

第107研究部会
船舶の速度計測および馬力推定法
の精度向上に関する研究
報 告 書

昭和46年3月

社 団 法 人
日 本 造 船 研 究 協 会

目 次

§ 1 緒 言	1
§ 2 委員会開催状況	2
§ 3 各種対水速度計の調査と速度試運転への実用化に関する研究	10
3-1 まえがき	10
3-2 電磁式速度計	11
3-2-1 装 置	11
3-2-2 単独試験結果	16
3-2-3 昇降装置の設計	22
3-3 超音波式速度計	23
3-4 速力試運転の計画	28
3-4-1 供 試 船	28
3-4-2 電磁式速度計	28
3-4-3 超音波式速度計	28
§ 4 抵抗成分分離に関する研究	30
4-1 まえがき	30
4-2 2 m 模型船試験結果	32
4-2-1 抵抗試験	32
4-2-2 後方波形計測	32
4-2-3 後方 Wake Survey	32
4-2-4 プロペラ位置の Wake Survey	33
4-2-5 流線観測	40
4-3 4 m 模型船試験結果	46
4-3-1 抵抗試験	46
4-3-2 自航試験	46
4-3-3 プロペラ単独試験	46
4-3-4 後方波形計測	46
4-3-5 後方 Wake Survey	46
4-3-6 プロペラ位置の Wake Survey	46

4 - 3 - 7	船側 (実船計測位置) Wake Survey	4 6
4 - 3 - 8	流線計測	4 7
4 - 4	8 m 模型船試験結果	6 0
4 - 4 - 1	抵抗試験	6 0
4 - 4 - 2	自航試験	6 0
4 - 4 - 3	プロベラ単独試験	6 0
4 - 4 - 4	後方波形計測	6 0
4 - 4 - 5	後方 Wake Survey	6 0
4 - 4 - 6	プロベラ位置の Wake Survey	6 1
4 - 4 - 7	船側 (実船計測位置) Wake Survey	6 1
4 - 5	考 察	7 2
4 - 5 - 1	抵抗試験	7 2
4 - 5 - 2	波形計測	7 3
4 - 5 - 3	後方 Wake Survey	7 3
4 - 5 - 4	プロベラ単独試験	7 4
4 - 5 - 5	自航要素	7 4
4 - 5 - 6	プロベラ位置伴流計測	7 4
4 - 5 - 7	むすび	7 4
4 - 6	APPENDIX	
	SR 107 肥大船抵抗成分分離に関する模型試験方案	8 5
4 - 6 - 1	模型船関係	8 5
4 - 6 - 2	試験関係	8 5
4 - 6 - 3	解析方法	8 7
§ 5	実船と模型船の相関に関する研究の調査	8 9
5 - 1	まえがき	8 9
5 - 2	実船による計測準備	9 0
5 - 2 - 1	供試験の選定	9 0
5 - 2 - 2	計測概略	9 0
5 - 3	計測装置の設計ならびに準備	9 1
5 - 3 - 1	5 孔管式流速計	9 1
5 - 3 - 2	超音波式流速計	9 1
§ 6	結 語	10 1

§ 1. 緒 言

船舶の対水速度および所要馬力を正しく推定し、かつ正しく計測することは、船舶の建造および運航上きわめて重要な問題であり、最近の船舶の巨大化、肥大化により、これらに対する要求はさらに厳しいものとなってきた。そこで、船舶の試運転に要する時間と経費を節減し、かつ、計測精度の向上をはかるために船舶の対水速度を直接正しく計測する方法を開発するとともに、船舶の馬力推定に必要な実船と模型船との相関関係を正しく求めるために、最近特に問題となっている大型肥大船を対象として幅広い研究を日本船舶振興会の補助金を得て3ヶ年計画で行なおうとするものである。

初年度である昭和44年度には、船舶の速度計測に関する研究の手はじめとして、各種の対水速度計測方法および対水速度計に関する調査および肥大模型船まわりの流速分布の計測を行なつて、現時点における適当な対水速度計とその適当な計測位置を見出した。¹⁾

第2年度である昭和45年度の研究としては、船舶の速度計に関する研究の続きとして、電磁式ログの単独試験およびこのログと超音波式ログの実用化試験についての各種調査および検討を行なうとともに、新しく、抵抗成分分離に関する研究として3隻の相似模型により、抵抗・自航・プロペラ単独の各試験を行なうほか、後流、伴流、自由波形、流線等の観測を行なつた。この試験研究の対応実船として選ばれた船については、標準試運転および伴流分布の計測を行なう予定で、計測装置の設計および計測方法の検討を行なつた。

理想的には一つの実船で伴流分布の計測と速度計の実用化試験を行なうとともに、その船に対する数隻の縮率模型で抵抗成分分離に関する各種模型試験を行なうべきであるが、いろいろな都合から、伴流計測試験と速度計実用化試験は別の実船で行なうことになつた。

- 1) 第107研究部会、船舶の速度計測および馬力推定法の精度向上に関する研究報告書、日本造船研究協会、研究資料No109、昭和45年3月

§ 2. 委員会開催状況

2-1. 委員構成

2-1-1. 委員会

(敬称略, 順不同)

部会長	横尾幸一	(船舶技術研究所)		
委員	安部光弘	(三井造船)	石毛昭	(白杆鉄工)
	泉晃	(三菱重工)	乾崇夫	(東京大学)
	植竹信次郎	(日立造船)	牛島秀利	(住友重工)
	池村清	(船舶局)	岡田高	(沖電気)
	岡野伊史	(佐世保重工)	岡部淳一	(九州大学)
	岡本洋	(川崎重工)	小林実	(北辰電機)
	笹島秀雄	(大阪大学)	滋野正明	(佐野安船渠)
	柴田幸二郎	(安立電波)	芝田珠郎	(北辰電機)
	鈴木正	(安立電気)	須藤彰一	(日立造船)
	須藤正信	(日本鋼管)	田古里哲夫	(東京大学)
	田中一朗	(大阪大学)	田中磯一	(光電製作所)
	仲渡道夫	(広島大学)	温品秀雄	(日本無線)
	花園史郎	(函館ドック)	藤原芳夫	(名村造船)
	伏見清喜	(昭和海運)	丸尾孟	(横浜国立大学)
	箕原喜代美	(古野電気)	宮崎正弘	(大阪造船)
	宮島次郎	(海上電気)	村松省吾	(三保造船)
	森正彦	(石川島播磨重工)	森川卓	(船主協会)
	矢崎敦生	(造船技術センター)	山崎芳嗣	(佐世保重工)
	吉富佐	(三菱重工)	渡辺恭二	(三菱重工)
	柿木初喜	(盛岡計器)		

2-1-2. 小委員会

1) 速度計測小委員会

(敬称略, 順不同)

主査	田古里哲夫	(東京大学)		
委員	牛島秀利	(住友重工)	岡田高	(沖電気)
	芝田珠郎	(北辰電機)	田中一朗	(大阪大学)
	仲渡道夫	(広島大学)	野中健美	(船舶技術研究所)
	箕原喜代美	(古野電気)	宮島次郎	(海上電気)
	矢崎敦生	(造船技術センター)	柿木初喜	(盛岡計器)

2) 伴流計測小委員会

(敬称略, 順不同)

主査	笹島秀雄 (大阪大学)	
委員	荒井能 (船舶技術研究所)	植竹信次郎 (日立造船)
	辛島光二 (三菱重工)	木津猛夫 (日立造船)
	鈴木敏夫 (大阪大学)	須藤彰一 (日立造船)
	高橋肇 (船舶技術研究所)	田古里哲夫 (東京大学)
	田中一朗 (大阪大学)	仲渡道夫 (広島大学)
	福田甲子郎 (電子工業)	丸尾孟 (横浜国立大学)
	宮島次郎 (海上電機)	山崎芳嗣 (佐世保重工)
	渡辺恭二 (三菱重工)	

3) 抵抗成分分離小委員会

(敬称略, 順不同)

主査	渡辺恭二 (三菱重工)	
委員	乾崇夫 (東京大学)	笹島秀雄 (大阪大学)
	須藤彰一 (日立造船)	高橋肇 (船舶技術研究所)
	田古里哲夫 (東京大学)	仲渡道夫 (広島大学)
	藤田孝 (三菱重工)	丸尾孟 (横浜国立大学)

2-2. 委員会開催

2-2-1. 委員会

第7回委員会 45. 4.22 (水) 13.30~17.00

主な審議事項

- 44年度研究報告書
- 電磁ログの仕様
- 伴流計測用ピトー管の取付位置の方向

第8回委員会 45. 6.20 (土) 10.30~14.00

主な審議事項

- 実験対象船
- 模型船の線図
- 来年度の実船実験
- 小委員会の設置

第9回委員会 45. 9.28 (月) 13.30~17.00

主な審議事項

- 来年度研究計画

第10回委員会 45.11. 9 (月) 13.30~16.00

主な審議事項

- 対水速度実船実験
- 伴流計測実船実験
- 超音波音場の計測

- 4 m 模型試験結果

第 11 回委員会 46. 1.20 (水) 13.00～20.00

主な審議事項

- 2 m 模型試験結果
- 今年度の研究報告
- 来年度研究予算

2-2-2. 小 委 員 会

1) 速度計測小委員

第 1 回小委員会 45. 6.20 (土) 14.00～17.00

主な審議事項

- 模型実験の試験条件
- 速度計測実施上の問題点

第 2 回小委員会 45. 7.22 (水) 10.30～14.00

主な審議事項

- 電磁式対水速度計
- ドップラゾナーの受注可否調査結果

第 3 回小委員会 45. 8.17 (月) 10.30～14.00

主な審議事項

- 電磁式対水速度計
- 超音波式対水速度計

第 4 回小委員会 45. 9.11 (金) 11.00～17.00

主な審議事項

- 超音波式対水速度計
- 来年度予算

第 5 回小委員会 46. 2.18 (木) 10.00～13.00

主な審議事項

- 計測装置
- 来年度予算の見直し
- 今年度の研究報告

2) 伴流計測小委員会

第 1 回小委員会 (速度計測小委員会と合同で開催) 45. 6.20 (土) 14.00～17.00

主な審議事項

- 模型実験の試験条件
- 伴流計測実施上の問題点
- 速度計測実施上の問題点

第 1 回 W.G. 委員会 45. 7. 7 (火) 10.00～16.00

主な審議事項

- 実験準備

- ビトー管
- 圧力検出部、計測部

第 2 回 W.G. 委員会 45. 7.20 (月) 10.00～16.00

主な審議事項

- ビトー管取付位置
- ビトー管形状
- ビニール管配管
- 圧力検出部
- ビトー管検定試験
- 具体案計画担当

第 2 回 小委員会 45. 7.22 (水) 14.00～17.00

主な審議事項

- 超音波式伴流計測装置
- ビトー管による伴流計測装置
- ビトー管の取付要領

第 3 回 W.G. 委員会 45. 8. 5 (水) 9.30～14.30

主な審議事項

- 骨組構造
- ビトー管
- マノメータ
- レコーダ
- 所要経費

第 3 回 小委員会 45. 8.17 (月) 14.00～17.00

主な審議事項

- 超音波式伴流計測装置
- 5 孔管式伴流計測装置
- 所要経費

第 4 回 W.G. 委員会 45. 9.10 (木) 10.00～17.40

主な審議事項

- ビトー管取付用骨組
- 電気式ビトー管
- マノメータ
- スケジュールと分担

第 5 回 W.G. 委員会 45.10.19 (月) 10.30～16.00

主な審議事項

- 骨組構造
- ビニール管
- 水中雑音の計測

- 超音波式伴流計

第 6 回 W.G. 委員会 46. 1. 8 (金) 10.00～17.00

主な審議事項

- 来年度予算
- 骨組振動モニター
- 5 孔管検定装置
- 5 孔ピトー管検定試験方案

第 4 回 小委員会 46. 2. 6 (土) 10.00～18.30

主な審議事項

- 5 孔管検定装置
- 計測端の取付位置
- ビニール管配管
- マノメータ
- マスター・スケジュール
- 作業チェックリスト
- 今年度の研究報告

第 7 回 W.G. 委員会 46. 3.10 (水) 10.30～17.15

主な審議事項

- 最終製作図のチェック
- 作業チェックリストの確認
- 予算の再検討

第 8 回 W.G. 委員会 46. 3.27 (土) 9.30～16.40

主な審議事項

- 日立因島作業方針の確認
- 日立因島作業実施上の問題点の検討
- マノメータについて
- 経費の見直し
- ノイズ計測
- スケジュールの確認

3) 抵抗成分分離小委員会

第 1 回 小委員会 46. 2.26 (金) 13.30～17.00

主な審議事項

- 模型試験結果の解析
- 今年度の研究報告

2-3. 配布資料

2-3-1. 委員会資料

第 7 回 委員会

- (1) 対水速度計測方法および対水速度計に関する調査
- (2) 肥大模型船まわりの流速分布の計測

(田古里 委員)

(横尾 部会長)

- | | |
|-------------------------------------|---------------------|
| (3) 流速分布についての考察 | (仲 渡 委 員) |
| (4) 解析結果のまとめ | (") |
| (5) 実船における境界層の計測第3報 | (岡 部 委 員) |
| (6) 電磁ログ仕様 | (芝 田 委 員) |
| (7) S.No.4302 船尾に対しての串型5孔ピトー管の取付形状図 | (笹 島 委 員) |
| (8) 実船用超音波式伴流計測装置 | (田古里 委 員) |

第8回委員会

- | | |
|--------------------------|---------------------|
| (1) 速度計測小委員会名簿 | (造 研) |
| (2) 伴流計測小委員会名簿 | (") |
| (3) 対水速度計測実船試験 | (牛 島 委 員) |
| (4) 実船における境界層の計測(第3報)正誤表 | (岡 部 委 員) |

第9回委員会

- | | |
|------------------|------------------|
| (1) 伴流計測W.G.作業状況 | (笹 島 委 員) |
| (2) 46年度計画(案) | (造 研) |

第10回委員会

- | | |
|-----------------------------|------------------|
| (1) 電磁式および超音波式速度計実船試験スケジュール | (牛 島 委 員) |
| (2) 伴流計測小委員会W.G.委員会(第5回)議事録 | (造 研) |
| (3) 超音波音場の計測について | (荒 井 委 員) |
| (4) 4m模型試験結果 | (仲 渡 委 員) |
| (5) 46年度事業計画書 | (造 研) |

第11回委員会

- | | |
|-----------------------------|---------------------|
| (1) 伴流計測小委員会W.G.委員会(第6回)議事録 | (造 研) |
| (2) 5孔ピトー管検定試験方案 | (田 中 委 員) |
| (3) 伴流計測小委員会W.G.スケジュール | (") |
| (4) 2m模型試験結果 | (九 尾 委 員) |
| (5) 報告書目次(案) | (部 会 長) |
| (6) 46年度予算配分(案) | (造 研) |
| (7) 46年度予算明細書 | (") |

2-3-2. 小委員会資料

1) 速度計測小委員会

第1回小委員会

- | | |
|--------------------|-----------|
| (1) 電磁ログによる速度計測系統図 | (芝 田 委 員) |
|--------------------|-----------|

第2回小委員会

- | | |
|-----------------------------|---------------------|
| (1) 電磁ログ式速度計取付費用 | (牛 島 委 員) |
| (2) 電磁式対水速度計仕様書(案) | (芝 田 委 員) |
| (3) 測定桿他図面1式 | (") |
| (4) ドップラ・ソナー式対水速度計製作所調査結果 | (田古里 委 員) |
| (5) Doppler sonar speed log | (堀 田 氏) |
| (6) 超音波式対水速度計について | (箕 原 委 員) |

第3回小委員会

- | | |
|--|-----------|
| (1) Sea valve & remote controller etc. | (北 辰 電 機) |
|--|-----------|

第4回小委員会

- (1) 超音波式ログ取付要領 (牛 島 委 員)
- (2) 超音波式対水速度計について (箕 原 委 員)

第5回小委員会

- (1) 電磁式流速計のCal. Test 結果について (野 中 委 員)
- (2) 電磁ログ単独試験(受感部No.06053) (芝 田 委 員)
- (3) 電磁ログ単独試験 (")
- (4) 研究報告書草稿(3-1.まえがき) (田古里 主 査)
- (5) " (3-4.速度試運転の計画) (永 松 委 員)

2) 伴流計測小委員会

第1回小委員会(速度計測小委員会と合同)

- (1) 電磁ログによる速度計測系統図 (芝 田 委 員)

第1回W.G.委員会

- (1) 実船における境界層計測例 (辛 島 委 員)

第2回小委員会

- (1) 超音波式伴流計製作所受注調査結果 (田古里 委 員)
- (2) 伴流計測小委員会W.G.委員会(第1回)議事録 (主 査)
- (3) ビトー管取付トラス取付要領 (日 立)
- (4) 実船試験(伴流計測)試供船要目 (")

第4回W.G.委員会

- (1) マノメーター (仲 渡 委 員)
- (2) ビトー管取付トラス取付要領 (日 立 因 島)
- (2)' 5孔管取付トラスの振動計算 (日 立 技 研)
- (3) 電気式ビトー管 (辛 島 委 員)
- (4) 分担とスケジュール (田 中 委 員)

第5回W.G.委員会

- (1) ビトー管取付トラス取付要領 (日 立 因 島)
- (2) ビニール管についての予備実験結果他 (鈴 木 委 員)
- (3) 超音波流速計取扱説明書 (田古里 委 員)
- (3)' 超音波式流速計検定結果 (")
- (4) 昭和46年度予算申請に要する説明資料一覧 (造 研)

第6回W.G.委員会

- (1) 昭和46年度予算の査定について (造 研)
- (2) 研究費および傭人給各社別内訳(案) (")
- (3) 経費明細書(46年度分) (")
- (4) 骨組振動モニター (日 立 技 研)
- (5) 5孔管検定装置設計図 (鈴 木 委 員)
- (6) 5孔ビトー管検定試験方案 (田 中 委 員)

第4回小委員会

- (1) 5孔管検定装置 (鈴 木 委 員)
- (2) 5孔管検定装置強度計算 (")

- | | |
|-------------------------|---------------------|
| (3) 伴流実船試験概略 | (山 崎 委 員) |
| (4) 実船による船尾流速計測メモ | (高 橋 委 員) |
| (5) Master Schedule (案) | (日 立) |
| (6) 作業チェックリスト | (") |

第7回W.G.委員会

- | | |
|-----------------------------|---------------------|
| (1) 全体装置(含ビニールチューブ固縛用金具詳細図) | (日 立) |
| (2) 骨組取付図(各センサーの取付位置を含む) | (") |
| (3) ビトー管取付トラス取付要領 | (") |
| (4) 実船伴流計測用マノメータについて | (船 研・広 大) |
| (5) 研究報告 § 5.草稿 | (阪 大) |
| (6) プロベラ付近超音波騒音音場計測ノート | (船 研) |

第8回W.G.委員会

- | | |
|-----------------------|---------------------|
| (1) 日立因島作業方針 | (日 立 因 島) |
| (2) 日立因島検討, 質問および要望事項 | (") |
| (3) 流速等計測法に関するメモ | (船 研) |

3) 抵抗成分分離小委員会

第1回小委員会

- | | | |
|-----------------------------------|--------------------|---------------------|
| (1) 研究報告草稿 | 4-1. まえがき | (渡 辺 主 査) |
| (2) " | 4-2-5. 流線観測 | (田古里 委 員) |
| (3) " | 4-3. 4 m模型試験 | (仲 渡 委 員) |
| (4) " | 4-4. 8 m模型試験(本文) | (藤 田 委 員) |
| (5) " | 4-4. " (図表) | (") |
| (6) " | 4-5. 考 察 | (渡 辺 主 査) |
| (7) S R 1 0 7 肥大船抵抗成分分離に関する模型試験方案 | | (藤 田 委 員) |

§ 3. 各種対水速度計の調査と速力試運転への実用化に関する研究

3-1. ま え が き

初年度である昭和44年度においては本研究題目に関しては、従来船舶用の測程儀として採用されている計測方法のみならず、巨大船速力試運転用として実用の可能性のありそうな各種の水の流速計測法をも採上げて調査し、精度、安定度、装備および撤去工事量、取扱性などを比較検討した。その結果、船体水中部に受感部を装備する計測方法を採用することにし、受感部を取付けた測定桿を船体から突出させる方法のうちでは電磁式が海水の物性値、浮遊物、ごみの影響が少なく、精度、安定度、直線性が良好であり、また既に船舶用測程儀として実績もあるので適していると考えられた。従つて、昭和46年度に実施する予定の実用化実船試験用に電磁式をまず選定した。

電磁式は測定桿により船底から受感部を突出させ、その位置における流速計測結果から船速を推定することになる。従つて測定桿を甚しく長くしないためには境界層が薄い位置が好ましい。しかし、巨大肥大船の船首付近は船底に甚しい交叉流があり、速度勾配の存在、トリム、吃水の影響が比較的大きいことなどから、取付け位置としては不適当である。境界層厚が増すけれどもStation 7 横截面付近の船体中心線近くは、 $(\text{境界層外端流速}) / (\text{船速})$ がほぼ一定であり、速度勾配も殆んどなく取付け位置として適している。この取付け位置では境界層外に受感部を置くとしても、測定桿の長さが1 m程度では、やはり、船体の影響を受けて流速は船速と異なることになる。従つて、その補正を行なうため模型試験を要することになる。

船体水中部に装備する方法の1つであるドップラー・ソナー式超音波速度計は船体から速く離れた水塊に対する速度を計測することになるので、上記補正を殆んど要しないと思われる。超音波の反射率、減衰、到達距離などの問題点があるが、実船試験までに解決でき、現在使用されているドップラー・ソナー式測程儀より精度も向上でき、速力試運転に適したものができると予想して、この方式も採用を予定することとなった。

本年度においては、まず対水速度計実用化実船試験に使用する実船として住友重機械の昭和46年度における建造船が決定された。この実船試験に使用する電磁式速度計の単独試験が本年度予定されている実験研究項目の1つである。実船試験においては、この電磁式速度計を使用し、境界層外に受感部を置くための測定桿突出量を求め、また速度分布形状から境界層外端流速を求める方法を調べ、あわせて巨大肥大船の境界層と模型の境界層とを対比研究する目的のため、船底ごく近傍から境界層外まで速度分布の計測を行なうことも予定されている。電磁式速度計は、受感部が鉄、鋼材に近付くと受感部周りの磁場が変化し、感度、零点が変化する。従つて、電磁式速度計の単独試験においては可能な限り磁氣的に実船に等しくするため、実船船底外板と同じ厚さの鋼板に実船と同一寸法の座金を取付けた架台を使用して試験を行なうことにした。試験は、船底からの測定桿突出量を変えて、流速と指示値の関係、突出量の影響、流向角度の影響を求めるため、船舶技術研究所400 m水槽において速度0.5～8.0 m/s について行なわれた。

電磁式速度計を実船試験に使用する時、境界層外まで受感部を突出できることが望まれるので、まず最大突出量を検討し決定した。さらに上記のように船底からの突出量を任意に変えることになつていたので、このための各種の方法を検討し、遠隔操作により突出量の随時任意変更ができるような測定桿昇降装置の設計を行なつた。

ドップラー・ソナー式超音波速度計については、前年度に引続き検討を進め、仕様、計器の方式、実船取付け位置および取付方法などを定め、設計を行なつた。

上記2種の速度計の準備とあわせて、実船試験実施方法を計画した。

3-2. 電磁式速度計

3-2-1. 装 置

船舶の速力試運転用対水速度計実用化試験のため、使用する予定の電磁式速度計は Table 3.2.1 に示す構成から成り、以下のような計測方式のものである。その系統図を Fig. 3.2.1.2 に示す。

Table 3.2.1

機 器 名	数 量	記 事
船 底 弁	1	
測 定 桿	1	
受 感 部	2	1 箇は予備
速 度 発 信 器	1	
速 度 受 信 器	1	

船般に取り付けた船底弁を通して、測定桿の先端に取り付けた受感部を海中に突出させ、Fig. 3.2.1.1 に示すように受感部からの海水中の磁界と船の運動による海水の流れとに直角方向に発生する船速に比例した誘起電圧はサーボ増幅器とサーボ機構を用いて速度指示をするとともにシンクロ電機を用いて速隔指示をする。その性能はつぎのようなものである。

型 式	電 磁 式
定 格	連 続
電 源	AC100V, 60Hz, 1 ϕ
測 定 範 囲	0 ~ 25 kn
速 度 目 盛	二重目盛, 0 ~ 1 kn (1/100 kn 単位) 0 ~ 25 kn (0.5 kn 単位)
応 答 速 度	0 ~ 25 kn の計測所要時間 2 ~ 3 分
出 力	記録計用アナログ信号 (10mA)

(1) 船 底 弁

船底弁は青銅鋳物製で、測定桿を確実に保持するとともに、測定桿を引き抜いたときに海水が船内に投入するのを防止するための弁を持つた口径 75mm のスルースバルブを主体とする構造のものである。

弁本体は案内フランジを介して取付座に 8 本のスタット (M-16 ねじ, ステンレス鋼 SUS 27) で取り付けられる。案内フランジは測定桿の防振用として、内側に防振ゴムが取付てある。

弁本体の上部フランジは測定桿の案内となるとともに海水の漏水防止用のパッキンが取り付けである。Fig. 3.2.1.3 に船底弁を示す。

(2) 測定桿および受感部

桿体はネーバル黄銅製で、断面は流線型をしていて、先端に同じく流線型をした受感部が取り付けられる耐水圧構造のものである。

桿は桿体と頭部の接続箱およびハンドルから構成され、受感部励磁用および速度信号用の接続ケーブルがそれぞれ一本付属している。

受感部はエポキシ樹脂にガラス繊維をまぜてモールドした外皮と内部にある交流磁界発生用の電磁石および速度信号受信用電極 (1 対) で構成された主要部と桿体取付金物からできている。

Fig. 3.2.1.4 に測定棒および受感部を示す。

(3) 速度発信器

この電磁式速度計の中心となる機械的並びに電気的部分が収めてあり、受感部からの速度信号を受け速度を算出しこれをアナログ信号で発信する。

受感部からの速度信号は増幅され、増速・減速方向を選別してパルスモータを駆動する。パルスモータは速度ポテンシオメータの刷子を回転させる。このポテンシオメータの電圧は増幅され、比較トランスで位相を反転して速度信号と比較し、その電圧が0になるまでパルスモータは回転する。

パルスモータはまた速度指針、シンクロ発信機と記録計のアナログ信号用のポテンシオメータを連動する。

速度指針は2針式で1回転1kn ($1/100\text{kn}$ 単位)の長針と1回転25kn ($1/2\text{kn}$ 単位)の短針で速度を指示する。

シンクロ発信機は1回転につき1knと25knの精粗の2個で速度信号を速度受信器に発信する。

また点検用にダミー速度信号を出すポテンシオメータを備え、スイッチで受感部の速度信号と切替えることができる。Fig. 3.2.1.5 に速度発信器外形、Fig. 3.2.1.7 に速度発信器結線図を示す。

(4) 速度受信器

速度発信器と同様に精粗2個のシンクロ受信機で速度信号を受信して、2針式で $1/100\text{kn}$ 単位で速度を指示する。Fig. 3.2.1.6 に速度受信器外形を示す。

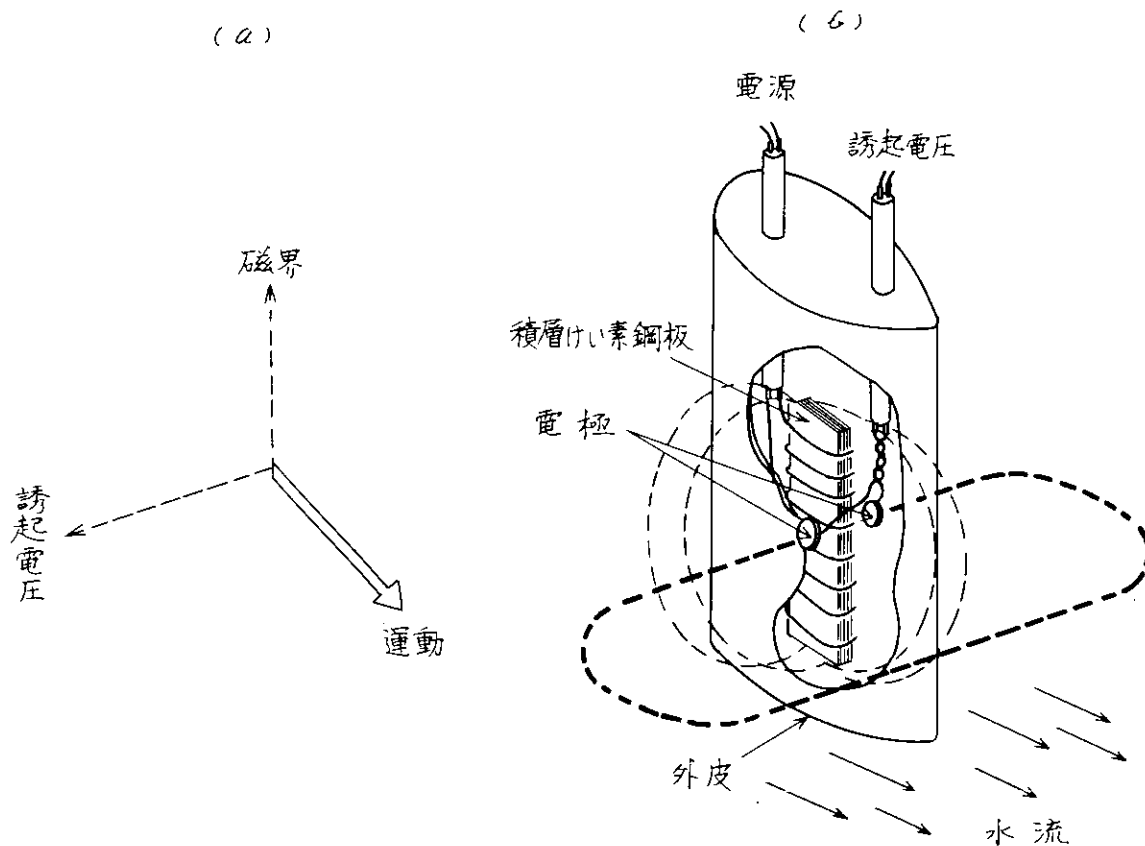


Fig. 3.2.1.1 原理図

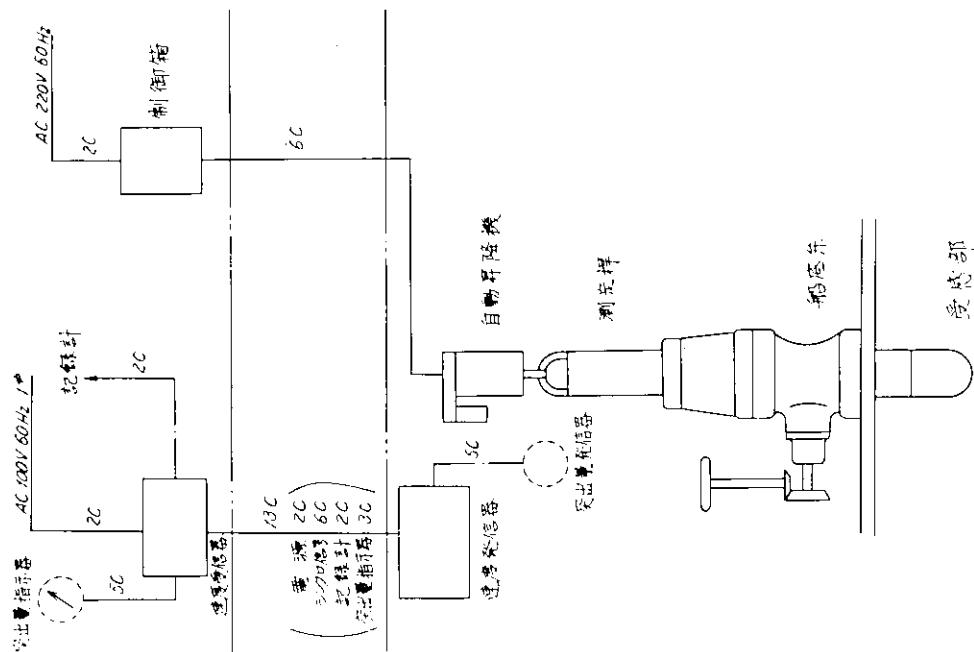
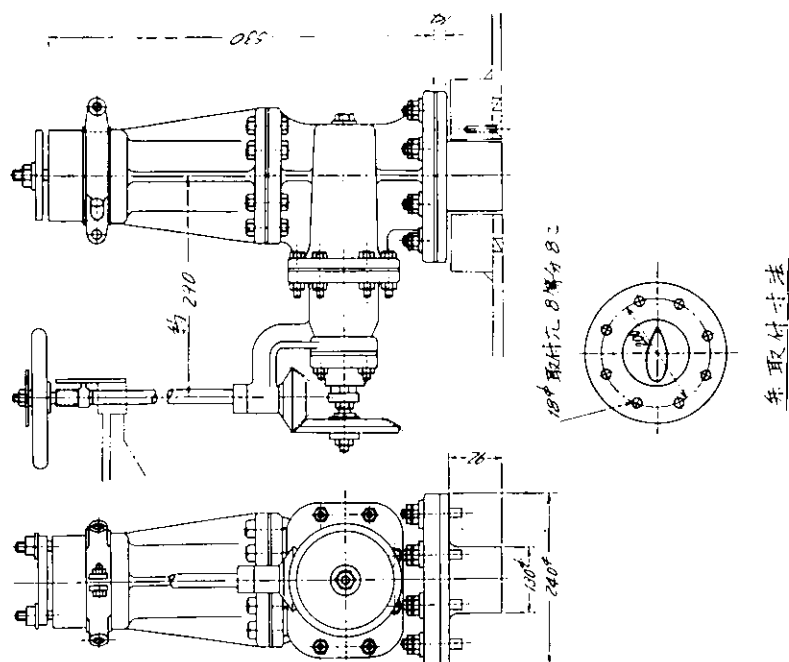


Fig. 3.2.1.2 系統図



種別	主要材料
弁本体	青銅鑄物
取付板	ステンレス鋼板

Fig. 3.2.1.3 船底弁

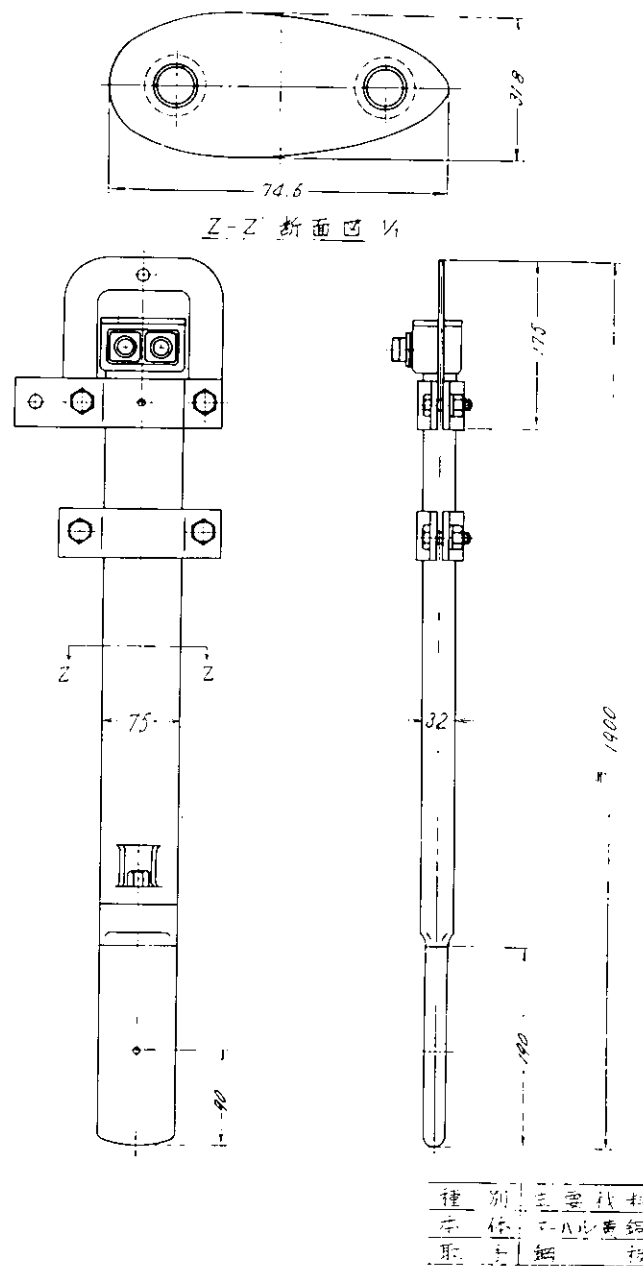


Fig.3.2.1.4 測定棒および受感部

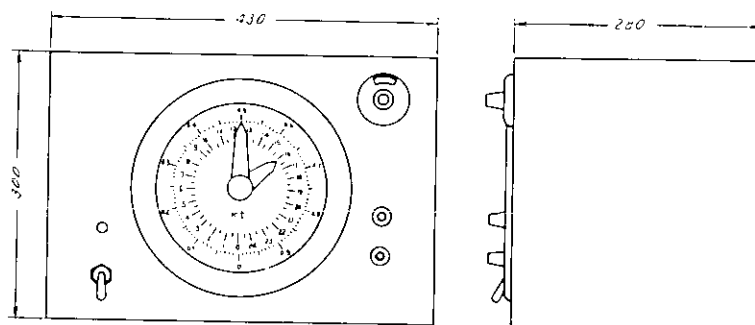


Fig. 3.2.1.5 速度発信器

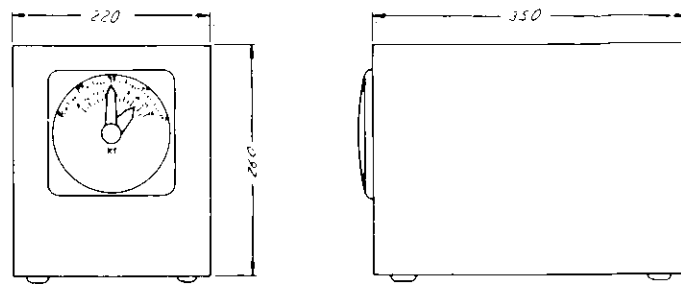


Fig. 3.2.1.6 速度受信器

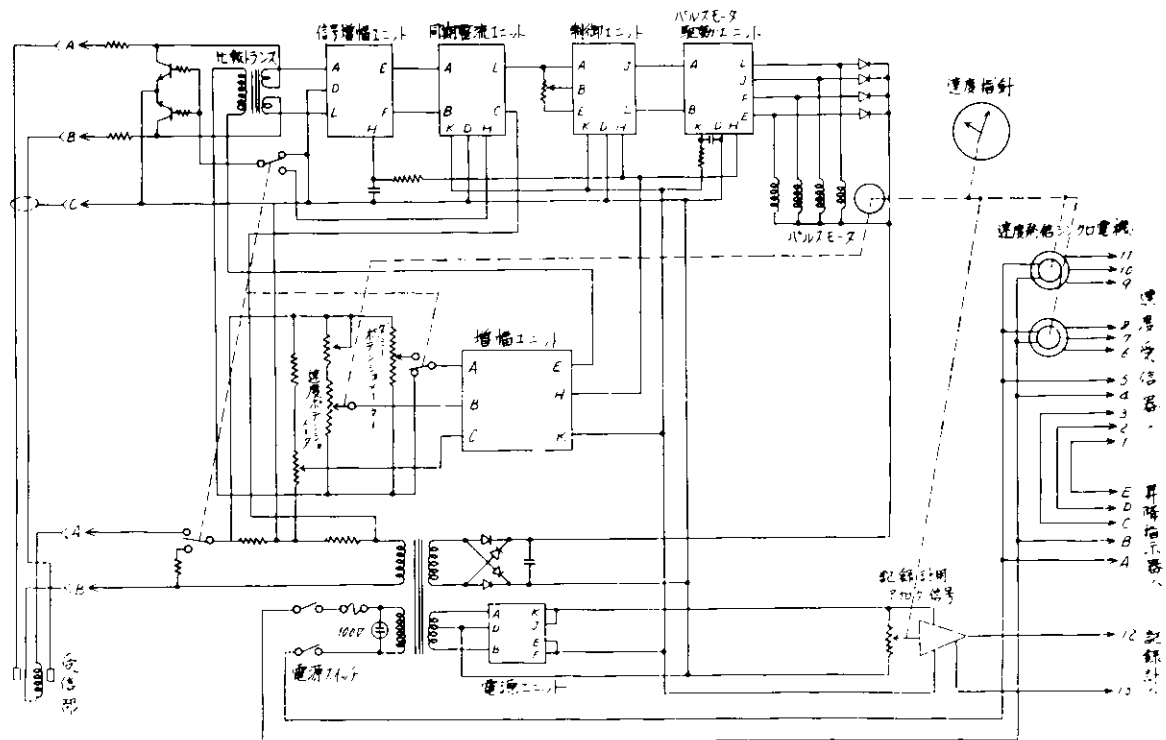


Fig.3.2.1.7 速度発信器結線図

3-2-2. 単独試験結果

(1) 試験要領

電磁式速度計の単独試験は船舶技術研究所400m水槽を使用して行なつた。実船船底に本速度計を装備した場合と磁氣的にほぼ同一の状態にするためFig. 3.2.2.1に示す鋼板製架台を製作し、これに測定桿を取付けた。まず、受感部に対する船底の影響および指向特性を計測したのち、船底影響および指向特性のない標準計測状態を定め、この状態で検定を行なつた。その速度範囲は実船の速力から0～8 m/sとした。また水槽残流による計測誤差を確認するために対地速度および対水速度の同時計測を行ない、計測精度の向上を計つた。

