

## 第 159 研究部会

# 新経済船型開発のための 船尾まわりの流場に関する研究

## 報 告 書

昭和 53 年 3 月

社 団 法 人  
日 本 造 船 研 究 協 会

4か年計画の第3年度として前年度に引き続き 1) 自航試験法の研究、2) 実船推進性能の研究、3) 船尾まわり流場の調査、および 4) 抵抗成分の分離に関する研究を行なった。

1) においては船尾流場の不安定現象に対する船尾形状およびプロペラ直径の影響についての研究ならびに各種船型における横力の実情把握、2) においては模型試験で不安定現象が現われ、そのままの船型で実船を建造した場合の実船性能がどうなるかを研究し、3) ではこれまでに製作した7m、4mおよび2m模型船を用いて、不安定現象発生原因の解明に直接つながる現象的特徴を確認するための研究を行なった。また、4) では船尾流場の性質の解析が重視されているのに鑑み、抵抗成分と船尾縦渦の関係に重点をおいた研究を行なった。

本報告書はこれらの結果を中心に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 .....	3
2.3 配布資料 .....	4
§ 3. 大型模型船による自航試験法に関する研究 .....	7
3.1 まえがき .....	7
3.2 不安定現象に対する船尾形状の影響 .....	8
3.2.1 はじめに .....	8
3.2.2 船尾形状変更の計画 .....	8
3.2.3 模型船および試験状態等 .....	8
3.2.4 試験結果および考察 .....	8
3.2.5 おわりに .....	9
3.3 不安定現象に対するプロペラ直径の影響 .....	22
3.3.1 試験の実施 .....	22
3.3.2 試験の結果 .....	22
3.3.3 試験結果の考察 .....	23
3.4 各種船型におけるサイドフォースの計測とその考察 .....	38
3.4.1 試験の目的および概要 .....	38
3.4.2 試験結果 .....	38
3.4.3 考 察 .....	38
3.5 ま と め .....	48
§ 4. 実船の推進性能の研究 .....	49
4.1 緒 論 .....	49
4.2 供 試 船 .....	49
4.3 実船試運転時の観察 .....	49
4.4 供試船の模型試験結果 .....	50
4.5 模型船 — 実船関連の調査 .....	50
4.6 結 論 .....	51
§ 5. 船尾まわり流場の調査 .....	63
5.1 まえがき .....	63
5.2 4 m 模型船による実験と考察 .....	63
5.2.1 糸による船体表面の粘性流れの観測 .....	63
5.2.2 タフト・グリッドによる船体後方の流れの観測 .....	64
5.2.3 流れ制御の実験 .....	64
5.2.4 船体表面の圧力分布の計測と仕切り板の影響 .....	65
5.3 2 m 模型船による実験と考察 .....	76
5.3.1 回流水槽における実験(1) .....	76
(1) 研究概要 .....	76
(2) 回流水槽 .....	76

(3) 実験および実験結果 .....	76
5.3.2 回流水槽における実験(2) .....	87
(1) はじめに .....	87
(2) 回流水槽および不安定現象の確認 .....	87
(3) 船尾回りの流れの調査 .....	87
(4) 考 察 .....	89
5.3.3 回流水槽における実験と計算 .....	102
(1) 計算法の概略 .....	102
(2) 計算結果および考察 .....	102
(3) 限界流線の可視化実験 .....	103
(4) まとめ .....	103
5.4 7 m 模型船による実験と考察 .....	109
5.4.1 供試模型船 .....	109
5.4.2 試験状態 .....	109
5.4.3 試験及び試験結果 .....	109
5.4.4 考 察 .....	110
5.5 50 年度及び 51 年度研究の総括に関する中間整理について .....	118
5.5.1 試験項目一覧 .....	119
5.5.2 4 m 及び 7 m 模型の自航要素及び横力の比較 .....	121
5.5.3 2 m 模型実験結果まとめ .....	123
5.5.4 4 m 模型実験結果まとめ .....	124
5.5.5 7 m 模型実験結果まとめ .....	125
5.5.6 中間整理まとめ .....	127
5.6 その他関連研究結果 .....	128
5.6.1 推力変動の激しい肥型模型船船尾流れの観察 .....	128
(1) まえがき .....	128
(2) 供試模型 .....	128
(3) 実験場所 .....	128
(4) 実験方法 .....	128
(5) 実験装置 .....	129
(6) 実験結果 .....	129
(7) むすび .....	130
5.6.2 模型船伴流計測へのレーザー・ドップラ流速計の試用 .....	150
(1) まえがき .....	150
(2) 供試レーザー・ドップラ流速計 .....	150
(3) 供試模型船および実験状態 .....	150
(4) 配 置 .....	151
(5) 実験経過および結果 .....	151
(6) むすび .....	152
5.6.3 船尾横力と舵横力の関係 .....	156
5.6.4 境界層理論による粘性抵抗の解析 .....	157
(1) 解析法の概略 .....	157

(2) 解析結果および考察 .....	157
5.7 ま と め .....	163
§ 6. 抵抗成分の分離に関する研究 .....	164
6.1 ま え が き .....	164
6.2 50年度船型相似模型による抵抗成分の計測 .....	164
6.3 船尾渦度分布計測 .....	165
6.3.1 Rotor型渦度計の検定と改造 .....	165
6.3.2 渦度計移動装置 .....	166
6.3.3 50年度船型相似模型の渦度分布計測 .....	166
§ 7. 結 言 .....	182

## § 1 緒 言

近年次第に太短かい船型に移行した所謂経済船型の模型試験において、船尾流場の急変が発生し、推進性能が一意的に確定できない事例がしばしば現われるようになった。本研究の目的はこの種船型の変動流場の詳しい調査とその発生機構、船型との関連などを研究して設計に資するにある。

研究は昭和50年度に発足し、この不安定現象が初めて認められたSR61部会の原船型をとりあげて、大型模型船による各水槽の持廻り試験と、中、小模型船による流場調査を開始した。昭和51年度には前年に引き続き調査研究を行なうとともに、不安定をより明瞭に発生させる目的で僅か船尾を変更した中、小模型船の実験をも併行して行なった。

以上兩年度の研究により、不安定が発生するのは自航時のみ、それもバラスト状態に限られること、発生すれば船尾流場は両舷非対称な二つの型を非周期的に往復し、両流場に対応して、推力トルク大、船尾横力右舷向き、伴流係数大、潮目発生左舷なる現象と、それと正反対な現象の起ることなどが明らかとなった。

本52年度は上記の外面的な観察を更に掘り下げて、不安定発生の機構と発生時流場の解明を目標に、同一船型について研究を続行した。その内容は、プロペラ直径と舵の影響調査、流れの可視化、ビルヂ渦の精密な計測、流場の固定化の方法、船尾船型の肥厚度と不安定発生の関係調査などである。また、模型船に発生した現象が実船にも発生するか否かは最も重大な問題であるが、幸にして二会社のご好意により試運転に乗船し、またその成績の提供を受けて模型船との比較を行った。理論研究としては、プロペラの作用を考慮した船尾流場の3次元境界層の計算が行われた。

## § 2 委 員 会

### 2.1 委員構成

#### 2.1.1 委員会

(敬称略、順不同)

部会長	笹島秀雄(鉄鋼短期大学)		
委員	矢崎敦生 <sup>*</sup> (造船技術センター)	乾 崇夫(東京大学)	
	田古里哲夫(東京大学)	梶谷 尚(東京大学)	
	丸尾 孟(横浜国立大学)	波多野修次(広島大学)	
	仲渡道夫(広島大学)	山崎隆介(九州大学)	
	田中一朗(大阪大学)	鈴木敏夫(大阪大学)	
	姫野洋司(大阪府立大学)	田中 拓(船舶技術研究所)	
	川口 昇(三菱重工業)	田村欣也(三菱重工業)	
	藤田 孝(三菱重工業)	岸本 修(三井造船)	
	田中 稔(石川島播磨重工業)	田崎 亮(石川島播磨重工業)	
	植村善久(日立造船)	高木又男(日立造船)	
	岡本 洋(川崎重工業)	須藤正信(日本鋼管)	
	富山 毅(日本鋼管)	牛島秀利(住友重機械工業)	
	山崎芳嗣(佐世保重工業)	篠原喜代美(函館ドック)	
	桑原昭夫(大阪造船所)	滋野正明(佐野安船渠)	
	梁井 泉(来島ドック)	渡辺豊徳(三保造船所)	
	須藤彰一(明石船型研究所)	佐藤和範(造船技術センター)	
	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)		
委員	乾 崇夫(東京大学)	川上善郎(船舶技術研究所)	
	田中一朗(大阪大学)	仲渡道夫(広島大学)	
	藤田 孝(三菱重工業)	山崎禎昭(石川島播磨重工業)	
	城野隆史(日立造船)	須藤彰一(明石船型研究所)	
	佐藤和範(造船技術センター)	須藤正信(日本鋼管)	
	山崎芳嗣(佐世保重工業)	荻野繁之(佐野安船渠)	

##### (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)		
委員	丸尾 孟(横浜国立大学)	波多野修次(広島大学)	
	仲渡道夫(広島大学)	山崎隆介(九州大学)	
	田古里哲夫(東京大学)	梶谷 尚(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)	田村欣也(三菱重工業)	

藤田 孝(三菱重工業)	並松 正明(石川島播磨重工業)
富山 毅(日本鋼管)	岸本 修(三井造船)
久富 吉弘(日立造船)	坂尾 稔(川崎重工業)
田中 陽(明石船型研究所)	佐藤 和範(造船技術センター)
山崎 芳嗣(佐世保重工業)	高木 又男(日立造船)

### 2.1.3 討議参加者

#### (1) 委員会

(敬称略、順不同)

木下 健(横浜国立大学)	永松 秀一(住友重機械工業)
川上 善郎(船舶技術研究所)	田中 陽(明石船型研究所)
根間 清(川崎重工業)	並松 正明(石川島播磨重工業)
山崎 禎昭(石川島播磨重工業)	芦立 勲(日本鋼管)
佐々木 紀幸(住友重機械工業)	永松 宣雄(川崎重工業)
小倉 理一(佐世保重工業)	村岡 賢二(石川島播磨重工業)
村上 延夫(日立造船)	牛島 憲文(三菱重工業)
北沢 孝宗(日立造船)	

#### (2) 第1小委員会・第2小委員会合同委員会

(敬称略、順不同)

笹島 秀雄(鉄鋼短期大学)	小丸 捧(明石船型研究所)
木下 健(横浜国立大学)	藤本 留男(日立造船)
矢崎 敦生(造船技術センター)	北沢 孝宗(日立造船)
柳原 健(船舶技術研究所)	高井 忠夫(日立造船)
永松 宣雄(川崎重工業)	芦立 勲(日本鋼管)
福田 和広(三井造船)	官川 康夫(佐野安船渠)
小倉 理一(佐世保重工業)	橋本 美貴(佐野安船渠)

## 2.2 委員会開催状況

### 2.2.1 委員会

第10回	52.8.25(木)	10.30~17.10	造船振興財団
	○研究進捗状況報告		
	○次年度研究計画審議		
第11回	52.9.29(木)	11.00~16.50	大阪大学
	○研究進捗状況報告		
	○次年度研究計画と予算の審議		
第12回	53.1.30(月)	10.30~17.00	造船振興財団
	○次年度研究計画見直し		
	○報告書原稿審議		

### 2.2.2 第1小委員会・第2小委員会合同委員会

第4回	52.5.9(月)	10.30~17.30	造船振興財団
	○研究実行計画検討		

- 実船試運転観察報告
- 第5回 52.6.29(水) 11.00~17.00 大阪大学
- 実船試運転観察報告
- 研究実行計画検討
- 供試船型決定
- 経費配分
- 第6回 52.12.7(水) 10.30~17.00 造船振興財団
- 研究進捗状況報告
- 報告書とりまとめ方針の審議と決定

## 2.3 配布資料

### 2.3.1 委員会資料

#### 第10回

- (1) 第1小委員会関係研究中間報告 (田 村)
- (2) SR159 カルテの件 (阪大田中)
- (3) 試験項目一覧(第1表) (ASMB)
- (4) 機関別試験結果(第2表)記入例 (" )
- (5) 阪大試験結果(第2表) (阪大鈴木)
- (6) 試験結果総括(第3表) (川 重)
- (7) 52年度研究の実施並びに53年度の研究の立案のための参考資料 (阪大田中)
- (8) 船尾流場の不安定について(続) (阪大田中)
- (9) 船尾流場の観測 (広 大)
- (10) 「船尾形状と境界層特性」研究方針 (大府大)
- (11) 船尾流場に対するプロペラ吸込みの影響 (大府大)
- (12) 昭和53年度研究計画に関する試案(第1小委員会関係) (田 村)
- (13) 第2小委員会抵抗成分関係研究計画(覚書) (船研田中)
- (14) 昭和53年度研究計画について (造 研)

#### 第11回

- (1) 第1小委員会船尾形状変更参考資料 (田 村)
- (2) 推力変動に関する報告 (鋼 管)
- (3) 回流水槽における2m模型(51年度船型)の試験(中間報告) (川 重)
- (4) 船尾流場の観測、カルテ第2小委ワーキンググループ中間報告 (波多野)
- (5) 2m模型実験結果まとめ (姫 野)
- (6) 7m Model 実験結果所見 (ASMB田中)
- (7) 船尾横力と舵横力の関係 (鈴 木)
- (8) モデル化した船尾流場における横力およびスラスト変化について (" )
- (9) 船尾流場ノート(4)船尾流場の動的形態について (阪大田中)
- (10) 模型船伴流計測へのレーザー Doppler 流速計の試用 (田古里)
- (11) 53年度計画 (田 村)
- (12) 53年度研究計画案 (田古里)

## 第12回

- |                                 |          |
|---------------------------------|----------|
| (1) 53年度研究費一覧表(申請中)             | (造 研)    |
| (2) 大型模型船による自航試験法の研究 まえがき       | (田 村)    |
| (3) 不安定現象に対する船尾形状の影響            | (川 上)    |
| (4) 各種船型におけるサイドフォースの計測とその考察     | (須 藤)    |
| (5) まとめ                         | (田 村)    |
| (6) 斜航角およびプロペラ直径変更試験例(本年度報告参考用) | (仲 渡)    |
| (7) 実船の推進性能の研究                  | (佐 藤)    |
| (8) 52年度流場と抵抗分離実施分              | (阪大田中)   |
| (9) 4m模型船による実験と考察               | (波 多 野)  |
| (10) 回流水槽における実験(1)              | (川 重)    |
| (11) " (2)                      | (佐 世 保)  |
| (12) 回流水槽における実験と計算              | (姫 野)    |
| (13) 7m模型船による実験と考察              | (並 松)    |
| (14) 中間整理結果について                 | (阪大田中)   |
| (15) 試験項目一覧                     | (ASMB田中) |
| (16) 自航要素、横力の比較                 | (川 重)    |
| (17) 2m模型実験結果まとめ                | (姫 野)    |
| (18) 4m模型実験結果まとめ                | (鈴 木)    |
| (19) 7m模型実験結果まとめ                | (ASMB田中) |
| (20) 推力変動の激しい肥型模型船船尾流れの観察       | (田 古 里)  |
| (21) 同上流線観測結果写真コピー              | ( " )    |
| (22) 模型船伴流計測へのレーザ・ドップラ流速計の試用    | ( " )    |
| (23) 船尾横力と舵横力との関係               | (鈴 木)    |
| (24) 境界層理論による粘性抵抗の解析            | (姫 野)    |
| (25) 船尾水面付近の流場について              | (阪大田中)   |
| (26) 抵抗成分の分離に関する研究              | (船研田中)   |

## 2.3.2 第1小委員会・第2小委員会合同委員会資料

### 第4回

- |                       |         |
|-----------------------|---------|
| (1) 研究計画書             | (造 研)   |
| (2) 第1小委員会供試船型計画案     | (田 村)   |
| (3) 実船試運転観察報告         | (仲渡、佐藤) |
| (4) 供試模型線図            | (田 古 里) |
| (5) 模型船主要目その他         | ( " )   |
| (6) 記録(スラストが大きい場合)    | ( " )   |
| (7) " (スラストが小さい場合)    | ( " )   |
| (8) " (曳航状態)          | ( " )   |
| (9) 境界層近似による後流の安定性の解析 | (姫 野)   |
| (10) 研究計画メモ           | (阪大田中)  |
| (11) 船尾流場研究方針について     | (田 古 里) |
| (12) 52年度研究実行計画       | (大 府 大) |

- (13) 52年度研究計画案 (坂尾)
- (14) 不安定現象のモデル化に基づく実験概要 (佐世保)
- (15) 相似模型船による船尾渦度分布の研究(52年度研究計画) (船研)
- (16) 文献紹介「はく離流研究の近年の動向」 (田古里)
- (17) 文献紹介「管路ディフューザの性能予測」 ( " )

第5回

- (1) フレームライン形状とスラスト変動 (造技セ)
- (2) 第1小委員会船尾形状変更案 (ASMB)
- (3) 第1小委員会関係造技セの実施計画 (造技セ)
- (4) プロペラ直径変更自航試験実施方案 (石播)
- (5) 模型船の船首尾サイドフォースの計測 (三菱)
- (6) 第1小委員会52年度予算配分案 (田村)
- (7) 船体表面の粘性流れの観測(65% Load) (広大)
- (8) 回流水槽における不安定流場計測例(その2) (大府大)
- (9) 51年度船型による予備実験 (佐世保)
- (10) 自航試験における不安定現象に関する吃水の影響(速報) (東大)
- (11) 船尾流場ノート(2) (阪大)

第6回

- (1) 第1小委員会53年度計画(案) (田村)
- (2) 第1小委「実船推進性能の研究」中間報告 (造技セ)
- (3) 船尾形状変更試験 (船研)
- (4) プロペラ直径変更試験 (石播)
- (5) 模型船におけるサイドフォース計測結果 (三菱)
- (6) 不安定現象カルテ (造研)
- (7) " ( " )
- (8) " ( " )
- (9) 第2小委員会W.G.中間報告 (阪大鈴木)
- (10) 第2小委ワーキンググループ報告 不安定現象カルテ作り作業結果 (阪大田中)
- (11) 51年度船型による不安定現象に関する実験 (佐世保)
- (12) 船尾流場に対するプロペラ吸込みの影響 (大府大)
- (13) 船尾形状と境界層特性 ( " )
- (14) 船尾流場の観測 (広大)
- (15) 分担研究結果の速報 (石播)
- (16) Propellerによって誘導される渦の計測(中間報告) (船研)
- (17) 昭和52年度報告書目次(案)(第1小委員会関係) (田村)
- (18) 第2小委員会関係目次(案) (阪大田中)

## § 3. 大型模型船による自航試験法に関する研究

### 3.1 まえがき

肥大船の自航試験時に発生する船尾流場の不安定現象を調査し、その自航試験結果に及ぼす影響を把握するため、不安定現象の発生し易い船型としてSR61母型船型を選び、その7m木製模型船および自航用模型プロペラを製作し、50年度、51年度の2年間にわたって、本研究部会に参加している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㈱技術研究所、明石船型研究所、三菱重工業㈱長崎研究所の5水槽を回送して、所定の試験実施方案に従って試験を行い比較評価した。この結果は第2年度報告に詳述されているが、船尾流場の不安定現象に関してはいずれの水槽においてもほぼ同様の結果が得られ、この現象が試験設備や計測装置、試験方法などそれぞれの水槽固有の特性に左右されることなく、確実に存在することが明らかにされた。

即ち、抵抗試験の状態では発見出来ない不安定、流れの非対称が自航状態、それも特にバラスト状態において明瞭に現われ、次の二つの異った型の流れが周期的とは見えない間隔で発生していることが明確になった。

	プロペラ回転方向	推力およびトルク	船尾横力の作用方向	潮目の流出方向
A	右	大	右	左
B	右	小	左	右

(ただし方向はいずれも船の進行方向を基準にして表示している)

そして、このような船尾の非対称流れの発生、およびそれがA、Bいずれの型であるかを検出する手段として、

- 1) プロペラ荷重度を大幅に変更して自航要素、特にwakeの変化の様相を調査する。
- 2) 自航試験において船尾横力の発生の有無を調査する。
- 3) 船尾流場を観測して潮目の発生の方向、さらに左右舷の船尾縦渦の大小やはく離の程度を調査する。
- 4) 船尾左右舷の船体表面の圧力を計測する。

等の方法が有力であることが明らかにされた。

したがって自航試験法を確立する上に必要な次段階の研究としては、

- 1) このような非対称流場がどの程度の船尾肥大度、船尾形状から発生しはじめ、また肥大度の増加と共にどのように変化して行くか、
- 2) このような船尾流れの非対称性はプロペラの作用に起因して生ずるものと考えられるが、それが船尾形状とプロペラの大きさの相対関係によってどのように変化するか、

を知ることが重要である。

このうち1)については模型船2隻を使用して船尾肥大度の影響を調査することとし(担当;船舶技術研究所)、同時にまた本研究部会参加の大水槽において、それぞれ通常実施している水槽試験の中から適当な数船型を選び、抵抗および自航試験実施時に船尾の横力を計測して、このような非対称流れの発生がどのような船型要素と関連して発生するののかについて、その大枠をつかむこととした(取りまとめ担当;明石船型研究所)。また2)については50、51年度と同一の船型を使用し、相似模型プロペラ3ヶを使用して比較自航試験を行ってその影響を調査した(担当;石川島播磨重工業㈱技術研究所)。

## 3.2 不安定現象に対する船尾形状の影響

### 3.2.1 はじめに

昭和50～51年度にかけて、日本造船技術センター(SRC)、船舶技術研究所(SRI)、石川島播磨重工業(IHI)、明石船型研究所(ASMB)、三菱重工業(MHI)の5水槽の間を、1隻の模型船(50年度母型)を持ち回って各種の試験が実施され、試験の状態や種類によっては“不安定現象”の出現することが確認された。

昭和52年度には、この船型の船尾形状をもとにして、船尾形状の相違による不安定現象におよぼす影響を調査しようとした。

### 3.2.2 船尾形状変更の計画

船尾船型を変更するため、最初に以下の各案が計画された。

- (A)  $C_B$  の影響調査を詳細に行うために、SR61の $C_B$  シリーズの再試験を行う。
- (B)  $C_B$  および船尾フレーム・ライン形状の影響を調査する。(船首部は同一とする)
- (C)  $C_B$  および浮心位置の相違による影響を調査する。
- (D) (C)と同じ計画であるが、船首形状はすべて母型と同一とする。
- (E) 母型と同一主要目で、船尾フレーム・ライン形状を変更する。

これらの案をもとに、種々検討の結果、船首部は同一とし、船尾部は $C_B$  の値を変化させた船型について、不安定現象との関連を調査することにして $\#1$ および $\#2$ 船型をきめた。

$\#1$ および $\#2$ 船型の船首部は50年度母型と同じである。(SR61の $C_B = 0.82$  模型船M.S. 1592の船首部に等しい。)

$\#1$ 船型の船尾部は、同研究部会の $C_B = 0.84$  模型船M.S. 1594の船尾部、 $\#2$ 船型の船尾部は同じく $C_B = 0.80$  模型船M.S. 1591の船尾部である。 $C_B$  を変化させるに際しフレームライン形状の傾向はそのままにしている。

### 3.2.3 模型船および試験状態等

試験は、船舶技術研究所推進性能部400m水槽で行った。

模型船は、長さ7mのパラフィン・ワックス製であり、S.S.  $9\frac{1}{2}$  の位置に乱流促進用の梯形スタッドを、10mm間隔で高さ1.5mmに植えつけた。 $\#1$ 船型；M.S. 0252および $\#2$ 船型；M.S. 0253の2隻と母型M.S. 0248を併せて、正面線図および船首尾部形状をFig. 3.2.1に、船体寸法表をTable 3.2.1に、横截面積曲線をFig. 3.2.2に、水線面積曲線をFig. 3.2.3に示す。

模型プロペラは、母型に使用したものである。要目をTable 3.2.2に示す。

試験は、5水槽持ち回り試験の試験方案に基づいて行った。試験状態は、Full, 65%および44%の3載貨状態で、それぞれ抵抗および自航試験を行い、さらに各状態とも、 $Fn = 0.18$ の点で、プロペラ荷重変更試験を行った。なお、プロペラ荷重変更試験の際、舵の影響を調べた。解析の詳細、成績の表現法については、50年度報告書に詳述されている。試験状態等をTable 3.2.3に示す。

### 3.2.4 試験結果および考察

抵抗試験の成績を、剰余抵抗係数 $C_R$ としてFig. 3.2.4に、造波抵抗係数 $C_W$ としてFig. 3.2.5に示す。 $C_R$ も $C_W$ も、それぞれ $C_B$ の値に対応しており、抵抗試験に関する限り、母型と同様特別に不安定状態を示唆するような実験点のばらつきはみとめられない。形状影響係数 $K$ の値は、Fig. 3.2.5中に示されているように、 $C_B$ の値にしたがって増加している。

自航試験結果の無次元表示および自航要素と横力を、各状態ごとに、3隻まとめてFig. 3.2.6に示す。

Full Load 状態については、3船型とも、不安定現象や、その始まりとみとめられるような結果は表れていない。しかし、65%載貨状態では、 $C_B$  の小さい船型M.S.0253が、 $F_n = 0.13$ 位より上の速度で、2種類の $1-W_T$ の値をもつ“二股現象”を生じている。 $C_B$ の増加にしたがい、母型(M.S.0248)では、そのうちのいずれかの値のみ出現する可能性を示し、さらに $C_B$ が増加すると(M.S.0252)、推力、トルクの大きい方向に落ちて $1-W_T$ の値も、ほぼ一定になることがわかる。ただし、 $F_n = 0.17$ より高速では、 $C_B$ の増加による計測値のばらつきが大きくなって $1-W_T$ の値にもひびいている。上記の現象は、船尾横力の様子からも裏づけされる。

$C_B = 0.78$ 船型のM.S.0253は、“不安定現象”が出現する限界状態にあり、 $C_B = 0.80$ のM.S.0248は、一種の臨界状態として推力、トルクが大または小となる状態のどちらかが偏って起り易く、さらに $C_B = 0.84$ のM.S.0252になると、推力、トルクの大きい方向に落ちていてと考えられる。

さらに、44%載貨状態においても、65%状態に似た現象が表れるが、その現象の出現はより少ない。

$1-i$ については、65%状態のように実験点のばらつきの大きいことを考慮に入れても、 $1-W_T$ と同様に $C_B$ による差が出ているようである。

$\eta_R$ は、各状態とも、 $C_B$ によるはっきりした相違はみられない。母型M.S.0248の値のみFull Load 以外は低目であるが、これは昨年度の試験結果である。

昨年、母型M.S.0248の試験に際し、舵と不安定現象との関係の有無を確認することが、ひとつの目的であったが、種々の都合で十分な試験が実施できず、はっきりした結論は得られなかった。今年度の $C_B$ の異なる船尾船型についても、舵の影響調査を、各試験状態の $F_n = 0.18$ においてプロペラ荷重度変更試験の際行った。 $C_B = 0.78$ のM.S.0253の結果をFig.3.2.7に、 $C_B = 0.84$ のM.S.0252の結果をFig.3.2.8に示す。Fig.3.2.7によると、各状態ともに、プロペラ荷重度の増加にしたがって $1-W_T$ の値も増加を示している。また、65%状態においては、プロペラ荷重度が増加すると、 $1-W_T$ に2種の値がみられ、船尾横力も対応して変化している。舵の有無にかかわらず、このような現象が出現していることがわかる。これに反し、 $C_B$ の大きいM.S.0252のFig.3.2.8では、各状態とも、プロペラ荷重度が変化しても $1-W_T$ の値としては、ほぼ一定値を示し、船尾横力も右舷側に働いている。舵が無いと、 $1-W_T$ の値が異なるのは母型同様である。また船尾横力としては、やはり右舷側の方向である。

$C_B$ の異なる3隻、M.S.0253、0248および0252の各状態におけるプロペラ荷重度変更試験結果、自航要素と横力をまとめてFig.3.2.9に示す。これをもても、船尾フルネス( $C_B$ )の影響が、前記、自航試験の場合と同様にみとめられる。65%状態の結果では、 $C_B = 0.78$ のM.S.0253が推力・トルクの変動がはじまる限界であり、 $C_B$ のより大きいM.S.0248は臨界状態にあって、推力・トルクが大または小となる状態のどちらかが偏って起り易く、さらに $C_B$ が増加すると、推力・トルクの大きい方の流場が一定して現れている。

M.S.0253およびM.S.0252の2隻について、65%状態、 $F_n = 0.157$ および $F_n = 0.206$ の自航試験時のスラスト、曳航力および横力のアナログ記録をFig.3.2.10~13に示す。M.S.0253( $C_B$ 小)の記録から、定速走行中、途中で各計測量の変化がみられ、約10 sec以上つづいている。

また、SR61の試験結果との比較の一例をFig.3.2.14に示す。

### 3.2.5 おわりに

すでに、5水槽持ち回り試験によって、各水槽において“不安定現象”の部分的な出現を確認された船尾船型を母型として、船尾肥大の影響を調査した。

結果としては、今回行われた試験の船型では、 $C_B$  の小さい船尾船型 ( $C_{BA} = 0.75$ ) は、不安定現象出現の限界にあり、やや  $C_B$  の大きい船尾船型 ( $C_{BA} \doteq 0.77$ ) は、推力・トルクが大または小となる状態のどちらかが偏って起り易い臨界状態にあり、さらに  $C_B$  の大きい船尾船型 ( $C_{BA} = 0.81$ ) になると流場が推力・トルクの大きい方向に落着いていることが判明した。

しかし、模型船寸法による変化、尺度影響などは簡単にはきめられないし、実船性能の推定に対するきめても本実験からのみでは明らかにされないが、船尾形状と“不安定現象”の関係づけはさらに確めなければならない。

Table 3.2.1 Offsets of Models

OFFSETS OF PLATED HULL

PARTICULARS

LENGTH ( BETWEEN PERPENDICULARS )	7.0000m
LENGTH ( ON L.W.L. )	7.1750m
BREADTH	1.1667m
DRAFT, DESIGNED FULL LOAD	0.4227m
RISE OF FLOOR	0m
STARTING POINT OF RISE OF FLOOR FROM CENTER LINE	0m
RADIUS OF BILGE CIRCLE	0.1050m
WATERLINES, BOW AND BUTTOCK LINES APART	0.0467m
SQUARE STATIONS APART	0.7000m

M.S.NO.0253

HALF BREADTH (mm.)															
WL.	B.L.	0SWL	1WL	2WL	3WL	4WL	5WL	6WL	7WL	8WL	9WL	10WL	11WL	12WL	13WL
S.S.	0	23.3	46.7	93.3	140.0	186.7	233.3	280.0	326.7	373.3	420.0	466.7	513.3	560.0	606.7
B												66.4	98.2	121.6	140.7
A										31.3	84.9	123.8	152.0	172.9	188.6
A.P.									8.5	77.2	133.8	174.3	202.6	221.7	236.5
1/4	15.4	12.6	11.4	11.9	11.0	14.3	21.2	36.5	92.4	160.2	217.8	258.8	288.3	309.4	324.4
1/2	15.4	44.2	55.9	66.8	74.4	84.9	101.8	128.8	174.9	236.5	290.1	332.3	362.6	384.8	401.3
3/4	28.2	84.8	103.4	124.0	138.0	157.0	181.5	213.7	256.2	307.8	354.9	392.9	422.1	444.4	461.8
1	56.1	130.7	154.0	185.8	208.8	231.9	259.3	292.1	331.1	372.7	411.6	443.6	468.3	488.8	507.3
1 1/2	111.2	226.6	263.9	312.9	348.0	377.6	404.9	430.7	455.6	478.1	498.4	515.9	531.3	544.6	556.5
2	213.8	332.8	378.5	431.7	464.7	489.1	508.3	523.6	535.1	544.6	552.6	559.2	565.1	570.5	575.4
2 1/2	325.1	430.3	468.8	513.0	536.5	550.8	560.0	566.2	571.0	574.5	577.5	579.0	580.1	580.8	581.6
3	415.9	499.1	527.6	557.1	570.3	576.1	579.1	581.0	582.0	582.6	583.1	583.3	583.3	583.3	583.3
4	478.3	544.4	565.6	582.6	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3
5															
6															
7	478.3	544.4	565.6	582.6											
7 1/2	469.6	541.3	563.0	580.7	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3
8	431.0	510.0	533.0	555.4	564.1	568.1	570.5	572.2	573.7	575.1	576.7	578.1	579.9	581.2	582.2
8 1/2	352.5	436.2	462.6	491.1	504.6	512.4	518.3	523.6	528.5	533.0	537.3	541.5	546.5	552.1	558.2
9	213.3	310.5	339.5	371.1	388.4	399.6	408.2	416.4	425.0	434.0	444.0	453.9	464.2	475.0	486.5
9 1/4	103.0	225.6	255.2	286.7	304.0	316.0	326.0	335.9	345.6	356.3	368.4	381.1	394.4	407.6	422.4
9 1/2	39.1	135.1	161.2	188.6	204.0	215.6	225.7	235.4	245.5	256.5	268.4	282.0	296.9	312.6	329.1
9 3/4	6.0	53.4	69.9	88.5	98.5	106.0	111.7	117.7	125.4	134.0	144.6	157.5	171.4	186.4	203.1
F.P.												8.5	17.5	30.2	46.0

M.S.NO.0248

HALF BREADTH (mm.)															
WL.	B.L.	0SWL	1WL	2WL	3WL	4WL	5WL	6WL	7WL	8WL	9WL	10WL	11WL	12WL	13WL
S.S.	0	23.3	46.7	93.3	140.0	186.7	233.3	280.0	326.7	373.3	420.0	466.7	513.3	560.0	606.7
B													73.1	108.2	133.6
A										35.0	90.8	133.5	164.8	188.4	207.1
A.P.									8.5	81.5	139.4	182.9	214.0	236.5	253.8
1/4	8.5	13.0	15.2	14.4	11.9	17.1	24.4	38.9	100.4	170.0	227.0	268.9	300.0	322.2	338.2
1/2	27.0	54.9	68.8	80.7	87.5	98.7	115.8	142.6	190.5	251.3	303.5	343.5	372.5	394.3	411.2
3/4	52.1	106.0	129.1	150.7	165.9	183.7	206.9	236.4	277.5	326.2	370.9	406.5	432.9	452.6	468.6
1	87.9	163.1	192.5	222.5	244.6	267.5	293.0	320.9	355.4	393.1	427.9	456.0	478.5	496.0	510.2
1 1/2	177.6	280.0	315.6	357.6	387.4	411.5	433.6	455.0	475.5	494.5	512.4	527.8	540.4	550.0	557.0
2	274.5	384.4	420.6	463.4	490.0	509.2	523.9	535.9	545.6	554.0	561.1	567.0	572.0	575.7	577.5
2 1/2	366.5	465.3	497.9	533.9	552.4	562.5	568.6	572.9	576.1	578.9	581.3	582.8	583.3	583.3	583.3
3	435.4	516.3	544.0	569.0	578.1	580.8	582.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3

Remark: Figures from S.S.4 to F.P. are the same values as in M.S.NO.0253

M.S.NO.0252

HALF BREADTH (mm.)															
WL.	B.L.	0SWL	1WL	2WL	3WL	4WL	5WL	6WL	7WL	8WL	9WL	10WL	11WL	12WL	13WL
S.S.	0	23.3	46.7	93.3	140.0	186.7	233.3	280.0	326.7	373.3	420.0	466.7	513.3	560.0	606.7
B													86.6	128.2	158.3
A										40.7	102.7	151.5	190.5	220.1	244.2
A.P.									9.7	90.2	152.7	201.1	238.8	267.4	289.3
1/4	13.3	18.3	20.4	18.5	14.3	20.4	28.0	43.2	114.6	188.8	247.0	290.8	323.5	348.1	367.0
1/2	31.8	78.0	93.8	107.6	115.6	125.6	141.5	170.6	221.9	282.6	330.9	366.1	392.3	413.3	430.3
3/4	78.3	150.7	175.8	200.9	215.4	228.7	249.3	280.6	322.0	364.9	402.3	430.1	450.9	466.3	478.7
1	143.7	230.8	259.9	290.7	308.2	323.5	344.0	371.3	403.3	433.1	459.4	481.0	497.2	508.4	516.9
1 1/2	286.6	377.8	405.4	436.9	456.4	471.0	483.7	497.6	512.0	525.9	538.6	548.7	556.1	562.1	565.8
2	399.8	477.7	503.1	529.3	542.5	550.4	556.3	561.0	565.6	570.0	573.6	576.2	578.3	580.1	581.8
2 1/2	461.6	529.4	551.6	570.5	576.6	577.0	580.8	582.0	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3
3	478.3	544.4	565.6	582.6	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3	583.3

Remark: Figures from S.S.4 to F.P. are the same values as in M.S.NO.0253

Table 3.2.2 Principal Particulars of Model Propeller

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 3.2.3 Test Conditions e.t.c.

PARTICULARS OF THE MODEL SHIP

M.S.NO.	0253			0248			0252		
CONDITION	FULL LOAD	65% LOAD	44% LOAD	FULL LOAD	65% LOAD	44% LOAD	FULL LOAD	65% LOAD	44% LOAD
$L_{PP}$ (m)	7.000								
$B$ (m)	1.1667								
$L_{PP}/B$	6.000								
$B/d$	2.7601	4.0951	5.8452	2.7601	4.1095	5.8924	2.7601	4.1358	5.9769
$C_B$	0.7913	0.7632	0.7374	0.8017	0.7760	0.7533	0.8202	0.7988	0.7816
$C_P$	0.7990	0.7743	0.7527	0.8096	0.7873	0.7690	0.8282	0.8105	0.7982
$C_M$	0.9903	0.9857	0.9797	0.9903	0.9857	0.9795	0.9903	0.9856	0.9792
$C_W$	0.8697	0.8249	0.8038	0.8750	0.8317	0.8118	0.8844	0.8441	0.8259
$L_{CB}$ (% of $L_{PP}$ )	-1.9510	-1.0436	1.4092	-1.4802	-0.4565	2.1349	-0.6601	0.5532	3.3722

TEST CONDITION

M.S.NO.	0253			0248			0252			
CONDITION	FULL LOAD	65% LOAD	44% LOAD	FULL LOAD	65% LOAD	44% LOAD	FULL LOAD	65% LOAD	44% LOAD	
$d$ (m)	F. P.		0.2499	0.1296		0.2489	0.1280		0.2471	0.1252
	M. S.	0.4227	0.2849	0.1996	0.4227	0.2839	0.1980	0.4227	0.2821	0.1952
	A. P.		0.3199	0.2696		0.3189	0.2679		0.3171	0.2652
TRIM (m)	0	0.0700	0.1400	0	0.0700	0.1400	0	0.0700	0.1400	
$\nabla$ (m <sup>3</sup> )	2.7320	1.7758	1.2021	2.7680	1.7943	1.2179	2.8318	1.8407	1.2460	
$S$ (m <sup>2</sup> )	11.5411	9.4827	8.2587	11.7256	9.6560	8.4124	11.8420	9.7527	8.5135	
TEMP of WATER (°C)	24.6	24.6	24.0	12.0	12.4	12.3	23.0	23.0	22.7	

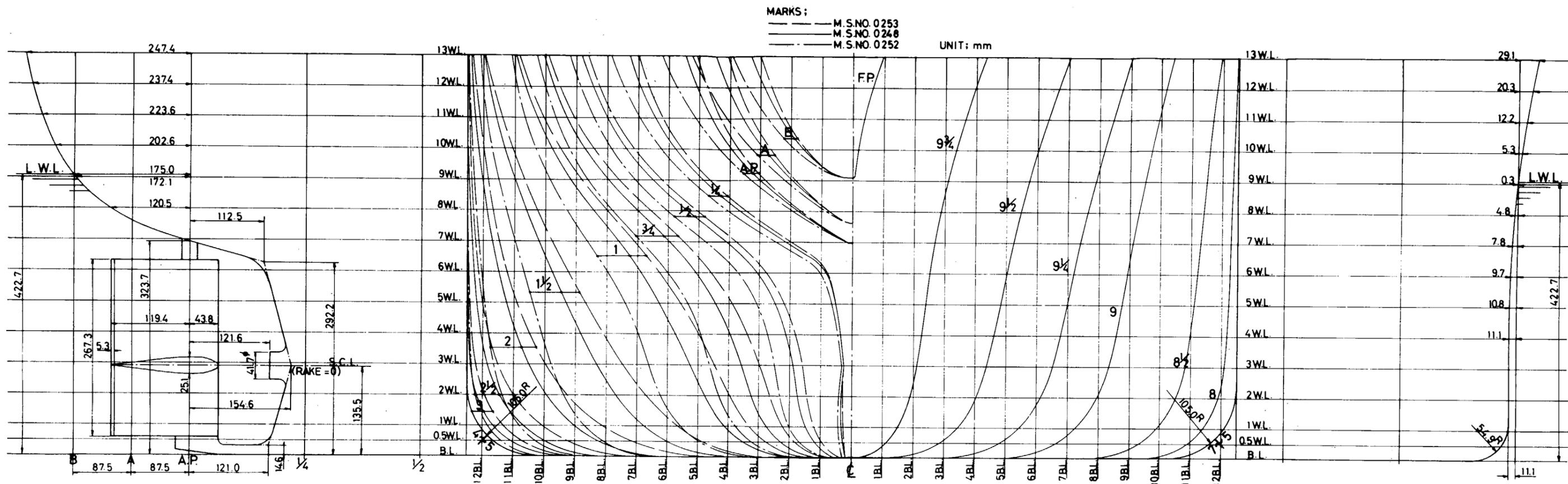


Fig. 3.2.1 Model Ship

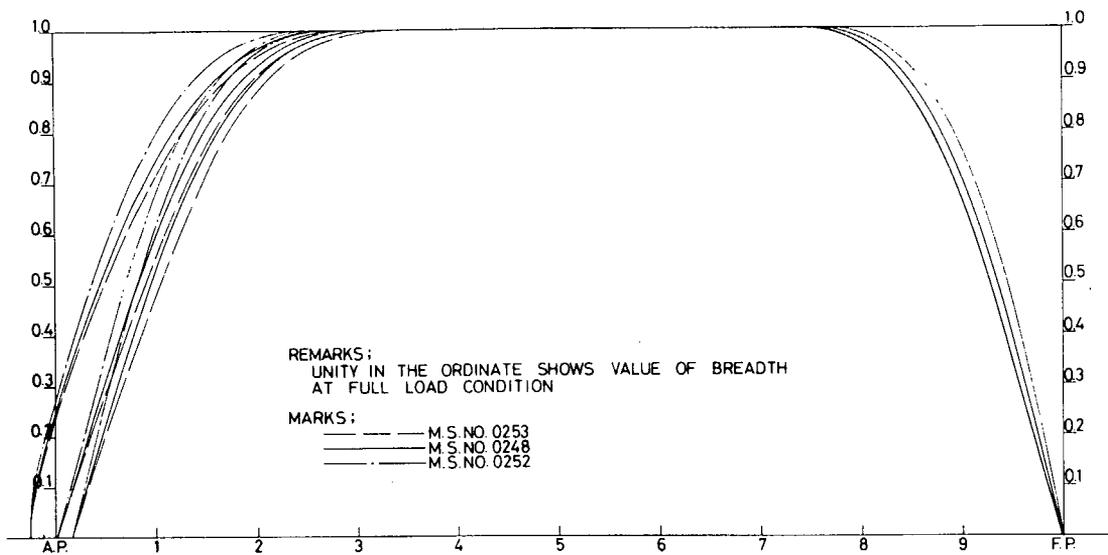


Fig. 3.2.2 Sectional Area Curve

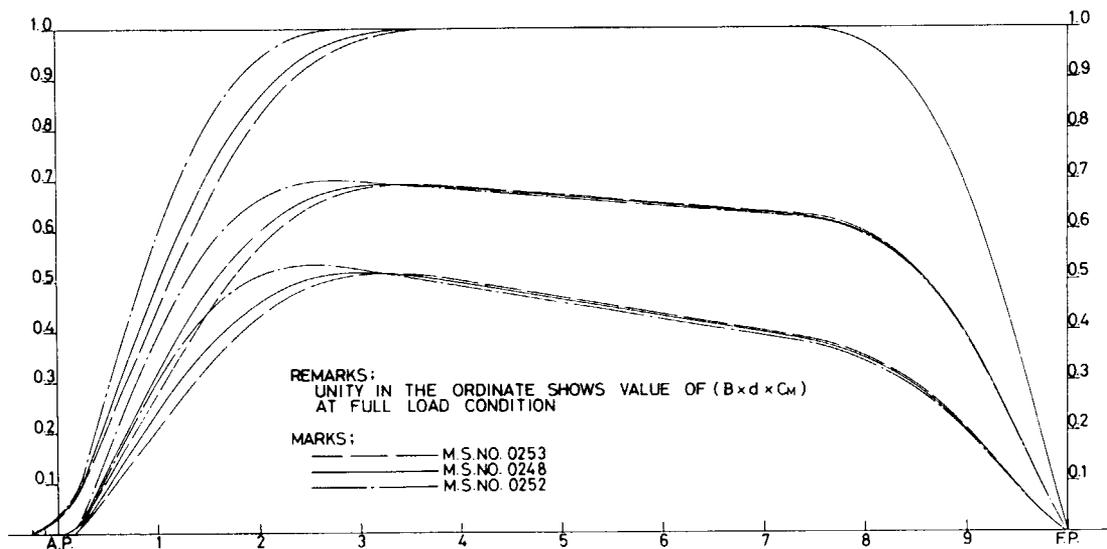


Fig. 3.2.3 Water-Plane Area Curve

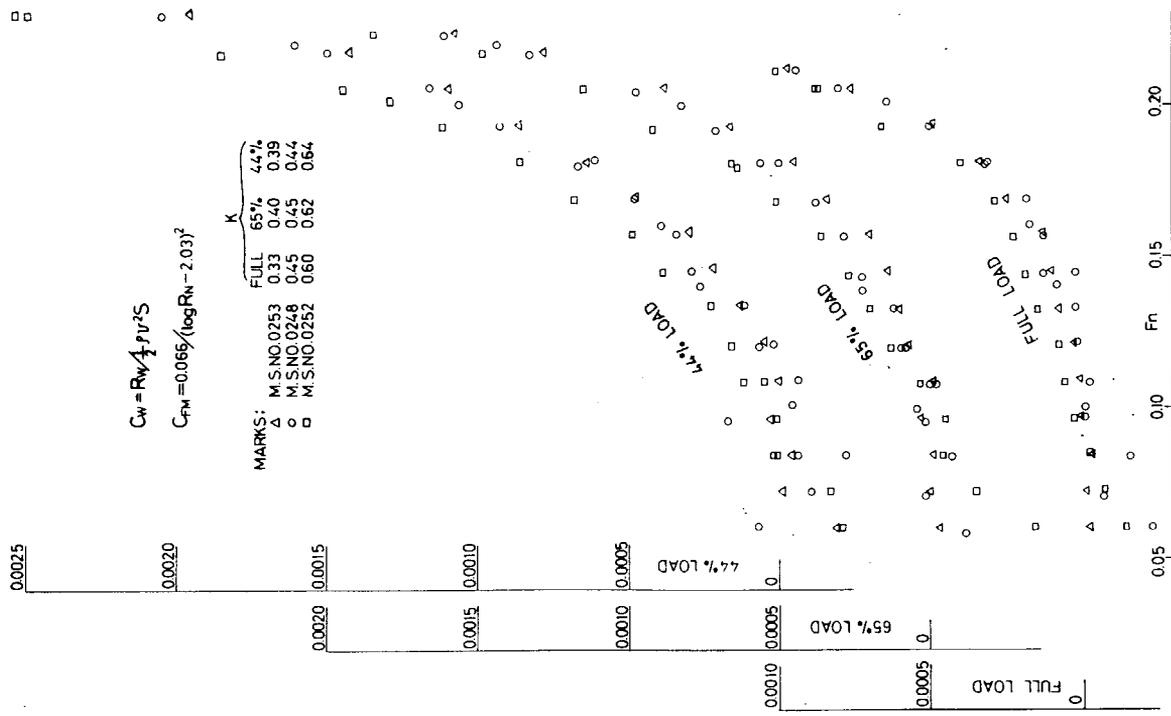


Fig. 3.2.5 Results of Resistance Test (2)

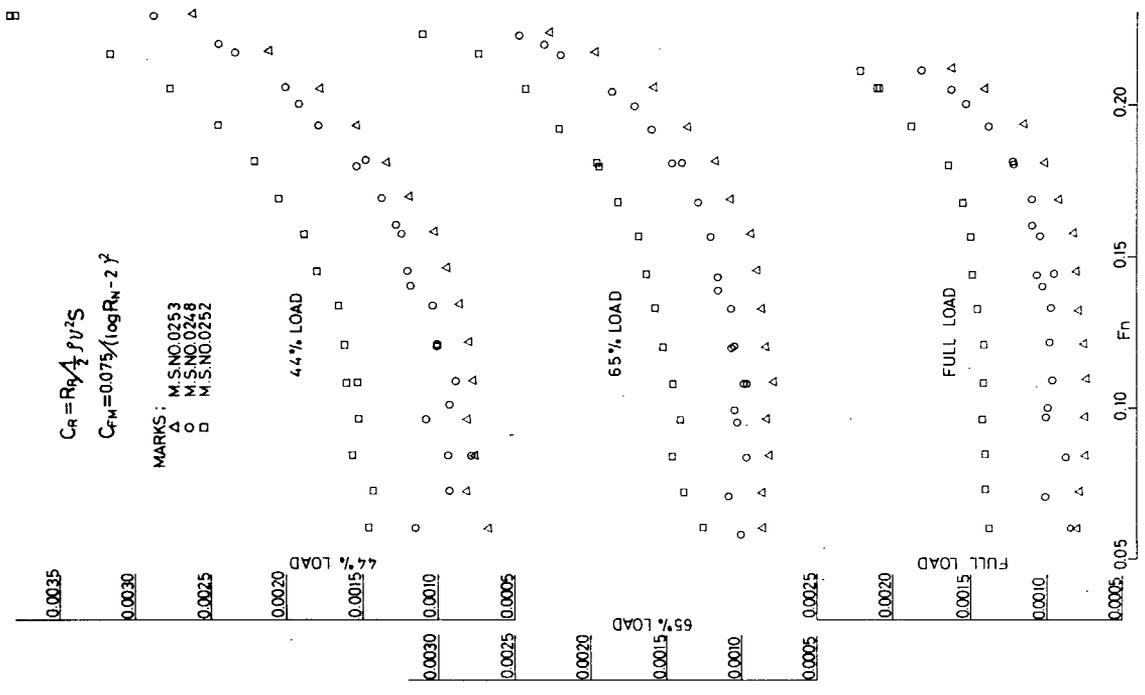


Fig. 3.2.4 Results of Resistance Test (1)

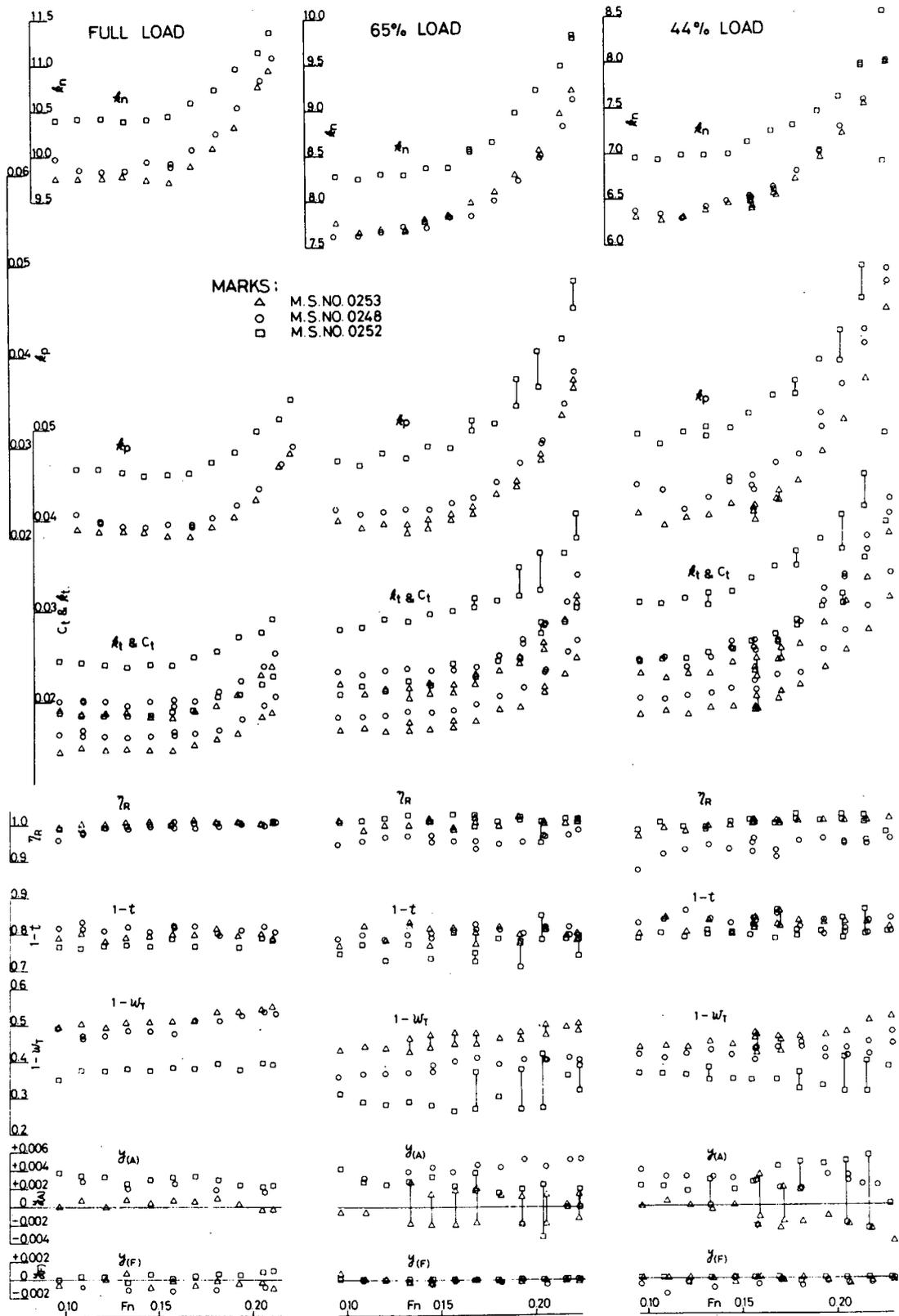


Fig. 3.2.6 Result of Self-Propulsion Test

M. S. NO. 0253,  $Fn=0.18$

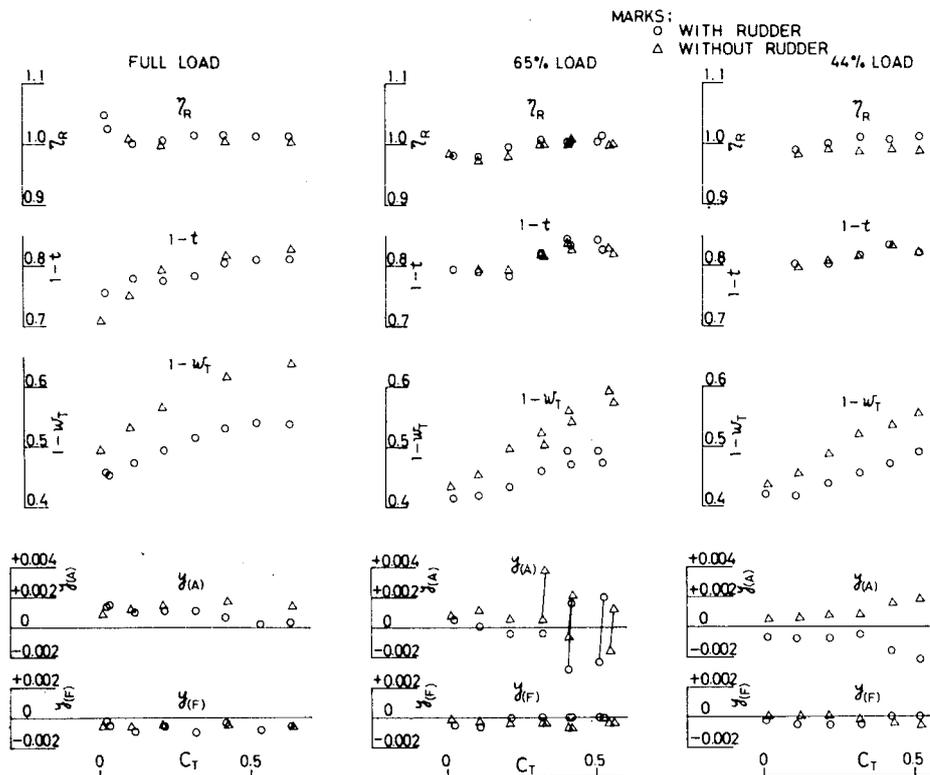


Fig. 3.2.7 Results of Propeller Load Test (1)

M. S. NO. 0252,  $Fn=0.18$

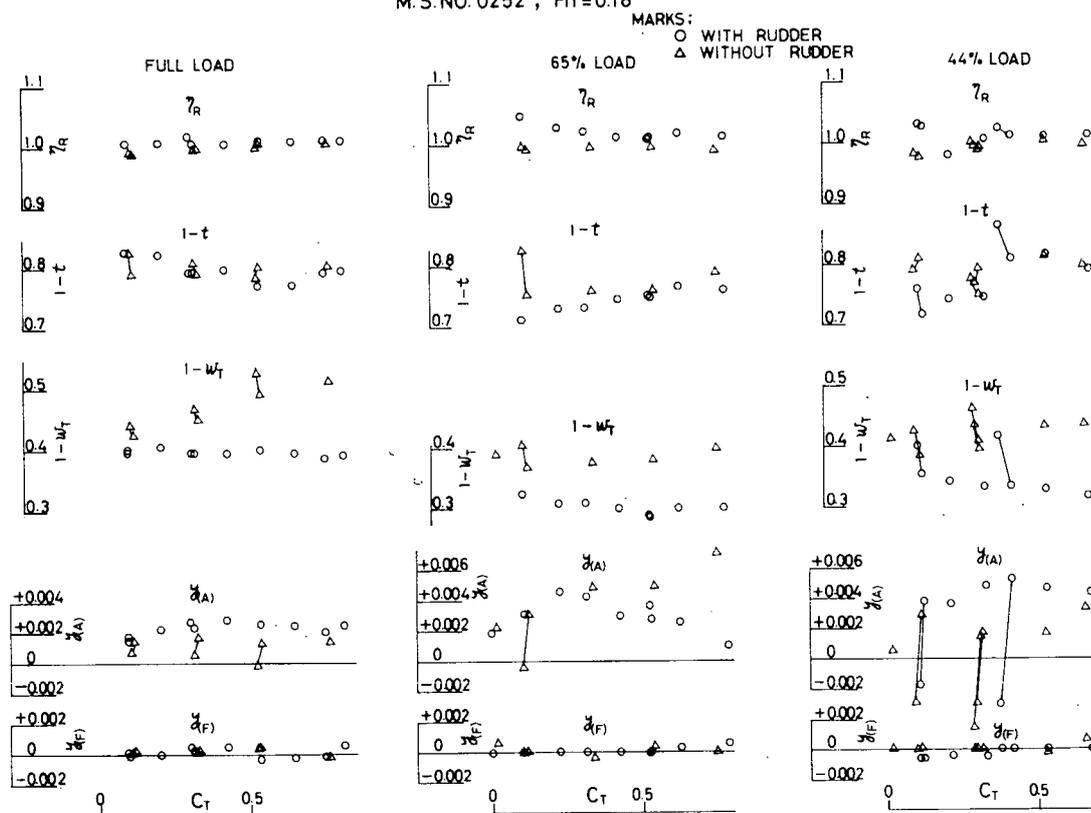


Fig. 3.2.8 Results of Propeller Load Test (2)

MARKS: M.S.NO.0253  
 Δ M.S.NO.0248  
 ○ M.S.NO.0252

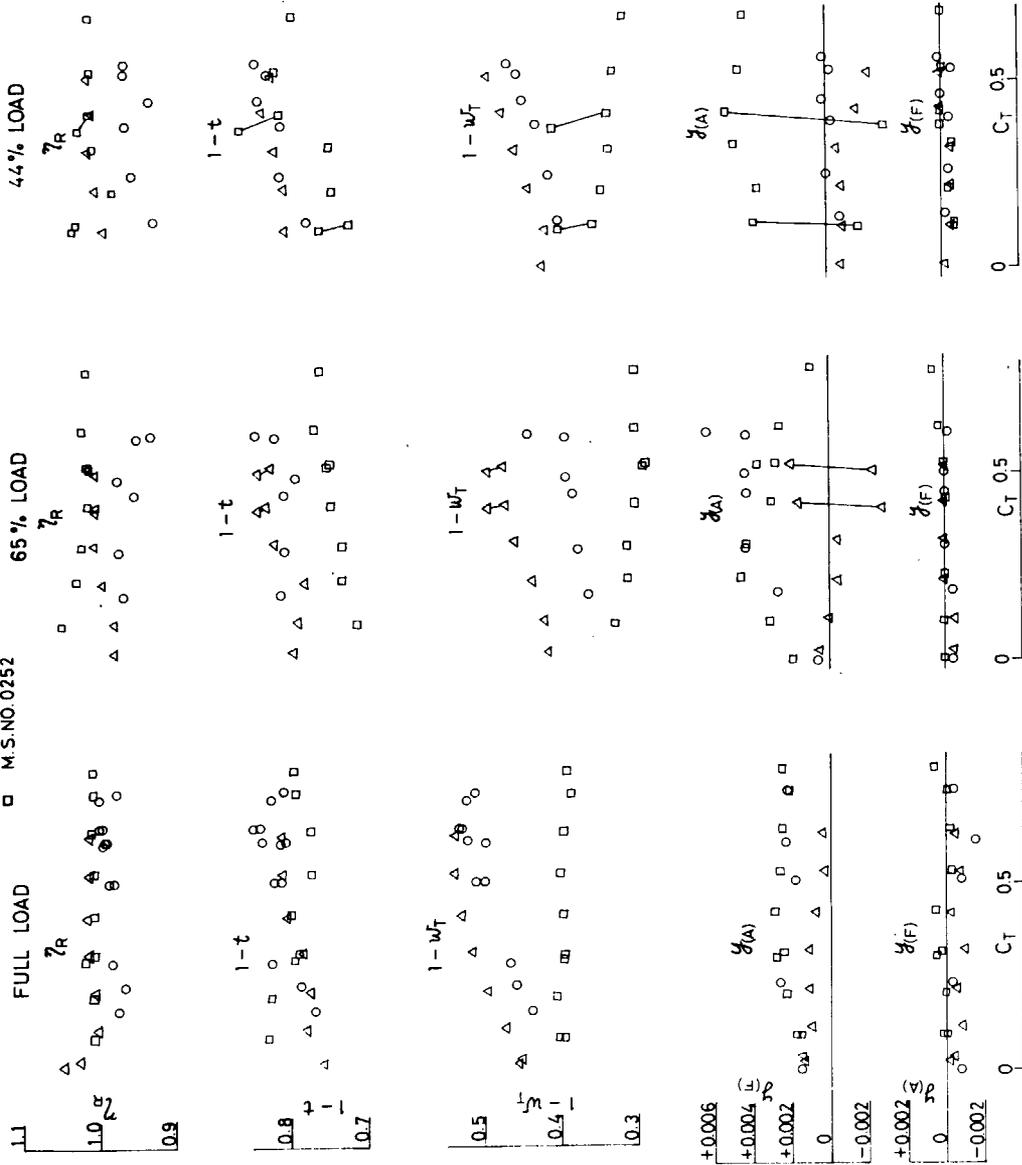


Fig. 3.2.9 Results of Propeller Load Test (3)

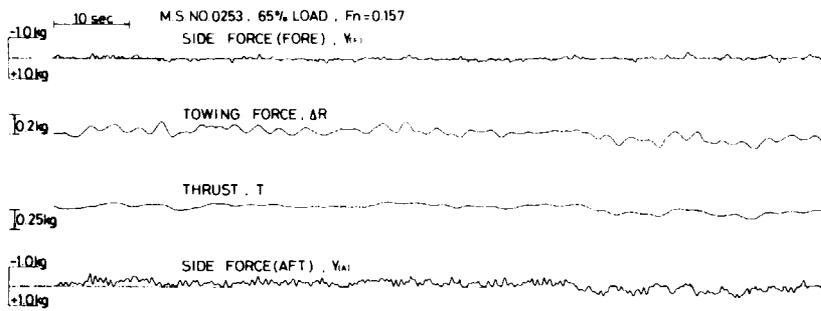


Fig. 3.2.10 Example of Records (1)

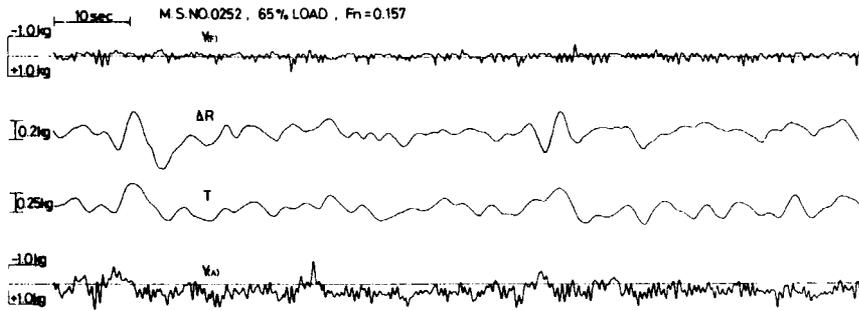


Fig. 3.2.11 Example of Records (2)

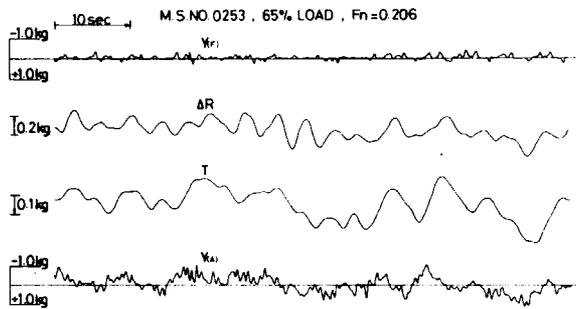


Fig. 3.2.12 Example of Records (3)

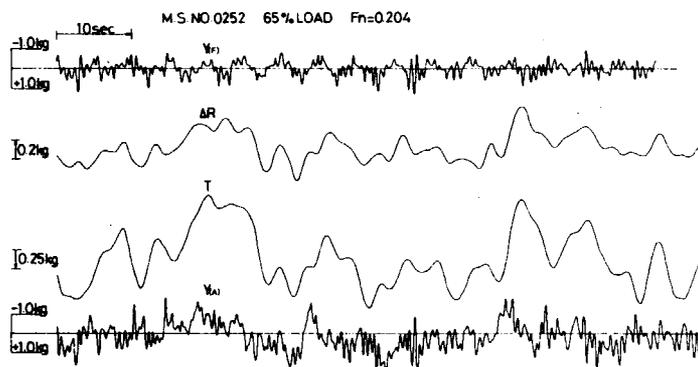


Fig. 3.2.13 Example of Records (4)

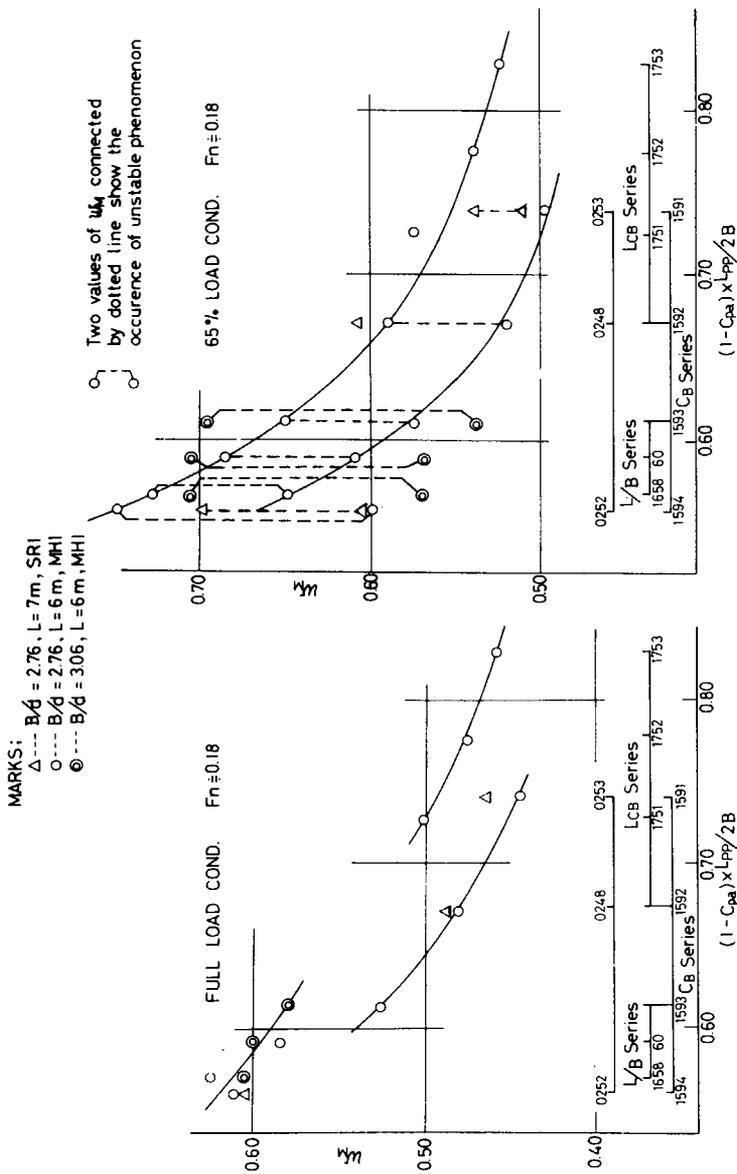


Fig. 3.2.14 Comparison of wake fraction of SR61 series models

### 3.3 不安定現象に対するプロペラ直径の影響

#### 3.3.1 試験の実施

##### (1) 試験の要領

プロペラ直径の変化が不安定現象にどのような影響を与えるかを調査する目的で、7 m 模型船に直径が 0.2334 m (MP1614)、0.2042 m (MP2171)、0.1750 m (MP1562) の3個の GEOSIM プロペラを装着してプロペラ荷重度変更試験を実施した。

供試模型船は、持ちまわり試験で採用した SR61 母船型と同一寸法のもを石川島播磨重工業で独自に製作したものである。また、プロペラについては、MP1614、MP1562 が SR61 において、それぞれ、6 m および 8 m 模型船用として製作されたものの流用であり、MP2171 は持ちまわり試験で 7 m 模型船に装着して使用したものである。

試験状態は Full Load、65% Load 1% A Trim、44% Load 2% A Trim の3状態である。試験は、 $F_n = 0.18$  においてプロペラ荷重度  $C_T = T / \rho V^2 D^2$  を 0 から模型船の自航点まで変化させる形の自航試験 — いわゆるプロペラ荷重度変更試験に加えて、補助試験として、各載荷状態  $F_n = 0.18$  における抵抗値を調査するための抵抗試験と3個のプロペラの単独性能試験を実施した。

プロペラ荷重度変更試験において計測された物理量は対水速度、推力、トルク、曳引力、プロペラ回転数、船首尾の横力の合計7項目である。また、持ちまわり試験の場合と同様、船尾の潮目の動きをカラー VTR で撮影した。プロペラ単独性能試験は持ちまわり試験の共通プラクティスに従い、回転数一定の条件で実施した。それぞれのプロペラの回転数は MP2171 は持ちまわり試験の場合と同一の 11.7 rps とし、他のプロペラについては次の方法で回転数を予測、設定した。すなわち、まず、当該模型船を用いて、 $F_n = 0.18$  において正規の荷重度の自航試験を実施すると仮定し、代用プロペラとして上述の3個のプロペラを用いたときの所要回転数を求めた。つぎに、このようにして求めた MP2171 (7 m 用) の回転数を前記の 11.7 rps と比較して、両者の比を計算し、この比を用いて、他の2個のプロペラの回転数を修正した。その結果、MP1614 (8 m 用) については 9.3 rps、MP1562 (6 m 用) については 15.3 rps が得られている。

##### (2) プロペラと模型船のマッチング

プロペラの取付位置は、持ちまわり試験におけるプロペラの Generating Line を基準線とし、いずれのプロペラについても、それぞれの Generating Line をこの基準線に一致させるやり方で設定した。7 m 模型船に、6 m 用 8 m 用と寸法の異なるプロペラを装着するわけであるから、MP2171 を除いて、そのまゝでは、船体のボッシングの大きさと長さがそれぞれのプロペラと整合しない。このため、模型船のボッシングの長さを約 16 mm カットし、プロペラ・ポストとボッシングの間に Fig. 3.3.1 に示す形状寸法を持つ整流ボスを挿入した。それぞれの整流ボスは O-リングでスタンチューブに軽く固定され、また、簡単に交換することが可能である。

#### 3.3.2 試験の結果

Fig. 3.3.2 に抵抗試験の結果を、また、Fig. 3.3.3 にプロペラ単独性能試験の結果を示す。Fig. 3.3.4 ~ Fig. 3.3.6 は、それぞれ、Full Load、65% Load、44% Load において MP1614、MP2171、MP1562 の3種類のプロペラを装着してプロペラ荷重度変更試験を行った結果を示す。図中、●の黒丸印は後述するようにオシログラフより読み取ったデータを用いて解析した結果であり、それぞれのマークを結んでいる実線は互いに同一試験走行で得られたデータであることを示している。Fig. 3.3.4 の Full Load の解析結果の中で、MP2171、MP1562 を用いたケースではオシログラフ故障のため、アナログ記録が得られなかった。変動幅を示す黒丸印が記入されていないのは、推力、トルク等に変動が見られなかったためではない。また、MP1614 を装着したケースでは、推力、

および、トルクについては、それぞれの変動幅を読み取ることができたが、曳引力と横力の有意変動幅を得ることはできなかった。これは、模型船の排水量が大きいため慣性力が増し、アナログデータのSN比が悪化したためである。

Fig. 3.3.9～Fig. 3.3.16に、各々のケースにおける代表的なオッシログラフの記録例を示す。図中、船首尾の横力に関しては、基線を同一にし、それぞれを破線と実線で示し、周期的な変動が大きく、SN比が悪い場合でも双方の変化の傾向を直感的に判断できるよう配慮した。また、参考として、抵抗試験時の抵抗と横力の変化の記録例をFig. 3.3.7～Fig. 3.3.8に示した。

### 3.3.3 試験結果の考察

一般的な結論を先に述べれば、今回のプロペラ直径を0.175m～0.233mの範囲で変えて、プロペラ荷重度変更試験を行った結果、供試模型船の自航要素の傾向や大きさは、プロペラ直径の大小によって、大きな劇的な変化を起していないように見える。たゞ、推力やトルク等の変化を記録したオッシログラフを詳細に観察すると、各載荷状態共に、プロペラ直径が大きいほど、また、プロペラ荷重度が高いほど推力、トルク等の変動幅は大きく、かつ、変動が現われる頻度が多くなる傾向が見られる。

例えば、MP1614を装着した65% Loadの場合では、 $C_T > 0.65$ において推力、トルク等の変動幅が著しく大きくなり、自航動力計のセンサーがかならずスケール・オーバーして、有意なる計測値を得ることができなかったことはその一例である。また、このような傾向は、44% Loadにおいても顕著で、直径の小さいMP1562を装着したケースでは、1例を除いて、オッシログラフ上の推力、トルク等の変動は極めてわずかで、有意変動幅を読み取ることが困難であった。

横力の変動を見る場合、オッシログラフ上で、船首尾の横力の差( $Y_F - Y_A$ )に注目すれば、( $Y_F - Y_A$ )は、明らかに推力、トルク等の変動に関係がある。例えば、Fig. 3.3.11において、推力が高く出る場合には、( $Y_F - Y_A$ ) $< 0$ であり、推力が低い場合には( $Y_F - Y_A$ ) $> 0$ となっている。この現象はFull Loadの場合もかなりの頻度で観察することができることから、65% Loadの場合に較べて変動幅は相対的に小さいが、Full Loadにおいても船尾の流場は不安定さを示していると推測される。また、Fig. 3.3.8に示すように、抵抗試験においても、( $Y_F - Y_A$ ) $> 0$ となる部分と( $Y_F - Y_A$ ) $\approx 0$ となる部分が存在するよう見受けられる。このことは、抵抗試験状態においても、流れに、わずかではあるが、異常があることを示唆するものではないかと考えられる。これらの現象の外に、MP1614を装着したFull Loadにおいて、 $C_T > 0.5$ で $C_T$ の増加に伴う $1 - W_T$ の増加が頭打ちになるとい、他に見られない傾向も見られる。

最後に、MP2171を装着して行ったプロペラ荷重度変更試験の結果を持ちまわり試験で実施した結果と比較すると、自航要素の変化の傾向は驚くほど良く一致しており、船尾流れの不安定現象は、一面において、極めて安定した、定常的な現象であることを暗示している。

Table 3.3.1 Principal Particulars and Test Conditions of Model Ship

		Full Load	65% Load	44% Load
Length	L <sub>pp</sub> (m)		7.000	
Breadth	B <sub>mld</sub> (m)		1.167	
L/B			6.000	
B/T		2.760	4.110	5.892
Draft	T <sub>aft.mld</sub> (m)	-	0.3189	0.2680
	T <sub>mid.mld</sub> (m)	0.4227	0.2839	0.1980
	T <sub>fore.mld</sub> (m)	-	0.2489	0.1280
Trim	(%L <sub>pp</sub> )	0	1.0	2.0
Displacement	(m <sup>3</sup> )	2.768	1.799	1.212
W. Surface Area	(m <sup>2</sup> )	11.725	9.656	8.412
C <sub>b</sub>		0.8017	0.7760	0.7533
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
LCB	(%L <sub>pp</sub> )	1.4802F	0.4565F	2.1349A

Table 3.3.2 Principal Particulars of Model Propellers

		MP	1614	2171	1562
Diameter	D (m)		0.2334	0.2042	0.1750
Pitch Ratio	H/D			0.7143	
Boss Ratio	d/D			0.1800	
Expanded Area Ratio				0.6650	
Max. Blade Width Ratio				0.3010	
Blade Thickness Ratio				0.050	
Angle of Rake	(deg.)			10.0	
Number of Blades				5	
Blade Section				MAU	
Direction of Turning				Right Handed	

