

スーパー・キャビテーション・プロペラの性能計測 に関する研究

松田 登*、黒部 雄三*、右近 良孝*
工藤 達郎*、岡本三千朗*

Experimental Investigation into the Performance of Supercavitating Propellers

by

Noboru MATSUDA, Yuzo KUROBE, Yoshitaka UKON,
Tatsuro KUDO, Michio OKAMOTO

Abstract

This paper describes extensive experiments on the hydrodynamic characteristics of nine supercavitating propellers (hereafter SCPs) performed at the SRI Large Cavitation Tunnel.

The SRI successfully made a project to develop a reliable design method on the SCP with higher efficiency than the existing ones. In this project, an accurate analytical method was also developed on the SCP performance based on a vortex lattice method, SC-VLM. Some of them were designed by the newly developed design method together with SC-VLM. On the other hand, reliable experimental evaluation on hydrodynamic characteristics of SCPs was demanded in this project.

Several efforts were made to improve the measurement procedure for the SCP performance through the present extensive experiments. In the cavitation experiments, two kinds of dynamometers were used to examine the reliability in the measurements and to clarify the viscous effects on the hydrodynamic performance of the SCP. The propeller open characteristics of these propellers were measured by using two kinds of dynamometers in a towing tank. This paper also discusses the influence of the measuring devices and the experimental facilities on the measurements.

The present extensive reliable measurement on the SCPs will be utilized to develop a more rigorous theory on them and other propellers for high speed ships.

* 推進性能部

原稿受付 平成6年11月9日

審査済 平成6年11月28日

—目次—

1. はじめに
2. 計測装置及び供試プロペラ
3. SCP の設計
4. SCP の性能計測
5. 計測法上の問題点
6. まとめ

1. はじめに

近年、高速船に大きな関心が向けられているが、そのプロペラとして、スーパー・キャビテーション・プロペラ（以下、SCP という）が効率の観点から最も期待できることが知られている[1]。SCP に関する研究は米国で1950～60年代に盛んに行われていた[2、3]。その後、Yim による研究[4]を除いて主だった研究は行われていなかった。一方、我が国では、谷口らの実験的研究[5]の他、二、三の論文[6]を除き、研究結果が公表されることは少なかった。

この他、レジャー・ボートへの関心の高まりに伴い、船外機のプロペラ等のこの種のプロペラの性能向上が研究の対象となってきた。しかしながら、これらのプロペラは試行錯誤的な経験的手法で設計を行っている状況にあり、設計法の早期確立が望まれていた。このため、船舶技術研究所（以下、船研という）では指定研究「スーパーキャビテーション・プロペラの設計に関する研究」において、新しい SCP 設計法[7、8]を開発し、(社)日本造船研究協会との共同研究「スーパーキャビテーションプロペラに関する研究」で、この有効性を確認した。この際、SCP の性能評価は模型実験によって行うので、計測の信頼性が重要な課題になった。

本報告では、これらの研究で設計した SCP の各作動状態でのスラスト、トルク及び効率などの性能計測結果について述べるとともに、その計測法についても述べる。船研の大型キャビテーション試験水槽にある2種類の動力計を用いてプロペラ単独性能を計測するとともに、プロペラ回転数、空気含有率を変化させ、計測結果への影響を調べた。ここで述べる計測方法はキャビテーションが大量に発生する SCP に適用する

ので、キャビテーションが発生していない通常型プロペラの計測法と比較して、その計測法及び側壁影響についての議論も行った。また、キャビテーションの発生していない状態については、曳航水槽でのプロペラ単独性能計測とキャビテーション水槽での計測の比較も検討した。

供試プロペラは9個であり、それぞれのプロペラの設計法についても簡単に触れる。これらのプロペラのうち、4個のプロペラは在来法に基づき、他の5個は新しい設計法に基づき設計された。新しい設計法についての詳細な記述は文献[7、8]にあるので参考にされたい。本報告では SCP 性能解析法について触れず、実験的研究について述べる。

2. 計測装置及び供試プロペラ

2.1 計測装置及び計測手順

本論文に述べる計測はすべて船研の大型キャビテーション試験水槽又は三鷹第3試験水槽(中水槽)で行った。キャビテーション水槽ではプロペラ性能計測のために主動力計(Kempf & Remmers 社製 J26型、容量；スラスト600kg、トルク30kg-m、最大回転数60 rps)と斜流動力計(Kempf & Remmers 社製 H38型、容量；スラスト200kg、トルク10kg-m、最大回転数50 rps)の2種類の動力計が使用可能である。両者の違いは容量の他に、前者は上流から、後者は下流からシャフトが伸びていて、それぞれ検力部につながっている。

出力はアンプ(日章 DSA-100)を介し、A/D変換(NCC Mark-1b)後、パソコン NEC PC9801 VX で解析した。サンプリングレートは100Hzである。主動力計及び斜流動力計の容量及び公称精度を Table 2.1 に示す。計測精度は、主動力計については0.2%FS、斜流動力計については0.3%FS以下であることはキャリブレーションにより確かめられている。例えば主動力計の場合、プロペラ直径が200mmでプロペラ回転数が40rpsの時、計測精度は Table 2.2 に示す様にスラスト、トルクに関し、それぞれ、 $K_T=0.005$ 、 $K_Q=0.0011$ 以下に対応する。斜流動力計についても同様の場合、Table 2.2 に示す精度となる。

Table 2.1 Capacity of Dynamometers

名称	使用水槽	タイプ	容量		公称精度
			スラスト (Kg)	トルク (Kg-m)	
スティング型動力計	曳航水槽	L型	40	2	0.2%FS
小型動力計	曳航水槽	L型	30	1.5	0.2%FS
主動力計(J26)	キャビ水槽	J型	600	30	0.2%FS
斜流動力計(H38)	キャビ水槽	L型	200	10	0.3%FS

Table 2.2 Measurement Accuracy of Dynamometers

動力計	n[rps]	ΔK_t	ΔK_q
スティング型動力計	10	0.005	0.0012
小型動力計	10	0.004	0.0009
主動力計(J26)	40	0.005	0.0011
斜流動力計(H38)	40	0.002	0.0006

中水槽ではキャビテーション水槽と同様に、計測精度を確かめるため、プロペラ単独性能計測用に2種類の小型動力計(電子工業製、天秤方式、スラスト30kg、トルク1.5kg-m、最大回転数60rps、精度0.2%FS)とスティング型動力計(日章電機製、歪ゲージ方式、スラスト40kg、トルク2 kg-m、最大回転数50rps、精度0.2%FS)を用いて計測を行った。それぞれのシャフトカバーの前端での直径は、36mm、53mmとなっている。各プロペラでの試験の前にボスのみでの計測を行い、計測値を補正している。両動力計の容量及び計測

精度等を Table 2.1 及び 2 に示す。

2.2 供試模型プロペラ

供試プロペラの主要目を Table 2.3 に示す。また、各プロペラの形状図と Fig. 2.1 (a)~(i) に示す。オフセットを附録に示す。

Table 2.3 中の N-R プロペラは Newton-Rader より開発されたプロペラで設計チャートが公表されている[9]。断面形状は Fig. 2.1 (a) に示す様な三ヶ月(クレセント)型翼型に翼根側でウォッシュ・バックが付いた翼形状となっている。DTMB プロペラは DTMB で開発されたプロペラで、Tulin 2項翼型に対して翼強度の観点から線型 SC 理論で得られる翼厚を倍にした DTMB (原論文では TMB と呼ばれている) 翼型を用いている。翼断面形状は Fig. 2.1 (c) に示す様な楔形となっている。SSPA プロペラは Rutgersson により開発された SCP で設計チャートが公表されている

Table 2.3 Principal Particulars of Tested Propeller Models

名称	N-R	SSPA-F	DTMB	SSPA	SRIJ-I	SRIJ-II	SRIJ-A	SRIJ-III	SRIJ-IV	
M.P.No.	339	340	341	345	354	356	365	366	369	
直径[mm]	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	
ピッチ比(0.7R)	1.650	1.600	1.054	1.600	1.533	1.470	1.749	1.379	1.487	
展開面積比	0.950	0.500	0.512	0.500	0.641	0.641	0.825	0.529	0.833	
ボス比	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	
レーキ角[deg]	0	10	10	10	10	10	10	10	10	
スキュー角[deg]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
翼数	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
翼断面	翼端側	N-R	Flat	DTMB	SSPA	SRJN	SRJN	SRIJ	SRJN	SRJN
	翼根側									NACA16
回転方向	右	右	右	右	右	右	右	右	右	
材料	NiAlBr	NiAlBr	SUS303	NiAlBr	SUS303	SUS303	SUS303	SUS303	SUS303	
設計法	N-Rチャート	SSPAチャート	DTMB法	SSPAチャート	SC揚力線	SC揚力線	SC揚力線	SC揚力線	SC揚力線	
設計値	前進率	1.34	1.10	0.775	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	
	スラスト係数	0.235	0.159	0.0928	0.159	0.160	0.160	0.217	0.156	
	トルク係数	0.0710	0.0430	0.0162	0.0430	0.0354	0.0360	0.0545	0.0364	
	効率	0.690	0.647	0.705	0.647	0.786	0.772	0.696	0.750	
計測値	前進率	1.34	1.10	0.775	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	
	スラスト係数	0.270	0.102	0.125	0.170	0.183	0.165	0.203	0.150	
	トルク係数	0.0790	0.0284	0.0225	0.0468	0.0474	0.0420	0.0516	0.0356	
	効率	0.728	0.629	0.670	0.636	0.676	0.707	0.0688	0.738	

[10]. 翼断面形状は Tulin 3 項翼理論翼型に対して翼厚を増した Fig. 2.1 (d) に示す翼形状となっている。一方、SSPA-F プロペラは Fig. 2.1 (b) に示す様に翼正面形状がフラットとなっており、正面形状の SCP 性能に及ぼす効果を調べるのに好都合な形状のプロペラとなっている。

SRIJ-I プロペラは DTMB SCP 設計法 [3] を改良した設計法 [6] で設計されており、翼断面形状は Fig. 2.1 (e) に示す様に、正面形状は Johnson 5 項翼とし、背面は非線型 SC 翼理論 [11] により求められた SRJN-I 翼型となっているため、極端な楔形とはなっていないのが特長である。SRIJ-II プロペラは SRIJ-I プロペラのキャンバが過大であることが分かったため、揚力面補正法を抜本的に改良するとともに設計迎角を大きくした SRJN-II 翼型を用いている [7]。Fig. 2.1 (f) に示す様に、キャンバに過大な感じがなくなっている。

SRIJ-A プロペラは設計条件を 50kts から 60kts に変更した更に超高速な船用のプロペラではあるが、Fig. 2.1 (g) に示す様に、翼断面形状は SRJN-II を用いている。SRIJ-III プロペラは Fig. 2.1 (h) に示す様に、SRIJ-I と II プロペラが SSPA プロペラをベースに翼強度の観点から翼輪郭形状を変更して求められているのに対して、翼弦長分布を任意として、各半径位置で翼型性能を最適化して求められているのが特徴である [8]。

SRIJ-IV プロペラは実機ベースでの強度を満たすべく、翼根側で NACA16 翼型としたハイブリッド型の SCP として設計した [8]。Fig. 2.1 (i) に示す様に、翼根部でかなり厚いことが分かる。

