

日本船舶振興会昭和52年度補助事業
『馬力節減を目的とした1軸中型船
の船尾形状の開発に関する研究』

研究資料 No. 302

第174研究部会

馬力節減を目的とした1軸中型船 の船尾形状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

本研究は低回転大直徑プロペラの採用により推進効率の向上を図ることを目的として、昭和52年度から3か年計画で開始されたもので、本年度はその第1年度として、

1) 船型に関する研究、および2) プロペラに関する研究を行った。

1) に関しては、SR 159船型を基礎として、これに低回転大直徑プロペラが装備できるように船尾形状を変更した長さ192mの中型船型を設計し、この模型を製作して各種の水槽試験を行って船尾形状開発のための問題点を調査した。

2) に関しては、理論計算により大直徑プロペラを採用した場合の問題点をプロペラ起振力の観点から定量的に調べた。

本報告書ではこれらを中心にとりまとめ、さらに今後の研究計画を述べて全体計画との関連がわかるよう配慮されている。

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「馬力節減を目的とした1軸中型船の船尾形状の開発に関する研究」として、日本造船研究協会が第174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174研究部会委員名簿（敬称略、順不同）

部会長	乾 崇夫（東京大学）	加藤 洋治（東京大学）
副部会長	矢崎 敦生（日本造船技術センター）	
幹事	田中一朗（大阪大学）	高橋 雄（船舶技術研究所）
	中武一明（九州大学）	田村 欣也（三菱重工業）
	寒河江 喬（日本造船技術センター）	安部 光弘（三井造船）
	須藤 正信（日本钢管）	大久保 廣海（日本郵船）
	並松 正明（石川島播磨重工業）	
	松尾 稔（大阪商船三井船舶）	
委員	山崎 隆介（九州大学）	山古里 哲夫（東京大学）
	右近 良孝（船舶技術研究所）	小山 鴻一（船舶技術研究所）
	相原 和樹（三菱重工業）	宮本 雅史（日立造船）
	高木 又男（日立造船）	芦立 獣（日本钢管）
	岡本 洋（川崎重工業）	片桐 德二（石川島播磨重工業）
	永松 秀一（住友重機械工業）	山崎 芳嗣（佐世保重工業）
	篠原 喜代美（函館ドック）	藤原 芳夫（名村造船所）
	井手 一平（尾道造船）	荻野 繁之（佐野安船渠）
	渡辺 豊徳（三保造船所）	高津 浩治（来島どっく）
	田中 幸司（大阪造船所）	須藤 彰一（明石船型研究所）
	森川 卓（日本船王協会）	布村 信昭（昭和海运）
	伴 厳也（山下新日本汽船）	菅野 博志（ナカシマプロペラ）
	山崎 正三郎（神戸製鋼所）	絹川 隆一（阪神内燃機工業）
	三浦 富雄（かもめプロペラ）	

第174研究部会プロペラ小委員会名簿（敬称略、順不同）

部会長	乾 崇夫（東京大学）	加藤 洋治（東京大学）
副部会長	矢崎 敦生（日本造船技術センター）	小山 鴻一（船舶技術研究所）
委員長	高橋 雄（船舶技術研究所）	須藤 正信（日本钢管）
委員	山崎 隆介（九州大学）	安部 光弘（三井造船）
	右近 良孝（船舶技術研究所）	菅野 博志（ナカシマプロペラ）
	田村 欣也（三菱重工業）	
	岡本 洋（川崎重工業）	
	並松 正明（石川島播磨重工業）	

山崎正三郎（神戸製鋼所） 永松秀一（住友重機械工業）
塩田昭男（日本造船技術センター）

第174研究部会討議参加者名簿（敬称略、順不同）

上田 隆康（船舶技術研究所）	国米昭久（日立造船）
山野惟夫（川崎重工業）	佐々木紀幸（住友重機械工業）
駒宮秀雄（函館ドック）	東哲朗（大阪造船所）
杉村 勉（三保造船所）	谷口誠（大阪商船三井船舶）
南方潤三（神戸製鋼所）	河内房之助（ナカシマプロペラ）
石田駿一（石川島播磨重工業）	細萱和敬（日立造船）
谷林英毅（三菱重工業）	玉井浩正（川崎重工業）
高橋通雄（神戸製鋼所）	

目 次

1. 緒 言	1
2. 本研究課題に対する問題点および研究方針	2
2.1 推進性能に関するもの	2
2.2 キャビテーション、振動等に関するもの	2
2.3 急速停止性能に関するもの	2
3. 船型に関する試験研究	3
3.1 船型の選定	3
3.2 昭和52年度船型とプロペラ	3
3.2.1 船 型	3
3.2.2 プロペラ	5
3.3 昭和52年度船型の水槽試験	5
3.3.1 実験の実施	5
3.3.2 供試模型	5
3.3.3 試験結果および考察	5
3.4 船尾形状と船尾流場	27
3.4.1 問題の設定とその前提	27
3.4.2 計算方針	28
4. プロペラに関する試験研究	29
4.1 ベアリングフォースに関する理論計算（計算法の比較）	29
4.1.1 計算対象船及び計算結果	29
4.1.2 計算方法の比較	30
4.2 船尾形状とベアリングフォース	31
4.2.1 ベアリングフォース	31
4.2.2 露応力	31
4.2.3 キャビテーション	31
付 錄 I 計算方法の比較	33
付 錄 II 1翼あたりのスラスト変動 (Fig. 4.9) の計算結果比較に対する説明	34
5. 考 察	51
5.1 船型に関する試験研究	51
5.2 プロペラに関する試験研究	52
6. 昭和53年度以降の計画	53
6.1 船型関係	53
6.2 プロペラ関係	53

1. 緒 言

エネルギー資源の節約ならびに燃料費の高騰に対する運航コスト低減の観点から、船型および推進装置に関して、各種の試験研究が、従来実施されている。

この方面的研究の一つとして、最近開発された減速装置を使用して、プロペラ軸の回転数を大幅に減速し、低回転大直徑プロペラを採用することにより、推進効率の向上を狙おうという試みがある。

しかし、この方法により、有効な馬力節減を達成するためには、単に低回転大直徑プロペラの採用によるプロペラ効率の向上を意図するのみでなく、抵抗の見地からみた船型の改良や自航要素の面からみた船型の改善を図り、抵抗、推進性能全般より馬力節減方法を研究しなければならない。さらに、プロペラの低回転大直徑化に伴って生ずるプロペラ・キャビテーション、プロペラ起振力の問題や急速停止性能上の問題についても研究しなければ、この方法を実用化することはきわめて困難である。

本研究部会は、以上の問題に関する基礎的研究を1軸中型船を対象として、昭和52年度から3ヶ年計画で実施することを目的として設立された。その事業実施計画の大要は、次の通りである。

船型関係については、低回転大直徑プロペラの採用に伴う問題を、主として、プロペラと船体との相互干渉の面からとらえることとして、船尾形状の開発を行う。この際、従来の船型設計の考え方を大幅に変えることなく、低回転大直徑プロペラが有効に装備しうる船尾形状の開発を最初に採り上げ、ついで、船尾形状の大変更が予想される超低回転大直徑プロペラに適する船型の開発に進むことにした。この研究は、曳航水槽、回流水槽による模型試験を主とするが、SR 159 その他を通して開発された船尾流場に関する理論的考察も採り入れることとした。

プロペラ関係については、理論計算および実験により、主として、キャビテーション、および船体との干渉の問題を対象とする中型船を中心として研究するが、プロペラ関係については、専門技術的問題が多いので、プロペラ小委員会を設けて研究を進めることとした。

また、急速停止性能に関しては、在来プロペラを装備した船型と、低回転大直徑プロペラを装備した船型について、準定常的な水槽試験を行って、両者の停止性能の比較を計算により行う。

昭和52年度は、船型関係については、SR 159 で船尾流場の性質が詳細に調査されている船型を基礎として、これを低回転大直徑プロペラが装備しうるように、船尾形状を変更した中型船想定の船型を設計し、それについて、各種の水槽試験を実施し、船尾形状開発の問題点の調査を行った。プロペラ関係については、主として、理論計算により、ベヤリングフォース等に関する調査を実施した。

なお、本研究部会発足後、運輸技術審議会により第8号答申が行なわれ、本研究部会は、同答申中の省エネルギー対策の項中「船舶抵抗減少のための中小型船型の再検討」の一部、および「中超低回転大直徑プロペラの採用」と係りを有するようになり、本研究部会の事業の実施に当っては、上記答申の内容を尊重していくことにした。

2. 本研究課題に対する問題点および研究方針

最近の減速装置の開発に伴って、プロペラ軸の回転数を大巾に減速し、低回転大直徑プロペラの採用を可能にすることにより、中型船の所要馬力をかなり減少させようとする推進性能改善の方向がある。所要馬力の減少を目的とした低回転大直徑プロペラの採用そのものについては、さほど目新しい考え方ではないと思われるが、省エネルギーに対する時代の強い要望とともに新しく低回転大直徑プロペラが見直されているといつてもよいであろう。

従って、実用化についての研究開発自体については、いまだその日が浅く、実用化にあたっては、いくつかの解明されなければならない問題が残されている。

以下に、本研究課題に対する問題点およびこれに対処するための研究方針を簡単に述べる。

今までに行われた若干の理論計算あるいは水槽試験結果によれば、ただ単に馬力節減を目的とするのであれば、低回転大直徑プロペラを採用することにより、若干の馬力節減が達せられる見込みがついた。しかし、この種船型をさらに実用化するには次のような点について、研究開発をする必要がある。

2.1 推進性能に関して

馬力節減が達せられるのは、主としてプロペラ効率の極端な向上に由来しており、他の自航要素には改善がみられずむしろ悪くなっている例が多く見られる。

このことは在来船尾を手直しして大直徑プロペラを装着するだけでは、若干の馬力節減は達成できても更に一層の改善には結びつかない。従って大直徑プロペラを装備するに最適な船尾形状を新たに設計する必要がある。このような観点から、ただ単に馬力節減を目的とした場合には、さらにどの程度の馬力節減が達成されるかを検討する。

2.2 キャビテーション、振動等に関して

低回転大直徑プロペラの採用は、キャビテーションの発生の増大、プロペラ起振力の増加（特に propeller-hull vortex の発生の可能性がある）という結果に結びつきかねない。従って、今後低回転大直徑プロペラが実船にかなり採用されるか否かは、いつにかかってそのような船舶のキャビテーション、これに伴なう振動特性、あるいはバラスト状態での航行時の空気吸込みの問題の程度、すなわち安全性の問題、居住性の問題の程度如何ということであろう。

2.2に関する研究方針としては、エロージョンの問題をも含めてキャビテーションの発生の度合がまたプロペラ起振力等の増大の度合が、2.1に関する研究と関連してどのように影響されてくるかを検討しようとするものである。特にこの際に注意しなければならない問題は、2.1をも含めての scale effect であろう。

2.3 急速停止性能に関して

低回転大直徑プロペラは遊転トルクが大きくなるため、固定ピッチ・プロペラの場合には逆転がかかりにくくなる。従って安全性の高い運航性能の確保といった意味から急速停止性能に関して検討を加えておく必要がある。なお、特殊な船尾形状の場合、後進時の空気吸込みによる後進力の減少も予想されるので前述の問題と併せて検討しておく必要がある。

3. 船型に関する試験研究

船型の開発に関する研究に当っては、大型・小型模型船を用いる実験的アプローチのはかに、三次元境界層理論を応用する船尾流場の性質の解明からする調査を並行して実施することにした。以下の3.1～3.3節では、前者の試験研究について報告し、3.4節では、後者に関して報告する。

3.1 船型の選定

昭和52年度の研究の対象船型としては、従来の造研の研究部会で、船尾流場の性質が詳細に調査されており、また各種の水槽試験も実施されているものが、本研究の第一着手としては好ましいとの判断のもとに、SR 159で使用された船型M.S.Na 3330を母型として採用することとし、その船尾形状を、低回転大直徑プロペラを装備するのに適当な形態に変更したものとした。

対応実船は、載貨重量約5万～6万トン程度のバルクキャリアを考え、その実船長は、Fig. 3.1を参考にし、かつ、パナマックスの条件も考慮しながら192mとした。

なお、載貨重量約5万～6万トン程度の大きさのものを対象船型として選定したのは、Table 3.1に、3万トン程度の船型との比較を示すように、本研究成果の活用性の大小ならびに省エネルギーの効果の大小から、前者の船型を選定する方が有効であると考えたためである。

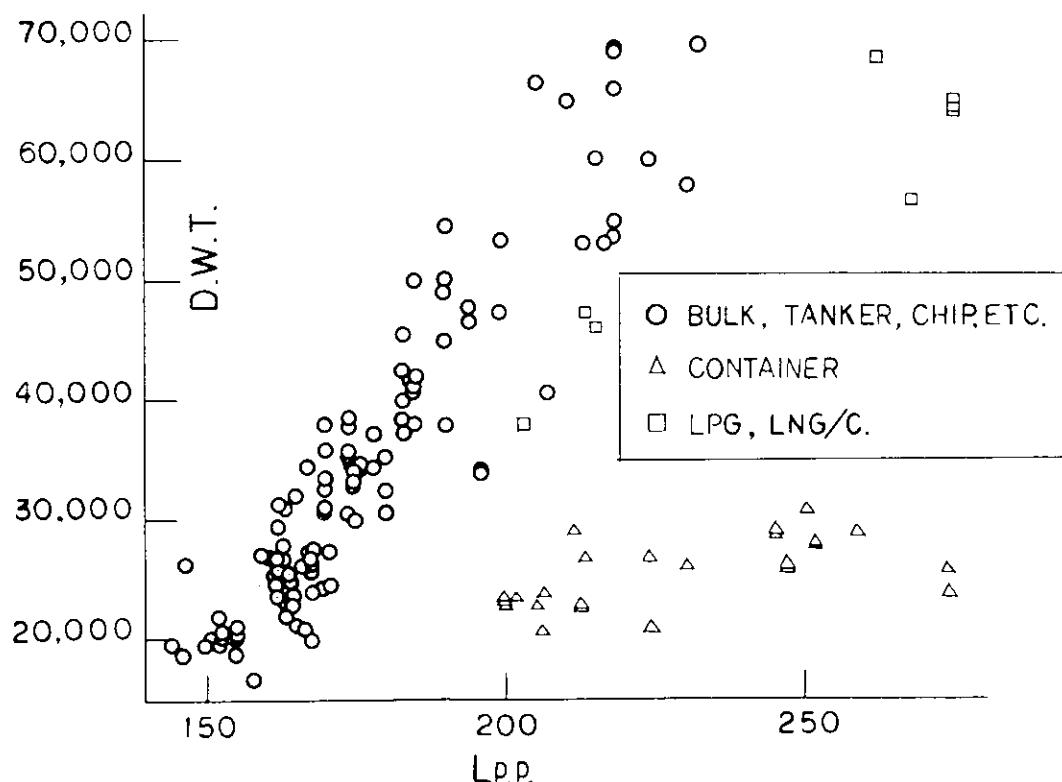


Fig. 3.1 Relation of Dead Weight and Lpp

3.2 昭和52年度船型とプロペラ

3.2.1 船型

SR 159で使用された船型(M.S.Na 3330)を母型とし、下記の諸点を考慮して船型を作成した。

- (1) 低回転大直徑プロペラを装備するのに適当な船尾形状にする。

Table 3.1 Ship Size and Effects of Research

対象船	運航状態 (特に喫水)	プロペラ 荷重度	船体寸法に 対する直徑 の割合	プロペラ 流体力の 変動度合	船尾形状 の変化	プロペラ 回転数 (RPM)	実用化	研究結果 の活用性	省エネルギー効果
3万トン	多様	小	大	大	比較的 困難	150 120	早い	小	小
6万トン	ほぼ一定	大	小	小	比較的 容易	120 (90) [※]	おそい	大	大

※ 中速エンジンに遊星歯車採用の場合

(2) 船尾形状はマリナー船尾とし、M. S. № 3330 のプロペラの 0.7 R の線を水平に延長し、M. S. № 3330 船尾ラインの交点にマリナー船尾ラインを合せる。(Fig. 3.2.1 参照)

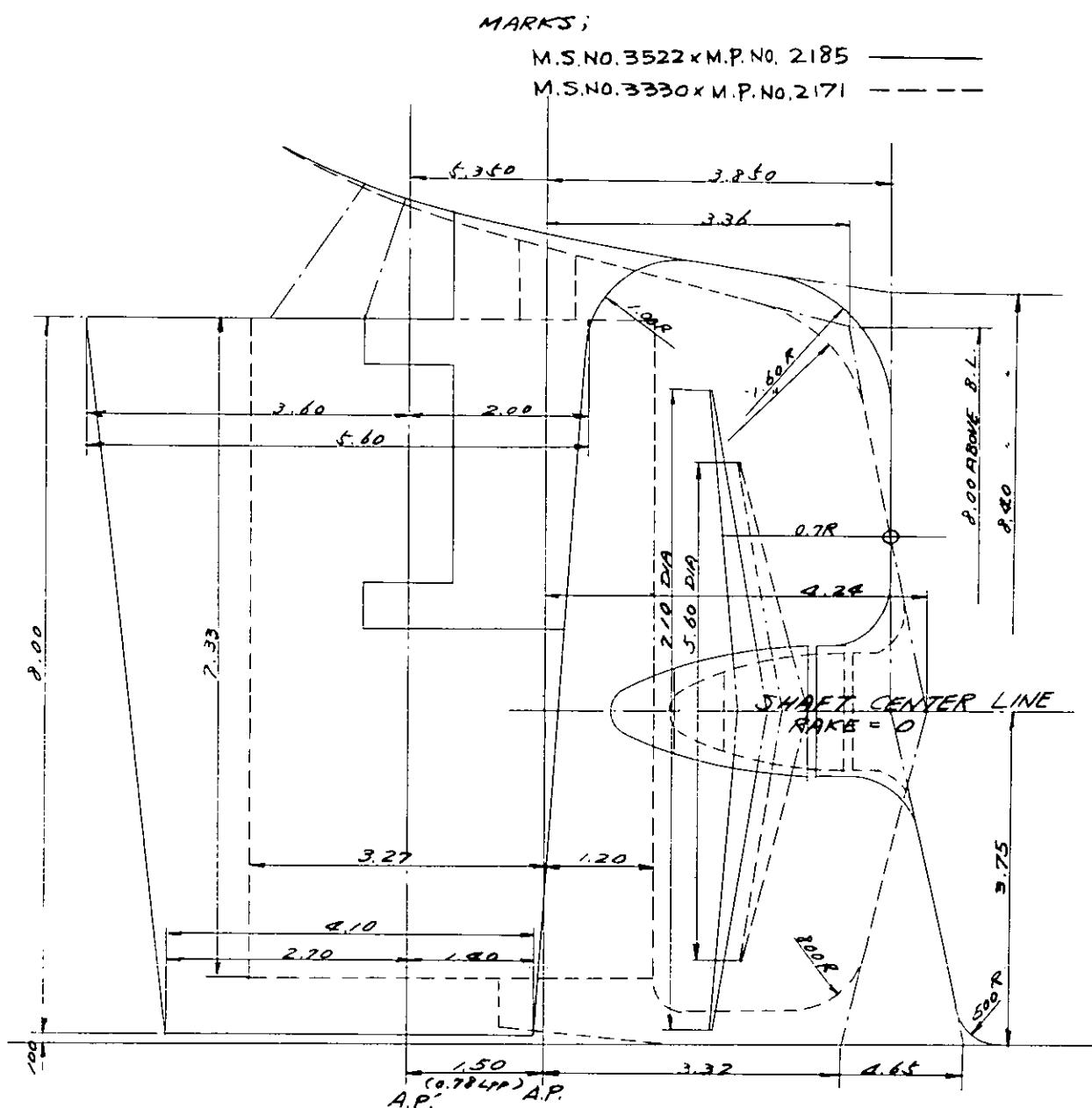


Fig. 3.2.1 Stern Frame and Rudder

- (3) 主船体の線図をあまり変えない。
 - (4) 満載喫水線長さは変えない。
 - (5) A. P., F. P. 間の長さを基準とし、A. P. は単に舵軸中心とする。
 - (6) 舶面積、舵の厚さ、巾比はM. S. № 3330と同じにする。
- 以上の点を考慮して昭和52年度船型M. S. № 3522 の線図を作成した。

3.2.2 プロペラ

プロペラの設計に当っては下記の諸点を考慮して設計した。

- (1) 母型 (M. S. № 3330) をもとにして、 $L_{pp} = 192.0\text{m}$ $B = 32.0\text{m}$ として、運輸省方式による計画満載スピード (85% MCR 15% SM) 14ノットの条件で、それに対応した馬力、回転数を求め、44% ∇_F でプロペラ先端が水面上にあまり出ない様にプロペラ直径をきめる。
 - (2) 13,700 BHP × 85 RPM用のプロペラとする。
 - (3) キャビテーションに対しては船研ライン（パリルの5%ラインにはば一致）を使用する。
 - (4) 自航状態を満足するように船速、伴流係数、プロペラ効率比等を修正する。
 - (5) 翼数は5翼を基準とし展開面積比は0.5程度までは小さくてもよい。
 - (6) プロペラは模型船自航試験用とする。
- 以上によりプロペラ M. P. № 2185 を設計した。

3.3 昭和52年度船型の水槽試験

3.3.1 試験の実施

試験は昭和52年12月7日から昭和53年1月18日にわたって日本造船技術センター（目白水槽）の第1水槽で実施された。実施された試験項目は、6.0 m 模型船を用いた抵抗試験、自航試験、プロペラ荷重度変更試験 ($F_n = 0.18$ のみ)、44% ∇_F における後進の抵抗・自航試験、自航試験に使用したプロペラの単独試験および5孔管による伴流計測である。試験状態は満載状態、バラスト(1), (2)状態の3種である。各状態の排水量、トリム等をTable 3.3.1に示す。なお同表中には計測を実施した各試験状態のプロペライマージョン、速度範囲および試験時の水温も合せて示してある。また、上記試験に際して、ガイド装置を介して模型船の船首尾の沈下量と横力を計測した。

ガイド装置の位置は、S. S. № 9 1/2 および A. P. である。また、曳引力（抵抗）、スラスト、トルク、および横力の計測はアナログ記録によった。

プロペラ単独試験は、日本造船技術センターの標準レイノルズ数 ($R_n = \frac{nD}{\nu} \approx 6 \times 10^5$) より定められた回転数 (13.0 rps) について実施した。試験時の水温は18.5°Cである。速度はすべて対地速度である。

3.3.2 供試模型

供試模型船 M. S. № 3522 の線図、船首尾形状および横截面積曲線図をFig 3.3.1, Fig 3.3.2 に示す。模型船は、6.0 m のパラフィン製で、舵は付いているが、ビルデキールは付いていない。また、乱流促進のため S. S. № 9 1/2 にスタッドを打ってある。スタッドの断面形状は台形、高さ 1.0 mm である。また、各種試験時の曳航点は船体中央から後方約10cm、高さはベースライン上約12cmである。

供試プロペラの形状をFig 3.3.3 に、主要目をTable 3.3.2 に示す。

3.3.3 試験結果および考察

供試模型船の母型船型として、M. S. № 3330 を採用したので本試験の解析に当っては比較等を考慮して、M. S. № 3330 と同一の解析方法をとった。

(1) 抵抗試験

Fig 3.3.4, 5, 6 に抵抗試験結果を示す。

Fig. 3.3.4 は Correlation Line として I.T.T.C. 1957 Line を使用した場合の剩余抵抗係数、Fig. 3.3.5 は同じく Hughes の Basic Line を採用した場合の造波抵抗係数を示した。後者の場合低フルード数における抵抗試験の結果から、形状影響係数 K の値を満載状態で 0.49、バラスト(1)、(2)状態では 0.48、0.46 とした。この値は M. S. № 3330 と比較して、満載状態、バラスト(1)状態については同じであった。また、低速領域で平均線からはずれている実験点が見られるが、これは乱流促進の不足と思われる。

Fig. 3.3.6 には、バラスト(1)状態における後進の抵抗試験結果を I.T.T.C. 1957 Line を使用して剩余抵抗係数の形で示した。同図中には、バラスト(1)状態の前進時の抵抗試験結果を参考のために併せて記入した。なお、抵抗試験時に船首尾のガイド装置の位置で横力を計測したが、船首尾とも有意な横力の存在がみとめられなかったので本報告には省略した。

(2) プロペラ単独試験

Fig. 3.3.7 に前進状態での M. P. № 2185 のプロペラ単独試験結果を、Fig. 3.3.8 に後進でのプロペラ単独試験結果を示す。自航試験等の解析には、このプロペラ単独試験結果を使用した。

(3) 自航試験

Fig. 3.3.9 に自航試験結果を示す。図中には η_R 、 $1-t$ 、 $1-W_T$ の他に横力 Y を $\frac{1}{2} \rho \nabla^2 \frac{v^2}{3}$ で無次元化した値を示してある。

Y (A. P.) とあるのは、S. S. № A. P. で、 Y (FORE) とあるものは S. S. № 9 1/2 で計測したものである。横力 Y の表示において、プラスは船体後方より見て右向きの力が加わった場合である。 η_R 、 $1-t$ は、M. S. № 3330 と比較して、 η_R は M. S. № 3522 が大きく、 $1-t$ は M. S. № 3330 が大きい。 $1-W_T$ では各試験状態とも大きな差が出ている。また満載状態では比較的実験点は安定しているがバラスト(1)、(2)状態では $F_n = 0.19$ の近くで段差が生じている。これは高速領域で空気吸い込みが発生したものと思われる。一方、S.R. 159 の報告によると、M. S. № 3330 のバラスト状態に見られる段差は不安定現象によるものである。

横力 Y の大きさは $1-W_T$ の大小に対応している。 $1-W_T$ の小さい時、船尾の横力 Y (A. P.) はマイナス側で $1-W_T$ の大きい時横力 Y (A. P.) がプラス側という S.R. 159 研究部会の報告にほぼ合っている。

Fig. 3.3.10 には後進の自航試験結果を横力 Y とともに示す。速度範囲は自航試験の計測が行なえる範囲とした。 $F_n = 0.12$ 近くより空気吸い込みが激しくなるのが模型試験で見られた。

横力 Y は A. P. (プロペラ作動側) ではほとんど変化がないが、横力 Y (FORE) は前進時の A. P. (プロペラ作動側) の横力 Y の 10 倍近い値を示している。なおプロペラ荷重度は実船用として [I.T.T.C. 1957 Line ± 0.000025 (ΔC_f)]、模型船用として [I.T.T.C. 1957 Line] を採用して摩擦抵抗修正を行なった。M.S. № 3330 で使用された ΔC_f は 0.00020 である。M. S. № 3330 と M. S. № 3522 の摩擦修正量、レイノルズ数、プロペラ荷重度等の相異は自航要素に影響を与えないものとして M. S. № 3330 との比較を行っている。図中同一航走中のアナログ記録の異なるものの平均値をグループごとに記号を変えて示した。

(4) 有効馬力等

Fig. 3.3.11 は Fig. 3.3.4 に示した剩余抵抗係数をもとに、 ΔC_f を -0.0001 としたときの M. S. № 3522 および M. S. № 3330 の有効馬力を示す。

Fig. 3.3.12 に伝達馬力、プロペラ回転数等を示した。

Table 3.3.3 に満載状態、バラスト状態の自航要素等を M. S. № 3330 と比較して示した。

Fig. 3.3.13 に実船換算の制動馬力を示す。

これらを見ると船体効率 η_H は M. S. № 3330 に比較して約 20% 悪くなるが、推進係数 η は約 8 % 良くなっている。満載状態における伝達馬力も約 8 % 程度低下している。

(5) プロペラ荷重度変更試験

Fig. 3.3.14にはプロペラ荷重度変更試験の結果を示した。横軸はスラストTをプロペラ直徑Dを用いて無次元化した $C_T = T / \rho v^2 D^2$ である。 $C_T = 0$ の付近では η_R と $1-t$ の実験点がないが、これは、この付近では計測量が小さいために充分な精度が得られないで省いたためである。

図中○印を線で結んだものは、同一航走中のアナログ記録の異なったものの平均値を読みとったものである。 η_R , $1-t$, $1-W_T$ は満載状態、バラスト(2)状態とも同一航走中の変動は大きくないが、 $1-t$, $1-W_T$ は高荷重になるに従って大きくなる傾向が見られる。横力Yは満載状態、バラスト(2)状態ともにプロペラ荷重の増減による一定の傾向は見られない。

(6) アナログ記録

Fig. 3.3.15, 16にプロペラ荷重度変更試験時のアナログ記録の例を示す。同図中にはプロペラのスラストT、曳引力△R、プロペラのトルクQ、横力Y (A.P.) Y (FORE) が示してある。

