

日本船舶振興会 昭和50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.255

## 第 159 研究部会

### 新経済船型開発のための肥大船 船尾まわり流場に関する研究

#### 報 告 書

昭 和 51 年 3 月

社 団 法 人  
日 本 造 船 研 究 協 会

船尾の肥厚した船型では、模型実験の結果が一意的に確定せず、一状態に対し二種の性能が現われたり、時には一航走中にすら計測値の急変が起るような現象がしばしば発生して、模型実験の信頼性が問われるようになってきた。本研究は抵抗推進性能に関するかかる不安定現象を、主として船尾流場の立場から調査研究するものであり、3次元渦の挙動を中心とし、恐らく発生しているであろう渦の非対称性とその原因、それに伴う船尾流場の変動などを実験的に求め、一方近時発展の著しい3次元境界層の理論計算にこの結果をとり入れる方法を開発して、実験と理論の双方から研究を進めることを目標とし、不安定船の自航試験法の研究、船尾まわり流場の実験的調査と3次元境界層の理論計算、抵抗成分分離の調査研究および実験船・実船実験に関する調査を行ない、それらの結果をとりまとめたものである。

# 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 肥大船型の自航試験法に関する研究 .....	9
3.1 まえがき .....	9
3.2 持ちまわり試験の計画 .....	9
3.2.1 持ちまわり試験の必要性 .....	9
3.2.2 供試模型船の決定 .....	10
3.2.3 持ちまわり試験実施方案 .....	11
3.2.4 実施スケジュール .....	17
3.3 試験の実施とその結果 .....	17
3.3.1 試験の実施 .....	17
3.3.2 供試船型 MS № 3330 .....	18
3.3.3 試験結果 .....	18
3.3.4 考 察 .....	20
§ 4 船尾まわり流場の調査 .....	38
4.1 まえがき .....	38
4.2 船尾流場に関する研究の文献調査 .....	38
4.3 4 m模型船による水槽試験並びに考察 .....	54
4.3.1 基礎的項目 .....	54
4.3.2 追加項目 .....	57
4.4 2 m模型による実験ならびに考察 .....	69
4.5 3次元境界層理論の実用化に関する研究 .....	82
4.5.1 計算 (1) .....	82
4.5.2 計算 (2) .....	87
4.6 ま と め .....	95
§ 5 抵抗成分の分離に関する研究 .....	96
5.1 まえがき .....	96
5.2 抵抗の成分及びその実験的分離に関する調査研究 .....	96
5.2.1 抵抗成分の分類 .....	96
5.2.2 抵抗成分の実験的分離 .....	98
5.2.3 縦渦による抵抗の決定 .....	101

5. 2. 4 抵抗の時間的変動と不安定性	103
5. 2. 5 文献調査	103
5. 3 変動抵抗動力計の設計並びに製作	112
5. 4 水槽実験	115
 § 6 実験船・実船実験に関する調査	117
6. 1 まえがき	117
6. 2 内外における実船実験・実験方法に関する文献調査	117
6. 3 実験に関する調査	137
6. 4 実験場に関する調査	145
6. 4. 1 実験海域の具備すべき条件	145
6. 4. 2 広島湾付近海域の調査の経緯	145
6. 4. 3 江田島湾の気象・海象の調査	146
6. 5 実船・実験船による抵抗試験の外乱について	157
6. 6 実船・実験船によるPropeller性能調査	158
6. 6. 1 問題点	158
6. 6. 2 実験アイデア	159
6. 7 あとがき	160
 § 7 結 言	162

## § 1 緒 言

近年、各造船所において計画されている所謂経済船型と称するものは、建造費の低減をねらって著しく太短かいのが特徴であるが、これを推進性能の立場からみると、従来ほとんど経験しなかった困難な問題を提供しており、この解決なしには設計に必要な知識も資料も得られない状態にある。

すなわち、在來の船型ならば水槽の模型実験結果に適當な尺度影響を考慮して、実船の性能を大きな誤差なく推定することができたが、新経済船に要求されるほど船尾の肥厚した船型では、模型実験の結果が一意的に確定せず、一状態に対し二種の性能が現われたり、時には一航走中にすら計測値の急変が起るような現象が屢々発生して、模型実験の信頼性が問われることになってきた。しかし、原因は計測方法にあるのではなく、流れが不安定となって異なった流場を呈することにあることは確かめられている。こうなると、実船に対応するのが何れの流場であるのか、実船にもこの不安定が存在するのか、その尺度影響はどうなっているのかなど、従来の経験からは何も云えない。それゆえ、模型に不安定が現われたら、その船型を実船に採用することは極めて危険であって、船型計画を改変しなければならない。設計業務にとって重大な問題となっていることが知られよう。

これに似た現象はすでに操縦性能の実験においても、いわゆる異常現象とか不安定ループの問題として取上げられている。見方によると、操舵を引かねとして発生した現象が引かねなしでも発生したのが推進性能の不安定であると云えよう。引かね役が明瞭でないだけに一層面倒な問題である。两者とも肥厚船尾にのみ発生する現象であることを思うと、これまた肥厚船尾に顕著な3次元剥離渦の挙動に結びつけて考えるのが最も自然であろう。

本研究は抵抗推進性能に関する不安定現象を、主として船尾流場の立場から調査研究するのが目的である。当初の目標は3次元渦の挙動を中心とし、恐らく発生しているであろう渦の非対称性とその原因、それに伴う船尾流場の変動などを実験的に求め、一方近時発展の著しい3次元境界層の理論計算にこの結果をとり入れる方法を開発して、実験と理論の双方から研究を進める方針である。

本年度は研究の初年度であって、不安定現象の発生が最初に認められ、ある程度その内容の知られているSR61部会の原型を対象として取りあげることとし、三つの研究小委員会を設けて夫々次の研究項目を担当した。

### (1) 第1小委員会

- a. 大型模型(7m)による不安定船の自航試験法の研究。
- b. 不安定の予想される実船がもしあれば、それに関する推進性能の研究。しかし発足後の調査では該当する適当な実船がなく、本年度は見送って次年度以降に持ちこすこととした。

### (2) 第2小委員会

- a. 中、小型模型(4m、2m)による船尾まわり流場の実験的調査と3次元境界層の理論計算。
- b. 抵抗成分分離に関する研究

### (3) 第3小委員会

実験船、実船実験に関する調査。

この分担項目は本研究といま直ちに結びつくものではないが、尺度影響の問題は船舶の流体運動とは本来切離せない関係にあり、近年数造船所において実施された大型実験船による研究はその表われである。不安定な推進性能が予測されるのであれば必要度は一層高いであろう。そのため本部会では、将来に備えて綿密な調査を行うこととしたものである。

## § 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	笛島秀雄*	乾 崇夫(東京大学)
委員	矢崎敦生(造船技術センター)	梶谷 尚(東京大学)
	田古里哲夫(東京大学)	波多野修次(広島大学)
	丸尾孟(横浜国立大学)	山崎隆介(九州大学)
	仲渡道夫(広島大学)	鈴木敏夫(大阪大学)
	田中一朗(大阪大学)	田中 拓(船舶技術研究所)
	姫野洋司(大阪府立大学)	田村欣也(三菱重工業)
	川口昇(三菱重工業)	岸本修(三井造船)
	藤田孝(三菱重工業)	田崎亮(石川島播磨重工業)
	田中稔(石川島播磨重工業)	高木又男(日立造船)
	植村善久(日立造船)	須藤正信(日本鋼管)
	岡本洋(川崎重工業)	牛島秀利(住友重機械工業)
	富山毅(日本鋼管)	花園史郎(函館ドック)
	山崎芳嗣(佐世保重工業)	滋野正明(佐野安船渠)
	桑原昭夫(大阪造船所)	渡辺豊徳(三保造船所)
	梁井泉(来島ドック)	佐藤和範(造船技術センター)
	須藤彰一(明石船型研究所)	李中勝(日立造船)
	高橋通雄(神戸製鋼所)	

(\*印:幹事)

#### 2.1.2 小委員会

##### (1) 第1小委員会(自航試験法、実船推進性能)

(敬称略、順不同)

主査	田村欣也(三菱重工業)	川上善郎(船舶技術研究所)
委員	乾崇夫(東京大学)	仲渡道夫(広島大学)
	田中一朗(大阪大学)	山崎禎昭(石川島播磨重工業)
	藤田孝(三菱重工業)	須藤彰一(明石船型研究所)
	城野隆史(日立造船)	
	佐藤和範(造船技術センター)	

##### (2) 第2小委員会(船尾流場、抵抗成分分離)

(敬称略、順不同)

主査	田中一朗(大阪大学)	波多野修次(広島大学)
委員	丸尾孟(横浜国立大学)	山崎隆介(九州大学)
	仲渡道夫(広島大学)	梶谷尚(東京大学)
	田古里哲夫(東京大学)	
	鈴木敏夫(大阪大学)	田中 拓(船舶技術研究所)

姫野 洋 司(大阪府立大学)  
藤田 孝(三菱重工業)  
富山 肇(日本鋼管)  
久富 吉弘(日立造船)  
津田 達雄(明石船型研究所)  
山崎 芳嗣(佐世保重工業)

田村 欣也(三菱重工業)  
並松 正明(石川島播磨重工業)  
岸本 修(三井造船)  
坂尾 稔(川崎重工業)  
佐藤 和範(造船技術センター)  
李中 勝(日立造船)

(3) 第3小委員会(実験船計画)

(敬称略、順不同)

主査 仲 渡 道夫(広島大学)  
委員 乾 崇夫(東京大学)  
鈴木 敏夫(大阪大学)  
渡辺 岩(船舶技術研究所)  
藤田 孝(三菱重工業)  
高木 又男(日立造船)  
須藤 正信(日本鋼管)

田中 一朗(大阪大学)  
田中 拓(船舶技術研究所)  
田村 欣也(三菱重工業)  
並松 正明(石川島播磨重工業)  
岡本 洋(川崎重工業)

### 2.1.3 討議参加者

(1) 委員会

久住 昇三(東京大学)  
森 正彦(石川島播磨重工業)  
玉井 浩正(川崎重工業)  
家永 稜威雄(佐世保重工業)  
山内 信彦(函館ドック)  
山崎 祐昭(石川島播磨重工業)  
三沢 俊彦(三保造船所)  
津田 達雄(明石船型研究所)  
佐々木 紀幸(住友重機械工業)  
小倉 理一(佐世保重工業)

松村 純一(船舶局)  
城野 隆史(日立造船)  
永松 秀一(住友重機械工業)  
荻野 繁之(佐野安船渠)  
並松 正明(石川島播磨重工業)  
芦立 黙(日本鋼管)  
川上 善郎(船舶技術研究所)  
鬼木 博文(川崎重工業)  
東 哲朗(大阪造船所)  
渡辺 恭二(三菱重工業)

(2) 第1小委員会

笠島 秀雄(部会長)  
丸尾 孟(横浜国立大学)  
田古里 哲夫(東京大学)  
田中 拓(船舶技術研究所)  
田崎 亮(石川島播磨重工業)  
津田 達雄(明石船型研究所)

矢崎 敦生(造船技術センター)  
波多野 修次(広島大学)  
鈴木 敏夫(大阪大学)  
渡辺 恭二(三菱重工業)  
芦立 黙(日本鋼管)  
倉垣 孝夫(日立造船)

(3) 第2小委員会

永松 宣雄(川崎重工業)  
笠島 秀雄(部会長)  
小倉 理一(佐世保重工業)

芦立 黙(日本鋼管)  
奥野 武俊(大阪府立大学)  
田中 陽(明石船型研究所)

川上善郎(船舶技術研究所)

愛敬勝彦(三菱重工業)

岸田千秋(日立造船)

村上延夫(日立造船)

(4) 第3小委員会

(敬称略、順不同)

笛島秀雄(部会長)

松村純一(船舶局)

鬼木博文(川崎重工業)

矢崎敦生(造船技術センター)

村岡賢二(石川島播磨重工業)

## 2.2 委員会開催状況

### 2.2.1 委員会

第1回 50.5.14(水) 13.30～16.40 船舶クラブ

- 委員確認
- 部会長選出
- 申請計画内容説明
- 研究の進め方審議

第2回 50.7.22(火) 14.00～16.45 日立造船会館

- 各小委員会進捗状況報告
- 問題点の討論
- 研究実施スケジュール確認

第3回 50.9.25(木) 13.30～16.00 船舶クラブ

- 次年度研究計画
- 研究の進捗状況報告と今後の予定確認

第4回 50.12.16(火) 11.00～16.00 大阪大学さわらび

- 研究の進捗状況報告と問題点討論
- 50年度研究報告書のまとめ方検討
- 次年度研究計画申請経過報告

第5回 51.1.27(火) 11.00～16.30 船舶クラブ

- 50年度研究報告書原稿審議

### 2.2.2 小委員会

(1) 第1小委員会

第1回 50.6.18(水) 17.00～19.00 造船研究協会

- 肥大船の船尾流場に起因する不安定現象の討論
- 研究担当項目の整理
- 基本模型の検討

第2回 50.7.22(火) 10.30～13.00 日立造船会館

- 模型船の不安定現象討論
- 自航試験法の法案審議
- 実船推進性能試験の検討

第3回 50.9.16(火) 13.30～15.45 造船研究協会

- 進捗状況報告
- 50年度予算の配分

- 次年度研究計画検討
- 第4回 51.1.13(火) 10.30～14.00 造船技術センター
- 50年度研究報告書原稿審議
- (2) 第2小委員会
- 第1回 50.7.22(火) 10.30～13.50 日立造船会館
- 研究実施計画の検討
- 第2回 50.8.22(金) 10.30～13.40 日立造船
- 研究進捗状況報告
  - 実験方案検討
  - 50年度予算配分
- 第3回 50.9.25(木) 10.00～13.30 船舶クラブ
- 研究進捗状況報告と問題点討論
  - 次年度計画検討
- 第4回 50.11.21(金) 10.30～16.30 大阪大学
- 次年度研究計画申請経過報告
  - 研究進捗状況報告
- 第5回 50.12.15(月) 11.00～16.00 大阪大学
- 研究進捗状況報告
  - 50年度研究報告書作成方針の検討
- 第6回 51.1.13(火) 11.00～16.15 船舶技術研究所
- 50年度研究報告書原稿審議
- (3) 第3小委員会
- 第1回 50.7.11(金) 13.00～16.30 船舶クラブ
- 調査方針の検討
  - 長大模型船による実験結果紹介
  - 文献調査結果報告
  - 研究内容の討論と分担決定
- 第2回 50.8.20(水) 13.30～17.00 造船研究協会
- 調査の進め方検討
  - 文献内容調査報告(Wrangel)
  - プロペラ性能調査結果報告
  - 調査フォーマット審議
  - 研究進捗状況報告
  - 次年度研究計画検討
- 第3回 50.9.25(木) 10.00～12.00 船舶クラブ
- 研究進捗状況報告と問題点討論
  - 50年度予算の配分
  - 次年度研究計画検討
- 第4回 50.11.19(水) 10.30～14.30 造船研究協会
- 研究進捗状況報告
  - 次年度研究申請経過報告
  - 50年度研究報告書作成方針検討

第 5 回 5.1.13 (火) 14.00 ~ 17.00 造船技術センター  
○ 50 年度研究報告書原稿審議

## 2.3 配布資料

### 2.3.1 委員会資料

第 1 回

- |                           |      |
|---------------------------|------|
| (1) 委員名簿                  | (造研) |
| (2) 申請内容その他               | (〃)  |
| (3) JTTTC 第 1 部会提出資料      | (矢崎) |
| (4) 実験船計画調査小委員会(仮称)に関するメモ | (仲渡) |

第 2 回

- |                                |      |
|--------------------------------|------|
| (1) 50 年度第 2 小委員会研究実施計画アンケート結果 | (阪大) |
|--------------------------------|------|

第 3 回

- |  |      |
|--|------|
| (1) 第 1 小委員会 51 年度計画案                              | (田村) |
| (2) 第 2 小委員会 51 年度計画案                              | (田中) |
| (3) 第 3 小委員会昭和 51 年度予算について                         | (仲渡) |
| (4) 広島湾付近の海象・気象資料調査と実験場の条件について及び実験場候補、江田島湾と大柿付近の調査 | (〃)  |

第 4 回

- |                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| (1) 7m 模型船試験結果中間報告                | (造技セ) |
| (2) 第 1 小委員会昭和 50 年度研究報告取りまとめ方針   | (田村)  |
| (3) 第 2 小委員会経過報告及び 50 年度報告原稿作成分担案 | (田中)  |
| (4) 4m 模型伴流計測結果その他                | (鈴木)  |
| (5) 第 3 小委員会昭和 50 年度研究報告骨子(案)     | (仲渡)  |
| (6) 51 年度研究申請書抜粋ほか                | (造研)  |
| (7) 51 年度研究費一覧表(Rev)              | (〃)   |

第 5 回

- |                 |       |
|-----------------|-------|
| (1) 50 年度研究報告原案 | (各担当) |
|-----------------|-------|

### 2.3.2 小委員会資料

- (1) 第 1 小委員会

第 1 回 なし

第 2 回

- |                       |       |
|-----------------------|-------|
| (1) 第 2 回小委員会議事予定     | (田村)  |
| (2) 船首尾形状図(参考資料)      | (造技セ) |
| (3) 肥大船模型船持ちまわり試験実施方案 | (田村)  |

第 3 回

- |                           |       |
|---------------------------|-------|
| (1) 模型船要目、オフセット、線図等       | (造技セ) |
| (2) 第 1 小委員会昭和 50 年度予算配分案 | (田村)  |
| (3) 第 1 小委員会アンケート結果       | (〃)   |
| (4) 第 1 小委員会 51 年度計画案     | (〃)   |

第4回

- (1) 50年度研究報告原案 (田村・造技セ)  
(2) 第2小委員会

第1回

- (1) 50年度研究実施計画アンケート結果 (阪大)  
(2) 抵抗計測装置外形図 (船研)

第2回

- (1) 基本項目試験方案 (藤田)  
(2) 抵抗・自航試験結果、伴流計測結果例 (〃)  
(3) 50年度研究実施計画及び51年度研究計画 (阪大)  
(4) 3次元境界層計算中間報告その他 (波多野)  
(5) 船尾まわり流場の調査研究51年度研究計画 (大阪府大)  
(6) 51年度研究計画 (船研)  
(7) 肥大船の計測例(自航試験、スラスト) (造技セ)  
(8) 造技センター技報第2号 (〃)  
(9) 造技センター技報第3号 (〃)  
(10) 抵抗計測装置 (船研)  
(11) 涡度計改造組立図 (〃)

第3回

- (1) 実験計画(2m模型) (梶谷)  
(2) 第2小委員会今年度予算配分案 (田中)  
(3) 第2小委員会51年度計画案 (〃)  
(4) 51年度研究計画「船尾まわり流場調査」 (鋼管)

第4回

- (1) Principal Items of Tests (三菱)  
(2) 船尾Side Force、舵力とThrustの関係ほか (鈴木)  
(3) 2m模型の後流観察(中間報告) (梶谷)  
(4) 五孔管によるプロペラ前方断面(プロペラ回転時)流場計測の検討 (鋼管)  
(5) 船体まわりの境界層計算方案 (姫野)  
(6) 51年度研究申請書抜粋ほか (造研)  
(7) 抵抗の成分及びその実験的分離 (丸尾)  
(8) 船尾流場関係文献表題集(1970年以前) (石播)  
(9) " (1971年以降) (造技セ)

第5回

- (1) 基本項目試験結果 (三菱)  
(2) 肥大船の操縦運動における異常現象の研究 (〃)  
(3) 追加項目試験結果 (鈴木)  
(4) N, V, U船尾形状を持つ船型の回流水槽試験例 (佐世保)  
(5) 3次元境界層計算結果 (波多野)  
(6) 3次元境界層計算中間報告 (姫野)  
(7) 供試船型の流場計算 (石播)  
(8) 50年度報告原稿作成担当案 (田中)

第 6 回

- (1) 50 年度研究報告原案 (各担当)  
(2) 船尾後流の境界層理論的取扱い (参考資料) (姫野)  
(3) 第 3 小委員会

第 1 回

- (1) 討議予定 (仲渡)  
(2) 実験船概略仕様 (鋼管)  
(3) 実験船による抵抗・自航試験について (並松)  
(4) 実験船の計測目的、困難性など (高木)  
(5) Resistance Experiments on the "Lucy Ashton" (造研)  
(6) Meteor—Meszfahrten 1967 (〃)  
(7) やよい丸実験結果 (造研報告 Vol.11 ) (〃)  
(8) 操縦性試験に使用する大型模型船 (川重)

第 2 回

- (1) 参考文献集 (粘性抵抗シンポジウムテキスト昭48.5)ほか (仲渡)  
(2) Resistance, Propulsion and Wake Tests with HMS "Penelope" 中の文献名ほか (〃)  
(3) 参考文献集 (Naval Architecture . SNAME 1967) (〃)  
(4) Full Scale Tests with the "Wrangel" and Comparative Model Tests (造研)  
(5) 駆逐艦 "Wrangel" の実験 (渡辺)  
(6) Propeller 特性計測の現状と問題点 (岡本)  
(7) 国内における実験船・実験場・実験方法等の調査(案) (仲渡)  
(8) 広島湾付近の海象・気象資料の調査と実験場の条件について (〃)  
(9) 実験船船外機取付要領図 (高木)

第 3 回

- (1) 実験場候補江田島湾と大柿付近の調査 (仲渡)  
(2) 第 3 小委員会昭和 51 年度予算について (〃)  
(3) 実験艇「むさしの」について (渡辺)  
(4) 文献表題集 (1974 Wageningen Symposium ほか) (石播)  
(5) 実船抵抗試験の問題点 (仲渡)

第 4 回

- (1) 51 年度研究申請書抜粋ほか (造研)  
(2) 第 3 小委員会昭和 50 年度研究報告骨子(案) (仲渡)  
(3) 国内における実験船に関する調査回答 (川重)  
(4) " (鋼管)

第 5 回

- (1) 50 年度研究報告原案 (各担当)

## § 3 肥大船型の自航試験法に関する研究

### 3.1 まえがき

水槽試験の主たる目的の一つは、云うまでもなく模型船による試験結果を用いてその対応実船の性能を推定することにあり、William Froude が初めてこのための水槽建設を行って以来、数多くの模型船がこの目的のため試験に供されてきた。そして模型船の大きさも計測精度の向上や、模型船表面での流れを乱流に保つ必要から次第に増大し、また水槽の寸法もこれに伴って大型化し、現在実船の性能推定を主たる任務とする所謂大水槽においては長さ 6～7 m の模型船を常用するのが普通で、12～14 m の大型模型船を使用する水槽も現われている。

このような大水槽における実船性能推定のための模型試験は、その試験の種類や内容、解析要領に至るまで次第に定形化し、その試験実施に関してはほとんどルーチン試験と云う名のもとに、一種の流れ作業と化しつつあると云っても決して過言ではない。もちろんこの場合模型試験によって得られた成績は、相似則や模型船と実船との相関係数を介して実船の性能と 1 対 1 の対応をつけ得ることを前提としている。

この水槽試験の流れ作業化に対して重大な警鐘を与えたのが、肥大船における船尾流れの不安定現象の発見である。これは渡辺<sup>1)2)</sup> によって初めて指摘されたもので、ある種の肥大船においては、自航試験時に推力・トルクの計測値が単なる実験誤差としては考えられないほどの大きなバラツキを示し、時には 1 回の試験航走の途中で突然推力・トルクの計測値が不連続に急増または急減する現象が見られ、そしてこの自航要素の解析結果は、一見単なる計測値のバラツキと見えるものが、2 種の伴流へと分類することができるところである。以来、この船尾流場の不安定現象に対して種々の研究が行なわれているが、昭和 50 年 6 月に開催された肥大船の推進性能に関するシンポジウムにおいて、渡辺<sup>3)</sup> によって総合的にとりまとめ解説されている。

このような肥大模型船の船尾における異なる種類（少くとも 2 種）の流場の存在は、水槽試験結果の解釈に非常な困難をもたらすことになる。緒言に述べられている通り、本研究部会が研究の対象としている新経済船型においては、機関室内配置の都合より特に船尾が肥大化する傾向があるため、この現象はますます激しくなるものと考えられる。したがって、模型試験結果より正しい実船性能の推定を行うためには、実船に対応するのはいずれの流れであるのか、実船にもこのような不安定な流場が発生するのか、さらには、この流場に対応した尺度影響をどのように考えるべきかなどの諸問題を明らかにして行くことが必要である。

この本質的な解明を行うためには、船尾流場に関する基本的な調査から出発して、不安定現象の発生原因を究明して行くことが必要であることは論を待たないが、同時に実用の立場から、自航試験に際して現われる不安定現象の実態を把握してその識別法を調査し、このような船尾流場に適した自航試験法を見出すことが、実船性能の推定を任務とする大水槽にとっては緊急かつ重要な事項である。これが本研究部会においてその主要テーマの一つとして大型模型船の使用による肥大船型の自航試験法に関する研究を探り上げたゆえんである。研究の実施にあたっては国内大水槽の協力を仰ぐこととし、その第 1 着手として同一模型船の持ちまわりによる比較試験を実施することとした。以下その目的、実施内容、試験結果について記述する。

### 3.2 持ちまわり試験の計画

#### 3.2.1 持ちまわり試験の必要性

肥大模型船の船尾流場の不安定現象についてはこれまでにも種々の調査研究が行なわれ、またいくつかの水槽よりその発生状況が報告されているが、現象が複雑かつ微妙なため、その全貌は必ずしもまだ明かでない。いなむしろ不安定現象自体の定義もあいまいで、水槽あるいは研究者によりその意味する内容が異っていると云う方が実情に則しているものと思われる。

渡辺<sup>2)</sup>は日本造船研究協会第61研究部会(SR61)の母型船型NM.No.1592(6m)を用いて、繰返し自航試験を含む各種の試験を行い、船尾流場不安定の様相を調査した。そして本船型の65% Loadにおいては明瞭に2種の流場が存在すること(Fig. 3.2.1)、またその一つはプロペラ荷重度の変化に伴って大きく変化するのに対し、他の一つはほとんど影響を受けないこと(Fig. 3.2.2)を示した。谷口<sup>4)</sup>によれば前者がFタイプ、後者がSタイプの流場である。

このNM.No.1592船型は65% LoadにおいてF、S両タイプの流場が現れ易い、いわゆる不安定現象が直接検知出来る代表的な例と云うことが出来る。この船尾流場の問題は、いずれか一方の流場に安定していればよいと云うわけでは決してなく、水槽試験の結果から実船性能の推定を行う場合、その自航試験結果がいずれの流場に対応しているものかを知り、また実船の流場がどうなるかをも検討した上で、それに適合した相関係数の選定を行う必要があると云う、極めてやっかいな問題をかかえている。すなわち2種の流場が存在していること自体が、極めて重大な問題を提供しているわけである。このため渡辺<sup>3)</sup>は、肥大模型船の自航試験に際しては必ずFig. 3.2.2に示すようなプロペラ荷重度変更試験を行い、この結果に基づいて船尾流場のタイプの判定を行うことを提案している。

一方矢崎<sup>5)6)</sup>、島田<sup>7)</sup>は肥大模型船の自航試験における推力、トルクの変動の様相や程度によって分類し、それに応じて船尾流れの状態が夫々N、F、Sに相当するものと定義している(Fig. 3.2.3)。そして日本造船技術センターにおいて実施された数多くの船型に対する自航試験結果を整理解析して、船尾の肥大度の増加と共に船尾流場が次第にN、F、Sと変化している状況を定量的に把握した(Fig. 3.2.4)。

上記は船尾流場の不安定現象に関する代表的な研究例であるが、両者の定義する流場は必ずしも同一ではなく、その相互の関係も明らかではない。このような事態は対象を海外での研究にまで拡げればさらに混乱をますことになるので、研究対象の明確化と定義の確立がます必要と思われる。

また一方船尾流場自体が、模型船のわずかな形状や表面状態の相違、試験や計測の方法の相違によって微妙に変化し、水槽の構造や計測装置によっても影響される可能性があるため、夫々の水槽において別個の現象が生じている恐れすら考えられるので、この問題に対して総合的なメスを入れるために、まず現象自体の確認から着手する必要が感ぜられた。

以上のような背景から、まず研究の第一着手として持ちまわり試験の実施が企画されたものである。すなわち不安定現象の起り易い肥大模型船を用意し、これを関係水槽に回送して夫々定められた方案にしたがって水槽試験を実施し、その結果を互いに比較検討することによって、水槽の構造や計測装置の影響を調査すると共に、現象自体の明確化と問題に対する共通の認識を確立することを目的とした。

### 3.2.2 供試模型船の決定

供試模型船の選定には、次の諸点を考慮する必要がある。

- (i) 不安定現象が発生し易い船型であること。
- (ii) 本研究部会の研究対象である新経済船型の概念にあてはまること。
- (iii) 本研究部会の他の研究テーマ、特に「船尾まわりの流場調査」の研究対象と船型が共通であるのが望ましいこと。

このうちi)について見れば、これまで不安定現象の研究に主として使用され、その様相も相当に明らかにされて来ているSR61の母型船型(NM.No.1592)をとりあげるのが最も妥当のように思われる。一方ii)に関連して、日本造船技術センターで最近試験が行なわれた中小型肥大船々型の船体後半部をNM.No.1592のそれと比較した結果では、NM.No.1592の船尾フレームラインの下半分がU型の程度が強くなっていた(Fig. 3.2.5)。したがって実用船型を考えるならばNM.No.1592よりもう少しV型の船尾フレームラインを採用する方が良いかも知れないが、今回はi)の要求を最も重視すべきであると

考え方、Ⅲ)項も含め関係者の合意のもとに、SR61の母型船型(M.1592)を持ちまわり試験供試船型に選定した。

模型船寸法は試験に参加する水槽の意向や、これまでに実施された本船型に関する研究との関係も考えて、 $L_{pp} = 7\text{ m}$ に決定した。

### 3.2.3 持ちまわり試験実施方案

持ちまわり試験結果の評価や相互比較を正しく行うため、供試模型の取扱い、試験状態の設定、試験の実施および解析の要領を詳細に定めた方案を作成し、これに従って試験を行うこととした。以下その内容を示す。

#### (1) 供試模型

##### (a) 模型船

SR61母型船型(NM. No 1592)の相似模型船を製作する。

$L_{pp} = 7\text{ m}$ 、木製、流線型舵付、ビルデキールなし。

乱流ビンはSS9 1/2に植える。ビッチおよびビンの形状は模型船製作担当場所(または第1回の試験実施場所)のプラクチスによることとし、持回り試験中共通に使用する。

模型船の曳航点はプロペラ軸中心線の延長上でかつて付近とし、持ちまわり試験中は出来る限り共通の曳航点を使用する。曳航方向は水平とする。

##### (b) 模型プロペラ

SR61母型船型(M.1592)の自航試験に使用したプロペラと相似のプロペラを製作し、模型船と一緒に持ちまわるものとする。模型プロペラ前後位置は標準位置(SR61での採用値)とする。

#### (2) 試験状態

##### (a) 試験状態

Full Load Even Keel、65%Load 1%A Trim、44%Load 2%A Trimの3種類とする。試験状態表は第1回の試験実施場所で作成、模型船と共に回送する。これをTable 3.8.1に示す。

##### (b) 本船型の対応実船主要目:

$$L_{pp} \times B \times d = 240^{\text{m}}_{pp} \times 40.00^{\text{m}} \times 14.493^{\text{m}}$$

(including skin)

$$\triangle a = 114,387\text{ t}$$

$$\text{主機出力 (MCR)} \quad 30,000 \text{ PS} \times 120 \text{ rpm}$$

#### (3) 試験実施要領

##### (a) 試験の種類

抵抗試験、自航(推進)試験、プロペラ荷重度変更試験、プロペラ単独試験

##### (b) 抵抗試験

(i) 速度範囲は次の通りとする。

Full Load	65% Load	44% Load
0.5 ~ 1.75 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$	0.5 ~ 1.85 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$	0.5 ~ 1.90 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$
(約6 ~ 20 $\text{kN}$ )	(約6 ~ 21 $\text{kN}$ )	(約6 ~ 21.5 $\text{kN}$ )

計測は $0.1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ 間隔で行なうことの一応の目安とし、必要に応じて増減する。計測順序(速度の選定)および航走時間の間隔は夫々の水槽のプラクチスによって行う。

(ii) 計測項目は速度(対水又は対地)、抵抗、船首尾の沈下量、船首尾のガイドに作用する横力の計測とする。計測の要領は夫々の水槽のプラクチスによるが、一航走中の変動を調査するため、

抵抗および横力はアナログ記録を実施する。

(iii) 次の速度において船側波形、および船尾まわりの水面の写真撮影を行う。

フルード数 ( $v/\sqrt{gL_{pp}}$ )						
Full Load	0	0.10	0.14	0.16	0.18	0.20
65% Load	0	0.10	0.14	0.18	0.20	0.22
44% Load	0	0.10	0.14	0.18	0.20	0.22

(iv) 速度の計測は、対水又は対地速度を夫々の水槽のプラクチスによって計測する。

(c) 自航(推進)試験

(i) 模型船を抵抗動力計に接続し、船体抵抗とプロペラスラストの差を検出する方式で試験を行なう。

プロペラ荷重度は実船用として [ I.T.T.C. 1957 Line + 0.0002( $\Delta(f)$ ) ]、模型船用として [ I.T.T.C. 1957 Line ] を採用して摩擦抵抗修正を行なった状態を目安とする。

(ii) 速度範囲は次の通りとする。

Full Load	65% Load	44% Load
0.8~1.75 m/s (約9~20 kn)	0.8~1.85 m/s (約9~21 kn)	0.8~1.90 m/s (約9~21.5 kn)

計測点数は自航要素の平均線を容易に引き得る程度とするが計測値の変動が大きいときは適宜追加する。

(iii) 計測項目は速度(対水又は対地)、抵抗 $\Delta R$ 、スラスト $T$ 、トルク $Q$ 、回転数 $n$ および船首尾のガイドに作用する横力の計測とする。計測の要領は夫々の水槽のプラクチスによるが、一航走中の変動を調査するため、 $\Delta R$ 、 $T$ 、 $Q$ および横力はアナログ記録を実施する。回転数はアナログ記録の要はないが、変動の有無をチェックする。

(iv) 自航(推進)試験時のアイドルのとり方は、夫々の水槽のプラクチスによることとする。

(v) 次の速度において船尾まわりの水面の写真撮影を行う。

フルード数 ( $v/\sqrt{gL_{pp}}$ )					
Full Load	0.10	0.14	0.16	0.18	0.20
65% Load	0.10	0.14	0.18	0.20	0.22
44% Load	0.10	0.14	0.18	0.20	0.22

(d) プロペラ荷重度変更試験

(i) 自航(推進)試験にひきつづいてプロペラ荷重度変更試験を行なう。計測要領、計測項目などは、特記する以外は自航(推進)試験に準ずるものとする。

(ii) 試験速度は3状態ともフルード数 ( $v/\sqrt{gL_{pp}}$ ) 0.18 とする。

(iii) プロペラ荷重度の変更範囲はプロペラスラスト ( $T=0$ ) から模型船の自航点(摩擦抵抗修正=0)の範囲とし、前節の自航試験における自航点を含み、合計4~5点のプロペラ荷重度について計測を行う。

(iv) 各計測時に船尾まわりの水面の写真撮影を行う。

(e) プロペラ単独試験

(i) 自航試験解析用として、実船定格回転数に  $\sqrt{S}$  を乗じた ( $S = \text{縮率}$ ) 模型の相当回転数でのプロペラ単独試験を行う ( $2 \text{ rps} \times \sqrt{240/7} = 11.7 \text{ rps}$ )。また実施場所での自航試験解析用プロペラ単独試験の回転数選定プラクチスがこれと異なる場合は、その回転数についても単独試験を実施する。

(ii) プロペラ単独試験におけるアイドルのとり方は、ボスのみをとりつけ、所定の回転数において

プロペラのスリップ比数点に相当する速度で前進させ、その際のT、Qを計測し、これをアイドルとしてプロペラ単独試験における計測値より控除する方式とする。

#### (4) 解析要領

##### (a) 模型船関係諸数値

SR61で使用した数値を7mに換算し、これを共通に使用する。

##### (b) 抵抗試験結果

(i) Correlation LineとしてI.T.T.C. 1957 Lineを採用した場合の剩余抵抗係数Cr、およびHughes Basic Lineを採用した場合の造波抵抗係数Cwおよび形状影響係数Kの双方を求め。長さの基準としてはL<sub>pp</sub>を採用する。また形状影響係数Kの算出は夫々の水槽のプラクチスに沿って行うこととする。

(ii) 抵抗の無次元表示は  $C = R / \frac{1}{2} \rho v^2 S$  を用い、横軸にフルード数  $v / \sqrt{g L_{pp}}$  を用いる。計測点を記入の上、適当と思われる平均線を引く。船首尾の沈下量δは  $\delta / L_{pp}$  の形でフルード数ベースに表示する。

(iii) 同一航走中の計測値が明瞭に値が異なる2つ以上のグループに分れる場合は、全体を通した平均値は採用せず、夫々のグループに対し夫々平均値を求め計算を行う。ただし結果を表示する際は、同一航走中の変化であることがわかるように表示のこととする。

##### (c) 自航(推進)試験結果

(i) 自航試験においては、摩擦抵抗修正値を計画値に一致させる必要はないので、T、Q、nの無次元表示を行なう必要は必ずしもないが、参考として計測各点について  $k_t = T / \frac{1}{2} \rho v^2 \nabla^{\frac{2}{3}}$  ,  $k_p = \frac{2\pi n Q}{\frac{1}{2} \rho v^3 \nabla^{\frac{2}{3}}}$  ,  $k_n = \frac{n \nabla^{\frac{1}{3}}}{v}$  ,  $C_t = \frac{R_m - \Delta R}{\frac{1}{2} \rho v^2 \nabla^{\frac{2}{3}}}$  を算出し、フルード数  $v / \sqrt{g L_{pp}}$  ベースに表示する。

(ii) 各計測点につき自航要素t, W<sub>T</sub>, η<sub>R</sub>を算出し、フルード数  $v / \sqrt{g L_{pp}}$  ベースに表示する。

(iii) 同一航走中の計測値が明瞭に2つ以上のグループに分れる場合は、全体を通した平均値は採用せず、夫々のグループに対して夫々平均値を求め計算を行う。ただし結果を表示する際は、同一航走中の変化であることがわかるように表示のこととする。

##### (d) プロペラ荷重変更試験結果

(i) プロペラ荷重度  $C_T = T / \rho v^2 D^2$  ベースに自航要素t, W<sub>T</sub>, η<sub>R</sub>を夫々の計測点に対して算出表示する。

(ii) その他の要領は自航(推進)試験と同一とする。

##### (e) プロペラ単独試験結果

$J = v / n D$  ベースに  $K_T = T / \rho n^2 D^4$  ,  $K_Q = Q / \rho n^2 D^5$  を夫々の計測点に対して算出プロットし、これに対して平均線を引き、その平均線に対して効率η<sub>O</sub>を算出、曲線で表示する。

##### (f) 横力計測結果

(i) 抵抗試験および自航(推進)試験結果は、フルード数ベースに  $Y / \frac{1}{2} \rho v^2 \nabla^{\frac{2}{3}}$  で表示する。

またプロペラ荷重変更試験結果は、 $C_T = T / \rho v^2 D^2$  ベースに同じく  $Y / \frac{1}{2} \rho v^2 \nabla^{\frac{2}{3}}$  で表示する。

(ii) 横力とプロペラとの関係を見るため、自航(推進)試験およびプロペラ荷重変更試験結果について、 $J' = v / n D$  ベースに  $Y / \rho n^2 D^4$  の表示を行う。

(iii) 同一航走中の計測値が明瞭に2つ以上のグループに分れる場合は、夫々のグループに対して夫々平均値を求めて計算を行う。ただし結果を表示する際は、同一航走中の変化であることがわかるように表示のこととする。

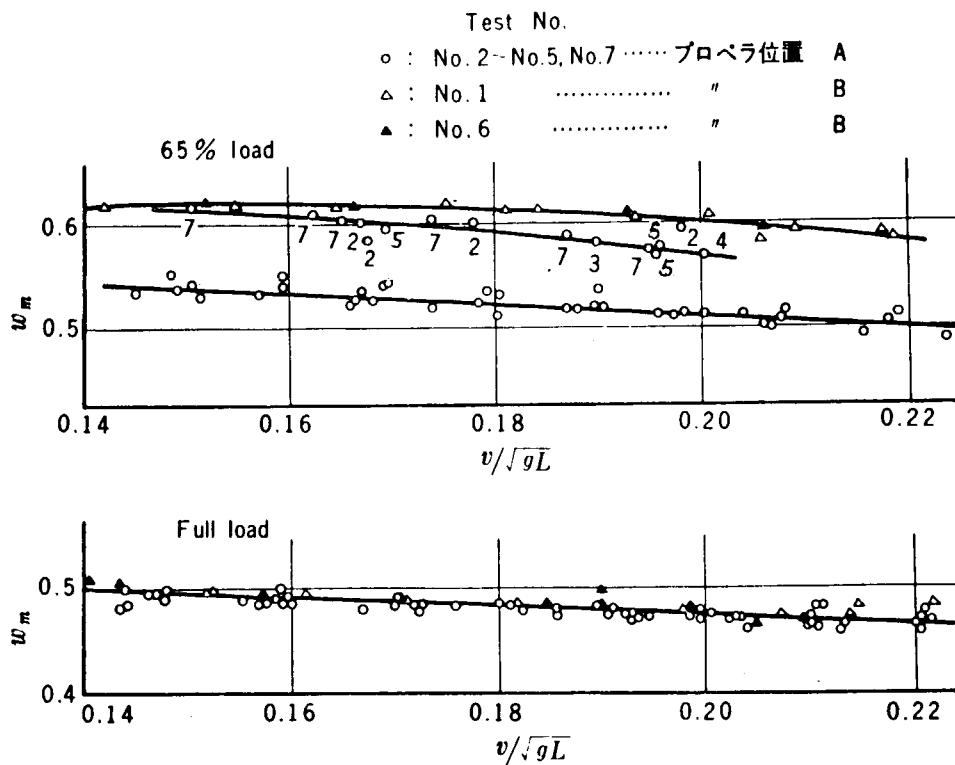


Fig. 3.2.1 Scattering of effective wake obtained from repeated self-propulsion test (M. 1592)

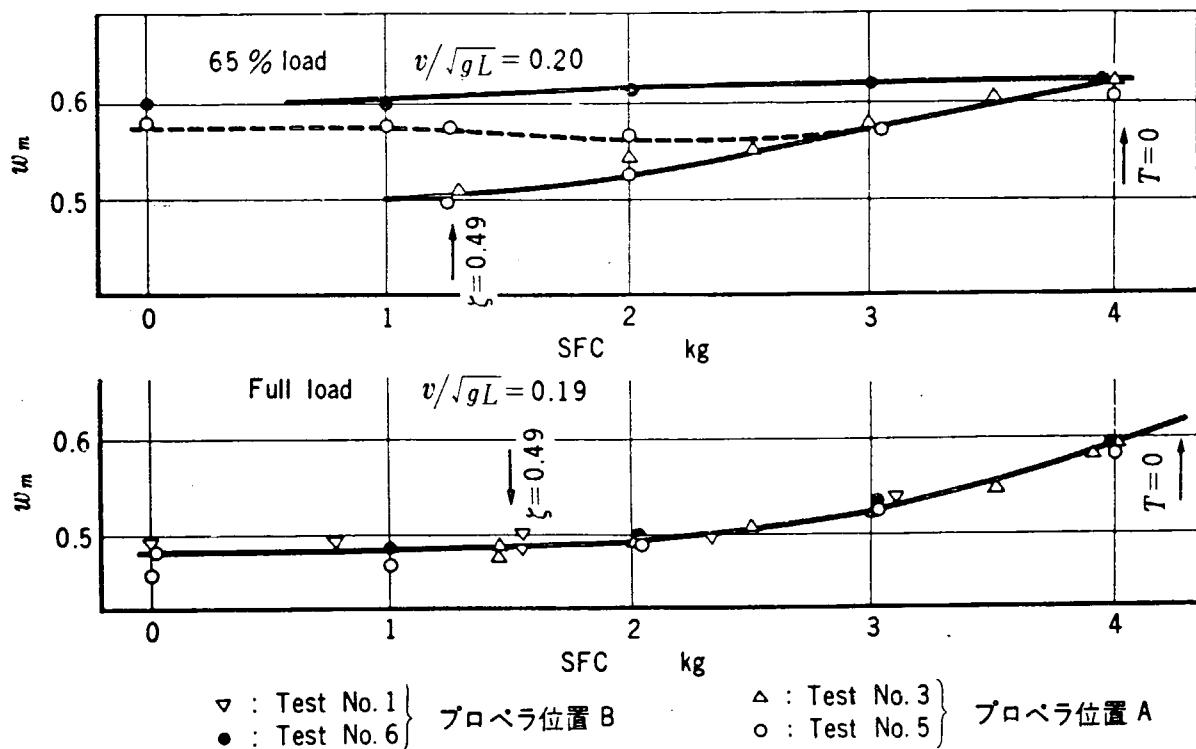


Fig. 3.2.2 Effect of propeller loading on effective wake

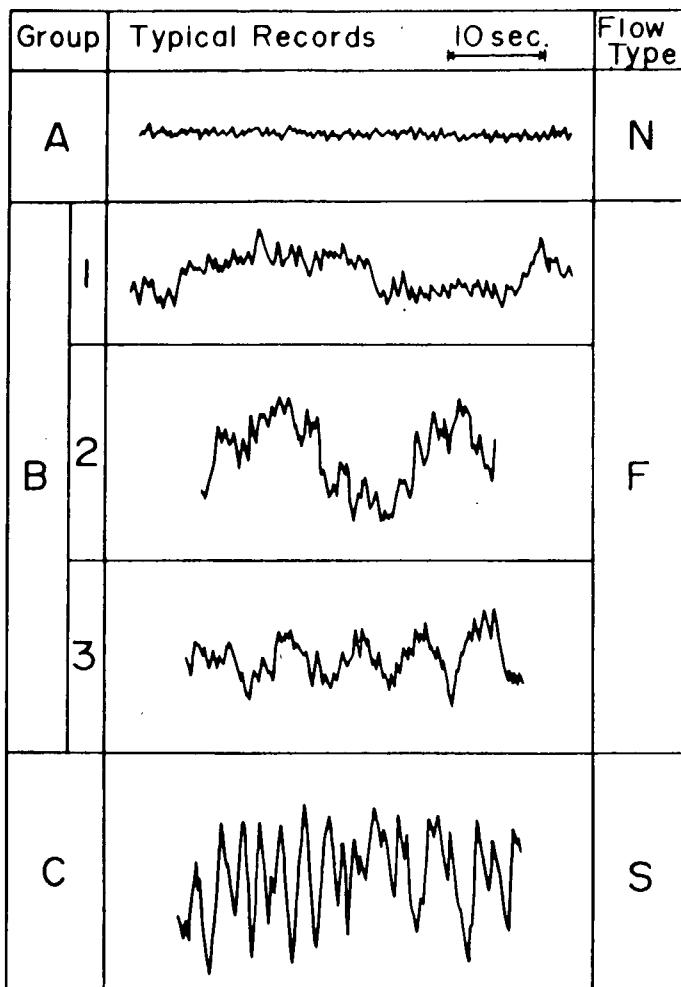


Fig. 3.2.3 Typical Records of Thrust in Self-propulsion Test

- $\times$  ; N-type, Records of torque etc. are stable in all loaded conditions
- $\circ$  ; F-type, " are fluctuate in one loaded condition
- $\bullet$  ; " , " are fluctuate in more than two conditions
- $\bullet$  ; " , " are fluctuate in all loaded conditions
- $\triangle$  ; S-type, " are fluctuate irregularly

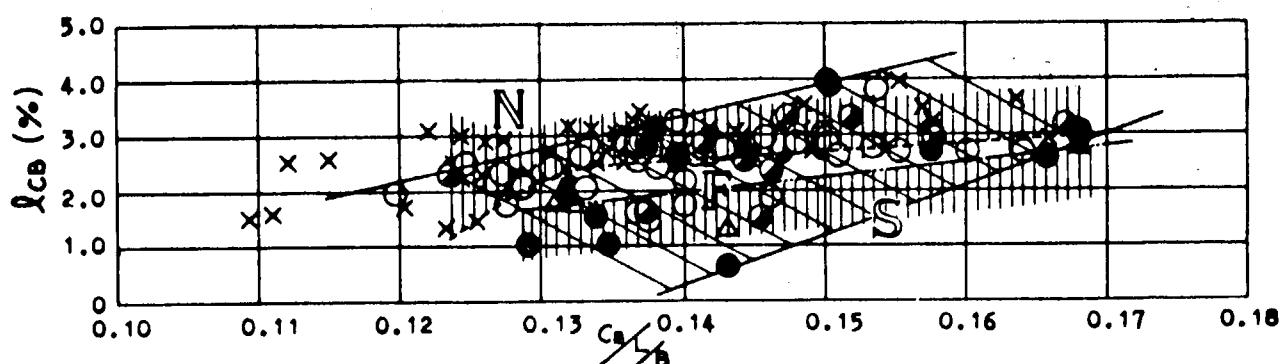


Fig. 3.2.4 Relation between Principal Dimensions of Ship Model and Unstable Phenomenon

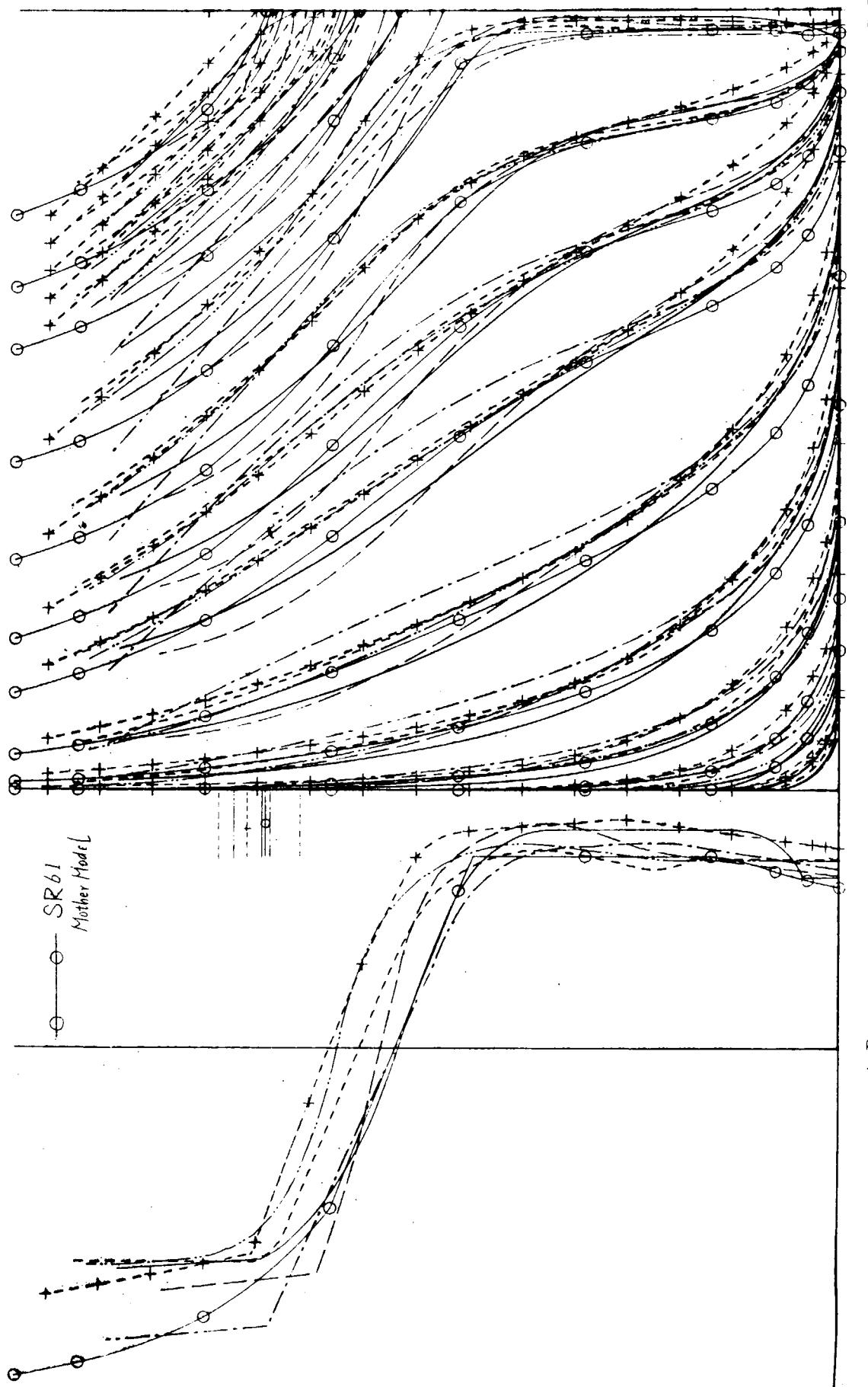


Fig. 3.2.5 Comparison of Aft Body Plans

(g) その他

波形、水面の写真、各航走でのアナログ記録は、夫々がどの解析点に相当するかあとで調査可能なようにとりまとめる。(解析、検討の課程で必要に応じて利用する)

### 3.2.4 実施スケジュール

(1) 参加水槽

日本造船技術センター、船舶技術研究所、石川島播磨重工業(株)技術研究所、明石船型研究所、三菱重工業(株)長崎研究所の5水槽が参加し、上記の順で模型船、模型プロペラを回送する。

(2) スケジュール

昭和50年度は模型船、模型プロペラの製作および日本造船技術センターでの試験を実施した。他の4水槽での試験は昭和51年度研究として実施の予定である。

## 文 献

- 1) 渡辺恭二 「肥えた模型船に現われる不安定現象」  
三菱重工技報、Vol.4 No.4 (1967-7)
- 2) 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 (1969-12)
- 3) 渡辺恭二 「肥大船の自航試験における不安定現象」  
肥大船の推進性能に関するシンポジウム (1975-6)
- 4) 谷口中 "Problems connected with model tests for large merchant ships",  
Introductory statement in group discussions, Proceedings of 12th  
I.T.T.C. (1969-9)
- 5) 矢崎敦生、大野勝利  
「肥大船における船型要素等と抵抗・推進性能に関する統計的資料」  
肥大船の推進性能に関するシンポジウム (1975-6)
- 6) 矢崎敦生 "Instability of thrust and torque during a self-propulsion test of  
modern full ship form", 14th I.T.T.C. Written Contribution to  
Performance Committee (1975-9)
- 7) 島田秀三 「肥大模型船の自航試験における不安定現象発生時の記録のタイプについて」  
日本造船技術センター技報 第3号 (1975-3)

## 3.3 試験の実施とその結果

本節は日本造船技術センターにおいて実施された7m模型(M.S.No.3330)の試験の内容とその結果についての説明である。

### 3.3.1 試験の実施

試験は、昭和50年11月19日より12月6日にわたって、日本造船技術センター(目白水槽)の第1水槽で実施された。実施された試験項目は、7m模型船を用いた抵抗試験、自航試験、プロペラ荷重変更試験( $F_n=0.18$ のみ)、および自航試験に使用したプロペラの単独試験である。

試験状態は、Full Load、65% Load、44% Loadの3種である。各状態の排水量・トリム等をTable 3.3.1に示す。なお、同表中には、計測を実施した速度範囲および試験時の水温も合わせて示してある。

また、上記試験に際して、ガイド装置を介して模型船の船首尾の沈下量と横力を計測した。ガイド装置のセット位置は、S.S.N<sub>o</sub> 9 1/4 および 3/4 である。

また、曳引力(抵抗)、スラスト、トルク、および横力の計測はアナログ記録によった。

プロペラ単独試験は、実船定格出力に対応する回転数(11.7 rps)と、日本造船技術センターの標準レイノルズ数より定められた回転数(15.0 rps)の2種について実施した。試験時の水温は共に 18.4°C である。

速度はすべて対地速度を採用した。対水速度計は取り付けていない。

### 3.3.2 供試模型，M. S. No. 3330

供試模型船の線図および船首尾形状などを Fig 3.3.1 に示す。模型船には、舵は付いているがビルジキールは付いていない。また乱流促進のため S.S.N<sub>o</sub> 9 1/2 にスタッドを打ってある。スタッドの断面形状は台形、高さは 1 mm、ピッチは 10 mm である。また、各種試験時の模型船の曳航点は船体中央より後方約 10 cm、ベース・ライン上約 15 cm である。

模型船製作に当っては、本模型船が今後いくつかの水槽で使用されることに留意し、途中有害な変形等が生じないように、強度等には充分な注意を払った。

供試模型プロペラ(M. P. N<sub>o</sub> 2171)の形状を Fig 3.3.2 に、その要目等を Table 3.3.2 に示す。

### 3.3.3 試験結果

Fig 3.3.3 ~ Fig 3.3.4 に抵抗試験結果を示す。Fig 3.3.3 は Correlation line として I.T.T.C. 1957 line を採用した場合の剩余抵抗係数、Fig 3.3.4 は同じく Hughes の Basic line を採用した場合の造波抵抗係数である。後者の場合、低フルード数における抵抗試験の結果から、形状影響係数 K は Full Load では 0.49、65% Load と 44% Load では 0.48 とした。

両図を見て解るように、65% Load の  $F_n = 0.18$  以下が大きくばらついている。仔細に見ると 3 本の line が引けそうである。その原因や不安定現象との関連については不明である。また、44% Load の低速部が line からはずれているが、これは乱流促進の不足によると思われる。

Fig 3.3.5 にプロペラ単独試験結果を示す。前述したように回転数を 2 種変えて試験を実施したが、両者に有意の差は認められないので line は 1 本とし、それを試験等の解析に用いた。

なお、データの読み取りに際しては、1 つの航走の記録については 1 つのデータしか読み取っていない。また、抵抗試験時に船首尾のガイド装置の位置で横力を計測しているが、船首尾共有意な横力の存在は認められなかったので、ここには示していない。

Fig 3.3.6 ~ Fig 3.3.7 に自航試験結果を示す。Fig 3.3.6 にはプロペラ回転数、トルク、スラストおよび抵抗の無次元値を示してあるが、その表式は以下のとおりである。

$$k_n = \frac{n \cdot \nabla^{1/3}}{v}$$

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

$$k_t = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho v^2 \nabla^{2/3}}$$

$$C_t = \frac{R_M - R}{\frac{1}{2} \rho v^2 \nabla^{2/3}}$$

ここに、

$n$	プロペラ回転数 [ rps ]
$\nabla$	排水量 [ $m^3$ ]
$v$	模型船速度 [ $m/s$ ]
$\rho$	水の密度 $101.96 [ kg \cdot sec^2/m^4 ]$
$Q$	プロペラのトルク [ $kg \cdot m$ ]
$T$	プロペラのスラスト [ $kg$ ]
$R_M$	模型船の全抵抗 [ $kg$ ]
$\Delta R$	模型船に加えた曳引力 [ $kg$ ]

また、Fig 3.3.7には横力Yを $\frac{1}{2}\rho\nabla^{2/3}v^2$ で無次元化した値Yを示してある。Y(A)とあるのは後方のガイド位置(S.S.N<sub>o</sub> 3/4)で計測された横力の無次元値を、Y(F)とあるのは前方(S.S.N<sub>o</sub> 9 1/4)のそれを示しており、A.P.ないしF.P.の位置での値への換算はしていない。

自航試験結果のデータ読み取りに際しては、同一航走中のアナログ記録が異なる2つ以上のグループに分れると思われる場合には、記録全体を通じた平均値を採用せず、そのグループの間の計測量の差の多少にかかわらず、各々のグループに対して各々の平均値を求めた。さらに、その際、6~7秒ないし十数秒以上にわたって平均的な線をひくことができるところを選んで平均値を読み取ったのである。それらが、いわゆる不安定現象に如何様に対応するかは今後の検討に待ちたい。Fig 3.3.6~Fig 3.3.7において、○●○●とあるのは同一航走中の記録より読み取ったデータであることを示し、○印と△印は別々の航走より得られたデータであることを示す。

なお、Fig 3.3.7の横力Yの表示において、プラスとは船体後方より見て右向きの力が加わった場合を、マイナスとは逆に左向きの力が加わった場合を表わす。

Fig 3.3.7を見ると次のようなことが言える。すなわち伴流係数W<sub>T</sub>を見ると、Full Loadと65% Loadでは2つ以上の大さく離れたグループには分れていないが、44% Loadでは大さくばらついており不安定現象が発生しているように思われる。次に、横力Yを見るとFull Loadでは、伴流係数W<sub>T</sub>の大小に応じて船尾の横力が変化している。つまり、1つの航走中で、伴流係数W<sub>T</sub>が小さいとき横力Y(A)はマイナスとなっており、また伴流係数W<sub>T</sub>が大きいとき横力Y(A)はゼロ付近にばらついている。65% Loadでは、上記の傾向は定かではないが、全体が大さくプラス側(Y(A)≈0.003)にずれている。44% Loadでは、Fn=0.16以上では大さくばらついているが、この場合もFull Loadと同様、伴流係数W<sub>T</sub>の大小に対応している。つまり、伴流係数W<sub>T</sub>の小さいとき船尾の横力Y(A)はマイナスとなっており、伴流係数W<sub>T</sub>の大きいとき横力Y(A)はプラスとなっている。またプロペラ効率比η<sub>R</sub>とスラスト減少係数tを見ると、伴流係数W<sub>T</sub>の大小に応じた一定の傾向は認められないが、65% Loadのスラスト減少係数tが大きいことが注目される。

Fig 3.3.8には、プロペラ荷重度変更試験の結果を示した。横軸はスラストTをプロペラ直径Dを用いて無次元化したC<sub>T</sub>=T/ρv<sup>2</sup>D<sup>2</sup>である。図中、C<sub>T</sub>=0の付近ではプロペラ効率比η<sub>R</sub>やスラスト減少係数tの実験点がないが、これは、この付近では計測量が小さいために充分なる精度が得られないもので省いたためである。

また、計測記録の読み取りに際しては、自航試験の場合と同様、同一航走中のアナログ記録が異なる2つ以上のグループに分れると思われるときには、各々のグループに対して各々の平均値を求めた。図中、同一航走中の記録より読み取ったデータは、線で結んである。

Fig 3.3.8を見ると次のようなことが言える。すなわち、伴流係数W<sub>T</sub>をみると、Full Load、65% Loadの高荷重部、および44% Loadの低荷重部では比較的ばらつきも少なく2つ以上のグループに大きく分れるというふうにはなっていない。しかし、65% Loadの低荷重部と44% Loadの高荷

重部では、1つの航走中に伴流が変化しいわゆる不安定現象が発生しているように思われる。次に横力Yをみると、Full Loadでは低荷重のときゼロないしプラス側、高荷重のときはゼロないしマイナス側となっている。また、この場合も、自航試験の結果と同様、伴流係数 $W_T$ の大小と船尾の横力Y(A)の大小が対応している。つまり、1つの航走中で、伴流係数 $W_T$ の小さい流れのときは船尾の横力Y(A)は比較的小さく(マイナス側)、逆に伴流係数 $W_T$ の大きい流れのときは比較的大きく(プラス側)なっている。65% Loadでは、船尾の横力Y(A)は、 $C_T=0.1$ 付近ではゼロないしマイナス側、 $C_T=0.2$ 以上ではプラス側、そして、その中間の荷重のときは1つの航走中にマイナス側よりプラス側に大きく変化している。また、低荷重部では、船尾の横力Y(A)と伴流係数 $W_T$ の間に、Full Loadの場合と同じ大小の対応関係が存在している。44% Loadでは、船尾の横力Y(A)は、ゼロないしマイナス側である。また、この場合にも、船尾の横力Y(A)と伴流係数 $W_T$ の間にFull Loadの場合と同じ大小の対応関係が存在する。次に、プロペラ効率比 $\eta_R$ やスラスト減少係数 $t$ を見ると、自航試験の結果と同様、伴流係数 $W_T$ との間に一定の傾向は認められないが、65% Loadのスラスト減少係数 $t$ が大きい。

Fig 3.3.9は、自航試験およびプロペラ荷重度変更試験時に計測された船尾の横力Y(A)を、プロペラ荷重度で整理したものである。横軸にはスラスト一致法で求めたプロペラの前進係数を、縦軸には船尾の横力Y(A)をプロペラ回転数 $n$ とプロペラ直径Dで無次元化した $Y(A)/\rho n^2 D^4$ をとった。なお図中、同一航走中の記録より得られたデータは線で結んである。

Fig 3.3.10～Fig 3.3.12に船首尾沈下量 $\delta$ を模型船長さ $L_{pp}$ で無次元化した $\delta/L_{pp}$ を示す。Fig 3.3.10は抵抗試験時、Fig 3.3.11は自航試験時、Fig 3.3.12はプロペラ荷重度変更試験時に計測されたものである。計測点の欠けているところは、計器の不調のため計測が不能なところである。

これらの図によると、65% Loadと44% Loadでは、抵抗試験時よりも自航試験時の方が、またプロペラ荷重の大きなときの方が、船尾の沈下量が増加し、船首のそれが減少するという傾向が若干認められる。

Fig 3.3.13～Fig 3.3.21には、プロペラ荷重度変更試験時の記録例を示す。同図中には、船首尾の横力Y(F)、Y(A)、曳引力△R、プロペラのトルクQ、およびプロペラのスラストTが示してある。また、Table 3.3.3には、上記した図に対応する、プロペラ荷重度 $C_T$ 、スラストT、トルクQ、および曳引力△Rの平均的な値の概略を示した。

Fig 3.3.22には、自航試験等に使用した諸動力計のStep応答を示す。ただし、曳引力の応答は、模型船を取り付けていないときのものである。また、曳引力測定系(抵抗動力計、天秤式)のダンバ常数は、模型船の排水量に応じて試験の都度若干変更されるのが通常であるが、本図に示したものはその平均的な特性である。横力の測定系の固有周期は、模型船を付けたときFull Loadで約8秒であった。

### 3.3.4 考 察

今回の試験結果によると、65% Loadではすでに抵抗値にも大きなばらつきが見られるなど、不安定現象を生じない通常の船型の結果とは異っているように思われる。しかし1航走中の抵抗の変動は、自航試験でのスラストの変動に比べるとオーダー的にも小さく、また横力も全く生じないなど、自航試験時とは異っており、はたしてこれが不安定現象の発生を特徴づけるものかどうかは不明である。

SR61母型(NM.N.1592)の自航試験時の計測結果については渡辺により既に発表されている。今回の結果を、たとえば渡辺<sup>2)</sup>(前節文献リスト参照)の結果(Fig 3.2.1、Fig 3.2.2)と比べると次のようなことが言える。すなわち、65% Loadの伴流係数を見ると、後者では、自航試験時およびプロペラ荷重度変更試験時の高荷重部で大きく離れた2つのグループに分れている。他方、前者では、プロペラ荷重度変更試験の低荷重部を除き、上記2つのグループのうち満載状態とは性格が異なると考え

られる伴流係数 $W_T$  の大きなグループのみが計測された。Full Loadでは、今回の試験結果とはほぼ同様な傾向を示している。

したがって今回の試験結果は前記渡辺の結果と必ずしもよく一致してはいないが、これは現象の複雑さを示すものと思われるので、今後の持ちまわり試験の結果も見た上で総合的に検討を進めることとしたい。

Table 3.3.1 Test Condition e.t.c., M.S. No 3330

Item	Load Condition	Full Load	65% Load	44% Load
L <sub>pp</sub> (m)		7.0000		
B (m)		1.1667		
Draft (m)	F.P.	0.4227	0.2489	0.1280
	<del>X</del>		0.2839	0.1980
	A.P.		0.3189	0.2680
Displacement (m <sup>3</sup> )	2.7680	1.7992	1.2179	
Trim (% L <sub>pp</sub> )	0	1.0	2.0	
L <sub>pp</sub> / B		6.0000		
B / d <sub>g</sub>	2.7601	4.1095	5.8924	
C <sub>B</sub>	0.8017	0.7760	0.7538	
C <sub>P</sub>	0.8096	0.7873	0.7690	
C <sub>M</sub>	0.9903	0.9857	0.9795	
C <sub>W</sub>	0.8750	0.8317	0.8118	
l <sub>CB</sub> (% L <sub>pp</sub> )	1.4802F	0.4565F	2.1349A	
Range of Speed	R.T.	0.06 ~ 0.21	0.06 ~ 0.22	0.06 ~ 0.235
	S.P.T.	0.10 ~ 0.21	0.10 ~ 0.22	0.10 ~ 0.22
	P.L.T.		0.18	
Temp. of Water (°C)	17.7	17.6	17.6	

Remark : R.T. Resistance Test  
 S.P.T. Self-Propulsion Test  
 P.L.T. Propeller Load Test

Table 3.3.2 Model Propeller, M.P.No. 2171

Diameter (mm)	204.2
Pitch Ratio (Const.)	0.7143
Boss Ratio	0.180
Expanded Area Ratio	0.665
Max. Blade Width Ratio	0.301
Blade Thickness Ratio	0.050
Angle of Rake (degree)	10.0
Number of Blades	5
Blade Section	MAU-Type
Direction of Turning	Right-Handed

Table 3.3.3 Explanation of Fig. 3.3.13 ~ Fig. 3.3.21

Record No	Load Condition	EXP. No	C <sub>T</sub>	T	Q	△R	Figure
(1)	Full Load	15	0.51	4.8kg	0.12 kg·m	1.9kg	3.3.13
(2)		24	0.91	8.6	0.21	-1.7	3.3.14
(3)	65% Load	61	0.14	1.8	0.04	4.0	3.3.15
(4)		68	0.17	1.5	0.04	3.8	3.3.16
(5)		59	0.47	4.4	0.11	1.5	3.3.17
(6)		65	0.83	8.3	0.20	-1.7	3.3.18
(7)		91	0.13	1.2	0.03	3.4	3.3.19
(8)		84	0.42	3.9	0.10	1.3	3.3.20
(9)		95	0.70	6.5	0.16	-1.0	3.3.21

Notes : Values of C<sub>T</sub>, T, Q, and △R are order of mean value.