プロペラ直径は、SSPA プロペラ (MPNo. 345) を他水槽において持ち回り試験で使用することとなっていたので、他の水槽での動力計の容量及び減圧能力等の観点から、200mm で統一した。材質は N-R と SSPA プロペラを NiAlBr とし、その他は SUS303 で製作した。製作精度は 5/100mm 以下である。翼前縁での厚みは模型製作上 0.2mm 以上とした。各プロペラのボス比は 0.19 に統一した。

3. SCP の設計

3.1 設計条件

本報告で用いられる模型プロペラは SRIJ-A プロペラを除き、次に示す設計条件で 3 軸超高速船用プロペラとして設計された。

船速	50kt
推力 (1 軸当り)	100ton ; $C_T=0.334$
翼数	3
キャビテーション数	0.4
直径	3.318m

最適プロペラ回転数は DTMB、SSPA プロペラの

各チャートから与えられる。但し、SC 状態となるような設計条件下で決定した。SSPA-F、SRIJ-I、-II、-III 及び-IV プロペラは SSPA プロペラの最適プロペラ回転数を設計値とした。SRIJ-A プロペラは船速を 60 kts、1 軸当りのスラストを 200ton、前進率は 1.1、キャビテーション数を 0.3 として設計した。 $C_T=0.465$ 、即ち、 $K_T=0.221$ が設計目標値である。

3.2 各プロペラの設計

(1) Newton-Rader プロペラ、MPNo. 339

このプロペラの設計は Newton-Rader の論文 [9] に基づいて行われた。与えられた C_T から K_T/J^2 を求め、各展開面積比 (論文 [9] 中、BAR と呼ばれる) 及びピッチ比 (P/D) をもつプロペラのチャートから、 K_T/J^2 を満たす J を求めた。最も高い効率を与える展開面積比とピッチ比の組み合わせを求めると、展開面積比及びピッチ比はそれぞれ、0.95、1.65 となった。設計点の前進率 $J=1.34$ では、スラスト係数、トルク係数及び効率はチャートから、それぞれ、0.235、0.0710 及び 0.690 と予測された。プロペラ形状を Fig. 2.1 (a) に示す。

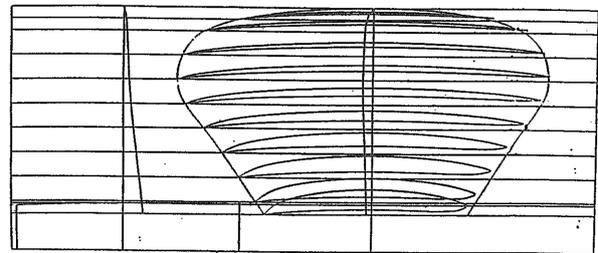


Fig. 2.1 (a) Drawing of Propeller Blade for Newton-Rader Propeller; MPNo. 339

(2) SSPA-F プロペラ、MPNo. 340

本プロペラは SSPA チャート ($\sigma_v=0.4$) [10] に基づき、設計した。作動点は SC 状態になり、かつ最も効率の高い点とした。その結果、前進率は 1.10 となり、ピッチ比は 1.60 となった。このプロペラは Fig. 2.1 (b) に示す様に正面形状がフラットで、正面キャンバが殆

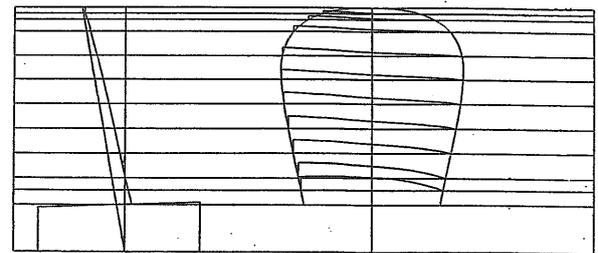


Fig. 2.1 (b) Drawing of Propeller Blade for SSPA-F Propeller; MPNo. 340

どないので、設計で要求されるスラストを発生しないことが予想されたが、断面形状のプロペラ性能に及ぼす影響を調べるのに好都合なプロペラとなっている。

(3) DTMB プロペラ, MPNo. 341

Tachimindji-Morgan により SCP 設計法が開発され [2]、Venning の論文 [3] に設計手順が具体的に示されている。これをプログラム言語 Basic により設計プログラムを作成した。設計手順の概略を以下に示す。ここで、DTMB 法ではスラストが15%低目にできる傾向が知られている [1、3] ので、設計スラストは他のプロペラより15%増しとし、以下の手順で設計することにした。

(Step 1) 設計条件の設定

船速50kts、スラスト115ton、 $1-w_s=1.0$ 、展開面積比0.50、翼数3

(Step 2) 最適直径の選択

プロペラ直径Dを仮定し、 $J-C_T$ チャートからプロペラ効率とピッチ比 (0.7R) の初期値を求める。 $(C_T=0.384, \eta_0=0.708, P/D=1.07)$

プロペラ直径は3.318m、プロペラ回転数は600rpmとなる。

(Step 3) C_{T1} (Nonviscous Thrust Coefficient) の決定

Kramer の理想効率のチャート [12] から C_{T1} を仮定する。即ち、 $C_{T1}=0.408$ 。Goldstein の揚力線理論から $dC_{T1}(x)/dx$ が与えられるので、積分することにより C_{T1} が計算できる。両者の C_{T1} の値の差が2%以内になるまで繰り返す。

(Step 4) 翼弦長の半径方向分布 ($c(x)$) の決定

近似式により翼厚の初期値を算出する。翼応力分布を推定し、強度不足又は過大の場合は翼弦長分布を修正する。

(Step 5) C_1 (Lift coefficient of section) の算出

(Step 3) から求めた $C_1 * c(x)/D$ に、(Step 4) の $c(x)$ を代入する。

(Step 6) 翼断面形状の決定

まず、 C_1 から正面の形状を算出する。そしてキャビティ形状から求めた翼厚を強度上から2倍にした翼厚分布 (TMB Section) を加えて背面形状とする。次に Ludwig-Ginzler の方法 [12] に基づき、曲がり流れに対する正面及び背面形状の修正を行う。

(Step 7) ピッチ比の決定

(Step 2) で求めた初期値に有限キャビテーション数 ($\sigma_v=0.4$) 影響の修正及び Lerbs の補正を行う。

(Step 8) プロペラ効率の推定

最終的にこのプロペラは本設計法によれば $J=0.775$ の時、 $K_T=0.0928$ 、 $K_Q=0.016225$ 、 $\eta_0=0.705$ なる性能が得られると予想された。プロペラ形状を Fig.

2.1 (c) に示す。

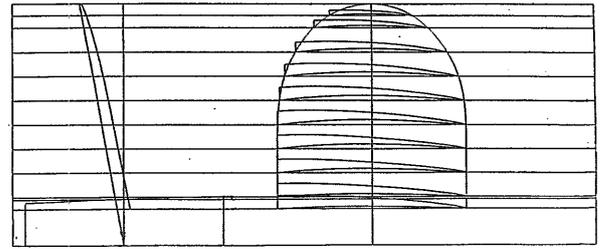


Fig. 2.1 (c) Drawing of Propeller Blade for DTMB Propeller; MPNo. 341

(4) SSPA プロペラ, MPNo. 345

このプロペラの設計作動点は前述の設計条件 $C_T=0.334$ から $K_T/J^2=0.131$ であり、SC 状態となって最適効率となる点を SSPA-チャート [10] から求めると、 $J=1.10$ で $K_T^{1/4}/J=0.574$ となり、これから、ピッチ P/D は1.60となった。チャートから予測されたスラスト係数 K_T は0.159、トルク係数 K_Q は0.0430、効率 η_0 は0.647であった。直径は3.318mである。本プロペラが本論文における設計評価等の基準となる標準プロペラとした。プロペラ形状を Fig. 2.1 (d) に示す。

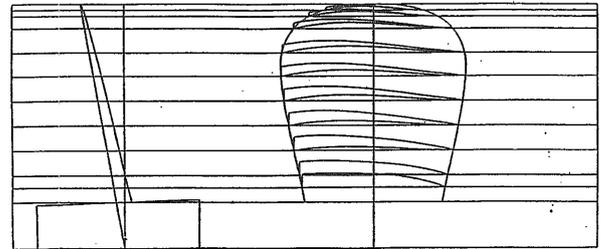


Fig. 2.1 (d) Drawing of Propeller Blade for SSPA Propeller; MPNo. 345

(5) SRIJ-I プロペラ, MPNo. 354

本プロペラは各半径位置での設計迎角を2度に固定し、与えられた揚力係数と断面係数を満たす最適性能 SC 翼型 (SRJN-I 翼型) となる様に設計された。各半径位置での揚力係数は与えられた $C_T=0.334$ を満たすように Goldstein の揚力線理論により決定した。揚力面補正法は DTMB 法と同様に、Ludwig-Ginzler の方法 [12] に依った。この結果、Fig. 2.1 (e) に示す様に、翼端側でカップの付いたキャンバの大きな SCP となった。揚力線設計法 [7] で予測されたスラスト係数、トルク係数、効率は設計点 ($J=1.1$) で、それぞれ、0.160、0.0354、0.786であった。プロペラ形状を Fig. 2.1 (e) に示す。

(6) SRIJ-II プロペラ, MPNo. 356

SRIJ-I プロペラは後述のように実験での性能評価

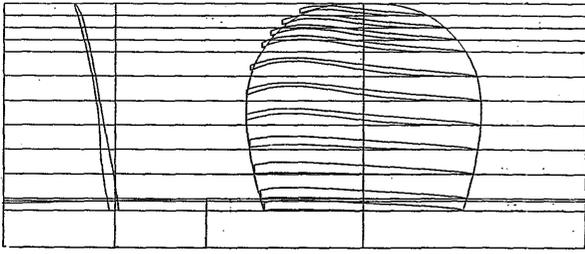


Fig. 2.1 (e) Drawing of Propeller Blade for SRIJ-I Propeller; MPNo. 354

の結果、設計点で15%も過大なスラストを発生したばかりでなく、効率も予測を大幅に下回った。設計法を検討した結果、前述の揚力面補正法をSCPの様な荷重分布に適用することが妥当ではなかったと考えられた。このため、最適SC翼断面の荷重分布を満たすプロペラの3次元キャンバをサブキャビテーション（キャビテーションの発生が無視しうる位少ない状態で作動している状態の）プロペラ用の揚力面理論（QCM）設計法[13]により求め、2次元SC翼型キャンバとの差を揚力面補正量とする方法を用いて本プロペラを設計した。この際、シートキャビテーションが設計点で発生しなかったことから、マージンをとって設計迎角を 2.5° とする最適SC翼型（SRJN-II翼型）とした[7]。揚力線設計法で予測された性能はスラスト係数、トルク係数、効率はそれぞれ、0.160、0.0360、0.772となった。プロペラ形状をFig. 2.1 (f) に示す。

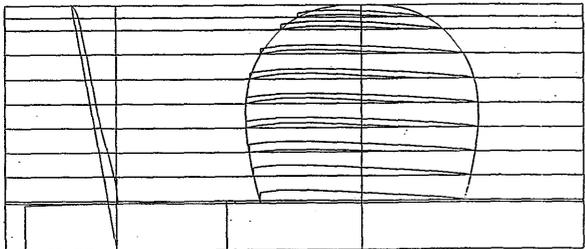


Fig. 2.1 (f) Drawing of Propeller Blade for SRIJ-II Propeller; MPNo. 356

(7) SRIJ-A プロペラ、MPNo. 365

このプロペラは前述の様に設計条件が異なる。翼根部での強度条件はSRIJ-IIプロペラより発生スラストが大きいため、展開面積比は29%増した。設計法はSRIJ-IIプロペラと一部異なり、ポス比の影響をより正確にかつ、計算精度を上げるためプロペラ揚力線理論をGoldsteinからLerbsの揚力線理論へと変更した。また、3次元キャンバを求める揚力面補正量はSCP性能解析法（SC-VLM）[14]で用いられる揚力面変形法に基づき計算する、より厳密な揚力面補正法を用いた。また、SCPではプロペラに発生したキャビ