(2) 試験結果

(a) 船底影響計測

電磁式速度計は原理上、船底と受感部の距離、受感部の形状などにより電磁気学的および流体力学の影響を受け、計測誤差および偏差の原因となる。Table 3.2.2.1の(A)は船底外板表面極く近傍における流速計測の可能性を調べるため速度V3点について受感部突出量 l を変えた場合、(B)は標準状態を定めるため速度5 m/sで走行し、 l を変えた場合、また(C)は船底外板などによる受感部周辺の磁場変化などに起因する計器零点移動BGを調べるため速度0 m/sで l を変えた場合それぞれについてえられた速度発信器の読み O_p である。(A)(B)の結果をFig. 3.2.2.2に示す。これから l を100 mm以上にすれば、船底影響は無視しうることが判る。また、 $l=0$ の場合 $V>0$ ではBGの値より読みが大きくなっていることは、受感部電極が大きさをもち船底外板表面から僅に離れた位置の流速を計測することになるためと思われる。 $l=100$ mm以下の状態で計測する場合は、 l をパラメータとして(A)の結果を図示したFig. 3.2.2.4により流速を求めることができる。ただし、精度の高い計測を行なうためには測定桿長さ方向に速度勾配のある流れの中で検定を行なう必要がある。

(b) 指向特性計測

速度計の指向特性計測結果をTable 3.2.2.2に示す。これから $\pm 4.8^\circ$ 以内では指向特性を無視しうることが判る。

(c) 標準状態の設定

上記船底影響および指向特性の計測結果から、本架台でとりうる最大突出量 $l_{\text{mm}} = 400$ mmおよび流れに正対($\theta=0^\circ$)を標準状態とした。

(d) 残流計測結果

対地と対水の速度差はTable 3.2.2.3に示すように本速度計所要精度内にあるので残流は無視できる。従つて今回の単独試験では対水速度のかわりに対地速度を採用してよい。

(e) 検定結果

検定結果をTable 3.2.2.4, Fig. 3.2.2.4～5に示す。今回単独試験を行なつた速度計受感部はすべて速度2, 5 m/s附近で出力勾配が異なる。この原因は流体力学効果によるものと考えられ、計測値の直線性が受感部の形状を変えることによつて改善されることが従来の研究により確認されている。夫々の受感部による速度発信器読み O_p と直線近似との相対誤差は速度計の使用予定範囲においては所要精度内にある。Fig. 3.2.2.4はTable 3.2.2.4を図示したもので、2本の直線(P_1-L, P_1-H)は電磁式速度計(P_1)の指示値を低速度域(0～2 m/s)の勾配、高速度域(4～8 m/s)の勾配でそれぞれ近似したものである。またFig. 3.2.2.5は速度発信器の読みと曳航速度の値の差を示したものであり、これによれば P_2 は他の受感部と多少違った傾向を示している。

(3) 性能と問題点

- (a) 船速を計測するという目的のために要求される相対誤差 $1/300$ 程度の精度は本計器単体では可能である。
- (b) 境界層内流速の精密計測のためには $\ell=0$ 附近での測定棒のガタの除去とコンパクト化、および速度勾配のある流れの中での試験が必要であるが、現段階においては、この程度の誤差が含まれてもやむを得ないものと思われる。
- (c) 変動流の計測は今回の目的ではないが、その目的に、この速度計を使用する場合には、出力電流のアナログ表示方式の開発により可能となる。
- (d) 速度発信器指示値の勾配が 2.5 m/s 附近で変化している原因としては受感部境界層の遷移による剝離点の大巾な移動が起り受感部周辺速度分布が変わるためと考えられるが確認はえられない。

(4) 結 論

受感部 P_1 および P_3 を実船試験用の速度計受感部として使用することに予定し、Fig. 3.2.2.3, 4 に相当する大きな図面を校正曲線として用意することにした。

なお、速度発信器指示値と実速度の差を示す指示差曲線は Fig. 3.2.2.5 に示すように傾斜し低速側と高速側で傾斜が異っている。感度調整により、このどちらかの傾斜を 0 にすることが可能であるが一方を傾斜 0 にすれば他方の傾斜が増すこと、再調整の必要性が少ないことなどから、本単独試験における感度のまま実船試験に使用することにした。

Table 3.2.2.1 船底影響計測結果

V_m ℓ	A 速度発信器の読み (kn)			B 速度発信器の読み(kn) m/s V=5.000		C 速度発信器の読み(kn) B.G V=0 m/s		備 考
	1.500	2.250	3.000	ℓ (mm)	ℓ (mm)	ℓ (mm)	ℓ (mm)	
0	1.22	1.77	2.27	50	9.48	0		1) ℓ : 受感部突出量 2) 発信器の零点は $\ell=400 \text{ mm}$, $V=0$ にて設定 3) W, T=11.7°C 4) 同じ列のデータは計測シリーズが同じであることを示す。 5) 速度の計測値は速度計指示値 (kn) を示す (読み取り誤差 ± 0.01) 6) (c) の BG は相対値を示す。
10	1.90	2.78	3.64	100	9.56	15	-0.05	
20	2.30	3.57	4.53, 4.62	151	9.58	36	-0.20	
30	2.50	3.81	5.10, 5.10	203	9.61	61	-0.25	
45	2.70	4.05	5.44, 5.44	257	9.61, 9.63	86	-0.25	
60	2.70	4.10	5.40, 5.54	382	9.63	101	-0.26	
75	2.70	4.10, 4.10	5.55			341	-0.26	
90	2.68	4.06	5.60			374	-0.27	
120			5.60					
150	2.72	4.10	5.61					
200	2.74	4.10	5.63					
300	2.74	4.08	5.64					
400	2.74	4.08	5.64					

Table 3.2.2.2 指向特性計測結果

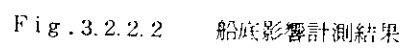
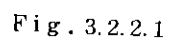
ℓ (mm)	Op (kn)	θ (度)	V (m/s)	備 考
200	9.60	0	5.000	1) θ : 受感部中心線と速度の間の角度 Op: 速度発信器の読み
200	9.59	4.8	5.000	
200	9.60	-4.8	5.000	

Table 3.2.2.3 残流計測結果

対地速度 (m/s)	対水速度 (m/s)	備 考
1,500	1,503	1) 残流の最も大きいと思われる時期(8m/s 走行直後)に行なつた計測値である。
2,000	2,000	
2,500	2,487	
3,000	2,985	

Table 3.2.2.4 検定結果

V (m/s)	Op (kn)			備 考
	P ₁	P ₂	P ₃	
0.500	0.87, 0.91	0.92	0.90	受感部番号 P ₁ =06053 P ₂ =06056 P ₃ =06064
1.000	1.77, 1.81	1.85	1.79	
1.500	2.74, 2.75	/	/	
2.000	3.64, 3.64, 3.65	3.70	3.61	
2.500	4.59, 4.57	/	/	
3.000	5.58, 5.62 5.62	5.73	5.60	
3.500	6.67	/	/	
4.000	7.62, 7.67	7.78	7.66	
5.000	9.65	9.81	9.65	
6.000	11.64	11.79	11.64	
7.000	13.62	13.77	13.63	
8.000	15.60	/	/	



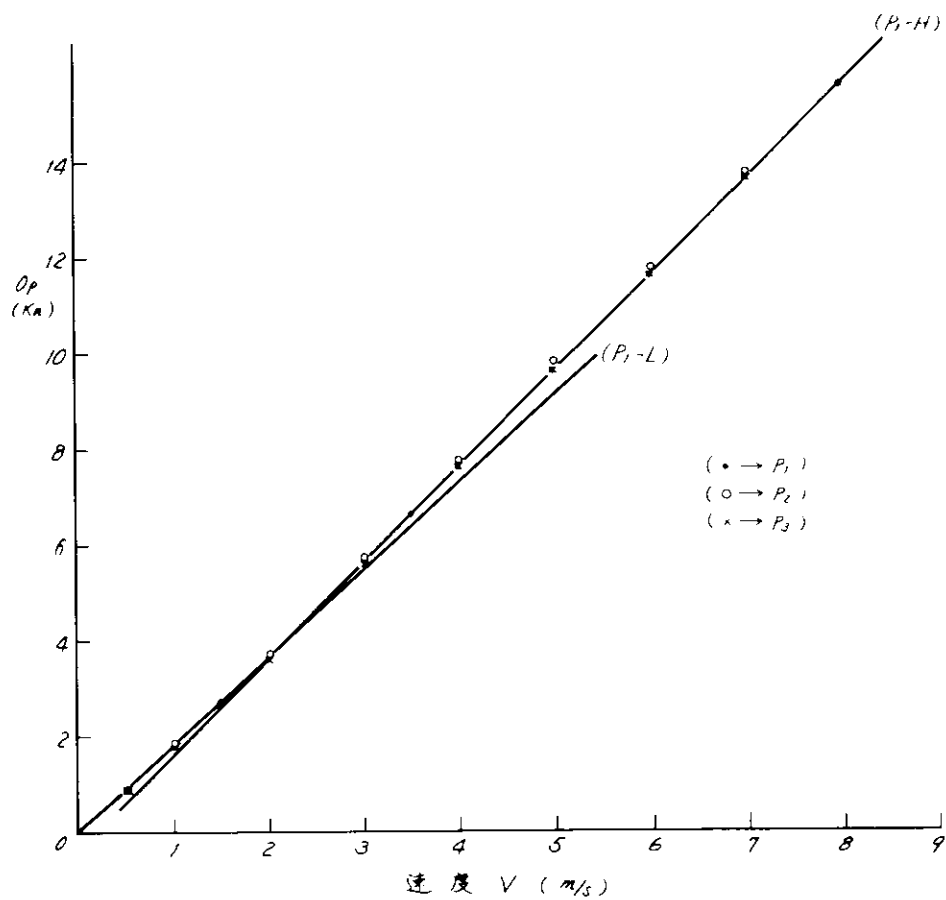


Fig. 3.2.2.3 検定結果

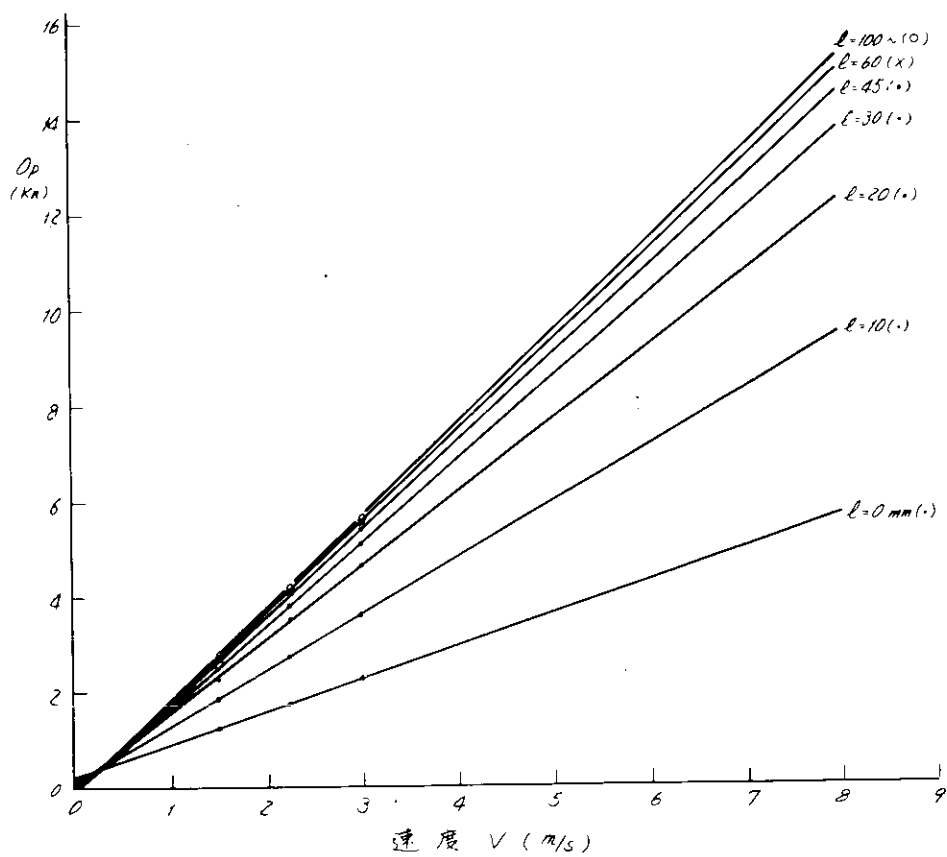


Fig. 3.2.2.4

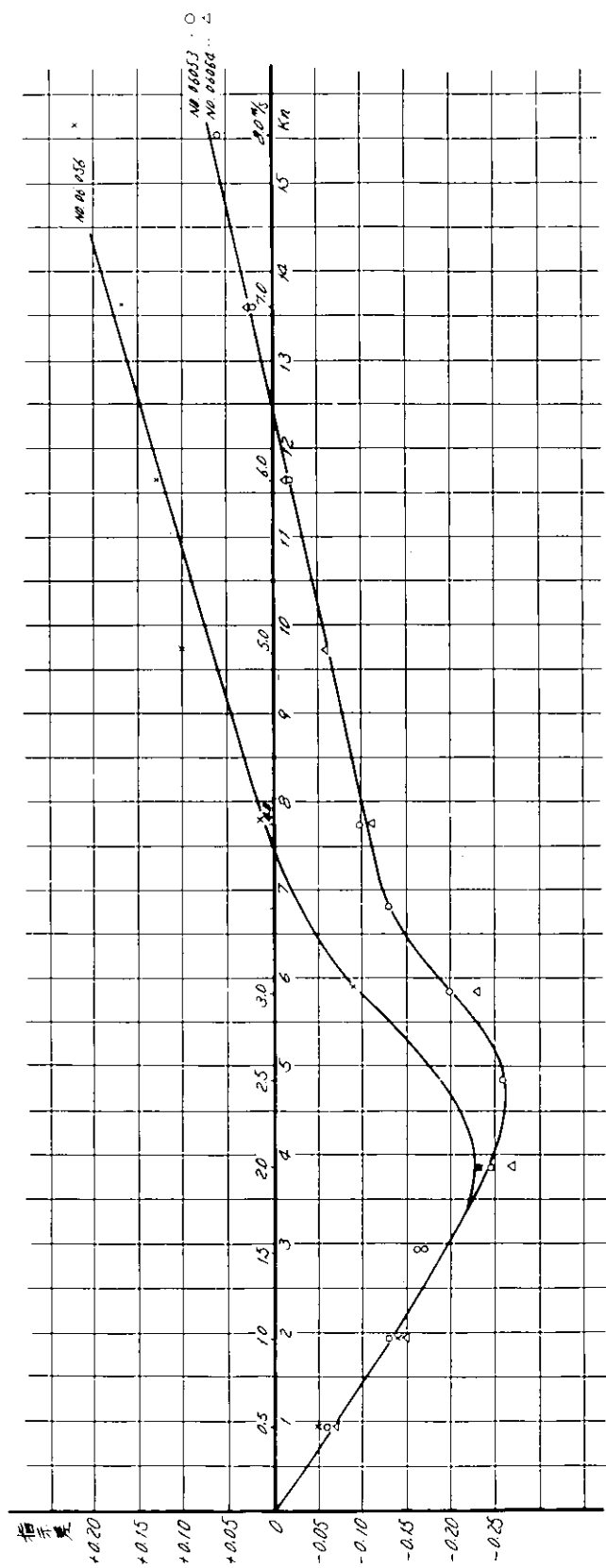


Fig. 3.2.2.5

3-2-3. 昇降装置の設計

電磁速度計は対水速度計実用化実験船の station 6 の 2 重底内に装備されるので、測定桿の突出量を随時任意に遠隔操作する必要が生じたので、測定桿昇降装置の設計を行なうことになった。

昇降装置には従来商船用電磁測程儀に使用されている圧縮空気とエアシリンダを用いる方式と電動式又は油圧式などが検討されたが、突出量の正確さ、構築費の軽減などの点から電動式を第一候補として採り上げ検討した。条件として

電 源	AC100~220V 60Hz
昇降ストローク	1 m 以上
推 力	200 Kg 以上

のものを検討した結果、市販品で椿本チェーン製作所のパワーシリンダに次の仕様のものがあつたので、これを採用計画することにした。

型 式	LP1000-L10
電 源	AC200/220V, 60/50Hz, 3φ
昇降ストローク	1 m
推 力	1000 Kg
制 御 方 式	ブレーキモートル, 寸動式

船底弁付近の装備計画は Fig. 3.2.3.1 のようなものである。

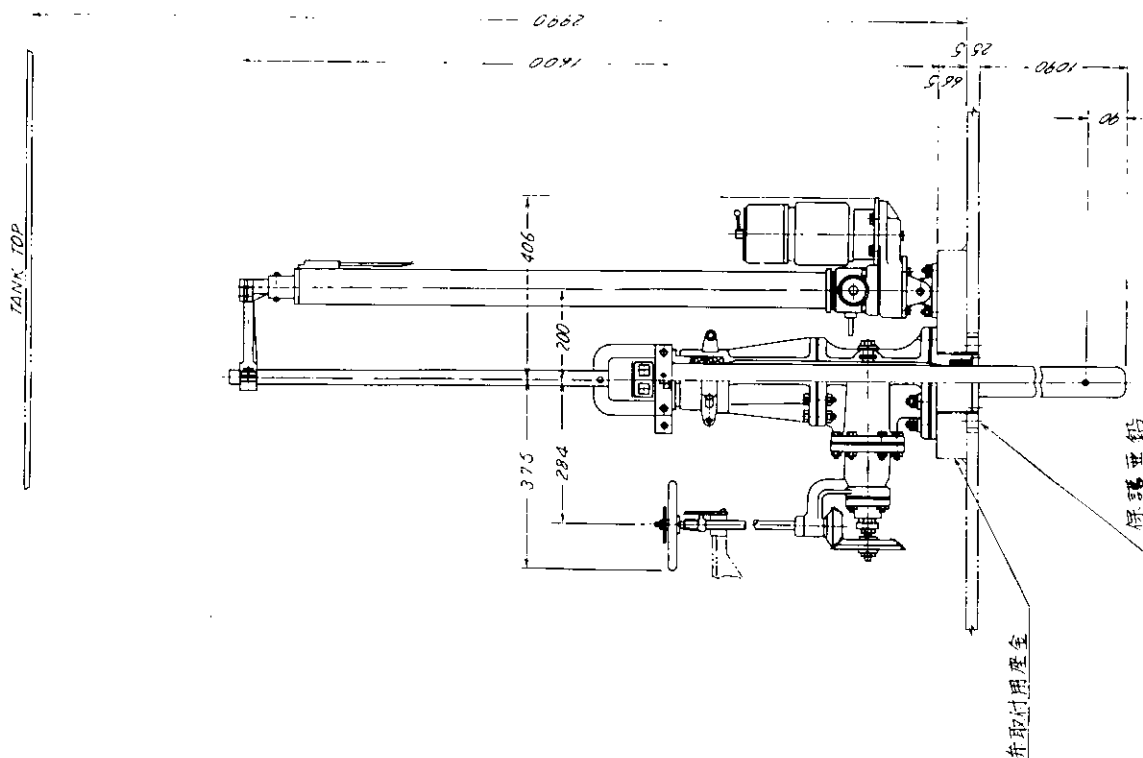


Fig. 3.2.3.1 昇降装置取付計画図

3-3. 超音波式速度計

本装置は超音波パルス信号を船首から前方に発射し、船首前方所定距離にある海水塊内の極微小物からの反射超音波信号を利用して対水速度を計測するものである。この際、流れに及ぼす船体の影響を小さくするため、船首からかなり前方の海水塊からの反射信号のみをゲートして利用する。反射して来た信号の周波数と、発射した超音波とを比較して、その差から殆んど無修正で船舶の対水速度が求められることになる。

巨大船速力試運転において使用する目的から、要求される計測精度および原理上定まる性能限界とを考慮して次のように仕様を定めた。すなわち、

速度範囲	-10~25kn（前進、後進の表示は±）
速度分解能	0.1kn
精度	10kn以上 1%以下（0.5%を目標とする） 10kn以下 0.1kn以下 （但し、音速補正を行つた場合）
計測時間間隔	1sec以上
計測距離	0~70m（可能ならば100m以上を目標とする）
計測範囲	15m巾
送信周波数	200KHz
送信パルス巾	20msec
送信パルス間隔	20~400msec（可変）
送信出力	100W
受信部ゲイン	110dB
電源、電圧	AC100V ±5%
周波数	60Hz
消費電力	200W
速度表示	3桁と符号±

及びBCD4桁の出力が外部に取り出せる。

この装置においては殆んどを電気回路で構成し、また信号の電氣的な処理も殆んどをデジタル処理とし精度信頼性の向上をはかった。本装置のブロックダイアグラムをFig. 3.3.1に、電路系統をFig. 3.3.2に、また本体形状をFig. 3.3.3に示す。

- 本装置の動作の概要は次のようなものである。

送受信部には本体からのパルス変調された信号を増巾し、所定の距離まで到達できるパワーにする送信部がある。

パルス波で送信する場合、送信信号と受信信号とが時間的に違つてゐるので、振動子を送受波器兼用とすることが出来る。このために、送信部の出力と受信部の入力を切換える必要があり、この動作を行つてゐるのが、切換の回路である。

振動子から放射した信号は、体積残響によつてエコーとして反射する。この信号を振動子で受渡し、受信部であるレベルまで増巾し、本体に送る。

- 本体は信号処理部、演算部、表示部からなる。

信号処理部においては受信部から送られた信号は、かなりの距離の範囲に及ぶ速度情報を持つてゐるので、これをある距離に設定するために、受信信号をゲートしなければならない。

これがゲートBの役目である。

これから出た信号は周波数追跡回路(F.T.)に入り、ここでパルス変調された信号の周波数と同じ周波数を有する連続波に変換する。

今、対水速度が v で、送信周波数が f_0 、受信周波数が f_r とすると、これらの関係は、

$$f_r = f_0 + 2f_0 v/c \quad c: \text{水中の音の速度}$$

となる。

これより、対水速度 v は

$$v = \frac{c}{2f_0} (f_r - f_0)$$

$$\frac{c}{2f_0}$$

となる。

この演算を行なうのが、演算部の働きで、出力はBCDコード4桁になつている。

このコードを表示管に表示するために、BCD→十進コード変換を行ない表示する。この場合には、3桁で0.1kn.までの表示としている。

以上の動作の時間関係のタイムチャートをFig. 3.3.4に示す。

○ 付録、体積残響レベルについて

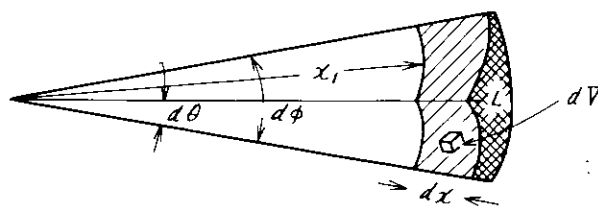
超音波を用いた対水速度計においては、体積残響を利用している。これの設計に際して、体積残響レベルを知ることとは不可避である。又、この残響レベルが周波数及び海の状態に対して、どのように変化するかも必要である。

体積残響は、海中の浮遊物等による反射によつて生じる。

この場合、浮遊物等の反射が等しく、又、単位面積当り N 個の散乱因子が存在していると仮定すると受信レベル I_R は次式で示される。

$$I_R = \int I_R N dV$$

$$\text{又、} dV = x_1^2 \sin \theta d\theta dx$$



又、今パルス巾を Δx とし、 $\Delta x \ll x_1$ とすれば

$$I_R = I_{S1} \left(\frac{x_0}{x_1} \right)^4 10^{-0.2\alpha x_1} N T_s x_1^2 \Delta x \int_0^{2\pi} \int_0^\pi R_S^2(\theta\phi) R_R^2(\theta\phi) \sin \theta \cdot d\theta \cdot d\phi$$

但し、

I_{S1} 送信レベル α 吸収係数 dB/m

T_s 散乱因子の反射レベル

次に指向利得を $-4\pi/G_{SR}$ で示せば I_R は次式になる。

$$I_R = I_{S1} x_0^4 \frac{\Delta x}{x_1^2} 10^{-0.2d_{x1}} NT_S \frac{4\pi}{G_{SR}}$$

又、単位距離を1mとすれば

$$\frac{I_R}{I_{S1}} = \frac{\Delta x}{x_1^2} 10^{-0.2\alpha x_1} NT_S \frac{4\pi}{G_{SR}}$$

となる。

前述したように、あるパルス巾(Δx)で送信し、その反射を受信し、そのレベルを測定すればよい。

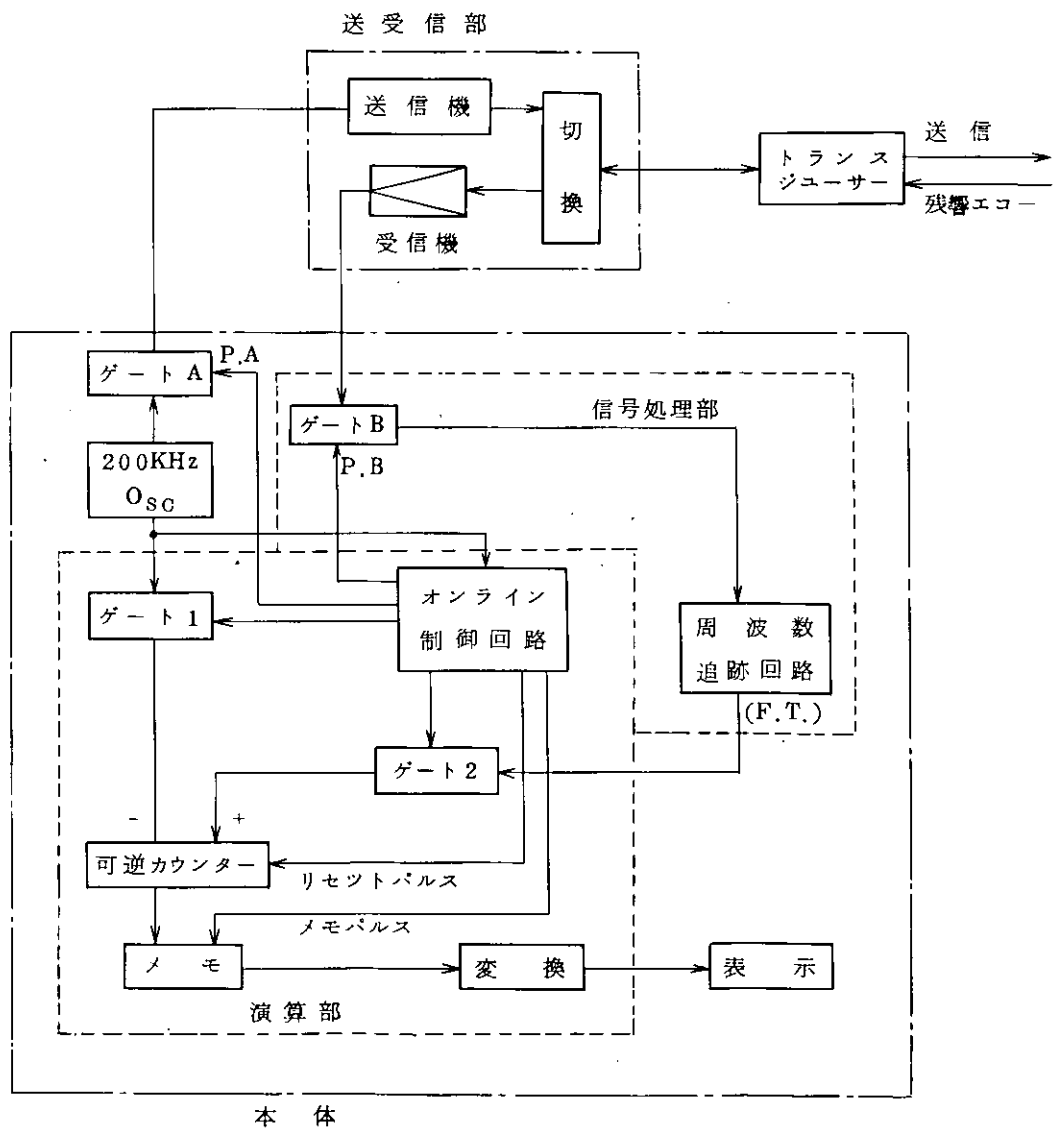


Fig. 3.3.1 ブロックダイアグラム

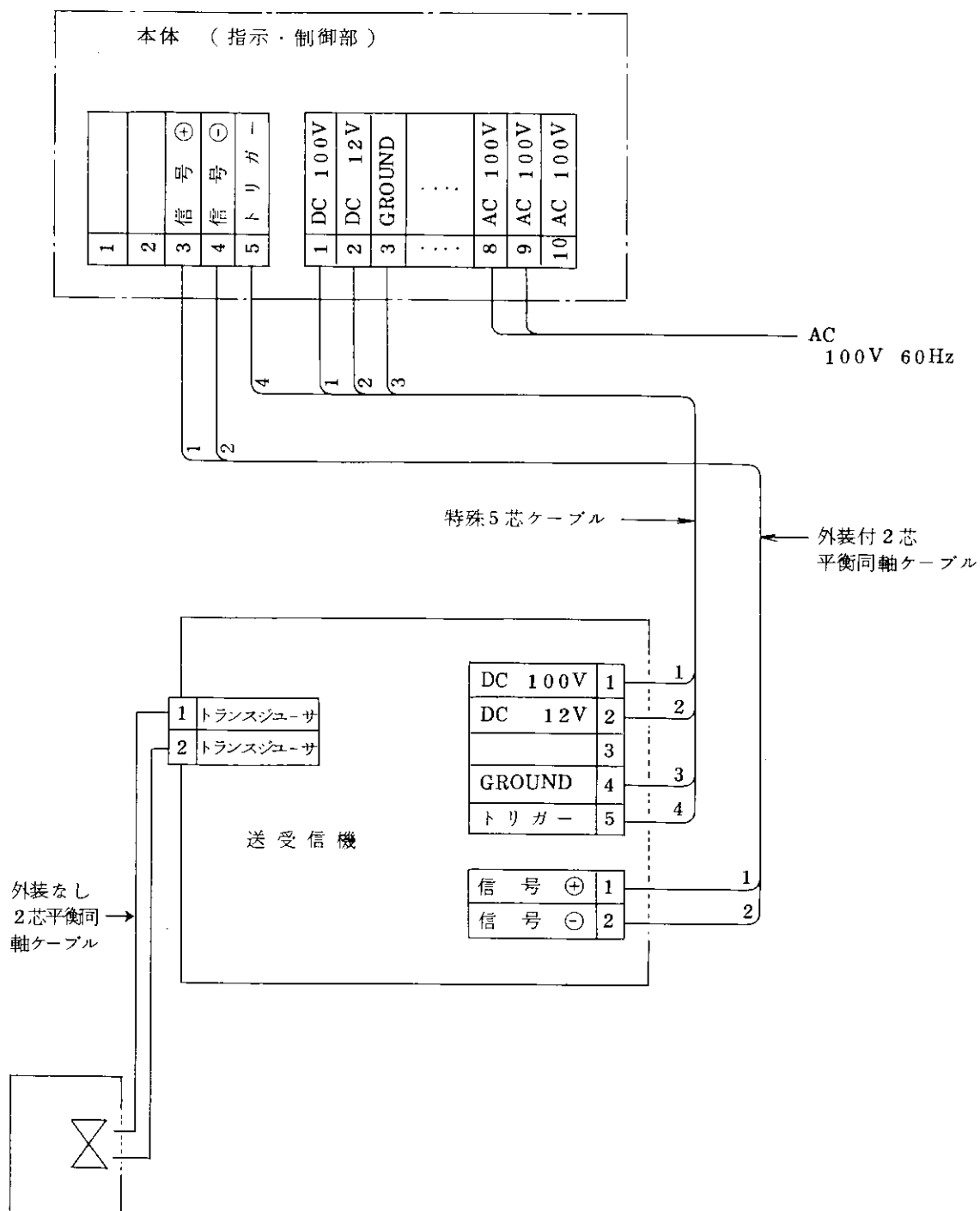


Fig. 3.3.2 電路系統図

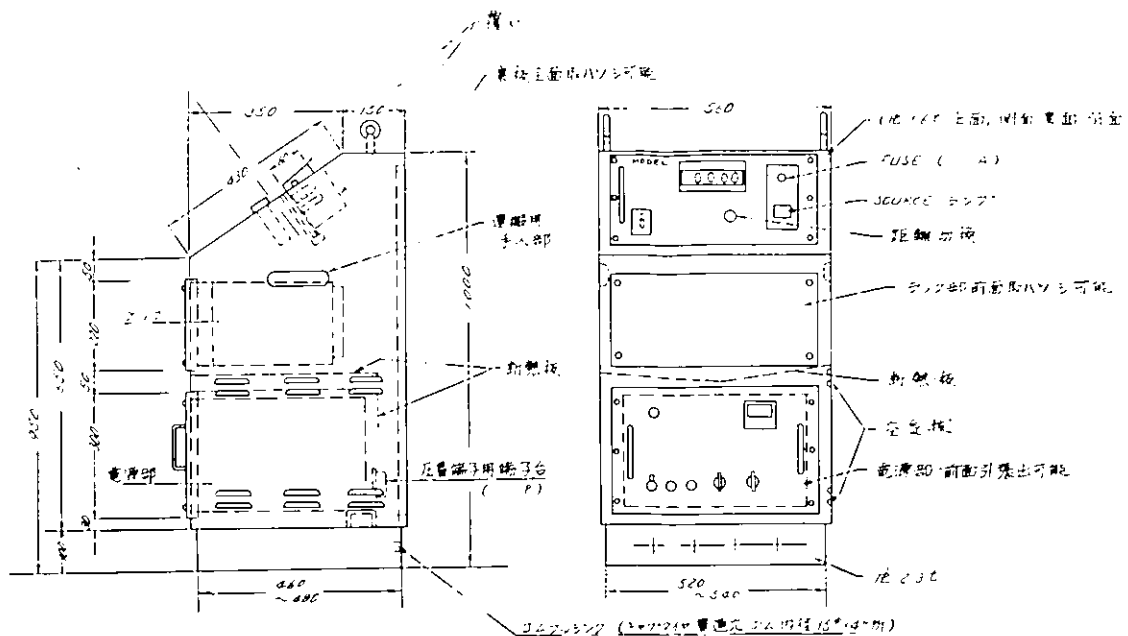


Fig. 3.3.3 超音波式速度計本体

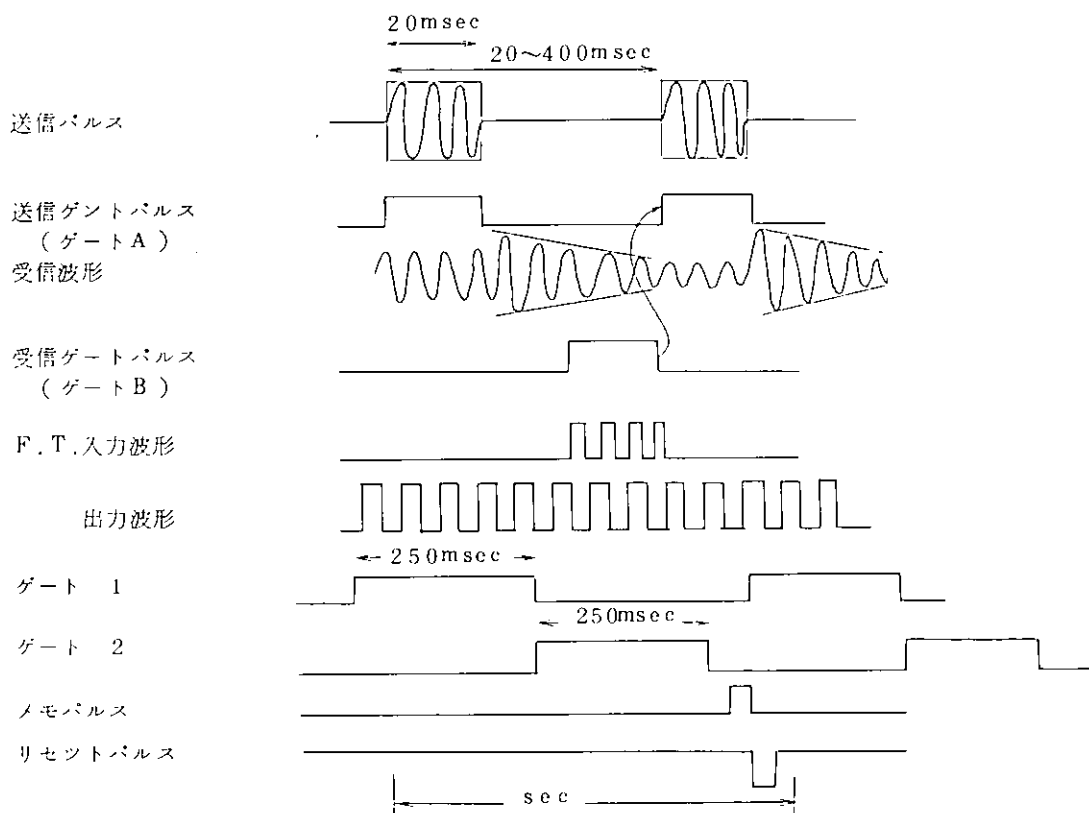


Fig. 3.3.4 タイムチャート

3-4. 速力試運転の計画

3-4-1. 供 試 船

下記要目の実船にて電磁式速度計ならびに超音波式速度計の実用化試験を計画検討した。

建 造 所	住友重機械工業㈱
船 種	DW 168,000T 混載船
$L_{pp} \times B \times D \times d$	285.0m × 47.4m × 24.8m × 17.5m
C_B	0.82
航海速力	15.65 ノット

試験は昭和46年8月中旬に実施される本船の海上公試速力試験時を利用して行ない、通常の電波式速度計による船速計測と併行して、電磁式速度計および超音波式速度計により夫々流速および対水速度を計測する。

試験は満載状態で行われる。

3-4-2. 電磁式速度計

前年度に実施した模型船まわりの流速計測試験より、取付位置としては Station 7 と中央横断面との間で船体中心線になるべく近いところが適切であることが判明したので実船試験では Station 6 で船体中心線より左舷側 7.6 m の船底に取付けることとした。

測定桿受感部の船底よりの突出量は船橋からの遠隔制御により 0 から 1,000 mm の範囲で変化しうるようにし、測定桿突出量、流速等すべて船橋内で計測しうるようにする。

この為、2重底内船底外板の該位置に船底弁を取付け、この船底弁に測定桿を貫通せしめ測定桿受感部が船底より 0 から 1,000 mm の範囲で突出するよう、測定桿には電動シリンダー式自動昇降機を取付け、船橋に設置した突出量制御機により測定桿を任意の位置に設定できる構造とする。

