

## 第 154 研究部会

# 幅広肥大船の運航性能に関する研究

## 報 告 書

昭和 51 年 3 月

社 団 法 人

日 本 造 船 研 究 協 会

## は し が き

本報告書は、日本船舶振興会の昭和50年度補助事業「巨大タンカーの研究」の一部として、日本造船研究協会が第154研究部会においてとりまとめたものである。

本研究は、運輸省船舶局が策定した「巨大タンカー研究開発」のうちの1課題である「幅広肥大船の運航性能に関する研究」を取扱っており、船舶の大型化に伴う幅広肥大化、多軸化等が推進性能及び運動性能にどのような影響を与えるかを明らかにするために、昭和49年度から研究が開始され、本年度はその第2年目の研究として、推進性能に関しては多軸船の相似則（2軸船型、4.5m、6.0m及び8.0m模型使用）及び制限水路に関する研究（水深の影響、船体沈下）を行ない、運動性能に関しては船型の影響に関する研究（L/B、B/d、L/d等を変えた4m系統模型船による操縦性試験）及び制限水路に関する研究（船体・舵に作用する流体力計測）を行なった。

本研究部会の委員は次のとおりである。

### 第154研究部会委員名簿

（敬称略、順不同）

部会長	元 良 誠 三（東京大学）		
委員	井 上 正 祐（九州大学）	野 本 謙 作（大阪大学）	
	田 口 賢 士（大阪府立大学）	小 山 健 夫（東京大学）	
	小 柳 雅志郎（東京大学）	北 川 弘 光（船舶技術研究所）	
	塩 沢 政 夫（船舶技術研究所）	菅 信（船舶技術研究所）	
	日 高 正 孝（日本海事協会）	熊 野 厚（日本海事協会）	
	玉 木 一 三（三井造船）	岸 謙四郎（三井造船）	
	平 野 雅 祥（三井造船）	森 正 彦（石川島播磨重工業）	
	小 野 政 雄（三菱重工業）	相 原 和 樹（三菱重工業）	
	鬼 木 博 文（川崎重工業）	岸 田 千 秋（日立造船）	
	浅 野 誠 一（日立造船）	花 園 史 郎（函館ドック）	
	瀬 尾 敏 一（日本鋼管）	更 田 康 夫（日本鋼管）	
	牛 島 秀 利（住友重機械工業）	永 松 秀 一（住友重機械工業）	
	松 岡 史 香（佐世保重工業）	松 井 志 郎（佐世保重工業）	
	西 田 正 孝（大阪造船所）	荻 野 繁 之（佐野安船渠）	
	川 原 隆（日本郵船）	加 名 生 浩 二（大阪商船三井船舶）	
	直 井 洋（東京タンカー）		

# 目 次

1. 結 言 .....	1
2. 推進性能に関する研究 .....	2
2.1 多軸船の相似則に関する研究 .....	2
2.1.1 模型船および実験状態 .....	2
2.1.2 実験結果 .....	2
2.1.3 考 察 .....	2
2.2 制限水路における運航性能に関する研究 .....	15
2.2.1 模型船および実験状態 .....	15
2.2.2 実験結果 .....	15
2.2.3 考 察 .....	15
2.3 結果のまとめと考察 .....	20
3. 操縦性におよぼす船型の影響に関する研究 .....	21
3.1 供試船型の決定 .....	21
3.1.1 昭和49年度の結果とその対策 .....	21
3.1.2 系統模型船の要目 .....	21
3.2 自由航走模型による実験 .....	28
3.2.1 船研における実験結果 .....	28
(1) 実験状態および計測装置等 .....	28
(2) 実験結果 .....	28
3.2.2 大阪大学における実験結果 .....	35
(1) 二軸船型母型 .....	35
(2) 一軸船型4-27M、6-27M .....	35
3.2.3 東京大学における実験結果 .....	43
3.3 拘束模型による実験 .....	44
3.3.1 CMTによる拘束模型実験結果 .....	44
3.3.2 拘束模型浅水実験(船研におけるPMM装置による実験) .....	50
(1) 概 要 .....	50
(2) 実験装置 .....	50
(3) 実験状態 .....	50
(4) 実験と解析法 .....	51
(5) 実験結果 .....	52
(6) 結 び .....	52
3.4 考 察 .....	58
3.4.1 船型改良の影響 .....	58
3.4.2 船型が操縦性に及ぼす影響 .....	58
3.4.3 2軸船型 .....	59
3.4.4 拘束模型による試験 .....	59

4. 制限水域における運動性能 .....	61
4.1 目的 .....	61
4.2 使用模型ならびに実験装置 .....	61
4.3 実施した実験 .....	61
4.4 成果 .....	62
5. Bow Thruster に関する予備的考察と実験 .....	78
5.1 微速時の操縦運動方程式 .....	78
5.2 微係数測定のための予備実験 .....	78
6. 結果のまとめと考察 .....	80

## § 1 緒 言

船舶は大型化に伴って、水深の制約から幅広肥大船型となり、また主機系統その他の制限から多軸となる可能性があり、運航上検討すべき問題がある。

推進性能では、多軸船の相似則およびプロペラ起振力等について検討を行なう必要があり、また浅水域における速力低下、異常沈下等について研究を行なう必要がある。

運動性能では、幅広肥大船型に特徴的に現われる操縦特性における異常現象と制限水路、特に浅水域航行時の操縦性能等について研究を行なう必要がある。

このため本部会では下記の研究を実施し、巨大タンカーの運航特性を明らかにする。

### (1) 推進性能

#### ① 多軸船の相似則に関する研究

相似模型船による抵抗、自航試験等を行ない、多軸船の相似則を調査検討する。

#### ② 制限水路における運航性能に関する研究

制限水路における船の挙動及び運動特性について検討する。

### (2) 運動性能

#### ① 操縦性能に及ぼす船型特に船尾形状の影響等に関する系統模型試験

なるべく異常現象を起さない船型を母型として、 $L/B$ 、 $Cb$ 、 $B/d$ 、 $L/d$ 等を変化したシリーズにつき系統的な模型実験を行ない、船型による操縦性能の変化を調べる。また多軸化が予想されるので、2軸船尾についても実験を行なう。

#### ② 制限水路における試験

上記のシリーズモデルの内数隻を選び、自由航走模型により浅水時の操縦性を求める外、拘束模型により浅水域における操縦性デリバティブズを求める。

これらの諸問題中、昭和50年度には次のような題目を選んで研究を実施した。

### (1) 推進性能

#### (a) 多軸船の相似則に関する研究

4.5 m及び8.0 m模型船を用いて自航試験を行ない、昨年行なった6.0 m模型の試験結果及び実船の試験結果と併せて相似則を検討する。

#### (b) 制限水路に関する研究

4.5 m模型船を用い、満載及び半載の状態での浅水中の自航試験を行ない、自航要素に対する水深の影響及び船体沈下を求める。

### (2) 運動性能

#### (a) 船型の影響に関する研究

昨年 $L/B$ 及び $B/d$ 、 $L/d$ 等を変化した4 m模型船8隻について、自航操縦性試験を実施したが、いわゆる異常現象が発生し、船型の変化が操縦性に及ぼす影響を検討するのに支障があったので、本年度は先ず $L/B=5$ の標準船型について異常現象を起さないような船型を選び、それを母型として系統的な模型を作成し、操縦性に対する船型の影響を調べる。

#### (b) 制限水路に関する研究

$L/B=5$ の改良型船型の2.5 m模型を用い、ローテーションアームにより船体及び舵に働く流体力を、深水及び浅水において計測し、浅水影響を求める。

## § 2 推進性能に関する研究

### 2.1 多軸船の相似則に関する研究

前年度に引き続き、2軸船シリーズの母型 ( $L/B=5.0$ 、 $B/d=2.73$ ) による相似模型船を製作し、実験を行った。本年度、実験および解析が終了したのは、3隻の相似模型船群のうち、4.5 m (M0231) および 6.0 m (M0230) 模型であり、8 m (M0246) 模型は現在解析中である。

#### 2.1.1 模型船および実験状態

模型船の主要目を表 2.1.1 に示す。4.5 m および 6.0 m 模型船はいずれも木製であり、模型プロペラは、軽金属製で標準的なアルマイト加工を施してある。両模型船について、船舶技術研究所第2船舶試験水槽にて、抵抗および自航試験を行い、6 m 模型船 (M0230) 用プロペラ、M.P.0116R&L については、第3船舶試験水槽にてプロペラ単独試験を行った。なお、4.5 m 模型船用プロペラ M.P.0128 R&L については、プロペラ単独動力計の容量精度の点から単独試験は行っていない。

試験状態は、満載およびバラストの2状態である。バラスト状態は50%排水量とし、トリムはプロペラ浸水深度を考慮して1.5%とした。これは、全く便宜的なバラスト状態で、IMCO規程のバラスト状態とは異なる。摩擦抵抗の計算にはシェーンヘルの式を用い、実船に対する粗度修正量  $\Delta C_F$  は0とした。乱流促進のため高さ1mmの梯形スタッドをF.P.およびSSM9 1/2 に植込んだ。

4.5 m および 6 m 模型船の実験状態を表 2.1.2 および表 2.1.3 に示す。

#### 2.1.2 実験結果

##### (1) 4.5 m 模型船 (M0231)

模型船の全抵抗係数  $C_{TM}$  ( $R_n$ ) を、図 2.1.1 に剰余抵抗係数  $r_R$  ( $F_n$ ) を図 2.1.2 に示す。

船首尾の沈下量  $dF/L$ 、 $dA/L$ 、平均沈下量  $S/L$ 、トリム  $t/L$  をまとめて図 2.1.3 に示す。

また、自航試験より求めた馬力係数等を図 2.1.4 に、自航要素を図 2.1.5 に示す。尚、これらの値は2台の自航動力計により計測した値の和を解析したものである。

##### (2) 6.0 m 模型船 (M0230)

模型船の全抵抗係数を図 2.1.6 に、剰余抵抗係数を図 2.1.7 に示す。

平均沈下量およびトリム等を図 2.1.8 に示す。2軸のうち右廻りプロペラ MP0116R のプロペラ単独試験結果を図 2.1.9 a に、左廻りプロペラ MP0116L の試験結果を図 2.1.9 b に示す。尚、プロペラ単独試験は、自航試験時のプロペラ回転数よりは高い一定回転数で行った。又、レイノルズ数の影響を調べるため、プロペラ回転数を変えた実験も行った。各プロペラの推力係数等を個々に分けて表わしたのが図 2.1.10 であり、全体としての係数が図 2.1.11 である。同様に個々の自航要素を示したものが図 2.1.12 であり、全体としての自航要素は図 2.1.13 に示す。これらの結果から計算した有効馬力 EHP を図 2.1.14 に、伝達馬力 DHP 等を図 2.1.15 に示す。

#### 2.1.3 考 察

肥大船の大型化に伴って、多軸化の試みが無かった訳ではないが、2軸肥大船型に関する水槽試験結果は予想外に少なく、その尺度影響に関する模型試験は殆んどないのが実情である。尺度影響に関する検討は、8 m 模型船 (M0246) の解析を待って改めて行うこととし、ここでは、簡単な比較検討に止めておく。

船舶技術研究所で実験を行った模型船の中から、比較的船型が似通った2軸肥大船Model AとM.0230とを、参考のため比較してみる。Model Aは、 $L/B=5.0$ 、 $B/d=2.46$ 、 $C_B=0.82$ の2軸船で、その後半部を図2.1.16に示す。図2.1.17は、剰余抵抗係数の比較を行ったものである。設計条件が異なるため、直接的な性能比較を行うことには異議があらうが、M0230は、Model Aに比して15%程「R」が大きく、その差は殆んど粘性抵抗相違によるものであることが判り、又、図2.1.18は自航要素の比較を行ったもので、伴流係数 $W_T$ の差違が著るしい。推進性能上最適の2軸船型を求めることは本研究の目的ではないが、2軸母型およびプロペラについては、推進性能上改良の余地がある。

2軸船型については、比較的僅かなボツシング形状の相違によっても、推力減少率あるいは伴流係数はかなり変化することが確められている〔1〕。この程度の肥瘠度の2軸船型では、一般にボツシングは船底より上方に向う流れを遮ぎる位置に取り付けられており、最適ボツシングおよび船尾形状、あるいはその流場特性などについては、今後の研究に待たねばならない点が多い。

プロペラ単独性能に及ぼす尺度影響は、レイノルズ数 $R_n = n D^2 / \nu$  ( $D$ :プロペラ直径)が $6 \times 10^5$ 以下で顕著に現われるが、6m模型船用プロペラMP0116R&Lでも高々 $3 \times 10^5$ であり、4.5mおよび6m模型船については、プロペラ性能に対して層流影響があると考えねばならない。自航要素について、4.5mおよび6m模型船による実験結果を比較してみると、横尾等〔1〕の結果とほぼ同様の傾向を示し、レイノルズ数の増加と共にプロペラ効率比 $\eta_R$ 、推力減少率 $1-t$ 、および伴流係数 $1-W_T$ は、いずれも大きくなる。しかし4.5mおよび6m模型船で $\eta_R$ の差違が著るしく、この原因や、全般の検討は8m模型船用プロペラの単独試験および実験結果の解析を待って改めて行うこととしたい。

タンカー等の著しい肥大化に伴って、水槽試験において従来通りの乱流促進法が極端に肥大化した模型船に対して妥当なものであるかどうか新たな疑問が生じて来た。船型の肥大化と船首バルブの採用は、在来船型に比して船首まわりの流れの圧力勾配にかなり変化をもたらし、これが船首付近の流れの乱流遷移を遅らせ、梯形スタッド等による乱流促進効果を減殺する恐れがある。図2.1.19は4.5m模型船(M0231)について、インク流しの方法による船首付近の流場の観察を行った結果である〔2〕。肥大船型では、その航海速度に対応するフルード数は低く、通常の乱流促進では不十分であることが多いようである。 $Fn=0.06$ での観測結果を見ても層流域は広く、水面付近の流れも複雑である。強力な乱流促進が期待できて促進法は一般に促進装置の固有抵抗が大きく、又、船型、流場に合わせ乱流促進法を変えることは必ずしも得策でなく、試験法の再検討が必要であろう。

表 2.1.1 主 要 目

Model Number	0231	0230	0246	ACTUAL
$L_{pp}$ (m)	4.500	6.000	8.000	464.00
LWL (m)	4.615	6.154	8.205	475.90
B (m)	0.900	1.200	1.600	92.80
d (m)	0.330	0.440	0.586	34.00
$L_{pp}/B$		5.00		
$B/d$		2.73		
$C_B$		0.820		
$C_{BF}$		0.886		
$C_{BA}$		0.755		
$C_P$		0.822		
$C_{PF}$		0.888		
$C_{PA}$		0.756		
$C_M$		0.998		
$l_{CB}(\% \text{ of } L_{pp})$		-3.011		

表 2.1.2 実 験 状 態

M. S. No.		0 2 3 1	
Condition		Full Load	50% Load
d (m)	A. P.	0.3296	0.2074
	M. S.		0.1736
	F. P.		0.1399
Trim	(m)	0	0.0675
▽	(m <sup>3</sup> )	1.0966	0.5486
S	(m <sup>3</sup> )	6.1467	4.6420
Temp. of		20.2 (RT)	20.2 (RT)
Water	(°C)	14.0 (SPT)	14.0 (SPT)

Note:

Calculated by the Schoenherr  
Frictional Resistance Coefficient;  
 $C_F(\Delta C_F=0)$

表 2.1.3 実 験 状 態

M. S. No.		0 2 3 0	
Condition		Full Load	50% Load
d (m)	A. P.	0.4395	0.2765
	M. S.		0.2315
	F. P.		0.1865
Trim	(m)	0	0.090
▽	(m <sup>3</sup> )	2.5994	1.3004
S	(m <sup>3</sup> )	10.9274	8.2524
Temp. of		13.5 (RT)	13.0 (RT)
Water	(°C)	14.8 (SPT)	14.9 (SPT)

Note:

Calculated by the Schoenherr  
Frictional Resistance Coefficient;  
 $C_F(\Delta C_F=0)$



RESISTANCE TEST (1)

MODEL SHIP NO. 0231

MARKS:  
 FULL LOAD CONDITION —○—  
 50% LOAD CONDITION —●—

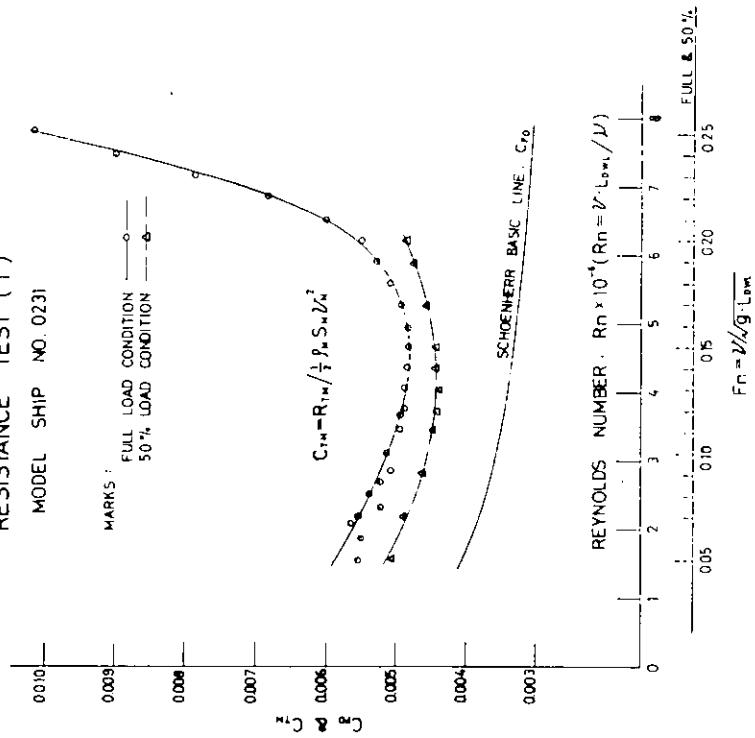


图 2.1.1 全抵抗系数

RESISTANCE TEST (2)

MODEL SHIP NO. 0231

MARKS:  
 FULL LOAD CONDITION —○—  
 50% LOAD CONDITION —●—

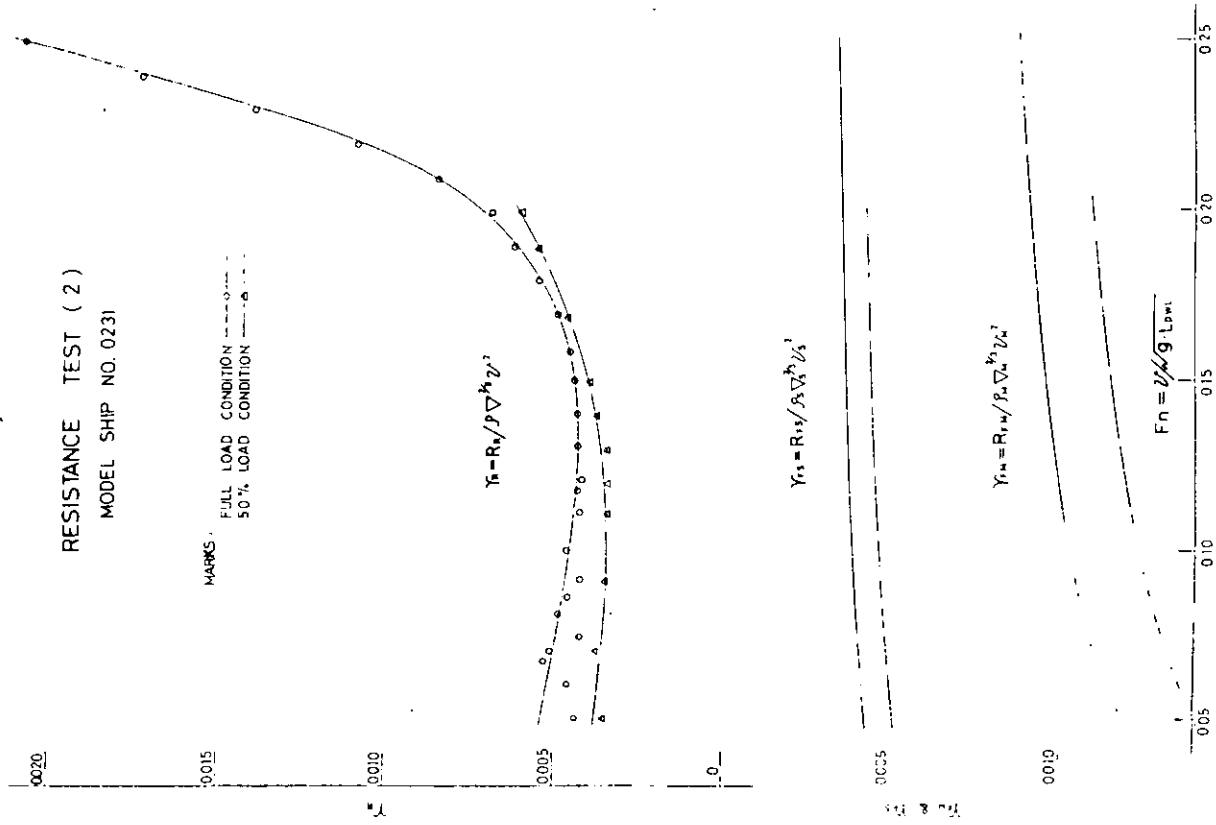


图 2.1.2 剩余抵抗系数

DIPPING, MEAN SINKAGE & TRIM CURVES (3)

MODEL SHIP NO. 0231

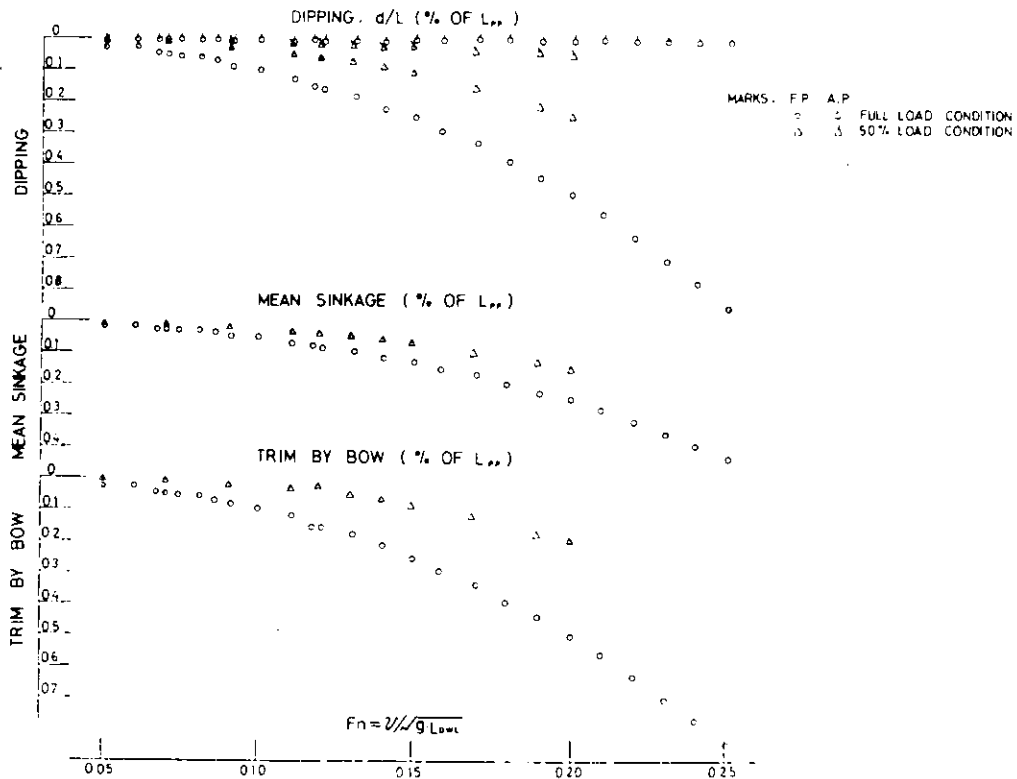


图 2.1.3 平均沈下等

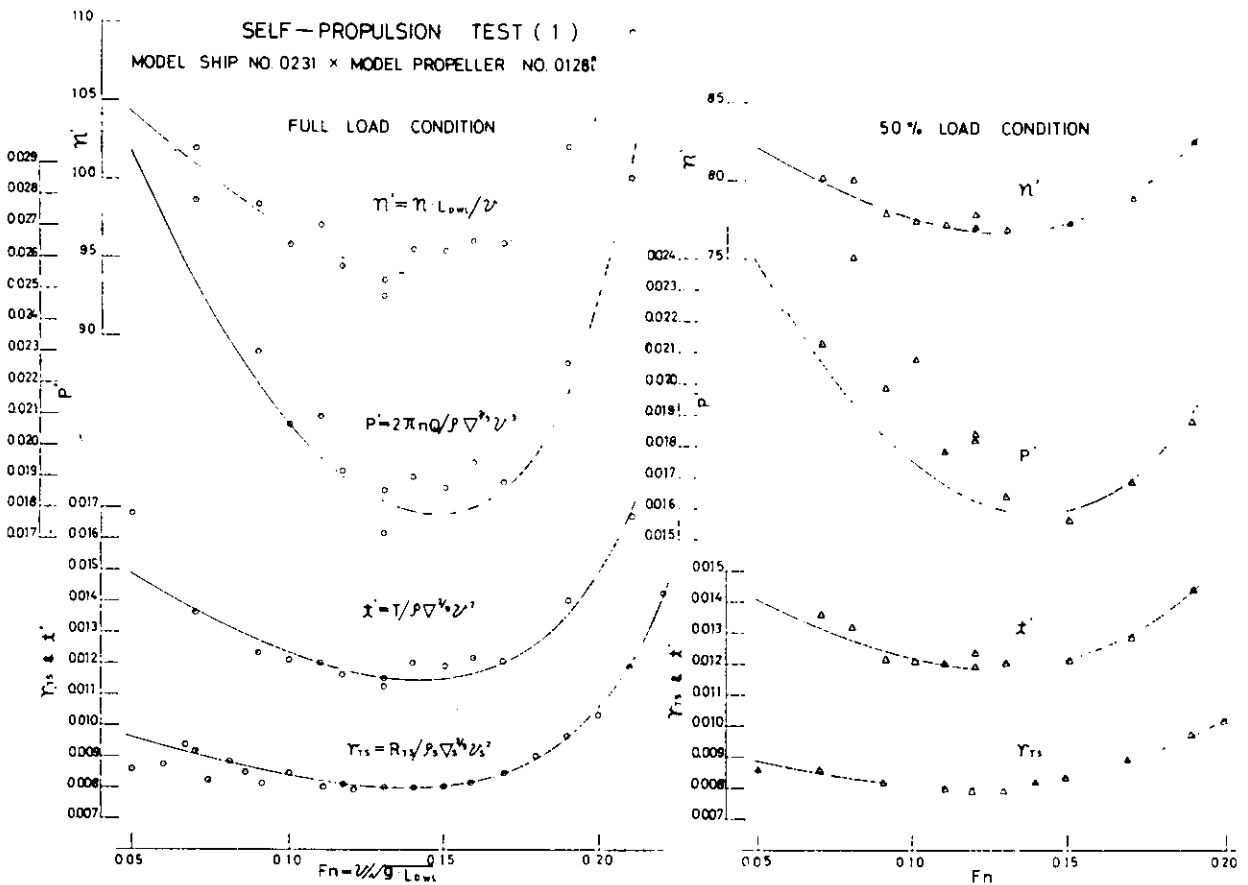


图 2.1.4 自航諸量

SELF-PROPULSION FACTOR CURVES (2)  
 MODEL SHIP NO. 0231 \* MODEL PROPELLER NO. 0128

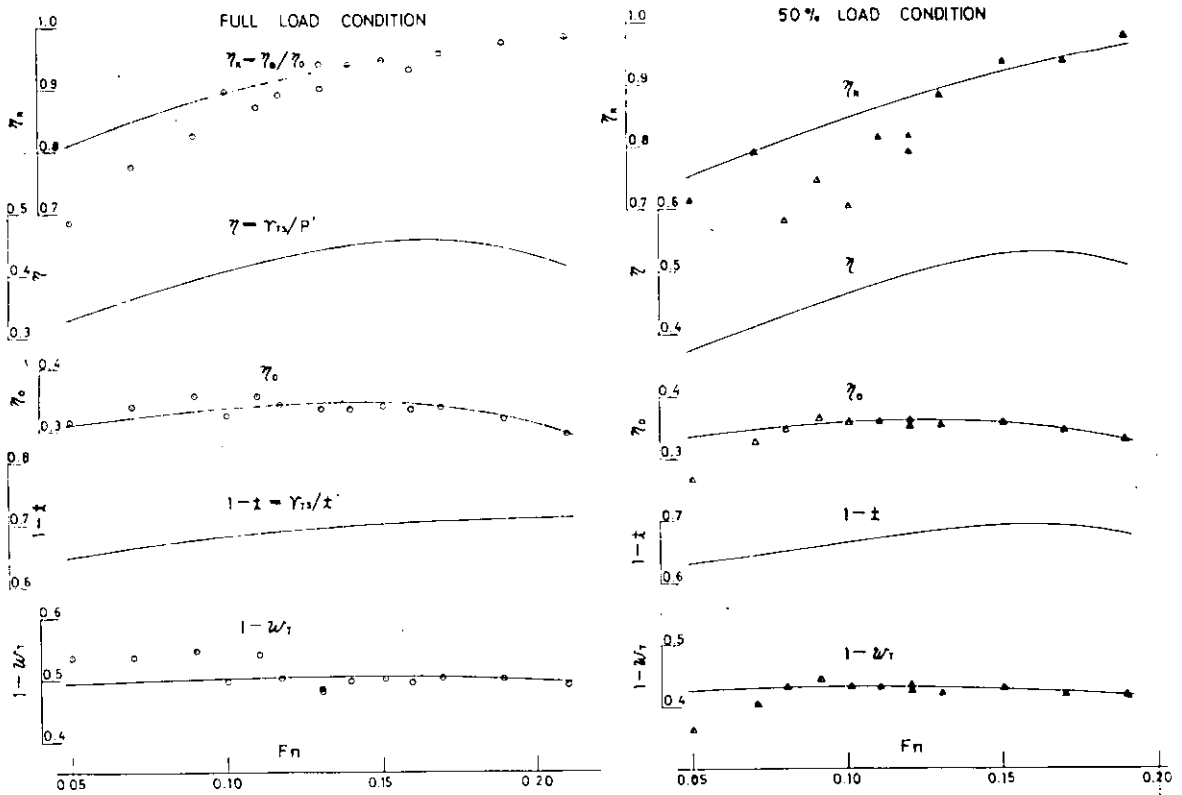


图 2.1.5 自航要素

RESISTANCE TEST (1)

MODEL SHIP NO. 0230

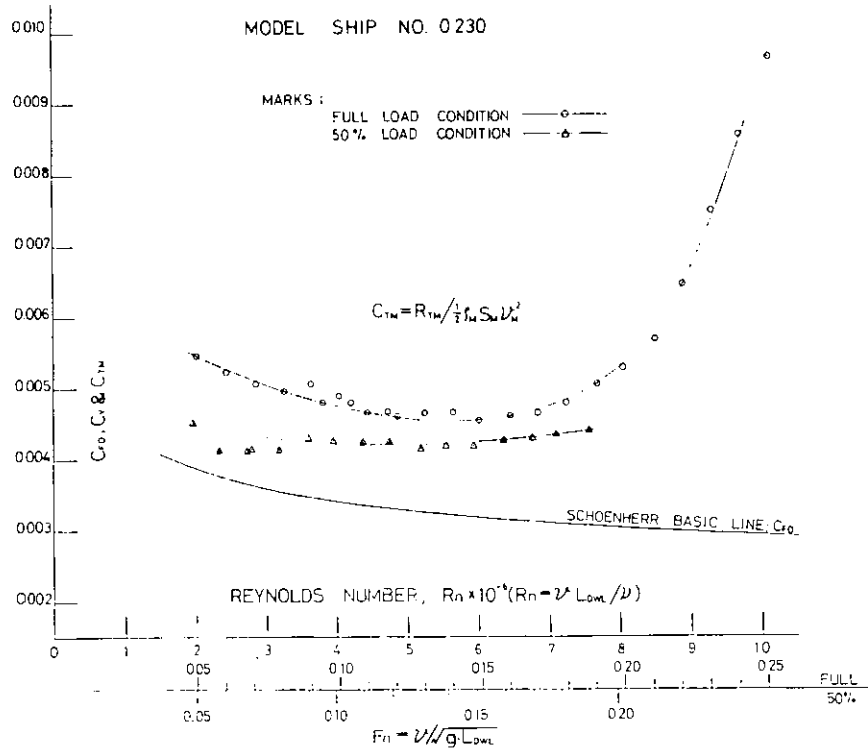


图 2.1.6 全抵抗系数

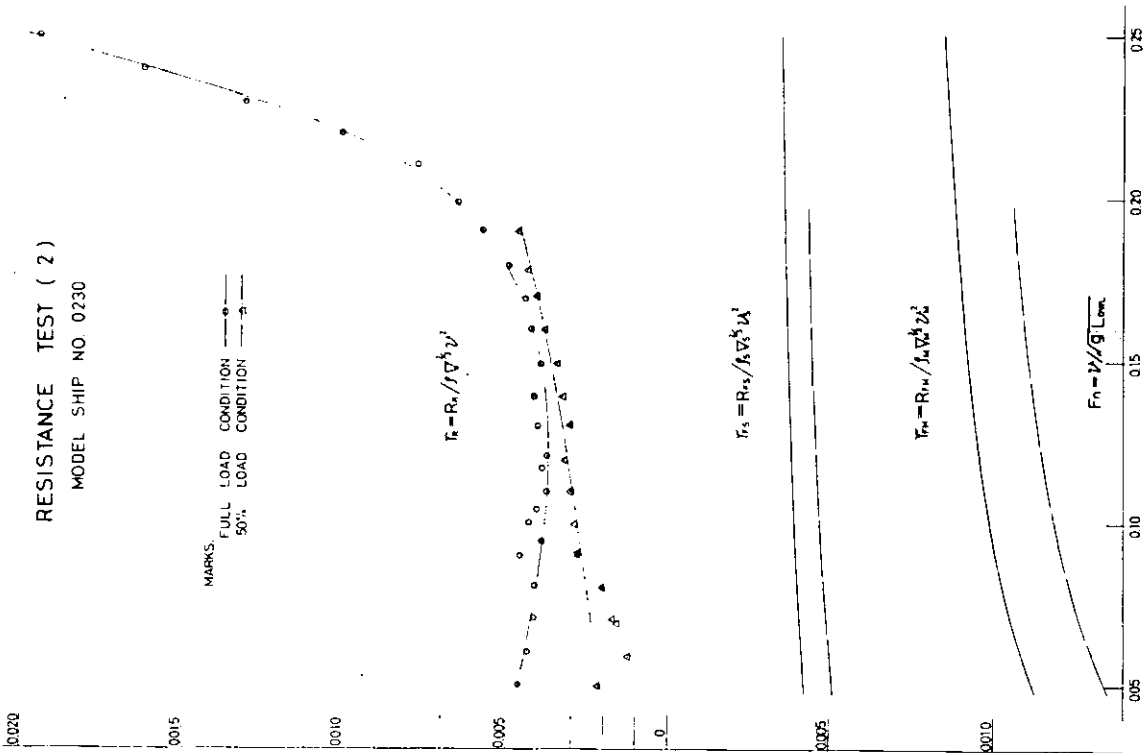


图 2.1.7 剩余抵抗系数

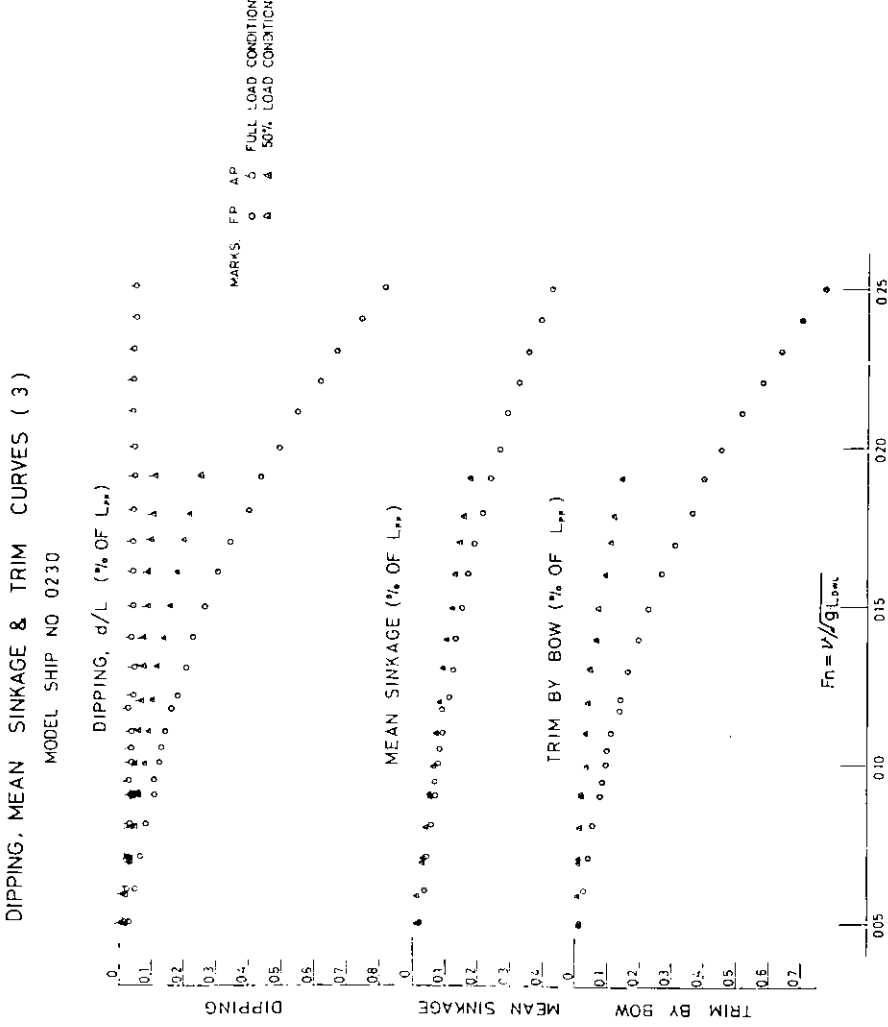


图 2.1.8 平均沈下等

### OPEN TEST RESULTS

MODEL PROPELLER NO. 0116 R

DIAMETER (m)	0.1164
BOSS RATIO	0.180
PITCH RATIO (CONST.)	0.733
PITCH (CONST.) (m)	0.0853
EXPANDED AREA RATIO	0.720
BLADE THICKNESS RATIO	0.050
ANGLE OF RAKE	0°-0'
NUMBER OF BLADES	5
DIRECTION OF TURNING	RIGHT
BLADE SECTION	AU

DATE OF EXPE.	May 13, 1975
TEMP OF WATER	14.7°C
REVOLUTION (/sec)	15.02 20.01 25.02
$R_n \times 10^{-5}$	1.773 2.361 2.953
MARKS	△ ○ □

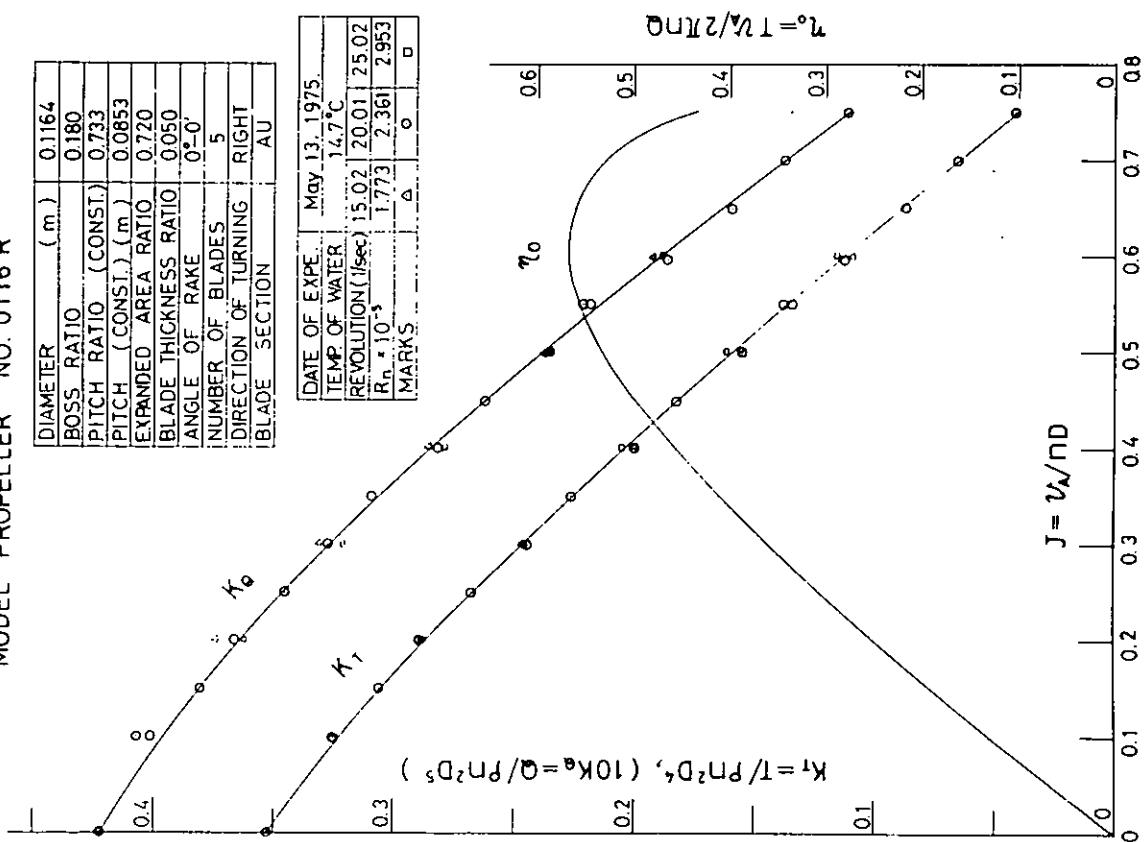


図 2.1.9 a プロペラ単独性能

### OPEN TEST RESULTS

MODEL PROPELLER NO. 0116 L

DIAMETER (m)	0.1164
BOSS RATIO	0.180
PITCH RATIO (CONST.)	0.733
PITCH (CONST.) (m)	0.0853
EXPANDED AREA RATIO	0.720
BLADE THICKNESS RATIO	0.050
ANGLE OF RAKE	0°-0'
NUMBER OF BLADES	5
DIRECTION OF TURNING	LEFT
BLADE SECTION	AU

DATE OF EXPE.	May 14, 1975
TEMP OF WATER	14.3°C
REVOLUTION (/sec)	15.03 20.03 25.02
$R_n \times 10^{-5}$	1.755 2.339 2.921
MARKS	△ ○ □

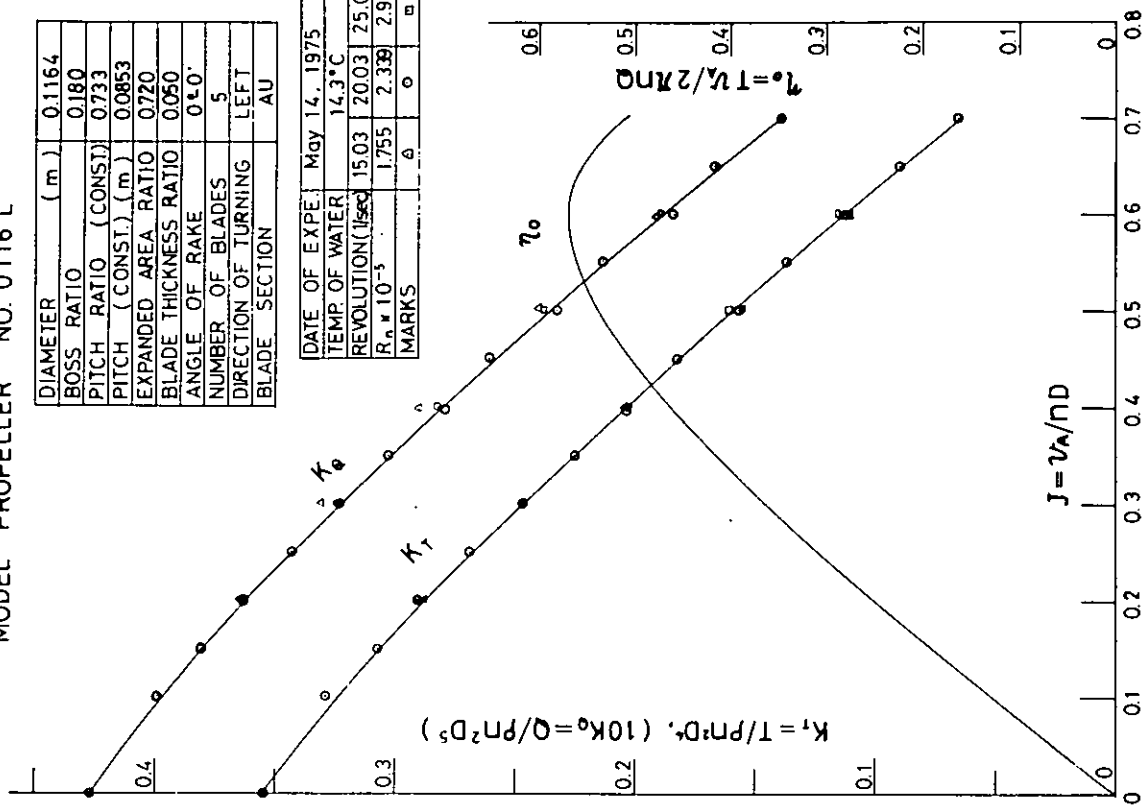


図 2.1.9 b プロペラ単独性能

SELF-PROPULSION TEST (1)

