

## 第 171 研究部会

# 総合輸送効率向上を目指した 幅広船型の開発に関する研究 報 告 書

昭和 53 年 3 月

社 団 法 人  
日 本 造 船 研 究 協 会

本研究は幅広浅吃水船型の開発を目的として昭和52年度から3か年計画で始まったもので、初年度である本年度は内外の基礎資料調査、研究対象船型の選定、理論を援用した最適船型の立案、線図設計等を行ない、 $C_B$ 、 $L/B$ 、 $B/d$ シリーズ系統試験の中の1隻について模型船を製作し、理論的検討及び水槽試験を実施した。水槽試験結果はシリーズモデルすべての試験が終了した段階で考察すべきであるが、調査結果や理論的検討結果とあわせて報告書の形にとりまとめた。

## は し が き

本報告書は、日本船舶振興会の昭和52年度補助事業「船舶の構造・性能に関する基礎的研究」の一部として、日本造船研究協会が第171研究部会においてとりまとめたものである。

本研究部会の委員および討議参加者は次のとおりである。

### 第171研究部会委員名簿

(敬称略、順不同)

部会長	乾 崇夫(東京大学)	
副部会長	横尾幸一(日本造船技術センター)	
幹事	今堀健三(三井造船)	寺井芳男(日本造船技術センター)
委員	田中一朗(大阪大学)	梶谷 尚(東京大学)
	右近良孝(船舶技術研究所)	山口真裕(船舶技術研究所)
	川口 昇(三菱重工業)	城野隆史(日立造船)
	国米昭久(日立造船)	福田正篤(日本鋼管)
	池畑光尚(川崎重工業)	高橋洋二(石川島播磨重工業)
	山崎芳嗣(佐世保重工業)	牛島秀利(住友重機械工業)
	篠原喜代美(函館ドック)	内田 徹(尾道造船)
	荻野繁之(佐野安船渠)	高津浩治(来島どック)
	藤原芳夫(名村造船所)	東 哲朗(大阪造船所)
	羽田知所(大阪商船三井船舶)	渡辺 明(山下新日本汽船)
	二宮鎮男(日本無線)	奥山義勝(神戸製鋼所)
	山口誠之(日本鋼管)	
協力者	多賀野 寛(三菱重工業)	塙 友雄
	鶴岡正敬(東京大学)	

### 第171研究部会小委員会委員名簿

(敬称略、順不同)

部会長	乾 崇夫(東京大学)	
副部会長	横尾幸一(日本造船技術センター)	
幹事	今堀健三(三井造船)	寺井芳男(日本造船技術センター)
委員	梶谷 尚(東京大学)	右近良孝(船舶技術研究所)
	山口真裕(船舶技術研究所)	川口 昇(三菱重工業)
	城野隆史(日立造船)	国米昭久(日立造船)
	池畑光尚(川崎重工業)	高橋洋二(石川島播磨重工業)
	山崎芳嗣(佐世保重工業)	牛島秀利(住友重機械工業)
	渡辺 明(山下新日本汽船)	
協力者	多賀野 寛(三菱重工業)	塙 友雄
	鶴岡正敬(東京大学)	

第171研究部会委員会・小委員会討議参加者名簿

(敬称略、順不同)

高橋 強(船舶技術研究所)  
山野 惟夫(川崎重工業)  
永松 秀一(住友重機械工業)  
北川 修三(尾道造船)  
相原 和樹(三菱重工業)  
中山 一夫(住友重機械工業)  
岡田 利治(尾道造船)

宮本 雅史(日立造船)  
田村 欣也(三菱重工業)  
家永 稜威雄(佐世保重工業)  
須田 和則(名村造船所)  
坂本 昭弘(佐世保重工業)  
田中 秀信(日立造船)  
北沢 孝宗(日立造船)

# 目 次

第 1 章 結 言 .....	1
第 2 章 船型に関する調査 .....	2
2.1 研究対象船 .....	2
2.2 RoRo 船の主要目調査 .....	2
2.2.1 国内外で建造された RoRo 船の主要目 .....	2
2.2.2 RoRo 船と在来船型の主要目上の比較 .....	2
2.3 RoRo 船の船型特徴 .....	21
2.3.1 復元性 .....	21
2.3.2 船尾形状 .....	21
2.3.3 浮心位置(Lcb) .....	21
2.4 船型要素と抵抗・自航要素調査 .....	25
2.4.1 船首バルブが抵抗に及ぼす影響 .....	25
2.4.2 船型要素と自航要素の関係 .....	25
2.5 研究対象船の馬力推定 .....	34
第 3 章 船型計画 .....	39
3.1 船型計画基本方針 .....	39
3.2 多賀野方式による船型の検討 .....	39
3.2.1 多賀野方式による統計解析と船型改良法 .....	39
3.2.2 統計解析に使用したデータと多賀野方式の適用 .....	40
3.2.3 統計解析結果の検討 .....	41
3.2.4 多賀野方式による最適船型の選定 .....	43
3.3 塙方式による検討 .....	45
3.4 研究対象船型の選定 .....	45
3.4.1 プリズマチックカーブ .....	45
3.4.2 線図設計 .....	72
第 4 章 水槽試験 .....	73
4.1 模型船および模型プロペラ .....	73
4.2 試験状態 .....	73
4.3 試験結果 .....	73
第 5 章 結 言 .....	85

## 第1章 緒 言

近年内航海運の近代化、省力化が強く要請され、しかも、陸上輸送を含めた一つのシステムとしての能率化が要望されている。これには船型の問題のみならず荷役設備、荷役方法も大きな問題であって、これ等の問題すべてに対して十分な調査および検討が必要であるが、これらの問題に対する総合的な調査を行うには長い時間がかかってしまう。その第一段階として採り上げねばならないのは船型の問題であろう。

内航海運の船としては、古くは低速の一般貨物船が主に使用されてきたが、輸送量の増加、輸送物の変化によって、船型、船種は変化するようになり、高速カーフェリー、カーゴフェリー、高速コンテナ船（リフトオン・リフトオフ船）をへて中速コンテナ船（ロールオン・ロールオフ船）が出現するようになった。また、輸出船市場においてもロールオン・ロールオフ船の建造需要はかなり高いものがある。

従来の船型開発は、大型タンカーや高速コンテナ船を対象としたものが殆んどであり、カーフェリーや中速コンテナ船のような幅広浅喫水船型に対する研究資料は少ない。

以上に述べてきたようなことから、本部会においては、幅広浅喫水船の船型開発を行うこととし、必要最小限の系統的模型試験を計画した。

研究の内容としては、高速から中速に至るまでのロールオン・ロールオフ船型を対象としてCB、L/BおよびB/dを変化させた9隻と、横截面積曲線を変化させた2隻の模型を選ぶことにした。

従来の系統的模型試験においては、一つの母型を従来の資料によって求めて、その母型を幾何学的に変化させることによって模型船群を求めた。この場合は、母型以外の模型船はその主要目において最適の船型となっていないために、殆んどのものが母型に比べて劣った性能を示すことになった。

実際に船型を設計する場合には、その主要目が選定されれば、その主要目と船速との関連において最適の横截面積曲線形状やフレームライン形状を選ぶべきものであるから、従来の系統的模型試験の資料では満足すべき答を与えないことになる。

本研究の系統的模型試験においては、それぞれの主要目をもった模型船に対して、各設計速力に関しての最適船型を理論的検討によって求めて、最適船型によって構成される系統的試験を行うこととした。このような系統的試験によってこそ学問的にも実用的にも意義のある結果が生れるものであって、将来行われる系統的模型試験はすべてこのような方法によって行われることを期待するものである。

横截面積曲線を変化させるシリーズは2つの意義をもつものと思われる。その1つは、理論的検討の結果求められた最適の横截面積曲線が実験的にも最適のものであるかどうかを検証することであり、他の1つは横截面積曲線の変化が抵抗・推進性能に及ぼす影響を知ることである。

また、幅広浅喫水船の船尾の流れは非常に複雑であることが予想されるので、各模型船について伴流分布の計測を行うとともに、代表的な1船型については理論計算を行って流れの模様を調べることにした。

以上の研究を行うには約3年の年月がかかるものと思われるが、初年度である昭和52年度としては、CB = 0.55、L/B = 5.25、B/d = 3.4の船を選んで理論的検討を加えた後、抵抗、及び自航の両試験を行った。

系統的模型試験を行うべき船型についての各種の調査、理論的検討および模型試験の結果等について以下に述べる。

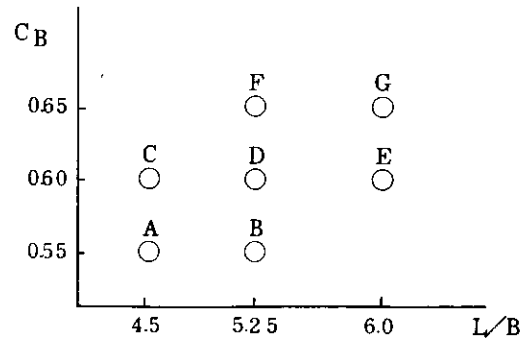
## 第2章 船型に関する調査

### 2.1 研究対象船

研究対象船についての大体の様子は緒言に述べたとおりであるが、各種資料を調査した結果、系統的模型試験を行うべき模型船の主要目を定めた。

基本シリーズとしては、 $B/d$ を3.4の一定として、下に示すような $C_B$ と $L/B$ の組合せの7隻を採用した。このうちの1船型を選んで $B/d$ を3.7および4.0に変化させた2隻の模型と、横断面積曲線を変化させた2隻の模型船を追加する。

$C_B \sim L/B$ シリーズの模型船に対しては右図に示したような記号を付して呼ぶことにし、52年度としては模型船Bを研究の対象とした。



### 2.2 RoRo船の主要目調査

#### 2.2.1 国内外で建造されたRoRo船の主要目

Ro-Ro船がいわゆる外航船として登場したのは、1959年と言われており、それ以来国外では数多くのRo-Ro船が建造されている。Ro-Ro船の主要目調査に当っては出来るだけ新しいデータを収集した。Table 2.2.1に日本及び外国で建造された船の主要目、各社の標準Ro-Ro船の一覧表を内外雑誌<sup>1)</sup>から抜萃して示した。

表中、船型要素として重要な $C_B$ 、 $C$ 、 $C_w$ 、 $LCB$ の空欄が目立つが参照した各雑誌中に記載がなかったものである。

ただ排水量の判っているものについては

$C_B = \text{排水量} / (1.025 \times L_{pp} \times B \times d)$ から算出した $C_B$ を記載した。

主要目の分布状況をFig. 2.2.1に示した。この図から各主要目は主として次の範囲内で使われていると言える。荷役設備、運航形態(定期航路、季節航路、沿海航路)の違いによりかなり広範囲に主要目が分布しているのが特徴である。

$$\begin{aligned} 5 &< L/B < 7 \\ 2.8 &< B/d < 4 \\ 0.55 &< C_B < 0.7 \\ 0.7 &< C_w < 0.9 \\ +1\% &< LCB < +4\% \end{aligned}$$

#### 2.2.2 RoRo船と在来船型の主要目上の比較

##### (1) $C_B \sim L/B$ の比較

Fig. 2.2.2に今回調査対象にしたSR171船の $C_B \sim L/B$ の範囲を水槽試験を実施した在来船の $C_B \sim L/B$ の例と共に示した。図中の×印は国内外のRo-Ro船の建造実績であるが水槽試験を実施したかどうかは不明である。

##### (2) 主要目と排水量長比の比較

Fig. 2.2.3に日本造船技術センターへ水槽試験を依頼されたRo-Ro船、カーフェリー、カーキャリアーの主要目と排水量長比の関係を示した。

##### (3) フルード数( $F_n$ ) $\sim DW/L \cdot B \cdot d$ の比較

載荷重量指数( $DW/L \cdot B \cdot d$ )とフルード数の関係を見るため、Ro-Ro船と在来船型を比較して、

Fig. 2.2.4<sup>2)</sup> に示した。これによるとRo-Ro船と言えども載荷重量指数は在来のタンカー、バルクキャリアーや貨物船の延長線上にあり、フルード数的にはコンテナ船と同程度でかつフェリーボートより小さいFnをもつ船型であることがわかる。

#### 参 考 文 献

- 1) 船の科学            1969～1977  
   船 船            1969～1977  
   MOTOR SHIP 1970～1977  
   SHIPPING WORLD AND SHIP BUILDER 1970～1977  
   MARINE WEEK        MAR.1977  
   MARINE TECHNOLOGY    OCT.1976
  
- 2) 船舶 4月号 1976    宝田「カーフェリーボート設計の周辺」



Table 2.2.1(a) Particulars of Ro Ro Ships Built in Japan

Name of Ship	Australian Enterprise	Australian Emblem	Jeddah Crown	とまこまい丸	ほっかいどう丸
class	LR	LR	LR	NK	NK
LOA (m)	181.70	222.25	119.0	147.50	128.226
Lpp (m)	168.00	20.50	104.0	135.00	120.00
B (m)	25.00	3.00	18.9	22.50	20.00
D (m)	16.40	18.9	10.5	14.00	6.8
d (m)	8.23	10.51	7.5	6.60	6.0
GT	16,580	23,183	3,391	6,738	3,751
DW	(d=8.989m) 14,308	23,481	6,563	4,385	3,712
L.W.	8,221	15,136		6,281	
Displacement	20,028	38,617		10,666	
L/B	6.72	6.83	5.50	6.0	6.0
B/d	3.03	2.85	2.52	3.41	3.33
CB	0.565	0.5814		0.519 *	
C <sub>g</sub>	0.964	0.9474			
C <sub>p</sub>	0.586	0.6137			
C <sub>w</sub>	0.743	0.8169			
LCB	+1.97%	+1.86%			
Main Engine	3-MAN V8V 40/54	1-MAN V9V 52/55 2- " V7V "	MAN V8V 40/54	MAN 16V 52/55	14 PC2-5V
MCR × rpm	26,070×400	46,000×430	8,900×430	16,000×430	9,100×520
NOR × rpm	22,200×400	40,000×430	8,010×416	13,600×407	8,190×502
Vs(knot)	21.50	22.70	16.0	19.50	15.8
Propeller Type	1-CPP	1-CPP	1-CPP	1-FPP	1-FPP
" rpm	130	112.8	167.22	171.5	
Thruster	1-BOW THRUSTER	1-BOW THRUSTER	1-BOW THRUSTER	1-BOW THRUSTER	
TEU	601	1,435	330		
Trailer	CAR 113		12	130	107
Shipbuilder	川 重	川 重	新 浜	林 兼	石川島化工
Delivery	1969	1975	1976	1975	
同 型 船	兵庫丸 Australian Searoader Australian Explorer	James Cook Australian Escort	Merzario ionia	東京丸 Serenissima Express	

注) \* CB =  $\frac{\Delta}{1.025LBd}$  より算出

Name of Ship	Seaspeed Arabia	SAMAH	TROPIC ISLE	SEA BRIDGE	第二釧路丸
class	LR	BV	BV	BV	NK
LOA (m)	197.50	77.3	71.60	83.80	130.04
Lpp (m)	180.00	69.6	68.58	75.60	120.0
B (m)	32.20	15.22	14.63	16.20	20.0
D (m)	19.85	4.075	4.27	4.00	UPP BK/SS BK 800/1390
d (m)	10.028	3.20	3.604	3.156	6.118
GT	14,530	5,977.0	7,268.5	7,183.6	4,911.15
DW	22,852	1,300	861.05	1,402.38	4,911.7
L.W.	13,083				
Displacement	35,935	2,166	1,626	2,537	9,124
L/B	5.59	4.573	4.688	4.667	6.000
B/d	3.21	4.756	4.059	5.133	3.269
CB	0.604	* 0.623	* 0.439	* 0.640	* 0.606
C <sub>x</sub>	0.966				
C <sub>p</sub>	0.625				
C <sub>w</sub>	0.841				
LCB	+2.8%				
Main Engine	2×MAN 14V 52/55	ダイハツ 8PSHTC M26ES×2 2×1,000BHP /720RPM	GM8-645E6 ×2 2×975 /900	ダイハツ 8PSHTC M26ES(L)×2 2×1,000/720	18PC2-5×1 10,800/240
MCR × rpm	28,000×430		2×828.7 /852.5	2×850/680	9,180/227
NOR × rpm	25,200×430	2×850/680	14.38	12.5	17.00
Vs (knot)	19.0	12.5			
Propeller Type	1-CPP		2 軸		240
" rpm	1226				
Thruster	2-BOW THRUSTER 1-STERN THRUSTER				
TEU	1,315	94	62	35' 72	ロール紙 4,000本
Trailer	307	22	or 16	or 27	
Shipbuilder	川 重	寺 岡 造 船	石 川 島 造 船 化 工 機	寺 岡 造 船	四 国 ド ッ ク
Delivery	1977	51-11-26	52-2-18	52-3-10	51-4-10
同 型 船	Seaspeed Asia				

Name of Ship	空知丸 (貨車渡船)	釧路丸	えめらるどおきなわ (Ro Ro貨客船)	だいやもんど おきなわ (Ro Ro貨客船)	ごーるてんおきなわ (Ro Ro貨客船)
class	NK		JG	JG	JG
LOA (m)	144.6	130.00	126.07	162.97	126.07
Lpp (m)	136.0	120.0	118.0	150.0	118.0
B (m)	18.40	20.0	22.0	21.00	22.0
D (m)	7.20	8.00/13.90	8.10	13.80	13.20
d (m)	5.118	6.03	5.52	6.171	5.75
GT	4,123.60	4,720.47	6,150.44	8,609.62	7,604.28
DW	2,682.45	4,839.03	2,215.48	2,891.20	2,474.35
L.W.					
Displacement	6,654.93	8,999.0	7,107.98	10,185	7,705.12
L/B	7.391	6.000	5.364	7.143	5.364
B/d	3.595	3.317	3.986	3.403	3.826
Cb	* 0.507	* 0.607	* 0.484	* 0.511	* 0.504
C <sub>x</sub>					
C <sub>p</sub>					
C <sub>w</sub>					
L <sub>CB</sub>					
Main Engine	6DSM-32×8	SEMT-PIELSTICK 18PC2-5×1	MAN 18V40/54×2	MAN V9V53/55×2	MAN V7V40/54×1
MCR×rpm	8×2,000/600	10,800/520	10,000/430	2×18,000/ 208.7	7,600/200
NOR×rpm	8×1,600/600	9,720/502	9,000/415	2×18,000/ 201.5	6,840/193
V <sub>S</sub> (knot)	18.2	17.0	20.9	25.31	20.2
Propeller Type	2軸 CPP				
" rpm				208.7	200
Thruster	1				
TEU		ロール紙 約3,000本	(8'×8'×10') 155	セミコンテナ 130	
Trailer	ワム型貨車 55		大型車 4 乗用車 11	8tトラック50 or コロナ 176	トラック 11 乗用車 57
Shipbuilder	四国ドック	下田船渠	神田造船所	尾道造船	尾道造船
Delivery	51-3-31	49-10-17	50-2-1	50-3-29	47-12-15

Name of Ship	北 斗 丸	北 王 丸	Rabenfels	川 重 BORO	Ro Ro-12**
class	NK	NK	GL		佐 世 保
LOA (m)	107.4	107.70	190.0		179.0
Lpp (m)	98.0	98.0	178.0	134.50	166.0
B (m)	16.00	16.20	27.0	32.20	26.5
D (m)	12.20	6.29	17.6	20.0	17.3
d (m)	5.373	4.515	9.0	7.5	8.5
GT	2,163.93	2,406.29	14,200		12,000
DW	3,203.3	2,286.64	14,600	12,000	11,800
L.W.					
Displacement	5,750.0	4,436.0			
L/B	6.125	6.049	6.59	4.17	6.26
B/d	2.978	3.588	3.0	4.29	3.11
Cb	*0.666	*0.604			
C <sub>x</sub>					
Cp					
Cw					
L <sub>CB</sub>					
Main Engine	SEMT-Pielstick×1	M8F-43CHS × 2	2×MAN 9L52/55A	MAN 16V 40/54	2×8PC3L
MCR ×rpm	4,800/375	2×1,870/260	19,000	8,900	15,200×520
NOR ×rpm	4,080/355				
V <sub>S</sub> (knot)	14.85	14.75	19.0	14.85	19.0
Propeller Type					1-CPP
" rpm					
Thruster					1-BOW THRUSTER
TEU	(8'×8'×10')				
Trailer	124 ロールベーパー 3,032本				200
Ship builder	宇品造船所	林兼造船	佐世保	川 重	
Delivery	45-4-8	44-3-31	1977	1977	
同 型 船			·Raunfels		

\*\* Design only

Name of Ship	Ro Ro-T100*	Ro Ro-T200*
class	川 重	川 重
LOA (m)	133.0	173.0
Lpp (m)	120.0	160.0
B (m)	20.0	26.5
D (m)	13.8	17.1
d (m)	6.4	8.0
GT		
DW	5,000	11,800
L.W.		
Displacement		
L/B	6.00	6.03
B/d	3.12	3.31
C <sub>B</sub>		
C <sub>g</sub>		
C <sub>p</sub>		
C <sub>w</sub>		
LCB		
Main Engine	MAN18V 40/54A	2×MAN6L 52/55A
MCR × rpm	11,250×450	12,660×450
NOR × rpm	10,130×450	11,400×450
V <sub>s</sub> (knot)	18.0	18.0
Propeller Type	1-CPP	1-CPP
" rpm		
Thruster	1-BOW THRUSTER	1-BOW THRUSTER
TEU		
Trailer	100	221
Shipbuilder		
Delivery		

\* Design only

Table 2.2.1(b) Particulars of RoRo Ships Built in Foreign Countries

Name of Ship	Dana Futura	Maheno	Union Rotorua	Seaway Prince	Iron Monarch
class	BV	LR	LR	LR	LR
LOA(m)	144.0	130.99		132.44	
L <sub>pp</sub> (m)	131.0	121.9	188.1	121.93	167.94
B (m)	23.0	19.21	26.1	19.66	25.0
D (m)	18.0	12.20		11.89	17.38
d (m)	6.6	5.94	7.92	5.57	8.53
GT	5,990	4,510			10,584
DW	7,000	6,338	14,550	4,150	14,706
L.W. Displacement		9,448	25,324	8,620	22,833
L/B	5.69	6.35	7.21	6.20	6.72
B/d	3.48	3.23	3.29	3.53	2.93
CB		0.65	0.64	0.63	0.62
C <sub>m</sub>		0.92	0.97	0.98	0.97
C <sub>p</sub>		0.70	0.66	0.65	0.64
C <sub>w</sub>					
LCB		+3.02%	+1.67%	+3.05%	+1.49%
Main Engine	2×B.W. 18U50LU	2×PC	ガスタービン	ガスタービン	ガスタービン
MCR × rpm	ps rpm 2×15300×465	2×6,510×	1×27,457	1×12,100	1×19,000
NOR × rpm	ps rpm 2×13,770×450				
V <sub>s</sub> (knot)	23.0	19	20	18.2	20.5
Propeller Type	2×CPP	2×FPP	2×CPP	2×FPP	1×CPP
" rpm	190 rpm	215 rpm	200 rpm	200 rpm	125 rpm
Thruster	1-BOW THRUSTER	1-BOW THRUSTER			
TEU	402				
Trailer					
Shipbuilder	Elsinore(デ)	Robb Caledon			Whyalla
Delivery	1975	1969	1976	1975	1973

Name of Ship	Lysaght Endeavor	Seaspeed Dana	DERNA	Lysagent Enterprise	TOR GOTHIA
class	LR	NV	LR	LR	NV
LOA (m)	140.67	132.50	117.69	140.67	137.55
L <sub>pp</sub> (m)	131.89	117.70	106.61	131.88	120.00
B (m)	22.56	19.00	16.00	22.55	20.60
D (m)	14.79	13.75	12.67	14.78	14.70
d (m)	7.32	6.58	5.55	7.49	6.20
GT		3,338	2,412	6,061	4,128
DW	7,970	5,675	2,900	7,970	5,179
L.W.				5,570	4,421
Displacement	13,380			13,540	9,600
L/B	5.85	6.19	6.66	5.84	5.82
B/d	3.08	2.89	2.88	3.01	3.32
C <sub>B</sub>	0.60			0.59	0.61 *
C <sub>ø</sub>	0.96				
C <sub>p</sub>	0.63				
C <sub>w</sub>				0.782	
LCB	+3.74%				
Main Engine	2×MAN	SULZER 16ZV40/48	2×8PC2L	2×MAN R8V 52/55	2×12PC2
MCR × rpm	2×8,000	10,400×530	2×4,000×520	2×8,000×450	2×6,000×520
NOR × rpm					2×5,400×500
V <sub>s</sub> (knot)	180	1850	180	180	185
Propeller Type	1×CPP	1-CPP	2-CPP	1-CPP	2-CPP
" rpm	112 rpm	190 rpm	300 rpm	140 rpm	250 rpm
Thruster		2-Bow Thruster 1-Stern Thruster	1-Bow Thruster	1-Bow Thruster	1-Bow Thruster
TEU					196 TEU
Trailer		160 台	52 台		or 87 台
Shipbuilder				State Dockyard (オーストラリア)	
Delivery	1973		1974	1973	1971

Name of Ship	Baltic Enterprise	Magnitogorsk	Bore VII	AVONForest	DUNDARK
class	LR	RS	LR	LR	LR
LOA (m)	13750	20580	11352	20786	1190
L <sub>pp</sub> (m)	12650	19064	1050	18942	1100
B (m)	2230	3100	19.2	2286	1625
D (m)	1150	2205	12.6	1768	1070
d (m)	6.64	9.70	6.20	9.27	4.62
GT	4668	15,709	2,980	16,382	2,353
DW	5,710	22,690	5,250	20,544	2,127
L.W.					
Displacement		37,480		30,400	
L/B	5.67	6.15	5.47	8.29	6.77
B/d	3.36	3.20	3.10	2.42	3.51
C <sub>B</sub>		0.636 *		0.73	
C <sub>x</sub>					
C <sub>p</sub>					
C <sub>w</sub>				0.895	
LCB					
Main Engine	2×STORK 9TM410	2×B.W. 18U50HU	2×Mak6M551	2×18PC2V	4×Polar SF112V
MCR × rpm	2×5,250×530	2×13,500×465	2×3,000×375	2×8,500×520	4×2,100×750
NOR × rpm					
V <sub>s</sub> (knot)	180	220(Trial)	162	190	185
Propeller Type	2-CPP	1-CPP	1-CPP	2-CPP	2-CPP
" rpm	200 rpm	130 rpm	180 rpm	110 rpm	225 rpm
Thruster		1-Bow Thruster	1-Bow Thruster	1-Bow Thruster	1-Bow Thruster
TEU		1,368 TEU	220 TEU		
Trailer			or 80 台	Newsprint	
Shipbuilder					
Delivery	1973	1976	1972		1973
同型船				St.Lawrence	



Name of Ship	Freccia Blu	Paralla	Nike	DESTRO	Bayard
class	RI	LR	LR	NV	NV
LOA (m)	133.5	199.01	127.25	109.8	137.00
L <sub>pp</sub> (m)	120.0	184.243	115.00	100.0	125.00
B (m)	21.2	28.65	19.00	19.2	21.00
D (m)	15.5	20.422	13.20	13.0	14.40
d (m)	5.97	9.59	6.38	4.963	6.20
GT		14,250	3,500	1,599	3,974
DW	3,940	20,550	5,800	2,649	5,650
L.W.					
Displacement	8,750	33,060		5,350	
L/B	5.66	6.43	6.05	5.20	5.95
B/d	3.55	2.99	2.98	3.87	3.39
C <sub>B</sub>	0.56	0.64 *		0.55	
C <sub>ρ</sub>					
C <sub>p</sub>					
C <sub>w</sub>	0.719			0.766	
LCB					
Main Engine	2×Fiat	3×18PC2V		2×8PC2L	2×12PC2V
MCR × rpm	2×7,360×220	3×8,640×520	2×4,000×430	2×4,000×520	2×6,000×520
NOR × rpm	2×6,500×212				
V <sub>s</sub> (knot)	21.0	22.5	17.5	17.5	19.0
Propeller Type	2-CPP	1-CPP	2-CPP	2-CPP	2-CPP
" rpm	212 rpm	130 rpm	218 rpm	240 rpm	
Thruster	1-Bow Thruster	1-Bow Thruster 1-Stern Thruster	1-Bow Thruster	1-Bow Thruster	1-Bow Thruster
TEU		1,200 TEU	268 TEU	186 TEU	
Trailer	90 台				
Shipbuilder					
Delivery	1970	1971	1976	1970	1975

Name of Ship	Akademik Tupolev	Caribbean Progress	Antales	Rodin	Finncarrier
class	BV	LR	LR	BV	NV
LOA (m)	119.0	117.48	137.50	207.38	137.30
L <sub>pp</sub> (m)	108.42	104.00	126.50	193.24	130.00
B (m)	19.4	20.57	22.30	29.57	23.68
D (m)	12.6	12.50	16.10	20.42	17.35
d (m)	5.75	6.32	6.64	9.57	5.70
GT	3,244	3,821	4,476	13,874	5,500
DW	4,477	4,084	5,710	21,500	4,810
L.W.					5,740
Displacement	8,500		11,200		10,550
L/B	5.59	5.06	5.67	6.54	5.49
B/d	3.37	3.25	3.36	3.09	4.15
C <sub>B</sub>	0.685 *		0.581		0.585
C <sub>g</sub>					
C <sub>p</sub>					
C <sub>w</sub>			0.803		0.728
LCB					
Main Engine	14PC2/5V	2×10PC2V	2×Stork 9TM410	2×16PC3V	2×12PC2V
MCR × rpm	9,000×520	2×4,240×430	2×5,250×530	2×15,200×470	2×5,580×485
NOR × rpm					
V <sub>s</sub> (knot)	16.85	17.3	18.0	22.75	17.0
Propeller Type	1-CPP	2-CPP	2-CPP	1-FPP	2-CPP
" rpm	185 rpm	200 rpm	200 rpm	130 rpm	180 rpm
Thruster	1-Bow Thruster	1-Bow Thruster	1-Bow Thruster		-
TEU	235 TEU				
Trailer		93 台	108 台		
Shipbuilder					
Delivery	1974	1972	1973	1975	1969

Name of Ship	Skulptor Konenkow	Ponce De Leon	Caribbean Endeavour	Inzhener Machulskij	Dana Gloria
class	RS	AB	LR	RS	
LOA (m)	181.4	213.36	117.30	124.09	
Lpp (m)	165.0	195.99	104.24	110.00	131.00
B (m)	28.2	28.04	20.30	19.20	23.00
D (m)	18.0	18.33	13.10	13.70	12.60
d (m)	9.6	8.23	6.80	6.00	6.90
GT			3,740		
DW	18,460	13,100	5,087		6,000
L.W.					
Displacement		24,100			
L/B	5.85	6.99	5.13	5.73	5.70
B/d	2.94	3.41	2.99	3.20	3.33
CB		0.518 *			
C <sub>q</sub>					
C <sub>p</sub>					
C <sub>w</sub>					
LCB					
Main Engine	SULZER 2×16ZV 40/48	1-steam turbine	2×10PC2		2×B.W. 18U50LU
MCR × rpm	2×10,400×	32,000	2×4,500×430	8,000×5 20	2×13,500
NOR × rpm					
Vs (knot)	20.5	25.0	18.0	16.8	22.5
Propeller Type	1-CPP	1-FPP	2-CPP		
" rpm			180 rpm		
Thruster	1-BowThruster	-	1-BowThruster	1-BowThruster	
TEU	772				
Trailer		260	94		
Shipbuilder					
Delivery	1976	1968	1971	1974	1976

Name of Ship	Union Hobert	Bass Trader	Nevada	Mekhanik Tarasov	Komsomolsk
class			AB	RS	RS
LOA (m)					
L <sub>pp</sub> (m)	120.00	127.00	195.06	113.40	190.80
B (m)	20.60	23.25	31.09	19.20	31.00
D (m)	14.70	15.00	21.18	13.20	22.00
d (m)	6.20	6.71	9.75	6.60	9.70
GT					
DW	5,000	5,500	19,856	5,000	21,000
L.W. Displacement					
L/B	5.83	5.46	6.27	5.91	6.15
B/d	3.32	3.46	3.19	2.91	3.20
C <sub>B</sub>					
C <sub>g</sub>					
C <sub>p</sub>					
C <sub>w</sub>					
LCB					
Main Engine	2×12PC2V	2×MAN R9V 52/55	General Electric Gas Turbine	16PC2V	2×B.W. 18U50HU
MCR × rpm	2×6,000×520	2×9,000	37,000 ps	8,000×520	2×13,500
NOR × rpm					
Vs (knot)	18.0	18.8	23.0	16.6	22.0
Propeller Type					
" rpm					
Thruster					
TEU					
Trailer					
Shipbuilder					
Delivery	1976	1976	1976	1976	1976

Name of Ship	Cap Camarat	Thomas Wehr	I x i o n	Union Lyttelton	Seaspeed Dina
class	BV		RS		
LOA (m)					
L <sub>pp</sub> (m)	9900	10340	10820	12000	11770
B (m)	1750	1740	1760	2060	1900
D (m)	1110	1220	900	1470	675
d (m)	523	530	680	620	640
GT					
DW	2700	2900	7200	5100	5300
L.W.					
Displacement					
L/B	566	594	615	583	619
B/d	335	328	259	332	297
C <sub>B</sub>					
C <sub>μ</sub>					
C <sub>p</sub>					
C <sub>w</sub>					
LCB					
Main Engine	2×Mak 9M453AK	2×Mak 8M453AK		2×12PC2V	Sulzer 16ZV40/48
MCR × rpm	2×3300		4500	2×6,000×520	10,400
NOR × rpm					
Vs (knot)	16.0	17.0	14.0	18.4	22.0
Propeller Type					
" rpm					
Thruster					
TEU			330		
Trailer					
Shipbuilder					ノルウェー
Delivery	1977	1977	1976	1976	1977

Name of Ship	Astilleros Espanoles ※	Frederikshavn Vaerft A/S ※	H D W	現代 ※	現代 ※
class	スペイン	デンマーク	西 独	韓 国	韓 国
LOA (m)	1790	1056	1890	1770	1500
Lpp (m)	1650	960	1780	1620	1350
B (m)	24.2	18.8	27.0	22.85	22.85
D (m)	15.6	10.55	17.6	14.85	14.85
d (m)	7.2	4.95	8.5	7.0	7.2
GT					
DW					
L.W.	12000	3400	14300	12000	9000
Displacement					
L/B					
B/d	6.82	5.11	6.59	7.09	5.91
C <sub>B</sub>	3.36	3.80	3.18	3.26	3.17
C <sub>g</sub>					
C <sub>p</sub>					
C <sub>w</sub>					
LCB					
Main Engine	2×12PC2/5	Mak-12MU453	2×MAN 9L52/55		
MCR × rpm	2×7,800×520	4,500×600	2×9,495	2×7,500	2×7,500
NOR × rpm					
Vs (knot)	19.0	15.3	19.5	18.0	18.0
Propeller Type					
" rpm					
Thruster					
TEU	700 TEU	204 TEU		700 TEU	550 TEU
Trailer					
Shipbuilder					
Delivery					
実績 (1977年4月現在)	0隻	0隻	2隻	0隻	0隻

※ Design only

Name of Ship	Oskarhamns Varv A/B	φDENSE STEEL ※	φDENSE STEEL ※	RICKMERS WERFT	SMITH DOCK
class	スウェーデン	デンマーク	デンマーク	西 独	イギリス
LOA (m)	—	131.0	172.0	116.0	142.6
Lpp (m)	165.0	120.0	159.0	103.4	126.5
B (m)	24.0	20.0	28.0	17.4	22.0
D (m)	16.65	13.5	19.85	12.2	13.95
d (m)	8.0	6.1	9.0	5.3	6.84
GT	9,000			1,599	
DW	13,000	5,600	14,500	3,000	7,675
L.W. Displacement					
L/B	6.88	6.00	5.68	5.94	5.75
B/d	3.00	3.28	3.11	3.28	3.22
C <sub>B</sub>					
C <sub>Q</sub>					
C <sub>p</sub>					
C <sub>w</sub>					
LCB					
Main Engine	SULZER 6RND76			Mak 8M453	2×12PC2V
MCR × rpm	12,000×122	2×5,850	2×10,400	2×3,000	
NOR × rpm					2×6,825×495
Vs (knot)	18.0	18.1	20.0	16.0	18.0
Propeller Type					
" rpm					
Thruster					
TEU	850 TEU	420 TEU	1,035 TEU		424 TEU
Trailer					
Shipbuilder					
Delivery					
実績 (1977年4月現在)	8隻	0隻	0隻	7隻	2隻