Model speeds of these examples are all Fn = 0.18

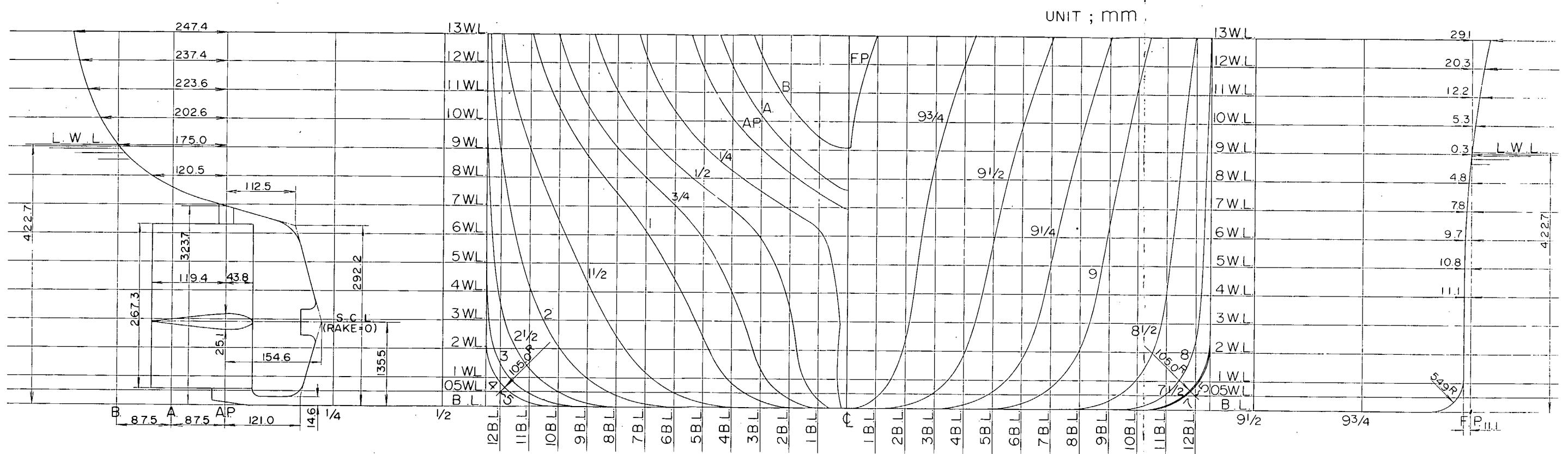


Fig. 3.3.1 Model Ship No. 3330

UNIT: mm

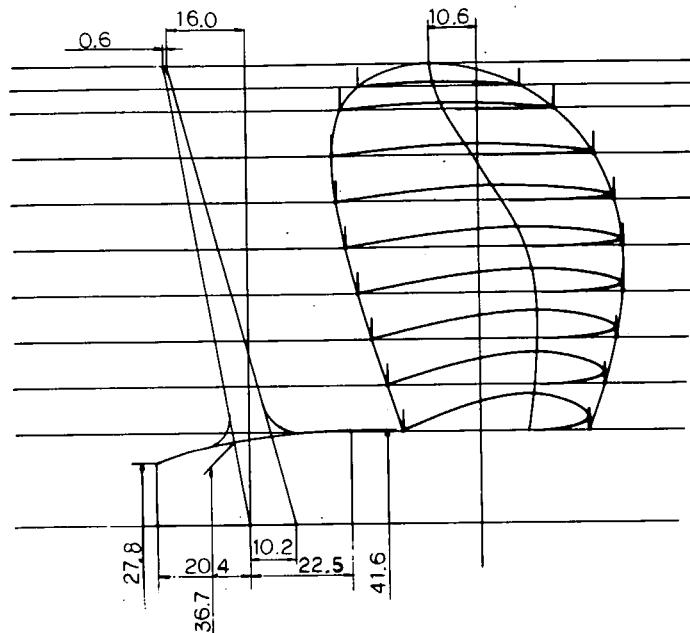


Fig. 3.3.2 Model Propeller No. 2171

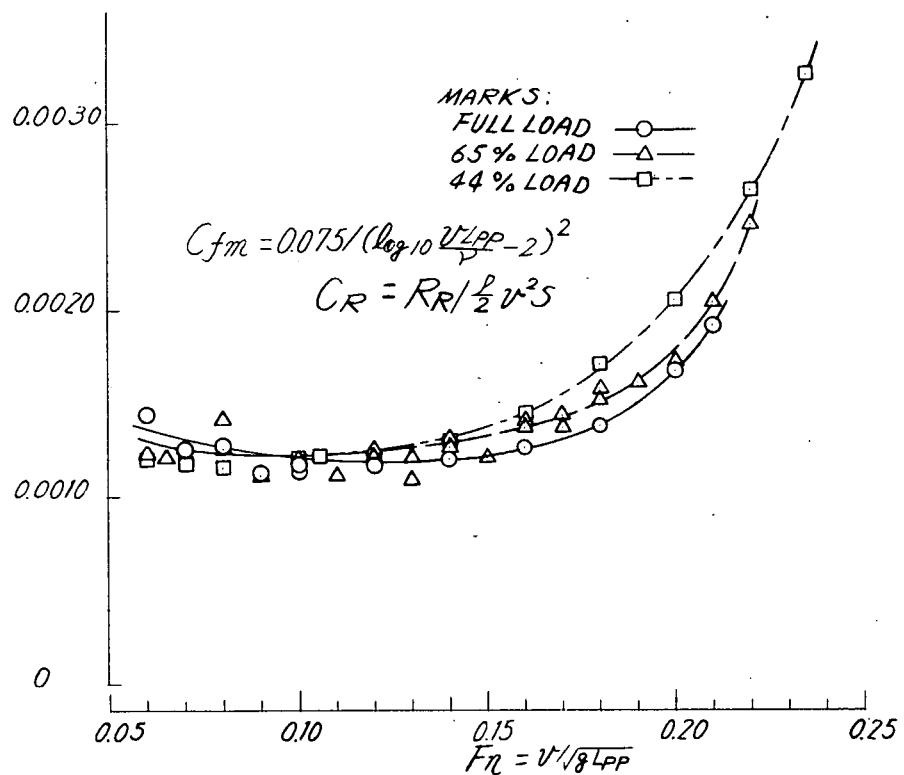


Fig. 3.3.3 Result of Resistance Test (1)

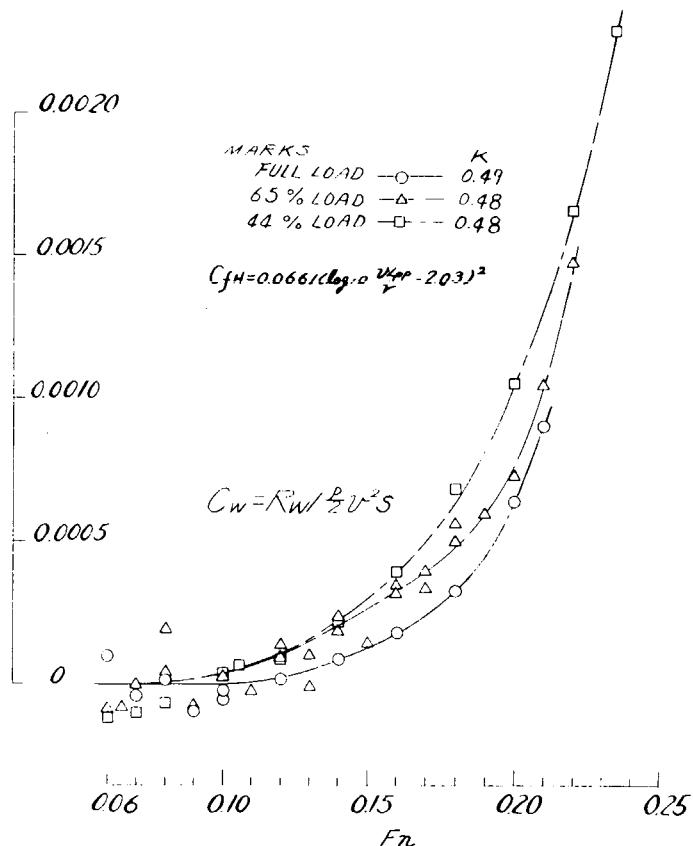


Fig. 3.3.4 Result of Resistance Test (2)

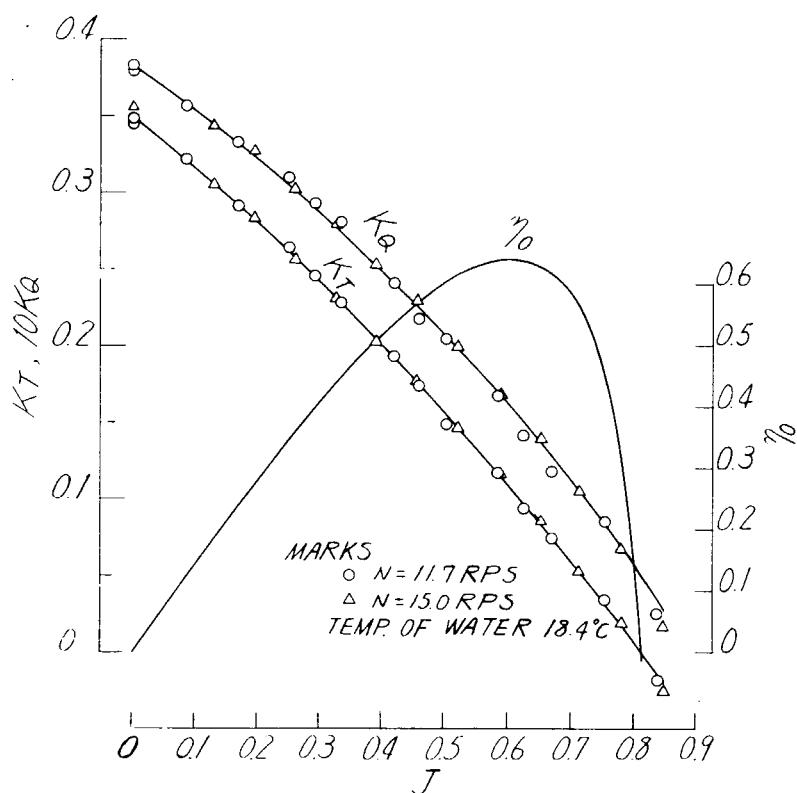


Fig. 3.3.5 Result of Propeller Open Test

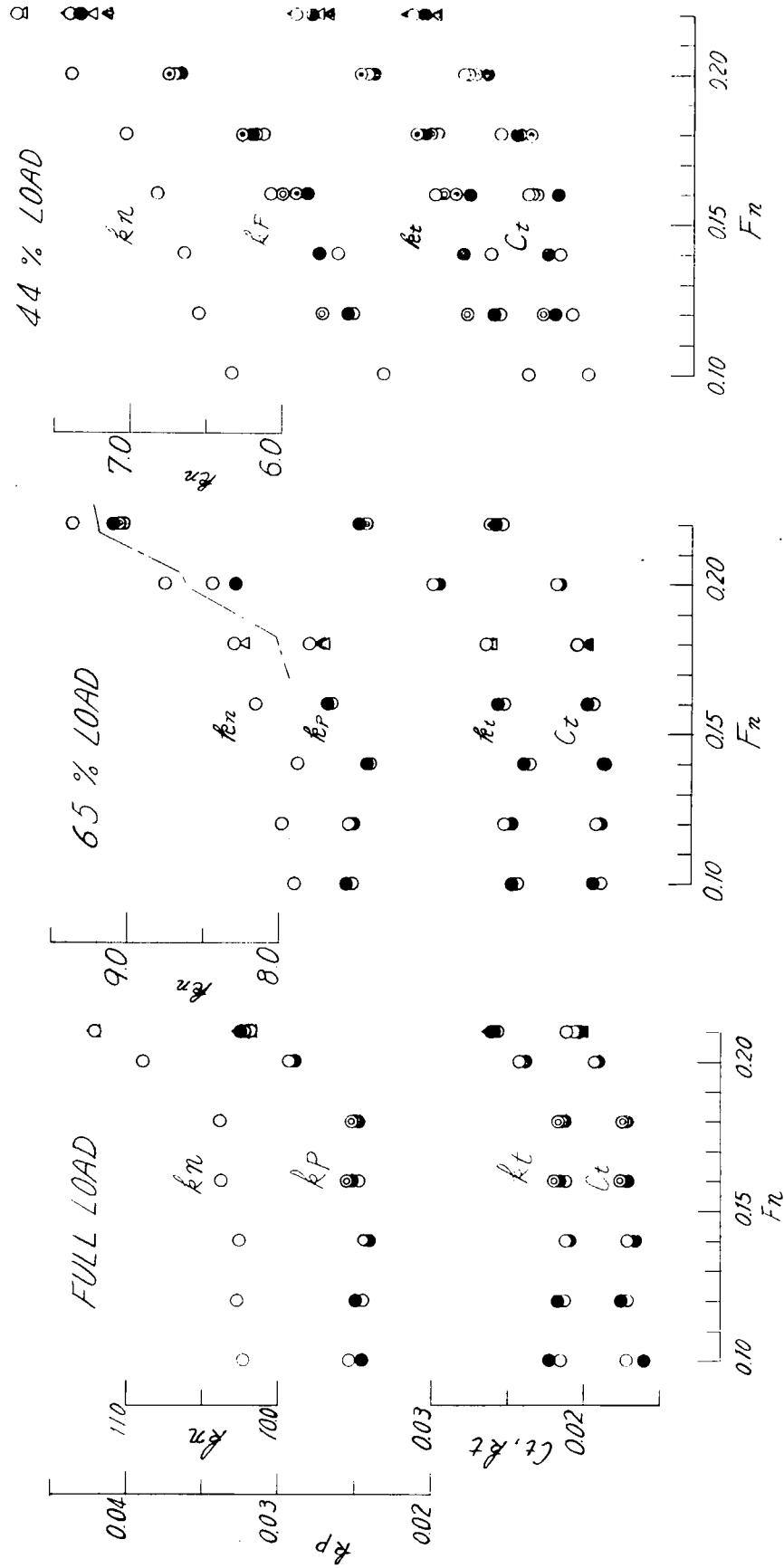


Fig. 3.3.6 Result of Self-Propulsion Test (1)

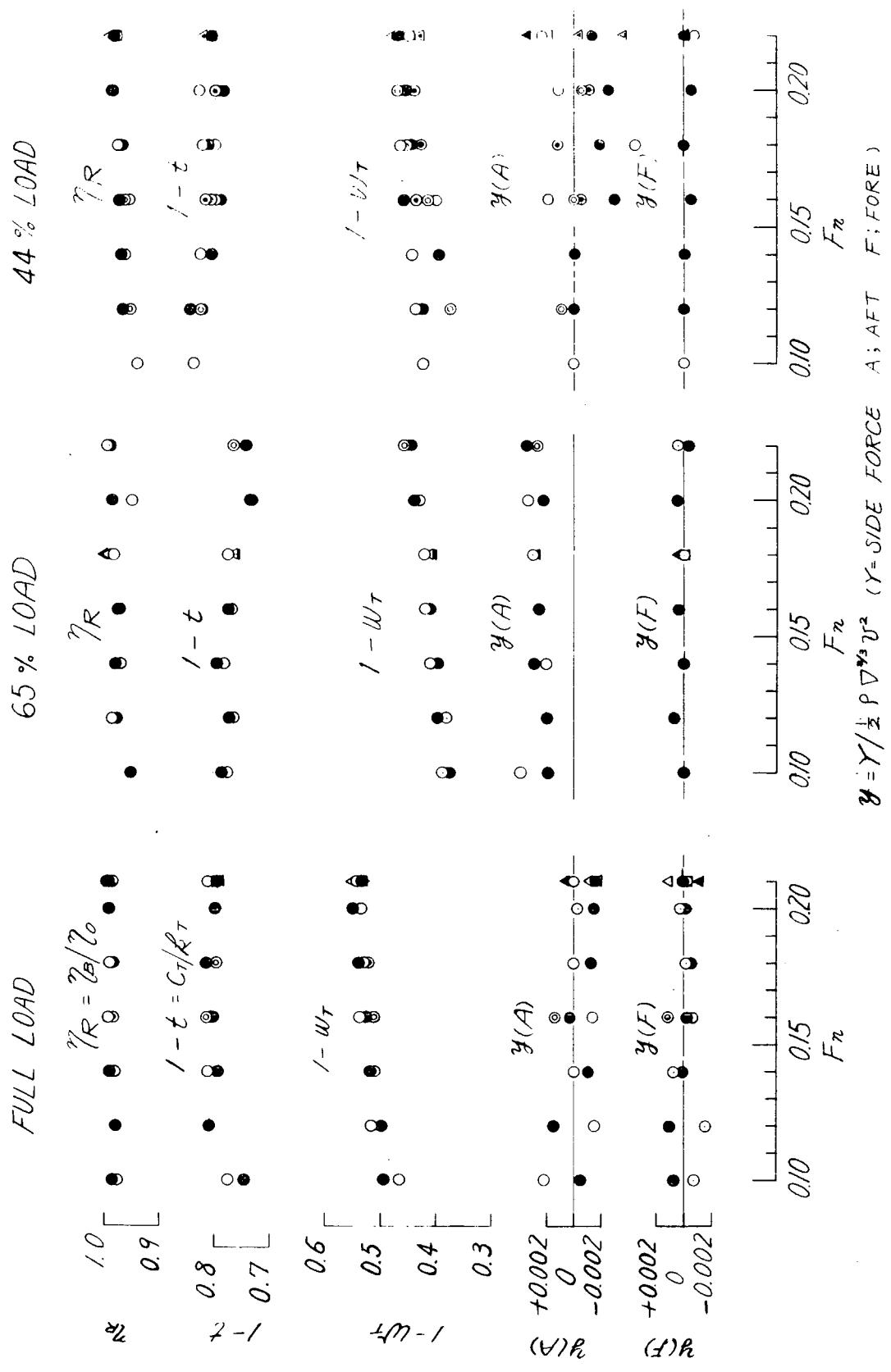


Fig. 3.3.7 Result of Self-Propulsion Test (2)

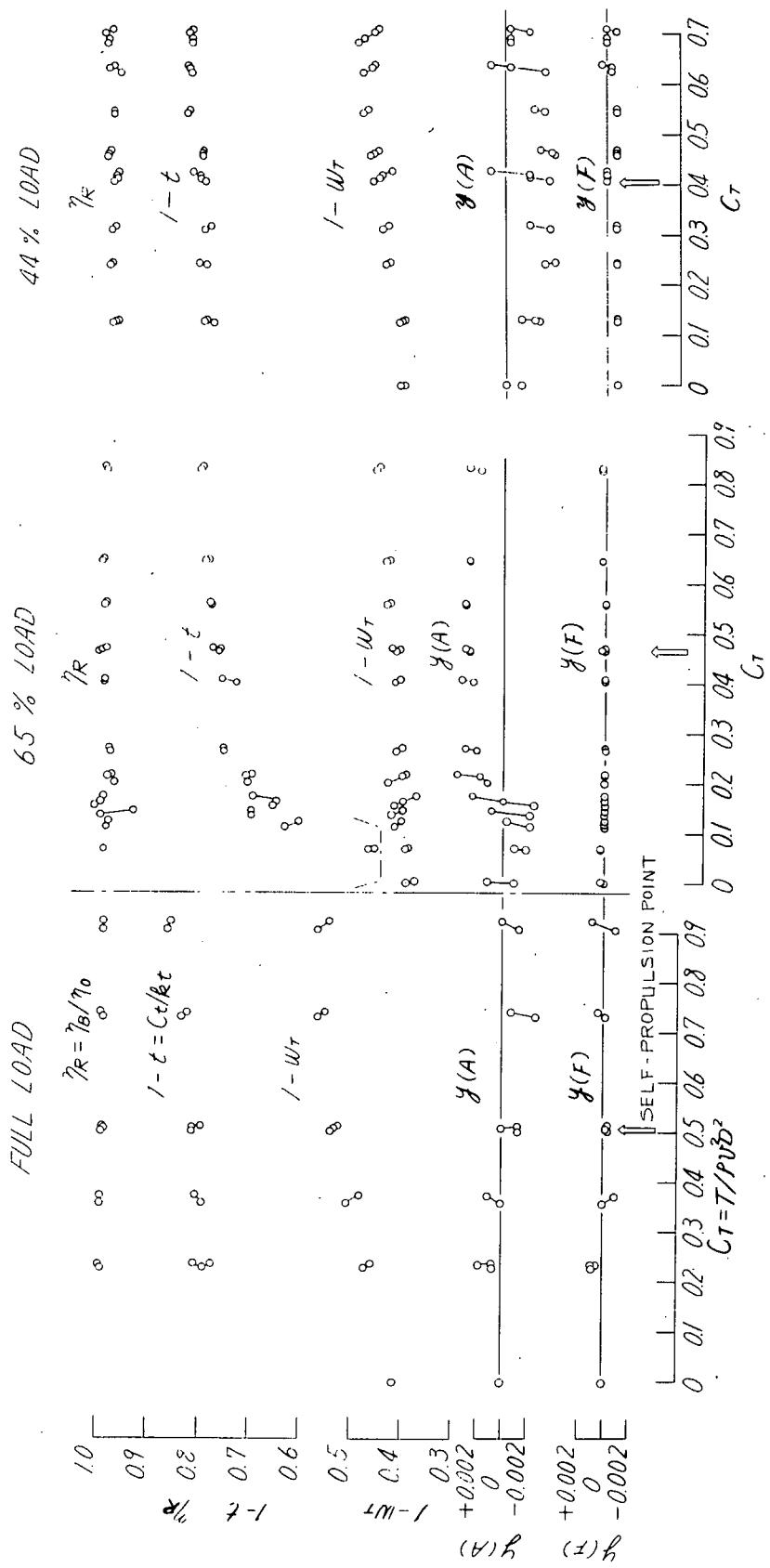


Fig. 3.3.8 Result of Propeller Load Test ( $F_n=0.18$ )

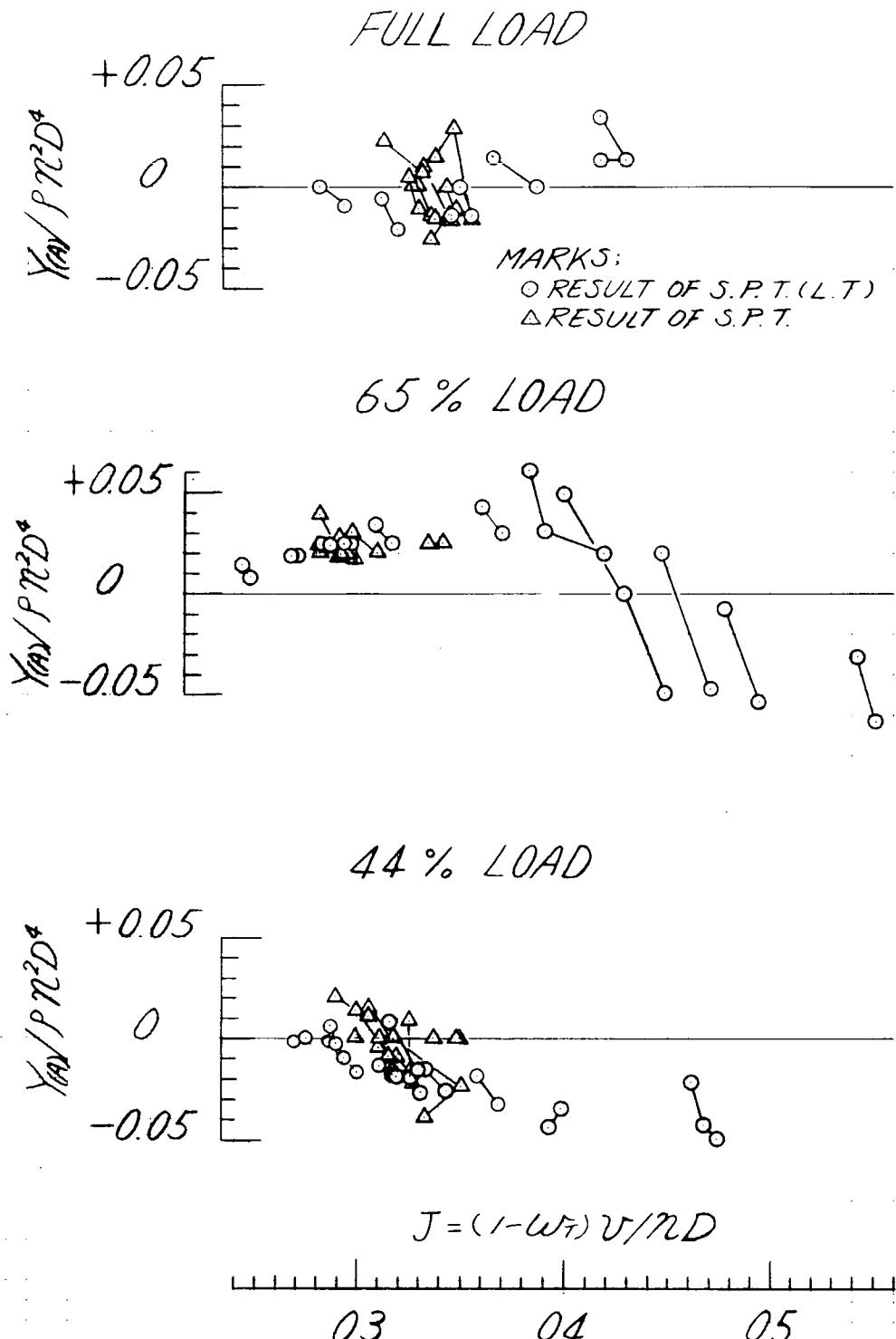


Fig. 3.3.9 Side Force ~ Propeller Load

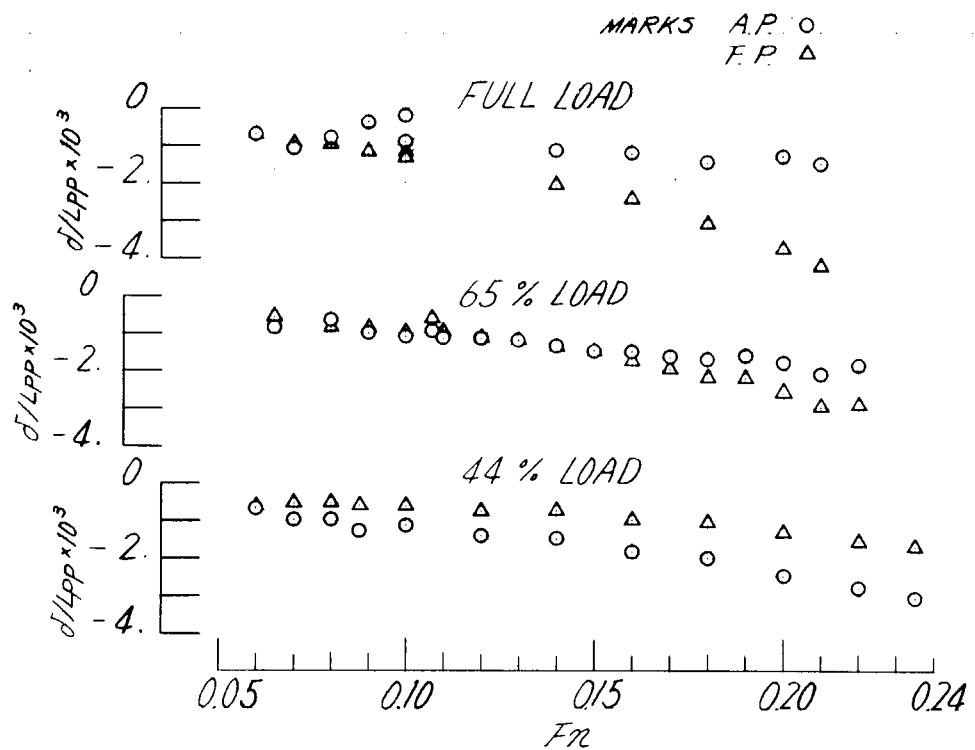


Fig. 3.3.10 Dipping at Resistance Test

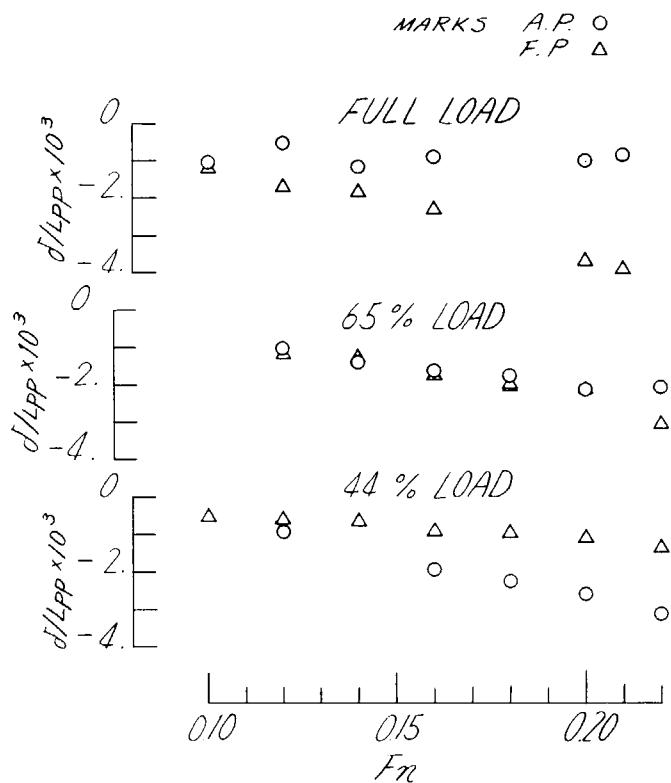


Fig. 3.3.11 Dipping at Self - Propulsion Test

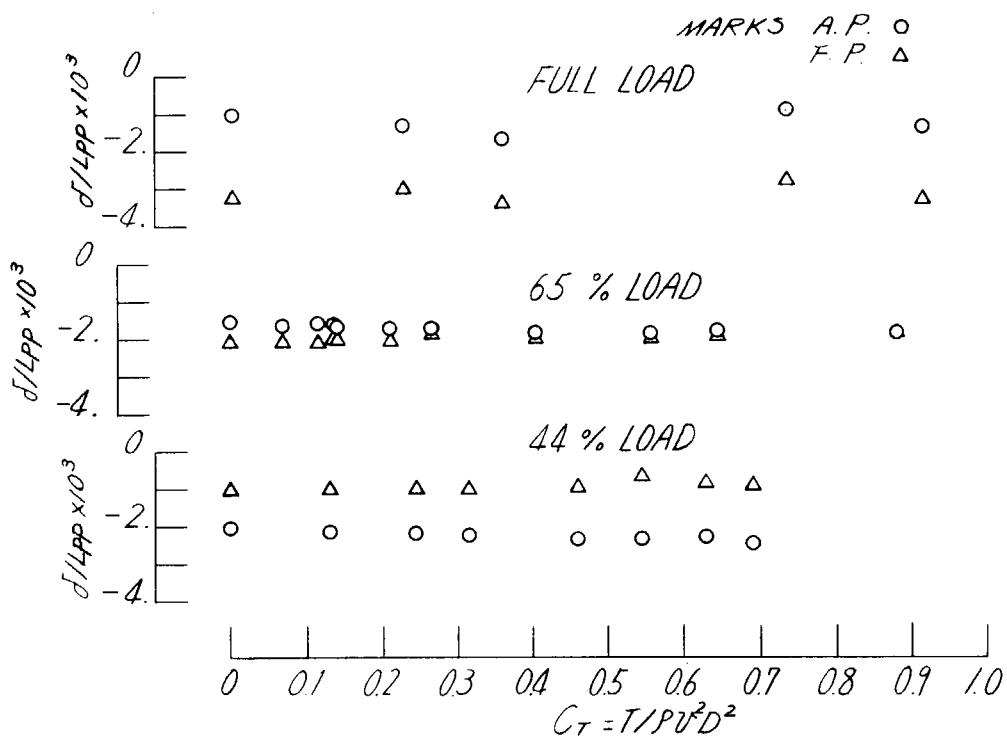


Fig. 3.3.12 Dipping at Propeller Load Test

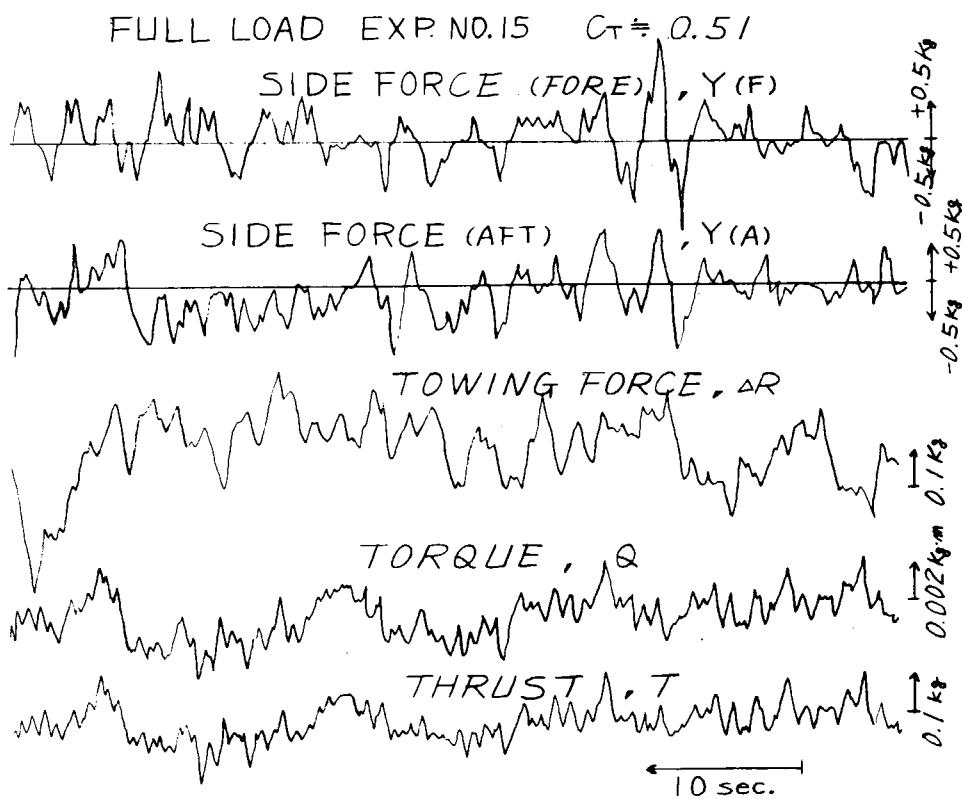


Fig. 3.3.13 Example of Records (1)

FULL LOAD EXP. NO. 24  $C_T \approx 0.91$

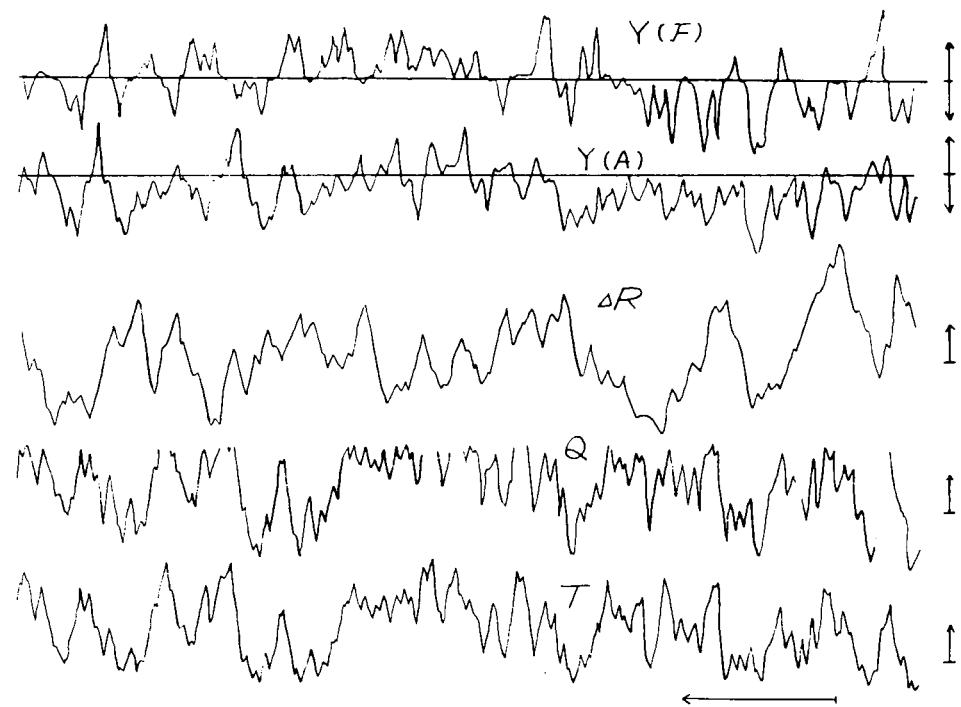


Fig. 3.3.14 Example of Records (2)

65 % LOAD EXP. NO. 61  $C_T = 0.14$

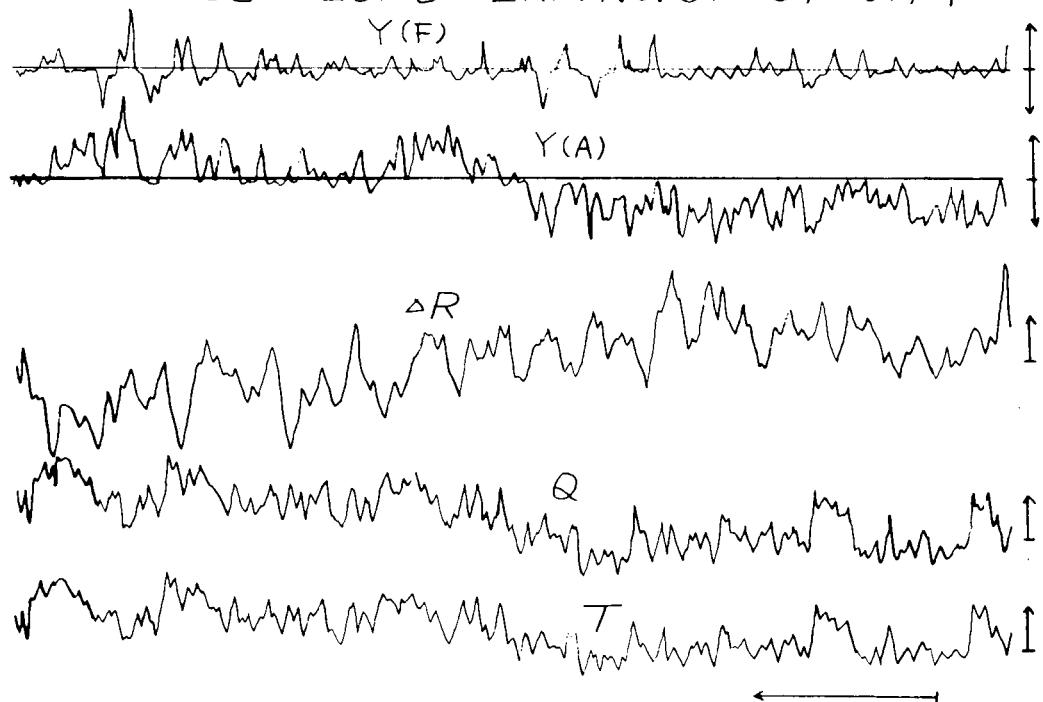


Fig. 3.3.15 Example of Records (3)

65% LOAD EXP. NO. 68  $C_T = 0.17$

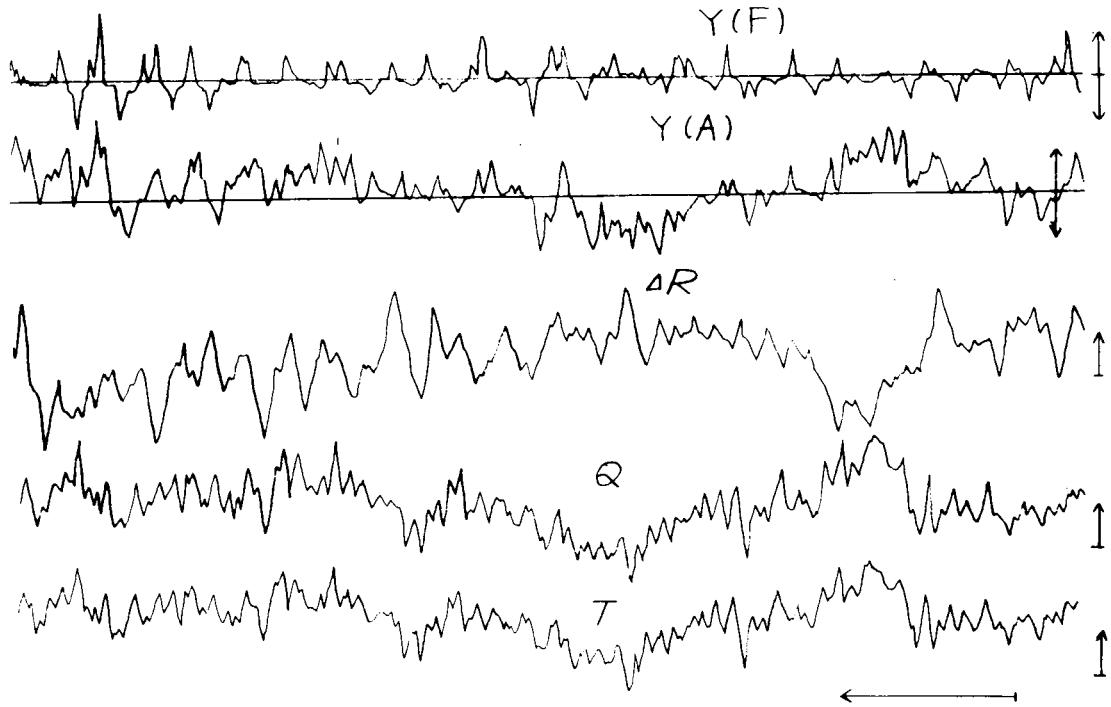


Fig. 3.3.16 Example of Records (4)

65% LOAD EXP. NO. 59  $C_T = 0.47$

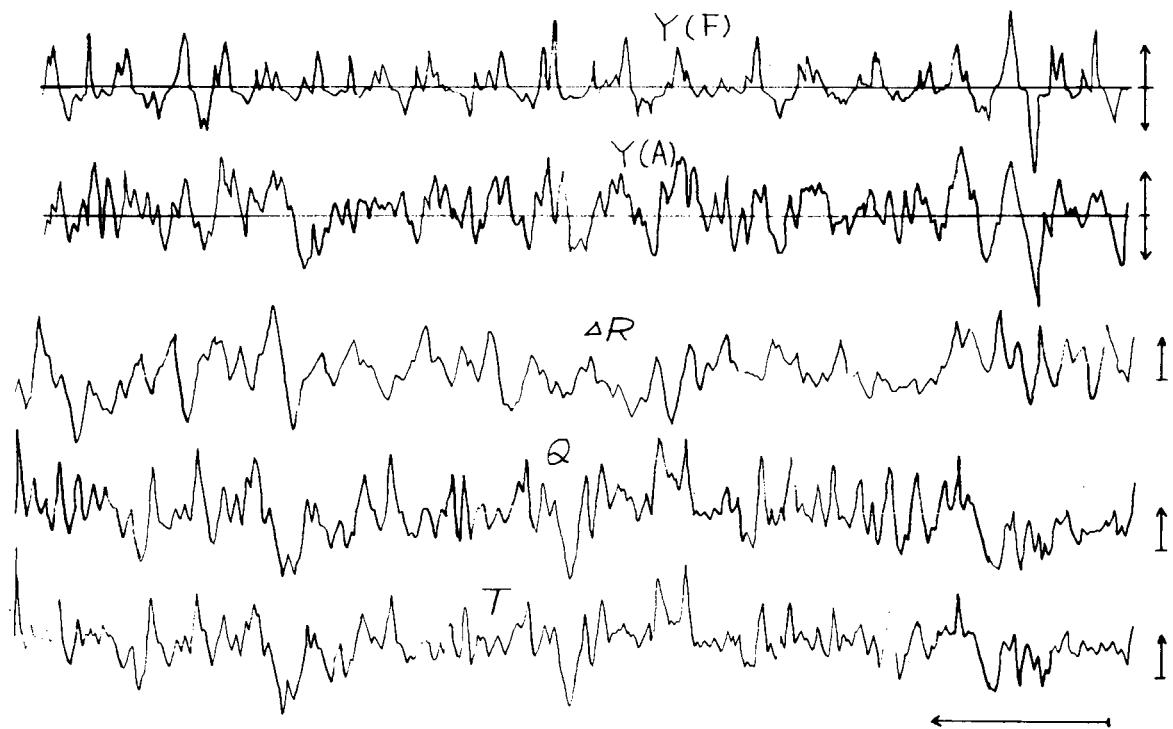


Fig. 3.3.17 Example of Records (5)

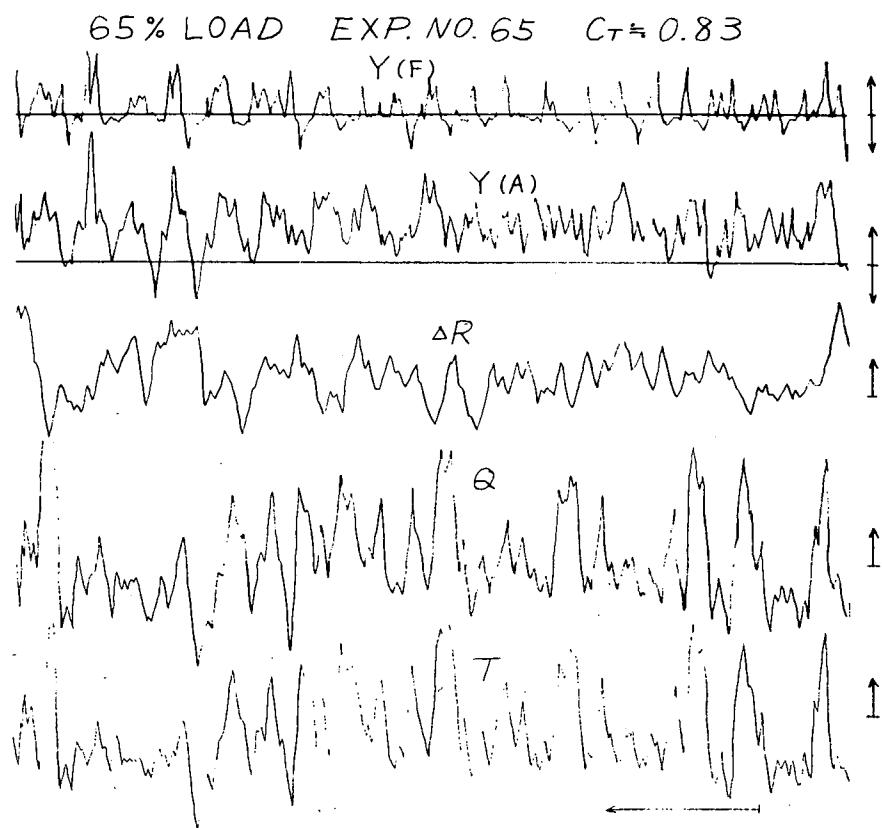


Fig. 3.3.18 Example of Records (6)

44% LOAD EXP. NO. 91  $C_T = 0.13$

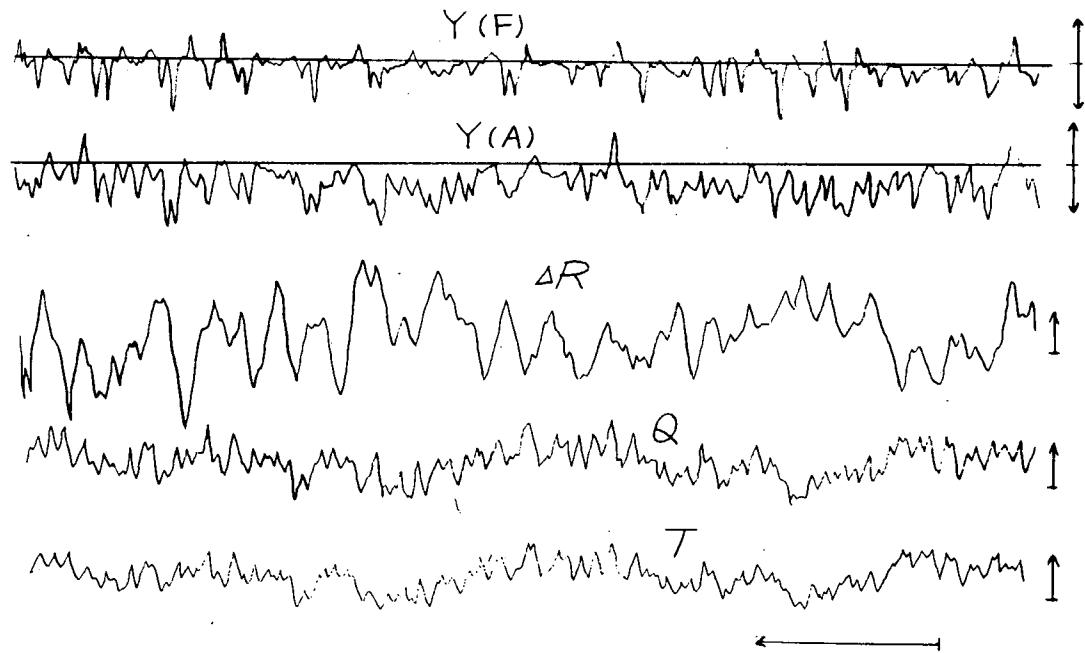


Fig. 3.3.19 Example of Records (7)

44% LOAD EXP. NO. 84  $C_T = 0.42$

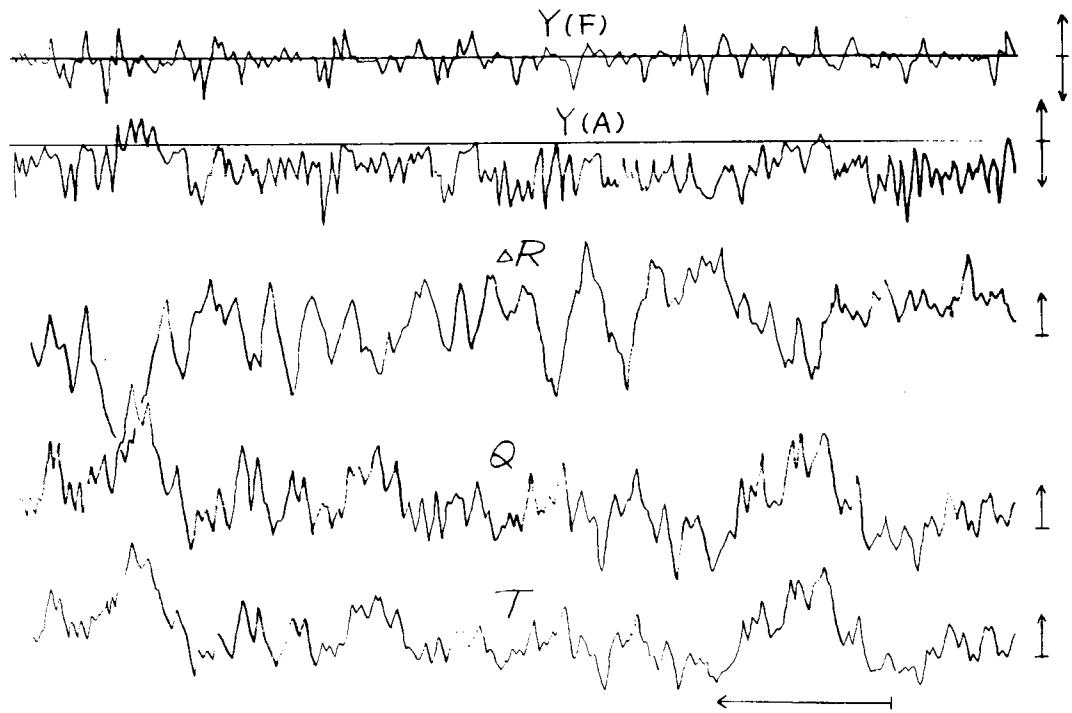


Fig. 3.3.20 Example of Records (8)

44% LOAD EXP. NO. 95  $C_T = 0.70$

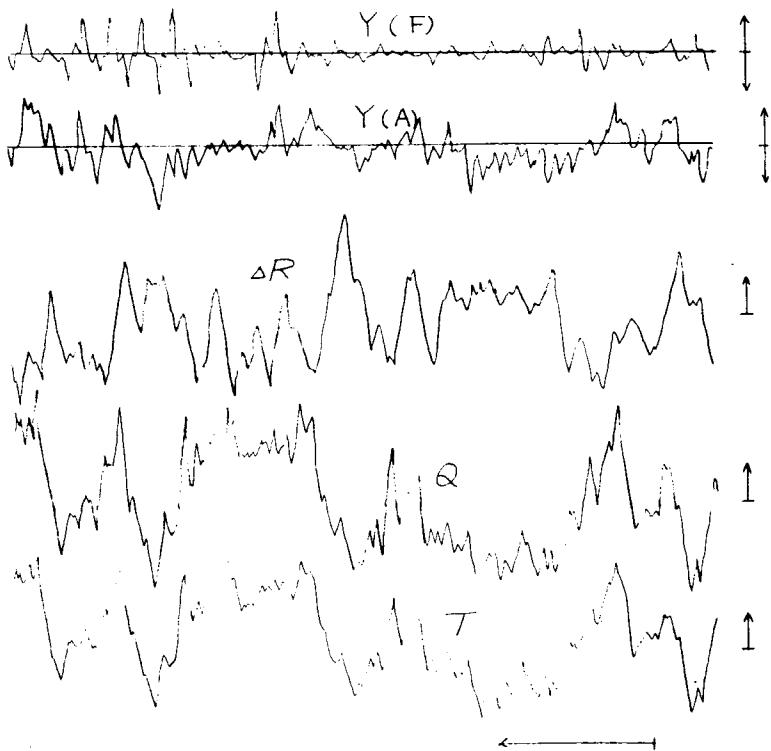


Fig. 3.3.21 Example of Records (9)

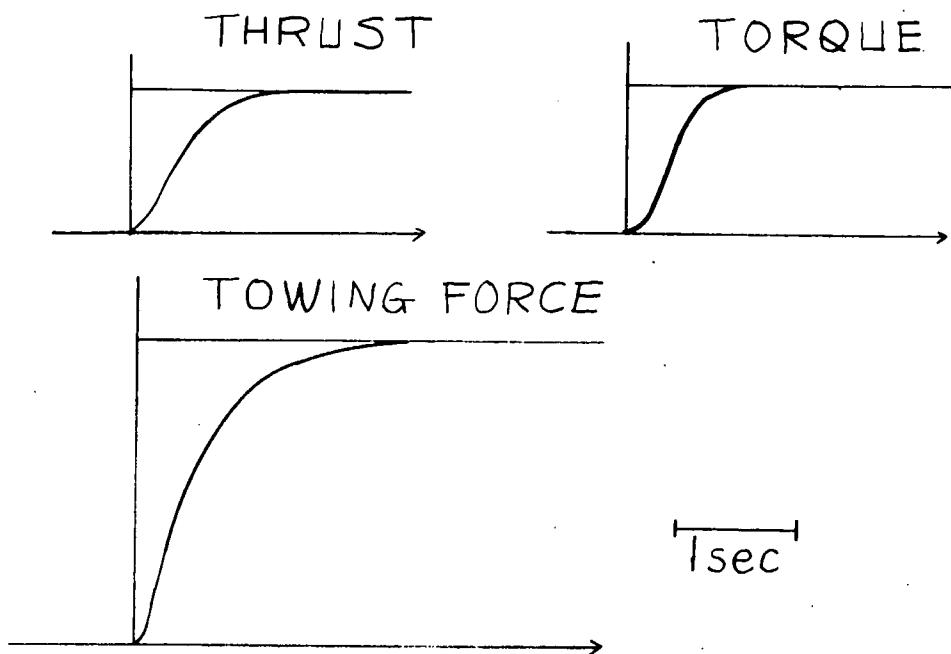


Fig. 3.3.22 Responce of Measuring Systems  
of Self - Propulsion Test and  
Propeller Load Test

## § 4 船尾まわり流場の調査

### 4.1 まえがき

§ 3 に述べた大型模型による持廻り試験では種々の自航特性が求められたが、これらは力として取り出される積分量を対象とするので、船尾の複雑な流場の特性の全貌を明らかにするまでには至らない。このためには力のよって来る原因である流場そのものの詳細な調査が必要である。このような観点から、本研究部会では船尾まわり流場の調査に関する事項を一つの独立した項目として設けた。本節はその報告である。

本節は大別して (1) 文献調査 (4.2) (2) 実験 (4.3, 4.4) (3) 理論計算 (4.5) の 3 部に分かれ る。まず文献調査については、従来発表された内外の諸論文の内自航時の船尾流場に関する深いものを抽出し、内容に応じて分類整理する。担当は東大、石播、造技センター。

次に実験により自航状態の特異性を詳細に調べるために § 3 と同じ模型について試験することにし、手軽に種々の実験ができるように、また尺度影響も併せて調査できるように、4m の模型 2 雙と 2m 1 雙を作ることにした。それぞれの要目を Table 4.1.1 に示す。4m のもの 2 雙は 2 機関に分け、1 箇所では § 3 の持廻り試験と同一内容すなわち抵抗、自航要素、横力、表面圧力、船尾波紋（荷重変化を含む）の各項目（以下これを基礎的項目と呼ぶ）の試験を行い、4m 模型の特性の基準を得るとともに、7m の結果と比べることにより模型の大きさによる基礎的項目の特性の差を調べることにした。もう一雙は他所で更に別の角度から、種々の特性すなわち抵抗、自航時の船尾流場の流向、流速分布、流場中の圧力変動などを調査し、基礎的項目の特性を追補することにした。（これを以下追加項目という）

今年度は前者を三菱長崎研究所、後者を阪大が担当した。

また 2m 模型は流場観測の重要性にかんがみ、実験の容易さと回流水槽、風洞にも使用できるという利点を生かすために製作したもので、主として定性的実験に使用する。これは東大の担当。

一方、最近の 3 次元境界層理論の目ざましい発展により、船体まわりの粘性流場の構造はかなり理論計算により求められるようになった。もちろん肥厚船型についてはまだ問題点が多いが、船尾流場の性質の解明の資料として有力であることは間違いない。この様な考え方から、現在開発されている 2 種の計算法に基づき境界層計算を実施し、実験などと比較検討することにした。本年度の担当は広大、府大、石播である。

以下、この順に本年度の研究内容につき述べることにする。

### 4.2 船尾流場に関する研究の文献調査

本年度は船尾流場に関する内外の既発表の論文を調査し、その内容に応じて下記のように分類整理した。論文を Table 4.2.1 に示すような 1 ~ 5 及び 9 からなる 6 項目に分類し、同時に論文発表の年代毎に分けて、著者名、論文名称等の左端に分類番号を付して Table 4.2.2 に示す。

なお、この文献の摘出は主題の研究に直接関係したものばかりでなく特に関連が深いと思われるものも含めることにした。但し、進路不安定などの操縦性能の文献は特に船側流場と関連づけたもののみとし、応用に関するものも原則として含めていないが、データが特に豊富なものは一部採用してある。また、例えばビト一管や自航試験などの一般計測技術に関するものは省略した。

Table 4.2.1 船尾流場関係の文献の分類番号表

分類番号	項目
1	流速、流向
2	船体表面圧力
3	力の計測(抵抗・自航・横力など)
4	尺度影響
5	理論
9	その他(一般的・解説的なものを含む)

Table 4.2.2

発行年	分類番号	著者名：表題，誌名，巻号，(発行年)，ページ
1975(昭和50年)		
	3, 9	渡辺恭二：自航試験における不安定現象，日本造船学会，肥大船の推進性能に関するシンポジウム，(1975)，P.13
	3, 9	矢崎敦生，大野勝利：肥大船の船型要素等と抵抗・推進性能に関する統計的資料，日本造船学会，肥大船の推進性能に関するシンポジウム，(1975)，P.18
	3, 9	島田秀三：肥大模型船の自航試験における不安定現象発生時の記録のタイプについて，日本造船技術センター技報 No.3，(1975)，P.62-P.71
	3, 9	月野良久：船尾付近の船型と不安定現象の発生の関係についての一調査，日本造船技術センター技報 No.3，(1975)，P.72-P.75
	3, 9	永松哲郎，笠島考夫：Effect of propeller suction on wake，日本造船学会論文集 No.137，(1975)，P.58-P.63
	3, 9	矢崎敦生：Instability of thrust and torque during a selfpropulsion test of modern full ship form, 14th ITTC Written Contribution. (1975)
	5	田中一朗，姫野洋司：3次元乱流境界層の第1近似理論とその応用，日本造船学会論文集 No.138，(1975). P.65-P.75
	3, 5	中武一朗，山崎隆介：肥大船自航試験の理論的取扱い，日本造船学会論文集 No.138，(1975)，P.81-P.86

- 5 波多野修次, 茂里一紘, 福島雅博, 山崎礼二 : 船の伴流内流速分布の計算, 日本造船学会論文集 No.138, (1975), P.55-P.63
- 3, 5 石田駿一 : プロペラにより誘起される Surface Force の計算法について, 日本造船学会論文集 No.138, (1975), P.105-P.117
- 5 姫野洋司, 田中一朗 : 厳密な積分法に基づく 3 次元乱流境界層方程式の解法, 3 学会連合講演会前刷, (1975)
- 5 田中一朗, 姫野洋司, 松本のりゆき : Calculation of three-dimensional turbulent boundary layer and wake of ships, 14th ITTC, submitted to Resistance Committee, (1975)
- 3, 9 大野勝利 : 最近の水槽試験資料を整理して得られた主要船種別の船型要素の抵抗・推進性能に関する資料, 日本造船技術センター技報 No.3, (1975)
- 1 乾崇夫, 梶谷尚, 加藤直三 : 肋骨線が垂直な肥大船の船尾渦に関する実験, 日本造船学会論文集 No.138, (1975), P.47-P.54
- 3 田村欣也 : Speed and power prediction techniques for high block ships applied in Nagasaki Experimental Tank, The society of naval architects and marine engineer, The 1st Ship Technology and Reserch Symposium, Washington, (1975)
- 1, 3 多賀野寛, 浅井滋 : 肥大船の操縦運動における異常現象の研究, 日本造船学会論文集 No.138, (1975), P.165-P.171
- 1 横尾幸一 : Recent reserch on wake characteristics, 14th ITTC Report of Propeller Committee Appendix 1, (1975)
- 9 渡辺恭二 : On the flow pattern at the stern of full ship forms, 14th ITTC Report of Performance Committee Appendix 5, (1975)
- 9 笹島考夫, 永松哲郎 : Effect of the contraction of flow on wake by the propeller suction, 14 th ITTC, submitted to Performance Committee, (1975)
- 1, 4 並松正明, 村岡賢二 : Wake distribution measurement on actual tanker and its large scale model, 14 th ITTC, submitted to Performance Committee, (1975)
- 3 小寺山亘, 田中一朗 : 推力減少率に関する基礎的研究(第3報), 関西造船協会誌 No.158, (1975), P.103-P.116

- 1, 3 門井弘行, 高橋肇 : 推進性能改善法, 日本造船学会, 肥大船の推進性能に関するシンポジウム (1975-6)
- 1 不破健 : タフトグリッドによる斜行時の船尾流場の観測, 船研講演会 No.26, (1975)
- 
- 1974 (昭和49年)
- 1, 4 木村嘉克, 杉本健, 増本彰 : 大型船の船尾の流れ, 川崎技報 No.52, (1974), P.33-P.43
- 1, 4 並松正明, 村岡賢二 : 肥大船型の船尾の流れ, 石川島播磨技報, Vol.14, No.1, (1974), P.1-P.10
- 9 市原良夫 : 自航要素の回帰分析(第1報), 船舶技術研究所研究発表会講演概要第24回, (1974), P.41-P.44
- 3 菅原一美, 田中一幸, 小沢広司 : 船尾フィンによるプロペラスラスト及びトルク変動の軽減効果に関する模型実験(第1報), 日本造船技術センター技報 No.2, (1974), P.21-P.27
- 1, 4 横尾幸一 : Measurement of full scale wake characteristic and their prediction from model results - state of the art, Symposium on "High powered propulsion of large ships" Wageningen, (1974)
- 1, 4 並松正明, 村岡賢二 : Wake distribution of full form ship, Japan Shipbuilding and Marine Engineering Vol.8 No.4, (1974), P.24-P.35
- 3 小寺山亘, 田中一朗 : 推力減少率に関する基礎的研究(第2報), 関西造船協会誌 No.153, (1974), P.45-P.55
- 3 須藤彰一, 外谷求, 木村勲, 城野隆史, 横尾幸一, 高橋肇, 上田隆康 : プロペラ荷重変化の自航要素に及ぼす影響について——シーアンカーを使用した実船試験, 関西造船協会誌 No.152, (1974), P.51-P.60
- 1 奥野武俊 : 油膜法による船体表面の限界流線観察, 東京大学宇宙航空研究所, 流れの可視化シンポジウム・第2回, (1974), P.55
- 1 田古里哲夫 : 実船対水速度計測の諸問題, 日本造船学会, 肥大船の推進性能に関するシンポジウム, (1975-6)
- 石田駿一 : 推力減少の計算についての一つの試み, 日本造船学会論文集, 第136号, (1974)
- 1, 4 Dyne, G. : A study of the scale effect on wake, propeller cavitation and vibratory pressure at hull of two tanker models, Transactions of