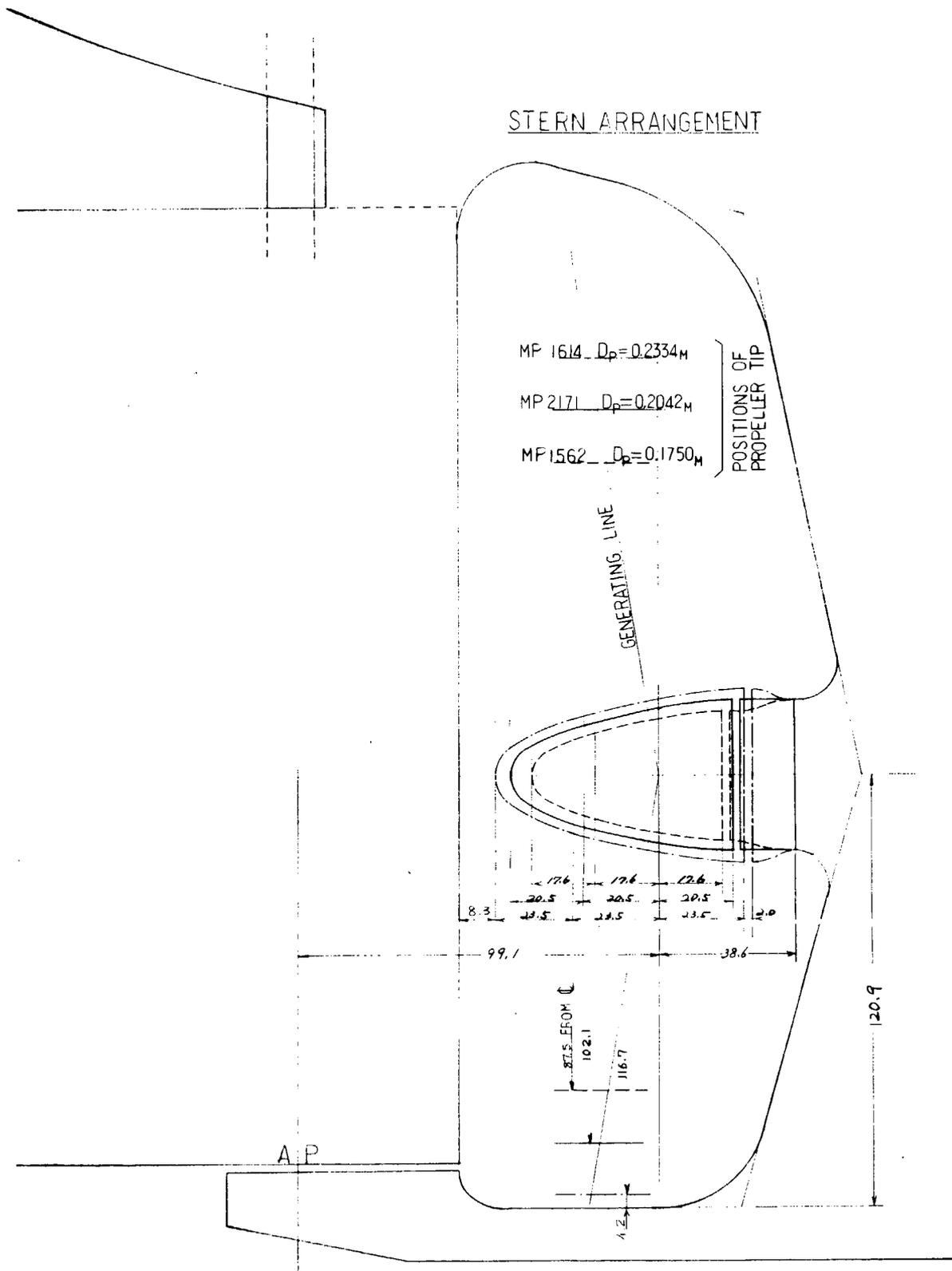


Fig. 3.3.1 Stern Arrangement of Model Ship

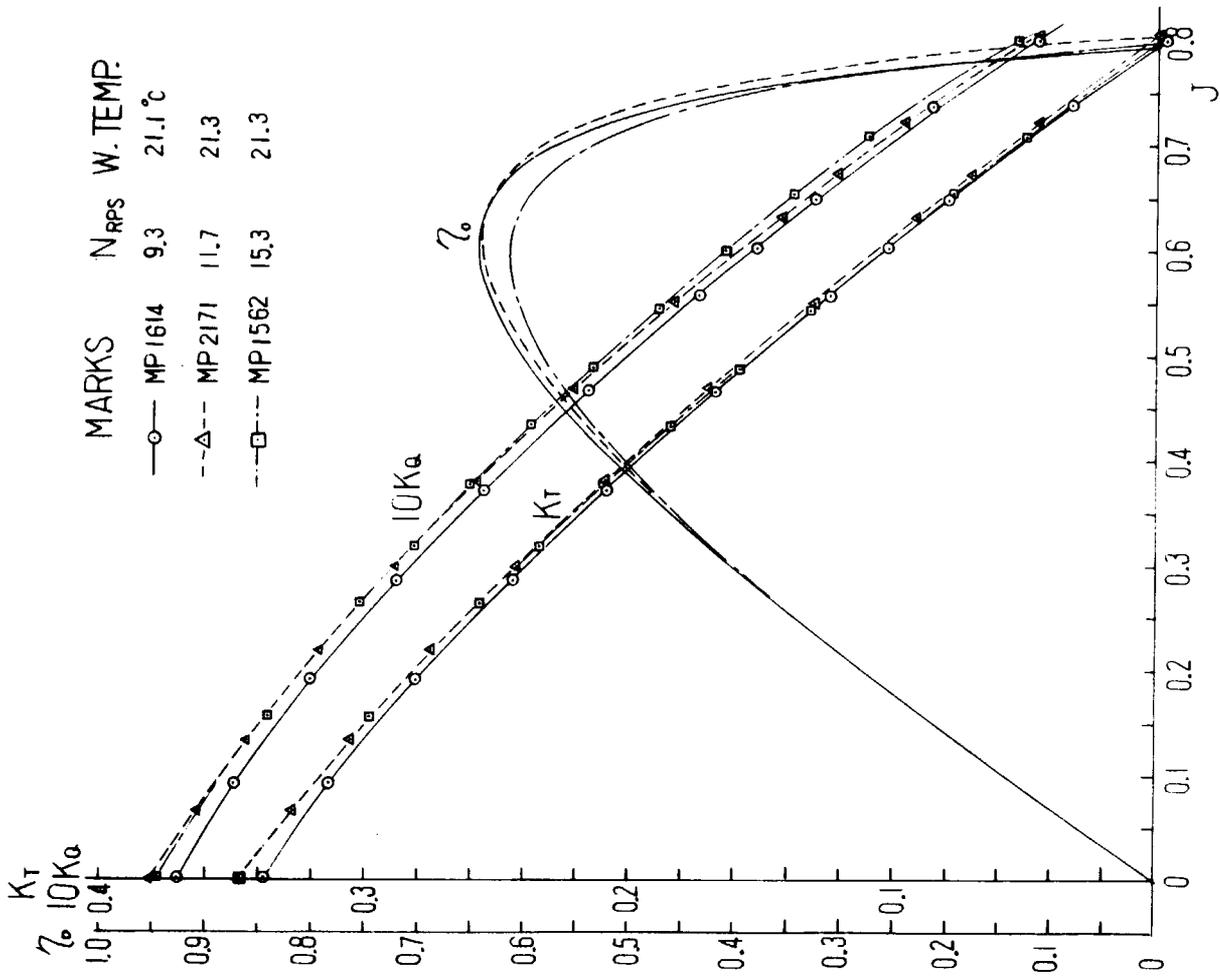


Fig. 3.3.3 Result of Propeller Open Tests

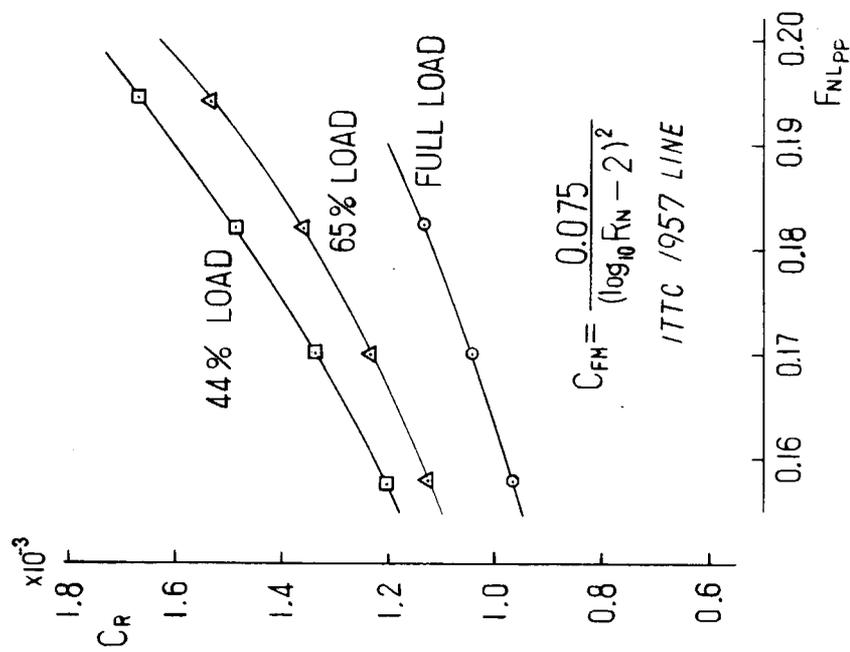


Fig. 3.3.2 Result of Resistance Tests

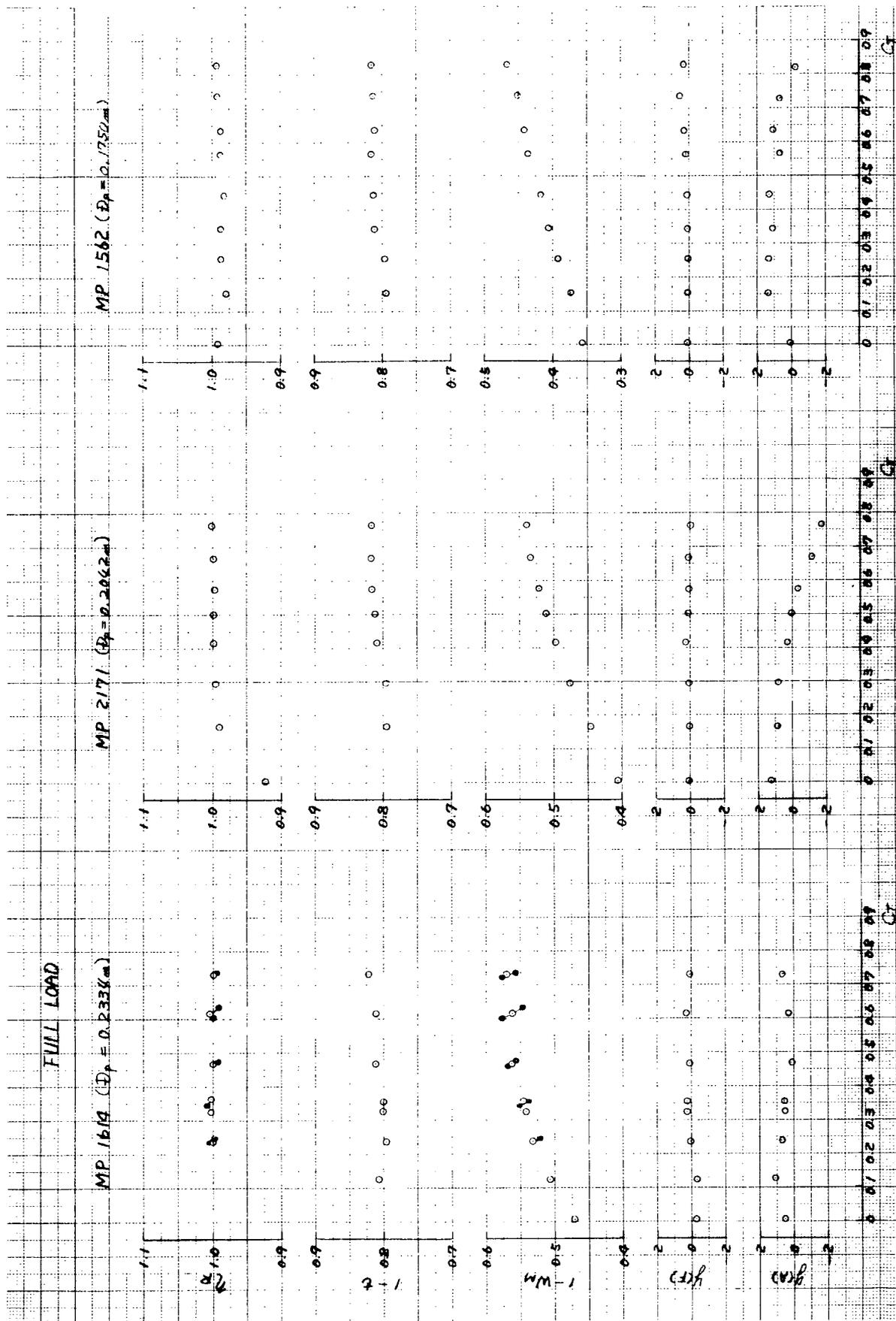


Fig. 3.3.4 Result of Propeller Load Tests,  $F_n = 0.18$ , Full Load

65 % LOAD

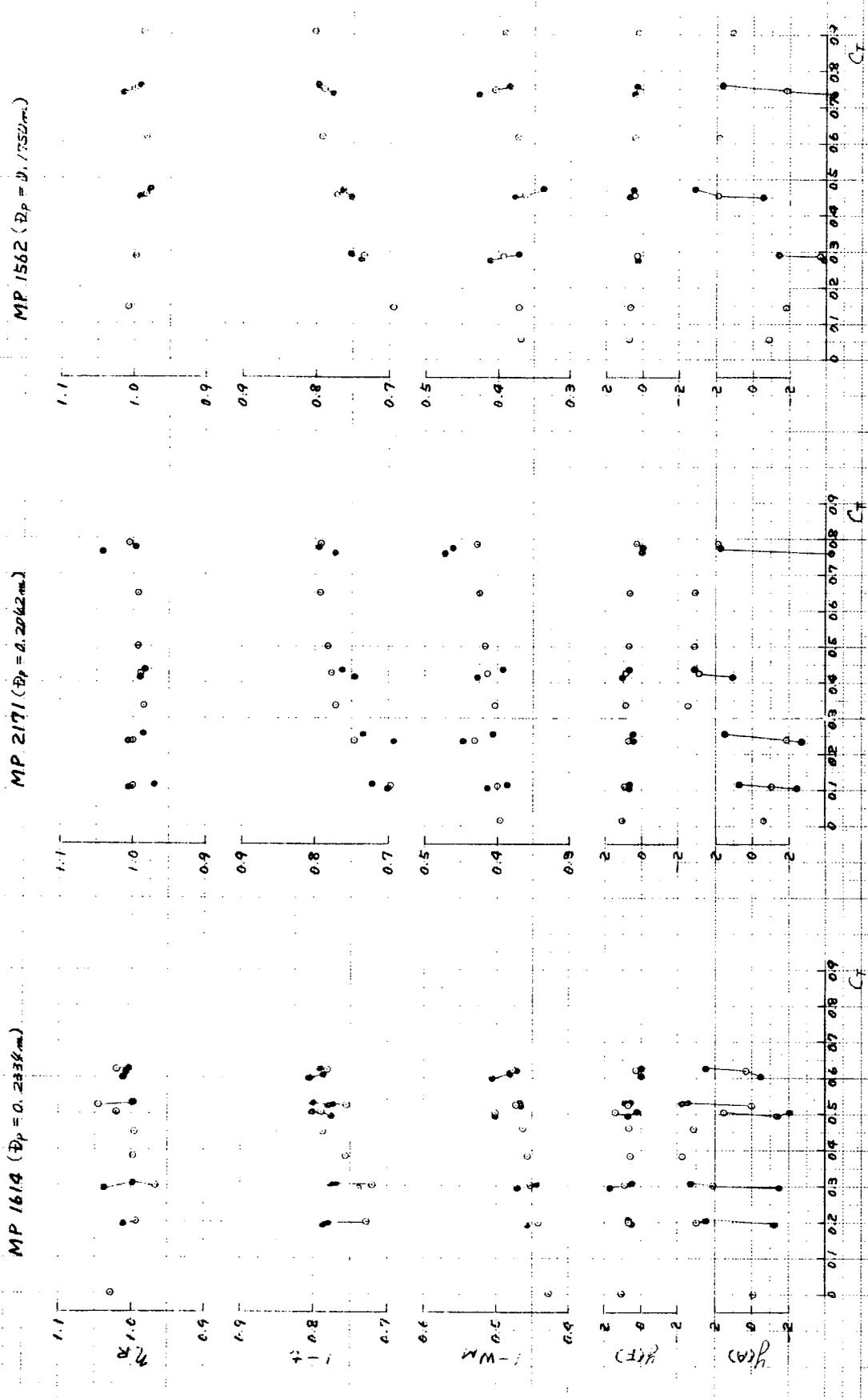


Fig. 3.3.5 Result of Propeller Load Tests,  $F_n = 0.18$ , 65% Load

44% LOAD

MP 1619 ( $D_p = 0.2336m$ )

MP 2171 ( $D_p = 0.2662m$ )

MP 1562 ( $D_p = 0.1750m$ )

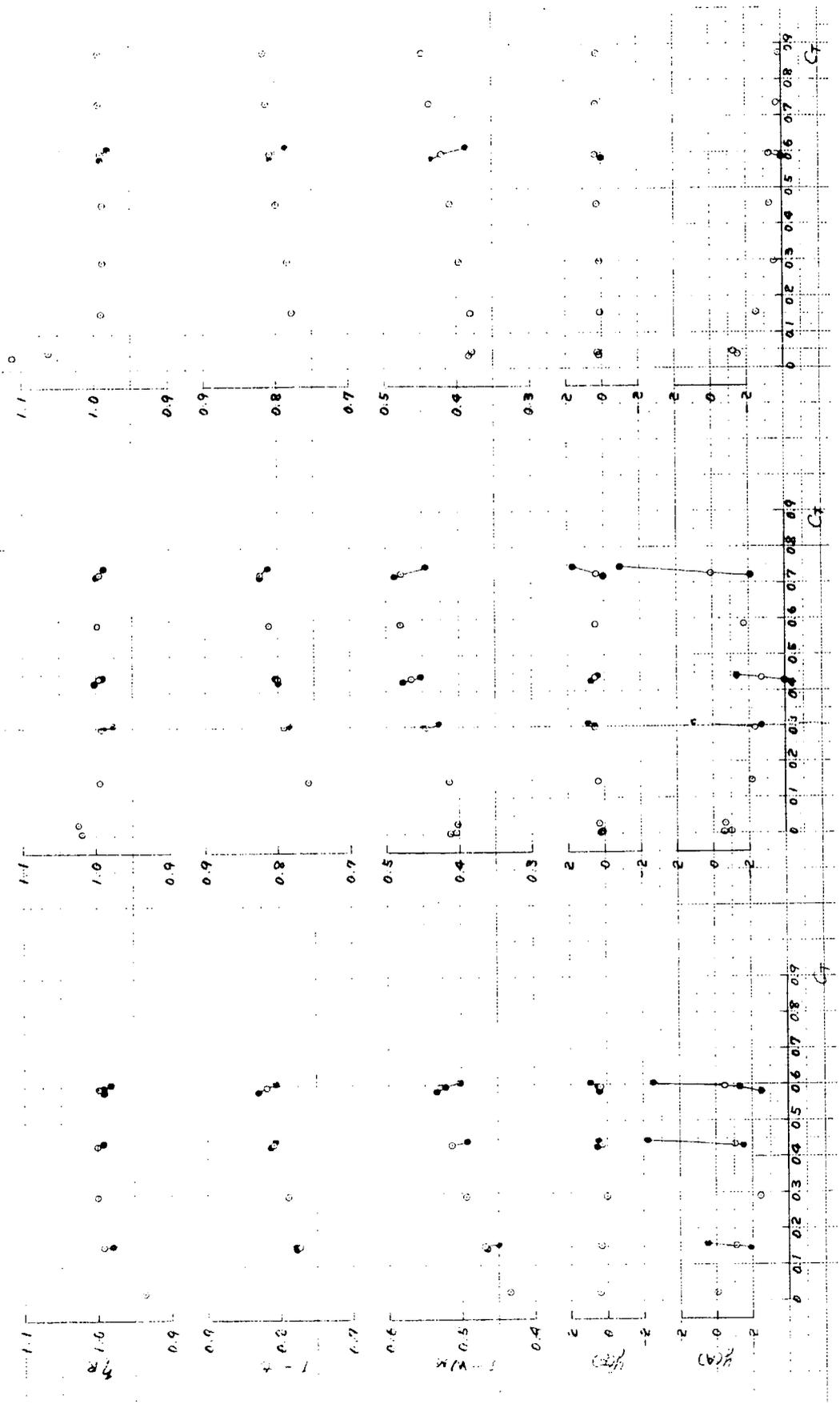


Fig. 3.3.6 Result of Propeller Load Tests,  $F_n = 0.18$ , 44% Load

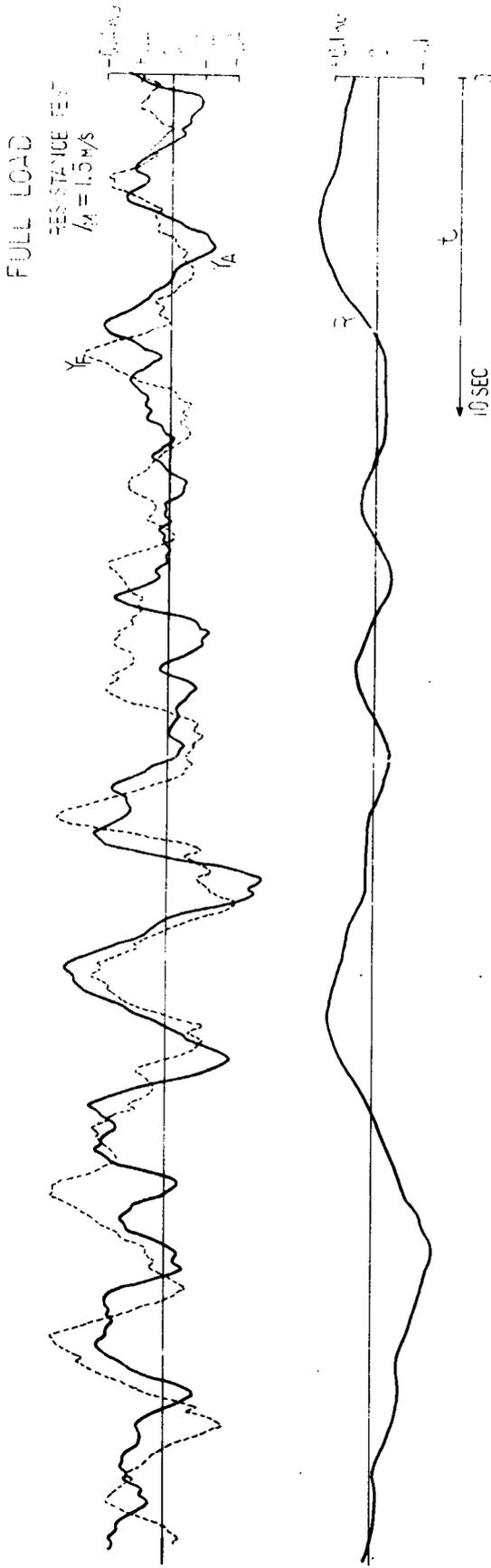


Fig. 3.3.7 Comparison of Analog Records (Towing Force and Fore and Aft Side Forces), at Resistance Test,  $V_n = 0.18$ , Full Load

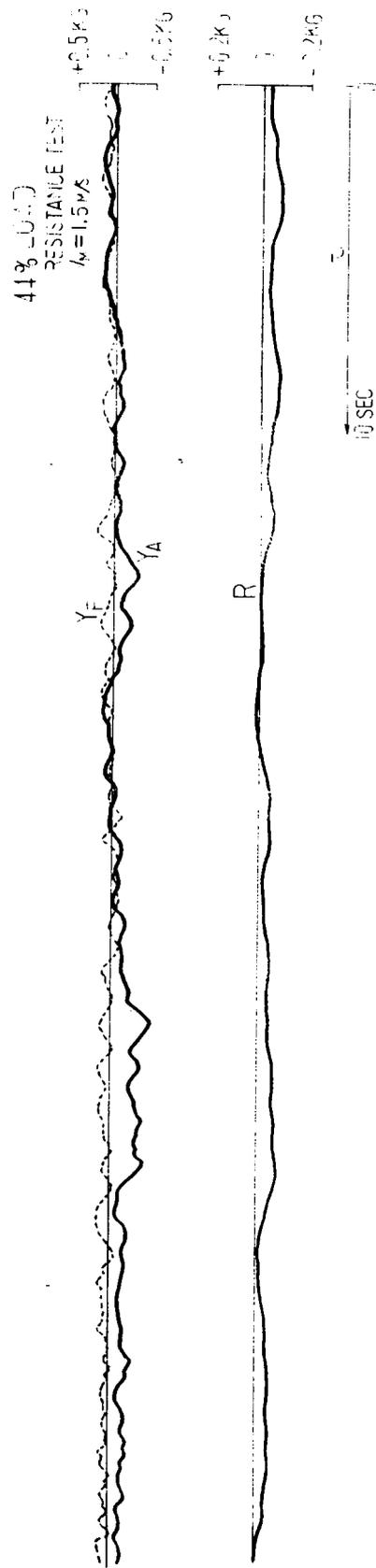


Fig. 3.3.8 Comparison of Analog Records (Towing Force and Fore and Aft Side Forces), at Resistance Test,  $V_n = 0.18$ , 44% Load

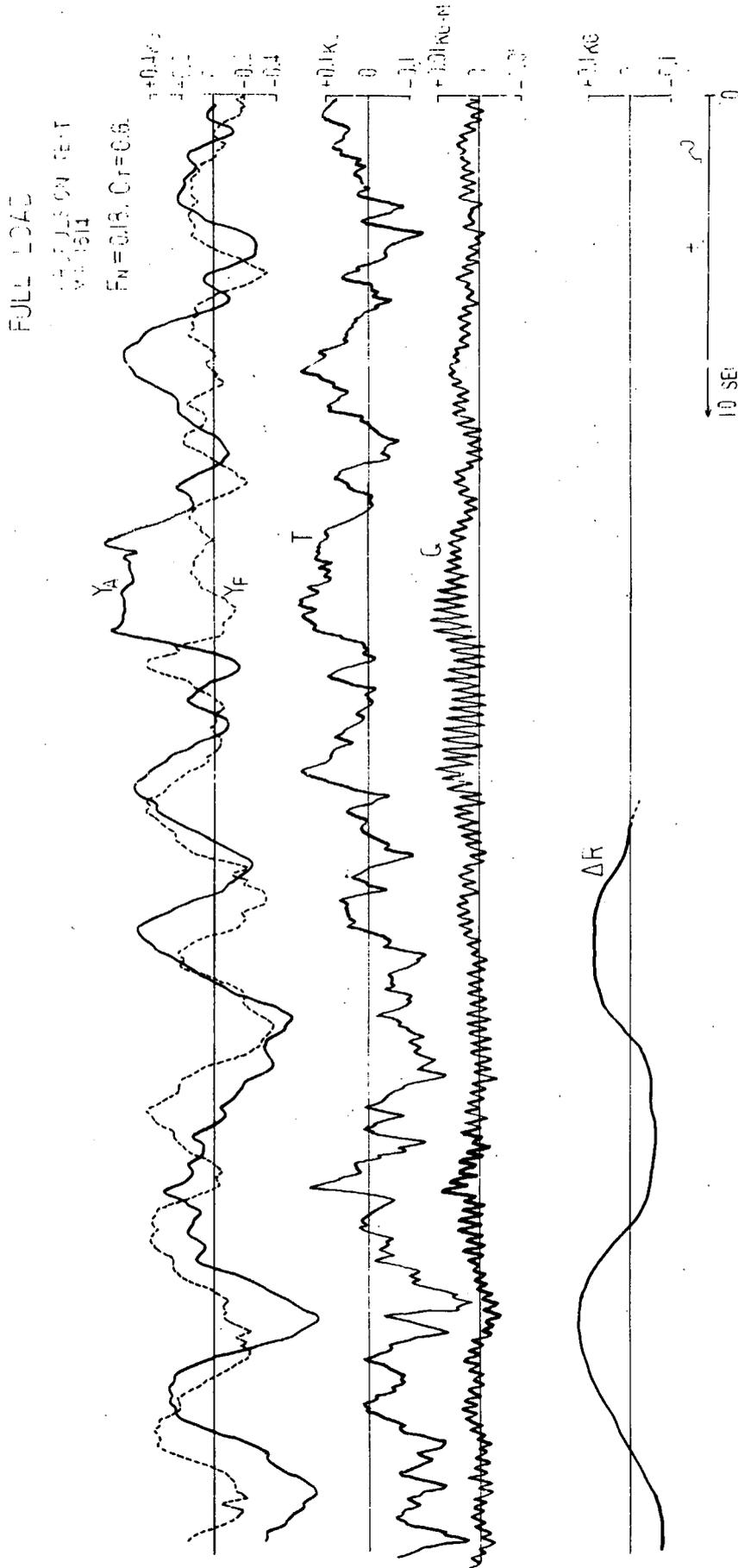


Fig. 3.3.9 Comparison of Analog Records (Thrust, Torque, Towing Force and Fore and Aft Side Forces), at Propeller Load Test with the Largest Propeller MP 1614,  $F_n = 0.18$ , Full Load

FULL LOAD

PROPELLER TEST  
MP 562

$F_n = 0.18, C_T = 0.74$

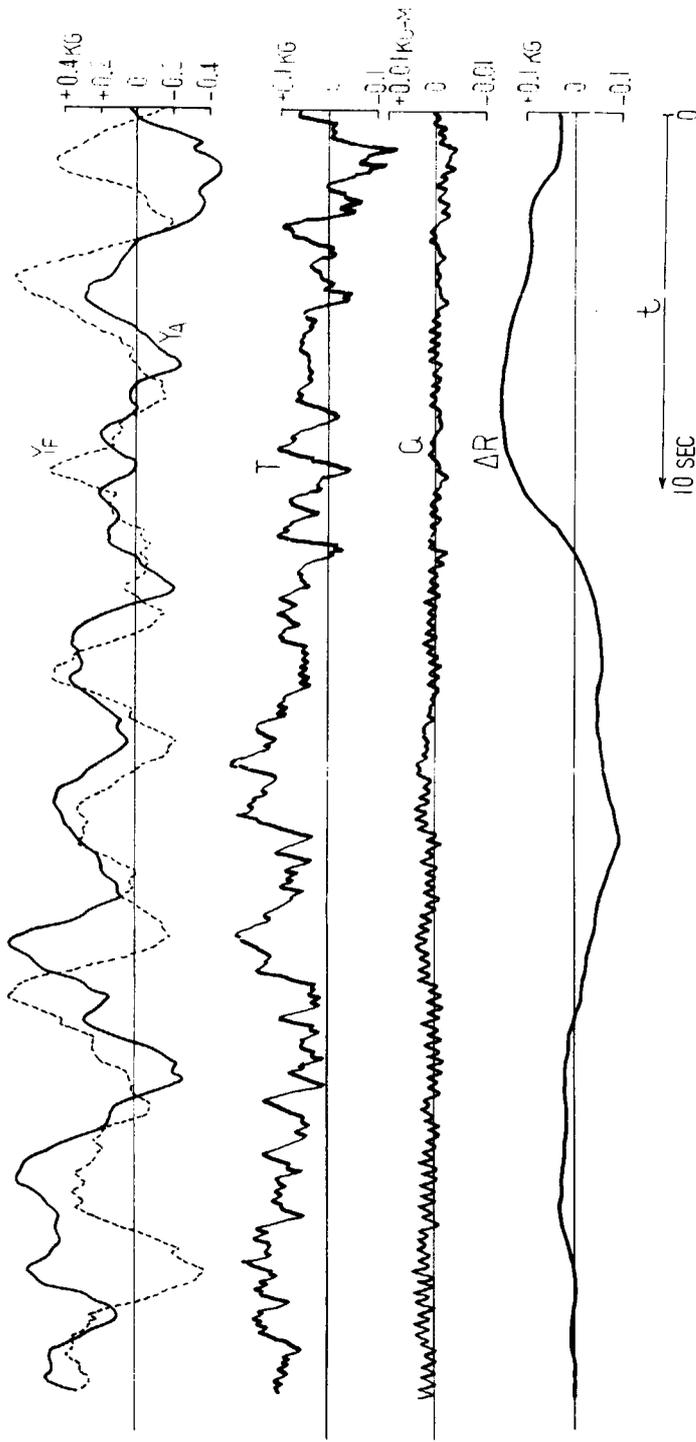


Fig. 3.3.10 Comparison of Analog Records (Thrust, Torque, Towing Force and Fore and Aft Side Forces), at Propeller Load Test with the Smallest Propeller MP 1562,  $F_n = 0.18$ , Full Load

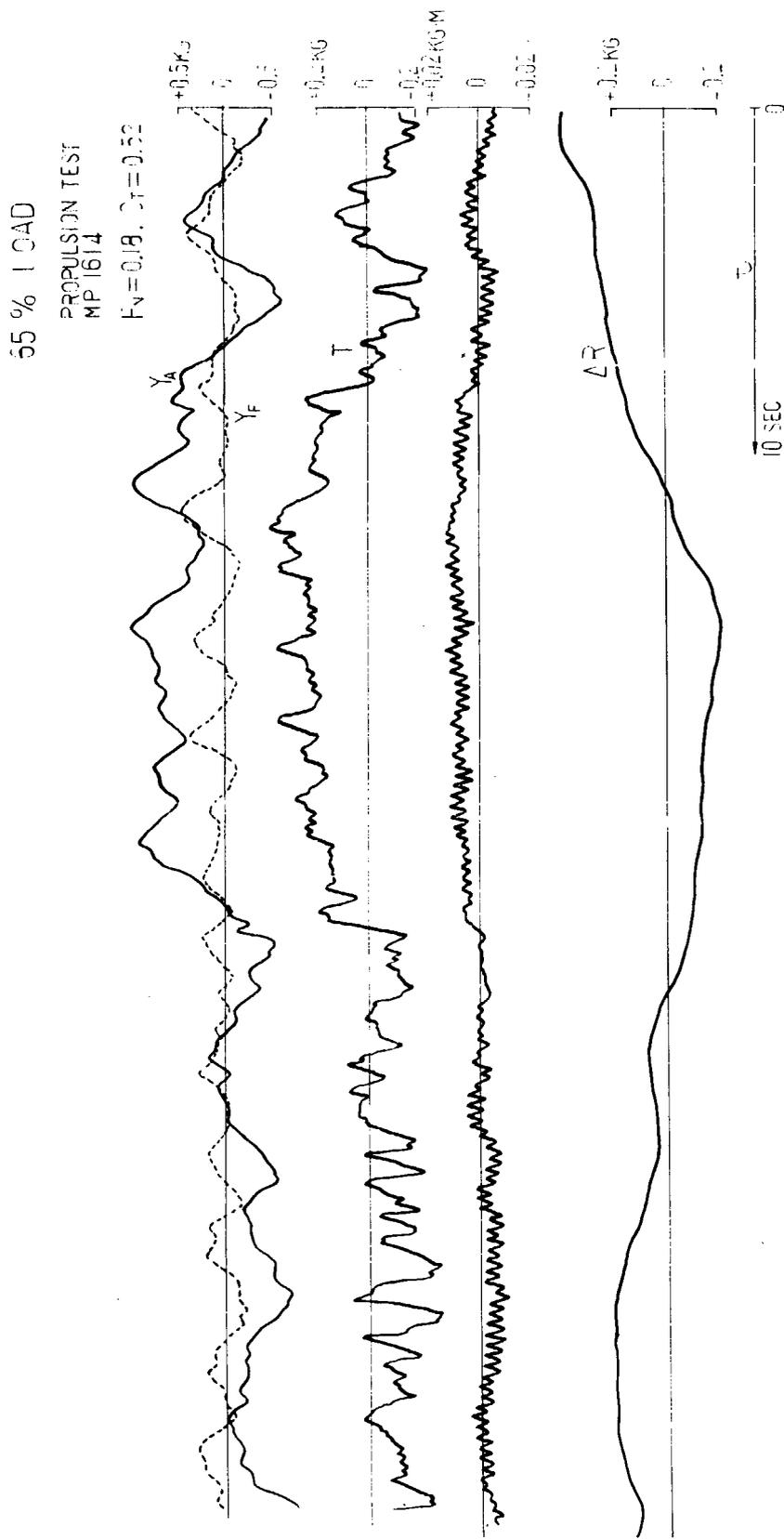


Fig. 3.3.11 Comparison of Analog Records (Thrust, Torque, Towing Force and Fore and Aft Side Forces), at Propeller Load Test with the Largest Propeller MP 1614,  $F_n = 0.18$ , 65% Load

65% LOAD

PROPULSION TEST  
M = 2171

$F_n = 0.18$ ,  $C_T = 0.24$

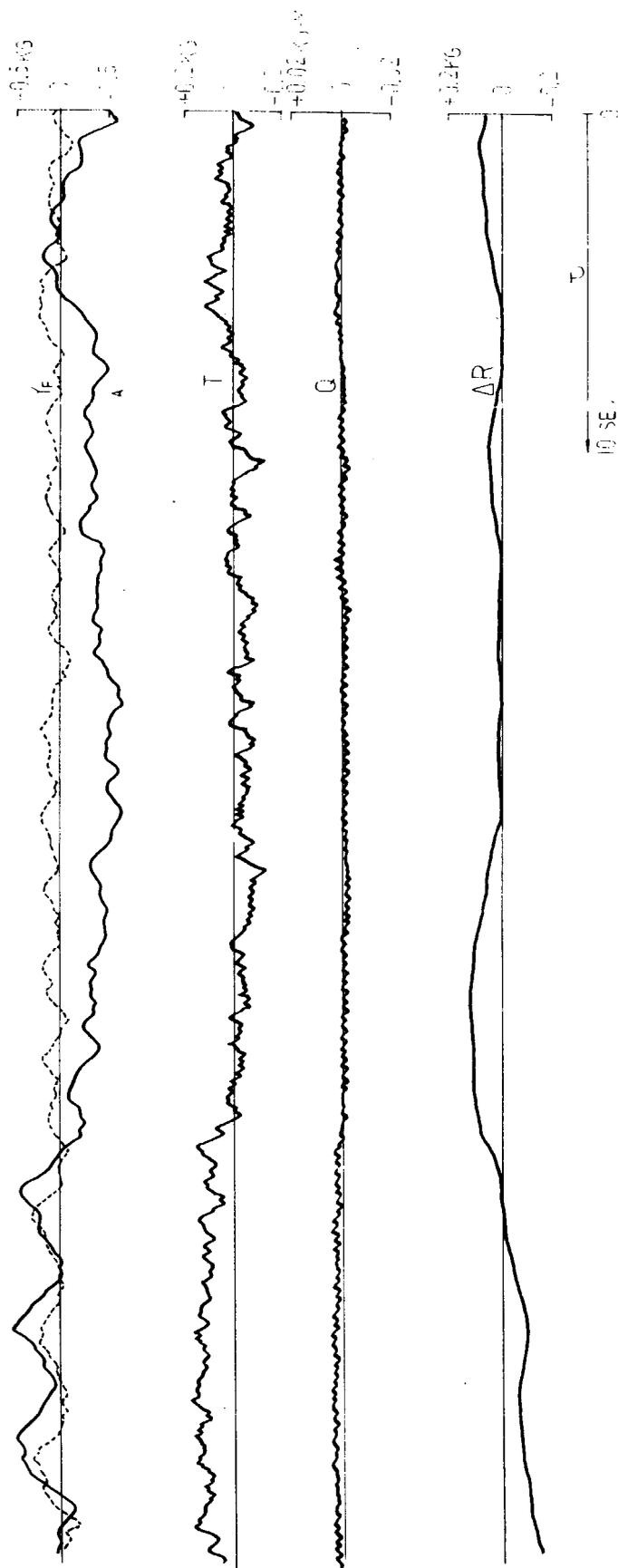


Fig. 3.3.12 Comparison of Analog Records (Thrust, Torque, Towing Force and Fore and Aft Side Forces), at Propeller Load Test with Medium Size Propeller MP 2171,  $F_n = 0.18$ , 65% Load

65 % LOAD

PROPULSION TEST  
MP 1562

$F_n = 0.18, C_T = 0.74$

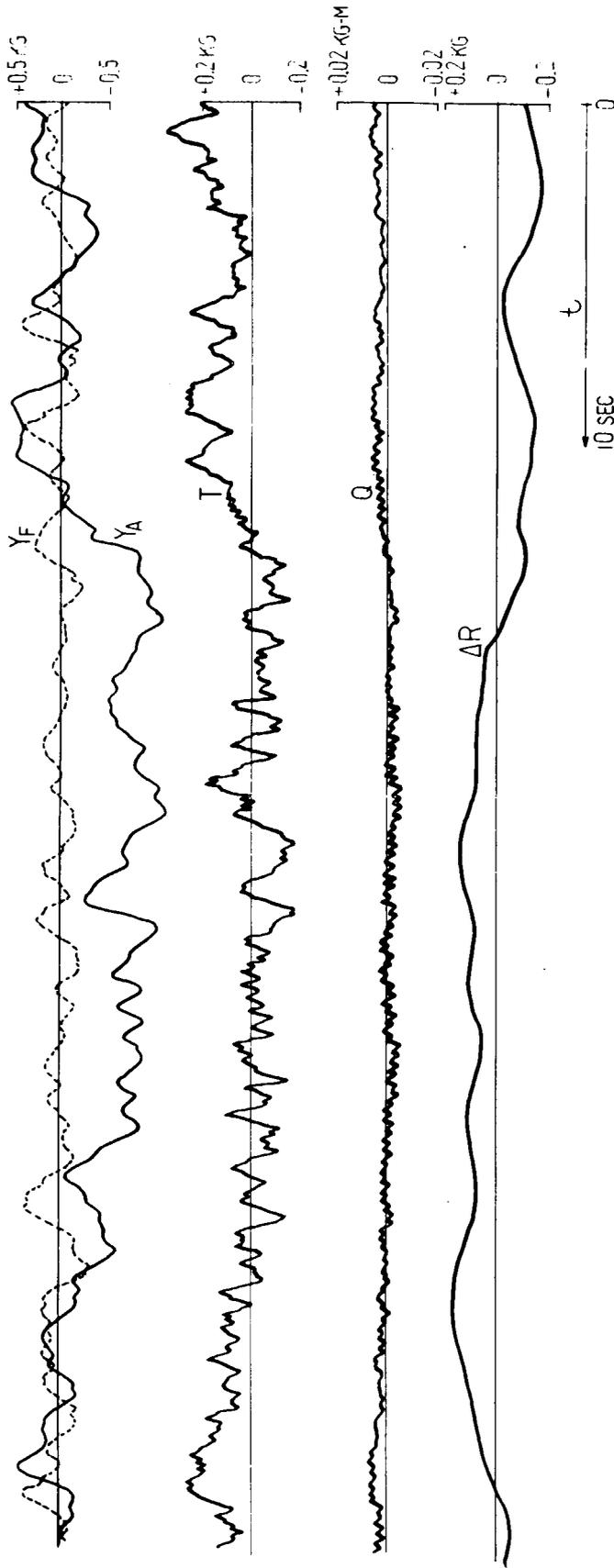


Fig. 3.3.13 Comparison of Analog Records (Thrust, Torque, Towing Force and Fore and Aft Side Forces), at Propeller Load Test with the Smallest Propeller MP 1562,  $F_n = 0.18$ , 65% Load

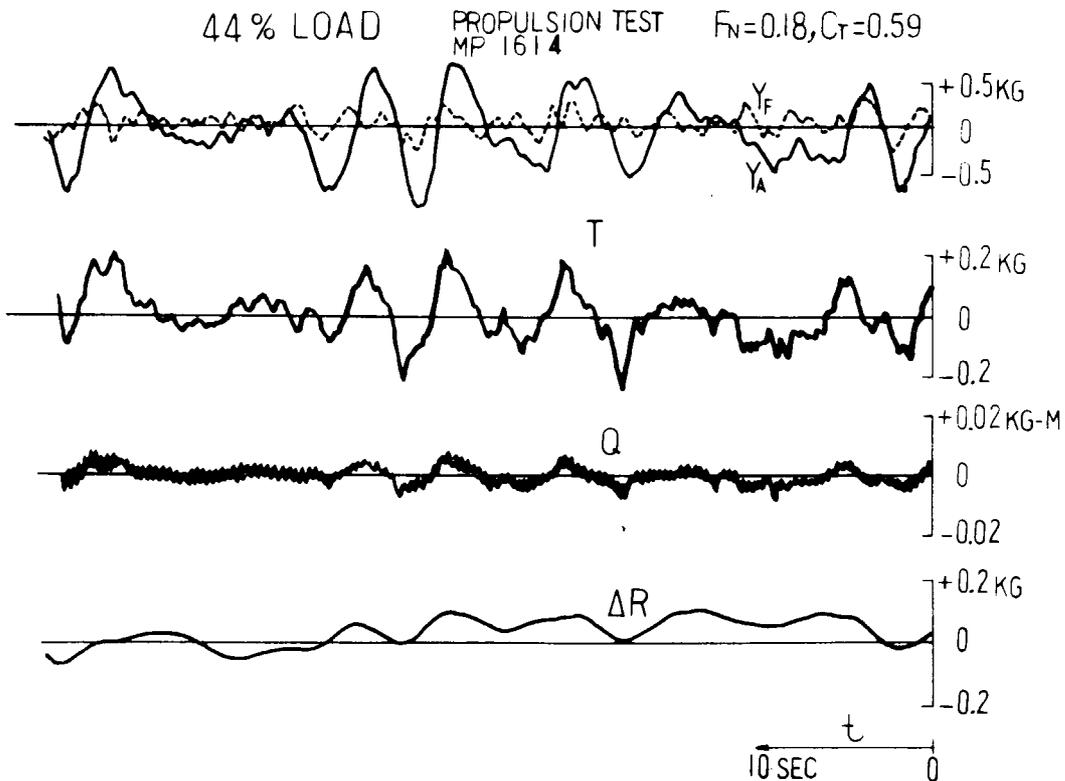


Fig. 3.3.14 Comparison of Analog Records (Thrust, Torque, Towing Force and Fore and Aft Side Forces), at Propeller Load Test with the Largest Propeller MP 1614,  $F_n = 0.18$ , 44% Load

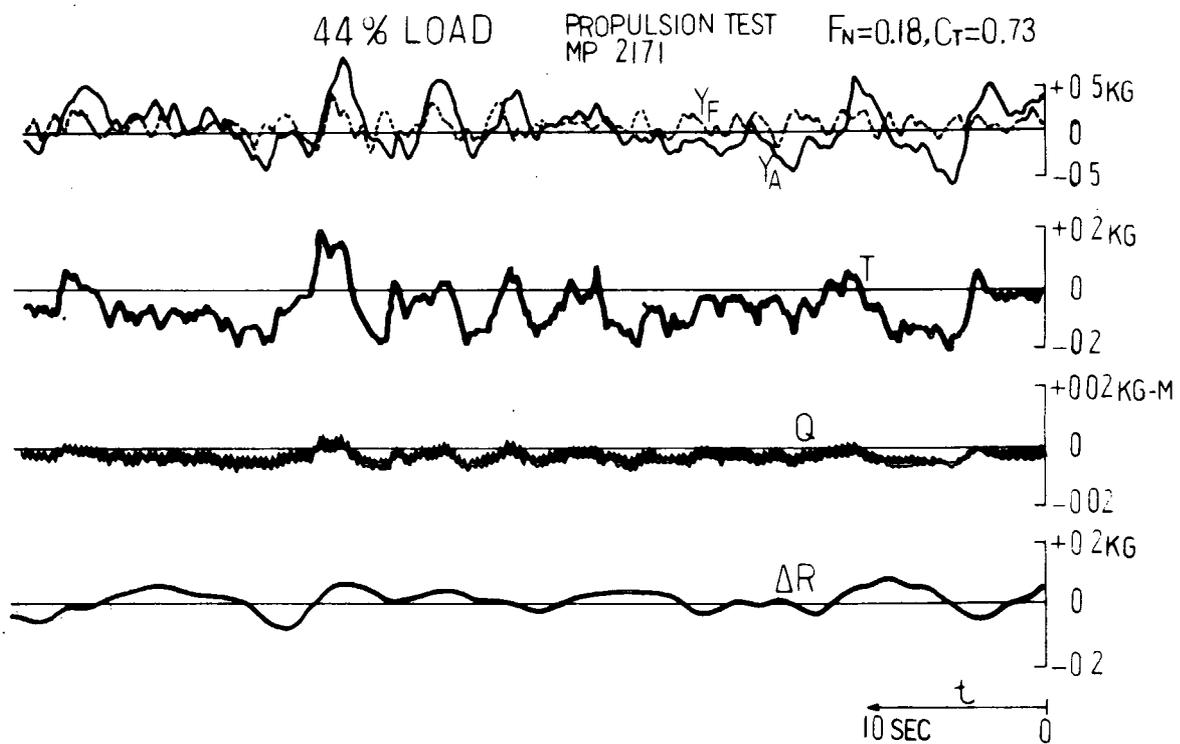


Fig. 3.3.15 Comparison of Analog Records (Thrust, Torque, Towing Force and Fore and Aft Side Forces), at Propeller Load Test with Medium Size Propeller MP 2171,  $F_n = 0.18$ , 44% Load

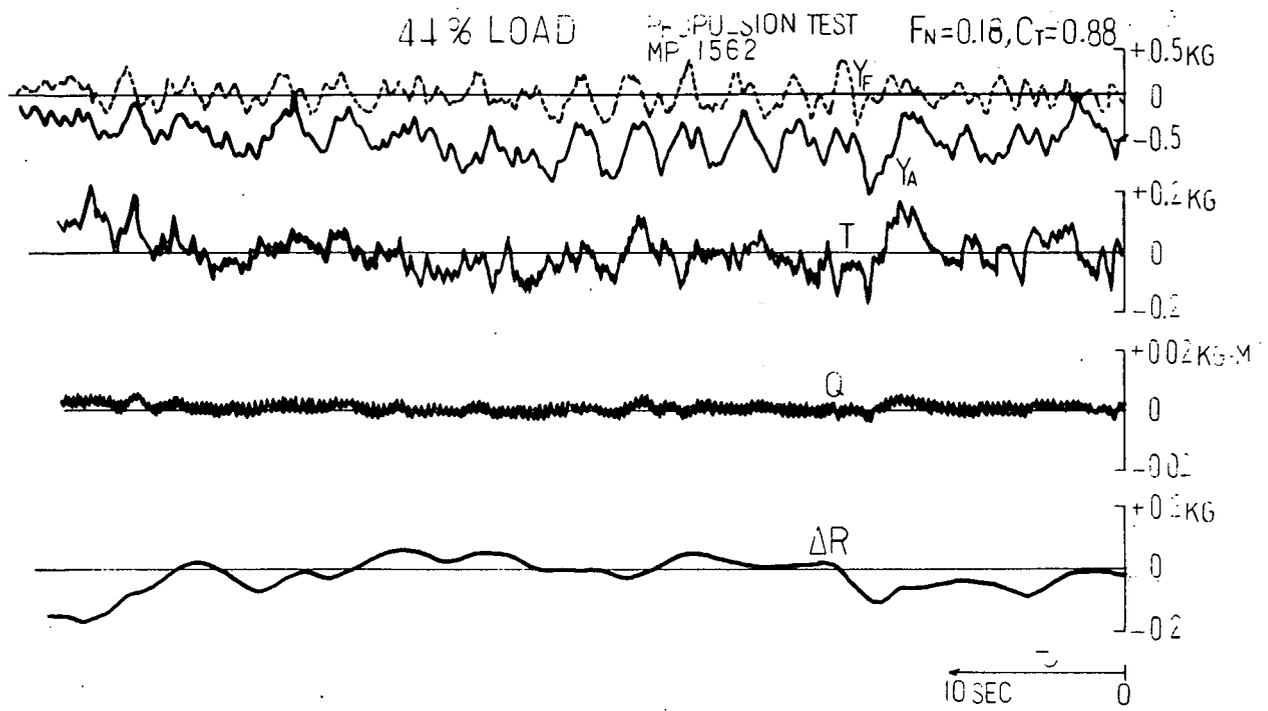


Fig. 3.3.16 Comparison of Analog Records (Thrust, Torque, Towing Force and Fore and Aft Side Forces), at Propeller Load Test with the Smallest Propeller MP 1562,  $F_n = 0.18$ , 44% Load

### 3.4 各種船型におけるサイドフォースの計測とその考察

#### 3.4.1 試験の目的および概要

第1小委員会による7m模型船の持ちまわり試験の結果、および第2小委員会による各種試験の結果、いわゆる不安定現象発生の際に、トルク・スラストの変動に伴って潮目の左右移動および船尾におけるサイドフォースの不連続的な変動が見られ、サイドフォースと不安定現象との関連が注目をひいた。それで日常業務として多くの抵抗・自航試験を扱っている水槽において、日常試験を利用して各種船型のサイドフォースを計測し、サイドフォースの挙動と船型要素との関連、あるいは不安定現象との関連などを調べることにした。

計測に参加したのは、石川島播磨重工業（IHI）、三菱重工業（MHI）、船舶技術研究所（SRI）、日本造船技術センター（SRC）、明石船型研究所（ASMB）の5水槽で、各水槽におけるサイドフォース計測の方法は、持ちまわり試験の際と同じである。供試船型は合計23隻、タンカー船型から高速貨物船型まで、2軸船型2隻も含んでいる。

#### 3.4.2 試験結果

供試模型船の船型要素、試験状態および計測結果概要を一括してTable 3.4.1(1)~(4)に示す。計測結果の全容は膨大にわたるので、特色のある数例をFig. 3.4.1~Fig. 3.4.7に示す。

この計測は、計測量が比較的小さい上に、模型船副部類の取付方、あるいは模型船の曳引車への取付方などが敏感に影響するので、かなり難しい計測である。計測結果も千差万別で類型化し難いが、掲載例の特色は次のとおりである。

- Fig. 3.4.1 : サイドフォースはほとんどなくよく安定している。
- Fig. 3.4.2 : 抵抗試験時、自航試験時ともにばらつきが大きいのが特に抵抗試験時の荒れが目立つ。
- Fig. 3.4.3 : 特に自航試験時の $Y_A$ の変動が著しい。これに伴ってスラストも段差的に変動し、いわゆる不安定現象が見られた。
- Fig. 3.4.4 :  $Y_A$ にも多少のばらつきは見られるが、むしろ $Y_F$ の方の荒れが著しい。
- Fig. 3.4.5 : 同一要目のプロペラで、右回転のものと左回転のものとの比較試験例である。  
(SCALE: 2倍)
- Fig. 3.4.6 : 2軸船の試験例、あわせてプロペラの内まわり時と外まわり時との比較をしている。  
(SCALE: 2倍)
- Fig. 3.4.7 : 抵抗試験時は、 $Y_F$ 、 $Y_A$ ともにほぼ0で安定しているが、 $Y_A$ に $F_n = 0.26 \sim 0.27$ 付近で(-)側に瘤がある。自航試験時は、 $Y_F \approx 0$ で安定しているが、 $Y_A$ は低速部の $4 \times 10^{-3}$ から $F_n = 0.25 \sim 0.27$ 付近で下方に下って $-0.2 \times 10^{-3}$ になり、 $F_n = 0.33$ で0に戻っている。抵抗試験時の“瘤”との関連を思わせる特異な例である。

#### 3.4.3 考察

このように、計測の結果は千差万別であって、現在の資料からサイドフォースの挙動と船型要素などとの関係を体系づけて論ずることは不可能のようである。全般的にいえることは、船体まわりに働く流体力の変動がサイドフォースの変動の形で現われるのは当然であるから、サイドフォースの挙動が船体まわりの流場を探るための有力な情報であることは間違いなく、それなりの傾向は示しているようである。即ち、高速コンテナ船型にはサイドフォースの挙動も安定したものが多いし、また肥大船型には大きなサイドフォースを出すものが多い。大きなサイドフォースの現われる場合はプラス側に出ていることが多い。また中程度に肥大した中速船の高速部（恐らく実験は常用速力を超えたかなりの高速まで行なわれているもの

と思われる)にばらつきが大きいのも一つの傾向であろう。

特異な例としては、同一要目のプロペラで右まわりの場合と左まわりの場合とを比較すると ( Fig. 3. 4. 5 )、 $Y_F$  には大差がなく、 $Y_A$  は零線付近を軸にプラス側とマイナス側に対称に近い値が示された。また2軸船の場合は ( Fig. 3. 4. 6 )、プロペラを内まわりとしても外まわりとしても、大きなサイドフォースが現われていない。

現在のサイドフォース計測は、模型船のガイドにかかる力を何等かの方法で計測しているが、上述のような定性的傾向は或程度認められるにしても、更に細い議論をするには計測法の改善も必要であろう。またこの部会においても指摘されているように、船体の局部形状が船尾流場に思わぬ影響を与えることもあるので、船型要素との関連を調べるには、船型に関する更に詳細な情報とともに、スラストや自航要素などの挙動も併せて検討することが必要である。

Table 3.4.1 (1)

SR-159		SIDE FORCE 計測結果の総括					船型要素			船型要素		船型要素		船型要素		船型要素		船型要素			
社名	M.S. No.	M.P. No.	船数	CONDITION	$\frac{L}{D}$	$\frac{B}{D}$	TRIM (度)	$\frac{d_A}{d_{full}}$	I.C.D. (度)	$\frac{C_D}{L/D}$	SIDE FORCE 計測速度 (7/11 度)	船型要素									
三菱重工業 (株)	A (4-9)	1614	1	FULL	0.7287	2.632	0	1.000	-3.410	0.1383	① 0.10 ~ 0.195	① 0.10 ~ 0.195	① 0.10 ~ 0.195	① 0.10 ~ 0.195	① 0.10 ~ 0.195	① 0.10 ~ 0.195	① 0.10 ~ 0.195	① 0.10 ~ 0.195	① 0.10 ~ 0.195	① 0.10 ~ 0.195	
				FULL	0.7961	3.051	0	1.000	-3.427	0.1381	② 0.07 ~ 0.21	② 0.07 ~ 0.21	② 0.07 ~ 0.21	② 0.07 ~ 0.21	② 0.07 ~ 0.21	② 0.07 ~ 0.21	② 0.07 ~ 0.21	② 0.07 ~ 0.21	② 0.07 ~ 0.21	② 0.07 ~ 0.21	
				FULL	0.7245	5.121	1.556	0.7323	-1.329	0.1311	③ 0.07 ~ 0.22	③ 0.07 ~ 0.22	③ 0.07 ~ 0.22	③ 0.07 ~ 0.22	③ 0.07 ~ 0.22	③ 0.07 ~ 0.22	③ 0.07 ~ 0.22	③ 0.07 ~ 0.22	③ 0.07 ~ 0.22	③ 0.07 ~ 0.22	③ 0.07 ~ 0.22
				FULL	0.7245	5.121	1.556	0.7323	-1.329	0.1311	④ 0.07 ~ 0.20	④ 0.07 ~ 0.20	④ 0.07 ~ 0.20	④ 0.07 ~ 0.20	④ 0.07 ~ 0.20	④ 0.07 ~ 0.20	④ 0.07 ~ 0.20	④ 0.07 ~ 0.20	④ 0.07 ~ 0.20	④ 0.07 ~ 0.20	④ 0.07 ~ 0.20
				FULL	0.7245	5.121	1.556	0.7323	-1.329	0.1311	⑤ 0.07 ~ 0.20	⑤ 0.07 ~ 0.20	⑤ 0.07 ~ 0.20	⑤ 0.07 ~ 0.20	⑤ 0.07 ~ 0.20	⑤ 0.07 ~ 0.20	⑤ 0.07 ~ 0.20	⑤ 0.07 ~ 0.20	⑤ 0.07 ~ 0.20	⑤ 0.07 ~ 0.20	⑤ 0.07 ~ 0.20
三井重工業 (株)	B (4-9)	1614	1	FULL	0.915	2.445	0	1.000	-1.48	0.1157	① 0.06 ~ 0.28	① 0.06 ~ 0.28	① 0.06 ~ 0.28	① 0.06 ~ 0.28	① 0.06 ~ 0.28	① 0.06 ~ 0.28	① 0.06 ~ 0.28	① 0.06 ~ 0.28	① 0.06 ~ 0.28	① 0.06 ~ 0.28	
				FULL	0.915	2.445	0	1.000	-1.48	0.1157	② 0.13 ~ 0.27	② 0.13 ~ 0.27	② 0.13 ~ 0.27	② 0.13 ~ 0.27	② 0.13 ~ 0.27	② 0.13 ~ 0.27	② 0.13 ~ 0.27	② 0.13 ~ 0.27	② 0.13 ~ 0.27	② 0.13 ~ 0.27	
				FULL	0.915	2.445	0	1.000	-1.48	0.1157	③ 0.06 ~ 0.28	③ 0.06 ~ 0.28	③ 0.06 ~ 0.28	③ 0.06 ~ 0.28	③ 0.06 ~ 0.28	③ 0.06 ~ 0.28	③ 0.06 ~ 0.28	③ 0.06 ~ 0.28	③ 0.06 ~ 0.28	③ 0.06 ~ 0.28	
				FULL	0.915	2.445	0	1.000	-1.48	0.1157	④ 0.06 ~ 0.28	④ 0.06 ~ 0.28	④ 0.06 ~ 0.28	④ 0.06 ~ 0.28	④ 0.06 ~ 0.28	④ 0.06 ~ 0.28	④ 0.06 ~ 0.28	④ 0.06 ~ 0.28	④ 0.06 ~ 0.28	④ 0.06 ~ 0.28	
				FULL	0.915	2.445	0	1.000	-1.48	0.1157	⑤ 0.06 ~ 0.28	⑤ 0.06 ~ 0.28	⑤ 0.06 ~ 0.28	⑤ 0.06 ~ 0.28	⑤ 0.06 ~ 0.28	⑤ 0.06 ~ 0.28	⑤ 0.06 ~ 0.28	⑤ 0.06 ~ 0.28	⑤ 0.06 ~ 0.28	⑤ 0.06 ~ 0.28	



Table 3.4.1 (3)

社名	S.S.No.	J.M.P.No.	軸数	CONDITION	船型要素				SIDE FORCE 計測結果の総括	SIDE FORCE 計測結果の概要		
					$\frac{L}{B}$	$\frac{D}{B}$	TRIM (度)	$\frac{dA}{dL}$			L.C.D (mm)	$\frac{C_p}{L/B}$
新橋汽船研究所 (横子)	0252 (250-1000) (40-100)		1	FULL	2.760	1.000	0	1.000	-0.660	0.1367	0.09 ~ 0.21	外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05
					4.136	0.750	1.0	0.750	0.553	0.1331	0.09 ~ 0.23	外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05
					5.977	0.627	2.0	0.627	3.372	0.1303	0.18	外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05
					2.59	1.000	0	1.000	-2.15	0.1461	0.10 ~ 0.20	外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05
					5.67	0.552	1.30	0.552	-1.09	0.1364	0.12 ~ 0.22	外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05
新橋汽船研究所	A (357船)		1	FULL	3.29	1.000	0	1.000	-3.00	0.1432	0.11 ~ 0.22	外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05
					4.23	0.757	1.34	0.757	-1.00	0.1373	0.12 ~ 0.21	外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05
					2.63	1.000	0	1.000	-1.02	0.1335	0.14, 0.18	外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05
					4.48	0.779	2.83	0.779	2.204	0.1150	0.12 ~ 0.22	外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05
					3.95	1.000	0	1.000	-1.00	0.1162	0.15 ~ 0.25	外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05
新橋汽船研究所	D (357船)		1	FULL	4.86	0.860	0.800	0.860	-0.48	0.1129	0.15 ~ 0.25	外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05
					3.64	1.000	0	1.000	-2.917	0.1160	0.15 ~ 0.20	外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05
					4.95	0.598	0.70	0.598	-2.367	0.1108	0.10 ~ 0.18	外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05
					4.95	0.598	0.70	0.598	-2.367	0.1108	0.12 ~ 0.17	外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05
					4.95	0.598	0.70	0.598	-2.367	0.1108	0.13 ~ 0.19	外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05, 外側0.05, 内側0.05

Table 3.4.1 (4)

SR-159 SIDE FORCE 計測結果の総括											
社名	M.S. No.	M.P. No.	油圧油圧計測機	CONVENTIONAL LOAD (kg)	船型要素			I.C.D. (mm)	C <sub>d</sub> / L <sub>w</sub> /D	SIDE FORCE 計測速度 (74-5度)	船型要素の概略
					B/D	d <sub>a</sub> /d <sub>full</sub>	TRIM (deg)				
船型要素計測所 (株)	F (9-7)	1	FULL	3.45	1.000	0	-3.08	0.1643	0.11~0.15	*3	YF, YA, Zは0に安定
				6.22	52% LOAD	0.13~0.20	YAは0.5×10 <sup>3</sup> YAIは0に安定				
	G (0-7)	2	FULL	3.29	1.000	0	2.97	0.1121	0.15~0.20	*6	YAは0.5×10 <sup>3</sup> YAIは0に安定
				4.23	273% LOAD	0.15~0.20	YAは0.5×10 <sup>3</sup> YAIは0に安定				
	H (9-7)	2	FULL	2.80	1.000	0	1.52	0.0800	0.08~0.16		YFは0に安定 YAIは0.25×10 <sup>3</sup>
				4.19	66% LOAD	0.13~0.20	YAIは0.5×10 <sup>3</sup> YAIは0.25×10 <sup>3</sup>				
日本造船株式会社 (9-7)	A (9-7)	1	FULL	3.033	1.000	0	-3.30	0.1522	0.08~0.16		YFは0 YAIは0.4×10 <sup>3</sup> で安定
				5.747	BALAST	0.029~0.17	YFは0 YAIは0.4×10 <sup>3</sup> で安定				
	B (9-7)	1	FULL	2.832	1.000	0	1.77	0.085	0.22~0.30	*1	YFは0 YAIは0でよく安定
				4.265	TRIAL	0.23~0.31	YFは0 YAIは0でよく安定				
	C (9-7)	1	FULL	2.832	1.000	0	2.083	0.086	0.24~0.32		YFは0 YAIは-1.2×10 <sup>3</sup> で安定
				4.236	TRIAL	0.22~0.30	YFは0 YAIは-1.0×10 <sup>3</sup> で安定				
D (9-7)	1	FULL	2.500	1.000	0	-2.400	0.1334	0.23~0.31		YFは0 YAIは-1.0×10 <sup>3</sup> で安定	
			4.272	BALAST	0.13~0.23	YFは0 YAIは0で安定					
				3.671	1.5	0.794	0.14~0.25	0.14~0.25		YFは(-1.0~1.0)×10 <sup>3</sup> YAIは(-1.0~4.0)×10 <sup>3</sup> の範囲で計測	

注) \*1はFig. 3.4.1に対応する 以下同様

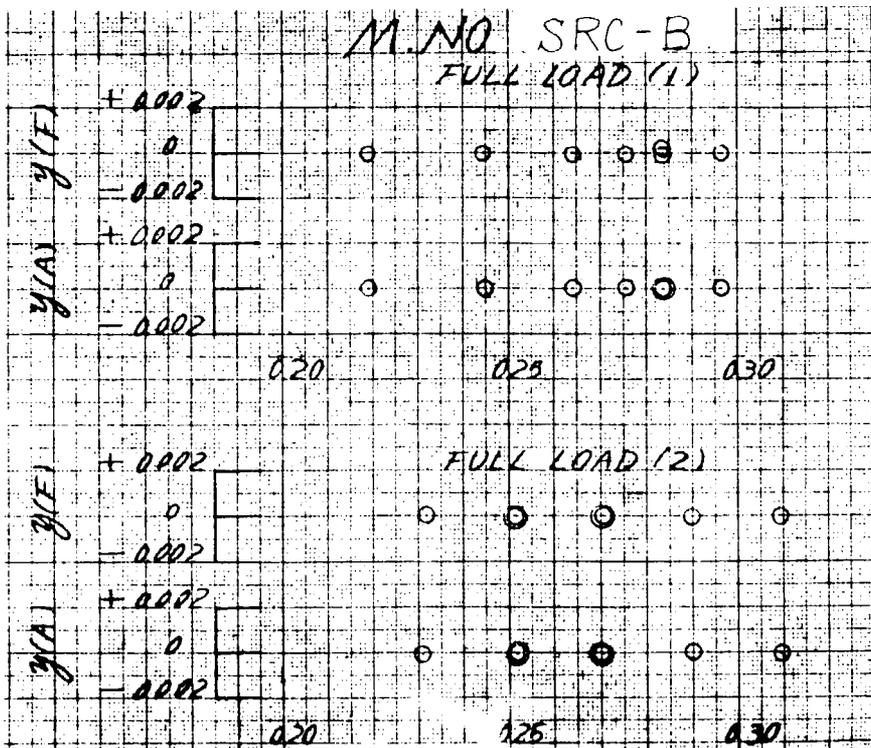


Fig. 3.4.1

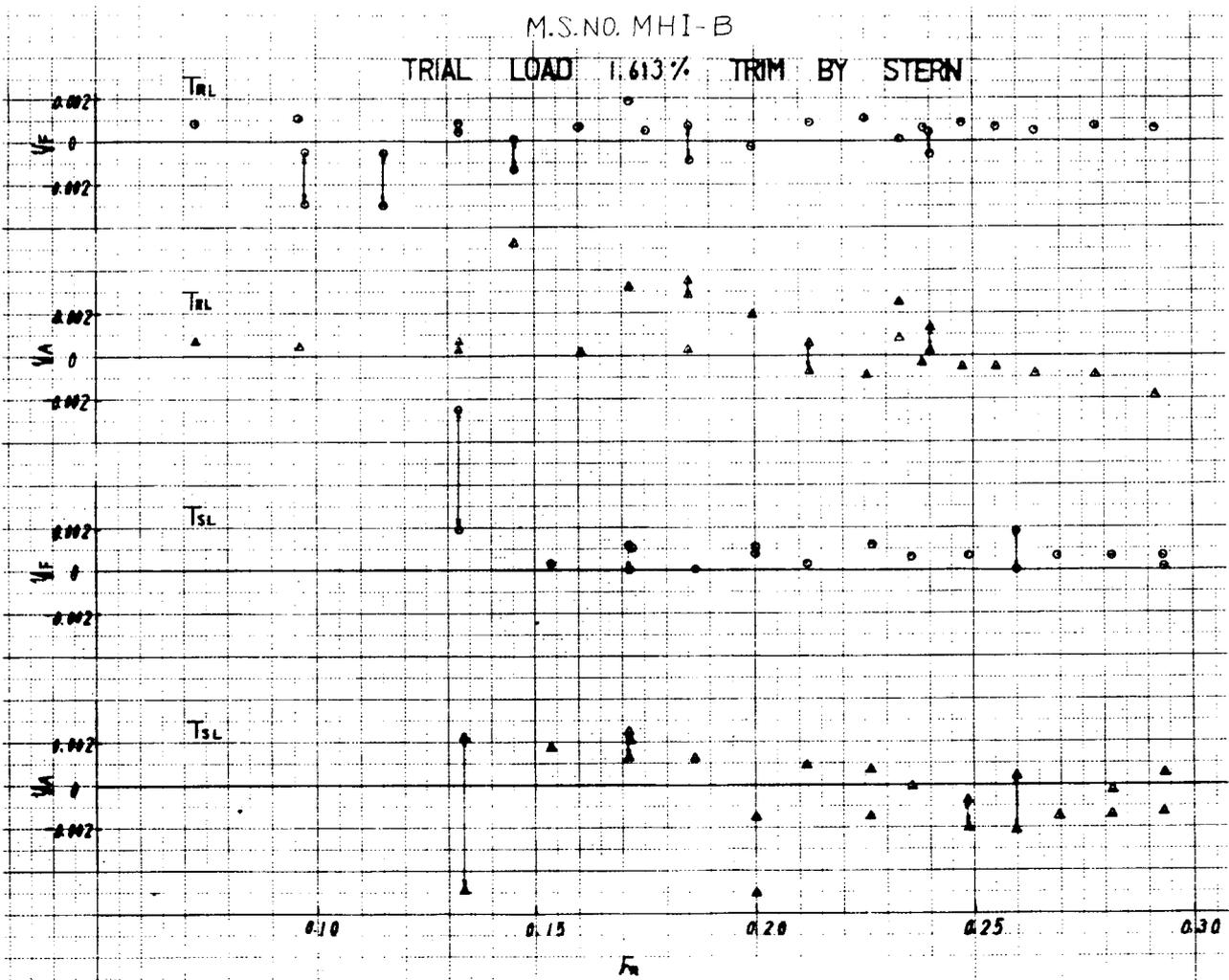


Fig. 3.4.2

# SIDE FORCE

M.S. NO. ASMB-F

M.P. NO.

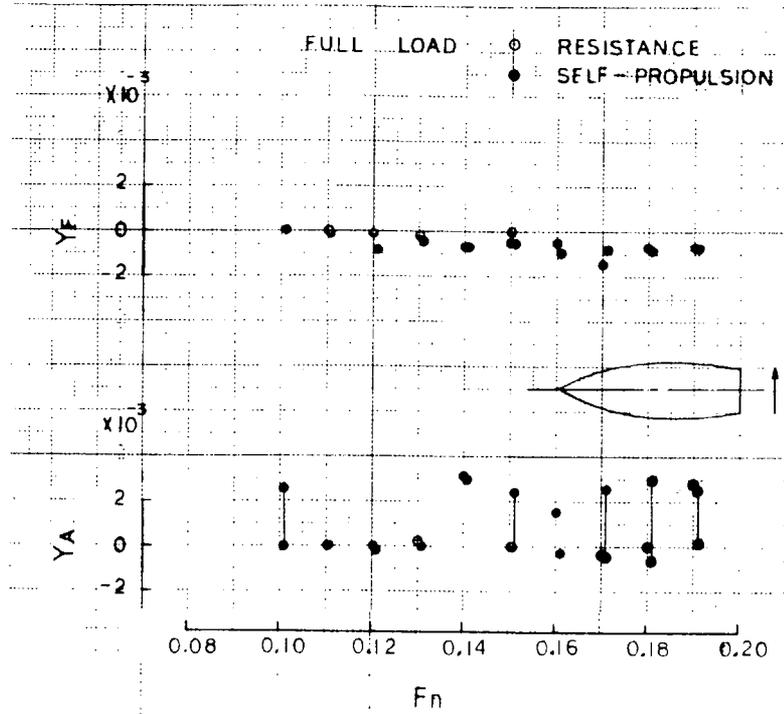


Fig. 3.4.3

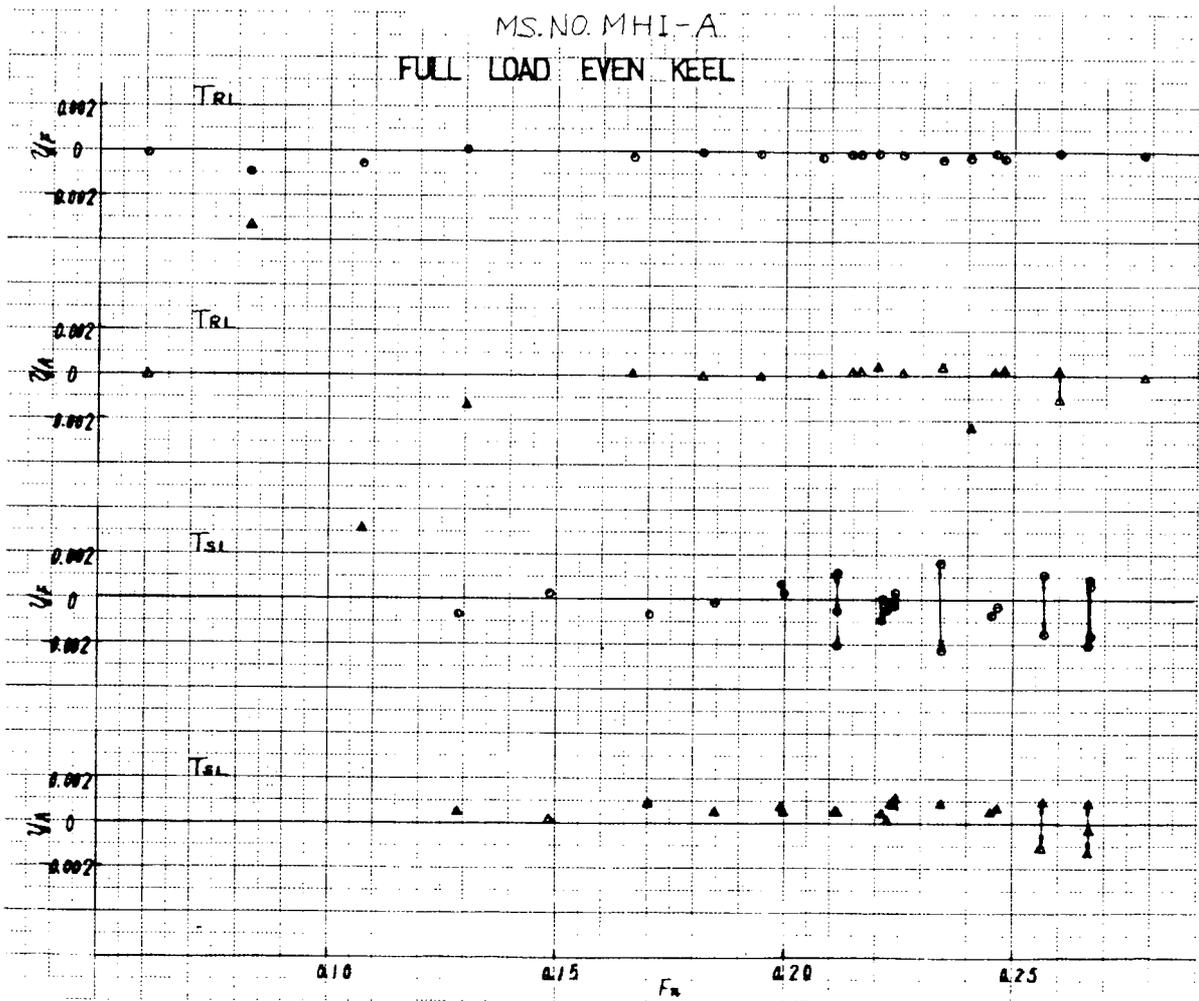


Fig. 3.4.4

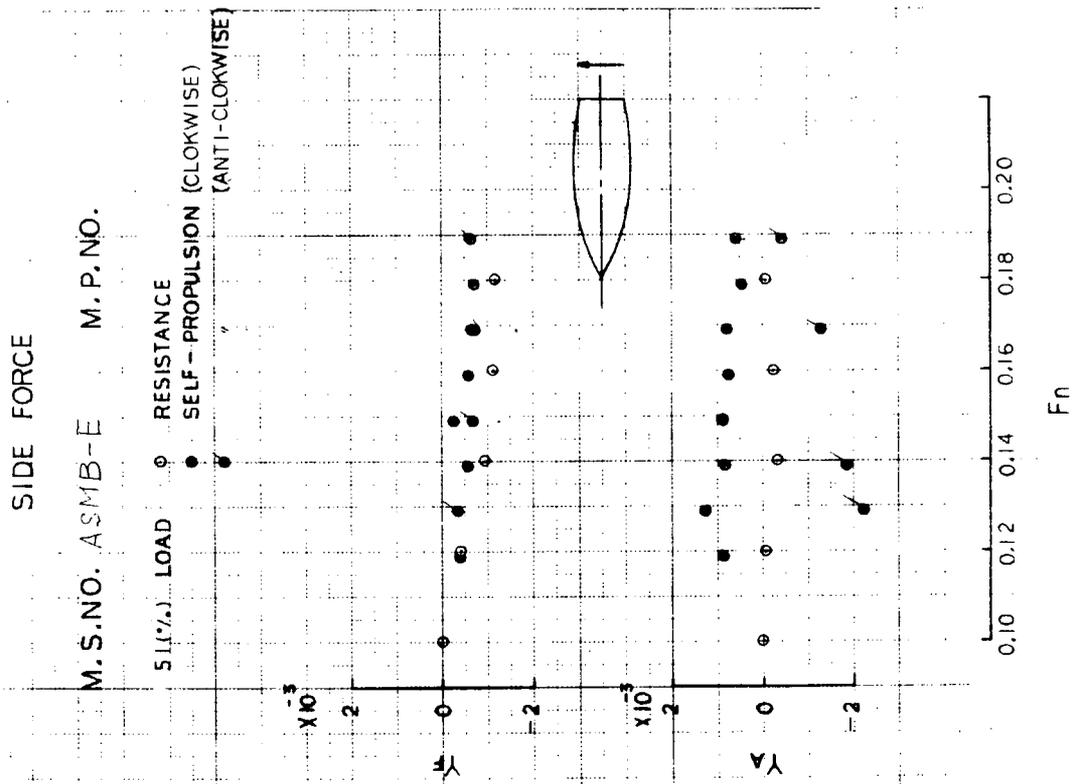


Fig. 3.4.5

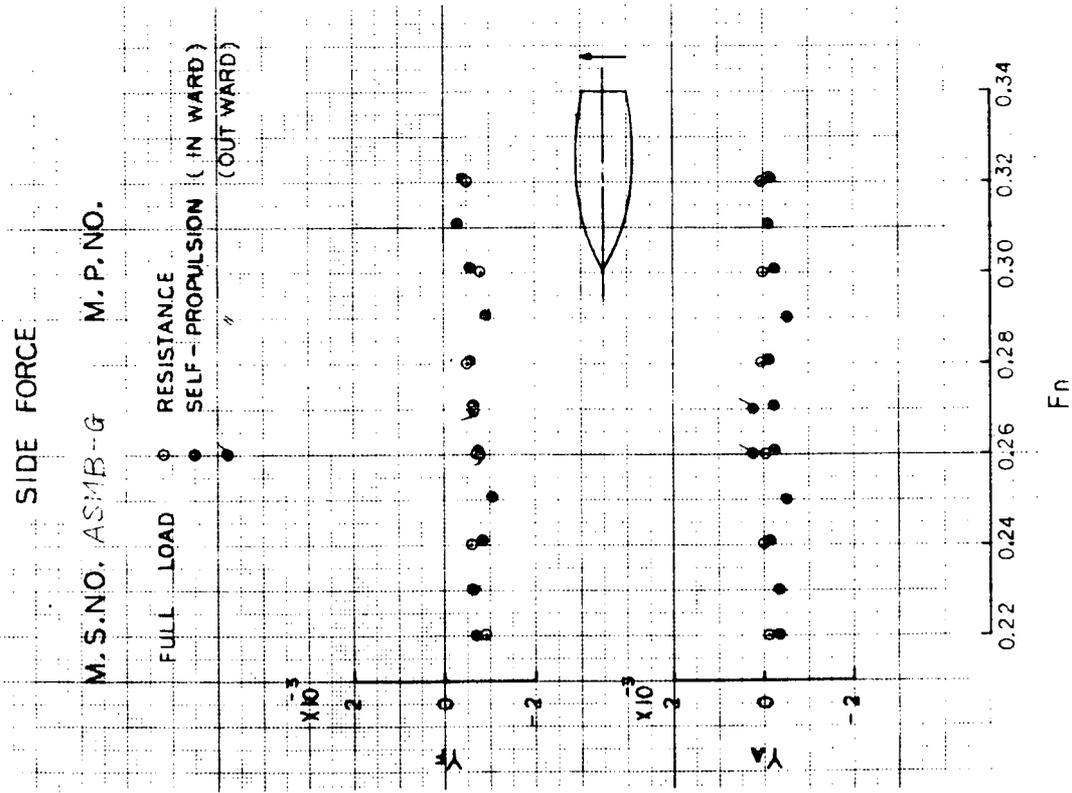


Fig. 3.4.6

M.S. NO. MHI-D

TRIAL LOAD 1/2 TRIM BY STERN

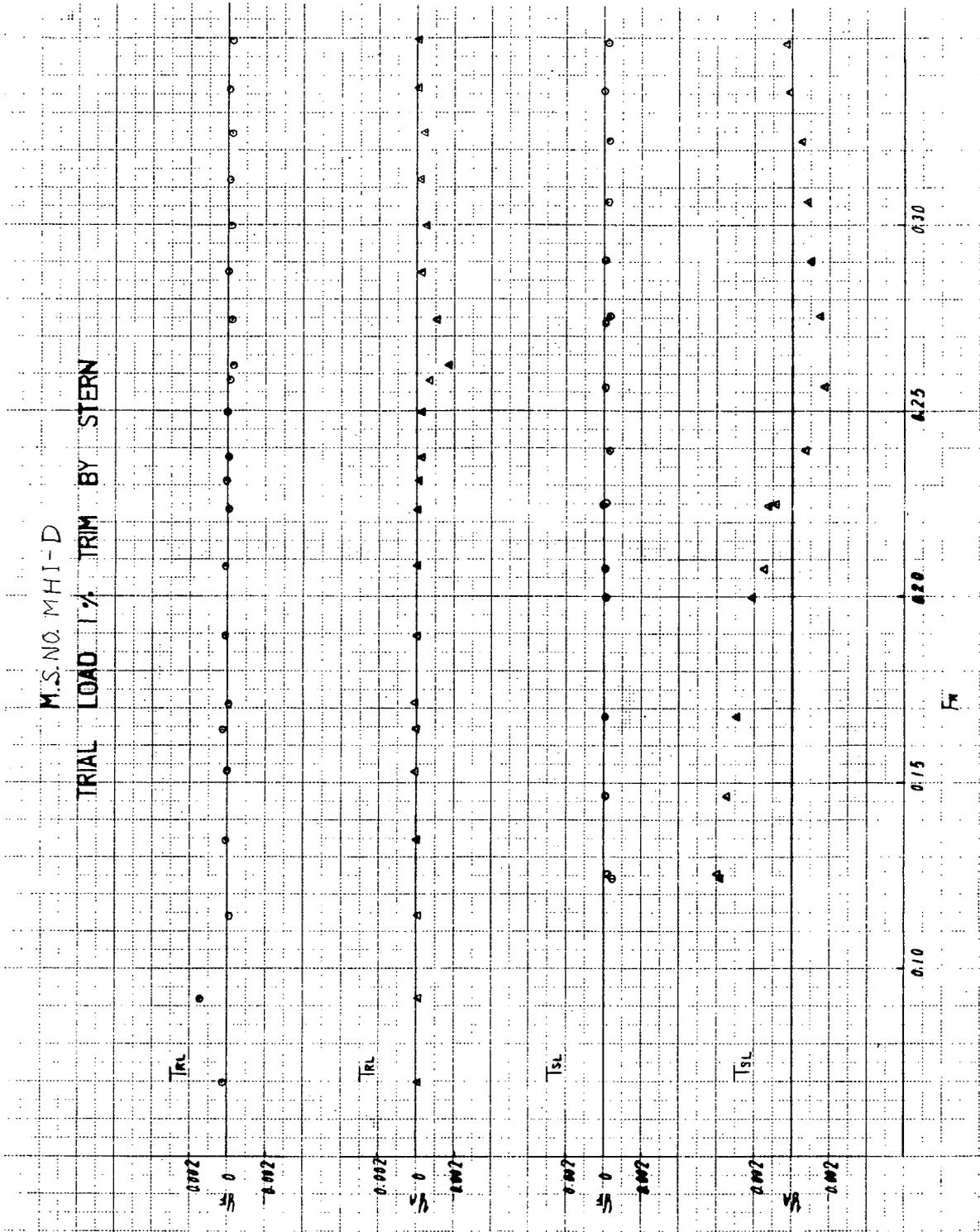


Fig. 3.4.7

### 3.5 まとめ

以上各節で述べた研究成果を要約すると次のように云うことができよう。

- 1) 船尾流場の不安定現象の様相は船尾の肥大度によって大幅に変化し、船尾の非対称流れの程度は肥大度の増加と共に強くなり、その範囲もバラスト状態にとどまらず、満載状態にまで及ぶようになる。
- 2) 船尾流場の不安定現象は通常のコンテナ船や貨物船など、いわゆる脩型船船型では発生せず、船尾がある程度以上肥えた肥大船特有の現象と考えられる。また、本現象は或る特定の船型にのみ発生するというよりも、むしろ船尾がある程度以上肥った船型においては、程度の差はあれ殆んど船型に発生しているのではないかと推定される。
- 3) 今回のプロペラ直径変更試験の結果では、プロペラ直径の相違によって不安定現象の発生に関し、それほど顕著な変化は生じなかった。
- 4) 船尾の肥った船型でかつ  $B/d$  の大きい船型は、満載状態においても船尾流場の不安定現象が発生し易い傾向にあると思われる。