Fig. 3.3.17に自航試験時におけるバラスト(1), (2)状態のアナログ記録の例を示した。この記録は空気吸い込みが発生していると思われる $F_n = 0.20$ のものであるが、スラスト、トルク等の変動は大体同じ様な記録となっている。

(7) 船体沈下量

Fig. 3.3.18に抵抗、自航試験時の船体沈下量 δ を模型船長さ (L_{PP}) で無次元化した δ / L_{PP} を示した。抵抗試験時より自航試験時の方が船尾の沈下量が増加し、船首のそれが減少する傾向が見られる。

Fig. 3.3.19には後進時における抵抗、自航試験時の船体沈下量を示す。後進時の沈下量は船尾側 (A.P.) が少ないが抵抗、自航試験による差はほとんどない。

Fig. 3.3.20にプロペラ荷重度変更試験時の船体沈下量を示す。プロペラ荷重度の変更による変化が多少見られる。

(8) 伴流計測

Fig. 3.3.21, 22に球型5孔管による船尾流場の計測結果を示す。計測は $F_n = 0.18$ での抵抗状態で、計測断面は A. P. より 60mm 前方の位置 (プロペラの 0.7 R のピッチ面に相当するところ) で左舷側のみを計測した。なお舵はつけていない。 V_x の分布および V_y , V_z のベクトル表示を各状態ごとに一つにまとめて記入した。Fig. 3.3.23に平均伴流を示す。Table 3.3.4, 5 に計測値を示した。

Table 3.3.1 Principal Dimensions Etc. M.S. No. 3522

CONDITION		FULL	BALLAST(1)	BALLAST(2)	BALLAST(3)
L_{PP} (m)		6.0000 (192.0)			
B (m)		1.0000 (32.0)			
DRAFT (m)	F.P.	0.3622 (11.59)	0.1096	0.1242	0.1096
	X		0.1696	0.1692	0.1696
	A.P.		0.2296	0.2142	0.2296
∇/∇_F		100.0	44.0	44.0	44.0
∇_M (m)		1.74239	0.76665	0.76665	0.76665
TRIM (% L_{PP})		0	2.0	1.5	2.0
L_{PP}/B		6.0	6.0	6.0	6.0
B/d_X		2.761	5.896	5.910	5.896
C_B		0.802	0.753	0.755	0.753
C_P		0.810	0.769	0.771	0.769
C_M		0.990	0.980	0.980	0.980
C_w		0.875	0.812	0.810	0.812
lcb (% L_{PP})		- 1.489	2.135	1.029	2.135
PROP. IMMERSION/ D		1.109	0.511	0.442	0.511
RANGE OF SPEED (F_n)	R.T.	0.06 ~ 0.21	0.06 ~ 0.24	0.06 ~ 0.24	0.06 ~ 0.13
	S.P.T.	0.10 ~ 0.21	0.10 ~ 0.24	0.10 ~ 0.24	0.06 ~ 0.13
	P.L.T.	0.18	-	0.18	-
TEMP. OF WATER(°C)		18.5	18.5	18.5	16.4
			A H E A D		ASTERN

備 考 R.T. RESISTANCE TEST
 S.P.T. SELF-PROPELLION TEST
 P.L.T. PROPELLER LOAD TEST

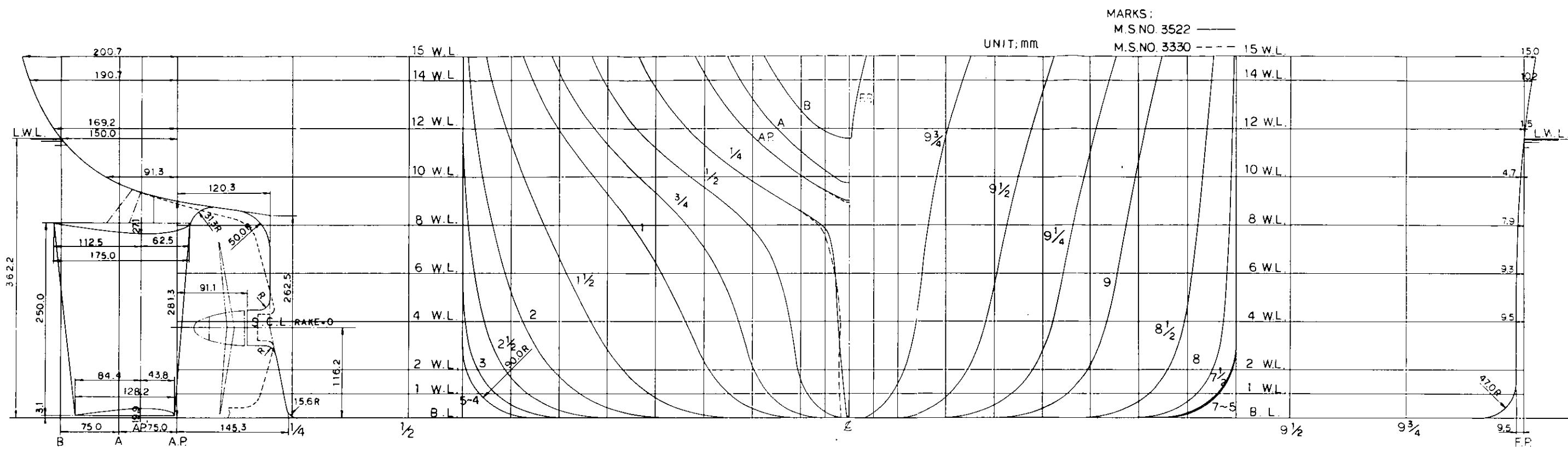


Fig. 3.3.1 Model Ship No. 3522

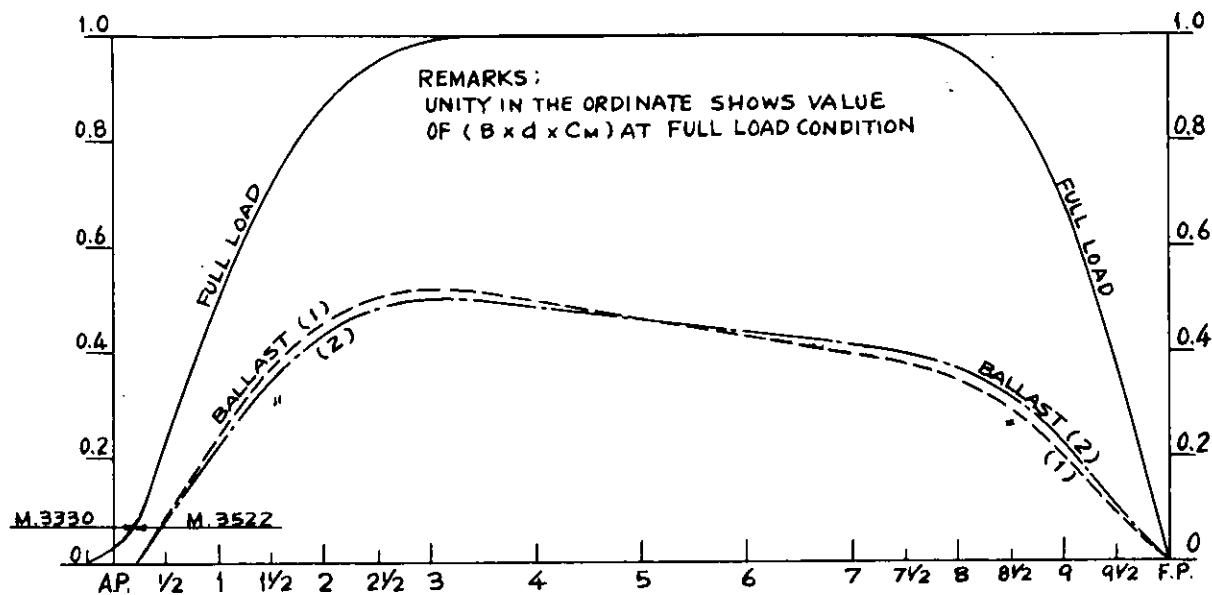


Fig. 3.3.2 Sectional Area Curves

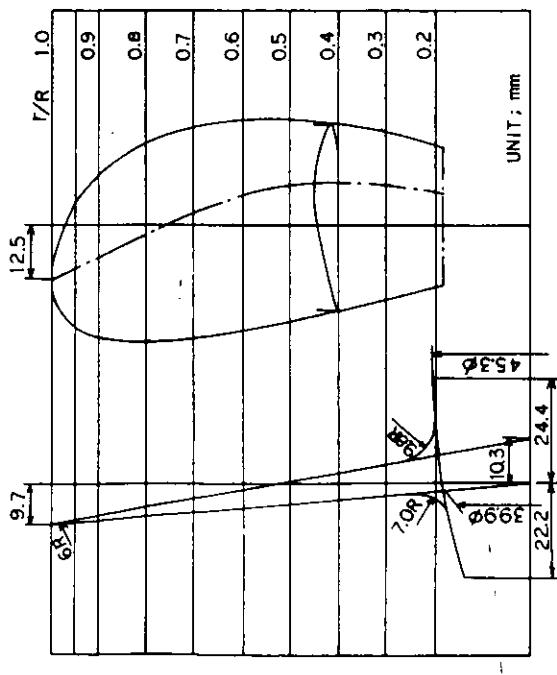


Fig. 3.3.3 Model Propeller No. 2185

Table 3.3.2 Model Propeller M.P. No. 2185

DIAMETER (m)	MODEL 0.2219	ACTUAL 7.100
PITCH RATIO (CONST.)	0.812	
BOSS RATIO	0.180	
EXPANDED AREA RATIO	0.492	
MAX. BLADE WIDTH RATIO	0.223	
BLADE THICKNESS RATIO	0.0465	
ANGLE OF RAKE	5° - 0°	
NUMBER OF BLADES	5	
BLADE SECTION	MAU	
DIRECTION OF TURNING	RIGHT - HANDED	

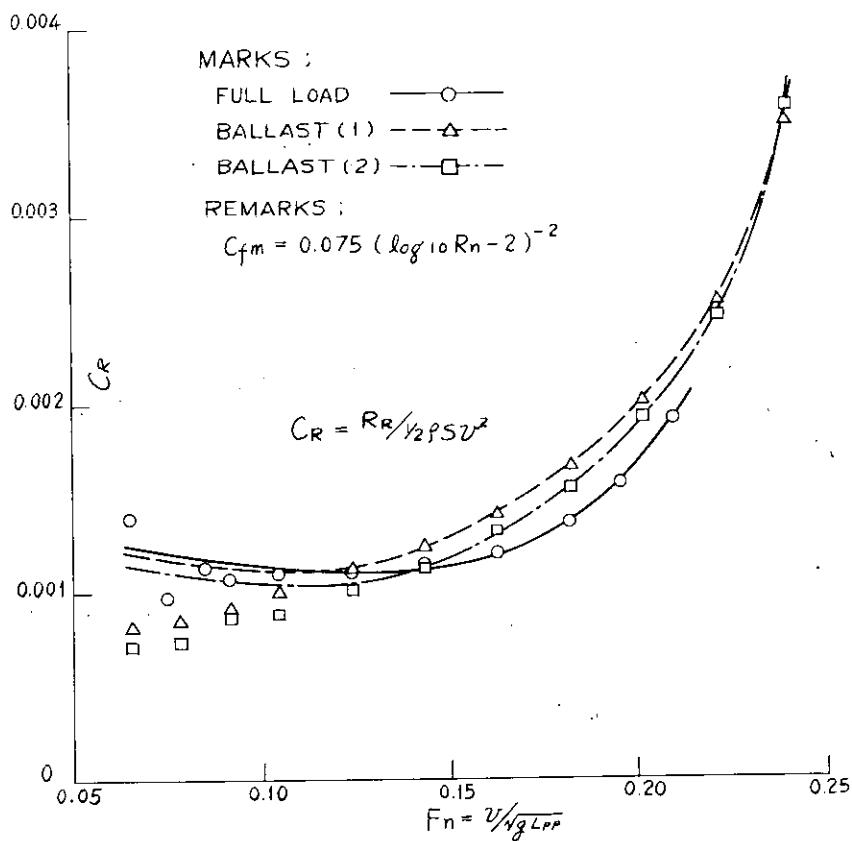


Fig. 3.3.4 Result of Resistance Test

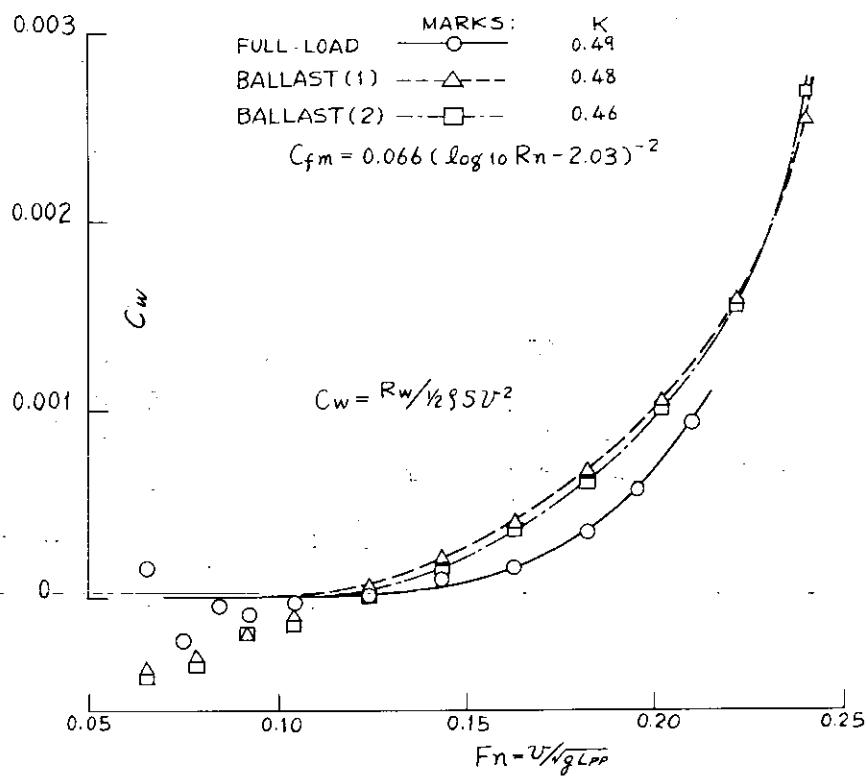


Fig. 3.3.5 Result of Resistance Test

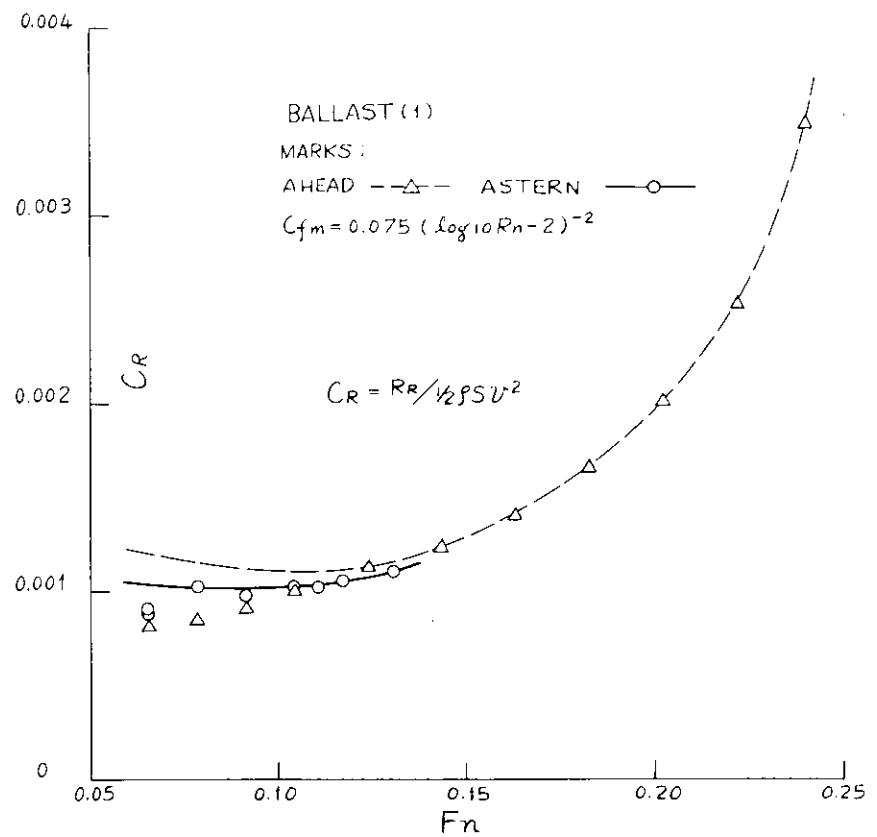


Fig. 3.3.6 Result of Resistance Test

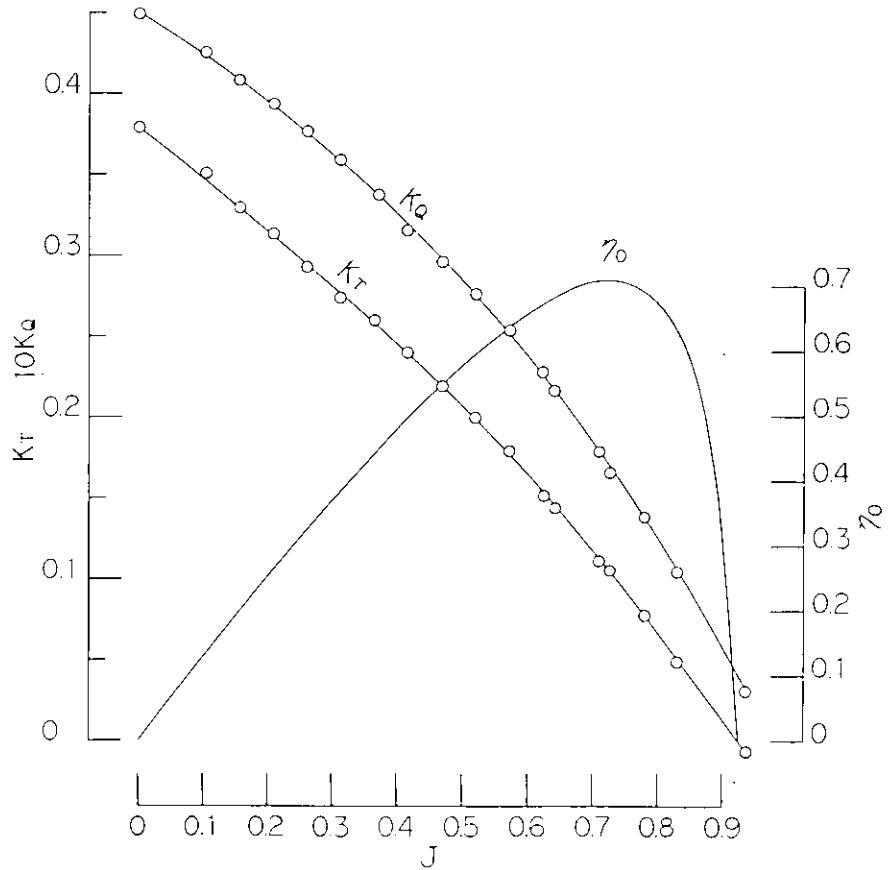


Fig. 3.3.7 Result of Propeller Open Test (Ahead)

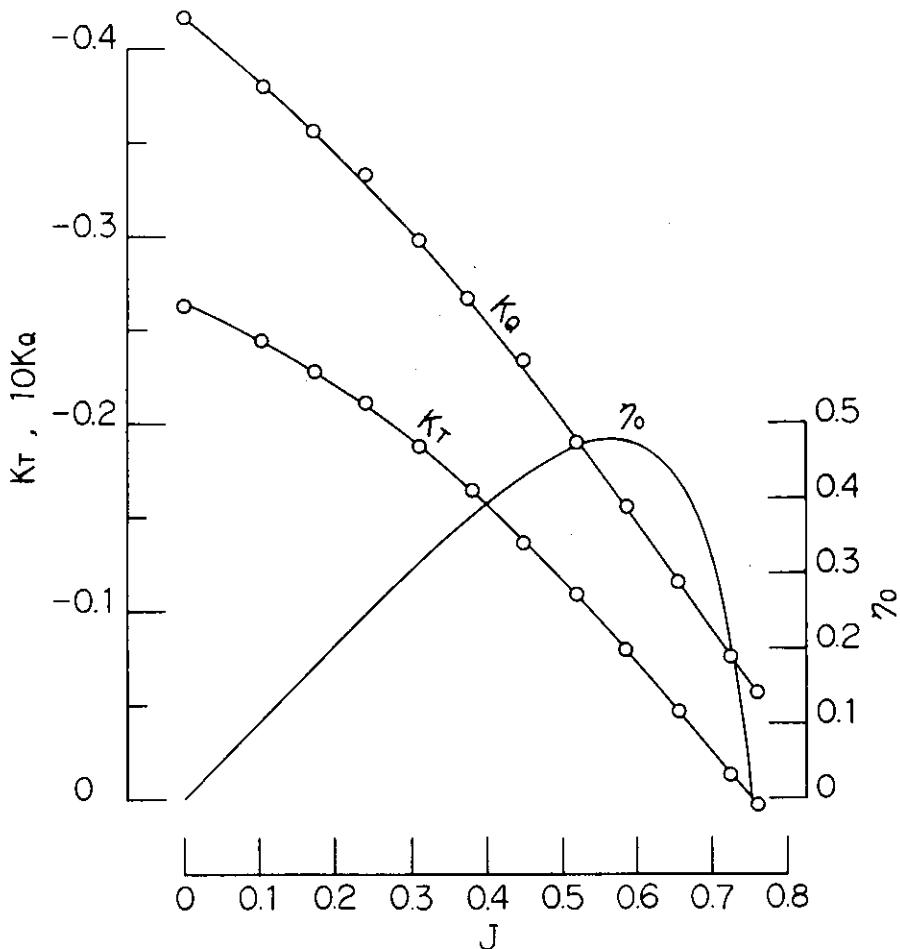


Fig. 3.3.8 Result of Propeller Open Test (Astern)

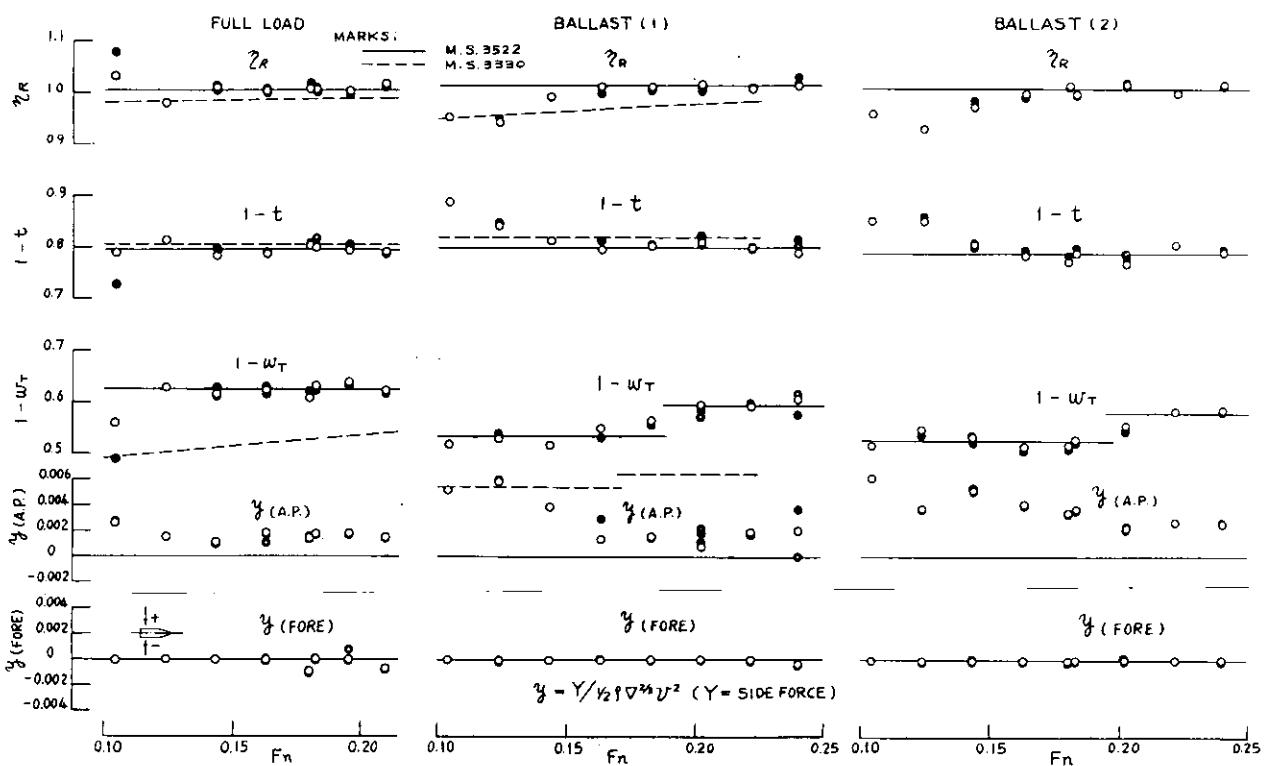


Fig. 3.3.9 Result of Self-Propagation Test

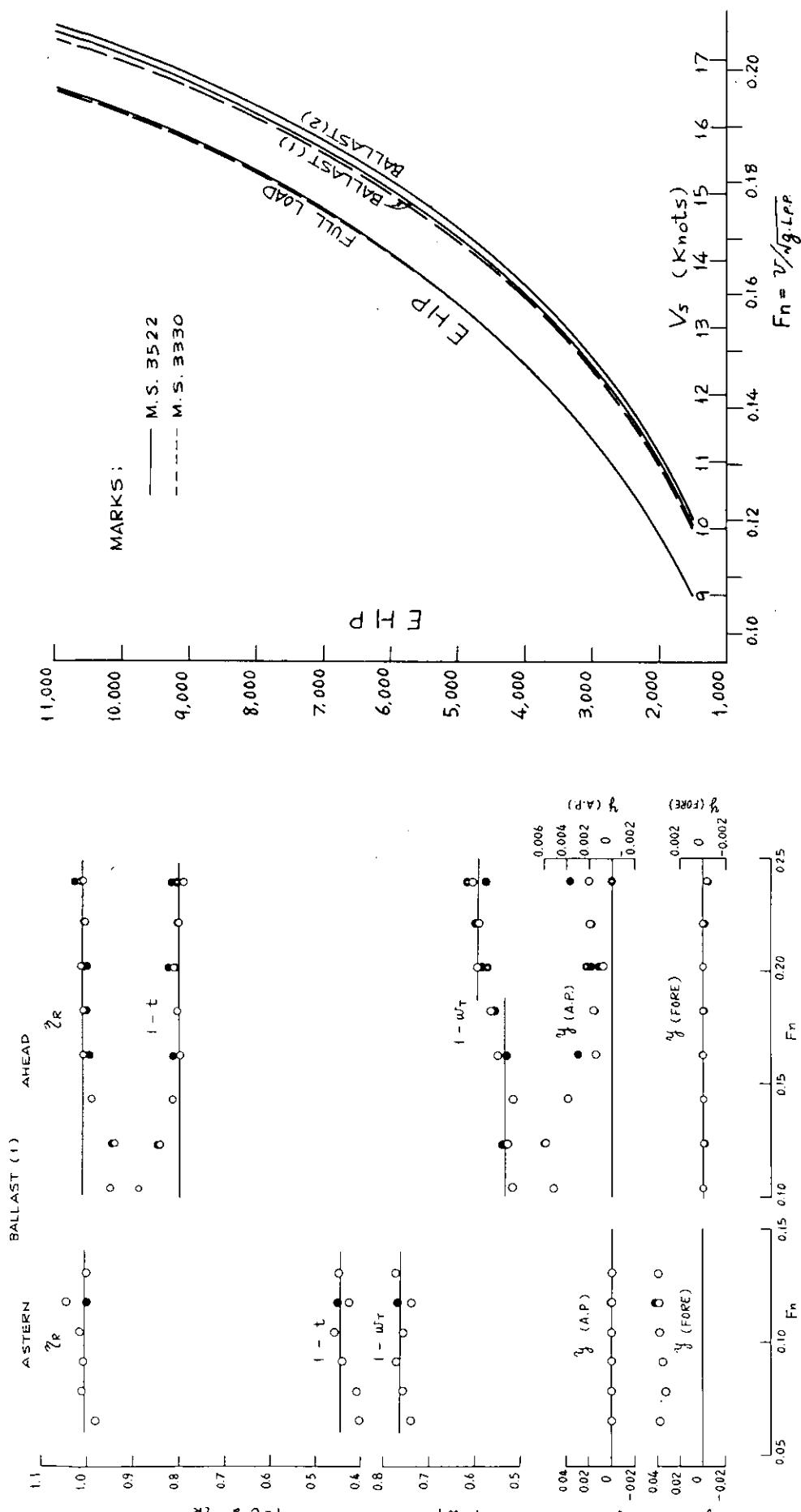
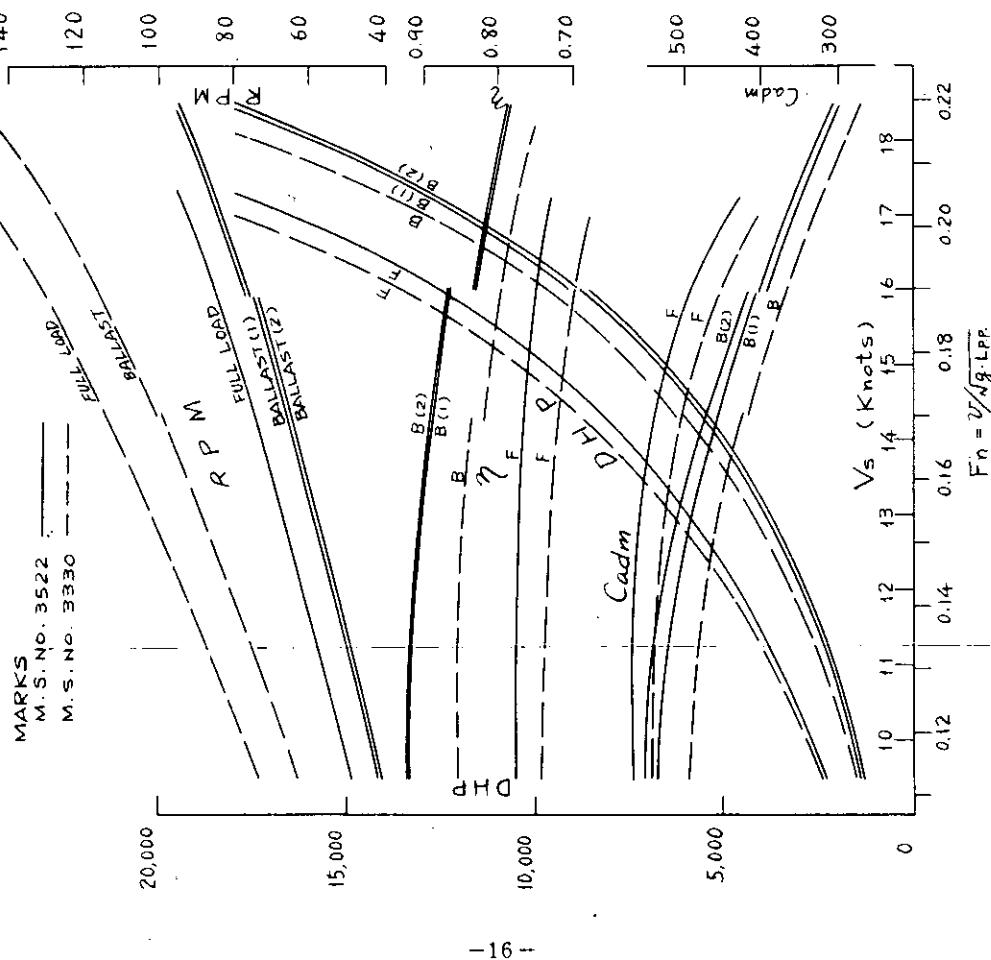


