

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 52 年 3 月

社 団 法 人

日 本 造 船 研 究 協 会

4 か年計画の第2年度として前年度に引き続き 1) 自航試験法の研究、 2) 船尾まわり流場の調査、 3) 抵抗成分の分離に関する研究、および 4) 実験船・実船実験に関する調査を研究テーマとして研究を行なった。

1) においては、国内主要大水槽間の持ちまわり自航試験、試験結果の総合解析、評価を行ない、 2) においては、不安定現象を含む船尾流場の特性を現象的に確認することを目標として前年度研究の大筋を引き継ぎ、また、多少V型を強めた船尾形状をもつ相似模型船（不安定現象の発生がより顕著）を製作して、実験ならびに理論解析を行なった。 3) では渦度分布の計測、抵抗成分の分離計測および波形解析を行なった。 4) は 1)～3) とは若干趣きを異にするが、将来、計画が具体化する場合に備えて、外国の実験船調査、実験船の船型変更方法・船外推進装置、大型プロペラの実験方法等の調査を行なった。

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	4
2.3 配布資料	6
§ 3. 大型模型船による自航試験法に関する研究	13
3.1 まえがき	13
3.2 試験の実施とその結果	17
3.2.1 船舶技術研究所における試験	17
3.2.2 石川島播磨重工業㈱技術研究所における試験	22
3.2.3 明石船型研究所における試験	29
3.2.4 三菱重工業㈱長崎研究所における試験	40
3.3 試験結果の解析評価	52
3.3.1 抵抗・自航試験結果の解析と考察	52
3.3.2 プロペラ荷重度変更試験結果の解析と考察	70
3.3.3 プロペラ前後位置による影響	77
3.3.4 舵の有無による影響	82
3.3.5 相似模型船の試験結果の比較	85
3.4 持ちまわり試験の評価と今後の問題	93
§ 4. 船尾まわり流場の調査	96
4.1 まえがき	96
4.2 51年度船型の決定とその製作	97
4.3 4m模型船による実験とその考察	103
4.3.1 基礎的項目	103
4.3.2 追加項目	121
(1) 50年度模型船	121
(2) 不安定な外力が作用する模型船の自航試験法	134
(3) 51年度模型船	139
4.4 2m模型船による実験と考察	146
4.4.1 50年度模型船 — 曳航水槽における実験(Ⅰ)	146
4.4.2 50年度模型船 — 曳航水槽における実験(Ⅱ)	162
4.4.3 50年度模型船 — 回流水槽における実験	173
4.4.4 51年度模型船 — 回流水槽における実験	181
4.5 プロペラ直前の流れ(総圧)の計測	202
4.6 3次元境界層理論の実用化に関する研究	207
4.6.1 境界層計算と実験(Ⅰ)	207
4.6.2 境界層計算と実験(Ⅱ)	215
4.7 船尾流場に関する研究の文献調査	229
4.8 まとめ	233

§ 5. 抵抗成分の分離に関する研究	234
5.1 まえがき	234
5.2 渦度分布計測	235
5.3 抵抗成分分離計測結果(50年度船型4 m 模型)	237
5.3.1 抵抗・自航試験結果	237
5.3.2 波形解析試験結果	237
5.3.3 まとめ	238
§ 6. 実験船・実験船に関する調査	248
6.1 まえがき	248
6.2 外国における実験船、実験船例の調査	249
6.2.1 概括	249
6.2.2 Wrangel の実験	250
6.2.3 Cairndhu の実験	256
6.2.4 Oremina の実験	260
6.2.5 H.M.S. Penelope の実験	262
6.2.6 U.S. Submarine の実験	266
6.3 実験方法に関する調査	270
6.3.1 実験船の船型変更方法に関する調査	270
6.3.2 実験船の抵抗・自航試験用船外機に関する調査	272
6.3.3 実験船における船尾流場の不安定現象に関する実験方法の調査	274
6.3.4 実験船による伴流計測に関する調査	276
6.3.5 実験船によるプロペラの実験に関する調査	281
6.3.6 実験船による波形解析法の調査	285
6.3.7 その他の実験 — 摩擦抵抗に関する実験方法の調査	289
6.4 (付録) 抵抗・推進性能における不安定現象と操縦性能における 針路不安定、異常現象との関連について	290
(1) 抵抗試験における不安定現象について	290
(2) 自航試験における不安定現象について	290
(3) 操縦性能における針路不安定について	290
(4) 操縦性能におけるいわゆる“異常現象”について	292
(5) 抵抗・推進性能における不安定現象と操縦性能における 針路不安定および異常現象との関連について	294
(6) SR 61船型の操縦性能について(過去の実験結果の調査)	294
(7) 針路異常安定船型(模型船)を単純不安定化した例	294
6.5 あとがき	296
§ 7. 実験推進性能の研究に関する予備調査	297
7.1 まえがき	297
7.2 アンケート調査結果	298
§ 8. 結 言	300

§ 1 緒 言

近年各造船所で計画されている所謂経済船型は著しく太短かいのが特徴であるが、これを推進性能の立場からみると、船尾付近の流場が不安定で試験水槽の結果が一意的に確定せず、一航走中にすら計測値の急変が発生して、実船性能の推定を困難にする場合が屢々現われるようになった。

本研究の目的はこの種船型の流場変動の詳しい調査とその原因の究明を行なうことにある。昭和50年度（初年度）には不安定の発生が最初に認められたSR 61部会の原船型をとりあげ、大型模型船による各水槽持廻り試験、中・小模型船による流場調査を中心とする研究の一部を実施した。また別に実験船、実船実験に関する調査も行なった。

本51年度も前年度に引続く調査研究を主として行なったのであるが、前年度の経験から不安定をより明瞭に発生させる目的で僅かに船型変更を加えた中・小型模型船による実験をも一部実施した。研究方針としては大型模型船の持廻り試験では試験項目および方法を統一し、現象の共通な確認を主としたのに対し、中・小模型船では参加各研究機関の自主的発想に基づく創意に期待した。また境界層理論による船尾の流場解明、ことに3次元剥離渦の説明に期待した。

部会内に三つの小委員会を設けたことと、その分担した内容とは前年度と同一である。

§ 2 委 員 会

2.1 委員構成

2.1.1 委員会

(敬称略、順不同)

部会長	笹 島 秀 雄 (鉄鋼短期大学)		
委員	矢 崎 敦 生 [*] (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)	

(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)
 富 山 毅 (日本鋼管)
 久 富 吉 弘 (日立造船)
 田 中 陽 (明石船型研究所)
 山 崎 芳 嗣 (佐世保重工業)

並 松 正 明 (石川島播磨重工業)
 岸 本 修 (三井造船)
 坂 尾 稔 (川崎重工業)
 佐 藤 和 範 (造船技術センター)
 高 木 又 男 (日立造船)

(3) 第3小委員会 (実験船計画)

(敬称略、順不同)

主 査 仲 渡 道 夫 (広島大学)
 委 員 乾 崇 夫 (東京大学)
 鈴 木 敏 夫 (大阪大学)
 渡 辺 巖 (船舶技術研究所)
 藤 田 孝 (三菱重工業)
 高 木 又 男 (日立造船)
 須 藤 正 信 (日本鋼管)

田 中 一 朗 (大阪大学)
 田 中 拓 (船舶技術研究所)
 田 村 欣 也 (三菱重工業)
 並 松 正 明 (石川島播磨重工業)
 岡 本 洋 (川崎重工業)

2.1.3 討議参加者

(1) 委 員 会

(敬称略、順不同)

久 住 昇 三 (東京大学)
 森 正 彦 (石川島播磨重工業)
 政 井 和 博 (川崎重工業)
 山 崎 禎 昭 (石川島播磨重工業)
 佐々木 紀 幸 (住友重機械工業)
 小 倉 理 一 (佐世保重工業)
 藤 本 留 男 (日立造船)
 城 野 隆 史 (日立造船)

永 松 秀 一 (住友重機械工業)
 荻 野 繁 之 (佐野安船渠)
 並 松 正 明 (石川島播磨重工業)
 芦 立 勲 (日本鋼管)
 永 松 宣 雄 (川崎重工業)
 東 哲 朗 (大阪造船所)
 小野木 裕 (日本鋼管)

(2) 第1小委員会

(敬称略、順不同)

笹 島 秀 雄 (鉄鋼短期大学)
 渡 辺 四 郎 (明石船型研究所)
 小 丸 浬 (明石船型研究所)
 矢 崎 敦 生 (造船技術センター)

早 崙 和 幸 (明石船型研究所)
 鈴 木 敏 夫 (大阪大学)
 藤 本 留 男 (日立造船)

(3) 第2小委員会

(敬称略、順不同)

永 松 宣 雄 (川崎重工業)
 笹 島 秀 雄 (鉄鋼短期大学)
 小 倉 理 一 (佐世保重工業)
 矢 崎 敦 生 (造船技術センター)

芦 立 勲 (日本鋼管)
 奥 野 武 俊 (大阪府立大学)
 小野木 裕 (日本鋼管)
 木 下 健 (横浜国立大学)

(4) 第3小委員会

(敬称略、順不同)

笹 島 秀 雄 (鉄鋼短期大学)
 玉 井 浩 正 (川崎重工業)
 根 間 清 (川崎重工業)

矢 崎 敦 生 (造船技術センター)
 村 岡 賢 二 (石川島播磨重工業)
 城 野 隆 史 (日立造船)

2.2 委員会開催状況

2.2.1 委員会

- | | | | |
|-----|-----------------|-------------|------------|
| 第6回 | 51. 6. 8 (火) | 13.30～17.00 | 大阪科学技術センター |
| | ○ 研究実行計画審議 | | |
| | ○ 実船試験アンケート案検討 | | |
| | ○ 研究費配分 | | |
| 第7回 | 51. 9. 20 (月) | 14.00～16.10 | 虎ノ門共済会館 |
| | ○ 研究進捗状況報告 | | |
| | ○ 次年度研究計画審議 | | |
| 第8回 | 51. 12. 21 (火) | 13.30～16.30 | 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検討 | | |
| 第9回 | 52. 1. 26 (水) | 13.30～17.00 | 大阪船舶クラブ |
| | ○ 報告書原稿審議 | | |

2.2.2 小委員会

(1) 第1小委員会

- | | | | |
|------|---------------------------|-------------|---------------|
| 第5回 | 51. 4. 13 (火) | 10.30～16.15 | 大阪大学 |
| | ○ 前年度研究成果の再検討 | | |
| | ○ 研究実施計画検討 | | |
| 第6回 | 51. 5. 19 (水) | 10.00～14.00 | 海運会館 |
| | ○ 総合解析の分担、予算配分の決定 | | |
| | ○ 研究進捗状況報告 | | |
| | ○ 実船推進性能供試船に関するアンケート方案の検討 | | |
| 第7回 | 51. 7. 22 (木) | 13.30～17.10 | 明石船型研究所 |
| | ○ 実船推進性能アンケート実施状況報告 | | |
| | ○ 7m 模型船持ちまわり試験結果報告と審議 | | |
| | ○ 模型船修理方針決定 | | |
| | ○ 次年度研究内容の検討 | | |
| 第8回 | 51. 9. 7 (火) | 13.00～16.00 | 造船振興財団 |
| | ○ 実船推進性能アンケート結果報告 | | |
| | ○ 次年度研究計画審議 | | |
| | ○ 研究進捗状況報告 | | |
| | ○ 今後のとりまとめ方針検討 | | |
| 第9回 | 51. 11. 19 (金) | 11.00～16.30 | 造船研究協会 |
| | ○ 次年度研究申請経過報告 | | |
| | ○ 研究進捗状況報告と審議 | | |
| | ○ 次年度研究内容の検討 | | |
| 第10回 | 51. 12. 20 (月) | 10.30～16.30 | 造船振興財団、造船研究協会 |
| | ○ 研究結果に関する総合討論 | | |
| | ○ 7m 模型船持ちまわり試験総合解析結果検討 | | |
| | ○ 報告書とりまとめ方針の審議と決定 | | |

- | | | |
|------------|--------------------------------|---------|
| 第11回 | 52. 1. 17 (月) 13. 30 ~ 18. 00 | 造船研究協会 |
| ○ | 報告書原稿の審議 | |
| 第12回 | 52. 3. 1 (火) 10. 30 ~ 17. 00 | 大阪大学 |
| ○ | 不安定現象に関する討論 | |
| (2) 第2小委員会 | | |
| 第7回 | 51. 4. 13 (火) 10. 30 ~ 16. 15 | 大阪大学 |
| ○ | 前年度研究成果の検討 | |
| ○ | 研究実施計画の検討 | |
| 第8回 | 51. 5. 11 (火) 9. 00 ~ 12. 50 | 三菱会館 |
| ○ | 供試船型の決定 | |
| ○ | 研究実施計画の検討 | |
| ○ | 研究費配分の一部決定 | |
| 第9回 | 51. 7. 14 (水) 13. 30 ~ 17. 10 | 造船振興財団 |
| ○ | 研究進捗状況報告 | |
| ○ | 研究費配分 | |
| 第10回 | 51. 9. 20 (月) 9. 30 ~ 13. 40 | 虎ノ門共済会館 |
| ○ | 研究進捗状況報告 | |
| ○ | 次年度研究計画の検討 | |
| 第11回 | 51. 11. 5 (金) 11. 00 ~ 16. 30 | 大阪大学 |
| ○ | 研究進捗状況報告 | |
| ○ | 次年度研究内容の検討 | |
| 第12回 | 51. 12. 20 (月) 10. 30 ~ 16. 30 | 造船振興財団 |
| ○ | 研究結果に関する総合討論 | |
| ○ | 研究進捗状況報告 | |
| ○ | 報告書とりまとめ方針決定 | |
| 第13回 | 52. 1. 17 (月) 11. 00 ~ 17. 00 | 海運会館 |
| ○ | 報告書原案の審議 | |
| 第14回 | 52. 3. 1 (火) 10. 30 ~ 17. 00 | 大阪大学 |
| ○ | 不安定現象に関する討論 | |
| (3) 第3小委員会 | | |
| 第6回 | 51. 5. 19 (水) 14. 00 ~ 16. 40 | 海運会館 |
| ○ | 研究方針討論 | |
| ○ | 研究分担、予算配分の決定 | |
| 第7回 | 51. 7. 13 (火) 13. 30 ~ 16. 50 | 造船振興財団 |
| ○ | 研究進捗状況報告 | |
| 第8回 | 51. 9. 20 (月) 9. 30 ~ 13. 00 | 虎ノ門共済会館 |
| ○ | 研究進捗状況報告 | |
| ○ | 今後の方針検討 | |
| 第9回 | 51. 12. 21 (火) 10. 00 ~ 12. 30 | 造船研究協会 |
| ○ | 報告書原案の審議 | |

2.3 配布資料

2.3.1 委員会資料

第6回

- (1) 第1小委員会51年度研究計画並びに実施状況 (田村)
- (2) 第1小委員会研究費配分(案) (造研)
- (3) 第2小委員会報告 (田中)
- (4) 第2小委員会研究費配分(案) (造研)
- (5) Comparison of Aft Body Plans (造技セ)
- (6) 51年度研究計画 (横大)
- (7) 51年度研究計画(案) (三井)
- (8) 2m 模型実験計画案 (田古里)
- (9) 流れの可視化法の検討 (")
- (10) 造船関係流れの可視化法実験例一覧 (")
- (11) 第3小委員会研究費配分(案) (造研)
- (12) 実船試験アンケート(案) (田村、仲渡)

第7回

- (1) 第1小委員会活動状況報告 (田村)
- (2) 実船推進性能に関するアンケート結果 (")
- (3) タンクテストのバラツキ状況 (鋼管)
- (4) 第3小委員会本年度調査経過概況など (仲渡)
- (5) 第1小委員会52年度計画案 (田村)

第8回

- (1) 第1小委員会活動状況報告 (田村)
- (2) 第1小委員会関係報告書とりまとめ方針 (")
- (3) 4m 模型による不安定現象の計測 (田中(拓))
- (4) 4m 模型による船尾渦度分布の計測結果(例) (")
- (5) 2m 模型試験中間報告 (鋼管)
- (6) 4m 模型試験結果 (阪大)
- (7) 8ミリ映画メモおよび船尾流れの写真 (三井)
- (8) 第2小委員会報告原稿目次(案) (田中(一))
- (9) 実験船・実船実験に関する調査報告書内容(案) (仲渡)
- (10) [APP.] 抵抗・推進性能関係における不安定現象と操縦性能
関係における針路不安定現象、異常現象との関連について (仲渡、渡辺)
- (11) 第1小委員会1/10-1への補足 (佐藤)

第9回

- (1) 第1小委員会(第11回)、第2小委員会(第13回)提出資料
- (2) 抵抗・自航試験結果の解析と考察 (造技セ)
- (3) 51年度船型の決定とその製作 (")
- (4) 船尾流場に関する研究の文献調査 (田古里)
- (5) まとめ (阪大田中)
- (6) 船尾流場ノート (")
- (7) 第3小委員会報告内容目次 (広大仲渡)

2.3.2 小委員会資料

(1) 第1小委員会

第5回

- (1) 51年度申請計画書 (造研)
- (2) 第1小委員会51年度実施計画 (田村)
- (3) 51年度(第1、第2小委員会)船研実施計画 (船研)
- (4) 第2小委員会51年度研究計画案 (田中、鈴木)
- (5) NKK実験項目案 (芦立)
- (6) 51年度研究計画 (姫野)
- (7) 船尾渦の強さに関する近似解法 (＃)

第6回

- (1) 第1小委員会研究費配分(案) (造研)
- (2) 第1小委員会51年度の予算配分(案) (田村)
- (3) 試験結果(速報) (船研)
- (4) 実船推進性能研究用供試験船に関するアンケート(案) (田村)

第7回

- (1) 実船推進性能に関するアンケートと協力依頼の件 (造研)
- (2) アンケート先 (＃)
- (3) 船研計測結果 (船研)
- (4) 石播計測結果 (石播)
- (5) 持ちまわり試験結果 (明石)

第8回

- (1) 実船推進性能に関するアンケート結果 (田村)
- (2) 第1小委員会52年度計画案 (＃)
- (3) Side Force 計測結果(抵抗試験時) (明石)
- (4) 7m 模型船持ちまわり自航試験実施状況および今後の取りまとめ方針 (田村)
- (5) ITTC Performance Committee 提出資料 (＃)
- (6) 日本造船技術センター技報第4号(昭和51年7月発行)
「有効伴流と公称伴流」 佐藤和範より抜粋 (＃)
- (7) 50年度研究要約 (笹島)

第9回

- (1) 52年度研究費(申請額) (造研)
- (2) 7m 持回り模型水槽試験結果 (三菱)
- (3) 〃 (明石)
- (4) 総合解析中間報告
 - 1) 抵抗試験および標準自航試験結果の相互比較、考察
 - 2) 推力・トルク計測記録の比較・検討・考察 (造技セ)
- (5) 総合解析中間報告
プロペラ荷重度変更自航試験結果の比較検討 (石播)
- (6) 船体表面圧力再計測結果(2m 模型) (銅管)

第10回

- (1) 7m 持回り模型水槽試験結果比較図 (造技セ)
- (2) " (石播)
- (3) 水槽試験結果 (三菱)
- (4) 第1小委員会関係報告書とりまとめ方針(案) (")
- (5) 舵の有無による影響試験結果 (船研)
- (6) プロペラ前後位置変更試験結果 (明石)
- (7) プロペラ荷重度変更試験結果 (石播)

第11回

- (1) 大型模型船による自航試験法に関する研究 (田村)
- (2) 船舶技術研究所における試験 (船研)
- (3) 石川島播磨重工業(株)技術研究所における試験 (石播)
- (4) 明石船型研究所における試験 (明石)
- (5) 三菱重工業(株)長崎研究所における試験 (三菱)
- (6) 動力計検定結果図 (")
- (7) 抵抗、自航試験結果の解析と考察 (造技セ)
- (8) プロペラ荷重度変更試験結果の解析と考察 (石播)
- (9) 相似模型船の試験結果の比較 (三菱)
- (10) 持ちまわり試験の評価と今後の問題点 (田村)
- (11) 実船推進性能の研究に関する予備調査 (")

第12回

- (1) 不安定現象に関する資料
- (2) 52年度計画に関する資料
- (3) その他

(2) 第2小委員会

第7回

(第1小委員会第5回と同じ)

第8回

- (1) 第2小委員会研究費配分(案) (造研)
- (2) 本日の委員会議題に関連する雑メモ (田中)
- (3) 51年度研究供試模型船船型の件 (田村)
- (4) 第2小委員会の基本項目試験方案 (藤田)
- (5) 第2小委員会資料(広大計画) (波多野)
- (6) 51年度 I H I 研究計画 (並松)
- (7) 第2小委員会 2m 模型 51年度 研究計画案 (梶谷)
- (8) 実験計画(日程及び要員) (芦立)
- (9) 51年度 研究計画(案) (岸本)
- (10) 流れの可視化法の検討 (田古里)
- (11) 造船関係流れの可視化法実験例一覧 (")

第9回

- (1) プロペラ荷重度変更試験結果(載荷状態変化) (阪大)

- (2) 流線観測装置概略図 (廣大)
- (3) 2 m 模型実験計画変更案 (田古里)
- (4) 研究進捗状況 (鋼管)
- (5) 7 m 模型船伴流分布 (石播)
- (6) タバコの煙挙動調査 (阪大)
- (7) 実船推進性能に関するアンケートと協力依頼の件 (造研)
- (8) 渦度分布計測 (中間報告) (船研)
- (9) Wall Sided Model M30 Rに見られる不安定現象 (第 2 報) (梶谷)

第 10 回

- (1) 4 m 模型 (SR61 母型) の船型試験中間報告 (船研)
- (2) 2 m 模型船尾形状線図 (東大使用) (田古里)
- (3) 鋼管実験日程・要員 (鋼管)
- (4) 境界層理論の実用化に関する研究 5 1 年度研究進捗状況 (大府大)
- (5) プロペラ直前の流れ及び船体表面圧力等の変動調査 (並松)
- (6) 幅広肥大船の自航試験における不安定現象と船型要素 (造技セ)
- (7) スラスト変動と船体表面流線について (小倉)
- (8) 5 2 年度計画 (流場と抵抗) (3 年目) (阪大)
- (9) 抵抗成分分離計測関係研究計画 (案) (船研)
- (10) 次年度計画 (案) (石播)
- (11) 5 2 年度研究計画 (阪大)
- (12) " (廣大)
- (13) " (大府大)
- (14) 4 m 模型基本項目分担の場合の予算 (三菱)
- (15) 4 m 模型試験結果速報 (一部分) (")

第 11 回

- (1) 4 m 模型試験結果 (三菱)
- (2) 4 m 模型追加実験結果 (阪大)
- (3) Limiting Stream Line の計測 (廣大)
- (4) 船体表面圧力計測中間報告 (鋼管)
- (5) 境界層計算法の実用化研究中間報告 (大府大)
- (6) 船体表面摩擦応力の計測および限界流線の観察 (2 mV 型模型船) (")
- (7) 2 m 模型試験結果 (三井)
- (8) プロペラ単独試験結果 (東大 (艇))
- (9) 2 m 模型試験結果 (横大)
- (10) Rotor 型渦度計の検定法 (船研)
- (11) 研究計画メモ (阪大)
- (12) 5 2 年度研究費 (申請額) (造研)

第 12 回

- (1) 4 m 模型船試験結果 (三菱)
- (2) 同上付図 (")
- (3) 4 m 模型船試験結果 (阪大)
- (4) 4 m 模型による不安定現象の計測 (船研)

- (5) 4m 模型による船尾渦度分布の計測結果(例) (船研)
- (6) A. Wall-Sided Model 曳航時に現われる不安定現象
B. 2m Model の自航時の不安定現象 (東大(梶))
- (7) A. の付図 (")
- (8) B. の付図 (")
- (9) 肥大船の不安定現象に関する実験 (三井)
- (10) 2m 模型試験中間報告 (鋼管)
- (11) プロペラ直前の総圧の変動調査 (石播)
- (12) 研究報告書案 (広大)
- (13) 船型の境界層特性 (大府大)
- (14) 実験報告 (横大)
- (15) 文献紹介 (大府大)
- (16) 51年度第2小委員会報告原稿目次(案) (阪大)
- (17) 報告書作成計画(船研担当分覚書) (船研)
- (18) 51年度報告書目次について (鋼管)

第13回

- (1) 51年度原稿(案) §4 船尾まわり流場の調査
§4.1 まえがき (阪大)
- (2) 51年度報告書技セ担当文原稿案 (造技セ)
- (3) 51年度報告原稿 4.3 4m 模型船による水槽試験および考察
4.3.1 基礎的項目 (三菱)
- (4) §4.3.2 追加項目(1)50年度模型船 (阪大)
- (5) 4.3.2 追加項目(2)51年度模型船 (広大)
- (6) 4.4 2m 模型船による実験と考察 4.4.1 50年度模型船 (東大)
- (7) 4.4.2 2m 模型船の船尾流れの測定 (横大)
- (8) 4.4.3 50年度2m 模型船の回流水槽における試験結果 (三井)
- (9) 51年度報告書目次 (鋼管)
- (10) 4.4.4 51年度模型船 (")
- (11) 同上付図 (")
- (12) 4.5 プロペラ直前の流れの予備計測 (石播)
- (13) 4.6 3次元境界層理論の実用化に関する研究
4.6.1 境界層計算と実験-1 (広大)
- (14) 4.6.2 3次元境界層に関する計算と実験(2) (大府大)
- (15) 4.7 船尾流場に関する研究の文献調査 (東大)
- (16) 5. 抵抗成分の分離に関する研究 (船研)
- (17) 同上付図 (")

第14回

(第1小委員会第12回と同じ)

(3) 第3小委員会

第6回

- (1) 51年度申請計画書 (造研)
- (2) 第3小委員会議事資料 (仲渡)
- (3) 船体外板表面粗度と摩擦抵抗増加に関する実験案 (＃)
- (4) 合同小委員会(51.4.13)提出NKK資料抜粋 (造研)
- (5) 50年度報告研究資料No.255 抜粋 (＃)
- (6) 第2小委員会(第8回・51.5.11)提出東大梶谷資料抜粋 (＃)
- (7) 船尾付近の船型と不安定現象の発生の関係についての一調査 (仲渡)
- (8) 第2回操縦性シンポジウムテキスト(45.11) 針路不安定な船の特質 (＃)

第7回

- (1) SR61 船型の操縦性能について
肥大船の操縦性能における異常現象について
SR154で得られた結果
— 概要紹介 — (渡辺)
- (2) 実験船における船尾流場の不安定現象に関する実験について (藤田)
- (3) 操縦性能における異常現象と推進性能の関係 (高木)
- (4) 実船推進性能に関するアンケートと協力依頼の件 (造研)
- (5) アンケート案(操縦性関連事項) (仲渡)
- (6) Large Scale Model Propellerによる実験案 (川重)
- (7) 実験方法、実験船の船型変更方法 (並松)

第8回

- (1) 船型変更方法の例 (石播)
- (2) 大型模型船の伴流計測方法の例 (＃)
- (3) On the Scale Effect of Boundary Layer
Separation by H.Crothues-Spork (船研)
- (4) Turbulent Boundary Layer and Viscous
Resistance of a Submarine of High Reynolds
Number By-William G.Soudens (＃)
- (5) Velocity Measurements in close Proximity to a
Ship's Hull By R.S.Cutland (＃)
- (6) 第3小委員会本年度調査経過概況など (広大)
- (7) 第3小委員会の今後の方針について (広大)
- (8) タンクテストのバラツキ状況 (鋼管)

第9回

- (1) 実験船・実船実験に関する調査報告書内容(案) (仲渡)
- (2) 実験船もしくは実船による実験について (渡辺)
- (3) 船外機による抵抗・自航試験方法 (高木)
- (4) 実験船における船尾流場の不安定現象に関する実験について (藤田)
- (5) 実験船による伴流計測方法の例 (並松)
- (6) Propeller関係 (岡本)
- (7) 実験船による波形解析法の調査 (田中(折))

- (8) [App] 抵抗・推進性能関係における不安定現象と操縦性能関係
における針路不安定現象、異常現象との関連について (仲渡)
- (9) 船体外板表面粗度と摩擦抵抗増加に関する実験案 (")
- (10) 実験船の船型変更に関する調査 (並松)

§ 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

すでに第1年度報告において詳述したように、肥大模型船においては、自航試験に際して異なった種類（少くとも2種）の船尾流場が現われる恐れのあることが知られている。これが船尾流場の不安定現象と呼ばれるものであるが、本研究部会が研究の対象としている新経済船型においては、機関室内配置等の都合により特に船尾が肥大化する傾向があるため、この現象はますます激しくなるものと考えられている。したがって模型試験結果より正しい実船性能の推定を行うためには、自航試験において現われるこの不安定現象の実態を把握してその識別法を調査し、このような船尾流場に適した自航試験法を見出すことが重要である。

この肥大模型船の船尾流場の不安定現象については本研究部会の研究着手に先立ってすでに種々の調査研究が行なわれ、またいくつかの水槽よりその発生状況が報告されているが、現象が複雑で、かつ微妙なためその全ほうは必ずしも明らかでなく、不安定現象自体の定義もあいまいで、それらの報告が果して同じ現象を指摘したものかどうか明確ではない。また船尾流場自体が模型船のわずかな形状や表面状態の相違、試験や計測の方法の相違によって微妙に変化し、水槽の構造、曳引車の特性、計測装置によっても影響される可能性があるため、夫々の水槽において別個の現象が生じている恐れすら考えられた。すなわち船尾流場の不安定現象に関する研究は、まず現象自体の確認から着手する必要が感ぜられた。

本研究部会において国内の主要大水槽間の持ち廻り自航試験の実施が企画されたのは、このような背景のもとづくものである。すなわち供試模型船として、不安定現象の発生し易い船型としてこれまでに種々研究に供されて来たSR 61母型船型を選び、この7^m木製模型船およびその自航用模型プロペラを製作し、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、その結果を相互に比較評価することによって、自航試験における不安定現象の実態を明確に把握しようとするものである。

この持ち廻り試験は第1年（50年）度、第2年（51年）度を通して実施することとなり、第1年度は試験実施方案の決定、模型の製作ならびに日本造船技術センターにおける試験が実施された。これらの結果はすでに50年度報告書¹⁾に詳細に報告されている。今年度（51年度）は残りの4水槽における持ち廻り試験を逐次実施すると共に、50年度実施分も含めて試験結果を総合的に解析し、評価を行った。以下その結果を示す。なお参考までにTable 3.1.1に模型船の主要目および試験状態、Table 3.1.2に模型プロペラ要目を、またFig 3.1.1に模型船線図、Fig 3.1.2に模型プロペラ図を夫々50年度報告書より転載して示した。

文献

- 1) 第159研究部会 「新経済船型開発のための肥大船船尾まわりの流場に関する研究」 日本造船研究協会、研究資料No.255（1976-3）

Table 3.1.1 Principal Particulars and Test Conditions of Model

Load Condition		Full Load	65% Load	44% Load
Item				
Lpp (m)		7.000		
B (m)		1.1667		
Draft (m)	F.P.		0.2489	0.1280
	⊗	0.4227	0.2839	0.1980
	A.P.		0.3189	0.2680
Displacement (m ³)		27680	17992	12118
Trim (% Lpp)		0	1.0	2.0
Lpp / B		6.000		
B / d ⊗		27601	41095	58924
C _B		0.8017	0.7760	0.7533
C _p		0.8096	0.7873	0.7690
C _M		0.9903	0.9857	0.9795
C _w		0.8750	0.8317	0.8118
LCB (% Lpp)		14802F	04565F	21349A

Table 3.1.2 Principal Particulars of Model Propeller

Diameter	(mm)	204.2
Pitch Ratio (Constant)		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

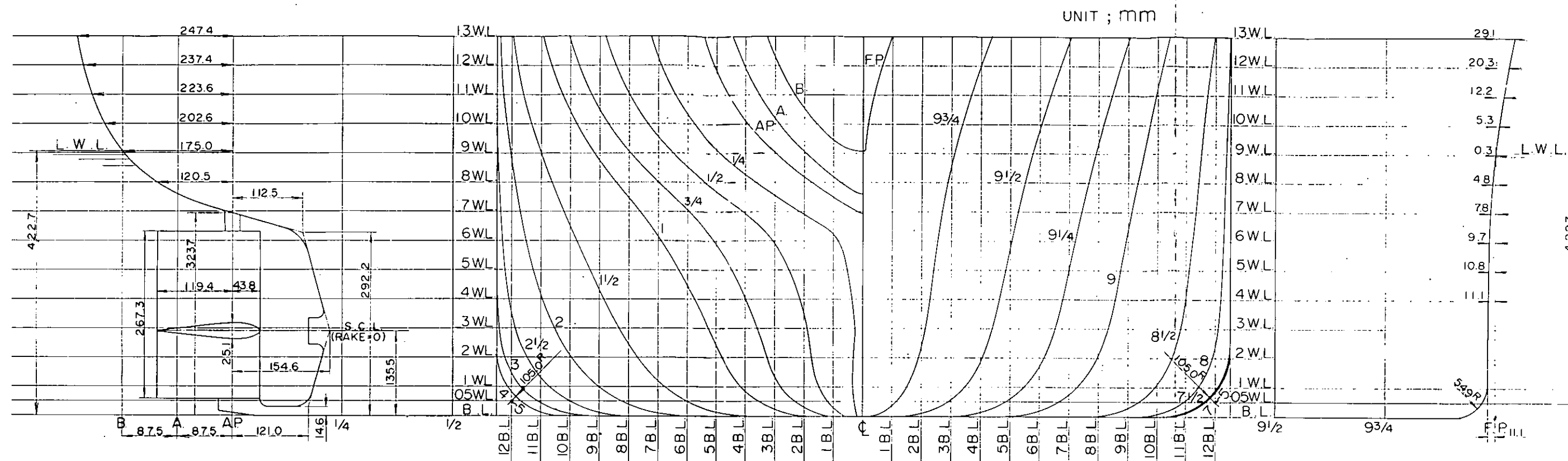


Fig. 3.1.1 Model Ship

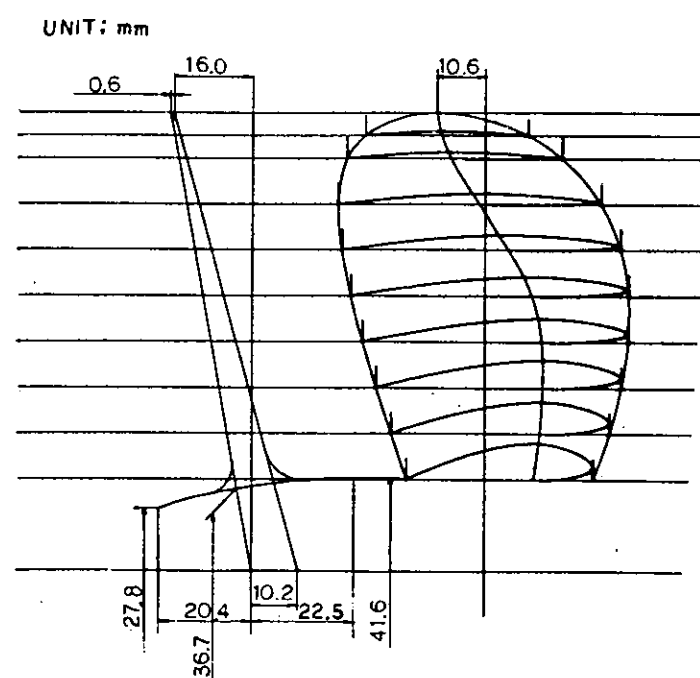


Fig. 3.1.2 Model Propeller

3.2 試験の実施とその結果

3.2.1 船舶技術研究所における試験

(1) 試験の実施

(a) 試験の概要

試験は、持ちまわり試験の順にしたがい、日本造船技術センター(目白)の次に、船舶技術研究所第2船舶試験水槽(400 m 水槽、三鷹)で実施された。

試験の種類としては、共通の方案として抵抗、自航、プロペラ荷重変更およびプロペラ単独試験があり、このほかに、舵の影響を調査するため、舵の有無の場合についてそれぞれ主として自航試験を行った。

試験状態は、Full Load、65% Loadおよび44% Loadの3種で、各状態の排水量、トリム等をTable 3.2.1に示す。横力の計測は、ガイド装置の下にとりつけた歪ゲージ式検出器により行った。その位置はS.S. 9 $\frac{1}{4}$ および1で、模型船上面より約30 cm下位置である。

抵抗および自航動力計はデジタル型式のものを使用しているが、アナログ記録も参考に用いた。

速度は、模型船の前方約7 mの位置にとりつけた流速計による対水速度を使用した。

(b) 模型船の状況

目白より送られた状態では、異常は認められなかった。実験をくり返すうちに、船首部乱流促進用ピン付近や船尾ボスまわりに少々変形を生じ、メーカーに修理をさせて試験を続行した。

(2) 試験結果

(a) 抵抗試験結果

抵抗試験結果をFig 3.2.1.1およびFig 3.2.1.2に示す。Fig 3.2.1.1はCorrelation LineとしてI.T.T.C. 1957 Lineを採用した場合の剰余抵抗係数、Fig 3.2.1.2はHughesのBasic Lineを採用した場合の造波抵抗係数である。後者の場合、低フルード数における抵抗試験の結果から求めた形状影響係数Kは、Full Loadおよび65% Loadでは0.45、44% Loadでは0.44である。これらの図面をみると、44% Loadの低速におけるばらつきが大きい、これは乱流促進効果が十分きいていないためと考えられる。なお、各計測値は流速計による影響やBlockageによる修正は施していない。また、横力の計測結果は、各状態ともほとんど0であった。

(b) プロペラ単独試験結果

プロペラ単独試験結果をFig 3.2.1.3に示す。

試験回転数を図中に示すように2種類変えて試験したが、差はほとんどみられない。

(c) 自航試験結果

自航試験結果として、各状態における自航要素と横力をFig 3.2.1.4に示す。自航試験結果のデータは、アナログ記録を参考に、明らかに2本の線がひけるとされる実験記録については、デジタル記録値中のそれぞれに対応した値を求めて図中○、○印で示してある。単に変動のみが大きいと判断されるものについては○印上の縦線で示してある。

図中、横力 $y(F)$ は、前方ガイド位置(S.S. 9 $\frac{1}{4}$)で計測された横力を $\frac{1}{2}\rho V^2 b^2$ で無次元化した値であり、 $y(A)$ は後方(S.S. 1)のそれを示している。その方向は、プラスとは船体後方よりみて右向きの力が加わった場合を、マイナスとは逆に左向きの力が加わった場合を表す。

$1-W_T$ の値は、Fullおよび65% Loadでは、大きな変化の幅はないが、44% Loadでは、特に高速でその値は大きく変化している。

$1-i$ についても大体同様な傾向がみられる。

さらに、44% Load、 $Fn = 0.23$ のアナログ記録Fig.3.2.1.6には、 $y(A)$ の変化とスラストの変化との対応が、はっきり表われている。

プロペラ効率比 η_R については、通常の肥大船型から推定される値よりも、65%および44%Loadではやや低目を示している。

(d) プロペラ荷重度変更試験

スラスト T をプロペラ直径 D を用い無次元化した $C_T = T / \rho v^2 D^2$ を横軸として、自航要素と横力を各状態ごとに置点して Fig.3.2.1.5 に示す。

$1 - W_T$ は、プロペラ荷重度と共に増加の傾向にあるが、Full Load で一番顕著に現れている。しかし、本実験のなかに見られた不安定現象は、65% Load、 $C_T = 0.6$ の点のみであった。

また、横力 y (A) では、65% Load で、他の状態にくらべてプラスの高い値を示している。

(e) その他の試験

舵の影響を調査するために、舵の有無の場合、それぞれ自航試験およびプロペラ荷重度変更試験を実施した。

その結果を Fig.3.2.1.4 および Fig.3.2.1.5 中に△印で記入してある。

(3) 試験結果の考察

持ちまわり試験の2番目として船研において行われた以上の試験結果をみると、いままでに発表されているような明らかな自航要素の二股現象は今回の試験に関しては、はっきりとみられなかった。船研における他の船の試験結果と比較してみても、計測値の変動はたしかに多目であるが、解析された自航要素には、一、二の場合を除き、この現象が顕著に示されていない。

しかし、自航試験アナログ記録からは、一般に云われているように、横力とスラストとは関連をもって変化していることがわかる。したがって、今後デジタルおよびアナログ記録をより詳細に検討することによって、不安定現象の解明に役立つ資料が得られるかもしれない。

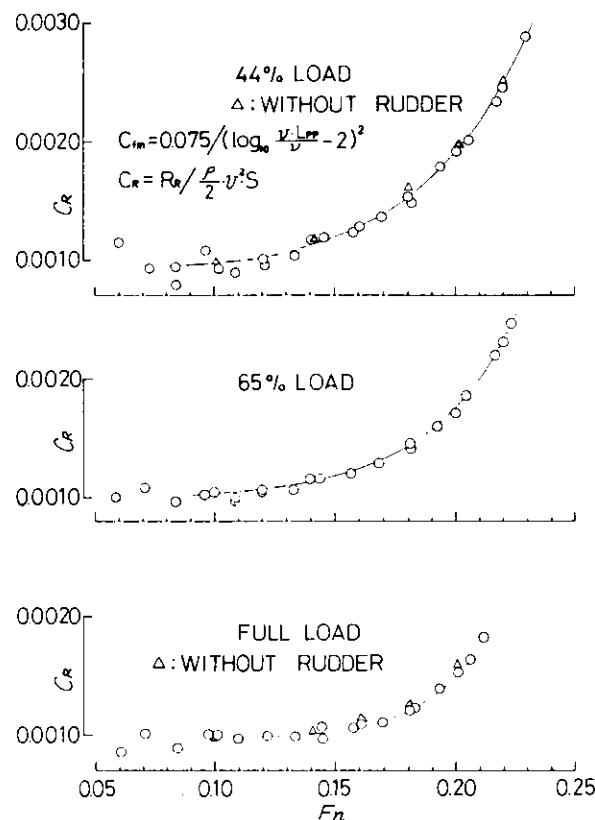


Fig. 3.2.1.1 Result of Resistance Test (1)

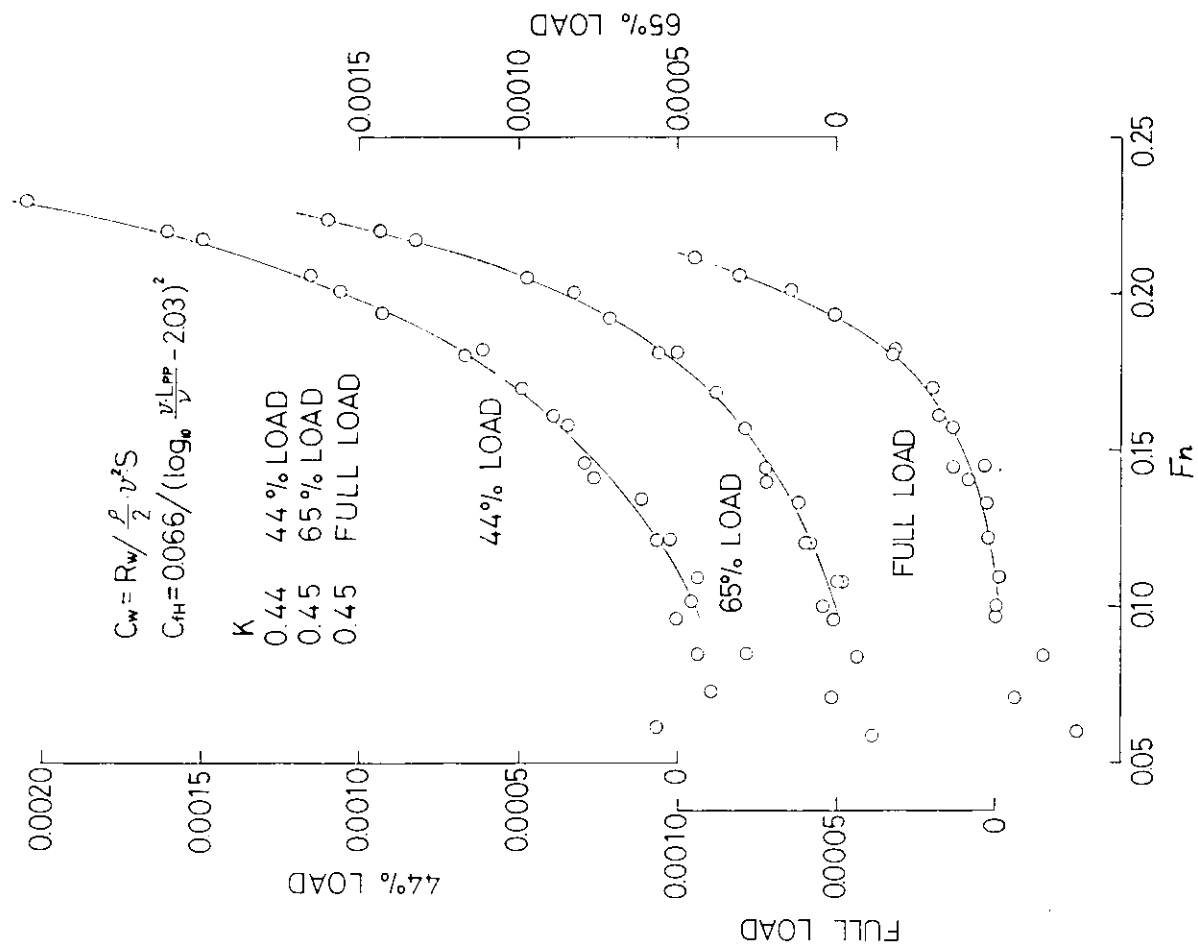


Fig. 3.2.1.2 Result of Resistance Test (2)

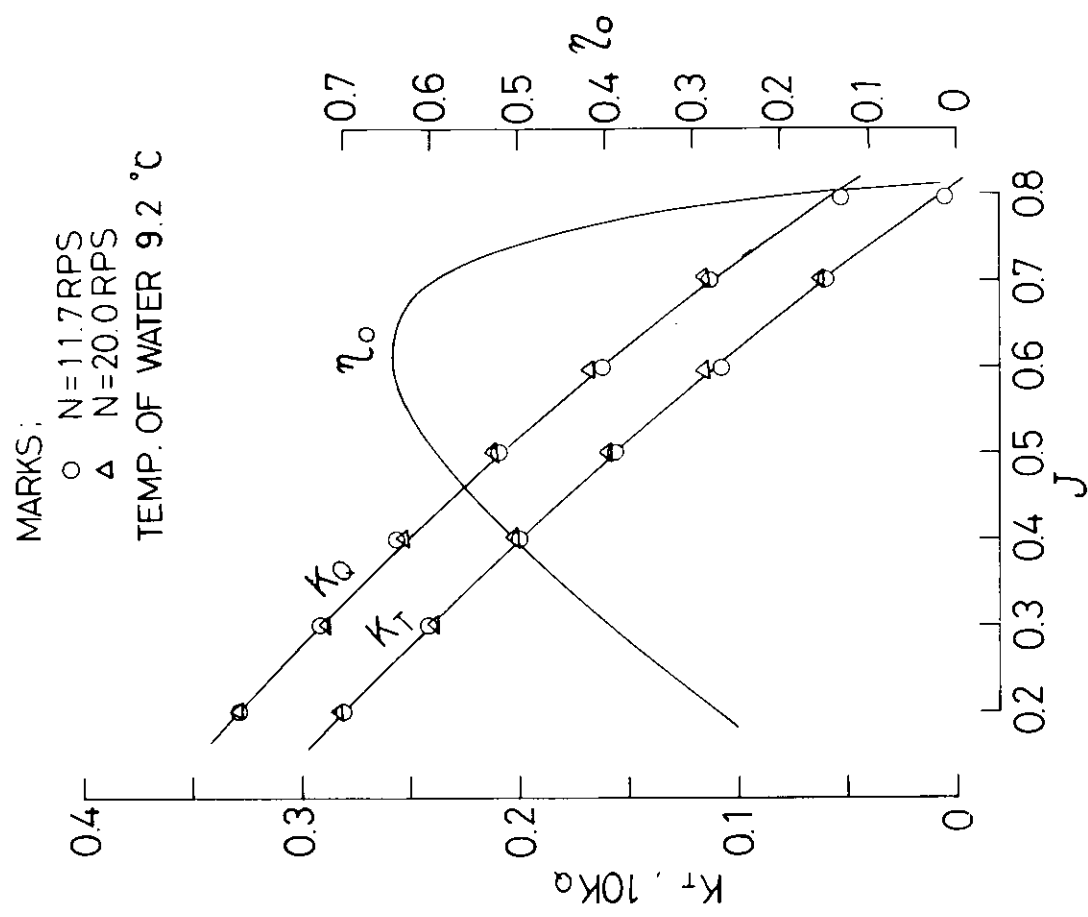


Fig. 3.2.1.3 Results of Propeller Open Test

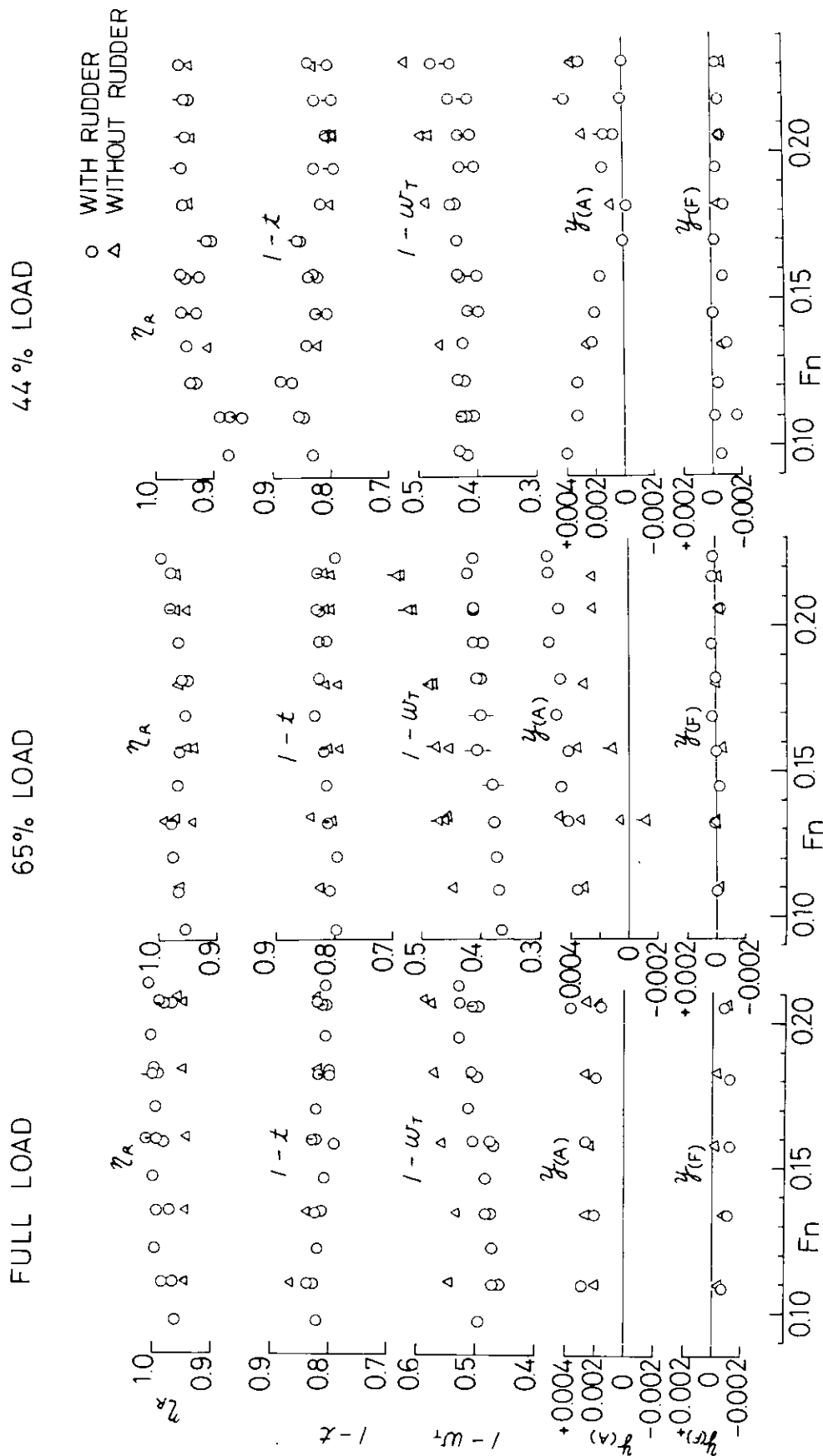


Fig. 3.2.1.4 Result of Self-Propulsion Test

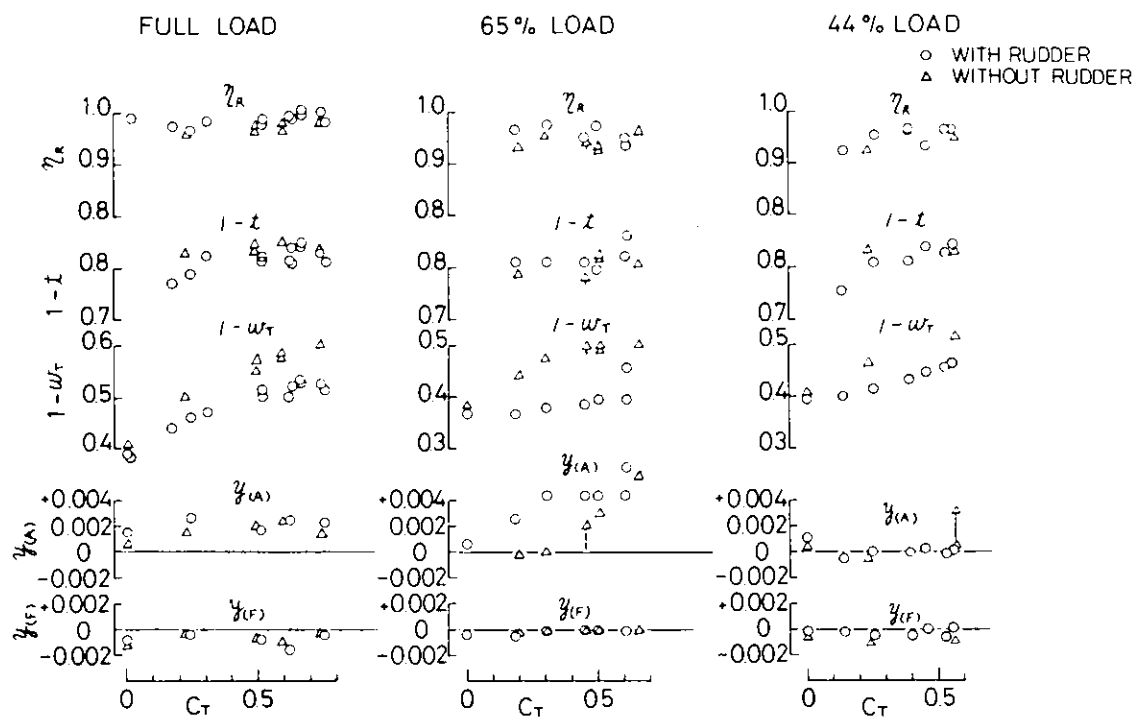


Fig. 3.2.1.5 Results of Self-Propulsion Test

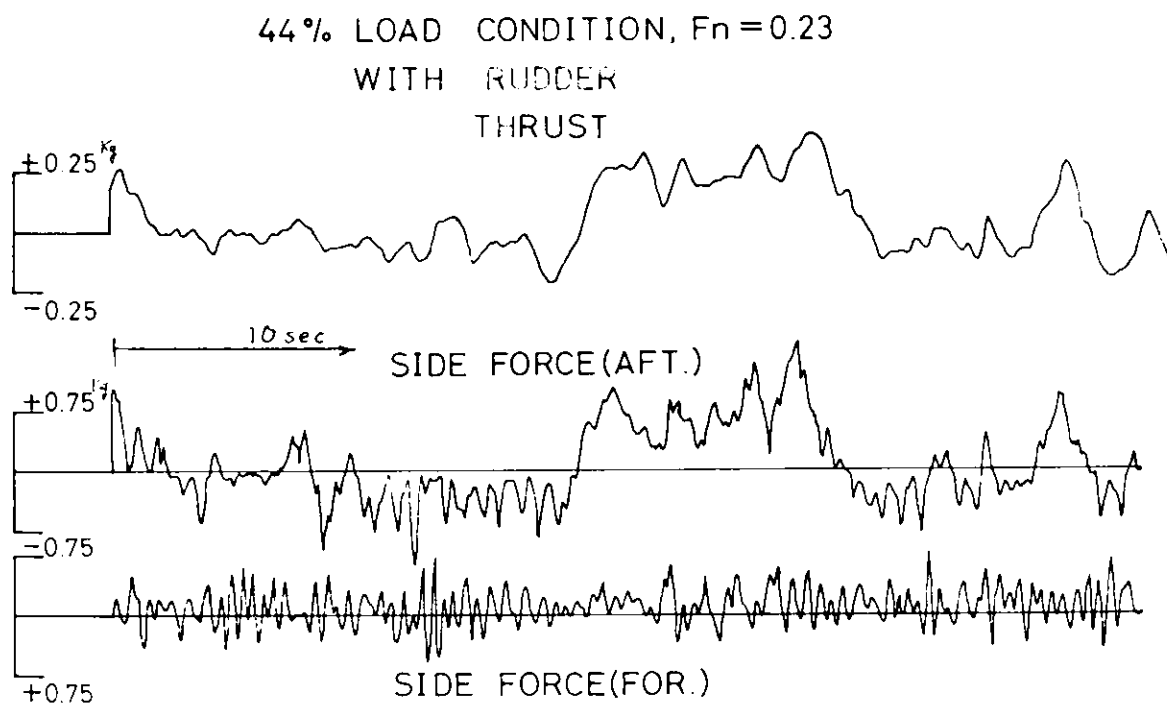


Fig. 3.2.1.6 Example of Records

3.2.2 石川島播磨重工業(株)技術研究所における試験

(1) 試験の実施

(a) 試験の概要

石川島播磨重工業(株)技術研究所(以下 IHI と略称)における試験は昭和 51 年 6 月 1 日から 3 日にかけて Full Load、65% Load、44% Load の順に行われた。各状態共に、抵抗、自航、プロペラ荷重度変更の 3 種類の試験を同一日に実施した。プロペラ単独試験は上述の各試験とは切離して、回転数一定、および、Reynolds 数一定の 2 状態について昭和 51 年 5 月 24 日に行われた。

抵抗、自航、および、プロペラ荷重度変更試験におけるデータの記録は、IHI 標準方式であるデジタル集録法に加えて、曳引力(抵抗)、推力、トルク、船首尾の横力についてはオシログラフによるアナログ方式をも併用した。また、船側波形、および、潮目をスチール・カメラで撮影すると共に、潮目についてはカラー VTR を用いて録画した。

代表速度には IHI 標準試験法に従って全て対水速度にブロックage 効果、および、船体が流速計に与える排除効果に対する補正を施した速度を採用した。また、船首尾の横力はガイド装置に歪ゲージを取付けて検出したが、ガイド装置のセット位置は S.S No 1/2、および、9 1/2 である。

(b) 模型船の状況

模型船は船舶技術研究所からトラックで回送されてきたが、試験前の検査では船体表面に異常は認められなかった。しかし、吃水線をチェックしたところ、Full Load の船尾吃水線が約 4 mm 狂っていることが発見されたため船尾吃水線を修正し、新しい吃水線を目標にしてトリミングを行った。

吃水線のチェックは、模型船を船底を下にして定盤上にセットし、トースカンを用いて行ったが、Full Load の水線で見える限りにおいて、歪は S.S No 4 附近から船尾に向かってほぼ直線的に増加し、Sag の状態を示していた。ただ、船底の歪は水線の歪ほど大きくなく、かならずしも船体に変形したと断定はできぬようである。

試験終了直後にも船体表面を再検査したが、異常は認められなかった。なお、船尾管とプロペラ軸は IHI 標準品と交換した。

(2) 試験結果

(a) 抵抗試験結果

Correlation Line に ITTC 1957 Line を用いたときの剰余抵抗係数を Fig. 3.2.2.1 に示す。各状態共、通常の肥大船の試験結果と比較して計測値は特に大きなばらつきもなく、良くまとまっていると思われるが、 $Fn \leq 0.12$ の低速域で層流影響と思われるような現象が見られる。これは、後述するように(株)明石船型研究所における試験結果と非常に良く似ていること、三菱重工業(株)長崎研究所においてスタッドを打ちなおして試験した結果消滅したことなどを考慮して、船舶技術研究所における試験が終了した後、模型船を修理した際にスタッドにペイントがかかり、スタッドの利きが悪くなったためであろうと推測されている。

Fig. 3.2.2.2 に Hughes の Correlation Line を用いたときの造波抵抗係数を示す。形状影響係数 K は IHI 標準試験法に従って、剰余抵抗係数の平均線の $Fn = 0.1$ における値を用いて機械的に算出したものである。また、抵抗試験における船首尾の沈下量と横力を Fig. 3.2.2.3 に示す。図中、船首の横力が各状態共に明確に正の値を示しているが、これは模型船を曳引車に取付ける際に若干問題があったのではないかと推測されている。

(b) プロペラ単独試験結果

プロペラ単独試験は今回指定されたプロペラ回転数が 11.7 rps 一定の場合と、IHI 標準試験法による Reynolds 数(Kempf の定義)一定の場合の 2 状態について同一日に実施された。Fig. 3.2.2.4 にそれぞれの試験結果を示すが、前者の Reynolds 数が $3.0 \sim 3.1 \times 10^5$ 、後者が 3.5×10^5 と

わずか15%前後の差しかないため K_T 、 K_Q 共に差異は殆んど認められず、Reynolds数の低い回転数一定の場合の K_Q が前進係数の小さい領域でわずかに大きくなる傾向を示しているにすぎない。

(c) 自航試験結果

自航試験は模型船を抵抗動力計に結合し、プロペラ回転数を電算機で予測しながら実験を進めてゆく、いわゆる、IHI方式によって実施された。Fig.3.2.2.5に各状態における推力、馬力、回転数等の無次元値を示した。また、Fig.3.2.2.6は自航要素、船首尾の沈下量、および、横力を取りまとめたもので、図中○△のごときひげのある記号は、その計測値が推力、トルク等の顕著な変動値をオシログラフより読みとって解析したものであることを示し、これらの記号と一走行中の単純平均を示すひげのない記号とを結ぶ線は、両者が同一走行中に得られたデータであることを示している。

Fig.3.2.2.6を見ると、65% Loadにおける $1-W_T$ が他の状態と比較してかなり小さな値であり、また、船尾の横力が際立って大きな正の値を示していることが先ず注目されよう。44% Loadでは、 $1-W_T$ にも船尾の横力にも相当大きな変動があったことが認められる。これに対して、Full Loadでは、オシログラフで観測した結果では推力、トルク等にあまり大きな変動は認められず、自航要素の値も他の肥大船と比較して常識的な値を示している。さらに、船尾の横力は抵抗試験における値と大差ないこともFull Loadが他の状態と異なる点である。

(d) プロペラ荷重度変更試験結果

自航試験に引続いて、プロペラ荷重度を推力ゼロから模型船の自航点まで変化させて、そのときの推力、トルク、曳引力等を計測し、自航試験結果と同様な方法で解析した結果をFig.3.2.2.7に示す。この試験の結果からも自航試験の場合と同様、65% Loadの $1-W_T$ と横力、および、44% Loadの船尾横力に際立って特異な現象が見られる。

また、Fig.3.2.2.8に自航時のプロペラの前進係数 $J = V(1-W_T)/nD$ をベースに自航、およびプロペラ荷重度変更試験における船尾横力の変化を示した。

(e) カラーVTRによる潮目の観測

抵抗、自航、プロペラ荷重度変更試験を通して、船尾後方約2mの船体中心線上にカラー・ビデオカメラをセットし、潮目の動きを撮影録画した。この記録とオシログラフによる推力、トルク等のアナログ記録の波形を詳細に照合した結果、試験走行中推力、トルク等が急激に大きな変動を起すとき、きまって潮目が左または右に移動することが判明した。

この潮目は、Full Loadではあまり明確にとらえられなかったが、65% Load、44% Loadではその位置をはっきり認定することができた。65% Loadの場合、自航試験では低速から高速までの全ての速度域で船尾波紋は左舷側に片寄り、かつ、安定していた。また、プロペラ荷重度変更試験においてはプロペラ荷重度が0.17附近までは潮目は右舷側に、それ以上の荷重度では左舷側に片寄り、この場合も安定していた。

44% Loadにおいては、いずれの試験でも、潮目は大勢として右舷側に片寄っているが、不安定で、試験速度等にはほぼ無関係に一走行中数回左舷側に移動した。

この潮目の位置と推力、トルク等の値、および、自航要素、特に $1-W_T$ との関係を調査した結果では、載荷状態の如何を問わず、潮目が右舷側に片寄っている場合と比較して、左舷側にある場合の方が推力、トルクは大きく、かつ、曳引力は小さい。また、 $1-W_T$ も小さい。船尾の横力は潮目の位置とは逆向きに働くことが多い。

(3) 試験結果の考察

今回行った一連の試験を通して、VTRによって潮目の動きを観察した結果、水面附近に限られるが船尾の流れの変化と推力、トルク等の変動、それに自航要素、その中でも特に $1-W_T$ の変化とは密接な

関係を持っていると推定される。また、65% load における自航、およびプロペラ荷重度変更試験の結果を総合的に考察すれば、不安定現象はかならずしも一走行中に推力、トルク等が異常に変動する現象ばかりではなく、試験走行中に推力、トルク等にさしたる変動が認められなくても、自航要素特に $1-W_T$ が常態とは異なる値を示すような形で現われることもあることが認識されるであろう。

1. プロペラ効果に対する補正式

$$\Delta V = 1.1 \frac{A_{\infty}}{B_T \cdot D_T} \left(\frac{L_{pp}}{B_T} \right)^{3/4} V$$

L_{pp} : 模型船垂線間長

A_{∞} : 模型船体中央横断面積

B_T : 水槽全幅

D_T : 水深

2. 流速計の指示値に対する模型船の排除効果の補正式

$$\Delta V = \left[k_1 \cdot \frac{B \cdot T}{L_{pp}^2} \cdot \left(\frac{1}{\frac{Z}{L_{pp}} - \frac{L_a}{L_{pp}}} - \frac{1}{\frac{Z}{L_{pp}} - 1} \right) + k_2 \cdot \frac{B \cdot T}{L_{pp}^2} \left(\frac{1}{\frac{Z}{L_{pp}}} - \frac{1}{\frac{Z}{L_{pp}} - \frac{L_f}{L_{pp}}} \right) \right] V$$

L_{pp} : 模型船垂線間長

B : 模型船全幅

D : 吃水

L_a : A.P.より中央平行部の始点までの距離（水線において）

L_f : F.P.より中央平行部の終点までの距離（水線において）

Z : F.P.より流速計取付位置までの距離

k_1, k_2 : C_R の関数である無次元係数

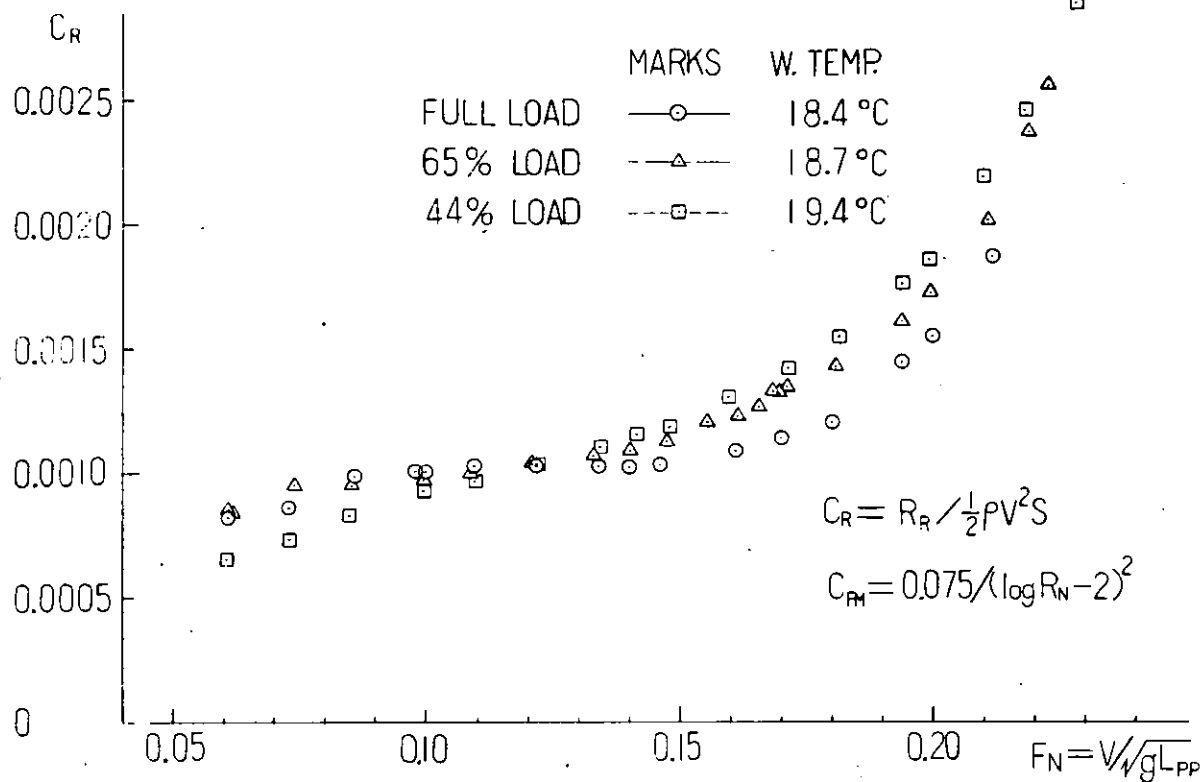


Fig. 3.2.2.1 Results of Resistance Test (1)

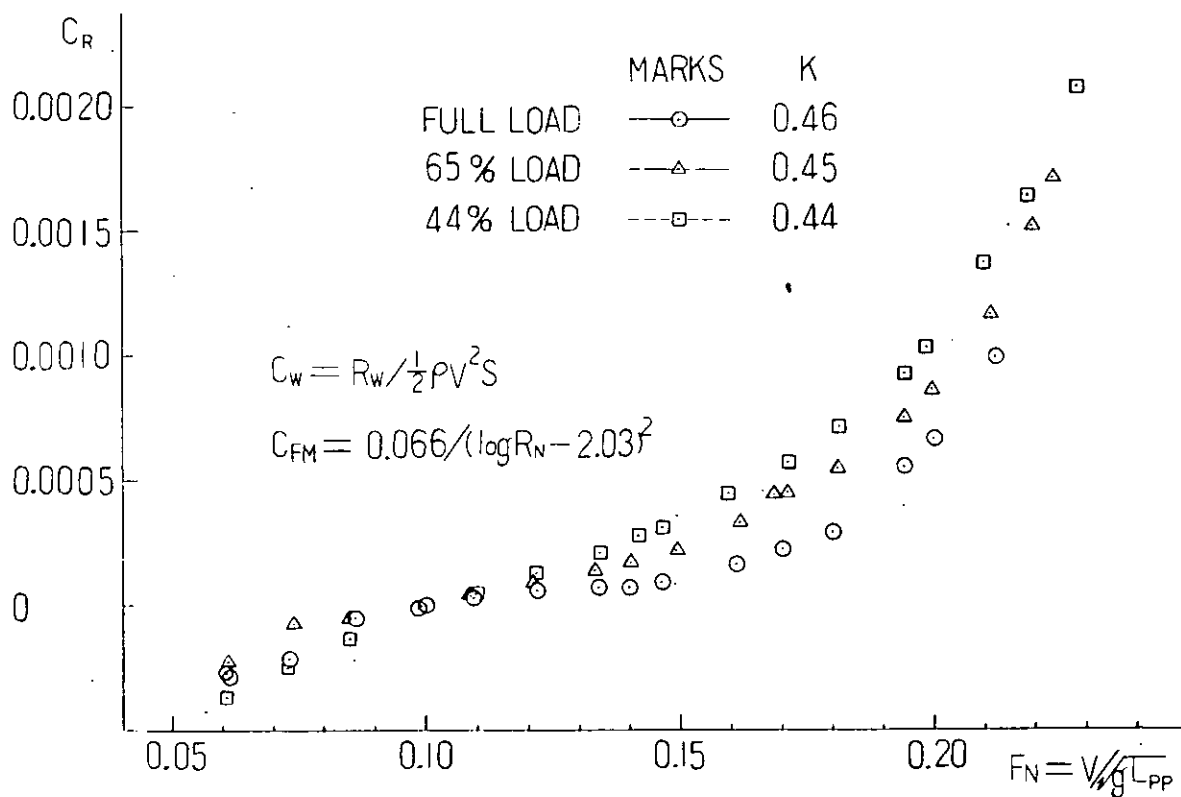


Fig. 3.2.2.2 Results of Resistance Test (2)

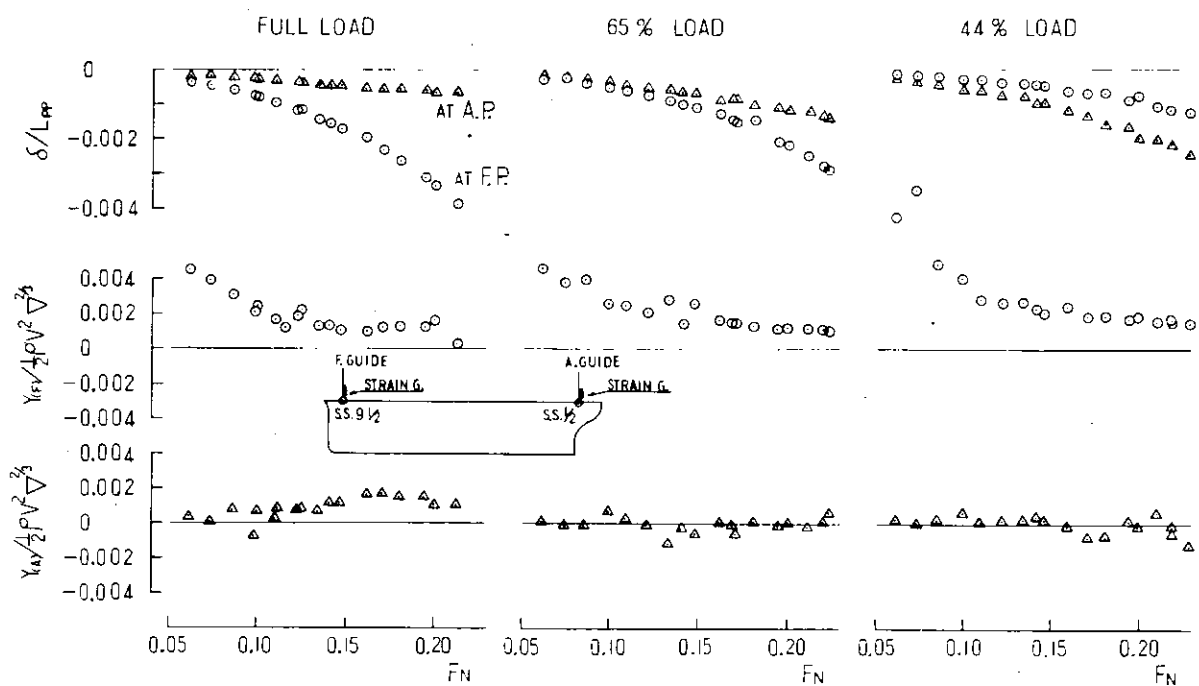


Fig. 3.2.2.3 Results of Resistance Test (3)

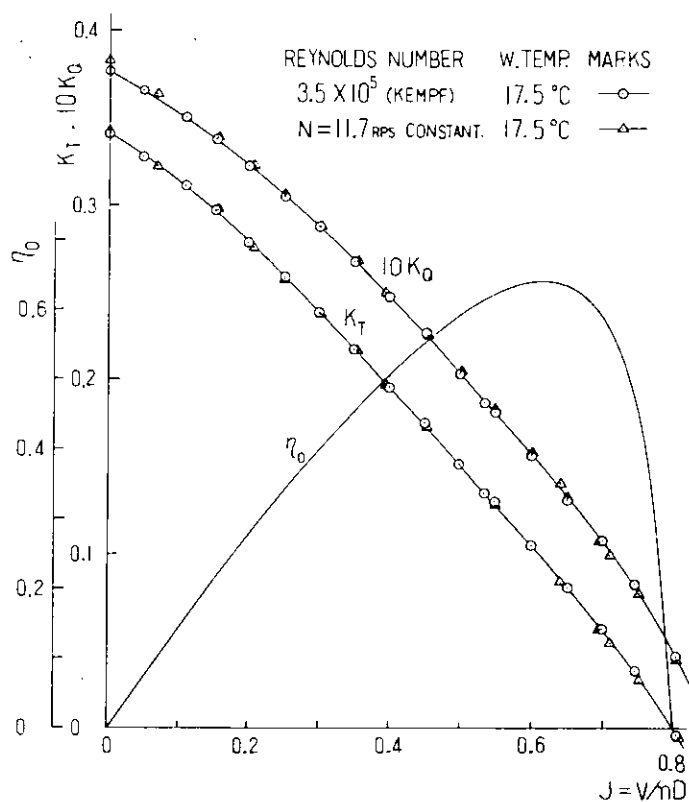


Fig. 3.2.2.4 Results of Propeller Open Test

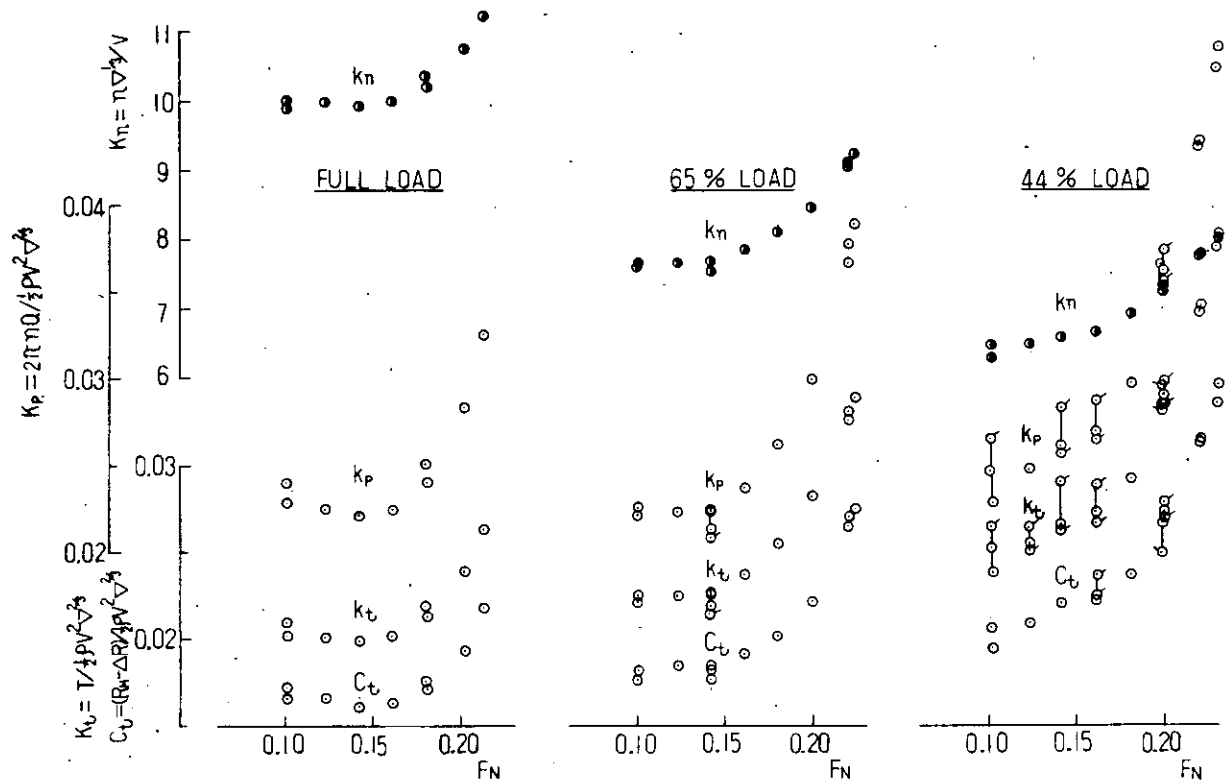


Fig. 3.2.2.5 Results of Self-Propulsion Test (1)

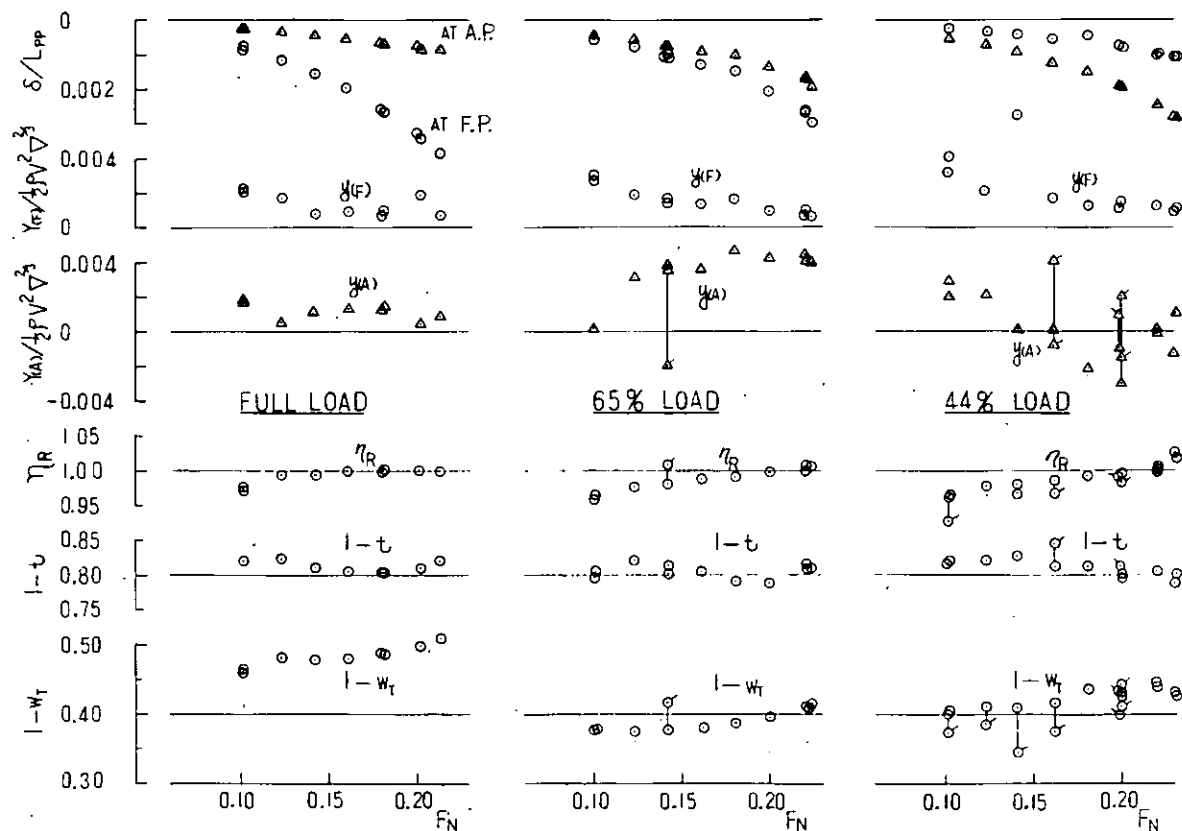


Fig. 3.2.2.6 Results of Self-Propulsion Test (2)

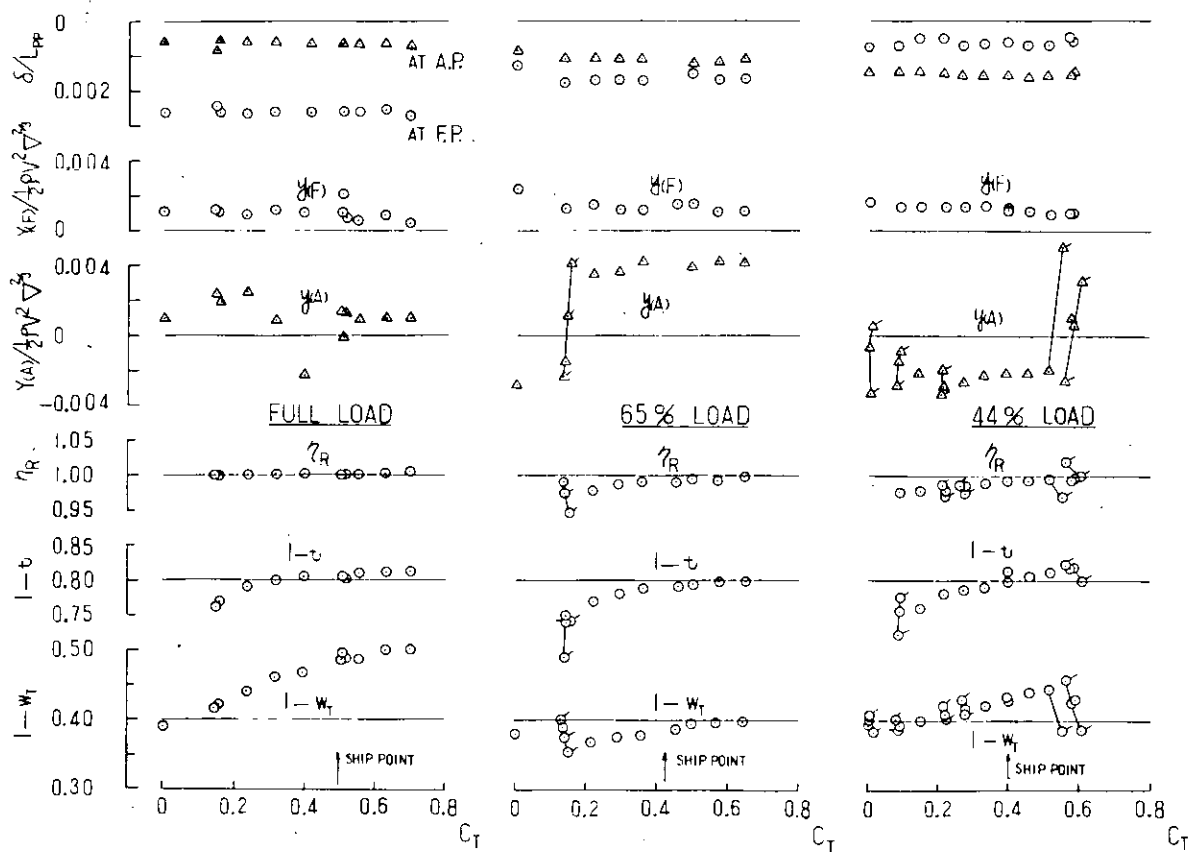


Fig. 3.2.2.7 Results of Propeller Load Test ($F_n = 0.18$)

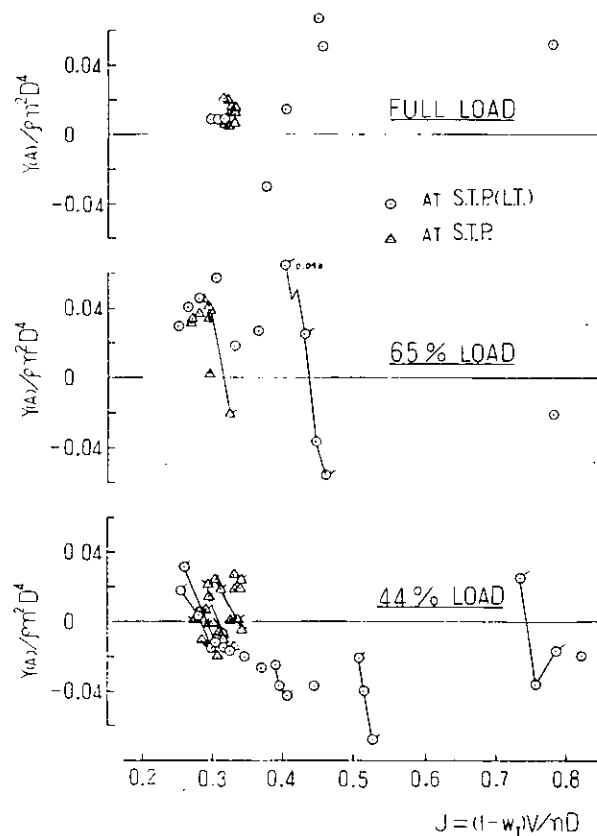


Fig. 3.2.2.8 Aft Side Forces vs Propeller Load

3.2.3 明石船型研究所における試験

(1) 試験の実施

(a) 試験の概要

明石船型研究所 (ASMB) では、昭和 51 年 6 月 11 日、IHI より模型船及び模型プロペラの送付を受け、後記のような模型船の補修その他を実施した後、6 月 24 日～7 月 8 日の間に所定の試験を実施、7 月 27 日模型船等一式を三菱重工業㈱長崎研究所宛に発送して、ASMB 関係作業を終了した。

試験は ASMB の 200 ㎓ 水槽で実施した。試験はすべて持ちまわり試験実施方案に準拠したものでプロペラ単独試験、通常の抵抗・自航試験およびプロペラ荷重度変更試験が、Full Load、65% Load および 44% Load について実施された。また ASMB においては、特にプロペラの船体からの距離が自航要素に及ぼす影響を調査するためのプロペラ前後位置変更試験が追加実施された。試験日程を一括して Table 3.2.3.1 に示す。

(b) 模型船の状況

模型船は製作後既に半年以上を経過し、既述 3 水槽での試験に供せられた上、長路の自動車輸送を経て来ているので、ASMB で受領した時にはかなりのいたみが見られた。即ち塗装膜内面に水が浸入して、塗膜が随所で“水ぶくれ”状を呈し、かなりの凹凸となっていた。また船体積層板の貼り合わせ箇所で段差の認められる箇所も二、三見受けられた。そこでメーカー作業員を ASMB に招致して、上述のような損傷箇所は、中間成形塗膜をなすアラルダイト層も木質部が現われるまで削り落して、あらためて成形塗装のやり直しをさせ修復した。修理はほとんど全面にわたったが、損傷の最も甚しかったのは左舷後部で、そこを主とした修理の模様を Photo 3.2.3.1 に示す。

乱流促進用スタッドは、模型船が ASMB に搬入されたとき既に船首部修理の形跡があり、スタッドの中にはかなり塗装に埋没しているようなものがある、その効果に不安が持たれたので、打ちなおすか否か判断に迷ったが、船首部には他に修理箇所がなかったので、持ちまわり試験の目的を重視して手をつけないことにした。

(c) その他

今回の持ちまわり試験は、それぞれの水槽固有の設備および方法で実施することを立前としたが、模型船スタンチューブ、模型プロペラ軸穴の寸法などが ASMB 常用のものと異なるので、ASMB の動力計・軸系にそのまま接続できず、かつプロペラ前後位置変更試験のためにプロペラをそれぞれの所定位置に正しくセットすることができるようなアダプタを必要とするので、それに適応したプロペラシャフトを新造して実験に使用した。更にプロペラキャップもボス部とフェアに連続するように、持ちまわり品とは別に製作して使用した。

(2) ASMB の計測装置および計測法の特徴

ASMB のプロペラ動力計、抵抗および自航動力計は、いずれもフォースコイルを使用した力平衡方式 (ZERO-Method) で全量計測を行なうものである。今回は不安定現象が予測される船型を対象とするので、動力計類の動特性が問題にされたが、上述のようにこれらの動力計はマグネットコイルそのものがダンパー的役目を果していく、特別のダンパーは採用していない。抵抗動力計および自航動力計の動特性を Fig. 3.2.3.1 に示す。

実験はすべて SAT T により自動的に処理される⁽¹⁾。特に自航試験は、模型船が抵抗動力計に連結されて、曳航力とプロペラ推力とによって推進される。そして抵抗動力計によって絶えず曳航力を計測しつつ、それが所定の摩擦修正量に等しくなるようプロペラ回転数を調整して、曳航力が一定許容範囲内におさまると、今度はプロペラ回転数を一定に保つよう制御しつつ、自航試験の諸量の計測を行なう方式である。

模型船ガイドは通常のパンタグラフ式平衡型のものであるが、模型船側のガイド取付金具に2分力計^(注)を挿入して、ガイド基部にかかる横力をアナログ計測した。他の諸量は通常どおりSAT Tによりデジタル処理をされたが、今回は特にアナログ記録器も併用した。

(3) 試験結果

(a) 抵抗試験結果

船首尾沈下量をFig.3.2.3.2に、またHughesのBasic Lineを使用した場合の形状影響係数 K の値および造波抵抗係数 C_W の値をFig.3.2.3.3に示す。しかし後述するように抵抗曲線が低速部においてばらつき、または垂れ下りの傾向を見せ、 K の値の決定には担当者独自の判断を必要とした。従ってこの K の値に余り他水槽との比較の重点を置くことは意味が薄いと考えられる。

また、Correlation LineとしてITTC-1957 Lineを採用した場合の剰余抵抗係数 C_R の値をFig.3.2.3.4に示す。

抵抗値が、Full Loadでは低速部で、65%および44% Loadでは中速部で、それぞればらつきを示しているの、プロットした計測点の肩に、航走順を示す番号を付しておいた。それによると、65%および44% Loadでは航走のはじめに生じた現象であることが判り、これは流場の問題というよりも、むしろ模型船-動力計系のならし、および模型船表面への気泡の付着によるものではないかと思われる。しかしFull Loadにおけるばらつきは実験途中のことで、そのようなことだけでは説明のつきにくいものと思われ、その原因ははっきりしない。

また今回の抵抗試験結果の特色は、船体表面における層流影響らしい現象が見られることである。Full Loadおよび65% Loadにおいても多少見られるが、特に44% Loadの低速域において顕著な抵抗曲線の垂れ下がりが見られ、層流影響が現われているように思われる。さきに模型船の状況として触れておいたように、乱流促進用スタッドが修理塗装に埋没するような形で、その効果が危ぶまれるような状態であったので、やはりこれが原因となった可能性が強い。ASMBの前に実験を担当したIHIにおける試験結果にも、同様の傾向の現われていることが注目される。

抵抗試験においても、船首尾ガイドの基部にかかる横力の計測を実施したが、船尾流場の不安定現象に強い相関があると思われる船尾の横力 $Y(A)$ は、平均値として速力ベースにほとんどばらつきはなく、零付近の値を示していた。従って抵抗試験時には、問題とされた65% Loadの場合も含めて不安定現象らしいものは現われなかったものと考えられる。その他諸計測のアナログ記録にも特記すべき変動は認められないので、これら詳細記録の呈示は省略する。

(b) プロペラ単独試験結果

ASMBのプロペラ単独試験は、回転数 N を一定にして順次前進速度を変えてゆく方式であるが、その試験回転数 N (rps)は11.7(実施方案指定)、15.0(ASMBプラクティスとして、 $Rn = ND^2/\nu \approx 6 \times 10^5$ を考えたもの)および20.0(念のために更に高レイノルズ数を狙ったもの、 $Rn \approx 8 \times 10^5$)の3種について実施した。試験時のアイドル調査結果をFig.3.2.3.5に示す。トルクスラストともにほとんど零とみなして差支えないが、ただスラストに関しては J の高い所で若干の抵抗値として出ているため、計測値に対する修正は実施した。試験結果はFig.3.2.3.6に示す。実施方案による11.7 rps の場合とASMB基準による15.0 rps の場合とはよく一致しているが、回転数を大きくするとトルクがやや高めに出来来る傾向があるようである。

(c) 自航試験結果

各状態とも、自航試験は抵抗試験に引続き同日中に実施された。その結果をFig.3.2.3.7~9に示すが、左側に試験結果の無次元値を、右側に自航要素および船首尾横力の無次元値を示している。

(注) 日章電機(株)製 2分力検出器(型式LMC-2506、定格負荷30kg)

自航試験の各状態におけるプロペラの目標荷重度と実行荷重度とを Fig.3.2.3.10 に示しているが、実行荷重度が目標値に対してかなり上にずれている。これは試験実施方案が ITTC-1957-Line によって摩擦修正を算定するよう指定しているのに対して、実験の際に誤りがあり、Hughes Basic Line が計算に使用されてしまったことによる。そのため摩擦修正の実行値が目標値より 5～10% 大きくなったわけであるが、後述の Fig.3.2.3.11 に示すプロペラ荷重度変更試験の結果から判断して、この程度のプロペラ荷重の差異は、自航要素にほとんど影響を及ぼさないと考えられるので、第 1 小委員会の承認を得て、実施方案の指示する摩擦修正に合わせるための再試験は実施しなかった。

Fig.3.2.3.7～9 に示された結果を見ると、いずれの状態においても、計測無次元値、自航要素ともに異常なばらつきやいわゆる二股現象は見られない。前述のように、横力以外の計測点は SAT T によりデジタル処理をされた平均値を示すが、Sampling Data の平均値に対する標準偏差も通常の試験例に比べて特に大きいことはなく、特に不安定現象を示唆するような結果は現われていない。同図中、(△)は後述のプロペラ前後位置変更試験の結果を、(□)はその際に再現性確認のため、プロペラ正常位置で再試験をした結果を併記したものである。

ただ横力は、SAT T による計測とは別系統のアナログ計測を行なったが、その計測記録から、連続的な変動をする一現象と解すべきものか、現象をレベルを異にする別グループに分けて考えるべきものか判断に苦しんだ。しかし、変動の中心をある時間持続した後に変化し、新しい変動の中心をまたある時間持続していると思われるような場合は一応別グループに分けて扱い、グループごとに平均値を求めて記号にひげ(例えば $\odot$, $\triangleleft$)をつけて示している。船尾の横力の値 $y(A)$ に関しては、問題とされている 65% Load の結果が、Full Load および 44% Load に比してかなり高いプラスの値を示している。これが直に不安定現象と結びつくのか否かは不明であるが、船尾から出る潮目の模様を見ても、船尾流場に非対称性の存在することが考えられる。44% Load においては $F_n=0.18$ 以上で $y(A)$ の値が一航走中に明らかに前記のような変動をしているのが見受けられたが、この場合船尾水面から出る八字波が、左舷よりに偏している時は横力がプラス側に大きくなり、右舷よりに偏している時は横力は小さめの値を示して、横力の変動と船尾流れの変動と対応するのが認められた。

(d) プロペラ荷重度変更試験

プロペラ荷重度変更試験は通常の自航試験と同時に実施された。即ち、 $F_n=0.18$ において、摩擦修正としてかける力を 5 段階に分けて $T=0$ (低荷重度) から $dR \neq 0$ (高荷重度) まで 5 点の計測を行なった。その結果を自航要素および横力の無次元値として Fig.3.2.3.11 に示す。横軸をプロペラ荷重度 C_T としたほかは自航試験結果の表現と同じであるが、矢印と点線は試験実施方案で指示された実船自航点に相当するプロペラ荷重度を示す。 $y(A)$ の計測点に付記された A-1 等の記号はアナログ計測記録との対応を示しているが、他水槽の結果と特に異なる傾向は見られないので、全アナログ記録の掲載は省略する。

Full Load では、高荷重度から低荷重度までの全計測範囲にわたり、自航要素の値、船尾水面流場および横力計測結果のすべてが安定している。65% Load では、実船自航点から高荷重度にかけては計測値も船尾流れもほぼ安定しているが、荷重度を減速してゆく途中、実船自航点のほぼ $1/2$ の荷重度付近で船尾水面流場が著しく不安定な状態を示す。Fig.3.2.3.12 (A-9) にアナログ記録の一例を示すが、 $y(A)$ の記録が途中ではっきりとマイナス側からプラス側に移行し、それに対応して船尾流場の左右非対称性を示すと思われる船尾水面の潮目が、はっきりと右舷から左舷に移った。Fig.3.2.3.12 ではトルク・スラスト計測値のアナログ記録に失敗しているので、 $y(A)$ の変動とトルク・スラストの変動との対応が明かでないが、別に再現したトルク・スラストの変動記録と照合すると $y(A)$ がマイナス側にある時はトルク・スラストともに低いレベルにあり、 $y(A)$ がプラス側に移行するとトルク・スラストとも高いレベルに移行して段差を生じていることが認められる。

この現象はこの荷重度付近の航走を重ねたが再現された。

44% Load では、実船自航点のプロペラ荷重度において、一航走中での $y(A)$ の変動が見られ、この場合も $y(A)$ が小さめの時に船尾水面の潮目は右舷側に偏し、 $y(A)$ がプラス側に大きく出る時に潮目は左舷側に偏することは、前述のとおりである。しかしこの場合でも自航要素の値のばらつきはなく、かつ高荷重度および低荷重度になると、この現象は顕著でなくなるようである。

(e) その他の試験

ASMBでは、上記の共通試験のほかにプロペラ前後位置変更試験を実施したが、章をあらためて詳述する。

(4) 試験結果の考察

試験全般を通じて云えることは、この供試船型はSR 61 当時に云われたような伴流の二股など、いわゆる不安定現象は見られず、通常の自航試験に関する限りむしろ安定したものであった。

ただ、45% Load の高速時、あるいは65% Load のプロペラ低荷重度の時などに、船尾流場の周期的な変動と、これに船尾横力あるいはトルク・スラストの変動が伴うことが確認され、かつこれら3者間に強い相関のあることも明らかにされた。この現象および船尾流場と諸計測値の相互関係などは、各水槽で得られた知見と同じであった。

しかし、これが直に不安定現象と云えるものか、あるいはどのように不安定現象につながるのか全く明らかにされていない。従って二、三のトレーサーを使用して船体周りの流れの観測および撮影も行なったが、なかなか流場の実態を明らかにするには至らなかった。今後不安定現象の解明には、大水槽においてもこの種の流場の観測あるいは撮影技術の改善が、実験技術の面で大きな役割を果たすであろうことが痛感された。

参考文献

- (1) 池畑 他 : 明石船型研究所における自動水槽試験システムについて

関西造船協会誌 No.155(1974-12)

Table 3.2.3.1 Schedule of Model Test

Date of Test	Kind of Test	Condition	Water Temp.
1976.6.24	Propeller Open Test	n=11.7, 15.0 & 20.0 rps	18.0
" 6.30	Resistance & Self-Propulsion Test	Full Load	18.5
" 7. 1	Resistance, Self-Prop. & Propeller Load Test	65 % Load	18.5
" 7. 2	Resistance, Self-Prop. & Propeller Load Test	44 % Load	18.0
" 7. 8	Propeller Load Test	Full Load	19.0
" 7. 8	Propeller Position Change Test	Full, 65 % & 44 % Load	19.0

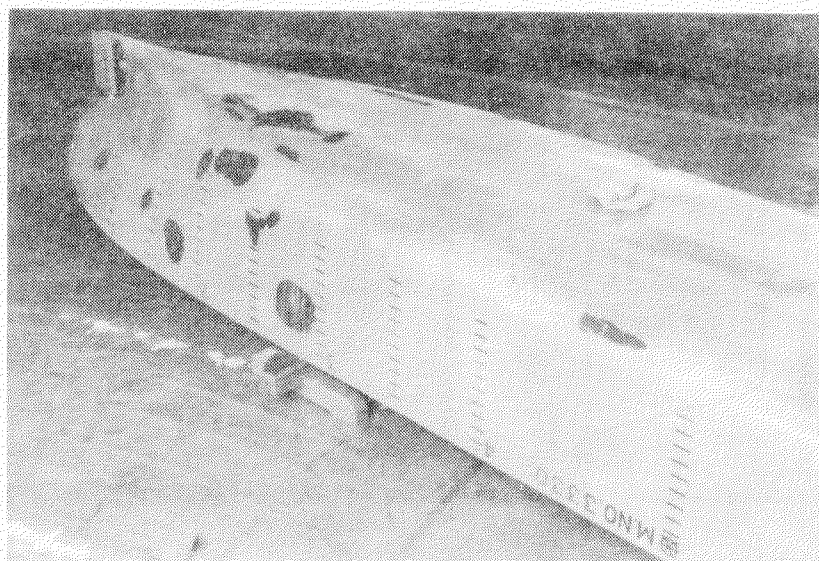


Photo. 3.2.3.1 Repairing Situation of Aft Hull(June 1976)

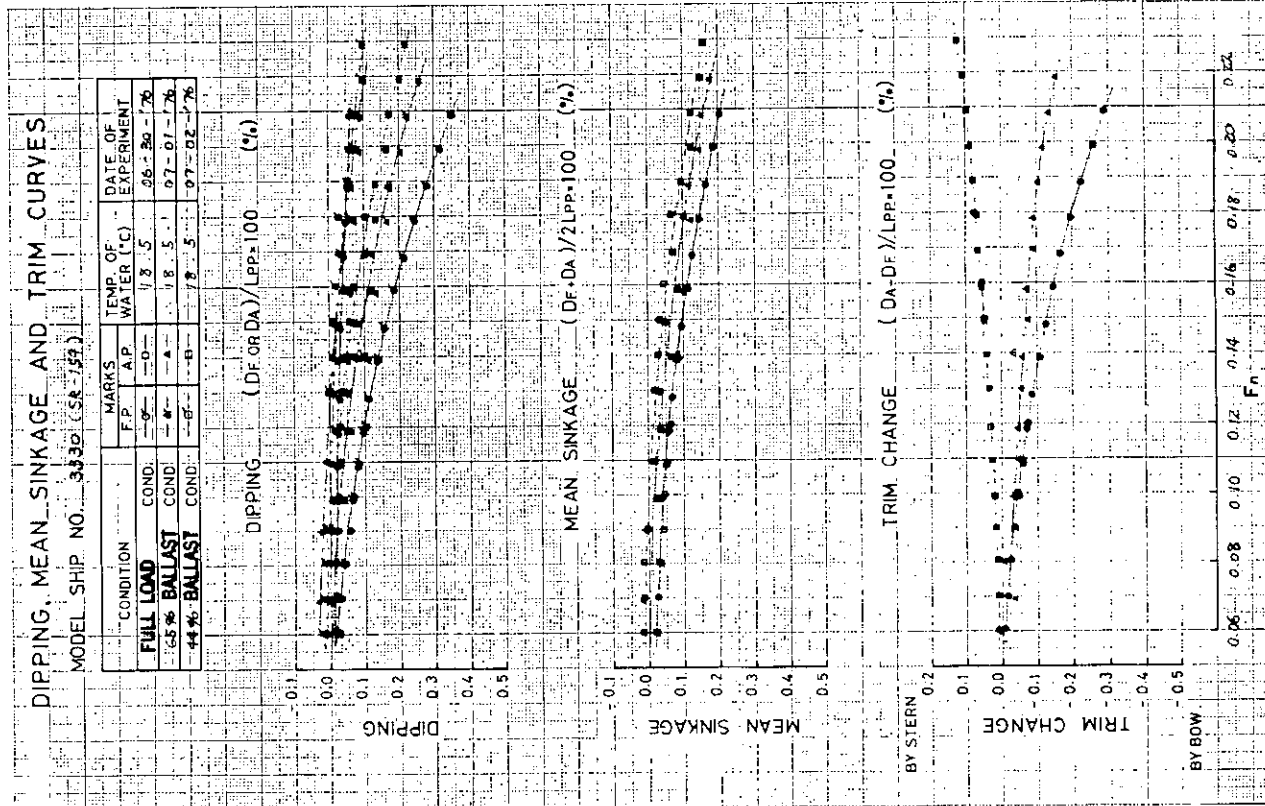


Fig. 3.2.3.2 Dipping, Mean Sinkage and Trim curves

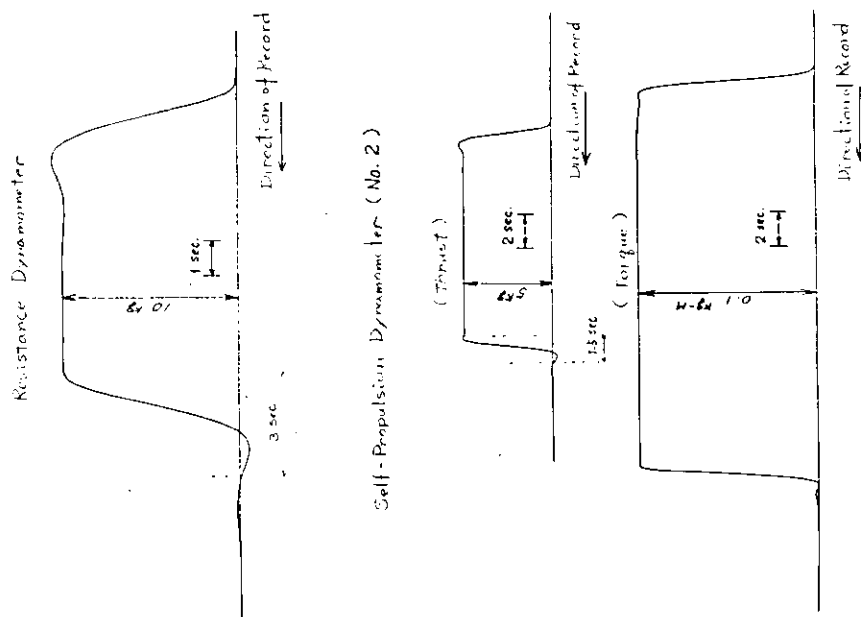


Fig. 3.2.3.1 Dynamic Character of Dynamometer

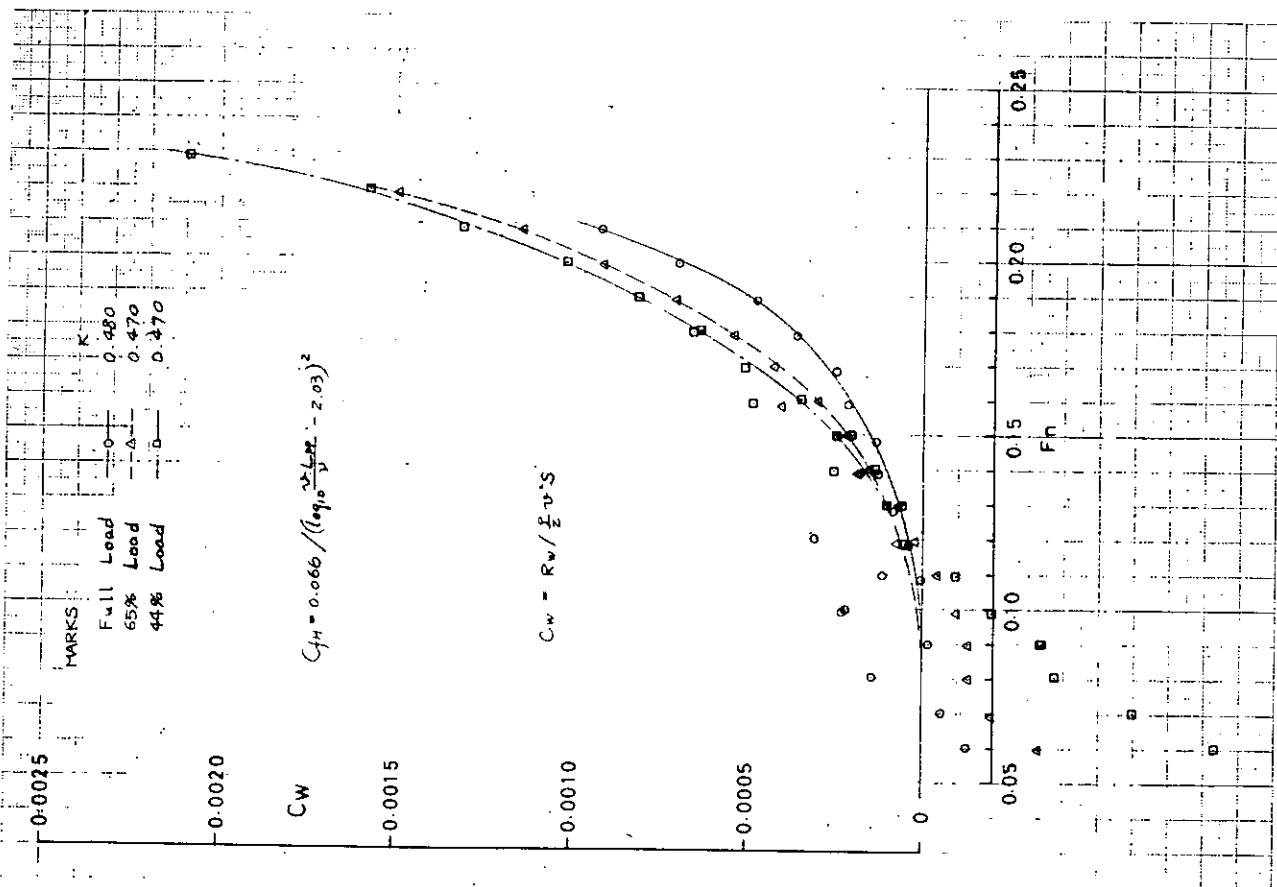


Fig. 3.2.3.3 Results of Resistance Test

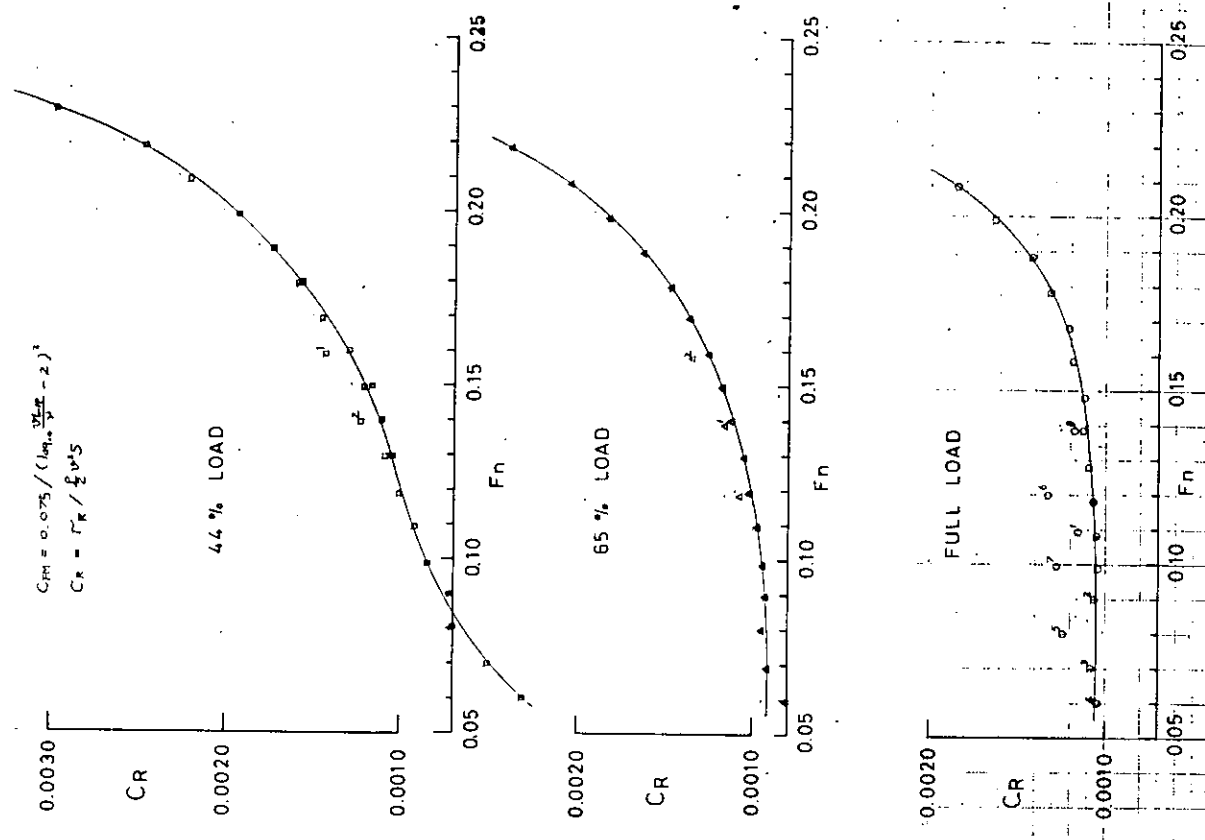


Fig. 3.2.3.4 Results of Resistance Test

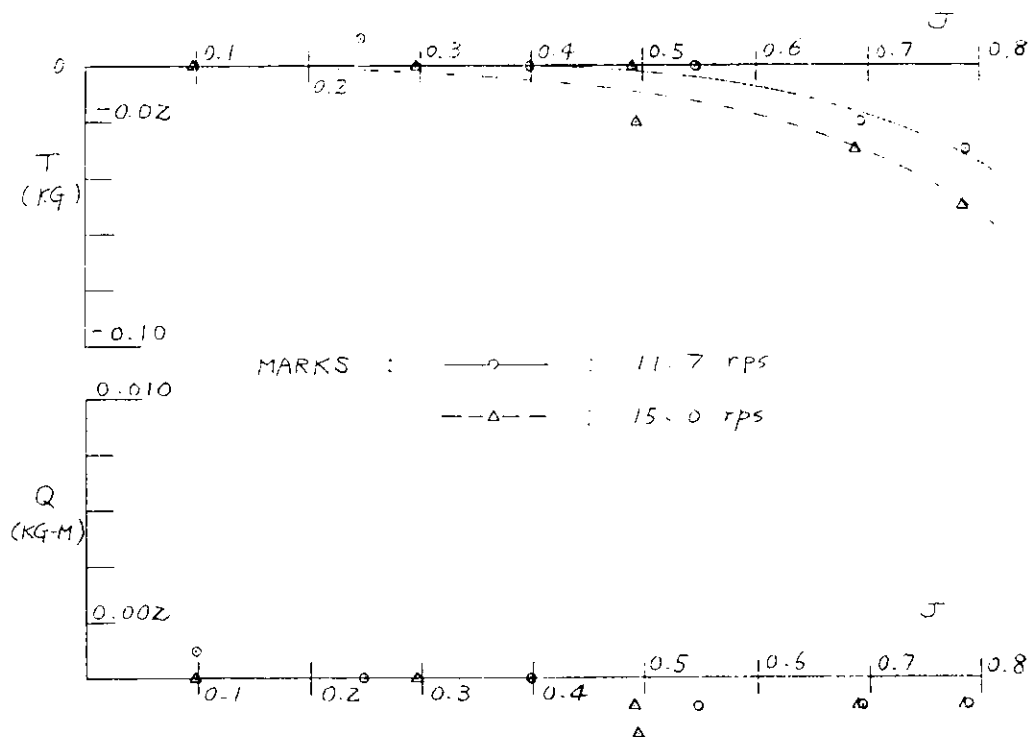


Fig. 3.2.3.5 Thrust and Torque of Idle Boss

M.P. No. 2171

DATE 06/24/1976

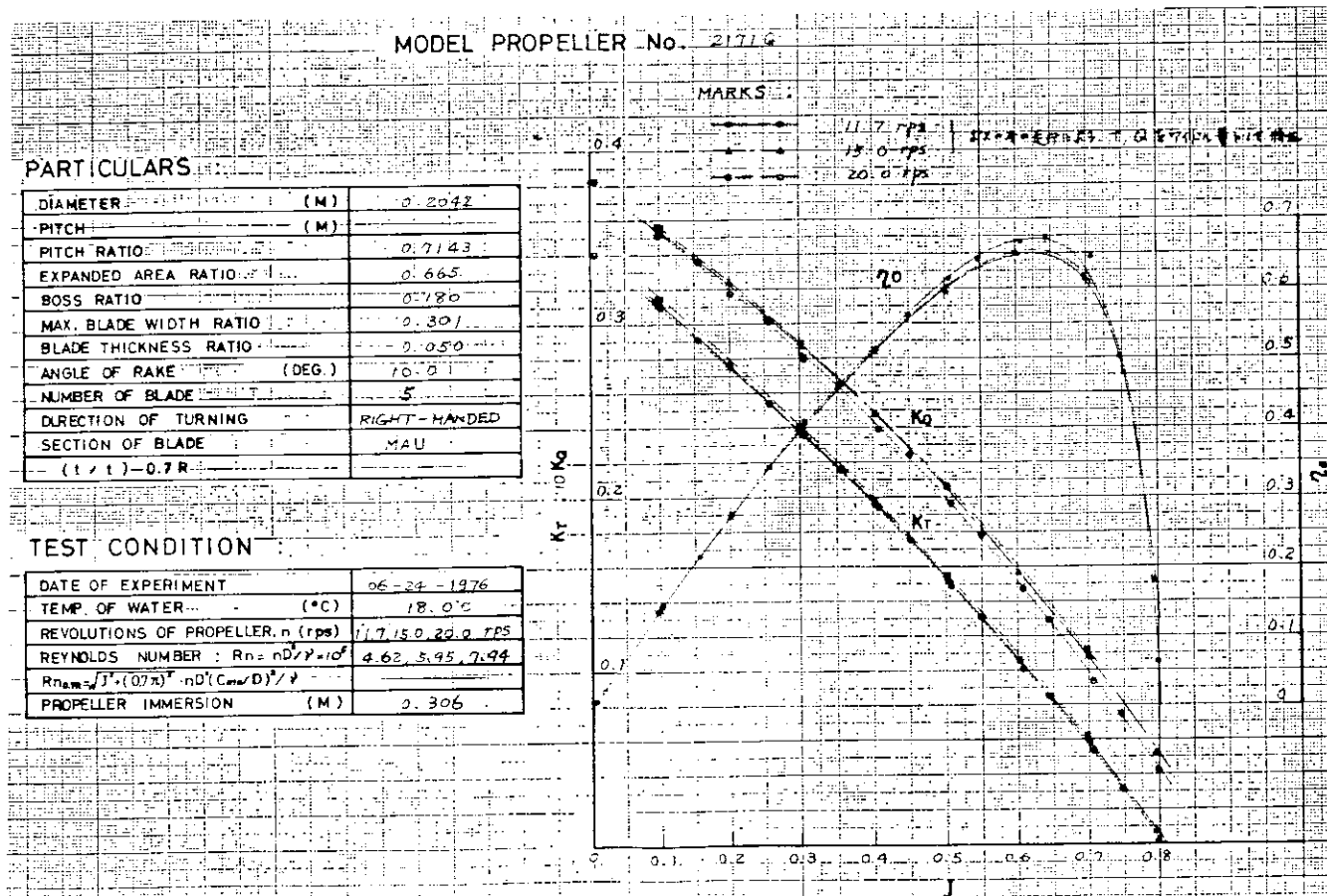


Fig. 3.2.3.6 Propeller Open Test Results

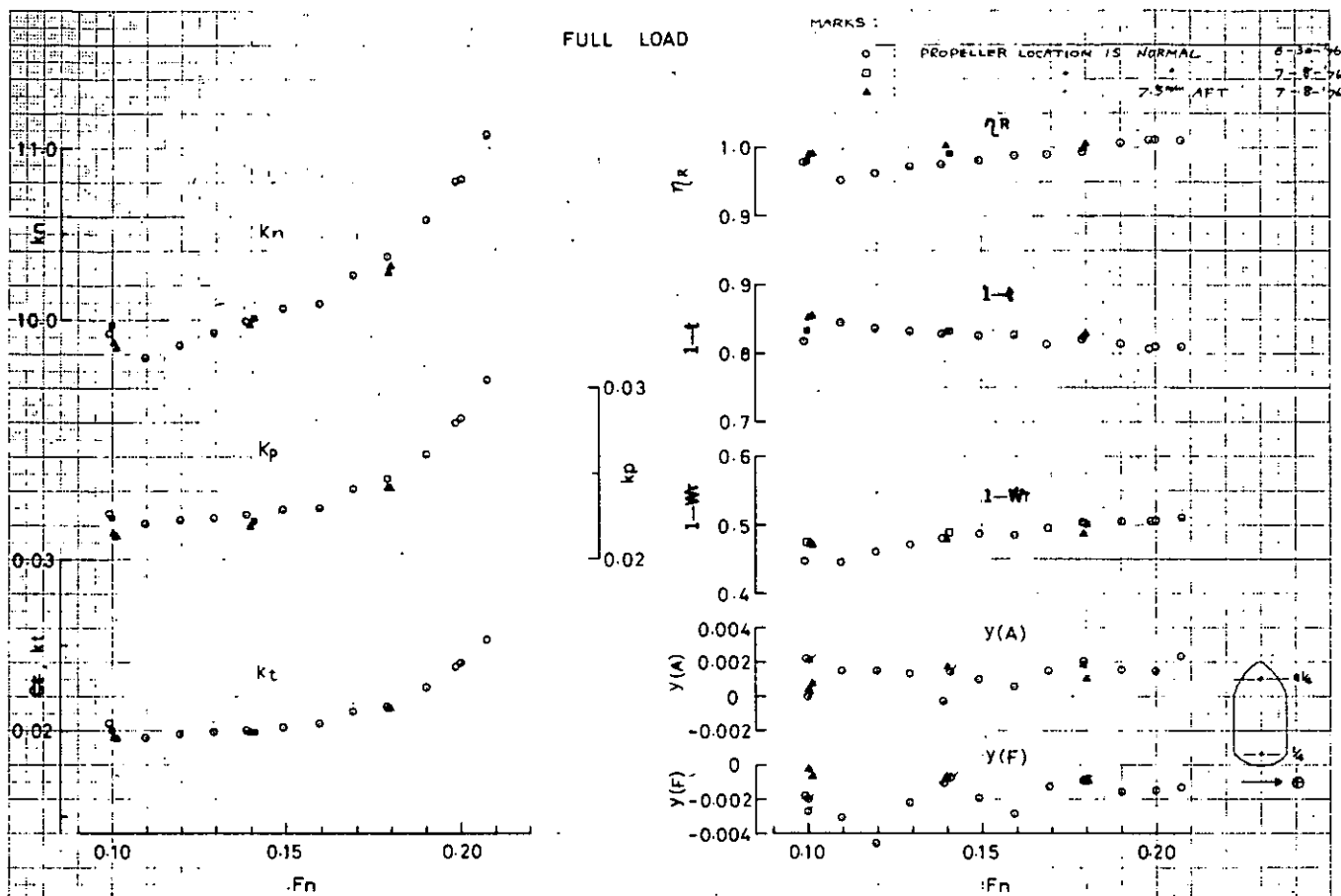


Fig. 3.2.3.7 Result of Self-Propulsion Test

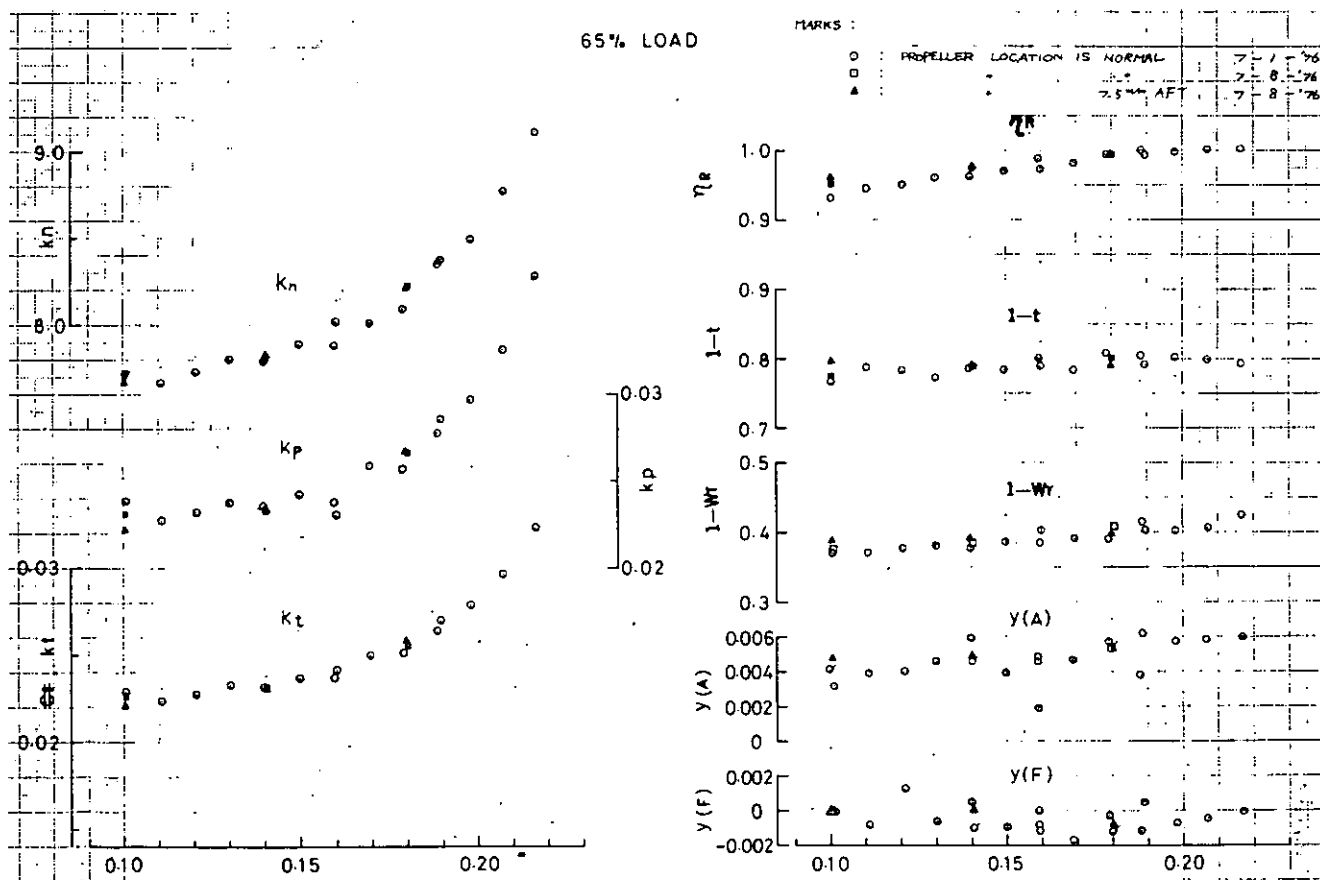


Fig. 3.2.3.8 Result of Self-Propulsion Test

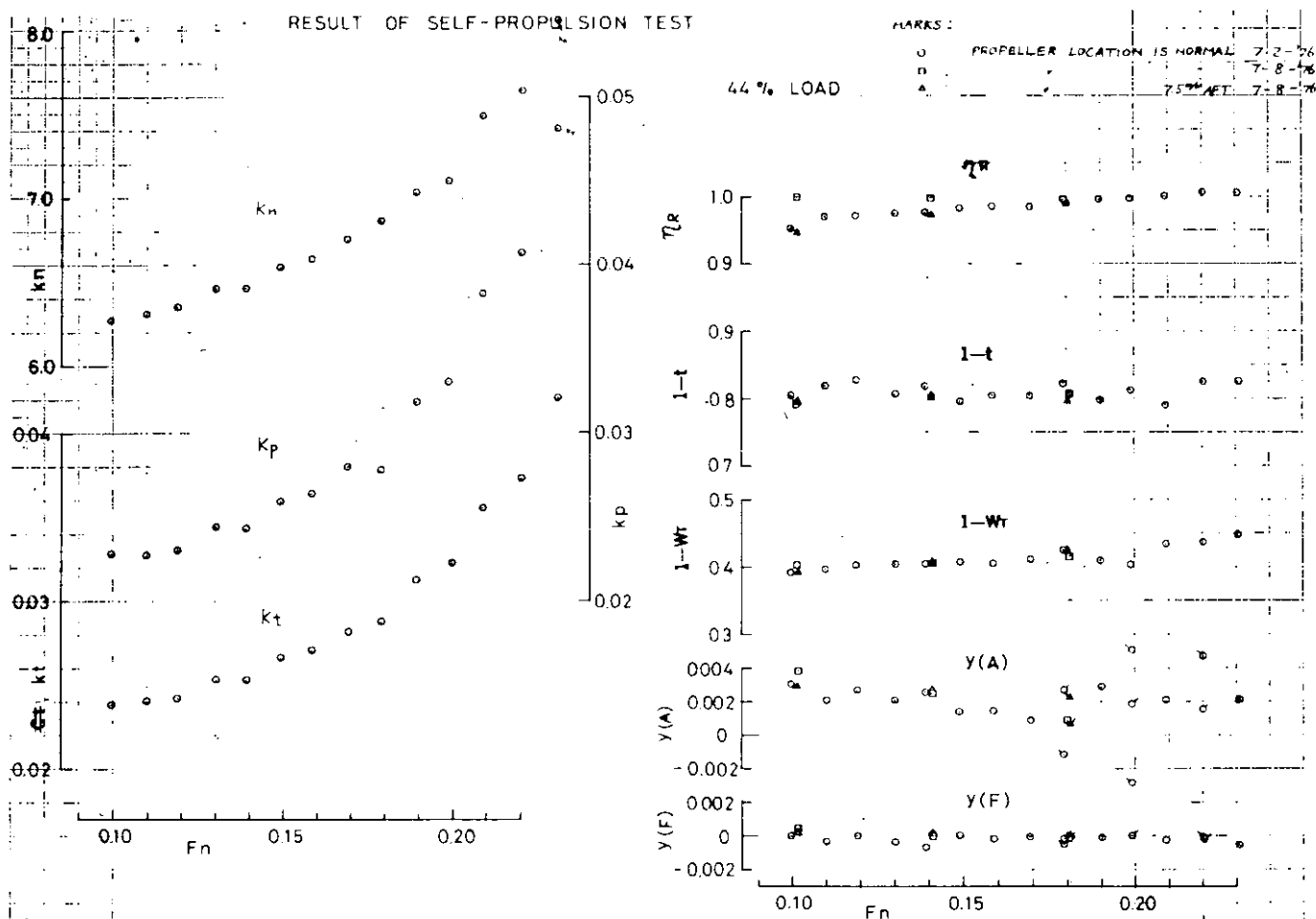


Fig. 3.2.3.9 Result of Self-Propulsion Test

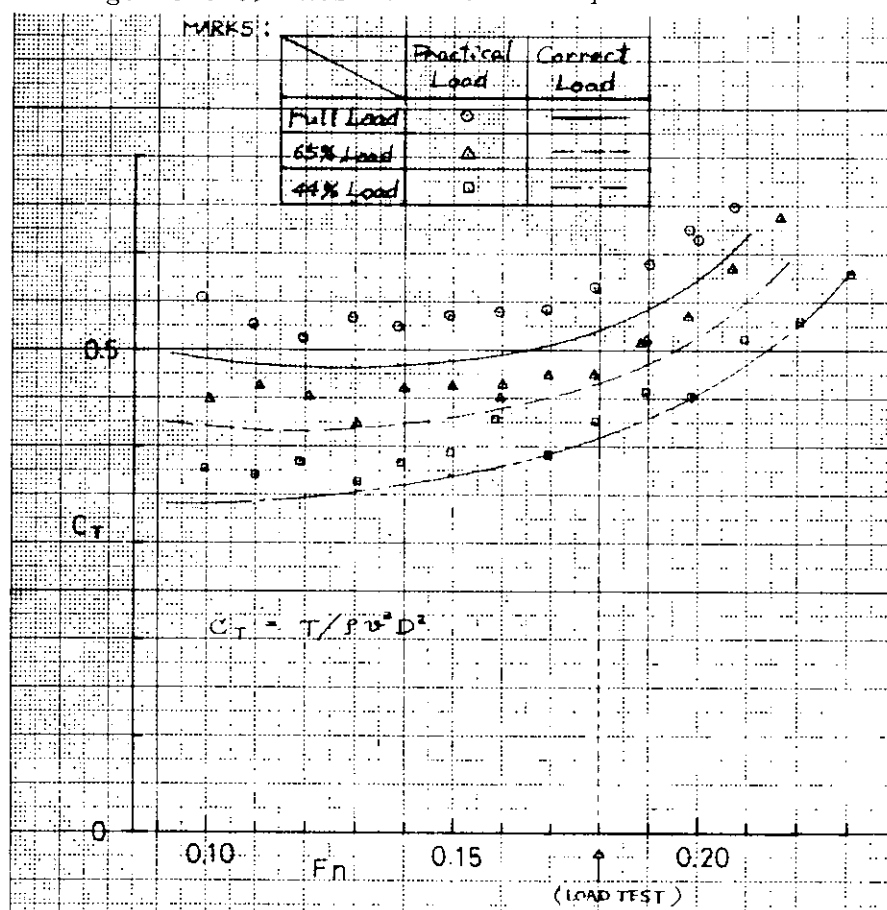


Fig. 3.2.3.10 Practical Load in Self-Propulsion Test

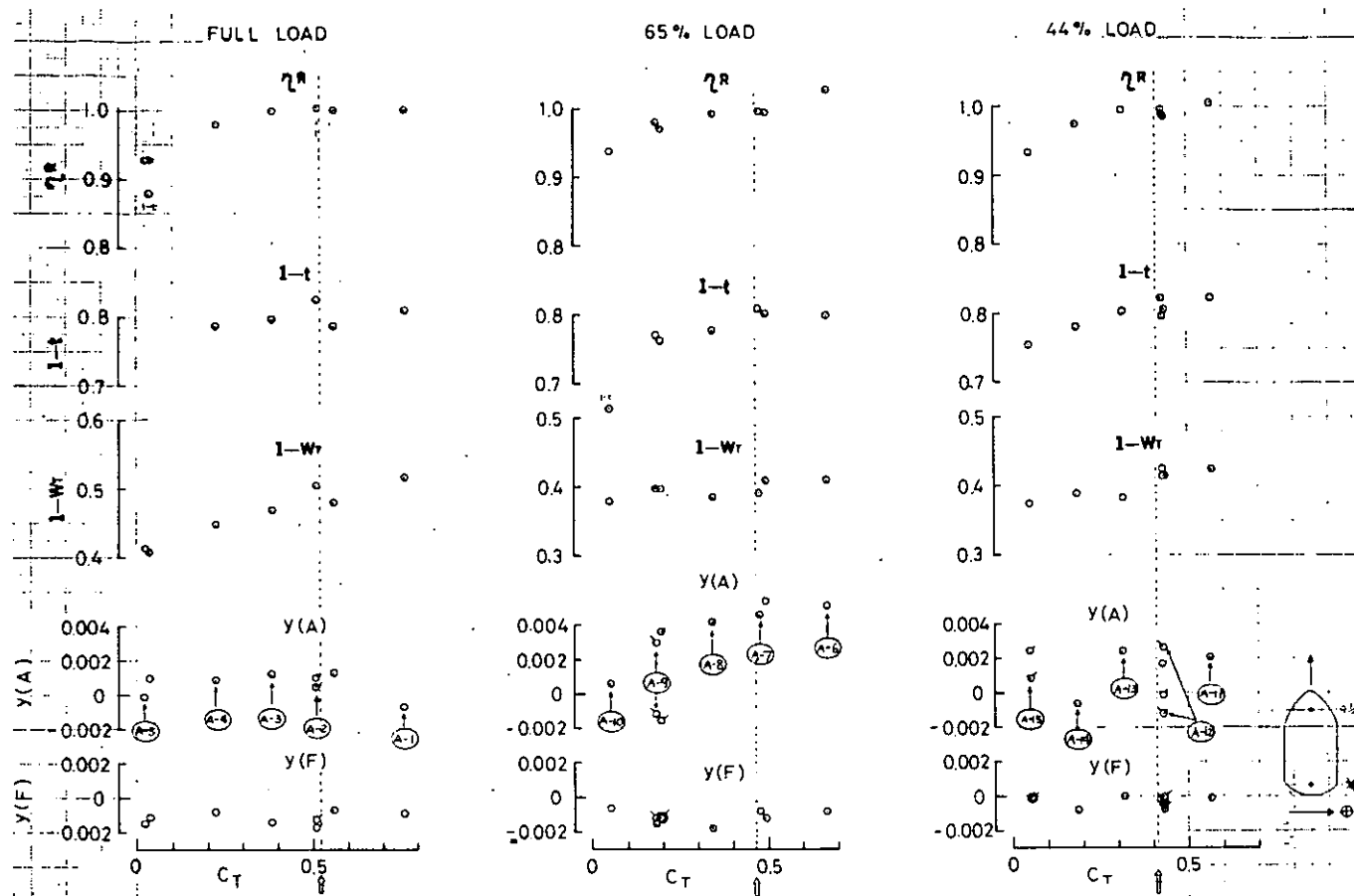


Fig. 3.2.3.11 Results of Propeller Load Test ($F_n = 0.18$)

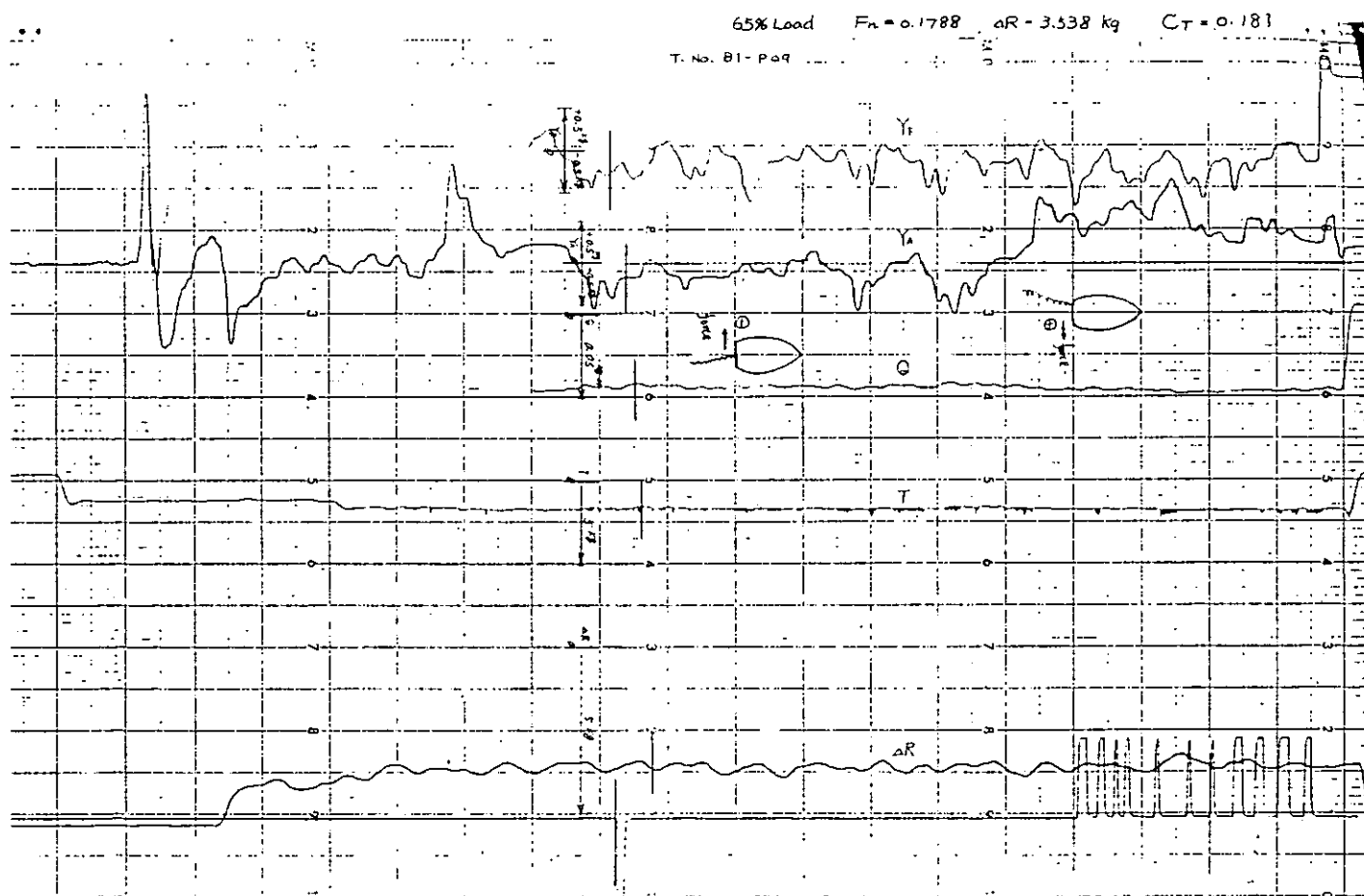


Fig. 3.2.3.12 Record Example of Side Force (A-9)