※ Design only

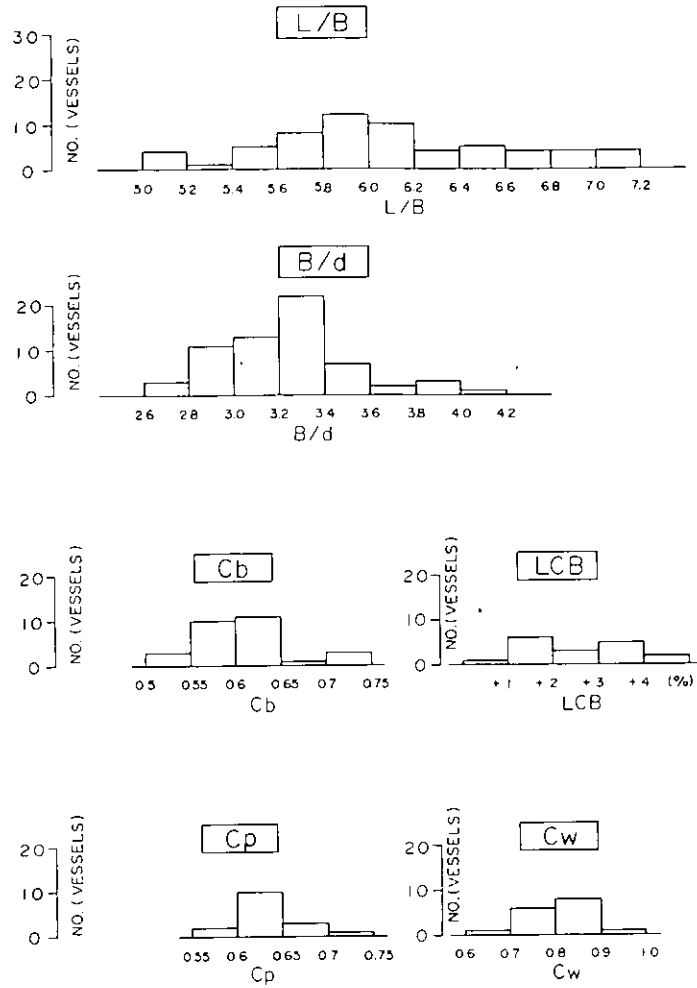


Fig. 2.2.1. Histogram of principal particulars of Ro-Ro ship

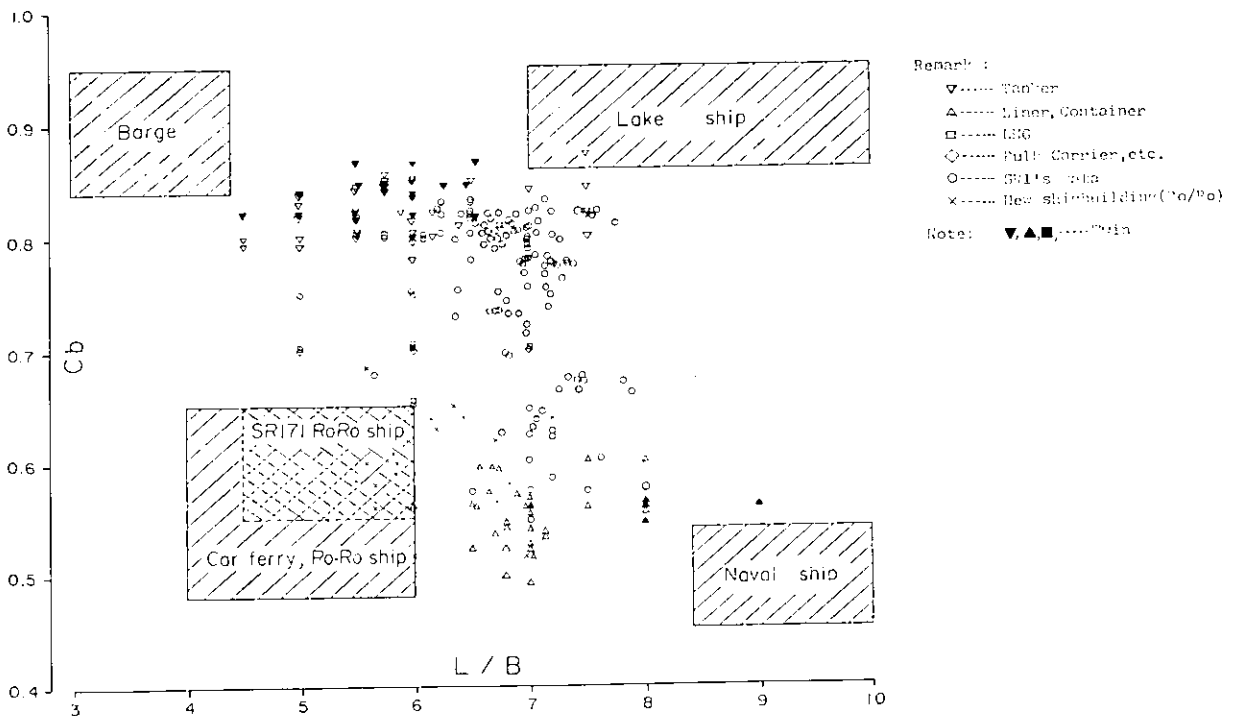


Fig. 2.2.2 Cb v.s. L/B for various ships (Tank test)



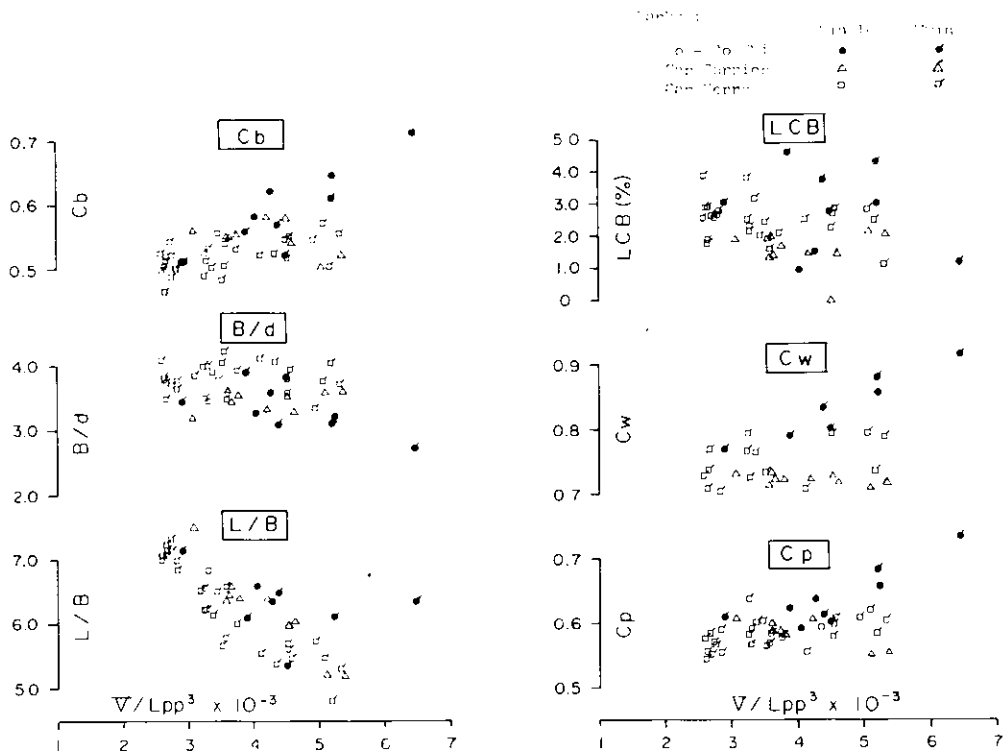


Fig. 2.2.3 Volumetric coefficient V.S. Principal particulars for Ro-Ro ship, etc. (Tank test)

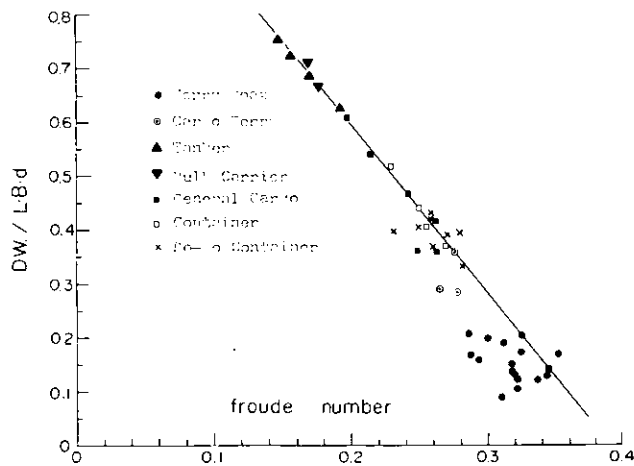


Fig. 2.2.4 Froude No. V.S. D.W./LBd for various ships

## 2.3 RoRo船の船型特徴<sup>1)</sup>

一般貨物船、LoLoコンテナ船と比較した場合のRoRo船の船型上の特徴として、下記のことを挙げることができる。

### 2.3.1 復元性

RoRo船はLoLo船と比較すると、重心が相対的に高くなり、復元性の要求がよりきびしくなる。従ってRoRo船の船型としては復元性の良い水線面積の大きい船型が採用される場合が多い。

復元性の相対比較に利用できる係数  $C_w$ 、 $C_v$ 、TKM/B及び水線面積の艀艀振り分け度を示す  $C_{wa}/C_{wf}$  の実績をRoRo船と他船種とを比較してFig. 2.3.1～2.3.3に示す。

### 2.3.2 船尾形状

- 船尾開口を有する車輛甲板は、船尾端まで広い巾を持たせる必要があり、又その甲板位置は水面に近い。従ってRoRo船は水線上で急激に巾が大きくなる船尾形状を有するのが一般的特徴である。

この点に関する実績資料をFig. 2.3.4に示す。

- RoRo船の主機室は船艀下にある。この高さの限られた主機室には低速ディーゼルに比べて小型である中速ディーゼル主機が適している。又、港内の所定場所に船尾を離接岸する必要上、操船性が要求されるが、この目的のためにはCPPが適している。このような理由からRoRo船では

中速ディーゼル主機 + 減速ギア + CPP

を採用する場合が多い。この場合、減速ギアのギア比を変えることによりプロペラ回転数を変え、プロペラ直径をある範囲内で選定できる。

プロペラ直径の選定に際しては

- (1) Cavitation ; 主機馬力に左右される。
- (2) 荒天中 Propeller racing ; 吃水に左右される。
- (3) プロペラ起振力 ; 前記の車輛甲板高さが制限されることにより screw aperture高さが制限される。この中でプロペラによる変動圧力が問題とならぬような適度の tip clearance を確保する必要がある。

に対する慎重な配慮が必要であるが、Fig. 2.3.5には  $D_p/d$  の形でRoRo船の実績を示す。

- 前記の通りRoRo船のプロペラ上方船体形状は平たくなる傾向にあるので、プロペラ変動圧力に関しては十分な配慮が必要である。tip clearanceの選定が重要であるがFig. 2.3.6にはruleに記載されているものでは最もきびしいLRのguidanceを示す。

### 2.3.3 浮心位置 ( $l_{cb}$ )

LoLo船に比較して荷物重心が艀寄りとなること等により  $l_{cb}$  は艀寄りとなる。

Fig. 2.3.7にRoRo船の実績を他船種のものと比較して示す。

1) Ro/Ro船の現状と将来 : 中村昭和

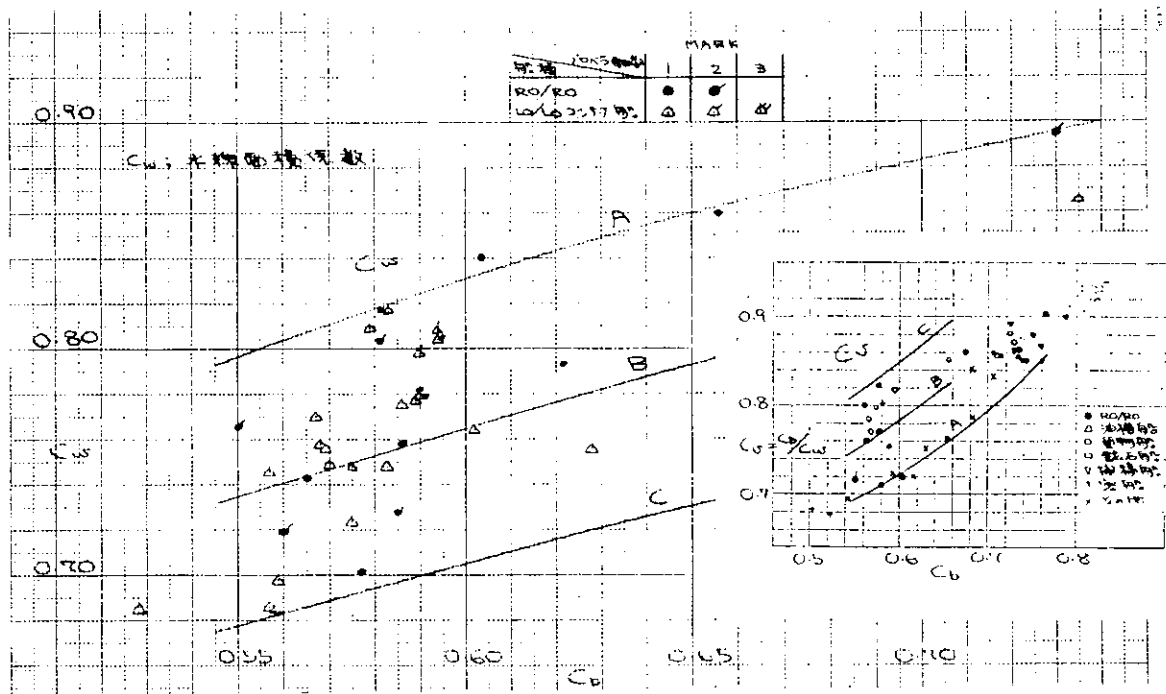


Fig. 2.3.1  $C_b \sim C_w, C_b \sim C_v$

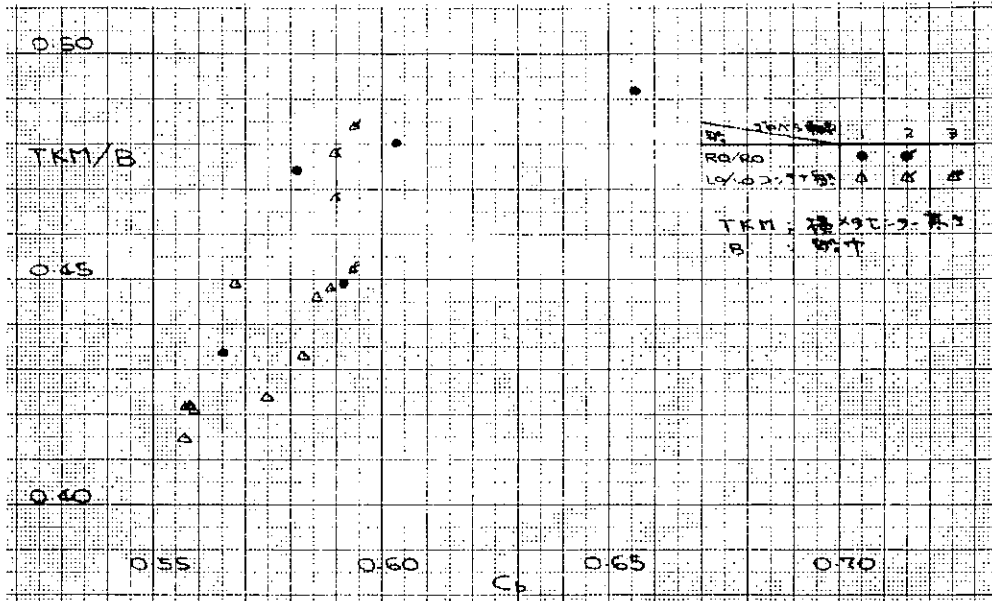


Fig. 2.3.2  $C_b \sim TKM/B$

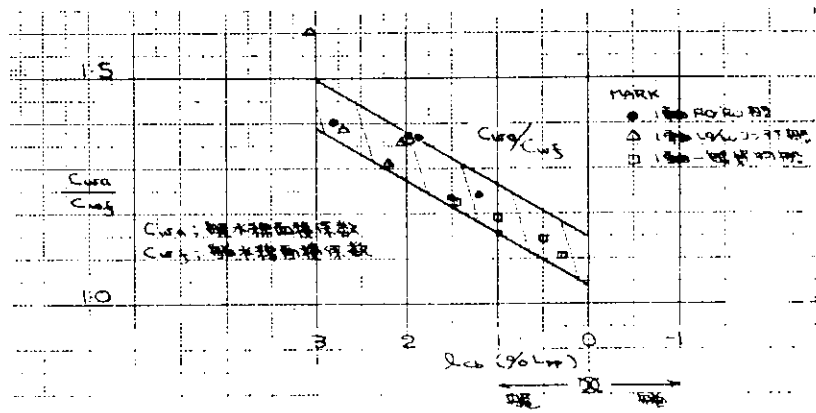


Fig. 2.3.3  $l_{cb} \sim C_{wa}/C_{wf}$

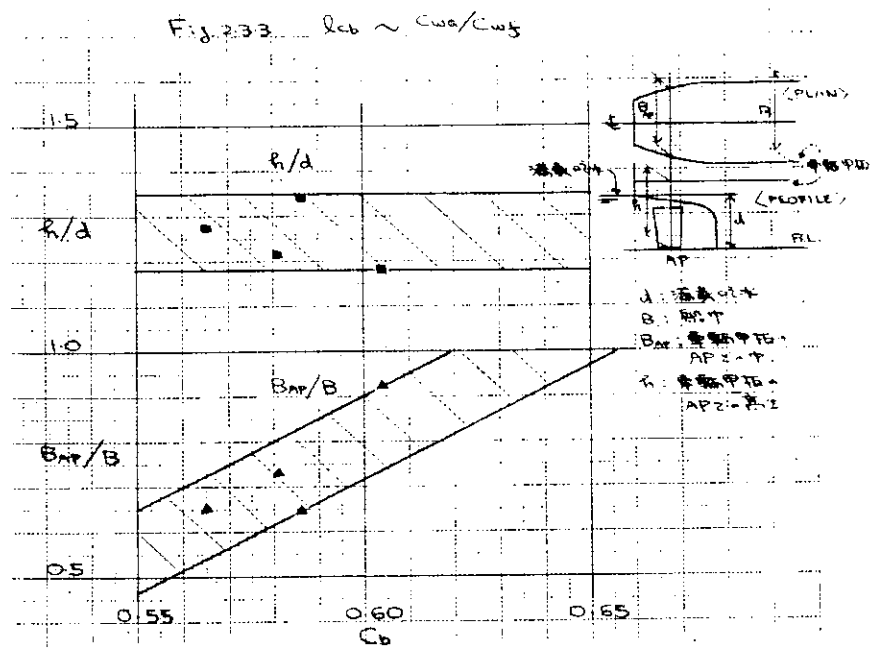


Fig. 2.3.4  $C_b \sim h/d, B_{AP}/B$  of RO/RO ship

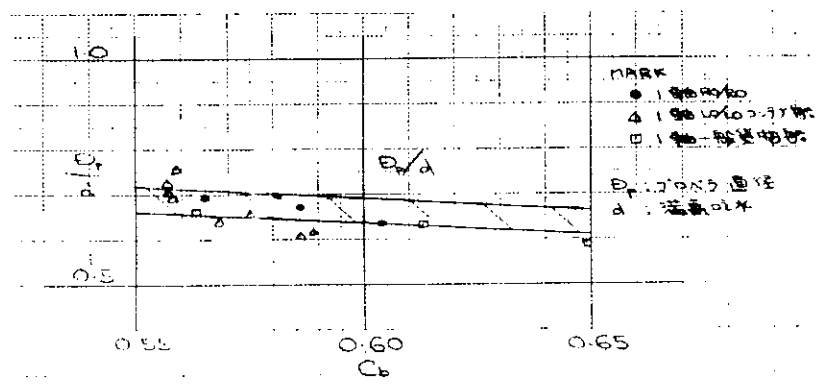


Fig. 2.3.5  $C_p \sim D_p/d$

## R (G) GUIDANCE NOTES ON PROPELLER-HULL CLEARANCES

### Symbols

- 101 D = propeller diameter, in metres,  
 R = propeller radius, in metres,  
 L = length of ship, in metres.

### General

102 The following recommendations indicate the minimum clearances between the propeller and sternframe, rudder or hull that should be provided to minimize the possibility of propeller excited vibration.

#### SINGLE SCREW SHIPS

103 The clearances between the propeller and the rudder or sternframe should not be less than given in Table R (G) 1.1, see also Fig. R (G) 1.1.

where

$$k_1 = \left( 0,1 + \frac{L}{3050} \right) \left( \frac{3,18 C_b H}{L^2} + 0,3 \right)$$

$$\left( k_1 = \left( 0,1 + \frac{L}{3050} \right) \left( \frac{2,56 C_b H}{L^2} + 0,3 \right) \right)$$

$C_b$  = moulded block coefficient at load draught,

H = maximum designed shaft power in kW (shp).

\*NOTE. In no case should "a" be less than 0,10D, "b" less than 0,15D, or "c" less than the maximum thickness of the rudder. The thickness is to be measured at the 0,7R line above the shaft centreline.

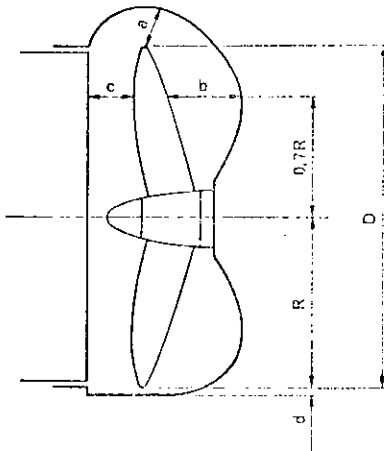


Fig. R (G) 1.1

TABLE R (G) 1.1

NUMBER OF BLADES	a*	b*	c*	d
3	1,2k <sub>1</sub> D	1,8k <sub>1</sub> D	0,12D	0,03D
4	1,0k <sub>1</sub> D	1,5k <sub>1</sub> D	0,12D	0,03D
5	0,85k <sub>1</sub> D	1,275k <sub>1</sub> D	0,12D	0,03D
6	0,75k <sub>1</sub> D	1,125k <sub>1</sub> D	0,12D	0,02D

Fig. 2.3.6 Lloyd Rule (1976)

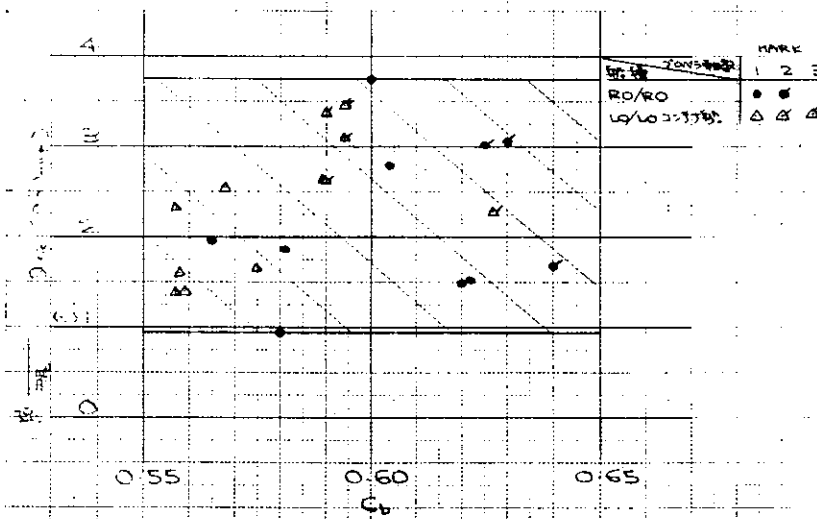


Fig. 2.3.7  $C_b \sim Lcb$

## 2.4 船型要素と抵抗，自航要素調査

### 2.4.1 船主バルブが抵抗に及ぼす影響

#### (1) 高速ライナー ( $C_B=0.56$ ) の試験例

日本造船技術センターにて実施されたバルブサイズ( $f$ )のシリーズテスト結果をFig. 2.4.1に示す。これによると満載状態の $r_R$ は、 $f$ によって殆んど変化しないが、バラスト状態では、 $f$ が大きくなるに従って $r_R$ も増加する傾向が顕著である。

#### (2) カーフェリー ( $C_B=0.55$ 及び $0.58$ ) の試験例<sup>1)</sup>

Fig. 2.4.2～4にバルブの大きさが形状影響係数( $K$ )及び剰余抵抗係数( $r_R$ )に及ぼす影響を、 $f$ が約6%における数値( $K_0, r_{R0}$ )に対する割合で示した。 $K$ は $f$ が3%から6%までは、 $f$ が大きくなるに従って増加し、6%以上では、ほぼ同一値になっている。

$r_R$ は、満載、バラスト状態とも、低速では、 $f$ が小さい程、高速では、 $f$ が大きい程、低くなる傾向を示す。

#### (3) 内航コンテナ船 ( $C_B=0.62$ ) の試験例<sup>2)</sup>

バルブ突出量が $r_R$ に及ぼす影響をFig. 2.4.5に示した。

バルブの突出量は、満載、75% $\Delta_F$ 、試運転状態とも長くした方が $r_R$ が低くなっている。

### 2.4.2 船型要素と自航要素の関係

#### (1) SERIES 60の試験例<sup>3), 4)</sup>

Fig. 2.4.6は、 $C_B=0.60$ の船型の $L/B, B/d$ と自航要素の関係を示したものである。この図によれば $L/B$ の増加にともなって $1-W_T, 1-t$ は大きく、 $\eta_R$ は逆に小さくなる傾向がある。また $1-W_T, 1-t$ に対する $B/d$ の影響は $L/B$ によって異なり判然としない。しかし $\eta_R$ は $B/d$ が大きくなると小さくなっている。浮心位置( $L_{CB}$ )を船尾側に寄せると $W_T, t$ とも増加する傾向をFig. 2.4.7～8は示している。

#### (2) B.S.R.A. TRAWLER SERIES<sup>5)</sup>

Fig. 2.4.9に示す $C_B$ と自航要素の関係図によれば $C_B$ の増加にともなって $1-W_T, 1-t$ は低下するが、 $\eta_R$ は殆んど変化していない。 $L_{CB}$ が自航要素に及ぼす影響をFig. 2.4.10に示した。この図によると $L_{CB}$ を船尾側に移行させると、 $1-W_T, 1-t$ は低くなる。しかし $\eta_R$ は殆んど変りない。

#### (3) 日本造船技術センター水槽試験資料

日本造船技術センターで実施された $C_B=0.50 \sim 0.68$ の船型について $F_n=0.25$ に於いて、 $C_B$ ベースに自航要素をプロットしたものをFig. 2.4.11に、同じく $F_n=0.28$ に於けるものをFig. 2.4.12に示した。

平均的にみれば $1-W_{TM}$ のみ $C_B$ の増加とともに低くなる傾向を示し、 $1-t, \eta_R$ は、殆んど変化がないと云える。

### 参 考 文 献

- 1) 日本中型造船工業会 : カーフェリー建造のための技術指導書、昭5 1.5
- 2) 同 上 : 内航コンテナ船建造のための技術指導書、昭5 2.5
- 3) F.H. Todd, G.R. Slunz, and P.C. Pien : Series 60-The Effect upon Resistance and Power of Variation in Ship Proportions, Trans. SNAME. Vol. 65, 1957

- 4) F.H. Todd and P.C. Pien : Series 60-The Effect upon Resistance and Power of Variation in  $L_{CB}$  Position, Trans. SNAME, Vol.64, 1956
- 5) R.N.M. Pattullo : The B.S.R.A. Trawler Series (Part II) Block Coefficient and Longitudinal Centre of Buoyancy Variation Series Resistance and Propulsion Tests, Trans. R.I.N.A., Vol.110, 1968

L/E    V/A    C<sub>E</sub>    C<sub>P</sub>    C<sub>H</sub>  
 7.01    2.40    0.561    0.578    0.970

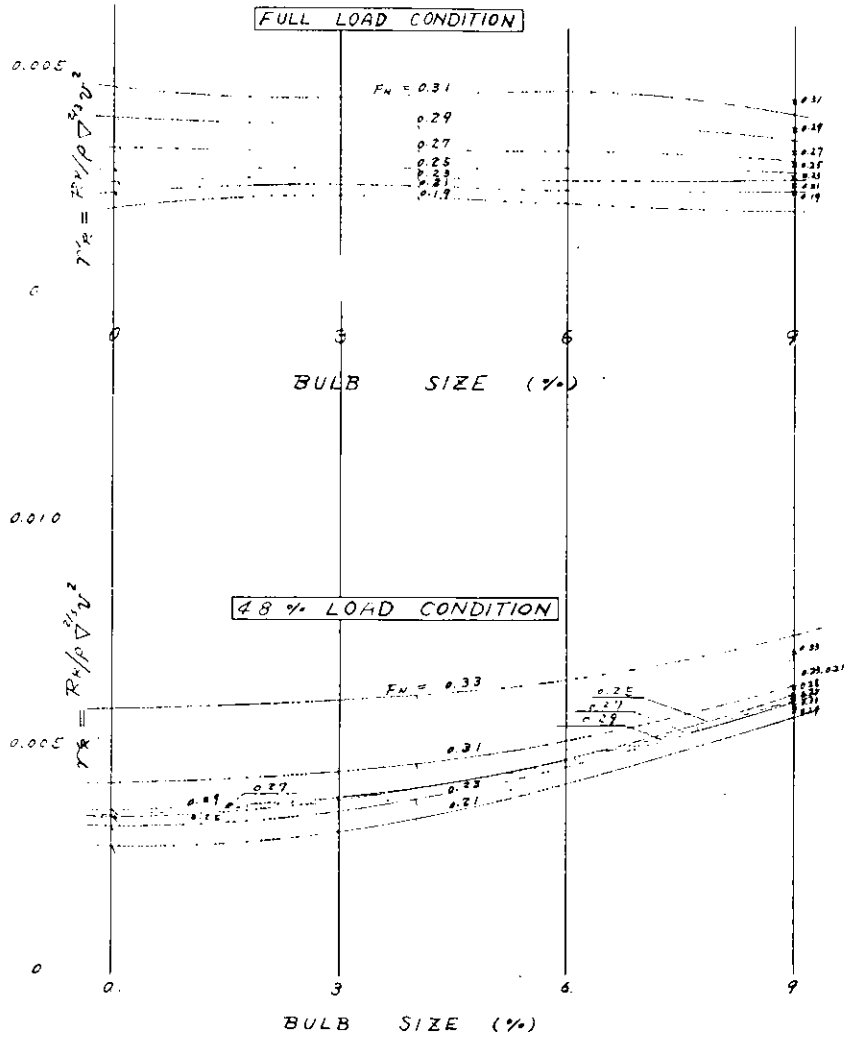


Fig. 2.4.1 BULB SIZE ~  $r_R$

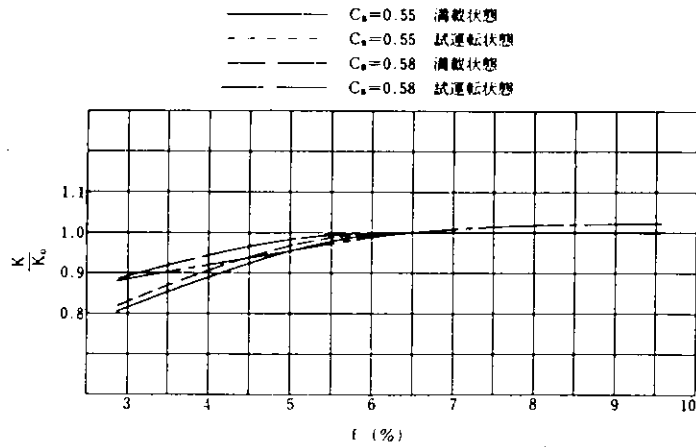


Fig. 2.4.2 BULB SIZE ~  $K/K_0$   
 [From ref. 1]



$L_1$   $B$   $d$   $C_B$   $C_p$   $C_m$   $\frac{1}{B}$   $\frac{B}{d}$   
 4.50 0.692 0.1825 0.554 0.603 0.920 6.50 3.793

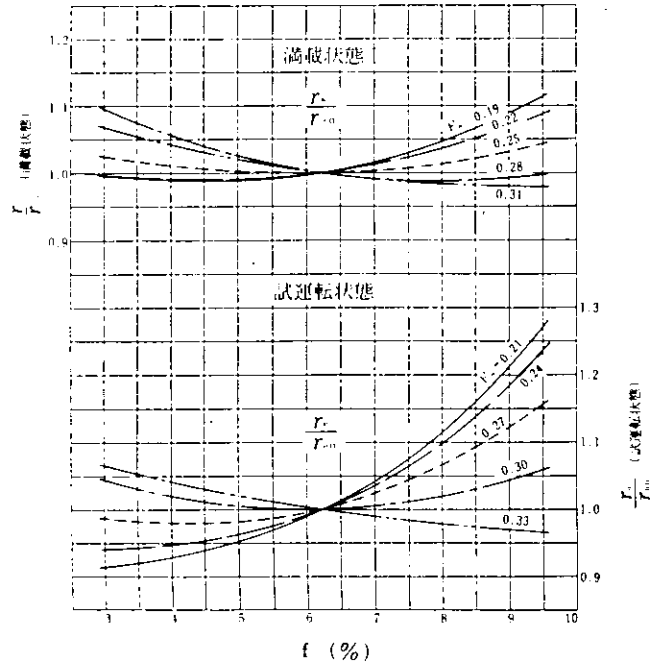


Fig. 2.4.3 BULB SIZE  $\sim r_R/r_{RO}$   
 ( $C_B=0.55$ ) [From ref. 1]

$L_1$   $B$   $d$   $C_B$   $C_p$   $\frac{1}{B}$   $\frac{B}{d}$   
 4.50 0.692 0.1825 0.583 0.622 6.50 3.793

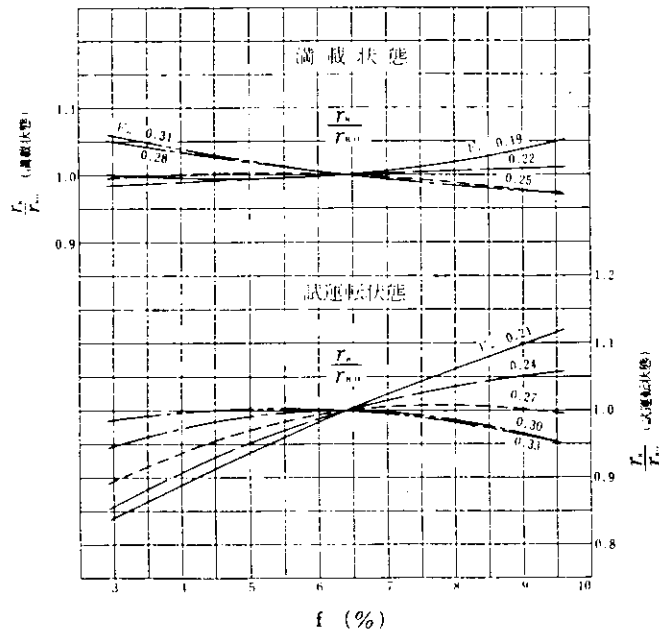


Fig. 2.4.4 BULB SIZE  $\sim r_R/r_{RO}$   
 ( $C_B=0.58.$ ) [From ref. 1]

