣的に励振し、受信器内の別の比較ワイヤの振動数と陰極線オツシログラフ上のリサーチユ図形を通じて比較して求められる。

Fig. 3.2.3に示されているように2本のワイヤが固定環内の相対する位置に取付けられ、一方はテンションとして、他方はコンプレッションとして働き、測定には両者の平均値が用いられるから、ワイヤに作用する温度および遠心力の影響は相殺される。また検出装置は軸心に垂直に取付けられているから、軸自体の彎曲は測定に影響を与えない。軸に取付けた場合の外観はFig. 3.2.5に示されているとおりで、スリップリングも含めて、比較的コンパクトにまとめられている。また固定環、スリップリングともに、ある範囲で任意の軸径にあわせられるように調節可能になつている。

上述のように、一種の零法によつて測定することから、トルク変動が大きい場合には若干問題があるようであるが、測定精度は高い。

(3) 古野式トーシヨンメータ³⁾

本トーシヨンメータは、Fig. 3.2.6に示されているように中間軸に一定の距離をおいて1組の歯車から無接触に出力信号をとりだすようになつている。

この2つの信号の位相差が軸の振れ角に比例することを原理としているものである。

歯車は2つわり構造となつていて取付ボルトにより軸に固着される。歯車は外周に120枚の歯形を持つている。

パルス発信部には、速度応答形と変位応答形の2種類の電磁ピックアップが用意されていてターニングの場合のように低速回転をするときでも位相検出ができるようになっていて、電磁ピックアップでとりだされた出力信号の位相差は、Fig. 3.2.6に示されているように、スイッチング方式によりパルス波とする。このパルス波の中はトルクに比例している。一方、そのパルスの波高値を軸回転数に比例させてあり、したがってパルス波の面積がトルクと回転数の積である馬力に比例することになる。

本トーシヨンメータの利点は無接触方式であるためスリップリングなどによる雑音が全くないことである。欠点は、歯車および電磁ピックアップの取付が比較的困難であることである。

本トーシヨンメータは、国鉄青函連絡船摩周丸および八甲田丸に装備されて以来かなり多数の使用実績がある。

(4) 変磁束型トーシヨンメータ

本トーシヨンメータは、Fig. 3.2.7に示されているように、相對峙して置かれたコ字形の鉄心とその中間部に空隙をもつてそう入された鉄片①とよりなる。コ字形の鉄心は2個ともトーシヨンメータの固定環の一方(基環と称する)に固着され、また、鉄片①はトーシヨンメータの固定環の他の一方(先環と称する)に固着されている。中間軸にトルクが伝達されると、鉄片は2個の鉄心に巻かれたコイル L_1 、 L_2 との間の空隙の量を変化させる方向に移動するので、 L_1 、 L_2 のインダクタンスに基づく抵抗を変化させる。 L_1 、 L_2 の他に固定抵抗 R_1 、 R_2 を用意して、4個で電氣的ブリッジを構成し、これに交番電圧を供給しておけばトルクに比例した不平衡電圧がブリッジに誘起されることになるわけである。

この形式のトーシヨンメータの長所は、ゲージ長さが100mm程度と小さいこと、変磁束型のトランスジューサによつて発生する電圧が比較的大きいこと、またトランスジューサの較正が簡便なことであるが、他方短所としては、回転する軸に取付けられたトランスジューサに交番電圧を供給し、また不平衡電圧を取り出すために、スリップリングとブラツシユの組合せが必要であること、比較的高周波の一定周波電源が必要なことである。

この形式のトーシヨンメータは、新造船の試運転時の計測用のみでなく、本船装備の軸馬力計の一部として、相当多くの船舶に使用されている実績がある。

(5) シーメンス・トーシヨンメータ

原理は前掲の変磁束型トーシヨンメータと同様であるが、軸に装着されているユニットの他に指示器ユニットを別に計け、両者の出力差が零になるよう調節し、零法を用いている点が異なっている。計測装置系統図をFig. 3.2.8に示す。

(6) ユングナ・トーシヨンメータ

原理は、古野式とほとんど同様である。

ただFig. 3.2.9に示されているように、電磁ピックアップが球軸受を介して歯車に支えられているので、両者の相對關係は、船体変形、振動等の影響を受け難い点に特徴を持っている。

(7) ストレインゲージによる方法

Fig. 3. 2.1 0に示されているように、4枚のストレインゲージを中間軸の中心線に対して 45° の傾斜をつけて貼付し、これらをブリッジに結線しておく。トルク零のときにブリッジを電氣的に平衡させておけばトルクが加わつたときの振り変位により相対する2つのストレインゲージは圧縮を、他の2つのストレインゲージは引張りをうけて平衡がくずれ、トルクに比例した電圧が生ずる。これがストレインゲージによるトーシヨンメータの原理である。出力電圧を記録器に伝送する方法としては従来はスリップリングが用いられていたが、最近では、Fig. 3. 2.1 0⁴⁾に示されるようにテレメータが使用されている場合が多い。

本方式の利点は、装置が比較的簡便であることであるが、他方、欠点は、ストレインゲージが温度依存性を持つているために軸の温度変化により零移動が起ることと接着剤の劣化などにより比較的寿命の短いことなどである。

本方式は、文献3)などの例のほか、運輸省船舶技術研究所によつて行なわれた北太平洋航路の実船試験の計測にも多年にわたり用いられてきた実績がある。

3. 2. 2 トーシヨンメータの検討

前項で述べた現在造船所で比較的多く使用されている7種類のトーシヨンメータについて総合的に検討するために、それらの形式、検出および記録方式、公称精度、標準ゲージ寸法、使用実績などについてとりまとめて表示したものがTable 3. 2. 1である。

この表にみられるように、比較検討の結果はいずれのトーシヨンメータについてもその性能は大同小異であつて、いずれのトーシヨンメータも十分な精度と相当の実績を有しており、次年度に予定されている実船試験に採用されうるものと認められた。したがつて、本調査小委員会としては、特別に新しくトーシヨンメータを開発することはしないで、実船試験の供試船を担当する造船所が従来から使用してきているトーシヨンメータで計測するか、あるいは本船に装備されているトーシヨンメータがある場合には、それを使用して計測してもらうことにした。

さらに、データの信頼性を高めるとともに他船との比較の便のために研野式トーシヨンメータを一応の標準として追加し、事情が許せば担当造船所の計測と平行して同トーシヨンメータによる計測を行なうことが望ましいものと結論された。