SNAME annual meeting, (1974)

- 9 Parailiou, D. D. and Lykoudis, P. S. : Turbulent vortex streets and the entrainment mechanism of the turbulent wake, Journal of Fluid Mechanics, 62(1), (1974), P.11-P.31
- 1 Souders, W.G. : Turbulent boundary layer and viscous resistance of a submarine at high Reynolds number, Naval Ship Research and Development Center, Bethesda, Md. , (1974), Rept. No. NSRDC-4366, P.30
- 1 Restad, K. and Kjellberg, A. : Full scale measurements on propeller-hull interaction, Symposium on "High powered propulsion on large ships", Wageningen, (1974), P.32
- 1, 4 Hoekstra, M. : Prediction of full scale wake characteristics based on model wake survey, Symposium on "High powered propulsion of large ships", (1974), P.37
- 5 Kux, J. : Three-dimensional turbulent boundary layers, 10 th Naval Hydrodynamics Symposium, (1974), paper VII-32, P.57-P.67

1973 (昭和48年)

- 1, 4 並松正明, 村岡賢二, 山下誠也, 久志本仁 : 肥大船における実船と模型船の伴流分布, 日本造船学会論文集 No.134, (1973), P.65-P.73
- 1 種子田定俊 : 物体まわりの粘性流の観察, 日本造船学会粘性抵抗シンポジウム, (1973), P.35-P.58
- 5 姫野洋司 : 二次元乱流境界層の計算法, 日本造船学会粘性抵抗シンポジウム, (1973), P.59-P.93
- 5 波多野修次 : 三次元乱流境界層の計算法, 日本造船学会粘性抵抗シンポジウム, (1973), P.95-P.140
- 9 田中一朗 : 剥離について, 日本造船学会粘性抵抗シンポジウム, (1973), P.141-P.156
- 9 田古里哲夫 : 粘性抵抗減少法, 日本造船学会粘性抵抗シンポジウム, (1973), P.169-P.188
- 1, 9 高橋肇 : 実船まわりの流れの計測, 実船の抵抗計測を含む, 日本造船学会粘性抵抗シンポジウム, (1973), P.189-P.211

- 4 笹島秀雄 : 尺度影響に関する問題点, 日本造船学会粘性抵抗シンポジウム, (1973), P.213-P.220
- 1 松村安雄他 : 肥大船尾肥大度に関する研究, 日本钢管技報 No.60, (1973)
- 1 仲渡道夫, 山崎芳嗣, 鈴木歎, 砂原誠一, 松井明男 : 粘性抵抗の小さいU型V型船尾形状の実験, 関西造船協会誌 No.151, (1973), P.79-P.95
- 1, 2 笹島秀雄, 田中一朗, 小寺山亘, 引野正己 : 推力減少率に関する基礎的研究, 関西造船協会誌 No.149, (1973), P.79-P.89
- 5 不破健 : 斜行時の船体にはたらく流体力, 日本造船学会論文集第134号, (1973)
- 1, 4 日本造船研究協会報告第73号 : 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, (1973), P.189
- 1, 4 高橋肇 : 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, 船舶技術研究所 昭和47年度研究成果報告書, (1973), P.82-P.89
- 3 高橋肇 : 大型肥大船型のバラスト状態における推進性能相似則に関する研究, 船舶技術研究所 昭和47年度研究成果報告書, (1973), P.108-P.112
- 2, 5 奥野武俊, 姫野洋司 : 漁船の船体表面圧力分布に関する研究, 関西造船協会誌 No.147, (1973)
- 5 姫野洋司, 田中一朗 : 船体まわりの3次元乱流境界層の計算, 関西造船協会誌 No.147, (1973), P.61-P.74
- 5 田中一朗他 : 船体まわりの粘性流場の計算 —— 主として伴流について, 関西造船協会誌 No.150, (1973)
- 1 鈴木敏夫, 仲渡道夫, 田中一朗 : 船体まわりの流れの可視化について, 東京大学宇宙航空研究所, 流れの可視化に関するシンポジウム・第1回, (1973)
- 1 田古里哲夫 : 肥大船型のビルジ渦の観察, 東京大学宇宙航空研究所, 流れの可視化に関するシンポジウム・第1回, (1973)
- 1 松本憲洋 : フェノールフタレン法による船尾周りの流れの観察, 東京大学宇宙航空研究所, 流れの可視化に関するシンポジウム・第1回, (1973)
- 5 Kerczek, C. von : Calculation of the turbulent boundary layer on a ship hull at zero Froude number, Journal of ship research 17 (2), (1973), P.106-P.120

- 1, 9 Patel, V.C., Nakayama, A. and Damian, R. : An experimental study of the thick turbulent boundary layer near the tail of a body of revolution, Iowa Institute of Hydraulic Research Rep. No.11 HR(AD-759014), (1973), P.54
- 1, 4 Gadd, G.E. : A comparison of some model and full scale hull boundary layer measurements, NEC Instn Engr Shipbldg. paper 12, (1973), P.8
- 9 Tsahalis, D.Th. and Telionis, D.P. : The effect of vectored injection on the location of separation, Virginia Polytechnic Inst. and State Univ., Blacksburg, Dept. of Engineering Sciecnce and Mechanics, Rept. No. VPI-E-73-14, (1973), P.24

1972 (昭和47年)

- 1, 4 日本造船研究協会第107部会報告書 : 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, 研究資料 No.142, (1972), 177P
- 4, 9 高橋肇, 田中拓, 北川弘光 : 超大型船の馬力推定の精度向上に関する研究, 抵抗分離ならびに伴流に関する2, 3の考察, 第20回船舶技術研究所研究発表会講演概要, (1972), P.143-P.146
- 1 高橋肇, 上田隆康, 仲渡道夫, 山崎芳嗣, 小倉理一, 横尾幸一, 田中拓, 尾股貞夫 : 実船における船尾流速分布の計測——追加資料——, 西部造船会会報 No.43, (1972), P.107-P.108
- 1 渡辺恭二 : The flow pattern at the stern of full ship forms, 13 th ITTC, Report of Performance Committee, Appendix 5A, (1972)
- 1, 3 渡辺恭二, 横尾幸一, 藤田孝, 北川弘光 : Study on flow pattern around the stern of full ship form by use of the geosims, 日本造船学会論文集 No.131, (1972), P.9-P.16
- 5 内藤子生 : 船体まわりの流速の計算法について, 第21回応用力学連合講演会抄録集, (1972)
- 1, 4 Rastad, A. E. : Estimation of a marine propeller's induced effects on the hull wake field -- Scale effects on the hull wake field, Progress report no. 1 Det Norske Veritas, Research Dept. Rept. No.72-3-M, (1972), 15P
- 4 Schwanecke, H. : Wake studies, 13 th ITTC Report of Propeller Committee Appendix 5, (1972)

- 5      Nash, J . F . : Three - dimensional turbulent boundary layers, SBC Tech.  
Books Scientific & Business Consultants, Inc., (1972)
- 9      Wang, K . C . : Separation pattern of boundary layer over an inclined body of  
revolution, AIAA Jour., vol 10, (1972)
- 8 , 4    Lindgren, H . and others : Propulsive and cavitation investigation on 230,000  
tons DWT, tanker - full scale and model experiments, Transaction  
of R . I . N . A . , vol 114, (1972)
- 2 , 3    Shpakoff, V . S . : The current state of investigations on the resistance and  
propulsor - hull interaction for full form models, 13 th ITTC,  
Report of Performance Committee Appendix 5B, (1972)
- 3 , 4    Wilson, C . J . and Hadler, J . B . : Self - propulsion statics of two large  
geosim model of Japanese tanker M1592, 13th ITTC, (1972)
- 4      Dyne, G . : On the scale effect on wake and thrust deduction, 18th ITTC,  
Report of Performance Committee Appendix 6, (1972)
- 5      Miloh, T . and Patel, V . C . : Orthogonal Coordinate systems for three -  
dimensional boundary layers, with particular reference to ship forms,  
Iowa Inst. of Hydraulic Research, Rept. No. 11HR-138, (1972),  
P.35
- 9      Bagilevsky, Y . S . Poastoshniy, A . F . and Stimpf, V . M . : Specific features  
of flow around full hull forms, 13th ITTC, (1972),  
Material of interest, Subject Performance, P.71-P.78
- 5      Granville, P . S . : Integral methods for turbulent boundary layers in pressure  
gradients, Journal of Ship Research 16(3), (1972), P.191 -  
P.204
- 9      Huang, T . T . and Kerczek, C . H . von : Shear stress and pressure distribution  
on a surface ship model, Theory and experiment, 9 th symp. on Naval  
Hydrodynamics, (1972)

1971 (昭和46年)

- 1 , 4    横尾幸一, 高橋肇, 仲渡道夫, 山崎芳嗣, 田中拓, 上田隆康 : 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 No.130, (1971), P.41-P.50
- 5      波多野修次, 仲渡道夫, 堀田多喜男, 松井志郎 : 三次元境界層理論による船の摩擦抵抗

- の計算, 日本造船学会論文集, No.130, (1971), P.1-P.10
- 9 池畠光尚, 湯浅肇 : 模型船後流乱れとプロペラへの影響, 日本造船学会論文集, No.130, (1971), P.63-P.81
- 1 高橋肇, 上田隆康, 仲渡道夫, 山崎芳嗣, 小倉理一, 横尾幸一, 田中拓, 尾股貞夫 : 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, No.42, (1971), P.153-P.168
- 1, 4 横尾幸一, 高橋肇, 川上善郎, 山崎芳嗣, 坂本昭弘 : タンカーの Scale effect について —— 実船試験結果との比較, 第18回船舶技術研究所研究発表会講演概要, (1971), P.119-P.122
- 1 谷口中, 他 : Study of the flow pattern around the stern of large full ships, 三菱 Technical Review, Vol.8 No.1, (1971)
- 1 熊井豊二 他 : 実船における境界層の計測, 西部造船会会報 No.63, (1971)
- 1 Schwanecke, Van H. and Andersson G. : Zur Frage des Maßstabseinflusses auf die Strömung in Propellerbereich, Schiff und Hafen, P3 Jahrgang, 9 Heft, (1971), P.673-P.679
- 5 Bradshaw, P. : Calculation of three-dimensional turbulent boundary layers, Journal of Fluid Mechanics, Vol.46 part 3, (1971)
- 9 Vollhein, R. and Nestler, W. : Measurement of wave energy and friction losses on the model of a bulk carrier,  $C_B = 0.80$ , with variants of bulbous bows, part 1 (In German), Schiffbauforschung 10 Jahrgang 1/2 Heft, (1971), P.70-P.89
- 5 Gadd, G. E. : The approximate calculation of turbulent boundary layer development on ship hulls, Trans. R. I. N. A., Vol.113, No.1, (1971), P.43-P.57
- 9 Sedney, R. : Steady, three-dimensional perturbations in boundary layer, Martin Marietta Corp., Baltimore, Md., Research Inst. for Advanced Studies, (1971), P.60 Rept. No. RIAS-TR-71-25C AROD-9461:3-E, P.42
- 5 Angelucci, S. B. : A Multivortex Method for Axisymmetric Bodies at Angle of Attack, J. Aircraft, Vol.8 No.12, (Dec. 1971), P.959-P.966

3 , 5 Gadd, G . E . : Calculated and Measured Pressures on Practical Ship Hulls,  
NPL Ship Report 156, (Oct. 1971)

Sakhno, E . F . and Stumpf, V . M . : The Peculiarities of propeller-hull  
interaction for full ship, Summaries of the reports of the XX th  
Ship Theory Conference, NTO Sudprom, vyp. 156, in Russian,  
(1971)

1970 (昭和45年)

- 3 谷口 中, 田村欣也 : “肥大船の船尾流れに関する研究” 三菱重工技報 Vol.17  
No.4, (1970-7)
- 1 笹島・田中・鈴木・荻野 : 肥大船船尾流場と縦渦による誘導抵抗, 日本造船学会論文集,  
第128号, (1970)
- 5 普信 : 船体まわりの流れの計算, 日本造船学会論文集, 第128号, (1970), P.91
- 5 田中一朗 他 : 船型表示と船体まわりのポテンシャル流の近似計算について, 3 学会連合  
講演会(1970) 関西
- 1 , 2 元良 他 : 異常現象を伴う船の操縦性の一解析, 造論128号, (1970-11)
- 5 姫野洋司 : 高レイノルズ数における肥大物体まわりの流れ, 日本造船学会論文集,  
第128号, (1970)
- 1 , 3 横尾幸一・高橋肇・川上善郎 : 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, (1970)
- 4
- 5 姫野洋司, 高木又男 : 肥大物体のまわりの粘性流について, 日本造船学会論文集,  
第127号, (1970)
- Johnston, J . D . : Measurements in a Three-dimensional Turbulent Boundary  
layer Induced by a Swept, Forward-facing Step, J . of F . M .  
Vol.12, (1970)
- 5 Granville, P . S . : Integral Method for Turbulent Boundary Layers in  
Pressure Gradients ; NSRDC Report 3308, (1970)
- 5 Landweber : Characteristics of Ship Boundary Layers, Proceedings of 8 th  
Symposium NAVAL HYDRO-DYNAMICS, Rome, (1970)
- 1 , 5 Webster, W . C . and Huang, T . T . : Study of the Boundary Layer on Ship  
Forms, J . S . R . (1970), P.153

- 5 Cumpsty, N.A. & Head M.R. : The Calculation of Three Dimensional  
Turbulent Boundary Layers, Part IV: Comparison of Measurements  
with Calculations on the Rear of a Swept Wing, ARC, C.P.  
No.1077, (1970)
- 5 Gadd, G.E. : "The Approximate Calculation of Turbulent Boundary Layer  
Development on Ship Hulls", RINA Vol.112 No.3, (July 1970)
- 1, 4 谷口 中, 藤田 孝 : Comparison of Velocity Distribution in the Boundary  
Layer between Ship and Model,  
日本造船学会論文集, 第127号, (1970)
- 5 Tatinclaux, Jean-Claude : Experimental investigation of the drag induced  
by Bilge Vortices, Schiffstechnik, 17 Band 87 Heft (May 1970),  
P.37-P.44
- 9 Klinksick, W.F. & Pierce, F.J. : Simultaneous Lateral Skewing in a  
Three-Dimensional Turbulent Boundary Layer Flow, T. of the A  
SME (1970)
- 9 Artushkov, L.S. : Additional Resistance due to Boundary Layer Separation  
in Model Testing, The University of Michigan Rep. No.047, (1970)

1969 (昭和44年)

- 3 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 (1969), P.45
- 1 熊井豊二 他14名 : 実船における境界層の計測 第3報 鹿児島大学水産学部漁  
業練習船“かごしま丸”による計測について, 九州大学応用力学研究所所報,  
第32号 (1969)
- 3 田村欣也 : 超大型一軸船の新船尾形状, 三菱重工技報, 第6巻第5号(昭和44年)
- 9 Bazilevsky, Y.S. and others. : Modern Means to Control Flow Separation  
of Full Model Forms, 12 th ITTC (1969)
- Sturp V.M. : A study of hull form effects on the Resistance of large  
tanker, Proceeding of IMAS (1969) (International Marine &  
Shipping Conference)

- 5      Nash, J.E. : The Calculation of Three-Dimensional Turbulent Boundary  
layers in Incompressible Flow, Journal of Fluid Mechanics Vol.37  
Part 4, (1969), P.625
- 1      East, L.T. & Hoxey, R.P. : Low Speed Three-Dimensional Turbulent  
Boundary Layer Data "Part 1 & 2, Aeronautical Research Council,  
R & M 3653, (1969)
- 1      Bazileusky, Y.S. : Modern means to control flow separation of full model  
forms, 12th ITTC, (1969)
- 3      渡辺恭二 : stable phenomenon in the self-propulsion test of full ship form  
models, 12th ITTC, (1969)
- 3      谷口中 : Three types of flow patterns at stern of ship model, Introductory  
statement in group discussion at 12th ITTC, (1967)
- 1, 4     谷口中, 他 : Comparison of velocity distribution in the boundary layer of  
ship and model, 12th ITTC, (1969)
- 3, 4     横尾幸一, 他 : Scale effect experiments on tanker model with different stern  
shapes, 12th ITTC, (1969)
- 1      Townsin, R.L. : Velocity fluctuations in the wake; a note on measurements  
at the stern of three ship models, RINA, Vol.111 No.4, (Oct.  
1969), P.525-P.532

1968 (昭和43年)

- 1      田古里哲夫, 増永公明, 岡本恒, 馬場信義 : 肥大船船尾ビルジ渦に関する実験的研究,  
日本造船学会論文集, 第123号 (1968)
- 3      高橋謙 他 : 船尾バルブ形状変化の推進性能におよぼす影響, 第12回船舶技術研究所  
研究発表会講演概要, (1968)
- 3      神中龍雄 : 抵抗試験法, 日本造船学会, 抵抗・推進シンポジウム (1968-6), P.15
- 1, 9     田古里哲夫 : 肥大船の渦, 日本造船学会, 抵抗・推進シンポジウム (1968-6), P.55
- 3      渡辺恭二 : 自航試験法, 日本造船学会, 抵抗・推進シンポジウム (1968-6), P.63
- 4      笹島秀雄 : 肥大船の船尾形状, 日本造船学会, 抵抗・推進シンポジウム (1968-6),  
P.85
- 3      Conn and Ferguson : Results Obtained with a Series of Geometrically  
Similar Models, RINA Vol.110 No.3, (1968)

- 5 Tatinclaux, J.C. : Effect of Bilge Keels and a Bulbous Bow on Bilge Vortices, Iowa Institute of Hydraulic Research, Report No.107, (Feb. 1968)
- 1,3 Schuster, S., Grothue-Spork, H., Thieme, H., Schwanecke, H. und Wieghardt, K. : Meteor-Meszfahrten 1967, J.S.T.G., 62, Band (1968)

1967 (昭和42年)

- 1,9 田古里哲夫 : 船底湾曲部付近から発生する渦, 造船協会誌, 第450号 (1967), P.14
- 1 種子田,他 : 船の剥離渦, 九大応用力学研究所所報, 第27号 (1967), P.1
- 1 熊井豊二 外9名 : 実船における境界層の計測 — 第1報 — 九州大学農学部水産調査艇“わかすぎ”による計測について, 九州大学応用力学研究所報, 第28号 (1967)
- 1 熊井豊二 外14名 : 実船における境界層の計測 — 第2報 — 鹿児島大学水産学部漁業実習船“南星丸”による計測について, 九州大学応用力学研究所報, 第28号 (1967)
- 5 別所正利 : 肋骨線に関する考察, 造船協会論文集, 第122号 (1967)
- 3 仲渡道夫 他 : 回流水槽における船尾形状の系統的実験, 関西造船協会誌, 第126号 (1967-9)
- 3 渡辺恭二 : 肥えた模型船に現われる不安定現象, 三菱重工技報20号, Vol.4 No.4 (1967-7)
- 3 渡辺恭二 : "Repeated Self-Propulsion Test on a Tanker Model." 造船学会論文集 Vol.121 (1967-7)
- 1 要, 田才 : 肥大船模型の船尾付近の水流, 応力研究所報, 第28号 (1967)
- 1 田古里哲夫 : Investigations on Vortices Generated at the Bilge, Proceedings of 11th ITTC (1967)
- 1 丸尾孟 : Ikehata, M. : Observation of the Flow Pattern around Ship Models, Proceedings of 11th ITTC (1967)
- 2,3 Townsin, R.L. : The Frictional and Pressure Resistance of Two Lucy Ashton Geosims, TRINA, Vol.109 (1967), P. 247
- 3 Tzou, K.T.S. and Landweber, L. : Determination of the Viscous Drag of a Ship Model, Iowa Institute of Hydraulic Research Report No.101 (1967)

- 5 Cumpsty, N.A. and Head, M.R. : The Calculation of Three-Dimensional Turbulent Boundary Layer,  
 Part 1. Flow over the Rear of an Infinite Swept Wing.  
 Part 2. Attachment-line Flow on an Infinite Swept Wing,  
 Aeronautical Quarterly, (Feb. 1967)
- Francis, C.P. & Pierce, F.J : An Experimental Study of Skewed Turbulent Boundary Layers in Low Speed Flows, J. of Basic Engineering, Transactions American Albuia Society of Mechanical Engineers, Series D, Vol.89, No.3 (1967)
- 5 Tatinclaux, J.C. : Influence of the Radius of Curvature on the Drag Induced by Bilge Vortices, Iowa Institute of Hydralic Research, Report No.102, (Feb. 1967)

1966 (昭和41年)

- 1 笹島秀雄, 田中一朗, 鈴木敏夫 : 肥大船の伴流分布, 造船協会論文集, 第120号 (1966)
- 9 笹島秀雄 : 大型肥大船型の船尾をめぐって, 船舶, Vol.39 (1966)
- 5, 9 別所正利, 水野俊明 : 肥大船型の研究(続報), 関西第121号 (1966)
- 1 大楠丹, 要正博 : 肥大船船尾付近の水流, 三井造船技報, 第56号 (1966)
- 3, 4 谷口中 : Study on Scale Effect of Propulsive Performance by Use of Geosim of a Tanker, (1966), P.19  
 造船協会論文集, 第102号
- 5 Smith, P.D. : Calculation Methods for Three-Dimensional Turbulent Boundary Layers, A.R.C.R. & M. No.3523 (Dec. 1966)
- 5 Hess, J.L. & Smith, A.M.O. : Calculation of Potential Flow about Arbitrary Bodies, Progress in Aeronautical Science, Vol. 8, Pergamon Press, New York, (1966)
- 3, 4 谷口中 : Study on Scale Effect of Propulsions Performance by Use of Geosims of a Tanker, Mitsubishi Techn. Bulletin, No.39 (1966-8)

1965(昭和40年)

- 5 神中龍雄 : 船体のまわりの流線の計算法について, 造船協会論文集, 第118号 (1965)
- 5, 9 別所正利, 水野俊明 : 肥大船型の研究, 関西第117号, (1965)
- 9 Townsin, R. L. : Boundary Layer Separation from Ship Models, Trans. RINA, Vol. 107, No.3 (1965)
- Goldschmied, F. R. : An Approach to Turbulent Incompressible Separation under Adverse Pressure Gradients, J. of Aircraft, Vol. 2 No.2 (1965)
- 3 Wald, Q. : Performance of a propeller in a wake and the interaction of propeller and hull, J. of ship Research (1965)
- 1 Hadler and Chenj : Analysis of Experimental Wake-data in way of Propeller plane of single and twin-screw ship models. SNAME, (1965)
- 1 Clements, R. E. : Separation at the Stern of a Ship Model using Vortex Generators, Trans. RINA, Vol. 107, No.3 (1965)

1964(昭和39年)

- 1 Hogben, N. : Record of a boundary layer exploration on a mathematical ship model, Ship Division NPL Report No.52, (July 1964)
- 9 Clements : The Control of Flow Separation at the Stern of a Ship Model Using Vortex Generators RINA (1964), P.351
- 5 Hess, J. L. & Smith, A. M. O. : Calculation of Nonlifting Potential Flow about Arbitrary Three-Dimensional Bodies, J. of Ship Research, Vol. 8 No.2 (1964)

1963(昭和38年)

- 5 笹島秀雄, 田中一朗, 仲渡道夫, 森崎栄一, 百瀬頭二, 金子栄吉 : 球状船尾船の一実験, 関西造船協会誌, 第111号(昭和38年)
- 田中一朗 : 船の粘性抵抗に対する形状影響について(その2) 造船協会論文集, 第114号(昭和38年)

1962 (昭和37年)

- 5 Cooke, J.C. and Hall, M.G. : Boundary Layers in Three-Dimensions,  
Progress in Aeronautical Science,  
Vol. 2 Pergamon Press, New York (1962)

1961 (昭和36年)

- 3 田中一朗 : 船の粘性抵抗に対する形状影響について(その1)  
造船協会論文集, 第113号 (1961)
- 5 Cooke, J.C. : A Calculation Method for Three-Dimensional Turbulent  
Boundary Layers, A.R.C., R. & M. No.3201, (1961)

1960 (昭和35年) 以前

- 5 Head, M.R. : Entrainment in the Turbulent Boundary Layer,  
A.R.C., R. & M. No.3152, (1960)
- 5 Johnston, J.P. : On the Three-Dimensional Turbulent Boundary layer  
Generated Secondary Flow,  
T.A.S.M.E. Series D (1960)
- 2 谷口中 : プロペラ近傍の圧力変動, 西部造船会会報, 第16号 (1958)
- 5 田中一朗, 笹島秀雄 : 摩擦抵抗に及ぼす横曲率の影響,  
造船協会論文集, 第102号 (昭和33年)
- 1, 4 Baker, G.S. : Ship Wake and the Frictional Belt, North-East Coast  
Institution of Engineers and Shipbuilders, Vol. XLVI (1929-1930)
- 2 Hogben, N. : Ship Hull Pressure Measurements, TINA Vol. 99 (1957)  
P.466
- 5 Coles, D. : The law of the wake in the Turbulent Boundary Layers,  
J. of F.M. Vol. 1 (1956)
- 5 Breslin, J.P., and Tsakonas, S. : Marine Propeller Pressure Field Due  
to Loading and Thickness Effects, Trans. SNAME, Vol. 67 (1959).

## 4.3 4m模型船による水槽試験並びに考察

### 4.3.1 基礎的項目

#### (1) 試験概要

基礎的項目として実施した試験は、抵抗試験、自航試験、プロペラ荷重変更試験およびプロペラ単独試験である。各試験における計測項目および計測方法について以下に記すが、試験要領および試験結果の解析方法は、基本的には、先に3.2.3に記されている持ちまわり試験実施方案に準じている。

#### (a) 抵抗試験

試験状態は Full load even Keel, 65% full load 1% trim by stern および 44% full load 2% trim by stern の 8 状態である。各状態の主要目は Table 4.1.1 に示された通りである。

計測項目は、対水速度、船体抵抗、船首尾浮沈量、船首尾ガイドに作用するサイドフォースおよび船尾船体表面の圧力変動等である。

対水速度、船体抵抗、および船首尾浮沈量の計測には担当場所常用の計測装置を用いた。サイドフォースは船首尾のガイド支柱に直接ストレンゲージを貼って計測したが、今回の模型船に対してはやや容量過大で、感度不足であったようである。

ガイド位置は船首が F.P. 後方 100mm、船尾が A.P. 位置である。

船体表面の圧力計測は S.S. 1/4、11 WL (B.L. 上 183.3 mm)、S.S. 3/8、8 WL (B.L. 上 133.3 mm) および S.S. 3/8 2.5WL (B.L. 上 41.7 mm) の 3ヶ所の両舷対称位置合計 6ヶ所に内径 2 mm の圧力計測用銅管を埋設し、これと模型船上に設置した圧力変換器の間をビニール管で連結した。

計測データは対水速度および船首尾浮沈量以外は全てデータレコーダーに記録し、後々行なう予定である諸検討のためにデータの保存を図った。

試験速度範囲は、Full load  $V_m = 0.398 \sim 1.328 \text{ m/s}$  ( $V_s = 6 \sim 20 \text{ kn}$ )、65% load  $V_m = 0.398 \sim 0.395 \text{ m/s}$  ( $V_s = 6 \sim 21 \text{ kn}$ )、44% load  $V_m = 0.398 \sim 1.428 \text{ m/s}$  ( $V_s = 6 \sim 21.5 \text{ kn}$ ) である。各状態最低速度は、Form factor 決定のことを考慮して  $F_n = 0.06$  程度とした。

#### (b) 自航試験およびプロペラ荷重変更試験

試験状態は抵抗試験の場合と同一である。

計測項目は、速水速度、推力 (T)、トルク (Q)、プロペラ回転数、船首尾ガイドに作用するサイドフォースおよび船尾船体表面の圧力変動等である。

サイドフォースと船体表面圧力計測については、抵抗試験と全く同じ方法で計測を行ない、その他も担当場所の常用の計測装置を用いて計測し、抵抗試験同様対水速度とプロペラ回転数以外の計測データは全てデータレコーダーに記録した。

試験速度範囲は、自航試験については Full load  $V_m = 0.598 \sim 1.328 \text{ m/s}$  ( $V_s = 9 \sim 20 \text{ kn}$ )、65% load  $V_m = 0.598 \sim 1.395 \text{ m/s}$  ( $V_s = 9 \sim 21 \text{ kn}$ )、44% load  $V_m = 0.598 \sim 1.428 \text{ m/s}$  ( $V_s = 9 \sim 21.5 \text{ kn}$ ) であり、プロペラ荷重変更試験は  $F_n = 0.14$  ( $V_m = 0.88 \text{ m/s}$ ， $V_s = 13.2 \text{ kn}$ ) および  $F_n = 0.18$  ( $V_m = 1.13 \text{ m/s}$ ， $V_s = 17 \text{ kn}$ ) の 2 速度で、 $SFC = 0$  (Model point) からスラスト  $T = 0$  まで 4 点計測した。

#### (c) プロペラ単独試験

自航試験結果解析用として、仮想実船主機回転数 (120 rpm) に対応する模型自航試験回転数において単独試験を実施した。

計測データは特にデータレコーダーによる記録は取らなかった。

#### (d) 自航状態水中 16 ミリ撮影

当初の計画では船尾端付近の波紋を水上より撮影するに止める予定であったが、撮影結果はとても状況を把握できるようなものとはならなかった。

また抵抗・自航試験時圧力計測を行なった際、圧力変換器のコードが他の諸計測に悪影響を及ぼすと考えられたため、Full load 以外は抵抗自航試験とは切離して実施することとしたので、その際船体後方の水中より 16 ミリカメラで水中の流れの様子を撮影することとした。

抵抗自航試験と切離した圧力計測は、抵抗状態では圧力変動が非常に小さいので、Full load 以外はこれを打切り、自航状態のみ、自航試験時の回転数に合せた推進試験状態とし、スラスト、トルク、サイドフォースの変動と共に圧力変動を計測し、データレコーダーに記録した。プロペラ荷重度変更試験についても同様とした。

計測速度は 65% load、44% load とも  $F_n = 0.10, 0.14, 0.16, 0.18, 0.20$  および 0.22 の 6 点で、プロペラ荷重度変更は  $SFC = 0$  の場合のみ、 $F_n = 0.18$  の速度について計測を行なった。

### (2) 試験結果

#### (a) 抵抗試験結果

抵抗試験の結果得られた計測値を解析し、ITTC-1957 Friction line に対する剩余抵抗系数  $C_r$  を求めた結果を Fig. 4.3.1 に示す。

また Hughes の Friction line に對し Form factor を求め造波抵抗係数  $C_w$  を求めた結果を Fig. 4.3.2 に示す。

3 状態とも抵抗係数に目立ったばらつきは見られない。また計測データのアナログ記録を見ても抵抗計測中に抵抗値が急変したり、一航走中に異なった抵抗値を示すような傾向は全くみられず、安定していた。

船首尾浮沈量曲線を Fig. 4.3.3 に示すが、これも通常の安定した船型の試験結果と特に異なる点はみられない。

サイドフォースの計測結果は低速域では船尾が左右にゆれた場合、約 2 秒余りの周期で変動が残り、その最大振幅が約 100 ~ 150 gr になる場合もあるが、高速域では変動はなくなり安定していく。抵抗値の変化とサイドフォースの間には相関関係はほとんど見られないようであった。

船体表面の圧力計測は抵抗試験では Full load のみ実施したが、静止状態と航走中の圧力差は S.S 1/4 11 WL の点が最も大きく、10 mm Aq 位になるが、航走中の変動幅はほとんどみられず、左右舷の差も目立たなかった。

以上の結果から考えると抵抗試験時には不安定な状態はほとんど現われていないと言えそうである。

#### (b) 自航試験およびプロペラ荷重度変更試験結果

自航試験の結果得られた  $K_t, K_p, K_n$  の値を Fig. 4.3.4 ~ 4.3.6 に示す。

また、これらの値をもとに後述のプロペラ単獨特性を用いて解析し、得られた自航要素  $t, W_m, \eta_r$  の値を Fig. 4.3.7 に示す。

$K_t, K_p, K_n$  について、Full load では一部にばらつきが見られるが大したことではない。65% load, 44% load になると、ややばらつきが目立ち、自航試験時スラスト、トルクの計測値が安定していないことを示している。

しかし、アナログデータの記録を調べると、これらの計測点は各航走毎の計測値としては変動の振幅は少し大きいが、一航走中にスラストまたはトルクがステップ状に変化して、明らかに異なる 2 つの値を持続して示すというような現象は示していない。(ただし、後記の 16 ミリミネ撮影の

際には数点このような現象が見られた。)

このことは Fig. 4.3.7 を見ると明らかとなってくる。すなわち、Full load と 65% load の  $W_m$  の値にはほとんどばらつきが見られず、流れの状態としては一応安定していたことを示している。しかし 44% loadにおいて  $F_n = 0.14$ において  $W_m$  の高い値と低い値が現われており、それより低速では  $W_m$  の低い状態、高速では  $W_m$  の高い状態である。このような case では往々にして一航走中に両者が現われて、スラスト、トルクにステップ状の変化をもたらすものであるが、今回の場合は異なる航走において、異なる値を示したに止まった。

なお今回の試験の結果  $\eta_r$  の値が高速で全般に高く、低速で Full load のみが小さくなっている、いろいろ調べてみたが原因ははっきりしなかった。

つぎにプロペラ荷重度変更試験の結果得られた  $W_m$ 、 $\eta_r$  の値をプロペラ荷重度 ( $T/\rho V^2 D^2$ ) ベースにプロットしたものを Fig. 4.3.8 に示す。

プロペラ荷重度変更試験においても自航試験と同様、一航走中にスラスト、トルクが平均として 2 つの値を示すようなアナログデータの記録は見られなかった。

Fig. 4.3.8 や Fig. 4.3.9になると Full load は大体において、F タイプの流場であることが分るが  $F_n = 0.14$  の方は  $F_n = 0.18$  に比べて  $W_m$  の変化量がやや少なく、やや S タイプに近づいているような感じである。

65% load はいづれの速度でも安定した S タイプであることを示しているが 44% load では、 $F_n = 0.14$ においてはほとんど Full load と同じ傾向を示す場合と 65% load の傾向を示す場合の両方が見られ、流場が安定していないことを示している。

$F_n = 0.18$  の場合は 65% load とほとんど同じで安定した S タイプの流場の傾向を示している。

サイドフォースの計測結果は全般的な傾向として、抵抗試験時より力の変動が大きく、船首より船尾のサイドフォースが大きい。さらに速度の増大にしたがってサイドフォースの変動振幅は大きくなり、船尾においては大体スラストが大きくなるとき船体を右方へ押す方向に作用している。しかし、スラストの変化との対応はスラストの小さな変動にも対応しているというようなものでなく、大きくスラストが変わった場合、サイドフォースも大きくなっている場合が多いという程度である。サイドフォースの計測データの解析の方法にはなお検討の余地が多いので、今後もう少し解析をしてみる予定であるため、データの解析結果の図表化は行なわなかった。

船体表面の圧力計測は先にも記したように Full load 以外は水中写真撮影時の計測したが、計測位置が何としても少なすぎて、定量的にスラスト、トルクの変動およびサイドフォースとの関連をつけるに至らないが、定性的には次のことが分った。

船体表面の圧力変動は 65% load, 44% load, Full load の順に小さくなっていく。

また同一状態では速度が速くなる程変動力が大きくなり、同一速度ではプロペラ荷重度が大きい程変動が大きい。

計測位置では 65% load の場合 S.S 1/4 の 11WL の計測点が最も変動が大きく、左舷の変動量が右舷より大きい。最大変動量は約 30 mm Aq である。

なお圧力計測データもサイドフォースの計測データ同様、今後もう少し解析を続けて、有意義なデータとすべく検討をしたい。

水中 16 ミリシネ撮影時に計測したスラスト、トルク、サイドフォース、船体表面圧力変動のアナログ記録の例を Fig. 4.3.11 ~ 4.3.18 に示す。

### (c) プロペラ単独試験結果

自航試験結果の解析用に行なったプロペラ単独試験結果を Fig. 4.3.10 に示す。

今回新しく製作して、大阪大学における諸試験に用いられたものの単独試験結果に比べると KQ

の値がやや小さく、 $\eta_0$  が大きくなっているようである。

(d) 自航時水中 16 ミリシネ撮影結果

水中 16 ミリシネフィルムは 65% load と 44% load のみであるが、いずれも標準の 3 倍のコマ数（72 コマ）で撮影したので、流れを落着いて観察することができる。

いずれの状態でも高速およびプロペラ荷重度変更状態で、プロペラ直前上方左舷側より空気泡を時々吸い込んでいく現象が見られるが、あまり激しい現象ではない。なお、流れの乱れが激しそうに見受けられるのは水面付近ではかなり後端に近い部分だけのようである。

このフィルムも何回も繰り返して見ると、なお興味ある現象を見出すことができるのではないかと考えられる。

なお、プロペラ荷重度変更試験時における船側波形写真を Fig. 4.3.19 ~ 4.3.21 に示すが、船尾端付近以外にはほとんど差はみられない。

Table 4.1.1 Principal particulars

Model	4 m Model			2 m Model		
	Full load	65% Full load	44% Full load	Full load	65% Full load	44% Full load
L <sub>pp</sub> (m)	4.000			2.000		
L <sub>DWL</sub> (m)	4.100			2.050		
B (m)	0.6666			0.8333		
d <sub>m</sub> (m)	0.2416	0.1622	0.1131	0.1208	0.08112	0.05657
trim (%)	0	1.00	2.00	0	1.00	2.00
△a (kg)	516.60	335.84	226.24	64.58	41.98	28.28
S <sub>a</sub> (m <sup>2</sup> )	3.829	3.154	2.752	0.9573	0.7885	0.6880
C <sub>bpp</sub>	0.8018	0.7760	0.7494	0.8018	0.7760	0.7494
C <sub>ppp</sub>	0.8096	0.7873	0.7651	0.8096	0.7873	0.7651
C <sub>m</sub>	0.9904	0.9857	0.9795	0.9904	0.9857	0.9795
L <sub>c b</sub> (%)	48.52	49.54(E.K)	52.14(E.K)	48.52	49.54(E.K)	52.14(E.K)

### 4.3.2 追加項目

#### (1) 伴流分布計測結果 (Fn = 0.18, 65% Load, 舵付き)

1/8 断面における伴流分布の計測は Fig. 4.3.22 に示されるような 5 孔管 2 本を用い、左右対称、同時に実行された。

抵抗状態においては、船尾ガイドにかかる横力の変化が見られず、測定値も安定していたので流場の状態は 1 つであると考えられる。

伴流 ( $W_x = 1 - \frac{V_x}{V_M}$ ) の分布を Fig. 4.3.23 に、 $V_y$ ,  $V_z$  のベクトル表示を Fig. 4.3.24 に示す。左右の対称性はかなり良く、縦渦の存在、それによる伴流分布のゆがみなど、一般船型の分布に比し、大きな差は認められない。Fig. 4.3.24 より算出した渦度分布を Fig. 4.3.25 に示す。この図においても左右は大略対称である。

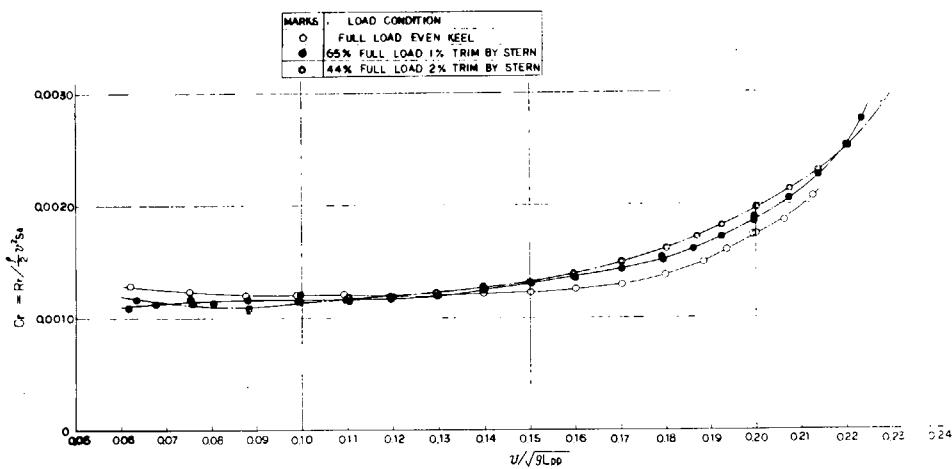


Fig. 4.3.1 Residual Resistance Coefficient Curves

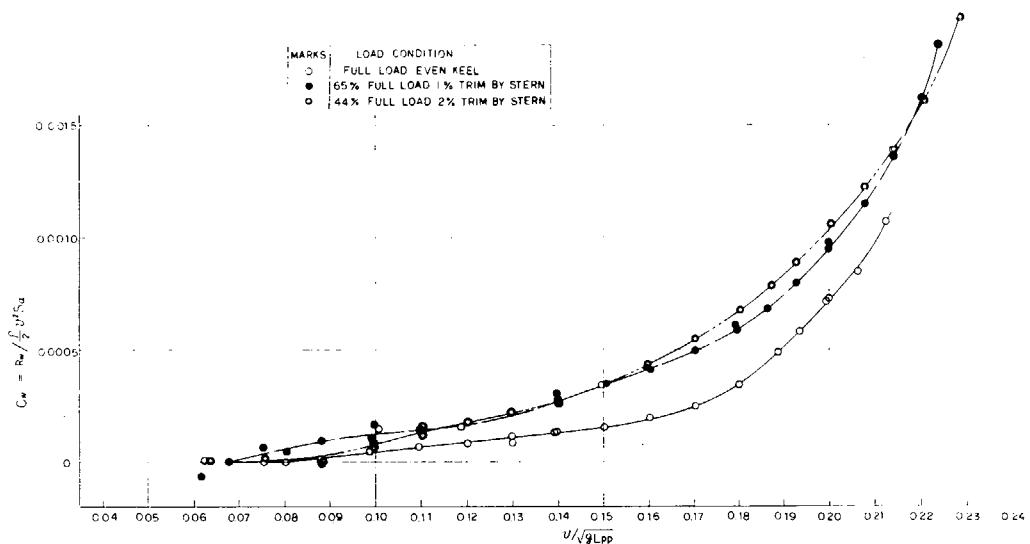


Fig. 4.3.2 Wave-making Resistance Coefficient Curves

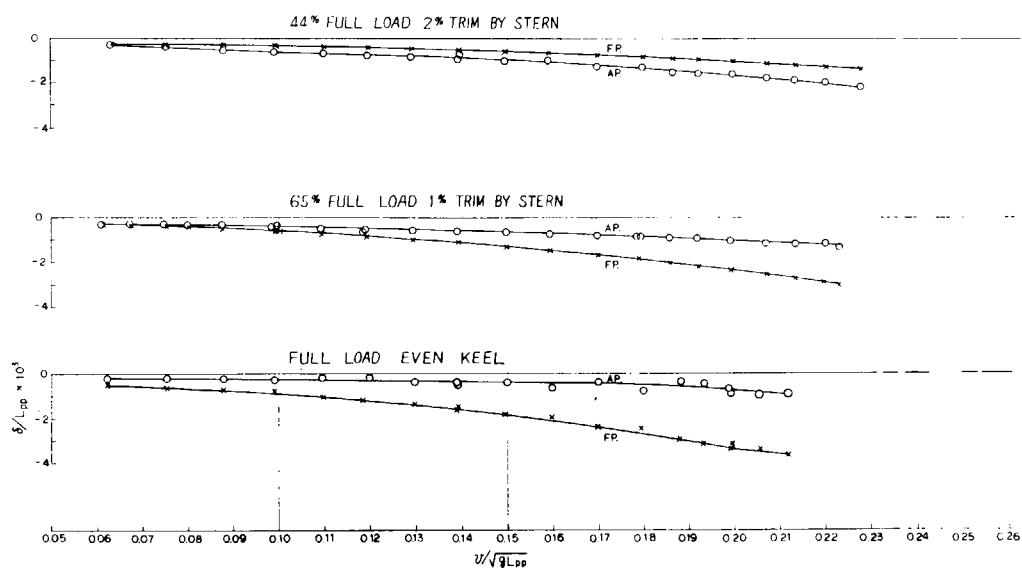


Fig. 4.3.3 Dipping Curves

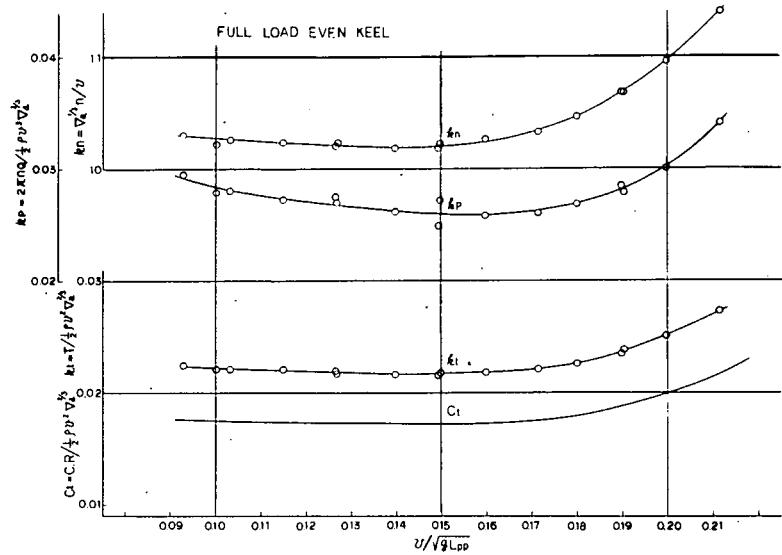


Fig. 4.3.4 Self-propulsion Test Results

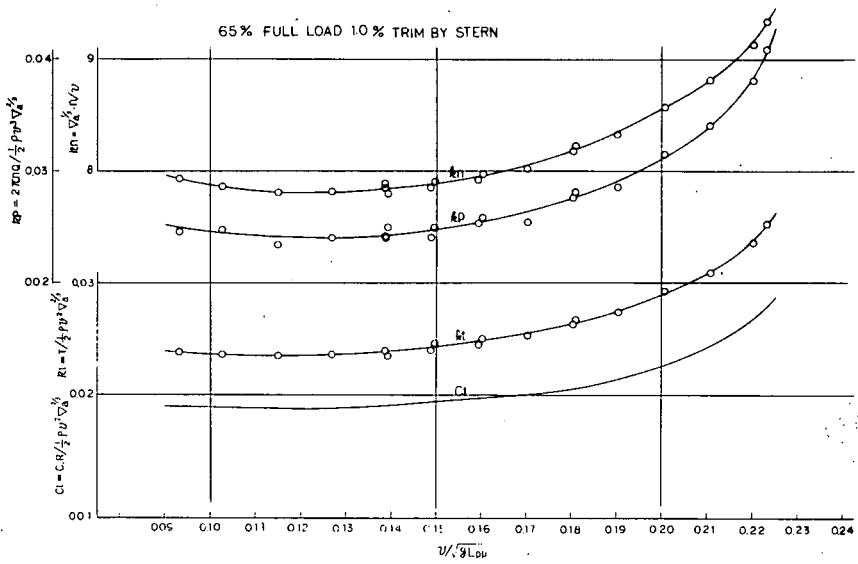


Fig. 4.3.5 Self-propulsion Test Results

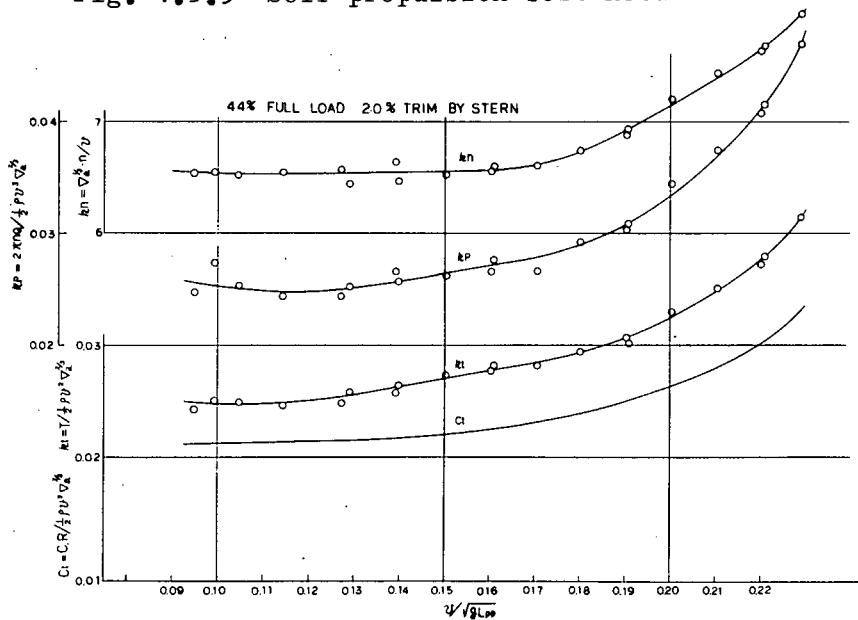


Fig. 4.3.6 Self-propulsion Test Results

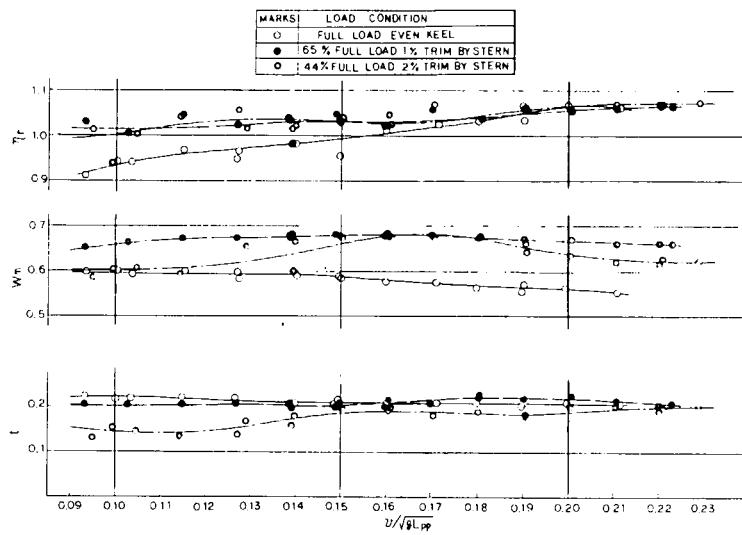


Fig. 4.3.7 Self-propulsion Factors

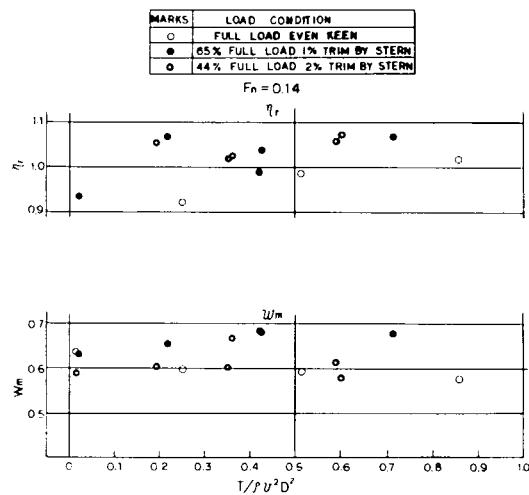


Fig. 4.3.8 Effect of Propeller Loading

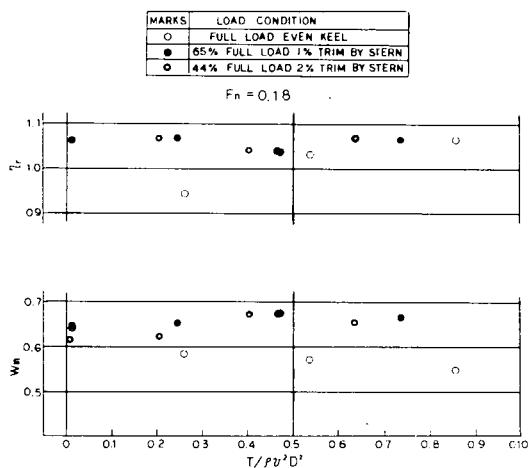


Fig. 4.3.9 Effect of Propeller Loading

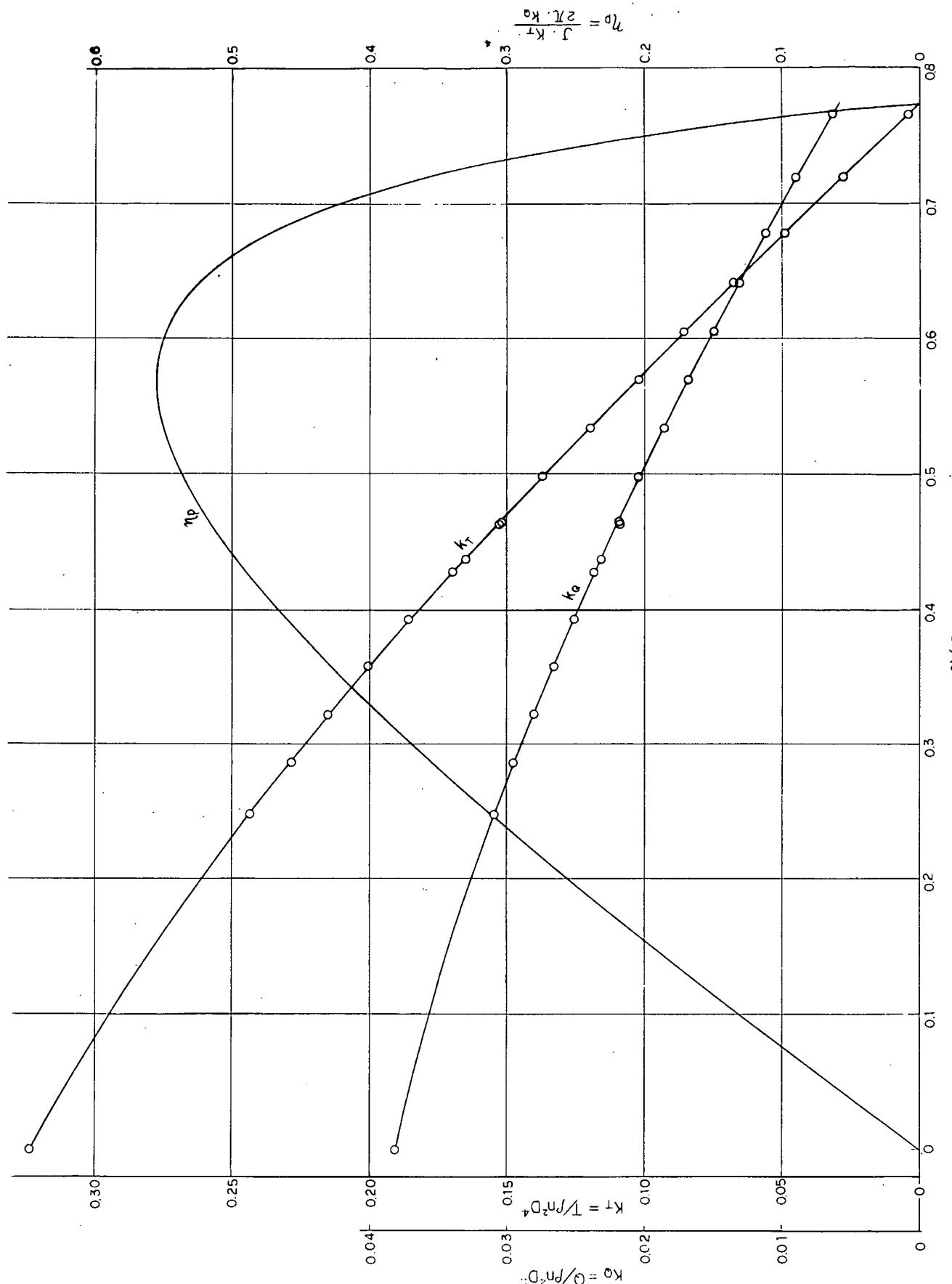


Fig. 4.3.10 Propeller Open Characteristic Curves

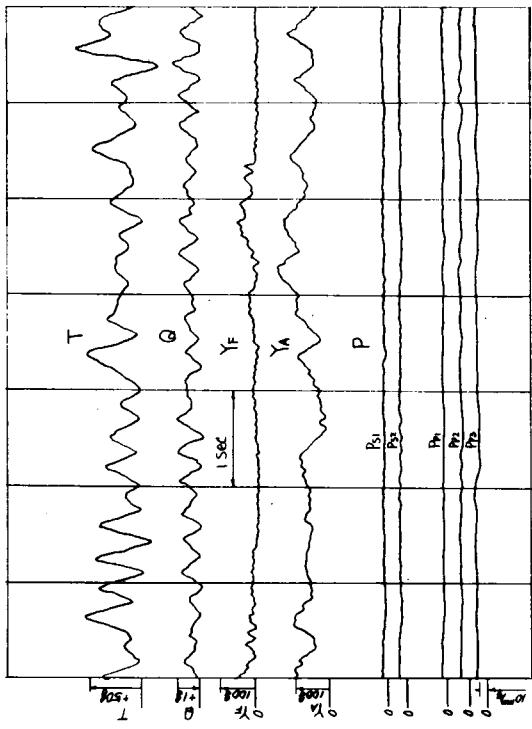


Fig. 4.3.11 Example of Test Results  
(65% Full load,  $F_n=0.14$ )

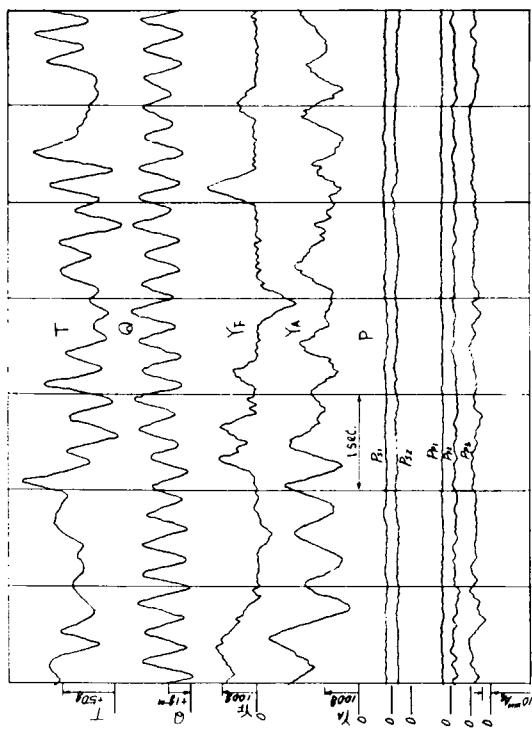


Fig. 4.3.12 Example of Test Results  
(65% Full load,  $F_n=0.18$ )

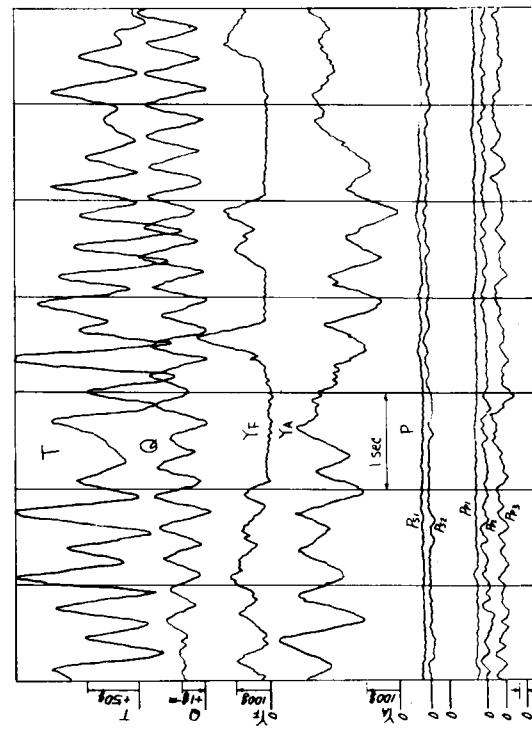


Fig. 4.3.13 Example of Test Results  
(65% Full load,  $F_n=0.22$ )

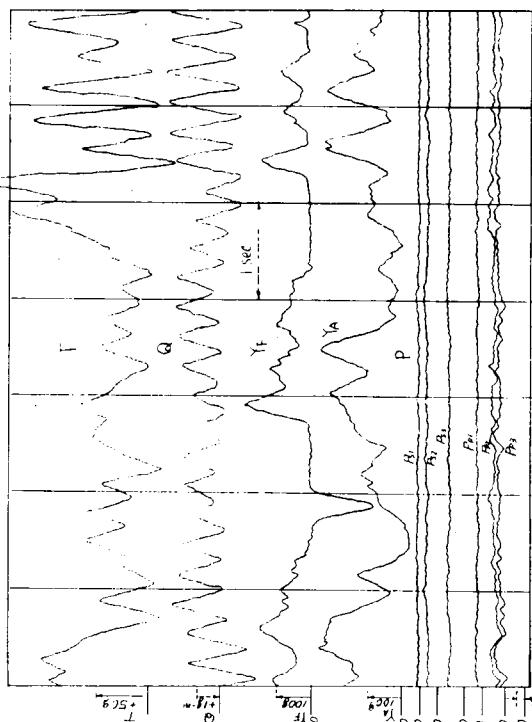


Fig. 4.3.14 Example of Test Results  
(65% Full load,  $F_n=0.18$ , SFC=0)

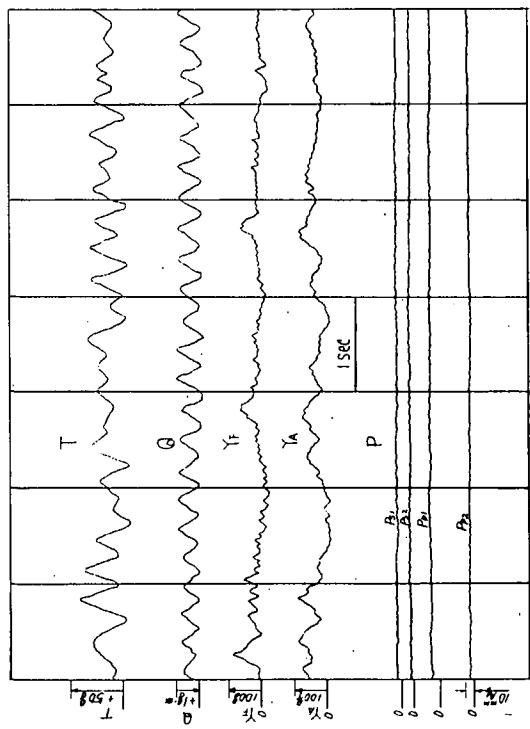


Fig. 4.3.15 Example of Test Results  
(44% Full load,  $F_n=0.14$ )

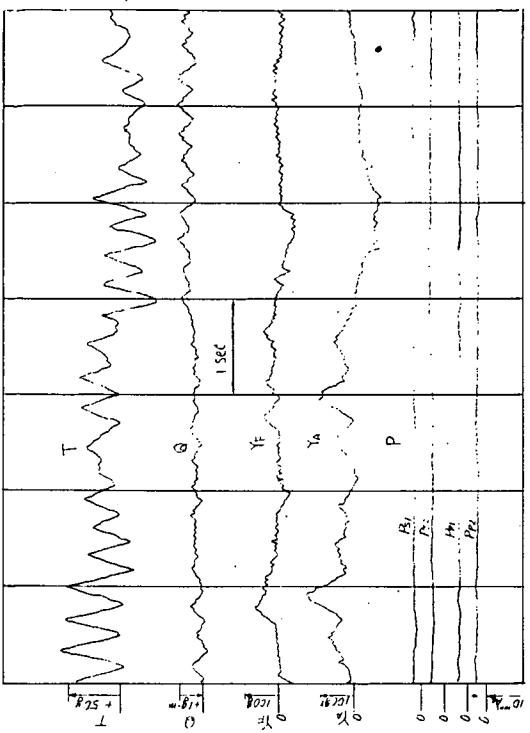


Fig. 4.3.16 Example of Test Results  
(44% Full load,  $F_n=0.18$ )

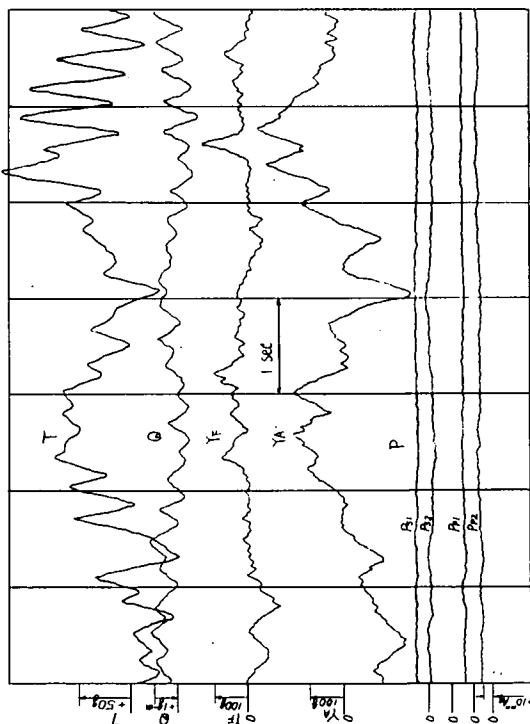


Fig. 4.3.17 Example of Test Results  
(44% Full load,  $F_n=0.22$ )

Fig. 4.3.18 Example of Test Results  
(44% Full load,  $F_n=0.18$ , SFC=0)

Fig. 4.3.19 Example of Test Results  
(44% Full load,  $F_n=0.18$ , SFC=0)