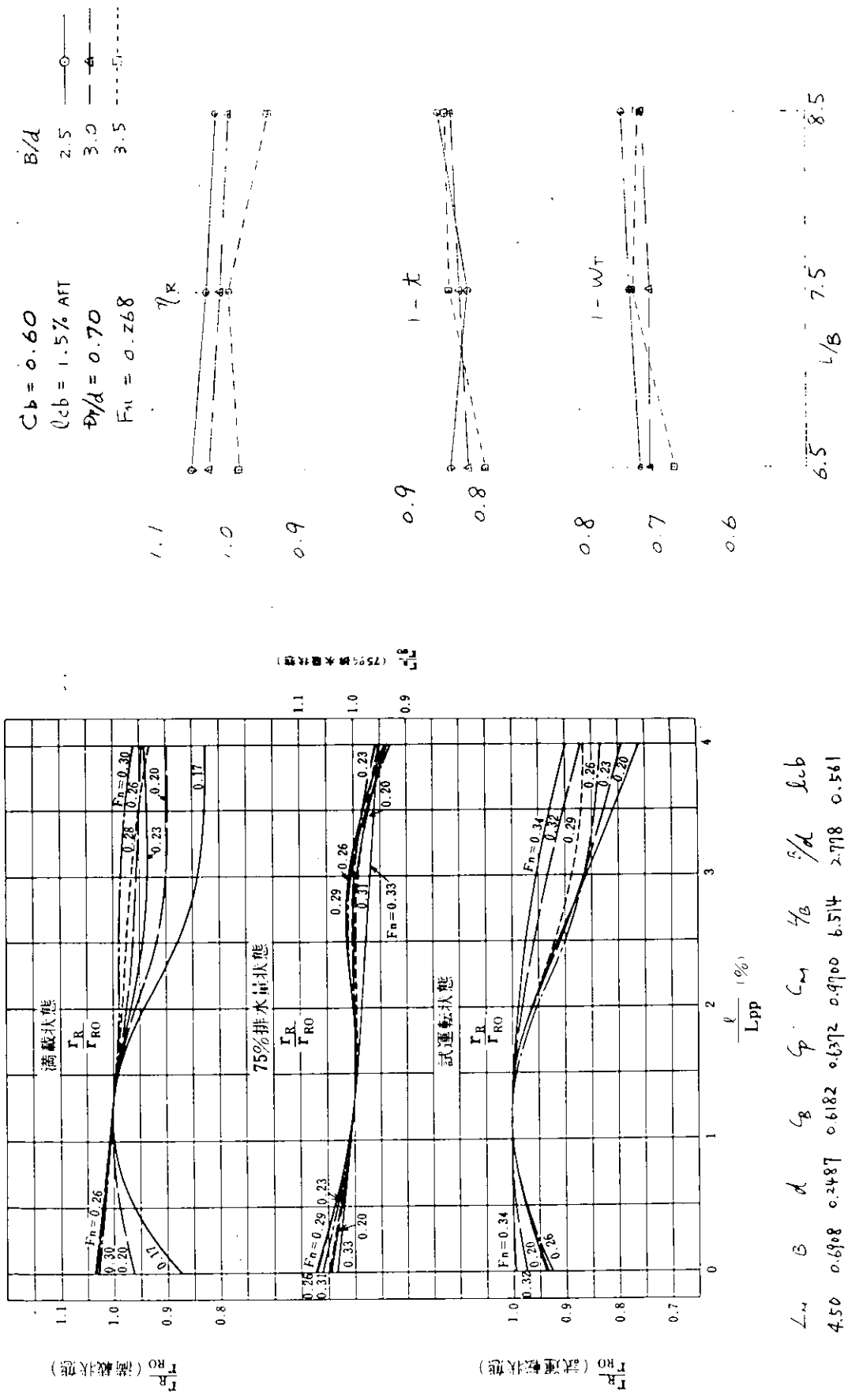
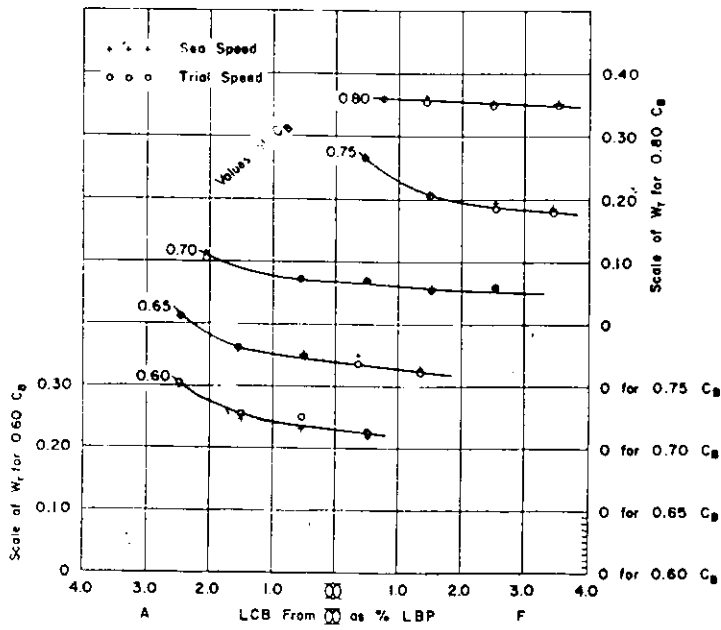


Fig. 2.4.6 L/B ~ SELF PROPULSION FACTORS (Series 60)

Fig. 2.4.5 BULB LENGTH ~  $r_R/r_{RO}$  ( $C_B=0.62$ ) [From ref. 21]



PARENTS FOR VARYING L/B AND B/H SERIES

$C_b$	Model No.	LCB position	L/B	B/H	$\Delta/(L/100)^2$	$\Delta$	$\Delta^2$
0.60	4210	1.50 Aft	7.50	2.50	122.0	14884	2214400
0.65	4218	1.54 Aft	7.25	2.50	141.4	20000	4000000
0.70	4221	0.55 Aft	7.00	2.50	163.4	26700	7136900
0.75	4213	1.50 Fwd	6.75	2.50	188.2	35400	12627600
0.80	4214	2.60 Fwd	6.50	2.50	218.5	47700	20808900

Fig. 2.4.7  $L_{CB} \sim$  WAKE FRACTIONS [From ref. 4]

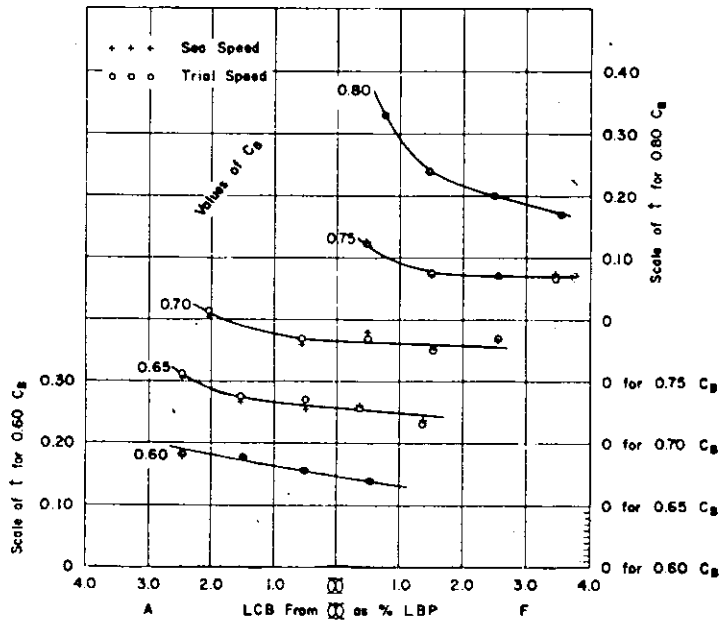


Fig. 2.4.8  $L_{CB} \sim$  THRUST DEDUCTION FRACTIONS [From ref. 4]

$L/\nabla = 4.85$   
 $B/d = 2.00$   
 $R_{CB} = 2.9\% \text{ AFT}$   
 $TRM = 4\% \text{ LIF}$   
 $D/d = 0.80$   
 $F_n = 0.268$

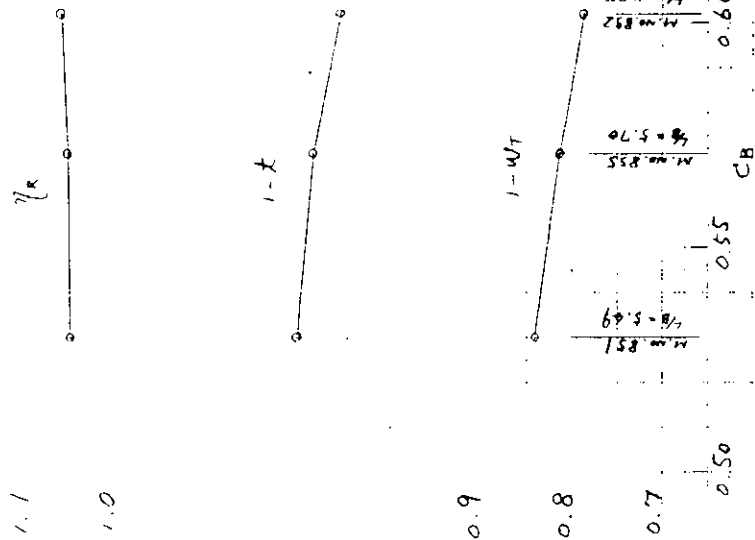


Fig. 2.4.9 CB ~ SELF PROPULSION FACTORS (B.S.R.A. TRAWLER SERIES)

$L/B = 5.38$   
 $B/d = 2.25$   
 $C_b = 0.57$   
 $TRM = 3.77\% \text{ LIF}$   
 $F_n = 0.268$   
 $D/d = 0.66$  ———— ○ ————  
 $\quad = 0.85$  ———— △ ————

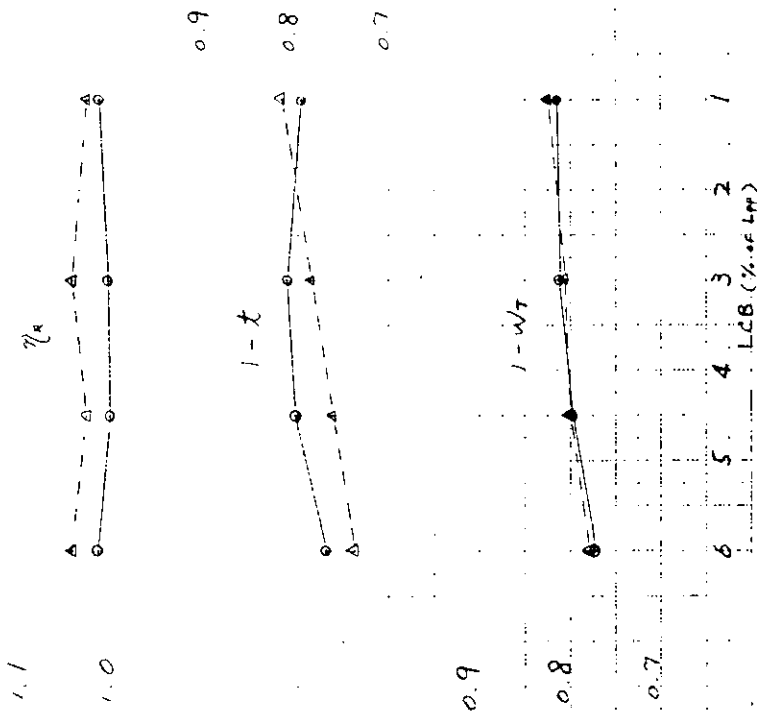


Fig. 2.4.10 LCB ~ SELF PROPULSION FACTORS (B.S.R.A. TRAWLER SERIES)

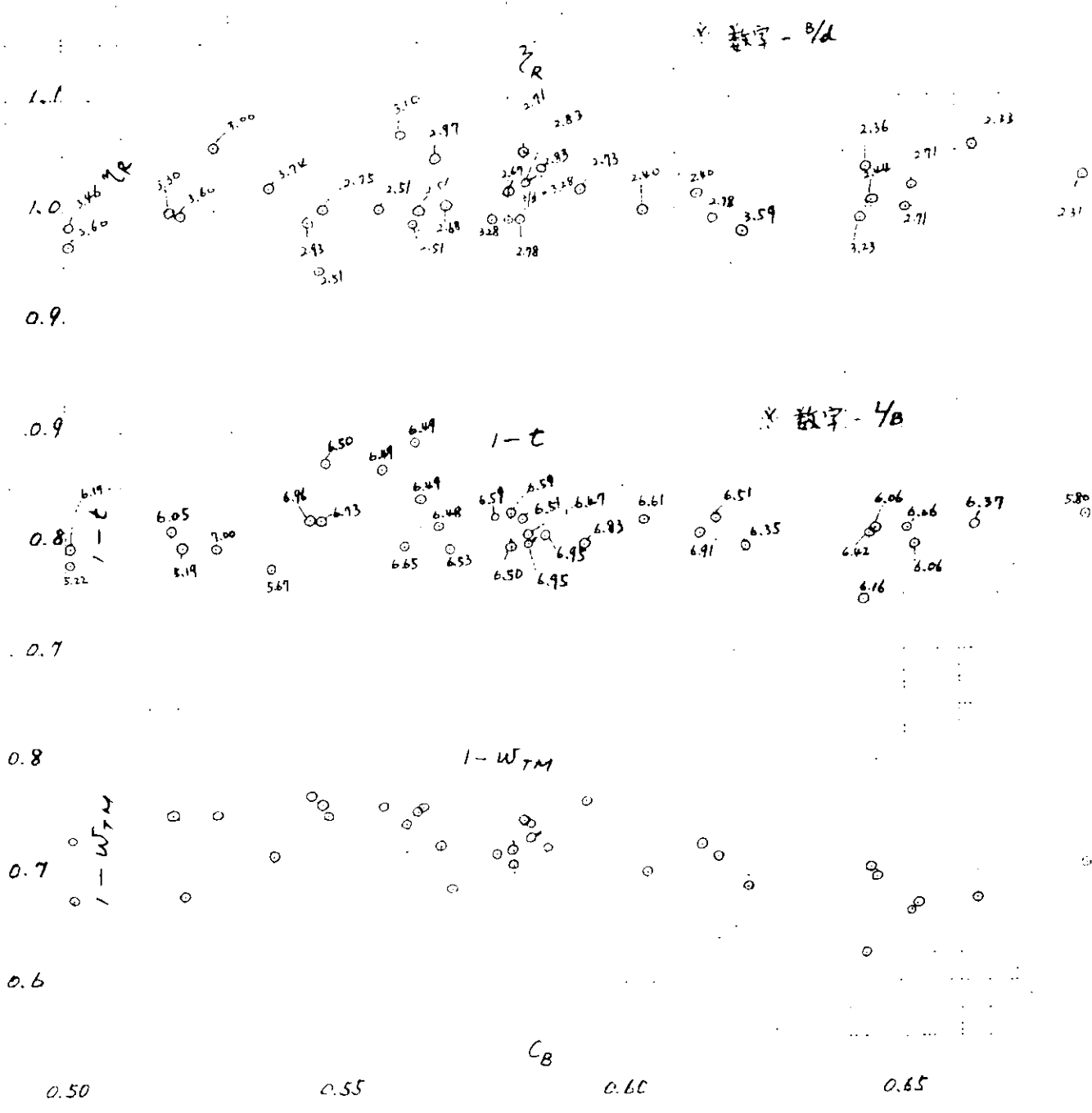


Fig. 2.4.11  $C_B \sim$  SELF PROPULSION FACTORS ( $F_n=0.25$ )



Fig. 2.4.12  $C_B \sim$  SELF PROPULSION FACTORS ( $F_n=0.28$ )

## 2.5 研究対象船の馬力推定

本研究対象船の主要目比と推進性能との関係を大雑把につかむ目的で類似船の建造実績データから大略のアドミラルティ係数を整理しようとしたが、実績データが皆無に近かった。

そこで本研究対象の主要目比として $B/d=3.40$ を有し、右図のような $C_B$ ,  $L/B$ の網目のA～G船7隻について、実船の主要寸法、ファインネス諸係数、主機馬力等を仮定し、テラーの図表より $CR=RR/\frac{1}{2}\rho S_V^2$ を求めて、馬力推定計算を試み、参考データとした。

テラーの図表は $\nabla/L^3$ が $7.0 \times 10^{-3}$ まででありA船、B船は $\nabla/L^3$ が $7.0 \times 10^{-3}$ を大きく超過しているため、外挿法で大胆に推定したので他の船に比べて推定誤差は大きい。

馬力推定は実船寸法を

(1) 排水容積  $\nabla_s=20,000 m^3$ 一定の場合

(2)  $L_{pp}=150 m$ 一定の場合

の2つの場合について下記の仮定のもとに行なった。

(1)  $C_M=0.97$

テラー図表の対象船は $C_M=0.925$ であるが、本推定では、主要寸法を $C_M=0.97$ を用いて仮定したのでこの値を使って $C_p$ を計算しテラー図表より $C_R$ を求めた。従って例えば $C_B=0.55$ のA及びBの船はテラー図表では $C_B=0.524$ に対応していることに注意する必要がある。

(2)  $\ell_{CB}$

通常船舶の実績から $C_B$ との関係より推定。

テラー図表の対象船は $\ell_{CB}=0$ であるが、 $C_R$ 値には推定 $\ell_{CB}$ の修正は考慮していない。

自航要素を推定するためのベースとしての笹島による船尾肥大度係数

$$r = \frac{1}{L/B \{ 1.3(1-C_B) - 0.031 \ell_{CB} \}} \text{ を求めるのに使用する。}$$

(3) 主機馬力及び回転数

連続最大(M.C.O.) 15,000 BHP × 130 RPM

(4) プロペラ直径及びピッチ

MAU4翼の設計図表より最適効率のものを選定し、喫水によるプロペラ直径の制限は考慮していない。

(5)  $C_F$ 及び $\nabla C_F$ (2次元)

$C_F$  : シェンヘルの摩擦式より推定。

$$\nabla C_F(2次元) = 0$$

(6) 自航要素

$1-t$ 及び $1-W_s$  : 通常船舶の実績から船尾肥大度係数 $r$ との関係より推定。

$$\eta_R = 1.0$$

(7) 伝達効率

$$\eta_T = 0.97$$

以上による対象船7隻の主要目及び馬力推定計算結果の比較を(1)排水容積 $\nabla_s=20,000 m^3$ 一定の場合

(2) $L_{pp}=150 m$ 一定の場合について夫々Table 2.5.1及び2.5.2に示す。アドミラルティ係数はC.S.O.

No sea marginにおける値で $C_{adm} = \frac{\Delta^{2/3} \cdot V_s^{1.3}}{DHP}$ にて計算した。又、各船の速力-馬力推定曲線をFig. 2.5.1及び2.5.2に示す。

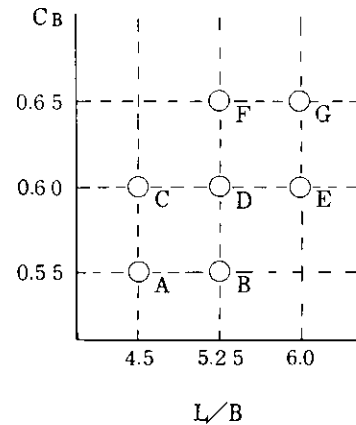


Table 2.5.1 Comparison Power Estimation

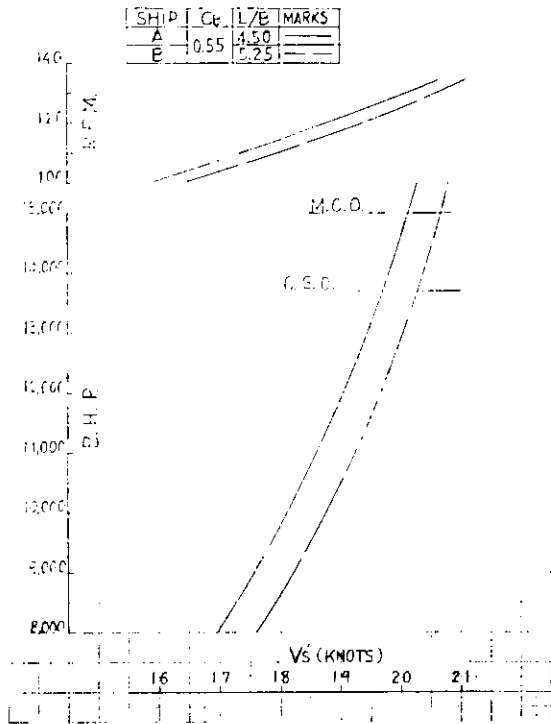
( $\nabla = 20,000 m^3$  const.)

船名	A	B	C	D	E	F	G
L <sub>pp</sub> (m)	1358	1505	1319	1462	1598	1423	1556
B (m)	30.17	28.66	29.31	27.84	26.63	27.11	25.93
d (m)	8.87	8.43	8.62	8.19	7.83	7.97	7.63
L/B	450	525	450	525	600	525	600
B/d	3.40						
C <sub>B</sub>	0.55		0.60			0.65	
C <sub>p</sub>	0.567		0.619			0.670	
C <sub>M</sub>	0.97						
ℓ <sub>CB</sub> (%)	2.36		1.85			0.84	
∇ (m <sup>3</sup> )	20,000						
△ (t)	20,500						
M. C. O.	15,000 BHP × 130 RPM						
C. S. O.	13,700 BHP × 126 RPM						
D <sub>p</sub> (m)	6.0	5.9	6.0	6.0	5.9	6.0	5.9
H/D	0.764	0.830	0.739	0.770	0.831	0.751	0.806
r	0.434	0.372	0.480	0.412	0.360	0.444	0.388
1 - W <sub>s</sub>	0.661	0.710	0.625	0.679	0.719	0.654	0.697
1 - t	0.807	0.817	0.806	0.813	0.821	0.811	0.819
η <sub>R</sub>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
V <sub>s'</sub> (KTS) (at C.S.O.)	1.97	2.03	1.91	1.97	2.02	1.92	1.95
F <sub>N</sub> (at C.S.O.)	0.278	0.272	0.273	0.268	0.262	0.264	0.257
Ca <sub>dm</sub> (at C.S.O.)	431	472	393	431	465	399	418
(∇/L <sup>3</sup> ) × 10 <sup>3</sup>	7.99	5.87	8.71	6.40	4.90	6.94	5.31

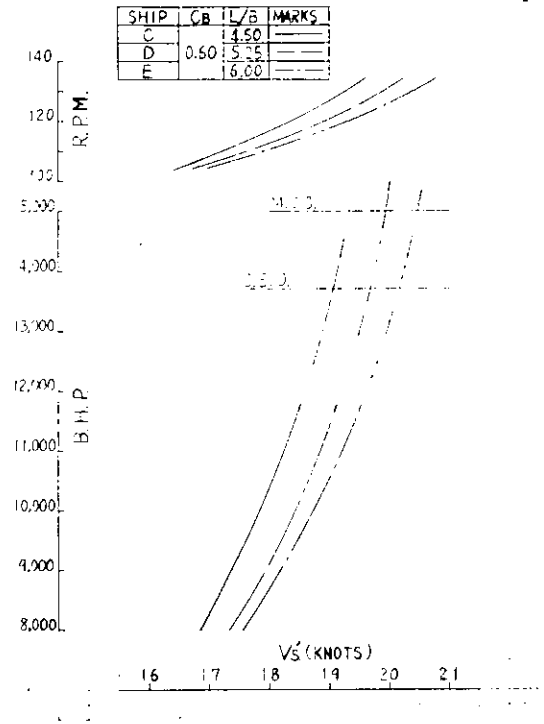


Table 2.5.2 Comparison of Power Estimation  
( $L_{pp}=150\text{ m const.}$ )

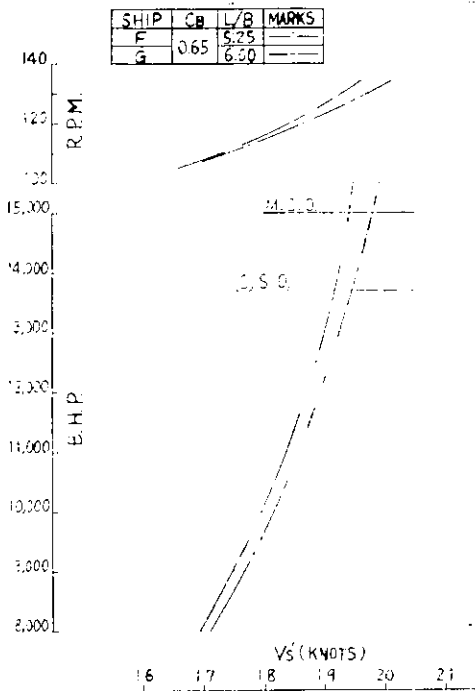
船名	A	B	C	D	E	F	G
$L_{pp}$ (m)	150.0						
B (m)	33.33	28.57	33.33	28.57	25.00	28.57	25.00
d (m)	9.80	8.40	9.80	8.40	7.35	8.40	7.35
$L/B$	4.50	5.25	4.50	5.25	6.00	5.25	6.00
$B/d$	3.40						
$C_B$	0.55		0.60			0.65	
$C_p$	0.567		0.619			0.670	
$C_M$	0.97						
$\ell_{CB}$ (%)	2.36		1.85			0.84	
$\nabla$ ( $m^3$ )	26,950	19,800	29,400	21,600	16,540	23,400	17,920
$\triangle$ (t)	27,620	20,290	30,130	22,140	16,950	23,980	18,360
M.C.O	15,000 BHP $\times$ 130 RPM						
C.S.O	13,700 BHP $\times$ 126 RPM						
$D_p$ (m)	6.0	5.9	6.0	5.9	5.9	6.0	5.9
$H/D$	0.748	0.825	0.728	0.796	0.829	0.746	0.804
r	0.434	0.372	0.480	0.412	0.360	0.444	0.389
$1-W_s$	0.661	0.710	0.625	0.679	0.719	0.654	0.697
$1-t$	0.813	0.817	0.809	0.813	0.820	0.812	0.819
$\eta_R$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$V_s'$ (KTS) (at C.S.O.)	1.87	2.03	1.83	1.96	2.03	1.89	1.96
FN (at C.S.O.)	0.251	0.272	0.246	0.263	0.272	0.254	0.263
$C_{adm}$ (at C.S.O.)	450	468	447	447	415	422	394
$(\nabla/L^3) \times 10^3$	7.99	5.87	8.71	6.40	4.90	6.93	5.31



(a) Ship A & B

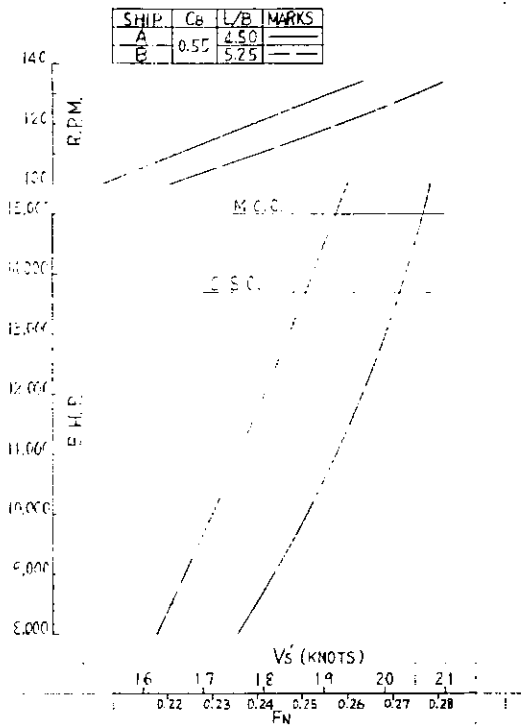


(b) Ship C, D & E

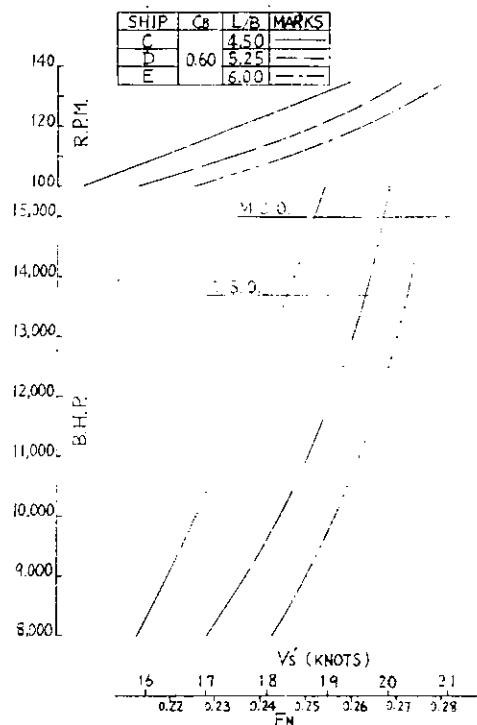


(c) Ship F & G

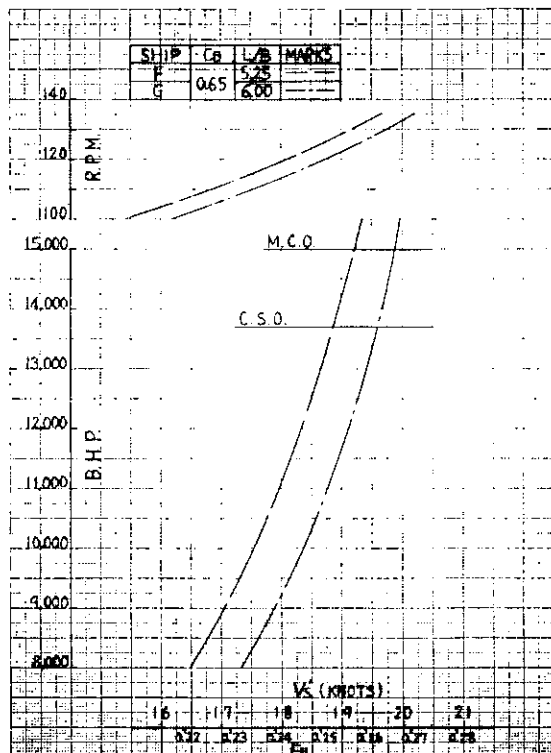
Fig. 2.5.1. Estimated B.H.P. etc Curves  
(  $V=20.000m^3$  CONST. )



(a) Ship A & B



(b) Ship C, D & E



(c) Ship F & G

Fig. 2.5.2 Estimated B.H.P. etc. Curves  
( L<sub>pp</sub>=150m CONST. )

## 第 3 章 船 型 計 画

### 3.1 船型計画基本方針

シリーズテストの結果を船型の計画に活かすため、シリーズモデルの計画に、出来るだけ理論を援用し、優秀船型のデータの蓄積に努めねばならない。本部会ではこの考えに則って、幅広の貨物船として、3つの計画速度  $F_n = 0.24, 0.26, 0.28$  を選び、この計画速度にほぼ対応する方形係数  $C_B$  を検討し、それぞれ  $C_B = 0.55$  (以下これをタイプ I と称する。)、 $0.60$  (タイプ II)、 $0.65$  (タイプ III) を選んだ。そこで各タイプにおいて、 $L/B = 4.5, 5.25, 6.0$  を組合せ、 $B/d = 3.4$  として、最適の排水量前後配分およびプリズマチック・カーブを理論および過去の資料にてらして検討し、シリーズモデルを立案することにした。

研究対象船型はいづれもやせ型船で設計速度も中速以上であるから抵抗成分のうち造波抵抗成分を軽減させることを第一に考慮する。造波抵抗理論によるいくつかの船型計画法が開発されているが、これらの計画法では完全に実用に供しうる船型が得られるまでにはいたらず、加えて今回の幅広船型では、非線型影響が強いと予想され、理論だけでは解決しえない部分がある。

このような純理論的な方法とは別に、これまでの水槽試験結果を活かした、統計解析による船型計画法が三菱重工多賀野氏によって発表されている。この方法では初めから実用船型を対象とし、水槽試験結果を解析していくので、上記非線型影響も含まれており、実用的価値は大きい。また塙氏はフェリー等高速船の実務設計の経験を反映させた、素成波理論による図式設計法<sup>2)</sup>を発表し、最適のプリズマチックカーブを簡単に求める方法を示している。本部会では、これまでに公的機関でなされた水槽試験のデータを利用し、多賀野の方法を縦糸に、塙の方法を横糸として、上記シリーズモデルを計画することにした。

実際、設計速度と  $C_B$  で分類した上記の各タイプにおいて、最適のプリズマチックカーブを求め、各タイプで主要目  $L/B$  を変化させて供試モデルとする。過去の水槽試験では  $L/B \approx 7.0$  のデータが多く、 $L/B = 4.5 \sim 5.25$  についての試験は極めて少ない。そこで  $L/B = 7.0$  による結果を幅広船に拡大していった場合の抵抗増加、非線型影響を調査する。

### 3.2 多賀野方式による船型の検討

#### 3.2.1 多賀野方式による統計解析と船型改良法

造波抵抗に関する船型要素はマクロ要素とマイクロ要素に分けられる。従来のシリーズテストでは、経験的に得られた優秀船型を母型として、その主要目変化を調査することがなされてきた。船型のマイクロ要素についてはプリズマチックカーブシリーズがまゝみられる。造波理論からすれば、船型の横断面積曲線などマイクロ要素は、主要目と同じく、造波抵抗と密接な関係にあることがわかっている。

そこで多賀野氏は、実用船型について、プリズマチックカーブの形状と造波抵抗との関係を精度よく求めることを試みた。Michell の薄い船に対する理論式によれば、水線形状を与えて、あるいは肋骨線形状の変化が小さいときはプリズマチックカーブを与えて、造波抵抗を算出することができる。しかし本(線型)理論を実用船型に直接適用すると、結果は実際の値の 4、5 倍にもなることが多い。そこで多賀野氏は、理論式の骨格のみを活かし、式の要となる諸係数を実際の水槽試験結果に合うよう統計的に求めることを試みた。

プリズマチックカーブを点列表示(各オーディネイト  $i$  での  $C_p$ -曲線値を  $f_i = A(x_i) / A(\emptyset)$  と表示する。)にし、船型の肋骨線形状は U 型と仮定すると、造波抵抗係数  $C_w$  は次式のようになる。

$$C_w = \frac{R_w}{\frac{1}{2} \rho V^2 \nabla^{2/3}} = \frac{2 C_M^2}{\pi} \left( \frac{B^2}{C_B \cdot L \cdot d} \right)^{2/3} \cdot \{1 - \exp(-Kod)\}^2 \times (H_{00}f_0^2 + H_{01}f_0f_1 + \dots + H_{11}f_1^2 + H_{12}f_1f_2 + \dots + H_{n-1, n}f_{n-1}f_n + H_{nn}f_n^2) \quad (1)$$

ここに  $H_{ij}$  は S.S.  $i$  番目と  $j$  番目のプリズマ点列の相互影響を示す物理量に該当し、相互距離と、その時のフルード数で決まる波の波長との関係によって変化する係数で、或る範囲内の船型要素を有するグループの船が非線型要素も含め共有する係数といえる。したがって既存の水槽試験船のデータから最小自乗法によって  $H_{ij}$  を各フルード数毎に求めれば、確定したこの  $H_{ij}$  をもとに、類似の船型要素を持つ任意の船型の造波抵抗が推定できる。推定精度をよくするには、個々の実験データが信頼度の高いものであること、なるべく類似の主要目をもつが、 $C_p$  曲線は互いに独立な船型群のデータであることが望ましい。すなわち、実用船型について上記 Michell 理論では包含しえない各種非線型影響が一定となる船型母集団を用意することが望ましい。

統計解析によって、 $H_{ij}$  が定まると、これを船型の改良に利用できる。

- (1) プリズマチックカーブを系統的に変化させ、それらの船型に対する  $C_w$  を推定し、いわばシリーズテストを数値実験的に行う。
- (2) Hogner の影響線<sup>3)</sup> (influence line) に相当する関数を(1)式から求め、それを参照してプリズマチックカーブを改良する。