3.2.4 三菱重工業(株)長崎研究所における試験

(1) 試験の実施

(a) 試験の概要

持ち回り試験の最終実施場所として昭和51年9月～11月にかけて試験を実施した。試験状態は Full Load Even Keel、65% Load 1%A Trim、44% Load 2%A Trim の3状態である。試験の種類は、試験実施方案に定められた抵抗 自航試験、プロペラ荷重度変更試験、プロペラ単独試験に加えて、上記3状態でプロペラ位置の流場計測を実施した。この流場計測は5孔ピトー管を使用し、模型船を曳航状態、舵なしとして行った。その他の計測はいずれも試験実施方案にしたがって実施した。またプロペラ単独試験およびプロペラ位置の流場計測は小水槽が、その他の試験は大水槽が夫々使用された。Table 3.2.4.1に試験の実施スケジュールを示す。

(b) 模型船の状況

模型船完成より時日が経過し、これに運搬による影響も加わって、長崎水槽へ搬入した時点の模型船の状態は全体的な変形、表面の波打ち状の変形および塗装のふくれ上りが見られた。このため試験に先立って表面の再塗装および人工乱流発生用ピンの打ちかえを行った。しかし変形にもとづく表面の波打ち状の凹凸までは修復出来なかった。

(2) 試験結果

(a) 抵抗試験結果

Fig.3.2.4.1～Fig.3.2.4.3に抵抗試験結果を示す。Fig.3.2.4.1はCorrelation Lineとして I.T.T.C.1957 lineを採用した場合の剰余抵抗係数、Fig.3.2.4.2はHughes Basic Lineを採用した場合の造波抵抗係数で、形状影響係数Kは夫々の状態における低フルード数の抵抗値から算定した。

Fig.3.2.4.3は船首(F.P.)および船尾(A.P.)における船体沈下量をそれぞれ模型船長さ L_{pp} で無次元化した値を示す。なお抵抗試験時にも船首尾のガイドで横力Y(F)、Y(A)を計測したが、ほとんど横力は検出されなかったため表示を省略した。

試験中特に計測結果の異常なバラッキ等はなく、通常の試験と何等異なる所は認められなかった。

(b) プロペラ単独試験結果

Fig.3.2.4.4にプロペラ単独試験結果を示す。試験は2種の回転数(自航試験解析用($n=11.7$ rps)および標準レイノルズ数($n=15.0$ rps))で実施したが、両者にほとんど有意の差が認められないので1本のカーブで表示し、これを自航試験およびプロペラ荷重度変更試験結果の解析に使用した。

(c) 自航試験結果

Fig.3.2.4.5～Fig.3.2.4.8に自航試験結果を示す。Fig.3.2.4.5～Fig.3.2.4.7はプロペラ回転数、馬力、スラストの無次元値 k_n 、 k_p 、 k_t の値は、長崎水槽のブラクチスによる計測結果よりもバラッキが大きくなっている。

Fig.3.2.4.8に自航要素および船首尾のガイド装置で計測された横力の無次元値を示す。自航試験結果のアナログ記録は変動が大きく、特に推力と船尾横力の記録には明瞭に相関関係が見られた。同一航走中自航要素が2種に分れるような変化はほとんど見られなかったが、横力の方はある程度グループ分けが可能であった。(同一航走中計測記録が分れた場合は計測点を線で結んで表示してある。)今回はTable 3.2.4.1に示すように約45日後に再試験を行ったが、結果の再現性はFull Loadのスラスト減少係数 t を除き良好であった。Full Loadの場合、最初の試験結果の中にも再試験時と似た t の値が計測された例もあり、また伴流係数W、船後プロペラ効率比 η_R はよく一致しているので、計測誤差ではなく、模型船またはその表面の流れの状態の何等かの変化が示されたものと考えべきであろう。

船首尾のガイドの位置は船首側がF.P.より450mm後方、船尾側がA.P.より200mm前方となっているので、横力は夫々の位置で計測された値をそのまま示している。方向は船体を右舷側に押す方向を正としている。横力は船尾側のみならず船首側にも現われているが、その値は小さく、また船尾側のように模型船の状態による差異は見られない。これに対して船尾の横力はFull Load、44% Load、65% Loadと次第に値および変動が大きくなり、65% Loadではほとんど正の値に一定している。

(d) プロペラ荷重度変更試験

Fig.3.2.4.9にプロペラ荷重度変更試験結果より解析した自航要素、および船首尾のガイドで計測された横力の無次元値を示す。最初 $F_n=0.14$ 、 0.18 の両フルード数において試験を行い、その後 $F_n=0.18$ において再試験されたが、これらの結果は互いによく一致している。

試験結果によると伴流係数 W は、Full Loadではプロペラ荷重度 C_T の増加と共に減少しているが、65%および44% Loadでは C_T によってほとんど変化せず、プロペラ荷重度の影響が異っている。また船尾の横力も65%および44% Loadでは C_T の増加と共に増大し、特に65% Loadでは大きな正の値となる。

なお $C_T=0$ の附近では t および r_R を省いたが、これは計測量が小さく誤差が大きくなるため削除したものである。

(e) プロペラ位置における流場計測結果

Fig.3.2.4.10～Fig.3.2.4.15にプロペラ中心線上における流場計測結果を示す。このうちFig.3.2.4.10～Fig.3.2.4.12が、夫々Full Load、65% Load、44% Loadにおけるx軸方向（前後方向）の伴流の分布曲線およびy、z方向の流速成分のベクトル表示したもので、またFig.3.2.4.13～Fig.3.2.4.15は総圧および静圧の分布曲線である。これらの曲線図を見た限りでは通常の肥大船型と特に変りはないが、船体中心線の片側で見た場合に外側よりプロペラDisc内に流れ込んでくる渦流の成分がやや強く、またプロペラ軸の真横付近に現われている伴流の大きい目が外側に位置しており、本船型では縦渦の強さが大きく、船尾流場に対して影響力が大きいのではないかと想像させる。

プロペラDisc面で積分して求めたNominal Wakeと、プロペラ荷重度変更試験において求められた $C_T \neq 0$ におけるEffective Wakeとを比較した結果をTable 3.2.4.2に示すが、Volume MeanはEffective Wake（ $C_T \neq 0$ ）とよい一致を示しており、プロペラの影響が小さい場合の船尾流場は曳航状態と変わりがないことが示されている。(d)で示されているように、プロペラ荷重度の増加に伴ってFull Loadと65%および44% LoadのEffective Wakeは全く別の傾向を示すことになるが、今回の流場計測結果からそのような変化の徴候を知ることは出来ない。

(3) 試験結果の考察

以上三菱重工業(株)長崎研究所において実施された持ち廻り模型試験の結果を示した。試験結果の各水槽間の比較は次節において行なわれるが、大筋は一致していると見てよく、本模型船において見られた種々の現象はおおむね共通していたように思われる。特に船尾における横力の作用方向と、船尾より後方に流出する表面流の大きな乱れ——いわゆる潮目——の流出方向とは密接な相関があることが指摘されて来ているが、今回の試験においても同様の結果が得られた。すなわち

- Full Loadにおいては、潮目は常にほぼ真後に流出し、横力の値も小さい。
- 65% Loadにおいては潮目はほとんど進行方向に対して左側に流出しており、時に右側に変化することもあるが、ほとんど持続することなく直ぐ左側にもどる。横力は右側に働いているが、潮目が右側に変化する時横力は小さくなる。
- 44% Loadも65% Loadとほぼ類似したパターンが示されたが、潮目が右側に向かう割合およ

び持続する時間は 65% Load より大きい。

今回の試験において自航要素自体は変動が少く、2つの値を示すというような明瞭な不安定現象を示すことはなかったが、上記のように見る時、Full Loadと65%および44% Loadとの船尾流場は別種のものとなっており、65%および44% Loadの船尾流場は左右非対称の流れがある頻度で繰返し現われており、65% Loadにおいてはそのうちほとんど一方の流場ばかりが現われていると見てよいのではないと思われる。

Table 3.2.4.1 Schedule of Model Test

Date of Test	Kind of Test	Test Condition	Water Temperature
1976.9.20	Propeller Open-Water Test	$n=11.7^{rps}$ & 15.0^{rps}	22.9°C
" " 30	Resistance, Self-Propulsion & Propeller Load Tests	Full Load	22.0°C
" 10.1	Do	65 % Load	22.0°C
" " 4	Do	44 % Load	21.9°C
" " 14	Wake Survey Test	Full Load & 44 % Load	
" " 15	Do	65 % Load	
" 11.15	Self-Propulsion & Propeller Load Tests	Full, 65 % & 44 % Load	18.7°C

Table 3.2.4.2 Comparison of Nominal and Effective Wakes

Condition		Full Load	65% Load	44% Load
Effective Wake (at $C_T \doteq 0$)		0.585	0.605	0.585
Nominal Wake	Volume Mean W_{vo}	0.588	0.598	0.587
	Momentum Mean W_{eo}	0.565	0.574	0.571

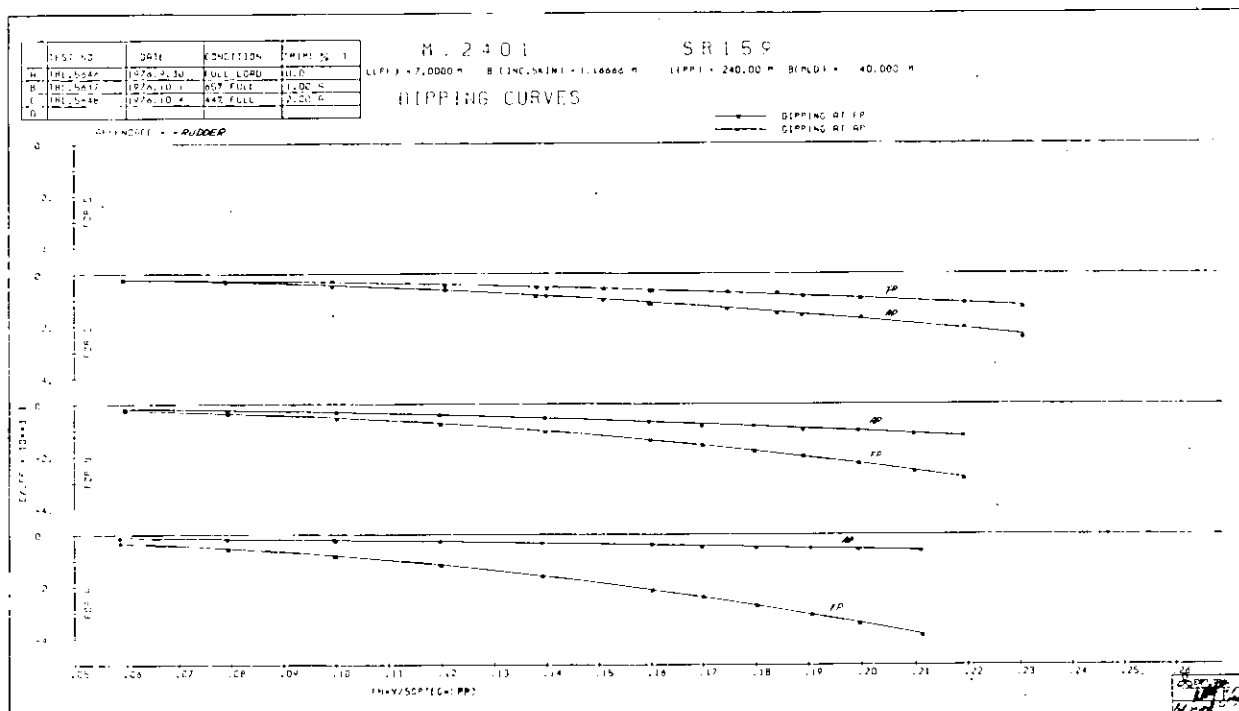


Fig. 3.2.4.3 Dipping Curves

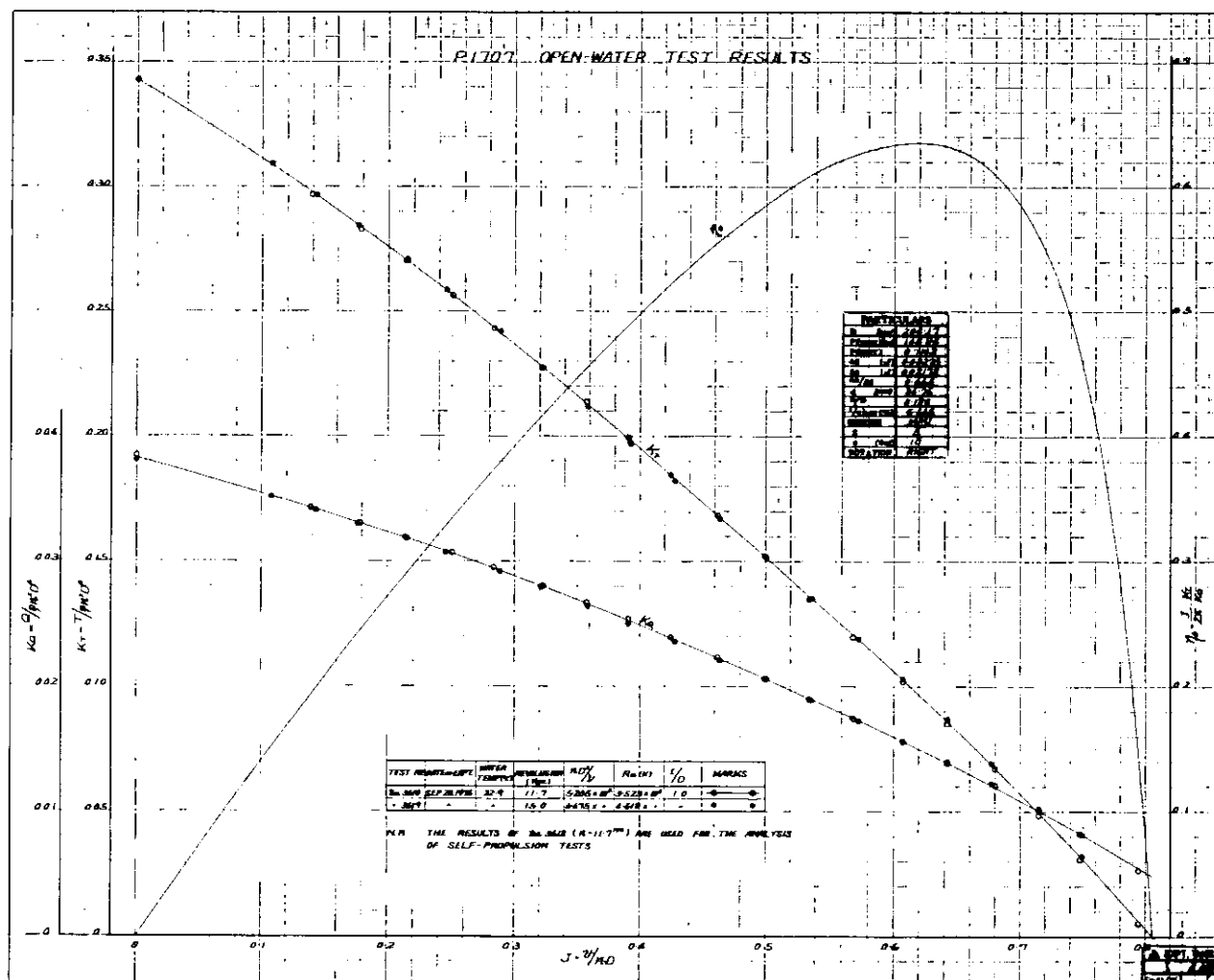


Fig. 3.2.4.4 P1707 Open Water Test Results

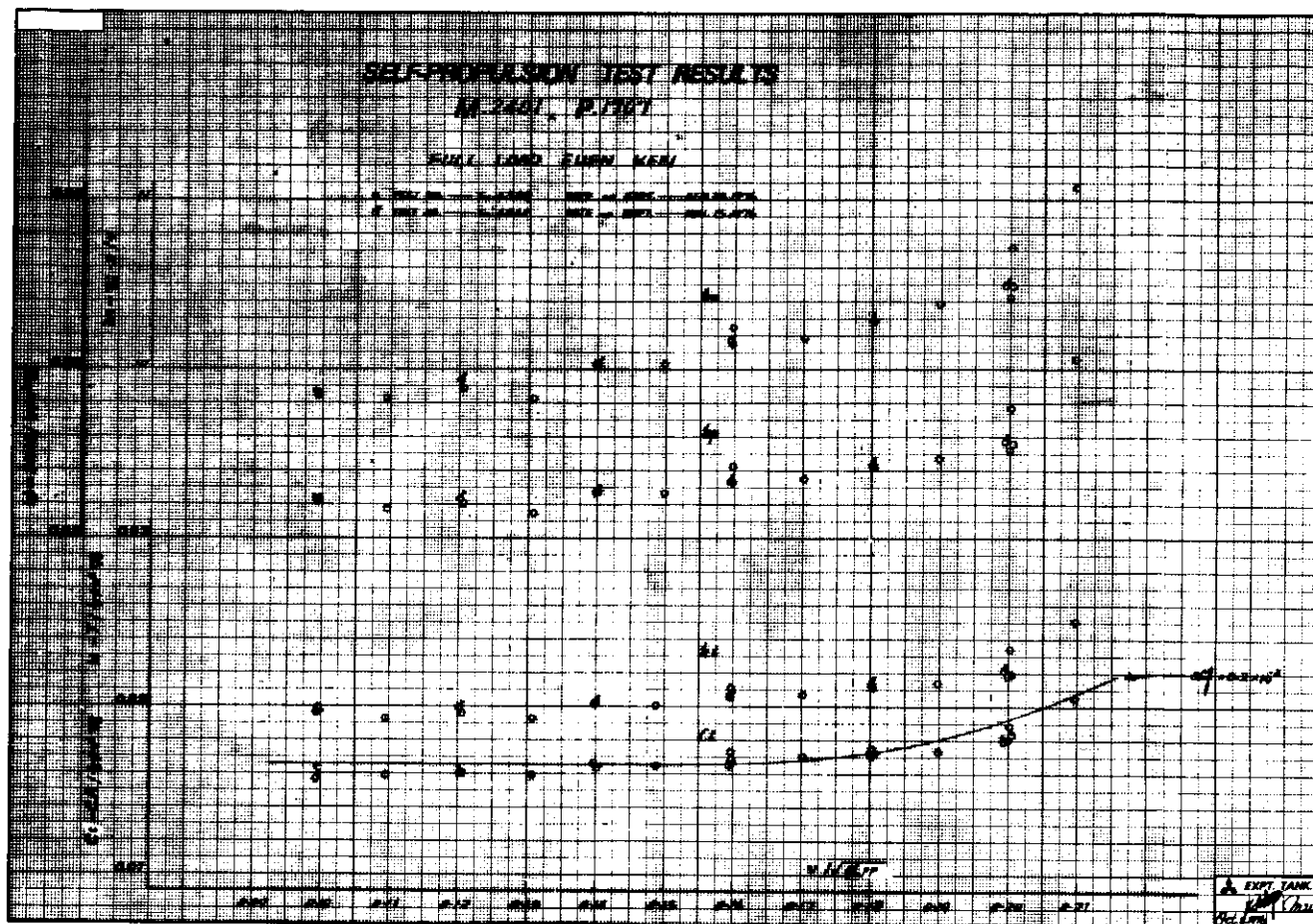


Fig. 3.2.4.5 Self-Propulsion Test Results

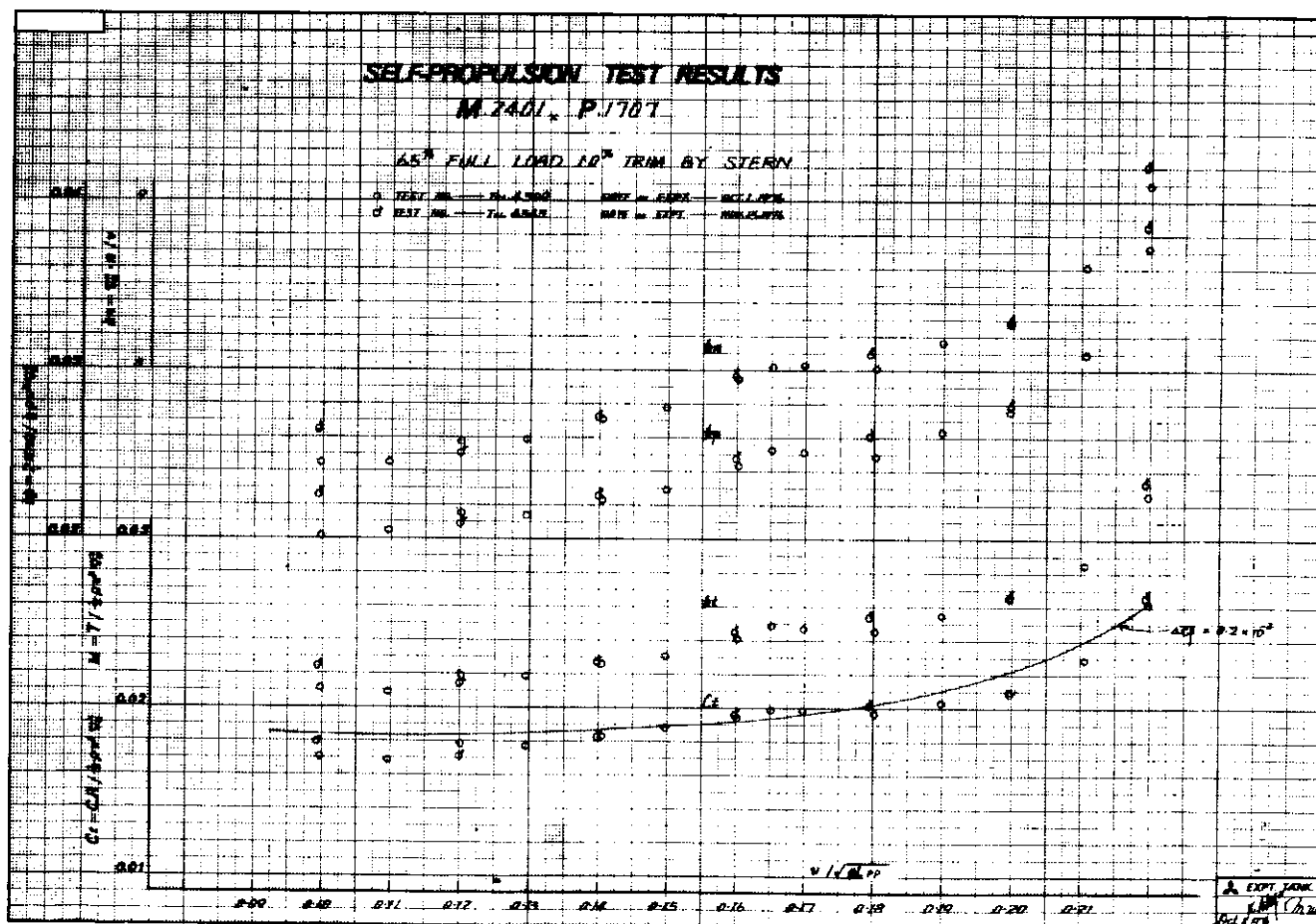


Fig. 3.2.4.6 Self-Propulsion Test Results

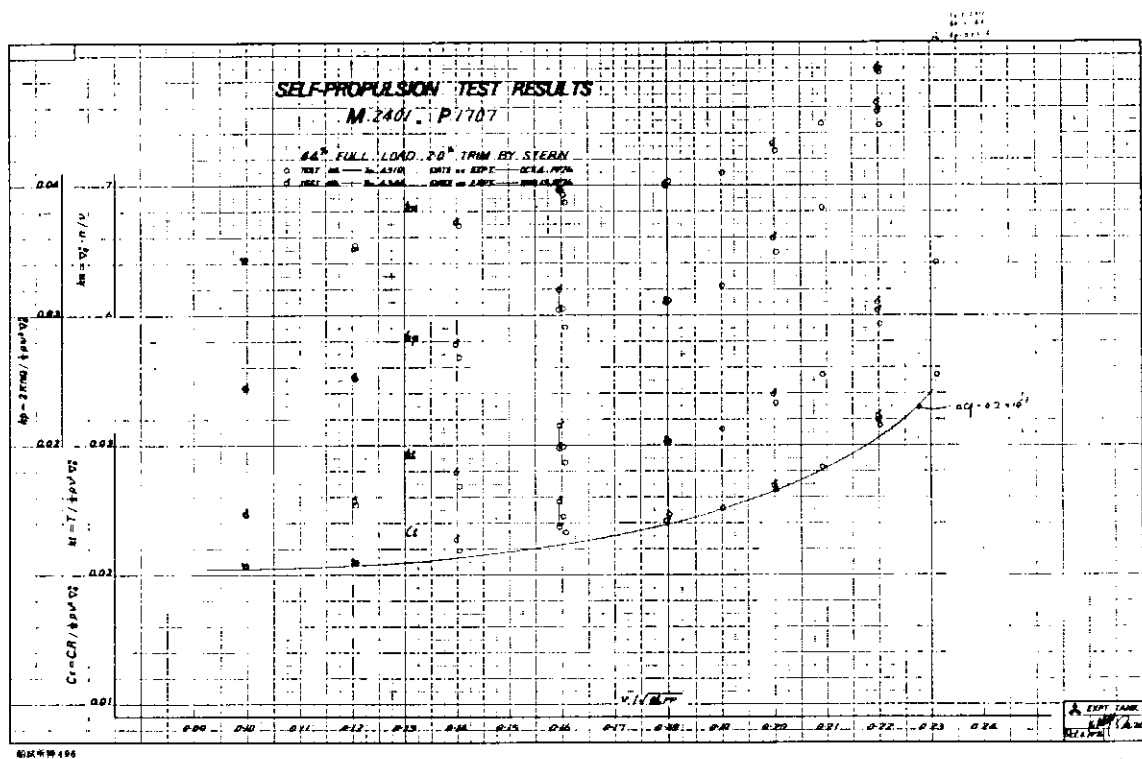


Fig. 3.2.4.7 Self-Propulsion Test Results

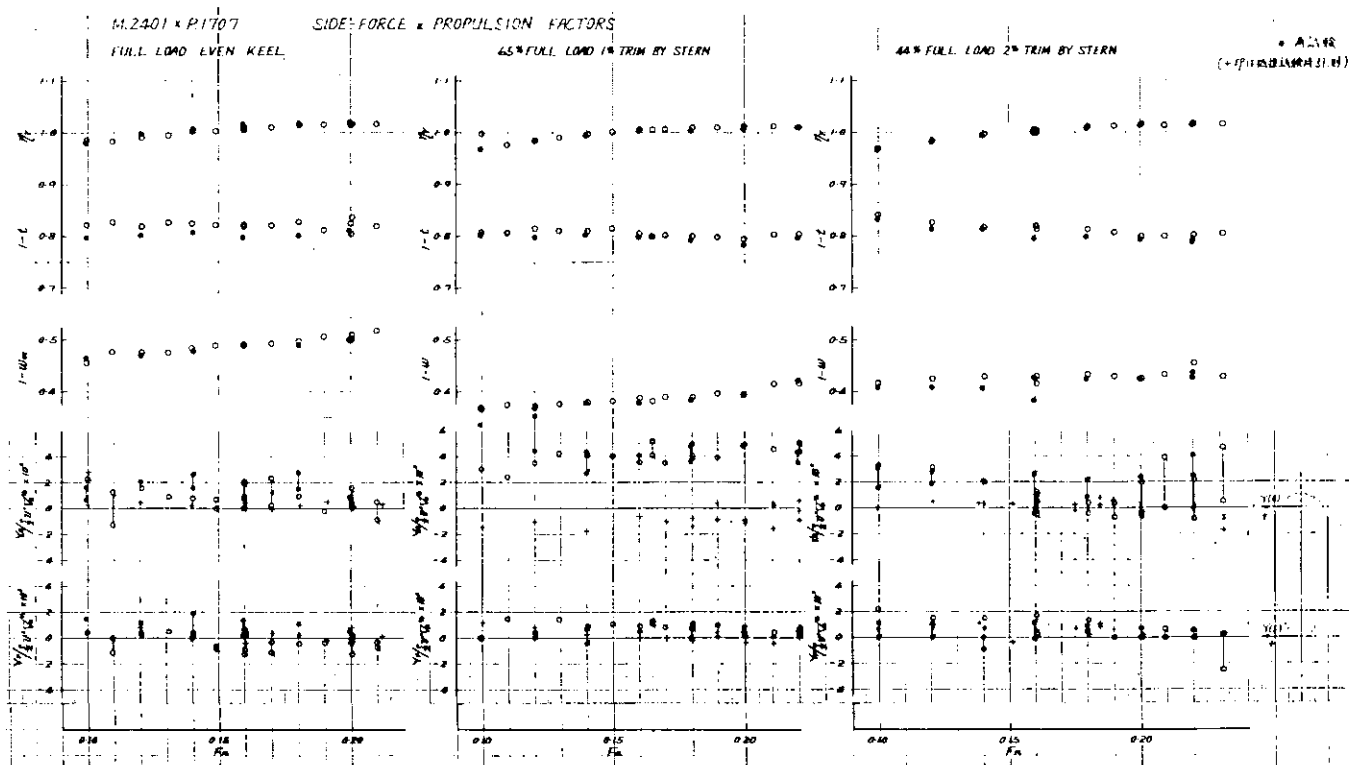


Fig. 3.2.4.8 Side-Force & Propulsion Factors

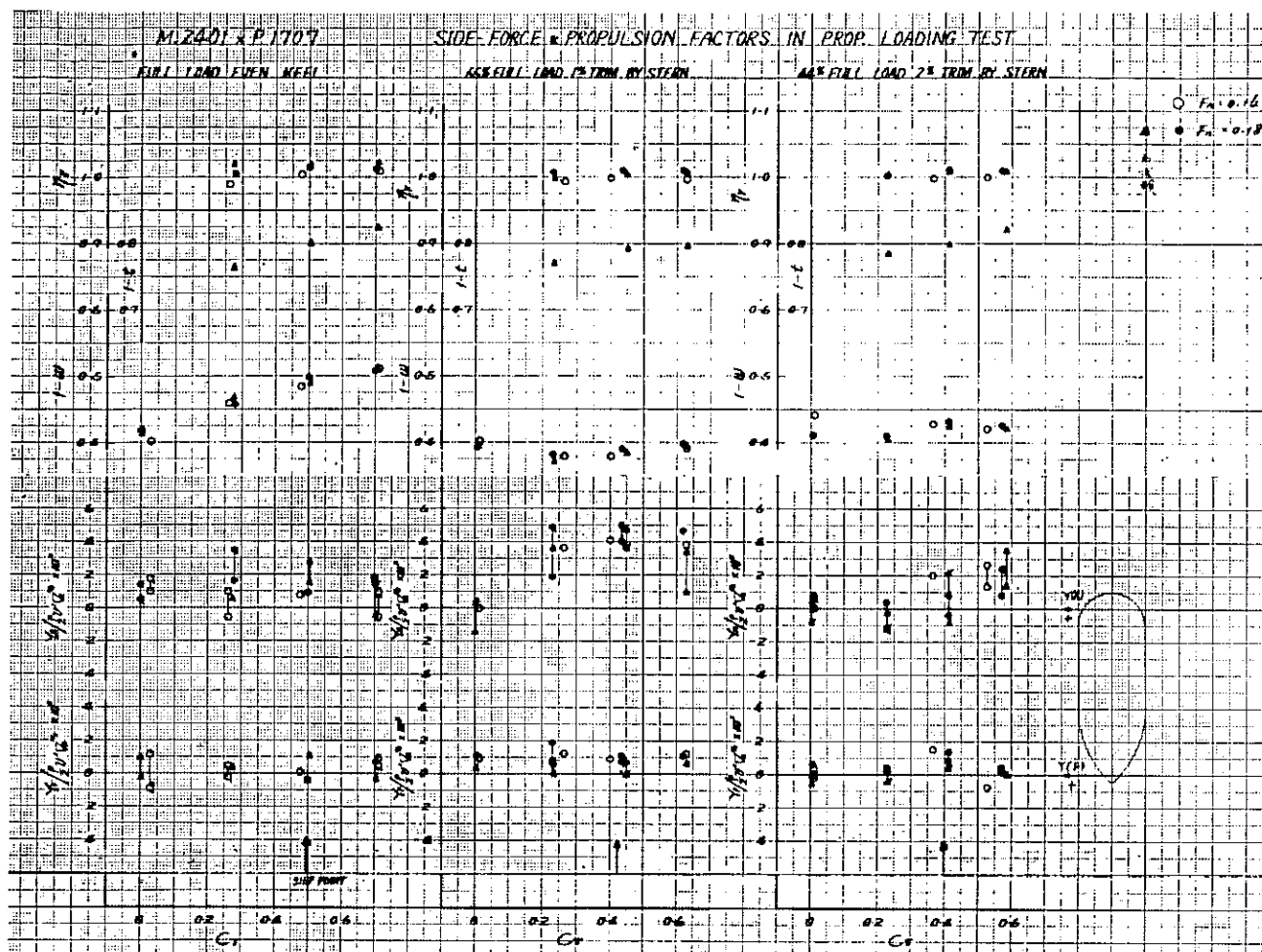


Fig. 3.2.4.9 Side Force & Propulsion Factors in Prop. Loading Test

M. 2401 FULL LOAD EVEN KEEL

TWS. 680 SPRT DATE - 1976.10.14

VM= 1.491 M/SEC FN= 0.18 WT. = 21.0 °C

POSITION - PROPELLER CENTER

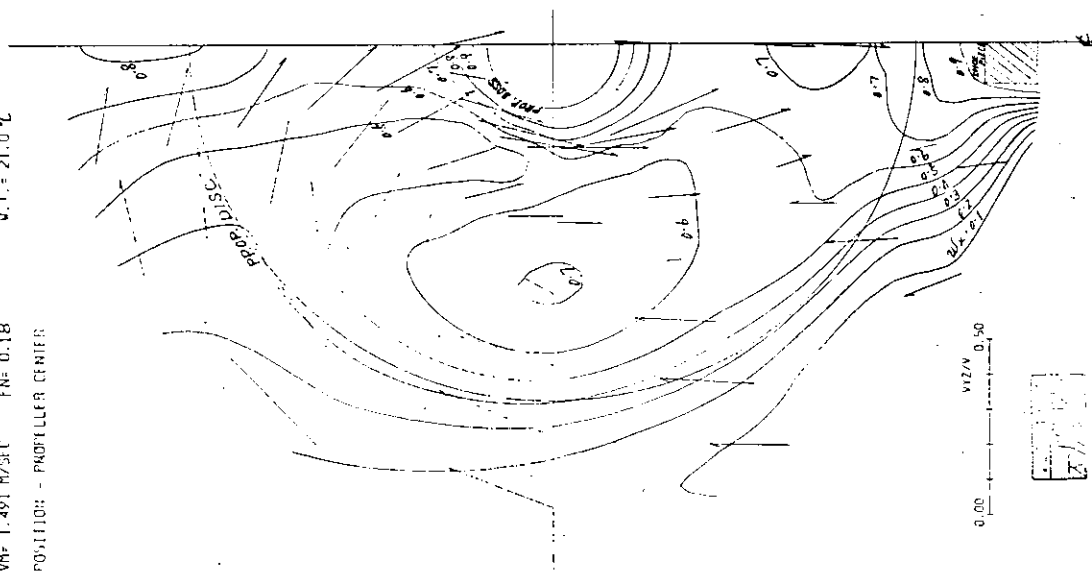


Fig. 3.2.4.10 Wake Fraction Contour Curves

M. 2401 65% FULL LOAD

TWS. 692 SPRT DATE - 1976.10.15

VM= 1.491 M/SEC FN= 0.18 WT. = 20.9 °C

POSITION - PROPELLER CENTER

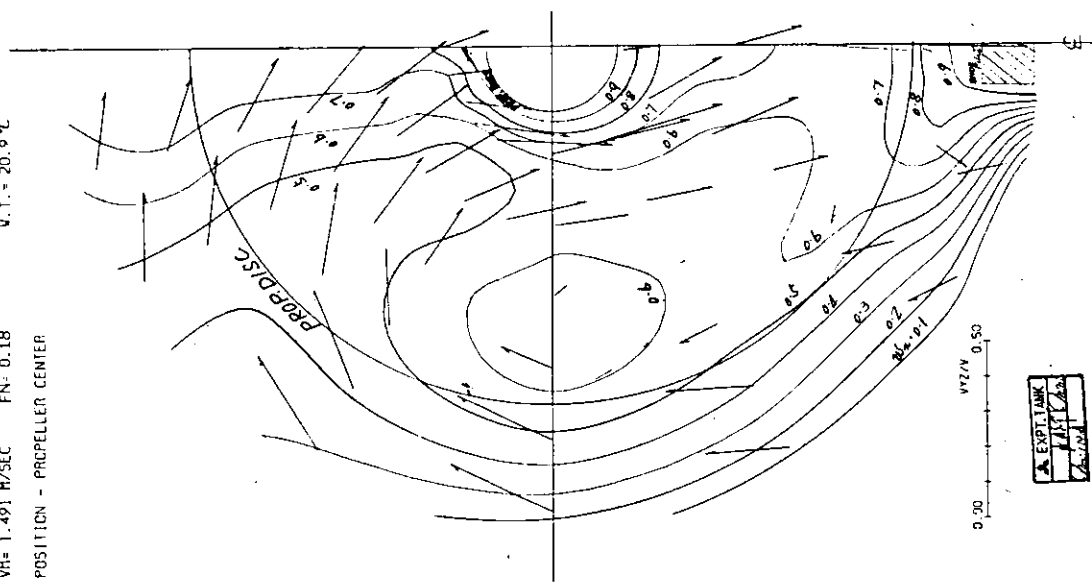


Fig. 3.2.4.11 Wake Fraction Contour Curves

M.2401 44% FULL LOAD

TUS.690 SPRT DATE - 1976.10.14

VR= 1.491 M/SEC FN= 0.18

W.T.= 21.0 °C

POSITION - PROPELLER CENTER

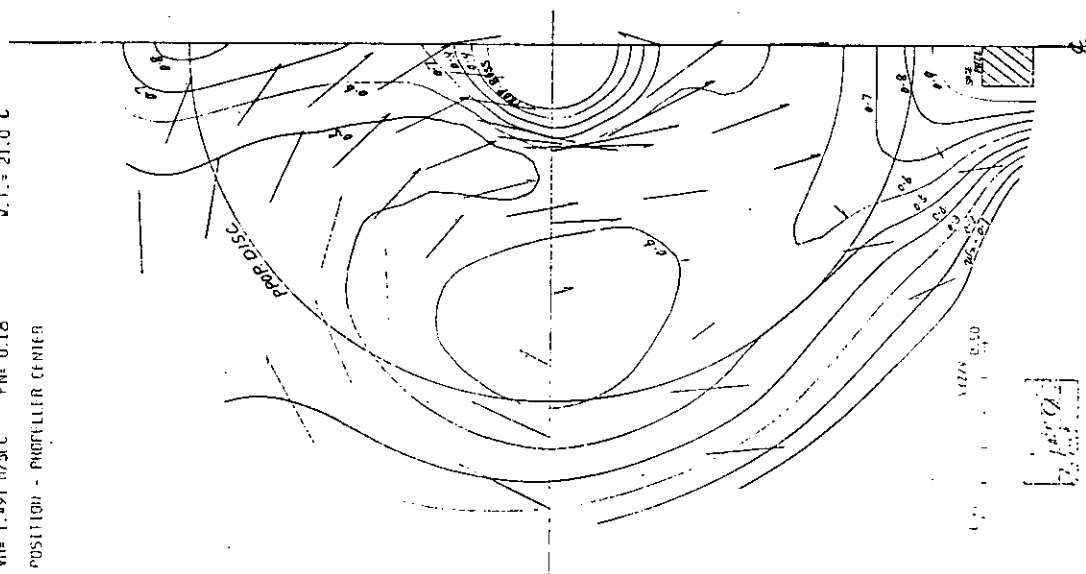


Fig. 3.2.4.12 Wake Fraction Contour Curves

M.2401 FULL LOAD EVEN KEEL

TUS.690 SPRT DATE - 1976.10.14

VR= 1.491 M/SEC FN= 0.18

W.T.= 21.0 °C

POSITION - PROPELLER CENTER

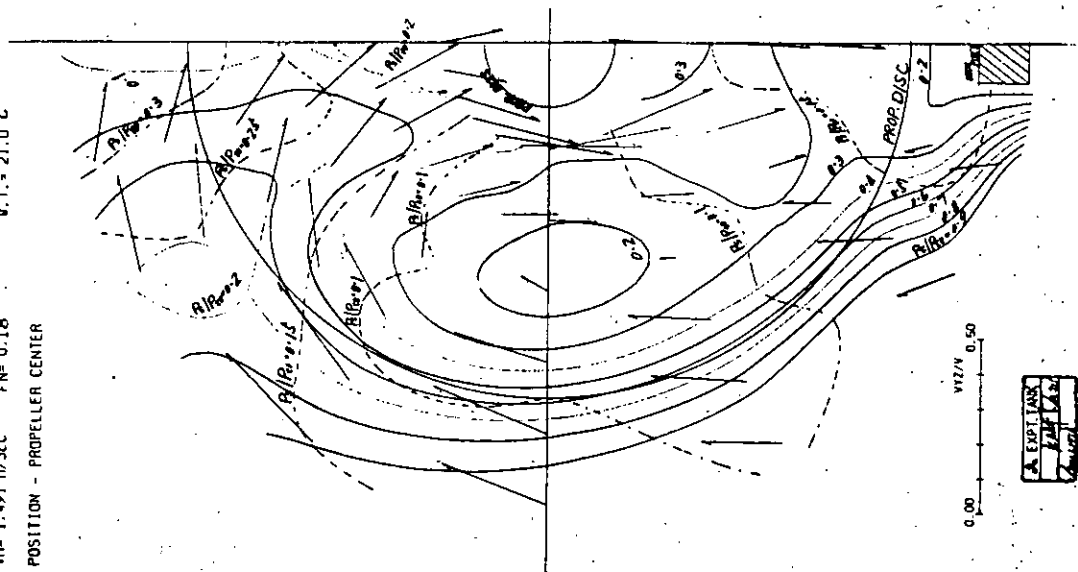


Fig. 3.2.4.13 Pressure Contour Curves

M. 2401 65% FULL LOAD

145.692 SPRT DATE - 1976.10.15

VM= 1.491 M/SEC FN= 0.18 W.T.= 20.0°C

POSITION - PROPELLER CENTER

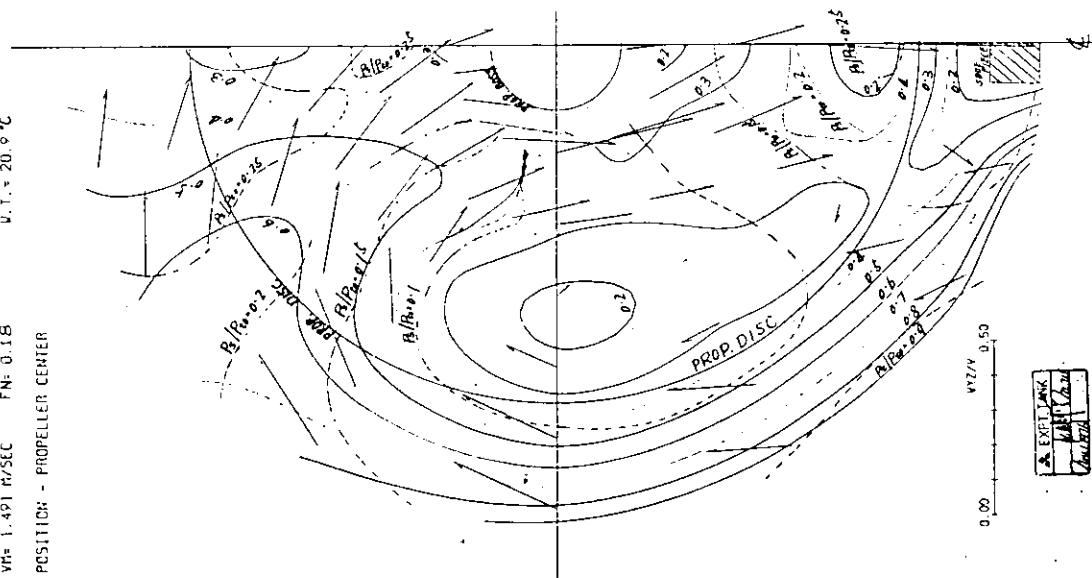


Fig. 3.2.4.14 Pressure Contour Curves

M. 2401 44% FULL LOAD

145.691 SPRT DATE - 1976.10.14

VM= 1.491 M/SEC FN= 0.18 W.T.= 21.0°C

POSITION - PROPELLER CENTER

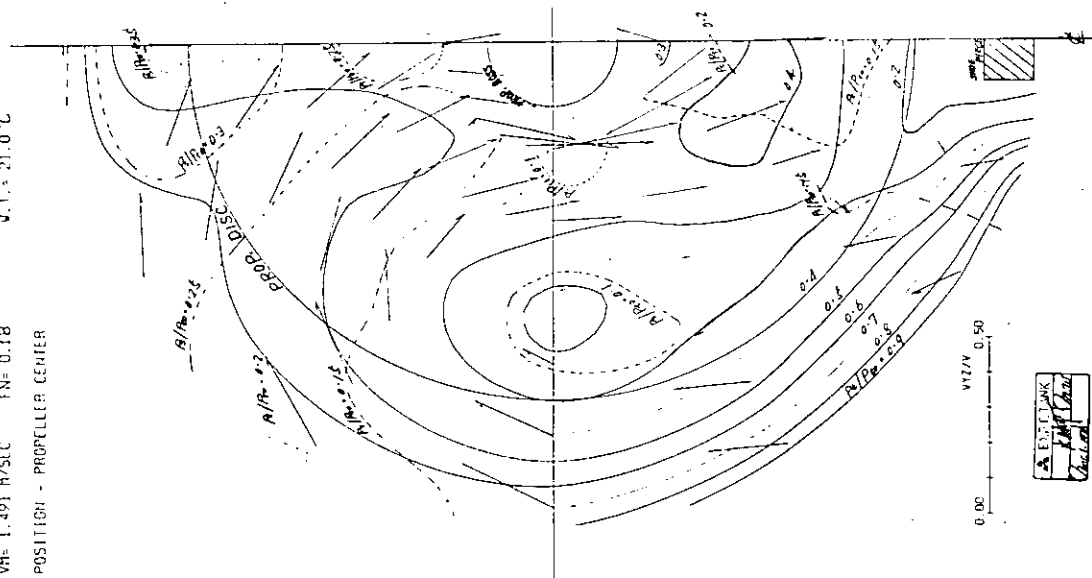
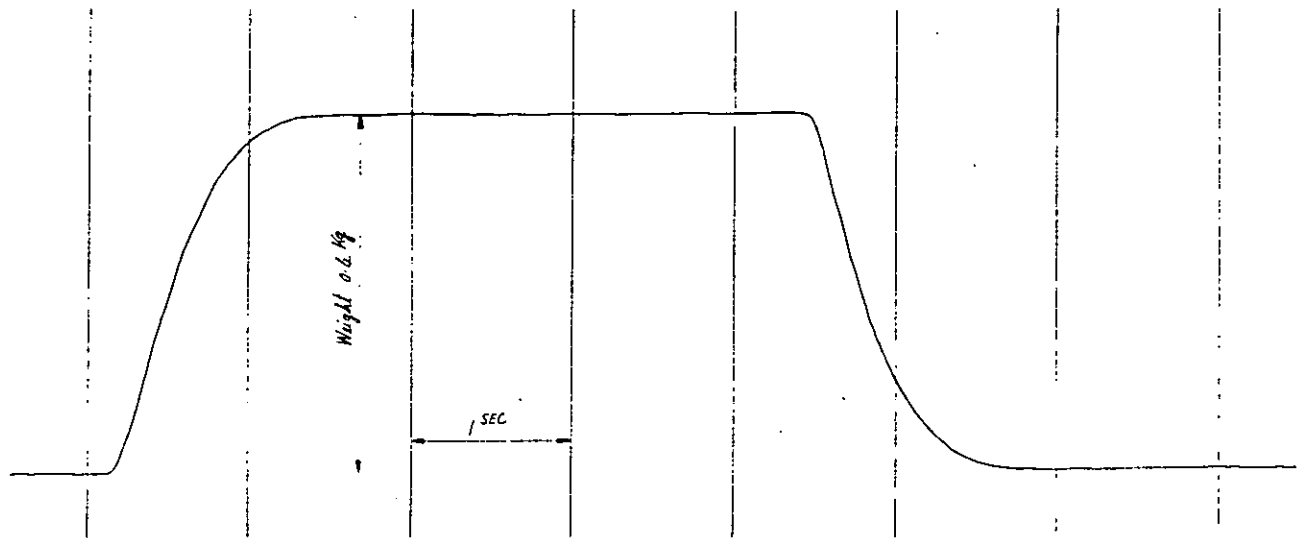


Fig. 3.2.4.15 Pressure Contour Curves

Resistance Dynamometer



Thrust (Self-Propulsion Dynamometer)

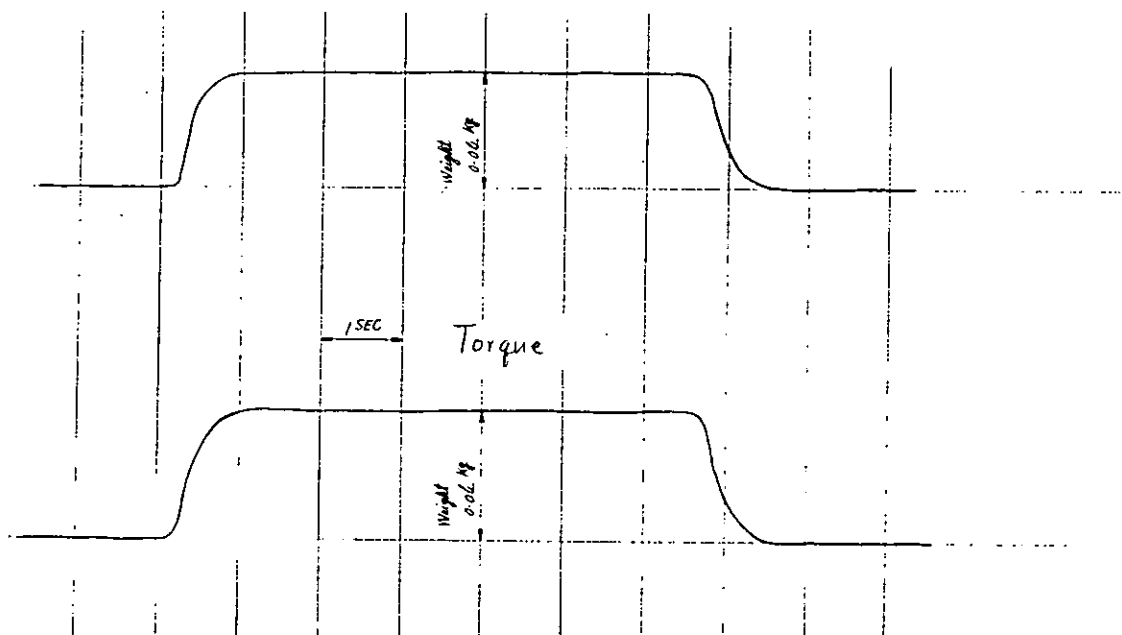


Fig. 3.2.4.16 Response of Measuring Systems Used in the Test

3.3 試験結果の解析評価

3.3.1 抵抗・自航試験結果の解析と考察

(1) 試験の実施状況および試験時水温

試験は、昨年度の(財)日本造船技術センター(以下、SRCと略称)に引き続き、運輸省船舶技術研究所(SRI)、石川島播磨重工業㈱技術研究所(IHI)、明石船型研究所(ASMB)そして、三菱重工業㈱長崎研究所(MHI)の順で実施され、持ち回りに関する当初の予定は終了した。

試験の実施日および試験時の水温をTable 3.3.1.1のA欄に示す。抵抗・自航試験では、12.0～22.0℃、プロペラ単独試験では9.2～22.9℃の範囲であるが、以下の実験結果の表示においては、これら水温の違いは無視し、特別な修正は施していない。

(2) 供試模型船の状況

同一の模型船を、5個所の水槽で持ち回ったこともあり、模型船のいたみが激しかった。その様子の詳細は3.2節の各項に述べられているが、概略をまとめると次のとおりである。

- | | |
|---------|---|
| SRC | ○ 異状なし |
| SRI試験中 | ○ 船首部Studs 付近および船尾部ボス付近に少々の変形発生 → 修理 |
| IHI搬入時 | ○ 表面状態は異状なし |
| | ○ 全体的変形(Sag 状態)あり → 吃水線入れ直し |
| | ○ Studs にペイントがかかっていた。 |
| ASMB搬入時 | ○ 塗装面内に水が浸入(水ぶくれ状態)および積層板の継ぎ目に段差あり
→ アラルダイトをはがして修理 |
| MHI搬入時 | ○ 全体的変形および表面の波打ち状の変形あり。 |
| | ○ 塗装のふくれあり → 再塗装およびStudsの打ち直し |

(3) 抵抗試験の結果

Fig.3.3.1.1～Fig.3.3.1.3に抵抗試験の結果を、剰余抵抗係数Cr(Friction Line はITTC 1957 Line)の形で示す。図中のLineは、水槽間の違いを見やすくするために適当な共通のLineを引いたもので、平均線というわけではない。なお、これらの結果には、Blockageの修正を施してある。Blockageの修正式は、IHIのもの以外は、MHI常用のものを採用した。

$$\text{IHI} \quad : \quad \Delta V = 1.10 \left\{ \frac{A_w}{B_T D_T} \left(\frac{L_{pp}}{B_T} \right)^{\frac{3}{4}} \right\} V$$

$$\text{IHI以外} \quad : \quad \Delta V = 0.85 \left\{ \frac{A_w}{B_T D_T} \left(\frac{L_{pp}}{B_T} \right)^{\frac{3}{4}} \right\} V$$

(ただし、IHIのものは、模型船の排除流が船体前方の対水速度計におよぼす影響についても修正してある。)各水槽の大きさ等については、Table 3.3.1.1のB欄に示してある。

また、速度としては、SRCでは対地速度、それ以外では対水速度を採用した。

また、Table 3.3.1.1のC欄には、Friction Line としてHughesのBasic Lineを採用した場合の、形状影響係数Kの値を示した。なお、Kを決める手法としては、統一した手法ではなく、各水槽慣用の手法を採用した。

Crの水槽間の違いは、層流影響の見られる低速部を除いて、最大Full Loadでは4%、65% Loadでは7%、44% Loadでは4%程度であった。IHIのものが若干低め、ASMBのものが若干高めという傾向が見られないでもないが、点のばらつきを考えると定かなことは言えない。試験時の水温は最高と最低で10℃程異っている。それによるC_Fの違いは0.15×10⁻³程度であるから、Crに粘性

抵抗成分(形状影響)が含まれているとすれば、その差は形状影響係数を0.3と仮定して 0.05×10^{-3} 程度現われてくるはずである。しかし、Fig.3.3.1.1～3.3.1.3で一番水温差の大きいSRIとMHIのものを較べても、そのような傾向は認められない。これは、この程度の違いは、他の様々の要因に隠されてしまったためと考えられ、抵抗試験結果の比較、特に異なる水槽における試験結果の比較の難かさをあらためて示唆していると思われる。

また、IHIとASMBの低速部で著しい層流影響が見られる。これは、(2)模型船の状況のところで述べたように、この2水槽の試験時には、乱流促進用Studsが塗装用ペイントに若干埋っていたことによるとと思われる。特に、軽い状態では、層流影響が中速部にも及んでいるようである。

また、点のばらつきの程度については、層流影響と関係があると思われるものを除外して、ASMBのFull Load、SRCの65% LoadおよびSRIの44% Loadが他に較べてまた日常経験するばらつきに較べて大きいようである。しかしながら、特定的水槽や載荷状態が他に較べて大きいというような傾向は認められないので、自航試験時のいわゆる不安定現象との関連については、不明か、または強いて言えば無関係と言うべきだと思われる。

次に、Kについては、各水槽の慣用の手法によって決めたことおよび層流影響などもあり点がばらついて決めにくかったことにより、水槽間で最大、Full Loadで0.04(9%)、65% Loadで0.03(6%)、44% Loadで0.04(9%)となった。SRCのものが若干高め、SRIとIHIのものが若干低め、排水量が小さくなるとKも小さくなるという傾向が見られる。

なお、水槽間の違いで、65% Loadの違いが、Full Loadや44% Loadの違いに較べて、Crで大きくKでは小さくなっている。これは単なる偶然という見方が常識的であるが、自航試験時の不安定現象と何らかの関係があるとするれば興味深い。

総じて言えば、模型船のいたみがひどかったにもかかわらず、水槽間の差は割り合い小さく、日本の200m級の長水槽の試験結果はよく合う、という感想をもった。(なお、50年度報告書のFig.3.3.4には誤りがあった。本報告のFig.3.3.1.1～3.3.1.3のSRCの部分は、その訂正をしてある。)

(4) プロペラ単独試験の結果

プロペラ単独試験結果をFig.3.3.1.4に示す(スラスト係数 K_T と単独効率 η_o のみ)。プロペラ単独試験は、各水槽で、対応実船の定格回転数に対応した11.7 RPSと各々の水槽の標準的回転数の2種で実施した。ここでは、プロペラ単独試験の水槽間の違いの検討自体が目的ではないので、各水槽で自航要素の算定に使用した特性カーブを掲げるに留めた。

(5) 自航試験の結果

自航試験の結果をFig.3.3.1.5～3.3.1.7に、自航要素の形で示す。同図中には、船首尾のガイド位置での横力の無次元値も示した。また、図中のLineは、抵抗試験結果の表示のときと同様、水槽間の違いを見やすくするために引いたものである。ただし、横力の無次元値については、 $y=0$ のLineを引いてある。

図中、様々の記号が使われているが、その意味は次のとおり。(詳しくは、昨年度の報告書の3.3.3および本報告書の3.2.1～3.2.4を参照)

SRC : 主に、同一航走中のアナログ記録より、平均値を分けて読めるときには別々にデータをとり、記号を変えた。(ブライムは別航走のものであることを示す。)

SRI : 上に同じ

IHI : ○は、常用の手法で得たデータ、●は、アナログ記録より平均値を分けてとったときのデータ。

ASMB : 上に同じ(横力のみ)

MHI : 2回に分けて試験を実施したので、第1回目を○、第2回目を●とした。

なお、すべて一つの航走中の記録より得られたデータについては、線で結んで変動幅であることを明示した。

これらの図より、自航要素等の平均的な値について各水槽間の違いを整理すると次のようなことが言える。

プロペラ効率比 η_R については、IHI と MHI が高めで、SRI が低めであった。スラスト減少係数 t については、SRI が低めで SRC が高めであった。伴流係数 W_T については、SRC が低めであった他は大差なかった。船尾の横力 $y(A)$ については、SRC のものが若干マイナス側に寄っているが、全体的にプラス側で特に 65% Load のものが大きかった。

船首の横力 $y(F)$ については、IHI と MHI のものがプラス側に出た他は、ほぼゼロと見なしてさしつかえないようである。 W_T や $y(A)$ で SRC のものが他のものに比べ若干違った値を示したことは、模型船の初期的なたわみによるという可能性も考え得るが、抵抗試験結果では有意な差が表われていないことも考え合わせると、定かなことは言えない。

Fig. 3. 3. 1. 5 を見ると、Full Load については次のようなことが言える。

- (a) W_T についてはほぼ常識的な値であり、ばらつきもそれ程大きくない。1 航走中の変動も特に大きくはない。
- (b) $y(A)$ については、SRC のもの以外はプラス側によっているがその量はそれ程大きくはない。平均値のみが示されている SRI と IHI の結果ではすべてプラス側であること、変動幅が示されている SRC、ASMB および MHI の結果を見ると、SRC ではゼロないしマイナス側が多く ASMB と MHI とではゼロないしプラス側が多いことを考え合わせると、確かなことは何も言えなくなってしまふ。そのことは、 $y(F)$ についても同様で、水槽によってプラス側に寄ったりマイナス側に寄ったりしている。横力計測については後程述べるが、今回の供試模型船の Full Load のように排水量の大きい状態の横力計測の難かしさを痛感する。

次に、65% Load については次のようなことが言える。

- (a) W_T については、0.6 ないしそれ以上で、Full Load や 44% Load の W_T より大きい。 W_T の大きさが、排水量の大きさと逆の傾向を示さなければならないという理由は別になく、また、このような例は肥大船ではそれ程珍らしいことでもないが、65% Load の何らかの異常性を示していると思われる。なお、参考のために、中小型船舶の W_T と載荷状態の関係に関する例（日本中型造船工業会「中小型貨物船馬力推定図表」より作製）を Table 3. 3. 1. 2 に示す。
- (b) $y(A)$ について見ると、量的な違いはあるが、各水槽そろって大きなプラス側の値を示している。
- (c) IHI の結果を見ると、1 点のみではあるが、 W_T が比較的大きく変化し、 $y(A)$ もそれに対応して大きく変化している計測点がある。
- (d) 点のばらつきを見ると、他の 2 つの状態に比べて一番小さい。
- (e) 以上を総合して、また 3. 3. 2 項で詳論される荷重度変更試験の結果も合わせて考えると、この船型の 65% Load についてはほぼ次のようなことが推論できる。
 - 65% Load には、比較的大きく離れた 2 つの W_T がある。
 - W_T が大きい流れのときは $y(A)$ はプラス、 W_T が小さい流れのときは $y(A)$ はマイナス側である。
 - この 2 つの流れは、 C_T が小さいときは、ほぼ同様の確率で交互に発生する。
 - Ship point 程度の荷重では、自航試験の全速度範囲で W_T の大きい流れが安定しており、 W_T の小さい流れはほとんど現われない。
 - このことは、水槽や 10℃ 程度の水温の違いによっては変らない。また、模型船の曳引車への Set 状況や、模型船の多少の変形によっても変らない。

ただし、言うまでもなく、これらのことは、現在の段階では、特定の船型、載荷状態、模型船長さにつ

いての話である。

次に、44% Load については、次のようなことが言える。

(a) W_T のばらつきや1つの航走中の変化が大きい。

(b) $y(A)$ は、低速部では1航走中余り変化せずゼロないしプラス側である。高速部では、1航走中に大きく変化し、65% Load のときと同じく W_T が大きいときプラス側 W_T が小さいときマイナス側となっている。

(c) このことも、65% Load のときと同様各水槽はほぼ同じであり、この不安定現象はかなり安定した現象であると考えられる。

(6) トリム計測結果

トリム計測の結果を Fig. 3.3.1.8 に示す。

図中、○●は F.P.における△▲は A.P.における値であり、また○△は抵抗試験時における●▲は自航試験時における計測結果である。この場合も、比較のため共通の Line を入れてある。SRC のものが他のものに較べて大きく違っているが、これは計器の不調によるものと思われ、以下除外して考える。

この図を見ると、IHI の A.P.での沈下量が若干大きめであるが、その差は小さい。また、抵抗試験時と自航試験時とを較べると、後者は前者に較べ、沈下量が F.P.では小さく A.P.では大きくなる傾向が認められる。SRI のデータより見ると、F.P.では $\delta/L_{pp} = 0.01\%$ (7m 模型で 0.7 mm) 程度減少、A.P.では $\delta/L_{pp} = 0.02\%$ (同 1.4 mm) 程度増加となっている。

(7) スラストの変動量

Fig. 3.3.1.10 ~ 3.3.1.12 に自航試験時および荷重量変更試験時のスラストの変動量を示した。ここで言うスラスト変動量とは、Fig. 3.3.1.9 に示すように、1つの航走中のアナログ記録より、数秒以上で渡って安定な値が続くものについて平均線を引き、その差の一番大きなものをとったものである。なお、1つの値が余り長く持続しないことが多いこと、および1つの航走中の記録が曳航水槽の長さによって限られているため可能なすべての値が現われているかどうか疑問なことに、データそのものにある程度の任意性や不確実性がある。よって、これらの図を見るとき、個々の点に正確な意味付けを与えることは不可能であると共に無意味であり、全体的な傾向を推察するに留めなければならない。

Fig. 3.3.1.10 は自航試験および荷重量変更試験の記録より得られたスラストの変動量である。この図によると、Full Load と 65% Load とで、SRC と IHI のものが若干低めの値を示しているが、前記した任意性や不確実性を考えると、有意の差があるとは言えない。また、44% Load が、他の載荷状態に較べて大きいことはほぼ確実に言えるようである。なお、この図から読み取った大体の値を Table 3.3.1.1 の D 欄に示しておいた。

次に、Fig. 3.3.1.11 ~ 3.3.1.12 は、SRI の試験結果より得たもので、舵の有無およびプロペラ前後位置によるスラスト変動量の比較である。この問題についての詳細なデータとその検討は、3.3.3 ~ 3.3.4 項で述べられるので、ここでは Fig. 3.3.1.10 と同一の手法で整理したものを参考のために掲げるに留めた。これらの図だけでは、舵の有無やプロペラの前後位置による有意の差があるとは断言できない。

前記したように、Fig. 3.3.1.10 ~ 3.3.1.12 に示されたデータは、その手法からして不正確なものである。今後、スラストやトルクなどの変動量について検討する場合、次のようなことに留意しなければならないと思われる。

(a) 動力計の応答特性を調べておくこと。

(b) 変動量は客観的でなければならないこと。たとえば、スラストやトルクの分散確率的な分布(仲渡委員)、ないしパワースペクトラム(早崎氏)を求めること。

(c) 単に変動量だけではなく、変動のパターンも識別すること。たとえば、Step 的変動、矩形波の変

動、Sine 波の変動、周期性はあるか否か、等々

(d) 不安定現象の度合として、何をとるか。たとえば、スラスト変動量、 W_T に算定された変動量、等々

(8) アナログ記録例

Fig.3.3.1.13～3.3.1.16に、自航試験時のアナログ記録の例を示す（スラストと船尾の横力のみ）。なお、ASMBのもので、1つの航走中にプロペラ回転数が若干変化していたものがあったので、それについてはプロペラ回転数の変動記録も合わせて示してある。（他の水槽のものについては、Table 3.3.1.1のE欄を参照）

また、図中、Lineが入っているが、横力についてはゼロの値を、スラストについては平均的な値を示している。

これらの図を見ると、Fig.3.3.1.5～3.3.1.7やFig.3.3.1.10に示したように、水槽によって変動量や横力の大きさに若干の差異があるが、スラストが大きくなると船尾の横力もプラス側に大きくなるという傾向については各水槽各状態共通である。このことを、ある程度定量的に示したのが、Fig.3.3.1.17である。Fig.3.3.1.17は、Fig.3.3.1.9に示したのと同様の要領でスラストの変動量 ΔT を読みとり、それに対応した横力の記録より横力の変動量 ΔT_A を読みとって置点したものである。○印は自航試験結果より、△印は荷重量変更試験結果より得たものである（SRCのデータのみ）。この図をみると ΔT が正のときは ΔT_A も正になっていること、しかもその間にある程度の線型性が存在することがわかる。

(9) 横力の計測について

自航試験結果の記述のところでも述べたように、今回、横力計測の精度は充分でなかった。その理由および今後の対策として以下のことが考え得る。

(a) 横力計測の経験が充分でない。

(b) 横力計測系の応答特性が充分練られたものとなっていない。

(c) 模型船の曳引車への取り付けの際のほんの少しのズレが誤差となって現われるようである。

(d) 横力計測装置は、原理上、模型船の質量したがって模型船の加速度の影響を受ける。このことは、曳航力の計測と同じであるが、（曳航力の計測程の精度はいらないとしても）横力計測には大きな困難がある。つまり、横力計測装置の設計に際しては、Sway以外の運動を拘束してはならないこと、可動部分は軽量であること、応答が早いこと、曳引車の航走中の左右揺れの影響を余り受けないこと、計測量はプラス側とマイナス側両方あること、等々のことが考慮されていなければならない。

(e) 曳引車が航走中の左右方向の揺れについて検討しなければならない。左右方向の揺れの特性については従来それ程の考慮が払われていなかったように思われる。

(f) 模型船のSwayやYawが流場に及ぼす影響について更に調査しなければならない。計測器系の剛性が小さいと、模型船にSwayやYawを許してしまうし応答も悪くなる。他方剛性が大きいと、曳引車の左右方向の揺れが模型船に伝わってしまい、いわば強制動揺の状態になる。計測器系にダンパー機構も加えなければならないかもしれない。

Table 3.3.1.1.1

		SRC	SR1	IHL	ASMB	MHI
A	Date	'75-12	'76-4	'76-6	'76-6	'76-9
	Temp. of Water (°C)	R.T. & S.P.T.*1	12.0 ~ 12.6	18.4 ~ 19.4	18.5 ~ 19.0	22.0 (18.7)*2
		P.O.T.	9.2	17.5	18.0	22.9
B	Tank Dim. M	L _T	400	210	200	270
		B _T	18	10	13	12.5
		D _T	8	5	6.5	6.1
	Blockage	FULL LOAD	3.4	9.8	5.8	6.4
	$A \otimes \times 10^3$	65 % LOAD	2.3	6.5	3.9	4.3
	$\frac{B \cdot D}{T}$	44 % LOAD	1.6	4.5	2.7	3.0
C	Form Factor (for Hughes Basic Line)	FULL LOAD	0.45	0.46	0.48	0.46
		65 % LOAD	0.45	0.45	0.47	0.48
		44 % LOAD	0.44	0.44	0.47	0.44
D	$\Delta T/T$ (%)	FULL LOAD	3	2	3	3
		65 % LOAD	3	2	3	3
		44 % LOAD	3	4	4	4
E	Variation of Rev. of Propeller at One Run of S.P.T. (RPS)	0.01 ~ 0.04 P-P	0.01 ~ 0.05	0.01	0.04 ~ 0.19 P-P	0.04

*1 R.T. Resistance Test

S.P.T.

Self Propulsion Test

P.O.T.

Propeller Open Test

*2 at secondary test

Table 3.3.1.2 Relation between V/V_{FULL} and W_T

V/V_{FULL}	Trim (% L_{ppAft}) ℓ_{CB} (% L_{ppFore})	C_B	0.70	0.74	0.78
			0.4	0.7	1.0
100 %	0		0.317	0.355	0.380
75 %	1.5		0.320	0.360	0.390
45 %	3.0		0.343	0.404	0.420

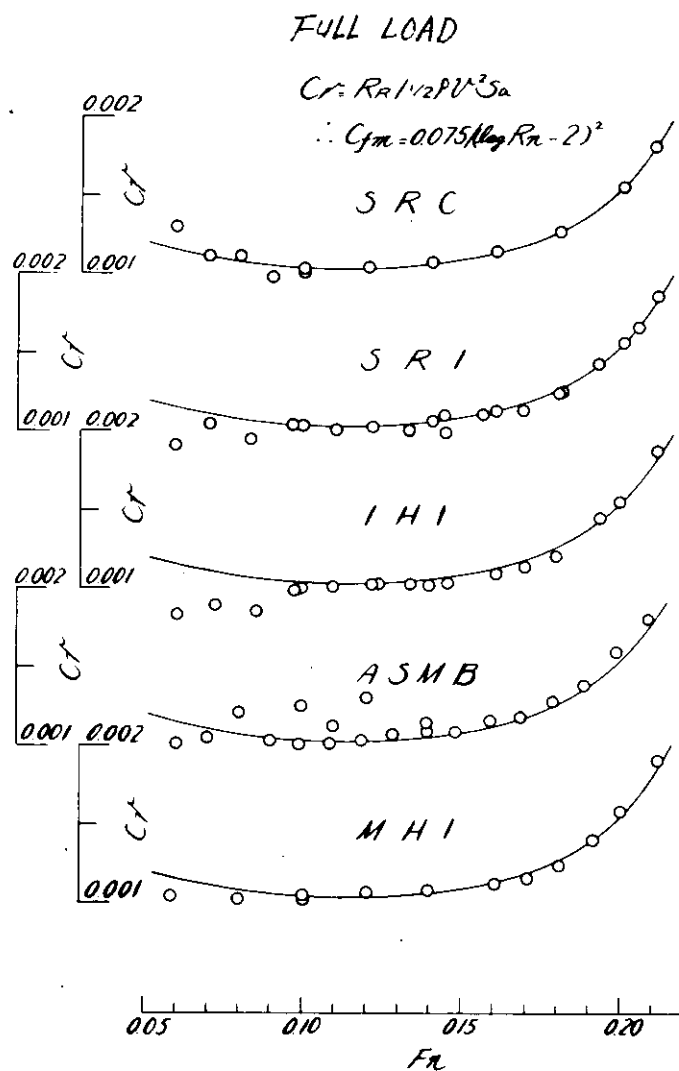


Fig. 3.3.1.1 Comparison of Resistance Test Results, FULL LOAD

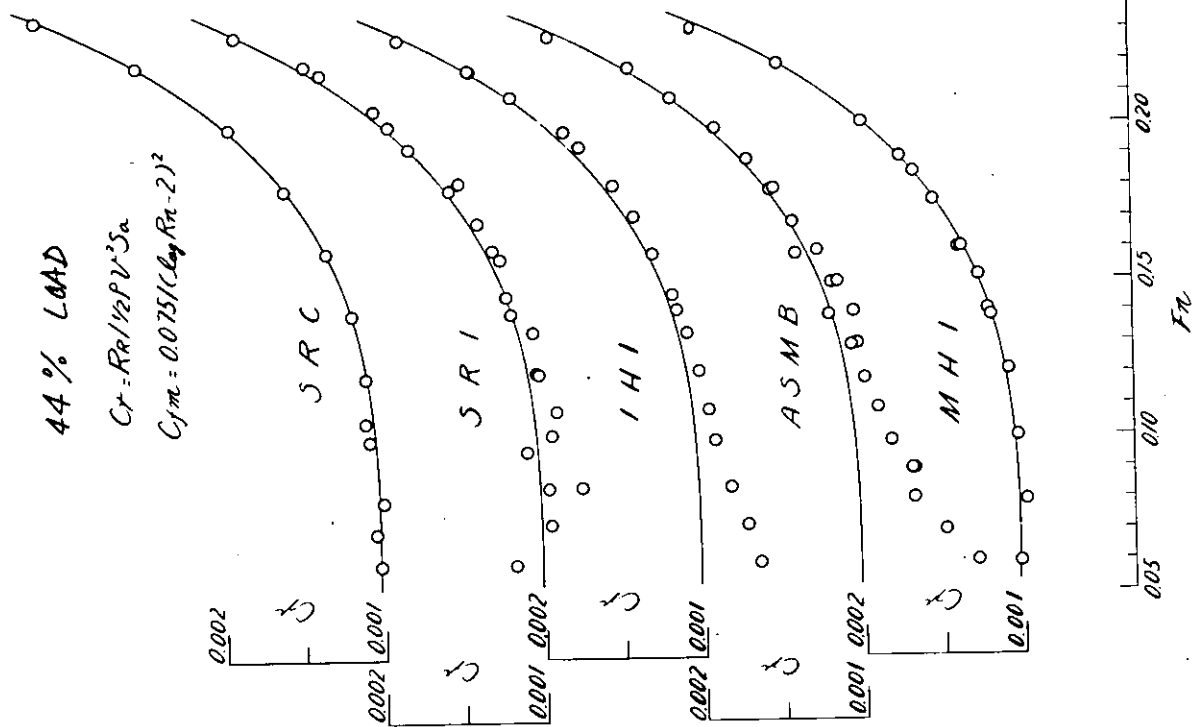


Fig. 3.3.1.3 Comparison of Resistance Test Results, 44% LOAD

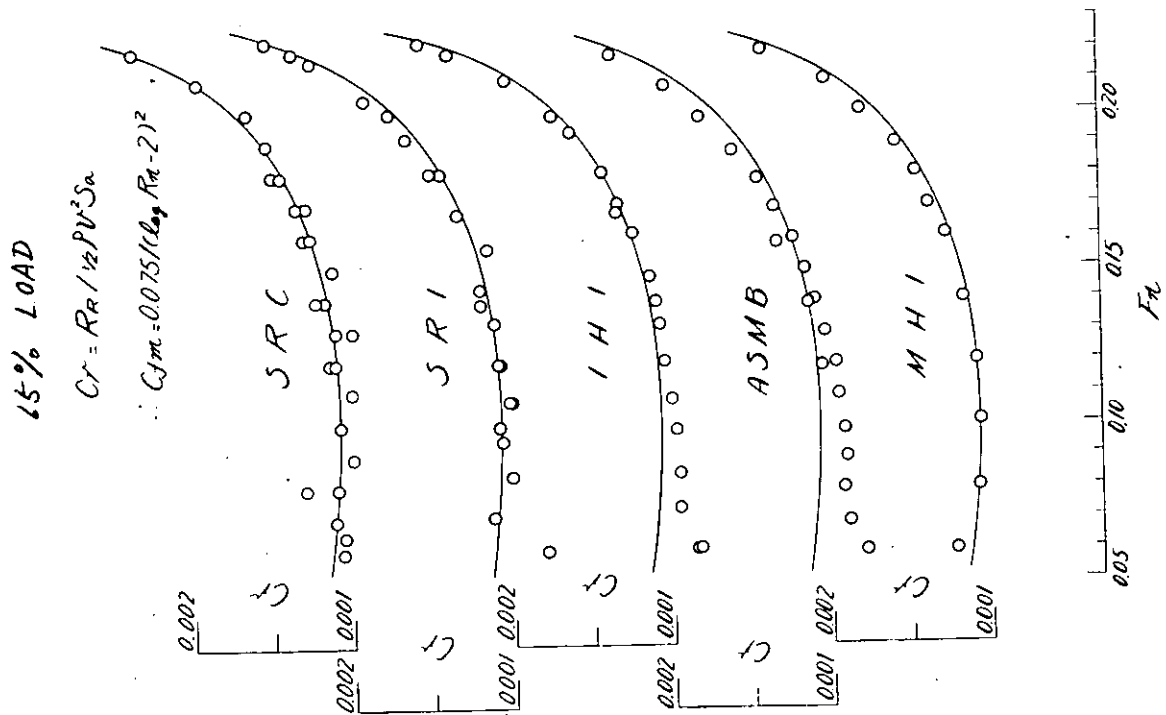


Fig. 3.3.1.2 Comparison of Resistance Test Results, 15% LOAD

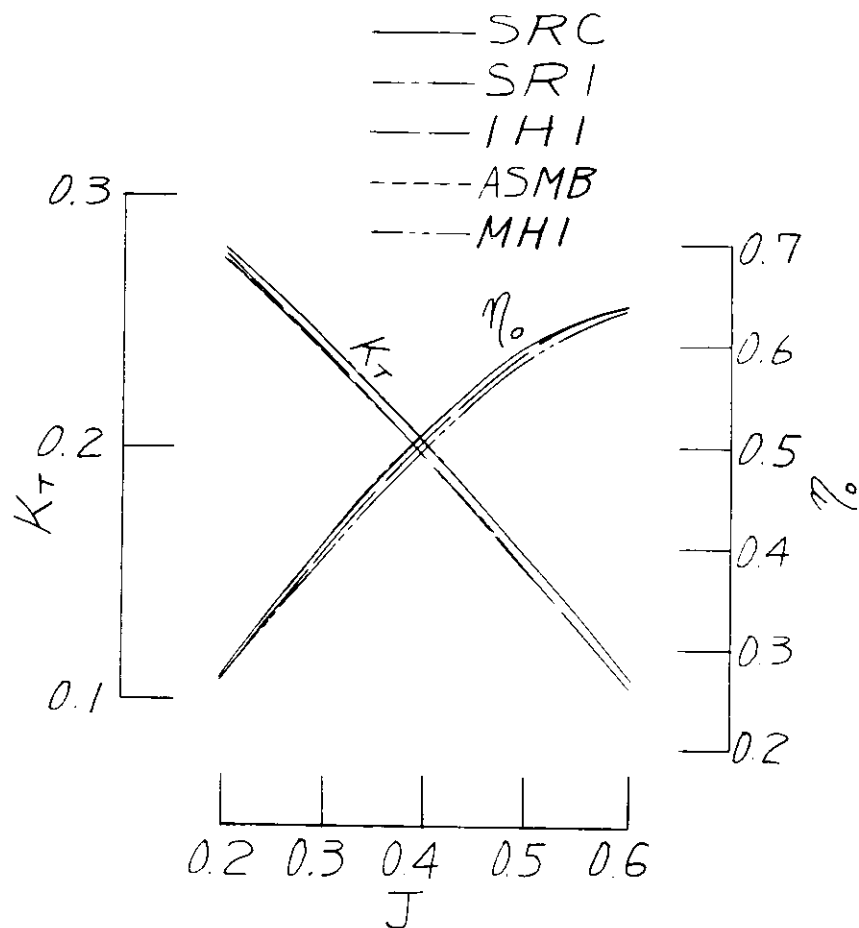


Fig. 3.3.1.4 Comparison of Propeller Open Test Results

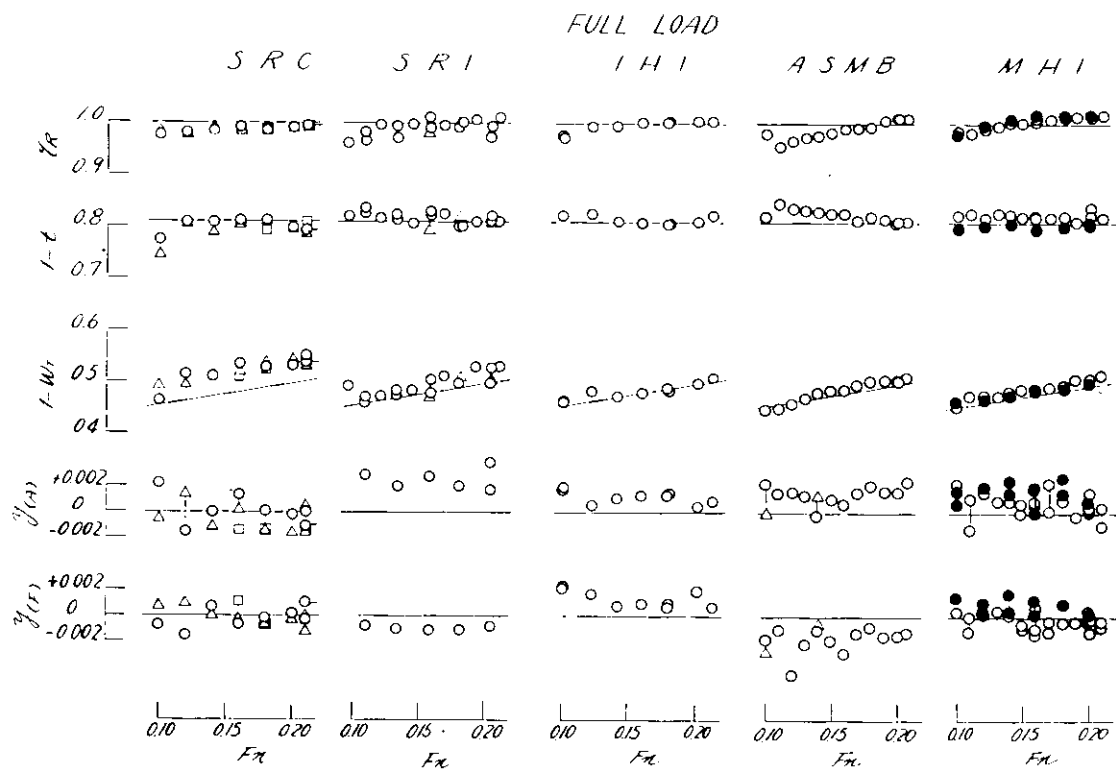


Fig. 3.3.1.5 Comparison of Self Propulsion Test Results, FULL LOAD

65 % LOAD

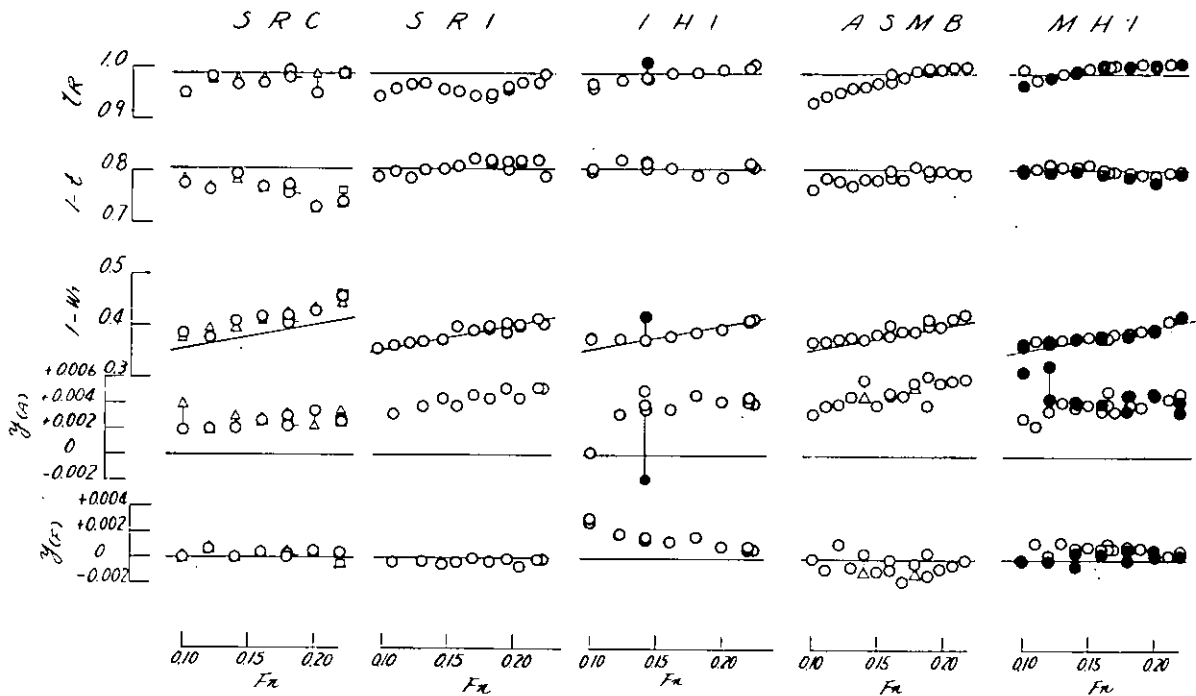


Fig. 3.3.1.6 Comparison of Self Propulsion Test Results, 65% LOAD

44 % LOAD

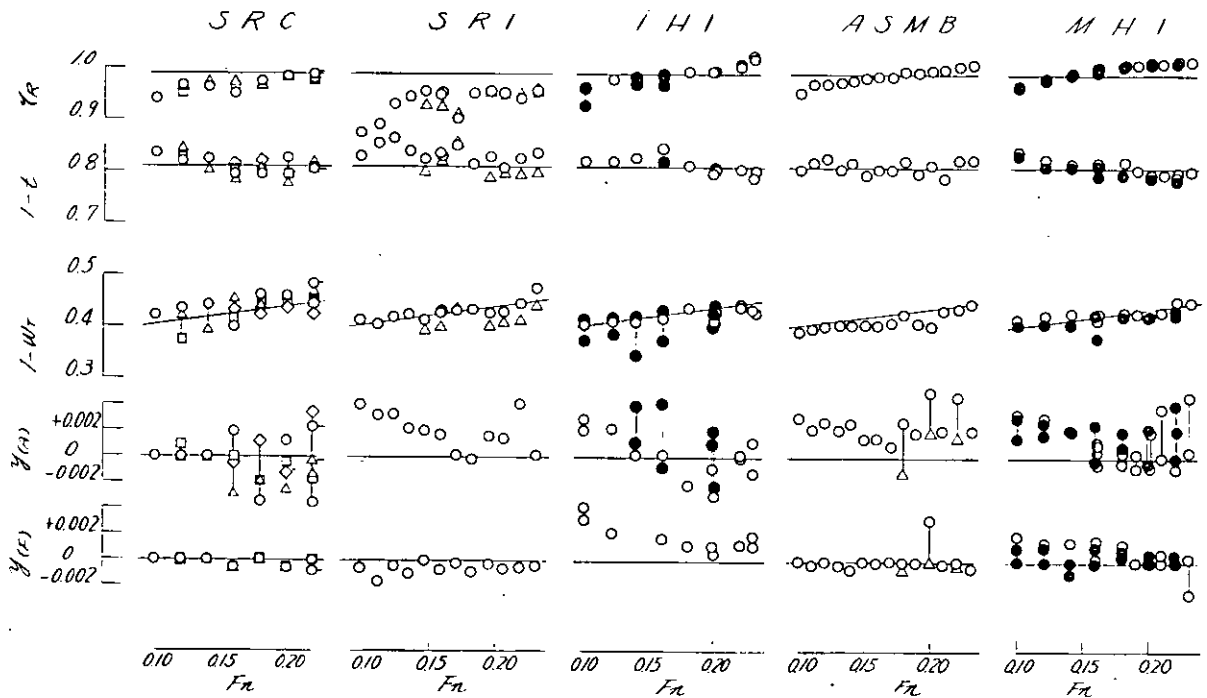


Fig. 3.3.1.7 Comparison of Self Propulsion Test Results, 44% LOAD

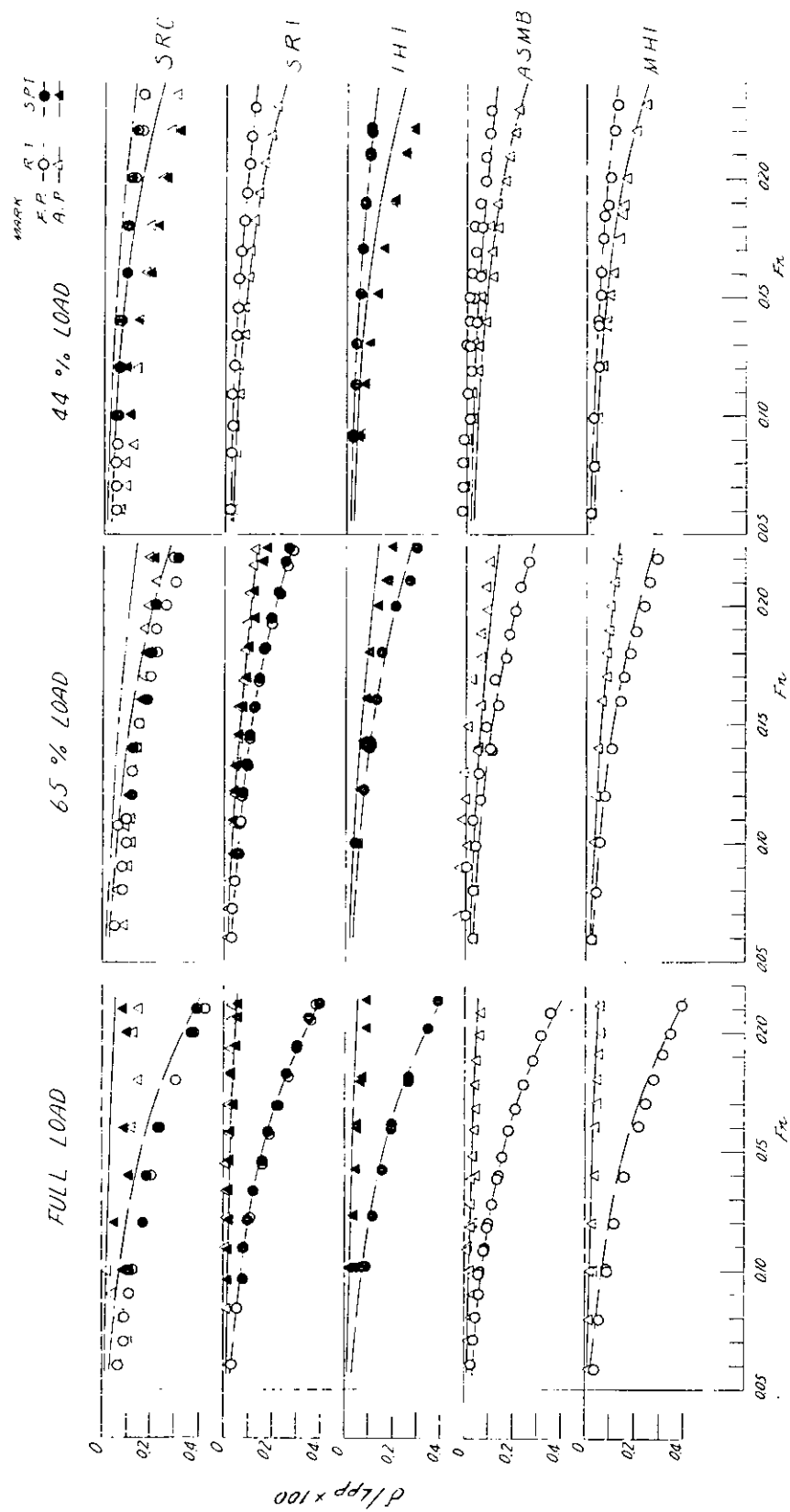


Fig. 3.3.1.8 Comparison of Trim Measurement Results

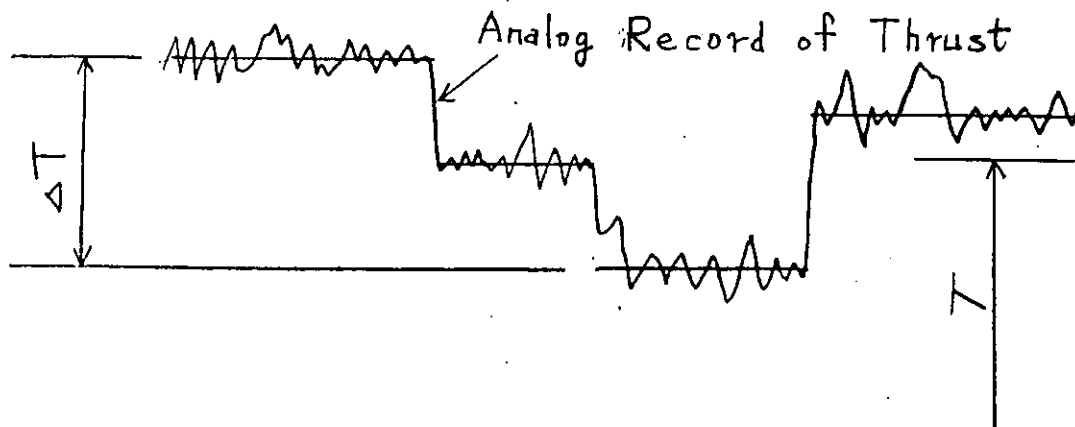


Fig. 3.3.1.9 Specification of ΔT , for Fig. 3.3.10 ~ 3.3.12

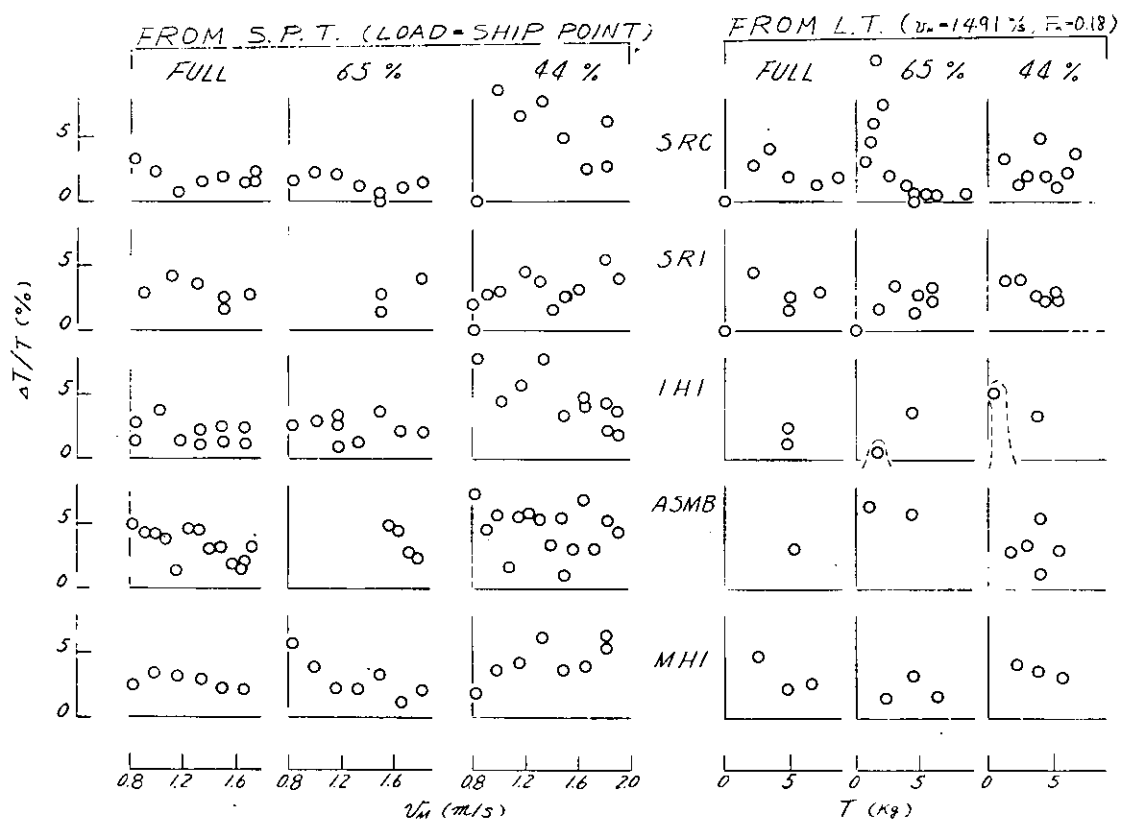


Fig. 3.3.1.10 Comparison of Thrust Variation, $\Delta T/T$

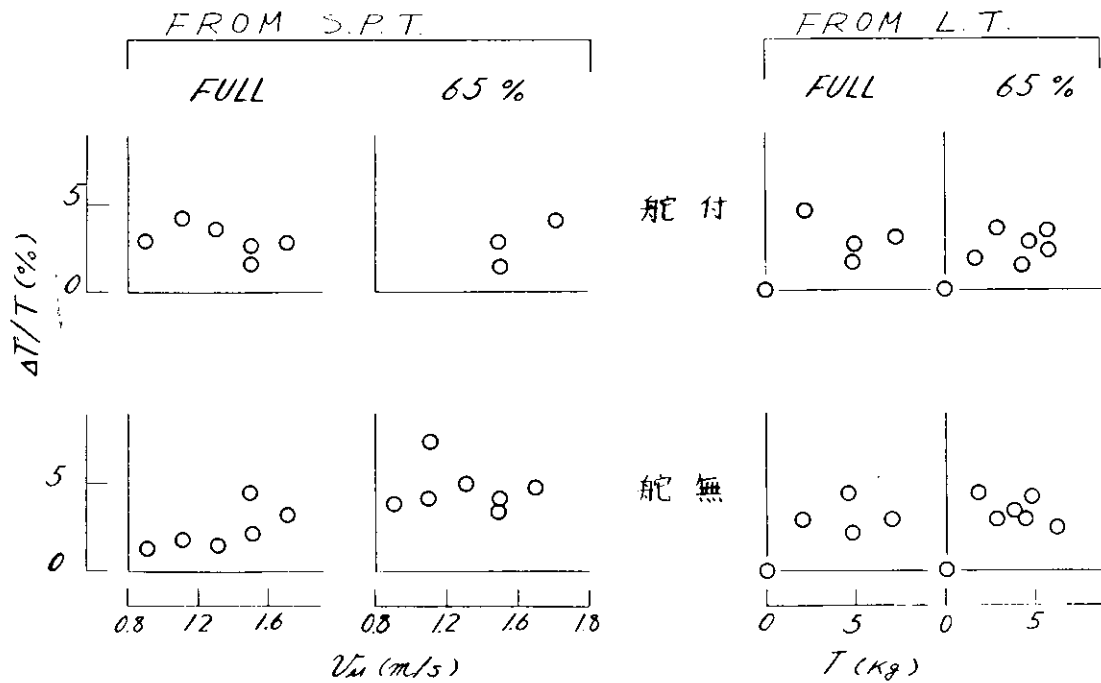


Fig. 3.3.1.11 Comparison of $\Delta T/T$, with or without rudder (Data of SR1)

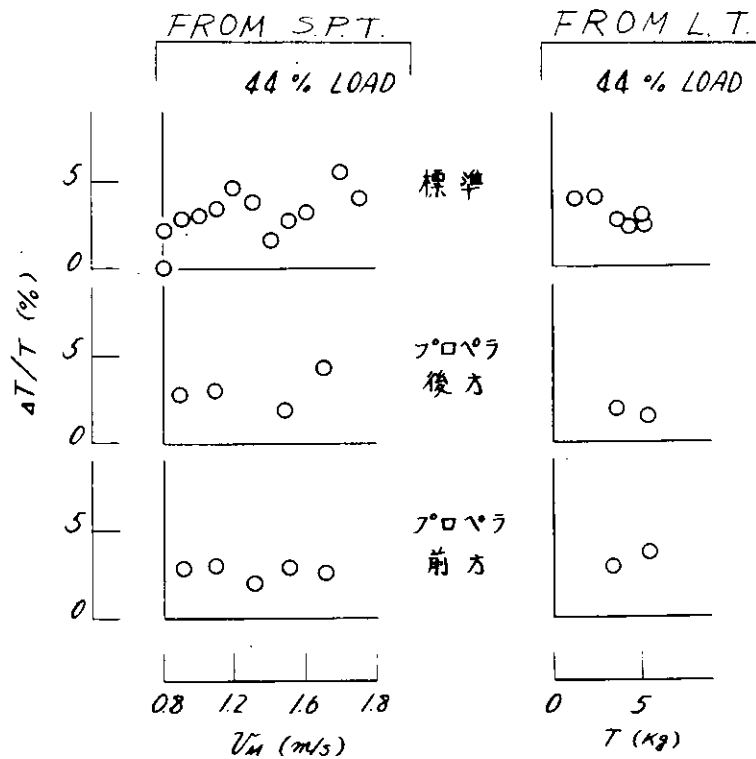


Fig. 3.3.1.12 Comparison of $\Delta T/T$, Effect of propeller position (Data of SR1)

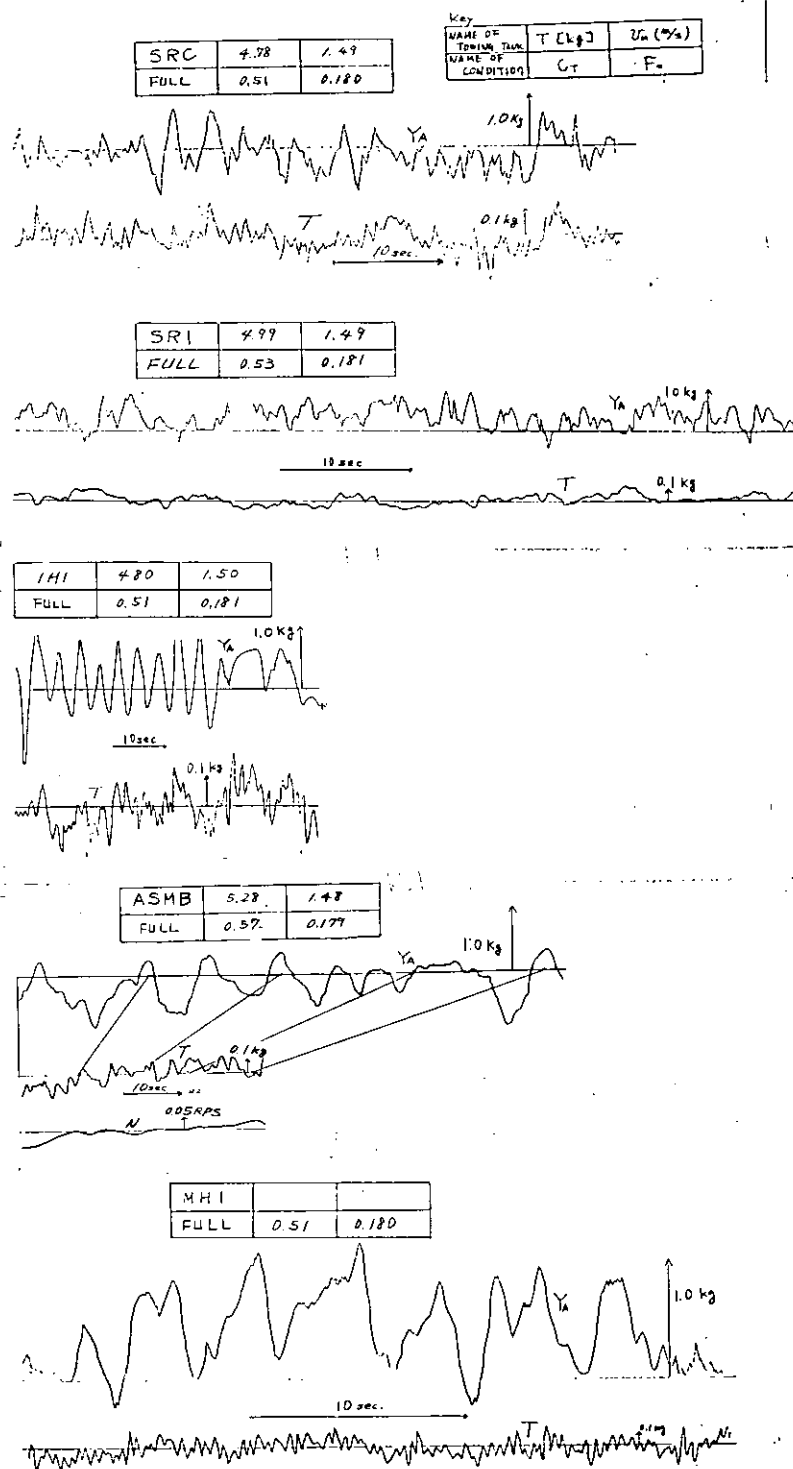


Fig. 3.3.1.13 Comparison of Analog Records (Thrust and Side Force of Aft), FULL LOAD, $F_n = 0.18$ Self Propulsion Test

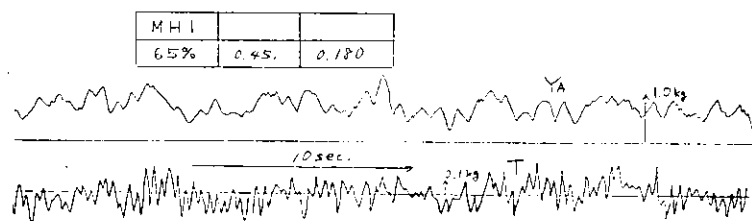
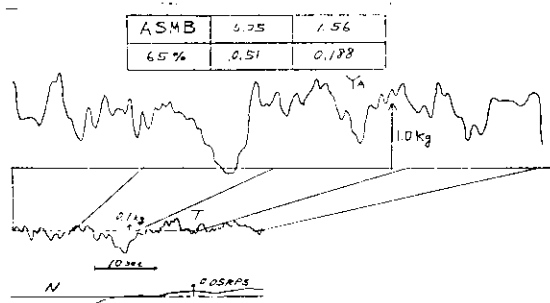
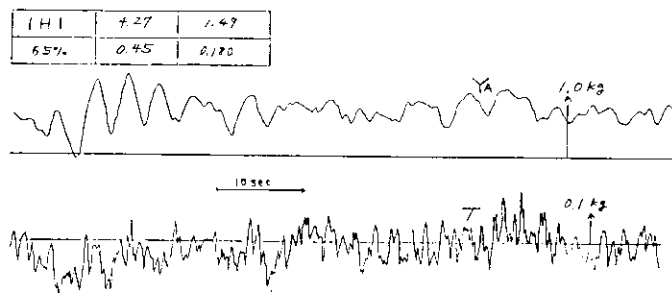
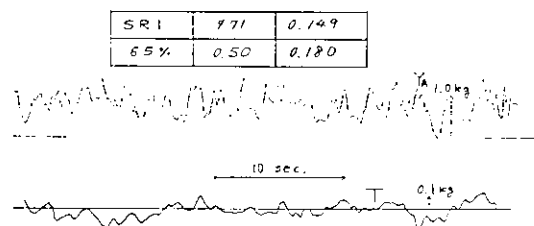
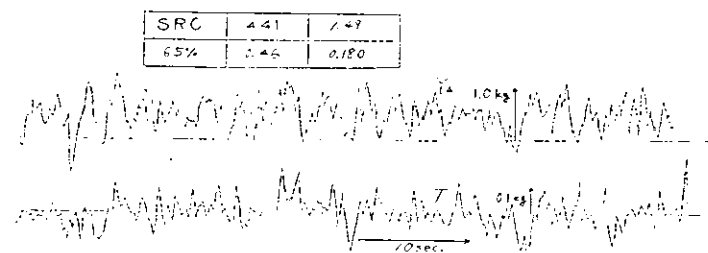


Fig. 3.3.1.14 Comparison of Analog Records (Thrust and Side Force of Aft), 65% LOAD, $F_n = 0.18$
Self Propulsion Test

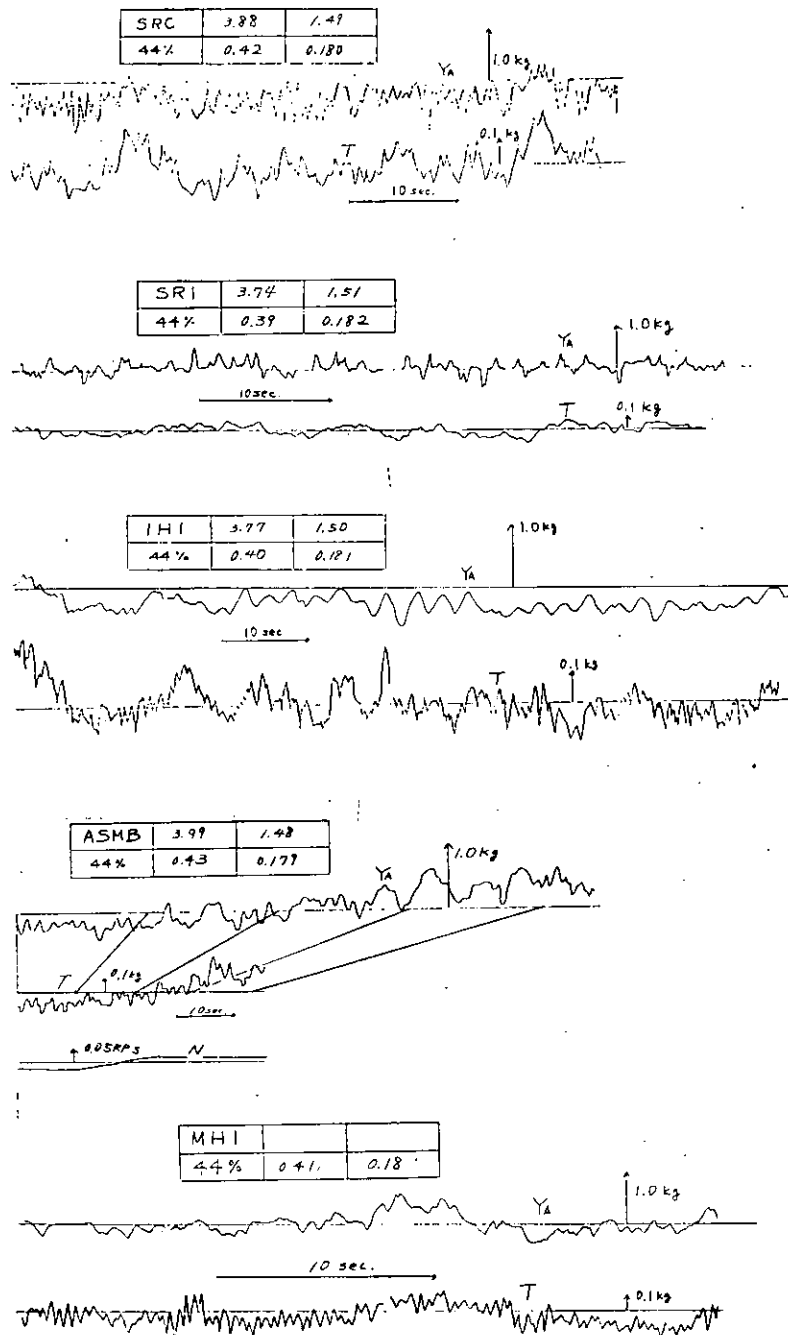


Fig. 3.3.1.15 Comparison of Analog Records (Thrust and Side Force of Aft), 44% LOAD, $F_n = 0.18$, Self Propulsion Test

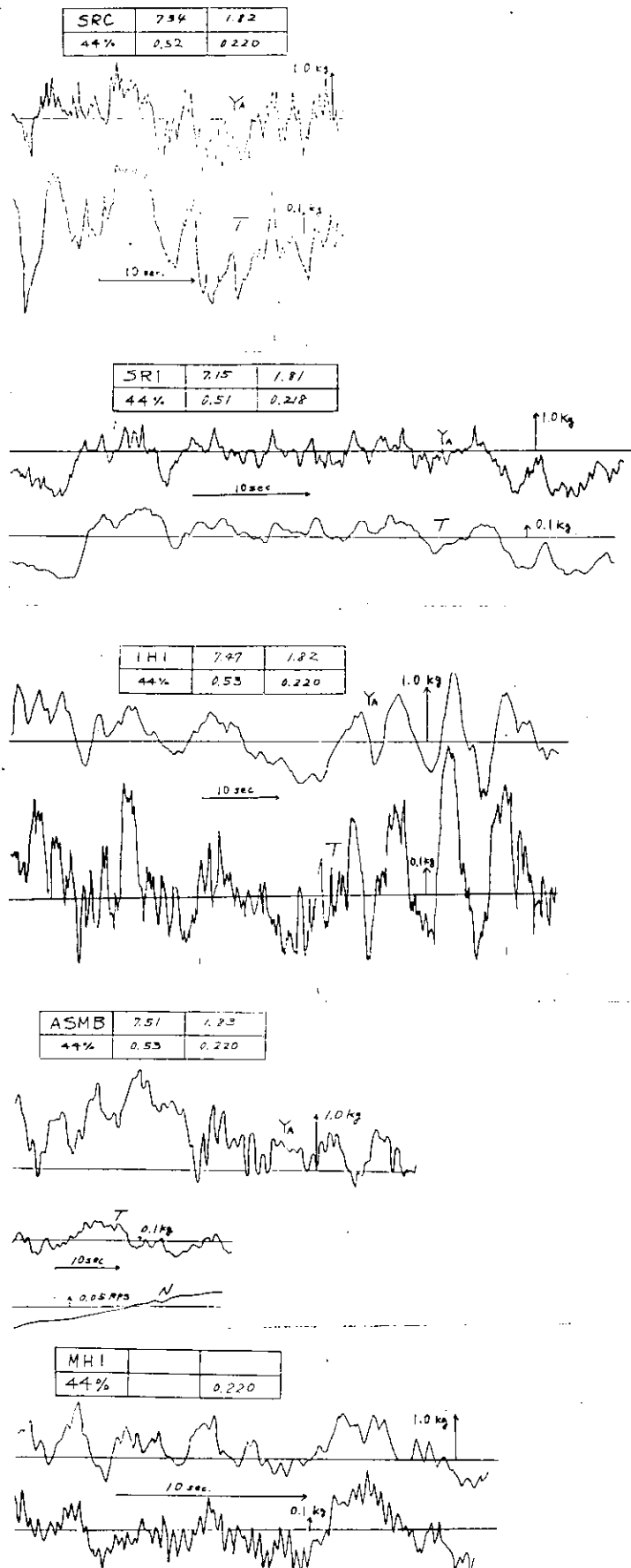


Fig. 3.3.1.16 Comparison of Analog Records (Thrust and Side Force of Aft),
44% LOAD, $F_n = 0.22$, Self Propulsion Point

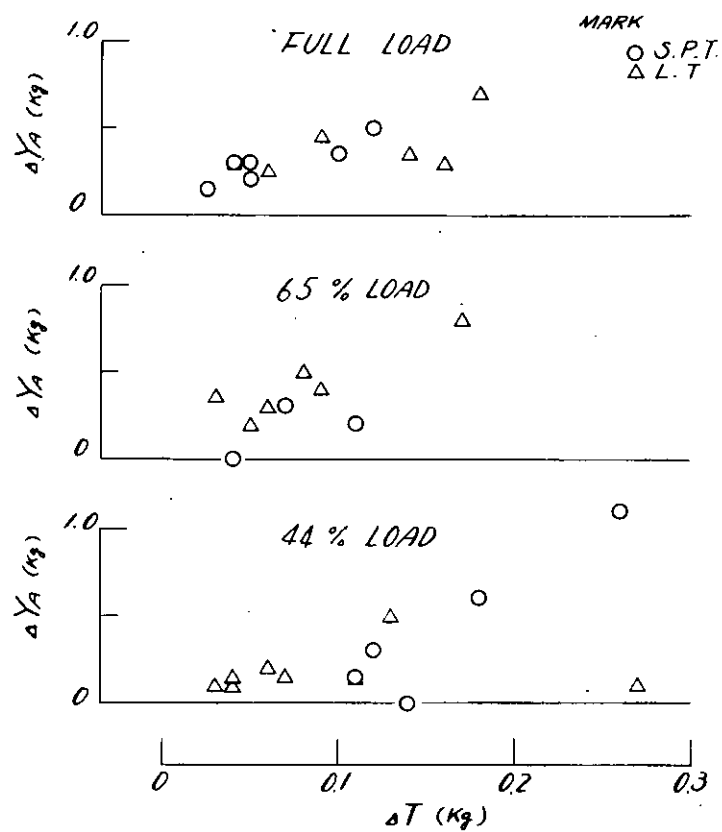


Fig. 3.3.1.17 Increment of Side Force of Aft vs One of Thrust
(Data of SRC)

3.3.2 プロペラ荷重度変更試験結果の解析と考察

(1) 試験結果の解析

自航試験において、プロペラの荷重度を推力ゼロからはば模型船の自航点まで変化させて、自航要素および、船首尾の横力の変化を調査した結果を Fig.3.3.2.1 ~ Fig.3.3.2.3 に示す。この試験の実施に参加した水槽は 3.3.1 項の抵抗、自航試験の場合と同じく、SRC、SRI、IHI、ASMB、MHI の 5 水槽である。図中、各水槽の試験結果は項目毎に試験を実施した順に上から下に記載されている。

○ □ △ ▽ のようなひげのある記号はオシロ・グラフによって記録された推力、トルク曳引力、横力のアナログ・データから、不安定現象のために特に著しい変動を示している部分の値を読みとって通常の方法で解析したものである。また、2 個以上の記号の間を結ぶ線は、この線で結ばれた記号の値が同一試験走行の計測データからサンプリングされたものであることを示している。

$1 - W_T$ の平均線は、勾配、曲率、2 本の線間の相対位置等、形状は各水槽共通であるが、各水槽の計測値に合わせてそれぞれ縦軸をずらして設定されている。このような方法を採用した理由は $1 - W_T$ の絶対値は水槽によって多少差があるが、プロペラ荷重度に対する伴流率の変化の傾向は殆んど共通していることを示すためである。

3.3.1 項の Fig.3.3.1.17 に自航試験、および、プロペラ荷重度変更試験における推力の変動幅と船尾横力の変動幅の関係が示されているが、これに関連して、Fig.3.3.2.4 に伴流率 $1 - W_T$ の変動幅と船尾横力係数の変動幅の関係 (SRC の計測結果による)、Fig.3.3.2.5 にプロペラ荷重度に対する船尾横力係数と $1 - W_T$ それぞれの変動幅の比 $\Delta y(A)/\Delta(1 - W_T)$ の関係 (同じく SRC の計測結果による) を示した。また、参考までに推力、トルク、曳引力、船首尾横力に関する各水槽のアナログ記録の中から代表的なものを選んで Fig.3.3.2.6 ~ Fig.3.3.2.10 に掲げた。

(2) 考 察

(a) プロペラ荷重度と $1 - W_T$ の相関関係

プロペラ荷重度に対する $1 - W_T$ の変化の傾向は、各載荷状態共全ての水槽の試験結果についてほぼ共通している。先ず、Full Load については、各水槽の計測値の絶対値は少しずつ異なり、計測点のばらつきも決して小さいとは言えないが、いずれの水槽の結果も同一形状の 1 本の平均線で代表させることができる。

次に、65% Load については、各水槽の試験結果を個別に見てゆけばプロペラ荷重度に対する $1 - W_T$ の変化の傾向にかなりの差異が認められるが、IHI で VTR を使って録画した潮目の動きや後述する船尾横力の力の方向を考慮すれば、各水槽の結果に共通して、プロペラ荷重度 C_T が 0.2 附近を境に $1 - W_T$ は $C_T < 0.2$ では大きく、 $C_T > 0.2$ では小さくなり、平均線が 2 本存在するような傾向を示している。

この傾向を確認するために、各水槽の試験結果 (アナログ・データから抽出した分を除く) を、縦軸を適当にずらして重ね合せると計測点はかなり明確に二つのグループに分離した。そしてそれぞれの平均線を求め、その平均線を逆にそれぞれの水槽における試験結果に適用したものが図示の平均線であり、各水槽共、計測点は殆んど全て平均線上に分布するような結果を得ている。

又、65% Load では、 $C_T > 0.2$ の $1 - W_T$ の低い領域において、IHI の VTR の録画、あるいは、ASMB の 8 ミリシネ等による潮目の動きを見ても、各水槽より提出された推力、トルク等のアナログ記録を見てもそれぞれに顕著な変動は認められず、それなりに安定している点が著しい特色である。

最後に 44% Load についても、65% Load と同じような手法で平均線の形を決めると、各水槽の計測点は一、二の例外を除いて、殆んどが平均線上に分布する。しかし、この場合は 65% Load と異なり、プロペラ荷重度が高い領域において $1 - W_T$ の変化が大きく、かつ、各水槽のアナログ記録

を参照すれば推力、トルク等は荷重度の大小にかかわらず変動し、荷重度の増加に伴って変動を起す頻度も変動幅も増加する傾向にある。

(b) $1-t$ 、 η_R について

$1-t$ 、および η_R については、各水槽の試験結果から $1-W_T$ ほど明確に共通の傾向をつかむことは困難である。ただ、65% Load の $1-t$ がプロペラ荷重度が小さい領域で急速に落ち込む傾向が見られる点が他の載荷状態と異なる。

$1-t$ の変動は、いずれの水槽の場合でも、曳引力計測系（抵抗動力計と模型船の組合せ）の時定数の大きさに妨げられて曳引力の変動が推力ほど明確な形で検出できないために、全般的にみて、 $1-W_T$ ほど顕著でもないし、はっきりした結論を得ることも難しい。

η_R も水槽間の傾向の違いが大きく、共通の傾向を定めてくいが、この場合は、いずれの水槽の試験結果を見ても載荷状態の違いによる絶対値や傾向の変化があまり認められないこと、また、全体として、変動幅が $1-W_T$ に較べて著しく小さいことなどの理由で、プロペラ効率比 η_R そのものが船尾流れの不安定さの影響をあまり受けていないように考えられる。

(c) 船首尾の横力

船首尾の横力は、計測法が確立していないためか、各水槽共計測値のばらつきが大きく、また、傾向的にも大変異なる。船首横力係数を例にとってみれば、各載荷状態を通して I H I の計測値が全て正の値を示しているのに対して、A S M B の計測値は負の値になっている。また、比較的大きな値を示している船尾横力係数についても Full Load、および、44% Load では水槽間の傾向の差が大きすぎて、これよりプロペラ荷重度に対する船尾横力係数の変化の傾向を求めることは困難である。ただ、65% Load についてのみ、プロペラ荷重度 C_T が大きい領域で船尾横力係数の値はいずれの水槽においても $2.5 \sim 4.5 \times 10^{-3}$ のゾーンの中に分布していて、潮目の位置、伴流率 $1-W_T$ の変動と一応の関連性が見出される。

船尾横力係数に関する今一つの注目すべき事柄は、Full Load では各水槽のデータは共通しておおむね正の値を示しているのに対して、44% Load では Full Load より負に近づき、または、負になる傾向が強いように思われることである。このような傾向が、伴流率が双方共高めに出る傾向が強いと判定されていることとどのような係わり合いがあるのか、あるいはまた、単に計測精度の不足のためなのか検討の余地がある。

(d) 船尾横力と $1-W_T$ の関係

前項で述べたように、船尾横力のデータだけに注目すると全体として共通な傾向をつかむことはなかなか難しいが、その変動幅をとってその他の計測量 — 例えば、Fig.3.3.1.17 に示すように推力の変動幅を対比させればかなり明確な相関関係が認められる。

Fig.3.3.1.17 の内容を $1-W_T$ の変動幅と横力係数の変動幅 $\Delta y(A)$ の対比の形で表現しなおしたものが Fig.3.3.2.4 であり、この図では計測点がかなり明瞭に二つのグループに分けられるように思われる。つぎに、 $\Delta y(A)/\Delta(1-W_T)$ と荷重度との関係を示す Fig.3.3.2.5 ではかならずしも二つのグループの存在は認め難いが、計測点は $-0.15 \sim -0.05$ のある限られたバンド幅の中に分布している。このことは、船尾横力の変動が $1-W_T$ の変化を促すような船尾流れの変化に起因するものであることを示唆している。

このように、変動幅同志の対比ではかなり明確な結論を引出すことが可能であるが、この問題を $1-W_T$ に変動が起るから船尾横力が変動すると言ったとらえ方をするだけでは恐らく不十分で、 $1-W_T$ に高位と低位の安定点があるとすれば、いずれの安定点で船尾横力がどの方向に作用しているか、また、 $1-W_T$ の増減と横力の変動の方向の関係などについて今少し正確に検証する必要がある。そのためには、横力の計測法を確立し、計測精度を向上させること、また、不安定現象を伴わない模型

船の横力はどちらへどの程度作用しているのかを調査するなど今後の努力が求められよう。

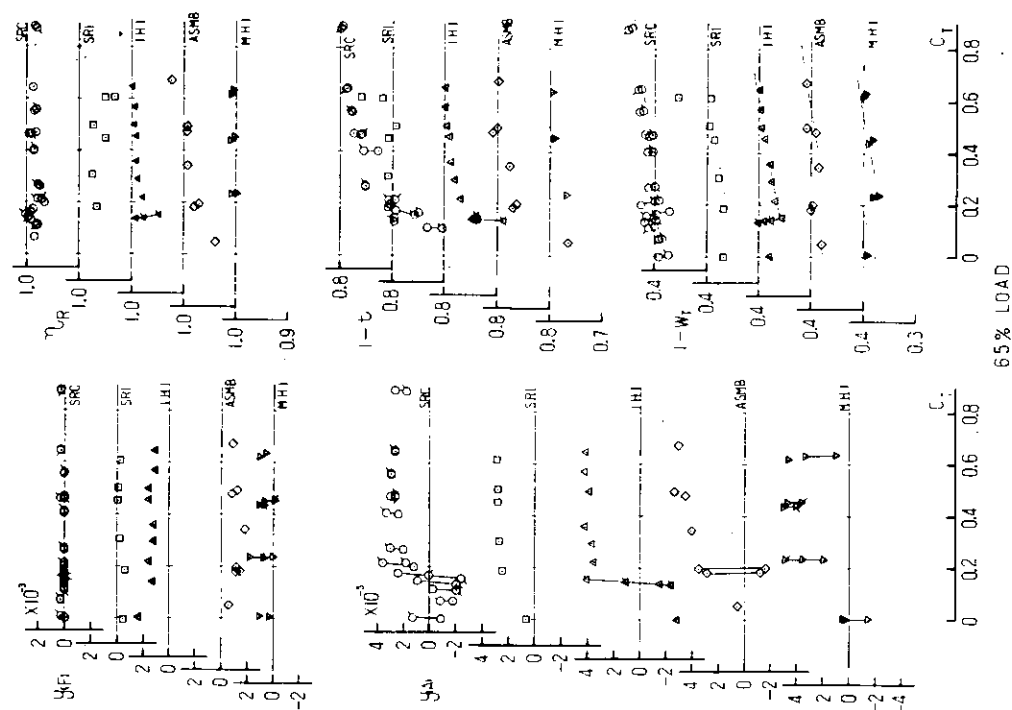


Fig. 3.3.2.2 Comparison of Results of Propeller Load Test, 65% Load

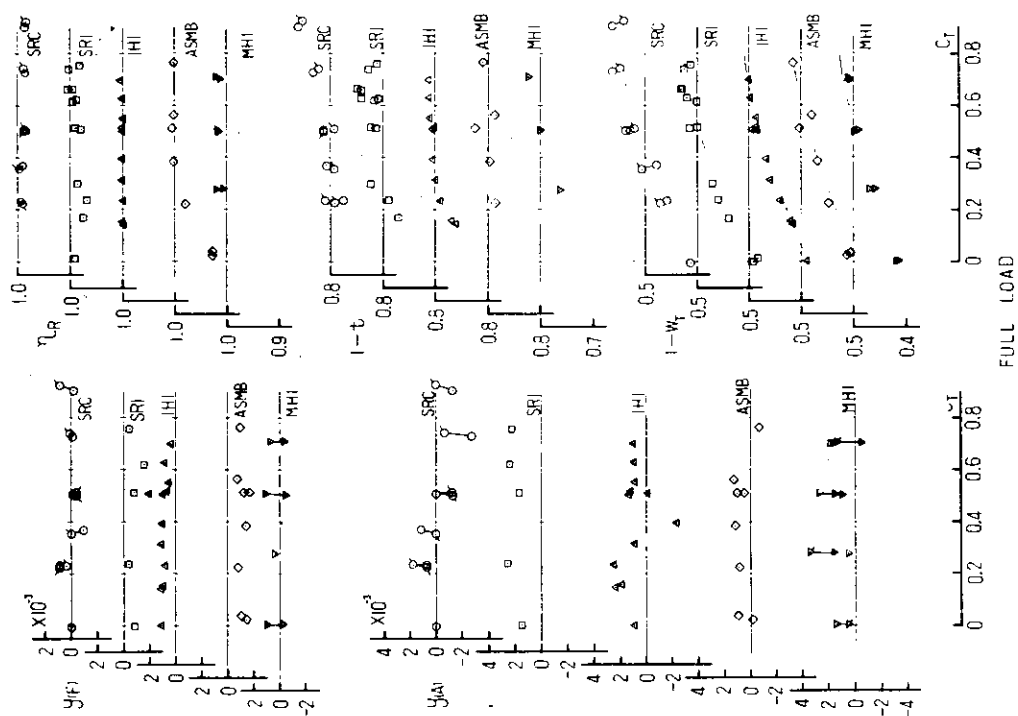


Fig. 3.3.2.1 Comparison of Results of Propeller Load Test, Full Load

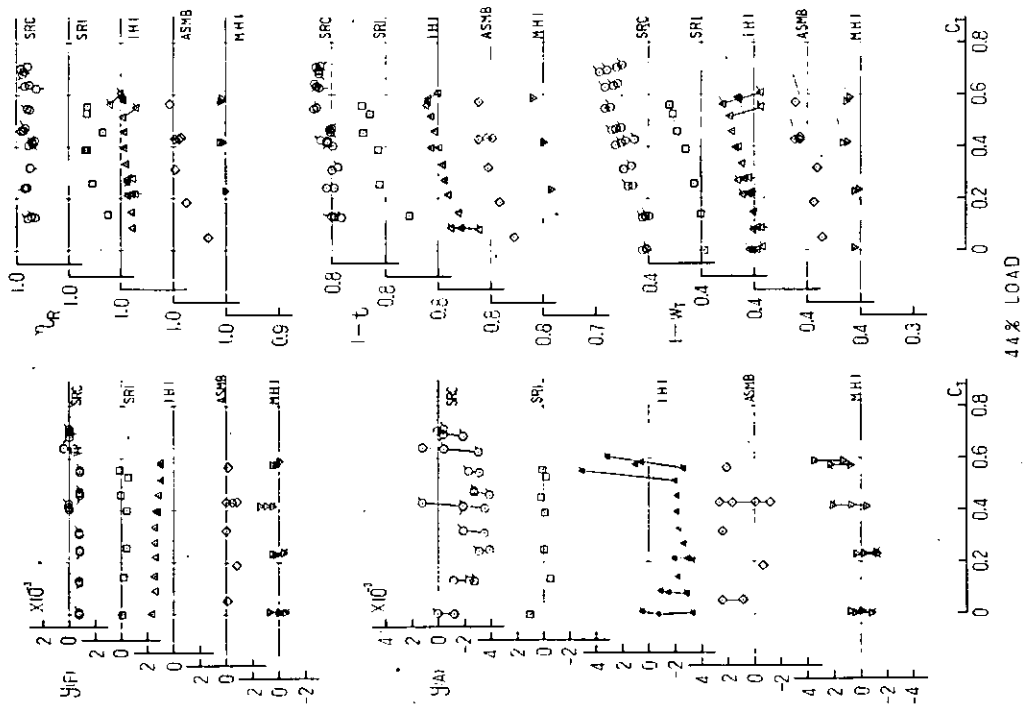


Fig. 3.3.2.3 Comparison of Results of Propeller Load Test, 44% Load

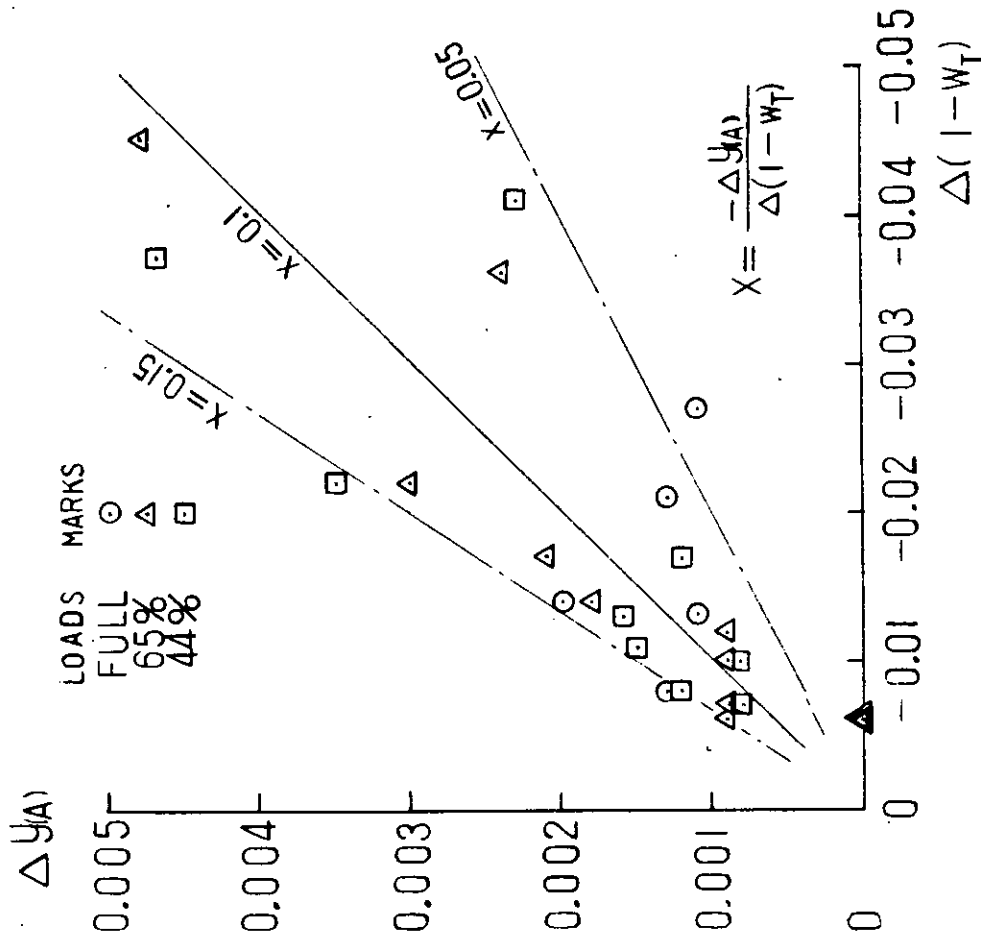


Fig. 3.3.2.4 Increment of Aft Side Force vs One of Effective Wake

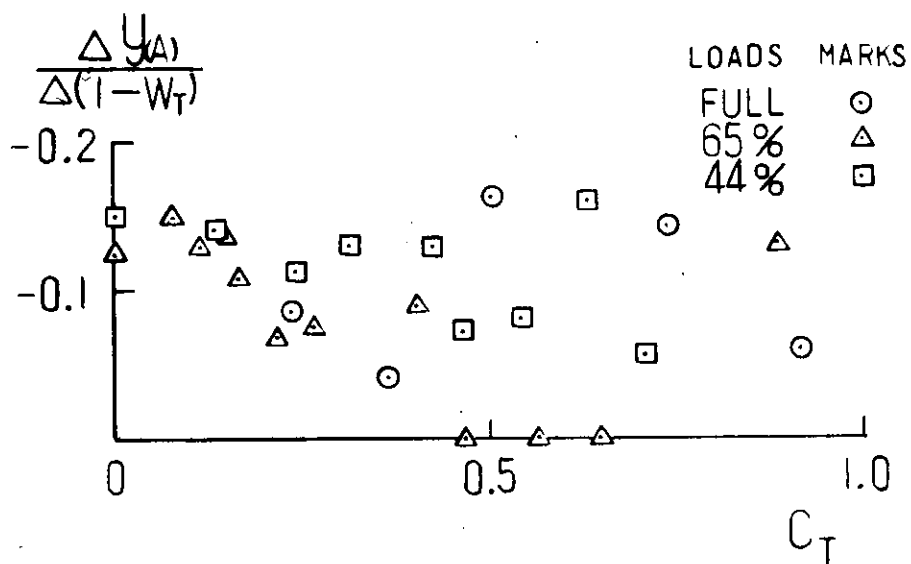


Fig. 3.3.2.5 Ratio of Increments both of Aft Side Force and of Effective Wake vs Load Coefficient of Propeller

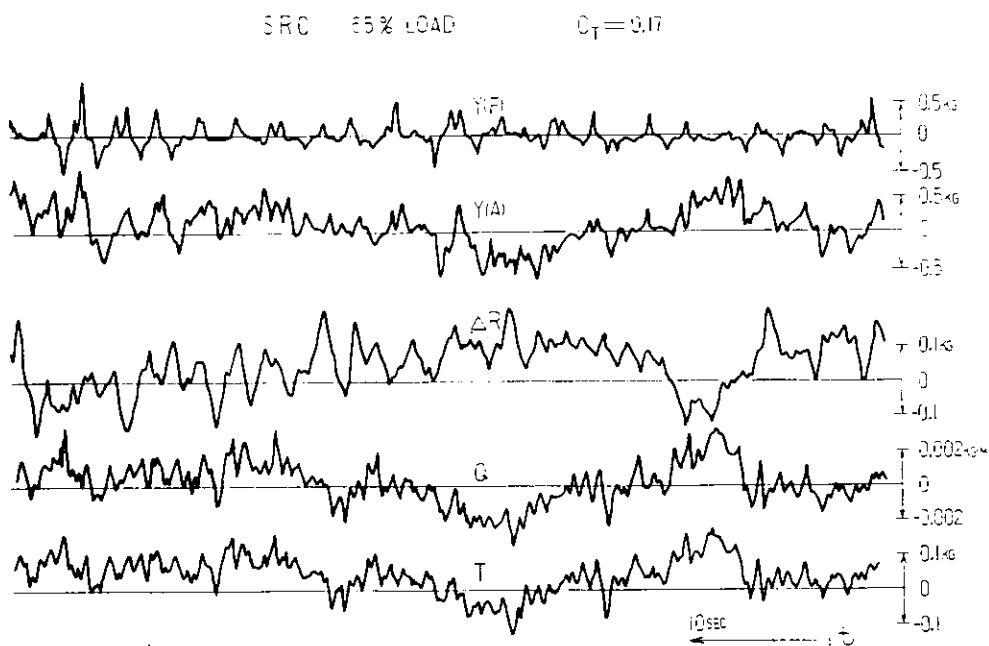


Fig. 3.3.2.6 Comparison of Analog Records (Thrust, Torque, Towing Force and Fore and Aft Side Forces), at Propeller Load Test, $F_n = 0.18$

SRI 65% LOAD $C_T = 0.182$

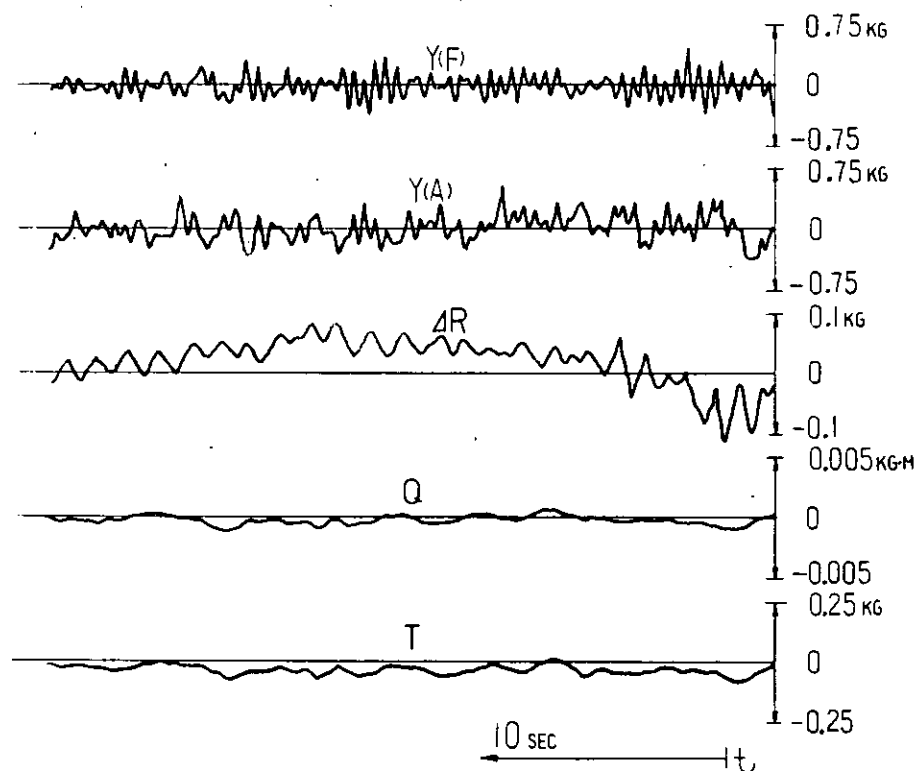


Fig. 3.3.2.7 Comparison of Analog Records (Thrust, Torque, Towing Force and Fore and Aft Side Forces), at Propeller Load Test, $F_n = 0.18$