## § 4 実船の推進性能の研究

### 4.1 結 論

本委員会での数々の調査・研究などによって、自航試験の不安定現象について多くのことが明らかになってきた。しかし、それはあくまで模型船でのことであって、実船ではそれがどのような形で現われるかという問題については未だほとんど明らかになっておらず、いくつかの推測が述べられているのみである。

不安定現象の Scale Effectの問題は基本的・理論的に興味ある問題ということだけではなく、実際的にもきわめて重要な問題である。つまり、模型試験で不安定現象が現われたとき、実船でも同様の現象が現われるのか否か、もし現われるとすればどのような形でどの程度現われるのか、等々の問題は、実船の推進性能を推定する場合や振動の問題を考えるうえで、不可欠の問題である。

現在、これらの問題について、確かなことは何も言えないといっても過言ではないと思われる。そのひとつの大きな原因としてはデータ不足があげられる。それは、この問題が Close Up されてきたのが比較的最近であること、模型試験で不安定現象が現われた場合多くは船型を変更してしまうことなどによる。

しかし、現在模型試験で不安定現象が現われた船が実際に建造され就航された例もあること、また、不安定現象の Scale Effectが明らかになれば船型設計上の自由度が広まると期待されることから、理論的には明らかになっていない段階でも、実用的な解決が焦点の課題になっている。

本章の研究は、このような立場から、模型試験で不安定現象が現われ、かつその船型で実船が建造された2隻の船について、実船での観察や伴流係数の模型船—実船相関の検討を実施したものである。

### 4.2 供 試 船

供試船は、日本鋼管株式会社のチップ運搬船“SCANSILVA”および佐野安船渠株式会社の貨物船FORT YALEである。以下の記述ではその模型船番号を用いて、各々、S.NO.3488およびS.NO.3275と称す。なお、S.NO.3488にはいくつかの同型船があるのでA、B、C、…で区別した。（“SCANSILVA”は、S.NO.3488B）

### 4.3 実船試運転時の観察

<S.NO.3488B>

観察は2日間実施したが、1日目と2日目では吃水が異なる。Fig.4.11でB(1日目)、B'(2日目)と記してあるが、2日目の方が深い(速力試験は1日目で吃水Bである)。1日目の観察結果は以下のとおり。

- a) 速力試験の直進中の当て舵量は、 $\delta = 0^\circ$  と  $\delta = 1^\circ \sim 2^\circ$  port とをほぼ半々の割合でとっている。ただし、1~2回 Starboard にごく短時間とっていた。これらのことは、往復とも同様である。Dock Master は「本船は少し右に行きたがるかな。」と言っていたが全く気にかけていなかった。その他の乗船員の様子を見ていても、「本船は異常である」という様子ではなかった。
- b) 船尾端の水面付近の様子を Fig.4.1 に示す。図中Cはプロペラ・レースで全体として少し右舷側に寄っていることが多い。BとDは不鮮明な白泡帯であり、右舷側Dは比較的安定しているが、プロペラ・レースとよく一緒になる。左舷側Bは、比較的ふらふらしたり時には見えなくなったりして、いわゆる潮目とも思われたが確認は出来なかった。AとEは船首部より続いている白泡帯である。
- c) 通常聞えているプロペラ・レースのザーという音が時たま消えた。このとき船尾端付近のプロペラ・レースの白濁が水面下にもぐったかのように水面は泡も少なく静かになってしまう。そして数秒間この状態が続いたあとドドゥーという音とともに船尾端より少し離れたところから水が盛り上って来る(白濁しているのでもぐっていたプロペラ・レースかもしれない)。しかる後に、再びザーという連続音となる。

d) ドドゥーという音の発生やプロペラ・レースのふらつきと当て舵との関連は、目視のみのため確認できなかった。

次に2日目の観察である。

e) 船尾端で観察すると水面付近の様子は1日目のそれと異って、プロペラ・レースは安定であり、ドドゥーという音やそれに伴う水面付近の変化も認められなかった。

f) ただし、直進時の当て舵(オート・パイロット)はやはり $1^{\circ}\sim 2^{\circ}$  portであった。

<S.NO.3275>

観察は1日間のみであったが、他の船に比べて何ら異状は認められなかった。S.NO.3488のときに見られたプロペラ・レースのふらつきやドドゥーという音も認められず、S.NO.3488の2日目の様子と似ていた。また、乗船時に、機関関係に携わっておられる方から、模型試験と同様の不安定現象が実船でも発生した場合、それはどのような形で現われるだろうかという問題について貴重な意見を頂いた。不安定現象の模型船—実船相関について研究するひとつの前提として、この問題についての詳しい検討が必要と思われる。

#### 4.4 供試船の模型試験結果

前節の観察に供試されたS.NO.3488について模型試験を実施した。

実施した試験項目は、抵抗試験、自航試験(含荷重試験)、プロペラ単独試験、およびプロペラ位置の伴流計測である。なお、抵抗および自航試験時には船尾のサイド・フォースも計測した。

試験状態は、計画満載状態(FULL LOAD)とほぼ試運転時と等しい状態(BALLAST)の2状態である。その実験状態等をTable 4.1に示す。

計測の結果をFig. 4.2~10に示したが、これらから次のようなことが解る(図の形式、記号の意味等は昨年度の報告書と同じ)。

- i) 抵抗試験時には点のバラツキを始め異状な点は認められない。
- ii) 自航試験時には、不安定現象が発生しており、その程度もかなり大きい。
- iii) 自航試験時のスラストと船尾のサイド・フォースとはほぼ対応して変動しており、その大小関係も従来の報告と同じである。
- iv) 伴流分布図を見ると、船尾の流れの剝離に基づくと思われるContour Curveの大きな歪みが認められる。

なお、S.NO.3275については今回改めて模型試験を実施しなかったが、以前に実施した(財)日本造船技術センターでの試験の結果によると不安定現象の程度は余り大きくない。

#### 4.5 模型船—実船相関の調査

本研究の供試船S.NO.3488およびS.NO.3275の2隻について速力試運転の結果を解析した。なお、S.NO.3488については同型船があり、その速力試運転結果も提供されたので併わせて解析した。その数は本船(S.NO.3488B)も含めて5隻であり、その試運転時の吃水をTable 4.2とFig. 4.11に示す。

解析は、(財)日本造船技術センター既存の電子計算機プログラム(PAS)によったが、そのときの設定条件等は次のとおり。

- i) 解析方法は改良J.T.T.C.法および谷口・田村の方法の2種である。
- ii) 潮流は、その周期が12.5時間の正弦曲線とした。
- iii) 風向影響係数は、J.T.T.C.の標準ラインを使用した。谷口・田村の方法では風圧係数 $C_x$ を0.8とした。

解析の結果を Fig. 4.12 ~ 13 に示した。これらの図には試運転解析で得られた粗度修正係数  $\Delta C_F$  や伴流係数  $(1 - W_s)$  の他に水槽試験結果の伴流係数  $(1 - W_T)_M$  (不安定現象が発生しているので2本ある)も示してある。また、(財)日本造船技術センター標準使用の  $\Delta C_F$  や推定伴流係数  $(1 - W_s)$  も線で入れてある。

これらの図より次のようなことがいえる。

- i) S.NO.3488 の伴流係数を見ると、B船が他のものに比べて異っているように見える。これが不安定現象と関連をもつ有意の差なのか計測誤差なのかは俄には判定し難い(B船の場合のように解析方法の違いによっても  $1 - W_s$  に0.04程度の差がある)。
- ii) S.NO.3488 について伴流の推定との関連で言えば、水槽試験からの推定値と試運転解析の結果とは余り一致していない。しかし、水槽試験で得られた2つの伴流値のうち伴流の大きい方の値からの推定した値の方が試運転結果に近い。
- iii) S.NO.3275 の伴流係数の推定値は試運転結果とよく合っている。また、本船の不安定現象の程度が小さいので何んともいい難いが、しいていえば、伴流の大きい方の値を使った推定値の方が試運転結果に近い。

また、参考のために、これらの試運転解析時に得られた潮流曲線を Fig. 4.14 に示す。見て解るように2つの解析法による一致度はよくない。速力試運転解析は、現在正確な対水速度計が開発されていないこともあって、かなり回りくどい解析法をとらざるを得ず、途中実験点の Fairing をしなければならない。今回は計算機プログラムにより機械的に Fairing したが、これらの Fairing は経験豊かな人がやっても仲々難しいものである。不安定現象の Scale Effect というかなり微妙な問題を調査する場合などは、計算機にまかせ切りにしないで、計算経過を人間が管理し必要な修正を施していかなければならないように思われる。

#### 4.6 結 論

本章では、不安定現象の Scale Effect について調査したが、先に述べた事情で供試船が少ないこともあって確かな結論を得ることはできなかった。しかし、この問題に関する調査・研究は、現在始まったばかりであり、関係者の今後の努力が期待される。本章が、その際のひとつの資料となれば幸いである。

以下、本研究で得られた一応の結論を記す。

- i) 水槽試験でかなり不安定現象が発生した船型でも、実船での運航や操船上の異状さは認められなかった。
- ii) 水槽試験で2つの伴流係数が得られた場合、伴流の大きい方の値から従来の手法で実船の伴流係数を推定すれば、比較的試運転結果に近い値が得られるようである。

Table 4.1 実験状態等 ( M. S. NO. 3488 )

		Full Load	Ballast
L <sub>pp</sub>		184.5 m	
B		30.5 m	
d	A. P.	9.00 m	7.40 m
	☉		6.42 m
	F. P.		5.44 m
Trim(%L <sub>pp</sub> )		0	1.1
L/B		6.05	
B/d ☉		3.39	4.75
C <sub>B</sub>		0.795	0.770
ℓ <sub>CB</sub>		-1.74	0

L<sub>ppM</sub> = 6.0 m

Table 4.2 S. NO. 3488 の同型船の試運転時吃水

SHIP	吃 水		Trim
	A. P.	F. P.	
3488A	7.51 m	5.63 m	1.88 m
B*	7.40	5.44	1.96
C	7.58	5.68	1.90
D	7.41	5.56	1.85
E	7.46	5.53	1.93
Tank Test	7.40	5.44	1.96

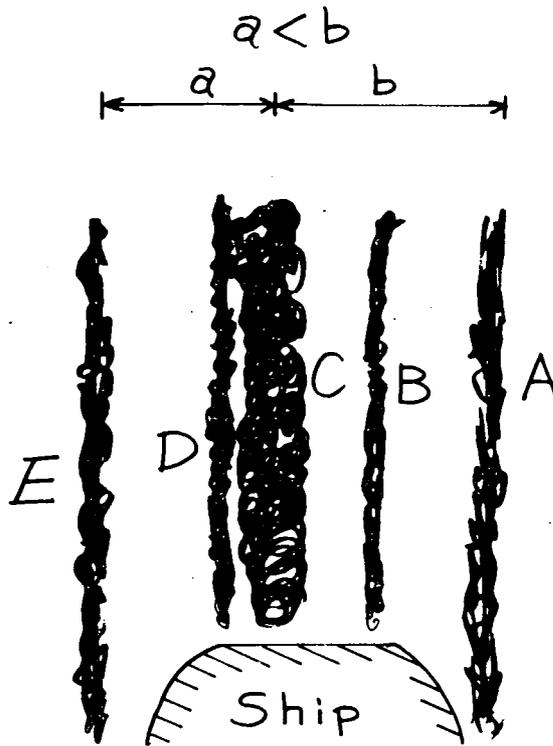


Fig. 4.1

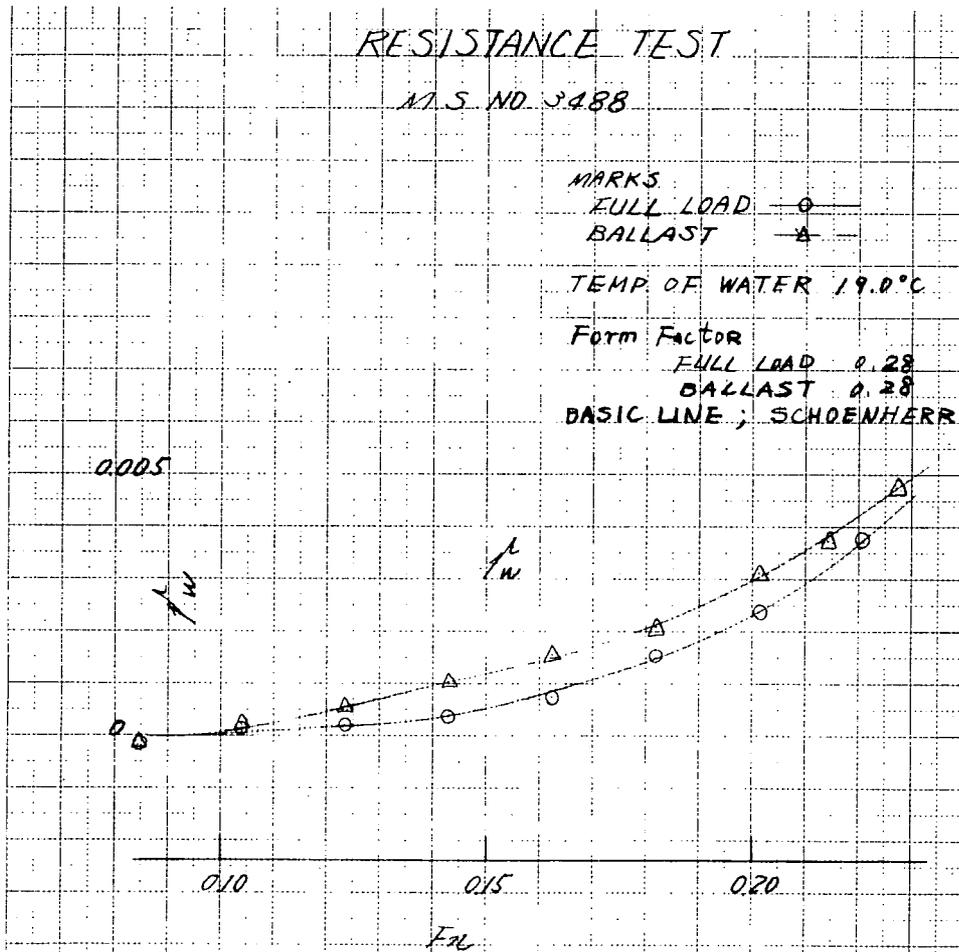


Fig. 4.2

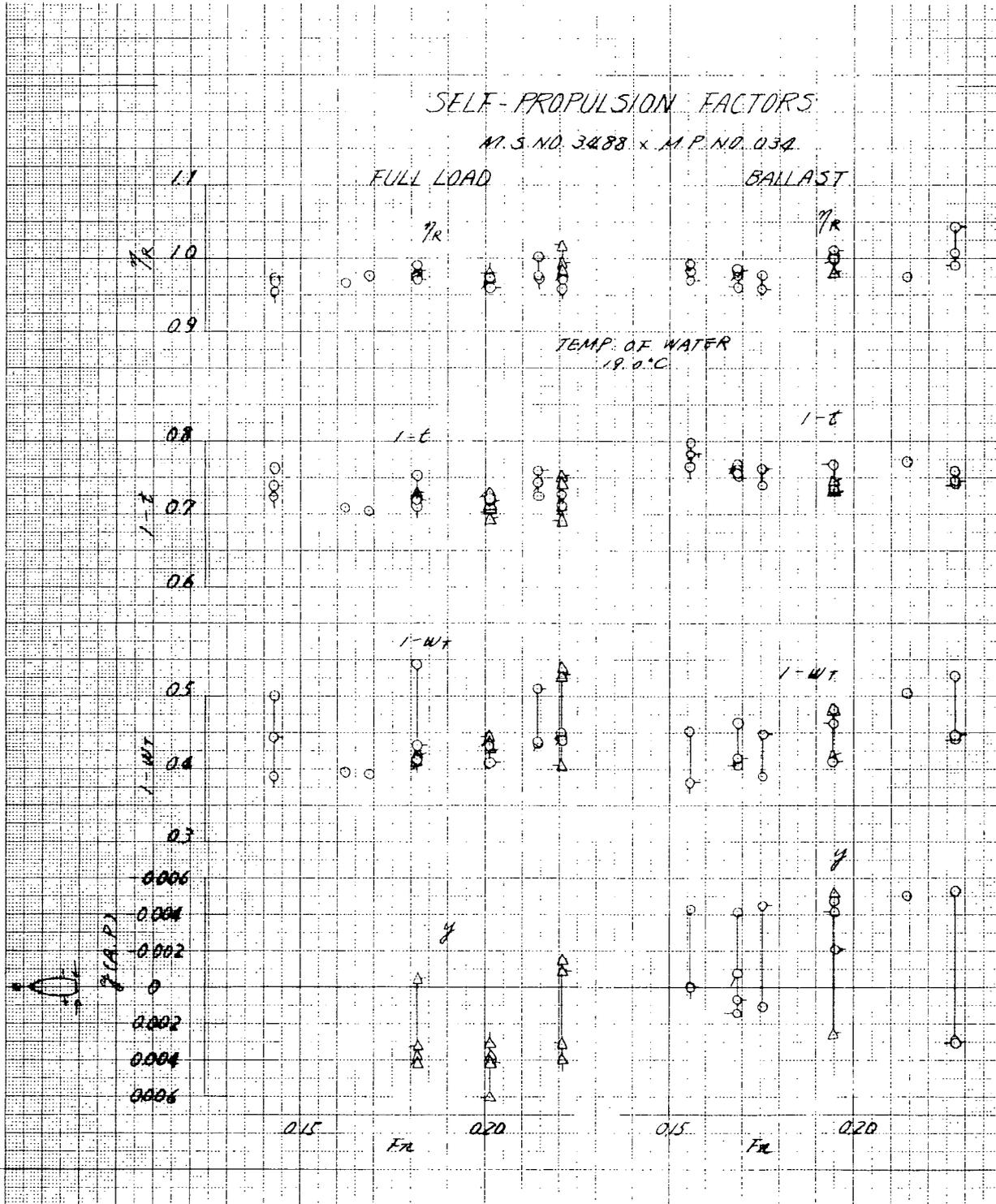


Fig. 4.3

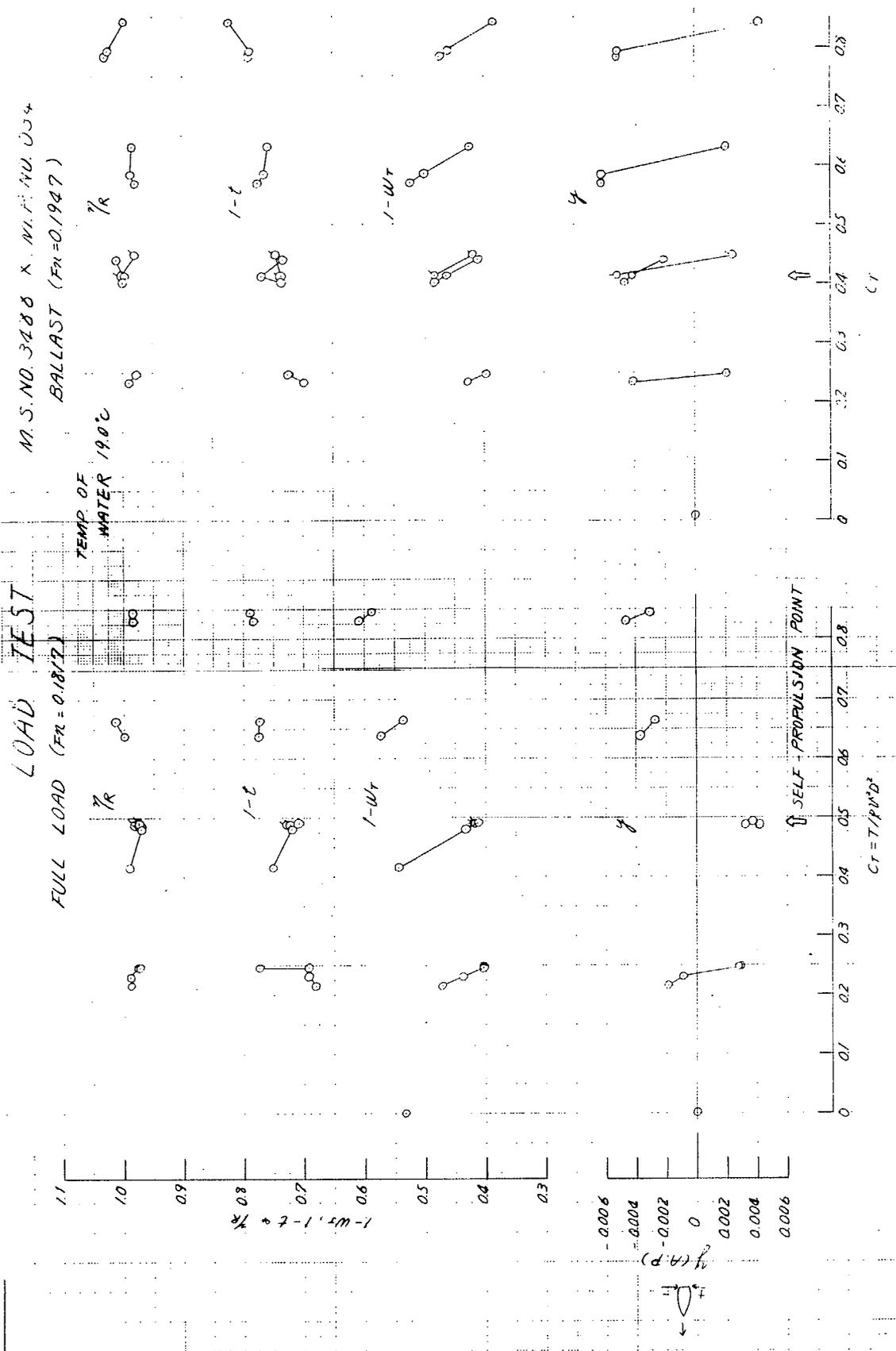


Fig. 4.4

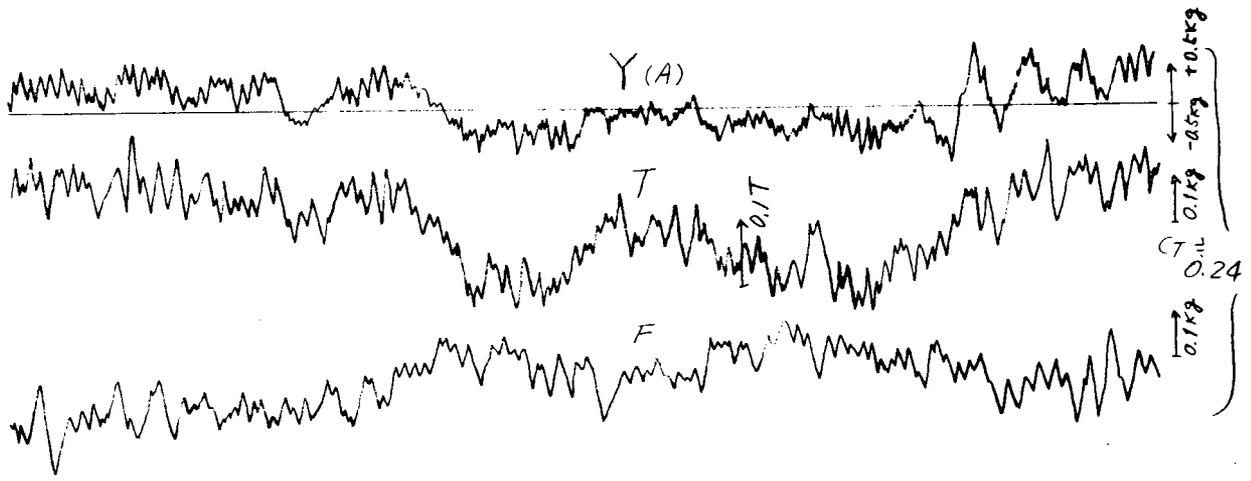
FULL LOAD

SIDE FORCE (AFT)  $Y(A)$

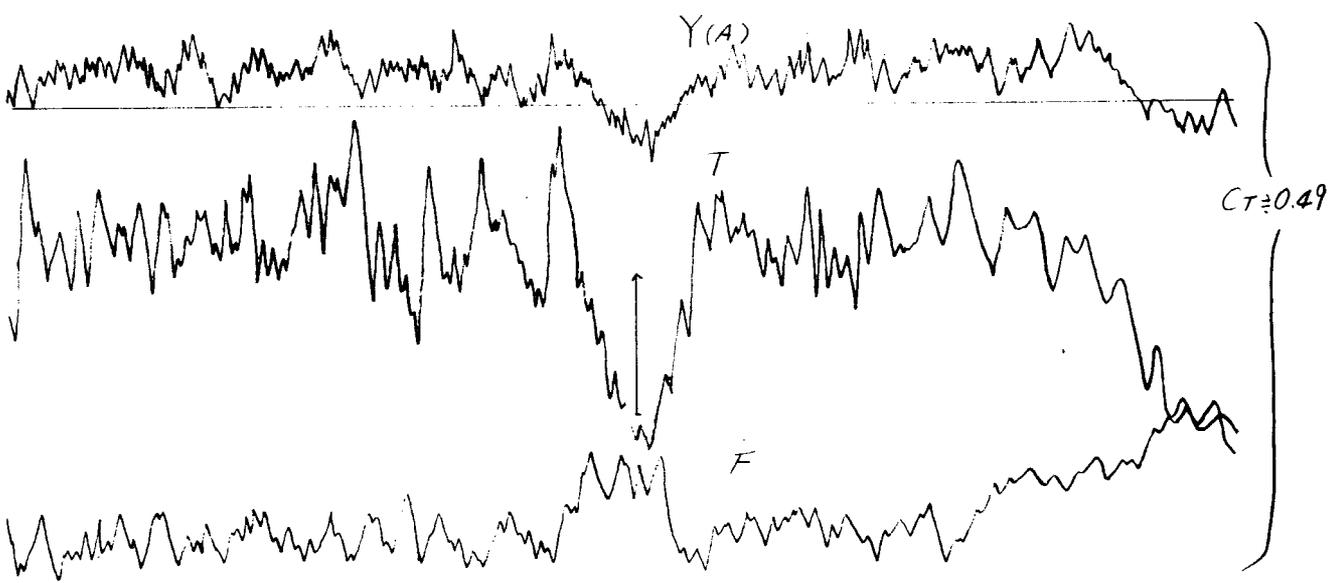
THRUST  $T$

TOWING FORCE  $F$

$CT \approx 0.00$



$CT \approx 0.24$



$CT \approx 0.49$

Fig. 4.5 記録例 (1)

FULL LOAD

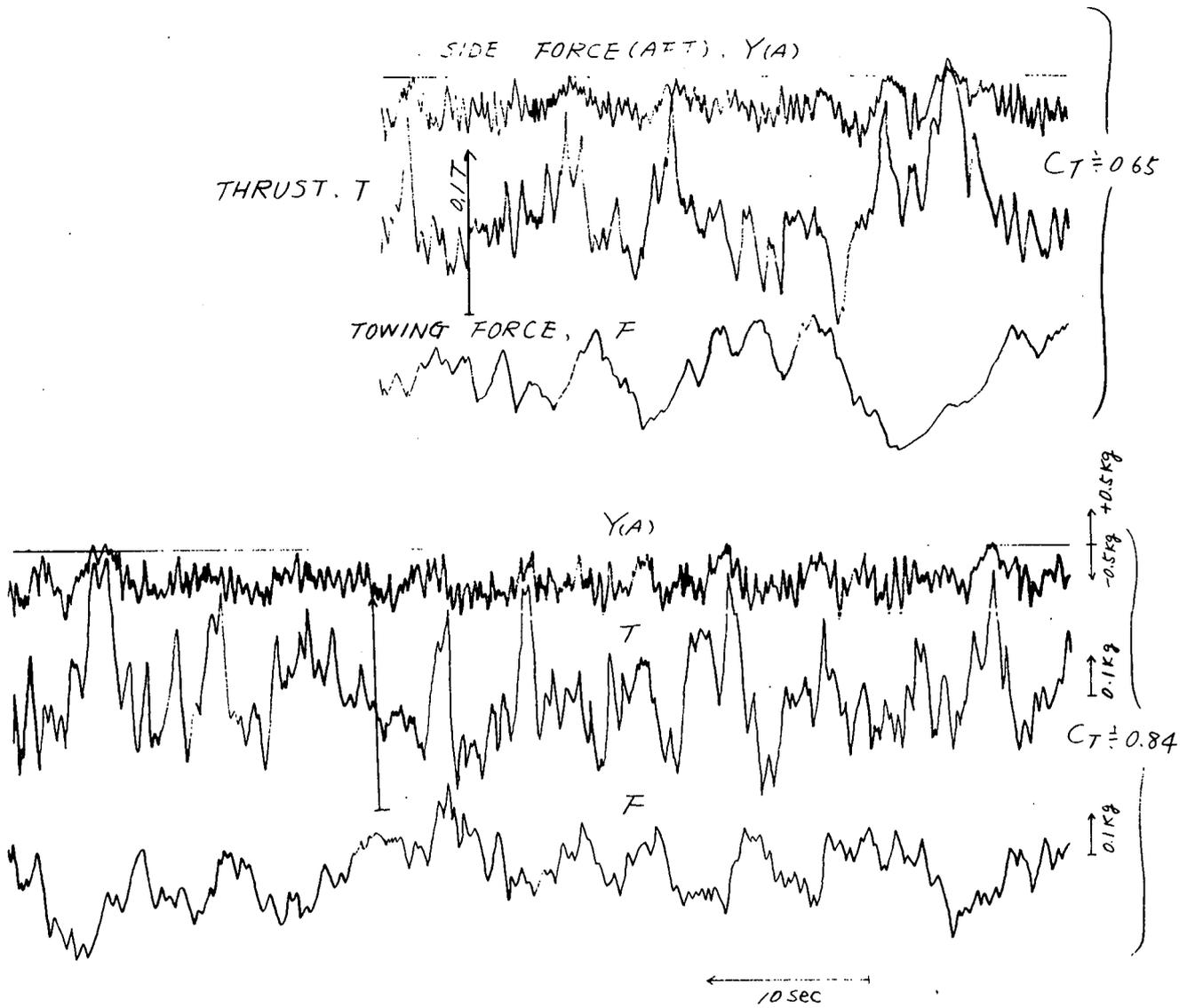


Fig. 4.6 記錄例 (2)

BALLAST

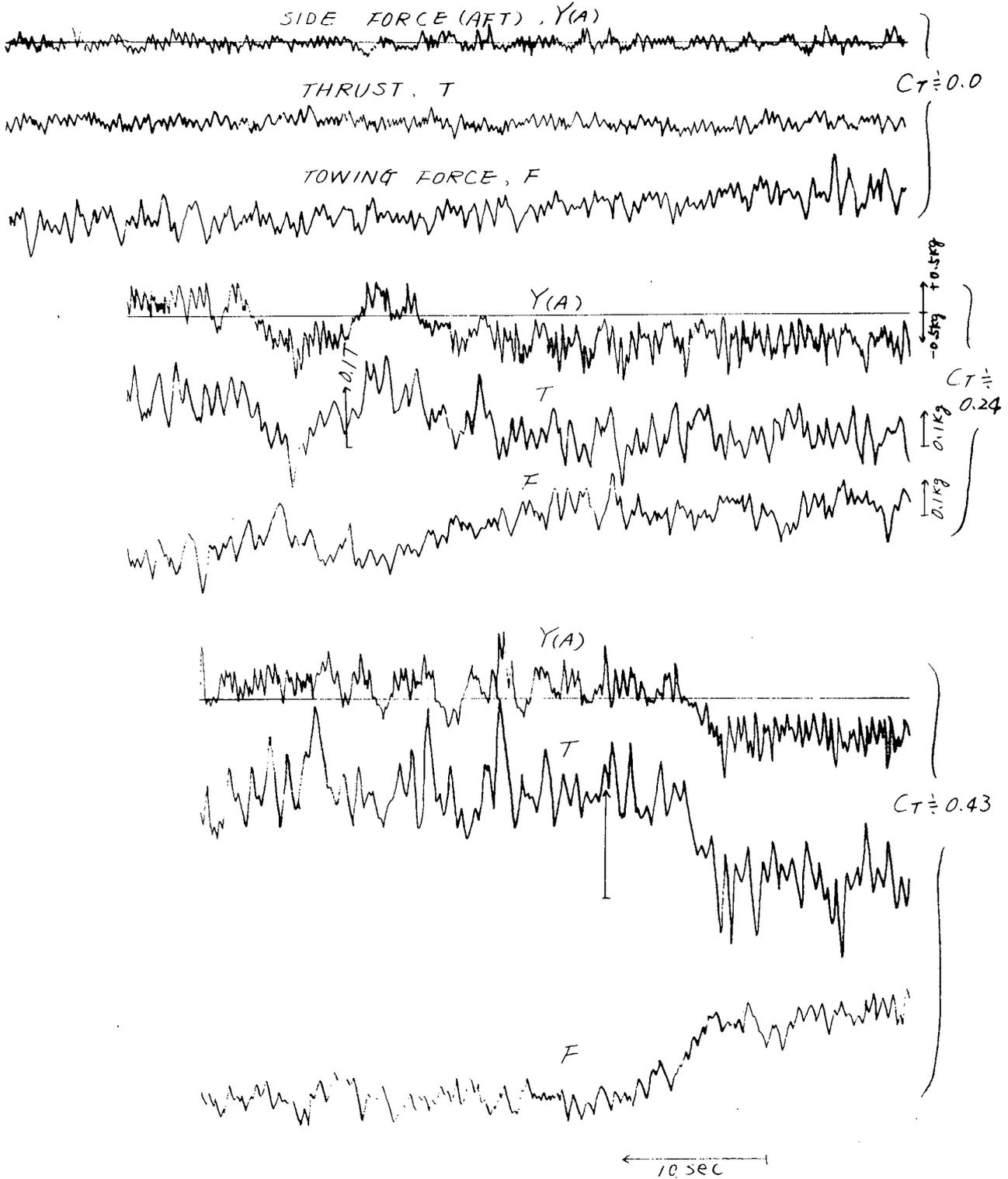


Fig. 4.7 記録例 (3)

BALLAST

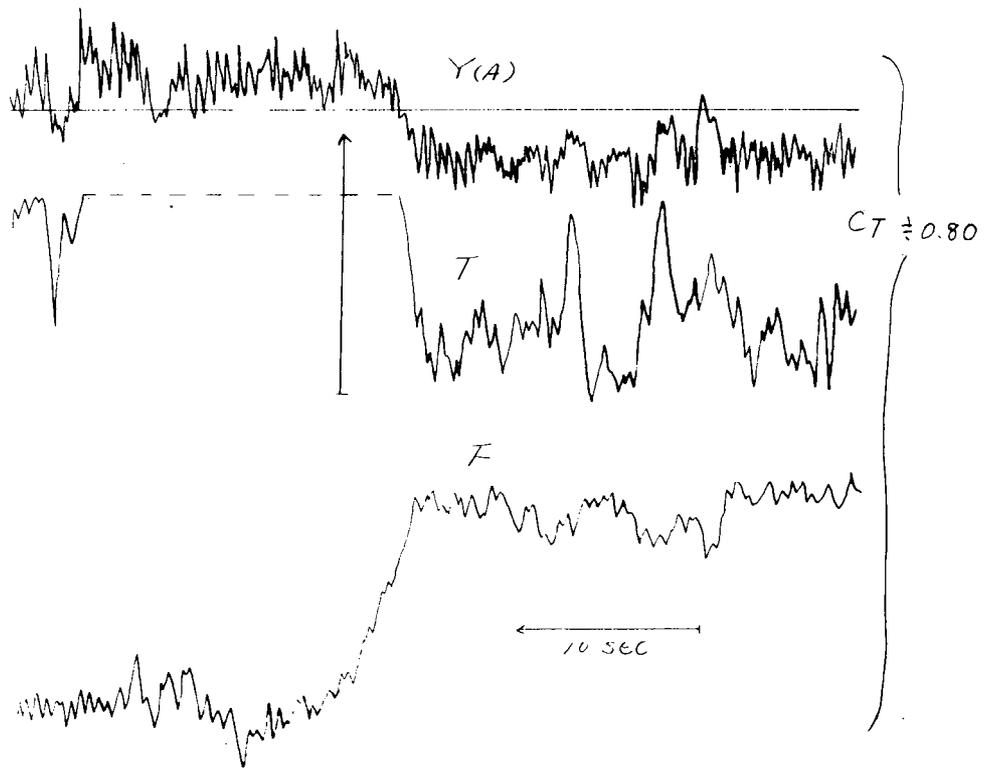
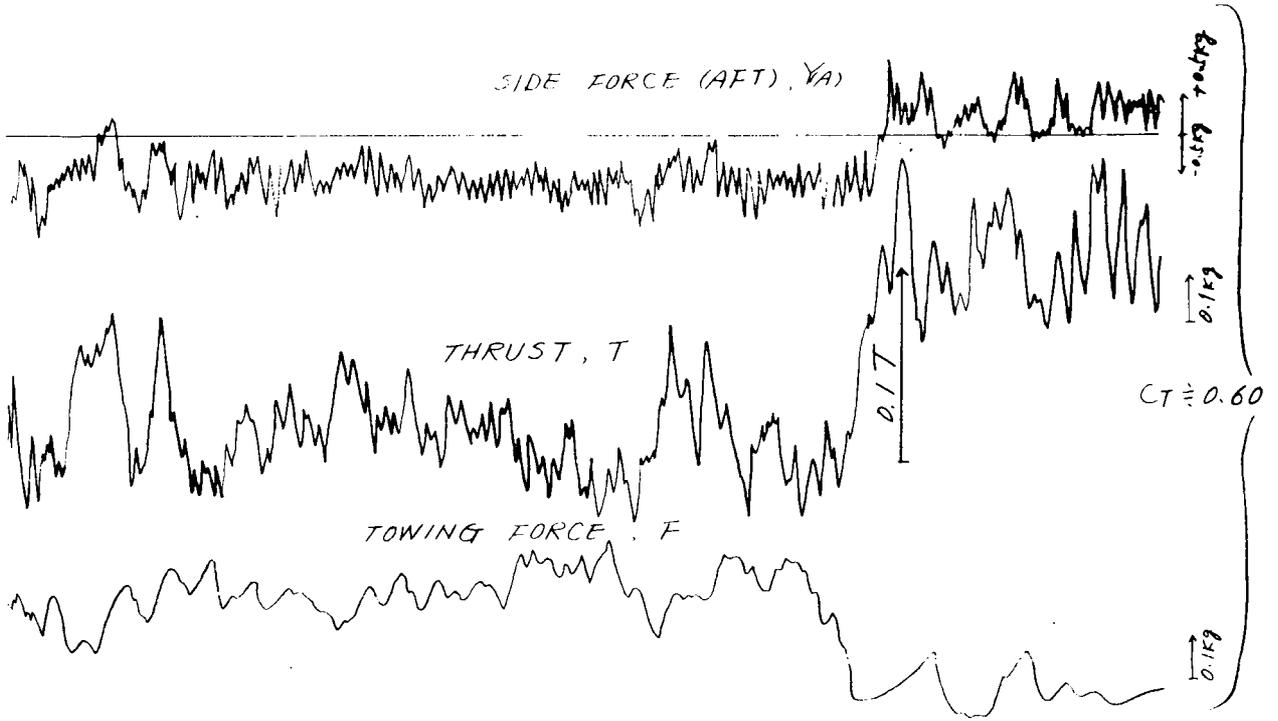
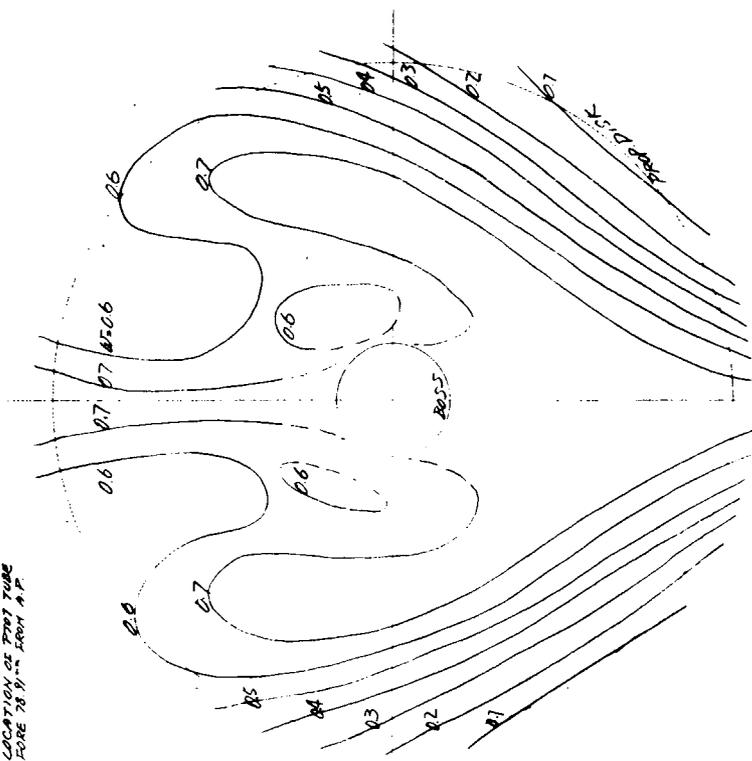


Fig. 4.8 記録例 (4)

WAKE DISTRIBUTION  
 M.S. NO. 3488  
 BALLAST

TEMP OF WATER = 12.8°C  
 $F_n = 1.5076$   
 $F_v = 0.185$   
 LOCATION OF PITOT TUBE  
 FORE 78 IN FROM A.P.



WAKE DISTRIBUTION  
 M.S. NO. 3488  
 FULL LOAD

TEMP OF WATER = 12.8°C  
 $F_n = 1.6076$   
 $F_v = 0.182$   
 LOCATION OF PITOT TUBE  
 FORE 78 IN FROM A.P.

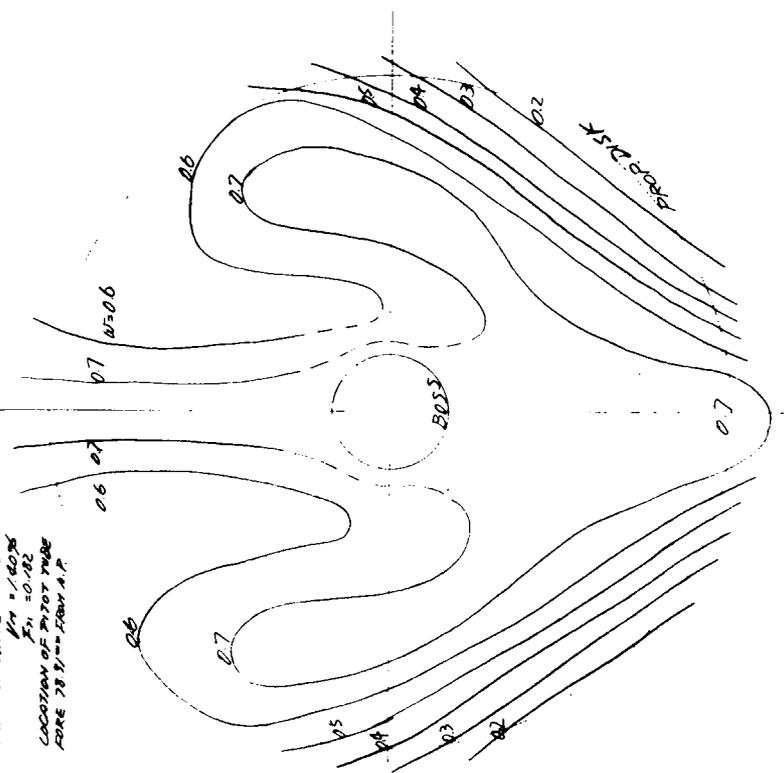


Fig. 4.10

Fig. 4.9

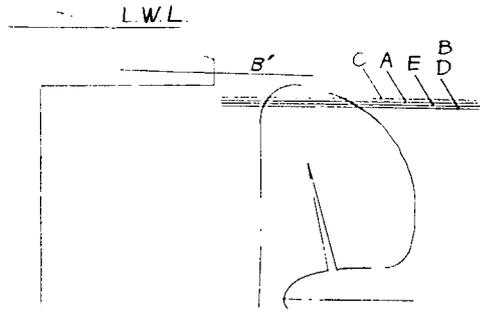


Fig. 4.11

S NO3488 の試運転時の吃水

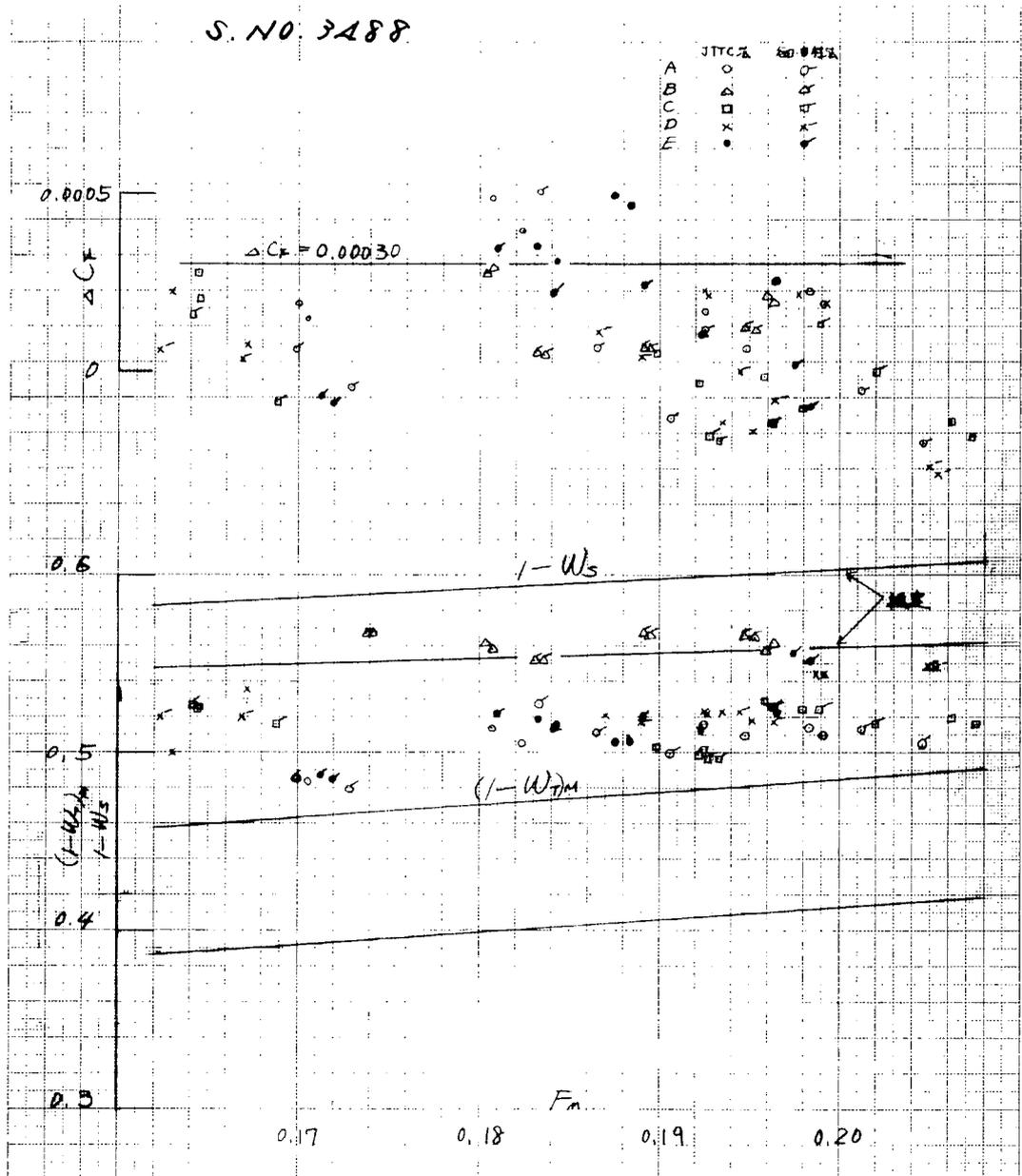


Fig. 4.12 突船試運転解析結果(1)

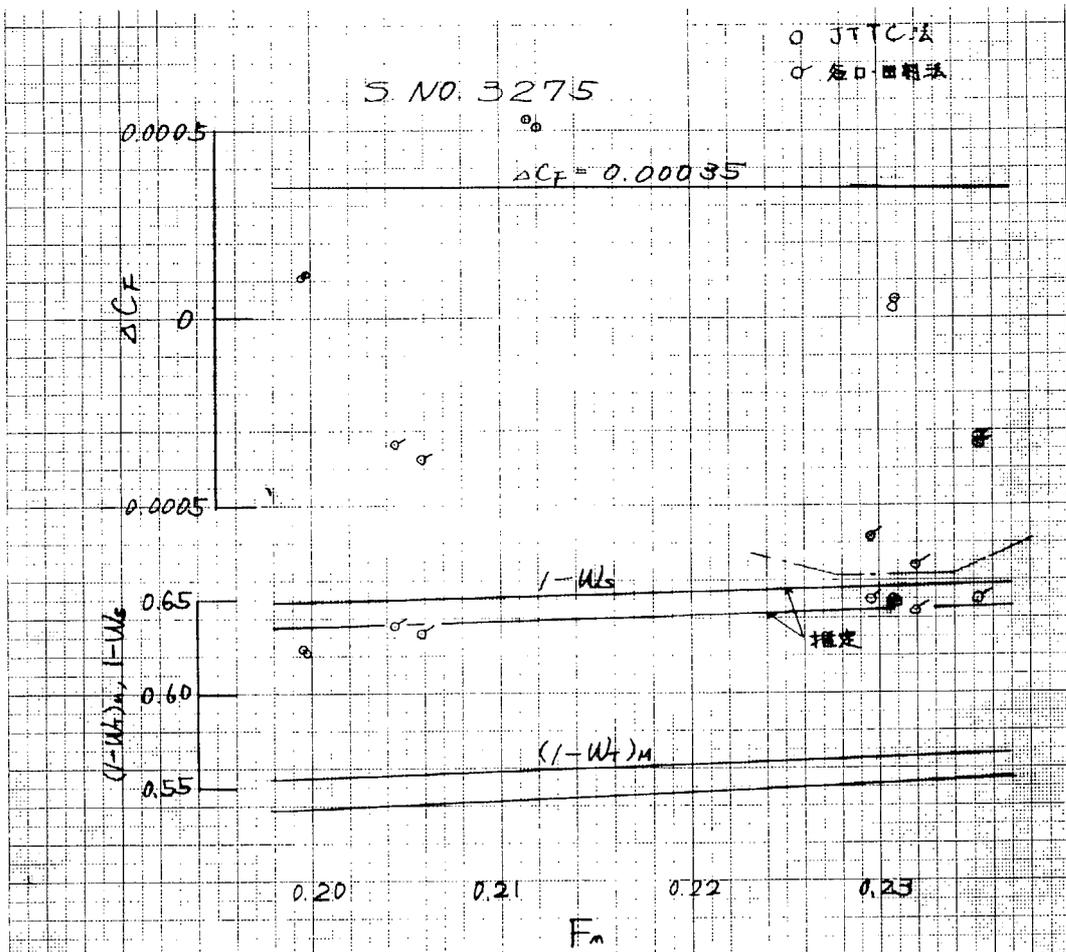


Fig. 4.13 実船試運転解析結果(2)

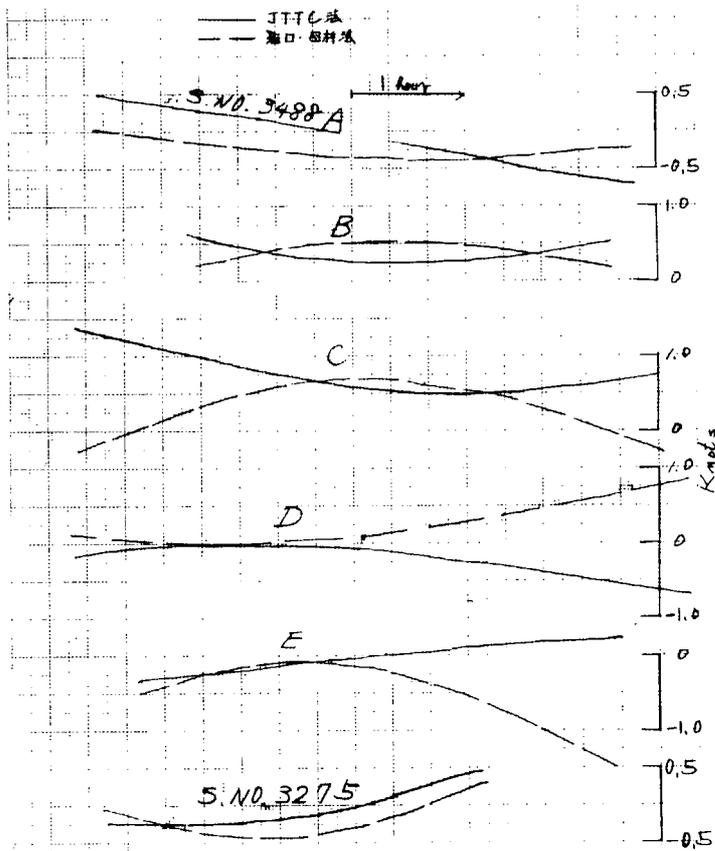


Fig. 4.14

潮流カーブ

## § 5 船尾まわり流場の調査

### 5.1 まえがき

船尾まわり流場の不安定現象については、過去2年間にわたり2種の船型について種々の調査を行ないその原因の究明につとめて来たが、現象自体の特性はかなり明らかになったものの、その原因についてはまだ明確でない。そこで本年度は、研究の主眼を原因の解明に直接つながる現象的特徴の確認に置き、予算面の制約も併せ考え、新しい船型は製作せず、もっぱら50年度7m模型と51年度の4m及び2m模型を用いて種々の流場調査を実施した。これらをまとめて次の表に示す。なお、本年度の途中で、従来の結果を中間整理することも試みた。これらを以下順次説明する。

研究項目	実験による流場調査						その他		
							境界層計算の実用化	再解析	中間整理
模型船	4m (51年度)	2m (51年度)	同左	同左	2m (別船型)	7m (50年度)	4m (50年度)	同左	7m, 4m 2m (50年度) (51年度)
担当	広 大	府 大	川 重	佐 世 保	東 大 (船機)	石 播	府 大	阪 大	阪大 府大 川重 明石

### 5.2 4m模型船による実験と考察

肥えた船の自航性能に見られる“二股現象”の原因を知るためには、船尾における粘性流の性質を知る必要がある。そのために51年度船型4m模型を用い、65% Loadにおいて次のような実験を行なった。

- (1) 糸による船体表面の粘性流れの観測
- (2) タフト・グリッドによる船体後方の流れの観測
- (3) 流れ制御の実験
- (4) 船体表面の圧力分布の計測と船尾部仕切り板の影響

これらの実験結果の概要を次に示す。

#### 5.2.1 糸による船体表面の粘性流れの観測

船体表面に取りつけた糸によって船体表面の粘性流れの観測を行った。Fig. 5.2.1～Fig. 5.2.3にその一例を示している。

これらの写真によれば  $SS \frac{1}{2}$  より後方の下方に三次元剥離と思われる包絡線が見られ、プロペラのない時はこの付近の糸が時間的に変動しているが、プロペラが回転している時はその吸引作用によって糸のこの弱い変動はなくなり、この付近の糸は水平に近い流れを示している。

プロペラ作動時にはプロペラの影響によって左舷と右舷の粘性流にかなりの差が現われる。 $SS \frac{1}{4}$  より後方プロペラ軸より上方の糸の動きを見ると、左舷側の糸の時間的変動が大きく変動幅も大きい。左右両

舷の糸の傾きがほぼ等しく、両舷の粘性流れがほぼ等しいと思われる時スラストは小さく、両舷の粘性流の差が大きい時にはスラストが大である。両舷の粘性流の差が大きい時には左舷の糸の下方への傾き（交差角）が大となり剝離した流れの様子が強くなっている（Fig. 5.2.2、Fig. 5.2.3参照）。プロペラ上方の張出し部においてはプロペラの作動時には左右舷とも逆流が見られており、プロペラと船尾張出し部との間のすき間においては右舷側から左舷側への流れや左舷から右舷側への流れが見られ、右舷から左舷への流れがある時はスラストが大であり、左舷側の水面に潮目が見られる。

### 5.2.2 タフト・グリッドによる船体後方の流れの観測

A. P.より14 cm 後方にタフト・グリッドを置き、進行方向に直角な横断面内の流れの観測を行った。Fig. 5.2.4に示す様にプロペラがない時は船底近くにビルジ渦と見られる様な回転流が見られ、回転方向は右舷側左廻り、左舷側右廻りである。プロペラ作動時はFig. 5.2.5～Fig. 5.2.6に示す様に回転流れの中心はプロペラ軸付近の高さとなり、その他に水面近くに右舷側で右廻り、左舷側には左廻りの回転流を生ずる。左舷側に潮目が見られる時には左舷側水面近くに強い回転流があり、プロペラ軸近傍左舷側にも水面とは逆回転の流れが見られ、この時スラストが大である。逆に右舷側水面近くに回転流が見られる時（回転流の強さは左舷側にある時ほど強くない）にはスラストは小である。Fig. 5.2.9は二段糸（船体表面白黒の縞模様、船体表面から30 mmはなれた所白糸）による観測例を示しており、この写真によるとSS  $\frac{1}{4}$ の糸の動きは左右舷で異なり、プロペラの作用は吸引作用のみでなく回転方向にも影響を与え、その影響はかなり上方にまで及んでいると思われる。

### 5.2.3 流れ制御の実験

船体表面の粘性流れはプロペラのない時は左右舷ほぼ同じであるが、プロペラの作動している時にはプロペラの作用によって左舷の粘性流と右舷の粘性流とにかなりの差を生じ、しかもその状態は安定したのではなく、何らかの原因によって変化し、スラストに双安定又は不安定な状態を起している。両舷の粘性流れがほぼ等しい時にはスラストが小さく、左右舷の粘性流に差があり左舷側の交差角が右舷側より大きい時にスラストは大であると考えられる。この様な船尾部の粘性流れを人工的に変化させ、スラストへの影響を調査した。

#### (1) 境界層流れの制御

プロペラの回転によって左右両舷の粘性流れの非対称性が大きくなる。左・右両舷の粘性流れの差は時間的に変動しており、そのことがスラスト変動の原因の一つと考えられる。そこで境界層外および境界層内の流れを人工的に変え、それが粘性流れやスラストに及ぼす影響について調査した。右舷側に板を入れた場合には右舷側の粘性流が左舷側の粘性流に近づきスラストの変動が小さくなり、左舷側に板を入れた時には左舷側と右舷側の粘性流の差は大きくなりスラスト変動も大きくなる傾向が見られ、左右舷の粘性流れを等しくすることがスラスト安定に必要であることを示している（Fig. 5.2.10）。

次にSS  $\frac{1}{4}$ ～ $\frac{1}{2}$ の間の5ヶ所で吸込みを行ないその影響について調査した。右舷側のみ吸込みを行なった時はスラスト変動量が大きく、左舷側のみ吸込みを行なった時はスラスト変動にばらつきが見られ、変動が小さい時と大きな時とがある。左右両舷吸込みを行なった時は吸込みを行なわない時とほぼスラストの変動量は同じであった。吸込みの効果はあまり明らかではなかったが、右舷側のみ吸込みを行なった時は左右舷の粘性流の差が大きくなる方向に作用し、左舷側のみ吸込みを行なう時には左舷の粘性流に近づく方向に作用する時とそれほどでない時とがあり、そのためばらつくものと考えられる。

スラスト変動に対する舵の影響を見るために、舵を取りはずしA. P.より20 cm後方の横断面内の流れをタフトグリッドを用いて観測した。それによると舵のない場合には、プロペラにより作られる渦の中心は軸中心より左舷側にあり、その位置は時間と共に変動している。プロペラにより作られる渦の

中心がプロペラ軸近くにあるとき左舷側水面近くに反時計廻り（下方の渦は時計廻り）の渦を生じており、プロペラによる渦の中心が左舷側下方に移った時には船体中心線よりやや右舷側水面付近に渦を生じている。水面の渦とプロペラの渦とは同時に移動する。プロペラの渦がプロペラ軸の位置から左舷下方に移るとき水面の渦は左舷側から右舷側に移動する（Fig. 5.2.11）。

舵を取り除くとスラストの平均値は少し小さくなるが、スラストの変動率は舵のある場合とほぼ同じで、あまり大きな影響を与えない様に思われたが、その詳細を明らかにするまでには到らなかった。

船尾張出し部とプロペラとの間のすき間に取り付けた糸の動きを観測すると、プロペラの回転によって左から右へ流れたり、逆に右から左へ流れたりする流れが交互に表われ、右舷から左舷への流れがある時は左舷側に潮目を生じ、左右舷の粘性流の差も大きくなり、スラストは大である。逆に左舷から右舷への流れがある時は潮目は船体中心線より少し右舷側にあり、左右舷の粘性流の差も小さくスラストも小である。スラストの大小関係はプロペラ上部のこの様な流れによって回転方向の相対速度に差が出ることも一つの原因と考えられるが明らかではない。この右から左へ、左から右への流れを邪魔するために船尾張出し部下方プロペラおよび舵の上方に仕切り板を取り付け、仕切り板による船尾張出し部近傍の流れの変化、スラストに及ぼす影響について予備実験を行なった。仕切り板を舵の上方のみに取付けた時にはほとんど影響はなくスラスト変動は仕切り板のない時と同じであったが、プロペラ上方にまで仕切り板を入れると、スラストは安定化し、スラストの変動率は仕切り板のない場合に比べ半分以下に減少した。

#### 5.2.4 船体表面の圧力分布の計測と仕切り板の影響

予備実験によって船尾張出し部下方の仕切り板がスラストの安定化に効果のあることがわかったので、仕切り板の抵抗・自航性能に対する影響の調査も含め、抵抗・自航試験および左右舷の差圧の計測を行なった。

##### (1) 抵抗・自航試験結果

抵抗値は Fig. 5.2.17 に示す様に安定しており、仕切り板を船尾張出し部に入れると、図に見られる様に抵抗値が少し大きな値を示しているが、計測精度等を考えると有意な差とはいえない様に思われる。

自航試験は S.F.C. を抵抗天秤にてかけて行なったが、65% Load の時天秤の変動が非常に大きく、実験が非常にむづかしく、計測に非常に苦労した。 $1-t$ 、 $1-w$ 、 $\eta_R$  の自航要素は Fig. 5.2.18 に示すとおりである。船尾張出し部に仕切り板を入れた場合には S.F.C. の変動も小さく、自航要素の計測も容易であった。Fig. 5.2.19 には仕切り板の有無によるスラスト変動の比較例を示している。 $1-t$ 、 $1-w$ 、 $\eta_R$  の値は仕切り板を入れてもその値はほとんど変わらないが、仕切り板を入れると双安定の状態はなく安定しているように思われる。

SS1 より後方において左右両舷の同じ位置に穴をあけ、両舷の同じ位置での差圧を取り出し、スラスト変動と差圧の変動とを同時記録し、差圧とスラスト変動の関係を調べた。Fig. 5.2.20 と Fig. 5.2.21 に示す様に SS  $\frac{1}{4}$  の所の静圧差の変動はスラスト変動と全く時間的に同じ動きを示しており、スラストが大きい時は左舷の圧力が大きく、スラストが小さい時は右舷の圧力が大である。SS  $\frac{1}{4}$  付近の圧力変動はスラスト変動と図の様に密接な関係がある。SS1 においては両舷の圧力差は殆んどなく、流れの対称性が保たれていると考えられる。仕切り板を船尾張出し部下方に取り付けた時には左右両舷の差圧は非常に小さくなり、その変動振幅も Fig. 5.2.22 に示す様に小さくなり、流れが左右対称化し、安定化している。これらの事より仕切り板がスラストの安定化に有効であると思われる。

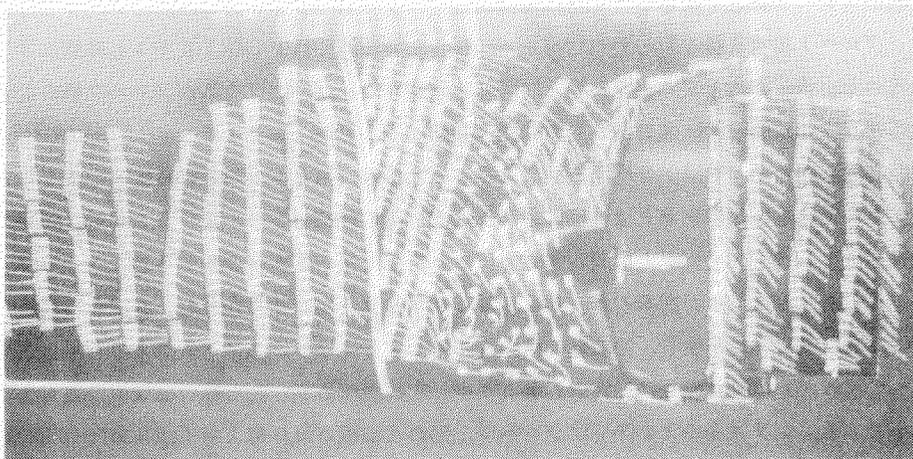


Fig. 5.2.1 Port Side, without Propeller

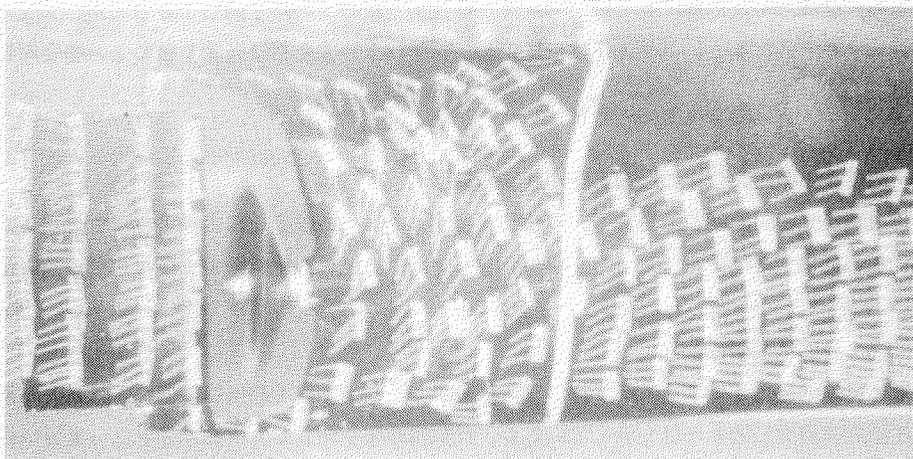


Fig. 5.2.2 Starboard, with Propeller

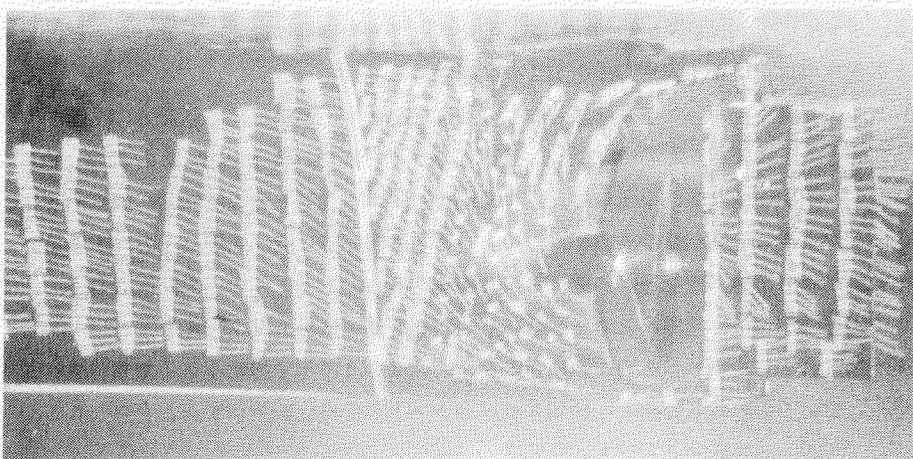


Fig. 5.2.3 Port Side, with Propeller

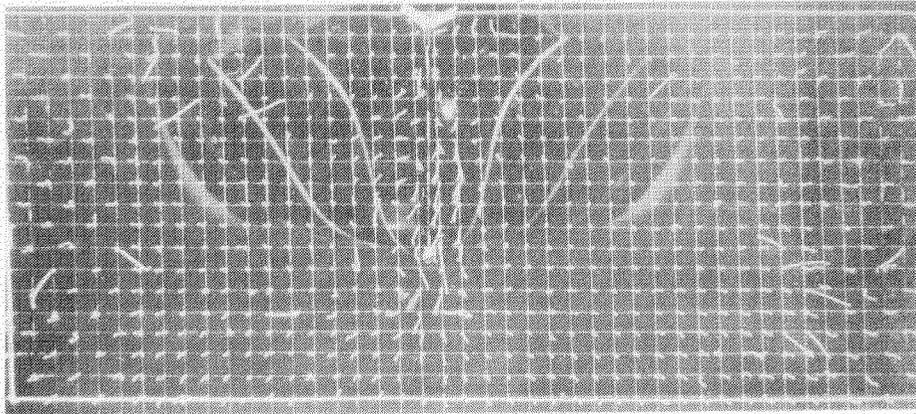


Fig. 5.2.4 Tuft Grid AP-14cm, without Propeller

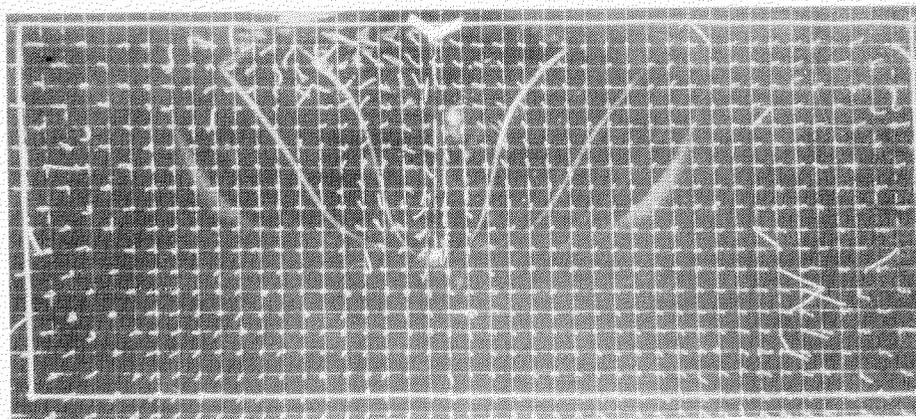


Fig. 5.2.5 Tuft Grid AP-14cm, with Propeller



Fig. 5.2.7 SHIOME; Port Side

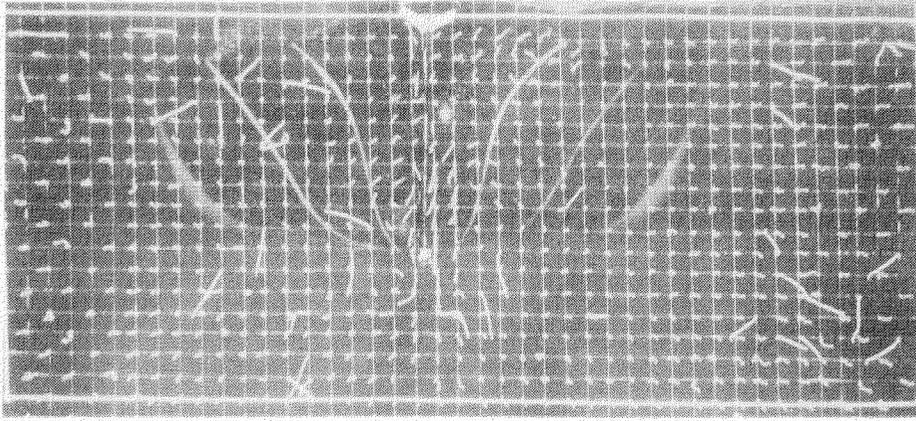


Fig. 5.2.6 Tuft Grid AP-14cm, with Propeller

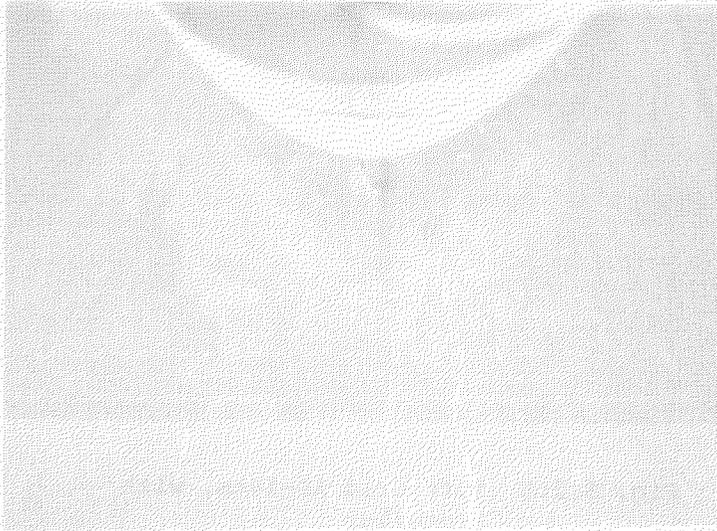


Fig. 5.2.8 SHIOME; Starboard

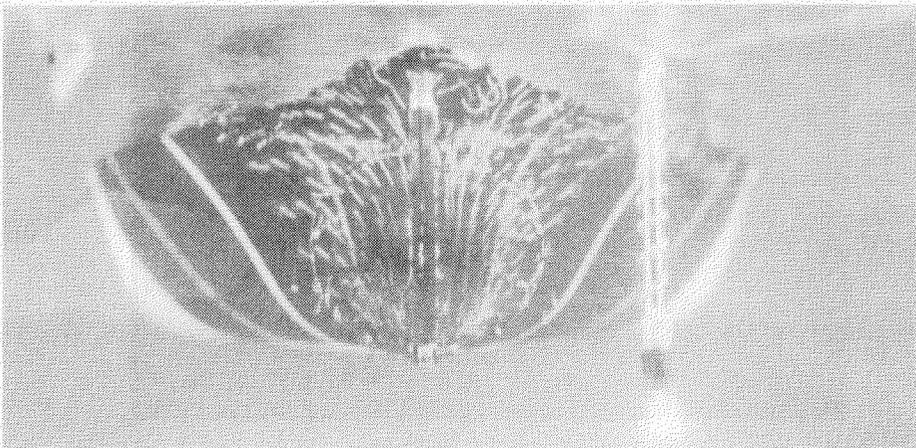


Fig. 5.2.9 Twin Tuft, with Propeller

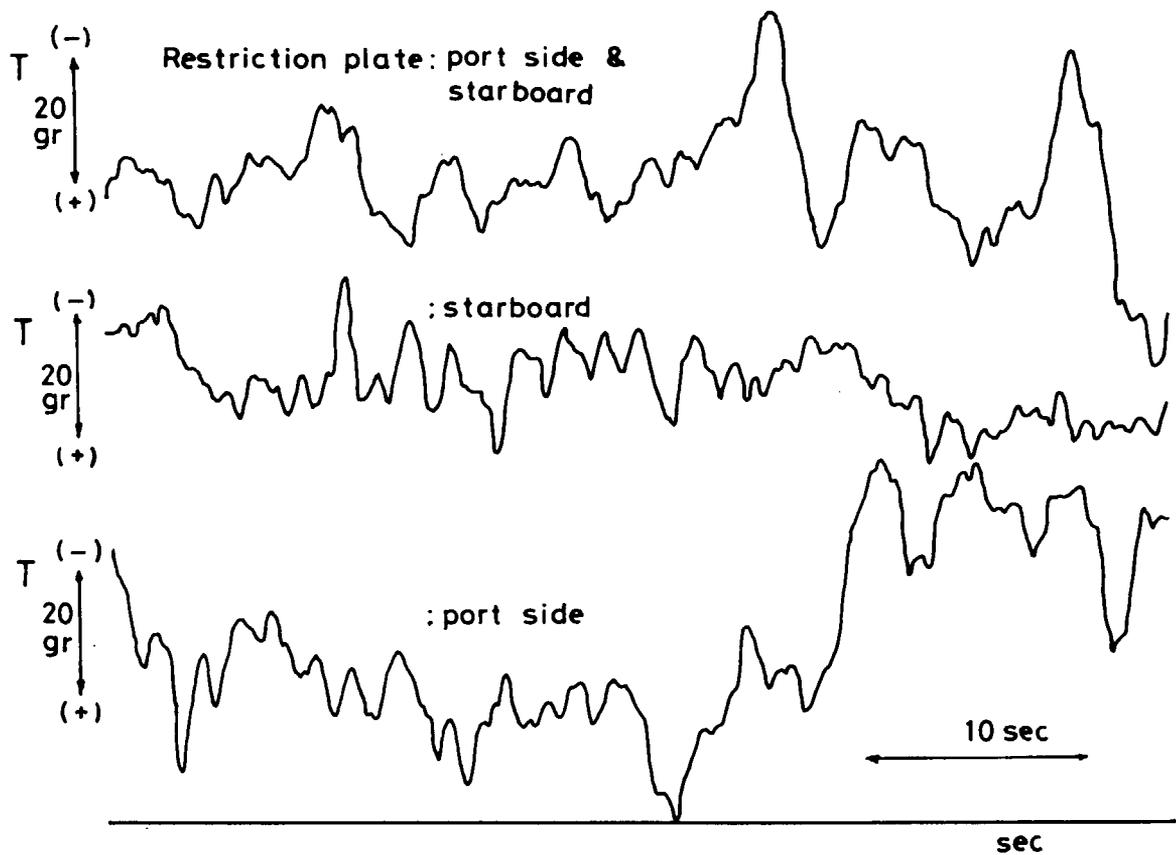
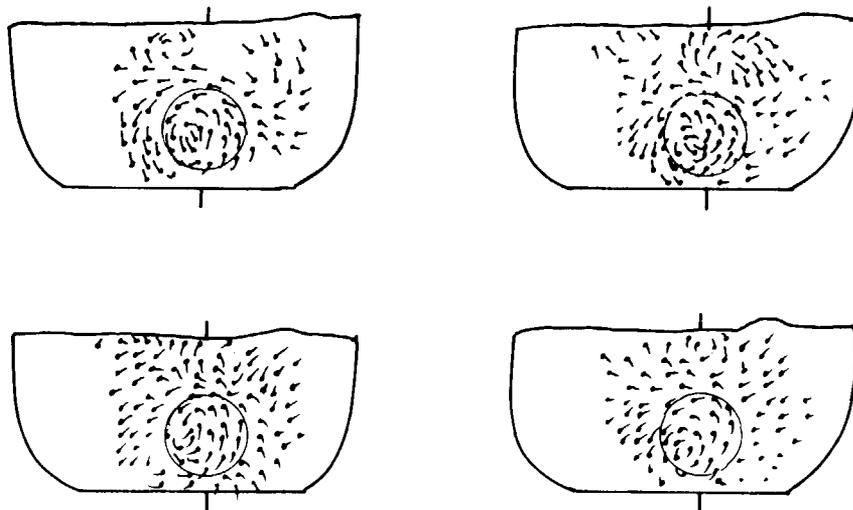


Fig. 5.2.10 Fluctuation of thrust,  
 $F_n = 0.18$ ,  $N = 792$  r.p.m.



S 51 65% Full load,  $F_n = 0.18$ ,  $N = 692$  r.p.m.  
 without rudder, tuft grid AP-14 cm.