(196)

ティ・ボリュームにより翼間の流れがせき止められる3次元排除効果を考慮して設計する必要がある。このため、SCP性能解析法で性能計算を行い、設計条件を満たす様にピッチ修正し、設計条件（所要のスラスト）を満たすプロペラを最終的に求めた。SC-VLMによるスラスト係数、トルク係数、効率の予測値はそれぞれ、0.217、0.0545、0.696となった。プロペラ形状をFig. 2.1 (g) に示す。

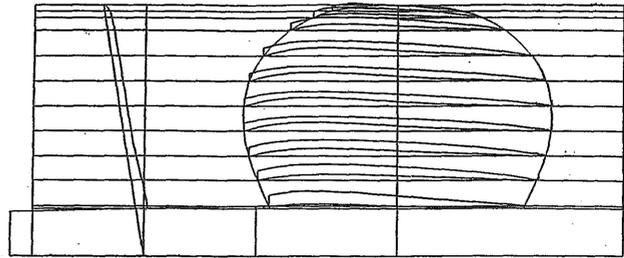


Fig. 2.1 (g) Drawing of Propeller Blade for SRIJ-A Propeller; MPNo. 365

(8) SRIJ-III プロペラ、MPNo. 366

このプロペラはSRIJ-Aプロペラと同じ手法で設計を行った。但し、翼輪郭形状に関して自由度を与え、翼強度条件を満たす範囲で、どの半径位置においても揚抗比が最大になる様に翼弦長を変化させた。このため、Fig. 2.1 (h) に示す様な“おむすび型”の小翼面積比の翼輪郭となった。SC-VLMにより予測された性能は、スラスト係数、トルク係数、効率のそれぞれは、0.156、0.0364、0.750であった。

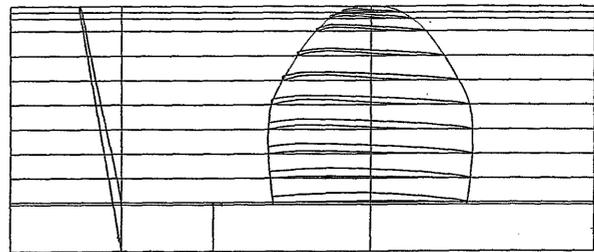


Fig. 2.1 (h) Drawing of Propeller Blade for SRIJ-III Propeller; MPNo. 366

(9) SRIJ-IV プロペラ、MPNo. 369

SRIJ-II及び-IIIプロペラは実機レベルでの翼強度条件を満たしていなかったため、SRIJ-IVプロペラはこの点を考慮した設計を行った。このため、本プロペラの展開面積比を前者のそれより約0.30増やさなければならなかった。このため、翼根部ではSC状態となる様に設計できないことが予想されたので、SC翼型とはせず、キャビテーションが発生していない時に用いるエアロfoil型の翼型、ここでは翼厚をNACA16系、キャンバを $a=0.8$ とした。翼根部での最大翼厚は

9%翼弦長となった。0.6R以上ではSRJN-II翼型とし、0.3R~0.5Rに関しては2次式で補間した。SC-VLMにより予測された性能は、スラスト係数、トルク係数、効率のそれぞれは、0.163、0.0393、0.726であった。プロペラ形状をFig. 2.1 (i) に示す。

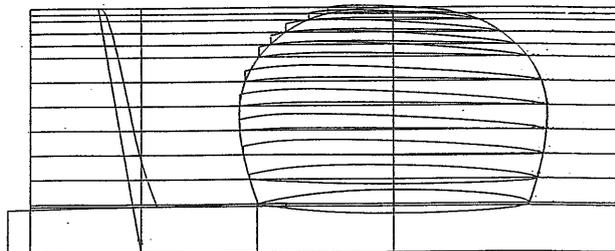


Fig. 2.1 (i) Drawing of Propeller Blade for SRIJ-IV Propeller; MPNo. 369

4. SCP の性能計測

4.1 曳航水槽でのプロペラ単独性能計測

プロペラ単独性能試験を船研の中水槽で行った。計測精度を確かめるため、N-Rプロペラ、SSPAプロペラ、DTMBプロペラに関して、2種類のプロペラ単独性能計測用動力計、即ち、小型動力計とスティング型動力計を用いて計測を行った。没水深度はプロペラ直径の120%とした。上述のプロペラ以外に関しては、スティング型プロペラ動力計のみにより計測した。計測結果をTable 4.1~8及びFig. 4.1~8に示す。但し、Fig. 4.1、3及び4に関してはそれぞれ、2種類の動力計での計測があるので(a)図と(b)図がある。

(1) N-Rプロペラ、MPNo. 339

このプロペラに関して、10rpsでの両動力計での計測結果の一致はTable 4.1 (a)と(b)及びFig. 4.1 (a)と(b)に示す様に設計点でも前進率Jの広い範囲で良い。レイノルズ数 $Rn(=nD^2/\nu)$ は 3.02×10^5 であった。プロペラ回転数(15及び20rps)を変化させても、レイノルズ数の影響は殆どなかった。

(2) SSPA-Fプロペラ、MPNo. 340

スティング型動力計で計測を行った。プロペラ回転数影響は殆どないものの、効率が著しく低い。計測結果をFig. 4.2及びTable 4.2に示す。

(3) DTMBプロペラ、MPNo. 341

このプロペラに関する両動力計による計測結果をTable 4.3 (a)と(b)及びFig. 4.3 (a)と(b)に示す。Fig. 4.3 (b)に示すスティング型動力計での計測値は(a)に示す小型動力計による計測値と比べ、トルクが若干大きく、このため、効率の計測値が低くなっている。

設計点で2%トルクが高く、この傾向はJが大きい程顕著である。特に、このプロペラの場合のみ設計点が大幅にずれて、プロペラにキャビテーションが発生していないNon-Cavitating Condition状態(以下、ノンキャビ状態と言う)において、予想設計点に対応する前進率で効率が最高となり、他の点より効率の差が顕著になっていることが原因である。また、プロペラ軸の両側に付くステイによる止蹟や造波効果も寄与しているものと思われる。

(4) SSPAプロペラ、MPNo. 345

両動力計による計測結果をTable 4.4 (a)と(b)及びFig. 4.4 (a)と(b)に示す。設計点で小型動力計はスティング型動力計と比べて、スラストは高く、トルクは低い計測値となるので、効率は高い値を与える。両者の差は動力計の計測精度の範囲内($K_T = \pm 0.005$ 、 $K_Q = \pm 0.0012$ 、 $n=10rps$ の時)である。N-RとDTMBプロペラと同様の傾向が見られる。

(5) SRIJ-Iプロペラ、MPNo. 354

スティング型動力計による計測値をTable 4.5及びFig. 4.5に示す。標準プロペラ回転数を10rpsとした。レイノルズ数 Rn は 3.02×10^5 であった。プロペラ回転数を15及び20rpsまで増加させ、プロペラ回転数の違いによる影響を調べた。最高のレイノルズ数は約 6×10^5 であった。この程度の回転数の変化及びこの種の翼型ではレイノルズ数の影響は少なく、スラストで2%、効率で1%の増加であった。

(6) SRIJ-IIプロペラ、MPNo. 356

計測結果をTable 4.6とFig. 4.6に示す。プロペラ回転数のプロペラ性能に及ぼす影響は使用した動力計の計測精度の範囲内の量であった。後述の様に本プロペラはSC状態でも上述のプロペラよりも効率が高く、かなり性能が良かったが、ノンキャビ状態でも性能が良い。逆は必ずしも成立しないと思われる。

(7) SRIJ-IIIプロペラ、MPNo. 366

本プロペラに関するプロペラ単独性能結果をTable 4.7とFig. 4.7に示す。プロペラ回転数10rpsの時のレイノルズ数 Rn は 3.88×10^5 であった。プロペラ回転数を15と20rpsに変更して、レイノルズ数の影響を調べた結果、スラストで3%、トルクで2%程度、回転数の増加と共に増加する。これは他のプロペラに対するよりも大きい、小翼面積比としたためと思われる。

(8) SRIJ-IVプロペラ、MPNo. 369

Table 4.8とFig. 4.8に計測結果を示す。このプロペラについても回転数を変更した計測を行い、プロペラ性能の変化を調べた。レイノルズ数が $3.22 \sim 6.45 \times 10^5$

の範囲において、プロペラ性能に及ぼす影響は1%以内であり、殆ど無かった。SRIJ-II プロペラと比べて、曳航水槽での性能も良くない。

Table 4.1 (a) Measured Data of Propeller Open Characteristics of Newton-Rader Propeller by Using Small Dynamometer in Towing Tank

MPNo. 339; N-R Prop.
I/D= 1.2
Tw= 11.7°C
SMALL DYNAMO.

J	Kt	10Kq	η_o	n [rps]	Rn [10 ⁻⁶]
1.000	0.452	1.244	0.578	10.00	0.321
1.102	0.395	1.123	0.617	9.99	0.321
1.202	0.348	1.019	0.653	9.98	0.321
1.300	0.303	0.912	0.687	9.99	0.321
1.400	0.260	0.813	0.713	10.00	0.321
1.506	0.214	0.709	0.723	9.96	0.320
1.602	0.177	0.623	0.724	9.99	0.321
1.703	0.133	0.519	0.695	9.98	0.321
1.804	0.085	0.409	0.597	9.98	0.321
1.808	0.082	0.399	0.591	9.96	0.320

Table 4.1 (b) Measured Data of Propeller Open Characteristics of Newton-Rader Propeller by Using Sting Dynamometer in Towing Tank

MPNo. 339; N-R Prop.
I/D= 1.2
STING DYNAMO., W/O Stay

Tw= 12.7°C

J	Kt	10Kq	η_o	n [rps]	Rn [10 ⁻⁶]
0.999	0.452	1.247	0.576	10.01	0.330
1.101	0.398	1.132	0.616	9.99	0.330
1.201	0.352	1.033	0.651	9.99	0.330
1.299	0.304	0.920	0.683	10.01	0.330
1.344	0.288	0.890	0.692	9.98	0.330
1.400	0.263	0.824	0.711	10.00	0.330
1.501	0.220	0.728	0.722	9.99	0.330
1.602	0.181	0.638	0.723	9.98	0.330
1.703	0.140	0.540	0.703	9.99	0.330
1.802	0.095	0.436	0.625	9.99	0.330

Tw= 13.0°C

J	Kt	10Kq	η_o	n [rps]	Rn [10 ⁻⁶]
1.339	0.291	0.881	0.704	15.01	0.500
1.340	0.290	0.879	0.704	20.01	0.666

Table 4.2 Measured Data of Propeller Open Characteristics of SSPA-F Propeller by Using Sting Dynamometer in Towing Tank

MPNo. 340; SSPA-F Prop.
I/D= 1.2
Tw= 19.2°C
STING DYNAMO., W/O Stay

J	Kt	10Kq	η_o	n [rps]	Rn [10 ⁻⁶]
0.800	0.293	0.785	0.475	10.00	0.391
0.850	0.271	0.739	0.496	10.00	0.391
0.900	0.249	0.690	0.517	10.00	0.391
0.952	0.227	0.645	0.533	9.98	0.390
0.998	0.204	0.591	0.548	10.02	0.392
1.003	0.195	0.596	0.522	9.98	0.390
1.049	0.182	0.548	0.554	10.01	0.391
1.100	0.160	0.500	0.560	10.01	0.391
1.152	0.140	0.459	0.559	9.99	0.390
1.199	0.115	0.410	0.535	10.01	0.391
1.251	0.095	0.365	0.518	10.00	0.391
1.298	0.072	0.315	0.472	10.02	0.392
1.352	0.051	0.270	0.406	9.99	0.390
1.399	0.028	0.217	0.287	10.01	0.391
1.100	0.162	0.503	0.564	15.00	0.586
1.099	0.162	0.504	0.562	20.01	0.782

Table 4.3 (a) Measured Data of Propeller Open Characteristics of DTMB Propeller by Using Small Dynamometer in Towing Tank

MP No. 341; DTMB Prop.
I/D= 1.2
Tw= 11.5°C
SMALL DYNAMO.