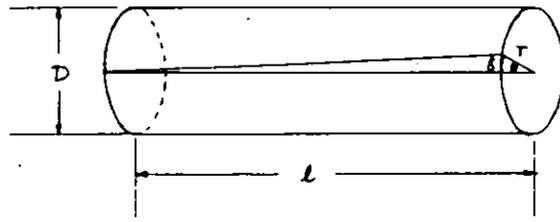


Fig. 3.2.1 トーションメータの原理

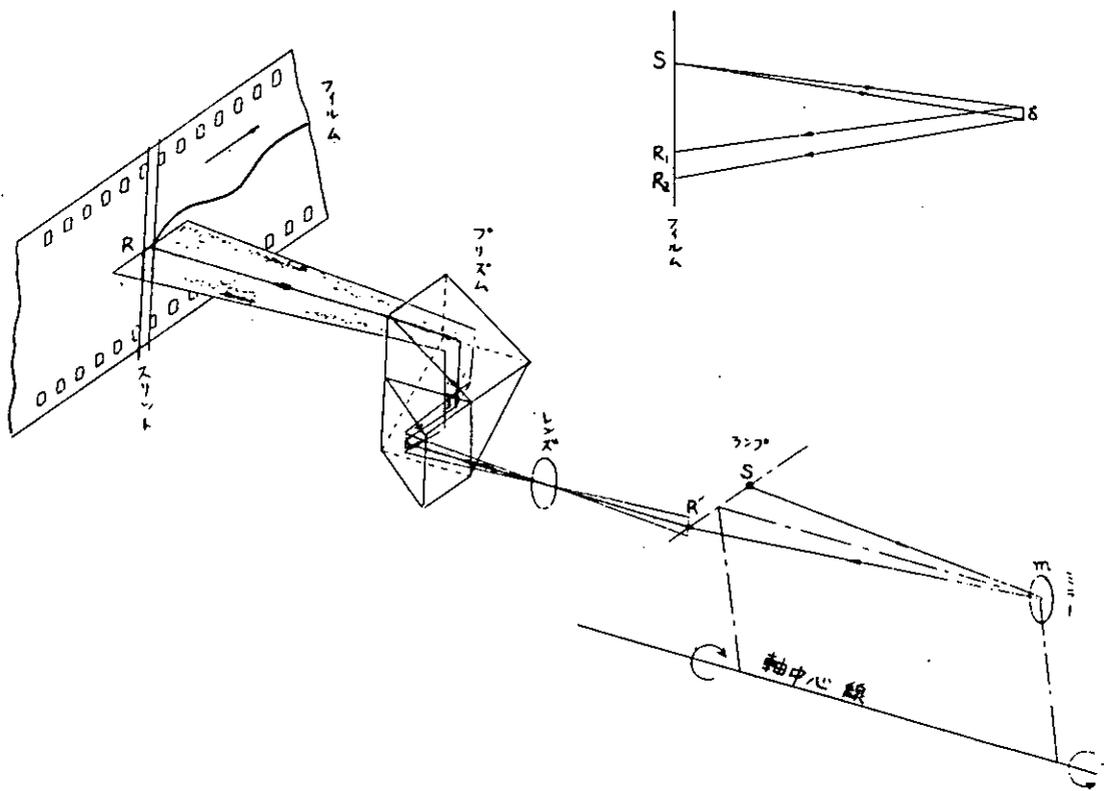


Fig. 3.2.2 研野式トーションメータの原理

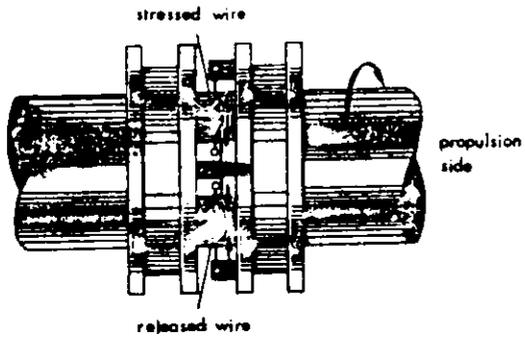


Fig. 3.2.3 トランスデューサの基本配置

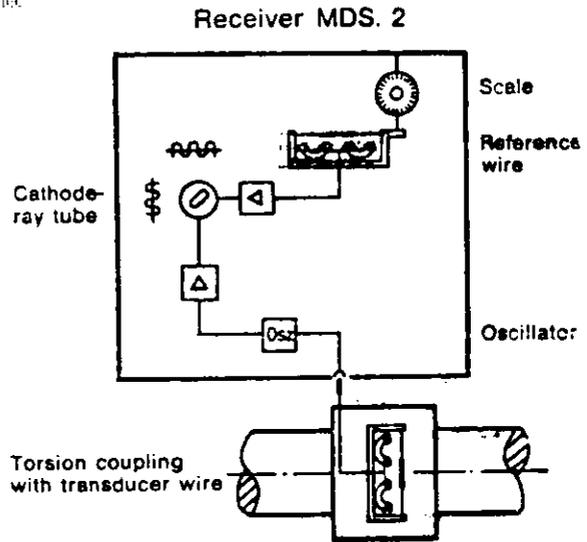


Fig. 3.2.4 周波数測定用配置

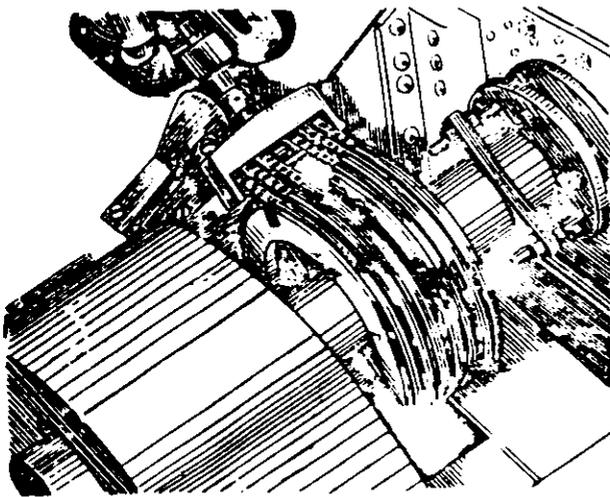


Fig. 3.2.5 船上で作動中のトーシヨ
ンカップリング

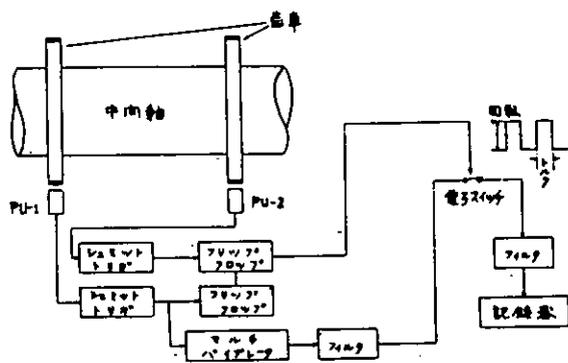


Fig. 3.2.6 古野式トーシヨンメータの原理

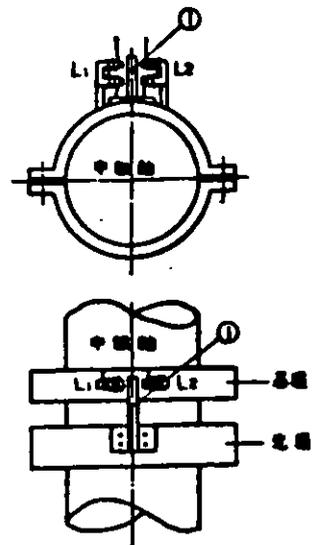


Fig. 3.2.7 変磁束型トーシヨンメータ

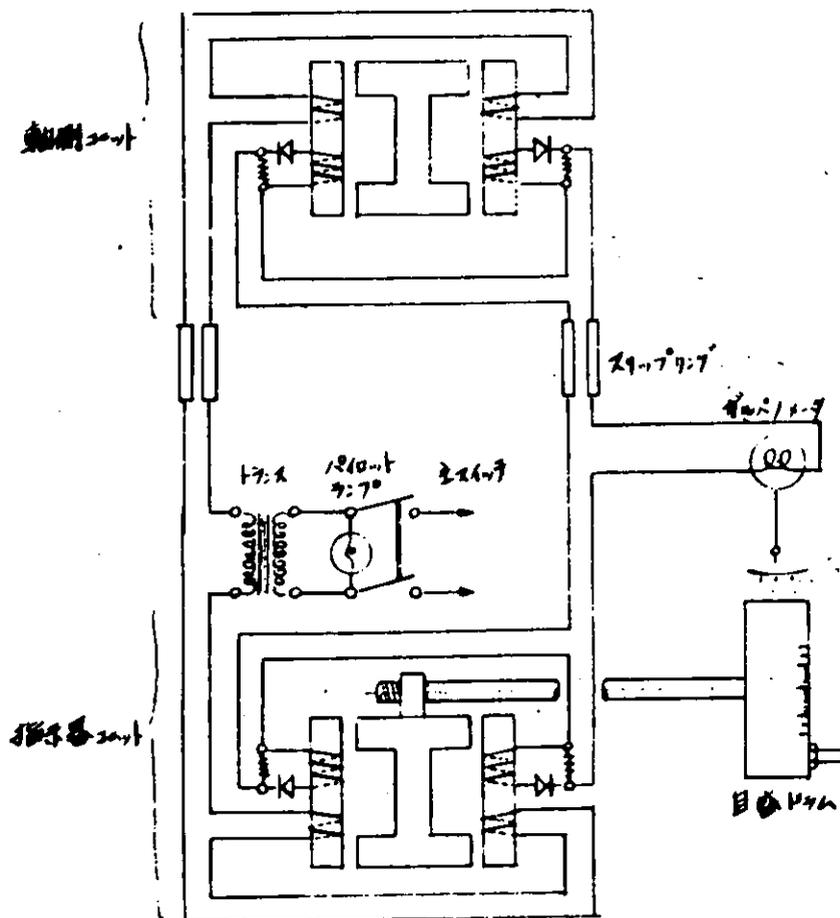


Fig. 3.2.8 シーメンス型トーシヨンメータ系統図

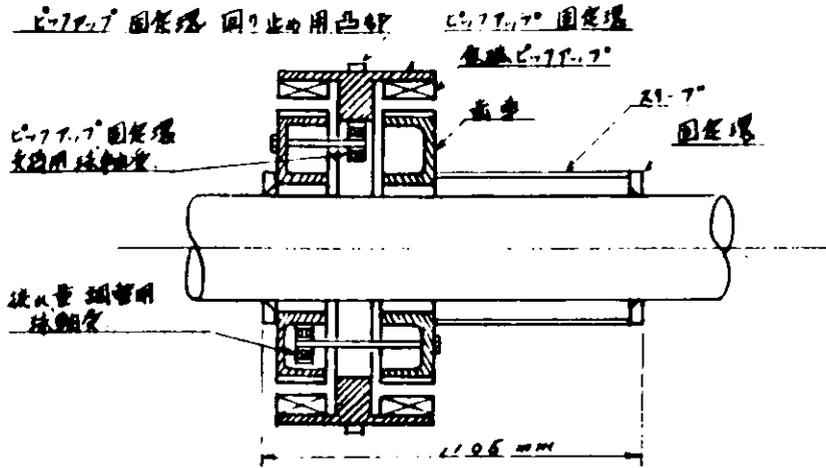


Fig. 3.2.9 ユングナートーションメータ

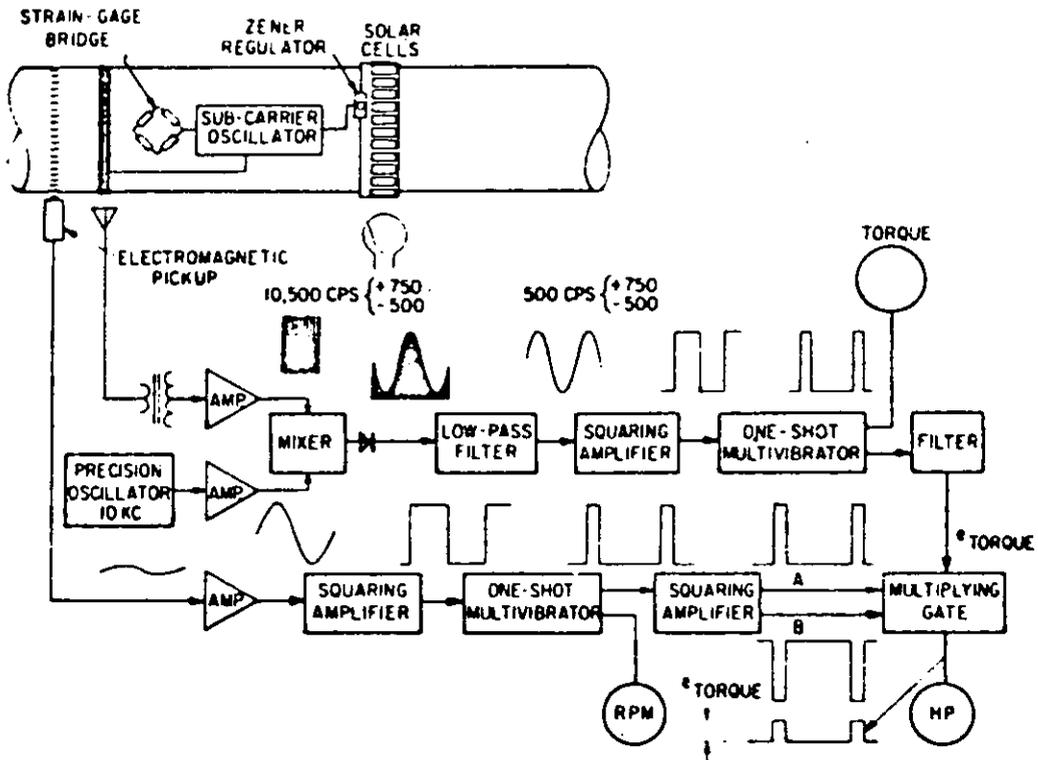


Fig. 3.2.10 ストレインゲージ法によるトーションメータの一例

Table 3.2.1

形式名	研野式	マイハック	古野式	変磁束型	シーメンス	ユングナー	ストレインゲージによる方法
方式	光学式	弦の振動数	無接触	—	変磁束式	無接触	—
検出および記録方式	ミラーの反射光をフィルムに記録。	弦の振動数を受信機内の弦の振動数と比較してよみとる。	歯車の位相差をピックアップで検出してビジグラフ等で記録する。	変磁束型トランスジェンサで検出し、メータでよみとるかまたはオシログラフで記録。	軸に装備のトランスジェンサの他に指示用の同様のものを装備し、両者の出力差零になるよう零法で指示する。	古野式と同じ	ストレインゲージで検出、ビジグラフで記録
公称精度 [%]	2	1	2	1.5	—	—	2
標準ゲージ寸法 [mm]	1,500	90	2,600	100	1,000	1,000	—
取付その他	可搬	可搬	船に装備	可搬	船に装備	船に装備	船に装備
実績	多い	あり	あり	あり	あり	あり	あり

3.3 スラストメータ

3.3.1 各種スラストメータの調査

現在までに考案製作されてきたスラストメータを、計測方法の原理の点から大別すると、次の2種になるものと思われる。

1) スラストブロックの受ける力を直接測定する方式

2) 推進器軸の圧縮歪を測定し、推力に換算する方式

さらに1)の方式の力の検出方法には、スラストパッドの受ける力を直接ロードセルなどによつて計る方法と、油圧を用いてその圧力によつて検出する方法などがある。

また2)の方法においても、ストレインゲージを軸に直接貼付する方法、中空な特別の中間軸を用意してそれにストレインゲージを貼付する方法、および一定距離間の縮み変位をある局所に集中させて、その部分の縮み変位を検出する方法(歪拡大方式)などが考案され、試用されてきた。

これら、従来のスラストメータの各検出方式について調査した結果についてその概略を以下に述べる。

(1) ロードセル方式

原理は、推力軸受の受圧側にロードセル(ひずみ計を内蔵した荷重器)を埋め込み、ロードセルの受ける圧力の変化量を電氣的に変換、増幅し推力を計測するものである。

個々のロードセルは、実荷重による較正が可能なので、適切な容量のものを選定すれば、かなりの精度が期待できる。

しかし、自動調心を行わないミツチエル型の推力軸受に取付ける場合は、次の検討が必要である。

- i) 各パッドの受持ち荷重にバラツキが多いため、1個のロードセルに過負荷のかかる危険性がある。
- ii) 線接触支持を、ロードセル取付のために点接触支持へ変更されるが、その支持位置をどこにするか。

また、この方式を採用する場合は船の設計段階から計画する必要があり、装置は船固有のものとなる。実船装備例として、練習船「青雲丸」の場合をFig. 3.3.1およびFig. 3.3.2に示す。

(2) ミツチエル型スラストメータ

Fig. 3.3.3に原理が示されているように推力受けのパッドに加わる力を油圧シリンダで支える方法で、この時の圧力よりスラストが求められるわけである。この方式では東京商船大学の練習船「やよい丸」での計測例が知られている。本方式は非測定時には、なんら特別の保守を必要としない点では安全であるが、取付には設計段階からの計画が必要である。

(3) ストレインゲージ法

Fig. 3.3.4に示されるように、推進軸に直接ストレインゲージを貼付し、圧縮歪を検出するもので従来数多く行われてきた方式である。出力の伝送方式としてスリップリングを用いるのが一般的であるが、近年はFMテレメータを使用するなど改良が行われている。

しかしゲージの中心線とシャフトの中心線との平行を出すことが難かしくまた僅かの平行度の狂いがあつても軸トルクの影響を非常に受けやすい欠点がある。一般的に、スラストによる圧縮歪は、トル

クによる剪断歪の $\frac{1}{10}$ 程度であるので、心出しの精度は $\frac{1}{1000}$ ラジアン程度の精度が必要であり、ゲージ長さが短い時には実用上不可能となる。さらに温度の影響はブリッジを組むことにより補償されているが、圧縮歪の絶対量自身が約 $30 \mu\text{ストレーン}$ と小さいため、計測系全体の雑音、零点ドリフトなどが無視できなく、したがって計測や取付けの手軽さから、かなり計測が行なわれているが、精度的に十分なものは得られていないのが実情である。

(4) 特別の中間軸をそう入する方式

前述のように推進軸にストレンゲージを直接貼って圧縮歪を検出する方式では、計測を安定に精度よく行なうことが、非常に困難である。この問題を解決するため、推進軸の一部にトルクならびに曲げに対する剛性および強度が、他の一般の中間軸のそれらと同等以上であり、しかも推力に対しては十分精度のよい測定ができる程度の大きさのひずみを生ずるような特別の中間軸を設けたのが、本スラストメータの特長である。この特別の中間軸の推力測定部の構造は Fig. 3.3.5 および Fig. 3.3.6 に示されているように①弾性軸(推力検出部) ②推力トルク伝達板 ③トルク伝達環 ④付属中間軸から成立っている。弾性軸を経て伝達される推力は約 80% 、推力トルク伝達板を経て伝達される推力は約 20% である。推力測定部の構造が大きくなる欠点があると共に、装置は船固有のものとならざるを得ない。

(5) 歪拡大方式

この方式の原理は Fig. 3.3.7 に示されているように、一定距離 $A \cdot B$ 間の圧縮、縮みをロッドにより B' / B の相対変位に変え、 B 端の検出パネの歪として取り出す方式である。

このため軸の歪が微少であつても $A \cdot B$ 間の距離が大きいので検出パネの歪は軸の歪に比して拡大された形となり検出しやすい量となつている。この方式の欠点はロッドと軸の温度差や熱膨張係数の差による伸びの差が誤差として混入することである。

またナイフエッジの固定が難かしいが、ゲージ長さが十分取れるため計器と軸の心合せは容易であり、トルクによる誤差が入りにくくなる。さらに検出パネに軸のねじれによる不要なモーメントのかかることをさけるためロッドの両端は細くする必要がある。

一例として大阪大学工学部造船学教室において現在までに行なわれた改良点および最近の実測例を次に述べる。

当初ナイフエッジとしては円錐形の足を用い、軸に食い込ませていたが、軸の振動により動くことが判明し、また、トルク計測等に用いられているリング等も検討されたが、同様な理由のため不適當であつた。

現在は幅 15mm 、厚さ 0.5mm の鋼板をしめつけ、接着剤で固定する方法により固定点の移動は、ほとんど無くすることができた反面、ゲージ長さの不確定さは避けることができていない。

次に温度影響については軸に急激な温度変化が生じると、軸とロッド間にかんりの温度差が生じ誤差となる。しかし熱容量を小さくするためにロッドを軽くし、熱伝達を良くするために軸に極力近づけ、さらに全体を断熱材でつつんだ結果、温度差は $0.2 \sim 0.3^\circ\text{C}$ の範囲におさまつた。しかし、温度差 1°C では全量の 30% に近いスラストに換算されるため温度計測はかなりの精度を要求される。現在温度計

としてはサーミスタを使用し軸に4個、ロッドに4個取付け、各平均値を測定している。

また軸とロッドの熱膨張係数の差については計測前後のターニング時の零点差より補正する。最近の実測例が Fig. 3.3.8 に示されているが、零点移動も少なくかなり良い結果を示しているものと考えられる。

なお本計器は中間軸に装着後、微小変位計により検定可能である。

3.3.2 スラストメータの検討

前項において述べた調査結果を一覧表の形にとりまとめたものが Table 3.3.1 である。

本研究部会のスラストメータは、通常の新造船の海上試運転時にのみ使用され、試運転終了後は簡単に取りはずしできて、他船に再使用できる方式のものが最も望ましく、また、どうしても取りはずし困難の場合には、その船の就航後に全く影響を及ぼさない方式のものであることが必須条件と考えられる。これらの条件を加味し、一般的な計測性能を比較検討すると、次のとおりになる。

1) ロードセル方式、2) ミツチエル型スラストメータは設計・計画が適切であれば精度も比較的良く、また較正も容易であるなど利点も多いが、スラスト軸受を改造して取付ける必要があり、本船固有のものとなるため本研究部会の場合には不適當である。

3) ストレインゲージ方式は手軽であり、汎用性に富む点は非常に良いが、計測の対象である圧縮歪が小さいため、トルク、零点ドリフト、雑音などによる誤差が入りやすい欠点のため適當とは言い難い。

4) 特別の中間軸をそう入する方式も取付け、取りはずしに相当の工事を必要とし、軸径の点も考えると、本船固有のものとなり、採用はむづかしい。

したがって、残る方式は温度補正に多少の難点はあるが、5) 歪拡大方式となる。歪拡大方式については、最近大阪大学工学部造船学教室において研究されており、現在までの実績を評価すると、本研究部会のスラストメータとしては最適のものと判断される。

以上の検討は、従来既に実在するスラストメータに対するものであるが、この他に近年の計測技術の進展を考慮し、また新計器開発の意味を含めて、広く計測器製作の専門メーカーの協力をうるためにアイデアを募ることとした。

そのために、Table 3.3.2 に示されているようなスラストメータの概略仕様を準備し、日本造船研究協会に加入している計測器メーカーを主に約10社に開発の主旨を詳細に説明の上、検討を依頼した。

その結果、4社から回答をうることができた。

この4社の提示の内容を検討したところ、1社のみがストレインゲージを軸に直接貼付する方式であり、他の3社は歪拡大方式またはそれに類似の方式であった。小委員会で討論、検討された結果、後者の方式の3社に、さらに詳細な説明を求めることになった。すなわち、歪拡大検出方式の詳細、トルク逃げに対する配慮、温度補償方法の要点などが特に明確になるような説明と図面の提示を依頼することにした。

その結果、3社のうち1社は検討時間が不足を理由に辞退されたが、他の2社からは回答をうることができた。

この内容が再度詳細に検討され、予算さえ許せばこの2社に試作させることが必要と思われたが、調

査小委員会としては前述の大阪大学工学部造船学教室による歪拡大方式をぜひ推薦する意向を持つていたので、やむをえず1社に絞ることにして、比較的具体性に富む新興通信(株)の提示されたスラストメータを推薦することになった。

したがって、結論としては阪大方式のスラストメータと新興通信(株)提示のスラストメータとの計2種類を次年度の実船実験用として推薦することになった。

参 考 文 献

- 1) 伊 丹 深 換り動力計 商船大研報 No 3 A (昭和27~28)
- 2) 研 野 作 一 研野式換計 日本造船協会会報
第54号 (昭和9年)
- 3) 山 口 富 夫外 無接触方式による船用馬力計
三菱重工技報 Vol. 3, No 2
- 4) M. W. Wilson Telemetering Torque and Horsepower meter
for USS Enterprise. DTMB Report 1542