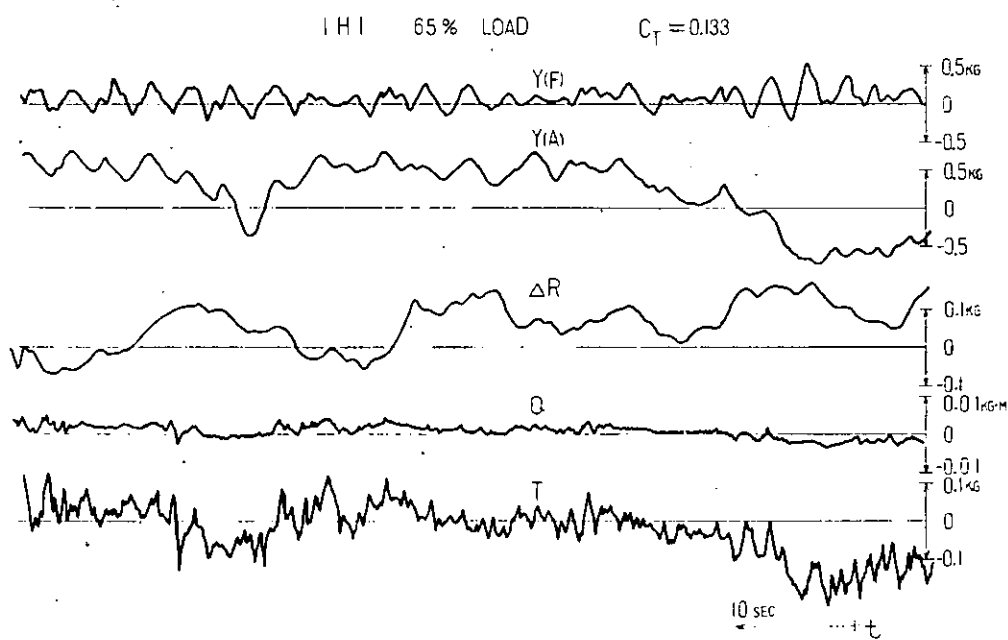


Fig. 3.3.2.8 Comparison of Analog Records (Thrust, Torque, Towing Force and Fore and Aft Side Forces), at Propeller Load Test, $F_n = 0.18$

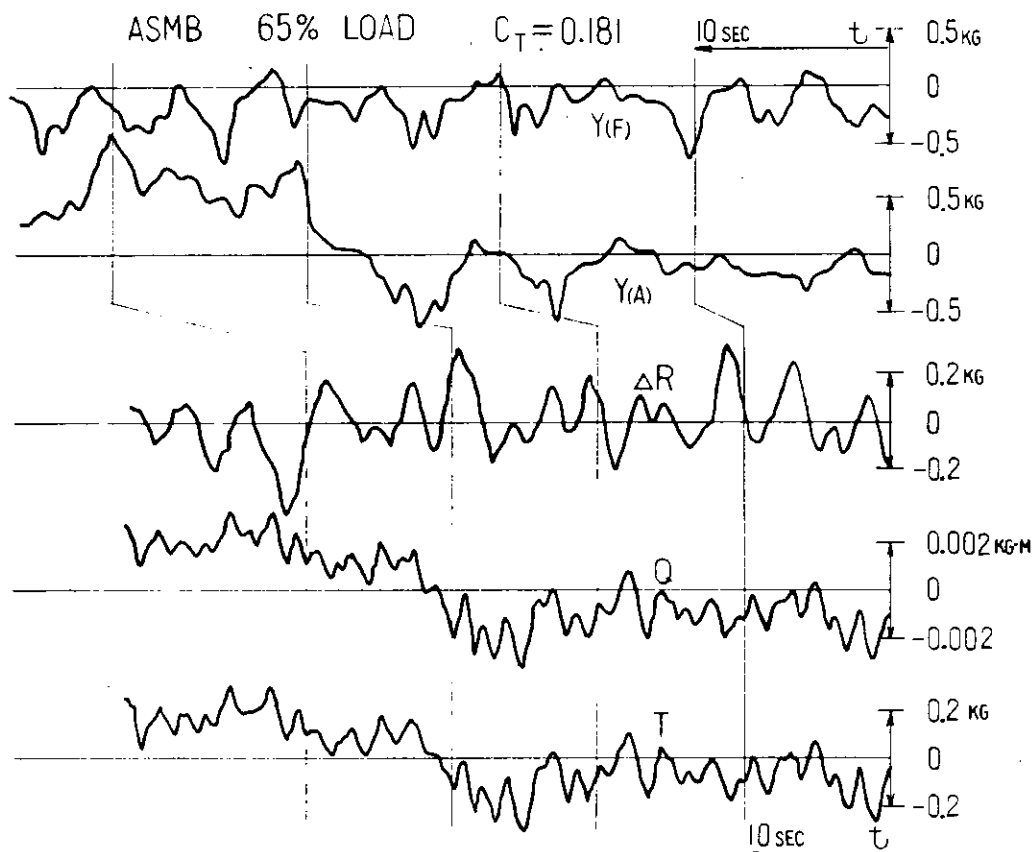


Fig. 3.3.2.9 Comparison of Analog Records (Thrust, Torque, Towing Force and Fore and Aft Side Forces), at Propeller Load Test, $F_n = 0.18$

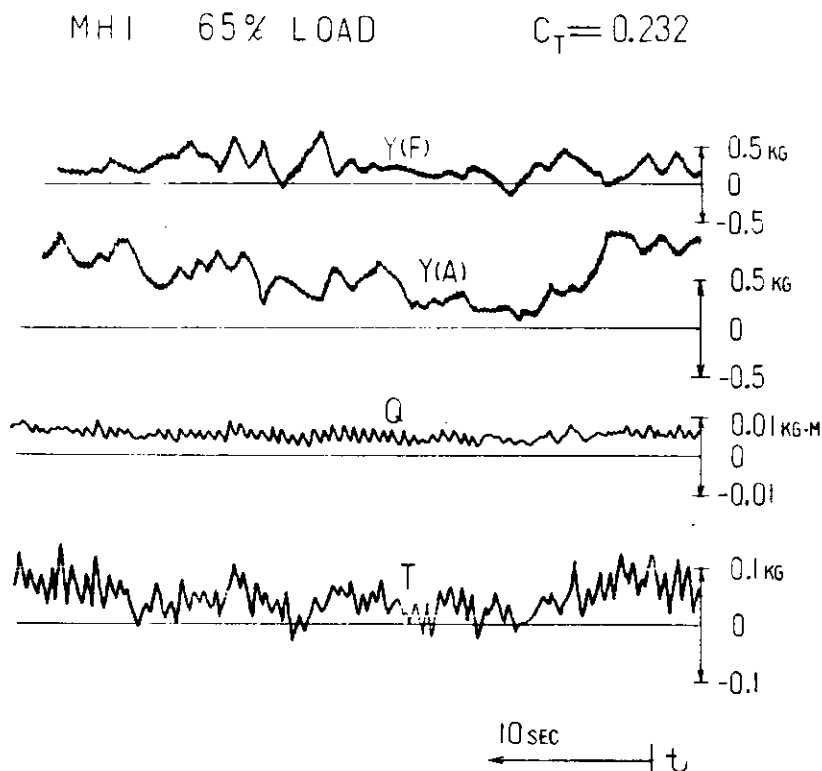


Fig. 3.3.2.10 Comparison of Analog Records (Thrust, Torque, Towing Force and Fore and Aft Side Forces), at Propeller Load Test, $F_n = 0.18$

3.3.3 プロペラ前後位置による影響

(1) 試験の目的および内容

渡辺によって、65% Load では2種の船尾流場が存在し、プロペラを正規位置より約15mm前方に移動させた(船体に近づけた)ところ、正規位置の時とは異なる伴流が高い方の流場に対応する安定した結果が得られたという報告がされ⁽¹⁾、プロペラ位置の相違による船尾流場への影響が指摘されて、不安定現象に関するトリガーの役割をはたしているのではないかという議論をひき起した。そこでASM B担当分として、可能な範囲でこの影響を調べるということで、特別の調査項目に加えることにした。

しかし実際上の問題として、プロペラとボスとの間隙余裕がなくて、当初の目標としたプロペラを船体に近づけることはできず、またプロペラを後方に下げるとすぐ舵に当たってしまうので、持ちまわり試験の立場上、模型船に対する工作はしないことにすると、プロペラ前後位置変更試験はごく限定された小範囲のものに止まった。結局、Full Load、65%および44% Loadについて、プロペラを正規位置より7.5mm後方におき、 $Fn = 0.10$ 、 0.14 、 0.18 の3速度における通常の自航試験を実施した。

(2) 試験結果と考察

試験結果はFig.3.2.3.7～9に併記したが、プロペラ正規位置の自航試験結果と比べて有意の差は認められない。それでもう少し細かく現象を見るために、スラスト変動量を $\sigma_T/T(\%)$ の値で示したのがFig.3.3.3.1である。ここにTはスラスト平均値、 σ_T はTに対する標準偏差である。これによると、Full Loadおよび44% Loadでは両者の差がないのに対して、65% Loadでは、 $Fn = 0.18$ においては両者の差がないが、 $Fn = 0.10$ および 0.14 においては、プロペラを後方に移した時の変動がかなり大きくなっていることがわかる。Fig.3.3.3.2～3に示すアナログ記録を見ても両者の変動の差が明らかである。特に $Fn = 0.10$ の時のスラスト変動を例にとると、正規のプロペラ位置の時は一様な変動であるのに対して、プロペラを7.5mm後方に移した時は前述のような平均値の段差を伴った変動である。そして船尾流場観察の結果も、横力計測の結果(別系統の計測のため記録掲載は省略)も、付記した略図の示すような潮目と横力の変動を伴うことを示していた。3者間の強い相関は前に記したところと全く同じである。この時の船尾水面(潮目)の状況をPhoto 3.3.3.1に示す。

思うに、65% Loadでは、実船自航点付近では比較的安定していた船尾流場が、プロペラ位置を後方に下げると、プロペラ荷重度を小さくするのと似たような効果となって流場が不安定となり、二つの流場がある周期で交互に現われるのではないかと思われる。

参考文献

- (1) 渡辺 恭二 : 肥大船の自航試験における不安定現象

肥大船の推進性能に関するシンポジウム(1975-6)

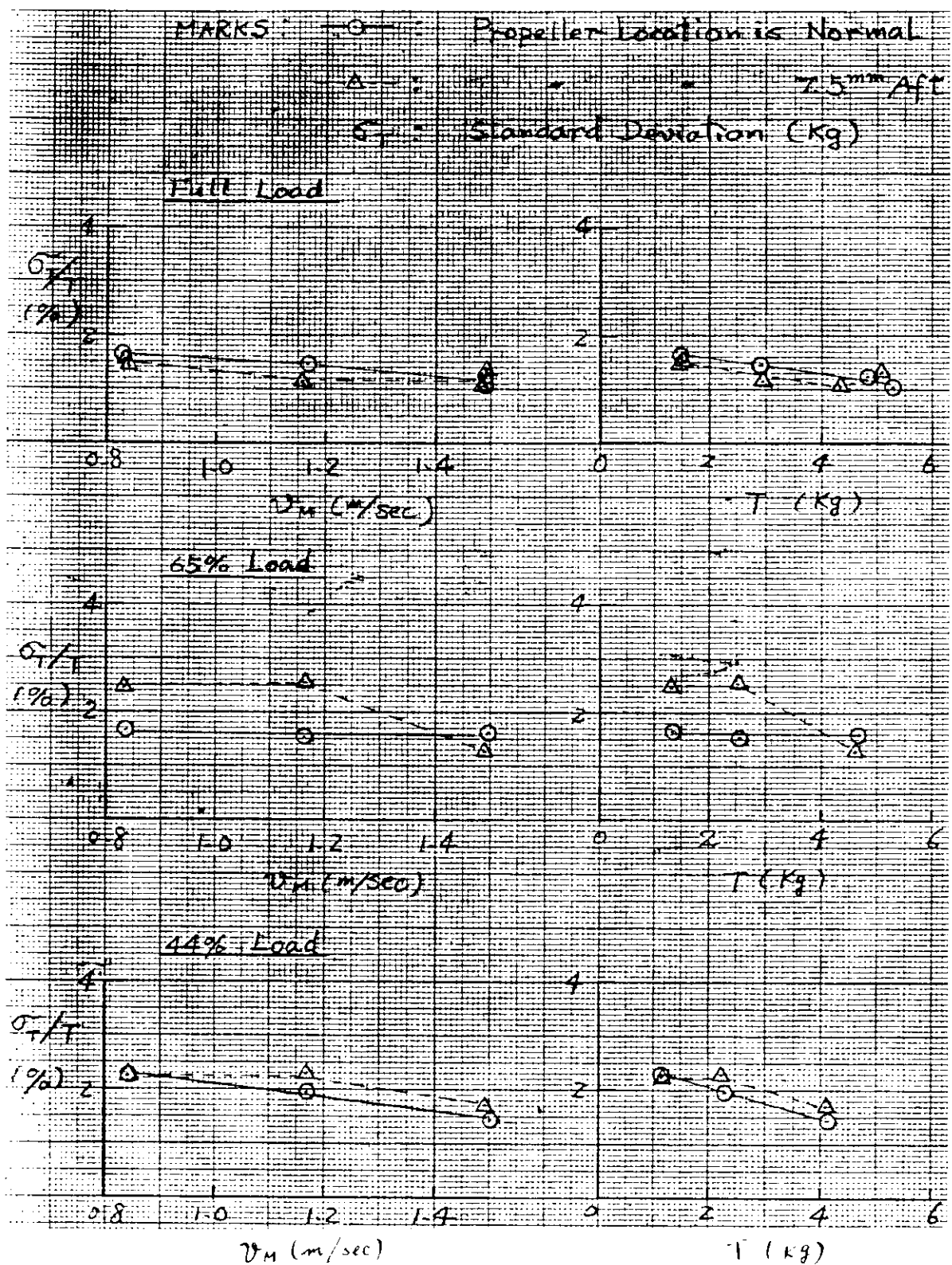
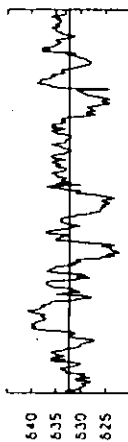


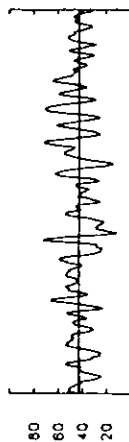
Fig. 3.3.3.1 Fluctuation of Thrust (Prop. Location Change Test)

M. S. NO. 3330 FILE NO. 4024
EXP. NO. 202 $F_n = 0.10$

CH. NO. 2 ΔR
MEAN VALUE 832.3



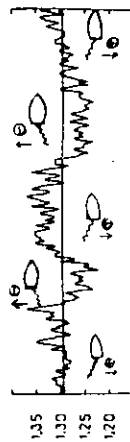
CH. NO. 3 ΔR
MEAN VALUE 42.6



CH. NO. 5 dA
MEAN VALUE 42.6

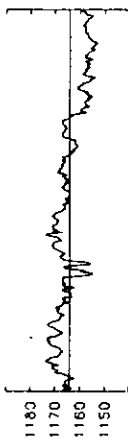


CH. NO. 7 T (Thrust)
MEAN VALUE 129.5 (1.295 kg)

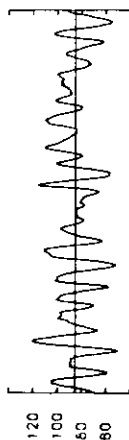


M. S. NO. 3330 FILE NO. 4024
EXP. NO. 303 $F_n = 0.14$

CH. NO. 2 ΔR
MEAN VALUE 1164.2



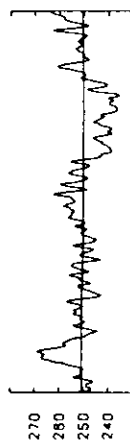
CH. NO. 3 ΔR
MEAN VALUE 85.4



CH. NO. 5 dA
MEAN VALUE 87.9

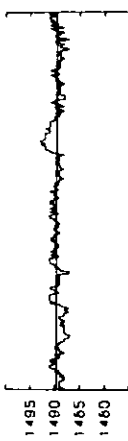


CH. NO. 7 T
MEAN VALUE 250.8

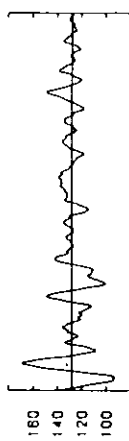


M. S. NO. 3330 FILE NO. 4024
EXP. NO. 101 $F_n = 0.18$

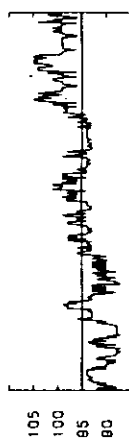
CH. NO. 2 ΔR
MEAN VALUE 1489.6



CH. NO. 3 ΔR
MEAN VALUE 128.0



CH. NO. 5 dA
MEAN VALUE 85.0



CH. NO. 7 T
MEAN VALUE 458.2

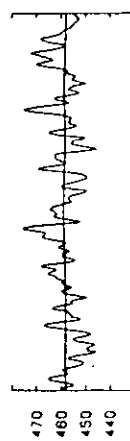


Fig. 3.3.3.2 Records of Propeller Location Change Test
(65% Load, Propeller 7.5mm Aft)

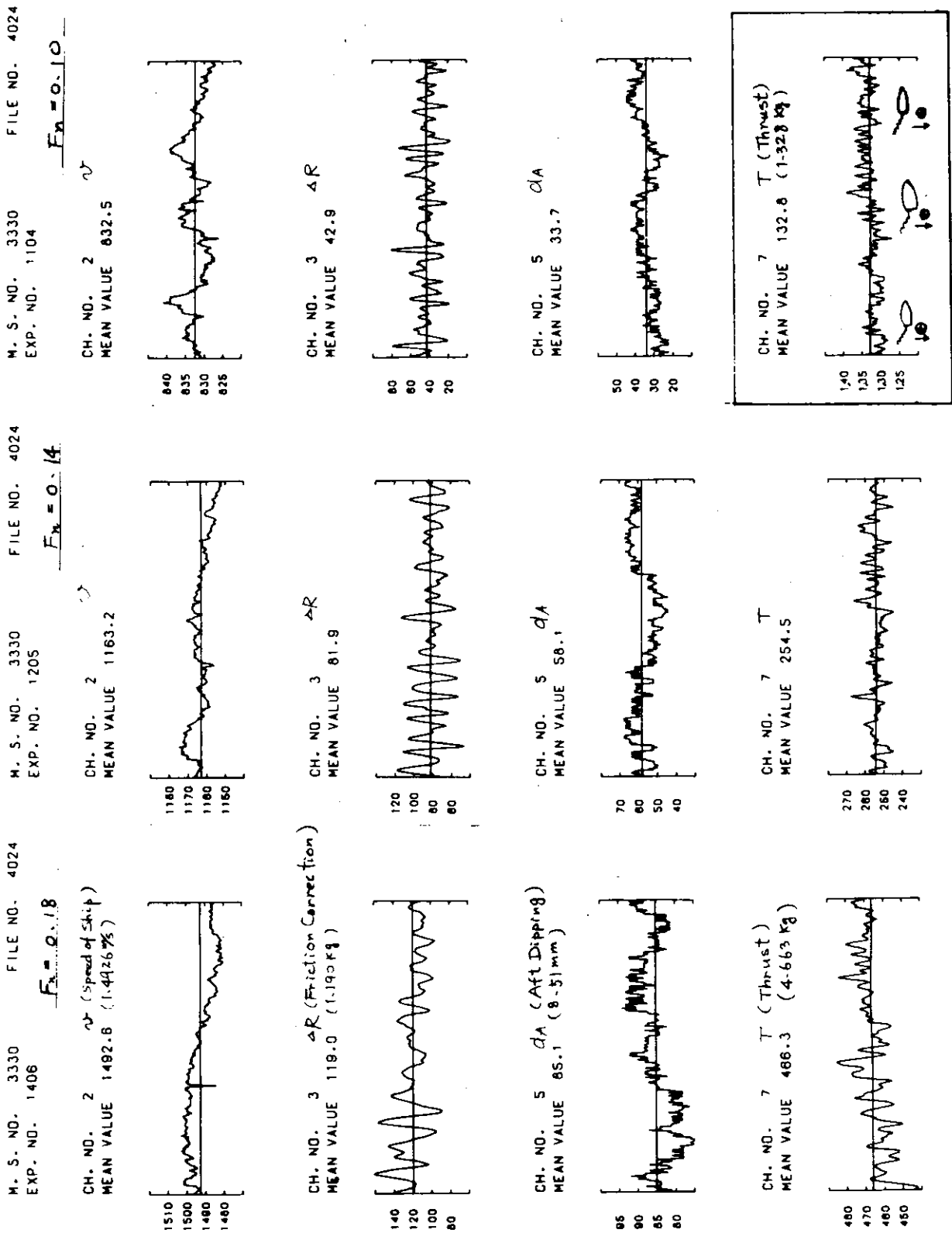


Fig. 3.3.3.3 Records of Propeller Location Change Test
(65% Load, Propeller Location is Normal)

Y_A : Relatively Small (65% Load $F_n = 0.10$)



Y_A : Relatively Large (65% Load $F_n = 0.10$)



Photo 3.3.3.1 Water Surface Flow Pattern

3.3.4 舵の有無による影響

(1) 試験の目的

舵の運動・推進性能におよぼす影響の調査・研究はいままでに数多く行われている。

肥大船型の自航試験の際現れる“不安定現象”に対する舵の影響を明らかにするため、以下の試験が計画された。

(2) 試験状態等

試験は、Full Load、65% Loadおよび44% Loadの各載荷状態において、それぞれ舵つきの場合と舵なしの場合に自航試験およびプロペラ荷重度変更試験が行われ、抵抗試験はFullおよび44% Loadの2状態で数点計測された。

計測項目としては、共通の試験方案に準じている。

(3) 結果と考察

抵抗試験の結果はFig.3.2.1.1にみられるように、剰余抵抗係数 C_R としては舵のない方が舵つきの場合にくらべて高目にてている。

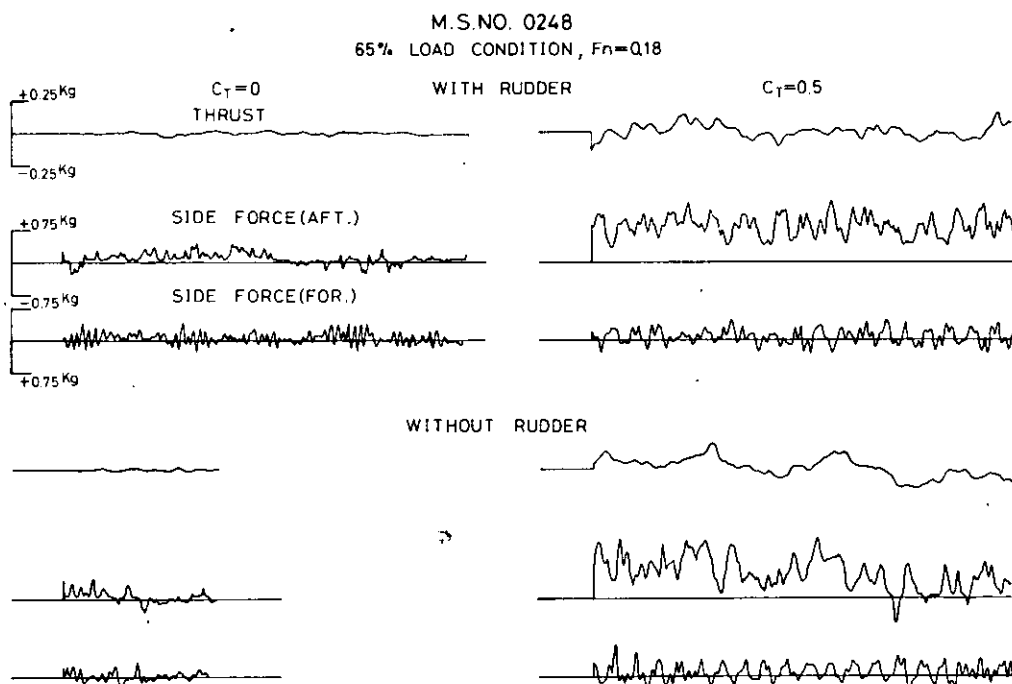
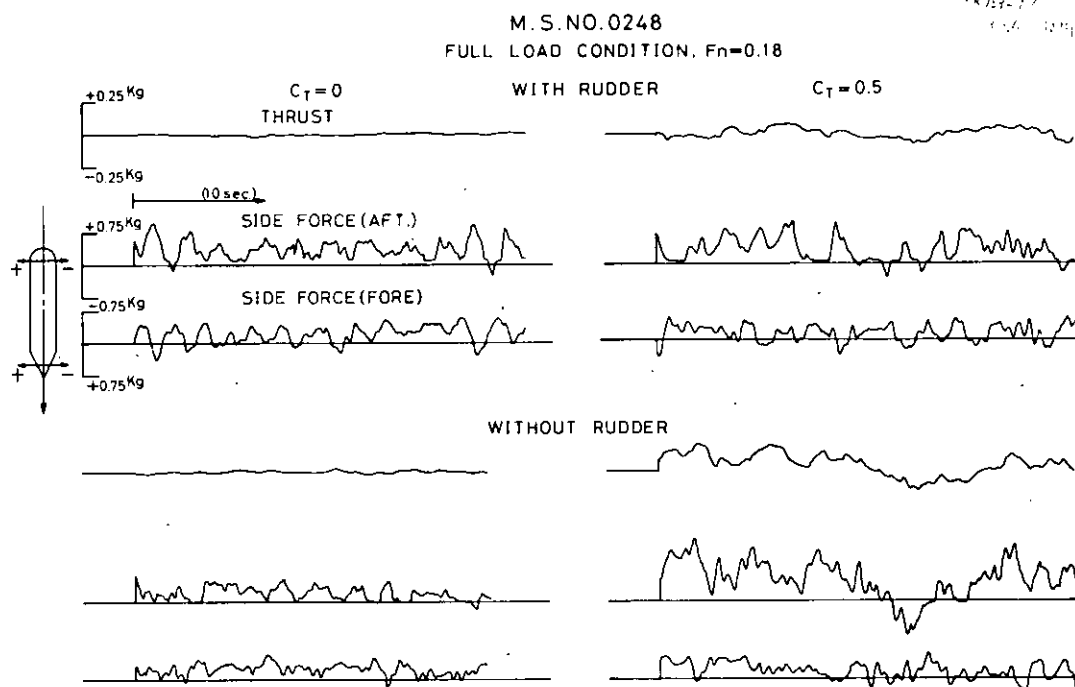
横力は計測しなかった。

Fig.3.2.1.4に、各状態における自航要素と横力を示した。自航要素のなかでは、 $1 - W_T$ の値が舵の有無により変化しているが、これは舵の整流効果の影響と考えられる。ただ、舵の有無による $1 - W_T$ の値の差は、載荷状態によってはあまり変化していない。

各状態の舵の有無におけるプロペラ荷重度変更試験のアナログ記録の例をFig.3.3.4.1～3.3.4.3に示す。この図には、負荷が最も小さい（スラスト0付近）ときと、比較的大きい（スラストが大）場合の2種類のスラストと横力が示されている。計測点から判断されるところでは、舵の存在が不安定現象の出現に対して重要な要因になっているとは考えられないが、アナログ記録から次のようなことがわかる。

- (a) 舵の有無にかかわらず、載荷状態によって横力の変動が異なる。すなわちFull Loadが65%や44% Loadにくらべて横力の変動幅が大きい。
 - (b) 舵の有無にかかわらず、 $C_T = 0$ （スラスト0）にくらべて $C_T = 0.5$ （スラスト大）の方が、スラスト、横力とも変動が大きい。
 - (c) 舵のない場合は、舵つきの場合にくらべて、スラスト、横力とも変動が大きい。これは、舵がプロペラによる非対称性をキャンセルさせるためと思われる。
 - (d) 一般的に舵つきの場合は、横力が短い1、2秒の規則的な周期で変動しているが、舵がない場合には、この他さらにもっと長い非周期的の変動が付加されている。
 - (e) 横力の計測は、計測器、計測系を含めて難しい問題であり、現在の結果も、S.S.9 $\frac{1}{4}$ やS.S.1の点における横力を表しているにすぎない。したがって、今後不安定現象判断の基準に用いられるためには、計測法の標準化やデータの蓄積をはかる必要があると思われる。
- (4) おわりに

当所では、今回の試験方案に基づいた自航試験法を始めて実施したが、常用のデジタル型の計測機器を使用した結果をみると応答のおそい計測器にはいくつかの問題点が見受けられる。したがって例えば変動抵抗動力計やアナログ型自航動力計の使用も検討の必要があろう。



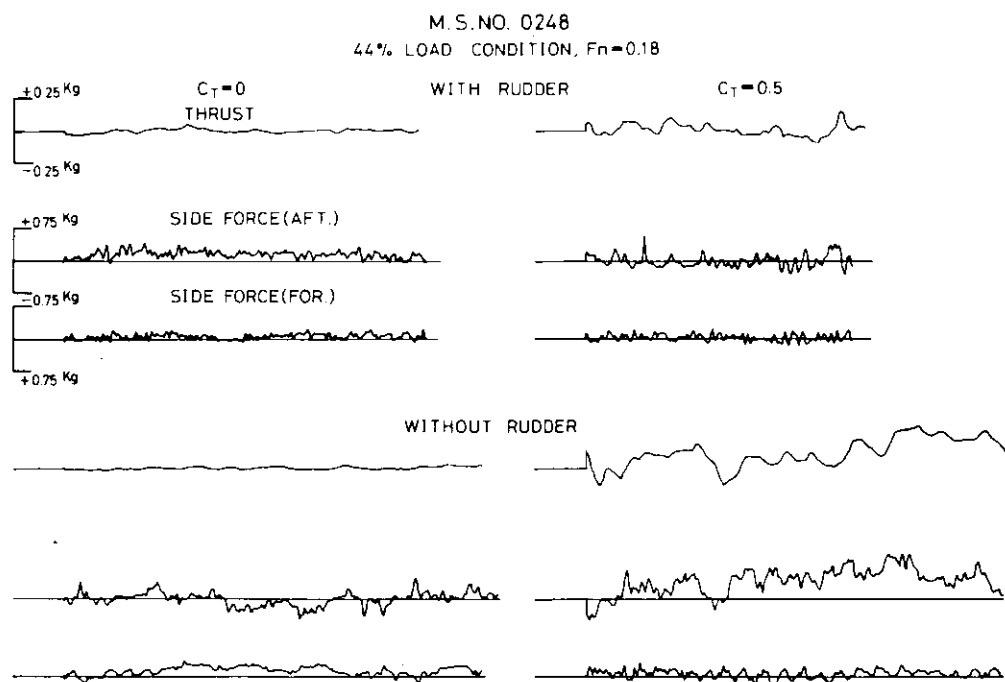


Fig. 3.3.4.3 Example of Records (3)

3.3.5 相似模型船の試験結果の比較

三菱重工業㈱長崎研究所においては、今回実施した7m木製模型船による持ち廻り試験のほか、4m相似模型船についての基本項目に関する試験を第1年度(50年度)に実施している。この基本項目の試験内容は7mの場合とほとんど同一であるので尺度影響の調査のため両者の比較を行った。なお4m模型船に関する詳細は本研究部会第1年度報告書¹⁾を参照いただきたい。

以下M2401が今年度実施した7m模型船、M2355が前年度実施の4m模型船を示す。

(1) 抵抗試験結果の比較

Fig.3.3.5.1～Fig.3.3.5.5に7m、4m模型船の抵抗試験結果の比較を示す。

Fig.3.3.5.1はCorrelation LineとしてI.T.T.C. 1957 Lineを採用した場合の剰余抵抗係数の比較である。全般的にScaleの大きいM2401の値が小さいが、44% Loadのみ $Fn = 0.18 \sim 0.20$ でクロスし、これより高速側では逆に大きくなっている。Fig.3.3.5.5に示す船首尾沈下量の比較図では44% Loadのこの速度領域で4m模型船M2355の船尾の沈下量が小さく、トリムが少なくなっている。上記抵抗値の傾向とある程度符合しているが、両模型船とも大水槽で試験を行ったため7m模型船の方がBlockageが大きく、Blockage Effectを修正すると7m模型船の方の抵抗値が減少するので剰余抵抗のクロスする現象は解消する方向にある。

Fig.3.3.5.2～Fig.3.3.5.4にHughes Basic Lineを使用した場合の造波抵抗係数 C_W の比較を示す。両者の形状影響形数はTable 3.3.5.1のように異っているのを7m模型船の値に統一して示したが4m模型船の C_W は小さく、4m、7mの C_W の一致度は悪い。本船型の尺度影響についてはすでに船舶技術研究所、三菱重工業㈱長崎研究所共同で実施した研究成果が発表²⁾されており、4m、6m、9mのGeosimより求めた C_W および K ならびにその時の計測値のバラツキの程度を夫々Fig.3.3.5.6、Fig.3.3.5.7に示すが、今回の結果はこれに比べて明らかに一致度が悪くなっている。

この原因としては持ち廻り模型船の変形の影響などが考えられるが、今回の研究の目的は自航試験結果におよぼす諸影響の調査にあるので、抵抗上の問題にはこれ以上立ち入らないこととする。

(2) 自航試験結果の比較

Fig.3.3.5.8～Fig.3.3.5.10に5m、7m模型船の夫々の状態における自航要素の比較を示す。全般的に見ると t 、 W 、 η_R 共に4mの方が大きい傾向を示すが、44% Loadでは t の差は全くなく、 W も低速域で7mと同程度の低い値も得られており、4mではこの状態では2種の伴流が現われているのではないかと考えさせられる。

なお4m模型船でも船首尾のガイドを用いて横力計測が行なわれているが、計測量が小さく精度が低いので直接比較することはさし控えた。しかしその作用方向などは7m模型船とよく類似しており、変動の割合は4m模型船の方が大きい。

(3) プロペラ荷重変更試験結果

Fig.3.3.5.11に本研究部会で実施した2隻に、さらにこれまでに三菱重工業㈱長崎研究所で実施した相似模型船の結果を加え、合計6隻のプロペラ荷重変更試験によって得られた伴流係数 W を示した。試験速度はいずれも $Fn = 0.18$ である。模型船番号と模型船寸法は次の通りである。

M.2043	4m	} SR159において実施
M.2153	5m	
M.2023	6m	
M.2154	8m	
M.2355	4m	
M.2401	7m	

Fig.3.3.5.11によると、Full Loadにおいてはどの模型船の W もプロペラ荷重 C_T の増加と共に

に減少し一定値に落ちつく傾向を示している。しかしWの値自身は6m以上と4~5mとはっきり2つの値に分れており、模型船寸法の増大にともなってなだらかに変化するような傾向は見られない。

一方65% Loadおよび44% Loadでは、6m、7m、8mの模型船のWが C_T によってほとんど変化しないのに対し、4m、5m模型船では逆に C_T の増加と共にWが増加し一定値に落ち着くという極めて特異な変化を示している。また44% Loadにおいて6m模型船は2種のWを示し、さらに C_T が増加すると大きい方のWに落ち着くような傾向が示されている。

以上のことは模型船寸法の変化に伴って、船尾流場の様相はFull Loadも含めて複雑に変化していることを示しているように思われる。これらが単に同じ種類の変化の大小を示すのか、あるいは異なる性質の流れの発生を示すのか、十分注意深く分析して行くことが必要である。

Fig.3.3.5.12に $C_T \div 0$ におけるWの値をHughes Basic Lineベースに表示した結果を示す。 $C_T \div 0$ の場合の船尾流場は抵抗状態に相当するものであるが、この場合のWも必ずしも C_f に対して滑らかなカーブを形成せず、抵抗状態においても船尾流場が変化する可能性のあることを示している。

以上の結果から見て、本研究部会における2m、4m、7m模型船の船尾流場をプロベラの有無、荷重量変更を含めて十分比較観察する必要があるように思われる。

文 献

- 1) 第159研究部会 「新経済船型開発のための肥大船尾まわりの流場に関する研究」
日本造船研究協会、研究資料No.255 (1976-3)
- 2) 渡辺恭二、横尾幸一、藤田 孝、北川弘光
「Study on Flow Pattern around the Stern of Full Ship
Form by Use of the Geosims」
日本造船学会論文集 第131号 (1972-6)

Table 3.3.5.1 Comparison of Form Factor

Model Condition		M. 2401(7m)	M. 2355(4m)	Geosim(Reference2)
Full Load Even Keel		0.455	0.450	0.480
65% Load 1%A Trim		0.482	0.419	0.362
44% Load 2%A Trim	$F_n = 0.10$			0.270
	0.14	0.443	0.423	0.235
	0.18	(const.)	(const.)	0.200
	0.22			0.178

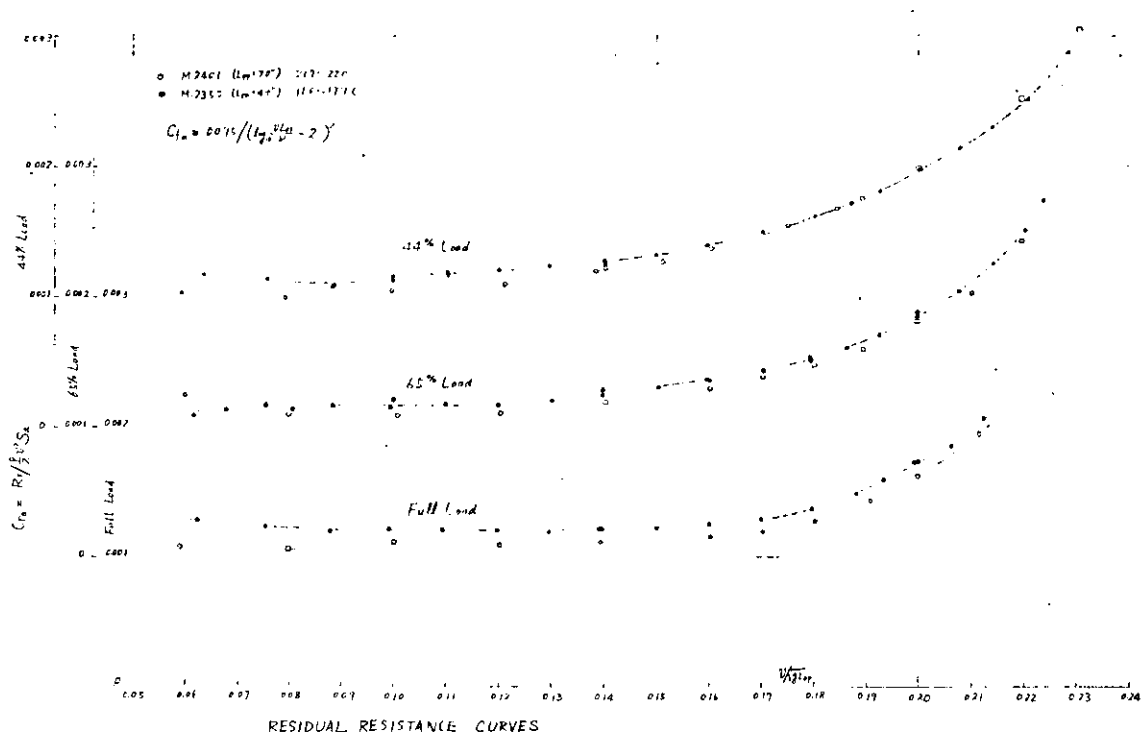


Fig. 3.3.5.1

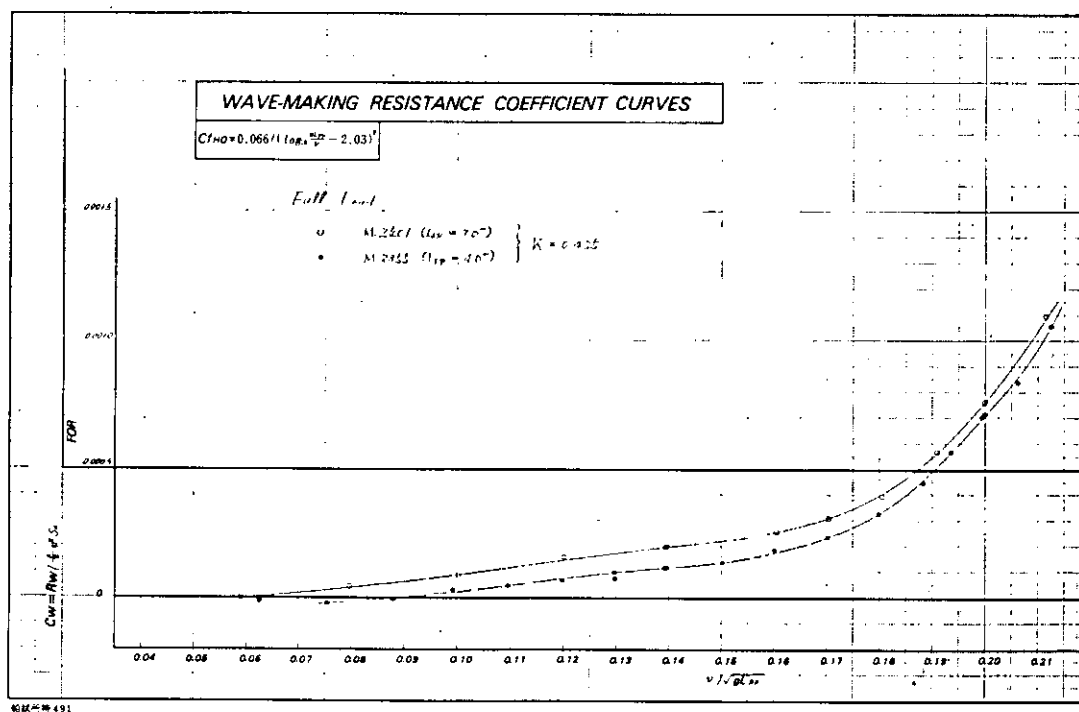


Fig. 3.3.5.2 Wave-making Resistance Coefficient Curves

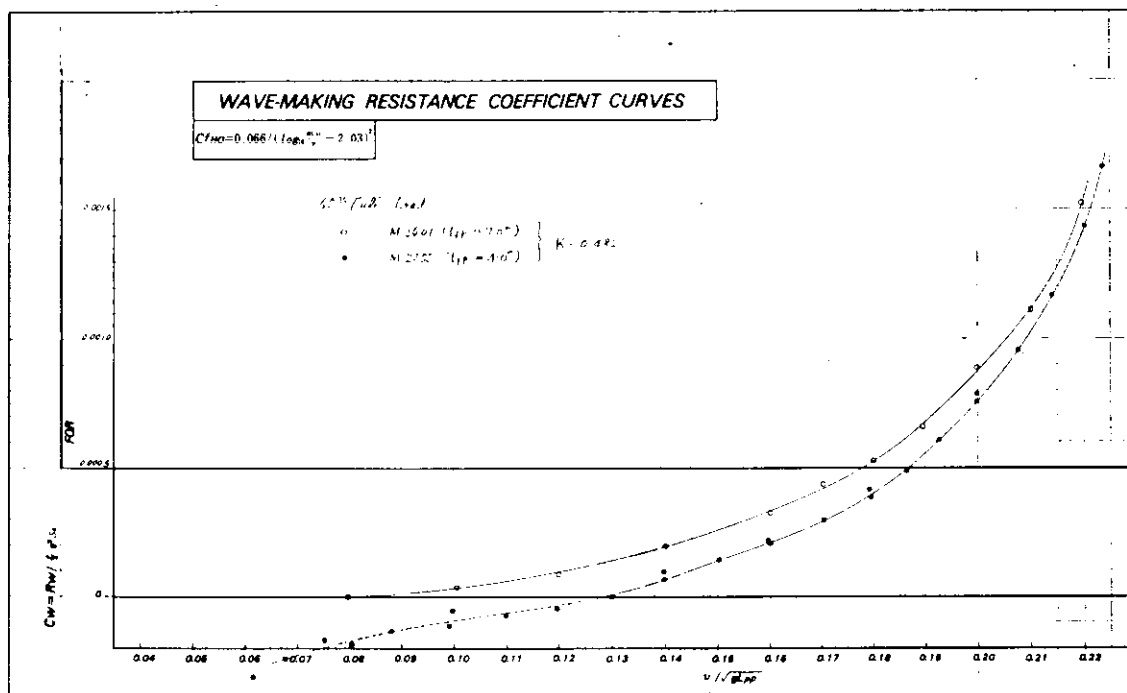


Fig. 3.3.5.3 Wave-making Resistance Coefficient Curves

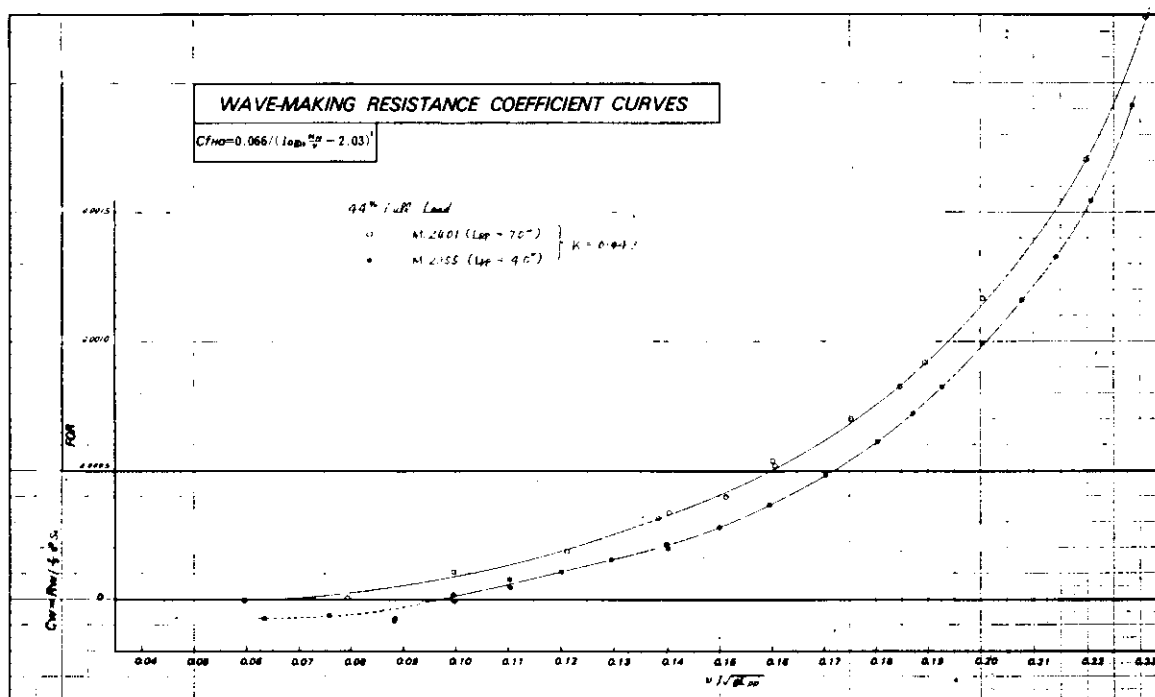


Fig. 3.3.5.4 Wave-making Resistance Coefficient Curves

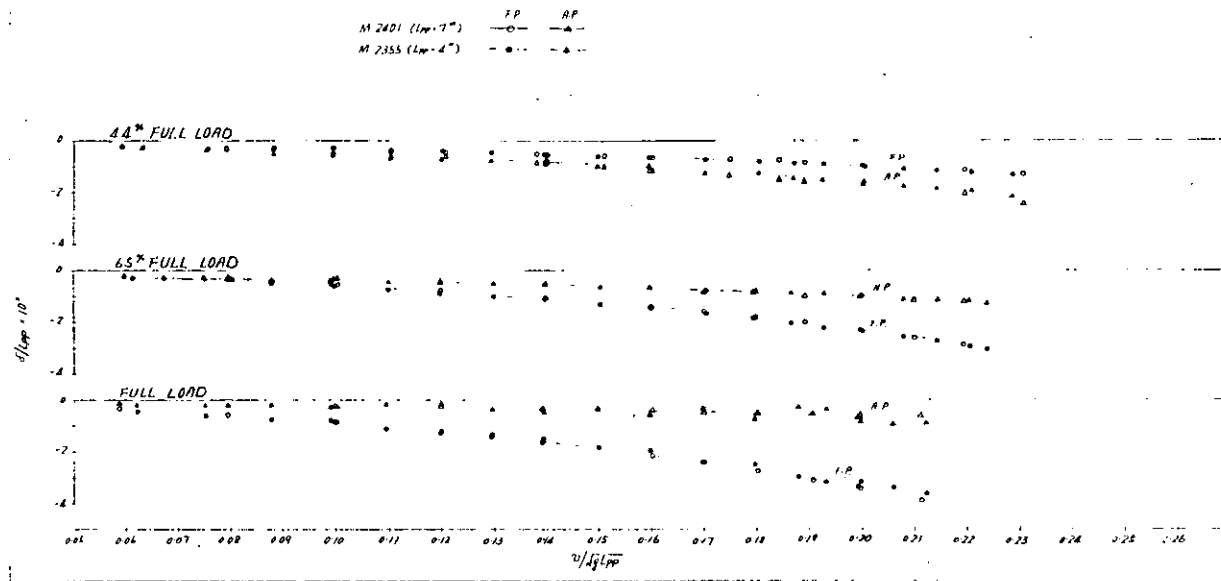


Fig. 3.3.5.5 Dipping Curves

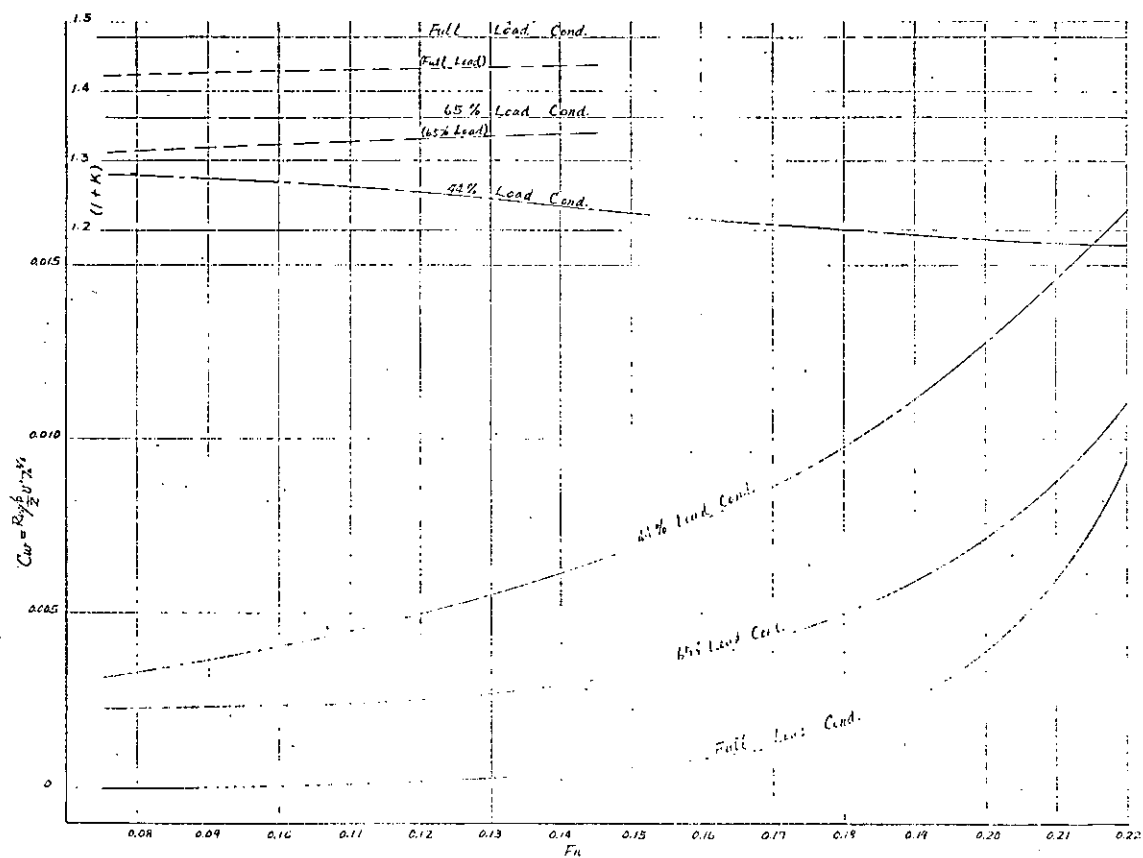


Fig. 3.3.5.6 Analyzed C_w and $(1+K)$

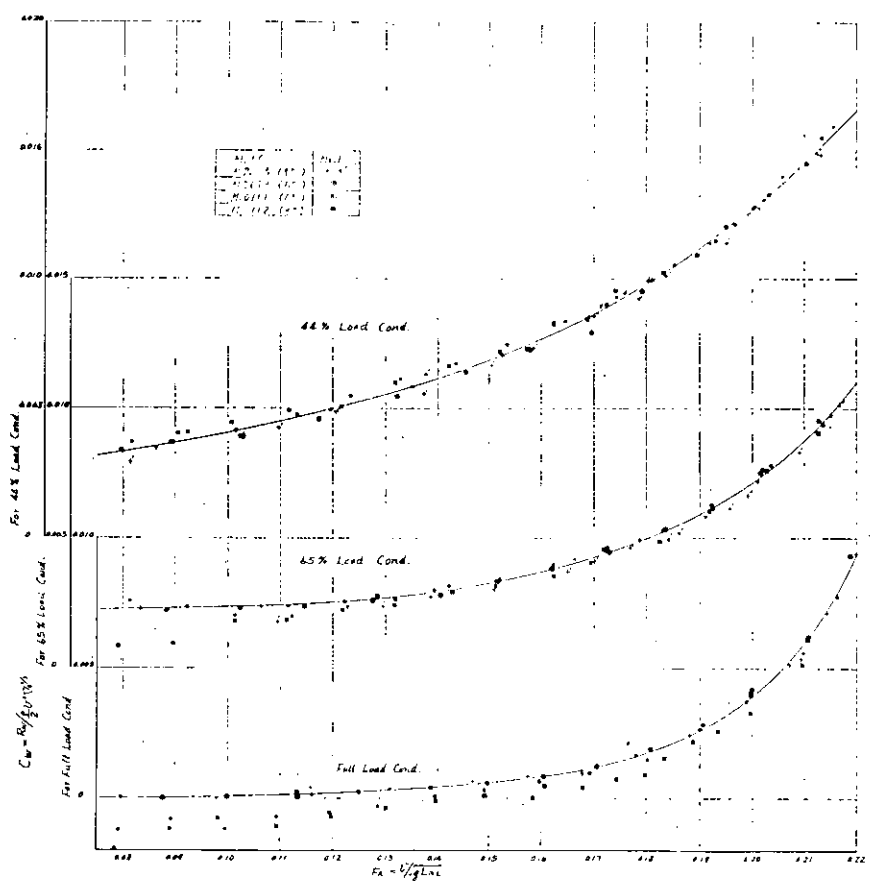


Fig. 3.3.5.7 Plot of Wave-making Resistance Coefficient

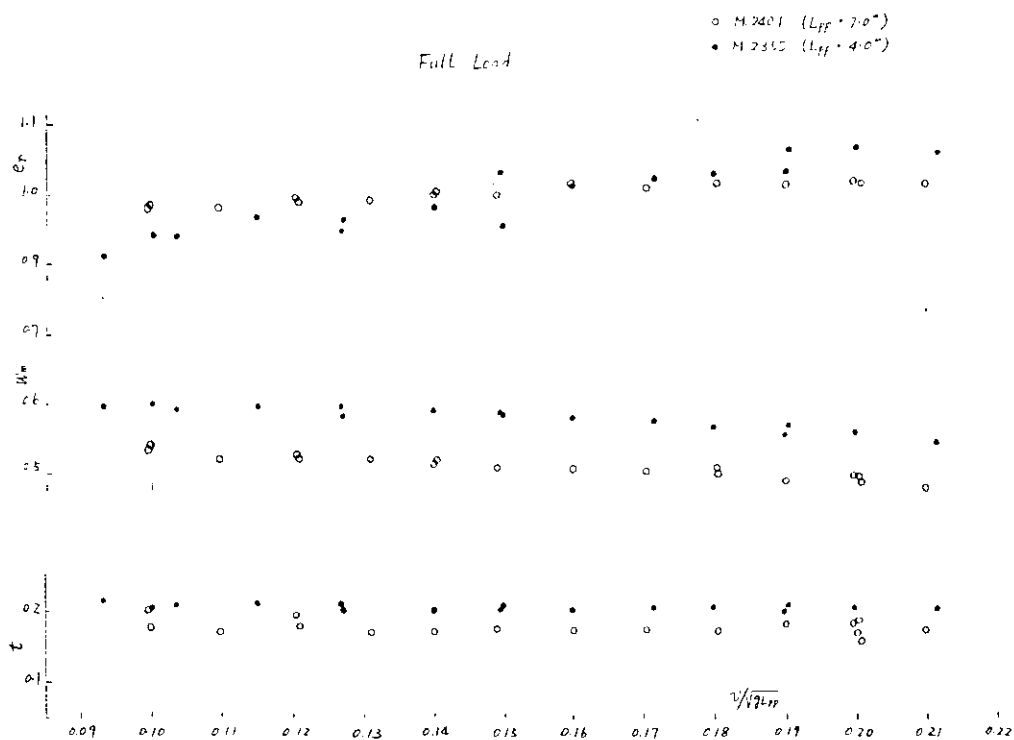


Fig. 3.3.5.8 Self-Propulsion Factors

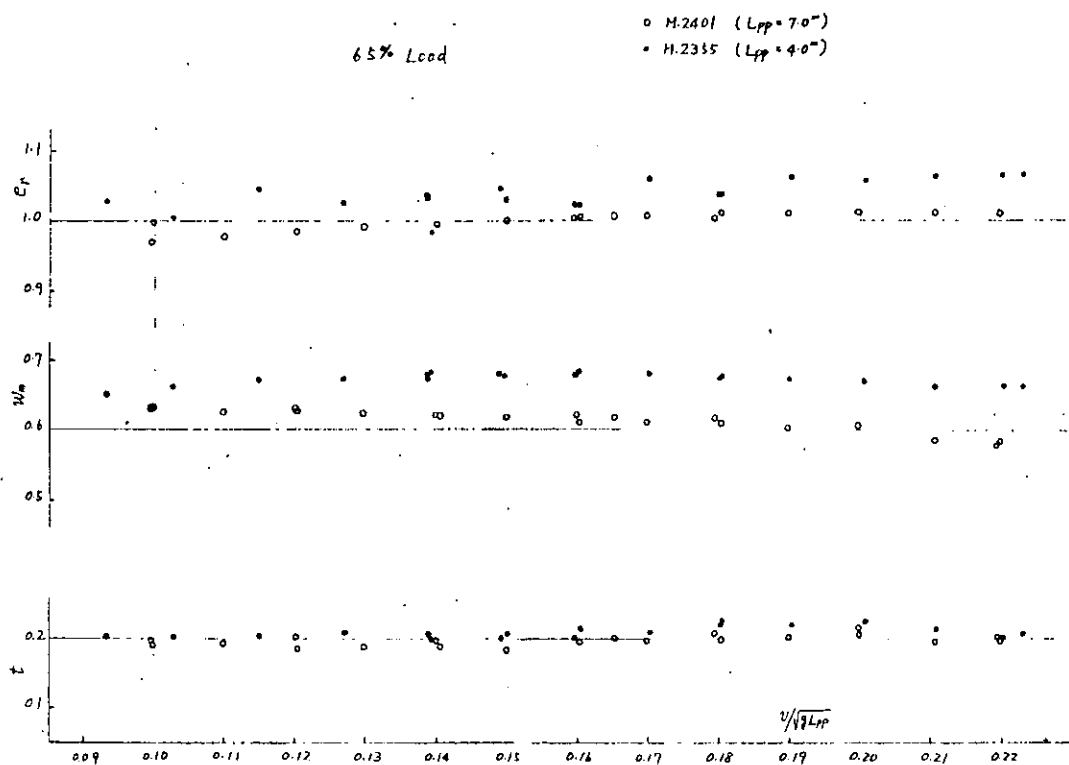


Fig. 3.3.5.9 Self-Propulsion Factors

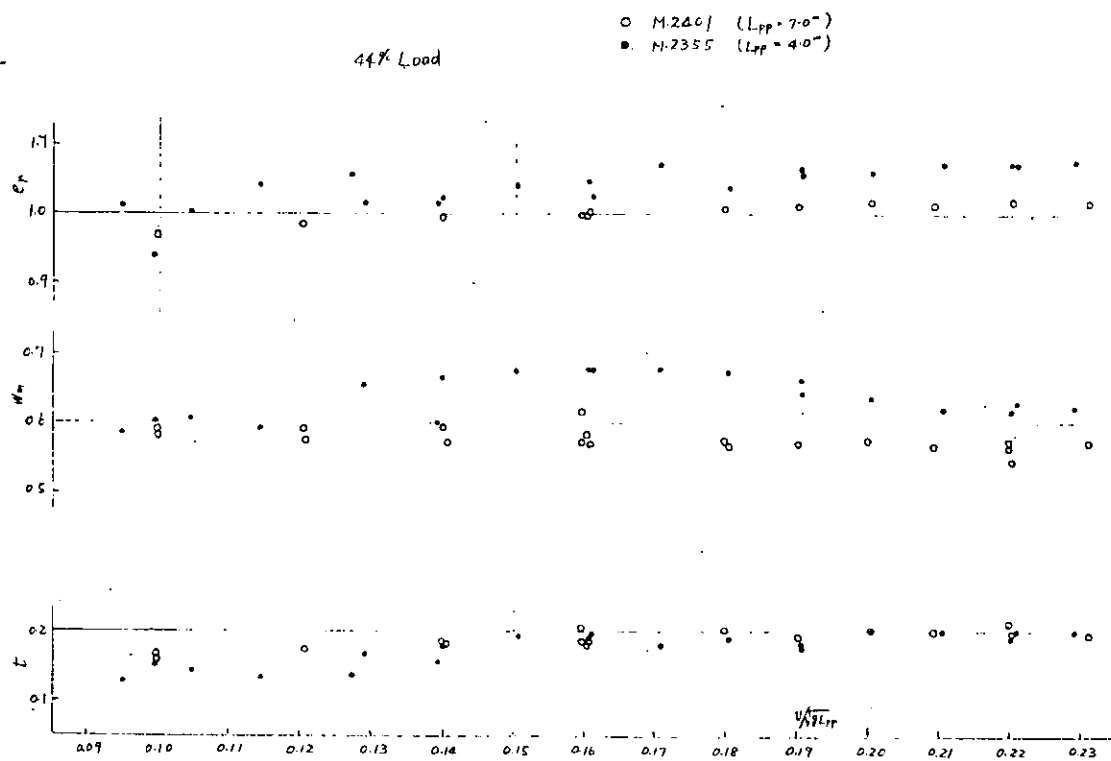


Fig. 3.3.5.10 Self-Propulsion Factors

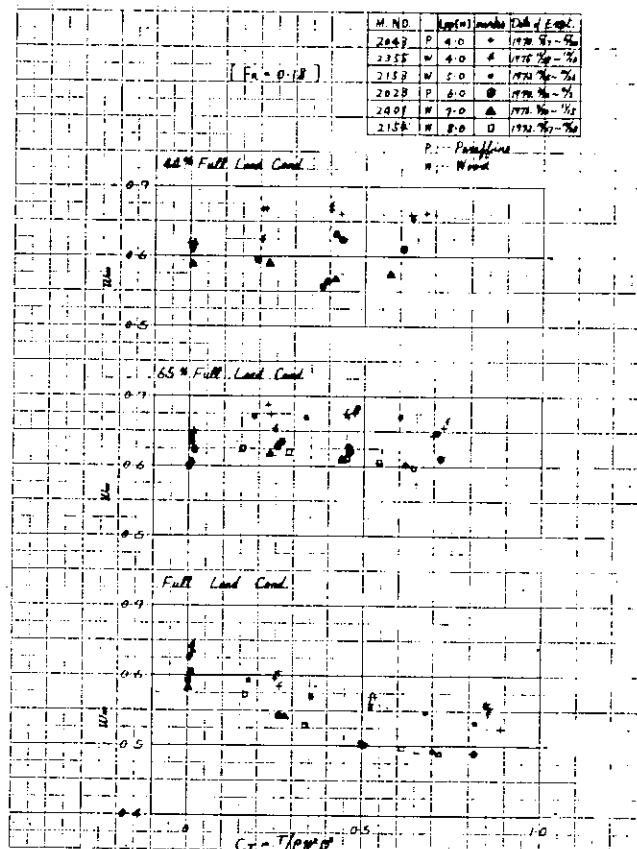


Fig. 3.3.5.11 Effect of Propeller Loading on Wake Fraction

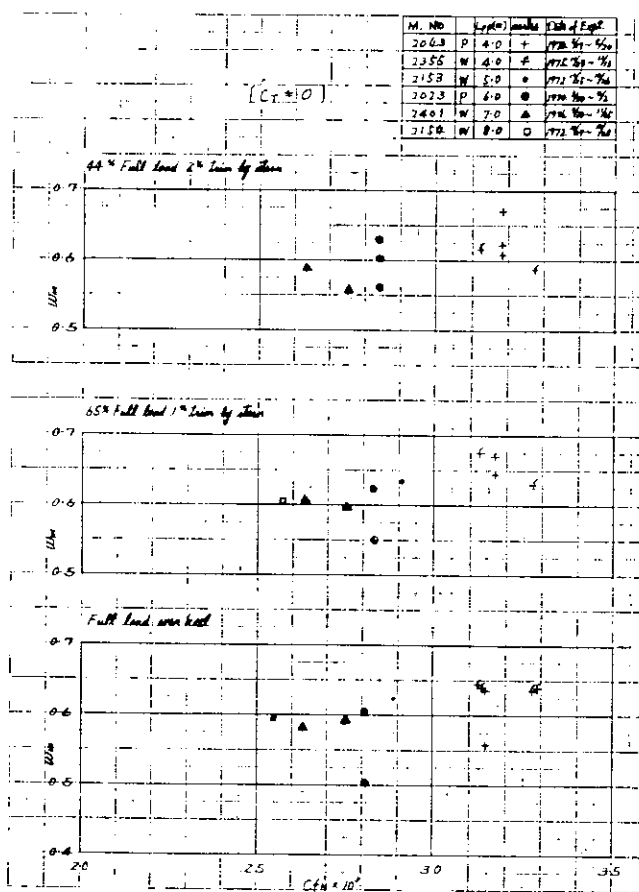


Fig. 3.3.5.12 Plot of W_m on the Basis of C_{fH}

3.4 持ちまわり試験の評価と今後の問題

以上をもって2ヶ年間にわたって実施された、国内大水槽間の持ちまわり自航試験は終了した。この間模型船の変形や、水槽間の試験方法ならびに解析方法の相違など種々の問題に遭遇したが、関係者の努力によって一応の成果をあげる事が出来たものとする。各水槽間の試験結果については3.3節で種々の面からの解析が行なわれているが、概してその一致度は良好で、はからずも国内各水槽のレベルが良くまとまっている事を傍証する結果となった。

持ちまわり試験の主目的であった船尾流場の不安定現象の実態把握に関しては、いずれの水槽においてもほぼ同様の結果が得られており、この現象が試験設備や計測装置、試験方法など夫々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、そして主原因は船尾の流場が左右非対称となり、その非対称さが、ある頻度で左右に変化することにあることがほぼ明らかにされた。今回の供試船型においては、曳航状態における船尾流場は対称と考えてさしつかえないことからみて、非対称性はプロペラの作用に起因して生ずると思われるべきで、その回転方向によって非対称流場が変化する様相が影響を受ける。このような船尾非対称流場の発生原因の調査が今後の基本的な研究テーマになるものとする。

次いで実用上の見地からは、このような非対称流場がどの程度の船尾肥大度や船尾形状から発生しはじめ肥大度の増加と共にどのように影響して行くかを知ることが必要である。また今回の研究では、同一船型においても、模型船の尺度、プロペラ荷重、プロペラ前後位置、舵の有無などによって微妙に変化することが示されており、この方面の評価を明確にすると共に、さらにプロペラの大小やその上下位置による影響をも明らかにして、船型とこれらの影響を分離して把握できるようにして行くことが必要である。

船尾の非対称流場と船尾横力の発生とは密接な相関があり、これはさらに船尾後方に生ずる水面の乱れすなわち潮目の流出方向とも密接に関係している。これらの詳細については次章で検討が行なわれているが、要約すると次の通りとなる。

プロペラ回転方向、	プロペラ推力、	船尾横力の作用方向、	潮目の流出方向
右	大	右	左
右	小	左	右

(方向はいずれも船の進行方向を基準として表示している)

このプロペラ推力の大小が船尾流れの非対称性にもとづいて生じていることは明らかであるが、これが推力一致法によって解析される通り前進方向の伴流の大小によって生ずるものか、あるいはプロペラ位置における回転流の変化(回転方向の変化あるいは回転流の大小)によって生ずるものかは、現在ではまだ明らかではない。前節のFig.3.3.5.10~Fig.3.3.5.12の計測例や、本研究部会第1年度報告書¹⁾のFig.3.2.1~Fig.3.2.2より見て、不安定流場におけるWの変化の範囲は0.1程度と考えられる。したがって今回の7m模型船65% Loadにおいて、プロペラ位置の流れが一様に左方向に回転していると仮定した場合、見掛上のWが0.610となり、逆に同じ量だけ右方向に回転していると仮定した場合、見掛上のWが0.510になるものとして、回転流の大きさを求めると、 $Fn = 0.18$ での自航状態でのプロペラ回転数の $\pm 3\%$ の回転流が存在することとなる。今これをプロペラの0.7Rにおける周速で代表させると、模型船の前進速度の $\pm 13\%$ となる。この値をFig.3.2.4.10~Fig.3.2.4.12の伴流分布図と比べて見た場合、これだけの大きさの変化をプロペラDisc面内に一様に生ずることが可能かどうか、速断しかねるところである。むしろ前進方向の速度成分の変化と回転成分の変化とが同時におけると考える方がより実際的かも知れない。

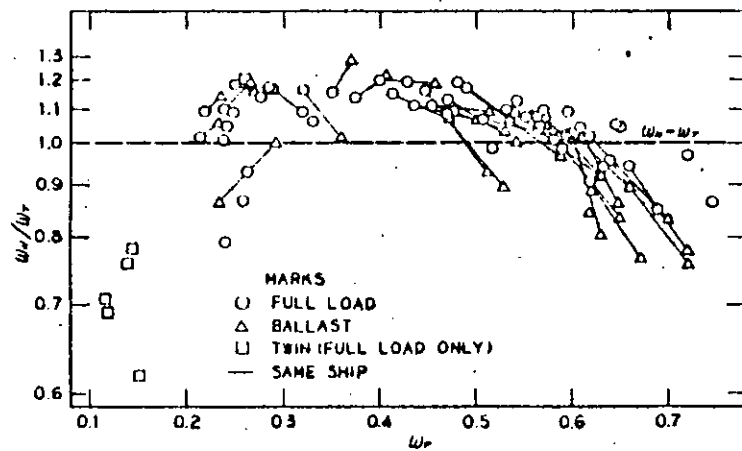
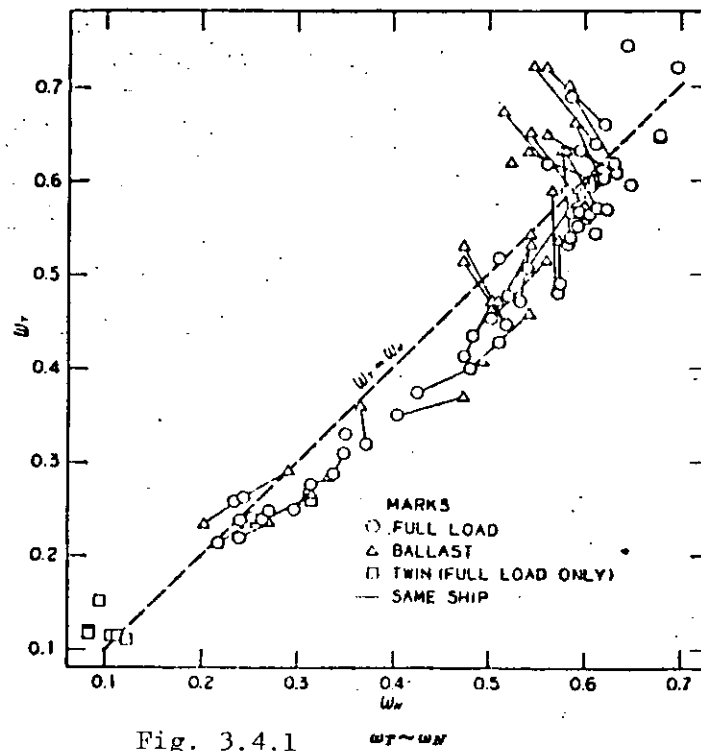
このような流場変化がプロペラの作用によって生ずるわけであるから、プロペラ作動状態において船尾流場の計測をねばり強く行って、非対称流場の様相を確認する必要があることはいうまでもない。しかしこれまでの研究によると外部よりビトー管のような計測装置を船尾に挿入すると、流れ自体が安定化してしまう恐れがあるので、レーザー流速計のごとく直接計測装置をこの部分に挿入することなく変動の様相を計測出

来ることが望ましい。この点についても今後の検討が必要である。

船尾の非対称流場の発生を検出する手段として船尾横力の計測が有効であることが示された。したがって
今後はより精度の高い横力計測装置を備えて、その計測データを蓄積して行くことが必要である。船尾の非
対称流場の発生の有無と船尾肥大度の関係については、これから調査を重ねて、その実態を明らかにして行
くほかはないが、このような流場においては Fig.3.3.5.11 や Table 3.3.5.1 に示すように Effective
Wake が Nominal Wake (Volume Mean) より大きくなるのも、一つの目安と考えられる。このような
観点から佐藤の資料²⁾を見ると、Fig.3.4.1 ~ Fig.3.4.2 に示すように、 W_N (Nominal Wake) 又は W_T
(Effective Wake) が 0.6 附近より大きい領域では $W_T > W_N$ となっており、非対称流場の発生の有無の
一つの限界が与えられているように思われる。次年度の研究においてはこのような点を出来るだけつめて行
く事を考えたい。

文 献

- 1) 第 159 研究部会 「新経済船型開発のための肥大船尾まわりの流場に関する研究」
日本造船研究協会、研究資料 No.255 (1976 - 3)
- 2) 佐藤和範 「有効伴流と公称伴流」 日本造船技術センター技報第 4 号 (1976 - 7)



§ 4 船尾まわり流場の調査

4.1 まえがき

初年度は母船型の相似模型船 2 隻 (4 m と 2 m) を用いて船尾まわり流場の特性、特に不安定現象の発現状況を中心に実験的研究を行った。又、理論解析の足掛りとして境界層計算を実施し、それとともに従来発表された多数の関連文献を調査した。その結果、流場の特性の概略を知ることが出来たが、不安定現象そのものの全容についてはなお詳細な調査研究を続けることが必要であることが判明した。

そこで本年度は、不安定現象を含む船尾流場の特性を現象的に確認することを目標として前年度の研究の大筋を引ついでいくことにした。ただし前年度の母船型では不安定現象の発生が若干不明瞭であったので、今年度はその発生が顕著になるように多少 V 型を強めた相似模型船 2 隻 (4 m と 2 m) を製作し、研究を実施することにした。具体的な実施方法については前年度と同様で、(1)実験、(2)理論解析、(3)文献調査の 3 種に分け、(1)は更に基礎的項目と追加項目に 2 分し各機関で分担した。又、前年度模型についても適宜研究を継続した。

次の表にこれら研究項目と担当の一覧を示す。

研究項目	実 験					理 論 解 析	調 査
内 訳	4 m (51 年度模型)	4 m (50 年度模型)	2 m (50 年度模型)	2 m (51 年度模型)	7 m (50 年度模型)	(境界層 計 算)	
	基礎項目 追加項目	追加項目	追加項目 / 基礎項目	// →	// →		
担 当	三菱 広大	阪大 船研	東大(梶谷) 横大 三井	府大 鋼管	石播	広大 府大	東大 (出古里)
備 考					自己資金		

4.2 51年度船型の決定とその製作

本年度は昨年度とは異った船型について様々の調査を実施することになった。その際、新しい船型の設計について田村委員より以下のような趣旨の提案があった。

- (1) 50年度船型(SR61母型)と、主要目および船体前半部フレーム・ラインを同一とし、船体後半部のフレーム・ラインを変える。
- (2) 船体後半部のフレーム・ラインは、50年度船型と比べて、肥大度を変えることなく、下半部がやせて上半分が肥えた形状とし、最近の中小型船型($L_{pp} = 100 \sim 200 m$ 程度のもの)の平均的フレーム・ライン(50年度報告書Fig.3.2.5参照)に同様な形状とする。
- (3) 船尾骨材や舵の形状は、新船型の線図の傾向と50年度船型との見合いで決定する。

この提案の理由は以下のとおりである。

- (1) 50年度船型の試験結果をみると、7m模型、4m模型ともに、65% Load、44% Load ではSタイプの流場(渡辺の定義による表現、以下同様)に安定しているものと判断される。そのために、2種の流場の間を変動する、いわゆる不安定現象は生じなかった。
- (2) 不安定現象を生じさせようとすれば、2種の流場が共存し得るクリティカルな状態を選ばなければならない。そのためには、50年度船型に比べ、船尾をよりやせさせる方法ないし船尾フレーム・ラインの傾向をよりV型に変える方法がある。
- (3) 50年度船型より船尾をやせさせることは、矢崎のチャート(50年度報告書Fig.3.2.4参照)によると不安定領域より逸脱する可能性があり、また、最近の実用船型とも異ってくるため好ましくない。よって、フレーム・ラインの傾向を変える方法がよい。
- (4) このように、フレーム・ラインを最近の中小型船型の傾向に合わせることになるので、本研究を最近の建造船と関係づけることができ、造船所に対してもより直接的なデータを提供できる。
- (5) 新船型で流場がFタイプの方に安定してしまい不安定現象が発生しない場合でも、50年度船型の試験結果と対比することによって、FタイプおよびSタイプの2種の流場に対応するデータが得られることになり、一応の成果を期待することができる。

この提案に基き検討がなされた結果、この提案にそって新船型(51年度船型)を日本造船技術センターで設計することになった。

51年度船型の設計基準は以下のとおりである。

- (1) 主要目、 C_p カーブ、船体前半部のフレーム・ライン形状、および船尾骨材と舵の形状は、50年度船型と同一とする。
- (2) 船体後半部のフレーム・ラインの変更量は、フェアリング上やむを得ない所以外は、田村委員提案のものと同程度とする。

その結果を、50年度船型と比較して、Table 4.2.1とFig.4.2.1に示す。なお、軽い状態の試験状態は、トリムと満載状態との排水量比(65%と44%)が50年度船型の場合と同一になるという条件で決定された。

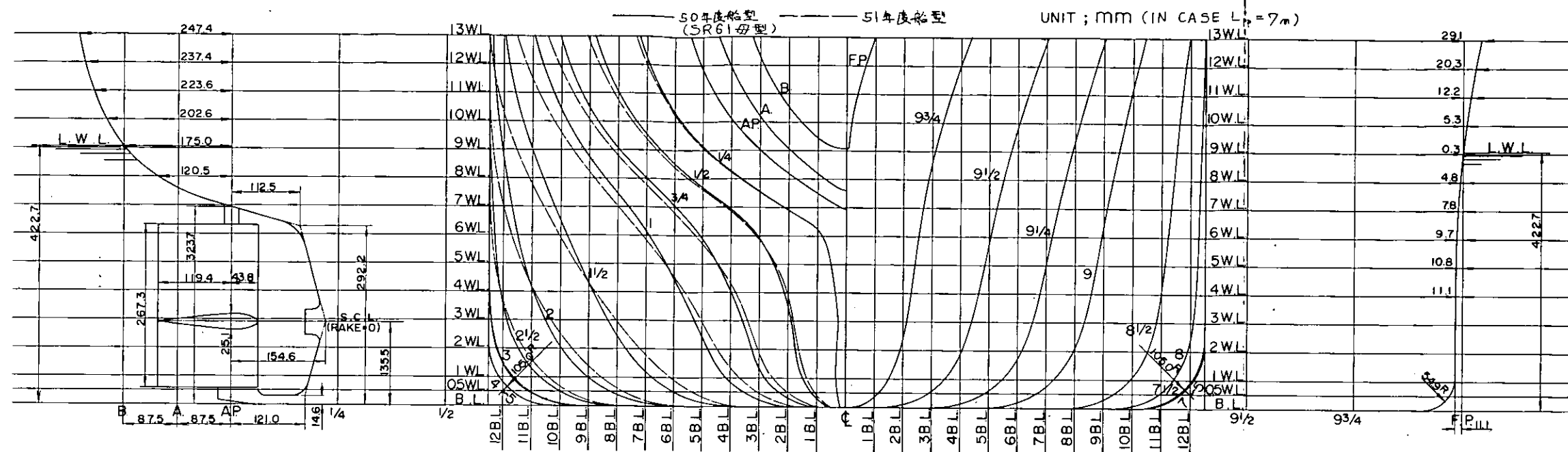
TABLE 4.2.1 TEST CONDITION ETC

Model	50 年度 船 型			51 年度 船 型		
Condition	FULL	65 %	44 %	FULL	65 %	44 %
C_B	0.8017	0.7760	0.7533	0.8019	0.7743	0.7496
C_{BA}	0.7694	0.7762	0.8243	0.7699	0.7725	0.8163
C_P	0.8096	0.7873	0.7690	0.8098	0.7855	0.7652
C_{PA}	0.7769	0.7875	0.8416	0.7774	0.7838	0.8332
C_W	0.8750	0.8317	0.8118	0.8807	0.8369	0.8149
C_{WA}	0.8824	0.8132	0.7861	0.8939	0.8235	0.7922
C_M	0.9903	0.9857	0.9795	0.9903	0.9857	0.9797
ℓ_{CB} (%)	-1.4802	-0.4565	2.1349	-1.4724	-0.5489	1.9377
d_A (m)	0.4227	0.3189	0.2680	0.4227	0.3196	0.2690
d_F (m)	0.4227	0.2489	0.1280	0.4227	0.2496	0.1290

d_A & d_F correspond to $L_{pp} = 7$ m

Table 4.2.2 Principal Particulars of Models

Model	4 m Model			2 m Model		
	Full load	65 % Full load	44 % Full load	Full load	65 % Full load	44 % Full load
L_{pp} (m)	4.000			2.000		
L_{DWL} (m)	4.100			2.050		
B (m)	0.6667			0.3333		
d_m (m)	0.2416	0.1626	0.1137	0.1208	0.08131	0.05686
trim (%)	0	1.00	2.00	0	1.00	2.00
$\triangle a$ (kg)	516.75	335.93	227.44	64.59	41.99	28.43
S_a (m^2)	3.834	3.161	2.758	0.9585	0.7903	0.6895
C_B	0.8019	0.7743	0.7496	0.8019	0.7743	0.7496
C_P	0.8098	0.7855	0.7652	0.8098	0.7855	0.7652
C_M	0.9903	0.9857	0.9797	0.9904	0.9857	0.9797
z_{cb} (%)	48.53	49.45(E.K.)	51.94(E.K.)	48.53	49.45(E.K.)	51.94(E.K.)



4.3 4m 模型船による実験とその考察

4.3.1 基礎的項目

(1) 試験概要

基礎的項目として実施した試験は昭和50年度と同様で、抵抗試験、自航試験、プロペラ荷重度変更試験およびプロペラ単独試験である。各試験における計測項目および計測方法も昭和50年度とほとんど同じであるが、概略を以下に記す。

(a) 抵抗試験

試験状態は Full load even keel、65% full load 1% trim by stern および 44% full load 2% trim by stern の3状態である。各状態の主要目は Table 4.2.2 に示されたとおりである。

計測項目は、対水速度、船体抵抗、船首尾沈下量、船首尾ガイドに作用するサイドフォース等であり、昭和51年度は抵抗状態における船体表面圧力計測は実施しなかった。これは昭和50年度の計測結果から判断して、抵抗状態では圧力変動がほとんどないこと、抵抗試験時に圧力計測を行うと、圧力変換器のコードが抵抗計測の精度を落す可能性が強いことなどから圧力計測は抵抗・自航試験とは切離し、自航状態流場観測の際に実施した。

試験速度範囲は昭和50年度と同じく Full load $V_m = 0.398 \sim 1.328 \text{ m/s}$ ($V_s = 6 \sim 20 \text{ Kn}$)、65% full load $V_m = 0.398 \sim 1.395 \text{ m/s}$ ($V_s = 6 \sim 21 \text{ Kn}$)、44% full load $V_m = 0.398 \sim 1.395 \text{ m/s}$ ($V_s = 6 \sim 21 \text{ Kn}$) である。

(b) 自航試験およびプロペラ荷重度変更試験

試験状態は抵抗試験と同一である。

計測項目は対水速度、推力(T)、トルク(Q)、プロペラ回転数、船首尾ガイドに作用するサイドフォース等である。

試験速度範囲は抵抗試験同様、昭和50年度と合せ Full load $V_m = 0.598 \sim 1.328 \text{ m/s}$ ($V_s = 9 \sim 20 \text{ Kn}$)、65% full load $V_m = 0.598 \sim 1.395 \text{ m/s}$ ($V_s = 9 \sim 21 \text{ Kn}$)、44% full load $V_m = 0.598 \sim 1.428 \text{ m/s}$ ($V_s = 9 \sim 21.5 \text{ Kn}$) である。またプロペラ荷重度変更試験は $F_n = 0.14$ ($V_m = 0.88 \text{ m/s}$, $V_s = 13.2 \text{ Kn}$) および $F_n = 0.18$ ($V_m = 1.13 \text{ m/s}$, $V_s = 17 \text{ Kn}$) の2速度について、Model point (SFC = 0) からスラスト $T \div 0$ まで4点計測した。

(c) プロペラ単独試験

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

(d) 自航状態流場観測

昭和51年度は当初より自航状態における船尾の流れを水中16ミリカメラと水上8ミリカメラにより撮影した。その際プロペラのスラスト、トルク、船体表面の圧力、船首尾ガイドに作用するサイドフォース等を計測し、不安定現象発生時に流場と各計測値の変化の対応が分るようにした。なお、船体表面の圧力計測位置は S.S. $\frac{1}{4} 9^{\text{mWL}}$ (BL上 150.0 mm)、S.S. $\frac{3}{8} 8^{\text{mWL}}$ (BL上 133.3 mm)、 2.5^{mWL} (BL上 41.7 mm)、S.S. $\frac{1}{2} 8^{\text{mWL}}$ 、 3^{mWL} (BL上 50.0 mm) の5ヶ所の左右対称位置合計10点である。計測点の位置を Fig. 4.3.1.1 に示す。

計測速度は Full load は $F_n = 0.10 \sim 0.20$ まで $F_n 0.02$ 間隔、65% full load および 44% full load は $F_n = 0.10 \sim 0.22$ まで $F_n 0.02$ 間隔とし、各状態とも $F_n = 0.14$ および $F_n = 0.18$ についてプロペラ荷重度変更状態における観測も実施した。

なお、上記各試験においてアナログデータとして記録可能であった抵抗、船首尾のサイドフォース

スラスト、トルク、船体表面圧力等は全てデータレコーダに記録し保存した。

(2) 試験結果

(a) 抵抗試験結果

抵抗試験の結果得られた計測値から、ITTC-1957 Friction line に対する剰余抵抗係数 C_{ra} を求めた結果を Fig.4.3.1.2 に示す。また Hughes の Friction line に対し Form factor を求め、造波抵抗係数 C_w を求めた結果を Fig.4.3.1.3 に示す。3 状態とも抵抗係数に大きなばらつきは見られないし、計測結果のアナログ記録を見ても、抵抗値が急変したりして、抵抗値が不安定と見られるような計測例はなかった。

つぎに昭和 50 年度船型の試験結果と比較した剰余抵抗係数曲線を Fig.4.3.1.4 に、造波抵抗係数曲線を Fig.4.3.1.5 に示す。昭和 50 年度船型に対し、Prismatic curve を変えずに Frame line をやや V 型に変えたため、剰余抵抗係数は全状態とも小さくなった。試験水温が昭和 51 年度の方が 6℃位高いので、同一水温で試験された場合この差は縮まる方向ではあるが、一致する程ではない。Hughes の Friction line に対する Form factor の値を比較すると次のとおりである。

M.NO	Full load	65% full load	44% full load
M. 2355 (昭和 50 年度船型)	0.450	0.436 *	0.423
M. 2431 (昭和 51 年度船型)	0.381	0.410	0.326
(参考値)	(0.402)	(0.390)	(0.348)

*第 1 年度データを見直して Form factor を決めなおしたもの。

65% full load を除いて昭和 51 年度船型の Form factor が、かなり小さな値となっているが、最低速度付近の計測点の値からほぼ機械的に求めたものである。今回の船型変更は、造波抵抗には余り影響を及ぼさないと考えられる船尾の Frame line の一部に限られているので、造波抵抗係数が同一となるような Form factor の決め方も一つの方法であるが、上記の Form factor による造波抵抗係数の比較図 Fig.4.3.1.5 をみても分るように、造波抵抗係数の傾向にわずかな差もみられるところから、一応上記の Form factor をそのまま採用しておいた。なお、造波抵抗係数曲線を大体一致させるようにして昭和 51 年度船型の Form factor を求めてみると、上表中の参考値の値となり、Full load から 44% full load まで昭和 50 年度船型と同傾向で小さくなるようである。

つぎに船首尾浮沈量曲線を Fig.4.3.1.6 に示す。これも昭和 50 年度船型同様、通常の安定な船型の計測結果と特に異なる点はみられない。

サイドフォースの計測結果も昭和 50 年度船型より変化が大きい事もなく安定したものであった。

以上の結果から判断して昭和 51 年度船型においても抵抗試験時には不安定な状態は現われていなかったと考えられる。

(b) 自航試験およびプロペラ荷重変更試験結果

自航試験の結果得られた k_t 、 k_p 、 k_n の値を Fig.4.3.1.7 ～ 4.3.1.9 に示す。またこれらの値を後述のプロペラ単独特性を用いて解析し得られた自航要素 t 、 W_m 、 η_r の値を Fig.4.3.1.10 に示す。

k_t 、 k_p 、 k_n の値は Full load で低速域にばらつきが見られるが、これは不安定現象によるものではない。65% full load では $F_n=0.13$ 付近、 $F_n=0.17 \sim 0.18$ および $F_n=0.22$ において、不安定現象と考えられる計測点、すなわち同一航走において異なったスラスト、トルクの値を示す点が見られる。44% full load では計測点のばらつきは多いが、65% full load に見られるようなはっきりした不安定現象は見られなかった。

つぎに自航要素について Fig.4.3.1.10 を見ると、Full load では t 、 W_m とともにばらつきも少なく速度に対する変化も少ないし、 η_r も低速ではややばらつくものの高速側では安定している。65%

full loadでは t 、 W_m とも $F_n=0.13$ 付近より低速域ではそれぞれ値が2段に分れる傾向を見せ、 $F_n=0.13$ の点で上述のようなはっきりした不安定現象が現われている。 $F_n=0.13$ より高速側では t 、 W_m とも値の大きい方が優勢であり、 $F_n=0.17\sim 0.18$ および $F_n=0.22$ において不安定現象が見られ t 、 W_m の小さい値も計測されている。44% full loadでは t は $F_n=0.14$ 付近までは小さい値、それより高速側では大きい値を示して安定しており、 W_m は $F_n=0.17$ 付近までは小さい値、それより高速側では大きい値を示して安定するという具合で、 t と W_m の変化する速度が異っている。このような傾向は通常の船型には見られないものであり原因についても今の所不明である。

昭和50年度船型の自航要素と比較したものをFig.4.3.1.11~4.3.1.13 に示す。

Full load では t はほとんど同じであるが、 W_m は昭和51年度船型の方が0.05位、全速度にわたって小さい。試験水温の差を考えるとこの差は少し縮まる方向ではあるが、その量は小さく、Frame line の変更の影響で W_m が小さくなったものである。 η_r はいずれもばらつきがかなりあるが、昭和51年度船型の方がやや高めである。

65% full load でも t はほとんど同じで、昭和51年度船型において不安定現象が見られた速度においては t の低い値が計測されている。 W_m は Full load よりも両船型の差が小さくなっていて、約0.03位である。昭和51年度船型における不安定現象出現時の W_m の値から判断して昭和50年度船型では W_m の大きい方の状態で安定していたものと考えられる。 η_r の値は両船型ともほぼ同じである。

44% full load でも t はほとんど同じ値であり、速度に対する変化も同じで $F_n=0.14$ 位から高速域で大きく、低速域で小さい値となっているのに対し、 W_m は $F_n=0.12$ 付近まで両船型とも小さい値でほぼ同じだが、昭和50年度船型は $F_n=0.13$ より高速域で大きい値に変わり、昭和51年度船型は $F_n=0.17$ までは小さい値のまま変化せず、それより高速域で大きい値に変化する。すなわち昭和50年度船型は t が変化する速度より低速側で W_m が変化して大きくなったのに対し、昭和51年度船型ではかなり高速側で W_m が変化して大きくなっている。このような結果から見ると、両船型の変化は実に微妙な所を突いたものであったと考えられる。なお η_r は両船型共高めであり、特に昭和51年度船型は異常に高いようであるが、原因は目下の所不明である。

つきに、プロペラ荷重度変更試験の結果を解析して得られた W_m 、 η_r の値をプロペラ荷重度 ($C_T = T/\rho V^2 D^2$) ベースにプロットしたものを、昭和50年度船型と比較してFig.4.3.1.14~4.3.1.16 に示す。

Full loadでは両船型とも W_m は C_T の増加と共に減少しておりいわゆるF-typeの流場といえる。ただし昭和51年度船型の方は C_T に対する W_m の変化が、 C_T の小さい所で、急であって C_T の大きい ship point 以上では W_m はほとんど一定となっており、Frame line 変更の影響が現われている。65% full load では昭和50年度船型は C_T の変化にかかわらず W_m がほぼ一定で、いわゆるS-typeの流場の傾向を示しているが、昭和50年度船型では C_T の小さい範囲では同傾向を示すが、Ship point では不安定現象が出現して W_m の値が分れている。さらに Model point では低い W_m の値の方に安定しており、本船型が微妙な所にあることを示している。44% full load では昭和50年度船型は C_T が小さい範囲では C_T の変化にかかわらず W_m は変化してないが Ship point より荷重度が大きくなると W_m の値は2つに分れ、その値が変化しないケースと大きくなるケースに分れて、 $F_n=0.14$ では不安定現象が見られていた。これに対し昭和51年度船型は、 $F_n=0.14$ では C_T の値によらず W_m が一定、 $F_n=0.18$ では C_T の増加につれ W_m がわずかながら小さくなる傾向を示している。すなわち、プロペラの荷重度によって W_m の値が分れてくる傾向は同じであるが、昭和51年度船型では不安定現象としては出てなくて、速度の変化によりいずれかが現われている。

以上の自航試験結果をみると、Full loadではいずれも不安定現象なし、65% full load では昭和51年度船型のみ不安定現象出現、44% full load では昭和50年度船型に1点のみ不安定現象出現ただし昭和51年度船型においても W_m の値は速度によりステップ状に変化しており不安定の程度は高い。(後述の流場観測ではかなり不安定な流れが見られた。)したがって昭和51年度の船型変更は一応船型として不安定現象が出現し易い方向になったものと考えられ、所期の目的は達したとみてよい。

(c) サイドフォース計測結果

自航試験時のサイドフォース計測結果をFig.4.3.1.17に示す。

Full loadでは船首尾とも進行方向左舷側に押されているケースがほとんどである。65% full loadでは船首はほとんどサイドフォースを受けないケースが多く、船尾のサイドフォースの変化が大きい。不安定現象が現われている場合は例外なく W_m が大きくなるときサイドフォースが右舷側へ向いている。44% full loadの場合も65% full loadと同じ傾向であるが、船尾のサイドフォースの変動は少ない。しかし W_m の値がステップ状に変化する速度においてはサイドフォースの値もステップ状に変化しており、その方向も65% full loadの場合と同じである。

つぎにプロペラ荷重量変更試験時のサイドフォース計測結果をFig.4.3.1.18に示す。Full loadにおけるサイドフォースの変化が一番少なく65% full loadが最も変動が多く、44% full loadは両者の中間である。また $C_T \approx 0$ ではサイドフォースの変化は少ない(抵抗試験状態に対応するので当然といえば当然であるが)が、 C_T が増加するにつれて変動幅が大きくなるとも言えず、プロペラの荷重量がある程度以上では同程度の変動幅が見られるようである。

なお、サイドフォースとスラスト、トルクの変動の対応を示すアナログ記録の例をプロペラ荷重量変更試験についてFig.4.3.1.19～4.3.1.22に示す。プロペラ荷重量の小さい場合スラスト、トルクの変化、サイドフォースの変化とも小さいのでその対応の判別はつかないが荷重量の大きい場合は明らかにスラスト、トルクの変化と船尾ガイドのサイドフォースの変化は対応しておりスラスト、トルクが増加するとき右舷方向へサイドフォースが作用する。

(d) 船体表面圧力計測結果

船体表面圧力計測結果をサイドフォースの計測結果と対比したものをFig.4.3.1.23に示す。本図ではサイドフォースの大きさと圧力の大きさの対応が必ずしもついていないとは言えないが、計測時における力の変化の方向はほとんどの場合、両者の対応がついているようである。これは各計測値の零点のドリフト、感度不足等のため定量的な値で検討を行うにはやや精度不足しているためと考えられる。

(e) プロペラ単独試験結果

自航試験結果の解析用に行ったプロペラ単独試験結果をFig.4.3.1.24に示す。

昭和50年度の試験結果に比べると K_T がわずかに大きくなり、 K_Q はほとんど同じ、したがって η_0 がやや大きくなっている程度である。

(f) 船尾流場観測結果

昭和51年度はFull load、65% full loadおよび44% full loadの全状態について、自航状態でプロペラ荷重量変更状態での16ミリ、8ミリシネの撮影を行った。16ミリは水中でコマ数72コマ、8ミリは水上でコマ数36コマのスピードで撮影した。

昭和51年度はFull loadの撮影はしなかったので昭和50年度船型との比較はできないが、Full loadにおける流れは通常の肥大船とほとんど変らない左右対称の流れであった。65% full loadおよび44% full loadにおいては昭和50年度船型よりも流れの変化がひんばんに起るよう見受けられた。すなわち、スラスト、トルクが大きい値を示すときは船尾の盛り上りが左舷側にあり、そ

の前端付近から左後方へ潮目のような流れが断続的に出ていくが、スラスト、トルクが小さい値に変化するときこれらは右舷側へ移る。この変化がひんばんに起るときはスラスト、トルクをはっきりと2つの値として分けて求めることは無理があるが、両方の持続時間がある程度長い場合はスラスト、トルクは2つの値として求めることができ、したがって W_m なども2つの値が求められる。昭和51年度船型の場合は65% full load では割合両方の状態が持続するケースが多く、44% full load では片方が持続し、時々他の状態が現われるが、その持続時間は短いというケースが多いようであった。

以上基本項目についての試験結果について記したが、昭和50年度、昭和51年度2種の船型の試験結果から不安定現象が現われているときの諸現象の関係についてはほぼ明らかとなったと考えられる。すなわち不安定現象が起っているときのスラスト、トルクの変化とサイドフォース船体表面圧力、船尾流れの様子などはそれぞれその方向は符合するものであり、ほとんど例外なく相互関係が保たれているといえる。

これまでの計測ではこれらの相互関係を定量的な値として求めることはできなかったし、これらの現象の起る原因はまだほとんど明らかとなっていないので、この辺の課題を、両船型を用いてさらに追求すべきではないかと考えられる。

M.2431

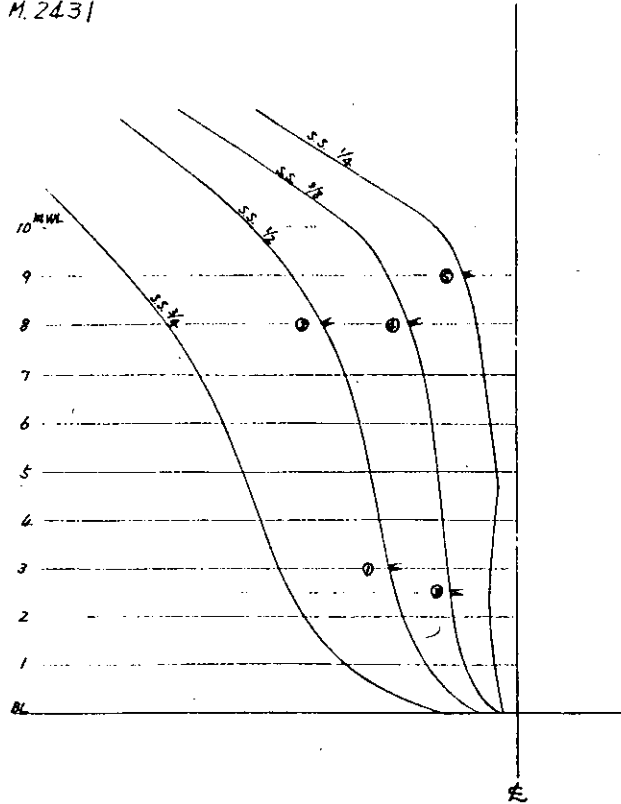


Fig. 4.3.1.1 Position of Static Pressure Hole

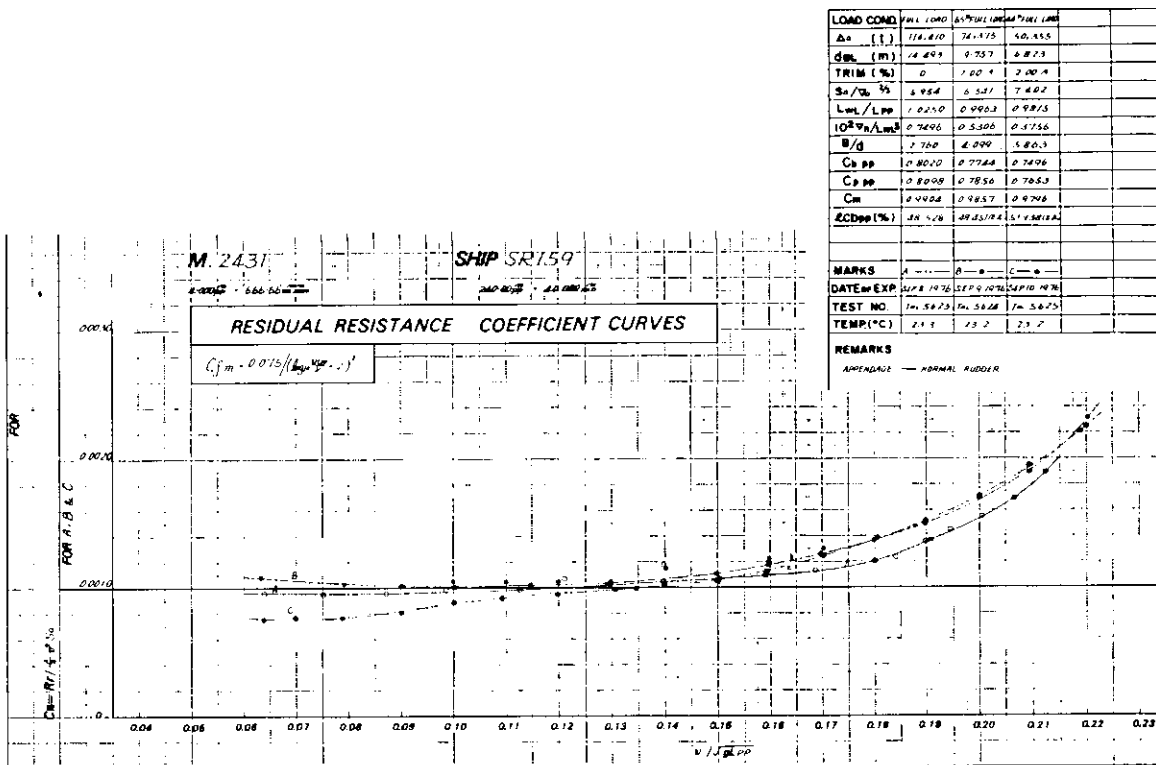


Fig. 4.3.1.2 Residual Resistance Coefficient Curves



- 109 -

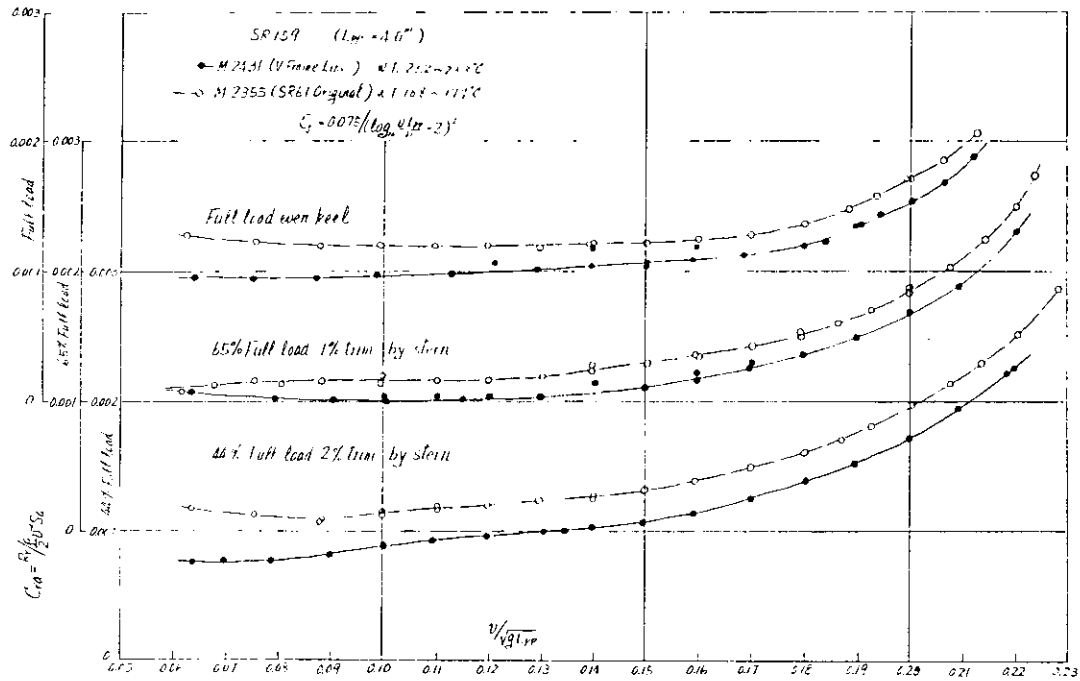


Fig. 4.3.1.4 Comparison of Residual Resistance Coefficient Curves

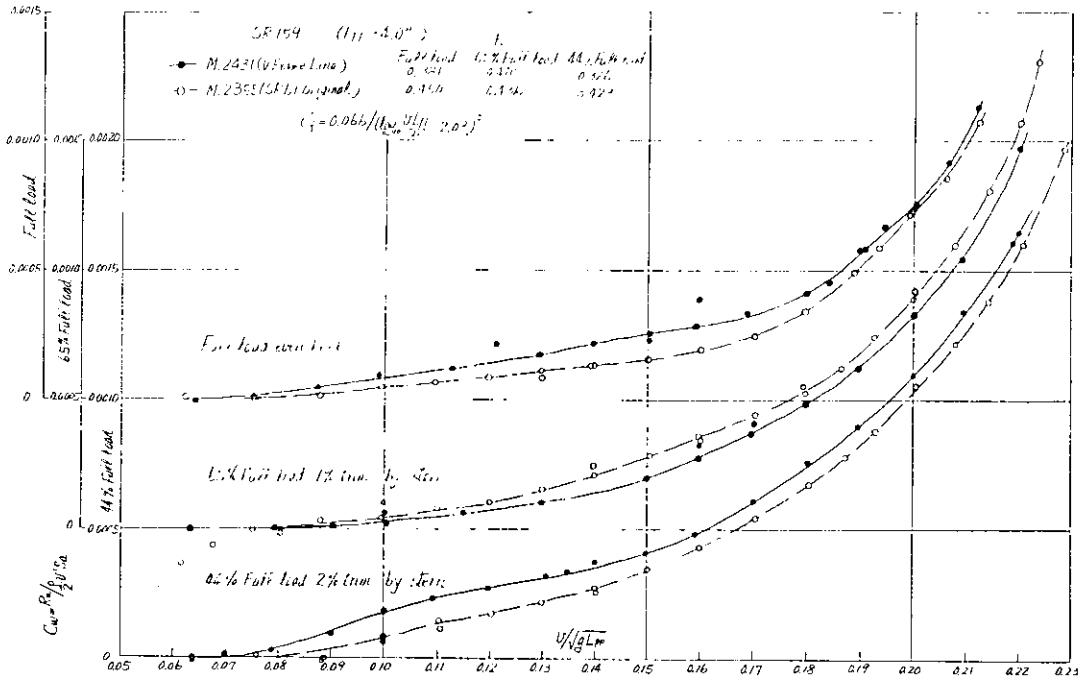


Fig. 4.3.1.5 Comparison of Wave Making Resistance Coefficient Curves

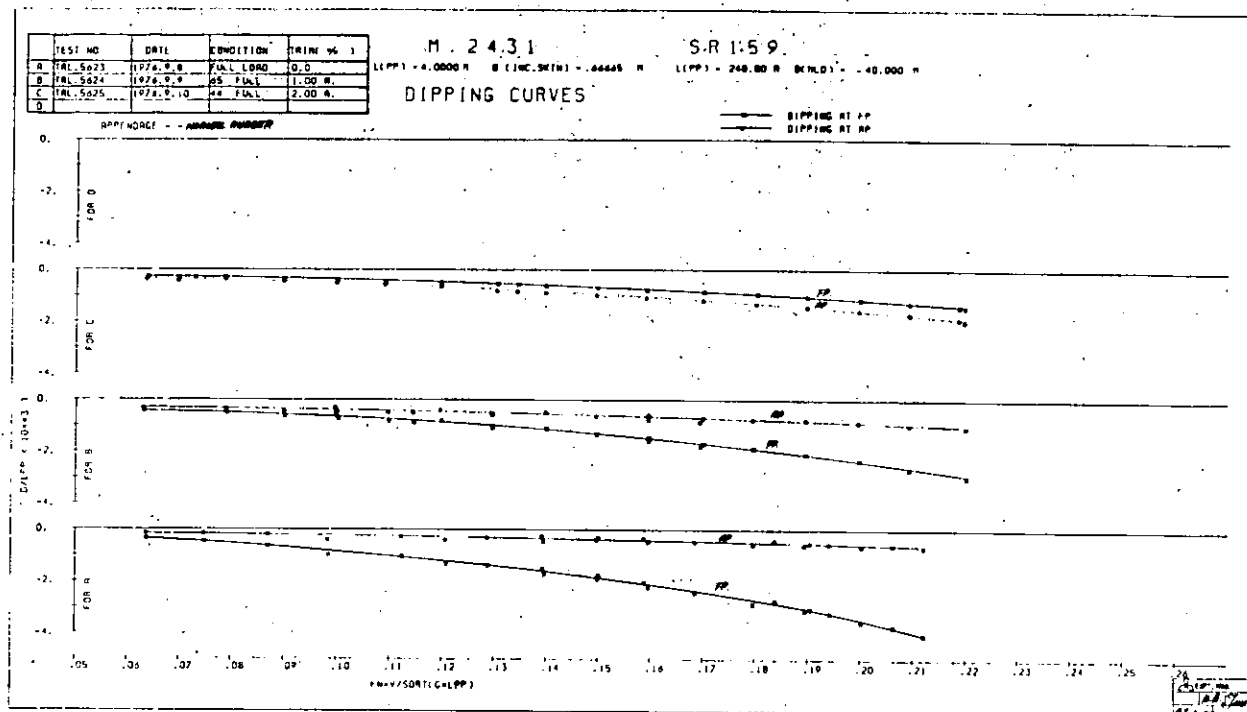


Fig. 4.3.1.6 Dipping Curves

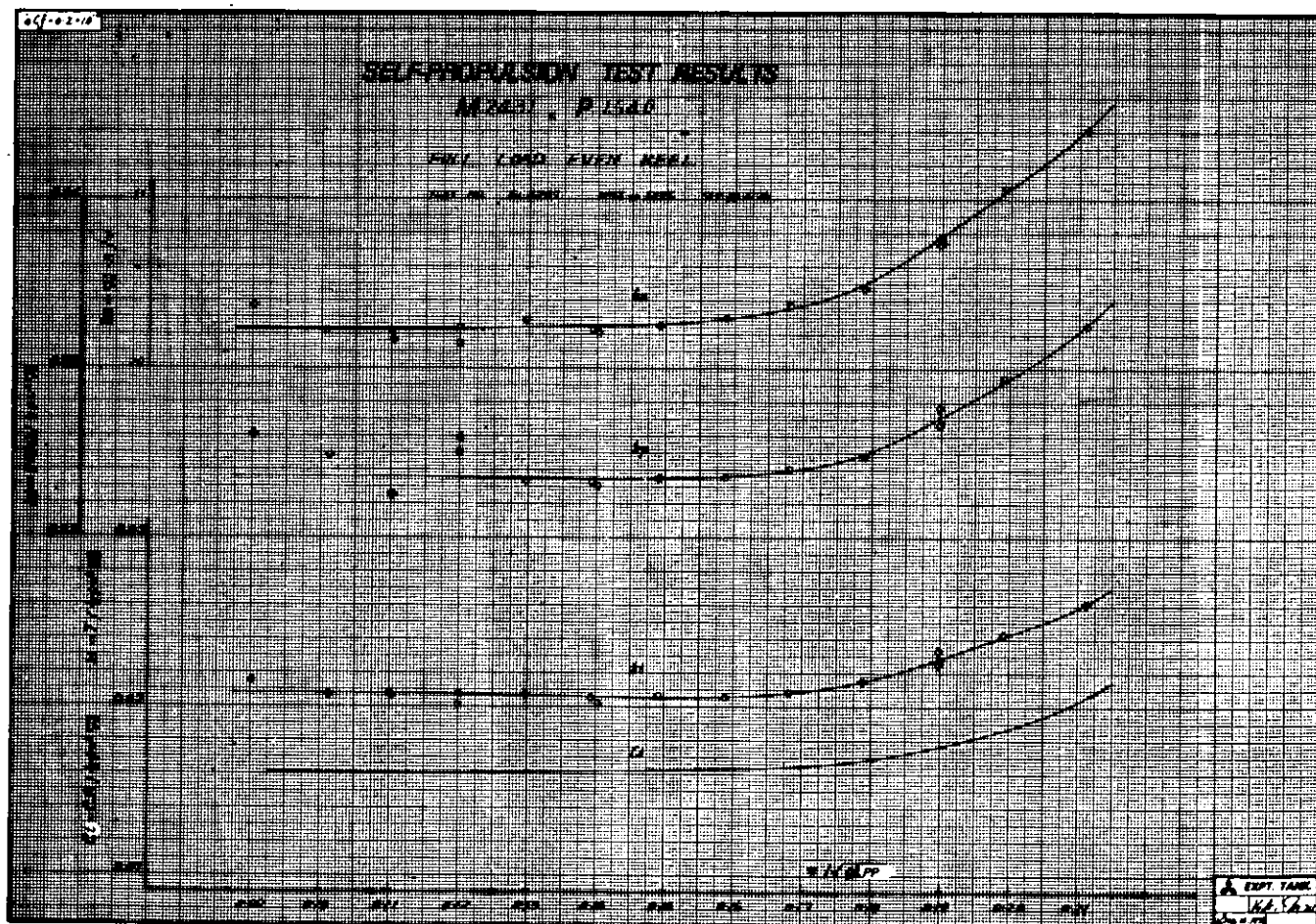


Fig. 4.3.1.7 Self-Propulsion Test Results

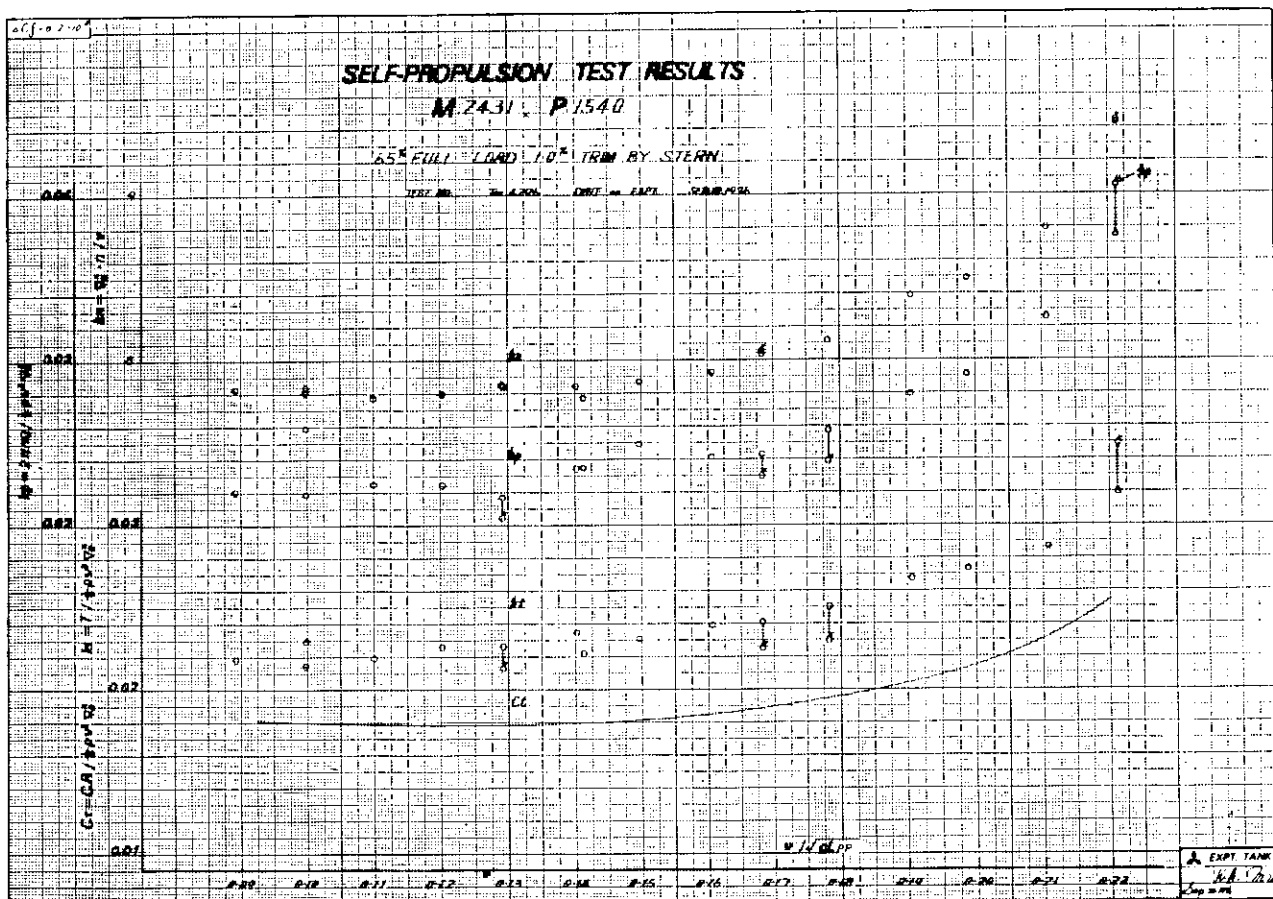


Fig. 4.3.1.8 Self-Propulsion Test Results

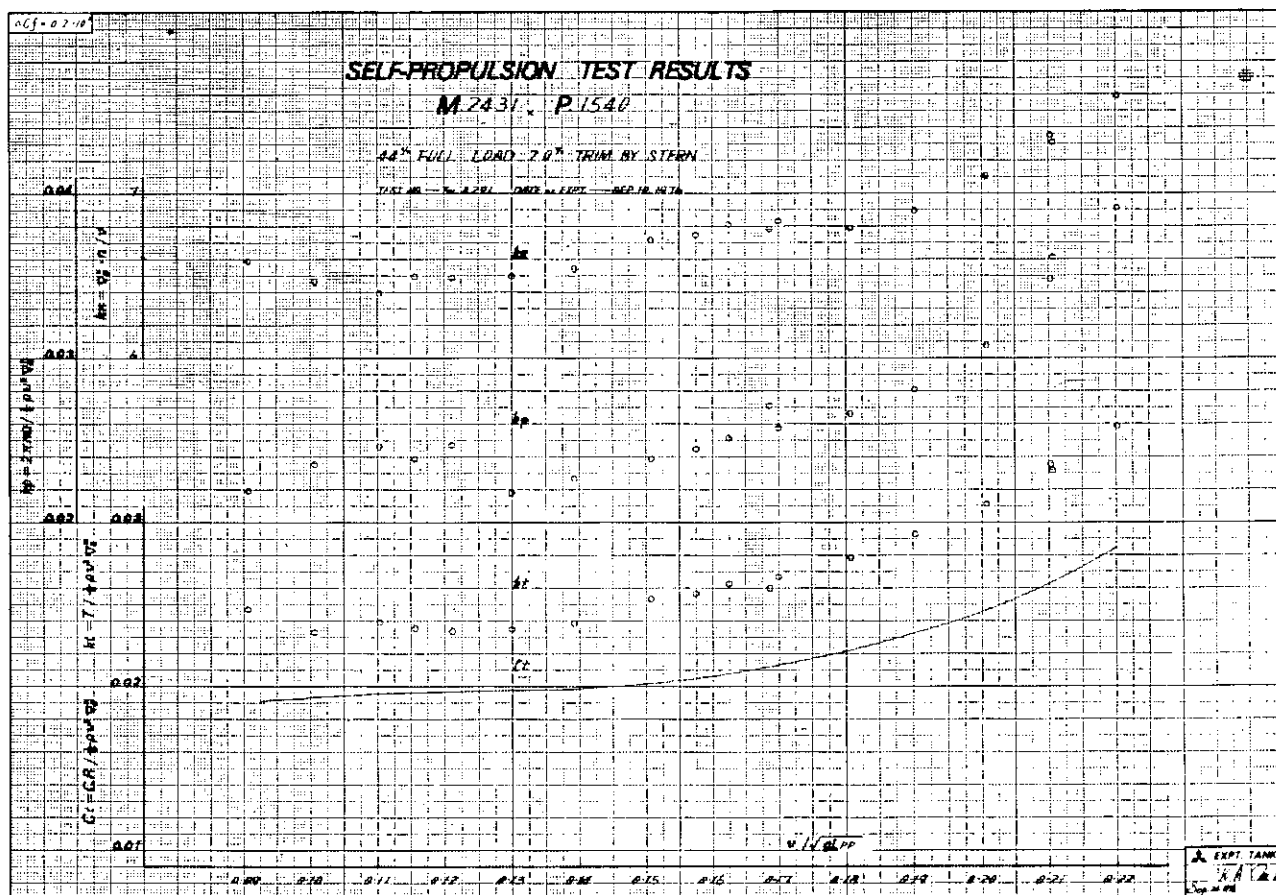


Fig. 4.3.1.9 Self-Propulsion Test Results

SR 159 ($L_{pp} = 1.0^m$ model)

65% Full load

M.2355 (SRH Original) ○

M.2431 (V-Frame Line) ●

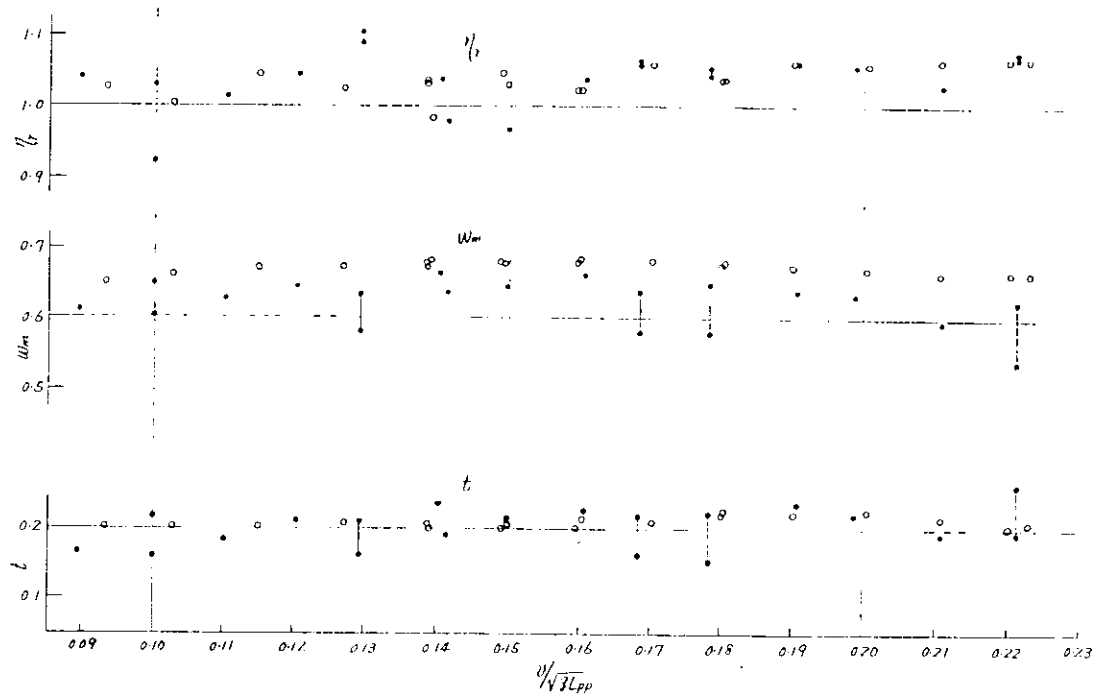


Fig. 4.3.1.12 Comparison of Self-Propulsion Factors

SR 159 ($L_{pp} = 4.0^m$ model)

4.4% Full load

M.2355 (SRH Original) ○

M.2431 (V-Frame Line) ●

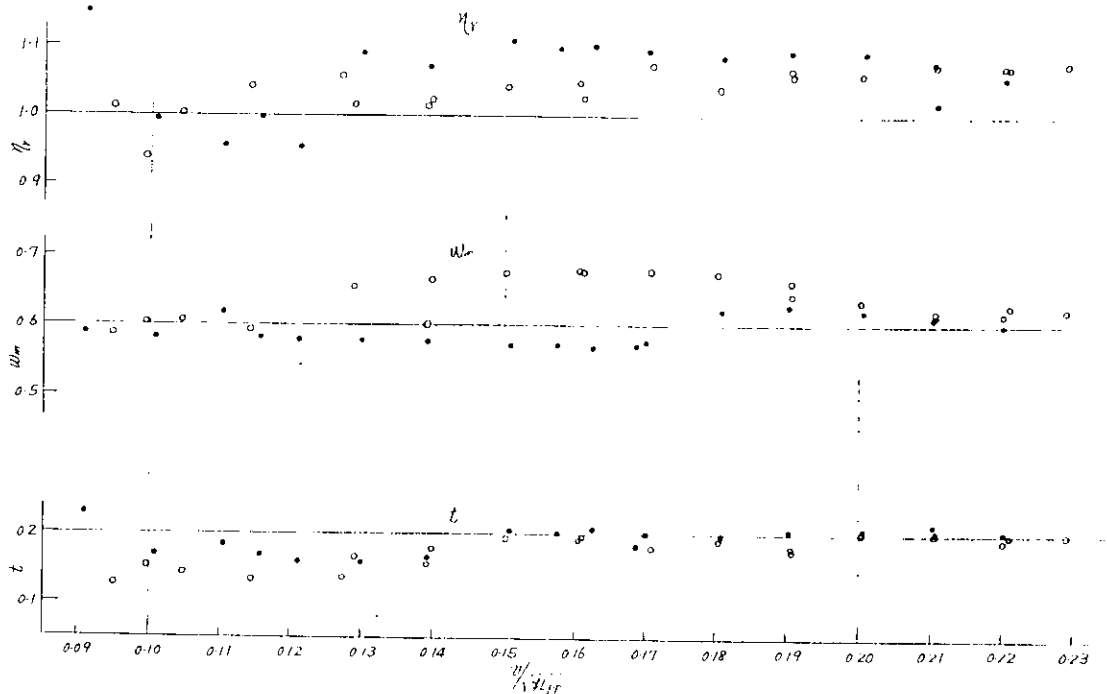


Fig. 4.4.1.13 Comparison of Self-Propulsion Factors

SR 159 (Lpp = 4.0" model)

Full load

$F_n = 0.14$ 0.18

M 2355 (SR6/Original) $\circ$ σ

M 2431 (V Frame Line) $\bullet$ δ

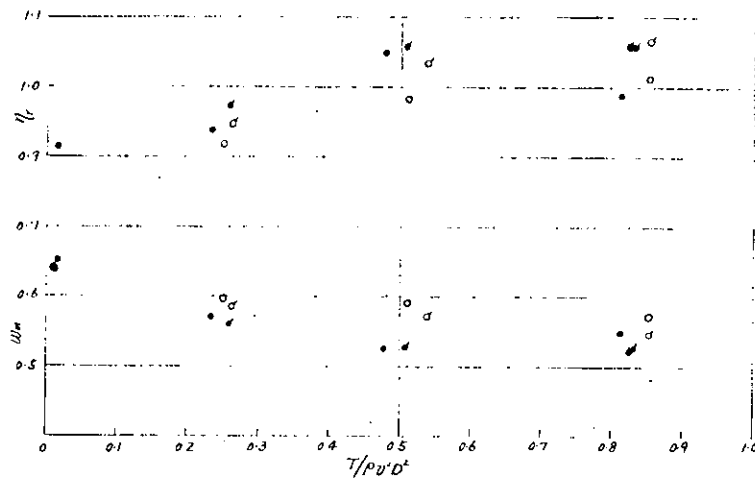


Fig. 4.3.1.14 Self-Propulsion Factors
(Effect of Propeller Loading)

SR 159 (Lpp = 4.0" model)

65% Full load

$F_n = 0.14$ 0.18

M 2355 (SR6/Original) $\circ$ σ

M 2431 (V Frame Line) $\bullet$ δ

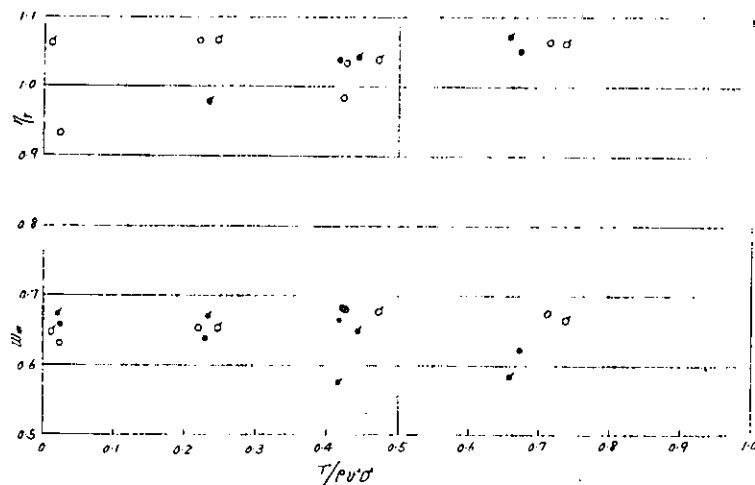


Fig. 4.3.1.15 Self-Propulsion Factors (Effect of Propeller Loading)

SR 157 ($t_{PP} = 1.0''$ on JLL)

44% Full Load

$F_n = 0.14$ 0.18

M.2355 (SN6/Original) $\circ$ σ

M.2431 (VFrame Line) $\bullet$ $\bullet$

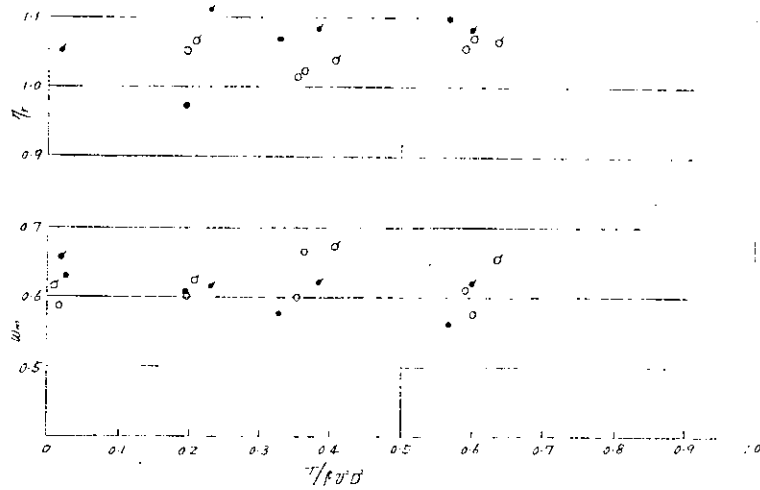


Fig. 4.3.1.16 Self-Propulsion Factors (Effect of Propeller Loading)

M.2431 • R15A0

SIDE-FORCE & SELF-PROPULSION FACTORS

FULL LOAD EVEN KEEL

45% FULL LOAD IN TRIM BY STERN

44% FULL LOAD 2° TRIM BY STERN

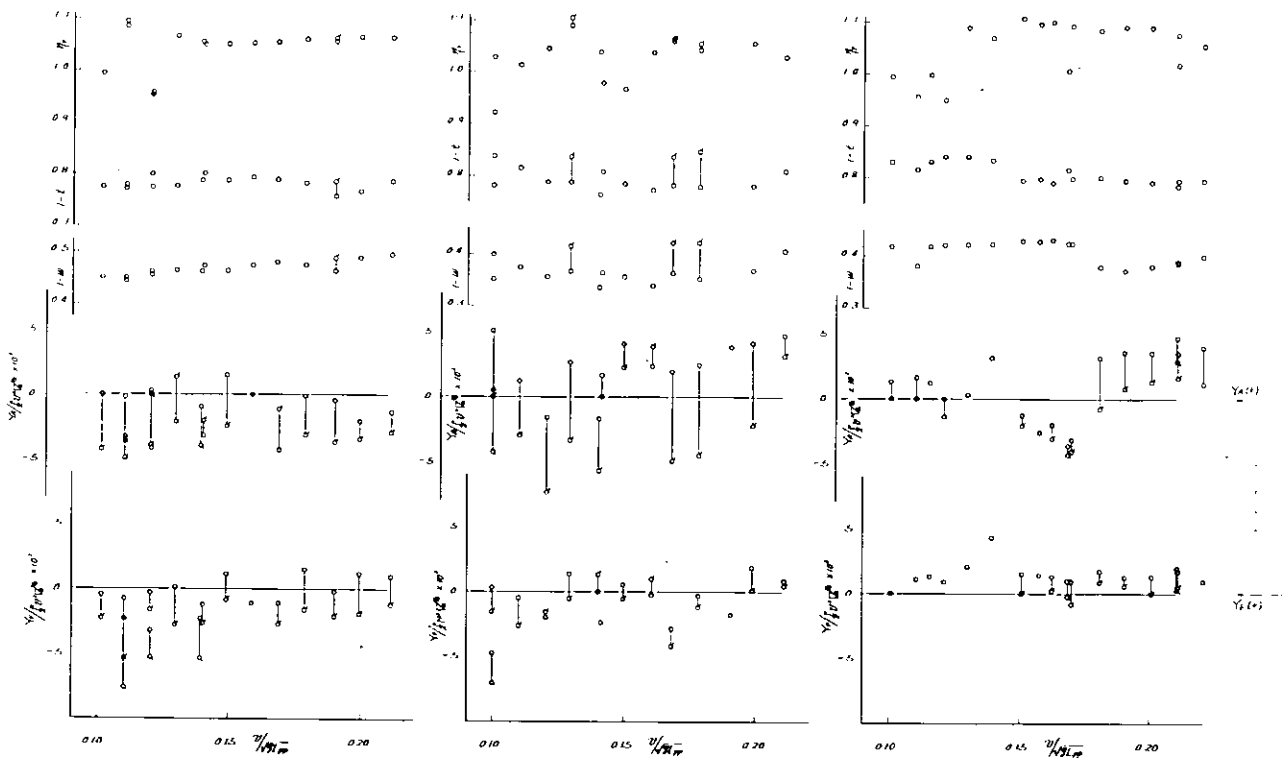


Fig. 4.3.1.17 Side-Force & Self-Propulsion Factors

M.2431 x P.1540

SIDE-FORCE & SELF-PROPULSION FACTORS IN PROP. LOADING TEST

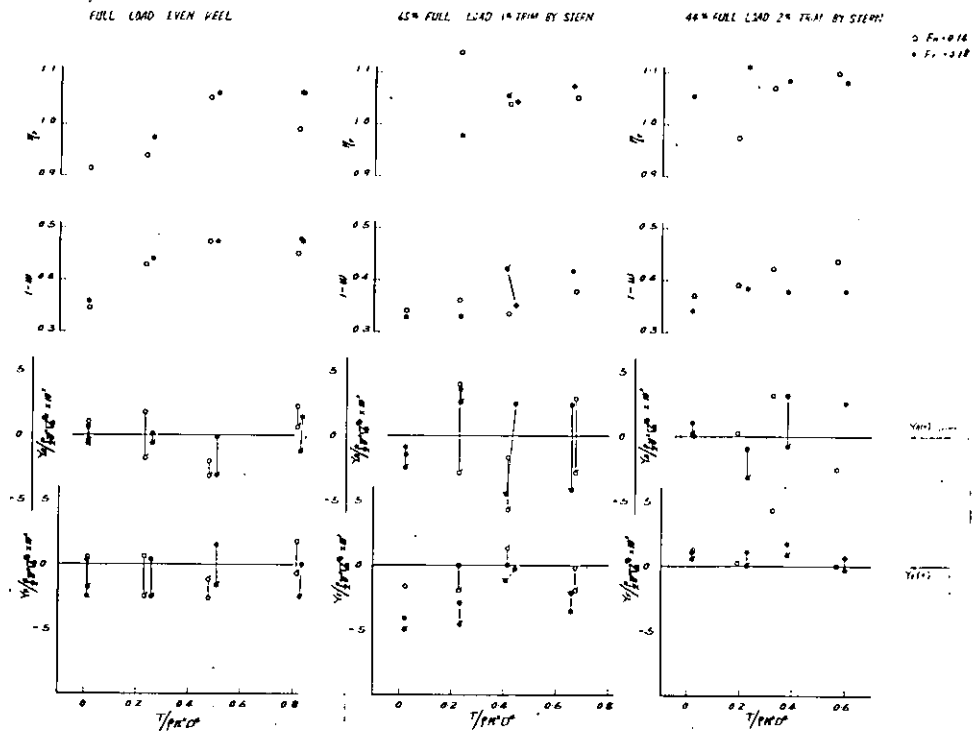


Fig. 4.3.1.18 Side-Force & Self-Propulsion Factors
(Effect of Propeller Loading)

M.2431 x P.1540

65% Full Load 1° Trim by Stern

Exp. No. 17507

$F_n = 0.18$ $C_T = 0$

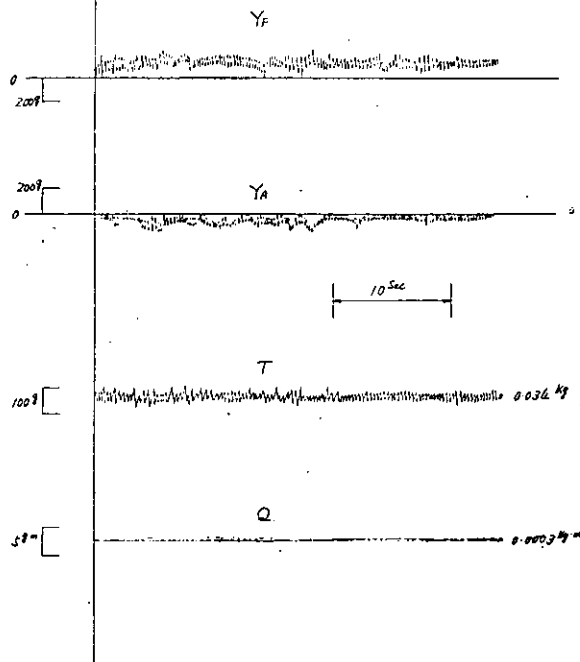


Fig. 4.3.1.19 Example of Test Results

MZ431 x P.1540 65% Full load 1° trim by stern

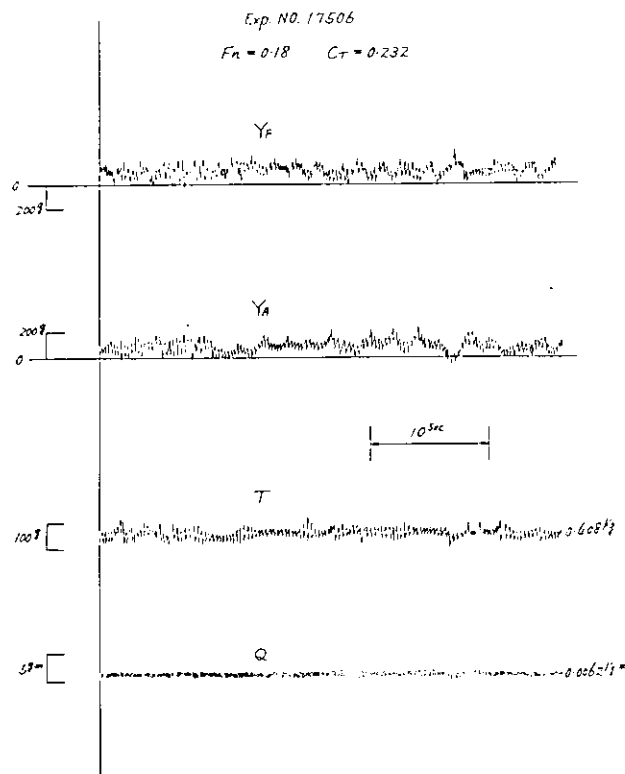


Fig. 4.3.1.20 Example of Test Results

MZ431 x P.1540 65% Full load 1° trim by stern

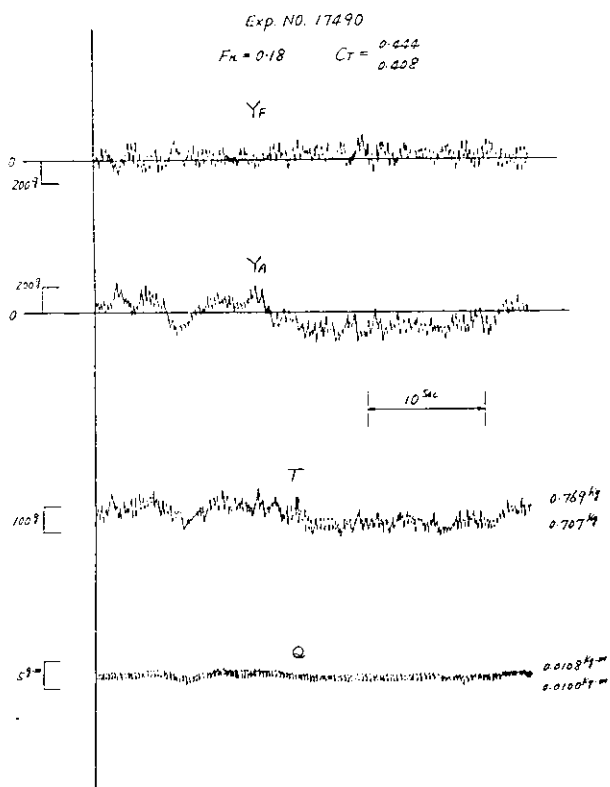


Fig. 4.3.1.21 Example of Test Results

MZ431 x P.1540 65% Full load 1° trim by stern

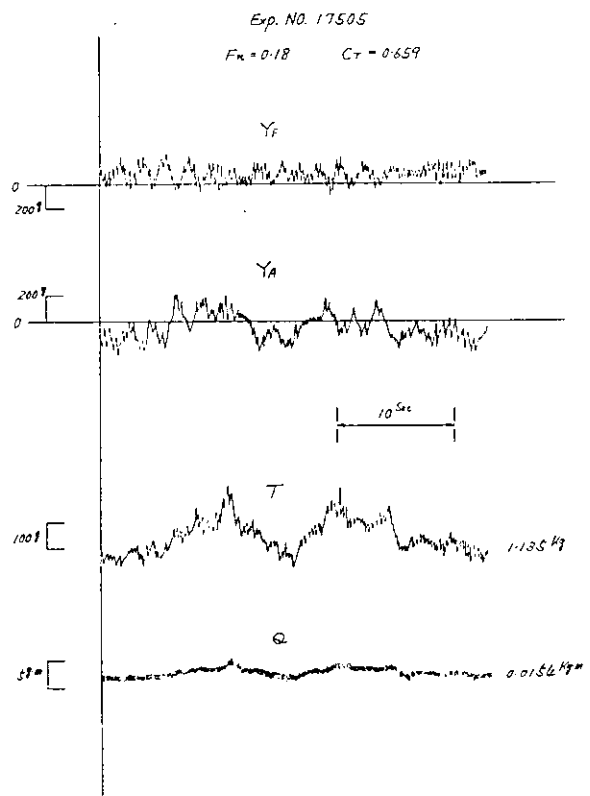


Fig. 4.3.1.22 Example of Test Results

N° 2431 - 11507

SIDE FORCE & STATIC PRESSURE

FULL LOAD EVEN KEEL

45% FULL LOAD 1° TRIM BY STERN

44% FULL LOAD 2° TRIM BY STERN

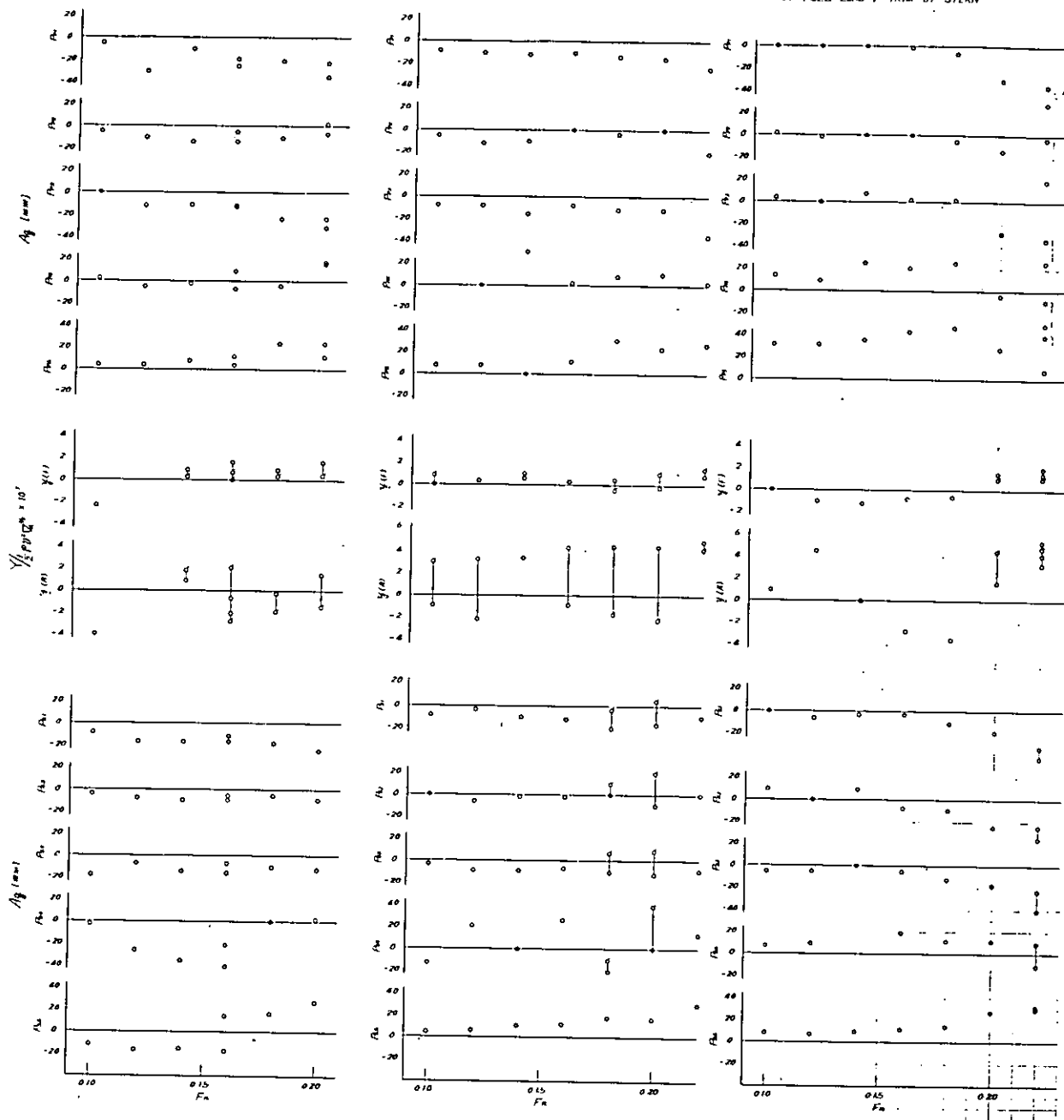


Fig. 4.3.1.23 Side-Force & Static Pressure

4.3.2 追加項目

(I) 50年度模型船

(a) 載荷状態変化

一つの載荷状態での自航不安定時における伴流値の変動幅が、満載と半載における安定な場合の伴流値の差と同程度（満載が小さく半載が大きい）であることから、載荷状態の変化（喫水の変化）により伴流値がどのように変化するかを調査した。実験内容は $F_n = 0.18$ におけるプロペラ荷重変更試験で、計測項目は、スラスト、トルク、プロペラ回転数、曳航力、横力（Sq.St.1）である。載荷状態およびトリムを Table 4.3.2.1 に示す。