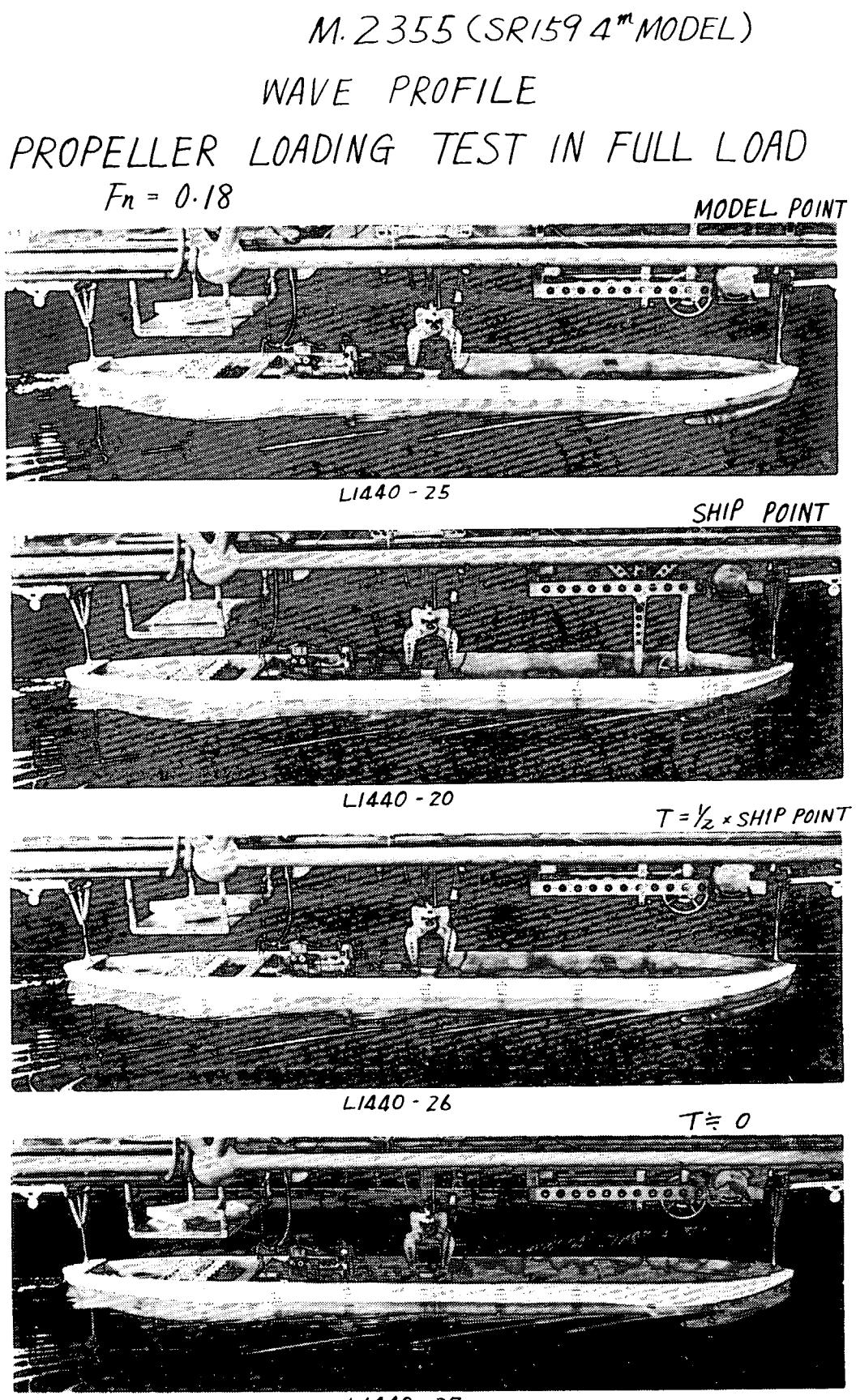
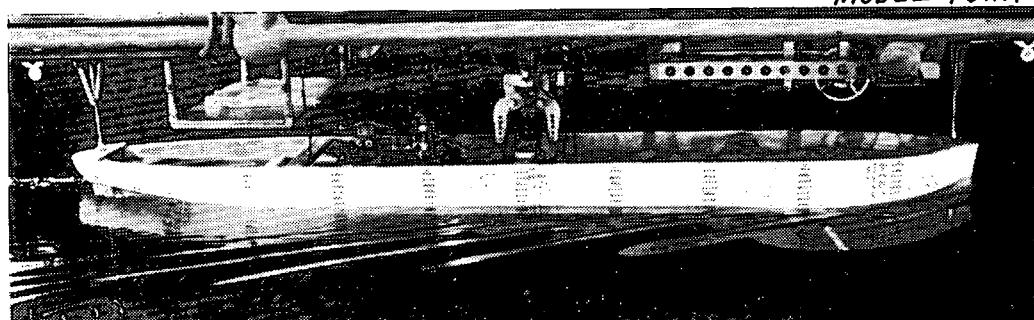


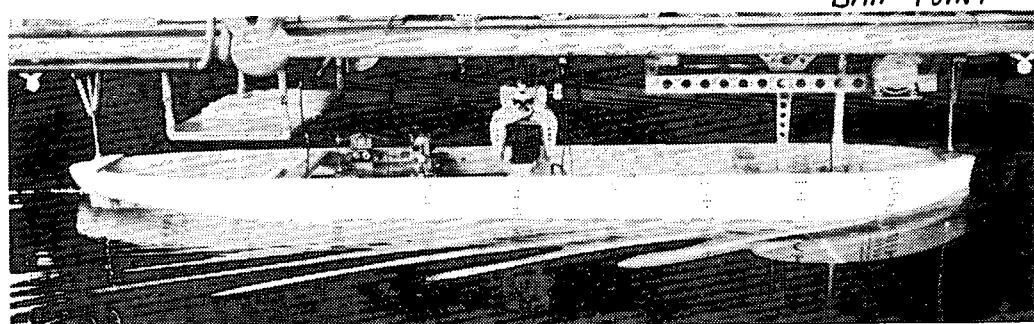
Fig. 4.3.19

M. 2355 (SR159 4" MODEL)  
WAVE PROFILE  
PROPELLER LOADING TEST IN 65% FULL LOAD  
 $F_n = 0.18$

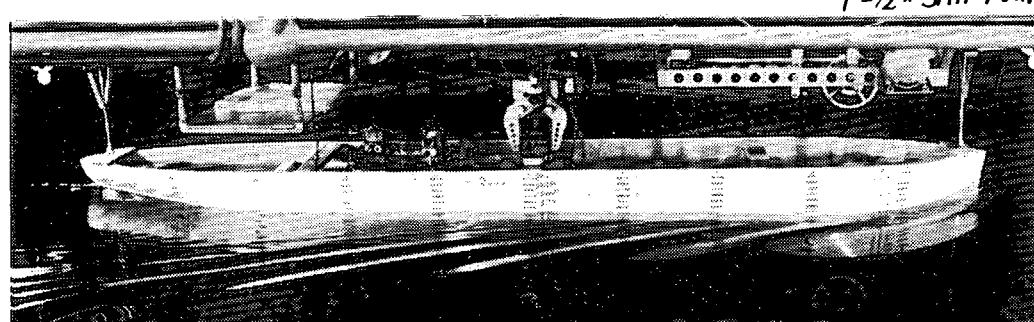
MODEL POINT



SHIP POINT



$T = \frac{1}{2} \times \text{SHIP POINT}$



$T = 0$

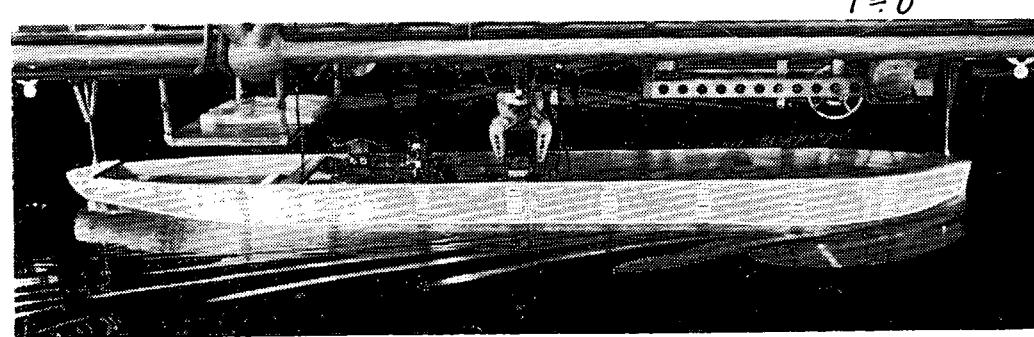
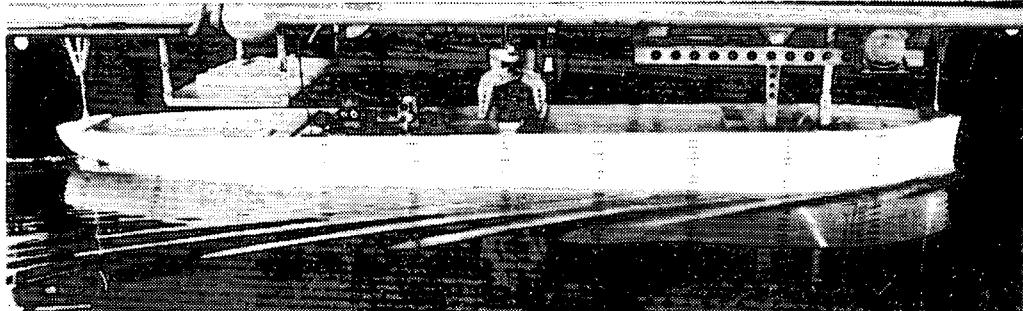


Fig. 4.3.20

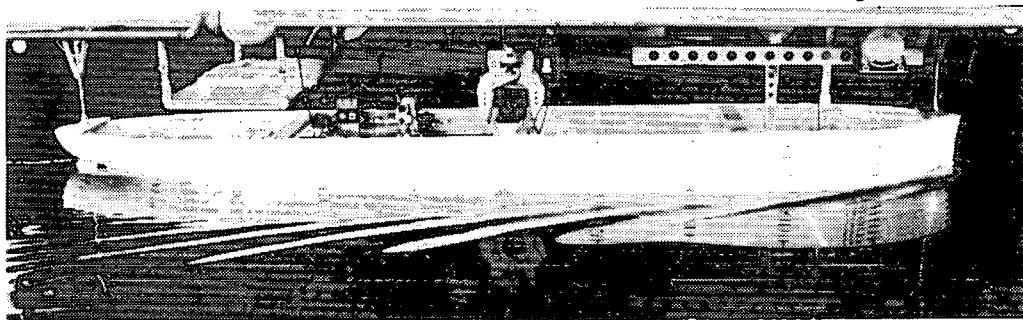
M. 2355 (SR159 4" MODEL)  
WAVE PROFILE  
PROPELLER LOADING TEST IN 44% FULL LOAD  
 $F_n = 0.18$

MODEL POINT



L1445 - 11

SHIP POINT



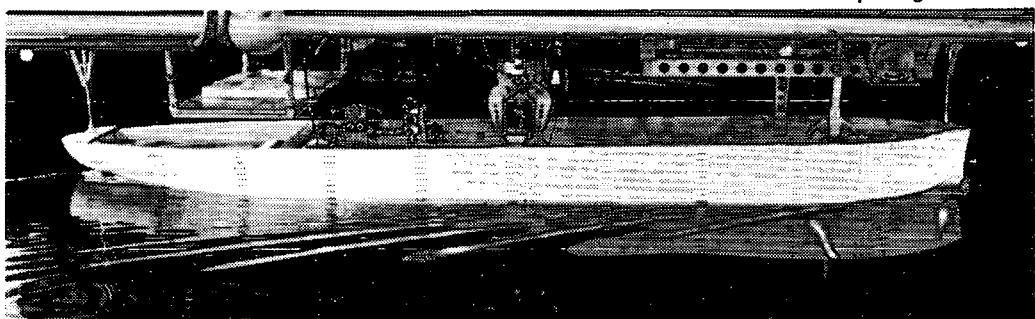
L1445 - 8

$T = \frac{1}{2} \times \text{SHIP POINT}$



L1445 - 12

$T \geq 0$



L1445 - 13

Fig. 4.3.21

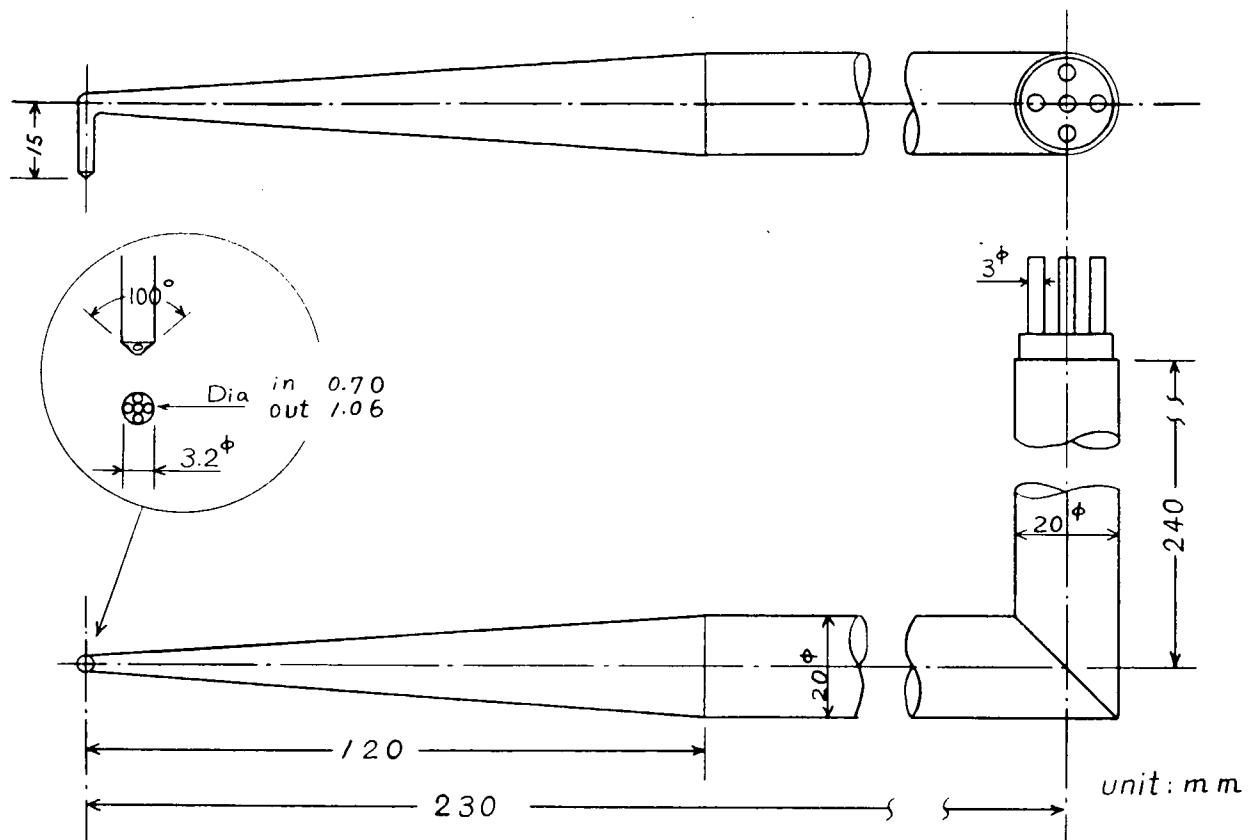


Fig. 4.3.22 Five Hole Pitot Tube (for port side)

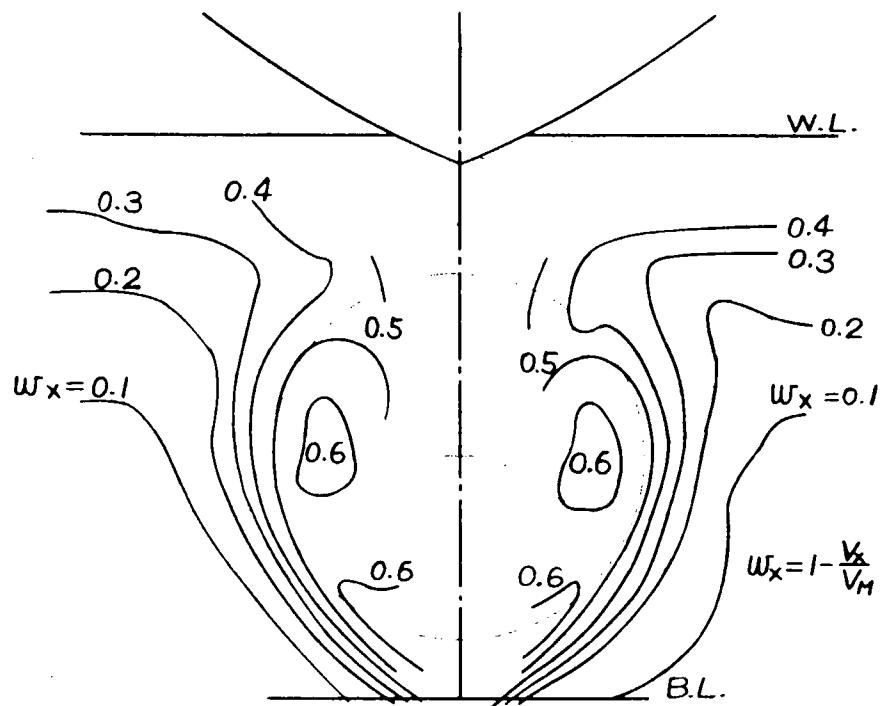


Fig. 4.3.23 Wake Distribution at Sq St 1/8  
(65% Load with Rudder, Fn=0.18)

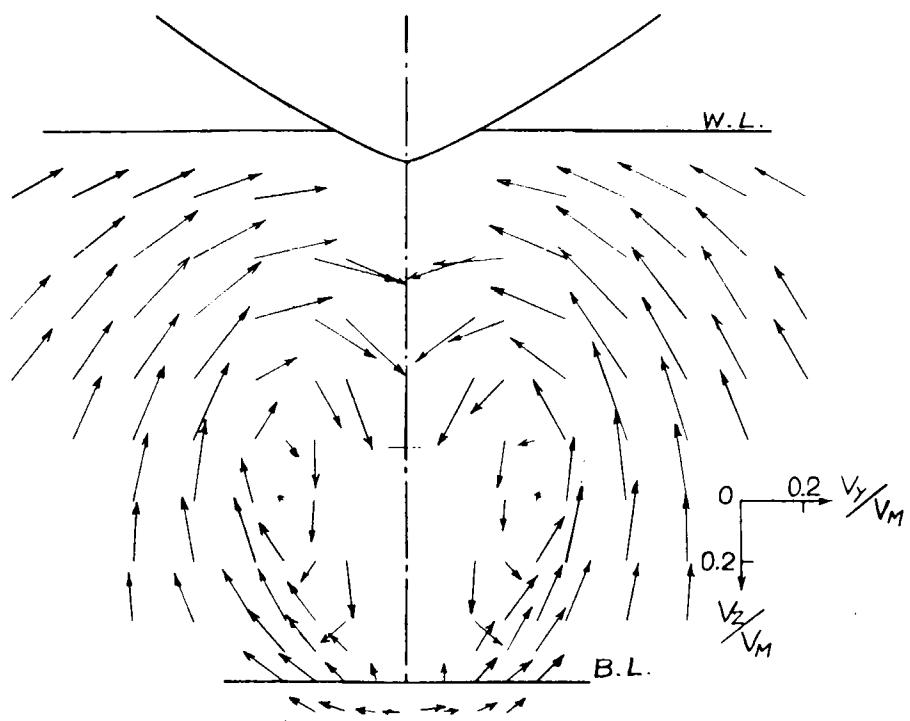


Fig. 4.3.24 Velocity Vector Representation of  $V_y$   $V_z$  at Sq St 1/8  
(65% Load with Rudder,  $F_n=0.18$ )

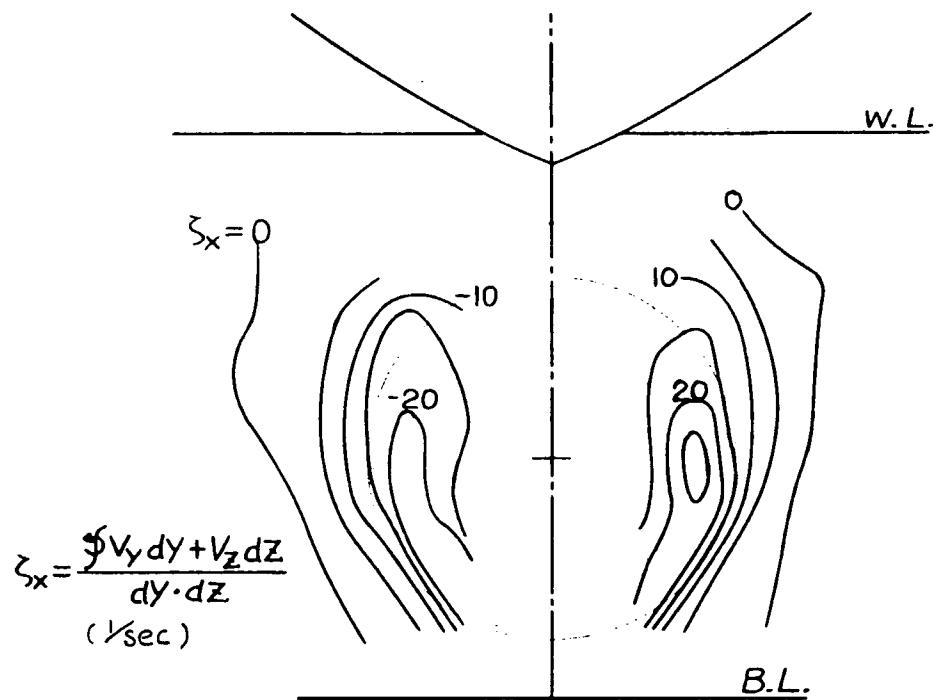


Fig. 4.3.25 Vorticity Distribution at Sq St 1/8  
(65% Load with Rudder,  $V_m=1.127 \text{ m/s}$ )

### (2) 船尾流場計測結果 ( $F_n = 0.18$ , 65% Load, 舵付き)

双安定現象が自航時に現われる点を重視し、プロペラ作動時の船尾流場の計測を前項と同じ5孔管を用いて行なった。計測断面は1/4断面でありプロペラ作動による吸引の影響はかなり大きな所である。

抵抗状態における $V_x$ の分布をFig. 4.3.26に、 $V_y$ 、 $V_z$ のベクトル表示をFig. 4.3.27に示す。プロペラ面における伴流分布と同様に左右はほぼ対称である。

自航状態の $V_x$ 分布をFig. 4.3.28に、 $V_y$ 、 $V_z$ のベクトル表示をFig. 4.3.29に示す。左右の対称性がやや崩れたように見えるが、それほどの差は認められない。自航時の計測中にスラストや横力の変化する場合が数箇所認められたが、大部分はスラストの大きな状態であった。解析においては、これらの差は考慮せず全データをそのまま使用した。

渦度分布はFig. 4.3.30～31に示されるように、プロペラ作動時のほうが左右の非対称性が強く、プロペラへ流入する全体量としては左廻りの成分が残るようである。

次に個々の安定状態における流場の差を調べるために、片舷3箇所両舷で6箇所において長時間の記録を取り、スラストの変化とそれに伴う流場の変化を計測した。計測データの1例をFig. 4.3.32に示す。スラストおよび横力の変化にともない、5孔管各孔の圧力が変化するのが認められる。解析結果をFig. 4.3.33に示すが、この図から明らかのように、スラストが小さくなると左舷においては渦外側の流体の上向き速度が大きくなり、右舷においては逆に小さくなる。また水面近くの横向き速度は左舷においては右向きに強くなり、右舷においては左向きが弱くなる。他方 $V_x$ は左舷で減少し、右舷で増加してプロペラ面全体としてはキャンセルする方向に変化している。

これらの現象はスラストが小さくなった時は左舷側の縦渦が強くなり、スラストが大きい時は右舷の渦が強くなっていると考えれば、つじつまが合う。逆に言うと、右舷の渦が強い状態から左舷の渦が強い状態に入れると、プロペラと流体との相対回転数が減るためスラストが小さくなり、 $W_N$ は変化しなくとも $W_E$ が小さくなると考えられる。左右の渦強さが同一でなく、さらにその大小が入れ替わる原因については現在のところまったく見当が付かない。

### (3) 流場観測結果

流場の観測は船尾後方から、目視、16%シネおよび35%スチール写真により行なった。その結果かなりの空気吸込みが認められたが、スラストの変化と空気吸込みとは直接結び付かず、スラストが大きい時は左舷から、スラストが小さい時は右舷から吸込みが起きている。

スラスト、船尾横力等の変化と水面形状の変化との関係をFig. 4.3.34に示す。なお、吸込みはプロペラ直上附近から発生している。

また、船尾附近の水面波紋の観測によると、船尾端より流出するあたかも潮目を思わせる波紋は、スラストが大きい時は左舷後方に流出し、スラストが小さな時は右舷後方に流出している。この波紋は、斜航時の船尾波紋とよく似ており、前項で述べた左右渦アンバランスの傍証となる。

## 4.4 2m模型による実験ならびに考察

### (1) 経緯

低馬力、高輸送能力を要求される新経済船型にあっては船型の肥厚化、幅広化が進められているが、このような船型は、流れの不安定化を招きやすい。また、この傾向は模型実験に現われやすく、実船の推進性能予測を困難にするばかりか、性能自体の劣化にもつながるため、第2小委員会としては、船尾まわり流場の流体力学的特性を調査することとし、とくに本項では2m模型による流場の基礎調査を行うことが計画された。

調査実験船型には、SR 61部会で4m母型の自航試験に異常が認められたものを選び、再度多角度

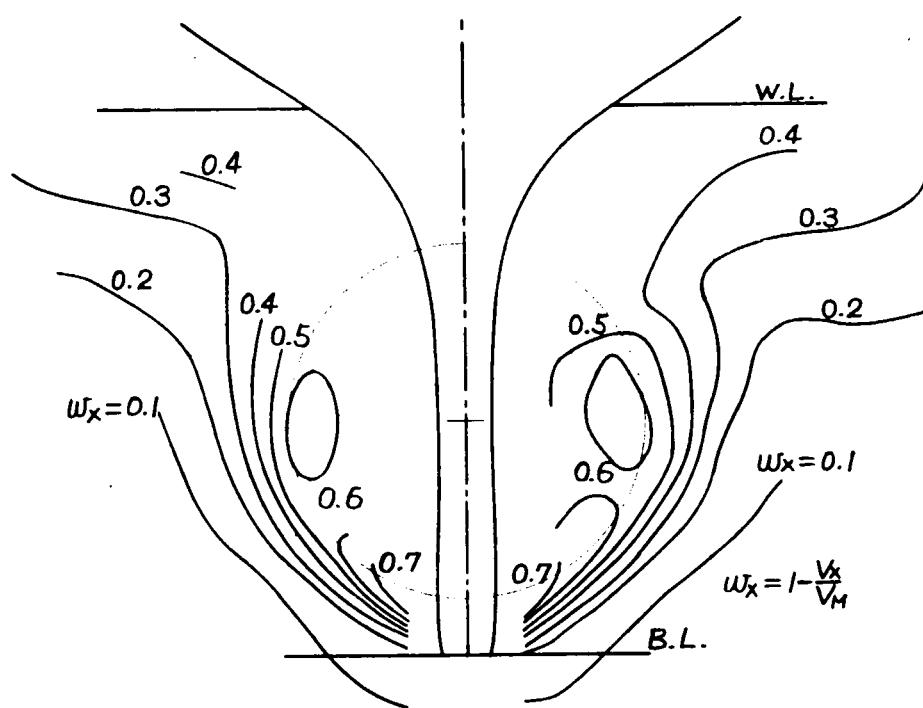


Fig. 4.3.26 Wake Distribution at Sq St 1/4  
(65% Load without propeller, Fn=0.18)

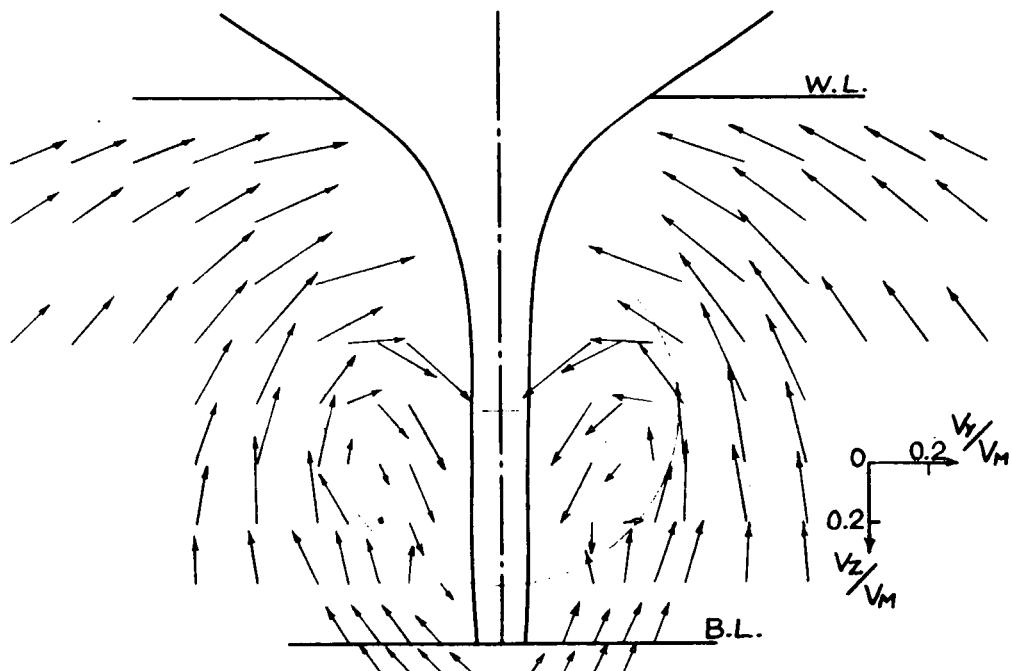


Fig. 4.3.27 Velocity Vector Representation of  $V_y$   $V_z$  at Sq St 1/4  
(65% Load without propeller, Fn=0.18)

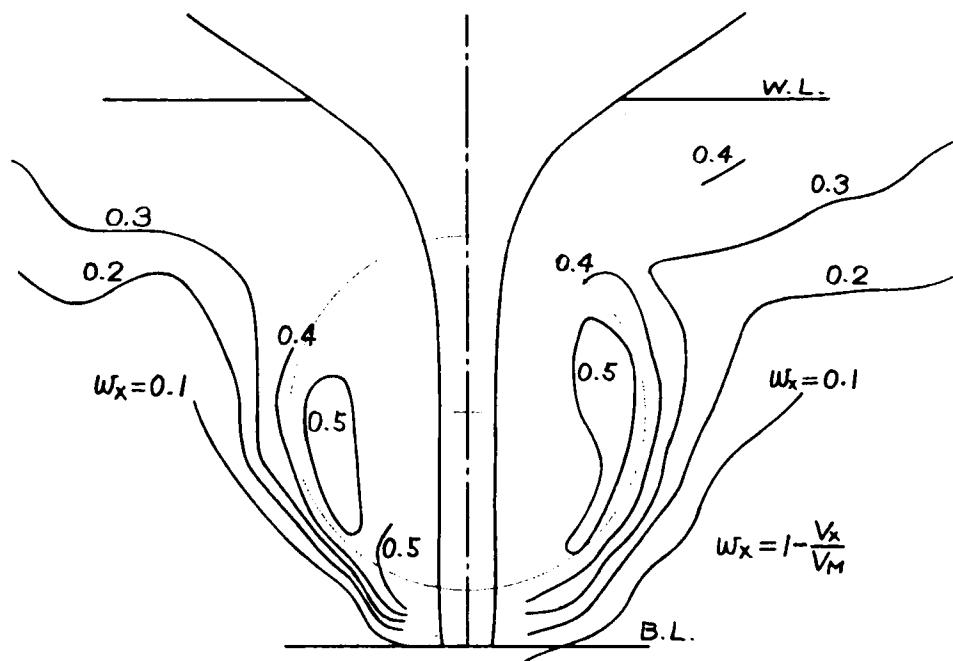


Fig. 4.3.28 Wake Distribution at Sq.St.1/4  
(65% Load with propeller,  $n=10$  r.p.s.,  $F_n=0.18$ )

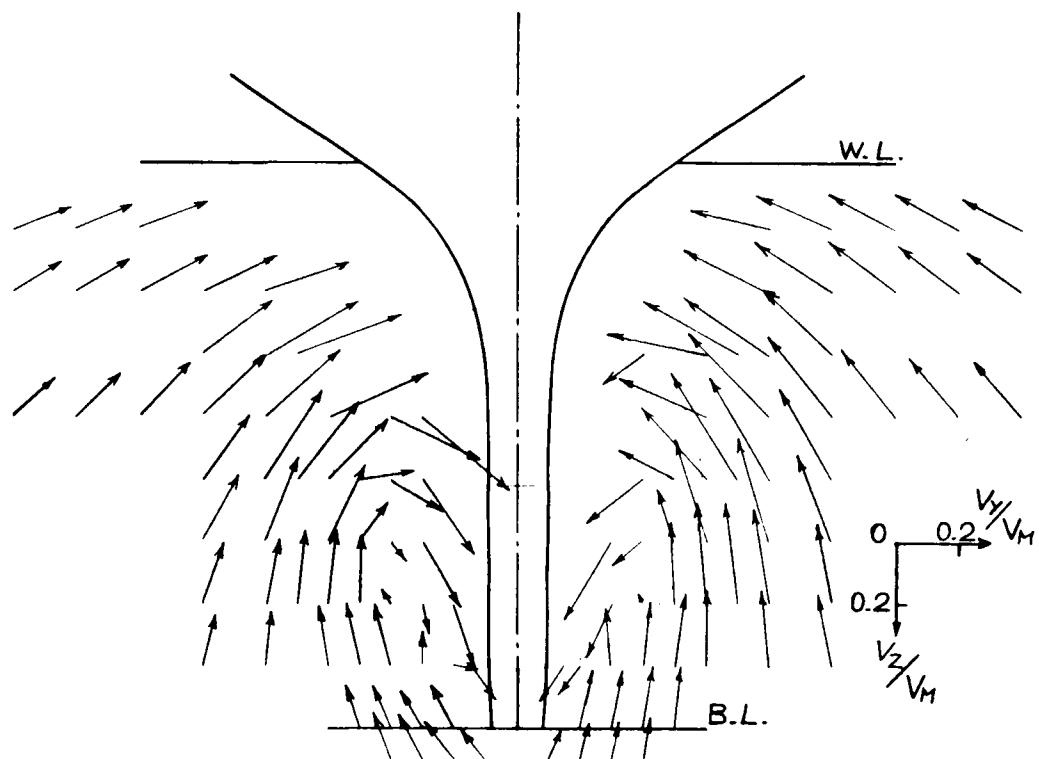


Fig. 4.3.29 Velocity Vector Representation of  $V_y, V_z$  at Sq.St.1/4  
(65% Load with propeller,  $n = 10$  r.p.s.,  $F_n = 0.18$ )

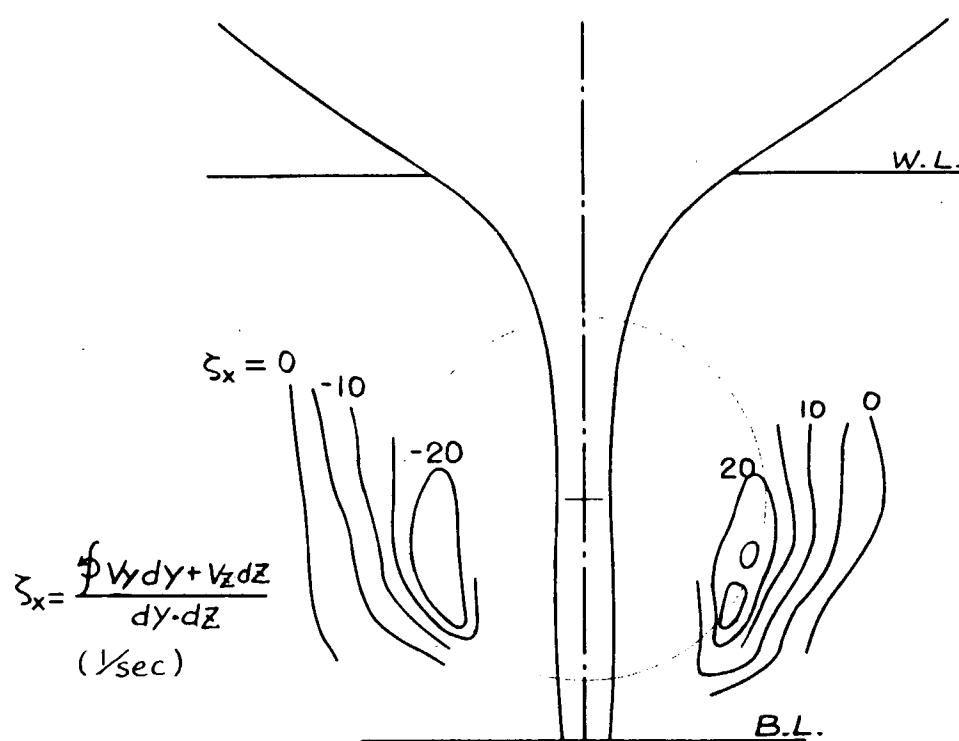


Fig. 4.3.30 Vorticity Distribution at Sq.St.1/4  
(65% Load without propeller,  $V_m = 1.127 \text{ m/s}$ )

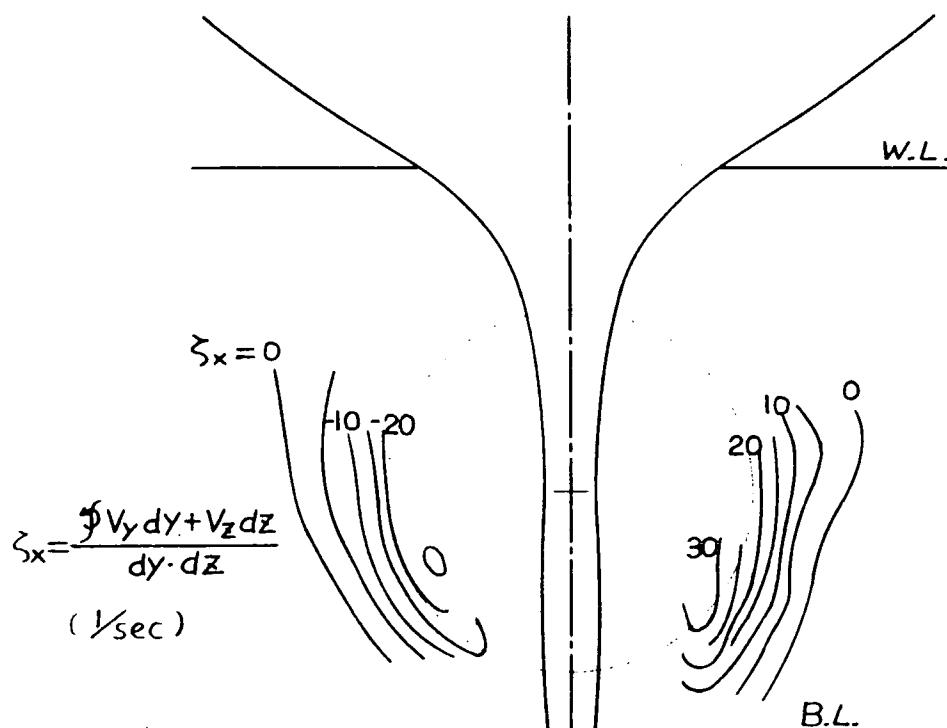


Fig. 4.3.31 Vorticity Distribution at Sq.St.1/4  
(65% Load with propeller,  $n = 1.127 \text{ m/s}$ )

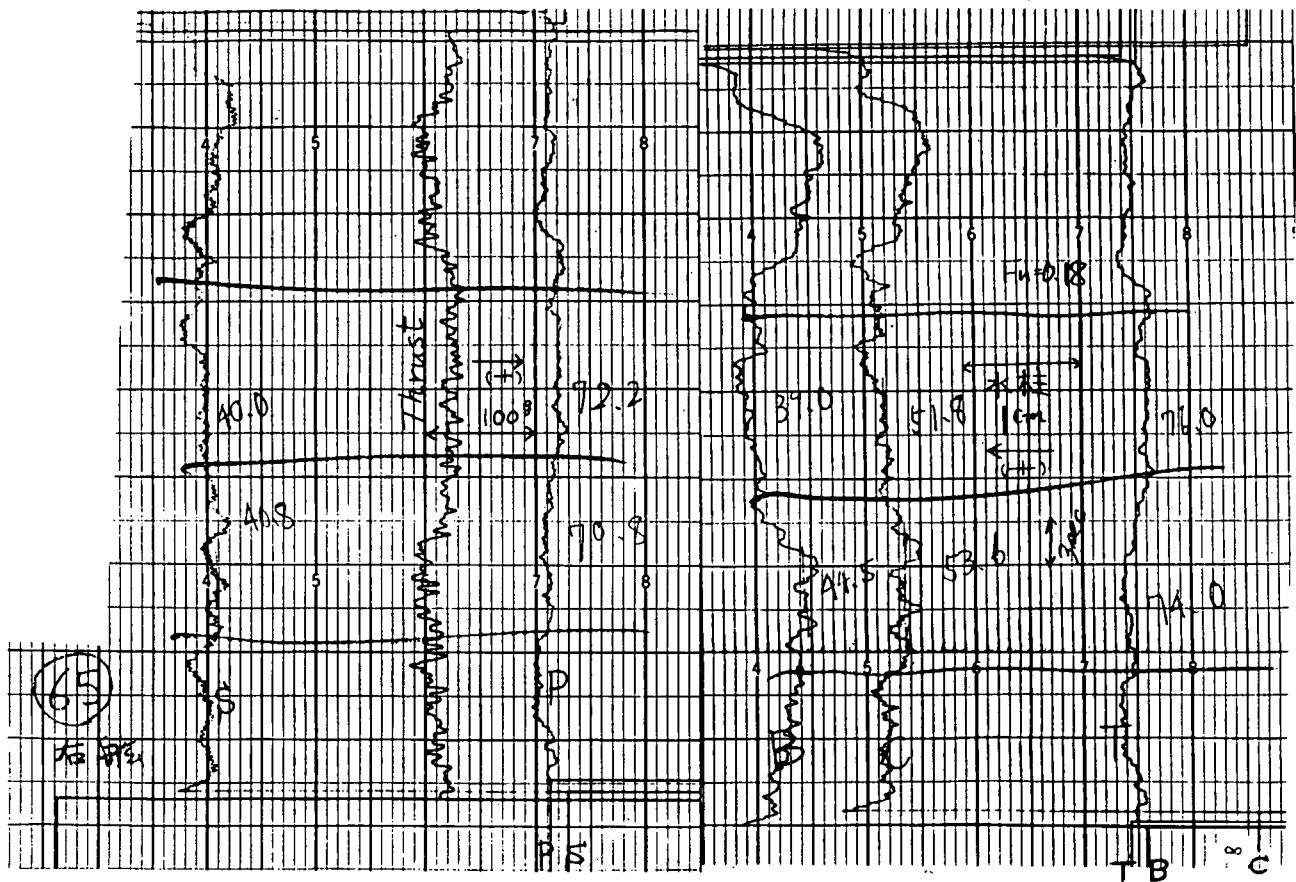


Fig. 4.3.32 五孔管計測値例

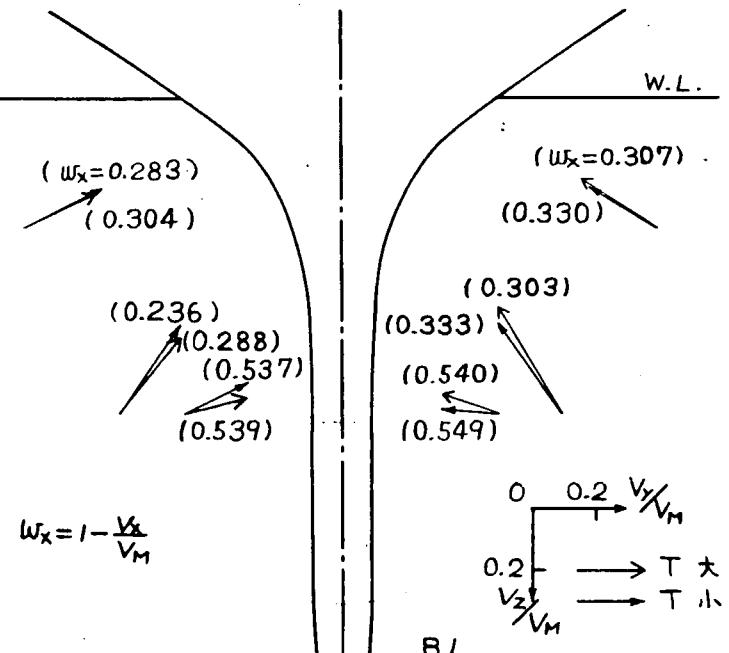


Fig. 4.3.33 Results of Measurements on the Multi - Stable - Type Phenomena at Sq.St.1/4  
(65% Load with propeller,  $n = 10$  r.p.s.,  $F_n = 0.18$ )

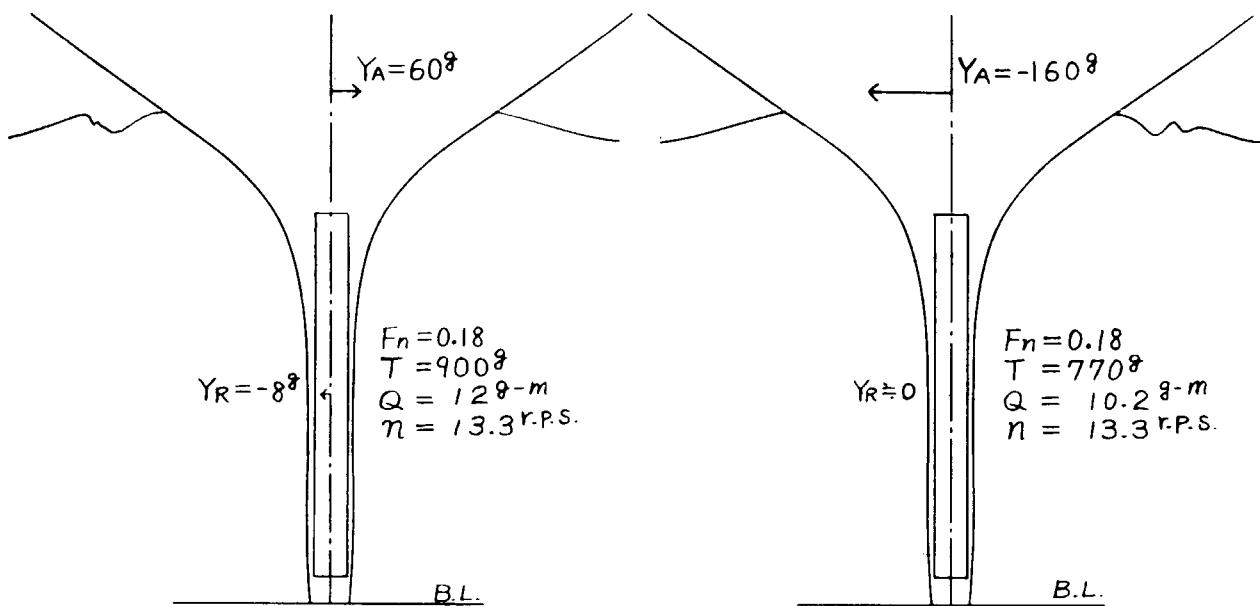


Fig. 4.3.34 Relationship between Forces at Aft Body and the Water Surface Condition at Sq.St.1/4  
(65% Load with propeller,  $F_n = 0.18$ )

から検討することとなった。すでに前節までにみてきたように、 $2\text{ m}$ 模型は、これら相似模型の最小寸法に該当する。 $4\text{ m}$ 模型とは必ずしも一致しないであろうが、特殊な実験が容易に行なえ、また多くの水槽に持ちまわって、多角度からの調査研究を実施しうるなど、基礎学理の研究には有効と思われる。そこで初年度では、東大水槽で調査を担当することとなった。

## (2) 実験項目と状態

実験項目としては、マクロな力の計測(抵抗試験、自航試験等)、ミクロな流場計測(伴流分布、渦度分布、渦抵抗)が考えられる。しかしこれらの量的測定を行なう前に、流れの全体的構図をつかむことが重要であろう。特に不安定な流場を形成しやすい模型にあってはなおさらである。従って、本年度は流れの観察の一点に絞って、実験を行うこととした。とは云っても流れのパターンはその物理環境( $R$ 数、 $F$ 数、プロペラ、付加物等)に応じて変わるので、全体にわたってその実態をとらえることも困難である。このような条件下で、今回実施した流れの観察はつきの3域についてである。

- (i) 自由表面流(アルミ粉法)
- (ii) 後流内部の流れ(ミルク、タフトグリッド)
- (iii) 船体表面流(油膜法)

また実験状態は下記のそれぞれである。

- (i) 載荷状態：満載(0%トリム)  
 $65\% \Delta_F$  (1%トリム)
- (ii) 速度： $R_n = 1 \times 10^6$   $F_n = 0.14, 0.18$   
( $V_m = 62 \text{ cm/sec}, 80 \text{ cm/sec}$ )

## (3) 供試模型

前節に述べられている $4\text{ m}$ 模型のオフセットと $2\text{ m}$ 用に縮図された図面を三菱長崎研究所から提供していただき、これをもとに木製模型を製作した。なお次年度の自航試験に備え、スタンチューブを装備し、舵つき、ボス付きとなっている。オフセット・外形図等は省略する。

## (4) 自由表面の流れ

自由表面の流れは、前後2つの時期において行なわれた。前期は昭和50年11月初旬から約2週間、後期は昭和51年1月初旬より約2週間、後述の後流内部の流れの調査とあわせ行なわれた。その結果をFig. 4.4.1に示す。

上図は軽荷状態( $65\% \Delta_F, 1\%$ トリム)、下図は満載状態の場合のスケッチである。トレーサーにはアルミ粉を用いた。速度による変化はほとんどみられなかった。

### (a) 軽荷状態

円柱や、Run Angleが極度に大きいBlunt Bodyの後端部に生じる表面渦(双子渦)はみられなかった。またAP後方の縦中心線まわりに、通常みられるWake(ここではアルミ粉の入ってこない流域、つまり船体表面にそった自由表面の両舷の流線が閉じない流域をさす。)巾は極めてうすいが、両舷を伝ってきた流れは、後方で乱れいわゆるカルマン渦を形成している。流れのパターンの時間的変動はなく、ただ上記の渦子が後ろへ放たれるのみである。

### (b) 満載状態

軽荷状態同様表面渦(双子渦)は見られない。ただし、Wakeの巾はかなり大きく、船体表面に沿って流れてきたアルミ粉は軽荷の時より早く剥れて上記のWake beltを形成する。この部分の流体はしたがって表面を伝ってきた流れではなく船尾の内部流が表面に浮き上ってきたもので形成されている。因みにこのWake beltの中に白点を落して、流れの挙動をみると、左右にわかる動きを示す。Wake beltと外部一般流の境界に沿ってはカルマン渦が生じ、上記白点はやがてこの境界の渦面へ寄せられてくる。すなわち、自由表面のWake beltでは、船尾ビルジ渦とは逆向きに廻る縦渦

が存在する。この事実は、かなり以前より各所で見出されているタフトグリッドによる観察とも一致している。

満載状態においても流れ全体のパターンが時間的に変動することはない。

#### (5) 後流内部の流れ

自由表面の流れに続いて後流内部の流れ観察を行なった。まずタフトグリッドを用いて AP 後方 7.3 cm, 20 cm の位置での縦渦をみた。他の肥大船によくみられるよう、縦渦が観測された。位置はほぼプロペラ軸の深さで左右に一対。また自由表面近くに、これと逆向きの縦渦一対がみられる。他の多くの例と同様、タフトのゆらぎが認められる。AP 後方 20 cm ではビルジ縦渦は若干下へさがる程度で、AP 後方 7.3 cm のものと大きな差は認められないが強いて云えば、ゆらぎが大きく、かつやや不規則になる。

これとは別に、後流内部の流れ全体の模様をみるためにスタンチューブより、ミルクを流して、流れの可視化を試みた。スタンチューブからの出口には二股に別かれたパイプを装着し、この出口(2 本)を上下にしたり、水平にしたりして流れの観察を進めた。上下にした場合、上からのミルク流れは自由表面に浮き上り、下からの流れは下向きに流れ、両者に明確に流向の差があることが認められた。

二股パイプを水平にした場合の流れの写真とスケッチを Fig. 4.4.2, Fig. 4.4.3 に示す。これらの図から明らかなように、プロペラ軸高さの左右を通る流れはビルジ渦を形成する。ただし、その模様は、われわれがこれまで頭で想像しているより、かなり複雑なもののように見える。

九大・応力研の種子田教授は、船尾ビルジ渦にスパイラル状のひだが生じること、また場合によってはチェーン状の渦がみられることを指摘している。今回はこの両者と一緒にした形でのビルジ渦が認められる。ビルジ渦は船の進行方向に軸をもつ、長く伸びた渦(縦渦)ではなく、詳細にみれば、複雑な立体的構造をもつ渦核部分とこれを取囲む 3 次元的な流れで形成されている。観察によれば、特に軸方向が水平横方向に向いている部分の渦度集中が強いようにみられる。これら舌状の渦の船体に対する相対速度がどの程度であるかは、なお引き続き、観測する必要がある。

#### (6) 船体表面の流れ

昭和 50 年 12 月中旬より 2 週間、東大航空学科の風洞で船体表面の流れを観察した。

剛体壁水面と仮定した場合の流線観測を行うための、供試模型船を風洞中央位置に転倒の状態に置き、剛体水面用の平板を各載荷状態別に作って水平に置き、模型との隙間がないようにした。

塗布剤はカーボンを流動パラフィン・オレイン酸で溶かした混合液とした。実験項目にはプロペラの有無による流場の変化を知るよすがにできないかと考え、吸込装置を設置した。プロペラ位置に、プロペラ径と同一径の塩ビパイプ(径 6 cm)を置き、掃除機 3 台に結合させて吸込させた。風速は 20 m/sec と 27 m/sec の 2 種類に変えて実験を行った。

結果を、Fig. 4.4.4 ~ Fig. 4.4.6 に示す。

Fig. 4.4.4 には船首部と船底部の限界流線のうち満載状態のものを示した。船首ビルジ部より船底部に僅か入ったところに、3 次元剥離線が認められる。

Fig. 4.4.5 には満載の、Fig. 4.4.6 には軽荷状態での船尾付近の船体表面流れを示す。両者とも船側部でプロペラボスの高さ付近に、Sq. St. 1 からほぼ水平に伸びる剥離線があるように見受けられる。したがって、これより水面に近いところ(写真では下方)に、いわゆる縦渦に発達する最初の部分があるようと思われる。プロペラボスより沈んだ部分(写真ではボス高さより上方)に、通常の縦渦とは逆向きの流場が形成されて、船底ビルジ部に移る直前のところに付着線があるよう見受けられる。同様に通常の縦渦をなす部分の再付着線もクルザースターンの付け根(船尾プロフィルで L 字型に曲っているコーナーの点)に向って伸びているように見える。

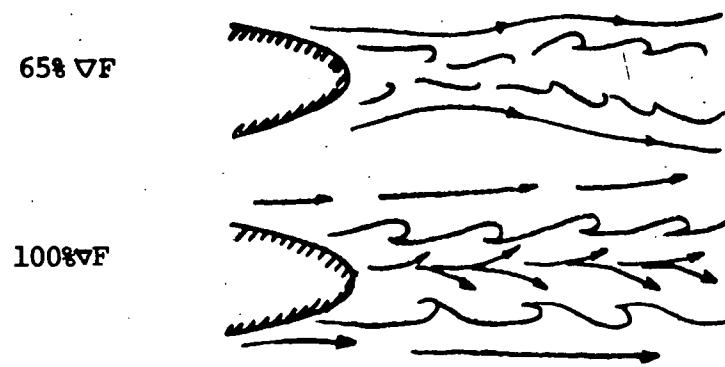


Fig. 4.4.1 Flow Patterns on Free Surface

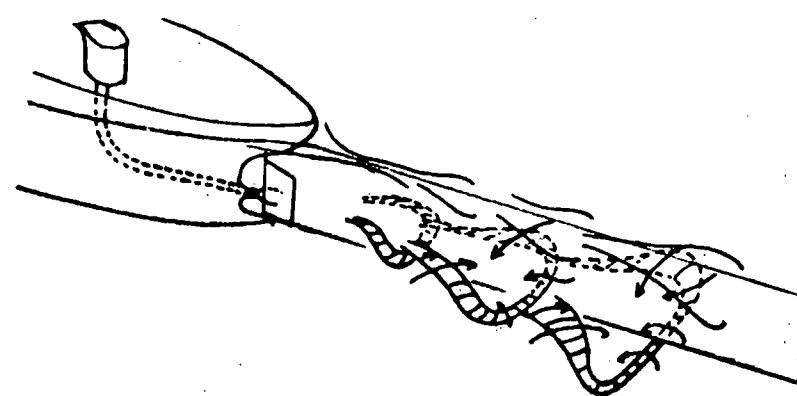


Fig. 4.4.2 Stern Vortices

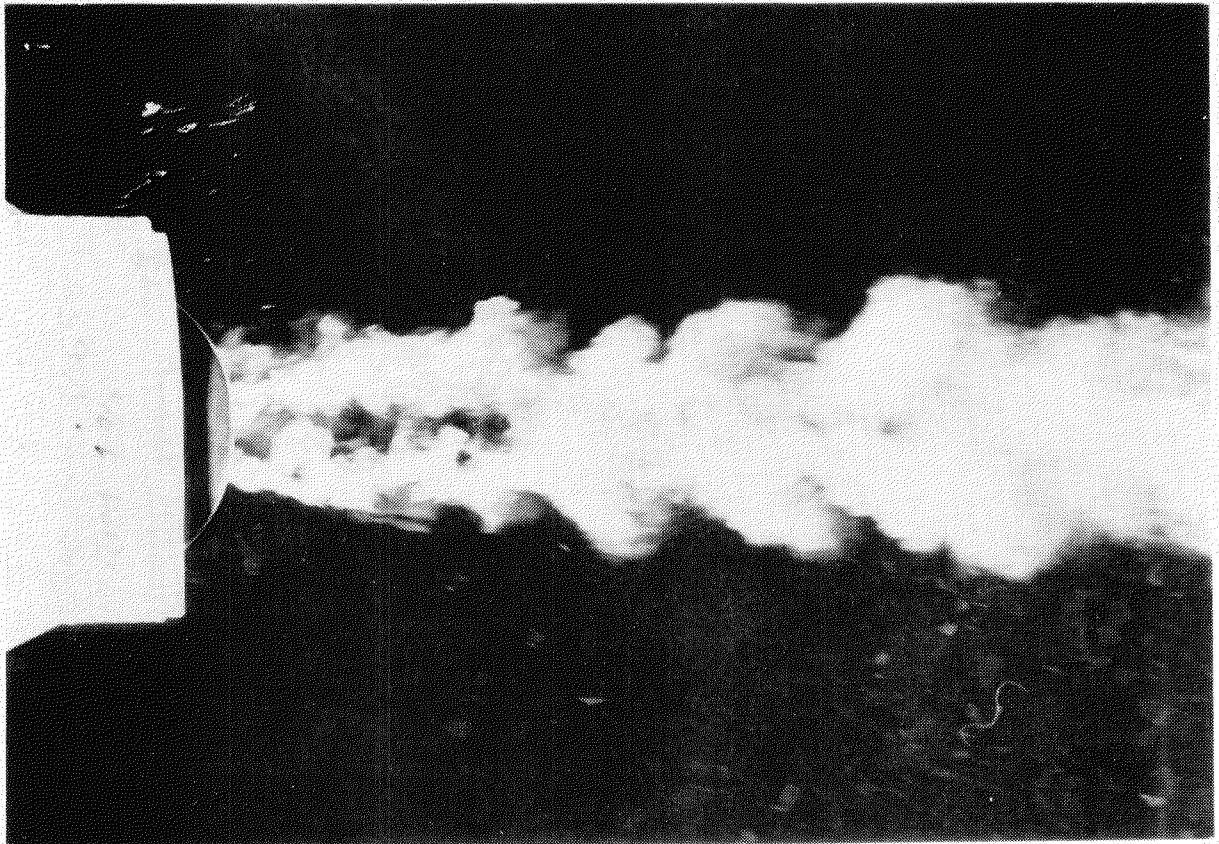
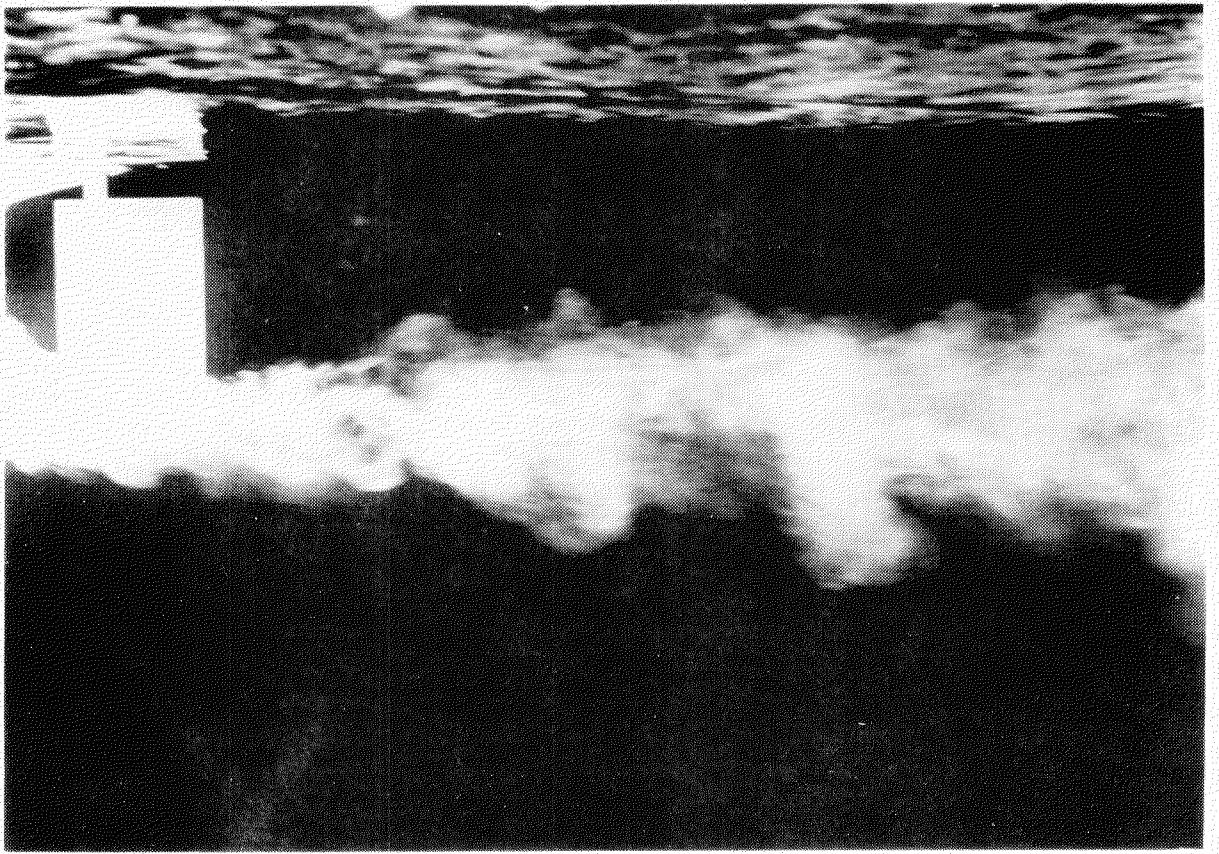


Fig. 4.4.3 Profile View of Stern Vortices  
SR-159, 65%  $\checkmark$ F, Trim = 1%, Fn = 0.18

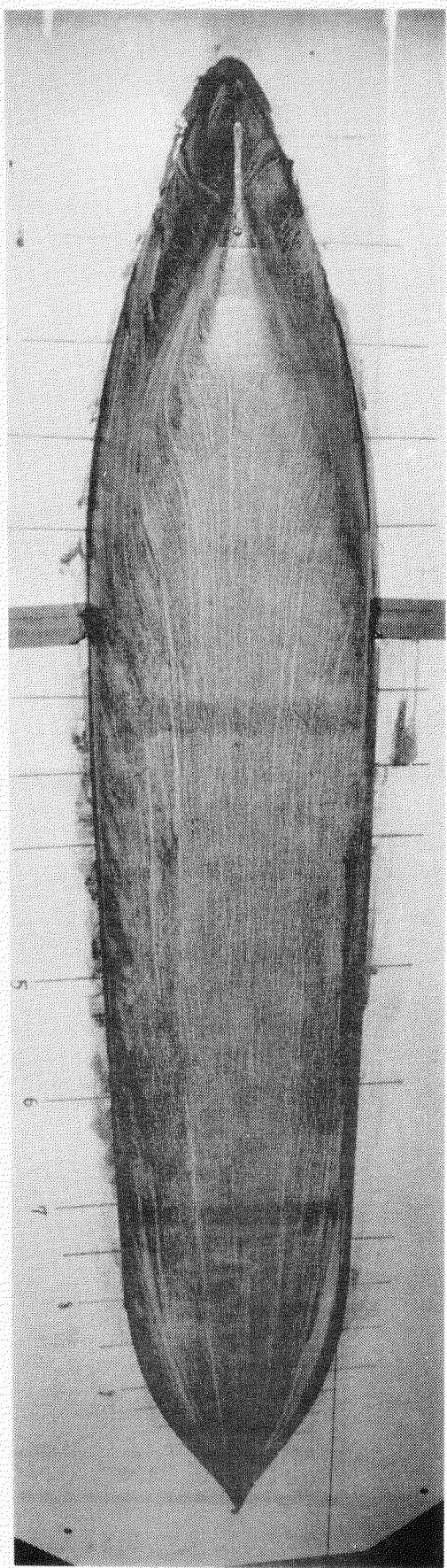
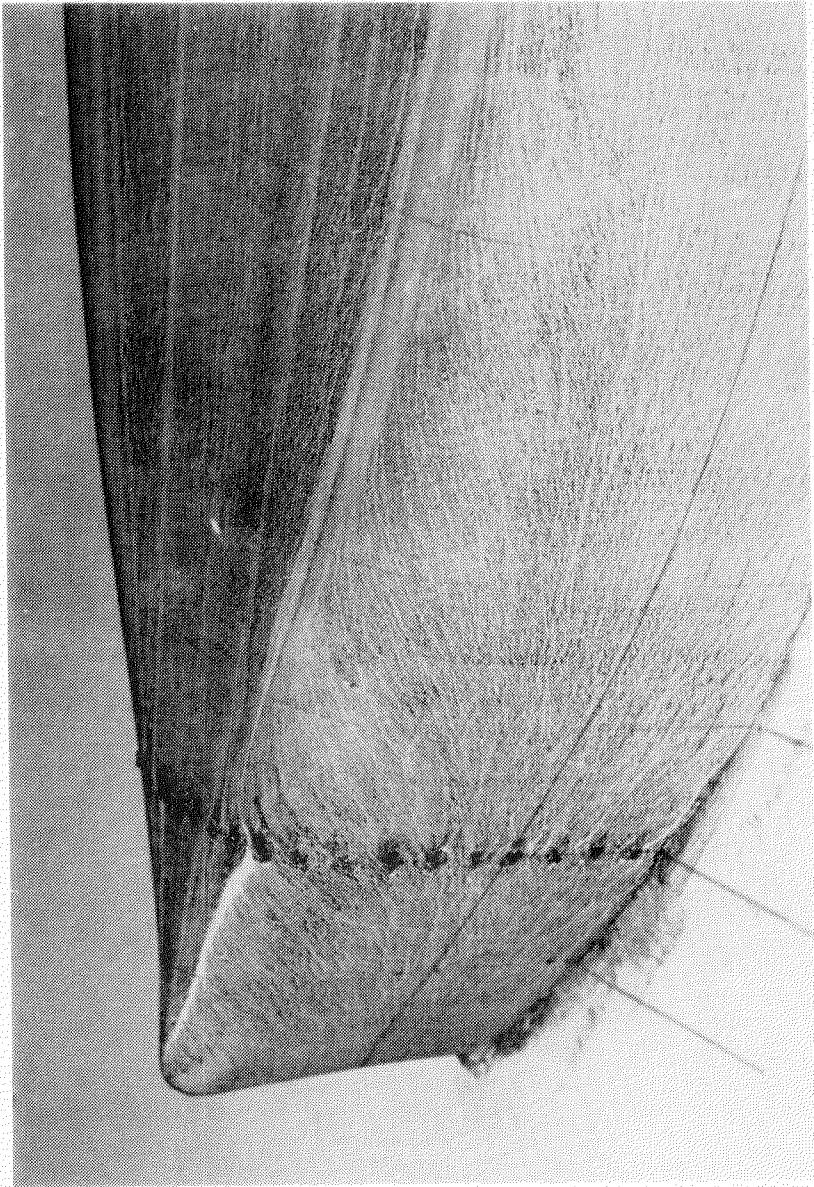