J	Kt	10Kq	η_o	n [rps]	Rn [10 ⁻⁶]
0.005	0.375	0.571	0.005	10.03	0.320
0.100	0.355	0.543	0.104	10.04	0.321
0.199	0.327	0.513	0.202	10.03	0.320
0.299	0.296	0.481	0.293	10.03	0.320
0.396	0.265	0.445	0.375	10.03	0.320
0.500	0.235	0.407	0.459	9.99	0.319
0.597	0.198	0.372	0.506	10.05	0.321
0.699	0.164	0.327	0.558	10.02	0.320
0.775	0.136	0.296	0.567	10.00	0.319
0.802	0.126	0.284	0.566	9.98	0.319
0.902	0.083	0.233	0.511	9.98	0.319
0.996	0.043	0.181	0.377	10.04	0.321
0.772	0.137	0.295	0.571	15.05	0.481
0.774	0.139	0.295	0.580	20.04	0.640

Table 4.3 (b) Measured Data of Propeller Open Characteristics of DTMB Propeller by Using Sting Dynamometer in Towing Tank

MPNo. 341;DTMB Prop.
I/D= 1.2
Tw= 13.0°C
STING DYNAMO.. W/O Stay

J	Kt	10Kq	η_o	n [rps]	Rn [10 ⁶]
0.000	0.374	0.576	0.000	9.95	0.331
0.100	0.351	0.549	0.102	9.98	0.332
0.200	0.325	0.520	0.199	9.98	0.332
0.301	0.295	0.486	0.291	9.98	0.332
0.400	0.265	0.450	0.375	9.99	0.333
0.451	0.245	0.434	0.405	9.97	0.332
0.501	0.230	0.416	0.441	9.98	0.332
0.551	0.211	0.395	0.468	9.98	0.332
0.600	0.195	0.376	0.495	10.00	0.333
0.652	0.180	0.354	0.528	9.97	0.332
0.702	0.160	0.333	0.537	9.98	0.332
0.753	0.144	0.314	0.550	9.96	0.332
0.799	0.125	0.289	0.550	10.02	0.334
0.899	0.080	0.242	0.473	10.01	0.333
1.000	0.039	0.192	0.323	10.00	0.333
1.100	-0.011	0.129	-0.149	10.00	0.333
0.450	0.244	0.431	0.405	14.99	0.499
0.449	0.246	0.429	0.410	20.02	0.666
0.651	0.178	0.353	0.522	14.98	0.499
0.648	0.176	0.351	0.517	20.06	0.668

Table 4.4 (a) Measured Data of Propeller Open Characteristics of SSPA Propeller by Using Small Dynamometer in Towing Tank

MPNo. 345;SSPA Prop.
I/D= 1.2
Tw= 11.6°C
SMALL DYNAMO.

J	Kt	10Kq	η_o	n [rps]	Rn [10 ⁶]
0.601	0.466	1.138	0.392	9.98	0.320
0.703	0.424	1.057	0.449	9.96	0.319
0.796	0.382	0.983	0.492	10.05	0.322
0.902	0.345	0.907	0.546	9.98	0.320
1.000	0.309	0.840	0.585	10.00	0.320
1.100	0.270	0.772	0.612	10.00	0.320
1.194	0.237	0.706	0.638	10.05	0.322
1.307	0.194	0.624	0.647	9.98	0.320
1.397	0.157	0.552	0.632	10.02	0.321
1.499	0.115	0.465	0.590	10.01	0.321
1.603	0.071	0.370	0.490	9.98	0.320
1.102	0.263	0.779	0.592	14.97	0.479
1.108	0.277	0.780	0.626	19.86	0.636

Table 4.4 (b) Measured Data of Propeller Open Characteristics of SSPA Propeller by Using Sting Dynamometer in Towing Tank

MPNo. 345;SSPA Prop.
I/D= 1.2
STING DYNAMO.. W/O Stay
Tw=12.4°C

J	Kt	10Kq	η_o	n [rps]	Rn [10 ⁶]
0.600	0.465	1.144	0.388	10.00	0.327
0.700	0.425	1.069	0.443	10.00	0.327
0.801	0.383	0.992	0.492	9.99	0.327
0.901	0.344	0.920	0.536	9.99	0.327
1.000	0.302	0.846	0.568	10.00	0.327
1.050	0.281	0.810	0.580	10.00	0.327
1.099	0.264	0.780	0.592	10.01	0.328
1.151	0.241	0.746	0.592	9.99	0.327
1.199	0.224	0.712	0.600	10.01	0.328
1.253	0.205	0.679	0.602	9.98	0.327
1.300	0.186	0.639	0.602	10.00	0.327
1.347	0.165	0.597	0.593	10.02	0.328
1.401	0.142	0.563	0.562	9.99	0.327
1.501	0.098	0.477	0.491	9.99	0.327
1.601	0.052	0.386	0.343	9.99	0.327
1.101	0.262	0.789	0.582	14.99	0.491
1.101	0.263	0.792	0.582	19.99	0.655

Tw=9.9°C

J	Kt	10Kq	η_o	n [rps]	Rn [10 ⁶]
0.600	0.461	1.138	0.387	10.00	0.305
0.700	0.420	1.061	0.441	10.00	0.305
0.797	0.376	0.976	0.489	10.04	0.307
0.904	0.344	0.921	0.537	9.95	0.304
0.999	0.295	0.843	0.556	10.00	0.305
1.097	0.259	0.774	0.584	10.03	0.306
1.203	0.226	0.711	0.609	9.98	0.305
1.399	0.140	0.565	0.552	10.01	0.306
1.592	0.053	0.387	0.347	10.05	0.307

Table 4.5 Measured Data of Propeller Open Characteristics of SRIJ-Propeller by Using Sting Dynamometer in Towing Tank

MPNo. 354;SRIJ-I Prop.
I/D= 1.2
Tw= 18.7°C
STING DYNAMO.. W/O Stay

J	Kt	10Kq	η_o	n [rps]	Rn [10 ⁶]
0.600	0.487	1.165	0.399	9.99	0.386
0.700	0.442	1.080	0.456	10.00	0.386
0.801	0.404	0.997	0.516	9.99	0.386
0.850	0.380	0.951	0.540	10.01	0.386
0.901	0.360	0.908	0.569	9.99	0.386
0.951	0.339	0.873	0.587	9.99	0.386
1.000	0.321	0.834	0.612	10.00	0.386
1.051	0.303	0.800	0.634	9.99	0.386
1.101	0.282	0.765	0.645	10.00	0.386
1.152	0.265	0.728	0.667	9.99	0.386
1.200	0.249	0.693	0.687	10.00	0.386
1.251	0.230	0.657	0.696	9.99	0.386
1.301	0.211	0.614	0.711	9.99	0.386
1.353	0.193	0.572	0.725	9.99	0.386
1.401	0.169	0.530	0.712	10.00	0.386
1.496	0.129	0.436	0.704	10.03	0.387
1.601	0.085	0.347	0.626	10.00	0.386
1.697	0.034	0.239	0.389	10.02	0.387
1.101	0.286	0.769	0.652	15.00	0.579
1.101	0.288	0.769	0.656	19.99	0.772

Table 4.6 Measured Data of Propeller Open Characteristics of SRIJ-II Propeller by Using Sting Dynamometer in Towing Tank

MPNo. 356; SRIJ-II Prop.
I/D= 1.2
Tw= 8.8°C
STING DYNAMO., W/O Stay

J	Kt	10Kq	η_o	n [rps]	Rn [10 ⁶]
0.601	0.458	1.055	0.453	9.99	0.295
0.701	0.416	0.967	0.482	9.99	0.295
0.801	0.368	0.873	0.537	9.99	0.295
0.851	0.344	0.829	0.570	9.99	0.295
0.899	0.321	0.785	0.584	10.01	0.296
0.950	0.302	0.741	0.619	10.00	0.296
1.001	0.280	0.698	0.643	9.99	0.295
1.047	0.259	0.654	0.660	10.02	0.296
1.099	0.241	0.623	0.676	10.01	0.296
1.152	0.222	0.584	0.708	9.98	0.295
1.201	0.204	0.547	0.711	9.99	0.295
1.249	0.186	0.508	0.732	10.01	0.296
1.300	0.171	0.469	0.731	10.00	0.296
1.351	0.147	0.432	0.723	9.99	0.295
1.369	0.126	0.386	0.717	10.01	0.296
1.403	0.124	0.388	0.716	9.98	0.295
1.448	0.103	0.342	0.707	10.02	0.296
1.500	0.082	0.294	0.658	10.00	0.296
1.599	0.039	0.194	0.464	10.01	0.296
1.100	0.244	0.631	0.678	15.02	0.444
1.101	0.247	0.631	0.685	19.98	0.591

Table 4.7 Measured Data of Propeller Open Characteristics of SRIJ-III Propeller by Using Sting Dynamometer in Towing Tank

MPNo. 366; SRIJ-III Prop.
I/D= 1.2
Tw= 12.8°C
STING DYNAMO., W/O Stay

J	Kt	10Kq	η_o	n [rps]	Rn [10 ⁶]
0.600	0.397	0.871	0.435	10.00	0.331
0.700	0.359	0.801	0.499	10.00	0.331
0.800	0.322	0.733	0.558	10.00	0.331
0.851	0.301	0.700	0.583	9.99	0.331
0.900	0.285	0.670	0.608	10.00	0.331
0.950	0.266	0.638	0.630	10.00	0.331
1.000	0.249	0.610	0.650	10.00	0.331
1.051	0.233	0.581	0.671	10.00	0.331
1.101	0.215	0.548	0.688	9.99	0.331
1.151	0.198	0.514	0.706	9.99	0.331
1.201	0.180	0.482	0.715	10.00	0.331
1.251	0.162	0.445	0.726	9.99	0.331
1.300	0.142	0.406	0.722	10.00	0.331
1.351	0.119	0.362	0.708	9.99	0.331
1.400	0.099	0.321	0.685	10.00	0.331
1.500	0.056	0.234	0.568	10.00	0.331
1.601	0.009	0.140	0.156	9.99	0.331
1.100	0.219	0.557	0.688	15.00	0.497
1.099	0.221	0.561	0.690	20.01	0.662

Table 4.8 Measured Data of Propeller Open Characteristics of SRIJ-IV Propeller by Using Sting Dynamometer in Towing Tank