プリズマ点列の1つ  $f_i$  が  $\delta f_i$  だけ変化した場合、 $C_w$  が  $C_{w0}$  から  $\delta C_{w0}$  だけ変わるとすると、

$$C_w = C_{w0} + \delta C_{w0} = C_{w0} + \frac{\partial C_{w0}}{\partial f_i} \delta f_i \quad (2)$$

$$\text{ここに } \frac{\partial C_{w0}}{\partial f_i} = H_{0i} f_0 + H_{1i} f_1 + 2H_{ii} f_i + \dots + H_{ni} f_n \quad (3)$$

となる。 $\partial C_{w0} / \partial f_i$  の正負大小をみて、 $\delta f_i$  を(2)式第2項が負となるように、 $H_{ij}$  の有効な適用範囲内で変更する。実際には、上記(1)に従ってプリズマチックカーブを作画し、 $C_w$  を推定して、結果を確認する必要がある。

以下、本多賀野方式の有効性を具体的に検討する。

### 3.2.2 統計解析に使用したデータと多賀野方式の適用

統計解析は日本造船技術センター (SRC と略記) ならびに主として目白時代の船舶技術研究所 (SRI) で試験された模型船 165 隻について行なうこととし、対象は 1 軸船に限定した。内訳は SRC データ 132 隻、SRI (目白) 31 隻、SRI (三鷹) 2 隻である。これを  $C_B$  別の船型群に分けると次のようになる。

$C_B = 0.525 \sim 0.575$	81 隻	(内バルブ付 70 隻)
$C_B = 0.575 \sim 0.625$	36 隻	( " 31 隻)
$C_B = 0.625 \sim 0.675$	48 隻	( " 13 隻)

$C_B \sim L/B$ 、 $B/d \sim L/B$  の分布を Fig. 3.2.1 a ~ d に、また  $L/B$ 、 $B/d$ 、 $C_B$  のヒストグラムを Fig. 3.2.2 a ~ d に示す。 $C_B$  の第 2、第 3 のグループの隻数が不足しているため、その周辺のものも含ませ統計解析に必要な 60 隻余を確保するようにし、 $C_B = 0.55$ 、 $0.60$ 、 $0.65$  を中心とした各群をタイプ I、タイプ II、タイプ III に分けて図示した。供試データは三鷹水槽の 2 隻を除き、目白水槽の過去約 20 年のもので、4.5 ~ 7 m 模型が用いられている。

試験結果は 2 次元解析または 3 次元解析で、摩擦抵抗は、Froude、Hughes、ITTC (1957)、Schoenherr の各式で解析されている。そこで全データを Schoenherr ベースの 3 次元解析に統一した。2 次元解析で低速抵抗試験のないものは、Form Factor  $K$  を、多賀野のやせ型船に対する式

$$K = 1.55 C_M / (L/B \cdot \sqrt{C_B \cdot B/d}) \quad (3)$$

で推定し、造波成分を抽出した。

タイプⅠについての $H_{ij}$ を最小自乗法で求め、推定した造波抵抗係数 $C_w$ と水槽試験結果を数隻について比較した(Fig. 3.2.3 a, b)の図中 $K_M$ 方式とは、低速の抵抗試験から得られたForm Factor  $K_M$ があるものについてはそれを、ないものについては(3)式による $K(=K_c)$ を用いて、 $C_w$ を出し、これを解析したもの。 $K_c$ 方式は全模型船のデータに対し、(3)式を適用したものである。なお(3)式による推定 $K_c$ は特別のものを除き $K_M$ とよく対応し、両者の差は大体において0.02内外である。また $C_w$ の推定に用いたプリズマ点列は7点、F.P、9½、9、8、6½、3½、1の位置のプリズマを用いた。水槽試験結果と推定値はよく合っている。しかし本法が有効であるかどうかは、 $C_w$ のあてはめの良否だけでは判定できない。解析結果の推定式が造波抵抗理論の示す一般的傾向を体しているか否か、つまり統計解析結果が物理モデルとしての特性を具備しているかどうかによってきまる。この事はデータの質によって左右されるので、今回のデータの有効性を多角的に検討してみる。

### 3.2.3 統計解析結果の検討

#### (1) プリズマ点列の相互相関分析

プリズマチックカーブの性質を少ないプリズマ点列で的確に表現するため点列の相互相関分析を行った。相互相関の強いところは点列間隔をあらくできるが、弱いところは密にする必要がある。 $f_i$ と $f_j$ の相関 $r_{f_i f_j}$ は、

$$r_{f_i f_j} = \frac{D_{f_i f_j}}{\sqrt{D_{f_i f_i}} \sqrt{D_{f_j f_j}}} \quad (4)$$

ここに

$$D_{f_i f_j} = \sum_{k=1}^n (f_{ik} - \bar{f}_i)(f_{jk} - \bar{f}_j) \quad (5)$$

$$\bar{f}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f_{ik}, \quad \bar{f}_j = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f_{jk} \quad (6)$$

で与えられる。タイプ別の計算結果をFig. 3.2.4 a, b, cに示す。どのタイプでもFP、9½は独立性が強く、6½、3½、1附近では相互相関が強い。この結果プリズマチックカーブを代表する点列としてはこれまでと同一の7点のステーションでよいと考えられる。タイプ別ではタイプⅢが他のものに比べ全体的に相互相関がやや弱い。

#### (2) 船型要素と造波特性

求まった造波影響行列 $H_{ij}$ が物理的な意味をもった係数となっているかどうかを確かめるため、タイプⅠの81隻の中から前平部 $C_p$ 曲線が異なる4船型を選んで $C_w \sim F_n$ の一般的傾向を調べてみた。Fig. 3.2.5 aに示すようにModel 1、4は水線入角が大きく肩落ちで高速船用であるが、Model 2、3は船首がとがり肩はりで、いわゆる低速船用の横断面積曲線である。これら4船型について推定した $C_w \sim F_n$ 曲線を水槽試験結果とともにFig. 3.2.5 bに示す。この結果は実験・推定値とも造波理論の示す一般的傾向をよく示している。Model 1と4、Model 2と3は通常船首とマイヤー型の比較で、いわばフレームラインシリーズである。本法による推定は母集団のもつ平均的フレームライン船型について推定することになるが、推定値はいづれもModel 1と4、2と3の水槽試験結果の帯の中に入っていて満足すべき結果である。Fig. 3.2.6 a, bはバルブの影響を調べたものである。Fig. 3.2.7 a, b、3.2.8 a, bには前出のModel 1と3について、船体前半平部のプリズマチックカーブを変えて造波抵抗の変化を調べたものである。

これらの結果からタイプⅠ81隻のデータによる $H_{ij}$ はこれら船群のもつ物理的性質をよく捉え、物

理モデルになっていると考えられる。

### (3) 母集団の規模

タイプⅠのデータでM5というある船を選定し、これを同心円的にかこんで母集団数を40、60、81の3種に分け、統計解析が物理モデルとなりうるには最低どの位の模型船のデータが必要かを検討してみた。Fig. 3.2.9は規模別に求めたHijからM5のC<sub>w</sub>推定結果を、Fig. 3.2.10 a、b、cにはHijのうち船首近くの一部のものについて図示した。C<sub>w</sub>の推定では一見どの規模のものでもよいようであるが、Hijそのものを比較すると内容がちがうことがわかる。

40隻母集団のグループではHijが相対的に大きく、かつフルード数ベースの変化も急である。これに対し母集団が60隻、80隻とふえるにつれてHijの値が小さく、フルード数ベースの変化も極端に変わるところがない。

40隻ではHijがまだ数学モデルにとどまっているように考えられる。つきにM5について影響線(influence line)  $\partial C_w / \partial f_i$ を母集団の規模別に示すと、Fig. 3.2.11 a、b、cのようになる。40隻母集団のFP付近の値は大きく変動し、他の60、80母集団とちがった傾向を示している。このことから統計解析のための適正母集団は80隻程度、少なくとも60隻は必要であることがわかる。

### (4) 広幅・浅喫水船に拡大した場合の抵抗予測と既存チャートとの比較

Fig. 3.2.1、Fig. 3.2.2に示したように統計解析に用いた船のL/Bは7.0が多く次いで6.5となっており、5.4より小さいものはない。またB/dについても2.4または3.0が多く3.4となると隻数が少ない。このような船群のデータから見出した優秀船型の抵抗が広幅・浅喫水によってどの程度かわるかを実船の全抵抗係数の形で検討しておくことが必要である。

排水容積 $\nabla_s = 20,000 \text{ m}^3$ 、 $C_M = 0.97$ 、 $B/d = 3.4$ としてL/Bを変化させ模型試験を実施する網の目7点(A、B、……G)で検討することとした。 $\nabla_s = C_B \cdot L/B \cdot d/B \cdot B^3$ であるから与えられた $C_B$ 、L/B、B/dに対しBは $B = (\nabla_s / C_B \cdot 1 / L/B \cdot B/d)^{1/3}$ として求め、続いてL、dの主要寸法が決まる。

多賀野氏による造波抵抗係数C<sub>w</sub>は

$$C_w = \frac{2C_M^2}{\pi} \left( \frac{1}{C_B} \cdot \frac{B}{L} \cdot \frac{B}{d} \right)^{2/3} (1 - e^{-Kod})^2 \cdot (H_{00}f_0^2 + H_{01}f_0f_1 + \dots + H_{nn}f_n^2) \\ = F(C_M, C_B, L/B, B/d, Kod) \cdot (H_{00}f_0^2 + H_{01}f_0f_1 + \dots + H_{nn}f_n^2) \quad (7)$$

ただし  $K_0L = gL/V^2 = 1/F_n^2$

のように主要目による部分とプリズマチックカーブによる項が分離形で与えられている。そこでプリズマチックカーブを同一に保ち、主要目のみを変えて船の造波抵抗係数C<sub>w</sub>'は原型のそれをC<sub>w</sub>として

$$C_w' = C_w \cdot \frac{F(C_M', C_B' \cdot (L/B)', (B/d)', Kod')}{F(C_M, C_B, (L/B), (B/d), Kod)} \quad (8)$$

となる。粘性抵抗はSchoenherrの式をもとに、多賀野Form Factor 推定公式を用い、浸水面積SはOlsenの式

$$S = LB(1.22d/B + 0.46) \cdot (C_B + 0.765) \times 1.02 \quad (9)$$

によって推定した。なお各タイプより総数60隻を選び、(9)式の適合性を調べた結果はおおむね良好であった。

各タイプの中から、代表的な船型数隻を選び、C<sub>T</sub>の解析結果をFig. 3.2.12 a～gに示す。

図示していないが原型の  $C_w$  の相対的な優劣がそのまま  $C_T$  の順序になることがわかった。その内訳は  $\nabla s$  = 一定のもとに  $L/B$  が小さくなるにつれ、浸水面積が減少するが、逆に Form Factor が増大し粘性抵抗分は主要目に変化しても、殆んど同じになるという結果が得られ  $C_T$  の序列は結局  $C_w$  の順序で決まるということである。ただしこの場合排水量を一定としているので、船長はまちまちでありフルード数ベースでなく、実船のノットベースで置点すれば結果は変わることも予想される。今回は各タイプの設計速力がフルード数で、与えられているのでこれ以上の検討は行っていない。

つぎにこれらの全抵抗係数の予測に対し、既存のチャート (Taylor および Todd Series 60) による推定結果との比較を行なった。まず Taylor の図表により  $C_R = RR / \frac{1}{2} \rho V^2 S$  を求め、摩擦抵抗曲線に Schoenherr の式を用い、2次元法で  $C_T$  を推定することにした (同図実線)。しかし比較対象の上記模型試験の外挿は3次元法で  $\Delta C_F(3) = 0$  として求めているので、これに合わせるため、2次元解析の方には負の  $\Delta C_F(2)$  を採用し、 $C_T$  に算入した。すなわち  $\Delta C_F(2)$  として

$$\Delta C_F(2) = -K (C_{FM} - C_{Fs}) \quad (10)$$

ただし

$K$  = Form Factor (多賀野氏の推定式で計算)

$C_{Fs} = 1.53 \times 10^{-3}$  (実船のレイノルズ数  $1 \times 10^9$  と仮定)

$C_{FM} = 2.93 \times 10^{-3}$  (模型船のレイノルズ数  $1 \times 10^7$  と仮定)

の式から得られた下記表の  $\Delta C_F(2)$  を算入、結果を同図破線で示す。

	A	B	C	D	E	F	G
K	0.244	0.209	0.234	0.201	0.175	0.192	0.169
$\Delta C_F(2) \times 10^3$	-0.34	-0.29	-0.33	-0.28	-0.25	-0.27	-0.24

Todd Series 60 による推定は研究対象船 E と G について行った。他の研究対象船については、Todd の図表範囲からかなり外れるので外挿していない。統計解析に用いる模型試験結果からの外挿は Taylor チャートによる推定と同じか、やや高めとなっている。Taylor の実験模型は付加物なしであるが、統計解析用のデータは舵、ビルジキール付きの試験結果であることを考慮すれば、両者ともほぼ同じ抵抗レベルの船型と考えられる。したがって、プリズマチックカーブを変え、船型の改良を図ることが重要となる。

### 3.2.4 多賀野方式による最適船型の選定

タイプ I の研究対象船のプリズマチックカーブを選定するにあたり、まずデータの主要目分布平均を求め、これに近い値を有する船を抽出し、その中で  $C_B$  が 0.55 に近く、またそのプリズマチックカーブがデータの平均ラインに近いもので、水槽試験結果の抵抗値が低いものを船型改良の対象船型として選出することにした。

本解析に使用したデータの主要目の分布状況は 3.2.2 に見た通りである。プリズマチックカーブの分布については、FP から AP までの 25 S.S. の各位置における縦座標  $f_i$  の平均  $\bar{f}_i$  と標準偏差  $\sigma_{f_i}$  ( $i = 1 \sim 25$ ) とから  $f_i$  を中心とした  $\pm \sigma_{f_i}$  の上下変動幅によってそのバラツキを表わすことにし、それを Fig. 3.2.1.3 に示す。

タイプ I のデータの母集団 81 隻についてその主要目分布の平均は  $L/B = 6.82$ 、 $B/d = 2.83$ 、 $C_B = 0.552$  であり、その標準偏差はそれぞれ  $\sigma_{L/B} = 0.285$ 、 $\sigma_{B/d} = 0.401$ 、 $\sigma_{C_B} = 0.0175$  であった。これと主要目の分布 (Fig. 3.2.1 b と Fig. 3.2.2 b) とからデータの平均値からの標準偏差程度の変動幅の中で同一の主要目を有する船 ( $L/B = 7.0$ 、 $B/d = 2.4$ 、 $C_B = 0.55 \sim 0.56$ ) 17 隻を



選出し、次にこのグループのうちで抵抗試験結果の  $C_w$  値が設計 Froude 数 ( $F_n = 0.28$ ) で最も低い船を取り上げたところ、そのプリズマチックカーブもデータの平均ラインに近いものであった。以後この船を M5 と称することとし、これに対して多賀野式船型改良により、より  $C_w$  の小さい優秀船型のプリズマチックカーブを求めることとした。M5 の主要目は  $L/B = 7.0$ 、 $B/d = 2.4$ 、 $C_B = 0.559$ 、 $C_p = 0.576$ 、 $C_M = 0.970$ 、 $l_{cB} = 1.668$  粍 (Aft) となっている。

M5 の影響線は Fig. 3.2.11c にあるように S.S. 1, 8, 9, 9 1/2 において高いピークを示しており、プリズマチックカーブの変形に際してもこれらの S.S. における値が正であれば sectional area を減少させ、負であれば逆に増加させることによって  $C_w$  の減少がはかれることが予想される。

Fig. 3.2.14abc にこのことを考慮に入れて試みたプリズマチックカーブの種々の変形パターンを示し、Fig. 3.2.15ab にこれらの変形に対応した  $C_w$  の推定値を示す。

ここに M.5-A, B, C, …… とあるのはそれぞれ M5 の変形パターンである。Fig. 3.2.14a の変形 A, B, C は  $F_n = 0.28$  における  $\frac{\partial C_w}{\partial f_i} |_{FP}$  の値が小さいことからバルブサイズはそのままとし、フェアリングの過程を考慮して影響線における S.S. 9 の情報を無視した変形である。A → B → C と変形量を漸次増していった場合、変形量が適用範囲外にまでおよぶと負の  $C_w$  値が表われることがわかる。実際 Fig. 3.2.13 によっても変形 C のカーブがタイプ I のデータのプリズマチックカーブの分布平均からはずれていることがわかる。よって以後の変形は Fig. 3.2.13 に示された範囲内で考えることとした。Fig. 3.2.14bc の変形 D ~ K はこれに従ったもので次のような方針で計画されたパターンとなっている。

- 変形 D : Fore は M5 - B に同じとし、Aft は M5 原型を採用
- E : Fore は原型のまま Aft は狭め方を B より小さくする。
- F : Fore は B の船首付近を少し太くし Aft は B を採用
- G : Fore は原型の S.S. 7 ~ 8 を hollow にし船首付近を太めにする。Aft は原型を採用
- H : Fore は F に同じ Aft は E に同じ
- I : " G " E "
- J : " G " B "
- K : Fore は原型を全体的に変形し、Aft は原型を採用

Fig. 3.2.15ab より、変形パターンとして B が有利であることがわかり、影響線で高いピークを示した S.S. の情報はできるだけ取り入れるのが望ましい。従って船体後半部における S.S. 1 の情報も無視し得ないわけであり、RoRo 船型の特徴からは船尾の水線面積をできるだけ大きく確保したいところであるが、推進性能上の見地から統計解析の結果に従って S.S. 1 の面積を減少させる方向に M5 の改良線図設計を行うべきである。

プリズマチックカーブの変形による影響線の変化を知ることによって、次の変形のパターンを知ることができ、この手順を繰り返すことにより逐次的に優秀船型を得ることができる。しかし実際には 2 回目の改良からは影響線が大きく変動し始めて変形に敏感に反応するようになり、特に改良前と改良後とで正反対の情報を呈することにもなる。その様子を M5 の変形の場合を例にとり Fig. 3.2.16 に示す。図中 A, B, C, …… とあるのはそれぞれ M5 の原型のプリズマチックカーブに対して行った変形 A, B, C, …… の結果に対応するものであり、これらの変形によって影響線が全体的に大きく変動するのがわかり、場合によっては改良の指針を与える情報が逆になることもあることが示されている。

3.2.1 の(2)式は第 1 変分のみを考慮したものである。ここで第 2 変分の影響を検討してみる。プリズマチックカーブの特性を代表する点列を  $\{ \vartheta_i \}$  とし、変形  $\delta \vartheta_i$  による  $C_w$  の変分を  $\delta C_w$  とすれば

$$\begin{aligned} \delta C_w &= \delta C_{w1} + \delta C_{w2} \\ &= \sum_i \frac{\partial C_w}{\partial \varphi_i} \delta \varphi_i + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \frac{\partial^2 C_w}{\partial \varphi_i \partial \varphi_j} \delta \varphi_i \delta \varphi_j \end{aligned} \quad (11)$$

となる。Fig. 3.2.17はM.5の変形Bを例にとり、変形によるCwの変化 $\delta C_w$ に占める $\delta C_{w1}$ と $\delta C_{w2}$ のFroude数ベースの変化をみたものである。F<sub>n</sub> = 0.22あたりでは互いに同符号のcomparableな量であったものが高速側へ行くに従い $\delta C_{w2}$ の符号も負から正へと転じてF<sub>n</sub> = 0.30では遂に $|\delta C_{w2}| > \delta C_{w1}$ となることが示され、第1変分に基づく影響線の情報とは逆にわずかではあるがCwの推定値がもとの値より高くなっている(Fig. 3.2.15a)。

しかしF<sub>n</sub> = 0.28では $\delta C_{w2}$ の影響は無視し得る程度であり、他の変形に比して変形BのCw推定値が低くなっているのもうなずける。結局、研究対象船の最適プリズマチックカーブとしてはM.5の変形Bを採用するのが望ましいといえよう。

### 3.3 塙方式による検討

塙氏の素成波理論を応用した図式船型設計法に基づいて、研究対象船(C<sub>B</sub> = 0.55、L/B = 5.25、B/d = 3.4)の計画を試みた。得られた最適のプリズマチックカーブを他の例とともに示す(Fig. 3.3.1)。塙方式では、横截面積曲線のfullest pointをSS.4.3/4とし、C<sub>M</sub>、排水量前後配分からC<sub>pF</sub> = 0.55(バルブ付、バルブ除いて考えるとC<sub>pF</sub> = 0.54となる。)、さらに仮の中央平行部長さ $\ell_p$ (船長で無次元化)を考慮してEntrance部のC<sub>p</sub>(=C<sub>pE</sub>)を選定、塙氏の図式設計法によって、 $\varphi$ (=C<sub>p</sub>)および $\dot{\varphi}$ ( $\varphi$ の微分で吹き出し分布に該当)曲線が得られる。

図中Hanawa 1は $\ell_p$  = 1.5%、C<sub>pE</sub> = 0.533から、Hanawa 2は $\ell_p$  = 4.17%、C<sub>pE</sub> = 0.52とし、仮の平行部に不連続修正を施すとともに、バルブサイズ補正を加えて得られたものである。

Fig. 3.2.14b、Fig. 3.2.15aにM5変形シリーズとのC<sub>p</sub>曲線、C<sub>w</sub>曲線を比較した。塙方式については図示していないがC<sub>pE</sub> = 0.514としてさらに詳細検討がなされている。これらの結果とM5変形Bのプリズマチックカーブを比較すると後者がやゝ肩張りであるが、船首部では両者はよく一致している。C<sub>w</sub>の推定において、M5変形Bより高目に出ているが、塙方式のC<sub>p</sub>曲線にはM5の後半部をそのまま採用していることを考慮すれば、妥当な値といえる。C<sub>p</sub>曲線の勾配 $\dot{\varphi}$ についても、両船型の特徴はほぼ一致していると考えられる。ただし肩はりの部分に両者のちがいが認められる。

結局、塙方式を横糸としてみた場合、多賀野方式から得られたM5変形Bを基本とするが、その前肩をもう少し落としした形が望ましいと考えられる。すなわち多賀野方式の選定結果に対する一つのcheck pointと考えられ、詳細設計で配慮していくこととなった。

### 3.4 研究対象船型の選定

#### 3.4.1 プリズマチックカーブ

実船をL<sub>pp</sub> = 150mと想定し、実船の概略試設計を考慮に入れ、線図も配慮したうえで供試模型用プリズマチックカーブ第1案が出された。その結果をM5変形Bと比較するとFig. 3.4.1aの破線(Modified by SRC)のようになる。同図にはタイプI、81隻の統計母集団によるC<sub>p</sub>-曲線の縦座標平均 $\bar{f}_i$ とその標準偏差 $\sigma f_i$ の変動巾を示した。M5変形Bは全体的に $\bar{f}_i \pm \sigma f_i$ の帯の中に入っているが、上記供試模型用の第1案は肩はりとなり、修正量としても過大である。参考までに同図にはM5変形BのC<sub>p</sub>-曲線の代表点列7点の値をもとにして、これらの中間の値を母集団の性質できまる補間係数で求めた結果も示している(Fig. 3.4.1aの△印)。すなわちM5変形Bの物理的特性を7点列で表わした場合、それがもとの母集団では、どのような船型とみなされているかを示したものである。その結果をM5変形Bと対比してみると、船体後半部には若干のズレが認められるが、前半部については良く

一致し、設計者の意図した  $C_p$ -曲線が、統計データの上でも保証されていることがわかる。

Fig. 3.4.1 bにM5変形B、供試模型用第1案の各船、その他の推定  $C_w \sim F_n$  曲線を示す。第1案は原船型M5よりは減少しているが、M5変形Bより後退した結果となっている。その一原因としてS.S.1の値が増したことがあげられる。よってこれらの諸点を再配慮して第2案を計画した。この第2案の計画にあたって、適正なバルブの寸法を再検討し、M5変形Bの6%を7~8%に増加させた場合、 $C_w$ をさらに減少させ得ることがわかった。しかし  $L/B = 4.5$  のことも考え、バルブ寸法は6%のままにすることにした。さらにR o R o船の特徴、とくに船尾形状に現場設計の考えを入れ、第2案をSRCで設計した。

Fig. 3.4.2 aに、第2案の  $C_p$ -曲線、Fig. 3.4.2 bに同  $C_w$  推定を示す。上記の各点に留意した結果、 $C_w$ の改善も期待でき、多賀野方式、埴方式の相補的成果として、本案を供試模型の最終案と決定した。

#### 参 考 文 献

- 1) 多賀野 寛 : 船舶の抵抗推定法に関する研究、昭和50年5月、大阪大学学位論文
- 2) 埴 友 雄 : 図式船型設計法—横断面積曲線について—、昭和52年12月、  
関西造船協会誌第167号
- 3) E.Hogner : Influence lines for the wave resistance of  
ships - I , 1938 , PRS-A , Vol.155

MARKS	TYPE OF SHIP	NO. OF MODEL	MARKS	TYPE OF SHIP	NO. OF MODEL
○	CARGO	90	F	FERRY	6
△	CAR. CAR.	4	L	LINER	4
x	CONTAINER	41	B	BULK	1
Y	REF. CARGO	5	CR	CAR/REF	1
σ	SEA COASTER	1	T	TRAINING SHIP	2
♁	BANANA	1	LI	LIPER	1
□	R/R0 CONTAINER	7	Lu	LUMBER	1

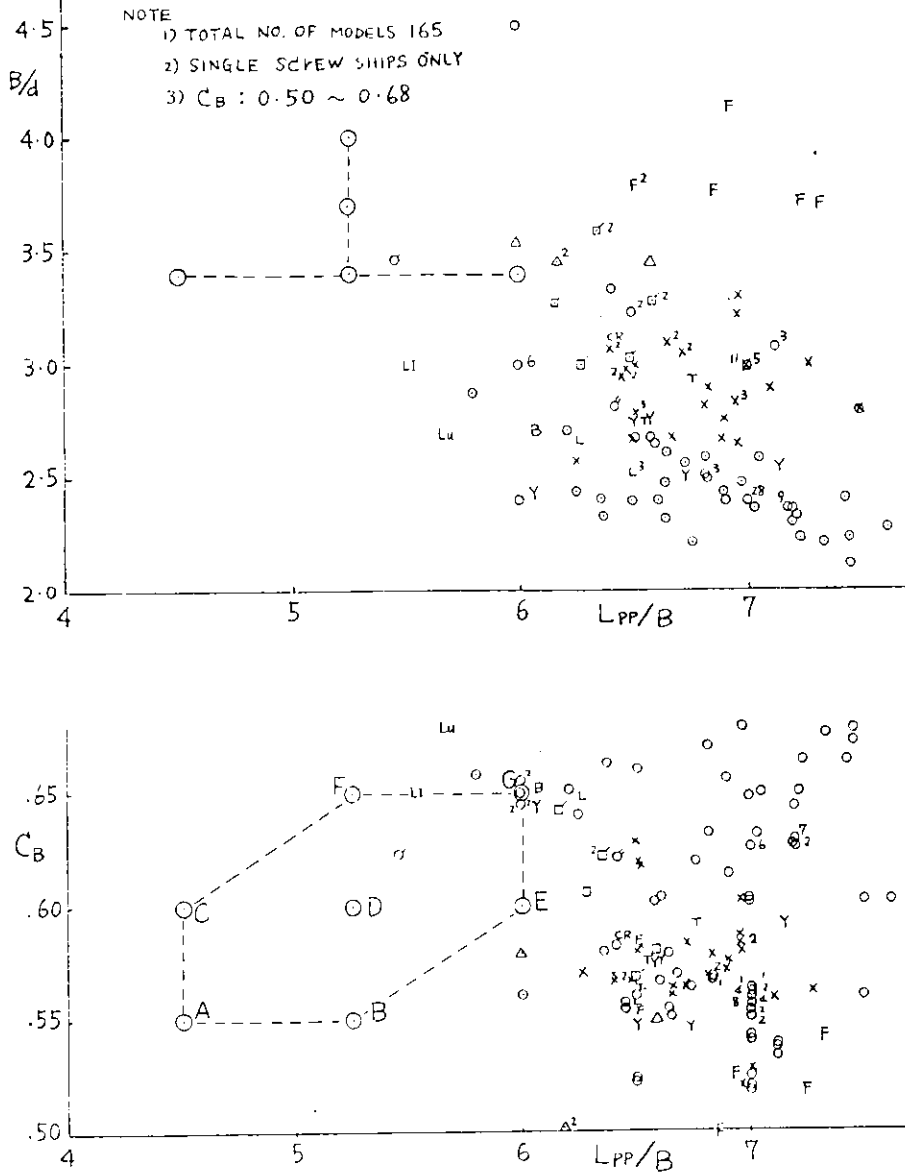


Fig. 3.2.1.a Principal Dimensions of Tank Tested Models

MARKS	TYPE OF SHIP	NO. OF MODEL
○	CARGO	38
△	CAR CAR.	3
x	CONTAINER	28
Y	REF. CARGO	3
⊠	RO/RO CONTAINER	1
F	FERRY	5
L	LINER	3

NOTE  
 1) TOTAL NO. OF MODELS 81  
 2)  $C_B : 0.50 \sim 0.575$

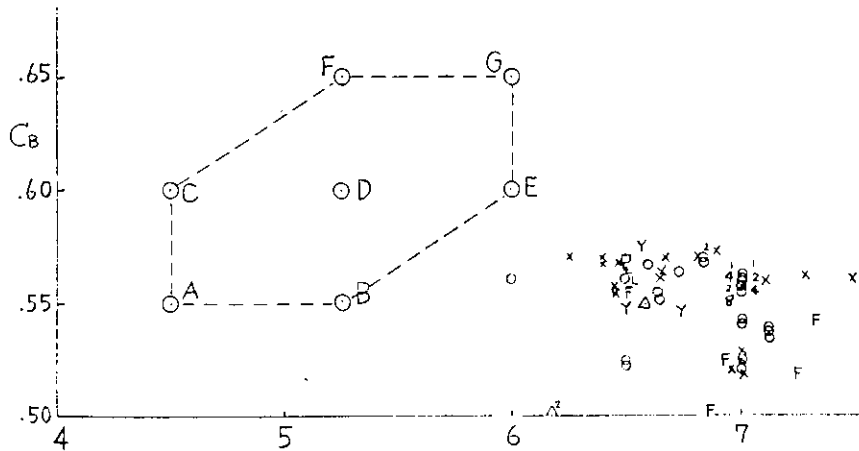
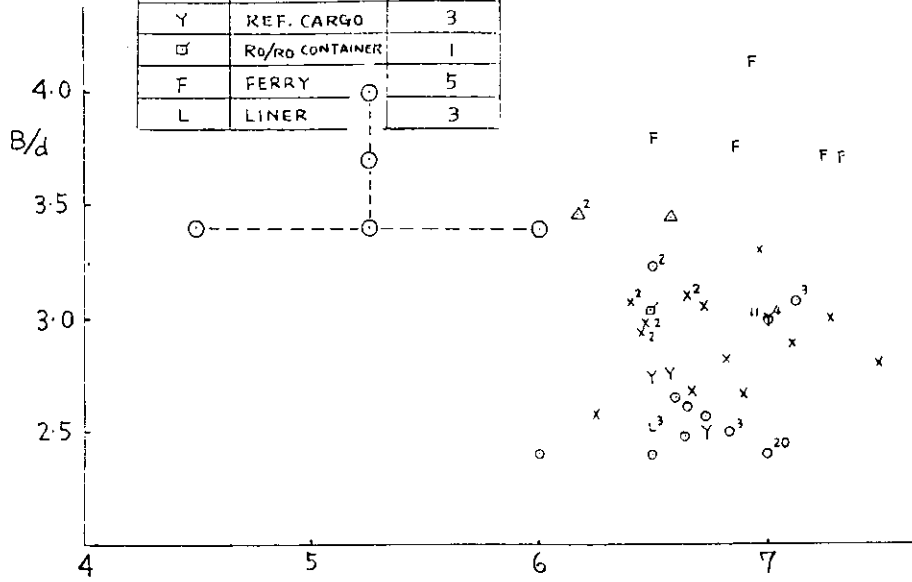


Fig. 3.2.1.b Distribution of Principal Dimensions of Type I

MARKS	TYPE OF SHIP	NO. OF MODEL
○	CARGO	29
△	CAR. CAR.	1
x	CONTAINER	20
Y	REF. CARGO	2
⊙	SEA COASTER	1
⊗	BANANA	1
⊠	RO/RO CONTAINER	6
F	FERRY	1
CR	CAR/REF.	1
T	TRAINING SHIP	2

NOTE  
 1) TOTAL NO. OF MODELS 64  
 2)  $C_B$ : 0.56 ~ 0.63

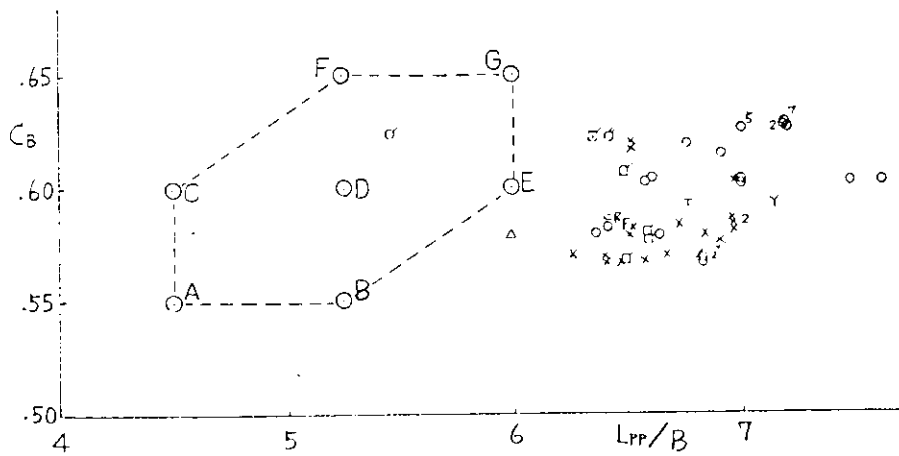
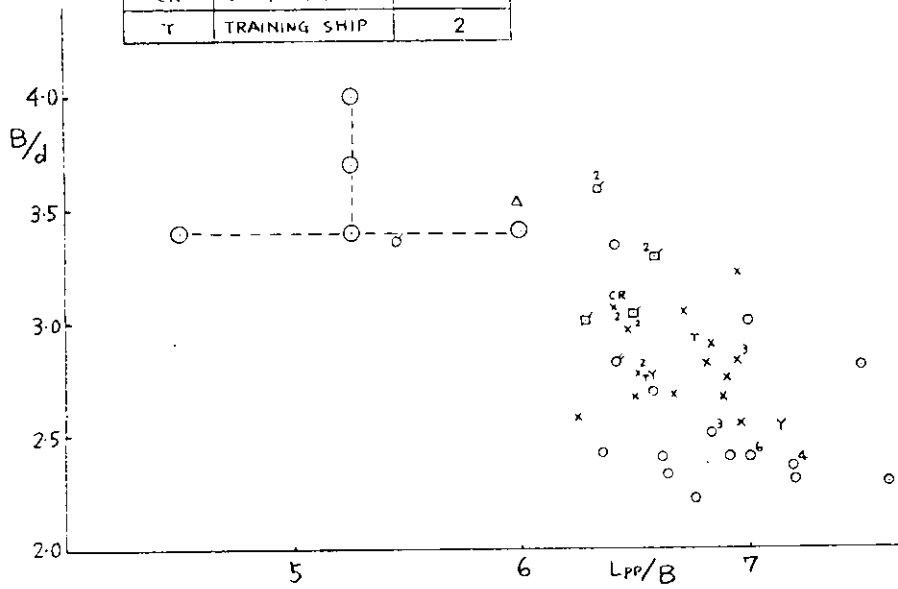


Fig. 3.2.1.c Distribution of Principal Dimensions of Type II

MARKS	TYPE OF SHIP	No. of MODEL
o	CARGO	49
x	CONTAINER	4
y	REF. CARGO	1
σ	SEA COASTER	1
σ	BANANA	1
□	RO/RO CONTAINER	4
L	LINER	1
LI	LIPER	1
Lu	LUMBER	1
B	BULK	1