また、船橋内には測定桿突出量指示器および速度指示器を設置し、夫々2重底内の突出量発信器および速力発信器からの発信値を指示するようにする。

キャブタイヤケーブルは2重底内の速度計設置位置より、No 3 貨物船内トランク、上甲板上、居住区内通路を経て船橋内まで敷設し、100V用ならびに220V用が夫々約300m必要である。Fig. 3.4.1 に速度計取付け要領図を示す。

計測は本船の海上公試速力試験で主機出力が1/2, 3/4, 常用ならびに最大出力の各航走時に夫々突出量を20種類程度に変えて実施する。

装置一式はキャブタイヤケーブルを含み試験終了後直ちに撤去し、2重底内の船底弁のみは後日本船が入渠工事で入渠の際に撤去する。

3-4-3. 超音波式速度計

超音波パルス発信用振動子は船首前面にベースラインよりの高さ6m、水面下11.5mの位置に取付けることとした。

ディスプレイならびにプリンターは船橋内に設け、対水速度が船橋内で読取り記録できるようにした。

船首前面の振動子より船橋内までキャブタイヤケーブルを敷設する必要があるが、このうち船首前面部の約25m長さについては保護パイプ中を通して波浪等より保護することとした。

Fig. 3.4.1 に取付要領図を示す。

計測は本船の海上公試速力試験で主機出力が1/2, 3/4, 常用ならびに最大出力の各航走時に夫々船首前方計測距離を数種類変えて実施する。

装置一式はキャブタイヤケーブルを含み、試験終了後直ちに撤去する。

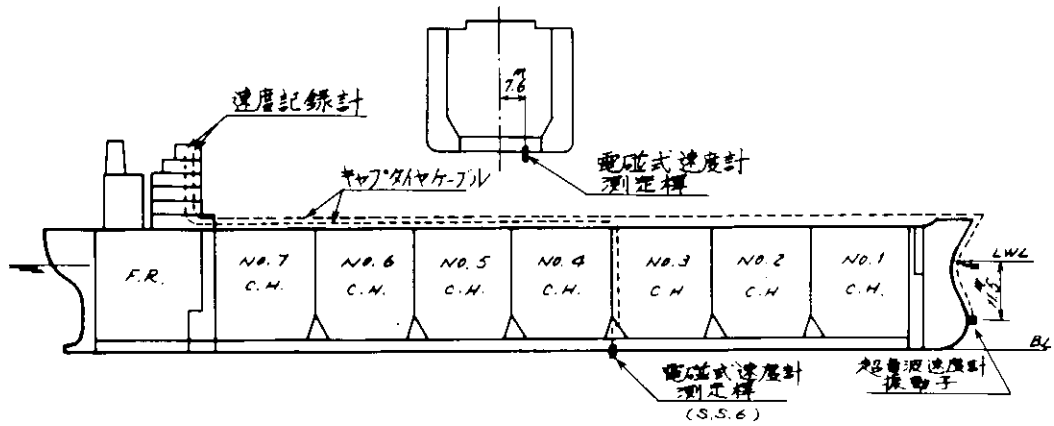


Fig. 3.4.1 速度計取付要領

§ 4. 抵抗成分分離に関する研究

4-1. ま え が き

模型船の水槽試験結果から対応実船の推進性能を推定する、いわゆる模型実船間の相関（Model Ship Correlation）の問題は、水槽試験の結果を実用する上で最も重要な問題である。この問題については、数多くの研究がなされており、また実用的には、水槽試験結果を基礎とした実船試運転成績結果から、各種の船型に対する相関係数の実績の集積が行なわれており、統計的な取扱いにより実船性能を推定する方法が確立されている。

しかし、最近の巨大船、肥大船においては、模型船における船体周囲の流場が極めて複雑であり、実船における状態との対応が充分に把握されていないため、実船性能推定の精度は不十分であり、模型試験結果から求めた実船性能の推定結果と実船の成績とが著しく異なる場合が少なくない。

このため、模型試験結果から実船性能を推定する精度の向上に対する要求が極めて強いが、このためには、船体抵抗、自航要素等に対する尺度影響（Scale Effect）を正しく把握し、単なる統計的な相関係数の資料によるのみでなく、正しい意味をもった相関係数を基礎とした相関の方法を確立することが必要である。

船体抵抗、自航要素の尺度影響の研究には、大きさの異なる相似模型船による水槽試験の実施が有力な手段であり、肥大船に関しても既にこのような研究が行なわれているが、^{(4・1)(4・2)} 船体抵抗に関してはその後、後方波形の計測による造波抵抗の実測、後方wake surveyによる粘性抵抗成分の実測等抵抗成分分離計測の技術が発達し、^(4・3) また肥大船の抵抗成分に関してはWave Breaking Resistanceに関する研究^(4・4) 船尾渦による抵抗成分に関する研究^(4・5) 等新しい研究が行なわれているので、これらの研究の成果を活用して抵抗成分を正しく分離計測し、その性質を明らかにすることにより、船体抵抗に関する尺度影響を更に明確にすることができるものと期待される。

また、自航要素の尺度影響についても、肥大船模型に特有の船尾流場の問題^(4・6) 等を考慮して水槽試験およびその解析を行なうことにより、従来より更に正しい尺度影響の把握ができるものと期待されるので、本研究部会の共同研究として、肥大船を対象とした2 m、4 m、8 mおよび12 mの長さの相似模型船による抵抗・自航試験、伴流計測、および抵抗成分分離計測等の詳細な水槽試験が計画された。

供試船型は、本部会の昭和46年度研究において実船における伴流計測が予定されている16万 DWT 型鉾石運搬船である。

昭和45年度共同研究として実施されたのは、これらのうち2 m、4 mおよび8 mの模型船に対する各種水槽試験であり、各模型船の主要目を Table 4.1.1 に、また各模型船に対する水槽試験実施項目および水槽試験担当場所を Table 4.1.2 に示す。

尚、12 m 模型船に対する試験および尺度影響に関する総合的検討は昭和46年度に実施の予定である。

大きさの異なる相似模型船による比較試験を各試験水槽で分担実施する場合、試験結果の比較を正しく行なうためには試験方法を統一しておくことが重要であると考えられるので、4-6 APPENDIX に示す通り水槽試験実施方案を作成し、各試験水槽ではこの方案にしたがつて水槽試験を実施した。

Table 4.1.1 模型船主要目表

	8 m MODEL		4 m MODEL		2 m MODEL	
LOAD COND.	FULL LOAD	BALLAST	FULL LOAD	BALLAST	FULL LOAD	BALLAST
LPP (m)	8.000		4.000		2.000	
B (m)	1.1709		0.5855		0.2927	
d _m (m)	0.4503	0.1903	0.2252	0.0951	0.1126	0.0476
TRIM (‰)	0	1.99	0	1.99	0	1.99
△a (Kg)	3,485.7	1,407.3	435.71	175.91	54.46	21.99
Sa (m ²)	14.500	10.184	3.625	2.546	0.9063	0.6365
C _B	0.826	0.789	0.826	0.789	0.826	0.789
C _P	0.832	0.802	0.832	0.802	0.832	0.802
C _m	0.993	0.984	0.993	0.984	0.993	0.984
L _{CB} (‰)	-2.4	-3.2	-2.4	-3.2	-2.4	-3.2

Table 4.1.2 水槽試験実施項目および試験担当場所

試験種類	供試模型船長さ		
	8 m	4 m	2 m
抵抗試験	○	○	○
自航試験	○	○	—
プロペラ単独試験	○	○	—
後流計測	○	○	○
船尾部伴流計測	○	○	○
自由波形計測	○	○	○
流線観測	—	○	○
試験担当場所	三菱重工・長崎研究所 船型試験場	広島大学 船型試験水槽	横浜大学 船型試験水槽 東京大学・船用機械工 学科・回流水槽

4-2. 2 m 模型船試験結果

4-2-1. 抵抗試験

使用模型船は全副部付で、 $St. 9\frac{1}{2}$ に高さ 1.5 mm 幅 2 mm のスタッドを 5 mm 間隔に植えてある。模型要目及び試験状態は Table 4.2.1 に示されている。

抵抗試験結果より 1957 年 ITTC 模型実船換算曲線を用いて求めた剰余抵抗係数 $C_R = R_R / \frac{1}{2} \rho S V^2$ を Fig. 4.2.1 に示す。

低速においてはレーノルズ数が低いために層流の影響及び局部的剝離現象によるものと思われる抵抗値の変動が見られ、肥大船模型の低レーノルズ数における抵抗値の不安定性が見られる。

次に 8 m 模型船の結果より求めた form factor を用いて計算した粘性抵抗係数を全抵抗係数より差引いた造波抵抗係数 C_w を Fig. 4.2.2 に示す。

以上の結果を 8 m 模型の結果と比較すると、ITTC 曲線による剰余抵抗係数においては、フルード数 0.14 以上でバラスト状態の結果は良く合致するが、満載状態では 2 m 模型の結果の方がはるかに大きい値となつている。一方 Hughes の方法により form factor を仮定して計算した造波抵抗係数では、満載状態の結果はフルード数 0.12 以上で両者が良く一致するのに対し、バラスト状態の結果は 2 m 模型の方がかなり小さい値になつている。このことから満載状態では form factor の $K = 0.378$ は妥当な値であるのに対し、バラスト状態では 8 m 模型による $K = 0.291$ は過大であり、 $0.75 / 0.66 - 1 \div 0.14$ 位の値を用いると良く合うことを意味する。フルード数 0.12 以下の低速では満載で 2 m 模型の曲線は明瞭に下降しており、乱流促進が不充分で層流影響が現れたものと推測出来る。

抵抗試験のときの A. P. F. P. における吃水変化は Fig. 4.2.3 に示す。

4-2-2. 後方波形計測

水槽内に固定した容量型波高計を用いて模型船の進路に平行な断面上の波形を計測した。計測位置は模型の中心線より 0.50 m (0.25 L) 及び 1.80 m (水槽壁上) の距離にある。実験速度は満載状態が 0.625 m/sec, 0.670 m/sec, 0.710 m/sec, またバラスト状態が 0.670 m/sec, 0.710 m/sec, 0.750 m/sec, の各三種類である。

計測結果によると波による水面の変動は極めて僅かであり、計測結果全体を通じて最高 1 mm 程度であつた。このため測定精度は極めて低く、またこれより算出された造波抵抗値は無視し得る程度に過ぎない。実験の最高速度における波形の実測例を Fig. 4.2.4 に示す。

4-2-3. 後方 wake survey

模型船の A P より後方 0.5 L の断面でビトー管により流速分布を計測した。ビトー管は 11 本を船体中心線を中央にして 30 mm 間隔に水平に配列し、その両側に 4 本宛 60 mm 間隔に置いて計 19 本を用いた。深さ方向は 10 mm 間隔にビトー管列を移動して計測した。実験速度は 4-2-2. の波形計測におけると同様である。

実験により得られた伴流内の head loss の例を Fig. 4.2.5 に示す。満載状態とバラスト状態とで伴流分布の形にかなりの相違が見られ、特に満載状態で船首部船底の剝離によると見られる一対の渦が水面近くに伴流分布曲線の二つの山として認められるのに対し、バラスト状態ではこれが認められない。バラスト状態の高速域で水面附近の伴流分布にしばしば現れる碎波抵抗による山は今回は認められなかつた。

船幅方向に head loss を積分した値の深さ方向の分布を曲線で示したのが Fig. 4.2.6 である。これを更に積分して粘性抵抗を計算した値は図に数値で記入してある。この値より抵抗係数を

算定すると、抵抗試験より得られた全抵抗係数をむしろ上まわる結果が得られた。伴流計測の精度が極めて低いことを考慮すると、粘性抵抗がほぼ全抵抗に等しいことを意味するものと解釈することが出来、波形解析の結果と考え合せて、実験の状態で造波抵抗は殆ど無視し得る大きさであり、全抵抗はほぼ粘性抵抗であると考えることが出来る。

4-2-4. プロペラ位置のwake survey

プロペラ面内の伴流の大きさ及び方向を知るため5孔ピトー管を用いて流速を測定した。用いた5孔管は内径2mmの円管を5本束ねて外径9mmとしたN.P.L.型のものである。検定曲線によれば左右上下35°迄の流れを計測出来る。流速が極めて小さいためマノメータを用いることが出来ず、半導体圧力変換器により圧力を検出した。5孔管の外径が模型寸法に対して大き過ぎ、測定精度が極めて低いことから、大型模型の結果との定性的比較を目的とするために留め、推進器軸中心を通る水平線及び鉛直線上各6点づつで計測した。結果はFig. 4.2.7に示す。鉛直線上の計測は流れの傾きが35°以上となつたので結果が得られなかつた。

Table 4.2.1 MODEL DIMENSION

LENGTH B.P.P. (M)	2.000	
CONDITION	FULL LOAD	BALLAST
DISPLACEMENT (Kg)	54460	21990
Fore	0.113	0.028
DRAFT Mid (M)		0.048
Aft		0.067
W.S. AREA (M ²)	0.906	0.637
COEFFICIENT	Cbwl	0.809
	Cpwl	0.815
	Cm	0.993
	Cbpp	0.826
	Cppp	0.832
DATE	NOV. 26	NOV. 25
W.T. (°C)	14.0	14.1
TURBULENCE	STUDS	
SCALE	1/151	

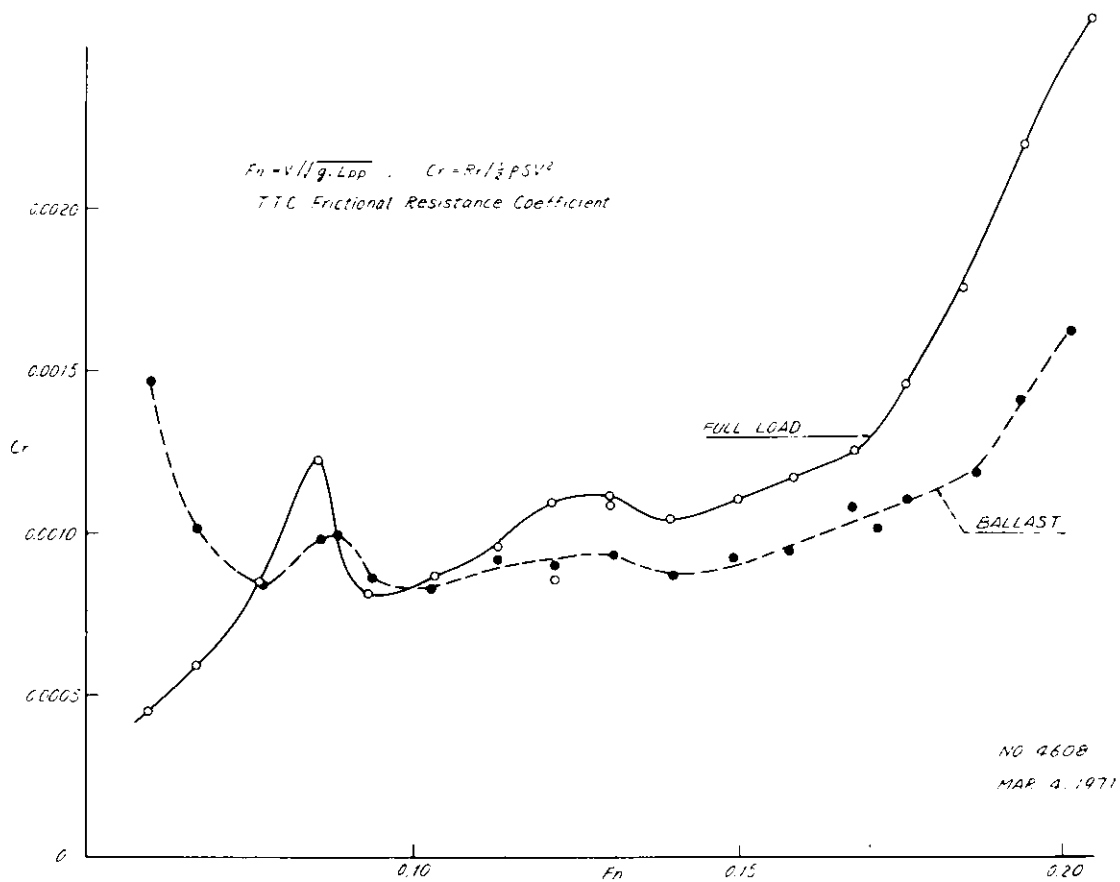


Fig.4.2.1 C_r Curves (with app.)

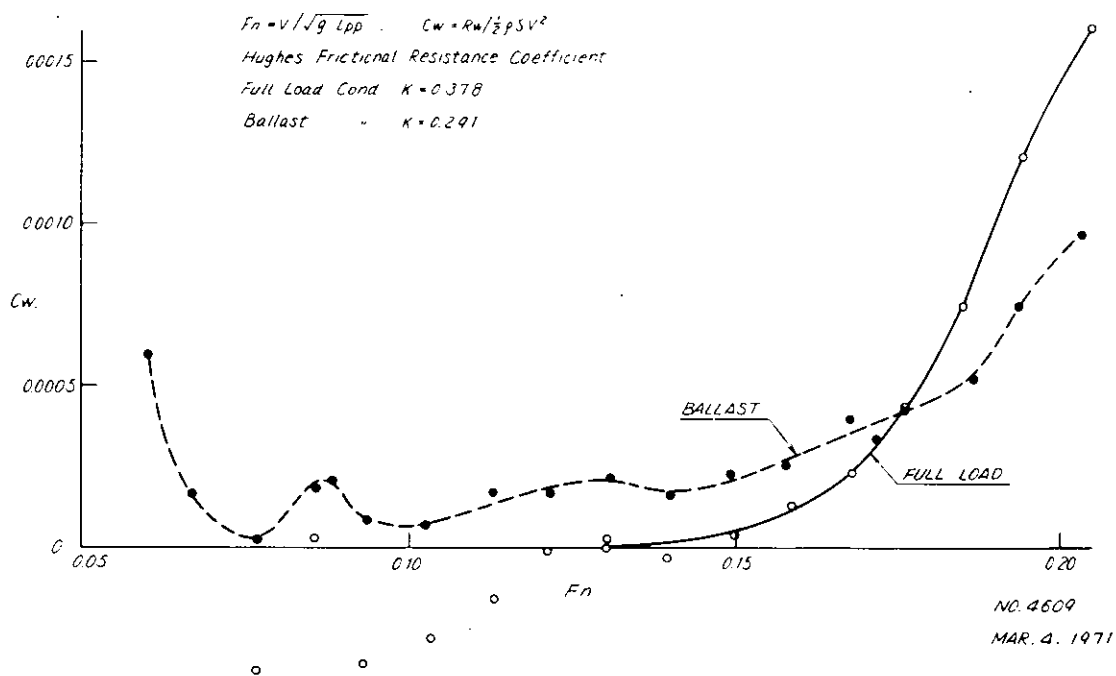


Fig.4.2.2 C_w Curves (with app.)

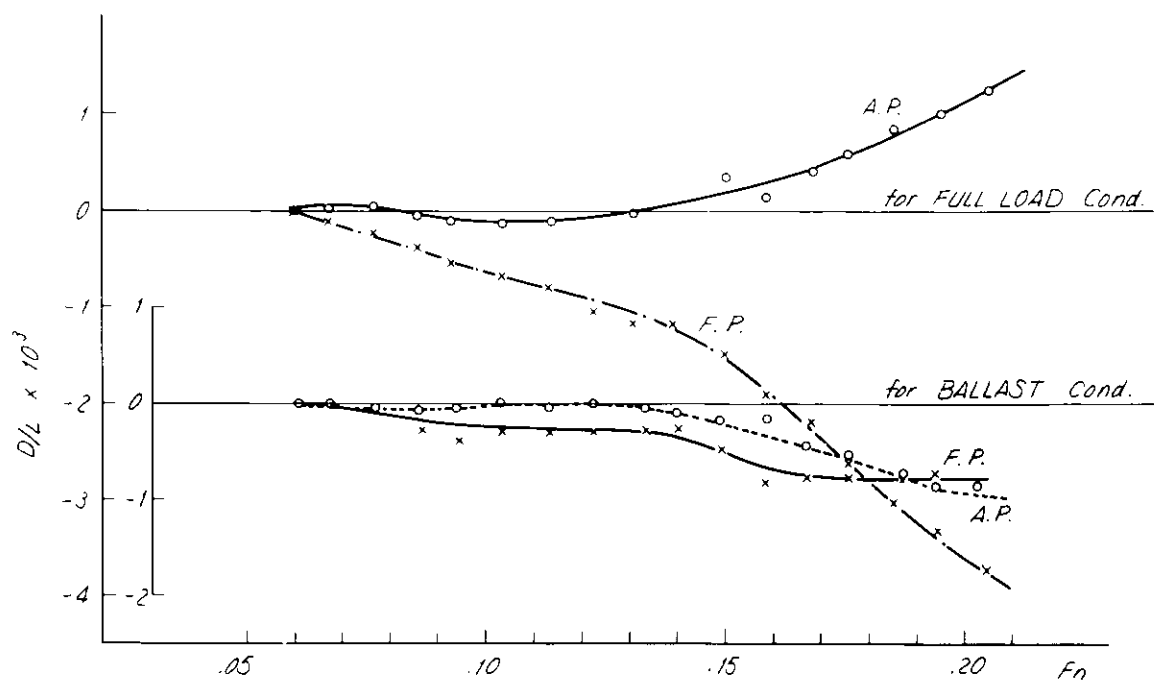


Fig.4.2.3 Dipping Curves

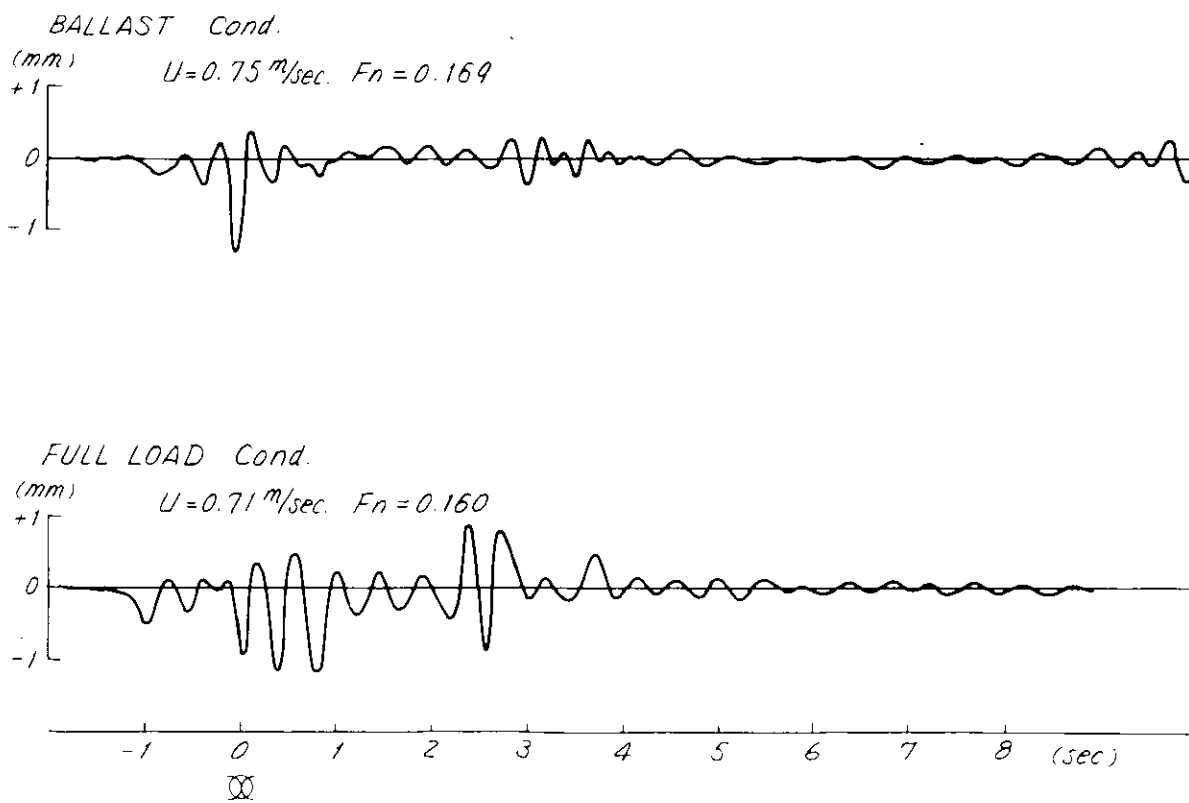


Fig.4.2.4

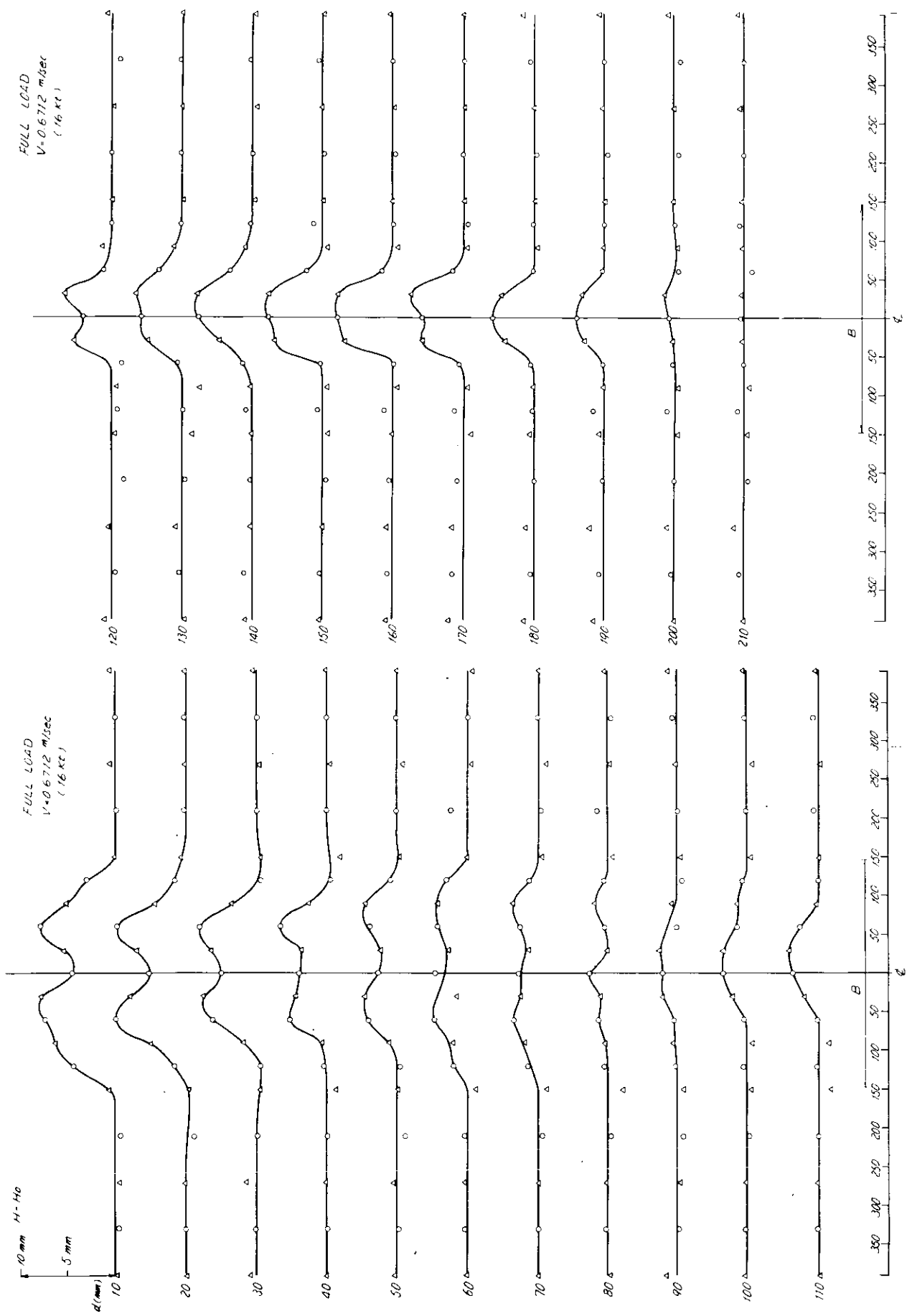


Fig. 4.2.5 a

Fig. 4.2.5 b

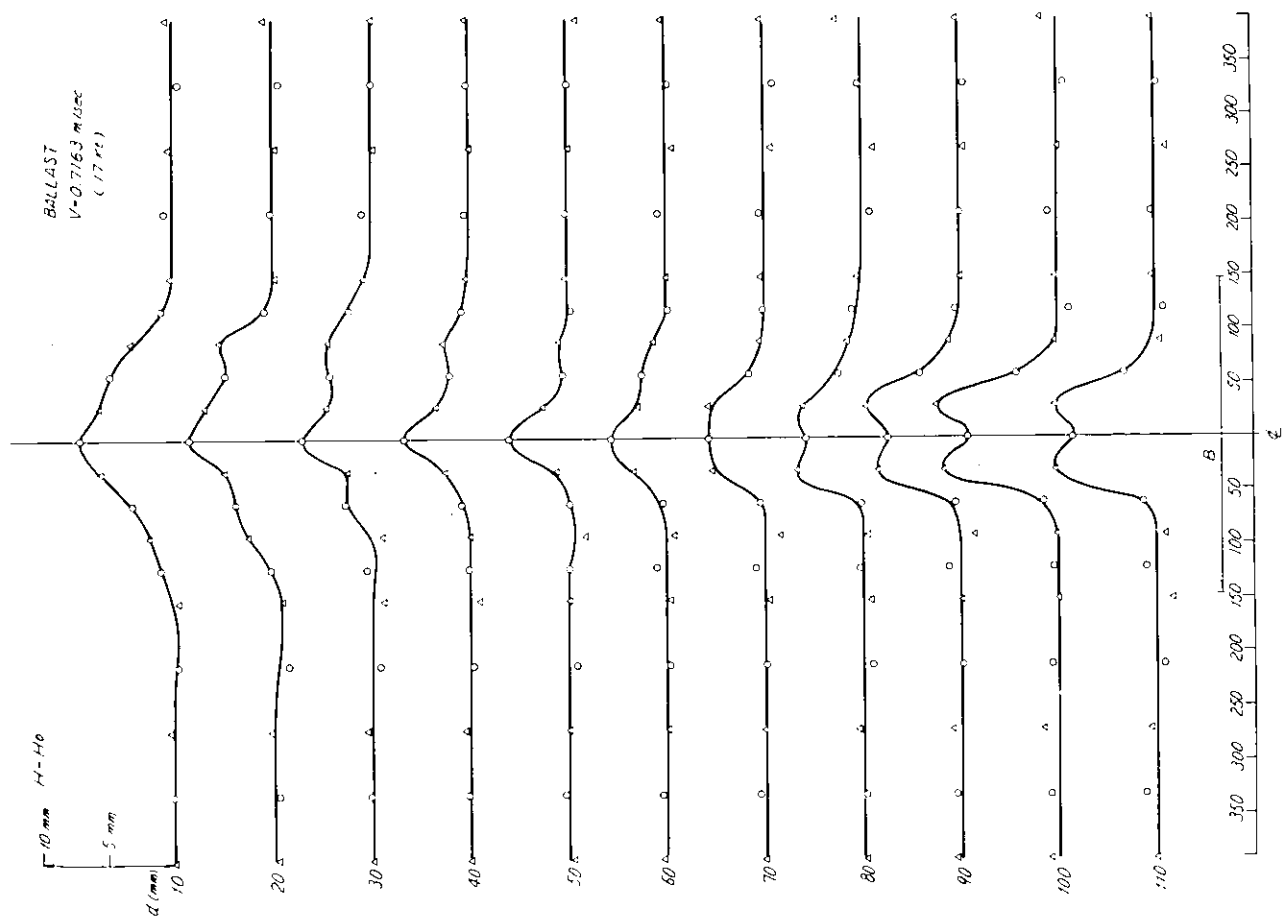


Fig. 4.2.5 c

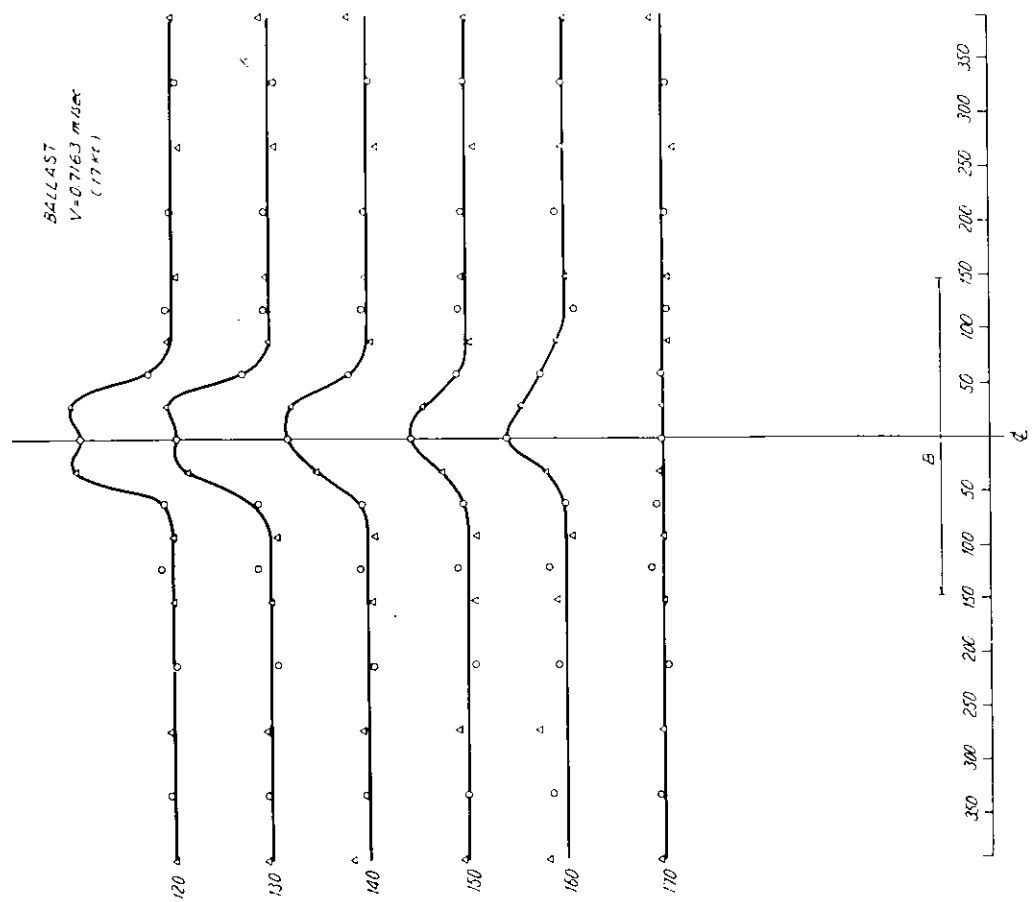


Fig. 4.2.5 d

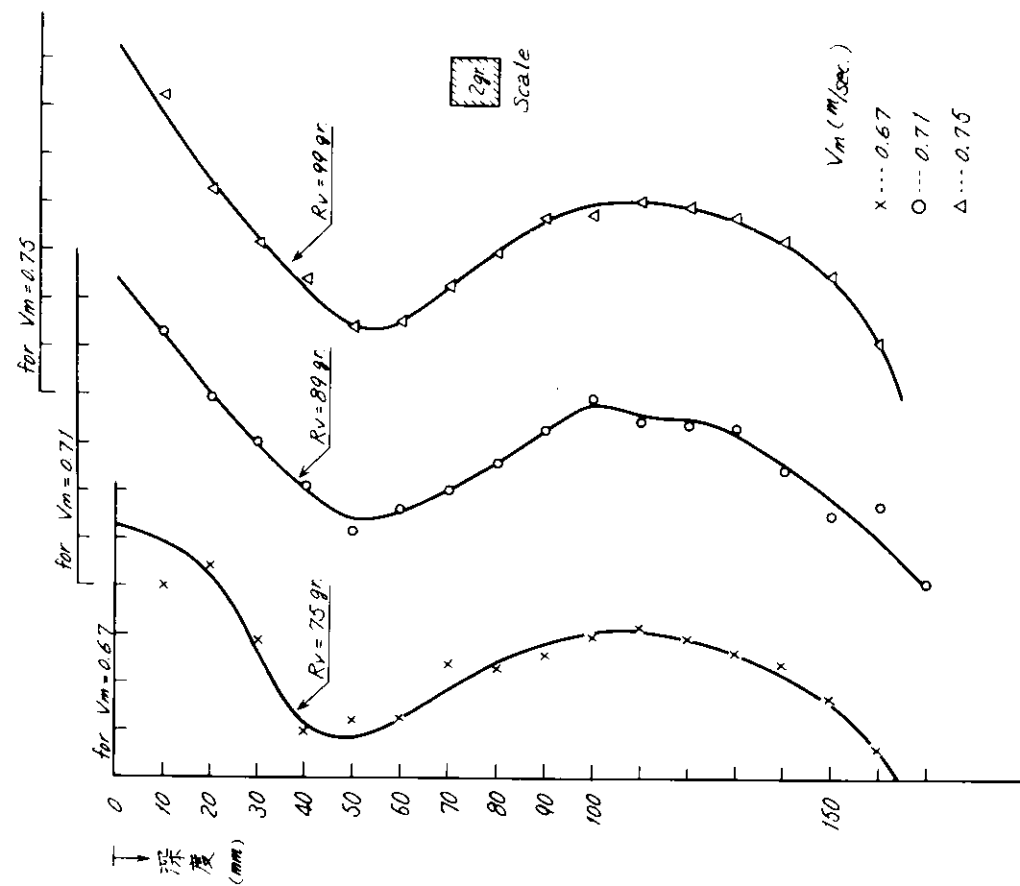


Fig. 4.2.6 b 粘性抵抗の積分 (Ballast cond.)

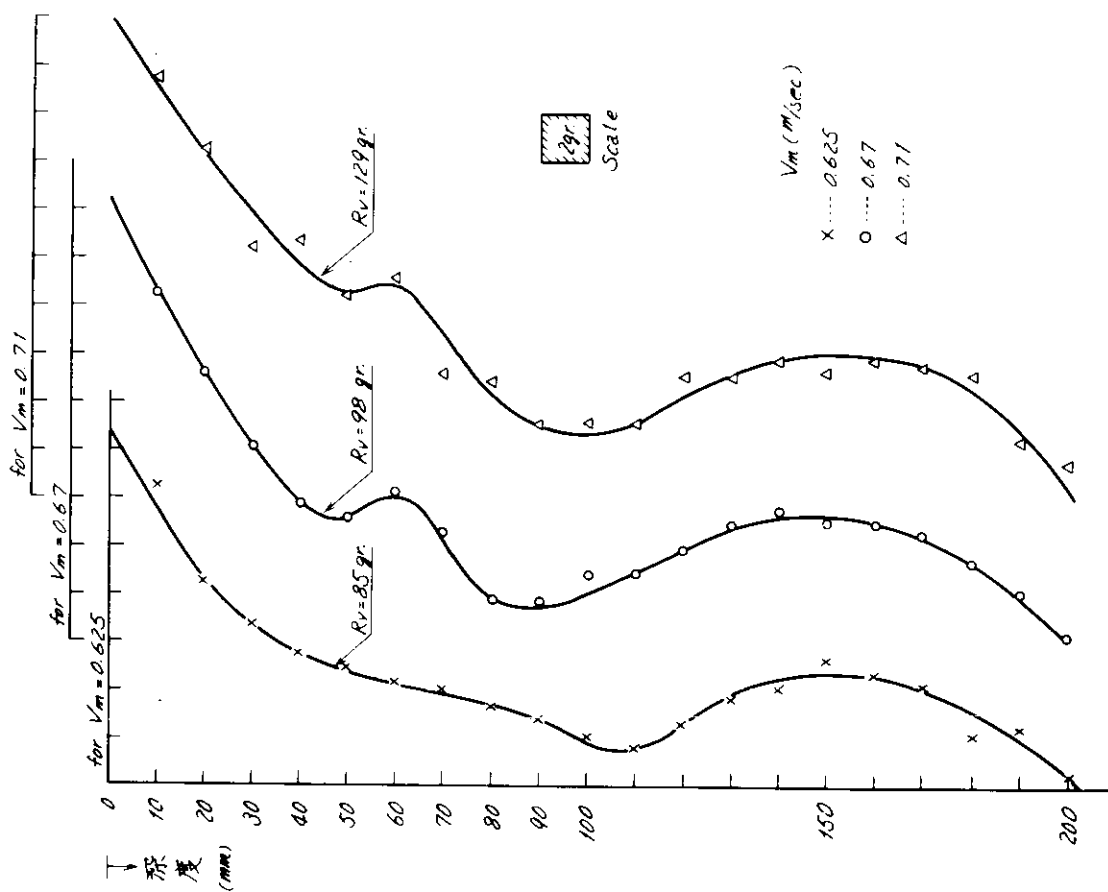


Fig. 4.2.6 a 粘性抵抗の積分 (Full load cond.)