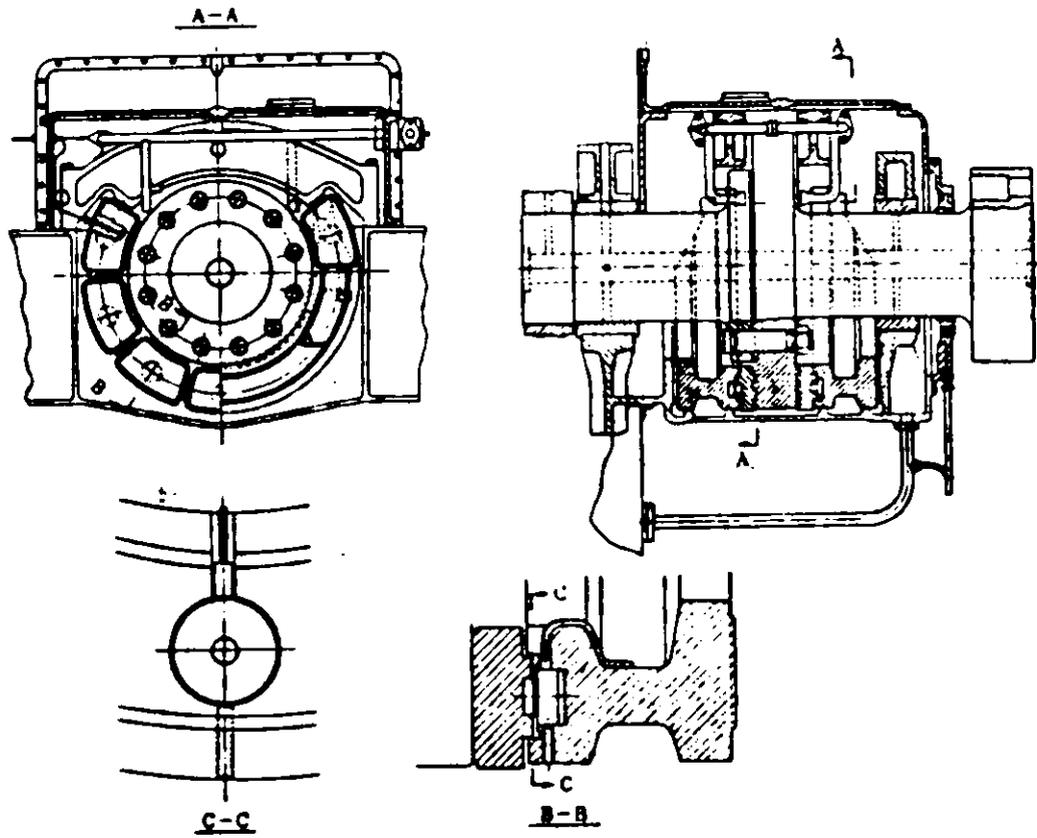


Fig. 3.3.1 ロードセル取付状態

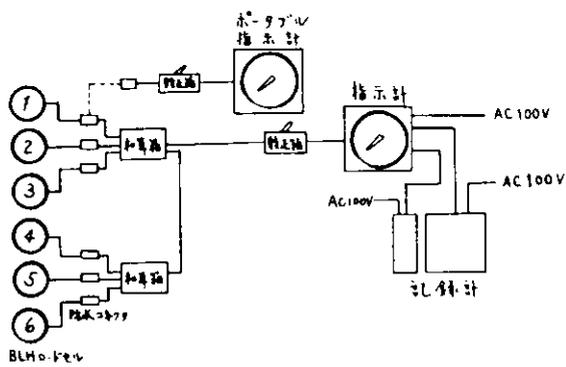


Fig. 3.3.2 推力軸受推力測定装置系統図

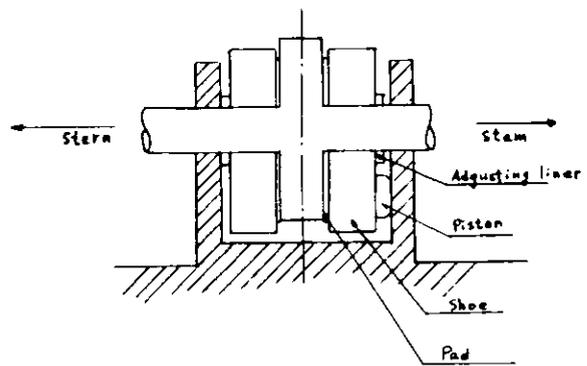


Fig. 3.3.3 ミッチェル型スラストメータ

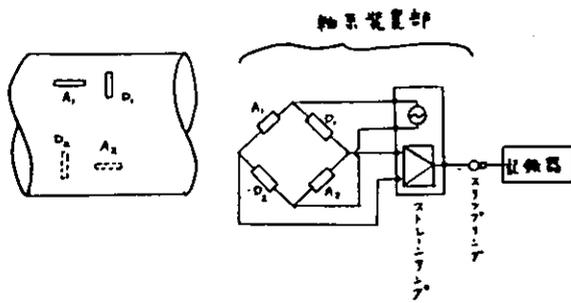


Fig. 3.3.4 ストレインゲージ法によるスラスト計測法

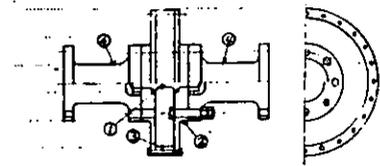


Fig. 3.3.5

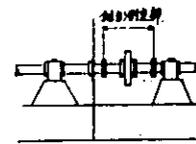


Fig. 3.3.6

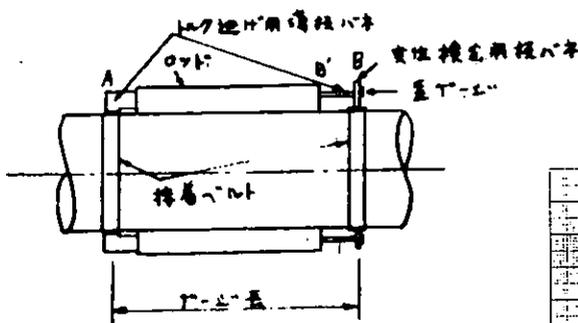


Fig. 3.3.7 歪拡大方式

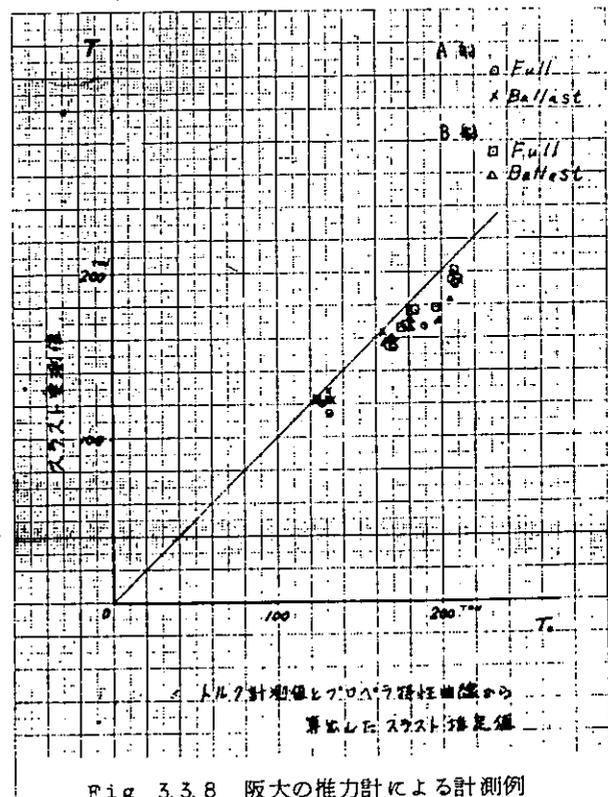


Fig. 3.3.8 版大の推力計による計測例

Table. 3.3.1 性能比較表

形式又は方式名	ロードセル方式	ミツチエル型 スラストメータ	国鉄型 船舶推力計	ストレインゲージ法	歪拡大方式
検出量又は 検出方式	ロードセル	油 圧	圧 縮 歪	圧 縮	縮み変位
取 付 部	スラストパッド	スラストパッド	特別の中間軸	中 間 軸	中 間 軸
トルクの影響	な し	な し	補 償 可	入りやすい	入りにくい
温度の影響	多少有り	な し	〃	入りにくい	入りやすい
取 付 け	少	少	少	多	中
コ ス ト	高	高	高	低	低
そ の 他	—	—	故障時長期停船 の必要性有り 公称精度 ±1%	—	—

Table. 3.3.2 スラストメータの仕様概略

1.概 要	試運転中の船舶のプロペラ軸に加わる推力を検出、増幅、記録する。
2.容 量	100～200トン
3.精 度	±1%フルスケールを目標とする。
4.検出方式	プロペラ軸の圧縮歪(約27マイクロ)、スラスト受けに加わる力または歪を検出する。 検出器は問わない。
5.記 録	アナログ、デジタルどちらでもよい。
6.校 正	随時できることが望ましい。
7.寸 法	特に規定しない。できるだけコンパクト、軽量であることが望ましい。
8.装 着	船舶が入渠中に他の作業を妨げないで装着ができること

§ 4 供試実船およびスラストメータの設計

4.1 ま え が き

昭和48年度に高速コンテナ船の実船試験を行ない、実船のスラスト等を計測する予定になつているので、供試実船として適当な船の選定と、スラストメータとして必要な仕様の決定を行なつた。なお、実船試験としてはなるべく模型試験と同等の試験を行なうことが望まれたので、大手造船所に対して、標準試運転、対水速度計測、伴流分布計測、自由波形の計測等についての実施可能な項目を、高速コンテナ船の建造予定とともに調査するアンケートを出したが、その回答結果は必ずしも満足できるものではなく、本研究の実施についてかなり悲観的な要素がでてきた。すなわち、高速コンテナ船の建造予定は昭和48年度には少ないこと、実施可能な試験は標準試運転のみであること、模型船を作るための線図は提出できないことなどの事情が明らかとなつた。したがつて、実船試験と模型試験は別の船型で行なうこととし、実船の成績と模型試験の成績は間接的に比較検討することにした。

以下に、供試実船の概略と実船試験に使用するスラスト・メータを製作するための仕様について述べる。

4.2 供 試 船

昭和48年度に建造される予定の高速コンテナ船は、三菱重工業(株)神戸造船所、川崎重工業(株)神戸造船所、石川島播磨重工業(株)相生工場に各1隻あるが、川重の船は3基1軸船のうえ、可変ピッチプロペラを装備しており、一般性にかける面と、計測が困難な面があるので、供試船としては三菱および石川島播磨の船をとりあげた。

両船の主要目その他は下記のとおりである。

	三菱供試船	石播供試船
L (m)	195	204
B (m)	30	31.2
D (m)	16.7	18.9
d (m)	10.5	10.2
C_B	0.57	0.56
L/B	6.5	6.55
B/d	2.86	3.05
主機馬力 (PS)	36,000	36,000
回転数 (rpm)	108	108
中間軸径 (mm)	608	635
建造所	神戸	相生
竣工時期	48.6	49.3

4.3 スラストメータの製作仕様

4.3.1 概要

本装置は主軸に取付けて検出器を支える固定部、検出部、較正装置、テレメータまたはスリップリングの各部から構成されている。

4.3.2 方式

ひずみ拡大方式、主軸の圧縮ひずみを拡大して検出増巾する。

4.3.3 各部仕様

1) 固定部

形状	二つ割り、ボルト締め、軟鋼製、1対
内径	605 mm ϕ および635 mm ϕ (ただし、635 mm ϕ については追加加工により製作する)
ゲージ長	200 mmまたは900 mm

2) 検出器

形式	板バネにストレインゲージ貼附
出力	約300マイクロ(ストレイン)
容量	150 t

3) 較正装置

方式	検出器に変位を与えて出力を計測する。変位は微小変位計で正確に測定する。
変位計	最小目盛1ミクロン

4) テレメータ

歪計部 送信部 受信部からなる。

変調方式	FM
キャリア	40.68 MHz ~ 47.27 MHz
サブキャリア	入力零で4 KHz
送信出力	100 mの距離において15 μ V/m
受信部出力	± 30 mA (30 Ω) ± 1 V (1 K Ω)
応答周波数	DC ~ 200 Hz

5) スリップリング

形状	二つ割り、ボルト締め、軟鋼製
チャンネル	8チャンネル、銀テープ
ブラシ	銀カーボン

4.3.4 仕様の範囲

資材、設計、製作、調整、輸送、組立、取付工事、計測まで行なり。

記録器は本仕様に含まない。

§ 5 抵抗成分分離に関する研究

5.1 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) 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り、この問題については古くから多くの研究が行なわれている。

また、最近、抵抗成分の分離計測に関し、後続自由波形の計測による造波抵抗の実測、後流計測による粘性抵抗成分の実測、wave breaking resistanceの研究、船尾渦による抵抗成分に関する研究などが進められているが、これらの研究の成果も、模型船の船体抵抗ならびに船体まわりの流場の性質を明らかにし、これらの尺度影響を解明する上に有力な手がかりを与えるものである。

模型実船間の相関の基礎となる、船体抵抗その他の性能の尺度影響については、古くから、大きさの異なる相似模型船による水槽試験が有力な手段として採用され、多くの成果が発表されているが、前に記した最近の抵抗成分分離に関する研究の成果をとり入れ、相似模型船の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は、尺度影響の正しい把握にきわめて有益であると期待される。

さきに、日本造船研究協会第107研究部会においては、このような観点から、新しい船型であり、かつ尺度影響の点で新しい問題が多い肥大船型を対象とし、相似模型船による抵抗成分分離計測の試験を行なつたが、本部会においては、同じく新しい船型であり、かつ、肥大船と異なり造波抵抗成分が抵抗の重要な部分を占める高速コンテナ船型を対象として、相似模型船による各種の水槽試験が計画された。

5.2 水槽試験実施計画

計画された水槽試験の種類、模型船の長さ等下表のとおりであり、このうち本年度(昭和47年度)に実施されたのは、4 mおよび7 m模型船に対する諸試験である。

相似模型船による水槽試験計画

試験種類	模 型 船 長 さ			
	2 m	4 m	7 m	10 m
抵抗試験	○	○	○	○
自航試験	—	○	○	○
プロペラ単独試験	—	○	○	○
後流計測	○	○	○	○
プロペラ位置伴流計測	○	○	○	○
自由波形計測	○	○	○	○
流線観測	○	○	—	—
実施年度	昭48	昭47	昭47	昭48
試験実施予定場所	横浜大学	大阪大学	三菱長崎研究所	船舶技術研究所

5.3 供 試 船 型

今後の高速コンテナ船には、2～3軸の多軸船が採用されることも少なくはないと考えられるが、尺度影響の調査としては、まず、副部の抵抗等複雑な問題を含まない1軸船型につき、その本質を明らかにすることが重要と考え、対象を1軸コンテナ船とした。

船型としては、高速コンテナ船として平均的な船型であることが望ましく、また可能であれば、対応実船においても船尾伴流の計測等を行ない、実船との比較も行なうことが望ましいが、高速船においては試運転時に実船における船尾伴流の計測を行なうことはきわめて困難であり、また、供試船型として実船線図の提供を受けることも困難な事情にあつたので、本研究においては下記により供試船型の計画を行なった。

まず、供試船型主要目としては、最近の1,000個積み程度の1軸コンテナ船の平均的要目として下記の要目を選定した。

$$\begin{aligned} L_{PP} &= 195.0 \text{ m} & B &= 30 \text{ m} \\ d &= 10.50 \text{ m} \\ L/B &= 6.50 & B/d &= 2.86 \\ C_b &\doteq 0.57 & C_m &\doteq 0.97 & C_p &\doteq 0.59 \\ C_w &\doteq 0.72 \end{aligned}$$

浮力中心 船体中央より 1.4% L_{PP} 後方

つぎに、船体形状については、さきに、日本造船研究協会第108研究部会において、平均的な1軸コンテナ船型として計画された船型をもとにし、船尾まわりの形状については、最近の1軸コンテナ船の一般的傾向を入れて変形した。

上記により計画された供試模型船の船体線図・船尾形状図および横断面積曲線図を、Fig. 5.3.1、Fig. 5.3.2およびFig. 5.3.3にまた船体要目表をTable 5.3.1に示す。

自航試験に使用する模型プロペラの形状は、5翼MAU翼型とし、プロペラ直径その他の諸要目は、前記の船体要目ならびに想定した実船主機要目(diesel MCR 36,000 PS×108 rpm)を考慮して計画した。7 m模型船用の模型プロペラ要目および形状図をFig. 5.3.4に示す。

5.4 水槽試験要領

5.4.1 模型船関係

- 各模型船は木製、ウレタン塗装とする。
- SS 9 $\frac{1}{2}$ に乱流ピンを植える。ただし、ピンの形状、ピッチ等は各模型船の大きさに適した各試験担当水槽の方式による。

5.4.2 抵抗試験

- 試験状態は、満載状態および試運転状態の2状態とする。
- 試運転状態においては、その排水量は満載状態の60%とし、トリムは1% L_{PP} 船尾トリムとす

る。

- 各模型船各状態の排水量、没水面積等は、7 m 模型船に対する計算値を寸法比により換算したものを採用する。
- 計測項目は、速度、抵抗、船首尾浮沈量とする。速度は対水速度をとるが、カレントメータが使用できない場合は対地速度をとる。
- 計測速度範囲は実船対応で

満載状態 7 Kn ~ 27 Kn 約 20 点

試運転状態 7 Kn ~ 29 Kn 約 20 点

とする。ただし、Table 5.4.1 に示す 5 速度については、極力この速度に正確に合わせて航走すること。

5.4.3 自航試験

- 試験状態は抵抗試験と同一とする。
- 計測項目は推力 (T)、トルク (Q)、プロペラ回転数 (n)、模型船速度 (V_m) とし、 V_m の計測は抵抗試験と同じ方法による。
- 試験速度の範囲は、満載状態 15 Kn ~ 27 Kn、試運転状態 15 Kn ~ 29 Kn とし、自航要素の平均線がひける程度の点数をとる。
- 自航試験時の摩擦抵抗修正 (SFC) の値としては、実船の $\Delta C_f = 0.2 \times 10^{-3}$ として ITTC - 1957 line により算出した値を採用する。

5.4.4 プロペラ単独試験

- 自航試験結果解析用としては、実船の定格主機回転数 (108 rpm) に対応する模型自航試験回転数における単独試験結果を採用する。
- 7 m、および 10 m 模型船用プロペラに対しては、前記回転数のほか、試験担当水槽の慣例による標準レイノルズ数における試験をも実施する。
- 単独試験における T・Q の値としては、ボスのみをつけて所定回転数で各速度で前進させた時の T・Q をアイドルとして控除した値をとる。

5.4.5 プロペラ位置伴流計測

- 試験状態は抵抗試験と同じ。ただし舵をはずした状態とする。
- 伴流計測面の前後位置はほぼプロペラ中心 (7 m 模型船で AP より前方 136.9 mm) とし、船体中心線に垂直な平面内で計測する。
- 計測点の位置は、各試験実施場所の慣例によることとし、プロペラディスク内の伴流分布が奪けるように選定する。ただし 2 m 模型船においては、プロペラ軸中心を通る鉛直および水平線上の伴流分布を計測する。
- 試験速度は Table 5.4.1 に示す。
- 計測には 5 孔ピトー管を用い、流速および流れ方向を求めらる。

5.4.6 後流計測

- 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 $0.5 L_{PP}$ 後方の横断面内とする。
- 計測範囲は、横方向は、船体中心線より片巾 $1.5B$ (B は船巾) 以上とし、深さ方向には、なるべく水面に近い所より船底の wake を十分に含む所までとする。計測深度のピッチは水面より模型船長の $1/200$ (7 m 模型船で 35 mm) のピッチとし、水面付近は適宜加減する。
- 試験速度は Table 5.4.1 に示す。
- 計測装置としては、総圧および静圧が計測できるピトー管を使用する。
- 水面高さの変化の計測は、水面変位の曲線が求められ、積分領域が決定できる程度の細かさで計測する。
- 圧力の基準となる標準ピトー管は、FP より約 $1/2 L$ 以上前方で水槽中心線と水槽壁との中間付近に設置する。

5.4.7 波形計測

- 試験状態は後流計測と同じ。
- 後続自由波形計測の波高計の位置は、模型船中心線より $0.35 L_{PP}$ 離れた所とする。
- 後続自由波形は、曳航状態および自航状態の両状態で計測する。
- 試験速度は Table 5.4.1 に示す。
- Table 5.4.1 に示す 5 速度で抵抗試験時の船側波形写真をとる。

5.5 試験結果解析方法

5.5.1 模型船関係

- 船体諸係数の基準となる模型船長さには L_{PP} を用いる。

5.5.2 抵抗試験結果

- 抵抗試験の結果は ITTC-1957 line を用いた剰余抵抗係数 C_r (ITTC) および Hughes の basic line を用い Hughes の方法による form factor K を用いた造波抵抗係数 C_w の両方で表現する。
- 抵抗の無次元表示には $C = R / \frac{1}{2} \rho v^2 S$ 、フルード数は $v / \sqrt{g L_{DWL}}$ を用いる。ここに、 L_{DWL} は満載状態における水線長である。

5.5.3 自航試験結果

- 無次元表示は下記による。

$$k_t = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho v^2 \nabla^{2/3}} \quad k_p = \frac{2\pi n Q}{\frac{1}{2} \rho v^3 \nabla^{2/3}} \quad k_n = \frac{n \nabla^{1/3}}{v}$$

- 自航要素算出には、自航試験時にかけた SFC の値を用い、推力一致法により t 、 W_m 、 η_R を求める。
- W_m 、 η_R の解析には、自航試験回転数に近い回転数でのプロペラ単独試験結果を使用する。

5.5.4 プロベラ単独試験結果

- 試験結果は、Jベースに $K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4}$ 、 $K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5}$ 、 η_0 をプロットする。

5.5.5 プロベラ位置wake計測結果

- プロベラ位置wake計測結果は、船体中心線方向のwake contour curveと、各計測点における流速ベクトルをYZ平面に投影した矢印で示す。図示は4m模型船の実寸法で行なう。
- 平均wakeの計算は、プロベラ・ディスク内の単純volume meanとする。