MODEL SHIP NO. 0230 \* MODEL PROPELLER NO. 0116

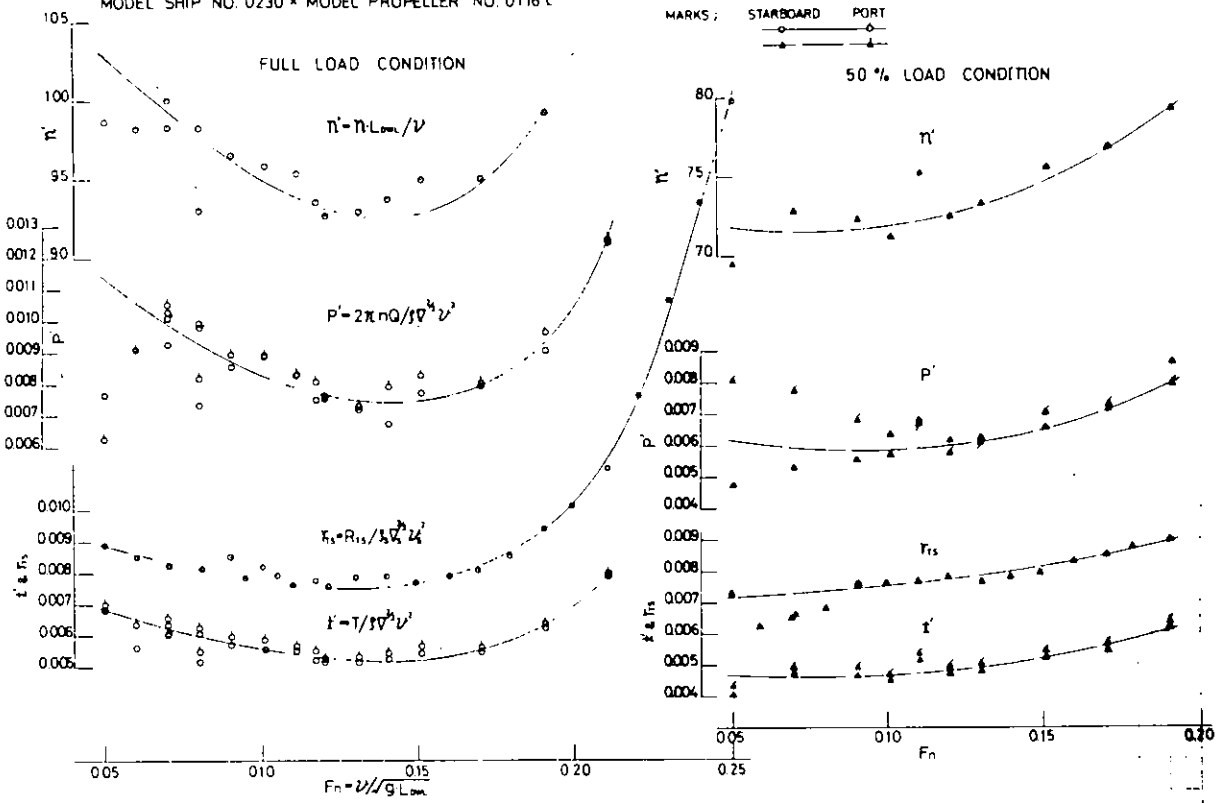


图 2.1.10 自航諸量

SELF-PROPULSION TEST (2)

MODEL SHIP NO. 0230 \* MODEL PROPELLER NO. 0116

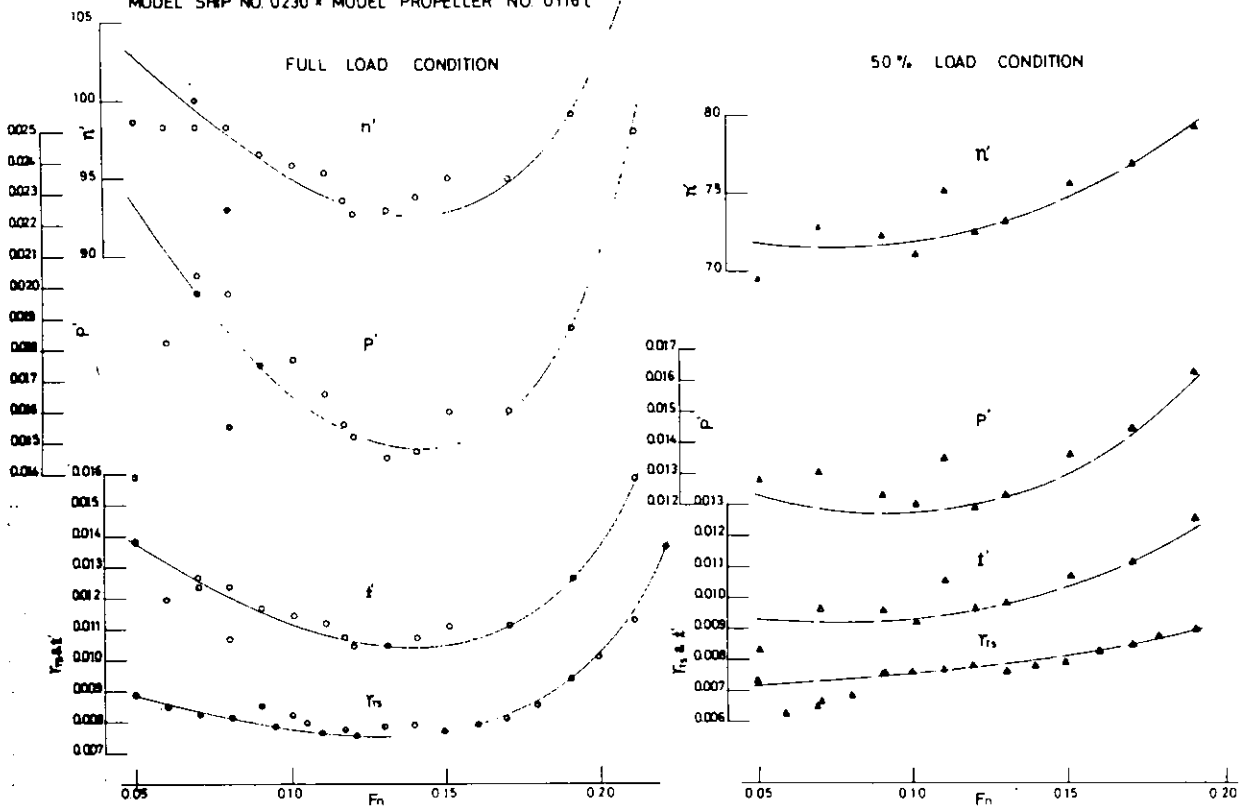


图 2.1.11 自航諸量

SELF-PROPULSION FACTOR CURVES (1)  
 MODEL SHIP NO. 0230 \* MODEL PROPELLER NO. 0116

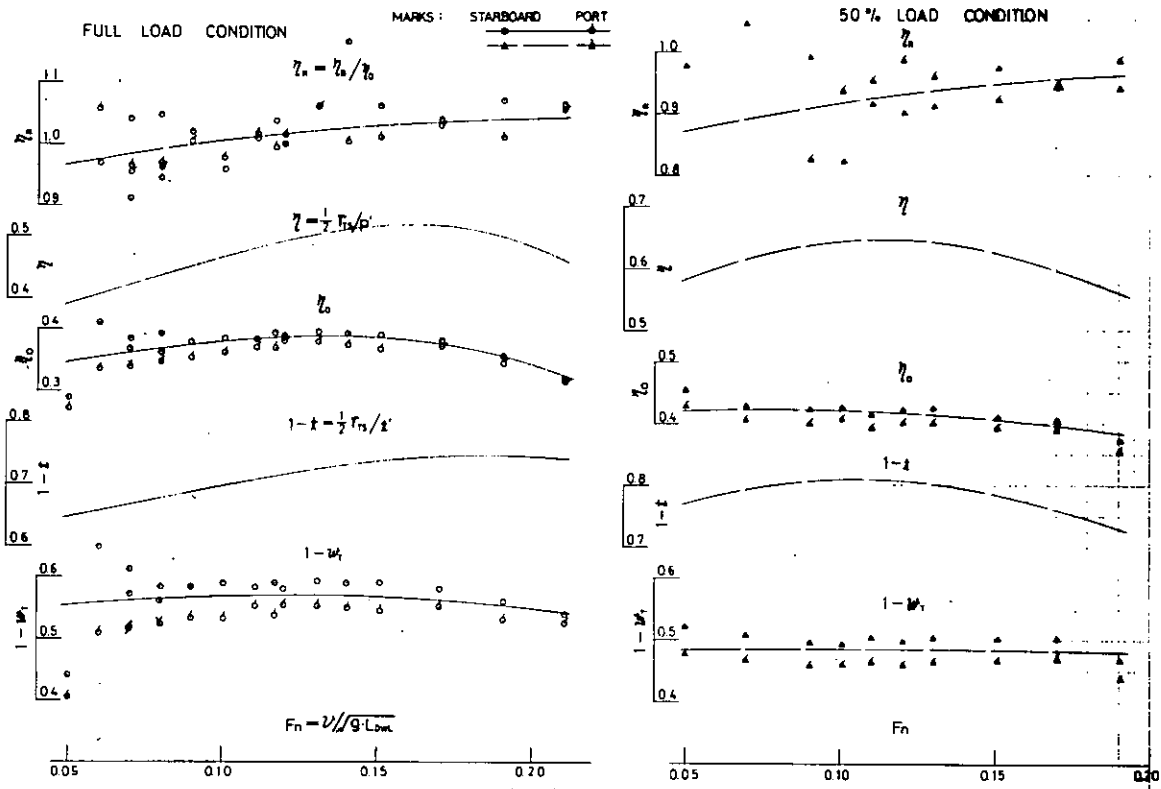


图 2.1.12 自航要素

SELF-PROPULSION FACTOR CURVES (2)  
 MODEL SHIP NO. 0230 \* MODEL PROPELLER NO. 0116

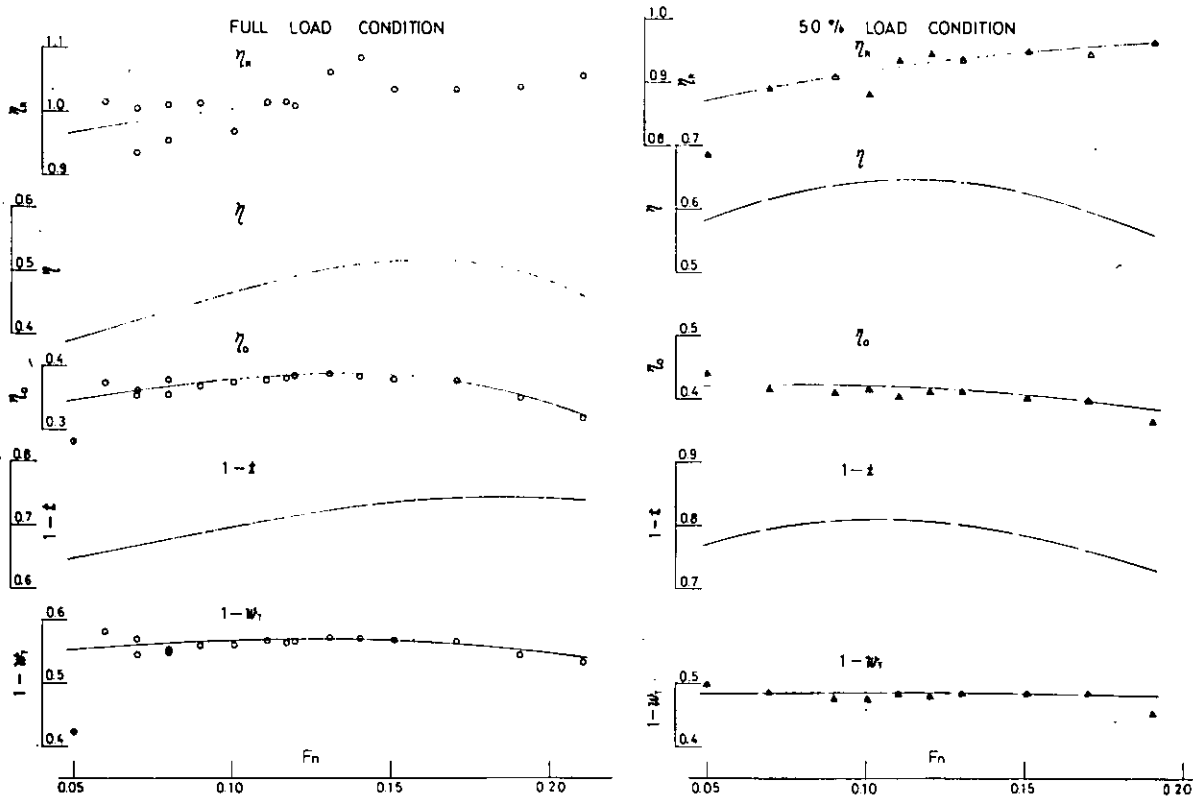


图 2.1.13 自航要素

EHP CURVES  
MODEL SHIP-NO. 0230

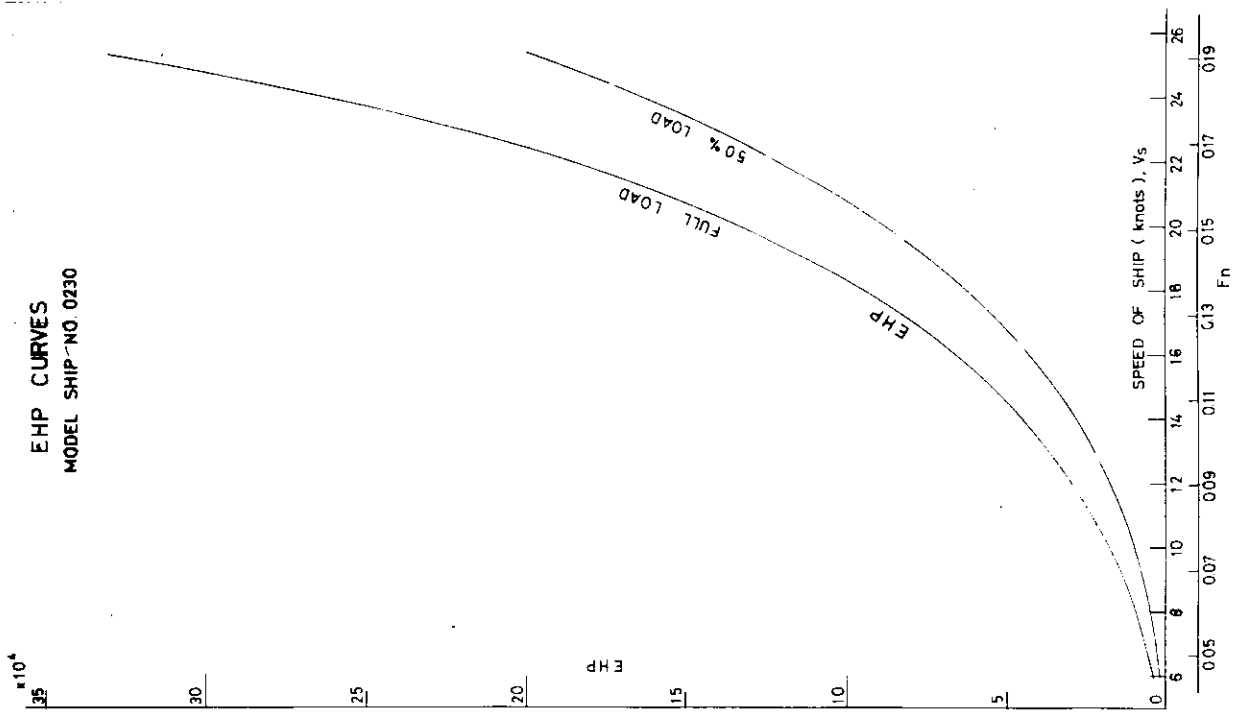


圖 2.1.14 有效馬力

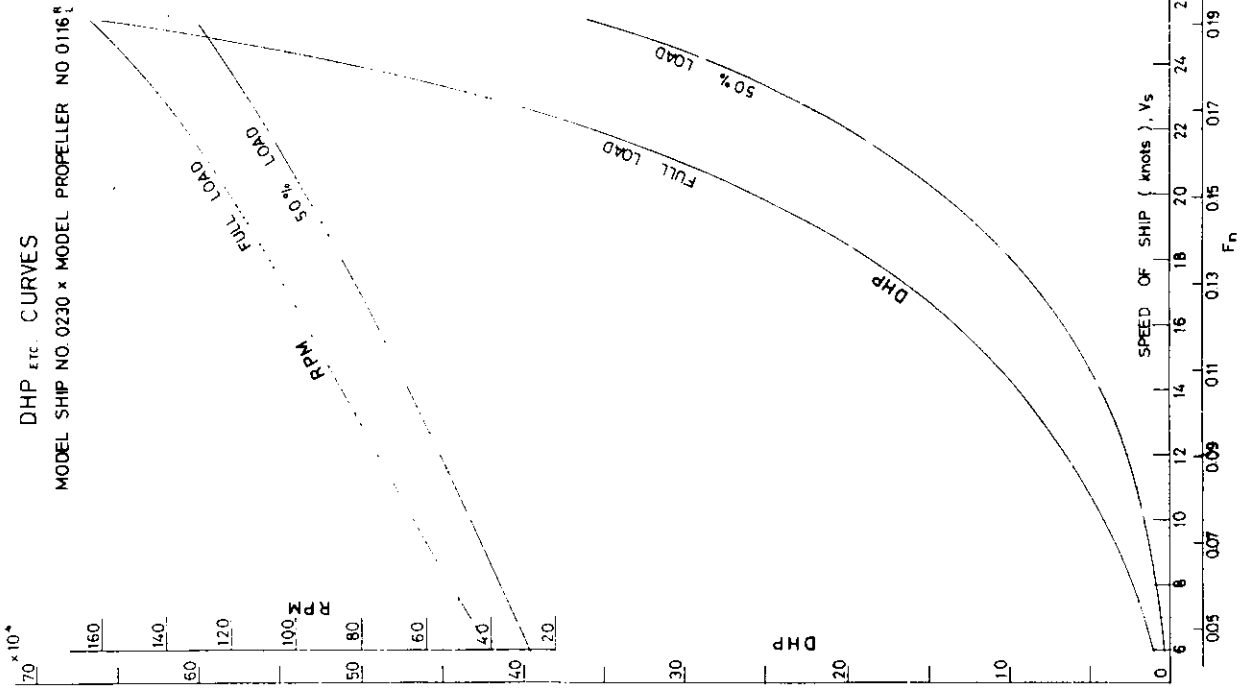


圖 2.1.15 傳達馬力



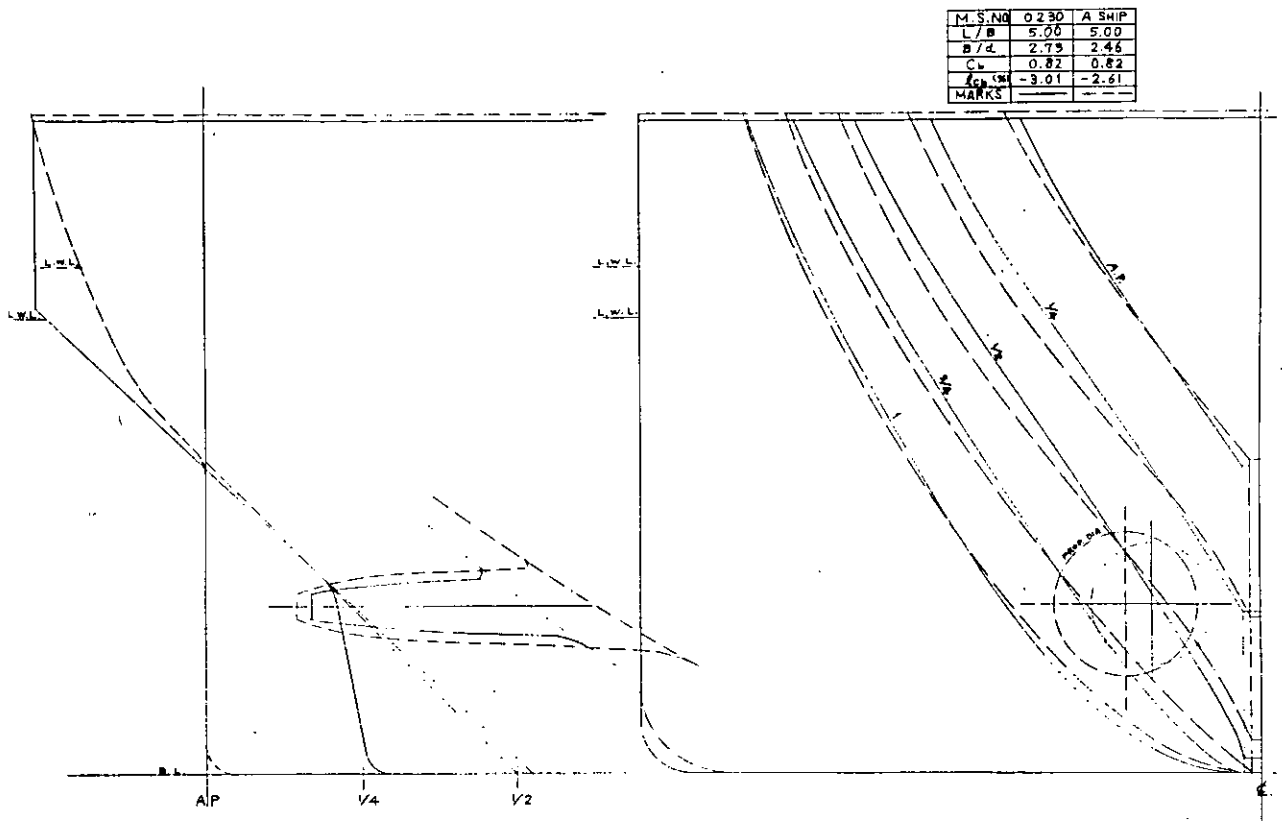


図 2.1.16 参考線図

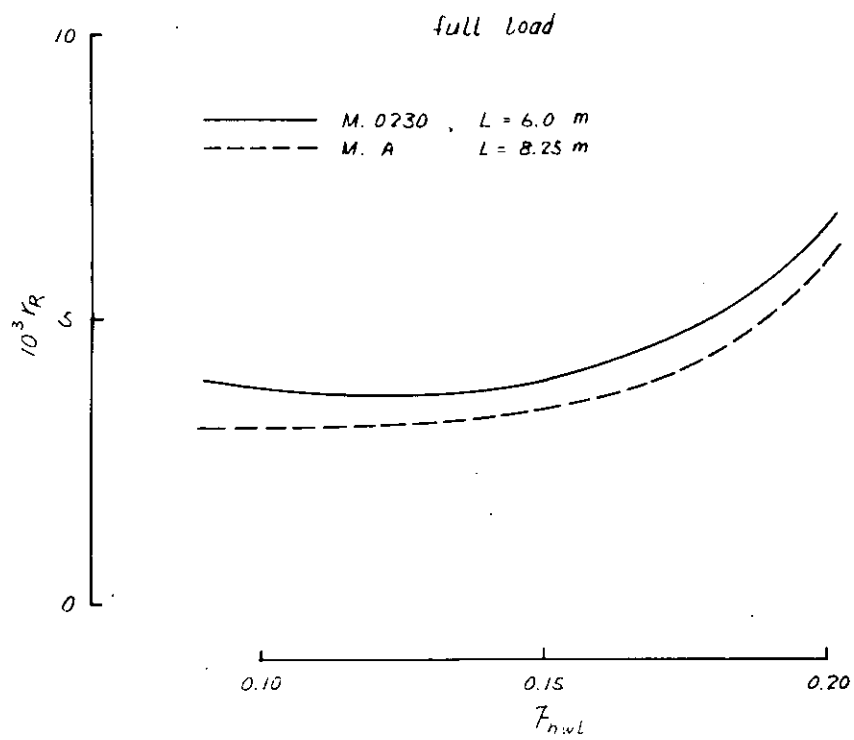


図 2.1.17 抵抗係数の比較

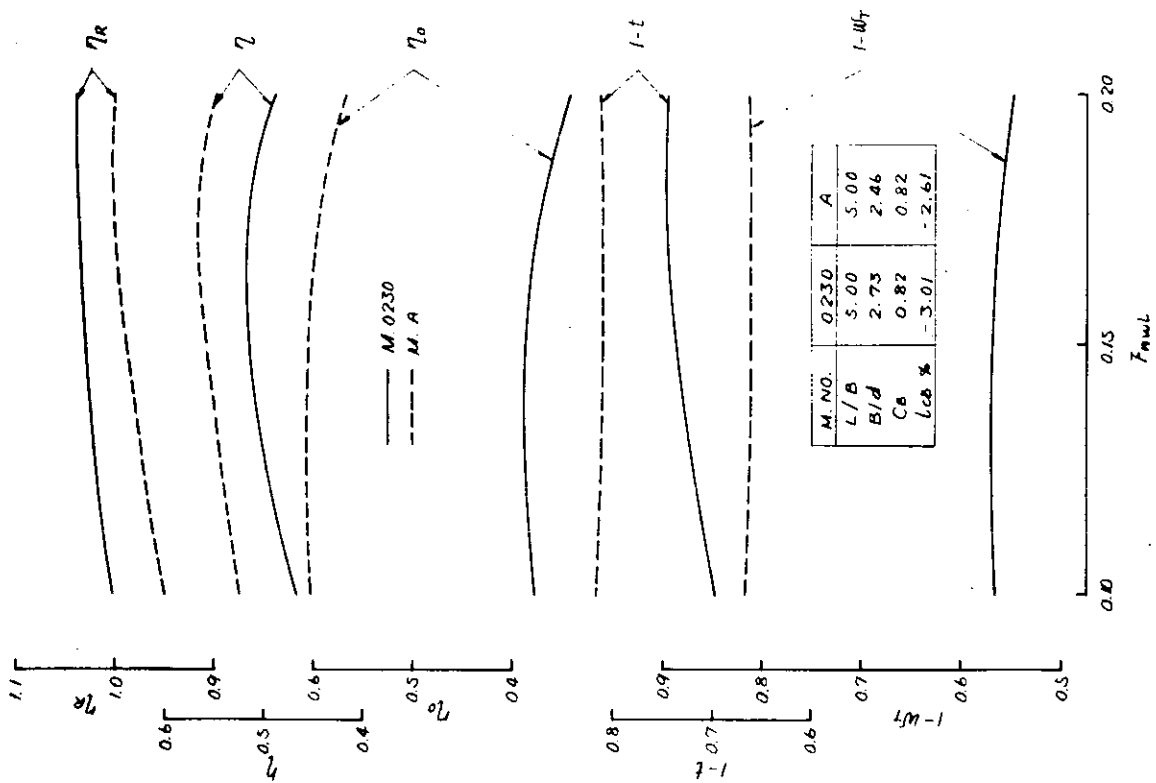
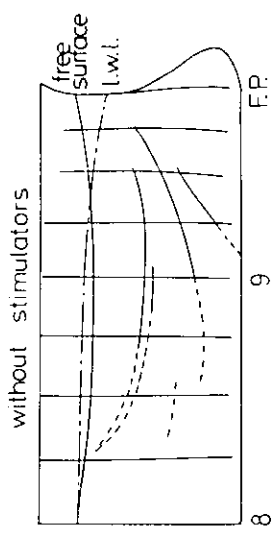
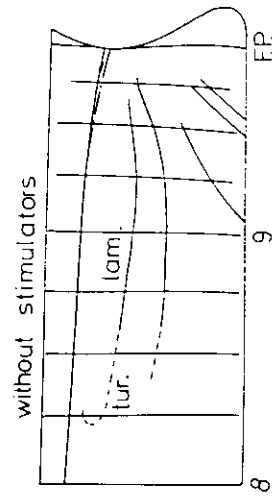
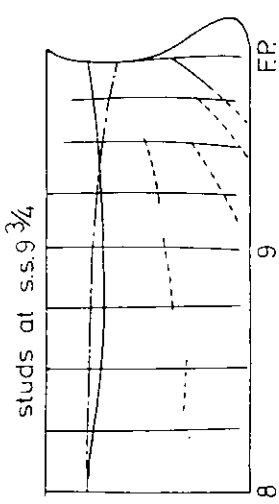


図 2.1.18 自航要素の比較



4.5 m model, M.0231

full load,  $F_n = 0.150$



4.5 m model, M.0231

full load,  $F_n = 0.060$

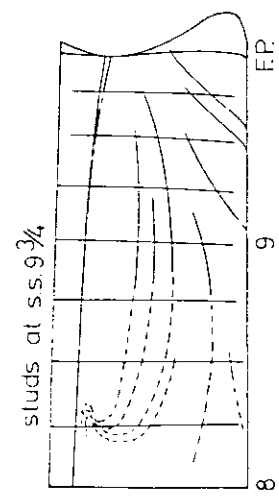


図 2.1.19 a 船首付近の流れ

図 2.1.19 b 船首付近の流れ

## 2.2 制限水路における運航性能に関する研究

### 2.2.1 模型船および実験状態

供試模型船は、2軸シリーズ母型(  $L/B=5.0$ 、 $B/d=2.73$  ) 4.5 m 模型 M.0231 であり、相似則に関する研究に使用したものの中の一隻である。

主要目等は、表 2.1.1 に示してある。前年度行った予備実験結果を参考にして、水深は 1.013、0.675、0.450 m の 3 状態とした。実験状態を表 2.2.1 に示す。

実験は、船舶技術研究所第 3 船舶試験水槽( 150 m × 7.5 m ) で行った。

船舶が浅水域を航行する際には、人為的に速力を落すことも多く、航海速力に相当する模型船速力は  $0.785 \text{ m/s}$  ( $F_n=0.118$  ) とかなり低速であることも考慮して、長波速度  $\sqrt{gh}$  付近からはかなり低速の  $F_{nh} < 0.8$  の速度範囲を重点に実験を行った。

### 2.2.2 実験結果

模型船の全抵抗係数  $r_{TM}$  を図 2.2.1 に示す。各水深での全抵抗係数をレイノルズ数を横軸に置点し、いわゆる低速での形状影響係数を求め、各水深で、深水時形状影響係数からの増分  $\Delta K$  を求めたものが図 2.2.2 である。船側から  $0.07B$  ( $B$ : 船幅) 離れた位置での波形を計測したものが、図 2.2.3 である。船長全体での平均的な水位変化の様態を図 2.2.4 および 2.2.5 に示す。船首尾での沈下量、平均沈下量およびトリムを、それぞれ図 2.2.6 および図 2.2.7 に示す。

### 2.2.3 考察

#### (1) 抵抗増加

肥大船が実際に浅水域を航行する場合には、浅水時の特異な造波現象が現われるような船速に達することは先ず無いものと考えられる。従って、浅水影響に基づく抵抗増加は、極端な浅水時は別としても、見掛けの形状抵抗の増加と考えて良さそうである。図 2.2.2 から、 $\log h/d \sim 0.6$ 、即ち、水深・吃水比  $h/d < 4$  で形状抵抗が急増することが判る。このような考えは一つの便法に過ぎないが、肥大船の浅水影響に基づく抵抗増加の推定法としては実用的であろう。

#### (2) 船体沈下

図 2.2.3 および図 2.2.4 から、深水時に比して船側での水位はかなり落ち込んでいることが判る。勿論これらの結果には、水槽幅が有限である影響が含まれていることは留意しておかねばならない。船上で乗組員が船側で観測する水位は相対的なものであり、海図上の水深に比して、いわば  $Z_m$  だけ浅くなったことになり、逆に一般に水槽で計測する船体沈下量は台車と模型船との相対距離であるから、水面に対しては  $Z_m$  だけ余分に見積ることになる。想定実船 ( $d = 34.0 \text{ m}$ ) の  $Z_m$  を求めてみると、水深 69.6 m、速力 15.5 kts (航海速力) で約 2.1 m になり、かなりの量であることが判る。このような船側での水位低下は、局所的で、ほぼ船幅のオーダーの範囲を考えておけば良い。NPL 水槽での Dand[3] の実験でも、このような水位変化が局所的であることが指摘されている。

既に山口等[4]により指摘されているように、肥大船の浅水域での船体沈下は船首沈下が重要であり、いわゆる Stern Squat の状態に達することは先ず考えられない。従って、運航者の立場からは平均沈下量やトリムでなく、船首沈下量そのものの表示が便利であろう。図 2.2.6 には Dand[3] の推定法を用い、抵抗試験時の沈下量にプロペラの影響の修正を行ったものを鎖線で併記してある。これは、

$$(S_m/L)_{\text{self-prop}} \sim 1.1 (S_m/L)_{\text{res}}$$

$$(t/L)_{\text{self-prop}} \sim r(F_n h, h/d) \times (t/L)_{\text{res}}$$

とする方法である。前年度行った鉾石専用船模型による実験結果と合わせ検討してみると、プロペラの影響は、船尾沈下量に主として現われると考えて良い。Dandの方法が最良とは思われないが、先ず先ずの値を求めることはできよう。

図 2.2.7 は山口等〔4〕の実験結果から船体沈下量を推定したものと比較したもので、山口等の実験結果による推定値は、かなり過大となっている。このことは、鉾石専用船模型を用いた前年度の実験結果と比較しても同様である。恐らく山口等の実験には実験施設上の制約の影響があるものと考えられる。

浅水時の水槽試験では、初期加速の影響が大きく、充分な助走距離が必要である。時として加速の影響が実験結果に重大な影響を与えることがある。

### 参考文献

- (1) 横尾幸一外；「バルブ付肥大船型の推進性能に関する研究」、船研報告、第8巻第2号。
- (2) 石坂 純外；「肥大船模型の乱流促進について」、船研報告発表予定。
- (3) Dand, IW；「Full form ships in shallow water」《NPL Ship Rep 160, 1972
- (4) 山口篤利外；「浅水路航走中の船体沈下に関する模型実験」、日本航海学会誌、第36号

表 2.2.1 実験状態

M.0231	L=4.5m	d=0.330m	Full Load		
Depth of Water, h, m	1.013	0.675	0.450		
Bottom Clearance, f, m	0.683	0.345	0.120		
h/d	3.070	2.045	1.364		
$(gh)^{1/2}$ , m/s	3.150	2.572	2.100		

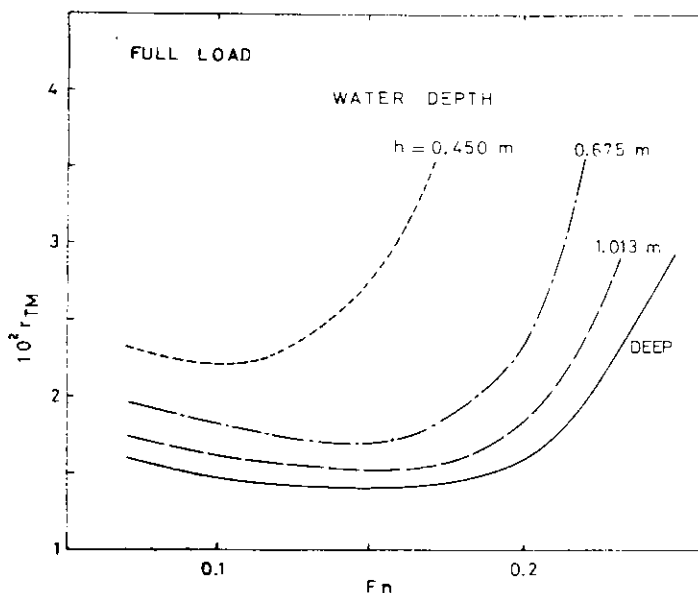


図 2.2.1 全抵抗係数

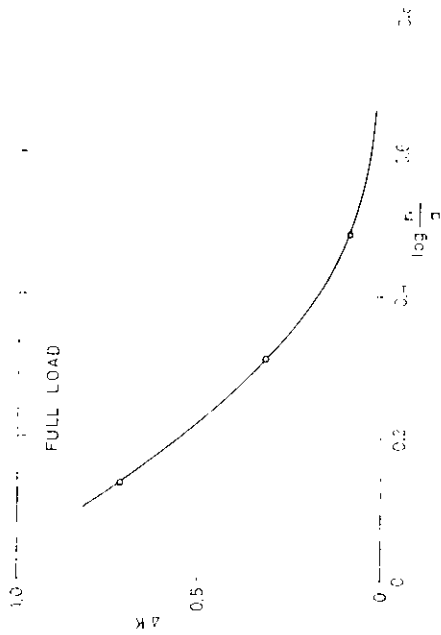


図 2.2.2 見掛けの形状影響係数の増分

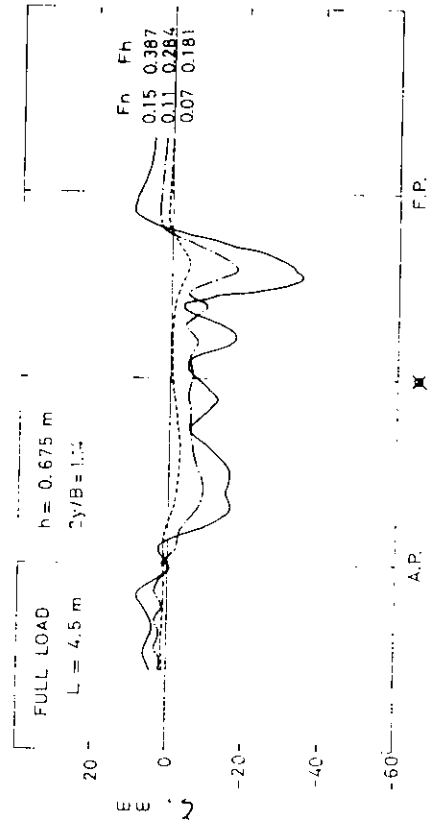


図 2.2.3 波 形

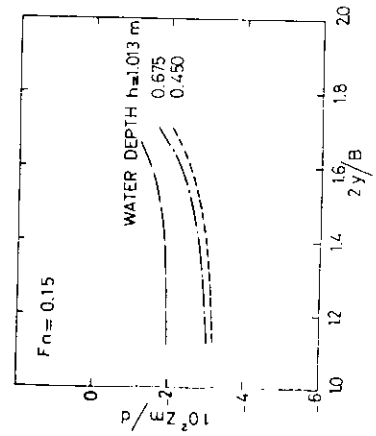


図 2.2.4 平均水位変化

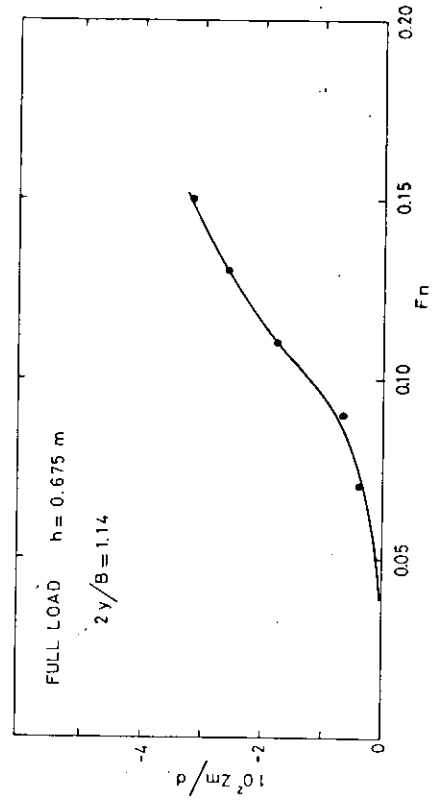


図 2.2.5 平均水位変化

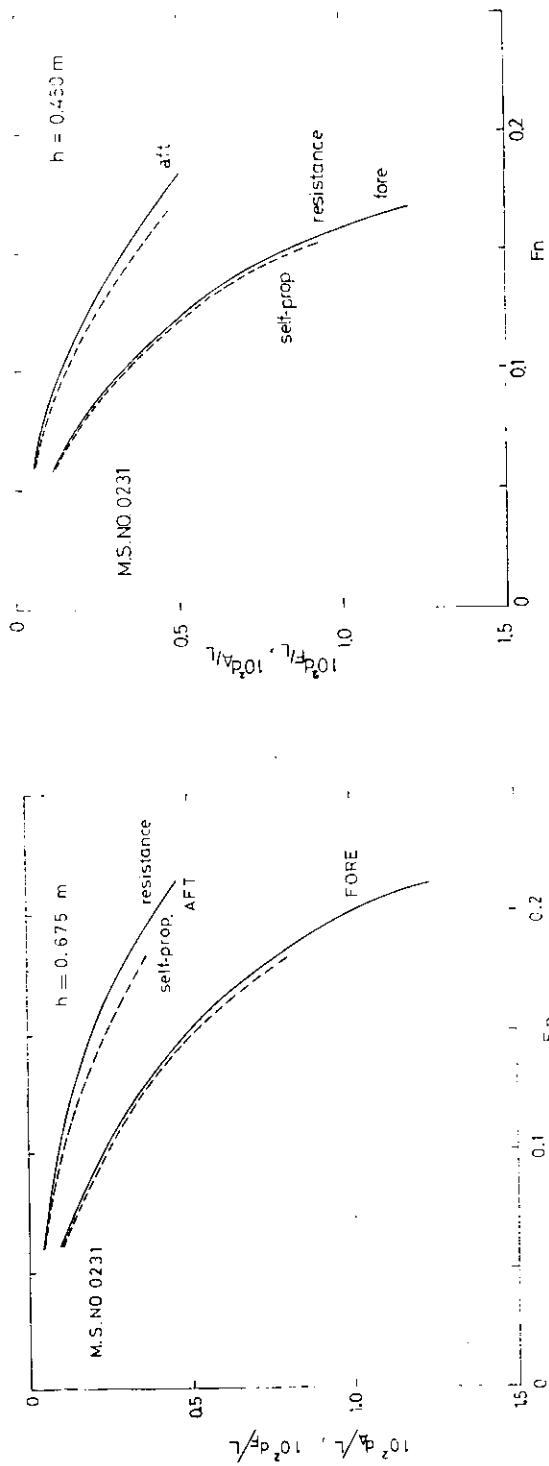


图 2.2.6 a 船体沉下

图 2.2.6 b 船体沉下

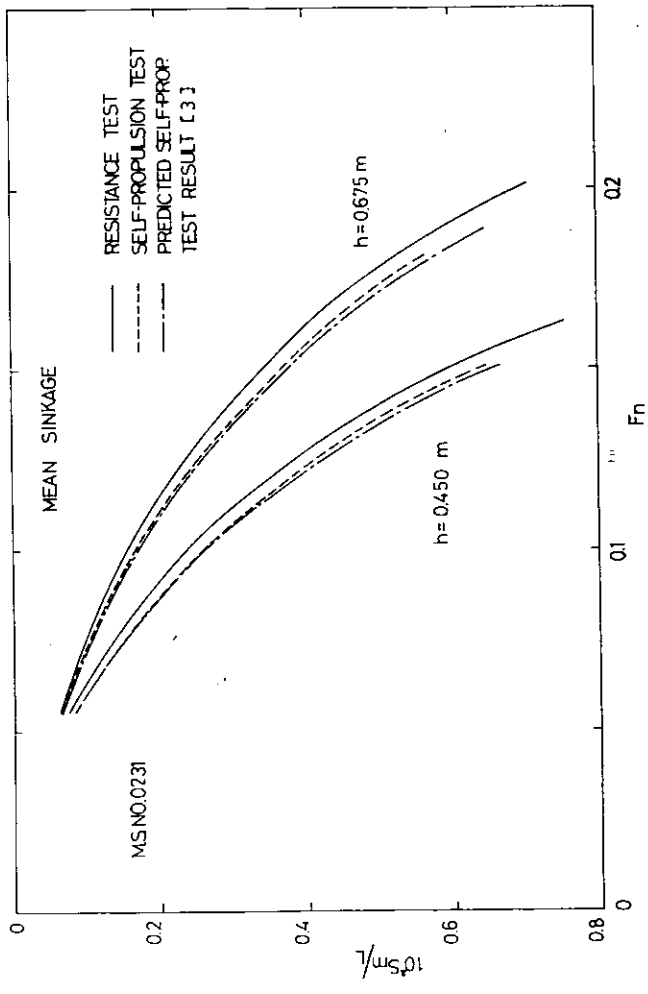


图 2.2.7 a 平均沉下量

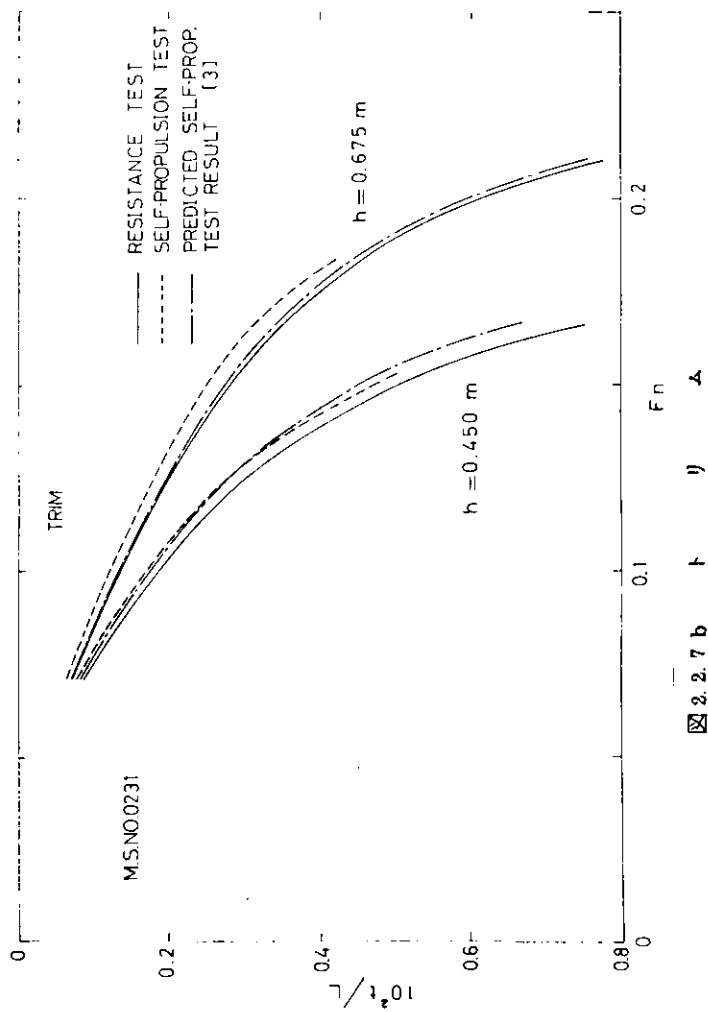


図 2.2.7 b

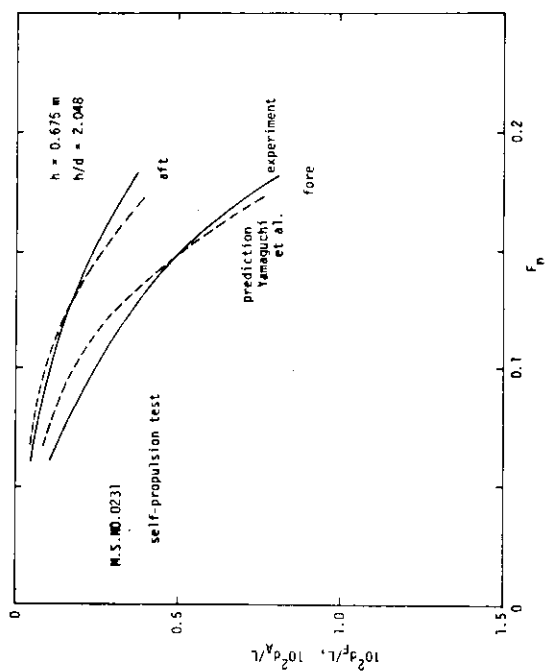
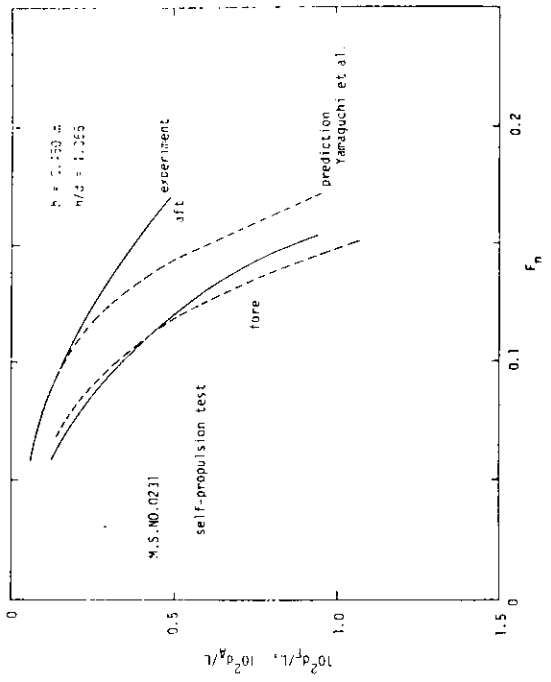


