

(昭和53年5月 日本造船学会春季講演会において講演)

MAU 型プロペラのキャビテーション特性に関する研究

—第3報 キャビテーション特性の改良と新型種プロペラの開発—

正員 高橋 通雄* 正員 奥 正 光*

The Cavitation Characteristics of MAU Type Propeller
The Third Report : Development of a New Proto-Type Propeller with
Special Reference to Cavitation Characteristics

by Michio Takahashi, *Member* Masamitsu Oku, *Member*

Summary

A new propeller series (KB-type) was developed on the basis of the results with MAU type propeller (REPORT I & II) by applying three-dimensional cavitation bucket chart. Noticeable improvement in cavitation characteristics was obtained with the KB-type propeller without sacrificing the overall efficiency of MAU type propeller.

1 緒 言

ここ数年、各種の型種の船用プロペラ翼面に比較的短期間にキャビテーションによるエロージョンが発生するという事故が多発している。これは現用されているプロペラの型種が、ほとんど十数年以前に開発されたものでここ数年間の船舶の大型化、高馬力化および船尾伴流の複雑化に、特にキャビテーション特性の面で充分対応できないことに基因している。

わが国で、従来広く使用されてきた MAU 型プロペラについても、個々の設計に際してキャビテーション試験を実施したり、また理論的考察を行なってキャビテーション対策を講じてきたが、このような対症療法的設計手段は、あくまで暫定的なものであり、著者らはかねてから MAU 型を発展させた新型種のプロペラの開発を意図していた。

新型種のプロペラは、効率面で MAU 型に匹敵するとともに、キャビテーション特性の面では現在の船舶の要求を満足するものでなくてはならない。

このために著者らは、プロペラのキャビテーション特性をプロペラ揚力面理論と相当直進二次元翼の概念を採用して、第1報¹⁾においてプロペラ翼面の三次元曲り流れを考慮した三次元キャビテーションバケット図を提案するとともに、均一流中のプロペラ翼面圧力の計測およびキャビテーション試験により三次元曲り流れを考慮し

た理論的方法が定常キャビテーション特性の解明に有効であることを示した。第2報²⁾において、不均一流中におけるプロペラ翼面圧力の計測およびキャビテーション試験を実施し、その計算方法がプロペラの非定常キャビテーションに対しても拡張適用できることを確認した。

第3報においては、第1報・第2報²⁾の成果に基づいてキャビテーション特性の改良をはかった新型種のプロペラを、MAU 型プロペラを原型として開発することを試みた。

プロペラの形状および作動条件が与えられれば、各半径位置の循環密度分布および誘導速度が決まり、それに基づく曲り流れを考慮した相当直進二次元翼により三次元キャビテーションバケット図が求められる。この三次元キャビテーションバケット図を応用して、次の二つの調査を行なうことができる。

(1) 与えられた幾何学形状を有するプロペラが、各種の船尾伴流中および作動条件下で作動するときのキャビテーション特性を調査すること。

(2) 予想される船尾伴流および作動条件下で、キャビテーション特性がすぐれ、しかも効率低下を招かないような三次元幾何形状をもつプロペラの最適化をはかること。

個々のプロペラの設計にあたって、当初設計のプロペラ形状について(1)の方法で、もしキャビテーション発生危険が認められれば、(2)の手段によって形状の変

* (株)神戸製鋼所鍛鋼事業部技術部

更を行ない、キャビテーション特性のすぐれたプロペラを求めることは可能である。しかし設計の都度、この手順を辿ることは繁雑なため、あらかじめ Shock-free 領域の広いプロペラ形状を母型として求めておき、それを広い範囲のプロペラ設計に使用できれば、実用上の便益はきわめて大きいであろう。