Table 4.3.2.1 載荷状態およびトリム

	満 載	91.25 %	82.5 %	73.75 %	65 %
排 水 量 (m^3)	0.5164	0.4712	0.4265	0.3809	0.3358
トリム (% Lpp Aft)	0	0.25	0.5	0.75	1.0

実験結果のうち、 η_R 、 $1-t$ 、 $1-W$ を Fig.4.3.2.1～5 に示す。このうち Fig.4.3.2.5 は昨年度阪大で行った結果である。また Fig.4.3.2.6 には横力を示す。これらの結果から次のような事が明らかとなった。荷重変化に対する伴流値の変化の様子は、排水量の変化とともに徐々に形を変え、伴流係数の大きな状態はある載荷状態から急に発生するのではなく、喫水の変化につれて徐々に生じる現象である。

(b) プロペラ直径変化

50年度模型とは異なる船型での実験によりプロペラ直径の変化が船尾流場にかなり影響することが示されたため、同様な調査を行った。載荷状態は 65%、 $F_n = 0.18$ 、プロペラ荷重変更試験である。使用したプロペラの主要目を Table 4.3.2.2 に示す。

Table 4.3.2.2 プ ロ ペ ラ 主 要 目

P.No	直 径	ピッチ比	展開面積比	ボス比	傾斜角	翼 数	備 考
33	0.100 m	0.90	0.55	0.18	0°	4	2軸タンカー用
42	0.108	0.761	0.62	0.185	10°	5	1軸タンカー用
50	0.117	0.714	0.665	0.18	10°	5	母型

計測項目は、スラスト、トルク、プロペラ回転数、曳航力、横力（Sq.St.1）である。実験結果のうち η_R 、 $1-t$ 、 $1-W$ を Fig.4.3.2.7、4.3.2.8 に、横力を Fig.4.3.2.9 に示す。プロペラ直径の変化が少なかったためか、特に変わった結果は得られなかった。

(c) 5孔管による船体表面近傍の流場計測

昨年度阪大で担当した追加項目のうち、Sq.St. $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{8}$ の流場計測において、船体表面または中心線近傍に、流入角度過大のため計測不能となる領域がかなり広範囲に残った。そこで今回5孔管をあらかじめ20°上向きに取付け計測を行った。なお、計測時の船体は、抵抗時の航走トリムに固定し、プロペラの回転数は昨年と同様10 r.p.s. とした。さらに左右の対称性を保つため、計測は両舷同時に行なった。計測した速度分布等を昨年度の結果に追加して、Fig.4.3.2.10～19 に示す。Fig.4.3.2.10 は Sq.St. $\frac{1}{8}$ における伴流分布で、この断面のみ左舷用5孔管を中心線を越え右舷まで移動し計測している。Fig.4.3.2.11～12は Sq.St. $\frac{1}{4}$ におけるプロペラなし、ありの時の伴流分布である。伴流分布図は全体として昨年度の結果とのつながりも良く妥当な値を示している。

Fig.4.3.2.13~15 は、 $Sq.St. \frac{1}{8}$ および $\frac{1}{4}$ における V_Y 、 V_Z のベクトル表示図である。船体表面近傍の下向き流れはかなり強く、 $Sq.St. \frac{1}{4}$ においてはプロペラの作動にともない、下向き流れも強くなることが認められた。Fig.4.3.2.16~18 は、渦度の分布図である。Fig.4.3.2.19 は、スラスト変動にともなう V_X 、 V_Y 、 V_Z の変化を昨年の結果に追加したものである。左舷の変動は昨年と同様の傾向を示すが、それに対応する右舷側は変動がほとんど認められない。

プロペラの発生するスラストの左右舷の差を調べるために、Fig.4.3.2.10~15より $0.7R$ (R : プロペラ半径) におけるプロペラへの流入速度 (V_X および V_θ) を算出したのが Fig.4.3.2.20~22 である。Fig.4.3.2.20 によると縦渦による V_θ の差は意外に小さく、むしろ V_X の差の方が大きい結果が示された。また Fig.4.3.2.20 と Fig.4.3.2.21 を比較すると、 V_X がほとんど同一であることが認められ、プロペラ吸引の影響を知ることが出来ることを考えると、今後 $S.S. \frac{1}{4}$ における調査が重要と思われる。Fig.4.3.2.21~22 よりプロペラ作動の影響を調べると、右舷側の V_θ は、左舷側の V_θ に比しより強く影響され、 V_X は両舷ともほぼ一様に加速されることなどが明らかとなった。これらの現象が、直接自航不安定に結び付くとは思えないが、プロペラ作動時に横力が右舷向きに強くなる事柄と多少関係があると思われる。 V_θ の場所的变化の影響はあまり明かでないが、荷重度の小さな所では、かなりの影響を与えるであろう。また V_X の左右アンバランスは、そのままスラストのアンバランスに対応しプロペラによる吸引を一種の境界層制御と考えれば、プロペラ前方の3次元剝離領域のみならず、プロペラ上部附近の2次元の剝離領域における渦度の蓄積にも影響を与えると思われる。今後この領域の調査も必要であろう。

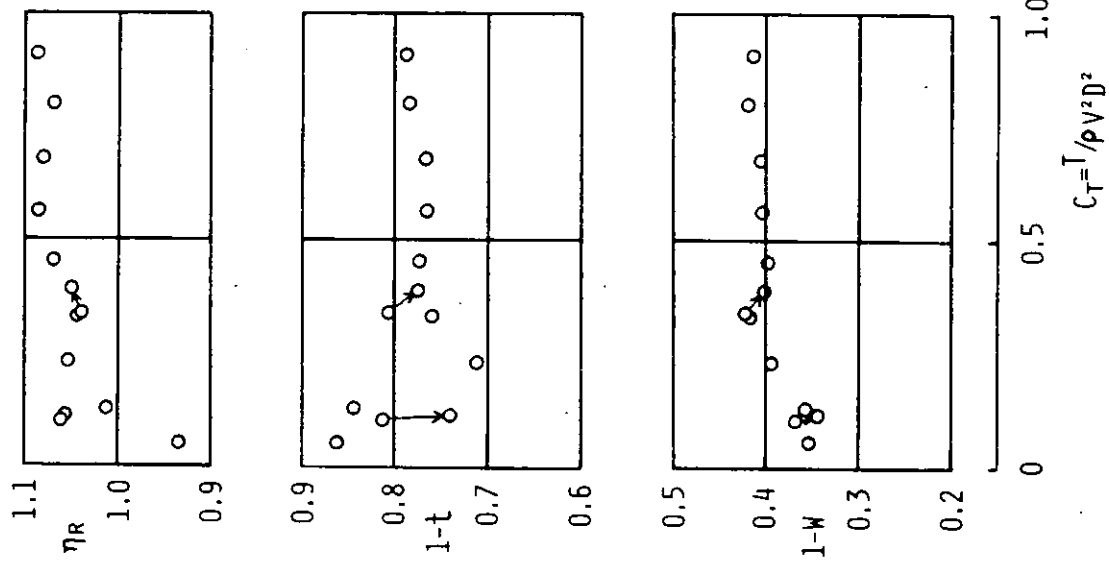


Fig. 4.3.2.1 Self-propulsion Factor
(100.0% Full load, (P.NO.50),
Fn=0.18, W.T.=17.8°C)

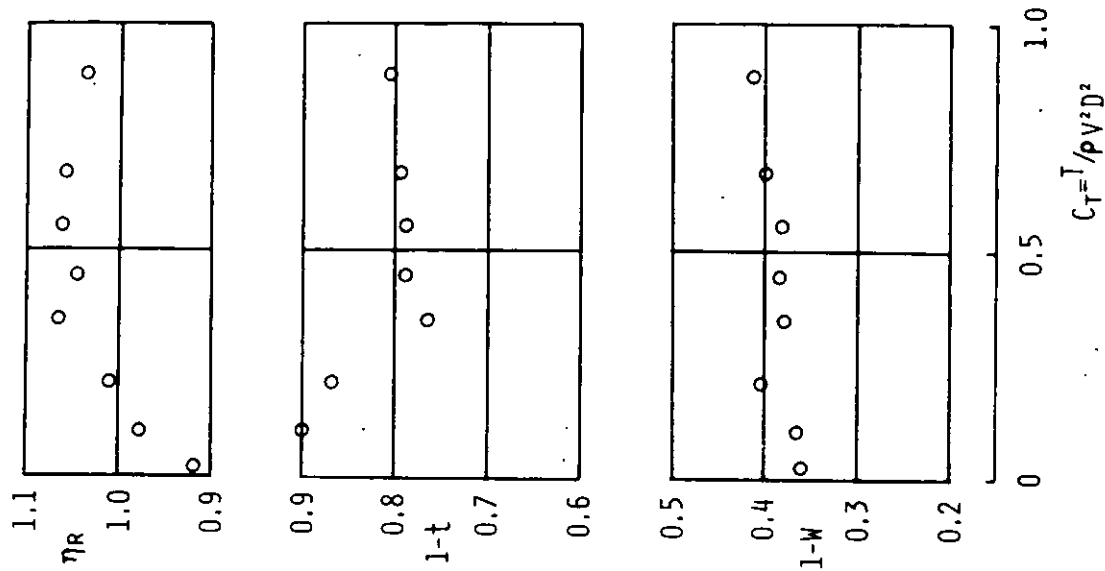


Fig. 4.3.2.2 Self-propulsion Factor
(91.25% Full load, (P.NO.50)
Fn=0.18, W.T.=14.1°C)

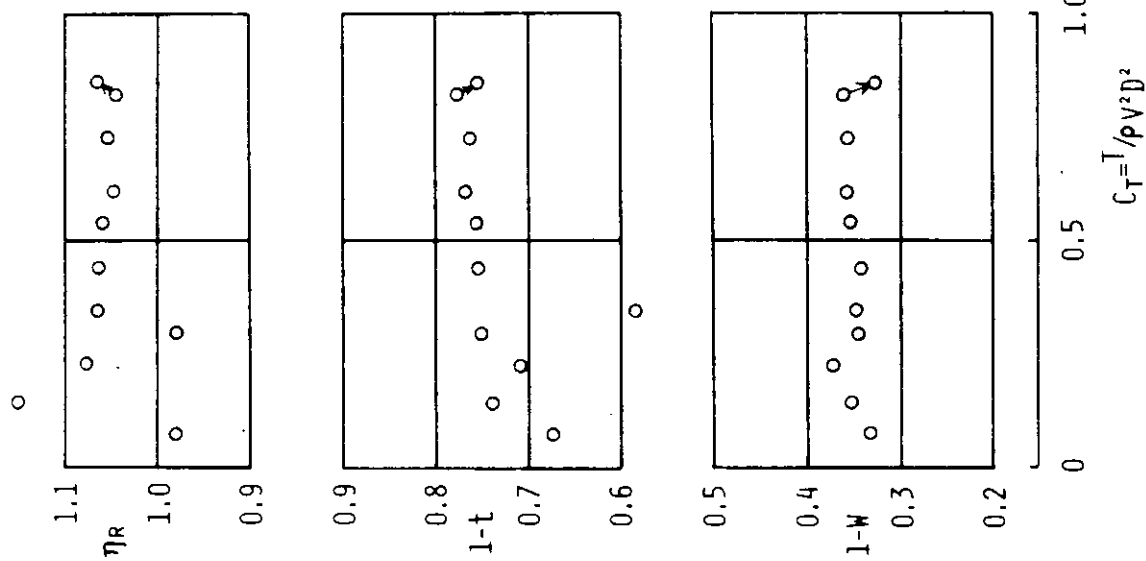


Fig. 4.3.2.3 Self-propulsion Factor
(82.5% Full load, (P.NO.50),
Fn=0.18, W.T.=14.0°C)

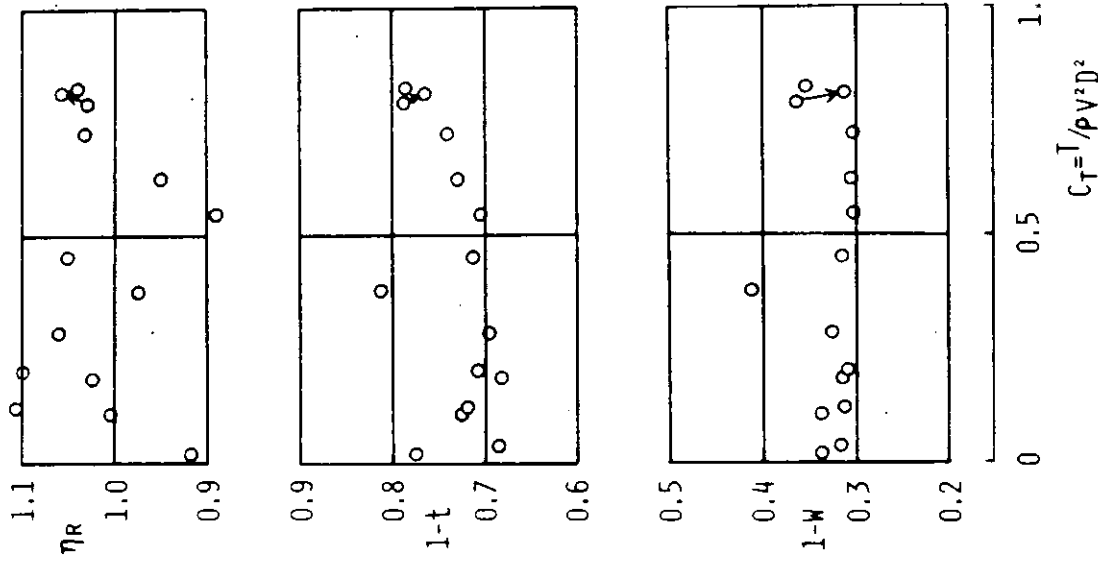


Fig. 4.3.2.4 Self-propulsion Factor
(73.75% Full load, (P.NO.50),
Fn=0.18, W.T.=14.0°C)

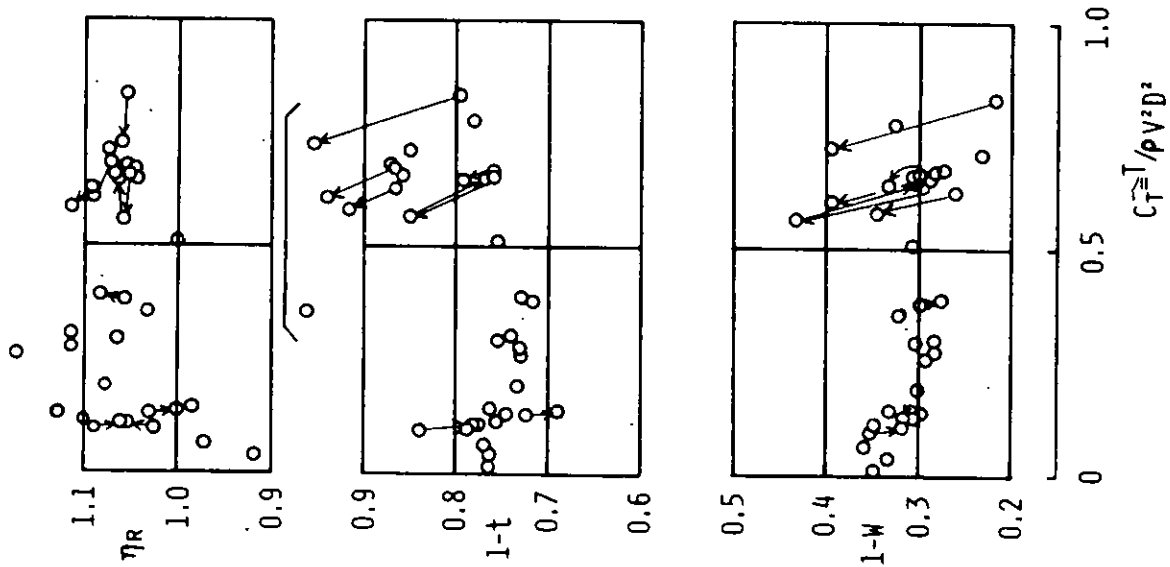


Fig. 4.3.2.5 Self-propulsion Factor
(65% Full load, (P.N.O.50),
 $Fn=0.18$, $W.T.=20.6^\circ C$, '75)

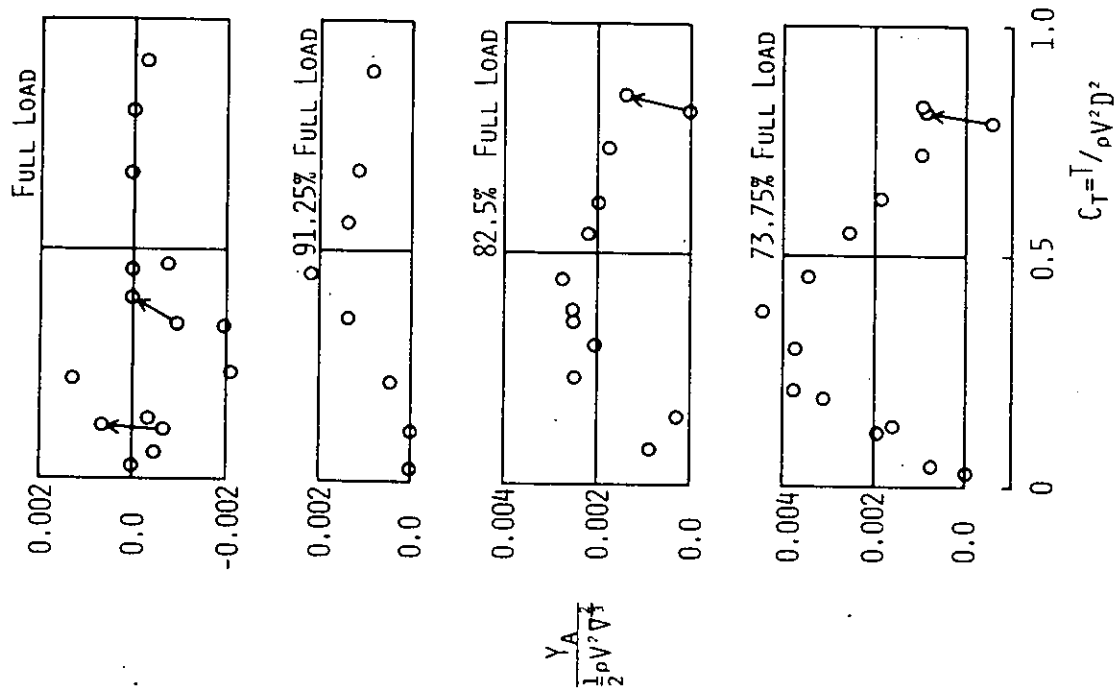


Fig. 4.3.2.6 Results of Self-propulsion Tests
(Side Forces)(P.N.O.50, $Fn=0.18$)

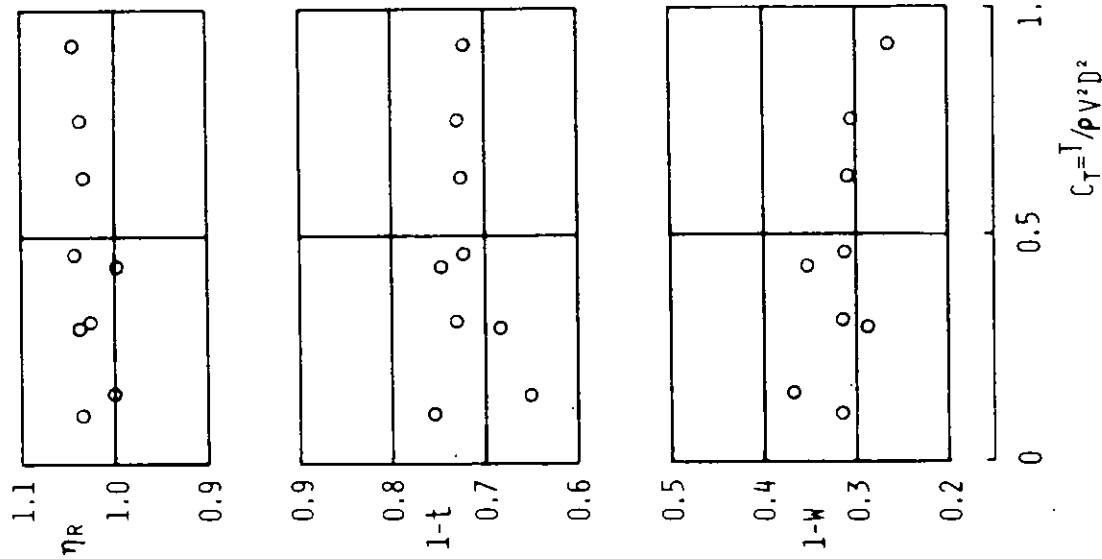


Fig. 4.3.2.7 Self-propulsion Factor
(65% Full load, (P.NO.33),
 $Fn=0.18$, $W.T.=19.5^\circ C$, $D=0.100m$)

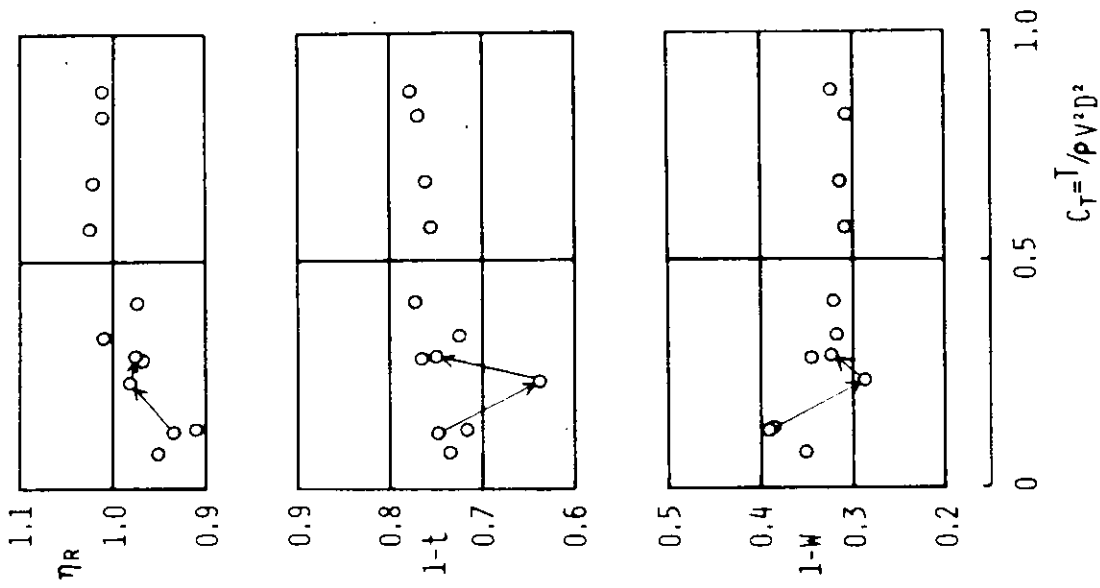


Fig. 4.3.2.8 Self-propulsion Factor
(65% Full load, (P.NO.42),
 $Fn=0.18$, $W.T.=19.5^\circ C$, $D=0.108m$)

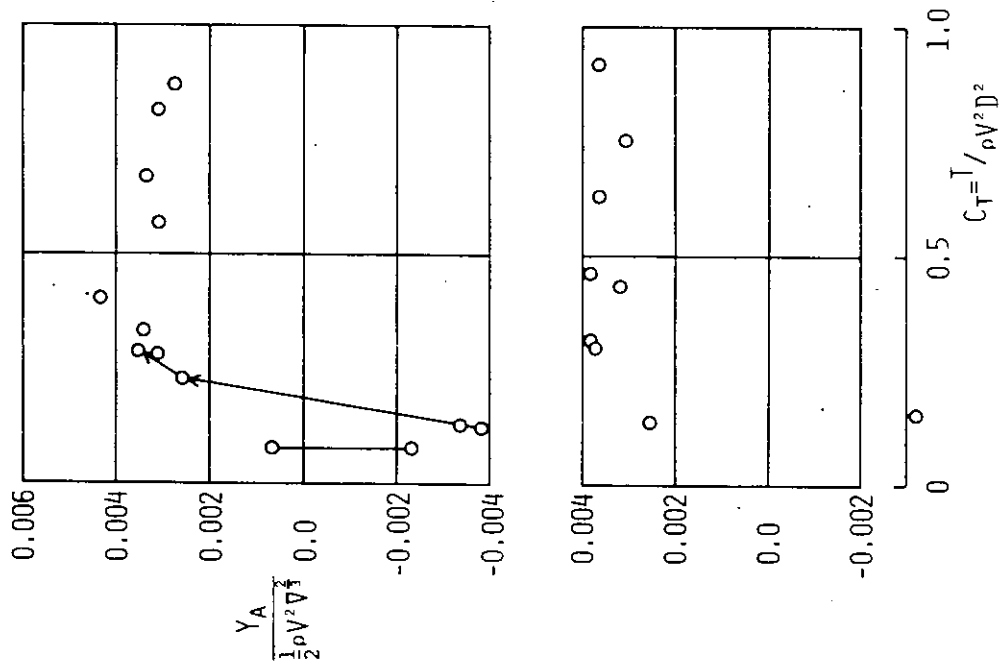


Fig. 4.3.2.9 Results of Self-propulsion Tests
(Side Forces) (65% Full load, $F_n=0.18$)

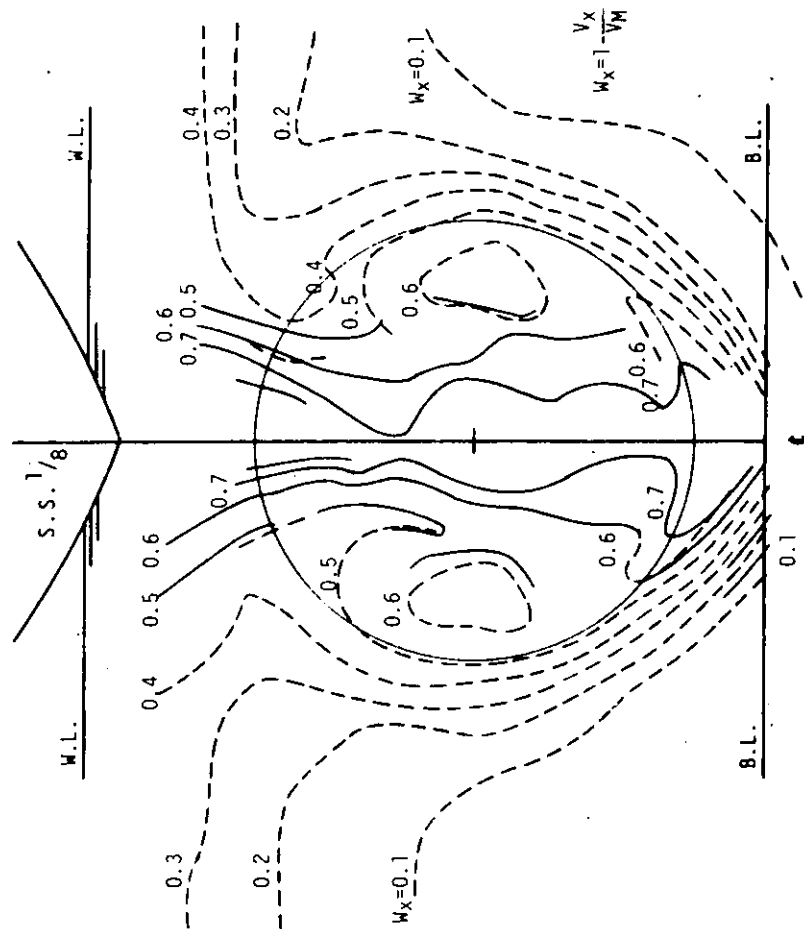


Fig. 4.3.2.10 Wake Distribution at $Sq St 1/8$
(65% Full load with Rudder and without
Propeller, $F_n=0.18$)

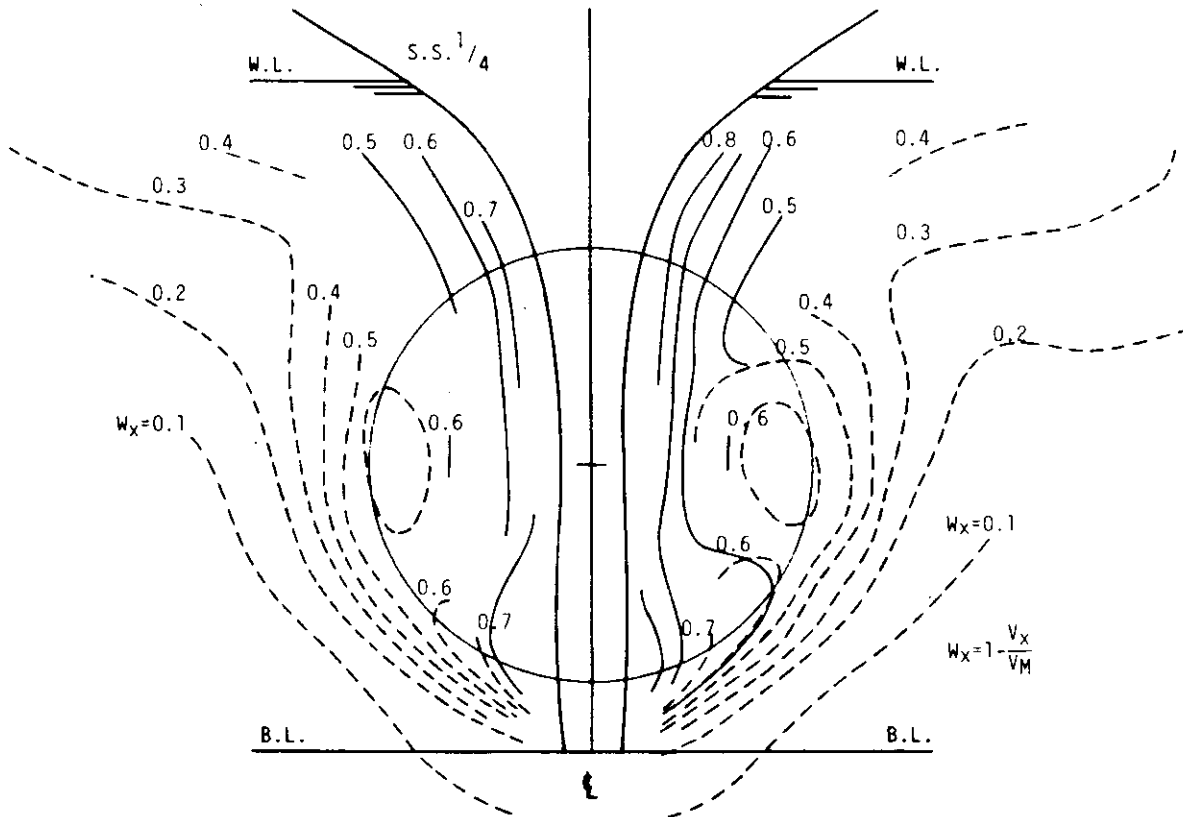


Fig. 4.3.2.11 Wake Distribution at Sq St 1/4
(65% Full load with Rudder and without Propeller, $Fn=0.18$)

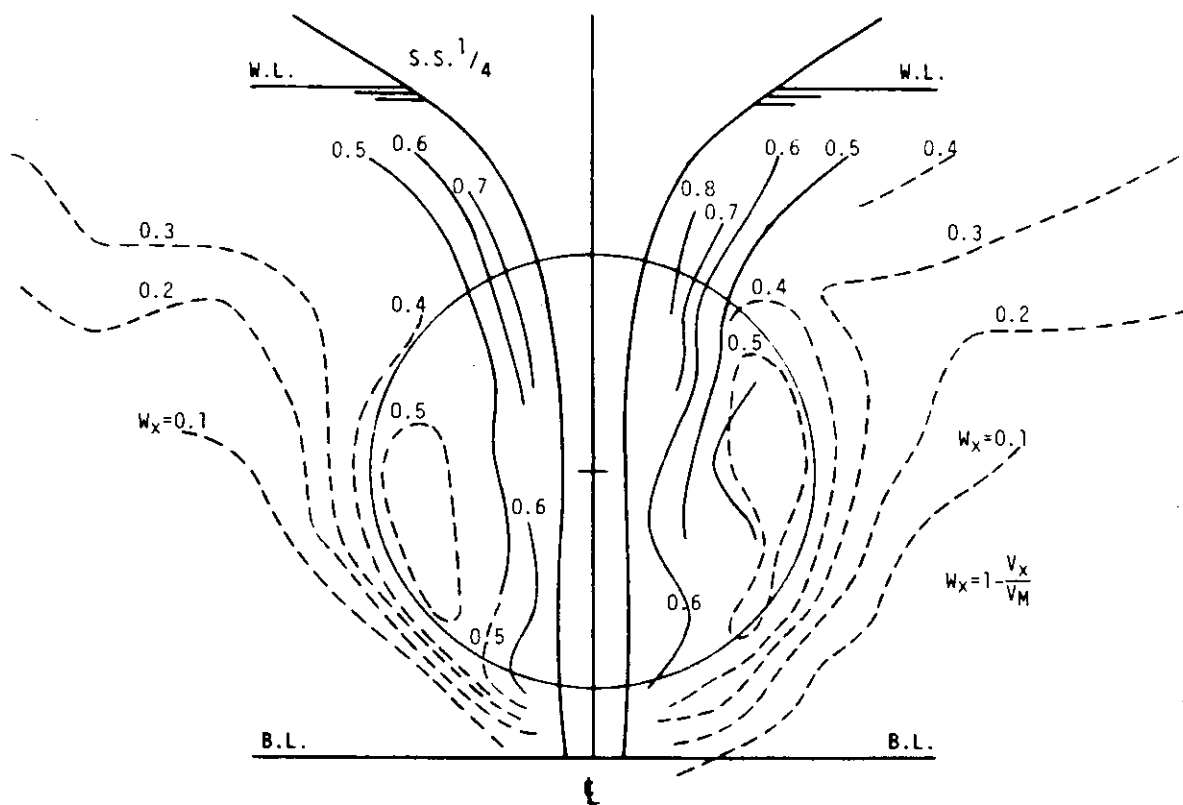


Fig. 4.3.2.12 Wake Distribution at Sq St 1/4 (65% Full load
with Propeller and Rudder, $n=10.0$ r.p.s., $Fn=0.18$)

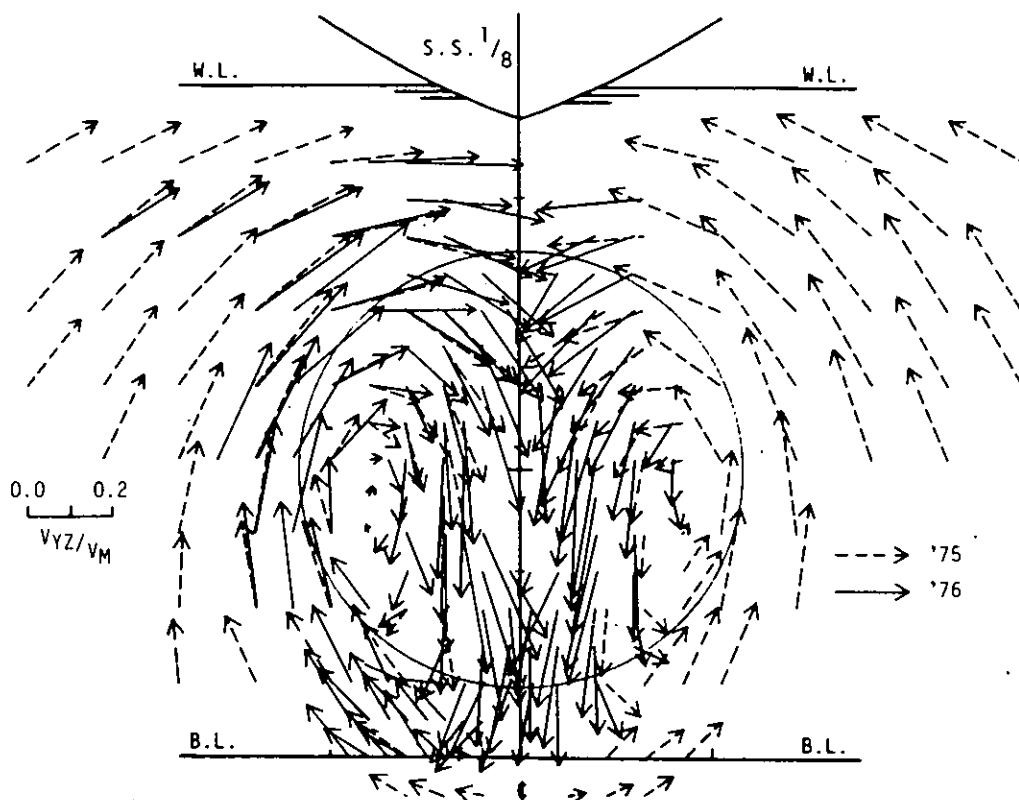


Fig. 4.3.2.13 Velocity vector representation of $V_Y V_Z$ at Sq St $1/8$
(65% Full load with Rudder and without Propeller, $Fn=0.18$)

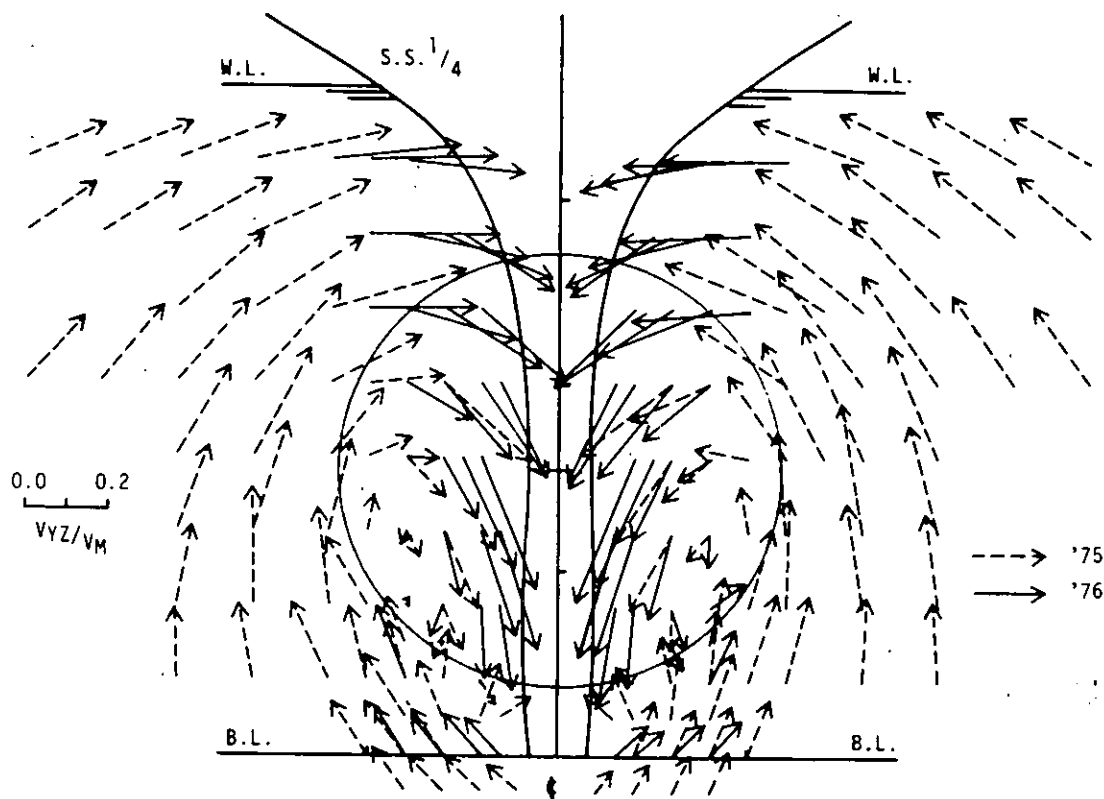


Fig. 4.3.2.14 Velocity vector representation of $V_Y V_Z$ at Sq St $1/4$
(65% Full load with Rudder and without Propeller, $Fn=0.18$)

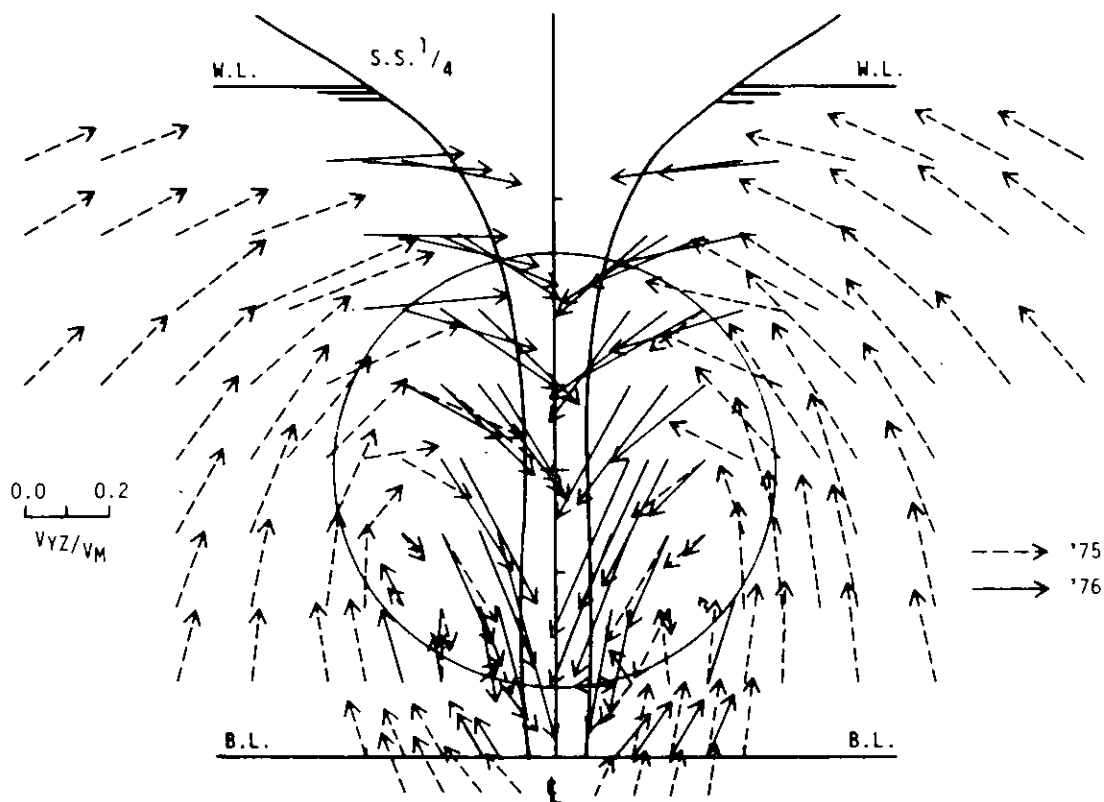


Fig. 4.3.2.15 Velocity vector representation of V_Y V_Z at Sq St $1/4$
(65% Full load with Propeller and Rudder, $n=10.0$ r.p.s., $Fn=0.18$)

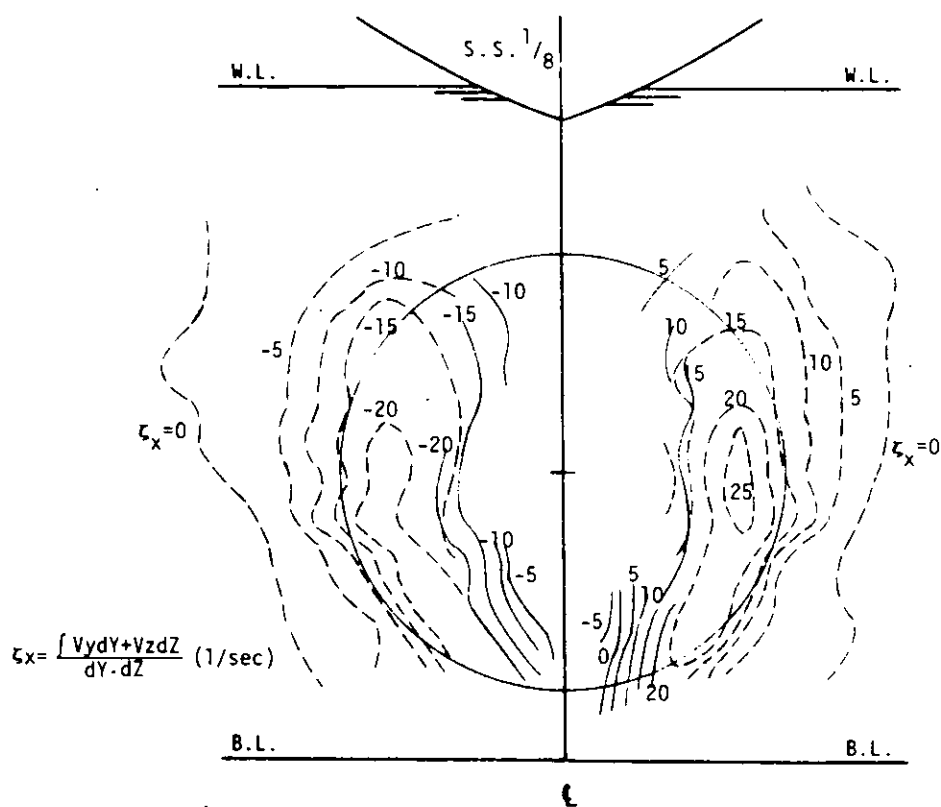


Fig. 4.3.2.16 Vorticity Distribution at Sq St $1/8$
(65% Full load with Rudder and without Propeller, $Fn=0.18$)

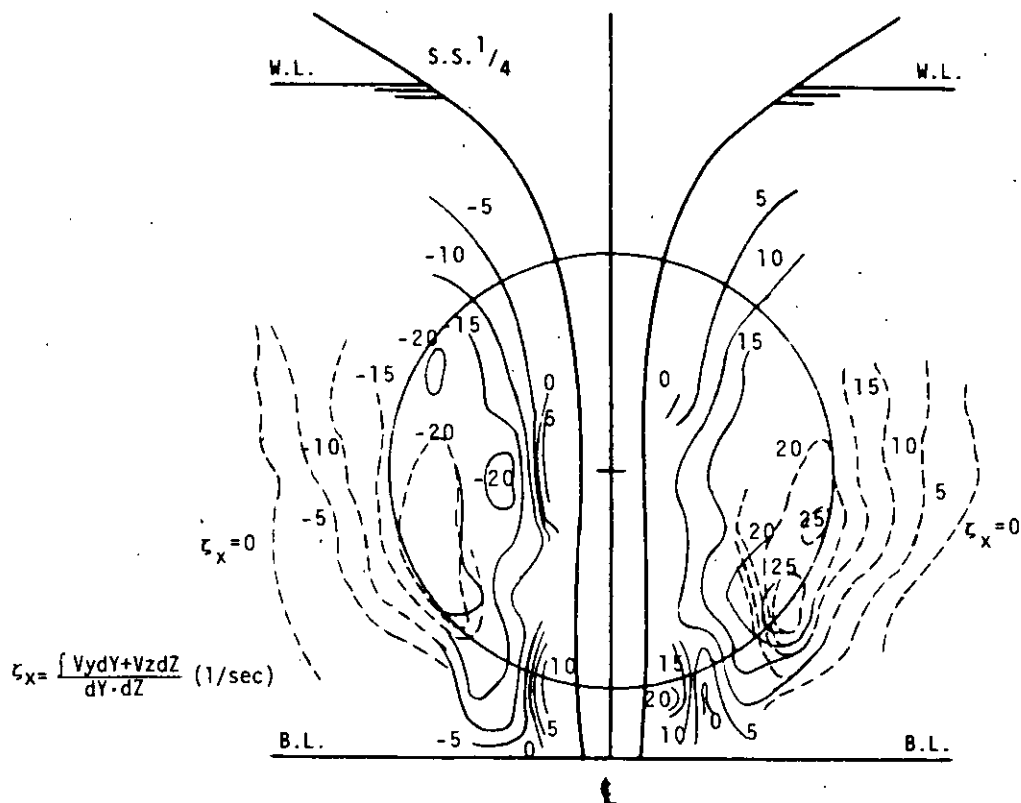


Fig. 4.3.2.17 Vorticity Distribution at $Sq St 1/4$
(65% Full load with Rudder and without Propeller, $Fn=0.18$)

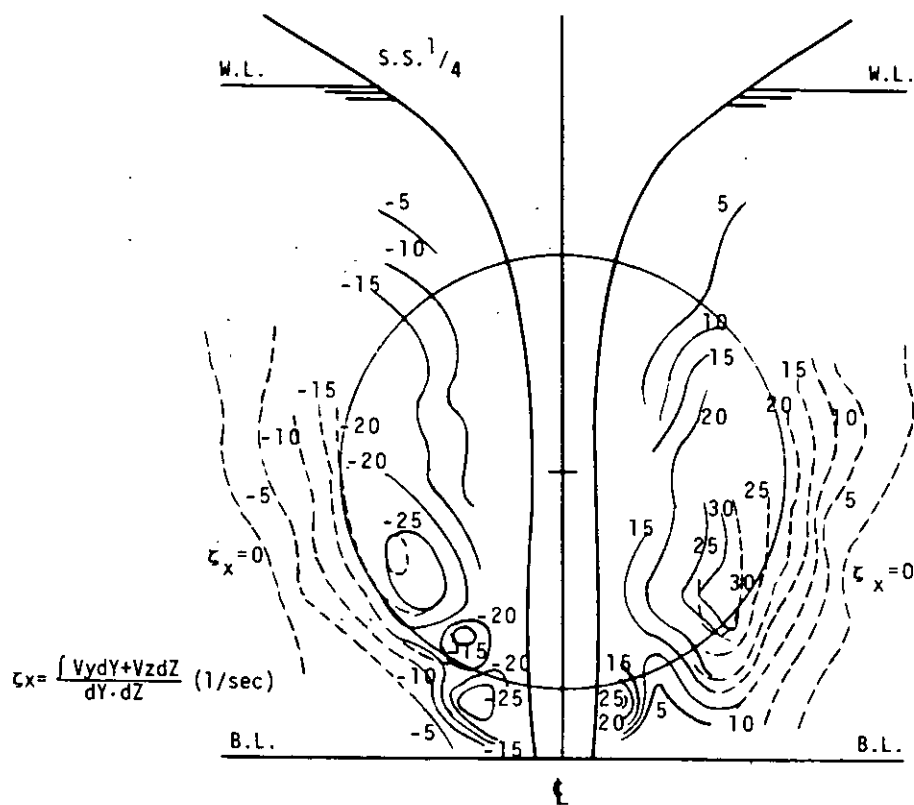


Fig. 4.3.2.18 Vorticity Distribution at $Sq St 1/4$ (65% Full load with
Propeller and Rudder, $n=10.0$ r.p.s., $Fn=0.18$)

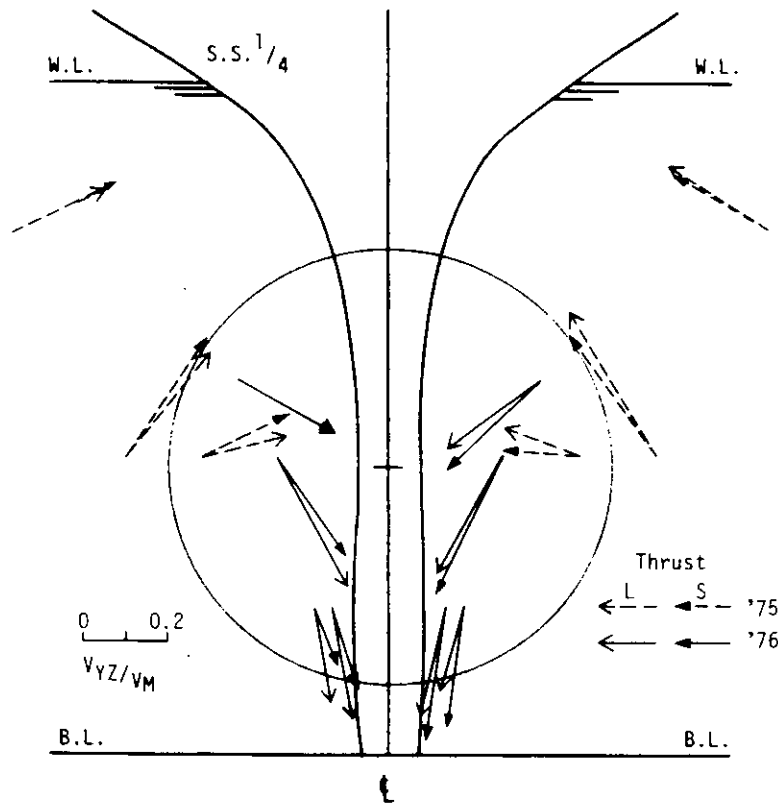


Fig. 4.3.2.19 Results of Measurements on the Multi-stable-type Phenomena at $Sq St 1/4$ (65% Full load with Propeller and Rudder, $n=10.0$ r.p.s., $F_n=0.18$)

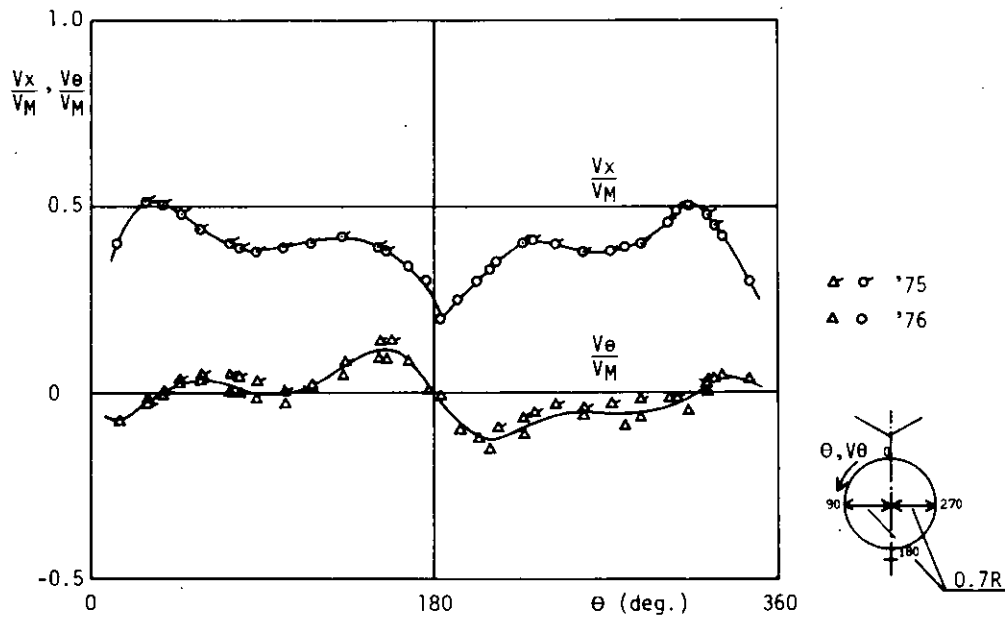


Fig. 4.3.2.20 Velocity Distribution at $Sq St 1/8$ (65% Full load with Rudder and without Propeller, $F_n=0.18$)

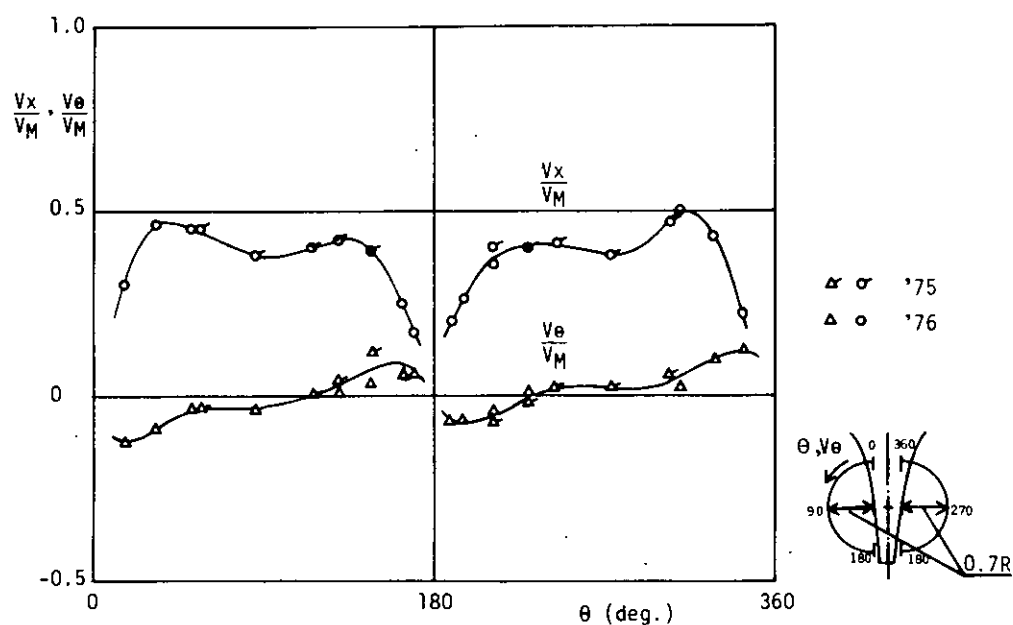


Fig. 4.3.2.21 Velocity Distribution at Sq St 1/4
(65% Full load with Rudder and without Propeller $Fn=0.18$)

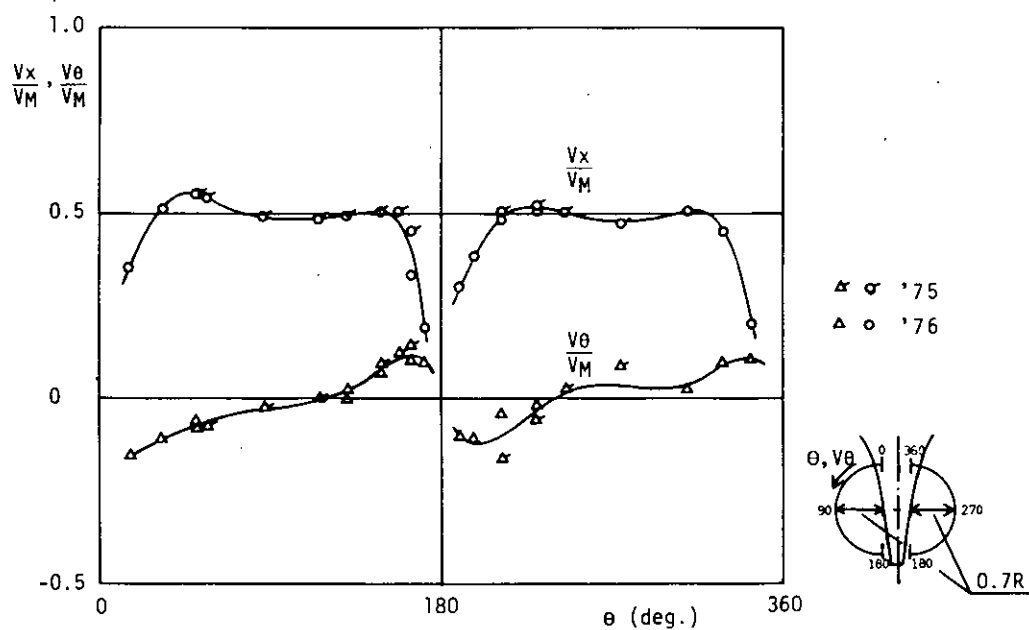


Fig. 4.3.2.22 Velocity Distribution at Sq St 1/4
(65% Full load with Propeller and Rudder, $n=10.0$ r.p.s.,
 $Fn=0.18$)

(2) 不安定な外力が作用する模型船の自航試験法

不安定な推進性能研究の課題の一つに、プロペラ推力と船体に作用する流体力が共に非定常であった場合に、British method による自航試験の解析処理方法を検討する問題がある。本項では、Fig.4.3.2.23 に示すように自航試験における力関係を定義する時、推力 T の変動、曳航力 $4R$ の変動さらに T と $4R$ の相互関係を示している推力減少係数 $1-t$ の変動をも仮定しておく。このような状態での自航試験結果を、通常の自航試験の解析法と関連を持ちながら合理的なものとしようとするのが本研究の主題である。

しかしながら、この研究で最も困難なのは変動する曳航力 $4R$ の計測である。曳航力は通常、抵抗動力計で計測されているが、大水槽で一般に使用されているデジタル型の抵抗動力計は、精度の向上を重視するために応答速度を犠牲にしているため、変動力の計測に適していない。このために本研究委員会が前年度に回答の速いアナログ型の「変動抵抗動力計」が製作された。

この動力計については、50年度報告の中で説明されているが、その後の使用経験から実用性の高いことが確認されている。天秤系の固有周期は、排水量 1 ton の模型船で約 0.1 sec を目標にしているため、周期 1 sec の変動曳航力の計測が可能となる。変動抵抗動力計を用いた計測例を Fig.4.3.2.24 に示した。この図に示すように、天秤系の固有周期は十分高く、構造材の撓みも無視できる程度であるが、なお構造材を伝わる弾性振動の影響を受けている。しかしこの図から曳航力の記録が推力変動に準じていることがわかる。

推力は、Kemp f-Remmer 社のアナログ型自航動力計を使用しているため、精度および応答速度は要求を満足している。先に述べたように、以下は推力などが変動する模型船の自航試験結果の解釈について述べてが、主として推力減少率 $1-t$ の定め方を中心に説明する。

定常な自航試験の場合、模型船の $1-t$ は下記によって定義することができる。

$$1-t = \frac{R - 4R}{T} \quad (1)$$

(1)式で用いられている R は抵抗試験で計測されたものであるから、不安定現象の中に予測されているように、曳航状態と自航状態で流れが異なり R も変化する可能性がある場合には、(1)式は物理的に意味を失っている。このような模型船に対しても、推力減少係数を広義に解釈して、「推力の変化に対する曳航力の変化の割合」と解するならば、合理的な解釈と計測の手段を得ることができる。

すなわち、(1)式 T で微分することによって、

$$1-t = - \frac{d4R}{dT} + T \frac{dT}{dT} \quad (2)$$

が得られるが、(2)式はもし右辺第2項を無視することができるならば、 $1-t$ の定義として上記の広義な解釈がなりたつことを示している。なお(2)式は、以前須藤等⁽¹⁾によって実船の $1-t$ の計測に用いられたことがある。右辺第2項については、 $1-t$ がプロペラ荷重度によってほとんど変わらないところから無視できるものと思われるが、無視できない場合には、

$$1-t = - \frac{d4R}{dT} \quad (3)$$

を第1近似式とした漸化式を用いることによって計算の精度を上ることができるが、実用上は困難が伴うかもしれない。第2近似式のみを次に示す。

$$1-t = - \frac{d4R}{dT} + T \frac{d}{dT} \left(\frac{d4R}{dT} \right) \quad (4)$$

ここで(3)または(4)式によって $1-t$ を算出し、変動する推力および曳航力の関係を表示するために、Fig.4.3.2.25 に例を示すような推力-曳航力図を提案する。

Fig.4.3.2.25 は、50年度4m模型船の44% Full load の $F_n=0.22$ 、0.18および0.13のプロペラ負荷変更試験の結果を示すもので、横および縦軸は T および $4R$ の無次元値を用いており、計測点を結んだ線の傾斜角が(3)または(4)式によって $1-t$ を与えている。この方法では、 $1-t$ は(1)式の場合と異なり抵抗試験結果を用いなくても算出できることになり、曳航状態と自航状態の流れの違いを問題にする必要がない。

また、Fig.4.3.2.25 には1回の航走中に測定値に変動があった場合この値も表示してあるが、これから次のことが理解できる。

$1-t$ を示す斜線は、推力係数 $i'=0.025$ 付近で不連続になっている。この i' を境として両斜線から得た $1-t$ を Fig.4.3.2.25 に表示してあるが、この値を通常の自航試験解析法によって算出した自航要素と比較したものを Fig.4.3.2.26 に示した。同図では、 $1-t$ の計測値の上に点線で示したものが Fig.4.3.2.25 の値を示している。この比較から、不安定現象の特徴である自航要素計測値の飛躍するプロペラ負荷と、Fig.4.3.2.25 の不連続点とはほぼ一致していることがわかる。またこの点より高いプロペラ負荷で1航走中の計測値の変動が著しくなっていることもわかる。

なお、Fig.4.3.2.25 を注意してみると1航走中の計測値の変動には2種類あることがわかる。これを説明の便利のために図解したものを Fig.4.3.2.27 に示すが、計測値の変動は Fig.4.3.2.25 の斜線に沿って生ずるものと、不連続な両斜線にまたがっておこるものがある。前者は、推力の変動に伴いこれを補う形で曳航力が変化したことを示しており、後者は、推力の変動とは別に船体に加わる流体力も変動したことを示している。 $T=0$ の曳航力を船の抵抗 R と定義すると、斜線を縦軸まで延長した値が自航中の船の抵抗を示している。したがって後者の変動には、推力の変動のほかに抵抗の変動 δR も含まれていると考えられる。

しかしながら、現状ではこの種のデータの蓄積は十分でなく、不安定現象のすべてが前記のパターンによって分類可能かどうかかわからないが、現在のデータから推論されるところを列挙すると次のようになる。

- (i) プロペラ負荷の大小によって2種類の流場があると言う在来の説は是認できる。推力-曳航力図によって推力の変動だけでなく船体抵抗の変動をも伴っていることを示すことができた。
- (ii) このような2種類の流場発生の境で推力、曳航力および推力減少率が変動しているが、プロペラ負荷の高い所では推力のみ変動している。前者の変動は階段的で（造船技術センタの定義⁽²⁾によるF型）、後者は振動的で（同、S型）現象が激しく、船体の横揺れも伴っている。後者の不安定現象には模型船の曳航方法（特にガイド装置）にも影響されているように思われる。
- (iii) Fig.4.3.2.27 には仮想の実船の自航点が記入されているが、この図に示すように自航試験で速度を低速から高速に上げて行くと、最初は $1-t$ が安定で低い値を計測するがやがて不安定現象の領域に入り、 $1-t$ の高い値となることが理解できる。

本項は、不安定現象を伴う肥大船の自航試験法の提案と結果の解釈に関するものであった。プロペラ負荷の大小が2種の流場を生ずる原因については別途流体力学的な研究を要するが、このように曳航状態と自航状態で船体周りの流れが著しく異なる船型については、従来の船型試験法を準用することには多少の疑問があり、新たに自航体（self-propelled body）としての船型試験法の完成が望まれる。

参考文献

- (1) 須藤彰一 他 ; プロペラ荷重変化の自航要素に及ぼす影響について — シーアンカーを使用した実船試験 — 関西造船第152号、昭和49年3月
- (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、日本造技々技報第3号、昭和50年3月

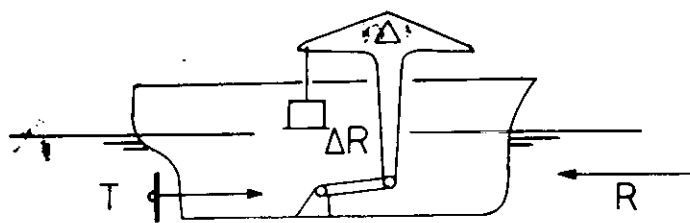


Fig. 4.3.2.23 自航試験に作用する諸力

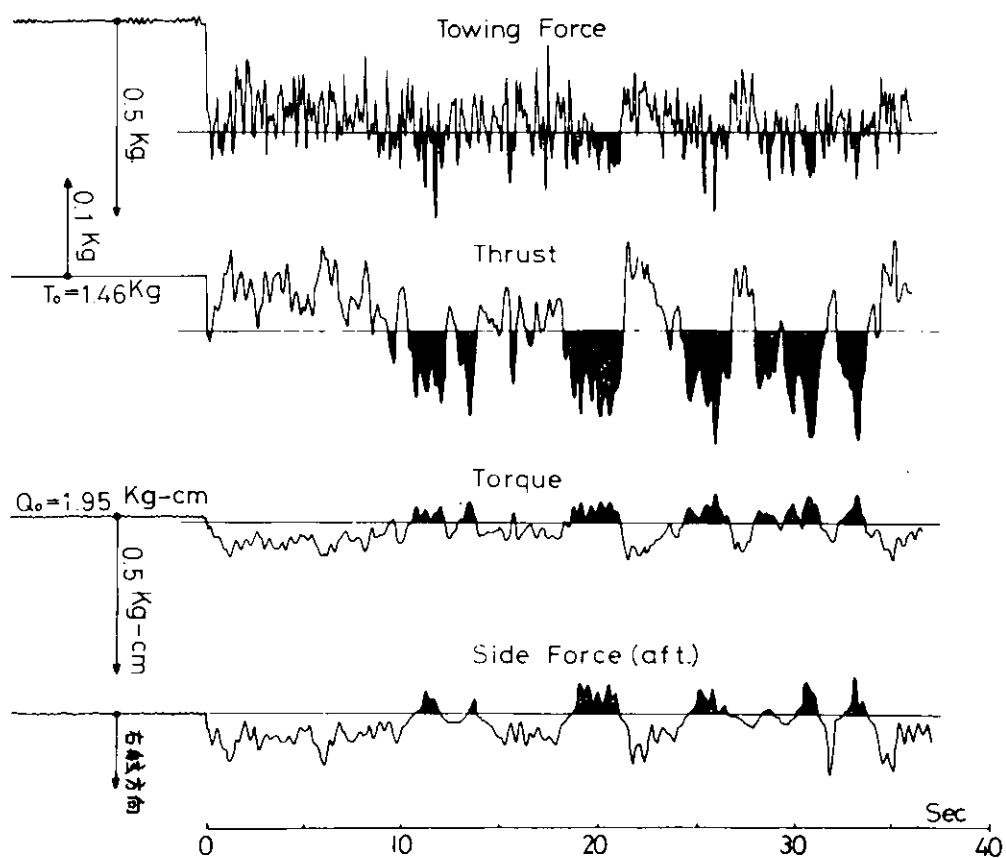


Fig. 4.3.2.24 不安定現象の計測例
 $F_n = 0.22$ 44% Full

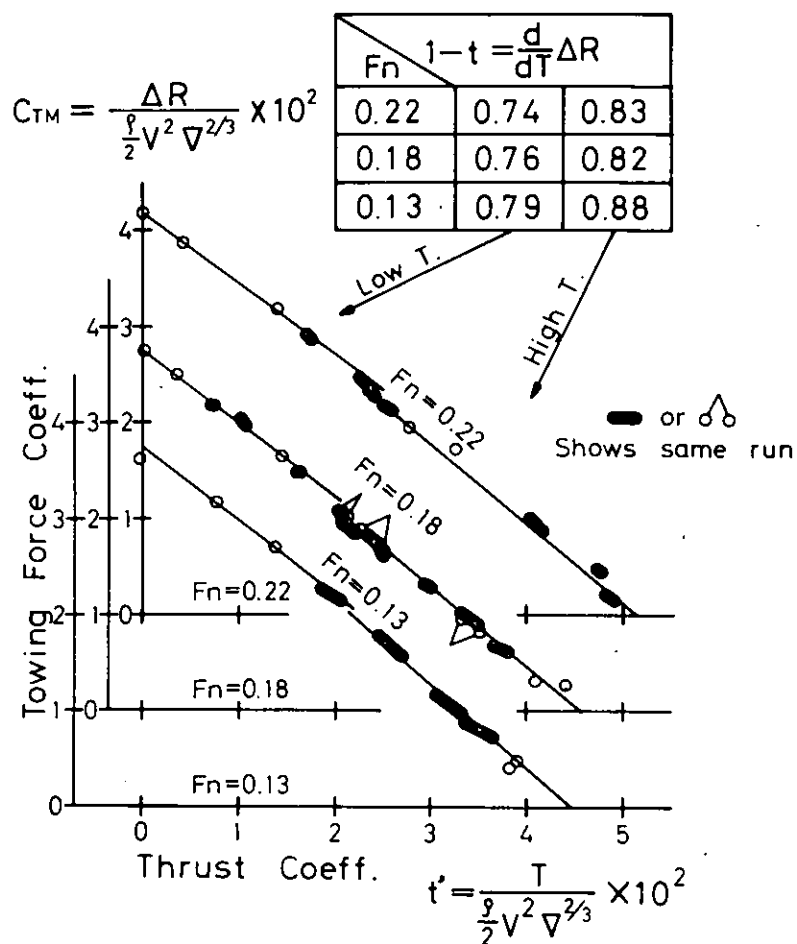


Fig. 4.3.2.25 推力—曳航力図
 SR-61母型模型(44% Full)

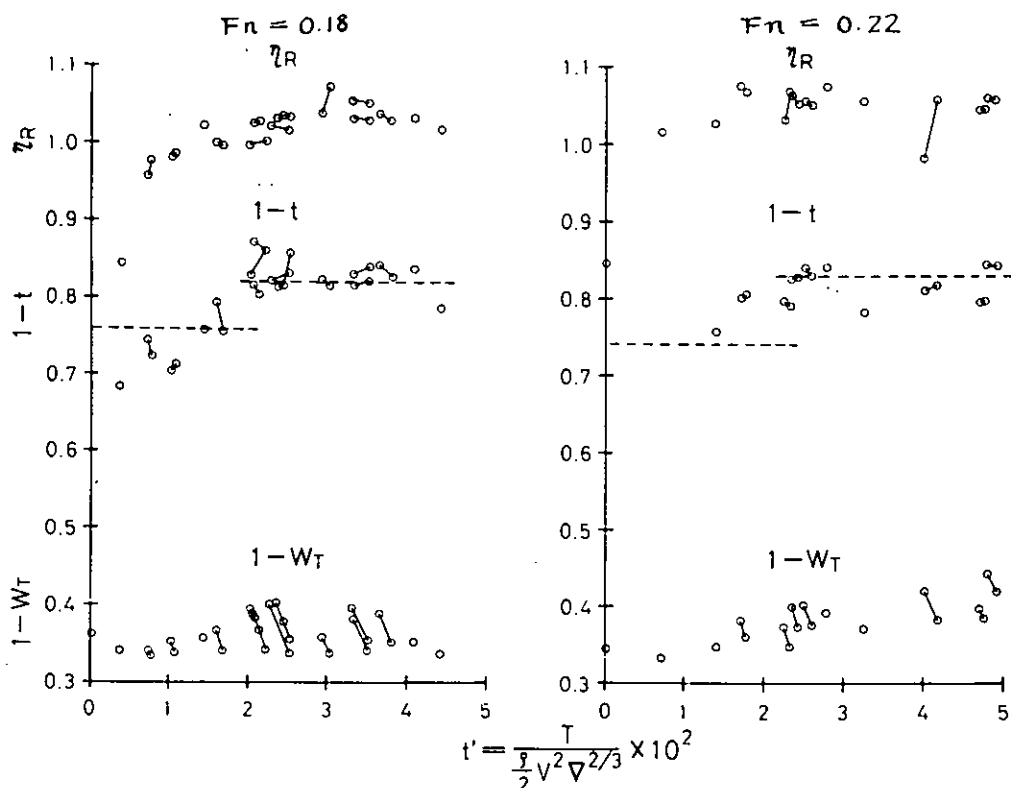


Fig. 4.3.2.26 自航試験結果(点線はFig. 4.3.2.25の計測結果を示す)

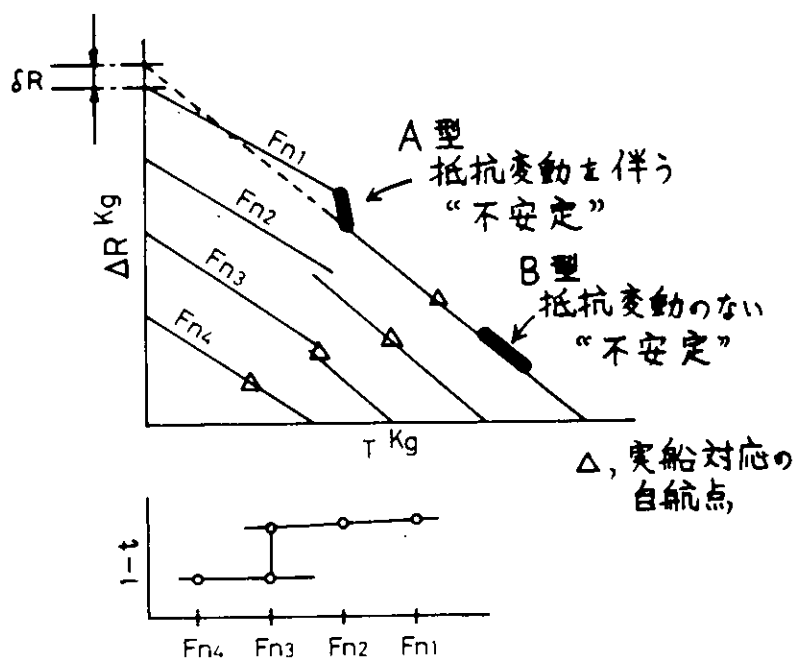


Fig. 4.3.2.27 (上) 推力—曳航力図
(下) 自航試験結果 (解説図)

(3) 51年度模型船

船体まわりの粘性流、特に船尾における流れの様子を調べるために Fig.4.3.2.28 に示す様な流線観測装置を製作した。装置内に 35 ミリカメラとテレビカメラを入れ、水中より船体まわりの流れの様子を、テレビの映像で見ると共にカメラにて撮影した。

51年度船型に対する研究は、本年度基礎項目に主体がおかれたため、この項目の実験としてはタフト・グリッドおよび2段糸による流れの観測を行なった。Fig.4.3.2.29～Fig.4.3.2.31 にタフト・グリッドによる計測例を示している。Fig.4.3.2.29、Fig.4.3.2.30 は夫々 Full Load および 65 % Load の状態における $SS\frac{1}{4}$ の断面内の流れのプロペラなしの時のものを示している。両図ともカメラ（シャッター速度 $\frac{1}{60}$ 秒）のとらえた瞬間的なものであり、時間平均の方向を示すものではない。糸は時間的に変動しており、又プロペラのある場合に比べて断面内の流れが弱いため、この図のみから論ずることは出来ないが、左舷と右舷の流れの様子はかなり異っており、対称な流れを示していないといえる。Fig.4.3.2.31 は 65 % Load の状態で自航している時の流れの様子を示すものである。Fig.4.3.2.30 と比べると、プロペラの吸込み作用によって、面内の流速も増加し糸の方向も明白となり、プロペラ円板近傍の流れの様子がかなり異って来ている。プロペラが回転している時は、その作用によってプロペラの上方の右舷側でプロペラ面内に向う下向きの流れを生じ、その傾向は左舷側より強い様に思われる。

次に2段糸を用いて船体壁面（白黒編模様の糸）と壁面から 30 mm はなれた所（白糸）の流れの船尾部における様子を観測した。Fig.4.3.2.32～Fig.4.3.2.35 にその例を示している。図は $\frac{1}{60}$ sec のシャッター速度でとらえた瞬間的な流れの方向を示すものである。Full load、65 % load ともプロペラの有無に関係なく、壁面からはなれた所にある白糸は安定であり、時間的な変化はほとんどなく、図に示す方向で、プロペラが回転している時にはプロペラ面へ吸込まれる傾向が見られる。又流れの方向は水平に近くポテンシャル論によって計算される流線の様な上向きの傾向は見られない。壁面の白黒の糸も $SS\frac{3}{4}$ までは白糸同様に荷重状態、プロペラの有無に関係なく安定であり、 $SS\frac{3}{4}$ でも白糸と白黒糸は交差し、2次流れの存在が見られる。 $SS\frac{1}{2}$ になると上方水面近くと下方ビルジの所の白黒糸は不安定な状態となり、時間的に変動しているが、その振幅は大きくなく、プロペラの作用によってもそれ程大きな変化は見られない。しかし $SS\frac{1}{4}$ の所では壁面の白黒糸の動きはプロペラの有無、荷重状態によって大きく異っている。プロペラのない場合には $SS\frac{1}{4}$ の所で、プロペラの上位値の高さの吃水の所の糸の動きと、ビルジ部の糸の動きはかなりはげしいが、その他の所の糸の動きはそれほど大きくはなく、プロペラ面内の高さの所の糸は水平に対し $45^\circ \sim 70^\circ$ 位の間を移動している。プロペラを回転させると白黒糸の動きはさらにはげしくなる。水面近くの糸は白糸の方向から、水平に対し 100° 位の所まで変動し、その下方の糸も水平に対する角度が 90° 位になり、中間の吃水の所の糸は 90° 位の所にある時間が長い。この様に壁面における流れはプロペラの有無によって大きな差があり、特に $SS\frac{1}{4}$ の水面近くの流れがプロペラの作用によって大きく変化しこの付近に大きなうづ運動を起している様に思われる。この様な糸の動きが左舷と右舷とでどの様に差があるかは、両舷同時に観測出来ないため明らかでない。Full Load の時は 65 % Load の時より白黒糸の変動の振幅が小さいようである。

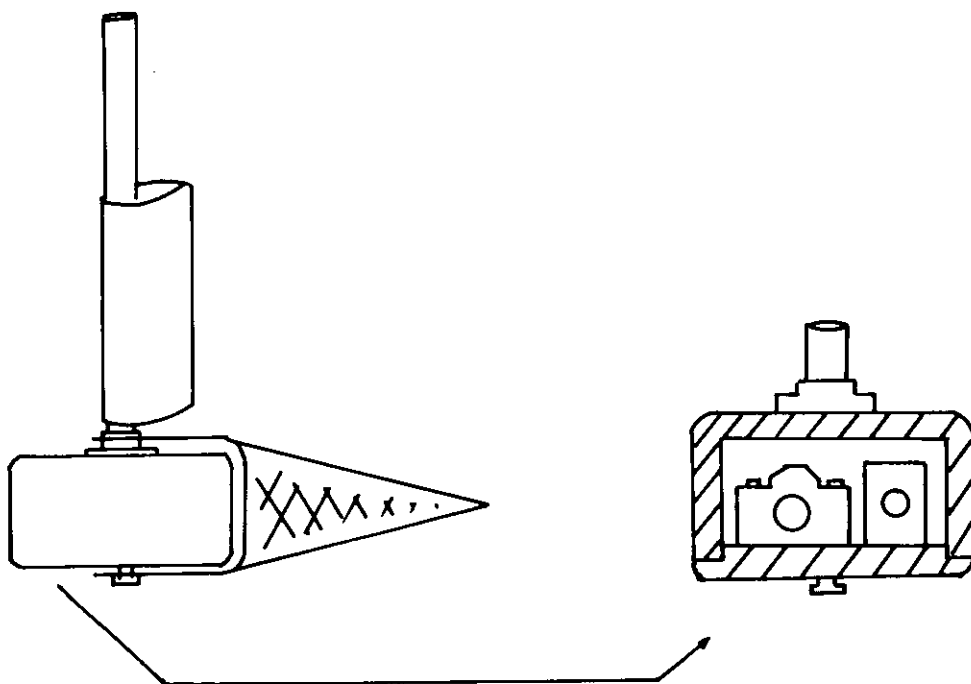


Fig. 4.3.2.28 Flow-pattern observation equipment

Flow direction by tuft grid, Model SR159-s51 4M.

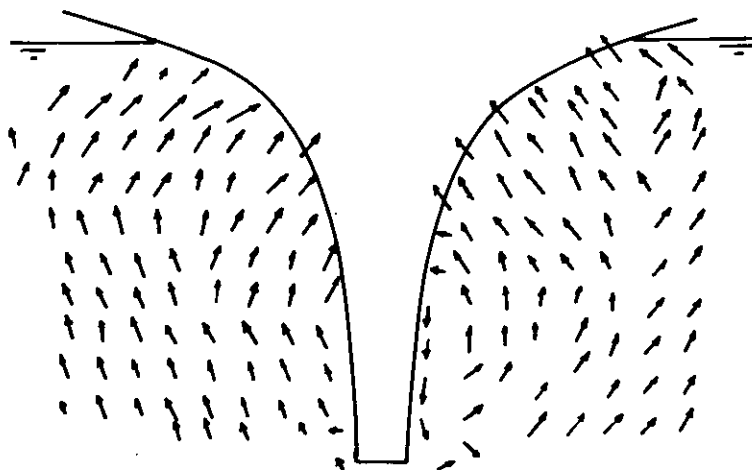


Fig. 4.3.2.29 Without propeller, full load, tuft grid ss 1/4,
 $V=1.127$ m/s, $Fr=0.18$, $Re=3.53 \times 10^6$

Flow direction by tuft grid, Model SR159-s51 4 M.

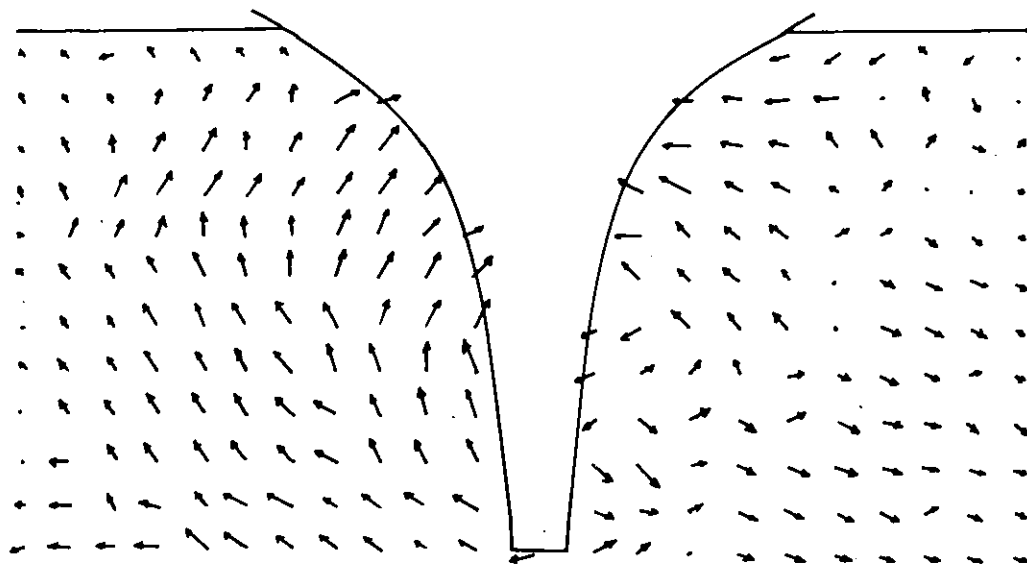


Fig. 4.3.2.30 Without Propeller, 65% Load, tuft grid ss 1/4,
 $V=1.127\text{m/s}$, $F_n=0.18$, $R_n=3.53 \times 10^6$

Flow direction by tuft grid, Model SR159-s51 4 M.

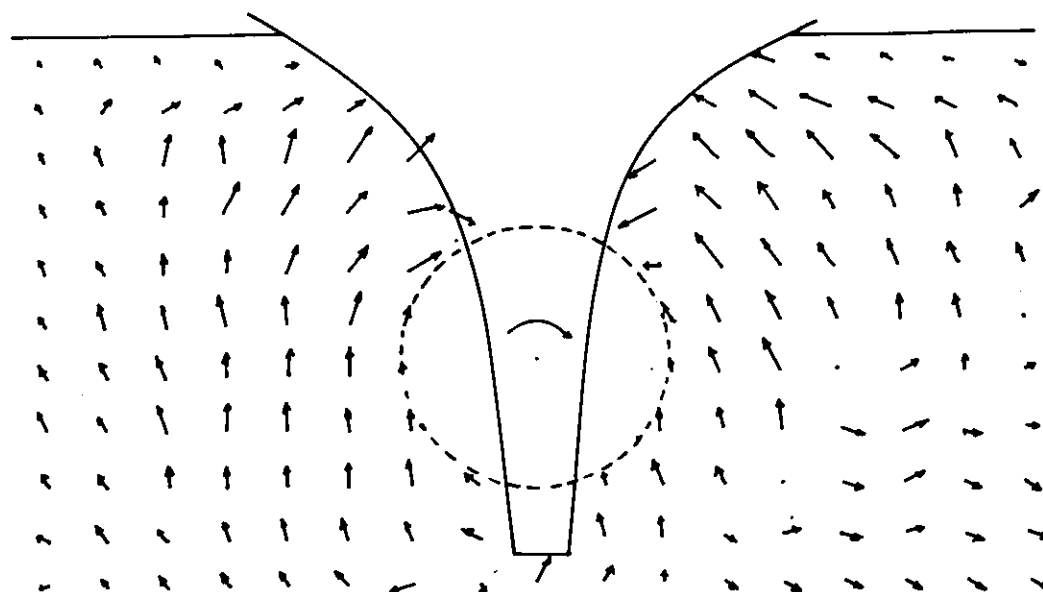
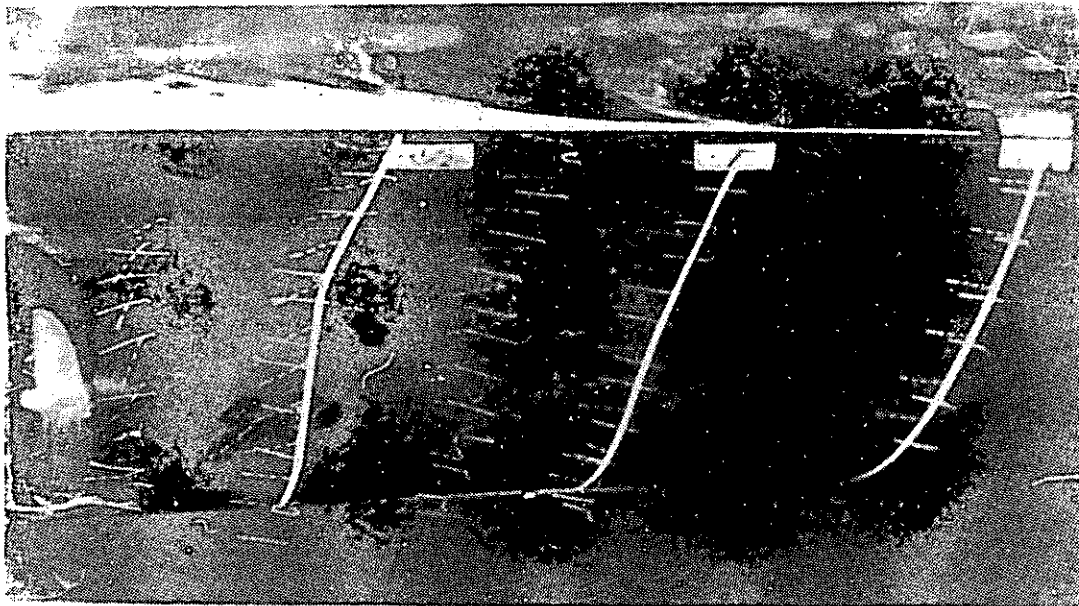
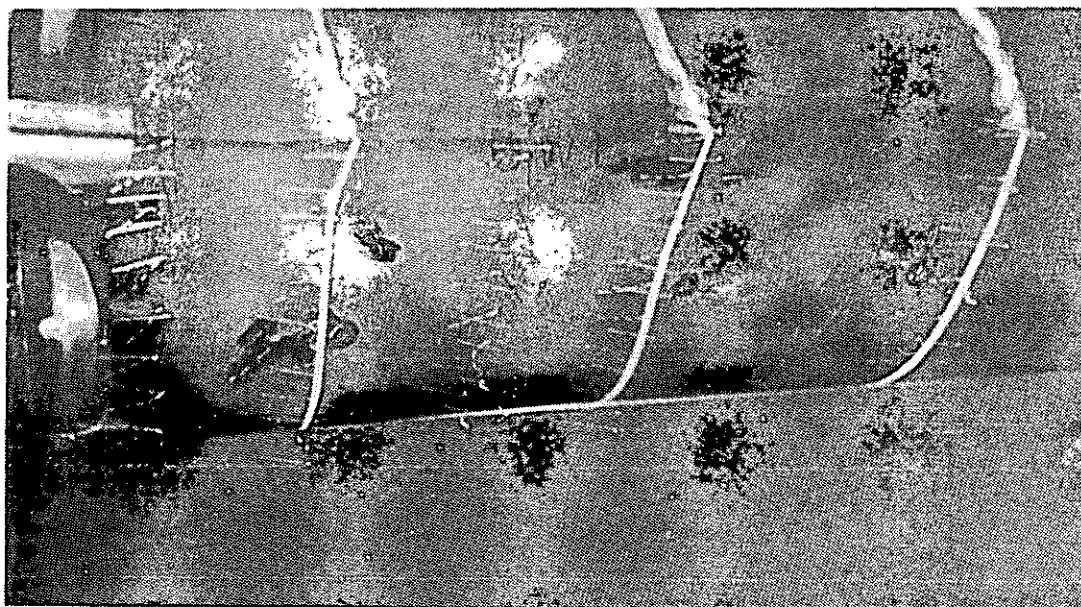


Fig. 4.3.2.31 Without propeller, 65% Load, tuft grid ss 1/4,
 $V=1.127\text{ m/s}$, $N=600\text{rpm}$, $F_n=0.18$, $R_n=3.53 \times 10^6$

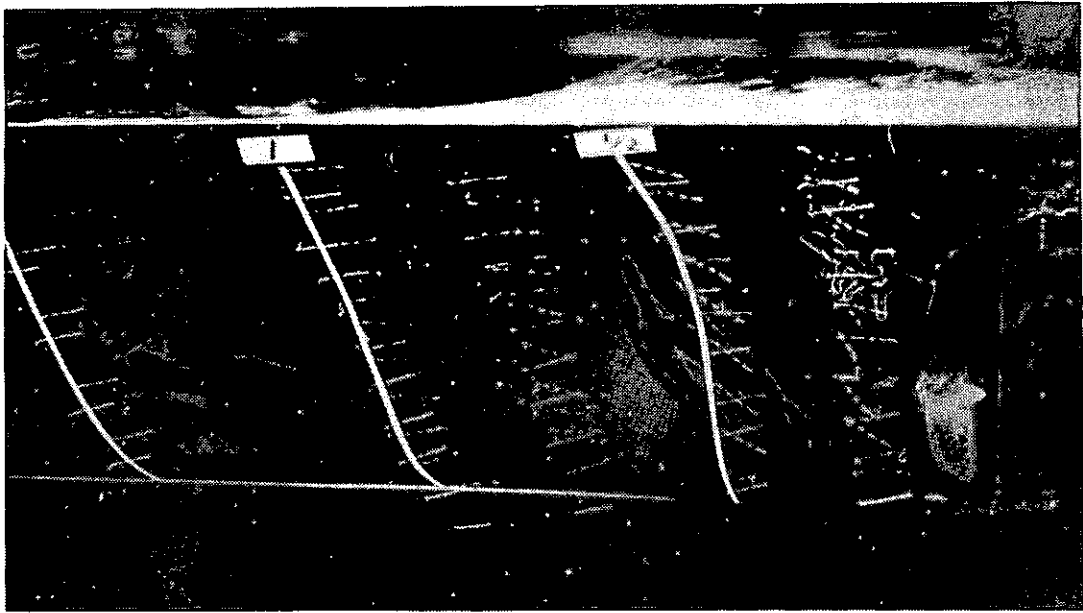


full load

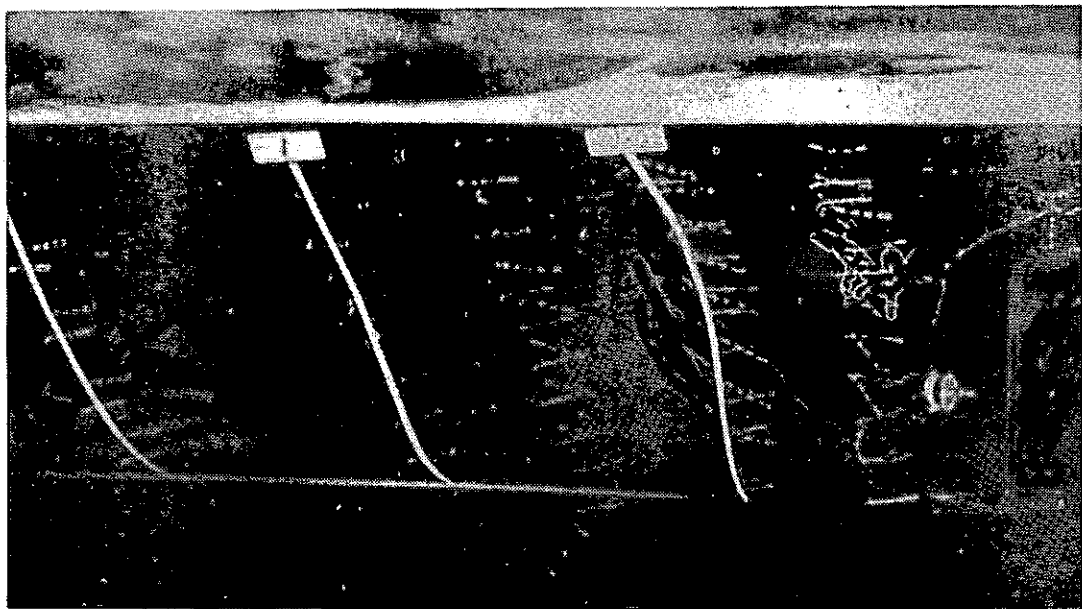


65 % load

Fig. 4.3.2.32 Flow pattern, with propeller, starboard,
 $V=1.127\text{ms}$, $F_n=0.18$, $R_n=3/19 \times 10^6$

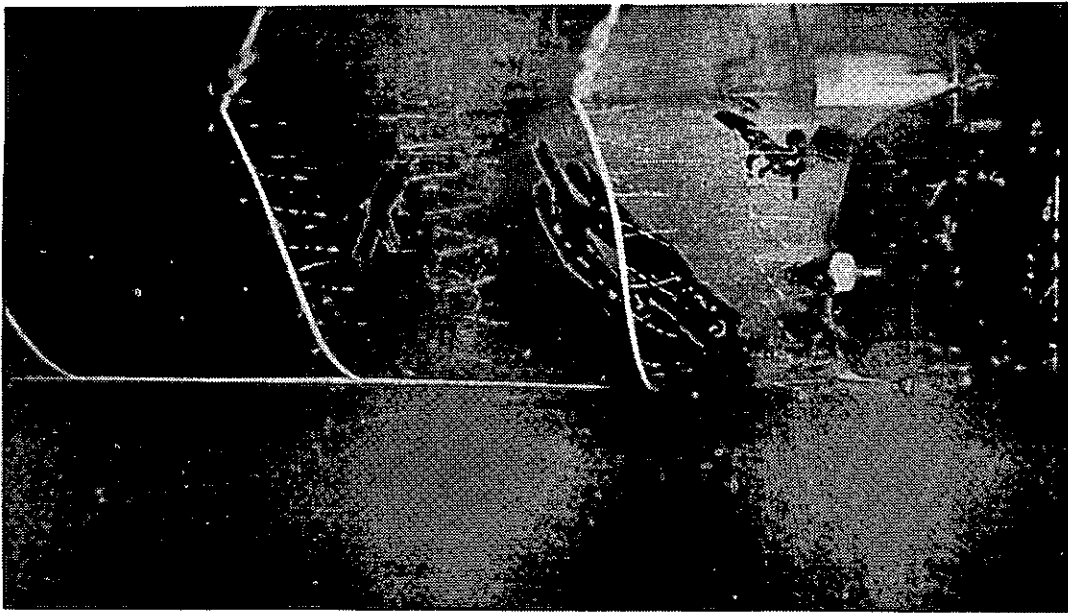


with propeller, $N=650$ rpm

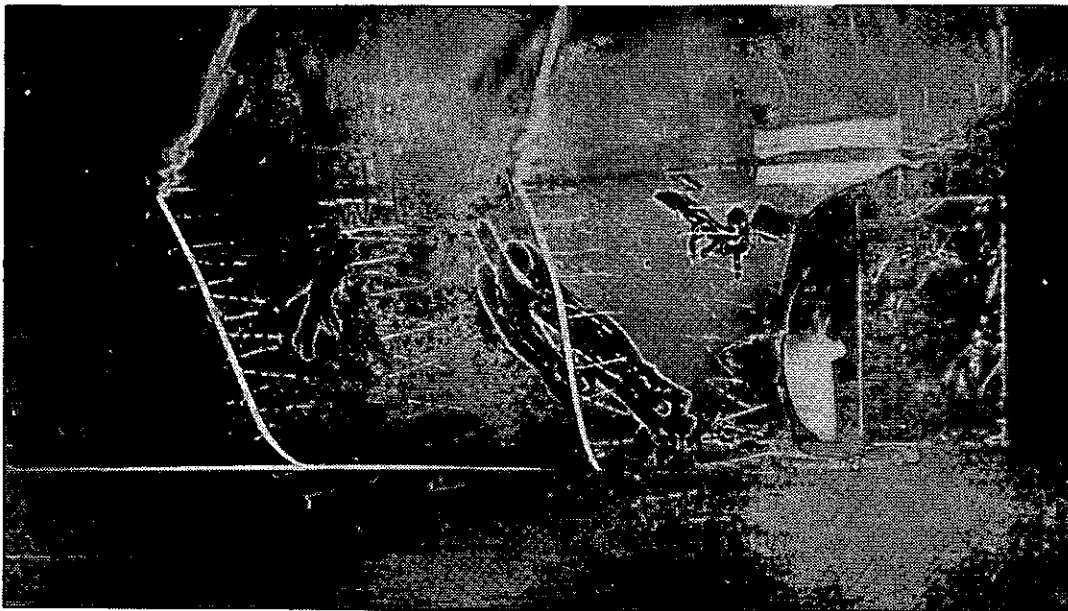


without propeller

Fig. 4.3.2.33 Flow pattern, full load, port side,
 $V=1.127\text{m/s}$, $F_n=0.18$, $R_n=3.19 \times 10^6$

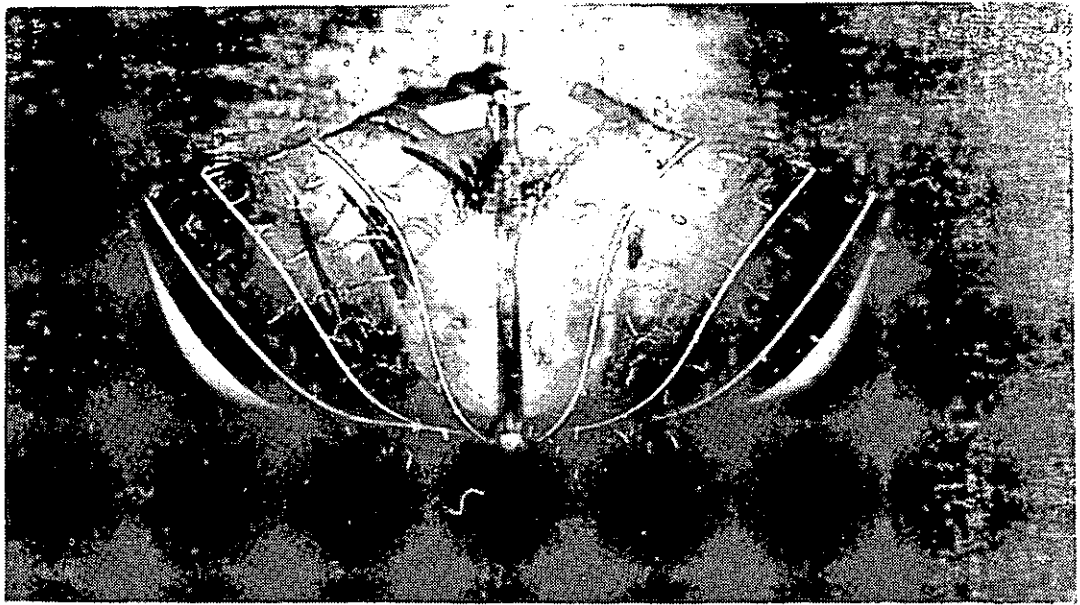


with propeller, $N=650$ rpm

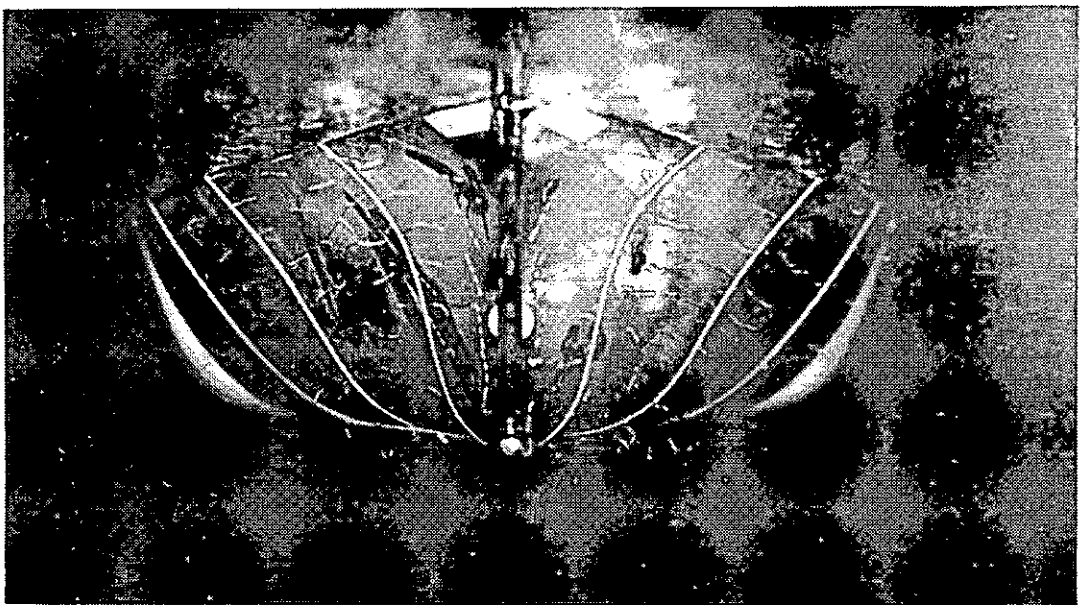


without propeller

Fig. 4.3.2.34 Flow pattern, 65% load, port side,
 $V=1.127$ m/s, $Fn=0.18$, $Rn=3.19 \times 10^6$



with propeller, $N=650$ rpm



without propeller

Fig. 4.3.2.35 Flow pattern, 65% load, backside,
 $V=1.127$ ms, $Fn=0.18$, $Rn=3.19 \times 10^6$

4.4 2m 模型船による実験と考察

昭和 50 年度、51 年度の両模型を用いて研究が進められた。このうち昭和 50 年度模型は東大・横国大の曳航水槽ならびに三井造船の回流水槽に持ちまわり、昭和 51 年度模型は日本鋼管の回流水槽において、それぞれの実験に供された。以下 4.4.1～4.4.4 は、これら機関別の報告である。

4.4.1 50 年度模型船 — 曳航水槽における実験(Ⅰ)

肥厚船船尾流場の不安定現象を知るために、昨年度の“流れの観察”に続いて、本年度は“量的計測”を加え、不安定流の様相と計測量との定性的結びつけを試みることにした。船尾の不安定流は大別して曳航状態で発生する場合、自航状態になって(“はじめて”又は“でも”)発生する場合とが考えられる。50 年度模型船については曳航状態での不安定現象は認められていないので、特別な模型(wall-sided model)を使って上記の関係を調べ、次に自航状態での不安定現象に関する実験と考察を行なった。

(1) Wall-Sided Model の曳航時に現われる不安定現象

(a) 供試模型

フレーム形状を極限まで U にし、run angle を 45° とした wall-sided model 2 隻を選んだ (Fig.4.4.1.1)。1 隻は round bilge M30R、他は sharp bilge M30S で、寸法は $L \times B \times d = 2 \times 0.364 \times 0.16 \text{ m}$ である。

(b) 実験項目

東大独自の実験として、流場観察、抵抗試験、波形解析・伴流解析を行っていたので、これに模型表面の圧力計測、表面圧力・横力・抵抗値の時間変動の比較等を追加実験した。

(c) 流場観察

Fig.4.4.1.2 に自由表面流れのスケッチを示す。Round bilge M30R では、自由表面にみえる渦(表面渦と呼ぶ)が左舷または右舷に偏寄した形で現われ、左右非対称のパターンが 5 秒～8 秒で入れ替わる。一方 sharp bilge M30S では渦のスケールが一段と大きくなり、左右舷ほぼ同大の渦を生成し放出する。それより前の部分、船体表面に沿う小さい渦子は大体 $SS.1 \sim 1\frac{1}{2}$ で始まっている。

タフトグリッドでビルジ渦を観察し、位置大きさの大局を示したのが Fig.4.4.1.3 である。M30R ではビルジ渦も偏寄し、表面渦の小さい側が優勢である。このビルジ渦は $SS.1\frac{1}{2}$ 付近でビルジ部を離れ上向き(水面の方向)に進み、かつ船体中心線面へとまわり込み、反対舷のビルジ渦を下に抑えこむよう、上下の配置となる。一方 M30S では左右ほぼ同大のビルジ渦ができるがタフトが激しく速やくゆれる。しかし AP 後方に T 字板をつけると、ゆれが抑えられる。

(d) 抵抗試験・波形解析・伴流解析

上述の流場の特徴を知った上で、M30R、M30S の抵抗試験を実施し、M30S については $F_n = 0.142$ で波形解析、伴流解析(計測断面は AP 後方半船長で、総圧を簡型ピトー管で計測)、また縦渦成分による抵抗成分を推定した (Fig.4.4.1.4)。波形解析から抵抗の殆んどが粘性成分であることがわかる。

M30S の形状は M30R とビルジサークルの有無分だけ異なるが、粘性抵抗は著しく増大している。M30S の縦渦成分 C_E から判断して、M30S では表面渦自身も大きくなり、2 次元剥離抵抗が大きく増加していると考えられる。M30R の姿勢が乱れているのは、流場がたえず変動し、“計測”のもつ意味が異なるためであろう。

(e) 限界流線と船体表面圧力分布

M30S の風洞実験から $R_n = 3.8 \times 10^6$ における限界流線を観察した (Fig.4.4.1.5)。自由表面の流場観察と合わせ考えると、①：3 次元剥離線、②：付着線、③：小さな渦子が船体表面に薄く生

じている部分、④：死水領域、⑤逆流域と考えられる。次に曳航水槽でT字板を付し、 $F_n = 0.14$ 、 $R_n = 10^6$ で船体表面圧力を計測した。計測点は右舷側の72点で、圧力等高線図をFig.4.4.1.6に示す。ビルジ線上ではSS $1\frac{1}{2}$ 付近の圧力勾配が大きく、3次元剥離がここで終り、縦渦が船側から離れていくことと対応している。逆流域はAP横の大きな表面渦の内側循環流に応じて逆流しているところに対応する。

(f) 変動圧力

時間的に変動するM30Rの船体表面圧力を計測し、その変動幅および平均値を求めた。1例として、SS $3\frac{3}{8}$ 断面の結果をFig.4.4.1.7に示す。(参考までにM30Sについても図示)。圧力変動は周期的で、どの瞬間でも左右非対称となる。上流では変動幅は小さいがSS $7\frac{7}{8} \sim 3\frac{3}{8}$ では変動が大きく、しかも断面によって自由表面付近、あるいはビルジ部、底面と変動幅の大きい場所が変っていく。これらの結果は(c)、(e)の結果とも対応づけられる。

(g) 表面圧力・横力・抵抗値の変動

M30RについてSS $3\frac{3}{8}$ ビルジ部の左右対称位置での表面圧力 P_p 、 P_s を計測、両者の差 $P_p - P_s$ とAP付近の横力 Y_A 、全抵抗 R_T の関係を調べた(Fig.4.4.1.8)。 $P_p > P_s$ のときは右舷側の流速が大きく、横力は左舷から右舷へ動く(この方向を正として表示する。)という予想通りの結果になっている。また非対称渦と全抵抗 R_T の関係は、流れの非対称性が極大になったとき R_T も極大になり、対称な瞬間が R_T 極小である。

まとめてみると、M30Sでは対称な流場が持続するが、M30Rでは安定な流場がなく、非対称な流場が変動して常に左右のパターンが入れ替わる。左右パターンの一周期は大体12～16秒程度。ビルジ部の丸味の有無のみで流場がこうに変ってくる原因をつきとめることが必要である。

(2) 昭和50年度模型の自航試験に現われる不安定現象

(a) 実験項目・状態

1. プロペラ単独試験(POT)、2. 抵抗試験(RT)、3. 自航試験(SPT)を行った。自航試験時に同時に横力(Y_A 、 Y_F)を、RT、SPTを通じて船の姿勢を、計測した。

実験状態は満載と65% ∇_F 、1% L_{pp} トリム(Table 4.4.1.1、Fig.4.4.1.9)、ITTC 1957 + $4C_F = 0.0002$ による"Ship Point"の荷重度でSPTを行った。沈下量計測位置はRTでSS $1\frac{1}{2}$ 、SS $9\frac{3}{4}$ 、SPTでSS $1\frac{1}{2}$ 、SS $9\frac{1}{4}$ 。なお横力計測位置は沈下量計測位置と同じで、横力は自航試験の前後のガイドに伝わる力(正確にはヒールしようとする力を含む)を検出する方法で測定、結果はそのまま図示したので、AP、FPの横力とは若干異なる。

(b) プロペラ単独試験

4m模型用のほぼ相似のプロペラ(直径6cm、5翼)を製作、自航試験用動力計を古い25m模型に積載、POTを行った。プロペラ要目、結果の性能曲線をFig.4.4.1.10に示す。プロペラ面での25m模型による攪乱速度(但し前進方向のみ、これに直角な方向の速度は1ケタ小さいことが二重模型流場として解析的に明らかになっている)を求め、前進係数 J を修正したものであるが、実線は22rpsの結果に従って求め、自航試験解析に用いることとした。

(c) 抵抗試験・姿勢

全抵抗、剰余抵抗曲線をFig.4.4.1.11に示す。またFP、APにおける沈下量をFig.4.4.1.12に示す。図には自航試験時の沈下量も示し、プロペラの吸引作用によるAPでの吃水変化をみた。

全抵抗、剰余抵抗とも4m結果との直接比較はできないが、満載、軽荷の相対的關係は4m、2mともよく似ている。後で述べるように軽荷では自航試験時に不安定現象が出現している。その際、姿勢が変化し、ヒールも起っていると思われるが、今回の計測では確認できなかった。

(d) 自航試験と横力(Y_A 、 Y_F)

T、Qの変動と Y_A 、 Y_F との関係に力点をおいて計測し、かつ視察による流れの模様と上記諸量との定性的関係を見ることとした。満載、65% ∇_F における回転数、スラスト、トルク、横力および自航要素 t 、 W_m 、 η_T をFig.4.4.1.13~16に示す。

結論からいえば、満載では不安定現象は現われなかった。一方65% ∇_F では広い意味での不安定現象が明瞭に現われる。不安定というより双安定（二股）がみられる。自航試験における不安定現象の有無を明確に区別するには、力の上では Y_A が、また流れのパターンからは、船尾の自由表面流に現われる“しおめ”の存在によるのが適当と考えられる。満載は65% ∇_F に比べ、流場がやや乱れているせいもあってFig.4.4.1.14に示すよう Y_A 、 Y_F でも零でない速度があるが、65% ∇_F では、速度の上昇とともに Y_A が明確に、二股に分かれ、それに対応して“しおめ”がどちらかの舷に現われる。 Y_A 、T、Q、“しおめ”の関係は Y_A が正（P→Sと働く方向）のとき、T、Qが大きく、“しおめ”は左舷に現われる。逆のときは全てパターンが入れ替わる。一例として“しおめ”の写真、 Y_A 、 Y_F 、T、Qの時間ベースの生の記録をFig.4.4.1.17~20に示す。

65% ∇_F 、“Ship Point”における自航試験の模様を詳細にみれば、全フルード数にわたって広い意味の不安定現象があると考えられる。 $Fn=0.10\sim0.11$ では、曳引車などからの“外乱”が“現象”に対して比較的大きいと考えられるが、この範囲では、一航走中に Y_A は正にも負にも変動する“芽ばえ”をもっているが、“外乱”との区別がむづかしい。 $Fn=0.12\sim0.14$ では明瞭に Y_A が正負に変わり、T、Qもそれに応じて変わる。この場合、 $Y_A=0$ の持続する状態はない。低速でみられる“しおめ”は曳引車が試験状態を終り減速に入るとき、後方でカルマンの渦列となる。このことからすれば、“しおめ”は速度の不連続面とも考えられる。 $Fn\geq 0.15$ では外乱が相対的に小さく、双安定のうち一方の状態が現われる。実際には、 Y_A が正のケースが多発した。Fig.4.4.1.16の $Fn=0.16$ では2回の試験で、それぞれ別の状態が出、途中での転移はなかった。（中抜きの記号は Y_A 正のケース、中実記号は Y_A 負のケース、同一フルード数上を線で結んだものは一航走中に双方の安定流場が出たものである。）原因はわからないが、 $Fn=0.18$ か0.19で当初 Y_A が負の状態で定速自航に入った場合、途中で Y_A 正の流場に転移する場合がある。

(3) まとめ

曳航・自航を通じて不安定現象の「現象面」はかなり明らかになったように思われる。不安定現象を誘発するもとは、何がしかの状況の変化にもとづく、左右の流れの非対称化と思われる。Wall-sided model M30Rではビルジ渦、表面渦が常に非対称な流場を形成し、かつ周期性をもった変動と考えられる。これに対し、SR159模型では、65% ∇_F に双安定の流場が形成され、この間の転移は一航走中に起ることもあれば、そうでないこともあり、いわゆる周期的転移は認められない。船尾の流れはM30Rに大きな表面渦が見られるのに対し、SR159の流場には表面渦は見られず、代わりに“しおめ”によって流場の定常性が保たれているように思われる。

しかし非対称流場が何故安定なのか、船尾形状との関係はどうなっているかは今後の課題と思われる。

Table 4.4.1.1 Particulars of SR159 2m Model (1975)

Load Condition	Full Load	65 % Load
L_{PP} (m)	2.000	2.000
L_{DWL} (m)	2.050	2.050
B (m)	0.3333	0.3333
d_m (m)	0.1208	0.08112
Trim (%)	0	1.00
Δa (kg)	64.58	41.98
S_a (m ²)	0.9573	0.7885
C_B	0.8018	0.7760
C_P	0.8096	0.7873
C_M	0.9904	0.9857
L_{CB} (%L)	1.480F	0.457F

Note: SFC = ITTC 1957, $\Delta C_f = 0.0002$

	Full Load	65% Load
Fn=0.14	56.0 gr	46.2 gr
Fn=0.18	86.3 gr	71.1 gr

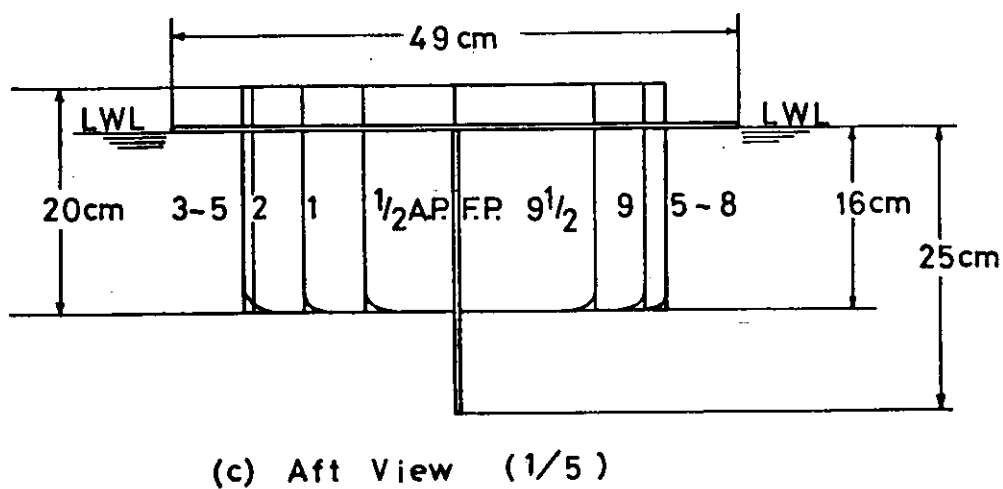
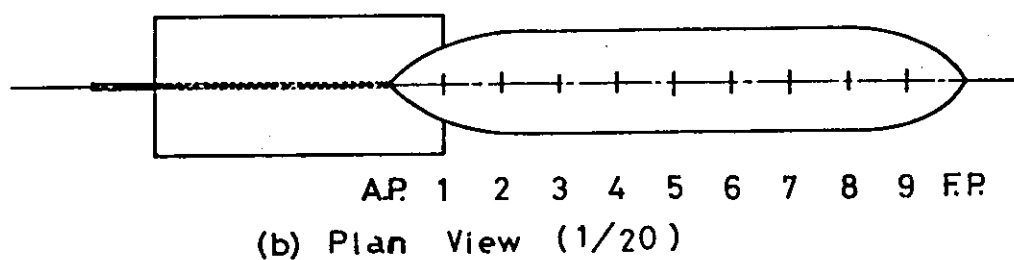
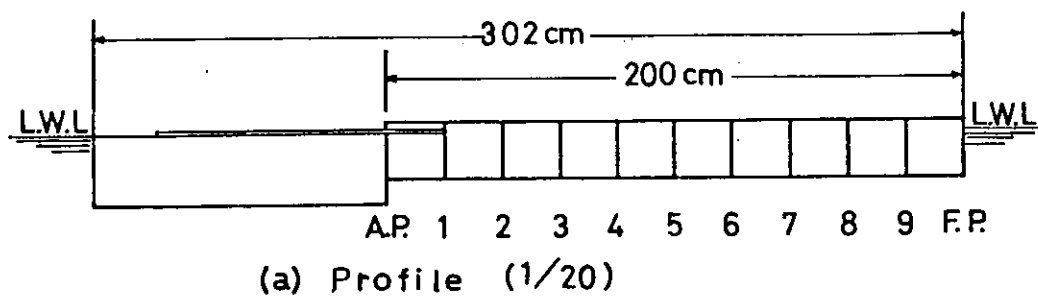
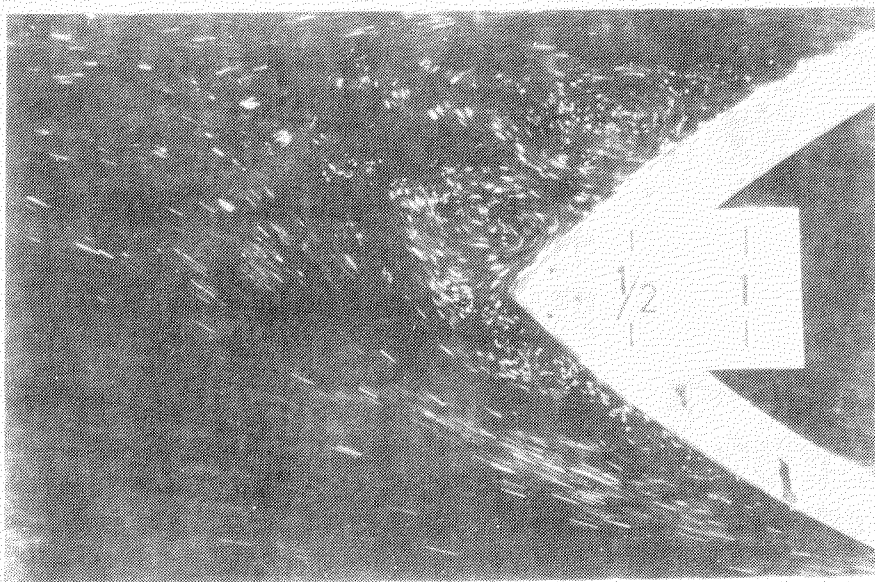
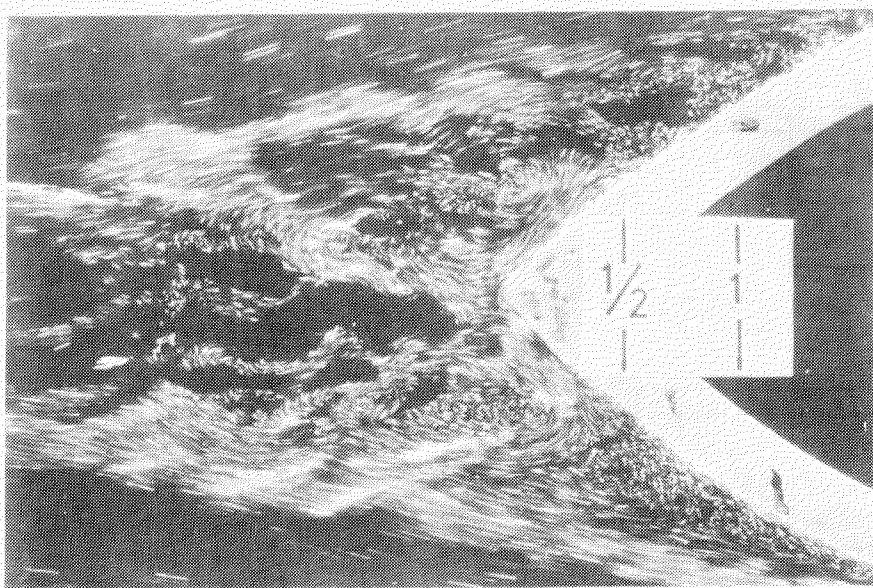


Fig. 4.4.1.1 Model ship { M 30R (Round Bilge)
M 30S (Sharp Bilge)



M 30R Round Bilge



M 30S Sharp Bilge

Fig. 4.4.1.2 Photos of Surface Stern Flow

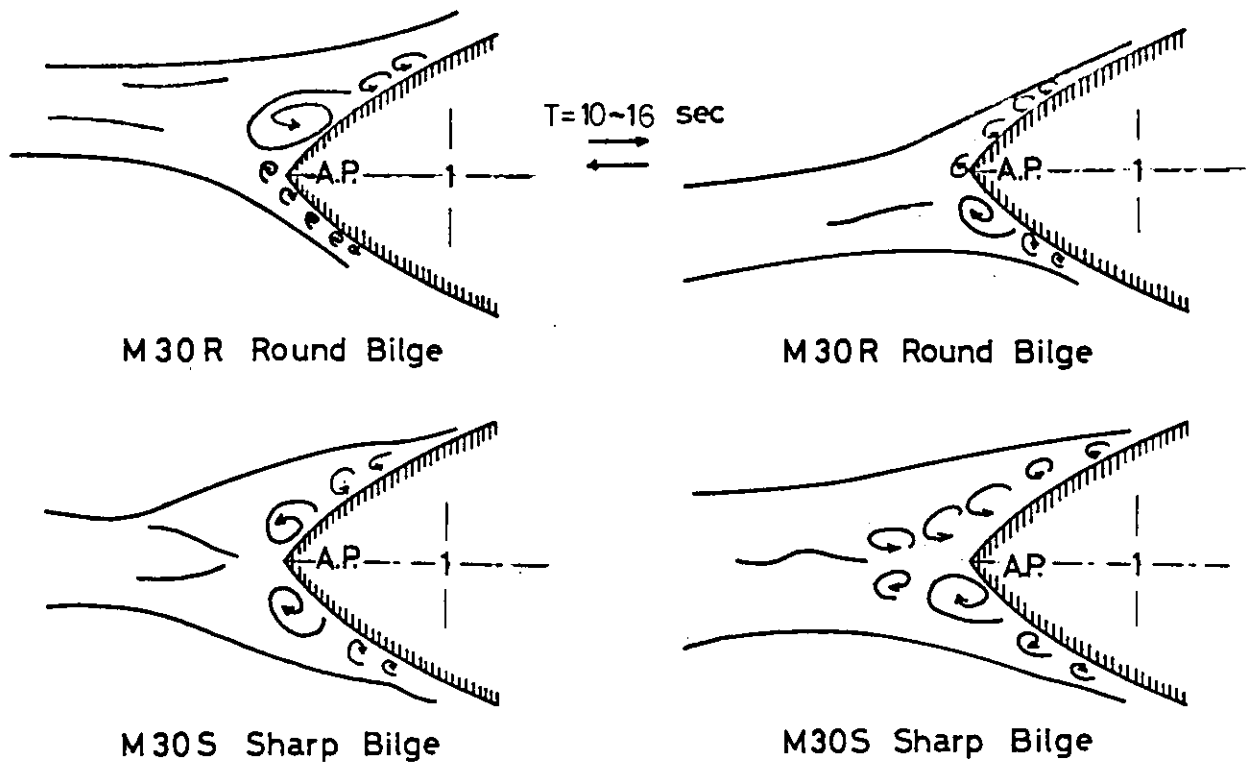


Fig. 4.4.1.3 Sketches of Surface Stern Flow

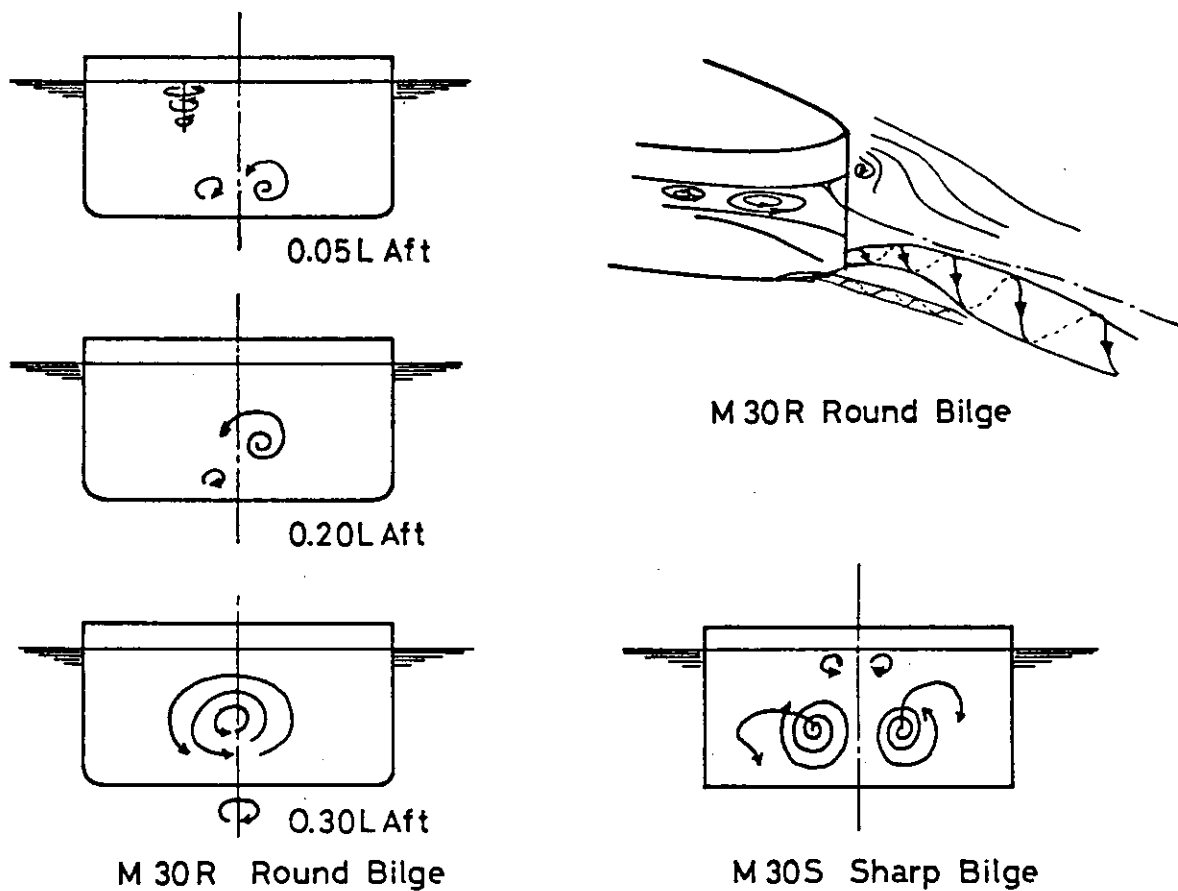


Fig. 4.4.1.4 Sketches of Under-water Stern Flow

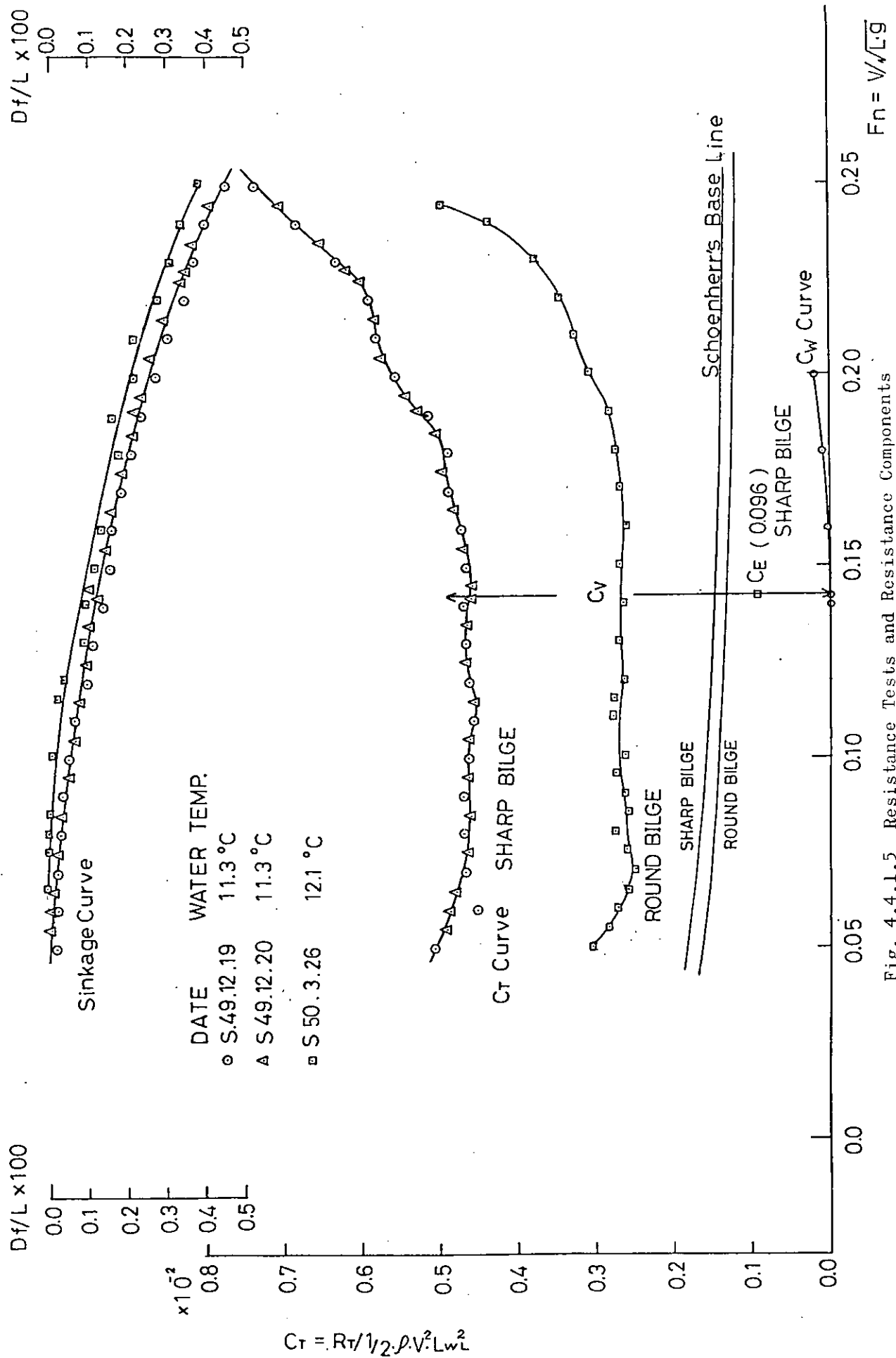
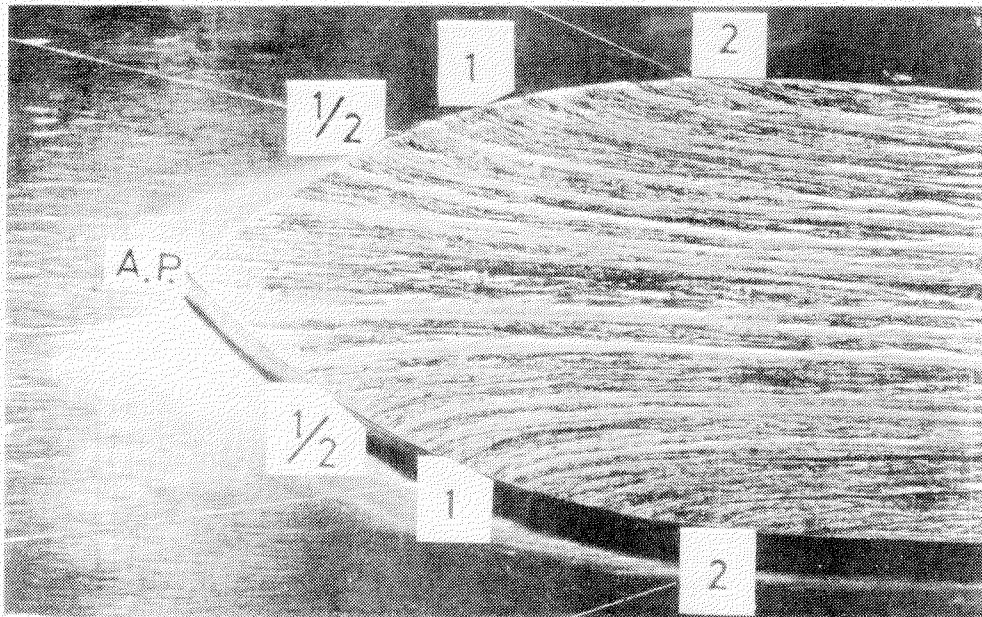
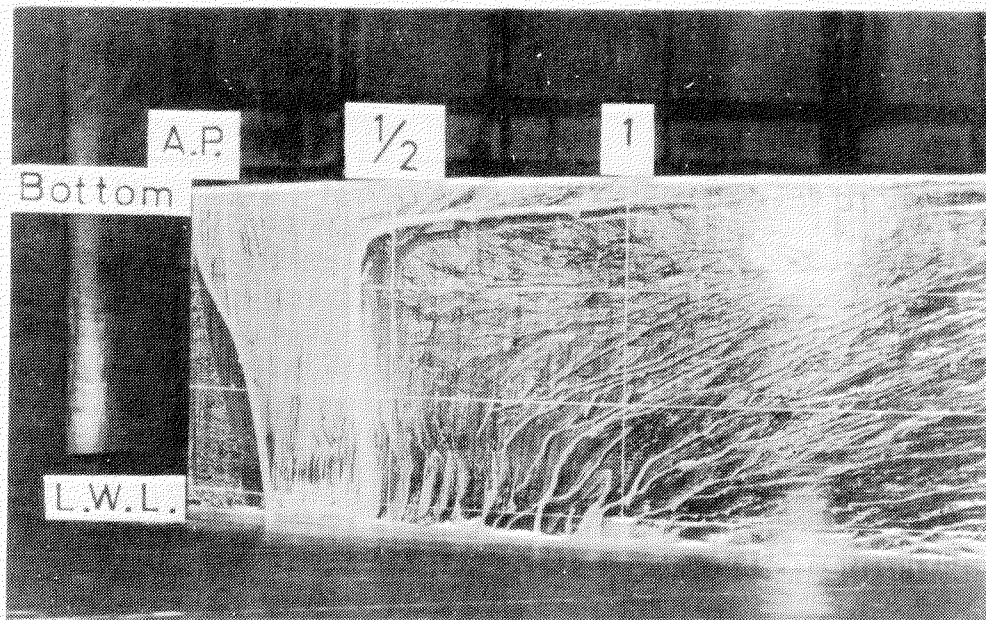