5.5.6 後流計測結果

- 解析方法は、head lossを積分する方法を用いる。

5.5.7 波形計測

各模型船に対する後続自由波形計測結果は、計測された波形を図示するとともに、共通の方法で振巾関数および造波抵抗の値を求める。

Table 5.3.1 principal particulars

	10 ^m model		7 ^m model		4 ^m model		2 ^m model	
	full	trial	Full	trial	full	trial	full	trial
L _{PP} (m)	10.000		7.000		4.000		2.000	
L _{DWL} (m)	10.200		7.140		4.080		2.040	
B (m)	1.53846		1.07692		0.61538		0.30769	
d _M (m)	0.53846	0.35256	0.37692	0.24679	0.21538	0.14103	0.10769	0.07051
trim (%)	0	1.0A	0	1.0A	0	1.0A	0	1.0A
Δa (kg)	4,738.7	2,843.2	1,625.4	975.22	303.27	181.96	37.909	22.746
S _a (m ²)	18.564	14.275	9.096	6.995	2.9703	2.2840	0.7426	0.5710
C _{bpp}	0.5716	0.5235	0.5716	0.5235	0.5716	0.5235	0.5716	0.5235
C _{p PP}	0.5892	0.5486	0.5892	0.5486	0.5892	0.5486	0.5892	0.5486
C _m	0.9701	0.9543	0.9701	0.9543	0.9701	0.9543	0.9701	0.9543
L _{cb} (%)	1.411	0.484(E,K)	1.411	0.484(E,K)	1.411	0.484(E,K)	1.411	0.484(E,K)

Table S.4.1 各種試験の試験速度

試験状態	試験速度		試験種類				
	$K \circ L$	v/\sqrt{gL}	抵抗状態 後続自由波形計測	自航状態 後続自由波形計測	抵抗状態 側面波形写真	後流計測	プロペラ位置 伴流計測
満載状態	18	0.236	○		○		
	16	0.250	○	△	○	△	
	14	0.267	○	○	○	○	○
	12	0.289	○	△	○	△	
	10	0.316	○		○		
試運転状態	15	0.258	○		○		
	13	0.277	○	△	○	△	
	11	0.302	○	○	○	○	○
	10	0.316	○	△	○	△	
	9	0.333	○		○		

1. L は L_{DWL} 満載状態WL長さとする。
2. ○……試験実施速度
3. △……時間的、予算的に実施可能であればなるべく実施のこと。
4. 抵抗試験は、満載状態7 Kn ~ 27 Kn、試運転状態7 Kn ~ 29 Knの間で約20点の計測を行なうが、なるべく上表の5速度に合った点を含むこと。
5. 自航試験の速度範囲は満載状態15 Kn ~ 27 Kn、試運転状態15 Kn ~ 29 Knとする。
(Knは対応実船に対する速度(ノット))

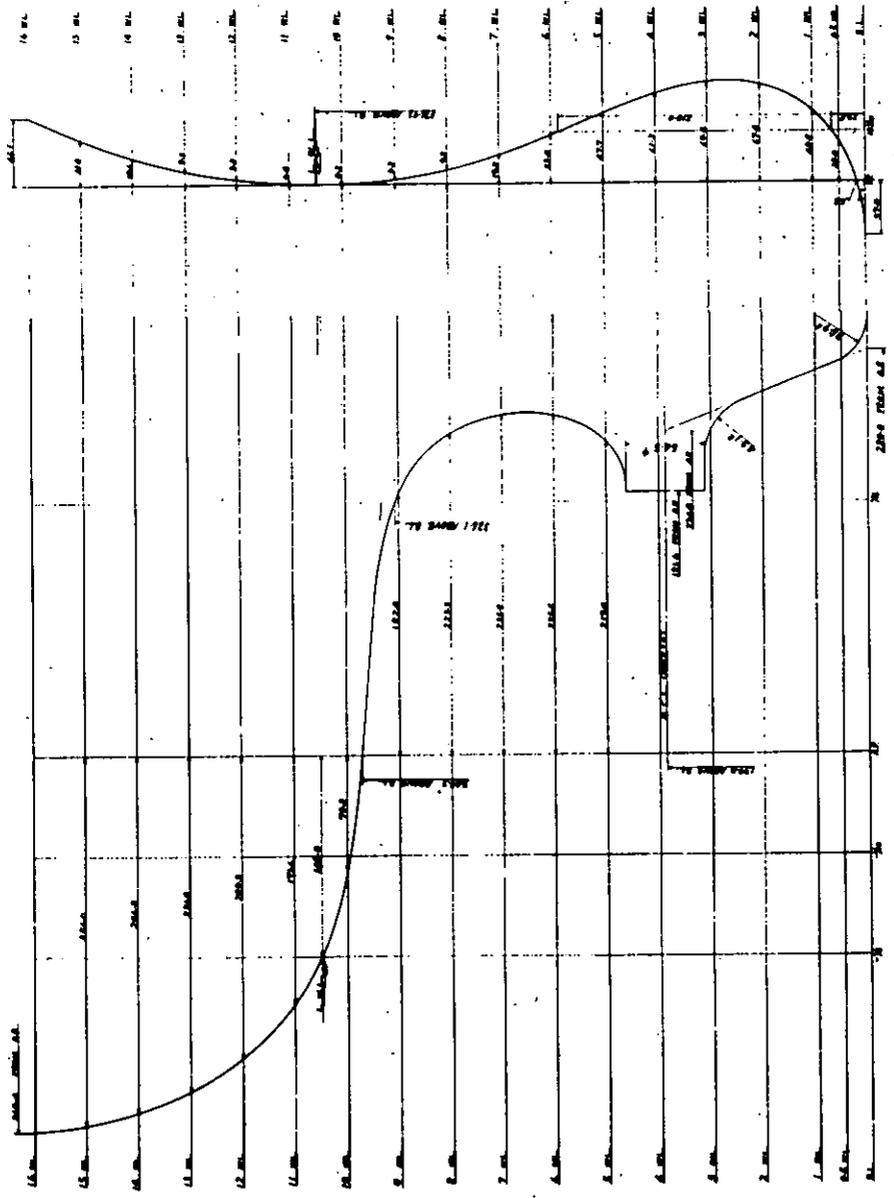


Fig. 5.3.1(a)

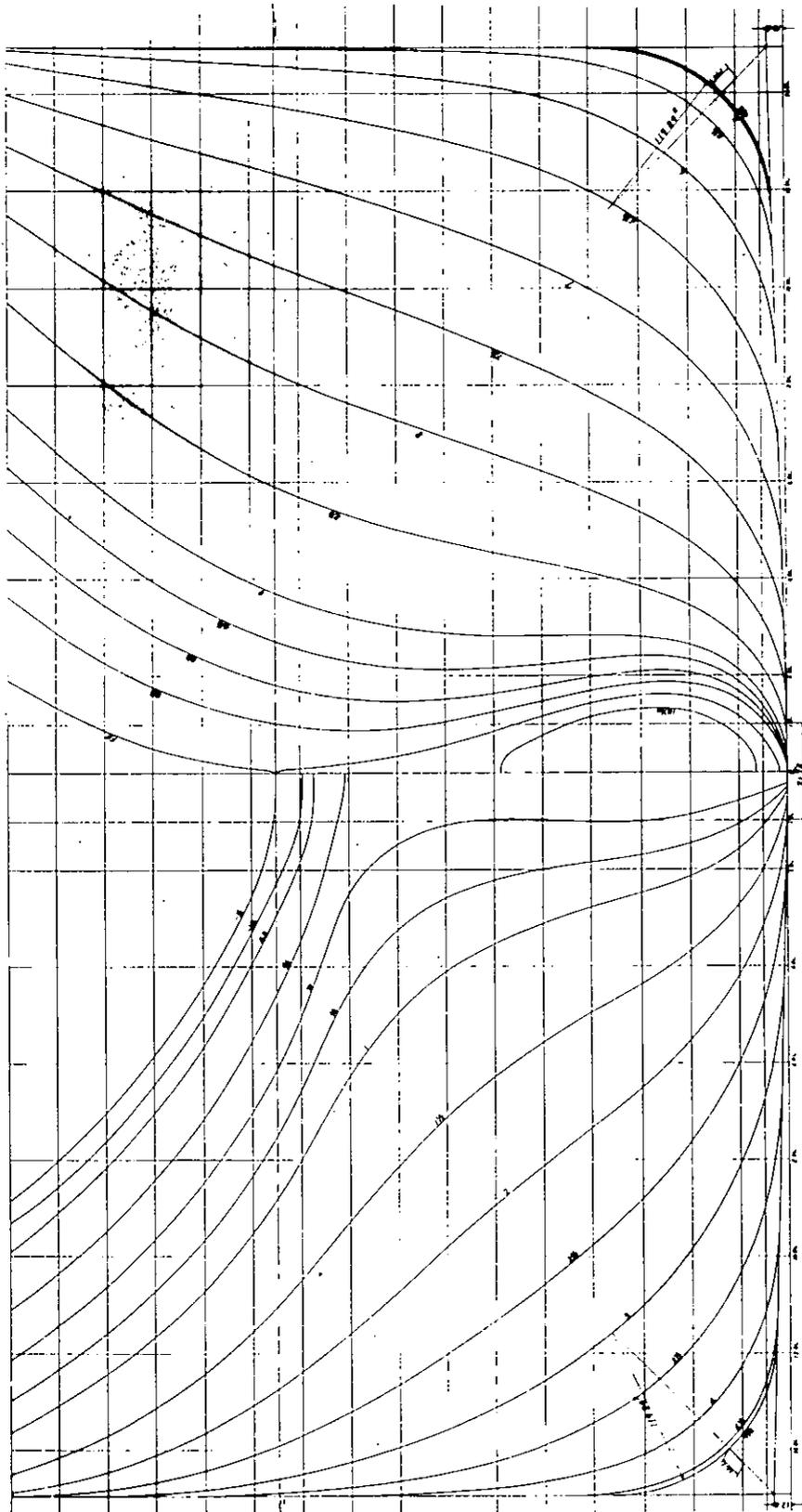


FIG. 5.3.1(b)

5.6 4 m 模型試験結果

5.6.1 抵抗試験

4 m 模型の抵抗試験は別項の実施要領に従って行なった。乱流ピンは $SS9\frac{1}{2}$ に台形断面のものを高さ 2 mm、ピッチ 10 mm で植えてある。

抵抗試験結果より ITTC (1957) 相関線を用いて求めた剰余抵抗係数 $C_r = \frac{R_r}{\frac{1}{2} \rho v^2 S}$ を

Fig. 5.6.1 に、また低速の値を使つて Hughes の式に基づき求めた造波抵抗係数 $C_w = \frac{R_w}{\frac{1}{2} \rho v^2 S}$

を Fig. 5.6.2 に示す。ただし、trial 状態は $F_n = 0.08$ 附所でも造波抵抗が存在するようすを示し、Hughes の方法による K の値は求め得なかつた。ここでは K の値として最低速における値を用いた。

また dipping のカーブを Fig. 5.6.3 に示す。

5.6.2 自航試験

自航試験における SFC は ITTC (1957) を用いて計算し、 $\Delta C_F = 0.0002$ とした。

試験の結果得られた $k_t = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho v^2 \nabla^{2/3}}$ 、 $k_p = \frac{2\pi n Q}{\frac{1}{2} \rho v^3 \nabla^{2/3}}$ 、 $k_n = \frac{n \nabla^{1/3}}{v}$ を Fig.

5.6.4 に示す。推力一致法で求めた自航要素の値は多少不合理な点が認められるので再検討の必要がある。

5.6.3 プロペラ単独試験

実船定格 108 rpm に対応する回転数 1257 rps で行なった。その結果を J ベースに $K_T =$

$\frac{T}{\rho N^2 D^5}$ 、 $K_Q = \frac{Q}{\rho N^2 D^5}$ 、 η で表わしたものが Fig. 5.6.5 である。

5.6.4 プロペラ位置伴流計測

伴流計測は改良 NPL 型 5 孔管 (外径 4.5 mm) を用い船体を抵抗時と同一トリム沈下量に固定して行なった。

船長方向の速度成分の分布を $W_x = 1 - \frac{V_x}{V}$ の形で Fig. 5.6.6 に、それに垂直な断面内速度成分のベクトル表示を Fig. 5.6.7 に示す。プロペラ円内の平均伴流値は 0.310 である。

5.6.5 後流計測

後流は JIS 型ピトー管 (たて 6 本くし型) を上下、左右に移動して計測した。船体は抵抗時と同一姿勢に固定し、計測断面は AP より 0.5 L_{PP} 後方、計測速度は標準値 1 点である。

5.6.6 波形計測

抵抗および自航状態において 0.35 L_{PP} だけ模型中心線よりはなれた位置に固定した容量型波高計を用いて計測した後続自由波形を Fig. 5.6.8 に示す。

また船側波形写真の一例を Fig. 5.6.9 に示す。速度は標準値である。船尾はカメラ位置の関係でうまく撮影されていない。

Residual Resistance Coefficient Curves.
(4^M Model)