NOTE  
 1) TOTAL NO. OF MODELS 64  
 2)  $C_B : 0.60 \sim 0.68$

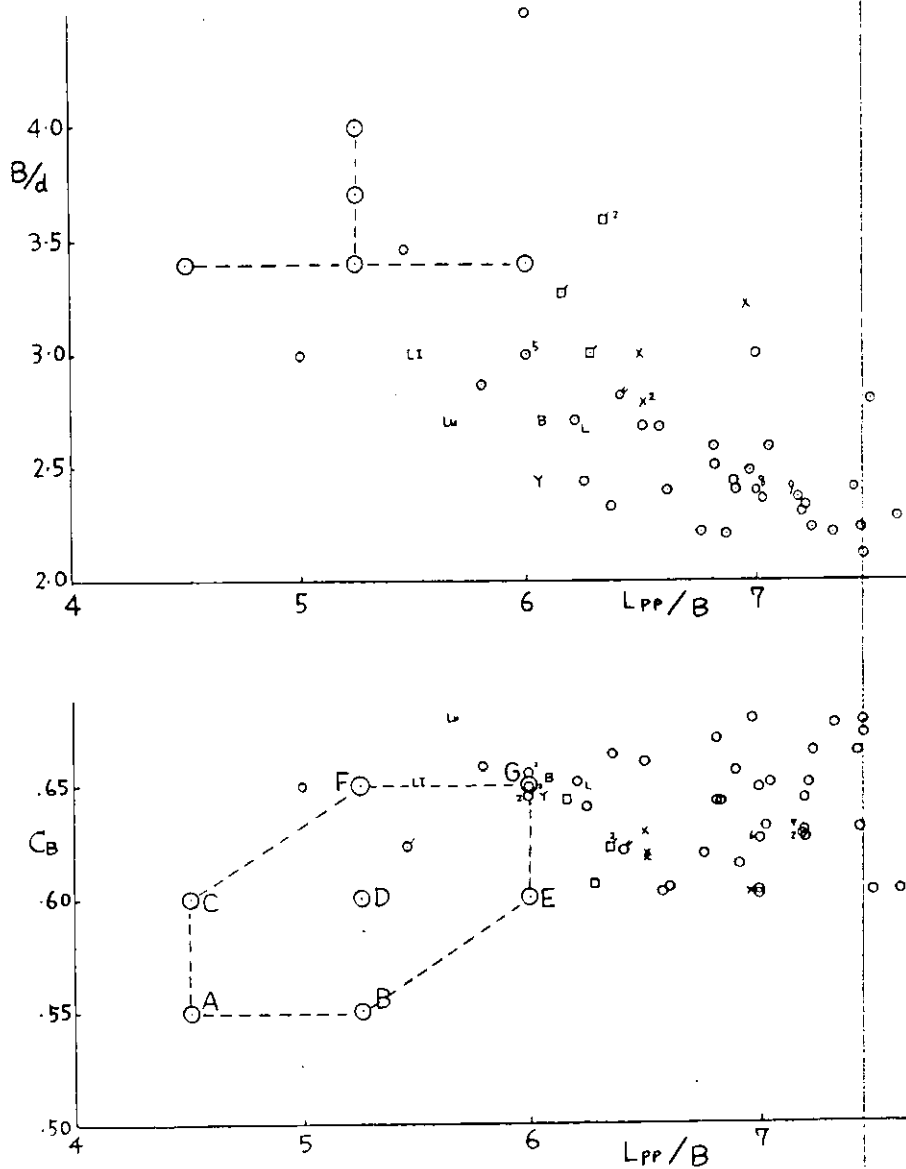


Fig. 3.2.1.d Distribution of Principal Dimensions of Type III

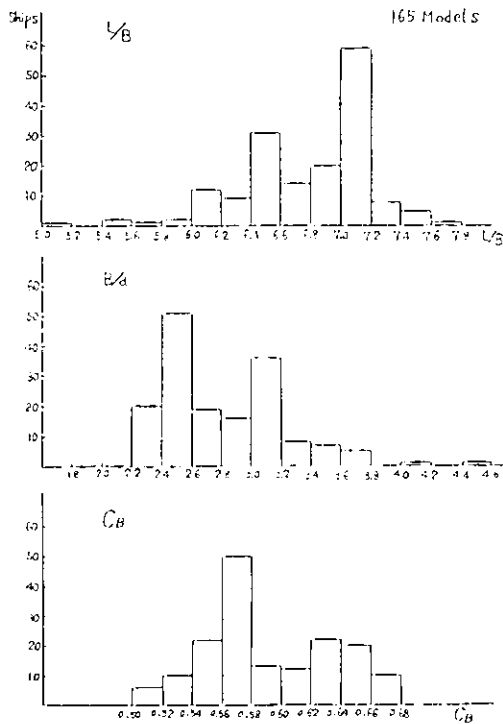


Fig. 3.2.2.a Histograms of  $L/B$ ,  $B/d$  and  $C_B$

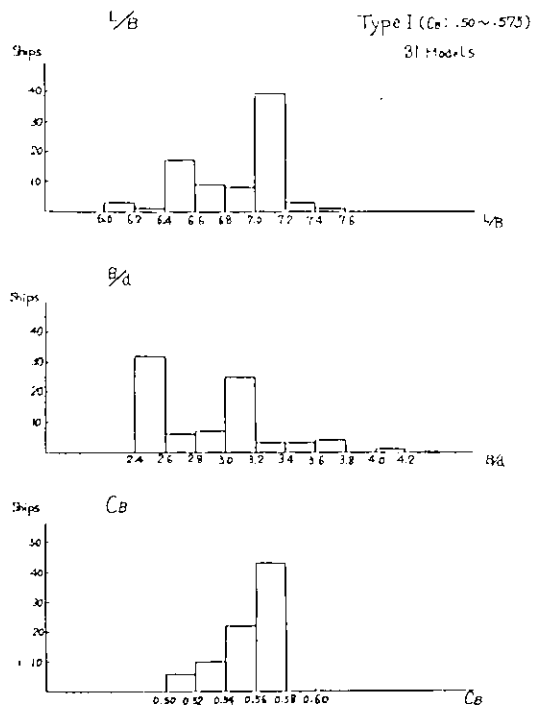


Fig. 3.2.2.b Histograms of  $L/B$ ,  $B/d$  and  $C_B$

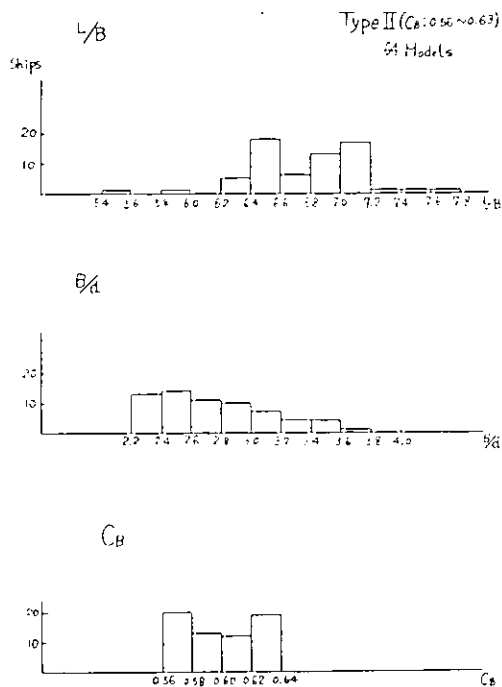


Fig. 3.2.2.c Histograms of  $L/B$ ,  $B/d$  and  $C_B$

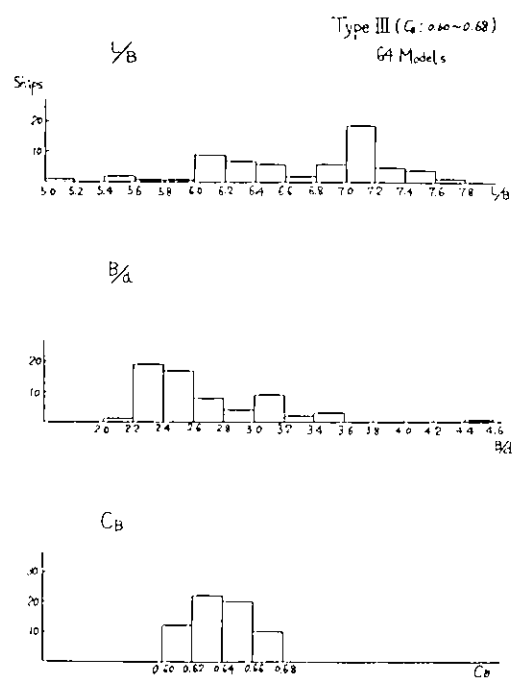


Fig. 3.2.2.d Histograms of  $L/B$ ,  $B/d$  and  $C_B$



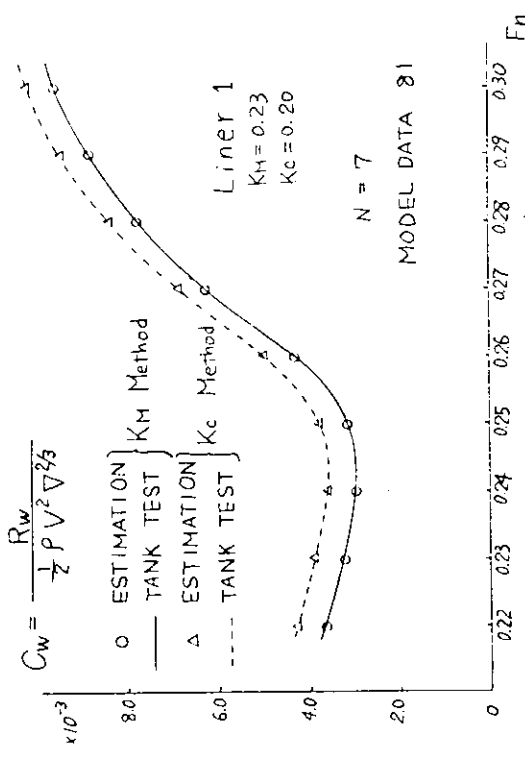
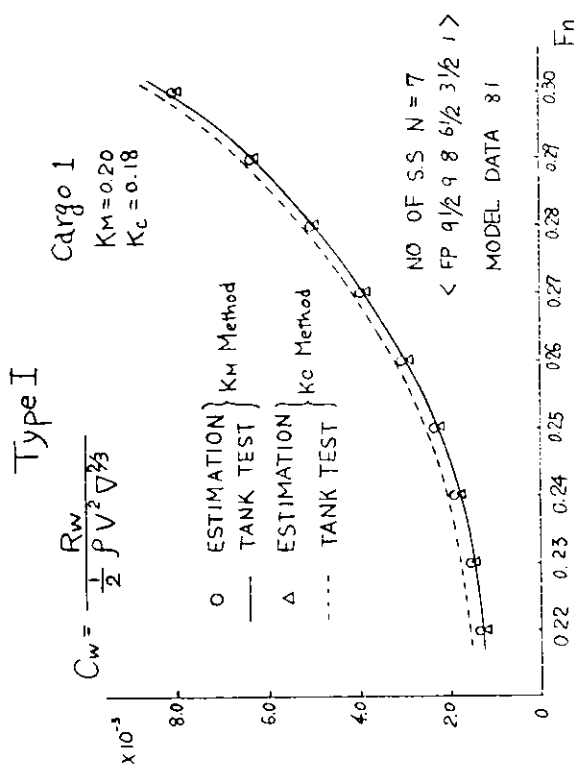
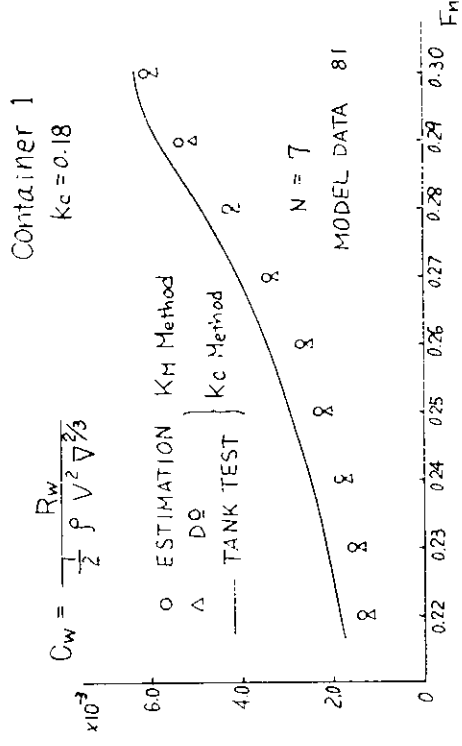
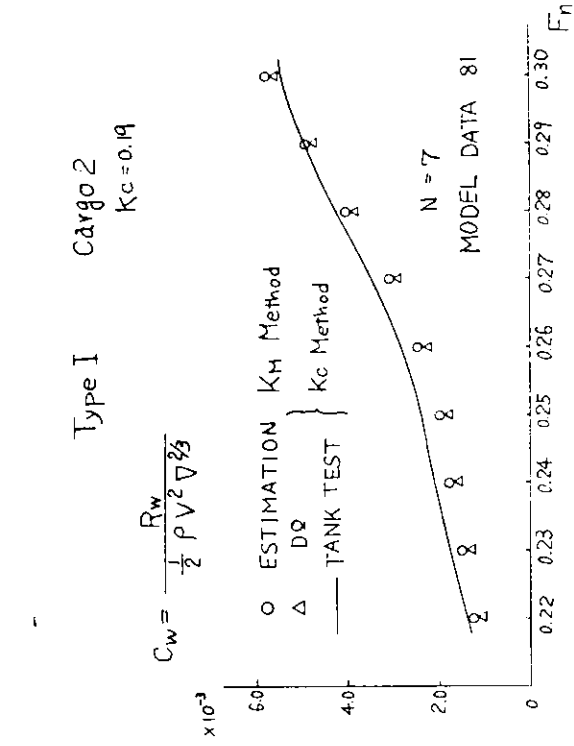