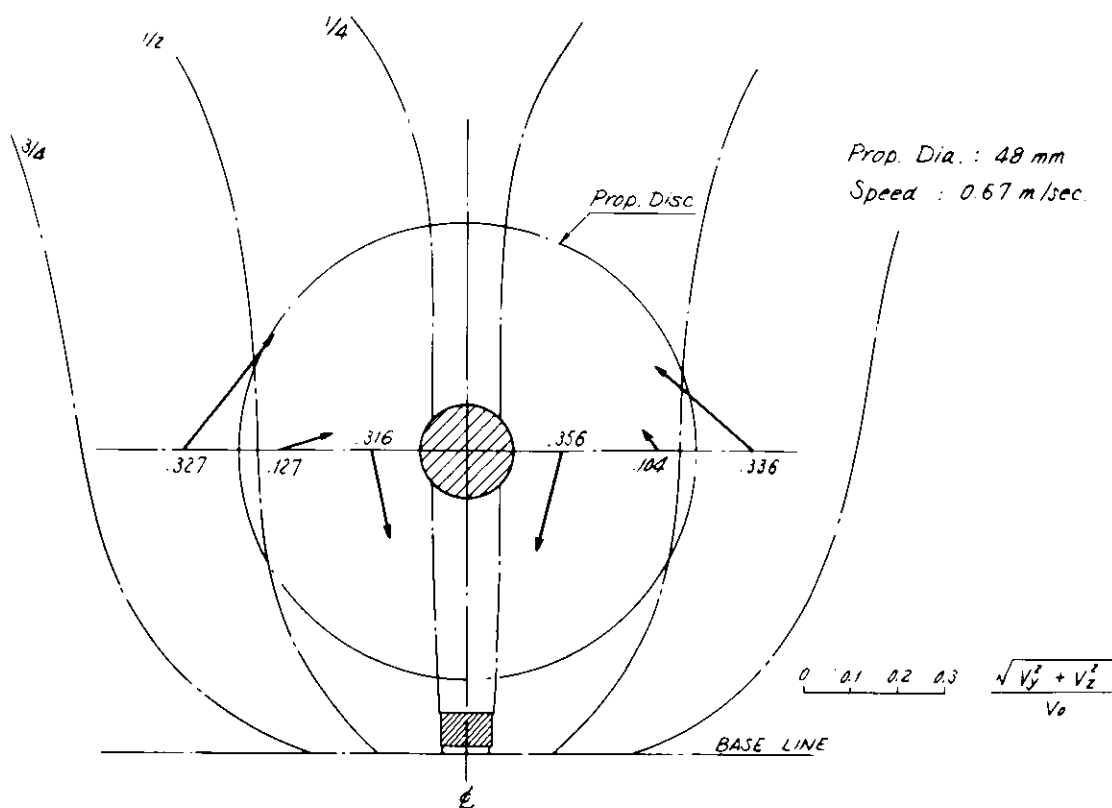


Fig.4.2.7 a Wake in the Propeller Disc
Full Load Cond

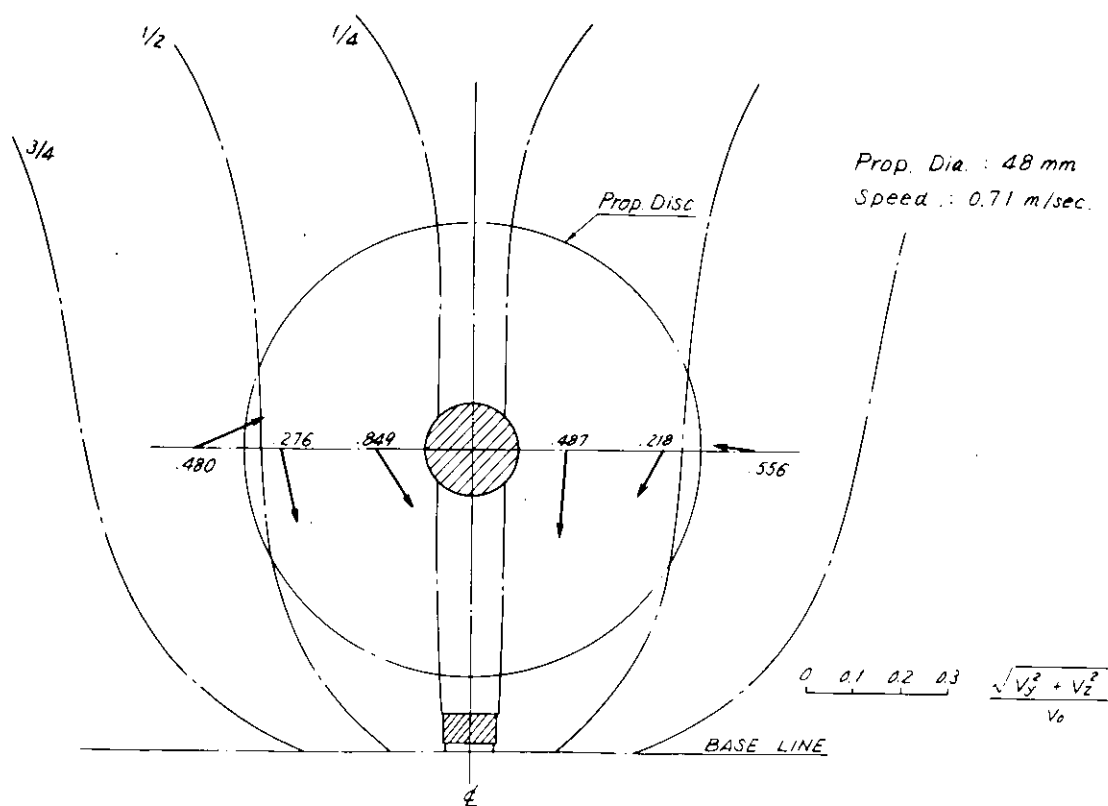


Fig.4.2.7 b Wake in the Propeller Disc
Ballast Cond. (trim 2.01% aft.)

4-2-5. 流線観測

(1) ま え が き

肥大船型模型周辺の流れを観測した従来の実験結果によれば、船首船底における強い交叉流の存在と船尾船側における大きないわゆるビルジ渦の存在が1軸普通型肥大船型の特徴といえる。上記2種の流れの船体抵抗に及ぼす影響は肥大船の場合無視できない量となるようであるので、これらの流れに対する尺度影響を知ることが望まれる。今回の相似模型の流れの観測はできれば、全ての模型について実施するのが望ましいが、大型模型については困難であるので行わないことに当初から決定され、長さ4 mと2 mの2隻について実施することになった。回流水槽は流れの観測に便利であるので、2 m模型の流線観測は東京大学工学部船用機械工学科回流水槽で行なうことになった。

(2) 実 験 方 法

船首船底交叉流と船尾付近の流れの状態を知るためには、船体表面における流線すなわち限界流線と船体表面から離れた位置における流線とを観測しなければならない。従つて今回は流線観測法として2段糸の方法、薬品塗膜法およびtuftgridの方法を採用した。

2段糸の方法は、模型船体表面に密接して植えた糸のなびきにより、ほぼ限界流線に近いものがえられ、また船体から離れた位置に設けた糸の示す流向との対比により交叉流の有無を知ることができる。2段糸をFig. 4.2.8に示す。模型表面に密接した位置では流速が遅く、糸の比重が水より大きいと垂れ下がつて流線を示さなくなる。また流速が遅いところでは糸に残つていくせがのびないので流向の正しい判定が困難になる。特に船底では糸が垂れ下がると交叉流の強弱の判定が不正確になる。従つて船底では比重が水より小さい木材の細い棒を糸の代りに使用した。棒はまた糸のようにくせが付かない利点がある。しかし船体表面の曲率の大きい処では曲面に沿わないので棒は不適當である。それで船体表面曲率の大きい処と船側部には糸を使用することにした。

多数の2段糸を模型船体に植え付けると、その抵抗のため流れの模様がかわると考えられる。また片舷のみ植えると流れが左右非対称となる。しかし、従来の結果によると、交叉流の存在に大きな影響を及ぼすことはなく、また甚しい左右非対称にもならないようである。今回は、2段糸の影響を大きくしないため、船体前半部と後半部とを別けて実験することにし、さらに船側は左舷側、船底は右舷側に2段糸を植えることにした。観察および撮影方法をFig. 4.2.9に示す。カメラはニコンF、フィルムは反転カラー用、照明はカコストロボS-500（閃光時間1/2000 sec）1台（5灯）である。

薬品塗膜法は水に微溶性の白い薬品を黒色塗装の模型に薄く吹付け塗し、水流により模型表面の微粒の下流で薬品が早く溶解し去り黒色塗装面が現われるのを利用し限界流線を求める方法である。この方法は急速に模型を昇降するを要するので、大型模型ではなかなか実施が難しい欠点がある。塗膜用薬品には安息香酸を用い、アセトンに溶解し飽和溶液を作り、模型に吹付け乾燥させ塗膜を形成した。この模型を手早く回流水槽に浮かべ、適当な時期に引揚げ乾燥し、模型表面にできた微細な溶解線を観察し撮影した。なお、明瞭な溶解線を与えるため、片舷の各横断面位置に30 mm間隔で細い針金を植えた。

Tuft gridの方法は流れに垂直に網を置き、網に多数の糸を結び付け、これを下流から観察する方法である。この方法は流れに平行な軸をもつ渦の存在を知るのに適している。曳航水槽では多数の糸がもつれるのを整えるのが難しく、容易には実施できない。今回使用したTuft gridは10 mm正方罫目の黒色塗装0.3 mmφ黄銅線製網の黄銅線交点に長さ約50 mmのナイロンレース糸を結び付けたものである。Tuft grid取付け位置はAP前方68 mmの実船伴流計測位置およびAP下流54 mmの計2個処である。カメラはニコンF、フィルムは反転カラー用、照明はカコストロボS500 1台（5灯）である。観察および撮影方法をFig. 4.2.10に示す。

上記2段糸の方法およびTuft gridの方法による実験に当つては、模型船体周辺の流れが変動して

いるので、平均的な流向を求めるため1状態当り多数回の撮影を行なった。

回流水槽においては比較的容易に伴流計測ができるので、参考のためAP前方68mmにおける伴流分布を直径10mmの小型翼車式流速計により測定した。

(3) 実験状態

巨大タンカーの場合フルード数が小さいので、流線に及ぼす速度の影響は船首付近を除き小さい。従つて速度は1点のみとし、満載状態に対してはフルード数 $Fn = 0.151$ 、模型船速度 $V_m = 0.67$ m/s、バラスト状態に対しては $Fn = 0.160$ 、 $V_m = 0.71$ m/s とした。

(4) 実験結果

2段糸の方法による流れの観察結果をFig. 4.2.11に示す。船首船底に交叉流が発生していることが明瞭である。満載状態の方がバラスト状態より交叉流が強い。この交叉流の領域は下流に行くに従い外側に移り、船底中央部の交叉流が弱い領域も下流に行くに従い広がり、船底ではS.No 5～6付近から下流では殆んど交叉流が見られなくなる。これは交叉流の領域がビルジ部に押しやられビルジ部に集中し、縦渦として下流に流れて行くためと思われる。このことは従来行なわれた伴流計測結果でも、船尾ビルジ渦による伴流の強い領域の上方に伴流がやや大きい半島状領域が存在することからも推定される。船尾船側には両状態ともにビルジ渦の存在を示す表面密接糸の下向きが見られる。舵上方では甚しい剝離が起きているようには見えない。

薬品塗膜法による限界流線測定結果をFig. 4.2.12に示す。船首船底ビルジ部にバブルラインの存在を示す溶解速度の小さい带状領域があり、船首船底の限界流線は下流に向ひ拡がっている。船尾においては、溶解線が明瞭ではないが、ビルジ部上部に3次元剝離を示す剝離線が存在するように見える。Tuft gridの方法による結果をFig. 4.2.13に示す。実船伴流計測位置およびAP下流54mmの両位置ともビルジ渦が存在することが明らかである。

伴流分布計測結果をFig. 4.2.14に示す。

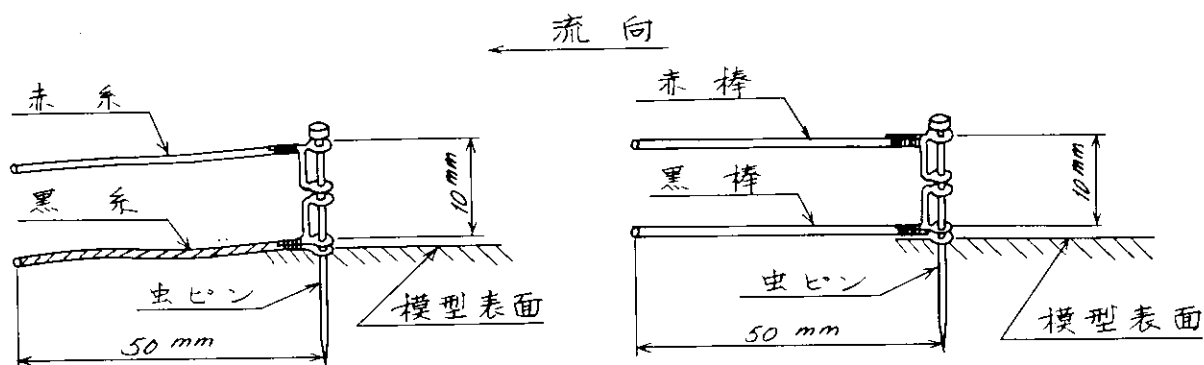


Fig. 4.2.8 流線観測用2段糸および2段棒

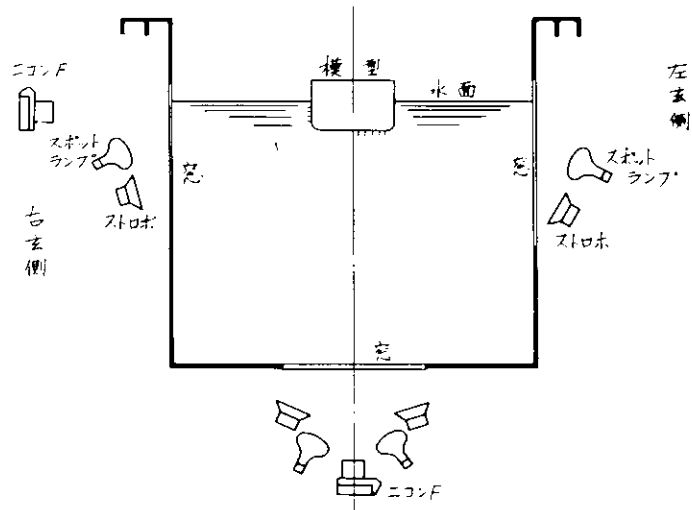


Fig.4.2.9 撮影方法(回流水槽測定部横断面を示す)

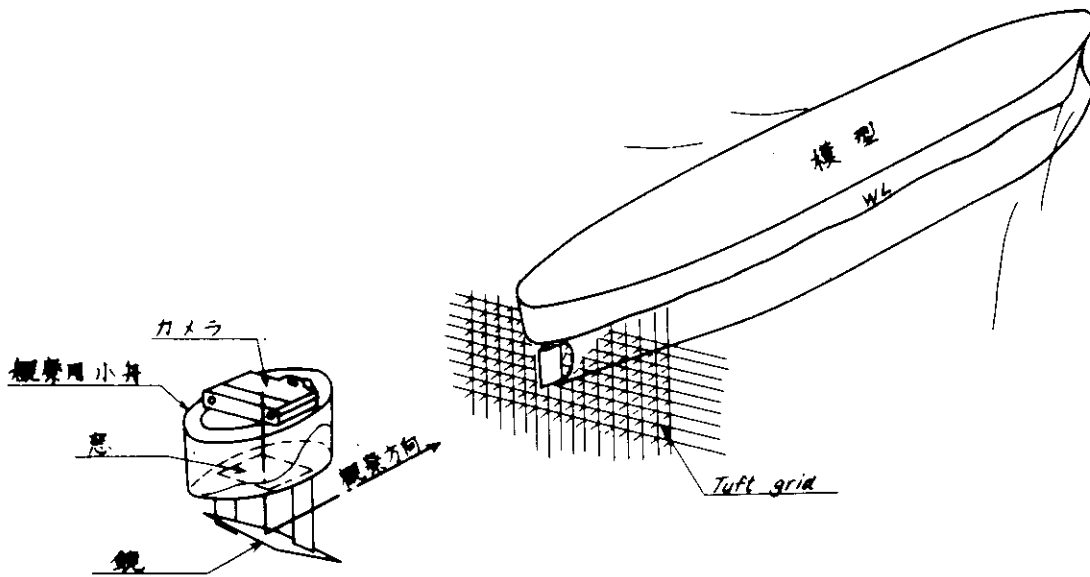


Fig.4.2.10 Tuft grid による流れの観察方法

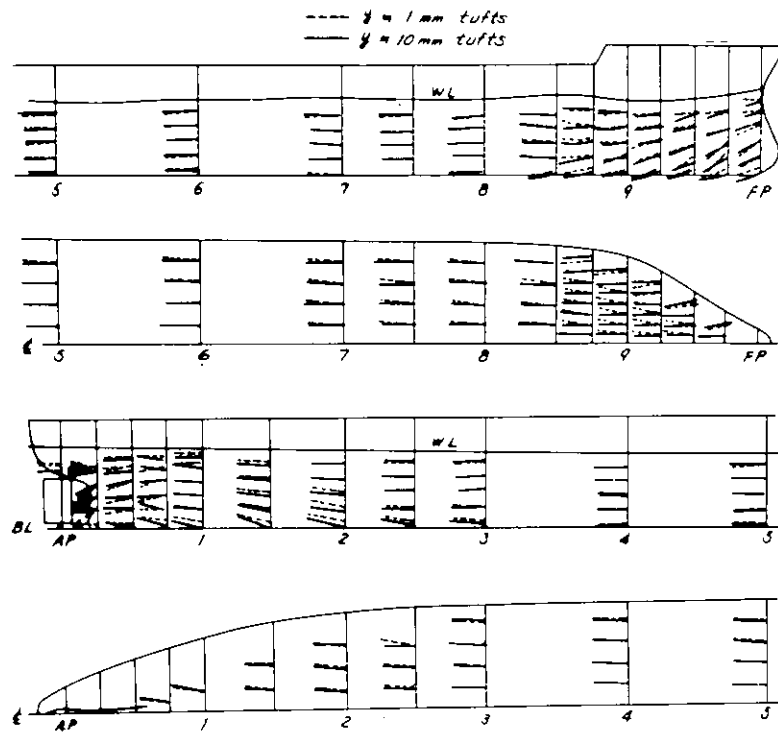


Fig.4.2.11 a 2段系による結果、満載状態
 $F_n = 0.151$

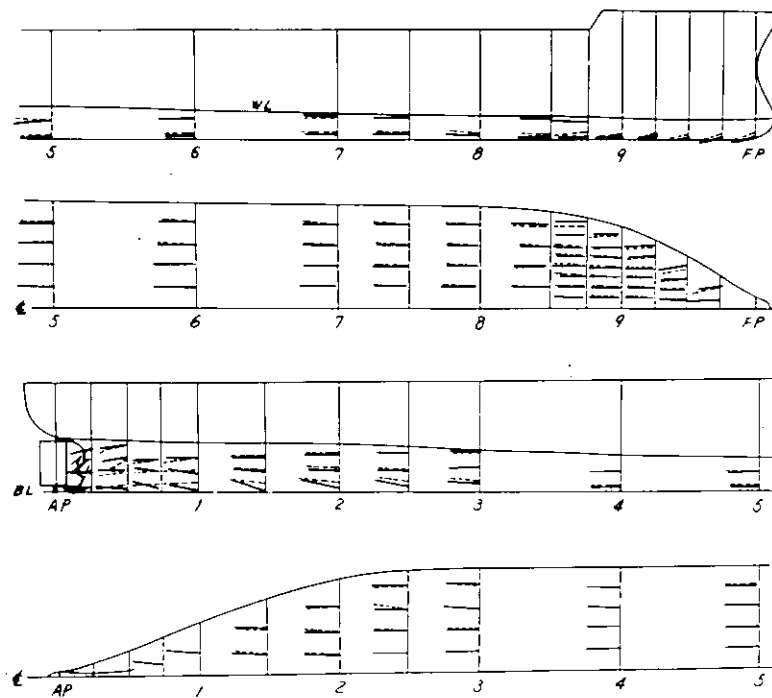


Fig.4.2.11 b 2段系による結果、バラスト状態
 $F_n = 0.160$

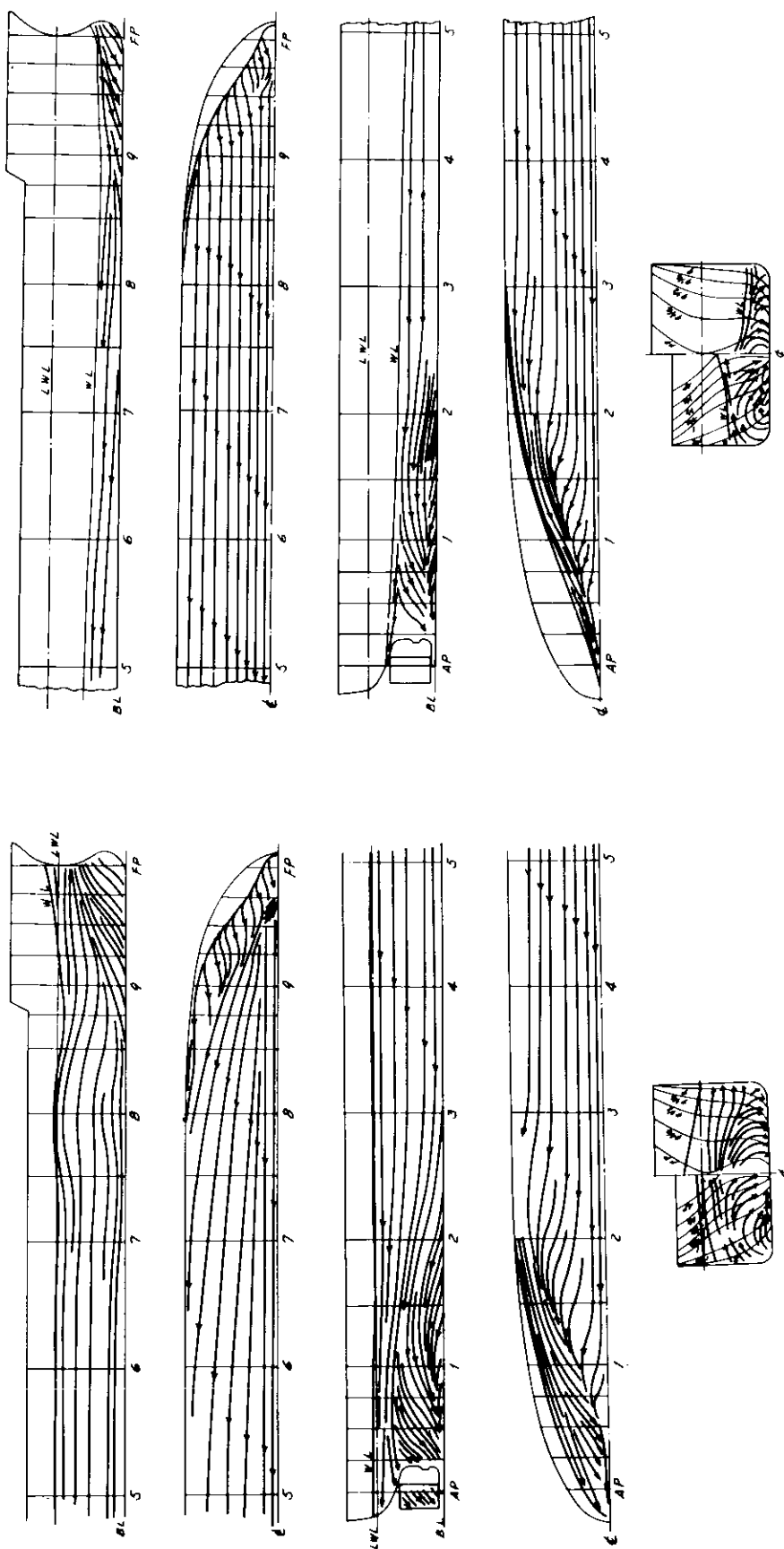


Fig. 4.2.1.2 a 限界流線, 満載状態
 $Fn = 0.151$

Fig. 4.2.1.2 b 限界流線, バラスト状態
 $Fn = 0.160$

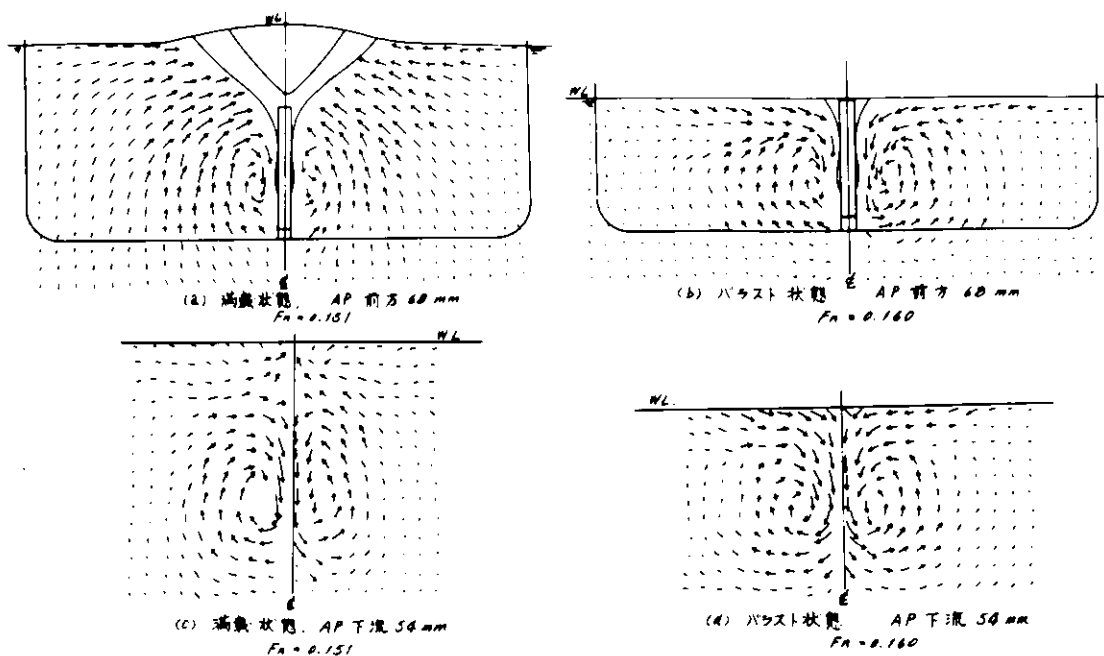


Fig.4.2.1.3. Tuft grid による結果

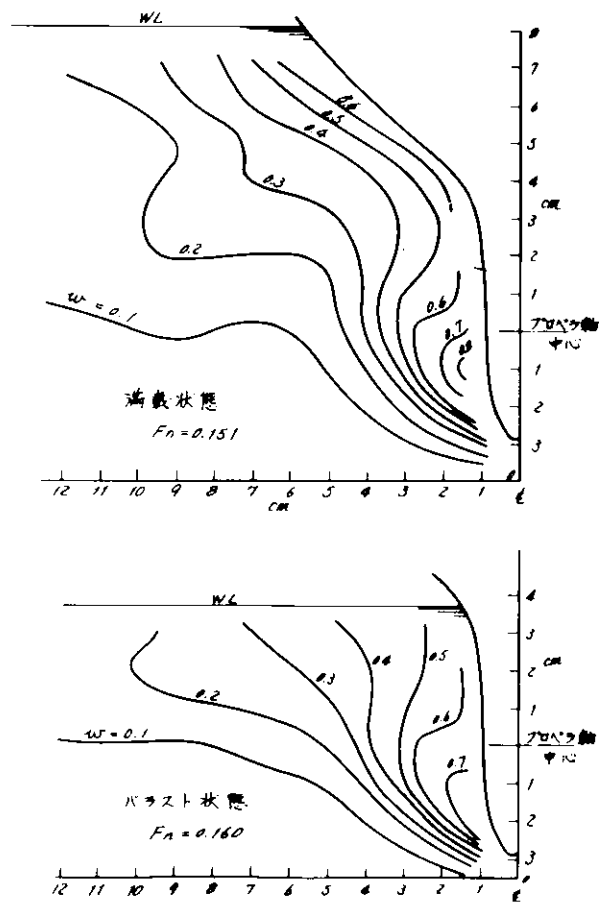


Fig.4.2.1.4 回流水槽における2m模型伴流分布計測結果
AP 前方 68 mm 位置

4-3. 4m 模型船試験結果

4-3-1. 抵抗試験

全抵抗係数 C_t 、および ITTC Friction Line に対する剰余抵抗係数 C_r をフルード数に対して示したものを Fig. 4.3.1, 4.3.2 に示す。満載状態、バラスト状態共フルード数 0.1 以下では実験点に若干のバラツキが見られるがこれは全抵抗値が小さく、計測値の少しの変動も大きく効くので止むを得ないところであろう。

本模型船の満載状態の C_t , C_r 曲線は大体通常の傾向を示しており、低速域より Form Factor 等を決定するのも容易であるが、バラスト状態に関しては少し困難と思われる。

なお、抵抗試験時の船側波形を Fig. 4.3.3, 4.3.4 に、船首尾の浮沈曲線を Fig. 4.3.5 に示す。

4-3-2. 自航試験

自航試験の結果得られた K_p , K_n , K_t を Fig. 4.3.6 に η_r , $1-w$, $1-t$ を Fig. 4.3.7 に示す。フルード数 0.13 以下においては本模型船では計測精度は若干落ちる。なお、不安定現象は見られなかった。

満載状態とバラスト状態を比較すると、 η_r , $1-w$ はほとんど差はなく、 $1-t$ は満載状態の方が 0.02 ほど高い。

4-3-3. プロペラ単独試験

4m 模型船用模型プロペラを Fig. 4.3.8 に、単独試験結果を Fig. 4.3.9 に示す。

4-3-4. 後方波形計測

波形計測を行なった結果の一例を Fig. 4.3.10 に示す。また波形解析により求めた C_w の値を Table 4.3.1 に示す。この結果から判るように C_w の値は極めて小さく、実験をもう少し高速域で行なった方が良かったと思われる。

4-3-5. 後方 Wake Survey

計測した Head Loss の船幅方向の分布を Fig. 4.3.11, 4.3.12 に示す。また、Head Loss を船幅方向に積分して求めた $\rho g \int (H_o - H_i) dy$ の値の吃水方向分布を Fig. 4.3.13, 4.3.14 に示す。計測は満載状態、バラスト状態とも 3 つの速度で行なったが、Head Loss の分布形状は速度によつて変化せず、抵抗値に応じて大きさのみ変わる。なお、本図の面積が全粘性抵抗を示すことになるが、この図をみると粘性抵抗が水面近傍と、吃水の下方とに分れているのは興味深い。

Wave Breaking Resistance に対応する Head Loss 分布の山は両状態とも明瞭にはみとめられなかった。

4-3-6. プロペラ位置の Wake Survey

5 孔管で計測したプロペラ位置での Wake 計測結果の面内速度ベクトルの図を Fig. 4.3.15, 4.3.16 に、船速方向速度分布を Fig. 4.3.17, 4.3.18 に示す。両図を比較すると今回のこの位置では船尾渦の中心と Wake (x 方向) の最大とは一致していないようである。

4-3-7. 船側(実船計測位置) Wake Survey

実船において伴流を計測する予定の点に対応する模型船の位置で計測を行なった。計測には 5 孔管を用いた。プロペラがない場合の結果を Fig. 4.3.19, 4.3.20 に、プロペラが回転している場合のものを Fig. 4.3.21, 4.3.22 にそれぞれ示す。これらの図からプロペラの回転に伴う境界層の縮み具合がわかる。

4-3-8. 流 線 計 測

実船計測後必要に応じて再び船側の流速分布を計測しなければならないこと、などの理由から今回の流線計測は毛糸を用いず、5孔管で実施した。即ち船尾において $1/2$ S.S. 実船計測断面 (約 $3/8$ S.S.), プロベラ位置の3ヶ所で5孔管を用いて、流線、流れ方向を求めた。プロベラ位置のところの結果は4.3.6で示し、実船計測位置に関しては4.3.7で述べた。それより前方の約 $1/2$ S.S.位置における計測結果をFig. 4.3.23, 4.3.24に示しておく。

Table 4.3.1 4 m模型船波形解析結果

Load Cond.	V_s Kn	$Fn (V/\sqrt{gL_{pp}})$	$C_w (R_w/\frac{1}{2}\rho_s v^2)$	POS.OF PICK UP
Full Load	15	0.1417	0.0000108	$Y/L_{PP} = 0.25$
"	16	0.1512	0.0000081	
"	17	0.1607	0.0000273	
Ballast Cond.	17	0.1607	0.0000020	
"	18	0.1702	0.0000026	
Full Load	15	0.1417	0.0000222	$Y/L_{PP} = 0.625$
"	16	0.1512	0.0000358	
"	17	0.1607	0.0000346	
Ballast Cond.	17	0.1607	0.0000038	
"	18	0.1702	0.0000031	

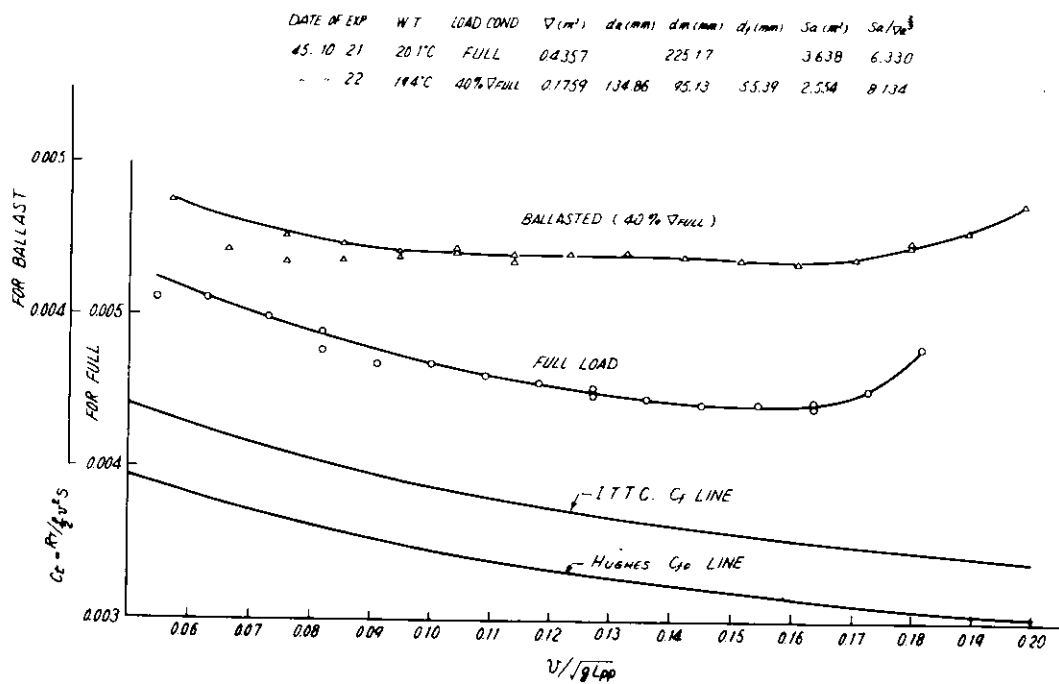


Fig.4.3.1 Total Resistance Coefficient Curves
(With Appendages)

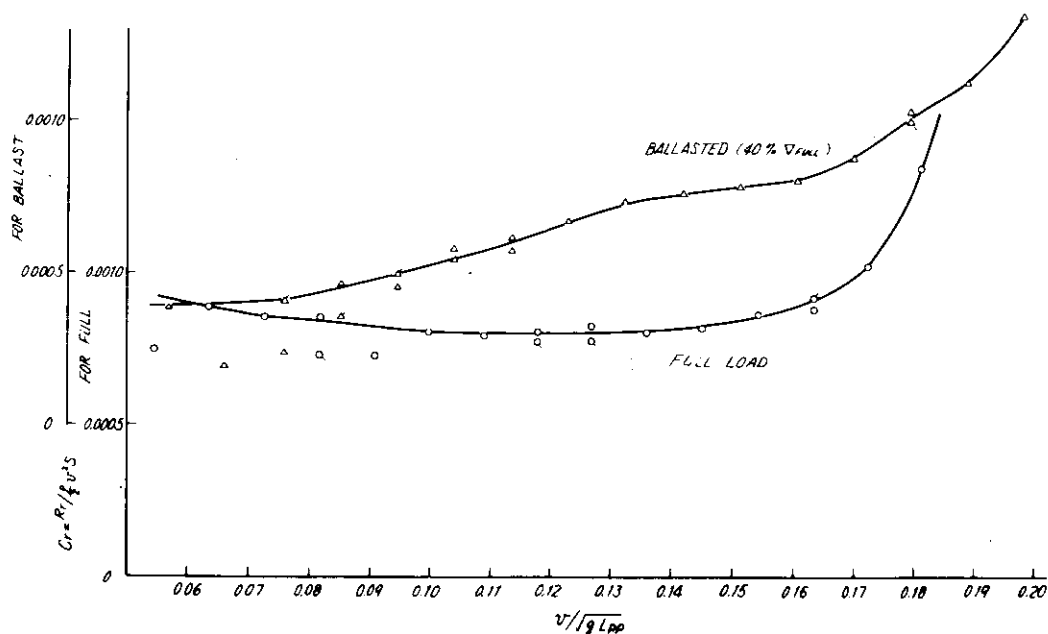


Fig.4.3.2 Total Resistance Coefficient Curves
(With Appendages)

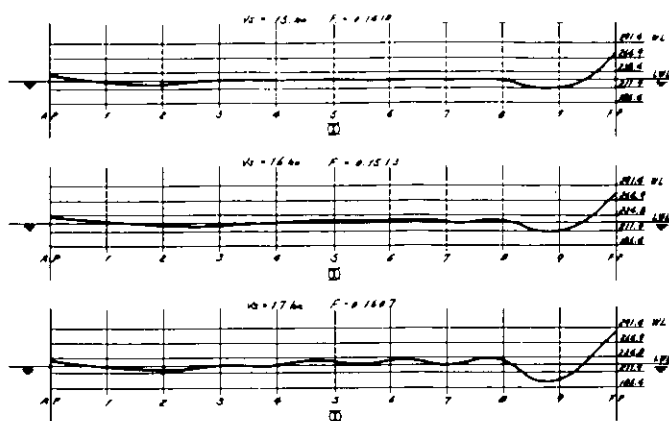


Fig.4.3.3 Wave Profile of SR107 Model Ship
(Full Load)

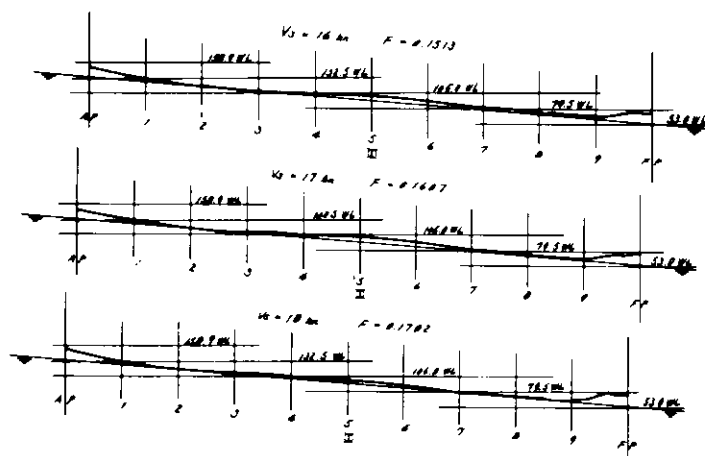


Fig.4.3.4 Wave Profile of SR107 Model Ship
(Ballasted cond)