図 2.2.8 a 船体沈下量の推定

図 2.2.8 b 船体沈下量の推定

### 2.3 結果のまとめと考察

相似則に関しては、8 m 模型船による実験結果が解析未了であり、相似則一般の考察は、次年度報告書に譲ることとした。

2 軸船では、模型船寸法に比して模型プロペラが小さく、プロペラ単独性能に対する尺度影響も単純でなくなる恐れがある。また、ボッシング付の船尾まわりの流れは、レイノルズ数によって微妙に変化することも考えられ、相似模型船による実験結果を安易に実船に拡張することは危険である。

抵抗・自航試験およびインク流しによる流れ観察の結果からみると、肥大船模型の乱流促進は、従来通りの方法では不十分であり、特別の工夫が必要であることが判った。

制限水路における運航性能については、2 軸母型 ( $L/B=5.0$ 、 $B/d=2.73$ ) 4.5 m 模型船による浅水時抵抗・自航試験を行い、浅水影響に基づく抵抗増加、船体沈下量等の計測を行った。

肥大船の航行速力を考えると、船速が長波速度付近に達することは先ずなく、従って肥大船では  $F_n h < 0.6$  程度の速度範囲を考えればよい。このような船速では浅水影響に基づく抵抗増加は、見掛けの粘性抵抗の増加、あるいは、見掛けの形状影響係数の増加として考えてよいことが判った。

船体沈下は、船首沈下が重要であり、触底も船首底で生じ船体沈下に及ぼすプロペラの影響は主として船尾沈下に現われることが判った。また山口等の実験結果によって推定値はかなり過大となる。



## § 3. 操縦性におよぼす船型の影響に関する研究

### 3.1 供試船型の決定

#### 3.1.1 昭和49年度の結果とその対策

49年度報告3.1.1に述べたとおり、49年度における本部会供試船型選択の方針は「異常安定傾向を示さない船型について、まず $L/B$ その他の船型プロポーションが操縦性能にあたる影響を調査する」ことであった。

ところが49年度シリーズ船型は予想に反して著しい異常安定傾向と操縦特性の不規則性が見られる結果となり、所期の目的が達成できなかった。

そこで50年度供試船型は49年度船型を修正して、これらの傾向のなるべく少ないものにするのをまず検討した。この検討に当って重要な参考資料としたものは多田納・竹原の「船尾船型と操縦性異常現象の関連に関する帰納的研究」（関西造船協会公表予定）である。この研究は船尾オーバーハング部のプロフィールと異常安定の関連に重点をおいて12隻の肥大船型の操縦性能を帰納的に調査したもので、その概要を表3.1.1に示す。安定性の指標となるところの $r'-\delta$ 特性曲線の原点傾斜の逆数 $D \equiv 1/K'_0$ は次の式で表現できる。

$$D = 8.17 \text{ hps} + 6.46 \text{ hRS} - 8.20 \left( \frac{CB}{L/B} \cdot \frac{B}{d} \right)$$

$\text{hps}$  および  $\text{hRS}$  はそれぞれ推進器上端ならびに舵上縁と船尾オーバーハング部のクリアランスを表わす指数で、その定義は表3.1.1付図に示す。

49年度船型にこの結果を適用してみると当船型は異常安定になる可能性が大で、そしてこの傾向を避けるためには船尾オーバーハングをもっと深く沈めて舵上縁とのクリアランスを小さくすればよいことが判明した。

そこで49年度母型5-27型のオーバーハングを深くした5-27L型を製作し、逆スパイラル試験、Z試験ならびに旋回試験を行なった。図3.1.1ならびに3.1.2に船体線図の変更部分を図3.1.3に $r'-\delta$ 特性、図3.1.4にZ試験結果を示す。

この結果、まず予想どおりこの方向に船型を修正すれば異常安定傾向は避けられる見通しを得た。

さらに時期を同じくして実施された船舶技術研究所における実験結果によればスクリュウ・アパーチャ上部の空所を塞ぐと運動の不規則性がなくなり、全体としては所謂「素直な不安定」の傾向に近づくことが判った。

両者の結果にもとずき50年度船型は図3.1.5ならびに3.1.6に示すものと決定した。なお同図は船型呼び名4-27M、すなわち上記の修正船型の $L/B=4.0$ 、 $B/d=2.73$ のものを示す。50年度母型5-27Mは従って同図の $B$ および $d$ を0.8倍に縮小したものとなる。念のためOff Sets Tableの変更部分を表3.1.2に示す。

#### 3.1.2 系統模型船の要目

要目決定の基本条件は49年度と全く同一で、

想定実船	▽	:	1,200,000 $m^3$ 一定
$L/B$	:	5.0	を母型とし、その吃水3.4.0 m
$CB$	:	0.82	一定

模型船は合計5隻となり、その主要目等を表3.1.3に示す。なお本表は船型呼称にMが付加されただけで49年度報告表3.1.1と全く同一である。

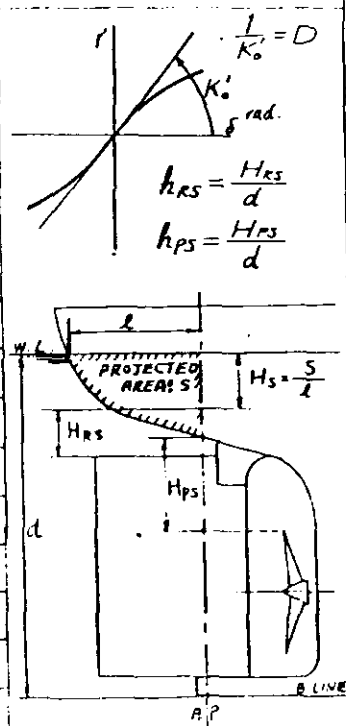
Mの付加は3.1.1に述べた船尾オーバーハングの改造に対応する。

なお、この改造に伴ない舵面積比が1/50 から1/55 (Mつき船型)に減少している。

推進器軸高さは変更しない。

表3.1.1 針路安定性と船体主要目及び船尾形状の相関についての統計的調査一覧表

	PRINCIPLE PARTICULARS						STERN PARTICULARS			STABILITY INDEX, D.	
	M. No.	L (m)	C <sub>B</sub>	L/B	B/d	$\frac{C_B \cdot B^2}{L \cdot d}$	$h_{RS}$	$h_{PS}$	STERN FORM	REAL D	CAL. D
STABLE MODELS	249	4.50	0.813	5.962	2.525	0.344	0.180	0.280		0.77	0.62
	257	4.50	0.829	5.741	2.592	0.374	0.075	0.334		0.27	0.15
	259	4.60	0.849	6.353	2.482	0.332	0.119	0.300		0.44	0.50
	269	4.50	0.834	6.057	2.675	0.368	0.185	0.271		0.23	0.39
	278	4.50	0.833	6.060	2.670	0.367	0.170	0.245		0.03	0.09
	298	4.50	0.813	6.057	2.654	0.356	0.145	0.304		0.47	0.50
UNSTABLE MODELS	270	4.50	0.832	6.057	2.675	0.367	0.177	0.188		-0.59	-0.33
	277	4.40	0.831	5.550	2.900	0.419	0.202	0.192		-0.48	-0.56
	281	4.50	0.831	6.060	2.670	0.366	0.180	0.184		-0.13	-0.34
	286	4.50	0.832	6.057	2.675	0.367	0.174	0.194		-0.20	-0.30
	296	4.40	0.834	5.368	2.970	0.392	0.102	0.246		-0.76	-0.55
	288	4.71	0.835	5.500	3.129	0.475	0.140	0.314		-0.30	-0.43



$$CAL. D = 3.17 h_{PS} + 6.45 h_{RS} - 3.20 \left( \frac{C_B \cdot B^2}{L \cdot d} \right)$$

表3.1.2 Off Sets Table 変更部 5-27M船型

(数字の記入のない枠は昭和49年度報告書 表3.1.2と同一寸法、すなわち5-27Mと5-27Mに差がないことを示す。)

5 WL	6 WL	7 WL	8 WL	9 WL	10 WL	11 WL	12 WL	13 WL	14 WL	15 WL	
			0.0092	0.0530	0.0862	0.1128	0.1343	0.1525	0.1676		A
		0.0125	0.0650	0.1047	0.1358	0.1608	0.1823	0.2007	0.2156		A. P.
	0.0174	0.0720	0.1172	0.1523	0.1805	0.2050	0.2258	0.2427	0.2566		1/4
0.0648	0.0906	0.1316	0.1693	0.1990	0.2250	0.2468	0.2652	0.2795			1/2
0.1283	0.1576	0.1910	0.2203	0.2444	0.2654	0.2836					3/4

表 8.1.8

项 目		条 件		(A) $\frac{B}{d}$ : 一定		(B) $\frac{L}{d}$ : 一定	
		母 型					
船 型 呼 称		5-27M	6-27M	4-27M	6-23M	4-34M	
想 定 实 船	$L_{pp}$ (m)	464	524	400	493	431	
	$B_{MLD}$ (m)	92.8	87.4	100.0	82.2	107.7	
	$d_{MLD}$ (m)	34.0	32.0	36.6	36.1	31.6	
	$C_b$	0.820	0.820	0.820	0.820	0.820	
	$L/B$	5.0	6.0	4.0	6.0	4.0	
	$B/d$	2.73	2.73	2.73	2.28	3.41	
	$L/d$	13.65	16.37	10.93	13.65	13.65	
模 型 船	$L_m$ (m)	4000	4000	4000	4000	4000	
	$B$ (m)	0.800	0.667	1.000	0.667	1.000	
	$d$ (m)	0.293	0.244	0.366	0.293	0.293	
	速率 ( $L/L_m$ )	116	131	100	123	108	

SR-154      5-27 ———  
 L : 4.00m    5-27L - - - -  
 L/B : 5.00  
 B/d : 2.73

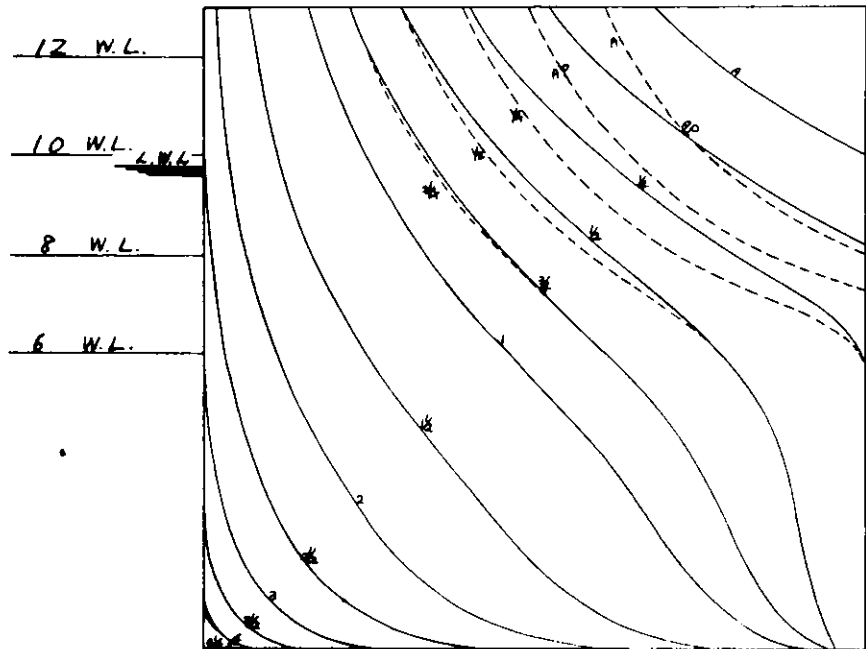


図 8.1.1 5-27 L body plan

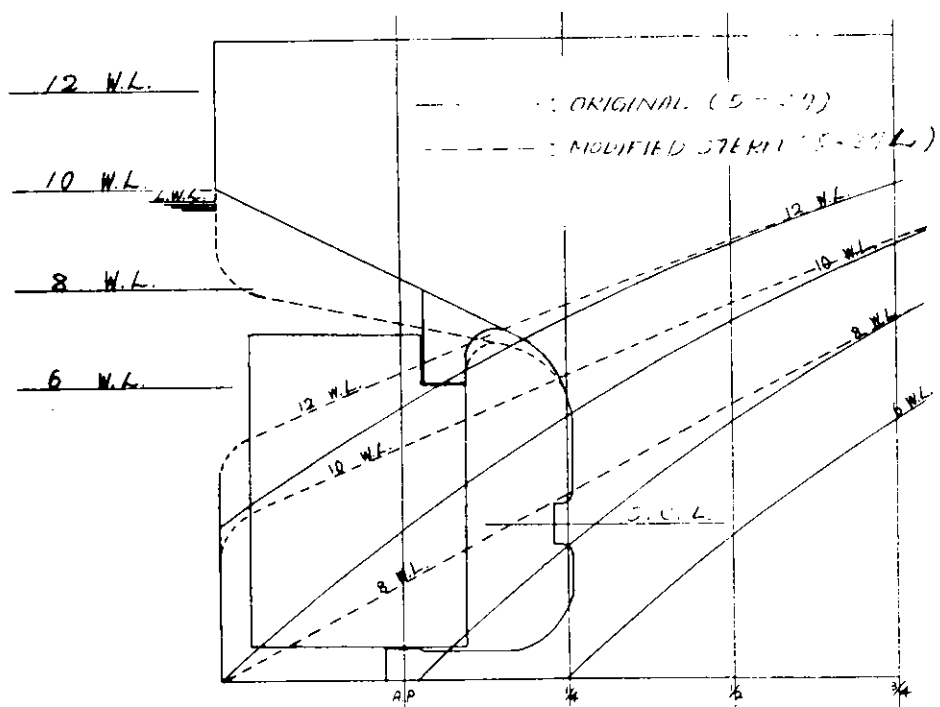


図 8.1.2 5-27 L 船尾プロフィール

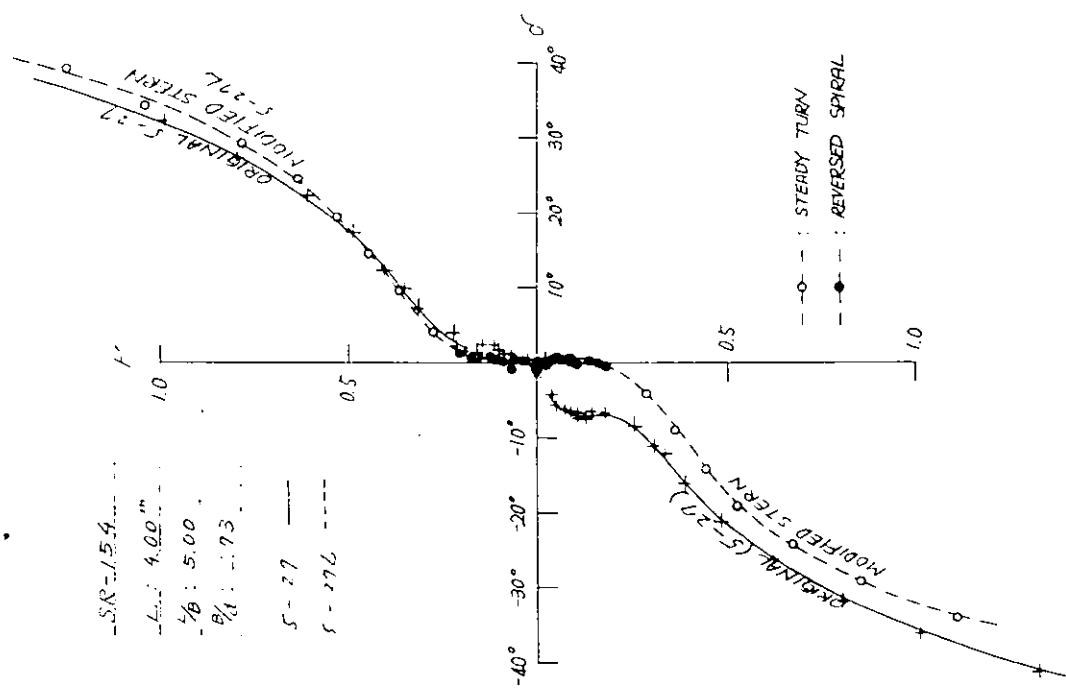


図 3.1.3 5-27 および 5-27 L の  $r'$  -  $\delta$  特性比較

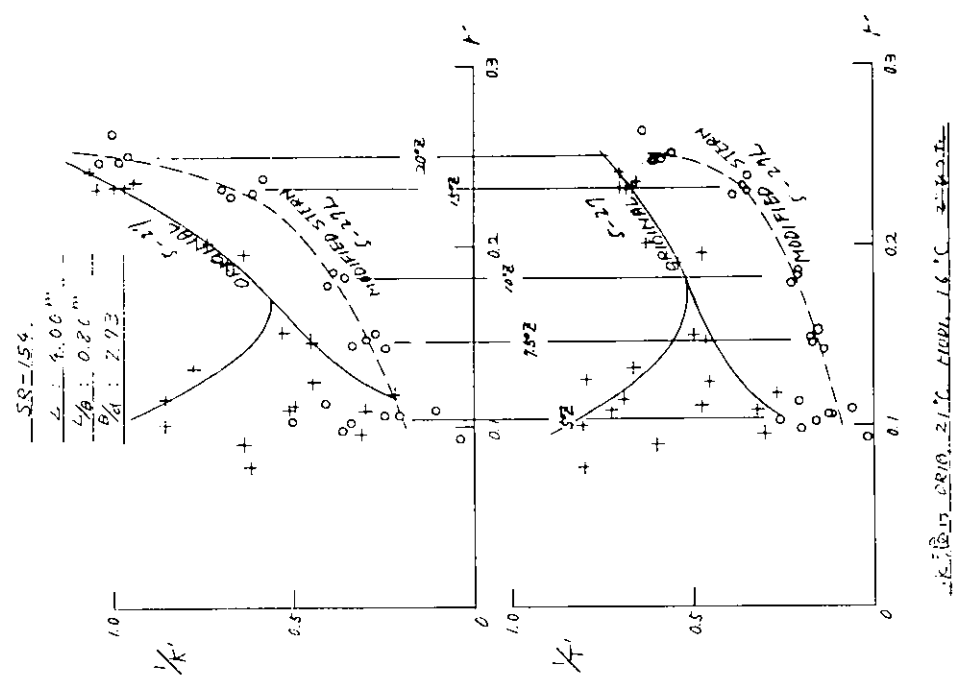
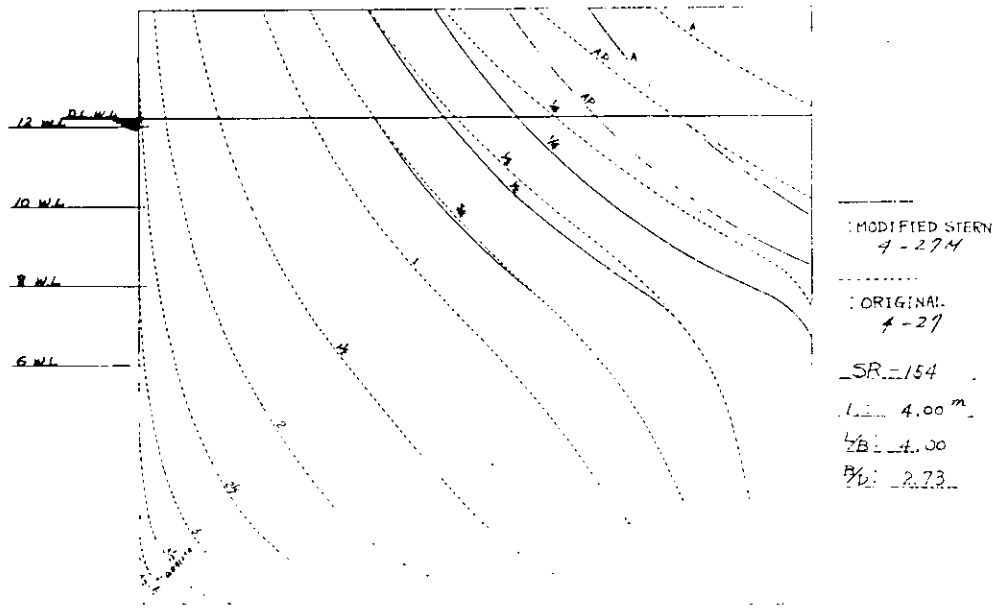
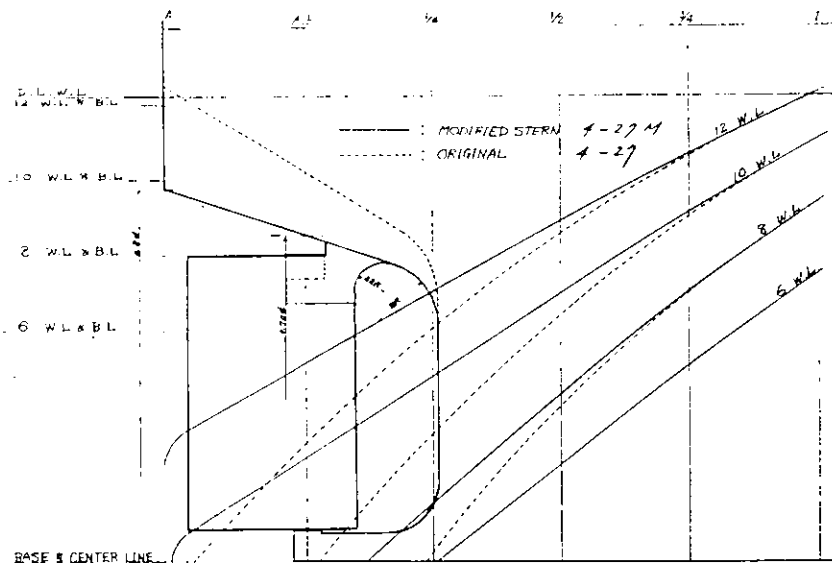


図 3.1.4 5-27 および 5-27 L の  $K'$  -  $T'$  特性比較



☒ 8.1.5 4-27 M Body plan



☒ 8.1.6 4-27 M 船尾プロフィール

## 3.2 自由航走模型による実験

### 3.2.1 船研における実験結果

#### (1) 実験状態及び計測装置等

実験の対象とした船型は、前節で述べられているもののうち  $L/d$  一定のシリーズで、4-34M型、5-27M型、6-23M型の3隻である。載貨状態はすべて標準の満載状態とし、重心まわりの環動半径は  $0.25L$  に合わせた。

実験速度は実船で15ノットに相当する速度で行なった。

実験はすべて屋外の角水槽（三鷹第一船舶試験水槽）で行なったので、風の影響の混入を避けるように十分注意した。すなわち、旋回試験は研究室屋上の風速計で  $2m/sec$  以下の時のみ、又、逆スパイラル試験は、ほとんど無風で水面にさざ波も立たないような静かな時のみ実験をした。

旋回試験では舵角  $\pm 40^\circ \sim \pm 10^\circ$  の間は  $5^\circ$  おき、 $+10^\circ \sim -10^\circ$  の間は舵角の間隔を適宜小さくして、角水槽で旋回が可能な限り小さな舵角まで試験をした。

逆スパイラル試験はいわゆる発振法により、旋回試験ができなかった範囲とこれに続く一部旋回試験を行なった範囲について、設定角速度は  $0.25^\circ/sec$  おき、舵角半振幅は  $5^\circ$  として試験をした。

試験の要領は例えばモーターの発停、操舵、記録器の操作等はすべて無線による遠隔操作により行ない、モーターへの電力の供給は蓄電池より可変定電圧装置を介して行ない、模型船の重心の航走軌跡は超音波による自動船位測定装置による等、当所常用の方法をそのまま用いた。

#### (2) 実験結果

(a) 図3.2.1、図3.2.3、図3.2.5はそれぞれ4-34M型、5-27M型、6-23M型の  $r'-\delta$  曲線である。いづれも、船尾のオーバーハング部分の改造をする前の4-34型、5-27型、6-23型に現われたいわゆる異常安定の現象は認められなくなった。しかし  $r'$  が  $\pm 0.2$  の間では改造前のもの程ではないが船尾付近の流れの不安定さを示すような実験点のばらつきが目立つ。これらは実験中操舵反復のパターンが変動するものが多く、最後迄変動し続けたものは除外し、実験の後半で速度、角速度が整定し、かつ操舵反復のパターンがほぼ一定になったとみなせる場合のみ実験点としてとりあげた結果であり、実験回数そのものは、相当な数になる。実線はこれらの実験点の平均的なところをねらって引いたものである。

(b) 図3.2.2、図3.2.4、図3.2.6は船尾を改造する前後の比較、即ち4-34型と4-34M型、5-27型と5-27M型、6-23型と6-23M型との比較をそれぞれしたものである。旋回性は多少良くなっているが大差なく、針路安定性は一方は異常安定の現象があり、他方にはないので直接の比較は保留する。

(c) 図3.2.7は改造後の4-34M型、5-27M型、6-23M型の  $r'-\delta$  曲線の比較で  $L/B$  が小さいほど旋回性は良くなるが、針路安定性は劣化する傾向にあることがわかる。

(d) (a)で述べたように改造後の船型では  $r'-\delta$  曲線の異常安定化現象が殆んどなくなっているが、まだ船尾流れの不安定さを示す実験点のばらつきがあったので、5-27M型のプロペラアパーチャーの上部を図3.2.8に示すように、黄銅板（厚さ1mm）で閉塞し、そのつけ根だけを油粘土で整形して実験を行なってみた。その結果、図3.2.9に示すように、 $r'-\delta$  曲線の実験点のばらつきは消えた。またこの場合、逆スパイラル試験の実験中、速度、角速度がほぼ整定した実験後半部では操舵反復のパターンも、ほぼ一定の形になっている。

図3.2.10は、同じことを4-34M型について実施した実験結果である。

プロペラアパーチャーの上部を塞ぐという発想は、5-27型の1.5m模型を使った回流水槽に



おける船尾流線の観察結果から得られたものである(「幅広肥大船の操縦性能について」森信篤、山本徳太郎、森政彦、船研報告第12巻第6号、1975.11を参照)。

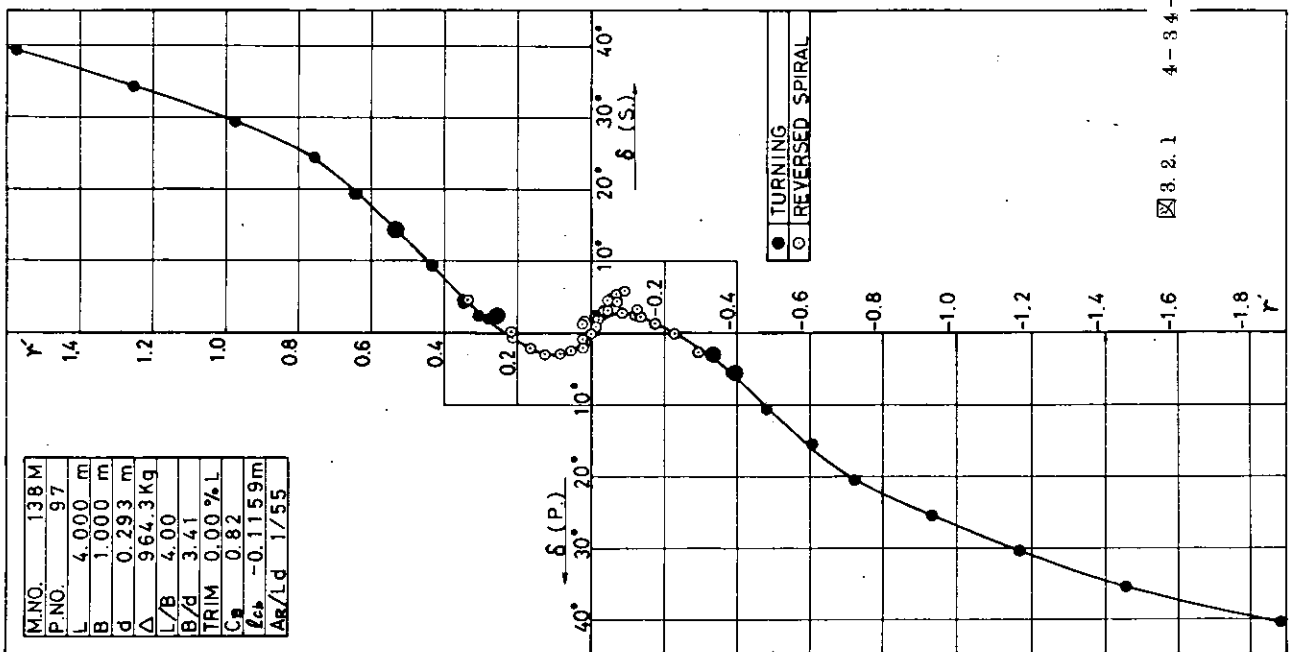


図 3.2.1 4-34-M の  $r' - \delta$  曲線

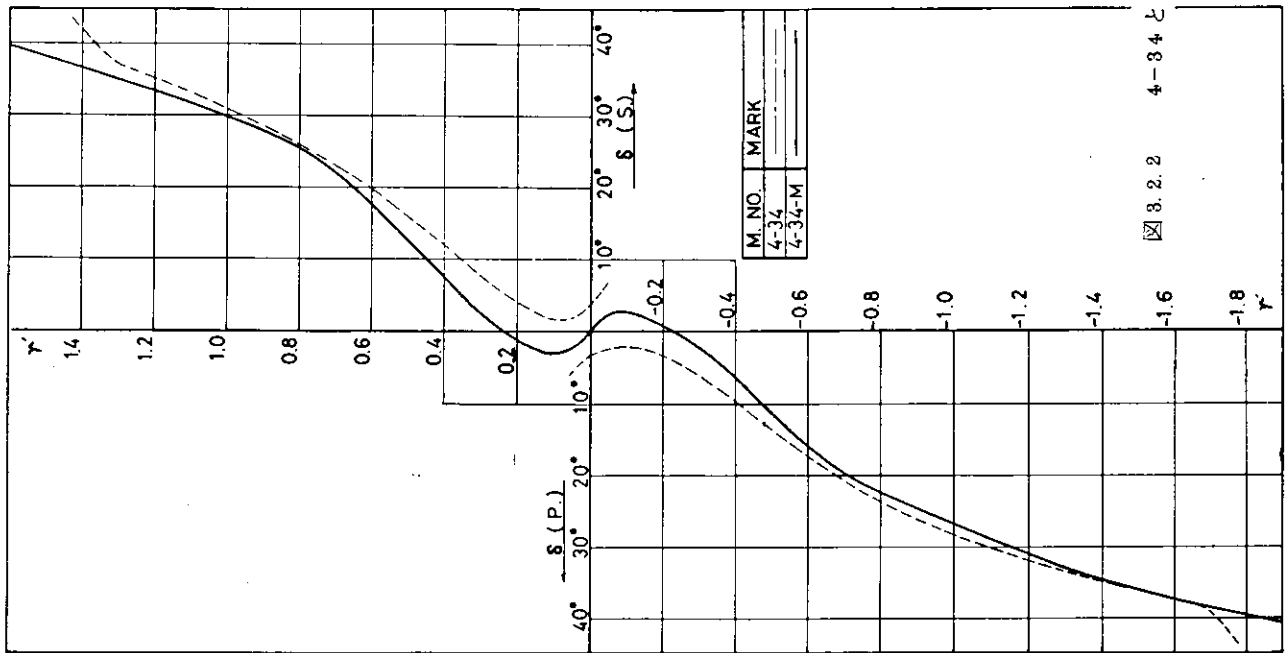


図 3.2.2 4-34 と 4-34-M との比較

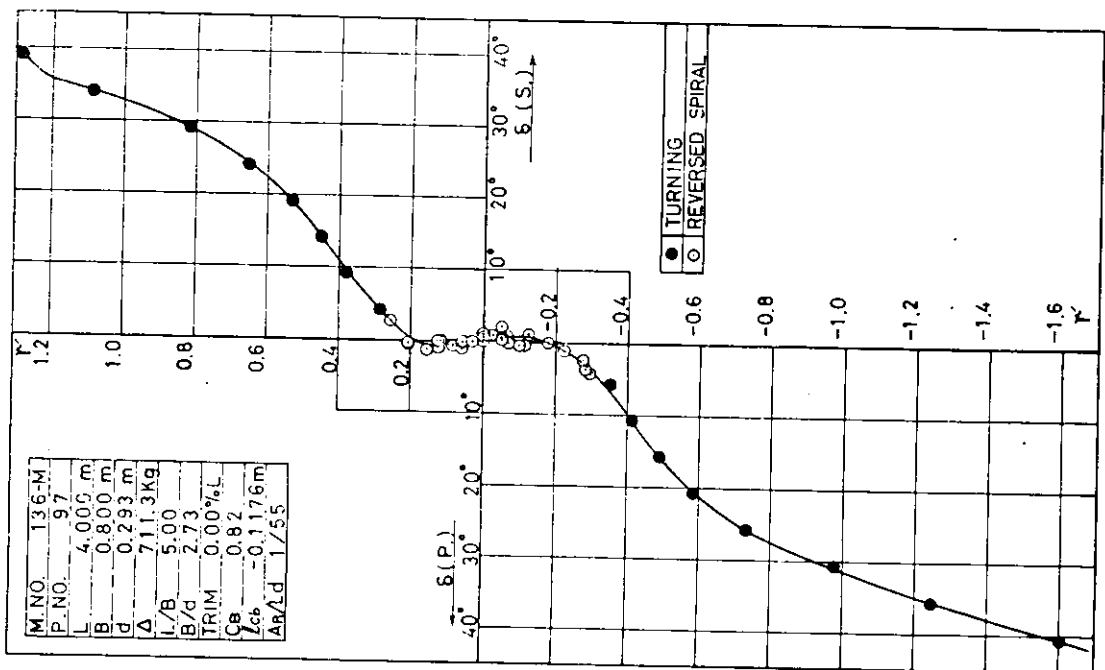


図 8.2.3 5-27-M の  $r'$ - $\delta$  曲線

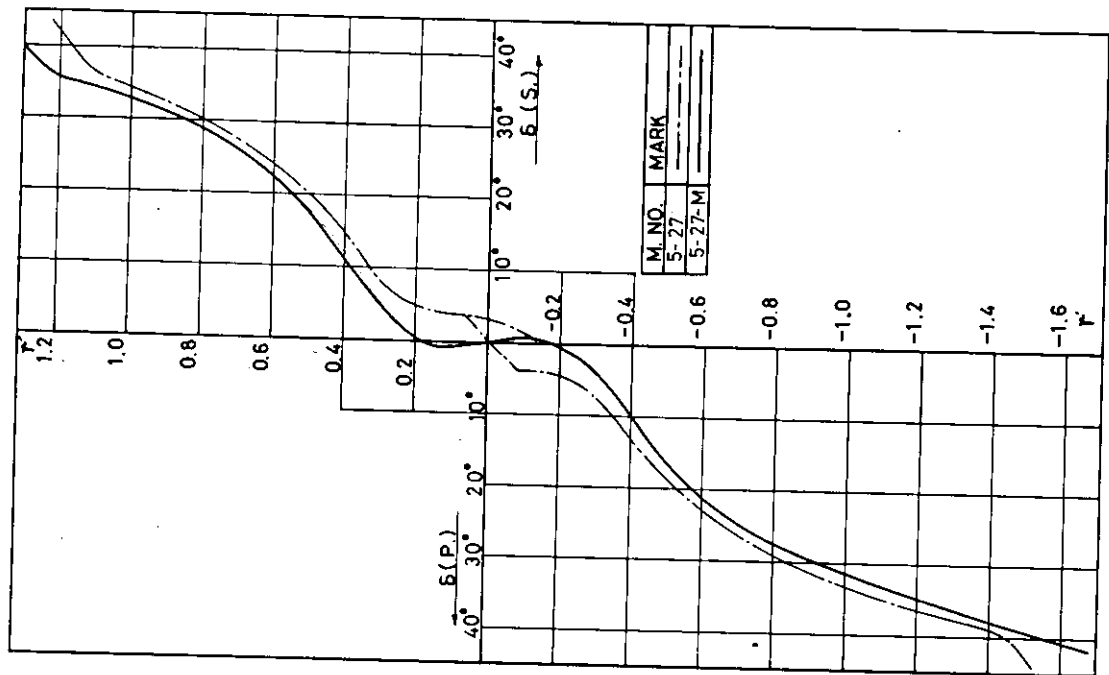


図 8.2.4 5-27 と 5-27-M との比較

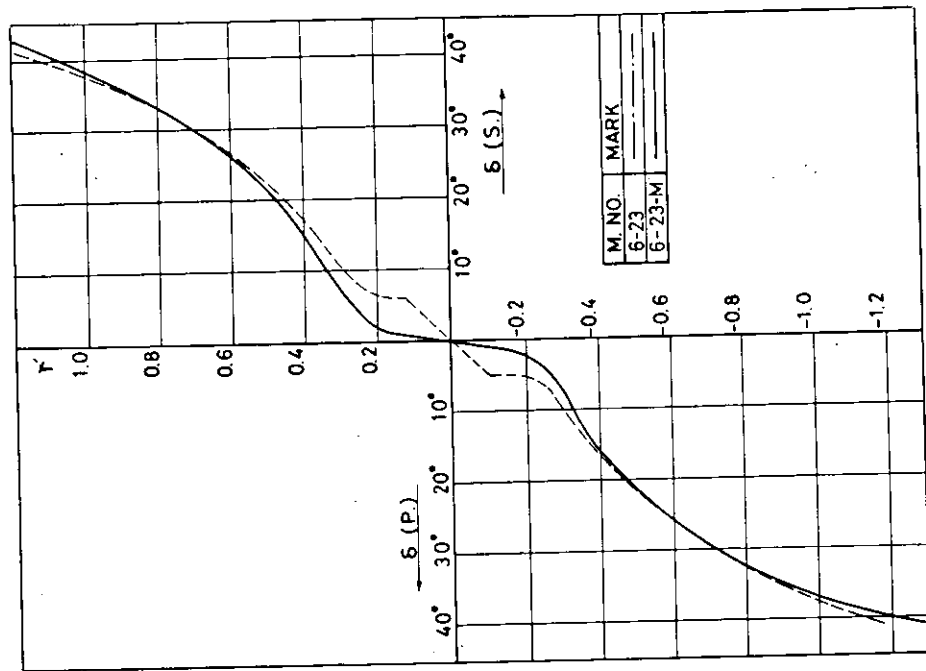


図 3.2.6 6-23 と 6-23-M との比較

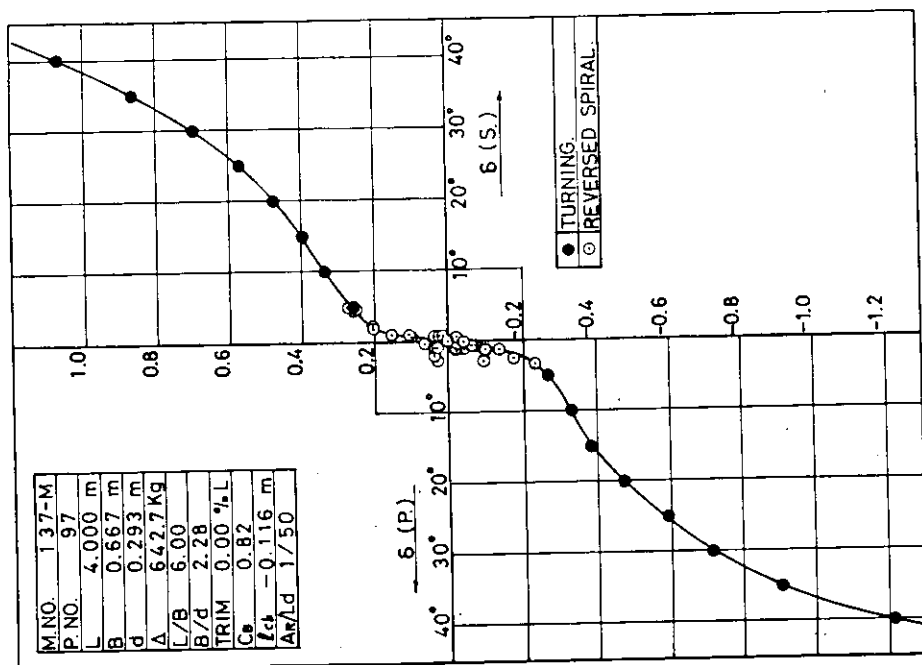


図 3.2.5 6-23-M の  $r' - \delta$  曲線

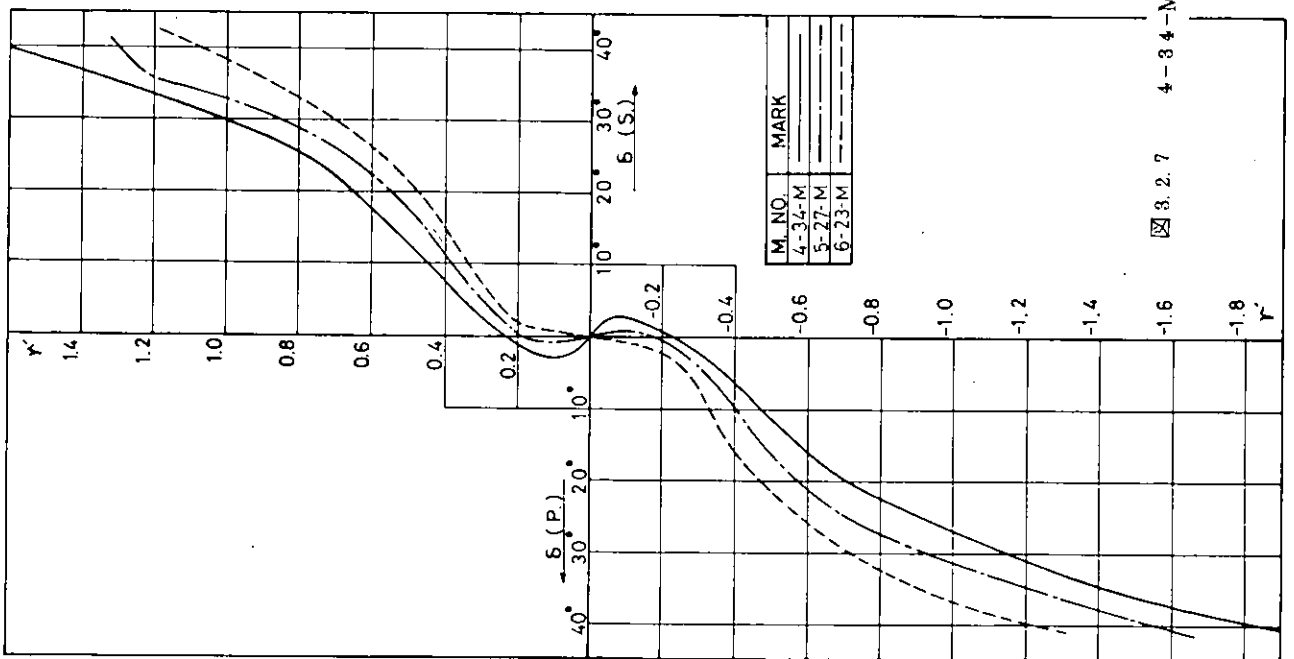


図 3.2.7 4-34-M, 5-27-M および 6-23-M の比較

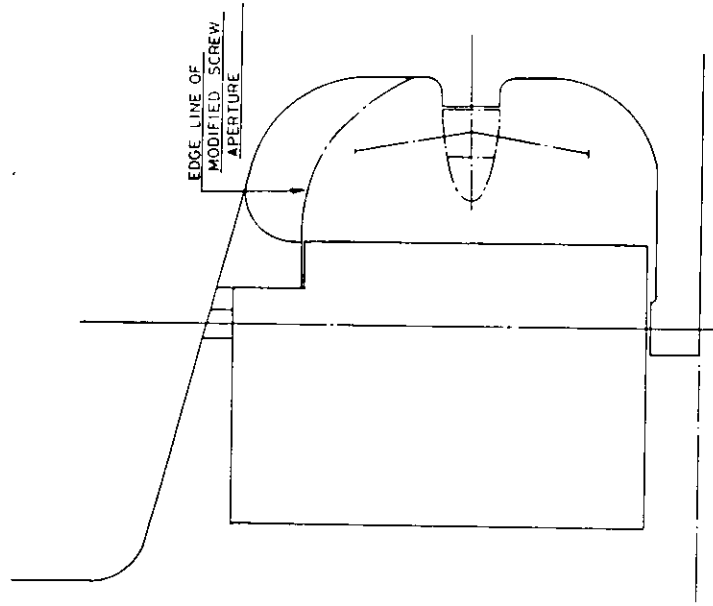


図 3.2.8 変型推進器孔 (5-27-M, 4-34-M)