Fig. 3.2.3.b C<sub>w</sub> ~ F<sub>n</sub> Curves

Fig. 3.2.3.a C<sub>w</sub> ~ F<sub>n</sub> Curves

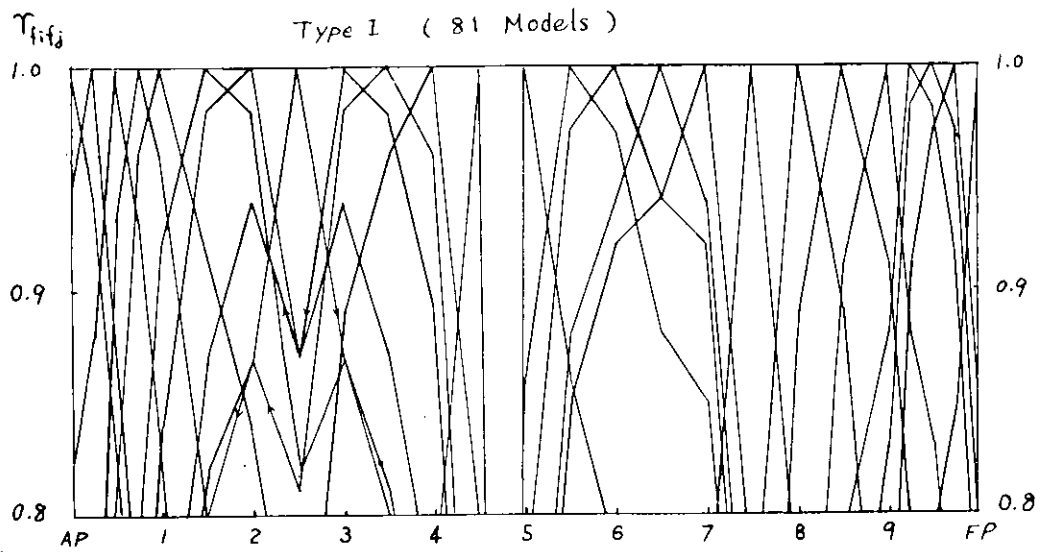


Fig. 3.2.4.a Simple Correlation Coefficients  $r_{f_i f_j}$

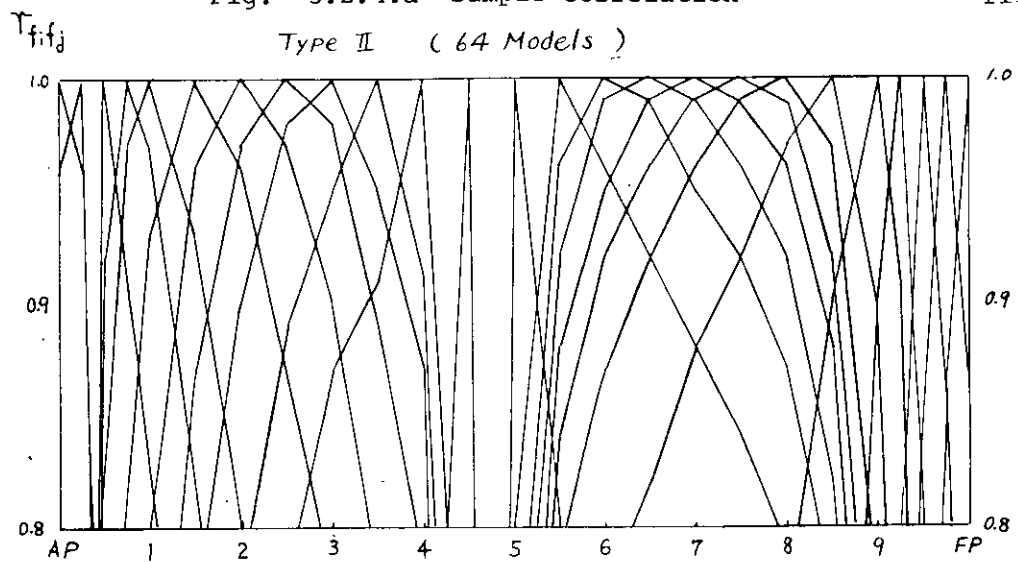


Fig. 3.2.4.b Simple Correlation Coefficients  $r_{f_i f_j}$

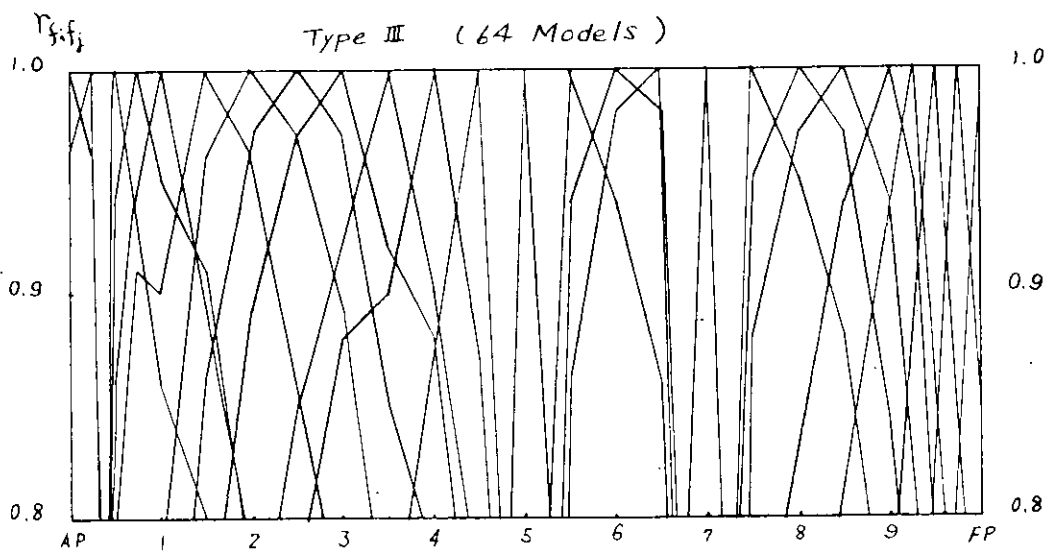


Fig. 3.2.4.c Simple Correlation Coefficients  $r_{f_i f_j}$

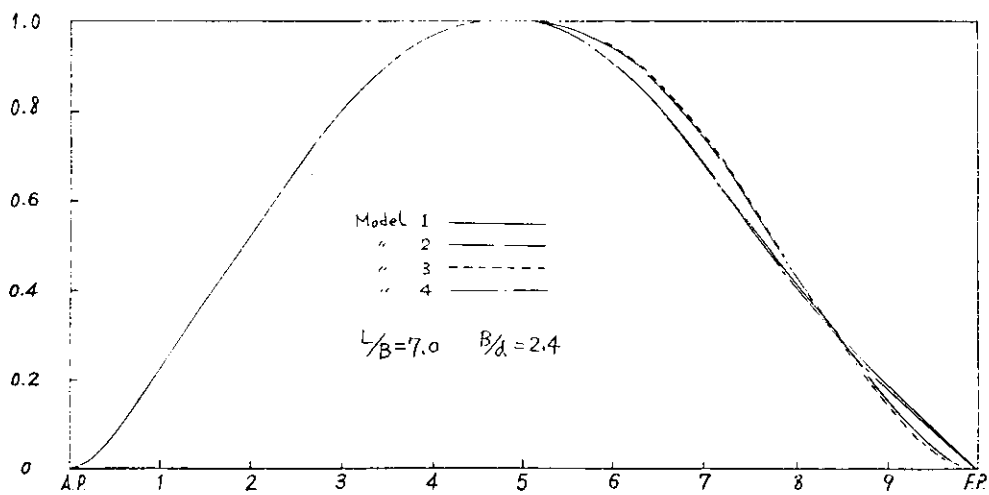


Fig. 3.2.5.a  $C_p$ -Curves of Fore-  
 $C_p$  Curve Series  
 Models

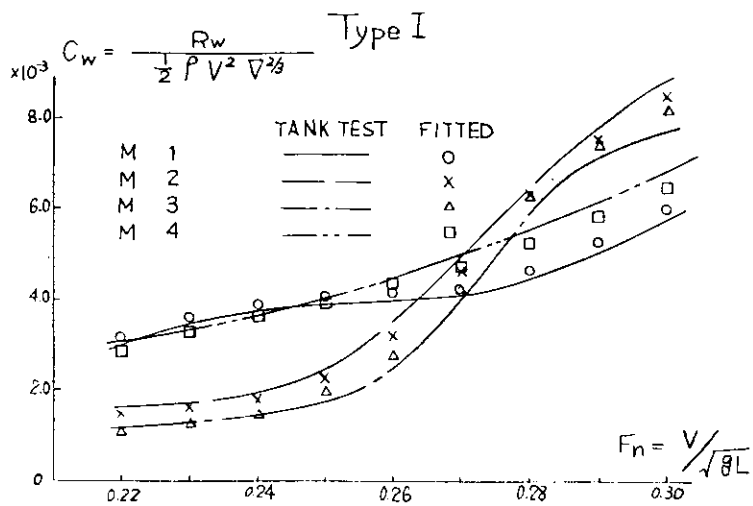


Fig. 3.2.5.b  $C_w \sim F_n$  Curves

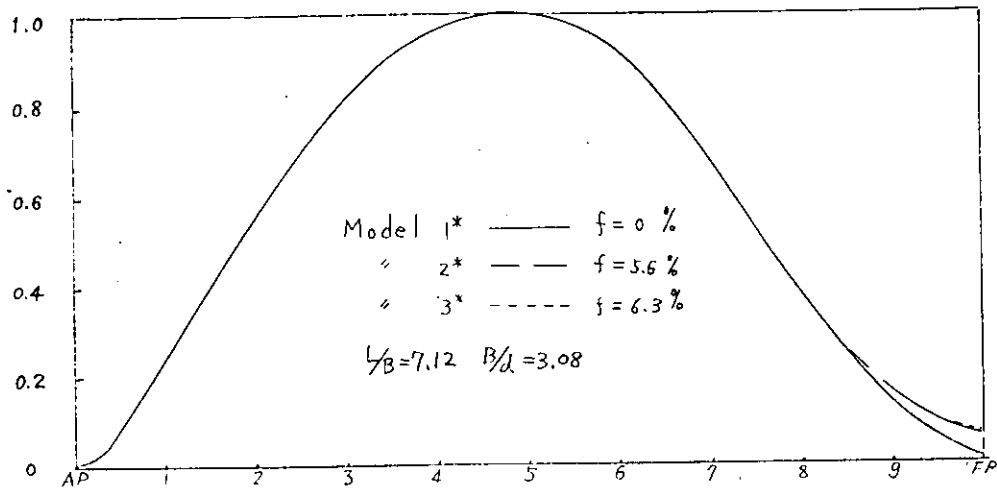


Fig. 3.2.6.a  $C_p$ -Curves of Bull Series Models

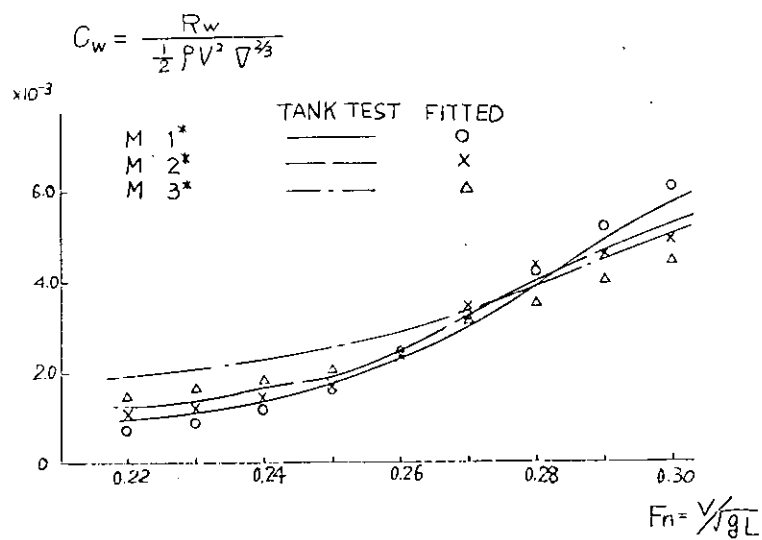


Fig. 3.2.6.b  $C_w \sim F_n$  Curves

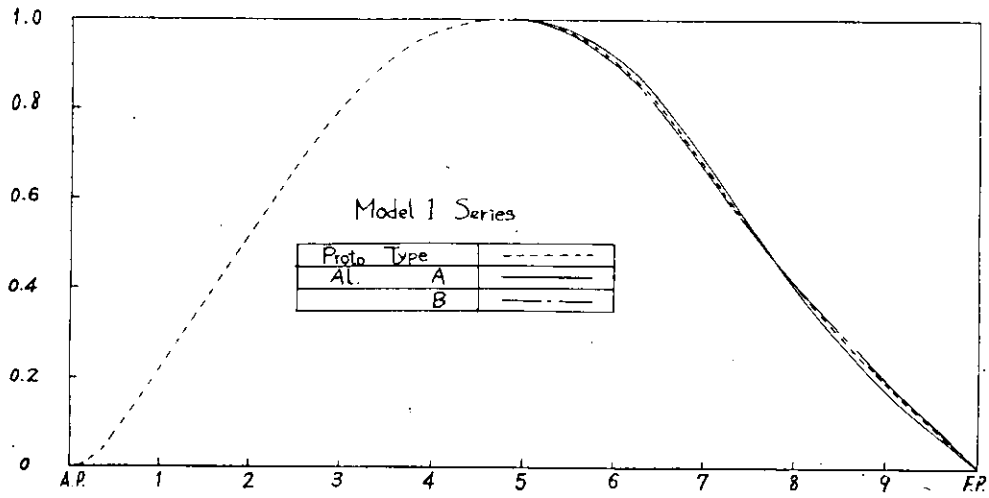


Fig. 3.2.7.a Alternative  $C_p$ -Curves of M.1

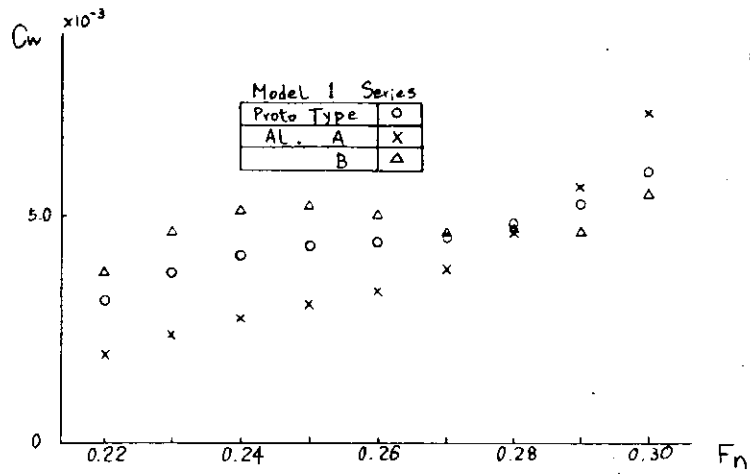


Fig. 3.2.7.b Predicted  $C_w \sim F_n$  Curves

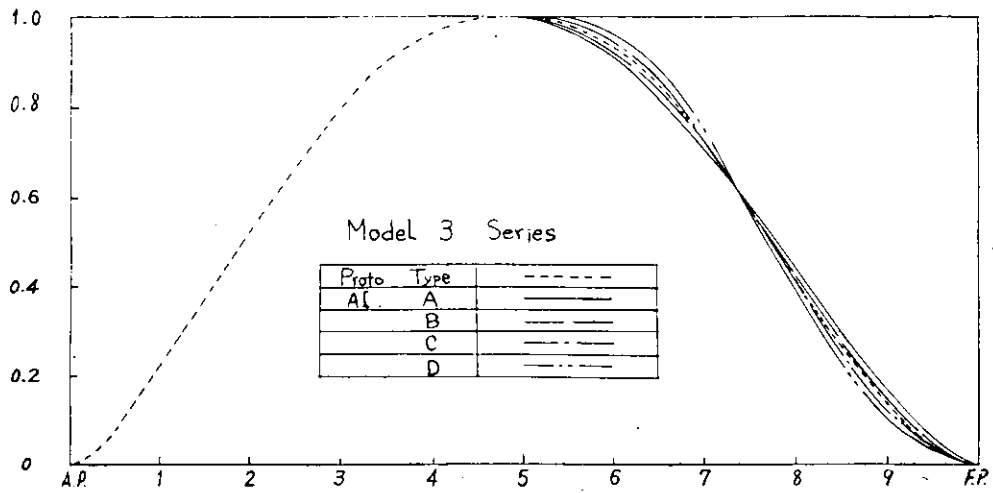


Fig. 3.2.8.a Alternative  $C_p$ -Curves of M.3

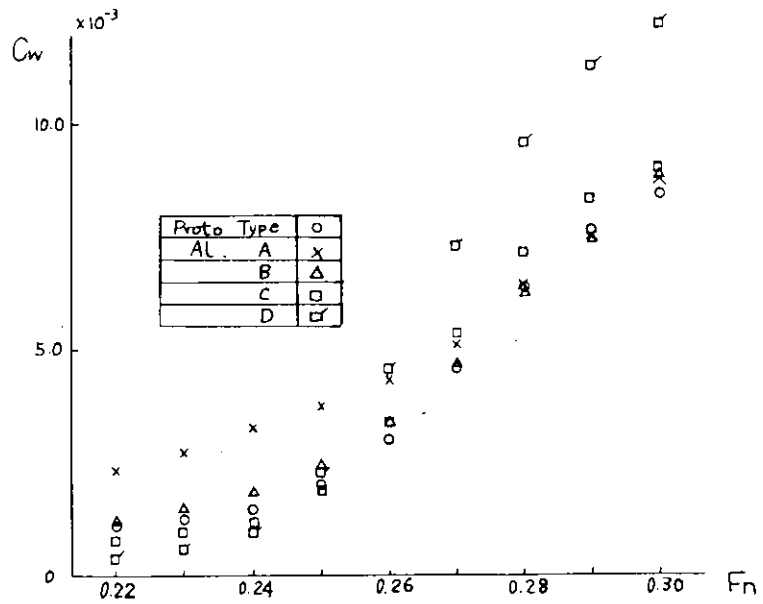


Fig. 3.2.8.b Predicted  $C_w \sim F_n$  Curves

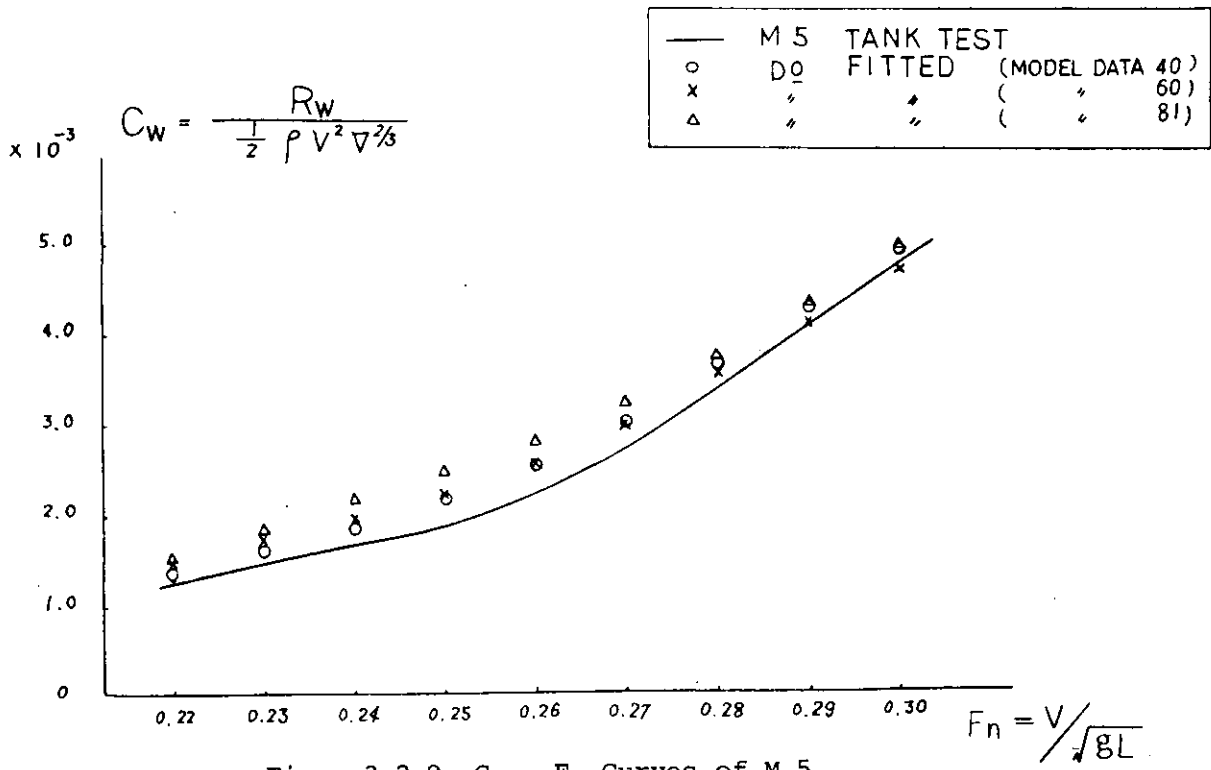


Fig. 3.2.9  $C_w \sim F_n$  Curves of M.5

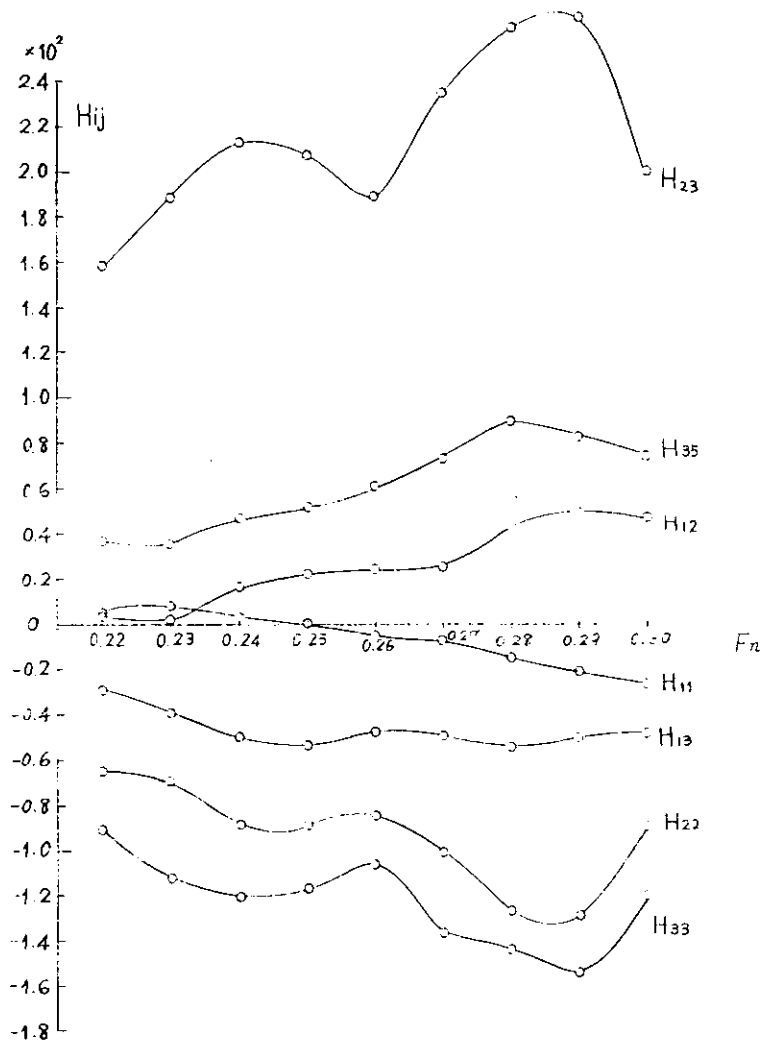


Fig. 3.2.10.a

$H_{ij}$  Analyzed from Model Data 40

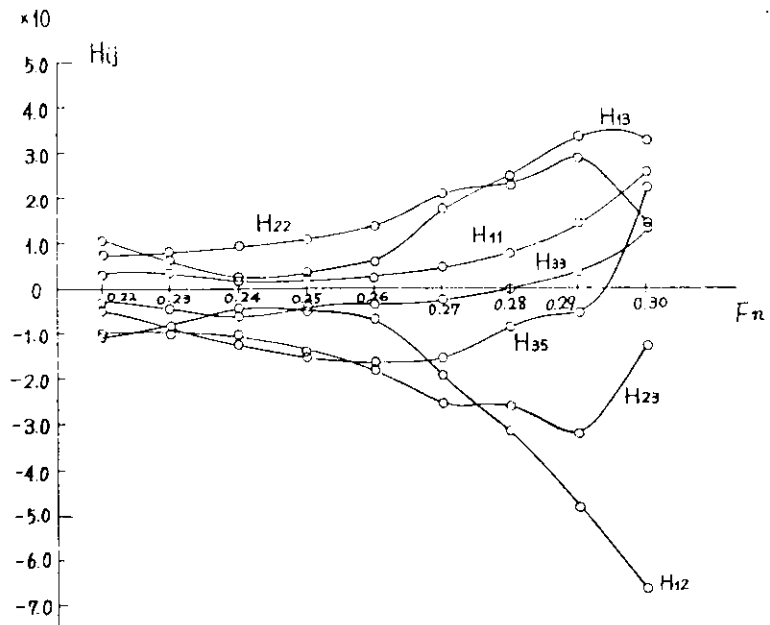


Fig. 3.2.10.b  $H_{ij}$  Analyzed from Model Data 60

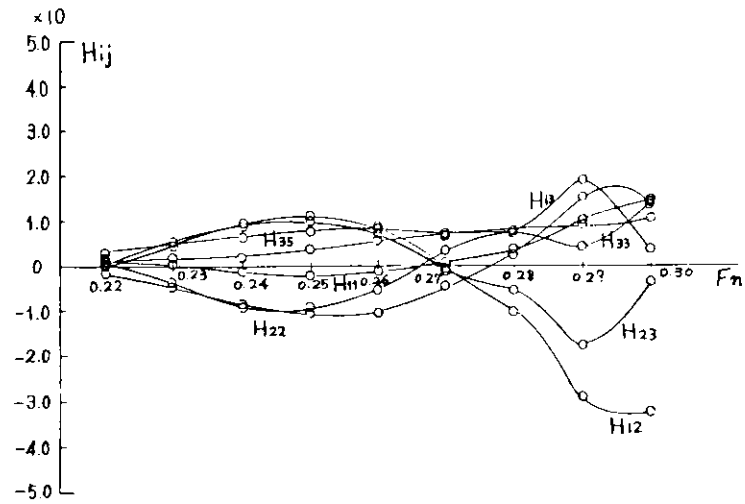


Fig. 3.2.10.c  $H_{ij}$  Analyzed from Model Data 81



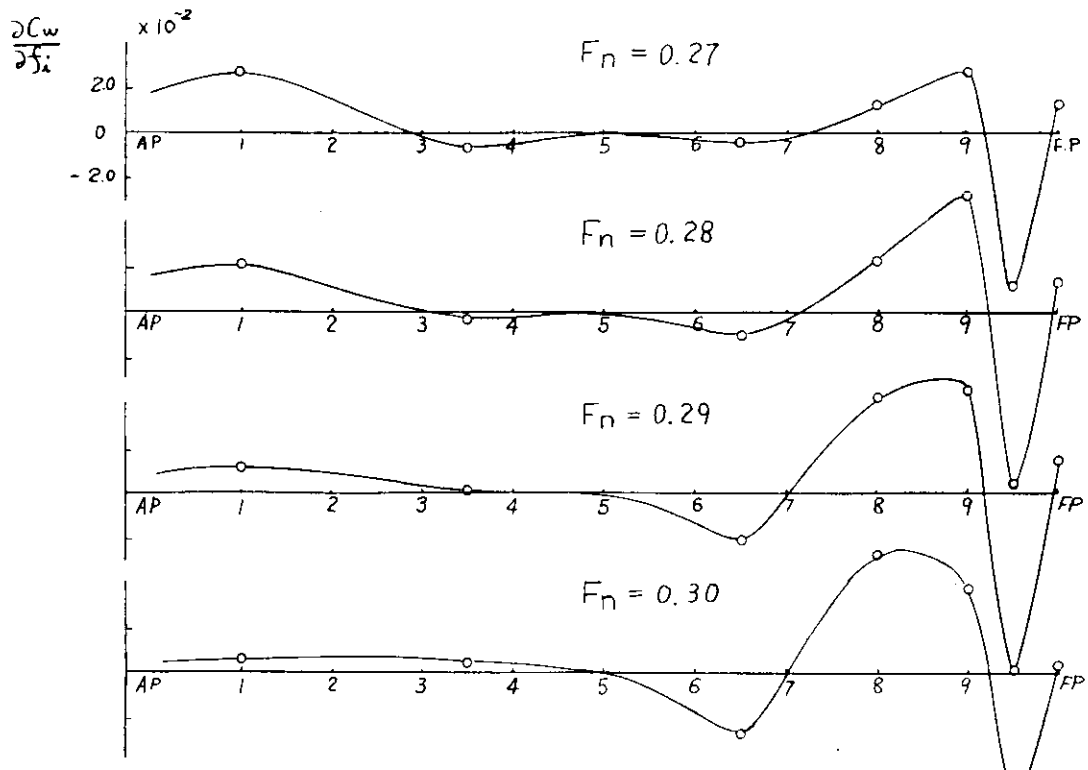


Fig. 3.2.11.a Influence Lines  
Derived from Model  
Data 40

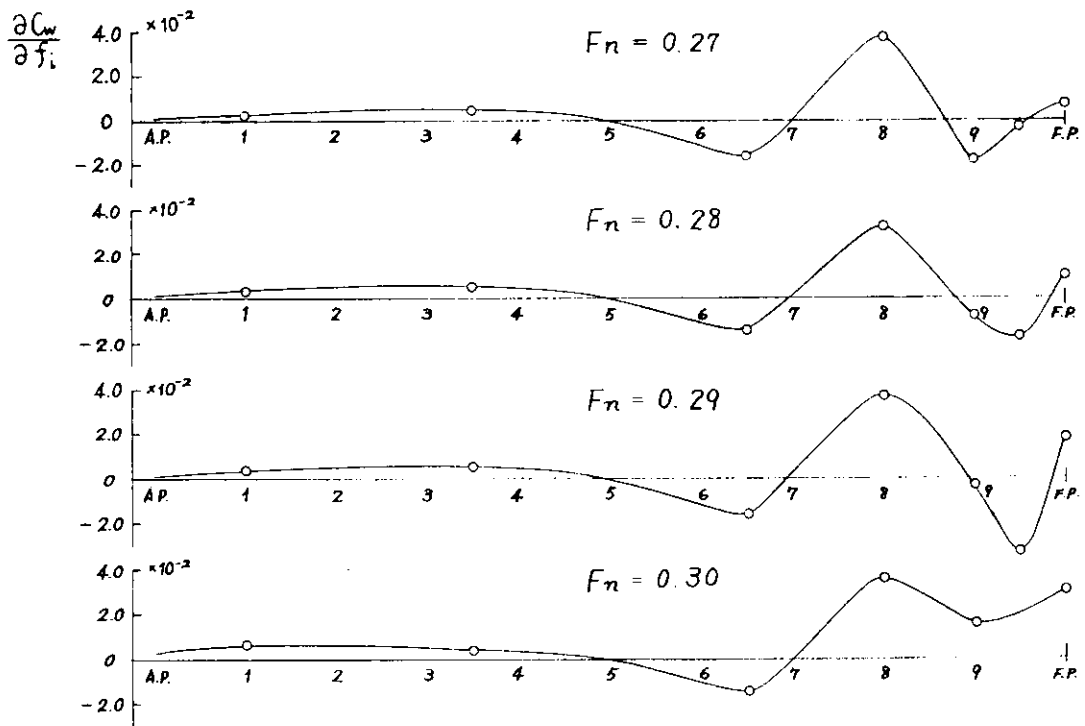


Fig. 3.2.11.b Influence Lines  
Derived from Model  
Data 60

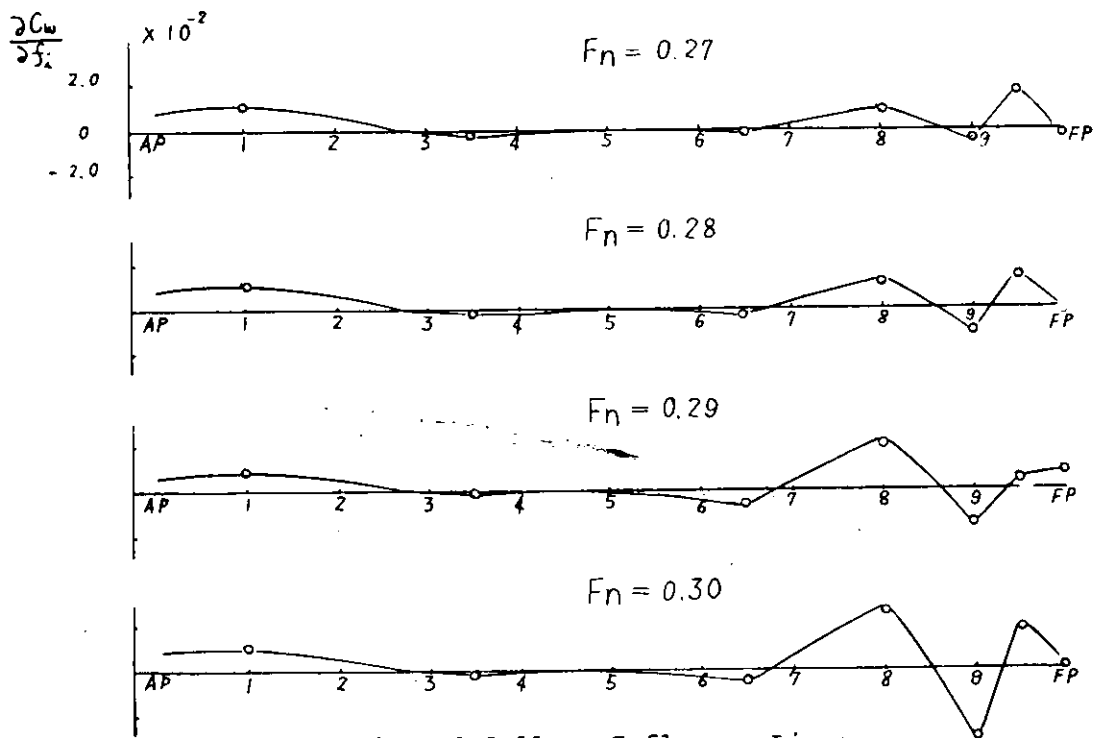


Fig. 3.2.11.c Influence Lines  
Derived from Model  
Data 81

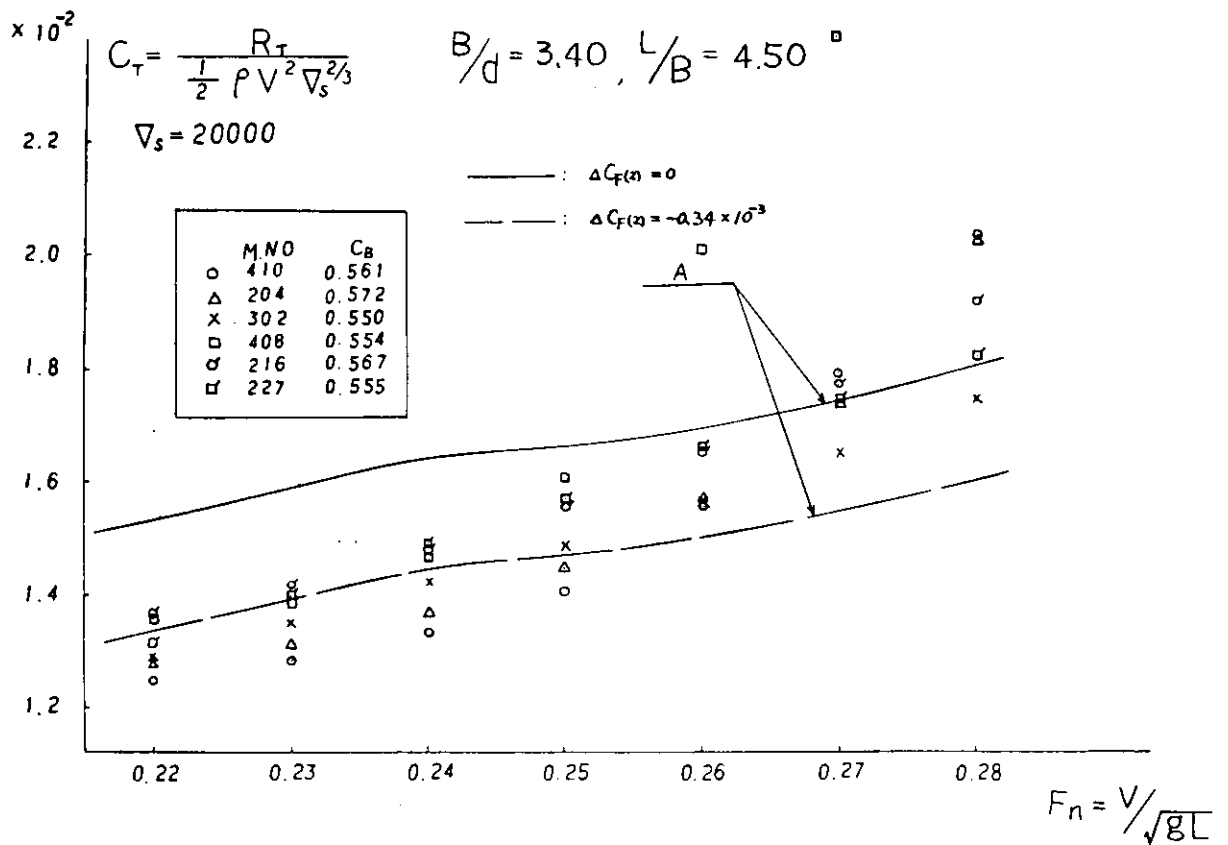


Fig. 3.2.12a  $C_T \sim F_n$  Curves Predicted  
by Tagano Formula and  
Taylor Chart

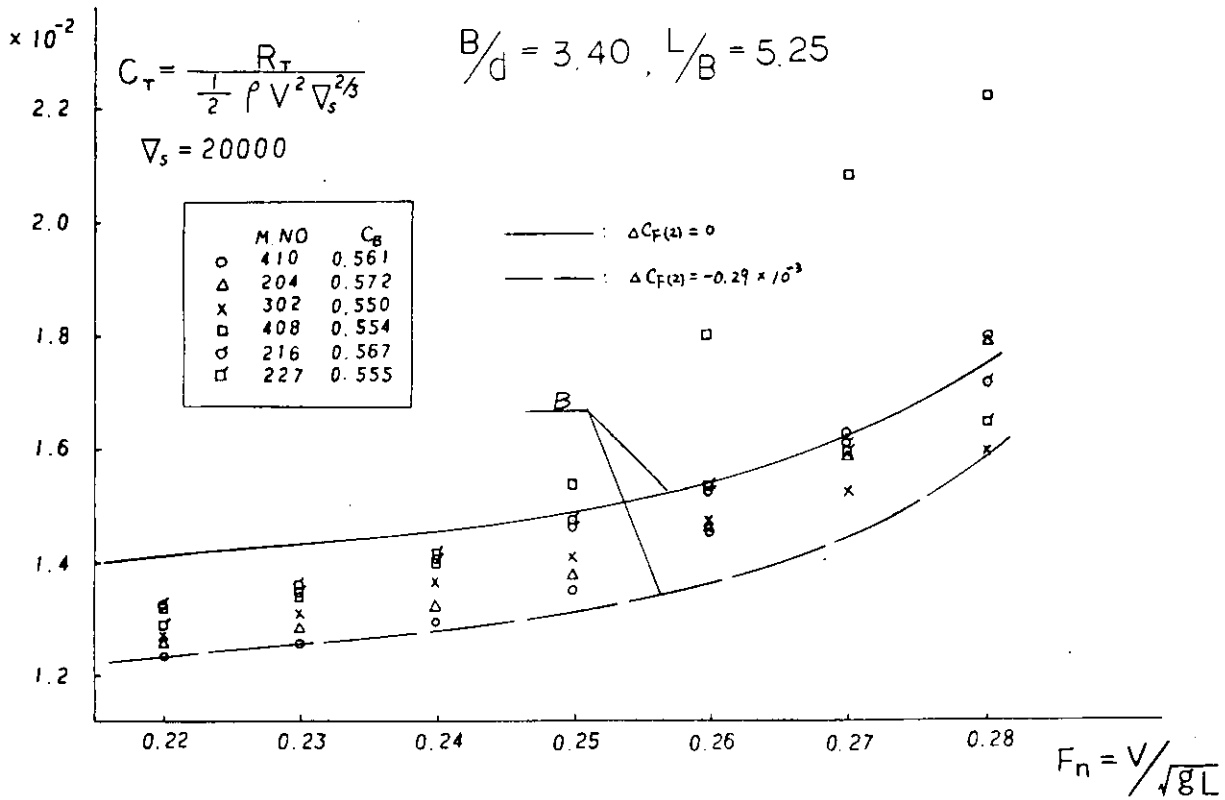


Fig. 3.2.12b  $C_T \sim F_n$  Curves

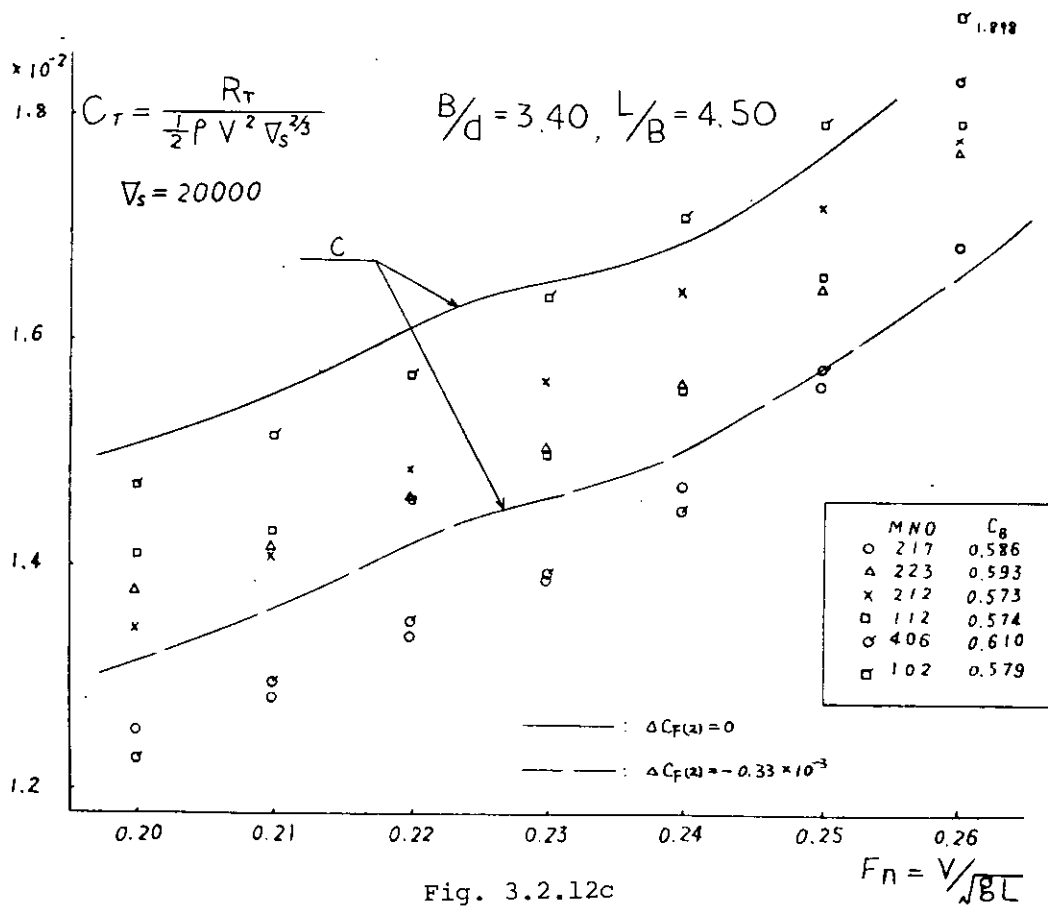


Fig. 3.2.12c

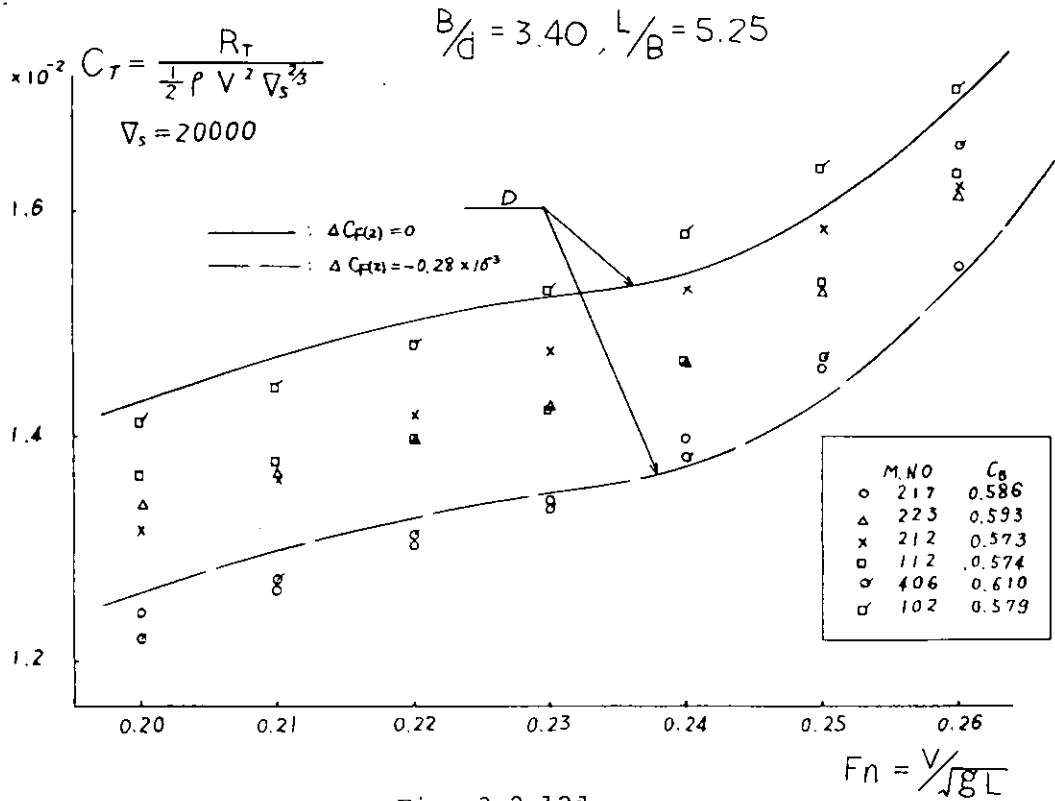


Fig. 3.2.12d

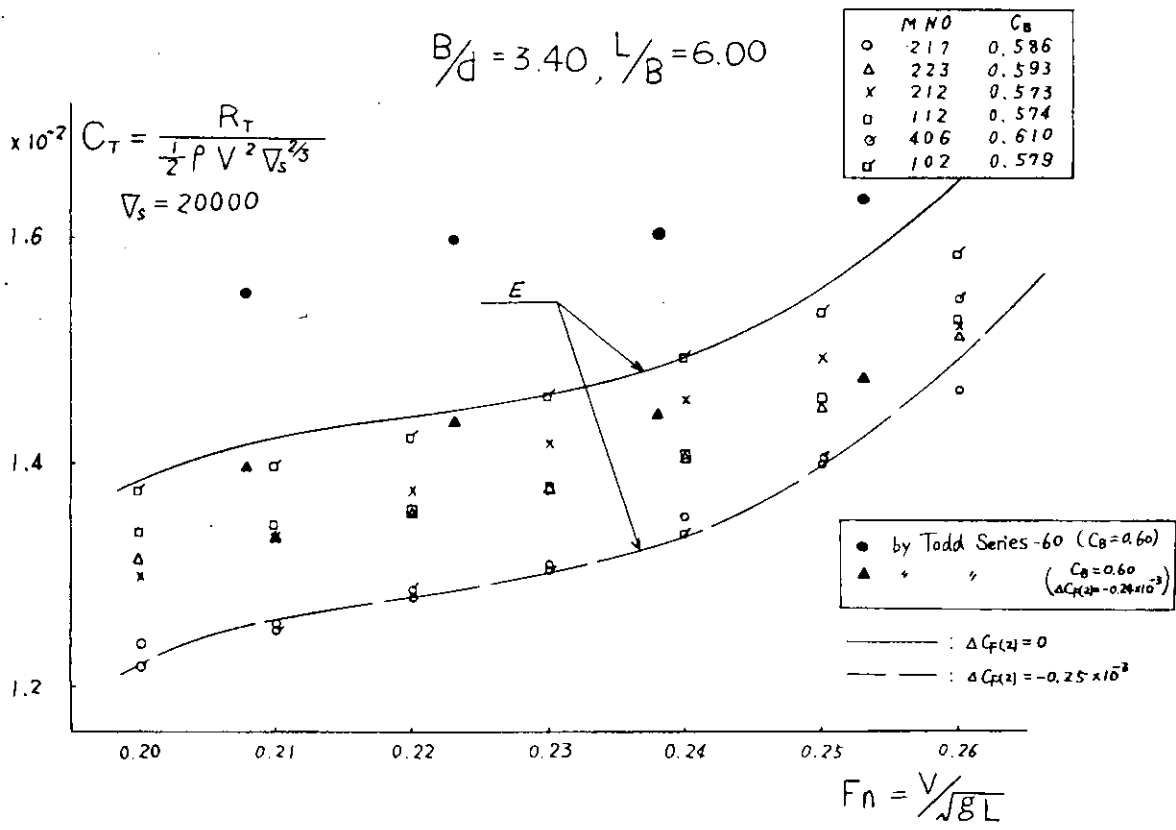


Fig. 3.2.12e

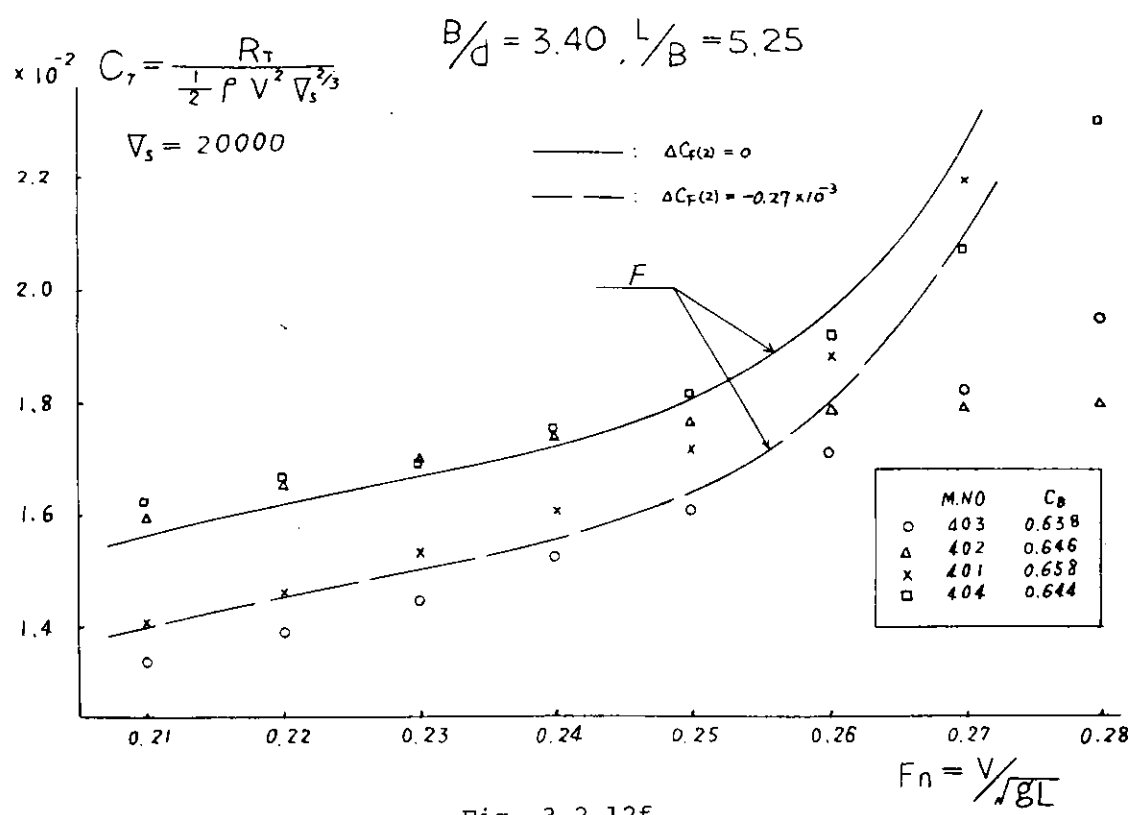


Fig. 3.2.12f

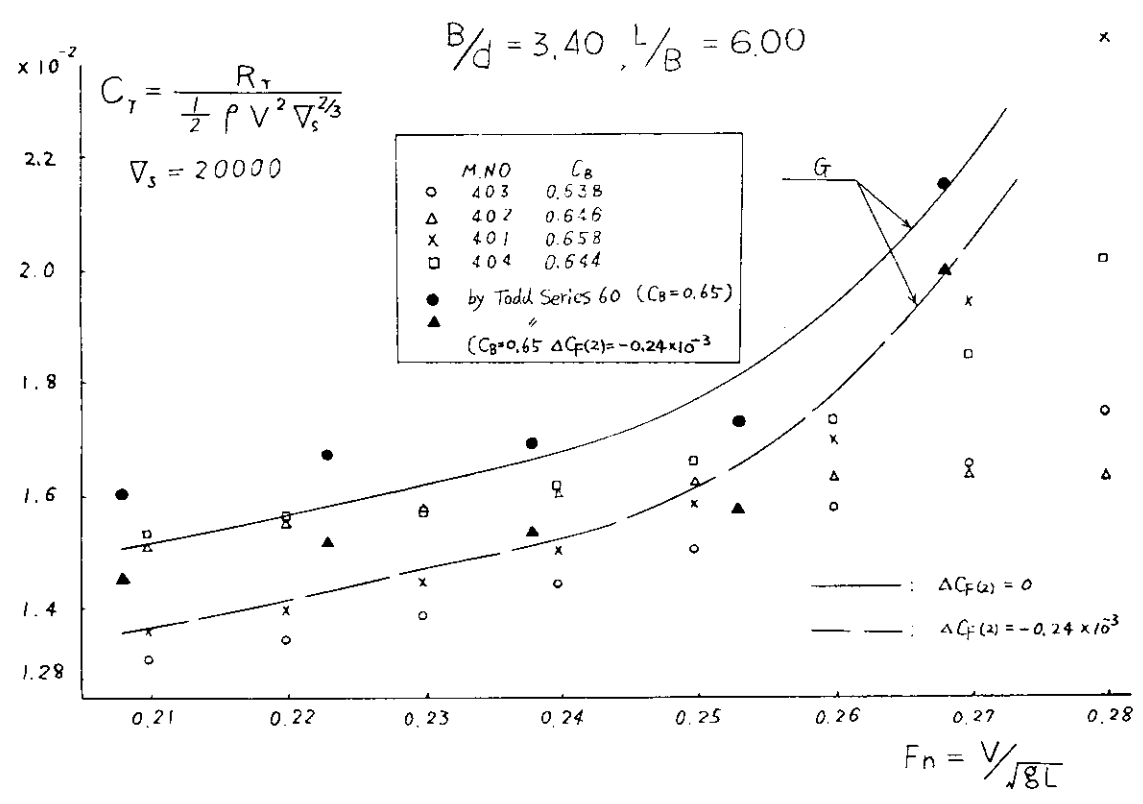


Fig. 3.2.12g

Type I

•  $\bar{f}_i$                        $\bar{f}_i$  = MEAN VALUE OF  $C_p$ -ORDINATES  
 AT EACH S.S.  
 x  $\bar{f}_i \pm \sigma_{f_i}$                $\sigma_{f_i}$  = STANDARD DEVIATION  
 AT EACH S.S.