Fig. 5.2.11 Flow Pattern in Wake,  
 without Rudder

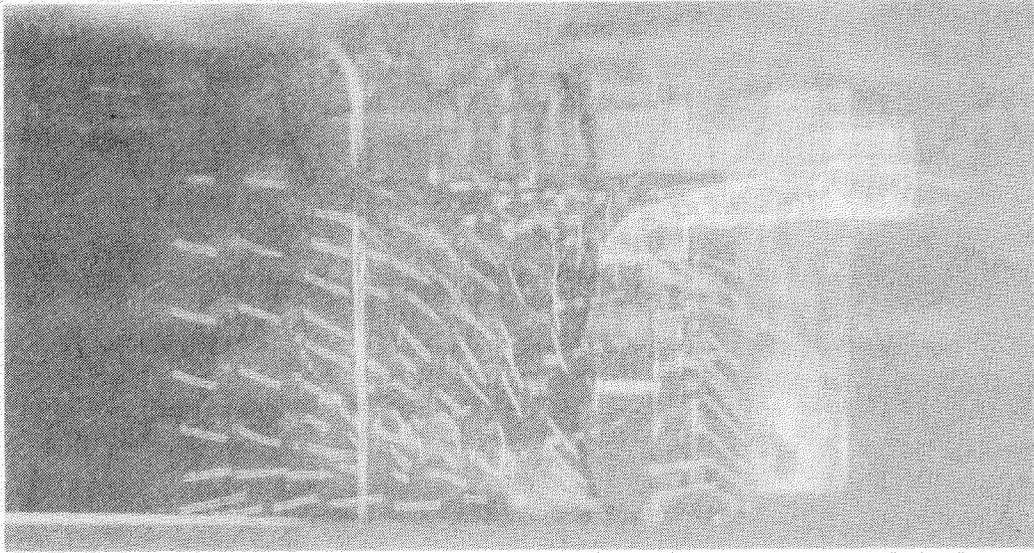


Fig. 5.2.12 With Plate, without Propeller

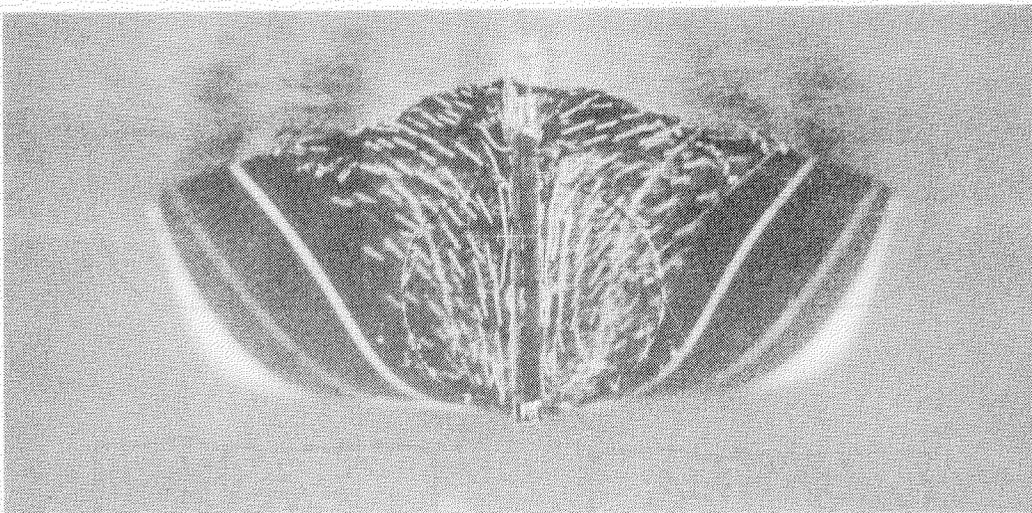


Fig. 5.2.16 Twin Tuft, without Propeller

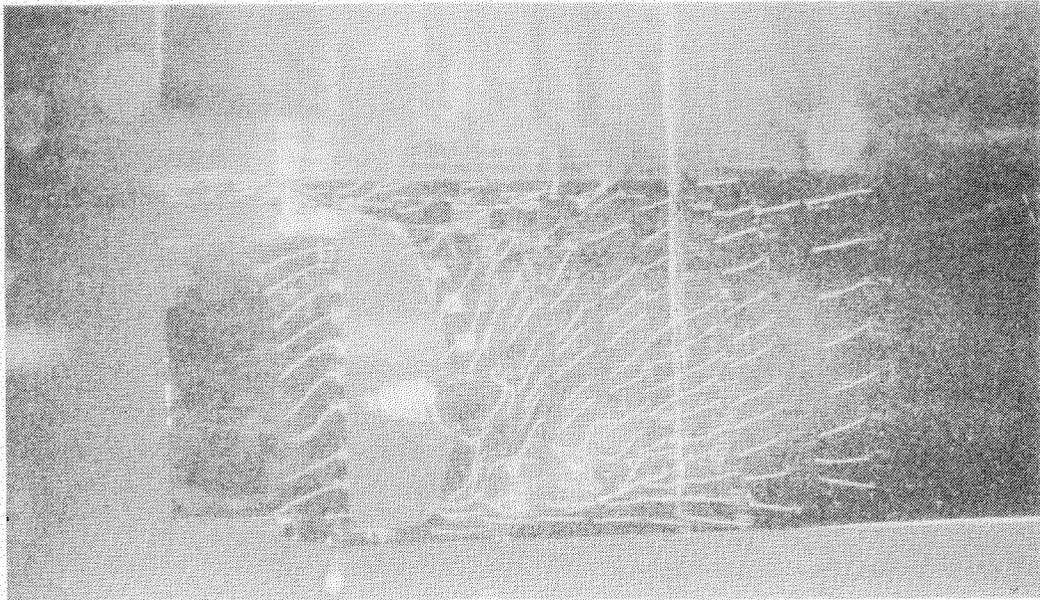


Fig. 5.2.13.a Without Plate, without Propeller

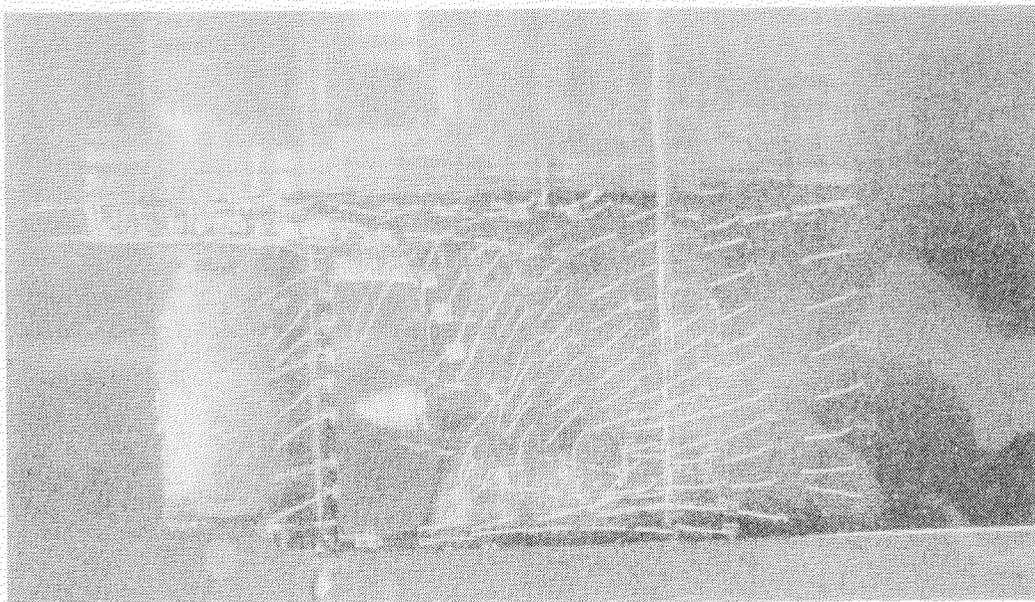


Fig. 5.2.13.b With Plate, without Propeller

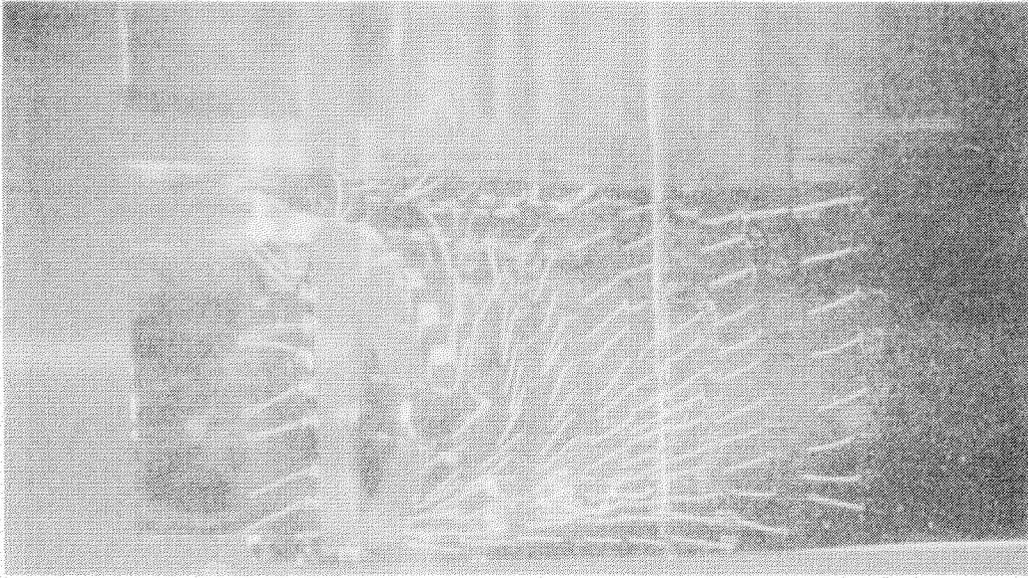


Fig. 5.2.14.a Without Plate, with Propeller

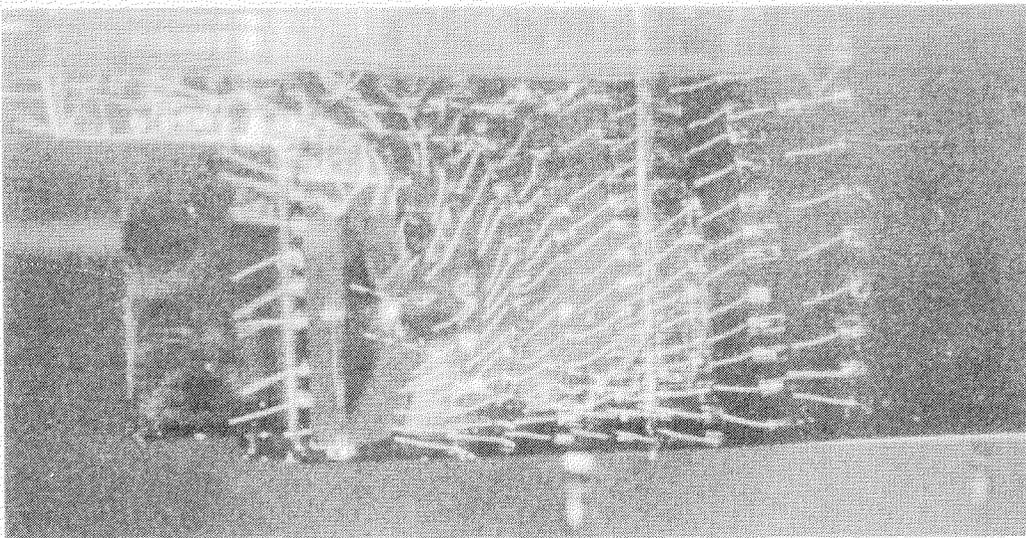


Fig. 5.2.14.b With Plate, with Propeller

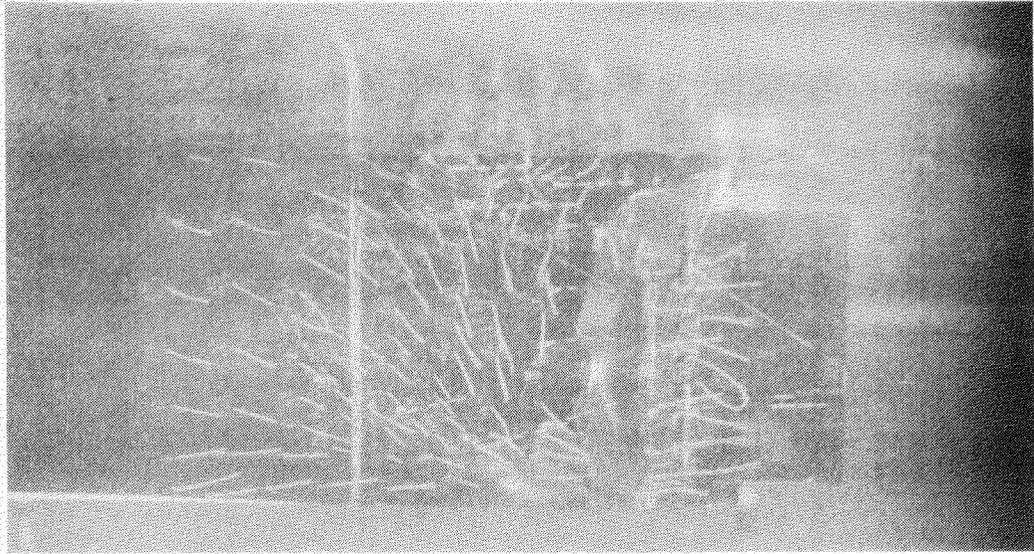


Fig. 5.2.15.a Without Plate, with Propeller



Fig. 5.2.15.b With Plate, with Propeller

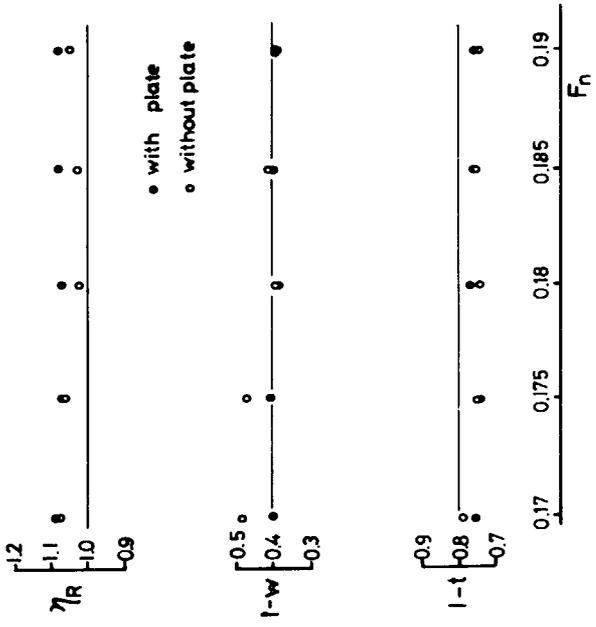


Fig. 5.2.18 Self-Propulsion Factors

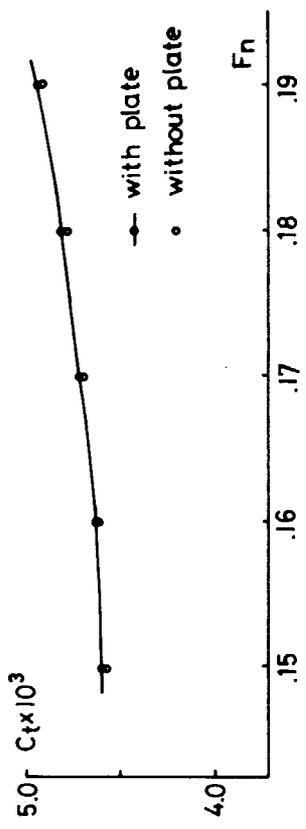


Fig. 5.2.17 Total Resistance Coefficient

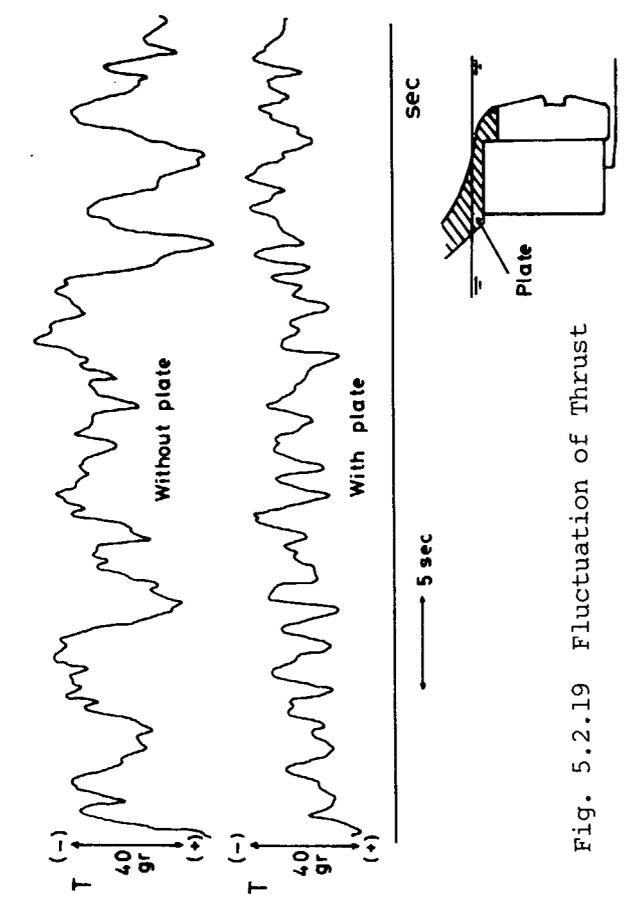


Fig. 5.2.19 Fluctuation of Thrust

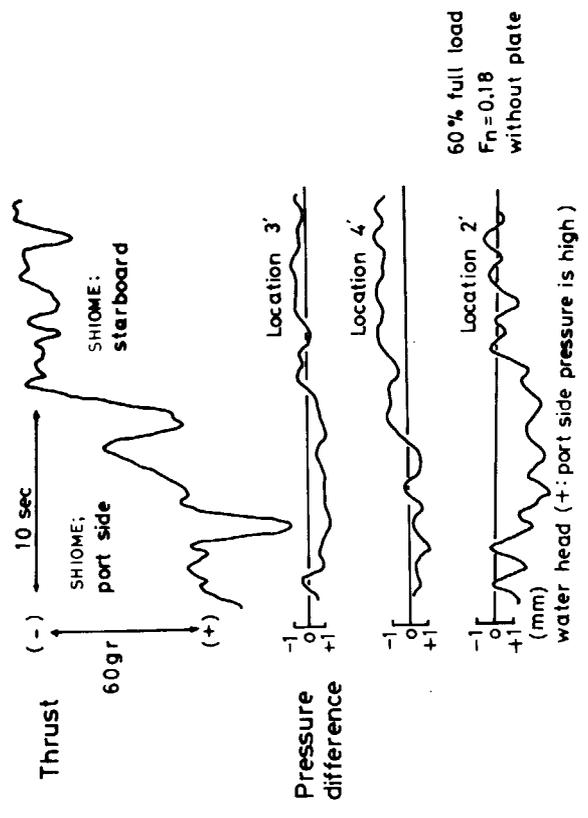


Fig. 5.2.20 Thrust and Pressure Difference

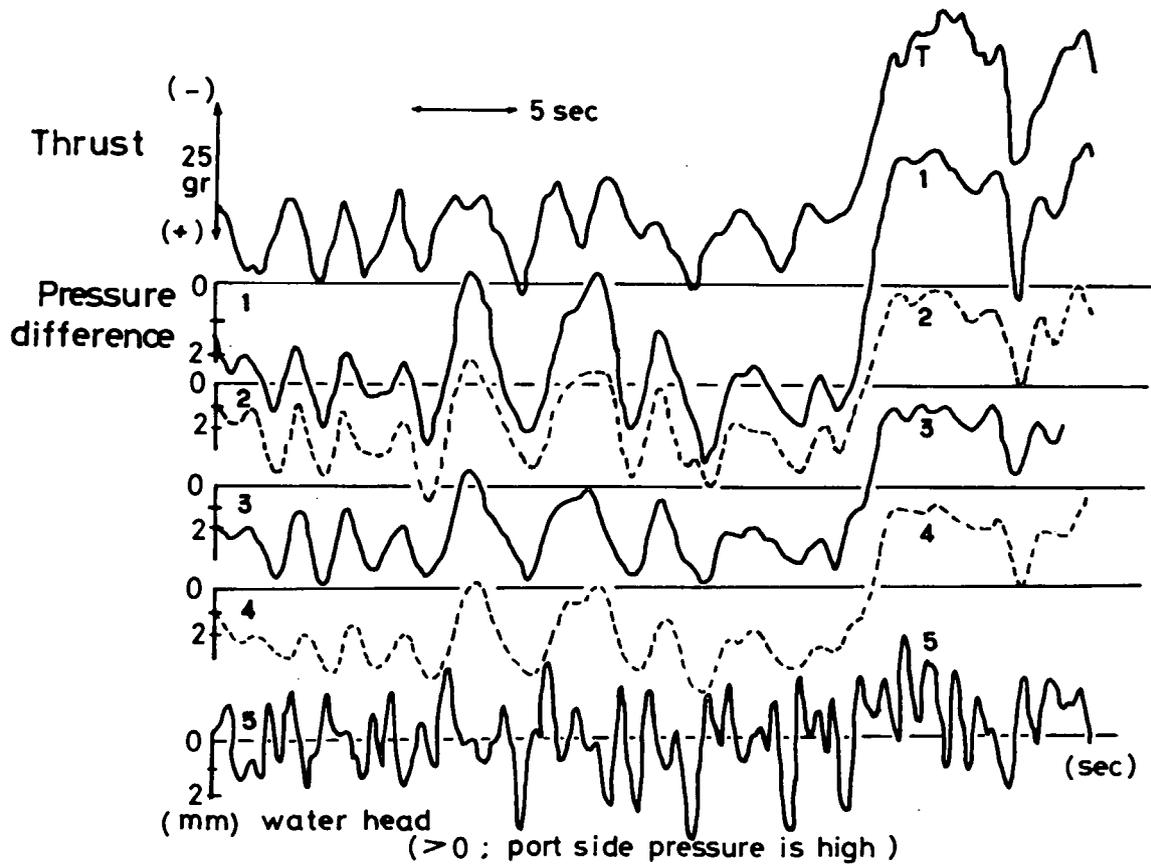


Fig. 5.2.21 Thrust and Pressure Difference

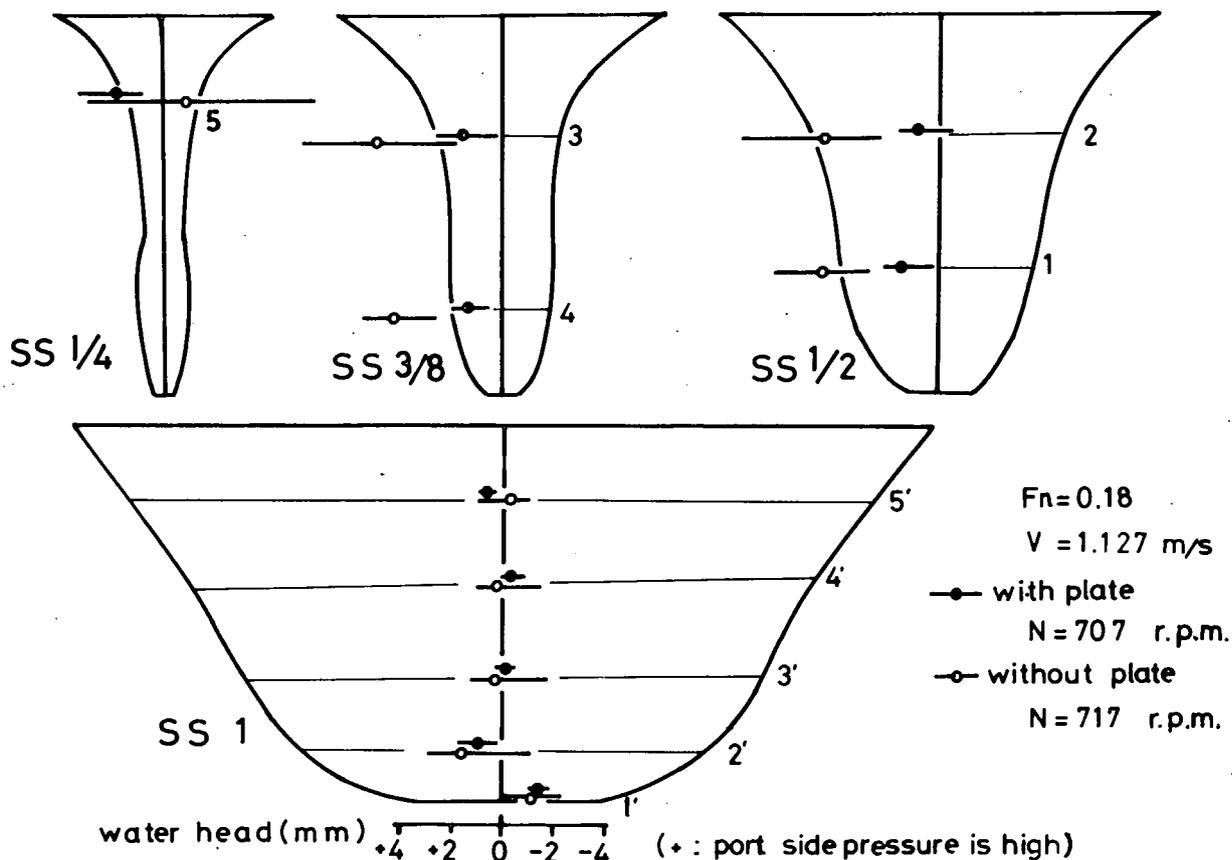


Fig. 5.2.22 Pressure Difference.

## 5.3 2 m 模型船による実験と考察

### 5.3.1 回流水槽における実験(1)

#### (1) 研究概要

51年度船型の2 m 模型船について、次のような調査を回流水槽において実施した。

- (a) プロペラ回転方向の影響の調査
- (b) 流場凍結法に関する実験
- (c) 凍結流場の流場計測
- (d) 油膜法による限界流線の観察

なお、本項における実験は、すべてに共通して、左まわりプロペラを用い、実験状態は、65% Full load condition、 $F_n = 0.18$ 、プロペラ回転数  $N = 16.8 \text{ rps}$  ( $C_T \doteq 0.5$ ) で実施した。

#### (2) 回流水槽

実験に使用した回流水槽は、川崎重工業㈱技術研究所の水平循環型のもので、計測部の寸法は、長さ×幅×水深 =  $7.4 \text{ m} \times 2.0 \text{ m} \times 1.3 \text{ m}$  である。

#### (3) 実験および実験結果

##### (a) 左まわりプロペラでの不安定現象

###### (i) 概要

川崎重工の回流水槽における実験では、ストックプロペラの都合により、左まわりプロペラを用いて実験を行なうこととした。自航状態における船体、舵、プロペラを考えた場合、左右非対称の要因となりうるものは、プロペラのみと考えられ、左まわりのプロペラを用いた場合、これまでに各所で得られている右まわりプロペラを用いた場合の結果を、左右入れかえたものになるであろうと予想されたが、一応確認の意味で左まわりプロペラを用いた場合の不安定現象についての調査を行なった。実験は、不安定現象の大きな特徴である、スラスト、トルクの大、小の各流場と、それに対応して生じる潮目の方向および船尾横力の作用方向の対応関係を調べることにより行なった。

Table 5.3.1.1 に使用した代用プロペラの要目を、本来用いるべき相似プロペラの要目と比較して示したが、直径が大体同程度であるので、プロペラ荷重をあわせれば、他の  $P/D$ 、 $E.A.R$ 、翼数の相違は本質的なものでなく、最も大きく影響するのは、回転方向の違いであると考えられる。

###### (ii) 実験結果

実験は、65% Full load condition、 $F_n = 0.18$ 、プロペラ回転数  $N = 16.8 \text{ rps}$  ( $C_T \doteq 0.5$ ) で行なった。Fig. 5.3.1.1 に左まわりプロペラによる不安定現象の計測例を示す。図中、上段のマークは、模型船船尾の潮目、および横力の方向の観察者の合図により、右潮目発生するとき ON、左潮目発生するとき OFF にしたものであるが、スラスト、トルクの大状態が右潮目発生に、スラスト、トルクの小状態が左潮目発生にそれぞれ対応していることがわかる。また2つの状態のスラスト、トルクのステップ量が、それぞれ約  $18 \text{ g}$ 、 $0.23 \text{ g} \cdot \text{m}$  となっており、これらは前年度報告書の三井造船で得られた結果(50年度U型船型)、および51年度V型船型についての、大阪府立大の結果とも、大体対応している。なお、船尾横力の作用方向はガイド部分の片あたりの状態により判断した。これらをまとめて、これまでの右まわりプロペラの結果と比較したものが Table 5.3.1.2 であるが、現象面では、全く左右の入れかわったものになっていることがわかる。したがってこれらから、プロペラがこの不安定現象における非対称性の要因であることがわかるし、プロペラの回転方向の左右の相違さえ念頭においておけば、このような実験を左まわりプロペラにより行なっても、本質的には何ら問題はないといえる。したがって、以下の実験はすべてこの左まわりプロペラによって行なった。

(b) 流場凍結法に関する実験

(i) 概要

不安定現象における2種の流場は、一般に不規則に出現し、しかも通常はT大なる流場が多く出現するために、これまでに得られた結果では、出現頻度の低い、T小なる流場についてのデータがとくに不足しているように思われる。このことは、2種の流れの定量的、定性的な比較を行ない、さらに不安定現象の発生機構等を考えていく際に、かなりの障害となっているように思われる。ここでは、これに対処するための一つの方法として、それぞれの流場に依り、左舷側もしくは右舷側後方に向けて生じる潮目に沿った、水面付近の浅い部分に仕切り板を置くことにより、その潮目に対応する方の流場を流れの性質を大きく変えることなく、持続して出現させるという流場凍結法について考え、その実験を行なった。

(ii) 実験結果

Fig. 5.3.1.2に仕切り板の形状および船尾への配置の概略を示す。仕切り板は、厚さ2 mm、長さ200 mmの透明なプラスチック製のものであり、65% water lineからの深度は、 $d = 10$  mmおよび20 mmである。もとの流場に対する影響を考えた場合、なるべく小さな形状のものが望ましいが、今回は $d = 10$  mm以下での実験は行なわなかった。実験は、まず通常の自航状態で不安定現象をとらえた後、連続して、仕切り板を左潮目上に、つぎに右潮目上に置いて、スラスト、トルク、曳航力を記録して行なった。

また、船底部中心線上に毛糸を植えてその方向も同時に観察した。Fig. 5.3.1.3が通常の自航状態における不安定現象の計測結果、Fig. 5.3.1.4は仕切り板を $d = 10$  mmの深度に置いた場合の計測結果である。これらから次のことがわかった。

- (a) 仕切り板により1つの状態が持続している。
- (b) 左仕切り板および右仕切り板の計測値のレベルおよびそのステップ量は、不安定現象時の2つの流場の値にほぼ対応している。
- (c) 船底部中心線上の毛糸の示す流向は、不安定現象時には、右潮目のとき、左舷向き、左潮目のときに右舷向きであるのに対し、右仕切り板のとき左舷向き、左仕切り板のとき右舷向きとその関係が対応している。

以上のことから、上に示した方法によって、流場の凍結が可能であることがわかった。しかしながら、凍結可能で、しかももとの流場への影響の最も小さな仕切り板の大きさ形状については、今回は調べなかった。

(c) 凍結流場の流場計測

(i) 概要

前述の方法により凍結された流場について、5孔管のトラバースにより、流場の計測を行なった。5孔管は、外径3φのNPL改良型のものである。またトラバース装置は、片舷用であるため、左右舷の計測は別々に行なった。計測断面は、プロペラ前面の計測可能で最もプロペラに近い断面である、 $S.S. \frac{3}{8}$ であり、計測点は、左右舷で約130点である。試験状態は、65% load condition、 $F_n = 0.18$ 、プロペラ回転数 $N = 16.8$  rpsである。なお、流場計測中も、船底部中心線上の毛糸の方向の観察をしたが、5孔管が船体に近づいた場合、その攪乱の影響で、船底部の流向が、5孔管側と反対側へ多少向けられるのが観察されたが、それが全体の流場に、どの程度影響しているかは、今回は不明である。

(ii) 試験結果

計測結果を、Fig. 5.3.1.5～Fig. 5.3.1.10に示す。伴流分布については、T小(左潮目)の流れの場合、左右舷の非対称性は比較的小さいのに対し、T大(右潮目)の流れの場合、左舷に

比べ右舷の伴流値がかなり大きくなっている。Vy、Vz 成分についても、T小の流れに比べ、T大(右潮目)の流れはかなり非対称になっており、右舷側の流れがかなり下向きに変化している。

(d) 油膜法による限界流線の観察

流動パラフィン、オレイン酸、二酸化チタンを混合した油膜により、限界流線の観察を行なった。実験状態は、65% load、 $F_n = 0.18$ 、プロペラ回転数  $N = 16.8 \text{ rps}$  ( $C_T \approx 0.5$ ) であり、通常の自航状態、右潮目上に仕切り板を置いた場合、左潮目上に仕切り板を置いた場合、の3種の状態について行なった。それぞれについて撮影した写真をトレースして作成した限界流線図を、Fig. 5.3.1.11 ~ Fig. 5.3.1.13 に示す。これらを見ると、まず仕切り板なしの結果と、右舷側仕切り板を置いた場合の結果とが、大体同じ傾向を示しており、通常の自航状態の場合、T大(左まわりプロペラで右潮目)の出現頻度が高いことを考えると、仕切り板によりT大の流れが実現していたと考えることができる。流線の変化は、 $S.S. \frac{1}{4} \sim S.S. \frac{1}{2}$  付近で、プロペラの斜め上方あたりに特徴的に出ており、潮目のある側では、その部分の流れが、急角度で、プロペラボッシング部へ向って流れているのがわかる。また、船底部の限界流線の非対称性はわずかであるが、右潮目のとき左舷側へ、左潮目のとき右舷側へ多少かたよっている。

Table 5.3.1.1 模型プロペラ

	代用プロペラ	相似プロペラ
直 径	60.0	58.3
P/D	1.015	0.7143
E A R	0.8	0.665
翼 数	3	5
回 転 方 向	左	右

Table 5.3.1.2 結果の比較

プロペラ		右まわりプロペラ	左まわりプロペラ
T, Q 大	潮目	左	右
	Y <sub>A</sub>	右舷向き	左舷向き
T, Q 小	潮目	右	左
	Y <sub>A</sub>	左舷向き又は0	右舷向き

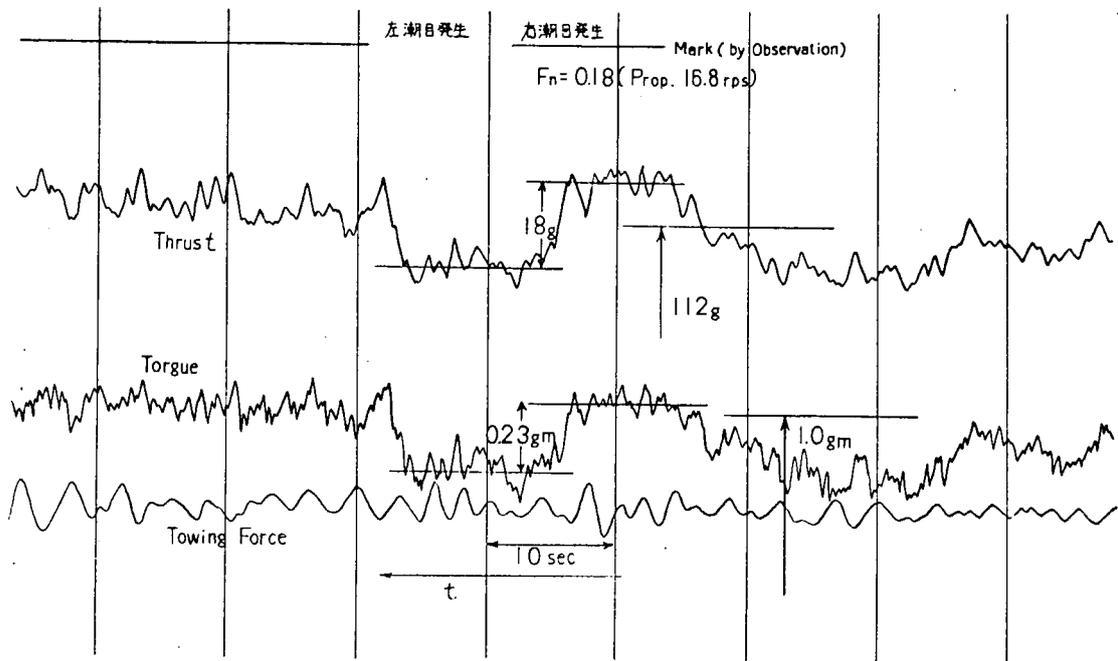


Fig. 5.3.1.1 不安定現象計測例

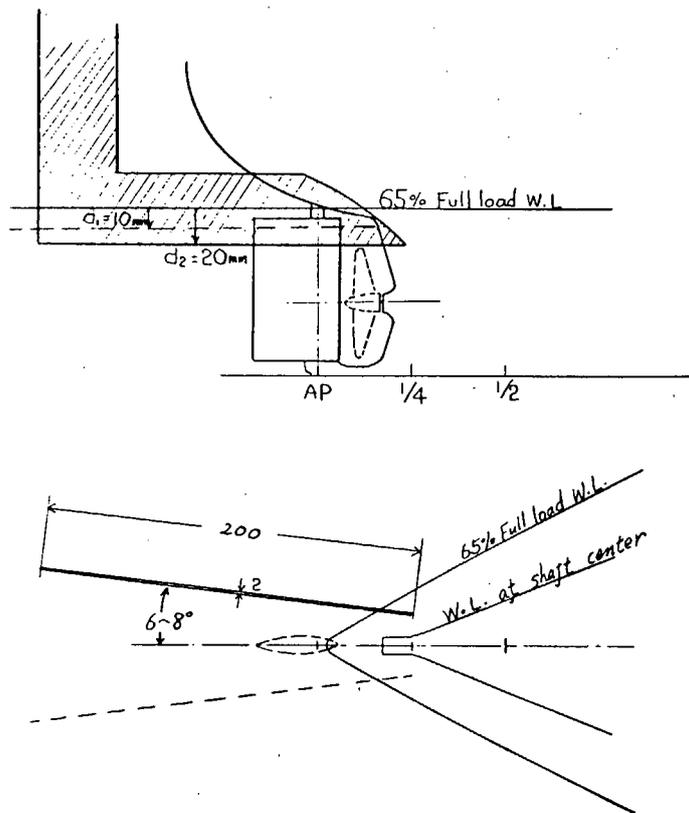


Fig. 5.3.1.2 仕切り板および船尾配置

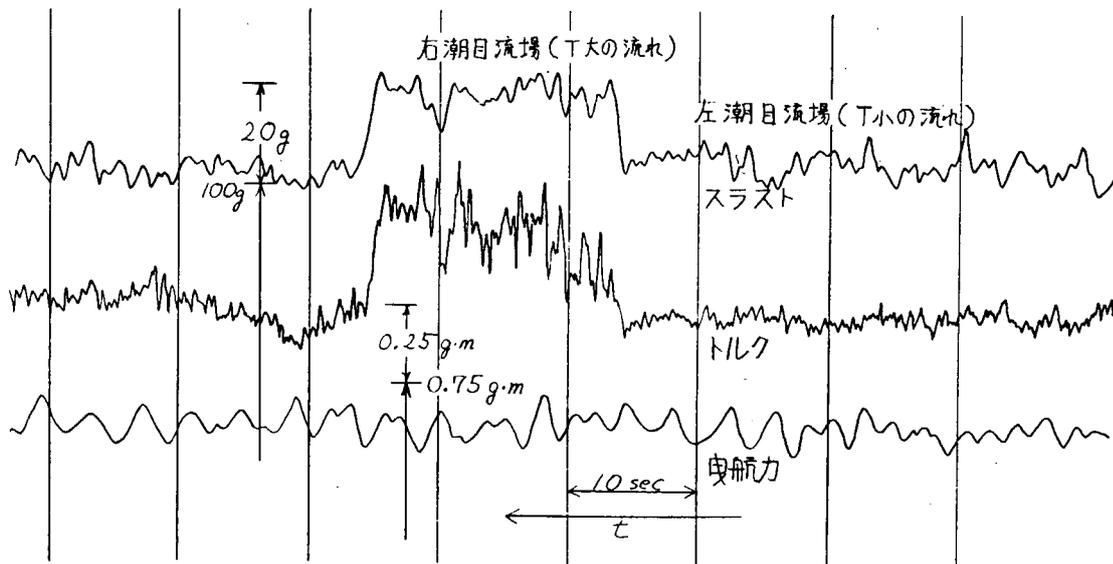


Fig. 5.3.1.3 不安定現象計測例

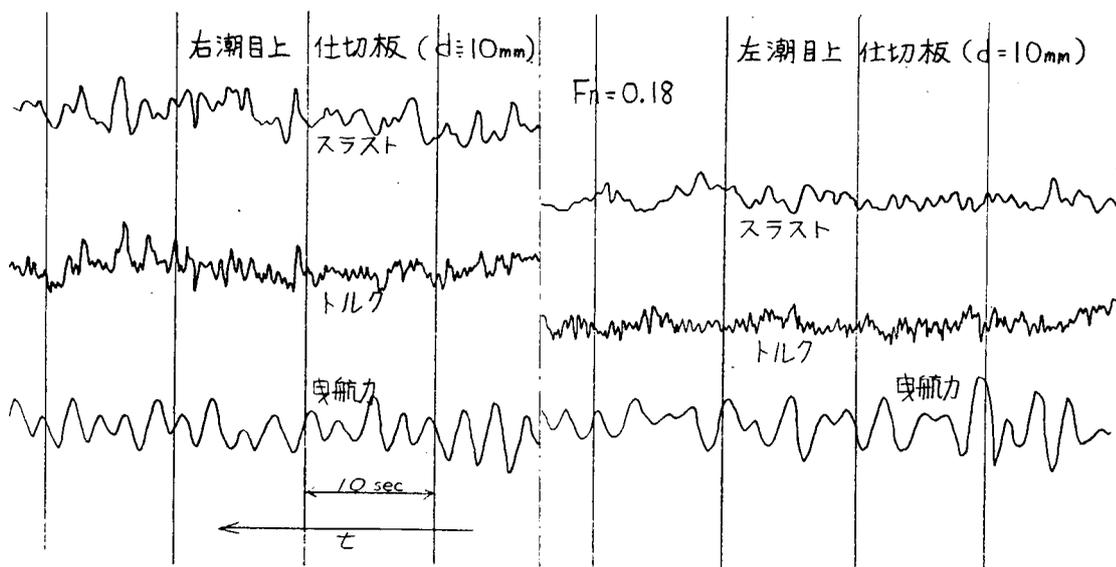


Fig. 5.3.1.4 凍結流場の計測例

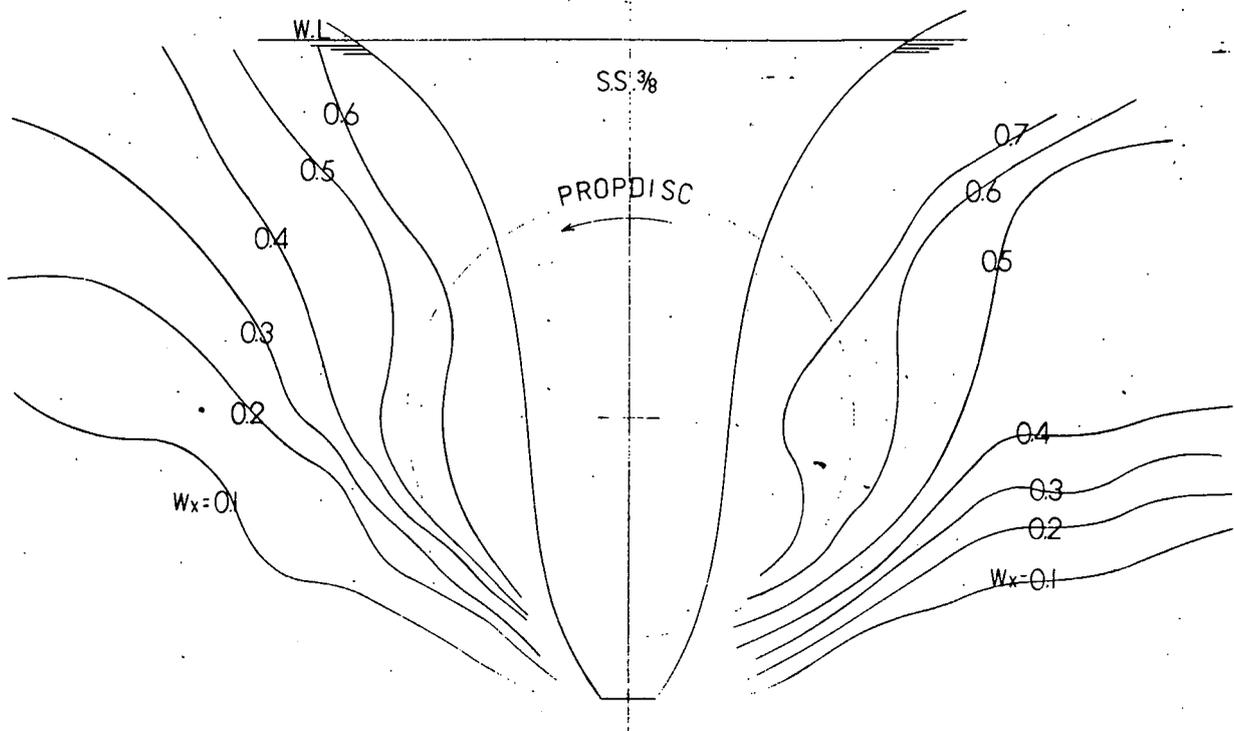


Fig. 5.3.1.5 Wake Distribution (T大 (右潮目) の流場)  
 (65% Load with Propeller  
 $N = 16.8$  rps  $Fn = 0.18$ )

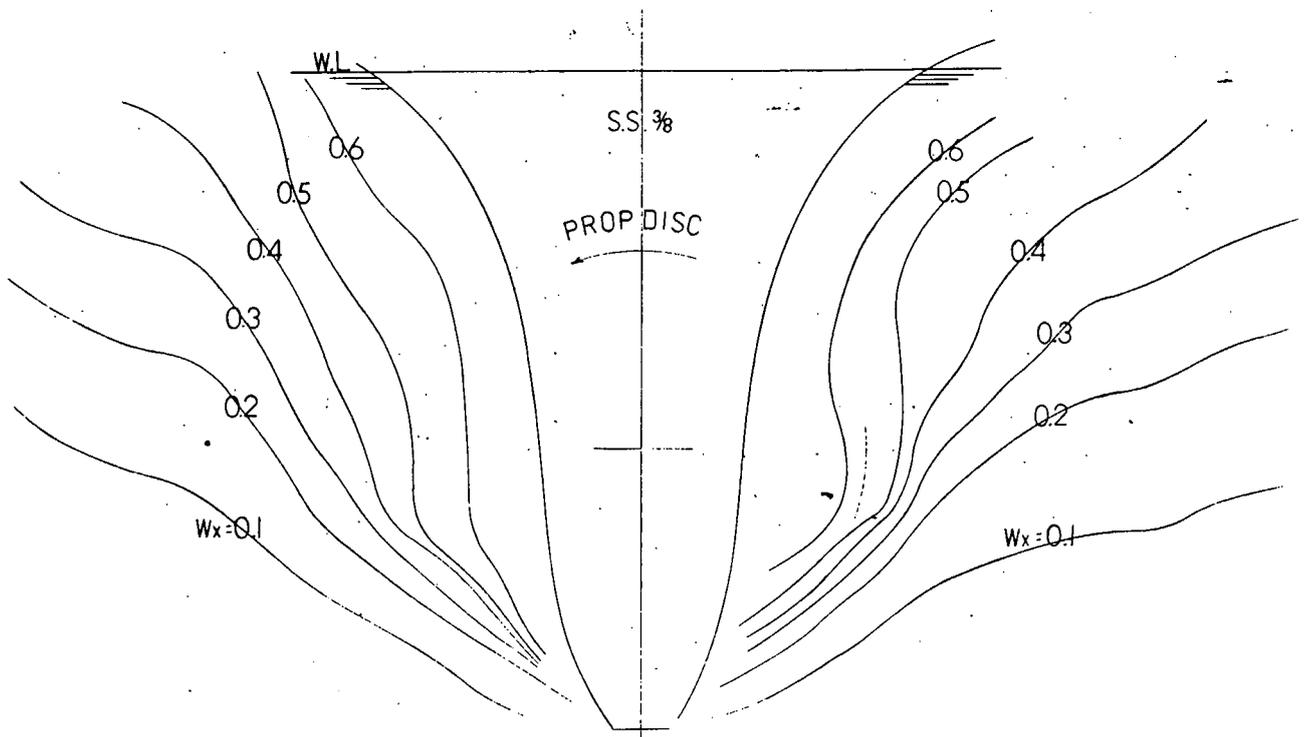


Fig. 5.3.1.6 Wake Distribution (T小 (左潮目) の流れ)  
 (65% Load with Propeller  
 $N = 16.8$  rps  $Fn = 0.18$ )

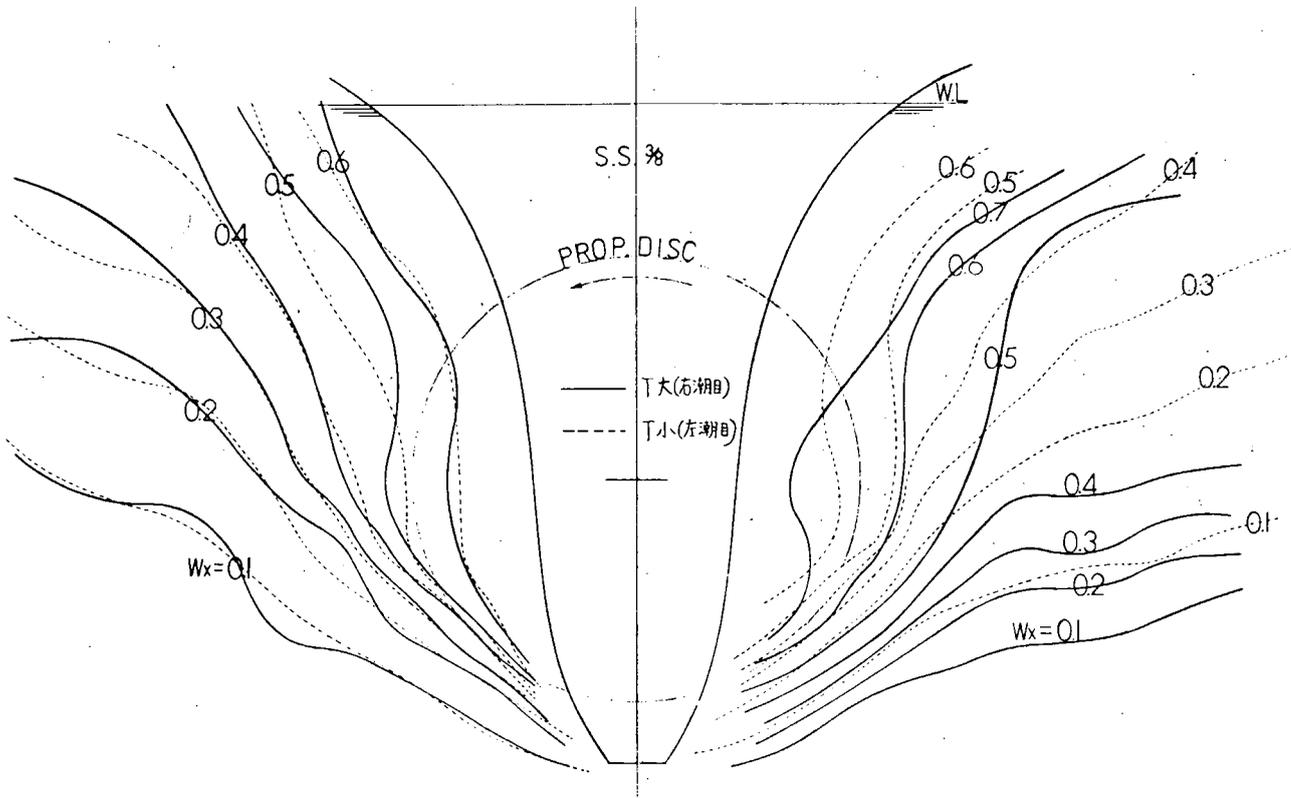


Fig. 5.3.1.7 Comparison of Wake Distribution

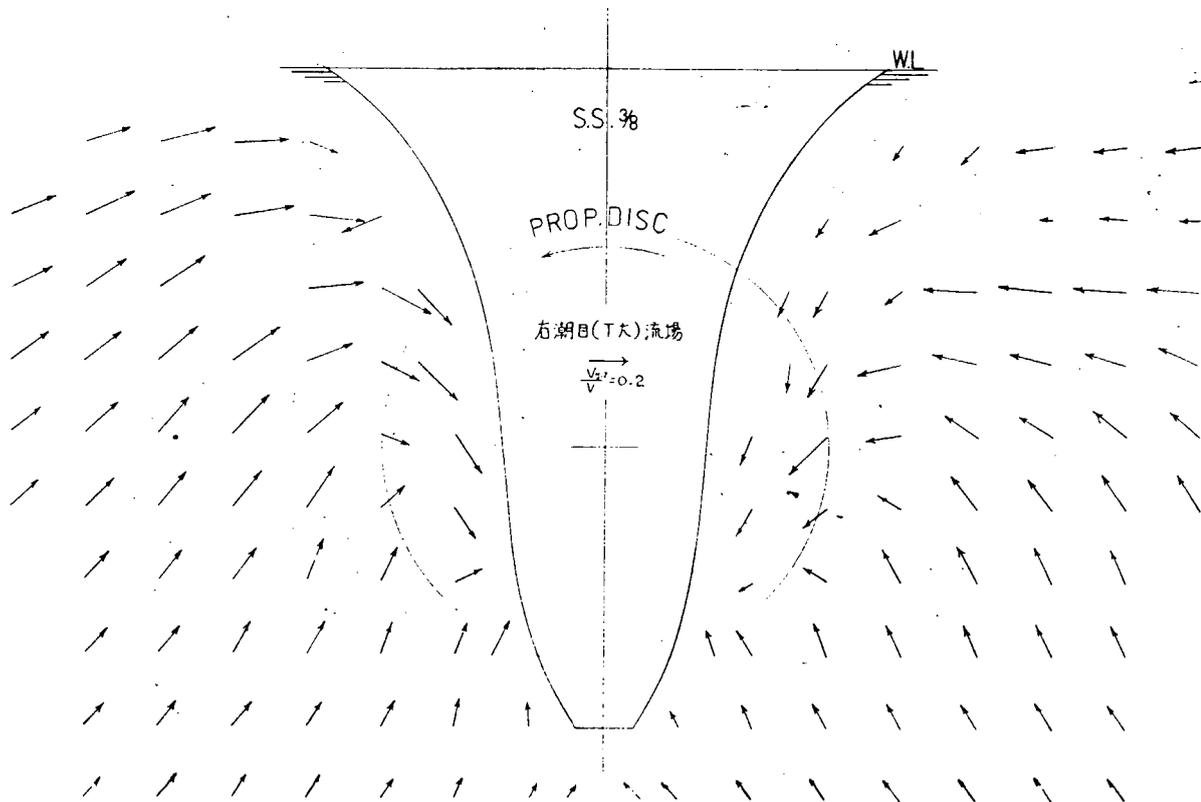


Fig. 5.3.1.8 Velocity Vector Representation of  $V_y, V_z$   
 (T大(右潮目)の流場) (65% Load with Propeller  
 $N = 16.8$  rps  $Fn = 0.18$ )

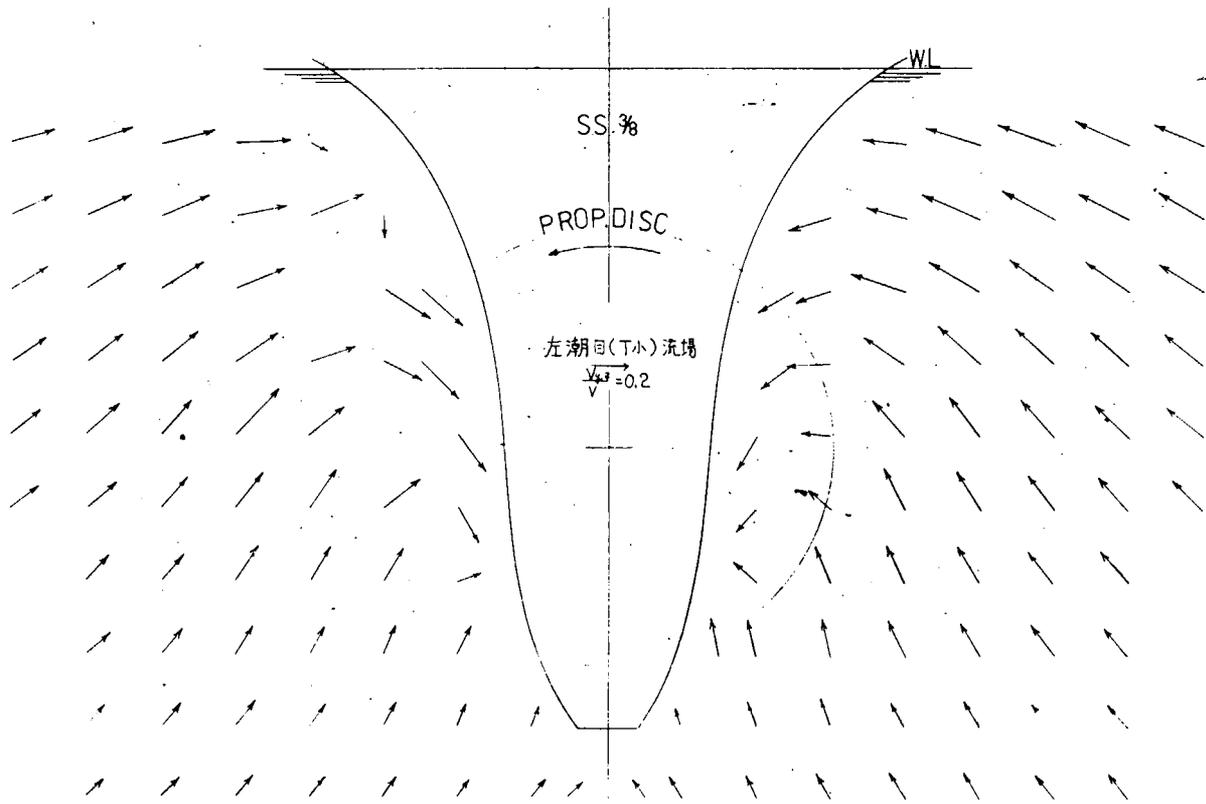


Fig. 5.3.1.9 Velocity Vector Representation of  $V_y, V_z$   
 (T小(左潮目)の流場) (65% Load with Propeller  
 $N = 16.8$  rps  $F_n = 0.18$ )

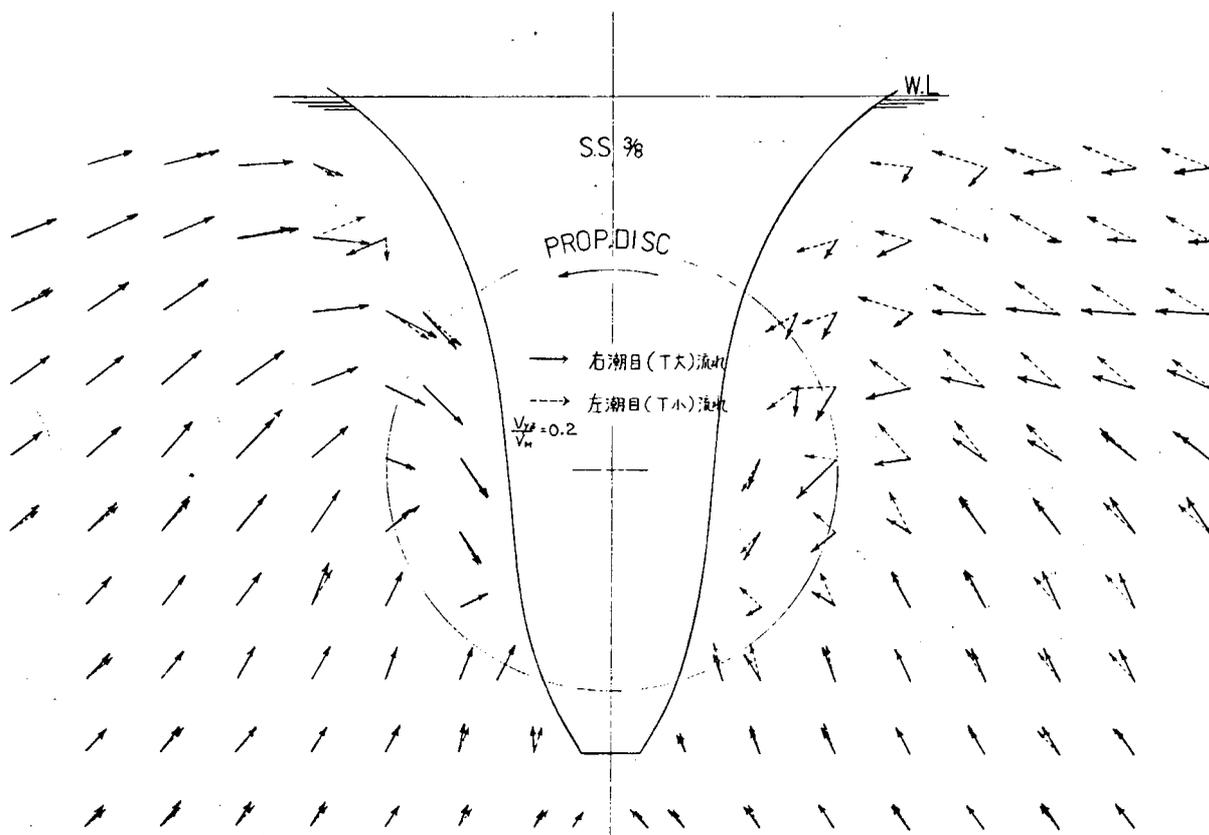
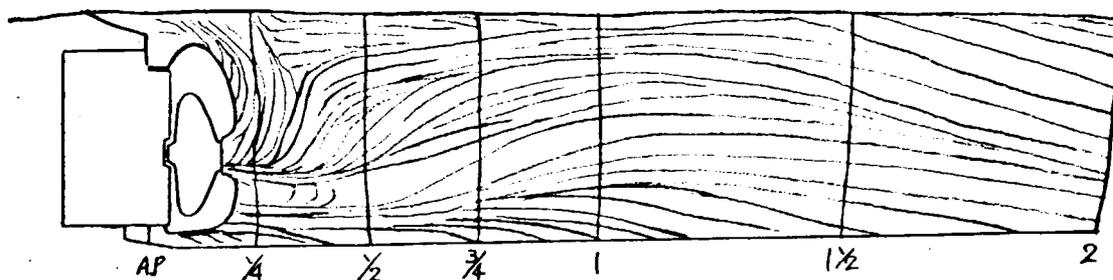
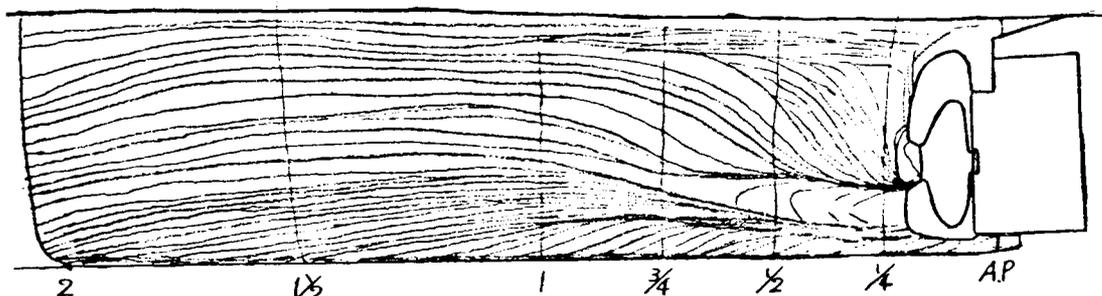


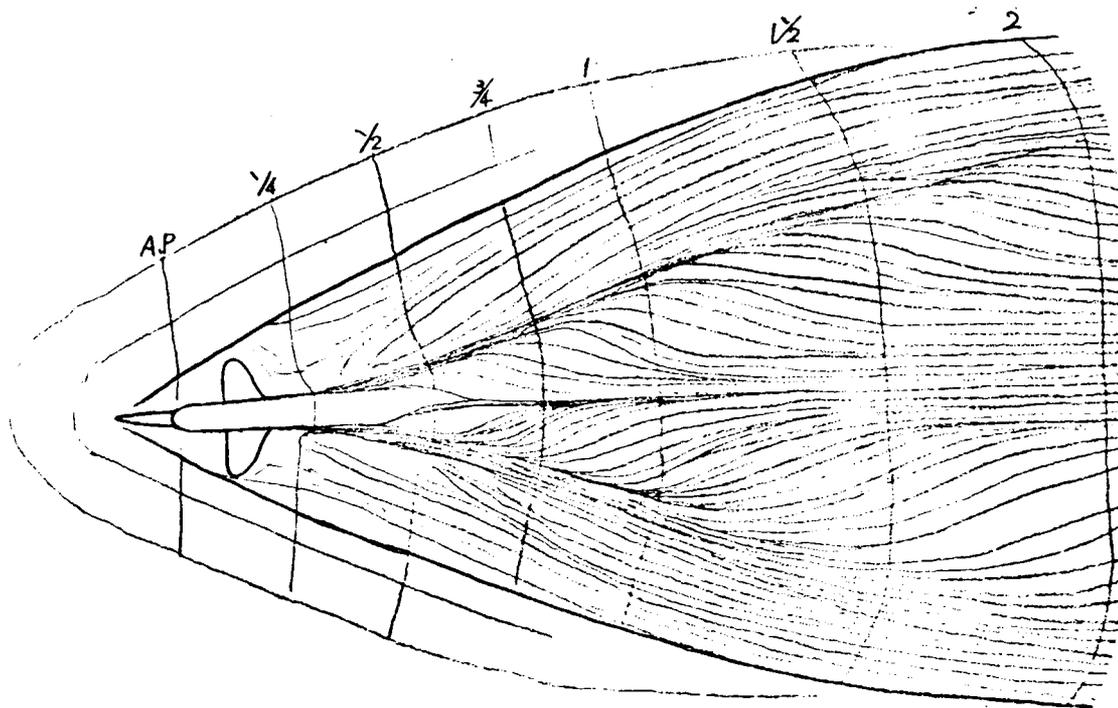
Fig. 5.3.1.10 Comparison of Velocity Vector  $V_y, V_z$   
 elocity Rector



SIDE VIEW (STARBOARD)

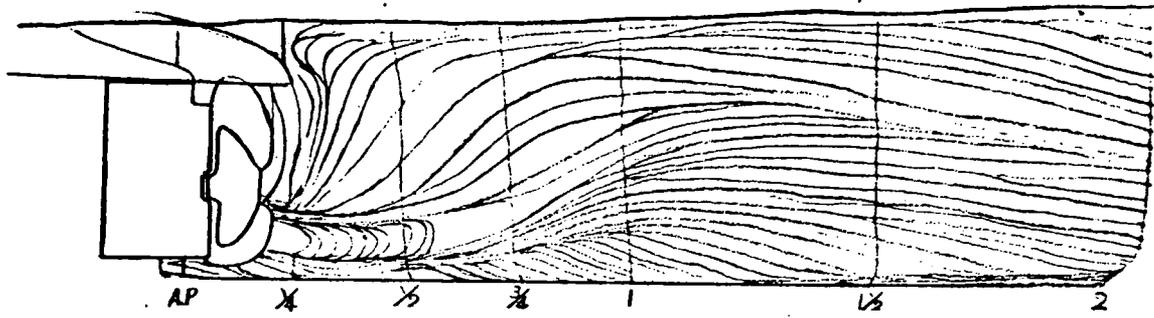


SIDE VIEW (PORT)

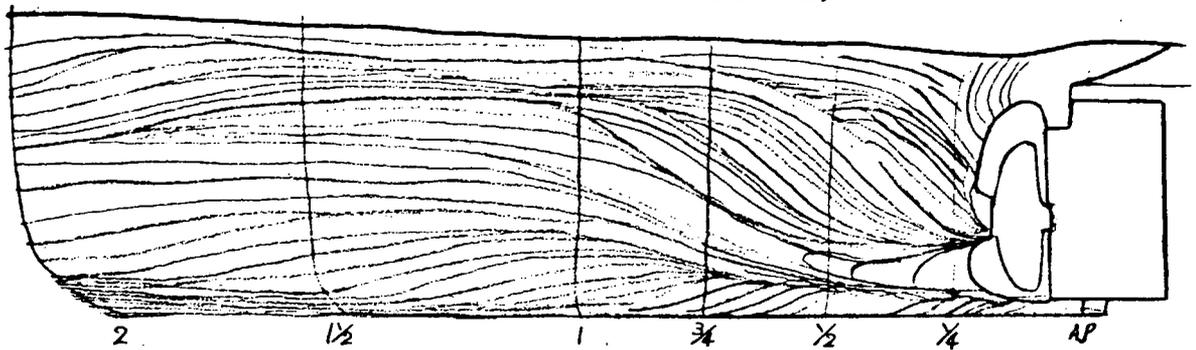


BOTTOM VIEW

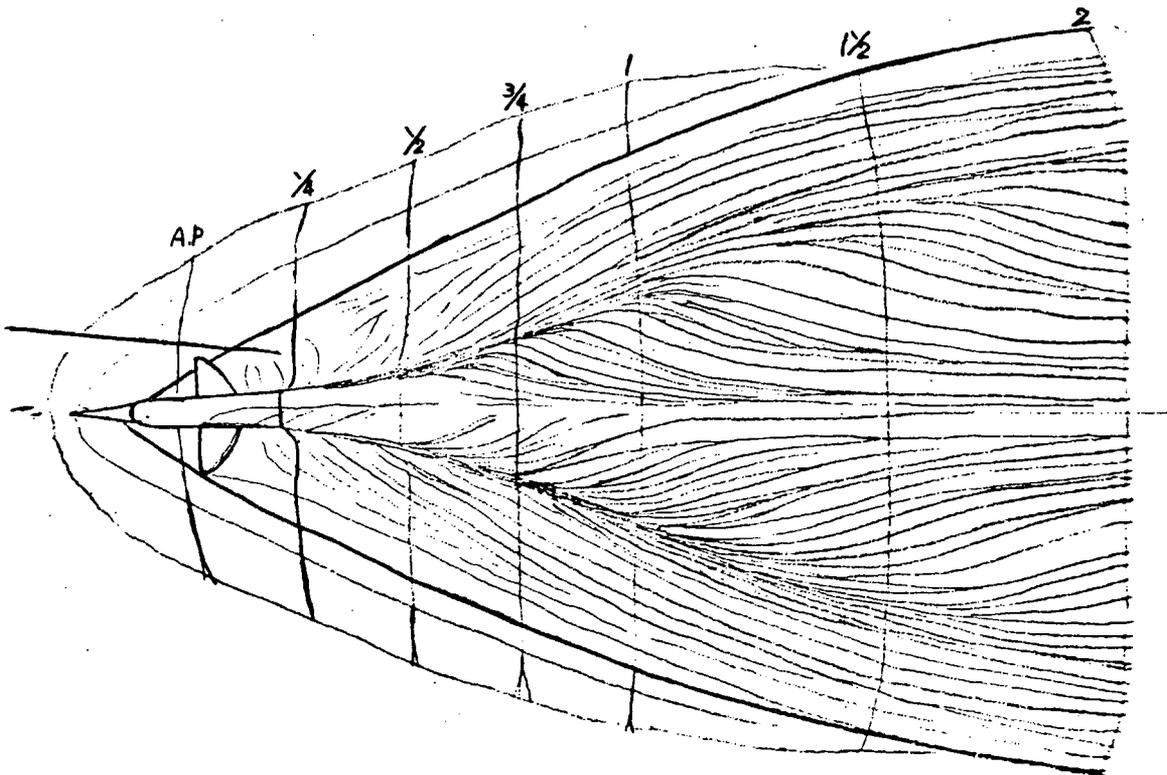
Fig. 5.3.1.11 限界流線 (仕切り板なし)



SIDE VIEW (STARBOARD)



SIDE VIEW (PORT)



BOTTOM VIEW

Fig. 5.3.1.12 限界流線(右潮目上仕切り板)

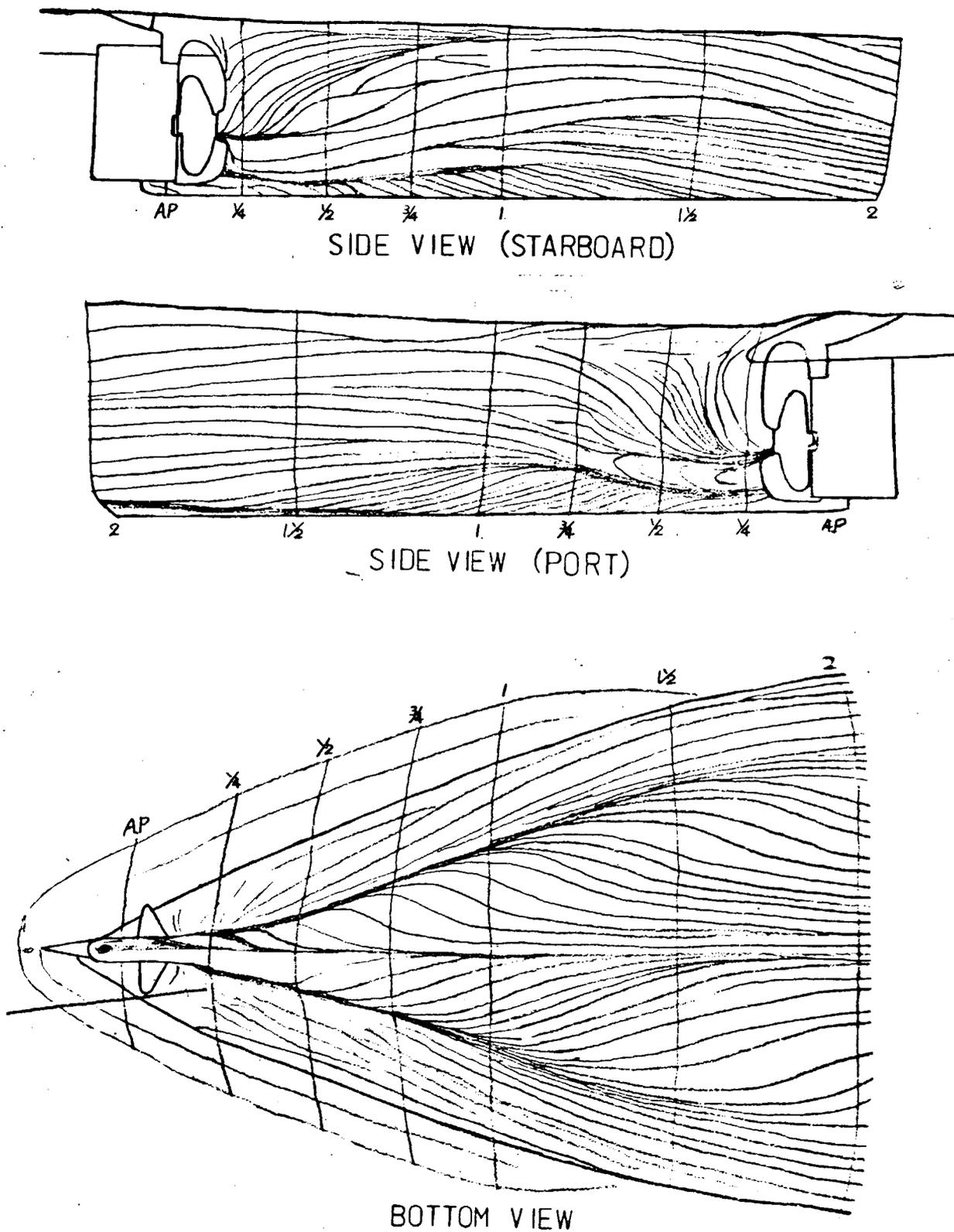


Fig. 5.3.1.13 限界流線(左潮目上仕切り板)

### 5.3.2 回流水槽における実験(2)

#### (1) はじめに

2 m 模型船を用いての不安定現象調査を回流水槽で実施した。特にプロペラ直上およびその前方領域の流体の挙動の把握を主目的とし、51年度船型についての不安定現象の調査を実施した。

#### (2) 回流水槽および不安定現象の確認

調査に用いた回流水槽の寸法および水槽特性は、次に示すものである。

長さ×幅×水深 : 4 m × 1.5 m × 1.3 m

流速の均一度 : ±1%以内(模型設置の範囲)

流速変動 : 約4%

水面傾斜 :  $0.2 \times 10^{-3}$  (at  $V = 0.75 \text{ m/s}$ )

この回流水槽での自航試験時において曳航水槽で認められる不安定現象が観測可能かどうかを、スラスト、トルクおよび船尾波紋について長時間調査し、51年度報告に述べられているスラスト変動トルク変動と船尾波紋の潮目の一致を確認した。

Fig. 5.3.2.1に船尾波紋写真を示す。

又、使用した自航動力計は不安定現象としてのスラスト、トルク変動を十分検出可能であることを確認した。

#### (3) 船尾回りの流れの調査

51年度船型2 m模型を用いて、下記の項目について調査した。プロペラに流入する流速と関係があるスラスト変動を主眼点とし各々の計測記録に含めた。

(a) 抵抗、自航試験

(b) 艀吃水とスラスト変動

(c) 静圧変動とスラスト変動

(d) 艀端領域の流速計測

(e) 水素気泡法による不安定現象の流れ観察

ただし、使用したプロペラ要目は

プロペラ直径 : 0.0531 m

ピッチ比 : 0.685

展開面積比 : 0.560

翼数 : 5 (MAU)

である。

又、上記試験はすべて舵をつけない状態で調査を実施した。

#### (a) 抵抗、自航試験について

試験での載荷状態は Full load および 65% Full load の 2 状態で行い、各試験は当所の試験ルーチンに従って実施された。これらの試験結果を Fig. 5.3.2.2 と Fig. 5.3.2.3 に示す。

抵抗試験においてバラッキ等は通常の船型とあまり大きく変わらない。又自航試験においては Full load で、不安定現象は顕著に表われていないが 65% Full load では不安定現象が現われ、スラスト、トルク変動および潮目の左右移動がみられた。又この時の 1 航走中の高い値低い値のスラストにより解析したものを図中(▲)印で示している。又、これらの試験結果から曳航水槽の船尾流れ場と回流水槽の流れ場とは大きく異っていないと考えられる。

#### (b) 船尾吃水とスラスト変動について

最も顕著に、不安定現象が現われる船尾吃水および Trim について調査した。

F.P.での位置を固定し船尾吃水を上下方向に 2.5 mm ずつ約 30 mm 変化させた場合の不安定現

象の現われる程度を調査した ( Fig . 5 . 3 . 2 . 4 ) 。

スラスト変動の記録のステップ状の変化の量と船尾吃水との関係を Fig . 5 . 3 . 2 . 5 に示す。又、その時の(A)、(B)、(C)の各状態におけるスラスト変動記録を Fig . 5 . 3 . 2 . 6 に示している。この調査範囲では図中(B)点の状態が最も顕著に不安定現象が現われている。(B)点の状態における後流をタフトグリッドにより観察したものを Fig . 5 . 3 . 2 . 7 に示す。以上の船尾の吃水とスラスト変動の調査から air 吸込み時にもスラスト変動が大きく表われるが、不安定現象と air 吸込み現象とは異ったものであることが考えられる。

(c) 船尾端領域の船体表面圧力とスラスト変化

プロペラ作動時の船体表面圧力の計測を行い、スラスト変化と船体表面圧力の変化との関係を調べた。特に51年度報告では S . S . 3 より船尾側全面で計測されているが、本調査では S . S .  $\frac{5}{8}$  より船尾側の表面圧力 ( 左右側それぞれ 4 5 点 ) を計測した。特にプロペラ上部プロペラ直前の圧力計測を主眼とした。計測位置を Fig . 5 . 3 . 2 . 8 に示す。

試験状態は 71% Full load 1.9% Trim by stern  $F_n = 0.17$  プロペラ回転数 = 29.7 r.p.s である。なお使用した微差圧力変換器 ( 東洋ボールドウィン製 D L P U - P 型定格  $20 \text{ g/cm}^2$  ) と硬質ビニールの圧力孔 ( 内径  $1.4 \text{ mm}$  ) を出来るだけ短かく直結して時定数の低下を防いだ。Fig 5.3.2.9 と Fig . 5 . 3 . 2 . 1 0 にそれぞれの静圧分布をスラスト大とスラスト小の時に分けて表わしている。又、Fig . 5 . 3 . 2 . 1 1 にプロペラ作動時の同位置での左右舷の圧力差を示している。

プロペラ作動しない場合：

圧力変動はそれ程大きくなく左右舷の圧力差はほとんどないと考えられる。

プロペラ作動時：

圧力変動は非常に大きく、スラスト変化に伴って、S . S .  $\frac{5}{8}$  以降に表われている。

特に水面近くは、S . S .  $\frac{3}{8}$  より急に圧力変化が大きく、S . S .  $\frac{1}{4}$  上部は、スラストの変化に伴い最も大きく左右の圧力差が生じている。又、A、B、C、D、E 5 点での、圧力変化、スラスト変化および船尾部波高変化の記録を Fig . 5 . 3 . 2 . 1 2 に示す。Fig . 5 . 3 . 2 . 1 1 によればプロペラ直上前方の A、B 点ではスラスト変化と左右舷の圧力差との変化関係は非常によい一致をしている。しかし E 点や D 点での関係はそれ程顕著ではない。

(d) 船尾端領域の流速計測

左右舷の A、B 圧力孔の圧力差の変化とスラスト変化の様子がよく一致していることから A、B 付近の流速がプロペラに流入していることが考えられる。そこで抵抗型流速計 ( 先端球径  $8 \text{ mm}$   $\phi$  ) を用いて船尾領域の流速を計測した。この流速計の精度はよくないが、すべての流れの方向を計測出来る利点があり、3 方向の力を計測することにより  $U_x$ 、 $U_y$ 、 $U_z$  を求めることが出来る。Fig . 5 . 3 . 2 . 1 3、Fig . 5 . 3 . 2 . 1 4 は S . S .  $\frac{3}{8}$ 、 $\frac{1}{4}$  および  $\frac{1}{4}$  後方  $20 \text{ mm}$ 、 $\frac{1}{4}$  後方  $40 \text{ mm}$  の 4 断面で流れを計測した結果である。図中ハッチングで示す領域は変動が非常に大きく流場として乱れているものと考えられる。しかし、この範囲は比較的うすいと考えられ S . S .  $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{3}{8}$  では約  $10 \text{ mm}$  以内の層内で大きい乱れが生じていると考えられる。又、流場の中にこの種の検出計を入れることは流場を乱し、又、スラスト変動も変る現象が表われ、スラスト変化と流場の変化とは関連付けが出来なかった。

(e) 水素気泡法による不安定現象の流れの観察

S . S .  $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{3}{8}$ 、 $\frac{5}{16}$ 、 $\frac{1}{4}$ 、(  $\frac{1}{4} - 20$  ) に白金線 (  $\phi = 50 \mu$  ) をはりつけ水素気泡発生装置 ( 開発電子測器研究所 S C R - P G ) を用いて  $400 \text{ V DC}$  電圧を加電することにより、船体表面の流れを  $8 \text{ mm}$  シネで撮影した。この写真よりプロペラ作動しない時およびプロペラ作動時のスラスト値の低い場合とスラスト値が高い場合の流線を Fig . 5 . 3 . 2 . 1 5 に示す。

プロペラ作動しない時は水素気泡の示す流れの様子は変動が少ないが、 $S.S. \frac{1}{4}$ の一部で少し剝離している様子がみえる。プロペラ作動時はプロペラ上部領域より $S.S. \frac{3}{8}$ へ流れる主流方向とは逆方向の極端に大きな流れが見える。この流れが全体の船体表面の流線を変化させていることが観察出来る。又、下部の方の流れは上部に比べ安定している。水面付近ではこの主流方向の流れと逆向きの非定常な流れとがぶつかり合いこの位置付近で潮目が表われている。