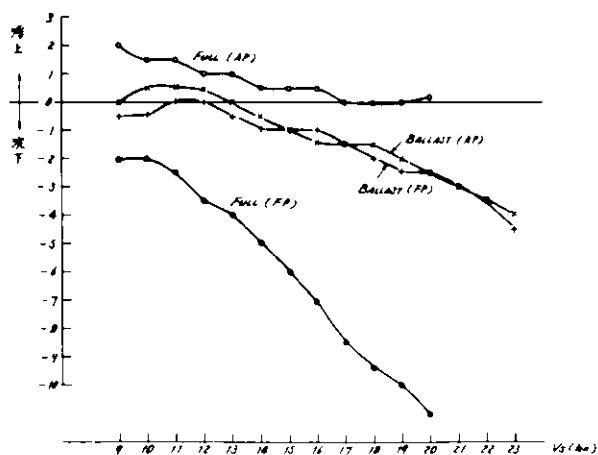


Fig.4.3.5 船艀の浮上 沈下

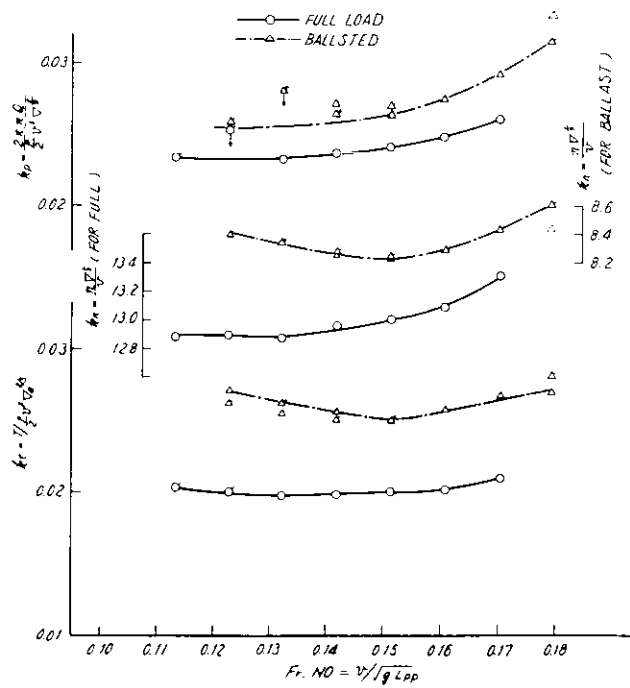


Fig. 4.3.6 Self-Propulsion Test Results

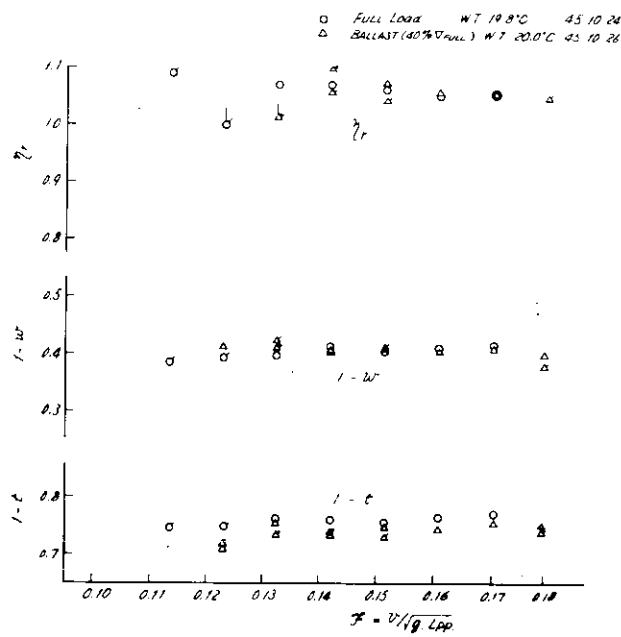
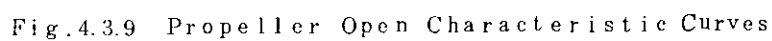
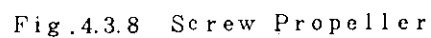


Fig. 4.3.7 Self-Propulsion Test Results



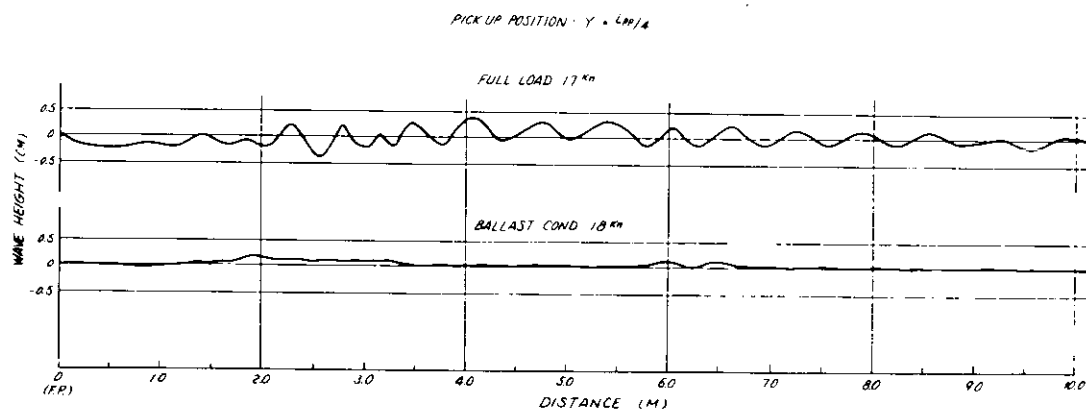


Fig.4.3.10 4m Model Wave Profile

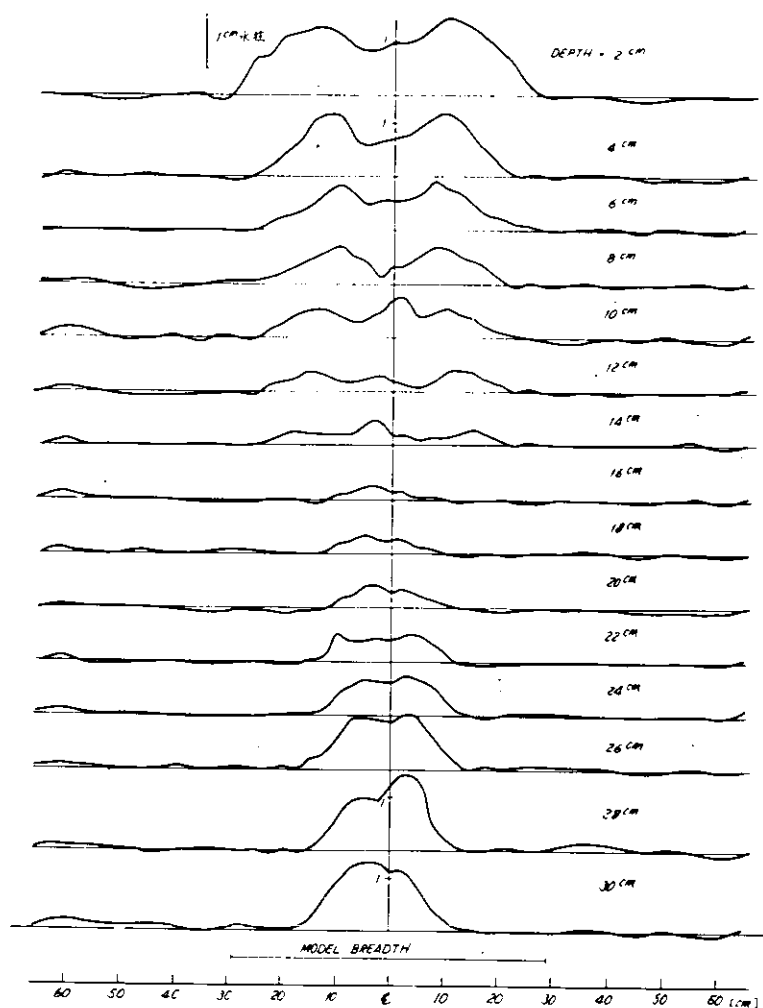


Fig.4.3.11 a 4m Model Head Loss Distribution
Full Load 16kn

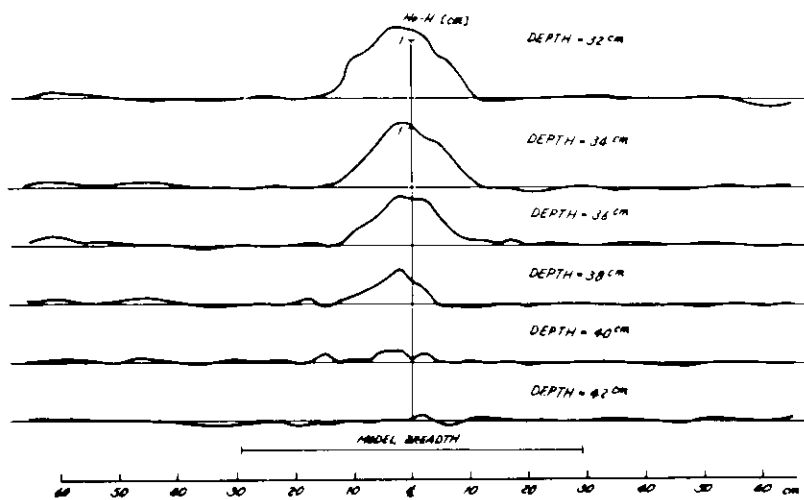


Fig. 4.3.11 b 4 m Model Head Loss Distribution
Full Load 16kn

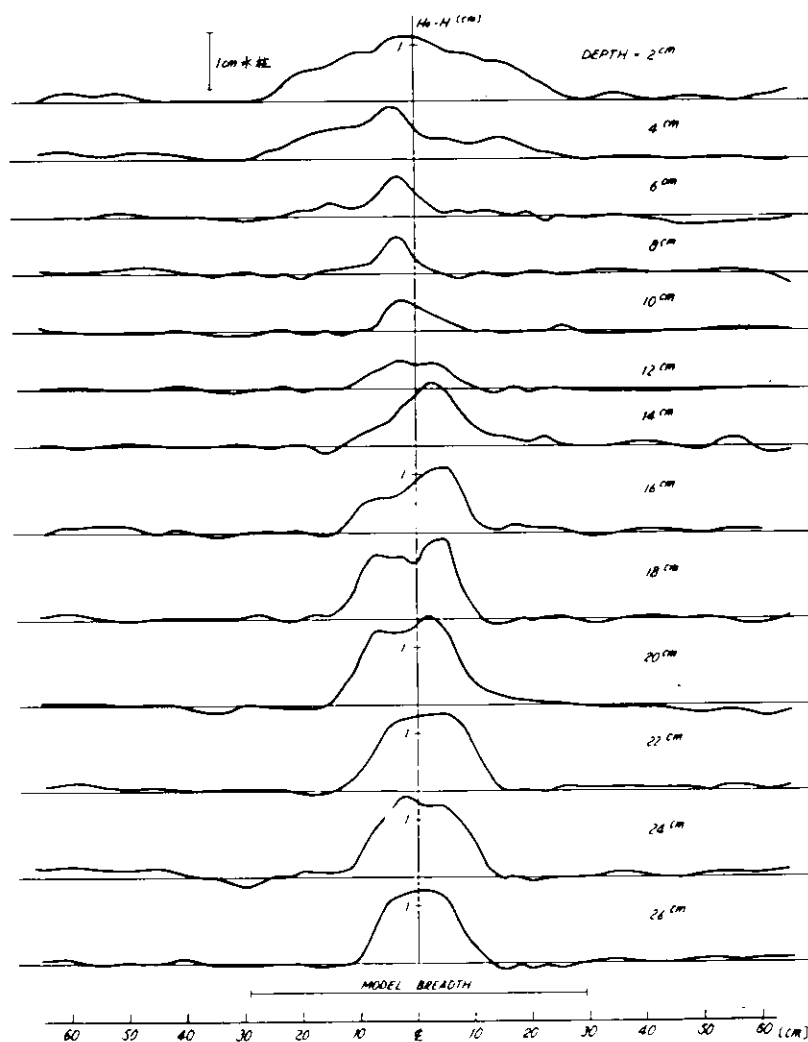


Fig. 4.3.12 a 4 m Model Head Loss Distribution
Ballast Cond 17kn

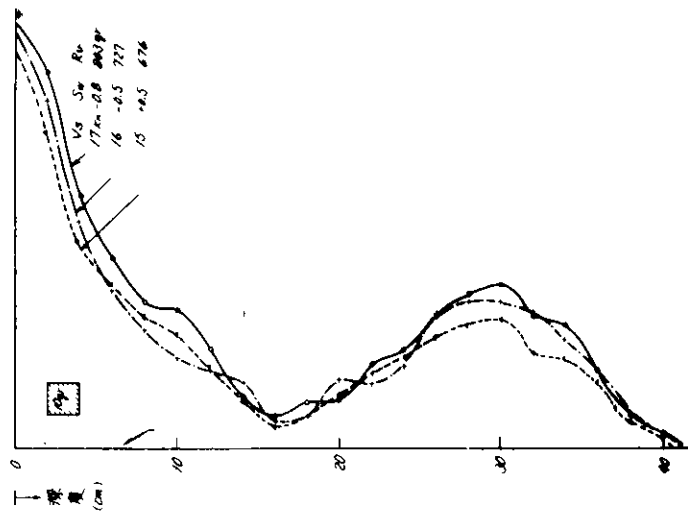


Fig.4.3.13 粘性抵抗の積分 Full Load Cond

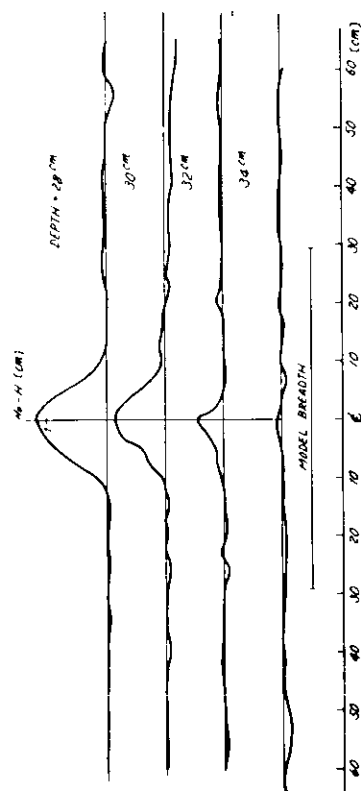


FIG 4.3.12b 4m MODEL HEAD LOSS DISTRIBUTION BALLAST COND. 17 kn

Fig.4.3.12 b 4 m Model Head Loss Distribution
Ballast Cond 17kn

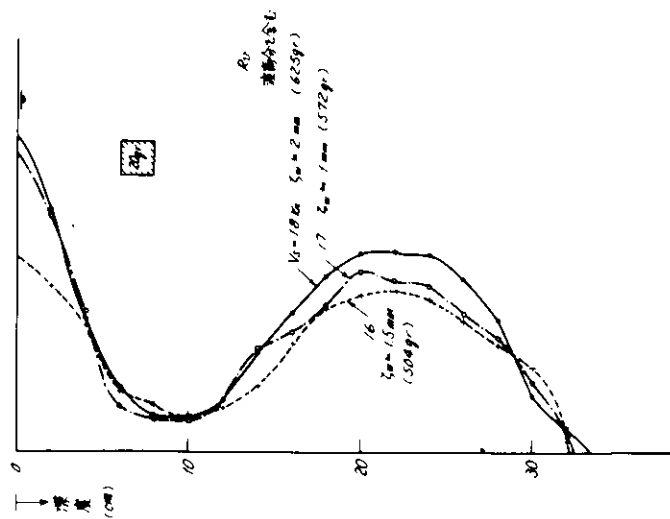


Fig. 4.3.14 粘性抵抗の積分 Ballast Cond

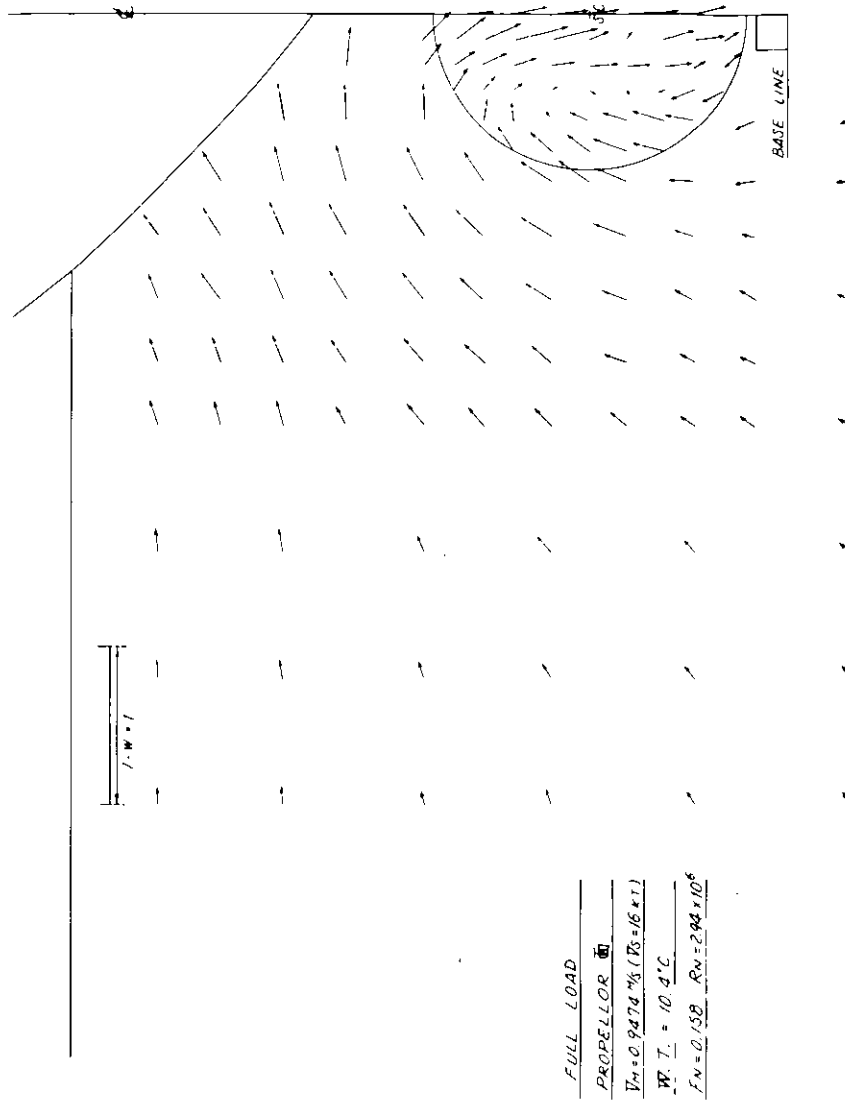


Fig. 4.3.15 模型船伴流計測実験

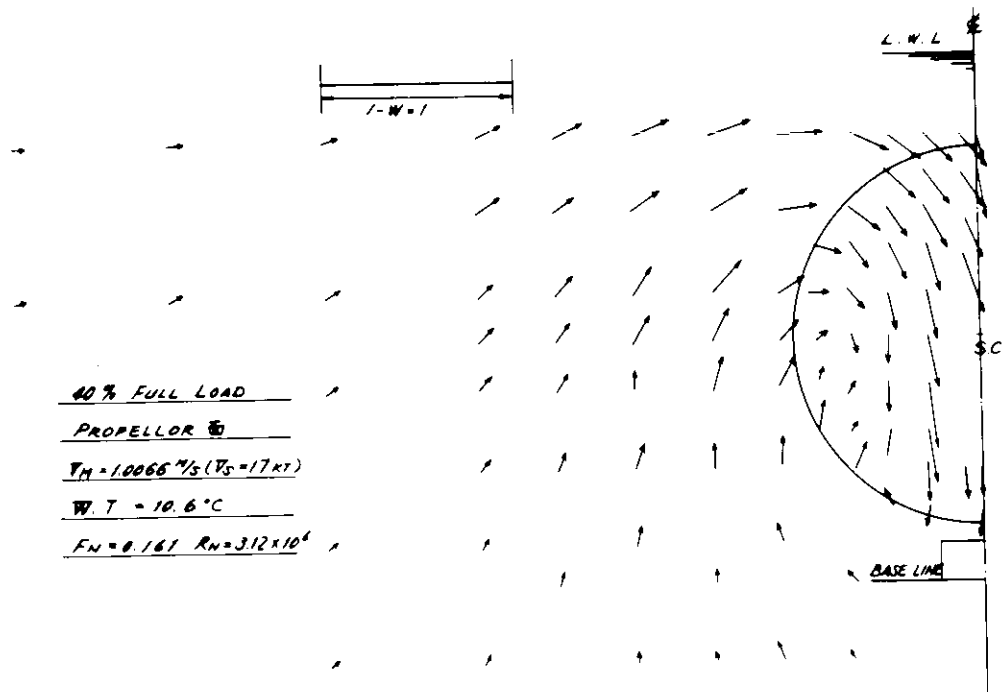


Fig. 4.3.16 模型船伴流計測実験

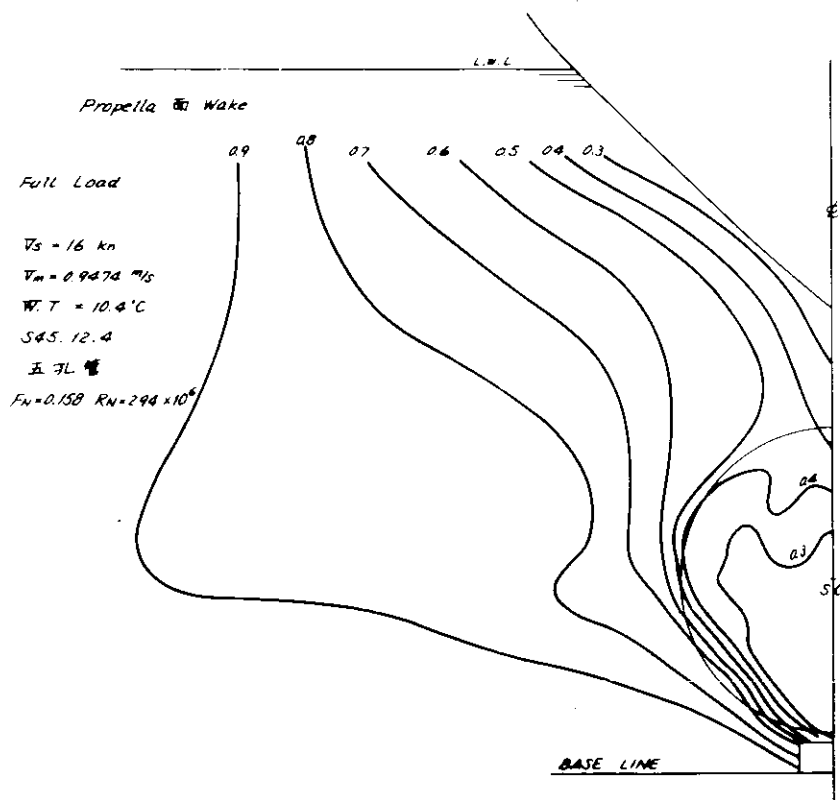
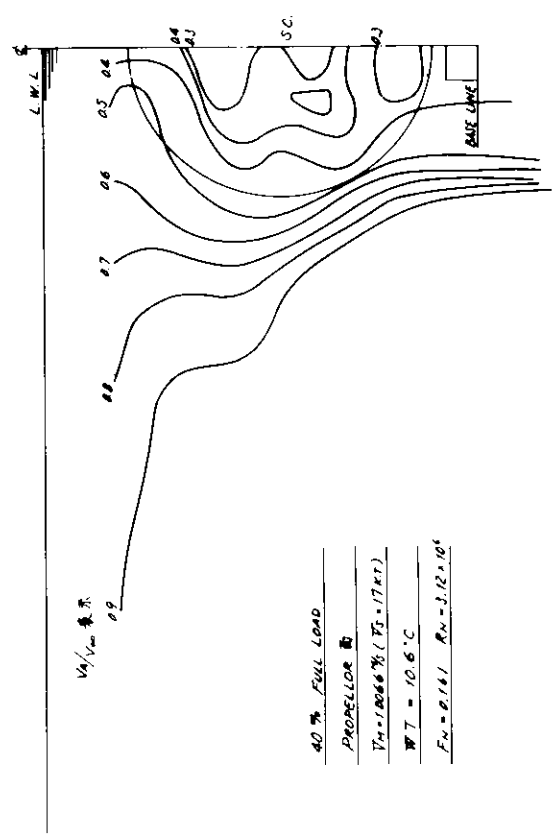
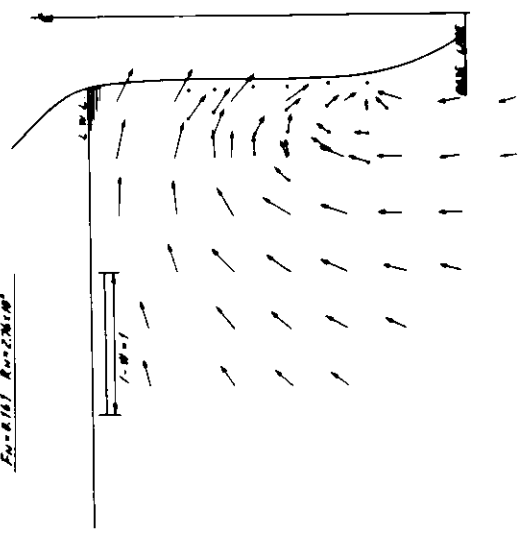


Fig. 4.3.17 模型船伴流計測実験

40% Full Load
 實驗計畫 (Propeller 圖)
 $V_m = 1.0066 \text{ m/s}$ ($V_s = 17 \text{ KT}$)
 $T = 10.6^\circ\text{C}$
 $F_n = 0.161$ $R_n = 2.76 \times 10^6$



40% Full Load
 PROPELLER 圖
 $V_m = 1.0066 \text{ m/s}$ ($V_s = 17 \text{ KT}$)
 $T = 10.6^\circ\text{C}$
 $F_n = 0.161$ $R_n = 2.76 \times 10^6$

Fig. 4.3.19 模型船伴流計劃實驗

Fig. 4.3.18 模型船伴流計劃實驗

40 % Full Load
 艤船計測面 (Depth 4.5)
 $Re = 1.0066 \times 10^6$ ($Re = 1.7 \times 10^6$)
 $W.T. = 6.5^\circ C$
 $F_n = 0.161$ $Rn = 2.78 \times 10^4$

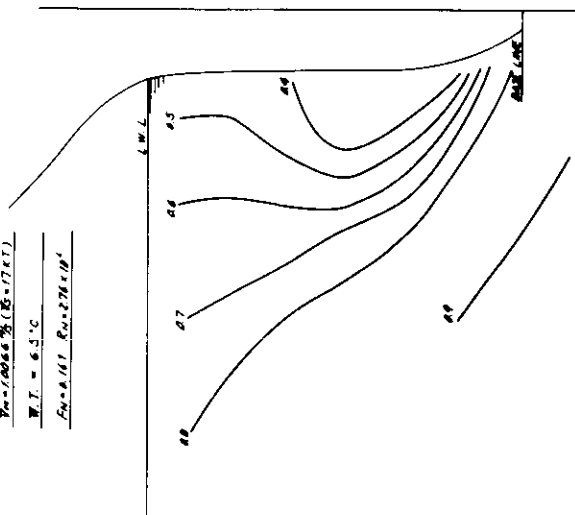


Fig. 4.3.2.0 模型船伴流計測実験

40 % Full Load
 艤船計測面 (Depth 4.5)
 $Re = 1.0066 \times 10^6$ ($Re = 1.7 \times 10^6$)
 $W.T. = 6.7^\circ C$
 $F_n = 0.161$ $Rn = 2.79 \times 10^4$

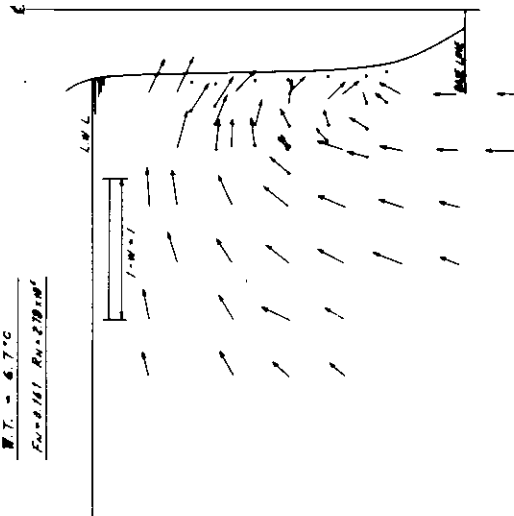


Fig. 4.3.2.1 模型船伴流計測実験

40 % Full Load
 艤船計測面 (Depth 4.5)
 $Re = 1.0066 \times 10^6$ ($Re = 1.7 \times 10^6$)
 $W.T. = 6.7^\circ C$
 $F_n = 0.161$ $Rn = 2.78 \times 10^4$

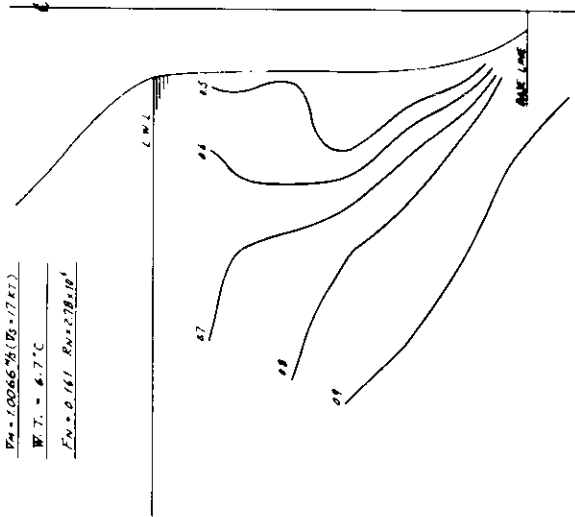


Fig. 4.3.2.2 模型船伴流計測実験

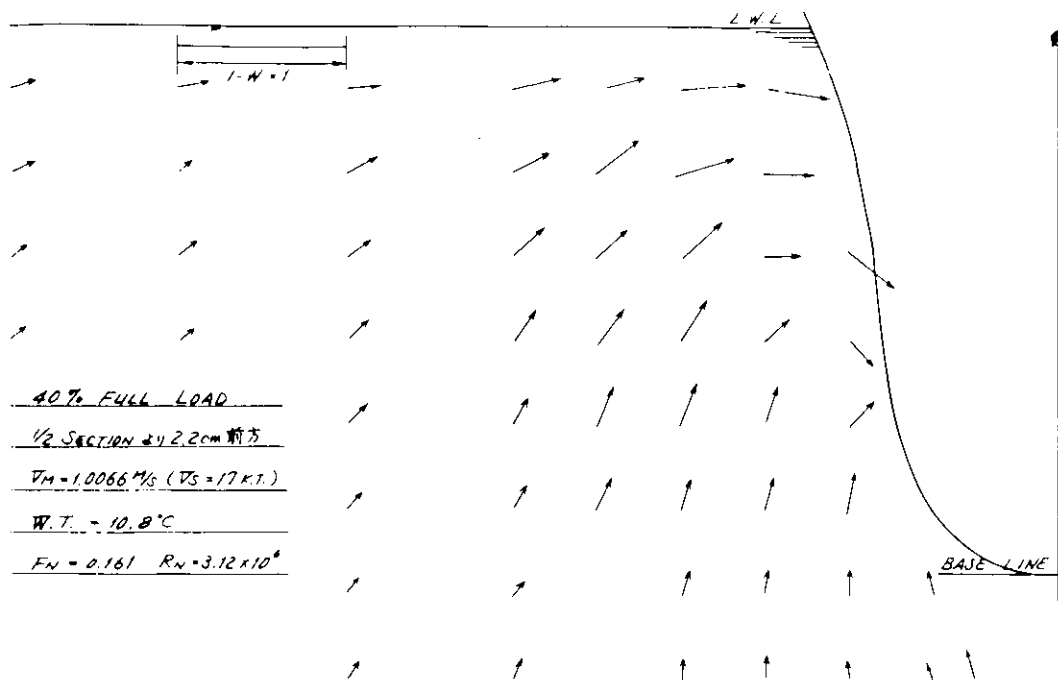


Fig. 4.3.2 3 模型船伴流実験

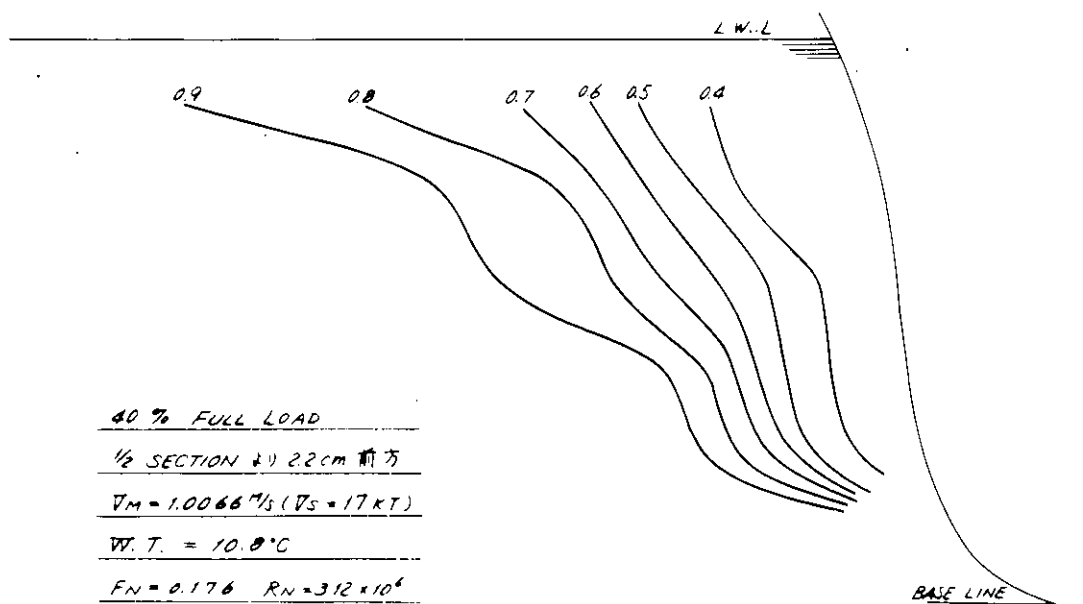


Fig. 4.3.2 4 模型船伴流計測実験

4-4. 8 m 模型船試験結果

4-4-1. 抵抗試験

ITTC Friction Line に対する剰余抵抗係数 C_r をフルード数 Fn ベースにプロットしたものを Fig. 4.4.1 に示す。

満載状態、バラスト状態共バラツキはほとんどなく満載状態ではフルード数 0.15 付近から C_r カーブの立ち上がりが始まっているのに対し、バラスト状態では低速より徐々に C_r が漸増する傾向を示している。

つぎに Hughes の Friction Line に対する Form Factor の値と造波抵抗係数 C_w を Fig. 4.2.2 に示す。満載状態においては低速域の試験結果より Form Factor の決定は容易であるが、バラスト状態においては上記のとおり C_r が低速より漸増するので Form Factor の決定はむづかしいが一応最低速度の計測点より決定した。

なお、抵抗試験時の船体浮沈曲線を Fig. 4.4.3 に示す。

4-4-2. 自航試験

自航試験の結果得られた k_t , k_p , k_n を Fig. 4.4.4 に示す。

自航試験時にも計測点のバラツキは見られず、自航試験中には不安定現象もみられなかった。

自航試験結果得られた自航要素を Fig. 4.4.5 に示す。推力減少率 t は両状態ともほとんど同じ、伴流係数 W_m はバラツキ状態の方が 0.04 ~ 0.05 大きく、プロペラ効率比 η_r はバラスト状態の方が 0.01 位小さい。

4-4-3. プロペラ単独試験

8 m 模型船用模型プロペラの単独試験結果を Fig. 4.4.6 に示す。

試験回転数は自航試験解析用の 11.5 rps と $Re_k = 4.5 \times 10^5$ に相当する 22.5 rps の 2 種類であり、 Re_k の大きい方が K_T がやゝ大きく、 K_Q はやゝ小さい傾向がみられ、効率 η_o がやゝ大きくなっている。

4-4-4. 後方波形計測

波形計測結果を Fig. 4.4.7, 4.4.8 に示す。満載状態、バラスト状態とも波は小さく、波形分析して得られた C_w の値も非常に小さい。したがって抵抗試験結果得られた C_w の中で、後方波形として残る C_w の値の占める割合は満載の場合 $1/3 \sim 1/4$ 位、バラスト状態においては無視できる程である。

この点からみると、供試験型は抵抗成分分離に関する対象船としてはやゝ不適だったとも云えるが、計測速度を実船の実用速度以上に高速域迄あげておくべきであつたと考えられる。

4-4-5. 後方 Wake Survey

後方 Wake Survey により計測された船幅方向の Head Loss の分布を Fig. 4.4.9, 4.4.10 に示す。満載状態とバラスト状態では分布の形状が明らかに異なっている。また、深さ方向に分布の形状がかなり変化していることが分る。

つぎに船幅方向に Head Loss を積分した $\rho g \int (H_o - H_i) dy$ の値の深度方向の分布を Fig. 4.4.11, 4.4.12 に示す。水面付近の Head Loss が大きいことが明らかであるが、吃水よりさらに深い所にもう一つ Peak がみられる。この深度は満載状態で AP の吃水より 150 mm 位下方であり、バラスト状態では AP の吃水より約 200 mm 下方となつている。この Peak の位置は速度によつてはあまり変化していない。

Head Loss を計測面全体にわたり積分した $\rho g \int (H_o - H_i) ds$ により求めた抵抗を無次元化した C_v を抵抗試験結果得られた C_t カーブ上にプロットしたものを Fig. 4.4.13 に示す。なお

同図中には 4.4.4 で求めた造波抵抗係数の値を加えて全抵抗係数の形にしたものもプロットしたが、造波抵抗がほとんどないので、 C_v と C_t はほとんど同じである。

なお、バラスト状態の場合高速において、Wave Breaking Resistance に対応する Head Loss の分布の山はわずかにみられるが、Full Load ではほとんどみとめられなかった。

4-4-6. プロペラ位置の Wake Survey

プロペラ位置における Wake Survey の結果得られた Wake Fraction Contour Curve と流速ベクトルをプロペラ中心面に投影したものを Fig. 4.4.14, 4.4.15 に示す。満載状態に比べ、バラスト状態の Contour Curve の方がやや外に広がった形となっており、自航要素 W_m の傾向と一致している。また渦流の中心はいずれも $0.7 R$ よりわずかに外方に円周方向にそつて、たて長にのびた形となっている。

4-4-7. 船側（実船計測位置）Wake Survey

実船の予想試運転状態（バラスト状態）について、実船計測予定位置における Wake Survey 結果を Fig. 4.4.16～4.4.18 に示す。Fig. 4.4.16 は曳航状態であるが、すでに渦流が始まりつつあり、Wake Fraction Contour Curve もプロペラ軸心位置付近でふくらみを持ち複雑に変化している。Fig. 4.4.17 は模型船の自航試験時の回転数に合わせてプロペラを回転しながら Wake 計測を行なった結果であり、この時のプロペラ荷重 $C_T = T / \rho v^2 D^2 = 0.44$ である。曳航状態と比較すると速度ベクトルの横断面への投影はプロペラディスク前方でやや変化して、渦流がやや少なくなる傾向がみられる程度であるが、流速は明瞭に増速されており、Contour Curve は全体的に 0.1 位づつ内側へ移動している。また、Fig. 4.4.18 はプロペラ荷重度を 0.22 と半分に落した場合の計測結果であり、流れの方向、流速とも Fig. 4.4.16, 4.4.17 のほぼ中間の位を示している。

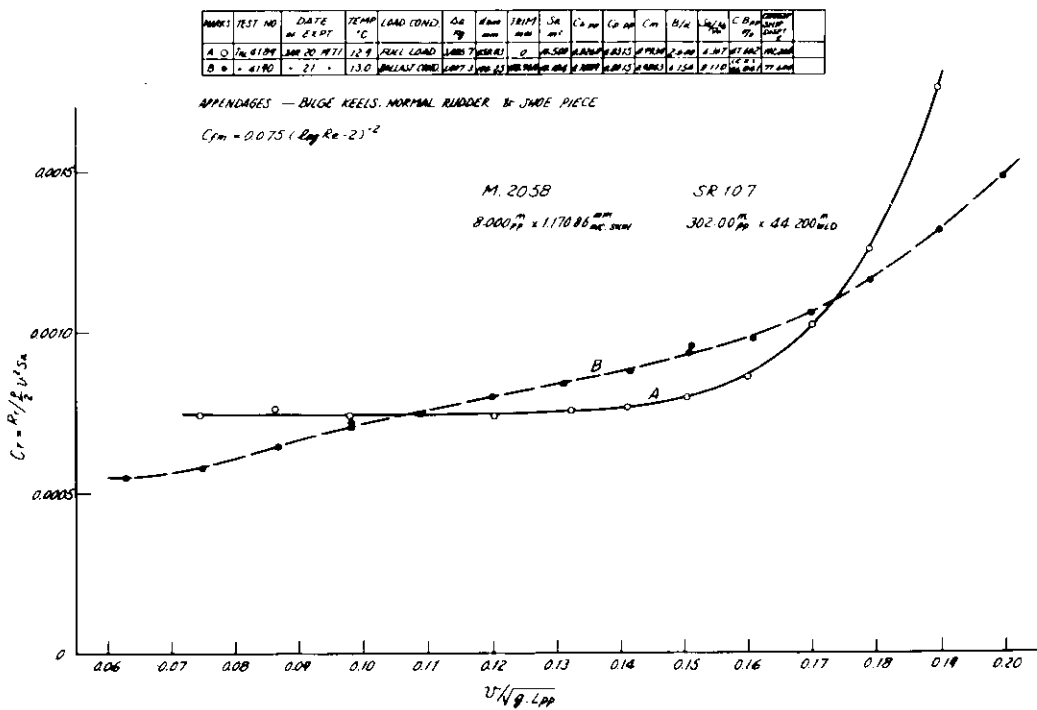


Fig.4.4.1 Residual Resist. Coeff. Curves
(With app.)