Fig. 3.3.11 EHP Curves

Table 3.3.3 Comparison of Self-Propulsion Factors ETC. Full Load ($F_n = 0.16$)



項目	M. S. №	(SR 3330) (SB 159)	(SB 3522) (SB 174)
プロペラ直徑 (m)		5.6 m	7.10 m
プロペラ直徑の比較		1.0	1.268
η_R		0.985	1.005
$1-t$		0.805	0.795
$1-W_T$		0.518	0.625
η_H		1.554	1.272
η_O		0.475	0.604
η		0.727	0.772

BALLAST(1) ($F_n = 0.18$)

η_R	0.974	1.015
$1-t$	0.820	0.800
$1-W_T$	0.460	0.540
η_H	1.783	1.481
η_O	0.466	0.587
η	0.809	0.882

Fig. 3.3.12 DHP Curves

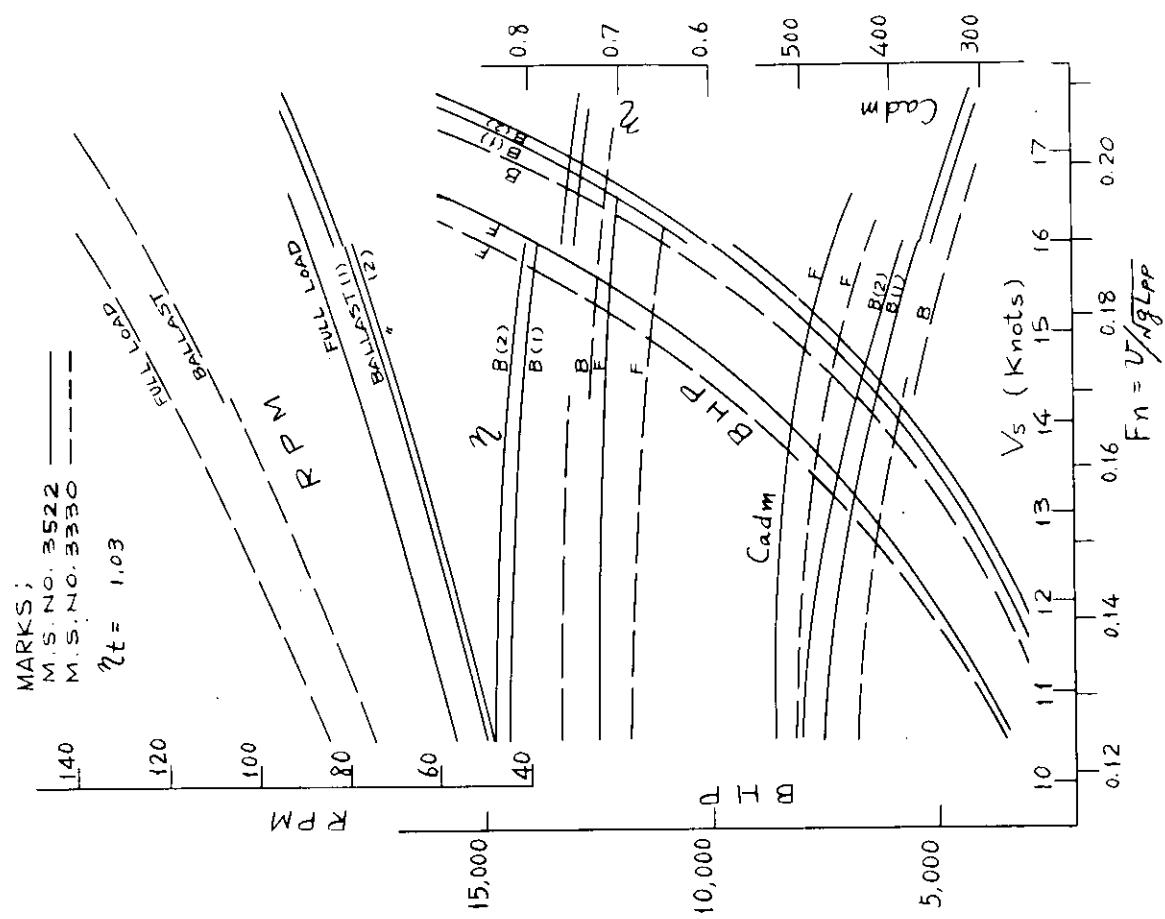


Fig. 3.3.13 BHP ETC Curves

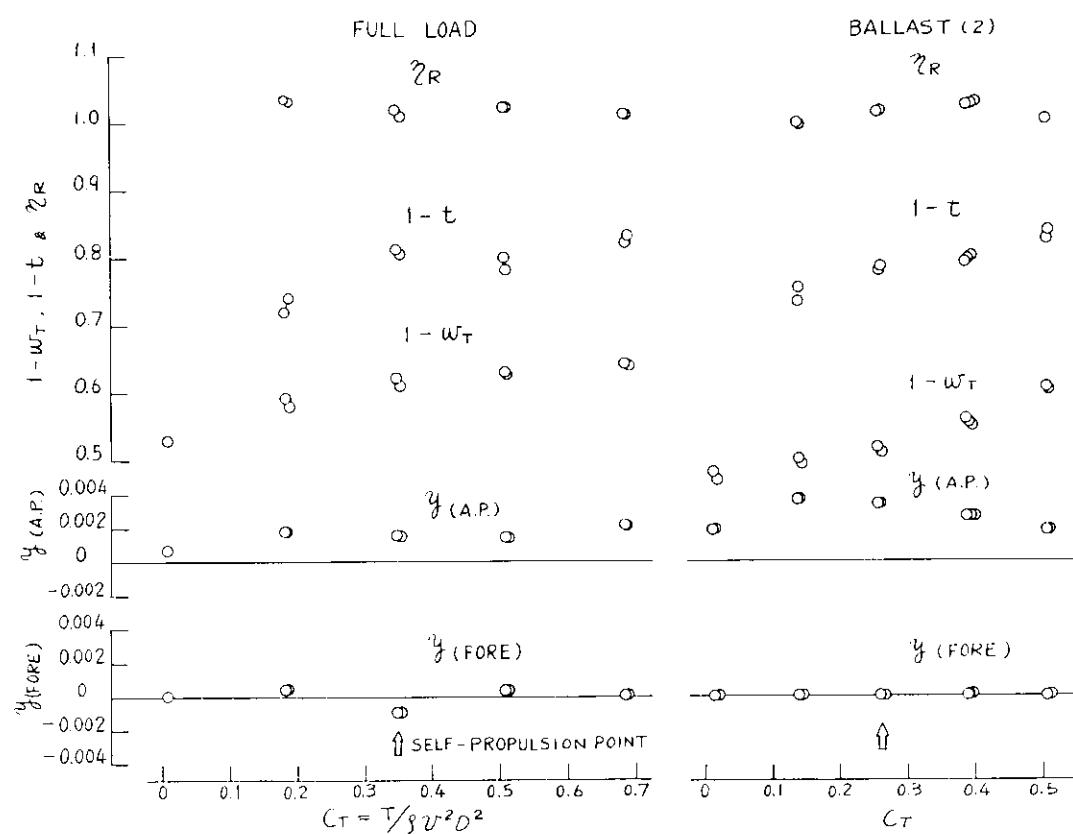


Fig. 3.3.14 Result of Prop. Load Test ($F_n = 0.18$)

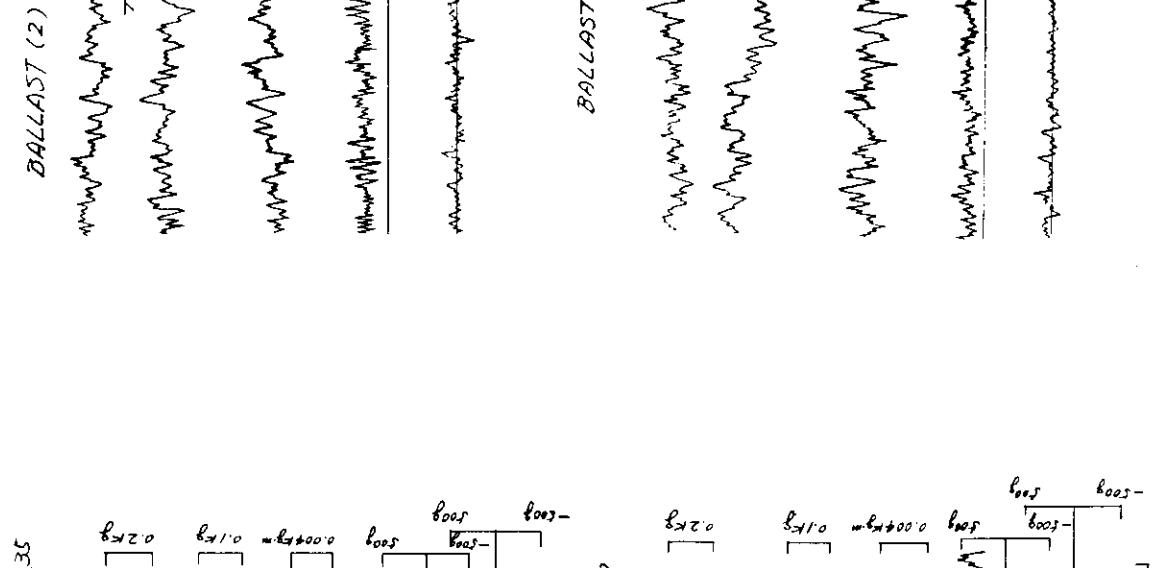
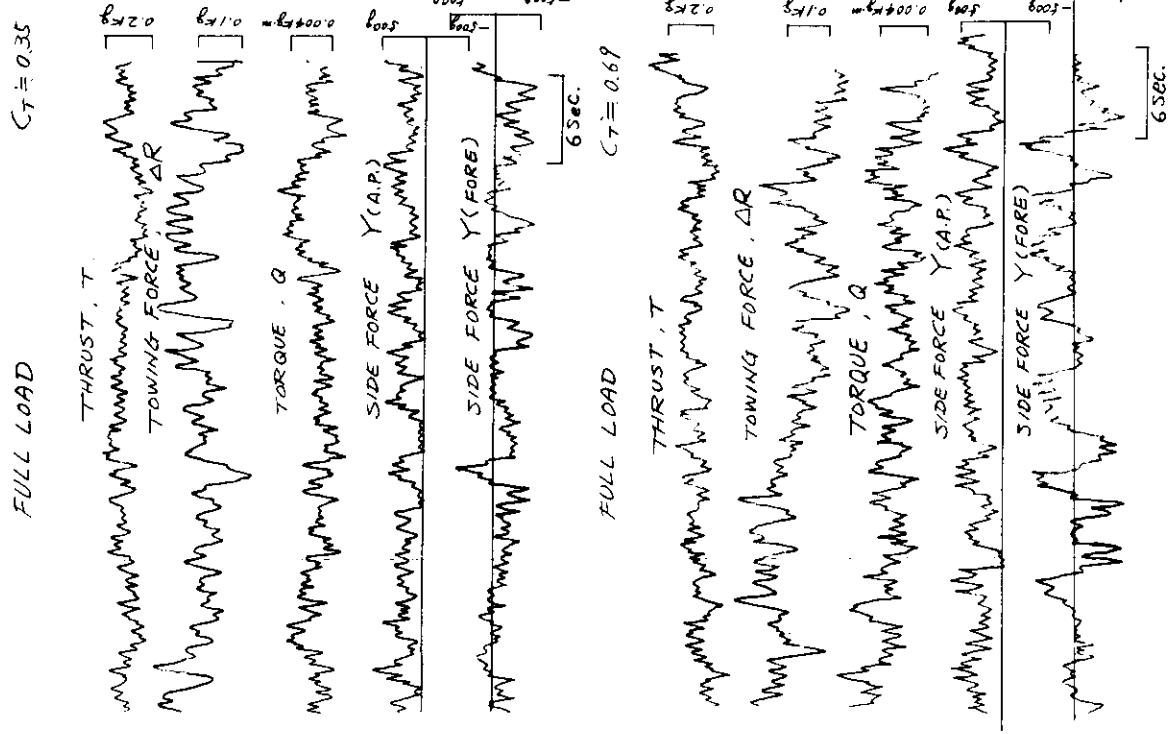


Fig. 3.3.15 Example of Records

Fig. 3.3.16 Example of Records

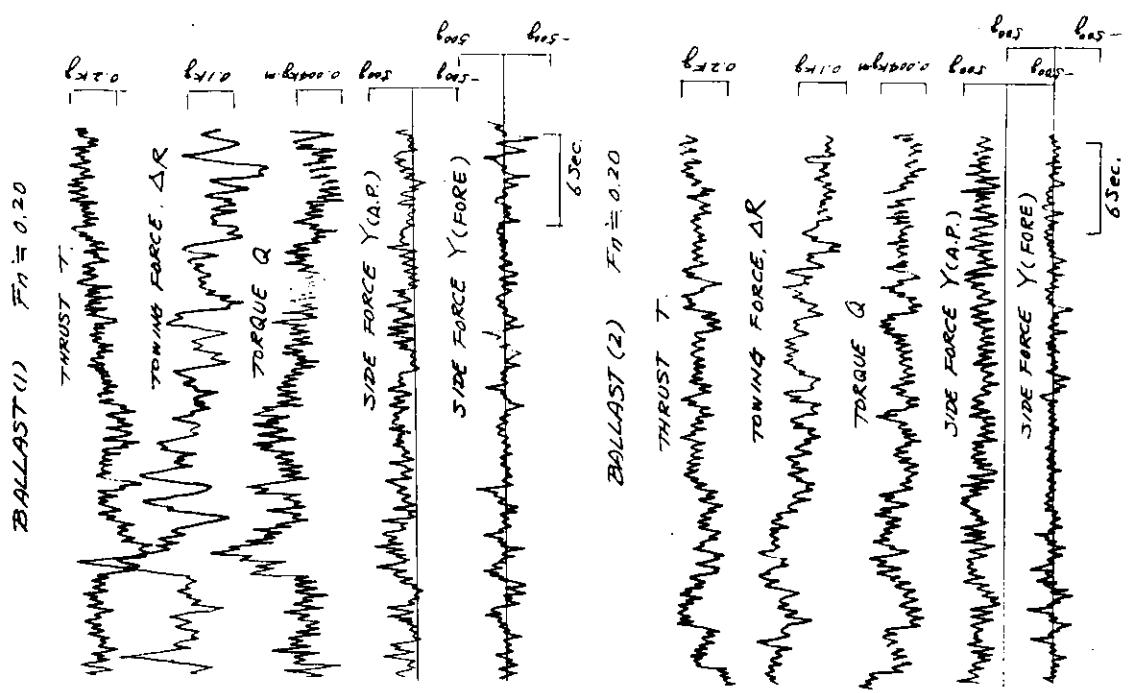


Fig. 3.3.17 Example of Records

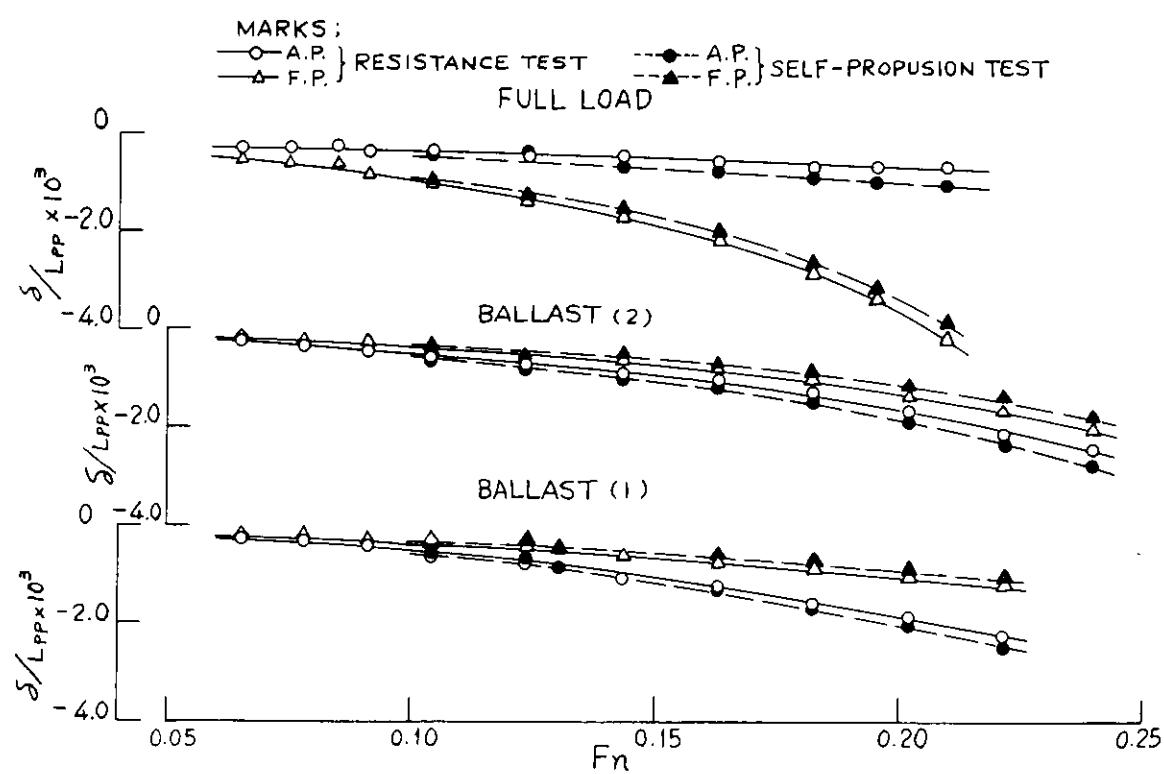


Fig. 3.3.18 Dipping at Resistance Test & Self-Propulsion Test

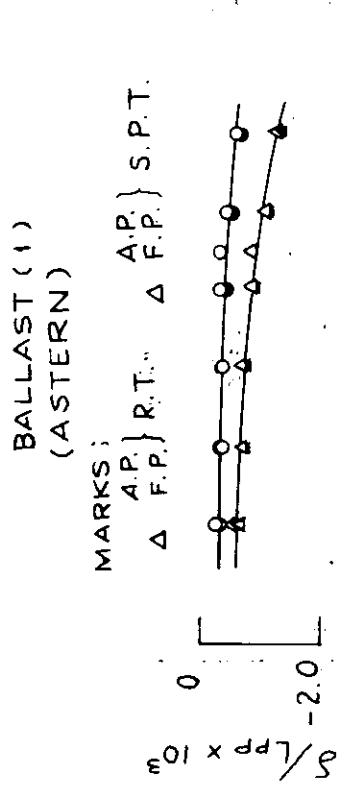


Fig. 3.3.19 Dipping at Resistance Test & Self-Propulsion Test

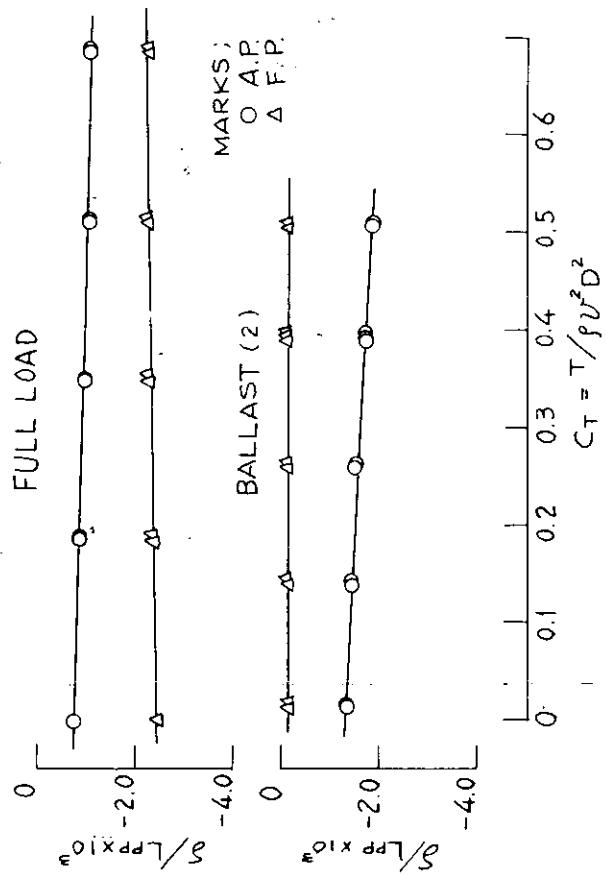


Fig. 3.3.20 Dipping at Propeller Load Test (Ahead) ($Fn = 0.18$)

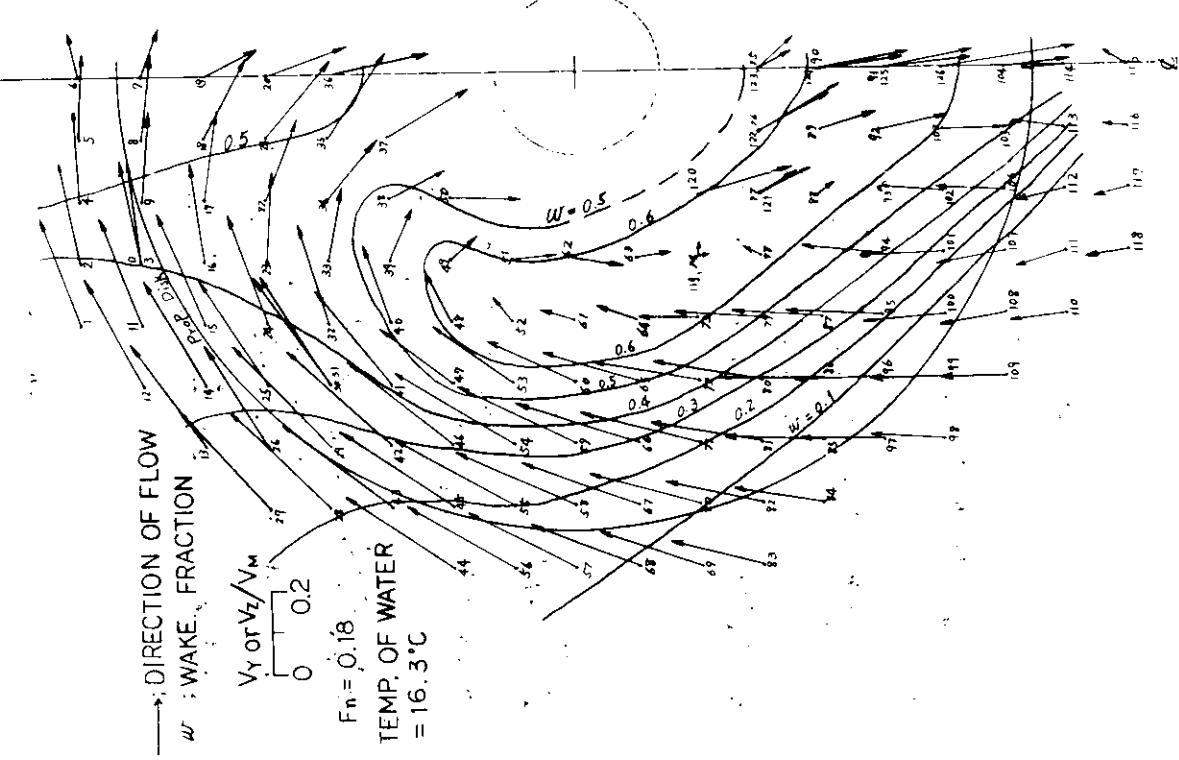


Fig. 3.3.21 M.S. 3522 Flow Patterns Full Load

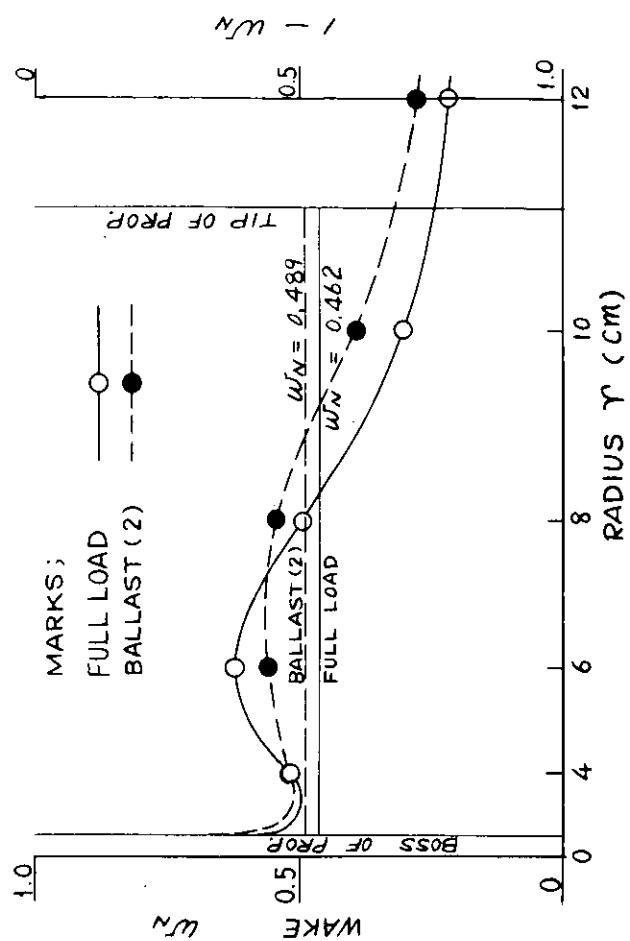


Fig. 3.3.23 Axial Distributions of Circumferential Mean Wake

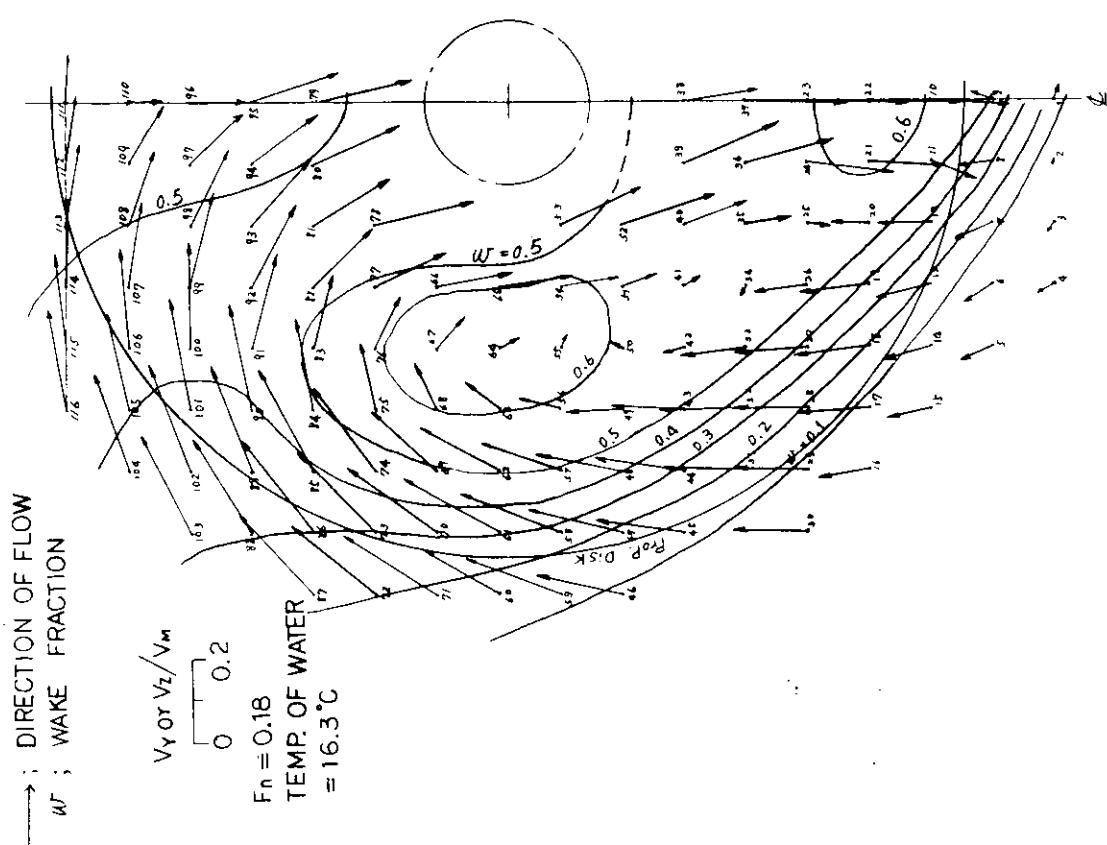


Fig. 3.3.22 M.S. 3522 Flow Patterns Ballast (2)