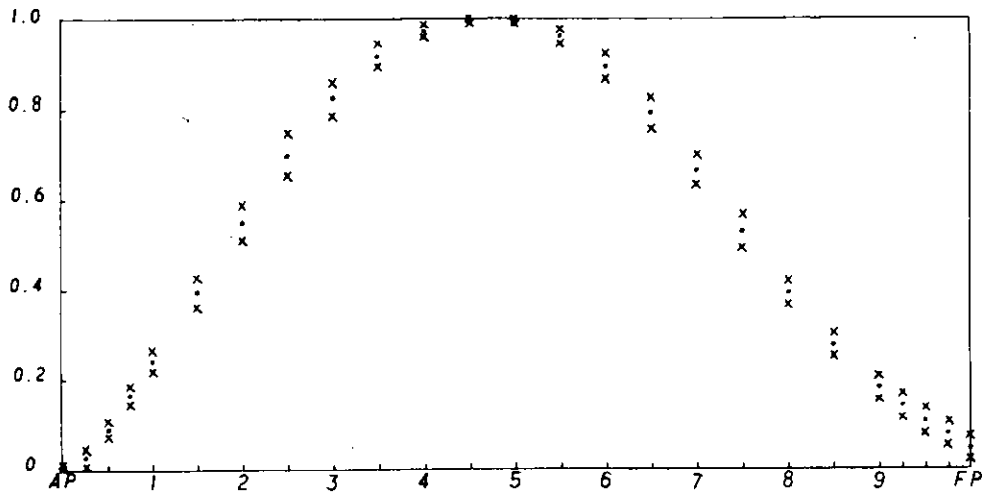


Fig. 3.2.13 Standard Deviations of  $C_p$ -Ordinates

M. NO	$C_B$	$C_P$	$C_M$	LCB (%)	$f$ (%)	MARKS
M. 5	0.559	0.576	0.970	1.668	6.0	-----
M. 5-A	0.558	0.575	"	1.695	"	-----
" B	0.557	0.574	"	1.723	"	-----
" C	"	"	"	1.727	"	-----

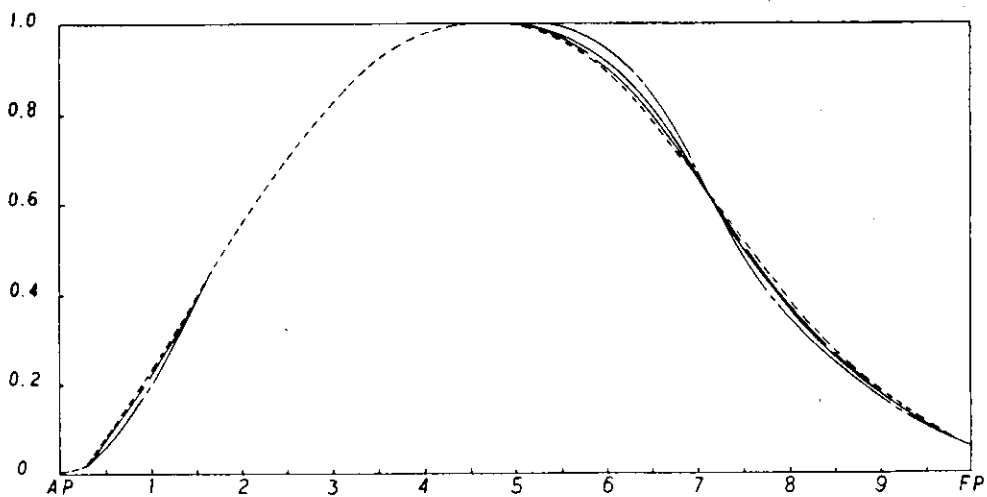


Fig. 3.2.14a Alternative  $C_p$ -Curves of M.5

M. NO	$C_B$	$C_P$	$C_M$	LCB (%)	f (%)	MARKS
M. 5	0.559	0.576	0.970	1.668	6.0	-----
M 5-B	0.557	0.574	*	1.723	"	-----
" D	0.558	0.575	*	1.823	"	-----
HAWAII	"	"	"	1.727	*	-----
" 2	0.557	0.574	"	1.859	5.5	-----

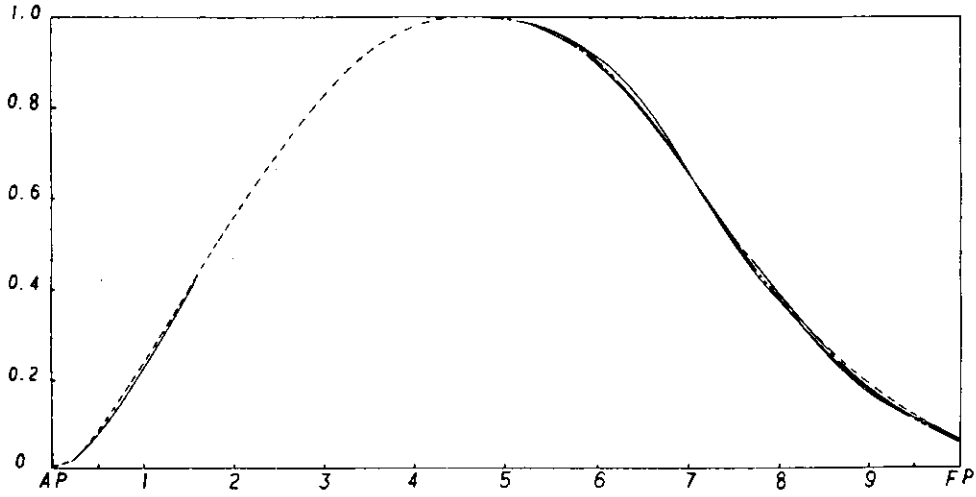


Fig. 3.2.14b Alternative  $C_p$ -Curves of M.5

M. NO	$C_B$	$C_P$	$C_M$	LCB (%)	f (%)	MARKS
M. 5	0.559	0.576	0.970	1.668	6.0	-----
M 5-E	0.558	0.575	*	1.622	"	-----
* F	0.557	0.574	"	1.696	6.5	-----
* G	0.559	0.576	"	1.632	7.0	-----
* H	0.558	0.575	"	1.751	6.5	-----
* I	"	"	"	1.586	7.0	-----
* J	0.557	0.574	"	1.530	"	-----
* K	0.559	0.576	*	1.681	4.2	-----

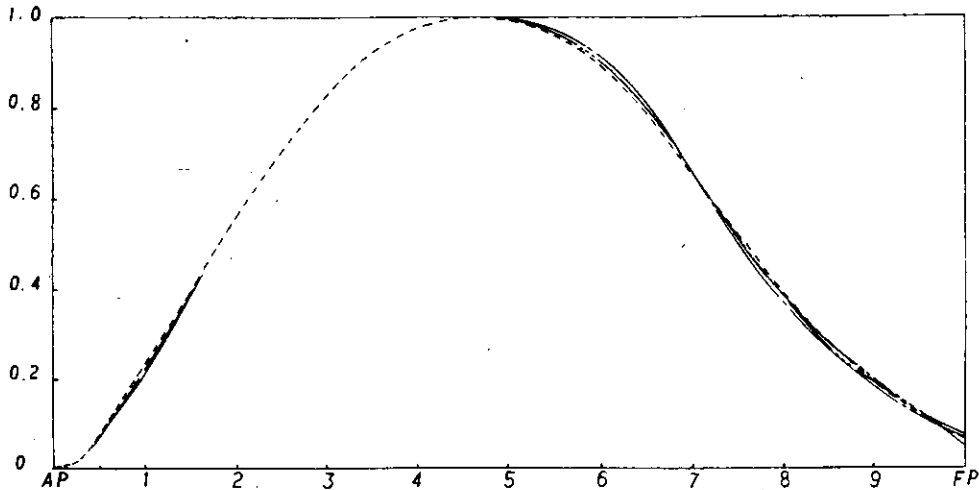


Fig. 3.2.14c Alternative  $C_p$ -Curves of M.5

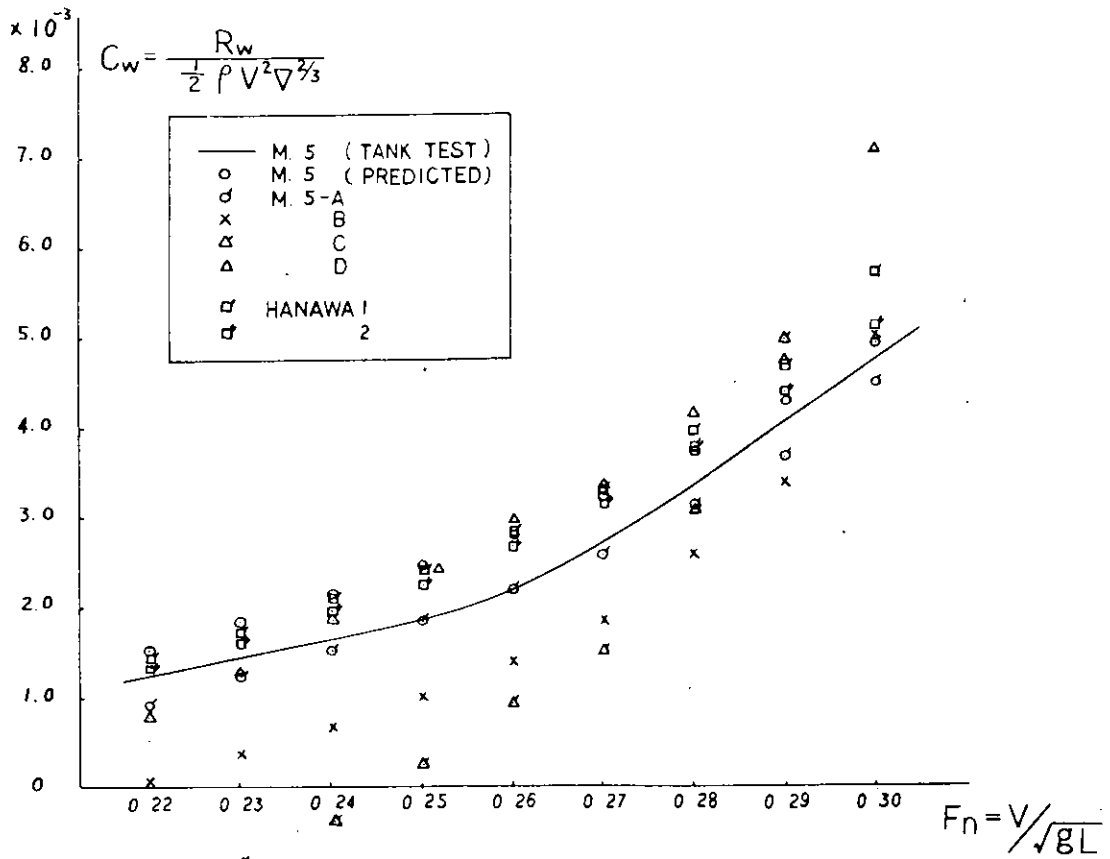


Fig. 3.2.15a Predicted  $C_w \sim F_n$  Curves

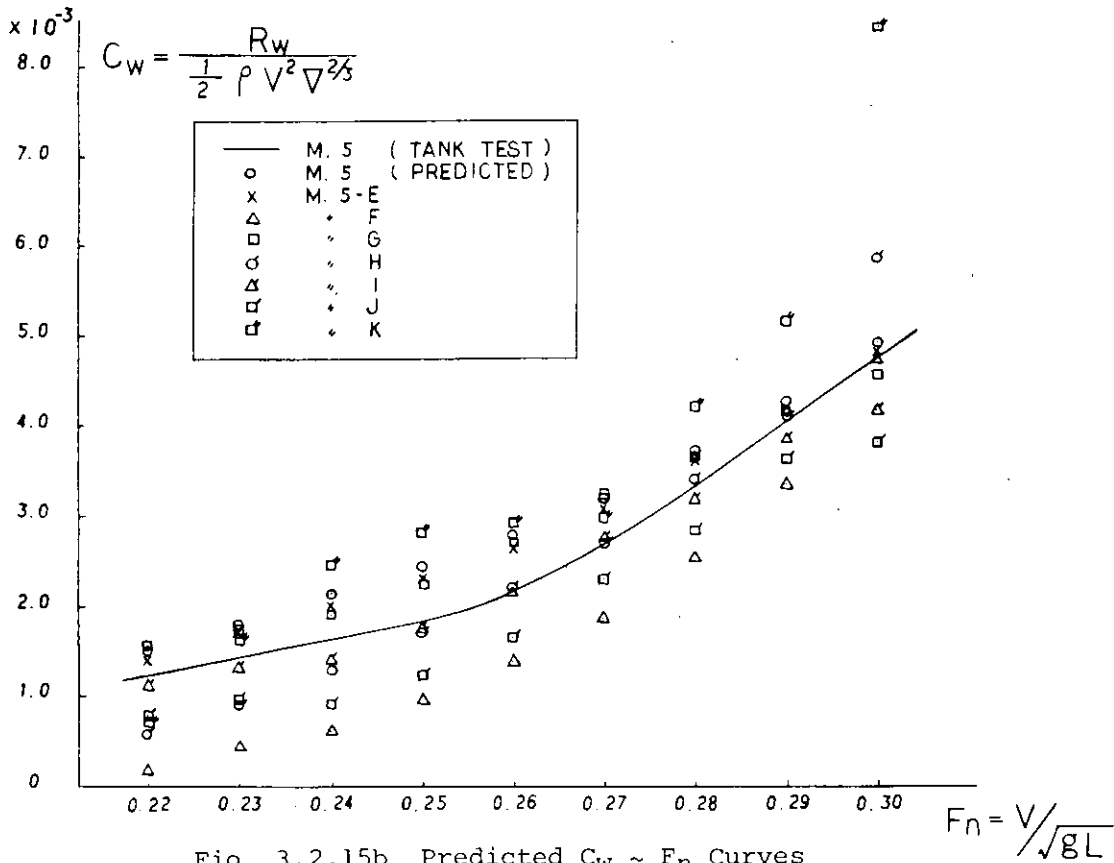


Fig. 3.2.15b Predicted  $C_w \sim F_n$  Curves



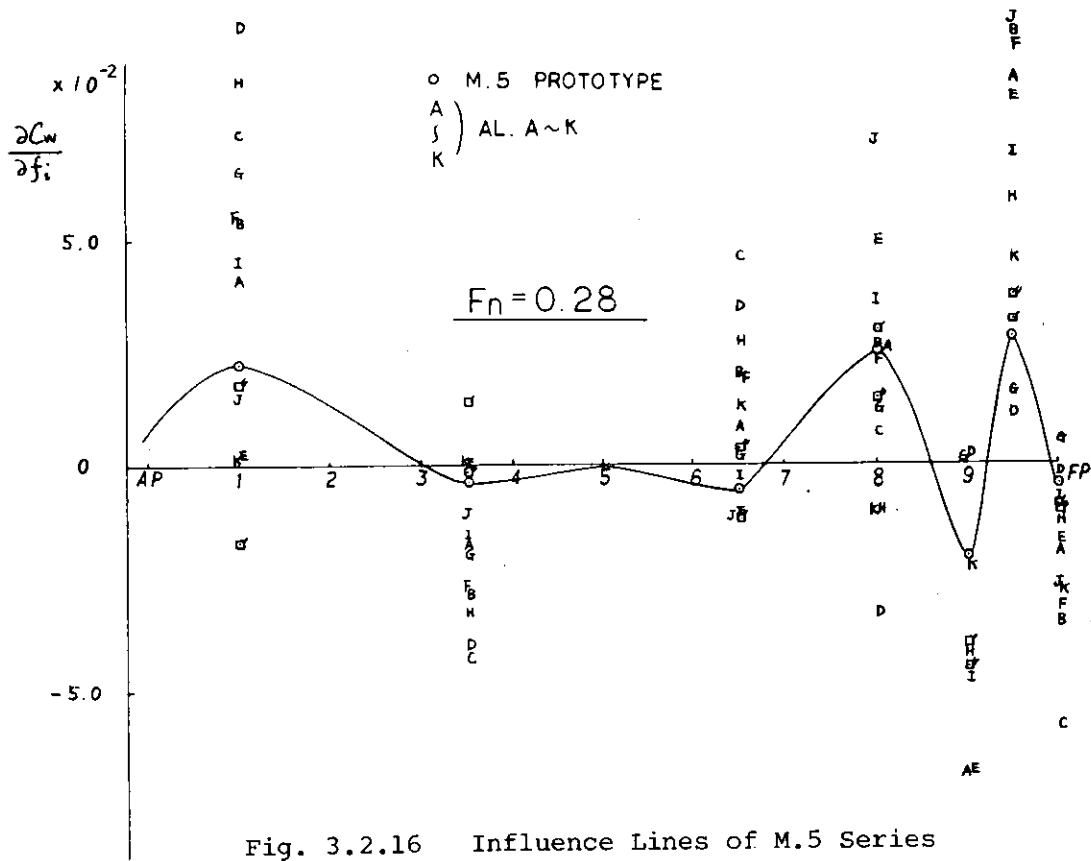


Fig. 3.2.16 Influence Lines of M.5 Series

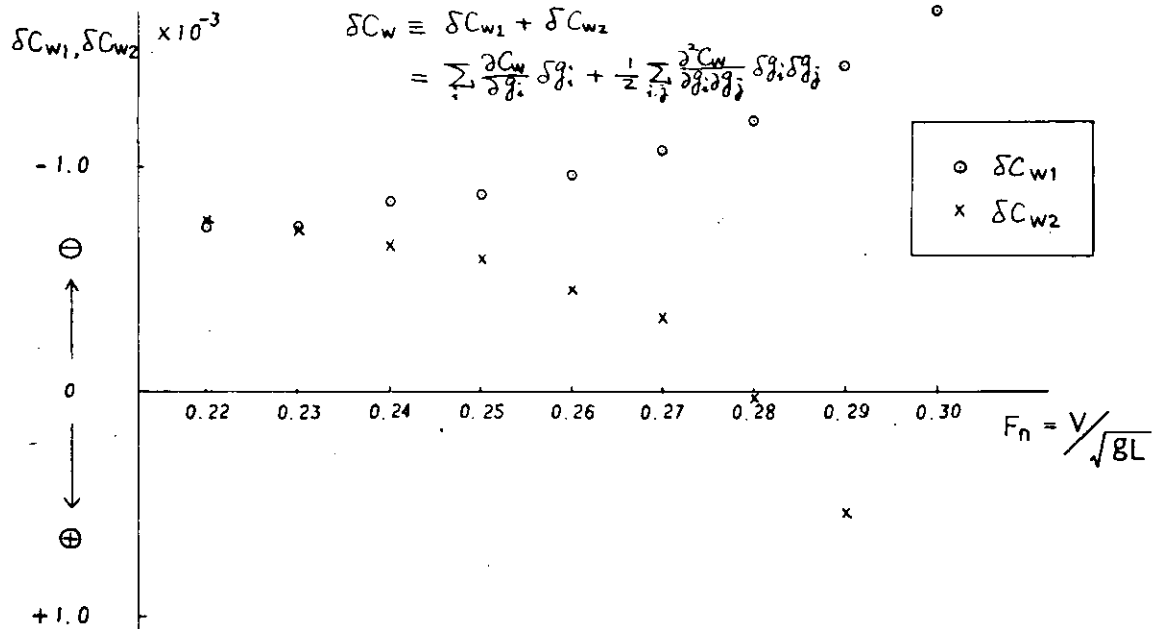


Fig. 3.2.17 Comparison of 1st and 2nd Variations  $\delta C_{w1}, \delta C_{w2}$

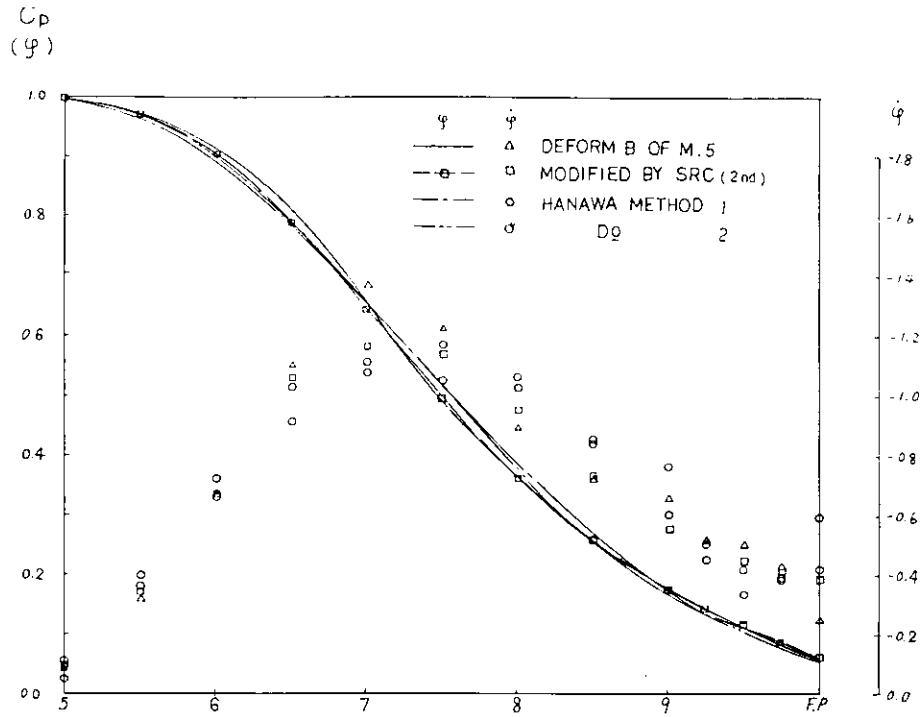


Fig. 3.3.1  $\phi, \psi$  Curves of M.5-Deform B and Others

$\bar{f}_i$   $\bar{f}_i = \text{MEAN VALUE OF } C_p\text{-ORDINATES}$   
 AT EACH S. S.  
 $\times \bar{f}_i \pm \sigma_{f_i}$   $\sigma_{f_i} = \text{STANDARD DEVIATION}$   
 AT EACH S. S.  
 — DEFORM B OF M.5  
 - - - MODIFIED BY S.R.C.  
 $\Delta$  CALCULATED

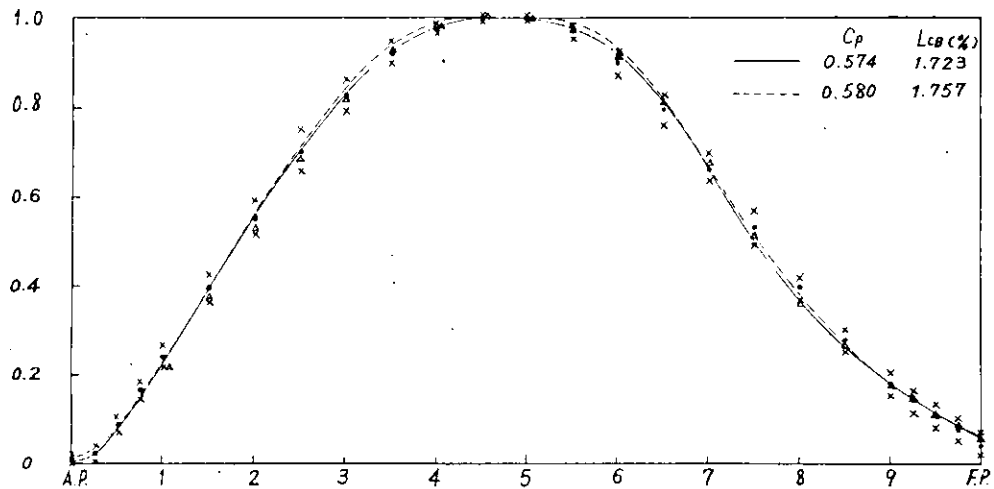


Fig. 3.4.1a The 1st Plan of  $C_p$ -Curve for SR171B

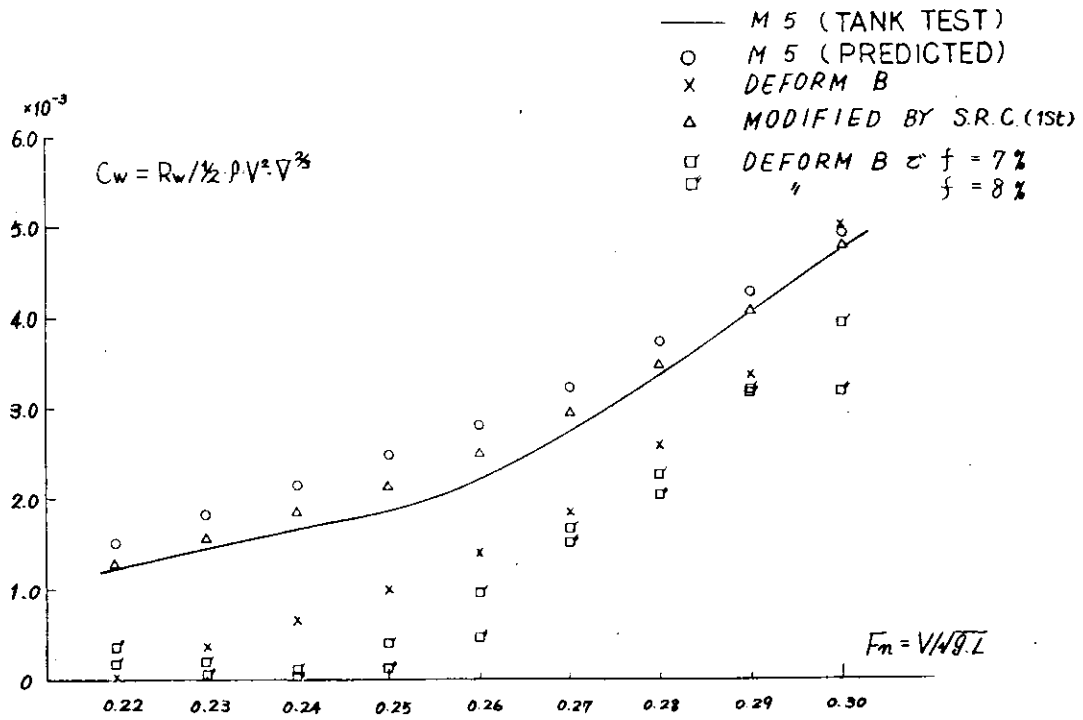


Fig. 3.4.1b Predicted  $C_w \sim F_n$  Curves

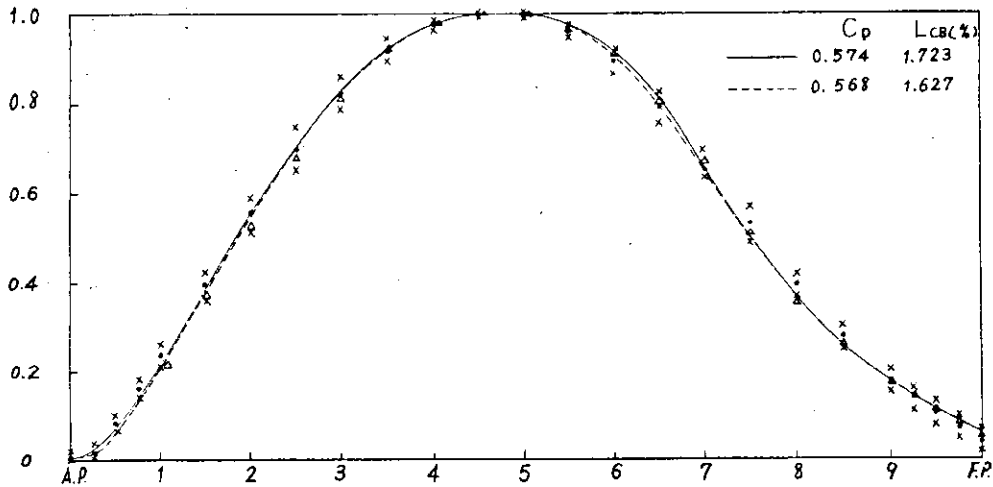
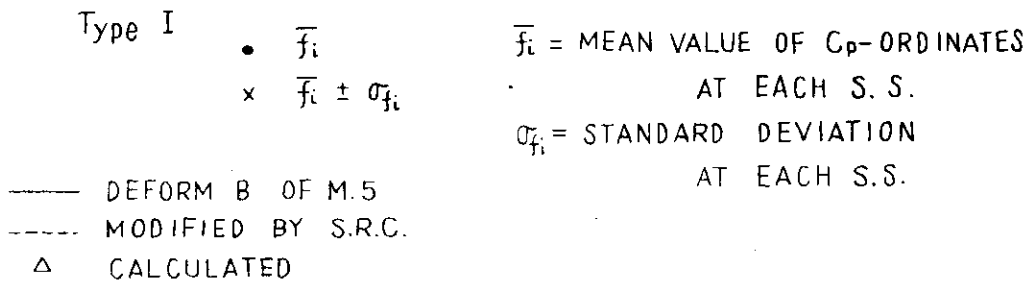


Fig. 3.4.1c The 2nd Plan of  $C_p$ -Curve for SR171B

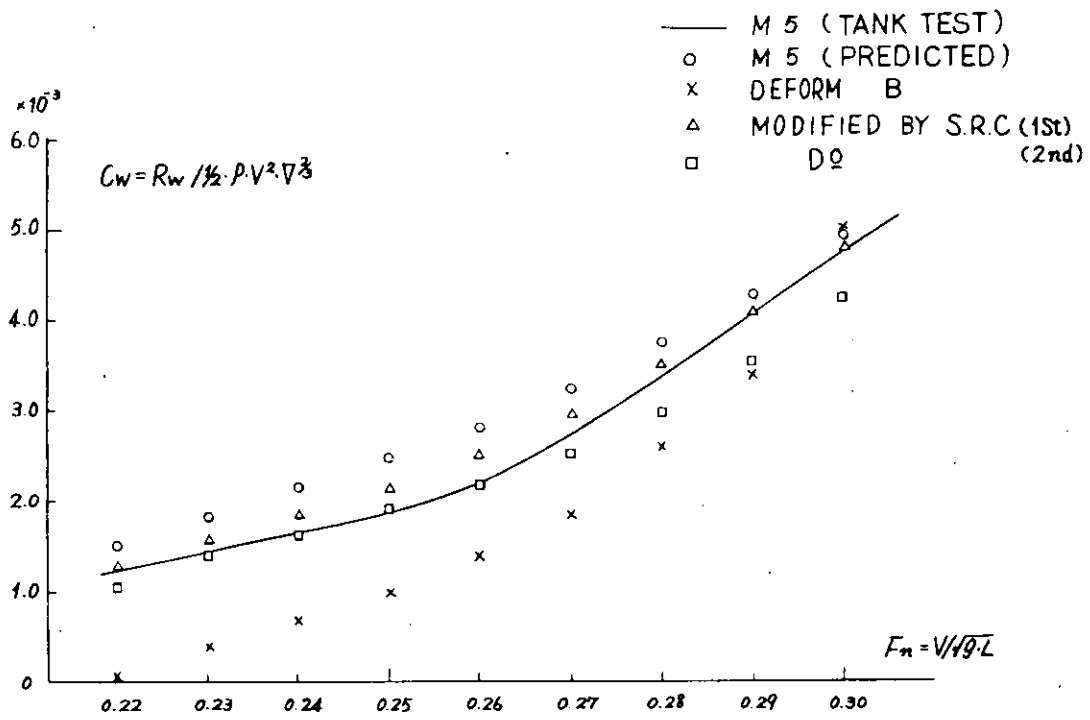


Fig. 3.4.1d Predicted  $C_w \sim F_n$  Curves

### 3.4.2 線 図 設 計

3.4.1にて選定されたSectional Area Curveを基にして線図設計を行った。2.3に述べられているRo Ro船の特徴を考慮し、本計画船に類似した船舶のうち水槽試験成績の良好であった線図等を参考にしてフレームライン形状を定めた。

以下に各部設計の概要を示す。

#### (1) 船体形状

船体前半部の形状は造波抵抗を極力少なくするため船首バルブを採用した。バルブの形状、大きさ、突出量等については、2.4.1に述べられている船首バルブが抵抗に及ぼす影響および前述第3章の多賀野および瑞方式等により検討のうえ、バルブの大きさ( $f$ )=6%、突出量( $l$ )=1.25%、没水深度( $I/d$  FULL)=70%と決めた。横断面積曲線の前肩部の水線の曲率については、類似船の分布範囲に入るようにした。

船体後半部についてはRo Ro船の特徴を考慮して甲板面積を広くとるようにした。なお水線面積( $C_w$ )およびたて柱形係数( $C_v$ )はFig. 2.3.1より、船体後半部の水線面積係数( $C_{wA}$ )と船体前半部の水線面積係数( $C_{wF}$ )の比はFig. 2.3.3より求めて、 $C_w = 0.732$ 、 $C_v = 0.755$ 、 $C_{wA}/C_{wF} = 1.310$ とした。

船尾形状はマリナー型としLWLにおいて船尾の張り出しを4% $L_{pp}$ とした。またプロペラチップクリアランスを約0.28Dにした。

線図設計の結果得られた数値は計算値と若干相違し $C_B = 0.5524$ 、 $C_p = 0.5692$ 、 $C_w = 0.7315$ 、 $l_{cb} = 1.566\%$ (船尾)となった。

#### (2) 船体副部

本計画船の船体副部の形状および取付法、位置については、これらによる抵抗増加を極力小さくする<sup>1)</sup>ように文献を参考にして、次項を検討した。

##### (a) ビルジ・キール<sup>1)</sup>

文献および類似船等を参考にしてビルジ・キールの長さを25% $L_{pp}$ とし、幅は0.60mとした。

##### (b) 舵<sup>2)</sup>

舵は船尾形状がマリナー形であるのでハンギング舵を採用した。文献および現在就航中のこの種の船を参考にして舵面積比 $L \cdot d / A_R$ ( $A_R$ は可動部の面積)=5.7、バランス比=0.26、厚さ幅比=0.18とした。

文献1 日本中型造船工業会 : カーフェリー建造マニュアル、昭和50年3月

文献2 関西造船協会 : 造船設計便覧 第3版、海文堂、昭和51年3月

## 第4章 水槽試験

### 4.1 模型船および模型プロペラ

模型船は4.5mの木製模型船でその主要目をTable 4.1.1に、船体寸法表をTable 4.1.2に正面線図、船首尾形状および船体副部をFig. 4.1.1(a)、(b)に横断面積および水線面積曲線をFig. 4.1.2および4.1.3に示す。

なお模型船には乱流促進のため、F.P.より前方300mmおよびS.S. NO.9½の位置に10mm間隔で高さ1mmの台形スタッドを植えつけている。船体副部はビルジ・キールおよび舵である。

模型プロペラは本研究対象船に装備するプロペラに近い代用ブラペラで、その要目をTable 4.1.3にその輪郭をFig. 4.1.4に示す。

### 4.2 試験状態

抵抗および自航試験は満載状態(オープン・キール)および65%排水量状態(1% Lpp船尾トリム)の2状態について実施された。これらの試験状態はTable 4.1.1中に示されている。

試験結果の解析は、水抵抗を剰余抵抗と摩擦抵抗に分けるいわゆる二次元解析法により、摩擦抵抗の算定にはシェンヘルンの算式を使用した。また自航試験時の摩擦抵抗修正量は実船の垂線間長さを150.0mとし、かつ実船に対する粗度修正量( $\Delta C_F$ )を各試験状態とも0.00015としたものを用いた。

なお、水抵抗を造波抵抗と粘性抵抗に分離する、いわゆる三次元解析法を行うことができるように造波現象を生じないきわめて低い速度域における抵抗を計測して、形状影響係数を求めておいた。

### 4.3 試験結果

#### (a) 模型プロペラ単独試験結果

試験に使用した模型プロペラ(M.P. NO. 2136)の単独試験結果をFig. 4.3.1に示す。模型プロペラの没水深度と直径の比 $I/D$ は1.22で、レイノルズ数は $5.62 \times 10^5$ である。

#### (b) 抵抗試験結果

抵抗試験により得られた全抵抗係数( $C_{TM}$ )、剰余抵抗係数( $r_R$ )および造波抵抗係数( $r_W$ )をそれぞれFig. 4.3.2、4.3.3および4.3.4に示す。また実船の有効馬力曲線EHP CurvesをFig. 4.3.5に示した。低速における抵抗試験によって求められた形状影響係数( $K$ )の値は満載状態で0.24、バラスト状態で0.34となり多賀野氏の楕型船に対する推定式より求めた値、満載状態で0.21、バラスト状態で0.18に比べるとかなり高くなっている。

$r_R$ および $r_W$ についても、従来の $L/B$ の大きな船型に比べると、格段に高いし、テイラーの図表より求めた値より非常に高い。

この理由としては次の3点が考えられる。

1. 従来の船に比べて $L/B$ がかなり小さくなっている。テイラー図表で $r_R$ (本船)/ $r_R$ (M5)を求めると、 $F_n = 0.22$ で1.50、 $F_n = 0.28$ で1.14である。
2. ロールオン・ロールオフ船を対象としたため、甲板面積を通常船型に比べ非常に大きくしていること、このためフレームライン形状が通常船型と異なり抵抗にかなりの影響をおよぼしている恐れがある。
3.  $L/B$ の大きな船に対して求めた最適の横断面積曲線の形状をそのまま流用していること。 $L/B$ の違いにより最適横断面積曲線が変化する恐れがある。

ある程度までは $L/B$ の小さいロールオン・ロールオフ船としては避けられないことであると思われるが、今後の研究成果によって、この問題に対する解答が出てくることが期待される。

(c) 自航試験結果

試験に用いた模型プロペラ M.P.NO.2136 の単独試験結果および Fig. 4.3.1 を用い自航試験データについて、スラスト一致法により解析して求めた自航要素を各載貨状態ごとに Fig. 4.3.6 に示した。プロペラ効率比 ( $\eta_R$ ) は各載貨状態とも類似船等より推定すると 1.00 程度と思われるが本船は満載状態で 1.04 ( $F_n = 0.28$ )、バラスト状態で 1.035 ( $F_n = 0.29$ ) と高めになっている。

伴流係数 ( $w$ ) およびスラスト減少係数 ( $t$ ) は Table 2.5.2 馬力推定計算比較や数似船等の値から考えてもほぼ妥当な値と思われる。

これらの結果に基づき、実船の伝達馬力等を算定したものを Fig. 4.3.7 に示す。

なお伝達馬力等曲線は代用プロペラとして用いた M.P.NO.2136 と全く同一の寸法比、形状をもつ実船プロペラ (直径 = 6.00 m) を装備した場合のものである。また実船と模型船間の伴流係数の尺度影響については修正していない。

馬力等曲線はテイラー図表等を利用して推定したものに比べて非常に高くなっている。

自航要素の中では  $\eta_R$  が若干高めであった以外は特に変わった点は見られなかったのであるから、馬力曲線の高い理由の大部分は抵抗の高かったことによる。

以上の結果によって、 $L/B$  が小さく、 $B/d$  の大きな船に対しては、その船型に対して十分な検討が必要不可欠であった。今後に行われる主要目の変化した模型船の試験結果が得られれば、さらに十分な検討ができるものと思われるが今年度は 1 隻の模型船についての結果しかないので問題提起だけに留まることとなった。

Table 4.1.1 Hull Particulars etc.