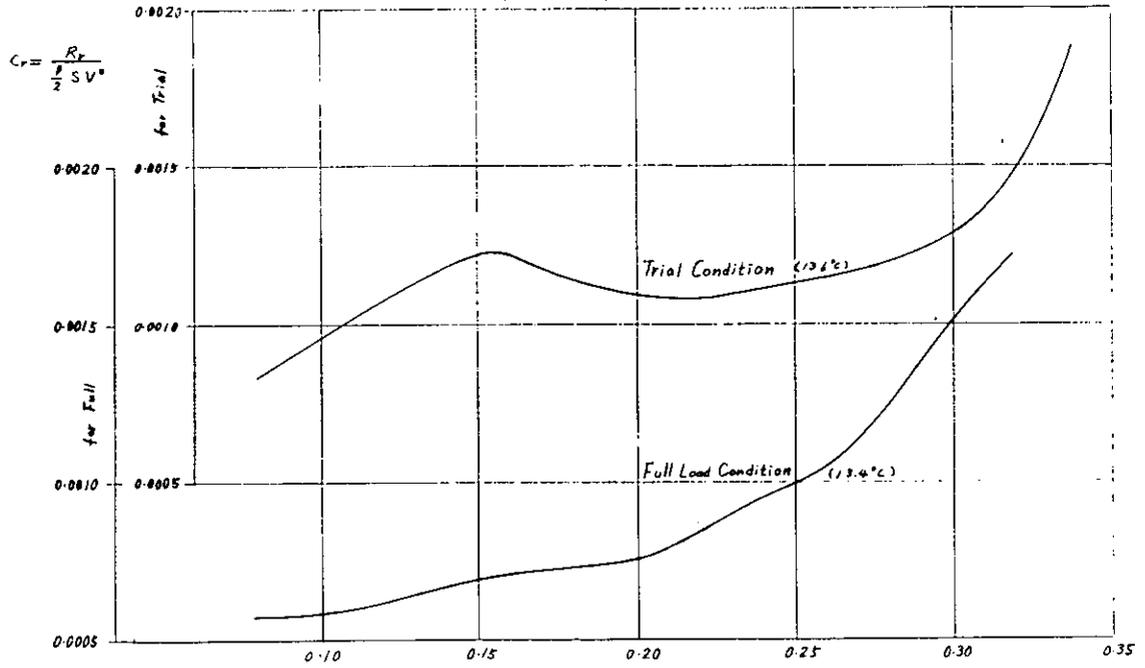


Fig. 5.6.1

$$F_N = \frac{V}{\sqrt{L_{WL} \cdot g}}$$

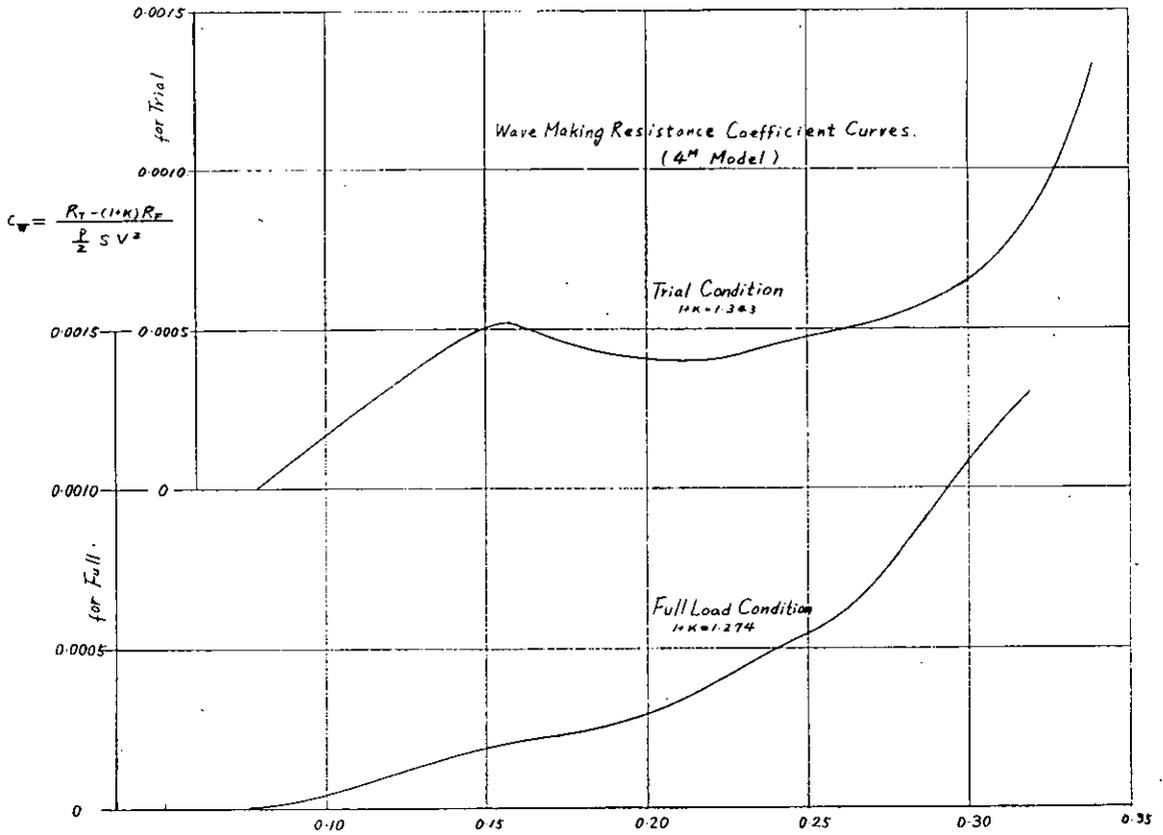


Fig. 5.6.2

$$F_N = \frac{V}{\sqrt{L_{WL} \cdot g}}$$

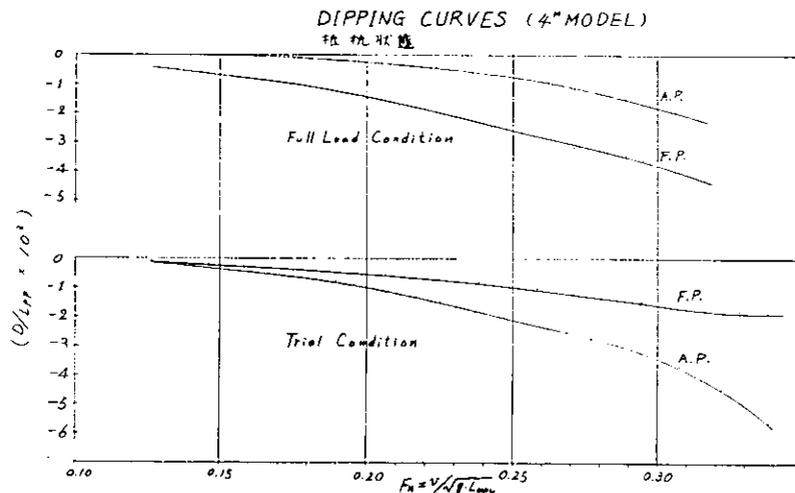


Fig. 5.6.3

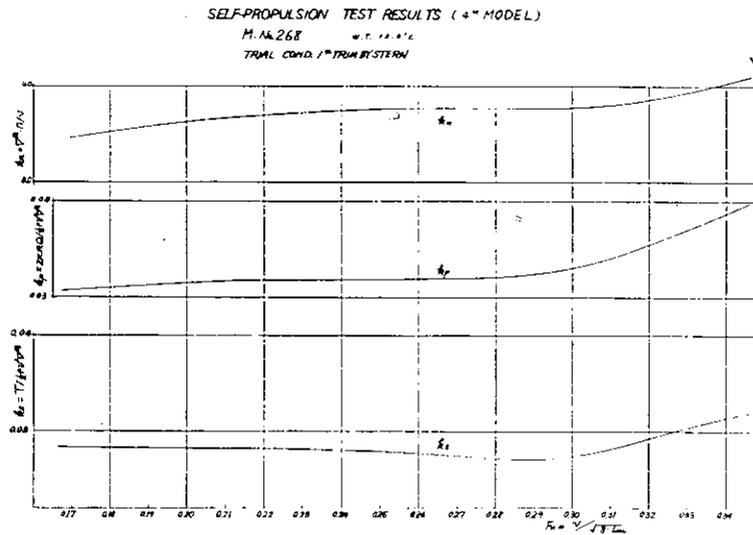


Fig. 5.6.4 - a

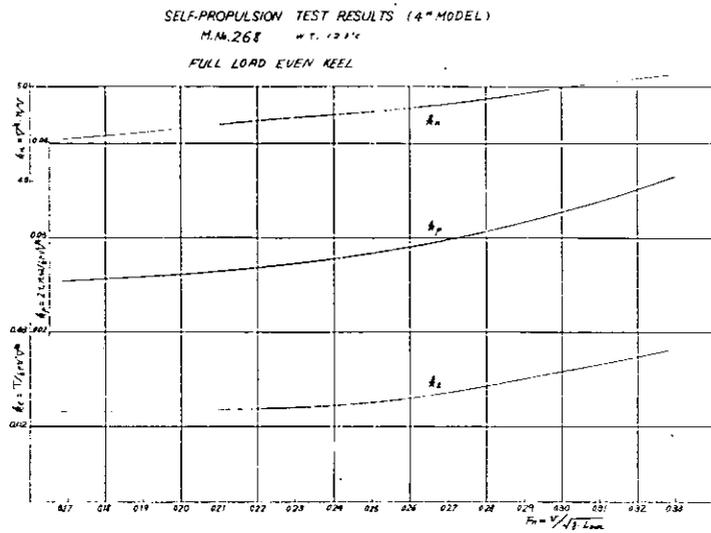


Fig. 5.6.4 - b

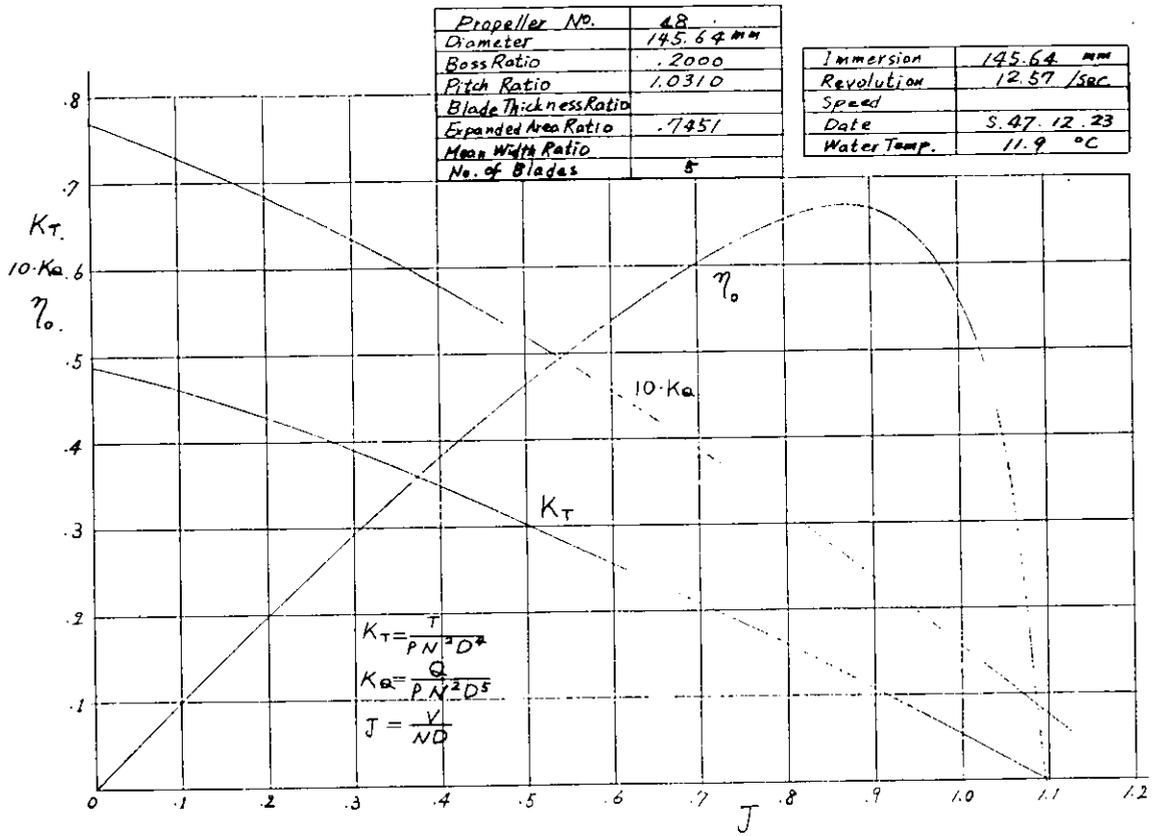
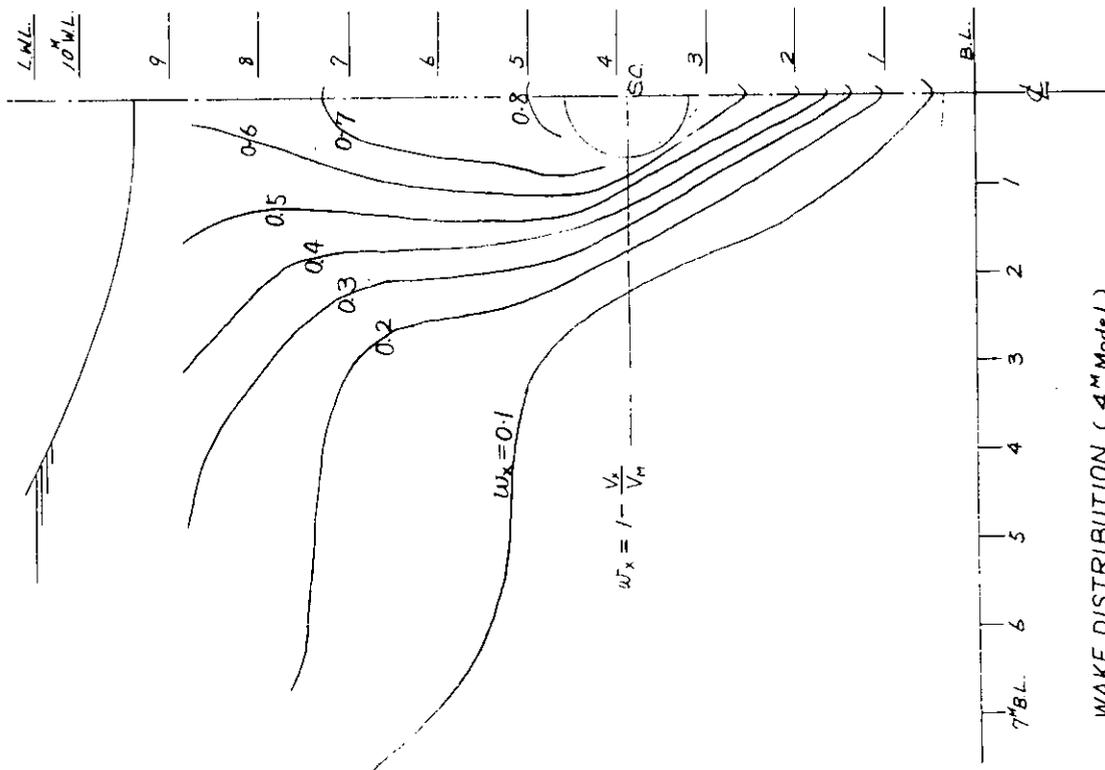


Fig. 5.6.5



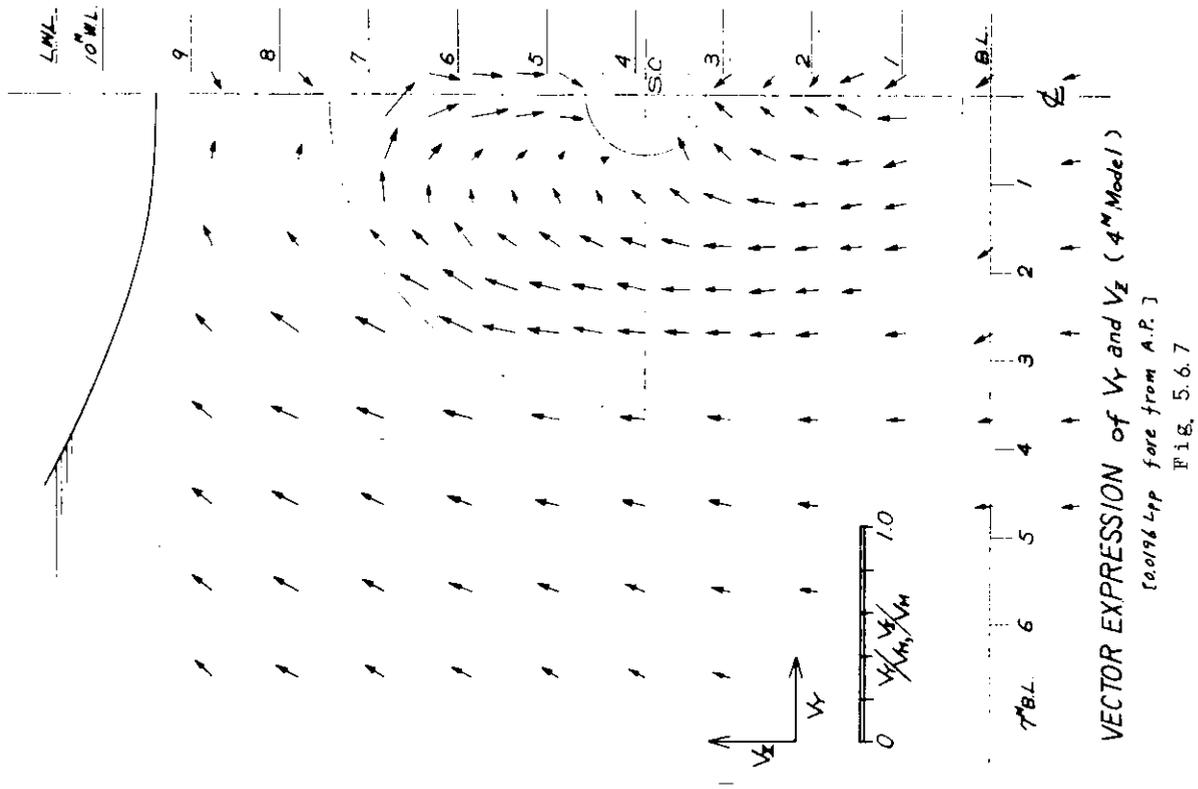


Fig. 5.6.7
[0.0196 Lpp fore from A.P.]

WAVE PROFILE

0.25 L_{pp}

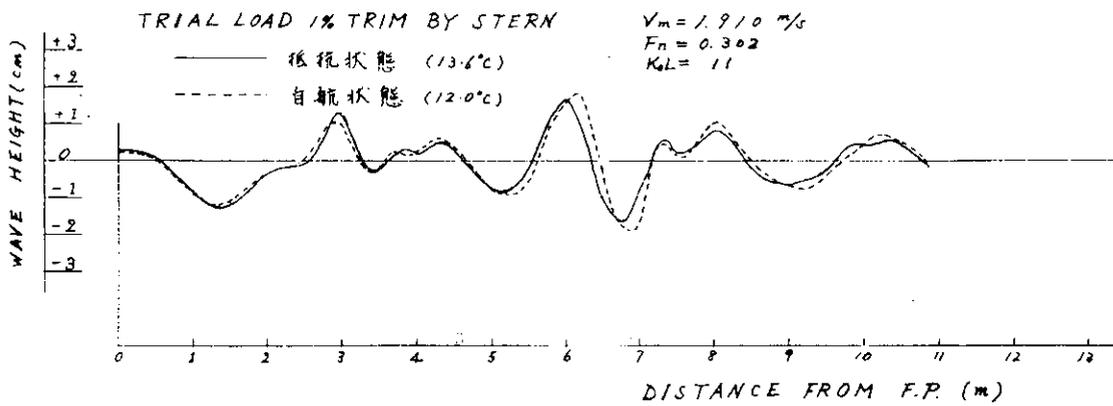
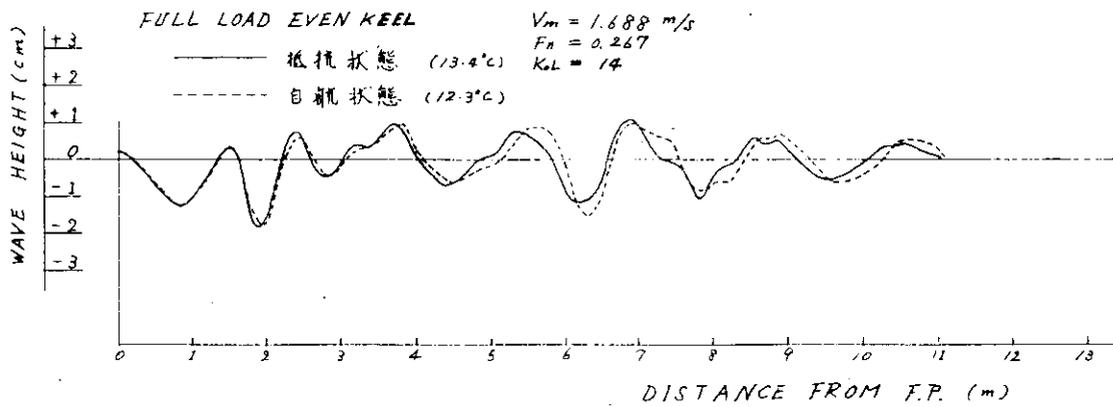


Fig. 5.6.8

SR 138 4M MODEL NO 268

SELF PROP TEST 12/20

FULL LOAD $V_m = 1.686$ (KOL=14)



SR 138 4M MODEL NO 268

SELF PROP TEST 12/21

TRIAL $V_m = 1.913$ (KOL=11)



FIG. 5.6.9

5.7 7 m 模型試験結果

5.7.1 抵抗試験

抵抗試験の結果得られた計測値を解析し I.T.T.C.-1957 friction line に対する残余抵抗係数 C_r を計算した結果をプロットしたものを Fig. 5.7.1 に示す。

full load では froude 数 0.1 位の低速において、造波抵抗もほとんど認められないような抵抗係数の傾向を示しているが、trial cond. では froude 数 0.06 付近でもなお造波抵抗の存在を示すような抵抗係数の傾向である。したがって、Hughes の friction line に対する form factor も full load は求めやすいが trial cond. では決定が難しい。一応最低速度における計測値を基に form factor を求めた。求めた form factor の値と造波抵抗係数 C_w を Fig. 5.7.2 に示す。