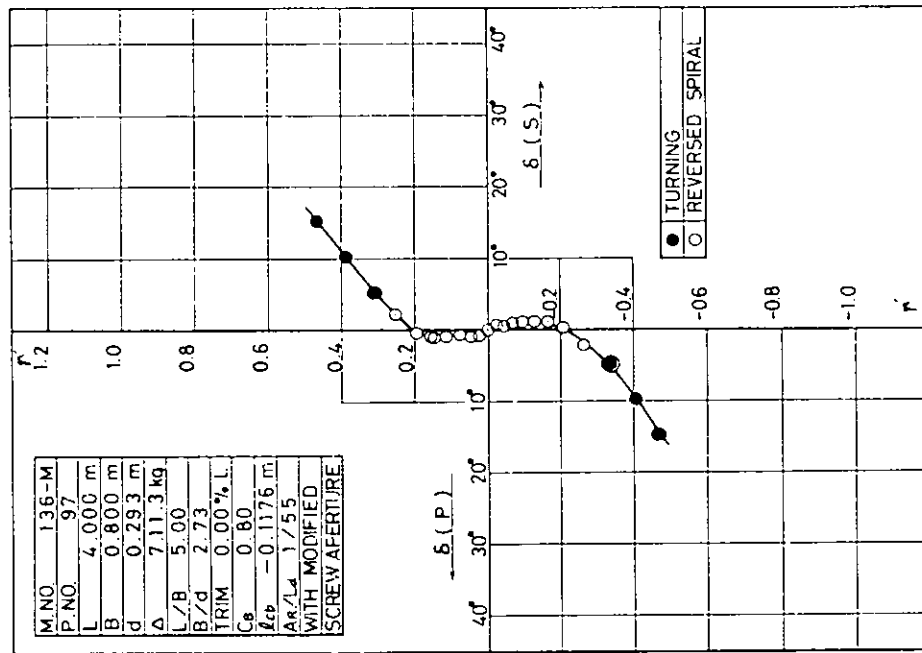


図 3. 2. 9 変型推進器孔の 5-2-7-M の  $r' - \delta$  曲線

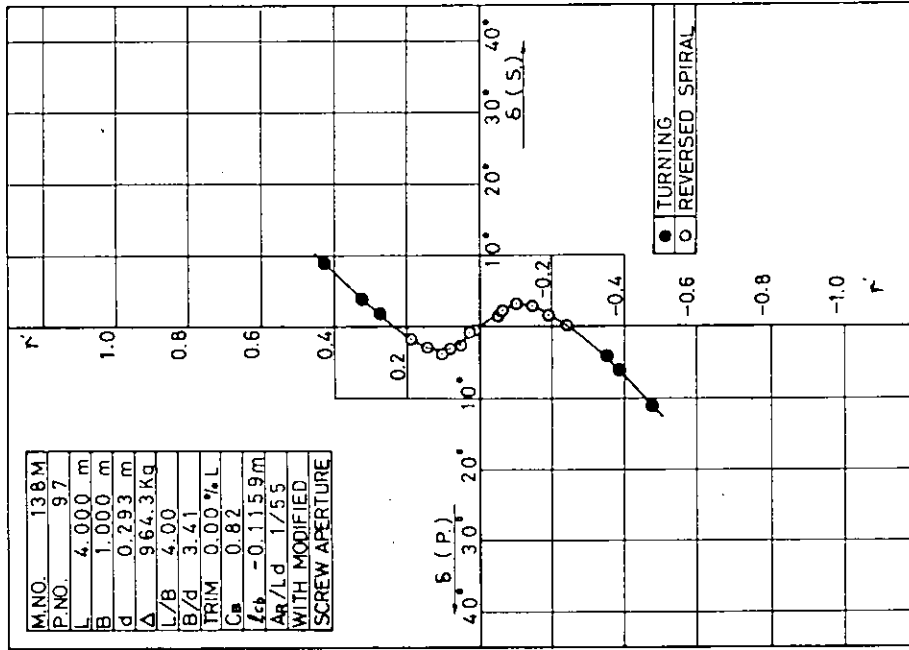


図 3. 2. 10 変型推進器孔の 4-3-4-M の  $r' - \delta$  曲線

### 3.2.2 大阪大学における実験結果

#### (1) 二軸船型母型

二軸船型母型の主要寸法等を表3.2.1に線図、舵、ボッソング等を図3.2.1.1～3.2.1.3にそれぞれ示す。

またこの二軸船型の船首は一軸船型5-27と全く同一であるが船尾は二軸のためそのプリズマティックカーブは一軸船型と若干異なっている。図3.2.1.4は両者のプリズマティックカーブを示す。

実験結果は図3.2.1.5に示す。 $r'-\delta$ 並びに図3.2.1.6に示す $I/K'$ 、 $I/T' \sim r'_m$ 特性が得られた。相当顕著な針路不安定を示している。

#### (2) 一軸船型4-27M、6-27M

実験結果は、4-27Mを図3.2.1.7～1.8に、4-27を図3.2.1.9～2.0にそれぞれ示す。

$r'-\delta$ 特性曲線の中、破線で示したものはもとの49年度の結果(Mなし船型)で、いずれの場合にもオーバーハングを下げた(Mつき)船型が針路安定性が悪くなり、異常安定の傾向は著しく減っている。

4-27Mの場合には逆スパイラル試験結果がバラついており、Z試験結果も不規則であるが、6-27では両者ともよくまとまっている。実験は日没の頃から未明にかけて殆ど無風と思われる状態で行なわれており、外乱の影響は無いと考えてよい。

表3.2.1 二軸母型船型主要寸法等(49年度報告参照)

		Ship	Model	
$L_{pp}$	m	46400	4000	
BM	m	9280	0800	
$d_M$	m	3400	0293	
CB		0820		
Lcb, % of $L_{pp}$		299	Fore	
L/B		500		
B/d		2729		
Propeller	Type	AU5		
	Dia	m	9000	007759
	P. Ratio	0733		
	E. A. R.	0720		
	Z	5		
$A_R/L_d$		1/100×2		
Re. Number		$3.1 \times 10^9$	$2.0 \times 10^6$	
Note		Speed: 15.5 Kt Froude No. 1.118	Studs were Planted at F.P. and 9 1/2 Ord. Main Motor : 100W D.C. Motor M. No 301	

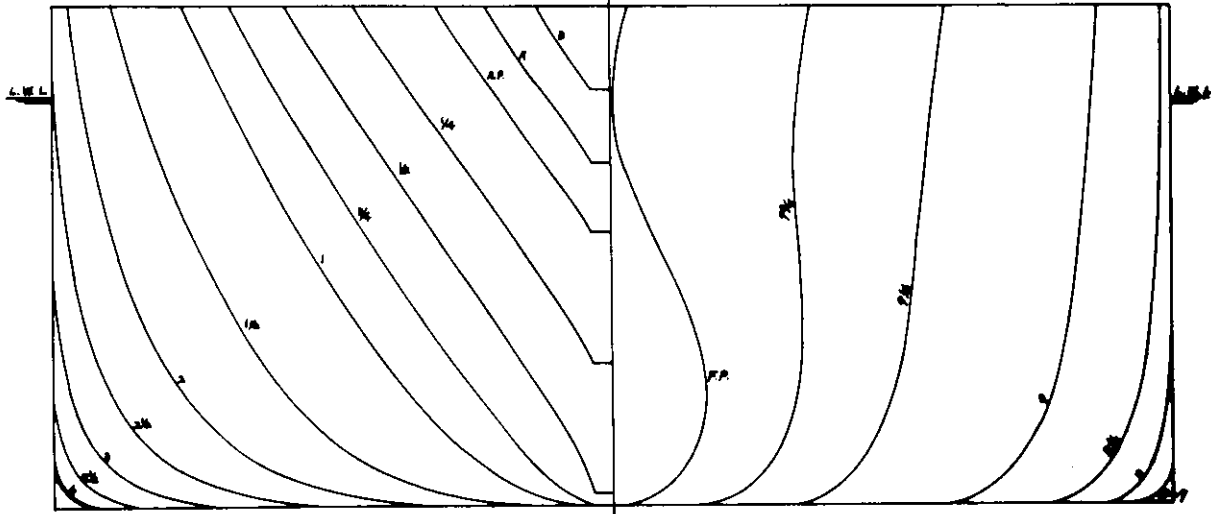


図 3.2.11 二軸母型 body plan

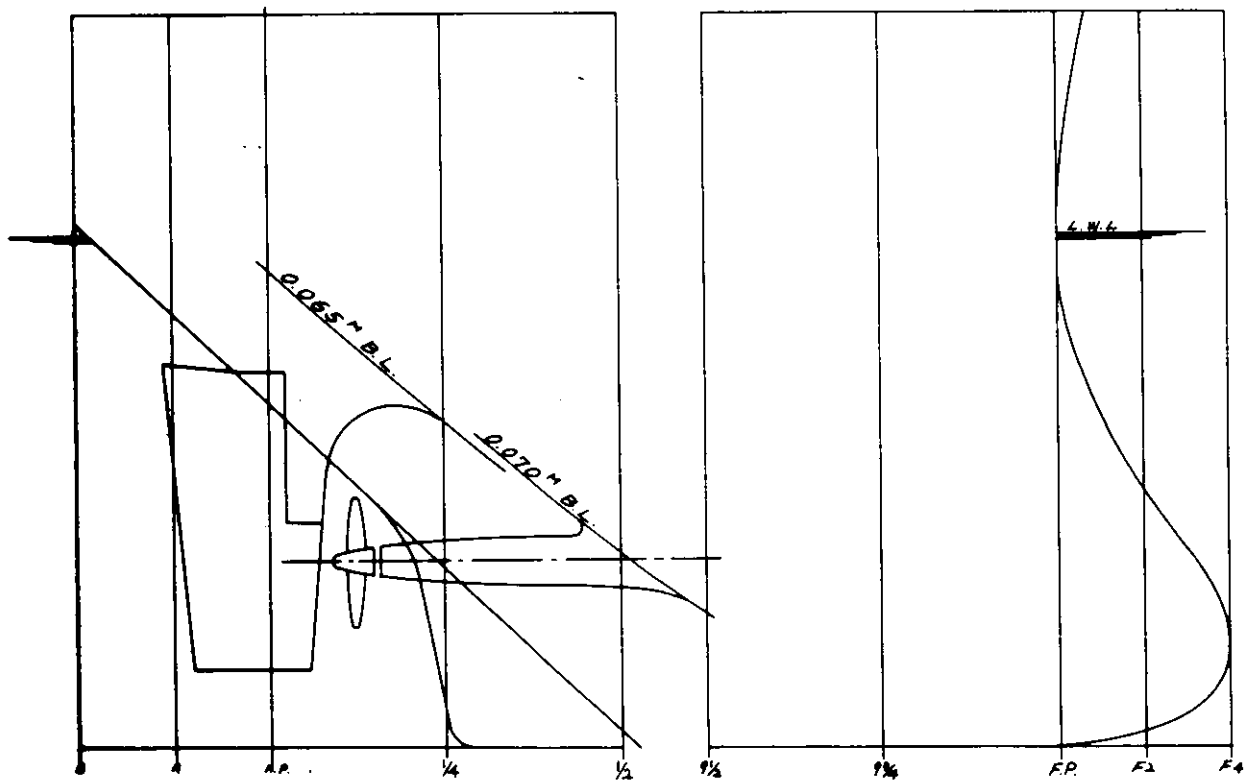


図 3.2.12 二軸母型 船尾プロフィール



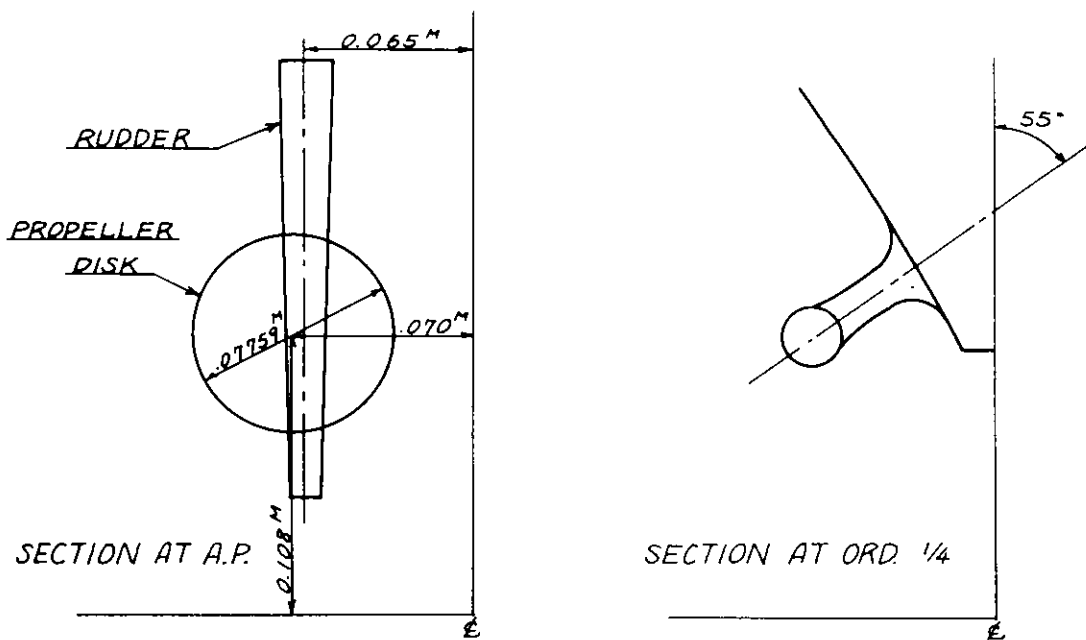


図 3.2.13 二軸母型 船尾配置参考図

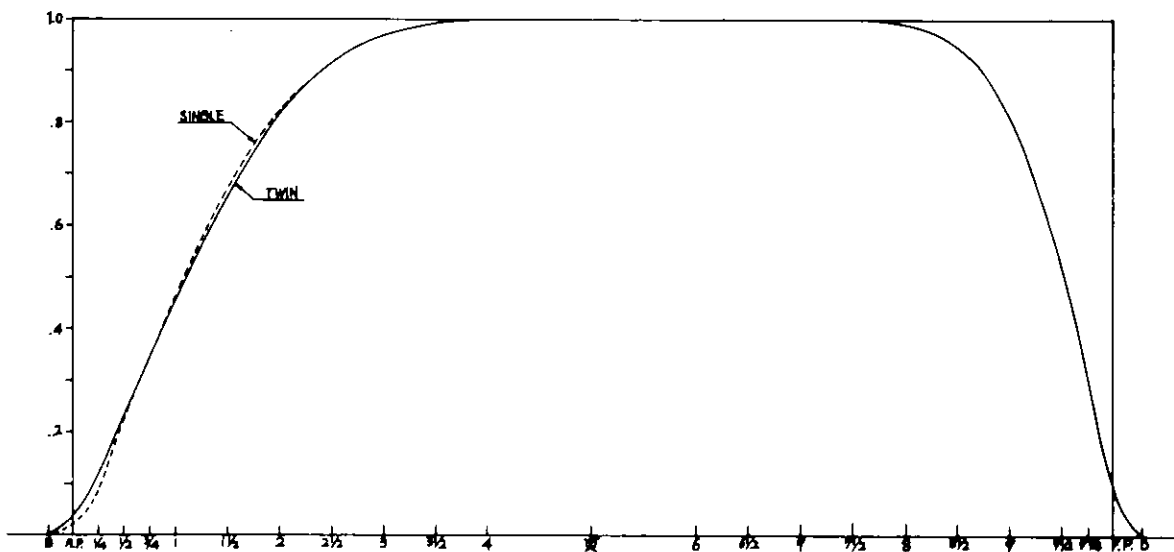
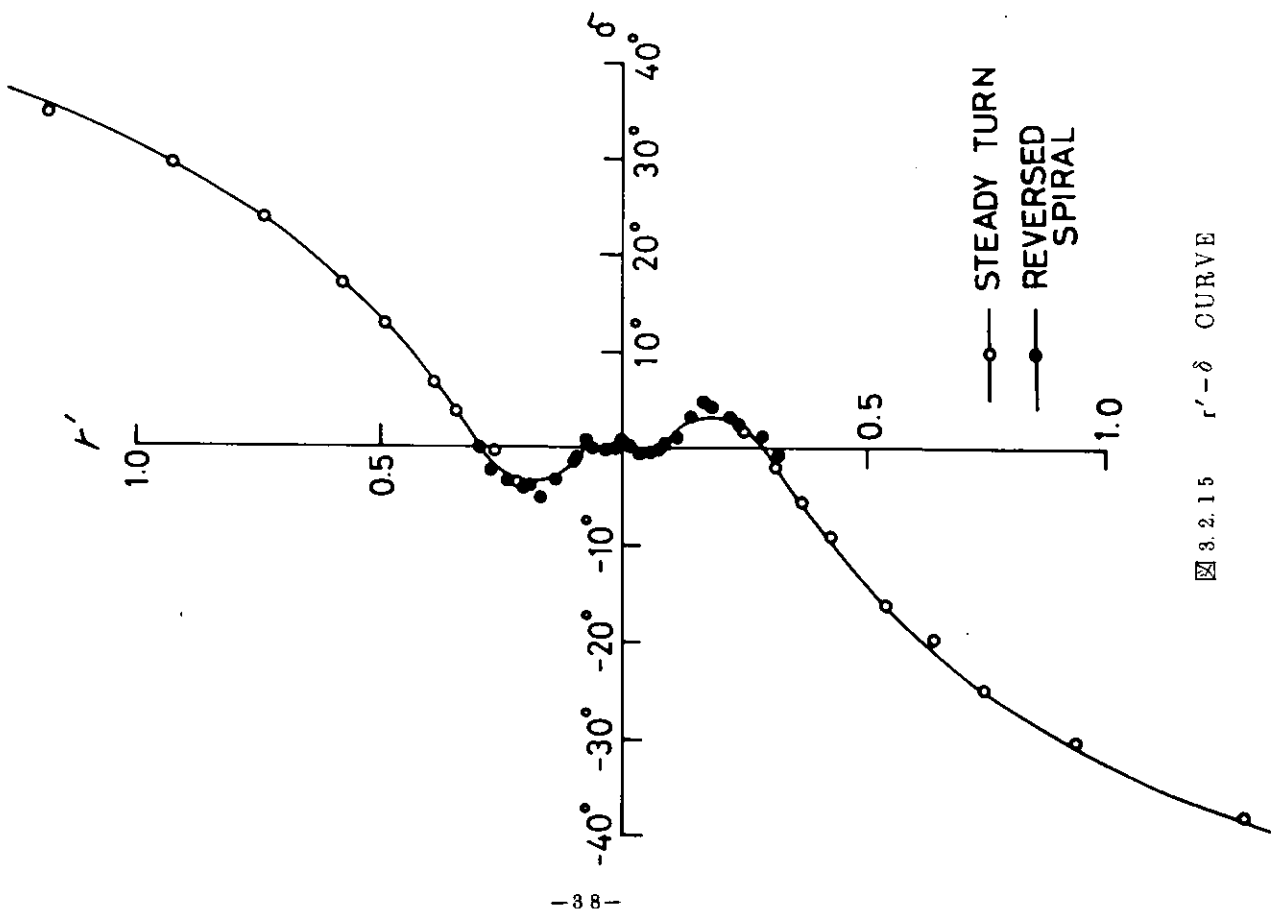
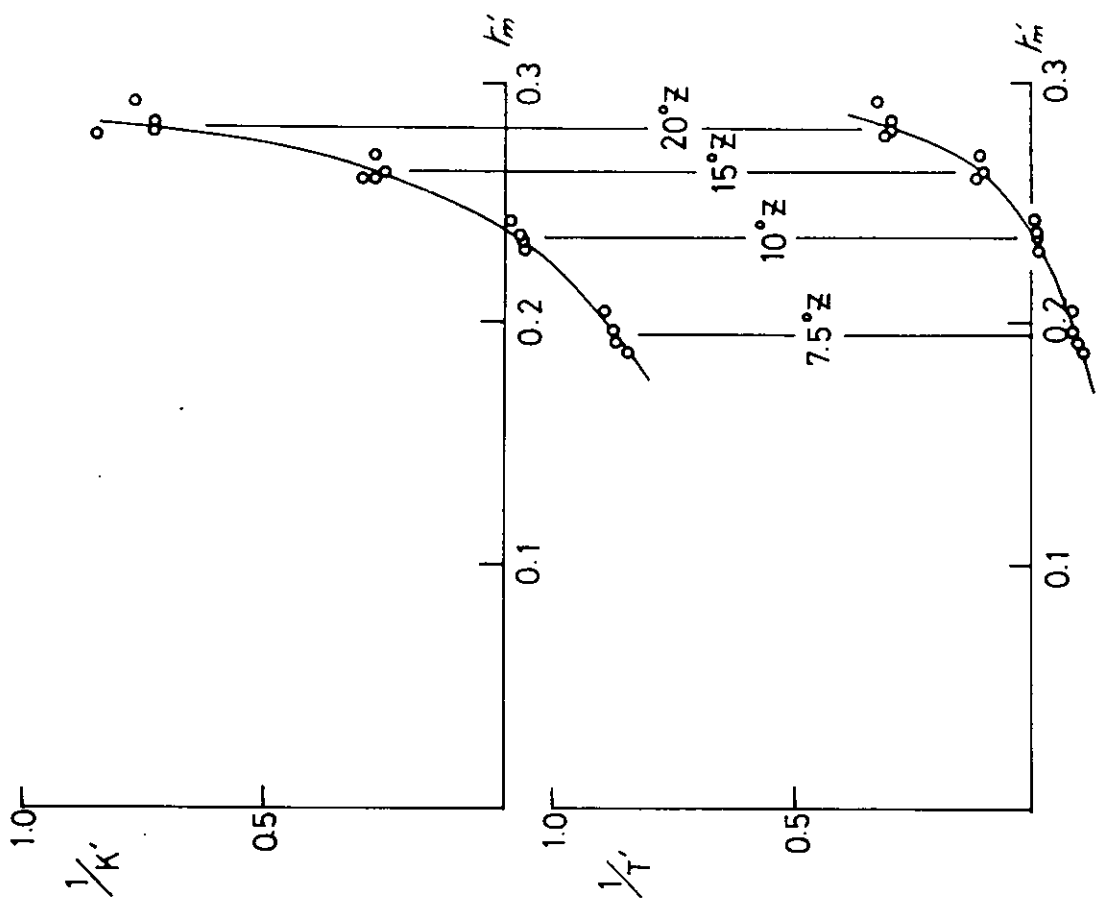


図 3.2.14 二軸母型 プリズマ曲線



3.2.15  $r'-\delta$  CURVE



3.2.16  $1/K', 1/T \sim r'_m$  CURVES

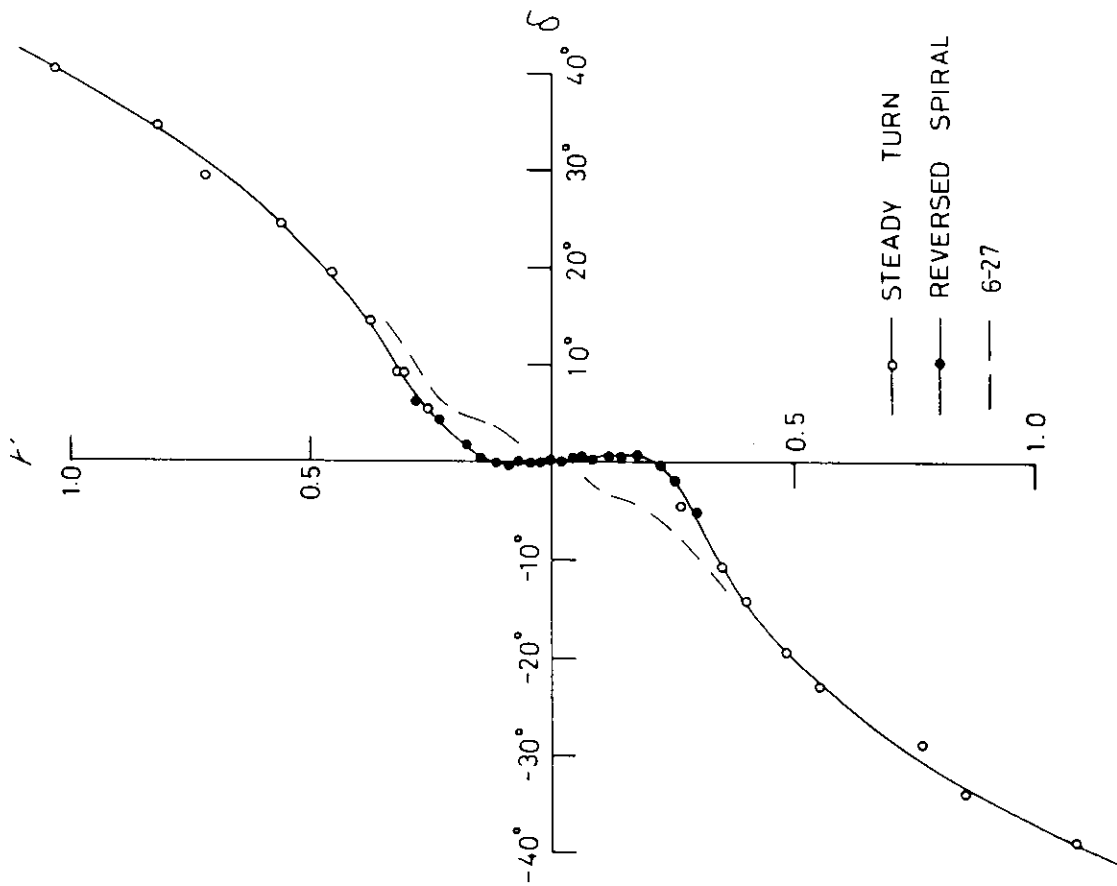


Fig. 3.2.17  $r' \sim \delta$  CURVE FOR 4-27M

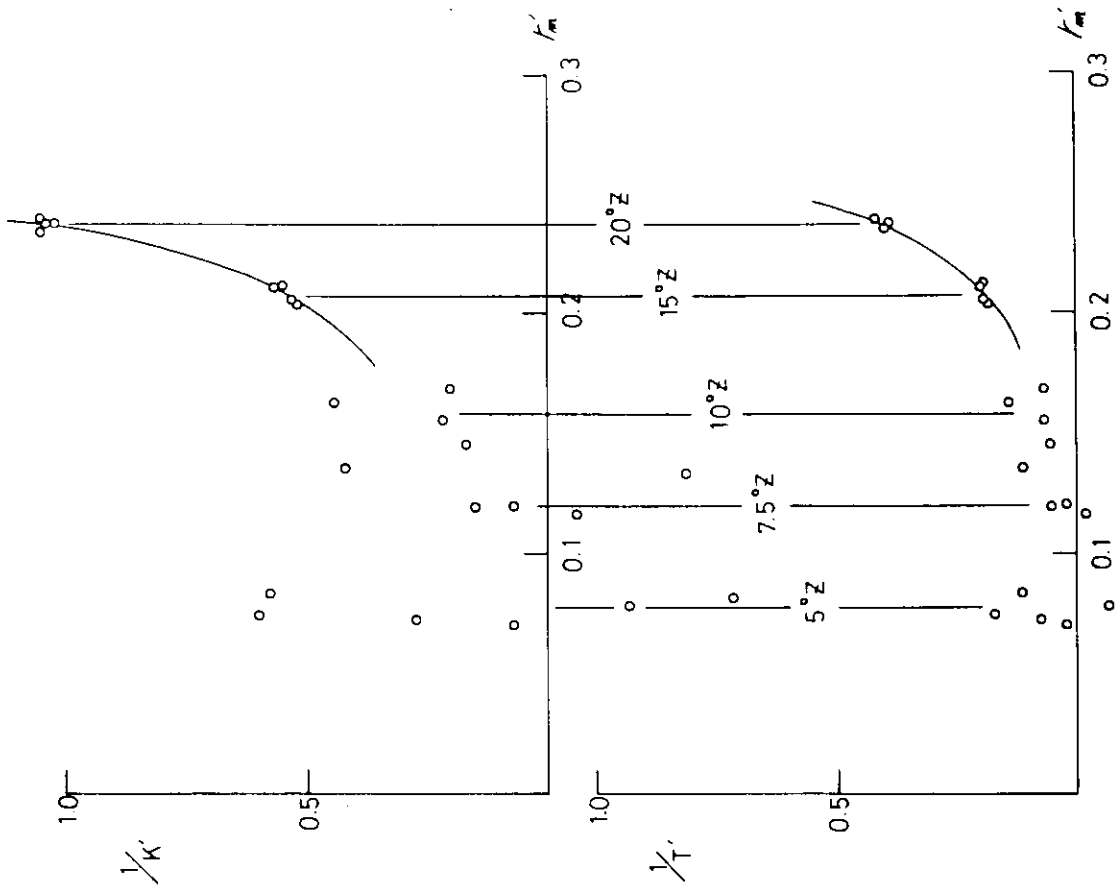


Fig. 3.2.18  $1/K', 1/T' \sim r'_m$  CURVES FOR 4-27M

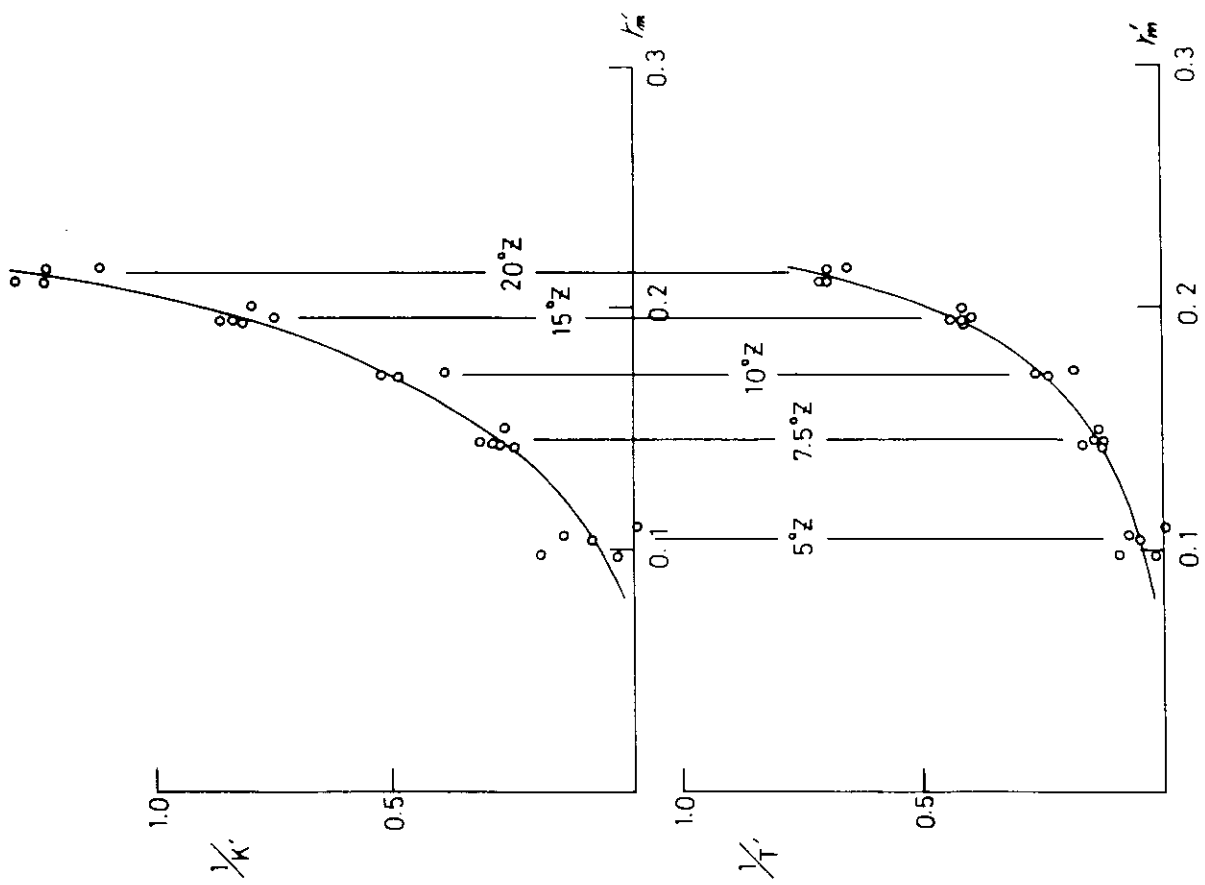


图 8.2.20  $1/K'$ ,  $1/T' \sim r'm$  CURVES FOR 6-27M

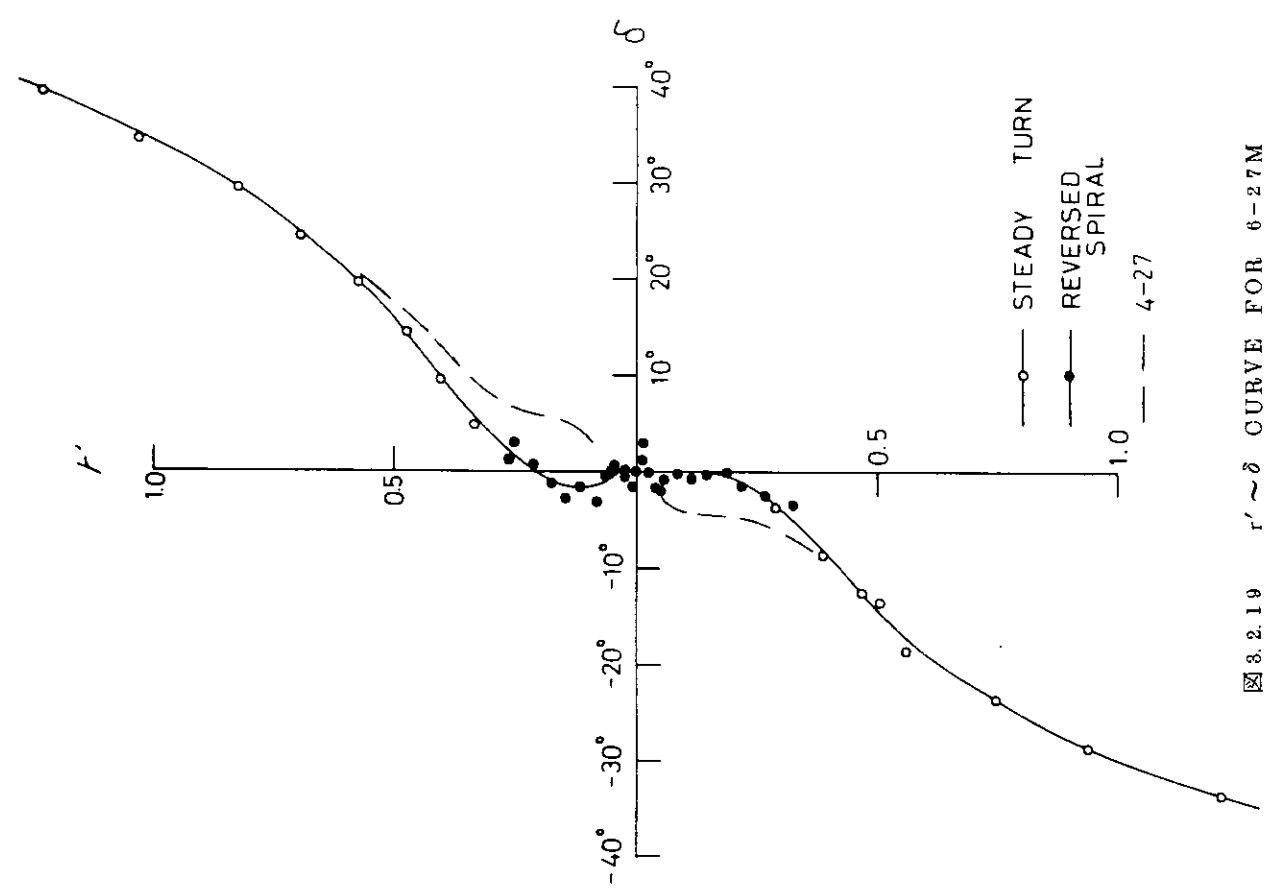


图 8.2.19  $r' \sim \delta$  CURVE FOR 6-27M

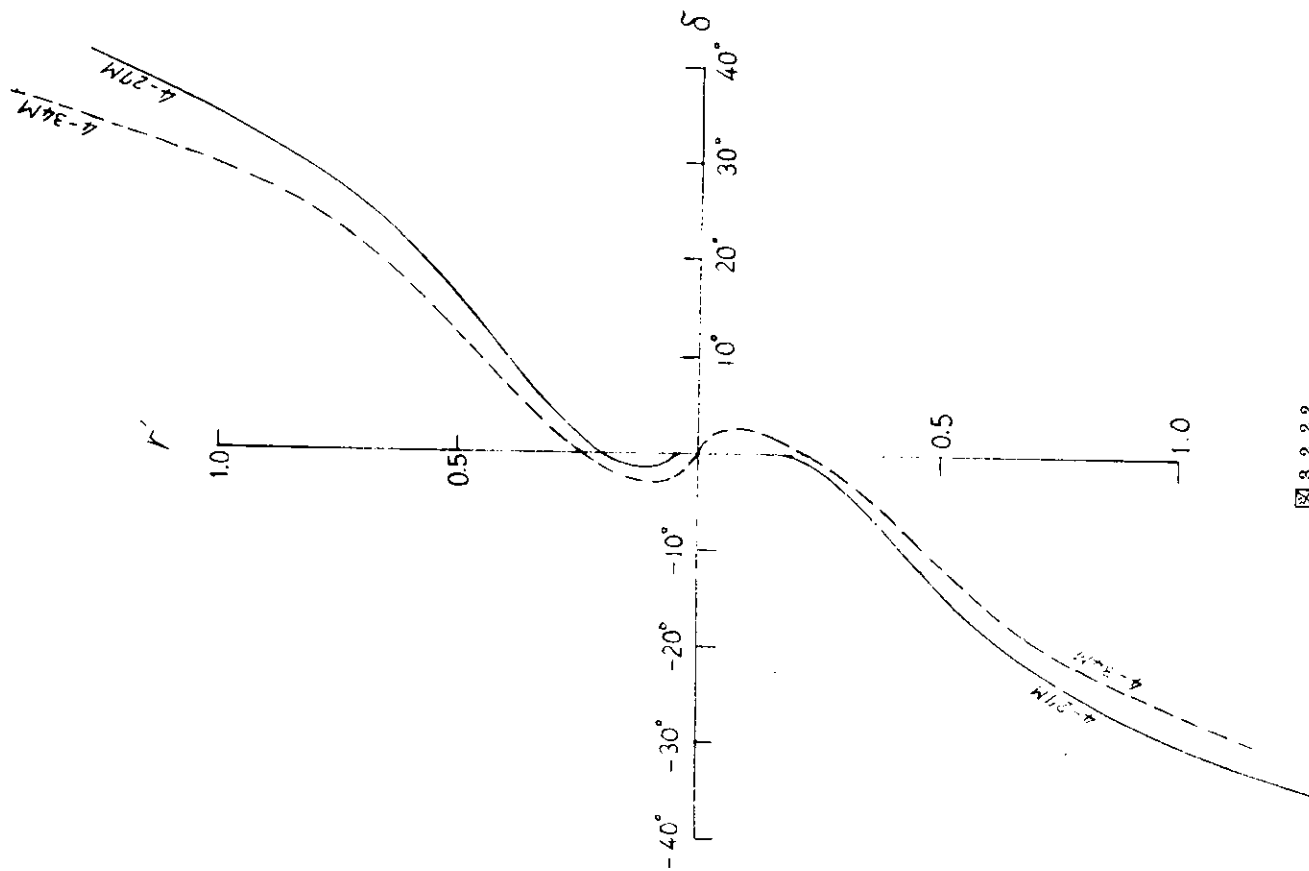


图 3.2.2.2

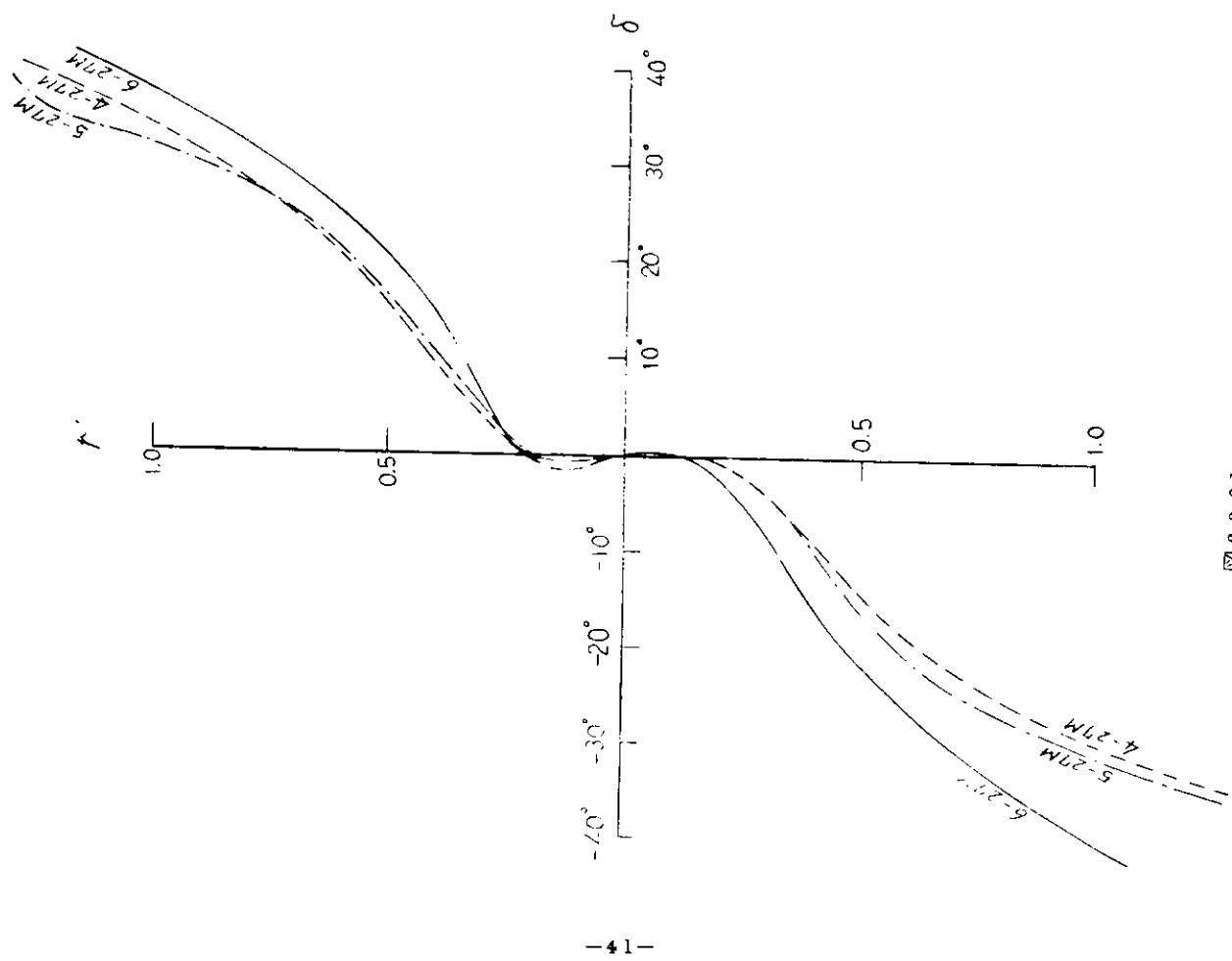


图 3.2.2.1

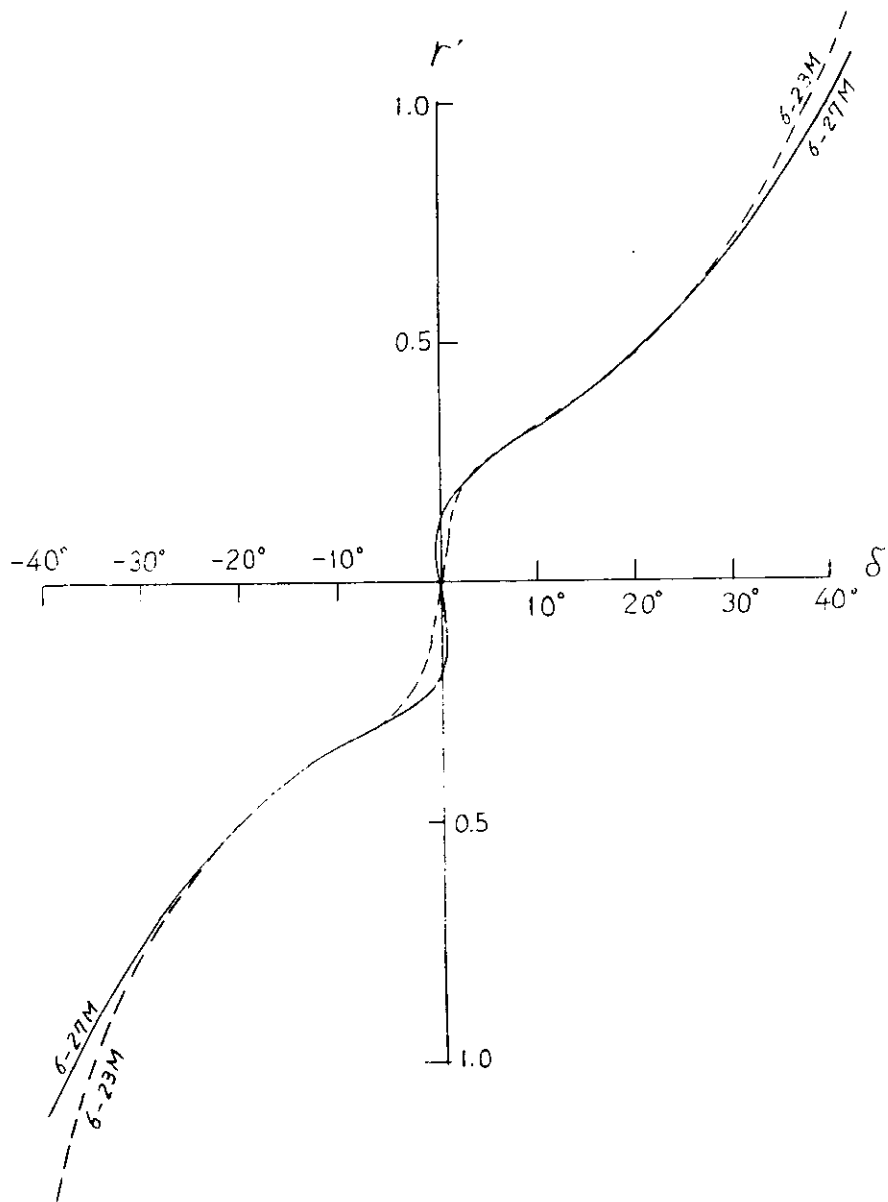


图 8.2.23

### 3.2.3 東京大学における実験結果

2.5 m 模型による自航試験は当初計画にはなかったが次節に述べる拘束模型実験の経過からみて、4 m 模型とはかなり異なる操縦性能を示すことが予想されたため、4-34 船型について逆スパイラルテストを行なった。

試験の方法は、模型を定常速力になるまで台車で曳航加速した後自航状態に移し、X-Y台車により自動追跡をしながら、舵を手動で±5°に動かしながら行なった。

実験結果は図 3.2.24 に示すとおり、4 m 模型が示した著しい異常現象は現われていない。図に示す実線は次節に述べる拘束模型の実験から求めた操縦性微係数をもとに計算した平衡状態を示す曲線で、およその傾向としては自航状態と合っていると見えよう。参考のため、昨年度九州大学で行なわれた、5-27 型 2.5 m 模型のスパイラル試験の結果と、本年度東京大学で行なった拘束模型の結果から求めた  $r'-\delta$  曲線を図 3.2.25 に示す。