スラストが高い値を示す場合：

この逆向きの流れは左舷に生じ潮目は左舷に出る。

スラストが低い値を示す場合：

大きい逆向きの流れはみられず、流線は抵抗時に近い流れを示している。

この時潮目は中央か、又は右舷側と考えられる。

#### (4) 考 察

51年度船型2m模型の実験から次のことがいえる。

##### (a) 抵抗試験時について

船体表面の流れは比較的安定している。ただし、 $S.S. \frac{1}{4}$ の8W.L.の領域に剝離した部分が存在している。この領域は安定し、その位置および大きさはあまり変化はみられない。そのため抵抗値のバラツキも通常の船と大きく変わらず、特別に抵抗値の大きいバラツキはみられない。又、潮目は観察されず、船尾水面近くの流れは大きく乱れていないと考えられる。さらに、左右舷の圧力差はほとんどなく、又、その差圧変化も小さい。

##### (b) 自航試験時について

スラスト、トルク変動は船尾吃水(Trim変化を含む)によって大きく変化し船尾形状と関連があることを示している。又、スラスト、トルクの変動はここで称する不安定現象によるものとair吸込みによるものとは異ったものであると考えられる。

今回の実験では、潮目は左舷側によく発生し、時々右舷側に現われている。潮目が左舷側に表われている状態と左舷側に表われていない状態の船体表面の流れは大きく2つのPatternに分けられる。

その一つは

潮 目	左舷側
ス ラ ス ト	大
左右舷圧力差	左側大
サイドフォース	左舷→右舷側に働く

の状態であり、この時の船体表面の流れはプロペラ上部船体表面では逆流し、この流れは $S.S. \frac{3}{8}$ 近くまで前方に流れ、プロペラ上半部に吸込まれる流れが生じている。この流れは安定したものでなく、その大きさおよび流れの様子は大きく変化している。又、この流れは船体の前方よりの流れと船体表面の間にもぐり込んでいる。しかもこの逆流する流れの層は薄く2m模型においても高々10mm以内である。これは流速計測より考えられる。

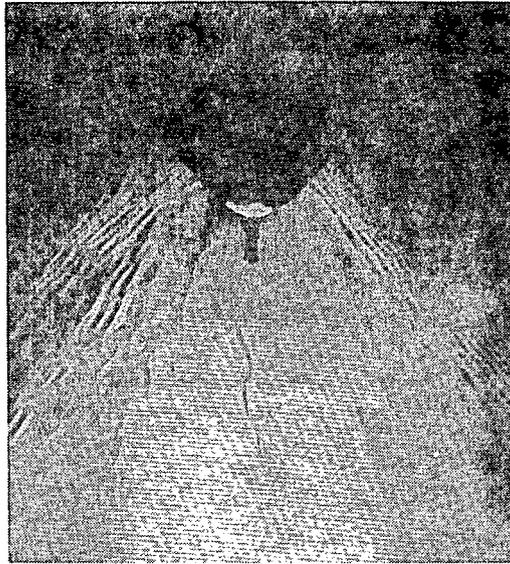
この主流と逆流との境界近くから潮目が発生していると見受けられる。又、左右舷の圧力差は左舷側が大きくサイドフォースは左舷から右舷に働いていることになる。この圧力差の最も大きい領域は $S.S. \frac{1}{4}$ の水面近くの船体であり、 $S.S. \frac{3}{8}$ の水面近くで急に圧力差が大きくなりはじめている。これはこの逆流が $S.S. \frac{3}{8}$ までもぐり込んでいることと一致する。

他の Pattern は、

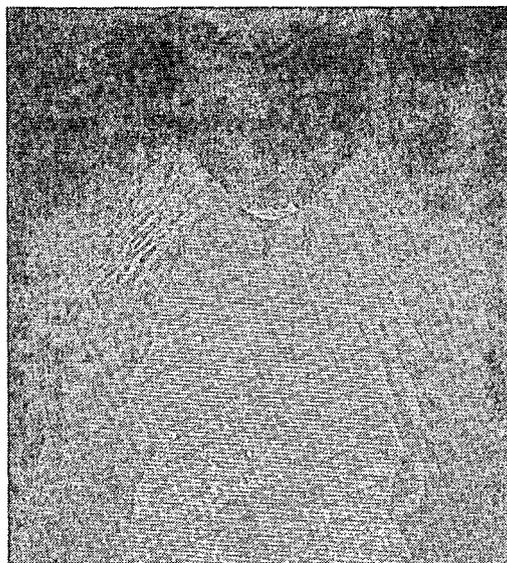
潮 目	右舷側
ス ラ ス ト	小
左右 舷 圧 力 差	右舷大
サイドフォース	右舷→左舷側に働く

の状態である。

この時の船体表面の流れは抵抗時の流れに近く S.S.  $\frac{1}{4}$  の 8 W.L. 付近の剝離は見られない。即ち、船体前方の流れは比較的スムーズに船尾端後方へ流れ去っている。この時は静圧測定の結果から右舷側には逆流が生じていると考えられる。



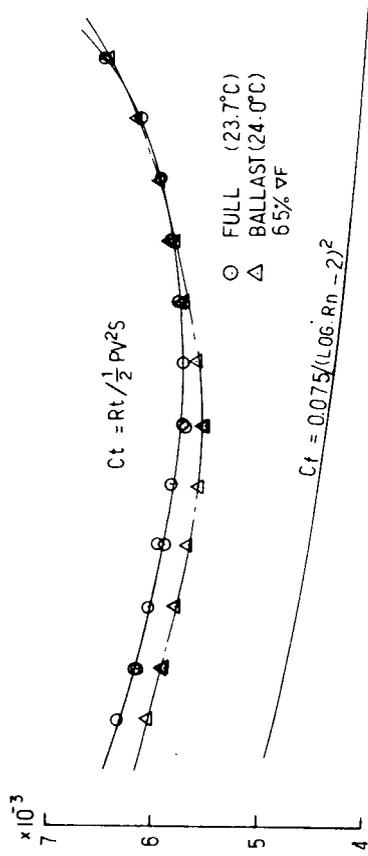
(THRUST HIGH)  
(TORQUE HIGH) 潮目 左舷側



(THRUST LOW)  
(TORQUE LOW) 潮目 右舷側

Fig. 5.3.2.1 Surface Stern Flow

SR159 51 五速船型 Lpp = 20<sup>m</sup> (WITHOUT RUDDER)



SR159 51 五速船型 Lpp = 2.0<sup>m</sup> (WITHOUT RUDDER)  
MODEL POINT

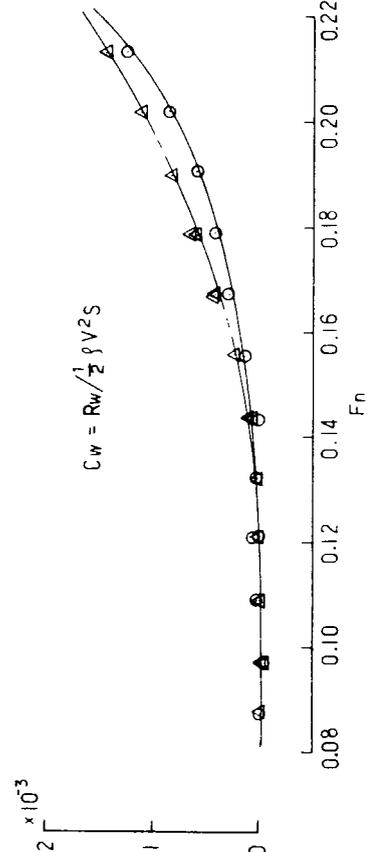
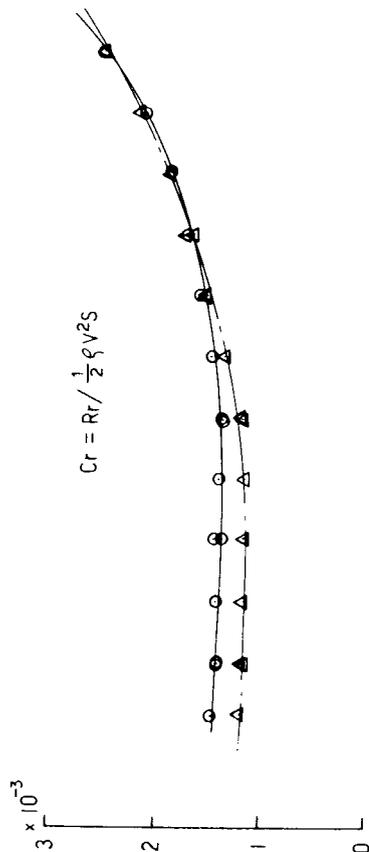
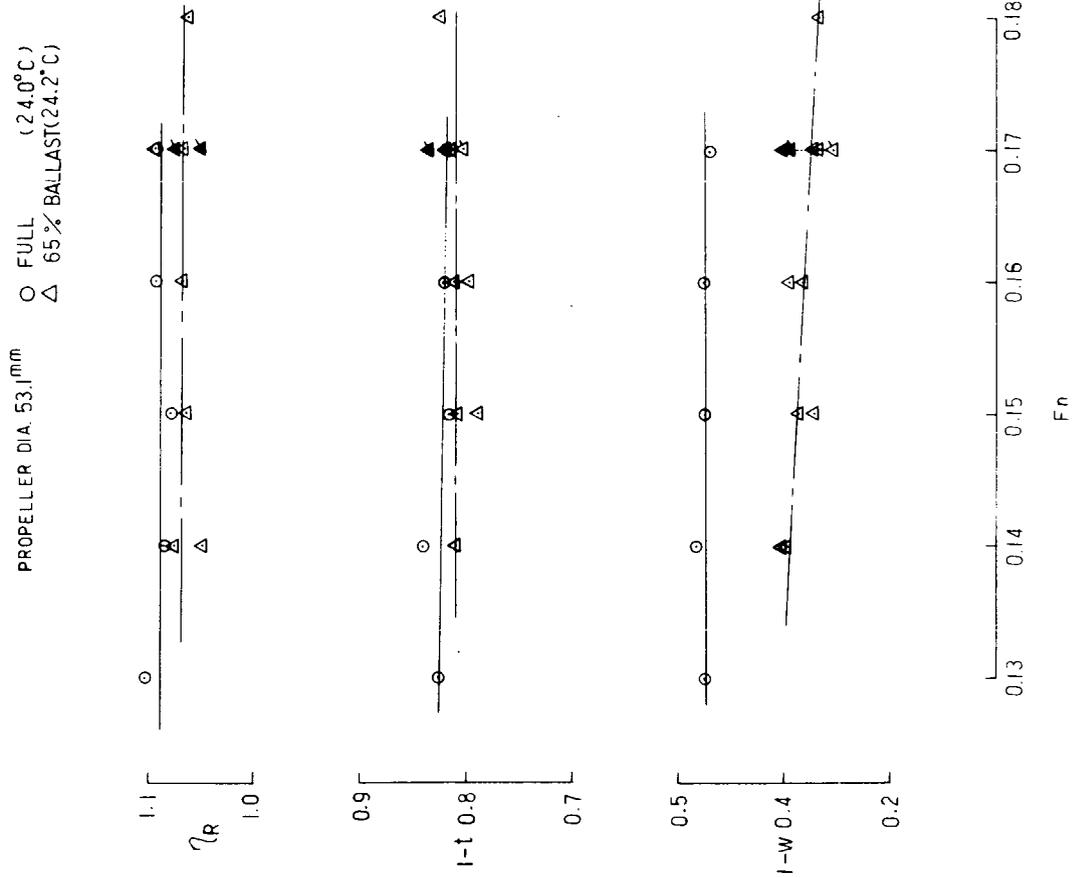


Fig. 5.3.2.2 Resistance Test Results

Fig. 5.3.2.3 Self-Propulsion Test Results

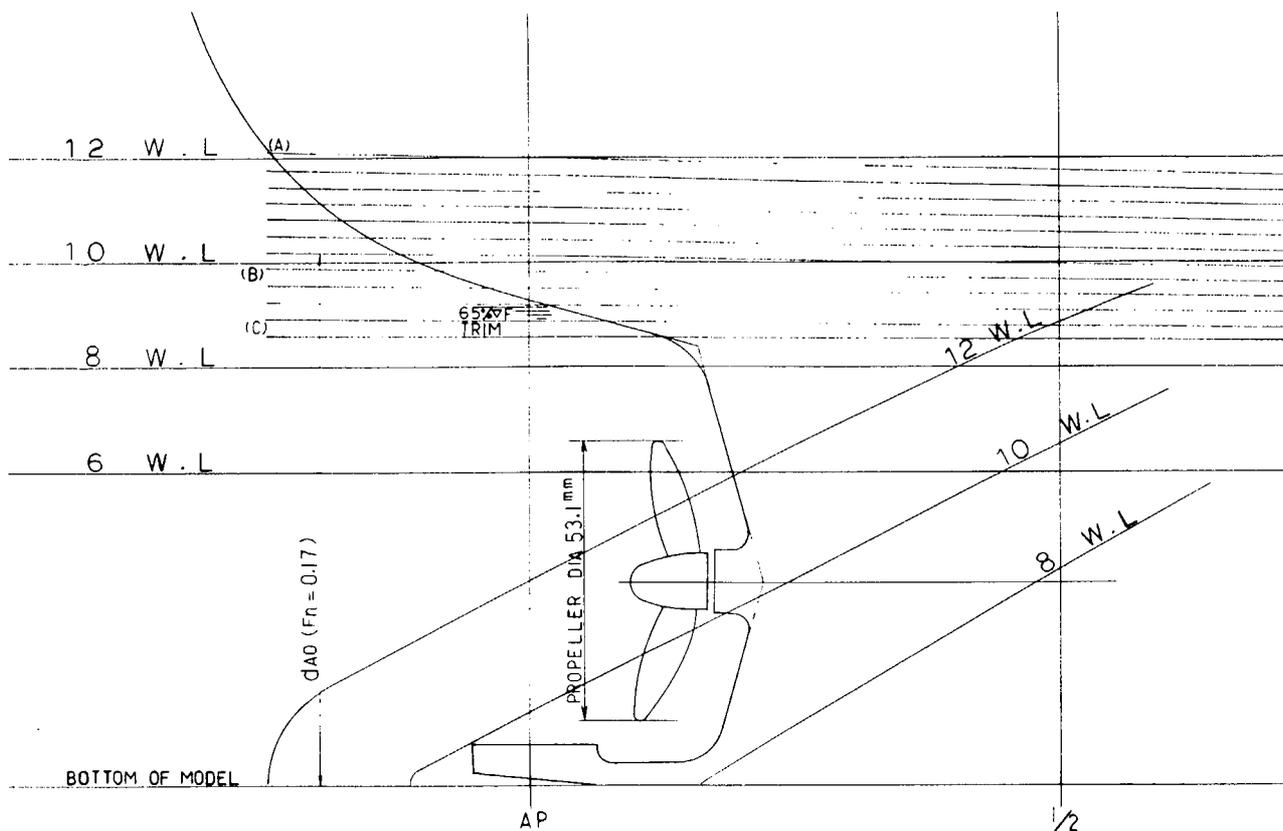


Fig. 5.3.2.4 Aft Draft at Measured Thrust Variation

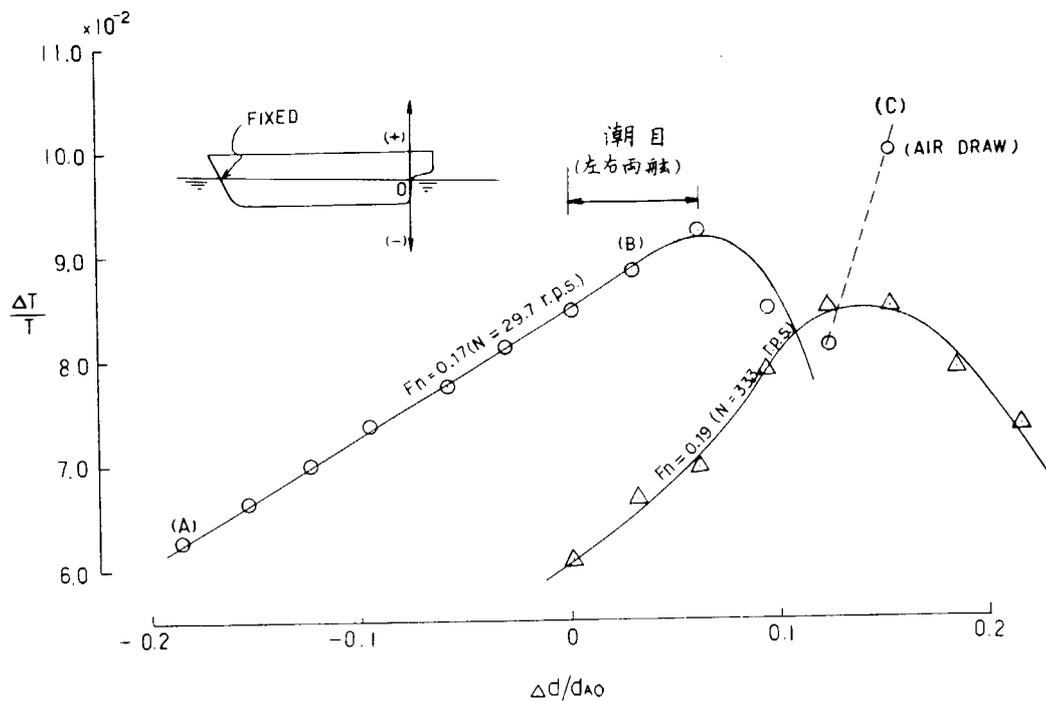
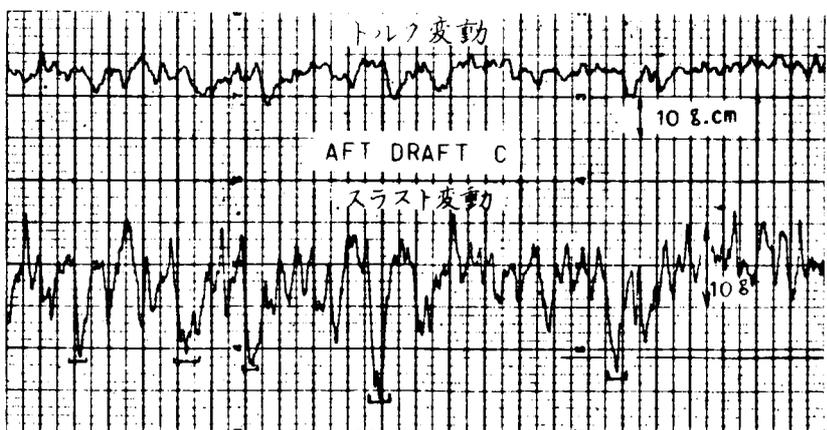
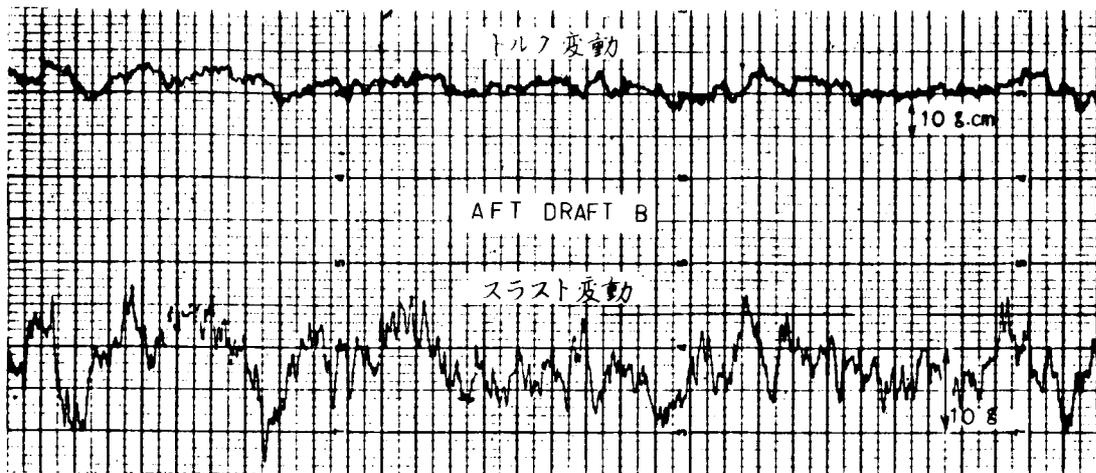
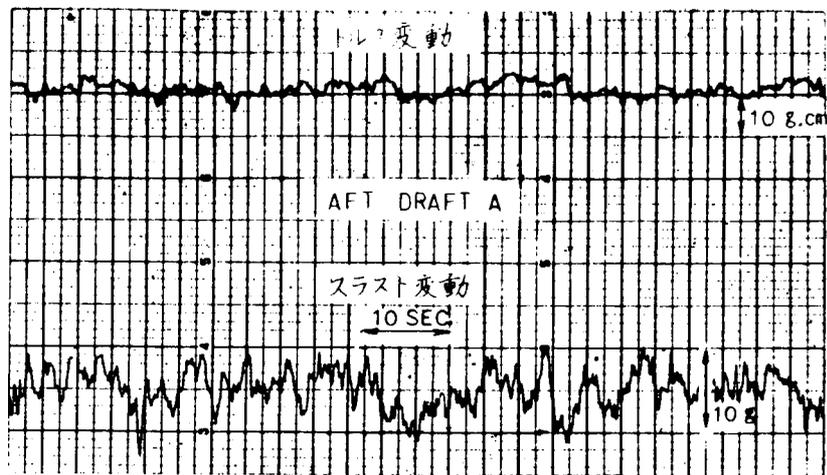


Fig. 5.3.2.5 Relation of Aft Draft and Thrust Variation

- (注1)  $\Delta T$ は Peak to Peak
- (注2) 符号は (-) が喫水の増加, (+) が減少を表わす。



(注)  
し AIR DRAWの場合

Fig. 5.3.2.6 Records of Thrust and Torque Variation

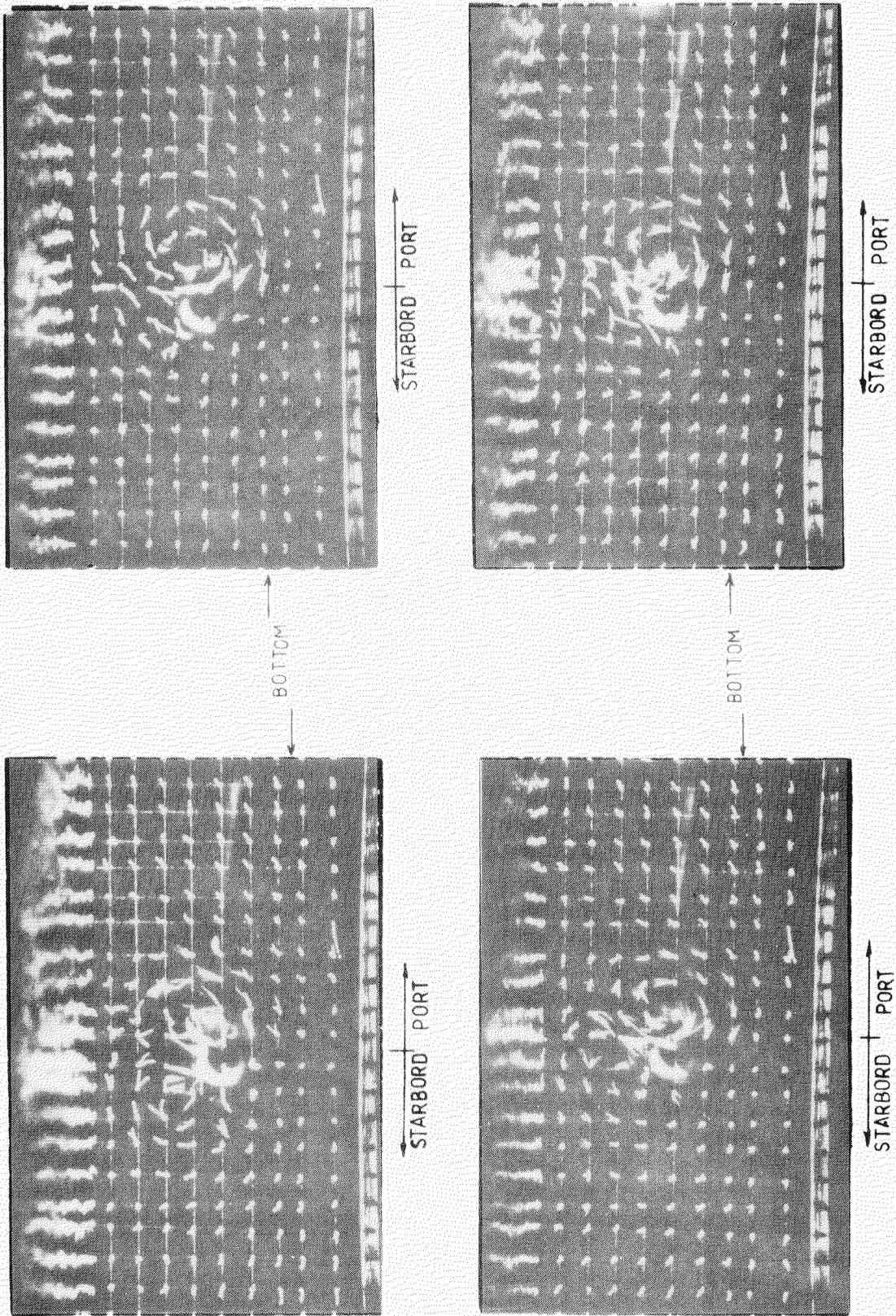


Fig. 5.3.2.7 Flow Pattern by Tuft Grid (Condition B Aft End)

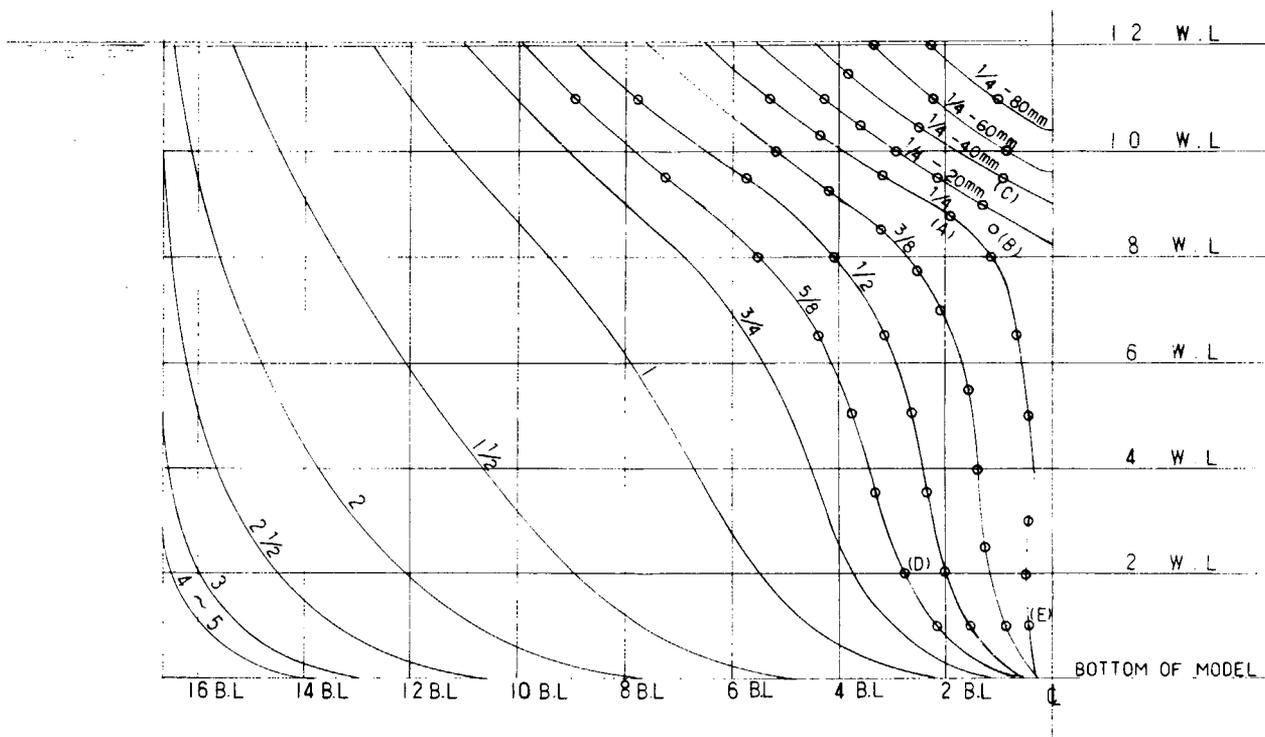


Fig. 5.3.2.8 Positions of Pressure Holes of a Hull Surface

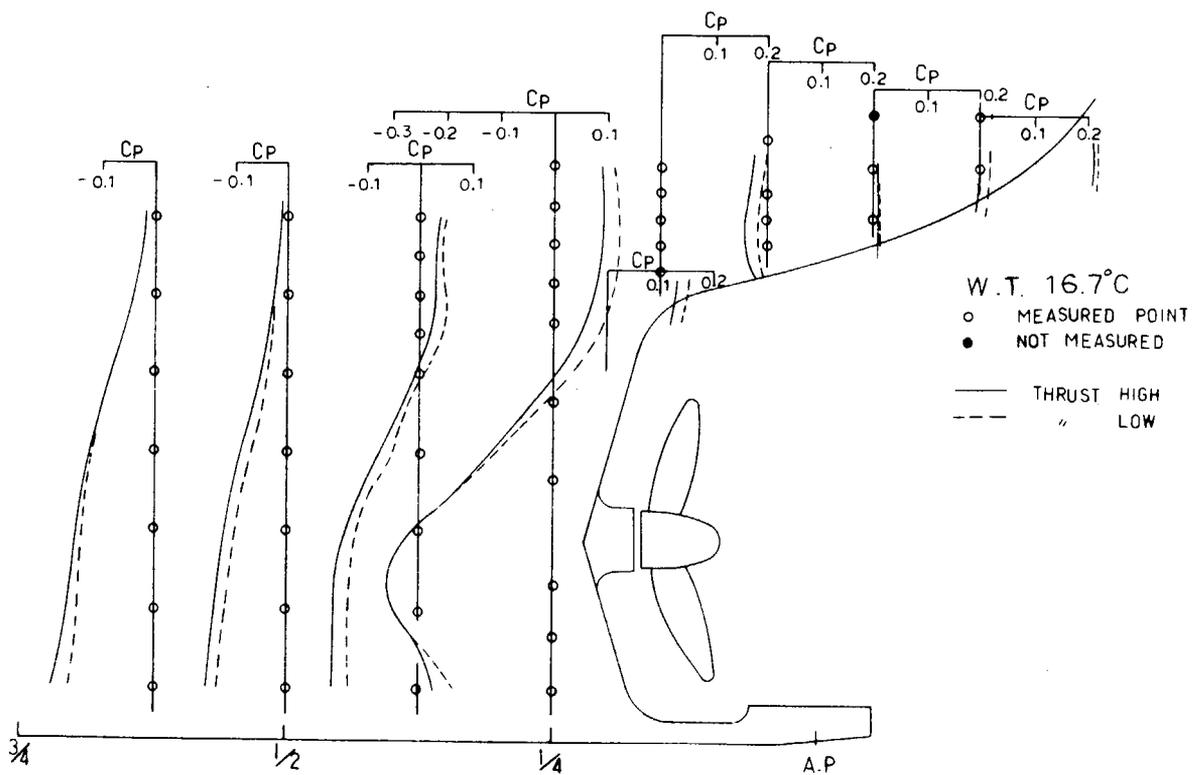


Fig. 5.3.2.9 Static Pressure Distribution (Starboard Side)

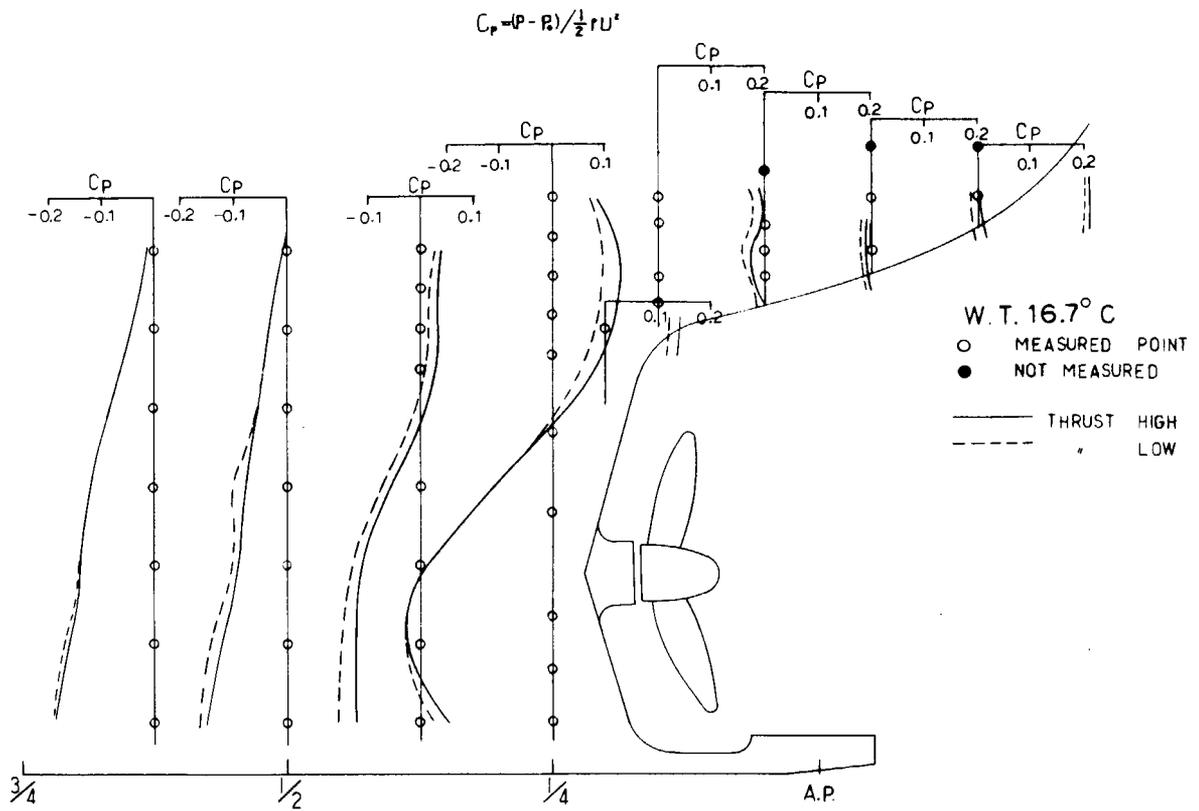


Fig. 5.3.2.10 Static Pressure Distribution (Port Side)

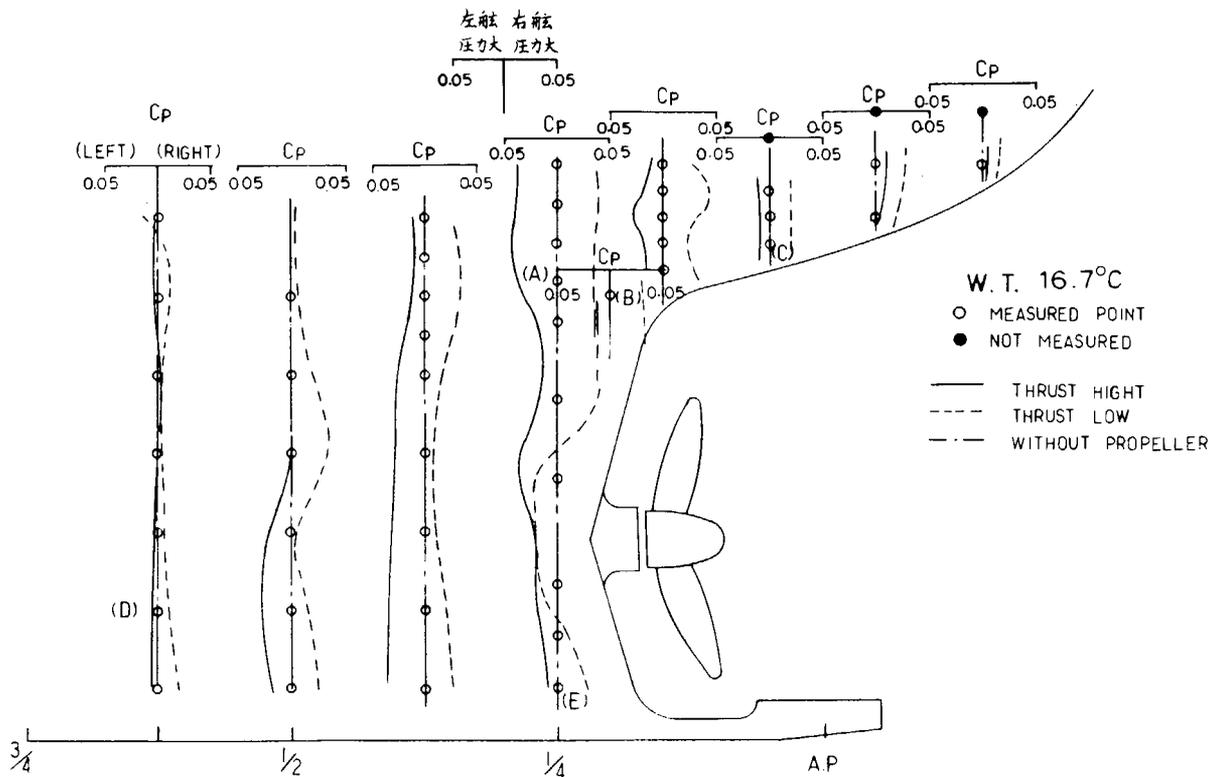


Fig. 5.3.2.11 Different Pressure between Right and Left Side

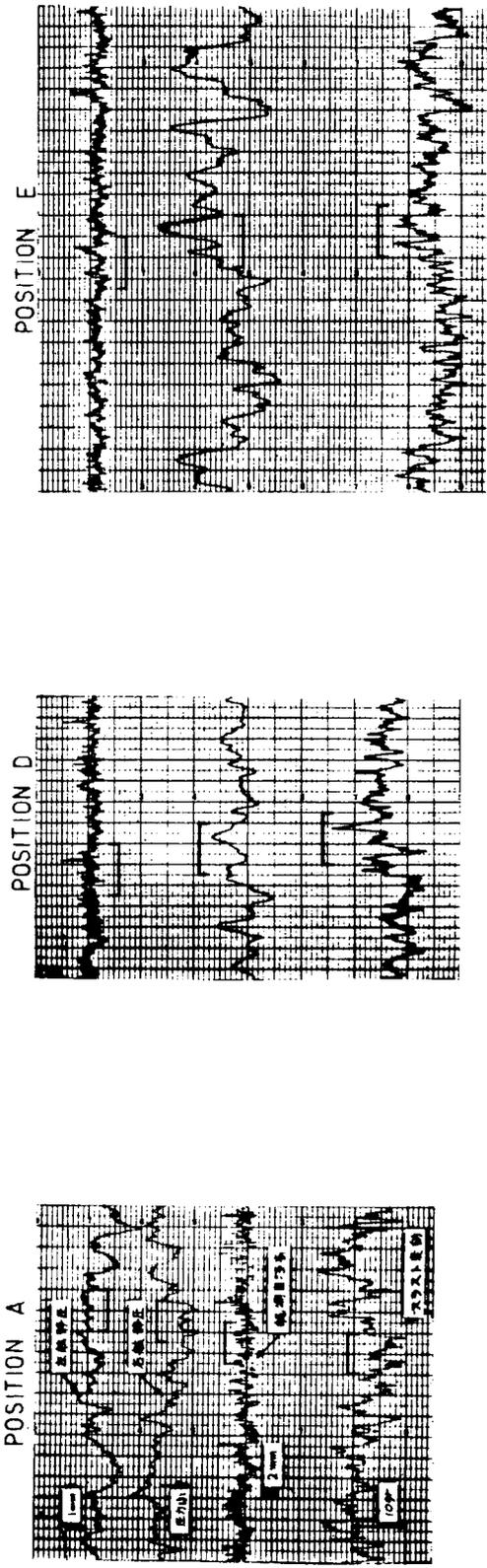
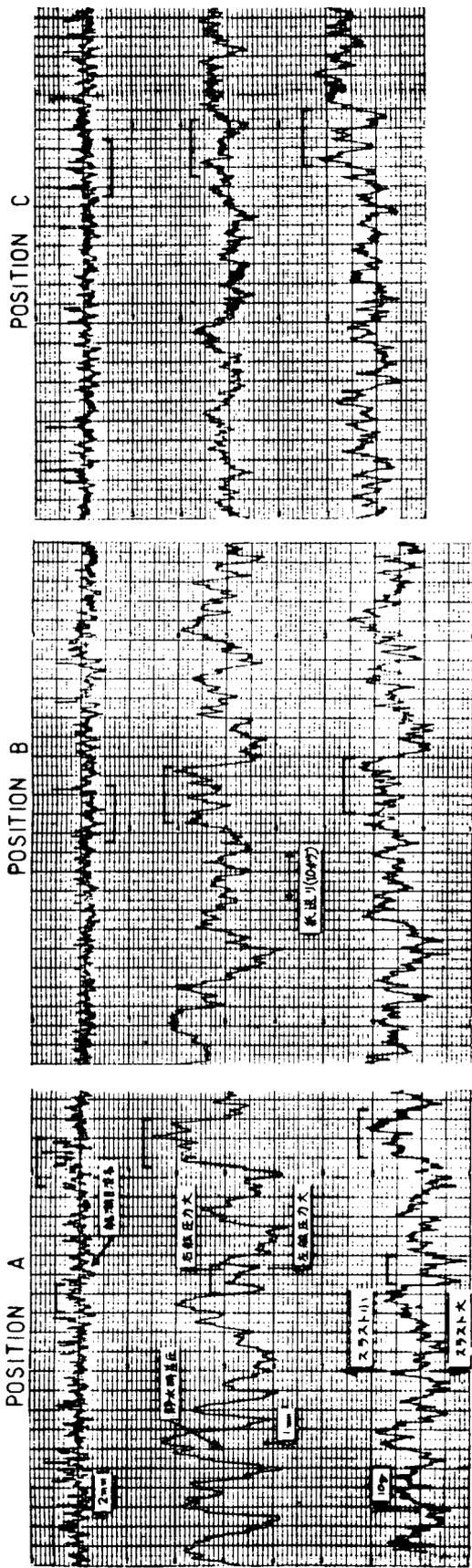


Fig. 5.3.2.12 Records of Pressure, Thrust and Wave Height Near Aft End

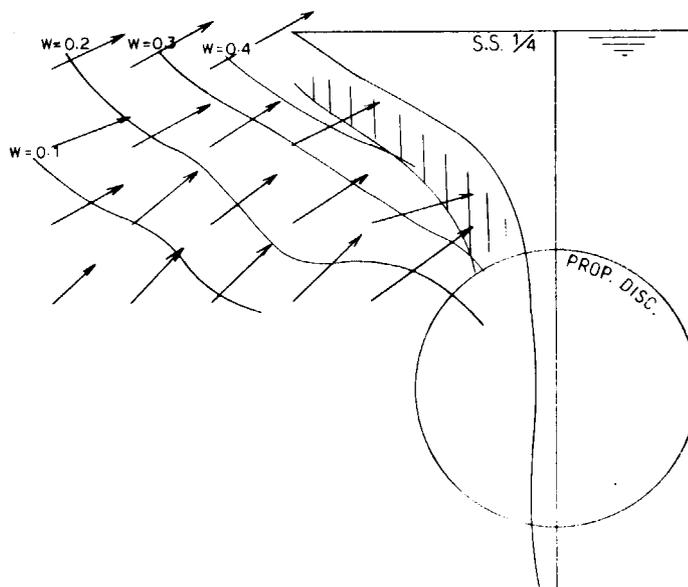
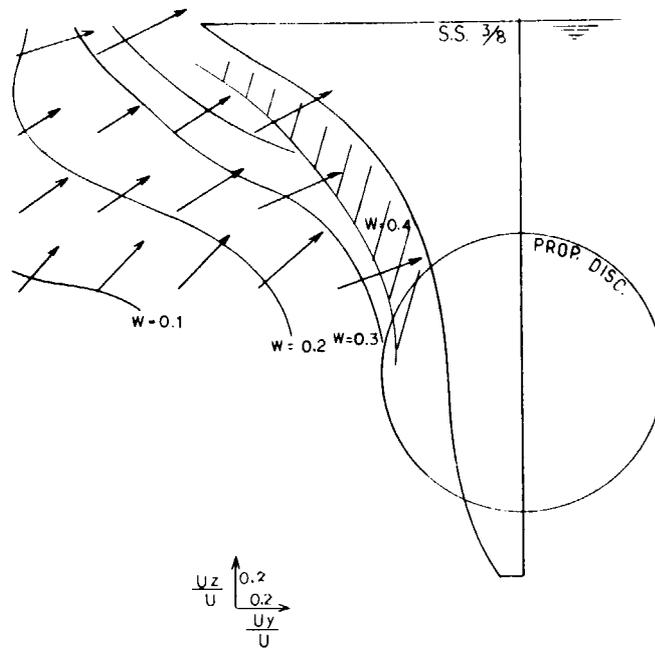


Fig. 5.3.2.13 Velocity Vector

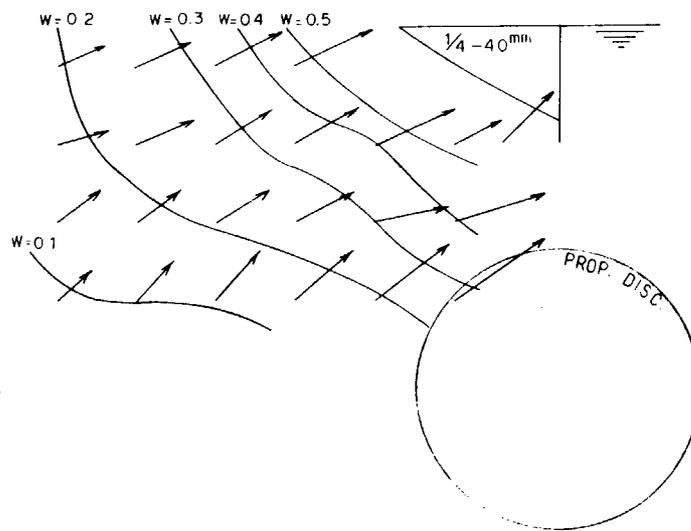
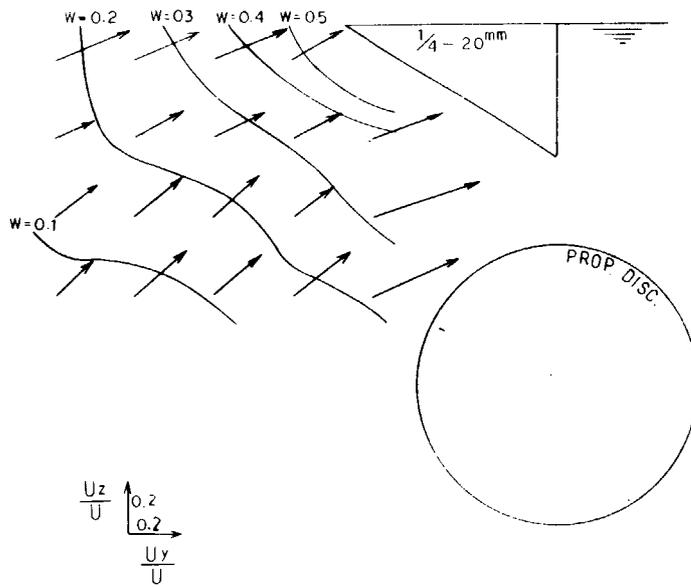
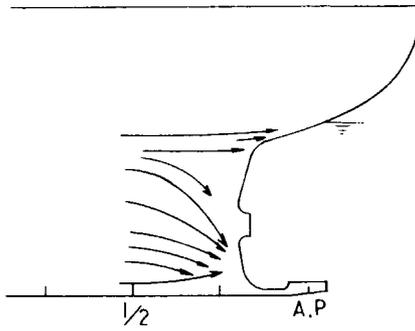


Fig. 5.3.2.14 Velocity Vector

WITHOUT PROPELLER



WITH PROPELLER

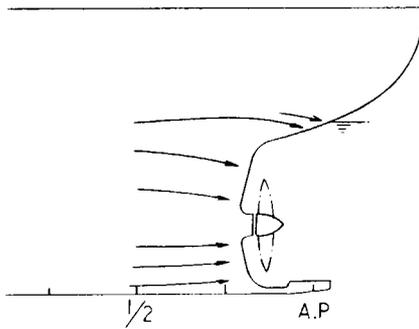
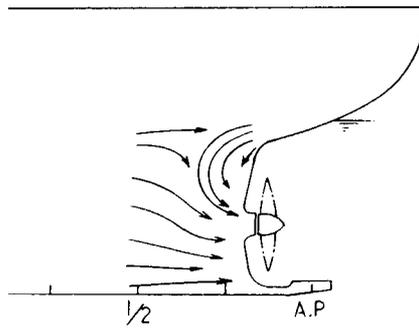


Fig. 5.3.2.15 Flow Pattern

### 5.3.3 回流水槽における実験と計算

3次元境界層理論の実用化を目指す上で、船尾流場に対するプロペラの吸込みの影響を調べることは重要な問題の一つである。以下では、プロペラ作動時の流場に対する境界層の計算と限界流線の可視化実験をSRの船型について行い、プロペラが無い状態と比較検討した結果について述べる。

#### (1) 計算法の概略

ポテンシャル流れの計算法として、まずプロペラ無しの船体周りの流場計算にHess-Smith法を用いた。プロペラの影響については、主に中武・山崎<sup>1)</sup>の方法によっているが、プロペラの表現としては無限翼数近似の螺旋渦を用いる中武の方法<sup>2)</sup>を用いている。また、造波、舵については考慮していない。境界層の計算に際しては、プロペラのみによる誘導速度をプロペラ無しの船体の速度場に加えた流れを、近似的にプロペラが有るときの流れと考え、これの船体表面上の値を用いて、奥野の方法により境界層の諸量を求めた。

#### (2) 計算結果および考察

まず、プロペラ単独状態について計算を行った。プロペラはSR159 4m 模型船に装備されているものと同一寸法とした。Fig. 5.3.3.1に単独性能の計算結果を示す。

有限翼数修正を計算式に施していないので、実験値(MHI)との一致は余り良くないが、定性的な議論を行うには差支えないものと考えられる。

計算に使用した船型は、SR159昭和50年度模型船(4m)とし、載貨状態は65% Loadのみ、さらに船速は $F_n = 0.18$  ( $V = 1.127 \text{ m/s}$ 、 $15^\circ \text{C}$  清水)とした。計算に必要な伴流分布は大阪大学の計測値(SR159資料2-11-2)を用いることとし、プロペラ面を半径 $r$ の方向に $r_B$ (ボス半径)から $R$ (プロペラ半径)までを4等分、周方向( $\theta$ とする。船首に向かって反時計まわりを正、鉛直上方を $0^\circ$ )に8等分の計32の要素に分割し、各要素の中央で、船長方向の流速比 $V_x/V_M$ 、周方向の速度比 $V_\theta/V_M$ を読み取った。その結果をFig. 5.3.3.2に示す。読み取った値にはバラツキが若干あるが大きな非対称性は出ていない。伴流分布の面積平均値は $W_n = 0.604$ となった。また、 $V_\theta$ については、 $\theta = 90^\circ$ 、 $270^\circ$ 付近の $r/R$ の違いによる差は船尾渦の影響であり、これもまた左右同程度の値である。

これらのデータを用いて自航要素の計算を行った。船体抵抗はMHIの実験値( $R_M = R_{TM} - SFC = 0.642 \text{ kg}$ 、 $SFC = 0.383 \text{ kg}$ 、 $F_n = 0.18$ )を用いた。計算結果の一例をTable 5.3.3.1に示す。計算値との一致は余りよくないが、これはプロペラ単独特性の差によるものと思われる。

同様の計算を荷重度を変えて行った結果をFig. 5.3.3.3に示す。荷重度の増大と共に $1-t$ が増大するが、 $We$ や $\eta_r$ は余り変らないという傾向は中武・山崎らの結果<sup>1)</sup>と同様である。Fig. 5.3.3.3にはこの時の横力 $Y$ の計算値も示してある。このような計算では船体に働く横力 $Y_H$ よりもプロペラに働く横力 $Y_P$ の方が大きいようである。 $Y$ の値は正、即ち右舷向きであるが、実験値( $2Y/\rho V_M^2 \nabla^{2/3} = 0.003 \sim 0.004$ )と較べて1桁低い。この横力の値は伴流分布の形状にかなり依存するようで、試みに右舷で $W_n = 0.55$ 、左舷で $W_n = 0.65$ 、 $V_\theta \equiv 0$ とにおいて計算すると、 $Y$ の値は負( $Y'_P = -0.162 \times 10^{-3}$ 、 $Y'_H = -0.205 \times 10^{-3}$ 、 $Y' = 0.367 \times 10^{-3}$ 、 $Y'$ は $\frac{\rho}{2} V_M^2 \nabla^{2/3}$ で無次元化した値を示す)となった。伴流分布と横力の関係についてはさらに研究が必要であろう。

ポテンシャル計算による船尾の流速の分布をFig. 5.3.3.4に示す。プロペラは $SS^{1/8}$ におき、荷重度 $C_T (=T/\rho V_M^2 D^2) = 0.56$ の状態である。この場合、プロペラ誘導速度の左右舷での差はほとんどなかったので、左舷の値のみを図に示してある。 $SS^{1/2}$ より後方にプロペラの影響が現れており、プロペラ吸込みによる流向の変化よりも速度の増加の傾向が強いように見受けられる。水面近くのプロペラ直上あたりでの吸込み量は流速の絶対値に比較して小さいようである。

境界層計算で得られた局部摩擦応力  $C_f (= 2\tau_w / \rho V_M^2)$  のベクトルの側面投影図を Fig. 5.3.3.5 に示す。プロペラ無しの場合、SS 0.35 あたりの水面付近で  $C_f$  の絶対値が小さくなり、それ以後の断面では計算値が発散し、数値計算上、剝離が生じたものと解される。一方プロペラが有る場合には、 $C_f$  の方向は全体としてプロペラの方に向かい、また速度増加のため  $C_f$  は増大し、剝離位置は後退する。すなわち、プロペラの前では、プロペラは境界層の剝離を防ぐ効果があることが示されたわけで、ある程度予想されていた結果といえよう。プロペラ位置の後方、水面近くの事情については、境界層計算が不可能であったが、ポテンシャル流れの計算値でみる限り、その辺りの速度減少（プロペラによる）は差程大きくないようである。

SS  $1/2$  および SS 0.35 における境界層諸量（運動量厚さ  $\theta$ 、形状係数  $H$ 、2次流れ角  $\beta$ 、摩擦応力  $C_f$  の絶対値）などを Fig. 5.3.3.6、Fig. 5.3.3.7 に示す。プロペラの存在により、 $\theta$ 、 $H$  などが減少し、 $C_f$  が増加している。厚さが減少しているため、 $\beta$  も減少している。

### (3) 限界流線の可視化実験

SR 159、昭和51年度模型船（2m）について、油膜法により表面流線を可視化する実験を行った。65% Load での実験結果の写真を Fig. 5.3.3.8 および 9 に示す。試験状態は  $Fn = 0.18$ 、プロペラ有りの場合回転数は  $n = 1200$  rpm で ship point に対応している。この写真をもとに限界流線を追跡（free hand）した結果が Fig. 5.3.3.10 および 11 である。プロペラ無しの状態では左右舷であまり差がないが、プロペラが有る場合、右舷は比較的 smooth な流れとなり、左舷では油膜跡が不鮮明で剝離に近い状況があるのではないかとと思われる。また、この状態は潮目の観察や推力値から「推力が大なる流れ」であることが判っている。また、プロペラ前方の流れは右舷については顕著な剝離が消えており、前節の境界層計算結果の傾向とも合っているが、左舷についてはそのような事情は見受けられず、プロペラの有る場合、剝離線の位置が下方に移動したことが見られるのみである。

### (4) まとめ

プロペラの吸込みの影響を調べるため、計算と実験を行った。理論計算の結果、

- i) 4m 模型で得られた伴流分布を用いた計算では横力は右舷方向にできるがその値は実験値より一桁小さい。
- ii) ポテンシャル計算では吸込みによる流速増加が SS  $1/2$  より後方で顕著で、流向の変化は僅かである。
- iii) これを用いた境界層計算では、プロペラ前方の境界層厚さは薄くなり、剝離が発生しにくくなる。などのことが明らかとなった。また、限界流線の実験ではプロペラの存在により左右の流線模様には差が現われた。

このように、不安定流場の発生機構については適切な結論を得ることができなかつたが、境界層特性についてはほぼ妥当な結果が得られた。

### 参考文献

- 1) 中武一明、山崎隆介、船論 138号（昭50.12）
- 2) 中武一明、西船報 第34、36、37号（昭42.7、43.7、44.2）
- 3) 奥野武俊、船論 139号（昭51.6）

Table 5.3.3.1 Self Propulsion Factors

	calculated	measured
$n$ (r.p.s)	13.7	13.27
$1-t$	0.652	0.779
$1-w_e$	0.415	0.324
$\eta_r$	0.985	1.046
$C_T (= \frac{T}{\rho V_M^2 D^2})$	0.560	0.468

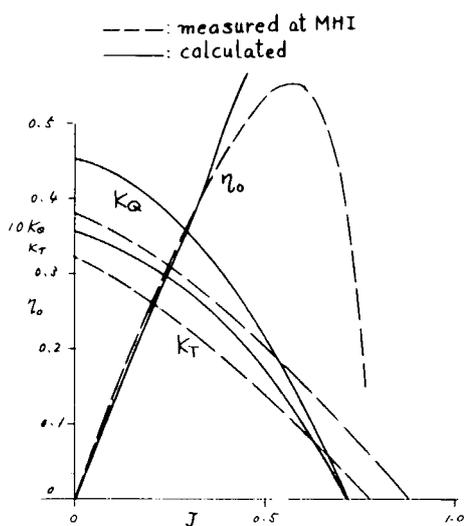
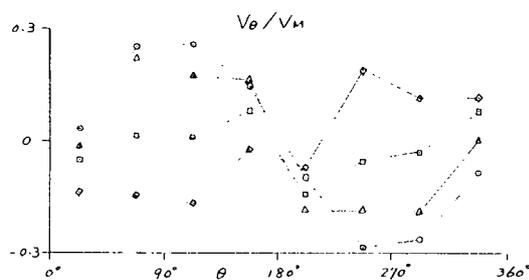
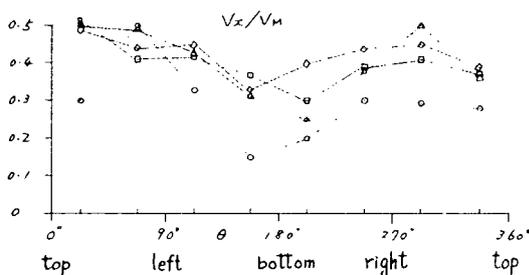


Fig. 5.3.3.1 Analysis for Open Test Condition

mark	○	△	□	◇
T/R	0.283	0.487	0.693	0.897



model: SR159 parent form, 4m Lpp  
original data: measured at Osaka Univ.

Fig. 5.3.3.2 Flow Velocity at Propeller Disc (SS 1/8)

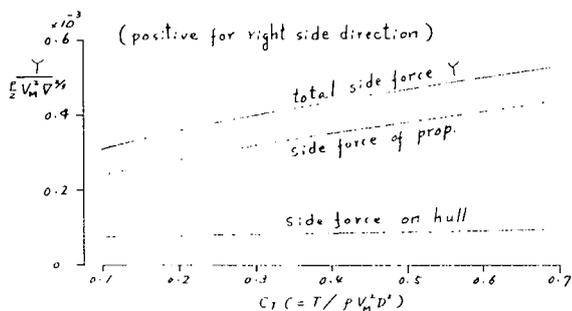
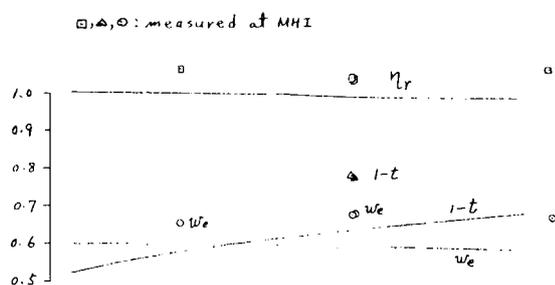


Fig. 5.3.3.3 Side Force and Self Propulsion Factors (Fn = 0.18)

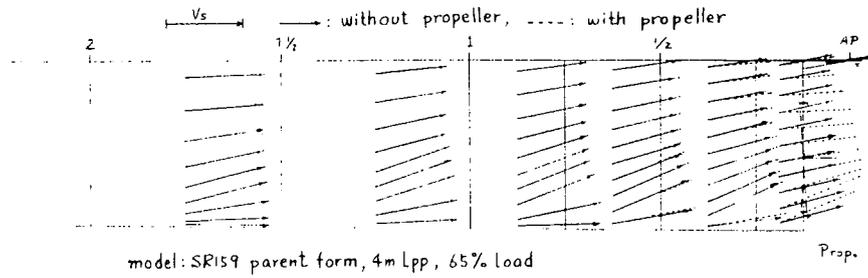


Fig. 5.3.3.4 Potential Flow Velocities with and without Propeller

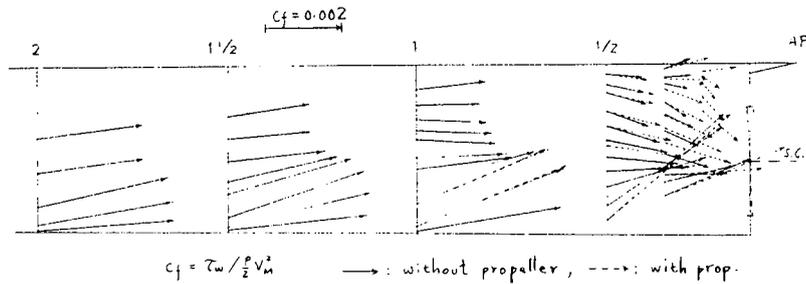


Fig. 5.3.3.5 Distribution of Skin Friction Vector

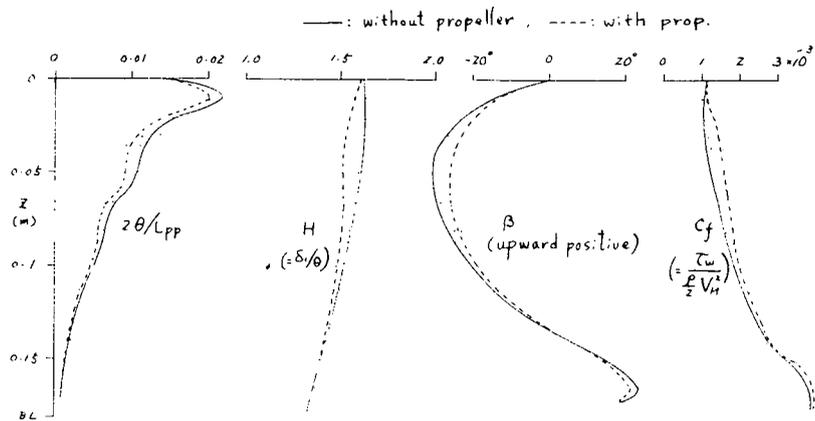


Fig. 5.3.3.6 Boundary Layer Solutions at SS 1/2

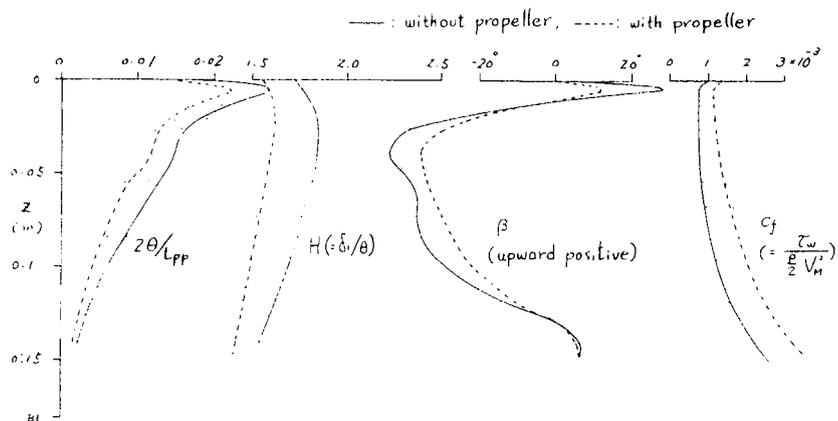
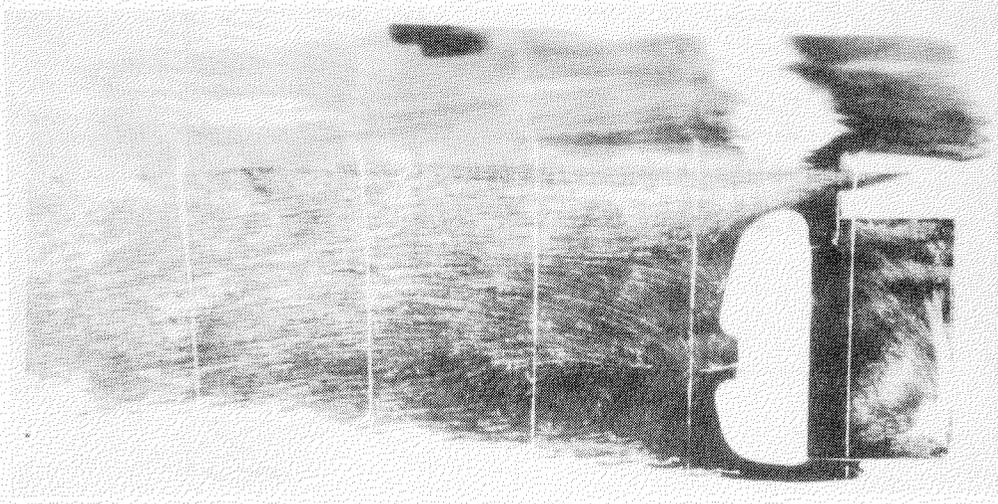
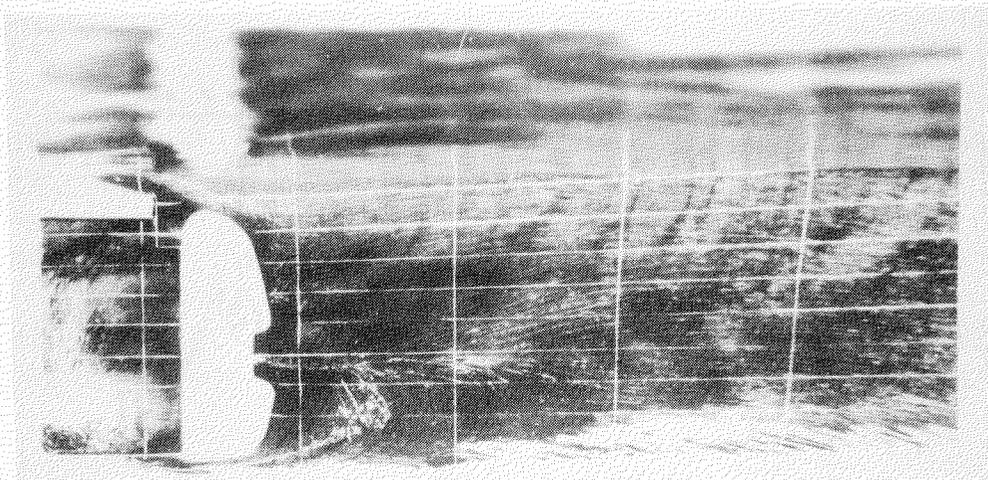


Fig. 5.3.3.7 Boundary Layer Solutions at SS 0.35



Port Side



Starboard Side

Fig. 5.3.3.8 Side View of Limiting Streamlines without Propeller

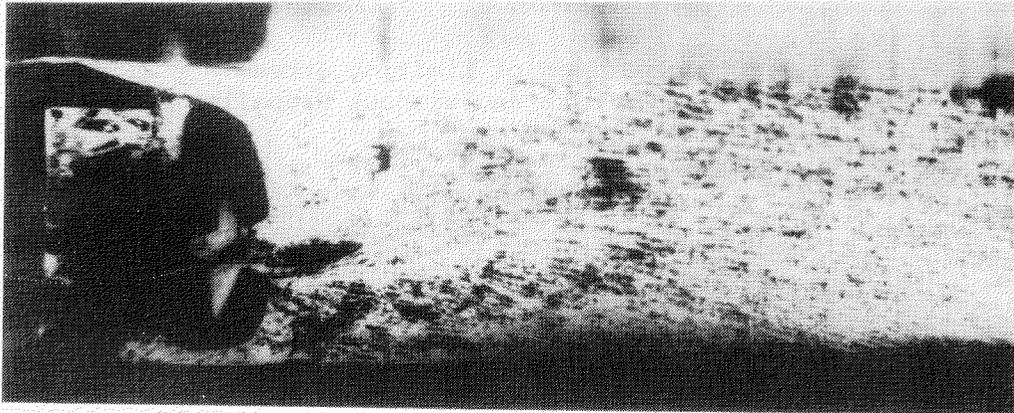
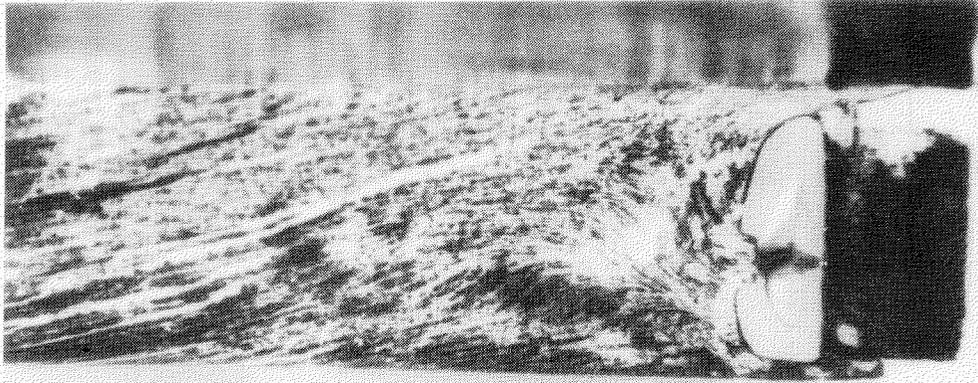


Fig. 5.3.3.9 Side View of Limiting Streamlines  
with Propeller

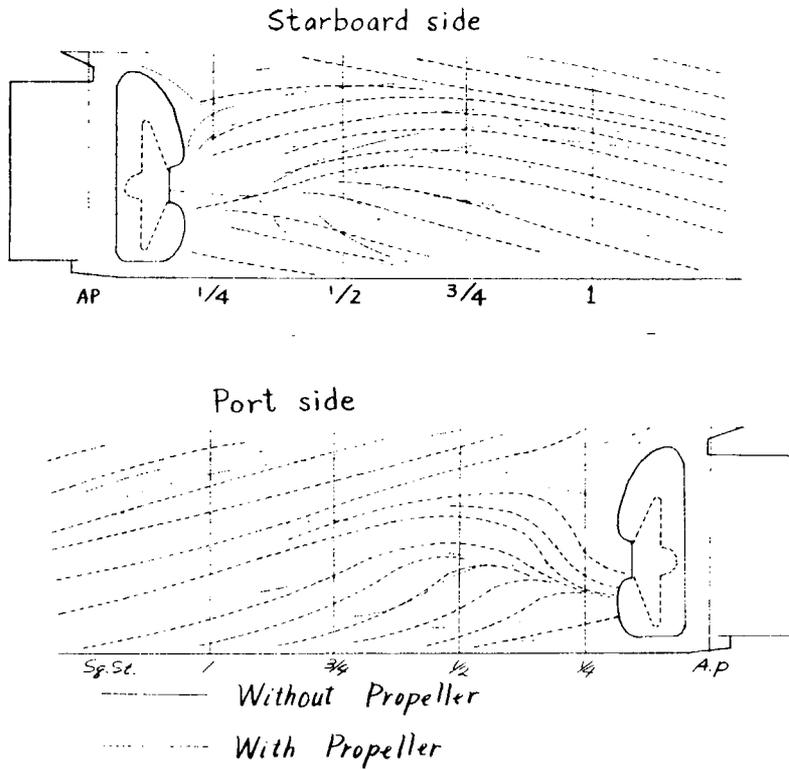


Fig. 5.3.3.10 Comparison of Limiting Streamlines with and without Propeller

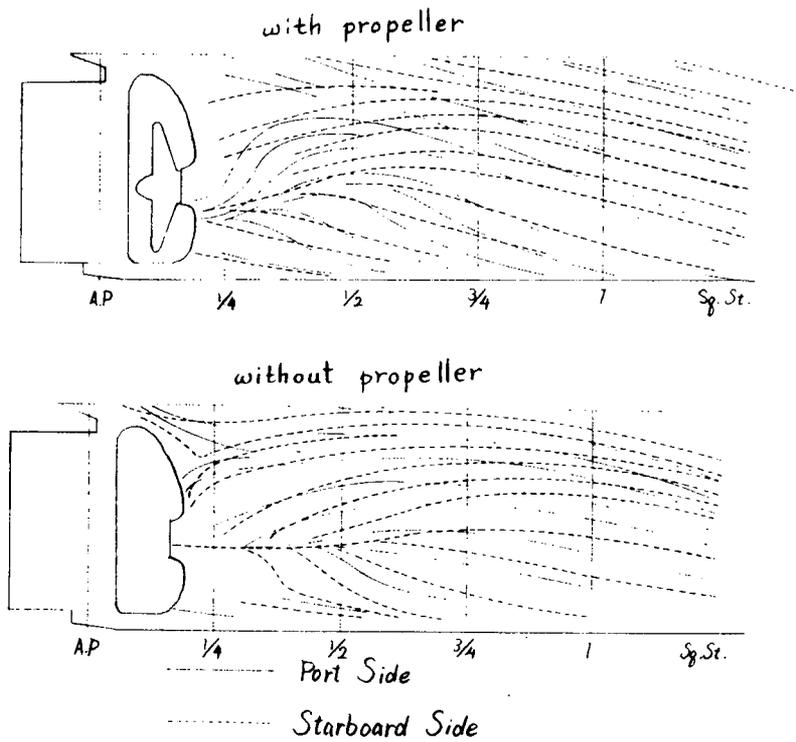


Fig. 5.3.3.11 Comparison of Limiting Streamlines on Port and Starboard Sides

## 5.4 7 m 模型船による実験と考察

### 5.4.1 供試模型船

50年度船型の7 m木製模型船及びその模型船のプロペラと舵の上方に Fig. 5.4.1 に示すような仕切板を付けた模型船の2種類を使用した。仕切板付との比較試験を実施した理由は不安定時には仕切板の位置を通して左右舷の流れの流通があるので、これを遮ったときの影響をみることで、5.2節の試験目的と同様である。なお模型プロペラは次の代用プロペラを使用した。

直径 : 205 mm ( 204.2 mm )

ピッチ比 : 0.715 ( 0.7143 )

ボス比 : 0.180 ( 0.180 )

但し、( )内数値は50～51年度の持ちまわり試験用プロペラの要目である。

### 5.4.2 試験状態

試験状態は52年度に実施したプロペラ直前の流れ(総圧)の計測と同様に下記の55%とした。

排水量 : 1.5229 Ton

吃水(艀) : 0.2433

トリム : 1.5% L

これは、この状態が一般走中にスラストが大きい方と小さい方に移り変ることが多く、44%と65%の2状態の試験に比べ、時間当りの計測効率が良いことによるものである。

また速力は、 $V = 1.0 \text{ m/s}$  ( $F_n = 0.121$ )、プロペラ回転数  $N = 6.2 \text{ RPS}$  を基準とし、必要に応じて  $V = 1.3 \text{ m/s}$  ( $F_n = 0.157$ )、 $N = 8.2 \text{ RPS}$  についても試験したが、顕著な差がみとめられなかったので、本報告では  $V = 1.0 \text{ m/s}$  の結果について図示する。

### 5.4.3 試験及び試験結果

#### (1) プロペラ及び舵上方の流向とスラストとの関係

前年度までの研究で、プロペラ上方の流れがスラストの不安定な変動と関係が深いことがわかったので、これを定量的に確認するために Fig. 5.4.2 に示すように吹流し型の流向計を2ヶ所に取付けた。

舵上方 ( Fig. 5.4.2 の B 位置 ) の流向、 $\theta$  とスラスト、 $T$  の変動の関係を示す計測例を Fig. 5.4.3 に示す。こゝでは振幅約  $60^\circ$  の大きな流れの変動があり、これはスラストの変動に非常に良く対応している。プロペラのない曳航状態の  $\theta$  の変動はこれに比べて小さい。

プロペラ上方 ( Fig. 5.4.2 の A 位置 ) では、水は右前方に向かって逆流しており、流向計設計の際にはこのことを予想していなかったため、自航を開始すると同時に A の吹流し板は右前方を向き船体に接触し、流向の変動は計測出来なかった。そこでこの流向計の軸の直下にタフトを取付けて観測したところ、こゝではかなりの流向変動を伴いながら右前方に逆流していることがわかった。

また、舵・プロペラ上方即ち上記流向計の位置に仕切板を取付けたときは、スラストの変動も小さく不安定現象は殆んどみとめられなかった ( Fig. 5.4.4 )。

#### (2) 船尾の水面(波紋)の観測

Fig. 5.4.5 右図に示すようなスラスト変動と時間を段階的に表示するランプパネルを船尾端に設置し、8ミリカメラにより船尾の水面と同時に撮影した。結果は前年度までの各所での計測結果と同様にスラストが大きくなったときは左舷後方に潮目が出ることを示している。

#### (3) 限界流線の計測

油膜法(流動パラフィン使用)による曳航状態と自航状態の限界流線を Fig. 5.4.6、5.4.7 に示す。斜下向きに流れている範囲が比較的広いことと、水面近くのプロペラ近傍の船体表面近くはかなり遅い

流れで、一部逆流があることなどが特徴である。

(4) タフト法による船体表面近くの流れの観測

船尾の左右舷に Fig. 5.4.10 の右上に示す 2 段式のタフトを適当に配置し、Fig. 5.4.5 に示すような舵の後端にスラスト変動と時間間隔を示すランプを並べ、水中 VTR、水中 8 ミリカメラ、水中 35 ミリカメラを用いて観測した。その写真の例を Fig. 5.4.8、5.4.9 に示す。Fig. 5.4.10 は数枚の写真のタフトの向きを重ねて記入したものである。この図でも VTR や 8 ミリカメラの記録と同様に S.S.  $\frac{1}{4}$  の上方がタフトの動きが激しく、S.S.  $\frac{1}{2}$  より前方はあまり動かないことを示している。VTR の記録からは、プロペラと水面に近いところのタフトの動きとスラストの変動とは相関がうかがわれる。プロペラの下前方及び S.S.  $\frac{3}{4}$  より前方はタフトの動きも少くスラスト変動との関係も明らかでない。

(5) ペイント流出法によるプロペラに流入する流れの観察

S.S.  $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{3}{8}$ 、 $\frac{1}{2}$  の水面近傍に 3 個 (No. 1、2、3)、S.S.  $\frac{1}{2}$  の下方に 3 個 (No. 4、5、6)、S.S. 1 の下方に 3 個 (No. 7、8、9) の船体表面上の孔から水性夜光ペイント (ポスターカラー) または油性ペイントを流出させ、その流れてゆく様子を前記タフト法と同時に観察した。Fig. 5.4.11 は、全流出孔からの流れの模様を重ねてスケッチしたものである。

特に注目すべきことは (No. 1、2、3) の孔からのトレーサーがプロペラの中央近くまで下降してプロペラに流入することで、プロペラの上方を横切って、船尾の所謂潮目に発展する不安定流れはこれよりもさらに水面近くのもの、または後方から廻り込んでくるものと考えられる。また、仕切板の有無ではトレーサーの流れ具合に明確な違いはみとめられない。

#### 5.4.4 考 察

以上の試験結果からの感想を次に述べる。

- (1) 一航走中にスラストが 2 つの異った値をもつ現象の直接原因となる船尾の不安定な流れは、比較的水面に近いところに存在する。プロペラ面に流入するビルジ渦が結果的に左右にゆらくことはあるにせよ、前方のビルジ渦発生機構の左右舷の差に不安定の要因はないように見える。
- (2) プロペラ上部の流れは変動が激しく、かつ複雑で一部には逆流さえもなっている。そして舵の上部のクリアランスを通過して左右舷に往き来する流れはスラストの変動と非常に良く対応しており、この流れの向きはスラストの大きいときは右まわりプロペラの翼の動きと逆に右舷から左舷に向っている。
- (3) この状態では満載状態に比べて排水量の分布の割合が水面近くに少く、且プロペラ上方のオーバーハング部の浸水度も少いので、斜上向きの流れの成分が弱い。一方ビルジ渦のためプロペラの前方の上部船体近傍では下向きの流れが強いところにプロペラの吸引力が働くので、大部分の流れは下方に向い易い。このためプロペラ上部は流速の遅いクリティカルな状態になる。
- (4) このような所に対して、プロペラが何らかの作用をするのであろうが、これは、左右非対称な吸引力なのか起振力程度の高次振動成分なのかはわからない。また、プロペラの作用は左右対称であっても、プロペラが無いもとの船体まわりの流れの不安定さを助長することもあるので、今後はプロペラの有無についてのさらに詳細な検討が必要であろう。