MPNo. 369; SRIJ-IV Prop.
I/D= 1.2
STING DYNAMO., W/O Stay

Tw=12.2°C

J	Kt	10Kq	η_o	n [rps]	Rn [10 ⁶]
0.600	0.452	1.050	0.410	10.00	0.326
0.701	0.401	0.954	0.469	9.99	0.325
0.800	0.351	0.859	0.520	10.00	0.326
0.850	0.327	0.814	0.544	10.00	0.326
1.200	0.188	0.538	0.667	10.00	0.326
1.400	0.108	0.378	0.635	10.00	0.326
1.600	0.015	0.187	0.209	10.00	0.326

Tw=12.0°C

J	Kt	10Kq	η_o	n [rps]	Rn [10 ⁶]
0.901	0.304	0.772	0.564	9.99	0.324
0.951	0.280	0.727	0.583	9.99	0.324
1.051	0.241	0.654	0.617	9.99	0.324
1.101	0.224	0.615	0.637	9.99	0.324
1.151	0.208	0.578	0.660	9.99	0.324
1.252	0.167	0.498	0.667	9.99	0.324
1.352	0.121	0.422	0.619	9.98	0.323
1.502	0.066	0.290	0.542	9.99	0.324

Tw=11.8°C

J	Kt	10Kq	η_o	n [rps]	Rn [10 ⁶]
1.000	0.261	0.689	0.602	10.00	0.322
1.301	0.150	0.462	0.672	9.99	0.322

Tw=12.0°C

J	Kt	10Kq	η_o	n [rps]	Rn [10 ⁶]
1.100	0.223	0.614	0.635	15.00	0.486
1.101	0.224	0.614	0.638	19.99	0.647

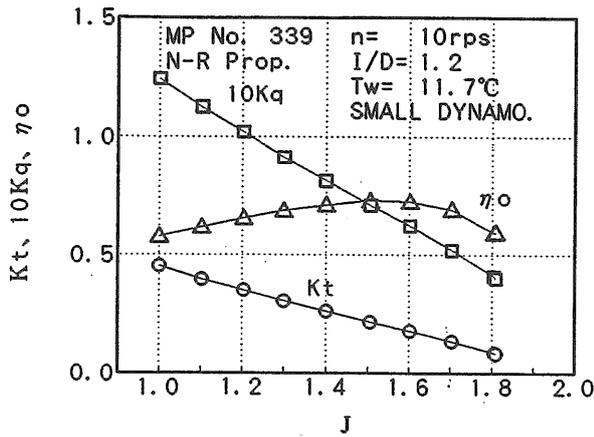


Fig. 4.1 (a) Propeller Open Characteristics of Newton-Rader Propeller Measured by Using Small Dynamometer in Towing Tank

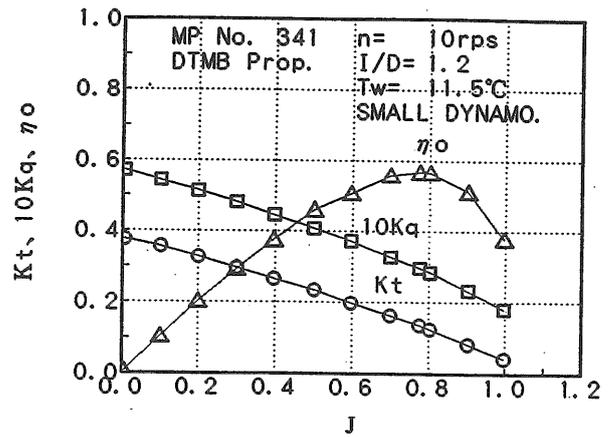


Fig. 4.3 (a) Propeller Open Characteristics of DTMB Propeller Measured by Using Small Dynamometer in Towing Tank

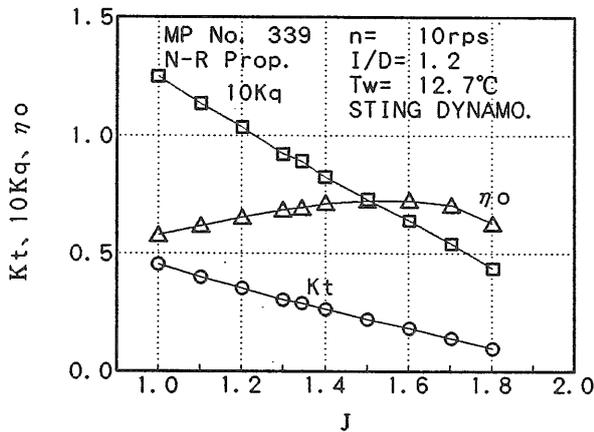


Fig. 4.1 (b) Propeller Open Characteristics of Newton-Rader Propeller Measured by Using Sting Dynamometer in Towing Tank

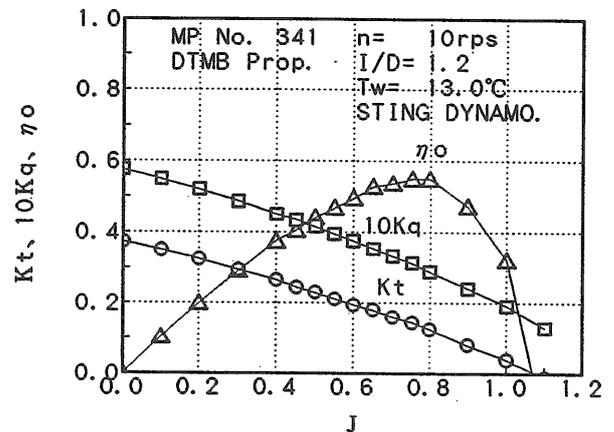


Fig. 4.3 (b) Propeller Open Characteristics of DTMB Propeller Measured by Using Sting Dynamometer in Towing Tank

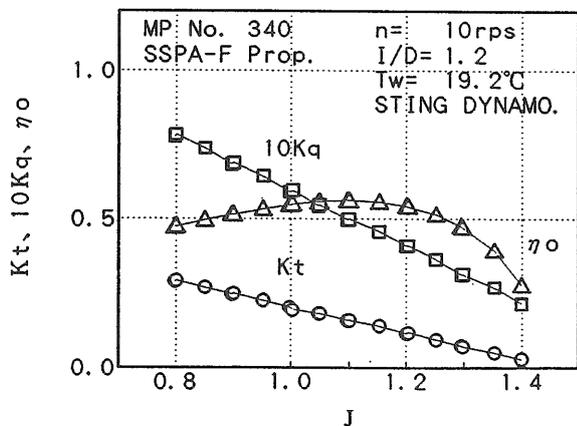


Fig. 4.2 Propeller Open Characteristics of SSPA-F Propeller Measured by Using Sting Dynamometer in Towing Tank

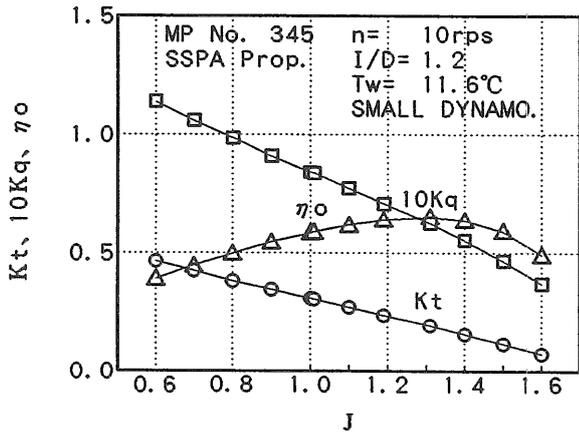


Fig. 4.4 (a) Propeller Open Characteristics of SSPA Propeller Measured by Using Small Dynamometer in Towing Tank

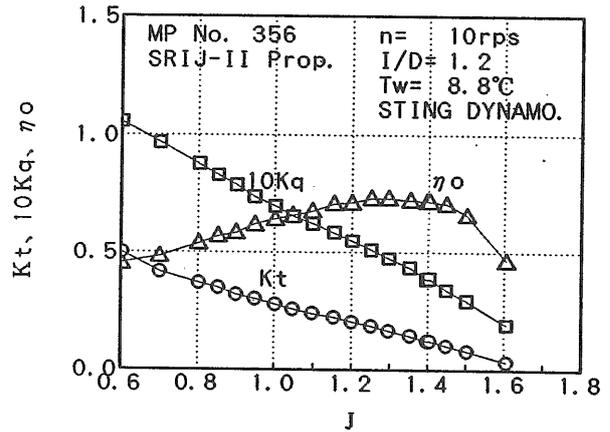


Fig. 4.6 Propeller Open Characteristics of SRIJ-II Propeller Measured by Using Sting Dynamometer in Towing Tank

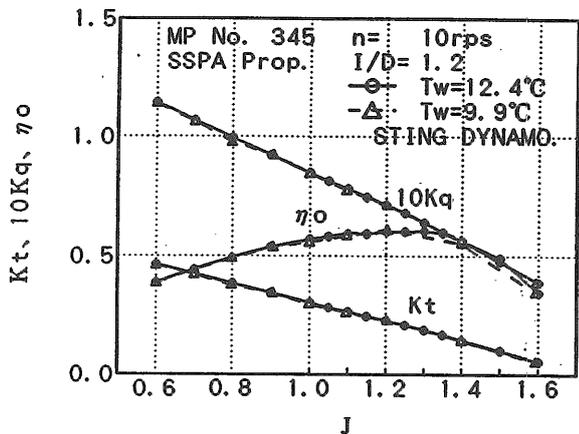


Fig. 4.4 (b) Propeller Open Characteristics of SSPA Propeller Measured by Using Sting Dynamometer in Towing Tank

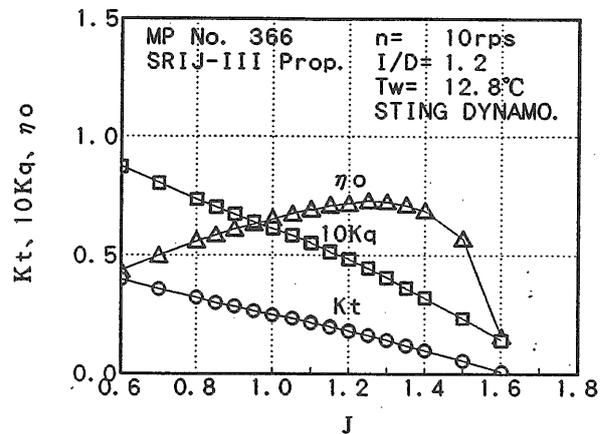


Fig. 4.7 Propeller Open Characteristics of SRIJ-III Propeller Measured by Using Sting Dynamometer in Towing Tank

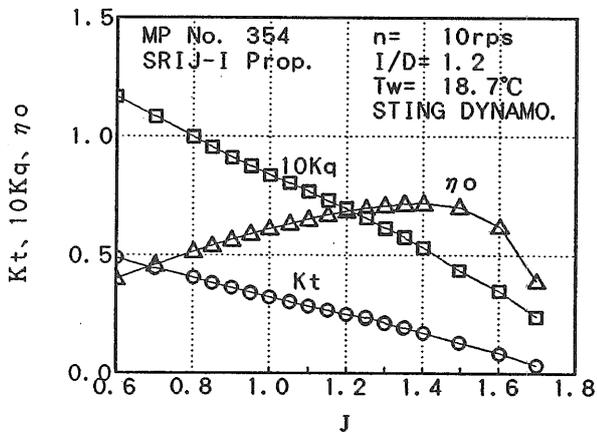


Fig. 4.5 Propeller Open Characteristics of SRIJ-I Propeller Measured by Using Sting Dynamometer in Towing Tank