Table 3.3.4

V E L O C I T Y S U R V E Y

FIVE-HOLE SPHERICAL PITOT TUBE

MODEL SHIP NO.3522

CONDITION FULL LOAD

DATE-S.53 . 1.17 TEMP. OF WATER(*C)=16.3

MODEL SPEED(M/S)=1.380

TABLE OF VELOCITY COMPONENT RATIO

EXP.NU.	Y	Z	WX	WY	WZ	VX	VY	VZ
	(MM)	(MM)				(M/S)	(M/S)	(M/S)
1	60.0	130.0	0.654	-.263	-.099	0.903	-.363	-.136
2	45.0	130.0	0.593	-.255	-.052	0.818	-.352	-.072
3	45.0	145.0	0.615	-.252	-.037	0.848	-.348	-.051
4	30.0	130.0	0.510	-.232	-.015	0.704	-.320	-.021
5	15.0	130.0	0.374	-.213	0.003	0.516	-.294	0.005
6	0.0	130.0	0.262	-.111	-.027	0.362	-.153	-.037
7	0.0	145.0	0.294	-.120	0.045	0.405	-.165	0.062
8	15.0	145.0	0.406	-.207	0.022	0.560	-.285	0.030
9	30.0	145.0	0.547	-.218	0.018	0.755	-.300	0.025
10	45.0	145.0	0.609	-.246	-.055	0.841	-.340	-.076
11	60.0	145.0	0.644	-.259	-.104	0.889	-.357	-.143
12	75.0	145.0	0.674	-.264	-.142	0.930	-.364	-.196
13	90.0	160.0	0.729	-.253	-.181	1.006	-.350	-.250
14	75.0	160.0	0.673	-.265	-.149	0.929	-.365	-.206
15	60.0	160.0	0.621	-.271	-.114	0.857	-.374	-.157
16	45.0	160.0	0.570	-.237	-.035	0.787	-.328	-.049
17	30.0	160.0	0.564	-.216	0.032	0.778	-.298	0.044
18	15.0	160.0	0.458	-.192	0.105	0.633	-.265	0.144
19	0.0	160.0	0.266	-.064	0.134	0.367	-.088	0.185
20	0.0	175.0	0.298	-.071	0.203	0.411	-.098	0.281
21	15.0	175.0	0.485	-.188	0.162	0.669	-.260	0.223
22	30.0	175.0	0.546	-.190	0.074	0.754	-.263	0.102
23	45.0	175.0	0.557	-.218	0.012	0.769	-.301	0.016
24	60.0	175.0	0.602	-.265	-.095	0.831	-.365	-.131
25	75.0	175.0	0.675	-.258	-.166	0.932	-.356	-.228
26	90.0	175.0	0.727	-.250	-.207	1.003	-.344	-.285
27	105.0	175.0	0.769	-.233	-.213	1.061	-.321	-.294
28	105.0	190.0	0.790	-.230	-.243	1.090	-.317	-.336
29	90.0	190.0	0.738	-.247	-.233	1.018	-.341	-.322
30	75.0	190.0	0.648	-.264	-.170	0.894	-.365	-.234
31	75.0	190.0	0.642	-.263	-.188	0.886	-.362	-.260
32	60.0	190.0	0.574	-.239	-.073	0.793	-.330	-.101
33	45.0	190.0	0.528	-.178	0.038	0.729	-.246	0.052
34	30.0	190.0	0.555	-.141	0.120	0.766	-.194	0.166
35	15.0	190.0	0.511	-.146	0.202	0.706	-.201	0.279

EXP.NO.	Y	Z	WX	WY	WZ	VX	vy	VZ
	(MM)	(MM)				(M/S)	(M/S)	(M/S)
36	0.0	190.0	0.341	-.050	0.253	0.470	-.068	0.349
37	15.0	205.0	0.539	-.117	0.248	0.744	-.162	0.342
38	30.0	205.0	0.512	-.068	0.141	0.706	-.094	0.195
39	45.0	205.0	0.454	-.123	0.056	0.626	-.169	0.078
40	60.0	205.0	0.479	-.187	-.067	0.661	-.258	-.093
41	75.0	205.0	0.547	-.228	-.182	0.755	-.314	-.251
42	90.0	205.0	0.700	-.233	-.252	0.966	-.322	-.348
43	105.0	205.0	0.786	-.206	-.269	1.084	-.285	-.371
44	120.0	220.0	0.848	-.177	-.267	1.170	-.245	-.369
45	105.0	220.0	0.805	-.185	-.282	1.110	-.255	-.390
46	90.0	220.0	0.680	-.207	-.260	0.938	-.285	-.359
47	75.0	220.0	0.473	-.181	-.178	0.653	-.250	-.246
48	60.0	220.0	0.377	-.125	-.065	0.520	-.173	-.089
49	45.0	220.0	0.385	-.054	0.067	0.531	-.074	0.093
50	30.0	220.0	0.533	0.003	0.174	0.735	0.004	0.240
51	45.0	235.0	0.401	-.009	0.102	0.553	-.013	0.141
52	60.0	235.0	0.324	-.064	-.045	0.447	-.089	-.062
53	75.0	235.0	0.437	-.138	-.191	0.602	-.190	-.264
54	90.0	235.0	0.658	-.174	-.290	0.908	-.240	-.401
55	105.0	235.0	0.801	-.162	-.292	1.106	-.224	-.403
56	120.0	235.0	0.867	-.155	-.265	1.196	-.214	-.366
57	120.0	250.0	0.881	-.134	-.263	1.216	-.185	-.363
58	105.0	250.0	0.831	-.132	-.293	1.147	-.182	-.404
59	90.0	250.0	0.673	-.142	-.286	0.929	-.196	-.395
60	75.0	250.0	0.462	-.102	-.213	0.637	-.141	-.294
61	60.0	250.0	0.340	-.029	-.083	0.469	-.041	-.114
62	45.0	250.0	0.386	0.020	0.124	0.533	0.028	0.171
63	45.0	265.0	0.364	-.014	0.083	0.503	-.020	0.115
64	60.0	265.0	0.335	-.038	-.096	0.463	-.052	-.133
65	75.0	265.0	0.475	-.070	-.224	0.655	-.096	-.309
66	90.0	165.0	0.681	-.099	-.298	0.940	-.136	-.411
67	105.0	265.0	0.858	-.104	-.284	1.184	-.143	-.392
68	120.0	265.0	0.904	-.102	-.264	1.247	-.141	-.364
69	120.0	280.0	0.922	-.088	-.246	1.272	-.122	-.340
70	105.0	280.0	0.899	-.079	-.270	1.241	-.109	-.373
71	90.0	280.0	0.811	-.076	-.288	1.119	-.105	-.397
72	75.0	280.0	0.585	-.048	-.259	0.807	-.067	-.358
73	60.0	280.0	0.391	-.004	-.147	0.539	-.005	-.203
74	45.0	280.0	0.330	-.004	0.031	0.455	-.005	0.043
75	0.0	295.0	0.446	-.048	0.084	0.616	-.066	0.116
76	15.0	295.0	0.416	-.092	0.174	0.574	-.126	0.241
77	30.0	295.0	0.383	-.054	0.096	0.528	-.074	0.133
78	45.0	295.0	0.380	-.027	-.041	0.525	-.037	-.056
79	60.0	295.0	0.524	-.017	-.214	0.723	-.023	-.295
80	75.0	295.0	0.709	-.046	-.267	0.978	-.064	-.368
81	90.0	295.0	0.879	-.046	-.271	1.213	-.063	-.374
82	105.0	295.0	0.923	-.053	-.243	1.273	-.073	-.336
83	120.0	295.0	0.923	-.060	-.228	1.274	-.082	-.314
84	105.0	310.0	0.934	-.039	-.222	1.290	-.054	-.306
85	90.0	310.0	0.922	-.010	-.240	1.272	-.013	-.332
86	75.0	310.0	0.818	-.003	-.260	1.129	-.004	-.359
87	60.0	310.0	0.624	-.015	-.224	0.861	-.021	-.309
88	30.0	310.0	0.437	-.026	0.032	0.603	-.036	0.044
89	15.0	310.0	0.437	-.043	0.139	0.603	-.060	0.192

EXP.NO.	Y	Z	WX	WY	WZ	VX	vy	VZ
	(MM)	(MM)				(M/S)	(M/S)	(M/S)
90	0.0	310.0	0.410	-.028	0.203	0.565	-.038	0.280
91	0.0	325.0	0.406	-.042	0.229	0.560	-.058	0.317
92	15.0	325.0	0.443	-.034	0.163	0.611	-.047	0.225
93	30.0	325.0	0.446	-.010	-.011	0.615	-.014	-.015
94	45.0	325.0	0.598	-.021	-.200	0.825	-.030	-.276
95	60.0	325.0	0.798	-.017	-.240	1.101	-.024	-.332
96	75.0	325.0	0.934	0.004	-.220	1.288	0.006	-.303
97	90.0	325.0	0.943	-.005	-.210	1.302	-.007	-.290
98	90.0	340.0	0.955	-.012	-.187	1.317	-.017	-.258
99	75.0	340.0	0.948	0.003	-.187	1.309	0.004	-.258
100	60.0	340.0	0.927	0.016	-.199	1.280	0.022	-.274
101	45.0	340.0	0.783	0.002	-.208	1.080	0.003	-.287
102	30.0	340.0	0.537	-.012	-.155	0.741	-.016	-.215
103	15.0	340.0	0.383	-.002	0.159	0.528	-.003	0.220
104	0.0	355.0	0.341	-.018	0.170	0.471	-.025	0.234
105	15.0	355.0	0.386	-.012	0.035	0.533	-.017	0.048
106	30.0	355.0	0.740	-.012	-.166	1.021	-.017	-.229
107	45.0	355.0	0.915	0.028	-.167	1.263	0.039	-.231
108	60.0	355.0	0.941	0.023	-.160	1.299	0.031	-.221
109	75.0	355.0	0.946	-.000	-.161	1.305	-.001	-.223
110	60.0	370.0	0.950	0.014	-.140	1.311	0.019	-.193
111	45.0	370.0	0.940	0.033	-.127	1.297	0.045	-.175
112	30.0	370.0	0.927	0.029	-.121	1.280	0.041	-.167
113	15.0	370.0	0.727	-.016	-.131	1.004	-.023	-.180
114	0.0	370.0	0.591	-.006	-.108	0.816	-.009	-.149
115	0.0	385.0	0.935	-.037	-.059	1.290	-.052	-.081
116	15.0	385.0	0.939	-.001	-.058	1.296	-.001	-.080
117	30.0	385.0	0.941	0.018	-.084	1.299	0.025	-.116
118	45.0	385.0	0.944	0.013	-.107	1.303	0.018	-.148
119	45.0	280.0	0.297	-.035	0.001	0.410	-.048	0.001
120	30.0	280.0	0.403	-.065	0.229	0.556	-.089	0.316
121	30.0	295.0	0.358	-.063	0.128	0.493	-.087	0.176
122	15.0	295.0	0.366	-.115	0.200	0.505	-.159	0.276
123	0.0	295.0	0.392	-.080	0.086	0.541	-.111	0.119
124	0.0	310.0	0.376	-.040	0.223	0.520	-.055	0.308
125	0.0	325.0	0.385	-.020	0.225	0.532	-.028	0.310
126	0.0	340.0	0.362	-.047	0.334	0.500	-.064	0.461

Table 3.3.5

V E L O C I T Y S U R V E Y

FIVE-HOLE SPHERICAL PITOT TUBE

MODEL SHIP NO. 3522

CONDITION BALLAST (2)

DATE-S. 53.1.18 TEMP. OF WATER(*C)=16.3

MODEL SPEED(M/S)=1.380

TABLE OF VELOCITY COMPONENT RATIO

EXP.NO.	Y (MM)	Z (MM)	WX	WY	WZ	VX (M/S)	VY (M/S)	VZ (M/S)
1	0.0	240.0	0.929	-.038	0.012	1.282	-.052	0.016
2	15.0	240.0	0.936	-.004	0.003	1.291	-.006	0.004
3	30.0	240.0	0.946	0.023	-.017	1.305	0.032	-.023
4	45.0	240.0	0.948	0.022	-.042	1.309	0.030	-.058
5	60.0	225.0	0.944	0.034	-.080	1.303	0.047	-.110
6	45.0	225.0	0.938	0.043	-.072	1.295	0.059	-.099
7	30.0	225.0	0.860	0.036	-.092	1.187	0.050	-.126
8	15.0	225.0	0.700	0.007	-.084	0.966	0.010	-.116
9	0.0	225.0	0.608	-.021	-.052	0.839	-.029	-.072
10	0.0	210.0	0.359	0.013	0.193	0.496	0.018	0.266
11	15.0	210.0	0.362	0.040	0.111	0.500	0.055	0.153
12	30.0	210.0	0.639	0.001	-.131	0.881	0.001	-.181
13	45.0	210.0	0.879	0.035	-.134	1.213	0.048	-.185
14	60.0	210.0	0.934	0.034	-.120	1.289	0.047	-.165
15	75.0	210.0	0.956	0.025	-.108	1.320	0.035	-.149
16	90.0	195.0	0.951	0.020	-.131	1.312	0.028	-.180
17	75.0	195.0	0.829	0.010	-.182	1.143	0.014	-.251
18	60.0	195.0	0.625	0.021	-.186	0.862	0.029	-.256
19	45.0	195.0	0.709	0.016	-.172	0.978	0.023	-.238
20	30.0	195.0	0.467	-.004	-.098	0.644	-.005	-.135
21	15.0	195.0	0.396	0.008	0.190	0.547	0.011	0.262
22	0.0	195.0	0.392	-.006	0.237	0.541	-.009	0.327
23	0.0	180.0	0.404	0.004	0.254	0.557	0.006	0.350
24	15.0	180.0	0.447	-.028	0.218	0.616	-.039	0.301
25	30.0	180.0	0.425	0.006	0.055	0.586	0.008	0.076
26	45.0	180.0	0.481	0.017	-.131	0.664	0.024	-.181
27	60.0	180.0	0.654	0.012	-.179	0.903	0.016	-.248
28	75.0	180.0	0.846	-.001	-.179	1.168	-.001	-.247
29	90.0	180.0	0.927	0.006	-.170	1.279	0.008	-.235
30	105.0	165.0	0.920	-.005	-.189	1.270	-.007	-.260
31	90.0	165.0	0.827	-.009	-.201	1.141	-.012	-.277
32	75.0	165.0	0.687	0.002	-.213	0.948	0.003	-.294
33	60.0	165.0	0.483	0.022	-.161	0.666	0.030	-.223
34	45.0	165.0	0.424	0.027	-.011	0.585	0.037	-.015
35	30.0	165.0	0.486	-.016	0.114	0.671	-.022	0.158

EXP.NU.	Y	Z	WX	WY	WZ	VX	YY	VZ
	(MM)	(MM)				(M/S)	(M/S)	(M/S)
36	15.0	165.0	0.480	-.054	0.213	0.663	-.074	0.294
37	0.0	165.0	0.435	0.004	0.253	0.600	0.006	0.350
38	0.0	150.0	0.441	-.027	0.185	0.608	-.038	0.256
39	15.0	150.0	0.483	-.095	0.232	0.666	-.131	0.320
40	30.0	150.0	0.464	-.057	0.154	0.641	-.079	0.212
41	45.0	150.0	0.478	-.026	0.041	0.660	-.036	0.057
42	60.0	150.0	0.437	0.017	-.054	0.604	0.024	-.074
43	75.0	150.0	0.510	-.009	-.178	0.704	-.013	-.246
44	90.0	150.0	0.726	-.032	-.222	1.002	-.044	-.307
45	105.0	150.0	0.882	-.029	-.216	1.218	-.039	-.298
46	120.0	135.0	0.899	-.047	-.215	1.241	-.064	-.297
47	105.0	135.0	0.815	-.057	-.235	1.125	-.079	-.324
48	90.0	135.0	0.602	-.040	-.218	0.831	-.056	-.301
49	75.0	135.0	0.445	0.006	-.138	0.614	0.008	-.191
50	60.0	135.0	0.453	-.008	-.025	0.625	-.010	-.035
51	45.0	135.0	0.422	-.029	0.081	0.583	-.040	0.112
52	30.0	135.0	0.481	-.073	0.227	0.663	-.101	0.313
53	30.0	120.0	0.502	-.092	0.300	0.693	-.127	0.413
54	45.0	120.0	0.426	-.022	0.141	0.587	-.030	0.195
55	60.0	120.0	0.367	-.031	0.014	0.507	-.042	0.020
56	75.0	120.0	0.413	-.025	-.106	0.570	-.035	-.146
57	90.0	120.0	0.509	-.065	-.198	0.703	-.090	-.274
58	105.0	120.0	0.742	-.097	-.249	1.024	-.134	-.344
59	120.0	120.0	0.872	-.086	-.231	1.203	-.119	-.318
60	120.0	105.0	0.844	-.110	-.235	1.165	-.152	-.325
61	105.0	105.0	0.674	-.132	-.234	0.930	-.182	-.323
62	90.0	105.0	0.489	-.107	-.193	0.674	-.148	-.267
63	75.0	105.0	0.399	-.062	-.083	0.550	-.086	-.115
64	60.0	105.0	0.358	-.023	0.049	0.494	-.032	0.067
65	45.0	105.0	0.446	-.021	0.178	0.616	-.028	0.246
66	45.0	90.0	0.470	-.031	0.182	0.648	-.043	0.252
67	60.0	90.0	0.381	-.075	0.067	0.525	-.103	0.093
68	75.0	90.0	0.395	-.114	-.056	0.545	-.158	-.078
69	90.0	90.0	0.507	-.148	-.160	0.699	-.205	-.220
70	105.0	90.0	0.686	-.157	-.222	0.947	-.216	-.306
71	120.0	90.0	0.813	-.143	-.230	1.122	-.198	-.317
72	120.0	75.0	0.789	-.165	-.206	1.088	-.228	-.284
73	105.0	75.0	0.693	-.195	-.190	0.956	-.268	-.262
74	90.0	75.0	0.556	-.204	-.152	0.767	-.281	-.210
75	75.0	75.0	0.449	-.167	-.037	0.620	-.231	-.051
76	60.0	75.0	0.427	-.125	0.062	0.589	-.172	0.086
77	45.0	75.0	0.493	-.079	0.170	0.680	-.108	0.234
78	30.0	75.0	0.568	-.058	0.243	0.783	-.080	0.335
79	0.0	60.0	0.376	-.052	0.247	0.519	-.072	0.340
80	15.0	60.0	0.521	-.093	0.212	0.719	-.129	0.293
81	30.0	60.0	0.544	-.115	0.189	0.751	-.159	0.261
82	45.0	60.0	0.527	-.142	0.145	0.727	-.196	0.200
83	60.0	60.0	0.490	-.187	0.048	0.676	-.259	0.066
84	75.0	60.0	0.514	-.221	-.042	0.710	-.305	-.058
85	90.0	60.0	0.606	-.245	-.135	0.837	-.337	-.187
86	105.0	60.0	0.701	-.224	-.176	0.968	-.309	-.244
87	120.0	60.0	0.780	-.196	-.181	1.076	-.271	-.249
88	105.0	45.0	0.709	-.231	-.144	0.978	-.318	-.198
89	90.0	45.0	0.652	-.257	-.102	0.900	-.355	-.141

EXP.NO.	Y	Z	WX	WY	WZ	VX	YY	VZ
	(MM)	(MM)				(M/S)	(M/S)	(M/S)
90	75.0	45.0	0.602	-.263	-.053	0.830	-.363	-.073
91	60.0	45.0	0.554	-.235	0.062	0.765	-.324	0.085
92	45.0	45.0	0.547	-.205	0.108	0.755	-.283	0.148
93	30.0	45.0	0.535	-.167	0.149	0.738	-.230	0.206
94	15.0	45.0	0.508	-.125	0.166	0.702	-.172	0.229
95	0.0	45.0	0.373	-.073	0.217	0.515	-.100	0.299
96	0.0	30.0	0.327	-.007	0.156	0.451	-.010	0.216
97	15.0	30.0	0.460	-.126	0.127	0.635	-.174	0.175
98	30.0	30.0	0.517	-.184	0.095	0.713	-.254	0.132
99	45.0	30.0	0.560	-.228	0.057	0.773	-.314	0.079
100	60.0	30.0	0.596	-.261	-.001	0.822	-.360	-.001
101	75.0	30.0	0.626	-.273	-.050	0.865	-.376	-.069
102	90.0	30.0	0.654	-.261	-.102	0.903	-.360	-.141
103	105.0	30.0	0.682	-.240	-.122	0.942	-.332	-.169
104	90.0	15.0	0.604	-.239	-.082	0.833	-.330	-.113
105	75.0	15.0	0.587	-.239	-.054	0.809	-.330	-.075
106	60.0	15.0	0.563	-.247	-.021	0.778	-.340	-.029
107	45.0	15.0	0.530	-.209	0.033	0.731	-.289	0.045
108	30.0	15.0	0.503	-.182	0.065	0.694	-.252	0.089
109	15.0	15.0	0.449	-.144	0.087	0.619	-.198	0.120
110	0.0	15.0	0.328	-.060	0.081	0.452	-.082	0.112
111	0.0	0.0	0.279	-.119	0.005	0.384	-.165	0.007
112	15.0	0.0	0.400	-.169	0.025	0.552	-.233	0.035
113	30.0	0.0	0.473	-.198	0.034	0.652	-.274	0.048
114	45.0	0.0	0.511	-.221	0.006	0.706	-.306	0.008
115	60.0	0.0	0.535	-.237	-.029	0.738	-.327	-.041
116	75.0	0.0	0.555	-.246	-.045	0.766	-.339	-.062

3.4 船尾形状と船尾流場

船尾形状が与えられたとき、その船尾流場を粘性と自由表面を考慮して理論的に予測することはまだ不可能である。現在はこれにかわるものとして模型試験により流場を計測する方法が用いられているが、これはここ当分続くものと思われる。しかし、本部会の目的をより十分に、より早く達成するためには、船型が与えられたとき、その船尾粘性流場を的確に把握すること、更には船型の変化に応ずる流場の変化の性質とその大きさについて確かな資料を持つことが極めて重要な要素となる。本節は、そのような考え方の下に標題の事項について考察したもので、今年度は研究計画の大綱を立案することとし、次年度に予備計算を実施してその検討を行い、3年度に広汎な船型変化に応ずる結論を導いて研究を一応完結する予定である。

3.4.1 問題の設定とその前提

問題は、船尾形状を与えて、その周囲の粘性流場、すなわち粘性域の厚さ、速度の大きさと方向、摩擦応力分布、圧力分布を求めることとする。

前提として、

- (1) 船体前半部は考えない。従ってこの様子は既知とする。
- (2) 波は考えない。
- (3) とりあえずプロペラ及び舵のない場合とする。
- (4) 大きな剥離（たとえば2次元的なバルブ型剥離）はないとする。ただしビルジ窓のような3次元剥離は第1次近似として取扱いうるものと假定する。

3.4.2 計算方針

- (1) 3次元境界層理論に基づき考察する。ただし、最初は第1近似として、微小2次流れを仮定する。
- (2) 境界層計算への入力は特異点表面分布法 (Hess-Smith 法) で求める。排除厚さの影響は考慮しない。後端での値は適宜丸める。

この2点が方針の骨子である。最初は第1近似レベルのもので検討し、その結果に応じて順次精度を上げることにする。以下若干考察しておく。

3次元境界層の式で微小2次流れを仮定すれば、次のような基礎方程式の性質が得られる。すなわち

- (a) ポテンシャル表面流線方向を主流、それに直交する方向を2次流れ方向とすれば、主流方向の運動量の式は2次元の圧力勾配のある場合と同一になる。
- (b) 2次流れ方向の式には、主流、2次流れ、圧力勾配の外に、流線の拡大縮少率と曲率とが入って来る。
- (c) 連続の式には2次流れ成分は入らず、流線の拡大縮少率のみ入る。

従って、(a)(c)を連立させれば、ある流線ストリップにおいて、主流の流速成分は2次流れに無関係に定まり、その際、2次元圧力勾配のある流場と異なる点は流線の拡大縮少率が関係する点だけである。従って、船型が与えられたとき、その周りのポテンシャル流場を Hess-Smith 法で求めておけば、それにより圧力勾配と流線の拡大縮少率は容易に与えられるから、後はそれを取り入れた境界層計算を行えば主流方向の境界層厚さ、速度分布、摩擦応力分布などが求められる。第1近似の立場に立てば、2次流れがこれらに及ぼす影響をすべて考えないことになるから、これらはそのまま第1近似解として採用出来、流線の船の前後軸に対する傾きが小さいとすると、摩擦抵抗の第1近似もこれから求まる。又、いわゆる伴流分布の第1近似もこのレベルで与えられる。

次に船体横断面内の流速分布であるが、これについては主流の傾斜による成分が入って来る外に、2次流れを計算して加える必要がある。これは(b)の式を解くことにより得られる。

抵抗成分と船型との関係も調べる必要があるが、抵抗の内摩擦抵抗については既に述べた。圧力抵抗は最も不明確な量であるが、ここでは次の結果（田中一朗：造船学会論文集 114 号、1963）を用いる。すなわち、厚い境界層の中では厚さ方向の圧力分布を問題にする必要があるが、非粘性流場では遠心力に釣合う圧力勾配があるために壁面の値は境界層外の値より、かなり高くなるのに対して、粘性流場ではその要因による効果が粘性項の効果と打消し合って、結局はほとんど厚さ方向に圧力は変化せず、結果的には層外の圧力と壁面圧力とはほぼ同一であるという普通の境界層理論の考え方と同一の結論が得られている。この結論は第1近似レベルでは壁面圧力条件として使用しうると考えられ、ここでもこれを用いることにする。従って具体的には上述のようにして求めた主流方向の境界層厚さを利用しその位置におけるポテンシャル流場の圧力を求め、それが壁面上の粘性圧力と考えれば良い。