Fig. 4.4.1.5 Resistance Tests and Resistance Components



Bottom View



Side View

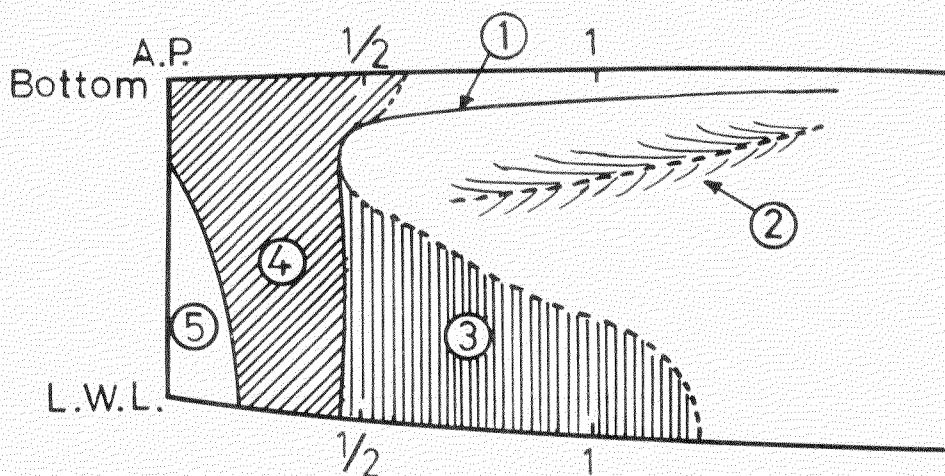


Fig. 4.4.1.6 Limiting Stream Line of M 30S

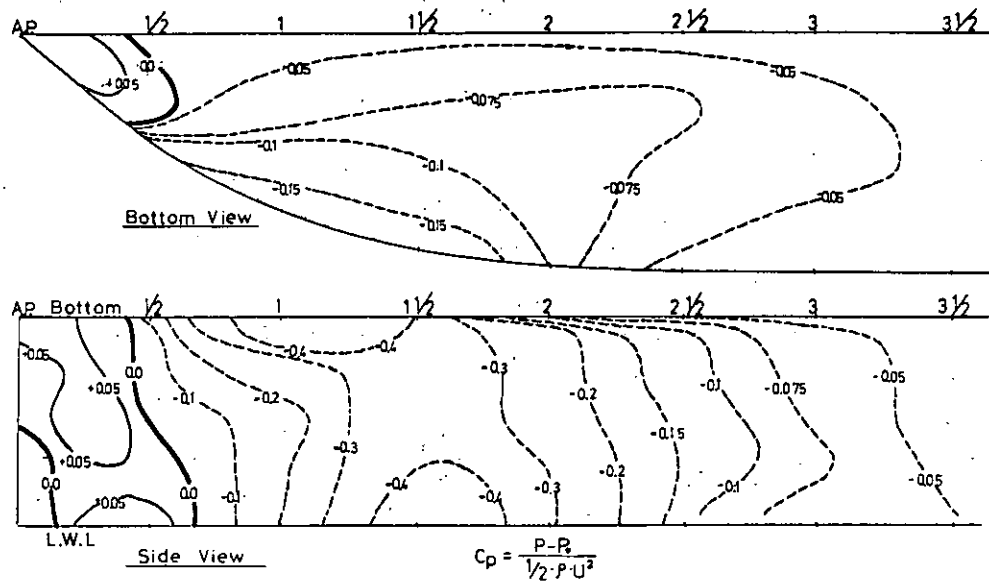


Fig. 4.4.1.7 Contour of Measured Pressure Distribution
(M 30S with T-Plate)

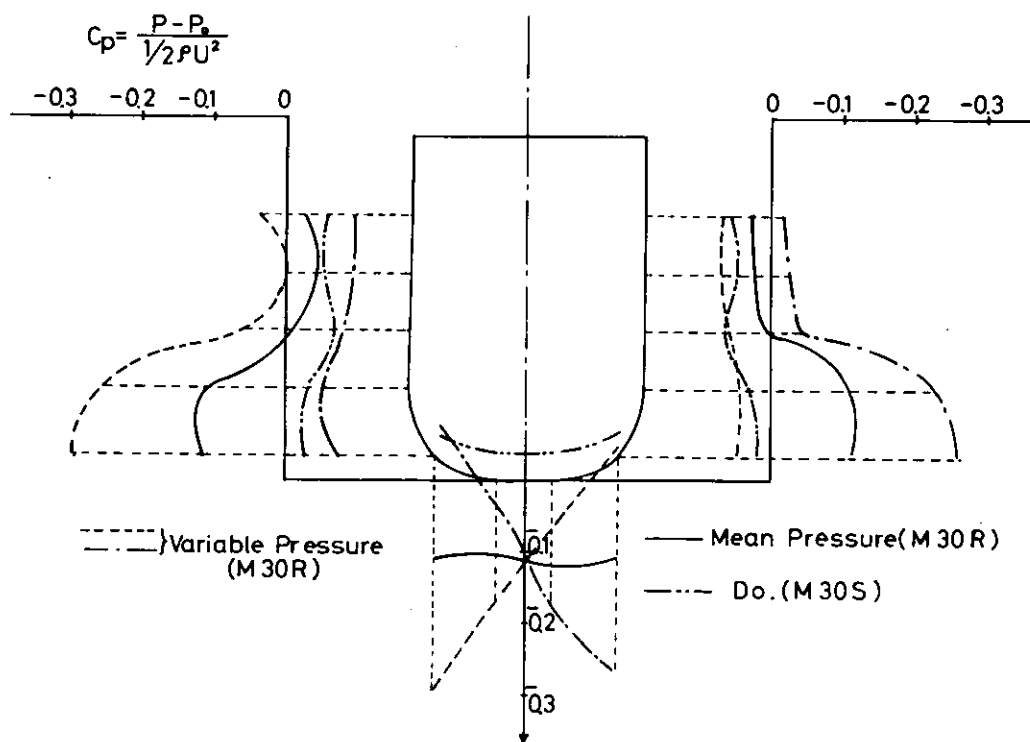


Fig. 4.4.1.8 Surface Pressure of M 30R(M 30S) at S.S. 3/8

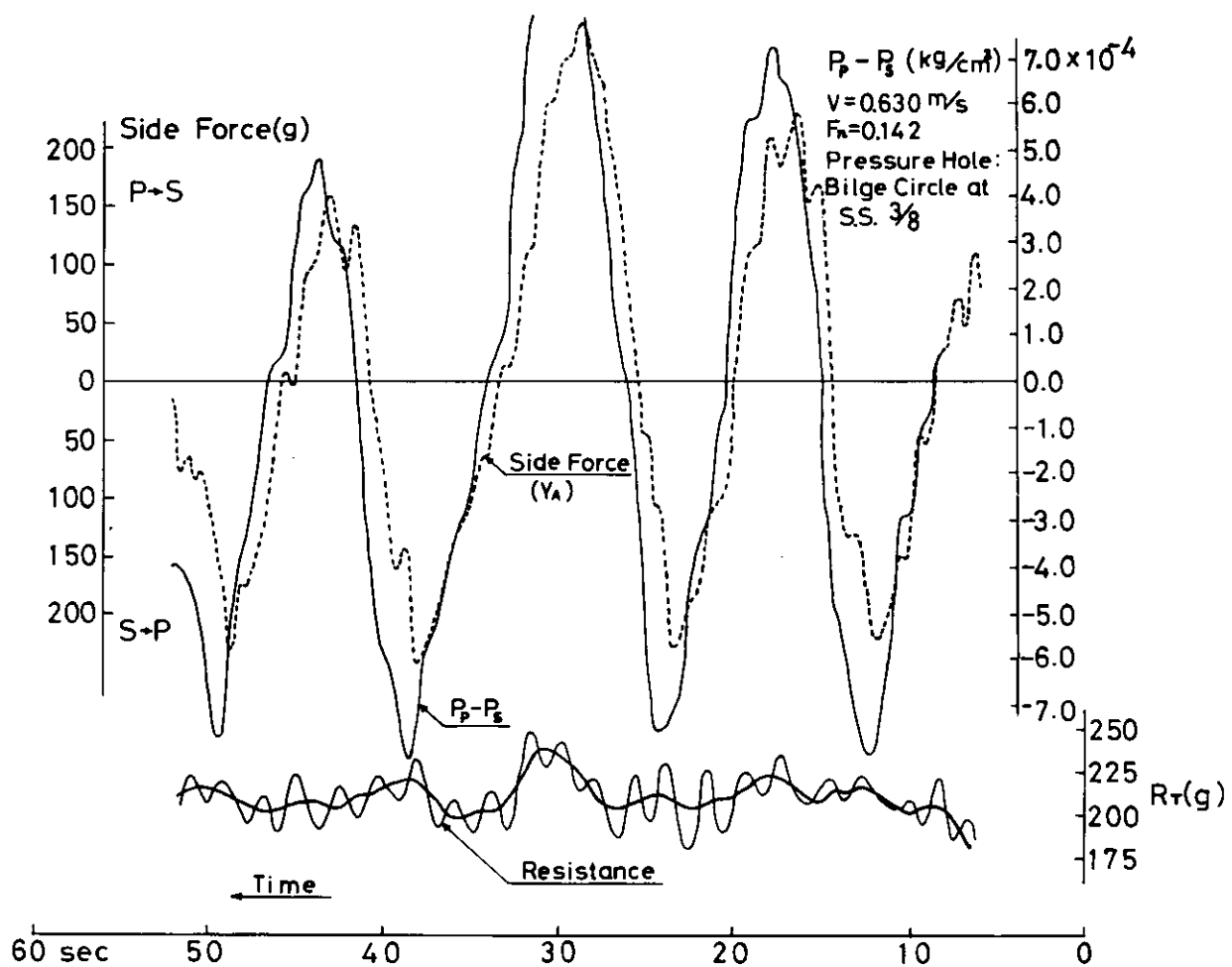


Fig. 4.4.1.9 Round Bilge Pressure, Side Force, Resistance of M 30R

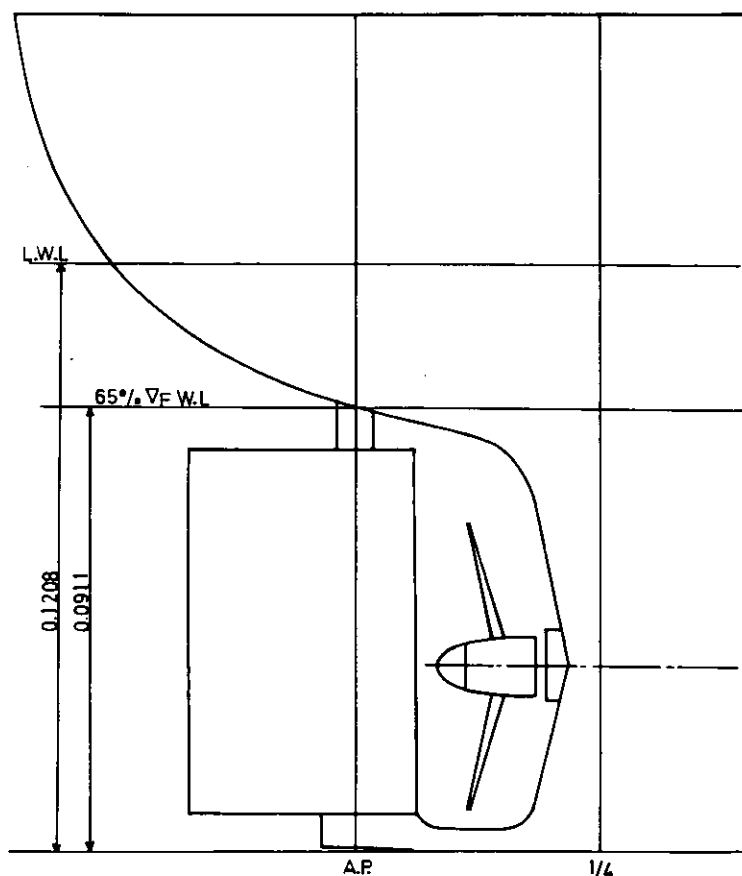


Fig. 4.4.1.10 Stern Profile of Model SR159-1975

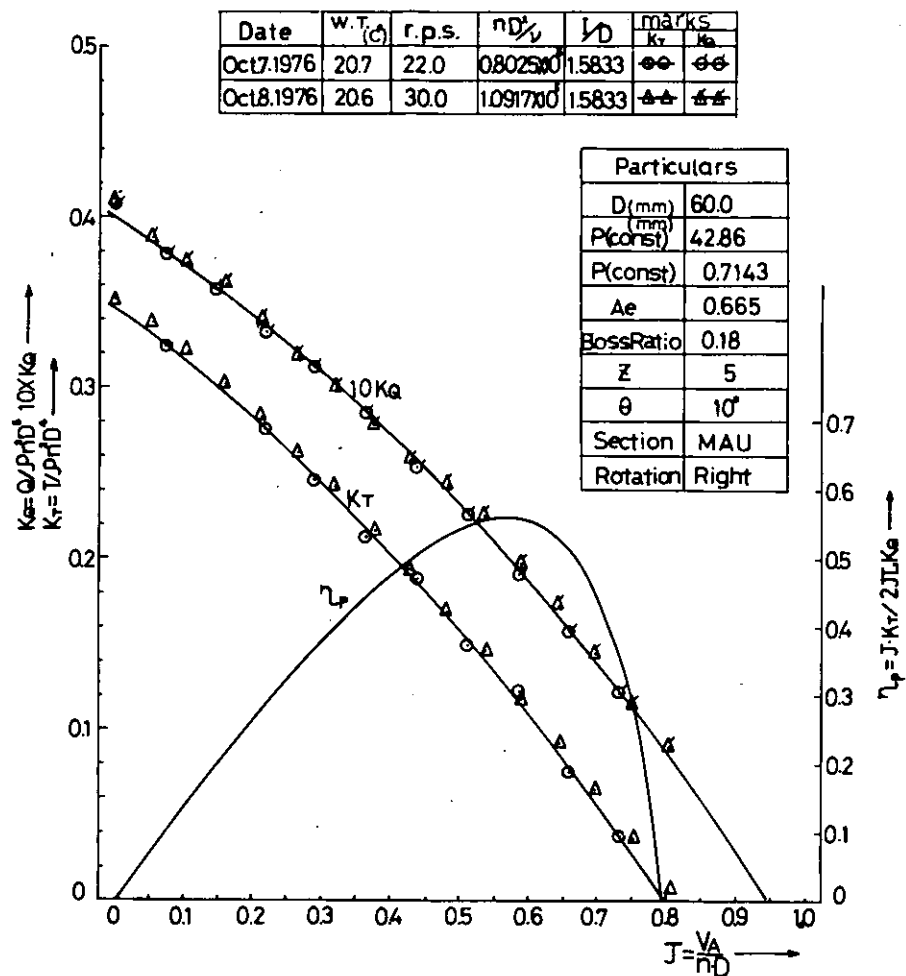


Fig. 4.4.1.11 Propeller Open Characteristic Curves

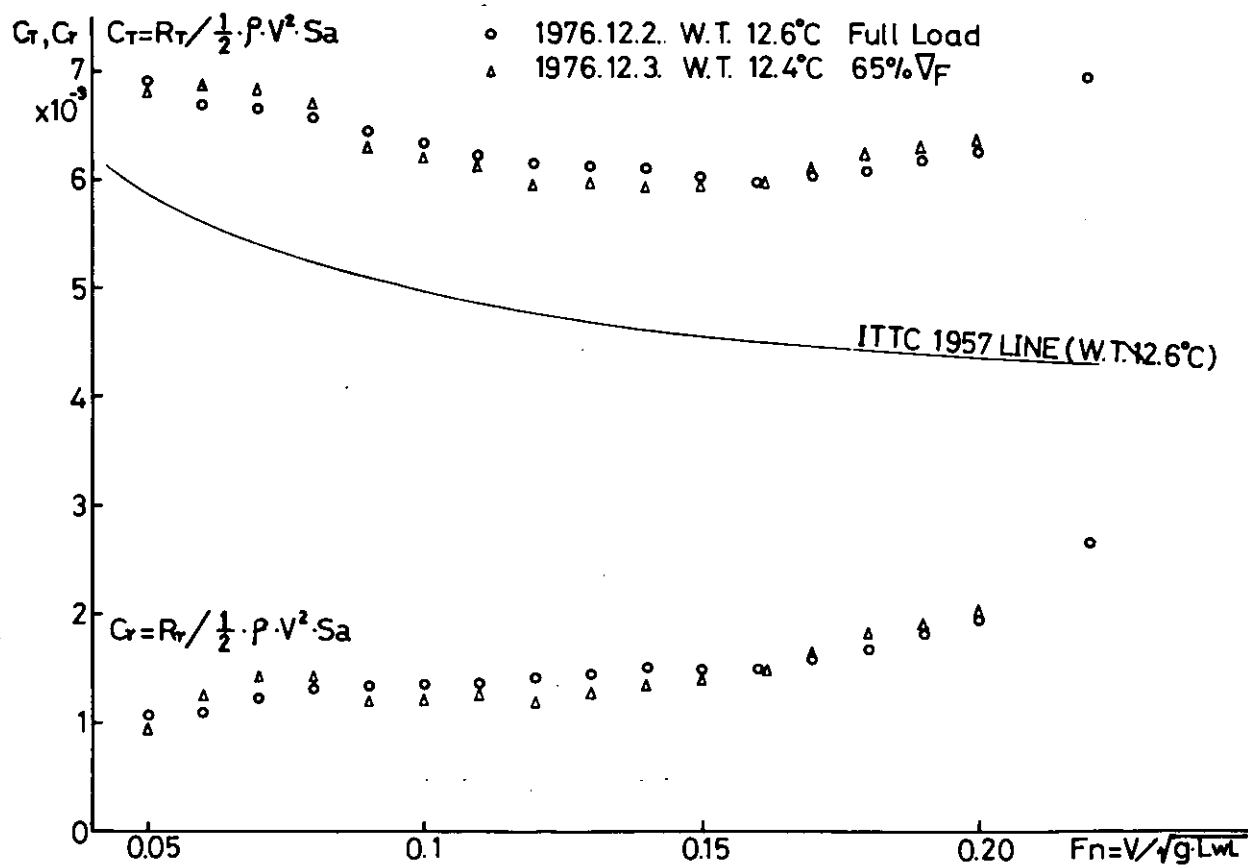


Fig. 4.4.1.12 $C_T, C_r \sim F_n$ Curves (SR159-1975)

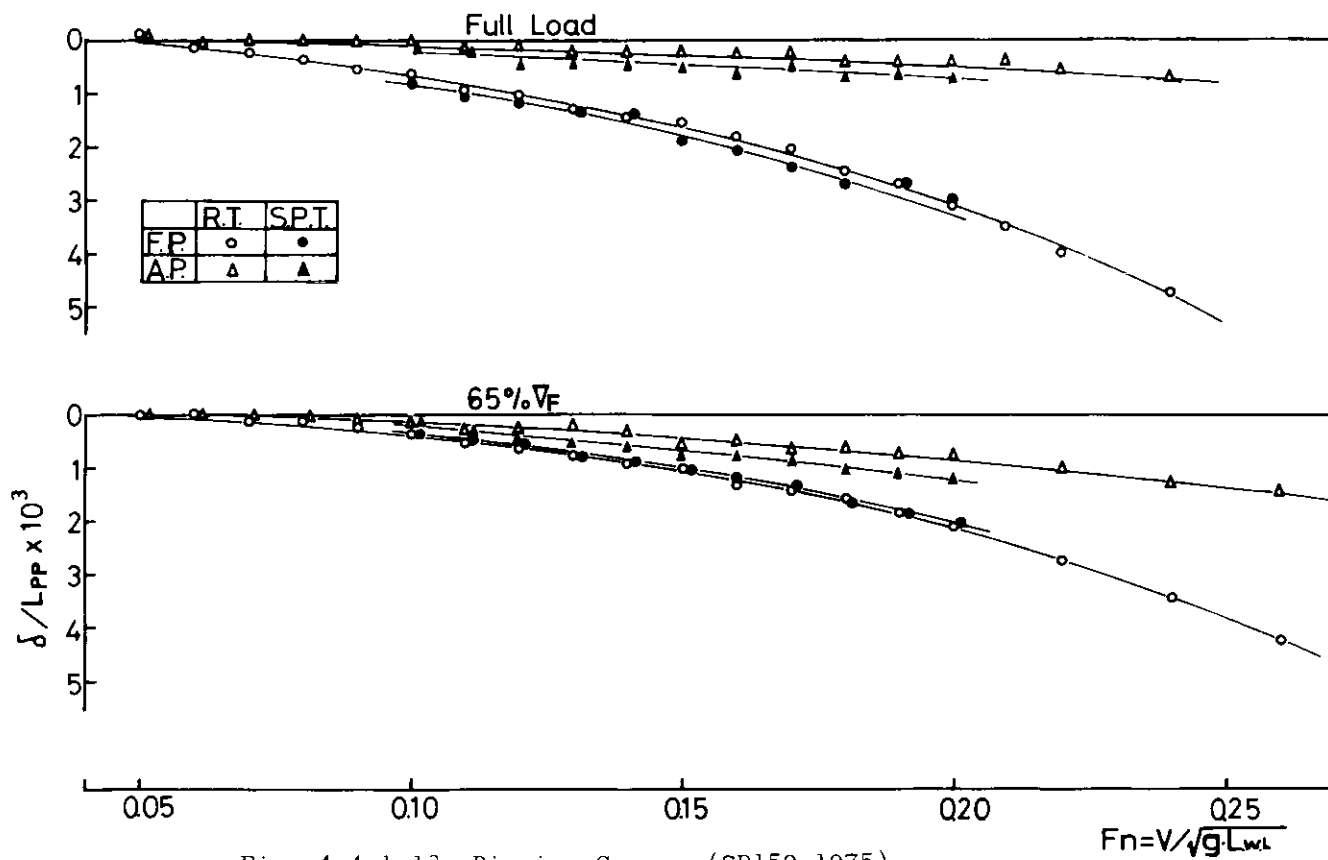


Fig. 4.4.1.13 Dipping Curves (SR159 1975)

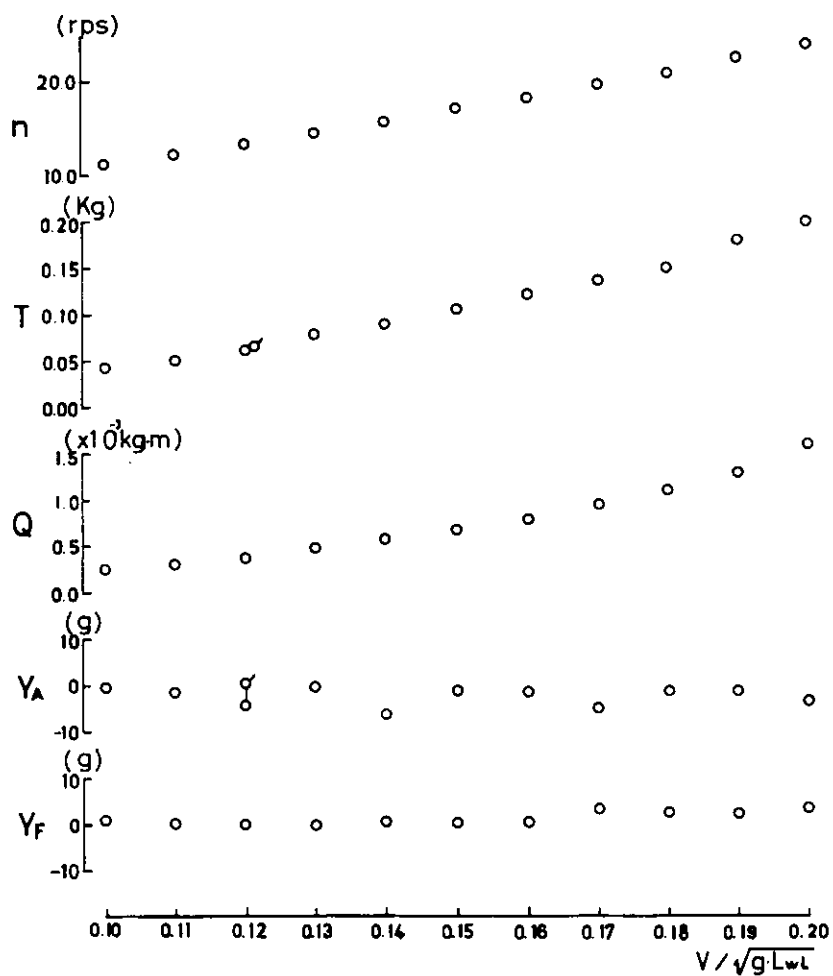


Fig. 4.4.1.14 Self-Propulsion Test (SR159-1975, Full Load)

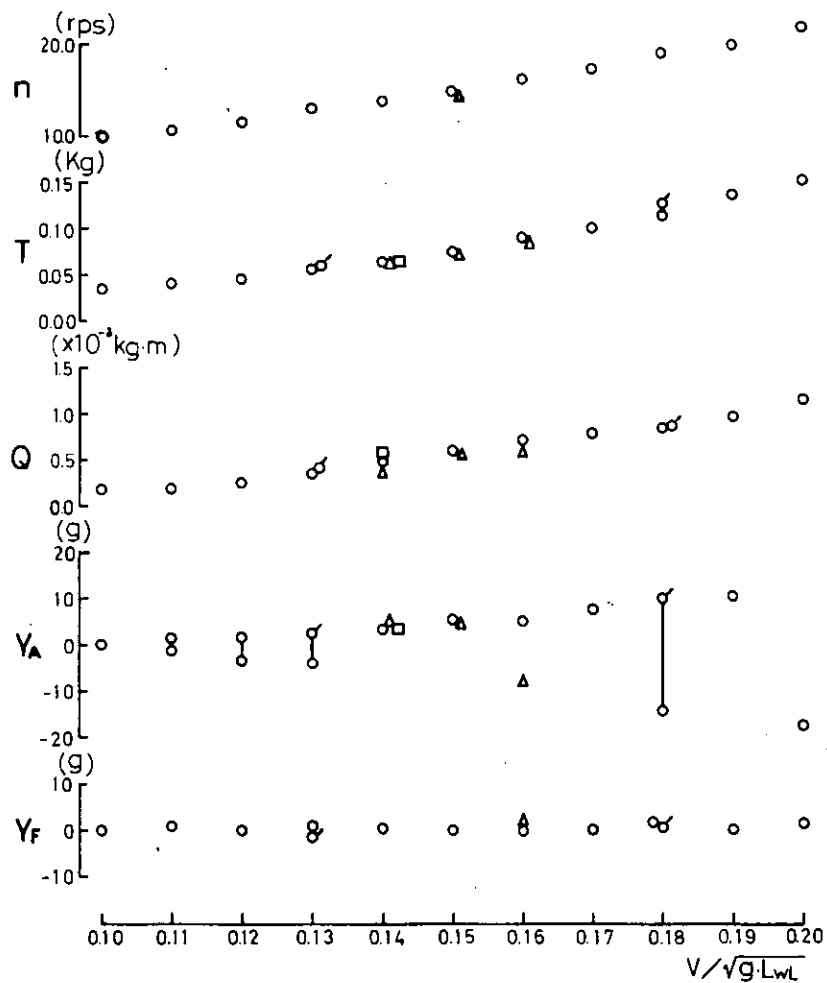


Fig. 4.4.1.15 Self-Propulsion Test (SR159-1975, 65%▽P)

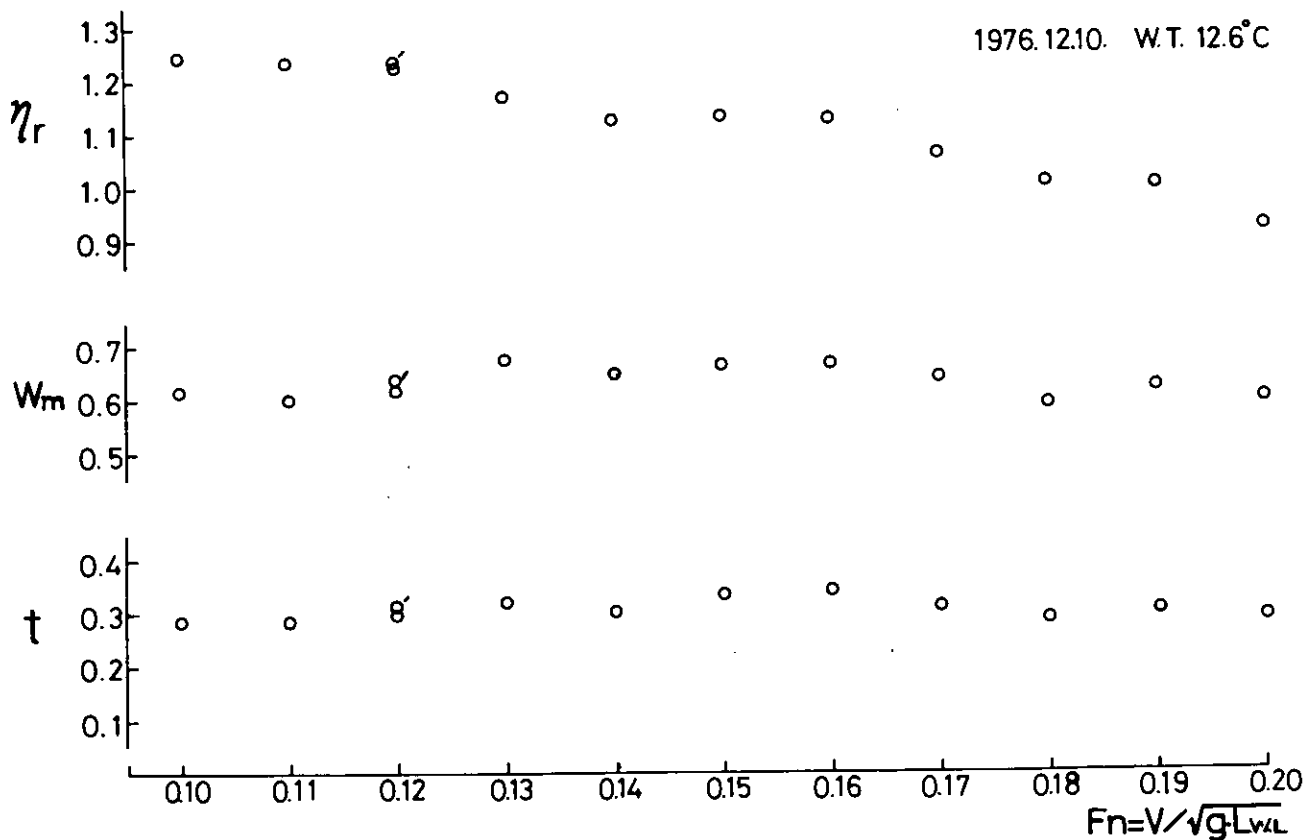


Fig. 4.4.1.16 Self-Propulsion Factor (SR159-1975, Full Load)

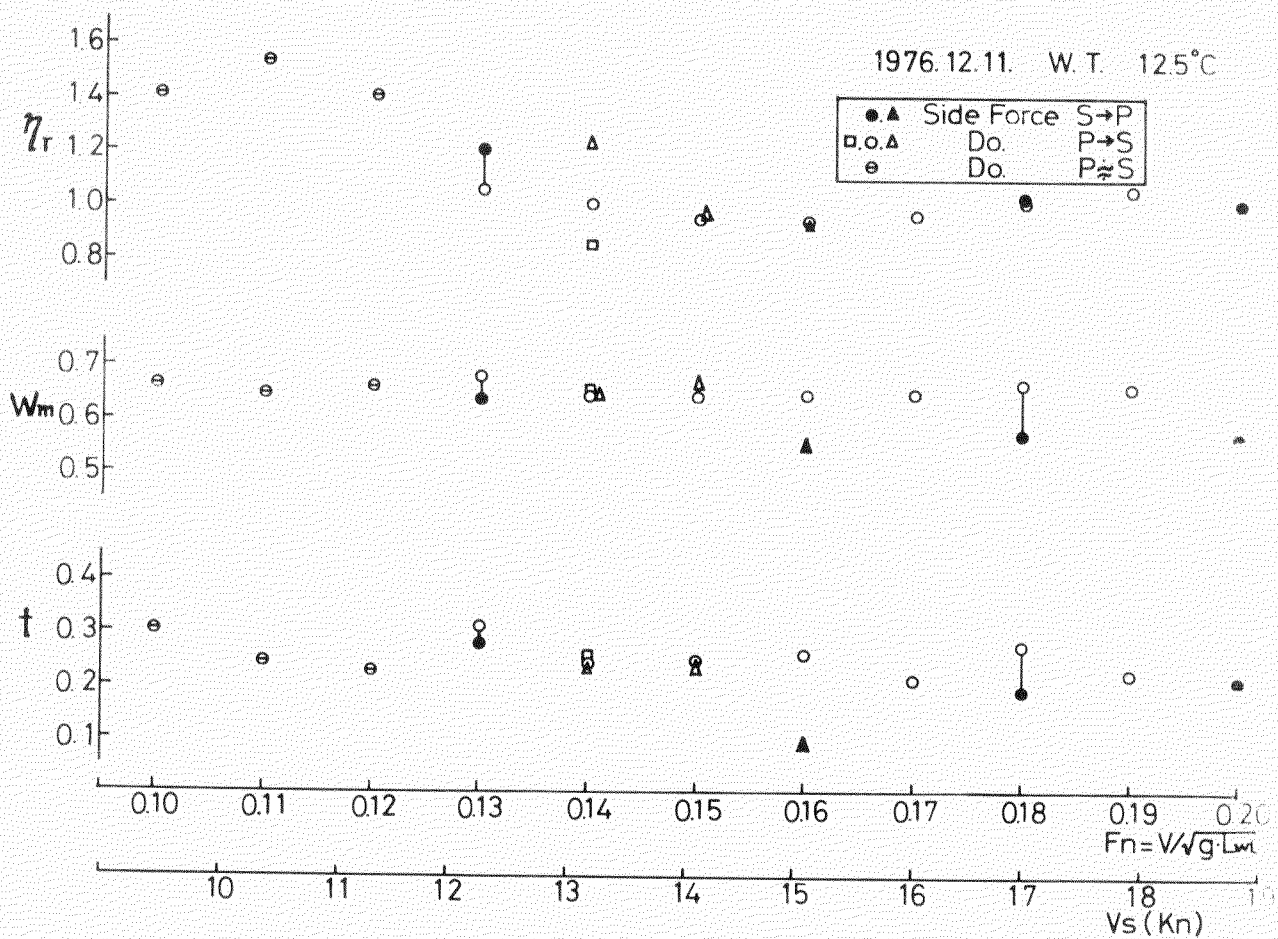
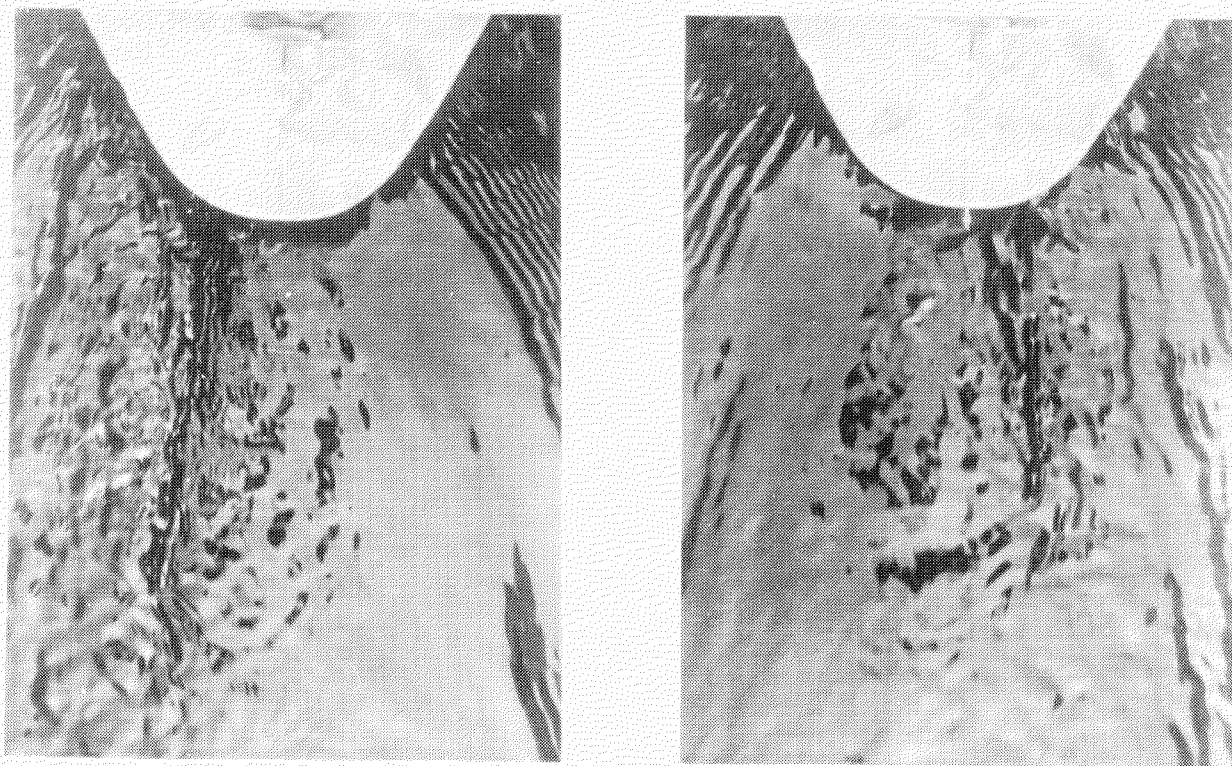


Fig. 4.4.1.17 Self-Propulsion Factor (SR159-1975, 65% ∇_F)



SR 159-1975 2m Model
65% ∇_F $F_n=0.19$
1976.12.9

Fig. 4.4.1.18 Stern Flow during Self-Propulsion Test

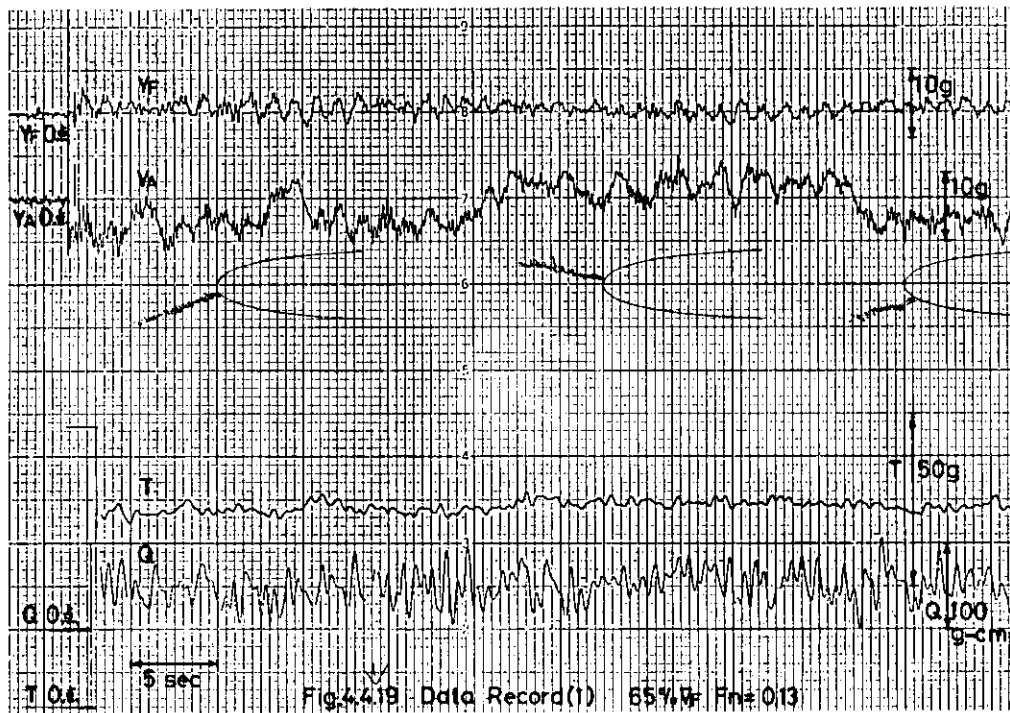


Fig. 4.4.1.19 Data Record (1) 65%▽_F Fn=0.13

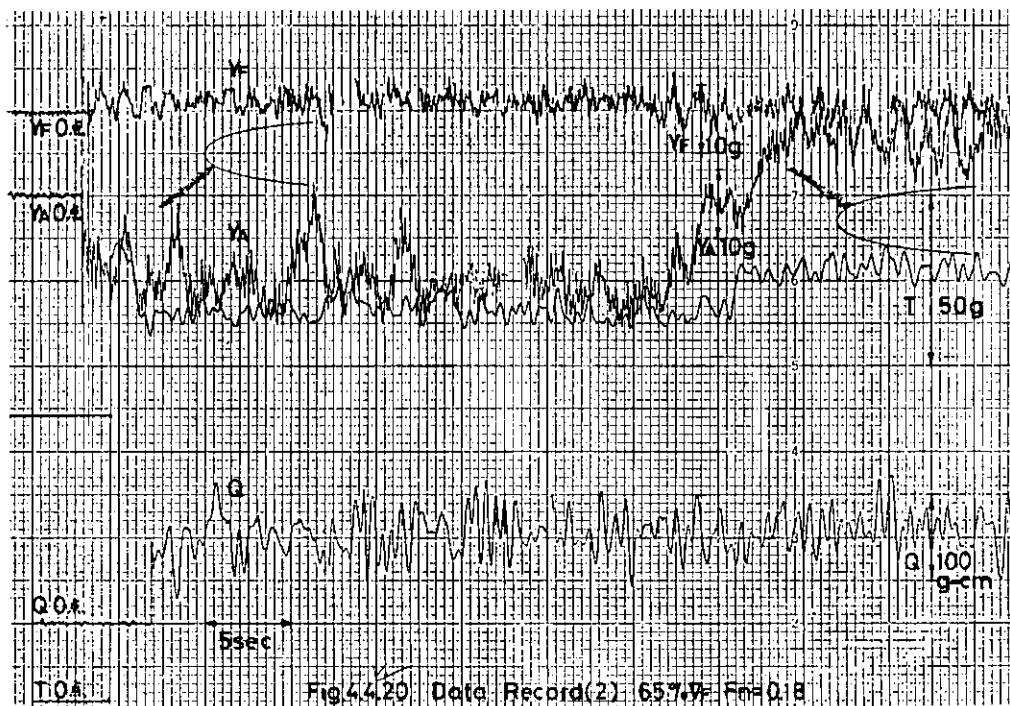


Fig. 4.4.1.20 Data Record (2) 65%▽_F Fn=0.18

4.4.2 50年度模型船——曳航水槽における実験(Ⅱ)

(1) 5孔ピトー管による伴流計測

50年度模型船について曳航水槽において5孔ピトー管を用い船尾まわりの流速及び流向を計測した。計測位置はSS $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{8}$ 及びAP後方0.04Lppにおける進行方向に直角な断面上である。実験速度はフルード数0.18、レーノルズ数 1.752×10^6 である。また実験状態は満載及び65% 载荷状態である。使用したピトー管は外径1.5mmのステンレス管5本を束ねたNPL型で、半導体式圧力変換器により測定した瞬間の水圧より時間的平均を求めた。計測結果を解析して進行方向に直角な速度成分を求め、ベクトルの形で表示したものがFig.4.4.2.1～6である。これらの値より進行方向に軸を持つ渦度成分を計算した。Fig.4.4.2.7～12は渦度の分布をcontour curveであらわしたものである。後方に行くに従って渦の移動変形する状態を観察することが出来る。次に進行方向の流速から伴流率を求め、各断面における分布をFig.4.4.2.13～18に示す。流速の方向とかなり相関があるように見えるが、渦度分布曲線とは必ずしも一致しない。今回の計測の目的の一つはさきに行われた4m模型船の結果との比較である。65% 载荷状態について両模型の伴流分布曲線を比較したものがFig.4.4.2.19である。予想の通り伴流には著しい尺度影響の存在することがわかる。伴流の尺度影響を修正する方法として笹島博士の提案した方法がある。これは摩擦抵抗係数の差に比例して伴流の幅を変化させるものであるが、これを全伴流に対して行うか、摩擦伴流のみに対して行うかによって結果が異なる。Fig.4.4.2.20は全伴流に対してこのような修正を施したものの比較であり、Fig.4.4.2.21は4m模型の結果より進定したポテンシャル伴流を引き去った残りについて修正を施して比較したものである。全伴流を修正したものではまだかなり大きな差が残るが、摩擦伴流のみ修正したものはかなり一致が良好となっている。2m模型ではレーノルズ数が低いために尺度影響が大きく、Fig.4.4.2.21でもまだ幾分修正が足りない傾向にあるが、レーノルズ数の充分高い大型模型では笹島の方法が実用的には充分役立ち得る結果を与えるものと推定出来る。

(2) タフトグリッドによる模型船後方の流場観察

タフトグリッドは10mmメッシュの金網に60mm長さの木綿糸を結びつけたものを用いた。計測位置はAP後方0.04Lpp、0.07Lpp及び0.10Lppの各断面であり、満載状態に対してフルード数0.158及び0.181において実験した。観察結果は模型船後方に置かれた鏡を介して写真撮影を行い、更に時間的変動を把握するためにムーヴィ撮影も行った。写真に視角修正を施して流向を求めた結果はFig.4.4.2.22～27に示す如くなった。タフトグリッド法は横断面の広範囲にわたって流れの模様を直視的に把握出来る点で極めて便利な方法であるが、これを流れに挿入したための堰止め効果によって船尾まわりの流れの模様が変化することも考えられるので、5孔管による結果と比較したのがFig.4.4.2.28である。細かい所に若干の相違が見られるが、定性的にはほぼ船尾流れの模様を良くあらわしていると考えられる。今回の結果を見てその特徴的な所は、流れの著しい左右非対称性である。下方に出来る1対の船尾渦はその強さが等しくなく、右の強い場合と左の強い場合とあるが、模型がもともと対称であるから、ここに得られた分布と左右反対の場合も起り得る筈である。水槽が充分長くなかったため、一走行中に左右が逆に転換するという不安定現象は観察出来なかった。このような船尾渦の核は後方に行くに従って下方へ下って行くが、渦の中心位置の変化をFig.4.4.2.29に示す。ここには横方向の移動も示したがこれはあまり著しくない。水面下かなりの深さに出来るこのような船尾渦の他に、水面に近い部分にも1対の渦が観察される。これは下の渦よりもはるかに弱く、かつ向きが逆である。興味あることは左右非対称な船尾渦の強い方の側では上方の渦は弱く、弱い方では上方の渦が強くなっていることである。このような非対称性が流れの不安定現象と何らかの関連性を持っているのかも知れない。タフトグリッドによって観察した船尾流れは定常的なものではなく、時間的変動が見られる。その模様を調べる目的で8mmのムーヴィを撮影した。観察結果ではタフトが比較的短い周期で揺れ動いているが、不安

定現象と呼ばれるような不連続的变化や長周期の変動は今回は見られなかった。フィルムを解析して時間的変動の周期を求めてみると、前進速度 0.7 m/sec 、フルード数 0.158 で AP 後方 $0.04L_{pp}$ の断面における変動周期は 0.38 秒、 $0.07L_{pp}$ 及び $0.10L_{pp}$ 後方の断面ではいずれも 0.32 秒であった。これは船尾渦の発生機構における周期性と関連を持つものと考えられることも出来よう。

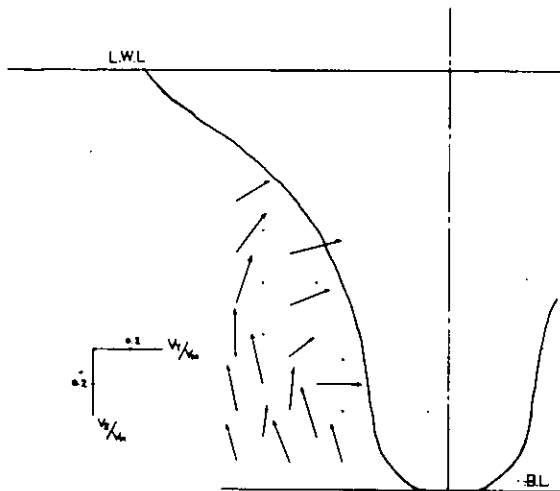


Fig. 4.4.2.1 VELOCITY VECTOR REPRESENTATION OF VY, VZ AT $S_1, S_1/2$ $F_n = 0.18$ FULL LOAD CONDITION WITH RUDDER

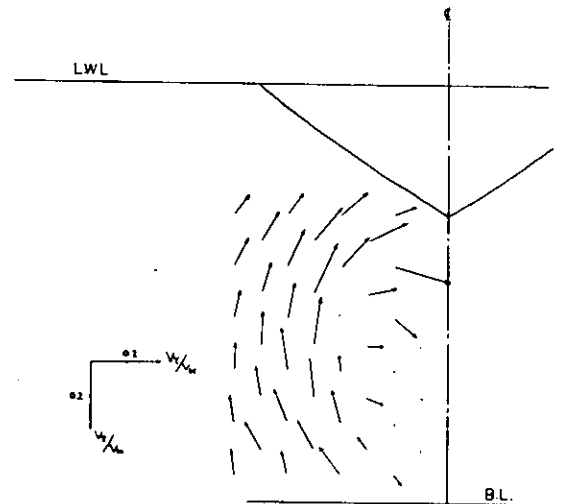


Fig. 4.4.2.2 VELOCITY VECTOR REPRESENTATION OF VY, VZ AT $S_1, S_1/2$ $F_n = 0.18$ FULL LOAD CONDITION WITH RUDDER

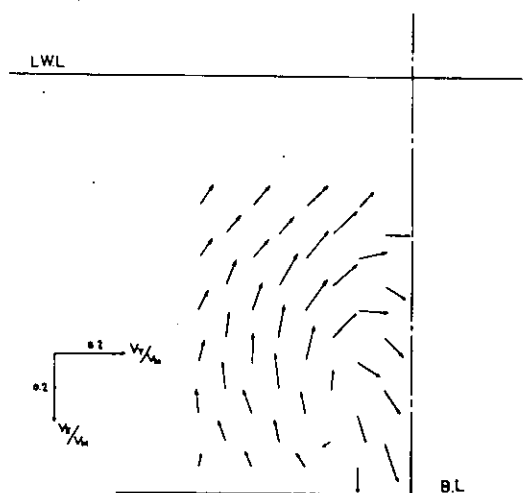


Fig. 4.4.2.3 VELOCITY VECTOR REPRESENTATION OF VY, VZ AT $0.04 L_{pp}$ DOWNSTREAM OF AP, $F_n = 0.18$ FULL LOAD CONDITION WITH RUDDER

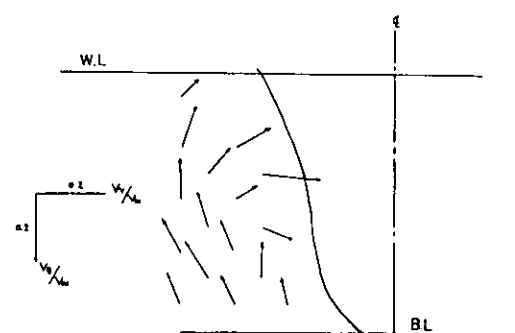


Fig. 4.4.2.4 VELOCITY VECTOR REPRESENTATION OF VY, VZ AT $S_1, S_1/2$ $F_n = 0.18$ 65% LOAD WITH RUDDER

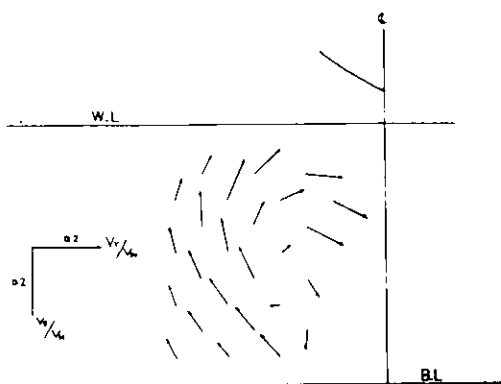


Fig. 4.4.2.5 VELOCITY VECTOR REPRESENTATION OF V_Y, V_Z AT $S_1, S_1/8$, $F_n = 0.18$ 65% LOAD WITH RUDDER

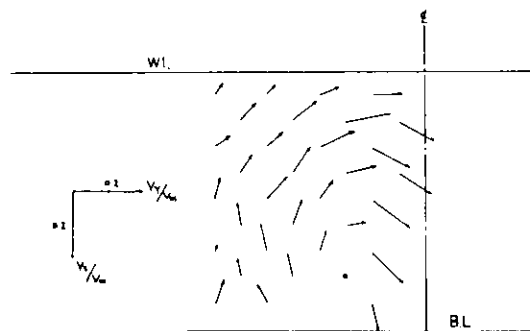


Fig. 4.4.2.6 VELOCITY VECTOR REPRESENTATION OF V_Y, V_Z AT $0.04 L_{pp}$ DOWNSTREAM OF AP, $F_n = 0.18$ 65% LOAD WITH RUDDER

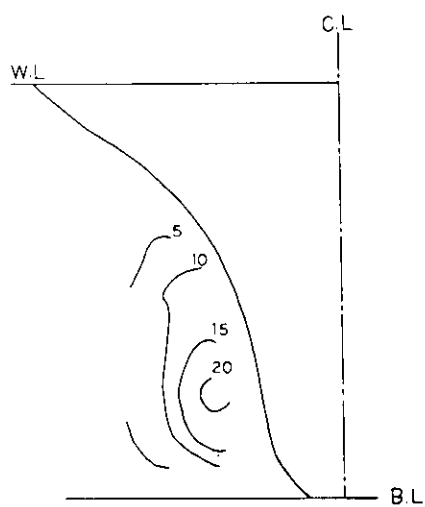


Fig. 4.4.2.7 Vortex fraction contour curves at sq st $1/2$ Full load with rudder $F_n = 0.18$

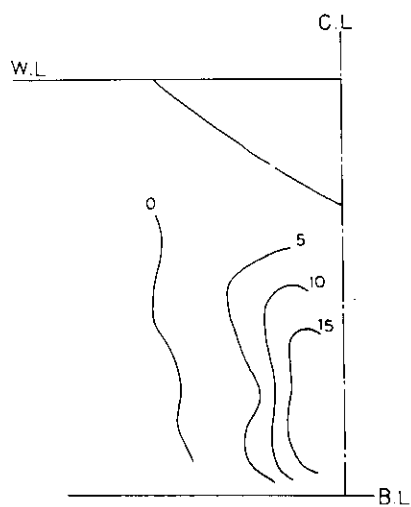


Fig. 4.4.2.8 Vortex fraction contour curves at sq st $1/8$ Full load with rudder $F_n = 0.18$

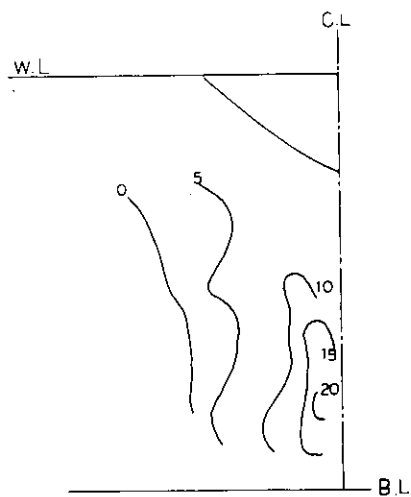


Fig. 4.4.2.9

Vortex fraction contour curves at $0.04 L_{pp}$ downstream
Full load with rudder $F_n=0.18$ of AP

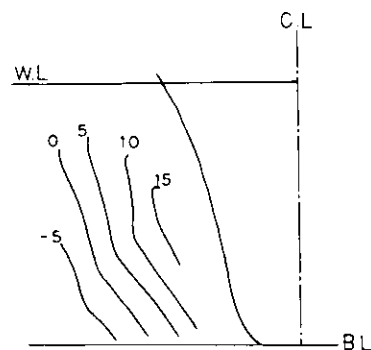


Fig. 4.4.2.10

Vortex fraction contour curves at sq st $\frac{1}{2}$
65 % Load with rudder $F_n=0.18$

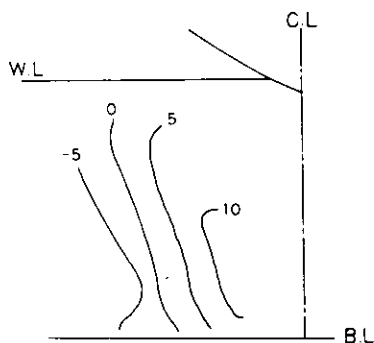


Fig. 4.4.2.11

Vortex fraction contour curves at sq st $\frac{1}{8}$
65 % Load with rudder $F_n=0.18$

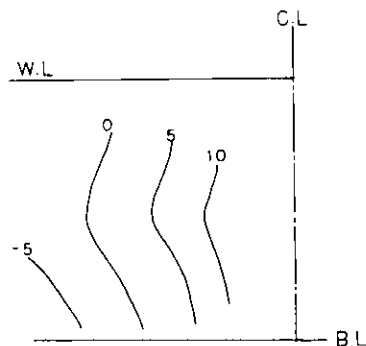


Fig. 4.4.2.12

Vortex fraction contour curves at $0.04 L_{pp}$ downstream
65 % Load with rudder $F_n=0.18$ of AP

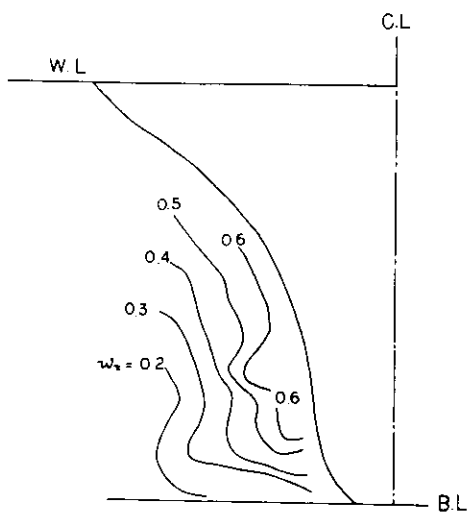


Fig. 4.4.2.13

Wake fraction contour curves at sq st $\frac{1}{2}$
Full load with rudder $F_n = 0.18$

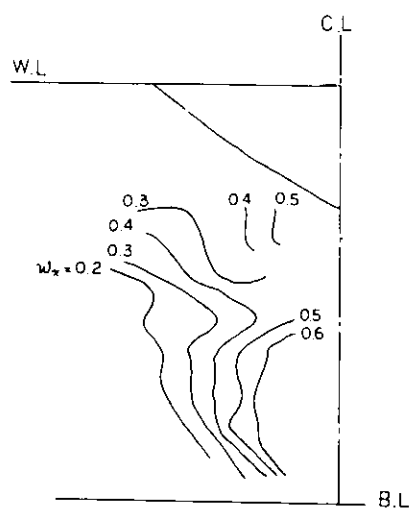


Fig. 4.4.2.14

Wake fraction contour curves at sq st $\frac{1}{8}$
Full load with rudder $F_n = 0.18$

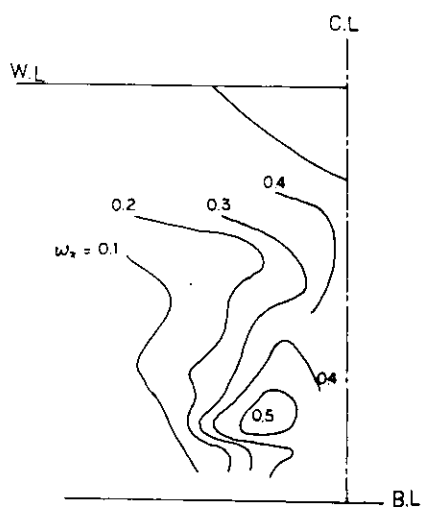


Fig. 4.4.2.15

Wake fraction contour curves at $0.04 L_{pp}$ downstream
Full load with rudder $F_n = 0.18$ of AP

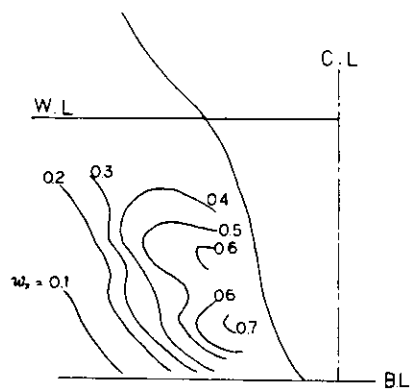


Fig. 4.4.2.16

Wake fraction contour curves at $0.04 L_{pp}$ downstream
65 % Load with rudder $F_n = 0.18$ of AP

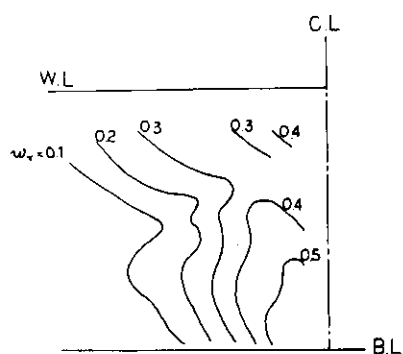


Fig. 4.4.2.17

Wake fraction contour curves at $0.04L_{pp}$ downstream
65 % Load with rudder $Fn=0.18$ of AP

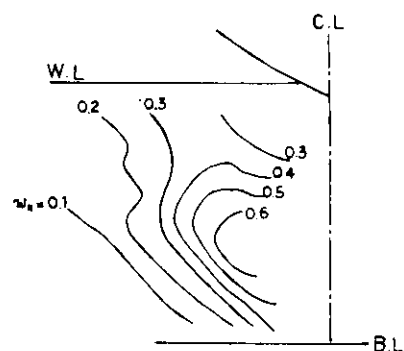


Fig. 4.4.2.18

Wake fraction contour curves at sq st $1/8$
65 % Load with rudder $Fn=0.18$

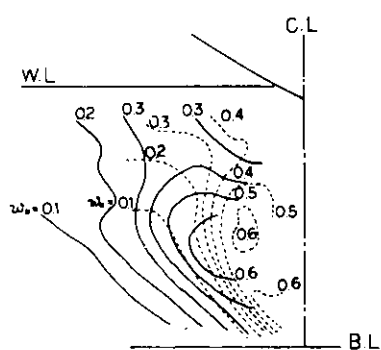


Fig. 4.4.2.19

Comparison of wake distribution at sq st $1/8$
65 % Load with rudder $Fn=0.18$
2 m Model ———
4 m Model - - - - -

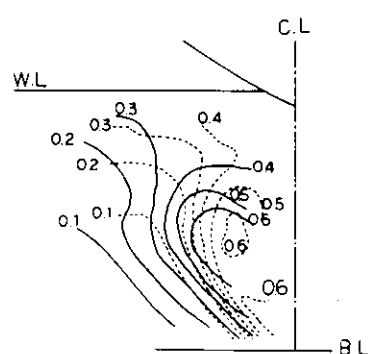


Fig. 4.4.2.20

Comparison of wake distribution at sq st $1/8$ 修正1
65 % Load with rudder $Fn=0.18$
2 m Model ———
4 m Model - - - - -

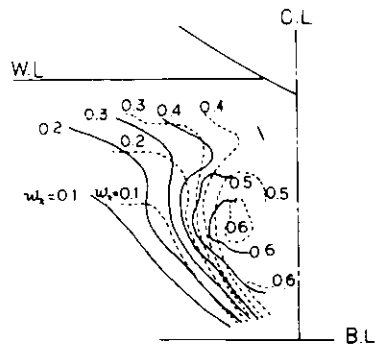


Fig. 4.4.2.21

Comparison of wake distribution at sq st $1/8$ 修正 2

65 % Load with rudder $Fn=0.18$

2m Model

4m Model

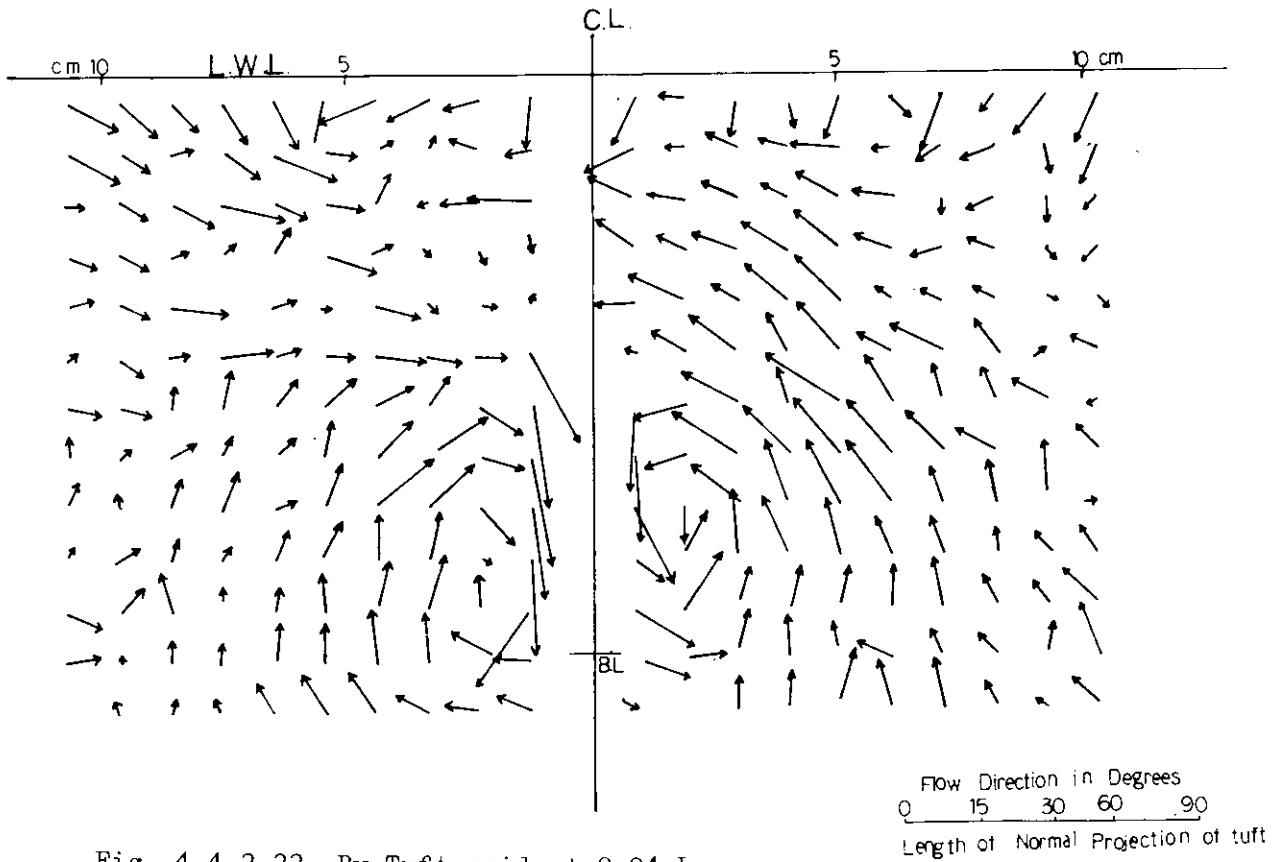
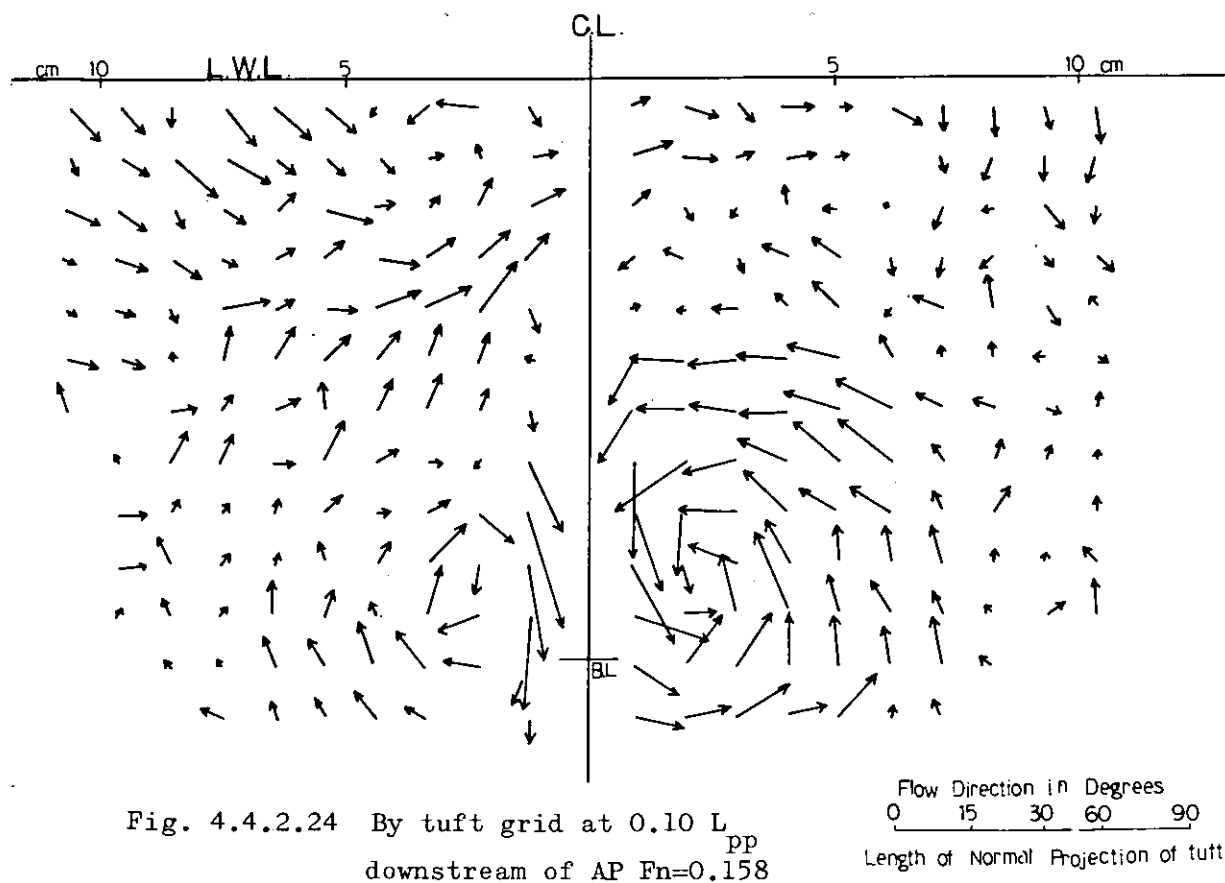
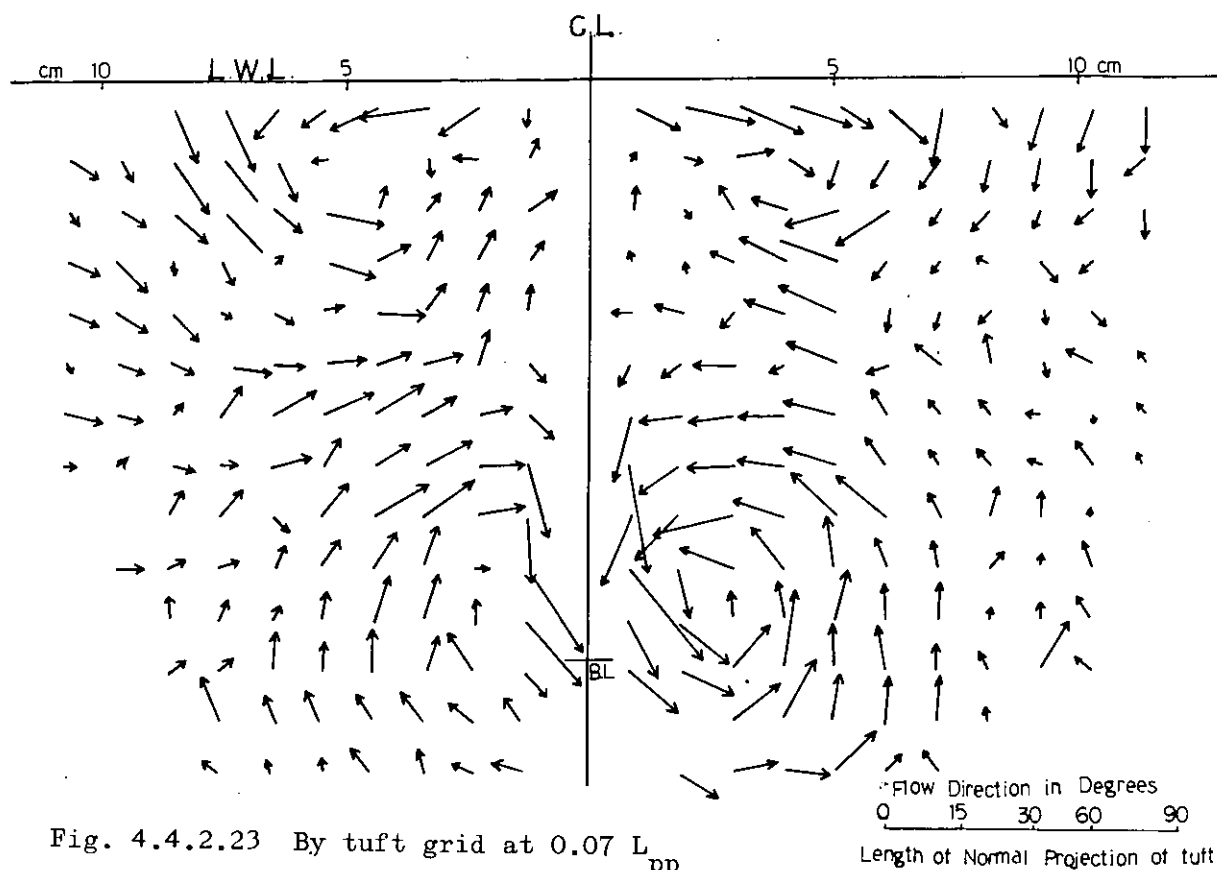


Fig. 4.4.2.22 By Tuft grid at $0.04 L_{pp}$
downstream of AP $Fn=0.158$



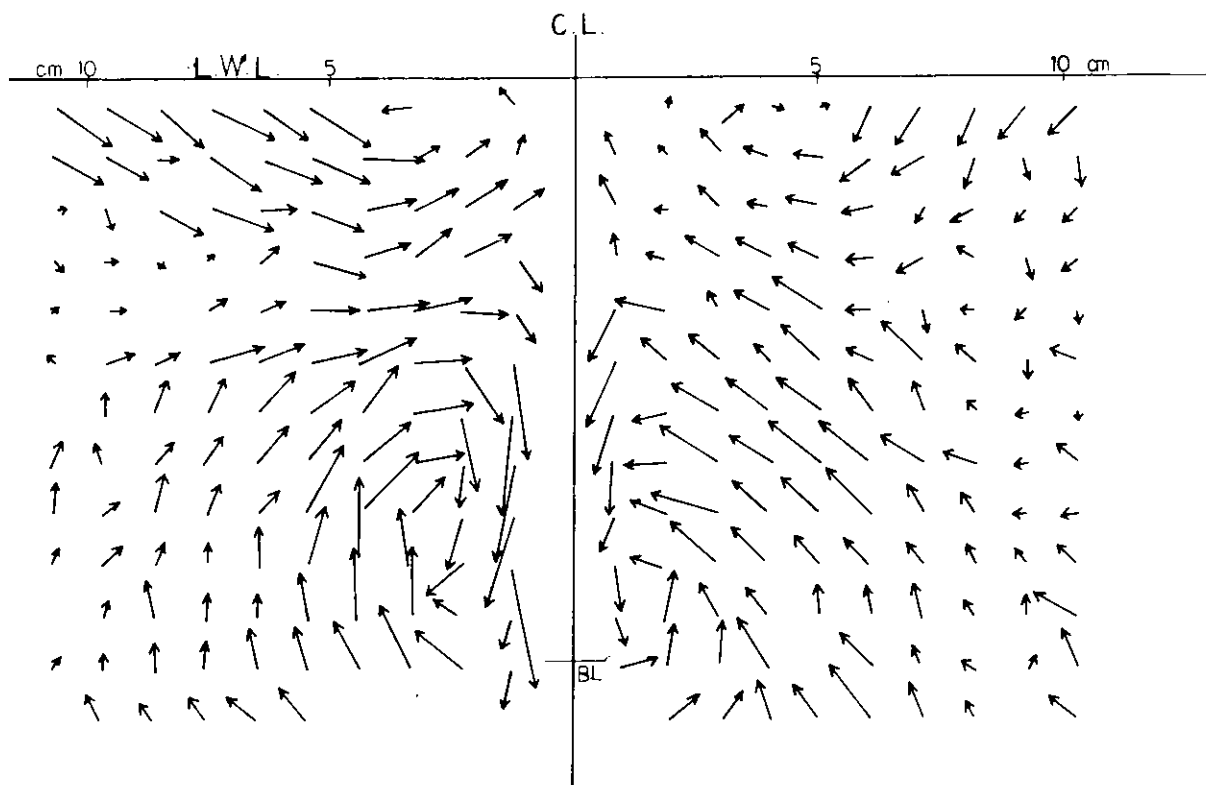


Fig. 4.4.2.25 By tuft grid at $0.04 L$ downstream of AP $W_n = 0.181$

Flow Direction in Degrees
0 15 30 60 90
Length of Normal Projection of tuft

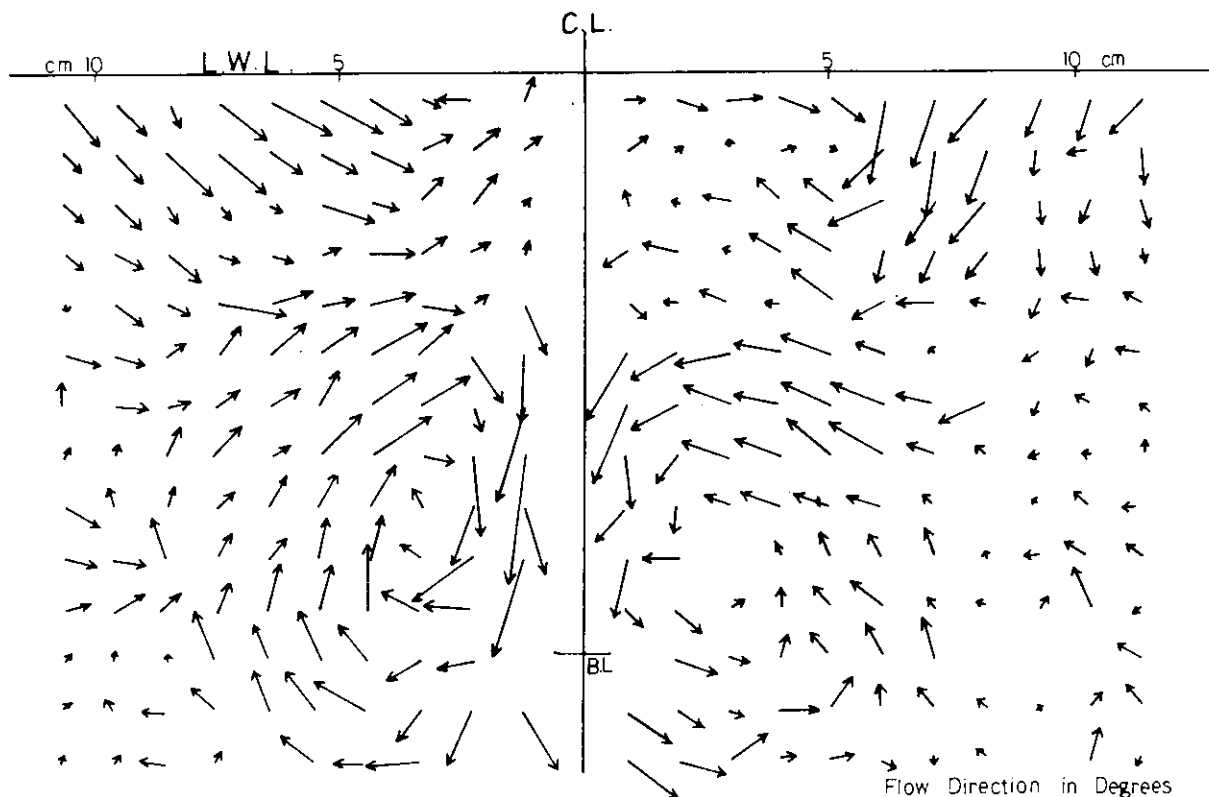


Fig. 4.4.2.26 By tuft grid at $0.07 L$ downstream of AP $W_n = 0.181$

Flow Direction in Degrees
0 15 30 60 90
Length of Normal Projection of tuft

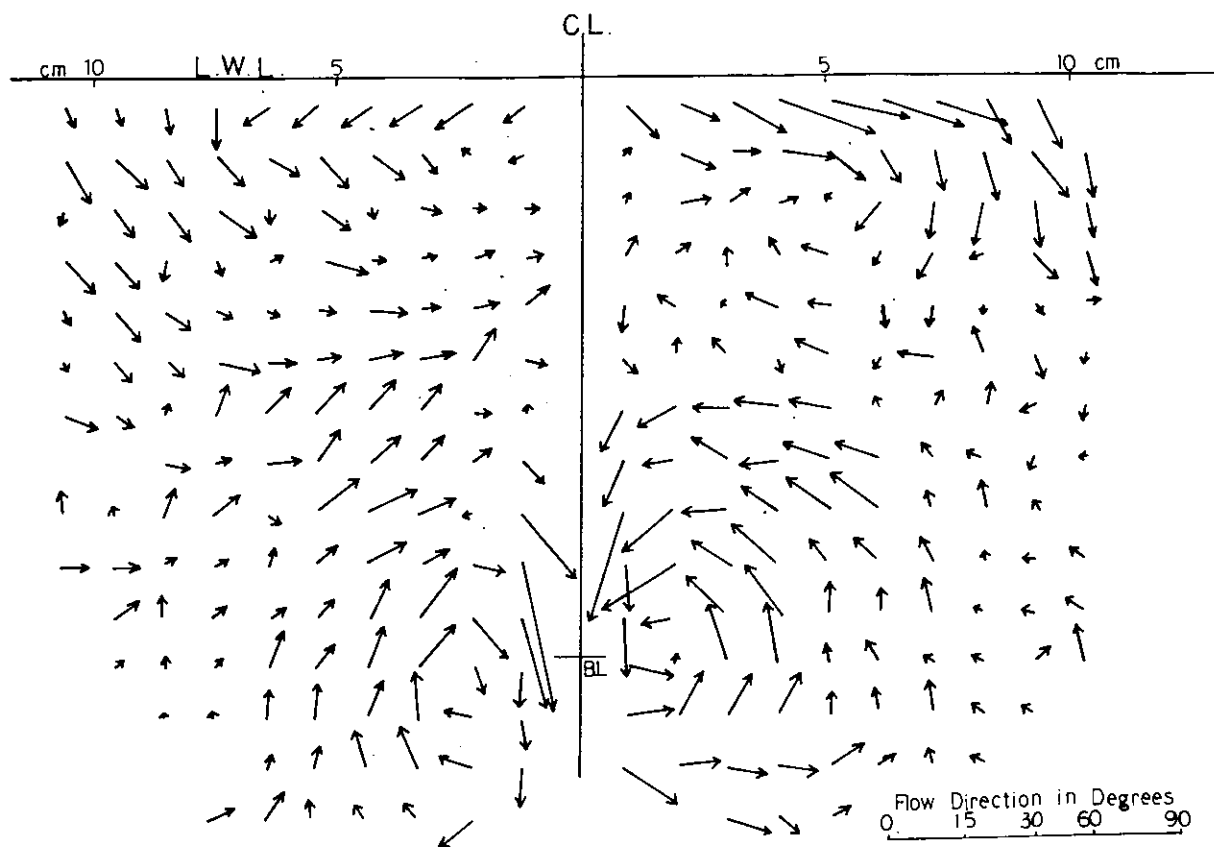


Fig. 4.4.2.27 By tuft grid at $0.10 L_{pp}$ downstream of AP $F_n = 0.181$ Length of Normal Projection of tuft

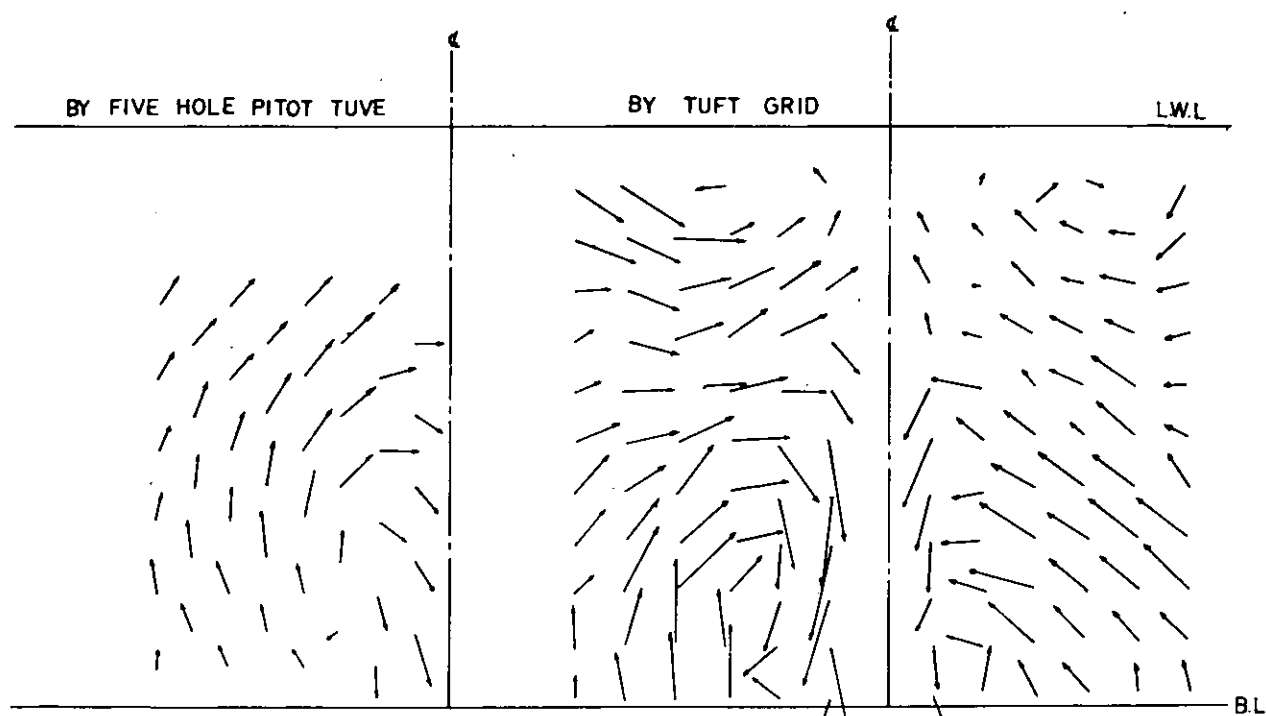


Fig. 4.4.2.28 VELOCITY VECTOR REPRESENTATION OF V_Y, V_Z AT $0.04 L_{pp}$ DOWNSTREAM OF AP $F_n = 0.18$ FULL LOAD CONDITION WITH RUDDER

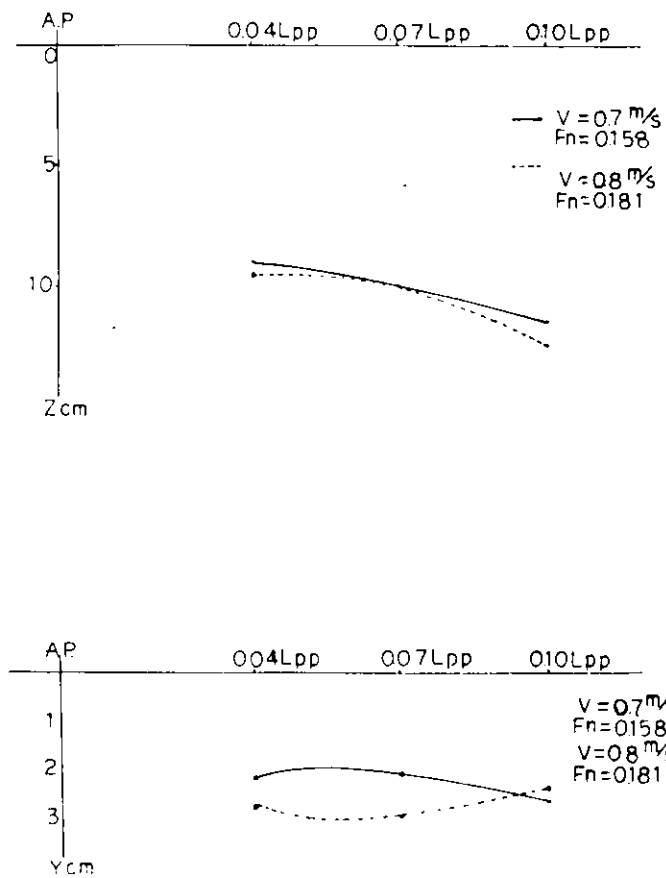


Fig. 4.4.2.29 Path of the Observed Center of Bilge Vortices

4.4.3 50年度模型船——曳航水槽における実験

(1) 実験目的

回流水槽において船尾流れ場の研究を行うことは回流水槽に流速分布・流速変動があることおよび供試模型が小さいことなどから精度面でかなり困難であると考えられる。しかしながら船体周りの流れ場の観察が容易なことおよび計測時間を充分とることが出来るなど曳航水槽より有利な点もある。

計画段階において不安定現象そのものの本質が不明であり、曳航水槽と比較してかなり大きいブロックの影響のある回流水槽において不安定現象がどのような形で現われるか不明な点が多く、あまり計測項目を多様化することに問題があると考えられた。したがって計測項目を曳航水槽で現われる不安定現象の再現および流れ場の可視化という点において。

(2) 回流水槽

使用した回流水槽の特徴は可視化をねらった観測用窓および観測フロアを設けている点にある。また表面付近の流速分布を改善する目的で、ノズル部で作られた境界層を吸込む装置をつけている。流速分布は中央部においては±1%程度のものがある。また水面傾斜は流速によって多少異なるが、約 0.2×10^{-3} rad程度である。

(3) 実験および実験結果

実験は通常の抵抗・自航試験、伴流計測（載荷状態はFull load、65%、45% Full load）および65% Full loadにおける自航状態（実船相当の荷重）において船首・尾、横力、左・右船側圧力、剪断力および流線観測の同時計測を行なった。

伴流計測は手持回転型串型ビトー管を使用して実施したためプロペラディスク面より後方の位置となった。

(a) 抵抗・自航試験および伴流計測

通常の抵抗・自航試験は全体の計測精度を知る目的および不安定現象がどの状態で現われるかの確認のために行なった。結果は自航要素に対し通常の曳航水槽の結果と傾向的にはよく一致しているが絶対値としてはかなり異なったものとなった。これはプロペラが小さいことおよび計測値に対しアイドル量が大きく十分な精度を期待出来ないためと考えられた。

伴流計測は自航要素に対する評価およびwake patternの認識として行なったものでFig.4.4.3.1(a)~(c)に結果を示した。この伴流はビトー管の制約から総圧管の位置をプロペラディスク面に設置し静圧孔は約37 mm後方となった。

(b) 不安定現象の計測

試験状態は別に行なった標準の自航試験の結果から65% Full load、1%船尾トリムで行った。

Fig.4.4.3.2にこの計測に用いた計測システムを示した。計測はトルク、スラストの変動と、左右舷圧力、剪断力、船首尾横力および船尾後方・下方よりの同時写真撮影からなった。

写真撮影は8 mmカメラのコマ取（2コマ/1 sec）の信号で35 mmカメラのモータードライブを作動させ、この信号を同時にデータレコーダーに入力する方法を使った。また、コマ数の確認を容易にするため上記信号をフィルムカウンターと称するランプ表示機に入力し、12ケのランプのON.OFFで2進法を使ってコマ数を示し模型と同時に撮影した。（Fig.4.4.3.4参照）

Fig.4.4.3.3に不安定現象が現われた時の計測例を示す。記録の途中からトルク、スラストおよび船尾横力が急激に平均値の10%近く変化しているのが見られる。これらと同時刻に船尾船側の圧力もわずかながら変化しているのが見られる。この図でトルク、スラストが小さい状態の時船尾横力は船体を左舷側へ押し出す力が大きくなる状態となり、船尾船側（st.1）の圧力は右舷側が大きい状態を示し左舷側が小さい状態を示す。

Fig.4.4.3.4にはトルク、スラストに不安定現象が現われた時に船尾後方に出る波紋が変化する状

態を示した。図の1番上にフィルムのコマを示すパルスが示されている。トルク、スラストが急変した後安定したと思われる時刻に対応する船尾波紋を写真のコマ数175、195、210コマ目として写真を示した。この図からスラストの小さい状態では船尾に見られる潮目が右舷側に現われ左舷側の水面が比較のおだやかな状態となっていることがわかる。またS.S.1より流したインクはスラスト・トルクが小さい状態の時は大きい時に比し横に拡がっているのが見られる。

Fig.4.4.3.5には船尾の波紋の状況をより鮮明に示すため水面上方より写真を撮影したものを示す。この写真はFig.4.4.3.6で示したものと同様にトルク、スラストが小さい状態の時潮目が右舷側に片より左舷側に比較的平穏な水面が存在すると同時に、船尾波と思われる黒点を境に前方に表面張力波が見られる。これはトルク、スラストが大きい状態により顕著に見ることが出来る。

Fig.4.4.3.6にはスラスト変動、船尾横力とプロペラ面の側方の流速に対する総圧を示した。この図よりこれらの変動の様子がよく近似していること、右舷と左舷の総圧の変動が $\oplus\ominus$ 逆になっていることが特徴的である。この場合スラストが小さい状態の時左舷側の総圧が大きくなっている。静圧を計測していないためこの総圧の大小が流速の大小とどのような関係になっているか不明であり、今後検討する必要があると考えられる。

Fig.4.4.3.7には右舷側にインクを流し8mmシネで撮影したものをトレースして示した。この図は8mmシネで写されたもののうちトルク、スラストが大きい状態の時と小さい状態の時の平均的な様子を示したものであり、必ずしも明瞭に分類出来るものではないが、スラストの小さい時にインクが下方に拡がること示された。

(4) まとめ

以上の計測結果を下に示す。

スラストが小さい状態の時

- 船尾横力は左舷に向かって働く
- 右舷圧力は大きい状態
- 左舷圧力は小さい状態
- 潮目は右舷より
- 左舷側の総圧が大きくなる
- Bottom Viewにおいて右舷側の流線は離れる傾向にある
- Side Viewにおける右舷側の流線は下方に流れる傾向にある

(5) 考察

今回の実験において回流水槽においても曳航水槽と同様の現象が見られることが判った。

以下に計測結果に対する直感的な感想を述べる。

スラスト、トルクが一航走中に2つの異なった値を持つということはプロペラの作動により①両舷の縦渦が同時に消長する、②縦渦が左右にゆらぐ、③縦渦が左右一方の渦だけが交互に消長する、などが考えられる。これらのうち①に関しては圧力や船尾横力の計測等から否定されることが考えられる。また③に対する検証を行う為後流の流線をタフトグリッドで観察したが、プロペラ後流中では縦渦の様子を見ることが出来ず、失敗に終わった。しかしながら片舷の渦が消長すると考えると3つの状態が出る可能性もあり考えにくい。従って縦渦が左右にゆらぐことにより伴流のプロペラに対する流入角が変化し有効伴流が変化すると考えるのが全ての計測結果を説明するのに適していると考えられる。また潮目が自航試験時に見られる原因は曳航時には縦渦が左右離れているが左舷の渦が右舷へあるいは逆にゆらぐことにより縦渦の中心距離が近づき現われたとも考えられる。しかしながらこれらの現象を引き起こす原因は今回の実験では得られなかった。

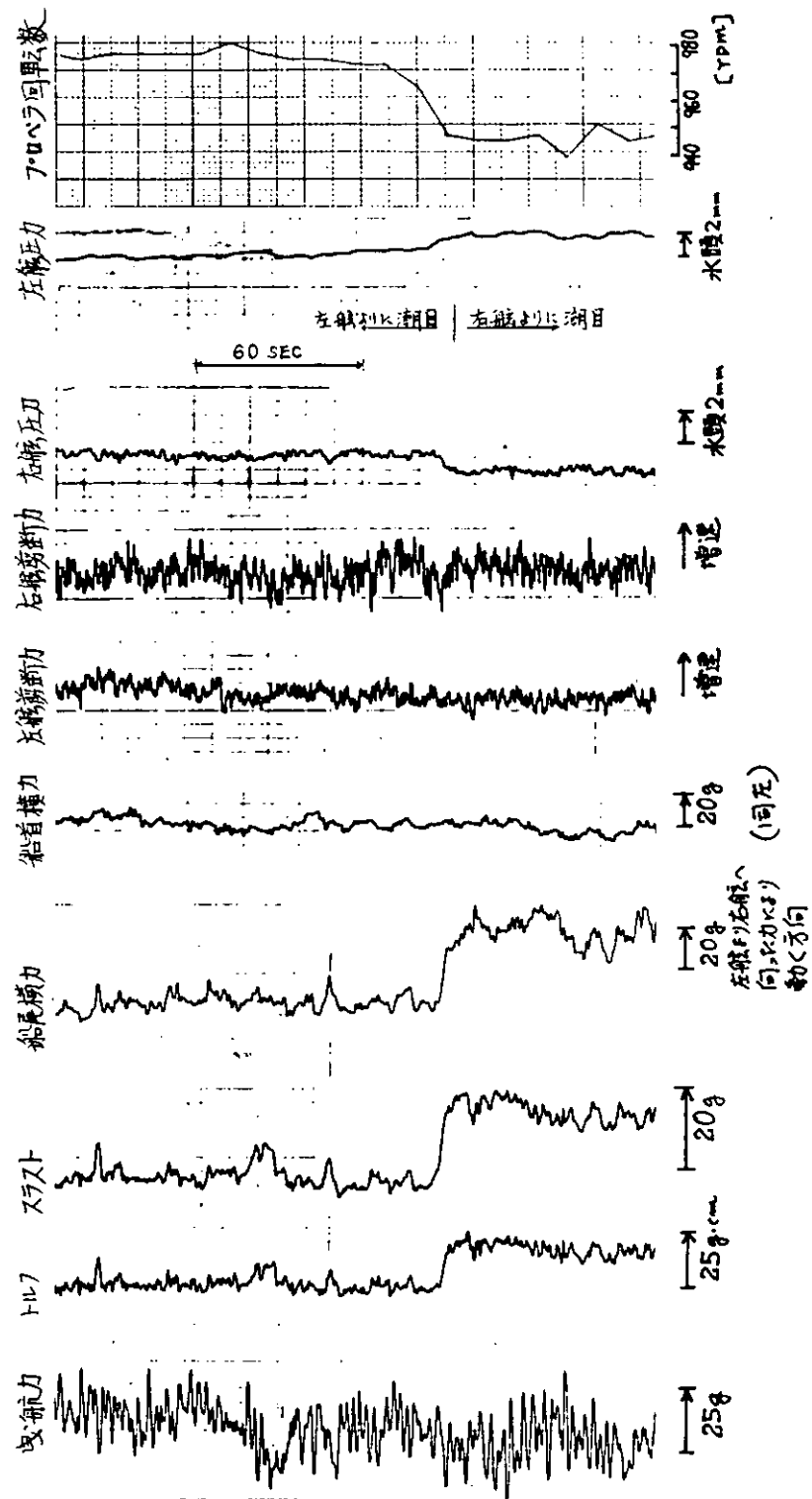


Fig. 4.4.3.3 計測例

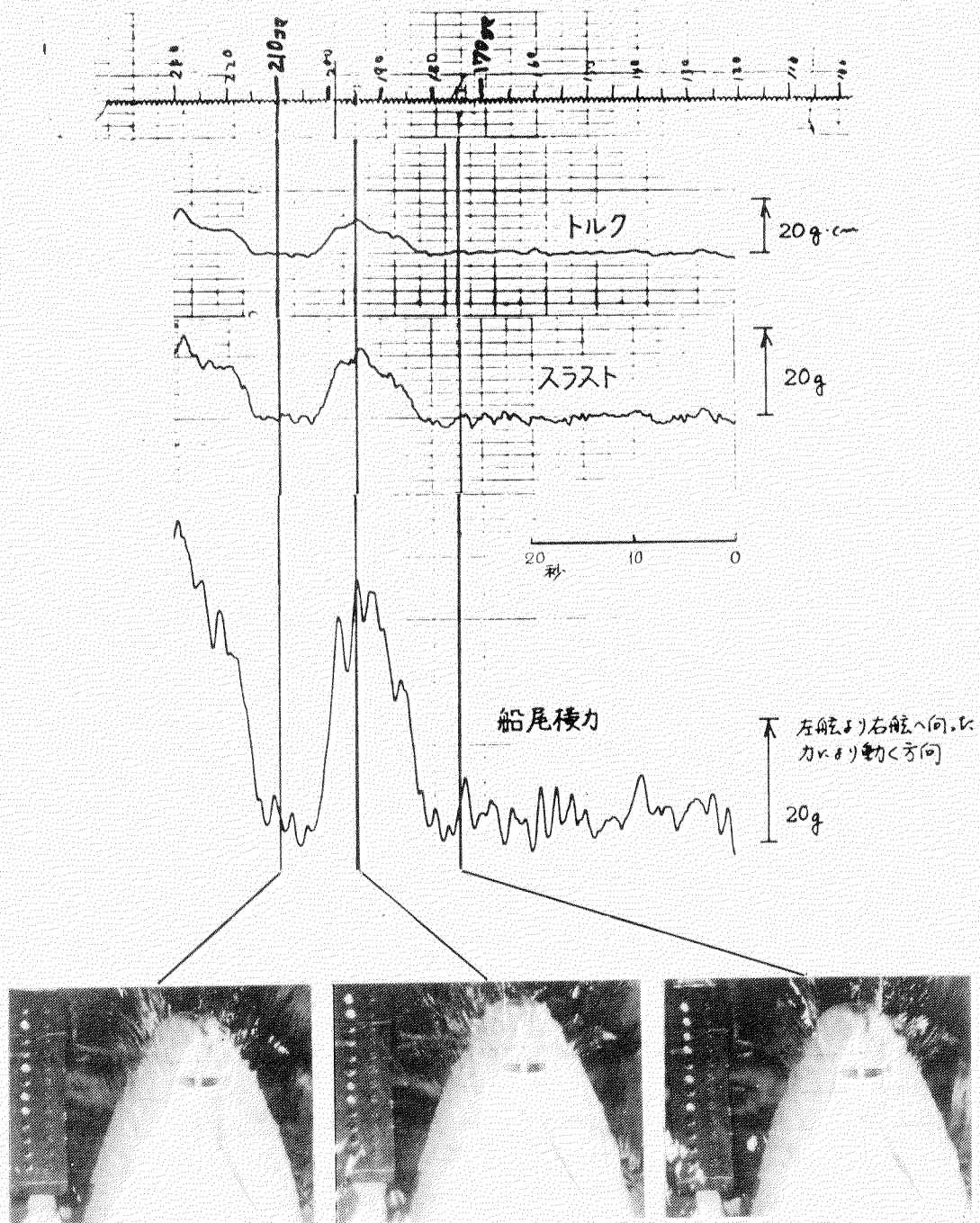
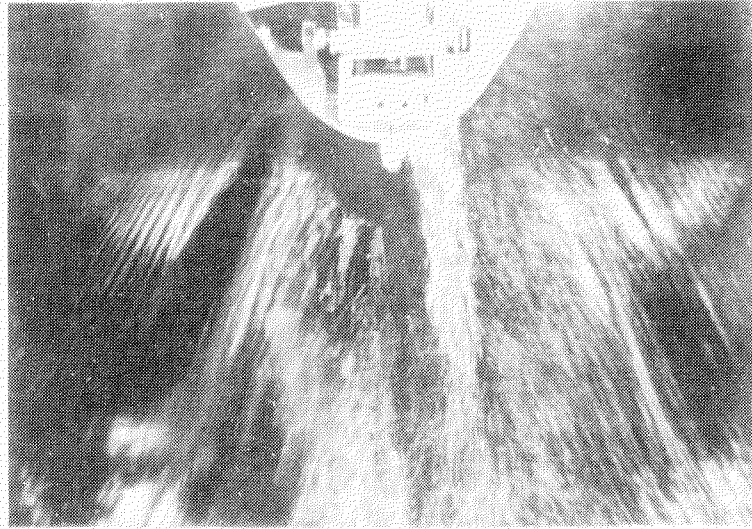
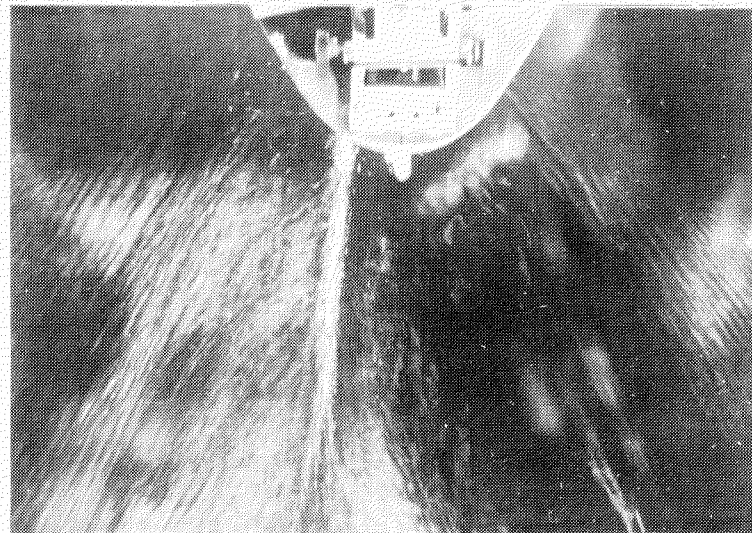


Fig. 4.4.3.4 不安定現象計測記録と船尾波紋



$F_N = 0.180$

スラストトルク — 小
 右舷圧力 — 高
 左舷圧力 — 低
 船尾横力 — 右舷より左舷へ向つて作用



$F_N = 0.180$

スラストトルク — 大
 右舷圧力 — 低
 左舷圧力 — 高
 船尾横力 — 左舷より右舷へ向つて作用

Fig. 4.4.3.5 船尾波紋

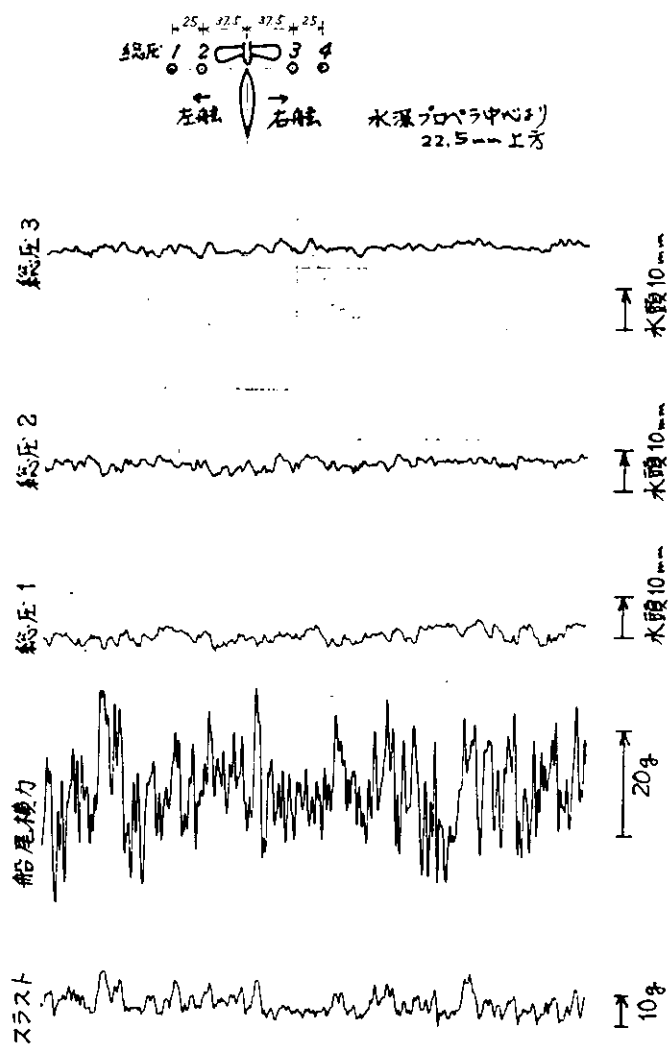


Fig. 4.4.3.6 スラスト変動とプロペラ側方総圧

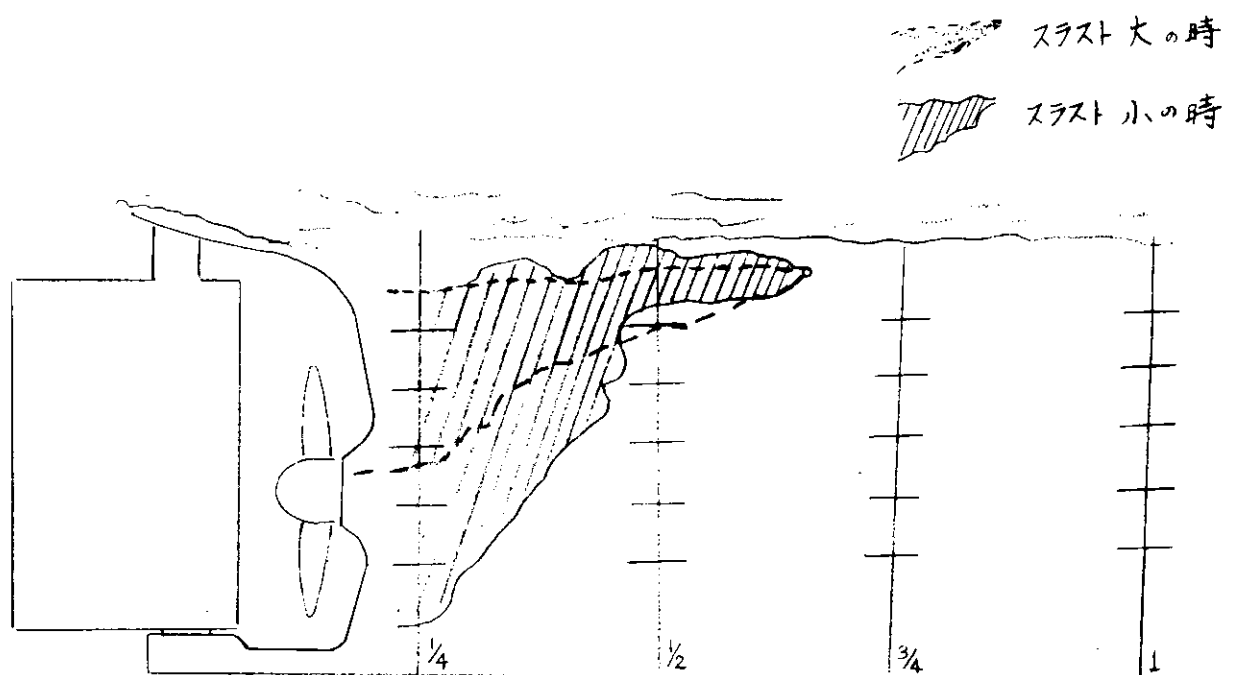


Fig. 4.4.3.7 右舷船側流線

4.4.4 S1年度模型船——回流水槽における実験

(1) はじめに

2m 模型船による研究については、各所共通の試験項目、あるいは義務付けられた試験といったものがなく、自由な立場から、“不安定現象”の研究を行うことが許されている。

当所では、試験水槽として、回流水槽を用いるので、その特長を生かし、不安定現象とは、流体力学的にどのような現象なのかを、明確に把握・理解することを、主目的とし、船体表面圧力計測、船尾流場計測及び流場観察を実施した。

(2) 回流水槽

使用した回流水槽の観測部寸法は、長さ×幅×水深 = 9m × 2.5m × 1.325m である。空間的な流速の相異は、2%以内である。サージングは小さく、流速 1.4m/s で水位変動として 2.0mm 程度である。船体表面圧力計測に及ぼす影響は認められなかった。

(3) 試 験

(a) 船体表面圧力計測

(i) 概 要

プロペラ作動時の船体表面圧力の計測を行ない、スラスト・トルク変動と船体表面圧力の変動の関係を調べた。試験状態は 65% Full load 1% trim by stern、 $F_n = 0.18$ ($V_M = 0.797 \text{ m/sec}$)、プロペラ回転数 = 23.7 r.p.s (Model Point 対応) の 1 状態である。圧力取入れ口は、船体表面に垂直に、外径 2.0mm、内径 1.0mm の銅パイプを船体内部より取り付け計測孔とした。計測孔は、プロペラシャフト高さに近い 3 W.L (B.L 上 40.0mm)、その上下の 1 W.L (B.L 上 13.3mm)、5 W.L (B.L 上 66.7mm) と水面に近い 6.5 W.L (86.6mm) に沿った Sq.St. $\frac{3}{8}$ ~ Sq.St. 3 の 11 断面の両舷対称位置とプロペラ真上のセンターライン上 (Sq.St. $\frac{1}{8}$ 、B.L 上 86.6mm) に計 73 点設けた。Fig. 4.4.4.1 にその配置を示す。

試験は圧力計測孔と微差圧力変換器 (東洋ボールドウィン製、DLPU-0.02-P 型、定格 0.02 kg/cm²、10 台) とをビニール管で連結し、左右舷の同一位置を 4 ~ 5 点ずつスラスト・トルク・プロペラ回転数と共に同時計測を行なった。

(ii) 試験結果及び考察

Fig. 4.4.4.2 に計測データ例を示す。上よりスラスト、トルク、プロペラ回転数、及び圧力計測孔 1、右舷圧力計測孔 2、左舷圧力計測孔 2 の各圧力の計測記録である。図中の○は各データの同一時刻の点を示している。図からわかるようにスラスト、トルクが急に低下する現象が生じており、その時には船体表面圧力も変化している。スラストの低い状態の時間は、平均約 20 ~ 30 秒間で、現われる割合は計測時間の約 3 割程度である。

圧力値は、圧力係数 $C_p = \frac{2gH}{V_M^2}$ ($H = h - h_0$ 、 h_0 : 静止時の水頭、 h : 航走時の水頭) の形で無次元化した。Fig. 4.4.4.3、Fig. 4.4.4.4 に各断面のフレームラインに沿った圧力分布を示す。図中、船体外側が負の圧力である。船体表面圧力は Sq.St. $1\frac{1}{2}$ 以降で左右舷非対称である。スラストが高い状態から低い状態にステップ状に変化するに応じ、左舷側の圧力は高い状態から低い状態に、右舷側の圧力はその逆の変化をするが、その値を見ると、あたかも左右舷の圧力が入れ替わっているように見える。船尾横力の原因は、この圧力の非対称性にあると思われる。また圧力部測孔 1 の圧力は、スラストの変化に応じ、左舷側の圧力と同位相の変化を行なうことが注目される。

次に、圧力変動の大小関係を調べるためにスラストと各計測点の圧力との相互相関を求めた。Fig. 4.4.4.5 に圧力計測孔 1 の値を 100 とした時の等相関曲線を、Fig. 4.4.4.6 に船長方向の分布を示す。等相関曲線はほぼフレームラインに沿っていると云える。左舷側は順相関、右舷側は逆相関である。Sq.St. $1\frac{1}{2}$ 付近ではほぼ零となる。また圧力変化の大きさは、距離の 2 乗に逆比例、あ

るいは指数関数的に減少している。なお、相互相関関数の計算には横浜国立大学の船体運動高速解析装置を使用させていただいた。

(b) 船尾流場計測

(i) 概 要

プロペラ作動時の船側伴流を2本の五孔管を用い、左右舷対称位置を同時に、スラスト、トルク、プロペラ回転数と共に計測した。計測断面は、Sq.St. $\frac{3}{8}$ 、 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{3}{4}$ の3断面で、計測点数は、各断面両舷約130点である。Fig.4.4.4.7～Fig.4.4.4.9に計測点位置を示す。使用した五孔管はNPL型で計測部外径3.2 ϕ 、Apex angle 110°、水平及び垂直面内の $\pm$ 約30°までの流向が計測可能である。Fig.4.4.4.10に五孔管とトラバースの写真を示す。

計測状態は、船体表面圧力計測と同一である。

(ii) 試験結果及び考察

Sq.St. $\frac{3}{8}$ 、WL=60mm、BL=40mmの計測点における計測記録例をFig.4.4.4.11に示す。スラスト・トルクの変化に応じて左右の五孔管の各孔の圧力が変化している。

Fig.4.4.4.12～Fig.4.4.4.14に各計測断面の伴流 $W_x = 1 - \frac{V_x}{V_M}$ の分布を、Fig.4.4.4.15～Fig.4.4.4.17には、WL=20mm、40mm、60mmの船幅方向の W_x の分布を示す。スラストが高い状態から低い状態に移ると左舷の伴流は減少し、右舷では増加している。Sq.St. $\frac{1}{2}$ 及びSq.St. $\frac{3}{4}$ と前方、二つの流場が計測されにくくなっているが、この原因はプロペラから遠ざかる程、流場の変化が小さく、相対的に五孔管による攪乱が大きくなっていることによるものと思われる。またスラストの高い状態では、左舷の伴流が大きく、スラストの低い状態では両舷の相異は明確でない。

Fig.4.4.4.18～Fig.4.4.4.20に V_y 、 V_z のベクトル表示を示す。スラストが高い状態から低い状態に移ると、左右舷のベクトルはいずれも反時計回り方向の回転を受けている。Sq.St. $\frac{3}{8}$ の船体近傍ではそれが特に強い。次に左右舷同一位置の V_y 、 V_z ベクトルの差をとり流れの対称性を調べた。結果をFig.4.4.4.21～Fig.4.4.4.23に示す。図中、船体右側にはスラストが低い状態の(左舷ベクトル)－(右舷ベクトル)を示す。各断面共、左右の流場は非対称であり、スラストの高い状態では右舷の左廻りの渦は、左舷の右廻りの渦よりもかなり強いことを示している。スラストの低い状態では、左右舷の明確な差は認められない。

Fig.4.4.4.24～Fig.4.4.4.26には、スラストの高い状態について、 V_y 、 V_z ベクトルより求めた渦度分布を示す。渦は非対称で、中心は左右舷で上下にずれており、又右舷の方が強い。スラストの低い状態の場合は、計測データが不足しており詳細は不明である。

(c) フェノールフタレイン法による流場観察

(i) 概 要

フェノールフタレイン法により船尾流場の可視化を行ない、スラストの高い状態と低い状態の流場の変動を観察した。Fig.4.4.4.27に試験法の概略を示す。フェノールフタレインは、圧力計測孔より吹出させたが、左右舷同一位置の3～4ヶ所から吹出しが可能な装置(バルブBox)を製作した。写真をFig.4.4.4.28に示す。流場の状態は船体後方及び下方の2方向より8mmシネで同時撮影を行ない記録した。試験状態は表面圧力計測、流場圧力計測と同一である。

(ii) 8mmシネ撮影結果

8mmシネの記録より以下のことが観察された。

(i) 船尾波紋の方向は従来から報告されていたように、スラストが高い場合には左舷側に、低い場合には右舷側に向く。船体中心線と波紋の角度は、左舷側に波紋が流出する場合は大きく、右舷側に流出する場合には小さい。

(c) プロペラ上方の圧力計測孔 1 より吹出されたトレーサは、船尾波紋と同じ方向に流れる。同じく船底中心線上 Sq.St.1、Sq.St.1 $\frac{1}{2}$ 、Sq.St.2 から吹出されたトレーサは、船尾波紋と逆の方向に流れることが認められた。

(d) 鉛白法による限界流線の観察

(i) 概 要

65% Full load 1% trim by stern、 $Fn=0.18$ のプロペラ無しの状態について船尾船体表面の限界流線の可視化を鉛白-硫化アンモン法により行なった。試験は鉛白を塗装した船体表面上の一点ごとに硫化アンモン液を点滴させて行なった。結果は 35 mm スチールに記録した。

(ii) 写真撮影結果

Fig.4.4.4.29 に写真を示す。今回の試験では、薬品の品質が劣化していたため、鉛白とアンモニアの反応が弱く、限界流線が明確には現われていない。Sq.St. $\frac{3}{4}$ と Sq.St.1 の間の船底部分で船体中心線から船底に巻き上がる流れの限界流線の方が右舷側が大きくなっているが、全体的には左右舷で流れはほぼ対称と云えるように思われる。しかしながら、8 mm シネ撮影と異なり、試験数も少なく、反応も不十分なため、参考資料程度に考えている。

(4) 流場モデル

計測及び観察より得られた結果を、Table 4.4.4.1 に示す。スラストの低い場合の流場計測等、一部データが不足しているが、この表より、流場についておおよそ、次のような推定が可能であろう。

『SS1 $\frac{1}{2}$ より後方において、左右舷で、非対称な流れが存在し、1 つは船底から船側に巻き上がる流れ (BV とする) の平均的な方向に生ずる、渦、前進速度 ($V_x = V(1-W_x)$) とともに大きな流れ U、他の 1 つは、BV と逆方向の舷に生ずる、渦、前進速度の小さな流れ u である。右回りプロペラが作動する場合、U、u の配置に関係なく、プロペラ面内の伴流の値が変わらなければ、tangential wake の効果により、左右舷の流場が、それぞれ u、U のとき、スラストは大きく、逆の配置のとき、スラストは小さくなる』

この推定に基づいて構成した流場モデルを Fig.4.4.4.30 と Fig.4.4.4.31 に示す。P1 計測孔の圧力変化が、左舷側の圧力と同相の変化をすることを考慮し、二つの流れの境界線が船体中心線と交差する点、スラストの高い状態では P1 より後方、スラストの低い状態では前方となっている。

Table 4.4.4.1 計測結果のまとめ

		スラストの高い状態		スラストの低い状態	
試 験 項 目		左 舷	右 舷	左 舷	右 舷
船体表面圧力計測	圧 力 分 布	高 い	低 い		
	P1 の 圧 力 (4.1 SS1/85.7W)	高 い		低 い	
	圧力変動の範囲	SS 1 1/2 程度			
流 場 観 測	$\frac{V_x}{V} = 1-W$	小	大	スラストの高い状態にくらべて大きくなる	スラストの高い状態にくらべて小さくなる
	$X_v \cdot V_z$	小	大	スラストの高い状態にくらべて強くなる	
	渦 度	弱	強	不 明 (データ不足)	
	渦 の 中 心 (?)	より上方	より下方	不 明 (データ不足)	
流 場 観 察	船 尾 波 紋	左舷後方へ流出		やや右舷側だがほぼ後方	
	P1 孔からのトレーサ	左舷側に吹抜ける		右舷側に吹抜ける	
	船底、船体中心線上からのトレーサの方向	右 舷 側		左 舷 側	

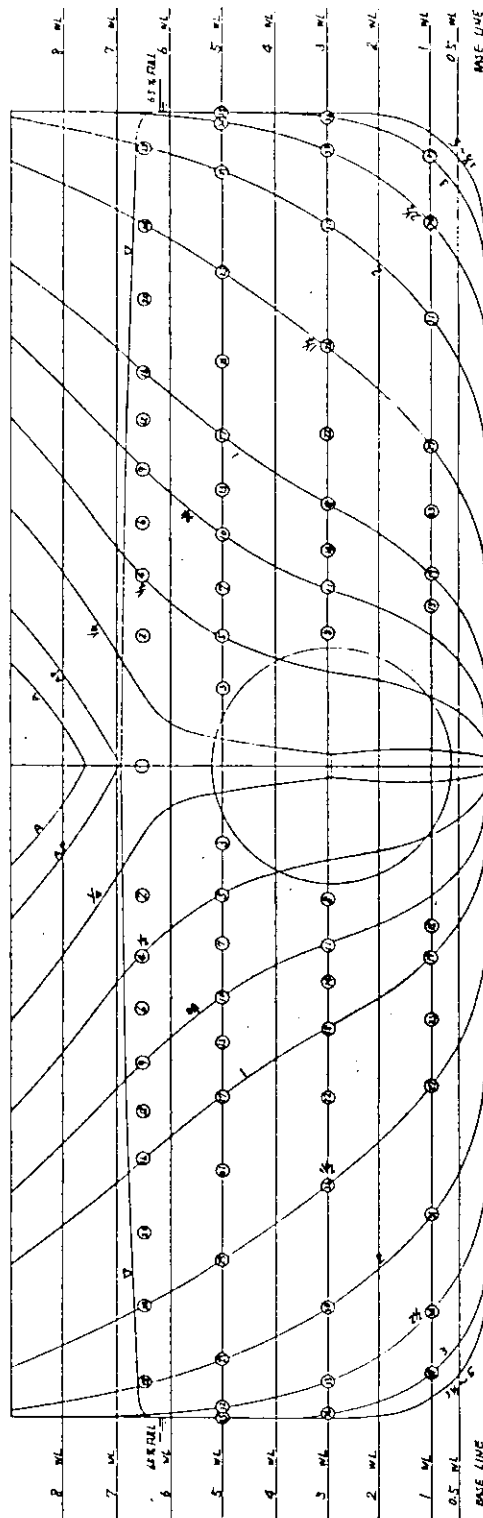


Fig. 4.4.4.1 Positions of Pressure Holes of a Hull Surface

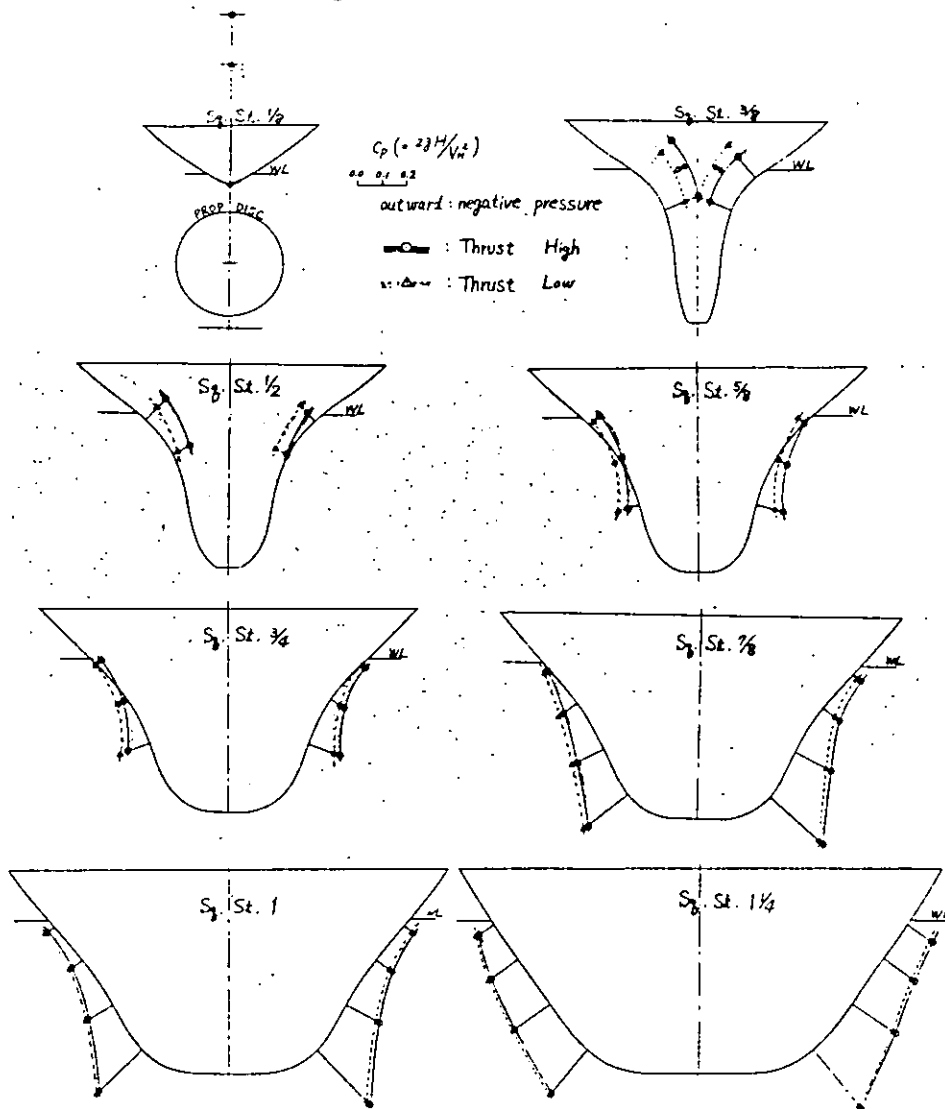
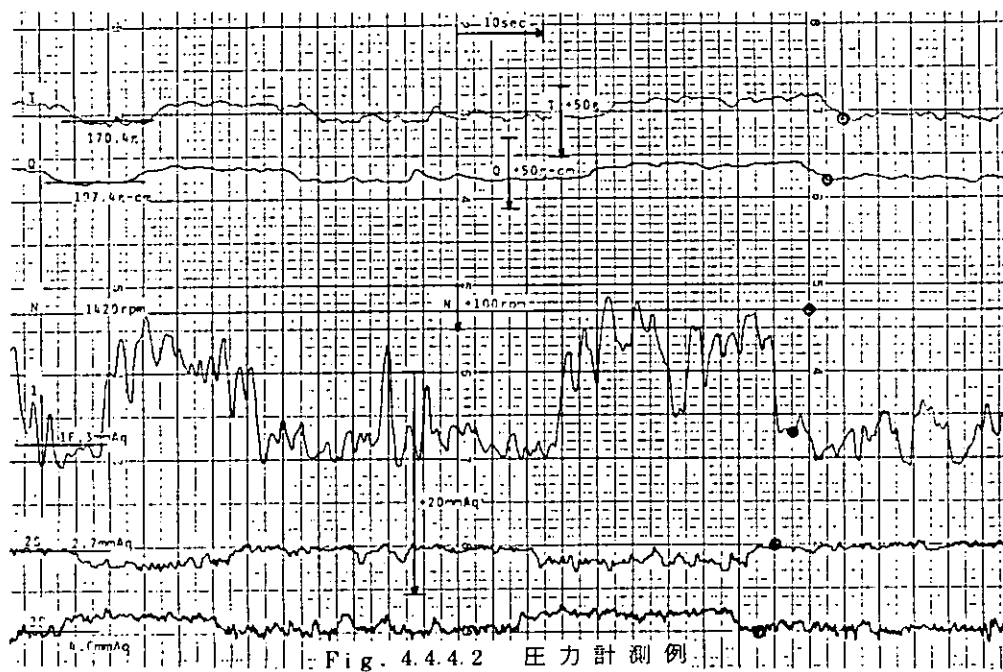
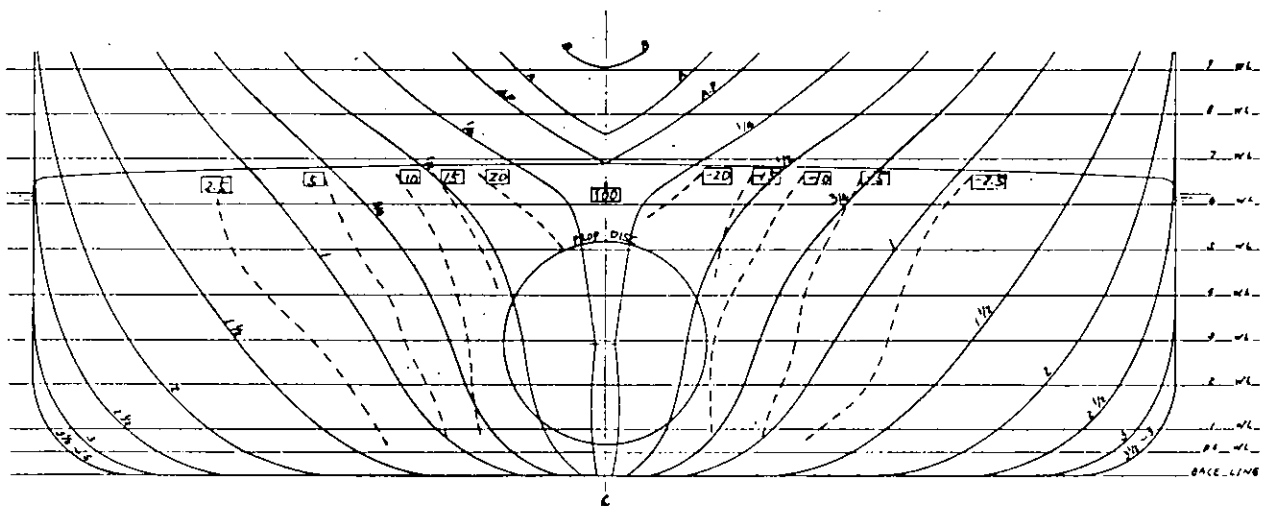
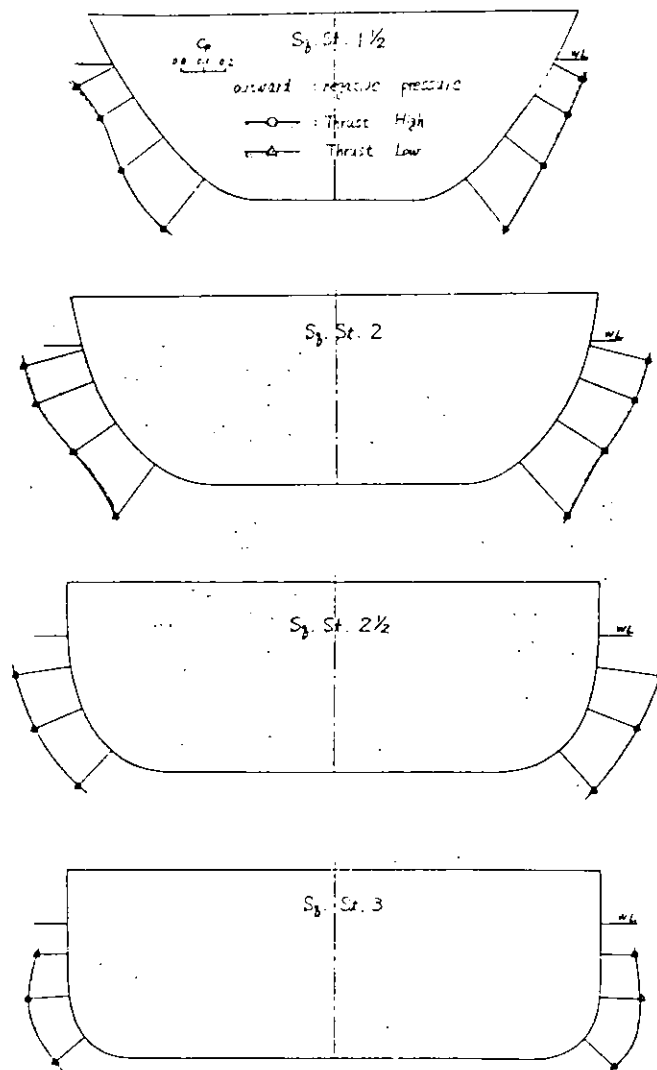


Fig. 4.4.4.3 Pressure Distributions at Sq St $1/8 \sim$ Sq St $1\ 1/4$



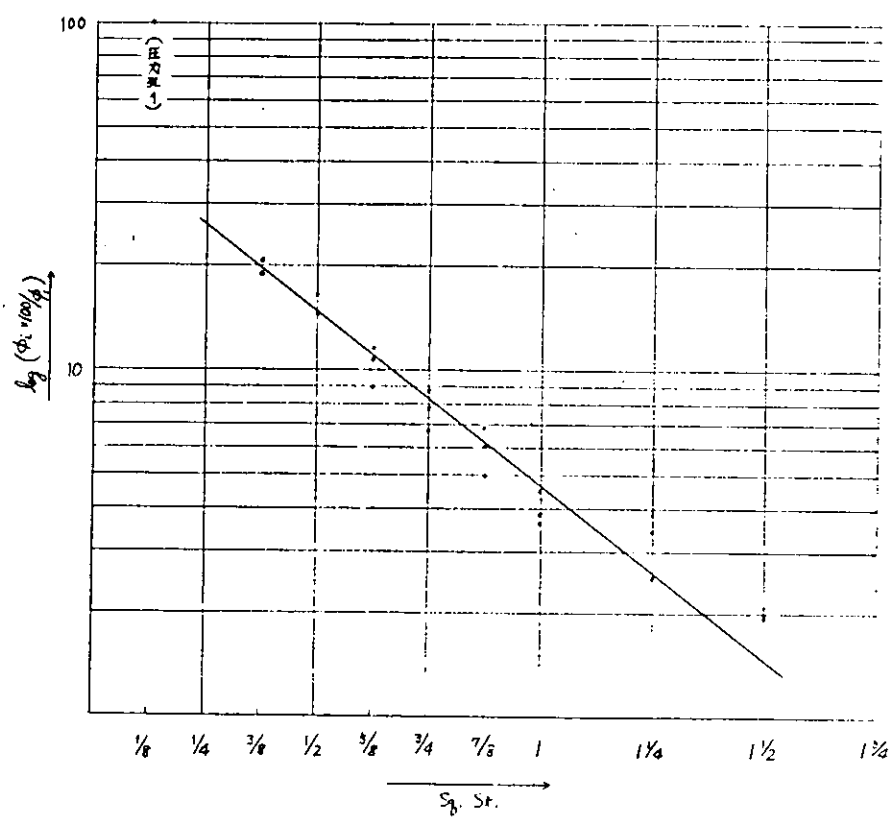


Fig. 4.4.4.6 压力変動分布

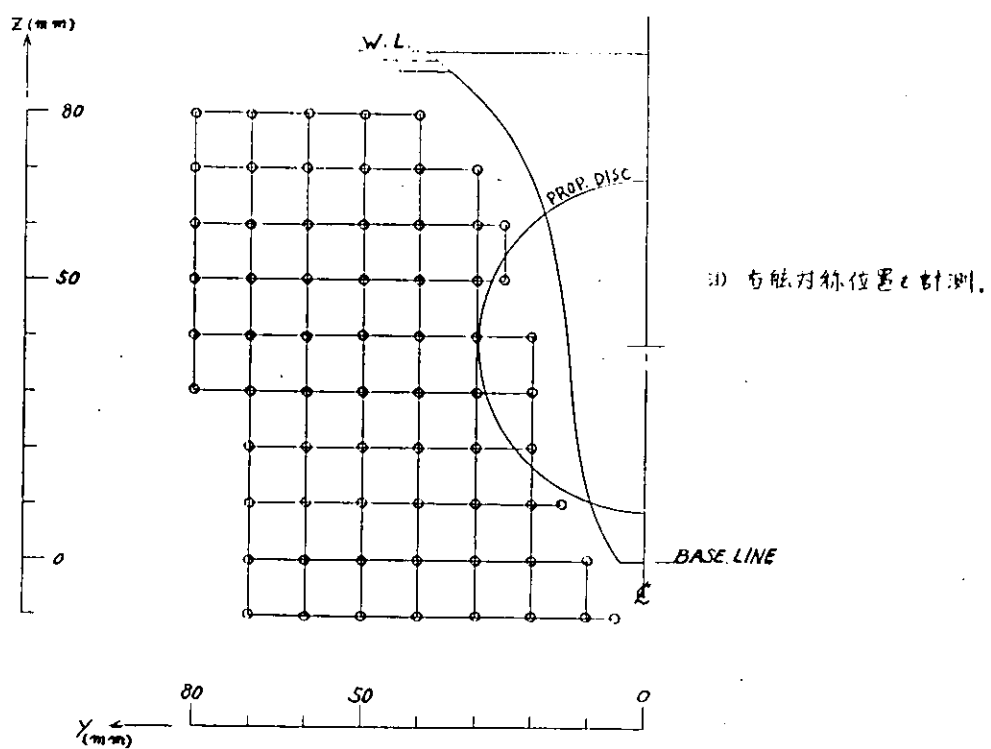


Fig. 4.4.4.7 流場計測位置 — (1) (Sq. St. 3/8)

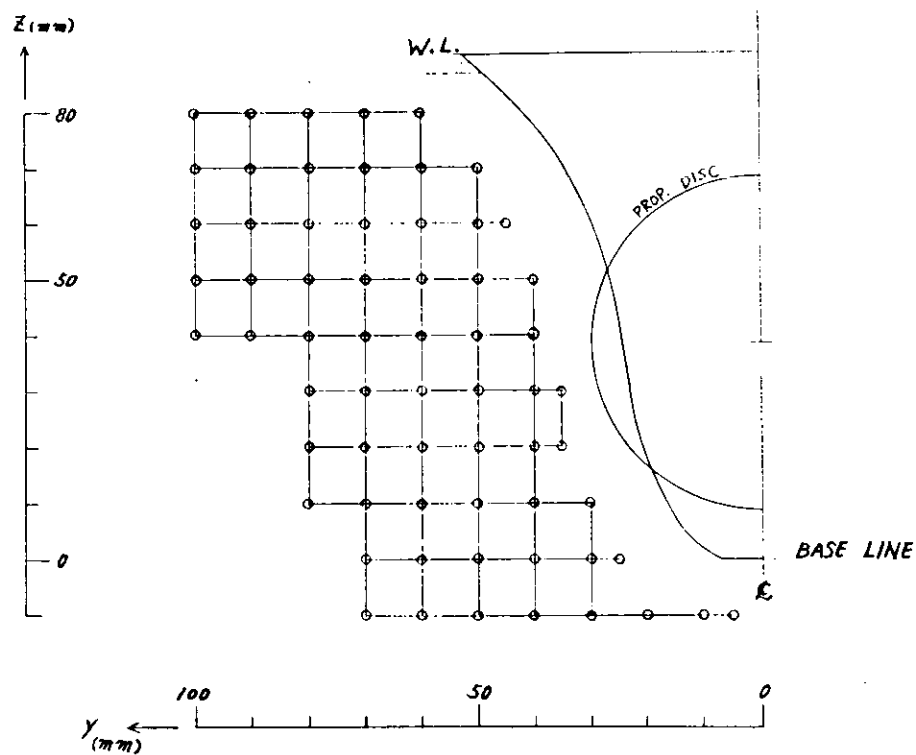


Fig. 4.4.4.8 流場計測位置 — (2) (Sq. St. 1/2)