Full load では造波抵抗係数は速度と共に漸増し、大きな hump hollow は見られないが、trial cond. では Froude 数 0.14 付近に船首のバルブによると考えられる大きな hump が見られる。しかしそれより高速側は Froude 数 0.30 付近まで、かなりフラットな傾向を持つている。

抵抗試験時の船体浮沈曲線を Fig. 5.7.3 に示す。Full load では F.P. の dipping 量が A.P. の 2 倍以上あるが、trial cond. では逆に A.P. の dipping 量の方が F.P. の dipping 量の 2 倍以上ある。これは船首バルブが水面に近いこと、aft trim がついていること等によるものと考えられる。

5.7.2 自航試験

自航試験の結果得られた k_t 、 k_p 、 k_n を Fig. 5.7.4 および 5.7.5 に示す。

Full load、trial cond. とも試験結果にバラツキはみられない。自航試験結果得られた自航要素を Fig. 5.7.6 に示す。推力減少率 t および伴流係数 W_m ともに full load より trial cond. の方がやや大きい。プロペラ効率比 η_r は両者ほとんど同じであつた。

5.7.3 プロペラ単独試験

7 m 模型船用模型プロペラの単独試験結果を Fig. 5.7.7 に示す。

試験回転数は自航試験解析用が 9.5 rps であり、その時の $Re_k = 4.24 \times 10^5$ となり、試験方案に記された標準 $Re_k = 4.5 \times 10^5$ に対する回転数とは 0.5 rps 位しか差がないようになつた。そこで標準の Re_k に対しては少し高くなるが、回転数を 10.5 rps に上げて試験を実施した。試験の結果は Reynolds 数の差が少ないため無次元値 K_T 、 K_Q には差がみられなかつた。

5.7.4 プロペラ位置伴流計測

5 孔ピトー管によるプロペラ位置の伴流計測の結果得られたプロペラ軸方向の wake fraction contour curve および流速ベクトルをプロペラ中心面に投影したものを Fig. 5.7.8 および 5.7.9 に示す。Full load に比べ trial cond. の方がやや contour curve が外に拡がった形となつている。mean wake の値も full load 0.26 に対し trial cond. 0.29 であり、これは同じ速度における自航要素の値 full load 0.25、trial cond. 0.27 にほぼ一致してい

る。

流れの方向は full load と trial cond. の間にあまり差はみられないようであるが、プロペラ軸上方付近における下向きの流れの成分は full load に比べて trial cond. の方が船速の 2~5% 程度強い。船体側方 0.9 R 以遠における上向きの流れの成分は trial cond. の方が船速の 2~3% 程度強くなっており、trial cond. の方がやゝ渦流が強いことを示している。

5.7.5 後流計測

後流計測の結果得られた船幅方向の head loss の分布を Fig. 5.7.10 および Fig. 5.7.11 に示す。Full load と trial cond. の間に分布形状に大きな差は見られないが、trial cond. では水面付近に比べて bottom 付近の head loss の peak の方がむしろ大きく、full load の bottom 付近の peak に比べてもかなり大きくなっている。

このことは、船幅方向に head loss を積分した $\rho q \int (H_o - H_i) dy$ の値の深度方向の分布を示した Fig. 5.7.12 および Fig. 5.7.13 を見ても明らかである。これらの図を見ると full load, trial cond. とともに bottom 付近の head loss の peak の位置はほとんど変わらない。A.P. における両者の吃水の差は full load の方が約 100 mm 深いにもかかわらず、計測結果は逆ではないかと思われる位である。head loss の peak が bottom より下方に見られるのは一般に船尾付近に見られる渦流による下降流により、伴流が下方に流されるためと考えられる。先述のプロペラ位置伴流計測結果によれば trial cond. の方が渦流がやゝ強いことが示されているが、その差だけで、head loss の分布にこのような差が生じるものかどうかの判定を行なうためには、もう少し広範囲かつ詳細な伴流計測が必要であろう。

head loss を計測面全体にわたり積分して、抵抗を求めたものを無次元化した C_v を抵抗試験結果得られた C_t カーブ上にプロットしたものを Fig. 5.5.14 に示す。なお同図中には波形分析より求めた造波抵抗係数の値を加えて全抵抗係数の形にしたものもプロットしたが、抵抗試験結果にはほぼ一致している。

なお wave breaking resistance に対応する head loss の分布は、trial cond. の高速域において船体の wake と離れた位置に波くずれによるものが明瞭に認められたが、full load ではそのような例は見られなかつた。しかし、full load, trial cond. とともに浅深度域の head loss 分布中 (Fig. 5.7.10 および Fig. 5.7.11) 船体中心線付近の peak の肩部にみられる hump は深度の増加とともに急激に消滅しており、これは transom から発生する波の wave breaking 現象による head loss ではないかと考えられる。

5.7.6 波形計測

後続自由波形計測結果の一例として full load $Fn = 0.267$ ($Vs = 2.292 \text{ Kn}$)、trial cond. $Fn = 0.302$ ($Vs = 2.593 \text{ Kn}$) における計測波形を Fig. 5.7.15 に示す。今回の研究では抵抗試験時および自航試験時両方について、後続自由波形を計測したので、両者を比較して示した。曳航状態と自航状態を比較すると船首波の部分における差は小さいが、船尾波から後方の波形にはかなり差がみられ、波形が変化しているのが分る。この現象は full load, trial cond. と同様

で、自航状態の方が波振幅が大きく、位相は後方へずれる傾向を示している。

計測した波形を解析して得られた造波抵抗の値を、抵抗試験結果から Hughes の方法で求めた造波抵抗と比較するため、Fig. 5.7.2 にプロットした。波形解析より求めた C_w の値は、曳航状態のものは Hughes の方法によるもの $\times \frac{1}{2}$ 位の値である。自航状態における C_w の値は曳航状態に比べて、20～30% 大きな値となつている。

波形解析から求めた C_w と後流計測から求めた C_v を加えたものは 5.7.6 に記したように、抵抗試験結果の全抵抗には Δ 一致しているところから考えて Hughes の方法により求めた C_w の中には後続自由波に基づく造波抵抗の外に船首部および船尾部、特に transom 部から発生する wave breaking 現象に基づく抵抗成分がかなり含まれているものと推察される。

つぎに抵抗試験時に撮影した船側波形写真を Fig. 5.7.16～Fig. 5.7.19 に示す。上に記した wave breaking 現象が船首部の diverging wave および transom 部に見ることができ

TEST NO.	DATE	EXPERIMENTER	ENGINEER
1	11/15/51	W. J.
2	11/15/51
3	11/15/51

W. J. ...
 LIPPE ...
 DIPPING CURVES

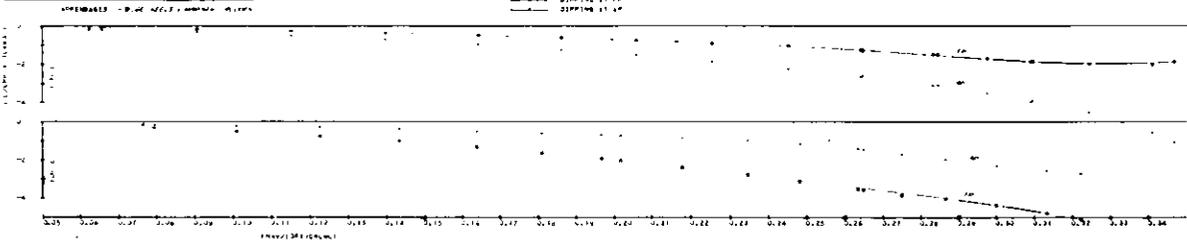


Fig. 5.7.3

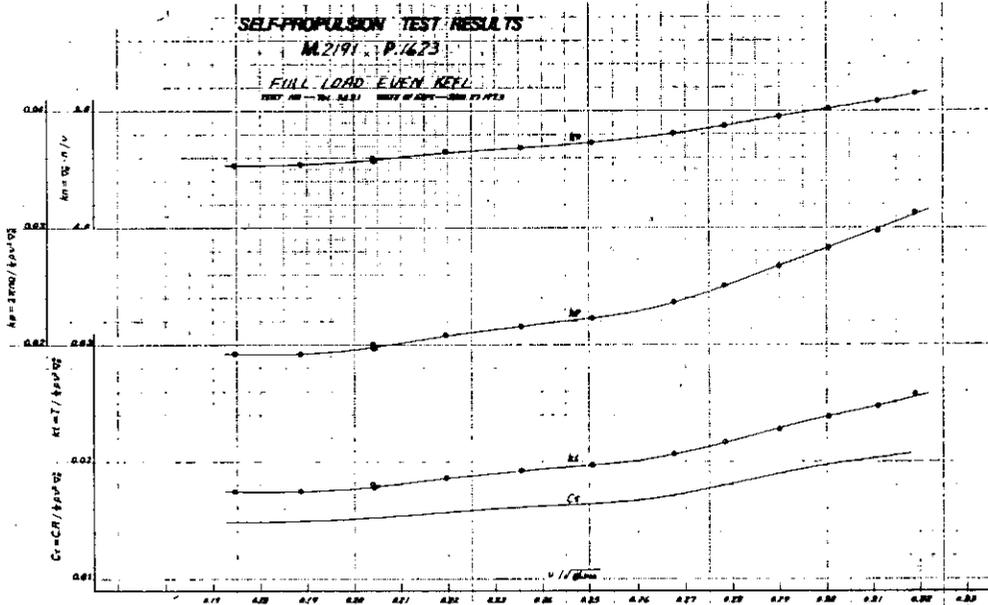


Fig. 5.7.4

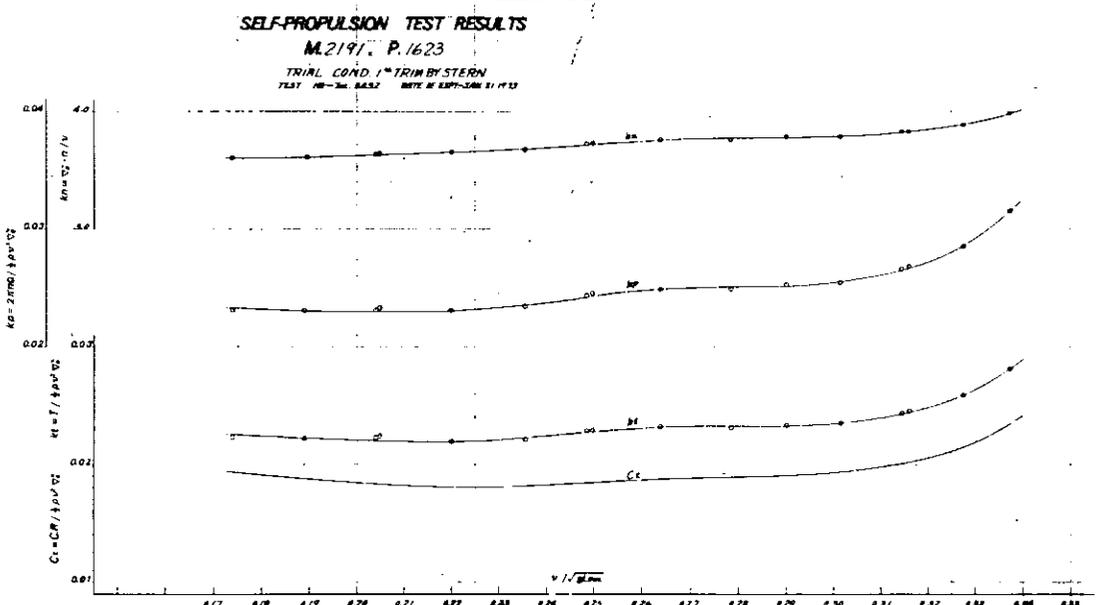


Fig. 5.7.5

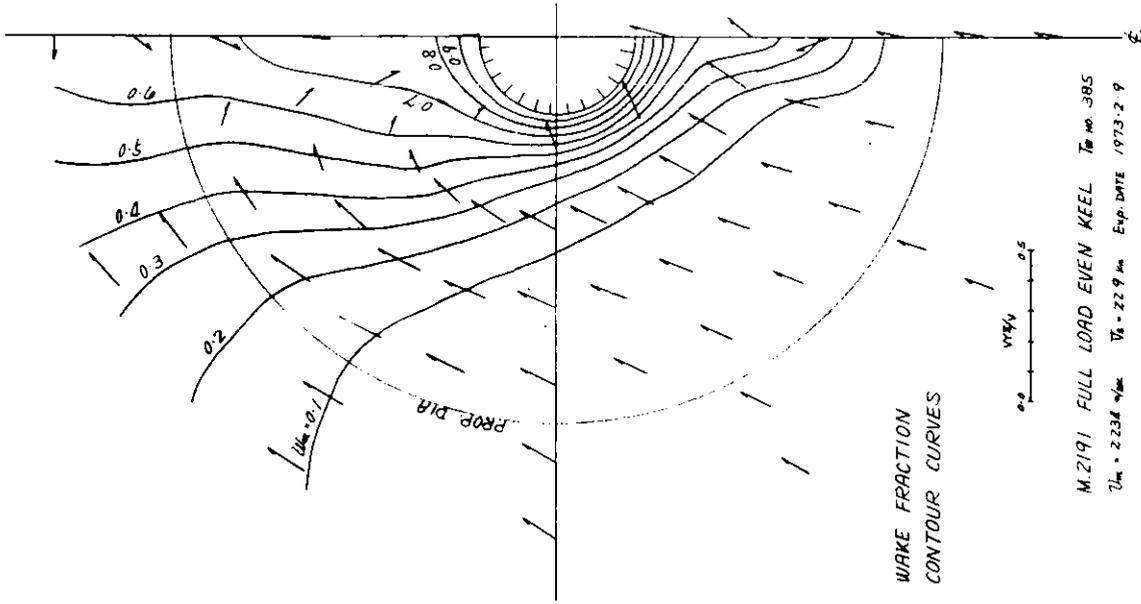


FIG. 5.7.8

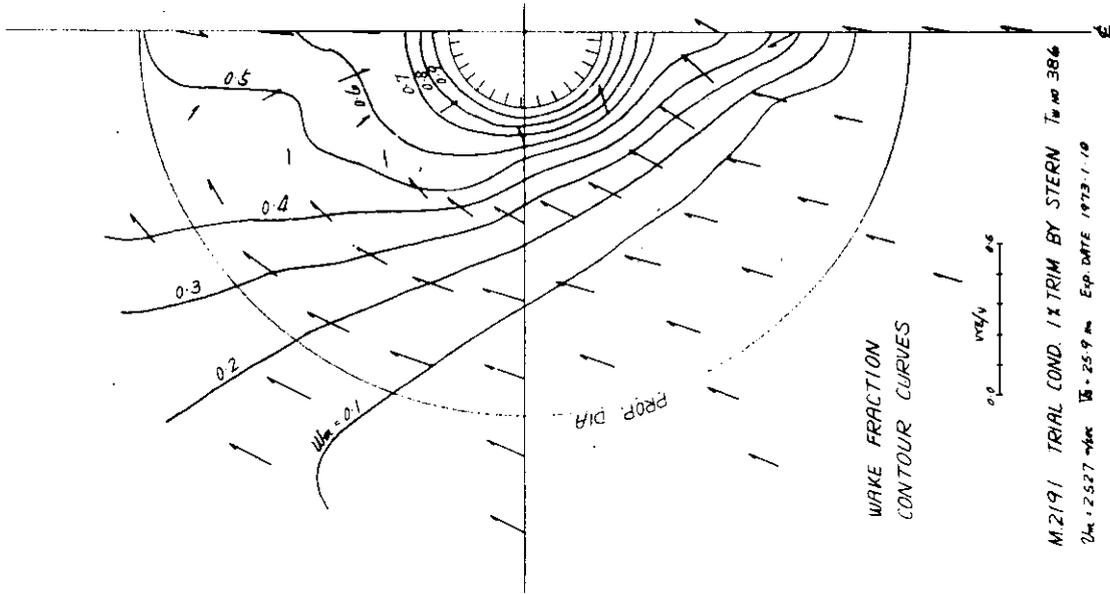


FIG. 5.7.9

M.2191 SR138
 7.000 μ 1.076.92 μ 195.00 μ 30.00 μ
 FULL LOAD EVEN KEEL (APM 3.5")
 HEAD LOSS DISTRIBUTION
 $F_n = 0.2670$ $U_m = 2.234$ m/s