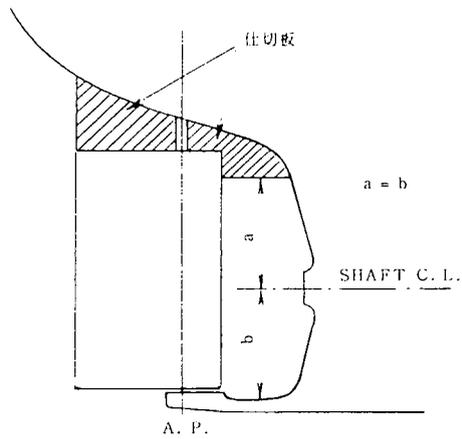


Fig. 5.4.1 仕切板

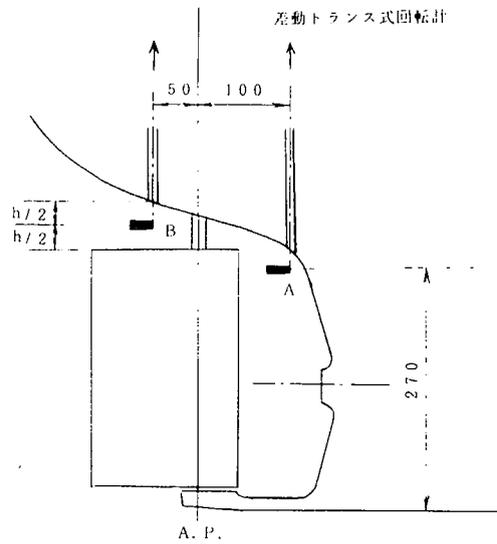


Fig. 5.4.2 吹流し型流向計取付位置

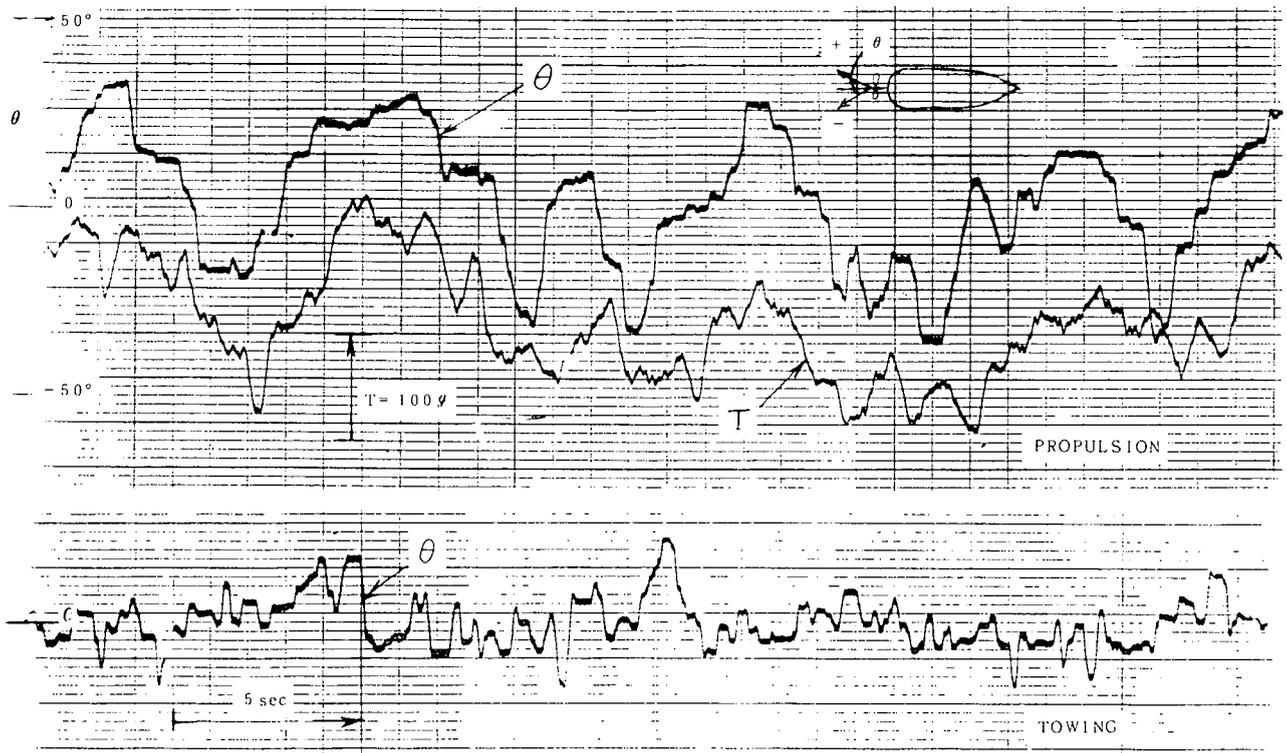


Fig. 5.4.3 舵上方の流向変動とスラスト変動 ( $V=1.0\text{m/s}$ )

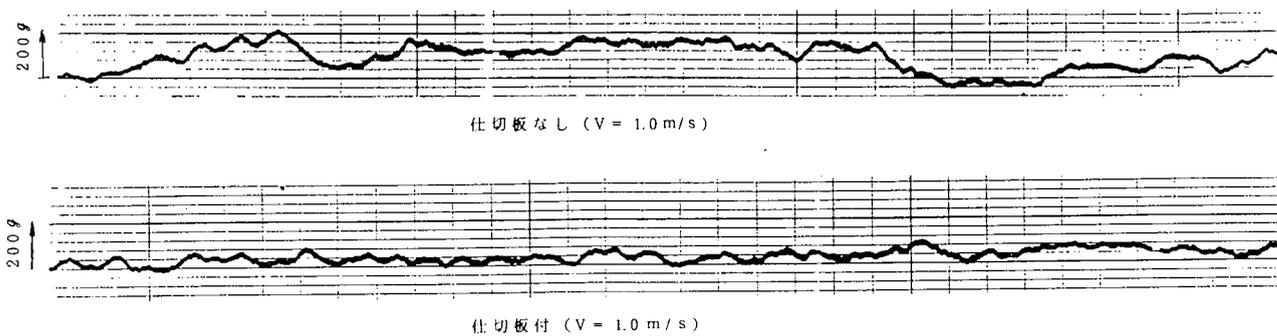


Fig. 5.4.4 仕切板の有無によるスラスト変動

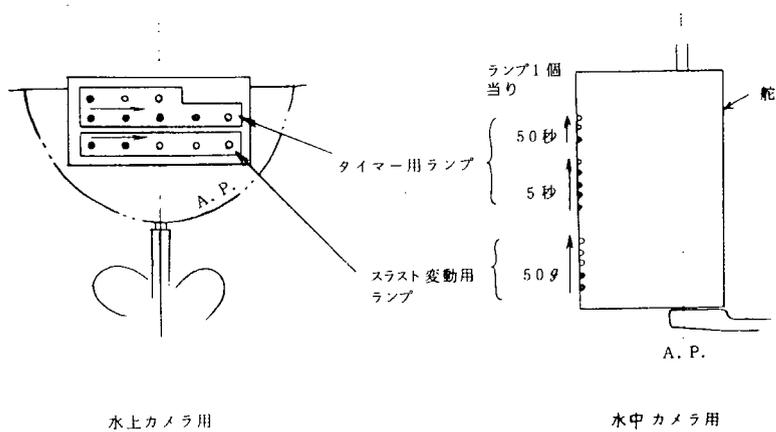


Fig. 5.4.5 スラスト変動及びタイプ指示ランプ

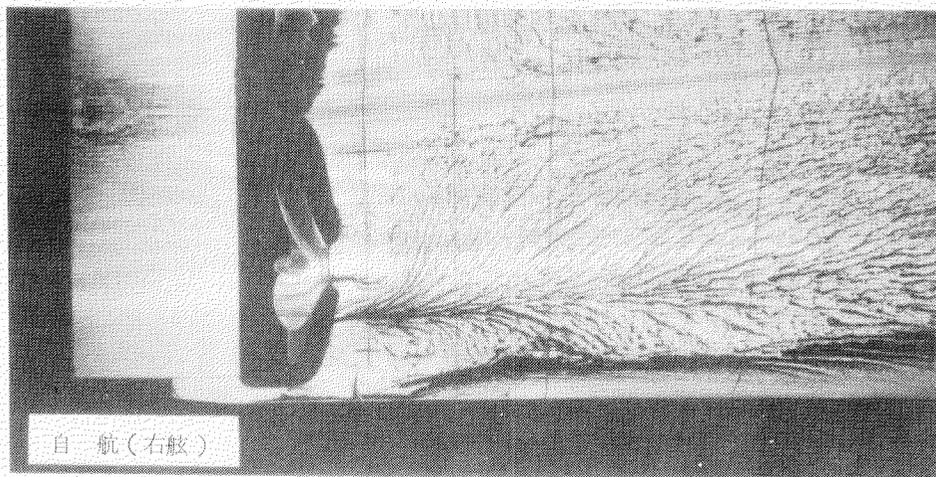
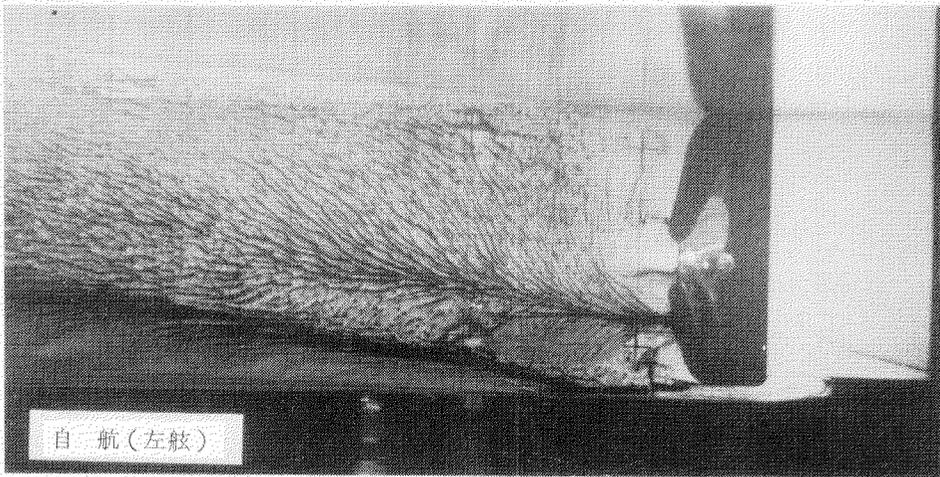
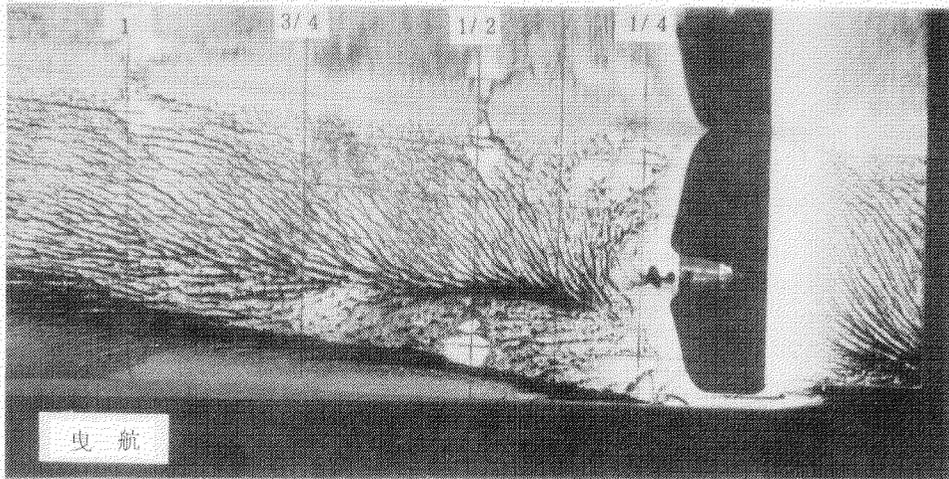


Fig. 5.4.6 限界流線(1/2)

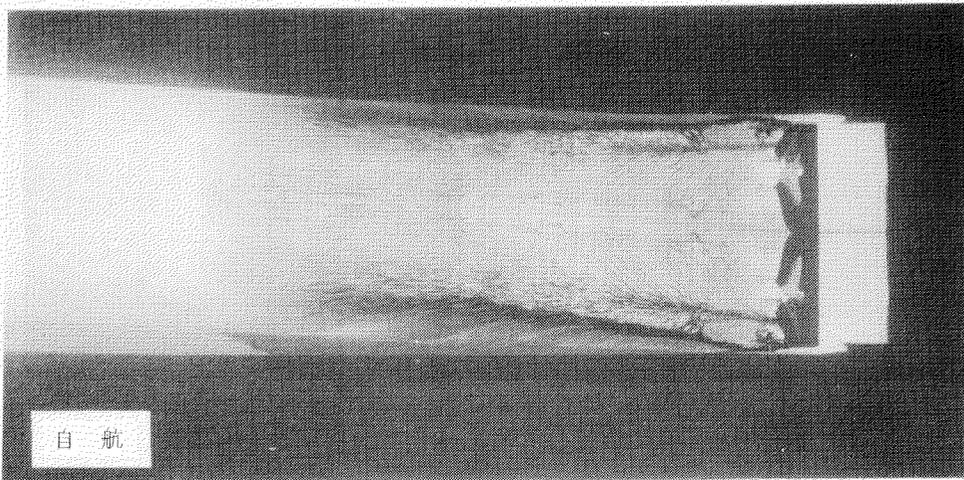
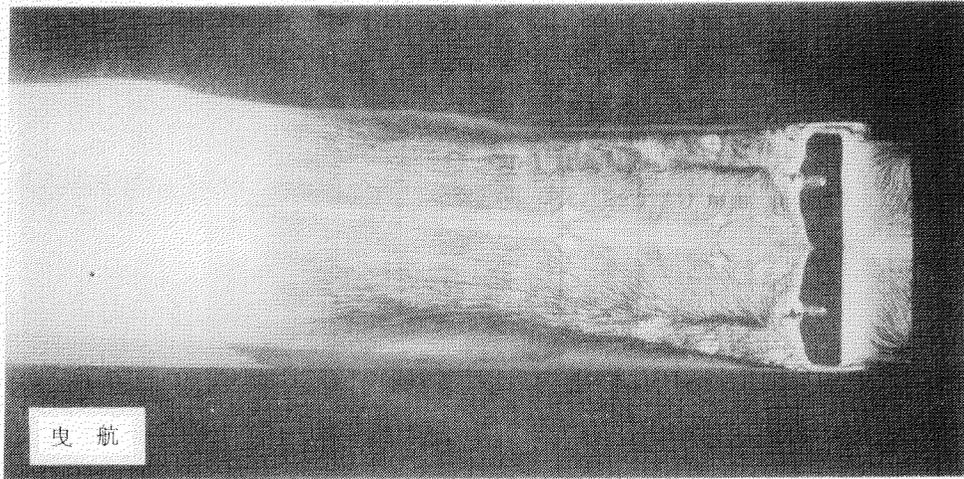


Fig. 5.4.7 限界流線(2/2)

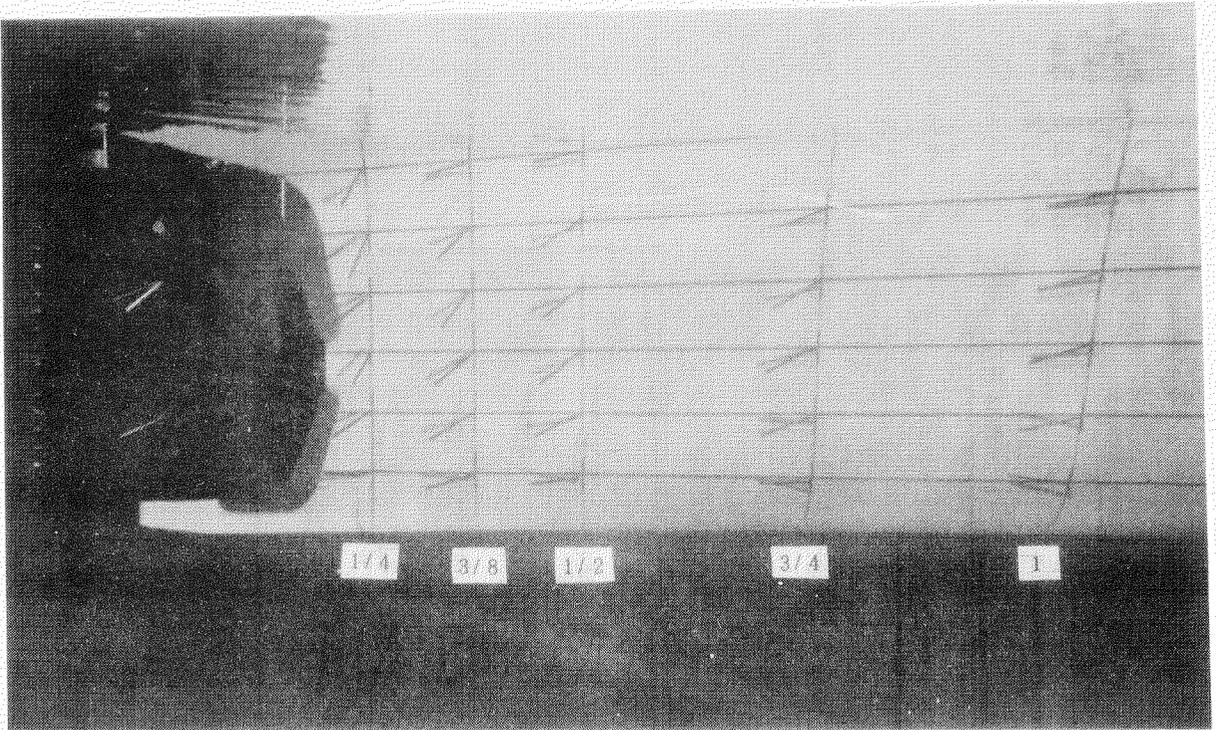


Fig. 5.4.8 タフト法による流線計測例(1/2)

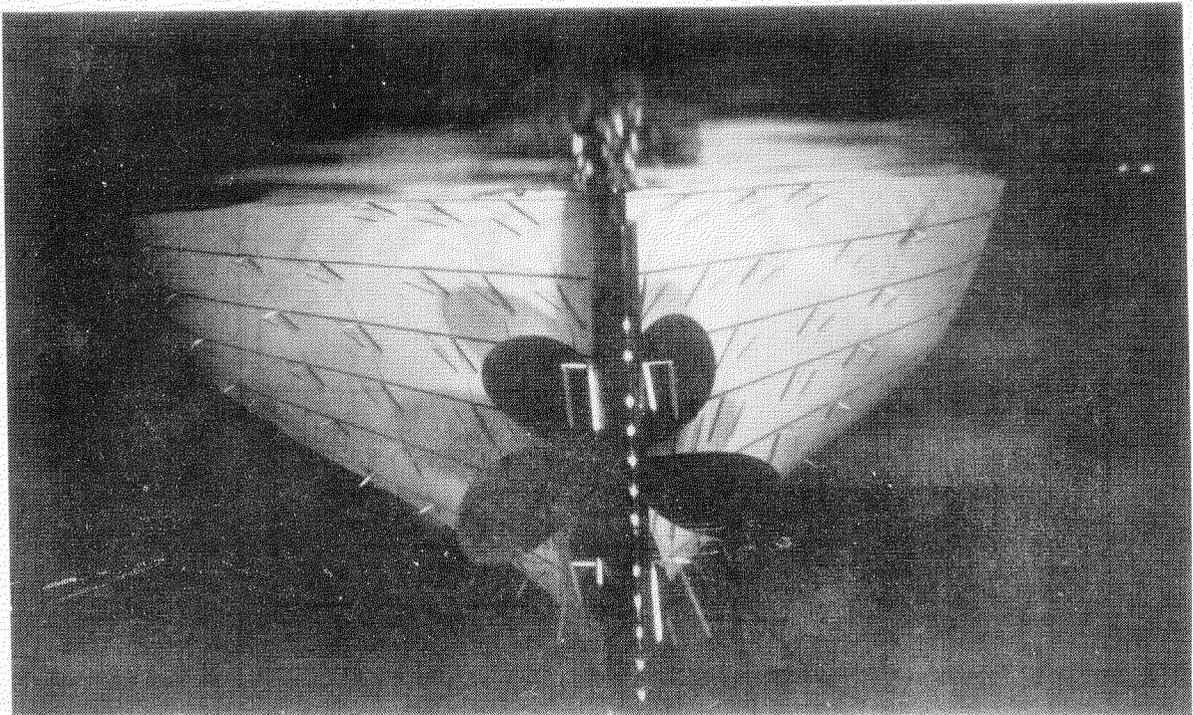
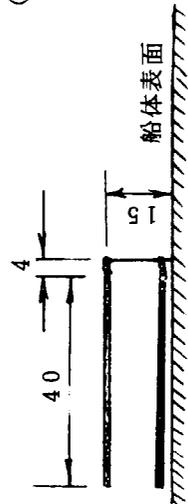


Fig. 5.4.9 タフト法による流線計測例(2/2)

(注) 船体中心線即ち  
スタンフレームの  
ものは長さ25mm  
のもの1本。



アクリル製  
角棒 { 赤色  
          { 黒色

記号 ; ..... 赤棒  
          — 黒棒

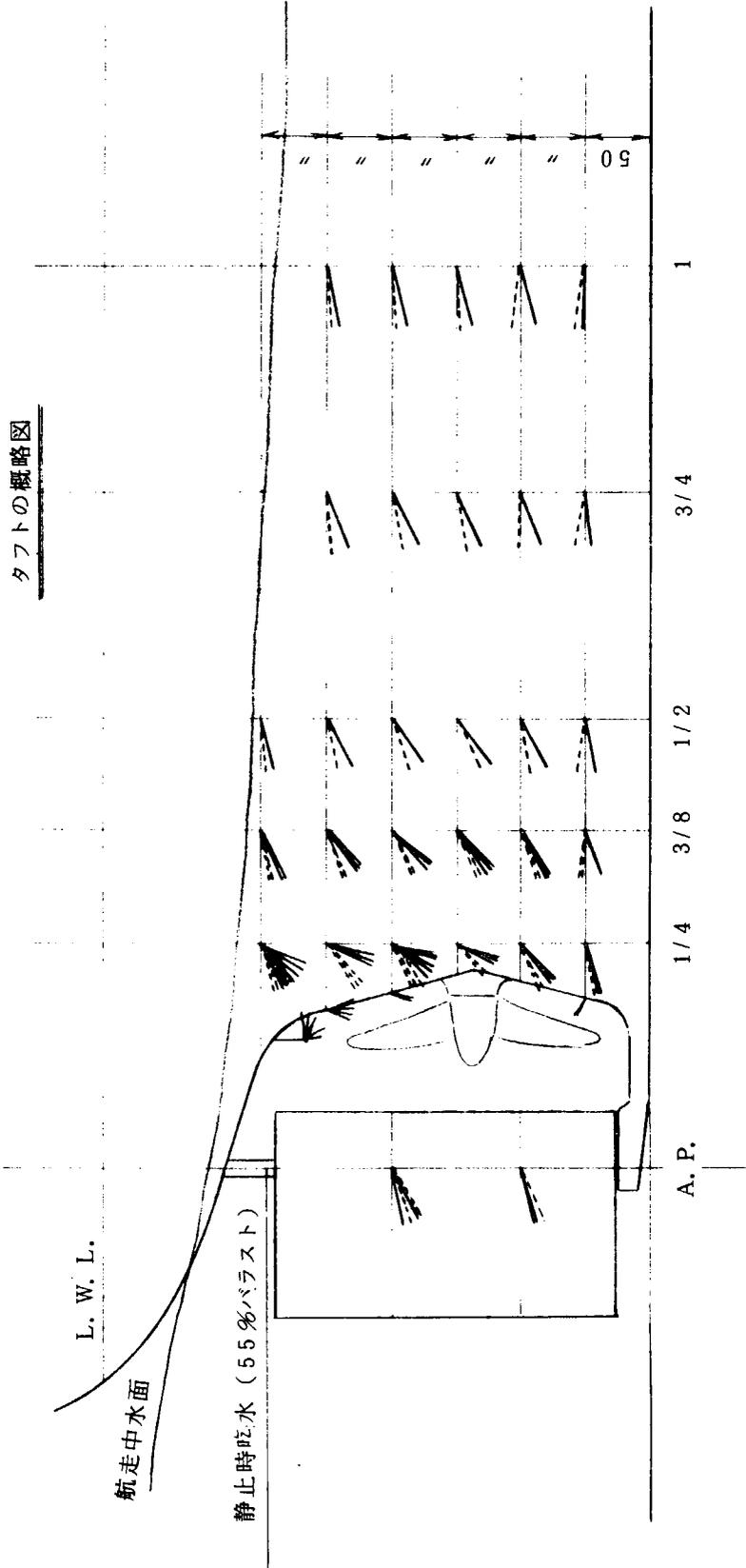


Fig. 5.4.10 タフト法による船体表面近傍の流向 ( $V=1.0\text{ m/s}$  自航中)

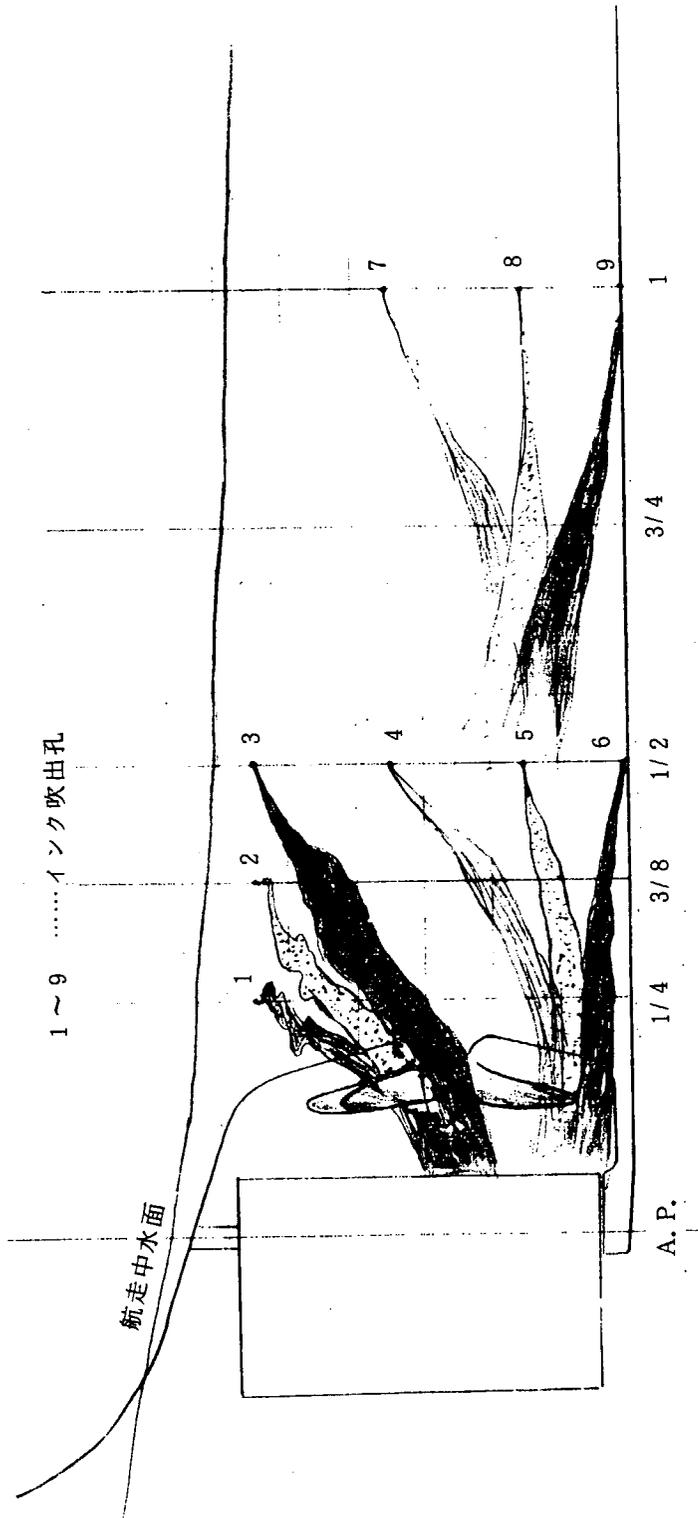


Fig. 5.4.11 インク流出法による船尾の流れの様子 (1.0 m/s 自航中)

### 5.5 50年度及び51年度研究の総括に関する中間整理について

本52年度の研究開始直後、過去2年間の研究結果の大綱をまとめ、その後の研究の指針にするために中間整理を行うことになり、整理作業グループ(ワーキング・グループ)を作った。以下その作業の概略と結果について述べる。

(1) メンバー

田中一朗 第2小委員長(阪大)、 鈴木敏夫 委員(阪大)、 姫野洋司 委員(府大)、  
田中 陽 委員(明石)、 永松宣雄 委員(川重) (5人)

(2) 会 合

昭和52年7月27日、同9月27日、同10月26日の3回

(3) 整理範囲

(a) 50年度第2小委員会 : 4m、2m、7m模型関係

(b) 51年度 同上 : 同上

(c) 50年度第1小委員会 : 7m模型持廻り試験関係

(d) 52年度第2小委員会 : 年度はじめの資料の一部

(4) 作成資料

次の資料を作成した。以下順を追って述べる。

項	題 目	関連資料提出日
5.5.1	試験項目一覧	昭和52年8月25日
5.5.2	4m及び7m模型の自航要素及び横力の比較	52. 8. 25
5.5.3	2m模型実験結果まとめ	52. 9. 29
5.5.4	4m "	52. 12. 7
5.5.5	7m "	52. 9. 29
5.5.6	中間整理まとめ	52. 12. 7

5.5.1 試驗項目一覽

SR 159 試驗項目  
(50年度船型)

水質	704 (球廻り試験)				470				270				
	船型	IHI	ASME	MHI	IHI	MHI	船型						
水質試験	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44
自振試験	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44
疲労試験	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44
引張試験	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44
圧縮試験	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44
曲げ試験	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44
ねじ試験	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44
溶接試験	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44
その他	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44	F, 65, 44



5.5.2 4 m 及び 7 m 模型の自航要素及び横力の比較

$\frac{7}{4} m U$   
 $\frac{4}{4} m U$   
 $\frac{4}{4} m V$

MHI 予-9 使用

(1) 自航試験

condition	- W	- t	$Y_A (= \frac{1}{2} \rho U V^3)$ 4 m U 使用
Full			<p>船体は一航走中に得られた 判別可能な別子-9</p>
65%	<p>不安定現象</p>		
44%			

(2) 荷重度変更試験 (F<sub>0</sub>=0.18)

$\begin{matrix} \text{---} \\ \text{- - -} \\ \text{- - -} \end{matrix} \left. \begin{matrix} 7mU \\ 4mU \\ 4mV \end{matrix} \right\} \text{MHIデータを使用}$

condition	I-W	I-t (7mUの時)	$y_A (= \gamma_A / \frac{1}{2} \rho v^2 \Delta S)$ 4mU時乱
Full			
65%			
44%			

### 5.5.3 2m模型実験結果まとめ

#### (1) 実験場所および模型船

以下では、これまでに実施された2m模型の試験結果のうち、東大船舶工学科の昭和50年度模型（以下、S50Uと略記する）、同科の数式模型2種（M30SおよびM30R）、横浜国大のS50U、三井造船のS50U、日本鋼管の昭和51年度模型（S51V）、大阪府大のS51V、および東大船舶機械工学科のS51Vよりも更に船尾をV型にした模型などについてまとめる。昭和52年度に研究実施した2m模型の試験については別項に述べてあるのでここでは省略する。

#### (2) 自航不安定現象発生状況

まず載貨状態別にみると、Full Load では流れは落ちついており不安定現象は現われていない。2m模型の場合、流れは主に推力が大きい（T大）方の流れであるので、以下特に断らない限り、同一試験状態において、推力の小さい（T小）流れが現われた場合、これを不安定現象の発生と呼ぶ。65% Load では、S50Uについて実船対応の自航点付近でT小の流れが発生しているがその発現頻度は少ない（東大、三井）。S51Vでも実船自航点で僅かに発現するが（府大）、模型船の自航点の方がよく発生する（府大、NKK）。発現率は約30%時間である（NKK）。同様に、東大船機の模型についてもmodel pointで約30%の発現率である。

プロペラの荷重度変更による影響としては、65% Load において、ship pointよりはmodel pointの方が発生し易い（東大船機、府大、NKK）という結果が得られている。トリムを変更した場合、65%においてトリムを船尾側1%から0%に変えて、不安定現象の発生頻度が30%から5%に減少した例がある（東大船機）。舵を取りはずした場合、潮目の左右非対称性は不明瞭となるが推力記録からみて不安定現象は弱いながら存在するようである（府大）。

斜航角の変化に対しては、同一の速度および荷重度において、船首を左に振るとT小の安定した流れとなり、その角度までに発生頻度50%の中立状態となる位置があり、この角度は荷重度が低い程大きくなる（府大）。また、水面付近に障害物やjet噴流を付加することにより2種の流れの発生をある程度制御することができる（府大、三井）。

#### (3) 自航不安定現象発生時の船尾流場

前述の不安定現象が発生する場合、推力の大きい流れと小さい流れの2種の流場のいずれか一方が現われる。もっとも、それらの中間の流れが発生したという報告もあるが（東大船機）、ここでは、これらの2種の流場の各々が、載荷状態や荷重度等の発生状況の如何にかかわらず、同一の基本的性質をもって発現するものと仮定して、それぞれの特徴をまとめてみた。

##### (a) 推力が大きい流れ

2m模型ではこの流場の発現頻度が多い。この場合、船尾の横力は右舷向きでかつ船尾後流での潮目は左に現われることが、すべての試験結果に共通の特徴である。これに応じて船尾の船体表面圧力は左舷の方が高く（NKK、三井）、プロペラ前方の伴流は右舷が小、すなわち右舷の流速が大（NKK）で、プロペラ直上部の流向は左舷向き（NKK、三井）となる。また船底中央部では流向がやや右向きとなる（NKK）。ビルジ渦は右舷の方が大きくかつ上方にあり（NKK）、断面内の2次流れの方向はT小の場合に比べて上向きの傾向にある（NKK）。水面の潮目（左舷）の下部あたりに逆向きの縦渦が観察され（東大船機）、また左舷で空気吸込みが時折発生（東大船機）しているようである。

##### (b) 推力が小さい流れ

この場合、推力の変化量は(a)に比べて10~20%（東大船機、三井）の程度である。船尾流場はT大なる場合を左右逆転させた流れには必ずしも対応しないようである。横力の向きは左舷向き（東大、東大船機、三井）の場合が多いが、ほとんど0（府大）という報告もある。潮目も右舷に発生す

るがその角度はT大のときに比べて小さい(NKK、三井、府大)。船体表面圧力は右舷の方が高く、左右舷の差の大きさは、T大の場合と同程度である(NKK)。しかし、伴流分布や流速分布では左右舷での差が明瞭でないという報告(NKK)もある。プロペラ直上の流れは右(NKK)、あるいはやや右(三井)を向いており、船底中央部の流向はやや左向き(NKK)となっている。ビルジ渦には左右の差が余りない(NKK)が、右舷潮目付近に逆渦が認められている(東大船機)。

#### (4) 曳航時の非対称流場

抵抗試験時には流れは対称で抵抗値も落ちついている(S50U、東大)ようであるが、S50Uの満載状態での後流の観察(横大)では周期の非常に短い(0.32~0.38 sec)変動する非対称流場の存在が認められた。またビルジ部を丸めた数式船型(M30R、東大)では周期の長い(12~16 sec)変動非対称流場があり、これは前記の流れと類似しているようである。これらの流場の特徴は、左右の流れのパターンがある周期で交替する非定常な流れであること、右舷のビルジ渦が大きいときに水面付近の逆渦は右舷の方が小さく(横大)、水面の鉛直方向の渦は左舷が大(東大)、すなわち左舷の剝離域が広いこと、またこのとき右舷の流速が大きいことなどである。M30Rでは抵抗値の周期的変動があり、その値は非対称流場が現われた時最大、交替時に対称となった時最小になる。この非対称流場は自航時不安定現象にみられる2種の流場に類似した面があり興味深いことと思われる。一方、ビルジを丸めていない数式船型(M30S、東大)では左右舷に強いビルジ渦が存在し、流れは対称かつ安定である。

### 5.5.4 4m模型実験結果まとめ

#### (1) 実験場所および模型船

4m模型の実験担当は、S50Uが三菱、船研、阪大であり、S51Vは三菱と広大である。以下には、2年間にわたって行われた実験結果の概略をまとめる。なお、52年度に行われた実験結果の詳細については別章で述べる。

#### (2) 自航不安定現象発生状況

自航不安定現象の発生状況を載貨状態別にみると、Full Load では、S50U、S51V共に不安定は発生せず、ある状態に落付いており、潮目はほぼ中央、船尾横力も0である。さらに、プロペラ荷重変更試験により、伴流係数の変化を調べ、どのような状態かを推測すると荷重度の増加とともに伴流係数が減少しスラスト小の状態と思われる(三菱)。他方、S50Uについて、荷重度変更試験を詳細に行なったところ、低荷重度ではスラスト小の状態であるが、Model Point 近くから伴流係数の変化が少なくなり、スラスト大の状態に移行すると思われる結果が得られている(阪大)。

65% Load では、S50Uはスラスト大の状態に落付いているが、S51Vは不安定がよく発生する。しかし、大部分がスラスト大の状態である(三菱)。スラスト大の状態では潮目は左で横力は右向きである。スラスト小になると両者共逆転する。

44% Load のS50Uは、 $F_n > 0.14$ でスラスト大の状態となり、S51Vは $F_n > 0.17$ でスラスト大の状態となる(三菱)。荷重度変更試験によると、S51Vは荷重度の低い所( $< 0.2$ )ではスラスト小の状態を示している。スラストの大小と潮目、横力の関係は、65%と同一であるが、S51Vのスラスト小の状態における潮目は右舷側にかなり明瞭に現われる(三菱)。

そのほか、荷重度変更試験において、載貨状態をFull から65%へ序々に変えた結果によると、低荷重度でスラスト大、高荷重度ではスラスト小へ移行する傾向を示す。この変り目の荷重度はFull では高く載貨状態が軽くなるにつれて低くなっている(阪大)。また、船研が行なった応答の早い抵抗動力計を用いた荷重度変更試験によると、44% Load では荷重度が高くなるにつれて伴流係数のバラツキが大きくなり、伴流率が減少する。さらに推力減少も小さくなる。

そのほか種々の状況を変化させた時の不安定発生状況を列挙すると、  
斜航角の変化 : 船首を左へ $1^\circ$ 振ると不安定が良く発生し、左 $2^\circ$ ではスラスト小に落付く。右 $1^\circ$ はスラスト大が多い(阪大、S50U、65%)。

プロペラ直径の変化 : プロペラ直径を $117\text{mm}$ から $108\text{mm}$ 、 $100\text{mm}$ と変化させたが、スラスト大の状態は変わらず落付いている(阪大、S50U、65%)。

流れの制御 : プロペラ直上 $\pm$ 上に仕切板を入れ、中心線を横切る流れを制限したところ、不安定現象がなくなった(広大、S51V、65%)。

### (3) 船尾流場の性質

S50Uについては主にスラスト大の状態における伴流分布の計測が行われている。その結果、Full Loadでは右舷の伴流域が多少広く、渦度分布は大略対称である。65% Loadでは、伴流分布は略対称であるが渦度は右舷が強く、中心も多少下方である。また、船体表面圧力は左舷が高く、横力の方向(右舷向き)と一致する(阪大)。44% Loadでは、伴流計測が行われておらず、圧力差と横力の方向は一致している。なお、流れの乱れは65% Loadより大きい、スラストの大小とは関連付けられていない(三菱)。65% Loadでスラスト大の状態からスラスト小の状態へ変化した時の流場の変化は、データ数が少ないが、右舷は下向き流れが強くなり、左舷では上向き流れが強くなる(阪大)。

S51Vにおいて流場の計測は、船体表面圧力とタフトによる流場観測等である。この結果によるとFull Loadはスラスト小の流れの状態のみで、船尾横力、潮目共に中央である(三菱)。65% Loadでは、不安定現象がかなり発生し、スラストの大小と、横力、潮目の関係はFullと同一である。また、潮目の直下近傍に逆渦が認められ、不安定の発生につれて、潮目と同時に逆渦も逆舷へ移動する(広大)。なお、中心線上に仕切板を挿入すると左右舷の圧力差が小さくなる(広大)。

## 5.5.5 7m模型実験結果まとめ

### (1) 実験場所および模型船

S50年度及びS51年度で実施された7m模型船は、日本造船技術センター(SRC)、船舶技術研究所(SRI)、石川島播磨重工業(IHI)、明石船型研究所(ASMB)、及び三菱重工業(MHI)の5水槽を持廻りで試験したS50年度模型と、これと同一船型でIHIが自社保有する模型とがある。

ここでは、これらの試験結果について作成したカルテを主体として、不安定現象の発生状況等についてまとめる。なお、S52年度に実施した7m模型の結果については、別章に述べたので、ここでは省略する。

### (2) 抵抗不安定現象の発生状況

抵抗試験では全般的に流れは落ちついており、横力( $Y_A$ )もほぼゼロであって不安定現象はないと考えられる。ただし、44%で、 $Fn = 0.17$ より高速域で $Y_A > 0$ となり、その変動が大となったという報告(ASMB)もある。

### (3) 自航不安定現象の発生状況

Full Load : 計測値は落ちついており、不安定現象はほとんど出現していない。5水槽共通に実船自航点で $Y_A \div 0$ か、わずかにプラスであり、潮目も顕著でなく、ほとんど直後に流出する。プロペラ荷重 $C_T$ を増加させたとき、 $1 - W_T$ は漸増する傾向にあり、 $C_T$ の増加で急変する様子はなく落ちついている。ただし、 $C_T = 0$ に比べ、 $C_T = 0.5$ ではスラスト、横力共に変動が大きく、 $C_T > (0.4 \sim 0.5)$ で $Y_A < 0$ が現われた例(SRI)がある。

65% : 実船自航点で $1 - W_T$ が他の載荷状態に比べて小さいが比較的落ちついており、目立った不安定現象は出ていない。横力と潮目についてみると、時々 $Y_A < 0$ 、潮目右側流出が現れるが持続

せず、 $Y_A > 0$ 、潮目左側流出が支配的である。ただし、試験水槽によっては、 $F_n = 0.15$  付近で  $1 - W_T$  の変化の幅が大きくなったり (SRI)、また小さい  $1 - W_T$  が現れる (IHI) 等のケースもある。

$C_T$  を変化させたとき、水槽間で解釈に多少の差があって、 $C_T < 0.2$  ではスラスト小の流れ、 $C_T > 0.2$  ではスラスト大の流れが現れて、それぞれそれなりに落ちついており、 $C_T$  の変化に対する  $1 - W_T$  の変化曲線が2本存在するような傾向を示すという見方 (SRC、IHI) と  $C_T$  の変化に対して  $1 - W_T$  はスラスト大の流れに対応したほど一定値を示すという見方 (MHI、ASMB) がある。また  $C_T = 0.6$  で2種の  $1 - W_T$  を示した例 (SRI) もある。

44% : この載荷状態では、他の載荷状態と比べて実船自航点でのスラスト、 $Y_A$  等の変動が大きく、不明瞭ながら不安定現象とみられる例 (MHI) もあり、スラスト小の流れの出現頻度が多いように思われる。潮目についてみると、他載荷状態では真後か左側流出で落ちついているのに対して、44%では大勢は右側に片寄っているが落ちつかず航走中に数回変動する。横力もまた変動して、 $Y_A = 0$  又は  $Y_A < 0$  である場合が多い (IHI、MHI、及びSRI、ASMBの高速減)。

荷重量変更試験では、 $C_T$  の増大に従って、 $1 - W_T$  は漸増するか又はほど一定値を示し (MHI)、特定の  $C_T$  で変化が急変する傾向はみられない。ただ、高荷重量になるとスラスト小の流れの出現率が高くなり、 $1 - W_T$  の変動幅もかなり大きくなっている。

次に、プロペラ前後位置を変えた試験では、平均値と比較すると正規位置と有意な差は認められないが、スラストの変動量でみるとプロペラを後方に移動したとき、Full Load、44%では差がないが65%では低速域で変化量が大きくなっている (ASMB)。

また、舵を取外した場合、特に不安定となることはみられないが、スラスト、横力の変動が大きくなり、また長い非周期的な変動が加わるのがみられた (SRI)。

(4) 自航不安定現象発生時の船尾流場

7m模型では前述の様に不安定現象の発生が弱かったこと、および流場計測がほとんど実施されていないことから、不安定現象発生時の船尾流場の把握は十分ではないが、8ミリシネカメラ、カラーITVカメラ等による観測を通じて、載荷状態、船速、プロペラ荷重量の如何によらず、下記がいえる。

プロペラ・スラスト	大のとき	小のとき
船尾横力作用方向	右	左
潮目流出方向	左	右

また、IHIにおける55%載荷状態でのプロペラ直前の総圧計測によると下記がいえる (51年度IHI)。

プロペラ・スラスト	大のとき	小のとき
プロペラ面総圧	右舷 小	右舷 大
	左舷 大	左舷 小
プロペラ上方の流れ	右舷から左舷へ	左舷から右舷へ

#### 5.5.6 中間整理まとめ

現象そのもの並びにその原因は、いずれもまだ完全には明らかになっていない。しかし、現象の中で主として力に関係する巨視的なものは、割合はっきりしてきた。後は若干の追試で全容が明確になるものと思われる。結果としては、Y(A)が左舷側から右舷側へ向いて押す時、推力は大で、この時 $W_e$ も大、潮目は左舷という関係は確認されたといつてよからう。しかし原因はまだ不明で、特にその解明につながる流場の詳細調査が不十分である。模型の大きさに応じて結論をまとめれば次のようになる。

- 7 m : 不安定現象は割合弱い。65%、44%でおこっているらしいが、はっきり表現しにくい。
- 4 m : Fullには出ない。65%で出る。51年度模型の方が、又、荷重度が高い方が出やすい。
- 2 m : Fullには出ない。65%で出る。荷重度が高い方が出やすい。

## 5.6 その他関連研究結果

### 5.6.1 推力変動の激しい肥型模型船船尾流れの観察

#### (1) まえがき

自航試験の不安定現象の原因、船型との対応についてはまだ定説がえられていず、また現象の把握もやりつくされたとはいえない。そこで、SR159-51年度船型と本部会第10回第2小委員会に佐世保重工業㈱から提出された資料<sup>1)</sup>(No.7)の船型とを参考にし、佐世保重工業提出資料のB船(プロペラ直径小の方)の肋骨線形状を上部でふとらし、S.S.1~S.S.1/4の水線幅を上げた船型を選定し、何らかの不安定現象が確実に現われることを期した。この船型について、自航試験の不安定現象発生時の流れの状態を一目で見ることができるよう流れの可視化を試みた。

#### (2) 供試模型

供試模型船(YT-1)はLpp 2mの発泡ウレタン製で、その主要目をTable 5.6.1.1に、線図をFig. 5.6.1.1に示す。なお、比較のため、SR159-51年度船型の後半部線図もFig. 5.6.1.1に、後半部水線形状の比較をFig. 5.6.1.2に示す。使用した模型プロペラは黄銅製で、その主要目をTable 5.6.1.2に示す。

#### (3) 実験場所

本実験は東京大学工学部船用機械工学科回流水槽(測定部水路幅1.5m、水深1.1m)において行なった。

#### (4) 実験方法

##### (a) 実験状態の決定

模型船を自航させ、推力・A.P.における横力・曳航力・プロペラ回転数の計測と船尾水面の観察とを行ない、推力・横力・水面に不安定現象が現われる喫水とトリム・プロペラ回転数(プロペラ荷重度)を求め、不安定現象が現われる喫水とトリム1状態、速度1点、プロペラ回転数1点について各種流れの可視化法により流れを観察し、また、その喫水・トリム・速度でプロペラなし曳航状態の流れを同様にして観察することにした。

##### (b) 船尾縦渦の観察(タフトグリッド法)

船尾端直後にタフトグリッドを設け、不安定現象と縦渦発生状況との関連を観察した。タフトグリッドは抵抗が大きく船尾圧力分布を変え、不安定現象発生に影響を及ぼすおそれがあるが、簡単で、また縦渦がよく見えるので行った。観察記録は下流から行ない、8ミリ映画および35ミリスチール写真の撮影を行なうことにした。

##### (c) 船尾流脈の観察(pH指示薬トレーサ法)

船尾において、船底から船側への流れ込み、プロペラへの流入状況、水面近くの流れの状態、剝離の状態などを知るため、液体トレーサ注入法により流脈を調べることにした。船尾船体表面に多数の小孔(40箇所)を設け船体内側からpH指示薬アルカリ水溶液を注入し、トレーサとし、両側方、後方、下方から観察・記録した。撮影は8ミリ映画および35ミリスチール写真とした。pH指示薬には赤色用としてフェノールフタレン、青色用としてチモールフタレンを用いた。

##### (d) 船尾船体表面ごく近傍の流向の観察(鉛白・硫化アンモニウム法)

流脈の観察では船体表面ごく近傍の流向の観察はよくできない。限界流線を知るために、油膜法や薬品塗膜溶解法が使われているが、この両方法とも応答が遅く自航試験の不安定現象を調べるためには流れを固定する何らかの対策を行わない限り使用できない。そこで、限界流線を正確には示さない欠点はあるが、比較的応答の早い鉛白・硫化アンモニウム法を用い、不安定現象のそれぞれの状態すなわち推力が大きい状態と小さい状態における船体表面ごく近傍の流向を調べることにした。そこで推力が大きい方が小さい方がいずれかの値になった瞬間に、上記の多数の船体表面小孔から同時に

硫化アンモニウム液を注入し、船体表面に塗装しておいた白い鉛白塗膜と化学反応を生じさせ、流向に沿って鉛白塗膜上に黒褐色の発色筋をえることにした。

(e) 船尾限界流線の観察（油膜法）

上記鉛白・硫化アンモニウム法による実験では、硫化アンモニウム液注入用小孔の数が不十分で、また、この方法の性質の点からも詳細に限界流線を観察することができない。そこで、川崎重工業㈱担当の本部会実験にない、推力が大きい時、小さい時それぞれの場合について、船尾水面の潮目の位置に板（潮目板）を垂直に入れ流れの状態を固定し、油膜法により限界流線の観察を行なった。潮目に入れる板を Fig. 5.6.1.3 に示す。曳航状態の場合はこの板は取付けないで実験を行なった。

(5) 実験装置

実験装置配置の概略を Fig. 5.6.1.4 に示す。模型船ガイドはマスト式で船首のみに用いた。曳航力計測には磁歪式抵抗検力計を、横力計測は A P のみとし磁歪式検力計を、推力計には抵抗線歪計式推力計を使用した。pH 指示薬アルカリ溶液および硫化アンモニウム液注入および停止を 40 の小孔で同時に行なうため、各小孔への配管それぞれに電磁弁（40 個）を設けた。使用したタフトグリッドは 10 mm ます目、グリッド線径 0.3 mm、タフト長 50 mm である。

(6) 実験結果

(a) 実験状態と不安定現象

不安定現象発生の有無を調べた載貨状態を Table 5.6.1.3 に示す。実験速度は 0.8 m/s である。満載状態では不安定現象または激しい推力変動は現われず、80%以下の載貨状態では激しい推力変動、船尾横力変動が現われた。この変動状態は日本造船技術センター分類の B 2 的<sup>2)</sup>である。SR 159-51 年度船型の双安定的ステップ状変動（B 1 型）は殆んど見られなかった。65% load 1% トリム、model point における推力、横力、回転数記録例を Fig. 5.6.1.5 に示す。

80% load even keel、model point では不安定現象が発生しているか否か不明瞭で推力、横力が中間の値を少し持続する時もあった。65% load 1% トリム、model point では推力変動が激しく、推力小の持続時間は 6~1 sec で 2 sec 程度が最も多く、全時間の約 30% が推力小であり、推力変動値は約 10% であった。65% load even keel、model point では推力小の時間が 5% に減少し、ship point ではさらに減少した。45% load では激しい推力変動はみられなかった。

以上により実験状態として 65% load 1% トリム、model point を選定した。船尾波紋を観察したところ、推力大の時船尾横力は右舷方向に働き左舷側に潮目がみられ、推力小の時船尾横力は左舷方向に働き右舷側に潮目が見られた。また、推力大の時、左舷に空気吸込みが時々発生した。なお、曳航時には横力、船尾波紋にこのような変動はみられなかった。

(b) 船尾縦渦の観察

A P 後方 43 mm に設けたタフトグリッドによる結果の例を Fig. 5.6.1.6 に示す。この図は視差を修正してある。自航状態では、プロペラ後流のためか、左舷のビルジ渦は殆んど観察できず、右舷側にだけビルジ渦と思われるものがみられる。水面近くには推力大の時左舷側に、推力小の時右舷側にそれぞれの舷のビルジ渦と回転方向が逆の縦渦が発生している。曳航状態ではこの水面近くの縦渦は、本実験では殆んど観察できない。

波紋との関係は、水面近くの縦渦の軸よりやや外側付近の水面が凹み潮目となり、その内側の水面は盛上っている。

(c) 船尾流脈の観察

pH 指示薬トレーサ法により撮影した写真のスケッチを Fig. 5.6.1.7 に示す。推力大の時左舷 S. 1/2 ~ 船尾端の上部で激しい逆流がみられ、この逆流の一部は下に向きを変えプロペラに流入している。船底中心線流脈は S. S. 3/4 では右舷に向き、プロペラ直上では流脈は左舷に向き逆流して

いる。喫水中央付近の左右舷流向も大差があり、左舷の方が下向きである。推力小の時は、推力大の時とは流れの状態が左右舷入れ替っているが、左右の非対称の程度は推力大の時より小さくなっている。曳航状態では流れの状態は、左右舷ほぼ対称であるが、 $S.S. \frac{1}{4}$  付近の上部の流れが下向きであるが目立つ点である。自航状態、曳航状態全てを通じて、 $S.S. \frac{3}{4}$  より後方の流脈の変動が激しく、トレーサの拡散が甚しいようである。

#### (d) 船体表面ごく近傍の流向の観察

鉛白・硫化アンモニウム法による結果のスケッチを Fig. 5.6.1.8 に示す。推力大の時、左舷  $S.S. \frac{1}{2}$  の水面付近、 $S.S. \frac{3}{10}$  の船底から喫水の約  $\frac{3}{4}$  では発色筋が明瞭ではなく、流向が大きく変動していることを示す。推力小の時は、流れの状態が推力大の時と左右舷入れ替っているが、左右の非対称の程度は推力大の時より小さくなっている。曳航状態でも、 $S.S. \frac{1}{2}$ 、 $S.S. \frac{3}{10}$ 、 $S.S. \frac{1}{4}$  で発色筋が明瞭でなく注入孔のまわりに丸いしみをつくるだけになっている所がある。これは前後上下種々な方向に random に流れが向き変動が激しく剝離を示していると思われる。このような流れの状態は船尾船型が本船型より僅にやせた普通の肥型船型についての鉛白・硫化アンモニウム法による結果では現われていない。船尾上部が肥えすぎて起った現象と考えられる。Fig. 5.6.1.9 に以上の鉛白・硫化アンモニウム法により求めた表面ごく近傍の流向の比較を外板展開図上に示す。

#### (e) 船尾限界流線の観察

限界流線を求めるために油膜法を使用する場合、注意をしなければならないことは浮力、重力の影響をできるだけ小さくすることである。油膜がたなびき集りたまると、正しい限界流線、剝離線を示さなくなるようである。そこで、赤色顔料、青色顔料、カーボンブラック、A重油、潤滑油（スピードオイル）、流動パラフィン、オレイン酸等を種々組合わせて試みた。その結果を Fig. 5.6.1.10、11 に示す。潮目板付近の船体表面の流れは、潮目板を取付けない場合の流れと異なる点があるが、潮目板と船体表面との間の流れは前上方に向き、縦渦の発生を示している。両舷ともプロペラ前方のプロペラ軸付近に剝離線が現われ、ビルジ渦の内側下部に回転方向が逆の2次的な縦渦が発生している。推力大の時すなわち潮目板を左舷に取付けた場合は、左舷プロペラ軸より上部の流向の下向きは右舷が甚しい。本船型の限界流線のパターンは、本船型より僅にやせた普通の肥型船型より複雑である。推力小の時すなわち潮目板を右舷に取付けた場合は、推力大の時と左右舷入れ替えた傾向になっているが、左右の非対称の程度は推力大の時より小さくなっている。曳航状態でも左右舷非対称で、プロペラ軸付近の剝離線の位置、プロペラ軸上方の限界流線の傾斜に相違がみられる。これは回流水槽測定部水面付近の流向が中心線に対し  $1 \sim 1.5^\circ$  傾いていることが原因かも知れないが、現在のところ原因不明である。

#### (7) むすび

以上、推力変動が激しく、日本造船技術センター分類のB2型の変動を示す船型について船尾流れの観察を行なった。SR159-50年度船型および51年度船型はB1型の変動を示し、B2型についての資料は少ない。本実験では当初B1型を期待したが、B2型となってしまう、実験はやり難くなった。しかし、上記のようにB2型の流れの観察例が少ないので、自航試験の不安定現象解明の若干の資料とはなるであろう。

#### 参考文献

- 1) 小倉理一 : スラスト変動と船体表面流線について、SR159、第2小委員会佐世保重工提出資料、資料No SR159-2-10-7、14P
- 2) 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、(昭和53年3月)62~71

Table 5.6.1.1  
Principal Particulars  
of Ship Model YT-1

$L_{pp}(m)$	2.0000
$B(m)$	0.3333
$d(m)$	0.1355
$C_B$	0.83
$L_{pp}/B$	6.0
$B/d$	2.46

Table 5.6.1.2  
Principal Particulars  
of Model Propeller

Diameter.( $m$ )	0.0531
Boss Ratio	0.18
Pitch Ratio	0.89
No. of Blades	5
Section of Blade	MAU

Table 5.6.1.3 Experimental Condition

$N_s$	Condition	$\nabla(m^3)$	Trim( $\%$ )	$d_A(m)$	$d_m(m)$	$d_F(m)$
1	Full Load	0.0755	0	0.1355		
2	80% Load	0.0604	0	0.1085		
3	65% Load	0.0491	0	0.0925		
4	65% Load	0.0491	1.0	0.1025	0.0925	0.0825
5	45% Load	0.0340	1.5	0.0805	0.0655	0.0505

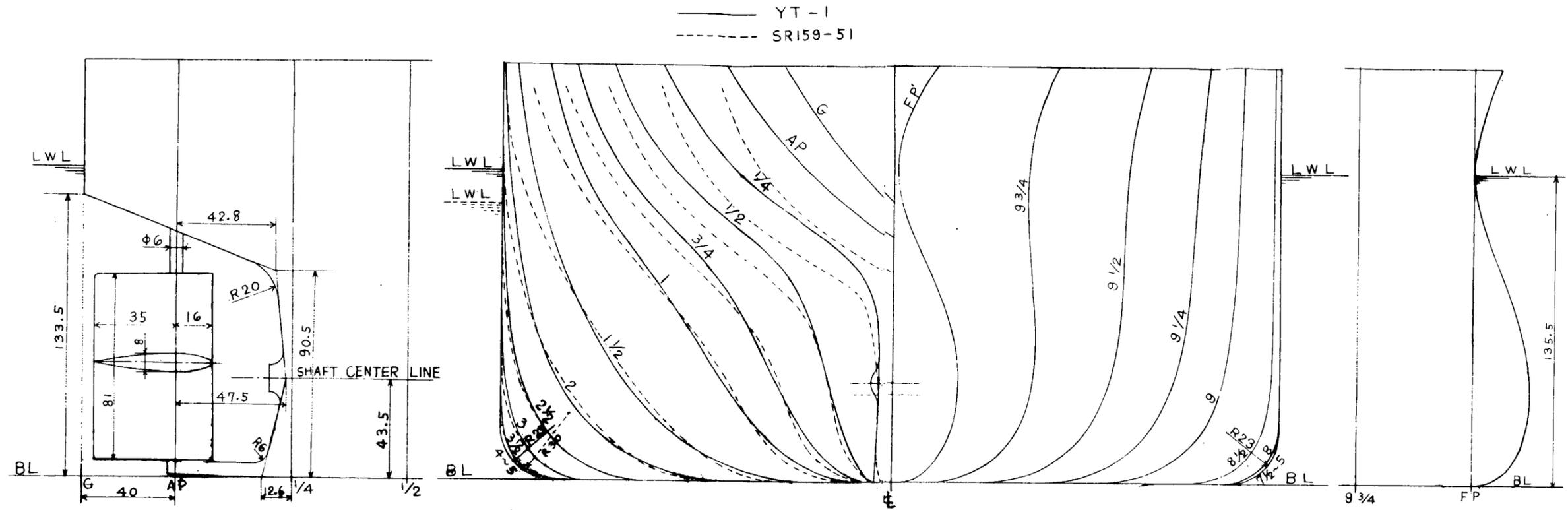


Fig. 5.6.1.1 Lines of Ship Model YT-1

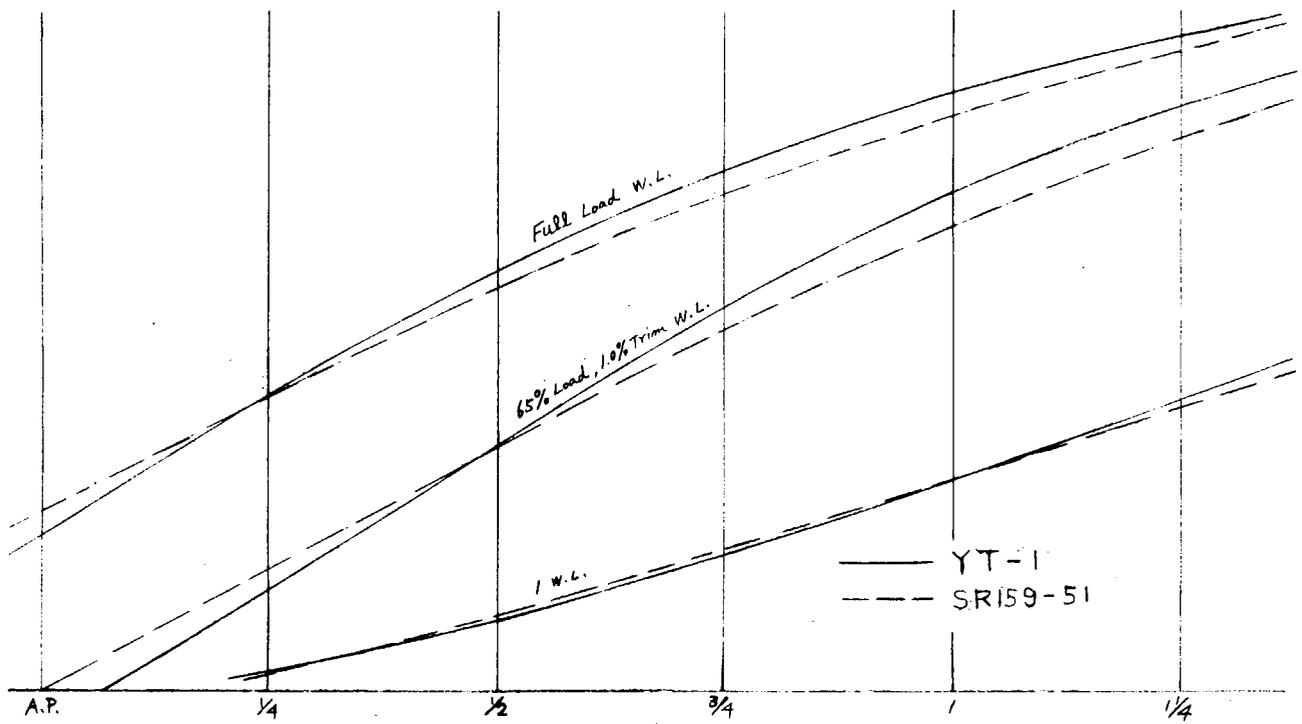


Fig. 5.6.1.2 Waterlines of ship Model YT-1

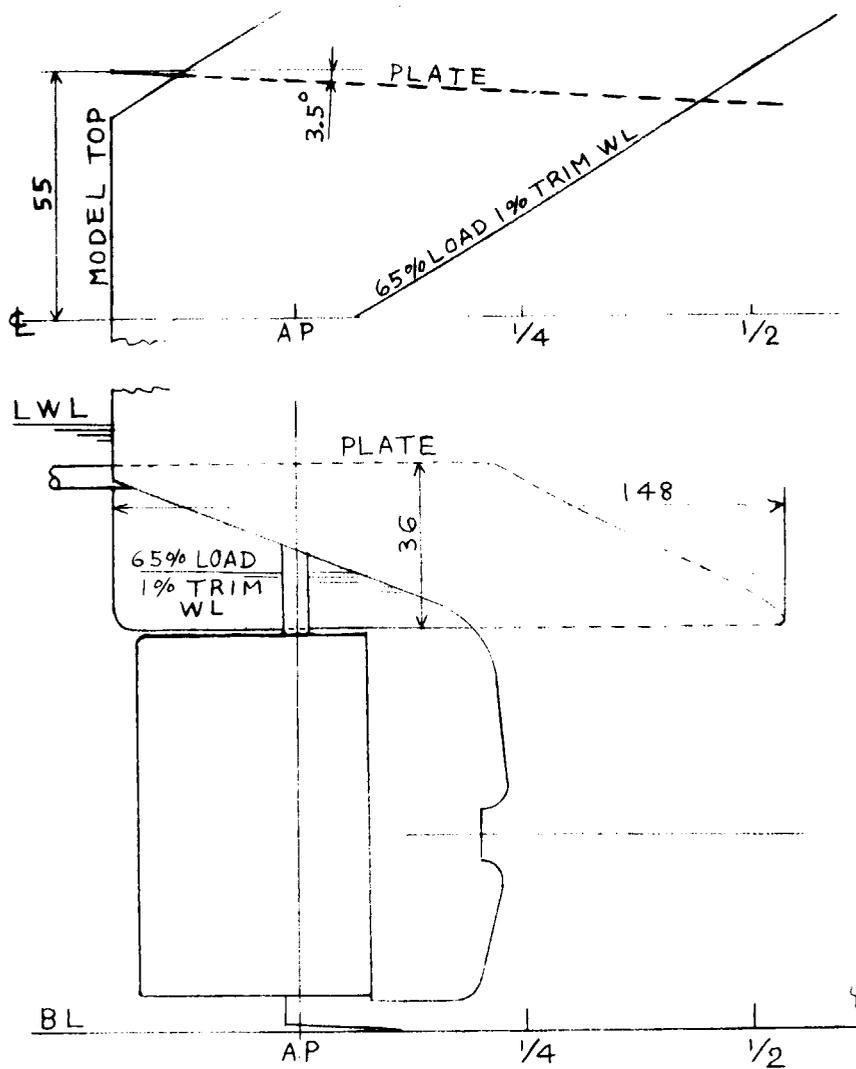


Fig. 5.6.1.3 Plate for Stern Flow Fixing

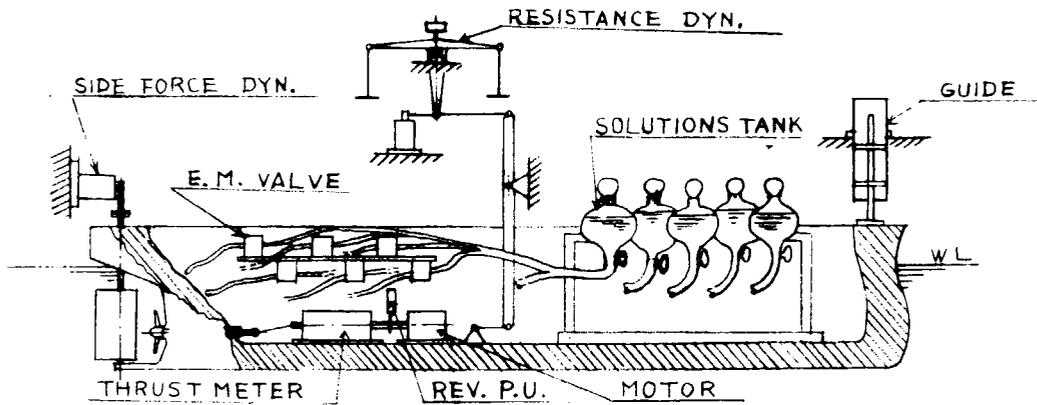


Fig. 5.6.1.4 Arrangement of Apparatus

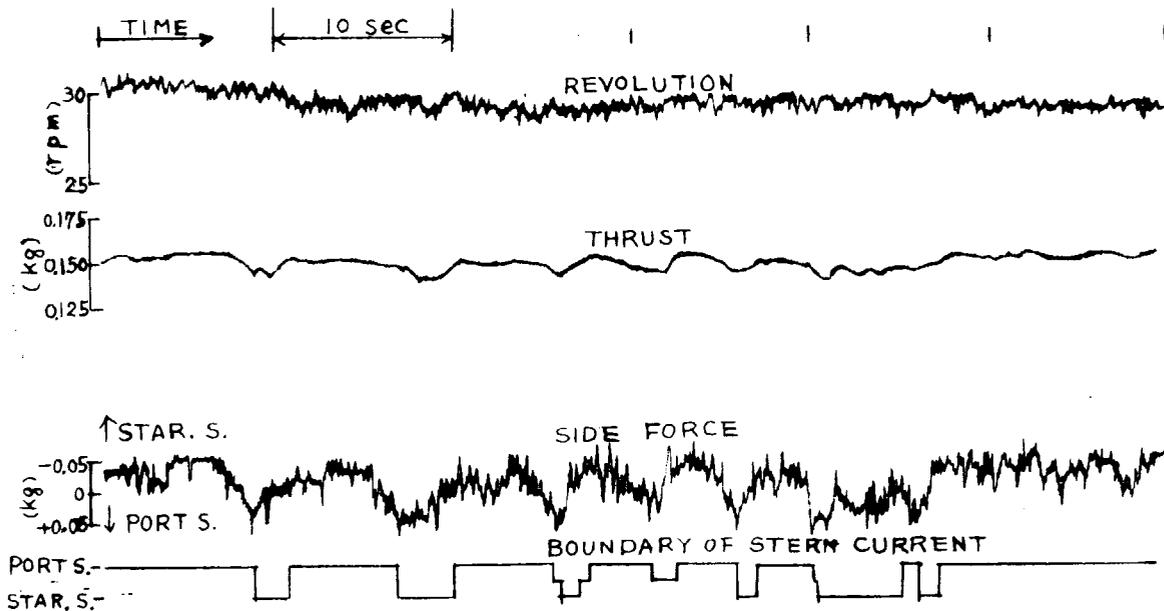


Fig. 5.6.1.5 Record of Revolution, Thrust and Side Force, at 65% Load 1% Trim, Model Point

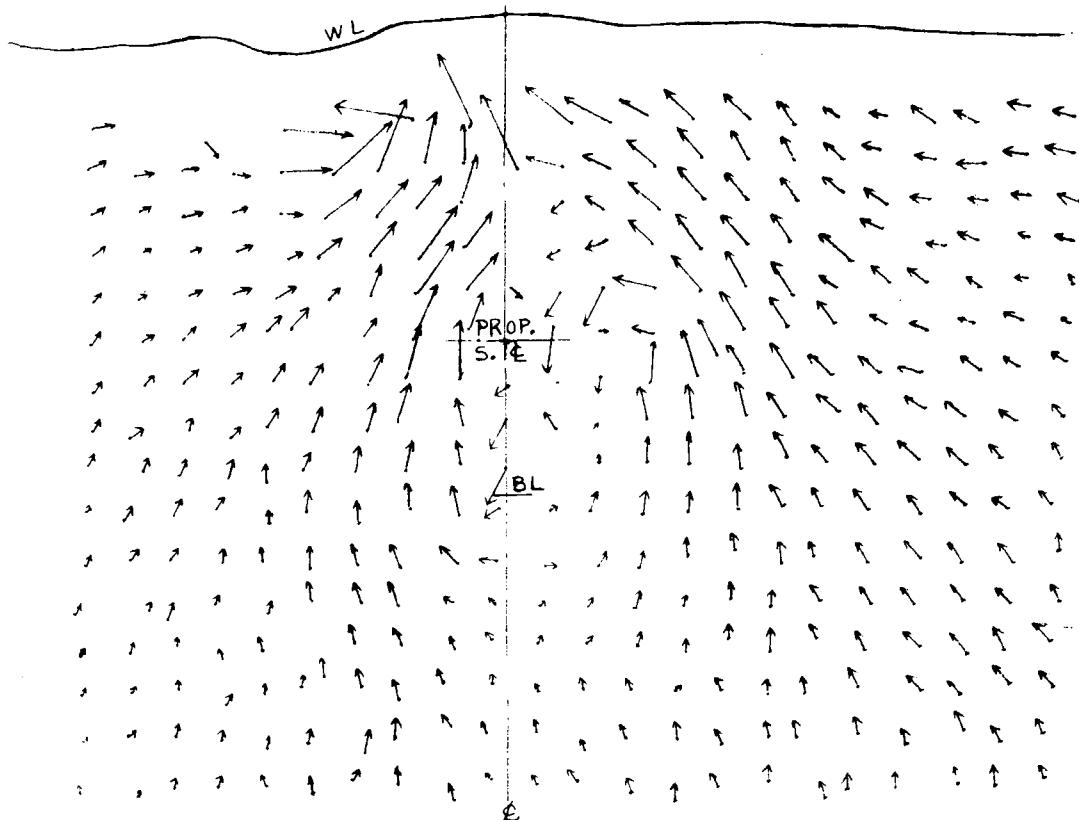


Fig. 5.6.1.6(a) Result of Tuft Grid, 2.15%  
Lpp Aft Ap, Larger Value of Thrust

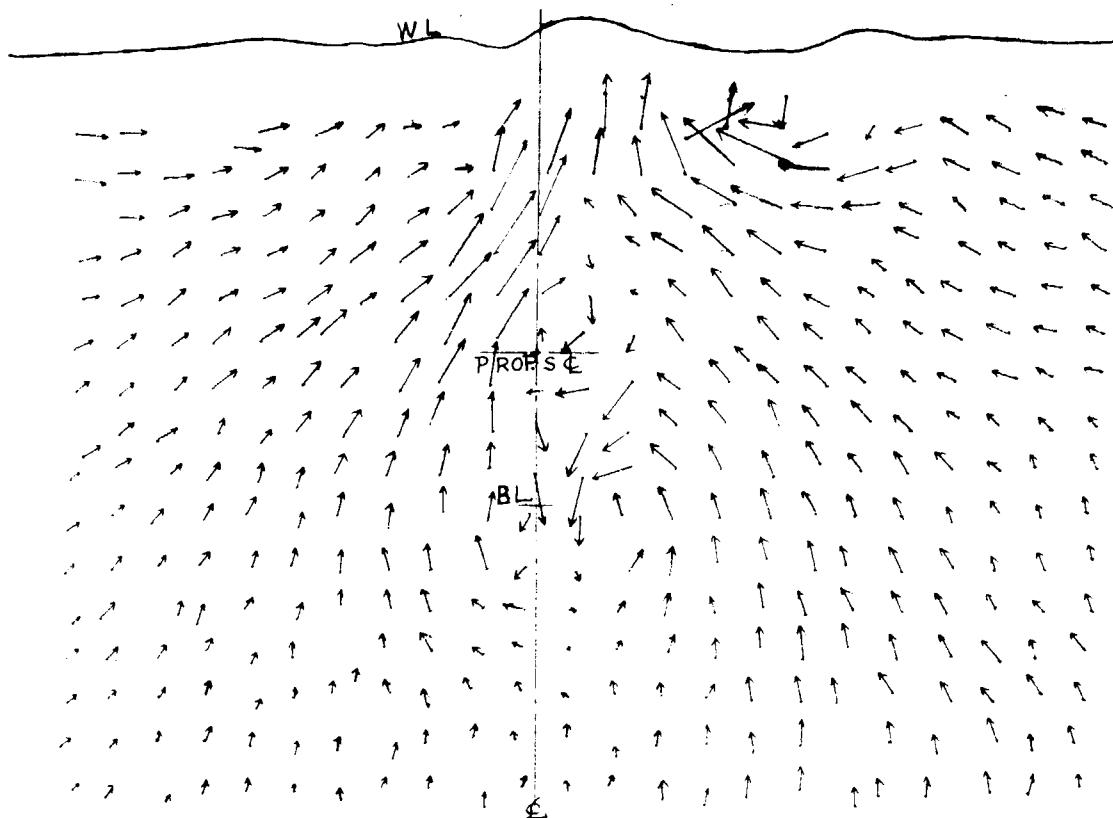
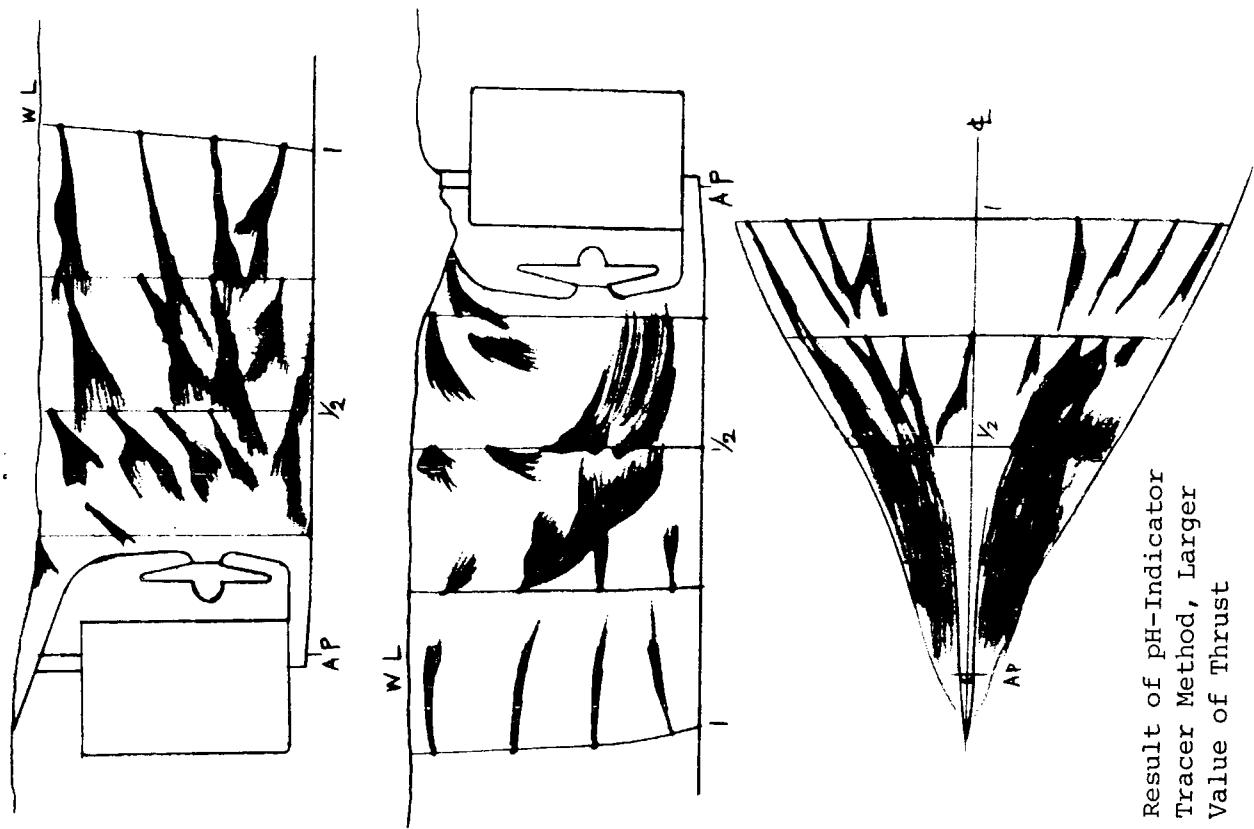


Fig. 5.6.1.6(b) Result of Tuft Grid, 2.15%  
Lpp Aft AP, Smaller Value of Thrust



Result of pH-Indicator  
Tracer Method, Larger  
Value of Thrust

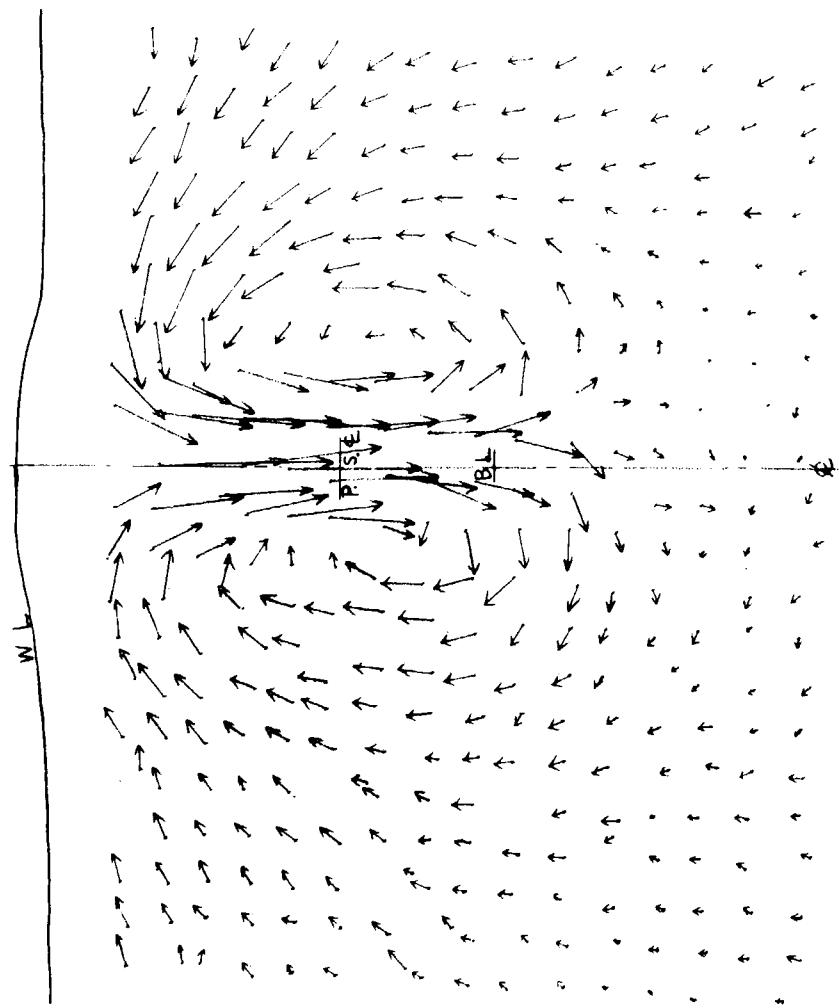


Fig. 5.6.1.6(c) Result of Tuft Grid, 2.15%  
Lpp Aft AP, Towed

Fig. 5.6.1.7(a)

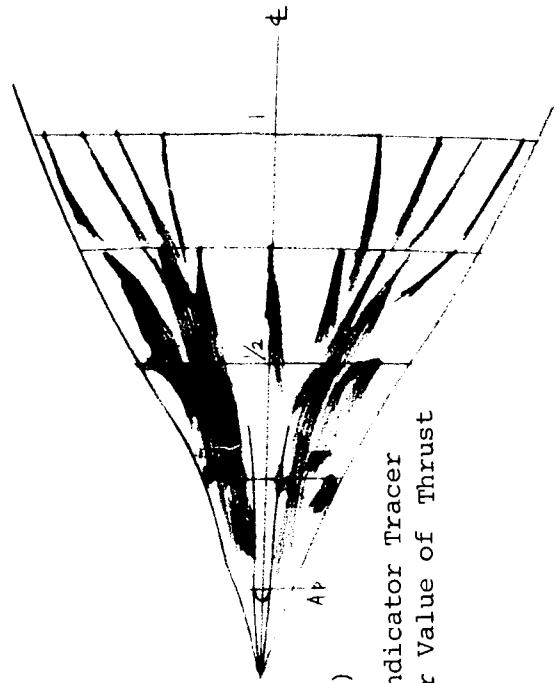
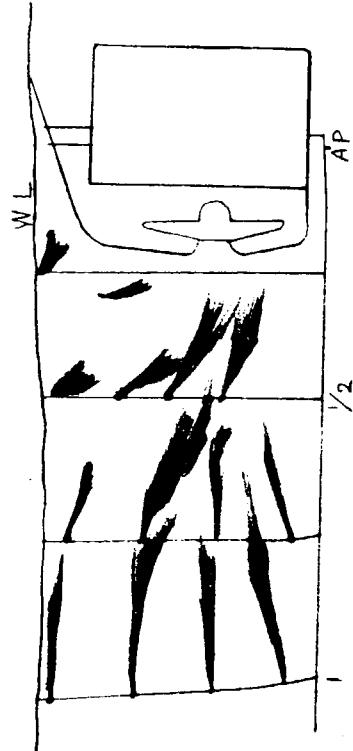
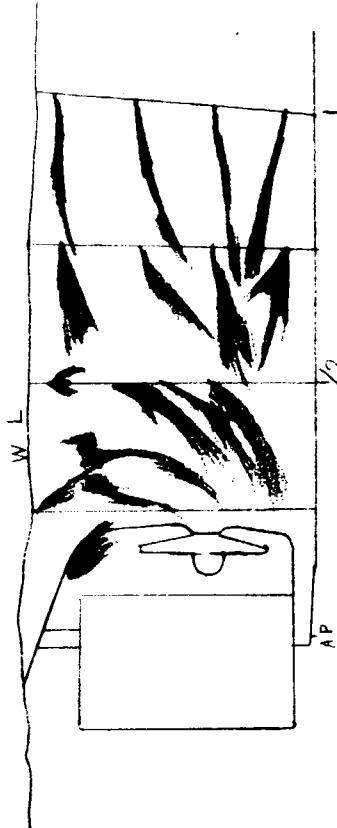