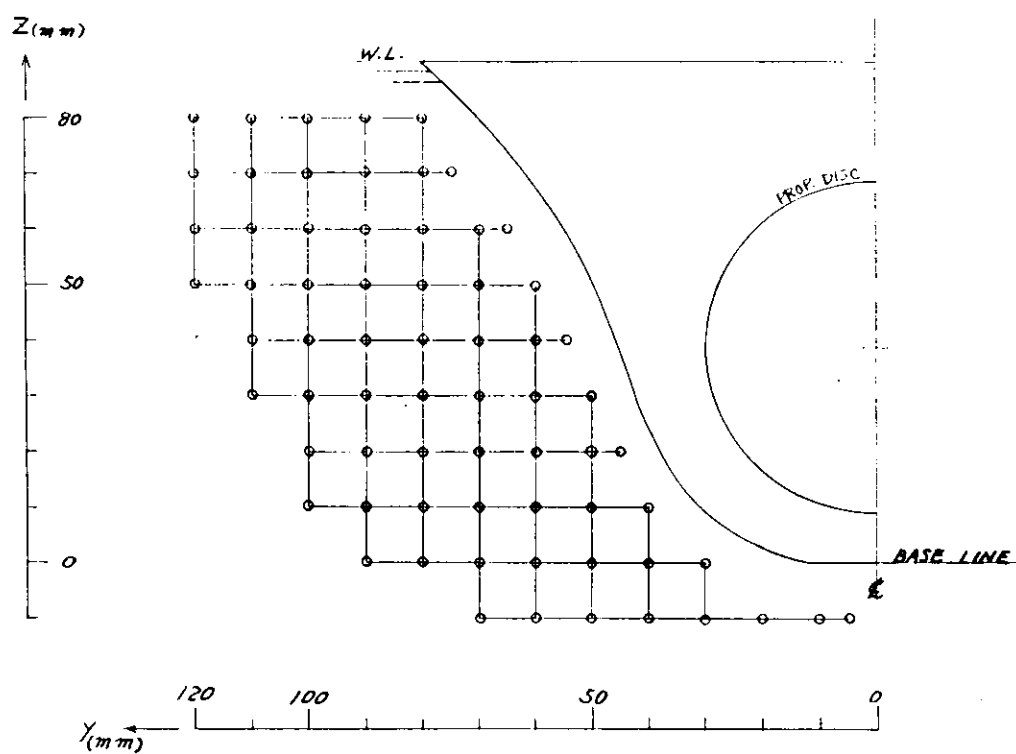


Fig. 4.4.4.9 流場計測位置 — (3) (Sq. St. 3/4)

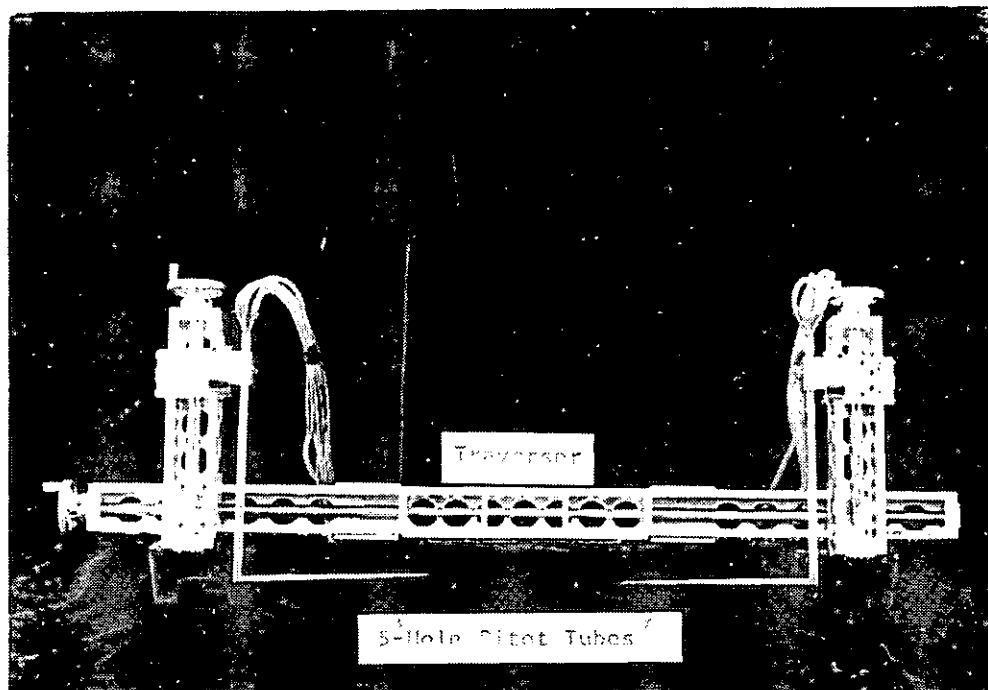


Fig. 4.4.4.10 5-Hole Pitot Tubes and Traverser

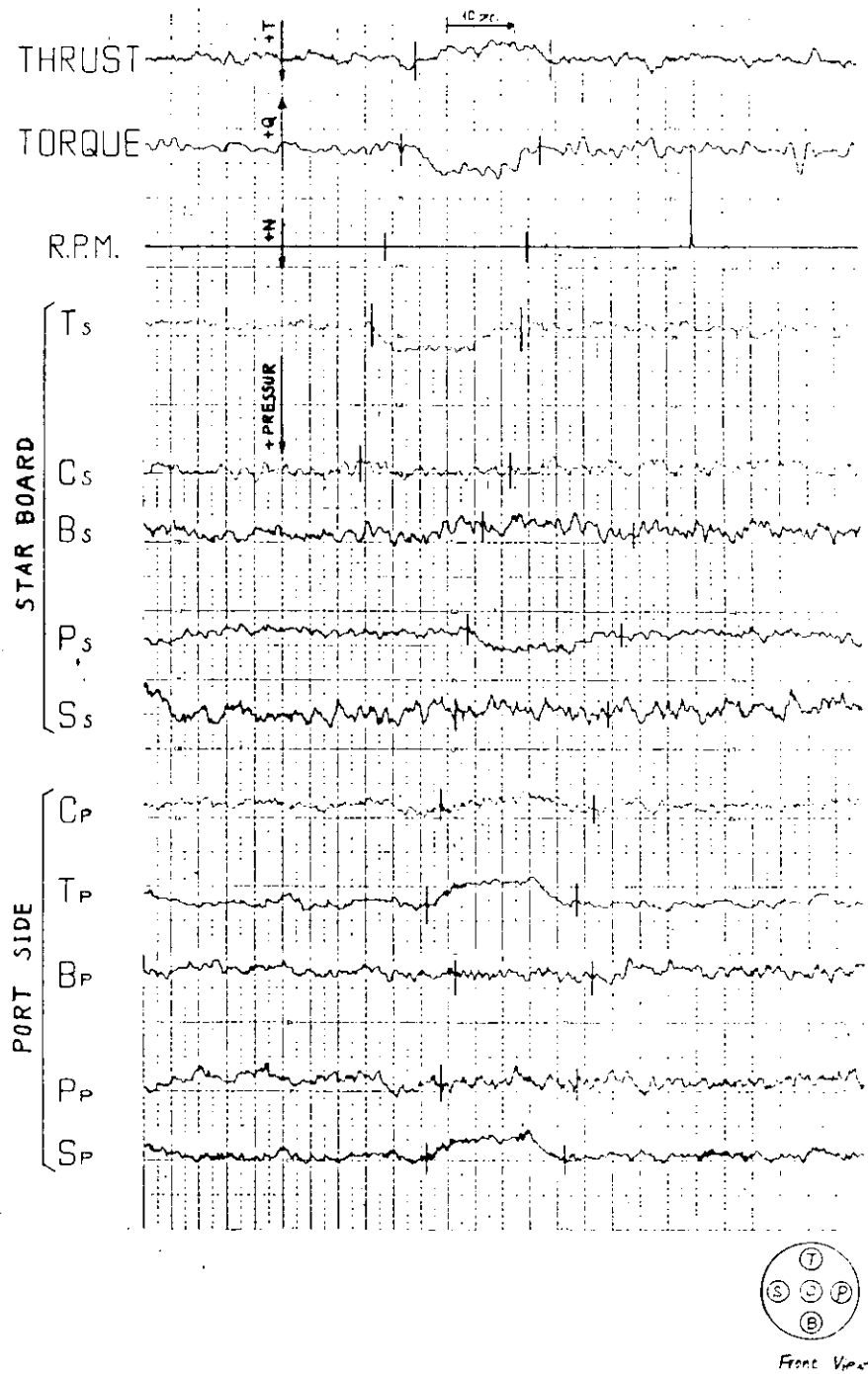


Fig. 4.4.4.11 五孔管計測値例
(Sq. St. 3/8, WL = 60 呎 BL = 40 呎)

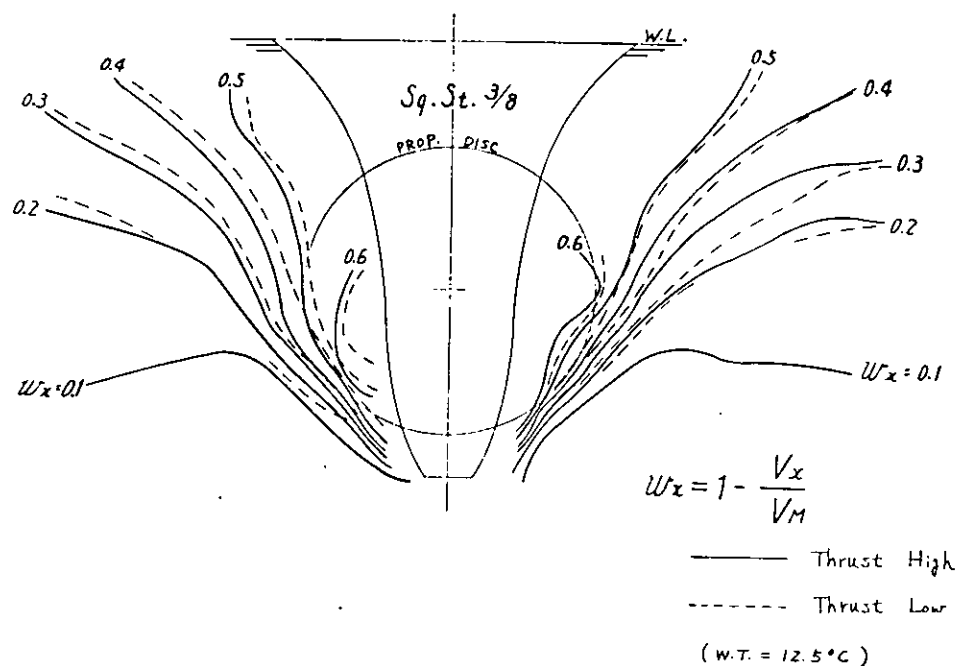


Fig. 4.4.4.12 Wake Distribution at Sq St $\frac{3}{8}$
(65% Load with Propeller, $N=23.7$ r.p.s., $F_n=0.18$)

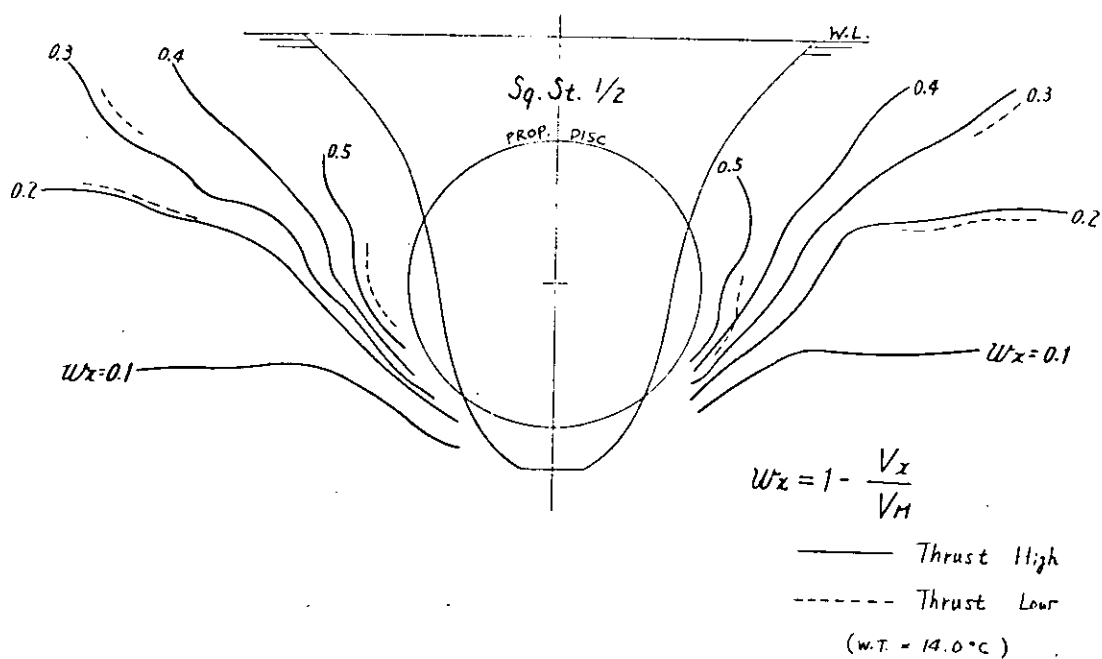


Fig. 4.4.4.13 Wake Distribution at Sq St $\frac{1}{2}$
(65% Load with Propeller, $N=23.7$ r.p.s., $F_n=0.18$)

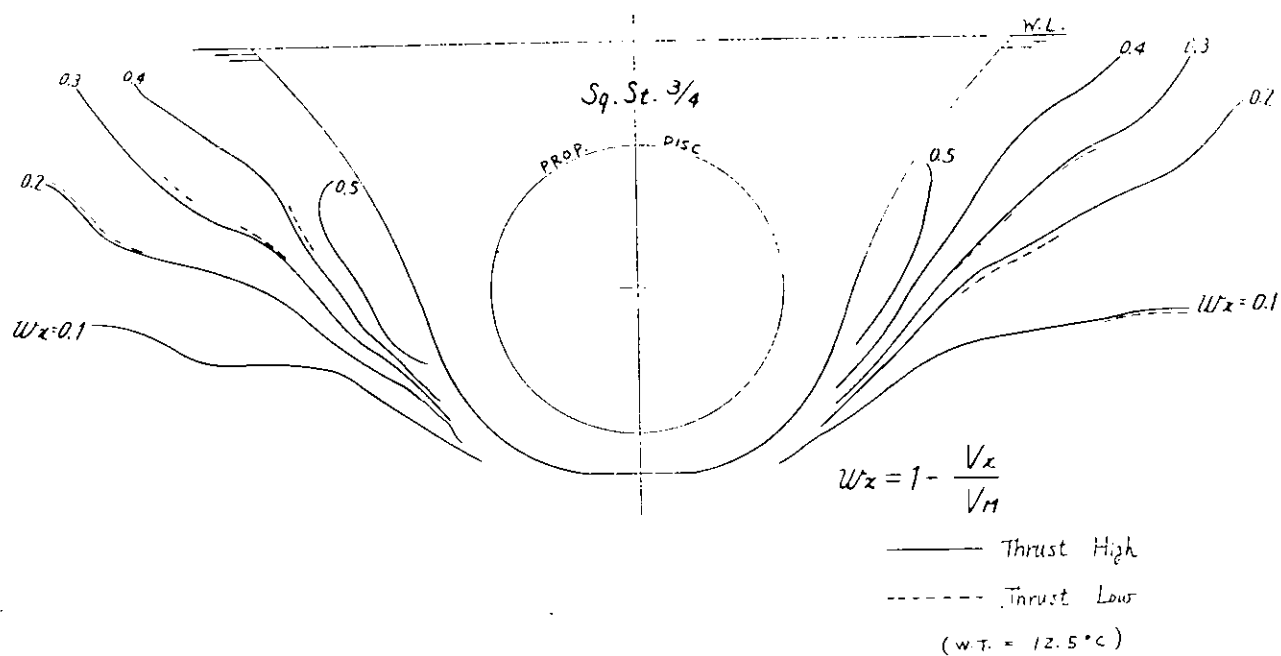


Fig. 4.4.4.14 Wake Distribution at Sq St $\frac{3}{4}$
(65% Load with Propeller, $N=23.7$ r.p.s., $F_n=0.18$)

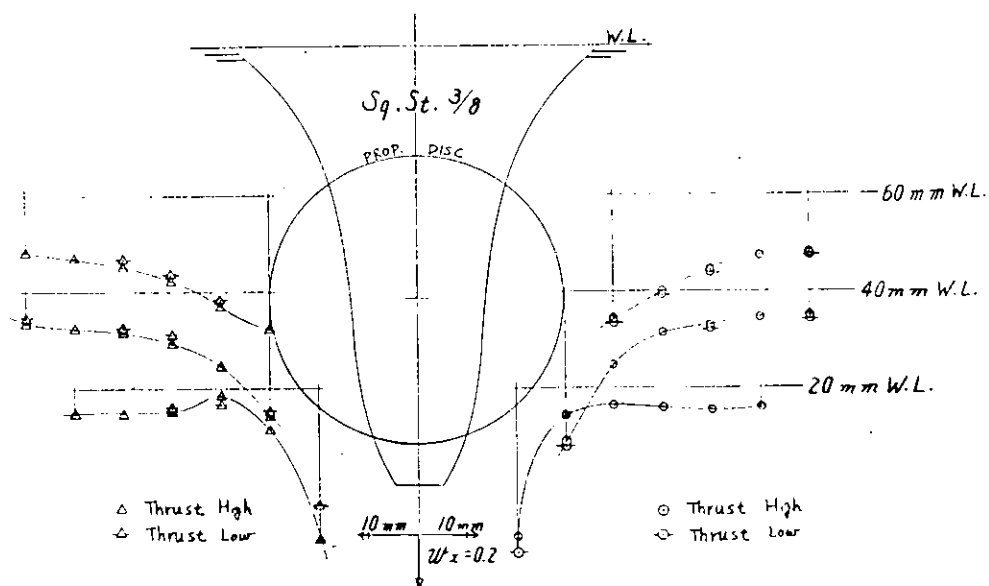


Fig. 4.4.4.15 W_x at Typical Water Lines
(65% Load with Propeller, $N=23.7$ r.p.s., $F_n=0.18$)

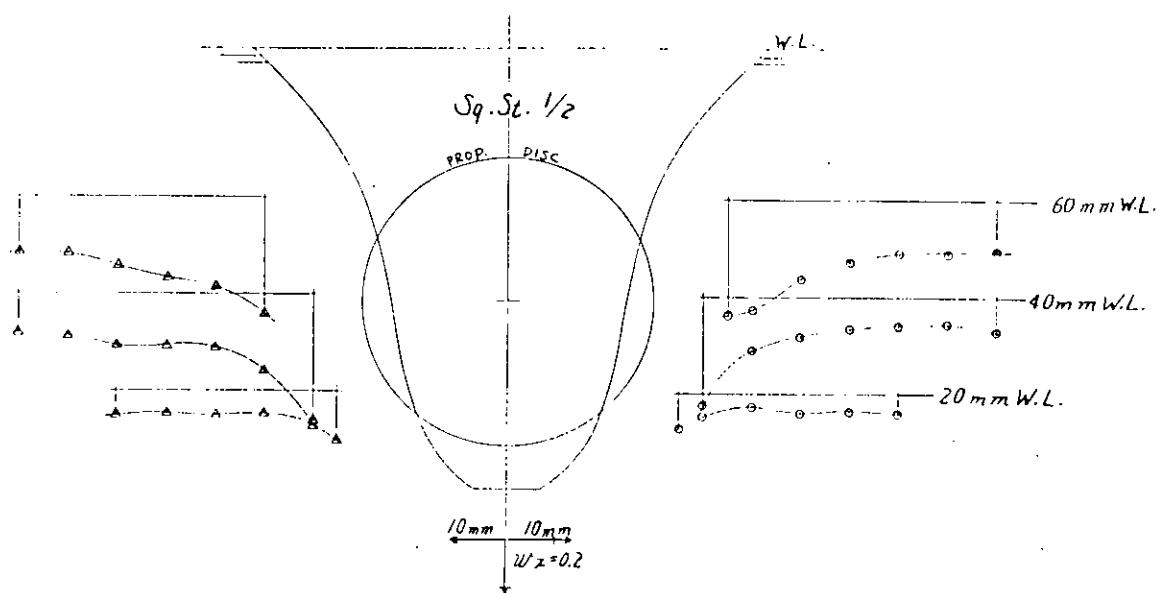


Fig. 4.4.4.16 Wx at Typical Water Lines
(65% Load with Propeller, $N=23.7$ r.p.s., $F_n=0.18$)

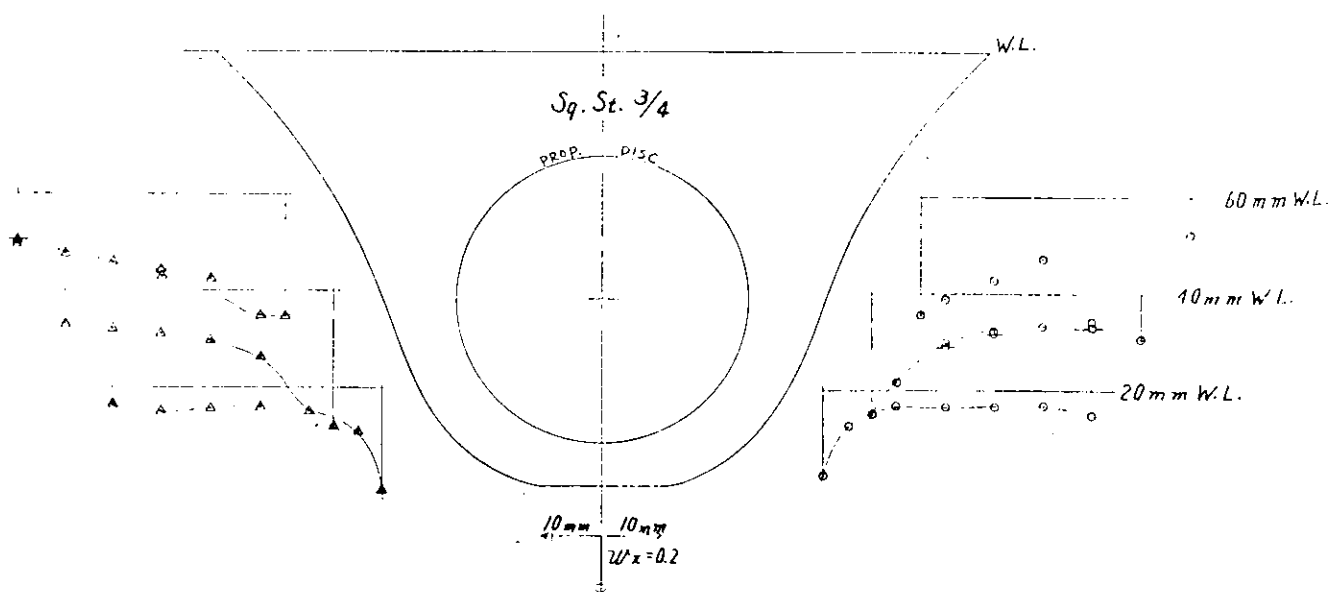


Fig. 4.4.4.17 Wx at Typical Water Lines
(65% Load with Propeller, $N=23.7$ r.p.s., $F_n=0.18$)

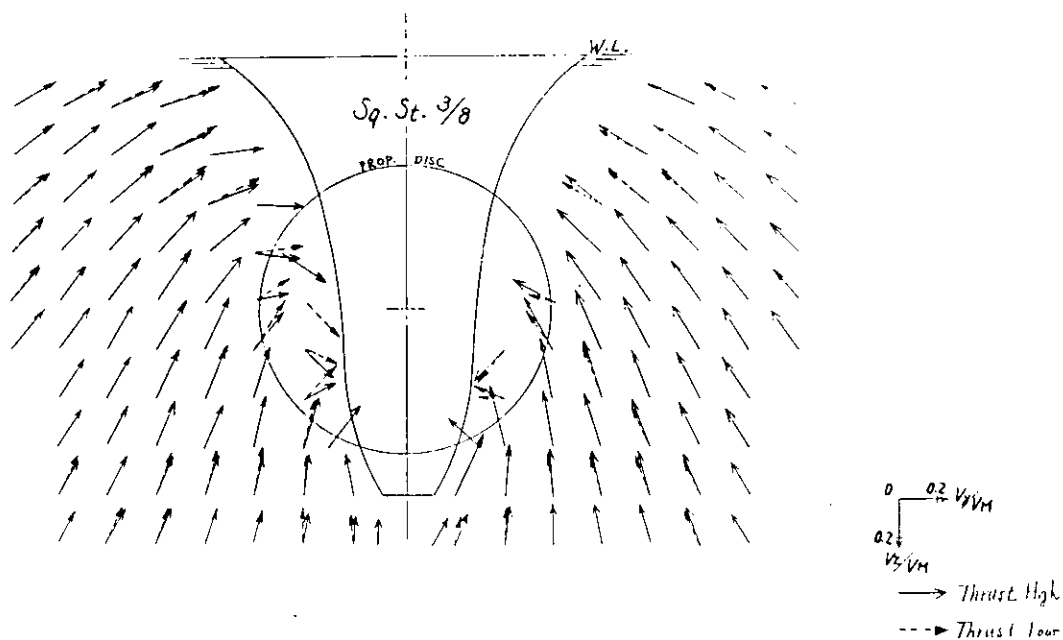


Fig. 4.4.4.18 Velocity vector representation of V_Y, V_Z at Sq. St. $3/8$
(65% Load with Propeller, $N=23.7$ r.p.s., $F_n=0.18$)

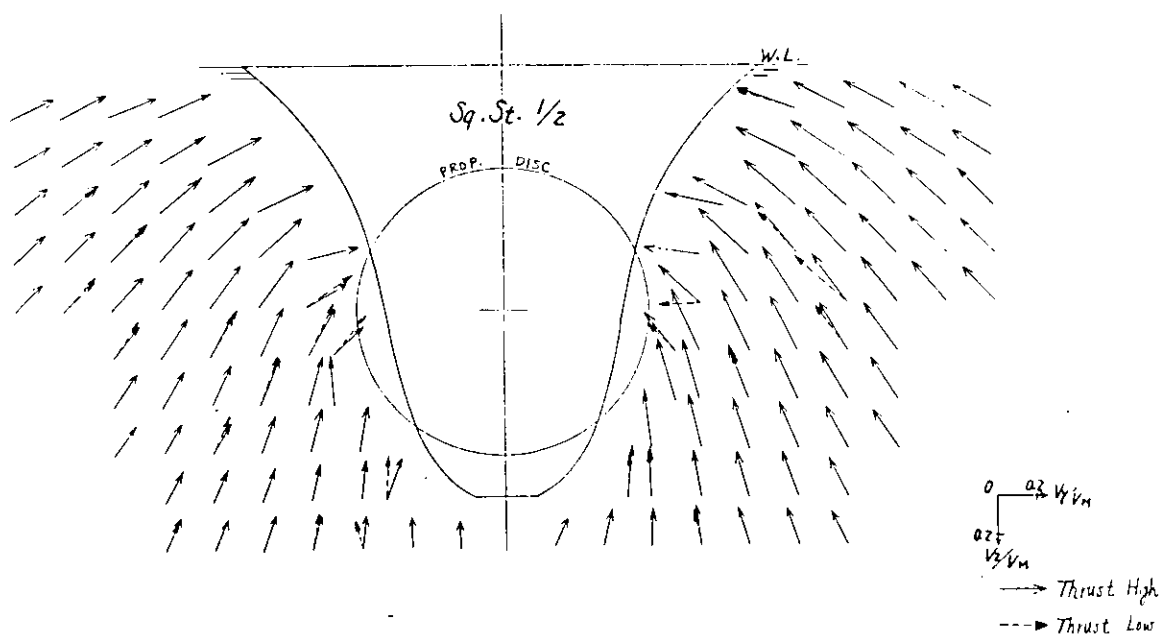


Fig. 4.4.4.19 Velocity vector representation of V_Y, V_Z at Sq. St. $1/2$
(65% Load with Propeller, $N=23.7$ r.p.s., $F_n=0.18$)

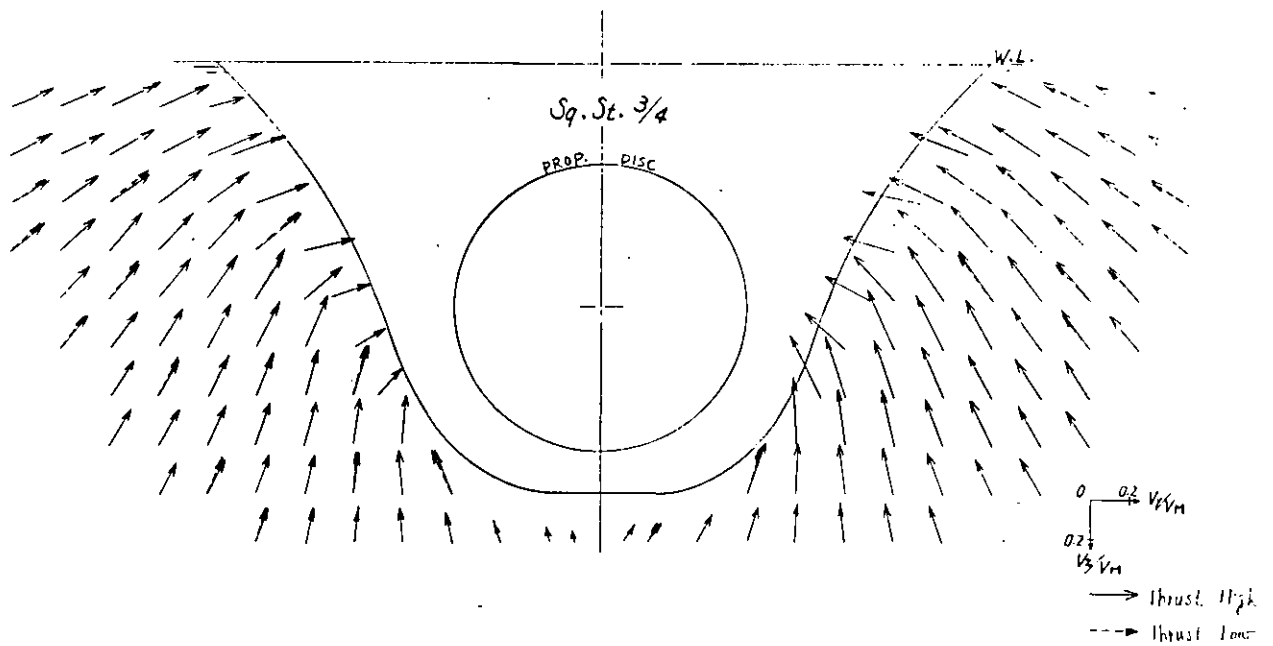


Fig. 4.4.4.20 Velocity vector representation of V_Y, V_Z at Sq. St. 3/4
(65% Load with Propeller, $N=23.7$ r.p.s., $F_n=0.18$)

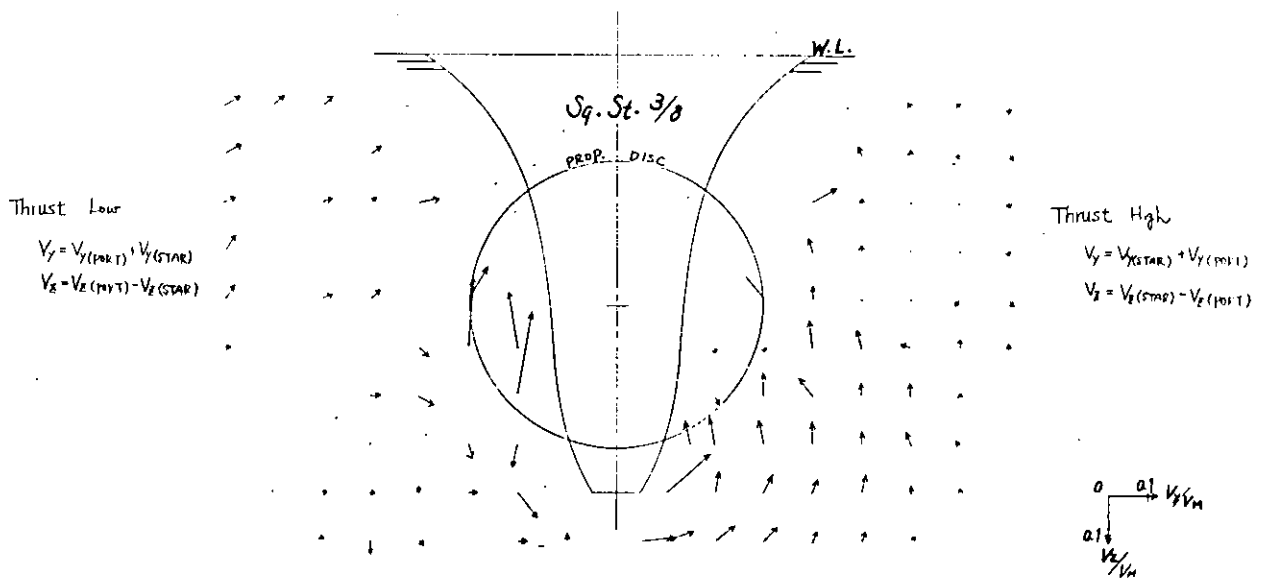


Fig. 4.4.4.21 左右舷の V_Y, V_Z ベクトルの差 (Sq. St. 3/8)

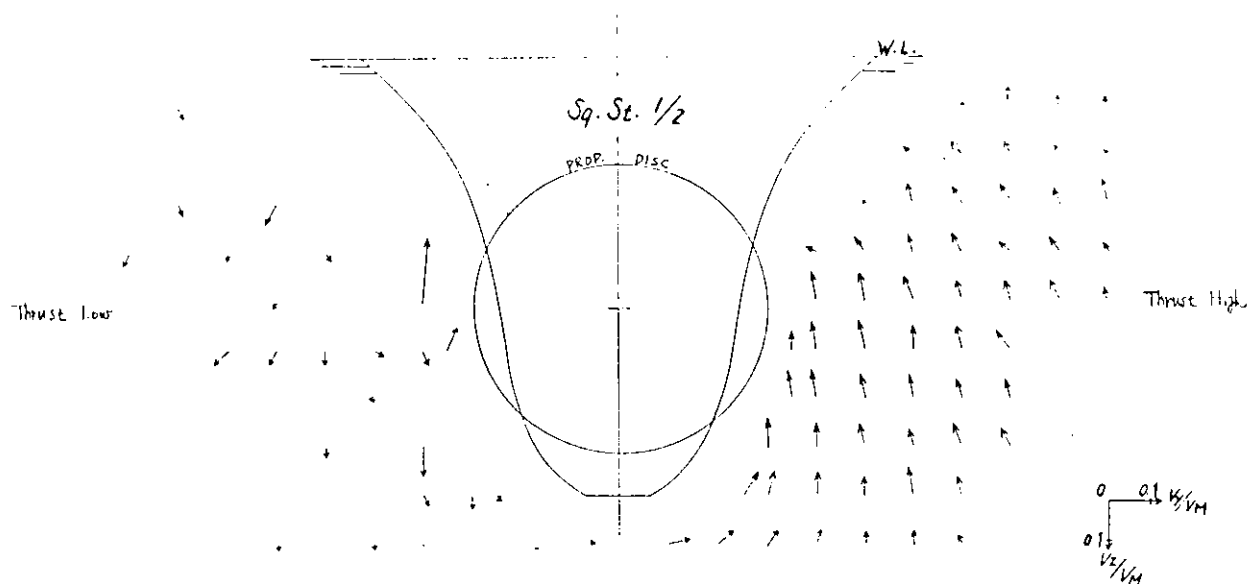


Fig. 4.4.4.2.2 左右舷の V_y V_z ベクトルの差 ($Sq. St. 1/2$)

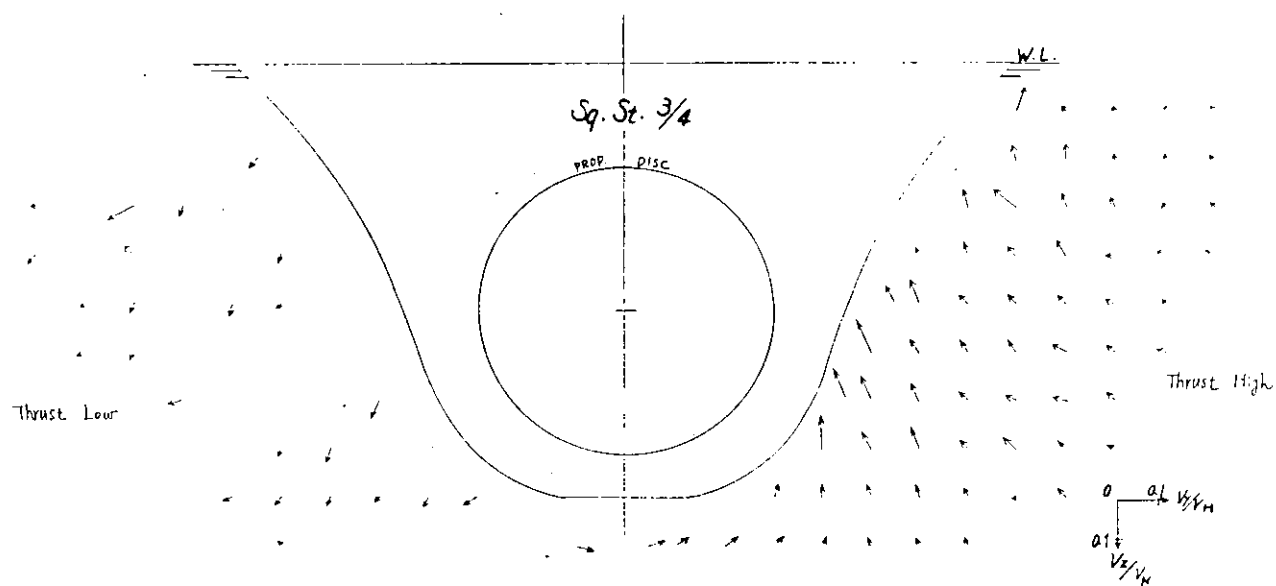


Fig. 4.4.4.2.3 左右舷の V_y V_z ベクトルの差

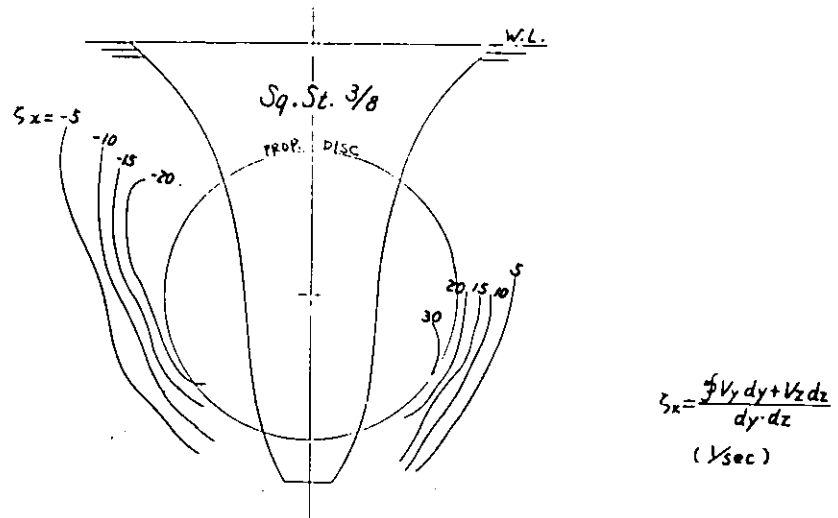


Fig. 4.4.4.24 Vorticity Distribution at Sq St $3/8$
 (65% Load with Propeller, $N=23.7$ r.p.s., $Fn=0.18$)

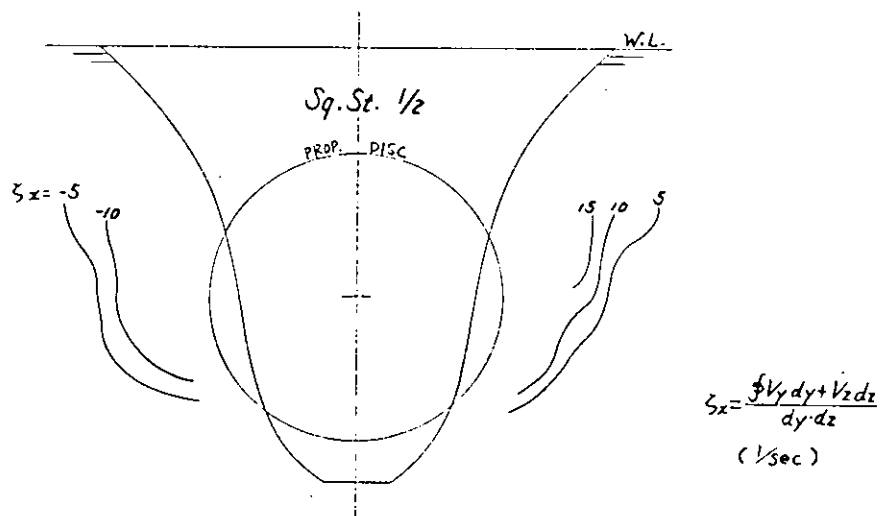


Fig. 4.4.4.25 Vorticity Distribution at Sq St $1/2$
 (65% Load with Propeller, $N=23.7$ r.p.s., $Fn=0.18$)

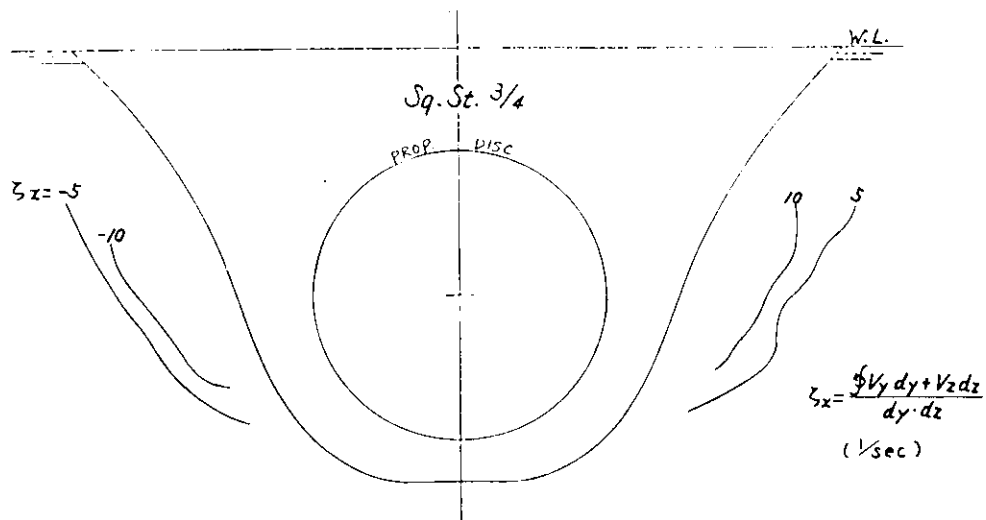


Fig. 4.4.4.26 Vorticity Distribution at Sq St $3/4$
(65% Load with Propeller, $N=23.7$ r.p.s., $Fn=0.18$)

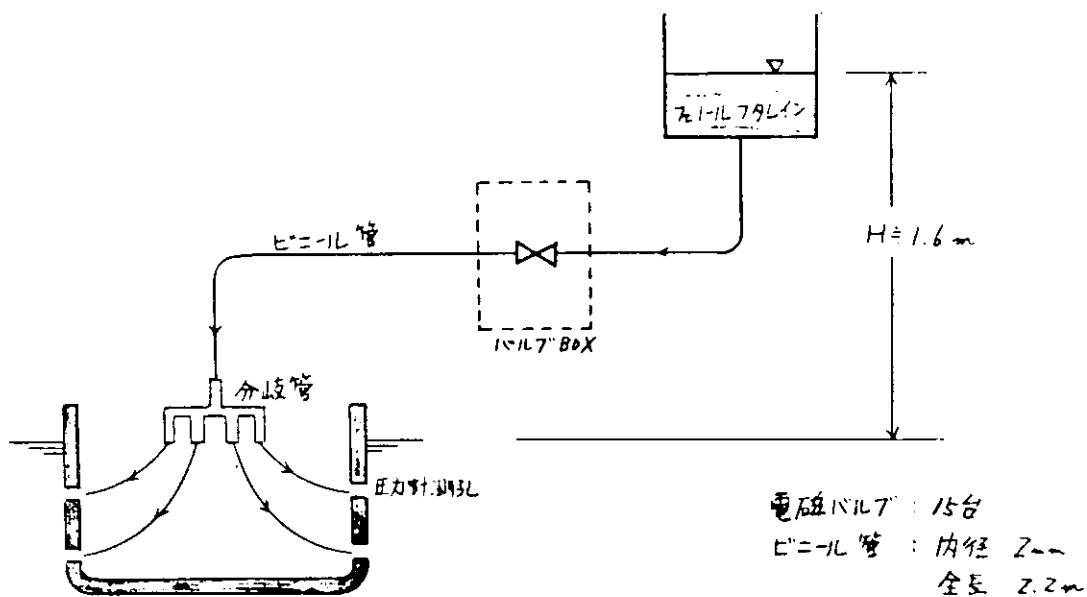


Fig. 4.4.4.27 Arrangement of Flow Visualization
(Phenol Phthalein Method)

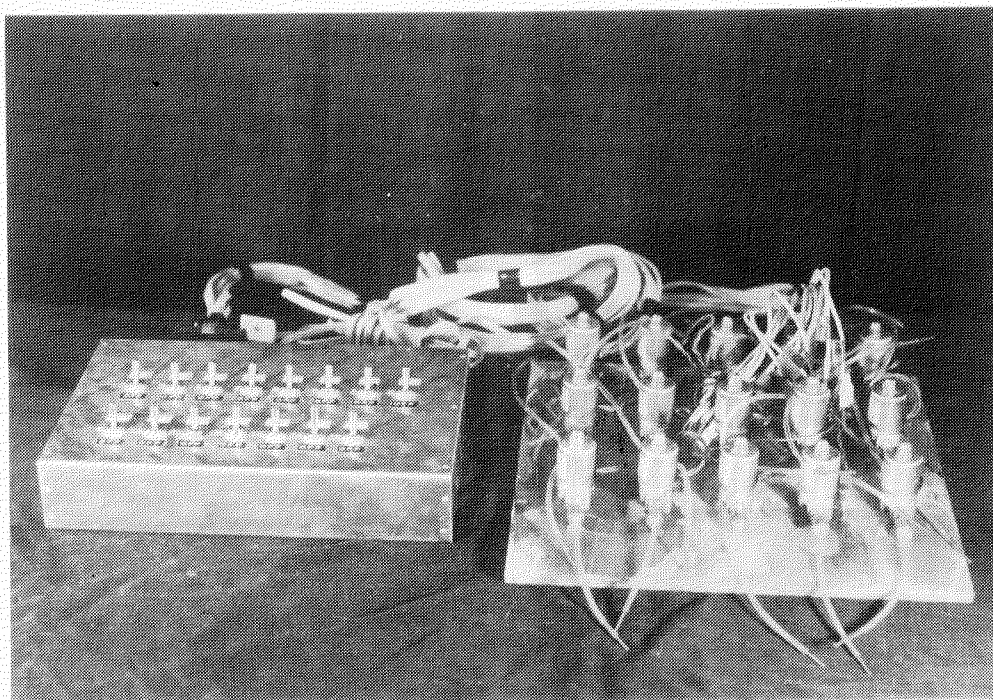


Fig. 4.4.4.28 Valve Box

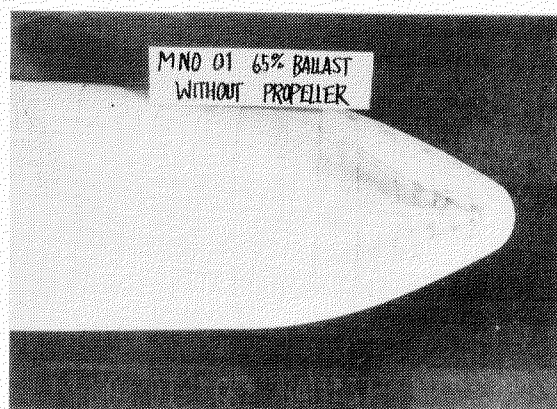
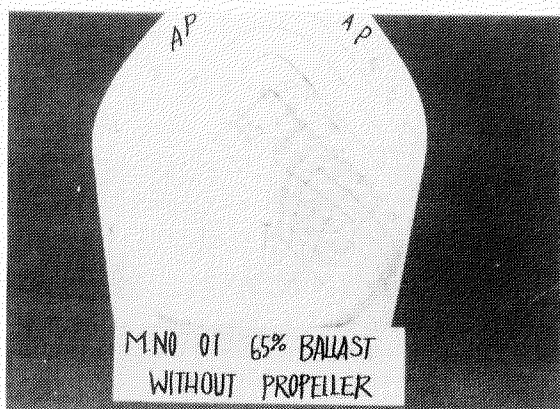
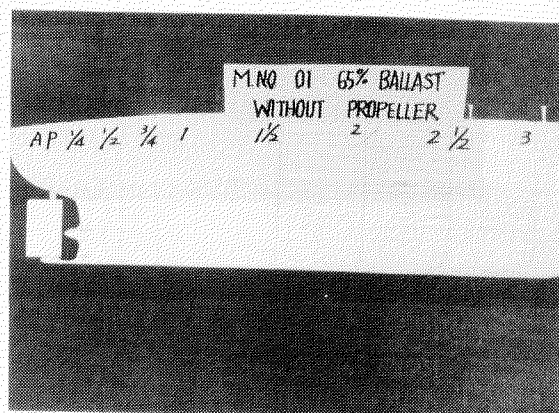
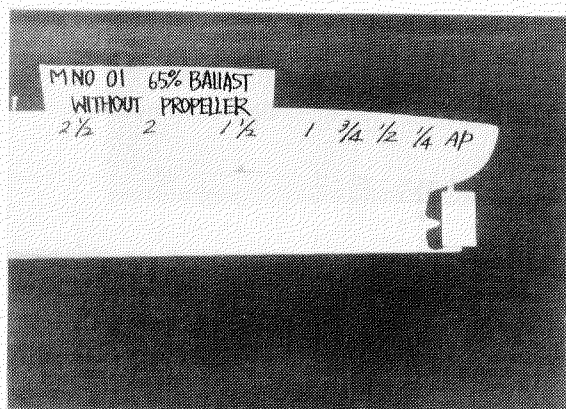
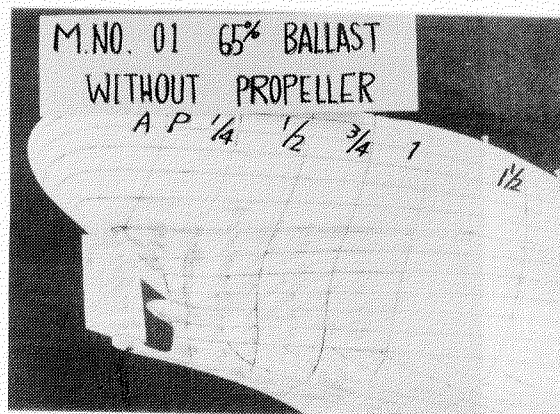
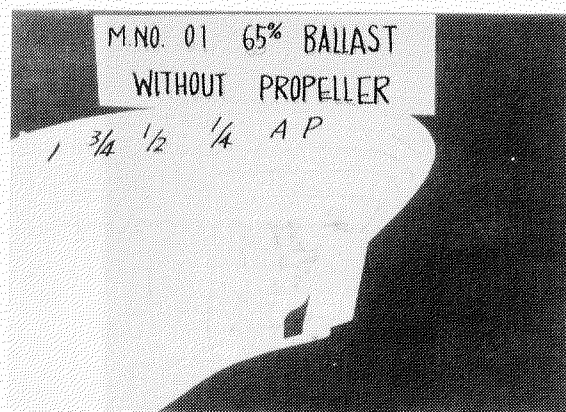


Fig. 4.4.4.29 Limiting Stream-Lines
(65% Load without Propeller, $Fn=0.18$)

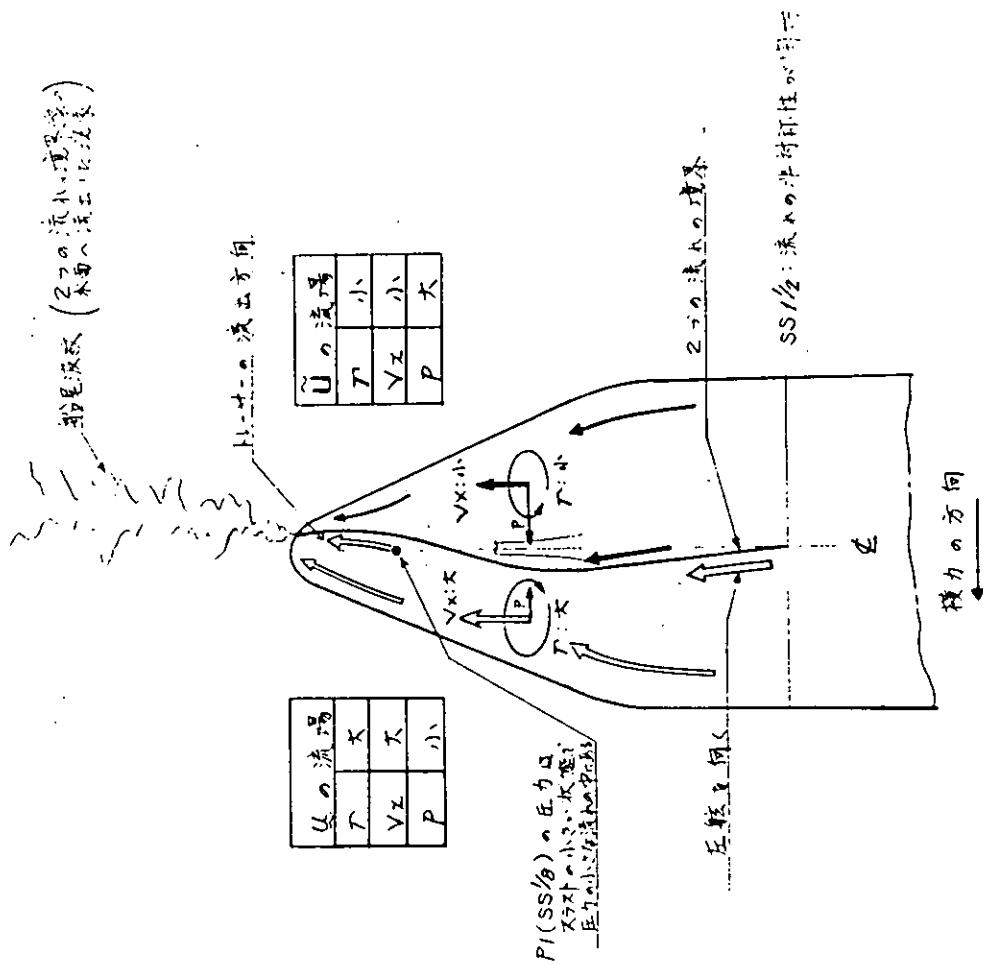


Fig. 4.4.4.30 スラストの高い場合の流場モデル

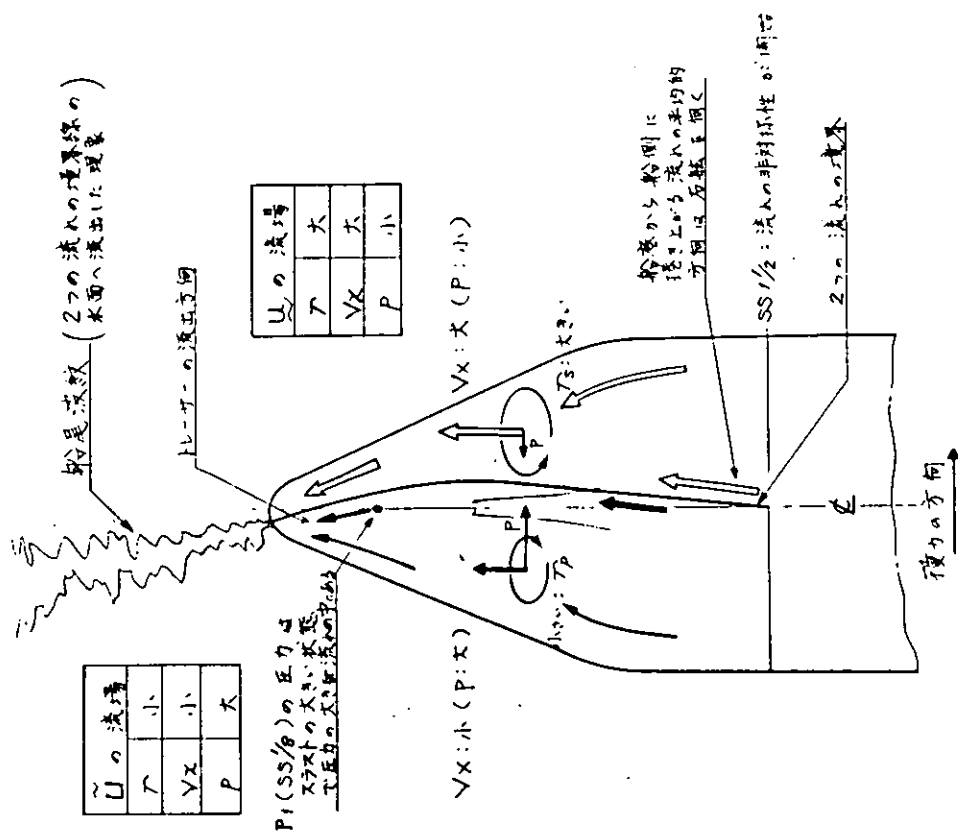


Fig. 4.4.4.31 スラストの低い場合の流場モデル

4.5 プロペラ直前の流れ（総圧）の計測

4.5.1 目的および計測項目

プロペラに流入する流れの左右舷における非対称性と不安定現象との関連を調査するために、とりあえず Fig. 4.5.1 に示すようなプロペラ前方の 20 点の総圧 $P(T)$ と自航中のトルク Q 、スラスト T 、模型船に加えた曳引力 ΔR 、模型船の前・後部における横力 T_F 、 F_A の同時計測と波紋の観測を行った。また船体後半部の船体表面の圧力変動と Station No1 の船底中心線の船体から 20 mm の所に設けた 2 孔管による船底の流向係数 $P(\theta)$ を計測した。

4.5.2 試験状態

(1) 模型船および模型プロペラ

50 年度線図の 7 m 木製模型船と下記の要目の代用プロペラを使用した。

Diameter	:	205.0 mm	(204.2 mm)
Pitch Ratio	:	0.710	(0.7143)
Boss Ratio	:	0.180	(0.180)

但し () 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。

(2) 試験状態

持ちまわり試験の途中結果からみて計画当初の 65% および 44% Load は、それぞれ伴流係数 W の大きい方と小さい方に安定した状態が多く、一航走中に両方の状態があらわれるような不安定になる機会が少なかったため、下記のような中間の 55% Load とした。

ΔMLD	:	1.5229 Ton
d_M	:	0.2433 m
Trim	:	1.5%L

(3) 速 力

F_n	:	0.12、0.16、0.18
-------	---	----------------

4.5.3 試験結果

(1) 計測器の都合でプロペラ直前面の総圧は上段の 10 点と下段の 10 点とを別航走時に計測した。それぞれの航走中のトルク・スラストの比較的小さい時期と大きい時期における総圧をアナログ記録から読みとったものを Fig. 4.5.2 に示す。また上段及び下段の $P(T)$ と T 、 Q 、 ΔR 、 $Y(A)$ 、 $Y(F)$ 、 $P(\theta)$ のアナログ記録の例を Fig. 4.5.3 及び Fig. 4.5.4 に示す。図は $F_n = 0.12$ のものであるが、他の速力の記録も大同小異のように思われる。

(2) 船体表面圧力の記録結果は計測に若干不備な点があったので記載は省略するが傾向的には 4.4.4.2 の結果と同様であった。

(3) 船尾波紋の観察結果と上記の計測結果を総括的に Fig. 4.5.5 に示す。

スラスト・トルクが大きい時は、プロペラの上方において、スクリュアパーチャと舵の上部を通り、右舷から左舷に向けて相当急な流れが出来ている。（本模型は右まわりプロペラであるから、プロペラの回転をさまたげる方向）この急激な流れは左舷に水の盛り上りをつくり、これが左舷の潮目となっている。このとき左舷の船体に最も近い No5 の総圧は非常に低くほぼ停止時の圧力を示しているが、これは上記の右舷からの流れのため左舷によどみが出来た為か、左舷前方からのビルジ渦の位置がずれたのかわからない。一方スラストの小さいときはこれと左右反対になっている。

また下段の総圧管の圧力変動のスラスト等の変動との相関は上段ほど明瞭でなく、Station No1 の船底流向はさらに直接的な相関はみとめられなかった。

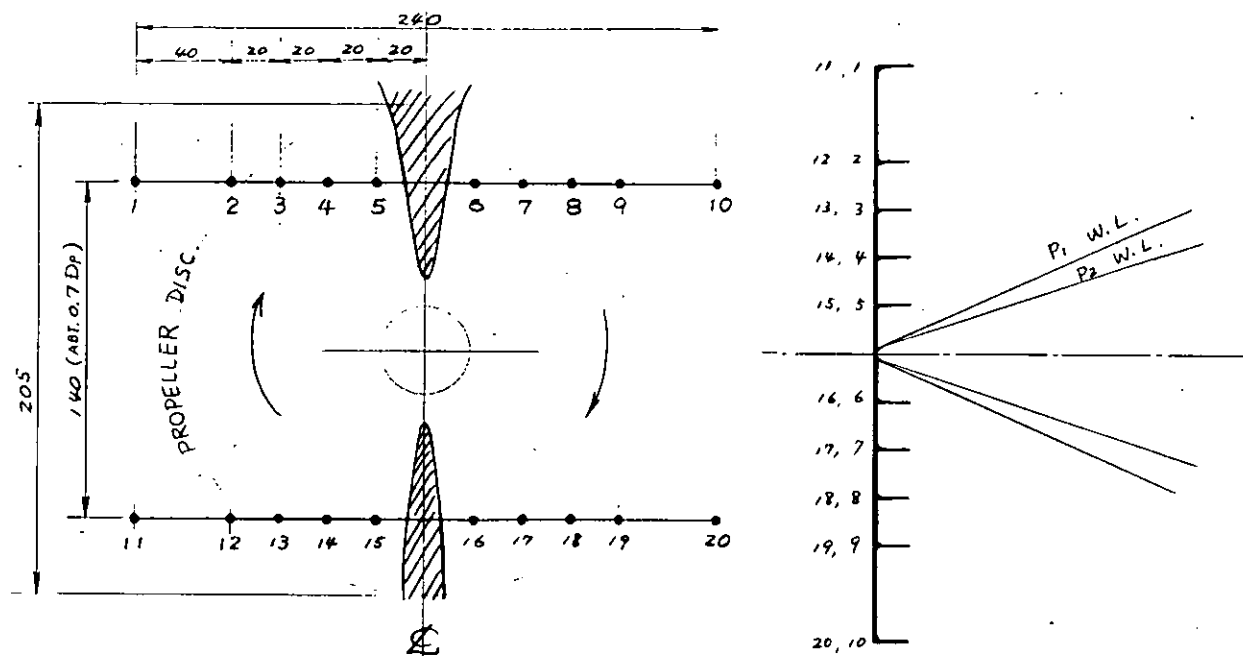


Fig. 4.5.1 Measuring Position of Total Pressure

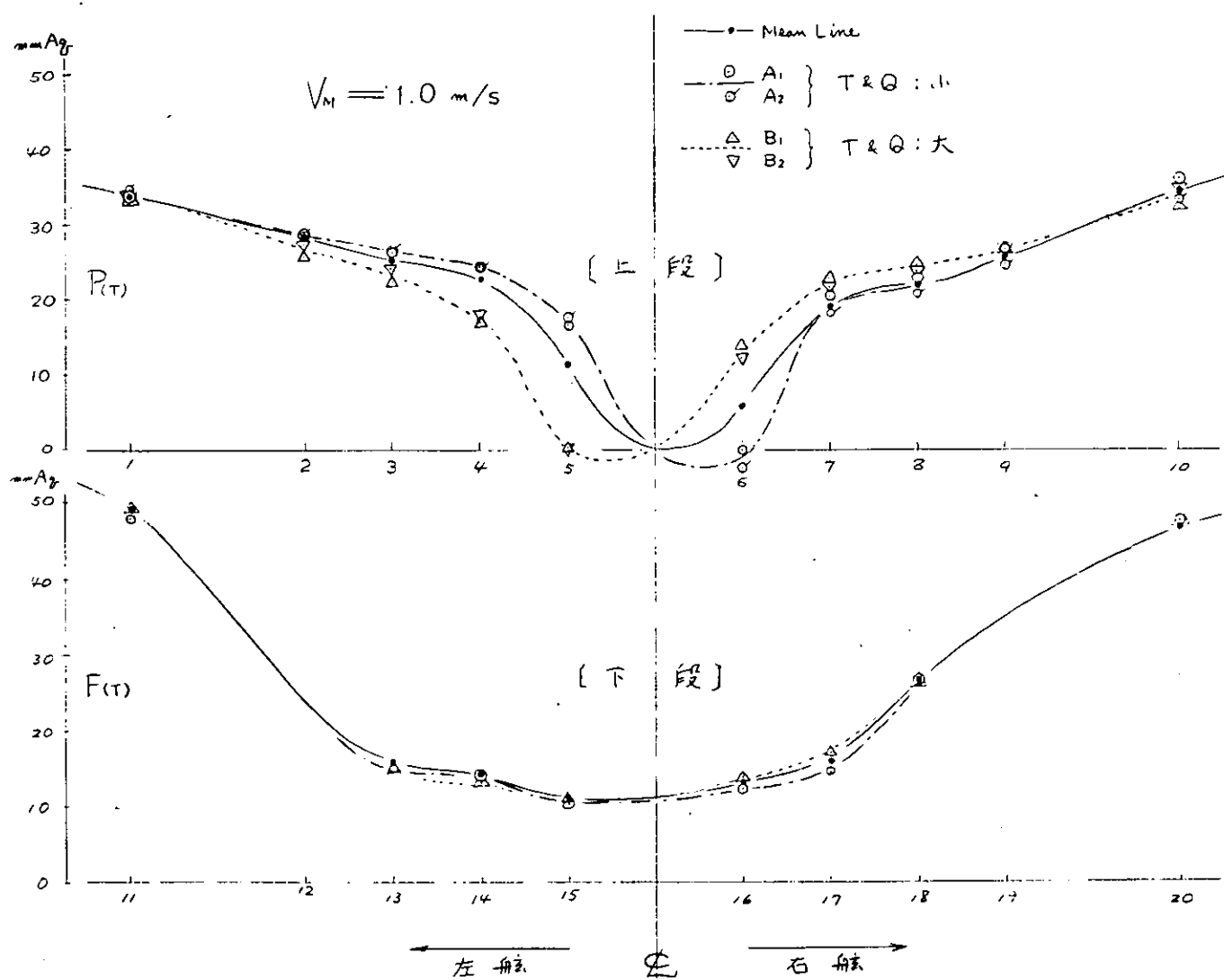


Fig. 4.5.2 Results of Total Pressure Measurement

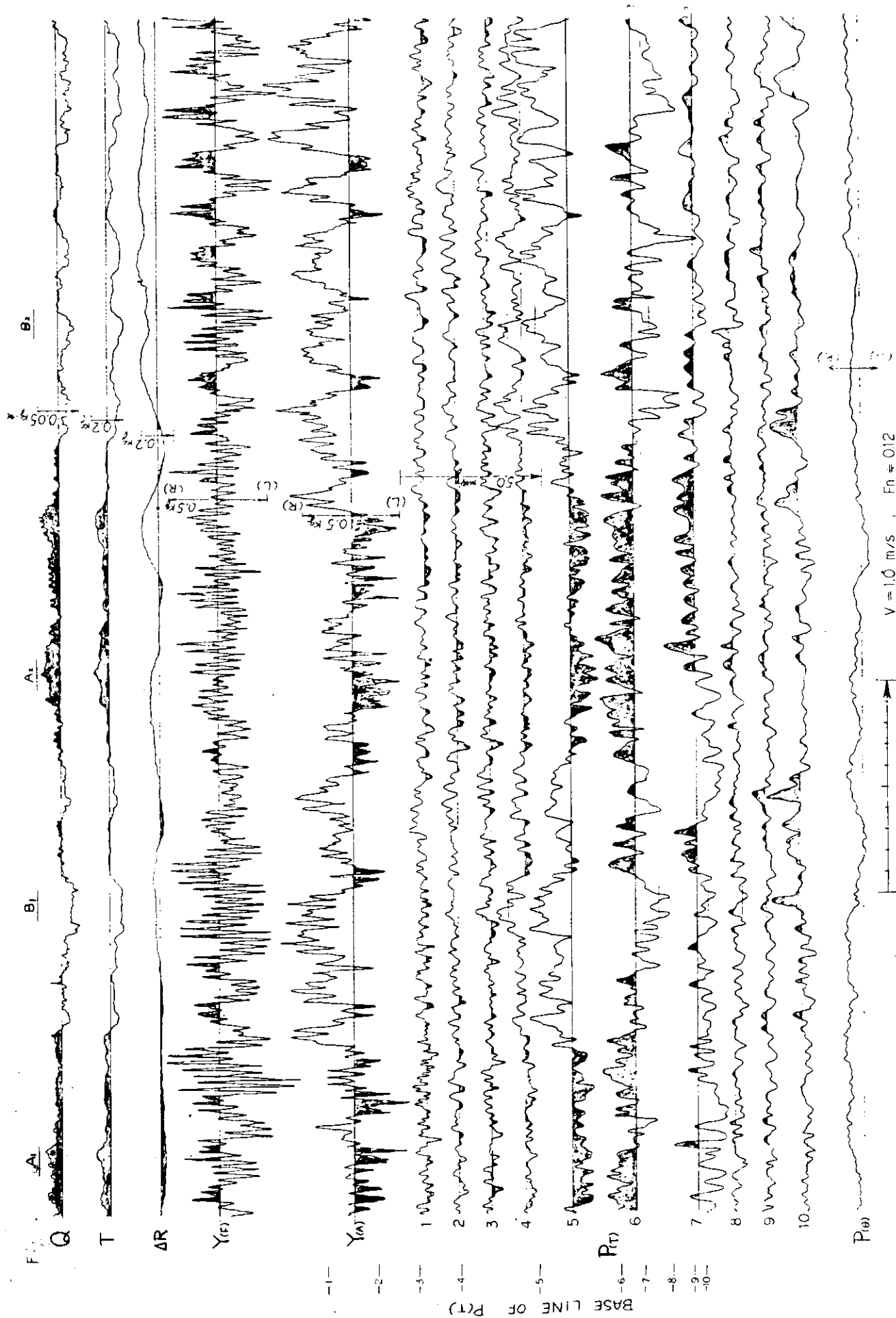


Fig. 4.5.3 Example of Records (1)

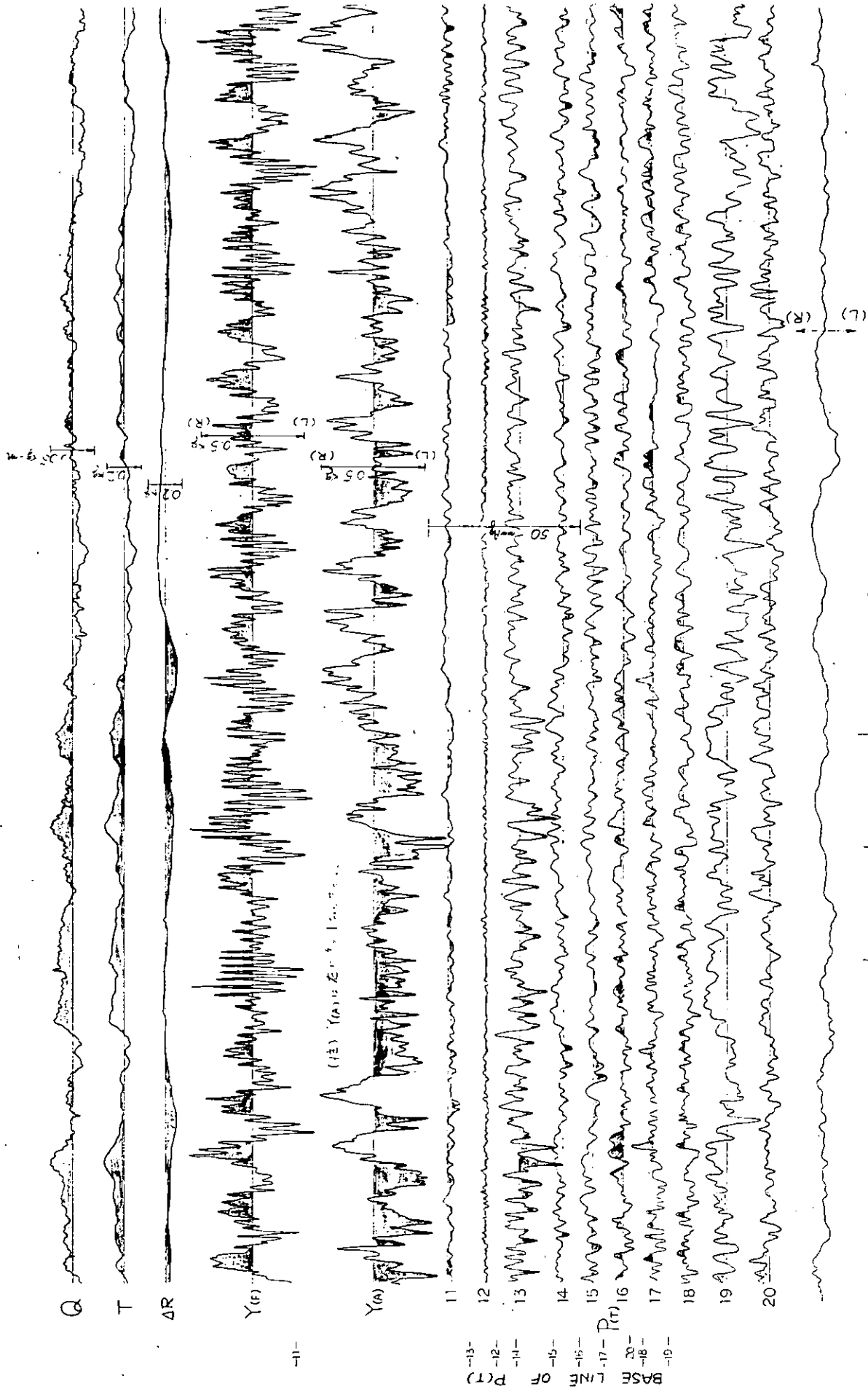


Fig. 4.5.4 Example of Records (2)

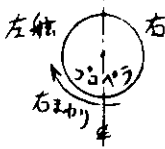
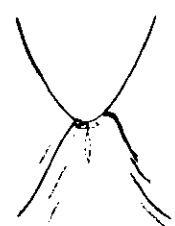
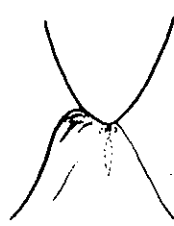
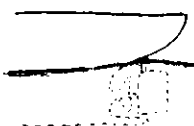
項 目		計測および観測結果		備 考	
プロペラ軸力	T	小	大	位相おくれ大	
	Q	小	大		
曳引力	ΔR	大	小		
自航要素	I-W	大	小		位相おくれあり。
	I- α	やゝ大	やゝ小		
	γ_R	不 明 確			
船体横力	Y(A)	左へ	右へ	計測はSec.1の船底中心線のみ。	
	Y(F)	不 明 確			
船底の流向	θ	不 明 確			
プロペラ面 総圧	左 舷	大	小	(後方から見た) 左舷 右舷 	
	右 舷	小	大		
船尾の 波紋	後方斜上から				
	左横から				

Fig. 4.5.5 Summarized Results (55% Load)

4.6 3次元境界層理論の実用化に関する研究

肥えた船の不安定現象を研究するためには、船体まわりの粘性流れを知る事が必要であるが、粘性流体の運動方程式は非線形であり、その解を求めることは困難である。一つの近似的な方法として、境界層理論がある。

近年3次元乱流境界層の研究がさかんに行なわれるようになり、実用化の方向に進んで来ている。船尾部のように境界層が厚くなった所では、境界層理論の近似度は悪くなるので、船尾部の流れに深い関係をもつ不安定現象等を取扱うためには、理論計算と実験の両面からの研究が必要となる。

昨年度は境界層計算の実用化を目的とし、50年度船型の満載状態について、2種類の積分的解法を用いて3次元乱流境界層の計算を行ない、その結果を報告した。本年度は昨年度に引続いて、50年度船型および51年度船型について境界層計算を行なうと共に、小型模型船を用いて境界層に関する実験を行ない、理論計算と実験結果とを比較検討することによって、計算精度の向上について研究を行なうと共に、50年度船型、51年度船型の境界層特性についての比較を行なった。

4.6.1 境界層計算と実験(1)

(1) 50年度船型による理論と実験との比較

昨年度、50年度船型の満載状態に対する3次元乱流境界層の計算を波多野ら^{1), 2)}の次に示す様な方法によって行なった。

- (a) 境界層の厚さを無視し、Hess and Smithの方法および菅の方法によってポテンシャル流れの流速、流線を求める。
- (b) 3次元乱流境界層の計算には流線座標を使用し、2方向の運動量積分の式とエントレインメントの式を用いる。
- (c) 境界層内の流速分布に対しA. Magerの式を、壁面の摩擦応力に対しLudwig-Tillmanの式を使用する。
- (d) 流線方向の運動量厚 θ 、形状係数H、壁面の粘性流れと層外のポテンシャル流れとのなす交差角 β を未知数とする。

この計算の結果は昨年度の報告書に示されている。この計算の精度を検討するため、50年度船型の満載吃水線下の二重模型(長さ1m)を製作し、回流水槽において、鉛白法および油膜法によって船体表面の限界流線の計測を行なった。

50年度船型の線図および理論計算により求めたポテンシャル流れの流線をFig.4.6.1とFig.4.6.2に示す。又鉛白法によってえられた限界流線をFig.4.6.3～Fig.4.6.6に示す。Fig.4.6.4によると船首部SS $9\frac{1}{4}$ ～SS $8\frac{3}{4}$ のビルジ部付近に3次元剝離とみられる流線の集まる包絡線が見られる。境界層計算によれば、この近傍でビルジをまわる11～13番流線の交差角 β がこの付近で正から負に変化しており、実験と同じ傾向を示している。又Fig.4.6.5によると、船尾部では船底からビルジを廻って来た流れと上方から流れて来た流れとが集まり3次元剝離を起していると見られる包絡線がSS $1\frac{1}{4}$ ～SS $\frac{1}{2}$ の間下方に見られ、又SS.1より後方の上部には限界流線が上方と下方に分かれて行く包絡線が見られる。Fig.4.6.7には境界層計算より求めた船尾部の限界流線の方角とポテンシャル流れの流線とを示している。計算による限界流線は鉛白法によるものと同様下方に3次元剝離と思われる包絡線があり上方には再付着線と思われる包絡線が存在する。3次元剝離線とみられる包絡線は計算の方が鉛白のものより上方にあり14番流線より下方の限界流線に差が見られる。油膜法による限界流線(昨年度の報告書にも示されているので省略するが)では剝離線が鉛白のものより上方にあり、計算に近い所に見られる。

他のタンカー船型を用いて調べた境界層内の流速分布によれば、船首の剝離線の近傍および船尾部に

においては二次流れにリバー・クロスフローが存在する。

ポテンシャル流れの計算に境界層の厚みを無視していること、船尾部の二次流れ成分にリバー・クロスフローを考慮していない事等を考えれば、理論計算と実験との一致は良いと云えよう。

- 参考文献 : 1) 波多野修次他 : 日本造船学会論文集 130 号
2) 堀田多喜男 : 日本造船学会論文集 136 号

(2) 51年度船型に対する境界層の計算

51年度船型の満載状態に対する計算を昨年と同様、上に示した方法によって行なった。Fig.4.6.8 は Hess and Smith の方法によって求めた船尾部のポテンシャル流れの流線および断面内の速度ベクトルを示している。これを50年度船型に対する流線 Fig.4.6.2 と比較すると、肋骨線形状が50年度船型に比べV型であるため、51年度船型の流線は50年度船型に比べて、上向きの傾斜が少し大である。

理論計算により求めた θ 、 H 、 β および壁面応力 τ_w の長さ方向の分布を Fig.4.6.9 ~ Fig.4.6.12 に示している。収縮率 K_2 に対しては $K_2 = \frac{1}{U} \frac{\partial U}{\partial m}$ (U は層外流の流速、 m は流線に直交する方向の長さ) の関係を使用した。Fig.4.6.9 によると13、14番流線の θ は SS 1 の近く、すなわちこれらの流線がビルジ部を廻る所において一度減少し、その後急激に増加する。又船尾部においては7番流線の θ が大きな値を示している。Fig.4.6.10、Fig.4.6.11 によると $H \cdot \tau_w$ ともに船首・船尾において急激な変化を示し、その変化の様子は流線によってかなり異なっている。 θ 、 H 、 τ_w に対するこれらの傾向は50年度船型に対するものと同様で、流線ごとの変化の様子もほとんど差は見られない。交差角 β については Fig.4.6.12 に示されているが、 β も他のものと同様50年度船型と余り大きな差は見られない。Fig.4.6.13 にはポテンシャル流れの流線と限界流線の方角とを示している。これを50年度船型に対する Fig.4.6.7 と比較すると、3次元剥離線が50年度船型よりもごくわずか上方にある様に思われるが、あまり大きな差は見られない。船型によるこれらの相異を検討するためには境界層計算法のみでなく、ポテンシャル流れの計算法についても更に研究を行う必要があると思われる。

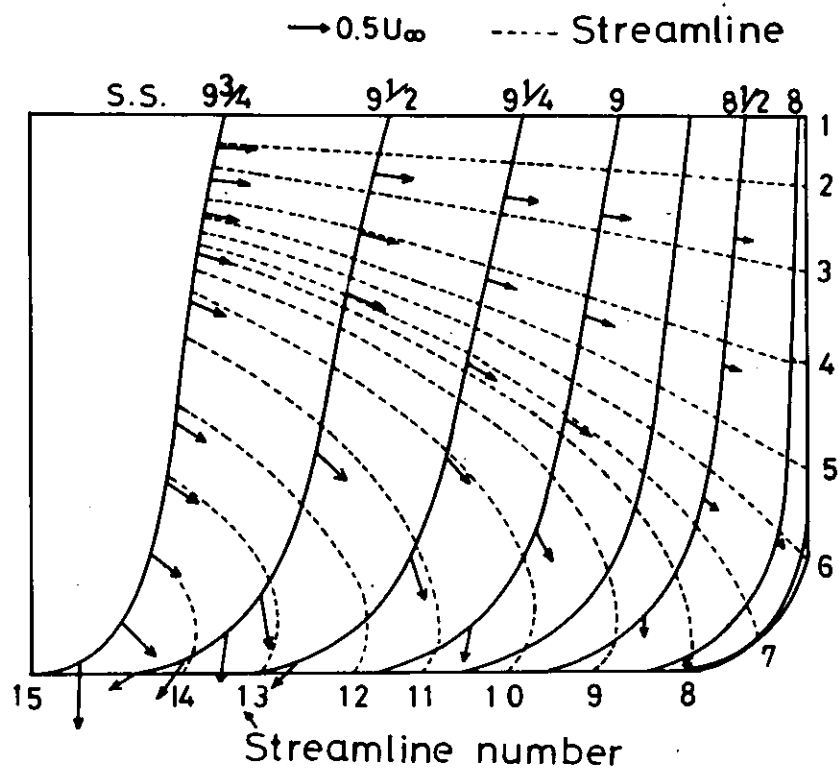


Fig. 4.6.1 Streamline and velocity vector (Fore body)

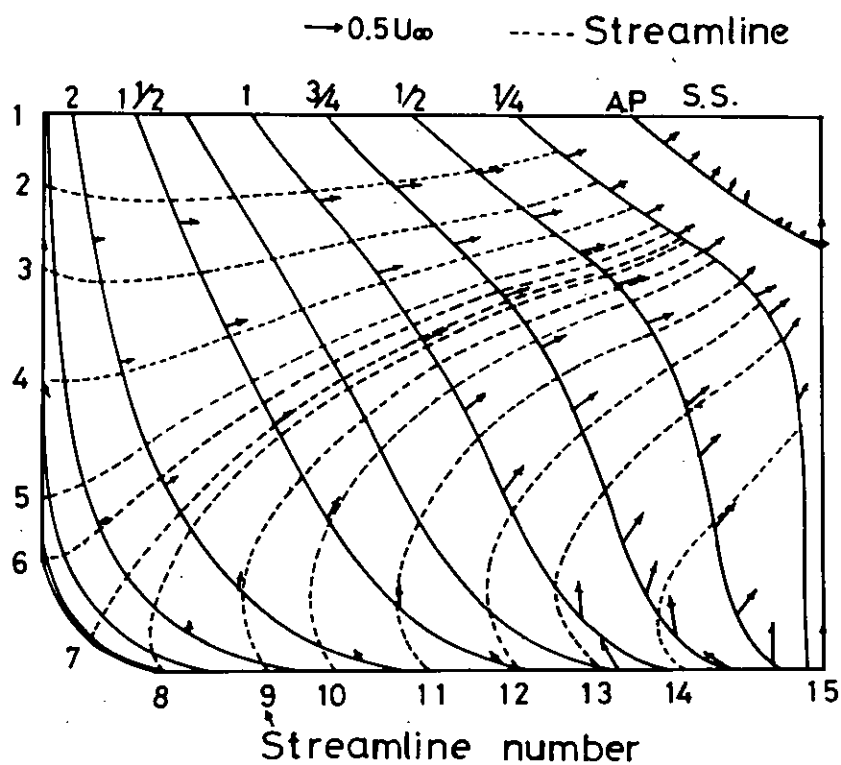


Fig. 4.6.2 Streamline and velocity vector SR 159s-50 (Aft body)

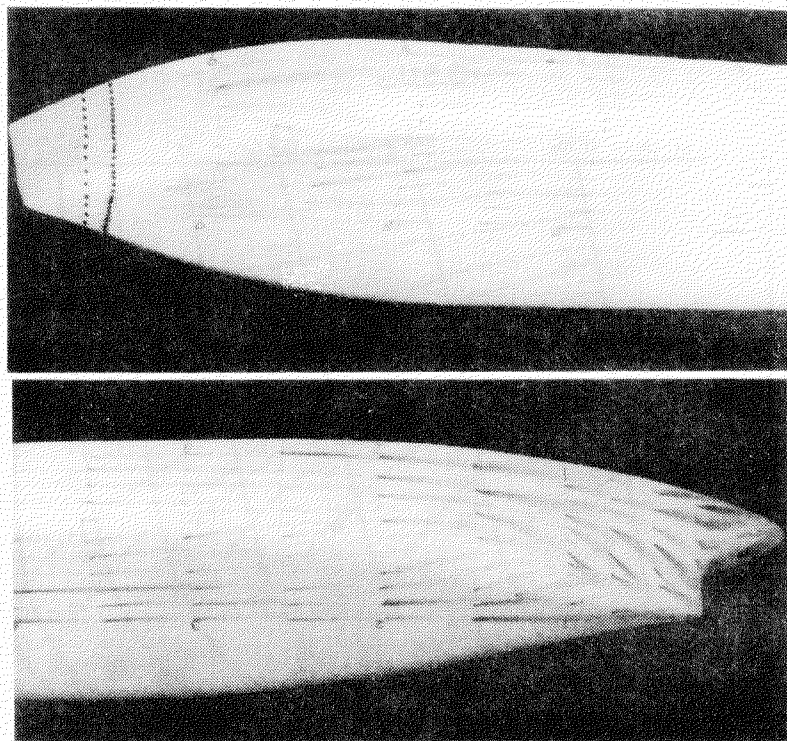


Fig. 4.6.3

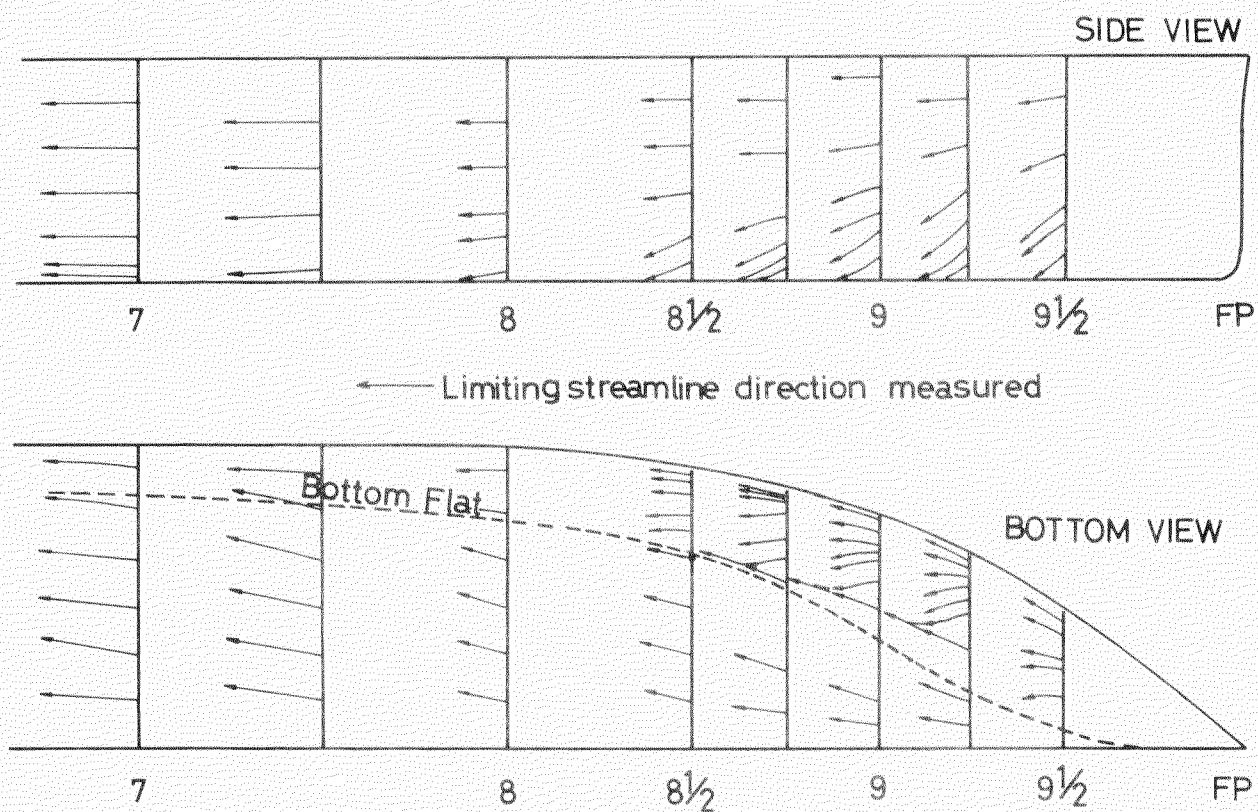


Fig. 4.6.4 Limiting streamline direction of SR model
(SR159s-50), $R_n=10^6$ $U=0.89\text{m/s}$.

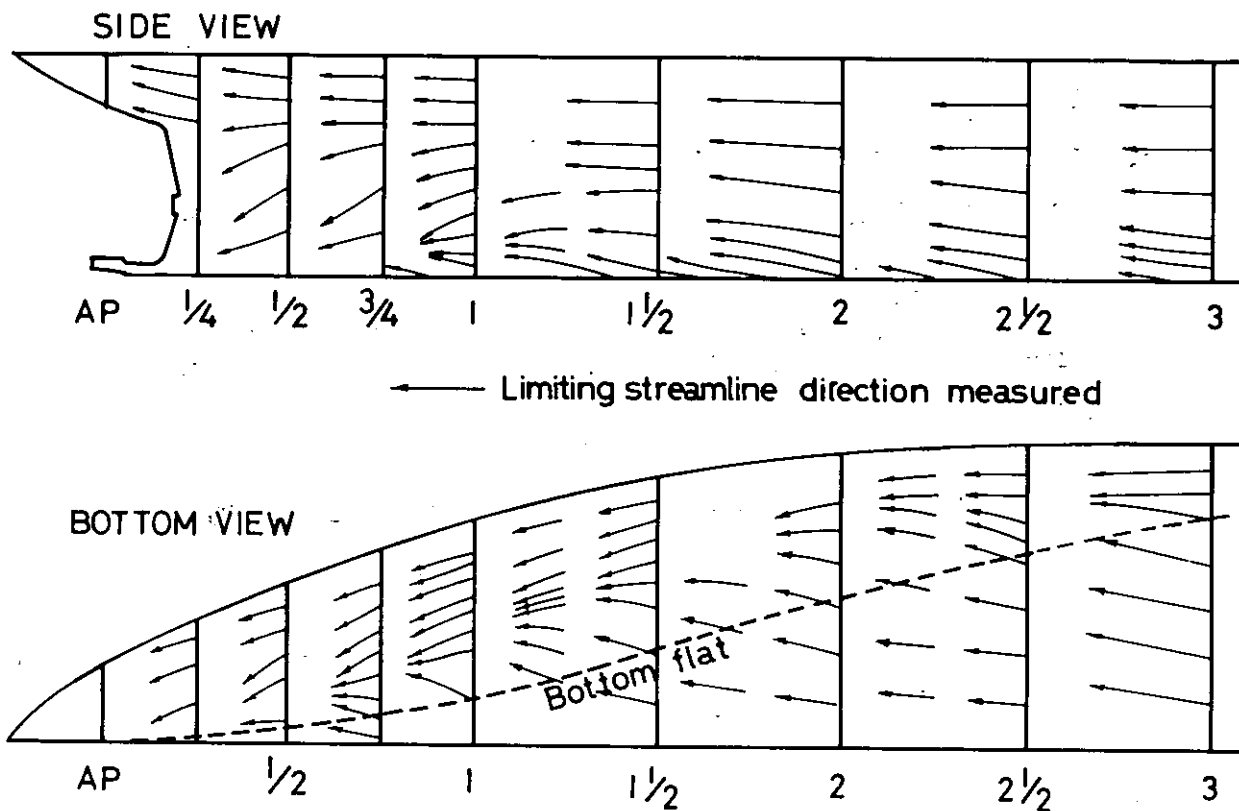


Fig. 4.6.5 Limiting streamline direction of SR model
(SR159s- 50), $R_n=10^6$ $U=0.89$ m/s

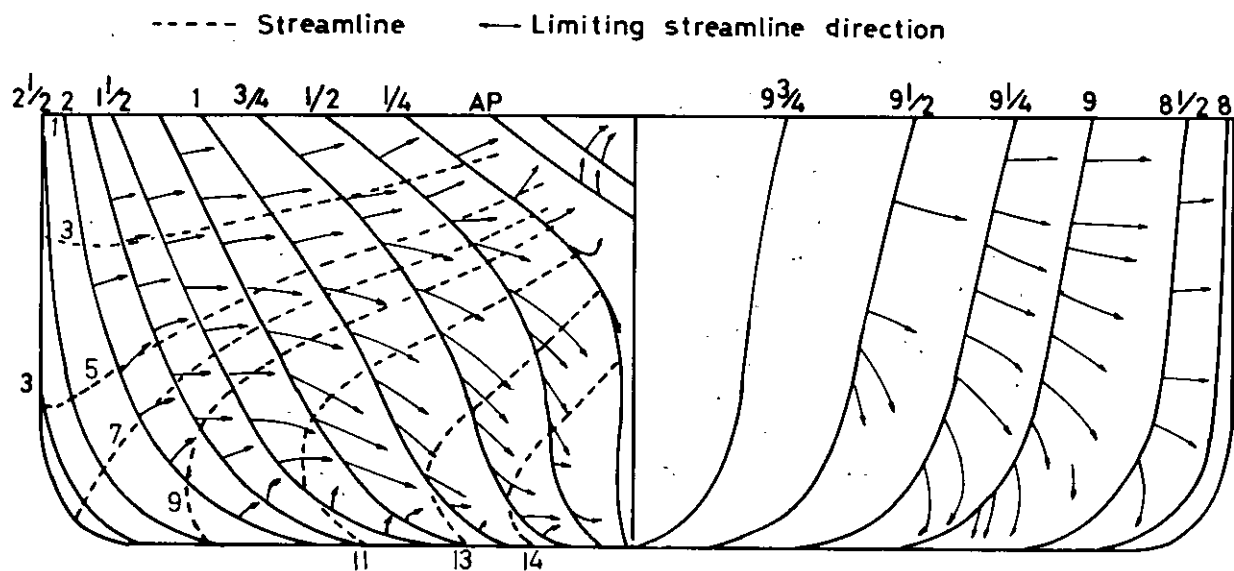


Fig. 4.6.6 Limiting streamline direction of SR model
(SR159s-50), $R_n=10^6$ $U=0.89$ m/s

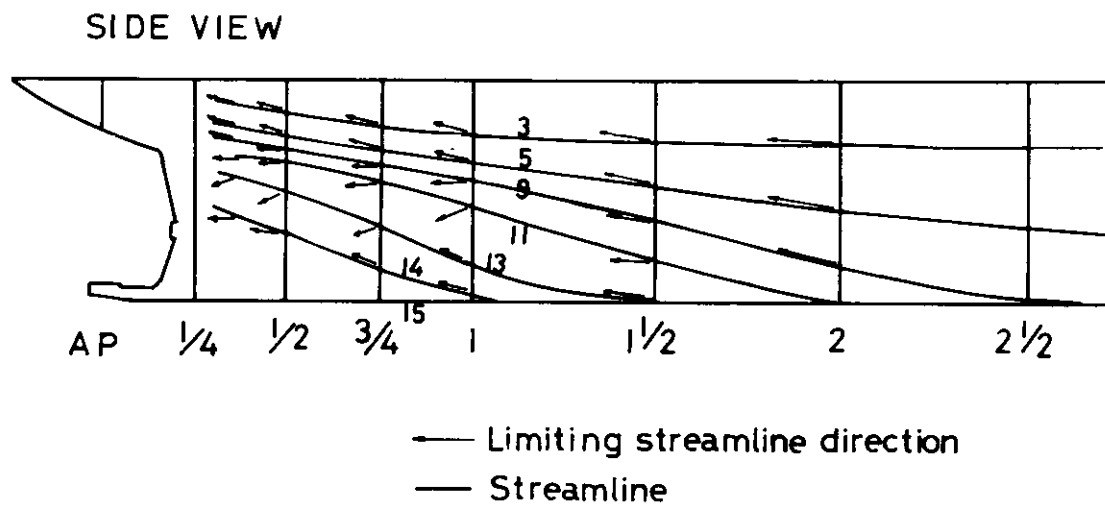


Fig. 4.6.7 Streamline and limiting streamline direction of SR model s-50' by calculation, $Rn=10^6$

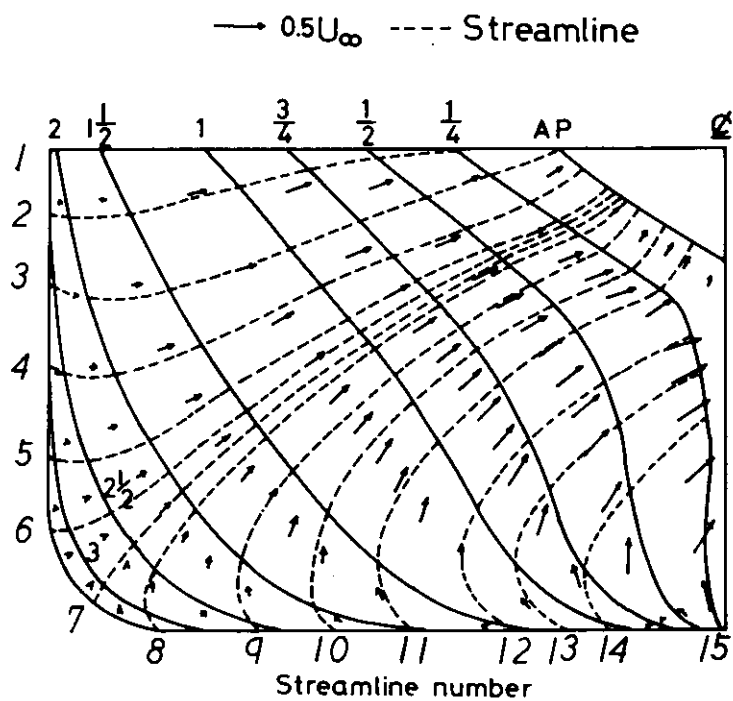


Fig. 4.6.8 Streamline and velocity vector (SR159 s-51) (Aft body)

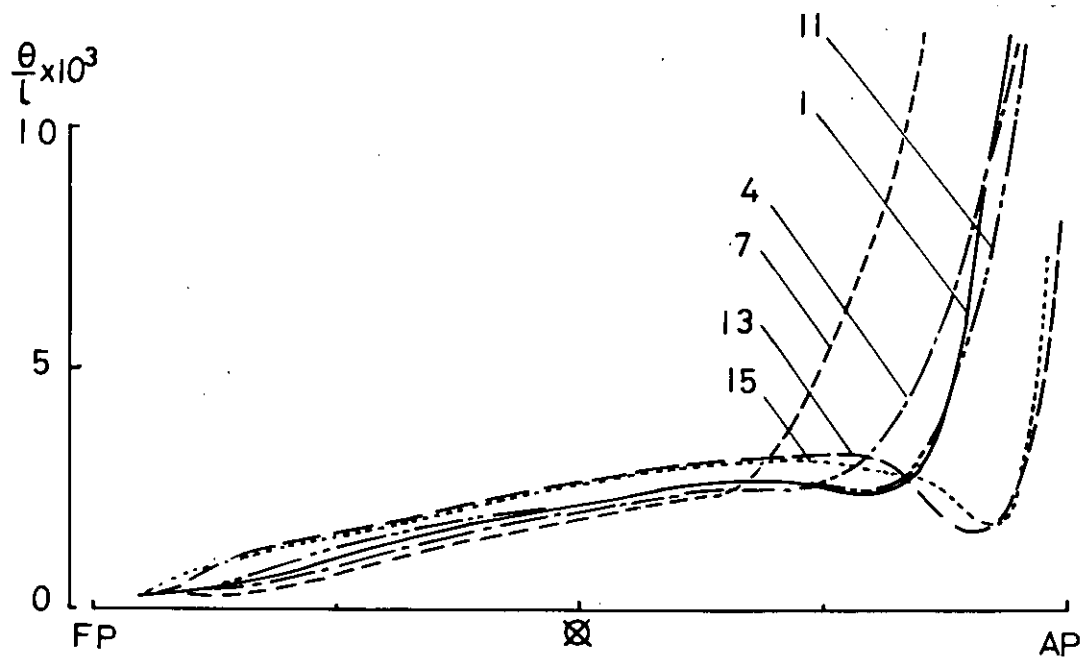


Fig. 4.6.9 Streamwise momentum thickness

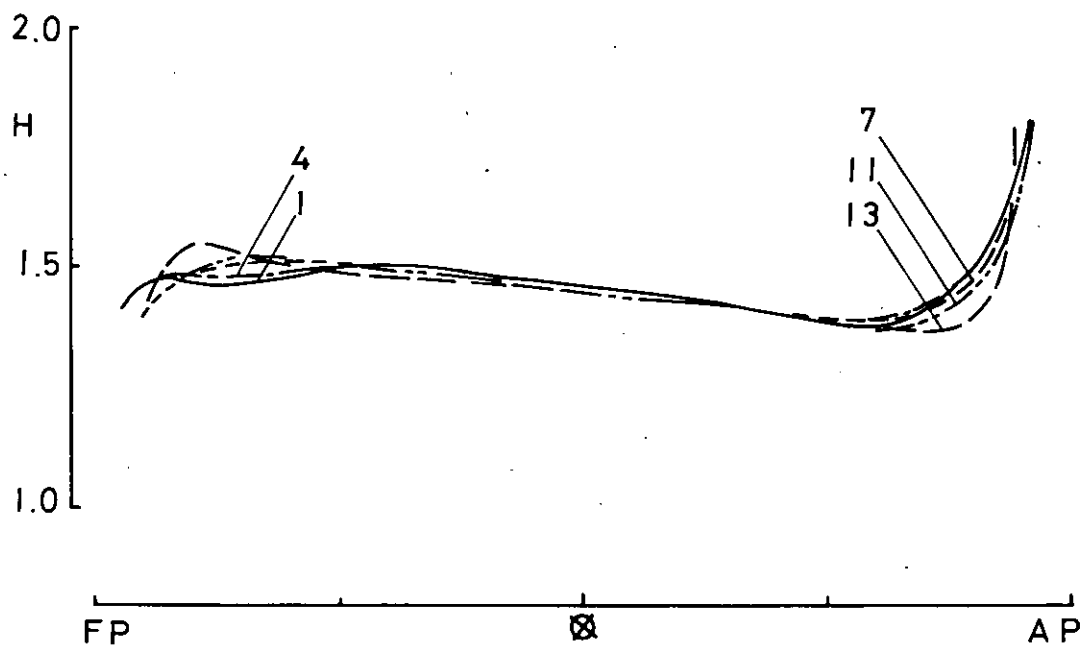


Fig. 4.6.10 Shape parameter H .

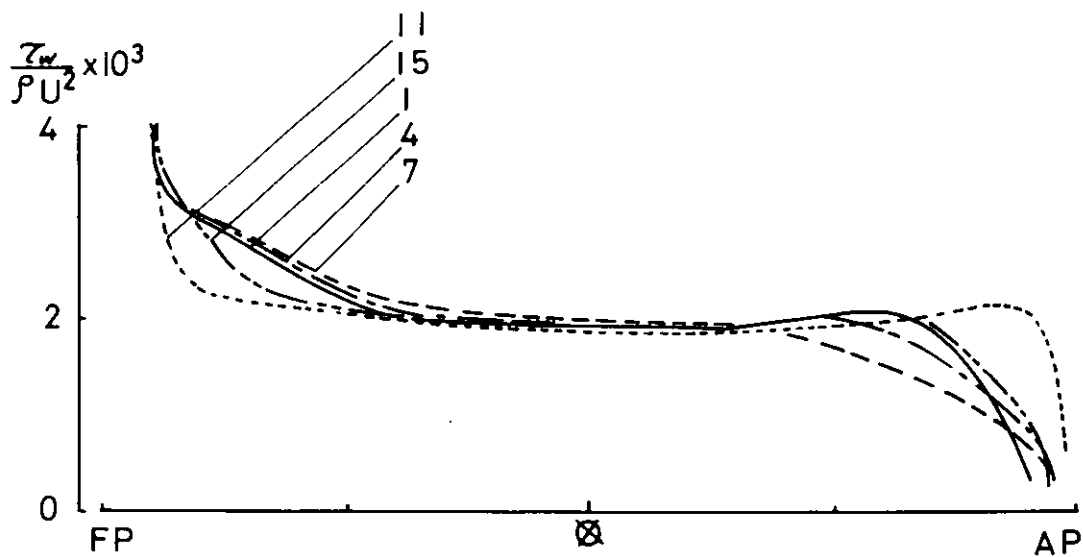


Fig. 4.6.11 Local skin friction
(U:local velocity of potential flow)

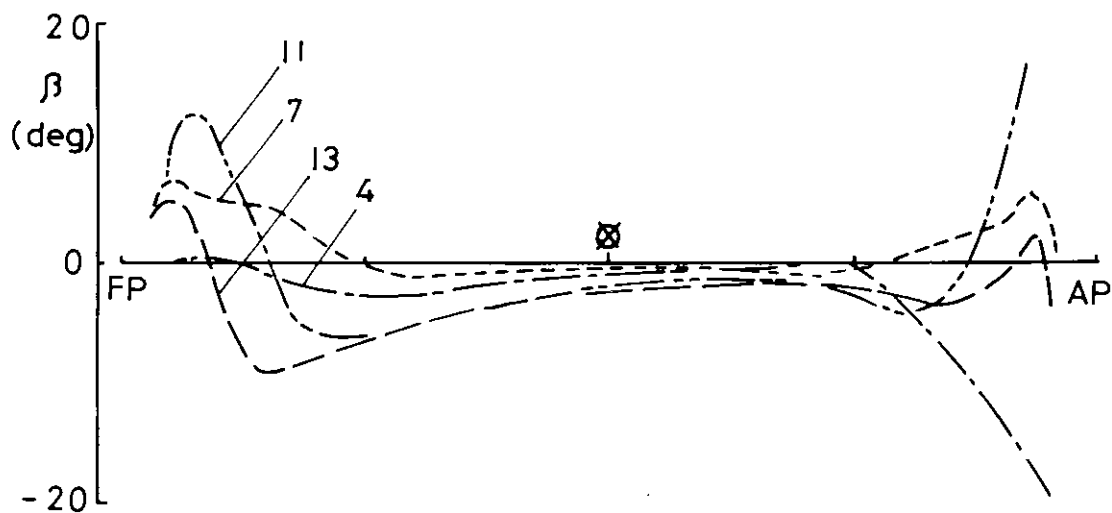


Fig. 4.6.12 Surface cross-flow angle β

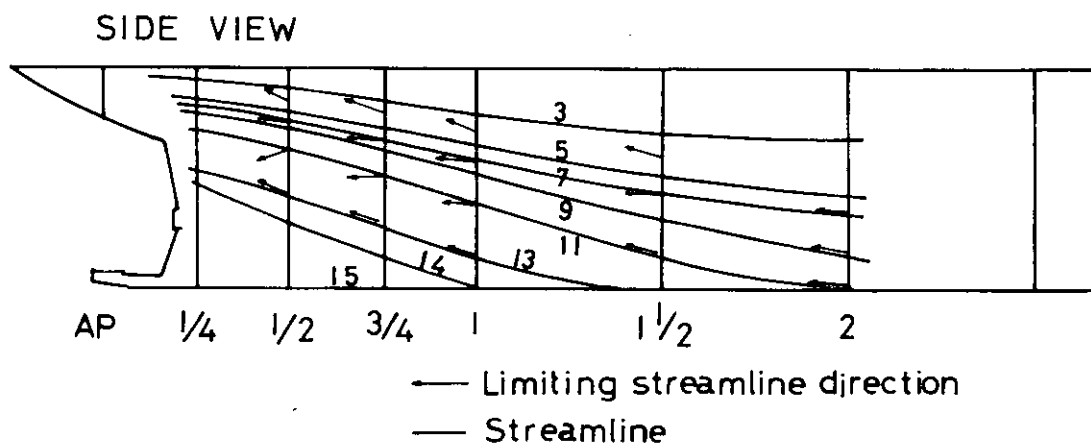


Fig. 4.6.13 Streamline and limiting streamline direction of SRmodel
s-51 by calculation, $Rn=10^6$

4.6.2 境界層計算と実験 (I)

昭和50年度に引き続き、3次元境界層に関する計算を行った。船型は50年度船型(母型と呼ぶ)、および51年度船型(以下V型と呼ぶ)の2種とし、満載以外の状態についても計算を実施した。また、V型船型については2mLpp. 模型船を製作し、船体表面の限界流線の観察、摩擦応力分布の計測を行った。

(1) 境界層計算

計算法としては、50年度に用いた方法(姫野-田中法)¹⁾のほかに、奥野の方法²⁾も追加した。前者は層内の速度分布にColesの分布を仮定し、2次流れ方向の微係数を考慮して境界層方程式を写像座標(船体断面を円断面に変換した平面内の偏角をガウス方向の座標とする)の上で求解する方法である。後者の奥野法は従来のエントレインメント法を2次流れ方向に関して拡張した方法で、速度分布にreverse cross flowを含み、2次流れ方向の微係数を省略した上で流線座標に沿って解く方法である。ポテンシャル流れの計算にはHess-Smith法を用いたが、その結果を使って船体表面上の圧力勾配、流線の曲率等を求める際、姫野-田中法では、ポテンシャル計算値を一旦写像座標の上に変換しその座標上で数値微分するのに対し、奥野法では船体表面上の9点を用いた数値微分の方法を取っている。

計算条件として、対象船型は母型およびV型とし、載荷状態は満載、65%、44%バラストの3状態とした。船速は4m 模型船の標準試験速度($F_n=0.18$ 、 $R_n=4.0 \times 10^6$)とした。ただし、摩擦応力の実験値と比較には2m 模型の状態($R_n=1.4 \times 10^6$)で計算した。

計算結果について述べる。Fig.4.6.14~Fig.4.6.16に母型とV型についてのポテンシャル流れの計算結果を示す。両船型とも船尾ビルジ部(SS1付近)に負圧域があり、また肩部(SS2の水面付近)に若干の負圧領域がある。ビルジ部の負圧は、母型の方がU型船型であるために、Full Ballast状態共に、大きい。肩部の負圧はV型の方が若干大きい程度であるが、船尾船側部の圧力値は大差ない。これらのことは、V型船型決定の際、母型のビルジ付近の容積を削り、水面付近に移した事情に関連するものと思われる。流向は一般に船尾船底から船側、水面付近に向っており、V型の方が上向き角度が僅かに大きい。

船体まわりの境界層特性に対してはポテンシャル流れの圧力や流向のほかに、圧力勾配、流線の縮少率、曲率などが影響を与える。例えば逆の圧力勾配や流線の縮少は境界層厚さを増加させ、層内の運動量損失を増大させ、流線の曲がりは2次流れを誘起する。これらの値を船尾の断面で示したのがFig.4.6.17、Fig.4.6.18である。図中、 $P(=\frac{1}{U} \frac{\partial U}{\partial S})$ 、 K_1 、 $K_2(=\frac{1}{U} \frac{\partial U}{\partial n})$ は各々、圧力勾配、流線の縮少率、曲率を表す。値は姫野-田中法による。船尾では一般に圧力は逆勾配($P<0$)で K_1 は船側部で縮少($K_1>0$)、船底部で拡大($K_1<0$)となる。 K_2 は船側で負、すなわち上方に曲がり船底部では逆の傾向となる。層内の流体はこの曲がりに追従できないため外部流線よりも下向きの流れが生じ、これが縦渦の発生原因となる。母型とV型を比較すると、船側下半部で母型の方が P 、 K_1 、 K_2 について大きく、上半部では逆の傾向となっており、これは肋骨線形状の違いによるものと思われる。65%バラストでも同様の傾向である。奥野法の計算値との比較をFig.4.6.19に示す。水面付近の相違は水面上の流速を求めるための補外法の違いによるものと思われる。

運動厚さ θ (流線sの方向)、形状係数 H 、2次流れ角の壁面値 β 、S方向の局部摩擦係数 $cfs(=2\tau_s/\rho U^2)$ などの計算結果(姫野-田中法による)をFig.4.6.20、Fig.4.6.21に示す。一般的な特徴としては、船側下半部の P 、 K_1 、 K_2 の影響は流線に沿って伝播するので、後続断面では船側上半部における θ 、 H 、 $|\beta|$ の増大となって現われる。母型とV型の違いについては、前節でみられた P 、 K_1 、 K_2 の影響として簡単には説明がつけ難い。Full Loadの場合SS $1/4$ の船側部ではV型の方が境界層厚さが大きく、2次流れも大きい。バラスト状態では境界層厚さに大きな違いはなく、また、2

次流れもV型が若干大きい程度である。

Fig.4.6.22～Fig.4.6.25に船尾断面内の粘性伴流分布、2次流れベクトル、渦度分布の計算結果を示す。この値は、断面内の船体表面上の点から立てた法線上の各点の境界層速度分布を図の断面に投影した結果である。図の全般を通じて認められることは、伴流分布が水面付近で拡がりを持つこと、x方向の渦度分布が舌状の拡がりを示すこと（これは2次流れの速度分布の形状による、従って奥野法の方が顕著に現われる）などである。母型とV型の違いはほとんどないようである。また、Fullと比較するとバラストの方が水面付近の伴流域は大きい、渦度の値は大差がないようである。断面内分布の計算結果は、実験事実と定性的には符合しているが量的に比較し得るまでに到っておらず、この点は今後の検討課題としたい。

(2) 船体表面摩擦応力分布に関する実験

V型の2m模型船について実験を行った。船速は $F_n = 0.18$ ($V_M = 0.798 \text{ m/s}$, $R_n = 1.67 \times 10^6$) で、満載状態である。まず、油膜法による限界流線の観察について述べる。油膜には顔料（カーボンブラック、トルイジンレッド、ウォッチングレッド）と流動パラフィン、オレイン酸を適当な比で混合したものを用い、下塗りにエンジンオイルを使った。結果の一部を Fig.4.6.26、Fig.4.6.27 に写真で示す。船首船底剥離、船尾ビルジ剥離が明瞭に現われているほか、プロペラボス部の剥離、上部の付着線などが認められ、前年度の母型の観察結果（東大風洞）と類似の結果が得られた。また、65%バラスト状態もこれと同様の傾向である。

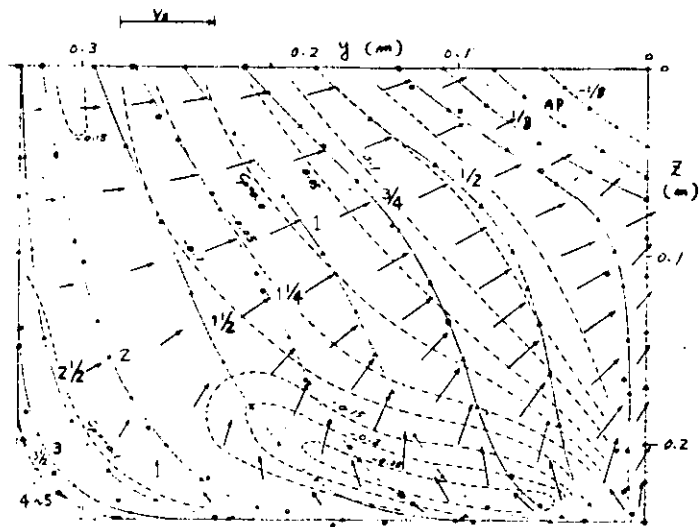
つぎに、表面の摩擦応力について述べる。計測には3孔管（1.7φ、頂角100°）を壁面に密着させプレストン管として用い、検定には Patel³⁾ の曲線を使った。計測結果のうち船首船底、船尾船側の例を Fig.4.6.28、Fig.4.6.29 に示す。これを先の限界流線の写真と比較すると、かなり良く合っていることが分る。ただし船尾のビルジ付近では若干角度が異なっているようにも見える。境界層の薄い部分では3孔管の大きさが影響し、一方油膜法では表面に付着した1mm程度の気泡の軌跡が混在するので両者の特質を勘案しながら全体の流場を把握する必要がある。

Fig.4.6.30～Fig.4.6.33に摩擦応力の絶対値の断面内分布を示す。船首船底の剥離渦付近で応力値が低下している部分で計算値の合い具合が良くないが、全体的にみれば実験値と計算値の一致は良好である（ただし、計算値のレイノルズ数は姫野－田中法、奥野法とも 1.4×10^6 である）。摩擦応力の断面内平均値 $\bar{C}_f$ の船長分布を Fig.4.6.34 に示す。実験値は中央部で Schoenherr 値よりも低いので、真値はこの値よりも数%高いものと推察される。計算値では姫野－田中法が船首で若干高くなっているものの全体的な傾向は実験値と良く合っている。

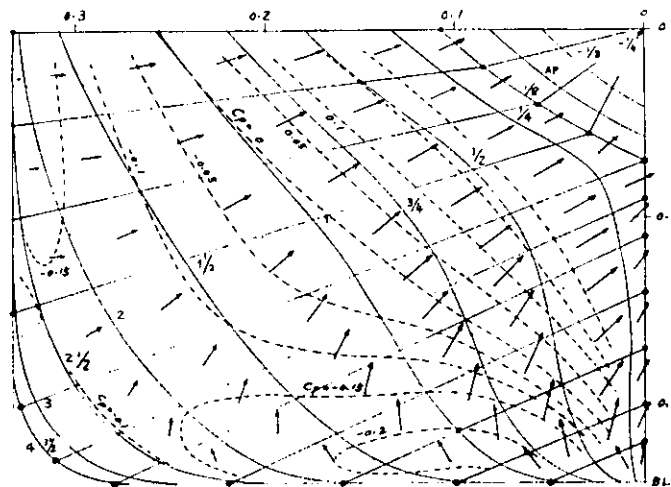
以上、本年度は境界層に関する一連の計算と実験を実施した。結論をまとめると、i) 母型とV型の肋骨線形状の相違はポテンシャル流れとしての圧力分布、流向、圧力勾配、流線の測地的曲率等に若干の影響を与えている。ii) しかし、境界層特性（計算による）には差程大きな違いはなく、強いていえばV型の方が2次流れが大きい程度である。iii) 摩擦応力の計算値は実験値とほぼ一致する。今後の課題としては、境界層厚さの増大する船尾での計算法の改良が最大の問題であろう。

参考文献

- 1) 姫野洋司・田中一朗 ; 関西造船協会誌、159号（昭50）
- 2) 奥野武俊 ; 日本造船学会論文集、139号（昭51）
- 3) V.C.Patel ; JFM, Vol. 23, Part 1 (1965)



Parent form



V-form

Fig. 4.6.14 Pressure distribution and flow direction of potential flow in full load condition

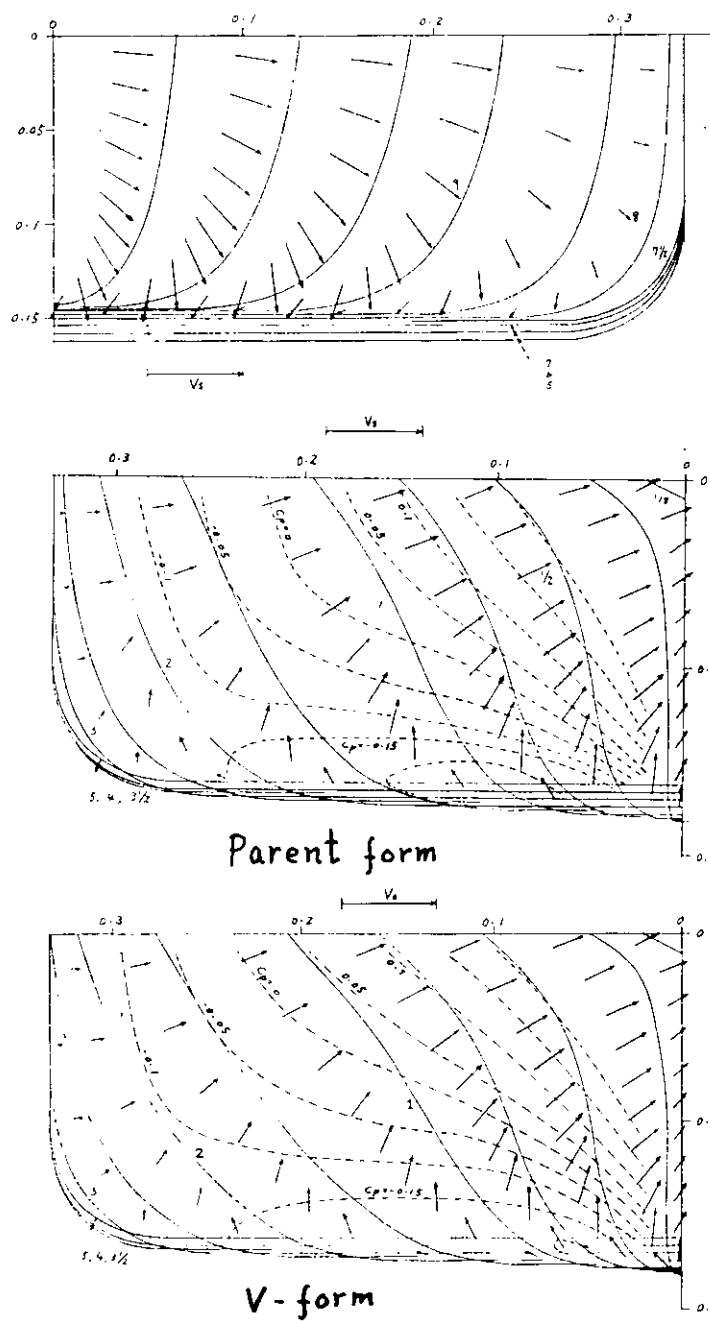


Fig. 4.6.15 Pressure distribution and flow direction of potential flow in 65% load condition

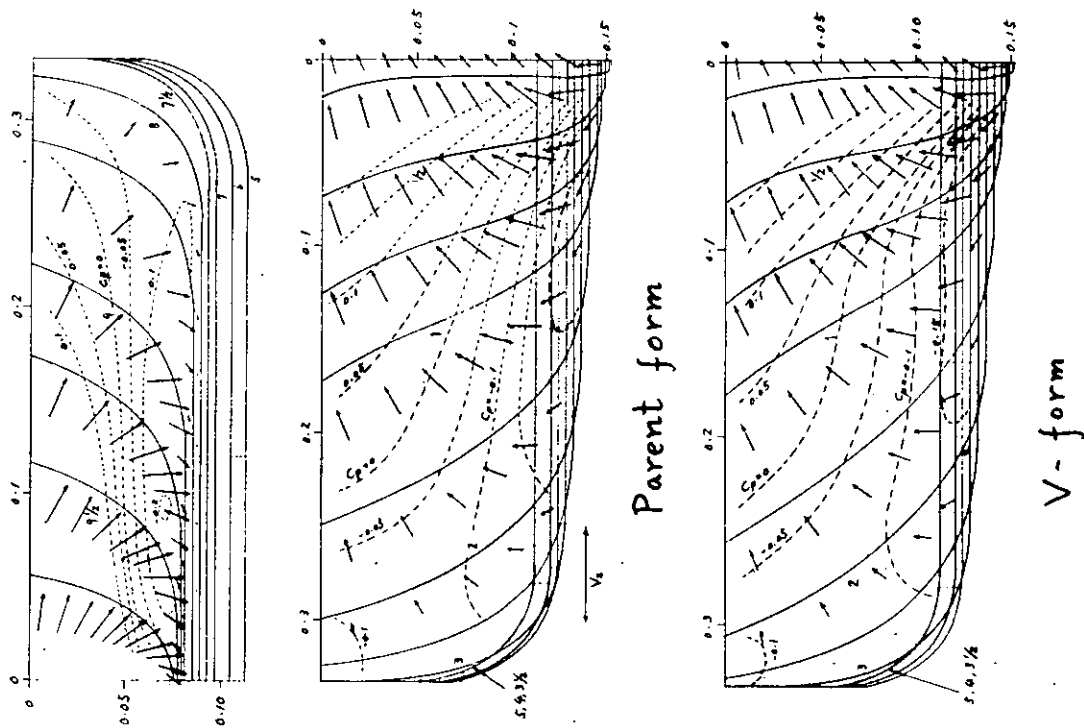


Fig. 4.6.16 Pressure distribution and flow direction of potential flow in 44% load condition

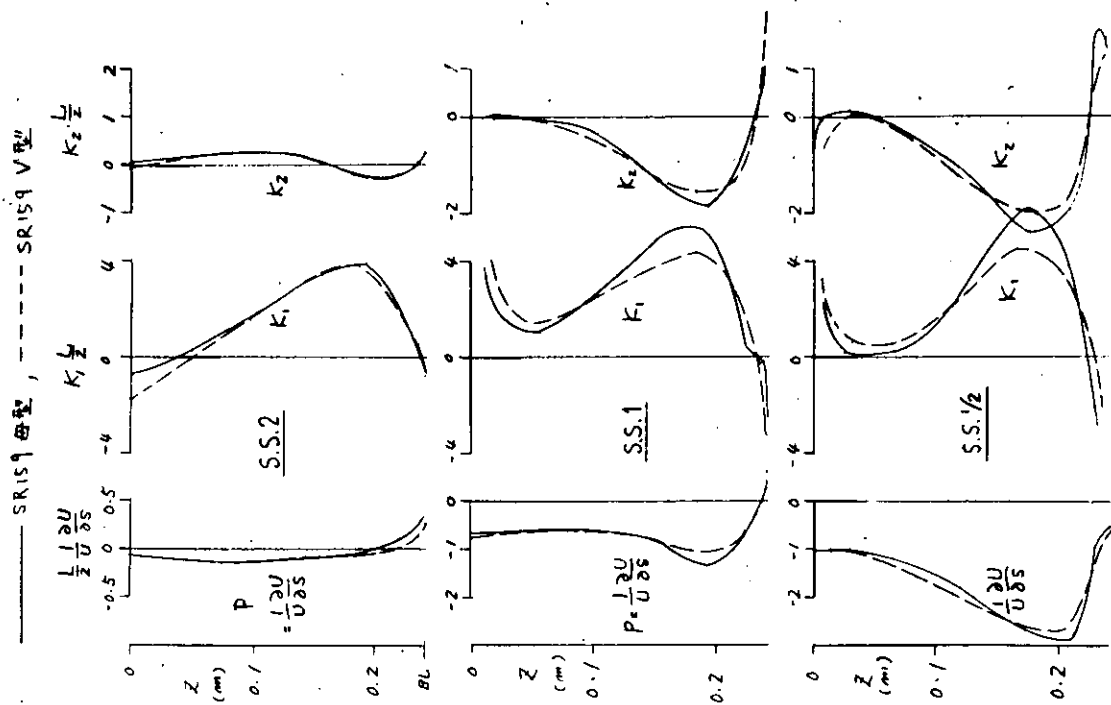


Fig. 4.6.17 Pressure gradient, streamline convergence and curvature at stern in full load condition

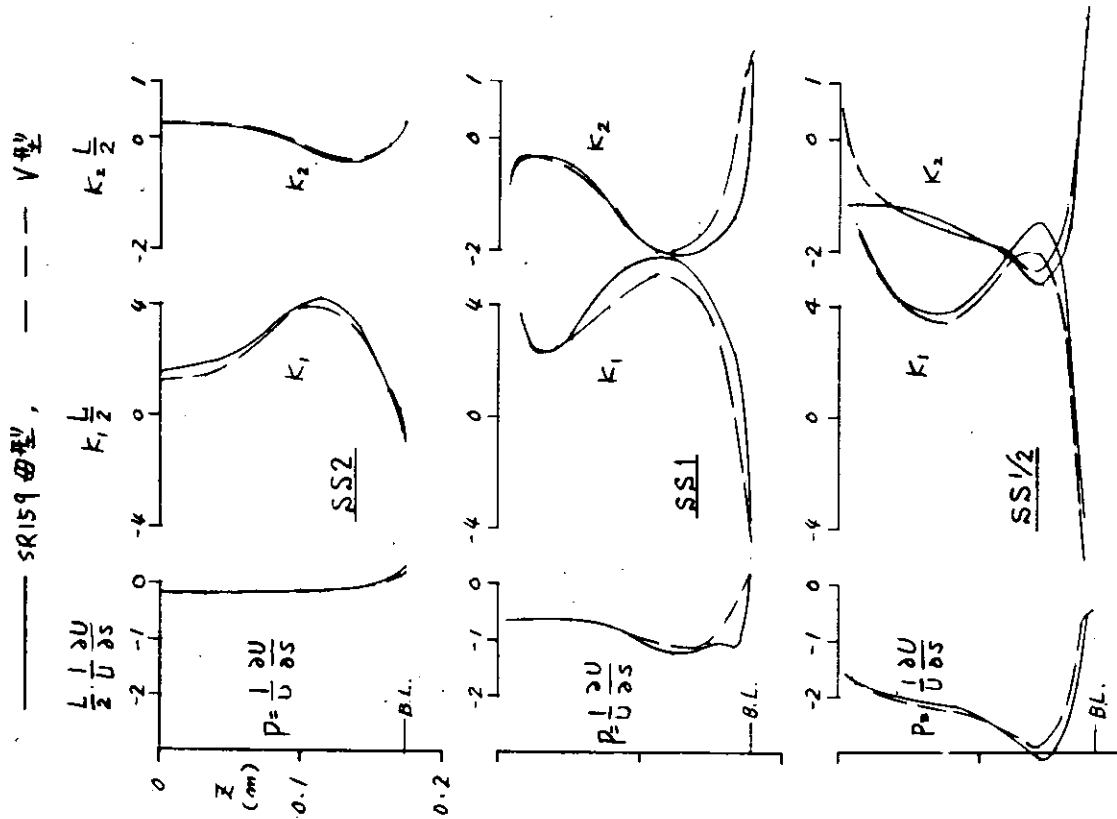


Fig. 4.6.18 Pressure gradient, streamline convergence and curvature at stern in 65% load condition

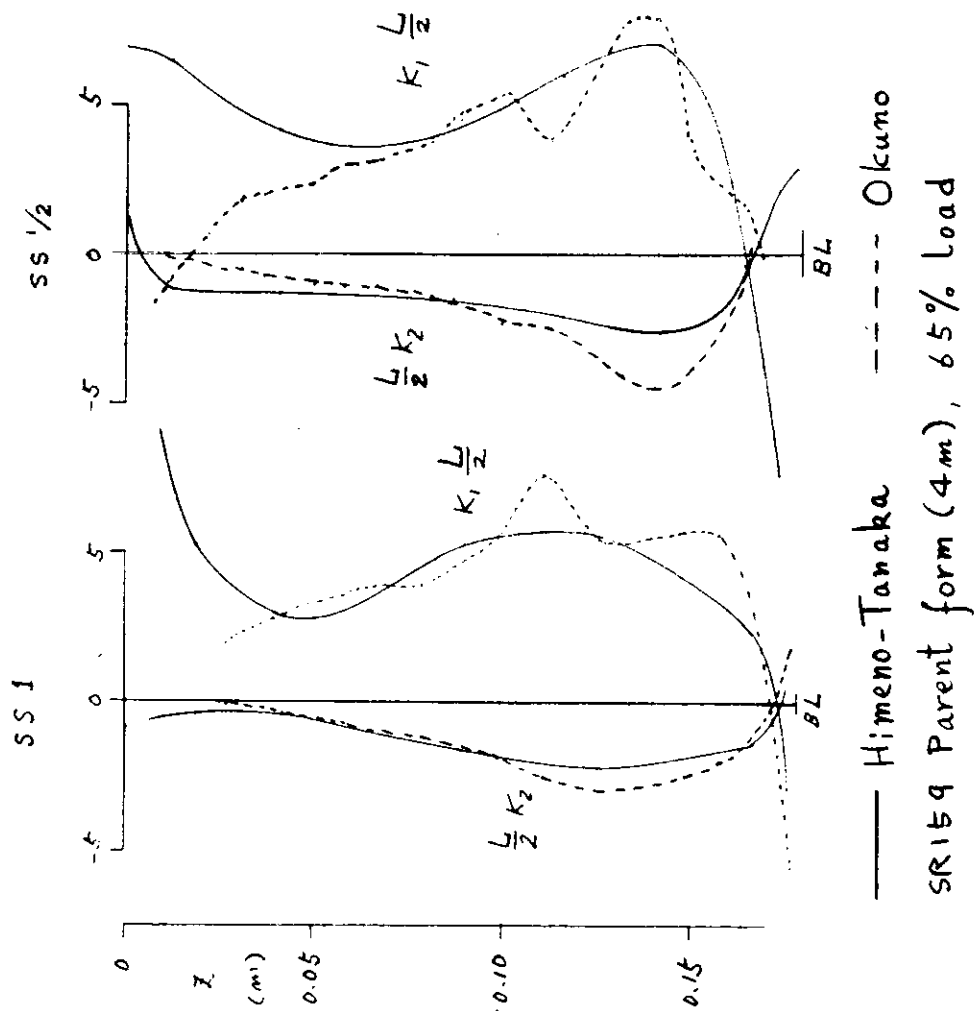


Fig. 4.6.19 Comparison of streamline curvatures.

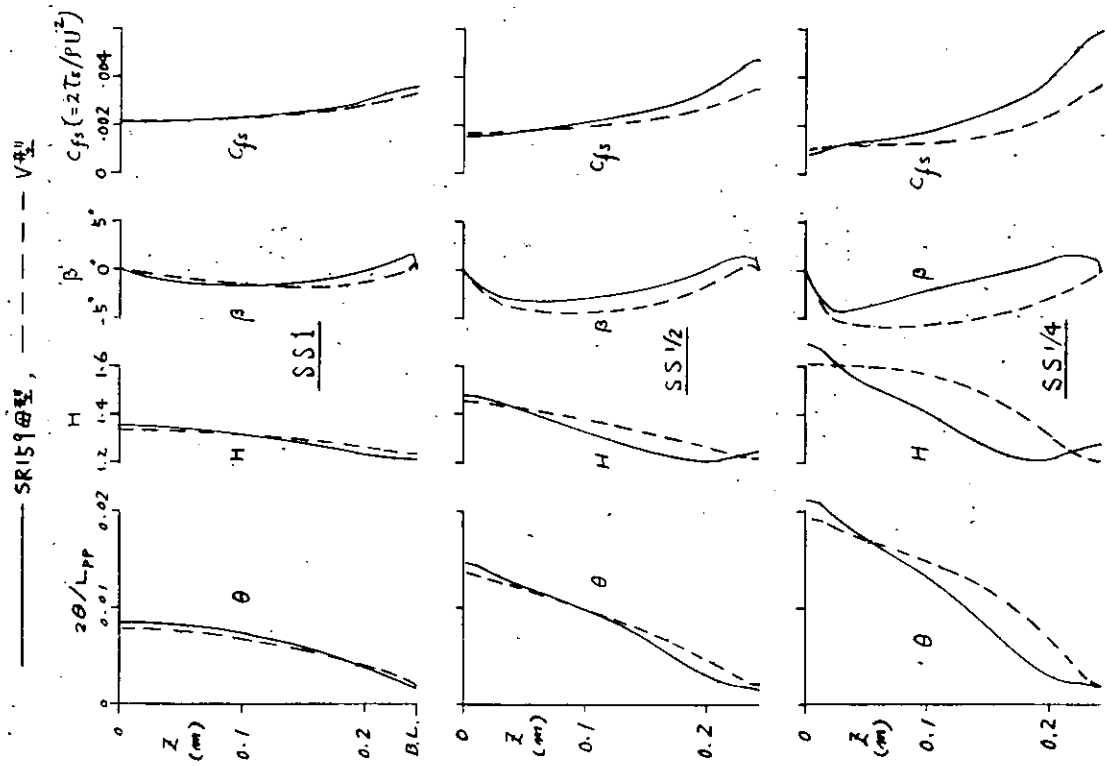


Fig. 4.6.20 Boundary layer solutions at stern in full load condition

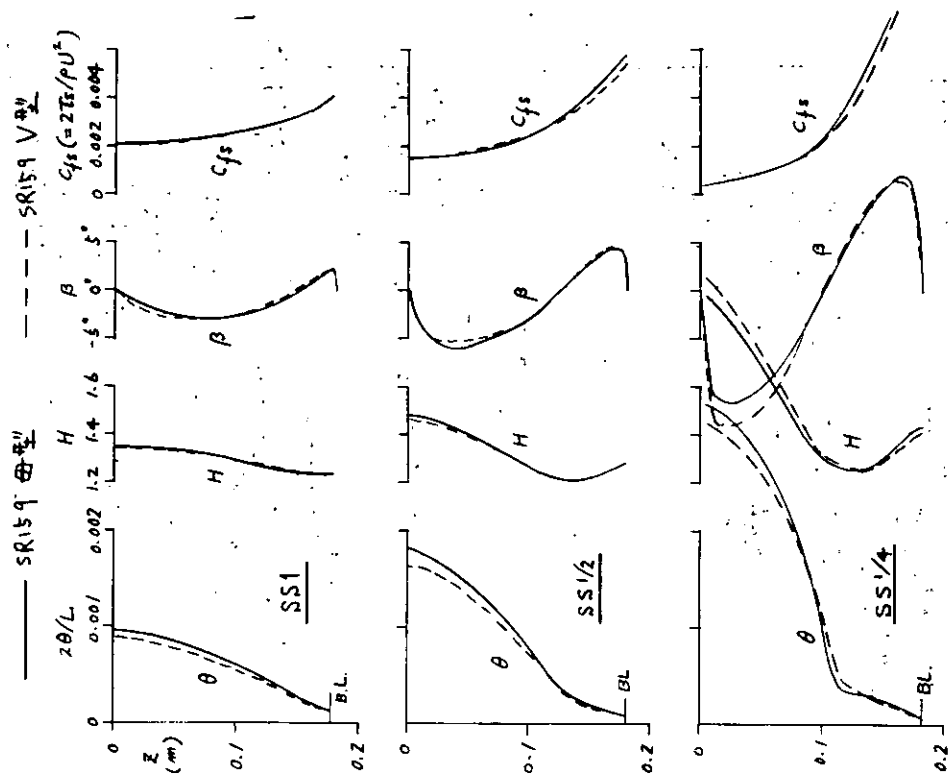


Fig. 4.6.21 Boundary layer solutions at stern in 65% load condition

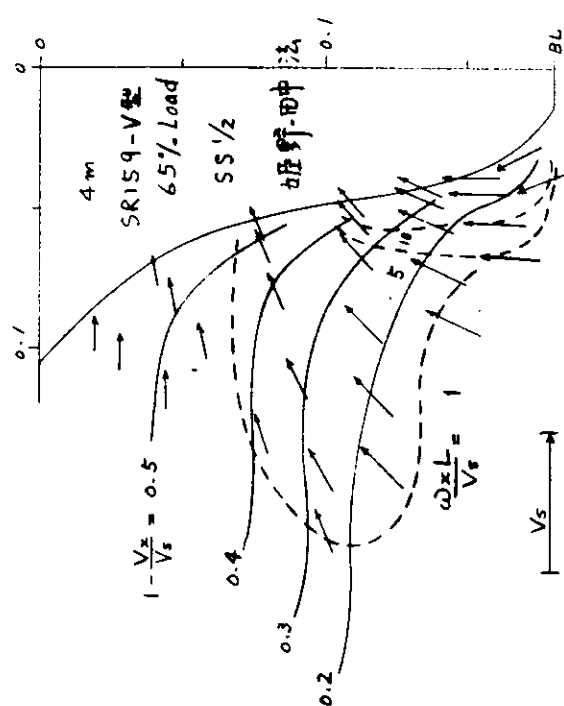
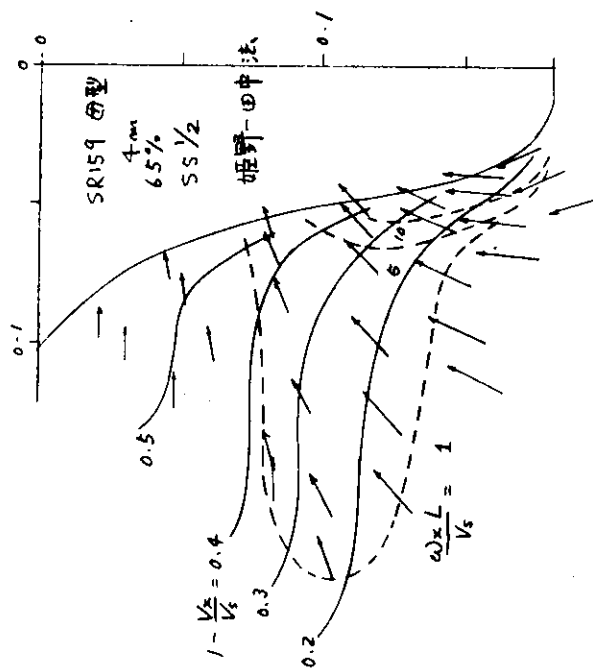


Fig. 4.6.23 Velocity field at SS 1/2 calculated by Himeno-Tanaka's method in 65% load condition

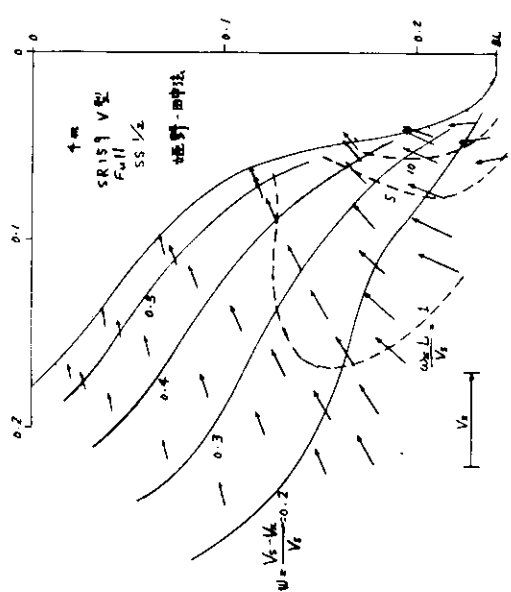
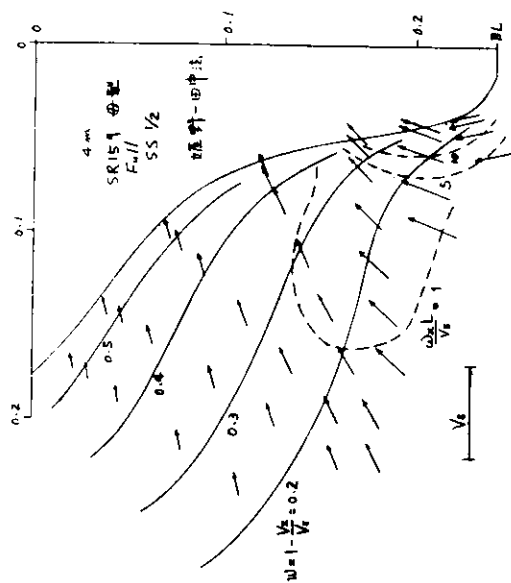


Fig. 4.6.22 Velocity field at SS 1/2 calculated by Himeno-Tanaka's method in full load condition

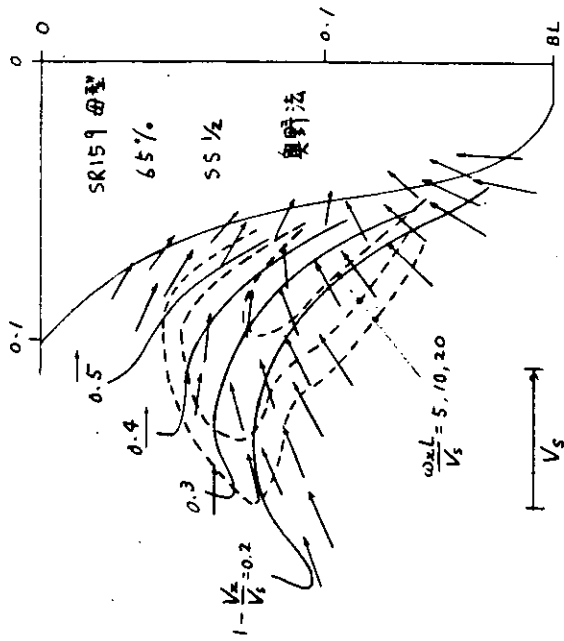


Fig. 4.6.24 Velocity field at SS 1/2 calculated by Okuno's method in 65% load condition

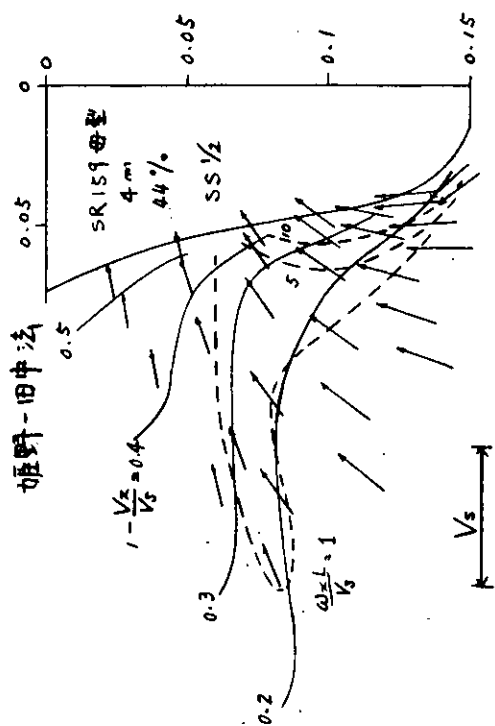
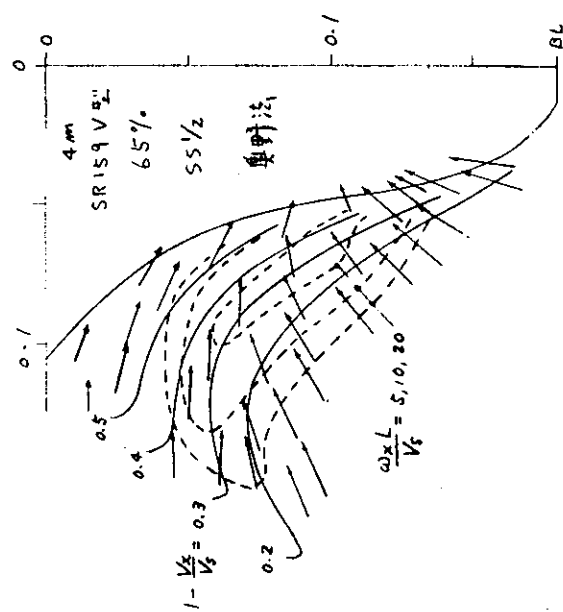


Fig. 4.6.25 Velocity field at SS 1/2 calculated by Himeno-Tanaka's method in 44% load condition



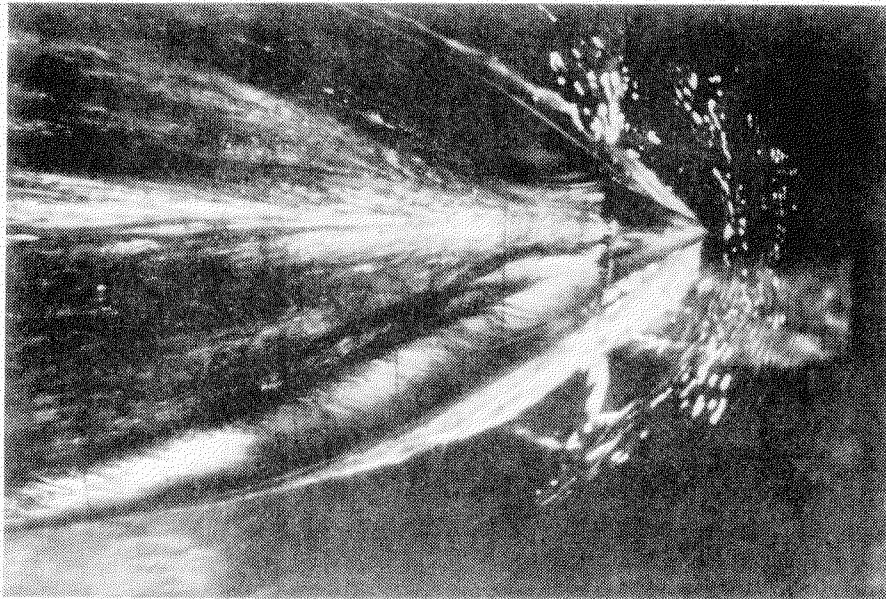


Fig. 4.6.26 Limiting streamlines observed at fore bottom.