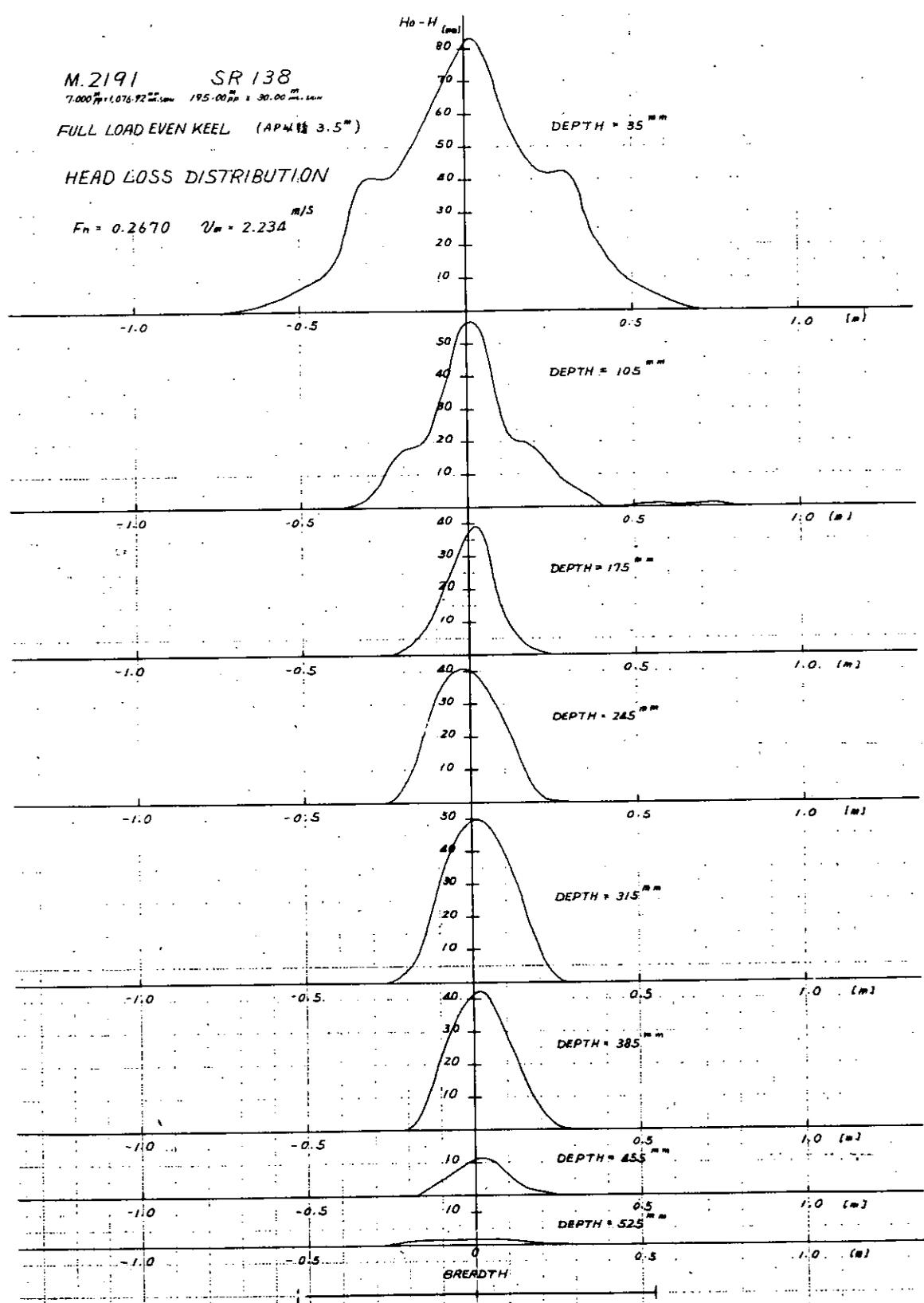


Fig. 5.7.10

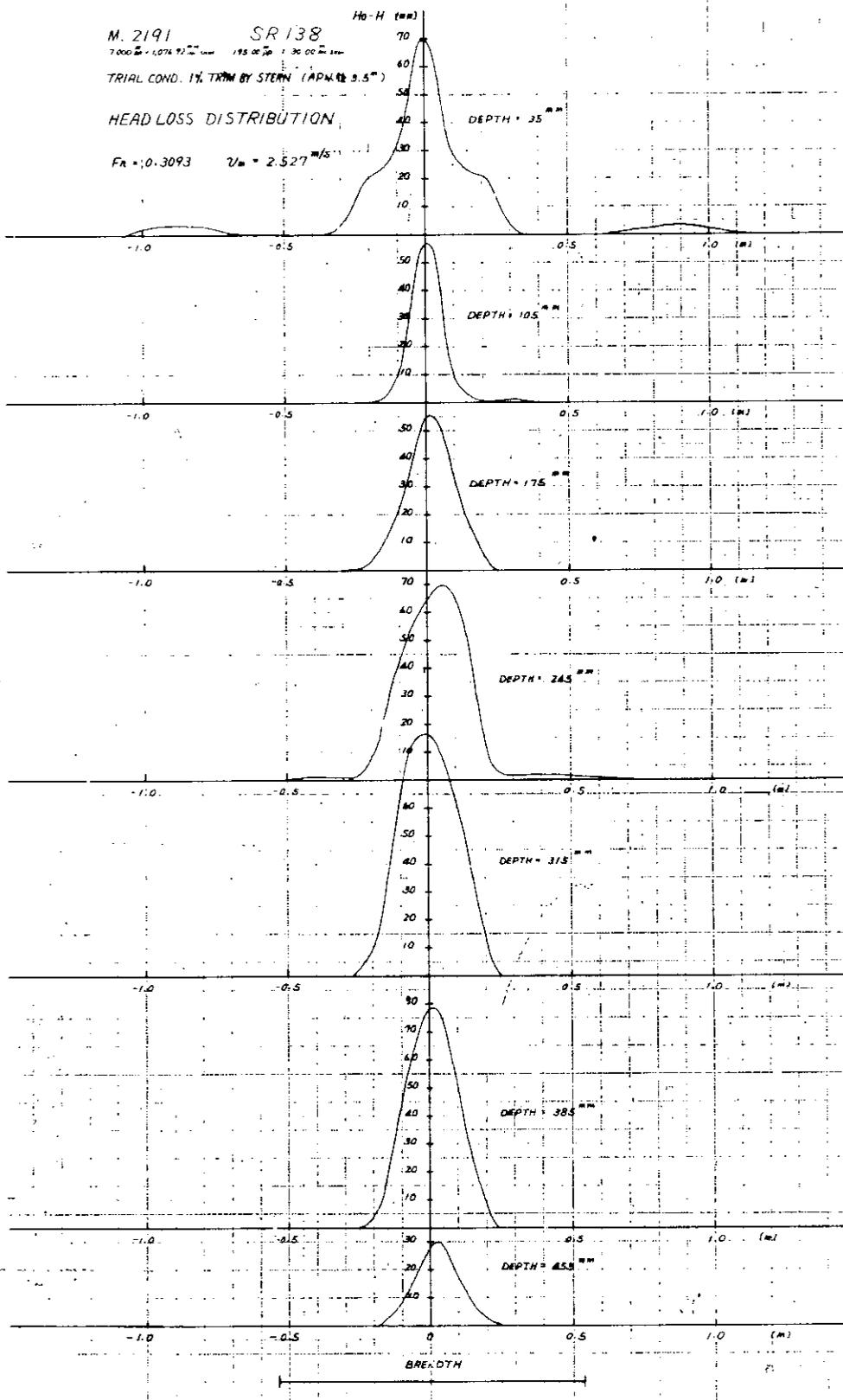


Fig. 5.7.11

HEAD LOSS DISTRIBUTION

M. 2191 SR 138

7.000 $\rho_p = 1.074 \cdot 92 \text{ kg/m}^3$ 175.00 $\rho_p = 1.30.00 \text{ kg/m}^3$

FULL LDRO EVEN KEEL

AP $\times 12 \text{ 3.5}^m$

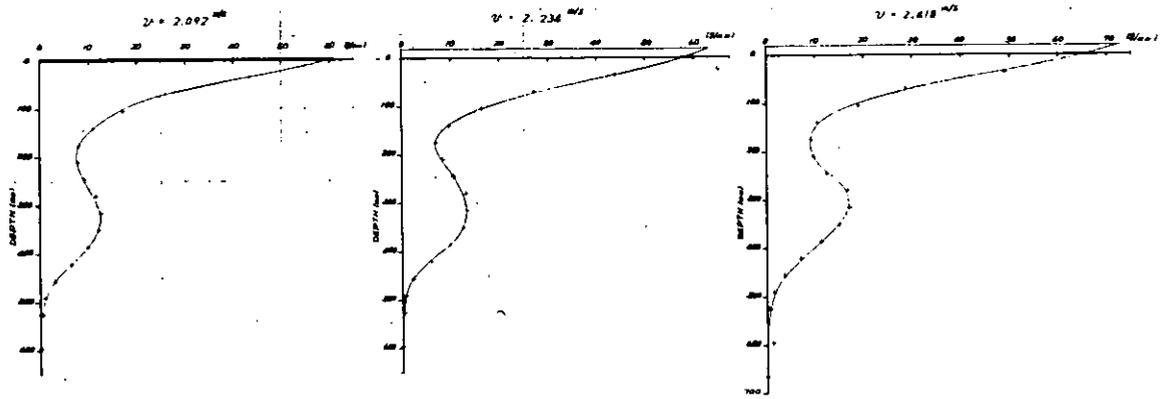


Fig. 5.7.12

HEAD LOSS DISTRIBUTION

M. 2191 SR 138

7.000 $\rho_p = 1.074 \cdot 92 \text{ kg/m}^3$ 175.00 $\rho_p = 1.30.00 \text{ kg/m}^3$

TRIAL COND. 1% TRIM BY STERN

AP $\times 12 \text{ 3.5}^m$

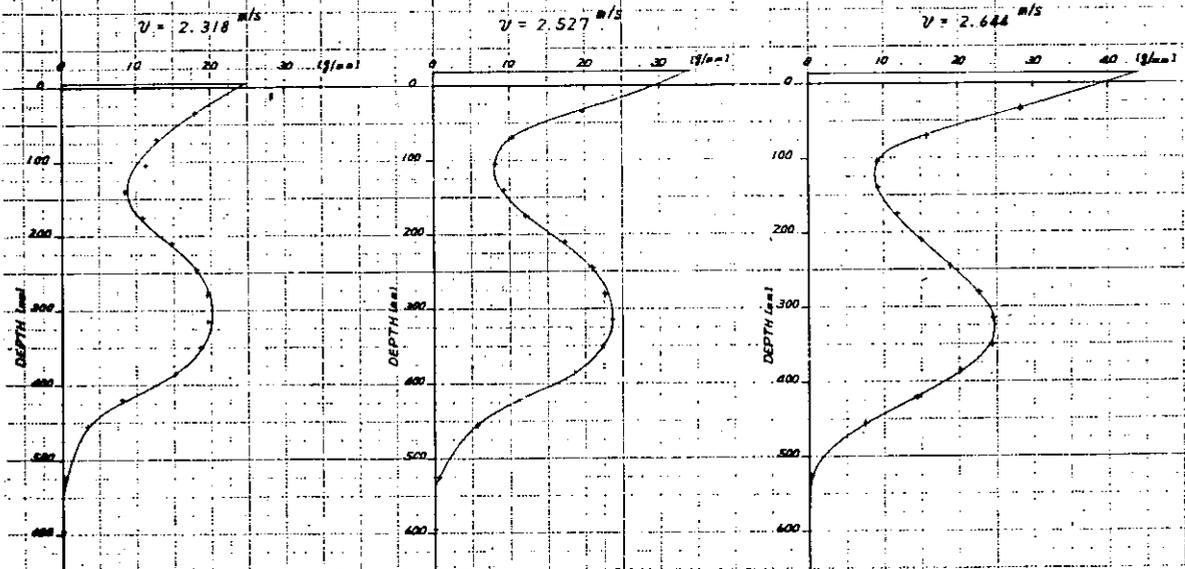


Fig. 5.7.13

COMPARISON OF TEST RESULTS
 N. 2747 24126
 (1000 - 1000) 1000 - 1000

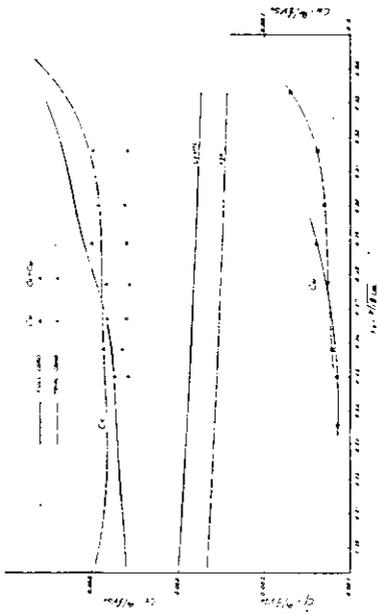


Fig. 5.7.14

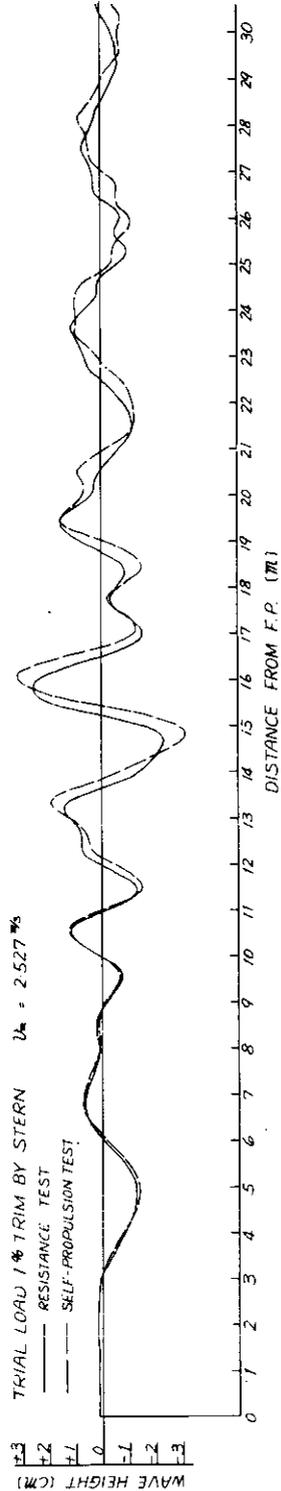
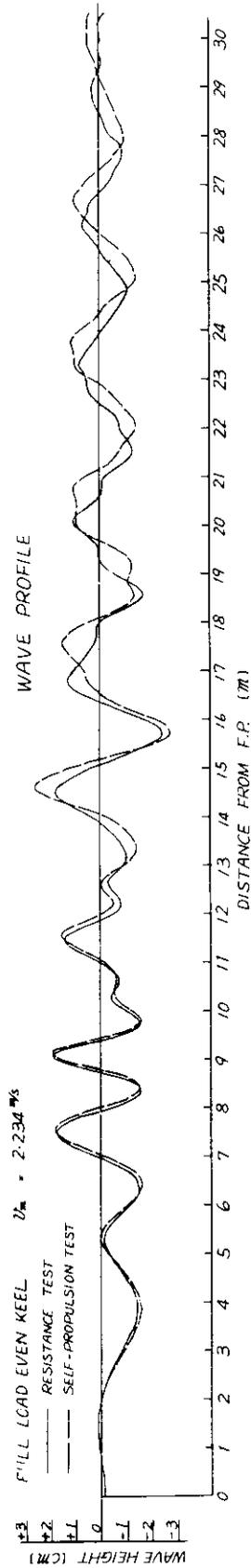
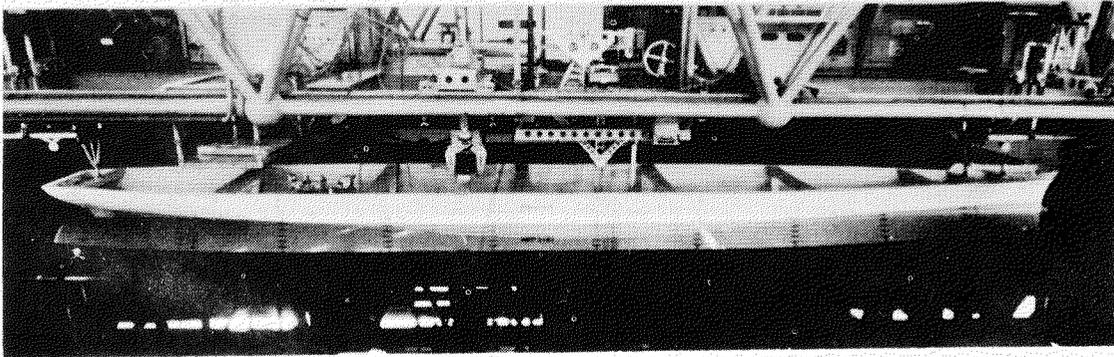


Fig. 5.7.15

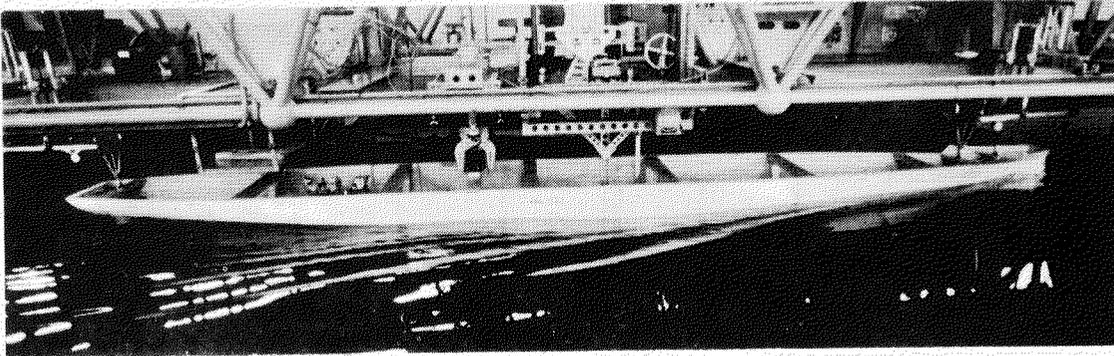
M. 2191
WAVE PROFILE
FULL LOAD EVEN KEEL WITH APP.