4. プロペラに関する試験研究

今年度は、理論計算によって、低回転大直徑プロペラを採用した場合の問題をプロペラ起振力の観点から定量的に調べた。この理論計算法としては幾つかの方法があるが、本研究部会においては2つの方法によって並行して計算を進めた。プロペラ起振力を推定したり、プロペラ翼面のキャビテーションを推定したりするために、プロペラ翼の流体力学的な性質を理論計算で調べる方法は、非常にたくさんある。しかし、揚力面の積分方程式を数値的に解く方法以外の方法においては、計算結果にかなりの隔たりがあると言われている。¹⁾ 非定常揚力面の積分方程式を直接扱う方法の計算は現在未だそれ程多くはないが、本研究部会で用いる2つの方法はこの種の計算法に属するものである。1つは(株)神戸製鋼所で開発されたもので、²⁾(以下に計算法Aと呼ぶ。Figの中ではKSLと表示する)、他の1つは船舶技術研究所で開発されたもの³⁾(以下に計算法Bと呼ぶ。Figの中ではSRIと表示する)である。この2つの方法を採用した主な理由は、上述の様に計算精度の点から現在最良と考えられる事と、また実際面で広く利用されている事である。両計算法は、付録Iに示した通り、物理的なモデルの扱いとしてはあまり大きな違いはなく、数値計算の手法に違いがある。第4.1節において、この2つの計算結果を比較検討し、両計算法の対応を調べた。

第4.2節においては、低回転大直徑プロペラを採用した場合と、在来型プロペラを採用した場合との比較検討を行った。計算の対象とした船型の1つは、本研究部会で今年度自航試験等の模型試験を行った低回転大直徑プロペラを備えた供試船(M.S.№3522, M.P.№2185)であり、これを以下にケース1と呼ぶ(Figの中ではSRI74と表示する)。他の1つは、比較の対象として用いたSRI59研究部会の船型(M.S.№3330, M.P.№2171)であり、以下これをケース2と呼ぶ(Figの中ではSRI59と表示する)。ただし、SRI59研究部会の母型は実船長 $L_{PP} = 2400$ mであるが、これを相似に縮少してケース1と同じ $L_{PP} = 192.0$ mとした実船を想定して、それをケース2としている。

本来、伴流分布形状としては、実船のものを用いて計算を行なわなければならない。しかし、実船の伴流分布を推定する方法が未だ充分には確立されていると言え難い事、また、今回は計算方法および2船型の比較を目的としている事などの理由により、今回の計算の入力としては、模型船の伴流分布を用いた。なお、来年度の研究計画の1つとして、ケース2について、ペアリングフォースの模型試験が計画されており、そこで実験値と計算値の比較が行われる予定である。

4.1 ペアリング・フォースに関する理論計算（計算法の比較）

4.1.1 計算対象船及び計算結果

計算は、以下に示す2ケースの各々について両計算法(付録I)によって行った。ケース1の船体要目、形状は第3.3節Table 3.3.1, Fig 3.3.1に示されており、プロペラの要目、形状は、Table 3.3.2, Fig 3.3.3.に示されている。また、ケース2のプロペラの要目、形状はTable 4.1, Fig 4.1に示されている。Fig 4.2は以下の計算を行った作動状態でのキャビテーション係数、単位スラスト係数をペリルのチャートにプロットしたものであるが、この図はキャビテーションに関する設計条件が、両プロペラではほとんど同一である事を示している。

吃水状態は、ケース1、ケース2ともに満載状態である。その時の伴流分布形は、Fig 4.3に示す。同図中のケース2の曲線は、SRI59の研究部会において7m模型によって計測された伴流分布圖である。⁴⁾ケース1の伴流分布はFig 3.3.19に示されているが、研究工程の都合上、伴流分布計測に先だって計算を進める必要があり、ケース2の伴流分布からFig 4.3の様に予測したもの用いている。結果的にはほぼ同一の分布形とみなせる。計算の入力としては、これら模型船に対する伴流分布をそのまま用いた。これらの値の円周方向(θ)の変化の様子をFig 4.4に、また、それらの曲線をFourier級数においていた時の係数の値を、Fig 4.5(a), (b), (c), (d)に示す。なお計算には7次までの有限級数を用いた。

計算を行ったプロペラ作動状態は、Table 4.2の通りである。これらの値は、ケース1，ケース2とともに、100% MCRすなわち13,700 BHPの値をもとにして馬力等曲線より読みとったものである。馬力等曲線は、ケース1においては今年度の模型試験解析より作成したものであり、ケース2においては、船長 $L_{PP} = 240.0\text{ m}$ に対するSR159研究部会の試験結果より、 $L_{PP} = 192.0\text{ m}$ に対するものへ変換したものである。

計算結果は以下の通りTable 及びFig で示した。

Figs 4.6, 4.7	プロペラ単独性能
Fig 4.8 Table 4.3	ペアリング・フォース
Figs 4.9, 4.10	1翼あたりのスラスト変動
Fig 4.11	翼素の全循環の変動
Figs 4.12 (a), (b)	誘導速度の変動
Figs 4.13, 4.14	翼の応力分布及び応力変動
Figs 4.15 (a), (b), (c), 4.16(a), (b), (c)	翼面の圧力分布
Figs 4.17, 4.18	翼面の圧力変動
Figs 4.19, 4.20	翼面の揚力分布密度
Figs 4.21, 4.22	キャビテーション発生範囲

プロペラ単独性能に関するFigs 4.6, 4.7の中の実験値は、本報告書第3.3節Fig 3.3.7およびSR159研究部会報告書⁵⁾からの引用である。ペアリング・フォースに関するFig 4.8においては、垂直方向の力 F_y は上向きを正に、水平方向の力 F_z は左舷向きを正にとってある。また、モーメント M_y は船首を左舷に回頭する向きを正に、 M_z は船首を沈める向きを正にとってある。Figs 4.15(a), (b), (c), 4.16(a), (b), (c)はプロペラ翼の母線が直上を向いた時とその前後30°に位置する時の $r/R = 0.7$ における圧力分布である。 C_p の表示式の P_0 はプロペラ翼素前方の静圧である。また、 W^* は翼素への流入速度であり、伴流分布及び誘導速度は、プロペラ1回転の平均値をとり入れている。Figs 4.17, 4.18は $r/R = 0.7$, 3%弦長点および40.2%弦長点における圧力変動であり、Figs 4.15, 4.16のクロスカーブと言える。

4.1.2 計算結果の比較

(1) プロペラ単独性能

プロペラ単独性能に関しては、Figs 4.6, 4.7によると、ケース1では計算法Aの方が、またケース2では計算法Bの方が実験値との対応が良好であるが、一般に計算法Aは、 K_T , K_Q ともに計算法Bよりも高めにでている。

(2) ペアリング・フォース

ペアリング・フォースに関しては、Fig 4.8によると、変動振幅及び位相の値は両計算法で大体一致している。スラストとトルクの平均値については定常計算(Figs 4.6, 4.7)の傾向がそのまま表われている。

(3) 1翼あたりのスラスト変動

1翼あたりのスラスト変動の様子については、Fig 4.9で両計算法の比較がなされるが、計算結果の一致は大体良い。ただし、ケース1においては、計算法Aによる値の方が、 $\theta = 90^\circ$ を中心とした右舷側で大幅に大きめなのにに対し、 $\theta = -90^\circ$ を中心とした左舷側ではその程度がさほど大きくない。この傾向は、tangential wakeの影響によるものとして、翼素の全循環の図(Fig 4.11), 誘導速度の図(Fig 4.12(b))から説明される(付録II)。またケース2の場合についても同様の説明ができる。

(4) 圧力分布

$r/R = 0.7$ における圧力分布 C_p の値についての比較は、Figs 4.15(a), (b), (c), 4.16(a), (b), (c)でなされている通りである。 $\theta = 30^\circ$ で計算法の違いによる差は比較的大きいが、 $\theta = -30^\circ$, 0° における結果は大体よく合

っていると言える。この結果は 1 翼あたりのスラスト変動あるいは翼素の全循環 P の変動における両計算の比較結果と対応している。ただし、背面の前縁から 40% 弦長点ぐらい迄の間においては、計算法の違いによる差が明らかに見られる。

(5) 揚力分布密度

Figs. 4.19, 4.20 によると、揚力分布密度における両計算法の比較が分かるが、これによって、圧力分布 C_p の差が主として揚力面計算の差によることが分かる。すなわち揚力面計算の結果においては、翼弦中央部では良く一致しているが、前縁部、後縁部で差が表われており、これは C_p 曲線での対応と良く一致しているからである。

(6) 圧力変動

プロペラ翼が 1 回転する間の、 $r/R = 0.7$, 3% 弦長点および 40.2% 弦長点における C_p の変動を Figs. 4.17, 4.18 に示す。

4.2 船尾形状とペアリング・フォース

4.2.1 ペアリング・フォース

ペアリング・フォースの大きさは実船の場合の有次元値として Table 4.3 に示されているが、これにより、ケース 1, ケース 2 の比較がなされている。この Table から、スラスト変動、トルク変動に関しては両船型ではほとんど変わらないが、他の変動はケース 1 の方が非常に大きい事がわかる。すなわち、垂直方向の変動力は 1.4 倍、水平方向の変動力は 2.0 倍、又、垂直軸周りのモーメントは 1.7 倍、水平軸周りのモーメントは 2.5 倍程度となっている。なおケース 1 はケース 2 に比べて、 $\rho n^2 D^4$ は 1.1 倍、 $\rho n^2 D^5$ は 1.4 倍である。

これは主として、伴流の速度分布が異なった事に原因があると言える。この影響については、Figs. 4.5(a), (c) による説明がつく。すなわち、 r/R の大きな部分に着目して図を比べると、ケース 1 ではケース 2 に比べて 5 次の成分がやや小さくなるのに反し、4 次および 6 次の成分は大きくなっている。プロペラの翼数は 5 であるから、この事は、ケース 1 の方が、スラスト変動、トルク変動はあまり変わらないが、上下、左右変動力及び曲げモーメントが大きくなる事実の説明となっている。

なお、Table 4.3 には簡易計算法⁶⁾による計算結果の比較も、実用性の観点から必要と考えのせた。

4.2.2 翼 応 力

1 翼あたりに働くスラスト変動に関しては、ケース 1 の方が非常に大きい事が Fig. 4.10 の有次元値の比較から分かり、応力変動が問題になると予想されるので、計算法 A の結果に基づいて応力解析を行った。Fig. 4.13 に $\theta = 40^\circ$ 0° 及び 1 回転平均の引張り応力の半径方向分布、Fig. 4.14 に $r/R = 0.2, 0.4, 0.6$ でのプロペラ 1 回転の引張り応力の変動を示している。最も顕著な差として、ケース 2 では、応力振幅が、 160 kg/cm^2 程度であるのに対し、ケース 1 では、 400 kg/cm^2 に増加している事がわかる。翼の疲労強度の点から考えると、応力振幅の増加は翼の切損の問題に大きく影響するため、ケース 1 は翼の強度の点からも厳しい条件にあると言える。

4.2.3 キャビテーション

Figs. 4.15, 4.16 の圧力分布図を、キャビテーション数 σ を勘案してみると、キャビテーション発生範囲の比較が、ある程度可能である。ケース 1 の $\theta = 0^\circ$ (Fig. 4.15(b)) では、前縁寄り 5% 弦長点までの部分が、すでにキャビテーション数 σ を越えており、この事は、ケース 1 の方がキャビテーションの発生範囲も広い事をうかがわせている。Fig. 4.17, 4.18 では $r/R = 0.7$, 3% 弦長点、40.2% 弦長点における C_p のプロペラ回転中の変動がキャビテーション数 σ と共に示されている。ケース 1 の場合 3% 弦長点における C_p が σ に近付くあるいは越える部分が 0° および 70° 付近にあり、ケース 2 に比べてキャビテーションの条件が非常に厳しい事を示している。これらの事は、計算法 A に基づいたキャビテーション・パターン図 Figs. 4.21, 4.22 に明らかである。この作図方法は、非キャビ

テーション時の圧力分布図に $C_p = -\sigma$ の直線を入れ、キャビテーション発生時にも揚力の変化がおこらないと仮定して、キャビテーション領域を決めるものである。

計算に用いた伴流分布は模型船の公称伴流であるから、キャビテーション・パターンに関するこれらの計算結果は今回の船型については実際より厳しくなっていると思われるが、両ケースの比較を定性的に行う限りにおいては有益な資料となろう。

なお、本章で行った両計算法の比較および両ケースの比較に対する考察は第5章に記載した。

参考文献

- 1) 14th ITTC, Propeller Committee Report App.4
- 2) 波多野修次, 南方潤三, 山崎正三郎, “揚力線及び揚力面理論によるプロペラ性能の推定”, 西部造船会々報 第49号, 1975
- 3) 小山鴻一, “不均一流中のプロペラ揚力面の実用計算法と計算例”, 日本造船学会論文集 第137号, 1975
- 4) S R 159, 研究資料No 273 昭和52年, Fig 3.2.4.10
- 5) " Fig 3.2.4.4"
- 6) 山崎正三郎, “非定常性を考慮したVibratory Propeller Shaft Force の実用的な計算法, 第1報, 基礎式の展開”, 西部造船会々報 第54号, 昭和52年8月
- 7) 守屋富次郎, “空気力学序論” 培風館
- 8) 今井功, “任意翼型の理論” 航空学会誌 9卷, 1942

[付録 I] 計算方法の比較

計算方法の概要を初めに記す。計算の条件として、プロペラ幾何形状、プロペラ作動状態（回転数）およびプロペラ円板内の流速分布（伴流分布）が与えられた時、プロペラ翼に働く流体力を求める。その時プロペラ翼の流体力学的な性質は、それを薄翼とみなして渦肩に置き換えて求める。与えられた条件より渦肩の強さの分布形を計算で求めると、その答を基にして、プロペラ翼に働く流体力を求める事ができる。また、翼面の圧力分布については、2次元ポテンシャル流での任意翼型の計算法による事ができる。ただし、プロペラ翼としての3次元影響、不均一流中で作動することによる非定常影響を近似的にとり入れた相当2次元翼の考え方を用い、迎角及び翼素の平均矢高曲線が変形することでとり入れた。

以下においては、両計算方法の相違点を記す。

渦系を分布させる螺旋面としては、両計算法ともに、一定ピッチの常螺旋面としているが、そのピッチの値の決め方は異なっている。即ち、計算法Aにおいては、プロペラ翼の幾何ピッチを用いている。一方、計算法Bにおいては、翼位置の誘導速度を考慮に入れた流入速度の方向から決まるピッチいわゆるhydrodynamic pitchを用いている。

境界条件を与える流れの方向として、計算法Aにおいては、プロペラ軸方向の表示式をとっているのに対し、計算法Bにおいては、プロペラ翼面の吹上げ方向の表示式をとっている。

揚力面積分方程式の数値解法としては、方法Aでは、最適標点法を、方法Bでは核関数展開法を用いているが、いずれもmode function法に属する方法である。mode functionとして、方法AではGlauert関数列を用い、方法Bでは、Birnbaum関数列を用いている。半径方向の計算標点数は、方法Aでは11、方法Bでは7であり、mode functionの項数は、それぞれ、3及び4である。

積分方程式を解いて得られた束縛渦の循環分布密度を r^* とすると、揚力分布密度は、 $\rho W^* r^*$ で与えられ、これからプロペラ翼に働く流体力を計算する事ができる。ここで ρ 、 W^* は、流体の密度及び翼素への流入速度である。 W^* としては、方法Aにおいては、プロペラ回転の各翼位置ごとに、伴流分布及び誘導速度を考慮して W^* を決めており、方法Bにおいては翼位置に無関係にそれらの平均値を用いている。また、両計算法においては、 W^* は翼弦長方向には一定と仮定し、揚力を求める段階では揚力線近似をしている。また、力の作用点は、母線としている。更に、粘性影響の導入方法は、ほとんど同一である。

圧力分布計算の方法は、束縛渦の循環分布密度 r^* を用いて相当2次元翼を決め、その周りの流れを2次元ポテンシャル計算により求める。2次元ポテンシャル計算は、方法Aにおいては守屋の方法⁷⁾、方法Bにおいては今井の方法⁸⁾を用いている。

[付録 II] 1翼あたりのスラスト変動 (Fig 4.9) の計算結果比較に対する説明

ケース1における翼素の全循環 Γ の変動を両計算で比較するとFig 4.11の通りであるが、そこでは、翼端寄 ($r/R = 0.880$)においては、 Γ が右舷側 ($\theta = 90^\circ$ 側) で大きく左舷側で小さいのに対し、翼根寄 ($r/R = 0.300$)においては逆の傾向にあり、これはtangential wakeに基づくものと言える。この傾向は、計算法Bに比べて計算Aの方が顕著に表われている。この原因を明確に説明するものはないが、tangential wake の大きな所で両計算法の変動分の差が大きくなることになる。

さて、Fig 4.9 の1翼あたりのスラスト変動における両計算法の比較であるが、そこには翼端寄の翼素の全循環 Γ における計算法の差が強く現われたことで、定性的に説明される。しかし、これだけでは定量的な説明がつかない。

ところで、 Γ から翼素に働く力を求める時に用いる翼素への流入速度については、計算法Aでは各翼位置での流入速度を用いているのに対し、計算法Bでは1回転の平均値を用いている。従って計算法Aにおいては翼端寄のtangential wake (Fig 4.12(b)) の影響を強く受け、その結果として1翼あたりのスラストの左右舷における差が更に大きくなっている。

ケース2においては、逆に $\theta = -90^\circ$ を中心とした左舷側で、計算法Aの方が大きめにでているが、これは翼根寄のtangential wake の影響が強く現われたものとして、同様の説明ができる。

Table 4.1 Characteristics of the Propellers

	CASE 1 (SR174)	CASE 2 (SR159)
DIAMETER (m)	7.100	5.600
BOSS RATIO	0.180	0.180
PITCH RATIO	0.812 (const.)	0.714 (const.)
EXP. AREA RATIO	0.492	0.665
MAX. BLADE WIDTH RATIO	0.223	0.301
BLADE THICKNESS RATIO	0.0465	0.0500
ANGLE OF RAKE	5°	10°
NUMBER OF BLADES	5	5
BLADE SECTION	M A U	M A U
DIRECTION OF TURNING	RIGHT-HANDED	RIGHT-HANDED
MODEL PROPELLER	M.P.NO. 2185	M.P.NO. 2171

Table 4.2 Operating Condition

	CASE 1 (SR174)	CASE 2 (SR159)
SHIP SPEED (kn.)	15.99	15.69
NUMBER OF REVOLUTIONS (rpm.)	89.0	133.8
ADVANCE SPEED (m/s)	4.330	3.356
MEAN ADVANCE COEFFICIENT	0.4113	0.2687

Table 4.3 Amplitude of Vibratory Propeller Shaft Forces

	CASE 1 (SR174)			CASE 2 (SR159)		
	SRI	KSL	KSL (simplified method)	SRI	KSL	KSL (simplified method)
THRUST, F_x (ton)	1.9	1.5	3.1	1.9	1.5	2.5
VERTICAL FORCE, F_y (ton)	2.1	1.6	1.7	1.3	1.3	1.2
HORIZONTAL FORCE, F_z (ton)	4.1	3.8	3.9	1.9	2.3	2.2
TORQUE, M_x (ton-m)	1.5	1.4	2.7	1.1	1.3	1.5
MOMENT WITH RESPECT TO VERTICAL AXIS, M_y (ton-m)	13.1	11.6	11.8	7.3	6.2	7.4
MOMENT WITH RESPECT TO HORIZONTAL AXIS, M_z (ton-m)	29.0	26.6	29.4	11.9	10.0	14.7