模型の大きさによってこのような大きな差を生じたことは、更めて肥大船の操縦性解析の困難さを認識させらるものであるが、来年度は多小不備のあった逆スパイラル試験を改良して再実験を行なうと共に 4 m 模型の拘束試験を、特に船尾・舵付近の流れの挙動に焦点をおいて行なう必要がある。

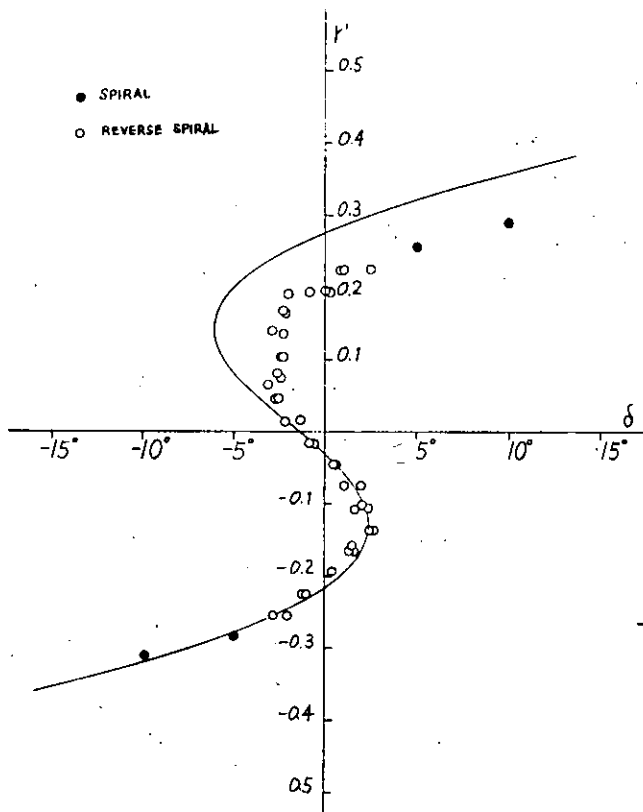


図 3.2.24 4-34  $r'-\delta$  曲線

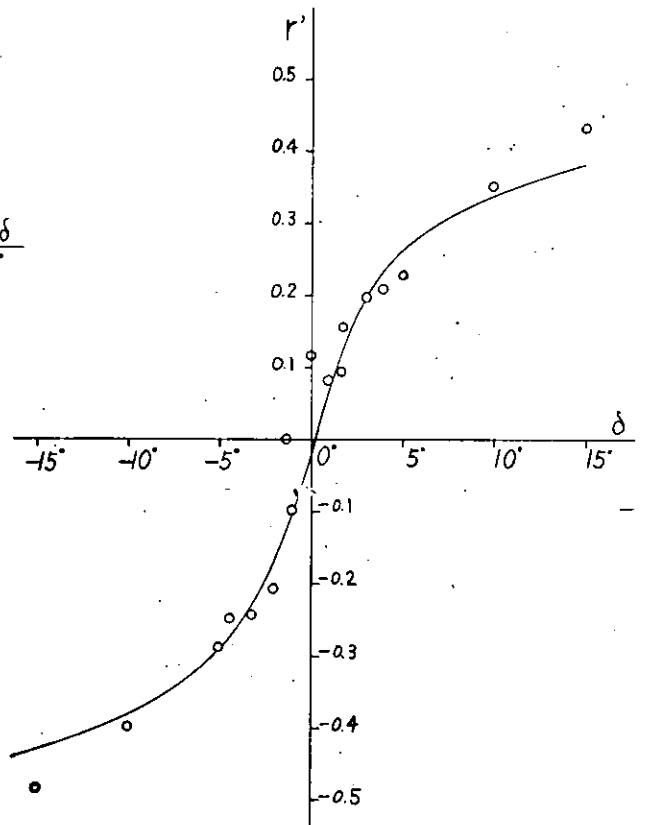


図 3.2.25 5-27  $r'-\delta$  曲線 (九大)

### 3.3 拘束模型による実験

#### 3.3.1 CMTによる拘束模型実験結果

X-Y台車をミニコンにより制御し、円周の一部に沿って模型を曳航する装置を昨年度完成し、Quasi Rotating Arm Testとして報告したが、これを新たにCMT (Circular Motion Test) と呼びこととした。

本年度はこれを使って、5-27型および4-34型の2隻の2.5m模型について拘束模型実験を行った。なおプロペラ回転数は直進自航点に合せた。昨年度の4m模型による自航試験で著しい異常現象を示した4-34型模型については、船体に加わる流体力に加えて、舵力を計測して船体と舵の相互影響について調査した。

CMT結果を図3.3.1~4に示す。図中のプロットは無次元角速度(L/R)に対応した実験点、実線はこれらの実験点をもとに

$$Y' = Y'_0 + Y'_v V' + Y'_{rr} r' + Y'_{vv} v'^2 r' + Y'_{vrr} v' r'^2 + Y'_{vvv} v'^3 + Y'_{rrr} r'^3$$

$$N' = N'_0 + N'_v V' + N'_{rr} r' + N'_{vv} v'^2 r' + N'_{vrr} v' r'^2 + N'_{vvv} v'^3 + N'_{rrr} r'^3$$

の形に最小2乗法により当てはめた結果である。横力およびモーメントは、 $\frac{1}{2} \rho L^2 d U^2$  および  $\frac{1}{2} \rho L^2 d u^2$  で無次元化している。CMTにより求めた操縦性微係数を表3.3.1に、また求めた微係数をもとに計算した  $r'-\delta$  曲線を図3.2.21~22に示す。

舵と船体の相互影響には

- (1) 舵(舵角)が船体に及ぼす影響
- (2) 船体が舵に及ぼす影響

があり、船体および舵の単独特性から操縦運動の総合特性を推定するとき、後者については幾何学的有効舵角に整流係数  $r$  の補正を行なうのが普通である。

$$\delta_e = r \left( \beta + \frac{1}{2} r' \right)$$

異常現象を起すような肥大船では、船尾付近の流場が複雑となり、このような従来の整理の方法が利用できるかどうかは疑問である。

まず、舵が船体に及ぼす影響を見るため、直進状態において舵角をかえ、舵に加わる力  $Y_R$  と船体と舵に加わる力  $Y$  およびモーメント  $N$  を測定した。結果を図3.3.5~6に示す。これらの図によると  $Y$  および  $N$  の中で舵単独の寄与はそれぞれ85%および80%であり、残りは操舵によって変化した船尾付近の流れの変化に基づく、船体による流体力の変化によって生じていることになる。

つぎに、船体が舵におよぼす影響であるが、既に湯室氏により肥大船では斜航状態において整流係数が  $\beta$  によってかなり変化することが示されているが、舵への幾何学的流入角  $\beta + \frac{1}{2} r'$  についても、肥大船では  $\beta$  と  $r'$  の寄与が異なる可能性がある。これを調べるために舵角を0とし、

- (1) 斜航のみの場合  $\beta \neq 0, r = 0$
- (2) 旋回のみの場合  $\beta = 0, r \neq 0$
- (3) 斜航と旋回を組合せた場合  $\beta \neq 0, r \neq 0$

について舵に加わる横力を測定した。

$r' + 2\beta$  を横軸にとって実験点をプロットすると図3.3.8のようになり、斜航の場合と旋回の場合とでは明らかな差が見られる。試みに横軸を  $r' + \beta$  にとってみると図3.3.8のようになり、斜航・旋回およびそれらを組合せた場合とも一応の整理がつくことがわかる。

以上を総合すると、4-34のような幅広肥大船型では、船体と舵との相互影響が著しく、従来の方法で船体と舵を分離して扱うことは非常に困難であり、現在のところ船体と舵を一体として扱うほかないと考えられる。



これは実験点の数が増えるという点でも問題であるが、設計の際の舵面積の決定を非常に困難にするものであり、舵力を分離できるような整理の方法を早急に研究しなければならない。

表 3. 3. 1 CMTにより求めた操縦性微係数

	5-27	4-34
$Y_o'$	0.0051	-0.0007
$Y_v'$	-0.3618	-0.3047
$Y_r'$	0.1622	0.0977
$Y'_{vvv}$	1.7384	-2.1803
$Y'_{vrr}$	0.6242	-0.8768
$Y'_{vvv}$	-1.6075	-5.3369
$Y'_{rrr}$	-0.2462	0.1462
$N_o'$	0.0029	0.0017
$N_v'$	-0.1333	-0.1188
$N_r'$	-0.0861	-0.0596
$N'_{vvv}$	-0.0084	-0.1202
$N'_{vrr}$	0.3315	0.1352
$N'_{vvv}$	0.4934	0.5820
$N'_{rrr}$	0.0947	-0.0286

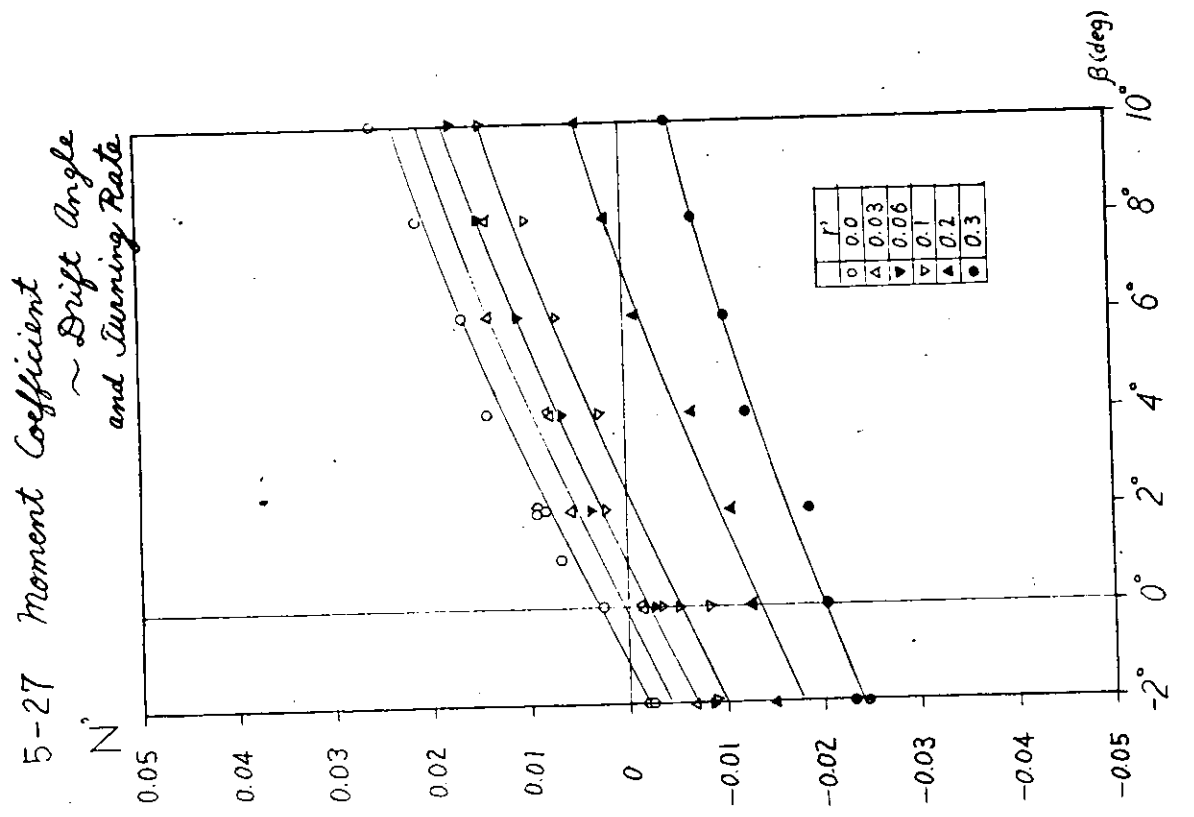


図 3.3.2 5-27 CMT結果 (モーメント)

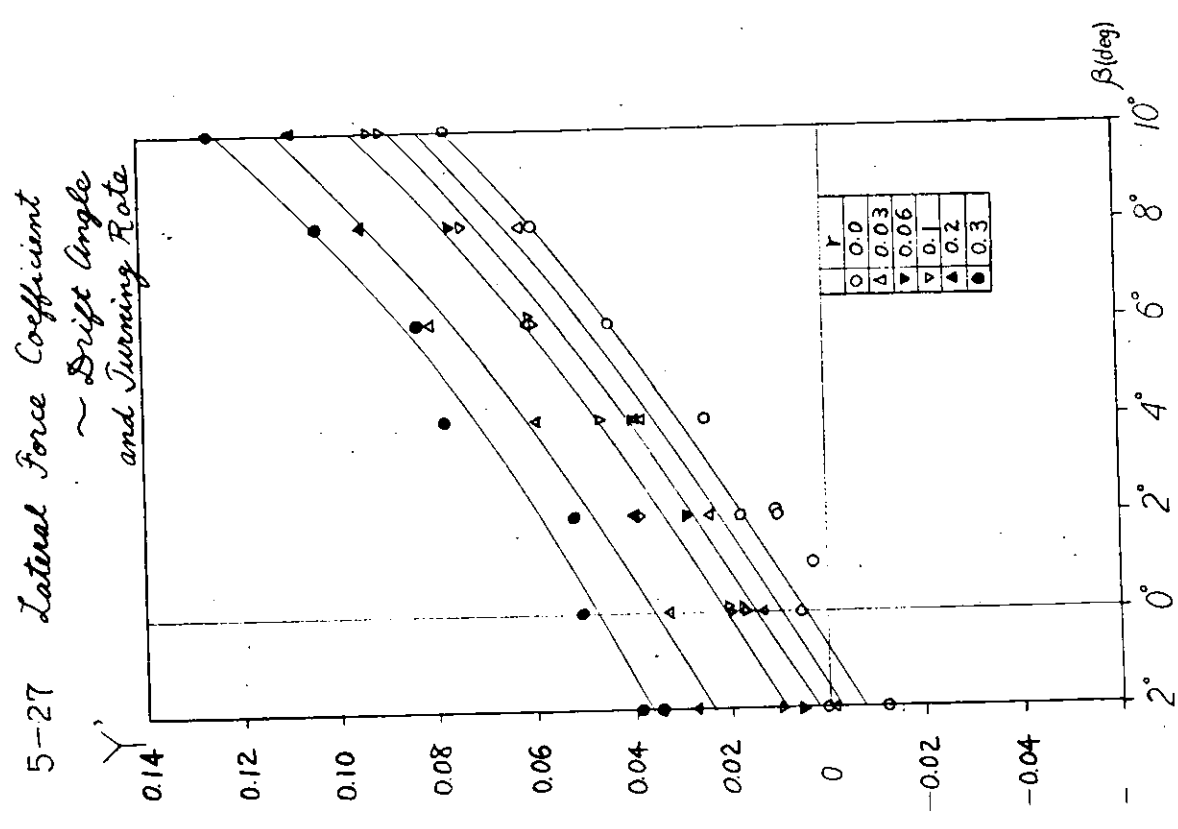


図 3.3.1 5-27 CMT結果 (横力)

4-34 Lateral Force Coefficient  
~ Drift Angle  
and Turning Rate

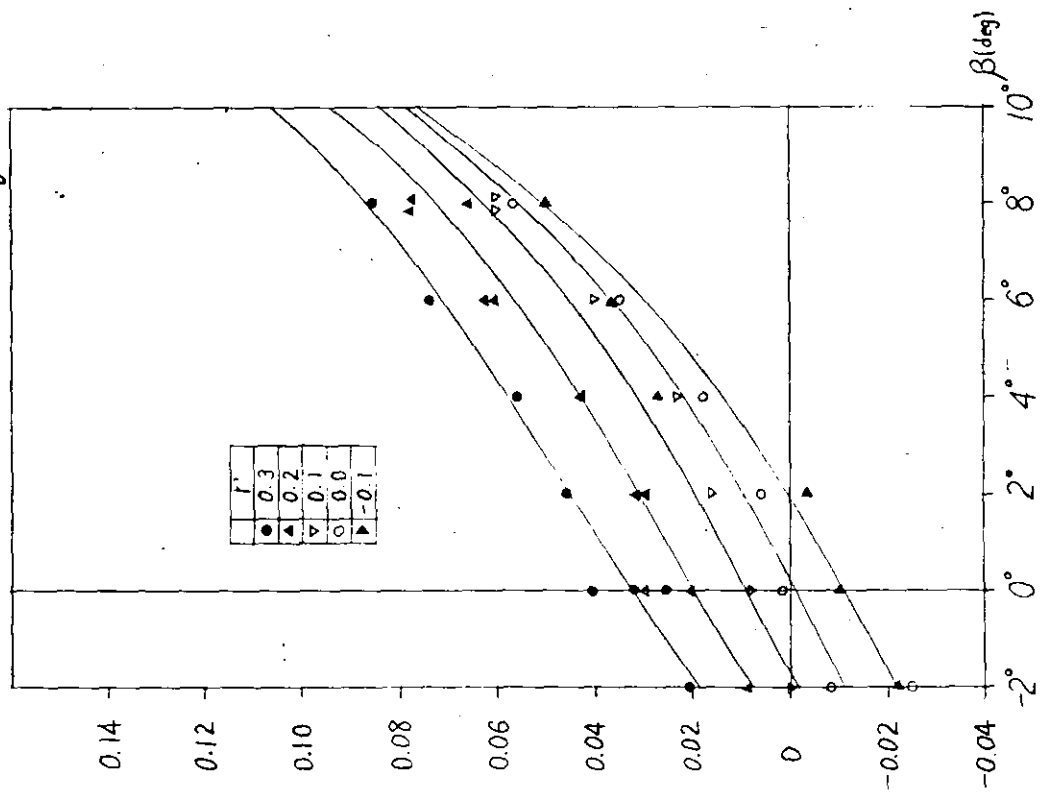


図 3.3 4-34 GMT 結果 (横力)

4-34 Moment Coefficient  
~ Drift Angle  
and Turning Rate

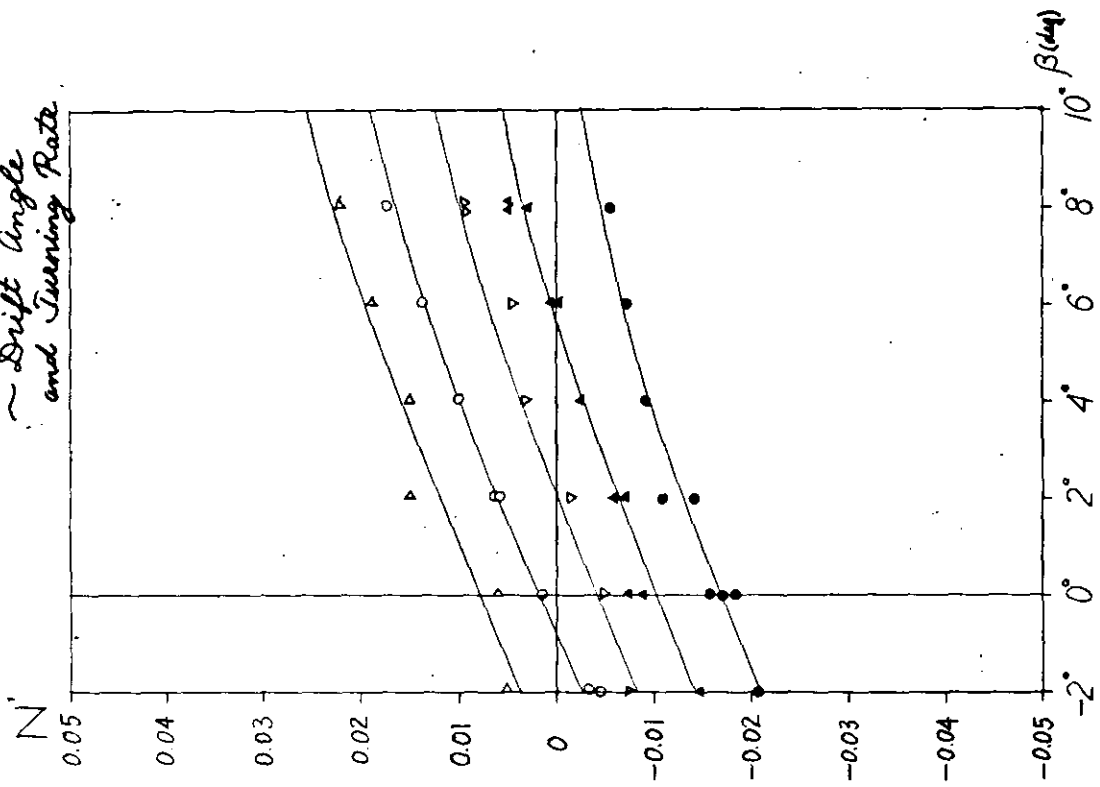


図 3.3.4 4-34 GMT 結果 (モーメント)

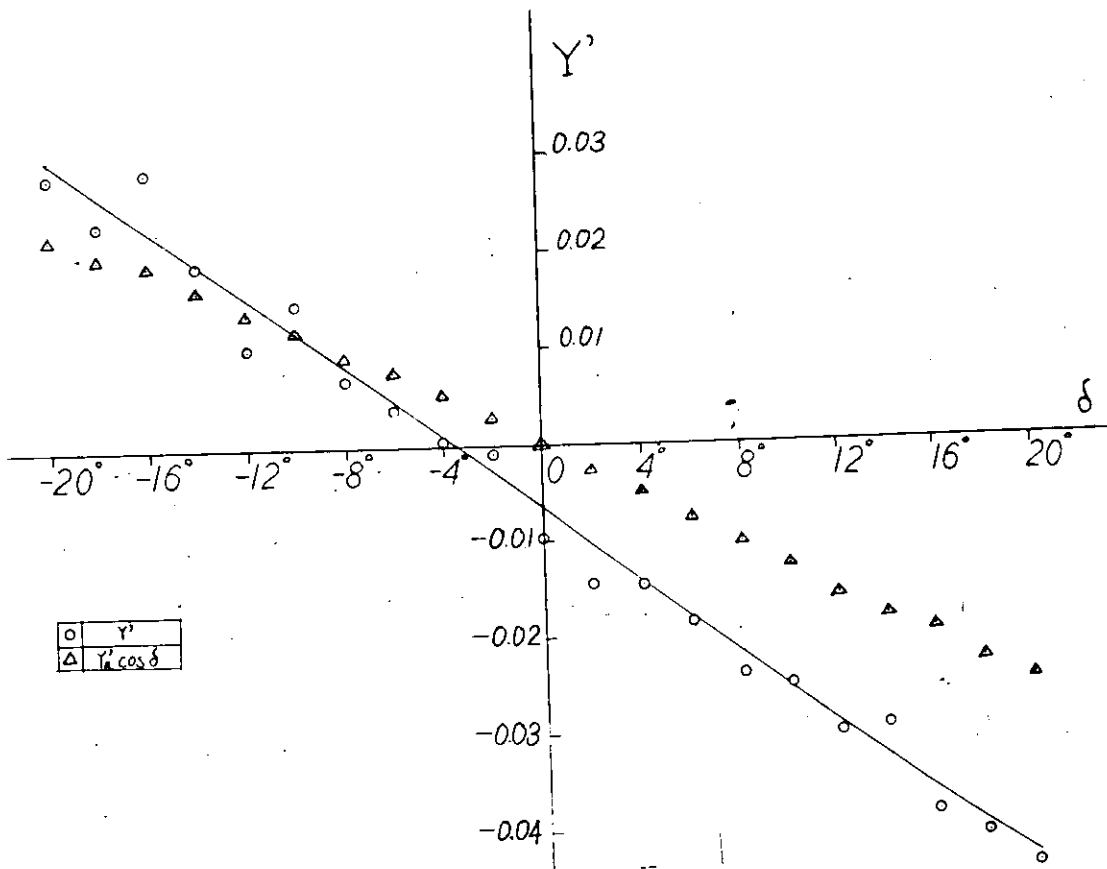


図 3.3.5 操舵が船体に及ぼす影響

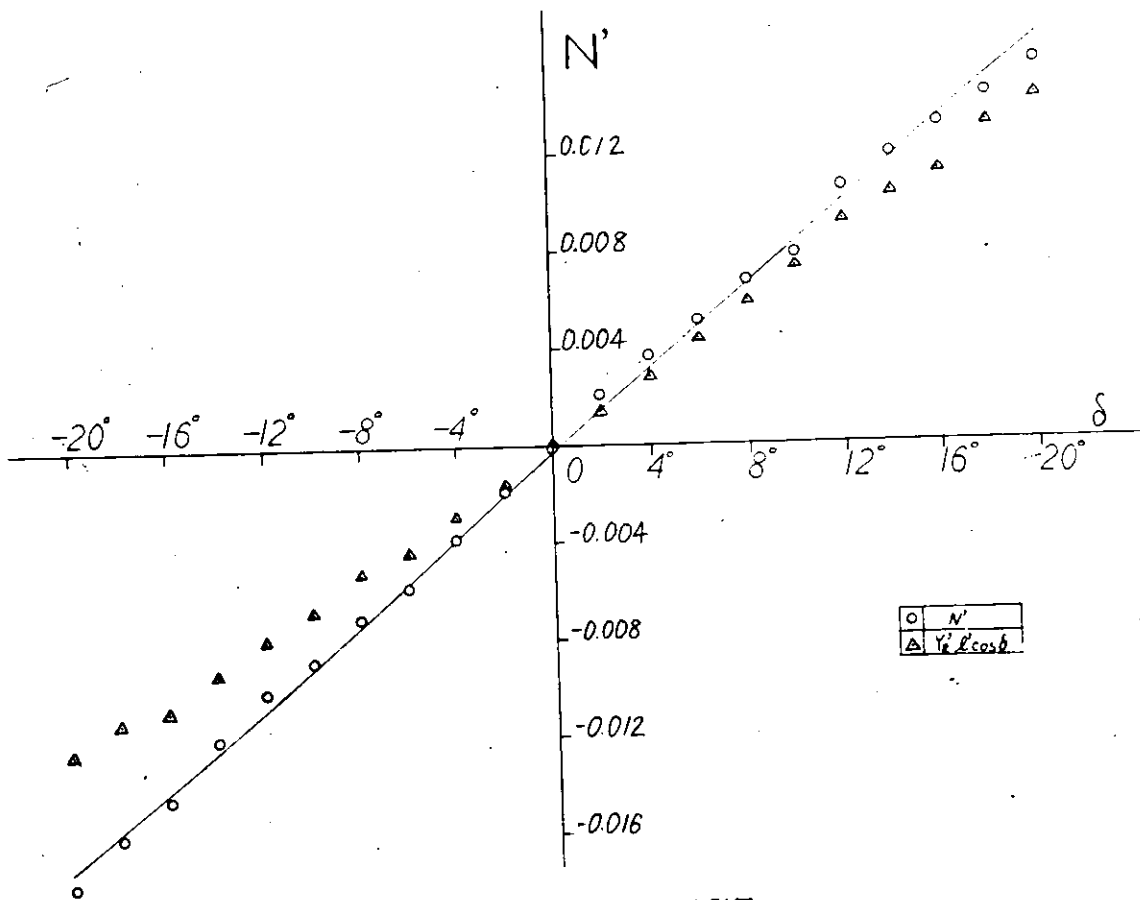


図 3.3.6 操舵が船体に及ぼす影響

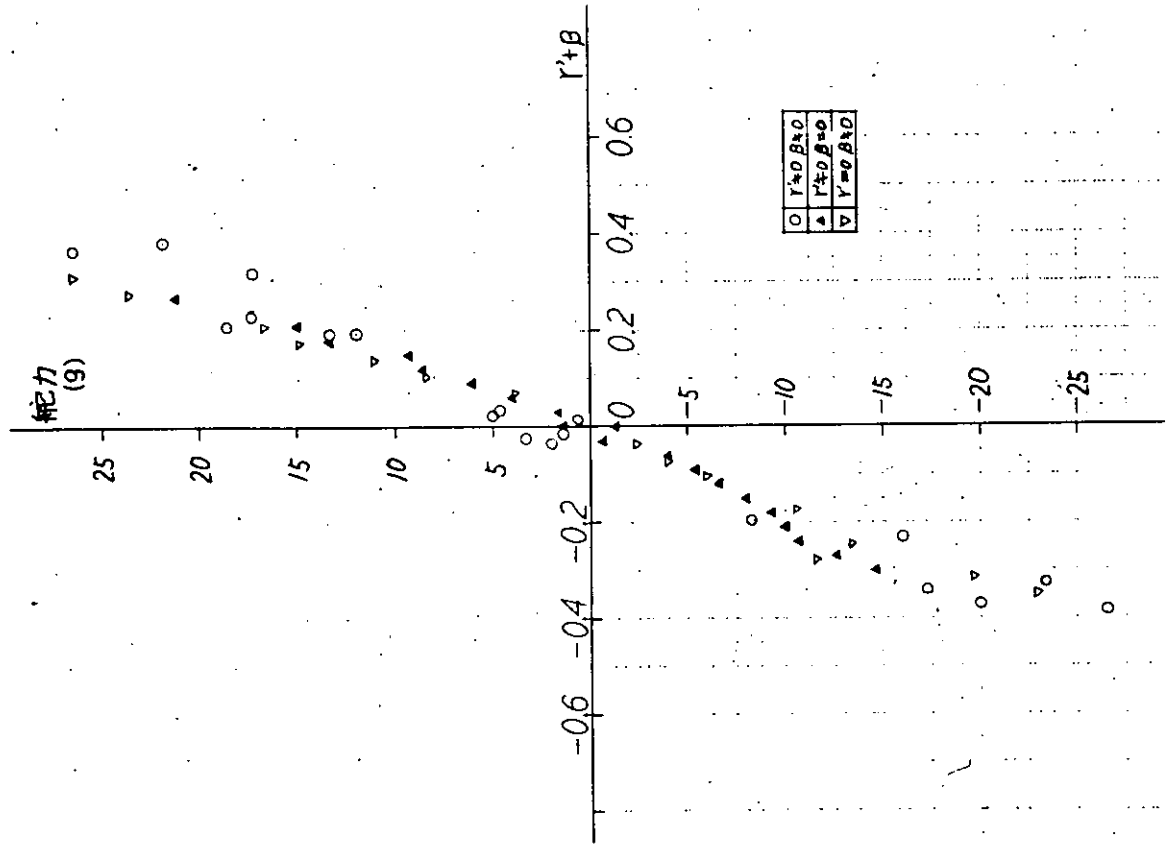


図 3. 3. 8 船体運動が舵力に及ぼす影響

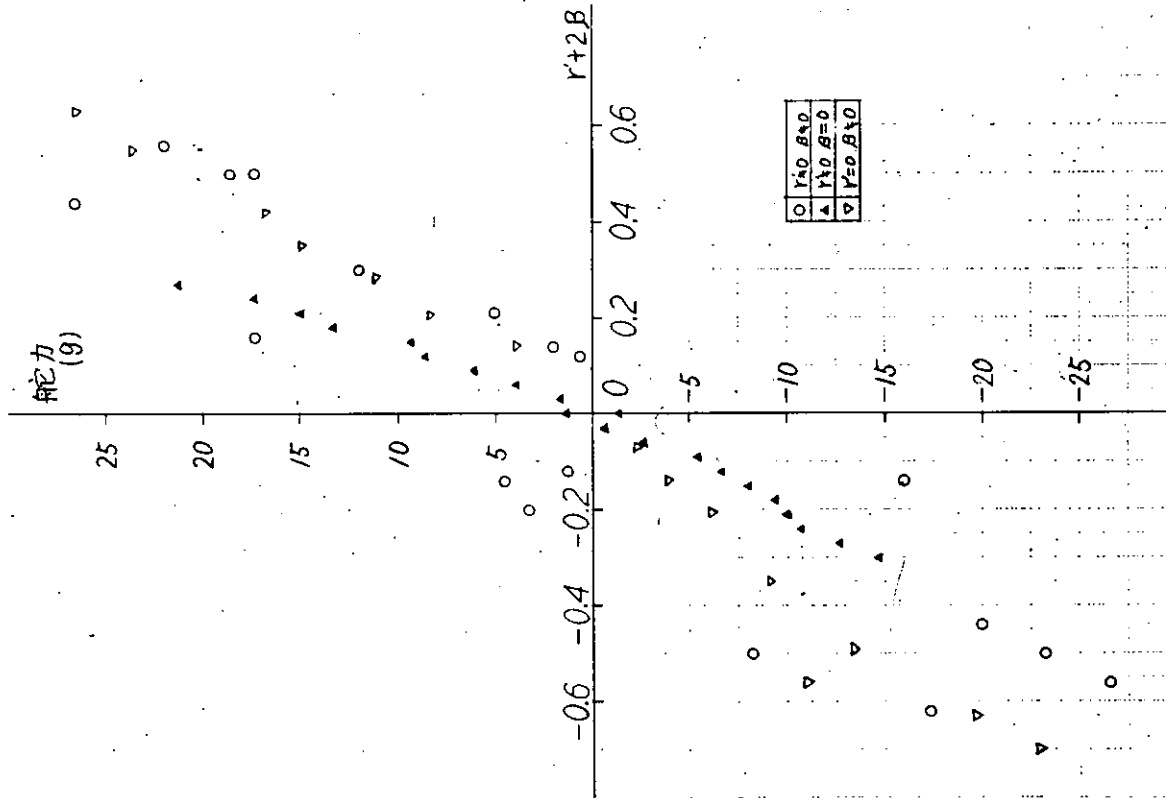


図 3. 3. 7 船体運動が舵力に及ぼす影響

### 3.3.2 拘束模型浅水実験（船研におけるPMM装置による実験）

#### (1) 概要

巾広肥大船の操縦微係数とその水深による変化を調べるため、昨年度のシリーズ・テストに用いた4 mの模型船（母型、5-27船型）を使用し、船研中水槽において、浅水および深水中での操縦性試験を行った。

実験装置は、機構部は昨年度、制御部と計測部は今年度製作したが、製作と相互調整に予想以上に時間をとられ、実験のための水槽使用時間が大巾に減少した。装置そのものも実際に使用してみて種々の不具合な点が出て来たが、改造は時間的に不可能なためそのまま実験を行った。

実験は、浅水では水深を3種類かえ、斜航試験、舵力試験、Pure Swaying Testを行った。深水では上記3つの試験の他に、Pure Yawing Test、Combined Motion Testも行った。解析は、先に述べた理由により実験点数も少く実験、計測精度を充分高くとれなかったため、線型解析にとどめた。

#### (2) 実験装置

本装置は、船研中水槽において長さ4 m程度の模型船を用いて、深水および浅水域における、低周波領域での船体に働く流体力をheave、pitch、rollをfreeにし、正弦信号を含め任意の信号によるsway、yaw、surgeの強制偏揺により求める装置で、以下にその要目、性能を示す。

駆動振巾	sway	0 ~ ± 5.0 cm
	yaw	0 ~ ± 3.0 °
	surge	0 ~ ± 2.0 cm
駆動方式	sway、surge	ボールネジによるサーボモーター
	yaw	歯車によるサーボモーター
駆動制御方式		サイリスタ方式によるアナログ制御
上下可動距離		0 ~ ± 5.0 cm
自由動揺範囲	heave	0 ~ ± 5 cm
	pitch	0 ~ ± 5 °
	roll	0 ~ ± 2.0 °
流体力測定範囲	sway force	0 ~ ± 2.0 Kg
	yaw moment	0 ~ ± 2.0 Kg · m
	surge force	0 ~ ± 5 Kg
制御信号周期範囲	定格負荷	1.4 ~ 14.0 sec
（正弦信号時）	無負荷	5 ~ 14.0 sec

#### (3) 実験状態

模型船は母型5-27船型を使用した。水深は、深水と浅水での3水深、計4水深とった。

水深 (H)	水深吃水比 (H/d)
3.50 m	1.1947
0.59 m	2.014
0.47 m	1.604
0.38 m	1.297

船速（台車速度）は、0.480 m/sec (Fn=0.077、実船約10kt)とし、強制偏揺試験においてsway振巾が±4.0 cm以上になる場合は、0.240 m/secとした。プロペラ回転は400 W直流分巻モーターにて行い、偏角0°、舵角0°で直進時の模型船自航点におけるプロペラ回転数を与える電圧をモーターにかけた。

実験は、浅水の場合は斜航試験、舵力試験、Pure Swaying Test を行い、深水の場合は、上記 3 つの試験の他に Pure Yawing Test、Combined Motion Test も行った。以下に実験範囲を示す。

(a) 斜航試験 ( $\delta = 0^\circ$ )

$$H/d = 1.2 \quad \beta = 0^\circ, \pm 3^\circ, \pm 6^\circ, \pm 9^\circ, \pm 12^\circ$$

$$H/d = 2.0, 1.6 \quad \beta = 0^\circ, \pm 5^\circ, \pm 10^\circ, \pm 15^\circ$$

$$H/d = 1.3 \quad \beta = 0^\circ, \pm 5^\circ, \pm 10^\circ$$

(b) 舵力試験 ( $\beta = 0^\circ$ )

$$H/d = 1.2, 1.3 \quad \delta = 0^\circ, \pm 10^\circ, \pm 20^\circ, \pm 30^\circ$$

$$H/d = 2.0, 1.6 \quad \delta = 0^\circ, \pm 10^\circ, \pm 20^\circ,$$

(c) Pure Swaying Test

$$\omega' = 0.065 \sim 0.145$$

$$\beta_0 = 3^\circ, 6^\circ, 9^\circ, 12^\circ$$

(d) Pure Yawing Test ( $H/d=1.2$ のみ)

$$\omega' = 0.065 \sim 0.145$$

$$r'_0 = 0.2, 0.4, 0.6$$

(e) Combined Motion Test ( $H/d=1.2$ のみ)

$$\omega' = 0.065 \sim 0.145$$

$$\beta_0 = 3^\circ, 6^\circ, 9^\circ, 12^\circ$$

(4) 実験と解析法

座標系を図 3.3.10 のようにとり、次のような線型運動方程式を考える。

$$\begin{aligned} (M+My) \dot{v} + My\alpha \dot{r} &= Y_v v + \{ -(M+M_x)U + Y_r^* \} r + Y_\delta \delta + Y_r \\ (I+J) \dot{r} + My\alpha \dot{v} &= N_v v + N_r r + N_\delta \delta + N_r \end{aligned}$$

ここで  $v = -U\beta$ ,  $u = U$ ,  $U = V$  (台車速度) と仮定し、通常の週期積分の方法で解析を行った。

強制偏揺試験では、船体重心 G の  $\bar{y}$  方向変位及び  $\theta$  に次のような強制偏揺を与える。

$$\bar{y} = h_0 \sin \omega t, \quad \theta = \theta_0 \cos \omega t$$

(a) Pure Swaying Test

$$\theta_0 = 0, \quad \beta = -\frac{h_0 \omega}{V} \cos \omega t = -\beta_0 \cos \omega t$$

(b) Pure Yawing Test

$$\theta_0 = \frac{h_0 \omega}{V}, \quad r = \dot{\theta} = -\theta_0 \omega \sin \omega t = -r_0 \sin \omega t$$

(c) Combined Motion Test

$$h_0 = 0, \quad \beta = \theta = \beta_0 \cos \omega t, \quad r = \dot{\theta}$$

得られた結果は次のように無次元化した。

$$M', M'_x, M'_y = \frac{M, M_x, M_y}{\frac{1}{2} \rho L^2 d}, \quad I', J' = \frac{I, J}{\frac{1}{2} \rho L^4 d}$$

$$Y'_v = \frac{Y_v}{\frac{1}{2} \rho L d V}, \quad N'_v = \frac{N_v}{\frac{1}{2} \rho L^2 d V}, \quad Y'_r = \frac{Y_r^*}{\frac{1}{2} \rho L^2 d V}$$

$$N'r = \frac{Nr}{\frac{1}{2}\rho L^3 d V}, \quad \alpha' = \frac{\alpha}{L}, \quad r' = r \frac{L}{V}, \quad \omega' = \omega \frac{L}{g}$$

(5) 実験結果

(a) Pure Swaying Test (図 3.3.11, 図 3.3.12)

$M' + My'$ ,  $Yv'$ ,  $Nv'$  ともに水深が浅くなるにつれて大きく増加するようになる。 $M' + My'$  と  $Yv'$  は水深が浅くなるにつれて実験点はかなりバラつきを見せているが、 $Nv'$  は比較的まとまっており、特に  $H/d = 1.3$  における点のひろがりには偏角振巾  $\beta_0$  による非線型性を示しているようで、 $\beta_0$  が大きいほど  $Nv'$  は小さい。 $Yv'$ ,  $Nv'$  の  $\omega = 0$  での値は斜航試験から求めた値である。周波数  $\omega'$  による変化は、 $M' + My'$  が幾分  $\omega'$  とともに増加する様で、 $Yv'$ ,  $Nv'$  はあまり変化しない。

$M' + My'$  と  $Yv'$  の図中の実線は、実験点がどの水深に対応するかを示すために引いた線で、必ずしも平均値を意味してはいない。なお、 $H/d = 2.0$  では記録機の故障により side force が記録出来なかった点があり、 $M' + My'$ ,  $Yv'$  は 6 点しか解析出来なかった。

(b) Pure Yawing Test (図 3.3.13)

$I' + J'$ ,  $Nr'$ ,  $(M' + Mx') - Yr^{*}$  とも大体 1 本の線上にのっているようで、 $r_0'$  による非線型性は殆んど認められない。 $\omega'$  とともに  $I' + J'$  は増加、 $Nr'$  は若干減少、 $(M' + Mx') - Yr^{*}$  はほぼ一定である。

(c) Combined Motion Test (図 3.3.14, 図 3.3.15)

$(I' + J')(\omega'/F_N)^2 - Nv'$  以外は  $\omega'$  による大きな変化は認められない。

Pure Swaying Test による  $Nv'$  と Pure Yawing Test による  $(I' + J')$  から出した値とも大体合っており、微係数自体の変化は小さく、式の中に含まれる  $\omega'$  による変化が出ている。

$My' \alpha' (\omega'/F_N)^2 + Yv'$ ,  $(My' - Mx') + Yr^{*}$ ,  $My' \alpha' + Nr'$  においては、点はかなりバラついてはいるが、 $\beta_0$  による非線型性が出ているようで、3 者とも  $\beta_0 = 6^\circ$  で 1 度下がりそれから  $\beta_0$  とともに増加している。

(d) 斜航試験 (図 3.3.16, 図 3.3.17)

深水中ではこの偏角の範囲内ではきれいな線型性を示しているが、水深が浅くなるにつれ、side force, yaw moment とともに増加するとともに、 $H/d = 1.6$  で  $\beta = 10^\circ$ ,  $H/d = 1.3$  では  $\beta = 5^\circ$  程度から非線型性を示し始めており、Pure Swaying Test の結果と比べて、 $Yv'$  はバラつきが大きいので何とも言えないが、 $Nv'$  については偏角による非線型性の傾向は一致している。浅水域では side force は偏角が大きくなると増加の割合が大きくなるとともに、圧力中心は後方へ移動していく。

(e) 舵力試験 (図 3.3.18, 図 3.3.19)

本実験の範囲内では、side force, yaw moment とともに水深による変化は殆んど認められず、失速もおこしておらず、舵角とともにほぼ線型に変化している。

(6) 結 び

深水における操縦微係数と水深によるその変化を、強制偏揺試験および斜航試験により調べた。実験時間の制約、装置の不具合等により精度を充分高くする事は出来なかったが、深水域では Pure Swaying Test, Pure Yawing Test, Combined Motion Test から線型微係数を求め、浅水域では、Pure Swaying Test からは  $M' + My'$ ,  $Yv'$ ,  $Nv'$  の水深による変化



の割合、舵力試験からは本実験範囲では舵力は水深により殆んど変化しない事、斜航試験からは水深が浅くなるにつれて side force, yaw moment とも増加すると共に非線型性を示すようになる事等をつかんだ。