Fig. 4.4.4 Limiting Stream-Lines (1)  
SR-159, Full Load,  $V = 27$  m/s

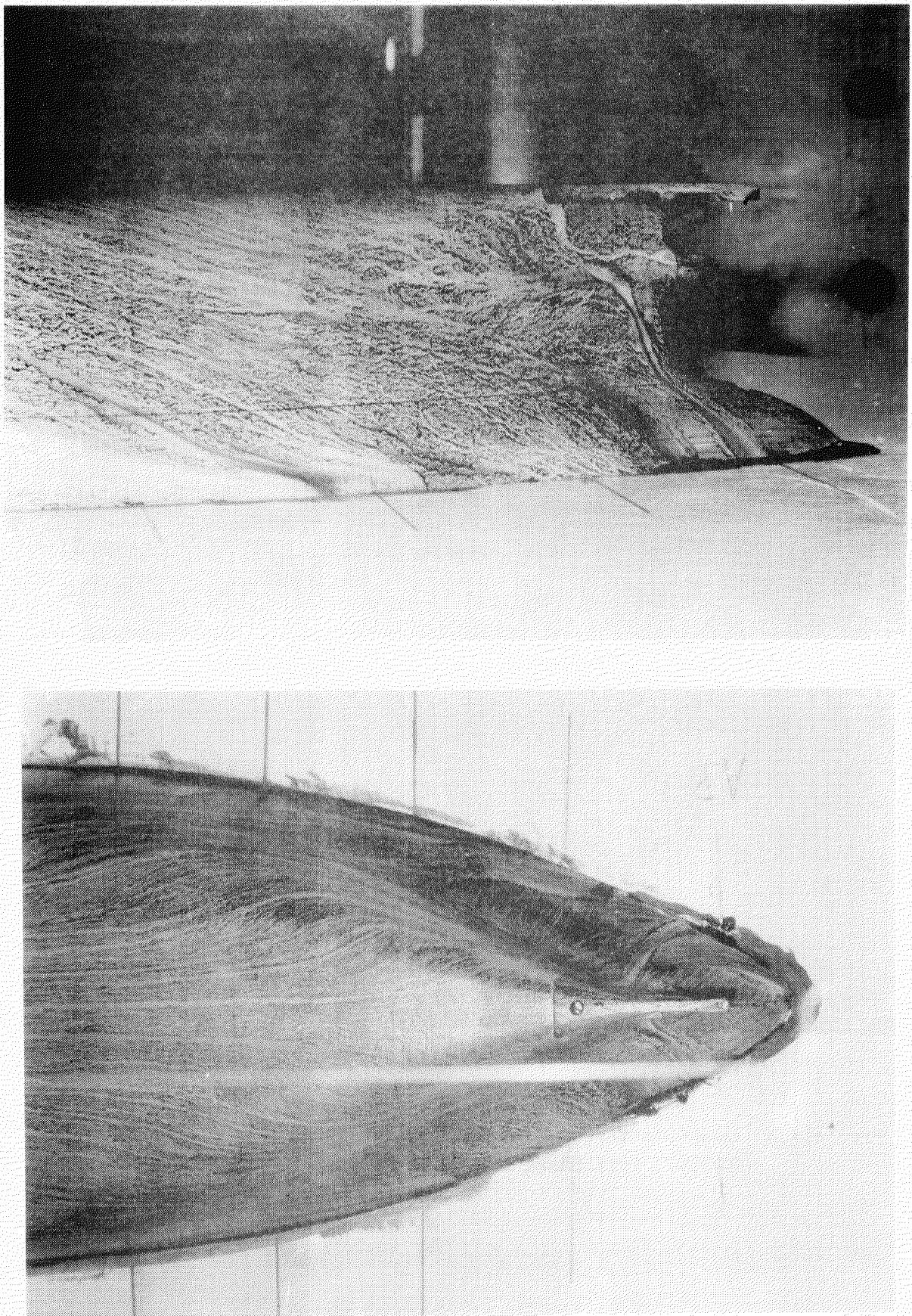


Fig. 4.4.5 Limiting Stream-Lines (2)  
SR-159, Full Load,  $V = 27$  m/s

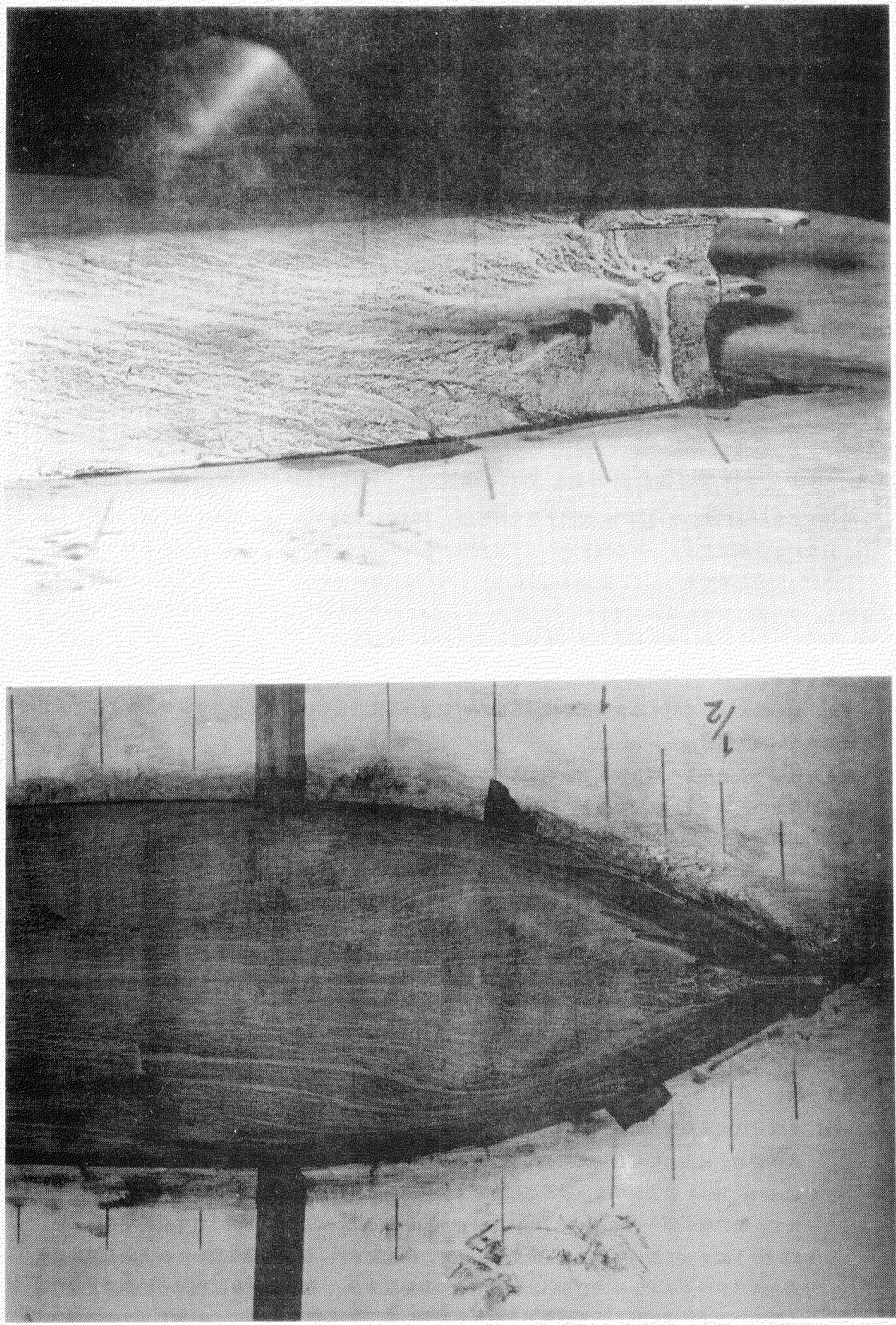


Fig. 4.4.6 Limiting Stream-Lines (3)  
SR-159, 65% $\nabla F$ , Trim = 1%, V = 27 m/s

軽荷では、 $S_q, S_t \cdot 1/2$  で 2 次元的な剝離が、満載でも、これよりやや後方に遅れて同様の剝離が発生しているようである。

なお、図示していないが、プロペラに代る吸い込みをおいた場合、ダクトの入口付近の 2 次元的な剝離がなくなる他は大体同じ限界流線となることがわかった。

今年度の研究として別に大阪府立大学・広島大学・IHI 等が分担計算されている摩擦抵抗計算には、2 次流れの角 $\alpha$ の計算が含まれている。

今回の風洞実験結果には重力の影響と剛体壁用板の 2 次影響が含まれているので、必らずしも比較の対象とはなり得ないかも知れないが、一つの思考材料として活かしていただければ幸いである。

#### (7) まとめ

2 m 模型については、流場の観察を第一目標として実施したが、特に、流れの不安定要因となる状態を見出すことは出来なかった。流れはプロペラ作動状態でまた変化するので、今回の結論は、自航状態における不安定が存在するとしてもそれを否定するものではない。

### 4.5 3 次元境界層理論の実用化に関する研究

船体まわりの粘性流れを理論的に研究するためには、Navier Stockes の方程式を解く事が必要であるが、方程式が非線形であり、その解を求める事は困難である。

一つの近似的な考え方として、船体の近傍に粘性影響の強い境界層を考え、その外の流れは非粘性の流れとする。境界層の厚さを薄いと考えて、Navier Stockes の式より微小項を無視して作られたものが、境界層方程式である。境界層の厚さが薄いと考えているため、船尾部のように境界層が厚くなった所での近似度は悪くなる。

また、船の様な物体に対する 3 次元乱流境界層内の流速分布に対しては、未だ十分な研究がなされているとは云えない様に思われる。

肥えた船の不安定現象の様な現象を説明する方法として、境界層の考え方を利用するためには、更に多くの実験と計算との比較研究が必要であり、現在の計算法では不十分であると考えられる。

今回の計算はその出発点として実験との比較検討のためのもので、船尾の粘性流の取扱いに対する手がかりを得る事と、より精度のよい計算法を研究するために行なわれたものである。

ここで行なった計算は、境界層に対する積分的解法によるものである。積分的解法は、普通 2 方向の運動量積分と補助方程式とを用いて取扱われ、乱流境界層を解くためには、この他に層内の流速分布及び壁面の摩擦応力等に対し、実験式を使用することが必要となる。

以下に、2 種の計算法と母型の満載状態についての計算結果を示す。計算したレーノルズ数は  $1.4 \times 10^6$  である。

#### 4.5.1 計算(1)

##### (1) 3 次元乱流境界層の計算

波多野他(日本造船学会論文集 130 号)および堀田(日本造船学会論文集 136 号)に示されている Cumpsty Head の方法による計算法によって境界層の計算を行なった。

先ず、境界層の厚みを無視して Hess and Smith の方法および菅の方法(日本造船学会論文集 128 号)によって層外ボテンシャル流れの流速、流線を求め、流線座標を用いた 2 方向の運動量積分式とエントレイメントの式を用い、流線方向の運動量厚 $\theta_{11}$ 、形状係数 $H$ 、壁面の粘性流と層外流れとのなす角 $\alpha$ を未知数とする境界層方程式を使用した。

乱流境界層内の流速分布として A. Mager のモデルを使用し、船体壁面の摩擦応力に対しては Ludwieg Tillman の式を利用した。

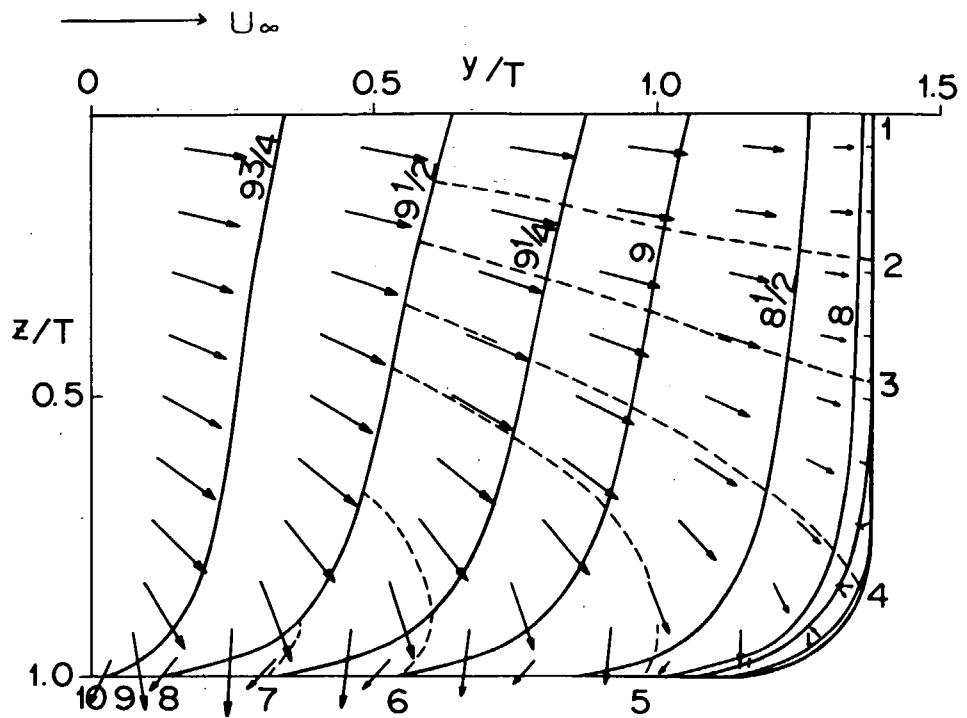


Fig. 4.5.1 (A) Stream line and Velocity vector. (Fore body)

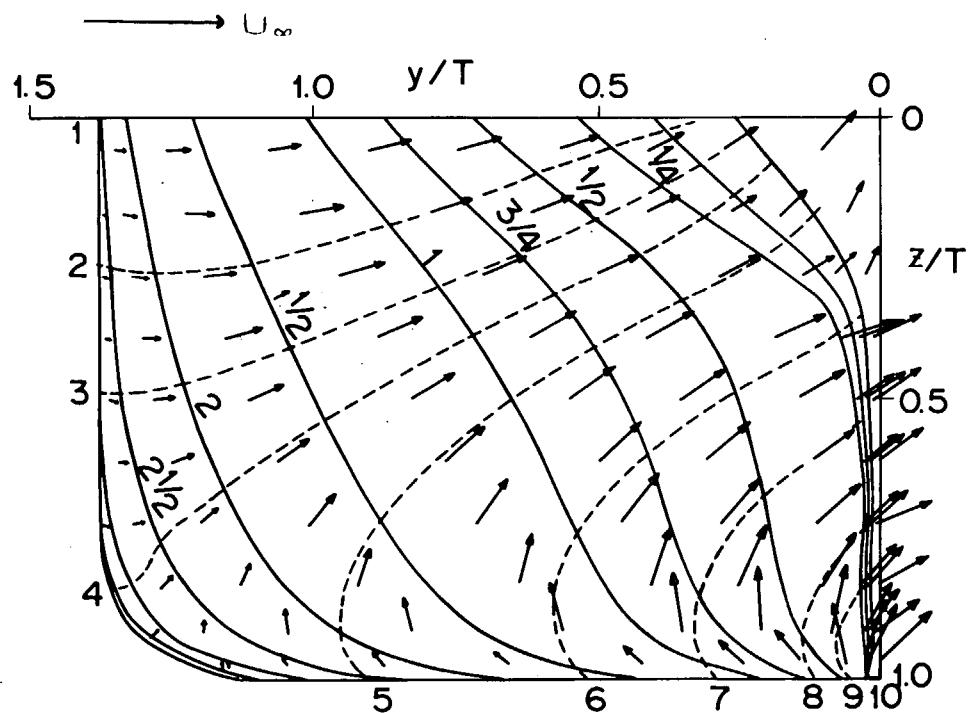


Fig. 4.5.1 (B) Stream line and Velocity vector. (Aft body)

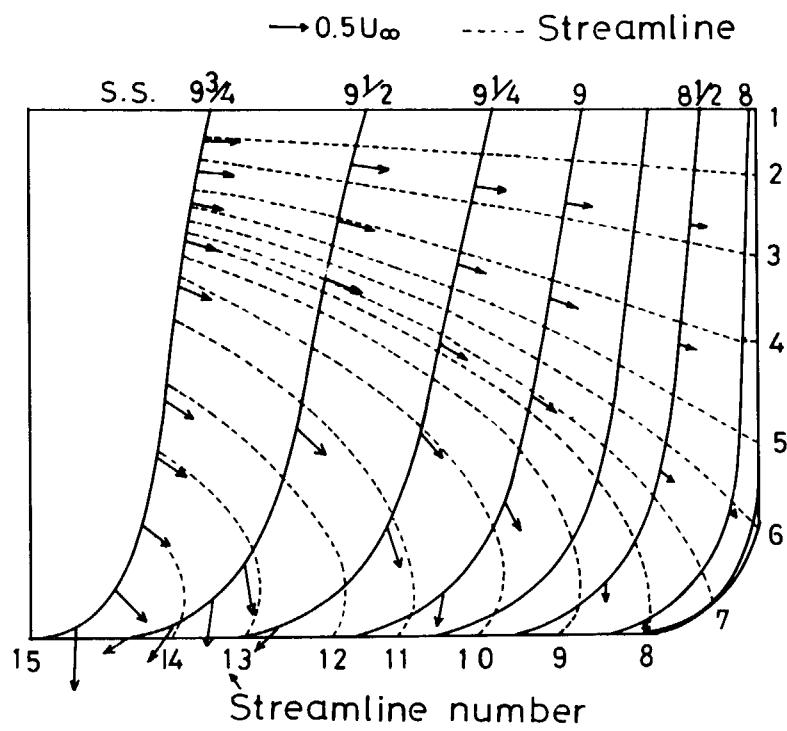


Fig. 4.5.2(A) Streamline and velocity vector (Fore body)

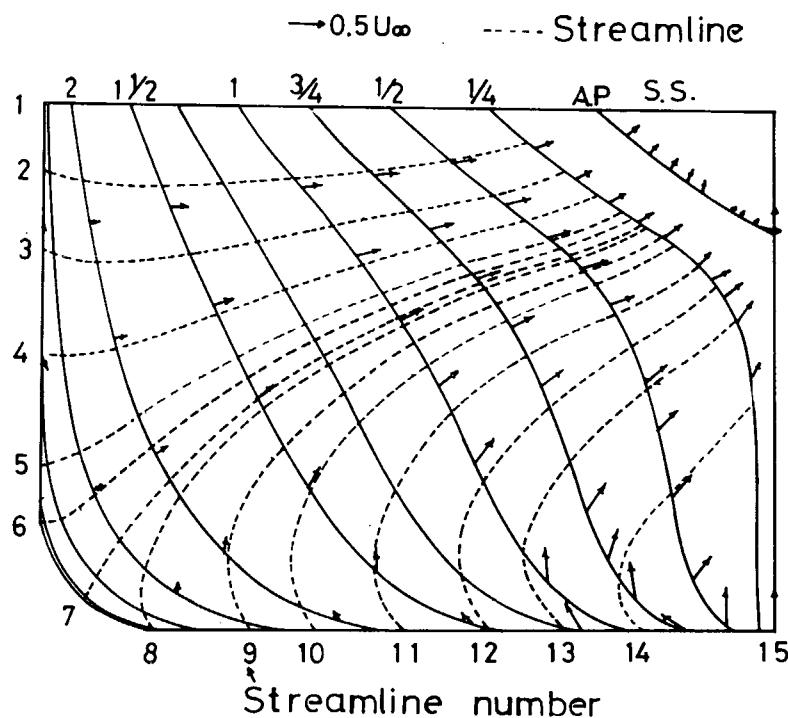


Fig. 4.5.2(B) Streamline and velocity vector (Aft body)

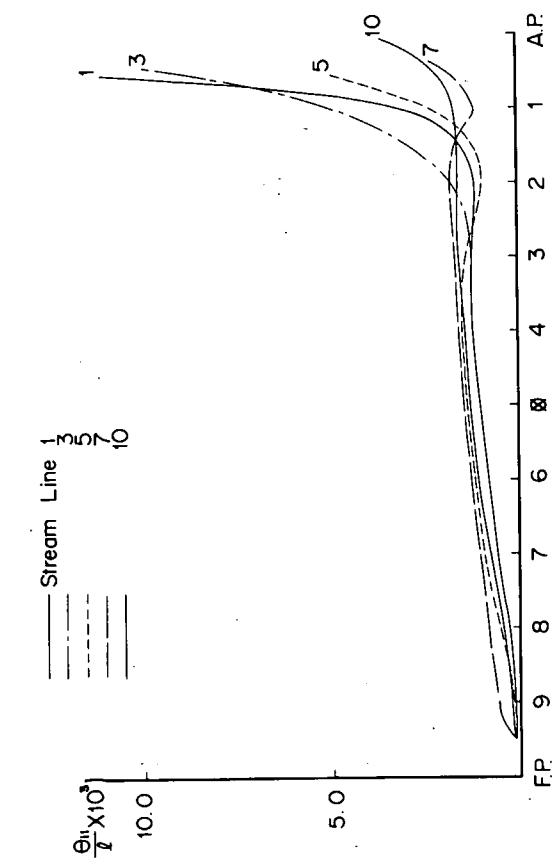


Fig. 4.5.3 (A) Streamwise Momentum Thickness.

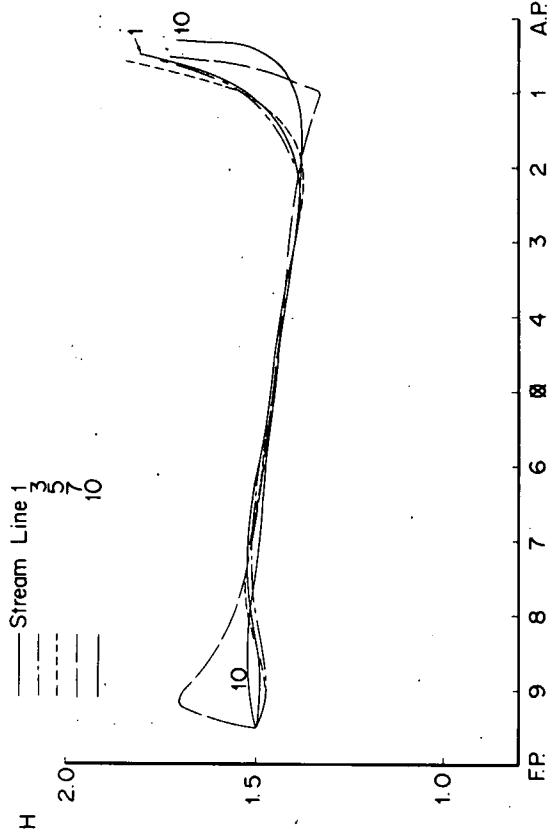


Fig. 4.5.3 (B) Streamwise Shape Factor.

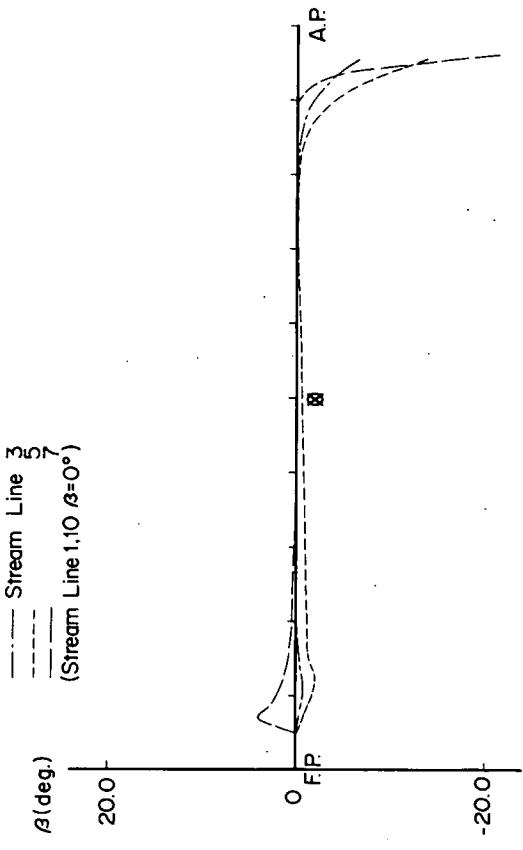


Fig. 4.5.3 (C) Streamwise Surface Cross-flow Angle.

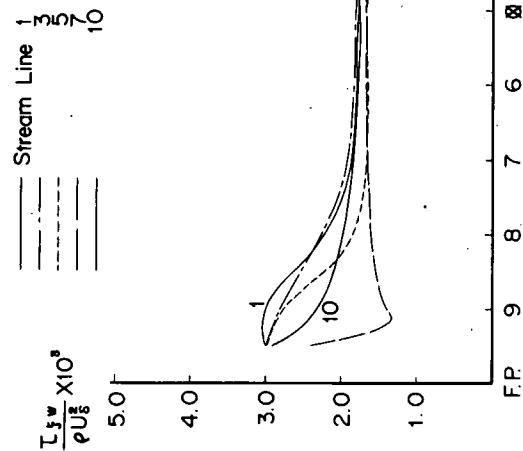


Fig. 4.5.3 (D) Streamwise Local Skin Friction.

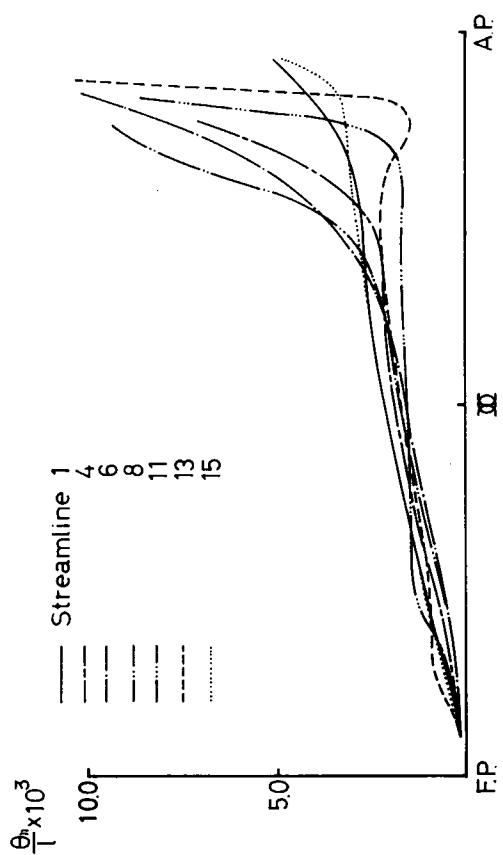


Fig. 4.5.4(A) Streamwise Momentum Thickness

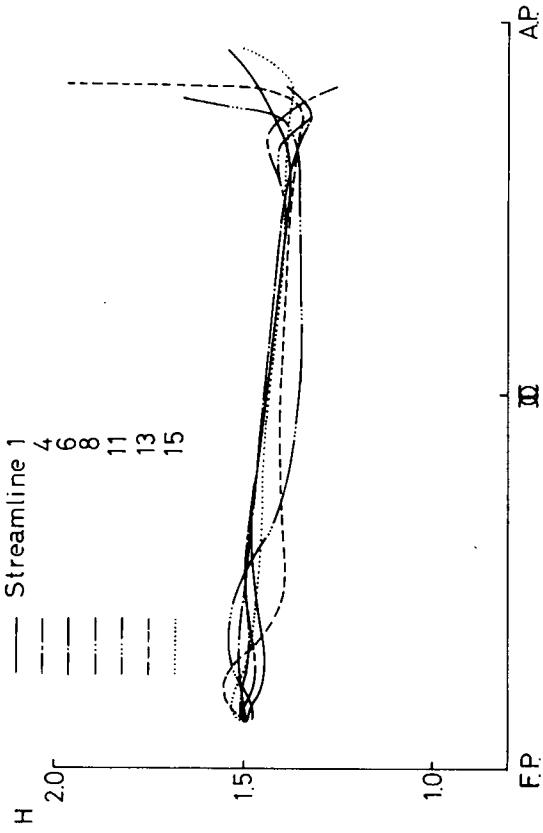
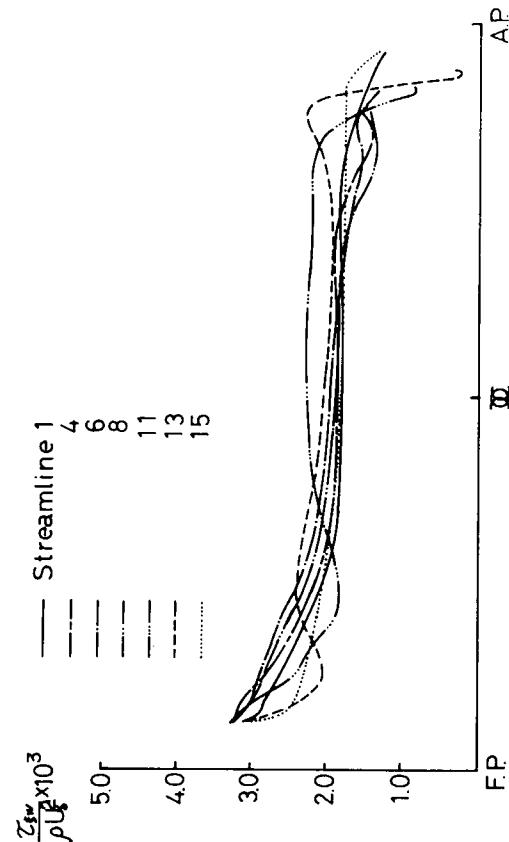
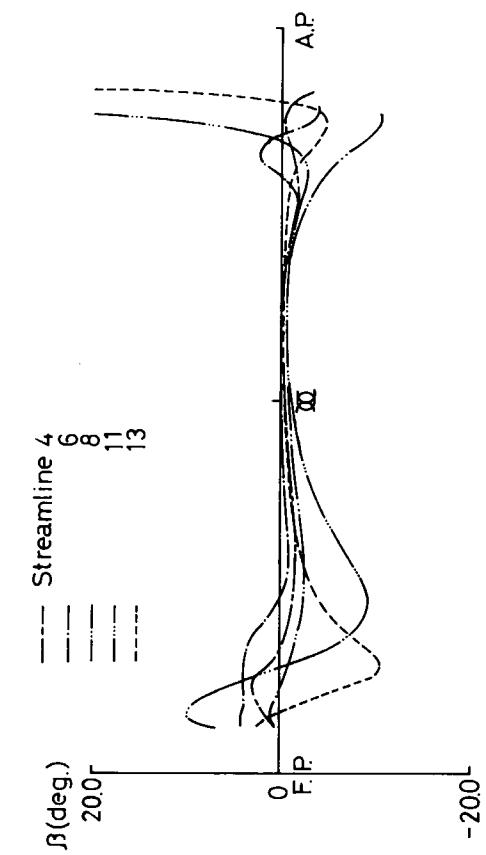


Fig. 4.5.4(B) Streamwise Shape Factor



この方法で境界層の計算をするため、次に示す2つの方法を使用した。

方法1：流速、境界層厚さなどの深さ方向の変化は、それらの船長方向の変化に比べて小さいと仮定して、流線に直角な方向の微分量と流線方向の微分量との関係式をつくり、その近似を使用した（前記の波多野他の論文参照）。またボテンシャル流れに対しては、Hess and Smith の方法を使用した。

Hess and Smith の計算では船体表面を水線と肋骨線とで作られる四辺形に分割し、その分割数は船長方向に22、肋骨線方向に15で計330個に分割した。

方法2：流線に直角な折線群を求め、数値的にその方向の微分量を計算し、それを用いて流線方向の変化量を計算した。この方法により計算する場合には、方法1より多くの流線が必要となり、計算も複雑となってくる。

ポンテシャル流れの計算には菅の方法を使用した。

## (2) 計算結果

層外ポンテシャル流れの Hess and Smith の方法による計算結果を Fig. 4.5.1 に、菅の方法による計算結果を Fig. 4.5.2 に示している。

図中矢印は、横截面内の流速をベクトル的に示したものであり、その長さは  $\sqrt{v^2 + w^2}$  を示している。又曲線は流線を示している。Fig. 4.5.1 と Fig. 4.5.2 とより、Hess and Smith の方法による計算と、菅の方法による計算とは、船尾の極一部を除いて非常に良く合っていることがわかる。船尾における差は分割の仕方によるものと云え、境界層計算では、はくり線より後と考えられるので、この差は影響ない。

Fig. 4.5.1 の流線に沿って方法1により行なった境界層計算の結果を Fig. 4.5.3 に示している。又 Fig. 4.5.2 の流線に沿って方法2により行なわれた境界層計算の結果を Fig. 4.5.4 に示している。

これらの図によると、船側を通る流線は  $\theta_{11}$ ,  $H$ ,  $\beta$  とも比較的単調な変化をしており、 $\theta_{11}$ ,  $H$  とも S.S.2 を過ぎた所から急激な増加を示している。それに対し、ビルジ部を廻って一度船底に入り、船尾部において船底から船側に出てくる流線に対しては、 $\theta_{11}$ ,  $\beta$  ともビルジを廻る所の変化が複雑な様である。

$\theta_{11}$  は船尾のビルジを廻る付近で一度減少し、船側に入ると又急激に増加する。この現象はビルジを廻る流れの流線に直交する方向の変化、収縮率等によるものと考えられる。又この付近の境界層流れの流速分布が mager モデルで近似し得るかは問題であり、更に詳細な実験的研究も必要である。

## 4.5.2 計算 (2)

### (1) 計算法

SR 61 母型について3次元境界層の計算を行った。計算法は、姫野一田中<sup>1)</sup> の方法に従うものとし、以下その概要を簡単に述べる。

解法はいわゆる積分的解法で、層内の速度分布に Coles の wall-wake law を仮定し、剪断応力の分布形を姫野一田中の式で仮定し、これらを境界層方程式に代入して境界層の厚さ方向に積分し、得られた運動量積分式を数値的に求解する方法である。境界層の計算式は流線方向の運動量積分、補助方程式としての運動量モーメント積分、および等ボテンシャル線方向の運動量積分である。これらの数値解を求める際に、船体断面を n-パラメタ近似する写像関数を用いた補助座標を用意し、この座標の上で解を求めるようとする。境界層計算に入る前に必要な層外速度は船体まわりのボテンシャル計算から求められ、また、これらの値を用いて流線方向の圧力勾配、流線の縮少率、および捩れ曲率などが求められる。これらを既知量として境界層計算を行い、流線方向の運動厚さ  $\theta_{11}$ 、速度

分布の形状係数  $H$ 、壁面上の横流れ角  $\beta$ 、局部摩擦応力  $C_f$  などが求められる。さらに船体表面上で  $C_f$  の方向に沿う積分を行って限界流線を求める事もできる。

## (2) 計算結果

計算に用いた船型 (SR 61 母型) の線図 ( $L_{pp} = 2 m$ ) を Fig. 4.5.5 および Fig. 4.5.6 に示す。載荷状態は満載とする。図中、△印はポテンシャル計算に用いた Hess-Smith 法の入力に必要な格子点の位置である。これによって決まるパネルの数は中央部で 264 (= 11 × 24)、船尾付加部で 12、総計 276 となる。格子点の配置は従来の経験に従ったものであるが、これとは別の配置による計算結果 (4.5.1 項) も興味あるところである。また、図中○印は n パラメタ近似による補助座標で表わされる船体断面値である。ここでは、断面内で n パラメタ、船長方向にこれを 10 次式近似しており、船底付近に若干の不一致はあるものの、全体的には元の船型をよく近似しているようである。

Fig. 4.5.7 および Fig. 4.5.8 に Hess-Smith 法によって求められた断面内の速度ベクトルを示す。図中、破線で示したのは 4.5.1 項方法 1 の計算結果で、パネルの格子点が水平線に沿って配置されている。4.5.1 項の計算結果には速度ベクトルの尺度が与えられないのでその絶対値は比較できないが、その方向については、船尾船底の一部を除いて、本計算値とほぼ一致する。したがってパネルの配置の違いの影響は大きくないと考えてよさそうである。つぎに、ポテンシャル計算による船側の圧力分布を Fig. 4.5.9, Fig. 4.5.10 に示す。船首尾のビルジ部分で圧力の最少点が存在し、量的にも 4.5.1 項方法 1 の計算値と較べて大差ないようである。

つぎに、境界層計算結果について述べる。

レイノルズ数  $R_n$  は 2 m 模型の標準状態、 $F_n = 0.18$  に対応する値  $1.4 \times 10^6$  とした。

Fig. 4.5.11 に  $C_f$  の断面平均値  $\bar{C}_f$  を示す。この値は従来の計算結果と同じ傾向であるが、この船型の場合船尾付近で計算値に剥離を生じている。 $\bar{C}_f$  に断面のガース長を掛けて積分して求めた摩擦形状係数  $K_F$  (Schoenherr base) の値は 0.081 となった。

さらに船尾における  $\beta$  の分布を Fig. 4.5.12 に、 $C_f$  と  $H$  の分布を Fig. 4.5.13 に示す。

船尾船側で  $\beta$  が負 (ポテンシャル流線より下向き) になるのは従来の実験値と類似の傾向で興味深い。この原因は船首船側で流線の曲率  $K_2$  が大きい値となるためで、これはさらにビルジ部の圧力低下に起因する。今後、実験値と比較するなど詳細な検討が必要と思われる。また、Fig. 4.5.13 の  $C_f$  と  $H$  の計算値にも、ビルジ部で  $C_f$  が大きく、水面付近で小さく、また  $H$  はその逆であることなど、従来の結果と同じ傾向を示す結果が得られてはいるが、量的には今後の検討が必要であるように思われる。

また、Fig. 4.5.14 および 4.5.15 に船体表面のポテンシャル流線と限界流線を示す。船首船側では両者の差は大きくないが、船尾では限界流線に剥離線らしき包絡線が現われている。

## (3) まとめ

本年度は 3 次元境界層の計算法の実用化を目指す第 1 段階として、従来の方法による試計算を行なっただけであるので、実験値と比較するなどの十分な検討は成されていないが、この計算から得られた結論として次のことがあげられる。

まず、境界層の計算法の問題の中では

- i) ポテンシャル流の計算結果はほぼ満足できるものであるが、船尾船底などの外板曲率の大きい部分では格子点の配置に十分注意する必要があること。
- ii) 流線の曲率、縮少率など数値計算上若干の近似を加えてある点もあるので、厳密な計算法を確立する必要があること。

などが考えられる。また今後の方針として

- iii) 補助方程式の違いによる影響

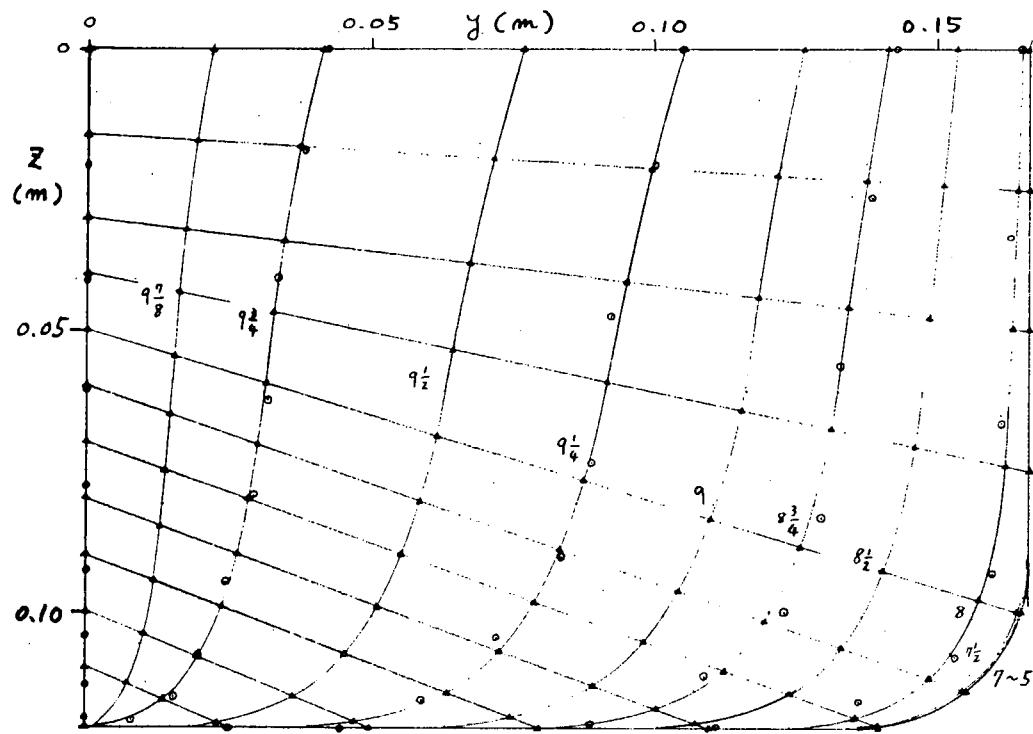


Fig. 4.5.5 Fore part of body plan ( $L_{pp}=2m$ ).

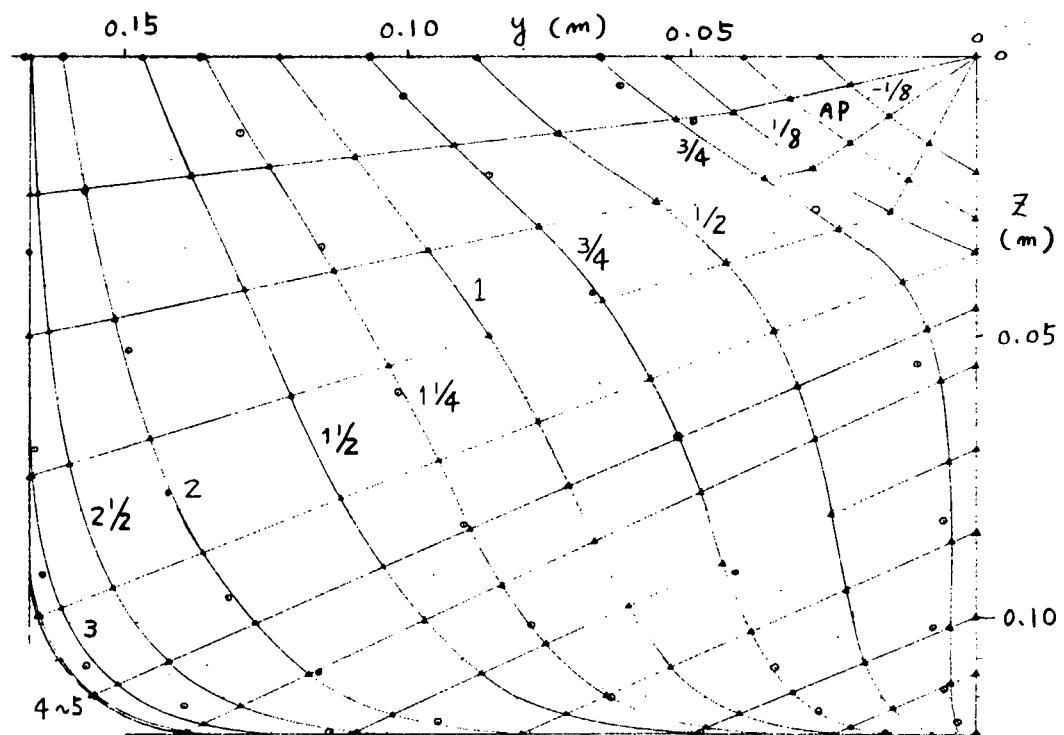


Fig. 4.5.6 Aft part of body plan ( $L_{pp}=2m$ ).

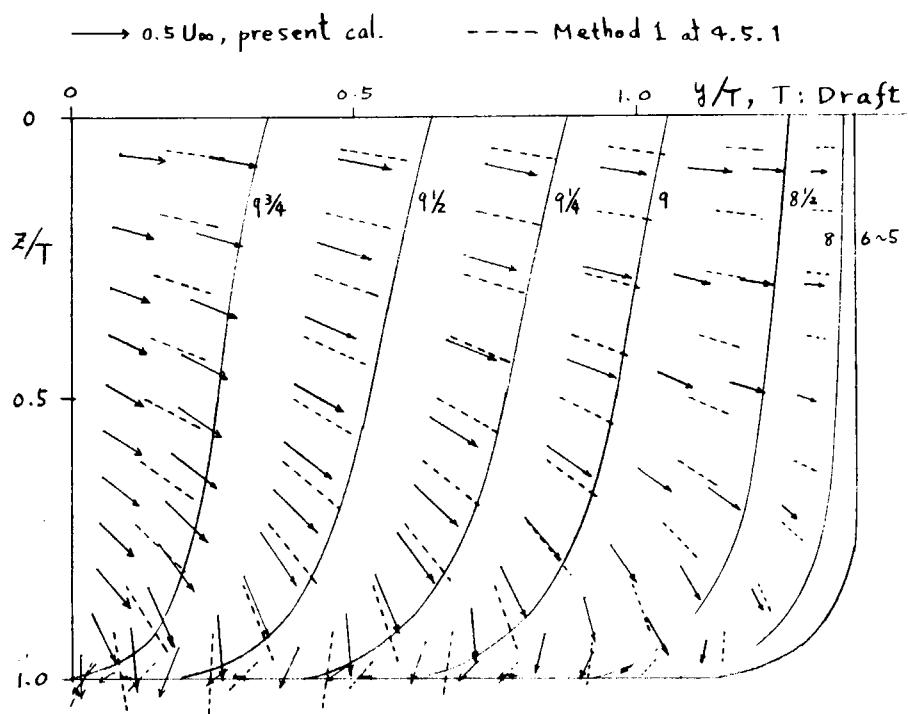


Fig. 4.5.7 Flow direction at fore body.

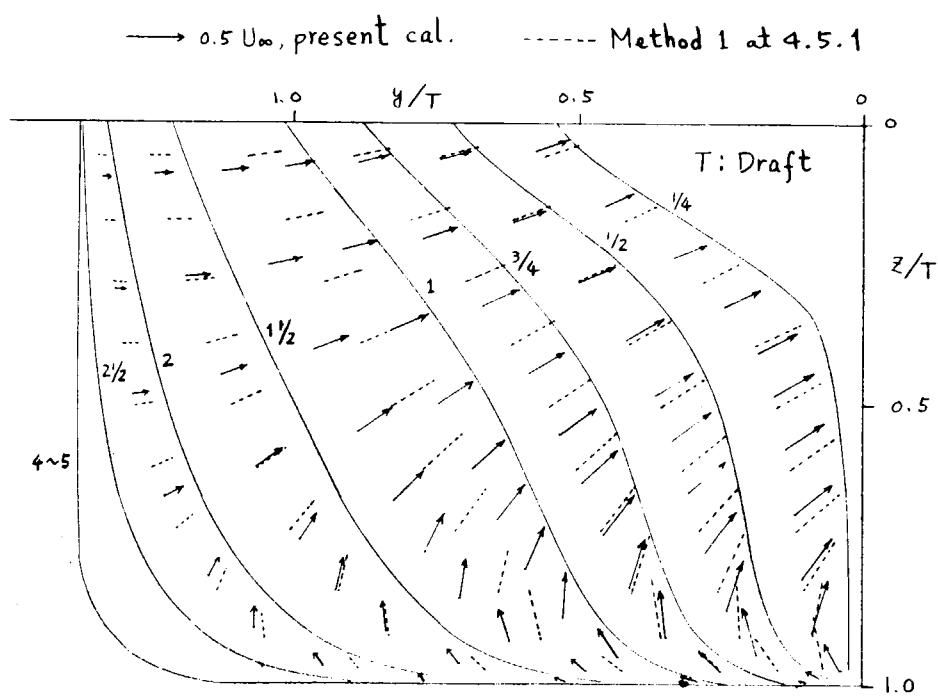


Fig. 4.5.8 Flow direction at aft body

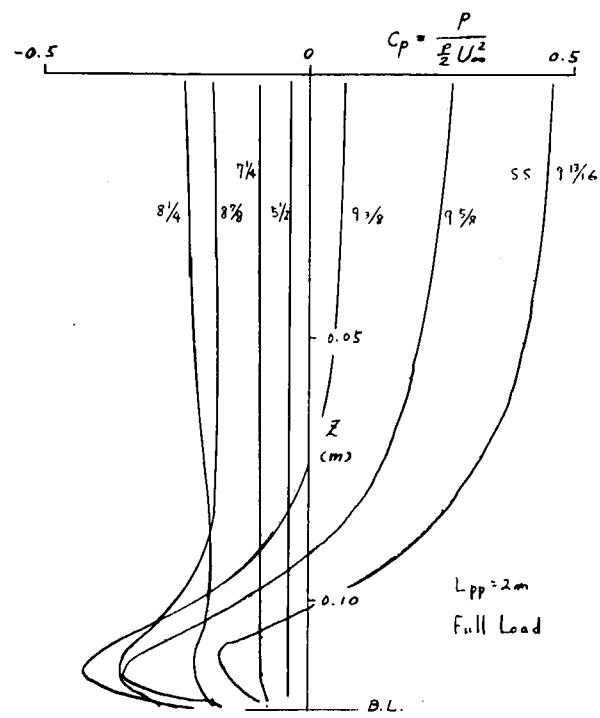


Fig. 4.5.9 Pressure distribution on side hull at fore stations

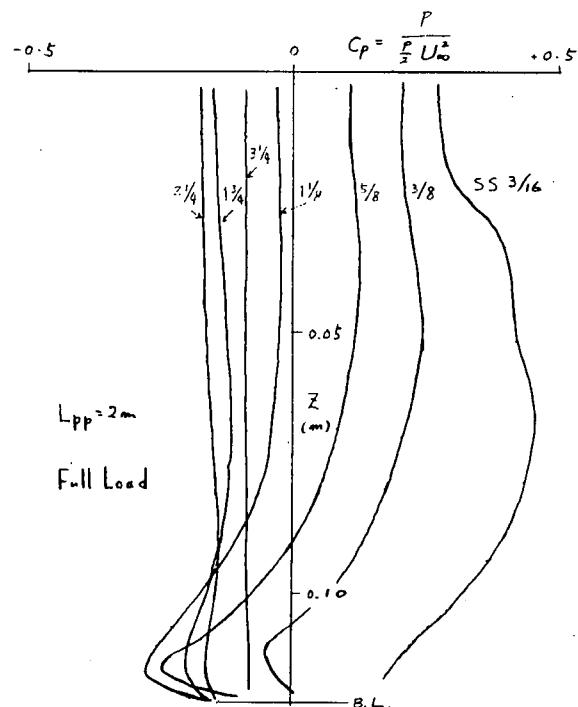


Fig. 4.5.10 Pressure distribution on side hull at aft stations

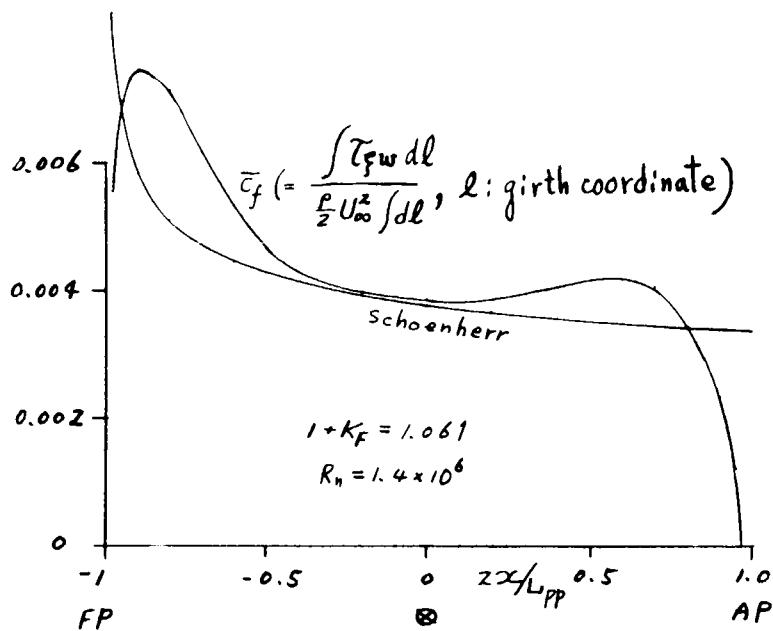


Fig. 4.5.11 Sectional mean of local skin friction coefficient  $\bar{C}_f$ .

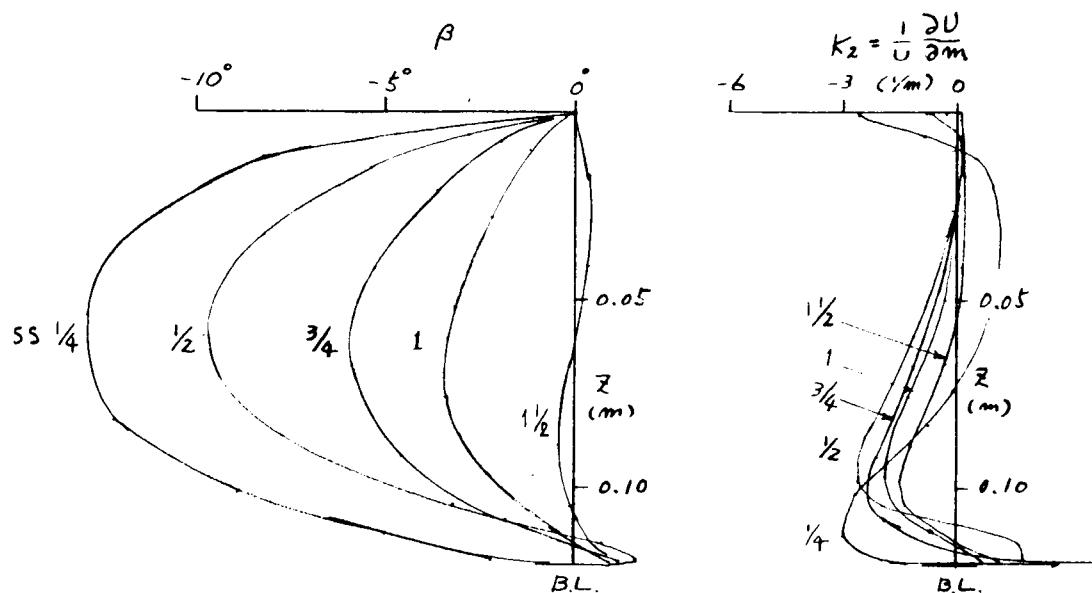


Fig. 4.5.12 Geodesic curvature  $K_2$  and cross flow angle  $\beta$ .

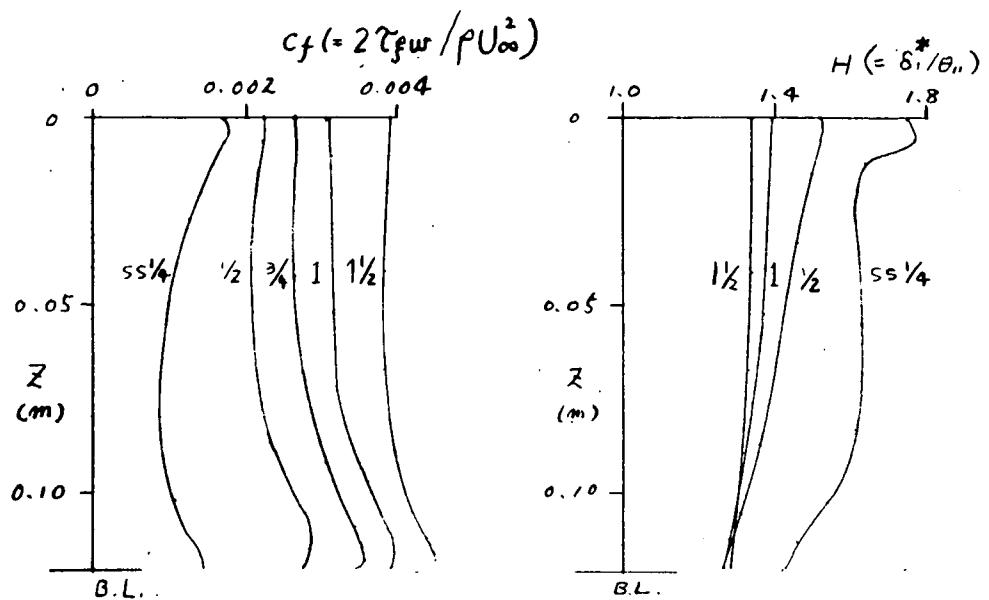


Fig. 4.5.13 Distribution of  $C_f$  and  $H$  on side hull at aft stations.

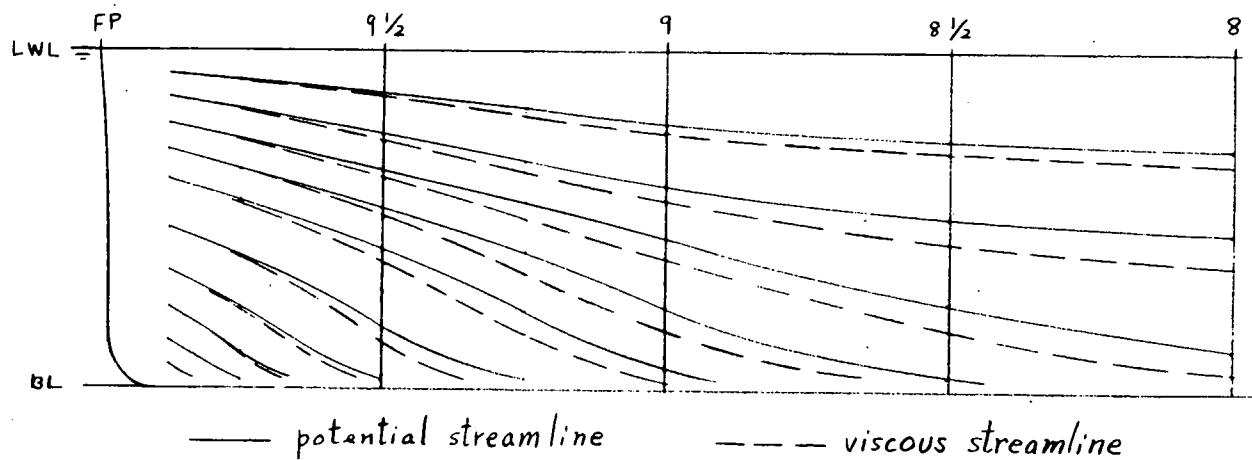


Fig. 4.5.14 Side view of streamlines at fore body.

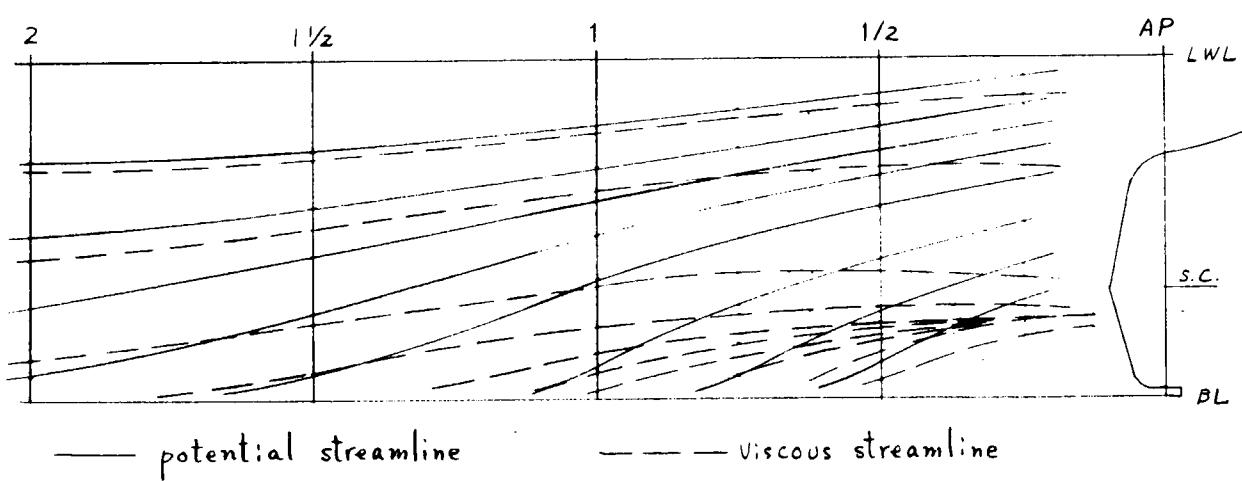


Fig. 4.5.15 Side view of streamlines at aft body.