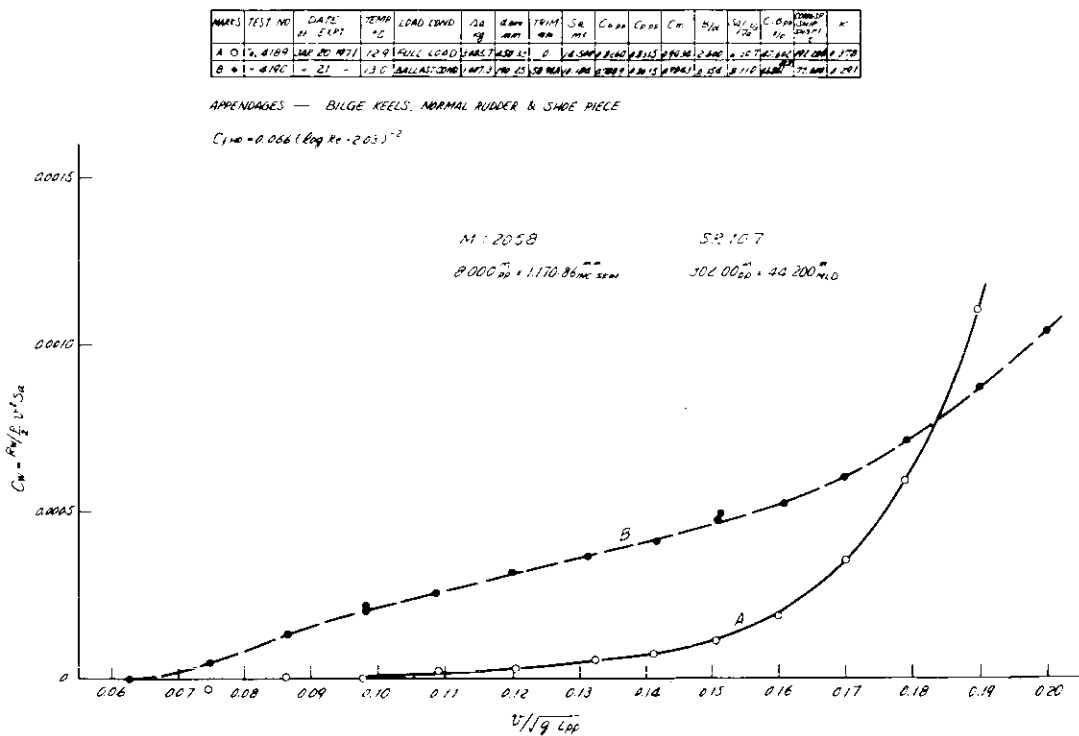


Fig.4.4.2 Wave Making Resist. Coeff. Curves
(With app.)

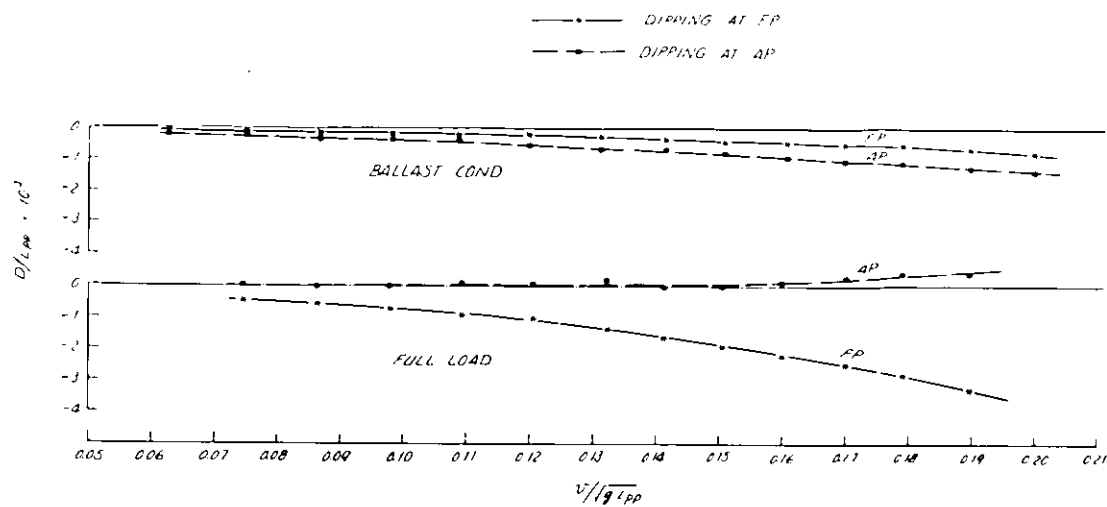


Fig.4.4.3 M.2058 Dipping Curves

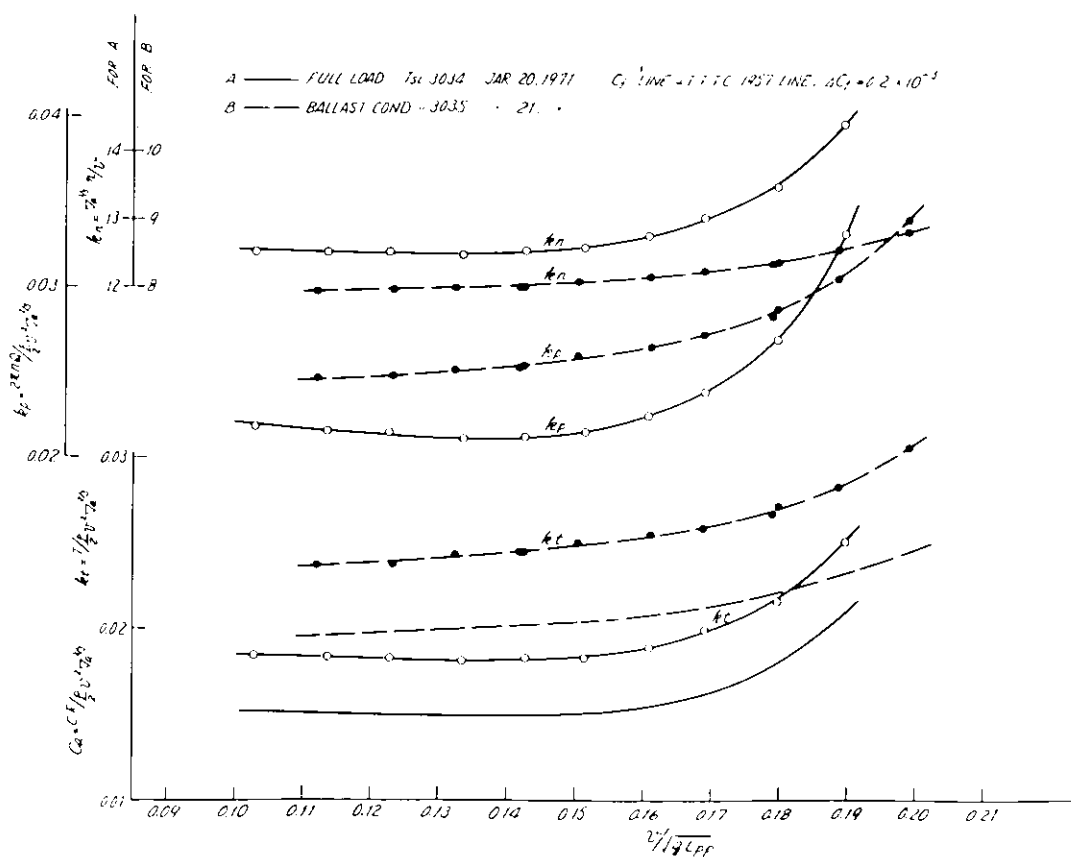
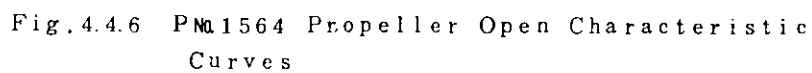
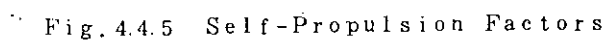


Fig.4.4.4 Self-Propulsion Test Results

240 PELLE
 D = 7200"
 D = 3480"
 E = 00112
 A = 20442"
 A = 20442"
 A = 00000
 A = 00000
 A = 00000
 A = 00000



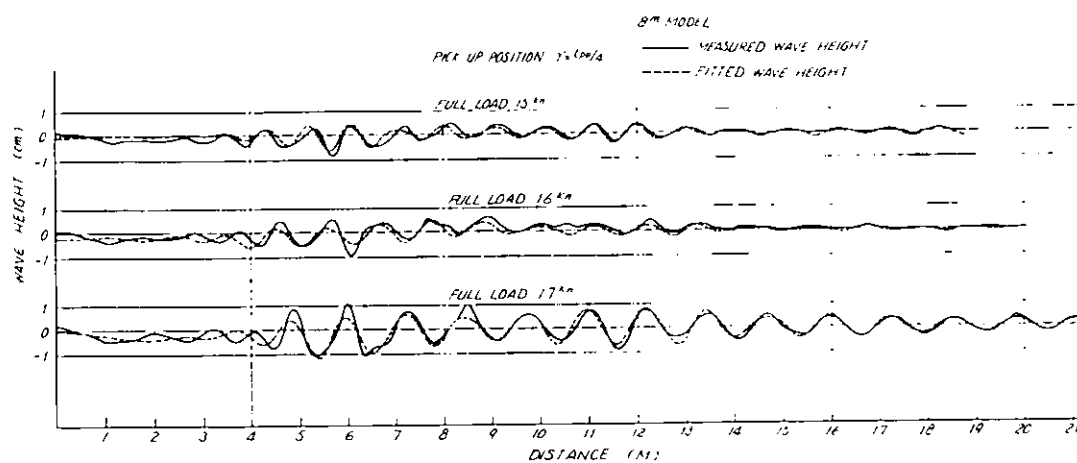


Fig.4.4.7 Free Wave Profile

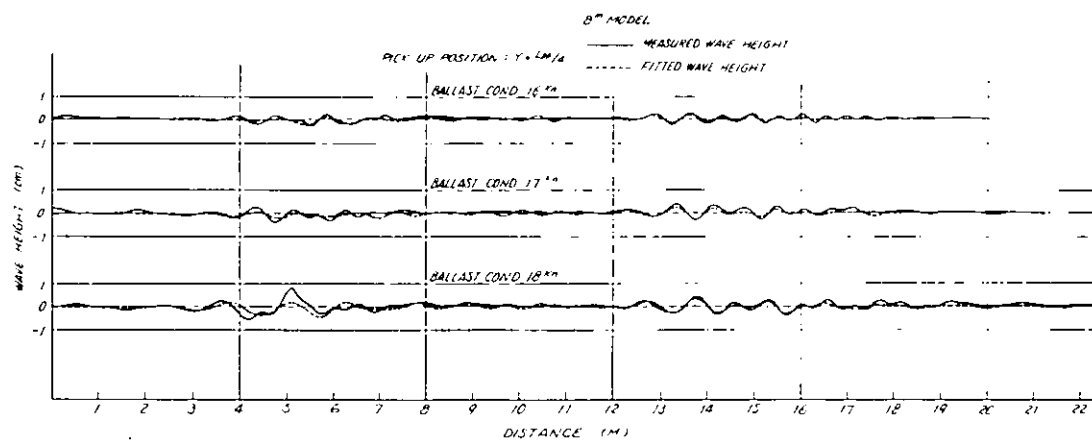


Fig.4.4.8 Free Wave Profile

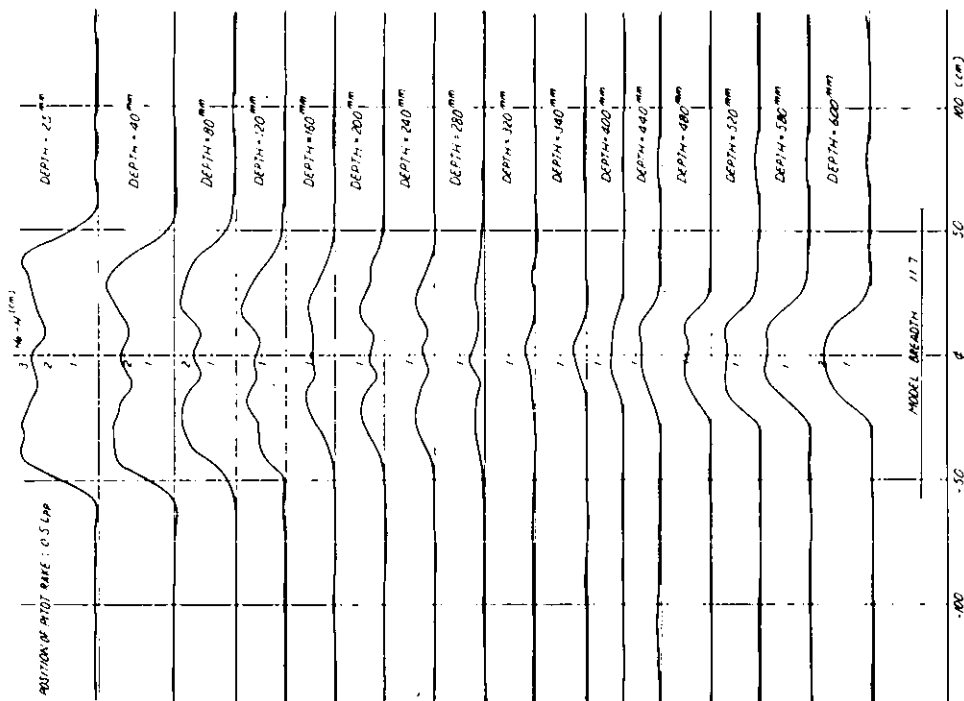


Fig.4.4.9 a 8 m Model Head Loss Distribution
Full Load 16kn

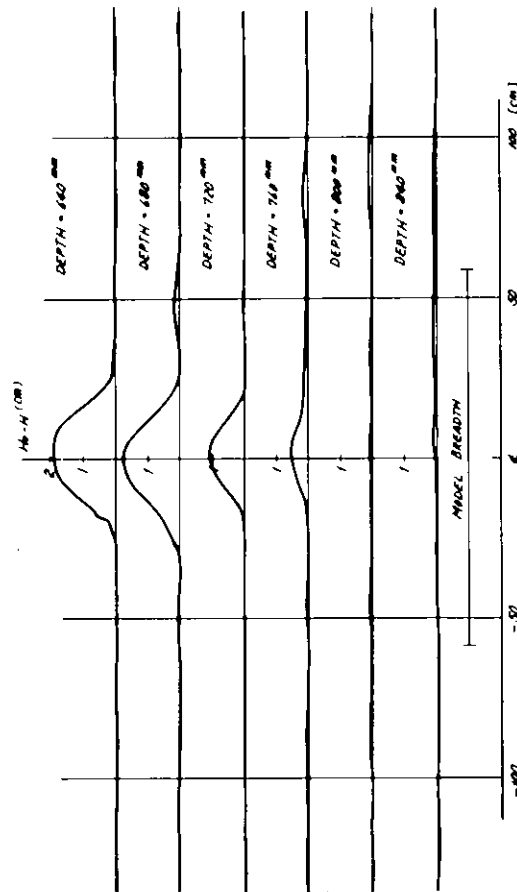


Fig.4.4.9 b 8 m Model Head Loss Distribution
Full Load 16kn Position of Pitot Rake : 0.5Lpp

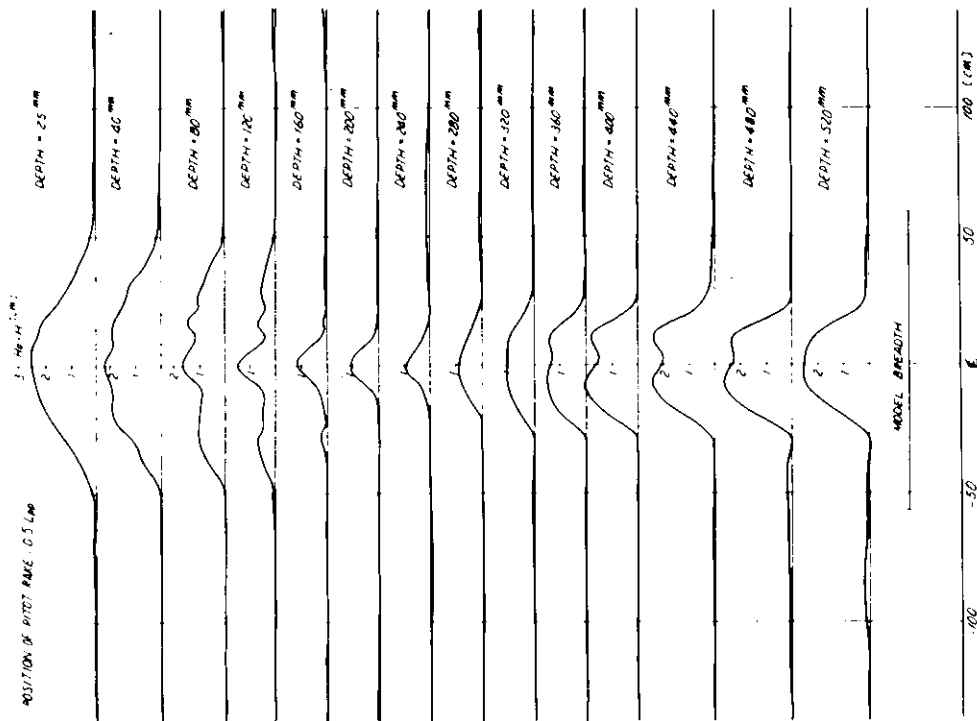


Fig.4.4.10 a 8 m Model Head Loss Distribution
Ballast Cond 17kn

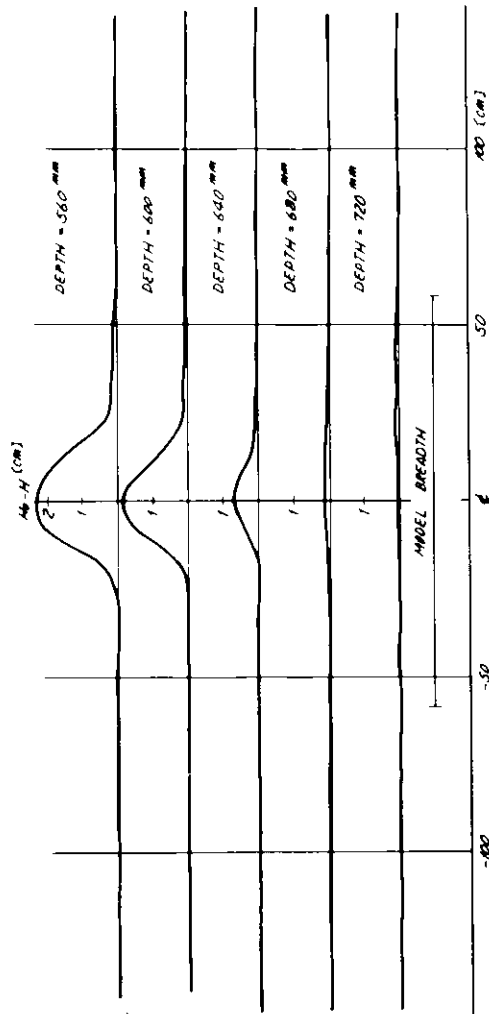


Fig.4.4.10 b 8 m Model Head Loss Distribution
Ballast Cond 17kn
Position of Pitot Tube : 0.5Lpp

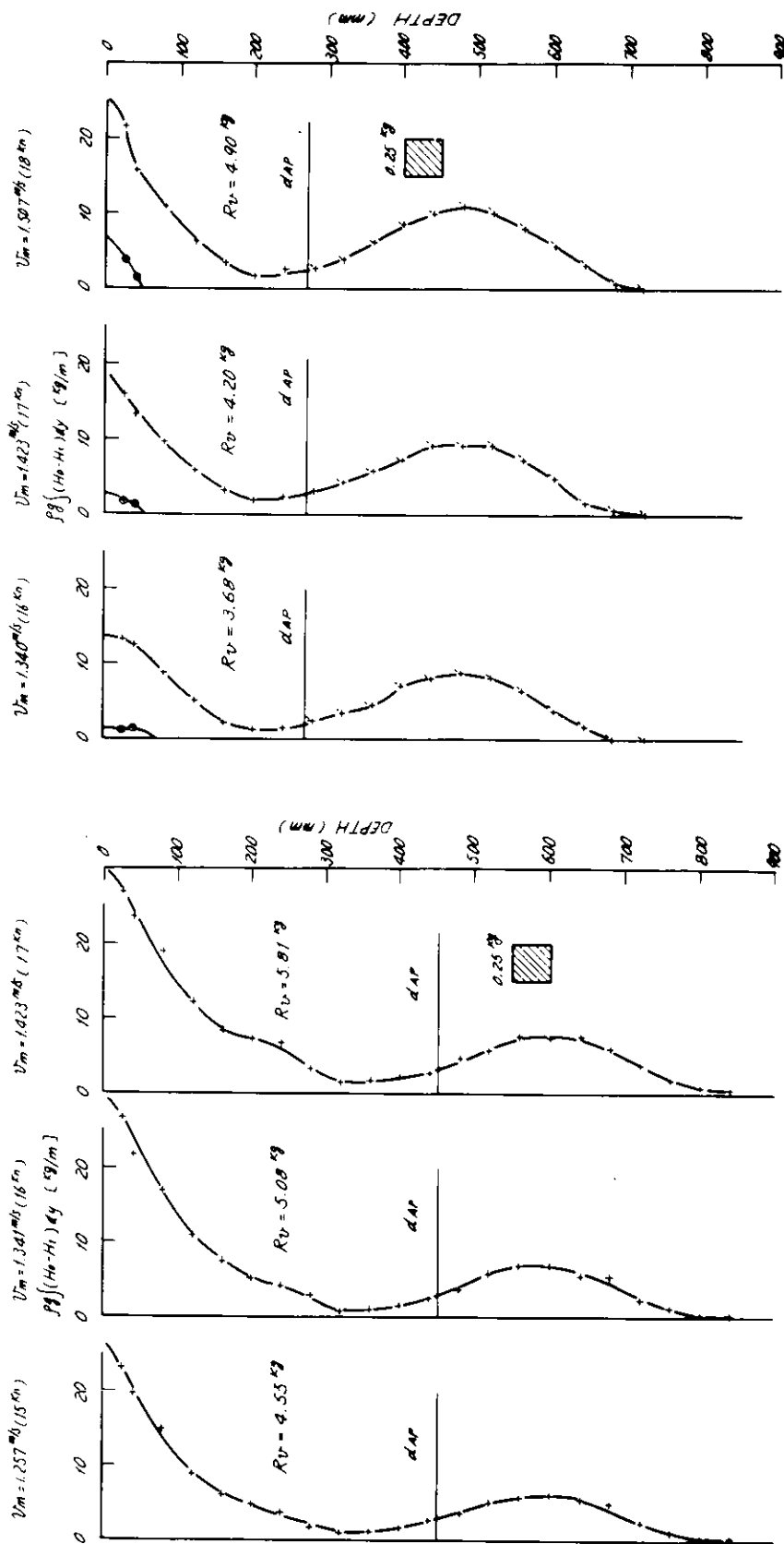


Fig. 4.4.1.1 Full Load Even Keel Head Loss Distribution
Position of Pitot Rake: 0.5Lpp

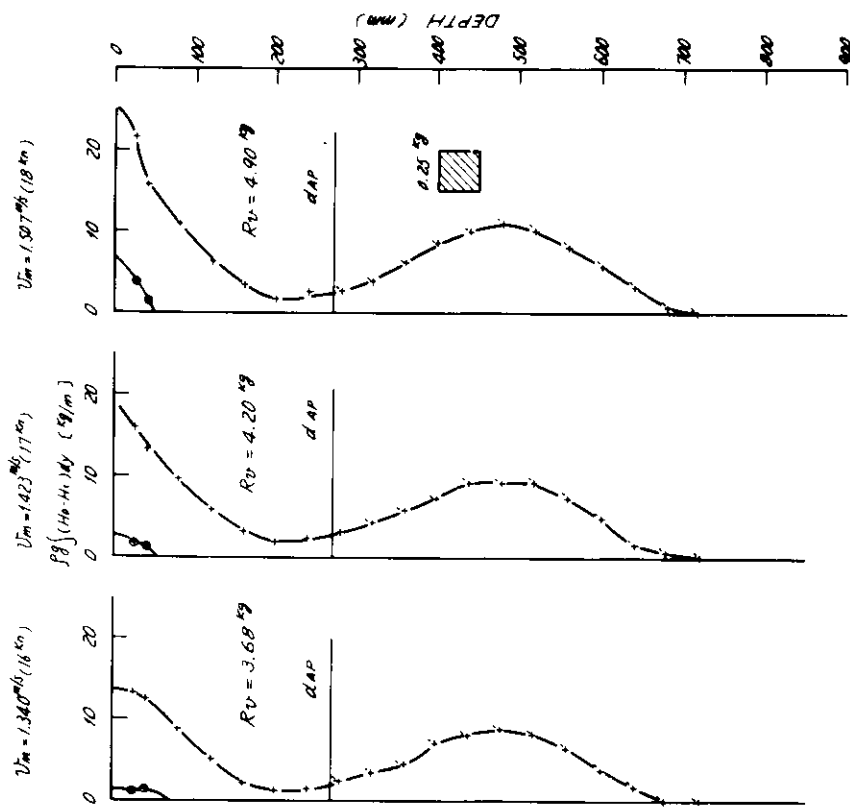


Fig. 4.4.1.2 Ballast Cond 1.99% Trim A
Head Loss Distribution
Position of Pitot Rake: 0.5Lpp

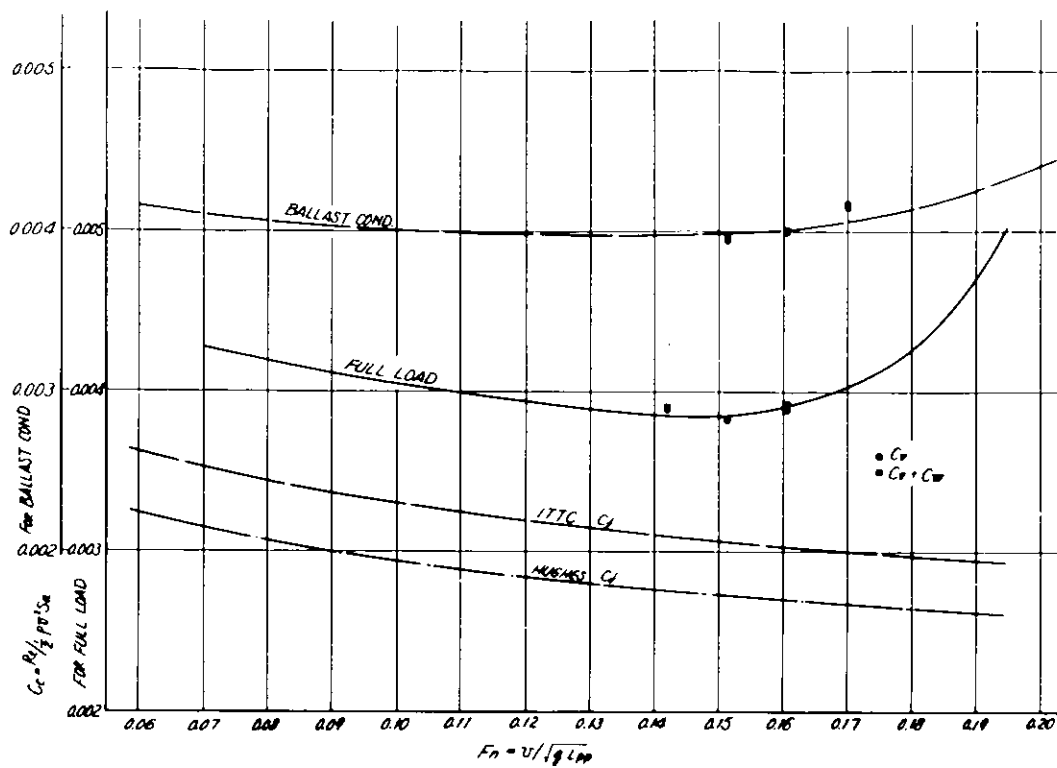


Fig.4.4.13 Comparison of Test Results

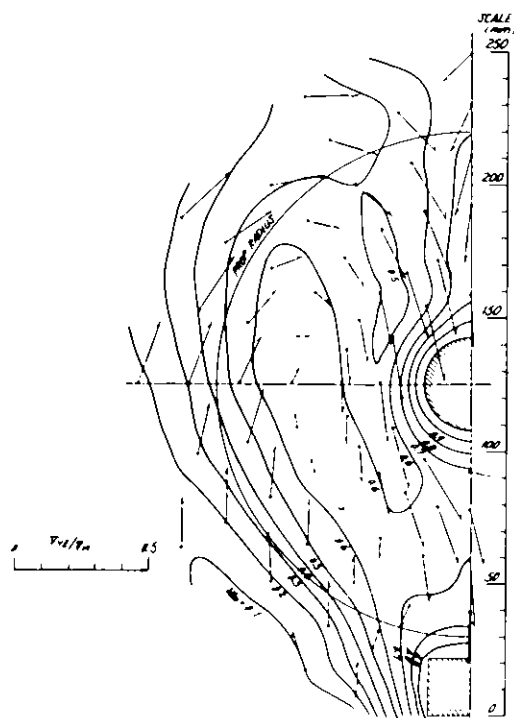


Fig.4.4.14 Wake Fraction Contour Curves

M.2058 Full Load Even Keel $V_s = 16 \text{ kn}$

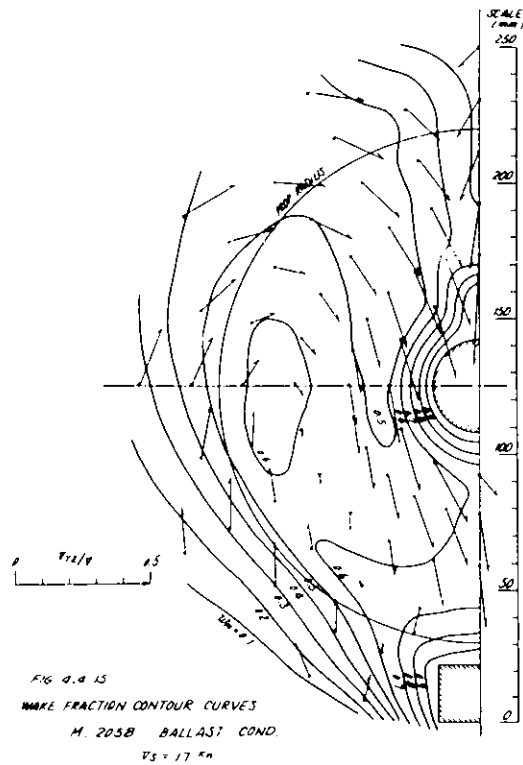
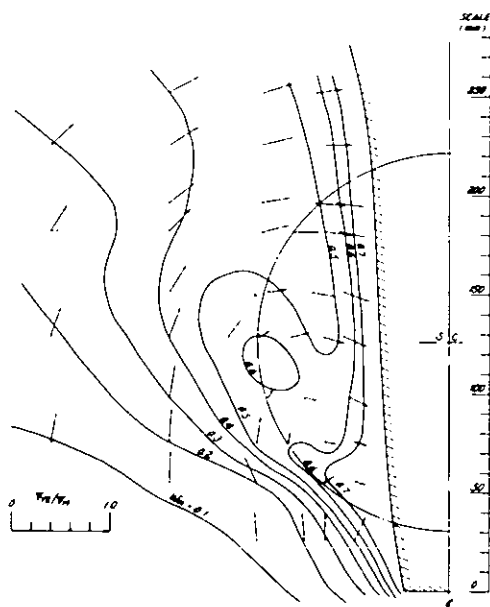
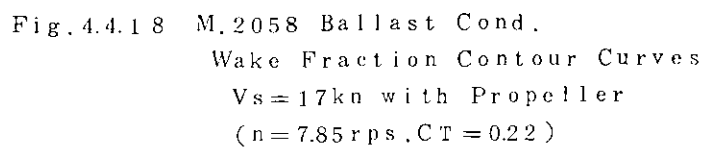
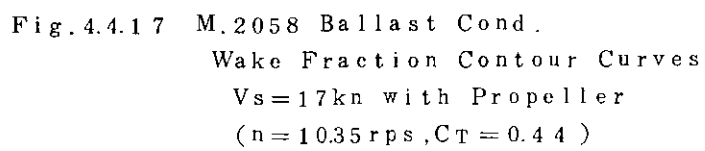


Fig.4.4.15 Wake Fraction Contour Curves
M.2058 Ballast Cond $V_s = 17 \text{ kn}$





4-5. 考 察

今回水槽試験を行なった3隻の相似模型船（長さ8 m, 4 m, および2 m）に対する抵抗自航試験, 波形計測, 流場計測等の試験結果の比較およびこれらの比較をもとにした尺度影響の検討結果を下記に記す。

4-5-1. 抵 抗 試 験

満載状態およびバラスト状態に対する剰余抵抗係数曲線（1957 ITTC Friction Line 使用）の比較図をFig. 4.5.1に示す。このような肥大船型においては、いわゆる相当平板の摩擦抵抗推算式を基礎とした剰余抵抗係数の値は、相似船型においても模型船の長さあるいは試験時の水温によつて変化し、実船性能推定のベースとしては不具合であり、Form Factor を流用したいわゆる3次元外挿法が必要なことが既に一般に認められているが、今回の剰余抵抗係数の比較を見ると剰余抵抗係数の値のバラツキと模型船の長さとの間には系統的な傾向もなく、特に低速におけるバラツキが大きい。これは主として小型模型船において層流の影響その他で抵抗計測の精度が不足しているためと考えられる。

各模型試験結果にいわゆる3次元外挿法を適用する場合、低速における抵抗計測結果からHughesの方法によりForm Factor K を求め、これを基礎にして造波抵抗係数を求めるのが通例であるが、今回の比較試験では、2 mおよび4 mの模型船の抵抗値は低速においてはバラツキが大きく、慣用のHughesの方法により各個の試験結果から独立に夫々のForm Factor を決定することができなかった。

Fig. 4.5.2は、3隻の模型船に対するForm Factor および造波抵抗係数曲線の比較であるが、8 m模型船については抵抗試験結果からHughesの方法でForm Factor および造波抵抗係数を求め、2 mおよび4 m模型船については、造波抵抗係数曲線がなるべく8 m模型船のものと一致するように、夫々のForm Factor を適当に推定した。尚図に示されている7 m模型船の結果は、別途行なわれた7 m相似模型船の結果（Hughesの方法で K を決定した）である。（7 m模型船の結果は日立造船株式会社の資料提供による）。

この結果では、7 mと8 m模型船の結果はForm Factor 造波抵抗係数ともに良く一致しており、また2 m, 4 m模型船の結果も低速の部分を除いて造波抵抗係数曲線は比較的よく一致している。したがつて、造波抵抗係数曲線としては妥当な物であると考えられるが、これに対する各模型船のForm Factor は同図付表に示す通り満載状態では0.324～0.361の間にまた、バラスト状態では0.213～0.289の間に变化しており、しかもこの値の変化と模型船の長さの間には系統的な傾向も見られない。

これらの結果から考えると、このような肥大船型については、2 mあるいは4 mの小型模型船による抵抗試験結果から3次元外挿法により実船性能を推定する場合には境界層の遷移の問題、抵抗値が微小なための計測精度の問題等実験技術的な問題があり、小型模型船による肥大船抵抗試験結果の再現性の調査等を含めて模型船間の抵抗の尺度影響につき更に研究を進める必要があると考える。

今回の試験のように、大きさの異なる相似模型船の抵抗試験結果からForm Factor および造波抵抗係数を求める方法としては参考文献^(4・1)に示された方法がある。本方法は造波抵抗係数はフルード数のみの関数であり、また K もフルード数によつては変化するがレイノーズ数即ち模型船の大きさ、水温によつては変化しないという仮定のもとに各模型船に共通な K および造波抵抗係数をフルード数の関数として求めるものである。Fig. 4.5.3および4.5.4はこの方法により各フルード数ごとの各模型船の全抵抗係数（谷口・田村の方法によるBlockage Effect の修正を施した値）を摩擦抵抗係数ベースにプロットしたものである。これらのプロットにおいて、同一のフ

フルード数に対する各模型船の全抵抗係数の値が一直線上にのつておれば、その直線の傾斜および $C_{fH} = 0$ における C_t の値から、各フルード数に対する K および造波抵抗係数の値を求めることができる。しかし今回の3隻の試験の結果では、Fig. 4.5.1 および Fig. 4.5.2 の結果からも想像できるように各模型船に対する全抵抗値には不規則なバラツキが大きく各フルード数に対する平均直線を求めることは不可能であつたので、上記の方法による解析は行なわず参考として8 m 模型船の抵抗試験結果から求めた Form Factor および造波抵抗係数に対応する直線を記入した。

満載状態では、7 m および 2 m 模型船の結果は、8 m 模型船の結果から求めた直線に良くのつているが、4 m 模型船の結果は大きくはずれている。またバラスト状態では、2 m、4 m の結果ともに8 m 模型試験の結果との一致性が悪い。

本解析法については、12 m 模型船の結果を持つて更に検討を行なうこととしたい。

4-5-2. 波形計測

模型船中心線より $0.25 L_{pp}$ だけ離れた位置に設置した波高計により計測した各模型船に対する後方波形（船の進向方向に平行な鉛直断面上の波形）の比較の一例を Fig. 4.5.5 に示す。

図は計測を行なつた3速度のうち最高の満載状態17ノット、バラスト状態18ノットに対応する計測結果であるが、実船の計画速力を中心として試験速度を撰定したため造波抵抗は非常に小さく、特に2 m 模型では計測された波高の最大値が1 mm 程度であり、波高の絶対値については充分な比較検討に耐える資料が得られなかつた。

8 m および 4 m の両模型船の結果を比較すると波高は4 m 模型船の方がやや低い程度でほぼ一致しており、波形も良く似た形状をしているが、波頂の位置は4 m 模型船の方が一様に前方にずれており、その量は船長の3~4%（波長の20~25%）である。2 m 模型船の結果は波高は非常に小さいが波の位相は4 m 模型船の場合とほぼ一致しているようである。