S.W.L



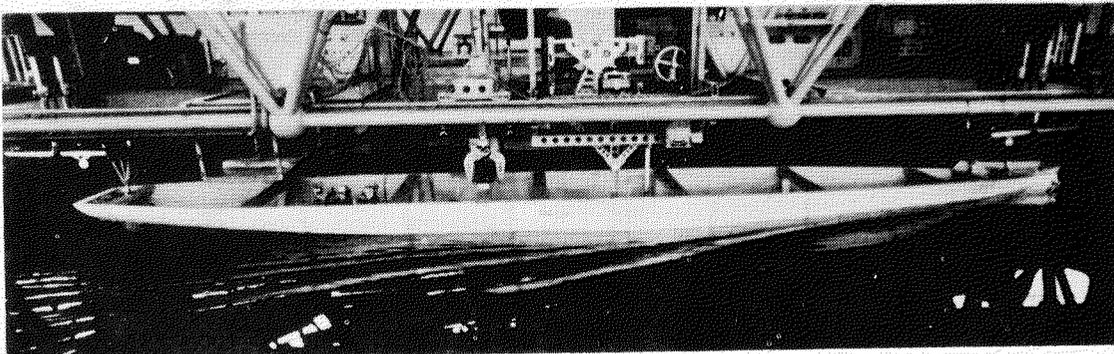
L1047-4

$$\sqrt[3]{\frac{v}{gLDWL}} = 0.236$$



L1047-5

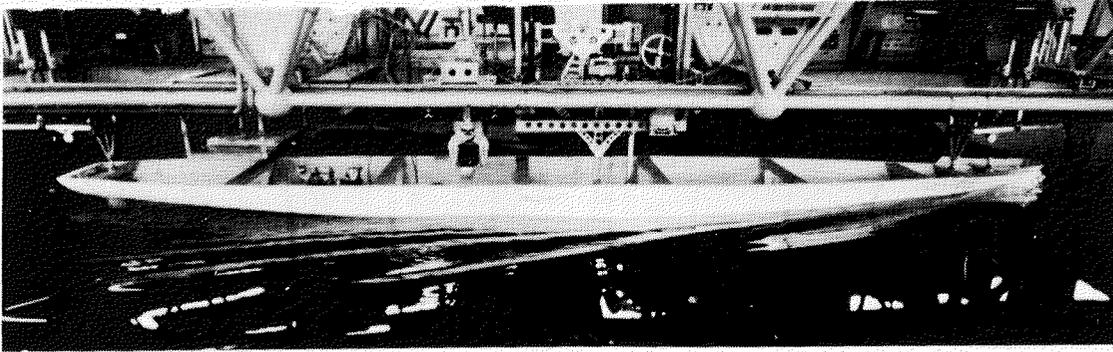
$$\sqrt[3]{\frac{v}{gLDWL}} = 0.250$$



L1047-6

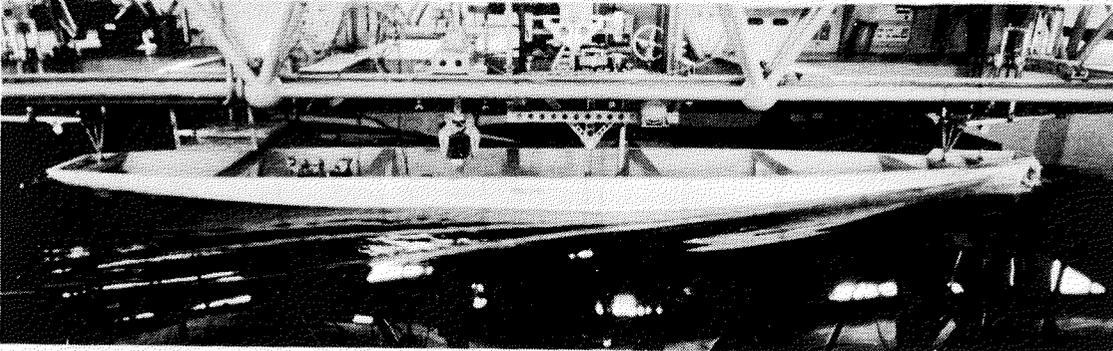
Fig. 5.7.16

$$\sqrt[3]{gLDWL} = 0.267$$



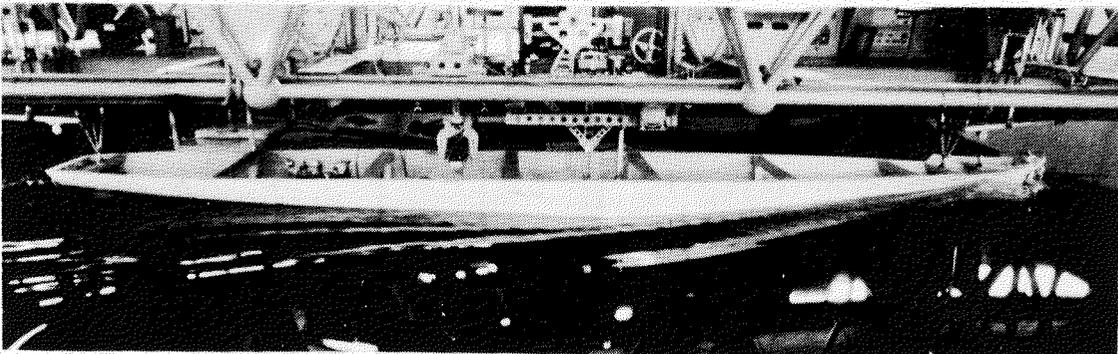
L1047-7

$$\sqrt[3]{gLDWL} = 0.289$$



L1047-8

$$\sqrt[3]{gLDWL} = 0.316$$



L1047-9

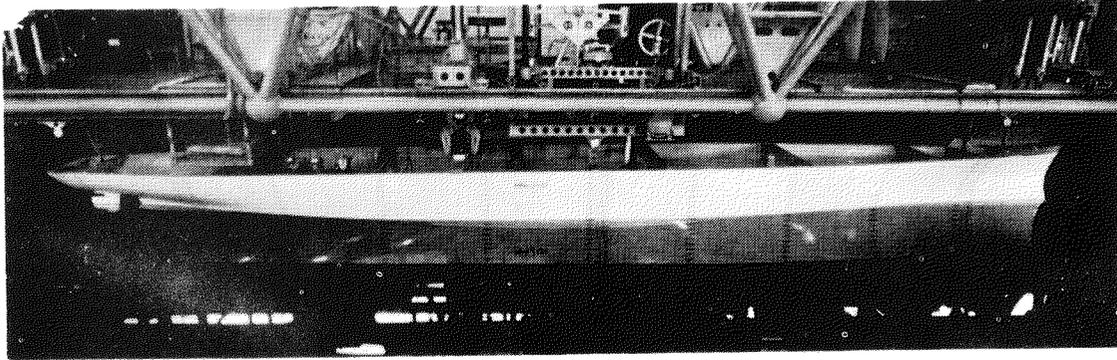
Fig. 5.7.17

M. 2191

WAVE PROFILE

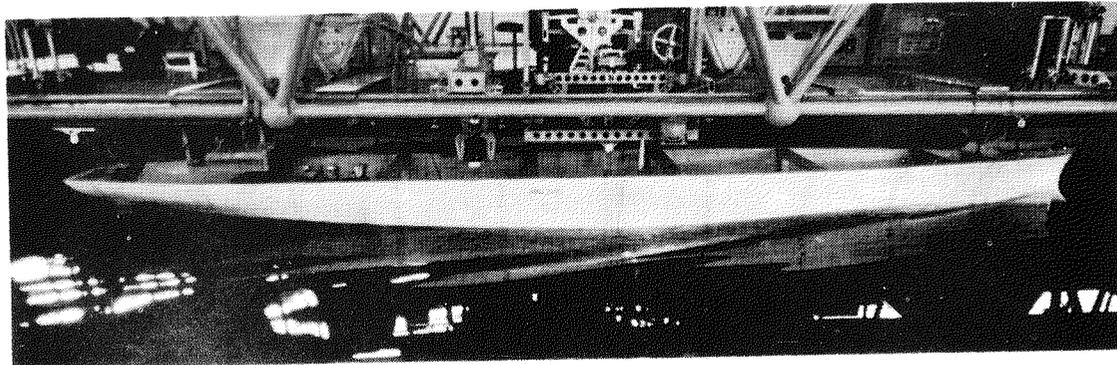
TRIAL COND. 1% TRIM A. WITH APP.

S. W. L



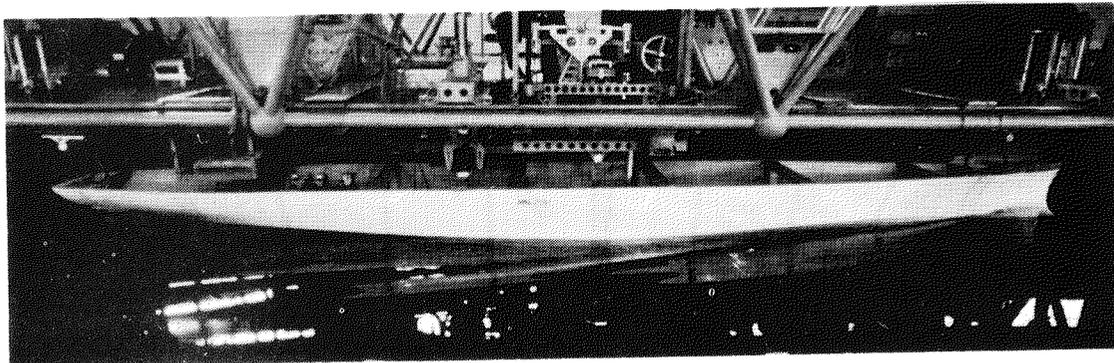
L1051-10

$$\sqrt[3]{\frac{v}{g L_{DWL}}} = 0.250$$



L1051-11

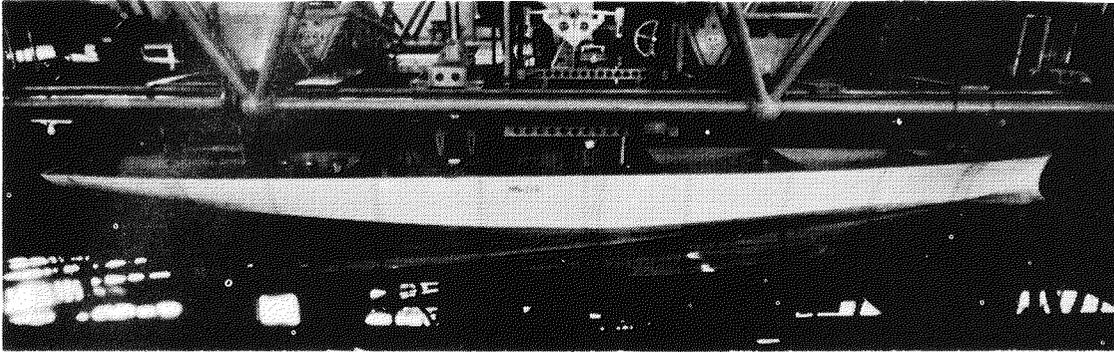
$$\sqrt[3]{\frac{v}{g L_{DWL}}} = 0.277$$



L1051-12

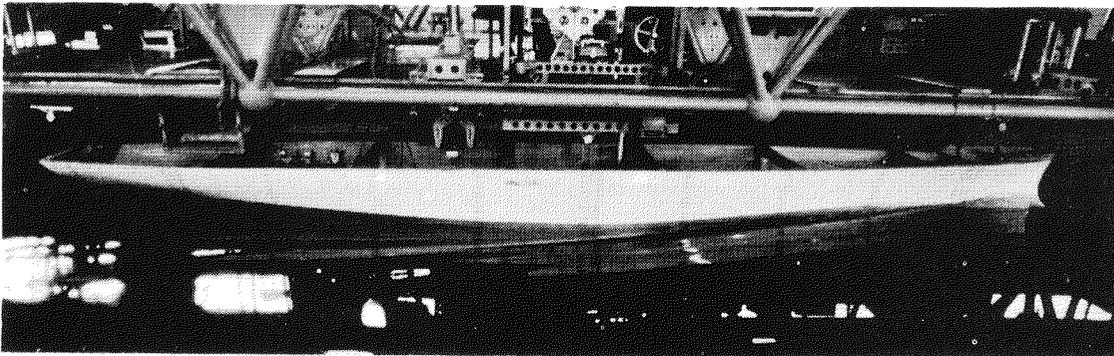
Fig. 5.7.18

$$\sqrt[3]{\frac{v}{gLDWL}} = 0.302$$



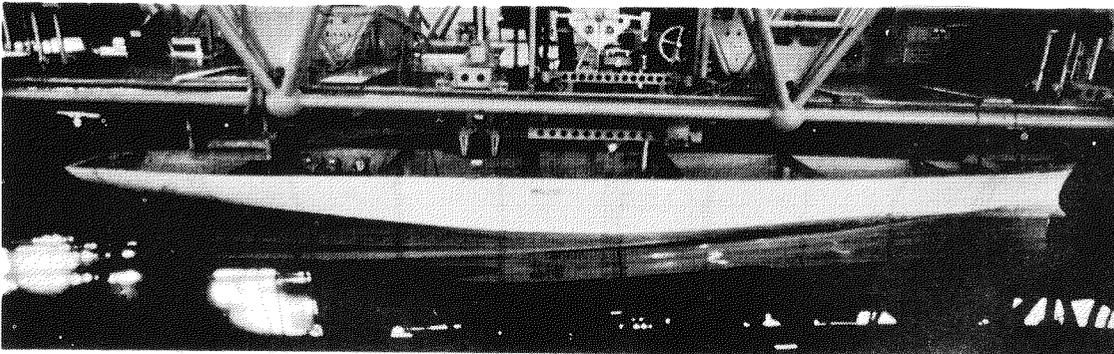
L1051-13

$$\sqrt[3]{\frac{v}{gLDWL}} = 0.316$$



L1051-14

$$\sqrt[3]{\frac{v}{gLDWL}} = 0.333$$



L1051-15

5.8 あとがき

今回行なつた4 mおよび7 mの模型船による諸水槽試験は、2 m~10 mの4隻の相似模型船による尺度影響に関する研究の一環をなすものであり、尺度影響に関する調査検討は、昭和48年度に実施される2 mおよび10 mの模型船による試験の結果を待つて行なう計画であるが、今回の2隻の模型船の結果につき若干の考察を行なつた。

まず、抵抗試験結果については、満載状態では、剰余抵抗係数は速度とともに漸増しており、大きなhump hollowは見られない。一方試運転状態ではフルード数0.14付近に船首バルブの影響と思われる大きなhumpが見られるが、しかし、これより高速側はフルード数0.30付近までかなりフラットな傾向を示している。

4 mおよび7 mの両模型船の結果は、試運転状態のhumpの傾向も含めて傾向的には良く一致した結果を示している。

剰余抵抗係数の値については、Fig. 5.6.1とFig. 5.7.1を比較すると、4 m模型船の値の方が全般的に $1 \sim 2 \times 10^{-4}$ 大きい値を示しているが、これはITTC-1957-lineを用いて求めた剰余抵抗に、なお、模型船の大きさの影響をうける粘性抵抗成分が含まれていることを示しているものと考えられる。

試運転状態の抵抗試験については、計測を行なつた最低速においても、速度の減少による抵抗係数の減少が大きく、Hughesの方法により求められたform factorの値の信頼度は落ちるが、Fig. 5.6.2、Fig. 5.7.2の造波抵抗係数曲線を比較すると、満載状態および試運転状態とも、両模型船の造波抵抗係数の値は、前に述べた剰余抵抗係数よりも良い一致を示しており、本船型においても、form factorを用いたいわゆる3次元外挿法を用いることが妥当であると考えられる。

ただし、相似模型船の試験結果から、粘性および造波の両抵抗成分を分離して求めるには、極力広範囲のレイノルズ数の試験結果を用いることが必要であり、定量的な解析検討は、2 mおよび10 m模型船の試験結果を待つて行なうこととする。

後続自由波形の計測は、曳航状態および自航状態の両状態について行なつたが、7 m模型船に対する試験結果を見ると、Fig. 5.7.2に示すように、波形計測結果から求めた造波抵抗値は自航状態の方が約30%大きく、またFig. 5.7.8に示す波形にも明瞭に両状態の差が見られる。この波形の相違は船尾から発生した波の部分に大きい、Fig. 5.7.15を見ると船首から発生する波にも若干の相違が見られるようであり、今後の試験においては、船側波形写真も抵抗・自航の両状態とすることがのぞましい。

4 mおよび7 m模型船の後続自由波形はFig. 5.6.8およびFig. 5.7.15を見ると細部にわたつて良く似た傾向を示しているが、詳細な波形比較および、これから求めた造波抵抗の値の比較は2 mおよび10 mの試験結果を待つて検討を行なう。

後続自由波形の計測および後流計測による抵抗成分分離計測の結果を見ると、Fig. 5.7.14に見られるように、分離して直接計測された造波抵抗と粘性抵抗の和は曳航抵抗と比較的良く一致しているが、後続自由波形から求めた造波抵抗の値をHughesの方法により求めた造波抵抗の値とくらべると、Fig.

5.7.2に示すように満載状態、試運転状態ともに約半分の値となっている。

プロペラ単独試験結果は、4 m 模型船用にくらべて、7 m 模型船用のプロペラの方が、 K_T が高く、 K_Q が低く、したがって e_p が高く、常識的な傾向が得られている。今後10 m 模型船用のプロペラの試験結果を加えて、プロペラ特性の尺度影響につき検討を行なう。

後流計測についても、肥大船の場合とは異なつた特徴のある伴流分布が求められており、2 m ~ 10 m の模型試験結果を加えて尺度影響につき検討を行なう。

§ 6 結 言

今年度に行なつた研究は以上に述べたとおりであるが、昭和48年度には、これにひきつづき、スラストメータを製作するとともに実船試験を行ない、既存のトーシヨンメータによるトルクの計測のほかスラストの計測を行なつて、実船の性能を一段と正確に求める予定である。また、模型試験としては、2 mおよび10 m模型の水槽試験を行なう。

昭和49年度にはこれらの実船試験や模型試験の結果を総合的に取りまとめる予定で、この成果により高速コンテナ船の馬力推定が一段と精度よく行なわれることが期待される。