#### IV) 他の計算法との差

などを明らかにする必要があろう。

さらに、境界層計算結果と実験値の比較検討が今後の大きな課題である。

#### 参考文献

1) 姫野洋司、田中一朗

「厳密な積分法に基づく3次元乱流境界層方程式の解法」、

関西造船協会誌、第159号(昭50)

### 4.6まとめ

以上の各節で述べた船尾まわり流場の研究結果のうち、主なものをまとめると次のとおりである。

まず、文献調査の結果、この方面の研究も非常に多数実施されており、特に日本に多いことが明らかとなつた。また、推力、ガイドにかかる横力などにおける特異な変動の存在はほとんど確実であり、船型の肥厚度とプロペラ荷重が最も重要な要素であることも大体一致した結論である。しかし、問題の本質であるべき力の不安定性をもたらす流場の詳細についてはまだほとんど解明されていないことがあらためて解認された。

4m模型による三菱長研での基礎的項目の実験結果については、一航走中の不安定現象は少ないというのが一つの結論である。従来のデータを基礎にした予想では65%載荷状態の時、不安定現象が起こる筈であったが、今回はほとんど出ず、44%載荷状態で若干現われたがその程度は推力、横力、表面圧力のいずれをとっても大したものではなかった。しかし、推力及び伴流値の検討から今回は双安定状態の内伴流値の大きい状態が出易い条件にあったこと、また、16%、8%シネによる流場観測により、一航走中に2種の流場が現れたことなどが確認された。

もう一隻の4m模型による阪大での65%載荷状態における追加項目の実験結果についても、一航走中の不安定現象はきわどっては顕著ではなく、伴流値の大きい状態の方が割合よく現れた。しかしプロペラ作動時のプロペラ直前の速度場の計測値から見ても、2種の流場は一航走中にはっきり現れることが確認された。参考として計測した基礎的項目のデータは、三菱長研のものと大体似た結果を示した。

東大では2m模型の流場の構造を種々の観測方法で調査したが、本年度は主としてプロペラ吸引力のない抵抗試験の実験であり、その限りでは流場の不安定要因を見出すことは出来なかった。次年度以降プロペラ作動下の資料を整備し、4m模型実験と併せて比較検討したい。

一方、これとは別に2種類の3次元境界層理論による計算を行った。この目的は、もちろん不安定流場の数理解析的手法を確立するための第1歩ということであるが、2種の方法による差は船体前半部流場では小さいが粘性域が厚く発達する後半部になると若干大きくなる傾向があり、また両方法で求まる情報量がちがうこと、さらには量も重要な点として境界層特性と不安定流場の特性との関連の問題が未知であることなどのため、本年度は境界層計算だけにとどめた。

以上要するに、今年度の研究結果ではいわゆる不安定流場は一部確かに出現してはいるものの、実験例が少ないため、また発現の具合がちょっとした環境条件で変わり得るため、2種の流場のデータが十分に得られたとはいえない。しかし流場特性の主な特徴は把握できたと思われる所以、これを基礎資料として次年度は別の船型も加えて研究を進めることが必要と思われる。

## § 5 抵抗成分の分離に関する研究

### 5.1 まえがき

抵抗分離の手法は近年定着し、理論的技術は十分信頼のおけるものとなってきた事は周知の事である。また、これにより抵抗の特性の力学的理解が確かとなり、実船の場合の推定に有力な根拠を与えるものであることはいうまでもない。しかし、このような従来の知識が本部会でそのまま通用するか否かは中々難しい問題で、船尾流場の不安定乃至は特異性が抵抗分離の考え方あるいは分離された抵抗成分にどのように影響を及ぼすかについては、あらためて調査研究する必要がある。本節ではこのような目的をもって実施した研究内容につき報告する。内容は(1)展望及び文献調査(5.2) (2)動力計の製作(5.3) (3)実験(5.4)の3部に分かれる。

まず5.2では、抵抗成分ならびにその実験的分離に関する理論的根拠と実験的成果につき、既発表の各種文献を調査し、その内容を整理要約するとともに、問題点を摘出する。担当は横大、船研、石播。

次に5.3では船尾流場の不安定に伴い変動する抵抗値の特性を把握するため、変動抵抗の瞬時値を取り出しうるような応答の忠実な抵抗動力計の設計製作につき述べる。このような動力計による計測結果は、変動流場と抵抗値との相関を明らかにするとともに、自航特性の特異性の解明の足掛りとして非常に役立つものと思われる。

5.4では、この抵抗動力計を使用した実験結果に関するもので本年度は予備実験についてのみ述べる。この節と前節は船研の担当である。

### 5.2 抵抗の成分及びその実験的分離に関する調査研究

#### 5.2.1 抵抗成分の分類

船体の抵抗をいくつかの成分に分離することは、古く W. Froude が全抵抗を比較則(フルードの相似則)に従う部分と、これに従わない部分とから成ると仮定したのが最初であり、これはフルードの仮定として長い間模型試験結果より実船の抵抗を算定する基礎として一般に採用されて来たものであるが、一層科学的且精密な成分の分類が考えられている今日においても、なおその根底には生きており、この種の分類が抵抗の模型実船換算に不可欠の条件になっている。全抵抗を各種成分に分離することは以上の目的の他に船型改良にも役立つ。

Froude は全抵抗のうち比較則に従う部分は造波抵抗であり、これに従わない部分は粘性による表面摩擦であると考えたが、このような分類はいわば抵抗の生成原因による分類であると見ることも出来、これが流体力学的現象に基づくものであるところから力学的分類と呼んでよからう。このような方法では、抵抗に打ち勝って船を推進する際流体に対して為される仕事が、どのようなエネルギー形態に転化するかによって抵抗成分が定義されるのが普通である。抵抗成分の分類の仕方として第2の方法は、抵抗が船体表面に働く流体力を船体表面上に積分したものであることから、流体力の働き方によって成分を分類する方法である。これは表面上の各点に働く流体力は、表面に法線方向の成分と切線方向の成分とに分けることが出来、これらの積分から法線抵抗と切線抵抗とを定義するものである。このような方法は幾何学的分類と呼ぶことが出来る。これは力学的分類に比してはるかに簡単明瞭であり、且抵抗成分の定義も厳密明確である。後述のような抵抗成分を実験的に分離して決定するにあたって幾何学的分類に従うならば厳密な分離が可能であるが、力学的分類によって抵抗成分を分離しようすれば近似的方法によらざるを得ない。

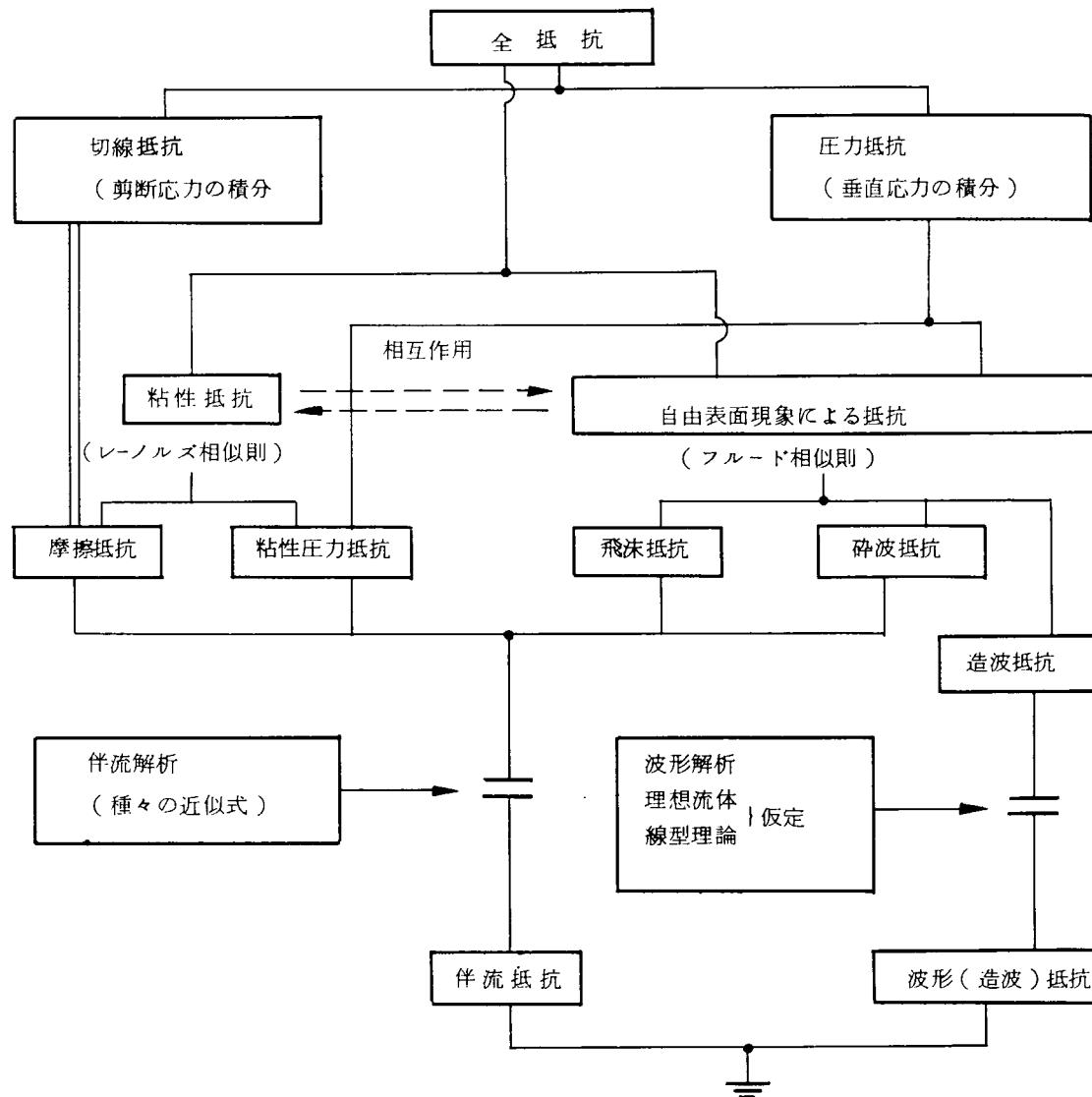
船は水と空気という2種類の流体の境界に沿って運動するのでこれら異なる流体の双方から作用を受けるが、水と空気の密度の差が極めて大きいために、少くとも平水中無風状態では2種類の流体間の相互

影響は考慮の必要はなく、水抵抗と空気抵抗はそれぞれ独立に取り扱ってよい。ここではもっぱら水抵抗について考えることとする。

力学的分類による抵抗成分を定義するまえに、無限にひろがる非粘性流体中を物体が一様な速度で運動する場合を考える。このとき物体周囲の流体運動はポテンシャル流れであり、ダランベールの背理によって物体は何らの抵抗をも受けない。ところが実在の流体には粘性があり、物体表面における摩擦応力によって抵抗を生ずる。すなわち抵抗の原因として第一に粘性があげられる。航空機のように一種類の流体中を運動する物体では、流体の圧縮性および空洞現象の発生を考えなければ抵抗はすべて粘性によるものである。一方船のように2種類の流体の境界を運動する物体では自由表面の存在によって粘性の作用を考えなくても抵抗が生ずる。その最も重要な部分は造波抵抗である。このように船の抵抗はまづ粘性による部分と自由表面現象による部分との2種類に大別出来る。前者は普通粘性抵抗と呼ばれるが後者については現在のところ一般的な呼び名はない。粘性抵抗は更に剪断応力を積分した摩擦抵抗と垂直応力を積分した粘性圧力抵抗とに分類出来る。粘性圧力抵抗は船体周囲の流れが粘性によってポテンシャル流れよりずれることによって生ずるものであるが、その原因としてまづ境界層による排除効果が挙げられる。これは特に船尾における境界層の肥厚化によって後端の圧力回復がさまたげられることが主に効いて来る。この現象は船尾の肥大した形状程著しい。更に船尾において明瞭な境界層剥離が認められるような場合はこの種の圧力抵抗は更に増大する。この他船のような3次元形状では境界層内のcross flowが著しくなり、特にビルジ部のような横曲率の大きい所や、船尾附近において進行方向に平行に近い軸を持つ船尾渦が後方に流出し、3次元翼の誘導抵抗に類似した性質を持つ抵抗が生ずることが考えられる。計測結果によるとこのような縦渦は船尾後方のある距離で急速に拡散し、A Pより半船長程度後方では進行方向の伴流の形に転化するようである。これら粘性抵抗は船体のはるか後方では進行方向の粘性伴流の運動量と釣り合うものと考えられる。次に自由表面現象による抵抗として最も重要なものは造波抵抗である。水に粘性が無いとすれば船の起こした波は無限後方迄ひろがり、この波形を保つために水に与えられるエネルギーに対応して船が造波抵抗を受ける。従って船のはるか後方で波形を測定し、このような波の持つエネルギーを理論の助けをかりて計算すれば造波抵抗値が得られる。しかし実際には水に粘性があるから非粘性流体の現象とは異なる。まづ第一に粘性によって波が減衰しその機械的エネルギーは後方に行くにつれて減少する。但しレーノルズ数が非常に高いので波の減衰は極めて小さく考慮しなくとも良い程度である。波に対する粘性影響として重要なのは粘性伴流の存在によって波が変形を受けることである。この現象はまだ充分解明がなされていないので、波形計測によって造波抵抗を求めようとするとき問題となる。自由表面現象の第2の部分として水面における流れの非線型性によって自由表面の連続性が失われ、いわゆる波崩れを起こし、エネルギーが消費されることに起因する抵抗である。これは普通碎波抵抗と呼ばれるが、造波抵抗で考えられるような波動現象とは別のものとして区別する必要がある。このような波崩れ現象は肥大船船首のまわりに顕著に観察されるが、トランサム船尾の後方にも同様の現象が見られる。波崩れが起こると進行方向の運動量変化を生じ、船体後方では粘性伴流の一部として捉えられる。自由表面現象の第3は飛沫の発生である。フルード数の高いとき、船首において船体表面に衝突した水は飛沫となって空中に飛び運動量変化を生ずる。これに起因する抵抗は飛沫抵抗と呼ばれ、これによって生じた運動量変化は碎波抵抗と同様に後方の伴流中に含まれると考えられる。この種の抵抗は高フルード数にて現れるものではあるが、高速船に特有の現象を見ることは正しくない。大型高速の船舶でも船首に明らかな飛沫の発生を見ることができ飛沫抵抗の存在が考えられる。但しその割合は他の抵抗成分に比して小さいであろう。

以上挙げた各抵抗成分を幾何学的に分類すれば切線抵抗は表面摩擦あるいは摩擦抵抗のみであり、また垂直応力は物体表面では流体圧に等しいから、(このことは流体中では一般に成り立つとは限らない)法線抵抗は圧力抵抗で摩擦抵抗以外はすべてこれに含まれる。一方船のはるか後方における運動量から

力学的に大別すると、造波抵抗以外はすべて粘性伴流の運動量欠損として現れ、造波抵抗だけは波形計測によって分離出来る。伴流計測結果を解析して求めた抵抗を伴流抵抗、波形解析より求めた造波抵抗を波形(造波)抵抗と呼ぶ。全抵抗中各種成分の構成を図解すれば次の通りである。



以上のうち粘性抵抗は主としてレーノルズ数により、自由表面現象は主としてフルード数により支配される。

肥大船でフルード数が約 0.17 以下では造波抵抗は極めて僅かであり、飛沫抵抗は存在しない。従って抵抗成分としては粘性抵抗及び碎波抵抗のみ考えればよい。

### 5.2.2 抵抗成分の実験的分離

#### (1) 切線抵抗または摩擦抵抗

船体表面上の各点で剪断応力を測定し全体にわたりて積分する。剪断応力の直接測定法としては floating element による方法及び Preston tube を用いる方法がある。間接法としては境界層の速度分布を計測し運動量、厚さより剪断応力を計算する。floating element による計測は平板のように

曲率の小さい面では精度の良い結果が得られるが、曲率の大きい所では設置が困難である。Preston tube は装置は簡単で測定も特に困難ではないが、calibration を精度良く行う点に問題が残されている。間接法は計算精度が問題であり、また計測に手数を要する。いずれの方法も局部摩擦を求めるには適しているが、全体の摩擦抵抗を精度良く求めるには不便である。

### (2) 圧力抵抗

船体表面上多数の点に圧力測定孔を設け、マノメーターまたは適当な圧力変換器により流体圧を測定する。原理的には実施は容易であり、従来多くの実施例が発表されている。問題点としては模型端部で測定点を細かくとることが困難なことである。液柱マノメーターを用いる方法は装置は比較的簡単だが読み取りに手数がかかり、一方圧力変換器を用いれば計測を自動化することができて便利であるが莫大な費用を要する。

### (3) 粘性抵抗

模型船後方の進行方向に直角な平面上の各点でピト-管により流速を測定し、運動量定理から導かれる式を用いて抵抗を計算する。自由表面現象が無いとすればこれは全抵抗に等しく、原理も簡単である。模型後方の調査面上で測定した進行方向に平行な相対流速を  $u$ 、静圧力を  $p$ 、この断面内の水面の上昇を  $\zeta$  とし、模型の前進速度を  $U$ 、乱されない流れの静圧力を  $p_0$  とすれば、全抵抗は

$$R = \iint \{ p_0 - p + \rho u ( U - u ) \} ds + \frac{1}{2} \rho g \int_{-\infty}^{\infty} \zeta^2 dy \quad (1)$$

で与えられる。この式では調査面上の粘性応力の寄与は省略してあるが、それ以外では厳密な式である。造波抵抗があるとき粘性抵抗を求めるには造波抵抗を分離せねばならぬ。造波現象によって生ずる流体運動はポテンシャル流れであるとし、仮想のポテンシャル流れの相対速度を  $u_i \ v_i \ w_i$  とすると、造波抵抗は

$$R_w = \frac{\rho}{2} \iint \{ v_i^2 + w_i^2 + ( U - u_i )^2 \} ds + \frac{1}{2} \rho g \int_{-\infty}^{\infty} \zeta^2 dy \quad (2)$$

で定義されるから、これを差引けば粘性抵抗は

$$R_v = \iint [ p_0 - p + \rho u ( U - u ) + \frac{\rho}{2} \{ ( U - u_i )^2 - v_i^2 - w_i^2 \} ] ds \quad (3)$$

となる。この式で仮想ポテンシャル流の速度  $u_i \ v_i \ w_i$  は決定出来ない量なので何らかの近似が必要である。これには色々な方法があるが最も簡単なのは仮想擾乱速度の自乗を省略する方法で、調査面を模型船後方充分離して取れば許されるものと考えられる。このようにすれば

$$R_v = \iint [ p_0 - p + \rho u ( U - u ) ] ds \quad (4)$$

である。ピト-管で測った総圧及び静圧から  $u$  及び  $p$  が求められれば上式によって粘性抵抗を決定することができる。ピト-管の総圧から出て来た全水頭を  $H$ 、 $U$ なる一様流中の総水頭を  $H_0$  とする。測定位置が模型船より充分離れていて、相対流速の進行方向に対する傾きが小さいとすると、進行方向に向いたピト-管で測定した全水頭は

$$\rho g H = p + \frac{1}{2} \rho u^2 \quad (5)$$

としてよいから水頭損失は

$$\Delta H = H_0 - H = \frac{1}{\rho g} (P_0 - P) + \frac{1}{2g} (U^2 - u^2) \quad (6)$$

となる。これを用いて粘性抵抗をあらわせば

$$R_v = \iint [\rho g \Delta H - \frac{1}{2} \rho (U - u)^2] ds \quad (7)$$

である。伴流速度  $U - u$  の自乗を省略すれば

$$R_v = \rho g \iint \Delta H ds \quad (8)$$

すなわち水頭損失の積分によって与えられる。肥大船では粘性伴流値を微小と考えることには無理があり、後の式で粘性抵抗を計算した結果は実際より過大になる。

流速測定位置における横方向の分速度を考慮すると、水頭損失は厳密には

$$\Delta H = \frac{1}{\rho g} (P_0 - P) + \frac{1}{2g} [U^2 - (u^2 + v^2 + w^2)] \quad (9)$$

であるから粘性抵抗は

$$R_v = \iint [\rho g \Delta H - \frac{1}{2} \rho (U - u)^2 + \frac{1}{2} \rho (v^2 + w^2)] ds \quad (10)$$

すなわち

$$R_E = \frac{1}{2} \rho \iint (v^2 + w^2) ds \quad (11)$$

の項が加わる。船体の後方で横方向の流速に著しい値があらわれるのは船尾縦渦が存在する場合である。 $R_E$ はこのような縦渦による抵抗に相当している。しかし  $v$ ,  $w$  中には縦渦以外の流速成分もあるので、縦渦による抵抗を計測した  $v$ ,  $w$  の値から上式の積分によって計算することは必ずしも正確とはいえない。縦渦のみによる抵抗成分を求める一方法として、 $v$ ,  $w$  の測定値から調査面内の渦度分布を求め、この渦度によって誘起される運動のエネルギーを計算する方法が考えられる。この場合は調査面内で渦による運動が二次元流れであるという仮定が必要である。船尾の縦渦は普通安定なものではなく、比較的すみやかに変形あるいは拡散するようなのでこの方法で計算した値も近似的であることはやむを得ない。

#### (4) 碎波抵抗

水面の波崩れによって生じた運動量変化は乱流の伴流による運動量損失に転化し、前項に示した伴流抵抗に包含される。伴流分布の形よりこの部分を分離することが可能であると考えられている。

#### (5) 造波抵抗

波高計を水槽中に固定し、模型の進路に平行な波形を記録する縦割法が通用いられる。曳航水槽では側壁の反射により限られた長さの記録しかとれない点に問題がある。このようにして得られた波形より造波抵抗を計算する方法はいくつか提案されているが、いずれも波形計測位置において波の伝播に線型理論があてはまるこことを仮定している。波形解析法は大別して次の種類に分類出来る。

1. フーリエ変換法
2. 等価特異点法
3. 数値あてはめ法
4. XY法

以上のうちフーリエ変換法は充分長い波形記録が得られる場合は理論上厳密な方法であると考えられる。事実幅の広い運動性能水槽で実施した例では極めて安定した結果が得られた事が報告されている。しかし曳航水槽では波形が充分に減衰するまで長くとることは低速を除いては不可能であり、記録の打ち切り点以後に対し近似的修正が必要である。これは極めて近似的であるために誤差の原因となる。

等価特異点法は波形記録に合致する波を発生する特異点分布を求め、この特異点による造波抵抗を理論式によって計算した結果を用いるものである。この方法では波形記録が有限であるということは特に問題ではなく、また模型船附近の局部擾乱を考慮することも可能であるから、波高計を模型よりも離さなくともよく、曳航水槽で実施するのに便利な方法であるが、測定波形に対応する特異点分布に一意性の無いという原理的難点及び船体近傍の流場の非線型影響を受けるという問題もある。

数値あてはめ法は計測波形に直接数値あてはめを打って振幅関数あるいは波スペクトルを決定するものである。この方法に属するもので良く知られているのはNPL水槽でルーチン化されているアトリクス法及びLandweberの提案した有限フーリエ解析法である。これらの方法では水面の形状を側壁における反射を仮定して級数形であらわし、波形計測は水槽の横断面内異った数個の位置に波高計を固定して行う。打切修正の必要のない点では便利であるが、自由波の無限後方においてあてはまる式を行い、且側壁の全反射を仮定していることなど、原理的に問題点が多い。

XY法は水槽内に固定した円柱に働く波力を測定した結果から運動量を計算するものであるが、極めて近似的なので精度はあまり良くないと考えられる。

### 5.2.3 縦渦による抵抗の決定

肥大船の低フルード数における抵抗はその大部分が粘性抵抗であり、船型と抵抗との関係を調べるに当って粘性抵抗の性質を更に立ちいって検討することが重要である。没水回転体におけるように粘性によって主として進行方向の伴流を生ずる場合は粘性抵抗は5.2.2の(7)式の形で与えられるが、ビルジ渦のような進行方向に平行に近い軸を持つ縦渦を伴う場合は(11)式で与えられる $R_E$ が無視出来ない。特に肥大船ではビルジ渦あるいは船尾縦渦が明瞭に認められる場合が多く、これと抵抗との関係が、船型の優劣に関連して重要な意味を帯びて来ることも考えられる。縦渦による抵抗を実験的に決定するにあたり、模型船後方で5孔管によって測定された横方向の流速成分 $v$ ,  $w$ をそのまま用いて(11)式より $R_E$ を計算することは正確ではない。何故ならばこの流速は縦渦による流速のみならず、船体による排除効果あるいは波によるボテンシャル成分をも含んでいるからである。従って縦渦による抵抗成分を単独に取り出すには若干の工夫をする。それにはまず実測によって得られた横方向の流速分布より $x$ 方向に軸を持つ過度分布を決定する方法が考えられ既にSR107部会の例をはじめとしていくつかの結果が発表されている。しかしながらこのようにして得られた渦度分布を基として縦渦による抵抗を計算するにはたとえば円筒状の渦核を仮定するというような極めて近似的方法によるのが普通であった。次に述べる方法は速度の調査面で縦渦が2次元的速度場を生ずるという事を唯一の仮定として計算を行うものである。船尾渦の構造は極めて複雑な三次元的性質を持つが、縦渦の抵抗が問題となるのは船体後方かなりの距離にわたって進行方向に平行に近い軸を持つ明瞭な渦が認められる場合であるから、この渦の $x$ 軸方向の成分のみを考えるとときは、これによる流場は進行方向に直角な平面内の2次運動と考えて差支えない。非圧縮性流体の2次元運動を取り扱うのに次のような流れ関数 $\psi$ を定義する。

$$v = \frac{\partial \psi}{\partial z} \quad w = \frac{\partial \psi}{\partial y} \quad (12)$$

$x$  軸方向の渦度を  $w_x$  とすれば

$$w_x = \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = -\nabla^2 \psi \quad (13)$$

今  $w_x$  が  $y, z$  の関数として与えられたとすれば  $\psi$  の満足すべき方程式は

$$\nabla^2 \psi = -w_x \quad (14)$$

すなわち 2 次元ポアソンの方程式である。特解は

$$\psi = -\frac{1}{2\pi} \iint w_x(\eta, \zeta) \ln \sqrt{(y-\eta)^2 + (z-\zeta)^2} d\eta d\zeta \quad (15)$$

で与えられる。さて求める抵抗は

$$\begin{aligned} R_E &= \frac{1}{2} \rho \iint (v^2 + w^2) ds \\ &= \frac{1}{2} \rho \iint (\nabla \psi)^2 ds \end{aligned} \quad (16)$$

と書くことが出来る。フルード数が低く水面の変形が微小であり、水面を剛体平面と考えた 2 重型近似が成立するとして  $z = 0$  の面に関する鏡像をとり、 $y, z$  面で原点を中心とした大きな半径  $R$  の円  $C$  の内側の領域  $\Omega$  にグリーンの定理を適用する。

$$\int_C \psi \frac{\partial \psi}{\partial n} ds = - \iint_{\Omega} [(\nabla \psi)^2 + \psi (\nabla^2 \psi)] ds$$

ここに  $\partial \psi / \partial n$  は円周に沿う流速を与える。そこで円周に沿う循環を  $\Gamma$  とし半径  $R$  を無限に大きくすると

$$\int \psi \frac{\partial \psi}{\partial n} ds = -\Gamma^2 \ln R$$

となるが、鏡像の渦を考えているから  $\Gamma = 0$  であり、従って

$$\int \psi \frac{\partial \psi}{\partial n} ds = 0$$

である。そこで

$$\iint (\nabla \psi)^2 ds = - \iint \psi (\nabla^2 \psi) ds = \iint \psi w_x ds$$

となる。すなわち  $R_E$  は(15)を用いて

$$R_E = \frac{\rho}{4\pi} \iiint w_x(y, z) w_x(\eta, \zeta) \ln \frac{(y-\eta)^2 + (z-\zeta)^2}{(y-\eta)^2 + (z+\zeta)^2} d\eta d\zeta dy dz \quad (17)$$

で与えられる。ここに積分は  $z < 0, \zeta < 0$  すなわち水面下の部分で行う。これはまた速度  $v, w$  の積分の形にあらわすこととも出来る。

$$w_x(y, z) = \frac{\partial w(y, z)}{\partial y} - \frac{\partial v(y, z)}{\partial z}$$

$$w_x(\eta, \zeta) = \frac{\partial w(\eta, \zeta)}{\partial \eta} - \frac{\partial v(\eta, \zeta)}{\partial \zeta}$$

であるから、(17)に代入して部分積分を行えば

$$\begin{aligned} R_E = & \frac{\rho}{2\pi} \iiint w(\eta, \zeta) w(y, z) \left[ \frac{(y-\eta)^2 - (z-\zeta)^2}{\{(y-\eta)^2 + (z-\zeta)^2\}^2} - \frac{(y-\eta)^2 - (z+\zeta)^2}{\{(y-\eta)^2 + (z+\zeta)^2\}^2} \right] d\eta d\zeta dy dz \\ & - \frac{\rho}{2\pi} \iiint v(\eta, \zeta) v(y, z) \left[ \frac{(y-\eta)^2 - (z-\zeta)^2}{\{(y-\eta)^2 + (z-\zeta)^2\}^2} + \frac{(y-\eta)^2 - (z+\zeta)^2}{\{(y-\eta)^2 + (z+\zeta)^2\}^2} \right] d\eta d\zeta dy dz \\ & - \frac{2\rho}{\pi} \iiint v(y, z) w(\eta, \zeta) \left[ \frac{(y-\eta)(z-\zeta)}{\{(y-\eta)^2 + (z-\zeta)^2\}^2} - \frac{(y-\eta)(z+\zeta)}{\{(y-\eta)^2 + (z+\zeta)^2\}^2} \right] d\eta d\zeta dy dz \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (18)$$

この式は渦度を積分する(17)式に比べて  $v, w$  の測定値を数値的に微分する必要が無い点で便利であるが  $y = \eta, z = \zeta$  の点で核が 2 位の特異点を持つので積分を求めるにあたって若干の考慮を要する。但しこのことは実際に数値積分を行うに際してあまり障害とはならない。

#### 5.2.4 抵抗の時間的変動と不安定性

船の抵抗に関して定常航走時に時間的に変動する現象の研究はほとんど行なわれていない。この研究は、プロペラの推力によって誘起される船尾流れの不安定とそれに伴う推力および抵抗の変動という特殊な現象を扱っているが、関連して抵抗不安定を生ずるものについて考えると次のような原因を挙げることができる。

最も単純な原因是、船尾からカルマン渦列を生ずる場合で、カルマン渦列はレーノルズ数、 $R_n = \frac{VB}{\nu}$  ( $B$ は、円柱の直径に相当する長さ)で  $3 \times 10^5$  位まで安定に発生して、その時のストロハル数  $\frac{NB}{V}$  ( $N$ は、毎秒発生数)は 0.25 位であるから、肥大船で  $B = 0.6$  m 位の模型を、 $V = 0.5$  m/s で曳航する場合、 $N = 0.21$  位の渦を発生することになる。実際に水槽試験で経験するところでは、振動数がかなり高いから渦の発生に寄与する  $B$  は船幅の半分程度になっているようと思われる。しかしこのような現象は低速抵抗 (form factor の計測) の際に有害であるが、実用上は余り重要性が高いとは考えられない。

より重要な原因としては、小型模型に見られる粘性抵抗の遷移領域の抵抗不安定で、レーノルズ数 ( $\frac{LV}{\nu}$ )  $5 \times 10^5 \sim 1 \times 10^6$  付近で抵抗が大幅に変動しやすいのは、一般にもよく知られている。

上記はいづれも粘性抵抗、特に剝離を伴う抵抗に著しく、造波抵抗に基くものは知られていない。しかし船の波は定速に達しても完全に発達するまで若干の時間を要し、特に浅水影響のあるものは著しいので、水槽試験では造波が過渡的で定常に達するまでに抵抗を計測することによって抵抗不安定と見誤る場合がある。

本研究の場合も、プロペラの推力によって船尾の流れを変え、剝離線または渦の発生に影響を与えているものと思われる所以粘性抵抗による抵抗の不安定と類似しているが、これについてはまだほとんど研究されていない。

#### 5.2.5 文献調査

抵抗成分の実験的分離に関する内外の既発表の論文を調査し、その内容に応じて次のように分類整理

した。

5.2.2 の項目に従って Table 5.2.1 に示すとく 1 ~ 5 および 9 からなる 6 項目に分類し、同時に論文発表の年代毎に分けて、著者名、論文名称等の左端に分類番号を付して Table 5.2.2 に示す。なおこの文献の摘出は主題の研究に直接関係したものばかりでなく特に関連が深いと思われるものも含めることとした。但し力学的分類(5.2.1 参照)に属するもの及び応用に関するものは原則として含めていない。

Table 5.2.1 抵抗成分の実験的分離に関する文献の分類番号表

分類番号	項 目
1	切線抵抗または摩擦抵抗
2	圧力抵抗
3	粘性抵抗
4	碎波抵抗
5	造波抵抗
9	その他(一般的、解説的なものを含む)

Table. 5.2.2

発行年

分類番号

著者名：表題，誌名，巻号，（発行年），ページ

1975(昭和50年)

- 5 L. Landweber : Further Development of a Procedure for Determination of Wave Resistance from Longitudinal - Cut Surface - Profile Measurement, J. of Ship Research, Vol 19 No.2, (1975-6)
- 1 堀田多喜男 : A New Skin Friction Meter of Floating Element Type and the Measurement of Local Shear Stress, 日本造船学会論文集 No.138, (1975), P.74-P.80

1974(昭和49年)

- 3, 5 L. Landweber, : Investigation on components of ship resistance final report, Iowa Inst. of Hydraulic Research, Iowa City, (1974), 11p. Rept. IIHR-162 (AD-784207)
- 3 Souders, G. : Turbulent boundary layer and viscous resistance of a submarine at high Reynolds number, Naval Ship Research and Development Center, Bethesda, Md., (1974), Rept. No. NSRDC-4366, P.30
- 1 Matheson : N. and Joubert, P. N ; A Note on the Resistance of Bodies of Revolution and Ship Forms, Journal of Ship Research, Vol. 18, No.3 (Sept. 1974), P.153-P.168
- 9 北沢考宗, 乾崇夫, 梶谷尚 : 高次船型の流場解析, 日本造船学会論文集 No.135, (1974)

1973(昭和48年)

- 3, 4 長場栄一 : 抵抗成分の分離, 日本造船学会粘性抵抗シンポジウム, (1973)  
5 P.157-P.168
- 2, 3 仲渡道夫, 山崎芳嗣, 鈴木勲, 砂原誠一, 松井明男 : 粘性抵抗の小さいU型V型船尾形状の実験, 関西造船協会誌 No.151, (1973), P.79-P.95
- 9 Matheson, N. and Joubert, P. N ; Experimental Determination of the Components of Resistance of a Small 0.80 C<sub>B</sub> Tanker Model, Journal of Ship Research, Vol.17, No.3, (Sept. 1973), P.162-P.180
- 3, 4 Eckert, E. and Sharma, S. D ; Bow Bulbs for Slow, Full - Form Ships, SNAME Technical and Research Bulletin 1 - 33 (1973)  
5

1973(昭和48年)

- 1 Power, J. L. : Wall shear stress and mean - velocity measurement in a three-dimensional turbulent boundary layer, Naval Ship Research and Development Center, Bethesda, Md., Rept. No. NSRDC-4056 (AD-768297/4 GA), (1973), P.47
- 5 足達宏之 : 非常に長い中央平行部を持つ船型の波形解析について, 船舶技術研究所報告, 第10巻, 第4号, (1973-5-11), P.159
- 9 Farrell, C. : On the Experimental Determination of the Resistance Components of a Submerged Spheroid, Journal of Ship Research, Vol.17, No.2, (1973-6), P.72

1972(昭和47年)

- 3, 5 日本造船研究協会第107部会報告書 : 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、研究資料 No.142, (1972), 177p
- 9 高橋肇, 田中拓, 北川弘光 : 超大型船の馬力推定の精度向上に関する研究 —— 抵抗分離ならびに伴流に関する2.3の考察 ——, 第20回船舶技術研究所研究発表会講演概要, (1972), P.143-P.146
- 3, 5 丸尾孟, 早和幸 : 一様な伴流による波の変形について, 日本造船学会論文集, 第132号 (1972)
- 5 茂里一紘他 : 船側波形による造波特性解析とその船型計画への応用, 造船学会論文集第132号 (1972), P.11
- 3, 5 Chii-ell-Tsai : Study of Total, Viscous and Wave Resistance of a Family of Series - 60 Models, further development of a Procedure for Determination of Wave Resistance from longitudinal - Cut, Surface - Profile Measurement, Ph. Dr. Thesis, Univ. of Iowa, (1972)
- 5 Moran, D. D., Landweber, C. : A Longitudinal - Cut Method for Determining Wavemaking Resistance, Journal of Ship Research, (1972-3), P.21
- Hogben, N. : Automated Recording and Analysis of Wave Patterns Behind Towed Model, R. I. N. A. Vol 114, (1972), P.127
- 5 Farrell, C. : On the experimental determination of the resistance components of a submerged spheroid, Iowa Univ. Dept of Mechanics and bydraulics, (1972)

1971 (昭和46年)

- 5 池畠光尚, 大橋満義, 田中満佐人 : 二次元スペクトルを用いた波形解析について, 関西造船協会誌, (1971-11), P.1
- 4 谷口中, 田村欣也, 馬場栄一 : MHI-BowによるWave-Breaking Resistanceの減少, 三菱重工技報 Vol. 8, No.1 (1971), P.146
- 5 Michelsen, F. C. Uberoi, S. B. S : A Study of Wave Resistance Characteristics Through the Analysis of Wave Height and Slope Along a Longitudinal Track, YDRÖ-OG AERODYNAMISK Laboratorium HY 15, (1971-8).
- 3, 5 Vollheim, R : Messung der Wellenentwicklung der Reibungsverluste bei dem Modell eines Massengutfrachters, CB=0.80 Bugwulstvarianten, Teil I, Schiffbauforsehung, 10 1/2, (1971), P.70
- 5 Hogben, N : Equivalent Source Arrays From Wave Patterns Behind Trawler Type Models., TRINA Vol. 113, (1971), P.345-P.363

1970 (昭和47年)

- 5 Hogben, N : Automated Analysis of Wave Patterns Behind Towed Models, NPL Ship Report 148 (1970)
- 3, 5 Brard, R : Viscosity, Wake, and ShipWaves, Journal of Ship Research, Vol. 14, No.4, (1970), P.207
- 4 Sharma, S. D. und Eckert, E. : Bugwulste fur langsame, volige Schiffe, JSTG, Bd. 64 (1970), P.129
- 4 Dagan, G. and Tulin, M. DP. : Non-linear Free Surface Effects in the Vicinity of Blunt Ship Bows, Proc. 8th Symp. Naval Hydrodynamics, Pasadena (1970)
- 5 Everest, J. T. : An Experimental Study of the Effect of Beam Variation and Shallow Water on Thin Ship Wave Predictions, R. I. N. A, Vol 112, No.3, (1970), P.319
- 1 Huang, T. T. and Lysy, D. : Techniques for Ship Frictional Resistance Measurements, NSRDC Report 3307, (1970)
- 3, 4 5 馬場栄一 : 船の抵抗成分分離に関する研究と新しい抵抗成分の発見, 三菱重工技報 Vol. 8, No.3, (1970)

1970 (昭和45年)

- |      |   |
|------|---|
| 1, 2 | Shearer, J. R. : Some aspects of the resistance of full form Ships, Trans. RINA, Vol. 112, (1970), P.465  |
| 1    | Joubert, P. N. and Matheson N. : Wind Tunnel Tests of Two Lucy Ashton Reflex Geosims, J. of S. R. (1970)  |
| 3    | 筒島, 田中, 鈴木, 萩野 : 肥大船々尾流場と縦渦による誘導抵抗, 造船学会論文集, 128号, (1970)   |
| 5    | Everest, J. J. and Hogben, N. : An Experimental Study of the Effect of Beam Variation and Shallow Water on Thin Ship Wave Prediction, TRINA Vol. 112, (1970), P.319-P.333 |

1969 (昭和44年)

- |   |  |
|---|--|
| 5 | 田中拓 : 造波抵抗直接計測の船型試験への応用, 日本造船学会論文集第126号 (1969), P.11   |
| 5 | 池畠光尚 : On Experimental Determination of Wave Making Resistance of a Ship, Japan Shipbuilding & Marine Engineering Vol. 4, No.5 (1969)  |
| 5 | 丸尾孟 : 波形解析による造波抵抗の算定(第3報), 日本造船学会論文集, 第125号, (1969), P.1   |
| 9 | 別所正利 : 船の波形解析への一寄与, 防衛大学校理工学研究報告, 第7巻第1号, (1969), P.103  |
| 5 | Everest, J. T. : Measurements of the Wave Resistance of a Series of Mathematical Models, including Comparison with Theoretical estimates, N. P. L. Report, ship report 120, (1969-1) |
| 5 | Bohyun, Ym. : Analyses of Waves and the Wave Resistance due to Transom-Stern Ships, Journal of Ship Research, (1969-6), P.155  |
| 5 | Sharma, S. D. : Some Results Concerning the Wavemaking of a Thin Ship, Journal of Ship Research, (1969-3)  |
| 9 | 馬場栄一 : Study on Separation of Ship Resistance Components, 日本造船学会論文集第125号 (1969), P.9   |
| 3 | Uberoi, S. B. S. : Viscous Resistance of Ships and Ship Models, Hydro-Og Aerodynamisk Laboratorium Report No. Hy-13, (Sept. 1969)  |

1969 (昭和44年)

- 3, 4 馬場栄一 : A New Component of Viscous Resistance of Ships, 日本造船学会論文集第125号 (1969), P.33

1968 (昭和43年)

- 2 Conn, J. F. C. and Ferguson, A. M. : Results Obtained with a Series of Geometrically Similar Models, RINA Vol. 110, No.3 (July 1968), P.255-P.300
- 3 Townsin, R. L. : Viscous Drag from a Wake Survey Measurements in the Wake of "Lucy Ashton" Model, Trans : RINA, Vol. 110, (1968) P.301
- 3 Tzou, K. T. S. and Landweber, L. : Determination of the Viscous Drag of a Ship Model, Journal of Ship Research, (June 1968), P.105-P.115
- 1 Steele, B. N. and Pearce, G. B. : Experimental Determination of the Distribution of Skin Friction on a Model of a High Speed Liner, Trans. of R. I. N. A. Vol. 110 (1968), P.79
- 2 Tuck, E. O. and Kerczek, C. von : Streamlines and Pressure Distribution on Arbitrary Ship Hulls at Zero Froude Number, Journal of Ship Research, Vol. 12, No.3, (1968)
- 1 Tzou, K. T. S. : An Experiment Study of Shear Stress Variation on Series-60 Ship Model, Iowa Institute of Hydraulic Research Report, No.108 (1968)
- 3 田中一朗 : 粘性抵抗, 日本造船学会, 抵抗・推進シンポジウム, (1968-6), P.27
- 9 乾崇夫 : 抵抗成分の分離, 日本造船学会, 抵抗・推進シンポジウム, (1968-6), P.39
- 3 笹島秀雄 : 肥大船の船尾形状, 日本造船学会, 抵抗・推進シンポジウム, (1968-6), P.85

1967 (昭和42年)

- 5 Kobus, H. K. : Examination of Eggers' Relationship Between Transverse Wave Profiles and Wave Resistance, Journal of Ship Research, (1967-12), P.240

1967 (昭和42年)

- |      |   |
|------|---|
| 5    | Landweber, L. : Study of Eggers' Method for the Determination of Wave making Resistance, I. H. R. Report No.103, Iowa Univ. (1967-4)                              |
| 5    | Eggers, K. W. H. et al. : An Assessment of Some Experimental Methods for Determining the Wavemaking Characteristics of a Ship Form, TSNAME, Vol. 75 (1967), P.112 |
| 1, 2 | Townsin, R. L. : The Frictional and Pressure Resistance of Two Lucy Ashton Geosims, TRINA, vol. 109 (1967), P.247   |
| 3    | Tzou, K. T. S. and Landweber, L. : Determination of the Viscous Drag of a Ship Model, Iowa Institute of Hydraulic Research Report No.101 (1967)                   |

1966 (昭和41年)

- |   |   |
|---|---|
| 3 | 谷口中外 : Study on the Separation of the Resistance Components, Proc. 11th ITTC (1966), P.33 |
| 3 | 大楠丹, 要正博, : 肥大船船尾付近の水流, 三井造船技第56号 (1966)  |

1965 (昭和40年)

- |   |   |
|---|---|
| 2 | Ward, L. W. : Wave Resistance surveys on a Ship Model of Minimum Resistance, Report of Webb Institute, (1965-8)   |
| 2 | Shearer, J. R. and Cross, J. J. : The Experimental Determination of the Components of Ship Resistance for a Mathematical Model, TRINA, Vol. 107 (1965), P.459 |
| 2 | Lackenby, H. : An Investigation into the Nature and Independence of the Components of Ship Resistance, TRINA, Vol. 107 (1965) P.474                           |
| 1 | Sharma, S. D. : Zur Problematik der Aufteilung des Schiffswiderstandes in zahigkeits und wellenbedingte Anteile, JSTG, Bd. 59 (1965), P.458                   |

1964 (昭和39年)

- |   |  |
|---|--|
| 5 | Ward, L. W. : Experimental Determination of Ship Wave Resistance From the Wave Pattern, Webb Institute of Naval Architecture, Glen Cove (1964) |
|---|--|

1964 (昭和39年)

- 5 Sharma, S. D. : Untersuchungen über den Fahrigkeits und Wellenwiderstand mit besonderer Berücksichtigung ihrer Wechselwirkung, Hamburg Univ., Dr. Thesis, (1964-12)

1963 (昭和38年)

- 1, 2 Townsin, R. L. : Frictional and Pressure Resistance of a Victory Model, ISP, Vol. 10, No.104 (1963), P.132
- 3 Landweber, L. and Wu, J. : The Determination of the Viscous Drag of Submerged and Floating Bodies by Wake Surveys, Journal of Ship Research (June 1963)
- 5 Pien, C. Moore, W. L. : Theoretical and Experimental Study of Wave-Making Resistance of Ships, Seminar on Theoretical Wave Resistance Ann Arbor, Michigan, (1963-8)

1962 (昭和37年)

- 9 波多野修次 : 造波圧力による摩擦抵抗の変化について, 造船協会論文集 第111号 (1962)
- 3, 5 Wu, J. : The Separation of Viscous from Wave Making Drag of Ship Forms, Journal of Ship Research Vol. 6, No.1 (1962), P.26-P.39
- Lap, A. J. M. : Scale Effect Experiments on Victory Ships and Models III, IV, Trans. RINA (1962)
- 5 Eggers, K. : Über die Ermittlung des Wellenwiderstandes eines Schiffsmodells durch Analyse seines Wellensystems, Schiffstechnik, Ed. 9 Heft 46 (1962), P.79
- 5 Ward, L. W. : A Method for the Direct Experimental Determination of Ship Wave Resistance, Stevens Institute of Technology (1962)

1960 (昭和35年)以前

- 1 Prandtl, von L. und Schlichting, H. : Das Widerstandsgesetz rauher Platten, Werft-Reederei-Hafen, Heft 1 (1934)
- 2 Manen, J. D. van and Kamps, J. : The Effect of Shape of Afterbody on Propulsion, SNAME, (1959), P.253-P.289

1960(昭和35年)以前

- |   |  |
|---|--|
| 2 | 横田外 : Pressure Distribution over the Surface of a Ship and its Effect on Resistance, 万国工業会論文集, 東京 (1929)           |
| 3 | Tulin, M. P. : The Separation of Viscous Drag and Wave Drag by Means of the Wake Survey, DTMB Report 772 (1951)    |
| 2 | Laute, W. : Untersuchungen über Druck und Stromungsverlauf, an einem Schiffsmodell, JSTG, Bd 34 (1933)             |
| 2 | Eggert, E. F. : Form Resistance Experiments, TSNAME, Vol. 43 (1935), P.139   |
| 2 | Eggert, E. F. : Further Form Resistance Experiments TSNAME, Vol. 47 (1939), P.303                                  |
| 2 | Hophen, N. : Ship Hull Pressure Measurements, TINA, Vol. 99 (1957), P.446  |
| 1 | Smith, D. W., Walker, J. H. : Skin-friction Measurements in Incompressible Flow, NASA Technical Report R-26 (1959) |
| 1 | Kempf, G. : Neuere Erfahrungen im Schiffbau - Versuchswesen, J. S. T. G, 28. Band (1927)                           |

### 5.3 変動抵抗動力計の設計並びに製作

船型試験水槽における静水中の船の抵抗の計測は常に定常航走時におけるものを対象としている。しかし抵抗の計測には、曳引車の曳航速度変動と水槽水の残流速度変動などの外乱を伴うため、抵抗値は必ずしも静定した値にはならない。また抵抗動力計と模型船によって構成される計測系の固有周期は1~10秒程度と比較的長いものが多いが、このような場合にも静定した値を得ることは難しく、計測結果は航走中の時間平均値が用いられている。このような抵抗計測法を仮にディジタル型と呼ぶと、対応してアナログ型抵抗計測法を必要とする研究の分野もある。

後者に用いられるアナログ型抵抗動力計は、模型船の時間的な抵抗変動を計測することができる動力計であるが、当然、計測可能な周波数範囲は限定されている。アナログ型抵抗動力計を必要とする研究には2種類あって、一つは抵抗の浅水影響や肥大型模型船における英國式自航試験の曳航力計測のように、抵抗測定値の静定過程の確認が必要な場合と、他の一つは本研究のように曳航力そのものに変動が予想されて、変動抵抗の計測が必要な場合である。

肥大船における推進性能の不安定な性質については、主にプロペラ推力によって誘起される船尾流場の不安定性が論議されて、推力変動に着目されている。しかしこの考え方は、推進性能の不安定が時定数の高い推力計測系に現われやすいことと関係が深く、船体抵抗の変動過程の検討を除いて自航要素の解析のみを考えても物理的に正しい解釈が得られるとは限らない。

この変動抵抗動力計はプロペラの作動中およびプロペラなしの状態における曳航力変化の面から肥大船の推進性能の性質を調べようとするものであるが、模型船の慣性力が大きいため計測が極めて難しい難点がある。

これまでに研究された肥大船の推力変動に関する資料から見て、抵抗の変動は、抵抗計測値の10%のオーダーとし、1Hz以下（低周期）の現象に着目することとした。このために計測系の固有周期を10Hz以上、計測精度の目標を0.1% full scaleで計画したところ、Fig. 5.3.1, 5.3.2および5.3.3に示すような、アナログ型抵抗動力計を完成することができた。

この抵抗動力計は主として、三鷹第3船舶試験水槽（長さ150m、幅7.5m、水深3.5m）で使用するものであるが、本水槽の曳引車構造材の固有振動数は約5Hzであるため、目標としている現象の周期に接近している欠点があり、これらの分離精度を上げる必要から動力計個有周期を50Hzとした。このためロード・セルの容量の大きなものを使用する必要が生じ、200kgの計測容量をもつ動力計となった。しかしロード・セル（ボールドウイン200L）は0.05% full scaleの精度をもっているので、計測容量が大きくても実用上重要な障害にはならないが、重量が少いため構造材および天秤の撓み、回転軸および模型取付部のガタ等は極力少くする必要があり、動力計全体の構造が重構造なものにならざるを得なかった。また天秤回転はすべて十字バネ（モノフレキシヤMF-8-30）を使用している。付属した機構としては、上下装置、キャリプレーション装置、オイルダンパー（通常は使用しない）、天秤ロック機構およびロード・セルのアンプフィルターなどがある。

計測の具体的な方法については、51年度に引き続き検討されるが、当面考慮中の方法は次の通りである。この動力計には、0.1, 0.15, 0.2, 0.3, 0.5および0.7Hzを遮断周波数とする。ローパスおよびハイパスフィルター（NF回路設計ブロック製、LP-3およびHP-3型フィルター）を付属している。これを用いて曳引車構造材の振動、周期的な速度変動など有害な変動成分を除去し、残りの信号を磁気テープおよびペン書き記録して有意義な振動成分を計測、解析する。

今年度は次項に述べる4m模型船の抵抗試験のみを実施した。この予備的な計測ではフィルターを使用せず、この動力計の基本的な性能と使用法の調査につとめたが、一応満足な結果を得ている。

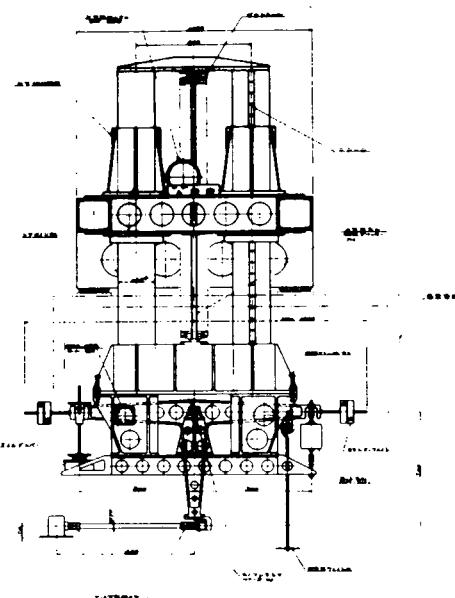


Fig. 5.3.1    Analog-type Resistance Dynamo-meter  
(Elevation Plan)

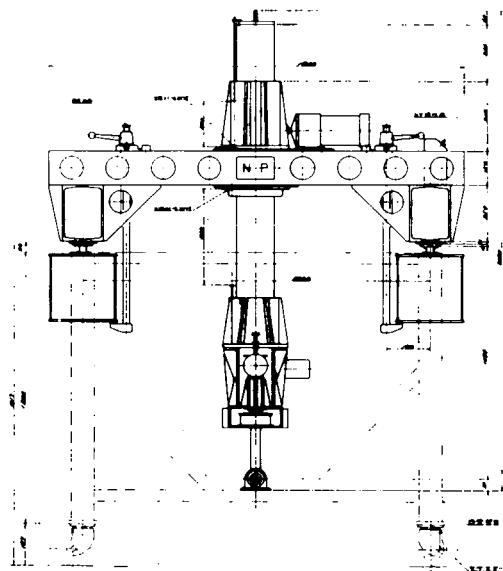


Fig. 5.3.2    Analog-type Resistance Dynamo-meter (front View)

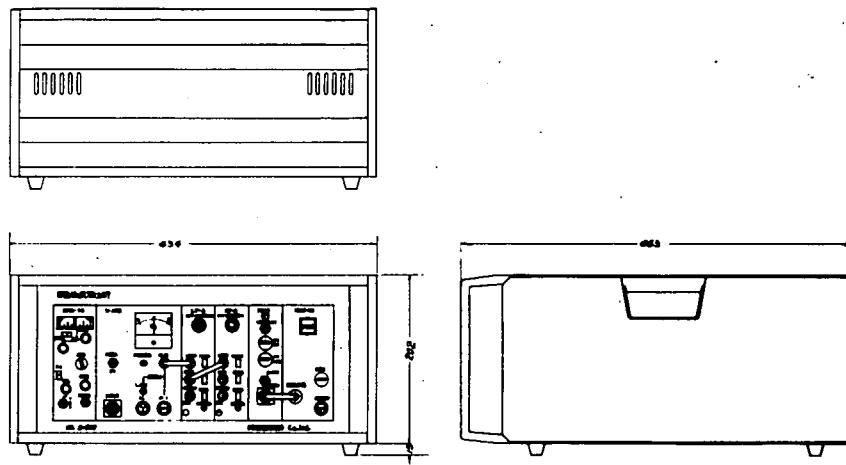


Fig. 5.3.3 Analog-type Resistance Dynamo-meter (cotroller and filter)

#### 5.4 水槽実験

抵抗変動およびプロペラ作動による曳航力変動を計測する実験は次年度に計画されている。本年度は変動抵抗動力計の性能を確認することと、次年度の研究計画の詳細を決定する目的で下記の実験を行なった。

模型船および実験状態は、4.3.1(a)で説明されている三菱長崎水槽で実施されたものと同じで、模型船を長崎水槽使用後に船研へ転送して、満載、65%および44%満載の3状態が計測された。

水槽は船研、三鷹第3船舶試験水槽で、試験の結果は、Fig. 5.4.1に示した。この図には三菱水槽の結果を線で示し、船研の結果を点で記入して両者を比較したが、両者はよく一致している。

前記のように、今回の計測は新しい動力計の性能の確認に主目的があるのでフィルターを使用せず実験を行なっている。従ってペン書き記録紙上には、曳引車の振動がかなり含まれていたが、目視による平均値はほぼ合理的な結果となった。次回以降フィルターの使用法などを順次調べて行くが、動力計の性能としては十分であることがわかった。

本試験は予備的なものであるが、曳航中特に抵抗の不安定は検出されなかった。

RESISTANCE TEST RESULTS

MODEL SHIP NO. 0247

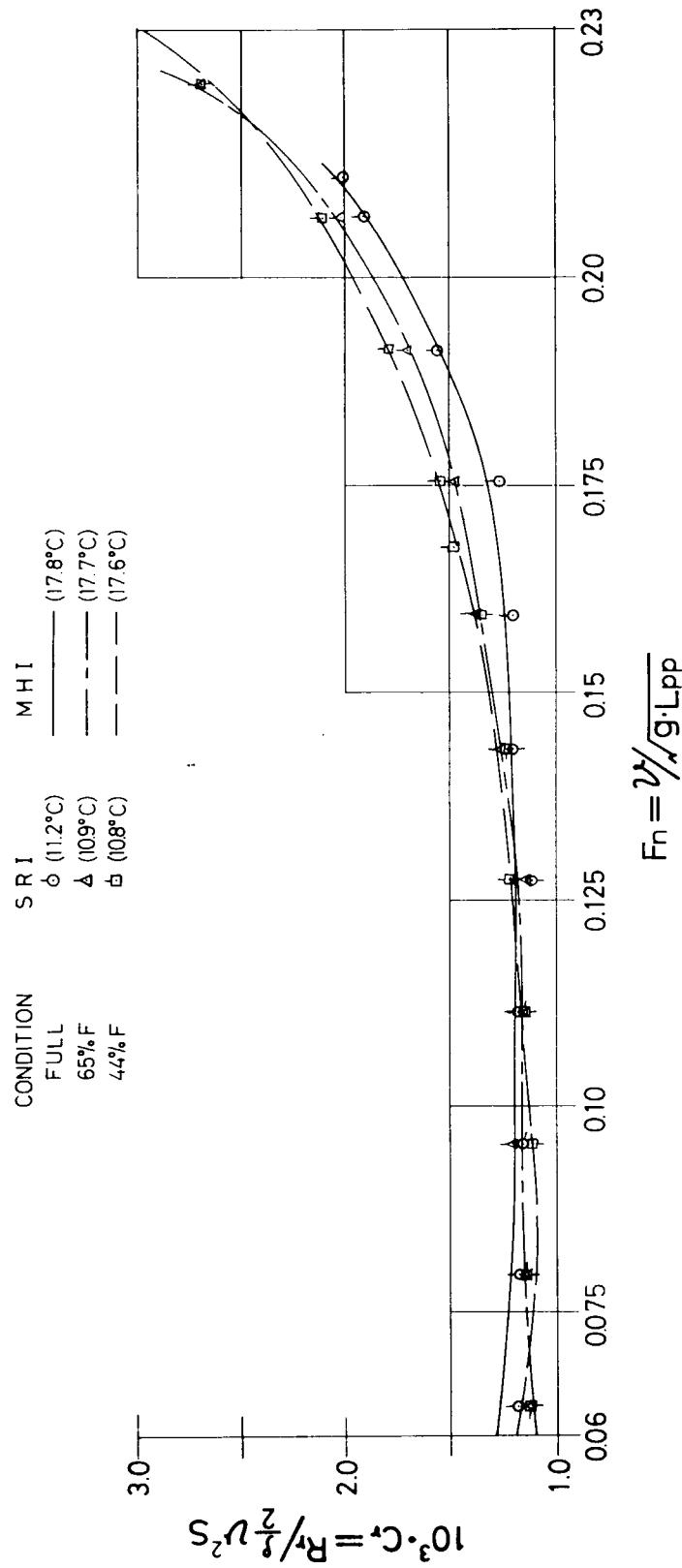


Fig. 5.4.1 Resistance Test Results by Analog-type Resistance Dynamometer

## § 6 実験船・実船実験に関する調査

### 6.1 まえがき

古来実船実験や実験船による実験は造船技術の進歩にとって常に重要な役割を果して來た。船の抵抗・推進の分野のみをみても船の全抵抗  $C_T(R_n, F_n)$  を相等平板の摩擦抵抗  $C_F(R_n)$  と剩余抵抗  $C_R(F_n)$  に分離した Greyhound 号の曳船実験。相等平板の摩擦抵抗をより正確に求めようとした平賀、Kempf から Hughes に至る多くの人々の実験。更に船の全抵抗は  $C_T(R_n, F_n) = C_F(R_n) + C_R(F_n)$  に加えて外板粗度に関する模型船と実船の間の相關補正量  $\triangle C_F$  が必要であると考え、 $\triangle C_F$  を追及した英國造船研究協会 BSRA の Lucy-Ashton 号による大規模な実験。これらが刺激となって Hughes が提唱した  $C_T = C_F(1+k) + \triangle C_F + C_w$  の考え方 ( $C_w$  は造波抵抗) を確めることを目的の一つにし、ドイツ造船界が総力を挙げて取り組んだ実験船 Meteor 号による広範な実験等。これらの実験は夫々従来の  $L/B$  や  $C_B$  をもつ船の問題を解決に向けて一步づつ前進させて來たと云える。

このような趨勢の下で本 SR159 部会の研究として改めて実験船・実船実験に関する調査を行うのは次の理由による。

- (1) 本部会共通の追及テーマは、新経済船型（船の大小を問わず多くの場合、従来の  $L/B$ ,  $C_B$  の範囲を超えて巾広で船尾が肥大化している）の尺度影響と、船尾流場に起る不安定現象の解明であるといえる。そして此の問題は目下、船型試験水槽における各種の実験や理論的研究により解明に努められているが、最終的には実船について何等かの方法で（必ずしも大規模な実船実験や実験船による実験のみに依るとは限らないが）確認する必要があり、これに関して本節の調査は重要な指針を与える。
- (2) 我が国においても近年、主として操縦性に関する巾広の船尾肥大船特有の事象を解明する目的で長大模型による操縦性試験が各所で実施されているが、この種の船に関する抵抗・推進の試験はその実施の困難さのため未だ例は少い。
- (3) 近年試験水槽（船型・運動・耐航）における試験技術の発達により模型船に働く各種流体力成分や流れの場は、より精密かつ詳細に計測が行なわれるようになって來た。その結果、実船では果してどうなっているかという相似性や尺度影響が当然重要な問題となっており、これらについて、従来の実船実験や実験船の結果に加え更に新しい実験が今後必要であろうと考えられる。
- (4) 従来の実船あるいは実験船による諸実験は夫々一応の成果を上げてはいるが、その結果を詳細に検討すると、1つの事実の判明はむしろ新たな問題を提起している場合が可成りあり、現時点でこれらを整理して未来の実験に備える必要がある。
- (5) 現今の厳しい経済状勢の下では勿論のこと、たとえその事情が好転しても実船実験や実験船による実験の機会は極めて限られるであろう。また、たとえその機会が到来しても、この種の実験は綿密な調査・計画と周到な準備なしには実施不可能であるし、実施すべきでもない。そして、その調査・計画・準備には相当な日時と関係者の不断の研究努力の積み上げを要する。

### 6.2 内外における実船実験・実験方法に関する文献調査

本年度は主として総合的な実船実験・実験船による実験を中心として静水中の抵抗・推進性能関係文献の調査を行なった。文献リストは 1950 年代以後のものを主とし、それ以前については比較的よく参考にされるもののを取り上げ項目毎に古い年代より並べてある。また大規模な実船実験については船名を独立した項目として整理した。整理した文献表を Table 6.2.1 に示す。

Table 6.2.1

実船実験、実験船による実験に関する  
参考文献リスト

- ★ 一般的な実船実験、実験船による  
実験、試運転解析
- ★ 実船の伴流、境界層
- ★ 外板粗度・汚損と抵抗増加
- ★ 実船馬力(トルク)計測
- ★ 実船推力計測

§ 一般的な実船実験，実験船による実験，試運転解析

1. Froude, W.: "On Experiments with HMS GREYHOUND". Trans. INA, Vol. 15, 1874.
2. P. Watts, "Speed Trials of HM Torpedo-Boat Destroyer 'Cossack' at Skelmorlie and the Maplin Sands," INA, 1909.
3. Adams, R.R.: Model and Full-size Test of a Single-screw Merchant Vessel, T.S.N.A.M.E. (1929).
4. A.S. Pitre, "Trial Analysis Methods," SNAME, 1932.
5. Saunders, H.E.: Full Scale Trials on a Destroyer, T.S.N.A.M.E. (1933).
6. 出淵 異：船底の汚れに因る船体抵抗の増加，造船協会々報 第55号（1934）
7. Hiraga, Y.: Experimental Investigations on the Resistance of Long Planks and Ships, 造船協会々報 第55号（1934）
8. Hiraga, Y.: "Experimental Investigations on the Resistance of Long Planks and Ships". Trans. INA, Vol. 76, 1934.
9. H. Lacknby, "On the Acceleration of Ships," IESS, 1952.
10. J.P. Comstock and C.E. Hastings, "Raydist Speed-Measuring Equipment on the S.S. 'United States' Sea Trials," SNAME, 1952.
11. J.Th. Verstelle, "Methods of Conducting Ships' Speed Trials," The Journal of the Institute of Navigation, London, England, vol. 6, no. 3, July 1953.
12. Nordstrøm, H.F.: Full Scale Tests with the Wrangel and Comparative Model Tests, S.S.P.A., Nr. 27 (1953).
13. Aertseen, G.: Sea Trials on a 9,500-ton Dead Weight Motor Cargo Liner, T.I.N.A., Vol. 97 (1955).

14. SR 4, Investigation into the Effect of Fouling of Ship's Hull and Propeller upon the Propulsive Performance of a Ship, Report of Shipbuilding Research Association of Japan, Vol. 11, 1956.
15. 須藤彰一：速力試運転における潮流の影響について 関西造船協会誌 91号(1958)
16. 谷口 中 田村欣也：風圧抵抗修正の新しい方法について 西部造船会々報 第18号(1959)
17. Kan, S., Shiba, H., Tsuchida, K., and Yokoo, K., "Effect of Fouling of a Ship's Hull and Propeller upon Propulsive Performance", International Shipbuilding Progress, 1958.
18. 森山茂男：実験艇「むさしの」について 1959 船研秋期講演会前刷
19. 乾崇夫他：高速客船くれなゐ丸におけるWave-Less Bulbの船首波打消しに関する研究（第1報～第3報） 造船協会論文集 第110号 (1961)
20. Prohaska, C.W.: Trial Trip Analysis for Six Sister Ships using a New Method of Analysis, T.N.E.C.I.E.S., Vol. 78 (1962).
21. J.B. Hadler, C.J. Wilson, and A.L. Beal, "Ship Standardization Trial Performance and Correlation With Model Predictions," SNAME, 1962.
22. H. Lindgren, "Ship Trial Analysis and Model Correlation Factors", Meddelanden fran SSPA No. 54 (1963).
23. C.W. Prohaska, "Trial Analysis for Six Sister Ships. A New Method of Analysis", Report No. Hy-2, Hydro-and Aerodynamics Laboratory, Lyngby (1963).
24. H. Lacknby, "The Effect of Shallow Water on Ship Speed," Shipbuilder and Marine Engine-Builder, September 1963.
25. Dermody, J., J. Leiby and M. Silverman: An Evaluation of Recent Research Vessel Construction in the USA. SNAME 1964.
26. 運輸省船舶局：実験船建造のための調査報告書 (1966)

27. I. Antunovic & A. Gamulin, "Correlation of Model Propulsion and Resistance Tests in Towing Tanks of Brodaski Institute with Measurements on Trials", 12th I.T.T.C., Contribution to Performance Committee (1969).
28. H. Lindgren & E. Bjarne, "Analysis of Ship Trial Results Including Propeller Thrust Measurements", 12th I.T.T.C., Contribution to Performance Committee (1969).
29. 運輸省航海訓練所：練習船青雲丸 — 計画から竣工まで — 成山堂 (1969)  
運航技術研究会
30. 岡本 洋他：肥大船型の操縦性試験例と模型船／実船の相関について  
造船学会論文集 131号 (1972)
31. J.R. Scott, "A Method of Predicting Trial Performance of Single Screw Ships", Vickers Report ROTM 72/24 (1972).
32. J. Dawson & B.S. Bowden, "The Prediction of the Performance of Single-Screw Ships on Measured-Mile Trials", NPL Ship Division Report No. 165 (1972).
33. SR 107 「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」  
日本造船研究協会研究資料 N142 (1972)
- 33'. SR 107 Committee 'Investigation into the speed measurements and improvement of accuracy in powering of full ships'. Report No. 73 The shipbuilding Research Association of Japan (1973).
34. 佐藤 茂他：大型模型による幅広船の操縦性に関する研究  
造船学会論文集 134号 (1973)
35. 梶田悦司他：超肥大船型の操縦性能に関する研究  
造船学会論文集 137号 (1975)

\* Lucy Ashton 号

1. Denny, M.E.: "BSRA Resistance Measurements on the Lucy Ashton. Part I-Full Scale Measurements". Trans. INA. International Conference of Naval Architects and Marine Engineers, 1951.
2. Conn, J.F.C., Lackenby, H. and Walker, W.P.: B.S.R.A. Resistance Experiments on the Lucy Ashton. Part II. The Ship-Model correlation for the Naked Hull Condition, TINA., Vol. 95 (1953).
3. H. Lackenby, "BSRA Resistance Experiments on the Lucy Ashton, Part III-The Ship-Model Correlation for the Shaft Appendage Conditions," INA, 1955.
4. S. Livingston, Smith, C.B.E.: B.S.R.A. Resistance Experiments on the Lucy Ashton. Part IV. Miscellaneous Investigations and General Appraisal, T.I.N.A., Vol. 97 (1955).
5. Ghose, J.P.: "Experiments with Roughened Lucy Ashton Geosims". Trans. RINA, Vol. 114, 1972.

\* Victory 号

1. Aertssen. G.: Sea Trials on a Victory Ships A.P. 3, in Normal Merchant Service, T.I.N.A., Vol. 95 (1953).
2. van Lammeren, W.P.A., van Manen, J.D., Lap, A.J.W.: Scale Effect Experiments on Victory Ships and Models. Part I. Analysis of the Resistance and Thrust Measurements on a Model Family and on the Model Boat D.C. Endert Jr., T.I.N.A., Vol. 97 (1955).
3. van Manen, J.D., Lap, A.J.W.: Scale Effect Experiments on Victory Ship and Models. Part II. Analysis of the Wake Measurements on a Model Family and the Model Boat D.C. Endert Jr., T.I.N.A., Vol. 100 (1958).
4. A.J.W. Lap and J.D. van Manen, "Scale Effect Experiments on Victory Ships and Models-Part III and IV," RINA, 1962, discussion by F.H.Todd, p.50.
5. Cheng. H.M. and Hadler. J.B., 'Analysis of NSMB wake survey on Victory ship models'. Marine Technology (1966).

\* Meteor 号

1. Grothues-Spork, H.: Forschungsschiff "Meteor", Meilenfahrt vom 10.7.1964. VWS-Bericht Nr. 289/65.
2. K. Suhrbier: Ruderkraftmessungen und Manövrierversuche und dem Forschungsschiff "Meteor" Schiffbautechnik Gesellschaft Bd. 59 (1965) p.401-427.
3. Grothues-Spork, H.: Modellfamilien-Untersuchungen über das Forschungsschiff "Meteor" und einen Tanker. Jahrb. S.T.G 59 (1965) 161 ff.
4. Weinblum, G., u.O. Krappinger: Forschungsschiff "Meteor"-Entstehung und Zweck. Jahrb. STG 59 (1965) 362 ff.
5. Keil, H.: Messung der vom Propeller induzierten Druckschwankungen am Forschungsschiff "Meteor" und Vergleich mit dem Modellversuch. Jahrb. STG 59 (1965) 368 ff.
6. Albrecht, K., u.S. Heinzel: Kavitationsbeobachtungen am Propeller des Forschungsschiffes "Meteor". Jahrb. STG (1965) 394 ff.
7. Suhrbier, K.: Ruderkraftmessungen und Manövrierversuche auf dem Froschungsschiff "Meteor". Jahrb. STG 59 (1965) 401 ff.
8. Wagner, B.: Windkanalversuche mit dem Modell des Forschungsschiffes "Meteor". IfS-Bericht Nr. 153, 1966.
9. Grothues-Spork, H.: On Geosim Tests for the Research Vessel Meteor and a Tanker, Jahrb. STG 1966. Bd. 59.
10. Suhrbier, K.: Versuchsbericht über Manövrieruntersuchungen auf dem Forschungsschiff "Meteor" im Juli 1964. IfS-Bericht Nr. 168, Juli 1966.
11. Wagner, B.: Windkanalversuche mit dem Model des Forschungsschiffes "Meteor". IfS-Bericht Nr. 153, Februar 1966.

12. Seiler, J., u.H. Thieme: Verzeichnis der vom IfS bis 1967 durchgeführten Versuche für Ruder- und Steuereigenschaften des F.S. "Meteor". IfS-Schrift Nr. 2103.
13. Schuster, S. and Others., Meteor-Meszfahrten 1967, Jahrbuch STG, 62 Band, 1968.
14. Schuster, S., Grothues-Spork, H., Thieme, H., Schwanecke, H. und Wieghardt, K.: Meteor-Meszfahrten 1967, J.S.T.G., 62. Band (1968).
15. Schwanecke, H., 'Meteor-Meszfahrten 1967. Part D "Strömungsfeld im Propeller bereich". Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, Band 62 (1968).
16. Suhrbier, K.: Ruderkraftmessungen und Manövrierversuche auf dem Forschungsschiff "Meteor". IfS-Bericht Nr. 156, Jahrb. STG 59 (1965) 401/27.
17. Grothues-Spork, H., "On Geosim Tests for the Research Vessel Meteor and a Tanker", Trans. IME, Oct. 1965.
18. Grothues-Spork, H.: Forschungsschiff "Meteor" - Meilenfahrten vom 10.7. 1964. VWS-Bericht Nr. 289, 1965.
19. Grothues-Spork, H.: On Geosim Tests for the Research Vessel Meteor and a Tanker. Tagung Inst. Mar. Eng., STG und Inst. Eng. a. Shipb. Scotl. in Glasgow 1965; s.auch Hansa 102 (1965) 1313 und Schiff u. Hafen 17 (1965) 467.
20. Grothues-Spork, H.: Modellfamilien-Untersuchungen über Forschungsschiff "Meteor" und einen Tanker. Jahrb. STG 59 (1965).
21. Grothues-Spork, H.: On Geosim Tests for the Research Vessel "Meteor" and a Tanker. Transact. Inst. Mar. Eng. 77 (1965) 259/78.
22. Strube, H.: Leistungsmessung an Bord des Forschungsschiffes "Meteor", VWS-Bericht Nr. 309/65.