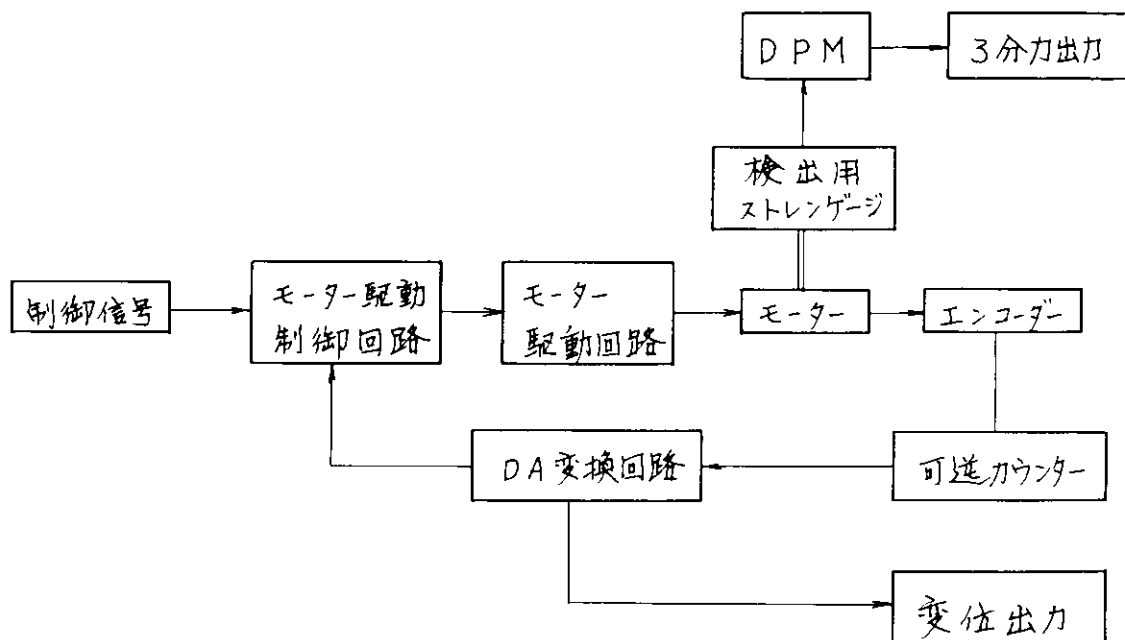


図 3.3.9 実験装置ブロック図

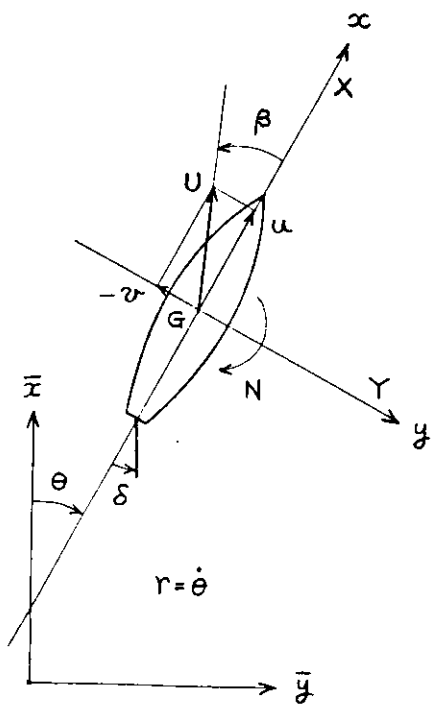


図 3.3.10 座 標 系

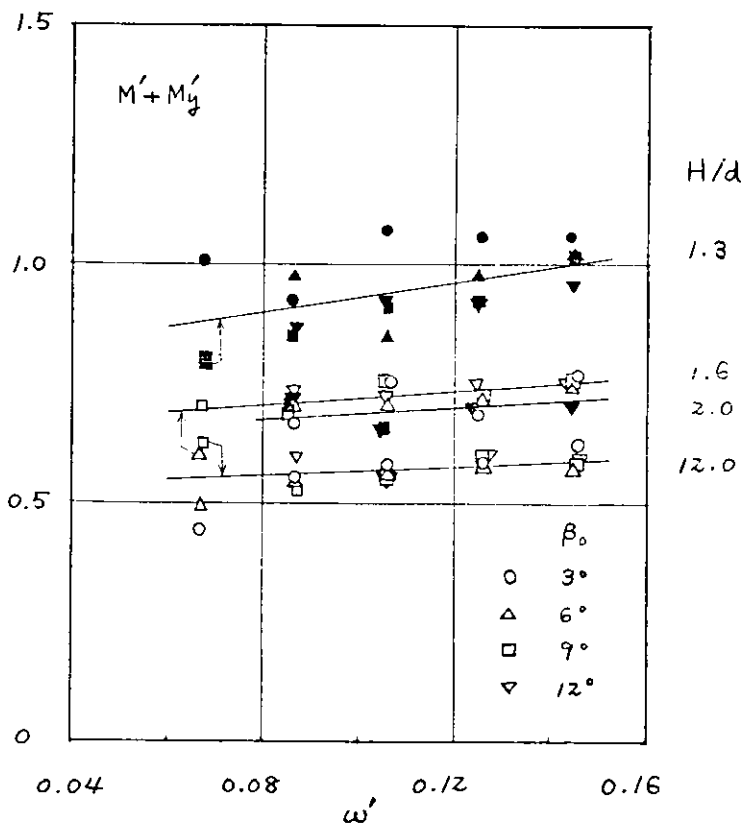
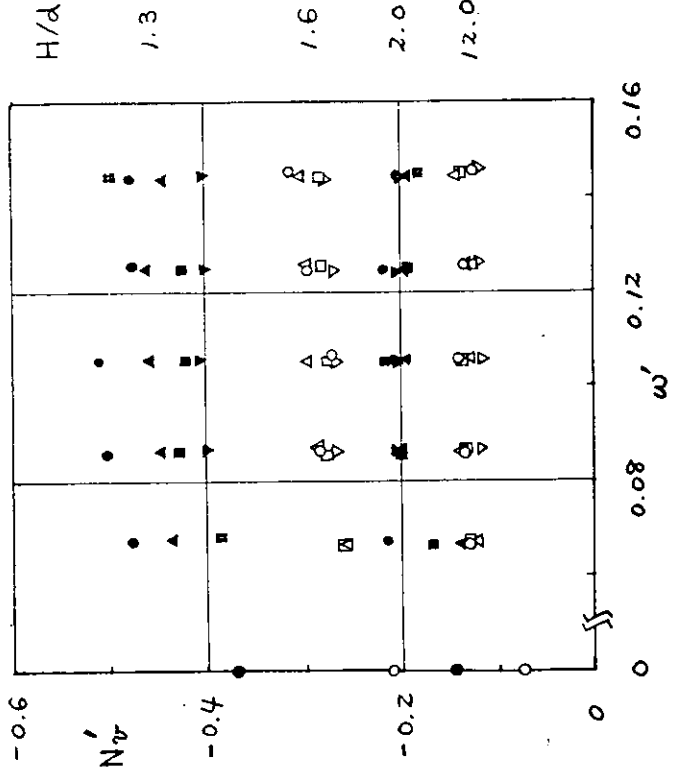
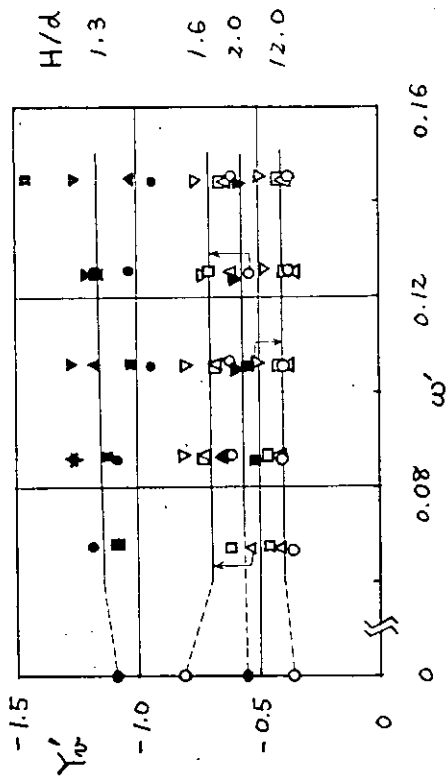
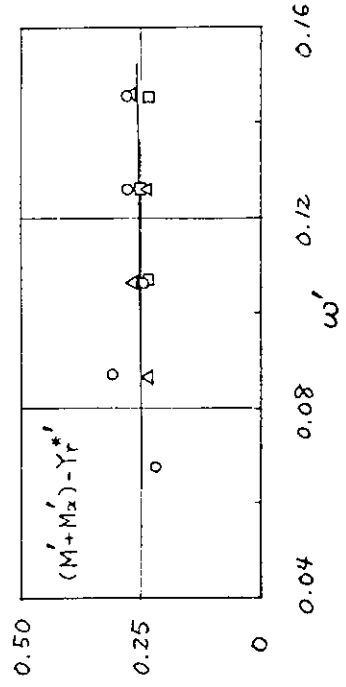
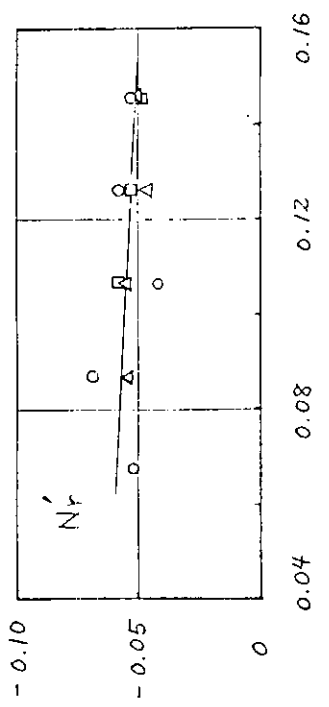
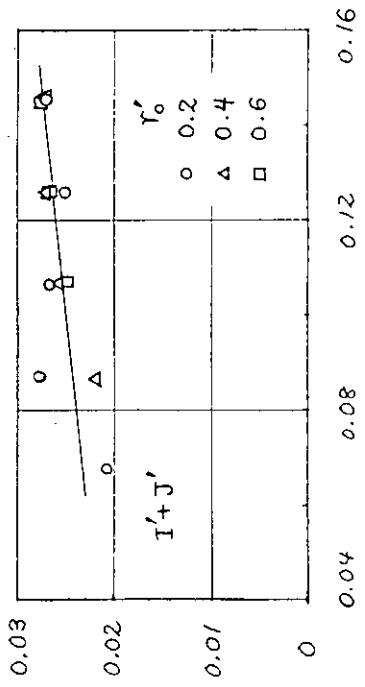


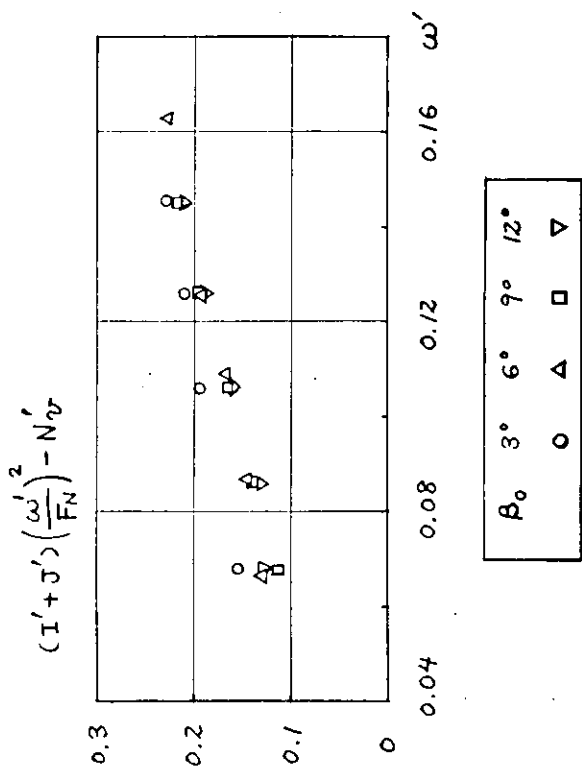
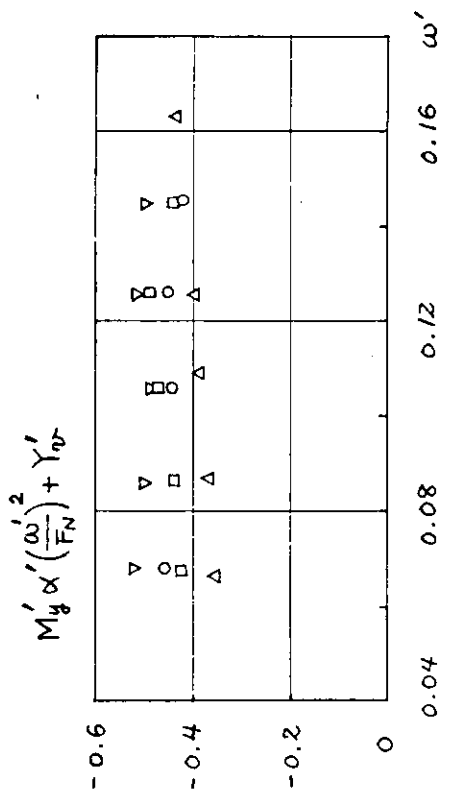
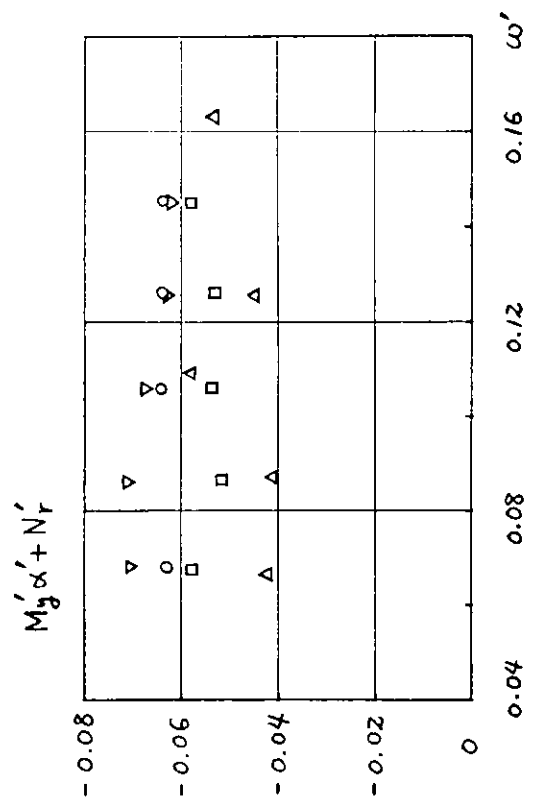
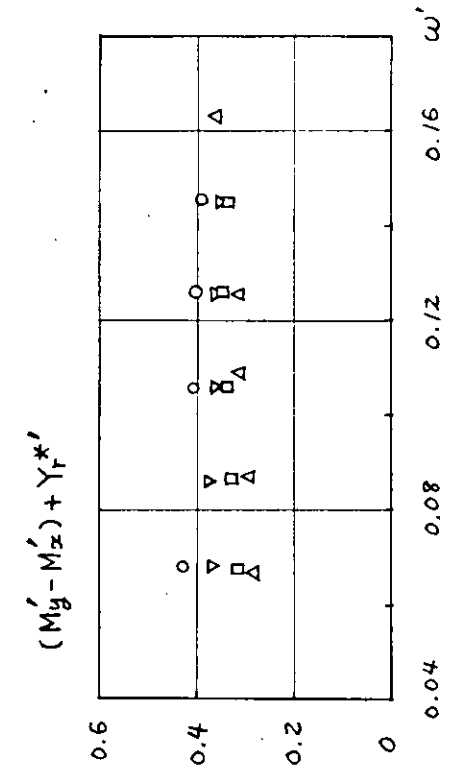
図 3.3.11 Pure Swaying Test



3.3.12 Pure Swaying Test



3.3.13 Pure Yawing Test



$\beta_0$  3° 6° 9° 12°  
○ △ □ ▽

Figure 3.8.15 Combined Motion Test

Figure 3.8.14 Combined Motion Test

Side Force, Y

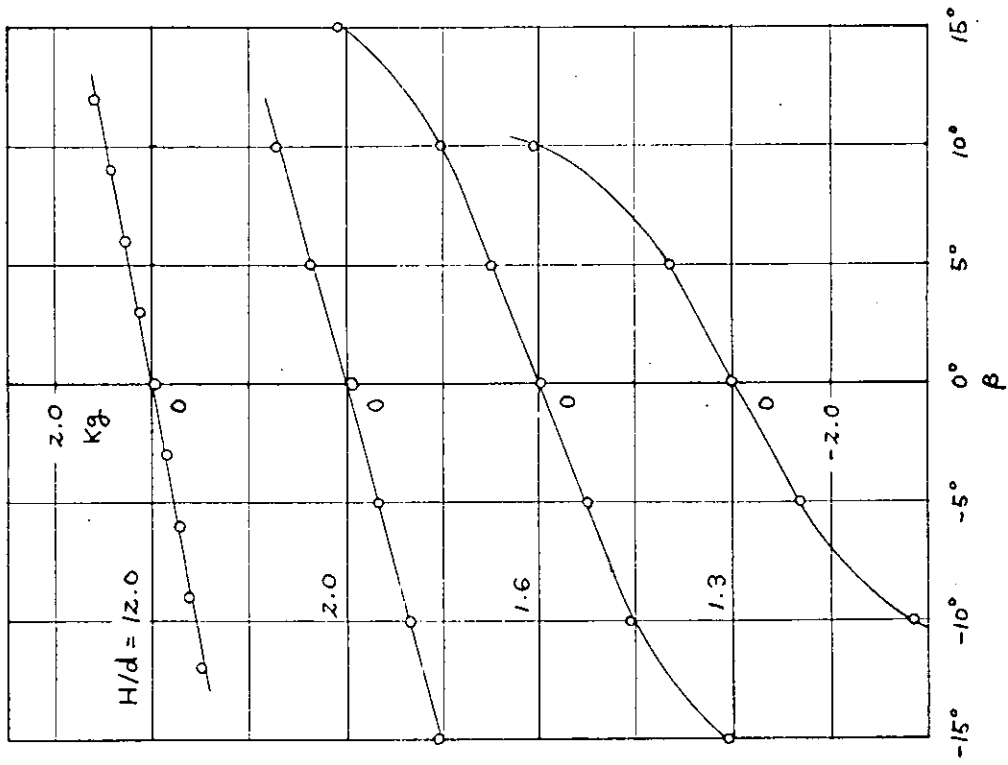


Fig. 3.3.16 Oblique Towing Test

Yaw Moment, N

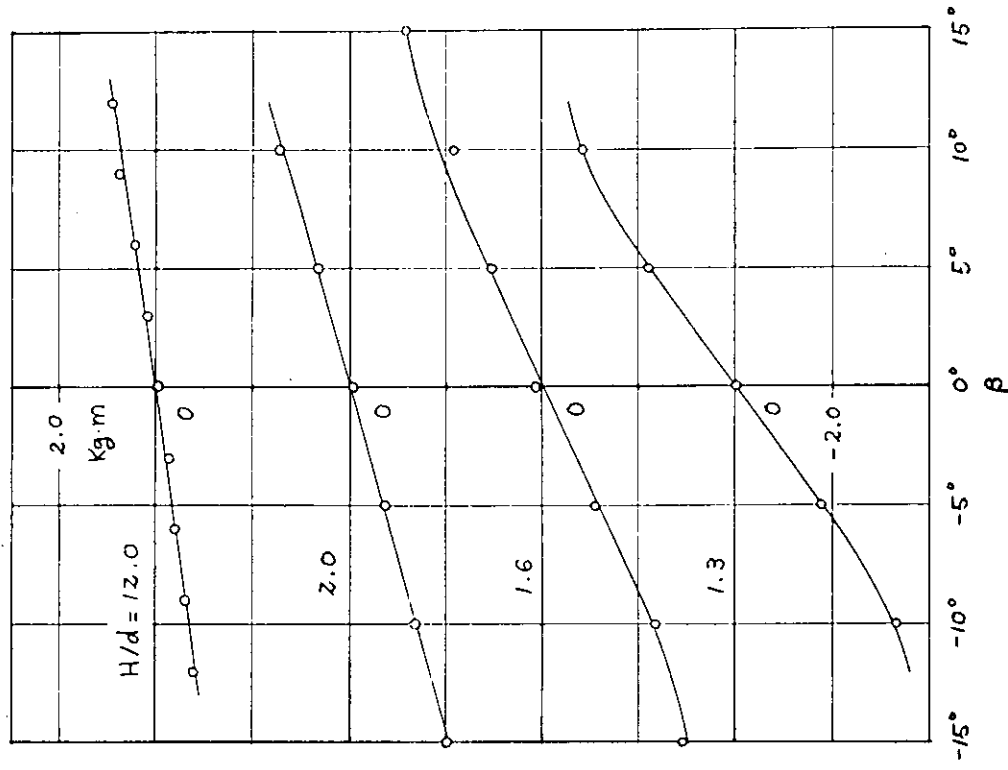


Fig. 3.3.17 Oblique Towing Test

Side Force, Y

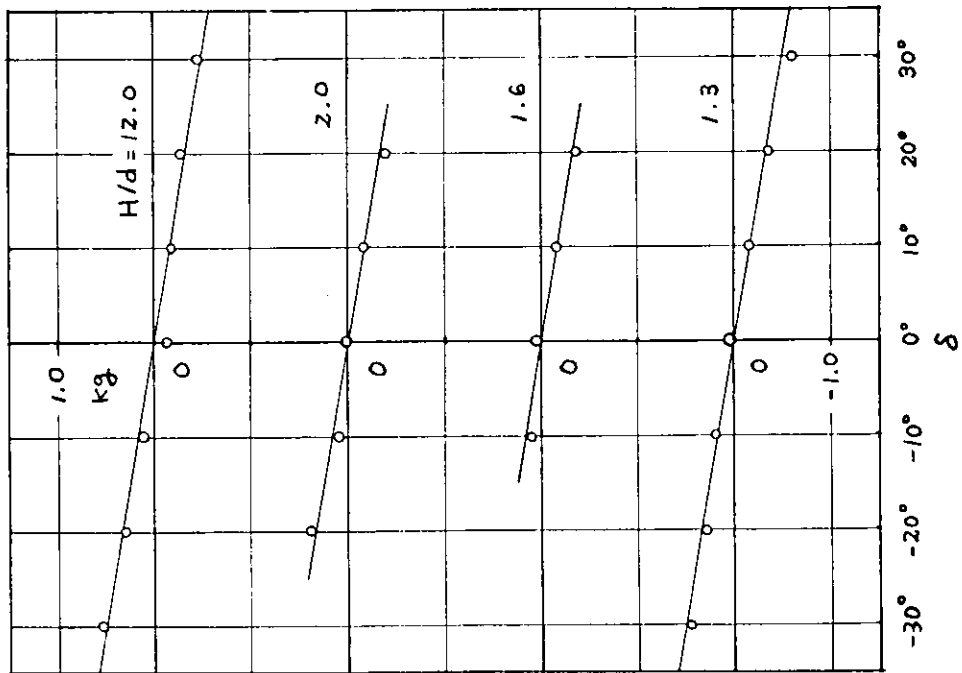


Fig. 3.3.18 Rudder Test

Yaw Moment, N

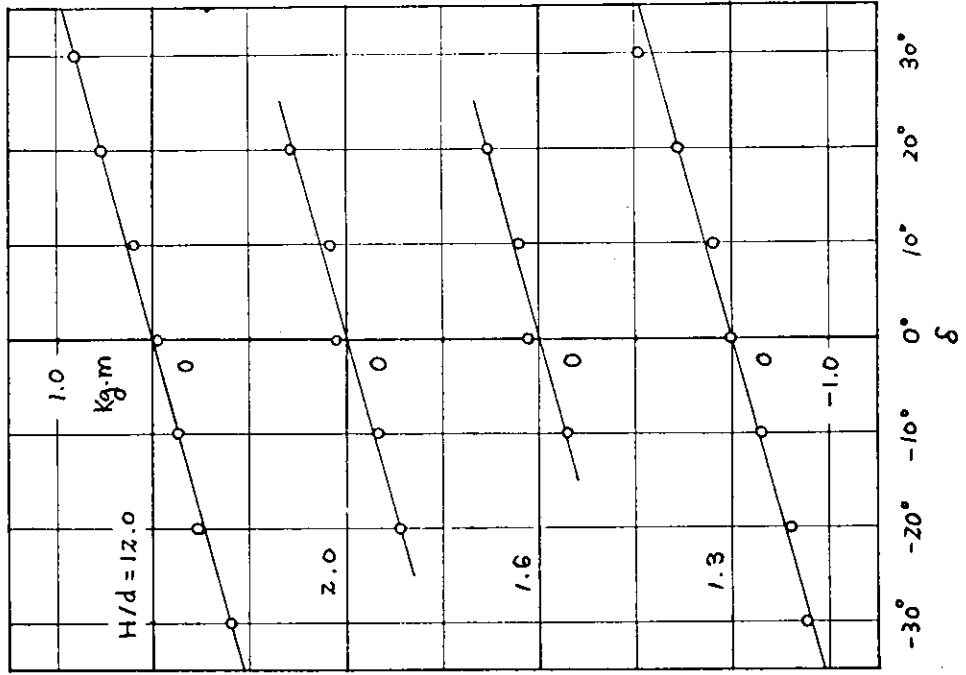


Fig. 3.3.19 Rudder Test

### 3.4 考 察

#### 3.4.1 船型改良の影響

昨年系統模型試験の母型として選んだ5-27型は、実験の結果異常現象を示し、それを母型として $L/B$ 、 $L/d$ を変えた4-27、4-34、6-27、6-23型も何れも異常現象を示し、そのため船型の影響を知ることが出来なかったことは49年度の報告書に報告された通りである。

本年度は異常現象を起こさない船型を求めため、標準船型である5-27型を野本委員の下で改造し、第1次改造型、5-27-Iを作製して試験を行った結果かなり改善が認められたので更に船尾を下げた第2次改造型、5-27-Mを作成した。

この間の経緯については3.1.1に述べてある。

改造の結果は極めて顕著で、改造前の標準船型5-27では $r'-\delta$ （角速度-舵角）曲線が $r'$ の小さい所で $\delta$ にして $\pm 5^\circ$ 程度喰違いを生じ、原点付近で実験点がばらついていたのに対し、改造後の5-27-Mでは素直なやゝ針路不安定な $r'-\delta$ 曲線を示しており、異常現象は殆んど無くなっている。

（図3.2.3参照）

この傾向は5-27-I船型（5-27船型の第1次改造船型）のZ試験結果でもよく現われている（図3.1.4参照）異常現象が更に顕著に出ると思われる4-34船型では改造前には $r'-\delta$ 曲線が原点で $\pm 3^\circ$ 程度喰違って双曲線状になっていたものが改造後の4-34-Mではほとんど素直な針路不安定船の性状を示しており、わずかに第4象限（ $\delta' > 0$ 、 $r' < 0$ ）で実験点の乱れが見える程度である。（図3.2.1参照）この第4象限におけるデータの散らばりは、4-34-Mの推進器孔を図3.2.8のように小さくすることにより、全く無くなり完全に素直な不安定船の性状を示している。（図3.2.9）同様の傾向は5-27-Mについても確かめられている。

改造前の船型にくらべて、改造型（Mのついたもの）は主として船尾を深くしてあるが、更に推進器孔の上部を4-34-Mのようにふさぐ事によっても同様の効果がある事から、舵の上部船体のcross flowを制限するのが異常現象を減少させる一つの要因になっているようである。

同じく $L/B=4$ の4-27-M船型でも4-27に較べ異常現象はほとんど無くなっており（図3.2.17）又、Z試験結果でも異常現象が少なくなっていることが認められる（図3.2.18）が、4-34-M船型に較べるとやゝ異常現象が残っているように見受けられる。

$L/B=6$ の6-23と6-23-M及び6-27と6-27-M船型でも全く同様の変化があり、6-23-M、6-27-M共 $r'-\delta$ 曲線は素直な限界安定の性状を示している。（図3.2.5及び図3.2.19）以上の実験結果から、今回の改造によりほとんど完全に異常現象が無くなっており、船型の影響をはっきり見ることができるようになった。

又、改造の経緯でもわかるように、異常現象が起きるかどうかは、船尾のごく局限された部分の形状によって左右されるようである。

#### 3.4.2 船型が操縦性に及ぼす影響

前節に述べたように異常現象を除去することに成功したので、船型の操縦性に及ぼす影響がはっきりと判定できるようになった。

##### (1) $L/B$ の影響

先ず $L/B$ の影響を見ると、図3.2.7に示すように4-34-M、5-27-M、6-23-Mの $L/d$ 一定で $L/B$ を変えたシリーズでは明らかに $L/B$ が小さいほど針路不安定の傾向を示しており、 $L/B=4$ ではかなり強い不安定、 $L/B=5$ では限界不安定、 $L/B=6$ ではやゝ安定となっている。又、大舵角における旋回角速度も $L/B$ が小さい順に大きく、 $L/B$ が小さい方が旋回性が

よい傾向を示している。この傾向はすべての舵角の範囲で変わらず、舵面積を変えたときのように舵角によって旋回性の順位が変わることはない。

4-27-M、5-27-M、6-27-M の  $B/d$  一定で  $L/B$  を変えたシリーズでも 4-27-M がやゝ異常現象を示しているため  $L/d$  一定シリーズ程きれいにはならないが、 $L/d$  一定のときと同じく  $L/B$  が小さい程針路不安定で且旋回性がいいという傾向は、はっきり現われている。(図3.2.21)

#### (2) $L/d$ の影響

4-27-M と 4-34-M を較べると図3.2.22 に示すように、 $L/d$  の大きい 4-34-M の方がより針路不安定で全舵角範囲で旋回角速度が大きい傾向を示している。

又、6-23-M と 6-27-M を比較するとやはり図3.2.23 のように  $L/d$  の大きい 6-27-M の方がやゝ針路安定性が悪く、旋回性はほとんど変わらない。このことから一般に  $L/d$  が大きい方が針路安定が悪くなると云うことが出来よう。

#### (3) 模型寸法の影響

東京大学で、異常現象を起こした 4-34 船型の 2.5 m 模型を用いて逆スパイラル試験を行なった所、図3.2.24 のように異常現象を示さず素直な針路不安定の傾向を示した。この結果は改良型、3-34 M 船型の結果によく似ておりあたかも異常現象を生じなかったように見える。

この結果一つをもって、模型寸法の影響であると速断するのは危険であるが、昨年度九州大学で同じ模型で行なったスパイラル試験の結果もやはり異常現象を示していないように思われるので、模型寸法の差による船尾流の微妙な変化によって異常現象が現われたり消えたりする可能性も無くはない。一方逆スパイラル試験のやり方にも多少差違があるので今後この問題は検討を続けるべきであると考えられる。

### 3.4.3 2軸船型

今年度は2軸船型についても  $L/B$  を3種かえて実験を行ったが、時間の関係でその内標準船型  $L/B = 5$  のもののみ解析結果が求められ、図3.2.15 に示してある。

この船型は1軸船の母型 5-27 と船首は同じで、船尾を2軸にするため多少変更したものであるが、先ず 5-27 が強い異常現象を起こしているのに対し、2軸船型ではほとんど異常現象を示していないこと、及び 5-27 の改良型 5-27 M が軽度の針路不安定であるのに対し、2軸船型は強い針路不安定を示している。

2軸船で異常現象が現われなかったことは、異常現象が船尾の形状の微妙な相違で大きく変わることからありうべきことであり、これをもって一般に2軸船型の方が異常現象を起こし難いという結論を引出すのは危険であろう。

2軸船型の方で針路不安定なものも充分納得のいく説明は出来ないが、この方は一般的な傾向としてありうべき事のように思われる。

### 3.4.4 拘束模型による試験

昨年度行った 4-34 船型の CMT テスト (Circular Motion Test) の結果求められた流体力微係数を用いて計算した  $r' - \delta$  曲線は図3.2.24 に示すように異常現象のない素直な針路不安定を示しており、一方 4-34 船型の 4 m 模型による逆スパイラル試験では強い異常現象が現われていることは 3.4.2 で述べた通りである。

本年度は 5-27 船型についてやはり CMT テストを行ったが、その結果を用いて計算した  $r' - \delta$  曲線は図3.2.25 のようにやはり異常現象のないしかも針路安定な傾向を示しており、5-27 船型の 4 m 模型試験の結果と一致しない。

CMTテストの結果の解析は図3.2.1に又は、図3.2.2に示すように流体力を $\beta$ と $r$ の多項式でカーブフィッティングすることにより流体力微係数を求めるものであるから、仮に流体力に $\beta$ 又は $r$ の小さい(即ち、直進に近い)所で不連続や異常な変化があっても、これを3次曲線でフェアリングしてしまうので、その結果を用いて計算した $r'-\delta$ 曲線に異常現象らしいものが現われないのは当然とも云える。然しながら一方3.4.2でも述べたように2.5m模型(CMTテストで用いたのと同じ模型)で行なったスパイラル試験の結果もやはり異常現象を起こしていないのと、 $r$ 、 $\beta$ の小さい所の流体力の計測値が特に不安定であるとか変差が大きかった事もない事から見て、元々このサイズの模型では異常現象が起きていなかったことも考えられる。

何れにしてもこの点は今後種々の角度から解明さるべき問題である。

船研のPMMを用いた実験は5-27船型の4m模型を用いて行われ、装置自身に多少の不具合もあったが一応の結果が得られた。

又、中水槽を用いて浅水実験が行われたが、船体の流体力微係数は水深が浅くなると増加するというよう知られた傾向を示しているのに対し、舵の力はほとんど水深によって変化しないという興味ある結果が出されている。



## § 4 制限水域における運動性能

### 4.1 目的

針路安定性が保持できると考えられる5-27改タンカー模型船について、操縦性研究に必要な船体ならびに舵に働く流体力を深水ならびに浅水において計測し、既存の諸式と比較しつつ、浅水の影響を研究するのが目的である。

### 4.2 使用模型ならびに実験装置

長さ2.5 mの模型を制作し、九大設置の2.0 m直径のローテティング・アームを改良製作し、斜行実験も併用しつつ、船体に働く力は3分力計で舵に働く力は5分力計で計測してある。

### 4.3 実施した実験

船速はHarbour speed 10 kt 相当で、模型速度0.377 m/sec. ( $F_n=0.0762$ ) について下記の組合せで実験を行っている。なお推進器は各水深の自航点の回転数である。諸量の正の方向は図4.3.1に示す。

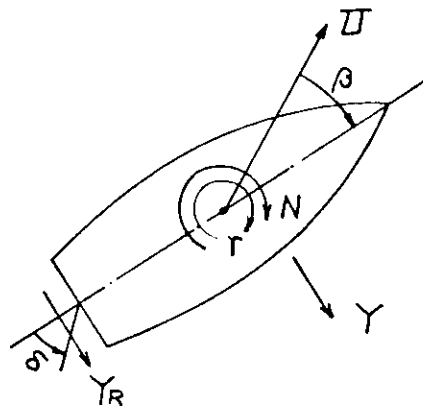


図 4.3.1

$H/d$	$\infty$	2	1.5	1.3			
$r'$	0.31	0.60	0.90	1.25			
$\beta$	$-5^\circ$	$-2.5^\circ$	$0^\circ$	$2.5^\circ$	$5^\circ$	$7.5^\circ$	$15^\circ$
$\delta$	$-35^\circ$	$-15^\circ$	$-5^\circ$	$0^\circ$	$5^\circ$	$15^\circ$	$35^\circ$

舵に働く横力を無次元化して $Y'_R$ とすれば、一応

$$Y'_R = Y'_R \delta \left\{ \delta - r \left( \beta + \frac{r'}{2} \right) \right\}$$

$$Y'_R \delta = (1-w)^2 \frac{6.2 k_R}{k_R + 2.25} \left[ 1 + \frac{s(2-s)}{(1-s)^2} \right]$$

$$\times \left\{ 0.539 - 1.39 \left( \frac{D_P}{H_R} \right) + 1.427 \left( \frac{D_P}{H_R} \right)^2 \right.$$

$$\left. + (-0.0143s - 0.00184 \left( \frac{D_P}{H_R} \right) + 0.0143) \delta \right\}$$

とかけるので、 $Y'_R \delta$ 、 $r$  について計算を行い、浅水の影響を観る。

船体に働く力、モーメント(θの回り)を $Y'$ 、 $N'$ とし、

$$Y' = Y'_\beta \beta + Y' r r' + Y' \theta \delta$$

$$N' = N'_\beta \beta - N' r r' - N' \theta \delta$$

の形にした場合の $Y'_\beta$  etc の浅水の影響を観る。

#### 4.4 成果

図4.4.1~図4.4.16は $Y'_R$ と $\delta$ の関係で、図4.4.17は舵軸に働く換りモーメント係数の1例を示す。且つ浅水影響と伴流係数 $w$ と整流係数 $r$ の変化として図4.4.18、図4.4.19に示す。

図4.4.20~図4.4.25に $Y'_\beta$  etc の水深の影響を図4.4.26~図4.4.29は理論計算との比較を示す。 $N'_\beta$ 以外は理論計算とよく一致する。