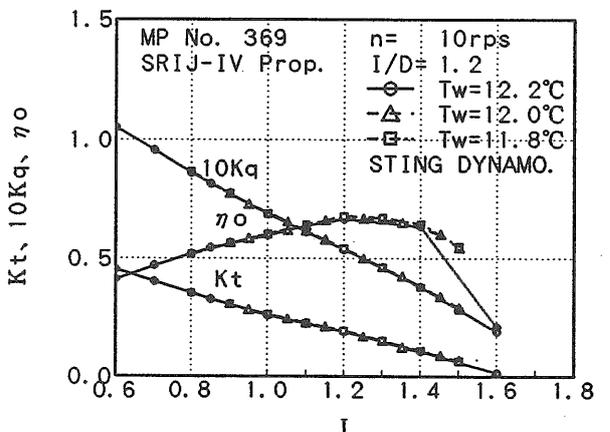


Fig. 4.8 Propeller Open Characteristics of SRIJ-IV Propeller Measured by Using Sting Dynamometer in Towing Tank

4.2 キャビテーション水槽でのプロペラ単独性能計測

前節で述べたプロペラ単独性能試験に引き続き、船研の大型キャビテーション水槽第一計測部においてプロペラ性能計測を行った。当初、主動力計だけを用いて計測する予定であったが、N-Rプロペラの試験の際にこのプロペラのキャビテーションにより誘起される激しい振動より、この主動力計が故障した。このため、一部のプロペラに関しては斜流動力計を用いて計測を行った。2つの動力計の大きな違いは、主動力計ではプロペラが上流からのびた太い軸（カバー後端部直径は58mmφ）に取り付けられ、一方、斜流動力計は下流から軸（カバー前端部直径は46mmφ）がのびる形式である。後者の方が形状及び容量の点から曳航水槽での単独性能との一致が良いのではと考えられた。その後、幸いにも主動力計の故障が順調に直ったので、DTMB及びSSPAプロペラについては主動力計での計測も行った。

各計測に共通して、側壁影響の補正はWood & Harrisの方法 (ITTC方式) [15] により行った。又、プロペラ回転数の性能に及ぼす影響を調べるため、30 rpsの他に、35、40及び45rpsでの計測も行った。

本計測では曳航水槽での計測値との相関を調べるために、ノンキャビ状態についての計測を行った。但し、プロペラ回転数によっては水槽の加圧能力の限界によって制限され、必ずしもノンキャビ状態とならず、 σ_{max} ($\sigma_v = 2 \sim 5$) となる場合があった。キャビテーション発生時の性能を調べるため、キャビテーション数 σ_v を次のように定義する。

$$\sigma_v = (P_0 - P_v) / (1/2 \rho V_0^2)$$

但し、 P_0 : 無限遠での静圧

P_v : 水の蒸気圧

ρ : 水の密度

V_0 : 一様流入流速 (ベンチュリーでの計測による)

である。 $\sigma_v = 1.0$ 、0.6、0.5及び0.4のキャビテーション状態についても計測を行った。溶存酸素計測による水槽中の空気含有率は約30%であり、プロペラに乱流促進のための前縁粗さを付けていない。

(1) Newton-Rader プロペラ、MPNo. 339

ノンキャビ状態での主動力計による計測値を Table 4.9 と Fig. 4.9 に示す。前進率 J を0.9~1.6まで0.05刻みで変化させて計測した。曳航水槽での計測値と比較すると良く一致している。キャビテーション・パターンを Fig. 4.10 に示す。また、斜流動力計での計測結果を Table 4.10 と Fig. 4.11 に示す。曳航水槽での計測との対応は非常に良い。

このプロペラに関しては、すべてのキャビテーション状態についての計測は主動力計のみで行い、プロペ

ラ回転数 n は40rpsとした。この結果を Fig. 4.9 に示す。このプロペラに関して、キャビティ長さが翼弦長に一致する状態では極めて激しい振動を、動力計やキャビテーション水槽本体ばかりでなく、水槽建屋にも誘起するので、 $\sigma_v = 1.0$ の時は $J = 0.835 \sim 1.085$ の間の状態について計測を行っていない。また、 $\sigma_v = 0.6$ の時には $J = 1.292$ の状態においても振動が発生した。

本プロペラの設計点である $J = 1.34$ 、 $\sigma_v = 0.4$ において、設計値 ($K_T = 0.235$ 、 $K_Q = 0.071$ 、 $\eta_0 = 0.69$) と計測値との対応を調べると、計測値は $K_T = 0.270$ 、 $K_Q = 0.0790$ 、 $\eta_0 = 0.728$ となり、スラスト及び効率とも計測値がそれぞれ15%及び5%ほど設計値より大きくなった。スラスト及びトルクともキャビテーション数が小さくなくても設計点でその低下量が少ないが、高荷重、即ち、前進率が小さくなると大幅に低下する。効率に関してはキャビテーション数の低下とともに効率は向上するものの、その量は少ない。キャビテーション状態についてもプロペラ回転数の影響を設計点について調べたが、殆どなかった。

主動力計でのキャビテーション観測時のスケッチをそれぞれ Fig. 4.10 に示す。 $\sigma_v = 0.4$ の状態では $J = 1.4$ 以上になるとフェイス・キャビテーションが発生し、 $J = 1.35$ では前縁と後縁にシート・キャビテーションが発生せず、全面シート・キャビテーション状態とならない。 $J = 1.5$ では背面にティップボルテックス・キャビテーション (TVC) とルートに小さなシート・キャビテーションが発生する。本プロペラは両動力計においても激しい振動を発生するので、実用化するにはかなり問題のあるプロペラと言える。

(2) SSPA-F プロペラ、MPNo. 340

このプロペラについては主動力計を用いて計測を行った。前進率 J を0.8~1.4まで変化させた。計測結果を Table 4.11 及び Fig. 4.12 に示す。プロペラ性能に及ぼすレイノルズ数影響を調べるため、プロペラ回転数を35、40、45rpsの3種類変化させて試験を行った。レイノルズ数 Rn はそれぞれ、1.57、1.79、 2.06×10^6 であった。本プロペラの計測結果 ($n = 40$ rps) を設計予測値と比べると、 K_T の計測値は設計値より36%小さく、効率は3%低くなった。この原因はSCPの性能を決定する正面側でのキャンバが殆どなく、キャンバ効果がなくなったためであり、このプロペラではSSPAプロペラの評価はできなかった。キャビテーション・パターンを Fig. 4.13 に示す。

前進率0.8~1.4でフェイス・キャビテーションは発生しなかった。レイノルズ数影響は本試験の範囲に対して、スーパーキャビテーション (以下、SC という) 及びトランス・キャビテーション (以下、TC という) 状態では見られなかったのに対して、 $\sigma_v = \sigma_{max}$ のノンキャビ状態では見られた。

(3) DTMB プロペラ, MPNo. 341

本プロペラについてキャビ水槽においてプロペラ回転数を30、35、及び40rpsに変化させて、ノンキャビ状態についての計測を行った。計測は主動力計と斜流動力計の両方により行った。

まず、主動力計についての計測について述べる。ノンキャビ状態の結果を Table 4.12 及び Fig. 4.14 (a) に示す。ノンキャビ状態では本プロペラの設計点である $J=0.775$ において、キャビテーション水槽（主動力計 $n=30\text{rps}$ ）と曳航水槽（小型動力計 $n=10\text{rps}$ ）での計測値の比較をすると、それぞれ $K_T=0.140$ 及び 0.136 、 $K_Q=0.0293$ 及び 0.0296 、 $\eta_0=0.589$ 及び 0.567 となり、両者の一致は計測精度以内で比較的良好。

これに対して、キャビ状態でのプロペラ性能計測結果 ($n=40\text{rps}$) を Table 4.12 及び Fig. 4.14 (a)、プロペラ回転数の影響を Fig. 4.14 (b) に示す。設計点である $J=0.775$ 、 $\sigma_v=0.4$ において設計値は $K_T=0.0928$ 、 $K_Q=0.0162$ 、 $\eta_0=0.705$ であり、一方、計測値では $K_T=0.125$ 、 $K_Q=0.0225$ 、 $\eta_0=0.670$ となり、スラスト、トルクとも大きく、プロペラは設計通りの性能とならなかった。

Fig. 4.15 のスケッチに示す様にキャビテーションは SC 状態とならず、SCP の本来の狙い通りという意味でもプロペラが設計できていない。この傾向は DTMB での研究結果と共通である。この原因として、スラストを15%増加させてプロペラを設計したことが考えられる。しかしながら、効率はノンキャビ状態よりも、SC 状態の方が大幅に向上している。スラストの低下量も少ない。

斜流動力計による計測では設計点の $J=0.775$ においてノンキャビ状態の計測結果は Table 4.13 及び Fig. 4.16 (a) に示す様に $K_T=0.133$ 、 $K_Q=0.0292$ 、 $\eta_0=0.562$ であり、曳航水槽の結果の $K_T=0.136$ 、 $K_Q=0.0293$ 、 $\eta_0=0.570$ と比べると非常に良好の一致が得られた。キャビ状態での計測を Table 4.13 及び Fig. 4.16 (a) に示す。設計点 $J=0.775$ 、 $\sigma_v=0.4$ での設計値 $K_T=0.0928$ 、 $K_Q=0.0162$ 、 $\eta_0=0.705$ と比べて、 $K_T=0.111$ 、 $K_Q=0.0208$ 、 $\eta_0=0.658$ となり、スラスト、トルクともに設計値より大きくなる。Fig. 4.16 (b) にキャビテーションが発生した時のプロペラ性能に及ぼすプロペラ回転数の影響を示す。キャビテーション・パターンを Fig. 4.17 に示す。

(4) SSPA プロペラ, MPNo. 345

このプロペラについても主動力計 J26 及び斜流動力計 H38 の2つの動力計による計測を行った。プロペラ回転数は30の他、35及び40rps と変化させたが、この種のプロペラは回転数影響が少ないので、数点の J についてのみ比較を行った。

まず、ノンキャビ状態での主動力計による計測結果を Table 4.14 及び Fig. 4.18 (a) に示す。これと曳航水槽での計測結果を比較すると、設計点である $J=1.1$ において前者は $K_T=0.277$ 、 $K_Q=0.0782$ 、 $\eta_0=0.616$ であり、後者は $K_T=0.270$ 、 $K_Q=0.0772$ 、 $\eta_0=0.628$ であり、両者の一致は良い。

キャビテーション状態では、設計点 $J=1.1$ 、 $\sigma_v=0.4$ において、設計値が $K_T=0.159$ 、 $K_Q=0.0430$ 、 $\eta_0=0.647$ であったが、計測値は $K_T=0.170$ 、 $K_Q=0.0455$ 、 $\eta_0=0.649$ であり、スラスト及びトルクとも設計値より6%大きく、効率は一致する。このプロペラは設計点でキャビテーション数の低下によるスラスト、トルクの低下量の大きいことが特徴といえる。効率はノンキャビ状態より大きい、他のキャビテーション数(高キャビテーション数)の時とほぼ同じである。フェイス・キャビテーションが発生すると、その発生の様子によりスラストとトルクに波打ち現象が時として見られた。キャビテーション・パターンを Fig. 4.19 に示す。