波形計測結果から求めた造波抵抗の値は Fig. 4.5.2 の図中に示したが、極めて小さい量であり、計画速力付近の速度においても Hughes の方法で求めた造波抵抗に対して満載状態で $1/10$ 程度、バラスト状態ではほとんど無視できる程度である。

4-5-3. 後方Wake Survey

各模型船につき、APより $0.5 L_{pp}$ 後方で進行方向に直角な平面内の総圧および静圧の計測を行なつた。

この計測結果から参考文献(4.3)に示す方法で Head Loss による船体抵抗を求めたが、Fig. 4.5.6, Fig. 4.5.7 は各模型船について求めた Head Loss の喫水方向の分布の比較である。

Head Loss は模型船が小さくなるほど相対的に大きくなっているが、吃水方向の分布の形状は模型船の大きさにかかわらず満載状態、バラスト状態とも良く似た傾向をもっている。即ち、

Head Loss の喫水方向の分布は水面近傍と満載喫水より更に深い部分との2個所に Peak を持つており、伴流分布の下限は満載喫水の2倍程の深度におよび、且つ模型船の大きさ速度にかかわらずほぼ一定である。この下方の Head Loss の Peak は、船尾に存在する内まわりの渦流による伴流の下降によるものと考えられるが、その分布形状が模型船の大きさ(2 m ~ 8 m)にかかわらず同じ傾向をもっていることは興味ある結果であると思う。

これらの Head Loss の分布から算出した抵抗値と、波形計測から求めた抵抗値との和（実際には波形計測から求めた抵抗値は極めて微少であり殆んどが Head Loss から求めた抵抗であるが）は抵抗試験で求めた船体抵抗とほぼ一致する。

但し、小型模型船では、波形計測、後方流場の計測ともに計測量の絶対値が微少であるため計測

精度に問題があり、小型模型船による抵抗成分分離計測にはこれに適した計測装置が必要であると考える。

Fig. 4.5.8, Fig. 4.5.9は各水深におけるHead Loss の分布の比較図である。参考文献(4・9)に示されているWave Breaking Resistance に対応するHead Loss の Peaks はバラスト状態ではわずかに認められるが満載状態では殆んど認められなかった。

4-5-4. プロペラ単独試験

2 m模型船については自航試験は行なつておらず、模型プロペラは、4 mおよび8 m模型船用の2個(直径9 5.3 6 mmおよび1 9 0.7 3 mm)であるが、回転数の相違を含めて合計3種のレイノルズ数で試験したプロペラ単独試験の結果をFig. 4.5.10に示す。

通常の作動範囲ではレイノルズ数の増加により、推力係数(K_T)は僅かに増加、トルク係数(K_Q)は逆に減少し、このためプロペラ効率(η_o)はレイノルズ数の増加とともに増加しており、プロペラ特性に対する尺度影響は従来発表されている試験結果(4・1)(4・2)(4・7)とほぼ同様の傾向を示している。

4-5-5. 自航要素

自航試験を行なつたのは4 mおよび8 mの2模型船であり、両模型船に対する有効伴流係数(W_m)、推力減少率(t)、プロペラ効率比(η_r)の比較図をFig. 4.5.11, Fig. 4.5.12に示す。尚満載状態に対しては前述の7 m模型船の結果をも記入した。

一般に自航要素のうち W_m の尺度影響がもつとも明瞭であり、今回の2隻の試験結果でも満載状態では模型船の長さの増加とともに W_m が減少し常識的な結果が得られたが、バラスト状態では僅かではあるが8 m模型船の方が W_m が大きい結果が得られている。

t については、通常の船型では尺度影響は小さいが、今回の結果では満載状態、バラスト状態とも長さの増加とともに明瞭に t が減少する結果が得られた。この尺度影響は予想外に大きく、7 m模型船の結果(満載状態のみ)も含めて、模型船の長さに対し直線的に変化しているが肥大船模型船に特有な船尾流場のTypeの相違等の影響も考えられるので、この結果を実船性能推定のための尺度影響にまで外挿することは問題があり、実船性能推定のための尺度影響については、 W_m t を含めて12 m模型船の試験結果をまつて詳細に検討のこととしたい。

4-5-6. プロペラ位置伴流計測

各模型船に対するプロペラ位置の伴流分布の計測結果の比較図をFig. 4.5.13, 4.5.14に示す。

4 m模型船では、8 m模型船にくらべて全般的に伴流の大きい部分が横にひろがつており、模型船の長さの増加に伴ない境界層の厚さが相対的に薄くなり、プロペラ位置の伴流の値が小さくなっている状況を知ることができる。一方流線方向の計測結果を見ると、プロペラ位置でプロペラ中心の左右に拡がつている伴流の大きい部分は内まわりの渦を形成しているが、この渦の中心の位置、渦の大きさには模型船の大きさによる相違は殆んどなく流速のみに伴流の相違に対応した相違が見られる。

4-5-7. むすび

以上、今回行なつた2 m, 4 mおよび8 mの相似模型船の試験結果の比較検討を行ない、肥大船模型船の諸性能の尺度影響に関する資料を得たが、小型模型船においては計測量の絶対値が小さく計測精度の面で問題が残る、また自航要素に関しては資料が少ない(今回の試験は4 m, 8 mの2隻のみ)等のために尺度影響についての定量的な結論を得るに至らなかった。

大型相似模型船の水槽試験結果が得られれば、今回の2 m, 4 m, 8 mの模型試験結果も更に詳

細に解析し、尺度影響に関する資料を得ることができると考えるので、46年度実施の12m模型船の試験結果をまつて更に検討を行なうこととした。

参 考 文 献

- (4・1) 谷 口 中 " Study on Scale Effect of Propulsive Performance
by Use of Geosims of a Tanker. "
日本造船学会論文集 No.120 (1966)
- (4・2) 横 尾 幸 一 外 " 船尾形状を異にする巨大船の尺度影響について "
日本造船学会論文集 No.128 (1970)
- (4・3) 馬 場 栄 一 " Study on Separation of Ship Resistance
Components "
日本造船学会論文集 No.125 (1969)
- (4・4) 馬 場 栄 一 " A New Component of Viscous Resistance of Ships "
日本造船学会論文集 No.125 (1969)
- (4・5) 笹 島 秀 雄 外 " 肥大船尾流場と縦渦による誘導抵抗(その1) "
日本造船学会論文集 No.128 (1970)
- (4・6) 渡 辺 恭 二 " 肥大船の自航試験に現われる不安定現象について "
日本造船学会論文集 No.126 (1969)
- (4・7) 横 尾 幸 一 , 北 川 , " Some Scale Effect Experiments on Propeller "
Report of T.T.R.T. No.43 (1960)

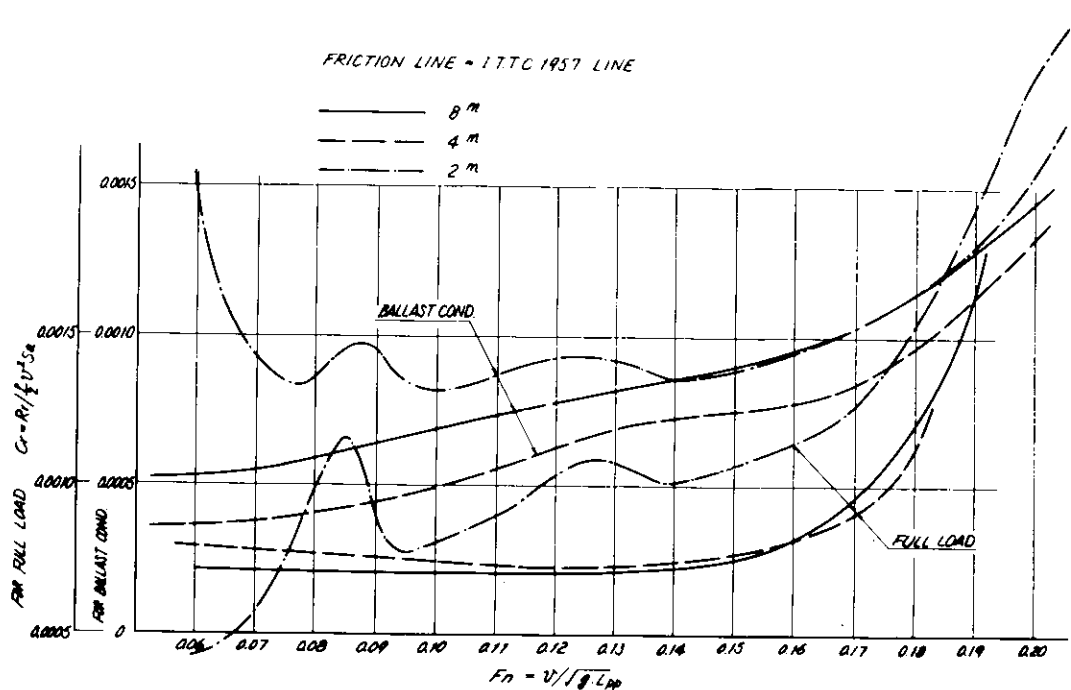


Fig.4.5.1 Comparison of Residual Resistance Coeff. Curves

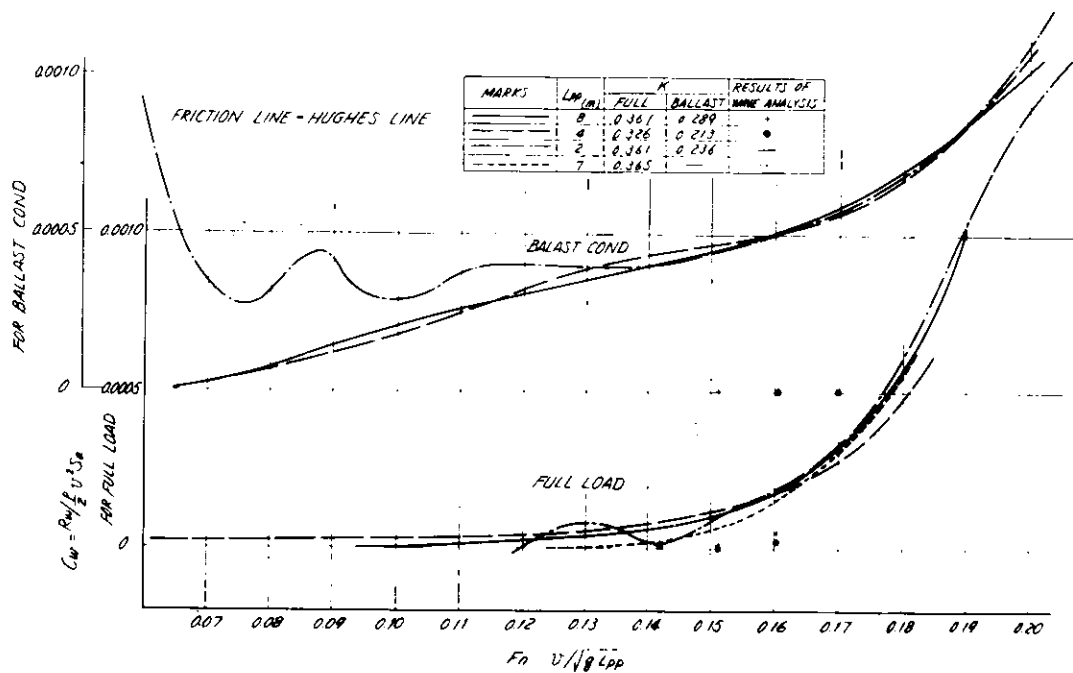


Fig.4.5.2 Comparison of Wave-Making Resistance Coeff. Curves

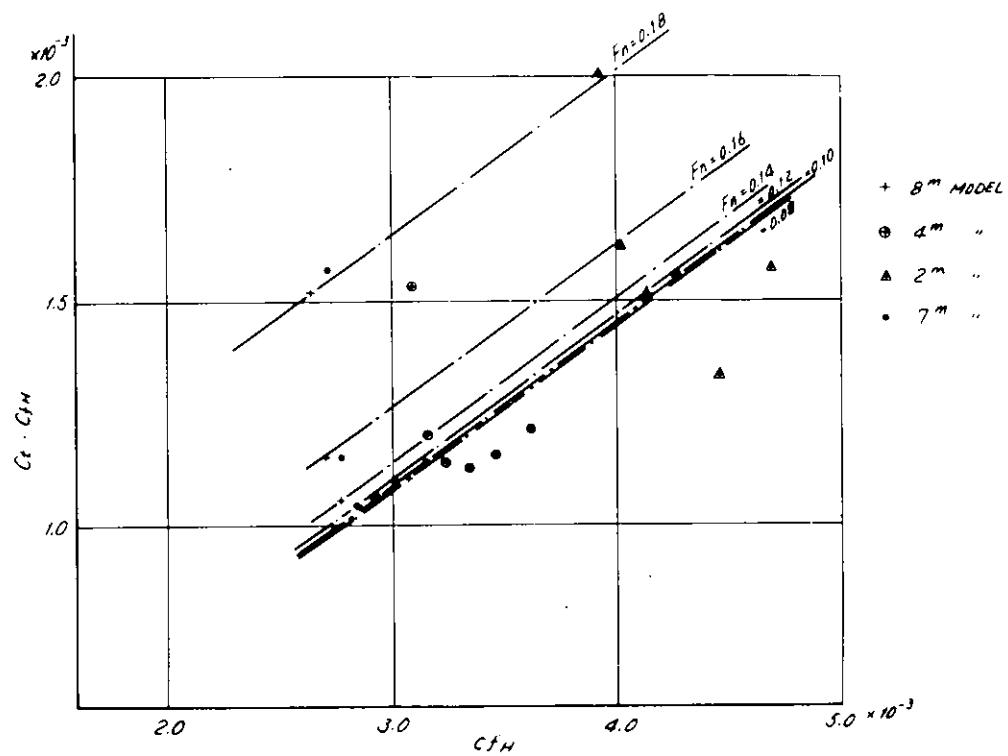


Fig. 4.5.3 Plot of $C_t = C_{fH}$ Based on C_{fH} (Full Load)

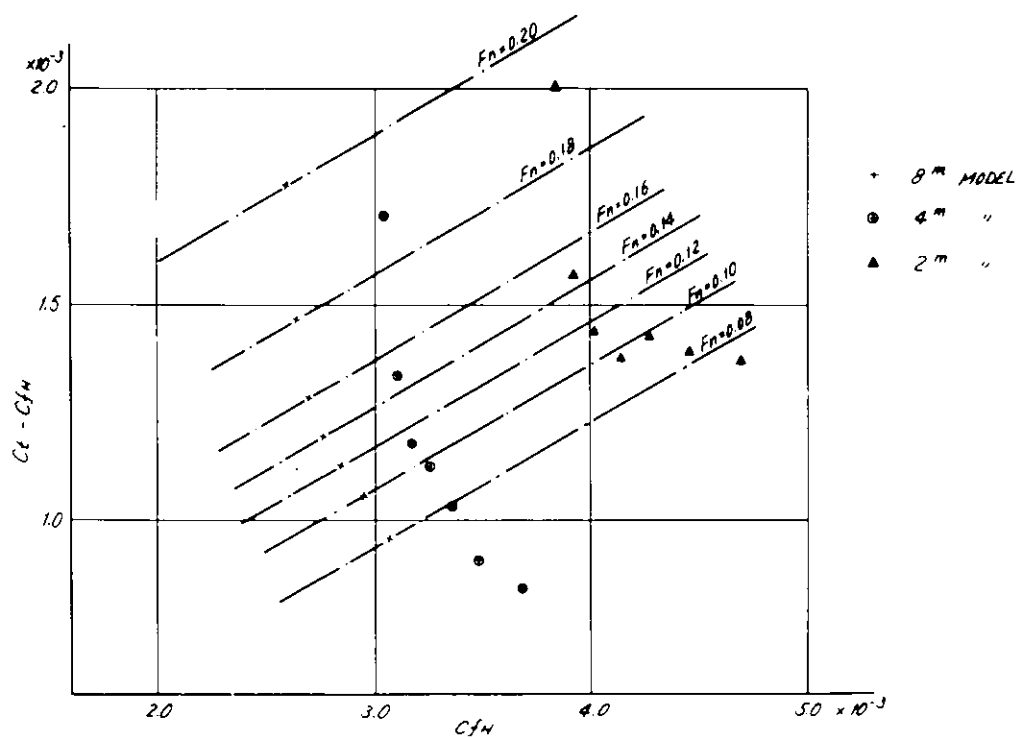


Fig. 4.5.4 Plot of $C_t = C_{fH}$ Based on C_{fH} (Ballast Cond.)

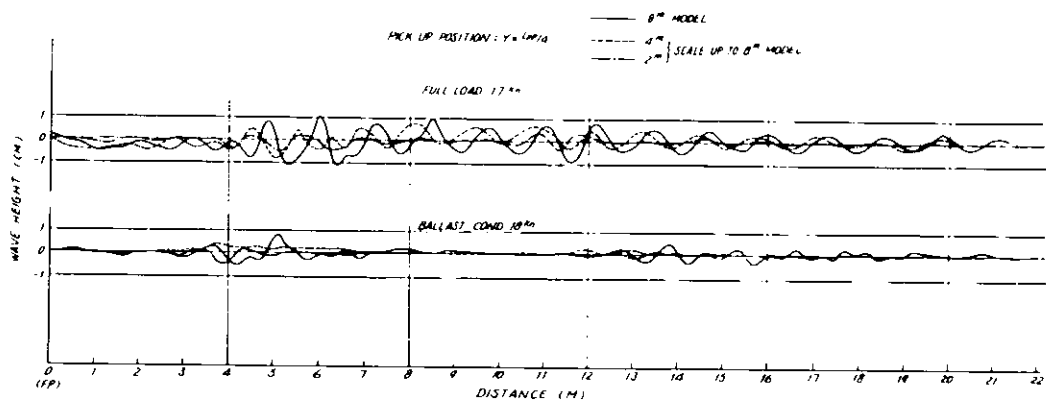


Fig.4.5.5 Comparison of Wave Profile

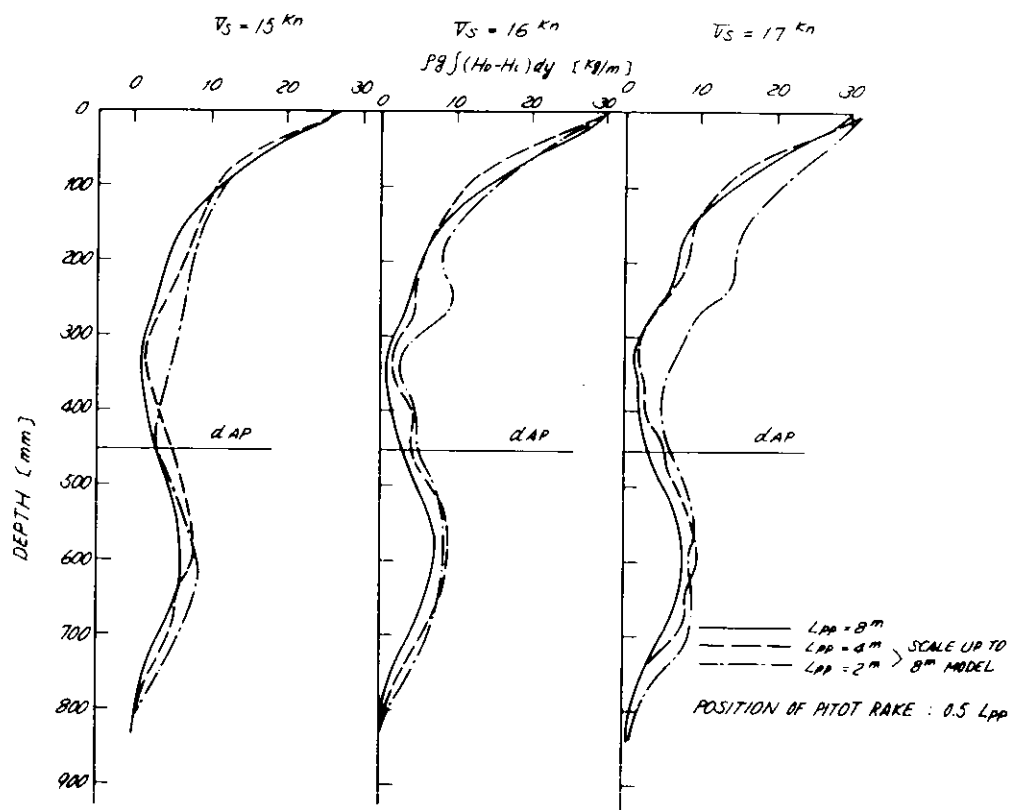


Fig.4.5.6 Full Load Even Keel Head Loss Distribution

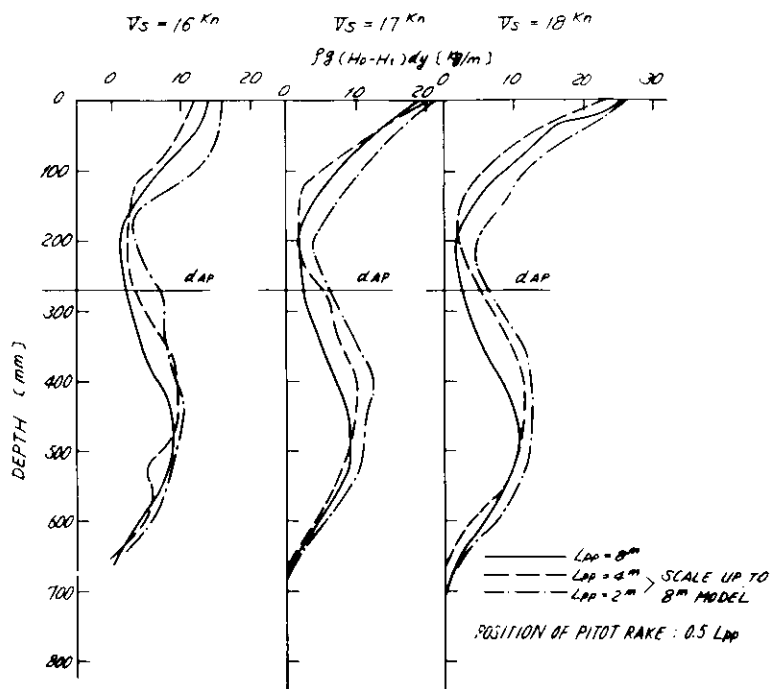


Fig.4.5.7 Ballast Cond 1.99% Trim A.
Head Loss Distribution

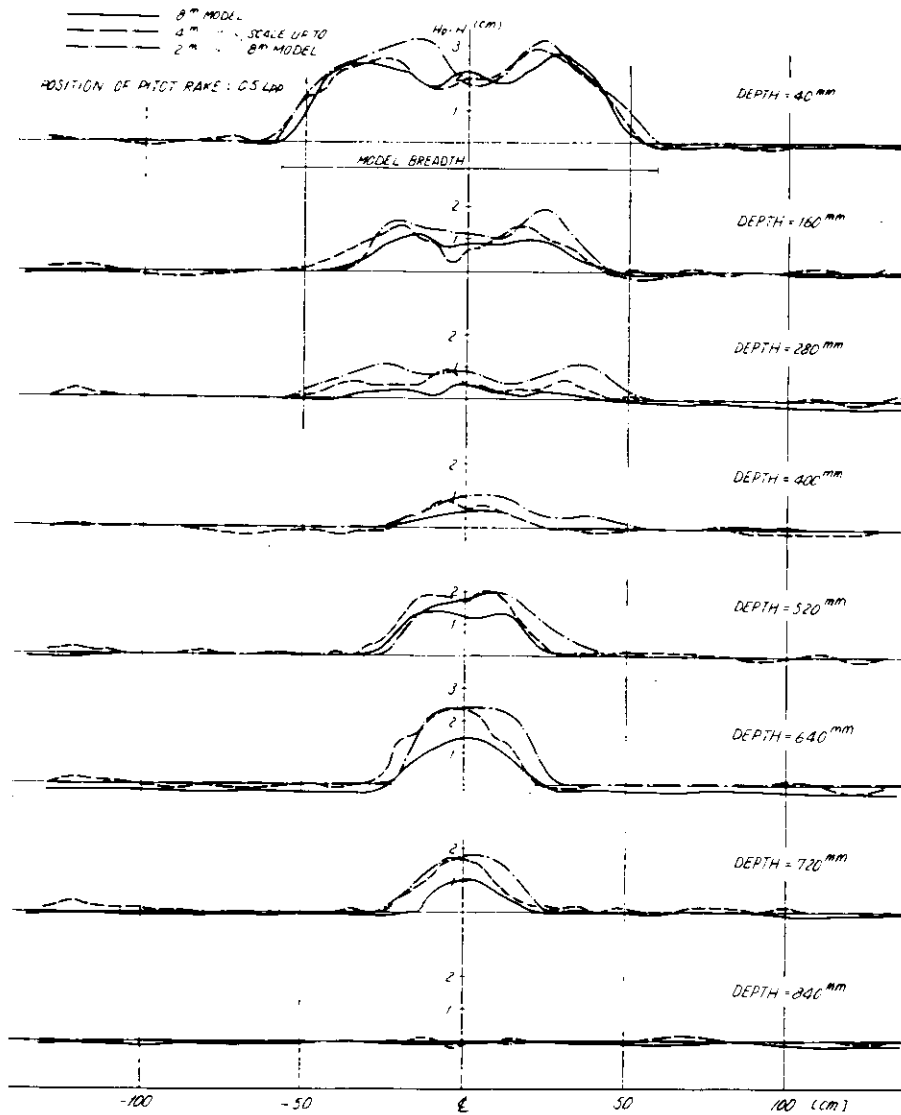


Fig.4.5.8 Comparison of Head Loss Distribution
 Full Load 16kn

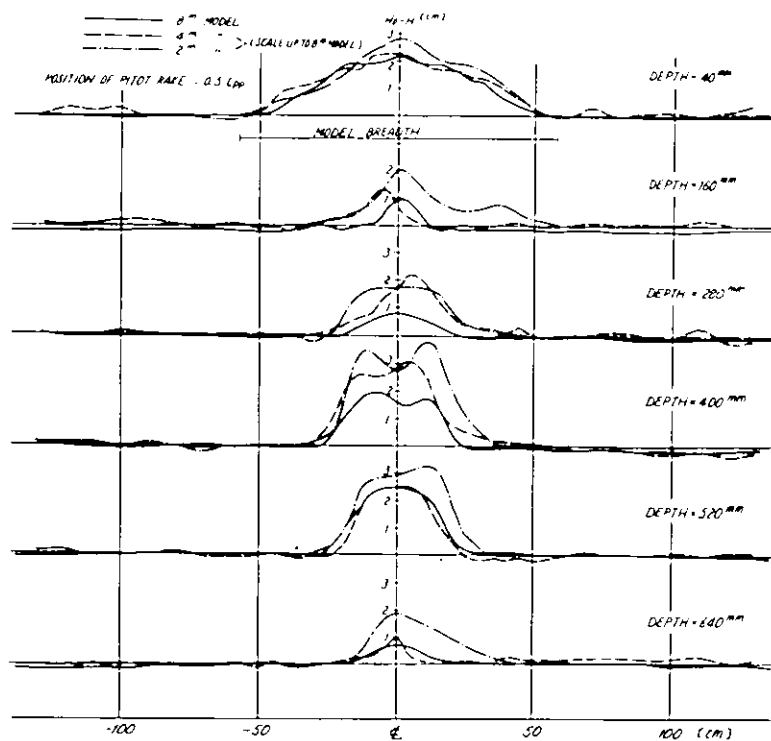


Fig.4.5.9 Comparison of Head Loss Distribution
Ballast Cond 17kn

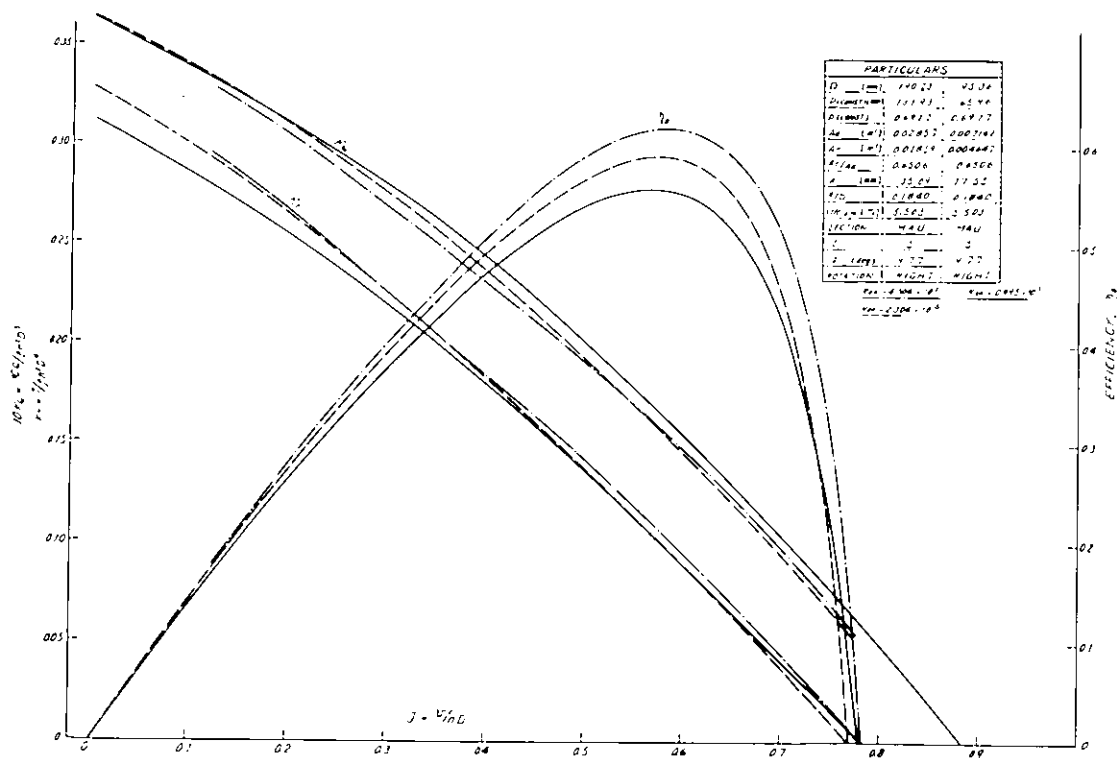


Fig. 4.5.10 Propeller Open Characteristic Curves

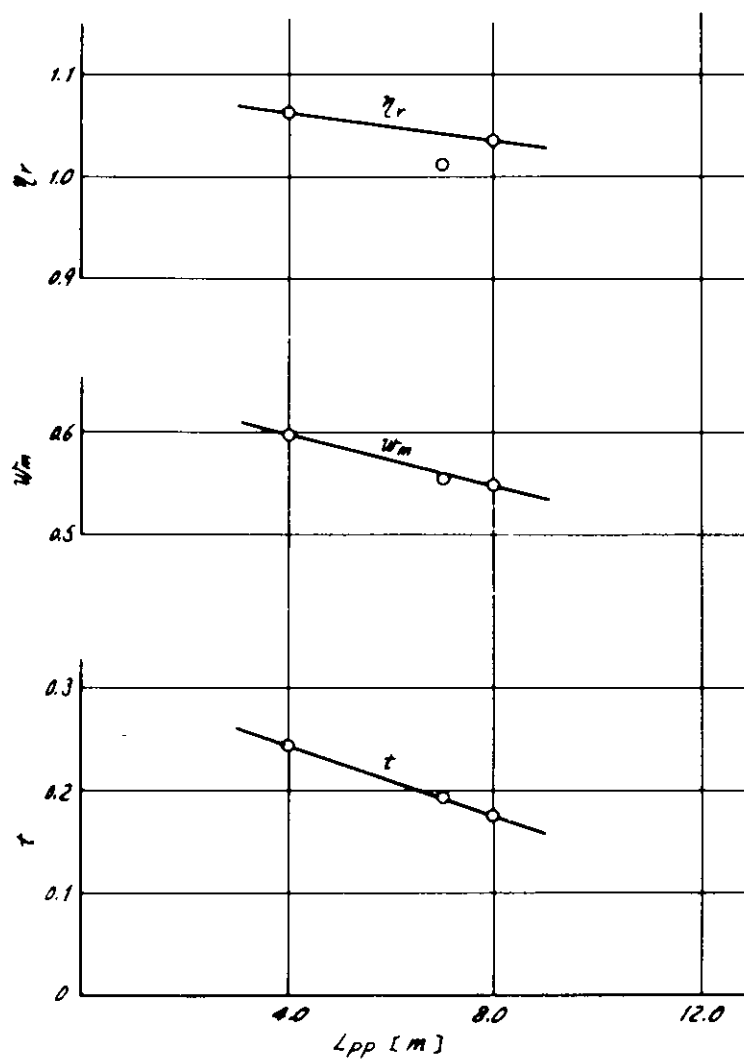


Fig.4.5.11 Self-Propulsion Factor(Full Load $V_s=16kn$)

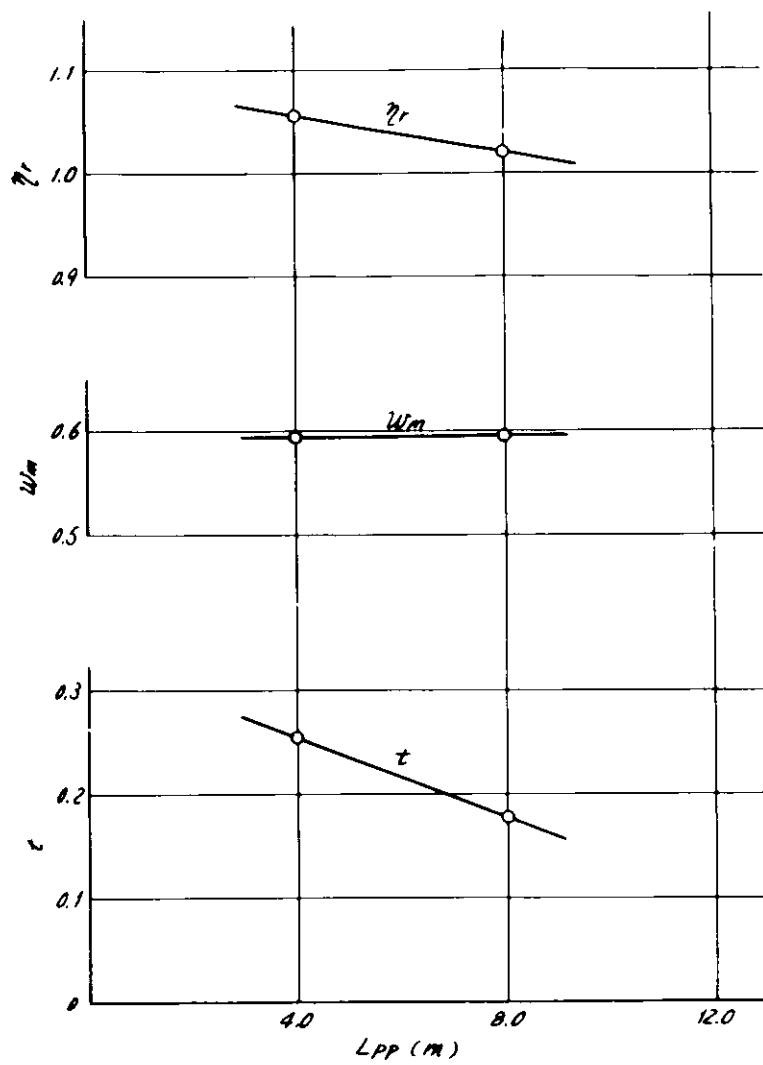


Fig.4.5.12 Self-Propulsion Factor (Ballast Cond $V_s=17kn$)

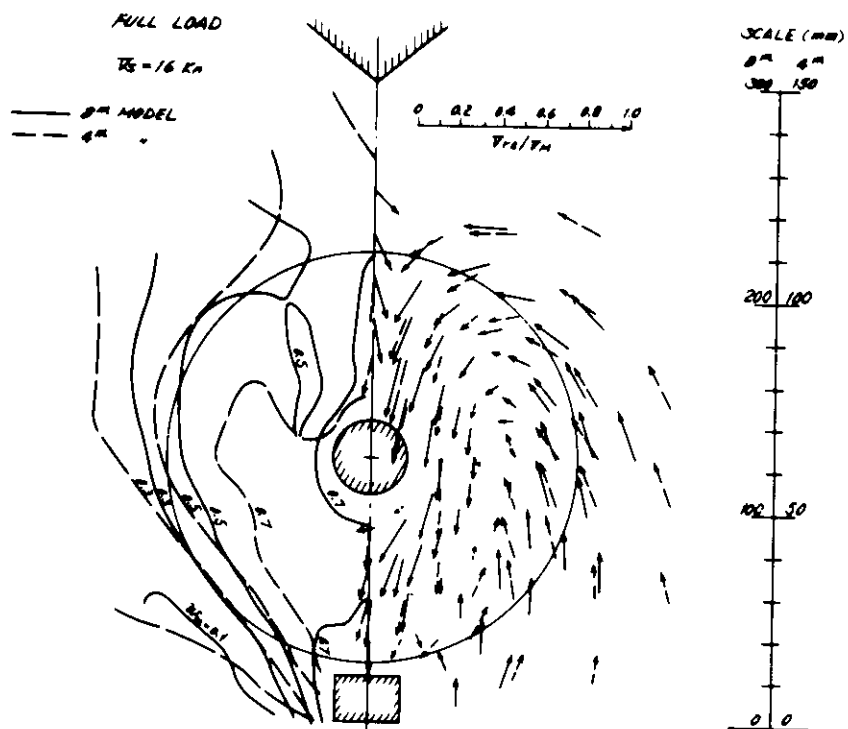


Fig. 4.5.13 Comparison of Wake Fraction Contour Curves
 Full Road $V_S = 16 \text{ kn}$

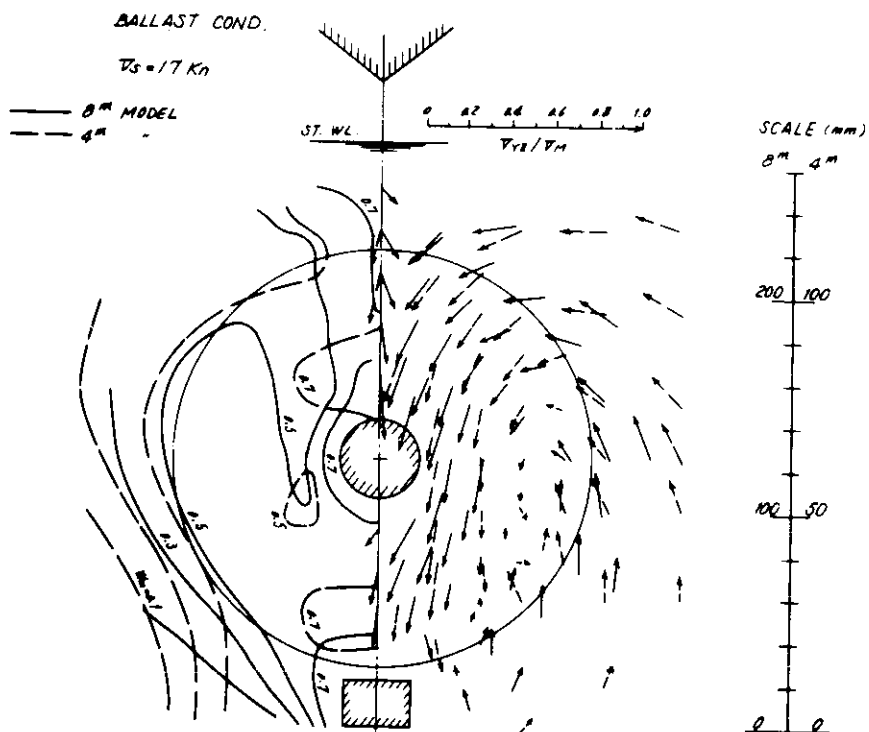


Fig. 4.5.14 Comparison of Wake Fraction Contour Curves
 Ballast Cond $V_S = 17 \text{ kn}$

4-6. APPENDIX

SR 107 肥大船抵抗成分分離に関する模型試験方案

抵抗成分の分離計測を実施するにあたり、あらかじめきめておかねばならないことを打合せるため、2 m, 4 m, 8 m の模型船の試験を担当する3ヶ所の委員が集り、以下にのべるようなことがらをきめた。