なお $H/d$ が小さくなると非線型項の影響が大きくなる。1例として図4.4.30に $Y'_\beta$ を示す。

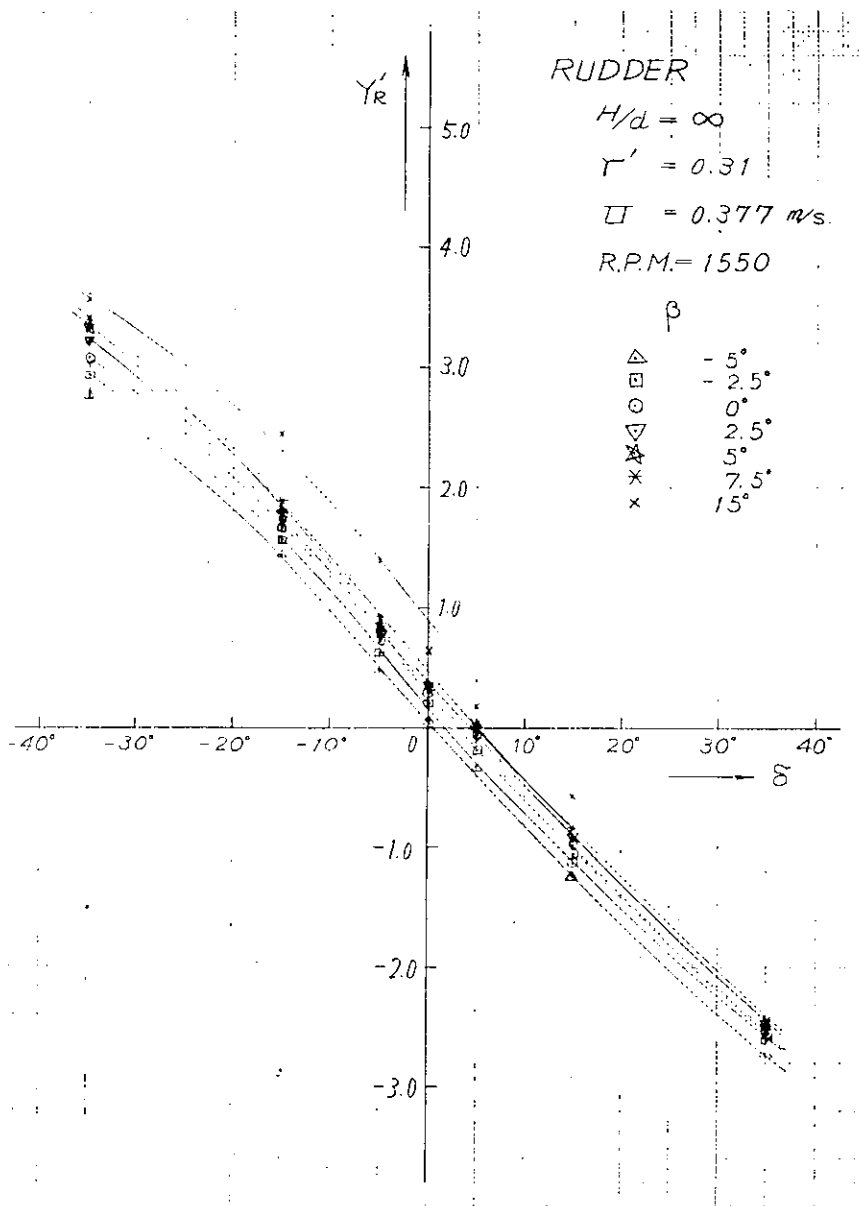


図4.4.1

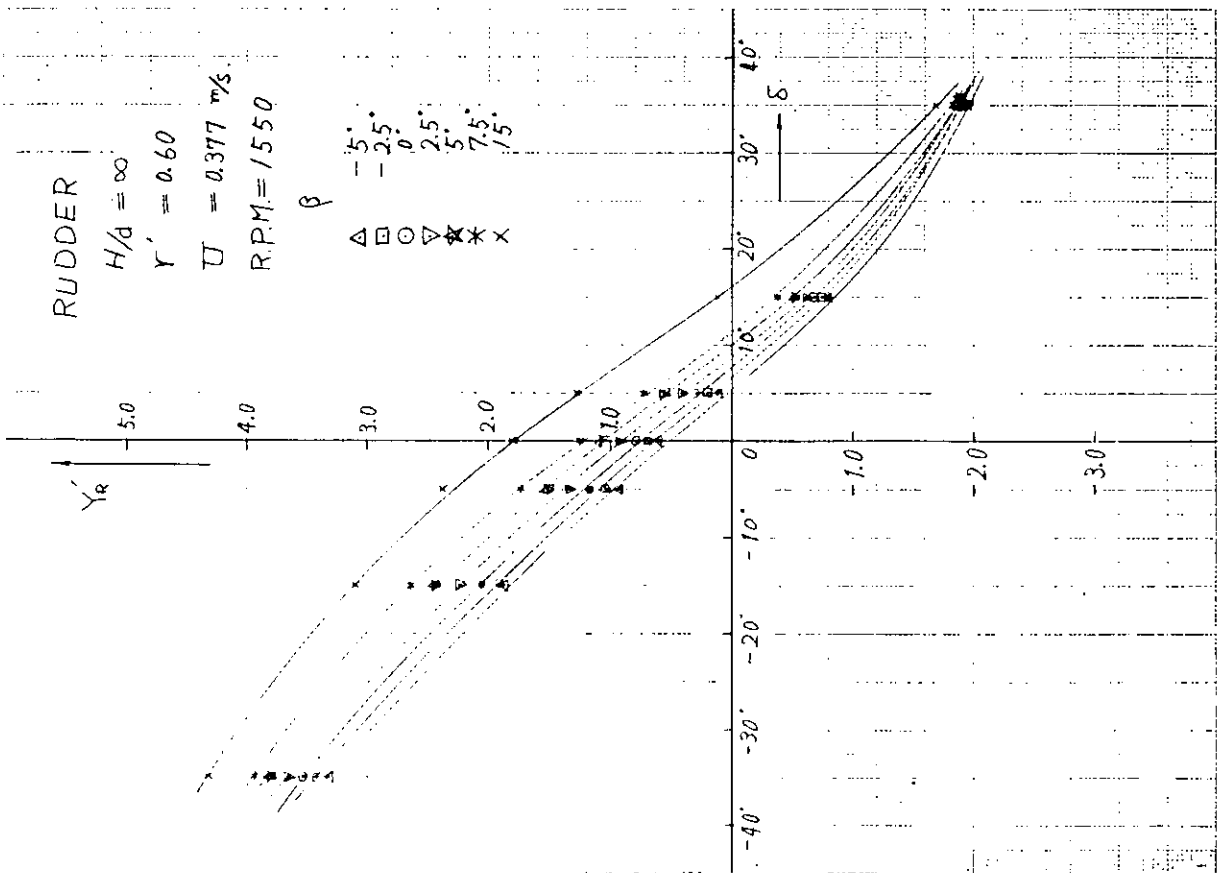


图 4.4.2

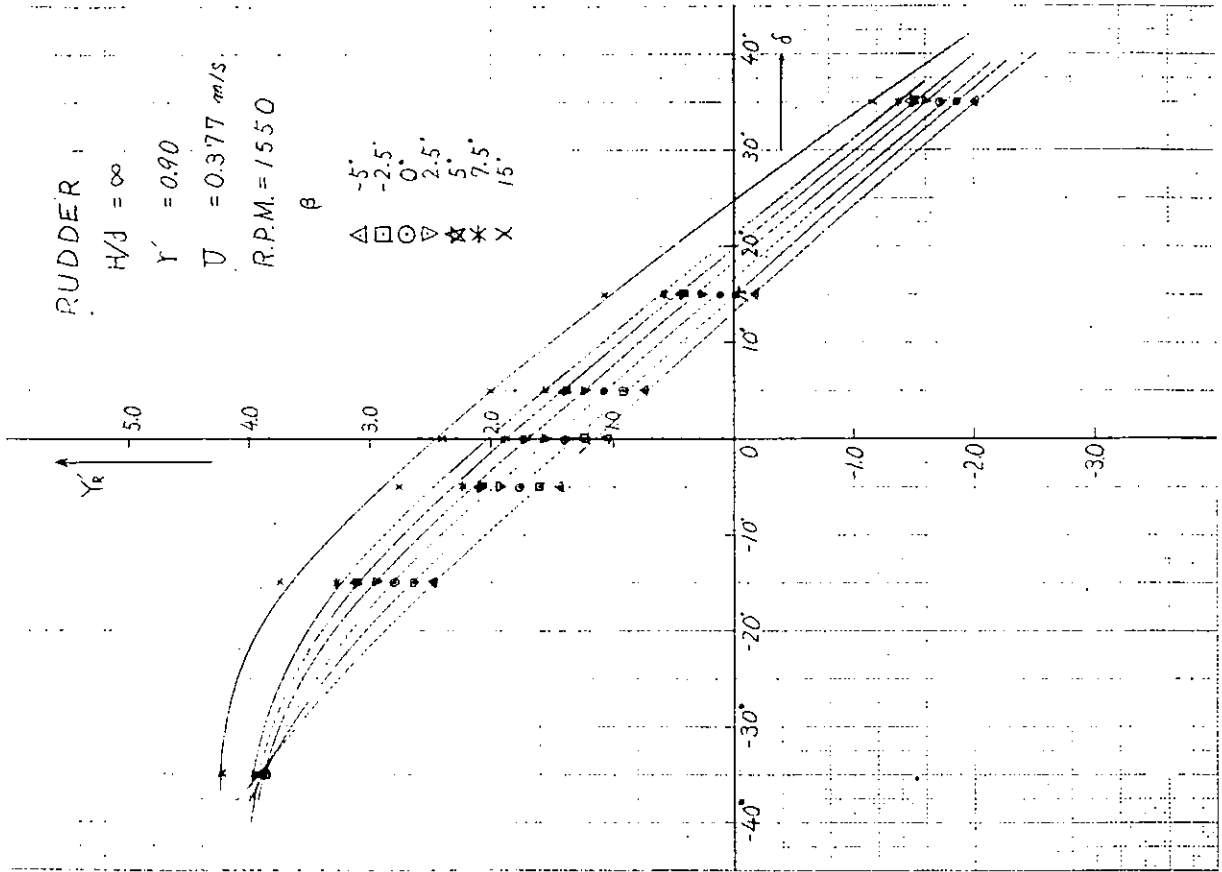


图 4.4.3

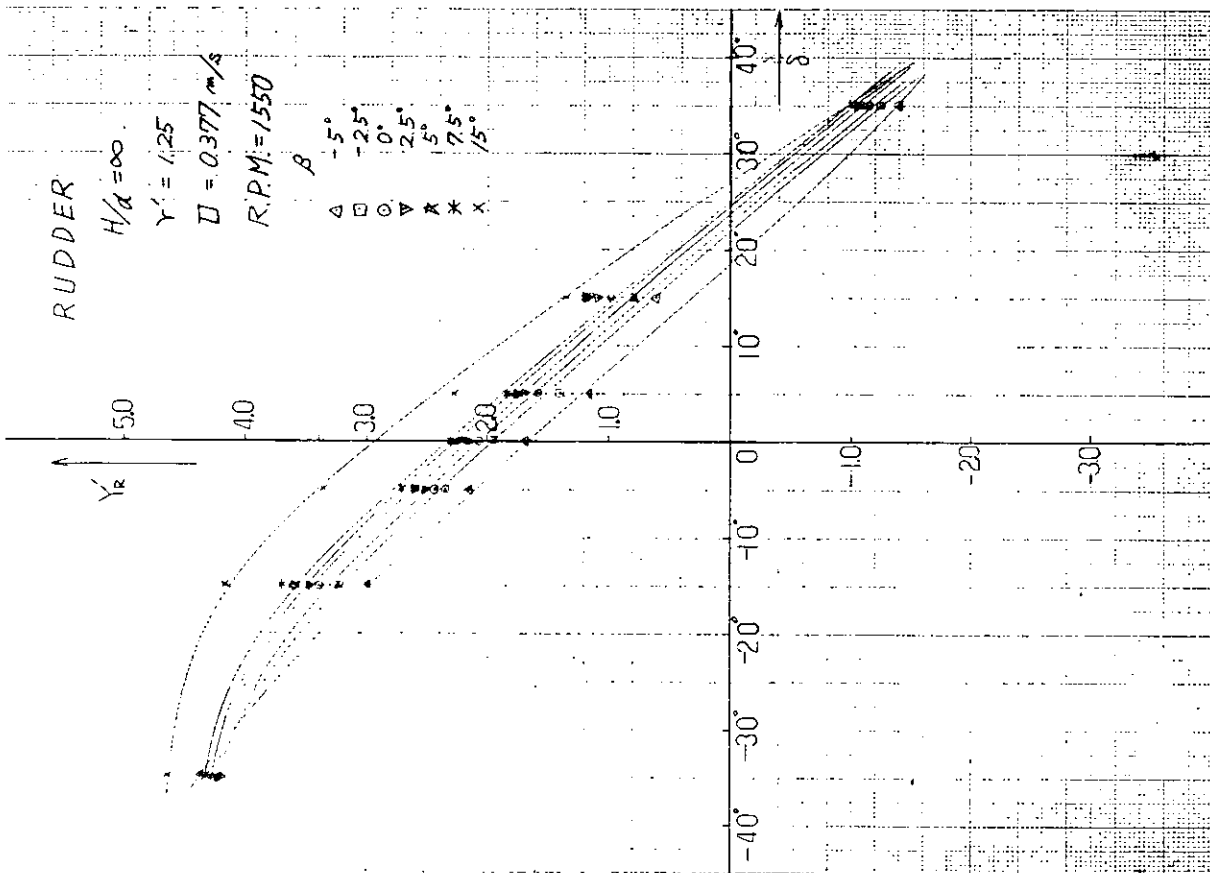


图 4.4.4

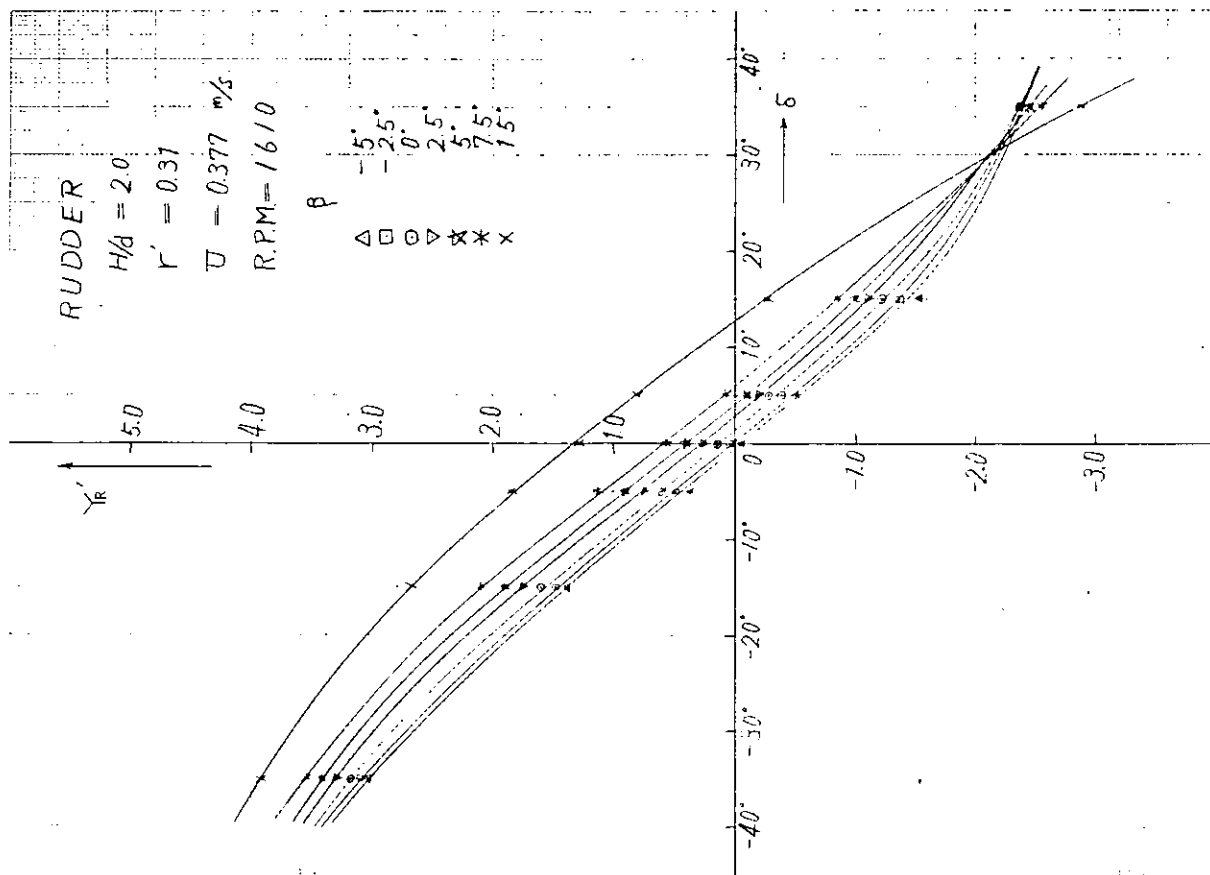


图 4.4.5

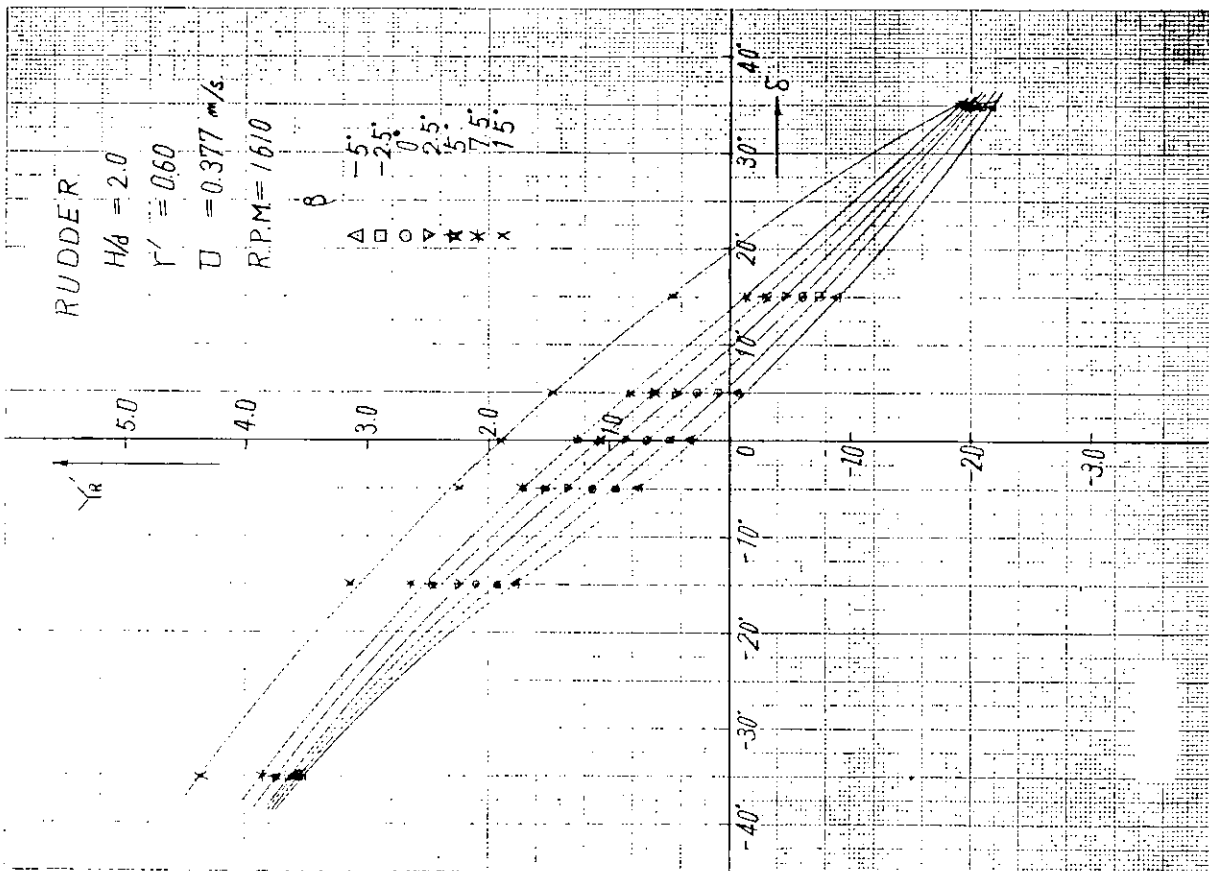


图 4.4.6

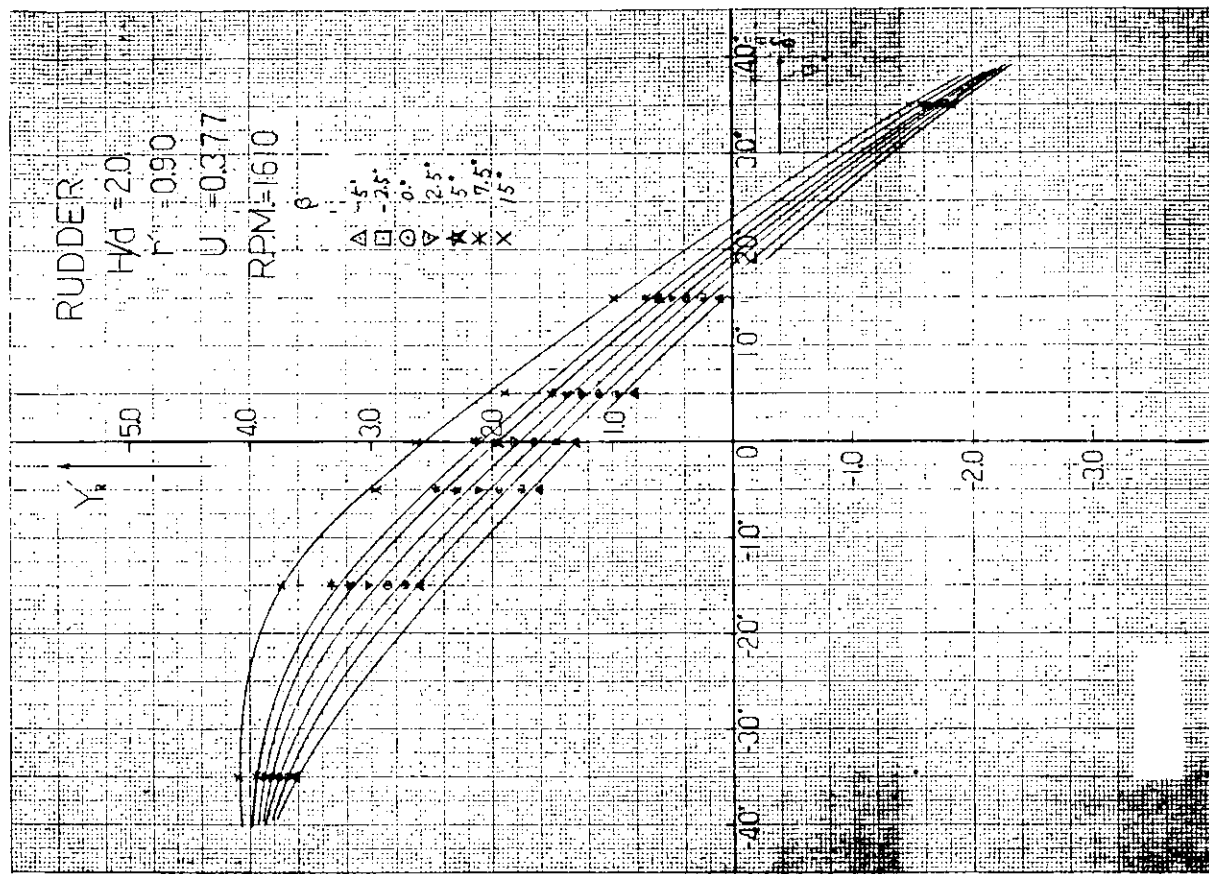
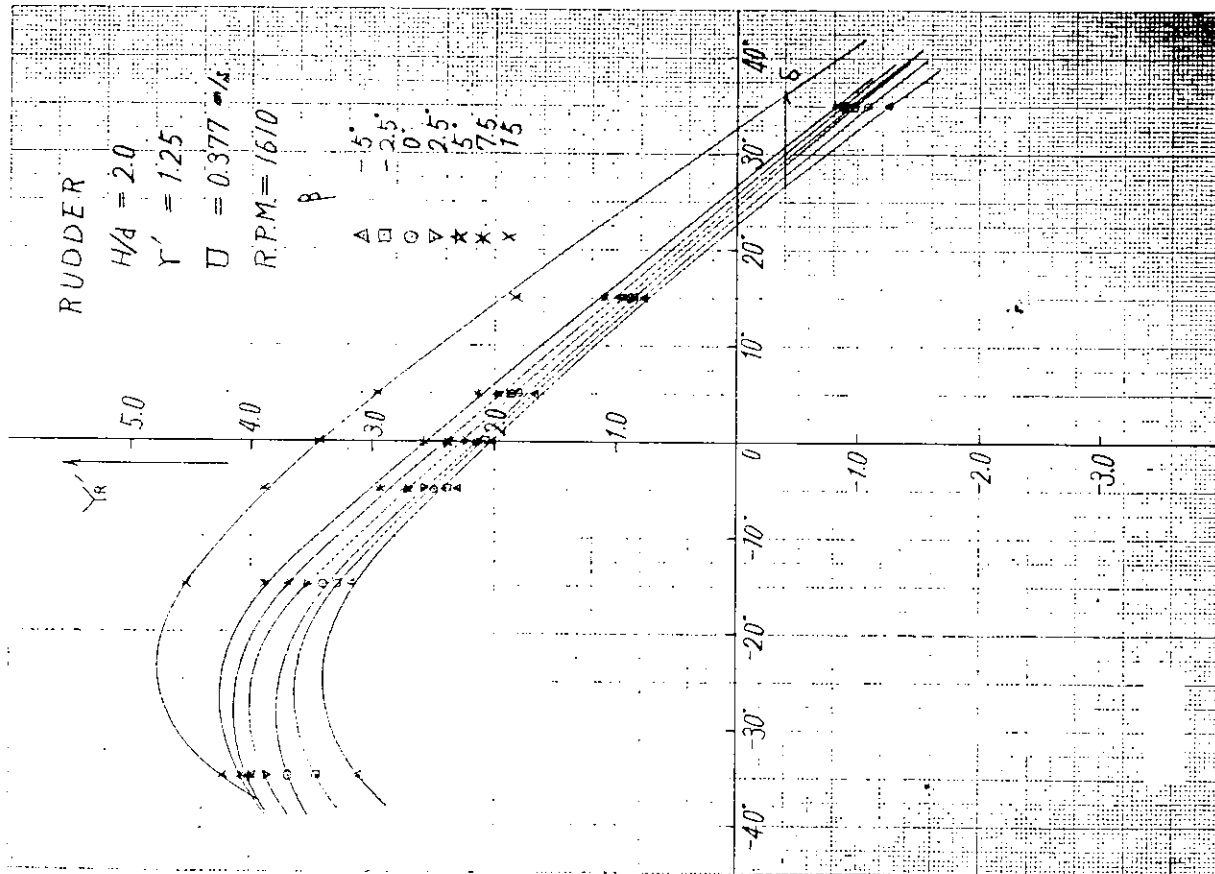


图 4.4.7



4.4.8

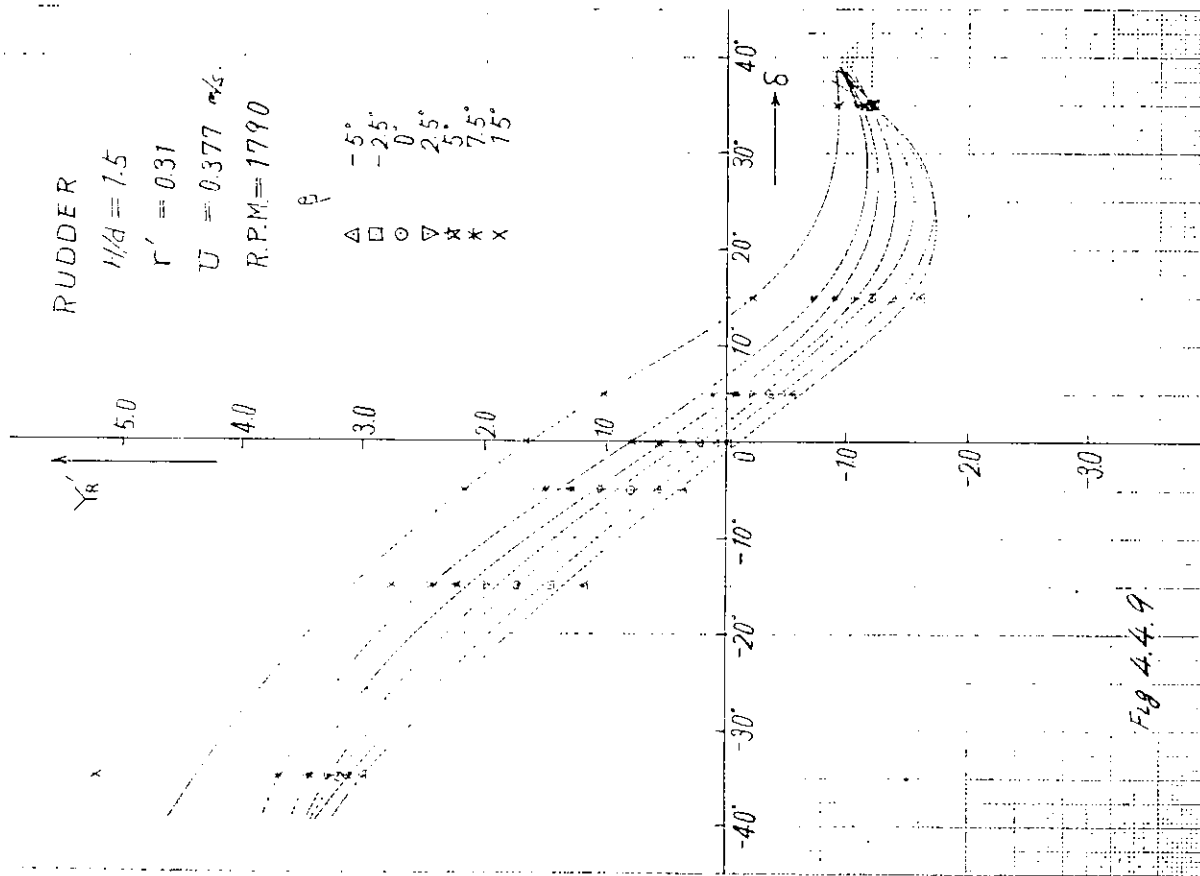
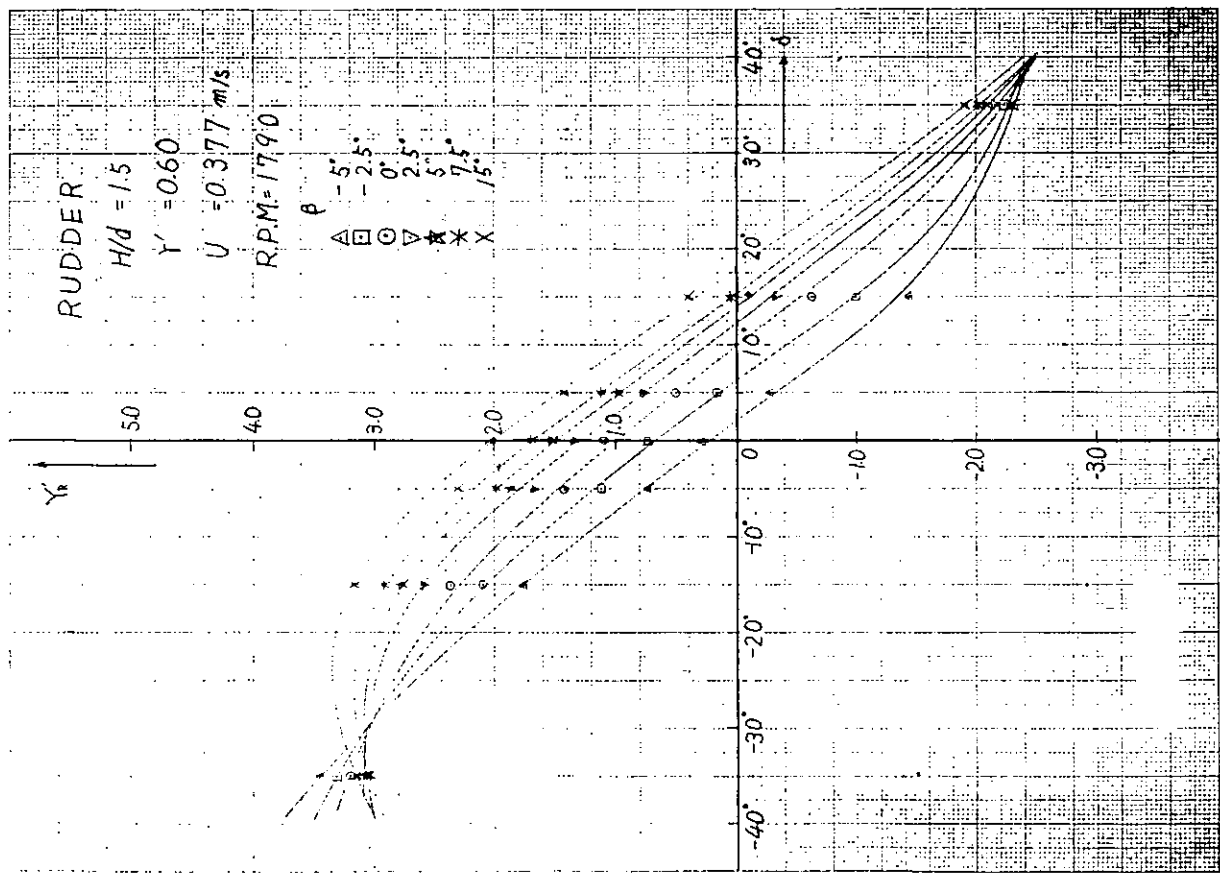
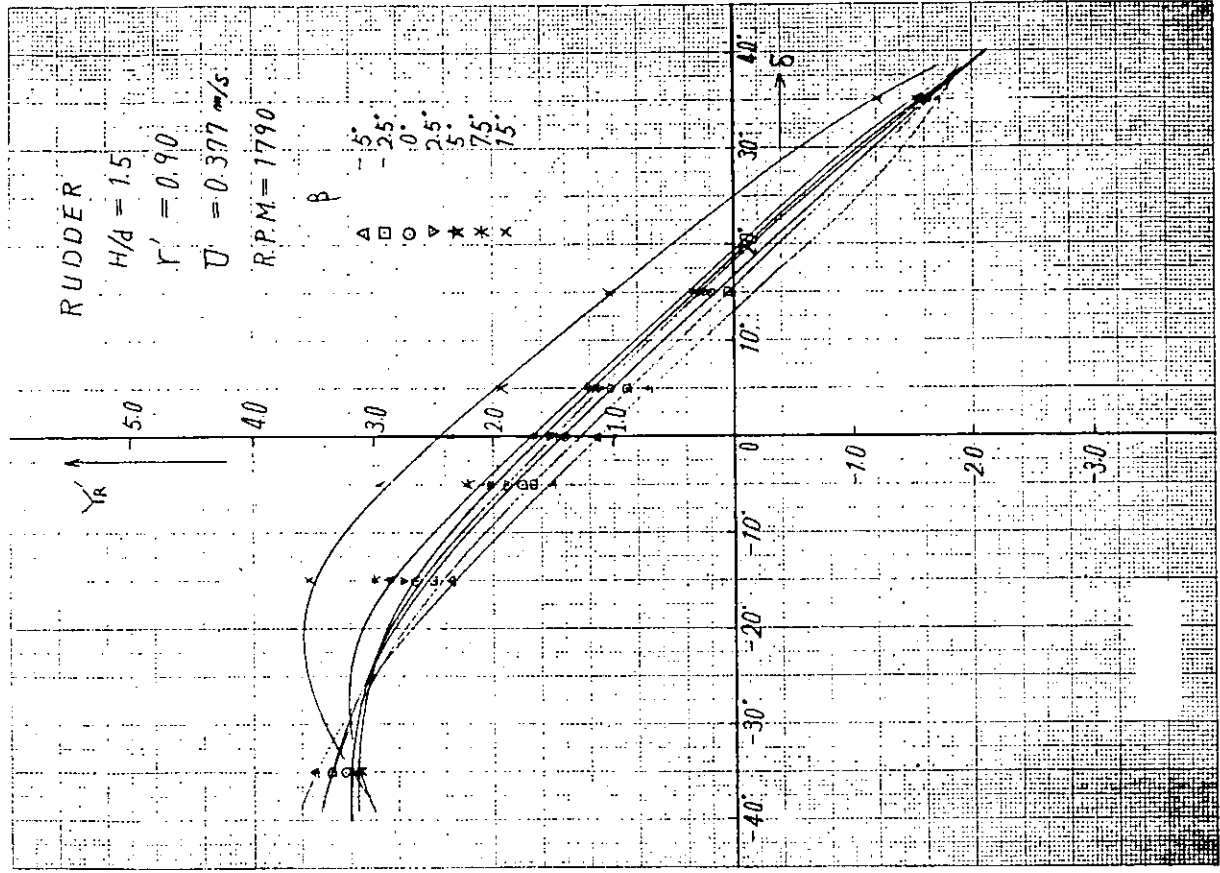