23. Wanger, B.: Windkanalversuche mit dem Model des Forshungsschiffes "Meteor". Inst. f. Schiffbau d. Universität Hamburg, Bericht Nr. 153, 1966.

\* Penelope 号

1. Traill, J.A. and Meek, S.F.: "The Development of the Computer Programs for the Analysis of the Full Scale PENELOPE Wake Survey". Unpublished AEW work.
2. O'Dell, D.T.: "HMS PENELOPE. Dead Ship Tow. The Preparation and Operation of Instrumentation for Wake Survey. Unpublished AEW work.
3. Lloyd, A.R.J.M.: "HMS PENELOPE. Dead Ship Tow and Wake Survey. Part V-Resistance in Head and Following Seas". AEW Report No. 33/71, September 1971.
4. Canham, H.J.S., Resistance, Propulsion and Wake Tests with HMS 'Penelope', RINA, 1974.

## § 実船の伴流，境界層

1. Dove, H.L.: "Wake and Velocity Field of a Destroyer, HMS SAVAGE. Model and Ship Comparison". AEW Report No. 46/58, October 1958.
2. Dove, H.L.: "HMS SCOTSMAN. Wake Survey in the Region of the Propeller in Submerged Trim. Model and Ship Comparison". AEW Report No. 32/61, September 1961.
3. 熊井豊二外 9名：実船における境界層の計測－第1報－九州大学農学部水産調査艇“わかすぎ”による計測について，九州大学応用力学研究所報 第28号(1967)
4. 熊井豊二外 14名：実船における境界層の計測－第2報－鹿児島大学水産学部漁業実習船“南星丸”による計測について，九州大学応用力学研究所報 第28号(1967)
5. 熊井豊二外 14名：実船における境界層の計測－第3報－鹿児島大学水産学部漁業練習船“かごしま丸”について，九州大学応用力学研究所所報 第32号(1969)
6. K. Taniguchi & T. Fujita, "Comparison of Velocity Distribution in the Boundary Layer on Ship and Model", 12th I.T.T.C., Contribution to Performance Committee (1969).
7. Taniguchi, K., Fujita, T.: Comparison of Velocity Distribution in the Boundary Layer between Ship and Model, 日本造船学会論文集第127号(1970)
8. Takahashi, H. and Others., Measurement of Velocity Distribution ahead of the Propeller Disc of the Ship, Journal of the Society of Naval Architects of West Japan, No. 42, 1971.
9. 横尾幸一外 5名：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(1972)
10. 高橋 肇外 7名：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(1972)

11. Yokoo, K., Takahashi, H., Nakato, M., Yamazaki, Y., Tanaka, H., and Ueda, T., "Velocity Distribution ahead the Propeller Disc of the Ship-Measuring Techniques and Comparison with Model Tests", Contribution to the 13th ITTC, 1972.
12. Nanimatsu, M. and Others., Wake Distribution of Ship and Model on Full Ship Form, Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol. 134, 1973.
13. Yokoo, K., 'Measurement of full scale wake characteristics and their prediction from model test results-state of the art', paper presented at the 'Symposium on high-powered propulsion of large ships', Wageningen (1974).

## § 外板粗度・汚損と抵抗増加

1. 斎藤定蔵：船底に附着する生物の研究 造船協会々報 第47号（1931）
2. 出淵 異：船底の汚れに因る船体抵抗の増加，造船協会々報 第55号（1934）
3. Todd, F.H.: "Skin Friction Resistance and the Effects of Surface Roughness". Trans. SNAME, Vol. 59, 1951.
4. Canham, H.J.S.: "Notes on the Recording Analysis and Interpretation of Wall Roughness Gauge Records". BSRA Technical Memorandum No. 79, 1955.
5. Allan, J.F. and Cutland, R.S.: "The Effect of Roughness on Ship Resistance". Trans. NECIES Vol. 72, 1955-56.
6. SR 4: "Investigation into the Effect of Fouling of Ship and Propeller upon the Propulsive Performance of a Ship". Report of Japan Shipbuilding Research Association, Vol. 11, 1956.
7. 木下昌雄：「試運転成績の解析と $\triangle C_f$ の問題について」第1回試験水槽シンポジウム（Nov. 26～27, 1959）
8. Lackenby, H.: "The Resistance of Ships, with special reference to Skin Friction and Hull Surface Condition". Thomas Lowe Lecture. Inst. Mech. Eng, 1962.
9. Wellman, F.: "A Survey of Hull and Propeller Roughness Data". Shipbuilder and Marine Engine-Builder, Vol. 70, July, 1963.
10. 笹島秀雄外4名：船体外板粗度と摩擦抵抗増加に関する実験的研究，造船協会論文集 第117号（1965）
11. 姫野洋司：On the Method of Roughness Analysis of Ship Hull Surface 造船協会論文集 第120号（1966）
12. Chaplin, P.D.: "The Analysis of Hull Surface Roughness Records". European Shipbuilding, Vol. XVI, No. 2, 1967.

13. J.J. Muntjewerf, "Ship-model Correlation and Service Roughness Allowances", Design and Economical Considerations on Shipbuilding & Shipping, Royal Inst. of Engineers, The Netherlands p. 637 (1969).

## § 実船馬力(トルク)計測

1. T. Kobayashi: Application of the Inverse Wiedemann Effect to Torque Measurements and to Torque Variation Recordings. Report of the Aeronautical Research Institute, Tokyo Imperial University. 425 (1929), 1 (1930)
2. 金尾忠義：新案振れ動力計に就て，機械学会雑誌 33巻159号（昭和5年）
3. G. Kempf: Measurements of the Propulsive and Structural Characteristics of Ships. Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers, 40, 45 (1932)
4. 研野作一：研野式振計，造船協会々報，54号（昭和9年10月）  
S. Togino: Optical Torsionmeter. Congrès Inter. des Direct. de Bassins, Paris, Oct., 1935
5. 松本英一：松本式振り動力計，日本光学工業株式会社（昭和10年）
6. 浜部源次郎，長尾不二夫，渡辺輝雄：新振り動力計，機械学会論文集，1巻3号（昭和10年8月）
7. 研野作一：研野式光学振計，精密機械，3巻6号（昭和11年10月）
8. Direct Reading S.H.P. Meter. Shipbuilding and Shipping Record, 51, 755 (1938)
9. Meter for Measuring Shaft Horse Power. Marine Engineering and Shipping Review, 44, 176 (1939)
10. 海老原敬吉：圧電気を応用せる振り動力計，機械学会論文集，6巻22号（昭和15年2月）
11. W.C. Hall: A New Type of Power-Torque Meter. Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engines, 48, 320 (1940)
12. 上野亨：誘導子型発電機を応用せる振り動力計，電気評論 31巻8号（昭和18年）

13. A.V. Merchon and A.L. Ruiz: The General Electric Marine Shaft Horsepower-Hour Meter. Marine Engineering and Shipping Review, 56, 45, June (1951)
14. S. Togino: The Latest Type of Togino's Optical Torsionmeter. Abstract Notes and Data concerning the Subjects at the Six International Conference of Ship Tank Superintendents, 64 (1951)
15. M. Kinoshita: A New Torsionmeter of the Magneto-Striction Type and a Shaft-Horsepower-Meter. Abstract Notes and Data concerning the Subjects at the Sixth International Conference of Ship Tank Superintendents, 55 (1951)  
木下昌雄, 岡田正次郎, 斎藤禎三郎: 軸馬力計の試作研究, 日立造船技報, 12, № 5, 18 (1951); 13, № 1, 6 (1952)
16. 寺山他 2 名: 無接触方式による新らしい船用馬力計 三井技報 第 61 号 ( )
17. 山口他 3 名: 無接触方式による船用軸馬力計 三菱技報 vol. 3, № 2, ( )
18. ① 伊丹: ねじり動力計 商船大学研究報告 昭 27-8 (従来の研究文献名多数あり)  
② 伊丹: 電気式船用積算軸馬力計に関する基礎研究 商船大学研究報告 昭 28-11  
③ 伊丹: 電気式船用積算軸馬力計に関する実験的研究 (英文) 商船大学研究報告 昭 29-9  
④ 伊丹: 電気式船用積算軸馬力計の特性改善に関する研究 商船大学研究報告 昭 30-10  
⑤ 伊丹: 電気式船用積算軸馬力計の海上試験 商船大学研究報告 昭 31-10  
⑥ 伊丹: 電気式船用積算軸馬力計の完成 (英文) 商船大学研究報告 昭 32-9  
⑦ 伊丹: 電気式船用積算軸馬力計について計測 第 7 卷第 9 号 昭 32-9  
⑧ 伊丹: 電気式船用積算軸馬力計について船舶 第 30 卷第 8 号 昭 32-8  
⑨ 伊丹: 電気ねじり動力計 電気学会論文集 昭 27-5  
⑩ 伊丹: ねじり動力計の展望と新電気式ねじり動力計 電気学会講演論文集 昭 27-10  
⑪ 伊丹: 電気式積算軸馬力計 電気学会講演論文集 昭 28-5  
⑫ 伊丹: 船用積算軸馬力計の電気的特性 電気学会講演論文集 昭 28-10  
⑬ 伊丹: 電気式船用積算軸馬力計に関する基礎研究 電気学会講演論文集 昭 29-5

- ⑯ 伊丹：電気式舶用積算軸馬力計に関する実験的研究 電気学会講演論文集  
昭29-10
- ⑰ 伊丹：電気式舶用積算軸馬力計特性改善 電気学会講演論文集 昭30-5
- ⑱ 伊丹：電気式舶用積算軸馬力計の試作研究 電気学会講演論文集 昭31-4
- ⑲ 伊丹：電気式舶用積算軸馬力計の海上試験とその応用 電気学会講演論文集  
昭32-4
- ⑳ 伊丹：日本郵船駿河丸に装備した電気式舶用積算軸馬力計 電気学会論文集  
昭32-11
- ㉑ 伊丹：電気式舶用積算軸馬力計の試作 日本機械学会講演前刷 昭30-11
- ㉒ 伊丹：電気式舶用積算軸馬力計の電気的特性 日本機械学会講演前刷 昭31-4
- ㉓ 伊丹：電気式舶用積算軸馬力計の海上試験 日本機械学会講演前刷 昭32-4
- ㉔ 伊丹：日本郵船駿河丸に装備した電気式舶用積算軸馬力計 日本機械学会講  
演前刷 昭33-4

## § 実船推力計測

1. 橋本：船用機関の効率とスラスト測定について 造船協会々報 21号(1917)
2. Adams, R.R.: Thrust Measurements on the S.S. Clairton, T.S.N.A. M.E. (1930).
3. 甘利：推進器の Cavitation について（付推力指示装置） 造船協会々報 49号 (1932)
4. H.E. Saunders: Measurment of Propeller Thrust on Shipboard. SNAME Vol. 42, 1934. (これより以前の文献表付)
5. G. Aertssen: Sea Trials on a 9,500-ton D.W. Moter Cargo Liner. TINA 1955.
6. 日本造船研究協会：船体および推進器の汚損が推進性能に及ぼす影響に関する研究 日本造船研究協会報告書 11号 (1956)
7. G.A. Aertssen: New-Sea Trials on the Sandblasted Lubumbashi. RINA 1959.
8. 長野：トルク及びスラストの計測，三井技報 30号 (1960)
9. M. Kinoshita, S. Okada & S. Sudo, "Experimental and Analytical Results of Thrust Measurements on Actual Merchant Ships", 4th Symposium on Naval Hydrodynamics, Washington (1962).
10. 須藤他2名：実船におけるスラストの測定 造船協会論文集 111号 (1962)
11. 白石：国鉄型船舶主軸推力計について 造船協会論文集 116号 (1964)
12. A.J. Couchman, J. Morrison: Mean and Variable Thrust Measurements. A comparison using Pressure Transducer and Electric Strain-Gauge Load Cells. BSRA Rept. NS. 44 No.31 ( )

13. J. Morrison, A.A. Catchpole: Strain Gauge Load Cells for the Measurement of Thrust at Propeller-Shaft Thrust Blocks. BSRA Rept. NS 35 Marine Engineering Rept. No. 26. (1964)
14. H.I.S. Allwood, J.W. Drinkwater: The stability of acoustic extensionmeters designed to measure the thrust in a ship propeller shaft. Jour. of Physics E; Scientific Instruments, 1971 Vol. 4.
15. S. Hylarides., Thrust Measurement by Strain Gauge without the Influence of Torque, Shipping World Shipbuilder, Dec. 1974.
16. 日本造船研究協会：高速コンテナ船の馬力推定法の精度向上に関する研究  
日本造船研究協会報告書 183号 (1973)  
同 上 220号 (1975)
17. 笹島，田中，仲渡，鈴木，岸本：実船用推力計の試作ならびに計測例  
関西造船協会々誌 第158号 昭50.9

### 6.3 実験に関する調査

海上において、実船もしくは大型模型船を使って実験を行った例は多種多様であるが、それらを大別すると下記のようになる。

#### (A) 専用実験船

(i) 実験の目的で建造された船舶もしくは実船を実験用に改造した船舶。例としては、

Greyhound(英)、夕立(日)、Victory(英)

Lucy Ashton(英)、Wrangel(スウェーデン)

Meteor(独)、Penelope(英)等

(ii) 長大模型船：近年我が国において実験用に建造された15mから30mの船舶で、一般に実船の縮尺模型である。

例：かわさき(川崎重工)、マーガレット・クローバー(石川島播磨)

ありあけ(日立造船)、だいおう(日本鋼管)

#### (B) 実用船を一時的に実験船として使用し、大規模な実験を行ったもの。

例：やよい丸、青雲丸、深江丸、かごしま丸等

#### (C) 試運転時に、通常の試運転項目に追加して特別な実験を行ったもの。

例：大進丸、新鶴丸、龍光丸等

#### (D) 通常航海中に実験・計測を行ったもの。

例：日聖丸等多数

上記の分類で主に(A)に属する長大模型船で行われた実験に関する調査結果をTable 8.1.1.Fig 8.3.1～8.3.5に示す。なお表中、参考のために(B)に属する船ではあるが、網羅的に実験が行われたやよい丸のデータも併せて記入してある。これらの調査を通して、気付いた事項を次に記す。

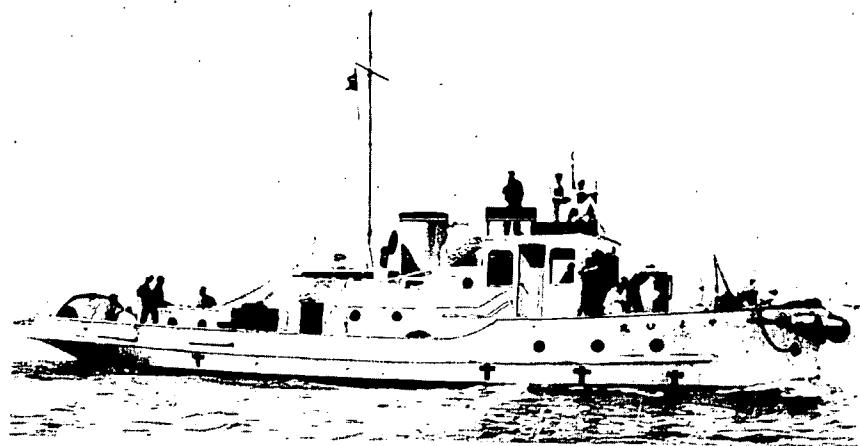
- (1) 長大模型船といつても海上において実験航行するため、一般の船舶と同様船舶安全法をはじめとする関係法規の適用を受ける。今回調査した例では、いずれも平水区域航行の区分に入っている。
- (2) 実験はその大部分が船舶の巾広肥大化が操縦性におよぼす影響を調べる目的で行われている。抵抗、推進性能に対する影響調査を試みた例は少い。これは船長30m以下程度の船舶では、船体運動が自然環境の外乱に応答しやすく、推力、抵抗等の測定に良好な実験状態を得難いためと思われる。
- (3) 操縦性に関する実験結果は個々の船型に関しては、それぞれ有効な結論を得ているようであるが、操縦性能における尺度影響や異常現象等に関してはなお多くの問題が残されており、相互に相反する結果すらみられる。
- (4) 実験はいずれも5月から10月の間の平穏な日を選んで実施されているが、大略実験予定期間の日数の約50%が実際に実験可能な日数であった。
- (5) 長大模型船の場合、操舵室等上部構造が実船より相対的に過大となる傾向があり、そのため風の外乱を大きく受けやすい。しかも風の影響を実験結果から除くのも困難である。
- (6) 対水速度の計測は、翼車型もしくはピトー管型の流速度を船体から突出して測る方法が取られているが、船体の影響が入ってしまうので、正確な値を把握するには十分な注意を要する。又船位置、対地速度の計測は陸上からの目視およびマイルポストを用いる方法が大部分であったが、電波測量を使用した例もある。
- (7) 船体が長期間海水に浸るため、ふじつぼ等の生物の付着が生じ、外板粗度の変化となって計測結果に影響をおよぼす。これを防止する手段としては、いずれの場合でも塗装および洗浄を十分行う方法に依っている。

前記分類で(B)、(C)に属する船で行われた実験は多数にのぼるが、それらのうち境界層内流速分布の計測方法、実船プロペラのキャビテーションの観測方法はほぼ確立されたと見なされ、実船スラストの計測はほとんど実用化に近づいていると云える。

Table 6.3.1 近年我が国で実施された長大模型船による実験例

	やよい丸	かわさき	マーガレット	クローバー	ありあけ	だいおう
全長 Loa (m)	19.866	15.	31.7	31.7	30.96	26.235
垂線間長 Lpp (m)	18.288	14.5	30.0	30.0	29.90	25.025
型幅 B (m)	4.284	2.360	5.0	6.0	5.98	4.55
型深 D (m)	2.414	1.100	2.70	2.70	2.40	2.80
計画喫水 T (m)	1.934	0.896	1.90	1.90	1.89	1.513
トリム	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ob	0.540	0.810	0.83	0.80	0.829	0.836
Cp	0.584	0.820	0.831	0.810	0.830	0.838
Cx	0.925	0.990	0.999	0.999	0.999	0.997
Cw	—	0.88	0.89	0.89	0.916	0.888
Cvp	—	0.92	0.93	0.90	0.905	—
B/T	2.22	2.66	2.63	3.01	3.16	3.0
L/B	4.64	6.12	6.0	5.0	5.0	5.5
Lcb(%)		-2.33			-2.91	-3.1
排水量 (t)	78.6	25.8	244.6	295.0	290.0	148.0
浸水面積 (m <sup>2</sup> )	95.0				259.8	167
縮率 α	1.	16.9	10.	11.3	—	15
最高速力 (Kt)	10.	4.	5.1	4.7	5.	4.1
主機型式	ディーゼル (船用)	ガソリンエンジン (自動車用)	ディーゼル	ディーゼル	ディーゼル	ディーゼル電気
馬力 (ps)	200.	45.	90	90	40.	53
回転数 (rpm)	380.	360.	1,800	1,800	340	440
プロペラ個数×翼枚	1 × 3	1 × 3	1 × 5	1 × 5	1 × 6	1 × 5
プロペラ直径 (m)	1.265	0.410	0.836	0.845	0.828	0.627
ピッヂ比	0.777	0.75	0.72	0.67	0.6995	0.616
ボス比	0.182	—	0.18	0.18	0.18	0.16
展開翼面積比	0.438	—	—	—	0.65	0.605
翼断面形状	—	—	MAU	MAU	A U	MAU
補助推進装置型式	なし	なし	なし	なし	船外機 (ガソリン) 2台	船外機 (電動)
タク馬力	タ	タ	タ	タ	ps 40 × 2	Kw 5.5 × 2

		やよい丸	かわさき	マーガレット	クローバー	ありあけ	だいおう
舵型式		逆G型	逆G型	逆G型	逆G型	マリナ型	逆G型
舵面積(m <sup>2</sup> )		—	0.186	0.9296	0.6528 1.2083	1.35	0.749
縦横比		—	1.56	1.85	1.36 2.51	1.32	1.82
主要副部		ビルジキール	ビルジキール	ビルジキール	ビルジキール	ビルジキール	ビルジキール
風圧側面積(m <sup>2</sup> )		56.67	15.58			27.2	28.0
水面下側面積(m <sup>2</sup> )			13.0			55.7	38.0
KG(m)						1.14	1.05
KB(m)						0.98	0.81
GM(m)						1.09	0.82
実施した試験項目	操縦性試験		○	○	○	○	○
	抵抗試験	○				△	△
	自航試験	○		△	△	△	△
	伴流計測	○		○	○		
使用した対水速度計		志波式ログ、 ピトー管	翼車型	3孔ピトー管	3孔ピトー管	翼車型	翼車型 ピトー管
運動軌跡 対地速度の計測法		マイルポスト	目視	目視 マイルポスト	目視 マイルポスト	目視 マイルポスト	電波測量
実験実施期間		27年8月～10月 28年5月～10月	45年7月～11月	47年5月～ 48年10月	47年5月～ 48年10月	47年8月～11月 48年7月～9月	49年7月～9月 50年7月～8月
実験可能日数			50%	30%	30%	50%～80%	50%
実験海域		折戸湾	神戸港、坂出港	根岸湾	根岸湾	舞鶴湾	津港
海域の潮差(m)		—	—	0.7	0.7	微少	1.5
水深(m)		10以上	7以上	13	13	12～20	8
船体外板洗浄回数		—	カキ附着防止塗料	1回／3週	1回／3週	1回／5日	1回／1週



Training Ship "YAYOI MARU"

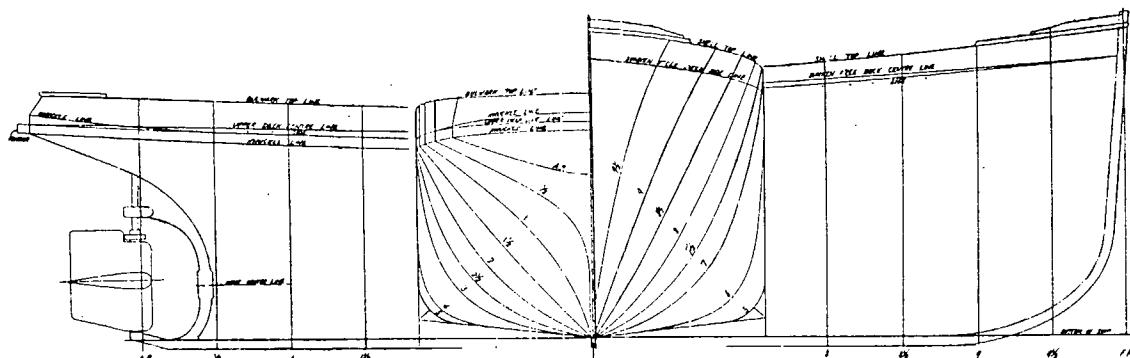
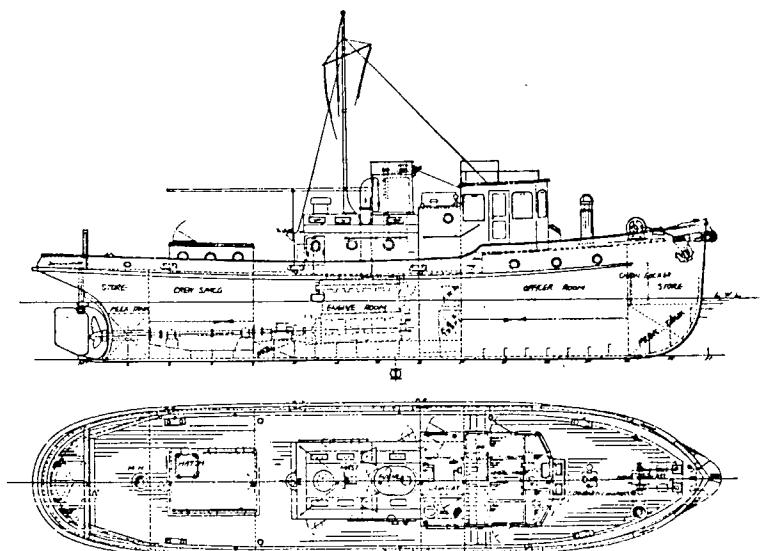


Fig. 6.3.1 やよい丸 全景，一般配置図，線図

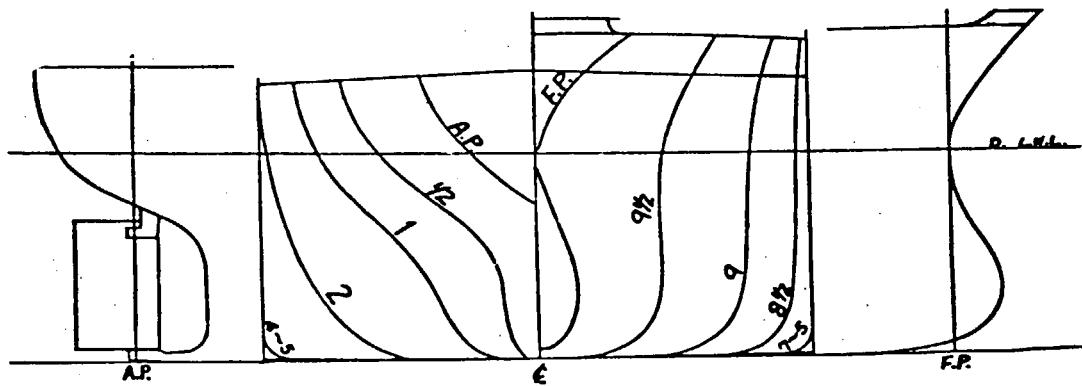
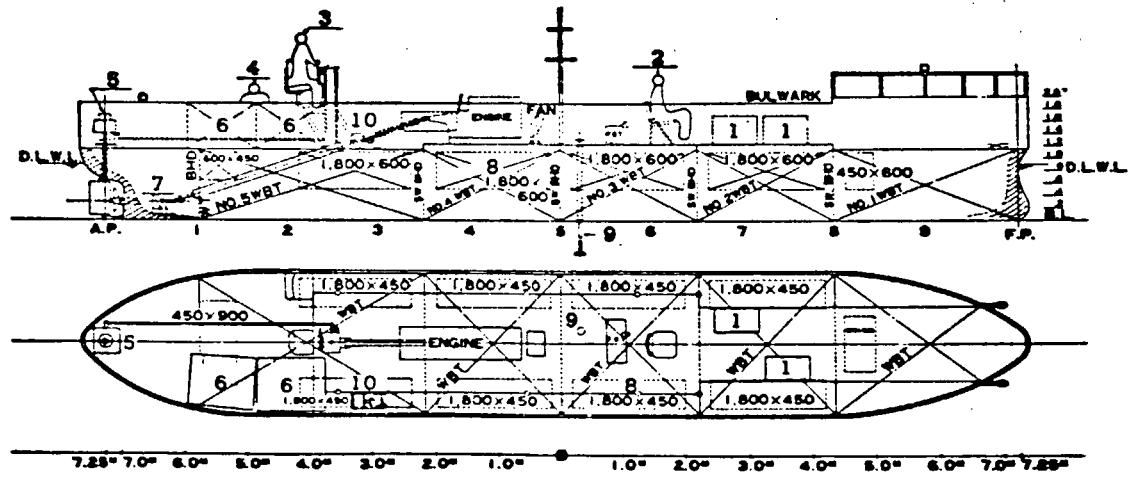
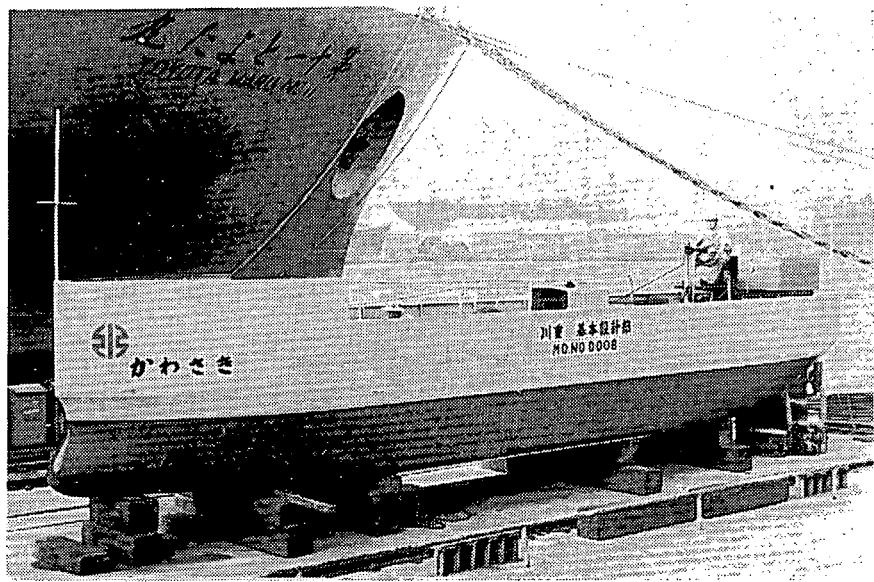
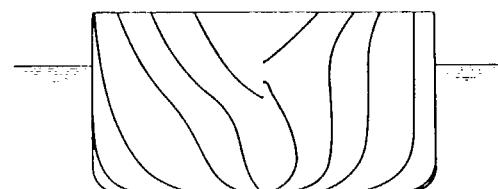
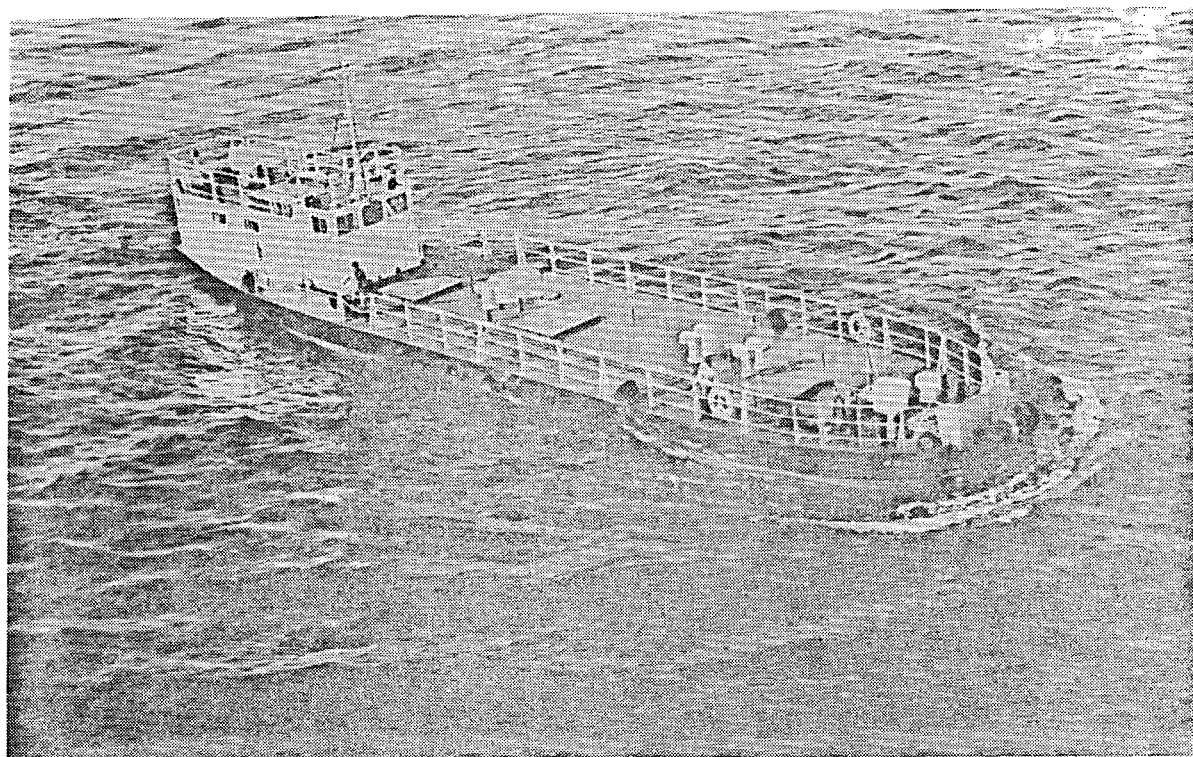


Fig. 6.3.2 かわさき 全景，一般配置図，線図



正面横断図 ( $L/B=6.0$ )

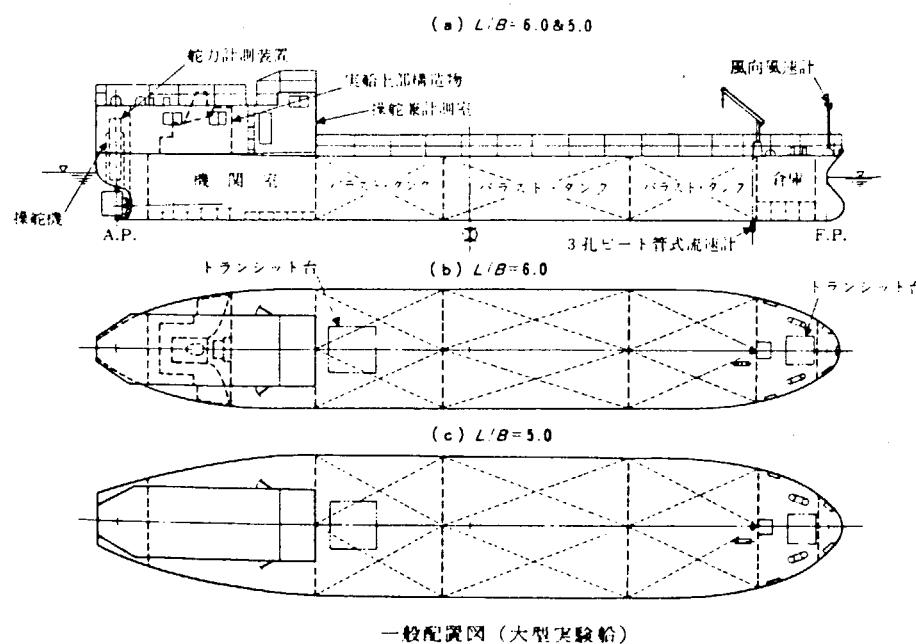


Fig. 6.3.3 マーガレット, クローバー 全景, 一般配置図, 線図

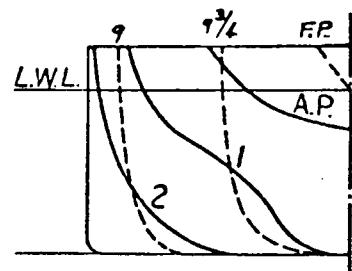
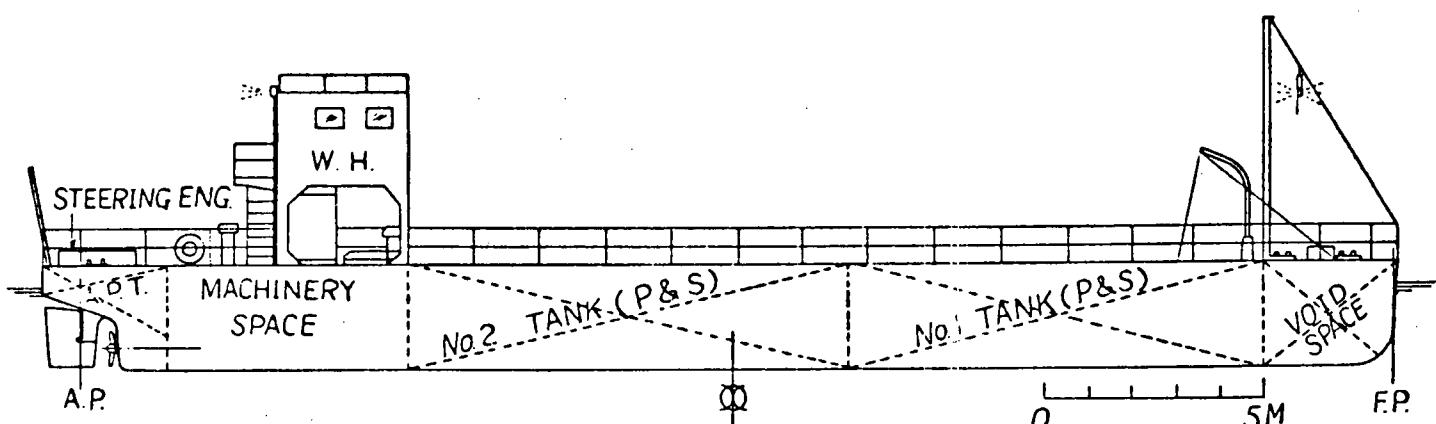
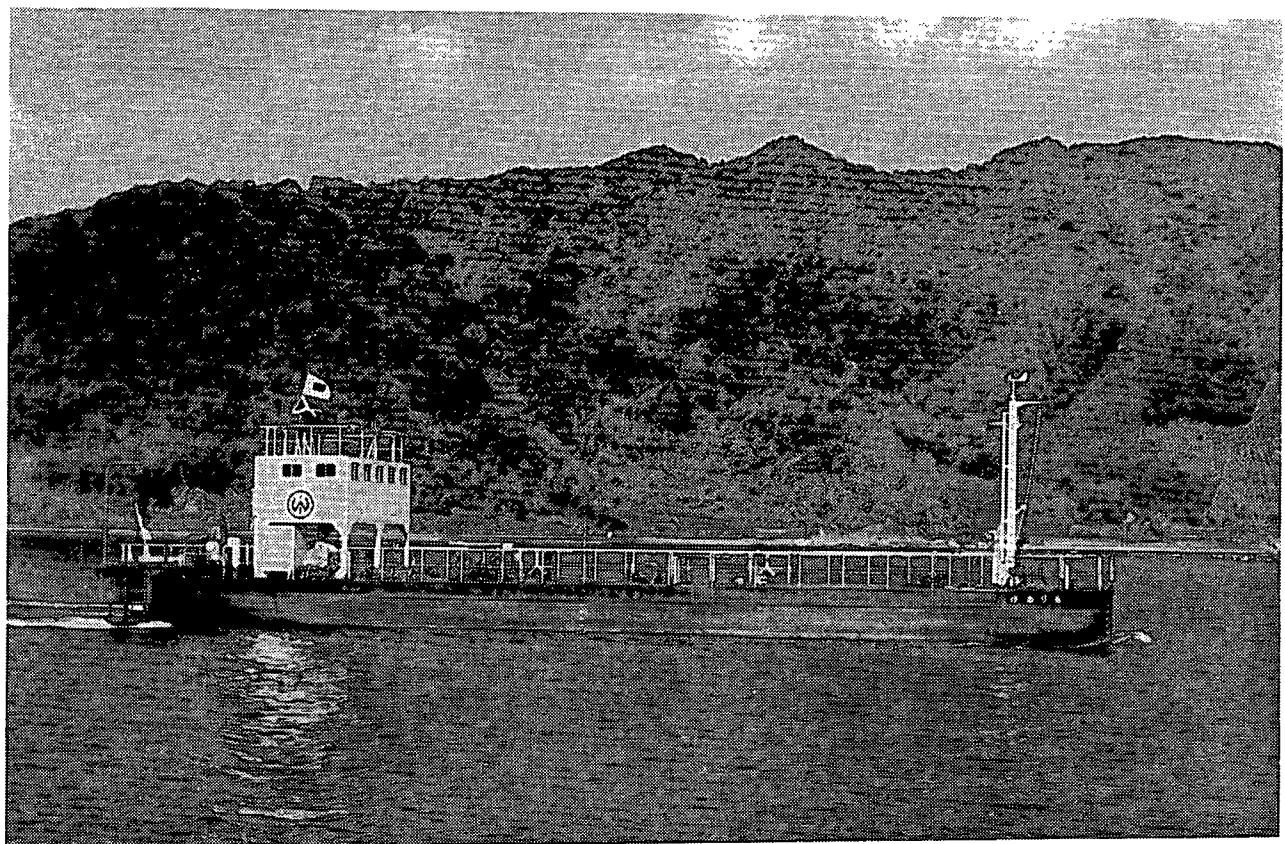


Fig. 6.3.4 ありあけ 全景，一般配置図，線図

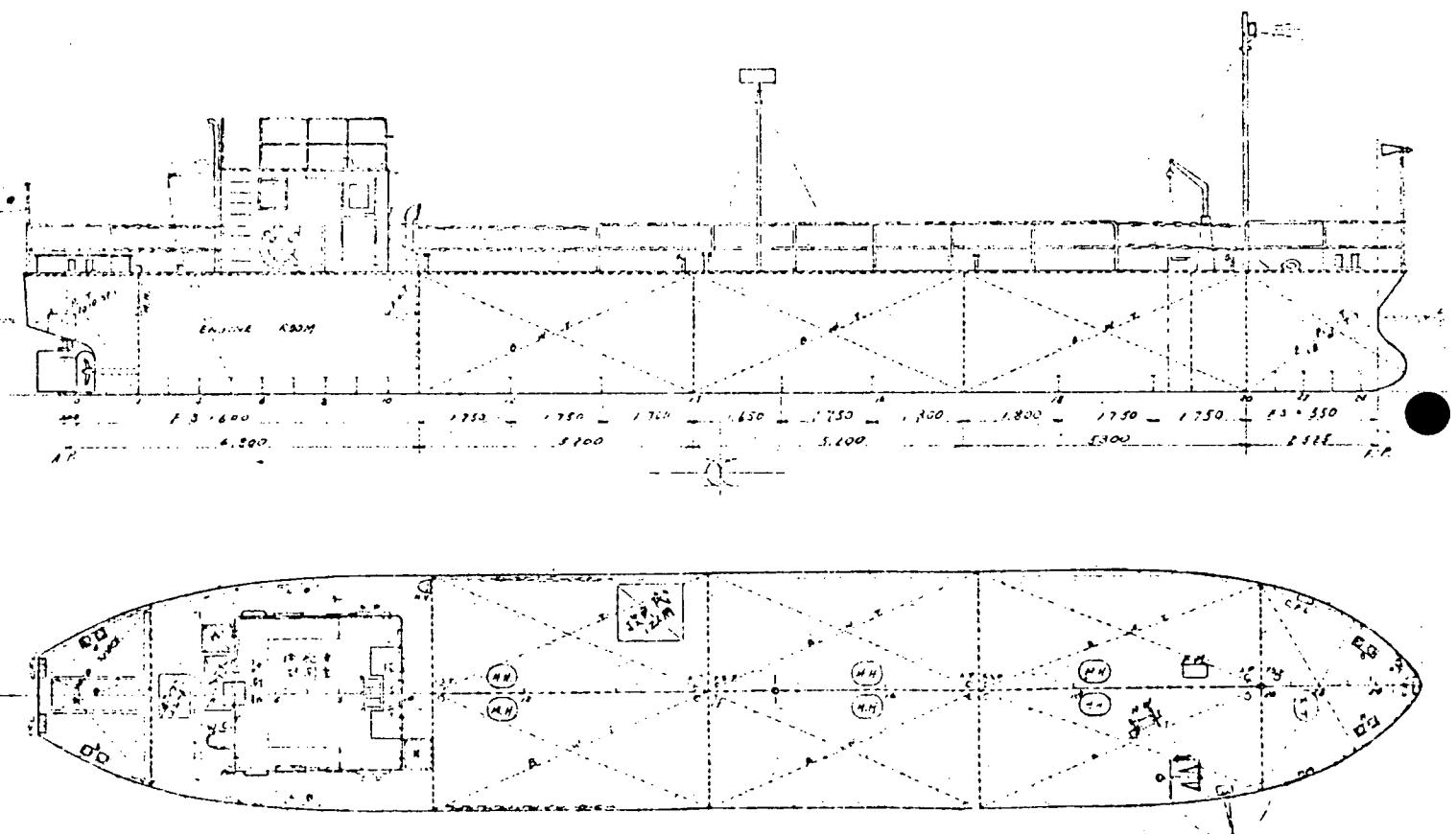
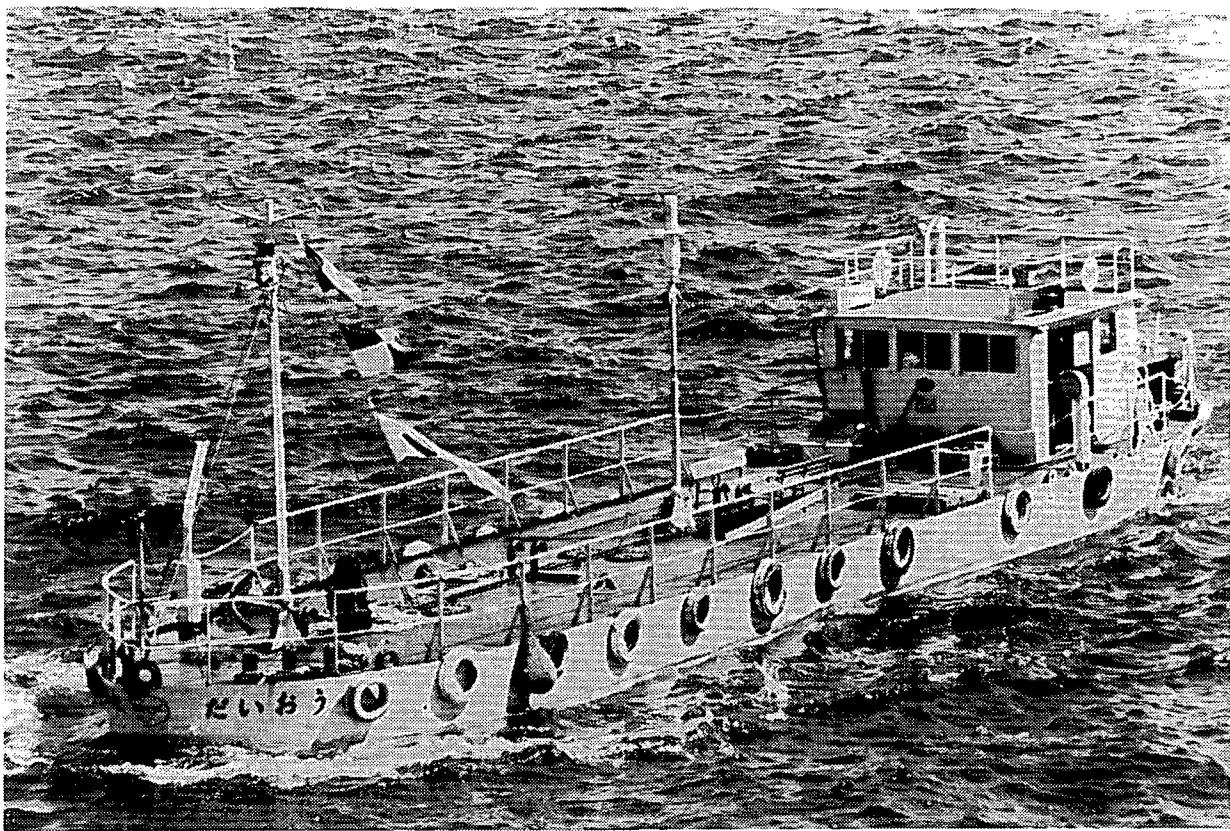


Fig. 6.3.5 だいおう 全景, 一般配置図

## 6.4 実験場に関する調査

実船実験あるいは実験船による実験をどこの海域で実施するか、という問題はその実験の成否を決める最重要事と云っても過言でない。殊に今後いつの日かは必ず実施されるであろう平水中の抵抗、自航性能に関する実験にとって、実験場の選択と調査は現在より開始しておくべきである。

### 6.4.1 実験海域の具備すべき条件

実験場となる海域の具備すべき条件を次に列記してみる。

- (I) 静穏な海象の日数が多く、風、波共に遮蔽されている。
- (II) 適当な広さと水深を有す。(実験船の大きさ速力にもよる)
- (III) 研究実施機関や協力機関から近く仮泊港からも近いところ。
- (IV) 潮流、潮差が少く、潮流はたとえ存在しても単純であること。また外海のうねりは直接入って来ないところ。
- (V) 困難なことではあるが航行船の少いところ。
- (VI) 地元の協力が得られるところ。

### 6.4.2 広島湾附近海域の調査の経緯

広島湾附近は気象・海象共に静穏、しかも交通の便の良いため、まずこの附近に的をしぼり、気象・海象の資料が何処にどれくらい存在するかを調べてみた。一般に気象庁の各気象台では沿岸3マイルの海域を受持範囲として地上風に関する風向、風速、気温、天候のデーターは大体揃っている。しかし、海に関しては瀬戸内海は神戸海洋気象台の管轄下にあって局地的には極めて乏しい資料しか存在しないことが判明した。

瀬戸内海の潮汐に関しては、潮高は海上保安庁の各管区でかなり多くの資料を持っている。また保安庁関係機関所在地では風向、風速の記録もあると聞いたが、連続記録ではなく、強い風を主にした記録のようである。

本土、四国との間の架橋に関連し、公団が各ルートの架橋予定地点において海拔10m～40mの範囲の風向、風速の観測を行っている(向島のめかり瀬戸、大三島の多々羅、今治市の糸山、来島海峡の中渡島)とのことであるが多額の費用を投じた観測であるためデーターの簡単な入手は望めない模様である。

さて、広島湾附近では広島港外江波沖に広島県農林事務所が観測ステーションを設置しており、風速、風向、潮高の連続記録をとっていることが判った。また、江田島の海上自衛隊術科学校には気象、海象の記録があることが判明した。

一方、海事関係者の話を総合して海図上で判断すると広島湾近辺で実験場候補となりそうな海域は広島市西部埋立予定地沖、江田島東部大柿附近、江田島湾、の三ヶ所が考えられ、夫々海および陸路より実地調査を行った結果市の西部沖は広島湾内ではあるが他の2ヶ所に比べて風浪を直接受け、水深も7～10m程度で若干浅いこと、大柿附近は早瀬の瀬戸に近く潮流がかなりの速度で流れしており、また呉港外の係船場となっていることから残りの江田島湾が3ヶ所のなかでは最良と判断した。(Fig 6.4.13)

江田島湾はほとんど四周山に囲まれた天然の良海域で、どの方向の風からも遮蔽されており、潮流の詳細は不明であるが関係者の話によると複雑ではないようである。同湾には海上自衛隊術科学校(旧海軍兵学校)があり、昔湾内には艦艇の試運転コースがほぼ南北に設定されていたことも判った。ただし標柱は現存しない。実験海域として利用出来る広さは南北約2000m、東西約1200mと推定される。(湾にかき筏があるため矩形となる)水深は18～20mありかなり深い。現在海上自衛隊が訓練海域としているから漁業権の問題もさほど困難ではないと思われた。

#### 6.4.3 江田島湾の気象・海象の調査

海上自衛隊呉地方総監部および術科学校関係者の好意により江田島湾の最近 3 ケ年（昭和 47.4.8.49 年）の気象・海象の記録の閲覧を許された。記録には毎日 6 時より 20 時までの 2 時間毎の風向、風速、風浪、天気、気温が記されている。この記録は江田島湾常備のある艦船が行ったもので、7 月、8 月、9 月は湾外航海を行ったため、この 3 ケ月は各 2 年分の記録のみである。

この記録を月毎に整理し、更に 3 ケ年分の合計頻度と平均頻度の表を作成したものを Table 6.4.1 に示す。本表には 6 時より 20 時までの各 2 時間おきの頻度が示されているから、通常の実験実施時間帯をカバーしている。

前記、各月の表の最下欄には風向、風速、風浪、天気、気温の各項目毎にその月の合計頻度を 100 とした百分率を記してある。これを図表化したものを Fig 6.4.1～6.4.12 に示す。ただし、上記数表および図表作製時、昭和 49 年の気象が他の年と傾向を異にすると思われる 1 月、3 月、5 月、12 月については、昭和 47 年、48 年の 2 ケ年分のみの記録整理も試みたが 3 ケ年分と比べて大差ないため図表中に点線にて示すにとどめた。

この調査結果が示すように天候は快晴、晴が圧倒的多く、風速も  $0 \sim 2 \text{ m/sec}$  が 50 % を越えている。風浪階級も 0～1 が大部分である。本記録での風浪階級 0 はベタナギ、1 は波高 10 cm 内外、2 は波高 30～40 cm 程度である。風向と気温は季節による変化が明瞭に表されている。

以上の諸調査の結果、江田島湾は実船実験や実験船による実験にとって利用可能な候補海域であるといえる。

Table 6.4.1

		観測日数	
昭和47年		27日	
+8		29	
+9		31	
合計		87	

1月

各時刻の上欄の数字は3年間の合計頻度数を  
下欄の数字は3年間の平均頻度数を示す。

時 刻	風								風 混				天 気						気 温												
	風 向				風 速				階 級		○	①	②	③	④	●	⊗	0° 以下	0°~ 5°	5°~ 10°	10°~ 15°	15°~ 20°	20°~ 25°	25°~ 30°	30° 以上						
	NW	N	NE	E	S E	S	SW	W	0~2	2~5	5~10	10以上	0	1	2	2以上	快晴	晴れ	曇	霧	煙霧	雨	雷								
6	11	3	2	1	0	0	2	8	0.3	1.7	5	1	5.8	2.6	1	1	22	32	24	1	8	0	1	6.3	2.1	0	1				
	3.66	1	0.66	0.33	0	0	0.66	2.66	2.1	5.66	1.66	0.33	19.3	8.66	0.33	0.33	7.33	1.06	8	0.33	2.66	0	0.33	2.1	7	0	0.33				
8	16	6	6	3	0	0	1	4	5.6	2.3	7	0	4.9	3.2	5	0	22	28	25	1	11	1	1	5.4	2.9	2	1				
	5.33	2	2	1	0	0	0.33	1.33	1.86	7.86	2.33	0	1.63	1.06	1.86	0	7.33	9.33	8.33	0.33	3.66	0.33	0.33	1.8	9.66	0.66	0.33				
10	25	12	5	1	2	0	2	11	3.6	3.3	12	7	2.8	4.5	8	5	18	31	26	1	11	0	0	1.9	5.7	10	1				
	8.33	4	1.66	0.33	0.66	0	0.66	3.66	1.2	1.1	4	2.33	9.33	1.5	2.66	1.66	6	1.03	8.66	0.33	3.66	0	0	6.33	1.9	3.33	0.33				
12	21	8	7	2	2	3	6	9	3.4	3.1	15	6	3.0	4.2	9	5	10	37	28	1	10	0	0	7	4.9	3.0	1				
	7.266	2.33	0.66	0.66	1	2	3	11.3	10.3	5	2	1.0	1.4	3	1.66	3.33	12.3	0.33	0.33	3.33	0	0	2.33	1.63	1.0	0.33					
14	21	4	9	2	2	4	6	8	3.5	2.7	19	6	3.3	3.7	13	3	12	37	30	0	8	0	0	5	4.6	3.3	4				
	7.133	3	0.66	0.66	1.33	2	2.66	11.6	9	6.33	2	11	12.3	4.33	1	4	12.3	1.0	0	2.66	0	0	1.66	1.5.3	11	1.33					
16	22	6	3	3	7	4	7	7	3.2	3.1	21	3	3.0	4.5	7	4	13	35	32	0	7	0	0	6	5.0	2.9	2				
	7.33	2	1	1	2.33	1.33	2.33	2.33	1.06	10.3	7	1	1.0	1.5	2.33	1.33	4.33	11.6	10.6	0	2.33	0	0	2	1.66	9.66	0.66				
18	12	4	10	3	1	1	4	8	5.1	1.9	15	2	4.3	3.3	7	3	17	40	20	0	10	0	0	1.3	6.0	1.8	0				
	4.133	3.33	1	0.33	0.33	1.33	2.66	1.7	6.33	5	0.66	14.3	11	2.33	1	5.66	13.3	6.66	0	3.33	0	0	4.33	2.0	4.33	0					
20	10	4	9	4	0	0	0	10	6.4	11	8	1	4.9	3.3	1	2	15	39	24	0	8	0	0	30	5.2	4	0				
	3.33	1.33	3	1.33	0	0	0	3.83	2.13	3.66	2.66	0.33	16.3	11	0.33	0.66	5	13	8	0	2.66	0	0	10	1.73	1.33	0				
合計	138	47	51	19	14	12	28	65	371	192	102	26	320	293	51	23	129	279	209	4	0	73	1	2	197	364	121	10	0	0	0
%	37	13	14	5	4	3	7	17	53	28	15	4	47	43	7	3	19	40	30	1	0	10	0	0	28	53	17	2	0	0	0

374

691

687

695

694

Table 6.4.2

		観測日数	
昭和47年		29日	
+8		28	
+9		28	
合計		85	

2月

各時刻の上欄の数字は3年間の合計頻度数を  
下欄の数字は3年間の平均頻度数を示す。

時 刻	風								風 混				天 气						気 温									
	風 向				風 速				階 級		○	①	②	③	④	●	⊗	0° 以下	0°~ 5°	5°~ 10°	10°~ 15°	15°~ 20°	20°~ 25°	25°~ 30°	30° 以上			
	NW	N	NE	E	S E	S	SW	W	0~2	2~5	5~10	10以上	0	1	2	2以上	快晴	晴れ	曇	霧	煙霧	雨	雷					
6	10	5	3	5	0	0	2	8	6.2	9	11	3	5.5	2.0	7	0	13	31	28	1	0	13	0	2	5.3	2.3	4	
	3.33	1.66	1	1.66	0	0	0.66	2.66	2.06	3	3.66	1	18.3	6.66	2.33	0	4.33	1.03	9.33	0.33	0	4.33	0	0.66	17.6	7.66	1.33	
8	14	6	4	6	1	0	2	5	5.6	14	11	4	5.1	2.4	6	1	19	21	32	1	0	12	1	4	4.0	3.2	6	
	4.66	2	1.33	2	0.33	0	0.66	1.66	1.86	4.66	3.66	1.33	17	8	2	0.33	6.33	7	1.06	0.33	0	4	0.33	1.33	1.33	1.06	2	
10	17	3	9	4	3	3	5	8	4.0	19	19	8	3.4	3.2	12	5	16	26	33	1	0	9	1	0	1.4	5.4	1.4	
	5.66	1	3	1.33	1	1	1.66	2.66	1.83	6.33	6.33	2.66	11.3	10.6	4	1.66	5.33	8.66	11.03	0	3	0.33	0	4.66	18	4.66		
12	17	3	6	1	7	3	8	14	3.0	22	22	11	2.7	3.6	14	6	11	26	34	1	0	9	0	0	7	5.1	2.2	
	5.66	1	2	0.33	2.33	1	2.66	4.66	10	7.33	7.33	3.86	9	12	4.66	2	3.66	8.66	11.3	0.33	0	3	0	0	2.33	17	7.33	
14	20	5	3	1	9	5	11	12	2.9	20	27	8	2.7	4.8	17	2	11	35	31	0	7	2	0	13	39	33		
	6.66	1.66	1	0.33	3	1.66	3.66	4	9.66	6.66	9	2.66	9	16	5.66	0.66	8.66	11.6	10.3	0	0	2.33	0.66	0	4.33	13	11	
16	15	4	3	5	5	5	11	5	3.9	13	25	8	3.4	3.3	14	1	17	32	29	0	0	8	0	0	9	3.8	3.1	
	5	1.33	1	1.66	1.66	1.66	3.66	1.66	1.3	4.33	8.33	2.66	11.3	11	4.66	0.33	5.66	10.6	9.66	0	0	2.66	0	0	3	1.26	1.03	
18	13	5	5	4	1	7	10	4.9	18	18	4	4.5	31	7	0	17	31	30	0	0	8	0	0	17	4.8	15		
	4.33	1.66	1.66	0.33	0.33	2.33	3.33	3.33	6	6	1.33	15	1.03	2.33	0	5.66	10.3	10	0	0	2.66	0	0	5.66	16	5		
20	7	4	3	2	2	3	6	8	5.5	13	18	2	4.9	2.5	6	0	17	36	25	0	1	4	1	0	31	41	7	
	2.33	1.33	1	0.66																								

Table 6.4.3

各時刻の上欄の数字は3年間の合計頻度数を  
下欄の数字は3年間の平均頻度数を示す。

3月

		観測日数	
昭和47年		23日	
48		31	
49		31	
合計		85	

時 刻	風								風 速				天 气						気 温												
	風 向				風 速				階 級		0~2		5~10		10以上		○	①	②	③	④	●	⊗	0° 以下	0°~ 5°	5°~ 10°	10°~ 15°	15°~ 20°	20°~ 25°	25°~ 30°	30° 以上
	NW	N	NE	E	SE	S	SW	W	0~2	2~5	5~10	10以上	0	1	2	2以上	快晴	曇	霧	暴	陣雨	雷	雪								
6	10	5	5	3	2	2	4	2	5.4	13	12	2	5.2	25	6	0	18	22	31	0	3	10	0	2	38	28	10	7	0	0	
	3.33	1.66	1.66	1	0.66	0.66	1.33	0.66	18	4.33	4	0.66	1.73	8.33	2	0	6	7.33	1.03	0	1	3.33	0	0.66	1.26	9.33	3.33	2.33	0	0	
8	12	6	9	3	1	1	6	2	4.5	15	16	6	4.6	30	7	1	22	25	30	1	3	4	0	0	23	42	13	9	0	0	
	4	2	3	1	0.33	0.33	2	0.66	15	5	5.33	2	15.3	10	2.33	0.33	7.33	8.33	10	0.33	1	1.33	0	0	7.66	1.4	4.33	3	0	0	
10	12	10	10	1	2	4	7	4	4.1	15	16	10	4.1	28	14	1	13	31	27	2	3	8	0	0	2	48	26	13	0	0	
	4	3.33	3.33	0.33	0.66	1.33	2.33	1.33	1.36	5	5.33	3.33	13.6	9.33	4.66	0.33	4.33	1.03	9	0.66	1	2.22	0	0	0.66	1.6	8.66	4.33	0	0	
12	15	4	7	3	1	8	12	5	3.9	13	18	12	3.7	32	12	3	17	27	31	1	2	6	1	0	2	30	41	23	0	0	
	5	1.33	2.33	1	0.33	2.66	4	1.66	13	4.33	6	4	12.3	10.6	4	1	5.66	9	1.03	0.33	0.66	2	0.33	0	0.66	1.0	1.36	7.66	0	0	
14	11	8	6	3	6	7	18	4	3.0	16	2.5	11	3.0	36	16	2	20	28	29	0	1	7	0	0	3	1.9	4.1	3.0	6	0	
	3.66	1	2	1	2	2.33	6	1.33	10	5.33	8.33	3.66	10	1.2	5.33	0.66	6.66	9.33	9.66	0	0.33	2.33	0	0	1	6.33	13.6	1.0	2	0	
16	13	6	7	1	4	10	12	5	3.0	15	2.8	9	3.3	35	13	3	19	35	22	0	0	9	0	0	4	1.9	3.9	2.9	5	1	
	4.33	2	2.33	0.33	1.33	3.33	4	1.66	10	5	9.33	3	11	11.6	4.33	1	6.33	11.6	7.33	0	0	3	0	0	13.3	6.33	13	9.66	1.66	0.33	
18	17	2	6	1	1	5	11	2	4.0	18	17	7	4.0	30	13	1	21	33	23	0	0	8	0	0	6	3.5	28	21	4	0	
	5.66	0.66	2	0.33	0.33	1.66	3.66	0.66	1.33	6	5.66	2.33	13.3	10	4.33	0.33	7	11	7.66	0	0	2.66	0	0	2	11.6	9.33	7	1.33	0	
20	10	5	7	1	0	3	7	5	4.7	16	12	5	4.4	30	7	0	23	34	17	0	0	9	0	0	10	4.8	16	9	2	0	
	3.33	1.66	2.33	0.33	0	1	2.33	1.66	1.56	5.33	4	1.66	1.46	10	2.33	0	7.66	11.3	5.66	0	0	3	0	0	0	3.33	1.6	5.33	3	0.66	0
合計	100	41	57	16	17	40	77	29	3.26	121	144	62	3.23	246	88	11	153	235	210	4	12	61	1	2	88	269	214	141	17	1	0
平均	27	11	15	4	4	11	20	8	5.0	19	22	9	4.8	37	13	2	23	35	31	0	2	9	0	0	12	37	29	19	3	0	0

377

653

668

676

732

Table 6.4.4

各時刻の上欄の数字は3年間の合計頻度数を  
下欄の数字は3年間の平均頻度数を示す。

4月

		観測日数	
昭和47年		27日	
48		25	
49		27	
合計		79	

時 刻	風								風 速				天 气						気 温												
	風 向				風 速				階 級		0~2		5~10		10以上		○	①	②	③	④	●	⊗	0° 以下	0°~ 5°	5°~ 10°	10°~ 15°	15°~ 20°	20°~ 25°	25°~ 30°	30° 以上
	NW	N	NE	E	SE	S	SW	W	0~2	2~5	5~10	10以上	0	1	2	2以上	快晴	曇	霧	暴	陣雨	雷	雪								
6	8	2	2	1	3	0	4	8	5.4	9	11	3	5.0	19	3	2	19	25	18	1	4	12		5	20	46	19	1	0		
	2.66	0.66	0.66	0.33	1	0	1.33	2.66	18	3	3.06	1	16.0	6.33	1	0.66	6.33	8.33	6	0.33	1.33	4		1.66	6.66	1.33	6.33	0.33	0		
8	18	2	0	0	2	2	6	8	4.5	13	19	3	4.3	28	2	2	18	22	21	3	3	11		2	15	45	27	1	0		
	6	0.66	0	0	0.66	0.66	2	2.66	15	4.33	6.33	1	14.8	9.33	0.66	0.66	6	7.33	7	1	1	3.66		0.66	5	15	9	0.33	0	0	
10	16	2	4	0	4	5	7	7	3.9	16	20	4	3.6	30	5	3	17	23	25	0	3	11		0	9	27	28	2	0		
	5.33	0.66	1.33	0	1.33	1.66	2.33	2.33	13	5.33	6.66	1.33	12	10	1.66	1	5.66	7.66	8.33	0	1	3.66		0	3	9	9.33	0.66	0	0	
12	10	0	2	2	12	5	14	3	4.0	14	27	4	3.1	37	4	3	17	24	26	0	2	10		0	4	17	31	12	0		
	3.33	0	0.66	0.66	4	1.66	4.86	1	1.66	4.86	9	1.33	10.8	12.3	1.33	1	5.66	8	8.66	0	0.66	3.83		0	1.33	5.66	1.03	4	0		
14	8	0	4	0	10	14	13	3	3.3	14	23	10	3.3	29	9	4	20	20	29	0	2	8		0	3	17	28	17	3		
	2.66	0	1.33	0	3.33	4.66	4.83	1	11	4.66	7.66	3.33	11	9.66	3	1.33	6.66	6.66	9.66	0	0.66	2.66		0	1	5.66	9.33	5.66	1		
16	4	1	3	1	8	10	13	5	3.5	15	21	8	3.3	31	8	1	21	20	28	0	0	10		0	3	18	24	19	6		
	1.33	0.33	1	0.33	2.66	3.33	4.33	1.66	11.6	5	7.266	11	10.3	2.66	0.33	7	6.66	9.33	0	0	3.33		0	0	1	5.33	8	6.33	2		
18	8	0	1	3																											

Table 6.4.5

5月

各時刻の上欄の数字は3年間の合計頻度数  
下欄の数字は3年間の平均頻度数を示す。

		観測日数	
昭和47年		25日	
48		22	
49		25	
合計		72	

時 刻	風 向								風 速					階 級				天 氣					氣 温								
	NW	N	NE	E	SE	S	SW	W	0~2	2~5	5~10	10以上	0	1	2	2以上	○	①	◎	●	⊗	0° 以下	0°~ 5°	5°~ 10°	10°~ 15°	15°~ 20°	20°~ 25°	25°~ 30°	30° 以上		
																	快晴	晴れ	曇	霧	煙霧	雨	雪								
6	6	1	2	2	1	0	1	4	57	4	8	3	56	10	3	1	18	19	27	2	2	7									
	2	0.33	0.66	0.66	0.33	0	0.33	1.33	10	1.33	2.66	1	1.86	3.33	1	0.33	53.3	6.33	0	0.66	0.66	2.33									
8	12	0	0	1	2	0	1	9	49	12	9	2	49	19	1	1	19	17	24	2	2	7									
	4	0	0	0.33	0.66	0	0.33	3	1.63	4	3	0.66	1.63	6.33	0.33	0.33	6.33	5.66	8	0.66	0.66	2.33									
10	4	1	4	3	10	5	2	6	40	19	10	3	41	27	1	1	20	20	21	0	1	10									
	1.33	0.33	1.33	1	3.33	1.66	0.66	2	1.33	6.33	3.33	1	13.6	0	0.33	0.33	6.66	6.66	7	0	0.33	3.33									
12	2	0	4	1	12	8	9	7	84	13	20	5	32	31	6	1	18	21	25	0	0	8									
	0.66	0	1.33	0.33	4	2.66	3	2.33	11.3	4.33	6.66	1.66	10.6	10.3	2	0.33	6	7	8.33	0	0	2.66									
14	5	0	1	0	13	16	14	8	27	16	22	7	27	36	6	1	17	24	26	0	0	5									
	1.66	0	0.33	0	4.33	5.33	4.66	2.66	9	5.33	7.33	2.33	9	12	2	0.33	5.66	8	8.66	0	0	1.66									
16	4	1	2	3	12	10	14	5	28	17	21	6	28	34	6	2	13	30	24	0	0	5									
	1.33	0.33	0.66	1	4	3.33	4.66	1.66	9.33	5.66	7	2	9.33	11.3	2	0.66	4.33	10	8	0	0	1.66									
18	6	1	1	3	7	11	7	6	41	14	12	4	40	25	2	2	14	29	19	0	0	9									
	2	0.33	0.33	1	2.33	3.66	2.33	2	13.6	4.66	4	1.33	13.3	8.33	0.66	0.66	4.66	9.66	6.33	0	0	3									
20	4	3	2	3	3	5	4	4	48	11	9	1	44	21	3	0	14	27	22	0	0	8									
	1.33	1	0.66	1	1	1.66	1.33	1.33	18	3.66	3	0.33	14.6	7	1	0	4.66	9	7.33	0	0	2.66									
合 計	48	7	16	16	60	55	52	49	324	106	111	81	317	203	28	9	131	187	188	4	5	59	0	0	0	8	65	255	214	29	0
%	14	2	5	5	20	19	18	17	57	19	19	5	57	36	5	2	23	32	33	1	1	10	0	0	0	1	11	45	38	5	0

298

572

557

574

571

Table 6.4.6

6月

各時刻の上欄の数字は3年間の合計頻度数  
下欄の数字は3年間の平均頻度数を示す。

		観測日数	
昭和47年		19日	
48		23	
49		22	
合 計		64	

時 刻	風 向								風 速					階 級				天 氣					氣 温								
	NW	N	NE	E	SE	S	SW	W	0~2	2~5	5~10	10以上	0	1	2	2以上	○	①	◎	●	⊗	0° 以下	0°~ 5°	5°~ 10°	10°~ 15°	15°~ 20°	20°~ 25°	25°~ 30°	30° 以上		
																	快晴	晴れ	曇	霧	煙霧	雨	雪								
6	9	2	0	0	2	1	2	5.3	7	3	1	5.0	12	1	0	12	16	22	1	1	12										
	3	0.66	0	0	0.66	0.33	0.66	17.6	2.33	1	0.33	1.66	4	0.33	0	4	5.33	7.33	0.33	0.33	4										
8	10	2	2	0	1	2	5	50	7	6	1	45	17	1	0	13	18	17	1	1	14										
	3.33	0.66	0.66	0	0.33	0.66	1.66	1.66	2.33	2	0.33	15	5.66	0.33	0	4.33	6	5.66	0.33	0.33	4.66										
10	2	1	0	3	4	7	3	51	7	4	2	46	15	1	1	7	23	20	0	2	12										
	0.66	0	0.33	0	1	1.33	2.33	1	17	2.33	1.33	0.66	15.3	5	0.33	0.33	2.33	7.66	8.66	0	0.66	4									
12	3	6	1	3	6	8	2	37	11	13	3	35	24	3	1	7	23	23	0	1	10										
	1	2	0.33	1	2	2.66	0.66	12.3	3.66	4.33	1	11.6	8	1	0.33	2.33	7.66	7.66	0	0.33	3.33										
14	3	1	3	8	7	9	2	86	18	13	2	82	24	7	0	9	22	23	0	0	10										
	1	0.33	1	2.66	2.33	3	0.66	12	4.33	4.33	0.66	10.6	8	2.33	0	3	7.88	7.66	0	0	3.33										
16	2	0	1	7	12	12	1	37	16	9	2	32	20	2	0	8	24	22	0	0	10										
	0.66	0	0.33	2.88	4	4	0.33	12.3	5.33	3	0.66	10.6	0.66	0.66	0	2.66	8	7.33	0	0	3.33										
18	2	0	0	5	3	5	0	56	2	6	0	52	10	1	0	8	23	23	0	0	10										
	0.66	0	0	1.66	1	1.66	0	18.6	0.66	2	0	17.3	3.33	0.33	0	2.66	7.66	7.66	0	0	3.33										
20	2	0	3	3	0	0	1	50	4	1	0	54	9	0	0	0	7	23	23	0	0	11									
	0.66	0	1	1	0	0	0.33	19.6	1.33	0.33	0	18	3	0	0	2.33	7.66	7.66	0	0	3.33										
合 計	33	0	12	10	28	35	44	16	37.9	67	55	11	34.6	14.																	