UNIT : mm

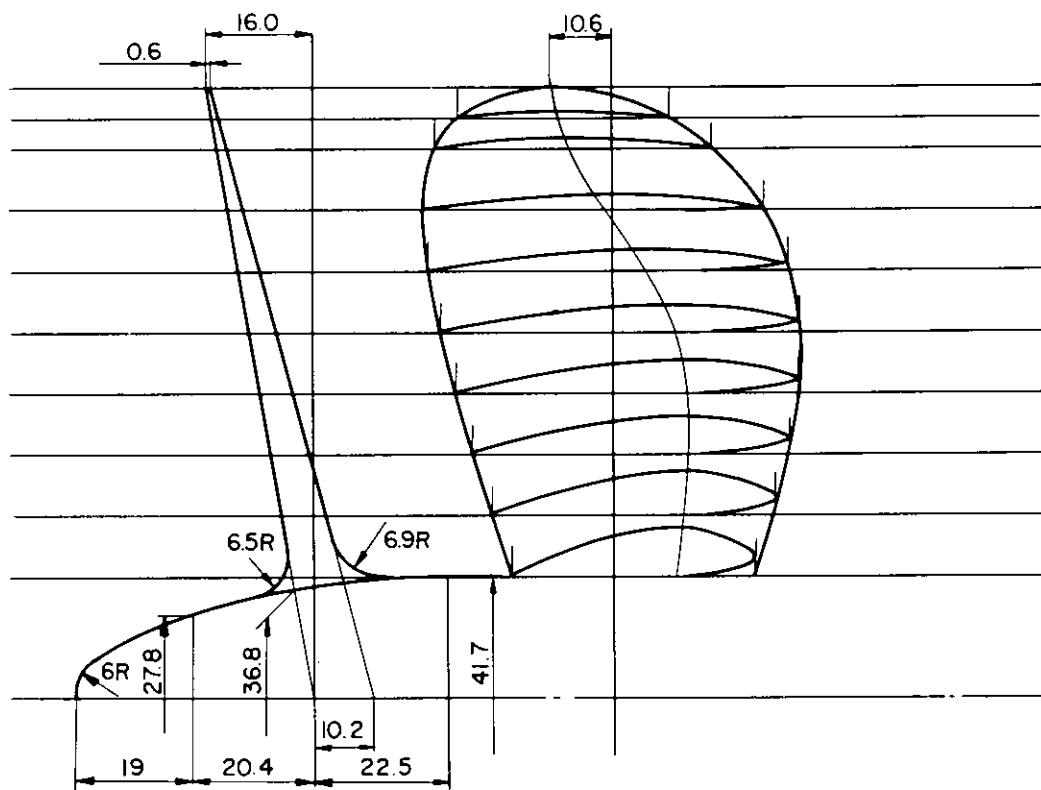


Fig. 4.1 Model Propeller No. 2171

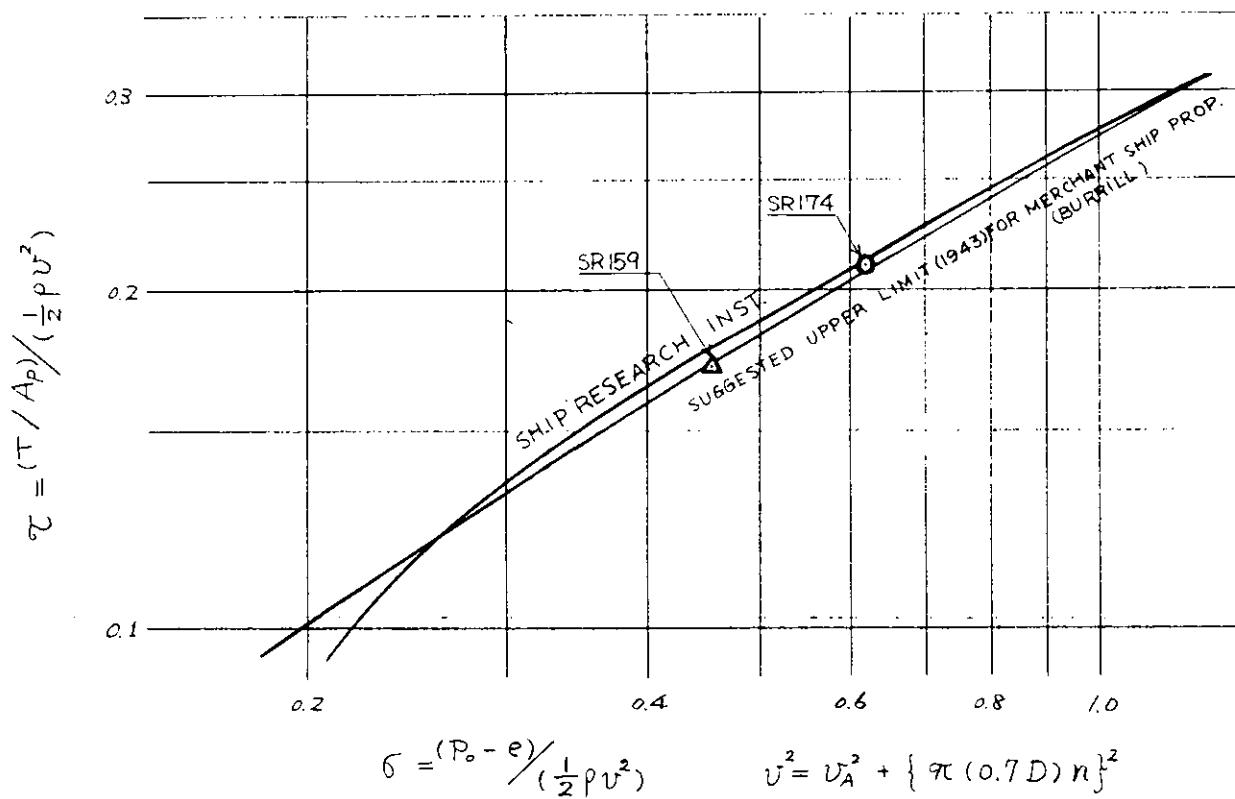


Fig. 4.2 Cavitation Criteria

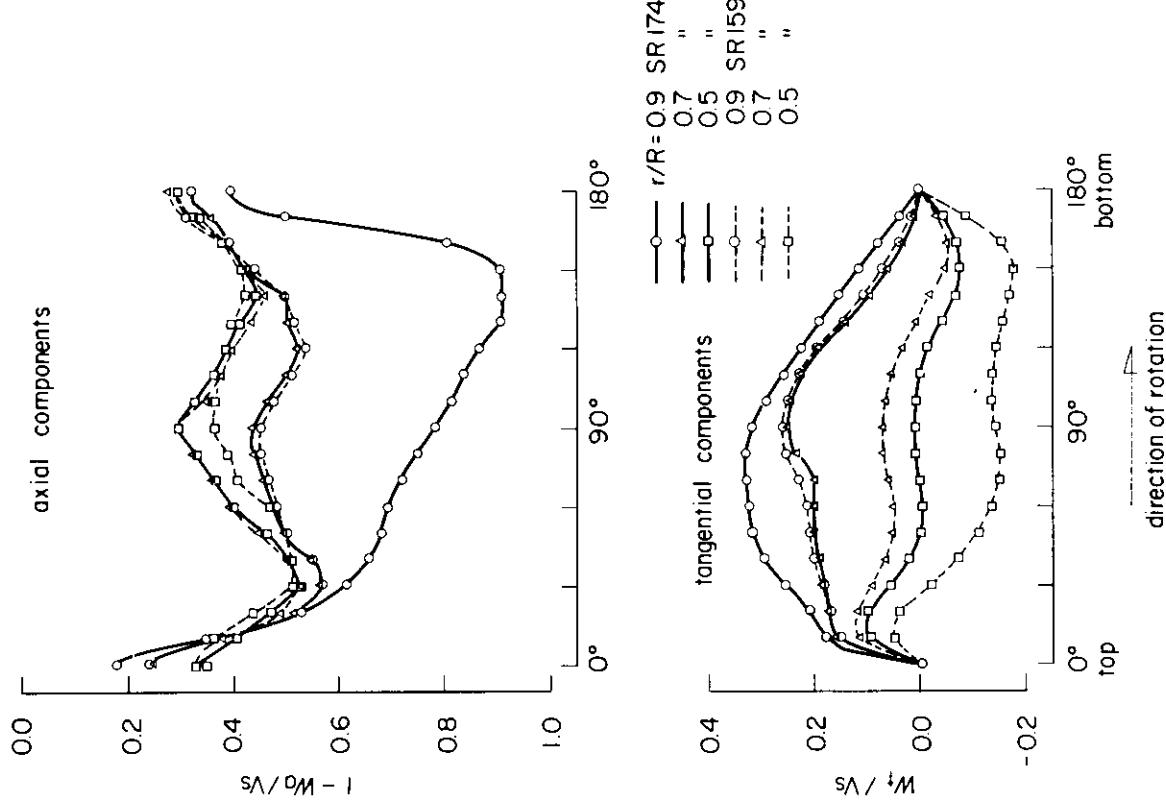


Fig. 4.4 Circumferential Distribution of Wake

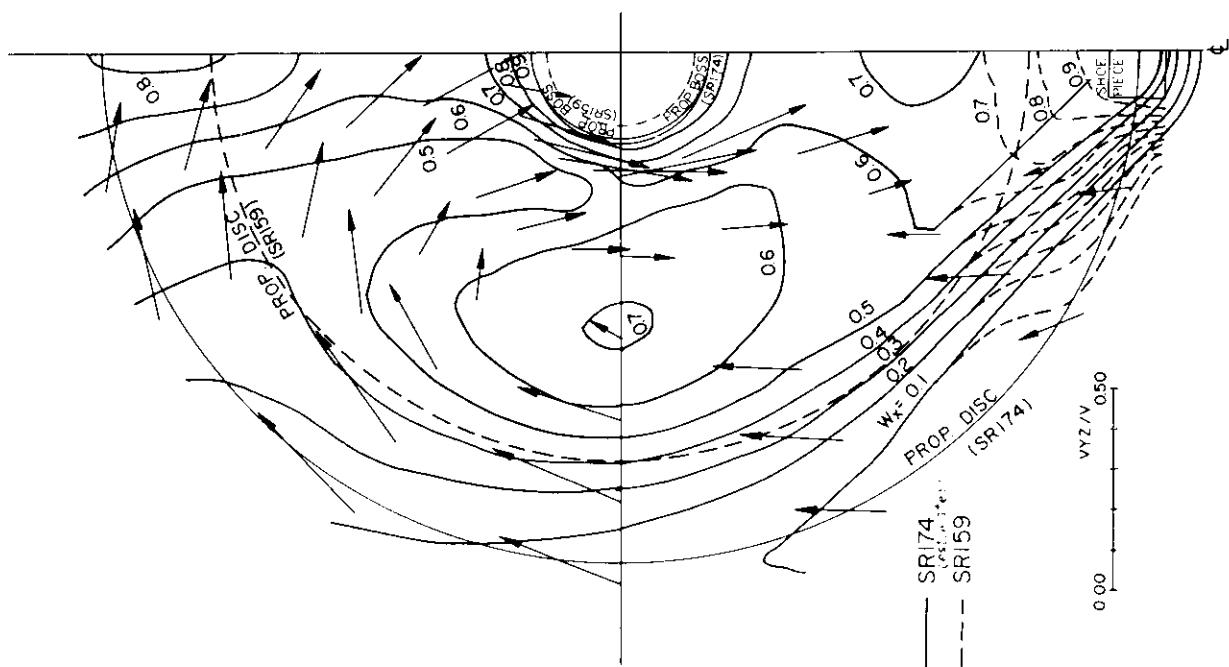


Fig. 4.3 Wake Fraction Contour Curves

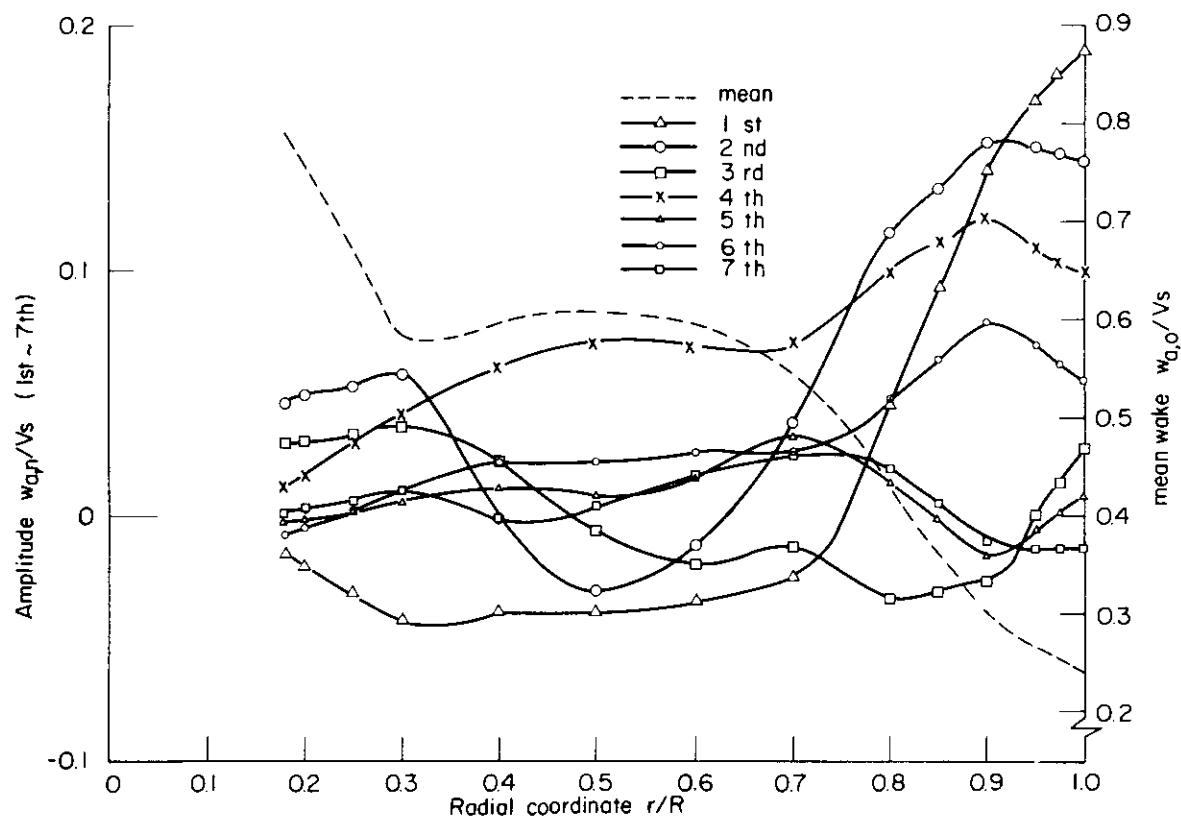


Fig. 4.5 (a) Radial Distribution of the Harmonic Components of Axial Wake (SR174)

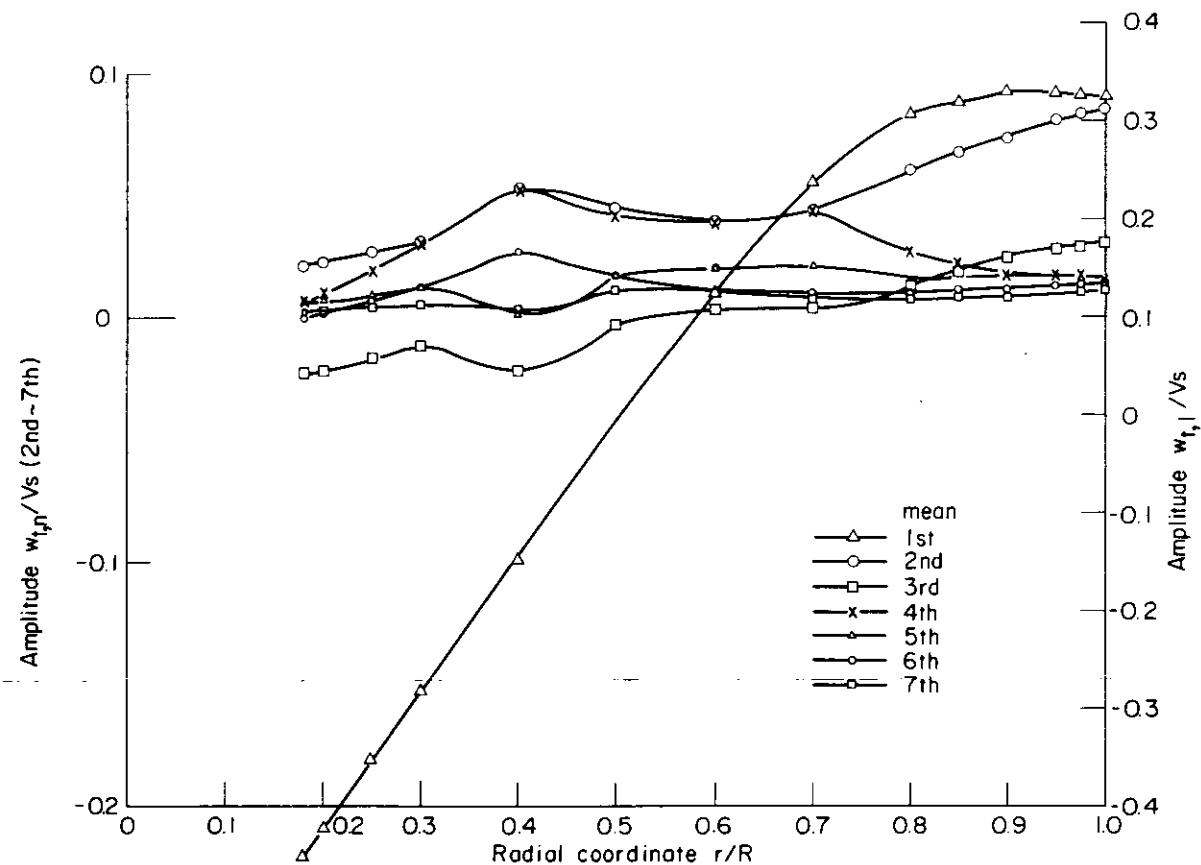


Fig. 4.5 (b) Radial Distribution of the Harmonic Components of Tangential Wake (SR174)

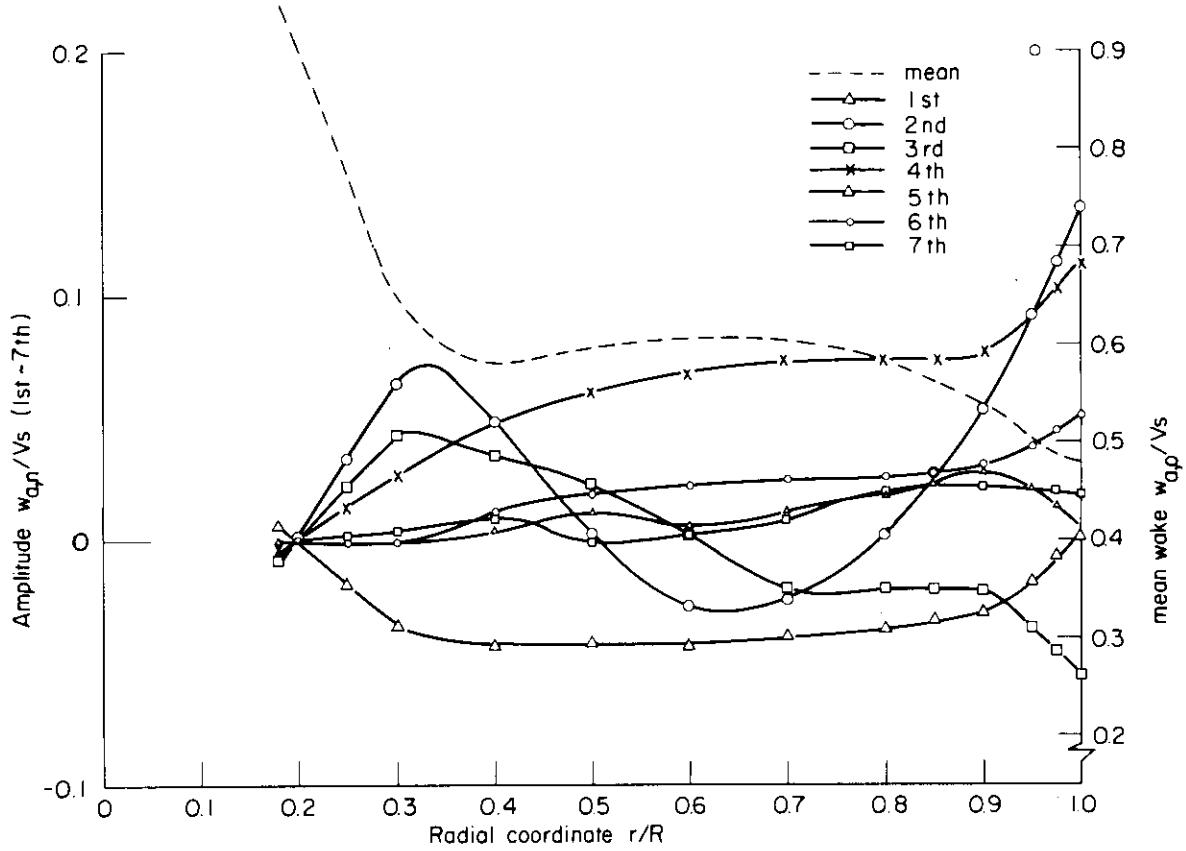


Fig. 4.5 (c) Radial Distribution of the Harmonic Components of Axial Wake (SR159)

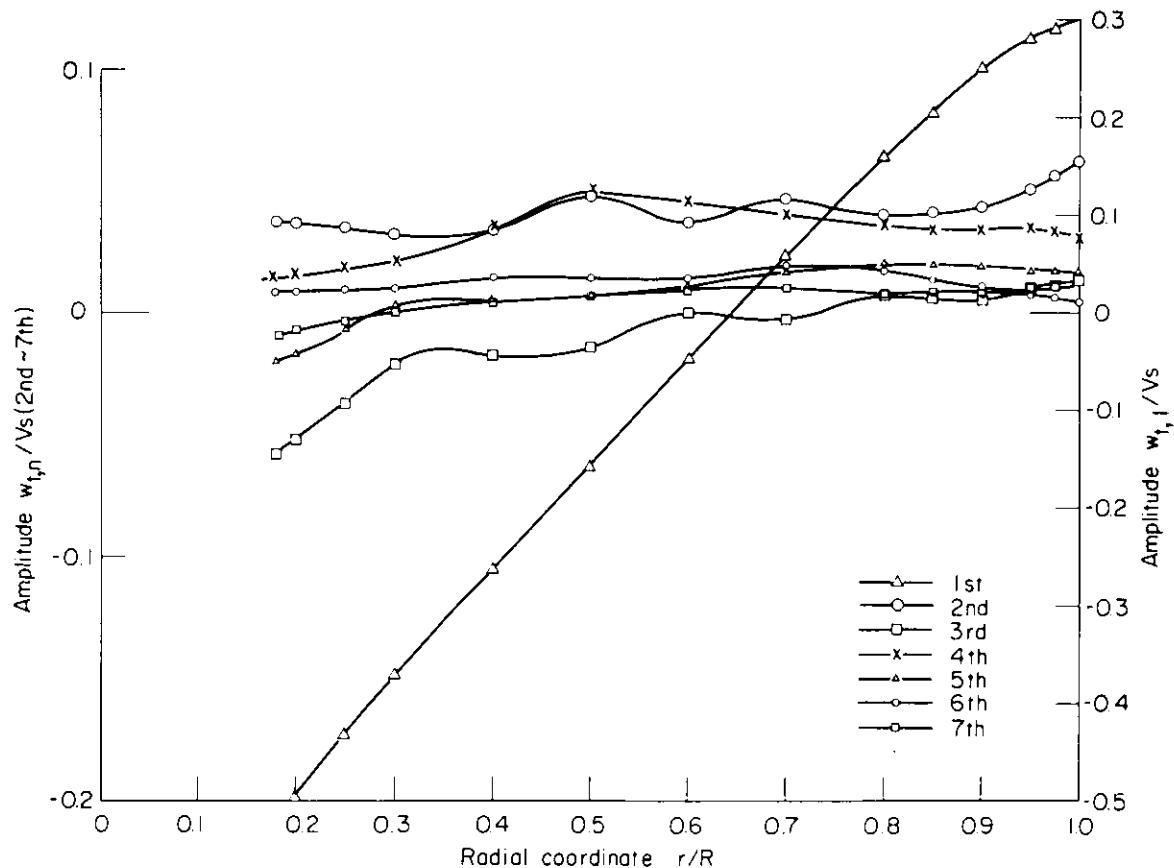


Fig. 4.5 (d) Radial Distribution of the Harmonic Components of Tangential Wake (SR159)

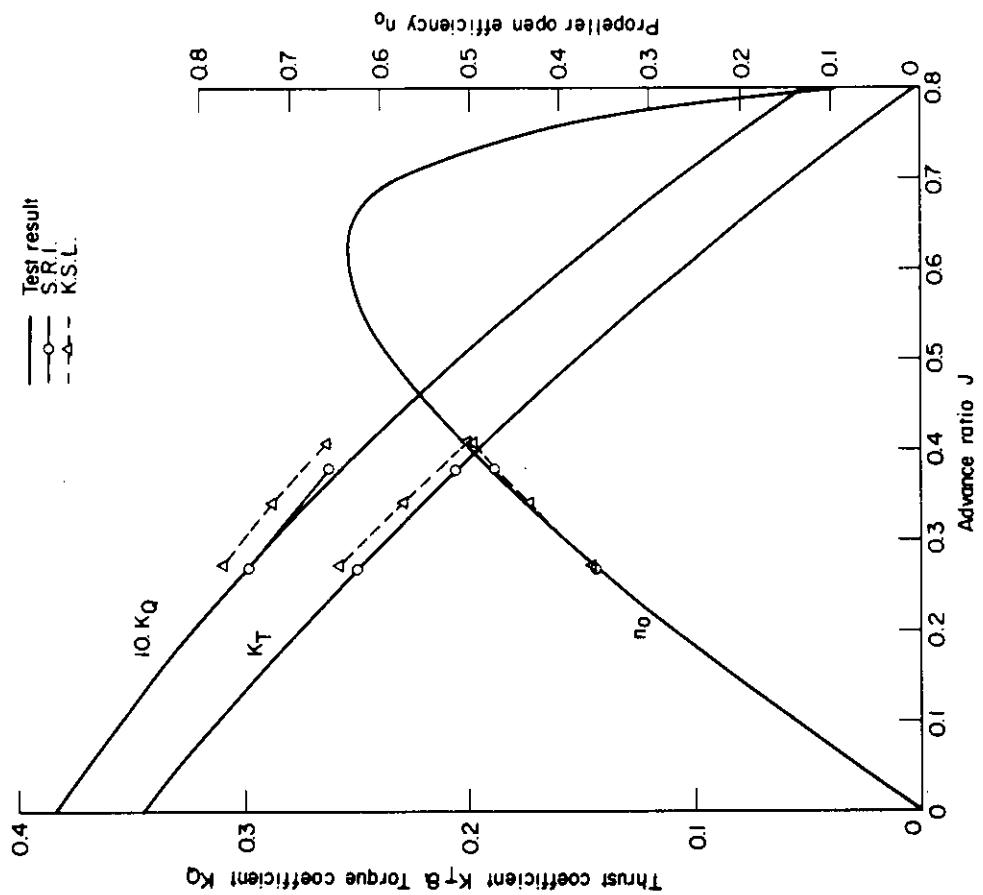


Fig. 4.7 Propeller Open Characteristics (SR159)

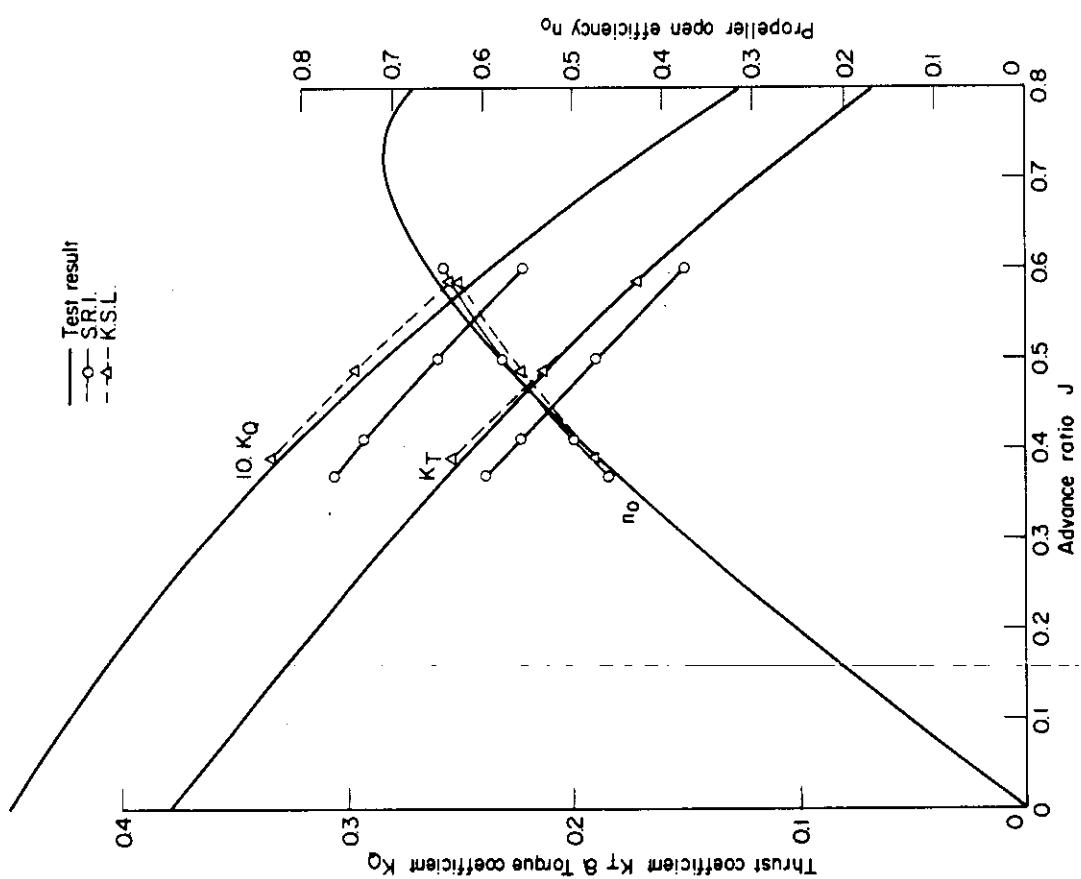


Fig. 4.6 Propeller Open Characteristics (SR174)

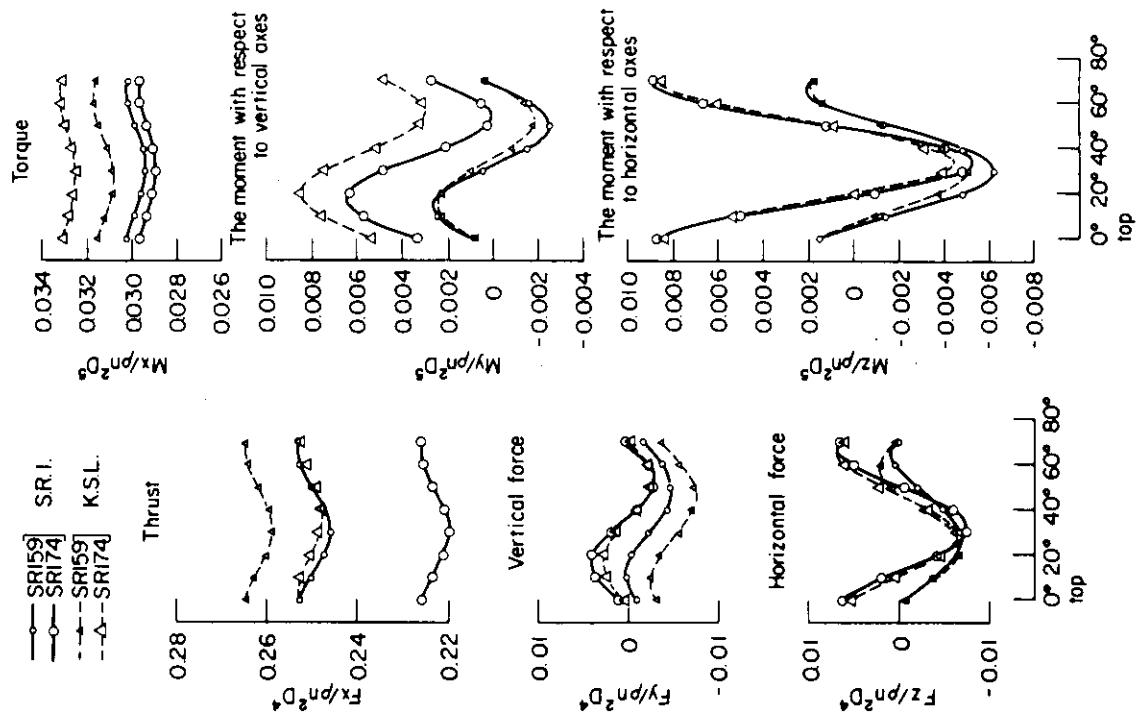


Fig. 4.8 Vibratory Propeller Shaft Forces

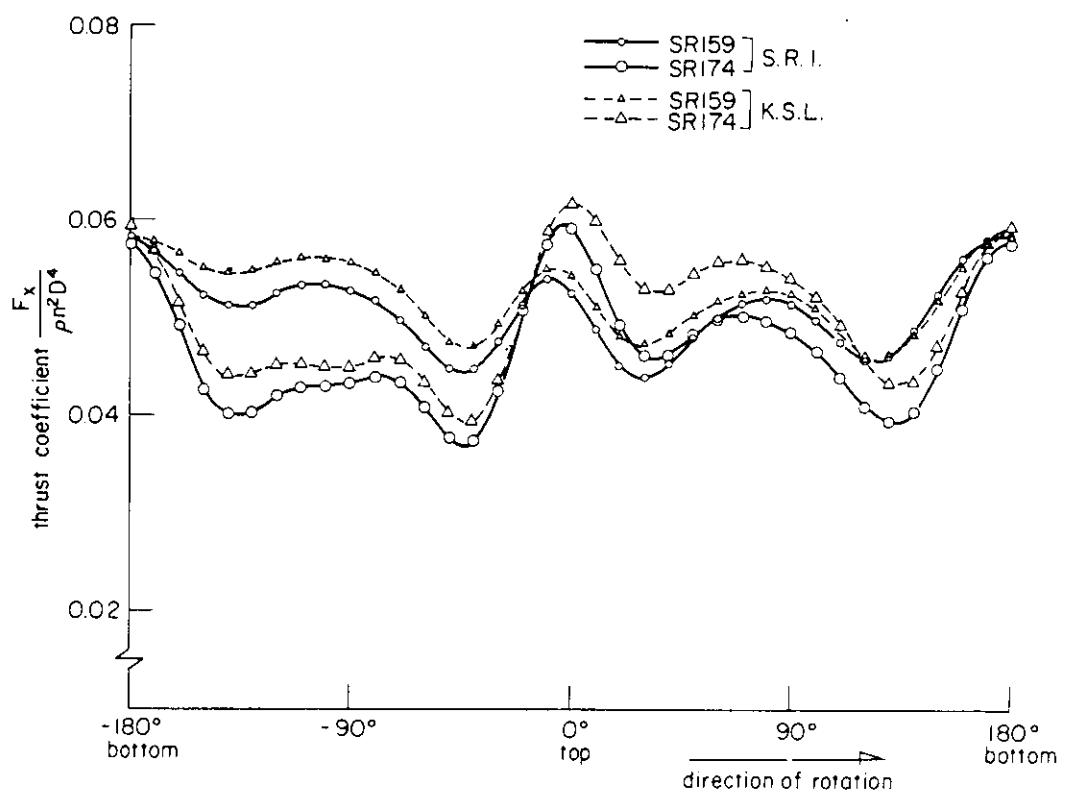


Fig. 4.9 Variation of the Thrust for one Blade

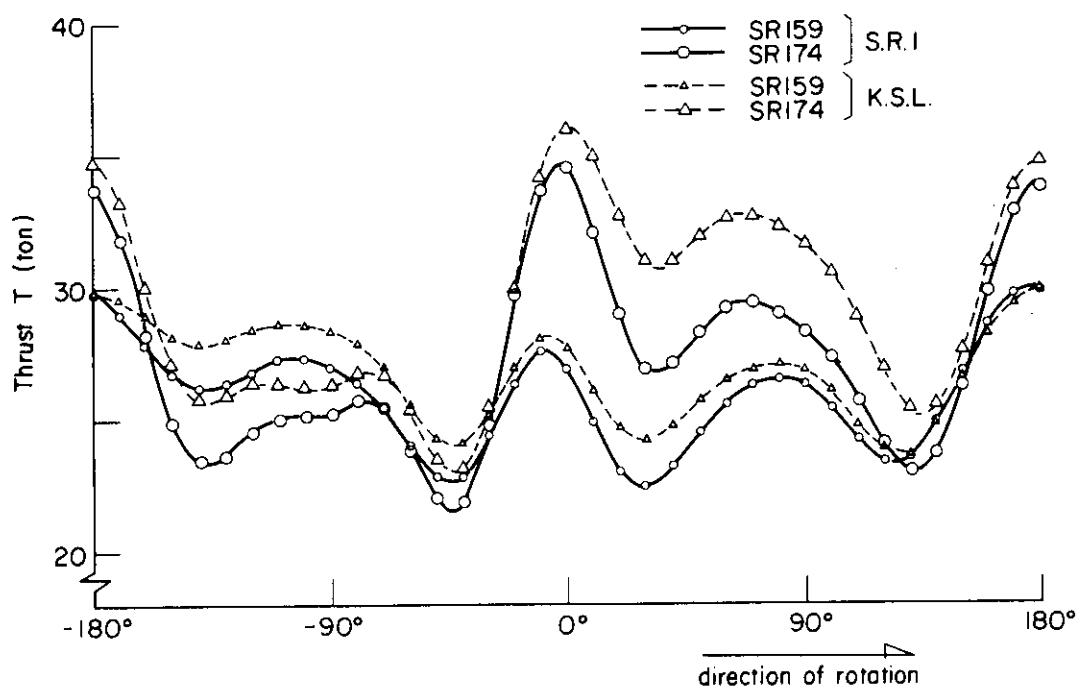


Fig. 4.10 Variation of the Thrust for one Blade

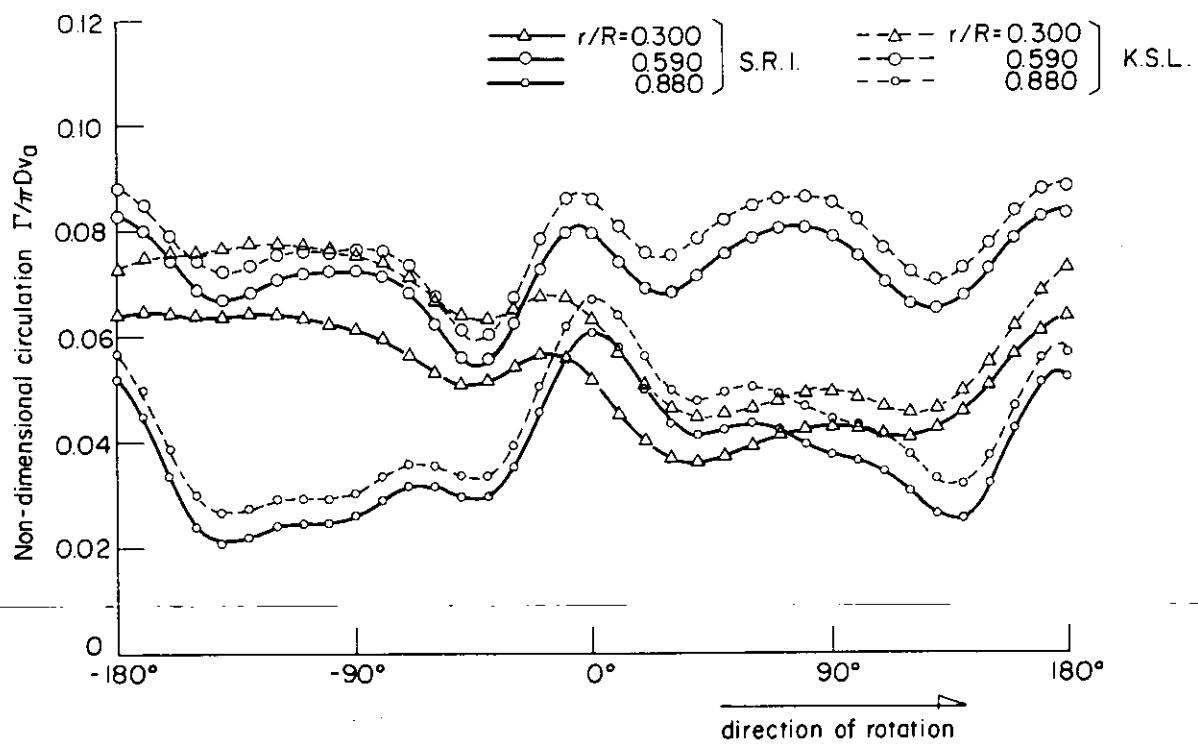


Fig. 4.11 Circulation Fluctuation (SR174)