一方、斜流動力計についてのノンキャビ状態での計測結果を Table 4.15 及び Fig. 4.20 (a) に示す。主動力計との差は効率のピークの J より大きい前進率で若干見られる。斜流動力計でのキャビテーション状態の計測は Table 4.15 及び Fig. 4.20 (a) に示す様に主動力計での計測結果と比べて、 K_T 、 K_Q 及び η_0 とも定量的にも定性的にも違いは少ない。設計点 $J=1.1$ 、 $\sigma_v=0.4$ において、 $K_T=0.168$ 、 $K_Q=0.0450$ 、 $\eta_0=0.650$ であり、違いは1%以内であった。

プロペラ性能に及ぼすプロペラ回転数の影響を Fig. 4.18 (b) 及び Fig. 4.20 (b) に示す。プロペラ回転数は30、35及び40rps について行った。

キャビテーションの発生範囲のスケッチを Figs. 4.19 及び 21 に示す。前者は主動力計、後者は斜流動力計による計測結果である。大きな特徴としては、キャビテーション数に関係なく、主動力計では背面側、とりわけ、翼根部でのキャビテーションの発生量が多く、斜流動力計ではフェイス・キャビテーションの発生量が若干多い。この理由としては、模型プロペラの直径が $200\text{mm}\phi$ と標準の大きさである $250\text{mm}\phi$ より小さかったため、主動力計のシャフトの伴流中でプロペラが作動したため、シャフトまわりの境界層の影響を受けたと考えられる。

(5) SRIJ-I プロペラ, MPNo. 354

ノンキャビ状態での主動力計 K&RJ26 による計測値を Table 4.16 及び Fig. 4.22 に示す。プロペラ回転数は40rps とし、前進率 J を $0.6\sim 1.7$ まで 0.05 刻みで変化させて計測した。曳航水槽での計測値と比較すると J の大きいところを除き、比較的良好一致している。一方、 $J=1.7$ では K_T 、 K_Q 、 η_0 ともキャビ水槽での値が曳航水槽での計測値より高い。レイノルズ数の違いに

よる影響と考えられるが、動力計の配置の影響についても考える必要があるものと思われる。ダミー・ボスを回して計測値に対して修正を行っている。

キャビテーション状態での計測値を Table 4.16 及び Fig. 4.22 に示す。設計条件 $J=1.10$ 及び $\sigma_v=0.40$ における設計値は $K_T=0.160$ 、 $K_Q=0.0354$ 、 $\eta_0=0.786$ であったが、実験値は $K_T=0.183$ 、 $K_Q=0.0474$ 、 $\eta_0=0.676$ であった。予測値と比べてスラストは15%大きく、効率は14%低くなった。Fig. 4.22 に示すキャビ状態での性能曲線で特徴的な現象として、 $J=1.1$ および 1.3 附近で K_T 及び K_Q に2つの山が現われたことが挙げられる。 $J=1.3$ 附近では K_T 及び K_Q が高めの値を示す時と低めの値を示す時 (ヒステリシス) があるが、効率に差はない。この現象は確率現象である。

キャビテーション・パターンを Fig. 4.23 に示す。フェイス・キャビテーションは $J=1.325$ 以上で発生する。 $\sigma_v=0.4$ では $J=1.1$ 以下でスーパー・キャビテーション (SC) 状態となり、設計条件では SC 状態となる。スラストおよびトルクの値がばらつく $J=1.3$ では、プロペラ半径位置の翼端側で翼後縁部、翼根側で前縁部及び後縁にキャビテーションが発生している。本プロペラの設計迎角 2° では、同じ σ_v に対して2つの収束解が得られ、2つのキャビティ長さが得られる。この現象が実験においても生じたものと考えられる。キャビテーションと翼との相互干渉によるものである。翼後縁部のキャビテーションが多めに発生すると、スラスト及びトルクの値が低めの値になり、少なくなると高めとなる確率が高かった。どちらの状態もある程度安定であり、2つの状態の間で振動するようなことはなかった。どちらの状態に落ち着くかは、前進率の履歴による影響が大きいようである。

キャビテーション・パターンから推察すると、キャビティ厚さが目測であるが薄くなる $J=1.15$ がプロペラの最適作動条件と考えられ、ピッチまたはキャンバーが過大であったことが分かる。この条件では $K_T=0.188$ 、 $K_Q=0.0485$ 、 $\eta_0=0.706$ となり、過大なスラストを発生するものの、効率については SSPA-SCP が 0.649 であったことからまずまずの SCP が設計できたと言える。また、 $\sigma_v=1.0$ においてキャビティが前後縁で分かれて発生することから、キャンバーが過大であったことが予想された。また、翼端では TVC が異様に太かったが、これはキャンバーが過大であるために、翼後縁近傍での激しい剝離が生じたことが原因ではないかと思われる。

(6) SRIJ-II プロペラ、MPNo. 356

まず、キャビテーション水槽で本プロペラのノンキャビ状態でのプロペラ性能を主動力計を用いて計測した。プロペラ回転数は 40rps とした。計測結果を Table 4.17 及び Fig. 4.24 (a) に示す。 $J=0.6\sim 1.6$ の

範囲で計測を行った。曳航水槽での POT と比較して、スラストに関して良く一致するが、キャビ水槽で計測されたトルクが POT よりかなり低く、キャビ水槽で計測された効率は高い。動力計とプロペラの配置及びレイノルズ数の違いによるものと思われる。キャビテーション水槽での計測値は 30 及び 40rps で差は殆どない。

キャビテーション状態での計測値を Table 4.17 及び Fig. 4.24 (a) に示す。設計条件 $J=1.10$ 及び $\sigma_v=0.40$ において、設計値は $K_T=0.160$ 、 $K_Q=0.0360$ 、 $\eta_0=0.772$ であったのに対して、計測値はプロペラ回転数が 45rps の時、 $K_T=0.165$ 、 $K_Q=0.0400$ 、 $\eta_0=0.722$ となった。本プロペラは設計と比べて、スラストが3%過大で、効率が6.5%低くなったものの、同条件で設計された SSPA プロペラより効率が11%も向上し、このことから、本プロペラはかなり高性能な SCP であると言える。本プロペラでは N-R プロペラに見られた様なある作動状態において激しい振動を起こすことはないばかりでなく、SRIJ-I で見られた“2股現象”も見られなく、安定したシート・キャビテーションが発生する。プロペラ性能に及ぼすプロペラ回転数の影響を Fig. 4.24 (b) に示す。

キャビテーション・パターンを Fig. 4.25 に示す。フェイス・キャビテーションは $\sigma_v=0.4$ において、 $J=1.325$ 以上で発生する。 $J=1.2$ では全面がシート・キャビテーションにおおわれ、 $J=1.1$ では薄いシート・キャビテーションが発生していることを示しており、設計の意図がうまく反映されている。SRIJ-I プロペラにみられた太い TVC も見られなかった。また、ノンキャビ時の本プロペラの性能も SRIJ-I よりも効率で13%優れている。

このプロペラについては斜流動力計でもプロペラ性能計測を行った。計測結果を Table 4.18 及び Fig. 4.26 に示す。前出の主動力計での計測と比べて本計測での最高効率がかなり低くなるものの、設計点の $J=1.1$ では1%以内で対応している。主動力計では翼根部でキャビテーションが斜流動力計より多く発生している。これは主動力計ではプロペラ軸まわりの境界層があって、翼根部で伴流となり、必ずしも均一流中で作動していないことによる。キャビテーション・パターンを Fig. 4.27 に示す。

(7) SRIJ-A プロペラ、MPNo. 365

本プロペラに関する計測結果 ($n=45\text{rps}$) を Table 4.19 と Fig. 4.28 に示す。スラストに関して設計予測値に対して、計測値は6.5%小さくなった。設計予測計算の際、後流渦を省略し過ぎたため、精度が悪くなったためである [14]。Fig. 4.29 にキャビテーション・パターンを示す。実験でのキャビテーション観測では翼根部でのキャビティが厚く、全体的な発生量も予測計

算値より大きい。これが両者のスラストの差となったものと考えられる。効率に関しては、計測値と予測値はほぼ一致した。しかしながら、荷重で比べると、前進率に関してはかなりずれてしまうので、設計時にスラストに関してマージンをとる方が良いと思われる。

(8) SRIJ-III プロペラ、MPNo. 366

ノンキャビ状態での主動力計による計測値を Table 4.20 及び Fig. 4.30 (a) に示す。プロペラ回転数は40rpsとし、前進率 J を0.84~1.55まで0.05刻みで変化させて計測した。曳航水槽での計測値と比較すると、キャビテーション水槽では J の全域においてスラストとトルクとも高い値となっているが、効率は前進率の大きいところを除き、ほぼ合っている。

キャビテーション状態での計測を $J=0.694\sim 1.6$ の範囲で行なった。 $\sigma_v=1.0, 0.6, 0.5$ 及び 0.4 での計測値を Table 4.20 及び Fig. 4.30 (a) に示す。設計条件 $J=1.10$ 及び $\sigma_v=0.40$ における SC-VLM による設計値は $K_T=0.156, K_Q=0.0364, \eta_0=0.750$ であったが、実験値は $K_T=0.150, K_Q=0.0356, \eta_0=0.738$ であった。予測値と比べてスラストは3.9%小さく、効率は1.2%低くなった。最高効率は0.784であった。

設計点附近でのプロペラ性能に及ぼすプロペラ回転数の影響を Fig. 4.30 (b) に示す。スラストに対する回転数の影響は小さいが、トルクは回転数の増加と共に減少する。

各キャビテーション数でのキャビテーション・パターンを Fig. 4.31 に示す。 $\sigma_v=0.4$ では、設計条件の $J=1.1$ 以下で SC 状態となるが、0.8R の前縁でキャビティの発生しない領域が存在する。 $J=1.2$ では、フェイス・キャビテーションが発生し始めるが、プロペラ半径位置の0.5~0.8R 側で翼後縁部に、翼根側で前縁部にキャビテーションが発生している。

キャビティ厚さが目測であるが、かなり薄く、設計作動迎角を0.5度増加させてもキャビテーションが発

生しない領域があったことから、設計作動迎角が充分でなかったと推察された。揚力面補正の誤差とも考えられるが、今後の検討課題と考える。

(9) SRIJ-IV プロペラ、MPNo. 369

本プロペラについてもノンキャビ状態におけるプロペラ性能計測を40rps で主動力計を用いて行った。空気含有率は33%であった。 $J=0.9\sim 1.5$ までの範囲で計測を行い、計測結果を Table 4.21 と Fig. 4.32 (a) に示す。曳航水槽での POT と比べて、 J の全域でキャビ水槽でのスラストはほぼ良く一致するがトルクはやや低めになる。根元で層流翼型を用いたためのレイノルズ数の影響と考えられる。

各キャビテーション数において、 $J=0.7\sim 1.55$ について計測を行なった。キャビテーション状態での計測結果を Table 4.21 及び Fig. 4.32 (a) に示す。SC-VLM での設計予測値は $K_T=0.163, K_Q=0.0393$ 及び $\eta_0=0.726$ であったが、実験値は $K_T=0.169, K_Q=0.0427$ 及び $\eta_0=0.695$ であり、効率は4.5%低いプロペラとなった。スラストは4%大きく、また、設計時の予測通りの高い性能が得られなかったが、SSPA プロペラよりは9.3%効率が向上している。