プロペラの形状特性は、大きく分けて半径方向特性と翼弦方向特性とがあり、さらに直径、ピッチ、ピッチ分布、翼厚などのように個々の設計条件に応じて、その都度決められるものと、翼断面形状、翼輪郭、最大翼厚位置の半径方向分布などのように広い範囲の設計条件に適用しうるものとして、あらかじめ決めておくことのできるものがある。MAU 型プロペラは他の型種のプロペラと同様に翼輪郭、展開面積比、ピッチ分布、翼厚比、翼厚最大位置の半径方向分布、翼断面形状の半径方向の変化、ボス比、レーキ、スキューなどが決まった母型をベースにして、詳細な設計図表^{3)~6)}が完備されている。しかし、コンピュータの実用化とプロペラ理論の発展により、一つの型種のプロペラの母型として具備すべき条件が大幅に緩和されてきた。すなわち、キャビテーション特性および効率のすぐれた半径方向の形状（翼輪郭や翼厚最大位置の半径方向分布など）と翼弦方向の形状が標準として定められた母型プロペラとして与えられればその他の形状要素は設計条件に応じて、理論的および経験的に求めることができる。

この観点から、著者らは、MAU 型プロペラを出発点として、キャビテーション特性が一段とすぐれた新型種のプロペラ母型を前記 (2) の方法で開発することにした。すなわちプロペラの三次元幾何形状要素を分けると翼弦方向形状要素と半径方向形状要素があり、これらは直接間接にキャビテーション特性を支配する。そこで、揚力線の意味でマクロ的にきいてくる半径方向要素をはじめに押え、ついでマイクロ的に直接きいてくる翼弦方向要素を詳しく調べる手段により新型種を導き、この新型種のプロペラに対し、第1報、第2報で行なったと同様な均一流中、不均一流中の翼面圧力計測とキャビテーション試験を実施し、原型である MAU 型プロペラとの比較を行なった。その結果、新型種プロペラは、キャビテーションの面でも効率の面でもすぐれた特性を示すことが確かめられた。

2 プロペラ形状要素とキャビテーション特性

三次元キャビテーションパケット図はプロペラの三次元的形状要素が与えられて始めて確定する。すなわち、翼断面の二次元的形状要素ばかりでなく、半径方向の三次元的幾何形状が曲り流れを支配する。この意味で、半径方向と翼弦方向の形状は相互に関連を有しつつ、キャ

ビテーション特性に影響を与えるので、その影響を調査するためには、逐次近似的手法を反復くり返す必要がある。しかし、キャビテーション特性にどちらがより直接的にきいてくるかといえば、それは後者（翼弦方向の形状）である。そこで本節では、まず半径方向形状の連続性の要素として、翼輪郭および翼厚最大位置の半径方向分布を第一近似として論じ、ついで翼弦方向の形状要素として翼厚分布、Wash-back 量、キャンパー量を取りあげた。なお、形状とキャビテーション特性の関係を解析するにあたり、数値例として1翼の展開面積比 0.13、ピッチ比 0.80、ボス比 0.18 の MAU 型プロペラを想定した。

2.1 半径方向の特性

半径方向の形状がキャビテーション特性に及ぼす影響を調査するための形状要素としては、翼輪郭、翼厚最大位置の半径方向分布、スキュー、ピッチ分布などがあるが、ここでは次のような考慮のもとに、前二者だけを取りあげてキャビテーション特性との関連を調査した。すなわち、

(1) プロペラ形状に関する調査は、MAU 型プロペラ形状を原型とする。

(2) ピッチ分布は、個々の設計条件として与えられる伴流の半径方向分布により決められるのが通例であるので、基準として一定ピッチ分布の場合を調査対象とする。

(3) 一般商船用プロペラを対象とするので、スキューは MAU 型プロペラ程度とする。また、スキューに関する調査は、高スキューの問題を含めて別個にとりあげるのが良いと考えた。

2.1.1 翼輪郭

翼先端近傍の翼弦長を大きくした、いわゆる末広型翼輪郭により背面キャビテーション特性を改善しようとする考え方は、従来多くの設計者により採用されてきた。著者らは翼断面の強度を一定に保つ条件、すなわち最大翼厚を t 、翼弦長を l とするとき、 t/l を各半径位置の翼断面ごとに一定に保つ条件の下で、Fig. 1 に示すように l の半径方向の分布を変化させたときのプロペラのキャビテーション特性の変化を検討した。その結果、一つの翼断面については、このような形状の変化は後述のキャンパーの大きさの変化に相当するが、プロペラとしてみた場合にも、MAU 型原型よりも末広型の翼弦長分布を採用したときの方が背面キャビテーションの安全領域は若干狭くなるが、Shock-free 領域は左方により、総合的にみたキャビテーション特性は向上することがわかった。