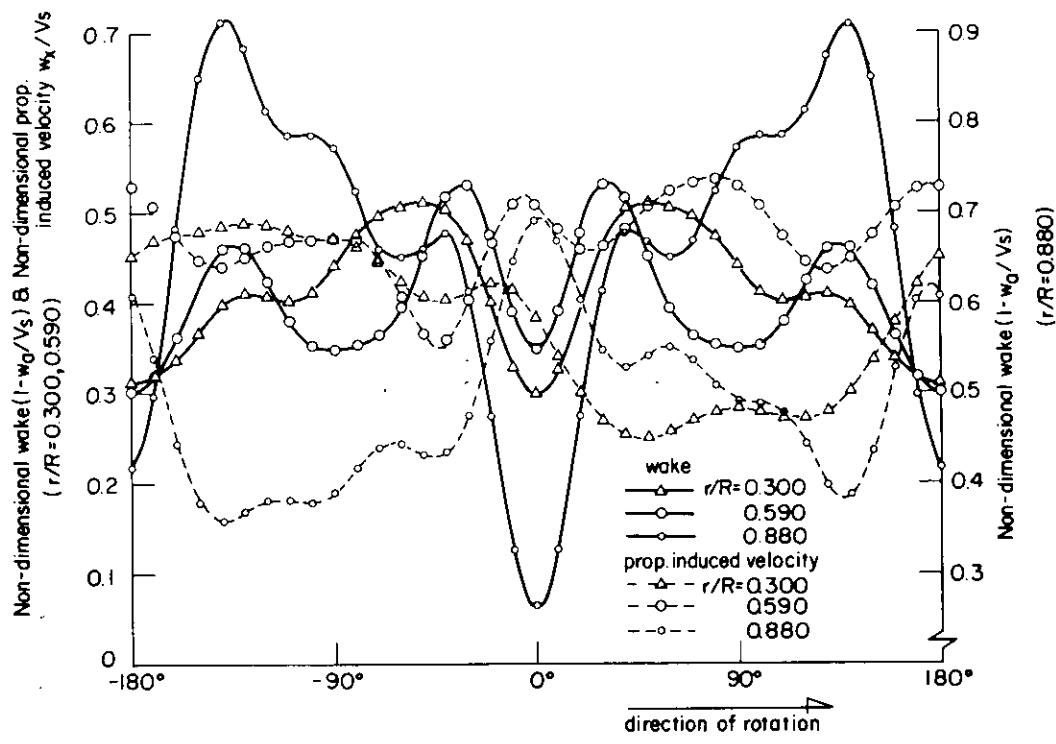


Fig. 4.12 (a) Fluctuations of Wake and Propeller Induced Velocity (SR174)
(Axial Components)

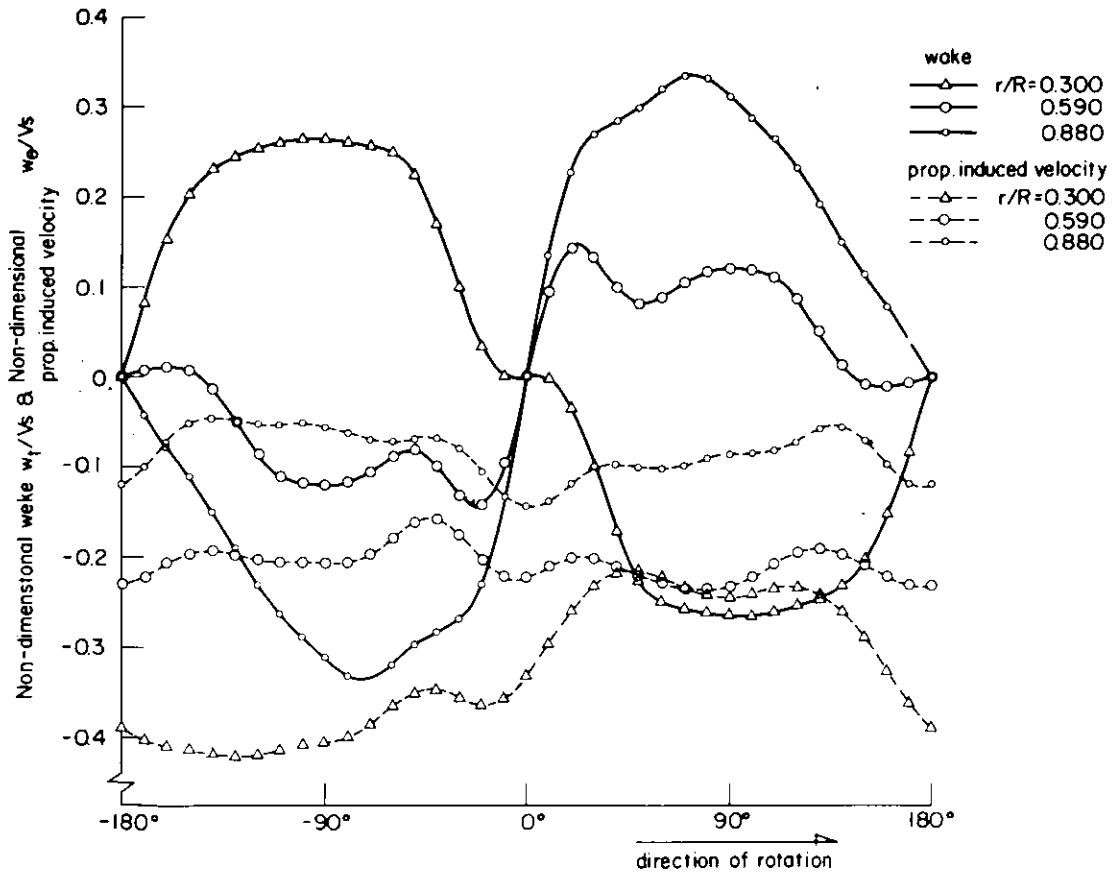


Fig. 4.12 (b) Fluctuations of Wake and Propeller Induced Velocity (SR174)
(Tangential Components)

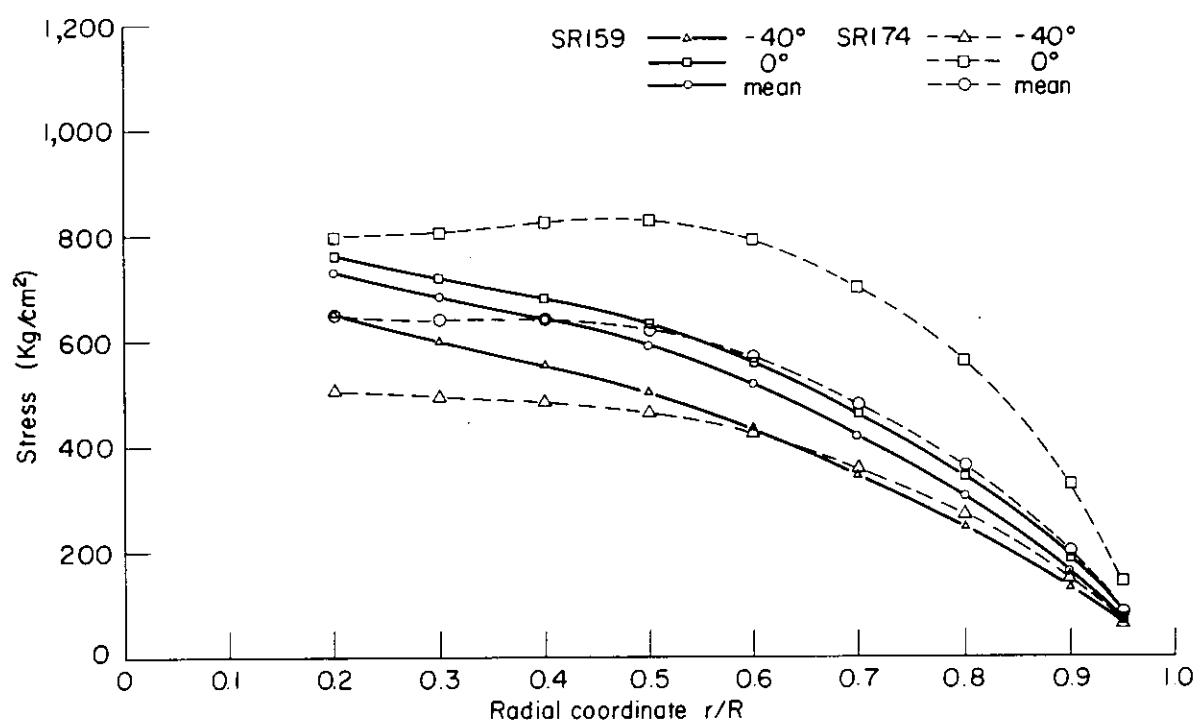


Fig. 4.13 Radial Distribution of Maximum Tensile Stress

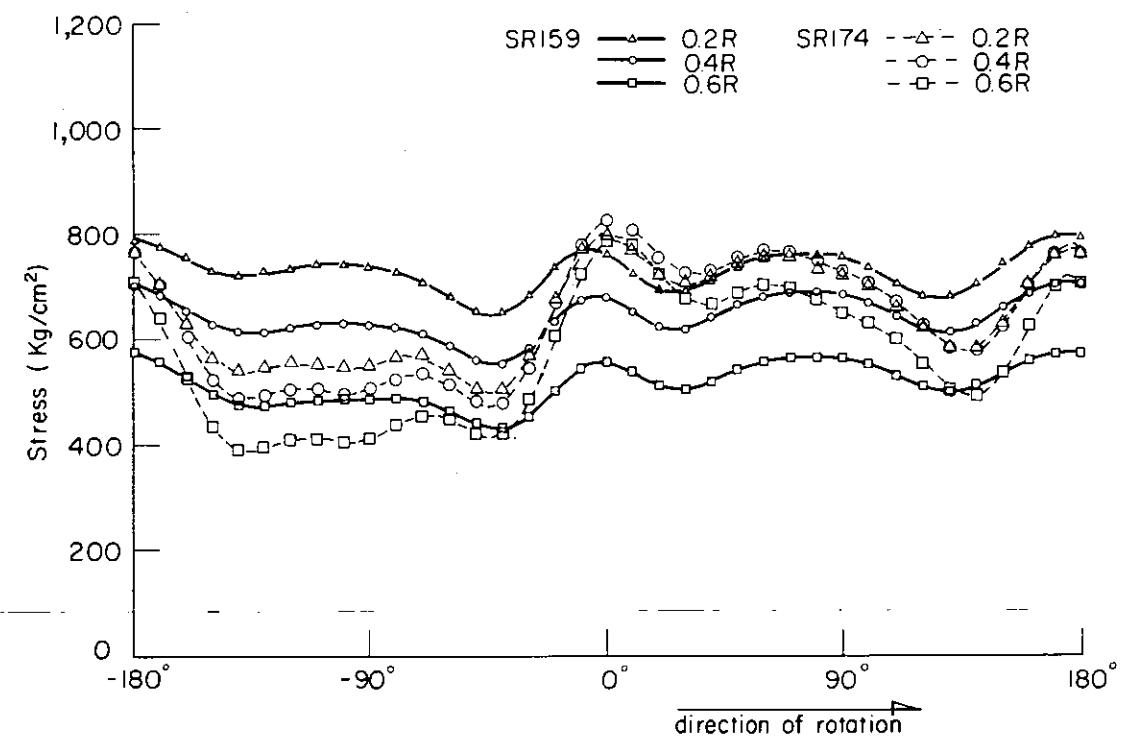


Fig. 4.14 Maximum Tensile Stress Fluctuation

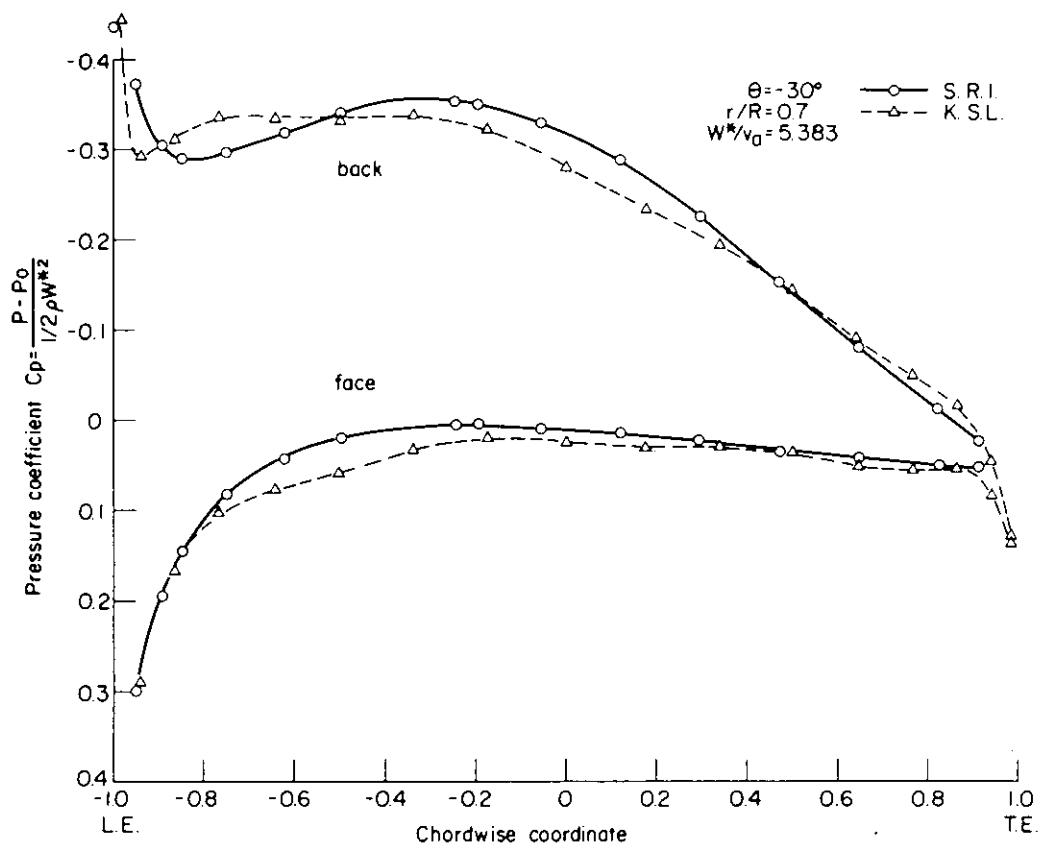


Fig. 4.15 (a) Pressure Distribution (SR174)

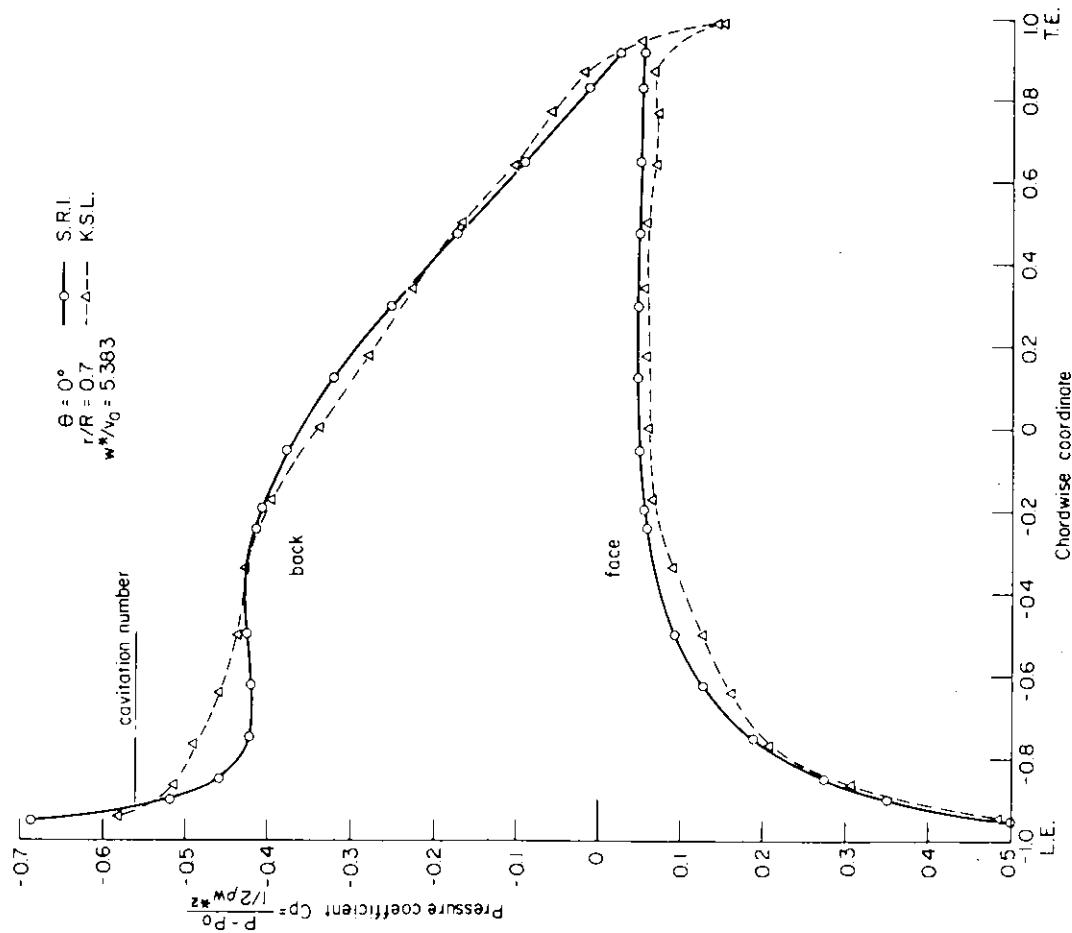
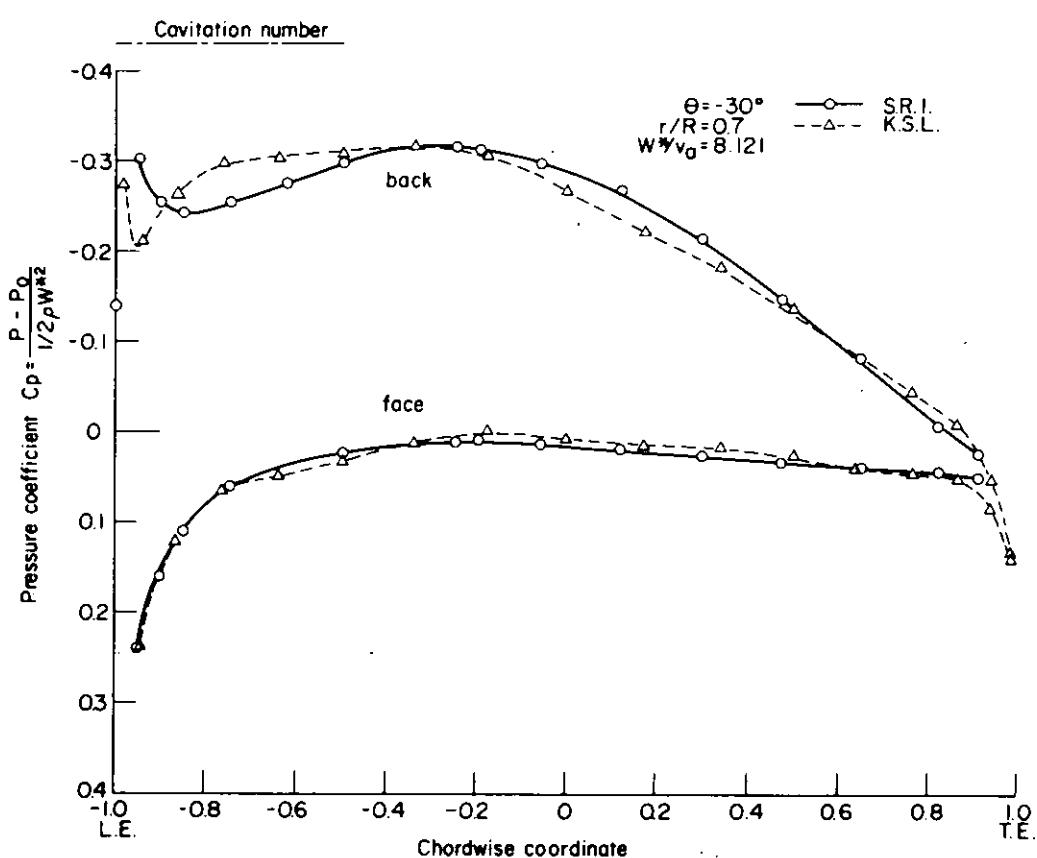
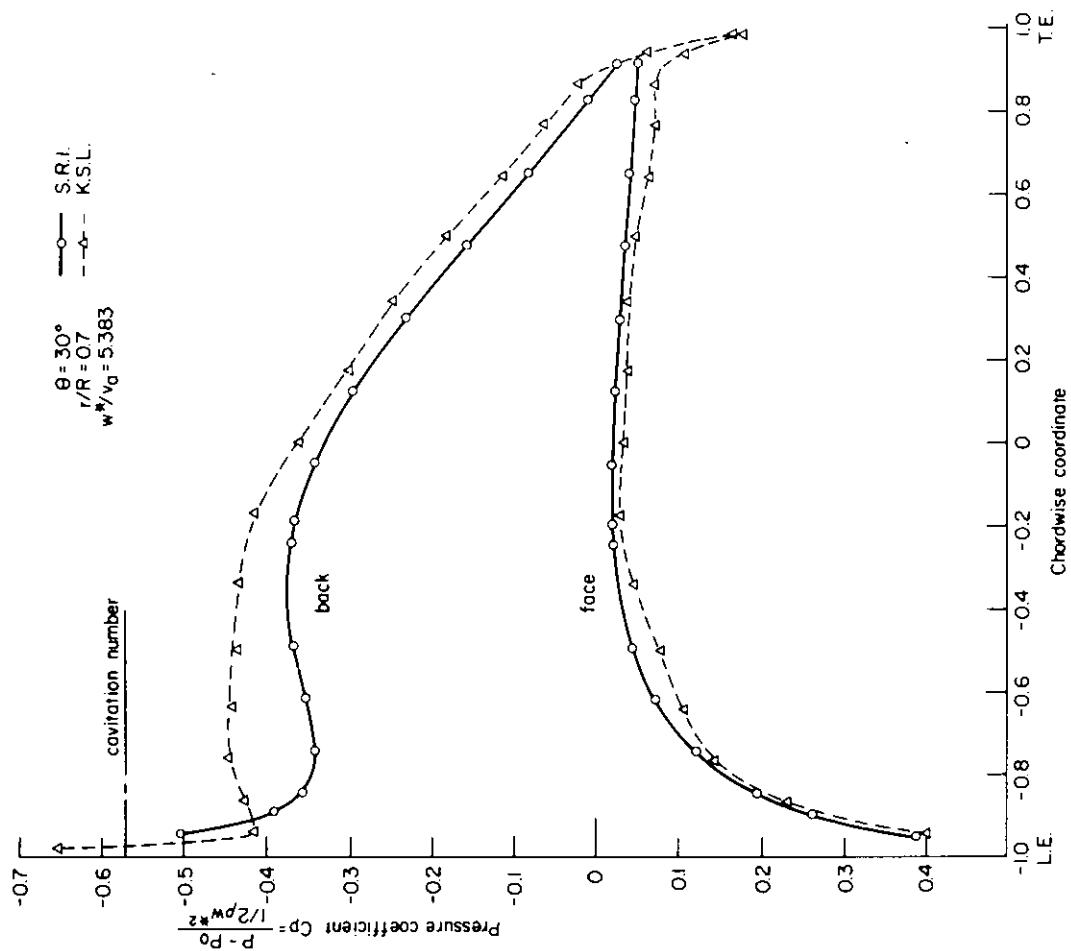


Fig. 4.15 (b) Pressure Distribution (SR174)



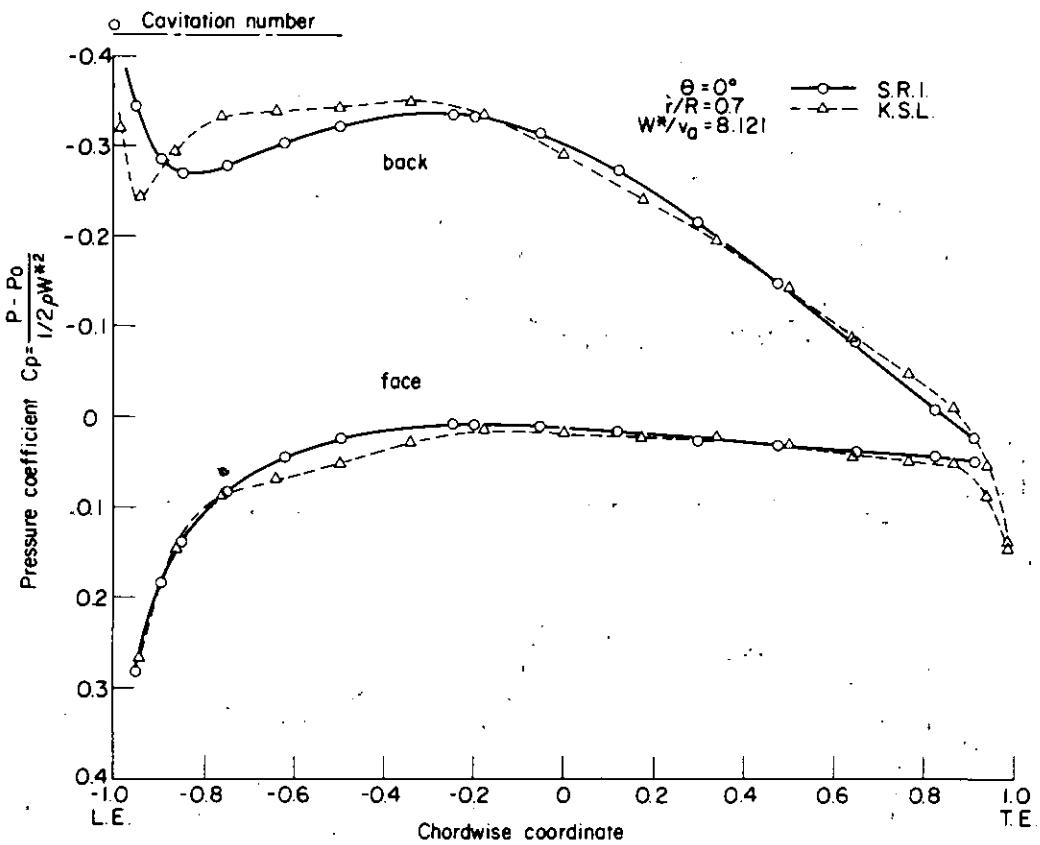


Fig. 4.16 (b) Pressure Distribution (SR159).