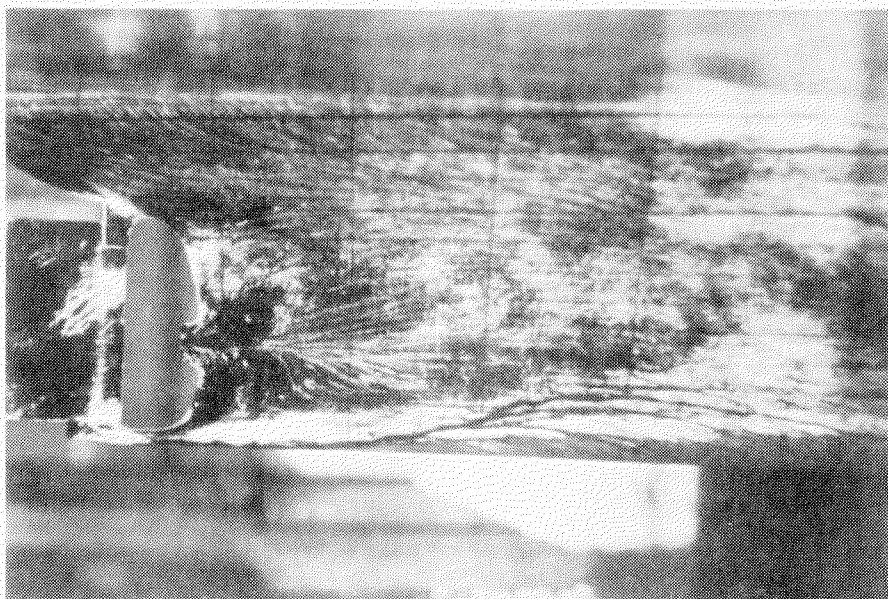


Fig. 4.6.27 Limiting streamlines observed at stern.

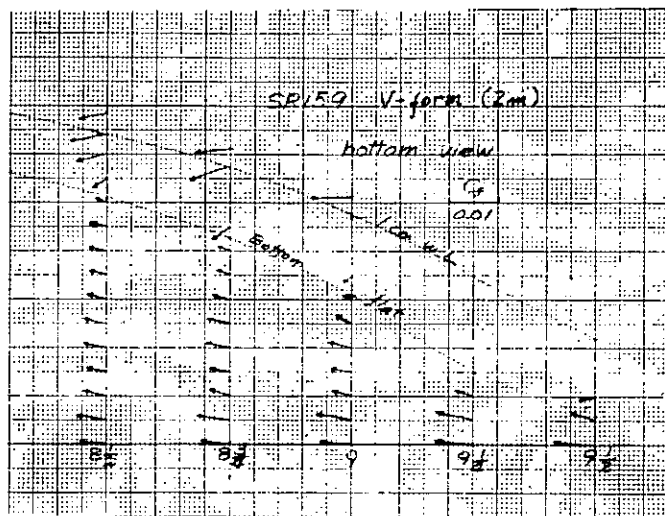


Fig. 4.6.28 Skin friction vectors measured at fore bottom

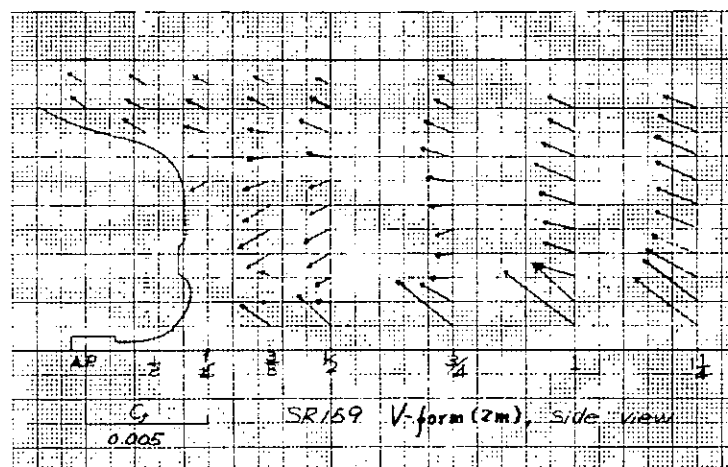


Fig. 4.6.29 Skin friction vectors measured at stern

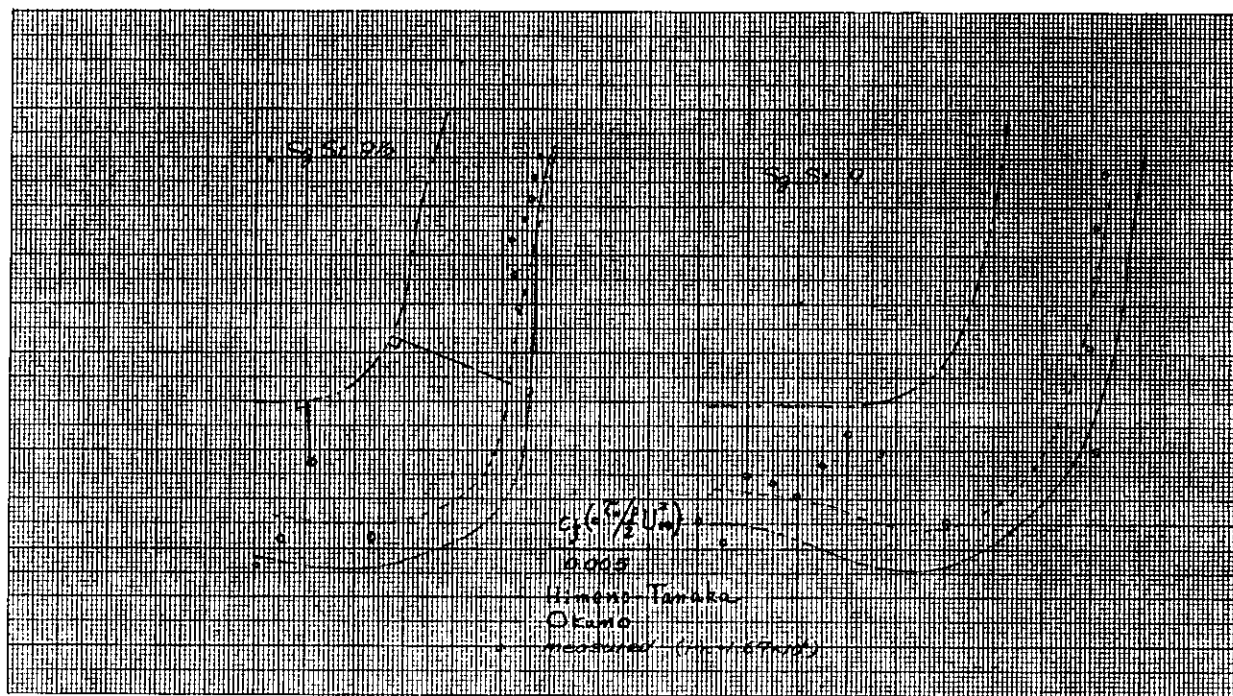


Fig. 4.6.30 Distribution of skin friction stress
at SS 9 1/2 and 9.

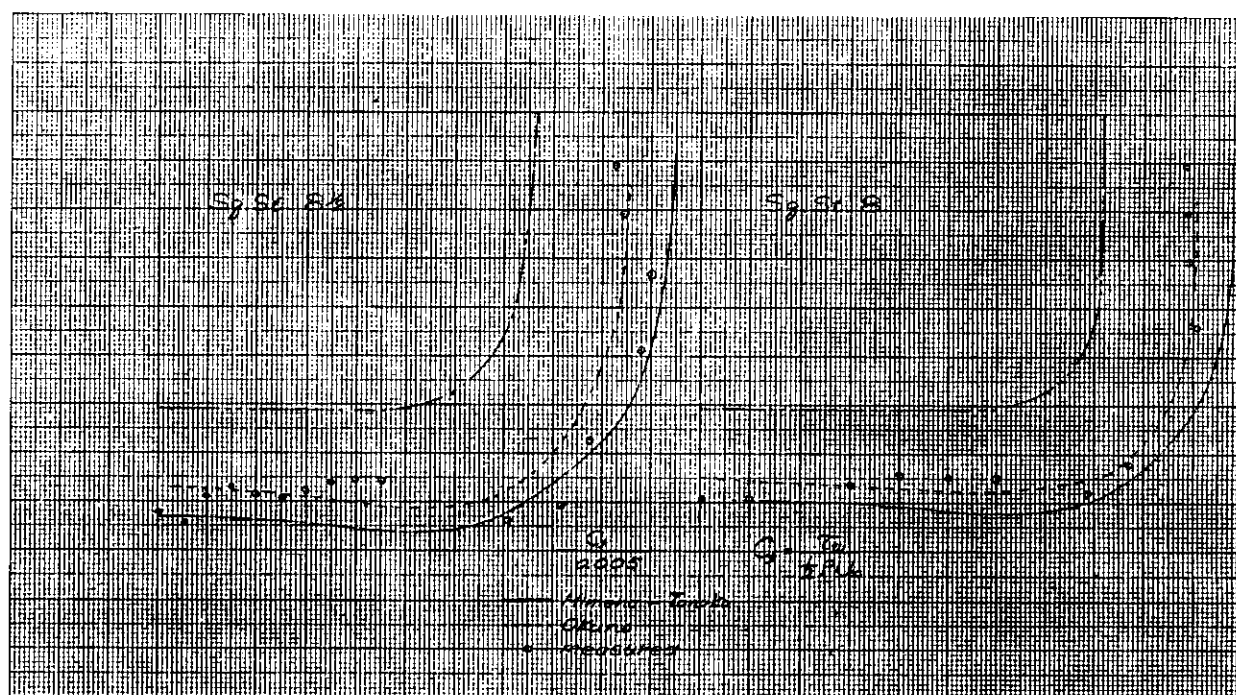


Fig. 4.6.31 Distribution of skin friction stress
at SS 8 1/2 and 8.

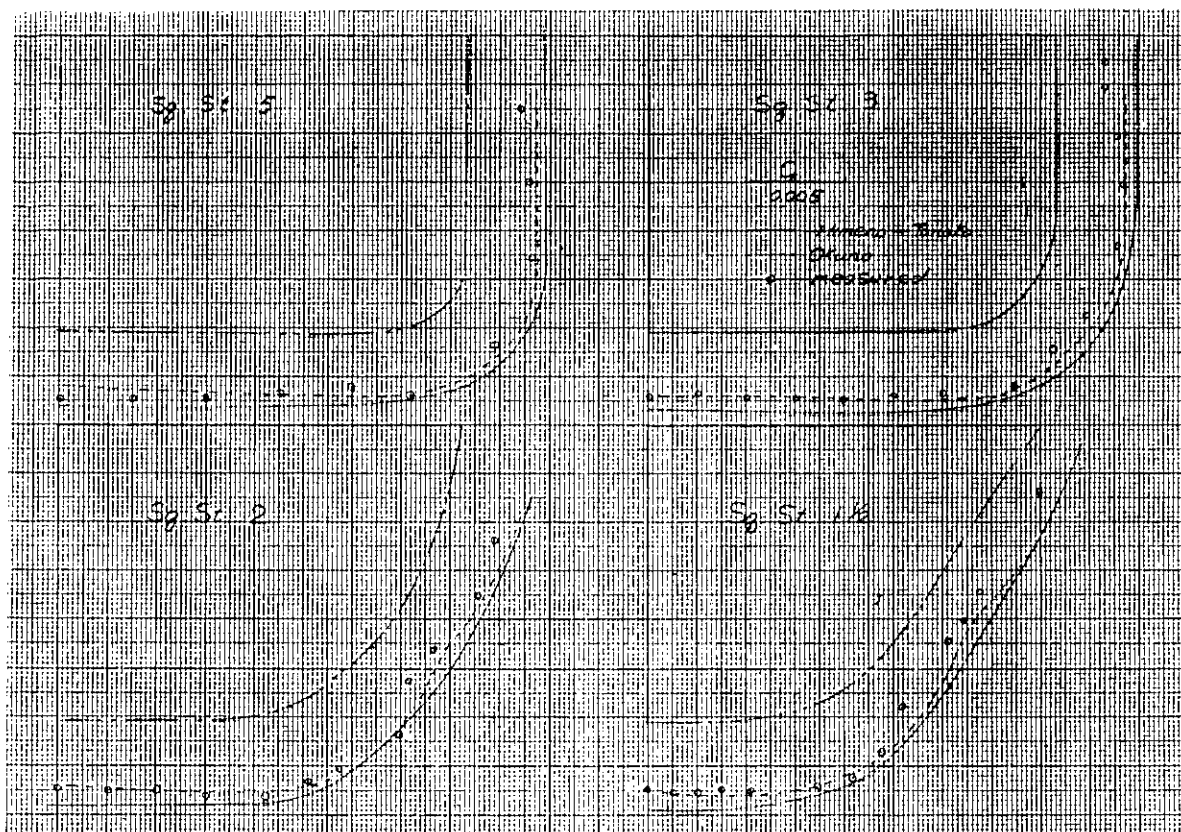


Fig. 4.6.32 Distribution of skin friction stress
at SS 5, 3, 2 and 1 1/2

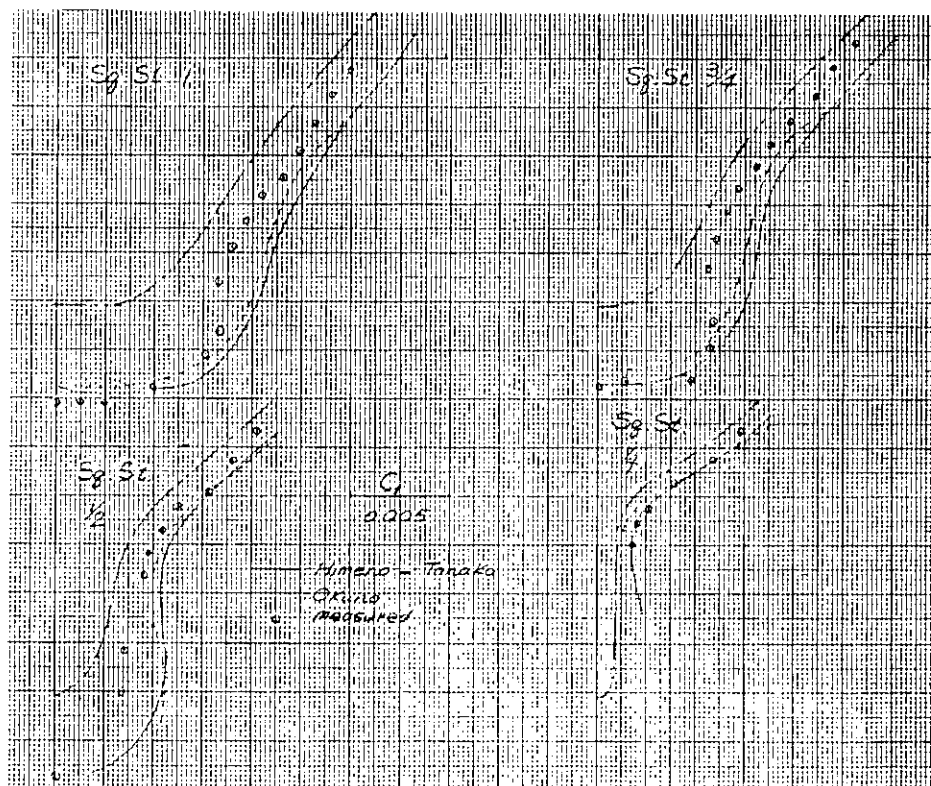


Fig. 4.6.33 Distribution of skin friction stress
at SS 1, 3/4, 1/2 and 1/4.

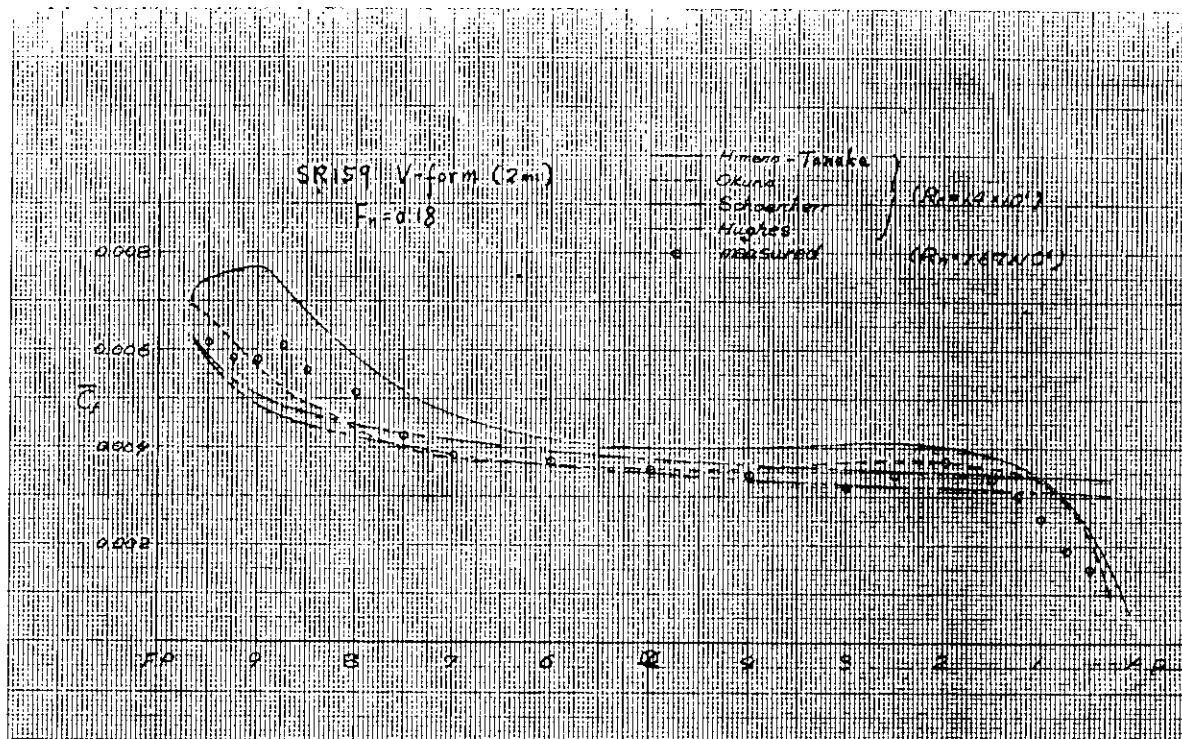


Fig. 4.6.34 Sectional average of skin friction

4.7 船尾流場に関する研究の文献調査

昨年度は昭和50年末までに公表された船尾流場に関する内外の論文、研究報告計182編を調査し、その内容を船尾における流向・流速の計測（流れの観察を含む）、船体表面圧力の計測、抵抗・推力・トルク・横力など力の計測、尺度影響、理論（ポテンシャル流計算、オーゼン近似、境界層計算など）、その他（一般的、解説的なものを含む）計6項目に分類し、また発表年代ごとに分けて整理した。

本年度は昭和50年末以後公表された船尾流場に関する研究について文献調査を続けるとともに、船尾流れの不安定現象に関連して流れの安定理論および双安定現象に関する文献調査も若干行なった。昭和51年に発表された船尾流場に関する研究としては下記のものがある。分類項目をTable 4.7.1に示す。

Table 4.7.1 船尾流場関係の文献の分類番号表

分類番号	項目
1	流速、流向
2	船体表面圧力
3	力の計測（抵抗、自航、横力など）
4	尺度影響
5	理論
8	安定理論、双安定現象に関する理論
9	その他（一般的、解説的なものを含む）

番号	分類番号	著者名：表題、誌名、巻号、（発行年）、ページ
(1)	1、5	加藤直三、乾崇夫、梶谷尚：肥大船船尾流場の解析（その1）、日本造船学会論文集第140号（1976）P38～44
(2)	1、5	奥野定俊：船体表面の摩擦応力分布および境界層内の2次流れに関する研究、日本造船学会論文集、第137号（1976）P1～12
(3)	1、3	小倉理一：スラスト変動と船体表面流線について、第39回・回流水槽懇談会（1976）、（SR159第2小委資料10-7）
(4)	2	並松正明：船体圧力抵抗の計測法とその応用、日本造船学会論文集第139号（1976）P13～22
(5)	1、5	鈴木敏夫、松村清重、山田賢司：乱流境界層の縦渦による変形について、関西造船協会誌、第162号（1976）P79～86
(6)	1	Nabil Sehsah : An Experimental Study of the Turbulent Boundary Layer on the After Body of Tanker Model 関西造船協会誌、第162号（1976）P87～104

番号	分類番号	著者名：表題、誌名、巻号、（発行年）、ページ
(7)	1、5	姫野洋司、小松康夫、奥野武俊、田中紀男：境界層理論による船尾後流の計算と排除影響について、関西造船協会誌、第163号（1976）P59～66
(8)	3	田中拓、石坂純：変動抵抗動力計の設計と不安定現象の計測、第28回船舶技術研究所研究発表会講演集（1976）P115～118、（SR159 昭和50年度報告書、研究資料№255および本年度報告書に記載）
(9)	1	野中健美、神蔵輝男、足達宏之、竹子春弥：船尾伴流の変動現象に関する研究（第1報）、第28回船舶技術研究所研究発表会講演集（1976）P119～124
(10)	1	多田納久義、柏谷達男、竹原正樹：船尾プロファイルが肥大船の進路安定性に及ぼす影響について、関西造船協会誌第162号（1976）P57～66

文献(1)は2次元の船型の流向・流速分布、圧力分布を渦格子法を用いて計算し実験と比較したもので、渦格子法は従来航空機の翼のまわりの流場、デルタ翼の縦渦、斜めに置かれた円柱のまわりの流れなどの計算に使用されていた方法で、理想流体として扱うこと、剥離線位置を与える必要があることなどの問題点があるが、船尾流場計算法の一つとして今後も研究を進めることが望ましい方法と考えられる。

文献(2)は逆2次流れ（reverse cross flow）の存在しうる境界層の速度・流向分布を仮定し船体周辺の3次元境界層計算を行ない実験と比較したもので、理論計算においても船尾ビルジ上部に剥離線と考えられる限界流線の包絡線がえられること、および実験結果に類似した伴流分布、流向・流速分布がえられることを示した。

文献(3)は回流水槽において、 $L_{pp}1.5$ ｍ肥大船型模型について船尾形状を4種、プロペラ直径を2種変更して自航試験、および鉛白法による流れの可視化を行ない、推力・トルクの変動状態、船尾船体表面近傍の流れを調べたもので、本実験の結果のなかには第159研究部会で採り上げている自航試験の不安定現象と認められるものが満載状態で現われている。

文献(4)は船体表面圧力計測法の改良とそれによる肥大船型その他についての模型試験結果を述べたものである。

文献(5)は船尾流場を単純化し、平板境界層と縦渦の組合わせモデルについて流速、渦度分布の計測、近似計算を行ない、境界層吸込みを用い尺度影響を調べたものである。

文献(6)はタンカー模型船尾流場を新形式ピトー管を用いて計測し、速度分布について検討したものである。

文献(7)は境界層理論の立場から、後流域における3次元流場を取扱う方法として、従来の境界層計算法の後流域への拡張、および2次元後流に対するSquire-Youngの近似解法の3次元流れへの拡張を示し、さらに境界層と後流域による排除影響の3次元の性質を論じたものである。

文献(8)は本研究部会の分担研究を述べたものである。

文献(9)はプロペラ位置付近の流れの流速変動を5孔管と圧力変換器を用いて計測し、速度成分分散値、レイノルズ応力、スペクトルなど求めたものである。

文献(10)は肥大船船尾プロファイルと針路安定性の関係を、船尾プロファイルを表わすパラメータ2つと船型要素1種を用いて表現し、さらに斜航時の船尾まわりの流れの機構について述べたものである。

流れの不安定を扱った研究としては、層流境界層の安定理論がある。これにはエネルギーの方法と微小振動の方法とがあり、エネルギーの方法は欠陥があるため現在では微小振動の方法が使われている。従来、平板境界層、クエット流、ポアズイユ流、圧力勾配がある場合の境界層、圧縮性流体の境界層、熱伝達がある場合の境界層、凹面の境界層、非ニュートン流体の場合など計算されており、その成果の多くは集大成され刊行されている。下記にその主なものを示す。

番号	分類番号	著者名 : 表題、誌名、巻号、(発行年)、ページ
(11)	8	H.Schlichting : Boundary Layer Theory, McGraw Hill (1968)、P438~509
(12)	8	谷 一郎: 乱流理論、克誠堂出版KK (1950)、P12~31
(13)	8	巽 友正: 乱流、槇書店 (1962)、P11~78
(14)	8	巽 友正、後藤金英: 流れの安定性理論、産業図書 (1976)

これら層流境界層の安定理論は平均流に微小振動を重ね、その微小振動の減衰、増幅、中立安定を調べるもので、本研究部会で採り上げている自航試験の不安定現象の理論的取扱いにこの方法を直接用いることはできないと思われる。

流れの双安定を扱った文献としては、拡大流れ(ディフューザ)、側壁付着形流体素子、急拡大流れに関する理論および実験がある。これら面対称の流路内の流れでは非対称で双安定的状態が現われ、内部流と外部流の違いはあるが、何らかのひき金により他の状態に移るなど自航試験の不安定現象に似た面がある。下記に流れの双安定を扱った文献を若干示す。

番号	分類番号	著者名 : 表題、誌名、巻号、(発行年)、ページ
(15)	8	J.P.Johnston : Internal Flows, Topics in Applied Physics Vol.12 "Turbulence" ed. P. Bradshaw, Springer-Verlag (1976) (SR159 第2小委資料 12-12)
(16)	8	中山泰喜、上田喜八郎、沖真: 側壁付着形素子内の流れの数値解析(第1報 ベントなしで片側出力口を閉じた場合)、日本機械学会流体工学、流体機械講演論文集No760-10 (1976) P243~252
(17)	8	堀越長次: 側壁付着形純流体素子の内部流の解析、日本機械学会第11回シンポジウム「フローパターンの予測」講演論文集No760-18 P145~150
(18)	8	中山泰喜、上田喜八郎、沖真: 側壁付着形素子内の流れの数値解析(第2報ベントなしで片側出力口を閉じた場合の乱流解)、日本機械学会第11回シンポジウム「フローパターンの予測」講演論文集No760-18 P151~156
(19)	8	堀越長次: 純流体素子の流れの理論解析、日本機械学会論文集 第41巻第347号 (1975) P2099~2106

番号	分類番号	著者名：表題、誌名、巻号、（発行年）、ページ
(20)	8	光永昭治、広瀬達三：円管内の同軸環状噴流の研究、日本機械学会論文集、第42巻第364号（1976）P3889～3898
(21)	8	山本圭次郎、川島忠雄、関根登：付着流れの数値解析、日本機械学会第11回シンポジウム「フローパターンの予測」講演論文集No.760-18 P133～138
(22)	8	光永昭治、広瀬達三：コアンダ現象の安定性に関する研究、日本機械学会第11回シンポジウム「フローパターンの予測」講演論文集No.760-18 P137～144
(23)	8	光永昭治、広瀬達三：コアンダ現象についての一考察、日本機械学会論文集、第42巻第364号（1976）P3899～3905

文献(15)にあるように、従来、ディフューザ内の流れの状態は拡がり角、長さ入口幅比で整理され、剥離発生せず、非対称剥離（双安定状態）、対称剥離（噴流状態）となる領域が求められている。これは船尾肥厚度と流れの状態の関係、肥厚度の実用上の限界の存在、レイノルズ数の影響などを示唆していると思われる。文献(16)～(19)のような側壁付着形流体素子内の流れの理論的取扱いは、ナビア・ストークス方程式を出力口の一つを閉じた形の境界条件で数値的に解き、流線、流れ関数、渦度を求めることなどが行なわれている。これは双安定の一つの状態を表現しているであろうが、非対称流路についての解であり、自航試験の不安定現象に適用することはできないと思われる。文献(20)～(23)のように階段状急拡大内部流の場合の理論的扱いとしては、初期条件として非対称流れを与え繰返し計算を行ない収束値を求め、双安定状態の一つをえることなどが行なわれている。自航試験の不安定現象への応用には困難な点が多いであろうが、検討が望まれる一つであろう。

4.8 ま と め

以上の各節での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) 昨年度の船型は不安定現象があったものの、その程度が若干弱いきらいがあった。それを今年度はもっと顕著にして現象の特性の把握を容易にすることを狙い、中小型肥厚船船型の平均に近いV型をやや強めた船型を採用したが、この設計方針は正しくて、4 m、2 mともに昨年度よりも更に明瞭な不安定現象を得ることができた。
- (2) 現象面、特にその力関係での不安定性を確認することができた。すなわち、昨年度得られた推力、トルク、横力の不安定変動の存在、また前2者が大の時、後者が左舷側から右舷側へ向くことなどを確認するとともに、今年度は船体表面圧力分布の計測も詳細に実施し、上記の場合に対応して圧力は左舷が高いことを見出した。
- (3) 流速分布あるいは流れ方などについても調査はかなり進み、流れはたいてい非対称であり、左右どちらかへずれているらしいことがほぼ明らかになってきている。推力、トルクが大の状態では、いわゆる潮目が左舷に出、その時右舷の渦が強く、右舷のプロペラ流入速度が大きいというのが今迄に得られた結論である。しかし、その他の詳細についてはなお次年度に調査が必要である。
- (4) 変動現象の周期性についてははっきりしない。今の所周期性はなく不規則に出現するという方が良さそうであるが、なお研究が必要。
- (5) 50年度模型に比べて51年度模型の方が不安定現象が顕著であるとはいうものの、船型の影響についてはまだはっきりしない。又、載荷状態の差の影響、プロペラ荷重度の影響などデータは求められているが、特徴を整理分析するまでには至っていない。
- (6) 不安定現象の生ずる流れの機構の説明、発生原因の解明については種々考察したが、今年度はまだ結論を得なかった。次年度はこの点を主要テーマとしたい。
- (7) 境界層計算については50年度船型と51年度船型とほとんど差がないこと、実験との一致（限界流線、摩擦応力）も良いことなどが求められ、実用化の手掛りはほぼ得られた。不安定流場の研究にも基礎資料として役立つと考えられる。

§ 5 抵抗成分の分離に関する研究

5.1 まえがき

実船の抵抗推定には、Froudeの相似則が用いられている。この相似則では、実船と模型船の間に造波抵抗成分の不変性が仮定されており、その工学的な意義は今日でも認められている。

しかし近年になって抵抗成分の分離計測の手法が定着して、単に船の抵抗の物理的な理解を深めるだけでなく、船型計画の上にも重要な資料が提供されるようになって来ている。この問題については、我国は世界的にも豊富な経験と研究の成果をあげており、本研究協会ではSR107（鉱石運搬船）、SR138（高速コンテナ船）の各研究部会で貴重な貢献をしてきた。

これらの成果は必ずしもFroudeの相似則を認める結果とはならず、船の抵抗の相似則も詳細に検討すれば複雑な性質をもっていることが裏付けられようとしている。肥大船の抵抗成分は特に性質が複雑で相似則の検討が困難な船型とされている。肥大船は、比較的計測の容易な造波抵抗成分が少く、逆に計測の困難な縦渦による誘導抵抗成分が大きいことも一因となっているが、このような船型の抵抗成分の計測については、50年度の本研究部会報告に理論的な背景が説明されている。

この報告にも述べられているように、船尾の縦渦による誘導抵抗成分は、渦がbreak downした後に粘性抵抗成分に変換されるものと考えられている。このため誘導抵抗成分は、後流計測で得られる粘性抵抗成分の一部とするのが考えやすく、船の抵抗では独立な成分としては扱われていない。しかしこの問題はまだ十分な検討を経ておらず、特に実験資料がとぼしいので肥大船の抵抗研究の中では重要な分野と考えてよいであろう。

本研究部会では、肥大船の馬力推定法を合理的なものとする立場から、相似模型船による抵抗成分の分離計測を計画したがその主要な流れは次の通りである。

50年度船型の4m模型船および7m模型船を用いて船研400m水槽で抵抗および自航試験をおこない、同時に後続波形の計測をおこなって波形造波抵抗を算出する。また別に船尾後方の約4検査面について渦度および伴流分布の計測をおこない粘性抵抗成分を調べることなどが予定されている。

51年度には、50年度に製作したrotor型渦度計を用いて4m模型船のPropeller面における渦度分布の計測を予備試験として実施した。また4mおよび7m模型船の抵抗、自航および波形解析の実験を行なう予定であったが、7m模型船が持ちまわり試験終了後、模型表面の修理を要する状態となったので、実験の期日が遅れている。このため本報告書には、4m模型船の結果を記載し、7m模型船については実験の実施（51年2月）のみで報告は次年度にすることとした。

5.2 渦度分布計測

50 年度に製作した rotor 型渦度計を用いた渦度分布計測の予備実験が実施された。 rotor 型渦度計については、以前設水体の船尾渦の計測の例が報告⁽¹⁾されているが、水上船で使用した経験がなかったのと、肥大船の船尾渦の概略を知る目的で予備的な計測を行なった。

試験状態は、4m 模型船の満載 (Full) および満載の 44% 載荷状態 (44% Full) の 2 種で、船速は Froude 数 $Fn=0.18$ ($V=1.127\text{ m/s}$) である。模型船は、走航状態の trim をつけた状態で固定して計測をおこない、計測面は $S.S.\frac{1}{8}$ の右舷のみである。水槽は船研中水槽を使用している。

渦度分布計測の要領を示すと、Fig.5.2.1 に示すような渦度計 rotor を計測検査面の所定位置にセットし、その毎秒回転数 (N) を計測すると $2N$ が渦度 (Vorticity) を示すことになる。文献(1)の中に示してあるように、 rotor の軸の摩擦トルクを q とすると、この渦度計は流体中の回転流に対して、 ω_s の回転スリップをすることになりこの分が計測誤差となる。

$$\omega_s = \frac{|q|}{\frac{2}{3} \rho V \frac{\partial C_L}{\partial \theta} S R^2} \quad (1)$$

ただし V は前進速度、 $\partial C_L / \partial \theta$ は rotor 翼の揚力微係数、 S は翼面積、 R は半径を示している。

したがって rotor 軸の摩擦トルクは極力小さくする必要があり、回転数の計測もフォトダイオードを使用し、1 回転当り 4 パルス発生する装置になっている。また回転方向の判別は電氣的におこない、反時計方向を正と考えている。

船尾渦は、極めて不安定で時間的な消長があるだけでなく、場所的にも移動するので、計測記録は変動の激しいものとなる。このため、電磁オシログラフに回転を記録し、下記に示すような解釈を加えつつ読みとる方式としている。計測は検査面を格子に分割しておこない、渦がゆらぐことから計測の同時性が重要であるが、 rotor の数を増すことによる欠点も考慮されるので本計測器の場合では上、下 2 案子としている。

記録の例を Fig.5.2.2.3 および 4 に示す。これらは、電磁オシロに記録された回転数を時間ベースに示したものであるが、各図ごとに同じ格子点の渦の状態を示している。計測座標は、水面と船体中心面の交点を原点とし、上下方向を Z 軸としている。

Fig.5.2.2～4 の記録の様子を調べると、まず同一場所であるにもかかわらず、大幅に異った回転の状況を示していることがわかるが、これは後に述べるように渦度分布に 2 種のパターンがあると推定されることと対応している。また、所々に全く回転していない所が見られるのは、渦中心のゆらぎに関係していると考えられる。

このような記録から、今回は一応、回転が止まっている部分を除き、一様な傾斜をもっている所で回転数を算出している。このような計算法の是否は、現状では判定できないが、例えば 5 孔管の伴流計測結果を用いて渦度を算出する場合では明かに今回のような選択は不可能で全体の平均値となっているから、本計測の結果は 5 孔管の場合より渦度が強く計測されているものと思われる。また rotor 型渦度計の最大の欠点は、検定が直接できないことである。これは検定用の渦を発生することが技術的に成功していないためであるが、間接的な検定の方法が船研で検討されつつあり、第 2 小委員会でも論議された。

rotor 型の渦度計は、在来の方法に較べて応答が著しく速く、計測処理も極めて簡単で、精度も高いと予想されるので、変動する船尾流場の渦度分布計測には不可欠であるが、上記のように未だ十分に完成された計測法ではない。したがってこの予備試験の成果も将来は結果の解釈を変える必要があるかもしれないが、抵抗成分および不安定現象の研究に関連して以下述べるように興味のある内容を含んでいるので、当面の見方に従った報告をする。

読み取られた記録を Y 軸を横軸に各水深毎に示したのが、Fig.5.2.5 および 6 である。Fig.5.2.5 は、満載状態を示しているが、 $Z=15\text{ cm} \sim 20\text{ cm}$ のところで 2 種類の分布が見られる。この図で、上下 2 段ある

rotor の内△印は下側、○印は上側の rotor による計測結果であることを示している。上、下 rotor を混用することによって出来る限り rotor 自身の特性によって計測結果が影響されないように考えた。

Fig.5.2.5 および 6 から船尾の渦度分布を画いたものを、Fig.5.2.7、8 および 9 に示す。Fig.5.2.7 および 8 は満載の渦度分布図を示し、それぞれ渦度の強い場合と弱い場合に対応している。Fig.5.2.9 は 44 % Full の渦度分布である。

渦度分布図の等渦度線は R.P.S. を単位としているが、船の長さを用いた無次元値になおすと次表のような関係にある。

Table 5.2.1 流場の回転数と無次元係数の関係

ω r.p.s	$2 \omega L/V$
0.2	2.51
0.4	5.03
0.6	7.54
0.8	10.05
1.0	12.57
1.2	15.08
1.4	17.59
1.6	20.11

渦度分布図によると、2つの渦中心があることになるが、これらは同方向に回転しているため（左右両舷の対称性を仮定しても）このままでは安定な渦とは考えられない。この問題は十分論議されていないが、恐らく船尾渦は3次元的な複雑な構造をもち、この渦度分布図はその一断面を見ているのではないかと考えられる。

また、5孔管でこれまでの方法で計測された渦度分布図と比較すると、渦中心の渦度の強さ、渦の存在する領域などに関し若干の一致点はあるが、双子渦の存在など大きな違いがある。ただし、本分布図からでも流速のベクトル図になおせば、在来のベクトル図と類似していると思われるが、文献(1)にも述べているように、ベクトル図から渦の特徴を知ることは難しい。

以上の結果をまとめると、満載状態に見られた2種の渦度分布図、双子渦分布図および rotor の回転の状況から推定される渦のゆらぎ等の新発見は、rotor 型渦度計が応答が速く、また5孔管で計測する場合と異り渦度の直接測定であることが発見の原因になっていると思われる。しかし先に述べたように渦度計自身になお検討を要する点も多いので、本研究の一部として問題点の解明をすすめる予定である。

なおこの計測は曳航状態のものであるから、自航時に見られる不安定現象と直接関係づけることは難しいが、満載状態に2種の渦度分布が見られるなど示唆するところもあり、今後の成果に興味がもたれる。

5.3 抵抗成分分離計測結果（50年度船型4m模型）

5.3.1 抵抗、自航試験結果

4m 模型船の曳航および自航状態の後続波形の計測を行なった際に同時に計測した抵抗および自航試験の結果を報告する。

使用した水槽は船研400m 水槽で、試験状態は満載（Full）および44% 満載（44% Full）の2状態である。模型船は、木製ラッカー仕上げ、プロペラは50年度に製作したものを使用した。

Fig.5.3.1は、剰余抵抗係数を示している。この図には、持ちまわり試験の時当水槽で実施された7m 相似模型船の試験結果も参考に記入しており、結果を比較してみると若干の相異がある。原因を明かにすることはできないが、一つの推測として、本試験には後続波形の計測を同時に実施しているので、水面が乱されるのを防ぐために流速計を使用せず対地速度を用いているためとも考えられる。またこの計測がアナログ型の変動抵抗動力計を用いているので、極めて抵抗値の少ない本試験の場合、精度上の限界も合せて考慮しなければならない。

なお長崎水槽で実施された4m 模型船の結果と比較すると、満載ではよく一致しているが、44%Full では、剰余抵抗で約10% 低くなっている。

Fig.5.3.2は、自航要素を示している。自航試験は、変動抵抗動力計を用いた British method の方式で実施した。この図には、抵抗試験結果と同様に持ちまわり試験で実施された7m 模型船の結果も記入されている。両者を比較すると、 $1-W_T$ は R_N 数の違いに対応して差がでており、この結果は長崎水槽の場合とよく一致している。

$1-t$ は、不安定現象を発生しない満載ではよく一致しているが、44% Full の低速ではかなりの差がでている。これは7m 模型船で不安定現象がほとんど見られなかった事情に対応しており、不安定現象がよく見られた本模型船の場合、4.3.2項でも説明したように、プロペラ負荷の低い時には $1-t$ は小さくプロペラ負荷が大きくなるに従って $1-t$ が大きくなる傾向にある。不安定現象が明確でなかった、長崎水槽の4m 模型船の $1-t$ が、44% Full でも7m 模型船とよく一致していた事と対比して興味深い。

η_R は、両状態ともほぼ7m 模型船の結果と一致している。ただし持ちまわり試験結果の各水槽間の比較で、船研水槽の7m 模型船44% Fullの η_R が他より特に低かった事情を考えると、4m 模型船の結果も再考を要するかもしれない。

5.3.2 波形解析試験結果

前項で述べたように、満載および44% Fullの2状態について、曳航および自航試験時の後続波形の計測を行なった。波高は、Pickup の芯線の太さが0.8mmφの容量型波高計で計測し、模型船前方に流速計を付けていない。

試験速度は、本船型の基準速度では、波高が低く結果の判断が困難になることを予想して念のため高速側を追加して、両試験状態とも $Fn=0.17\sim0.23$ の範囲をFroude数0.01間隔で計測した。解析は、Newman-Sharmaの方法により詳細は船研の標準試験法に基いた。

波形解析で得た造波抵抗を波形造波抵抗（wavepattern resistance）、 R_{wp} と呼ぶことにすると、波形造波抵抗係数を全抵抗係数などに対比して、Fig.5.3.3およびFig.5.3.4に結果を示した。この結果によると r_{wp} は、一般の肥大船型の場合と同様に船型試験で用いている通常の造波抵抗係数よりかなり小さいことがわかる。この原因については、SR107および159 研究部会で用いた相似模型船の波形造波抵抗が大きな模型船ほど大きく計測された前例もあるので、次年度報告予定の7m 模型船による結果および後流計測結果を加えて全体として検討したいと考えている。

プロペラのおこす波は、ballast 状態では無視できない大きさとなり、推力にも影響を与える場合があることが報告⁽²⁾されている。本船型の場合でも、自航中の r_{wp} は曳航状態にくらべて、 $Fn=0.18$ の

速度の44%Fullの時には53.1%も増加しているが、満載では14.2%と比較的少くなっている。

なお参考のために、 $Fn = 0.18$ および 0.02 の両試験状態で計測した後続波形の振幅関数を、Fig.5.3.5～5.3.8に示した。それぞれの図には、曳航および自航状態の結果が比較してある。設計速度を越えたFroude数では、造波抵抗の中で横波成分が急増する場合が多いが、この場合でも、 $Fn = 0.20$ の満載の $\theta = 20^\circ$ 付近に大きなpeakが見られるのはこの傾向によるものであろう。その他本船型の造波抵抗について特筆すべき点はないように思われる。

5.3.3 まとめ

51年度の抵抗成分分離の研究については、50年度船型の4m模型船の抵抗成分と前年度に製作したrotor型渦度計による渦度分布計測の予備試験の結果を中心に報告した。この研究は今後船尾の縦渦と抵抗の関係を調べることと、7m模型船の抵抗成分を求めることによって、この船型の抵抗の性質を明らかにしたいと考えており、次年度に主な計測を完了する予定としている。

参考文献

- (1) 田中 拓 ; 扁平な没水体の浅深度抵抗について、造船学会論文集第136号、昭和49年11月
- (2) 田中 拓 ; プロペラによる造波の研究、関西造船協会誌158号、昭和50年9月

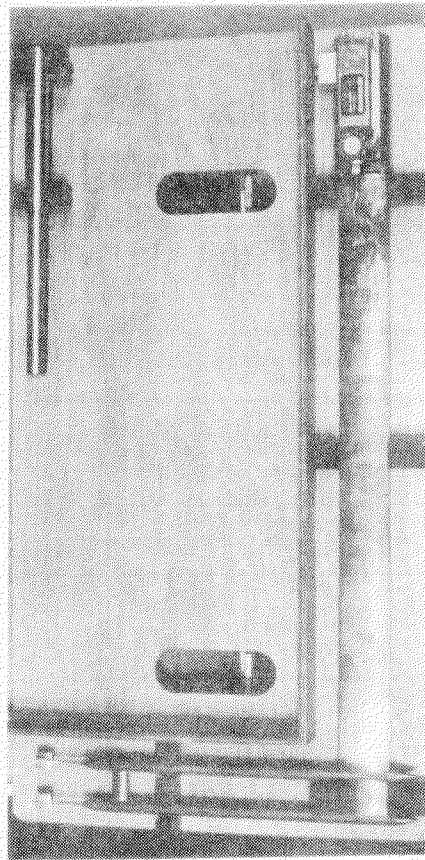


Fig. 5.2.1 Rotor 型渦度計

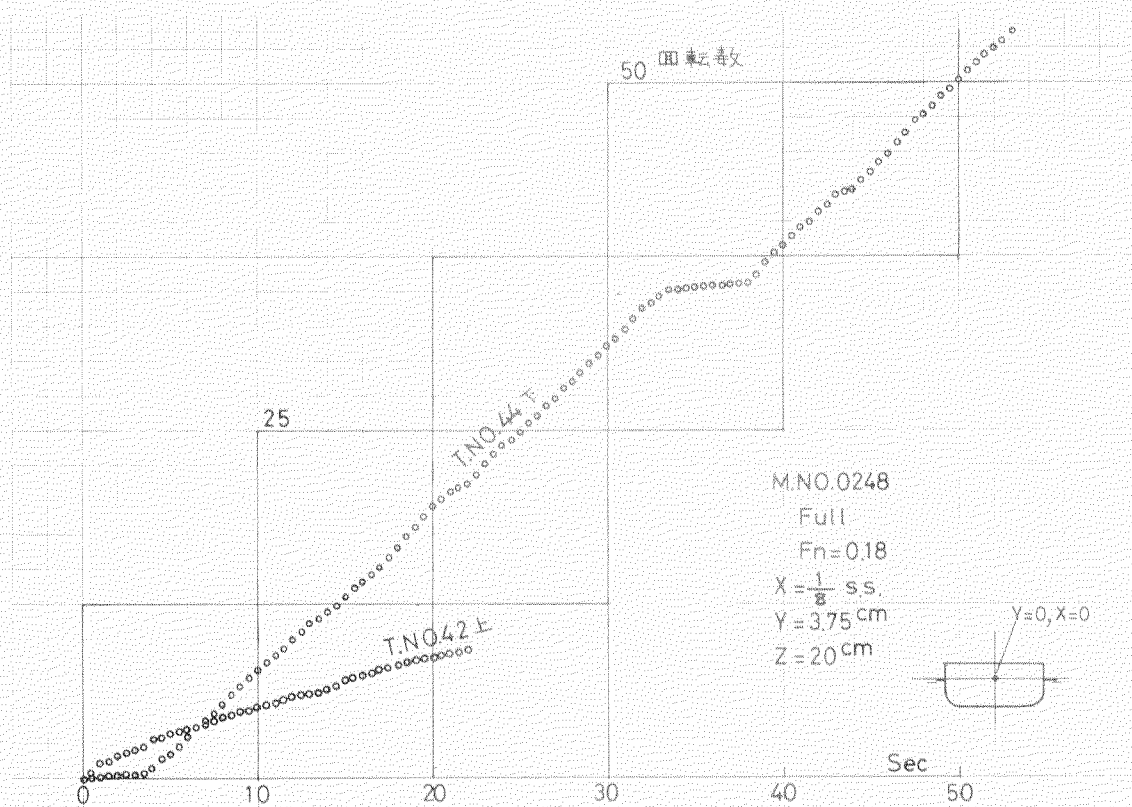


Fig. 5.2.2 渦度計 rotor の回転状況

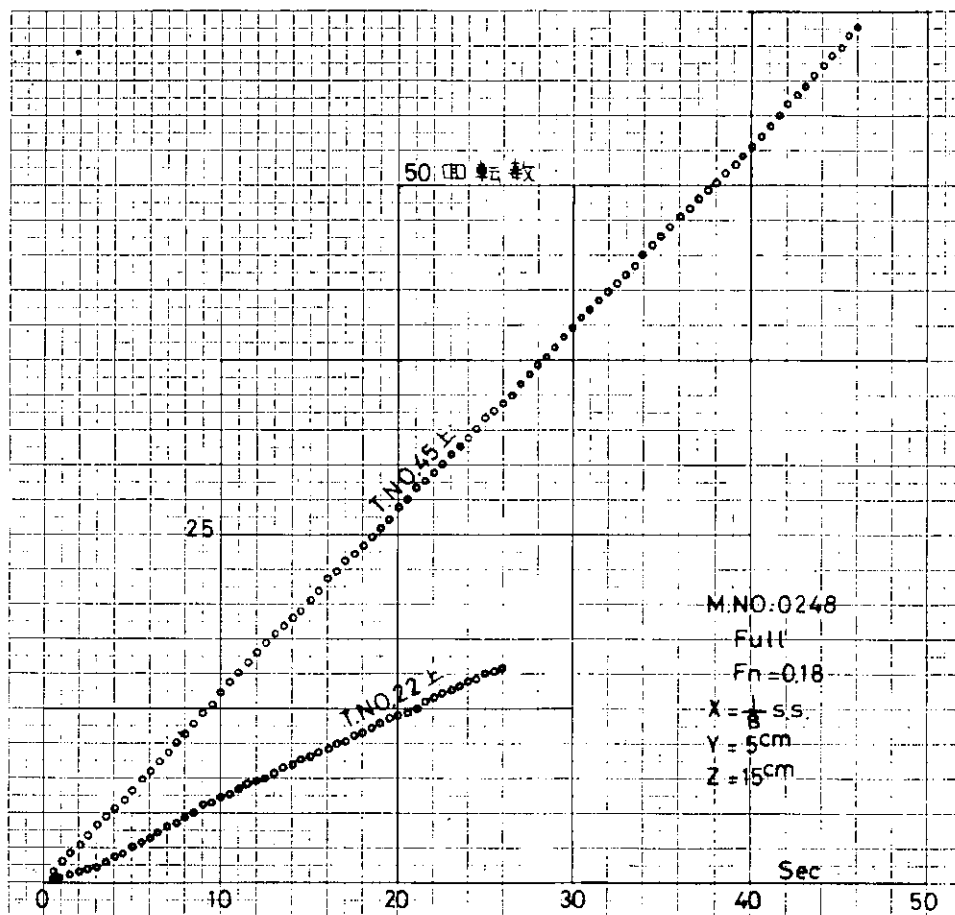


Fig. 5.2.3 渦度計 rotor の回転状況

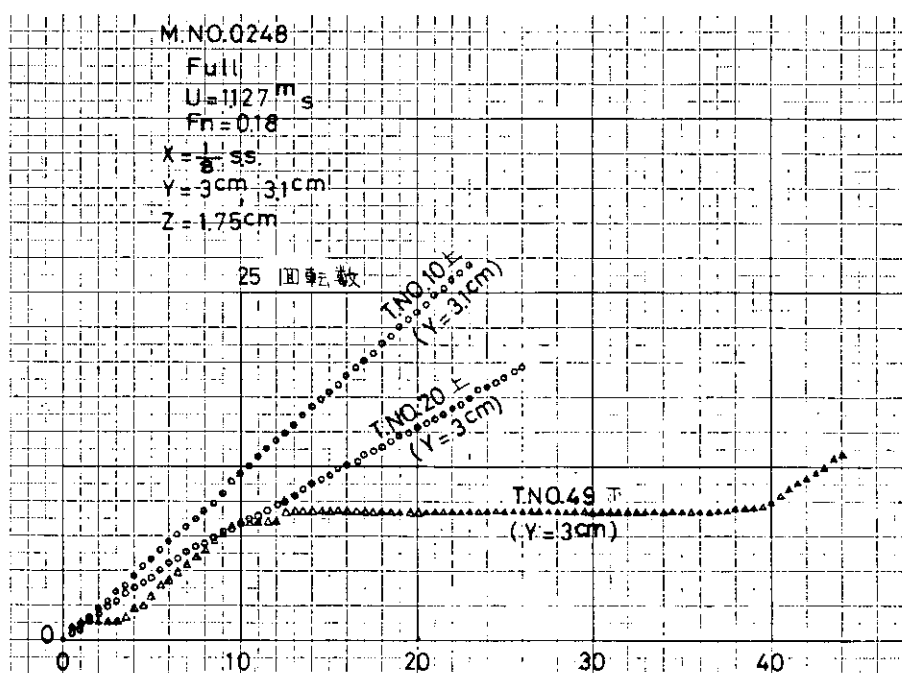


Fig. 5.2.4 渦度計 rotor の回転状況

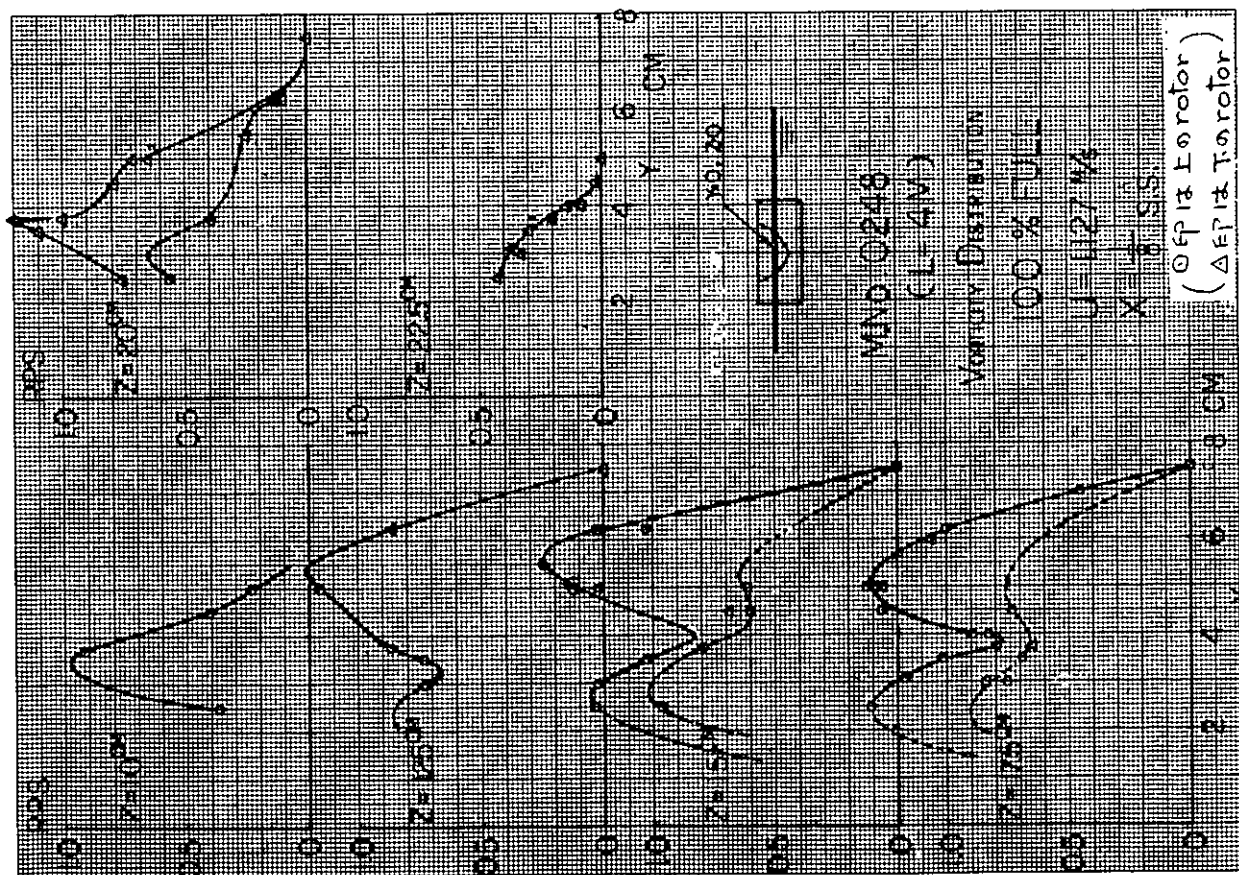


Fig. 5.2.5 渦度分布断面図

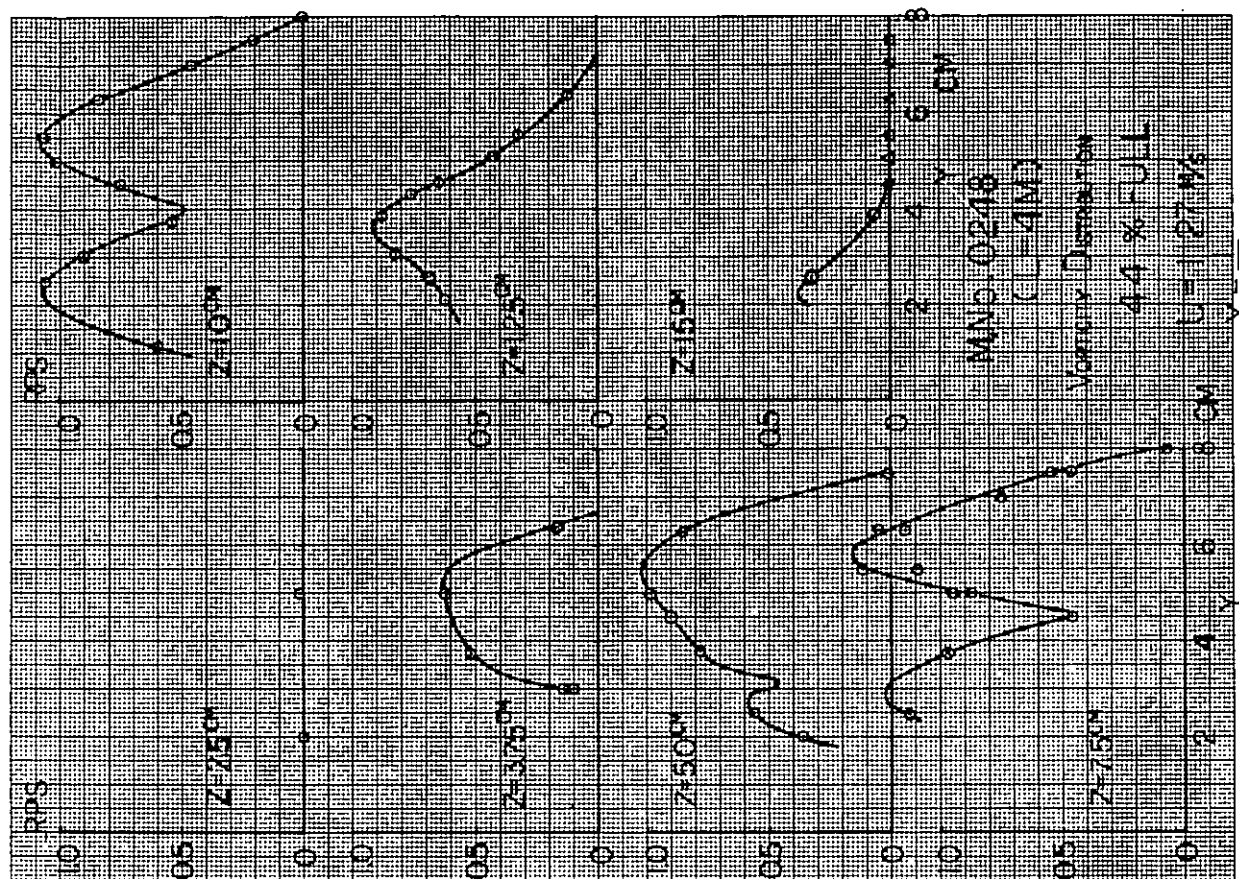
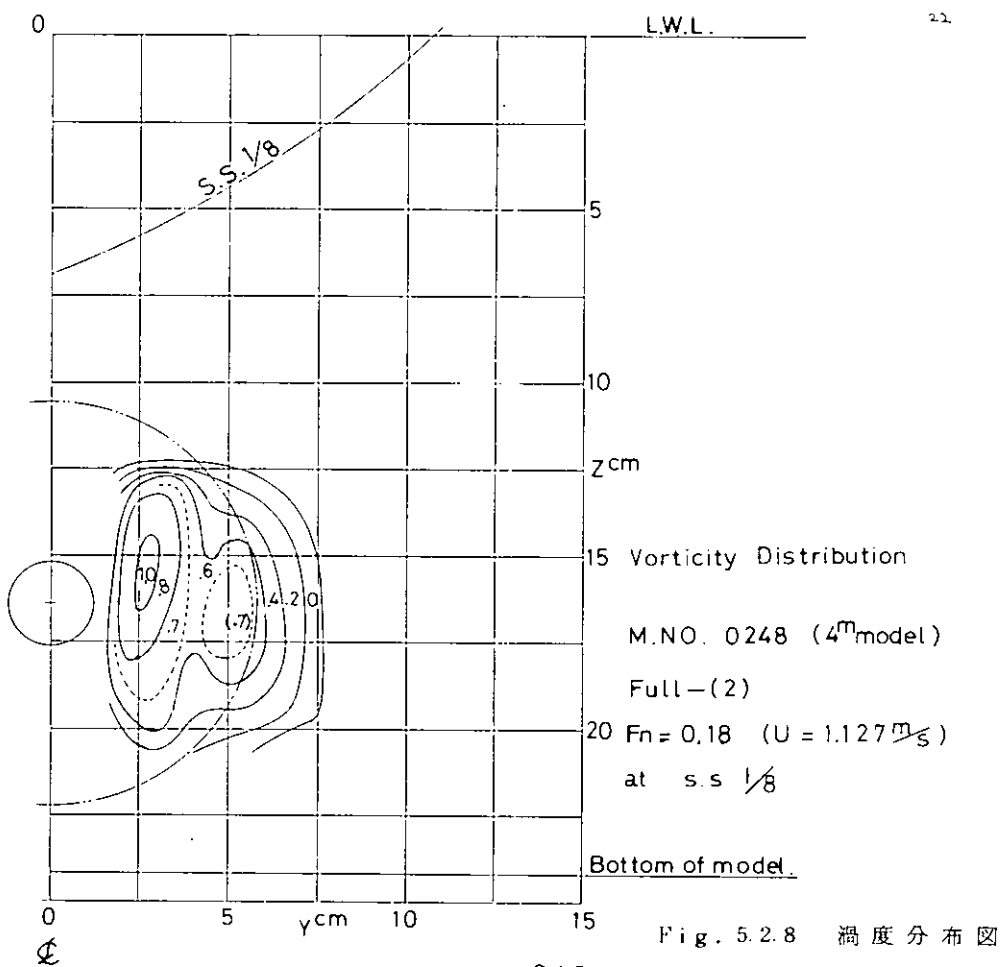
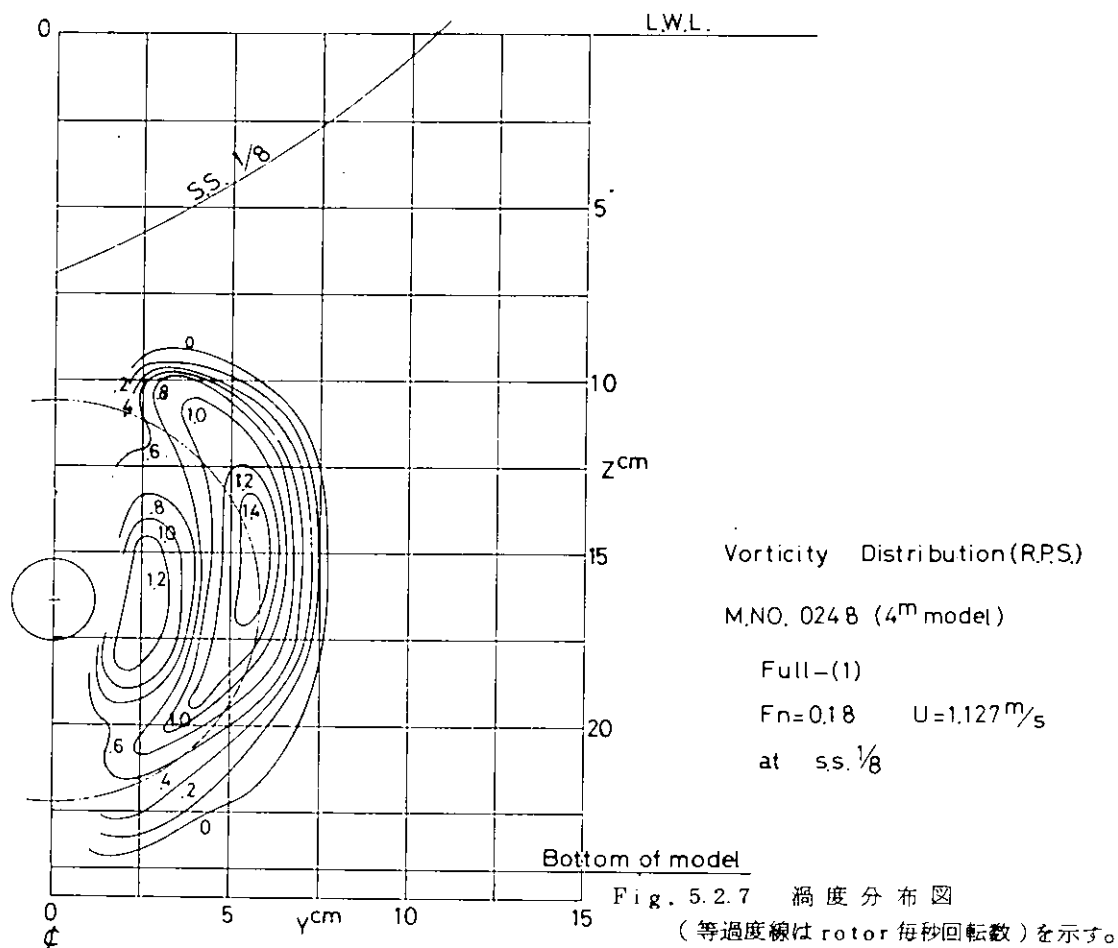


Fig. 5.2.6 渦度分布断面図



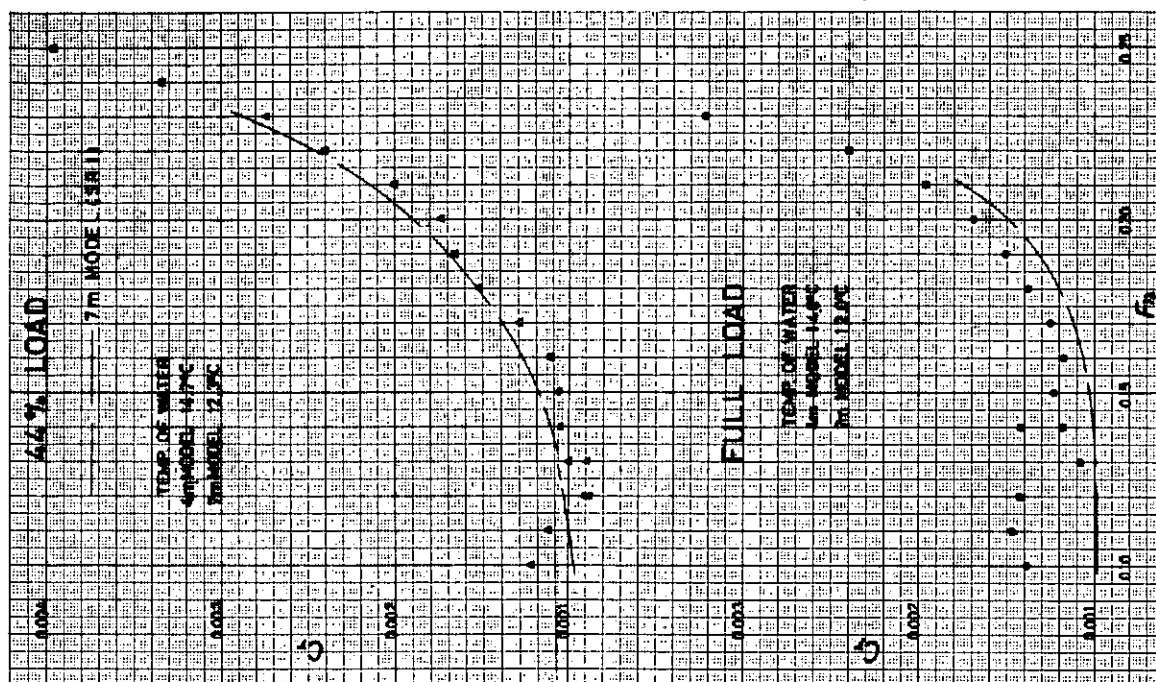


Fig. 5.3.1 50年度船型4m model 抵抗試験結果

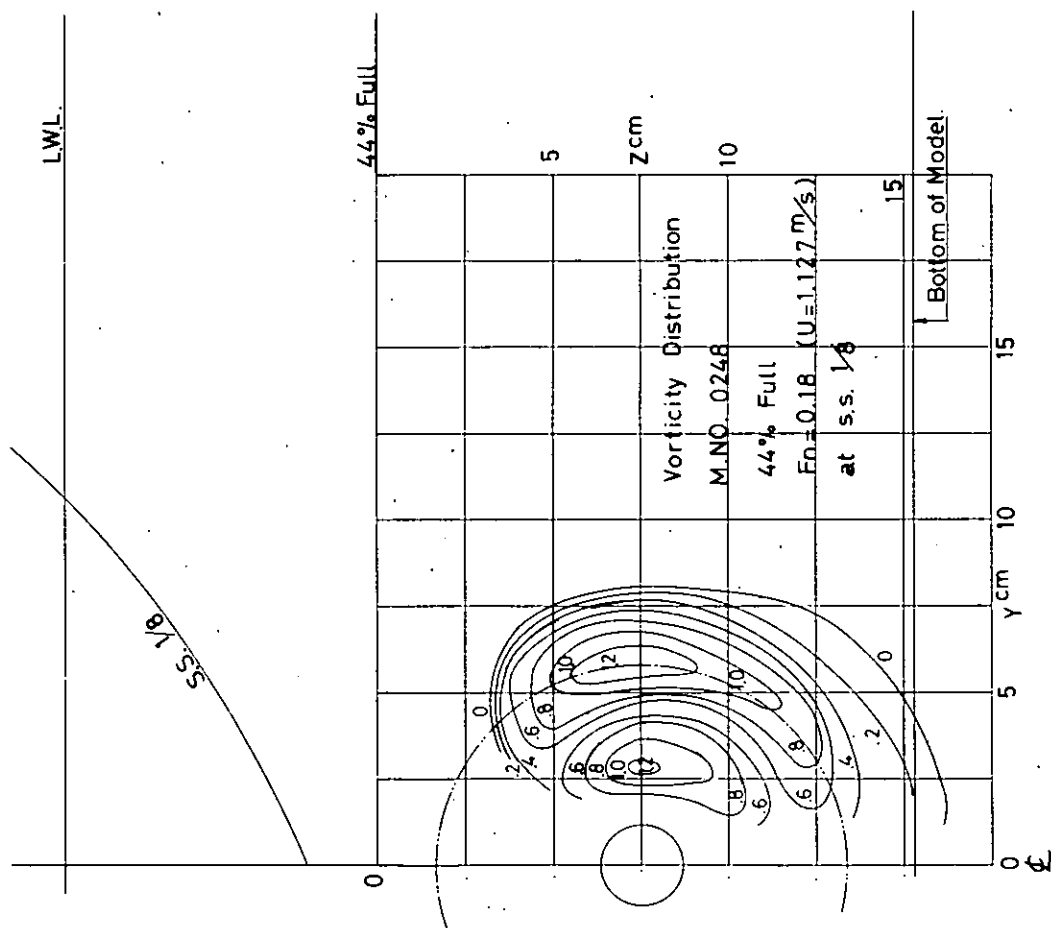


Fig. 5.2.3 渦度分布図

FULL LOAD COND.

44% LOAD COND.

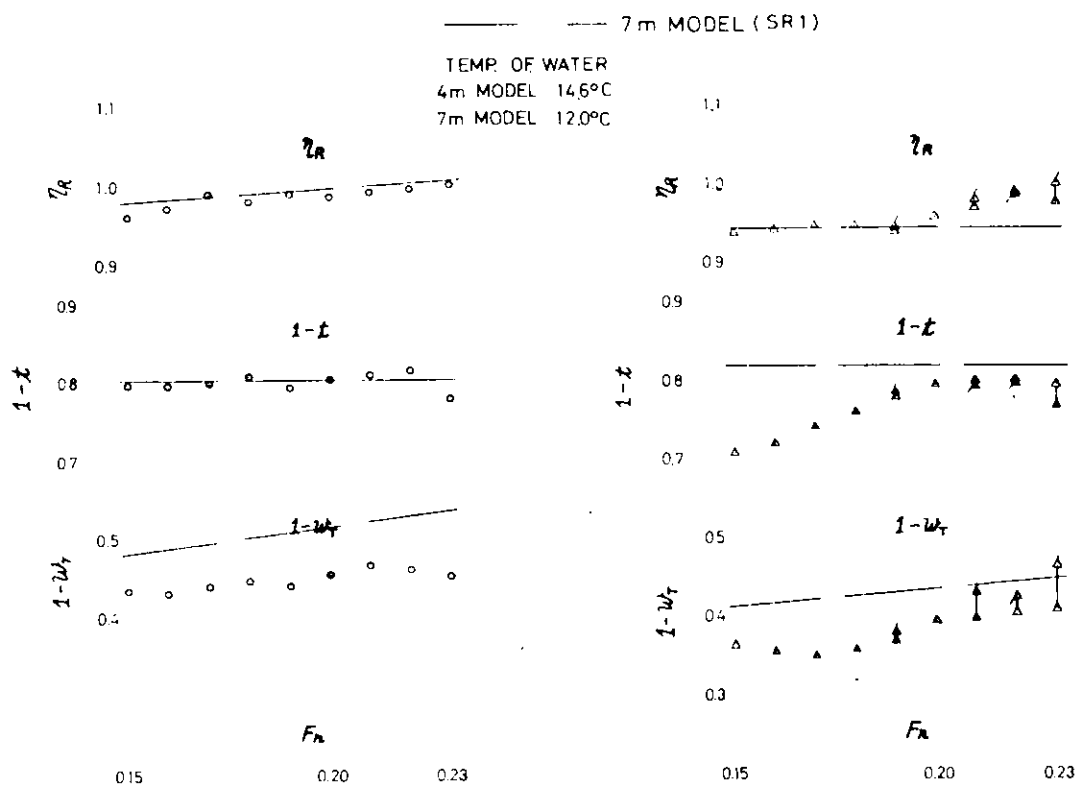


Fig. 5.3.2 50年度船型4m model 自航試験結果

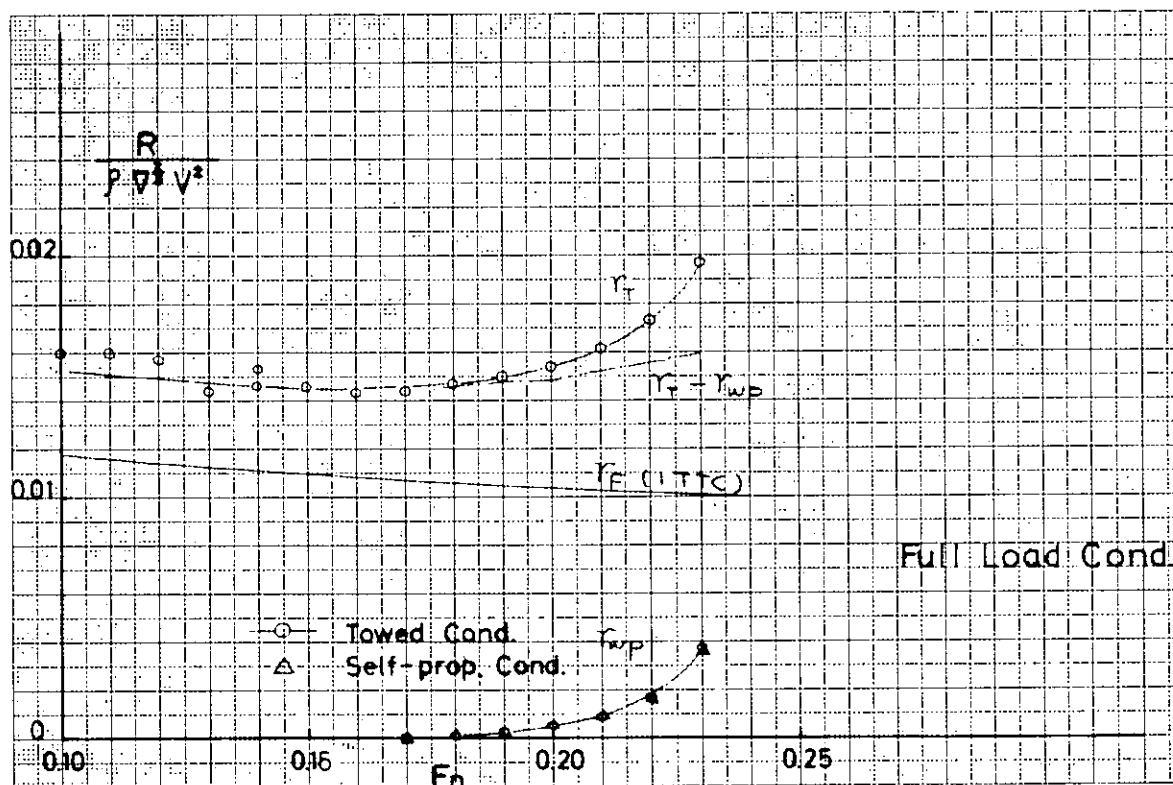


Fig. 5.3.3 抵抗成分分離計測結果 (Full)

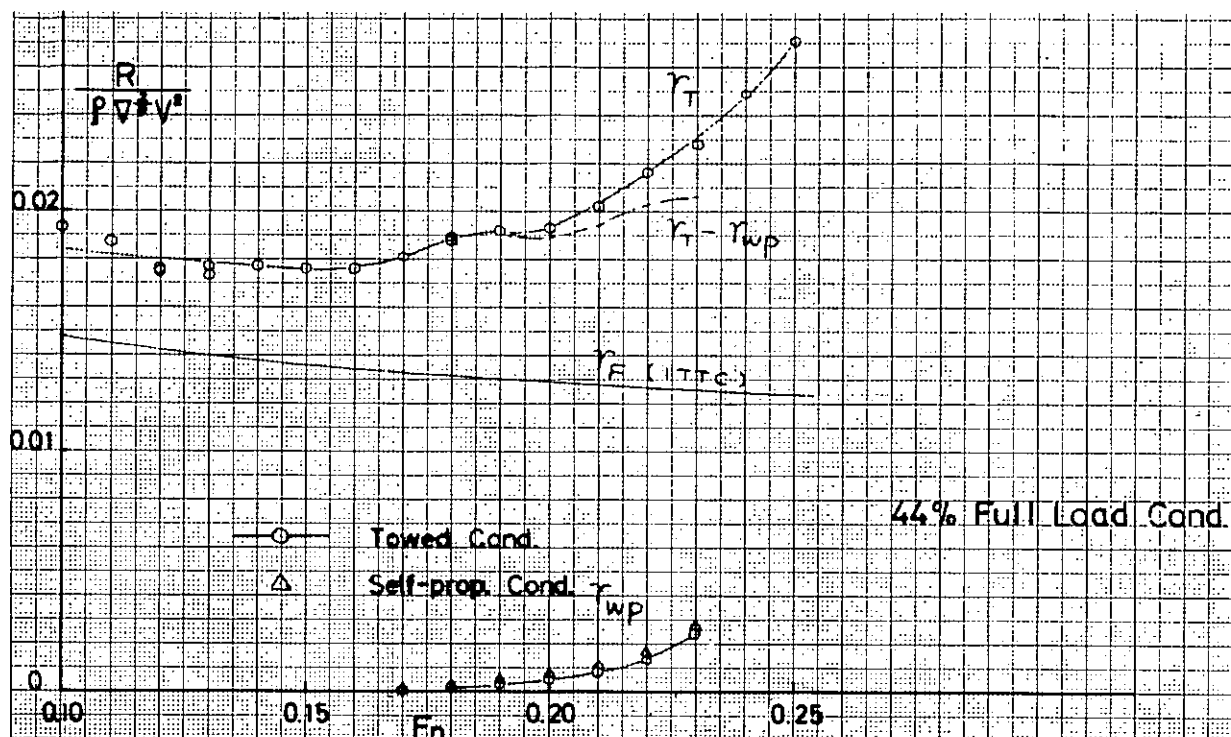


Fig. 5.3.4 抵抗成分分離計測結果 (44% Full)

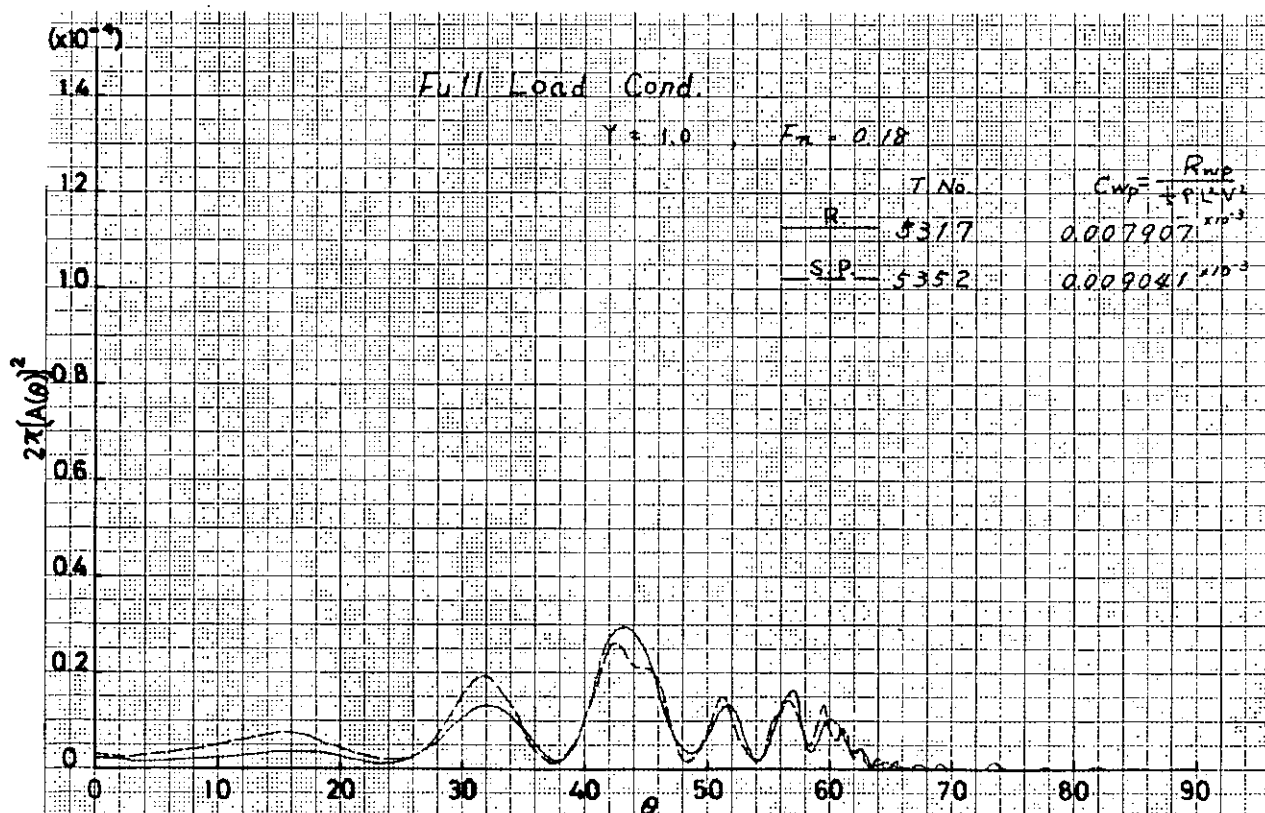


Fig. 5.3.5 振幅関数 (1)

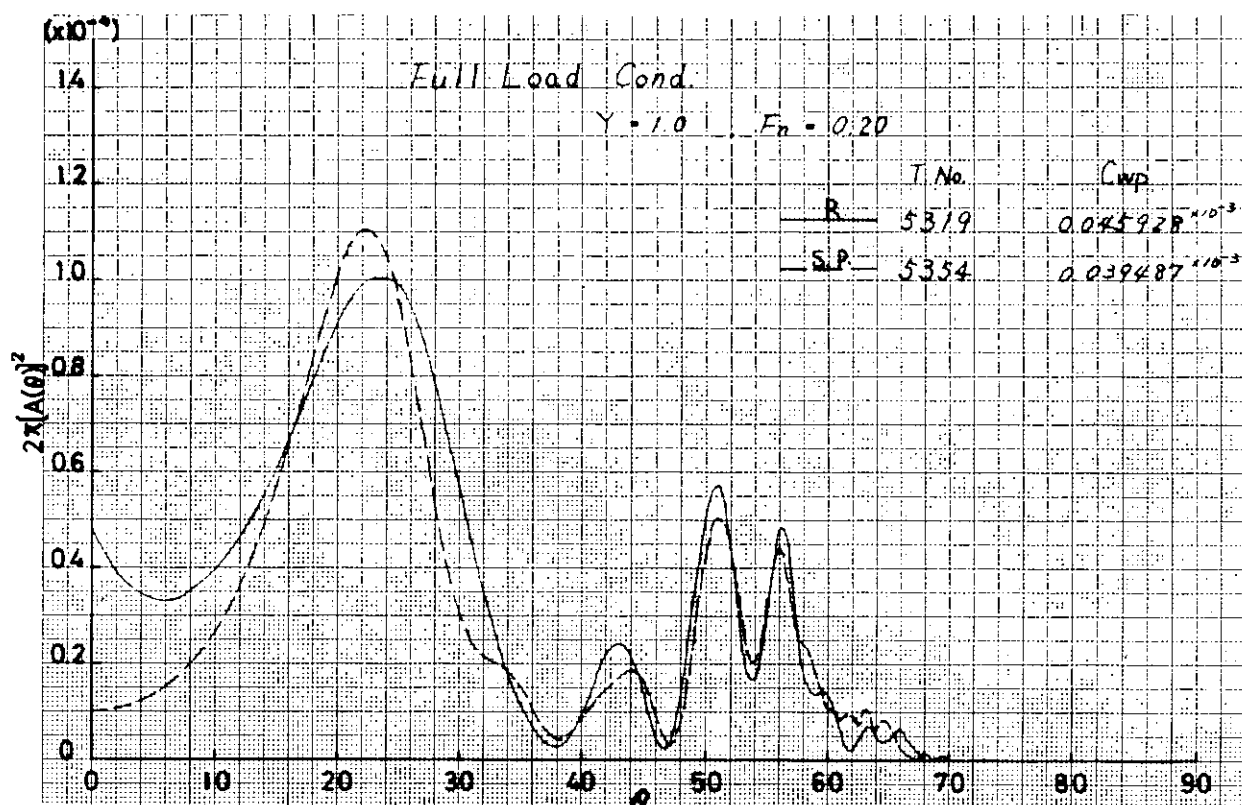


Fig. 5.3.6 振幅関数 (2)

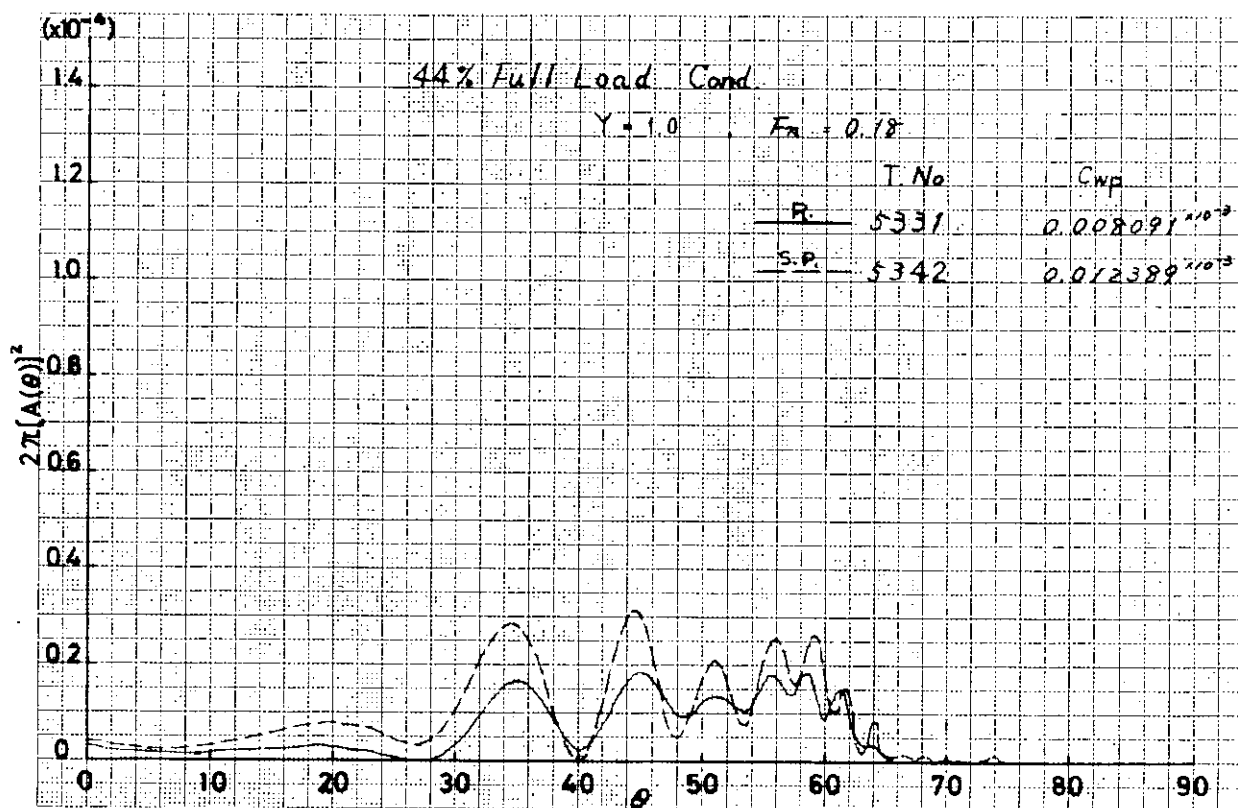


Fig. 5.3.7 振幅関数 (3)

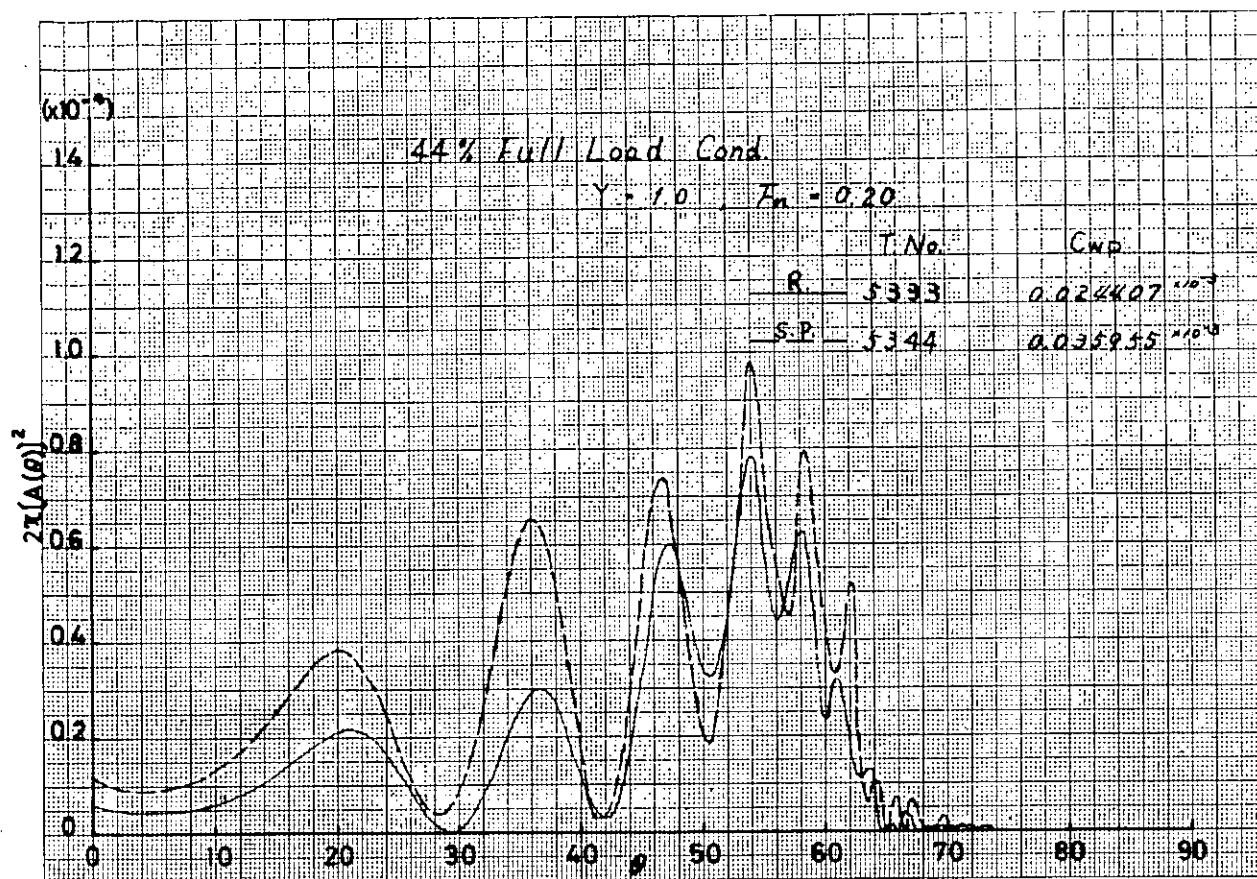


Fig. 5.3.8 振幅関数 (4)

§ 6 実験船・実船実験に関する調査

6.1 まえがき

実験船・実船実験に関して昨年度は主として最近我が国で実施された実験例につき調査を行ったので、本年度は近年国外で行なわれた例 — 余り一般には知られていない実験例を文献により比較的詳しく調査した。実験方法に関する調査では、実験船の船型変更方法、実験船の抵抗試験や自航試験時に S F C をかけるために用うる船外推進装置、船尾流場の不安定現象に関する実験、伴流計測の方法、実験船による大きいプロペラの実験、実験船による波形解析法などに関し、具体的な調査を行った。調査は主として抵抗・推進に関する実施可能なものを取り上げた。

なお、附録として抵抗・推進性能における不安定現象と、操縦性能における針路不安定、異常現象との関連について若干の調査と考察を行うとともに、本研究部会共通供試模型船の操縦性能などに関してコメントを記し参考に供した。

6.2 外国における実験船、実船実験例の調査

6.2.1 概 括

航海中の船舶もしくは実験専用改装された船舶を用いた抵抗推進諸特性の調査は、諸外国でもいくつかその例を見ることができる。昨年度の我国における専用実験船、長大模型船の調査に引き続き、本年は諸外国における実験例をまとめた。要約は実験内容、使用機器類に主眼をおいて行ったが、これは将来実験船計画の具体化が実現する際、計画の細部にわたる資料となるよう意図したためである。対象とした船は入手できた実験報告のうち、比較的实验の詳細のわかるものに限定した。なお Lucy Ashton Meteor はひろく知られていると思われるので割愛した。

Table 6.2.1 に対象実験船の主要目、実験内容の概略を示す。このうち、Wrangel は Sweden 海軍の廃艦を実験用に改装したものである。Cairndhu Oremina の場合は航海途上で計測が行われた。4 は最近の実験例で使用された Penelope は英国の現役フリゲート艦である。参考として潜水艦の境界層計測の例を示す。

Table 6.2.1 実験船、実船試験の例

	1	2	3	4	5
船 名	Wrangel	Cairndhu	Oremina	Penelope	U.S Submarine
Lpp	69.55	127.71	145.08	109.73	60.96
B	6.58	18.35	17.37	12.50	—
D	—	11.28	—	—	—
T	1.86 m	5.74 ~ 7.87	7.77	4.04 ~ 4.08	—
Cb	0.471	—	—	0.483	—
Cp	0.619	—	—	—	—
C _M	0.761	—	—	—	—
排 水 量	401 m ³	10,622~13,375t	—	2744 ~ 2758t	—
浸 水 面 積	457 m ²	—	—	—	—
実 験 速 力	5 ~ 15Kt	13 Kt	11 Kt	12Kt ~ 23 Kt	8Kt ~ 20Kt
主 機 型 式	*	蒸気タービン	—	—	—
馬 力	*	4650 HP	—	—	—
回 転 数	*	—	—	—	—
プロペラ (径×翼数)	*	5.715×4	—	3.65×5×2	—
実験項目	抵 抗	○	*	○	*
	自 航 要 素	*	○	○	*
	伴 流	○	*	○	*
	境 界 層	○	○	*	○
	船 体 運 動	*	○	○	*
速 度 計	SAL log	pitometer	log	EM log	EM log
実 験 海 域	北 海	太 西 洋 上	—	Arran Gibraltar	Main 湾内
参 考 文 献	1	2	3	4	5

注 — : この項目は不明である。

* : この項目に該当するものが無いことを意味する。

6.2.2 Wrangelの実験

(1) 目的および計測項目

実船の抵抗等を計測し、模型試験による推定値と比較検討することで推進性能に及ぼす尺度影響を明らかにする。計測項目は下記のとおりである。

- ① 裸殻及び副部付の二状態での船体抵抗
- ② local skin friction
- ③ プロペラ位置における伴流分布
- ④ 境界層内の流速分布
- ⑤ 船側波形

計測位置の配置を Fig.6.2.1 に示す。

(2) 曳航法

駆逐艦(1150 ton、36000HP、最大39Kt)により曳航。曳航索は直径6" のナイロンロープを用いた。長さは実験により400 m、600 m、800 mの三種類が選ばれている。曳航索の取付けは Fig. 6.2.2 に示す。

(3) 風、波浪、潮流の測定

実験コース中間点近くに碇泊したボート上で計測。
風向、風速については曳船上でも計測されている。

(4) 船速

被曳船搭載の“SAL” logと所定距離の航走所要時間から求めたものを併用。実験時の船速(対水速度)は5 Kt、10 Kt、15 Kt の3種類である。

(5) 抵抗

Fig.6.2.2 に示すような抵抗線歪型検力計を用いて測定した。実験は裸殻状態と Bracket、Bossing 等のついた状態の二ケースで行われた。計測結果を Fig.6.2.5 に示す。又この時の模型実験結果との対応状況を Fig.6.2.6 に示す。

(6) Local Skin Friction

平板に働く摩擦力を Strain gaugeを用いて取り出す方式である。概念図を Fig.6.2.4 に示す。計測位置は船首より $\frac{1}{4}L$ 、 $\frac{1}{2}L$ 、 $\frac{3}{4}L$ 後方の船底部両舷対称位置の6ヶ所である。計測結果を Fig.6.2.8 に示す。

(7) 伴流分布

Fig.6.2.4 に示す回転翼車型流速計により計測した。左舷側のプロペラ軸に取り付け、腕を回転させてプロペラ面内流速分布を測定した。計測結果を模型の場合と併せて Fig.6.2.8 に示す。両者の間に大きな差は認められないようである。

(8) 境界層内流速分布

船首より $\frac{1}{2}L$ 、 $\frac{3}{4}L$ 後方の船底からピトー管を突出し、船体からの長さを変えることで各点の流速を測定した。計測結果を Fig.6.2.9 に示す。

(9) 船側波形

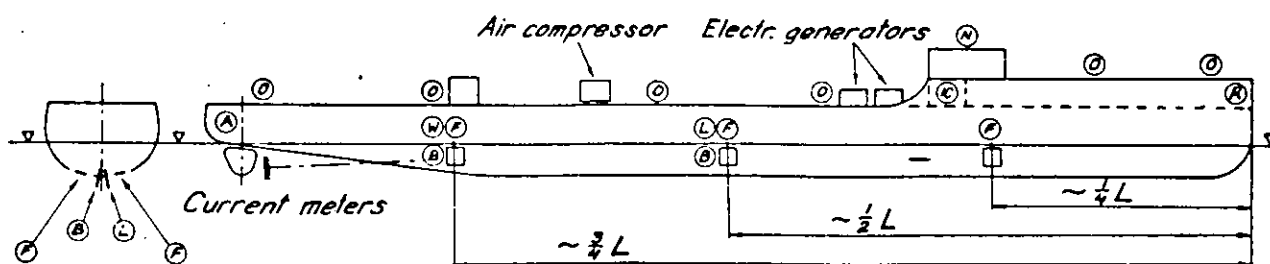
船側に張り出した台上より目視で観測した。結果を Fig.6.2.10 に示す。

(10) 船体表面の塗装、補修

実験を開始する前に入渠、サンダーにより研磨の後、2回塗装。副部除去のため入渠した際、再塗装。鋳は平鋳であったのでそのままにしておいた。

(11) 実験方法の検討

- ① 曳航による抵抗測定は、被曳船の保針が困難であり舵を必要以上に大きくとらなければならない。
- ② 水面上船体の風圧抵抗は無視できない量である。
- ③ 抵抗試験と、境界層測定あるいは伴流計測を同時に行うことは、後者に使用する機器の抵抗が全抵抗に混入するため好ましくない。



- | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Ⓚ - Resistance dynamometer | Ⓛ - Log |
| Ⓢ - Bridge, Navigation, Safety group | Ⓜ - Wake measurement |
| ⓁⓈ - Instrument compartment | ⓐ - Rudder angle transmitter |
| ⓕ - Friction plate | ⓐ - Wave profile observation position |
| ⓑ - Boundary layer measurements | |

Fig. 6.2.1 計測配置

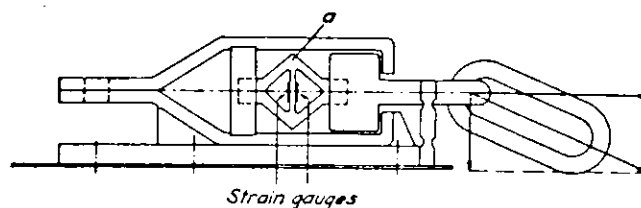


Fig. 6.2.2 抵抗検力計

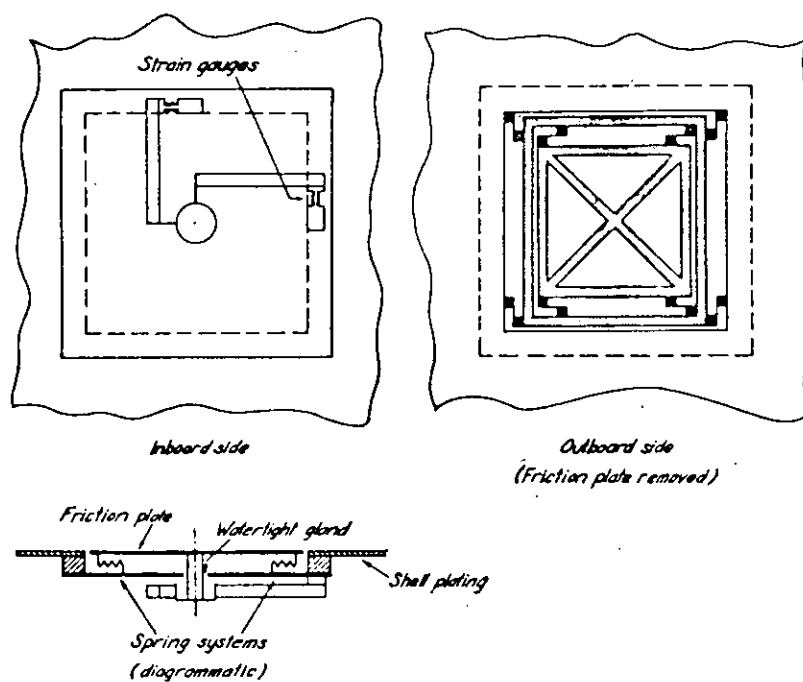


Fig. 6.2.3 局部摩擦測定平板

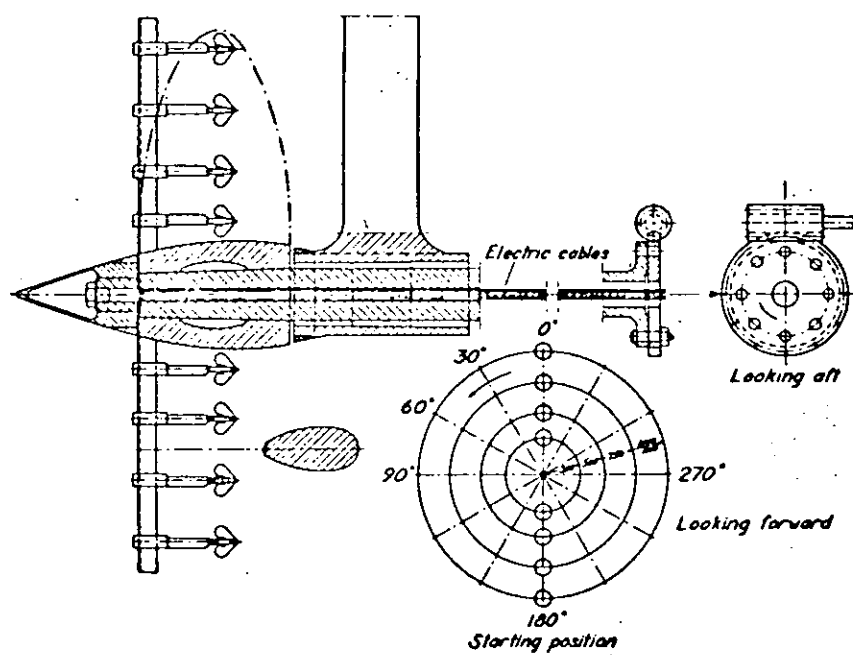


Fig. 6.2.4 伴流計測裝置

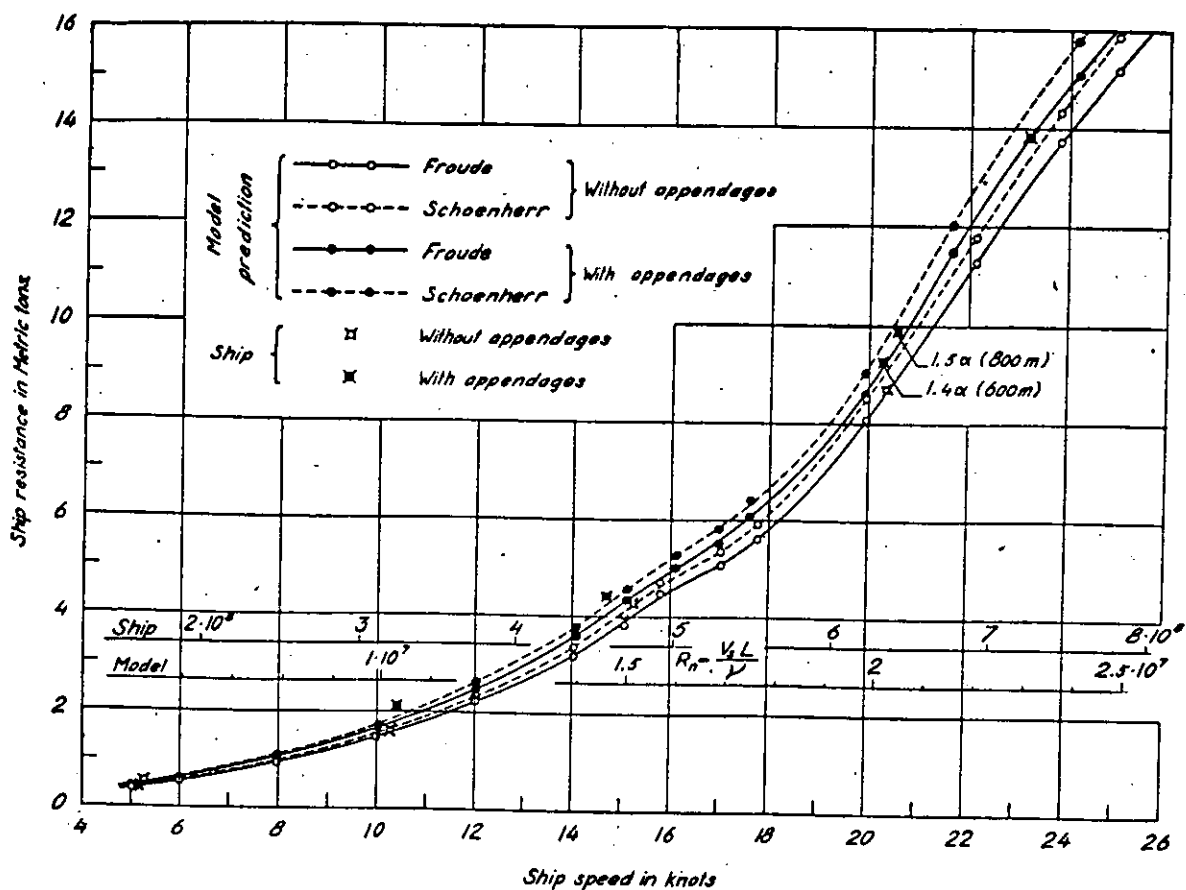


Fig. 6.2.5 全抵抗曲線

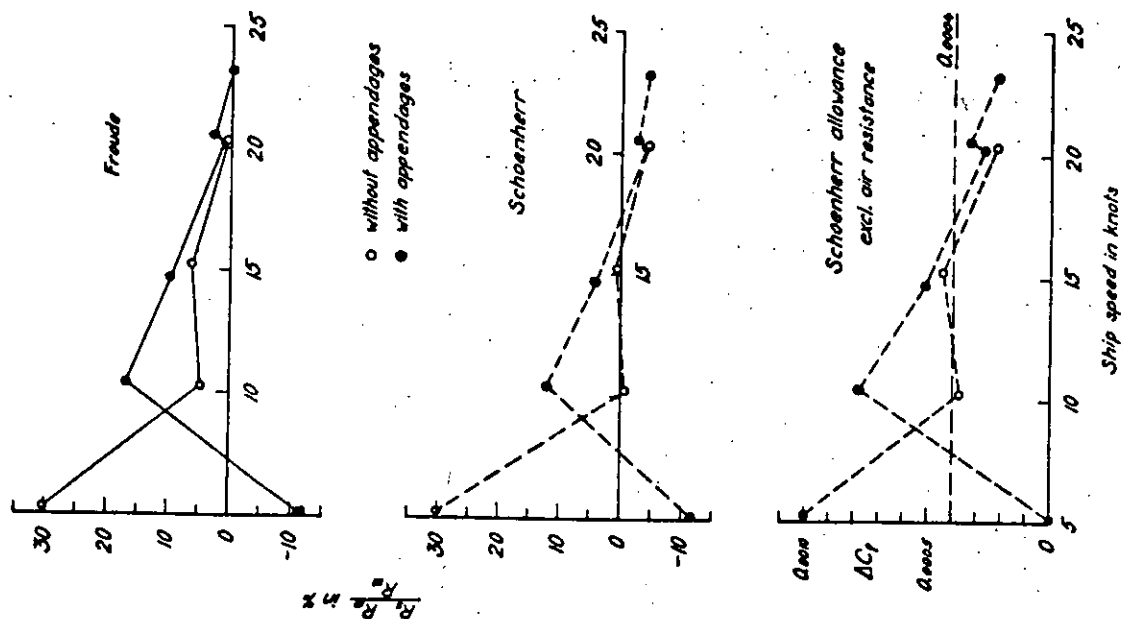


Fig. 6.2.6 Froude, Schoenherr の方法による推定値と実測値の差

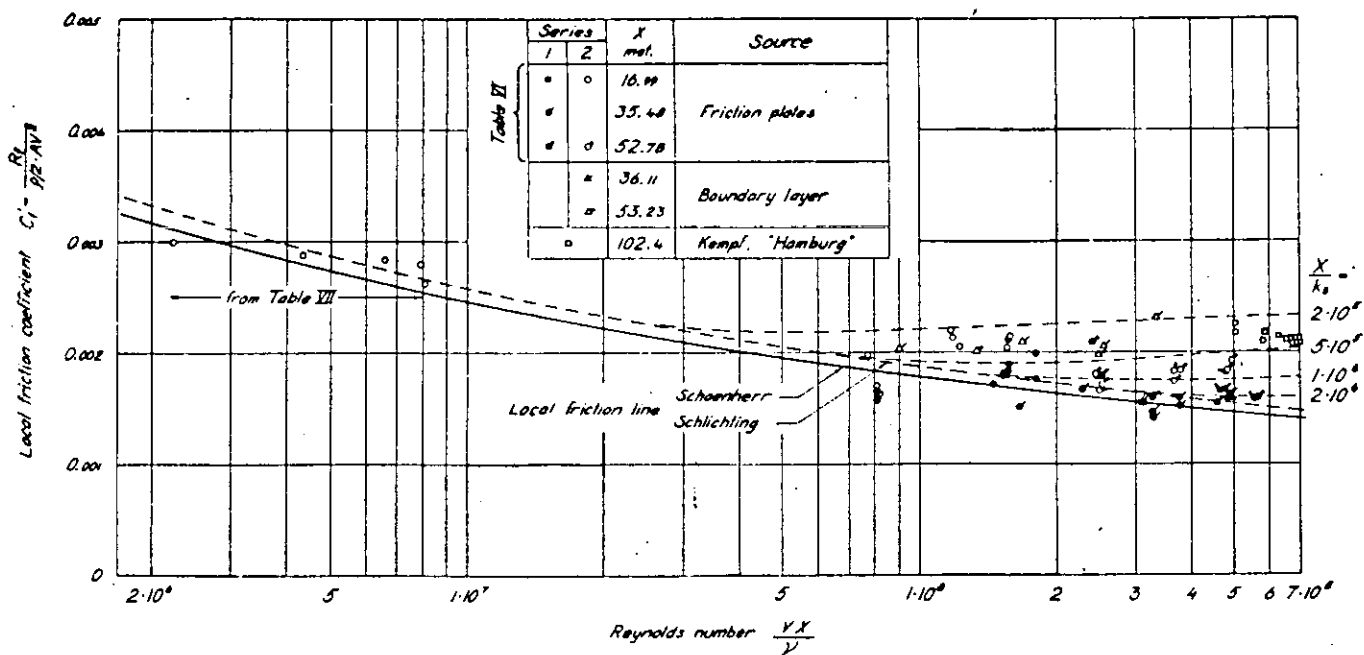
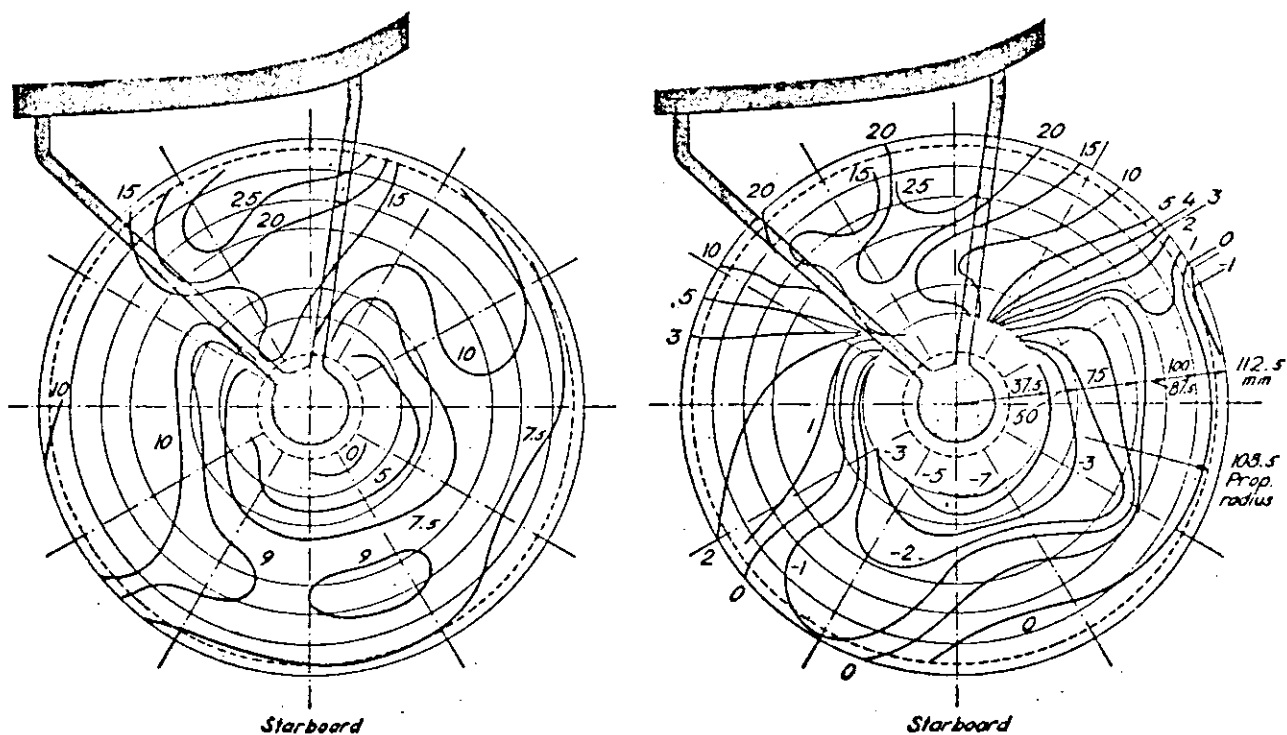


Fig. 6.2.7 局部摩擦力



実船 (船速 10 Kt)

模型船 (船速: 実船換等 10 Kt)

Fig. 6.2.8 伴流分布 (単位%)

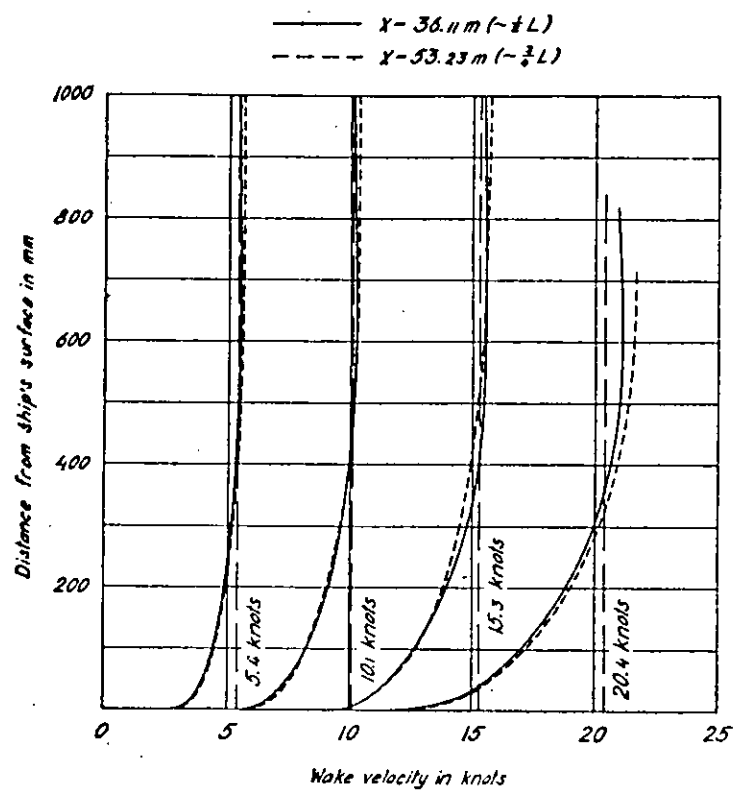


Fig. 6.2.9 境界層内流速分布

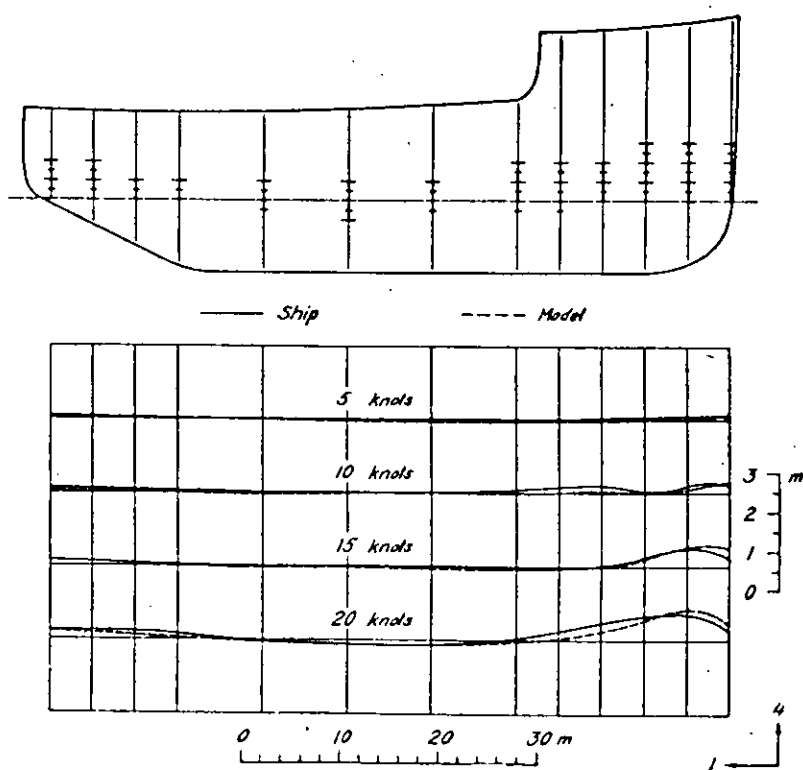


Fig. 6.2.10 船側波形

6.2.3 Cairndhuの実験

(1) 目的および計測項目

貨物船の航海性能を総合的に調査することを目的とした実験である。計測項目はつぎのとおりである。

- ① 推力、トルク
- ② 境界層内流速分布
- ③ 船体運動 (roll pitch)

Fig.6.2.11 に計測点の配置を示す。

(2) 風、波浪の測定

風向、風速についてはコンパスデッキ上にマストを特設し、その上で計測。波浪については目視による。Stereo cameraを試みたが不成功。

(3) 船速

船底より "Pitometer" を $51\frac{13}{16}$ インチ外方に突出して測定した。境界層計測に使用するものと同じ "Pitometer"。測定誤差は平水中で 1 %、外洋で 4 %程である。

(4) 推力、トルクの測定

推力は Mitchell 型の thrust meter を使用した。誤差は 2 %前後である。トルクは Siemens Ford の Torsion Meter で計測した。この誤差も 2 %程度である。プロペラ回転数は Tachometer により検出した。計測結果を風、波と対応させて Fig.6.2.12 及び 13 に示す。

(5) 境界層内流速分布の測定

船速測定用の Pitometer を使用し、突出す長さを調節して流速分布を測定した。この計測は平穏な海象でのみ実施した。計測された各点の速度は 1 %以内の変動幅に収まっていた。計測結果を Fig.6.2.14 に示す。

(6) 船体運動

ジャイロにより roll、pitch を、又方位、舵角も同時に記録した。

(7) 船体表面

出航前に入渠時に塗装。BSRA の roughness gauge を用いて粗さの計測を行った。計測結果の言及はない。

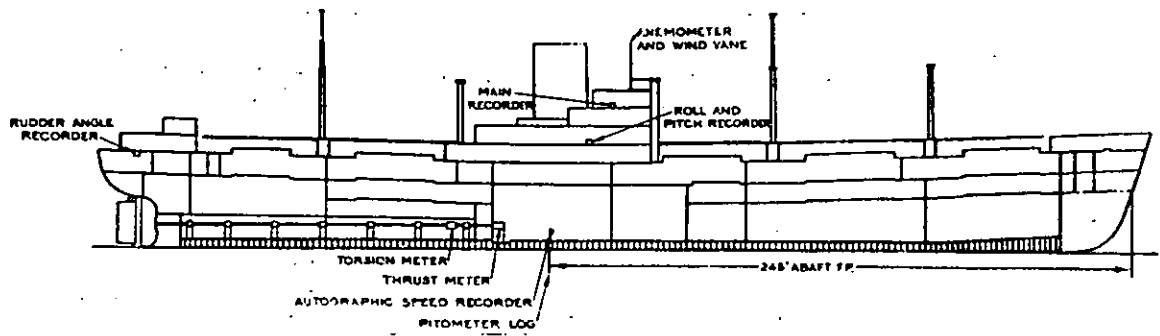


Fig. 6.2.11 計測点配置

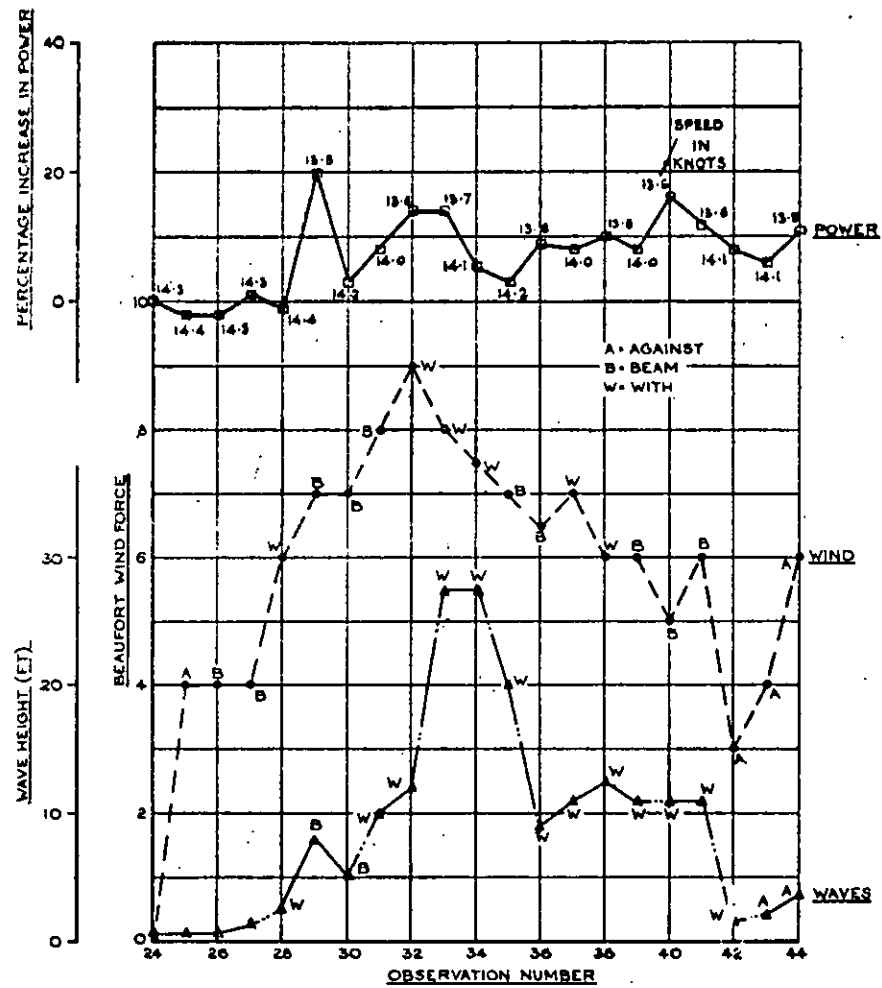


Fig. 6.2.12 海象と馬力増加量の関係 (1)

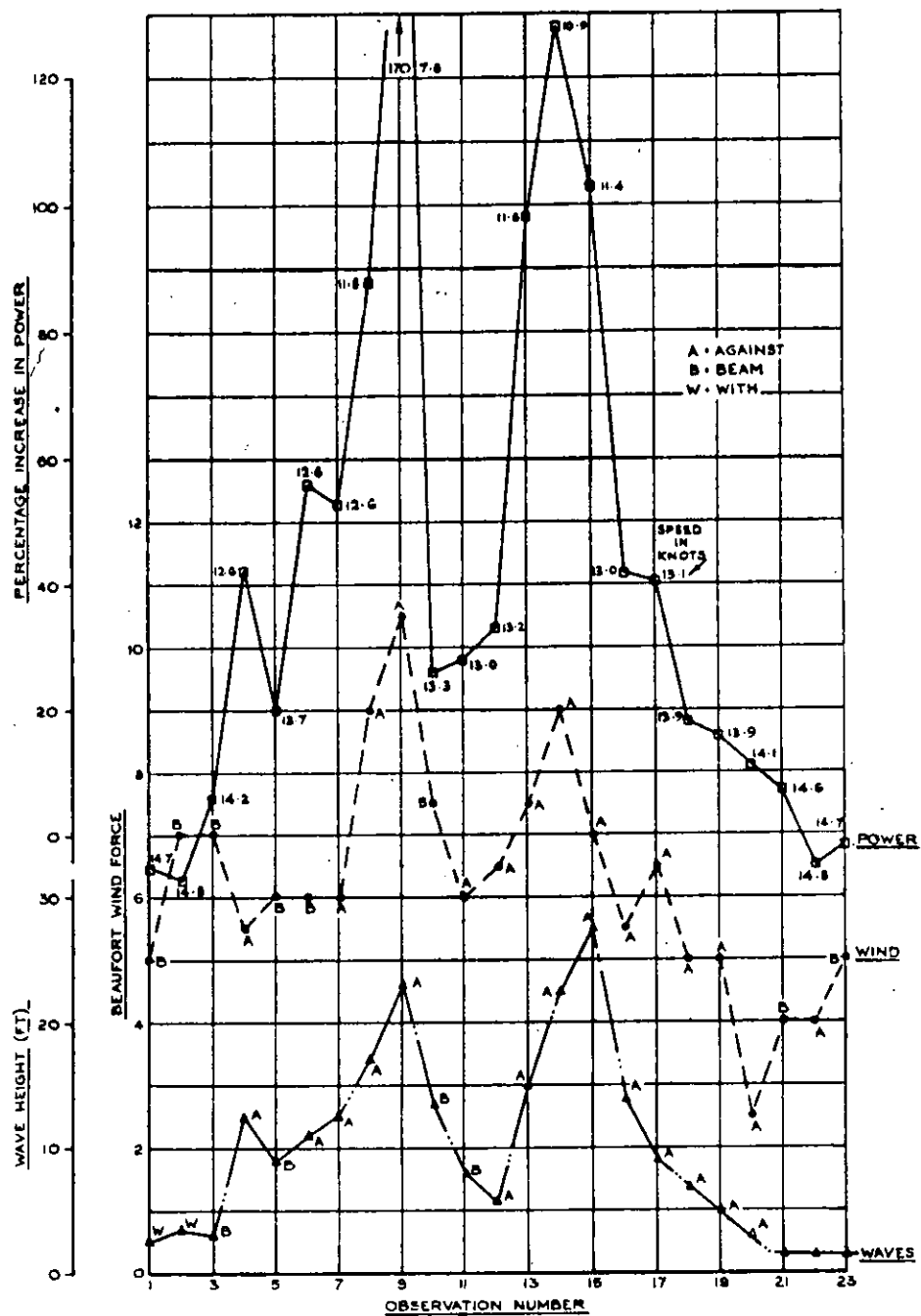


Fig. 6.2.13 海象と馬力増加量の関係 (2)

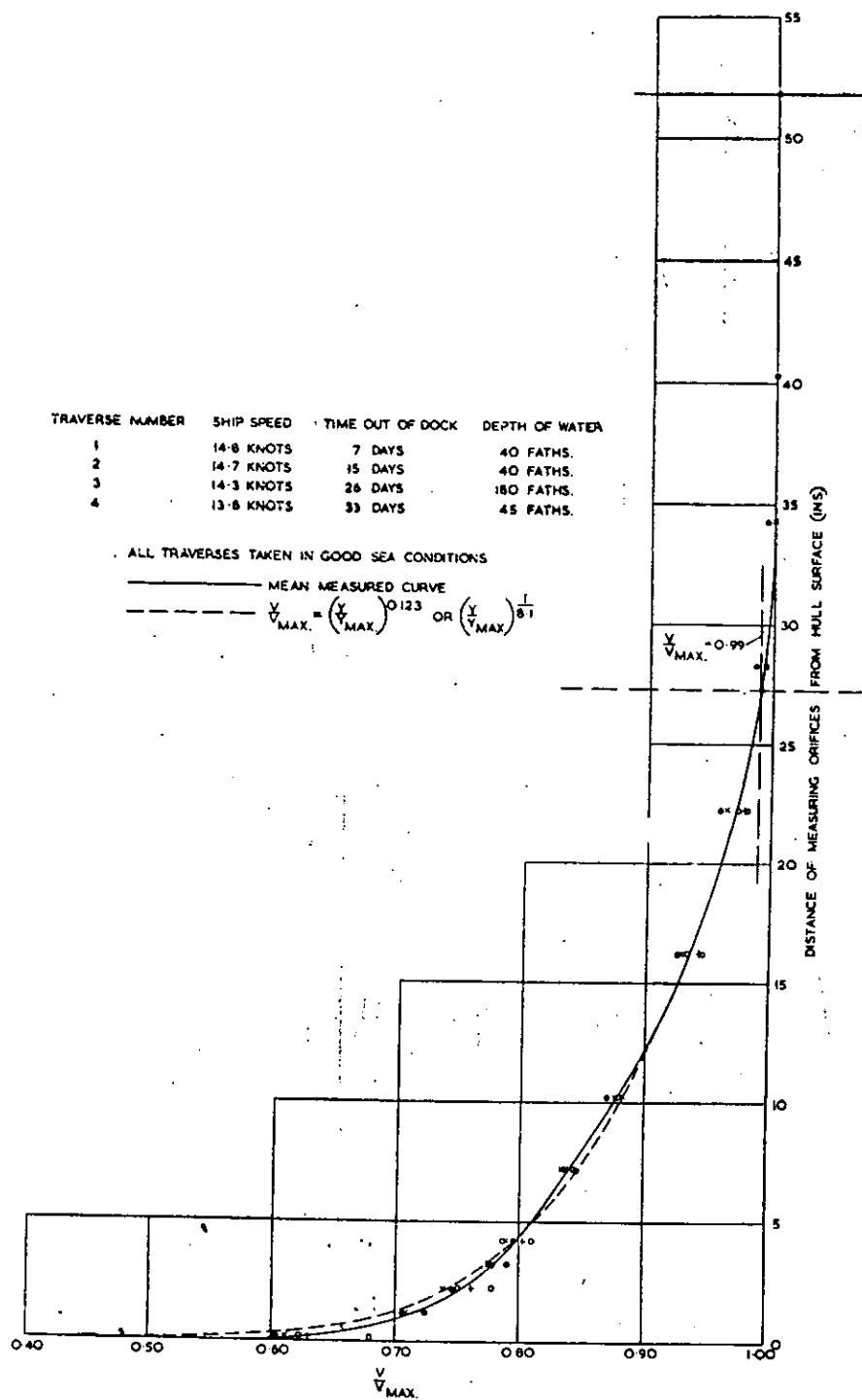


Fig. 6.2.14 境界層内流速分布

6.2.4 Oreminaの実験

(1) 目的および計測項目

Skin friction の模型、実船間での相関を明らかにするため、境界層内の流速分布を測定した。
Oreminaは鉱石運搬船でNarvikからPort Talbort に至る航海中に計測を行った。

(2) 船速

船速は実験前、後で1マイルの所要時間を求めて、算出した。

(3) 境界層計測

計測位置は船首から113 ft 後方 (SS $7\frac{1}{2}$ 附近) の断面内6点である。測定位置を下表と Fig.6.2.15 に示す。

位 置	1	2	3	4	5	6
船 体 中 心 からの距離	1' 0"	11' 0"	17' 10 $\frac{1}{2}$ "	31' 9"	37' 9 $\frac{1}{2}$ "	43' - 8 $\frac{1}{2}$ "
距離 全 Girth	0.02	0.217	0.352	0.626	0.746	0.862

計測位置には長短2本のPitot rakeを装着した。rakeは9本のピトー管からなっており、長いrakeは全長20 in、短いrakeは1.8 inの長さを持つ。又短いものは、船体からの突出長さを変えることで、計18点の値を読むようになっている。