模 型 船 番 号		3 5 3 7	
		模 型 船	実 船
垂 線 間 の 長 さ $L_{pp}$ (m)		45000	150000
計 画 満 載 喫 水 線 上 の 長 さ $L_{DWL}$ (m)		46800	156000
幅 $B$ (m)		08571	28570
深 さ $D$ (m)		—	—
中 央 部 船 底 勾 配 (m)		0.0075	0.2500
中 央 部 平 底 半 幅 (m)		0.0225	0.750
中 央 部 船 底 彎 曲 部 半 径 (m)		0.0900	3.000

載 貨 状 態		満 載	
喫 水 $d$ ※ 1 (m)		0.2520	8.400
ト リ ム ※ 2 (m)		0	
排 水 容 積	$\nabla_N$ ※ 3 ( $m^3$ )	0.53694	19887
	$\nabla_A$ ※ 4 ( $m^3$ )	"	"
排 水 量 $\triangle_A$ ※ 4 (ton)			20384
浸 水 表 面 積	$S_N$ ※ 3 ( $m^2$ )	4.1904	4656
	$S_A$ ※ 4 ( $m^2$ )	4.3190	4799
方 形 係 数 $C_B$ ※ 3		0.5524	
船 体 前 半 部 の 方 形 係 数 $C_{BF}$ ※ 3		0.5112	
船 体 後 半 部 の 方 形 係 数 $C_{BA}$ ※ 3		0.5935	
柱 形 係 数 $C_p$ ※ 3		0.5692	
船 体 前 半 部 の 柱 形 係 数 $C_{pF}$ ※ 3		0.5269	
船 体 後 半 部 の 柱 形 係 数 $C_{pA}$ ※ 3		0.6116	
水 線 面 積 係 数 $C_W$		0.7315	
船 体 前 半 部 の 水 線 面 積 係 数 $C_{WF}$		0.6345	
船 体 後 半 部 の 水 線 面 積 係 数 $C_{WA}$		0.8284	
中 央 横 截 面 積 係 数 $C_M$		0.9704	
浮 力 中 心 位 置 ( $L_{pp}$ の % に て) $l_{cb}$ ※ 5		15.655	
長 さ — 幅 比 $L_{pp}/B$		5.25	
幅 — 喫 水 比 $B/d$		3.400	
排 水 容 積 — 長 さ 比 ( $\nabla_A/L_{pp}^3$ ) $\times 10^3$ ※ 4		5.892	
バ ル プ	大 き さ (中 央 横 截 面 積 の % に て) $f$	6.23	
	突 出 量 ( $L_{pp}$ の % に て) $l/L_{pp}$	1.25	
	没 水 深 度 (満 載 喫 水 の % に て)	70.12	
載 貨 状 態		6 5 % 排 水 量	
喫 水 $d$ ※ 1 (m)		0.1773	5.910
ト リ ム ※ 2 (m)		0.0450	1.350
排 水 容 積	$\nabla_N$ ※ 3 ( $m^3$ )	0.34901	12926
	$\nabla_A$ ※ 4 ( $m^3$ )	"	"



排水量	$\Delta_A$ ※4	(ton)		13,249
浸水表面積	$S_N$ ※3	( $m^2$ )	3,2720	3,636
	$S_A$ ※4	( $m^2$ )	3,3994	3,777
方形係数	$C_B$ ※3			0.5072
柱形係数	$C_p$ ※3			0.5293
水線面積係数	$C_w$			0.6144
中央横截面積係数	$C_M$			0.9582
浮力中心位置( $L_{pp}$ の%にて)	$\ell_{cb}$ ※5			2.2384
幅—喫水比 ※1	$B/d$			4.834
排水容積—長さ比( $\nabla_A/L_{pp}^3$ ) $\times 10^3$ ※4				3.8300

※1 喫水は船体中央における数値を示す。

※2 トリムは船尾トリムを示す。

※3 裸殻状態の数値を示す。

※4 全副部つき状態の数値を示す。

※5  $\ell_{cb}$ の符号「+」は船体中央より船尾側の位置を示す。

Table 4.1.2 Offsets

Model Ship No 3537 (Cb = 0.55)

Length between Perpendiculars 45000m Rise of Floor 00075m  
 Length on Designed Load Water Line 46800m Radius of Bilge Circle 00900m  
 Breadth 08571m Starting Point of Rise of Floor from Center Line 00225m  
 Draft above Base Line, Designed Full Load 0252 m Water Line, Bow and Buttock Lines Apart 00300m  
 Square Station Apart 04500m

No of Station	Flat Bottom	Half Breadth (mm)															
		0.5WL	1WL	2WL	3WL	4WL	5WL	6WL	7WL	7.5WL	8WL	8.4WL	9WL	10WL	11WL	12WL	13WL
B	0	15	30	60	90	120	150	180	210	225	240	252	270	300	330	360	390
A												422	1183	1930	2353	2619	2798
A.P.											87	823	1520	2209	2611	2871	3045
¼											723	1324	1925	2544	2924	3163	3332
½	1.3	90	136	169	159	137	118	130	254	483	1314	1812	2311	2859	3210	3438	3592
¾	2.6	188	263	341	372	380	396	469	726	1134	1848	2244	2666	3147	3472	3683	3819
1	5.8	310	420	539	612	668	740	892	1271	1727	2308	2635	2992	3414	3703	3888	4004
1½	22.2	619	800	1028	1202	1365	1560	1849	2364	2733	3051	3264	3523	3842	4052	4174	4236
2	58.2	1062	1300	1630	1900	2160	2443	2785	3197	3403	3593	3728	3897	4108	4230	4283	4283
2½	111.7	1653	1915	2305	2627	2932	3221	3497	3750	3863	3965	4037	4128	4235	4283	4286	4286
3	173.0	2282	2576	2985	3297	3559	3774	3950	4086	4139	4182	4211	4245	4278	4286	4286	4286
4	297.2	3440	3697	3974	4135	4226	4267	4283	4286	4286	4286	4286	4286	4286	4286	4286	4286
5	334.5	3736	3969	4185	4265	4286	4286	4286	4286	4286	4286	4286	4286	4286	4286	4286	4286
6	229.5	2871	3172	3536	3757	3915	4032	4119	4178	4200	4215	4228	4244	4262	4272	4278	4283
7	750	1447	1768	2194	2505	2766	2995	3200	3380	3464	3542	3602	3684	3817	3940	4052	4152
7½	444	1007	1260	1602	1854	2077	2287	2500	2723	2839	2955	3046	3180	3400	3610	3812	4005
8	212	723	913	1153	1325	1476	1635	1822	2046	2173	2305	2415	2581	2861	3152	3456	3765
8½	136	562	707	862	945	1020	1114	1248	1431	1540	1660	1765	1931	2235	2570	2935	3328
9	75	448	570	680	715	722	737	789	892	964	1050	1133	1268	1544	1876	2240	2615
9¼	42	393	513	620	641	614	587	595	650	700	765	831	946	1187	1485	1815	2168
9½	15	341	464	576	581	527	458	420	430	457	498	542	625	822	1086	1386	1689
9¾		282	416	530	524	445	347	270	232	231	245	266	315	452	653	900	1164
F.P.		204	374	475	457	377	266	156	64	33	1.1	0.0	1.1	7.0	188	375	610

Table 4.1.3 Model Propeller

DIAMETER	( mm )	1800
PITCH(CONST.)	( mm )	1386
PITCH RATIO(CONST.)		0.770
BOSS RATIO		0.180
EXPANDED AREA RATIO		0.650
MAX, BLADE WIDTH RATIO		0.294
BLADE THICKNESS RATIO		0.050
ANGLE OF RAKE		10
DIRECTION OF TURNING		RIGHT HANDED
NUMBER OF BLADE		5
BLADE SECTION		AU

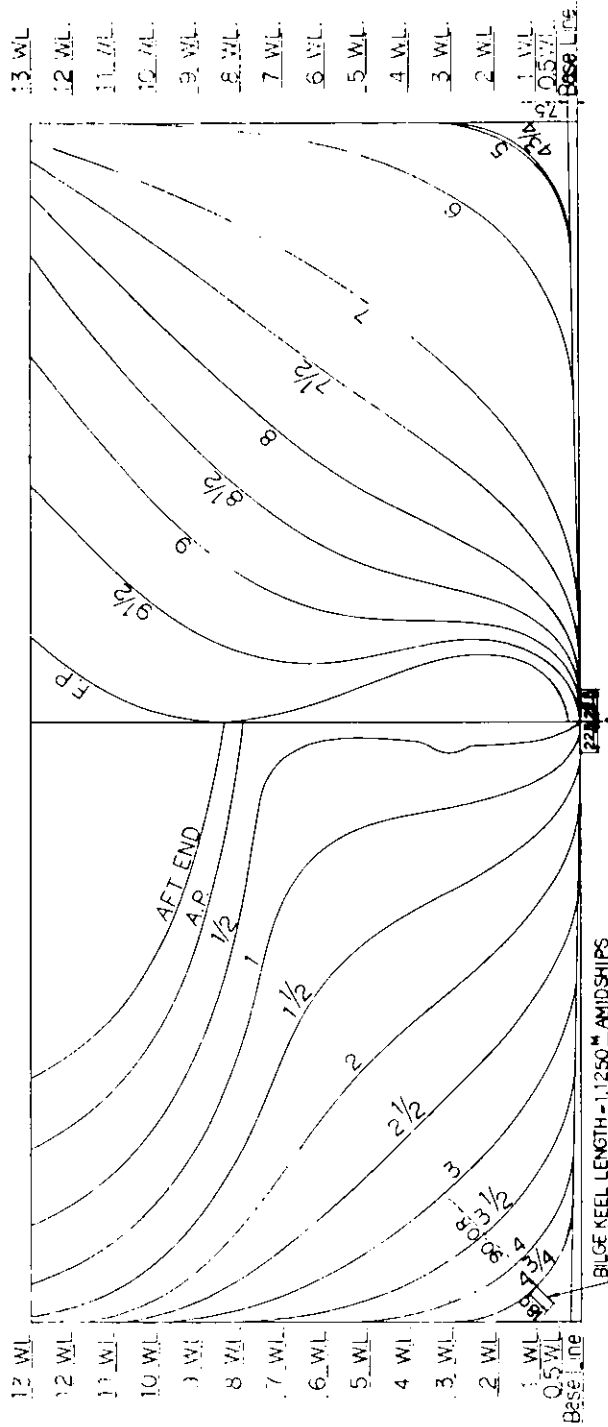


Fig. 4.1.1 (a) Body Plan

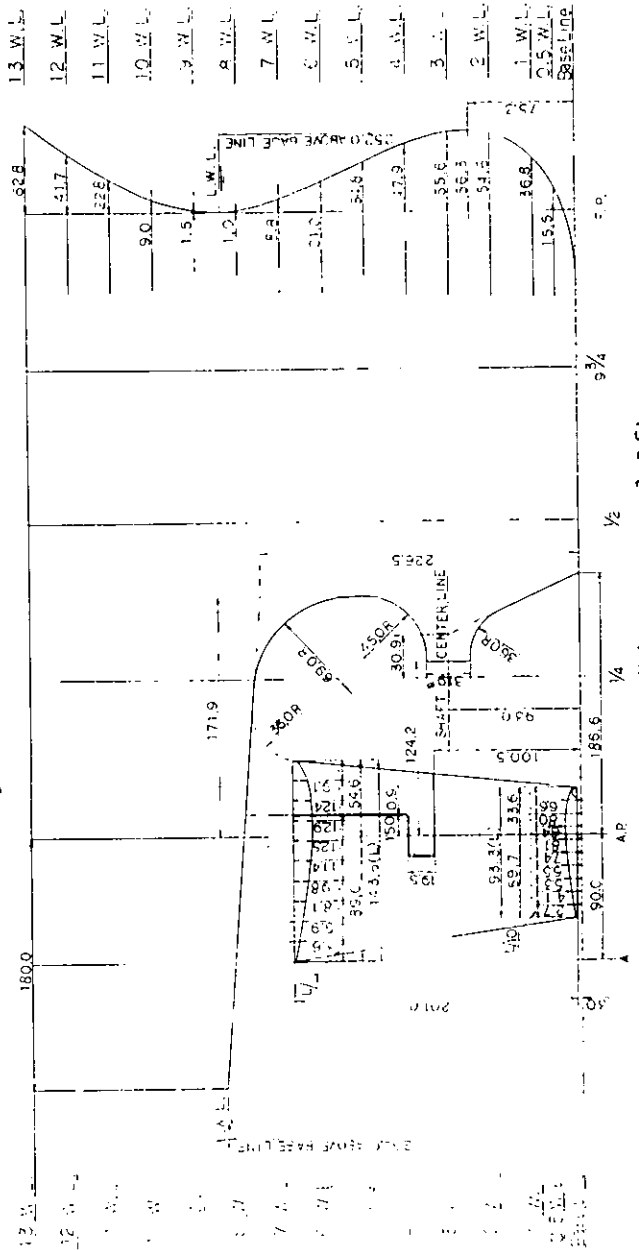


Fig. 4.1.1 (b) Fore and Aft

CONDITION	NO.	A	A.P.	1/4	1/2	3/4	1	1 1/2	2	2 1/2	3	4	FULLEST	5
FULL LOAD	---	0.001	0.006	0.016	0.064	0.133	0.209	0.376	0.545	0.701	0.827	0.975	1.000	0.997
BALLAST	---	0	0	0	0.025	0.066	0.114	0.226	0.350	0.469	0.569	0.658	0.699	0.692

	6	7	7 1/2	8	8 1/2	9	9 1/4	9 1/2	9 3/4	F.P.
FULL LOAD	0.905	0.645	0.496	0.363	0.258	0.177	0.144	0.114	0.087	0.062
BALLAST	0.590	0.375	0.273	0.192	0.135	0.098	0.085	0.074	0.064	0.053

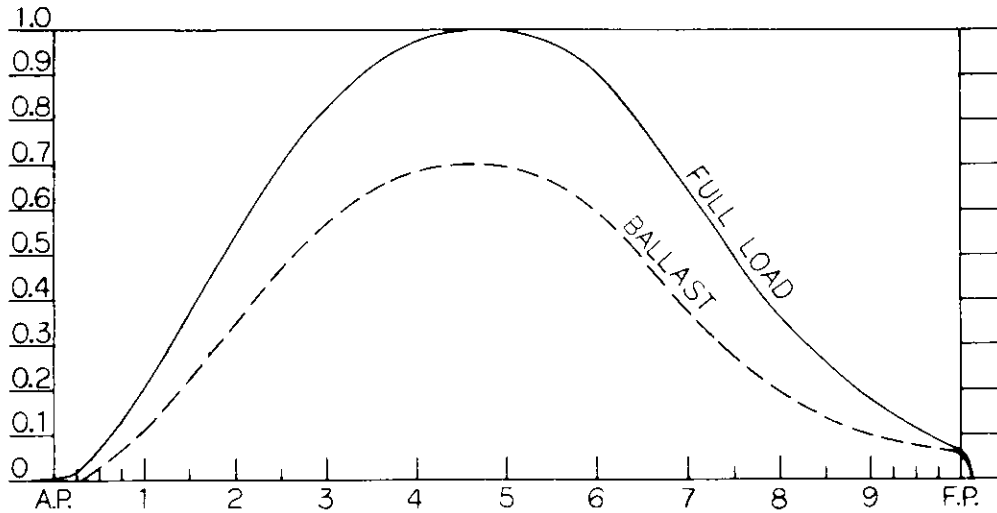


Fig. 4.1.2 Sectional Area Curves

CONDITION	NO.	A	A.P.	1/4	1/2	3/4	1	1 1/2	2	2 1/2	3	4	FULLEST	5
FULL LOAD	---	0.099	0.192	0.309	0.423	0.524	0.615	0.762	0.870	0.942	0.985	1.000	1.000	1.000
BALLAST	---	0	0	0	0.041	0.135	0.245	0.478	0.684	0.834	0.929	0.999	1.000	1.000

	6	7	7 1/2	8	8 1/2	9	9 1/4	9 1/2	9 3/4	F.P.
FULL LOAD	0.987	0.840	0.711	0.564	0.412	0.264	0.194	0.127	0.062	0
BALLAST	0.957	0.729	0.560	0.401	0.271	0.175	0.136	0.104	0.077	0.058

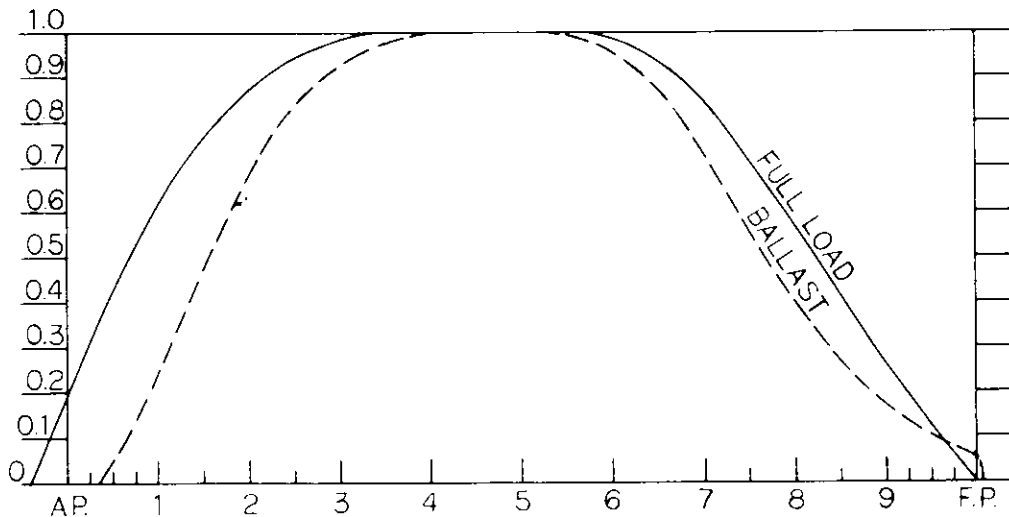


Fig. 4.1.3 Water Plane Curves

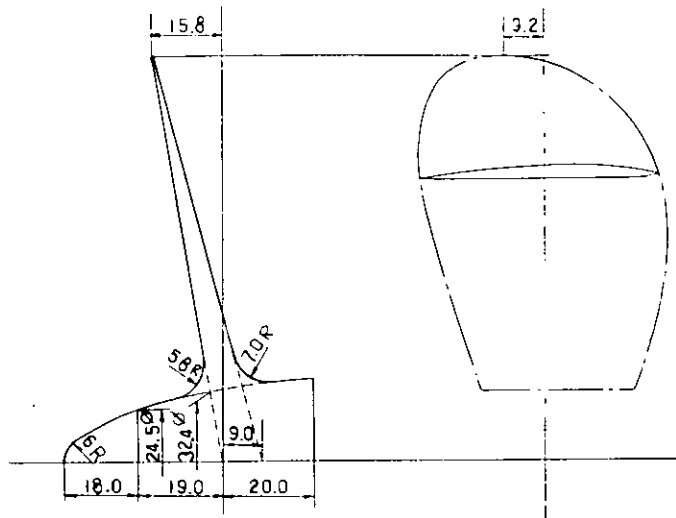


Fig. 4.1.4 Model Propeller

DIAMETER	(mm)	180.0
PITCH (CONST)	(mm)	138.6
PITCH RATIO(CONST.)		0.770
BOSS RATIO		0.180
EXPANDED AREA RATIO		0.650
MAX BLADE WIDTH RATIO		0.294
BLADE THICKNESS RATIO		0.050
ANGLE OF RAKE		10°
DIRECTION OF TURNING		RIGHT HANDED
NUMBER OF BLADE		5
BLADE SECTION		AU

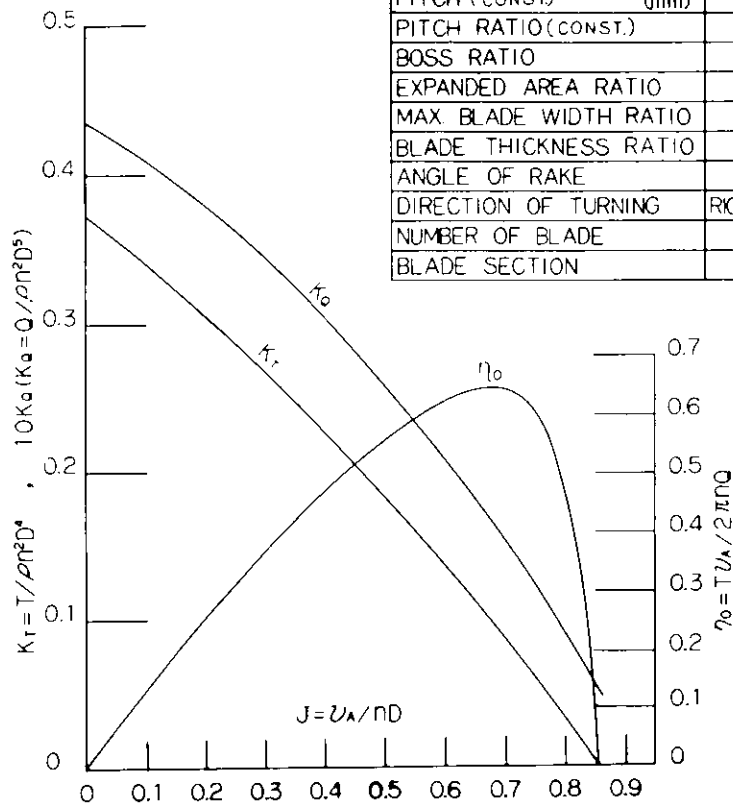


Fig. 4.3.1 Open Test Results  
(M.P. NO. 2136)

CONDITION	FORM FACTOR (K)	TEMP. OF WATER (°C)	MARKS
FULL LOAD	0.24	15.0	○
BALLAST	0.34	15.1	△

REMARKS:  
 $C_v = C_f(1+K)$

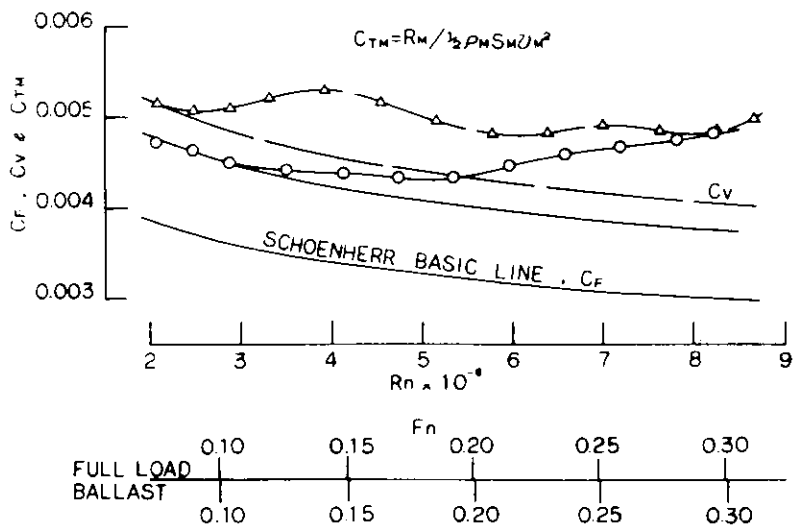


Fig. 4.3.2 Resistance Test

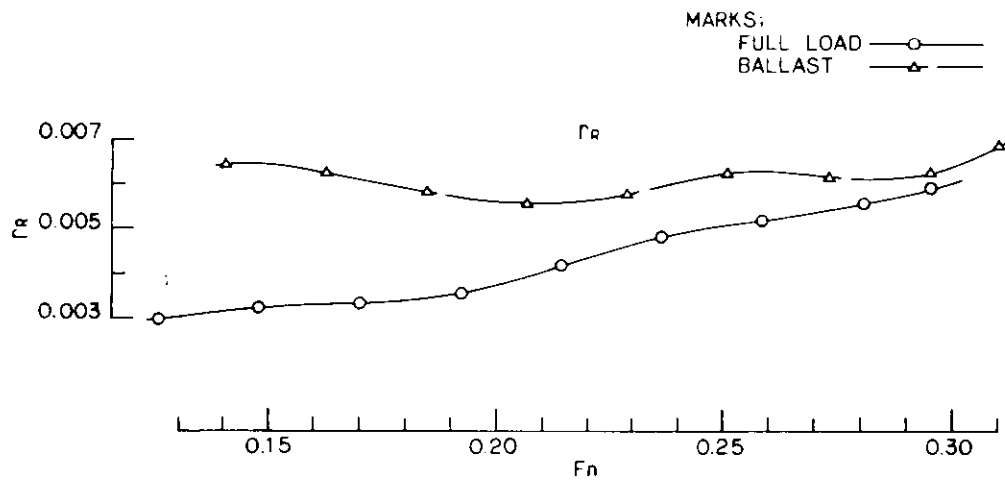


Fig. 4.3.3 Resistance Test

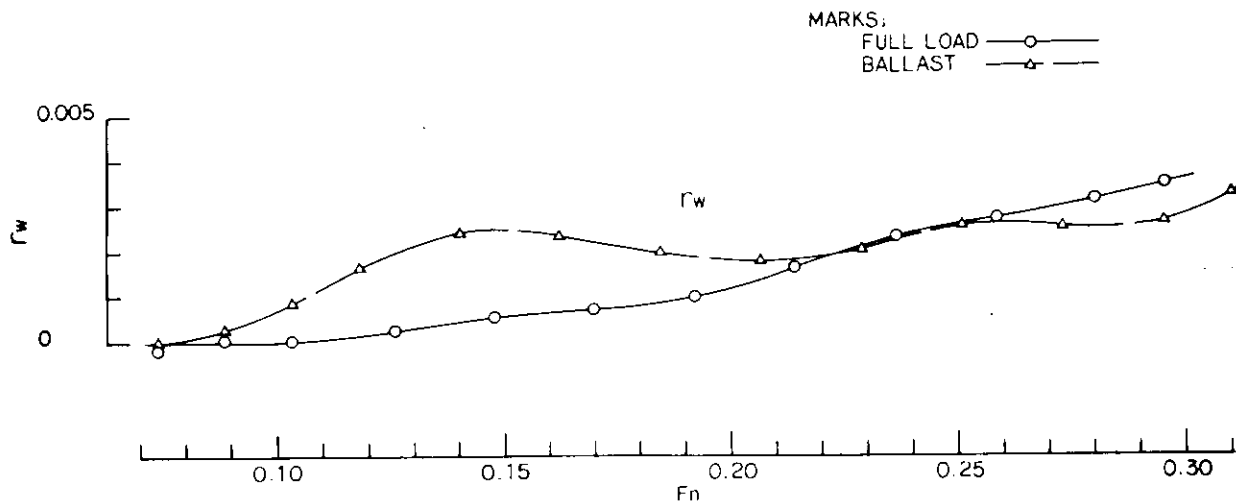


Fig. 4.3.4 Resistance Test

CONDITION	DRAFT(m)			TRIM(m)	DISPLACEMENT		MARKS
	A.P.	M.S.	F.P.		$\nabla_s(m^3)$	$\Delta_s(\text{ton})$	
FULL LOAD		8.400		0	1,9887	2,0384	—○—
BALLAST	6.660	5.910	5.160	+1.500	1,2926	1,3249	—△—

MARK, 402-000015

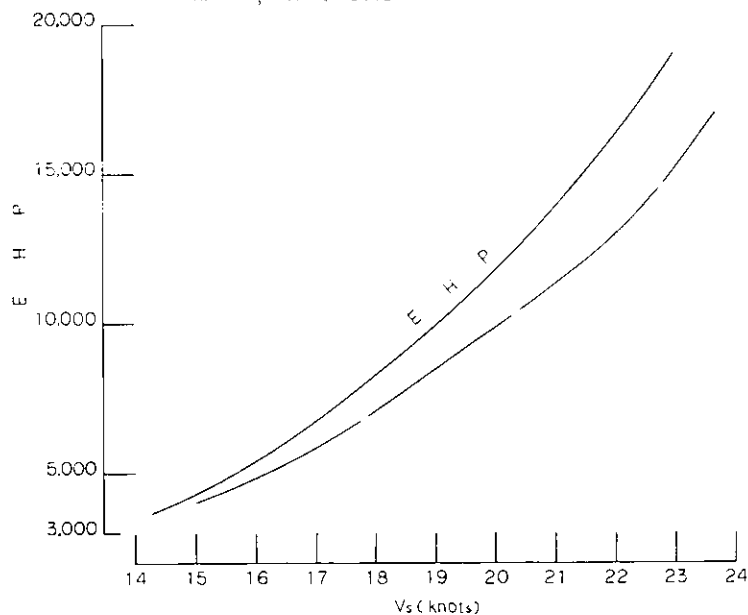


Fig. 4.3.5. EHP Curves



CONDITION	DRAUGHT (m)		TRIM (m)		DISPLACEMENT		MARKS
	A.P.	M.S.	F.P.	F.P.	$V_{20} (m^3)$	$\Delta s (ton)$	
FULL LOAD	6.660	5.910	5.160	0	1.9887	2.0384	
BALLAST				+1.500	1.2926	1.3249	

MARKS: 10, 11, 12, 13, 14, 15

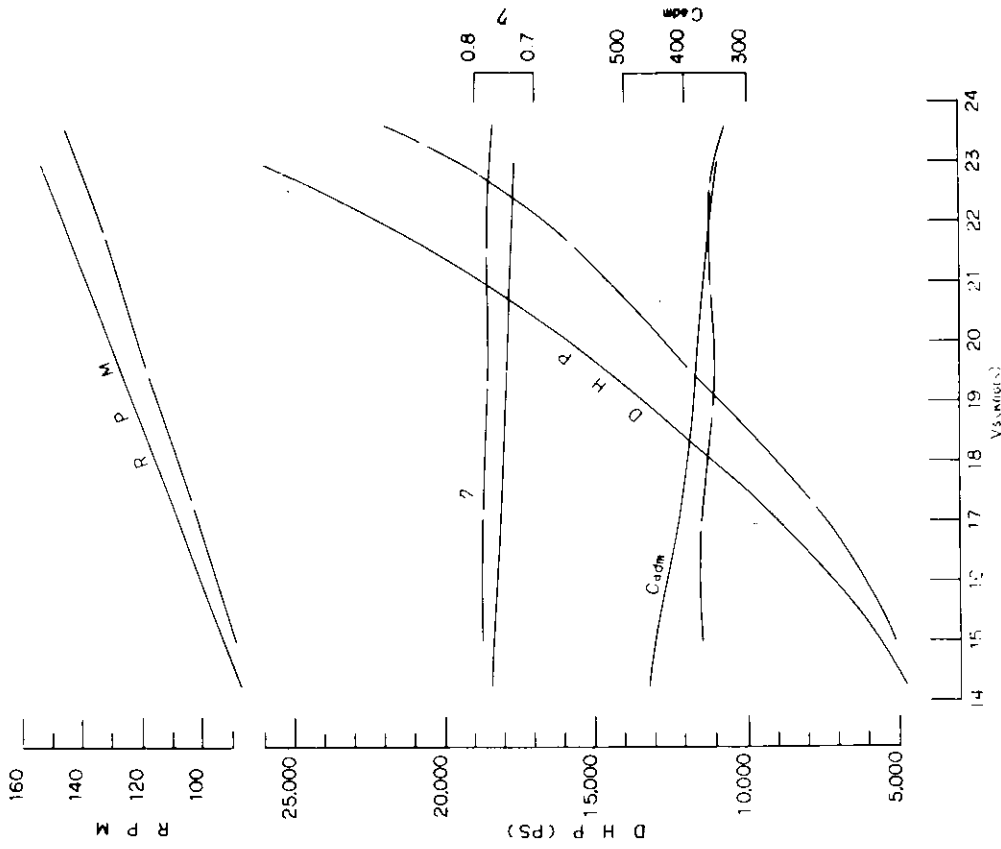


Fig. 4.3.7. D H P etc. Curves

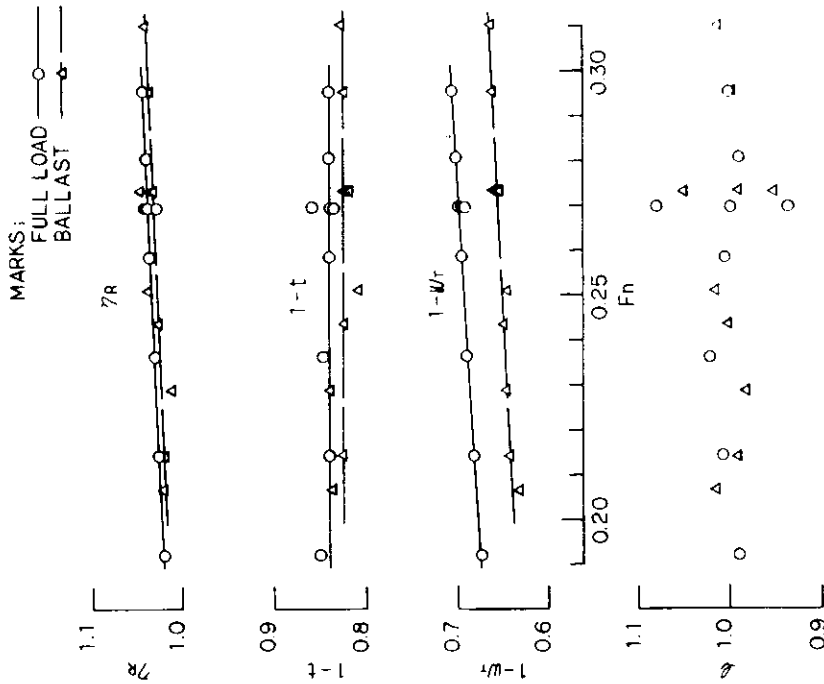


Fig. 4.3.6 Self-Propulsion Factor

## 第 5 章 結 言

以上に詳細に述べてきたように、本研究においては、系統的模型船の船型を選ぶに当っては、実用船型の試験結果と造波抵抗理論とを結合させた多賀野の方法で、与えられた主要目および計画速力に対して最適の横截面積曲線形状を求めるとともに、実務経験に素成波理論を反映させた稿の図式設計法による検討を行うというように、慎重な調査の結果をふまえて船型計画を行った。

本研究で対象とした船種がロールオン・ロールオフ船であるために、 $B/d$ が大きいゆえに甲板面積を大きくとる必要があり、船型としては推進性能上好ましいものではない。このような制約のもとに設計を行った結果求められた線図であって、しかも本年度に試験を行ったのは1隻だけなので、その試験結果についてうんぬんすることは時期早尚であろう。

今年度の研究に引続いて、来年度以降に各主要目に対して最適と思われる船型を設計して試験を行う計画になっているので、それ等の成績が明らかになった時点で、 $L/B$ 、 $B/d$ 、 $C_B$ 等の主要目や横截面積曲線形状の抵抗推進性能に及ぼす影響が明らかになるものと期待される。

来年度は $B/d$ を一定として、 $C_B$ および $L/B$ を変化させた3隻の模型に対する試験を行うとともに、今年度の1隻を含めた4隻について伴流分布の計測を行う予定である。