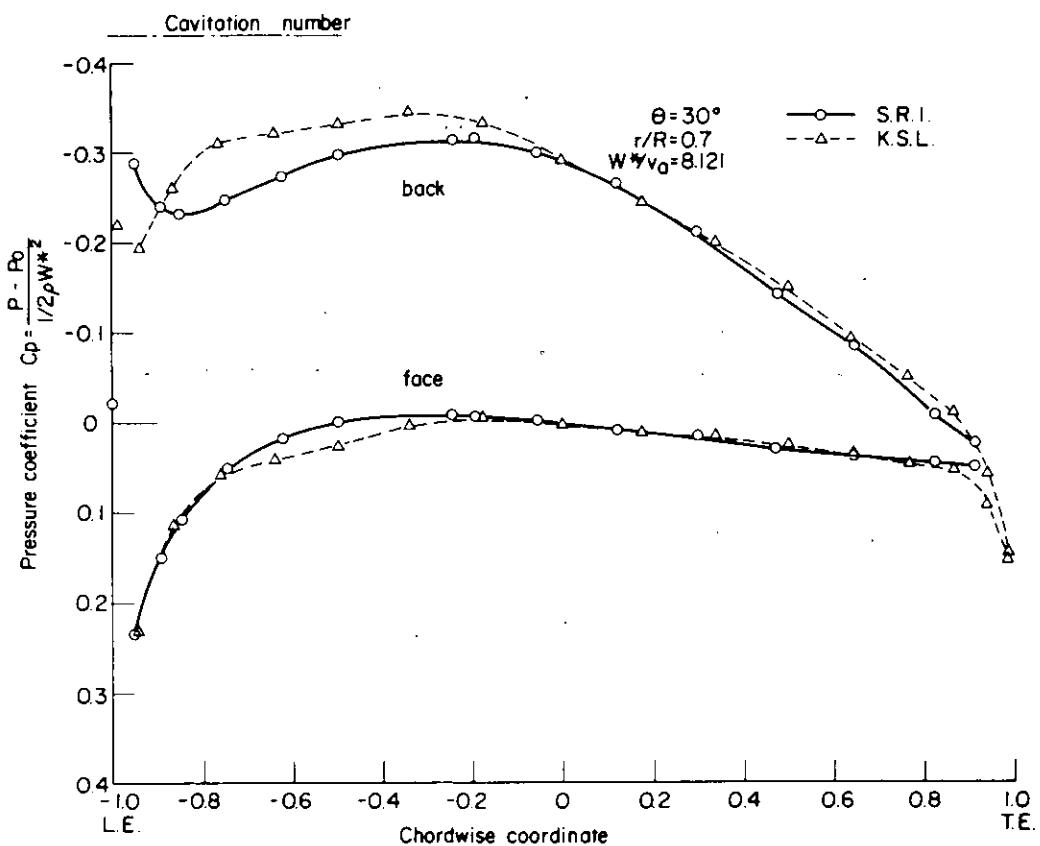


Fig. 4.16 (c) Pressure Distribution (SR159)

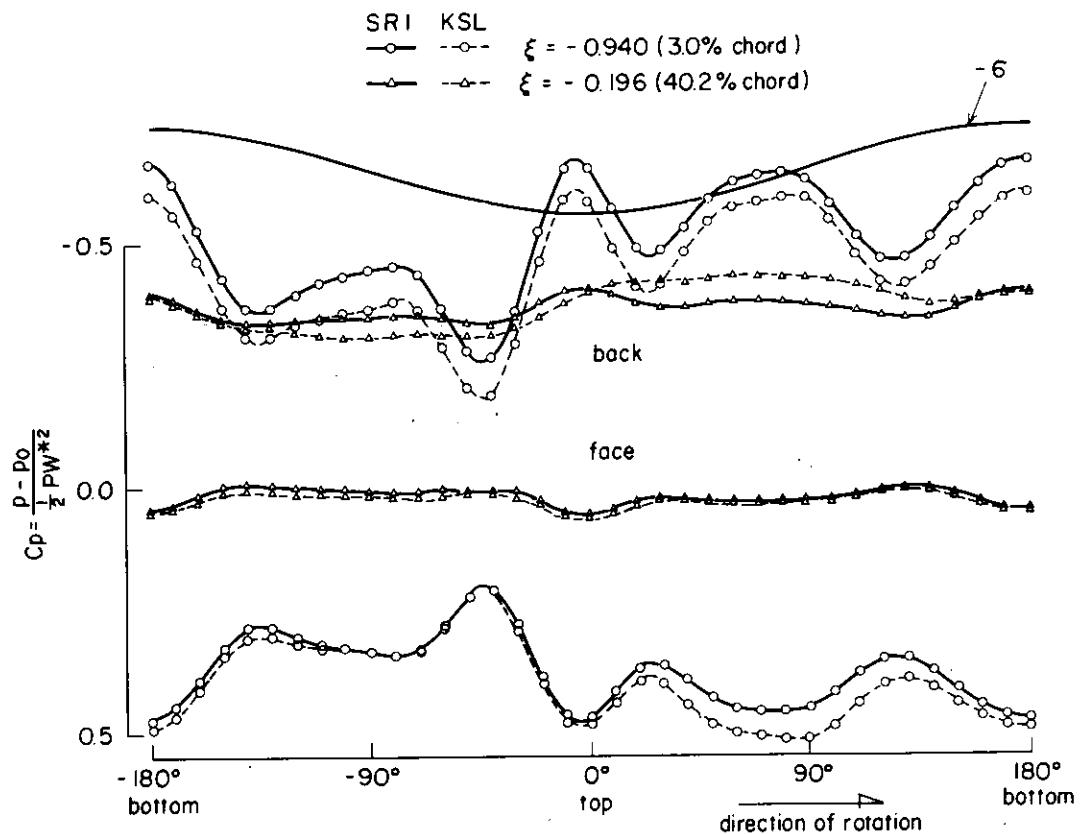


Fig. 4.17 Variation of Pressure at $r/R=0.7$ (SR174)

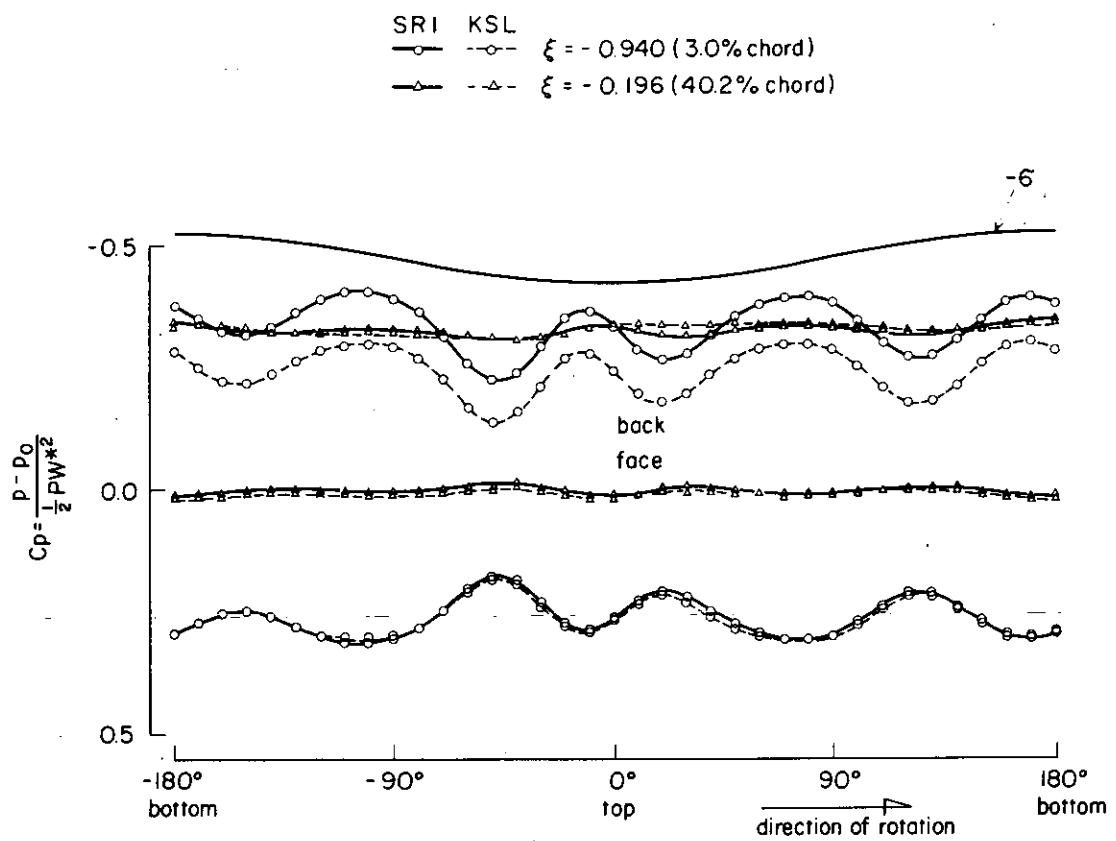


Fig. 4.18 Variation of Pressure at $r/R=0.7$ (SR159)

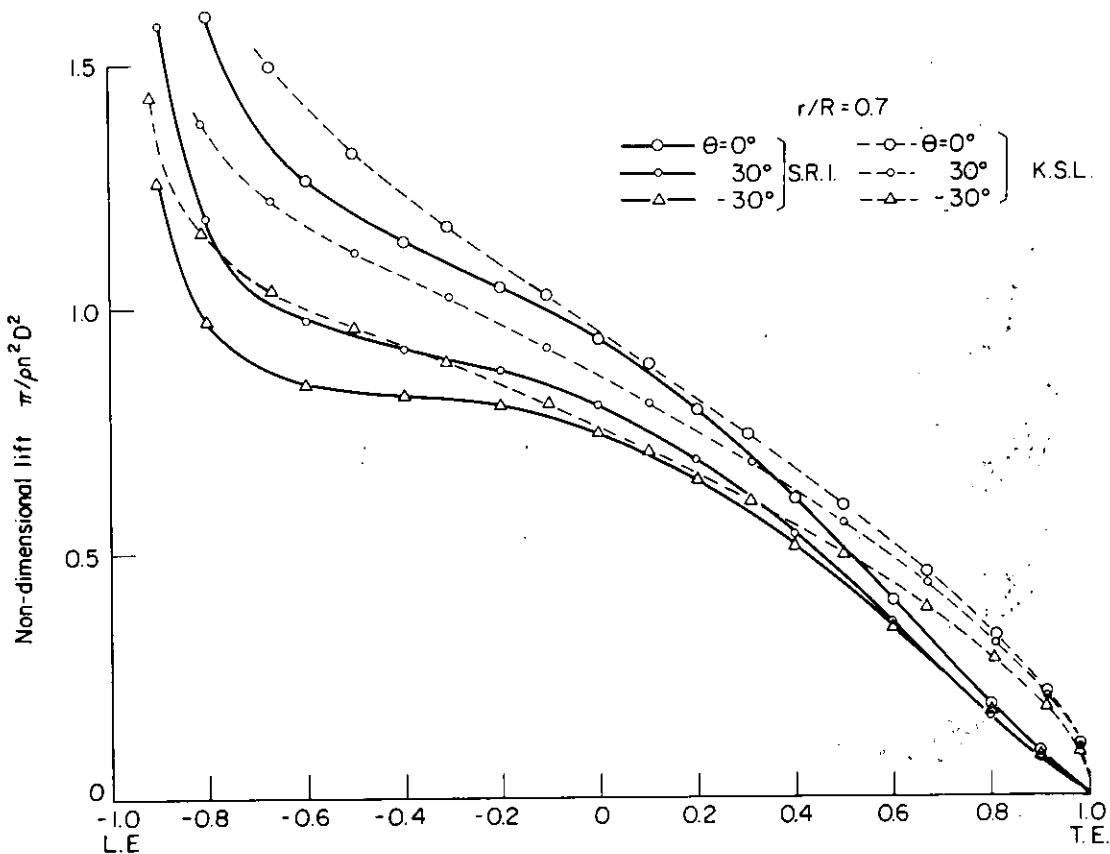


Fig. 4.19 Lift Distribution (SR174)

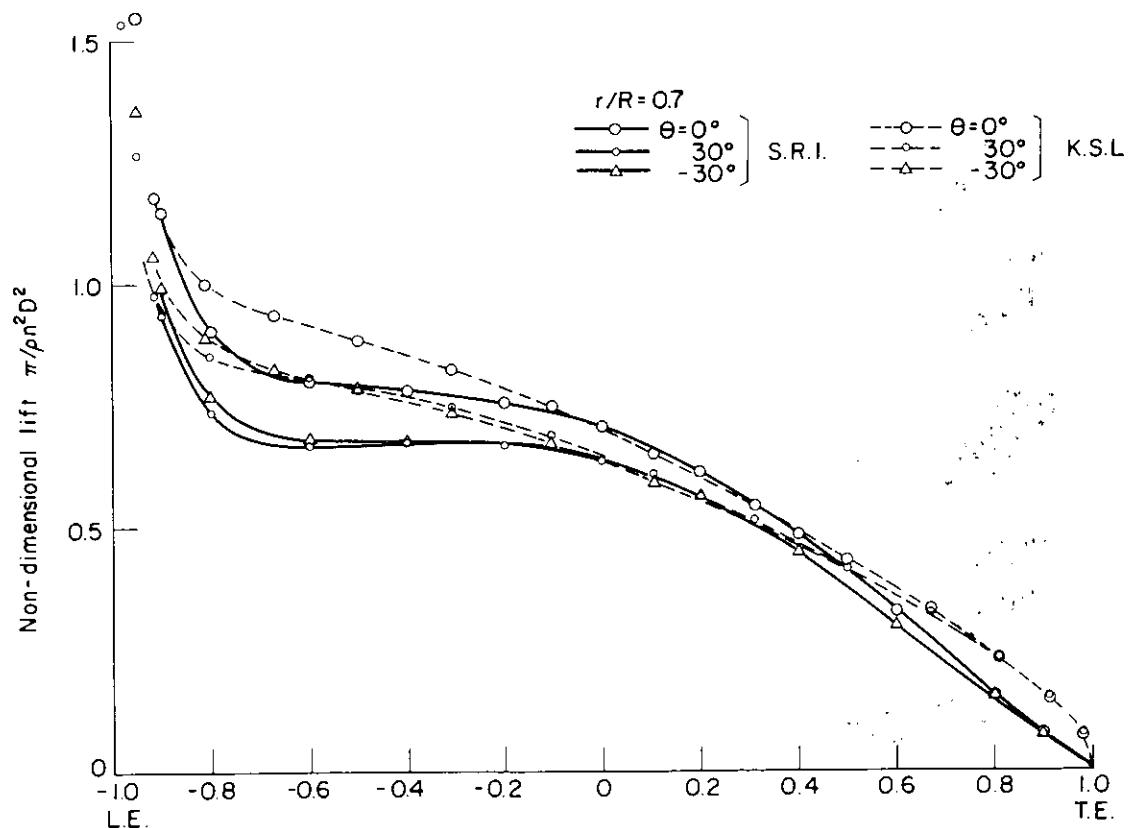
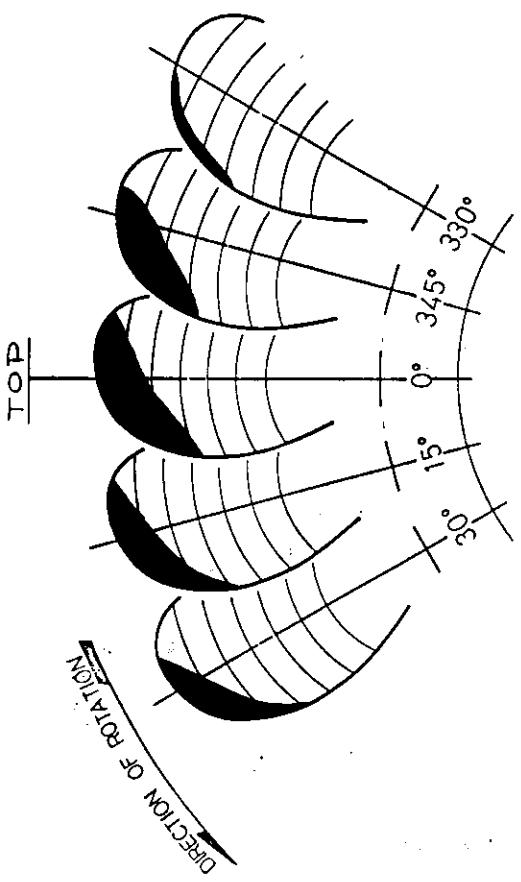


Fig. 4.20 Lift Distribution (SR159)



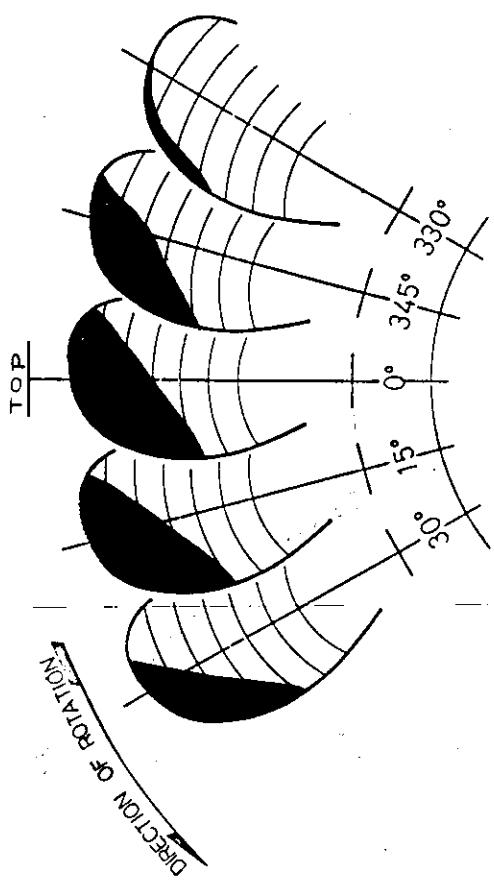
PROPELLER NUMBER
M.P.NO. 2171

CONDITION FULL

BACK CAVITATION

no face cavitation

Fig. 4.22 Cavitation (SR159)



PROPELLER NUMBER
M.P.NO. 2185

CONDITION FULL

BACK CAVITATION

no face cavitation

Fig. 4.21 Cavitation (SR174)

5. 考 察

5.1 船型に関する試験研究

52年度は、本研究部会の初年度であるので、船型に関する試験研究は、前述のように、詳細な水槽試験がすでに実施されている船型を母型として、その船尾周りの形状を、回転数を或る程度低減させたプロペラが装備しうるように変更した船型を設計し、それについて大型模型船による各種の水槽試験を実施し、母型と推進性能上の比較調査を行った。

すなわち、母型とした船型は、SR 159 M.S.№ 3330 であり、その船尾形状を、回転数を 13,700 BHP で 85 RPM に低減したプロペラ——母型にくらべると直徑が約 27% 大きい——が無理なく装備できるように変更した船型が、SR 174 M.S.№ 3522 である。

試験状態は、Table 3.3.1 に示されているように、満載およびバラスト(1), (2)の 3 載貨状態について、抵抗試験、自航試験、プロペラ荷重度変更試験、伴流計測試験等であった。

これらの試験の結果を要約すると、次のようなである。

- (1) 抵抗試験から求められた形状影響係数の値は、M.S.№ 3330 と M.S.№ 3522 で変化が認められない。
また、両模型船から、船長 192 m の実船の有効馬力を求めた結果も、両船型とも、ほぼ等しい値を示した。
- (2) 自航要素を比較すると、 η_R は M.S.№ 3522 で、 $1 - t$ は、M.S.№ 3330 で若干大きな値を示している。 $1 - w_T$ の値は、両船型で大きな差があり、M.S.№ 3522 では、計画出力付近でみると、満載状態で約 20% 程度大きくなっている。バラスト(1)状態でも、 $1 - w_T$ の値は、相当大きくなっているが、この載貨状態では、M.S.№ 3330 においては、自航試験時の不安定現象が、M.S.№ 3522 では、高速における空気吸込み現象が発生しており、船型の相異を直接比較することはできない。
- (3) 大直徑プロペラを装備する船型ではプロペラ深度の小さいバラスト状態における推進性能が問題になる。このために、バラスト状態では、トリムを 1.5 % と 2.0 % に変化させた試験を行ったが、抵抗は 1.5 % トリム（バラスト(2)状態）で僅か小さくなったが、自航要素は大差なく、また自航試験時の空気吸込み速度もほぼ同じであった。従って、本船型では、この程度の船尾吃水の差は、推進性能面では差はないとしてよく、また 2 % 程度のトリムで、空気吸込みやプロペラ側に生ずる問題を解決することは難しいであろう。
- (4) 満載、バラスト状態とも、Table 3.3.3 にみるように、M.S.№ 3522 では、船体効率の低下が著しく、このために、プロペラ効率比やプロペラ単独効率の増加を大幅に相殺している。模型試験ベースでみると、プロペラ単独効率は、満載状態で約 26%，バラスト(1)状態で約 22% 改善されているのに、推進係数では、それぞれ 7 % および 9 % 程度の改善しかみられない。

対応実船の長さを 192 m として、 $(1 - w_T) S / (1 - w_T)_M$ の比を Table 5.1 のように推定して、実船の推進係数を推定してみると、Table 5.2 のようになる。これによっても満載状態で約 6%，バラスト状態で約 10% の推進係数の改善となり、プロペラ単独効率の向上に比し、その改善の度合がすくないことがわかる。

上記の結果から考察すると、Fig 3.3.1 に示す M.S.№ 3522 は船体効率の低下の面から船型的に問題が残されており、特に伴流利得を大きくするような方向で、船型を再検討する余地があるものと考えられる。従来、低回転大直徑プロペラ装備船の水槽試験がいくつか実施された例があるが、いづれも船体効率の低下のために、回転数を低減させた利点を充分に生かしきっていない。従って、M.S.№ 3522 に対して如何なる考慮を加えるべきか難しい問題であるが、M.S.№ 3330 に対する船型修正をプロペラ付近のごく限られた範囲だけに留めず、船体中央に近いところから検討を加えることにより、もう少し良い船型を導くことができるかもしれない。

このような船型変更を実験的アプローチからだけで追求することは困難かつ繁雑な手法になることが予想されるの

で、近年における三次元境界層理論を有効に利用することが、新船尾形状の開発に有力な手段を提供するものと思われる。

Table 5.1 Values of $(1 - W_T)s/(1 - W_T)M$

M.S.No Load Cond ⁿ	3330	3522
Full	1.18	1.125
Ballast (1)	1.28	1.20

Table 5.2 Values of η for Actual Ship

M.S.No Load Cond ⁿ	3330	3522
Full ($F_n = 0.16$)	0.678	0.723
Ballast (1) ($F_n = 0.18$)	0.727	0.800

5.2 プロペラに関する試験研究

プロペラ流力特性の理論計算として、現在最も精度が高いといわれる揚力面理論を用いた方法によって、ペアリング・フォースに関する解析を行った。具体的には、2つの計算法を併用して計算法についての検討を行い、又、計算の対象としては、本研究部会の供試船の他に、比較対象として在来型船型1つを取り上げた。

この際、計算に用いた伴流分布は模型船のものである。

- (1) 2つの計算法の比較においては、ペアリング・フォース計算の観点からすると、いずれの計算法でもほぼ満足する結果の得られる事がわかった。すなわち、スラスト、トルクの平均値については両計算結果に差があったり、1翼あたりのスラスト値がtangential wake の強い所で若干異なってはいるが、ペアリング・フォース全般としては、両計算結果は一致していると言える。しかし、キャビテーション計算を念頭においた圧力分布計算については、未だ問題点が残されている。すなわち、前縁から40%弦長点までの背面の圧力分布における両計算の差がめだっている。この部分の圧力値は、キャビテーションの問題で特に重要なところであるから、計算精度を上げるべく努めなければならない。
- (2) 2船型に対する計算のみによる比較結果から、低回転大直徑プロペラの実用化における問題点をある程度指摘し得たと言えよう。すなわち低回転大直徑プロペラがペアリング・フォースの点からも、翼応力の点からも、また、キャビテーションの点からも、在来のプロペラの場合に比して、いくぶん悪条件下におかれている事がわかった。

6. 昭和53年度以降の計画

6.1 船型関係

昭和53年度以降においては、昭和52年度のいわゆるSR船型についての低回転大直徑プロペラ装備船尾形状に関する試験研究の成果を基にして、パナマックス型貨物船型を対象船型として選定した場合の船尾形状の開発を行う予定である。

すなわち、53年度においては、パナマックス型貨物船型について、在来のプロペラを装備した場合と、大幅な船尾形状の変更を要しない程度の低回転大直徑プロペラを装備した場合の比較試験を大型模型船により行うとともに、小型模型船により数種の船尾形状の比較調査を行う。さらに、54年度においては、超低回転大直徑プロペラを装備する船尾形状を設計し、それについて、小型模型船および大型模型船による調査および試験を行う。

急速停止性能の比較に関しては、パナマックス型貨物船型の船尾形状とプロペラの組合せシリーズ、3種について、53年度および54年度に、準定常的な水槽試験を行い、準定常的計算により相互比較を行う予定にしている。

なお、これらの実験的試験研究に並行して、船尾形状の変化に伴う船尾流場の変化の予測法とその応用に関する研究も実施する予定である。

6.2 プロペラ関係

昭和52年度においては、SR型船型について、在来のプロペラを装着した場合と、低回転大直徑プロペラを装着した場合とについて、ペアリング・フォースと圧力分布の理論計算を行った。

この研究成果を基に53年度以降では、パナマックス型貨物船型を対象として選定した場合のプロペラとキャビテーションに対して生じる諸問題の抽出とこれに附隨した研究を行う予定である。

53年度以降の具体的な研究計画は以下のとおりである。

(1) ペアリング・フォースの計算および計測、ならびに圧力分布の計算

52年度に行ったSR船型についてのペアリング・フォースの理論計算によれば、大直徑プロペラを採用することによってペアリング・フォースが増大するということがわかったので、53年度はパナマックス型船型についてもペアリング・フォースを計算する。また、模型船を用いて、ペアリング・フォースを計測し、52年度の理論計算の結果と比較する。

(2) キャビテーションおよび船尾変動圧力測定試験

52年度の理論計算の結果からも低回転大直徑プロペラを採用することは、キャビテーション及び起振力にかなりの影響を与えることが予想される。このためパナマックス型貨物船型に在来のプロペラを装着した場合と、低回転大直徑プロペラを装着した場合について、キャビテーション及び起振力試験を行い、その比較を行う。

(3) キャビテーション発生範囲の推定及びエロージョンの推定

一般に大直徑プロペラの採用により、プロペラ・ディスク面内の周方向の伴流分布の変動が大きくなる。この結果、非定常キャビテーションの発生の危険性が増す。しかしながら、この種の研究を直接プロペラで行うのは難かしいので、より簡単化した供試体を用いて基礎的研究を行うことが必要である。

すなわち、2次元定常翼型などを用いて圧力分布などの計測とキャビテーションの発生範囲とエロージョンの推定のための基礎的資料を得る。

(4) 自航要素の理論計算

大直徑プロペラを装着した場合は、在来のプロペラを装着した場合と比較して $T-t$ 、 $T-w$ などの自航要素が大きく変わるので、パナマックス型船型の船尾形状の変化が自航要素に与える影響を理論計算によって検討する。