計測結果を Fig.6.2.16、17に示す。

(4) 船体表面への配慮

表面全体はかなりの粗面であった。境界層測定点の前方1^{ft} 迄は塗装し直した。

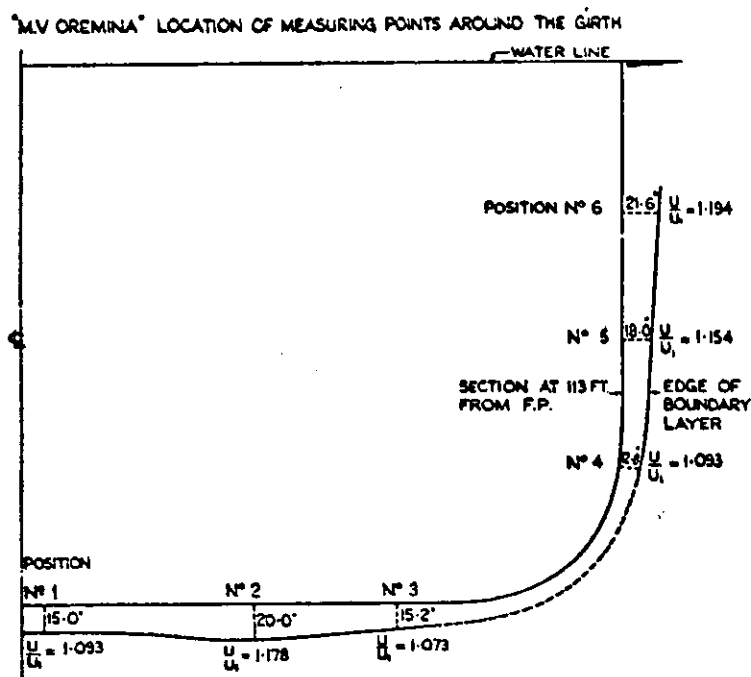


Fig. 6.2.15 境界層厚さのガース方向分布

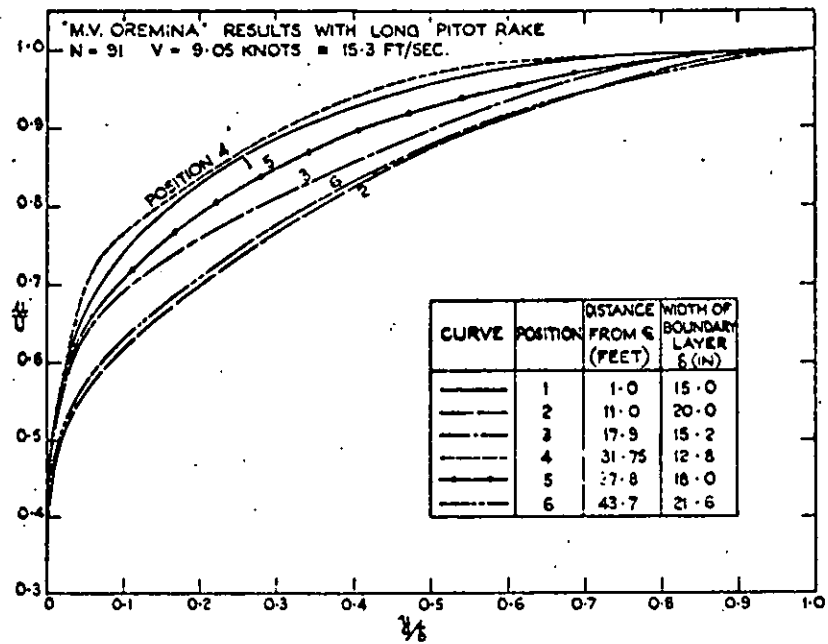


Fig. 6.2.16 ガース方向の流速分布 (1)

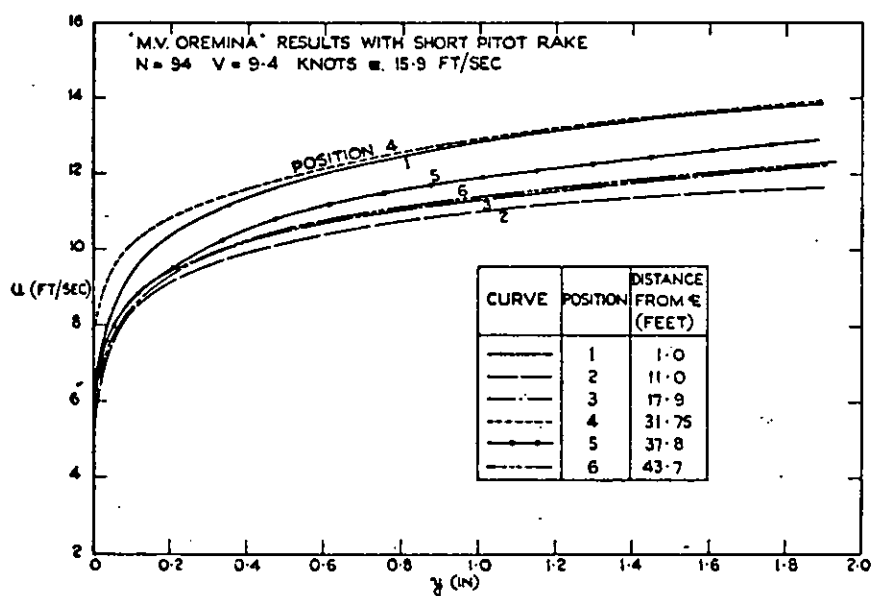


Fig. 6.2.17 ガース方向の流速分布 (2)

6.2.5 H.M.S. Penelopeの実験

(1) 目的および計測項目

実船の抵抗、伴流を計測し、模型試験から得られる推定値と比較対比を行い、尺度影響を調べる。計測項目は次のとおりである。

- ① 自航中の推力、トルク
- ② 被曳航状態での抵抗
- ③ 被曳航状態での伴流分布

(2) 曳航法

同型の駆逐艦（ $L = 109.73\text{ m}$ 、 2920 t ）によりナイロンロープを用いて曳航。ロープは円周 28 cm 長さ 1830 m である。両艦上での固定法を Fig.6.2.18 と 19 に示す。

(3) 風、波浪、潮流の測定

風向、風速は Penelope 前部マスト上で計測。波浪は、送信機付きの Waverider bouy により計測した。

(4) 船速

船に装備された電磁ログにより対水速度を求めた。較正結果では誤差は 0.1 kt であった。実験速度は 12 kt から 23 kt の範囲内である。

(5) 推力、トルク

船に装備されていた Michell 型 Thrustmeter および Ford 型 Torsionmeter によって計測された。この装置の誤差はいずれも 2% 以内である。

(6) 抵抗

Penelope 上に設置された statimeter および Tensionmeter により計測。計測結果を Fig.6.2.20 に示す。（曳航索と検力計の配置については Fig.6.2.18 を参照のこと）

(7) 伴流分布

右舷プロペラ軸から 2 本の腕を出し、各々に 4 本ずつ計 8 本のビトー管を取りつけた rake を用いた。8 本のうち 4 本は 5 孔管である。伴流分布の計測例を模型の分と併せて Fig.6.2.21 に示す。両者の間には大きな差はないようである。

(8) 船体表面

実験は 7 次わたって行われたが、その都度予めドック入りし、洗浄再塗装を行っている。船体表面粗さの測定は一番始めに行われた。使用機器は BSRA の roughness gauge で平均粗さ $0.31\text{ }\mu\text{m}$ という結果が得られた。その後、実験の中間時点で再度測定したが、ほとんど同程度の結果が得られた。

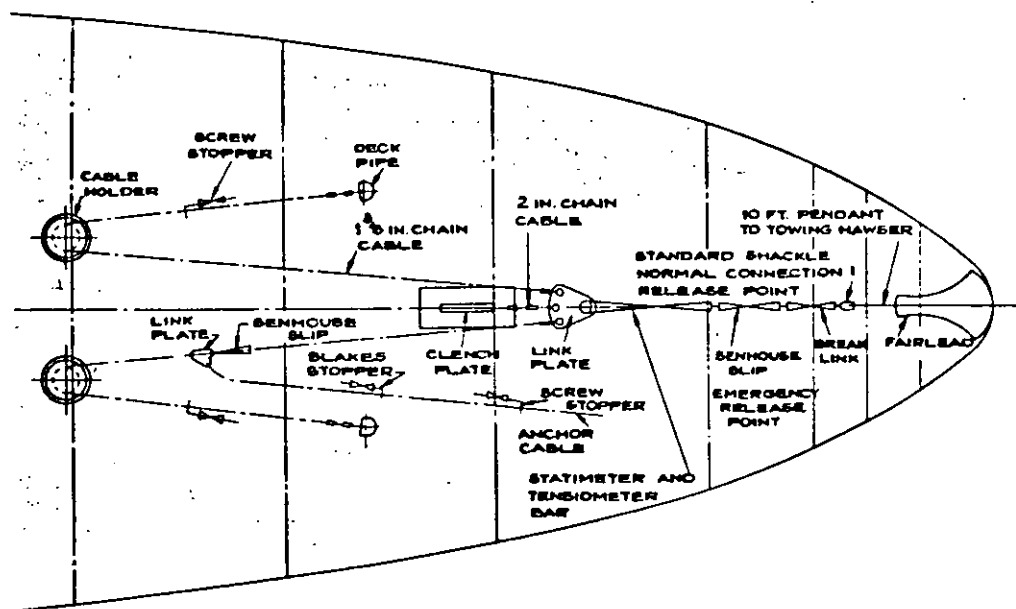


Fig. 6.2.18 曳航装置 (被曳船側)

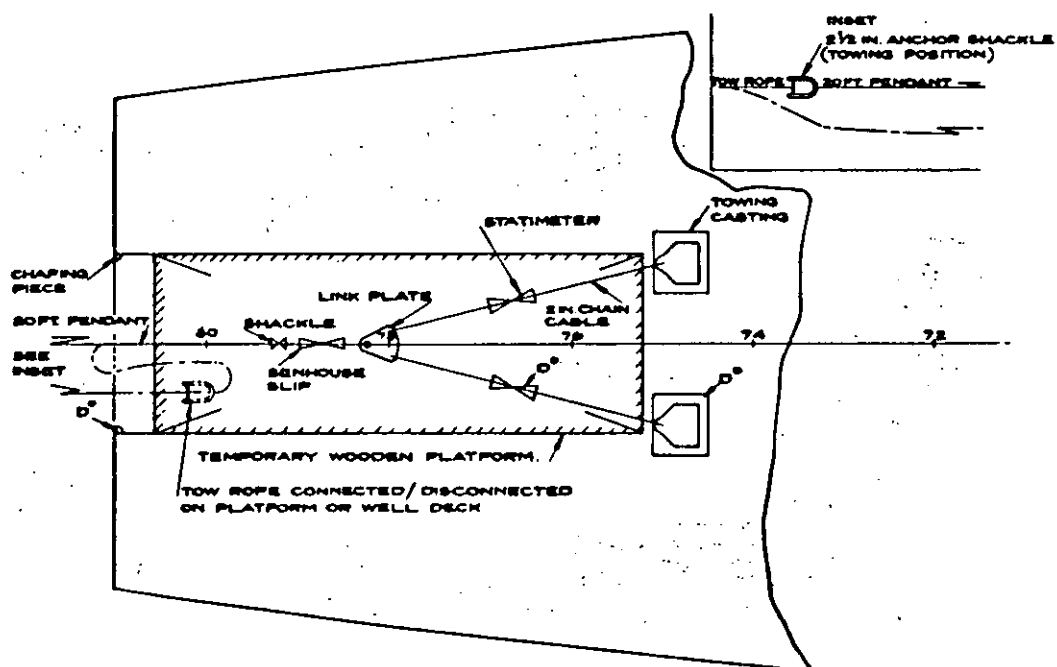
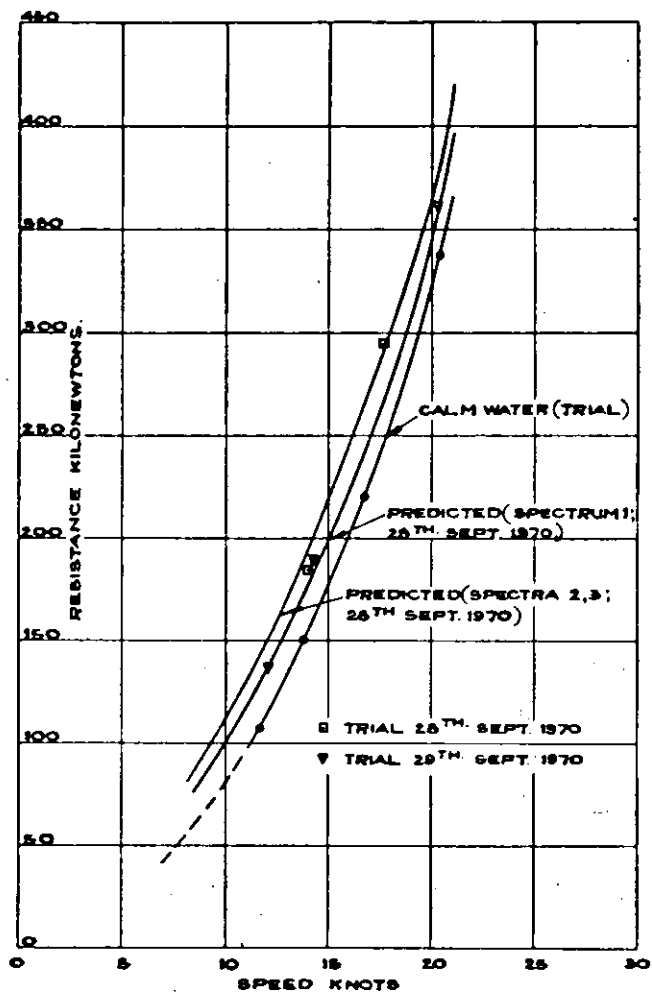
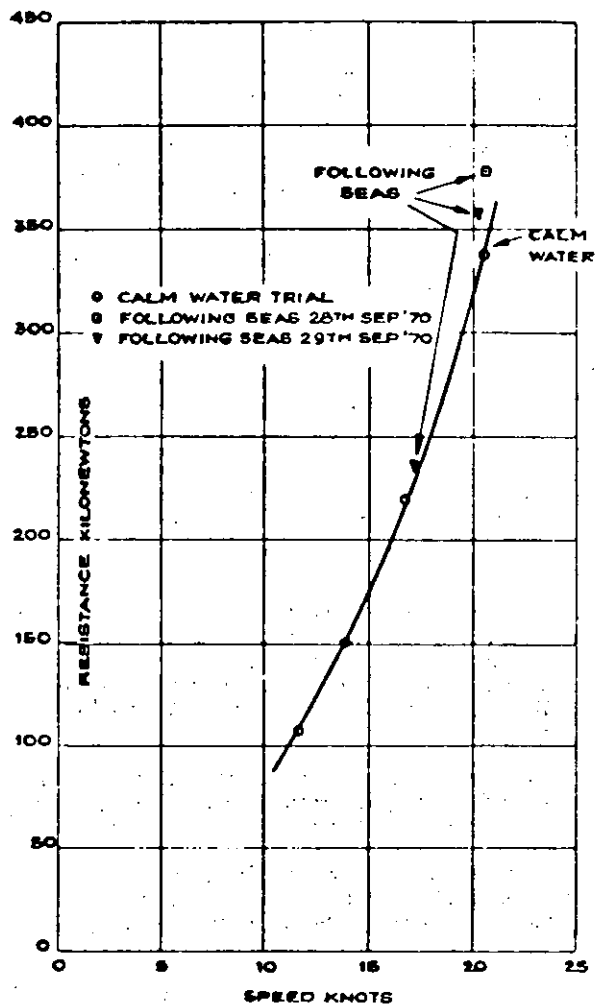


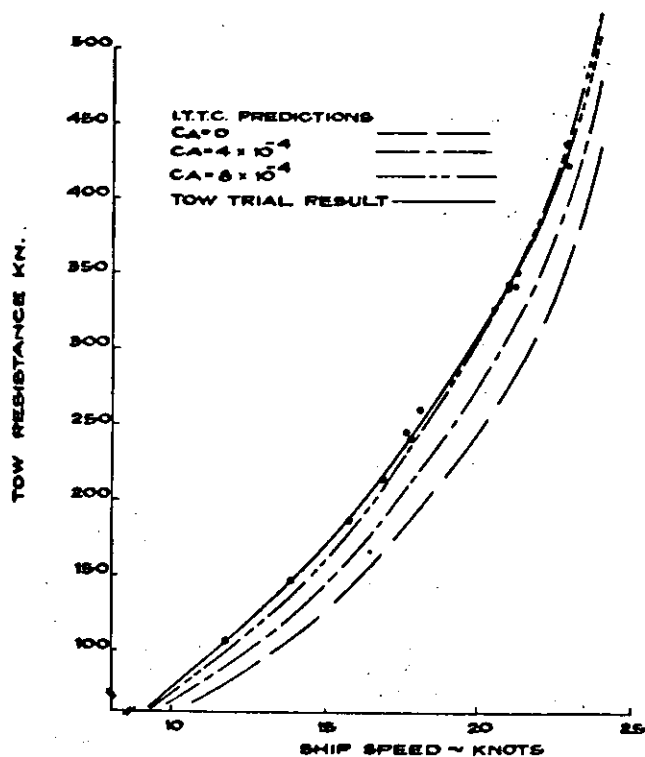
Fig. 6.2.19 曳航装置 (曳船側)



HMS PENELOPE. Predicted and Measured Tow Resistance in Head Seas



HMS PENELOPE. Predicted and Measured Tow Resistance in Following Seas



HMS PENELOPE. Predicted and Measured Tow Resistance

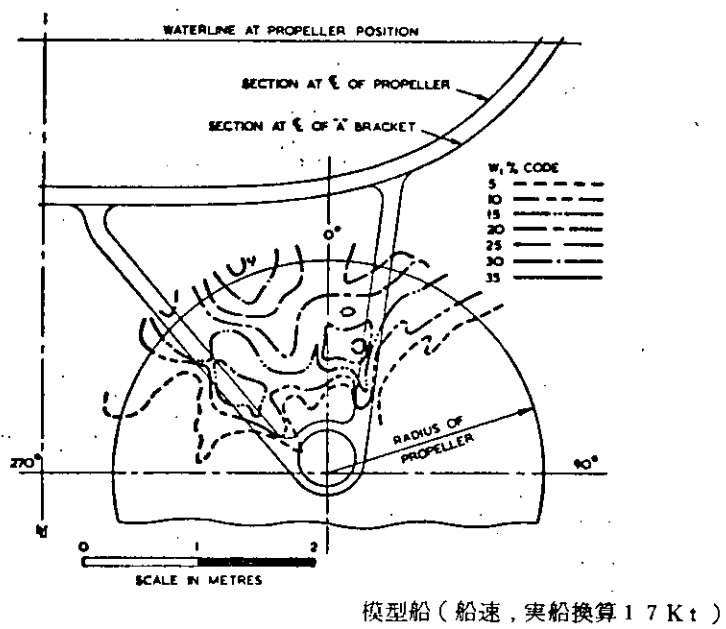
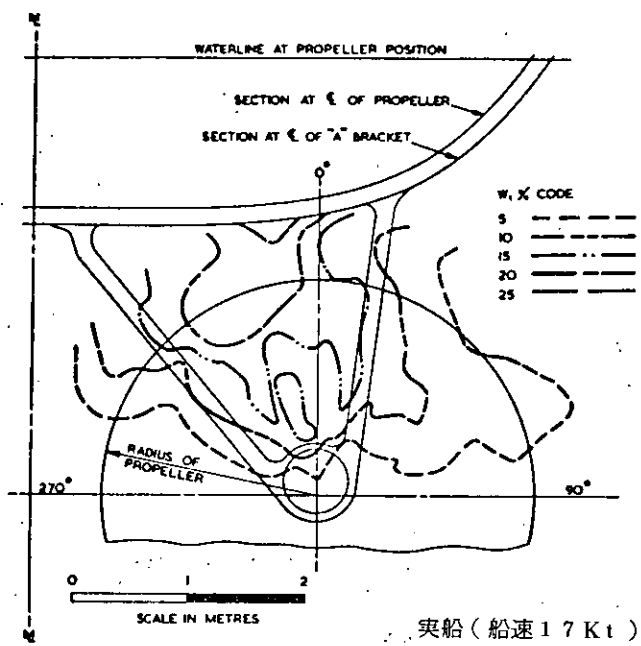


Fig. 6.2.21 伴流分布

6.2.6 U.S. Submarineの実験

(1) 目的および計測項目

潜水艦の境界層と壁面応力の測定を目的としている。

(2) 船速測定

電磁ログにより測定、ログは船首から 65 ft 後方に立てたストラットの先に装着して船体境界層の影響を避けた。船体表面からの距離は 20 inch である。

(3) 境界層、壁面応力の測定

測定位置を Fig. 6. 2. 22 に示す。うち D 点で境界層内流速を、それ以外では壁面応力の測定を行った。使用した Pitot rake を Fig. 6. 2. 23 に示す。この他に近傍の船体に静圧孔が設けられている。各 Pitot tube の長さは 10.9 inch である。⑩の tube は境界層外流速測定用の Pitot static tube になっており、外径 $\frac{3}{8}$ inch である。それ以外の 9 本の tube は総圧管で外径 $\frac{3}{16}$ inch である。

壁面応力は Preston tube、Stanton tube を用いたが、これらの船体への装着は、Fig. 6. 2. 24 に示すような取付け基盤によった。計測結果を Fig. 6. 2. 25、26、27 に示す。乱流境界層理論から得られる結果とよく一致していることがわかる。

(4) 船体表面の整備

実験の 2 週間前にドック入りし、船体の整備を行った。計測部近傍の船体は計測位置の前方幅 2 ft、長さ 6 ft にわたって塗装、研磨を行った。

A, B, C, AND E - PRESTON TUBE LOCATIONS
D - VELOCITY PROFILE RAKE LOCATION

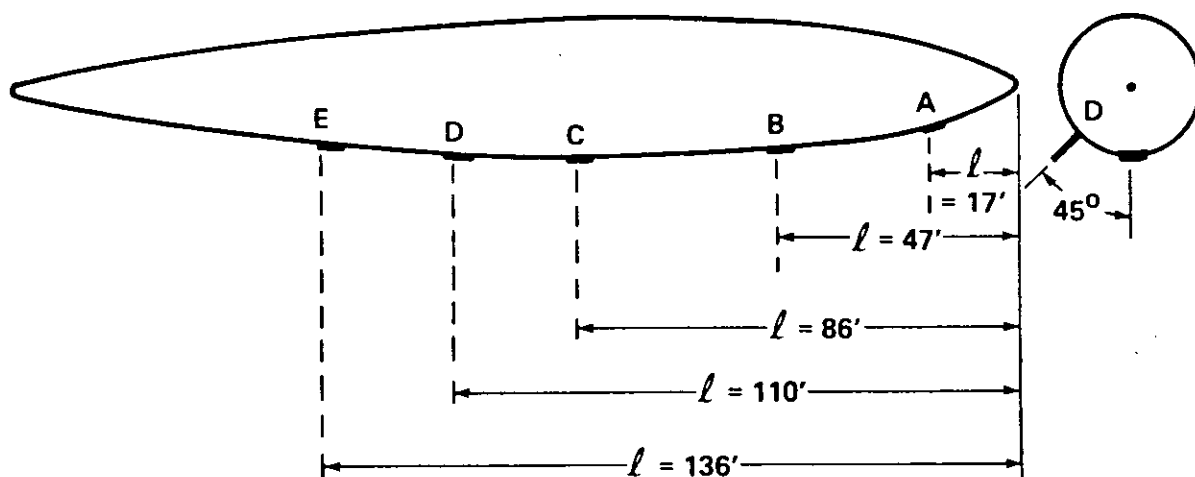


Fig. 6. 2. 22 船体形状，圧力計測位置

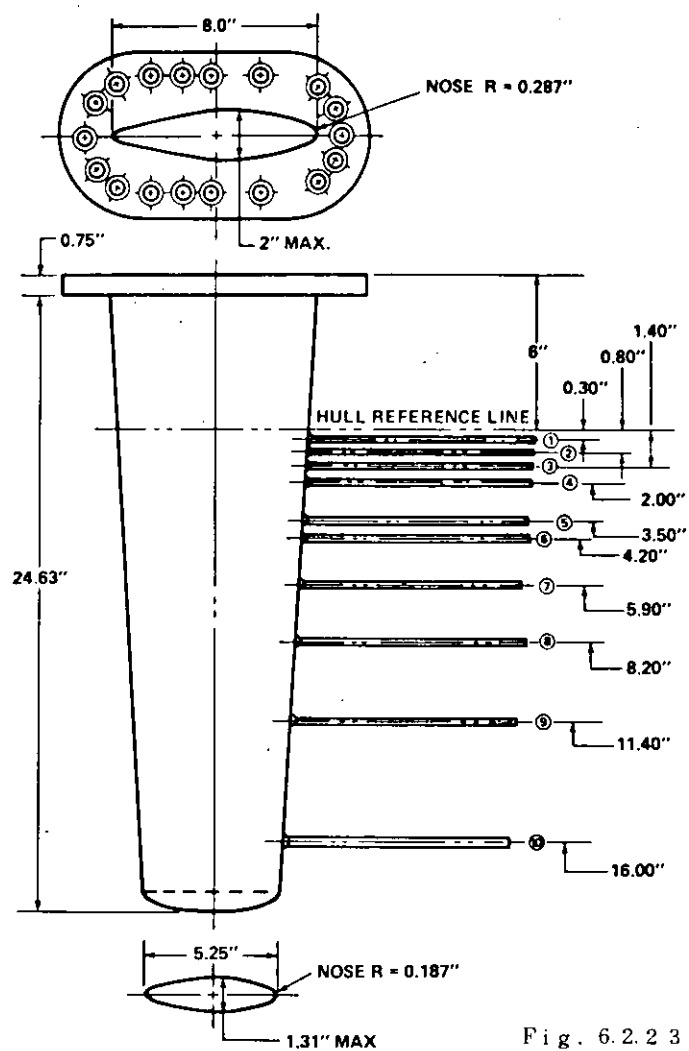


Fig. 6.2.2 3 Pitot Rake

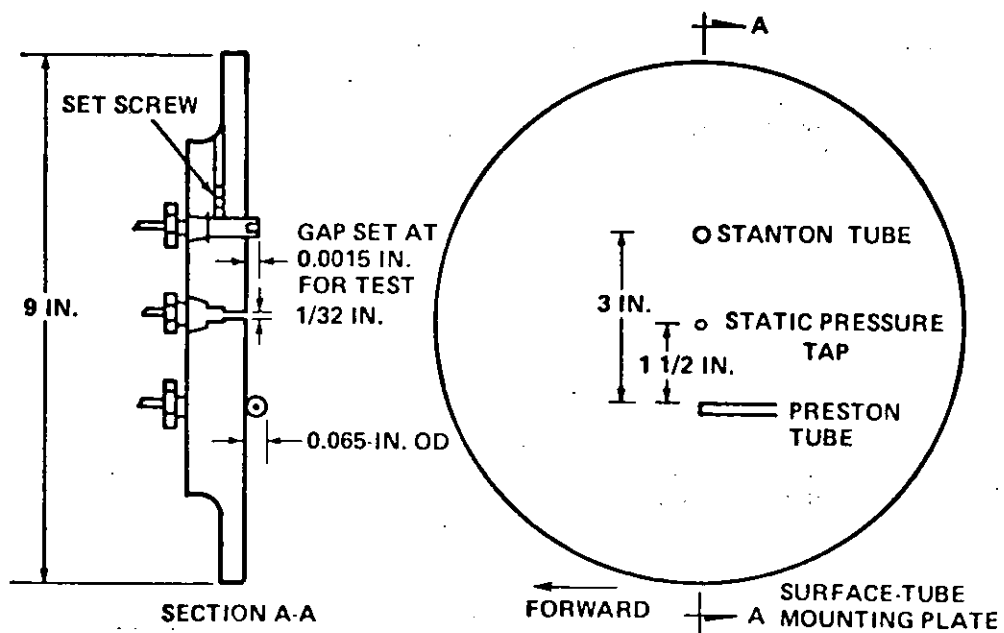


Fig. 6.2.2 4 壁面剪断力測定部

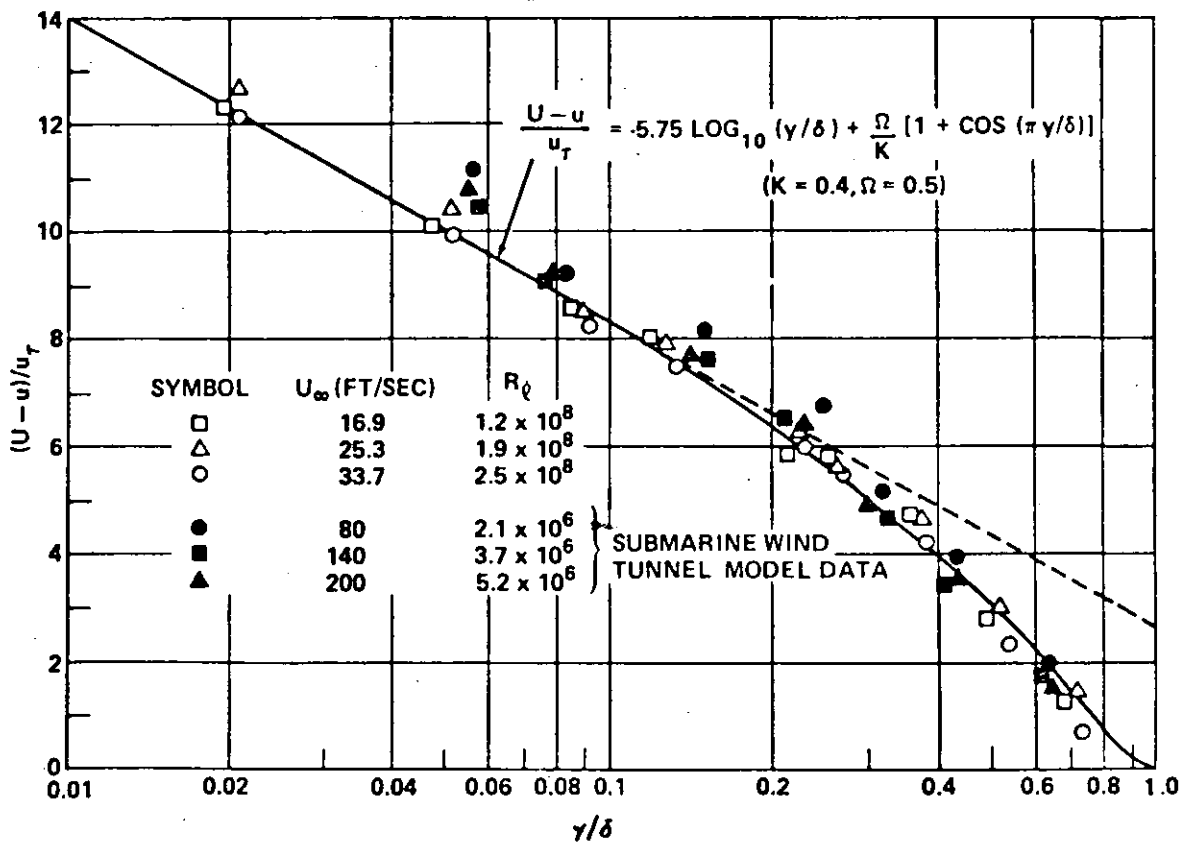


Fig. 6.2.25 流速分布（外部則の成立する領域）

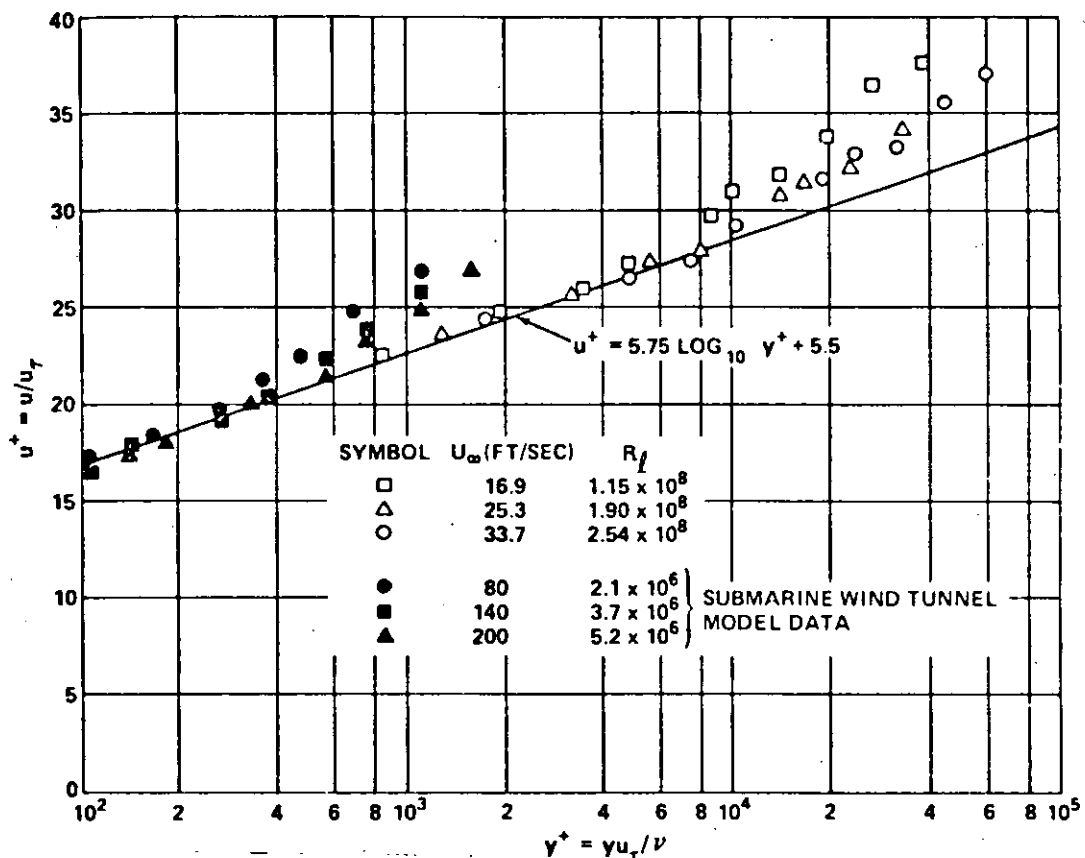


Fig. 6.2.26 流速分布（内部則の成立する領域）

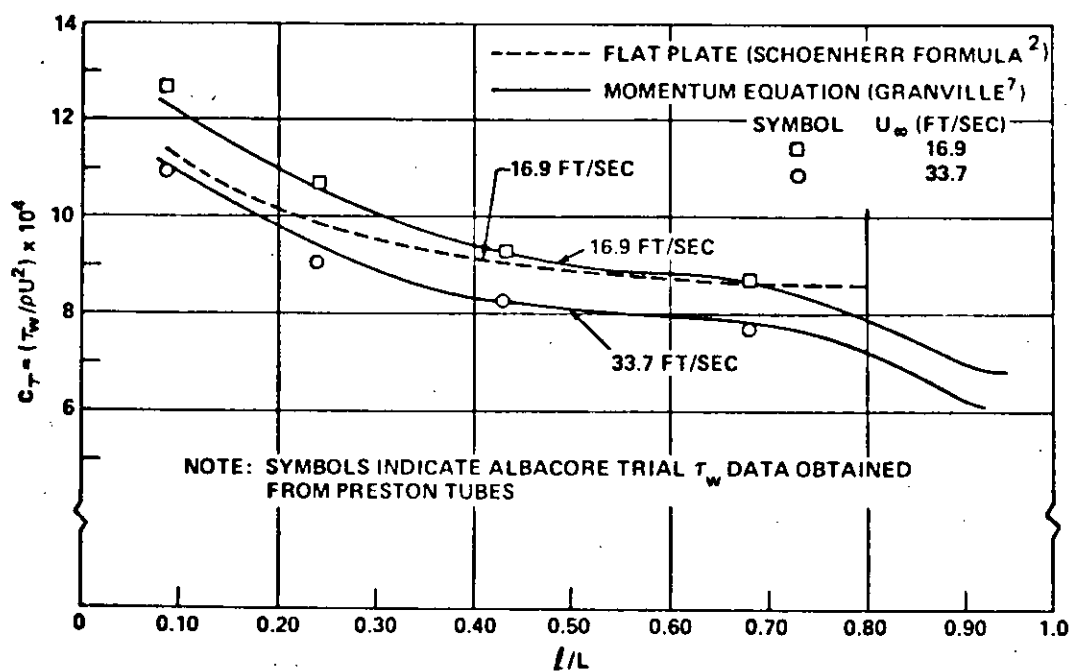


Fig. 6.2.2 7 壁面剪断力の船長方向分布)

参考文献

- 1) Nordström, H.F. "Full Scale Tests with 'WRANGEL' and Comparative Model Tests", SSPA Report No. 23 (1953)
- 2) Smith, S. Livingston and Clements, R.E. "Service-Performance Trials Carried out in the North Atlantic on S.S. 'CAIRNDHU' ", Transaction of North East Coast Institution Vol 74, part 4, (1957)
- 3) Cutland, R.S, "Velocity Measurements in Close Proximity to a Ship's Hull" Trans. N.E.C. Vol 74 part 6 (1958)
- 4) Canham, H.J.S. "Resistance, Propulsion and Wake Tests with HMS 'PENELOPE' ": Naval Architects (RINA) (1974)
- 5) Sounders, G. William "Turbulent Boundary Layer and Viscous Resistance of a Submarine at High Reynolds Number", NSRDC Report 4366 (1974)

6.3 実験方法に関する調査

6.3.1 実験船の船型変更方法に関する調査

(1) 船型変更の種類

実船実験に比較して、実験船による実験は船型を変更して試験することがやり易いことも一つの長所である。変更箇所や変更の程度は実験の目的に応じて決まるものであり、変更方法は実験船や変更に使用する部材の材料によるばかりでなく、実験場所、改造工事の場所および試験後の実験船の用途によっても異なるものである。一般に船型の変更は次の3つに大別される。

- a) 主要寸法の変更
- b) 部分的な線図の変更
- c) 附加物の変更

ここで a) は一般の改造船に準じて行えばよく、c) は試験目的によるところが多いので、今回は b) について検討する。

(2) 使用する材料と工法

線図変更部分の部材は実験船の場合は主船体とは別種のもの、即ち鋼材や木材のほかにはセメント、プラスチック、ゴム等も比較的手軽に使用出来る。特に最近のプラスチックの中には加工が容易で線図の微妙な曲線を表現するのにすぐれたものが多い。また耐久力を必要とする箇所にはセメントも便利である。

工事方法は外的条件で決まることが多いが、通常次の方法が考えられる。

(a) ドック・クレーン・船台等による陸上工事：

比較的小さな実験船の場合は、大型ドックで他の修理船等の空間を利用したり、大型クレーンで釣り上げたりすることも可能である。

(b) 海上工事：

船にトリムをつけて作業部を水上に浮かしたり、水中作業を行うことは一般修理船の場合と同様に出来る。

(c) 簡易脱着式：

ボルト、マグネット、接着材等を利用して変更部分を取り換えることも考えられる。

(d) 可動変形式：

可動板、ゴムふうせん…等で船首尾の一部を試験をやりながら自由に變形するのも目的によっては面白そうである。

(e) 主要部分を取り換える方法：

例えば主機や操舵機関係等の比較的费用のかかる所を船体の一部を含めて他の実験船に移動することも變形部分が大きい場合は効率が良い。

(3) 線図変更の例

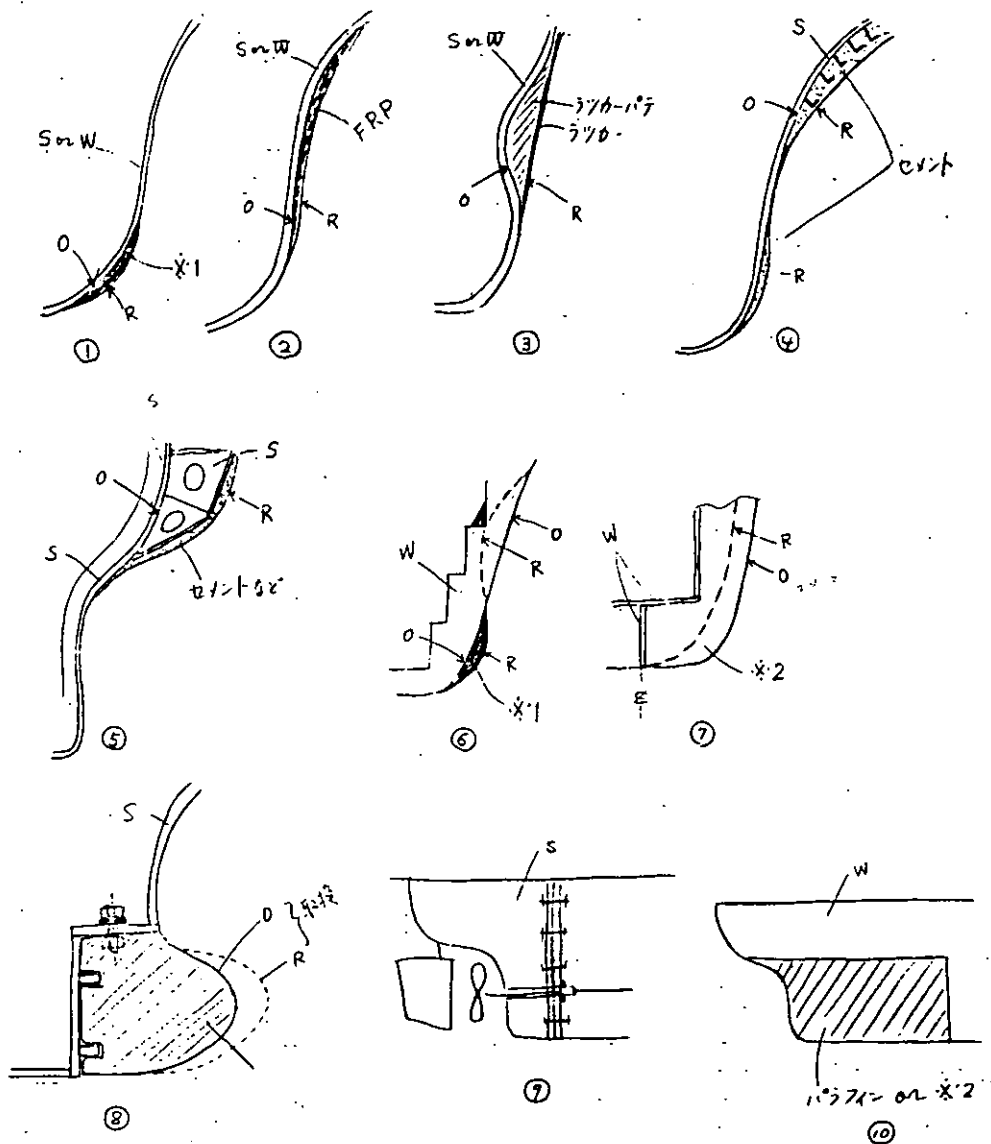
Fig.6.3.1 に変更方法の例を示す。

注) この実験船変更の一部には、水槽用の模型船に使用しても大変便利な方法も含まれている。

(例えば、①、③、⑥、⑧、⑩)

{ S 銅製
 W 木製

{ O 原型の船体表面
 R 改造結線



※1 例えは

(1) アラルタイト (HV-427
 (エポキシ樹脂)

(2) 硬質ポリウレタン

※2 例えは

○ 硬質ポリウレタン・ブロック

Fig. 6.3.1 船型変更方法の例

6.3.2 実験船の抵抗・自航試験用船外機に関する調査

大型模型船における抵抗試験には、イ) タグボートによる曳航、ロ) 空中プロペラによる推進、ハ) 船外機による推進等の方法がある。このうち、船外機を利用した推進方式が最も安価で、容易と考えられる。この方式は、Fig. 6.3.2に示すように船尾舷側に張り出した架台①に各舷一基の船外機③をヒンジ式⑤の枠④で吊り下げて支持し、船外機のプロペラにより本船を推進させ、その際のスラストを荷重計(ロードセル)⑥で計測するものである。外枠②は上部のダビットで保持されており、各喫水に対応しプロペラ没水深度を一定に保つよう上下させて架台①にボルトで固着されている。船外機不要のとき、外枠②は船外機が水面上に出るまでダビットで上方に吊り上げられ固縛される。また、固定フィン⑦が、船外機プロペラによる後流の本船への影響を防止するために、支持枠④下部船体寄りに取り付けられている。

船外機を利用する推進方式は抵抗試験を行ない目的であるが、その推力を自航試験時の粗度修正に利用できる利点を備えている。すなわち、試験の実施状況は、

- (i) 抵抗試験 …… 船外機のみで推進させ、船外機の船体に働く推力を計測する。この場合、本船プロペラは撤去する。そのため、舵効の低下による保針性の劣化が予想されるが、上記のフィン⑦はこれを補う目的を兼ねている。
- (ii) 自航試験(without S.F.C) …… 本船の主機のみで速力試験を行ない、船外機は使用しないので前述のように完全に水上へ引き揚げられる。
- (iii) 自航試験(with S.F.C) …… 水槽における模型実験とプロペラ荷重度を合わせるため、Skin Friction Correction 相当の推力を船外機で与えながら本船を自航させる。

ただし、水槽試験と異なり、あらかじめ航走対水速力を設定することが難しいため、S.F.Cの量を前もって決めることができない。したがって、S.F.Cの量を変えてプロペラ荷重度の自航要素に及ぼす影響を調べるためには、主機の回転数を数種類に設定し、その各回転数に対し、S.F.C すなわち、船外機の推力を予想の値より大幅に変化させて航走する必要がある。

船外機要目の選定において、市販品が十分その範囲を満たすと考えられるが、装備プロペラ要目の詳細が不明であり、エンジン、プロペラともに本来の使用条件を大きく離れた重荷重のもとで使用されるなどの点で性能推定に不安が残ること、船外機の公称馬力を通常の船用エンジンと同様に考えるには問題があることなどを勘案し、船外機要目は余裕のあるものを採用しなければならない。標準仕様外に、重荷重用オプションプロペラの採用、燃料タンクの増設、高速および低速用プラグの使いわけ、および船外機回転計の設置などを考慮すべきである。

計測の精度を向上させるためには、船外機支持枠④のピンジョイント部⑤および吊り下げ部は工作精度を高く、強固な構造にする。かつ、枠④は陸上において横方向、深さ方向の力および振りを与えて較正を行ない、必要精度が確保されていることを調査する。また、推力計測に用いられるロードセルは外気にさらされており、条件が悪いところがあるので、温度変化の影響の少ない安定度のよいものを選ばれる。さらに安定な計測を行なうため、支持枠④にストッパを設け、計測時のみロードセルに荷重をかけるようにする。すなわち、計測の前後にはロードセルの荷重を零にし、長時間計測では避けられない零点の移動を、短時間の計測にして安定化を計ることができる。以上、抵抗・自航試験の精度は各計測項目を1%の誤差に収めることを目標とすべきである。

我々が行なった実験から、今後改良すべき問題点を列挙すると、

- 1) 固定架台①はトラス構造で強固なものであるが、張り出しが船体中心線より片舷7mあるため、船外機推力による振れが大きく、振動も激しく表れた。さらに十分な補剛が必要である。
- 2) 船外機への度重なる冠水が故障の原因となった。例えば、エンジン排気孔は常時水面上にあるが、それほど高い位置にないので、たまたま傍を他船が通過してその波をかぶったり、波浪中を旋回するときなどに没水する。エンジンに海水を入らないような工夫が要る。

3) 船外機の故障修理は簡単でなく、専門工場に依頼しても長期を要する。予算が許せば、予備を具えるべきである。故障を避けるため、入港後には必ず水上に吊り上げる配慮が望まれる。

4) 左右舷の船外機回転数を揃える必要があるが、既存の調整レバーでは難しいので、微調装置を工夫した方がよい。これに伴い回転計ももっと精度のよいものが求められる。

などの諸点が考えられる。

他の一例の大型模型船の船外機を Fig.6.3.3 に示す。設置場所は前例とほぼ同じ後部甲板で構造はトラス式である。本機の駆動方式は電動式で AC モーターと電磁スリップカップリング (I.K) を組合せ I.K の界磁制御を行って回転数一定、又はトルク一定のどちらの運転も可能である。

スラスト部は根部のヒンジを中心として折りたたみ可能で点検、非使用時には折りたたむ。軸系の材質は大部分普通の steel で、歯車はクロム、モリブデン鋼、軸の一部にステンレス鋼を使用している。プロペラは充分な没水深度を得るためと、比較的大きなスリップで作動させて安定したスラストをうるため比較的小さい直径のものを高い回転数で用いている。これは、船外機プロペラの船体への影響を小さくする意味でもよい。

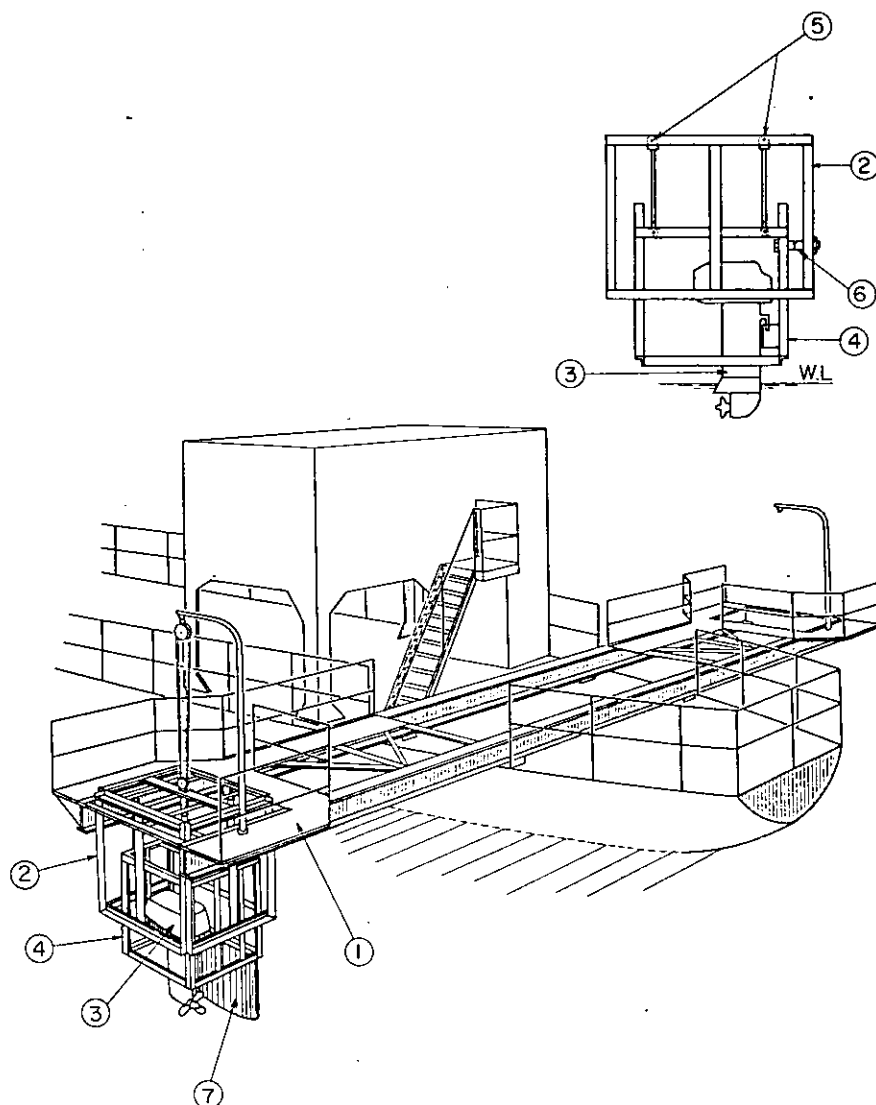


Fig. 6.3.2

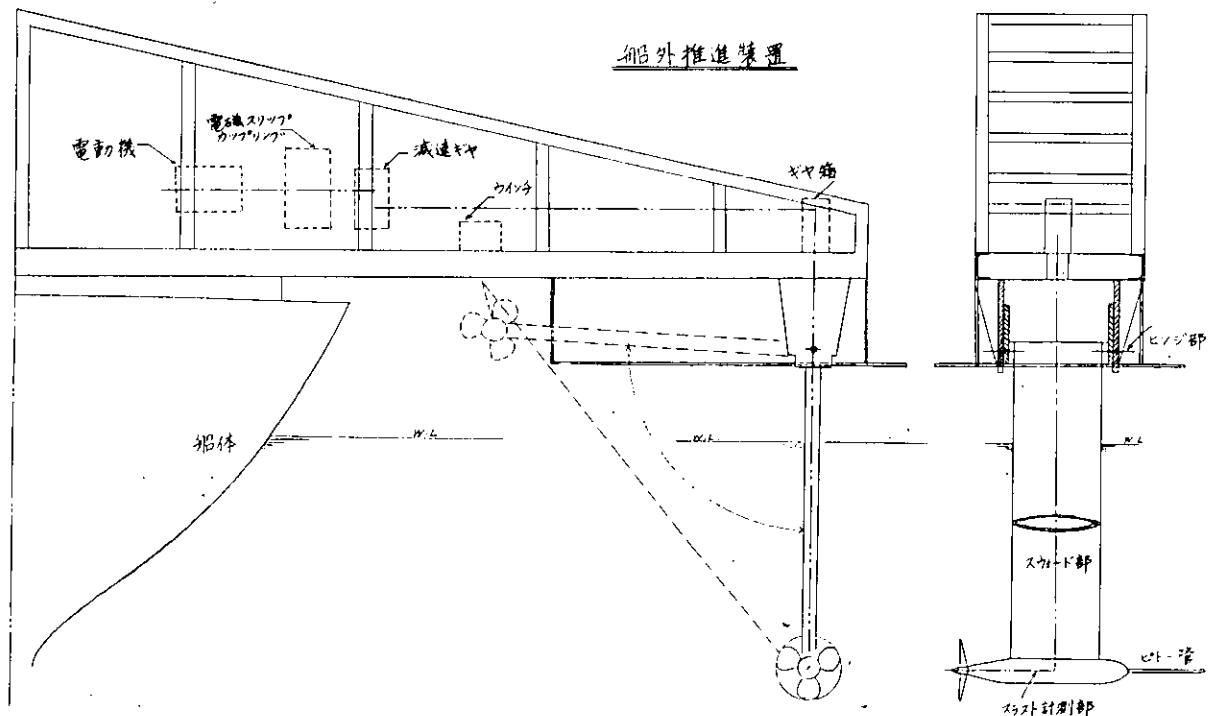


Fig. 6.3.3

6.3.3 実験船における船尾流場の不安定現象に関する実験方法の調査

試験水槽において模型船の試験時に現われる不安定現象は模型船においても、まだその説明はなされていない。これまでの所、肥大船の模型船の自航試験時には、船尾の流れに比較的安定した2種の流れが出現することがあること、その場合プロペラのスラスト、トルクの値が2つの値に分れること、それに応じて船尾船体に作用するサイドフォースも変化すること、それは船尾船体表面の圧力変化に対応していること、などが明らかとなって来ている。しかし未だこの現象が起る根本的な原因については不明な所ばかりであり、さらにこの現象の Scale effect についても得られている資料はほとんどない。

したがって、大型の実験船についてこの様な不安定現象が存在するかどうかを確認する簡単な方法というものは今の所見当らないといった方が良い。しかし基本的には模型船について試みて来た種々の計測を延長してみることが最も確実にこの現象の存在を調べる方法であろうと考えられる。

大型の実験船について種々の計測を行なう場合、試験水槽で模型試験を行うのと異って種々の制限が有ることは、本小委員会のこれ迄の調査によっても明らかにされてきたが、ここではそれを考慮しながら実験船における不安定現象に関する実験について考えてみることにした。

(I) スラスト・トルクの連続計測

模型船の場合と同様につきの各項の計測が考えられる。

- a. 定常直進航走中の計測
- b. 小角度旋回時の計測
- c. プロペラ荷重度変更時の計測
- d. プロペラ直径変更時の計測
- e. プロペラ回転方向変更時の計測

上記 a. b. は船体の航走姿勢の変化で、c ~ e はプロペラの状態の変化を考えている。トルクの計測に比べてスラストの計測が難しいのは SR138 部会の研究成果にも示されているが、不安定現象の存在

を調査する場合は変動の様子が分ればよいので、SR 138 部会において研究された装置を用いれば充分目的は達せられるであろう。

また、模型船の場合、プロペラの駆動には余力充分の電動機が用いられ、動力計を介して計測されるので、動力源からスラスト、トルク変動の原因となるものは混入して来ないが、実験船の場合にもなるべく動力源および軸系に起因するスラスト、トルク変動が大きくならぬよう計画すべきである。

小角度旋回時の計測は、人為的に直進時と異なる流場を作ってスラスト、トルクの変化を調べてみようというものであり、直進時に出現する変動との関係を調べることにより、直進時の不安定現象の存在または小角度旋回時の不安定現象の存在を調べようとするものである。

プロペラ荷重変更試験は最も重要と考えられるが、この計測のためには実験船に主軸以外の推力、ブレーキ発生装置をつける必要がある。またプロペラ荷重の変化の範囲はスラスト零付近から通常の自航状態をこえて 1.5 倍程度までであることが望ましいが、主機の出力を大きくすることが必要になってくるので費用との兼ね合いになる。

a、b 項は、これらが実験船においても可能なら、実施すればそれなりの資料が得られて、有意義であるが、これに要する費用を考えるとやや重要度は少ないといわれても仕方がない項目である。

(2) 流場計測

流場計測には勿論 3 次元流れを計測できることが必要で、5 孔管等を使用し、応答の早い圧力変換器を用いて計測すべきである。

計測位置はプロペラ前方ということになるが、出来ればプロペラとの距離を種々変えて計測し、不安定現象が出現する場合、どれ位前方の流れから変化しているのかを解明できれば申し分ない。

また、計測位置がプロペラ前方のある一ヶ所であるとしても左右舷の同時計測は次に述べる船体表面の圧力計測と同様、必須条件である。模型船におけるプロペラ前方の流場計測結果は本部会の第 2 小委員会において発表されており流れの変化が明らかとなっているが、同時計測の点が少なく、未だ立体的な感覚で流場の様子がとらえられていない。実験船では計測対象が広がるので、同時計測点を増加させることについては、模型船より計測技術上は楽な方向である。

なお流場計測を実施するについての重要な問題点は少々の計測を行っても不安定現象の解明とか、この現象が出現した場合の流場を完全につかむということとはまず不可能であることが予想されることで、これ迄の模型船の計測結果についても少々の計測を行っても、断片的な状況しか把握できないケースが多い。したがって模型船についてかなりつめた計測を行い、流場計測結果から得られることを固めておくことが大切であると考えらる。

(3) 船体表面圧力計測

本項も前項と似た所が多いが、少なくとも模型船においては不安定現象出現時とそうでない場合の差がはっきりしており、さらにスラスト、トルク変動との相対関係もはっきりして来ているので、実験船における計測に対しても現在模型船の計測から得られている情報と同等以上のものが得られることが期待できる。

計測技術上は細かな注意はあるものの大きなネックとなるものは考えられない。模型船試験結果を参考に計測点の位置と数を決めることは難しいことではない。

2 項の流場計測が見送れるとしても 1 項のスラスト、トルクの計測と同時に欠かせない計測であり、スラスト、トルクの変動に対応して表面圧力の変化左右舷の非対象性などが見られるとすれば、実験船においても不安定現象が存在するとの検証ができることになる。また計測範囲を拡げておくと、流れが変化してくる最先端の位置なども分ることが期待されるし、実験船においては side force を計測す

ることは不可能であるから、左右舷の圧力計測結果から side force を推定することもできると考えられる。

(4) 舵直圧力および船位計測

模型船の場合、不安定現象の存在を把握する一つ的手段として船体の side force の計測があるが実験船の場合これは不可能である。しかし、不安定現象が出現して、それが持続すれば、船体の動きは不安定なものとなるはずで、これは舵の直圧力にそのはね返りが生ずると考えられる。模型船においてこの関係を調べておけば、そのデータを基に実験船においても不安定現象か別の外乱かの判定ができるものと考えられる。

また、船体の微妙な不安定な動きを精度よく計測しておけば、スラスト・トルクの変動、船体表面圧力の変動のデータと合せ総合的に判断する資料となる。

本項については、実験船で操縦性関係の実験を合せて行うことになれば、当然含まれることであり、特に不安定現象の存在を調べるためのみ行う計測としての重要度は、他の項目に比して低いといえる。

(5) Flow visualization

以上の各項の計測により不安定現象の存在が明らかとなれば、その流れを可視化の技術により調査することも考えられる。実験船の大きさにより用いる方法は変わってくるが、簡単なものとしては、3項の船体表面静圧孔を用いて染料等を流すという方法があり、これでも位置と色との組合せて、いろいろ貴重なデータを得ることが出来ると考えられる。

上記の各項は、実験船を作るとすれば、不安定現象の調査をする、しないにかかわらず、計画される項目であり、不安定現象に関して調べるとなると、通常の計測を、さらにきめを細かく、条件を変えてしかも全項目を同時計測するという所が特色であろう。実験船で試験する場合、模型船の水槽試験で計測の目的がたたないような項目の計測が出来るとはとても考えられないからである。

6.3.4 実験船による伴流計測に関する調査

実験船の伴流計測は伴流の尺度影響の調査を目的としたものが主であると考えられるが、伴流の厚さを笹島の方法により概算すると Fig.6.3.4 のようになる。例えば長さ 30 m の実験船の伴流分布は 7 m 模型船の伴流分布を約 30 % 圧縮したものになると推定される。従って計測精度はこの 30 % 程度の差が議論出来るものでなければならぬので充分の配慮が必要である。

また、伴流の変動等の調査を行う場合は波や潮流及び船の動揺等の外乱は水槽試験、実船試験に比べて大きくなる可能性が多いので計測の前にあらかじめ対策をたてておくのが望ましい。例えば伴流計測のセンサーとは別に流場や船の動きを同時記録するセンサーを設置し解析上で処理することも有効であろう。

実験船の利点は計測装置および計測量が水槽模型に比較して大きいことと、船体に加工することが実船よりも自由なことである。

計測方法は、目的や状況に応じていろいろ考えられるが、数多くのセンサーを計測面に配置することは費用や検定の手間の面で不利であるので少数のセンサーを移動する方法について 2～3 の例をあげる。

〔例 1〕

船尾の伴流を広範囲に測るのに適した方法で "マーガレット" ^{*1} で採用された。Fig.6.3.5 に示す如く、5 孔ビーター管を数個取付けた翼断面を有する腕 (Fig.6.3.8 参照) を船体上のヒンジを中心に回転させる。回転は鋼製ワイヤーを、内面にテフロン加工したリング状のガイドを通して図の如く甲板上からウインチで引張ることにより行い、位置はヒンジ部に設けた回転角度計の電圧出力を上記の指示計で確認する。5 孔ビーター管の出力は外板にそわせて船内に取込み切替バルブにより切換えて 4 個の差圧変換器に導

き各ビトー管について逐次記録される。この場合、5孔管の中心孔と他の4つの孔の差圧を測る方式であるから圧力変換器は上下の自由な位置に設置出来る。

〔例2〕

プロペラ直前の伴流分布を数少いビトー管で測る方法の例でクローバー^{*1}で採用された。Fig.6.3.6に示すように船体のボス部にはめ込んだ2重のリングの外輪に取付けた腕にNPL型5孔管を取付けこの外輪をウォームギヤを用い船内から駆動する。駆動は簡単のためにこのウォームギヤと同一のものを上部船内に設置し5孔管を取付けた下部リングの動きを上部で再現し手動で回転する。(Fig.6.3.9参照) ビトー管の出力はビニールチューブにより船内に取込んだ後〔例1〕同様に電圧に変換し記録される。この場合は変換器はゲージ圧型を用い5孔独立に測る為、圧力変換器は水面の高さ附近に設置する。また、ビトー管取付腕の回転用のロッドと圧力を導くビニールチューブは船体外板に溶接された水面高さより上方までの長さを有するパイプを通して船内に導くと水密が簡単になる。

〔例3〕

不安定現象などによる左右の流れの非対称性を調査する目的で左右舷に直線移動式のビトー管用腕を設けた例である。Fig.6.3.7に示すように左右の船体に沿ってビトー管用腕をボールネジ等により移動する。

〔例1〕〔例2〕に比較してビトー管の角度が一定なので流向の解析は簡単である。従って、ビトー管の圧力を電圧に変換したあと、アナログ解析回路を通して流速、流向を求めこれらの変動の様子を実験中観察すること可能であろう。

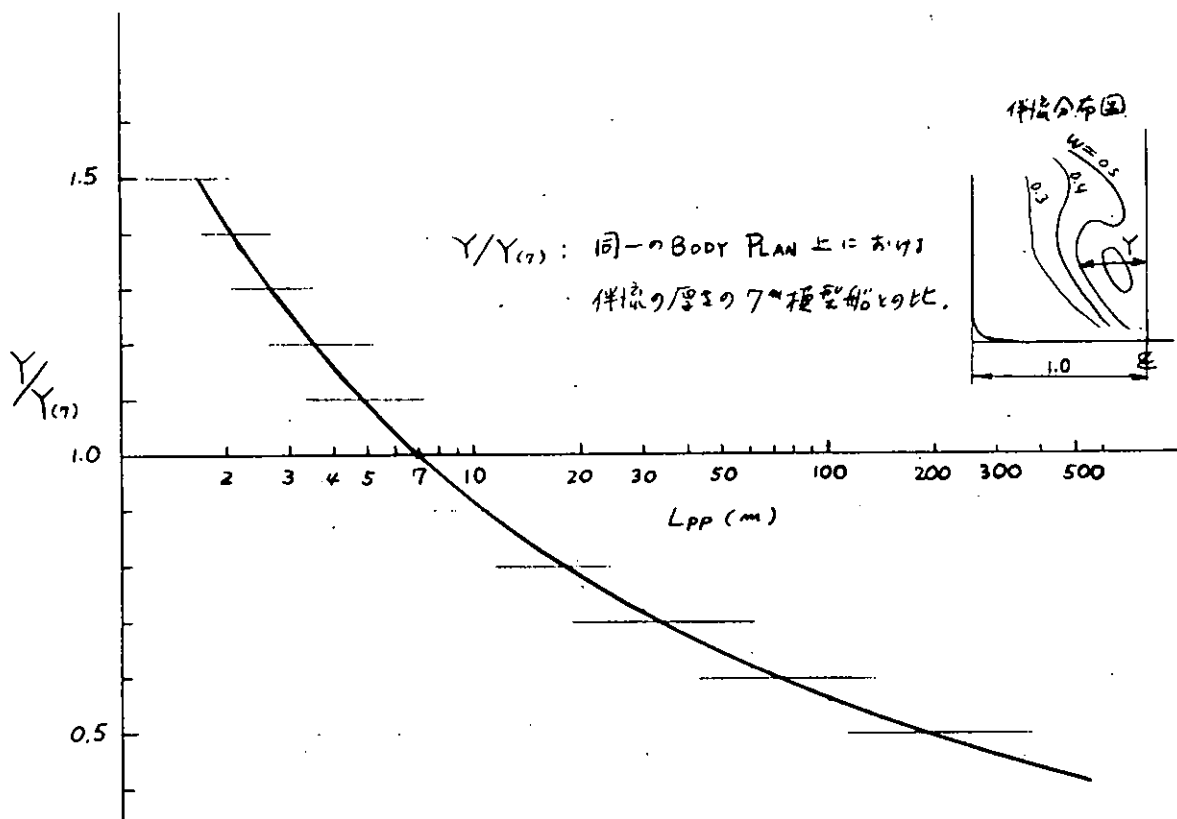


Fig. 6.3.4 伴流の厚さ概算図表

*1) SR159第1年度報告(51年3月) P.138参照

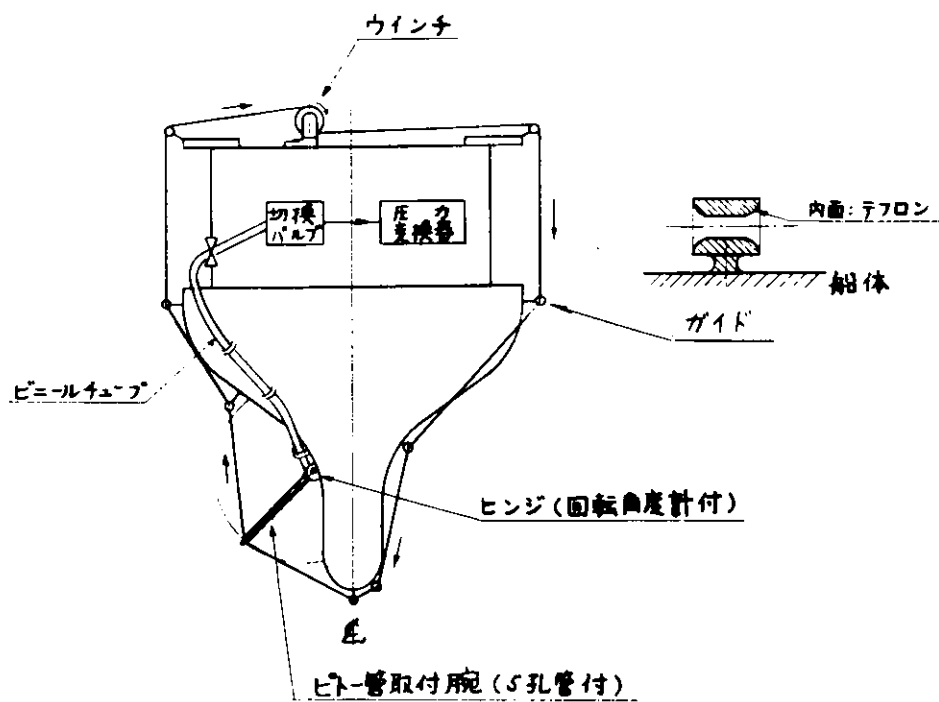


Fig. 6.3.5 回転式伴流計測装置

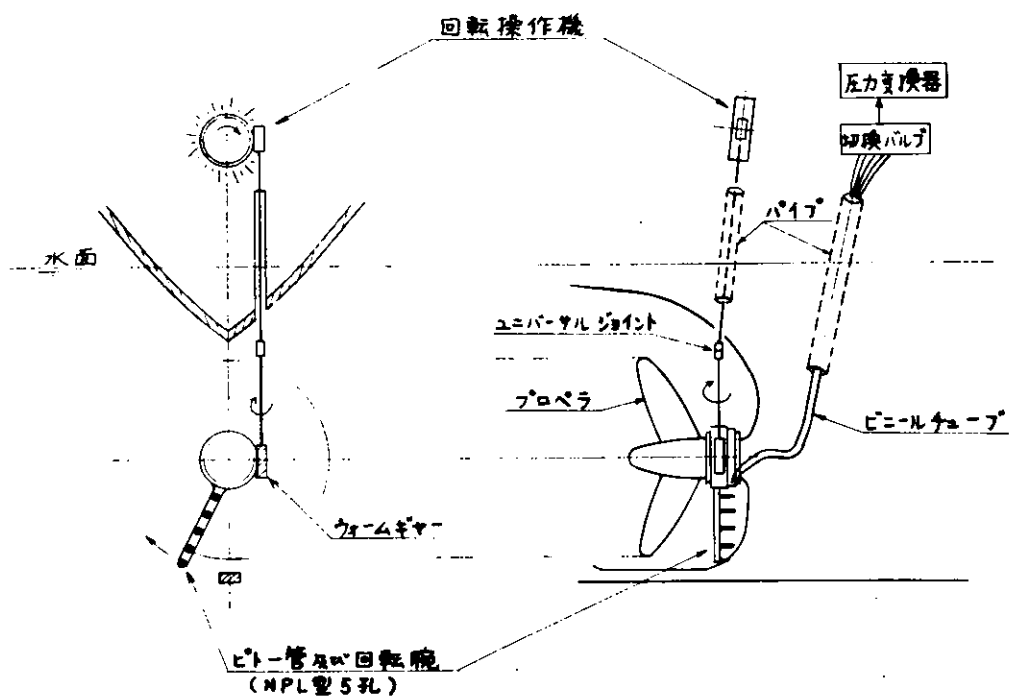


Fig. 6.3.6 プロペラ直前の伴流計測装置

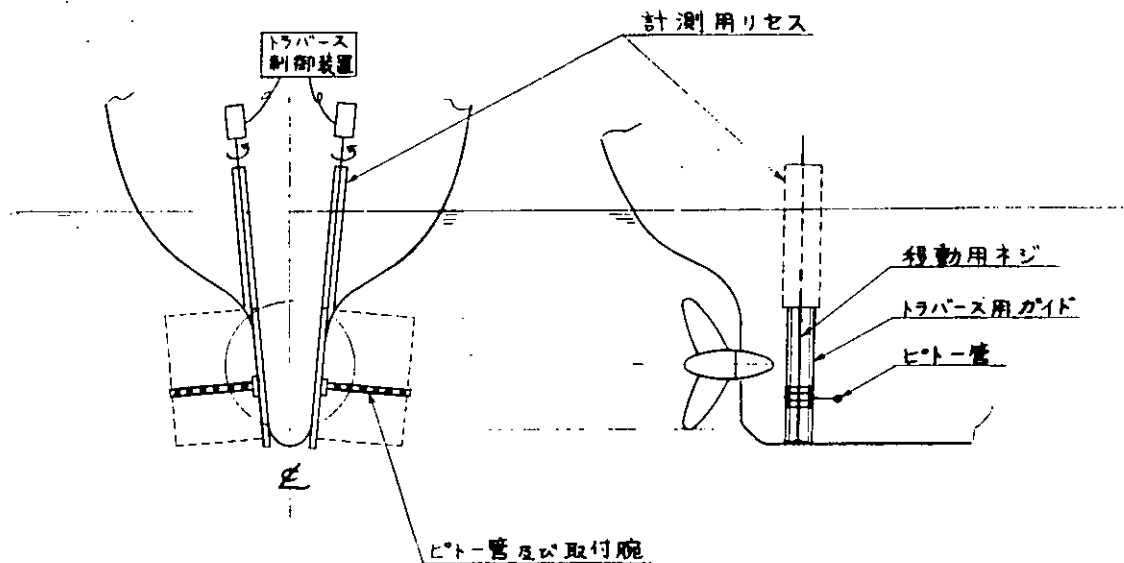


Fig. 6.3.7 直線移動式伴流計測装置

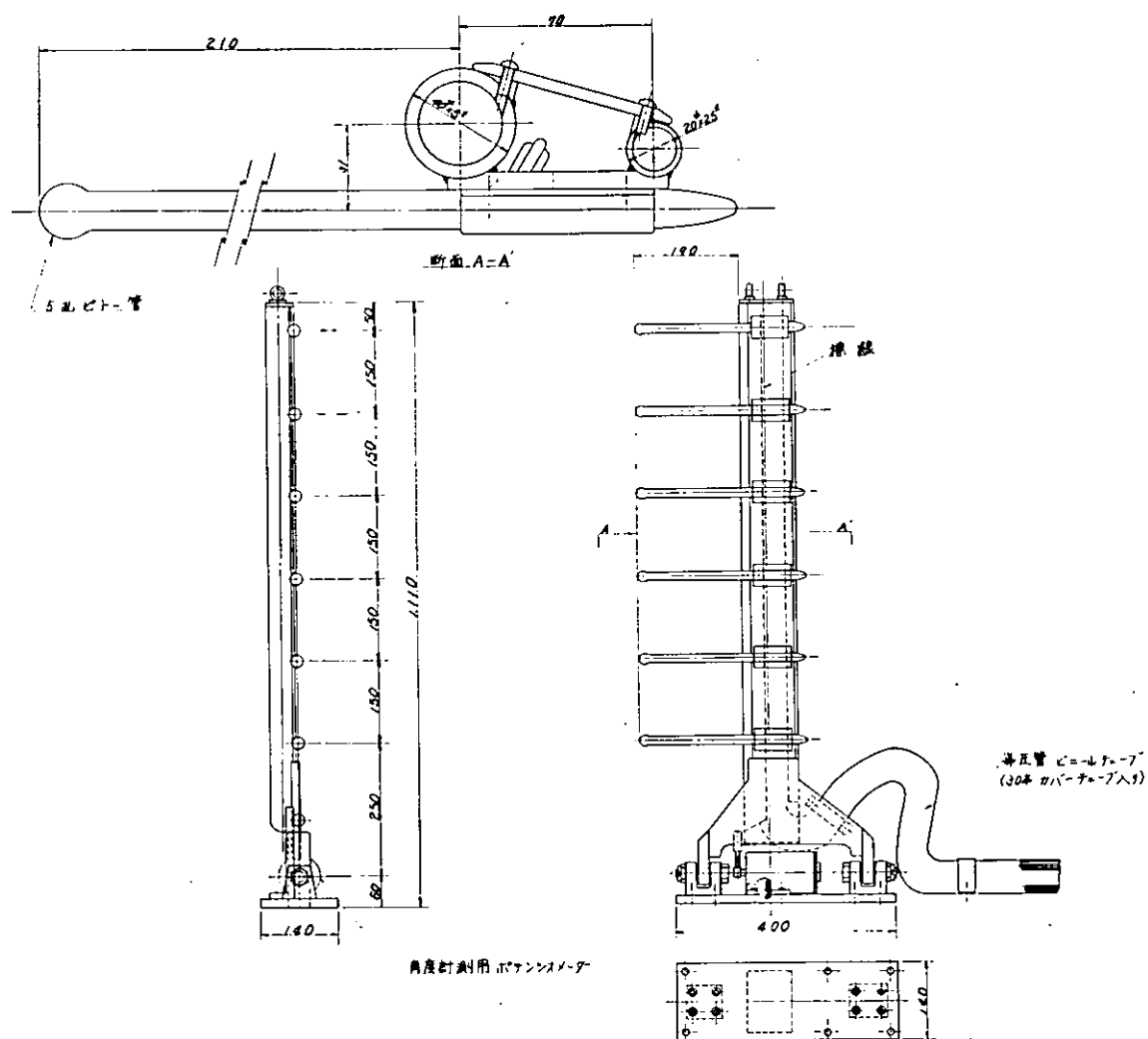


Fig. 6.3.8 例1の詳細

6.3.5 実験船によるプロペラの実験に関する調査

昭和50年度においては、実船実験あるいは、大型実験船においてPropellerの性能に関する実験項目について、考えられる基本的なアイディア、問題点について述べた。本年度は同じ項目についてやや詳細に再検討した。但し、これらの検討も実験そのものの実体が明確でないので、具体性に欠けるのはやむを得ない。

(1) 供試Propeller

供試船として、巨大船ではなく、 $DW.T = 50,000$ 程度の肥形船形を選び、大型実験船の L_{pp} を約 30 m として検討することとする。

要目	L_{pp} (M)	d (M)	D_{prop} (M)	ピッチ比
実 船	190.000	11.900	6.000	0.70
模型船	30.000	0.880	1.000	"

Propeller 重量 Model 約 75 kg

(2) 実 験

(a) Propeller 単独試験

試験装置の配置としては、昭和50年度報告書に述べた通り Fig.6.3.10 <50 年度レポート Fig. 6.6.2 流用>である。計測項目及びその概略容量は次の通りとなる。

計 測 項 目	計 測 量	計 測 装 置
プロペラ スラスト	～ 1,000 kg	プロペラ検力計
" トルク	～ 100 kg・M	"
回 転 数	～ 10 RPS	パルス検出装置
前進スピード	～ 4 M/sec	流速計

Fig.6.3.12 に前進常数 $J = 0.3$ の場合のプロペラ特性曲線を示した。

この特性カーブよりプロペラ駆動モーターとしては、約 100 馬力 回転数 $n = \sim 10$ rps 程度のものとなり、回転数を自由に、かつ精度よく調整、セット可能な装置が必要となる。

プロペラダイナモとしては、容量、精度の点より、ブロックゲージ型とし、FM テレメーターによる方式が望ましいと考えられる。

単独試験においては、前進常数を変化させて試験が必要であるので、大型実験船を用いる場合は加速、減速用のプロペラ又はシー・アンカー等安定した船速調整用の装置が必要となる。

(b) プロペラ船後試験

単独試験の場合と略同一容量となる。

(試験装置の配置 Fig.6.3.11 50 年度報告書参照)

(c) プロペラ翼面上の圧力、応力の計測 (Fig.6.3.13 の 1))

プロペラ翼面上に小型の圧力変換器を埋め込み、中高軸を通して船内に導かれる。翼応力に関しても同一である。信号はトルク、スラスト等と共に FM テレメーターで電送される事となる。翼面上の圧力計としては、対応回転数 $n = 5$ rps にて $1P_{max1}$ は約 0.4 kg/cm^2 となり、PM6-1 (定格圧力 1 kg/cm^2 、過負荷 150% ; ST 研究所) が妥当となろう。この圧力センサーはコイン型であり、直径 6 mm、厚み 2 mm である。一方、翼応力の計測としては、実船で行われた数例が報告されているのでこの方式に倣う事となる。本船の場合翼根の最大歪は大略次の程度を考えておけばよい。即ち、模型プロペラを NiAlBr 製とすると、 $n = 5$ rps にて $\bar{\sigma} = 0.8 \text{ kg/mm}^2$ となる。変動応力振幅を平均値の 100% とすると、最大応力 $= 1.2 \text{ kg/mm}^2$ $\epsilon = 100 \mu$ となり、通常ゲージで測定可能となる。

(d) プロペラ翼面上の流れの観測 (Fig.6.3.13 の 2)

限界流線 — 翼面上に適当な塗料を塗った上でこれを船内より観測する方式をとる。これにより Back 面を観測可能と考えられる。この場合、船内よりストロボ照射、写真撮影の方式が適当であろう。但し、照射時間約 $1/10,000 \text{ sec}$ として、約 1.8 mm の翼面上の点の移動となるので、高性能ストロボと共に塗料・塗装法の検討が必要となる。

写真撮影用カメラは $60 \times 60 \text{ mm}$ 程度の Size で、精密カメラ 2 台設置し、ステレオ撮影とする。

(e) プロペラ・フォース関係

プロペラ作動によって誘導される船体表面上の水圧変動、サーフェイス・フォース、ベヤリング・フォースの直接計測を考える、サーフェイス・フォースの計測では、Fig.6.3.13 の3)の様な、受圧部を分離し力を直接測定する。

(3) 問題点

以上は、プロペラ直径約 10.0 m のプロペラと、 $L_{pp} = 30.00 \text{ m}$ の大型実験船を考えたが、これらを実行するためには幾つかの困難が予想される。それは当初の目的に沿った項目について必要な精度を確保する点で、装置の大型化と海面における外乱の影響がどの様に現われるかということである。プロペラ直径を 500 mm 程度とすれば大型試験水槽で実験可能と考えられ、この時は力・圧力の計測等はいかなりの精度が期待出来るので、サイズの決定に当っては総合的な判断が必要と考えられる。

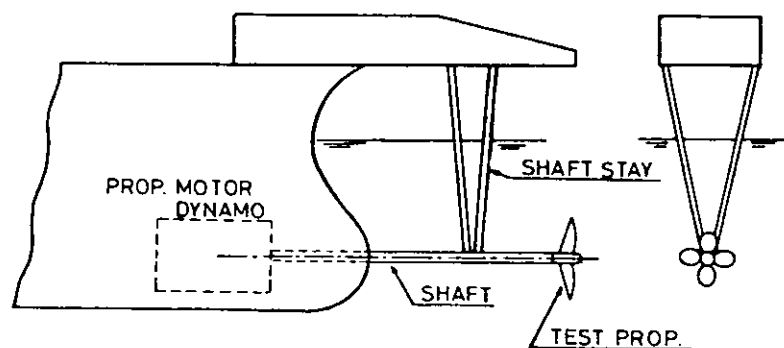


Fig. 6.3.10

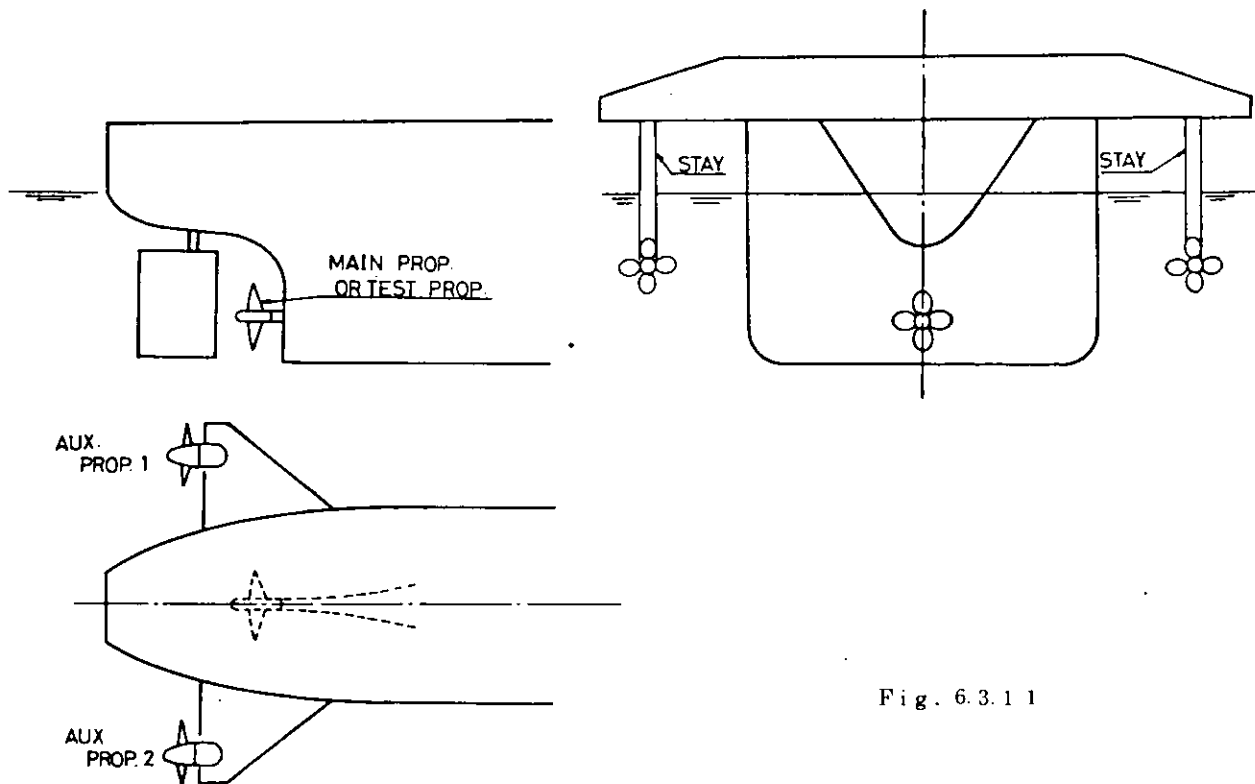


Fig. 6.3.1.1

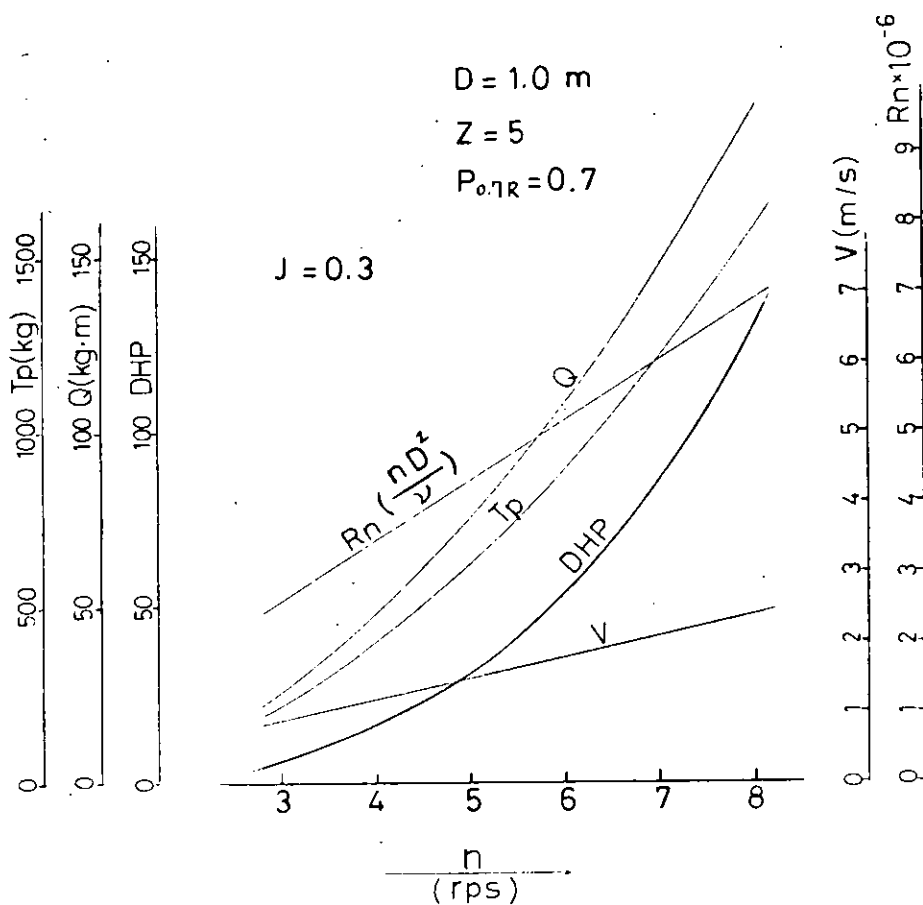


Fig. 6.3.1.2

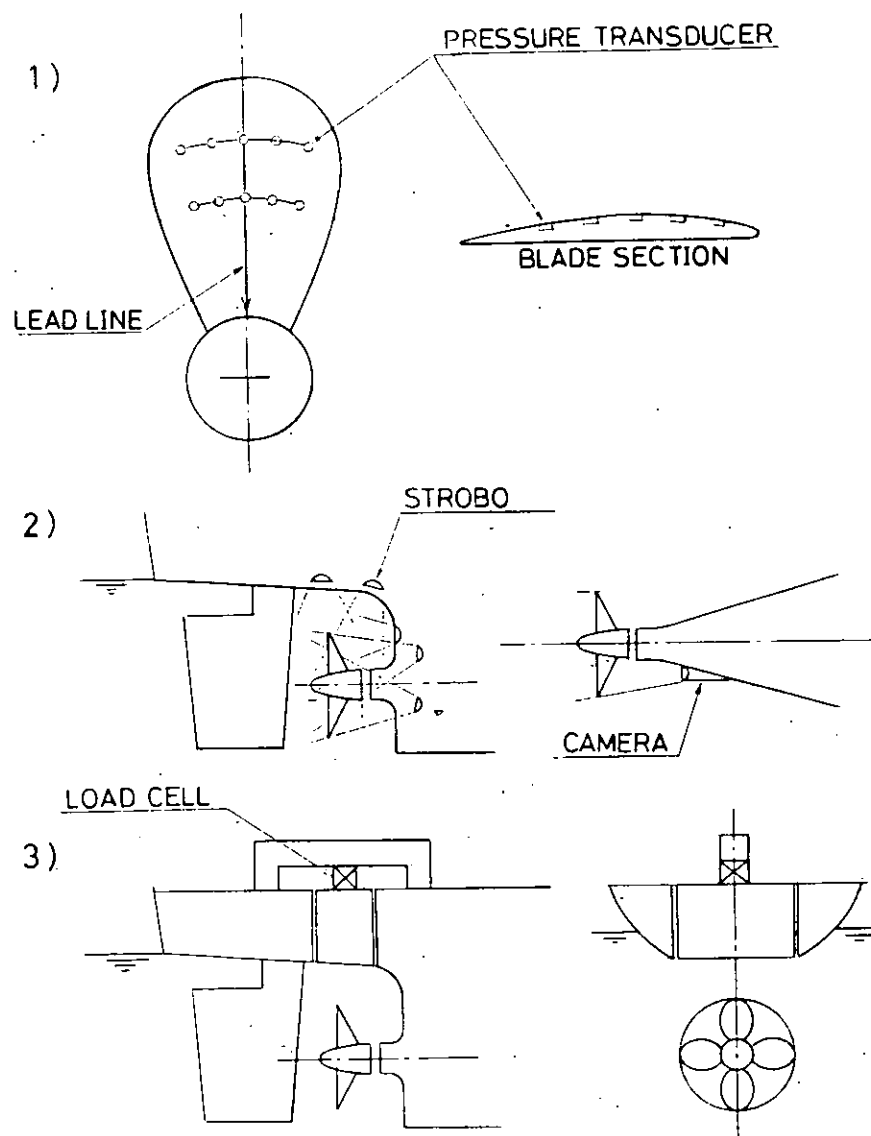


Fig. 6.3.13

6.3.6 実験船による波形解析法の調査

(1) 研究の必要性

船の抵抗推定方法は、Froudeの仮定を用いることによって著しく簡易化することができる。しかし、相似模型船相互に仮定されている造波抵抗係数一定の原則も工学的取扱としては優れたものであっても、厳密な意味ではこれを是認する根拠はなく、近年ではむしろ否定する見方も少なくない。

波形解析法は、理論的な考察だけでは解明できない造波抵抗の問題を解くための有力な手段であるが、このような問題の一つに造波抵抗の相互則の研究がある。波形解析で計測される造波抵抗すなわち波形造波抵抗は必ずしも船型試験で定義されている造波抵抗と等価なものでないが、抵抗成分としての両者の関係は次第に明確になろうとしている。

このような抵抗成分の研究については、日本造船研究協会のSR107⁽¹⁾、138⁽²⁾ 研究部会、その他各水槽で実施されているが、その結果を用いて造波抵抗の相似則を調べたものが横尾等⁽³⁾によって国際造波抵抗セミナーで発表された。この結果によると、Fig.6.3.14 に一例を示すように波形造波抵抗係数は大きな模型船ほど大きく計測されることがわかり、造波抵抗係数一定の原則に反している。この結果は、Fig.6.3.15 にも見られるような、異常なForm Factor を与える相似模型船の間の関係を説明するのに都合のよい解釈を与えることができるものであるが、理論的な根拠は明かにされていない。

造波問題に生ずるScale Effectの原因として推測できるところを述べると、水の粘性の影響と非線型影響が主要なものと思われる。前者は船尾伴流と船尾波の関係が重要と考えられるが相似模型相互で波形の上に一定した傾向が見られた例はない。また船体表面を粗面にした模型船の波形解析結果が滑面の場合との間に重要な差がなかった例の報告⁽⁹⁾があるなど、水の粘性と造波抵抗の関係を波形計測の面から単純に把握することには成功していない。

後者は、船首波波高が比較的顕著に異なることから以前から注目されていた。船首近傍で計測される相対波高（波高／船長）は、模型船が大きくなるに従って大きな値となる場合が多い。これは有限波高の影響と計測精度に原因を求めることができるが、現状では結論を得ていない。このほか、rotational wake、wave breakingなどもそれぞれScale Effectと関連をもつ可能性があるが、これの解明には理論的な研究に加えて相似模型船を用いた試験結果に重要性が高い。

しかし、実船の馬力推定の場合には、造波抵抗の相似性は、全抵抗の比率からは一見主要な問題と言えないかもしれないが、外挿法を考える上では、発想の転換を必要とする重要な内容を含んでいることは言うまでもない。

このようなことから、相似模型船を用いた造波抵抗研究の必要性が高まっているが、水槽模型を用いたのでは、船研の大水槽（400 m × 18 m × 8 m）を使用しても長さ12 mの模型船が限度で実船に対比する大きさとしては十分とは言えない。抵抗の相似則を考える上で12 m模型に対応する小型模型の長さを計測精度の上から仮に3 mと考え、実船を200 mとするならば、その間に約50 mの海上模型を入れることによって3：12：50：200の4の倍数で結ばれたGeosimsを構成することができる。過去の研究では長さ50 mに相当する資料が得られないため水槽模型の大きさを小刻みに変化させて精度を上げていたが、いずれにしても水槽模型から実船への外挿には大きな無理があり、これらの関係を図示したものをFig.6.3.16に示した。

以下に50 mクラスの海上大型模型船による波形造波抵抗の計測を目標として問題点を概説するが、ここでは船速および流速の計測、船位の計測など基本的な海上模型試験の計測法も完成していることを前提としている。

(2) 実船による波形解析の実例

海上模型によらず直接に実船の後続波形を計測して波形造波抵抗を算出する研究も試みられている。

田中、山崎等⁽⁴⁾は中型貨物船（130 m × 20 m × 7.6 m、8,800 GT）の速力試運転時の後続波形を計

測して、長さ4 mおよび7.5 mの模型船の波と比較した(1968年)。実船試験当日の海象が悪く、十分な精度で模型船の波と波高をくらべることはできなかったが、波形に関してはよい一致が見られた。この結果、基本的には実船と模型船の波の違いのないことを示し、試験法などに関しこの種の研究の将来に見通しを与えた。またこの研究に関連して自航状態の船は曳航状態にくらべて一般に波形造波抵抗が0~50%も増加することがわかり、実船計測の課題として重要であることを述べた。この研究は、田中等⁽⁵⁾によってさらに発展されている。

Ward, Hooff⁽⁶⁾は、13'のボートをWebb大学沖で5 KTの速力で航走させ後続波形を計測した。この結果は $1/4$ および $1/8$ の縮尺模型の波と比較されたが、結論としてFroudeの相似則の正しさを認めている。同様にMoran⁽⁷⁾は、海上で高速船の波を計測して計算結果と比較した。

これらの一連の研究は、いずれも船の波のscaleと同程度の海洋波の存在の影響と対水速力の計測精度の不足になやまされており、十分に評価できる資料はまだ得られていないように思われる。

(3) 海上における後続波形の計測

上記のように造波抵抗の相似則を求めて、実船の後続波形の計測が試みられたがいずれも十分な成功を得ていない。これらの経験から海上での波形解析の実験に成功する条件を列挙すると、

- (a) 計測海面の選定(長時間専有を前提として)
- (b) 安全性の確保
- (c) 費用、作業時間および作業人員の確保

の3条件につきると言っても過言ではない。一方技術的に検討を要する問題として、

- (d) 波高計架台の開発
- (e) 供試船と波高計の距離を一定に保つ方法
- (f) 船の対水速度、海流速度、風速など基礎計測技術の完備

があり、(a)、(b)、(c)の条件に応じて(d)、(e)の計画に巧拙が生ずる。

若干の説明を補足すると、まず計測海面は波高計架台設置のためには許容される限り浅いほうが楽であり、特に小規模な計測では水深は費用の重要なパラメーターであるが、大規模な架台が使用できるならこの問題は重要ではない。海上計測の最大の要因はむしろ潮流および干満の水位差である。

風波は外洋からのうねりよりも処理が困難である。外洋からのうねりは一般には波長が長い、もし後続波の最大波長 $\lambda_0 = \frac{2\pi}{g} V^2$ よりも出会波長が十分長い場合には波形解析結果に影響は少ない。⁽⁴⁾これに対していわゆる風波とも言える海象の風波でも、船のおこす波にくらべると無視できない程度の波高および波長が残っている。このような状況では波高計を複数台使用しさらに可能ならば同じ条件で反復して計測できることが望ましい。うねりと異なり風波は船の波に対してrandom noiseと考えられるので、計測回数を増して平均化できれば計測精度は目立って向上すると思われる。また完全な海象をねらって長期に待機することは、架台の保守(海面の専有を含む)の上から困難であるので、この方法による場合は取付け簡易な波高計と架台の開発が必要である。

架台の設置の次に重要な技術は、(e)の船と波高計の距離を一定に保つ技術である。特に実船計測の場合、船は数マイル遠方からコースを定めて来るので、船橋からでは波高計および近くの計測船の位置が確認するのが困難で、このためドック・マスターは波高計の近くを通るのを避けようとする。しかし海上計測では、船の波を海面の波に対して十分大きく保つ必要があり波高計と船の距離は思いきって近くとる必要がある。たとえば文献(4)でも $1/4$ 船長といったかえって水槽試験よりも近接した距離が用いられている。

上記を要約して供試船として実船と模型船の計測技術上の得失を考えると、計測が容易で反復した計測が可能なのは大型模型船の使用が優れている。しかし海面のノイズ(風波)の影響はほぼ一定なので後続波の波高の小さな模型船はその分困難となるであろう。

(4) 今後の課題

最初に述べたように、実船および大型模型船の後続波形の計測の必要性が高まっているが、これまでの経験を総合すると、規模の小さな計画で大きな成功を期待することは難しい。波高計の架台および波高計については長期波浪観測用のものが多数報告⁽⁸⁾されている。費用の問題を除けば完全なものが設計可能なように考えられるが、実際には波浪観測用のものにくらべて短期使用であるが、精度が約10倍必要で費用は $1/10$ 程度のものを製作する必要があり種々の困難を伴う。

波高計と船の間を指定の距離に保ちやすいことと、安全性と経費の観点から架台を用いない投下式の波高計の開発が有望視されている。また海洋波の影響が無視できることを前提とした計画は失敗する確率が高いので海洋波影響の除去方法についてもさらに理論的に研究する必要があり、このために、海洋波の進行方向を計測する技術⁽⁸⁾を簡易に実用化すること、航空機による後続波のWave patternを実測する技術などの利用を計るのも有効であろう。

なお関連した問題として、船側波形による波形造波抵抗の解析も海上模型および実船の試験では計測が容易であることから、極めて有用な方法と考えてよいであろう。さらに波形解析上重要な船首付近の波を低空の航空機からステレオ撮影する方法も有用で、費用上可能であれば、これらを組合せることにより良い結果を得ることができると思われる。

この研究は、他の海上試験と同様に多くの困難が伴っているが、実施可能な課題であり、計画が十分に検討されているならば、造波抵抗および船の抵抗相似則研究の上に貴重な成果を得ることができるであろう。

参考文献

- (1) 日本造船研究協会報告第73号；巨大船の速度計測および馬力推定法の精度向上に関する研究、第107研究部会、昭和48年1月
- (2) 日本造船研究協会報告、研究資料No.220；高速コンテナ船の馬力推定法の精度向上に関する研究、第138研究部会、昭和50年3月
- (3) Yokoo, K. and Tanaka, H. ; "Application of Wave Analysis to Tank Experiment" International Seminar on Wave Resistance, Feb. 1976
- (4) 田中 拓、山崎芳嗣他；造波抵抗直接計測の船型試験への応用、日本造船学会論文集第126号、昭和44年12月
- (5) 田中 拓、足達宏之他；プロペラによる造波の研究、関西造船協会誌第158号、昭和50年9月
- (6) Ward, L.W. and Hooff, van R. ; "Comparison of Wave Measurements on a Full-Scale Boat Offshore with Model Tank Results" 17th ATTC Conference June 1974
- (7) Moran, D. ; "Wave Resistance from Full Scale Longitudinal Wave Cuts" SNAME H-5 Panel Meeting, Nov. 1975
- (8) ECOR日本委員会波浪委員会；海洋波浪の調査研究に関する現況報告書、第4章波浪観測施設、昭和51年12月
- (9) 馬場栄一；"Study on Separation of Ship Resistance Components" 日本造船学会論文集第125号、昭和44年6月

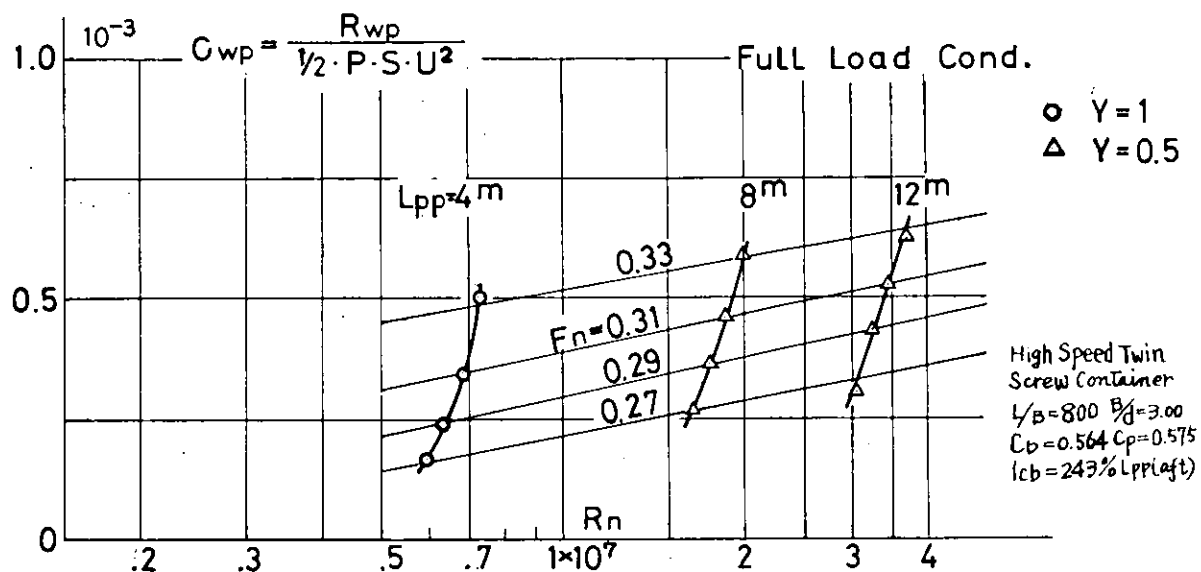


Fig. 6.3.14 相似模型船による波形解析結果の違い

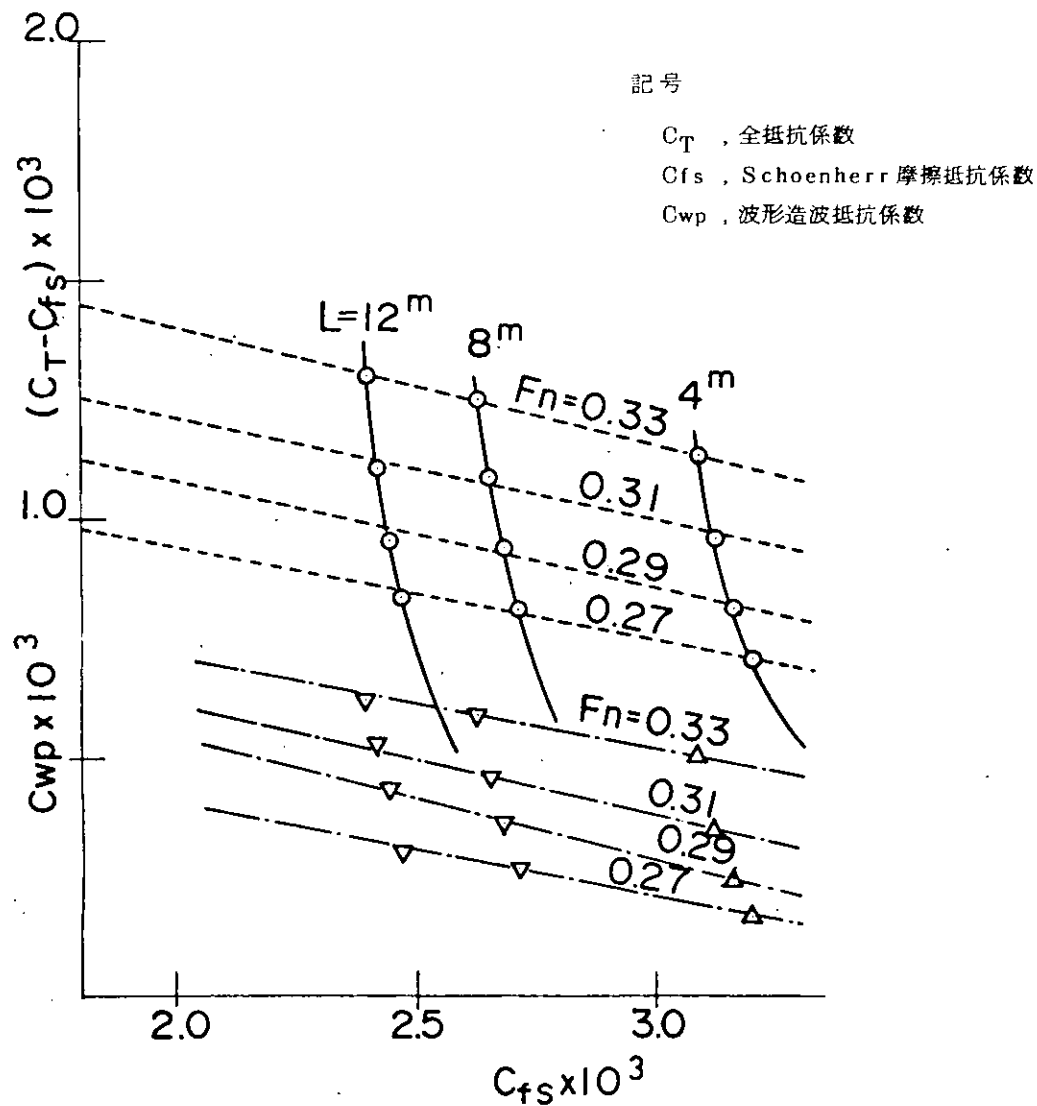


Fig. 6.3.15 相似模型船の抵抗成分 (上図と同一試験)

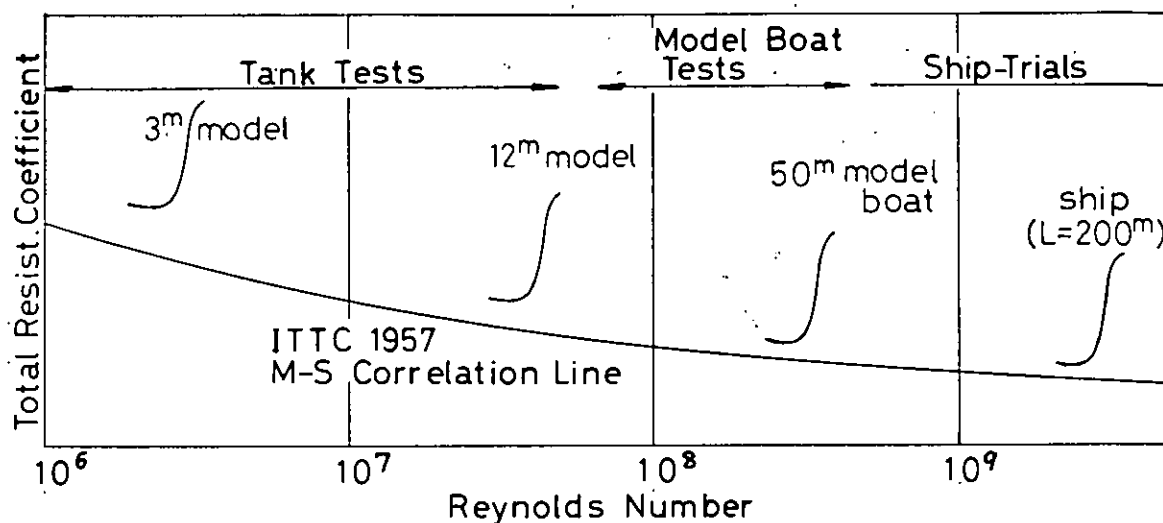


Fig. 6.3.16 水槽模型，海上模型および実船
の抵抗相似則の関係

6.3.7 その他の実験 — 摩擦抵抗に関する実験方法の調査

- (1) 実験船によって抵抗、自航試験が実施された場合、全抵抗の60～70%以上を占める摩擦抵抗の推定が必ず問題となる。しかもこれは外板の表面粗度の状態によっても変化する。このことは実船の試運転の場合も全く同様であって、以前より ΔC_F として問題とされていながら未だ解決が残されている。

さて、本項で考える実験は、船の相等平板の ΔC_F がその表面粗度によってどう変化するかを明らかにすることを目的とする。近年 ΔC_F は模型船と実船間の抵抗値の差を調整する役割りの数値として相関係数と呼ばれて取り扱われてもいるが、このような場合でも本来の粗度による抵抗増加の意味は勿論含まれている。我々は理想滑面平板の C_F は知り得ないため、この実験では新しい外板のベイント滑面の C_F か、あるいは所謂 Schoenherr の C_F を基準とした ΔC_F を求めることが目的となる。

ΔC_F を求めるために、なぜ改まって大規模な実験によらねばならぬかの理由は、通常の船型試験水槽における実験の速度範囲では境界層の層流底層の厚さが比較的厚いため粗度の影響が現れにくく、またレイノルズ数も不足することによる。

- (2) 実験方法は、断面が円形か方形である細長船の下部に鋼板で製作した、あたかも舵のような構造の被試験体を取り付け、それを海上で曳航する。被試験体の長さは30～50m程度、深さ4～6m、厚さは強度が許す限り小さくし、浮力と強度を保つ細長船もなるべく小さくする。

実験は被試験体の表面粗度を変化させて曳航し、その被曳航力と板部前端での対水速力を細長船上で計測する。

抵抗値に対する被試験体上部の細長船の影響や、板部の下端影響を除去するためには、板部を下端より深さの $4/5 \sim 3/4$ 取り去った状態で同じ試験を行い、両曳航力の差を求めるとよい。

曳船の影響は Penelope号の実験によると、曳船の船長程度の後方で曳けば無視できるらしいが、この実験では板部の前端に適当なピッチで対水流速計（たとえばビドーマン管）を付けて計測を行うので、適当な距離を保てばよい。しかし細長船後部には必要最小限の大きさのプロペラ、舵は必要と考えられる。

この実験と関連する実験として、大きな船型試験水槽において、この実験と結びつく粗度平板の抵抗試験を行うのが有意義である。

また理論的課題としては摩擦抵抗と関連しうる平板粗度の表現法の研究が必要である。

6.4 (附 録) 抵 抗 ・ 推 進 性 能 に お け る 不 安 定 現 象 と 操 縦 性 能 に お け る 針 路 不 安 定 、 異 常 現 象 と の 関 連 に つ い て

(1) 抵抗試験における不安定現象について

抵抗・試験関係における不安定現象は元来、船型試験水槽において計測結果がばらつく現象から注目されて来たものである。すなわち HASLAR 水槽における標準模型船抵抗試験結果の年間変動記録は抵抗値変動を正式に取り上げた最初の例¹⁾で、実験技術が未発達段階であったとはいえ、当時としては注目すべき事柄であった。抵抗試験における計測値のばらつきの原因には船首部層流域の変動、船首部船底部の流れの剥離部の変動、船尾部における二次元的あるいは三次元的剥離状況の変化、水槽内固有流等模型船周囲の流体力学的なもの、曳航電車の速度変動、計測機器の振動等があって、それらを分離することは容易でない。

肥大船尾流場の不安定による抵抗変動に関しては本研究部会においても研究が続けられている。第2小委員会において発表された東大船型試験槽の実験結果では²⁾、抵抗値の変動と左右舷ビルジ部に働く船体表面圧力および船尾部に働く Yawing Force の間には密接な関連のあることが明らかにされた。更に流場観測記録から、いわゆる縦渦が発達した場合にその舷のビルジ部圧力が低下することが報告されている。また J T T C 第1部会において発表された船研の変動抵抗試験機による実験結果³⁾では抵抗変動と推力減少率の変動について興味ある関係が示されている。

肥大船尾をもつ船の抵抗値変動に船尾縦渦が大きな役割を持つことと関連し、九大応用力学研究所種子田教授の球の背後に生ずる二列の渦の実験⁴⁾は興味深い。この渦の発生点は一定せずたえず移動し、渦は4列ではなく2列であった。(記録写真による)この実験のレイノルズ数は 5×10^5 である。

(2) 自航試験における不安定現象について

自航試験におけるスラスト・トルクの値が二値に分れること、あるいは値が不安定で変動すること等に関しては渡辺恭二博士の詳細な研究⁵⁾をはじめ造船技術センターにおける研究^{6), 7)}があり、更に本研究部会においても第1、第2小委員会で鋭意研究が進められている。

現在、次のようなことが知られている。

- (i) スラスト・トルクの変動のパターンには Fig.6.4.1 のような型があり N 型はプロペラの荷重度の如何によらず船尾流場が安定していると考えられるもの、F 型はプロペラの荷重度により船尾流場が二種に(あるいは不定に)なるもの、S 型は船尾流場に比較的大きな剥離があって、プロペラ荷重度が変わっても剥離流場が変化しないもの、といわれている。
- (ii) F タイプの場合、スラスト・トルクの変化(こまかい変動ではない)と船尾ガイドに働く横方向の力(Y_A)、更に S.S. $1/2$ 断面以後の船体表面圧力の間には密接な相関があり、更に水面に現れる模様とも関連する。
- (iii) 文献 7) によると Fig.6.4.3 のフレーム形状 A の場合満載、バラスト両載荷状態共 S 型であった自航試験結果がフレーム形状 B の如く変えると F 型の軽微なものになったと報告されている。
- (iv) 一方文献⁸⁾には肥大船尾をもつ船の自航試験でスラスト、トルク計測値の不安定が生じている場合、プロペラの空気吸込が観測された例について報告されており、整流フィンをつけて流れを整えたとともに空気吸込を防止したらスラストの計測値が安定したと報告されている。

(3) 操縦性能における針路不安定について

針路不安定な船の特性については文献⁹⁾にその説明が詳述されている。今その流体力学的な部分の説明を引用すると次の如くである。

『直進中、何かの外乱で針路、コースが乱されかけたとき旋回運動に対する流体力学的減衰力の着力点

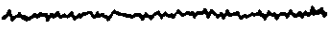
Group	Typical Records	10 sec.	Flow Type
A			N
B	1 		F
	2 		
	3 		
C			S

Fig. 6.4.1 (文献6より)

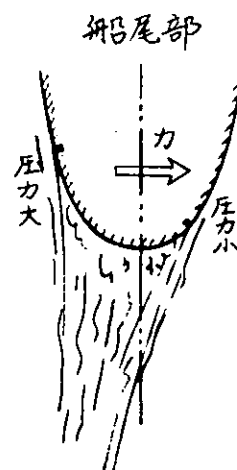


Fig. 6.4.2

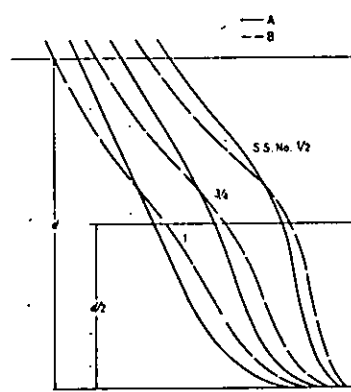


Fig. 6.4.3 (文献7より)

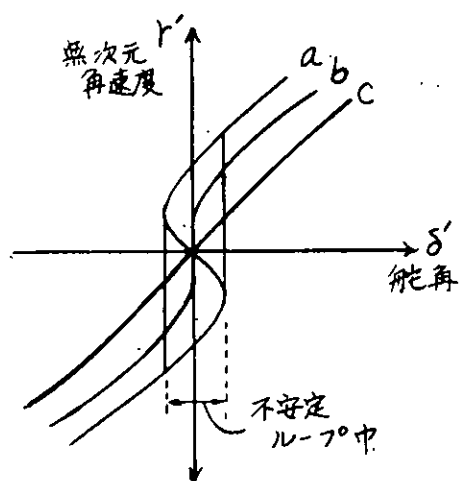


Fig. 6.4.5

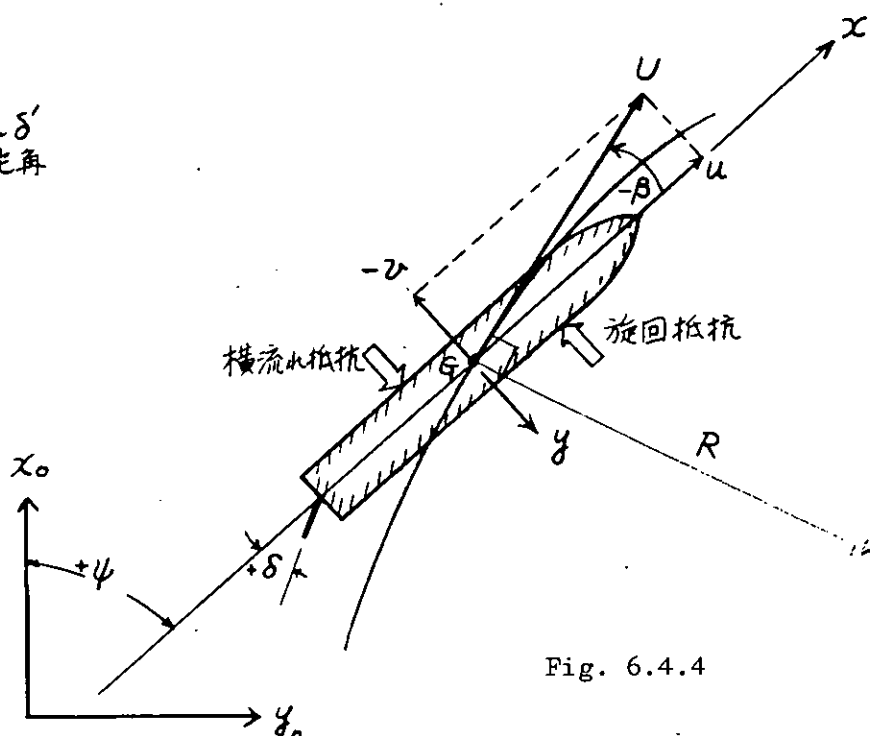


Fig. 6.4.4

が、横すべり運動に対する流体力学的減衰力の着力点より船首側にあること』が針路安定ということになる。これは“流体力学的減衰力”という言葉をも“抵抗”と置き換え、Fig.6.4.4で $R \rightarrow \infty$ の場合と考えると直観的に理解できる。

さて、進路安定性を論ずるとき操縦性関係者はしばしばFig.6.4.5の如き無次元舵角($\delta' = \delta \cdot \frac{\pi}{180}$)に対する無次元角速度($r' = r / (\frac{U}{L})$)を用う。これは一定舵角をとって得られる最終の角速度をプロットしたものでスパイラル試験あるいは逆スパイラル試験により得られるものである。図中aは進路安定船、bは臨界安定船、cは不安定船の結果で、不安定船の場合、その不安定ループ幅のなかでは一定舵角に対し二つの安定な角速度と一つの不安定な角速度をもつ。不安定ループ幅の内部の実験値は通常逆スパイラル試験で求める。

Fig.6.4.5は船の定常旋回特性を示しており、ある船の操縦性を判断するうえで大変重要である。それはこの図の横軸 δ は定常旋回中、船に作用する旋回抵抗モーメントと同等^{注)}であって、ある角速度(r')で定常旋回を行っている場合にどのような定常旋回抵抗(δ')を受けるかを表わしているからである。

このような見方でFig.6.4.5を見ると、針路安定船の場合には旋回抵抗モーメントはいつも抵抗として働いているが、針路不安定船の場合には微小運動時に負の抵抗となり、運動が発達したところで正に転じていることがわかる。(負の抵抗が起りうることはFig.6.4.4の説明から了解しうる。)

(4) 操縦性能におけるいわゆる“異常現象”について

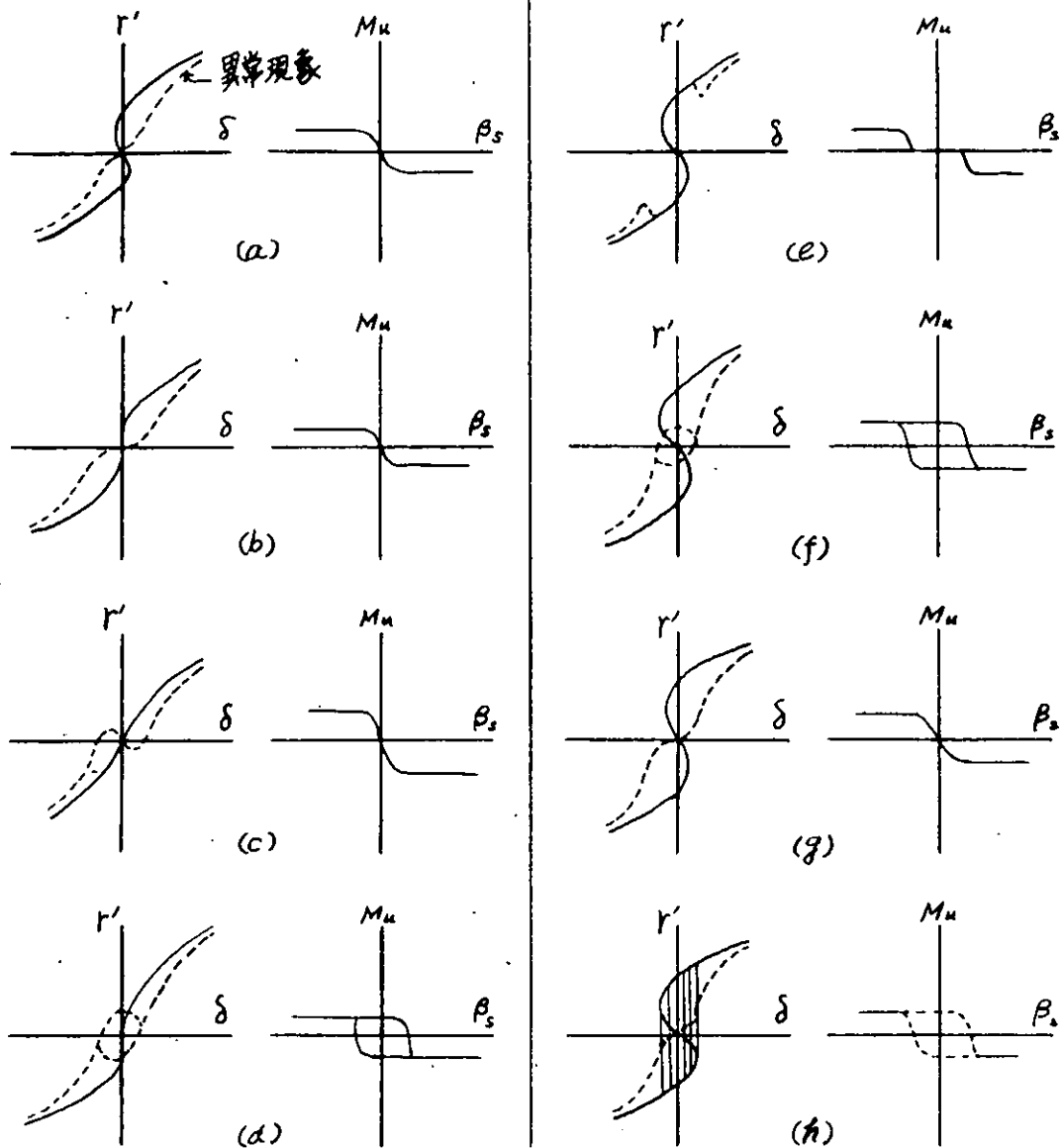
操縦性関係者がこの言葉を使いはじめたのは船型の肥大化に伴って針路安定性が悪化するという傾向が破れたことからである。すなわちある程度以上船尾が肥大化すると逆に針路安定になる船が出現したり、あるいは操縦運動が一意的に定まらないような船が出て来たことによる。

これらの現象を説明するには、舵角や横流れ速度あるいは旋回角速度の増減に素直に応ずるような流体力のみでなく剝離等による複雑な流体力を考慮しなければならない。文献⁹⁾ではFig.6.4.6のような各種のタイプの異常現象について説明がなされている。図の各 $r' \sim \delta$ 曲線(実線)が各々のすぐ右に示されている異常モーメントにより影響を受けて $r' \sim \delta$ 曲線が点線になることをモデル化して説明されている。

この図から異常モーメントの大きさ、その立ち上がり方、あるいは履歴の状況などでoriginalな $r' \sim \delta$ 曲線がさまざまに変えられることがよくわかる。なお異常モーメントは通常、船尾有効横流れ角(β_s)の函数と考えられる。

以上のようなことから操縦性関係者の用いている“異常現象”なる言葉の意味は肥大船尾をもつ船の $r' \sim \delta$ 曲線が異常モーメントで変えられている場合を総称していると考えられる。ただし、その異常モーメントの原因、内容については今のところほとんど触れられていない。

注) 定常旋回中の船に働いているモーメントは全体として零である。すなわち操舵によるモーメントとそれによって引き起された船の姿勢(操縦運動)によるモーメントはつり合っており、両者は大きさ等しく符号は反対である。操舵によるモーメントはほぼ舵角 δ に比例する。



r' ----- 無次元角速度
 δ ----- ねじ角
 M_u ----- 異常モーメント
 β_s ----- 有効横流れ角

各図の左図実線は異常モーメントによる
 異常現象を示す (2回横縦性シボ.テストより)

Fig. 6.4.6

(5) 抵抗・推進性能における不安定現象と操縦性能における進路不安定および異常現象との関連について

本項でまず改めて明らかにすべきことは、抵抗・推進の分野での“不安定”とは一定速力で直進中、抵抗や推力が時間的に変動（あるいは変化）することで Fig.6.4.4 の x 方向の力にかかわることである。これに対し操縦性の分野での針路不安定とは直進が外乱で乱されかけたとき、船体に働く y 方向の力や重心まわりのモーメントが回頭を促進させるか否かに関することで、両者は本来全く独立な事象であり、各々の事象は互に他に関係なく起りうる。従って直進中、船尾に非対称流場が生じて total な x 方向の力に変化が起らないような場合には抵抗・推進の分野では気付かれないことが多いであろうし、船尾流場は変動するけれど、それが左右対称である場合には操縦性の分野の関心をひかないであろう。

このように考えてくると、両分野共通して関心をもつのは直進中、船尾に変動する非対称流場が生じ、それが推力を変化させ、また船を回頭させようとする“異常モーメント”をも発生させる場合であるといえる。これは Fig.6.4.6 において β_s (船尾有効横流れ角) = 0 において異常モーメントが存在する (d), (f) (g), (h) などの場合や、同図には示されていないが β_s が零付近で異常モーメントが急増する場合といえる。

すなわち抵抗・推進性能における不安定現象と操縦性能における異常現象が関連が深いといえる。

次に留意を要することはプロペラの荷重度である。船尾の流場はある Critical なプロペラ荷重度で流れのパターンが変わる場合がある。また模型船の自航試験時には skin friction correction (SFC) をかけてプロペラの荷重度を実船に対応させているが、操縦性試験の free running test では SFC をかけず、通常重い荷重度になっている。従って自航試験において推力の計測値に不安定現象が現れても操縦性試験の free running test では異常現象が出ないこともありうる。また船型によってプロペラ荷重度や外乱（船の姿勢変化や動揺、風、波）に対して鋭敏に反応するもの、鈍いもの、の区別もある筈で、一例から他例への類推はむづかしい。

(6) SR61 船型の操縦性能について（過去の実験結果の調査）

第1、第2小委員会が SR61 船型を中心として自航試験におけるスラストの二値現象を研究対象としていることに呼応し、この船型の操縦性能に関する過去の実験結果を調べると大略次の通りであった。

- (i) 模型船 ($L_{pp}=4.5m$) による free running test (旋回試験、Z 試験) では異常針路安定である。
- (ii) しかし船尾肋骨線形状を V 型化すると異常針路安定は消え、針路安定性の劣る船となった。この場合の自航試験は行われていない。
- (iii) SR61 船型と類似の実船は針路安定が比較的劣る結果であった。
- (iv) 文献⁸⁾によると、同船型の We の二股現象と船尾部流れの剝離、空気吸込みは密接な関連を有し、フィンを船尾に取付けて流れを整流すると We も妥当な一値 (2 股の下値) におさまリ、同時に操縦性能の異常安定化傾向も消滅し、単純不安定船に近い傾向を示した。

(7) 針路異常安定船型 (模型船) を単純不安定化した例

SR154 研究部会において異常安定化傾向をもつ船の巡洋艦船尾部と舵の間にセンター・フィンを取付け、更に艀を少し沈めることによりその船の単純不安定化を行った。不安定になった理由は文献¹⁰⁾によると、Fig.6.4.7 の如く水流が右舷から左舷にまわり、よどみ点が左舷に来て両舷に圧力差を生じ、これが回頭を阻止する力となって異常安定化するのであるが、もしセンターフィンなどで右舷から左舷にまわる流れを阻止すればこの回頭阻止の力が弱くなり、(直進時の yaw に対する抵抗が弱くなり) 不安定化する、といわれている。この不安定化した 1 軸船の自航試験は行なわれていない。ただしほとんど同船型の 2 軸船は同じく単純針路不安定の傾向を示すが、この船の抵抗・自航試験での不安定現象はなかった。

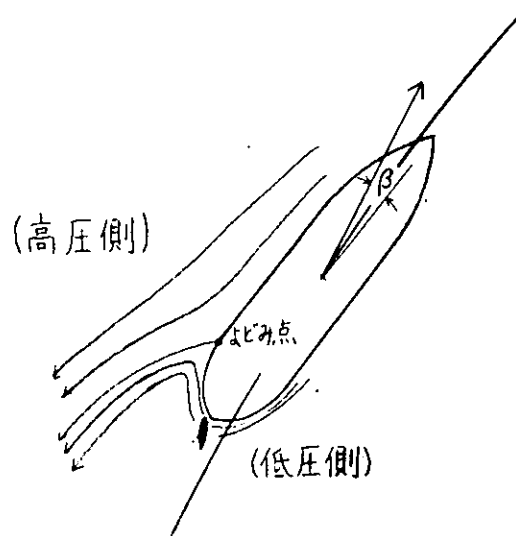


Fig. 6.4.7

文 献

- 1) R.N.Newton, "Standard model technique at A.E.W. Hasler RINA vol. 102, 1960
- 2) 梶谷 ; SR159 部会第 2 小委員会資料 昭 52.1
- 3) 田中(拓) ; JTTC 第 1 部会資料 昭 51.10
- 4) 種子田、天本、石井 ; "高レイノルズ数における球のまわりの流れ" 九大応力研報 第 44 号、昭 51.1
- 5) 渡辺(恭) ; "肥大船の推進性能に関するシンポジウム" テキスト 造船学会、昭 50.6
- 6) 島田 ; "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" 造船技術センター技報第 3 号、昭 50.3
- 7) 月野 ; "船尾附近の船型と不安定現象の発生の関係についての一調査" 造船技術センター技報第 3 号 昭 50.3
- 8) 多賀野、浅井 ; "肥大船の操縦運動における異常現象の研究" 造船学会論文集、138 昭 50.12
- 9) 元良、藤野 ; "第 2 回操縦性シンポジウム" テキスト 造船学会、昭 45
- 10) 多々納、柏谷、竹原 ; "船尾プロファイルが肥大船の進路安定性に及ぼす影響について" 関西造船協会誌 162、昭 51.9

6.5 あとがき

実験船、実船実験について二ヶ年に亘った調査につき簡潔に願る。

この調査の目的は今後遠くない時期に造船技術、就中、基本計画における船舶流体力学的な問題にとって、実験船あるいは実船実験の必要が生じることは不可避と予測し、それに対する基礎的準備のためであった。本委員会はこの目的のため、さしあたり対象を船が直進している場合の抵抗、推進性能に関する項目に重点を置いて調査を行った。調査の方法は文献とその内容の検討を主とせざるをえなかったが、昨年度に報告した国内の大型模型船による各造船所での実験と実験場に関する調査では関係者の多大の協力を受けた。また委員会ははじめ各所での検討、討論がそのまま調査の重要な結論となることも少くなかった。本報告の6.4などは操縦性関係者との討論の結果得られたものである。

実験方法に関する調査では報告書に記された方法は一応現実的で実行可能というフィルターを通過したものであって、表面に出ないアイディアはもっと多い。

さて、調査とは終りなきものである、ということも出来る。調べて現れて来た問題をまた調べる必要が出てくるからである。また、ある事柄をたとえ80%程度調べ終えたとしても、残りの約20%の調査には、それまでの何倍かの時間と努力を要することも事実である。このことに加え日本の造船界の諸般の情勢を考慮し、実験船、実船実験に関する調査の活動は一応本年度で終了することとした。予定の80%の半分にも達してはいないことに心は残るが。この続きの調査は“必要”が再開の動機になるべきであろう。

最後にこれからの実験船や実船実験の実施について一言する。たとえ、必要を迫られたとしても、現在の経済情勢では大規模な実験は非常に困難であり、そのかわり各造船所で小規模、最小必要限の実船実験が種々工夫されるであろう。このこと自体は良いことである。しかし、もしその実験がたとえば当研究協会などで共同で出来たならば更に良いことであると考えざるをえない。勿論実験の目的、内容、各所の要求度など調整の困難が大きいのは当然であるが。

これはまた国際的な問題とも関連をもつ。今後おそらくECあたりでは傘下国の技術レベル向上を目指し英国のBSRAやオランダのNSMBなどを核として共同の実船実験とか、実験船の計画がなされるのではなかろうか。勿論このような計画は表面が純学問的であっても、なかには日本の造船技術に対する対策が念頭に置かれるであろう。

このような時にも、我が国としては、共同実験に参加しても良し、せずとも良し、という技術力を保持しむしろ近隣の国と共にこちらの共同実験に参加を誘う実力を持っていたいものである。

§ 7 実船推進性能の研究に関する予備調査

7.1 まえがき

一般の水槽において実施されている実船性能推定のための模型試験は、得られた成績が、相似則や模型船と実船との相関係数を介して、実船の性能と1対1の対応をつけ得ることを前提としている。したがって肥大模型船における船尾流場の不安定現象の発生は、実船に対応するのはいずれの流場かという、水槽試験結果の解釈に種々の困難をもたらすと同時に、このような流場に対する尺度影響を在来と同じように考えてよいかどうか、また実船でもこのような不安定な流場が生ずることはないかという、模型船と実船との相関関係に関する難かしい問題を提起するに至った。

もちろん尺度の異なる相似模型船の試験結果を見る限りでは、尺度の増大にともなって船尾流場の不安定現象の発生は次第に緩和される傾向にあるように思われる。したがって実船においては船尾流場は安定化し、船尾をさらに肥厚にしたとき、はじめて実船の船尾流場が不安定化するのではないかと想像される。しかし現状ではこのような判断を支持するに足る資料はなく、また実際問題として船尾流場に関する尺度影響を明らかにして、実船において船尾流場が不安定化しはじめる船尾肥大度の限界を示すことが出来なければ、問題の最終解決とはなり得ない。

このような問題を本格的に調査するためには、出来るだけ大きい尺度の供試体を用いて詳細に調査を行うことが必要である。このため本研究部会においても、前章に示すように実験船、実船実験に関連した各種の問題について鋭意調査を進めてきた。しかしながら現今の造船業界をとりまく厳しい情勢のもとでは、このような実験を行うような基盤は全く失われており、近い将来この種の調査を行うようなことは望むべくもない。一方本研究部会としてもいたずらに理想を追って事態の解決を遷延させることは許されないので、次善の策として模型船において不安定現象が発生しているか、または発生する可能性のあるいくつかの船型について実船試運転成績を入手し、これを模型試験成績と対比して相関関係を調査することとした。これは第3年度研究の一環として実施する計画であるため、今年度はこのための予備調査を実施した。

7.2 アンケート調査結果

前記の目的に適合する実船試運転成績を入手するためには造船所の協力を得ることが不可欠なので、資料の有無と提供の可否に関して日本造船研究協会に参加している造船各社に対しアンケート調査を行った。Table 7.2.1 にアンケートの内容を、また Table 7.2.2 にこれに対する回答にその後の打合せを加味して修正した結果を示す。

この結果、数隻の調査対象船を得ることが出来、来年度の研究を進める素地が得られた。御多忙中にもかかわらず本研究部会の目的に対して深い御理解を示されたことに対して厚く御礼を申し上げる次第である。

Table 実船推進性能に関するアンケート内容

1. 昭和51～52年度に、次のような船舶について試運転を実施する予定がありますか？

(1-1) 水槽試験を実施してその際不安定現象が現われた船型

A ☐ ある

B ☐ ない

またその試運転状態（排水量、吃水、トリム）は模型試験で不安定現象が現われた状態でしょうか。 C ☐ ほぼ同じ状態 D ☐ 違う状態

(1-2) 水槽試験を実施していないが、次のような船型要素間の関係を持っている船型

$$\frac{C_B}{L/B} \geq 0.12 \quad \text{で} \quad \text{かつ} \quad lcb \geq -45.4 \left(\frac{C_B}{L/B} \right) + 3.3\%$$

A ☐ ある

B ☐ ない

なお、ここにいう水槽試験時の不安定現象とは、自航要素が2種以上の値を示したり、バラツキが大きく試験結果を一意的に確定出来ないような場合をいいます。2～3万トンから数万トン程度の船尾肥大船でより多く発生する傾向にあります。

2. 上記建造船の試運転成績、線図、プロペラ要目、舵図等を SR159 に御提供いただくことが可能でしょうか？

A ☐ 提供する

B ☐ 提供出来ない

C ☐ 条件つきなら提供出来る

Cの条件

イ ☐ SR159 水槽試験担当者間でのみ限定して使用を認める。

ロ ☐ 造船技術センター、又は船研に限り使用を認める。

ハ ☐ 線図は提供せず、かわりに模型船（製作費は SR159 負担）を提供する。

ニ ☐ SR159 の指示する試験方案に従って造船所側で試験を実施し、その試験結果を提供する。

ホ ☐ その他の代案

3. 上記建造船の試運転に、SR159 の担当委員（1～2名）が乗船、見学することが可能でしょうか？

A ☐ 可能。大体の試運転の時期は 頃。

B ☐ 不可。

C ☐ 大学、船研、造船技術センターの委員なら可能

Table 7.2.2 実船推進性能に関するアンケート結果

造船会社名	(1-1) 不安定現象の有無、肥大船の有無、	(1-2)	2 資料提供	3 試運転乗船
石川島播磨重工業(株)	No	Yes		条件付OK(3)
(株)大阪造船所	No	Yes	条件付OK(1)	OK
尾道造船(株)	No	Yes	条件付OK(2)	
(株)金指造船所	No	No	条件付OK(2)	
川崎重工業(株)	No	No		
佐世保重工業(株)	No	No	条件付OK(5)	
佐野安船渠(株)	Yes	No	条件付OK(4)	条件付OK(3)
住友重機械工業(株)	No	Yes	OK	OK
(株)名村造船所	No	No		
日本海重工業(株)		Yes		
日本鋼管(株)	Yes		条件付OK(2)	条件付OK(3)
函館ドック(株)	No	No		
林兼造船(株)	No	No		
日立造船(株)	Yes	Yes	条件付OK(2)	
三井造船(株)	No	No		
三菱重工業(株)	No	No		
(株)来島どっく	No	Yes	No	OK

条件 (1) 線図を提供するかわりに模型船を提供する(製作費はSR159負担)

(2) 造船技術センター又は船研に限り使用を認める。

(3) 大学、船研、造船技術センターの委員なら乗船可能。

(4) 試運転解析結果および関係資料を提供する。

(5) 既建造船の試運転解析結果および関係資料を提供する。

§ 8 結 言

本年度に実施した研究の詳細は以上の通りであるが、これを概観すると次のように言えるであろう。

- a) 不安定現象をより明瞭に発生させる目的で原型の船尾を僅かにV型に変更した船型は、予想通りの結果となり、不安定現象のデリケートさを示すことになった。また小型模型による実験、ことに回流水槽を用いたものは予期以上に有力な手段であること、抵抗成分分離の目的で作製された動力計も普通の計測器では発見しがたい性能を知る有力な計器であることがわかった。次年度以降にもそれらの活用が期待できそうである。
- b) 不安定現象自体はかなりはっきりしてきた。即ち抵抗試験の状態では発見できない不安定、流れの非対称が、自航状態、それもバラスト状態においては明瞭に現われ、次の二つ異なった型が周期的とはみえない間隔で発生した。

	推力及トルク	船尾横力方向	船尾縦渦	潮目発生	船側圧力
A	大	左舷向き	右舷大	左舷	左舷大
B	小	右 "	" 小	右 "	" 小

現象自体はこのようにある程度明らかになったのであるが、これがプロペラの作動を引きがねとして発生する理由、それもバラスト時にのみ顕著なのは何故か、またA→B、B→Aに急に変わるのは如何なる機構によるかなど不安定の本質的な解明は次年度以降に残されている。

- c) 実験船、実船実験に関する調査は相当膨大な報告を行なうことができたので、一応その目的を達成したものと認め、本年度をもって打切ることになった。将来この種の実験が行なわれる機会には有力な資料になるものと考えられる。
- d) 実船にもこのような現象が発生するか否かは重要な問題であるが、模型試験の結果と実船との対比以外にこれを確かめる方法はない。造船所に対する資料提供の予備的アンケートの結果では必ずしも絶望ではなさそうであるが、次年度にでも好意あるご協力を得られるなら非常に幸いである。

余談ながら、本研究はその目的から察せられるように、単にルーチ的な実験の繰返しのみでは達成できず、新しい実験方法を案出して一つひとつ疑問を解明していかなければならない。流れの計測法や可視化などその最たるものである。この意味において本研究が試験水槽の研究能力向上に及ぼす効果は少なくないであろう。