Fig 4.4.9

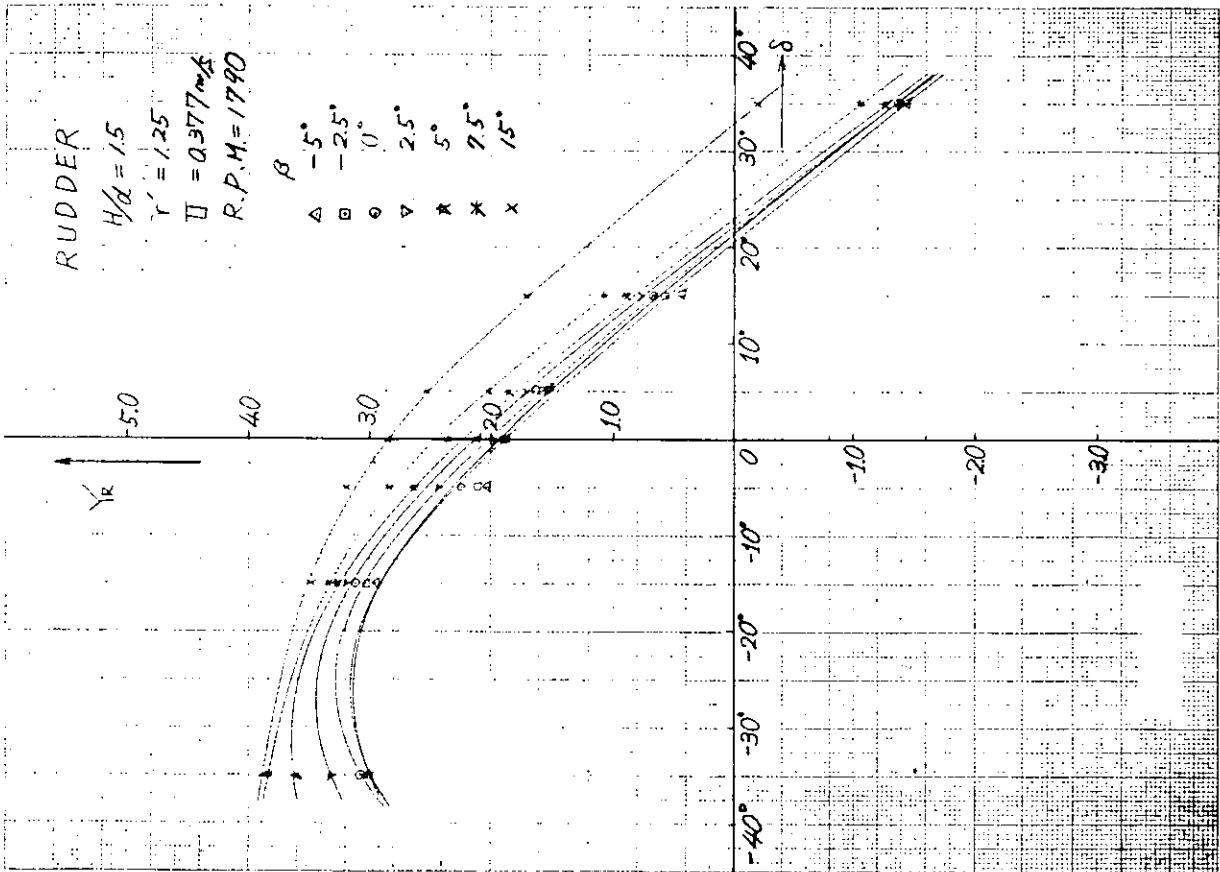
4.4.9



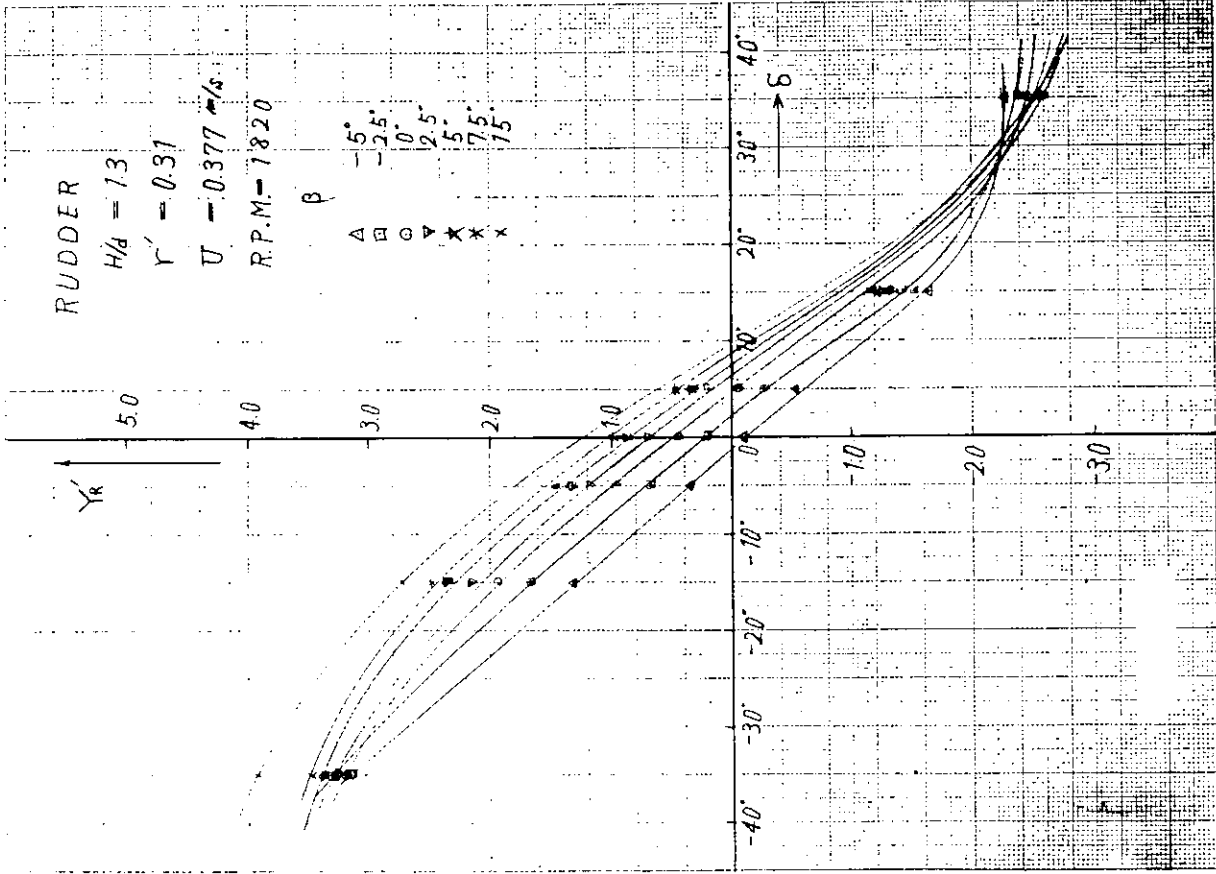
4.4.10



4.4.11

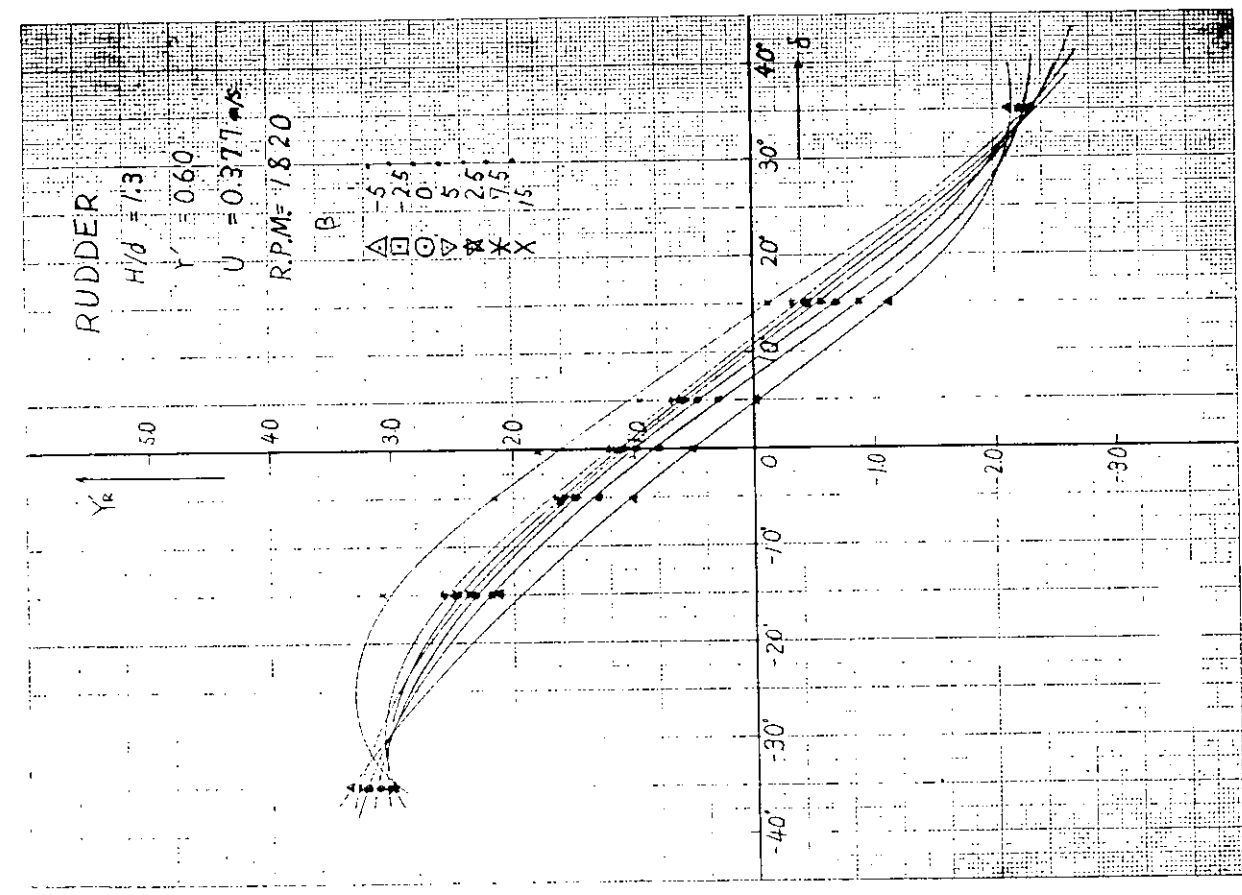


4.4.12

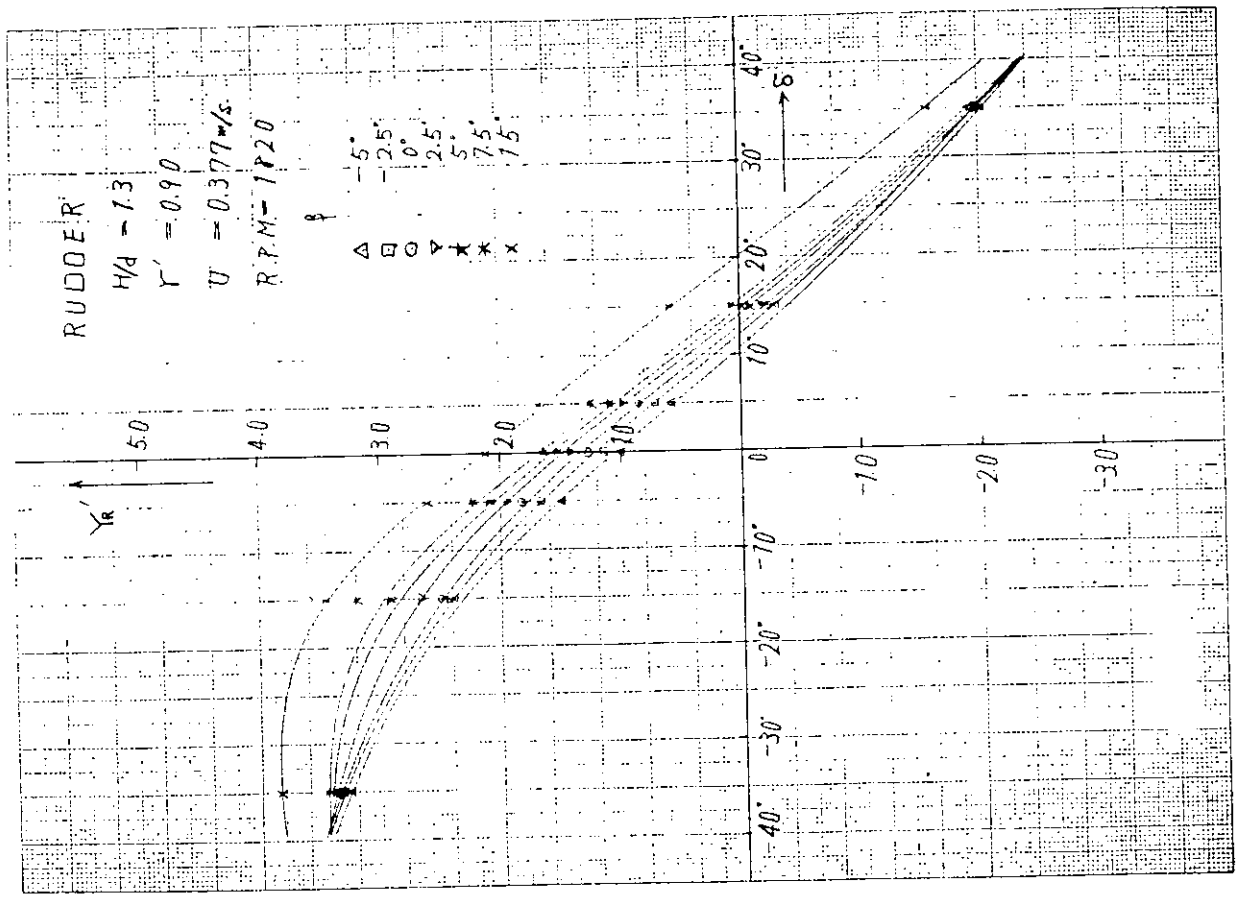


4.4.18

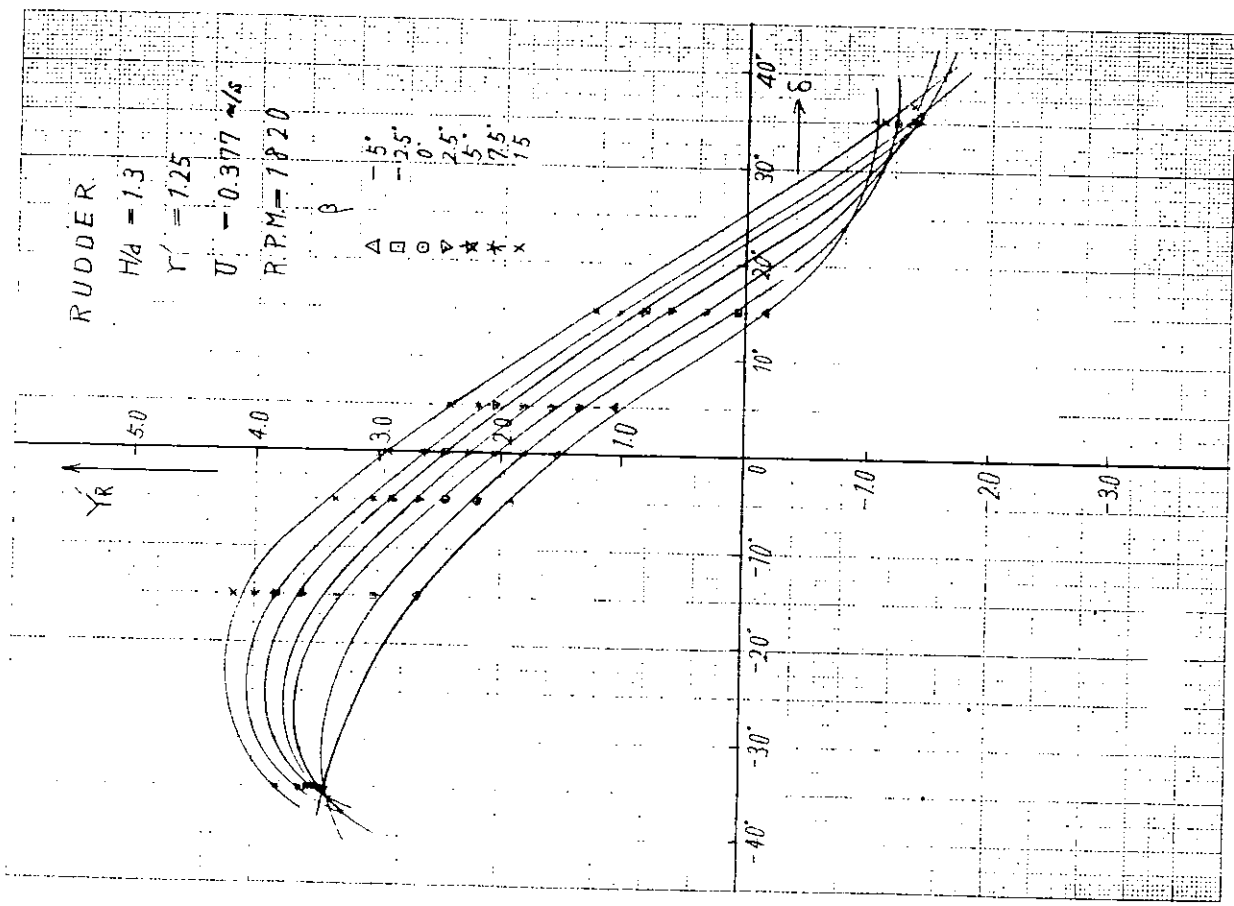




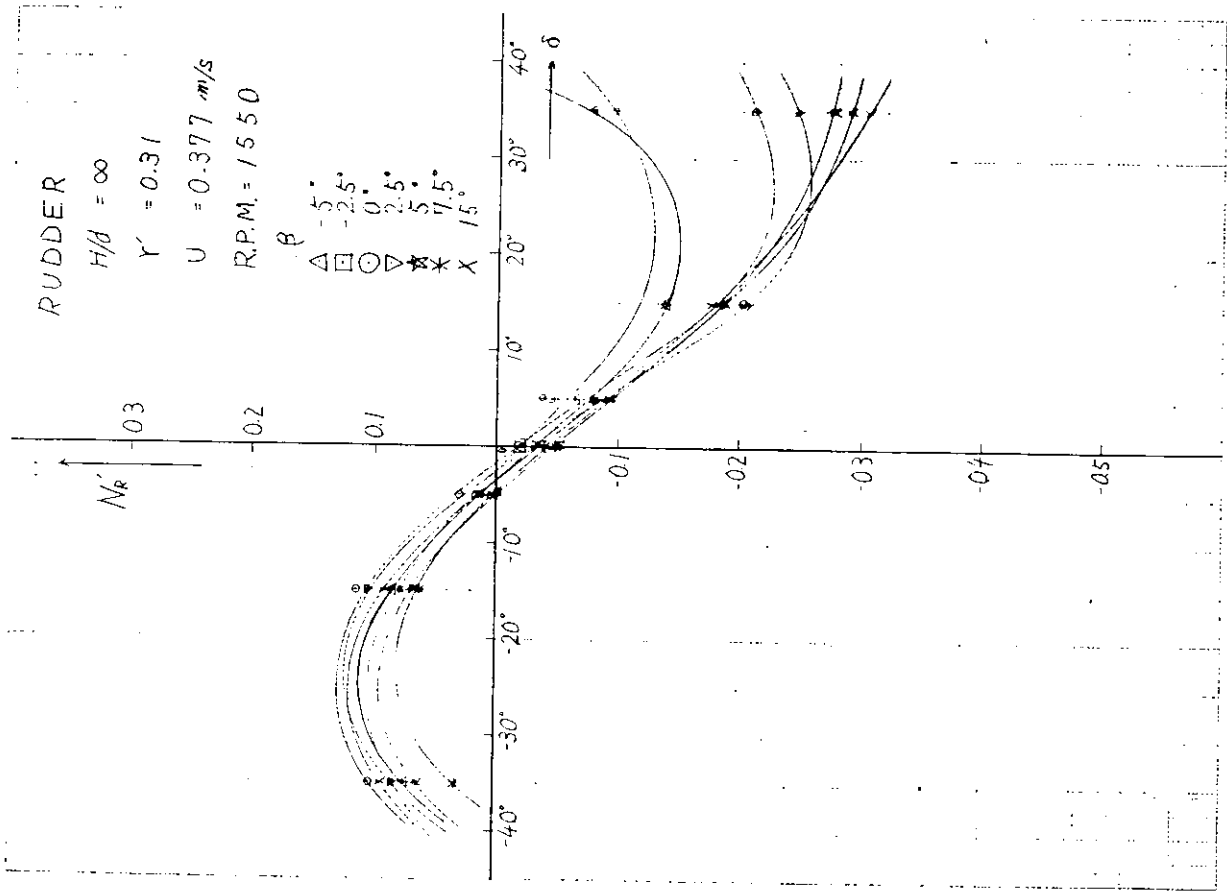
4.4.14



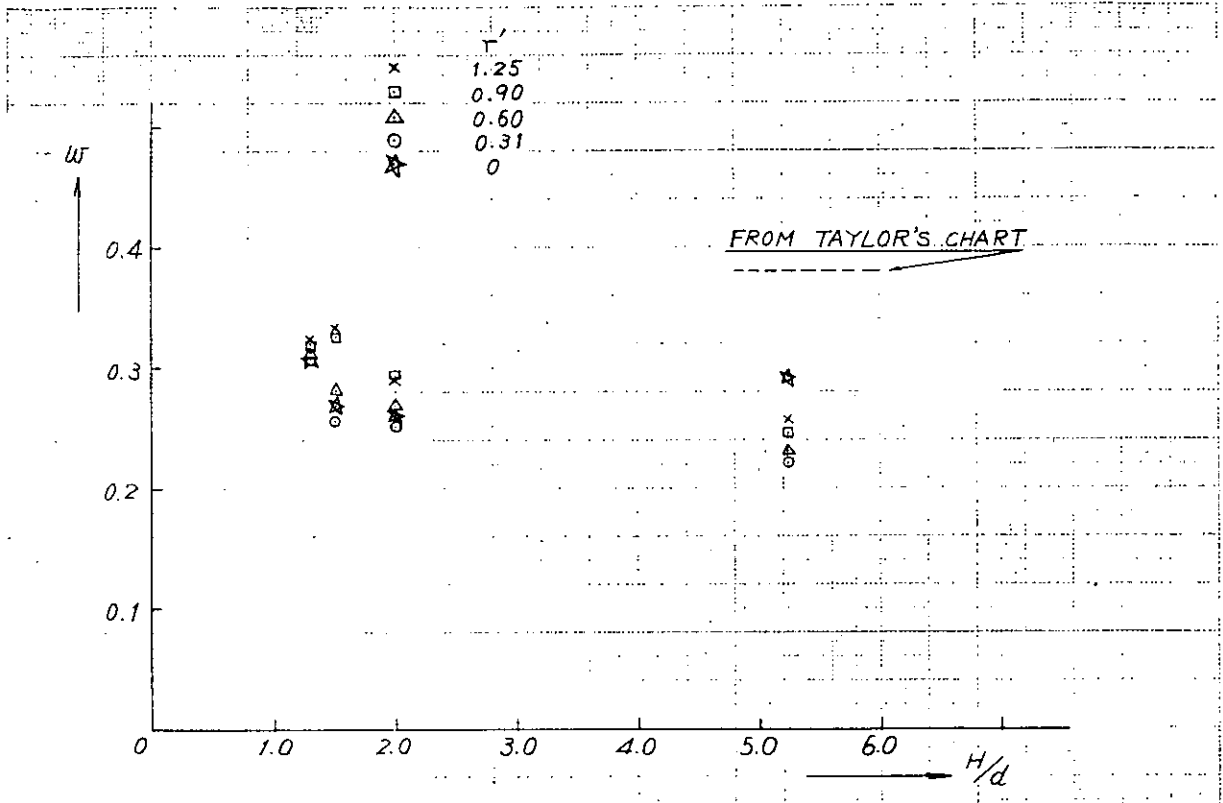
4.4.15



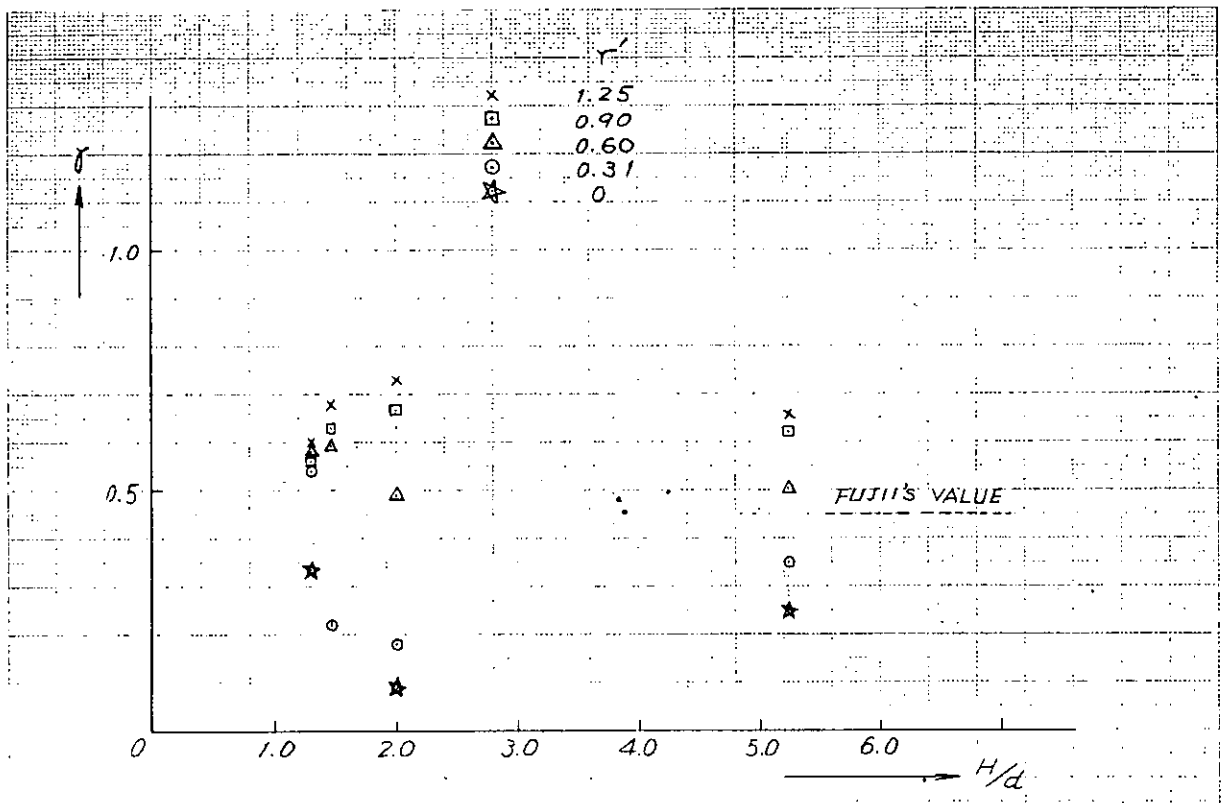
4.4.16



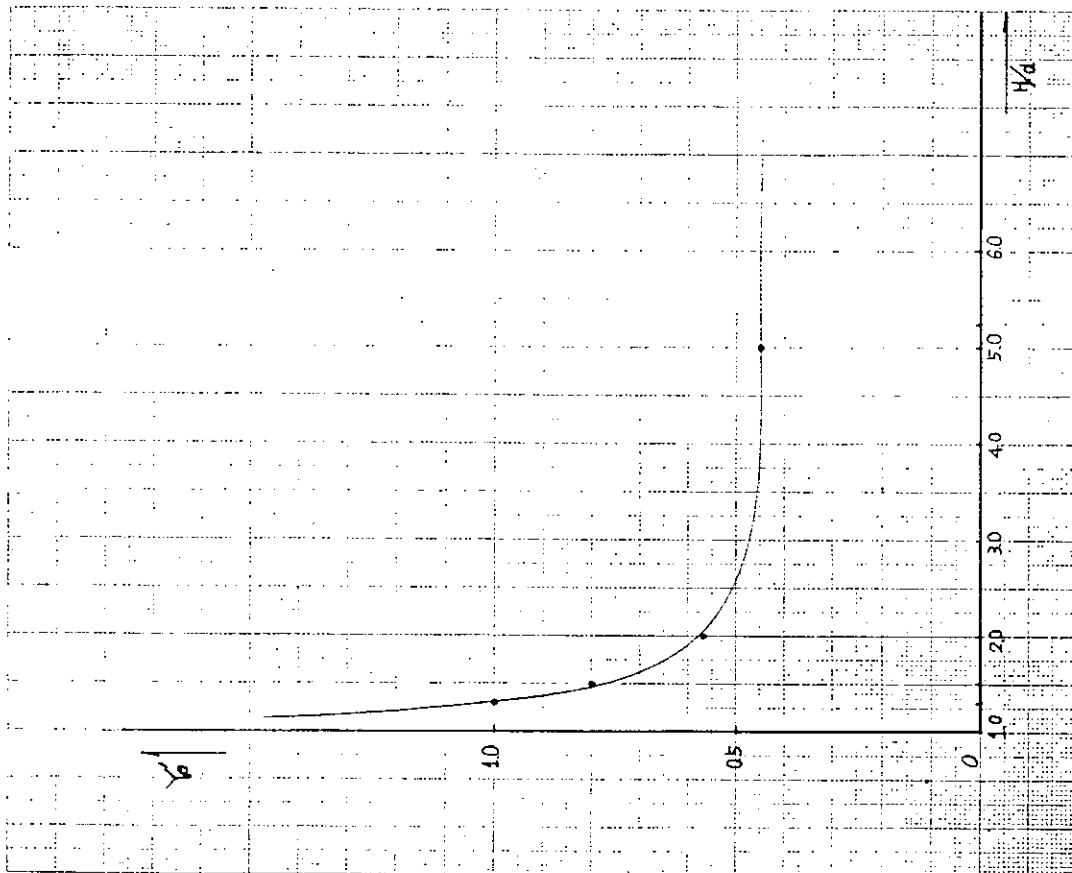
4.4.17



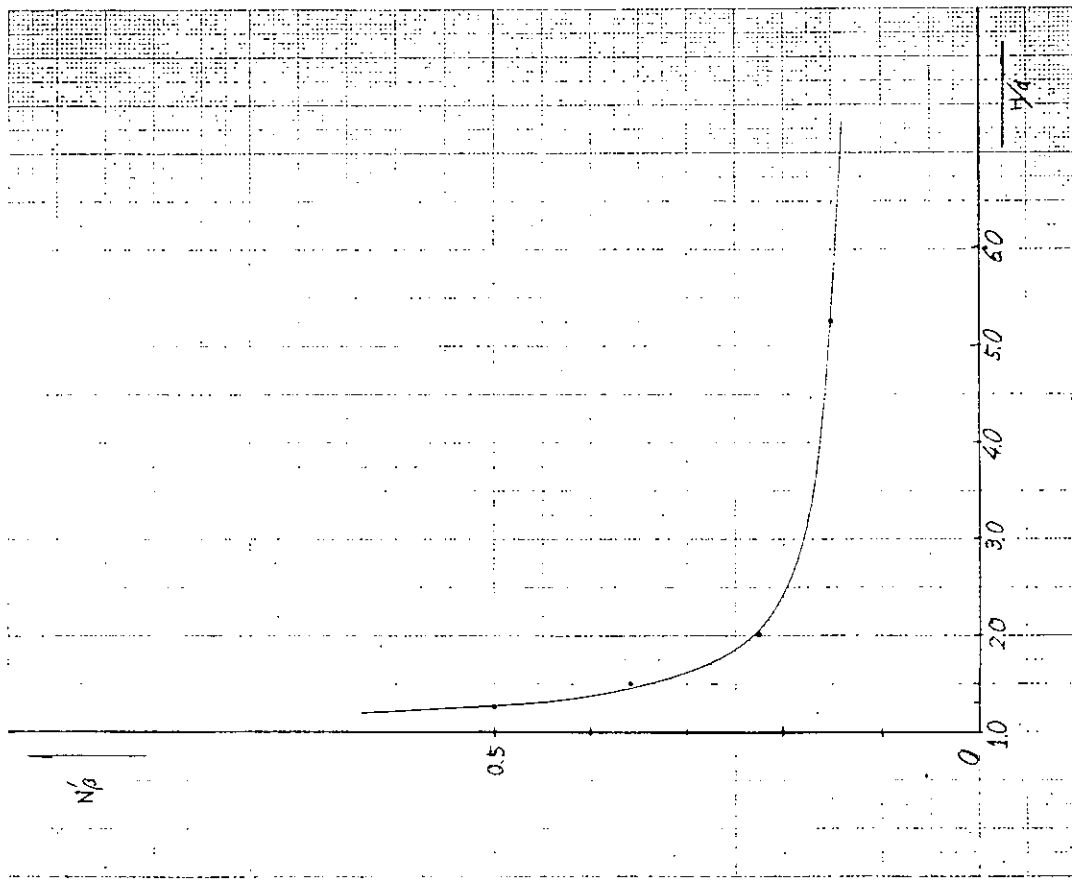
4.4.18



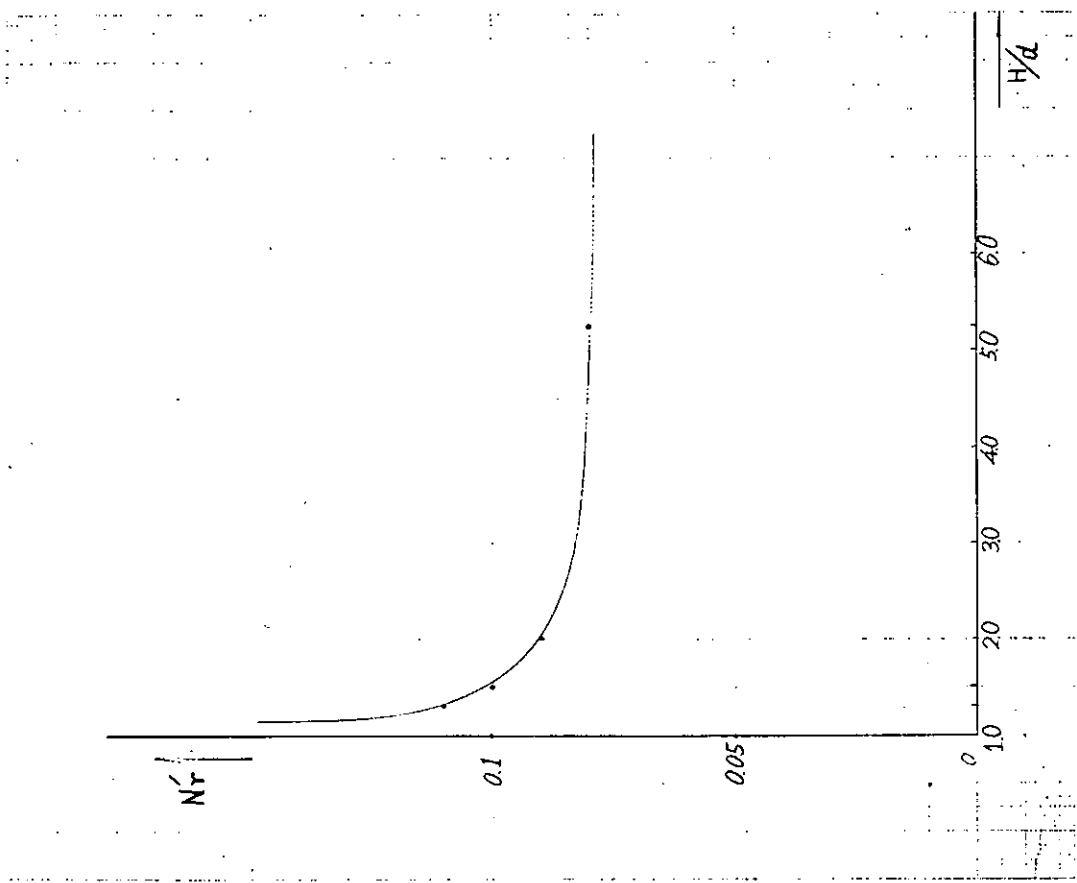
4.4.19



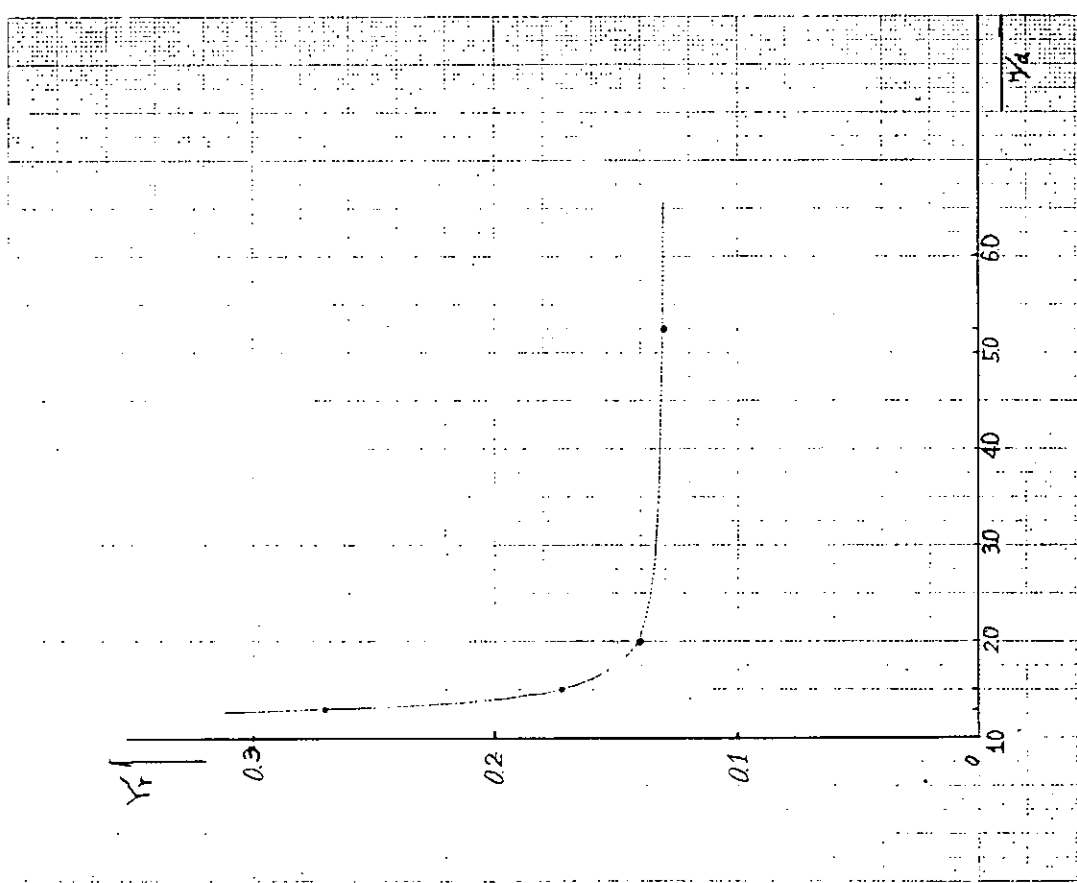
☒ 4. 4. 20



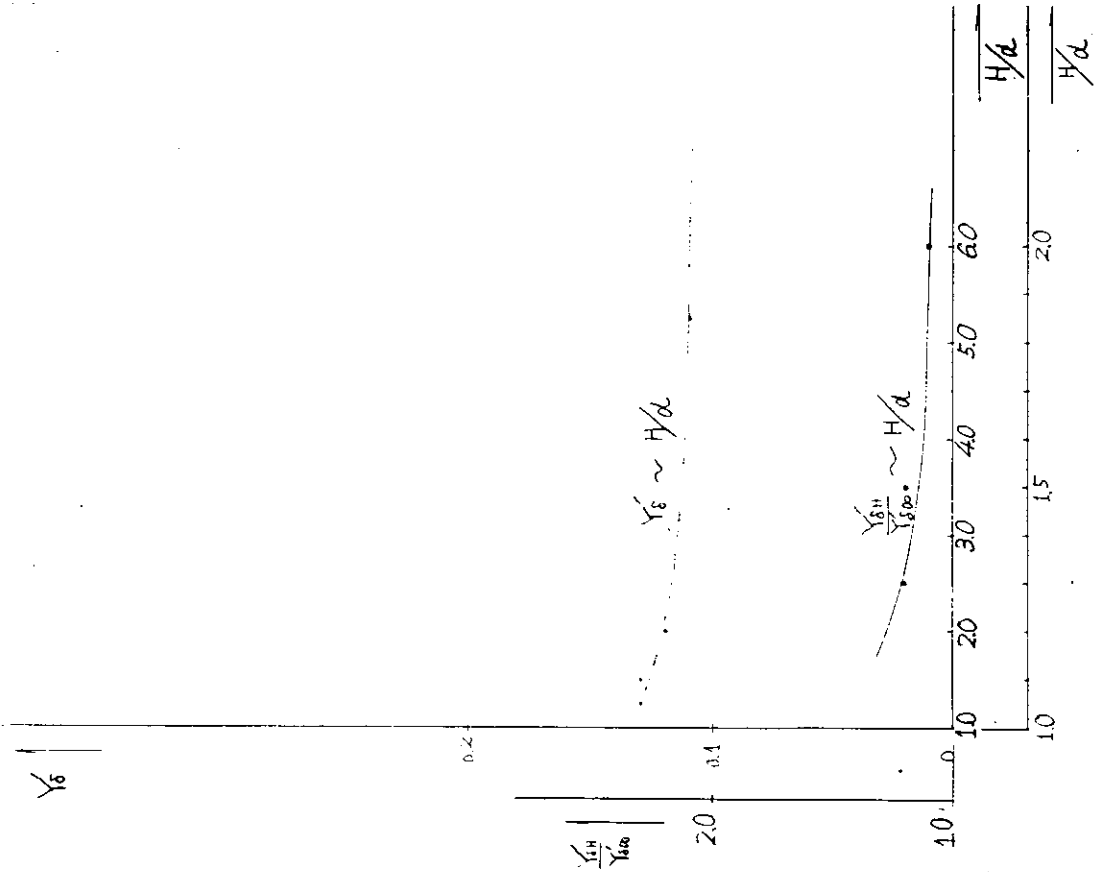
☒ 4. 4. 21



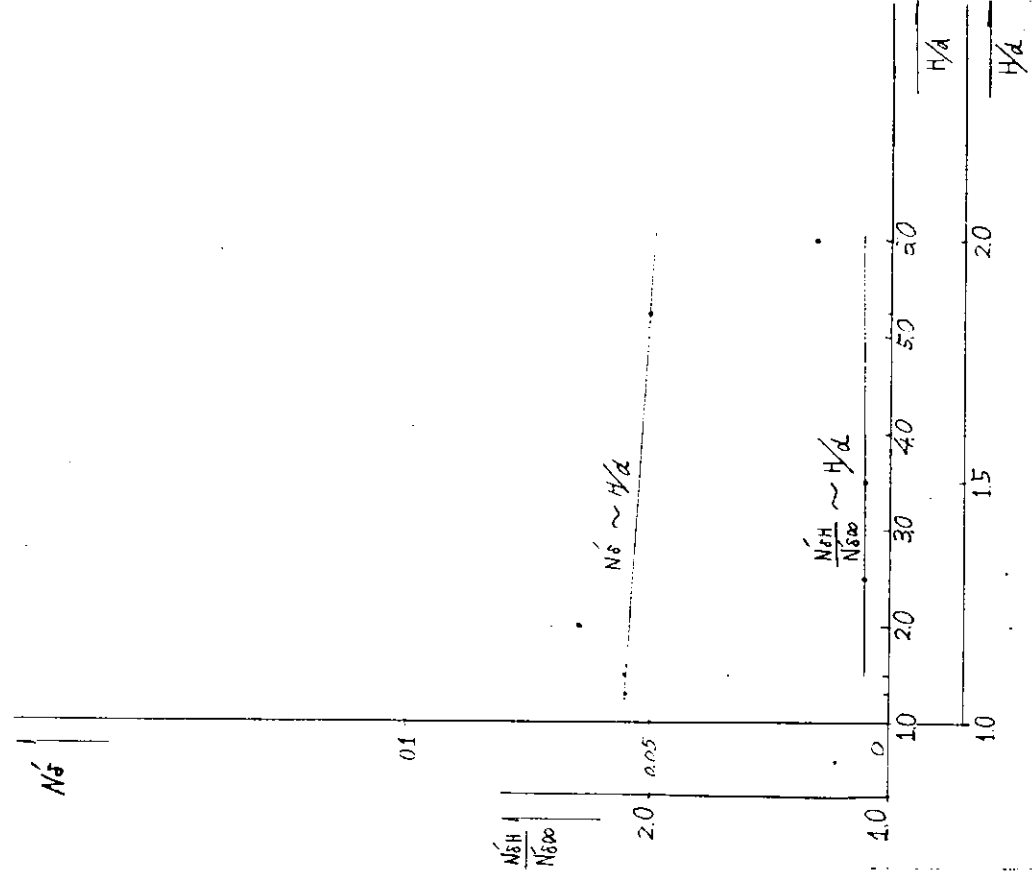
☒ 4. 4. 2.3



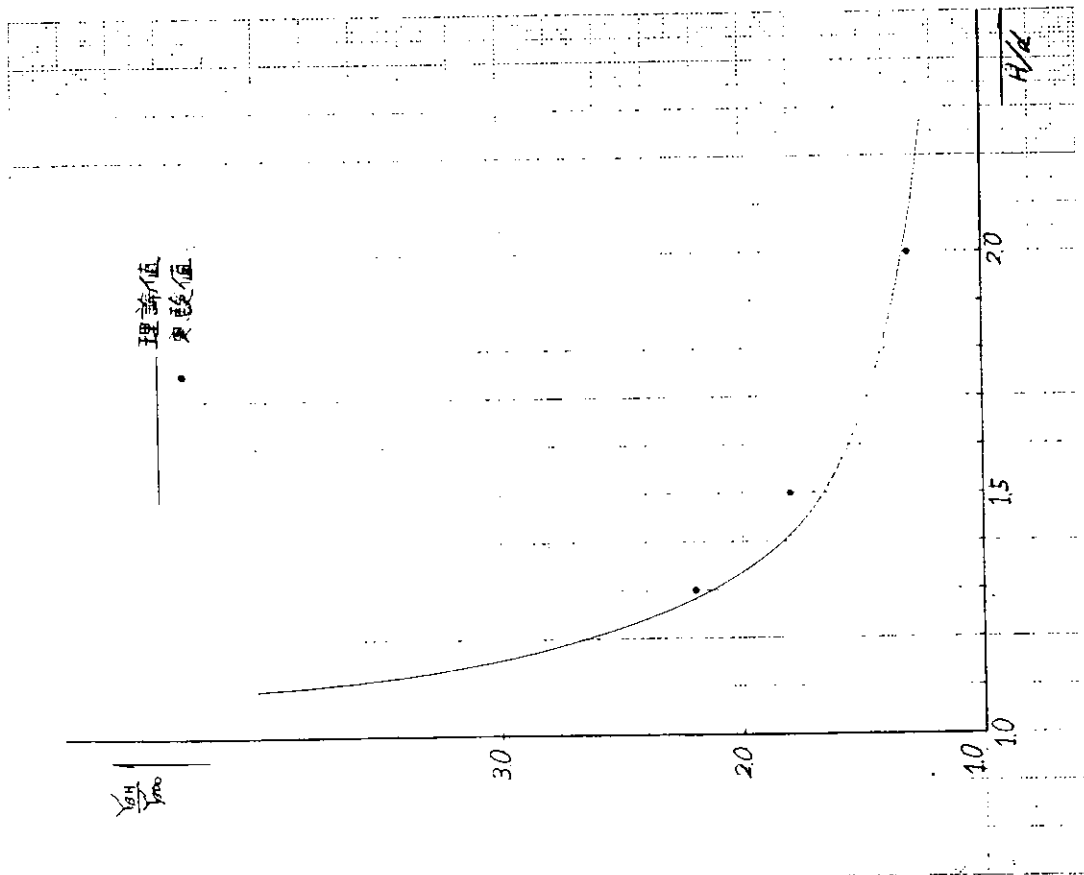
☒ 4. 4. 2.2



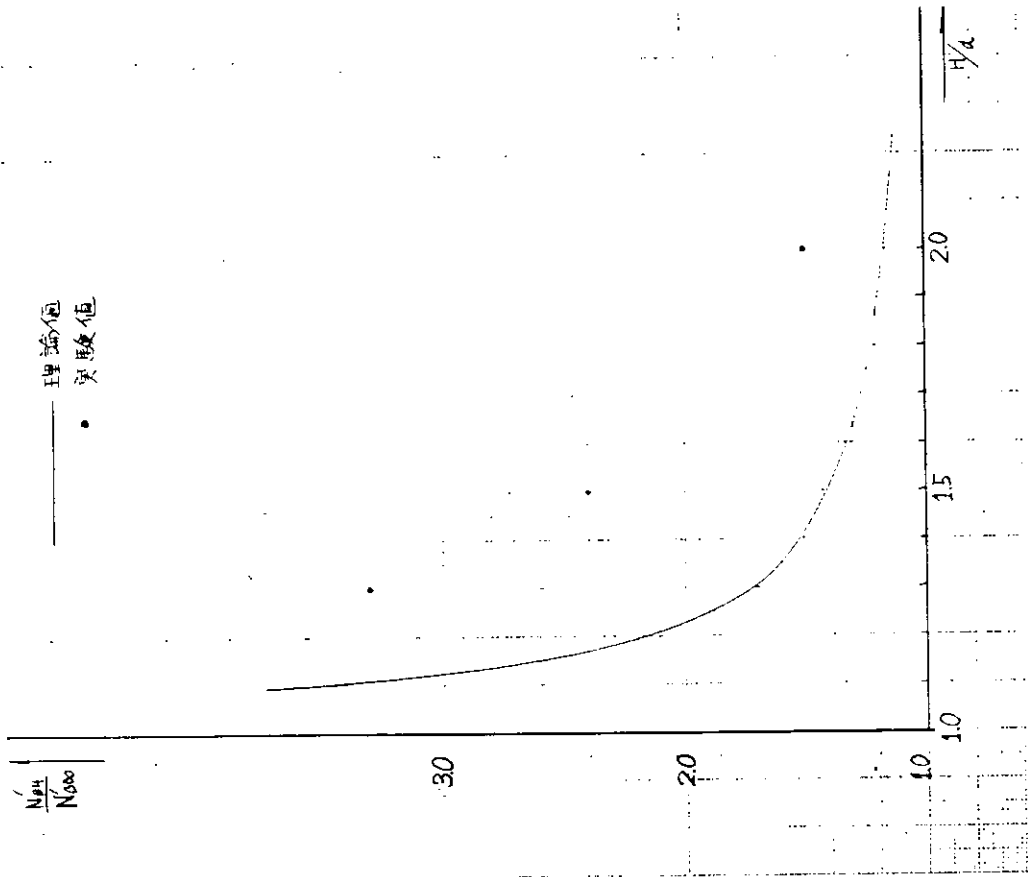
4.4.24



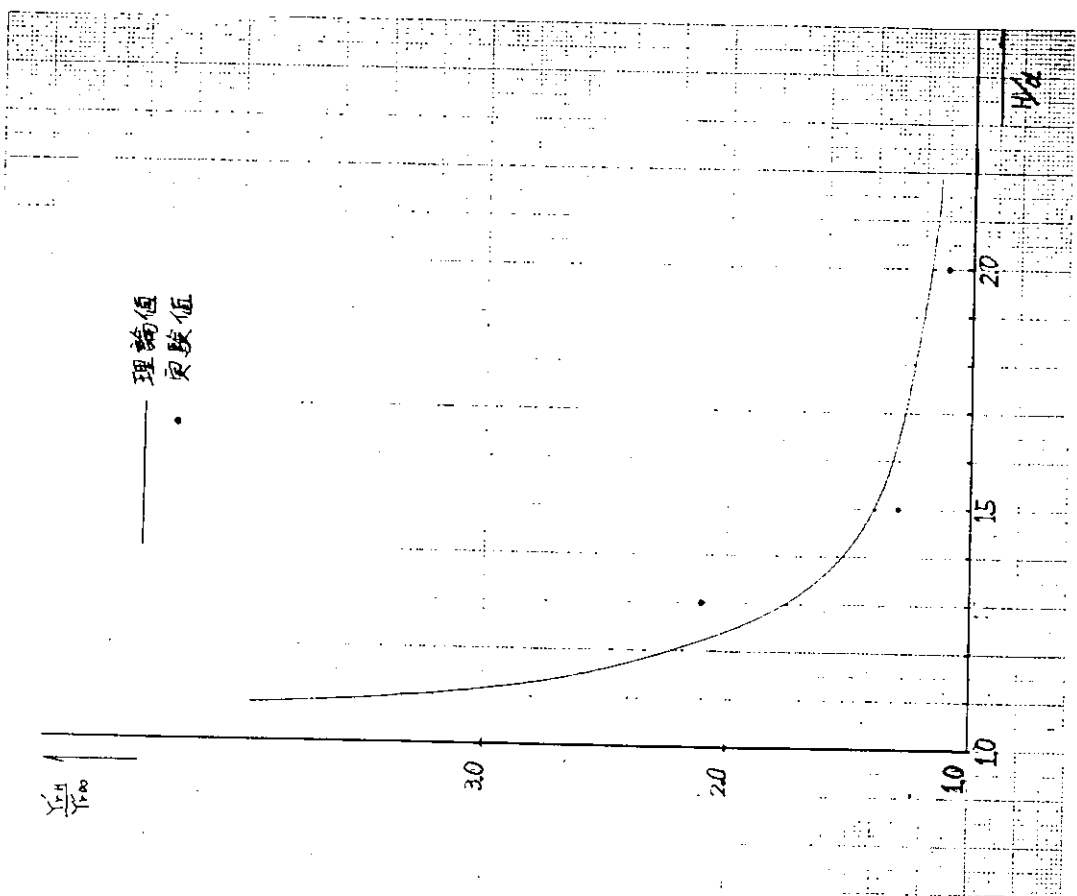
4.4.25



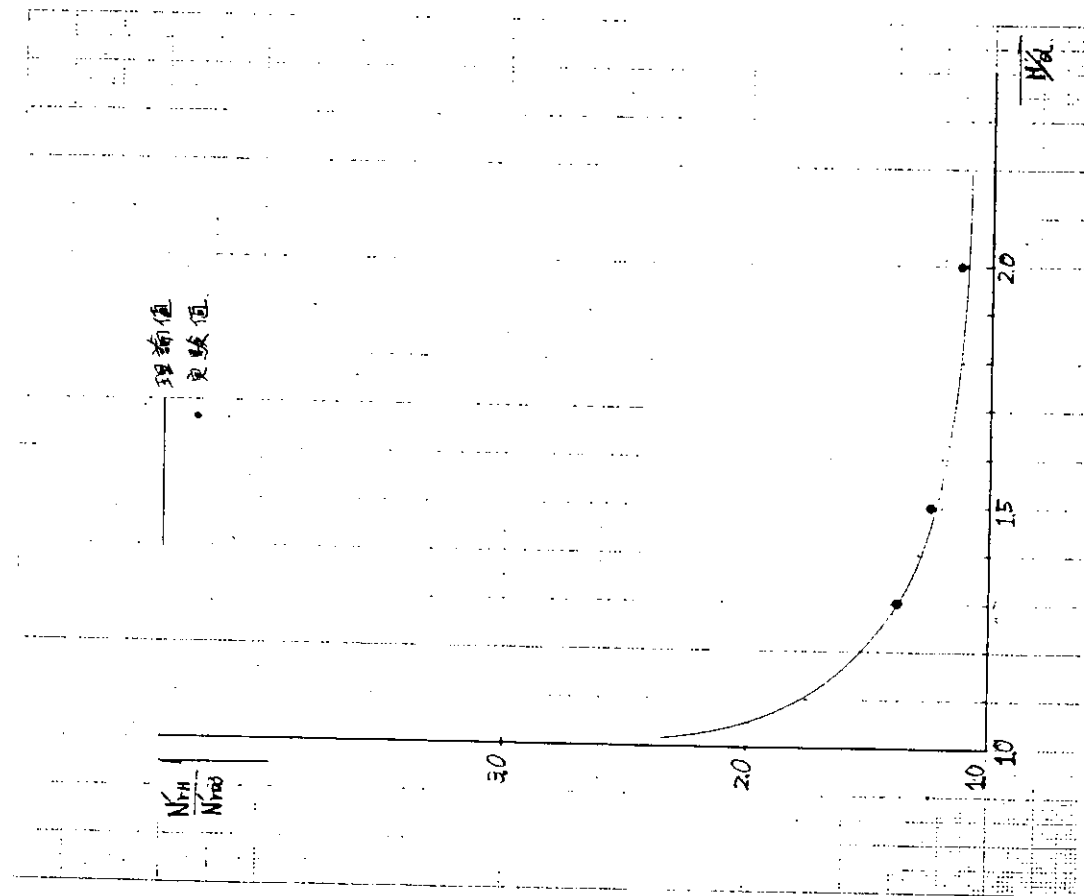
☒ 4.4.26



☒ 4.4.27

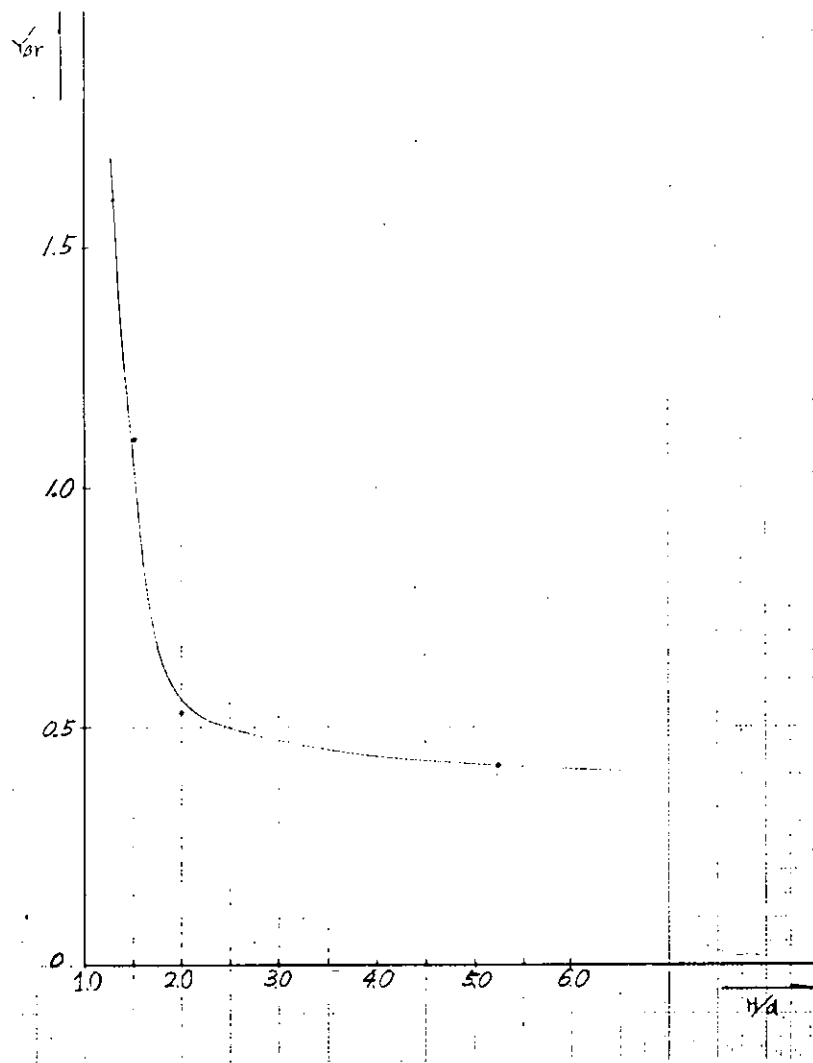


☒ 4.4.28



☒ 4.4.29





☒ 4.4.30

## § 5 Bow Thruster に関する予備的考察と実験

SR154 部会では昭和51年度計画の一環として Bow Thruster に関する実験を行なうことになっている。本計画の目的とする所は、クラッシュアスターン時に制御力を失なう舵の代替物として Bow Thruster がどの程度有効であるかを調査することであるが、そのためには従来行なわれてきた Thruster 推力の測定に加えて、微速時の船の運動特性も合せて考える必要がある。

### 5.1 微速時の操縦運動方程式

微速時においても運動方程式は変るものではなく、

$$\begin{aligned} m(\dot{u} - rv) &= f_X(\dot{u}, u, v, r) + f_{XC} \\ m(\dot{v} + ru) &= f_Y(\dot{v}, u, v, r) + f_{YC} \\ I\dot{r} &= f_N(\dot{r}, u, v, r) + f_{NC} \end{aligned}$$

で表現できる。 $f_{XC}, f_{YC}, f_{NC}$  は  $x, y, \phi$  方向の制御入力で、近似的には前進速度、プロペラ回転数、舵角およびバウスラスターの推力の関数と考えることができる。

$f_X, f_Y, f_N$  は流体力であり、これを求めるためにはテーラー級数に展開した上で、実験により微係数の形で求めるのが普通である。

通常の操縦運動では、このテーラー展開を  $u=U, v=r=0$  のまわりで行なうが、微速時には  $u$  が  $v, r$  と同程度に小さいため  $u=v=r=0$  のまわりで展開するのが適当と考えられる。船の前後および左右の対称性を考慮しながらこれを行なうと、

$$\begin{aligned} f_X(\dot{u}, u, v, r) &= -m_x \dot{U} + X_u U + X_v r + X_{uu} U^2 \\ &\quad + X_{uv} v U + X_{ur} r U \\ f_Y(\dot{v}, u, v, r) &= -m_y \dot{V} + Y_v V + Y_r r + Y_{vv} V^2 \\ &\quad + Y_{uv} U V + Y_{ur} U r + Y_{rv} r V \\ f_N(\dot{r}, u, v, r) &= -J_z \dot{r} + N_r r + N_{uv} U V + N_{rr} r^2 \\ &\quad + N_{uv} U V + N_{ur} U r + N_{vr} r V \end{aligned}$$

という形になる。慣性項以外の項は Rotating Arm 等によって求めることができ、この中で有意義なものだけを取り出せばよい。

### 5.2 微係数測定のための予備実験

微速時の操縦性微係数を求めるために Rotating Arm による実験を行なうにあたり、従来の実験と異なる点は、

- (1) 前進速度が遅い → 大偏角の実験が必要である。
- (2) 回転半径の小さい所の微係数も必要である。

ということから、比較的小型でもよいから低速特性のよい Rotating Arm が必要であり、また斜行試験のためには低速時の特性がよい曳航台車が要求される。

簡単な Rotating Arm を試作し、既存の Bow/Stern Thruster 付の模型について流体力を測定し、求めた運動方程式について、場所の移動の最短時間制御 (Feed Back なし) を行なった結果を図 5.1 に示す。制御入力の項に不備があったため実験値は多少計算値と離れているが、概ねよく運動を表現している。

この種の模型実験は低速であるため実船との相似則には困難が伴うのは当然であるが、制御の方法まで含めて考えるならば、実船の運動の推定に役立つであろう。

本実験では、試験装置を整備した上で、浅水影響も含めた実験を行なうべきである。

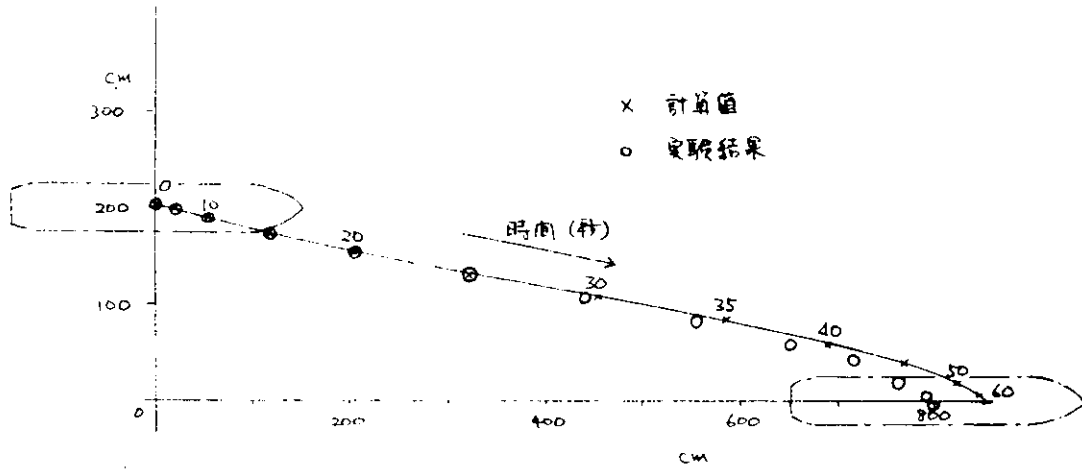


図 5.1 Bow/Stern Thruster による模型船の移動

## 6. 結果のまとめと考察

### 6.1 推進性能

#### (1) 2軸船の相似則

8 m 模型船の実験結果の解析が未了であるため相似則一般に関する結論は次年度に譲るが、2軸船ではボッシングまわりの流れがレイノルズ数で微妙に変化することが考えられ、実船換算にかなりの困難が予想される。又、自航試験結果及び流線観測の結果から見て、肥大船模型の乱流促進は従来の方法では不十分で特別な工夫を要することがわかった。

#### (2) 制限水路における運航性能

浅水域における2軸船の4.5 m 模型実験の結果より肥大船の実用航行速度範囲を考えると、浅水影響に基づく抵抗増加は、見掛けの粘性抵抗の増加あるいは見掛けの形状抵抗増加として、取扱うことができることが判った。船体沈下(Squat)を計測した結果、大型肥大船の速度範囲では船首沈下が顕著で触底するとすれば船首船底であること、プロペラの影響は船尾沈下に現われること等が判った。

又、神戸商船大で行われた実験結果に較べ今回の結果では特に高速域で船体沈下が少な目に出ているが、これは神戸商船大の実験が小型模型で且巾の狭い水槽で行われたため沈下が誇張されて出たものと考えられる。

### 6.2 運動性能

#### (1) 操縦性に対する船型の影響

昨年系統模型試験の母型として選んだ船型が強い異常現象を示し、そのため船型の操縦性に及ぼす影響を知ることができなかつたので、本年度は先ず母型の船尾船型を修正し、主として船尾オーバハングを下げることにより異常現象の現われない母型を作り、この母型を中心として $L/B=4, 5, 6$ に変元、更に $L/d$ 一定及び $B/d$ 一定の両シリーズ計5隻の4 m 系統模型船により自走模型試験を実施した。

その結果異常現象に妨げられることなく船型の影響を知ることが出来たが、 $L/B=4$ を含む操縦性の系統模型試験の結果は世界でも初めてのものではないかと考えられる。

船型の影響としては、先づ $L/B$ の影響は $L/d$ 一定のシリーズでも $B/d$ 一定のシリーズでも共に $L/B$ が小さくなるに従って針路不安定となり且すべての舵角について旋回性がよくなる傾向を示した。又 $L/d$ の影響は一般に $L/d$ の大きい方が針路不安定となる傾向を示し、特にこの傾向は $L/B$ の小さいときに強く出ている。

2.5 m 拘束模型による流体力微係数の計測は、昨年に引続き $L/B=4$ の船型と $L/B=5$ の船型(何れも改造前の船型)について行われたが、その結果を用いて求めた逆スパイラル試験結果は異常現象を示さずむしろ改造後の本年度船型の自航模型試験による逆スパイラル試験結果と類似のものとなった。この点は模型サイズの影響、拘束模型試験の解析方法とも関連して再検討すべき問題である。

4.5 m 模型を用いた浅水時流体力計測試験は、今回は斜航試験だけに止まったが興味ある結果が得られた。

#### (2) 浅水域における操縦性

$L/B=5$ の改良船型5-27Mを用い浅水域で広範囲なローテーションアーム試験を行ない、流体力の水深による変化を求めた。流体力微係数は何れも水深が浅くなると急激に増加するが、その傾向は井上の理論を用いて推定したものと $N_p$ を除きよく一致することがわかった。非線型の流体力微係数も水深と吃水の比が1に近づくると急激に大きくなることが確かめられた。

又、伴流係数及び舵に対する整流係数に対する浅水影響が求められたが、前者は水深が浅くなると徐々

に増加し、後者はほとんど水深によって変化しないことが確かめられた。

(8) サイドスラスターの効果に関する予備実験

51年度に実施を予定されている「緊急停止時の船の方位のサイドスラスターによる制御」の予備実験として、サイドスラスターによる自動着岸実験を行なった。又、船速の非常に小さいときの運動方程式及び流体力係数について検討を行なった。