4-6-1. 模型船関係

- 模型船本体は共通線図で作成する。
- 舵、Stern Frame 類の簡略化プロペラボス形状と Stern Frame 形状等、船尾部の配置については、長崎水槽で8 m 模型船用の配置図を作成し、横大広大へ送付し、各模型船間で統一する。
- ビルジキールは実船におけるものゝ長さ、深さを Scale Down したものを取り付けることとし、厚さはできるだけ薄くする。端部については実船 Scale で1.5 m 長さの部を三角に切りおとす。
- 模型船仕上げの塗装はなるべく慎重に行なうこととする。
- 乱流ピンは S.S. 9 $\frac{1}{2}$ に植える。ピン形状は横大水槽は横大製のものを広大は長崎水槽のものを送付して付ける。植え付けピッチは各水槽方式を採用する。
- 抵抗試験時の曳航点は Shaft Center Line の延長付近とし、水平に曳引する。
- 模型プロペラは8 m 模型用、4 m 模型用とも長崎水槽で製作する。(錫鉛合金) 模型プロペラ図は長崎水槽で作成する。

4-6-2. 試験関係

4.6.2.1 抵抗試験

- 試験状態は Full Load Even Keel, Ballast Condition 共統一する。
Ballast Condition は実船試験の予想状態に合せる。
- 計測項目は Speed (対水, 対地), 抵抗, Dipping とし, Speed は各大学は対地速度を採用し, 試験の Interval は10分位とする。長崎水槽は対水速度を採用する。
- 計測速度範囲は Full Load で実船対応 8 Kn ~ 20 Kn まで15~16点
Ballast Cond で 7 Kn ~ 21 Kn まで15~16点
- 抵抗試験時船側波形写真を撮影する。Speed は後方 Wake Survey を行なう Speed に合せる。

4.6.2.2 自航試験

- 試験状態は抵抗試験と同一とする。
- 計測項目は T, Q, n, Vm とし, Vm は抵抗試験と同じ計測方法とする。
- 計測速度範囲は Full Load で 実船対応 12 Kn ~ 18 Kn } 自航要素の平均線が引ける程度
Ballast Cond で 13 Kn ~ 19 Kn } の点数をとる。
- 自航試験時の SFC は Friction Line に ITTC Line を用い, 実船 $\Delta C_f = 0.2 \times 10^{-3}$ として SFC をかける。
- SFC 変更の自航試験を行なう。SFC = 0 (Model Point の自航) から $C_T = 0$ までの間を

上記の SFC を含んで 4 ～ 5 点 SFC を変化させる。ただし計測速度は 1 点のみとし、Full Load 16 Kn, Ballast 17 Kn とする。

- 自航試験時のアイドルのとり方は各水槽の方法は基本的に一致しているので、各水槽の Routine の方法とする。

4.6.2.3 プロペラオープン試験

- 自航試験解析用としては実船定格回転数に $\sqrt{S}$ を乗じたものを用いる。
(自航試験がほぼその回転数中心に行なわれるので)
- 長崎水槽では他に $Re_k \approx 4.5 \times 10^5$ ($Re_k = \frac{1}{2} \frac{C_o \cdot 7}{R} \sqrt{p^2 (1-S)^2 + 4.84 \left(\frac{hD^2}{\nu} \right)}$) に相当するような回転数でもテストしているが広大の 4 m 用プロペラは小さいので必ずしも上の Re_k に到達するとは限らないので、その場合は適宜回転数をおとす。
- オープンテストにおけるアイドルのとり方は長崎水槽式とする。すなわち、ボスのみをつけて所定回転数においてプロペラのスリップ比数点に相当する速度で前進させ、その際の T, Q を計測し、これをアイドルとしてプロペラのテストにおける計測値より控除する。

4.6.2.4 船尾 Wake (プロペラ位置) 計測

- 試験状態は抵抗試験に同じとする。ただし舵は除いた状態とする。
- 計測位置はプロペラが所定の位置にあるとき 0.7 R における Leading Edge と Trailing Edge の中心位置をおさえ、この位置を A . P . からの距離として、Stern Arrange の図面に記入するものとする。計測は左舷側のみ行なう。
- 計測点配置は長崎水槽はその標準に従うものとし、横大、広大水槽では長崎水槽計測点の内プロペラ軸心を含む水平方向の点のみは同一点を計測し、他は適宜なるべく多くの点を計測することにする。
- 計測速度は自航試験の SFC 変更試験に合せて、各状態 1 点とする。(対地速度)
- 計測装置は 5 孔ピトー管を用いる。

4.6.2.5 船側 Wake (プロペラ前方位置) 計測

- 試験状態は Ballast Cond. (実船計測状態) のみ。ただしプロペラ有無両方について行なう。
(横大はプロペラ無しのみ)
- 計測位置は実船計測位置に合せる。速度は 1 点とし、対地速度をとる。
- 計測点の配置もなるべく実船相似の位置とする。
- 計測条件は自航試験時のその時の Speed の回転数で計測する。
- 計測装置はなるべく 5 孔ピトー管を用いる。
- 試験時期は、本計測は実船との対応がしつかりしていないと無意味となるので、なるべくなら実船試験のあとに実施する。

4.6.2.6 後方 Wake 計測

- 試験状態は抵抗自航試験に同じとする。

- 計測位置は A. P. より $0.5 L_{pp}$ 後方横断面内とする。
- 計測範囲は横方向は Center Line より片幅 $1.5 B$ 以上、深さ方向の計測ピッチは水面より横大 10 mm 、広大 20 mm 、長崎 40 mm とし、水面付近は適宜加減することとする。最大深度は船底の Wake を充分カバーする所迄とする。
- 計測速度は Full Load 実船対応 15 Kn , 16 Kn , 17 Kn } の各 3 点とし、対地速度をとる。
Ballast Cond. # 16 Kn , 17 Kn , 18 Kn
- 計測装置は総圧、静圧が計測できるピトー管を用いる。
- 水面変位の計測は水面変位のカーブが引けて、積分領域を決められる程度の細かさで計測する。
- 圧力の基準となる標準ピトー管は模型船より前方で Center Line と Tank Wall の中間に設置する。

4.6.2.7 波 形 計 測

- 試験状態は後方 Wake 計測に同じとする。
- 計測位置は P. U. の 1 つは Model Center Line より $0.25 L_{pp}$ だけ離れた所に設置するものとし、他の 1 つは各水槽の都合の良い所に設置する。
- 計測速度は後方 Wake 計測と同一とする。

4-6-3. 解 析 方 法

4.6.3.1 模 型 船 関 係

- 排水量計算は 8 m 模型につき長崎水槽で計算し、それを各模型の値に Scale Down する。排水量計算の方法は長崎水槽の方法を用いる。
- 諸解析の基準になる模型船長さは全て L_{pp} を用いる。

4.6.3.2 抵抗試験結果

- Cf Line に I.T.T.C. と Hughes の両方を用い、Cr (I.T.T.C.), Cw (Hughes) を算出する。ただし Form Factor K は 8 m 模型の低速域の試験結果より求める。

- 抵抗の無次元表示は $C = \frac{R}{\frac{1}{2} \rho V^2 S}$ を用い、横軸に Froude 数 $\sqrt[3]{g L_{pp}}$ を用いる。

4.6.3.3 自航試験結果

- 自航試験結果得られた T, Q, n, V_m は $K_t = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho V^2 \nabla^{2/3}}$, $K_p = \frac{2 \pi n Q}{\frac{1}{2} \rho V^3 \nabla^{2/3}}$,
 $K_n = \frac{n \nabla^{1/3}}{V}$ で無次元表示する。

- 自航要素解析に際しては使用した SFC の値を用い、Thrust Identity, Taylors Definition により t, W_m, η_R を計算する。

- t, W_m, η_R の解析には自航試験回転数に近い回転数でのオープンテスト結果を使用する。

4.6.3.4. プロペラオープン試験結果

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

4.6.3.5 船尾 Wake 計測結果

- 計測結果はAxial 方向のWake Contour Curve と各計測点における流速ベクトルをYZ平面に投影した矢印で示す。なお、Plot に際しては4 m 模型の実寸法にScale Up or Scale Down する。

- Mean Wake の計算は単純Volume Mean とする。

4.6.3.6 船側Wake 計測結果

- 実船の計測次第であるのでPending としておき、伴流計測小委にて実船の解析方法等をたゞした上で決める。

4.6.3.7 後方Wake 計測結果

- 解析方法はMTB. No 59の方法(Head Lossを積分する方法)を用いる。
- 静圧の計測結果はチェックのためだけに利用することとする。

4.6.3.8 波形計測結果

- 計測位置共通のデータは長崎水槽へ送付し、長崎水槽が解析を行なう。
解析の方法はMTB. No 59の方法を用いる。(オシロ・ペーパー記録)
- 広大水槽のデータは横大水槽へも送付し、横大水槽で解析を行なう。解析の方法は横大のRoutineの方法を用いる。

4.6.3.9 その他

- 解析結果の表示様式はなるべく同一のものとする。
4.6.3.2～3.4の解析結果の表示様式は長崎水槽のものを配布、抵抗係数の縦軸のみ10倍のScale (0.001を10cm)とする。

§ 5. 実船と模型船の相関に関する研究の調査

5-1. ま え が き

実船と模型船の相関については、肥大タンカーの出現とともに従来の方法の再検討が要求される気運となり、抵抗については形状影響の考方が広く採用されるようになって、種々の問題は残されているにもせよ技術的には一応定説に近い形で今日に至っている。しかし自航性能となると、最大の縮尺効果を受ける伴流についてすら相関に関しての定説といったものが未だにみられず、過去のデータからの類推に止まっ

ていて、設計業務上の弱点となっている。この問題の研究が遅れている理由は、肥大船の形尾には剥離に基づく大きな縦渦が存在して極めて複雑な流場を形成しており、理論的扱いが困難で実験的に調べるほか信頼できる方法がなく、しかもその実験は模型の間だけで行つたのでは、どうしてもレイノルズ数変化の幅が少なくて十分な精度をもつ結果が得難い点にある。このような事情にあるため、実船において流場を調査することが久しく望まれていたのであるが、このたび本部会の昭46年度研究において取上げられる運びとなつたので、本年度はその実験計画の立案、最適計測装置の検討および設計を行なつた。

実験の対象として運ばれた船は、日立造船因島工場において建造の大型礦石運搬船である。建造中の本船船尾部に鋼管製骨組を張出し、これに5孔管式ピトー管約20個を取付けて流場計測を行なうのを主たる目標としたが、将来の計器として希望のもたれる超音波式流速計2組と、これの実用化に関連する水中ノイズの測定器をも取付けるようにした。また別に5孔管の検定装置を設計した。

この実船実験に対応する模型実験は§4に述べられた2m, 4m, 8mの3隻により行われ、さらに46年度には12m模型の実験も加えられる予定である。これら模型相互間の流場比較と、チェックポイントとしての実船結果が求まれば、伴流推定に大きな前進がみられるものと期待され、ひいては実船の馬力推定に重要な貢献をもたらすであろう。

5-2. 実船による計測準備

5-2-1. 供試船の選定

昭和45年度の研究に着手するにあたり、水槽試験に用いる船型は昭和46年度に予定された実船試験に供せられる船型と一致させる必要があるので早急に実験船を選定することになった。しかし、実船試験が翌年度の計画であるために、当時は具体的な試験方案がまだ検討されて居らず、実験準備等のため特別な入渠の必要の有無、あるいは付帯工事の程度など、造船所側が建造工程を検討する上に必要とする具体案の提示が遅れたのもやむを得なかつた。

当初は次のような条件で供試船の選考をした。

- (1) D.W. 15万トン以上の大型船とすること。
- (2) 対船主あるいは船級協会等との折衝の面で国内船が望ましい。
- (3) 対水速度計実用化試験と同一船で行なう。
- (4) 試運転時期は昭和46年6月～10月のもの。 等

しかし前述のように供試船選考が遅れたために、造船所側としては工程上益、苦しい立場となり、一時は実船試験の実施も危ぶまれる状況となつた。そこで当初の条件をすべて白紙に戻して、あらためて選考した結果、対水速度計実用化試験を切離し伴流計測のみということで、日立造船株式会社のS.No. 4311(162型鉱石運搬船)を実験船に決定した。同船は日立造船佛因島工場で建造され、昭和46年9月竣工の予定であるが、鉱石運搬船であるため速力試験および伴流試験ともにバラスト状態のみについて実施される。

同船の主要目および予定試運転状態はTable 5.1のとおりである。

Table 5.1

供 試 船	L	30.2 m	, B	44.2 m	, D	24.2 m
	d	1.7 m	, C _b	0.83		
試 験 時	40%	△full				
要 目	d _f	4.40 m	, d _a	10.40 m	, 速度	15.7 kn

5-2-2. 計測概略

計測位置はプロペラ位置からほぼ直径程度前方のFR.No.13断面とし、計測面は船体中心線に直角である。この面上左舷側のプロペラ面とほぼ同じ広さの領域に5孔管を配置し、流入速度、流向、更に出来れば静圧分布を計測する。5孔管の配置、支持骨組構造などの概略図をFig. 5.1に示す。5孔管と骨組は船体建造中に取付け、実船実験終了後取外すものとする。以下各計測装置について説明する。

5-3. 計測装置の設計ならびに準備

5-3-1. 5孔管式流速計

(1) 5 孔 管

流速を計測するには普通ピトー管が用いられるが、流向も種々変化する船尾流場で流速、流向を正確に計測するためには球型5孔管が最もふさわしい。そこで今回は合計22ケの5孔管を作製し、内2ケはトランスデューサーを球型頭部にうめ込み圧力を電氣的に取り出すもの（電気式と称す）とし、他の20ケは九大で使用経験のある深町式マノメーターに連結して計測するもの（空気式と称す）とした。空気式の内1ケは特性検定用のもので実船に装備するのは21ケである。寸法は電気式の場合トランスデューサーの埋込工作が可能な最小寸法を選び、球の直径80mmとし、空気式も同一寸法にした。この寸法ならば工作精度は十分である。詳細をFig. 5.2 (a, b) に示す。計測断面における計測点、すなわち5孔管の配置については研究目的上必要最少限のものにとどめ、前出のFig. 5.1のようにきめた。5孔管の向きは取付作業の精度と流向計測精度があがるように、水平面内で外板にほぼ平行に船体中心線に対して20°の角度とする。

(2) 骨 組

5孔管を取付ける骨組は、流速による水圧、見かけの質量などを考慮した強度ならびに振動計算を行ない、Fig. 5.1のように決定した。

(3) マノメーター

5孔管からの圧力を計測する方法として色々のものが考えられるが、流速と流向は差圧を計測すれば検定曲線より求めることができるので、水頭に対する制限があまり大きくない点を考慮して、空気—テトラ・ブroom・エタン—マノメーターを採用する。テトラ・ブroom・エタンは比重2.98の液体である。一方、船尾に発生することが予想される縦渦により静圧分布がどのように変化するかという事は極めて重要であるので、静圧分布も同時計測される事が望ましい。しかしこれには水深だけの水頭が必要であるから、精度の若干の低下はあつても実施の可能な水銀を用いることにする。このような方針のもとに設計したマノメーターの概略をFig. 5.3 (a, b, c) に示す。

(4) 5孔管検定装置

22ケの5孔管は、その内の5ケについて船研、三菱、阪大、広島の4水槽において速度範囲0.5～8 m/s、流向範囲上下左右40°の状態で検定試験を行なう予定である。この試験のためには、5孔管本体を支持、操作する装置が必要であり、上記の実験状態の試験が容易に行ないえて、かつそれぞれ寸法の異なる水槽のいずれでも使用出来るという条件の下に設計した検定装置をFig. 5.4 に示す。

5-3-2. 超音波式流速計

実船の伴流をピトー管などを多数使用して計測するためには、プロペラ直前に大きなトラスを取付けなければならない。この場合トラスが破壊するとプロペラに当り、重大な損害を受けることになり、振動、強度などに充分な注意をはらわねばならない。もしトラスなしで伴流分布を計測できれば非常に好都合である。また、流れの点からも良い。このためには受感部から4～10 m離れた位置の流速を計測する方式を採用することになり、この方式の流速計として現在のところドップラー・ソナー式超音波流速計とレーザー・ドブラー流速計の2つがあげられる。このうち超音波式の方が到達距離などの点で可能性が大きい。超音波式流速計で実船伴流計測ができることが確められれば、実船伴流計測が実施し易くなるので今後利用されることが期待される。従つて5孔管式流速計とあわせてドップラー・ソナー式超音波流速計も使用を試みることになつた。

当初は、上記のようにトラスなしで伴流を計測するため、到達距離10 m程度、使用周波数1～5 MHz、非直交3成分流速計測のドップラー・ソナー式超音波流速計1式の送受波器を船尾船体

外板表面に取付け、油圧サーボ機構により超音波ビーム方向を任意に変更し、ある範囲内で任意位置の伴流の流向流速を計測する方式を計画した。しかし、船尾船体周辺の雑音の周波数およびレベルが不明のため、周波数の選定、回路設計に問題があること、まだ製品化されていないこと、油圧サーボ機構の価格納期の点などのため今回はこの方式は採用を見合わせることにした。しかし、到達距離 0.5 m、周波数 10 MHz のものは既に製品化され、実験室実験および海流計測に使用された実績があり、実船伴流計測に使用すればドップラー・ソナー方式の実用の可能性が確められ、価格の点でも使用可能であるので、今回はこれを 2 台トラスに取付けて使用することになった。

以上により、まず既に製品化され、東京大学工学部船用機械工学科に納入された超音波流速計について調査した。Fig. 5.4 にその検定結果、Fig. 5.6 に流向特性を示す。ついで昭和 46 年度の実船伴流計測に使用するドップラー・ソナー式超音波流速計について検討し、仕様を定め、設計を行なった。その概要を次に示す。

本計器は鋭い輻射特性をもつ 2 個の超音波振動子を、その超音波ビームが鋭角で交叉するように設置し、その一方を送波器、他方を受波器として使用し、交叉部の流体中に混入する微粒子からの超音波の反射を捕え、そのドップラー効果により、受信超音波周波数の変化が流速に比例することを利用して、超音波ビーム交叉部に直接接触することなく所定方向の流速成分を求めるものである。

送波器および受波器のトラスへの取付け方法を Fig. 5.7 に示す。この取付け架台は 5 孔管の間に配置する予定である。

本方式の系統図を Fig. 5.8 に示す。Fig. 5.9 において周波数 f_T の超音波が発射され、流速 V の流体内部微粒子により反射され、周波数 f_R で受信されたとすると周波数の変化 Δf は次式で与えられる。

$$\Delta f = f_T - f_R = \frac{2V}{C} f_T \cos \theta$$

ただし、 C は超音波の水中伝播速度である。

本計器の主要目は Table 5.2 に示す通りで、直読計器による読取りと記録計への接続ができるようにした。

実船の船尾流場では主としてプロペラキャビテーションにもとづくノイズが存在することが予想されるが、詳細は調べられたことがないので、超音波式流速計の設計、使用に若干の不安と困難さが考えられる。この点をこの機会に調査しておくことは、計測データの解析と今後の超音波式流速計の使用にとつてきわめて有益であるので、Fig. 5.10 に示す水中マイクを Fig. 5.1 に示す位置に取付けてノイズ計測を行なう。

Table 5.2 ドップラー・ソナー式超音波流速計主要目

超音波周波数	約 10 MHz
測定範囲	$0 \sim 10 K_n$ $0 \sim 20 K_n$
精 度	1 %
ドリフト	0.1 %/H 以内
応答周波数	0 ~ 10 Hz
測定水塊寸法	約 10 mm ϕ
測定点までの距離	0.5 m
ビーム交叉角	30°
ビーム巾	約 1°
出 力	高インピーダンス用 $\pm 1 V, 20 mA$ 負荷 1 K Ω 以上 低インピーダンス用 $\pm 30 mA$ 負荷 10 Ω 以上
指示計器	1.5 級, K_n 表示, フルスケール 10 および 20 K_n
校正出力	0 および 10 K_n
使用条件	海水, 水深最大 10 m
電 源	AC 100 V $\pm 10 V, 50 \sim 60 Hz$
計器本体寸法	受信部 $300 \times 300 \times 212$ 送信部 $60 \times 300 \times 55$

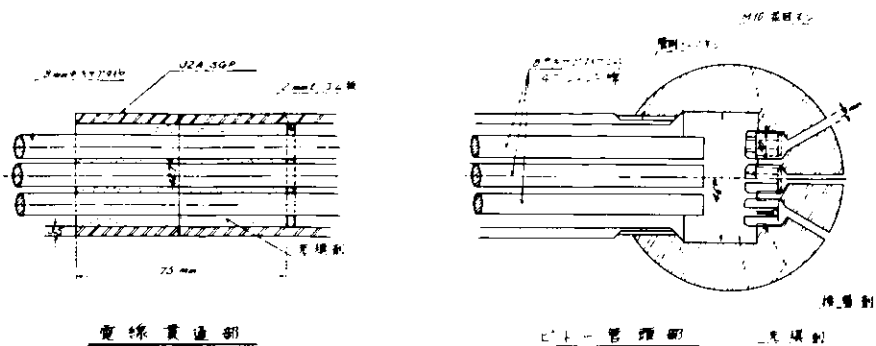


Fig. 5.2 (b) 電気式5孔管

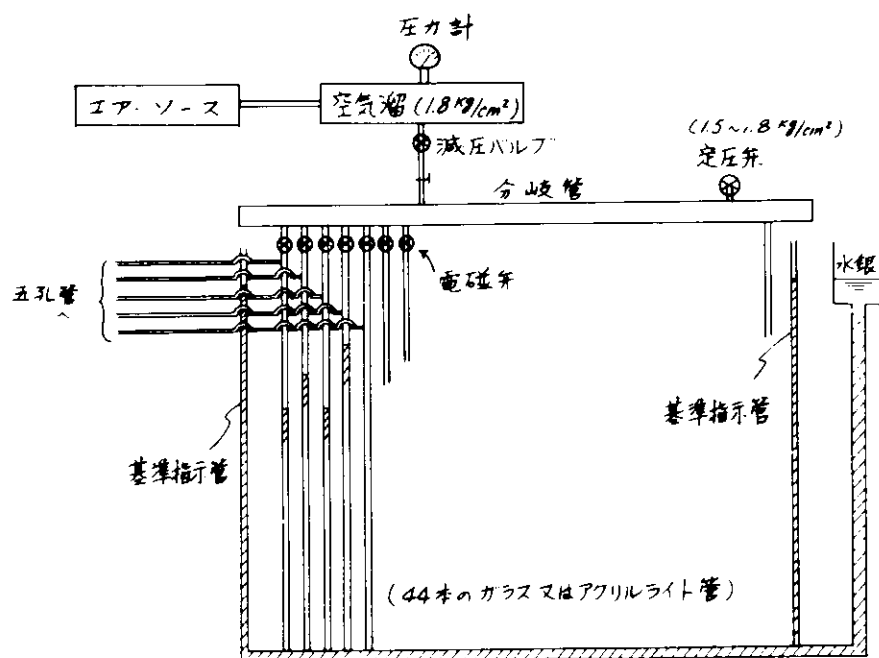
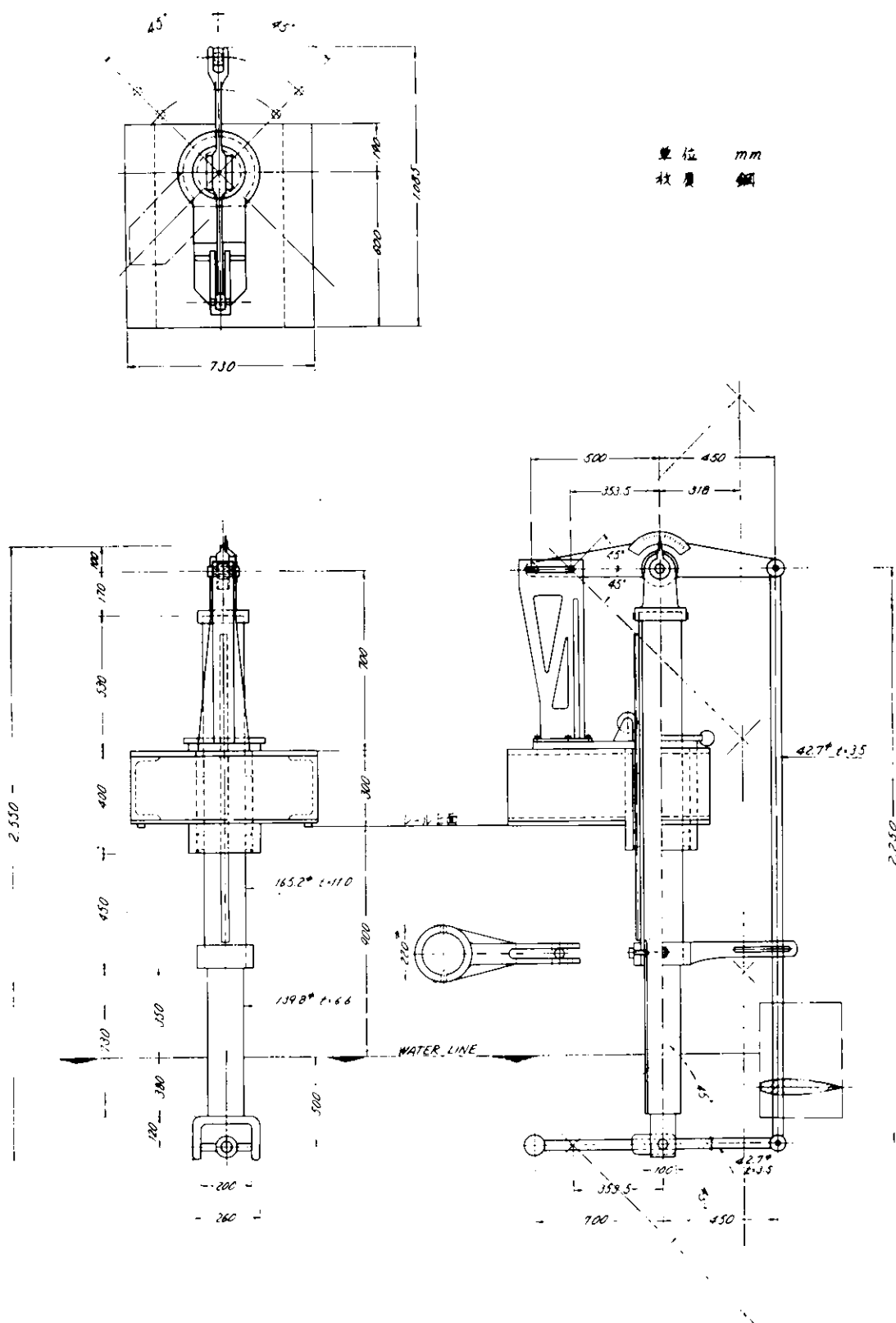


Fig. 5.3 (a) マノメーター系統図



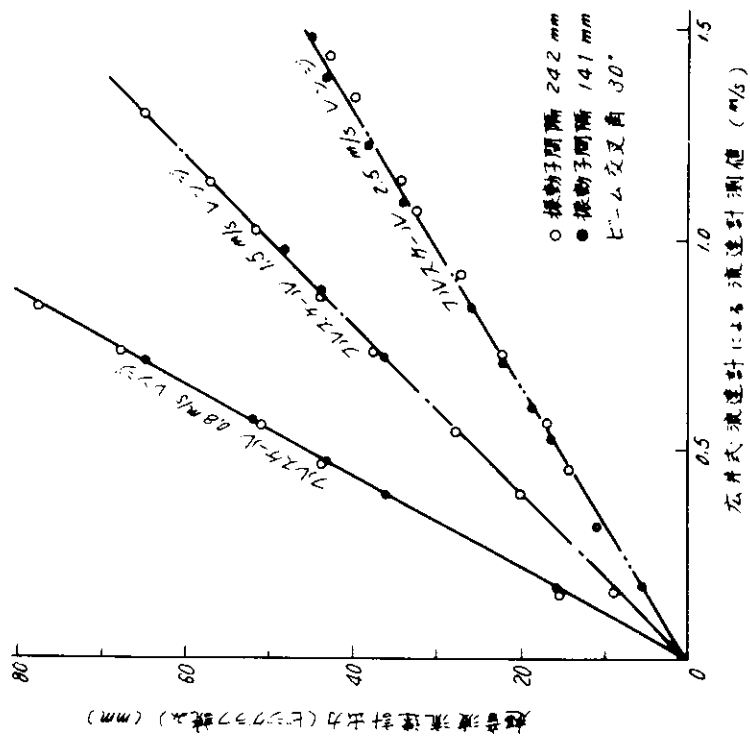


Fig. 5.5 ドップラー・ソナー式超音波流速計検定結果

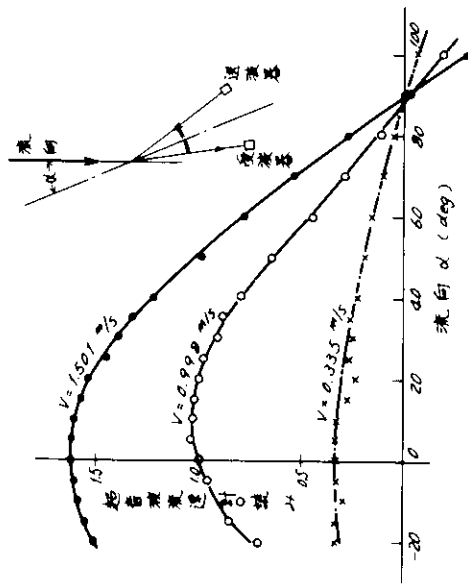


Fig. 5.6 ドップラー・ソナー式超音波流速計流向特性,
探動子間隔 141 mm

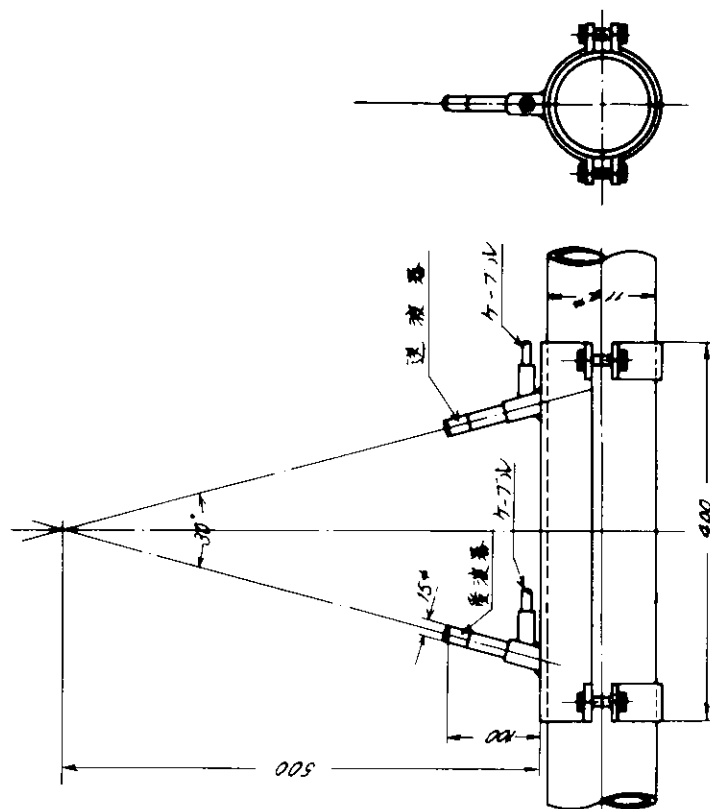


Fig. 5.7 トラスへの送受波器取付け方法

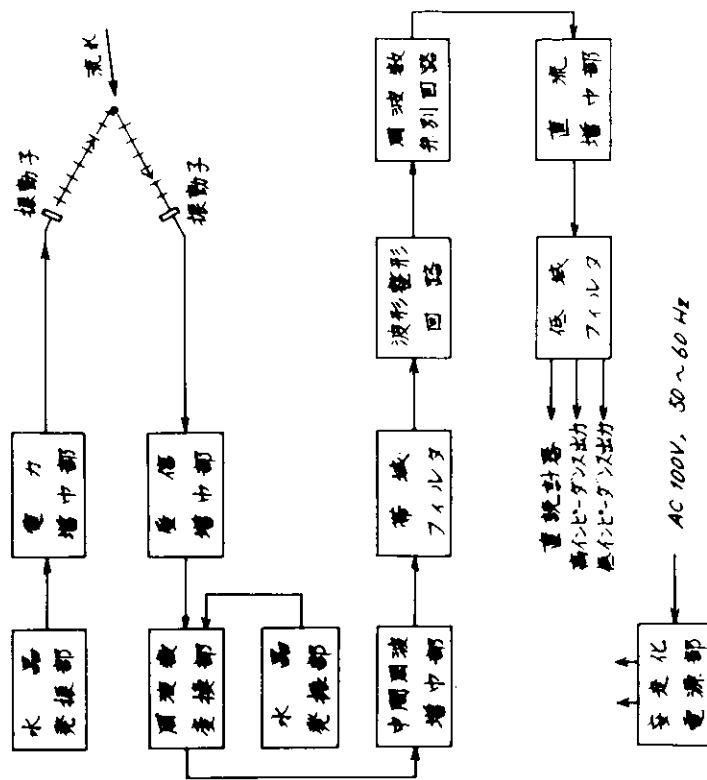


Fig. 5.8 ドップラー・ソナー式超音波流速計系統図



Fig. 5.9

§ 6. 結 言

以上に述べてきたように、第107研究部会の昭和45年度における研究業務はほぼ独立した3つのグループに分けられ、小委員会およびWorking Groupの活動が活発に行なわれた。

対水速度計に関する研究においては、日本で現用されている対水速度計のうちで最も精度が高く、最も信頼しうる電磁式速度計を購入して、これの単独試験を行なつて、その性能を検定するとともに、この速度計を実船にとりつけて試験を行なうための装置の設計を行なつた。また最近開発されて、対水速度計として非常に有望と思われるドップラー・ソナー式超音波速度計を実用化するための研究・調査を行なつた。

抵抗成分分離に関する研究においては、実船と模型船の相関に関する研究の調査の一部として行なわれる実船の伴流分布計測に使用される実船の縮率相似模型として、長さ2 m, 4 m, 8 mの模型を製作して、抵抗・自航・プロペラ単独、波形測定、後流測定、伴流分布測定、流線観測等の試験を行なうとともに、これらのデーターを使用しての解析、とりまとめの方法についての検討を行なつた。

実船と模型船の相関に関する研究の調査としては、実船試験として実行可能な項目を検討した結果、標準試運転と伴流分布計測とを行なうこととし、実施上相当の困難を予想される伴流分布の計測については、その計測方法や計測装置の準備に関して慎重な検討を重ねるとともに、装置の設計等を行なつた。

以上の調査・研究の結果得られた主な結論は

- 1) 船速を計測するという目的のために要求される相対誤差 $1/300$ 程度の精度は電磁式速度計単体としては可能であるが、境界層内の流速計測のためには、船底からの突出量が小さい場合の精度はかなりおちる。
- 2) 電磁式速度計によつて船速を求めるためには、境界層内外のかんりの位置で流速を計測する必要がある上に、実船では Station 6 の2重底内に装備されるので、測定桿を随時任意に遠隔操作する必要性が生じ、測定桿昇降装置の設計を行なつた。
- 3) 超音波式速度計としては、要求される計測精度および原理上定まれる性能限界とを考慮して、その仕様を定め、設計を行なつた。
- 4) 速度計測を行なう実船は、住友重機械工業㈱で建造されるDW 168,000トンの混載船で、長さ285.0 m, 幅47.4 m, 深さ24.8 m, 喫水17.5 m, $C_B = 0.82$, 航海速力15.65ノットである。
- 5) 剰余抵抗係数 C_R は、満載状態においては模型船が大きくなるほど小さな値となつてゐるが、バラスト状態では必ずしもそうなつてゐない。このことは、実船と模型との相関が、満載とバラストで異なつてゐることを暗示してゐる。
- 6) すべての模型船を通じて、後続自由波形の波高が極めて小さく、したがつて、波形解析より求めた造波抵抗は非常に小さかつた。肥大低速船に対して造波抵抗が小さいことは当然予想してゐたところであるが、予想以上の小ささであつた。
- 7) 船体後方のWake Surveyの結果によると、幅方向および水深方向のHead Loss分布の細かい形状は模型船により多少異なるが、大体の傾向は似てゐる。水面付近以外に、喫水よりさらに深い所にHead Lossの大きなPeakがあることを、3隻の模型試験結果すべてが示してゐる。このPeakの位置は速度によつてはあまり変化してゐない。
- 8) Wave Breaking Resistance に対応するHead Loss分布の山はバラスト状態に若干表われてゐるが、満載状態にはほとんど表われてゐない。
- 9) 4 mおよび8 mの模型では、分離して計測された造波抵抗と粘性抵抗の和は、抵抗試験の結果求められた全抵抗とほぼ一致してゐる。2 m模型では計測する絶対値が小さいため、その精度に問題があることがわかつた。
- 10) プロペラ単独性能に対する尺度影響は、従来発表されてゐる試験結果とはほぼ同様の傾向を示しており、レイノルズ数の増加とともに、トルク係数は減少、スラスト係数とプロペラ効率は増加してゐる。

- 11) 模型船の長さの増大によるスラスト減少率の減少が明確に現われており、一方伴流係数の尺度影響は載貨状態により異なっているが、4 および 8 m の 2 隻の比較だけでは、はつきりとした結論はでない。
- 12) 伴流分布を計測する実船として、日立造船因島工場で建造される DW 16 2,4 0 0 トンの鉱石運搬船が選ばれた。この船の主要目は、長さ 30.2 m、幅 4.2 m、深さ 2.4 m、喫水 1.7 m、 $C_B = 0.83$ であるが、試験は 40% $\triangle full$ の状態で行なわれ、このときの船首喫水は 4.4 m、船尾喫水は 10.4 m で、速度は 15.7 kn と推定されている。
- 13) 伴流計測装置として、種々の検討が行なわれた結果、プロペラ位置の僅か前方の所に、強固な骨組を作り、これに 5 孔管式ビトー管 20 個と超音波式流速計 2 組を取付けることとした。また、超音波式流速計の実用化に関連して、水中のノイズを計測する装置を取付けることにした。
- 14) 5 孔管式ビトー管および超音波式流速計を設計するとともに、その検定方法を検討し、5 孔管式の検定装置を設計した。

である。この研究の最終年度である昭和 46 年度の研究としては、前に述べた 3 つのグループに分れた研究をおし進めるとともに、本研究の目的を遂行するための取纏めを行なうことになっている。その概要を述べれば次のとおりである。

1. 対水速度計の速度試運転への実用化に関する研究

1.1 実 船 試 験

昭和 44 年度の調査で適当と選定され、昭和 45 年度に単独性能試験を実施した電磁式速度計を D.W. 168,000 トンの混載船の船底、S.S. 6 付近に装備して、船底下 0 ~ 1 m の対水速度を適当な間隔で計測するとともに、新しく開発された超音波式ログを球状船首の前端に取付け、船体の影響の極めて小さい前方位置における速力を計測する。

1.2 模型船による水槽試験

1.1 で使用した実船と全く同型の模型船を製作し、実船の場合と同一位置における速力を計測する。得られた結果は実船試験結果と比較検討する。

2. 抵抗成分分離に関する研究

2.1 模 型 試 験

昭和 45 年度に実施した 2, 4, 8 m の相似模型船と全く相似な 12 m 模型を製作し、小中型模型について実施した試験のうち 12 m 模型で実施可能な抵抗試験、自航試験、プロペラ単独試験、後流および伴流の計測、ならびに模型船の起す波につき計測を行なつて船の抵抗成分分離方法につき検討する。

3. 実船と模型船の相関に関する研究

3.1 実船による伴流計測

D.W. 162,400 トン、鉱石船のプロペラ前方に 5 孔管式伴流計測装置および超音波式伴流計測装置を取付けて海上試運転時を利用して船尾部の伴流を計測する。なお、同型模型により実船と同じ位置における伴流計測を行なつて比較検討する。

3.2 標準試運転の実施

3.1 の実船により標準試運転を実施して、その結果を解析する。

3.3 馬力推定法の精度向上

これまでに実施した模型船および実船の各試験結果を総合的に解析して、実船と模型船との相関関係を求め、馬力推定法の精度向上を図る。