プロペラ性能に及ぼすプロペラ回転数の影響を Fig. 4.32 (b) に示す。キャビテーション発生時のプロペラ性能に及ぼす回転数の影響は殆どない。

各状態でのキャビテーション・パターンを Fig. 4.33 に示す。設計条件では0.95R より翼端側、0.6R の前縁側でシート・キャビテーションが発生していない領域があった。

このプロペラについても斜流動力計を用いてプロペラ性能計測を行った。計測結果を Table 4.22 及び Fig. 4.34 に示す。やはり、最高効率に関して両者の計測で差があるものの、設計点では1%以内で対応するが、定性的には主動力計での計測は効率が斜流動力計のそれより高く計測される傾向にある。キャビテーション・パターンのスケッチを Fig. 4.35 に示す。

Table 4.9 Measured Data of Propeller Open Characteristics of Newton-Rader Propeller by Using J26 in Cavitation Tunnel

MPNo. 339; N-R Prop. by J26
 n=40rps, Tw=19.22.5° C
 $\alpha / \alpha_s = 0.29 \& 0.32$

NON-CAV.				$\sigma v = 1.0$			
J	Kt	10Kq	η_o	J	Kt	10Kq	η_o
0.783	0.564	1.554	0.452	0.788	0.286	0.807	0.444
0.833	0.536	1.484	0.479	0.838	0.310	0.876	0.472
0.883	0.507	1.415	0.504	1.087	0.386	1.072	0.623
0.935	0.479	1.348	0.529	1.140	0.374	1.046	0.649
0.986	0.452	1.279	0.555	1.191	0.353	1.002	0.668
1.037	0.424	1.213	0.577	1.242	0.329	0.951	0.684
1.087	0.398	1.151	0.598	1.292	0.305	0.901	0.696
1.139	0.371	1.086	0.619	1.342	0.283	0.849	0.712
1.189	0.346	1.024	0.639	1.393	0.262	0.796	0.730
1.240	0.322	0.966	0.658	1.444	0.241	0.750	0.738
1.293	0.299	0.910	0.676	1.494	0.222	0.707	0.747
1.344	0.276	0.856	0.690	1.546	0.202	0.660	0.753
1.394	0.256	0.807	0.704	1.596	0.184	0.622	0.751
1.444	0.235	0.759	0.712	$\sigma v = 1.0 (VIB)$			
1.495	0.215	0.713	0.717	J	Kt	10Kq	η_o
1.545	0.196	0.670	0.719	1.087	0.386	1.072	0.623
1.596	0.172	0.619	0.706				

$\sigma v = 0.6$				$\sigma v = 0.5$			
J	Kt	10Kq	η_o	J	Kt	10Kq	η_o
0.790	0.210	0.590	0.448	0.793	0.200	0.563	0.448
0.842	0.219	0.618	0.475	0.842	0.206	0.584	0.473
0.890	0.231	0.654	0.501	0.893	0.212	0.604	0.499
0.942	0.239	0.679	0.527	0.942	0.216	0.616	0.526
0.991	0.255	0.728	0.553	0.992	0.226	0.647	0.552
1.041	0.272	0.774	0.582	1.042	0.236	0.675	0.580
1.090	0.293	0.834	0.609	1.092	0.252	0.723	0.606
1.141	0.311	0.879	0.642	1.141	0.268	0.765	0.636
1.190	0.327	0.922	0.672	1.193	0.286	0.815	0.666
1.242	0.318	0.906	0.694	1.243	0.301	0.854	0.697
1.292	0.301	0.879	0.704	1.292	0.293	0.845	0.713
1.343	0.283	0.845	0.716	1.343	0.278	0.825	0.720
1.393	0.264	0.800	0.732	1.394	0.264	0.792	0.740
1.444	0.242	0.751	0.740	1.444	0.244	0.748	0.750
1.494	0.223	0.708	0.749	1.494	0.225	0.704	0.760
1.546	0.203	0.665	0.751	1.545	0.204	0.658	0.762
1.596	0.185	0.625	0.752	1.596	0.185	0.617	0.761

$\sigma v = 0.6 (VIB)$			
J	Kt	10Kq	η_o
1.292	0.301	0.879	0.704

$\sigma v = 0.4$			
J	Kt	10Kq	η_o
0.842	0.196	0.549	0.479
0.892	0.201	0.567	0.504
0.944	0.206	0.583	0.531
0.994	0.207	0.587	0.558
1.043	0.210	0.598	0.583
1.093	0.216	0.618	0.608
1.142	0.222	0.640	0.631
1.193	0.239	0.686	0.661
1.242	0.252	0.720	0.692
1.293	0.267	0.763	0.720
1.343	0.268	0.790	0.725
1.394	0.264	0.790	0.741
1.444	0.245	0.748	0.753
1.494	0.223	0.702	0.756
1.545	0.205	0.663	0.760
1.596	0.185	0.619	0.759

Table 4.10 Measured Data of Propeller Open Characteristics of Newton-Rader Propeller by Using H38 in Cavitation Tunnel

MPNo. 339; N-R Prop. by H38
 $n=40$ rps, $T_w=23.5^\circ\text{C}$
 $\alpha/\alpha_s=0.28$

NON-CAV.

J	K_t	$10K_q$	η_o
0.988	0.465	1.262	0.579
1.088	0.408	1.134	0.623
1.189	0.353	1.012	0.660
1.292	0.303	0.897	0.695
1.343	0.279	0.841	0.709
1.393	0.255	0.787	0.718
1.495	0.213	0.687	0.738
1.545	0.193	0.643	0.738
1.597	0.166	0.583	0.724

 $\sigma_v=0.4$

J	K_t	$10K_q$	η_o
0.843	0.199	0.561	0.476
0.892	0.203	0.575	0.501
0.943	0.206	0.585	0.528
0.994	0.208	0.592	0.556
1.043	0.209	0.598	0.580
1.092	0.212	0.606	0.608
1.143	0.217	0.626	0.631
1.193	0.228	0.657	0.659
1.242	0.237	0.688	0.681
1.293	0.249	0.735	0.697
1.343	0.252	0.768	0.701
1.394	0.236	0.739	0.709
1.445	0.224	0.714	0.722
1.494	0.206	0.675	0.726
1.546	0.185	0.631	0.721
1.596	0.154	0.562	0.696

Table 4.11 Measured Data of Propeller Open Characteristics of SSPA-F Propeller by Using J26 in Cavitation Tunnel

MPNo. 340; SSPA-F Prop. by J26
 n=40rps, Tw=25°C
 $\alpha / \alpha_s = 0.30 \& 0.31$

NON-CAV.				$\sigma v = 1.0$			
J	Kt	10Kq	η_o	J	Kt	10Kq	η_o
0.890	0.265	0.730	0.514	0.794	0.148	0.411	0.455
0.941	0.242	0.679	0.534	0.844	0.158	0.435	0.488
0.992	0.220	0.626	0.555	0.894	0.164	0.450	0.518
1.043	0.197	0.575	0.569	0.944	0.170	0.464	0.550
1.093	0.177	0.524	0.588	0.995	0.175	0.476	0.582
1.094	0.176	0.525	0.584	1.044	0.179	0.485	0.613
1.145	0.154	0.473	0.593	1.094	0.182	0.493	0.643
1.196	0.131	0.424	0.588	1.144	0.174	0.477	0.664
1.248	0.109	0.372	0.582	1.196	0.144	0.414	0.662
1.297	0.088	0.321	0.566	1.246	0.116	0.355	0.648
1.349	0.067	0.275	0.523	1.297	0.094	0.309	0.628
1.399	0.046	0.227	0.451	1.348	0.071	0.258	0.590
				1.399	0.048	0.210	0.509

$\sigma v = 0.6$				$\sigma v = 0.5$			
J	Kt	10Kq	η_o	J	Kt	10Kq	η_o
0.795	0.106	0.303	0.443	1.096	0.119	0.329	0.631
0.845	0.107	0.309	0.466	1.146	0.121	0.333	0.663
0.895	0.113	0.323	0.499	1.196	0.123	0.336	0.697
0.945	0.120	0.341	0.529	1.246	0.122	0.334	0.725
0.995	0.127	0.356	0.565	1.297	0.112	0.312	0.741
1.045	0.132	0.364	0.603	1.348	0.081	0.251	0.692
1.096	0.134	0.368	0.635	1.398	0.057	0.202	0.628
1.146	0.137	0.375	0.666				
1.196	0.138	0.376	0.698				
1.246	0.131	0.363	0.716				
1.297	0.104	0.306	0.702				
1.348	0.077	0.251	0.658				
1.398	0.054	0.202	0.595				

$\sigma v = 0.4$			
J	Kt	10Kq	η_o
0.795	0.101	0.286	0.447
0.846	0.100	0.283	0.476
0.896	0.098	0.279	0.501
0.946	0.095	0.272	0.526
0.996	0.094	0.270	0.552
1.047	0.097	0.275	0.588
1.097	0.102	0.283	0.629
1.146	0.107	0.291	0.671
1.197	0.107	0.293	0.695
1.247	0.108	0.295	0.726
1.297	0.106	0.289	0.757
1.347	0.088	0.252	0.749
1.398	0.059	0.195	0.673

Table 4.12 Measured Data of Propeller Open Characteristics of DTMB Propeller by Using J26 in Cavitation Tunnel

MPNo. 341;DTMB Prop. by J26
 $n=40$ rps, $T_w=11^\circ\text{C}$
 $\alpha/\alpha_s=0.30$

NON-CAV.				$\sigma_v=1.0$			
J	Kt	10Kq	η_o	J	Kt	10Kq	η_o
0.488	0.234	0.410	0.444	0.543	0.120	0.208	0.499
0.539	0.218	0.391	0.479	0.593	0.136	0.237	0.541
0.590	0.201	0.371	0.509	0.642	0.145	0.250	0.592
0.642	0.184	0.350	0.537	0.693	0.147	0.260	0.624
0.692	0.169	0.331	0.563	0.743	0.145	0.266	0.645
0.742	0.154	0.308	0.591	0.774	0.136	0.257	0.652
0.774	0.143	0.295	0.597	0.794	0.129	0.249	0.655
0.795	0.136	0.286	0.602	0.845	0.113	0.234	0.650
0.845	0.118	0.266	0.597	0.896	0.096	0.213	0.643
0.896	0.099	0.242	0.583	0.947	0.073	0.184	0.598
0.948	0.078	0.216	0.545	0.998	0.049	0.153	0.509
0.998	0.057	0.190	0.476				

$\sigma_v=0.6$				$\sigma_v=0.5$			
J	Kt	10Kq	η_o	J	Kt	10Kq	η_o
0.643	0.111	0.201	0.565	0.694	0.116	0.208	0.616
0.694	0.121	0.222	0.602	0.743	0.129	0.232	0.658
0.744	0.129	0.237	0.645	0.774	0.134	0.245	0.674
0.774	0.123	0.231	0.656	0.794	0.131	0.241	0.687
0.795	0.118	0.229	0.652	0.845	0.117	0.225	0.699
0.844	0.118	0.229	0.692	0.896	0.094	0.197	0.681
0.897	0.094	0.198	0.678	0.948	0.075	0.169	0.670
0.946	0.073	0.170	0.647	0.998	0.043	0.117	0.584
0.999	0.046	0.128	0.572	1.000	0.043	0.117	0.585

$\sigma_v=0.4$			
J	Kt	10Kq	η_o
0.775	0.120	0.223	0.663
0.795	0.120	0.224	0.678
0.845	0.108	0.210	0.692
0.896	0.090	0.185	0.694
0.947	0.067	0.150	0.673
0.999	0.038	0.102	0.592