Fig. 5.6.1.7(c)  
Result of pH Indicator Tracer  
Method, Smaller Value of Thrust

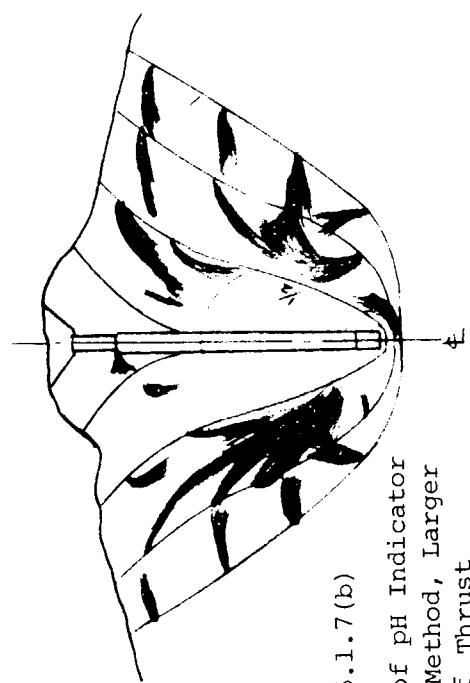
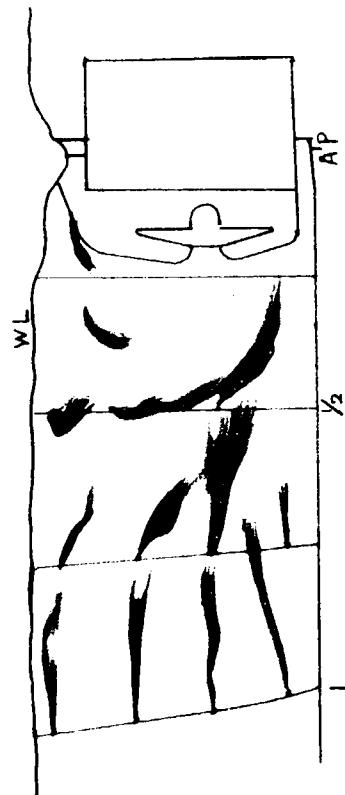
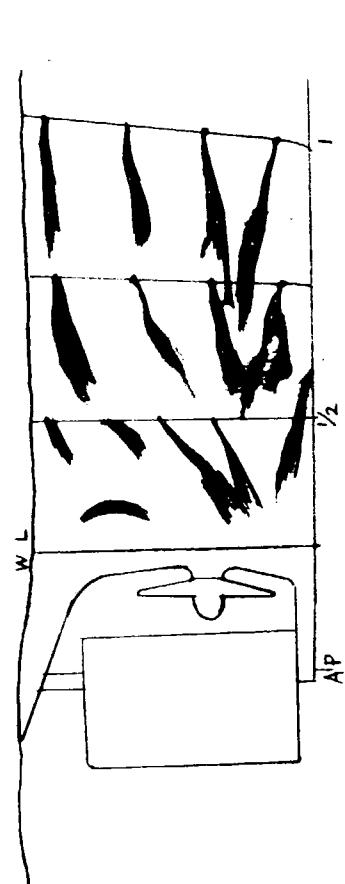


Fig. 5.6.1.7(b)  
Result of pH Indicator  
Tracer Method, Larger  
Value of Thrust

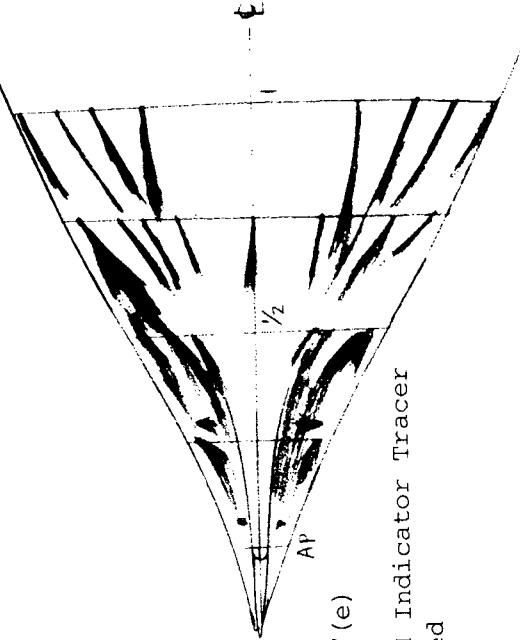
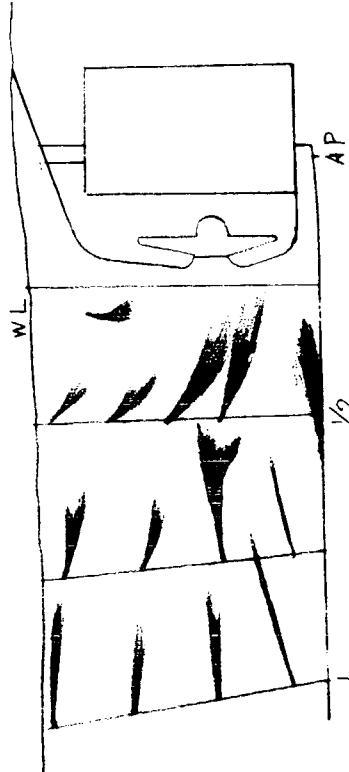
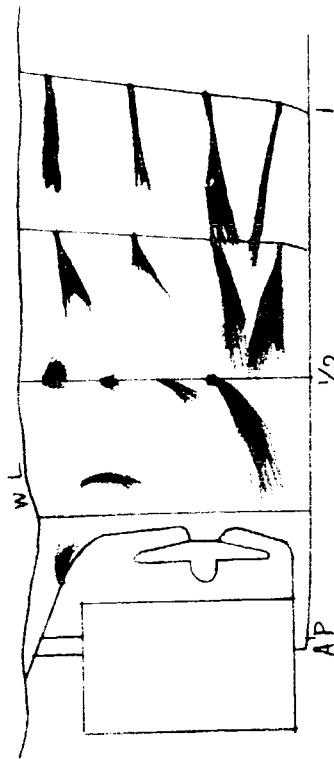
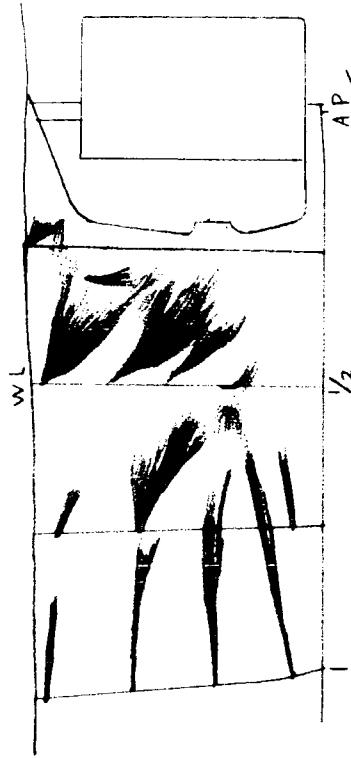
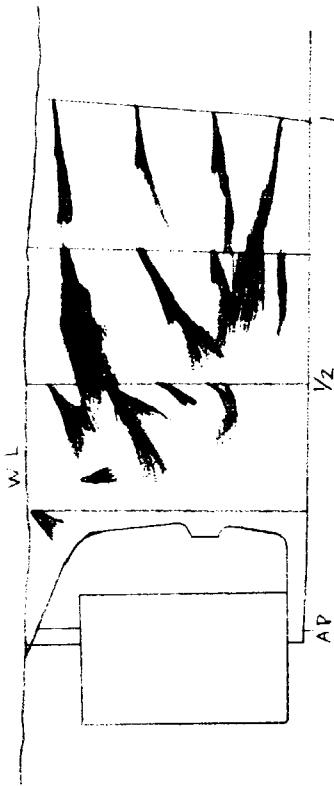


Fig. 5.6.1.7(e)  
Result of pH Indicator Tracer  
Method, Towed

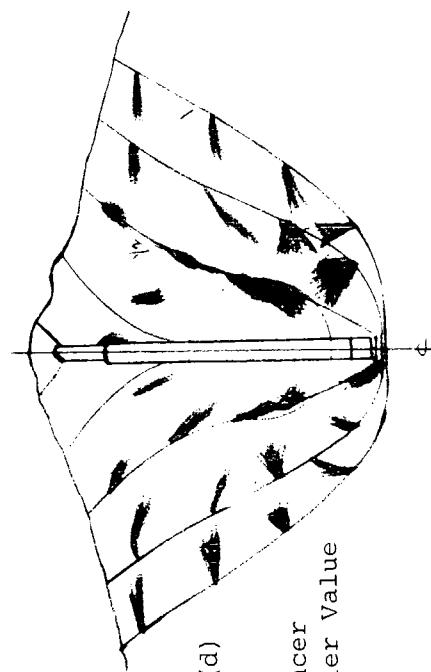


Fig. 5.6.1.7(d)  
Result of pH  
Indicator Tracer  
Method, Smaller Value  
of Thrust

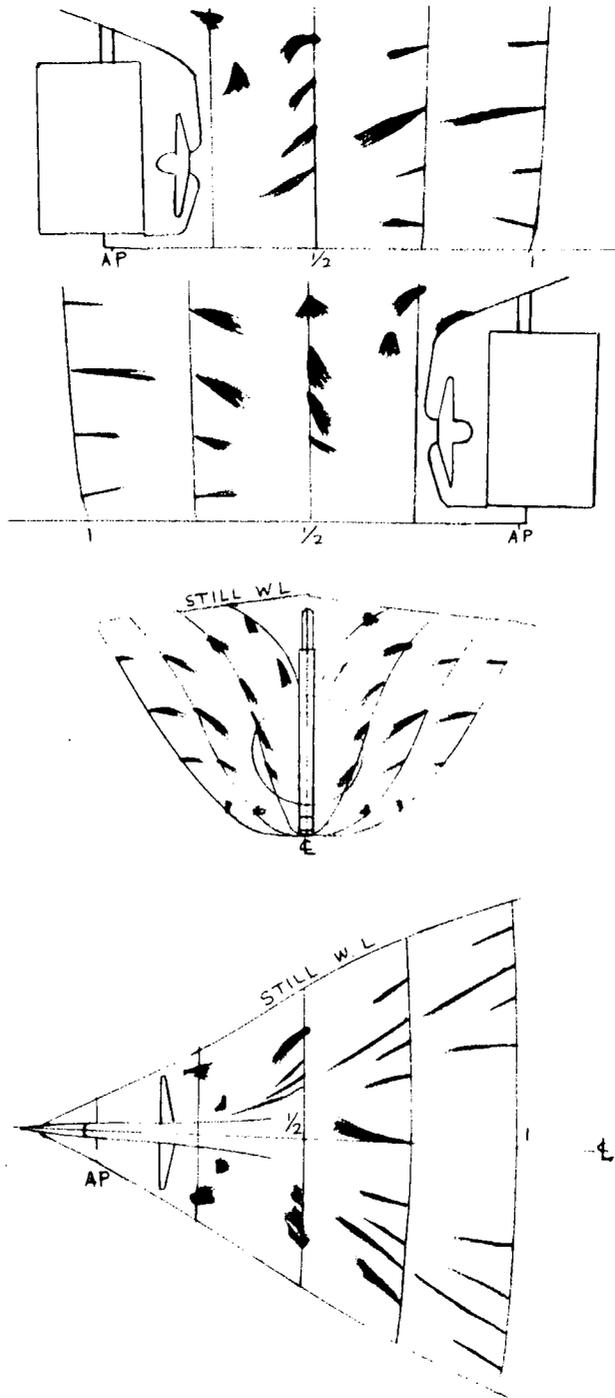


Fig. 5.6.1.8(a) Result of Chemical Film Staining Method, Larger Value of Thrust

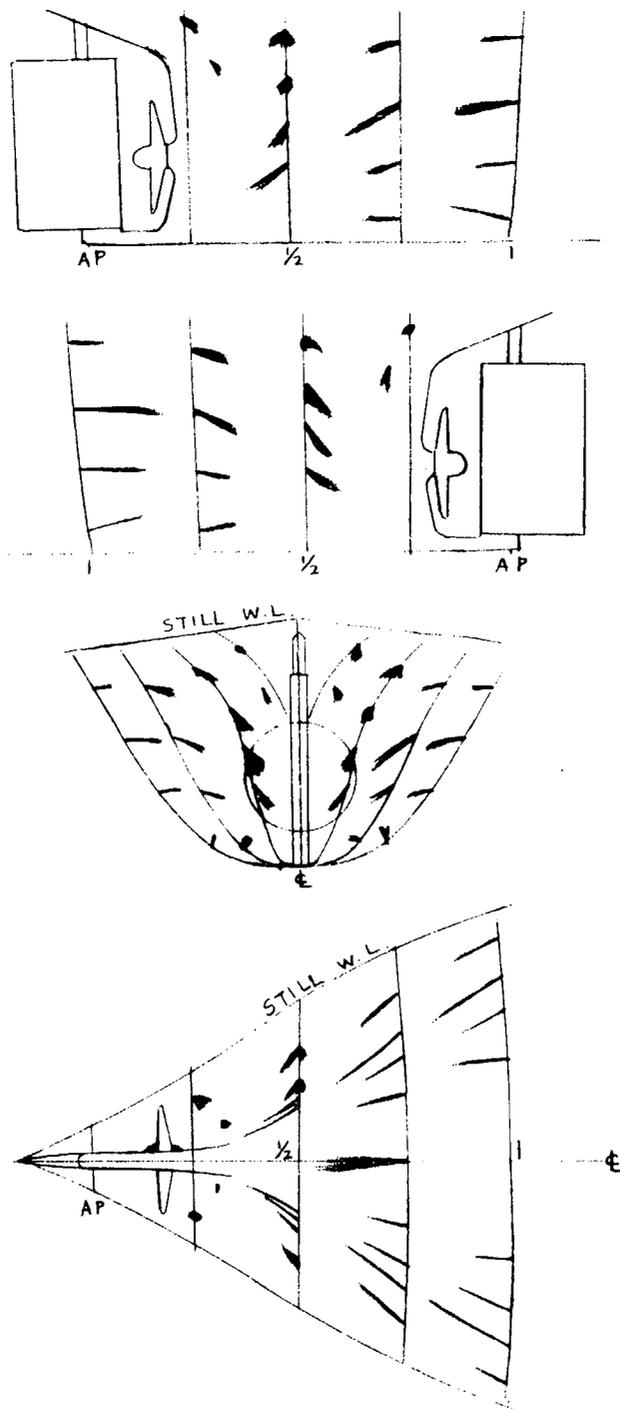


Fig. 5.6.1.8(b) Result of Chemical Film Staining Method, Smaller Value of Thrust

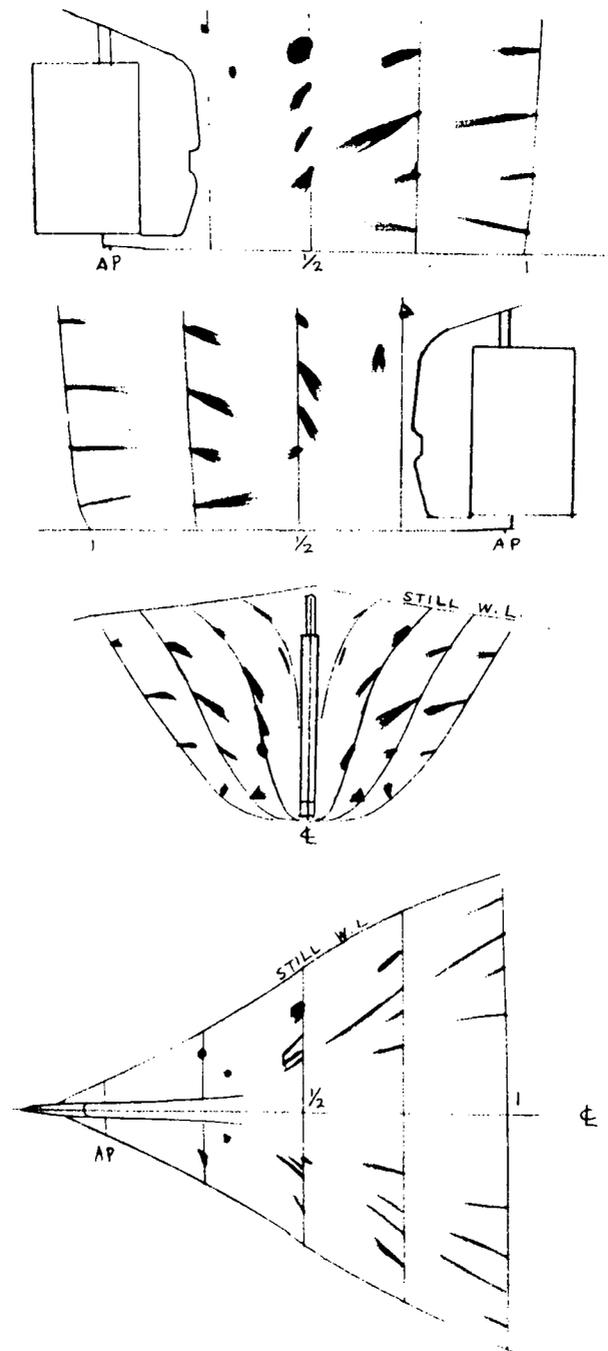


Fig. 5.6.1.8(c) Result of Chemical Film Staining Method, Towed

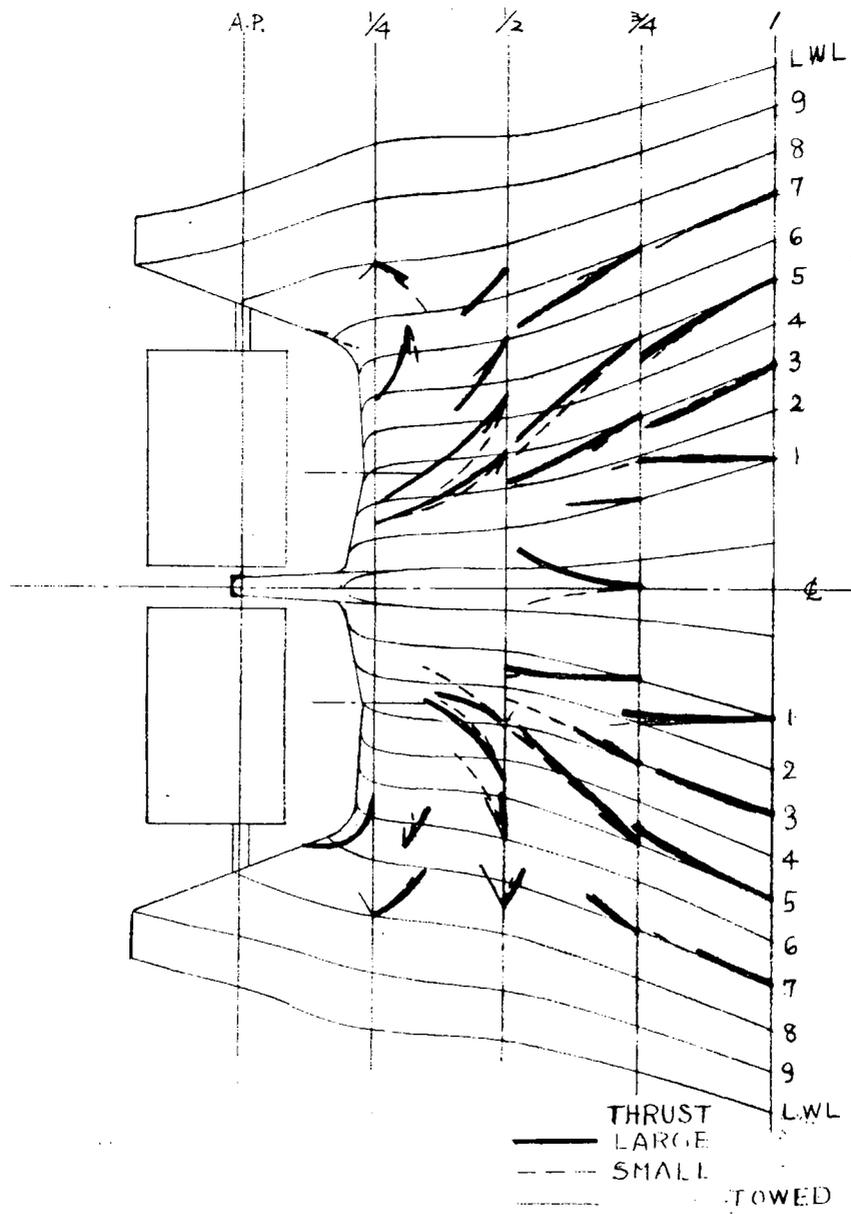


Fig. 5.6.1.9 Comparison of Chemical Film Staining Method

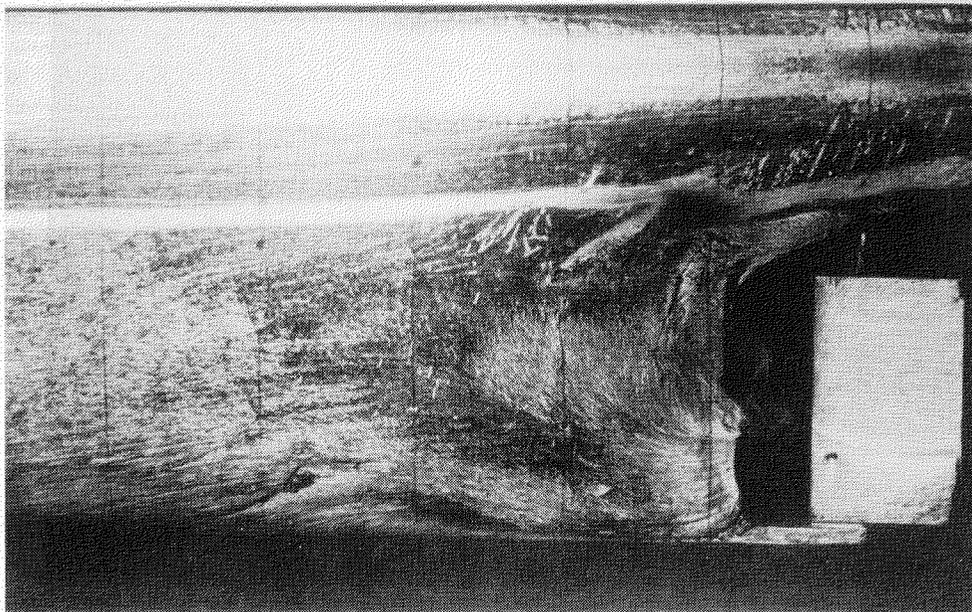
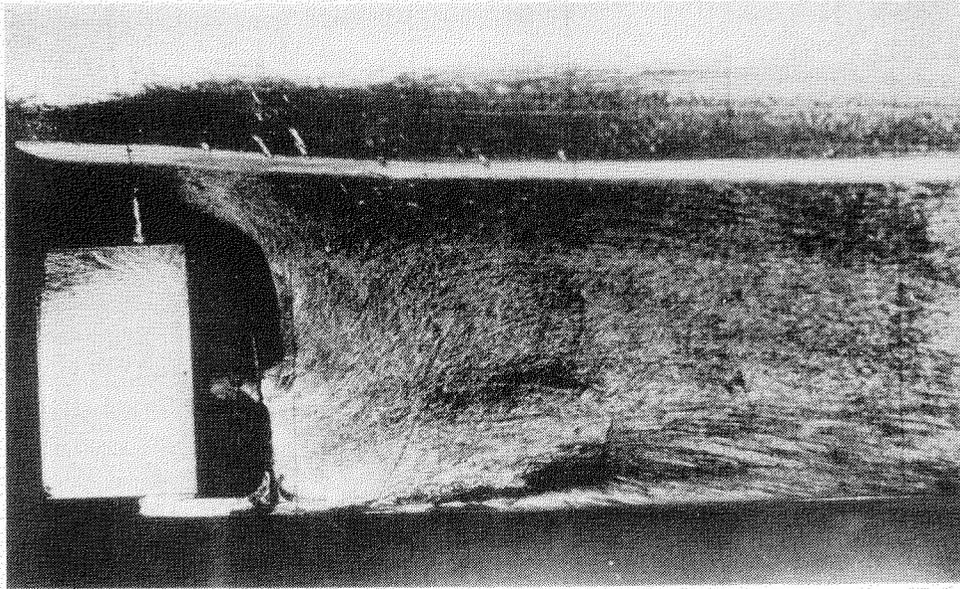


Fig. 5.6.1.10(a) Result of Oil Film Method,  
Plate for Stern Flow Fixing:  
Port Side,  
(Larger Value of Thrust)

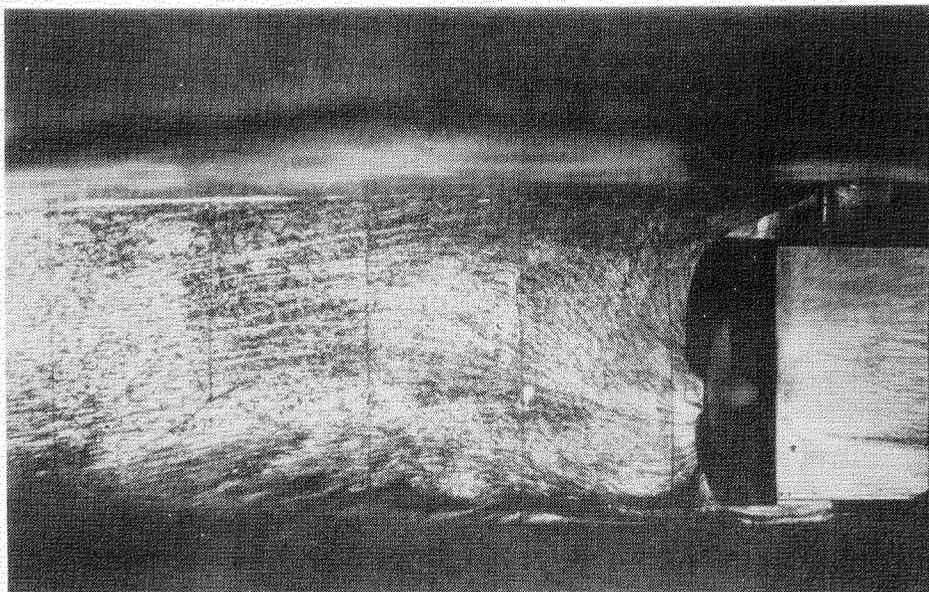
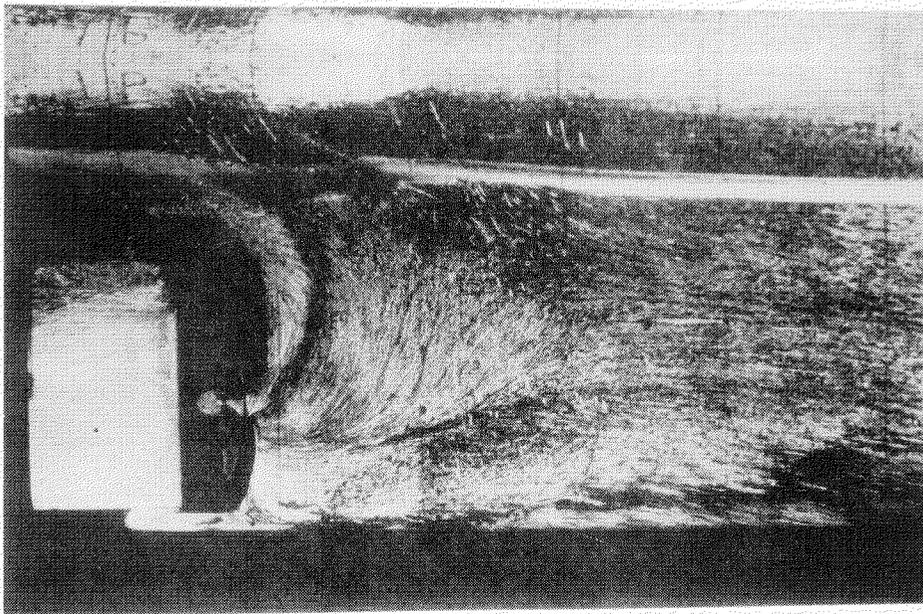


Fig. 5.6.1.10(b) Result of Oil Film Method,  
Plate for Stern Flow Fixing:  
Starboard Side  
(Smaller Value of Thrust)

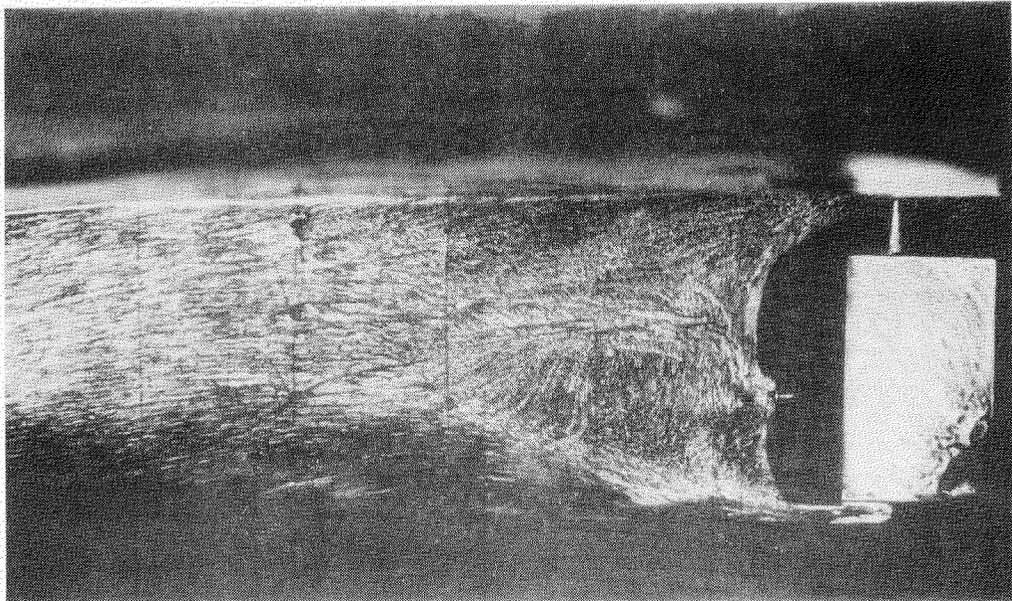
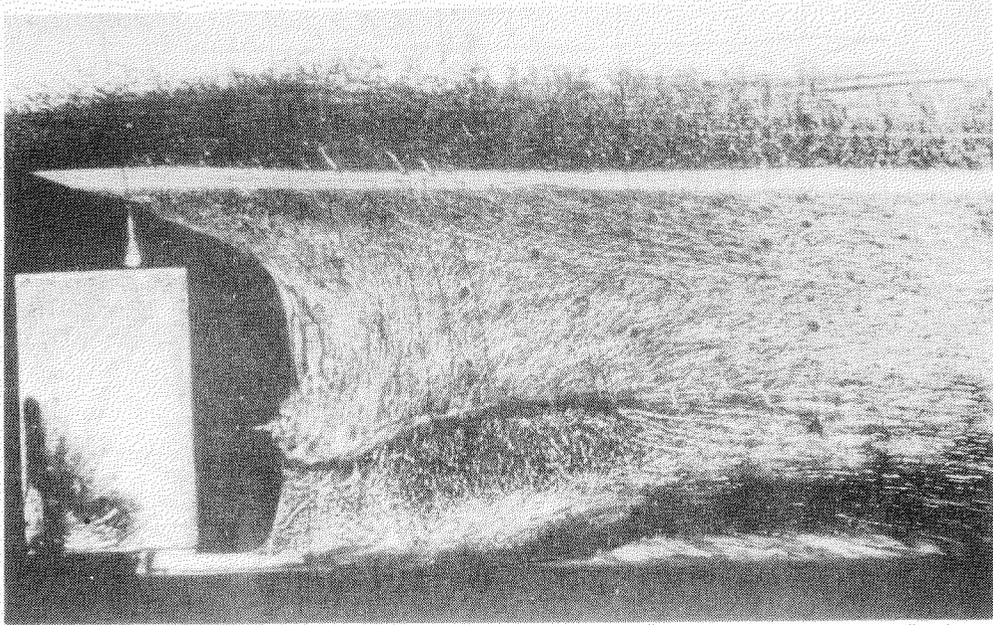


Fig. 5.6.1.10(c) Result of Oil Film Method,  
without Plate for Stern  
Flow Fixing, Towed

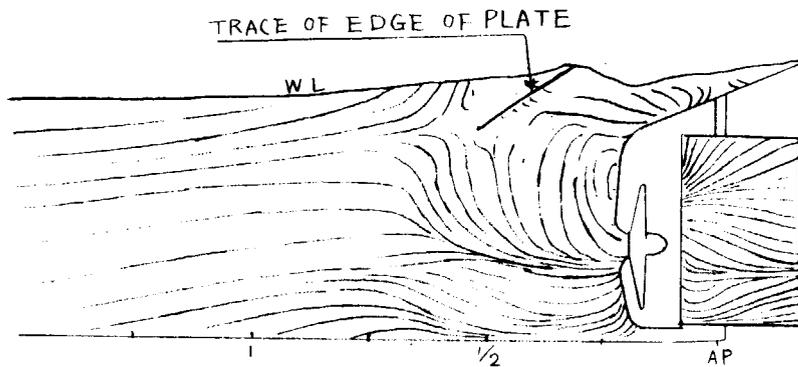
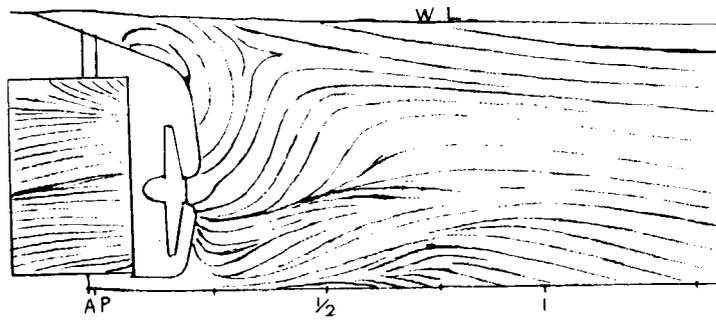


Fig. 5.6.1.11(a) Sketch of Oil Film Pattern,  
Plate for Stern Flow Fixing:  
Port Side

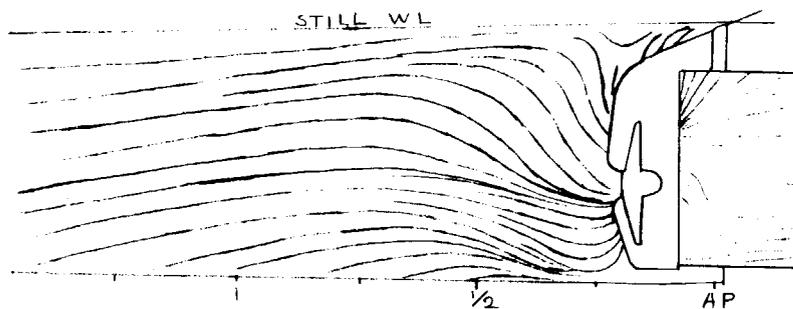
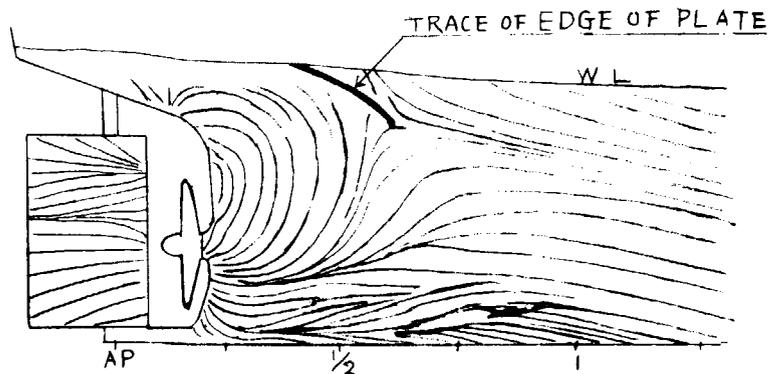


Fig. 5.6.1.11(b) Sketch of Oil Film Pattern,  
Plate for Stern Flow Fixing:  
Starboard Side

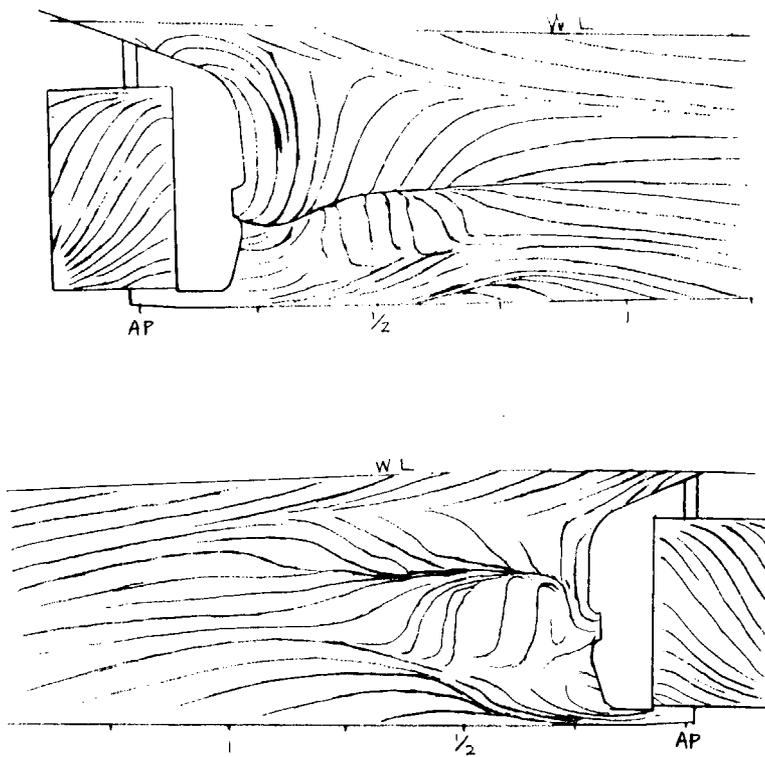


Fig. 5.6.1.11(c) Sketch of Oil Film Pattern,  
without Plate for Stern Flow  
Fixing, Towed

## 5.6.2 模型船伴流計測へのレーザ・ドップラ流速計の試用

### (1) まえがき

模型船伴流計測、船体周辺速度分布計測には従来ピトー管が使用される例が殆んどであった。ピトー管、熱膜流速計など接触型の流速計はその受感部や受感部支持具の流体排除により流れを攪乱する。この攪乱は模型船周辺の流場と受感部・支持具の大きさ関係で無視できなくなる場合がある。例えば、回流水槽で使用する1.5～3m模型について船体表面付近の速度・流向分布を球形5孔管で計測する場合である。球形5孔管の径は6mm位であるから、船体表面ごく近くでの速度勾配・流向変化の大きい所、境界層が薄い所では計測に使えない欠点がある。また計測可能な流向角度に限界(35°～40°位)がある。

自航試験の不安定現象は、船尾流れの変動(不安定または双安定的変動)が原因であるが、このような模型船の速度分布計測では流速計による攪乱が大きいと、流れがある一つの状態に固定され、この現象の研究に支障を生じる。したがって流速計による攪乱がないことが望ましい。

無接触型流速計にはドップラ・ソナー流速計とレーザ・ドップラ流速計がある。ドップラ・ソナー流速計は現在のところ、流速計測流体塊の大きさは10～15mm角となり大きく<sup>1)</sup>、レンズで超音波ビームを絞ると計測流体塊は1～2mm角となるが、計測可能距離が100mm以下に減少し、無接触型の長所が薄くなる。

レーザ・ドップラ流速計は1960年代から使われ始めた。その形式は大別して次の3種である<sup>2)3)</sup>。

- (a) 参照光方式
- (b) 干渉縞方式 { 前方散乱型  
後方散乱型
- (c) 単一光方式

参照光方式は上記ドップラ・ソナー流速計と同一方式のもので、初期から現在に至るまで使われ、干渉縞方式は比較的最近使われ始めたものである。

レーザ・ドップラ流速計はレーザビームの径が1mm位で細く変動流の計測が可能で検定を要しない長所があるが、非常に高価で、また既製標準品で船型試験水槽での使用に適する型のものはまだ市販されていないようである。模型船の水槽試験で使用しているのはNSMB、HSVAなど少数の研究機関と思われ、これを用いた研究報告は現在のところ非常に少ない<sup>4)5)</sup>。

現在市販されているレーザ・ドップラ流速計(標準品)は主に管内流、ダクト内流用と思われるので、回流水槽ならばある程度使用できるとと思われる。そこで、自航試験の不安定現象が発生する模型船の伴流計測に試みに使ってみることにした。

### (2) 供試レーザ・ドップラ流速計

供試レーザ・ドップラ流速計は日本科学工業㈱から提供された。その主要目を下記に示す。

型	Kanomax 27-1091、1090
方式	干渉縞方式
信号処理	トラッカー方式
レーザ光源	He-Ne、15mW
レーザビーム径	0.8mm
投光側レンズ	f 595mm、400mmおよび240mm

### (3) 供試模型船および実験状態

本実験に使用した模型船は本報告書5.6.1項の実験に使用した模型である。実験状態は65% load 1%トリム、プロペラ荷重度はmodel point、速度は0.8m/sで、東京大学工学部船用機械工学科回流水槽を使用した。

#### (4) 配 置

今回使用したレーザ・ドップラ流速計は、水面を通して投光・受光することはできない。回流水槽水槽側壁の観測用ガラス窓を利用して行なうことにした。その配置の概略を Fig. 5.6.2.1 に示す。

#### (5) 実験経過および結果

まず、予備試験としてレンズ  $f 240\text{ mm}$ 、 $400\text{ mm}$  の2種について後方散乱型配置で行なった。模型船は回流水槽測定部中心線から窓ガラスよりに移した。 $f 240\text{ mm}$  では後方散乱型で計測可能であったが、 $f 400\text{ mm}$  では酸化マグネシウム粉およびポスターカラーを水槽水に投入しすぎ、後方散乱光を受光できず計測不能となった。

本試験では模型船を回流水槽測定部中心線に置くため、 $f 595\text{ mm}$  レンズを使用し、この距離では後方散乱型配置の場合、後方散乱光量が不足するかも知れないので、前方散乱型のみで行なった。水槽水は前日から珪藻土濾過装置により濾過してあったが、微粒子は残存し散乱光は計測可能な程度あったが、さらに径  $5\ \mu$  の酸化アルミニウム粉  $5\text{ g}$  を水槽水 (約  $50\text{ m}^3$ ) に投入した。

この流速計のためのトラバース装置は大型になり用意できず、また本実験はレーザ・ドップラ流速計の試用が目的であるので、トラバース装置を用いず、流速計の移設により計測位置を数点変更することにした。計測位置は水深約  $25\text{ mm}$  で、

- (i) propeller aperture : プロペラ上方、ほぼ船体中心線
- (ii) propeller aperture : プロペラ上方、船体中心線から左舷へ約  $15\text{ mm}$
- (iii) propeller aperture : プロペラ上方、船体中心線から左舷へ約  $40\text{ mm}$
- (iv) transom 直下 : 船体中心線から左舷へ約  $20\text{ mm}$
- (v) 模型船なし

トラッカー出力をビジュグラフで記録したが、その例を Fig. 5.6.2.2 に示す。ただし、今回は frequency shifter を使用していないので、流速約 0 (正の小さな値) または逆流が現われる時は正しい値を示さないことになる。計測位置 (i)、(iii) は流速・流向変動が大きく、このおそれがある。計測位置 (ii)、(iv) はこのおそれがないようである。(v) は流速変動が小さい記録がえられた。

以上、レーザ・ドップラ流速計を模型船伴流計測に試用してみたが、その結果の所感、問題点などを以下に示す。

- (i) 光散乱物体として、水に微粒子を懸濁させるを要する。粒子径は、He-Ne レーザの場合  $12\ \mu$  では信号がえられないといわれる。微粒子を入れ過ぎると光の透過率が低下し計測不能になる。適当な濃度で微粒子が水中に存在しなければならない。
- (ii) 標準品光学系では流速計測点が光学系から約  $240\text{ mm} \sim 600\text{ mm}$  であるので、模型船を回流水槽測定部中心線上に置けない場合がある。
- (iii) 後方散乱型の場合、流速計測点直後の背景となる船体表面など、光を乱反射する物体があると、その乱反射光の方が流速計測点の散乱光より強いので、流速計測点に発生する干渉縞が見えなくなり計測不能となる。

この対策としては、計測点付近の模型船体を透明な材料で作り、光を透過させるか、または模型船体を鏡面とし、光を一方向にだけ反射し、光電子増倍管に入らないようにするを要する。大型模型船ならば、模型船内に流速計を積み、透明にした模型表面を通して計測する方法も考えられるが、模型船体が複曲面であるので、光学系上問題が残り、トラバースの点を考えると毎回の調整に手間・時間を要し、実際はかなり難しいであろう。また、レーザ・ビームの当たった模型表面が見えない方向に受光側を置けば、通常材質の模型でも良いことになるが、特注品となる。

- (iv) 前方散乱型の場合、propeller aperture や stern 後方のように反対舷側を見通せる位置しか流速を計測できない。

(V) 標準品の光学系では流速計測点までの距離  $600\text{ mm}$  の時、レーザー・ビームの交叉角が小さいので、流速計測流体塊の流れに対し直角方向の寸法が  $15\text{ mm}$  位で大きい。このような場合、流れに直角方向（レーザー・ビーム方向）に、例えば境界層内で壁面近くのように、大きな速度勾配があると、流速指示値が何を示すのか問題がある。

(VI) 流速計測流体塊からの散乱光の強さは random で、散乱光の強さが計測に必要なレベル以下になった時間はその直前の値を信号処理回路はホールドしている。したがって流速変動の様子を正確に追従し指示するとは限らないおそれがある。

(6) むすび

以上のように、現在の標準品のレーザー・ドップラ流速計はそのまま船型試験に用いるには問題点があり、曳航水槽も回流水槽も船型試験に適した特別のものを作ることが望まれる。それができれば種々の試験に有用であろう。無接触で流速を計測できる長所があるので、船型試験に使用できる形式のものであれば、本部会で採上げている自航試験の不安定現象の研究には適していると思われるが、現状では高価な点と開発に要する時日の点で残念ながら使用をあきらめざるをえない。

参考文献

- 1) 田古里哲夫 : 対水速度計のいろいろ (その2)、日本造船学会誌 第504号 (昭和46年6月) 33~40
- 2) 浅沼 強、小保方富夫 : レーザ流速計による測定、流体工学 Vol.13、№6 (昭和52年)
- 3) 中谷 登、山田朝治 : レーザによる流れの計測、機械の研究、第28巻、第3号 (昭和51年)
- 4) Halliwell, N,A, : Laser Anemometry in Ship Hydrodynamics、Naval Architects №3 (May 1976) 95
- 5) Lammers, G : Geschwindigkeitsmessungen vor und hinter einem Modellpropeller mit Hilfe eines Laser-Anemometers、Schiff & Hafen Heft 8/1976, 28, Jahrgang 711-713

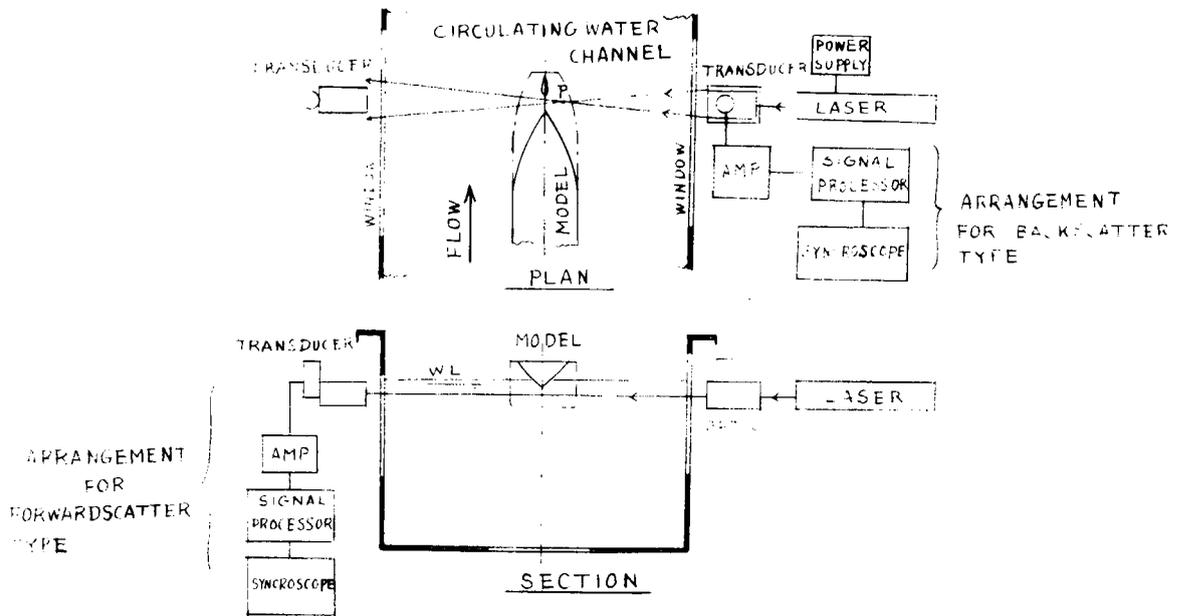


Fig. 5.6.2.1 Arrangement of Apparatus

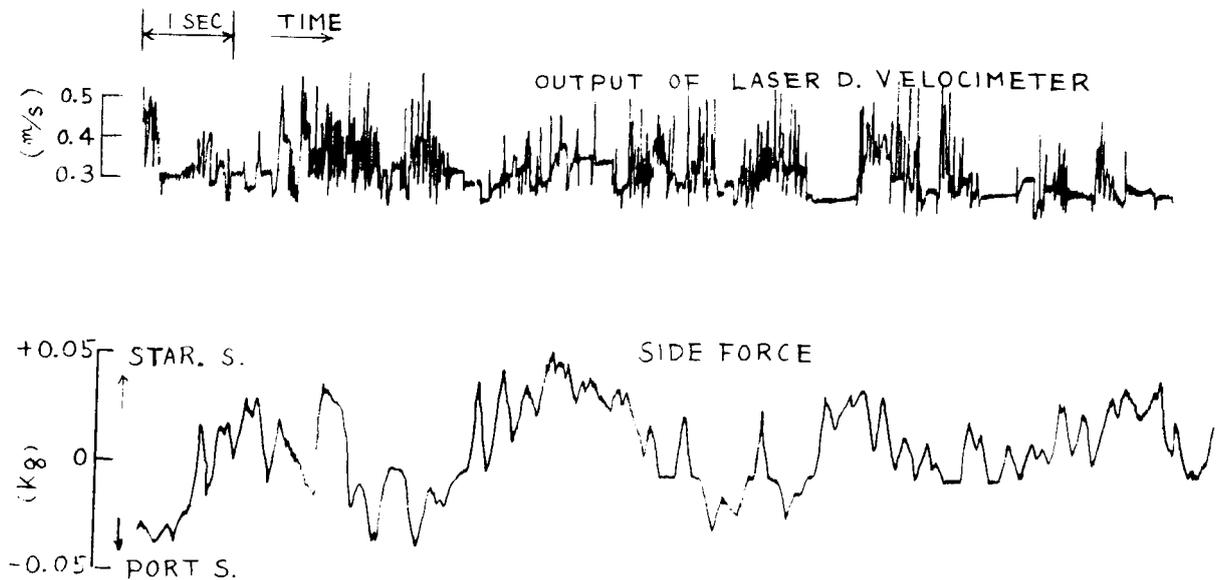


Fig. 5.6.2.2(a) Record of Output of Laser D. Velocimeter, Upper Part of Propeller Aperture, about Centerline

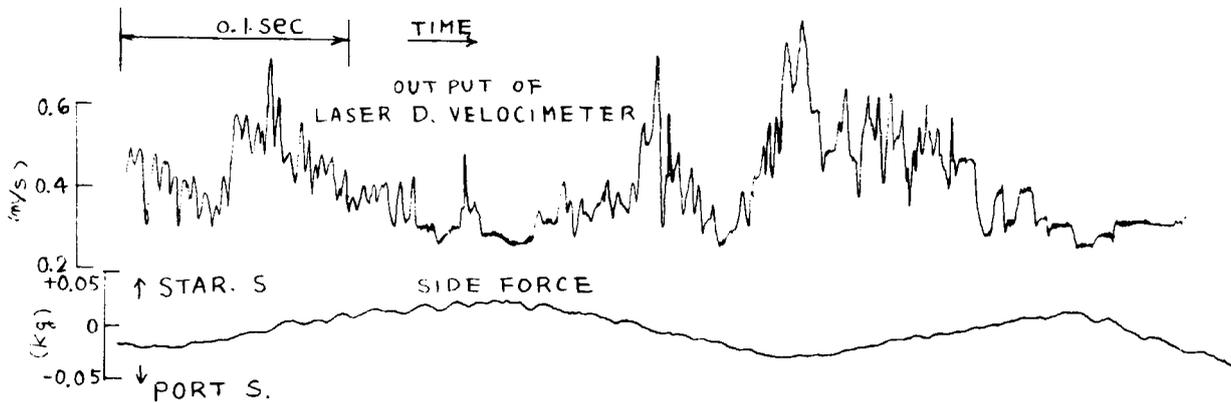


Fig. 5.6.2.2(b) Record of Output of Laser D. Velocimeter, Upper Part of Propeller Aperture, about 15mm Port Side from Center-line

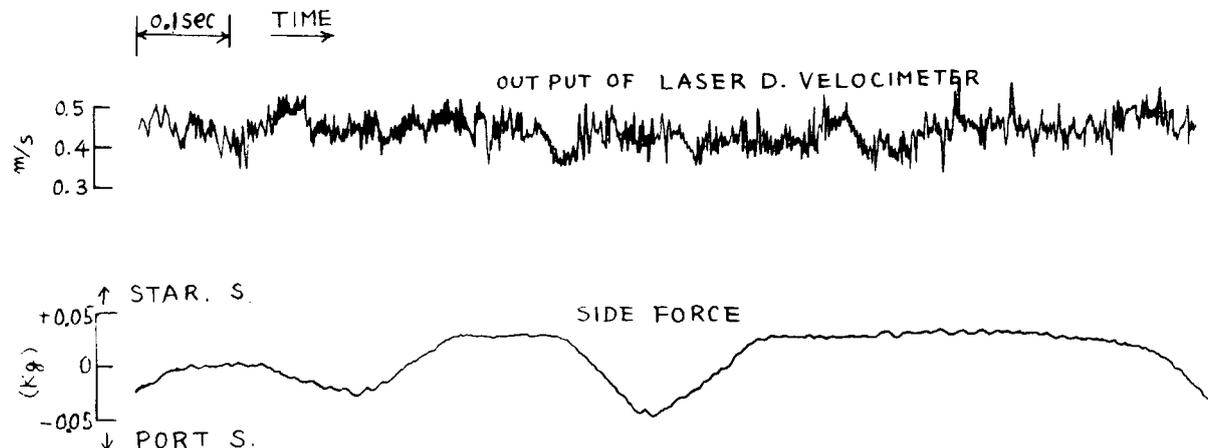


Fig. 5.6.2.2(c) Record of Output of Laser D. Velocimeter Upper Part of Propeller Aperture, about 40mm Port Side from Center-line

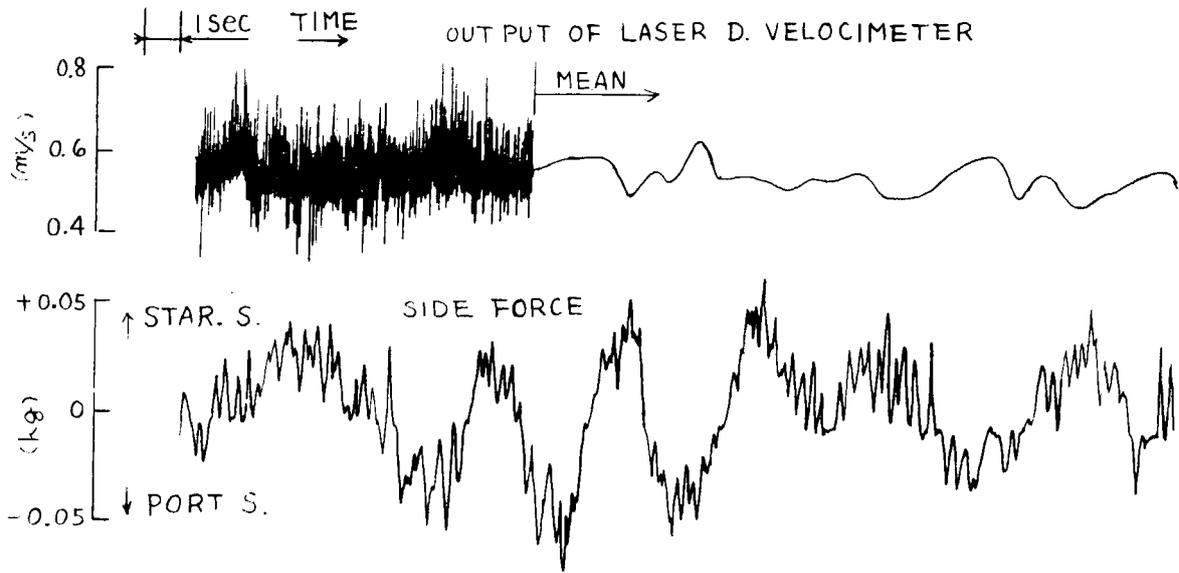


Fig. 5.6.2.2(d) Record of Output of Laser D. Velocimeter, below Transom, about 20mm Port Side from Centerline

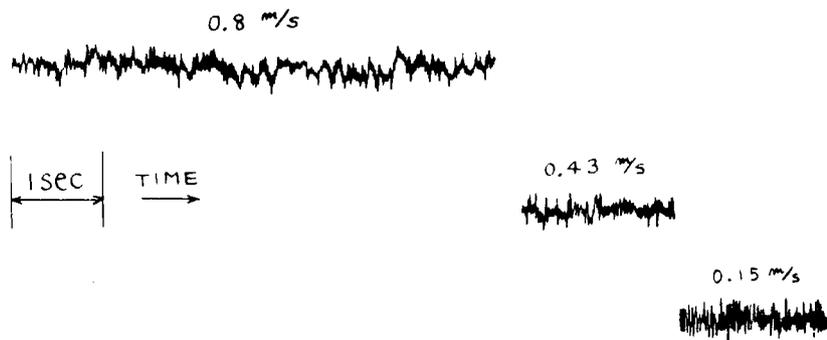


Fig. 5.6.2.2(e) Record of Output of Laser D. Velocimeter, Uniform Flow, without Ship Model

### 5.6.3 船尾横力と舵横力の関係

昭和50年度報告書に提出した舵横力に関するデータは、解析上の手違いから、オーダーが1桁小さく報告されているので、今回再解析し結果を報告する。なお、使用したデータは、昭和50年10月に行った50年度船型の65% Loadにおける荷重度変更試験において得られたものである。

船尾横力および舵横力の無次元値とプロペラ荷重度との関係をFig. 5.6.3.1に示す。図中2点または3点を実線でむすんだものは同一航走中にスラストが変化した点である。この図から以下の事柄が明らかとなった。

- (1) 舵横力はプロペラ荷重度の増加に伴い変化し、Ship Point 近傍で正（右向き）から負に変わる。  
Ship Point より高い荷重度において船尾横力が減少する割合は、舵横力の変化する割合とほぼ等しい。
- (2) 不安定現象が発生した時、舵横力と船尾横力は逆方向に変化するが、量的には船尾横力の変化がかなり大きい。
- (3) 舵横力の変化（持続時間1～2秒のものからより長いものまでであるが）とスラストの変化とは、強い相関関係があり、スラストが増加すると舵横力は左向きに増加する。しかし船尾横力は計測系の固有周期が長いいためか、変化が現われにくい。
- (4) 船尾横力から舵横力を減じた船体みの横力は、不安定発生時に左右ほぼ同一の値を取ると思われる。
- (5) Model Point 付近で発生する不安定現象において、スラスト小の状態では舵の横力がほぼ0となる。  
これはスラスト小の時の潮目が、スラスト大の時に比較して中心線に近いことと関連があるように思われる。

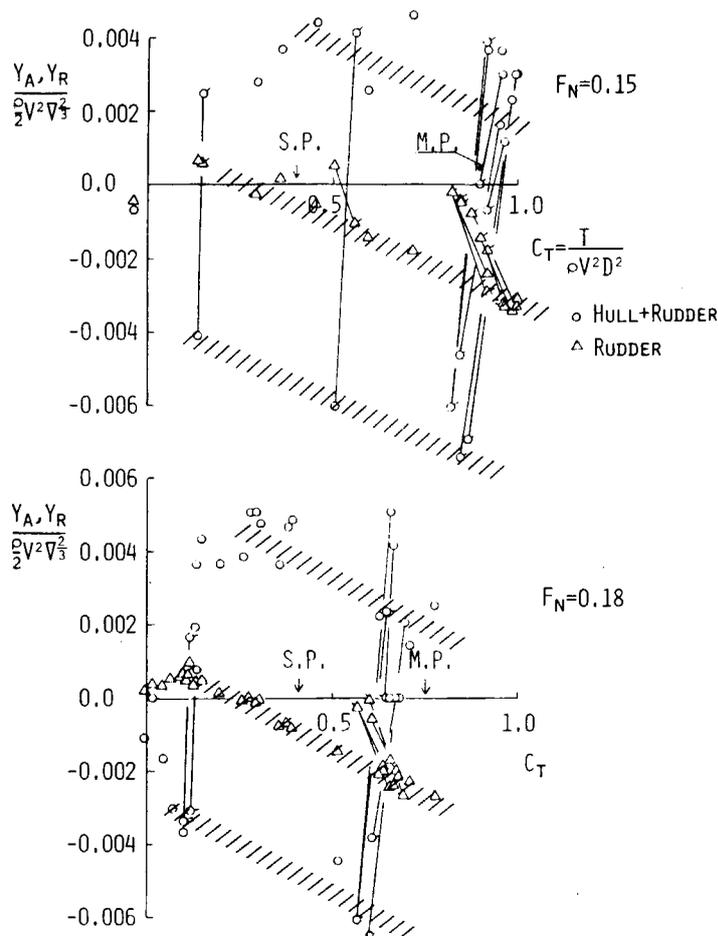


Fig. 5.6.3.1 舵横力、船尾横力とプロペラ荷重度の関係  
(50年度模型, 65% Load)

#### 5.6.4 境界層理論による粘性抵抗の解析

本研究は3次元境界層理論の実用化の研究の一環として行われたもので、以下では第1近似的な考えに立って船体の周りの境界層の特性を求め、これを用いて船体の粘性抵抗を算出し、実験値と比較検討した結果について述べる。

##### (1) 解析法の概略

3次元境界層の特性は、主流方向の運動量厚さ $\theta$ や速度分布の形状係数 $H$ と2次流れ方向の特性量、たとえば横流れ角 $\beta$ などで定められる。これらの値は船型が与えられ、層外のポテンシャル流れが決められると境界層計算によって求めることができる。ここではその計算には田中らの第1近似理論<sup>1)</sup>を用い、さらに、簡単のため、船体の断面平均値 $\bar{\theta}$ 、 $\bar{H}$ などを求めることとする。船尾におけるこれらの値を用いてSquire-Young<sup>2)</sup>の公式を適用すれば主流方向の速度損失に基づく粘性抵抗が求められる。これを形状影響係数 $K$ の形で表現すれば次式のようになる。

$$1 + K = \frac{\bar{\theta}_L}{\theta_{OL}} \cdot \frac{g_L}{g_O} \cdot \left( \frac{\bar{U}_L}{U_O} \right)^{\frac{\bar{H}_L + 5}{2}} \quad (1)$$

ここで、添字「O」は相当平板値、「L」は船尾付近を表し、 $g$ は断面のガース長さ、 $U$ は層外流速である。船尾付近での上式の最大値を $K$ の値として採用することとする（これはS.S.1の付近である）。

一方、2次流れについては、横流れ角 $\beta$ の代わりに2次流れ方向の速度損失を層内で積分して求められる循環 $\Gamma^2$ )によって大略の性質がわかる。ここでは、この船長方向の投影成分 $\Gamma_x$ を求めることにする。これはいわゆる縦渦に対応するが、これにより生ずる抵抗を境界層理論で求めることは困難である。したがって、2次流れによる抵抗については別所の方法<sup>3)</sup>によって求めることとする。これは、船体断面のポテンシャル流場の2次流れによるエネルギー $T_2$ （2重模型）の値が最大となる断面から渦が流出し、いわゆる「渦抵抗」となる（Jonesの仮定）もので、次式で示される。

$$C_{VJ} = \frac{1}{2} \frac{T_2}{\frac{\rho}{2} S V_M^2} \quad (2)$$

ここで、 $S$ は浸水面積、 $V_M$ は船速である。別所は船首部分での上式の最大値を取っているが、ここでは船尾部分での最大値を取ることとする。

これらの計算に当って、船体断面をLewis form断面で近似し、細長体理論によって層外ポテンシャル流れを求めた。

##### (2) 解析結果および考察

まず予備計算として、シリーズ60の船型（ $C_B = 0.6$ および $0.8$ の母型）について船体表面の圧力および流向の分布を求めた。これをFig. 5.6.4.1およびFig. 5.6.4.2に示す。細長体理論で求めた結果をHess-Smith法による結果と比較すると、流向はよく合っており、また圧力の方も値は少し異なるが分布の形状は類似しているため、細長体理論を用いても定性的な議論はできるものと思われる。また、同じ船型についてSquire-Youngの方法で求めた $K$ と実験値 $K_{exp}$ を比較すると $K \approx K_{exp} / 1.5$ の線型関係が得られ、 $K$ の計算値は値としては小さいが、一つの目安になり得るものと考えられる。

つぎに、この解析法をSR61<sup>4)</sup>の12隻のシリーズ船型に対して適用した結果について述べる。船型の主要目はTable 5.6.4.1に示す通りで、これらの $C_p$ 分布、水線幅分布は三菱重工長崎研究所から提供を受けたものである。Fig. 5.6.4.3は抵抗試験結果を剰余抵抗係数 $C_R$ （Hughes base）の形で示したものである。横軸は船尾肥大度を示す指数 $(1 - C_{pa})L_{pp} / 2B$ であり、 $\ell_{cb}$ シリーズの船型群（M1751～53）が少し大きい $C_R$ の値になることが特徴の一つである。

Fig. 5.6.4.4は別所の方法による「渦抵抗」 $C_{VJ}$ を求めた結果で、 $C_B$ 、 $B/d$ 、 $L/B$ シリーズについては $C_R$ の実験値(Fig. 5.6.4.3)と極めて類似した傾向を示すが、 $\ell_{cb}$ シリーズについては $C_B$ シリーズと同じ曲線上に並ぶ。これらのシリーズは断面形状が同一で船長方向に伸縮しただけであるので $C_{VJ}$ の性質は余り変わらず、その値は断面の船長方向の変化率に応じて決まるからである。Fig. 5.6.4.5は2次流れによる循環 $\Gamma_x$ のAPでの値を示したもので、 $C_{VJ}$ と類似の傾向を示すが、 $B/d = 3.06$ の $L/B$ シリーズ船型(M1657、59、61)の満載状態の値がかなり高めに出ており、このシリーズについては境界層内の2次流れが特に大きいものと思われる。もっとも、細長体理論による計算値はAP付近でかなりの誤差を生じるものと思われるので、このことは即断できない。

Squire-Youngの方法で求めた、船長方向の速度損失に基づく抵抗に対応する値をKの形で示したのがFig. 5.6.4.6である。これによると船尾肥大度が増えてもKの値は差程変わらず、 $\ell_{cb}$ が前方に移る程形状抵抗が増大している。このことはFig. 5.6.4.3の実験値にみられる $C_B$ シリーズと $\ell_{cb}$ シリーズとの差に対応しているようである。また、 $C_B$ シリーズと $L/B$ 、 $B/d$ のシリーズとの相対関係もFig. 5.6.4.3と類似している。

これらの結果を用いて $C_R$ に対する回帰分析を試みてみた。Kの計算値をいわゆる形状抵抗に比例するものと仮定し、 $C_{VJ}$ を渦抵抗に比例する量と仮定して次式のように表す。

$$C_R = a K C_F + b C_{VJ} \quad (3)$$

12隻の船型について、最小自乗法により、 $C_R$ の実験値に合うように係数a、bの値を求めると、満載状態の場合

$$a = 1.443, \quad b = 2.539 \quad (4)$$

となった。この値を用い、(3)式の計算値を実験値と比較したのがFig. 5.6.4.7である。実験値との一致は比較的良く、各シリーズの違いもよく表わしているようである。係数aの値は前述の予備計算結果からみて妥当と思われるが、bの値については $C_{VJ}$ の値の妥当性が不明であるので判断が難しい。しかし、 $C_{VJ}$ が「渦抵抗」に比例すると考えると(3)、(4)式からみて、渦抵抗の成分はかなり大きいものと予想され、母型のM1592では(3)式の第1項と第2項が同程度の割合となる。そして、このシリーズでは肥大度の増加に伴って主に渦抵抗が増大し、 $\ell_{cb}$ の前方への移行により、形状抵抗が増大していることが判る。

また、自航時の有効伴流と抵抗の関連も調べたが、類似の傾向はあるものの、不安定現象に関する新たな知見を得るまでには至らなかった。

#### 参考文献

- 1) 田中一朗、姫野洋司 : 3次元乱流境界層理論とその応用、船論、第138号(昭50)
- 2) 姫野洋司、奥野武俊 : 境界層理論による船尾渦の強さの推定、JTTC第1部会、資料40-5(昭51)
- 3) 別所正利 : 肋骨線に関する考察、船論、第122号(昭42)
- 4) 日本造船研究協会 : 高経済性船舶の運航性能に関する研究、SR61、報告第67号(昭44)

Table 5.6.4.1 Principal Dimensions of Models

M. NO.	$L_{pp}$ (m)	L/B	B/d	$C_B$	$\ell_{cb}$ (%)	$\frac{(1-C_{pa})L_{pp}}{2B}$
1591				0.78		0.740
1592	6.00	6.00	2.76	0.80	-1.5	0.670
1593				0.82		0.613
1594				0.84		0.560
1657		5.50				0.571
1659	6.00	5.75	3.06	0.82	-1.5	0.592
1661		6.00				0.613
1658	6.00	5.50	2.76	0.82	-1.5	0.571
1660		5.75				0.592
1751	6.00	6.00	2.76	0.80	-2.25	0.726
1752					-3.00	0.775
1753					-3.75	0.828

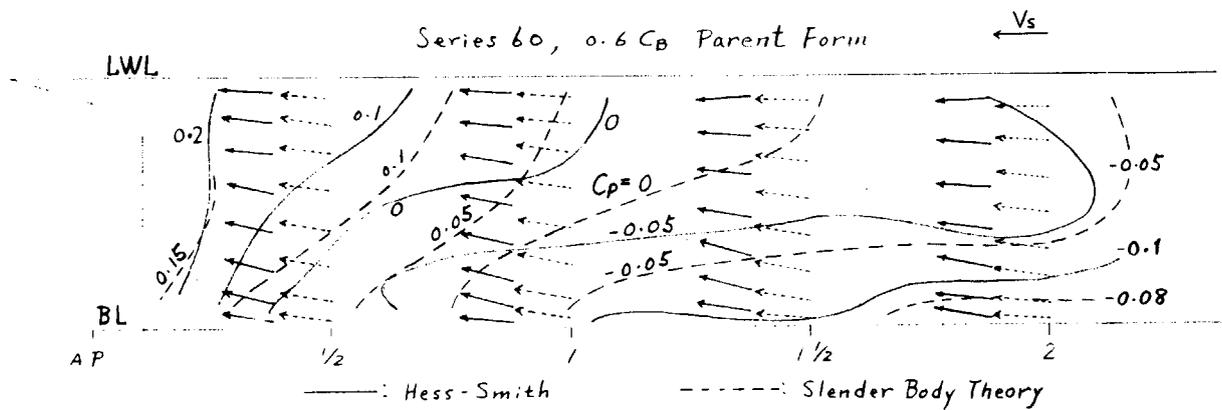


Fig. 5.6.4.1 Potential Flow Direction and Pressure Distribution on Hull (Series 60, 0.6  $C_B$ )

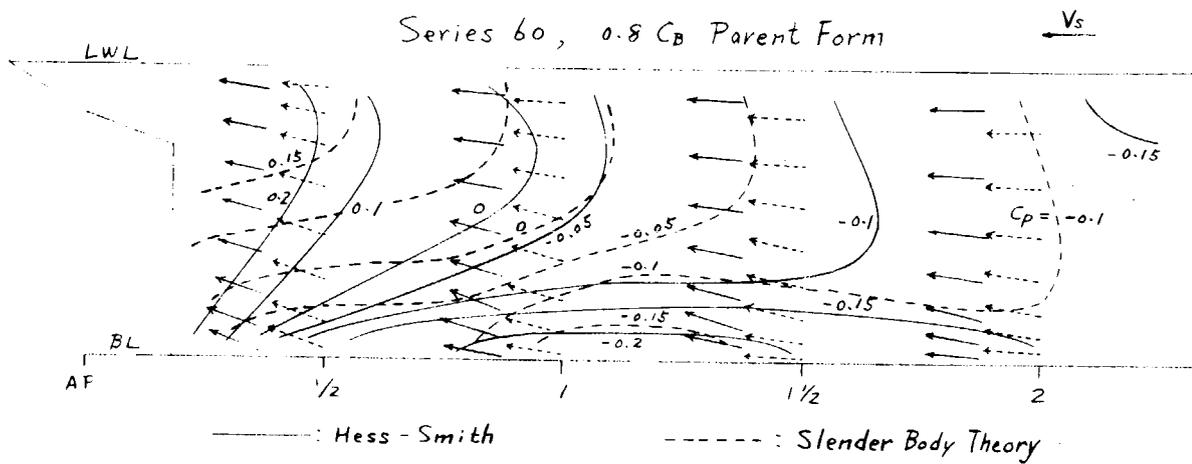


Fig. 5.6.4.2 Potential Flow Direction and Pressure Distribution on Hull (Series 60, 0.8 C<sub>B</sub>)

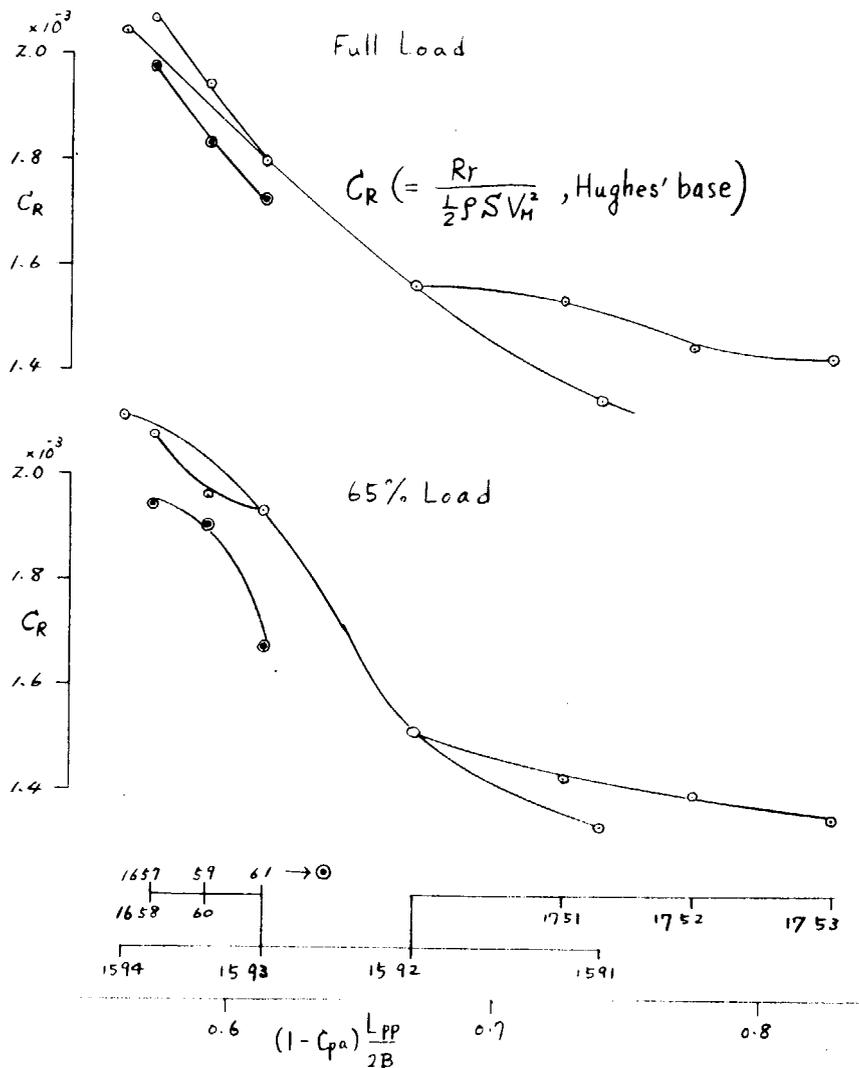


Fig. 5.6.4.3 Residual Resistance Coefficient Measured at MHI

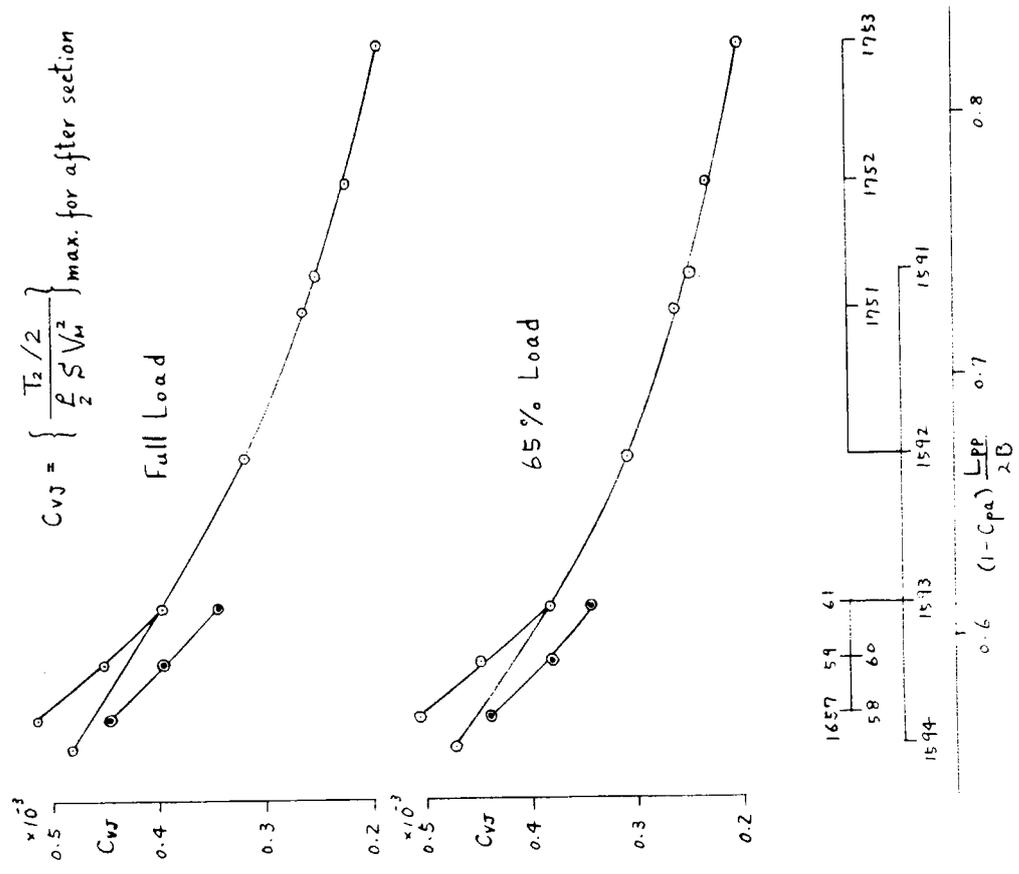
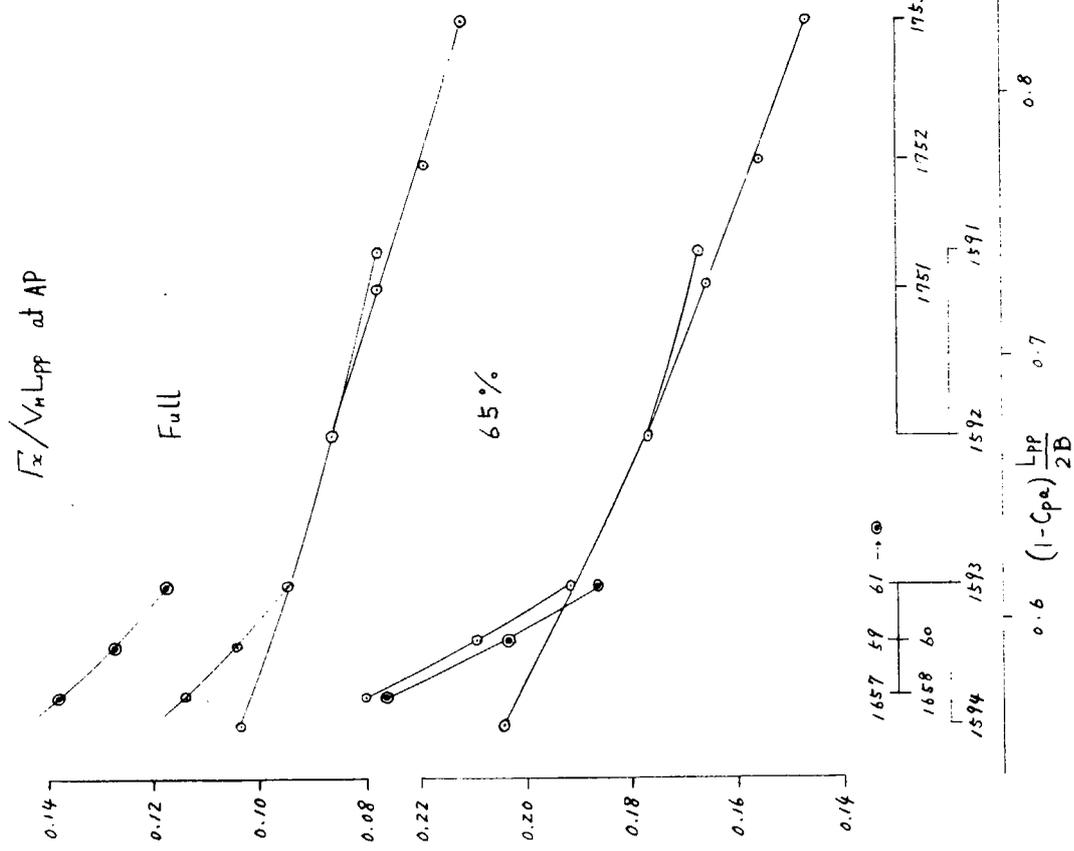