Table 6.4.7

		観測日数	
昭和47年	31日		
△	30		
◆	49		
合計	61		

7月

各時刻の上欄の数字は3年間の合計頻度数を  
下欄の数字は3年間の平均頻度数を示す。

時刻	風								風 湍					天 気						気 温										
	風 向				風 速				階 級					○	①	◎	◎	●	◎	0°以下	0°~5°	5°~10°	10°~15°	15°~20°	20°~25°	25°~30°	30°以上			
	NW	N	NE	E	SE	S	SW	W	0~2	2~5	5~10	10以上	0	1	2	2以上	快晴	晴れ	曇	煙霧	雨	雪								
6	1		5	2	3	1	5	1	4.5	5	8	3	4.4	1.3	5		12	21	17	1	1	9								
	0.5		2.5	1	1.5	0.5	2.5	0.5	2.25	2.5	4	1.5	2.2	6.5	2.5		6	10.5	8.5	0.5	0.5	4.5								
8	4		3	2	4	3	5	2	3.0	1.0	11	1	3.0	1.7	5		1.5	2.0	1.8	0	0	8								
	2		1.5	1	2	1.5	2.5	1	1.95	5	5.5	0.5	1.95	4.5	2.5		7.5	1.0	9	0	0	4			0.5	11.5	18	0.5		
10	3		4	2	7	11	6	1	3.1	1.5	1.2	3	2.8	2.7	5		1.4	2.0	2.3	1	0	3			0	9	46	6		
	1.5		2	1	3.5	5.5	3	0.5	1.55	7.5	6	1.5	1.4	13.5	2.5		7	1.0	11.5	0.5	0	1.5			0	4.5	23	3		
12	4		2	2	8	11	12	3	2.8	1.2	2.3	4	2.3	3.0	8		1.7	2.1	1.6	1	0	6			0	7	28	26		
	2		1	1	4	5.5	6	1.5	1.15	6	1.15	2	1.15	1.5	4		8.5	10.6	8	0.5	0	3			0	3.5	14	13		
14	2		2	1	16	14	10	0	2.1	1.1	2.4	4	1.6	3.7	8		1.5	2.0	2.0	0	0	6			0	5	18	38		
	1		1	0.5	8	7	5	0	1.05	5.5	12	2	8	18.5	4		7.5	1.0	10	0	0	3			0	2.5	9	19		
16	2		2	3	11	12	16	2	2.0	1.0	2.8	3	1.5	3.9	8		1.7	1.7	2.0	0	0	7			0	5	14	42		
	1		1	1.5	5.5	6	8	1	1.0	5	1.4	1.5	7.5	19.5	4		8.5	8.5	10	0	0	3.5			0	2.5	7	21		
18	2		1	5	12	6	8	2	3.0	1.0	3.0	2	2.6	3.0	5		1.2	2.3	2.1	0	0	5			1	9	24	27		
	1		0.5	2.5	6	3	4	1	1.5	5	1.5	1	1.3	1.5	2.5		6	11.5	10.5	0	0	2.5			0.5	4.5	12	13.5		
20	2		3	5	2	6	4	0	4.2	11	6	3	3.0	2.0	2		1.5	2.0	2.2	0	0	4			2	12	46	2		
	1		1.5	2.5	1	3	2	0	2.1	5.5	3	1.5	1.95	1.0	1		7.5	1.0	11	0	0	2			1	6	23	1		
合計	2.0	0	2.2	2.2	6.3	6.4	6.6	1.1	2.51	8.4	1.42	2.3	2.30	2.13	4.6	0	11.7	16.2	15.7	3	1	4.8	0	0	0	0	6	108	232	142
平均	7	0	8	8	2.4	2.4	2.5	4	5.0	1.7	2.8	5	4.7	4.4	9	0	2.4	3.3	3.2	1	0	1.0	0	0	0	0	1	22	48	29

268

500

489

488

488

Table 6.4.8

		観測日数	
昭和47年	20日		
△	8		
◆	18		
合計	38		

8月

各時刻の上欄の数字は3年間の合計頻度数を  
下欄の数字は3年間の平均頻度数を示す。

時刻	風								風 湍					天 气						気 温									
	風 向				風 速				階 級					○	①	◎	◎	●	◎	0°以下	0°~5°	5°~10°	10°~15°	15°~20°	20°~25°	25°~30°	30°以上		
	NW	N	NE	E	SE	S	SW	W	0~2	2~5	5~10	10以上	0	1	2	2以上	快晴	晴れ	曇	煙霧	雨	雪							
6	2	1	2	1	1	2	2	2	3.2	3	3	0	2.5	1.1	2		8	1.6	1.2	1						28	10	0	
	1	0.5	1	0.5	0.5	1	1	1	1.6	1.5	1.5	0	1.25	5.5	1		4	8	6	0.5					14	5	0		
8	2	0	2	2	0	2	3	5	2.9	5	3	1	2.2	1.5	1		11	1.3	1.1	1						9	29	0	
	1	0	1	1	0	1	1.5	2.5	1.45	2.5	1.5	0.5	1.1	7.5	0.5		5.5	6.5	5.5	0.5					4.5	14.5	0		
10	2	0	4	0	8	4	5	3	1.7	7	1.3	1	1.2	2.4	2		9	1.6	1.1	0					8	30	5		
	1	0	2	0	4	2	2.5	1.5	8.5	8.5	6.5	0.5	6	12	1		4.5	8	5.5	0					15	15	2.5		
12	0	0	3	2	6	5	12	1	1.4	8	1.5	1	9	2.8	1		8	20	8	0					2	11	2.5		
	0	0	1.5	1	3	2.5	6	0.5	7	4	7.5	0.5	4.5	1.4	0.5		4	10	4	0					1	5.5	12.5		
14	2	0	0	1	8	6	10	1	1.2	6	1.9	1	1.0	2.5	8		11	1.8	7	0					2	5	31		
	1	0	0	0.5	4	3	5	0.5	6	8	9.5	0.5	5	12.5	1.5		5.5	9	8.5	0					1	2.5	15.5		
16	2	1	0	2	11	4	11	0	1.8	12	12	1	7	2.8	3		16	1.2	9	0					2	4	32		
	1	0.5	0	1	5.5	2	5.5	0	6.5	6	6	0.5	8.5	14	1.5		8	6	4.5	0					1	2	16		
18	1	0	0	7	5	2	7	1	2.2	5	10	1	1.5	21	2		11	1.7	9	0					4	13	21		
	0.5	0	0	8.5	2.5	1	3.5	0.5	11	2.5	5	0.5	7.5	10.5	1		5.5	8.5	4.5	0					2	6.5	10.5		
20	0	0	2	4	2	0	3	1	2.9	8	5	1	2.8	10	2		12	1.6	7	0					4	32	2		
	0	0	1	2	1	0	1.5	0.5	1.45	1.5	2.5	0.5	1.8	5	1		6	8	3.5	0					2	16	1		
合計	11	2	18	19	41	25	53	14	168	49	80	7	126	162	16	0	86	128	74	0	2	0	0	0	0	54	134	116	
平均	6	1	7	11	23	14	30	8	5.5	16	27	2	4.2	5.3	5	0	30	4.4	2.5	0	1	0	0	0	0	0	18	44	38

178

804

804

290

804

Table 6.4.9

9 月

各時刻の上欄の数字は3年間の合計頻度数を  
下欄の数字は3年間の平均頻度数を示す。

	観測日数
昭和47年	24日
48	
49	26
合計	50

時 刻	風								風 湍								天 气								氣 離								
	風 向				風 速				瞬 鋒				○				○				○				○				○				
	NW	N	NE	E	SE	S	SW	W	0~2	2~5	5~10	以上	0	1	2	2以上	快晴	晴	曇	霧	煙霧	雨	雷	雪	0°	0°~5°	5°~10°	10°~15°	15°~20°	20°~25°	25°~30°	30°以上	
8	11	1	1	2	1	3	1	3	35	7	10	0	26	23	1	0	7	17	24										1	24	21	4	2
	5.5	0.5	0.5	1	0.5	1.5	0.5	1.5	175	35	5	0	13	11.5	0.5	0	35	85	12									0.5	12	10.5	2	1	
8	14	2	2	0	1	3	1	7	26	14	8	3	20	28	0	1	9	18	20									0	13	26	11	3	
	7	1	1	0	0.5	1.5	0.5	3.5	13	7	4	1.5	10	14	0	0.5	45	9	10								0	6.5	13	5.5	1.5		
10	13	2	3	1	2	3	3	8	20	9	8	2	12	35	2	0	8	22	16								0	2	29	18	8		
	6.5	1	1.5	0.5	1	1.5	1.5	4	10	4.5	4	1	6	17.5	1	0	4	11	8								0	1	14.5	9	4		
12	9	3	1	1	5	3	8	7	24	10	8	2	11	36	0	2	9	20	17								0	1	16	31	16		
	4.5	1.5	0.5	0.5	2.5	1.5	4	3.5	12	5	4	1	5.5	18	0	1.5	45	10	8.5								0	0.5	8	15.5	8		
14	2	2	4	4	6	5	10	7	15	15	12	3	8	37	3	1	7	25	12								0	0	11	34	23		
	1	1	2	2	3	2.5	5	3.5	7.5	7.5	6	1.5	4	18.5	1.5	0.5	3.5	12.5	6								0	0	5.5	17	11.5		
16	5	2	5	2	9	3	6	4	18	10	7	4	11	34	2	2	10	21	14								0	2	13	28	21		
	2.5	1	2.5	1	4.5	1.5	3	2	9	5	4.5	2	5.5	17	1	1	5	10.5	7								0	1	6.5	14	10.5		
18	5	2	6	4	5	2	4	3	26	16	12	2	17	30	1	1	8	28	13								0	5	22	20	12		
	2.5	1	3	2	2.5	1	2	1.5	13	8	6	1	8.5	15	0.5	0.5	4	11.5	6.5							0	2.5	11	10	6			
20	4	2	4	3	3	2	1	2	32	8	6	3	26	22	0	1	11	17	18								0	9	28	12	7		
	2	1	2	1.5	1.5	1	0.5	1	16	4	3	1.5	13	11	0	0.5	5.5	8.5	9								0	4.5	14	6	3.5		
合計	6.8	1.6	2.6	1.7	3.2	2.4	3.4	4.1	196	89	71	19	131	245	9	8	6.9	16.3	13.4	0	0	3.4	0	0	0	0	1	5.6	16.6	15.8	9.2		
均 值	2.5	0.6	1.0	0.7	1.8	1.0	1.3	1.6	5.2	2.3	1.9	0.6	3.3	6.3	2	2	1.7	4.1	3.3	0	0	0.9	0	0	0	0	1.2	3.5	3.3	2.0			

Table 8.10

10 月

各時刻の上欄の数字は3年間の合計頻度数を  
下欄の数字は3年間の平均頻度数を示す。

	観測日数
昭和47年	21日
48	27
49	28
合計	76

時 刻	風										風 晴					天 気					氣 温										
	風 向					風 速					階 級					○	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	0° 以下	0°~5°	5°~10°	10°~15°	15°~20°	20°~25°	25°~30°	30° 以上
	NW	N	NE	E	SE	S	SW	W	0~2	2~5	5~10	10以上	0	1	2	2以上	快晴	晴れ	曇	霧	煙霧	雨	雪								
6	5	8	6	1	0	0	1	5	60	8	7	1	55	17	4	1	17	25	25		9					23	46	7	0	0	
	186	1	2	0.33	0	0	0.33	186	20	2.66	2.33	0.33	18.3	5.66	1.33	0.33	566	833	833		3					766	153	233	0	0	
8	14	6	6	2	2	0	3	2	46	17	10	3	42	27	9	3	22	16	29		9					13	54	9	0	0	
	466	2	2	0.66	0.66	0	1	0.66	15.3	5.66	3.33	1	14	9	3	1	7.33	5.83	9.66		3					466	18	3	0	0	
10	11	7	6	5	2	1	9	6	37	2.8	12	4	29	3.9	7	5	20	20	27		9					17	48	29	1	0	
	366	2.83	2	1.66	0.66	0.83	3	2	12.3	7.66	4	1.33	9.66	1.3	2.33	1.66	6.66	6.66	9		3					566	14.3	9.66	0.33	0	
12	10	2	8	4	6	2	9	7	38	1.8	17	8	33	8.1	11	7	19	23	29		5					14	25	42	8	0	
	3.33	0.66	1	1.33	2	0.66	3	2.83	12.6	4.83	5.66	2.66	11	10.3	3.66	2.33	6.33	7.66	9.66		166					466	8.83	14	2.66	0	
14	7	3	5	5	9	5	10	8	30	1.9	20	7	21	4.0	18	7	16	20	32		8					1	17	41	15	2	
	2.83	1	1.66	1.66	3	1.66	3.83	2.66	10	6.88	6.66	2.83	7	13.3	6.23	5.33	6.66	10.6		266					0.83	5.66	18.6	5	0.66		
16	5	0	5	5	18	3	14	4	35	1.9	19	3	24	4.1	14	5	20	14	32		10					2	21	39	13	1	
	186	0	186	1.66	4.33	1	4.66	1.33	11.6	6.33	6.33	1	8	13.6	4.66	1.66	6.66	4.66	10.6		3.83					0.66	7	13	4.83	0.83	
18	4	0	4	7	4	1	10	4	48	1.3	12	3	41	3.1	8	2	20	16	35		6					3	36	85	0	0	
	1.33	0	1.33	2.83	1.33	0.83	3.33	1.33	1.6	4.33	4	1	13.6	1.03	2.66	0.66	6.66	5.33	11.6		2					1	12	11.6	0	0	
20	6	1	4	4	0	0	5	4	54	1.0	9	3	49	2.2	7	3	16	17	38		5					9	50	17	0	0	
	2.03	1.83	1.33	0	0	1.66	1.33	1.8	3.33	3	1	16.3	7.33	2.33	1	5.33	5.66	12.6		166					3	16.6	5.66	0	0		
合計	62	22	39	33	36	12	61	40	848	122	106	32	294	248	78	33	150	151	247	0	0	61	0	0	0	82	292	219	37	3	
%	20	7	18	11	12	4	20	13	57	20	18	5	45	38	12	5	25	25	40	0	0	10	0	0	0	13	46	85	6	0	

805

608

653

808

Table 6.4.11

11月

各時刻の上欄の数字は3年間の合計頻度数を  
下欄の数字は3年間の平均頻度数を示す。

		総計日数	
昭和47年		30日	
48	30	4.8	3.0
49	28	4.9	2.8
合計	82	合計	8.2

時 刻	風								風 湿								天 气						気 温								
	風 向				風 速				階 級				○	①	②	③	④	●	⊗	0° 以下	0°～ 5°	5°～ 10°	10°～ 15°	15°～ 20°	20°～ 25°	25°～ 30°	30° 以上				
	NW	N	NE	E	S	SE	SW	W	0～2	2～5	5～10	10以上	0	1	2	2以上	快晴	晴れ	曇	霧	雨	雪	0° 以下	0°～ 5°	5°～ 10°	10°～ 15°	15°～ 20°	20°～ 25°	25°～ 30°	30° 以上	
6	11	2	5	1	1	1	2	12	50	17	9	6	4.5	2.5	7	3	23	4.0	1.4	0	0	5	1.0	4.3	2.5	4	0				
	3.66	0.66	1.66	0.33	0.33	0.33	0.33	0.66	4	1.66	5.66	3	2	15	8.33	2.33	1	7.66	1.33	4.66	0	0	1.66	3.33	1.43	8.33	1.33	0			
8	14	4	2	1	0	0	3	18	4.6	1.5	11	10	3.9	2.6	11	4	23	3.5	1.9	1	0	4	2	4.0	2.9	1.1	0				
	4.66	1.33	0.66	0.33	0	0	1	6	1.53	5	3.66	3.33	13	8.66	3.66	1.33	7.66	1.16	6.33	0	1.33	0.66	1.33	9.66	3.66	0					
10	22	7	9	1	0	0	9	18	2.2	2.4	1.9	1.7	1.7	4.7	6	1.0	29	3.0	1.9	2	0	2	0	1.6	4.2	2.2	2				
	7.33	2.33	3	0.33	0	0	3	6	7.33	8	6.33	5.66	5.66	1.56	2	3.33	9.66	1.0	6.33	0	0.66	0	0.66	0.533	1.4	7.33	0.66				
12	12	3	11	2	0	1	14	18	2.7	1.9	1.5	2.2	2.2	3.2	13	1.2	24	3.3	2.1	0	2	2	0	7	2.8	3.9	8				
	4	1	3.66	0.66	0	0.33	4.66	6	9	6.33	5	7.33	7.33	10.6	4.33	4	8	4.1	7	0	0.66	0.66	0	2.33	9.33	1.3	2.66				
14	13	4	7	0	5	2	21	7	2.7	1.6	2.5	1.5	2.4	2.8	18	1.1	2.6	3.2	2.1	1	0	2	0	5	2.2	4.0	1.5				
	4.33	1.33	2.33	0	1.66	0.66	7	2.33	9	5.83	8.33	5	8	9.33	6	3.66	8.66	1.0	6.33	0	0.66	0	1.66	7.33	1.33	5					
16	19	2	3	2	8	2	11	10	2.9	2.5	1.1	1.7	2.5	3.6	8	1.2	2.8	2.9	2.0	0	0	5	0	8	2.9	3.5	1.0				
	6.33	0.66	1	0.66	2.66	0.66	3.66	3.33	9.66	8.33	3.66	5.66	8.33	12	2.66	4	9.33	9.66	6.66	0	0	1.66	0	2.66	9.66	1.16	3.33				
18	9	0	8	1	2	2	5	14	4.3	1.4	1.4	1.1	3.9	2.5	7	9	2.9	3.0	1.9	0	0	4	0	1.6	3.6	2.7	3				
	3	0	2.66	0.33	0.66	0.66	1.66	4.66	1.43	4.06	4.66	3.66	1.3	8.33	2.33	3	9.66	1.0	6.33	0	0	1.33	0	5.33	1.2	9	1				
20	11	2	6	3	0	1	4	11	4.6	1.4	1.2	9	4.2	2.1	5	10	2.5	3.4	2.0	0	0	2	0	1	2.8	3.1	2.0	1			
	3.66	0.66	2	1	0	0.33	1.33	3.66	1.53	4.66	4	3	14	7	16.6	3.33	8.33	11.3	6.66	0	0	0.66	0	0	0.33	9.33	1.03	6.66	0.33		
合計	111	24	51	11	16	9	69	108	2.9	4.4	1.16	1.07	2.53	2.40	75	71	2.07	2.63	1.53	4	2	26	0	0	13	1.63	2.42	1.98	3.9	0	0
平均	28	6	13	3	4	2	17	27	4.4	2.2	1.8	1.6	4.0	3.7	12	11	3.2	4.0	2.3	1	0	4	0	0	2	2.5	3.7	3.0	6	0	0

3.99 6.57 6.39 6.55 6.55

Table 6.4.12

12月

各時刻の上欄の数字は3年間の合計頻度数を  
下欄の数字は3年間の平均頻度数を示す。

		総計日数	
昭和47年		30日	
48	30	4.8	3.1
49	31	4.9	3.1
合計	92	合計	9.2

時 刻	風								風 湿								天 气						気 温							
	風 向				風 速				階 級				○	①	②	③	④	●	⊗	0° 以下	0°～ 5°	5°～ 10°	10°～ 15°	15°～ 20°	20°～ 25°	25°～ 30°	30° 以上			
	NW	N	NE	E	S	SE	SW	W	0～2	2～5	5～10	10以上	0	1	2	2以上	快晴	晴れ	曇	霧	雨	雪	0° 以下	0°～ 5°	5°～ 10°	10°～ 15°	15°～ 20°	20°～ 25°	25°～ 30°	30° 以上
6	9	3	2	4	0	1	1	14	5.7	1.3	5	7	5.6	2.5	10	2	20	3.7	2.7	1	0	7	1	4.6	4.2	3	0	0		
	3	1	0.66	1.33	0	0.33	0.33	4.66	1.9	4.33	1.66	2.33	1.88	8.33	3.33	0.66	6.66	1.23	9	0.33	0	2.33	0.33	1.53	1.4	1	0	0		
8	10	2	4	0	0	0	1	19	6.0	1.3	8	11	5.5	2.2	10	5	23	3.3	2.7	2	0	7	1	3.3	4.8	1.0	0	0		
	3.33	0.66	1.38	0	0	0	0.33	6.33	2.0	4.33	2.66	3.66	1.83	7.33	3.33	1.66	7.66	1.1	9	0.66	0	2.33	0.33	1.11	1.6	3.33	0	0		
10	29	3	2	1	1	0	1	8	13	8.66	5	3.66	9.66	15.3	3.33	2	6.33	1.33	9	0	0.33	1.66	0	0	11	51	1.9	0	0	
	9.66	1	0.66	0.33	0.33	0	1	8	13	8.66	5	3.66	9.66	15.3	3.33	2	6.33	1.33	9	0	0.33	1.66	0	0	3.66	17	6.33	0	0	
12	22	3	2	2	2	2	5	21	5.0	1.7	18	17	8.2	3.8	14	8	21	4.1	2.6	1	0	3	0	3	34	50	5	0		
	7.33	1	0.66	0.66	0.66	0.66	18.6	7	1.66	5.86	6	5.06	1.08	12.8	4.66	2.66	7	13.6	8.66	0.33	0	1	0	1	11.3	1.66	1.86	0		
14	19	4	5	1	3	1	4	20	5.0	1.9	16	17	3.2	3.8	14	8	20	4.1	2.8	1	0	2	0	2	27	48	13	2		
	6.33	1.33	1.66	0.33	1	0.33	13.3	6.66	1.66	6.33	5.33	5.86	1.08	12.8	4.66	2.66	6.66	13.6	9.33	0.33	0	0.66	0	0.66	9	16	4.33	0.66		
16	23	3	1	2	3	0	8	12	4.4	1.9	17	12	3.7	3.7	9	9	19	4.0	3.0	1	0	1	0	6	25	51	9	1		
	7.66	1	0.33	0.66	1	0	2.66	4	14.6	6.33	5.66	4	12.8	12.8	3	3	6.33	13.3	10	0.33	0	0.33	0	0	2	8.33	17	3	0.33	
18	15	0	7	2	1	0	5	13	5.2	1.9	12	9	5.0	2.8	9	5	22	4.3	2.2	1	0	4	0	13	4.8	2.8</td				

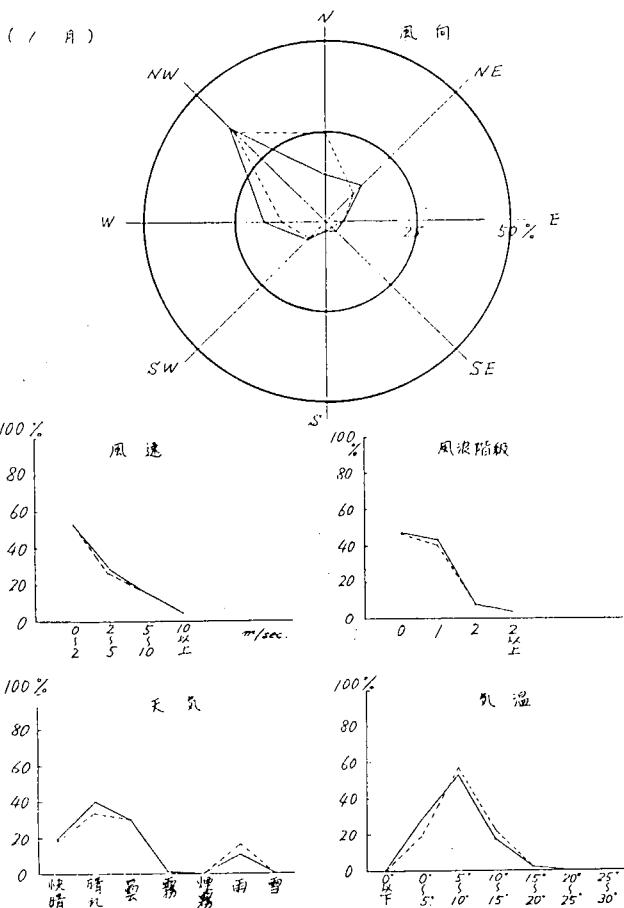


Fig. 6.4.1

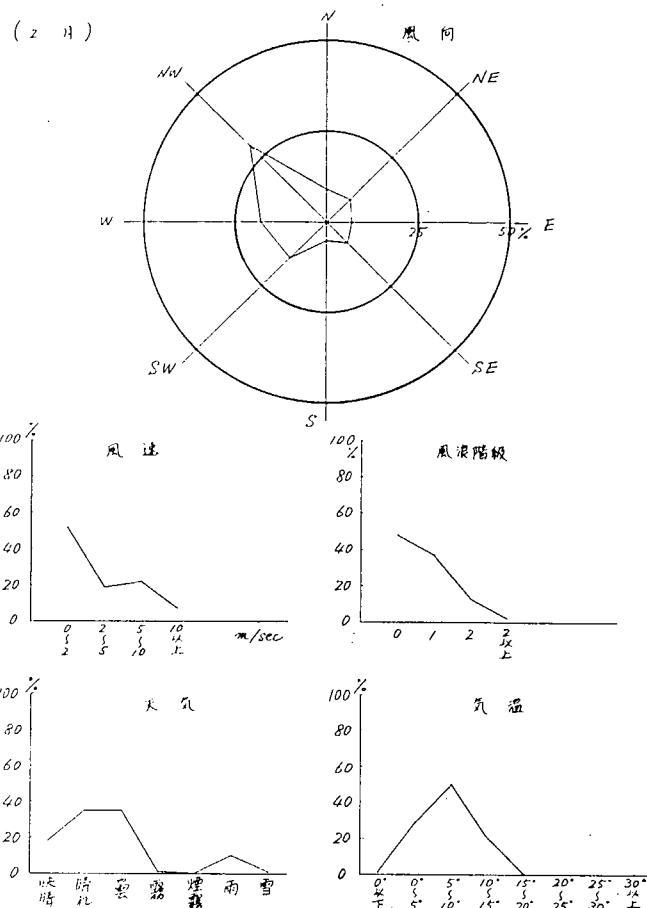


Fig. 6.4.2

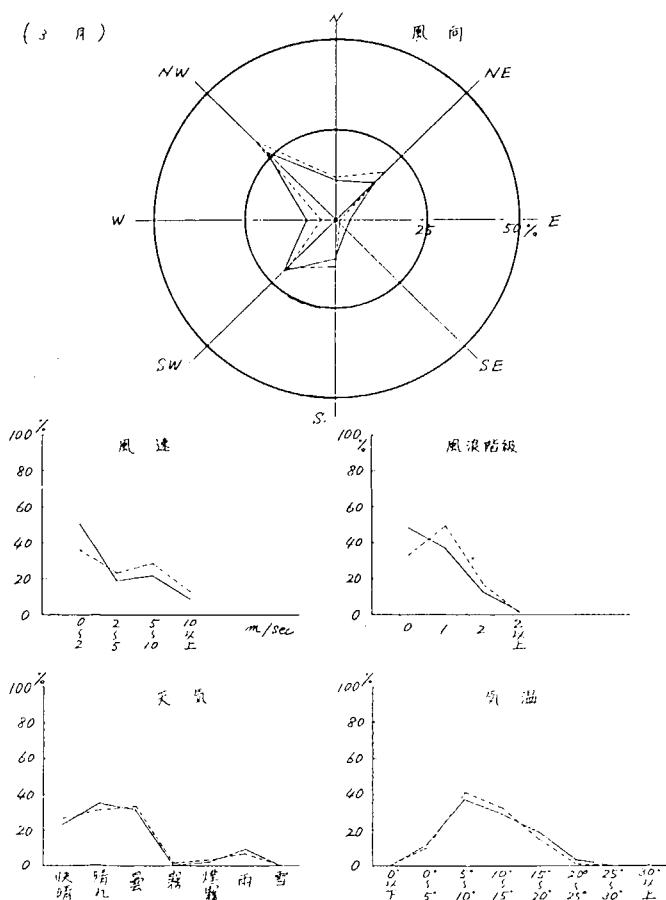


Fig. 6.4.3

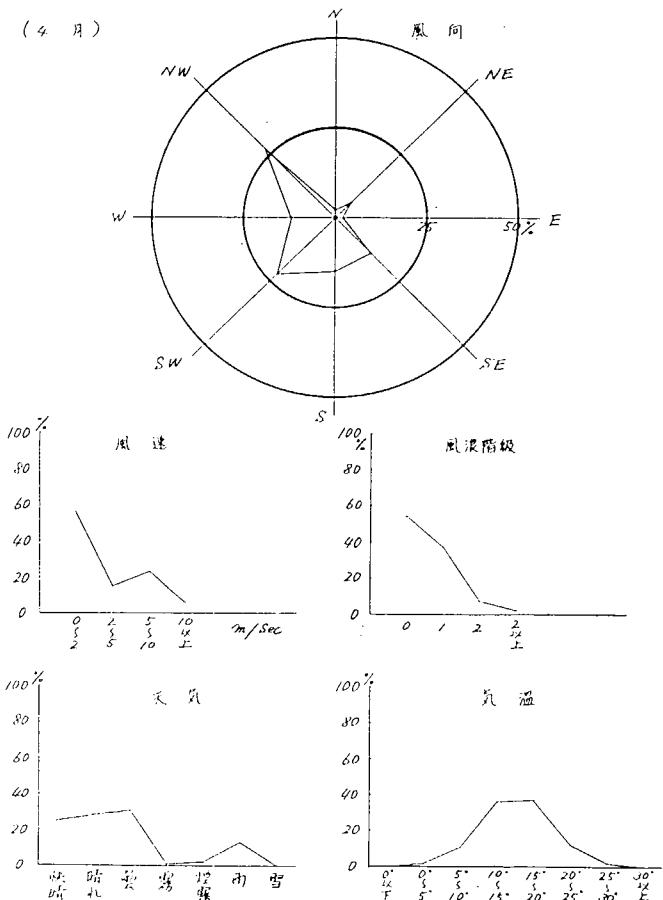


Fig. 6.4.4

(5月)

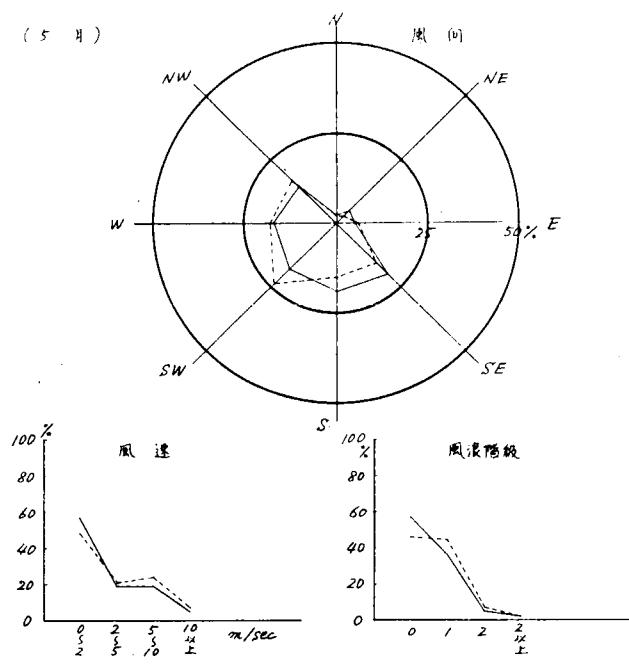


Fig. 6.4.5

(6月)

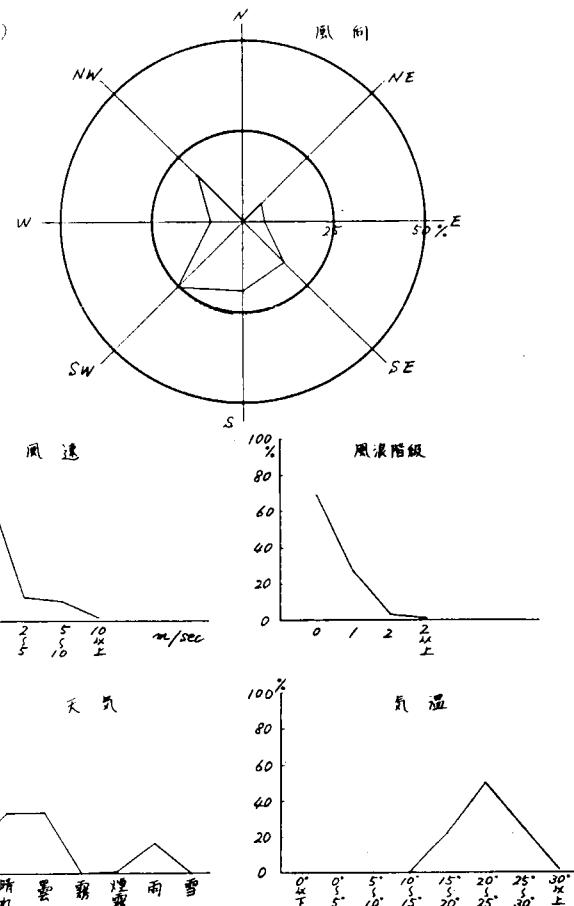


Fig. 6.4.6

(7月)

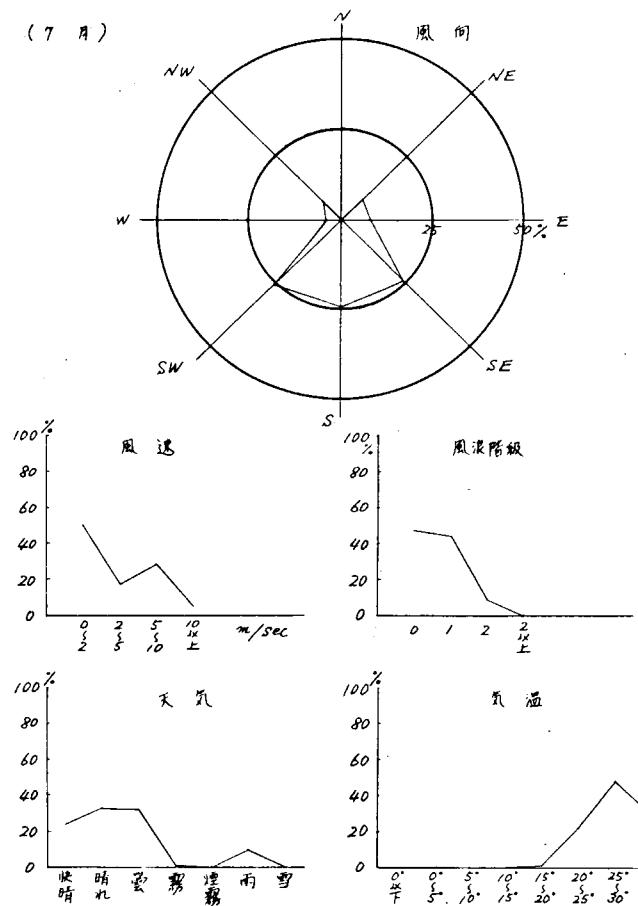


Fig. 6.4.7

(8月)

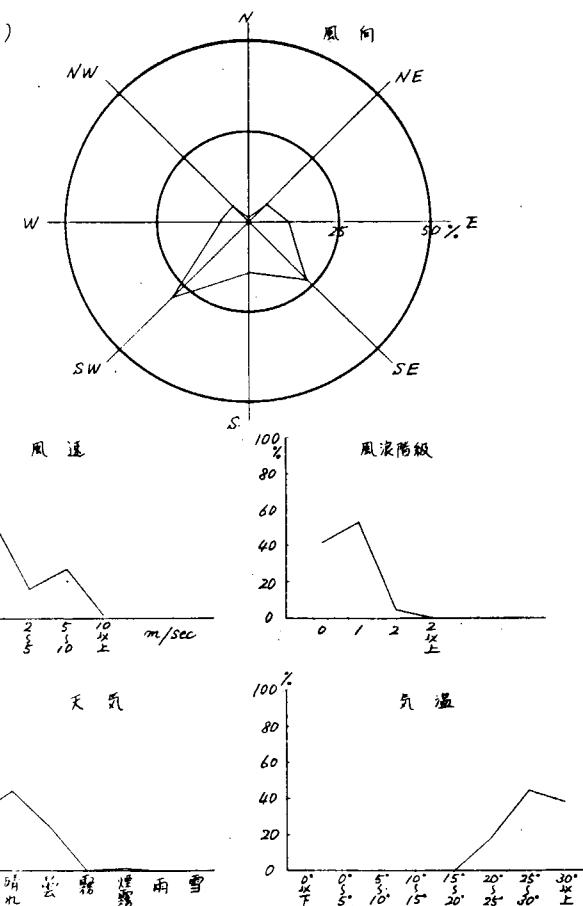


Fig. 6.4.8

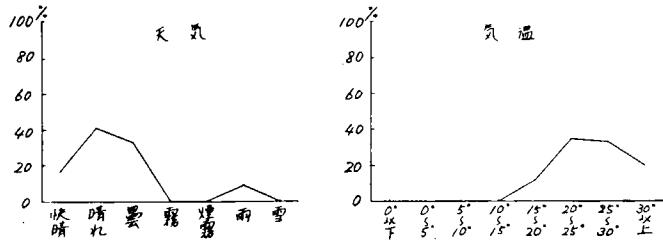
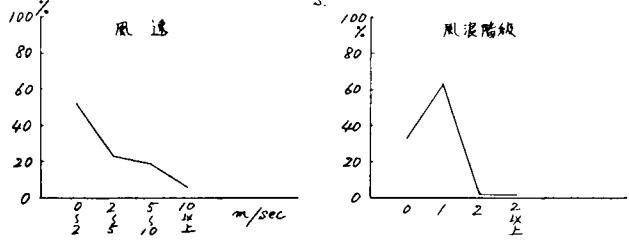
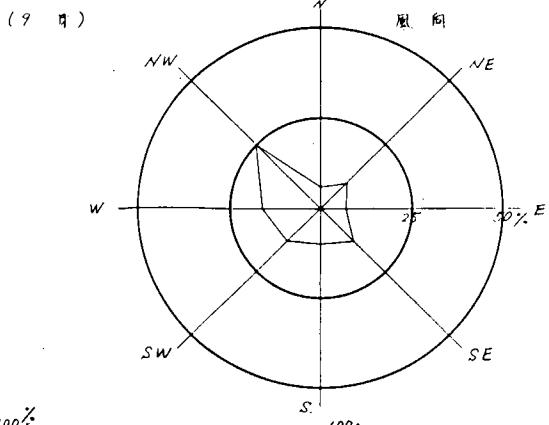


Fig. 6.4.9

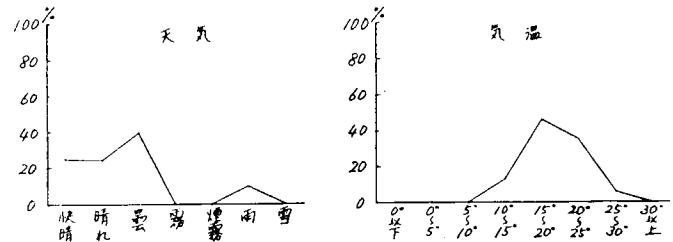
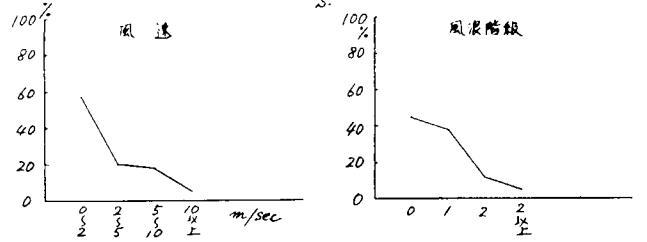
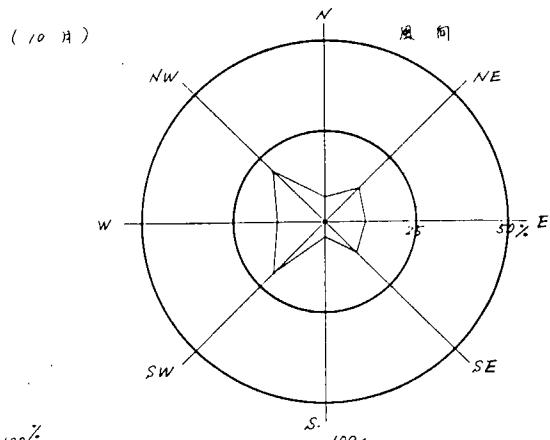


Fig. 6.4.10

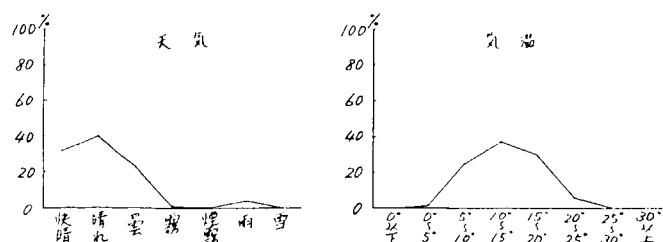
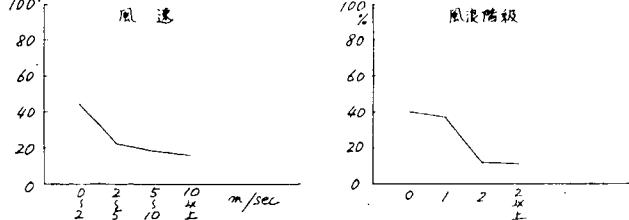
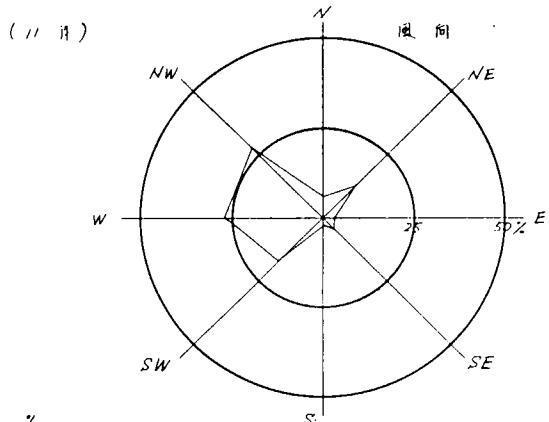


Fig. 6.4.11

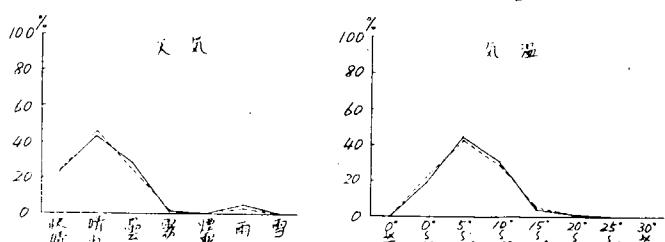
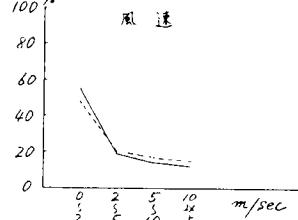
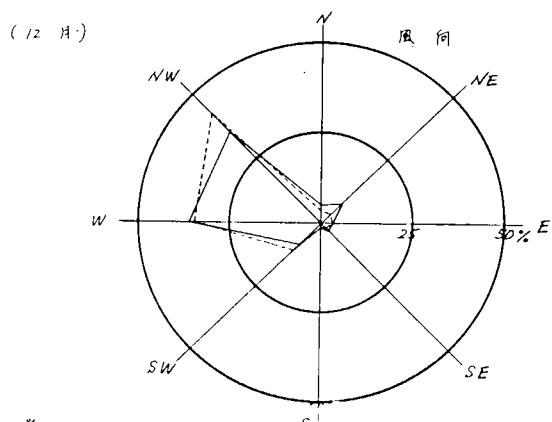


Fig. 6.4.12



Fig. 6.4.13

## 6.5 実船・実験船による抵抗試験の外乱について

実船あるいは実験船の抵抗試験は古くからの造船学の課題であって現在なお困難な問題として残っている。その困難性は大別して二種ある。一つは船を曳航あるいは前進させる方法にあり、他の一つは自然の外乱を受けることにある。このうち前者は軽くて丈夫なナイロンロープの出現あるいはジェット・エンジンの利用により曳行するにしても推進するにしてもかなり考え易くなつたと思われるが、本節では主として外乱の影響について若干調べてみる。（なおこの調査はひきつづき明年度も実施の予定）

### (1) 潮流の影響

潮流の影響はこれを (i) 抵抗試験を行う 1 航走中の各位置あるいは時間での潮流速度の変化と (ii) 船の吃水方向の潮流々速流向の変化、の二つに分けられる。自然の海域ではこの二つが大体併存している。

(i) による影響は船に備えて計測する対水速度計の変動となってあらわれ、そのオーダーは  $0.1 \sim 0.2$   $m/sec$  となることもまれではない。更にこの影響が船を加速あるいは減速するような場合には力の計測にも影響を与える筈であるが、これは 2 次的な影響に過ぎないと考えられる。

対地速力を計測せず、対水速力のみの計測を行った場合、その計測値のみで船が加速中、あるいは減速中であると判断しては誤りをおかす。(ii) による影響はどの水深の対水流速を解析に用うべきかという問題に帰着する。今 Fig. 6.5.1 のような相等平板で検討する。 $\epsilon_1, \epsilon_2$  を小さい数として吃水方向の流速および摩擦抵抗係数を図中のように表すと、この平板の吃水  $Z$  における  $dZ$  部分の水平ストリップの抵抗  $dR_f$  は

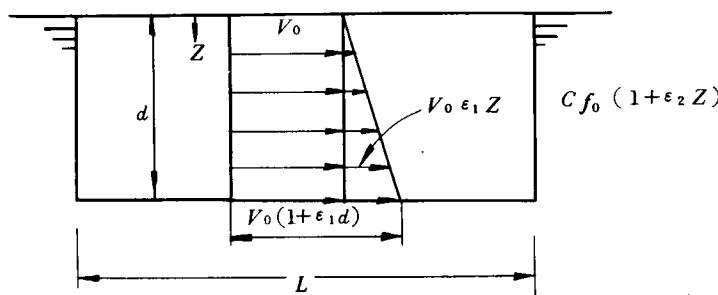


Fig. 6.5.1

$$\therefore dR_f = \frac{\rho}{2} LV_f^2 (1 + \epsilon_1 Z)^2 C_{f0} (1 + \epsilon_2 Z) dZ$$

$$\begin{aligned} \text{平板の抵抗は } R_f &= \int_0^d dR_f = \frac{\rho}{2} L \int_0^d V_0^2 (1 + 2\epsilon_1 Z) C_{f0} dZ \quad [\because C_{f0} \times \epsilon_2 \approx 0] \\ &\approx \frac{\rho}{2} V_0^2 S \cdot C_{f0} (1 + \epsilon_1 d) \end{aligned}$$

ただし  $S = L \times d$  である。船の LWL のところと船底で対水流速の差  $\epsilon_1 d = 0.1$  (10% の差) は経験範囲の数値で、この場合吃水の半分のところの対水流速を用いたとすると約 5% の誤差となる。しかしながら流速の分布が linear でない場合には注意を要する。またここでは摩擦抵抗を主として取り上げたが造波抵抗や渦抵抗等にも影響は及ぶ筈である。

### (2) 湾内の静振等による水面勾配の影響

水面勾配は(i)潮差によるもの、(ii)静振によるものに分けられ、(i)はよほど潮差が大きくしかも航走コースが特別な場合のほかは余り考えなくてよいようである。それに比べ(ii)は静振の周期 (1 分 ~ 4 分) と抵抗試験の一航走時間 (2 分 ~ 5 分) の関係如何によっては抵抗値の大きな散布の原因になりうる。静振による水面勾配のオーダーは場所によって異なるから推定出来ないが仮りに 100m で 1cm の勾配 ( $1/10000$ ) が存在したとするとその抵抗に与える影響を略算すると次のようになる。今  $L = 25$  m

$\Delta = 150 \text{ t}$  とすると水面勾配で生ずる力は  $15 \text{ kg}$  となり、この船の  $2 \text{ m/sec}$  における全抵抗値約  $150 \text{ kg}$  の  $10\%$  のオーダーに達し、静振がある場合には抵抗値はばらつく。

### (3) 慣性力の影響

抵抗試験を行っている間に 2 分間で航走速度(対地)が  $0.12 \text{ m/sec}$  増加又は減少した場合、加速度  $\alpha$  は  $10^{-3} \text{ m/sec}^2$  で前項の例と同じ船でその影響を略算すると、

$$\therefore \frac{\Delta}{g} \alpha \div \frac{1.5 \times 10^5}{10} \times 10^{-3} = 15 (\text{kg})$$

となり、やはり  $2 \text{ m/sec}$  の速度で航走する場合の全抵抗値の  $10\%$  のオーダーに達する。

### (4) 外板表面粗度の影響

実船あるいは長大模型船の抵抗試験に際し最もその影響推定の困難なもの一つであるが、仮りに今摩擦抵抗係数  $C_f$  が  $0.0001$  増加したと仮定すると、それによる抵抗増加量は、前項迄の例の船で

$$\Delta R_f = C_f \times \frac{\rho}{2} \times S \times V^2 \div 10^{-3} \times 50 \times 170 \times 2^2 = 3.4 (\text{kg})$$

これは  $2 \text{ m/sec}$  で航走時の抵抗の  $2.7\%$  に相当する。実験を行う船であるから外板は清浄かつ一定に保つように努めるにしても、この影響については別途調べなければならないと考えられる。

### (5) 風の影響

もし向い風で相対風速が  $4 \text{ m/sec}$  の大きさであると前項迄の例で風圧抵抗は  $10 \text{ kg}$  のオーダーとなる。風が一様に船に当る場合も無視出来ないがむしろ  $5 \sim 10 \text{ sec}$  で断続する風の息が抵抗値散布の原因にもなると考えられる。しかも風の息の場合、影響を見積ることが困難である。

## 6.6 実船、実験船による Propeller 性能調査

実船実験あるいは、大型実験船における実験項目のうち Propeller の性能に関するものについて、その考え方、実験実施に当ってのアイデアを述べる。

### 6.6.1 問題点

従来 Propeller 性能に関しては、直径約  $200 \sim 250 \text{ mm}$  の模型 Propeller が主に使用され、単独試験・自航試験において、トルク・スラスト等の特性が計測されている。Cavitation, Propeller Force 等の計測も同様の模型サイズが使用される場合が多い。これは船型水槽 Cavitation Tunnel 等の施設の規模、それによって自ら決まる模型寸法の制約による所が大きい。従来はこの様な模型寸法ならば一応限界レイノルズ数を超える状態で実験が可能と考えられているが、次に述べる様な点を考慮すると、Large Scale Model Propeller による実験が実現すればこの分野の研究に大きく貢献する成果が期待出来る。

#### (1) Propeller 特性における Scale Effect

大型実験船の速力成績解析に当っては、使用された Propeller そのものによる Open 特性を使用する事によって、解析精度を向上する事が出来る。又従来の Propeller 特性に関する推論を large レイノルズ域において確認する事が可能となり、実船速力試験解析の精度向上につながる。

Ducted Propeller においては、Duct 自身のレイノルズ数を上げるのが望ましいが Large Scale Model の使用によって、それが可能となり、性能をより正しく把握する事が可能となるものと考えられる。

#### (2) Propeller 特性のミクロ的調査

Propeller 特性を軸のトルク・スラストより見るのではなく、よりミクロ的に研究する事が必要であるが  $D_p \approx 200 \text{ mm}$  では計測技術的に極めて困難である。即ち、翼面上圧力の計測による Propeller 理論の確認と精度向上、翼面上流場の計測等の研究が可能となろう。

### (3) Cavitation特性

CavitationのExtentのみでなく Cavitationの厚みが重要であるが、通常の模型 Cavitation 試験では Scale が小さい為計測が極めて難しい。又自然海水中で Cavitation Test が可能となれば、より実船に近い状態の Cavitation 初生、Cavitation Scale Effect、空気含有量、Nuclei Effect について明らかにする事が可能となる。

又上記 Cavitation 厚みと共に Cavitation の翼面上における崩壊圧 Erosion Intencity を翼面上にて計測出来る可能性が生じる。

### (4) Propeller Force の計測

Bearing Force, Surface Force の計測が容易となる。又船尾部の防振対策としての舵フィンを含む特殊設計の効果を確認するに当って、Large Scale Modelにおいては、Cavitation を発生させ事が出来れば、略実船の状態を再現可能であり、又圧力の計測等絶対値が大きくなる為容易・確実性が増す事となる。

## 6.6.2 実験アイデア

前節にて述べられた観点より、実船・大型実験船において、夫々の研究を実現させる為には、充分な事前の検討が必要である。

本年度は先づその第1段階として、実験を実施するに当っての、アイデアについて検討した。以下大型実験船の場合についてのべる事とする。

### (1) プロペラ単独試験

Fig. 6.6.1 及び Fig. 6.6.2 にその概要を示す。両ケース共供試模型プロペラは実験船の船部中心線上に、 $I/D_p = 1.0$  の深度に設置される。Fig. 6.6.1 の場合は、駆動モーター、計測ダイナモは舷外に在るのに反し Fig. 6.6.2 の場合は、船内にあり、プロペラ駆動軸及び同支持装置のみが舷外にある。供試模型プロペラが比較的小さい場合は Fig. 6.6.1、大きい時には、Fig. 6.6.2 の方式がよいのではないかと考えられる。供試プロペラへの流入スピード即ち船速は、主推進器と供試プロペラの推力の和によって決定される事となる。

### (2) プロペラの船后試験

Fig. 6.6.3 図は、この試験の為の配置を示す。即ち船体中心線艉に設けられたのが供試プロペラであり、艉面側舷外に設けられたのが補助推進装置である。

船速即ち供試プロペラへの流入スピードは、その回転数のみで決まるのではなく、補助推進装置の操作によって制御されるのでプロペラ負荷の可成広い範囲のトルク・スラスト・回転数を計測する事が可能となる。これによって、実験船の伴流中におけるプロペラ特性曲線を得る事が出来る。

### (3) 過負荷、空洞試験

前進常数  $J$ 、スラスト係数  $K_t$ 、空洞係数  $\sigma$  を実船と同一にして実験を行う為には、模型船を高速にて前進させる必要がある。

30万DWT の 1/10 実験船の場合、相等フルード数の約 2.6 倍の船速が必要となる。高速双胴船の両胴間に伴流発生装置とプロペラ駆動・検力計装置を設けて、実験を行えば、実船の作動状態と略近い空洞試験が可能になるとも考えられる。

然しここでは、大型実験船のプロペラの負荷を増大させる事によって、プロペラの作動条件は実船とは一致しないが、とにかく空洞現象を起させる事を考える。Fig. 6.6.3 に示す補助プロペラを後進にする事によって、又その出力を変化させる事によって、プロペラの過負荷の増大により空洞現象が発生するに至る。これによって、プロペラの過負荷（クラッシュアスター、増減速状態対応）及び空洞現象に関連した研究が可能となるであろう。

## 6.7 あとがき

実験船・実船実験に関する初年度の調査事項をまとめると以下の通りである。

- 1) 内外における実船実験・実験方法に関する文献調査を行い、一般的な実験、抵抗・推進関係実験、伴流計測（船側を含む）、外板粗度、推力、トルク計測の文献リストを作製した。
- 2) 近年我が国で実施された実験船（長大模型船）に關し調査を行った。これらの実験船はその大部分がいわゆる「ずんぐり型」で操縦性に関する試験に供されたが、抵抗・推進に関する試験を試みたところもある。しかし抵抗・推進に関する試験は外乱の影響を受けやすく、解決を要する問題が少くない。
- 3) すべての実船実験や実験船による実験の成否の鍵の一つは実験海域の海象・気象にあるといえる。今後、もし実験の機会が得られた場合に備え候補海域の選定と調査を行った。候補としては広島県の江田島湾を選び同湾の3年間の気象・海象を調べ、実験場に適することを確認した。
- 4) 先述のように実験船・実船実験での抵抗試験は外乱の影響が大きい。潮流、水面勾配、慣性力、表面粗度、風の影響につき若干の考察を行った。
- 5) 今後、もし実験の機会が到来した場合、実施すべき、あるいは実施しうる実験に関するアイデアの一つとしてプロペラ単独試験について若干の考察を行った。

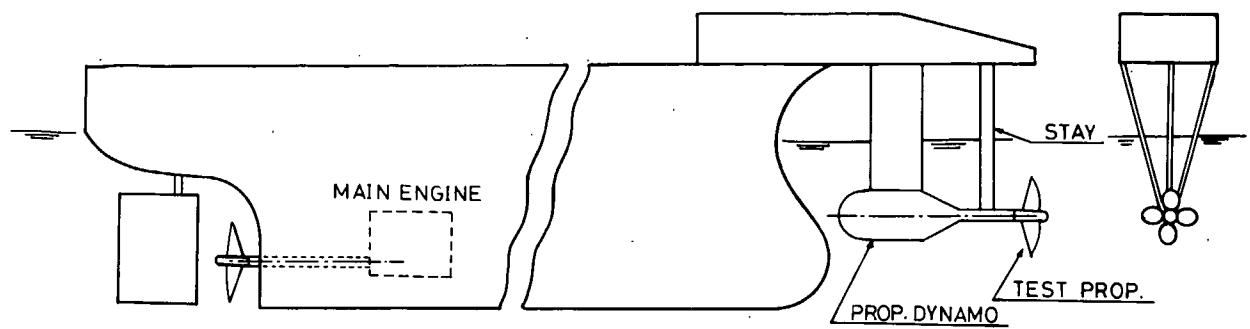


Fig. 6.6.1

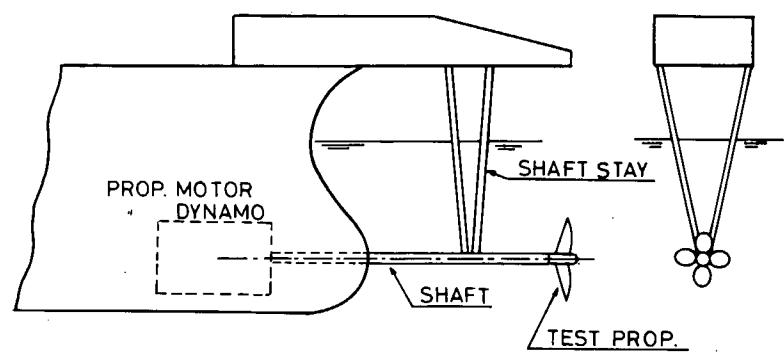


Fig. 6.6.2

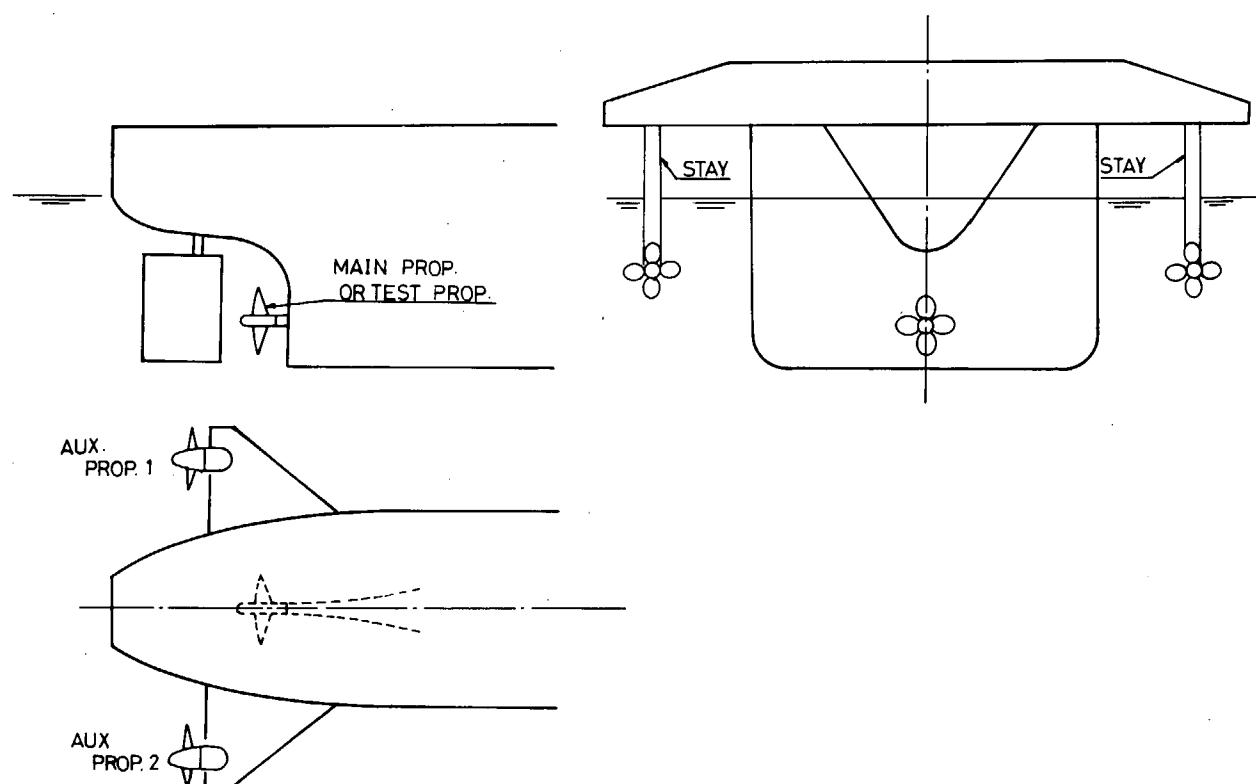


Fig. 6.6.3

## § 7 結 言

本年度に実施した研究の詳細は以下の通りである。初年度のため、模型船や計測器具の製作に費やされた期間もあって、実験としてはまだ僅かしか行われていないので、その成果や見通しなどを述べる段階にはないが概して感じられるところでは、不安定は確かに見られたものの、その程度は予想外に微弱で、この船型に対してすでに発表されているほど明瞭でないことである。デリケートな現象であるだけに、実験の季節などさえ影響しているのかも知れない。また、計測された事項は両舷の流れの非対称を示すものではあっても、その機構を想像させるには不十分で、群盲象をなでるの感なきを得ない。たとえば両舷の渦を同時に観測あるいは計測するなど、もっと直接的な攻め方を先ず心掛ける必要がありそうである。次年度にはこの方向で進めたい。