Fig. 5.6.4.5 Circulation  $\Gamma_x$  Due to Secondary Flow

Fig. 5.6.4.4 Cross Flow Resistance Coefficient  $C_{vJ}$  Calculated

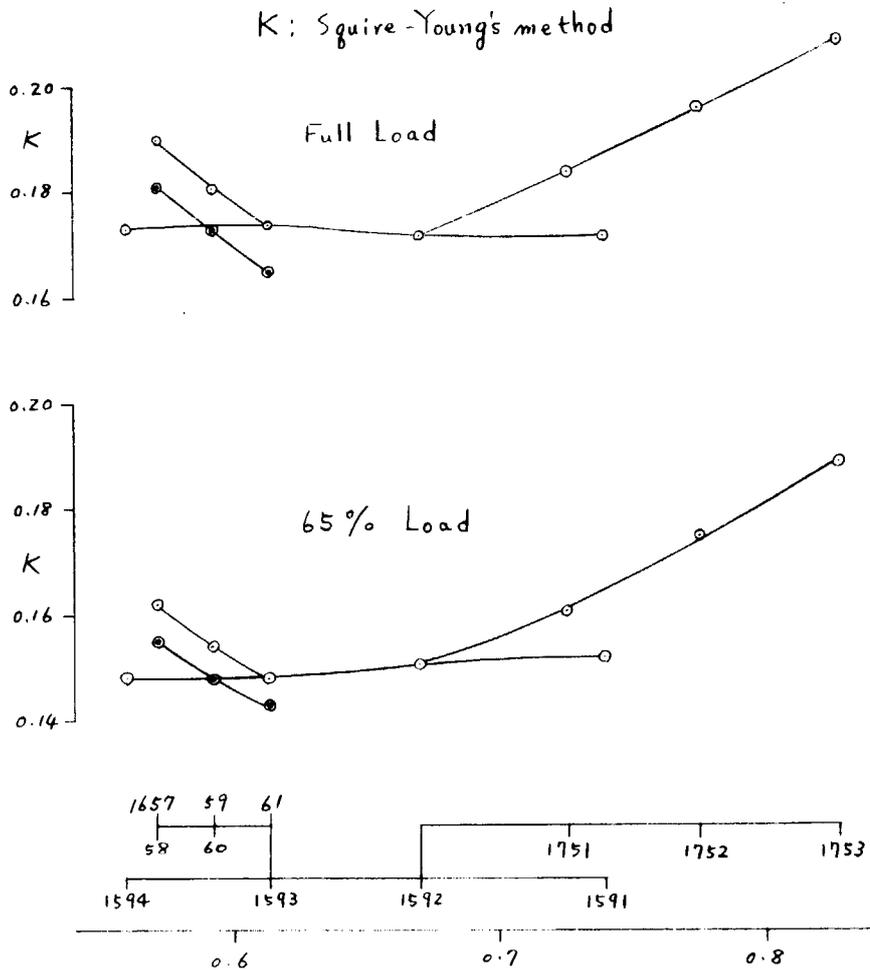


Fig. 5.6.4.6 K Value Calculated by Squire-Young's Method

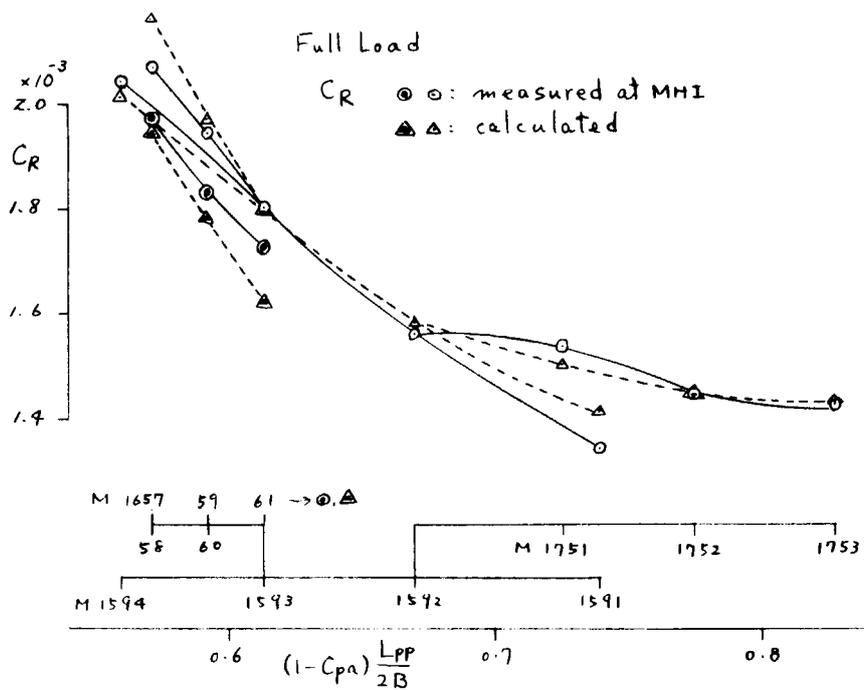


Fig. 5.6.4.7 Regression Analysis for  $C_R$

## 5.7 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、次のようにいえるであろう。

- (1) 不安定現象の現象面での特徴は昨年度でほぼ明らかとなったが、本年度の試験であらためて確認された。すなわち、推力大のとき、横力は左舷側から右舷側に働き、伴流値は大で潮目は左舷側に出る。又、圧力分布は左舷側が高い。
- (2) 本年度は系統的に変えた新しいSR船型の試験がないため、船型と不安定現象との関係については新しい情報は得られていないが、50年度船型より51年度の方が不安定が出やすいこと、又、プロペラ荷重度のある領域で出ること、Fullよりは65%載荷状態で、あるいはある船尾喫水でよく発生することなどの結果を総合すれば、船型とプロペラ荷重度のある特定の狭い領域の組合せで発生することがほぼ明らかになった。
- (3) 左回りプロペラの実験結果は右回りプロペラのもの全くの裏返しになっており、現象全体を確認した。
- (4) 油膜法、化学反応法、水素気泡法などで流れを可視化した結果、推力大のとき、プロペラ上部のアーチャ部分を右舷側から左舷側に横切る流れがあること、又、左舷側のS.S.  $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{2}$  で、プロペラ前方から水面付近にかけて逆流乃至はそれに近い程度に流向の急変する部分があるが、右舷側では、流れは似ているが程度はかなり弱いことなどがわかった。
- (5) タフト法により調べた流場は、推力大の時非対称で、船尾後方にはプロペラ後方の位置に反時計回り（後からみて）の渦が残る外、水面付近には、左舷潮目付近に逆回りの渦があることがわかった。
- (6) 凍結法と仮称し、潮目の部分に平板を突込むことにより、不安定流場を固定しうることが確認された。この方法により、推力の大小両方の流速分布の計測が行われ、その結果、推力大のとき左舷潮目側の伴流値が大きいことが明らかとなった。
- (7) プロペラ直上のアーチャ部分に仕切板を入れることにより、流場の変動を防止することが出来ることが確認され、それにより不安定もなくなることが明らかになった。

## § 6 抵抗成分の分離に関する研究

### 6.1 まえがき

船の抵抗成分の研究は、今日の抵抗研究の源流として100年以上も前に始まっている。このFroudeの考え方は、現在でもなお馬力推定などの工学的な手法として活かしているが、物理的に意味のある抵抗成分の区分は、船体表面上で分離計測できる成分と、船体から遙か離れた遠方の検査面で計測できる成分のいずれかに限られている。

しかし実際には、このような理想的な抵抗成分が得られることは少ないので、船体表面から遠方に検査面を移して行くとの間に得られる抵抗成分の変遷や相互の関係を知らることが、抵抗成分研究の一つの課題となる。

本研究委員会では、船尾流場の性質の解析が重視されているのに並行して、抵抗成分と船尾縦渦の関係を調べることを重点においた。このため50年度の基礎的な準備に続いて、51年度に渦度計測用のrotor型渦度計を製作し、50年度船型4m模型の船尾渦を計測した。この結果、プロペラ面の船尾渦は、プロペラ軸を囲む形で内側と外側の同方向に回転する2重の渦構造をもっていることを知った。また渦度の分布がかなり不安定なものであることを報告した。しかし2重構造の意味については同年度中には説明がつかず、渦度の不安定性も渦度計測法、特にrotor軸の摩擦力不安定によるものとも考えられ解決できなかった。

52年度には、上記の問題を明らかにして船尾渦の構造を明確にしたいと考えた。このため渦度計の新しい検定法を提案し、渦度計も前年度の経験に基いて再度改造した。さらに渦度分布図を精密にするには、渦度計の位置の設定の精度を上げる必要があり、移動装置も改造した。これらの諸設備の改造を背景に前年度と同主旨の一連の実験を行なうと同時に、5孔管による渦度分布計測との比較他新しい試みを加えた。この結果、多くの点で著しい改善が見られ、このため船尾渦構造の見方も前年度の意見を一部変更することになったが、所期の目的をほぼ達した。

なお本研究では、50年度船型を用いているが、相似模型を用いた抵抗成分の比較も重要な資料となるので7mおよび4m模型について抵抗および後続波形の計測などを行ない比較した。なお7m模型船については、最初第1小委員会で使用していた持回り模型船を利用するはずのところ、変形が著しいのでIHI水槽の同型模型船(M.NO.0248)を借用して抵抗、後続波形状計測などを行なったが、その後、模型の使用予定の関係で同型パラフィン模型船(M.NO.0249)を新しく船研で作って渦度分布計測を実施した。このため、各データ毎に使用模型船が異なる結果になっており、模型船の寸法検査の結果にも相互に若干の差異がみとめられるなど、同一模型による試験に比べ幾分厳密を欠いている。

### 6.2 50年度船型相似模型による抵抗成分の計測

50年度船型の4m模型船の抵抗および波形造波抵抗計測結果は51年度に報告した。本年度は7m模型船について同様な計測を実施したので、相似模型船としての関連性を中心に説明する。

Fig. 6.1および6.2に50年度相似模型の抵抗および波形解析結果を、横軸にSchoenherrの摩擦抵抗係数 $C_{fs}$ に対し、縦軸に $C_T - C_{fs}$  ( $C_T$ 、全抵抗係数)および波形造波抵抗 $C_{wp}$ を比較して示した。この図表は、船体の抵抗を次式

$$C_T(F_n, R_n) = \{1 + K(F_n)\} C_f(R_n) + C_w(F_n)$$

で示すことの妥当性を相似模型の抵抗の関係から調べるものであるが、この図の等Froude数を結んだ直線の傾斜はform factor  $K(F_n)$ に等しい。

$$K = \frac{\{C_{T1} - C_{f1}\} - \{C_{T2} - C_{f2}\}}{C_{f1} - C_{f2}}$$

Fig. 6.1、6.2には4mおよび7m模型船について低速抵抗の解析から得られた form factor に相当する傾斜線を示し、等 Froude 数線の傾斜と比較した。この結果、通常の相似模型の間に見られるように、両者のKの関係は一致せず特に44% Fullの差は著しく、負の form factor を与える結果になっている。

波形造波抵抗 ( $C_{wp}$ )の計測結果も記入し、抵抗成分評価の参考とした。波形造波抵抗と Fig. 6.1、6.2から読み取れる造波抵抗 ( $C_T - 1 + K C_{fs}$ )を比較して見ると、かなり波形造波抵抗が小さい。これは肥大船に顕著な砕波抵抗の現れと思われるが、波形造波抵抗にしばしば現われる模型船の大きさによる違いがこの船型には見られなかった。

Fig. 6.1および6.2は、この船型の抵抗成分を考える上での基礎資料として作成したものであるが、同様な資料は三菱水槽で実施された相似模型抵抗試験結果が、本研究部会の51年度報告に記載されている。またこの船型については、4m、6mおよび9m相似模型船について渡辺等(造船学会論文集第131号)による抵抗試験結果が報告されている。これらの結果には若干の差異はあるが、いずれも相似模型相互の抵抗の関係を明確に説明するものはなかった。

この問題は、単に計測技術の向上だけでなく、相似模型間の造波抵抗一定の仮定、form factor の変化等に問題があると考えられ、次年度の課題とする。

### 6.3 船尾渦度分布計測

船尾に発生する縦渦による抵抗は、渦拡散の後粘性抵抗の成分に変ると思われるので、独立な抵抗成分とはいえない。しかし、6.1項で述べたように、抵抗成分の変遷を知る上に正しい渦構造を求めることが重要である。一般に用いられている5孔ピトー管による渦度分布の計測は、離散的な分速度データの微分値から渦度を算出するものであるから、精度を上げることが極めて難しく、実際に詳細な渦度分布図は得られていない。また一方、渦度分布の計測は、本研究部会の主題である不安定現象の解明のために渦度の変動、渦度の対称性などの調査にも必要なので、応答の速い rotor 型渦度計の研究をすすめることとした。

#### 6.3.1 rotor 型渦度計の検定と改造

rotor 型渦度計の使用上の問題点が検定にあることは51年度報告にも述べたところであるが、検定用渦流れの発生が不可能であるため、考え方を改めて次の方式を計画した。すなわち流体のもつ角速度を $\omega_0$ 、渦度計 rotor の角速度を $\omega$ とすると、 $S = \omega_0 - \omega$ は rotor 軸の回転摩擦によるスリップで、この時の計測精度を $P = S / \omega_0$ で定義する。したがってスリップSを計ることが渦度計の検定になるが、渦度計の性能は rotor 翼の特性と rotor 軸ベアリングの摩擦に関係している。

スリップSの計測法には2種あって、角速度 $\omega_0$ が既知の流れを用いて rotor 翼の角速度を計る方法のほか、rotor 翼と軸からなる回転系に外部から機械的な循環を与える方法がある。後者を実現するために、渦度計を改造する機会に、rotor 軸系を Fig. 6.3 のようになおした。すなわち、rotor 翼はベアリングの outer ring に被せて回転できるようにしたパイプにとりつけ、ベアリングの内軸はモータ駆動軸に連結した。

このような軸系構造で、渦度計を一様流中で前進させて内軸を角速度 $\omega$ で回すと、rotor 翼は角速度Sで回転し、検定の目的を達することができる。

この方法で計測した検定の結果は、ベアリングの回転摩擦が静摩擦と動摩擦で異なるため、 $\omega$ が小さい場合の検定に問題が残った。しかし、この装置で内軸をモータで回転させた時、ベアリングを介して rotor 翼に伝わる回転トルクを計測したところ、次のことが判った。

- (1) ベアリングの回転トルクは、水中でもメーカーのベアリング表記載の通り  $10^{-6}$  kg·m の order である。しかし、水中の微量なゴミがベアリング内に付着すると、トルクは数10倍の order まで大きくなる。

(2) ベアリングにはゴミなどの引掛りがなくても時間と共に次第に回転トルクが大きくなる。このため正常な計測を保つには、ベアリングは2日程度で交換した方がよい。

この経験によると、ベアリングが良好な状態にある時は、51年度報告記載の方法で精度を推定するとほとんど検定の必要はなくスリップは無視できることがわかった。しかし、rotor翼が有限な大きさをもっていることによる誤差、rotor翼の揚力係数の推定などには問題が残されており、検定の必要性がすべて否定されたわけではない。

52年度に改造した渦度計の構造をFig. 6.4に示す。この渦度計は従来のものに較べて性能は飛躍的に向上した。これは、従来の渦度計のrotorがミニチュア・ベアリングの細い内軸に取付けられていたため、船尾の斜流の中では軸が撓んで回転がなめらかでなかった。改造渦度計は、Fig. 6.3のように、外軸にrotorが付き、さらに内軸の剛性も手伝って著しく強度を増し、回転が軽くなっている。またミニチュア・ベアリングに水槽水のゴミの付着を極力防ぐために、渦度計上部に蒸留水のタンクを備え水中にある渦度計ケース内部を加圧して、水槽水の混入をおさえた。また、左右舷の渦の対称性を確かめるために、以前片舷に2素子の構成であった渦度計を両舷1素子ずつに改めた。

### 6.3.2 渦度計移動装置

正確な渦構造を知るには、rotorの正しい位置極めを前提にする必要があり、計測の目的から左右舷対称に設定する必要がある。このため、船尾搭載方式で上下動、左右動がリモート・コントロール可能な移動装置を製作した(ただし、コントロール部は船研の既存のものを使用)。本装置は、4m模型でも使用可能とするため総合重量が制限されていたので、余り剛性を上げることができなかったが、ほぼ±1mmの精度(設定精度は0.1mm)をもっている。

### 6.3.3 50年度船型相似模型の渦度分布計測

先に述べたように、前年度未解決の渦度分布の2重構造の問題その他を明らかにする目的から、使用模型は前年度同様50年度船型とし、前年度の4m模型のほか7m模型を加えた。ただし、模型船の状態は前年度の44% Fullが移動装置の重量上実施できないので、65% Fullの1状態とした。

船速はFroude数0.18だけで、他に計測位置を限って船速の影響を調べた。4m模型はS.S. 1/8の左右舷(舵なし)だけを計測したが、7m模型の検査面等は次表に示す通りである。

Table 6.1 7m模型渦度分布計測位置等

検査面	舵	計測舷	その他
S.S. 1/4	なし	左	
S.S. 1/8	なし 舵の影響調査	左右	5孔管による計測、速度の影響
S.S. A	あり	左	

また、S.S. 1/8の左、右舷については、5孔pitot管伴流および渦度分布の計測を行なった。さらにS.S. 1/8のプロペラ直上の位置でプロペラ回転の影響を7m模型について調べた。

渦度計による渦計測の方法は51年度報告で述べたが、今回は相似模型船を扱うため計測格子も相似として、4m模型については2cm、7m模型船については3.5cmを基準格子とし、渦核内部はこの1/2、必要に応じてさらに細分した。なお、rotorの直径は3cmである。計測点数は、片舷100~150

点である。5孔管で渦度を計測する場合は、4格子が1組で渦度1点が計算されるので、同じ組の格子点はなるべく1航走中に計測できるようにした。計測時間は、5孔pitot管、渦度計とも1点約30秒とした。

計測された渦度分布図を、7m模型の検査面S.S.  $\frac{1}{4}$ 、S.S.  $\frac{1}{8}$ 左舷、同右舷、S.S.Aの順でFig. 6.5～6.8に示す。また、4m模型の検査面S.S.  $\frac{1}{8}$ の左、右舷の渦度分布図をFig. 6.9および6.10に示す。

これらの分布図は、プロペラ軸芯を原点として上下方向にZ軸、左右方向をY軸として、図示のmesh(偶数間隔)が前記の基準格子になっている。渦度の表示は、渦度計によって流体のもつ角速度 $N^{r.p.s.}$ が計測されると、無次元渦度 $\Omega_x$ を、 $\omega_x = 2\pi \cdot (2N)$ をvorticityとして、

$$\Omega_x = \frac{\omega_x \cdot L_{pp}}{U}$$

で表わしている。但し、Uは模型船の前進速度を用い、反時計方向の回転を正としている。

今回の計測では、渦度計はかなり安定に動作したので、渦度分布の中で渦の安定な所と不安定な範囲を明確にすることができた。特に不安定と思われるのは主渦の上部(Z=6～8)で、このためその上に見られる逆方向の渦の境が明らかでなかった。またプロペラ・ボス付近にも逆方向渦があって、特に7m模型の場合小さな面積に渦核が集中していた。しかし半径1.5cmのrotorでは模型船体に近接できず計測点も多くとれないので、渦核は安定と思われるが、明確なパターンを画くことができなかった。主に計測技術上不明確な等渦度線は点線で示した。これらのことを総合して考えると、51年度報告で述べた不安定な渦度についての説明は、計測技術上の問題である可能性が高い。

前報で述べた2重の渦核構造については次の結論を得た。Fig. 6.5～6.10の渦度分布図から判ることは、主渦の渦度分布を地形図に例えると、主要部では明らかに台地のような形をしている。このことは、7mおよび4m模型のS.S.  $\frac{1}{8}$ の渦度分布図のY方向のクロスカーブFig. 6.11～6.13に明瞭に示されており、渦度の存在する範囲が明確でかつ渦核内の渦度は比較的一様になっている。

しかし詳しく見ると、Fig. 6.11、6.12のZ=2～-2などに見られるように、台地の中には起伏があることがわかる。この山の部分を連結した線が各分布図に記入してあるが、渦度分布の峯に相当する所なので仮にridgeと呼んでおく。ridgeはすべての分布図内に同形に見られて、特に最も前方の分布図であるFig. 6.5に著しい。これは船体bilgeで削れた渦を含む流れの断面を見ていることになり、Fig. 6.14に船体の断面2次流れと渦自身の誘導速度に乗って動くshear layerの挙動を示した。ridgeはこのような渦を含んだ流線の集りと考えられるが、後方に移るに従って渦の攪散のために明確でなくなる。51年度に報告した二重構造は、2列に並んだridgeを独立の渦核と考えて画いた分布図であった。

またこのような主渦の流れは、限界流線に見られる剝離線と再付着線の考え方と一致するが、再付着線の所では主に下側に巻込んで主渦を構成するが、一部は上に巻込んで流れる。一方、船底から船側に沿う流れは、下側に巻込んだ主渦の流れとぶつかって逆向きの渦になっている。

4m模型と7m模型の渦度分布図の比較では、Fig. 6.11～6.13にも見られるように渦度は7m模型の方が20%前後大きい。分布の面積は4m模型の方が広がっている。これは伴流域の大きさに関係が深いと思われるが、また別に渦度の無次元値 $\Omega_x$ に用いた速度Uが船速であることにも問題があるかもしれない。

また船速と渦度の関係も重要であるが、一例として(Y=-4, Z=0)、S.S.  $\frac{1}{8}$ で計測した場合についてFig. 6.15に示した。この図では速度に比例して渦度が増加しているが $F_n = 0.18$ から折線になっている。これは恐らく造波が顕著になり流線が変わったためと思われる。このほか舵の影響はほとんどS.S.  $\frac{1}{8}$ では見られなかった。

渦度分布におよぼすプロペラの流れなどの影響は興味の深い問題であるが、プロペラ作動時に計れる渦の範囲は極めて限られている。7 m 模型のプロペラ直上で船体の間に渦度計を取付け、負荷変更試験を行った。概略の渦度計の位置は、左舷 ( $Y = -2.9$ 、 $Z = 6.7$ )、右舷 ( $Y = 2.9$ 、 $Z = 6.7$ ) で、これはこの付近で調査した範囲では最もプロペラの影響を受けやすい位置として定めた。詳細は Fig. 6.16 の写真を参照のこと。

結果は、Fig. 6.17 に示す通りで、この計測以前に前進速度 0 でプロペラのみ回転させ、プロペラ直上の流れには渦度がないことを確かめた。模型船を自航させ推力が上がると、渦度不安定な状態に続いて主渦と同方向の渦 (左舷 -, 右舷 +) が発生し、プロペラの回転とほぼ比例して増大する。しかし、この渦はしばしば逆回転渦ともなって不安定なので、Fig. 6.17 はその平均値を示したものである。この渦度の不安定の周期は、不安定現象のそれと似ているが、同時計測した推力、横力に見られる不安定現象とは一致しないように思えた。

このプロペラ回転に伴って現われた渦度は、新しく発生したものか、主渦の上端がプロペラの流れに影響されて上昇したのか、一点の計測しかないため判断できない。

5 孔 pitot 管によって計測された 7 m 模型、 $S.S. \frac{1}{8}$  の渦度分布図を Fig. 6.18 に示す。この図は、渦度計による Fig. 6.6 と直接比較できるものであるが、渦域はほぼ一致しているが、5 孔 pitot 管の渦度の方がかなり大きく示されており細かい渦構造が不明である。

以上のことから、なお資料が不足して不明な問題も多いが、50 年度船型の船尾縦渦の構造はほぼ明らかにしたと思われる。次年度は抵抗成分と渦度分布および不安定現象と渦度分布などの関係を調べる必要がある。

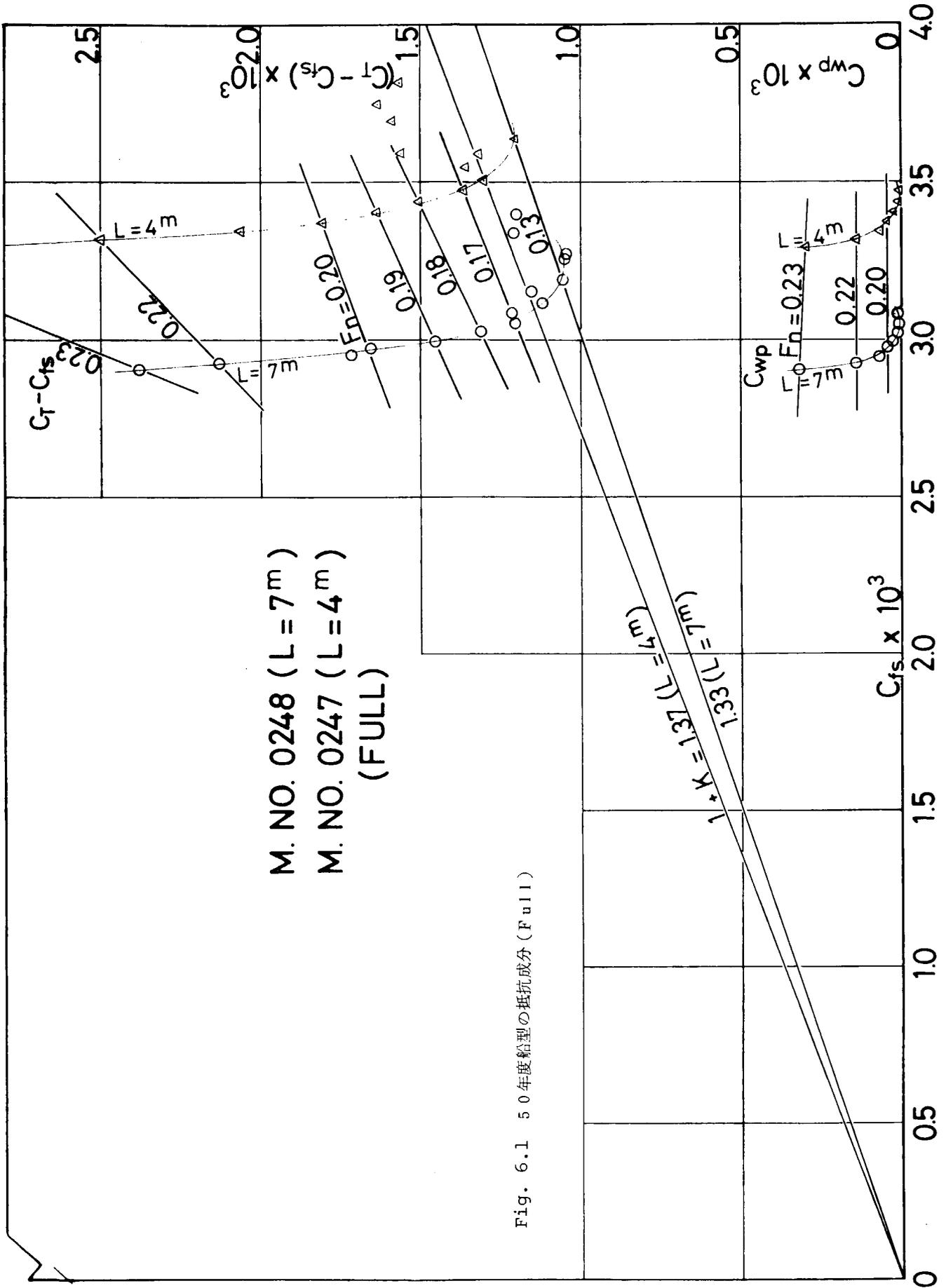
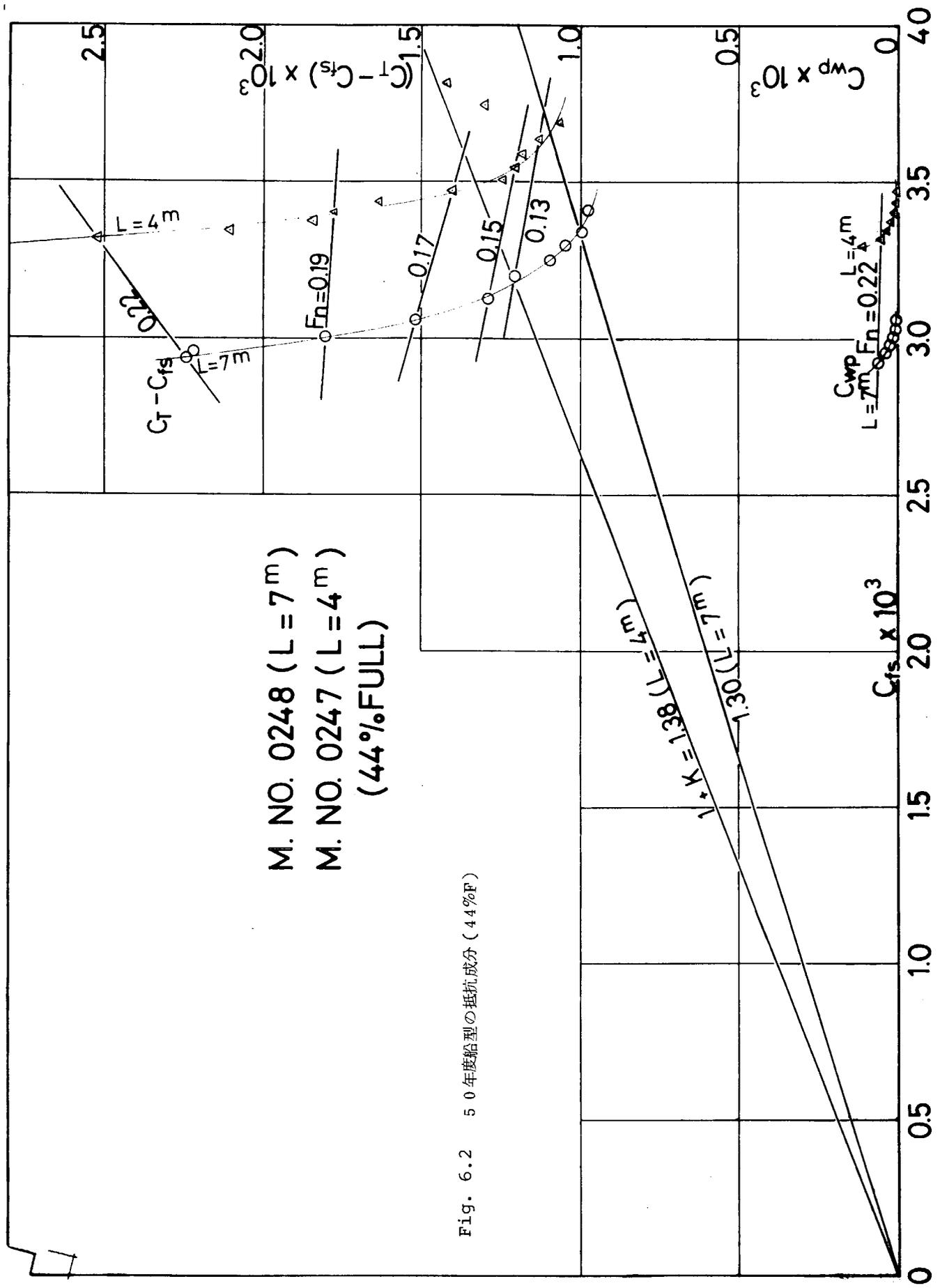
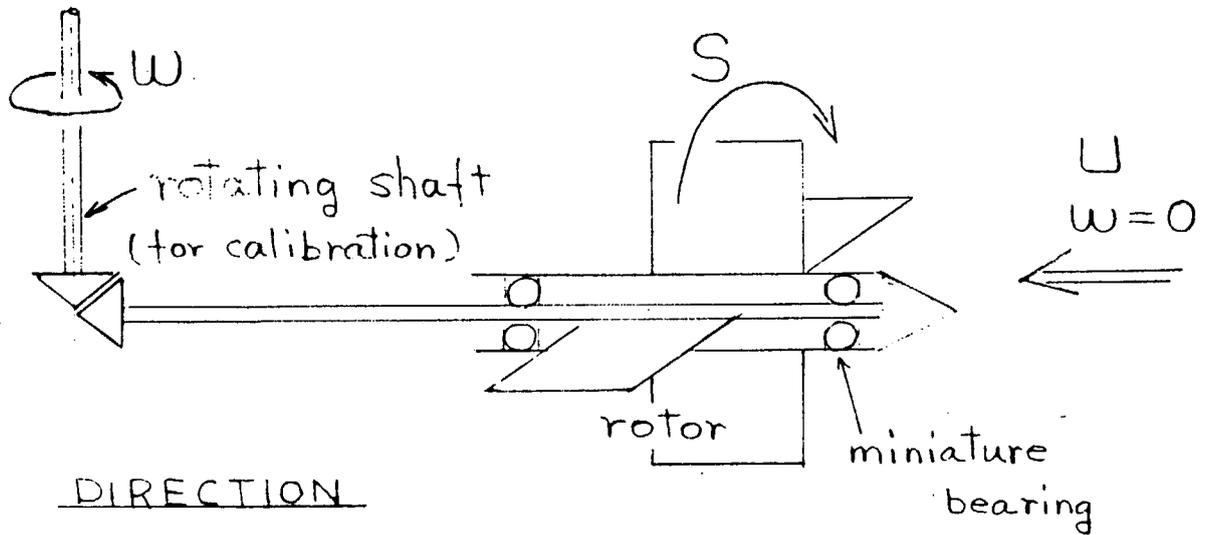


Fig. 6.1 50年度船型の抵抗成分 (FULL)

M. NO. 0248 (L = 7m)  
M. NO. 0247 (L = 4m)  
(44% FULL)

Fig. 6.2 50年度船型の抵抗成分(44%F)





Conditions	angular velocity		
	in fluid	rotor	shaft
calibration	0	S	ω
vortex - measurement	ω	$\omega_0 = \omega - S$	0

Fig. 6.3 改造した渦度計の軸系および検定の要領

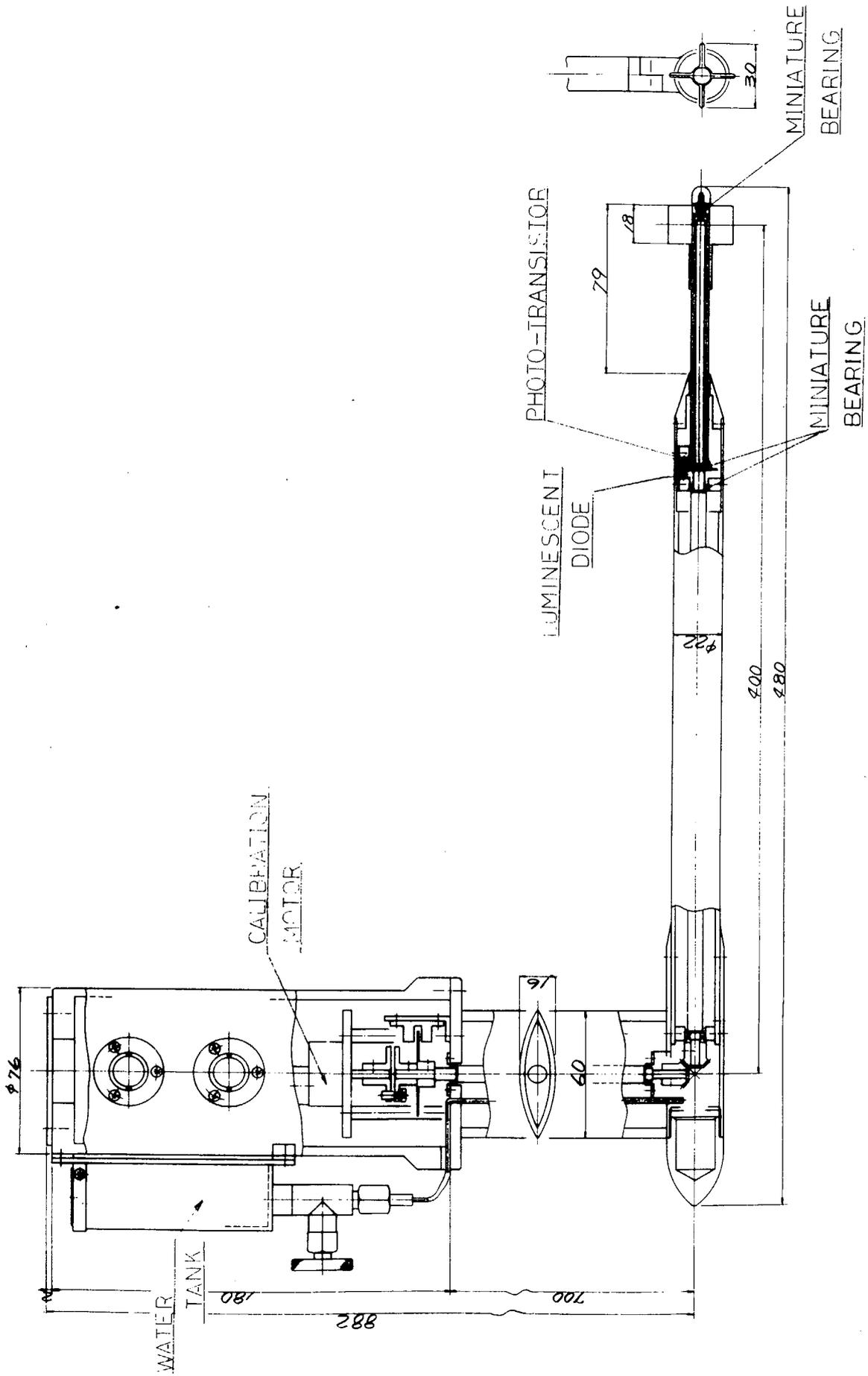


Fig. 6.4 (改造) 渦度計

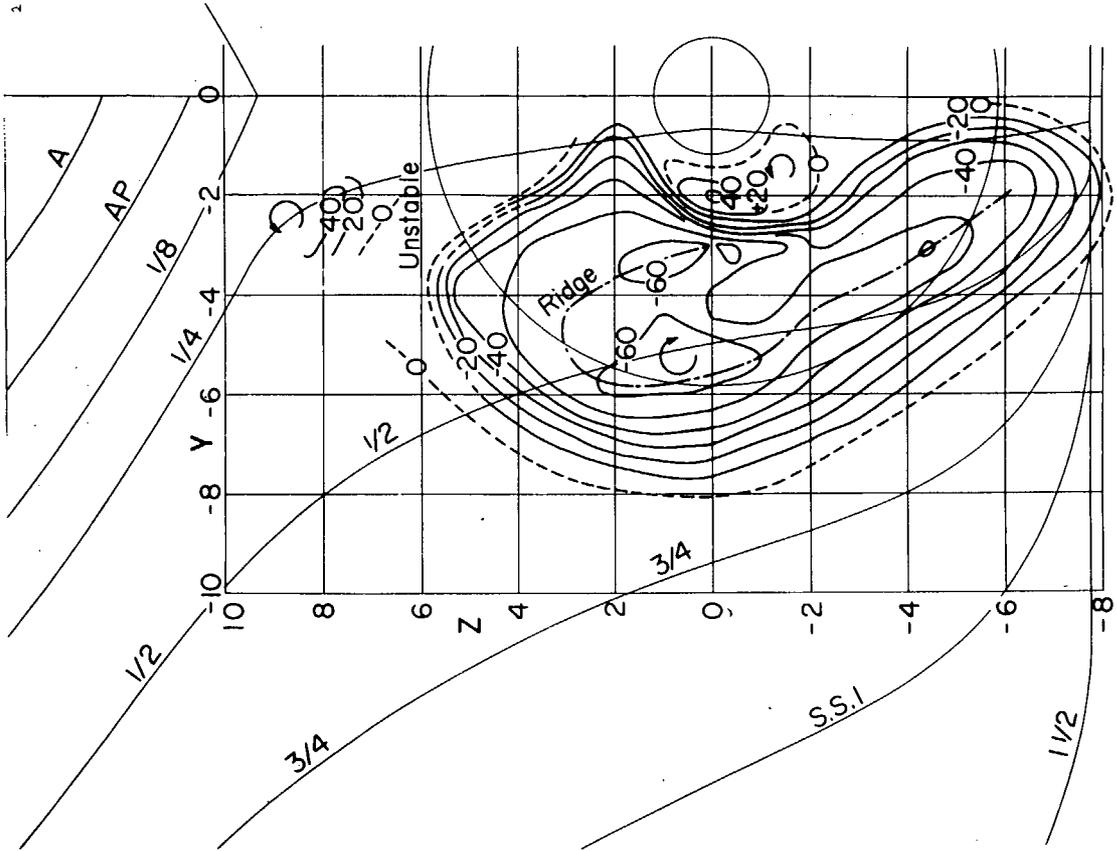


Fig. 6.5 温度分布图 ( $L=7m, S.S. \frac{1}{4}, F_n=0.18, 65\%F$ )

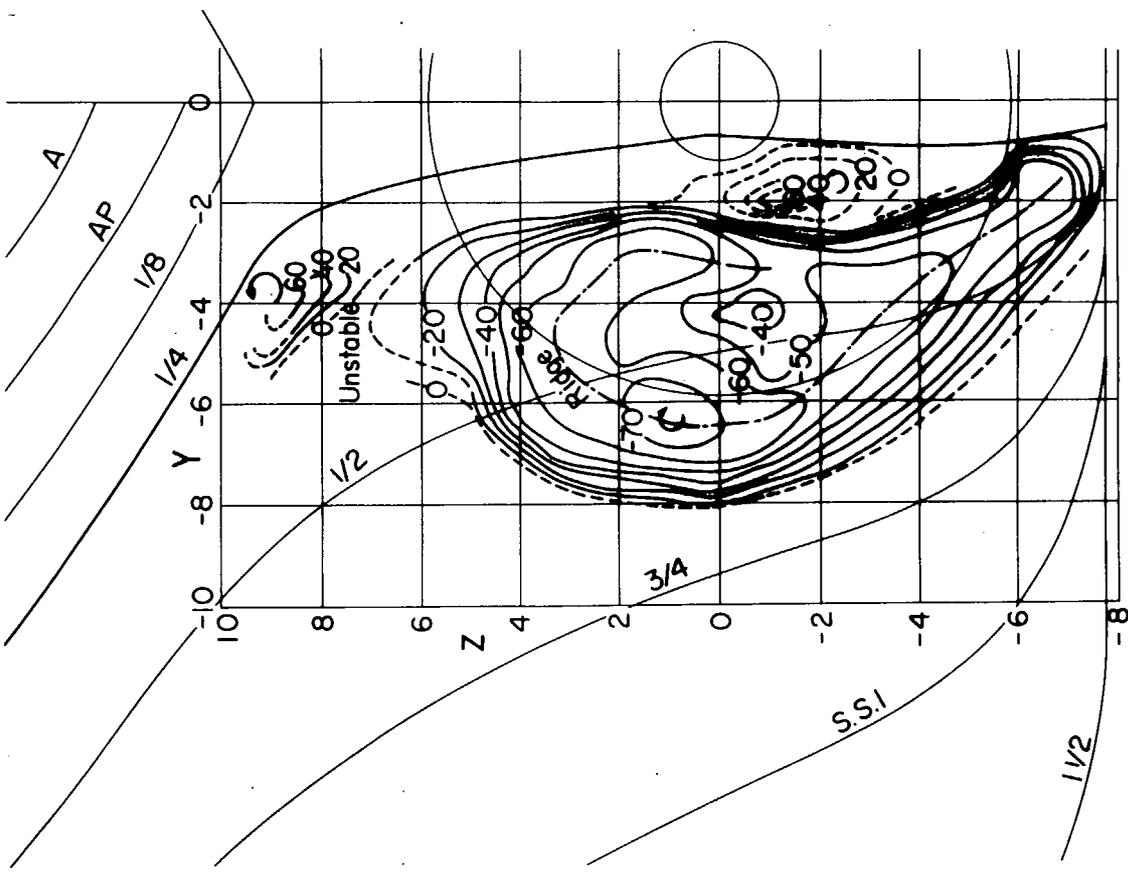


Fig. 6.6 温度分布图 ( $L=7m, S.S. \frac{1}{8}, F_n=0.18, 65\%F$ )

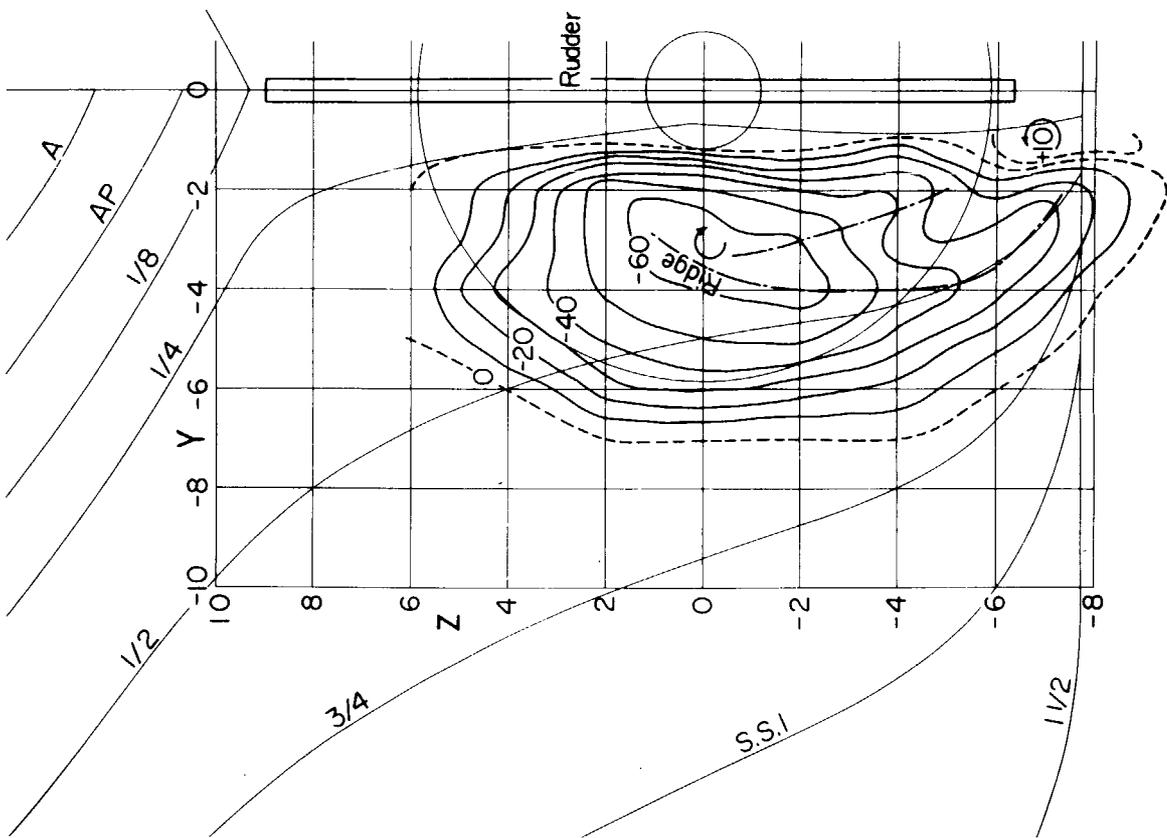


Fig. 6.8 渦度分布圖 (L=7m, S.S.A.  $Fn=0.18$ , 65%F)

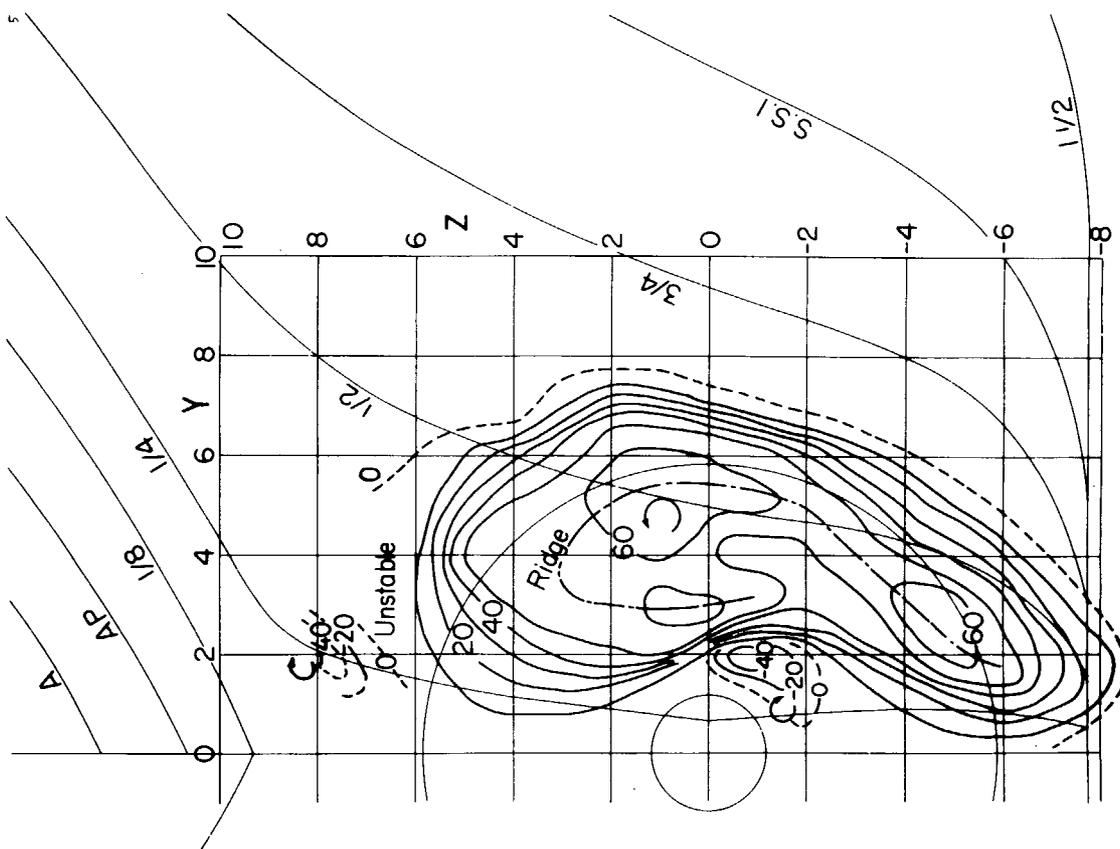


Fig. 6.7 渦度分布圖 (L=7m, S.S.  $\frac{1}{8}$   $Fn=0.18$ , 65%F)

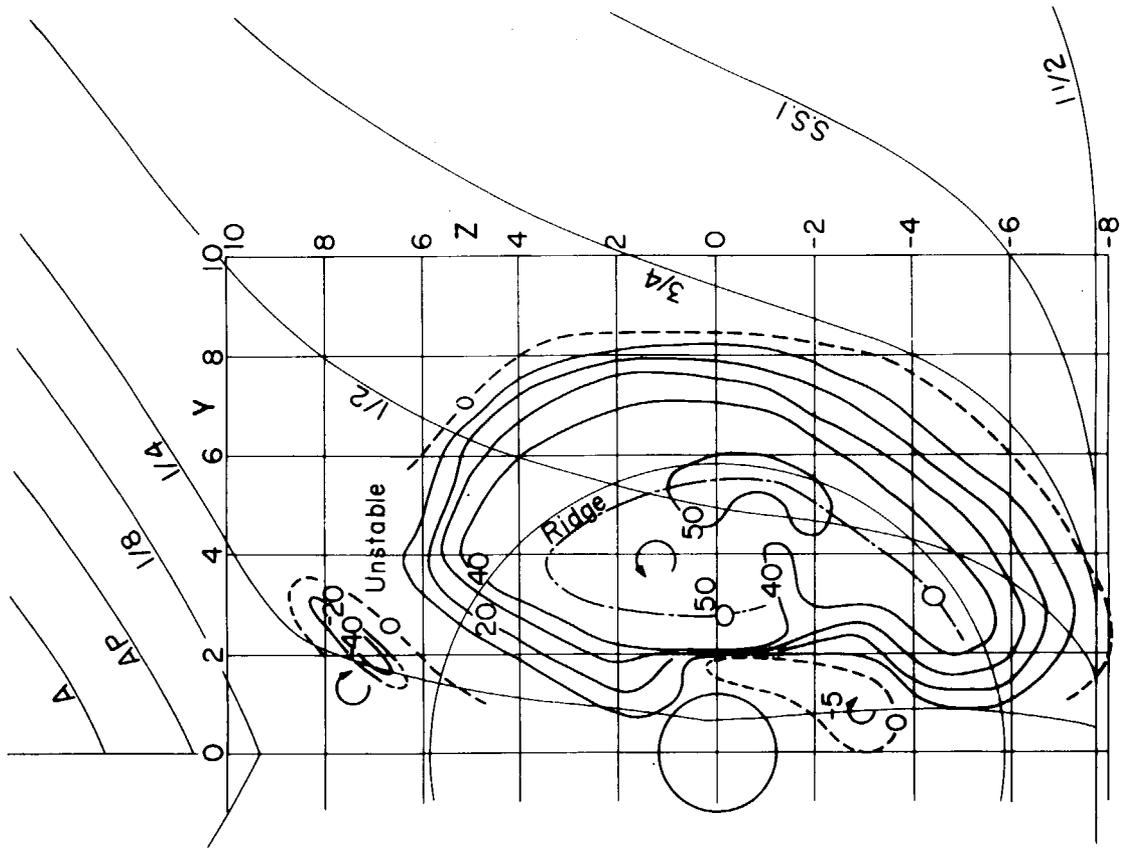


Fig. 6.10 温度分布图 ( $L=4m$ ,  $S.S. \frac{1}{8}$ ,  $F_n=0.18$ ,  $65\%F$ )

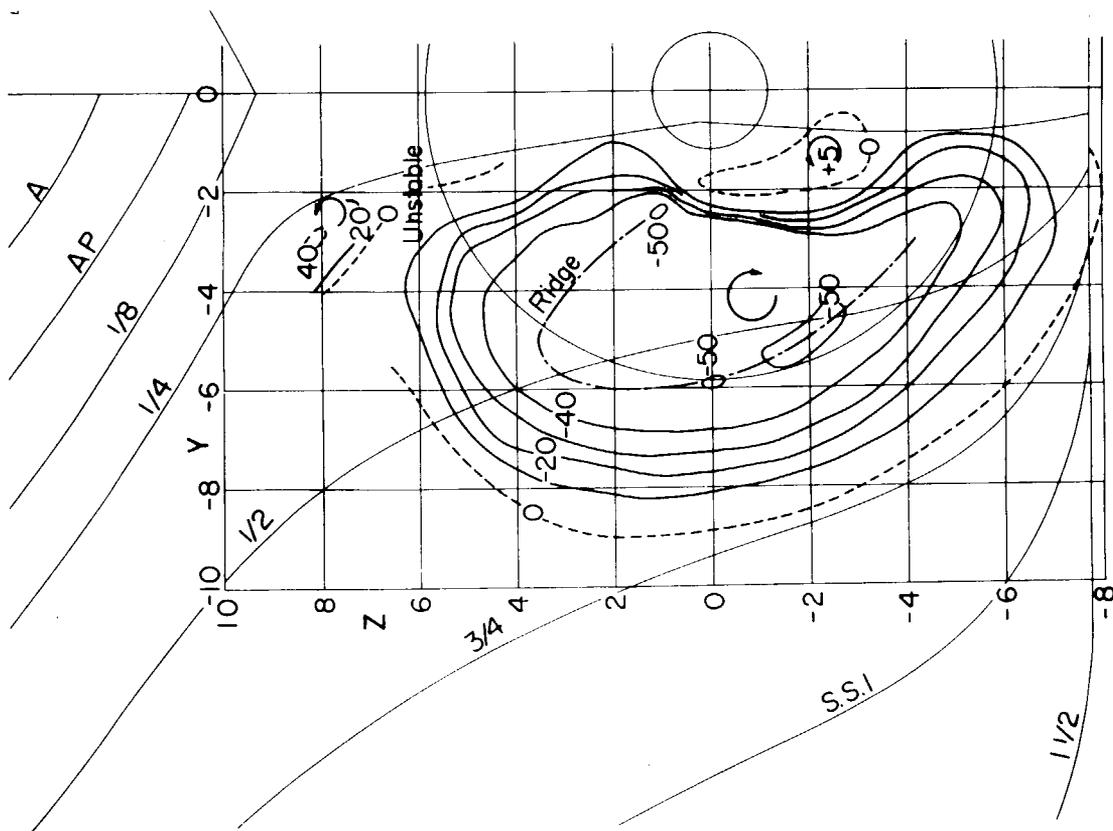


Fig. 6.9 温度分布图 ( $L=4m$ ,  $S.S. \frac{1}{8}$ ,  $F_n=0.18$ ,  $65\%F$ )

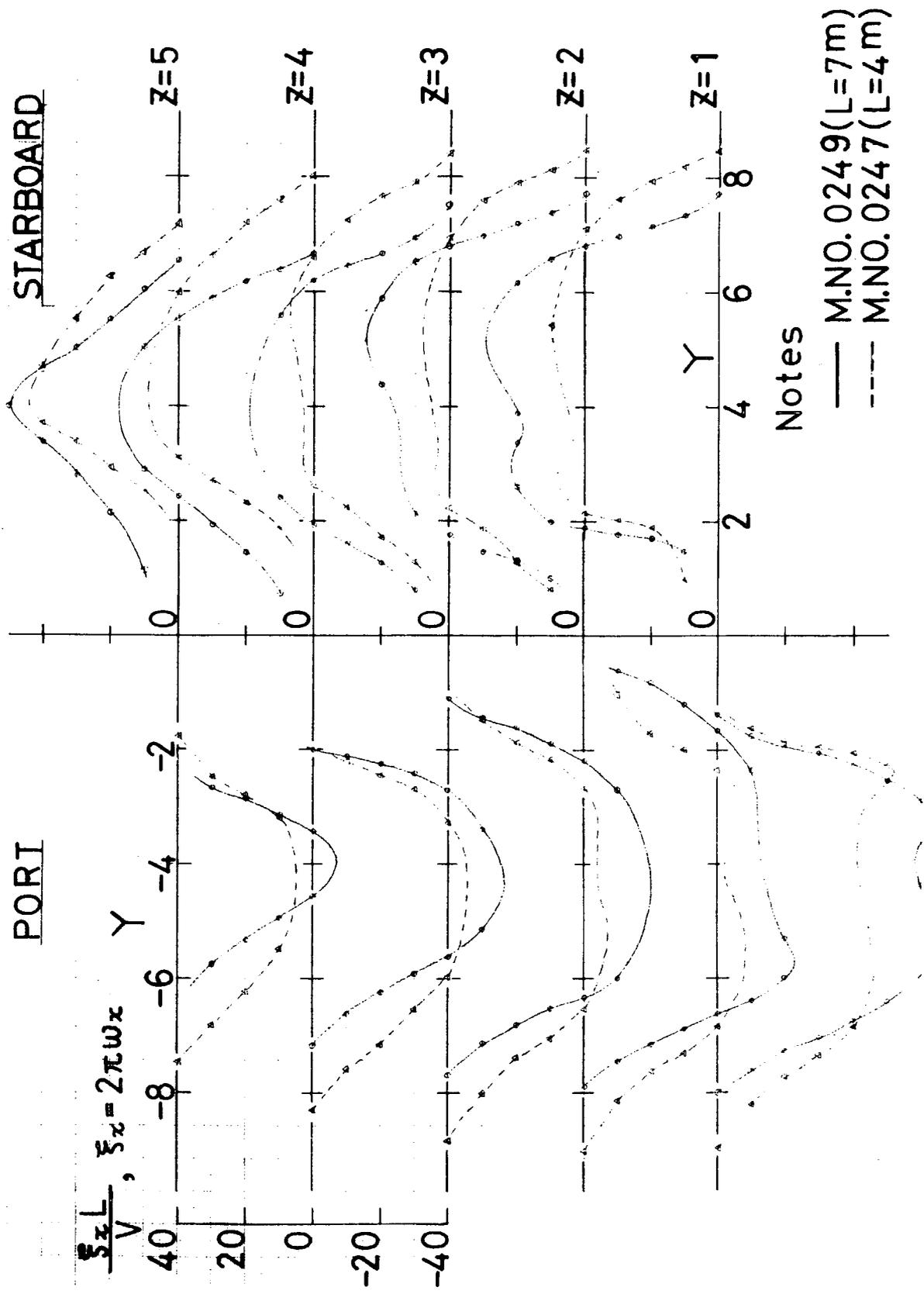


Fig. 6.11 渦度分布クロス・カーブ (S. S.  $\frac{1}{8}$ )-(1)

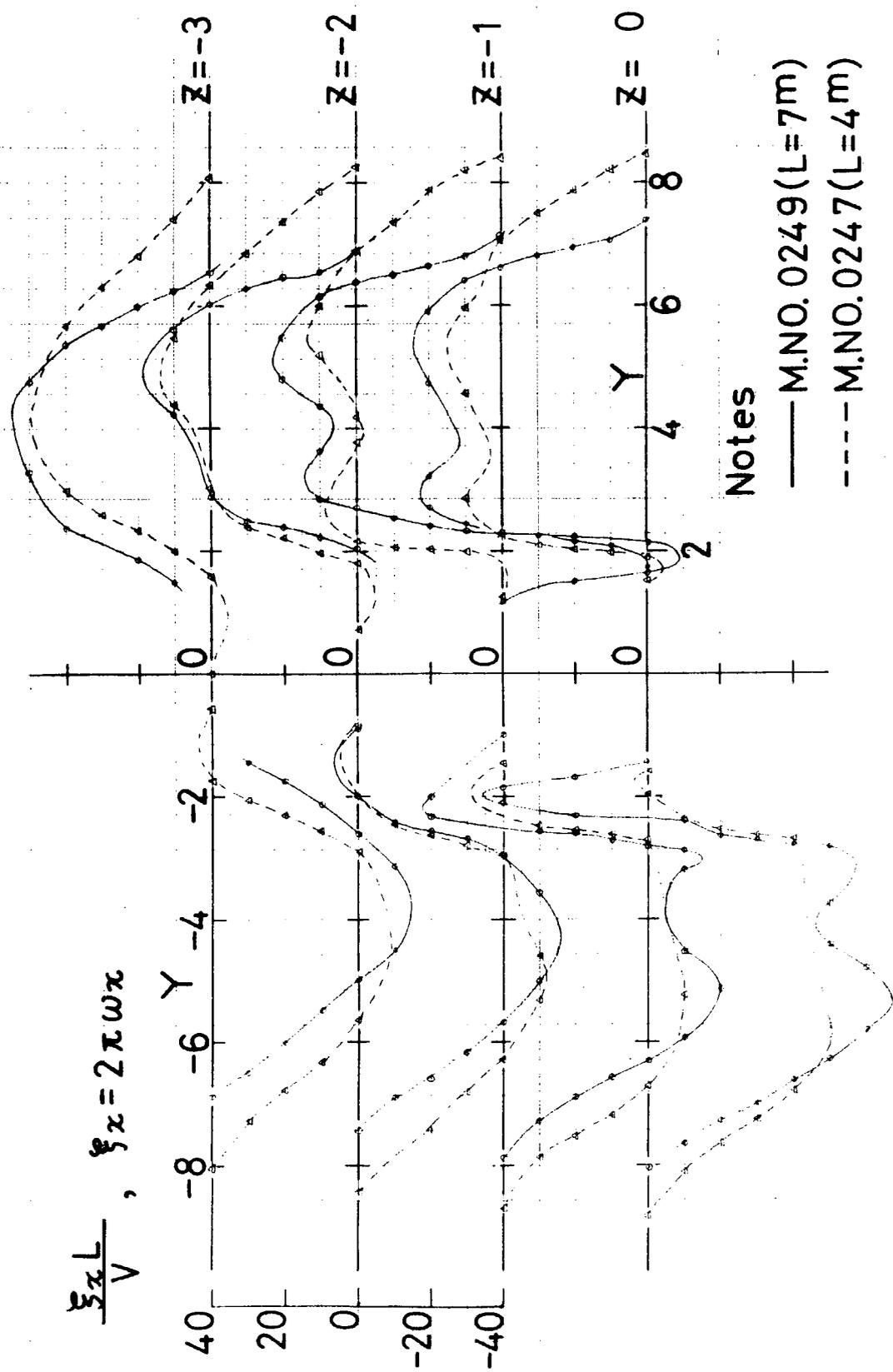


Fig. 6.12 渦度分布クロス・カーブ (S. S.  $\frac{1}{8}$ ) - (2)

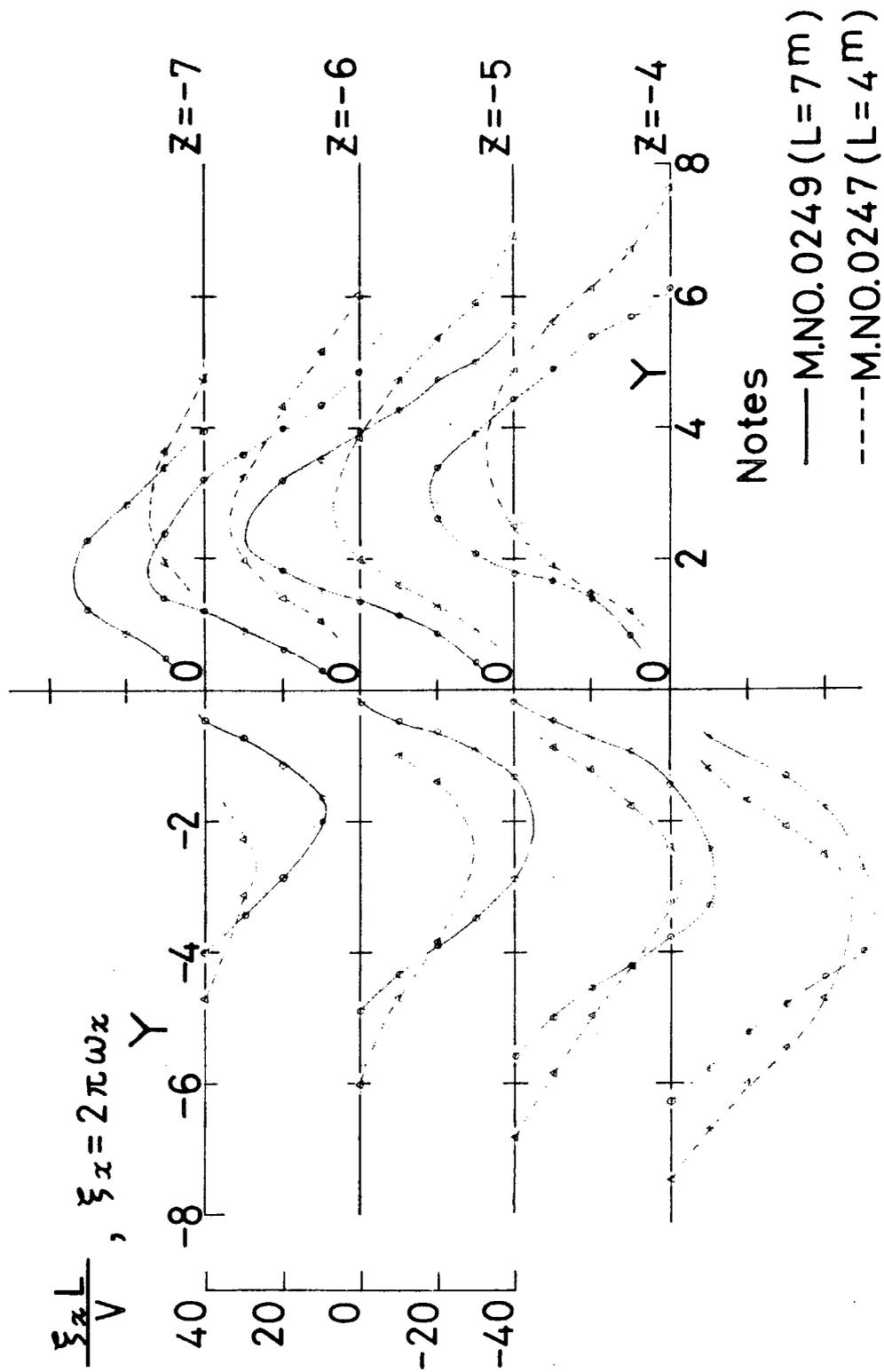


Fig. 6.13 渦度分布クロス・カーブ (S.S.  $\frac{1}{8}$ )-(3)

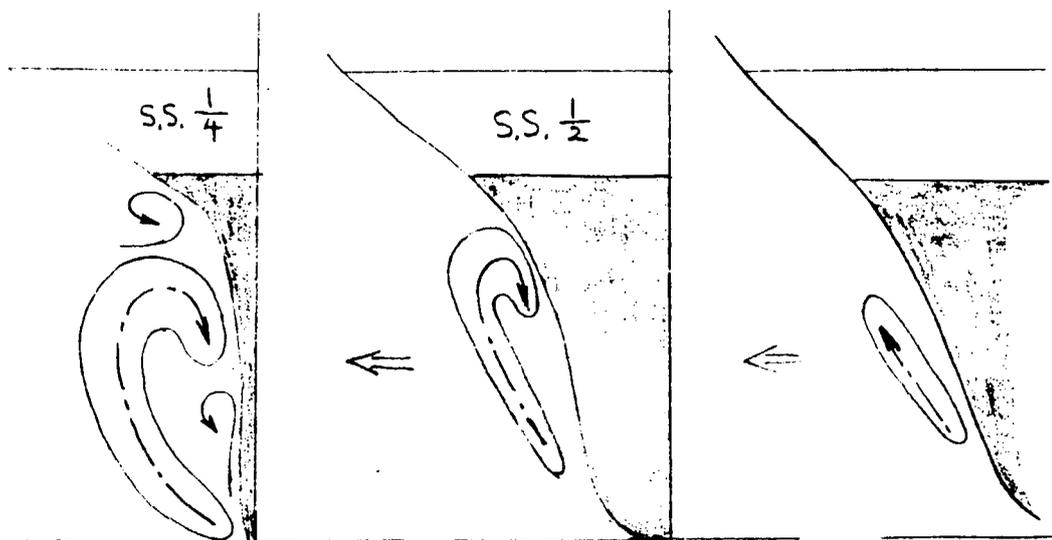


Fig. 6.14 剝離流れの挙動

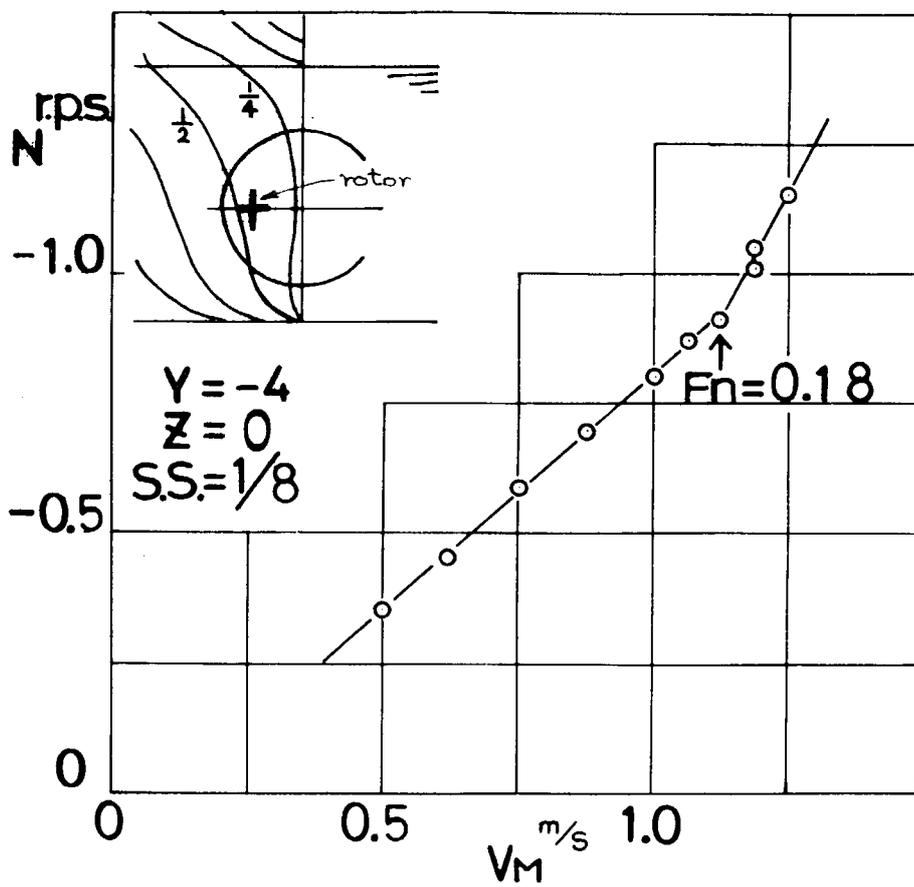


Fig. 6.15 船速と渦度の関係(例)

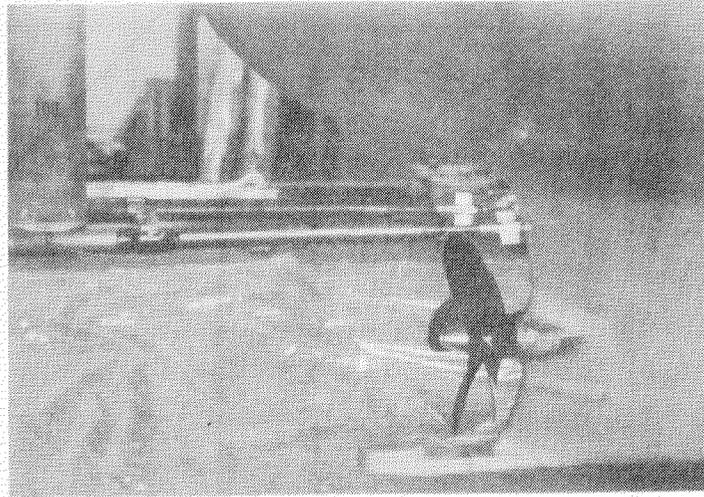


Fig. 6.16 自航中の渦度計測位置

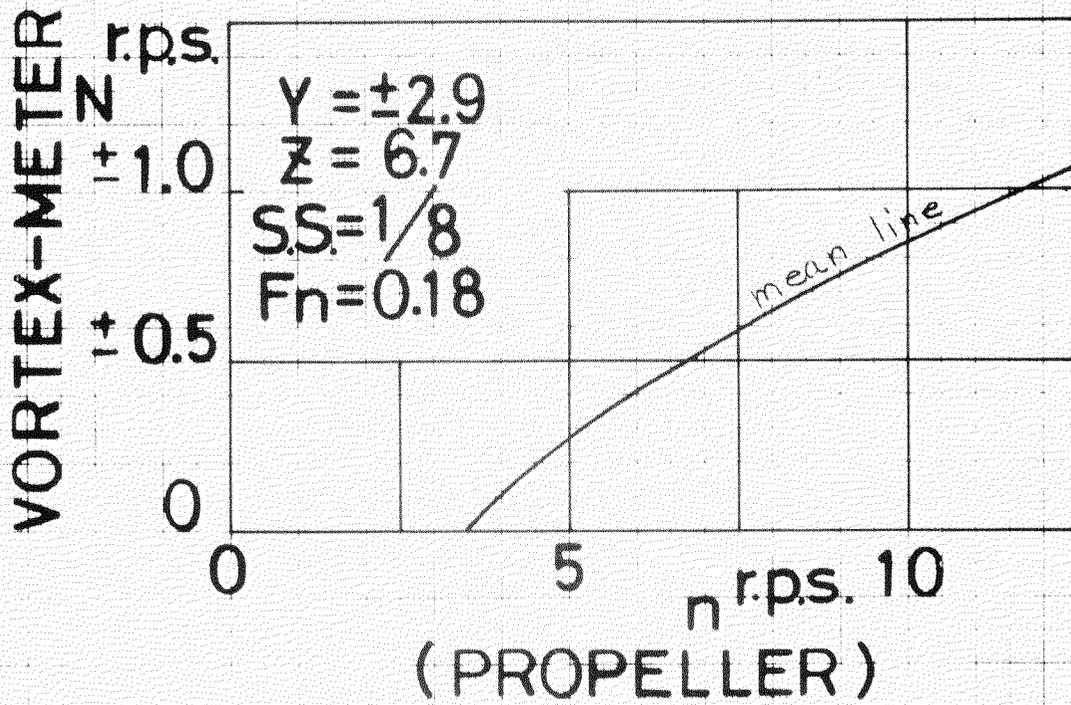


Fig. 6.17 自航中の渦度計測例  
 (7m Model)

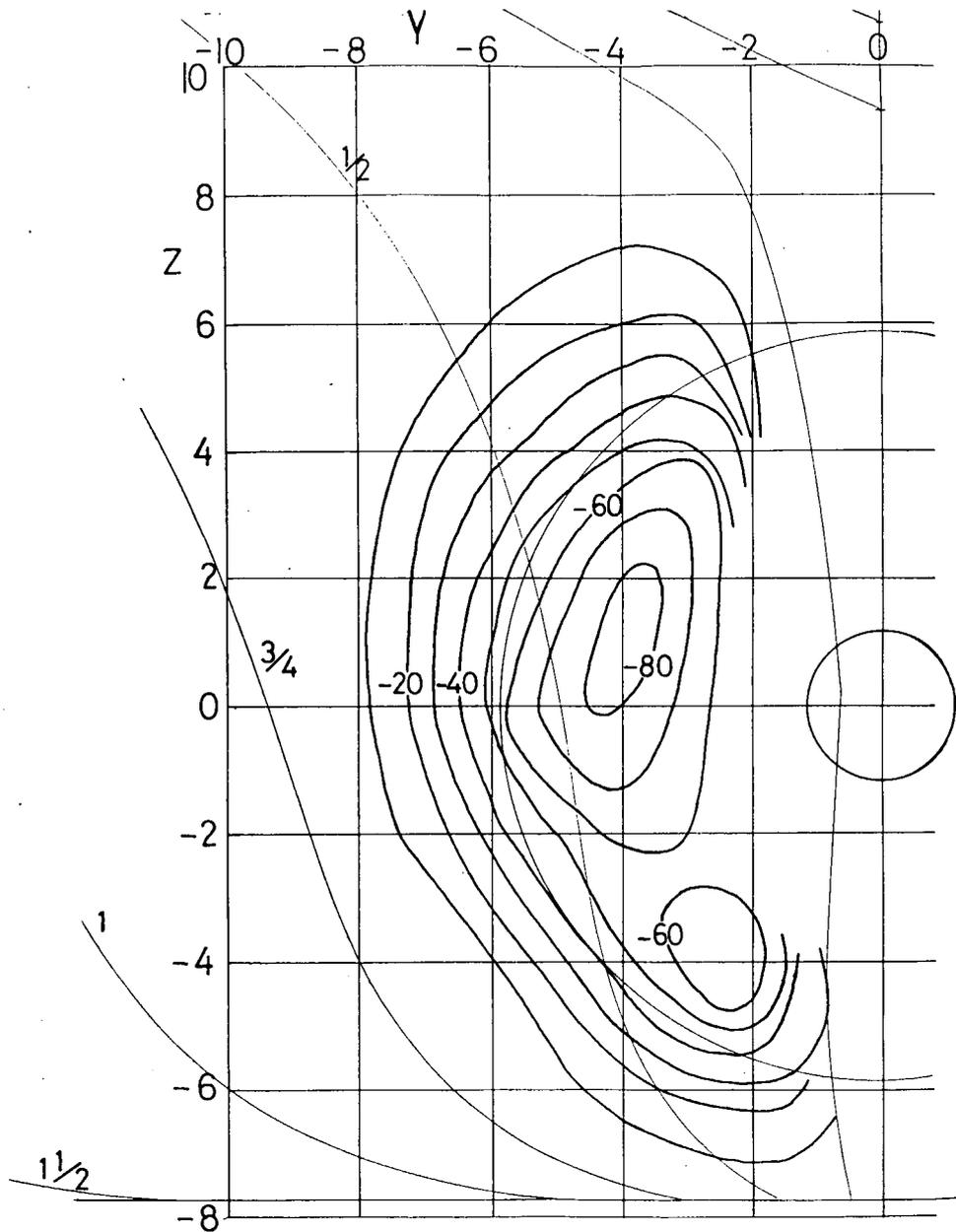


Fig. 6.18 5-Hole Pitot Tubeで計測した渦度分布図  
 ( $L=7m, S.S. \frac{1}{8}, Fn=0.18, 65\%F$ )

## § 7 結 言

本年度実施した研究の詳細は以上の通りである。これらを通じて感じたことを以下に述べる。

1. 昨年度までは流場の差を船尾ビルヂ渦とプロペラ作用とを直接結びつけて考えようとする傾向にあった。本年度になって、プロペラ上部のアーチャに板を挿入して横流れを遮ると変動が減じることが知られたり、特に潮目に板を入れると両方の流れの型が固定されることがわかってみると、むしろプロペラ上部付近の流れの非対称の方が根本的な原因であって、この方を先ず攻めるべきであると感じられるようになった。このことは今後の研究方向を示唆する意味で重要な展開であるように思われる。  
満載状態で不安定が現われない理由なども、ビルヂ渦を先に立てたのでは取付くしまがない感があったが、上のように立場を変えると何となく説明がつきそうである。
2. 上記の、潮目に板を入れて流れの固定化が発見された効果は非常に大きい。板なしの場合と流れが完全に等しくはないにしても、流れの特徴は殆んど変えられていないようである。今後の研究を大きく促進するであらう。
3. 実船試運転では不安定らしい現象は見出されず、伴流値の比較からも決め手となる程の手掛りは得られなかった。これだけの結果から、実船には不安定なしと断定することはできないが、流場の機構がもっとわかってからもう一度振返って検討してみたい。