2.1.2 翼厚最大位置の分布

菅井⁷⁾は、翼断面の翼厚最大位置を翼弦長の 32% か

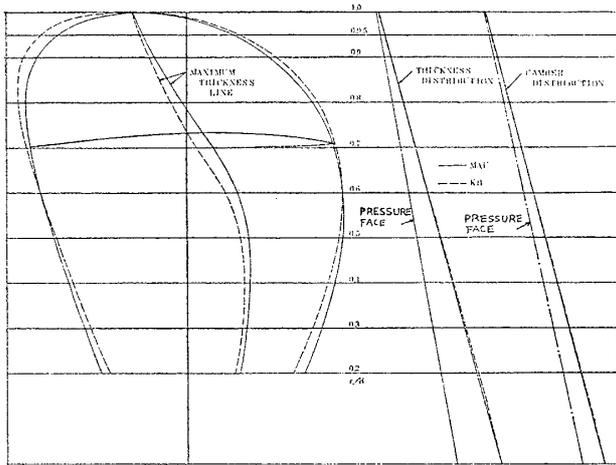


Fig. 1 Blade contour, thickness and camber distribution

ら 40% に移動させると背面上の圧力分布が平坦化することを示している。

著者らは、プロペラ効率の低下を招来することなく、プロペラキャビテーション特性を改良する目的で、Fig. 2 に示すような 5 種類の翼厚最大位置の半径方向分布を考え、効率およびキャビテーション特性を調査した。その結果、翼厚最大位置が翼根または翼中央付近から翼弦中央に近い分布をもつプロペラほど、Shock-free 領域が左方により、また背面キャビテーションの安全領域が拡大するが、正面キャビテーション発生領域は原型と大差ないこと、またプロペラ効率は低下の傾向にあることがわかった。

2.2 翼弦方向の形状

2.2.1 前縁側の翼厚分布

プロペラ翼弦方向の翼厚分布がキャビテーション特性に及ぼす影響に関する研究は少なく、わずかに二次元翼に関する D. T. Valentine⁹⁾ の論文がみられる程度である。

著者らは、前縁から翼厚最大位置までの翼厚分布の影響を三次元キャビテーションバケット図により検討した結果、この部分の翼厚を原型より増すと背面および正面キャビテーションとも不利であるが、ある程度減少すると背面および正面キャビテーションとも有利になることが判明した。Fig. 3 に、三次元キャビテーションバケット図上におけるバケットの変化の模様を示したが、本図によっても、前縁側の翼厚分布を減らすことによる効果が著しいことがわかる。なお、バケット図は、キャビテーション特性判定図であって、バケットの上辺は背面キャビテーション発生時の臨界線を、下辺は正面キャビテーション発生時の臨界線、また左辺が Shock-free の臨界線である。したがってバケットの大きさが大きい程、また Shock-free 臨界線が左方、すなわち圧力降下量 ($\Delta P/q$) の小さい方向へ移動するほど、キャビテーション

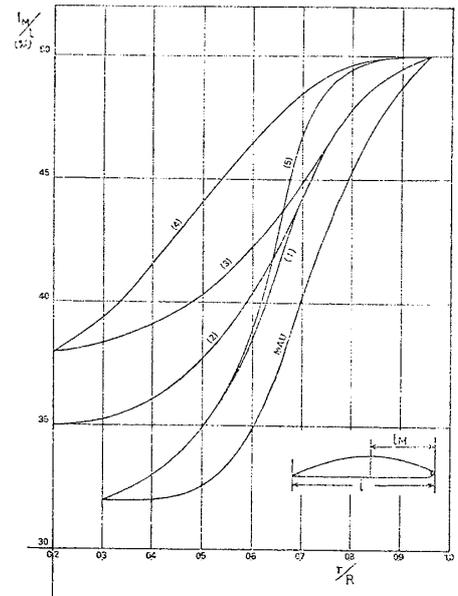


Fig. 2 Position of max. thickness point from leading edge

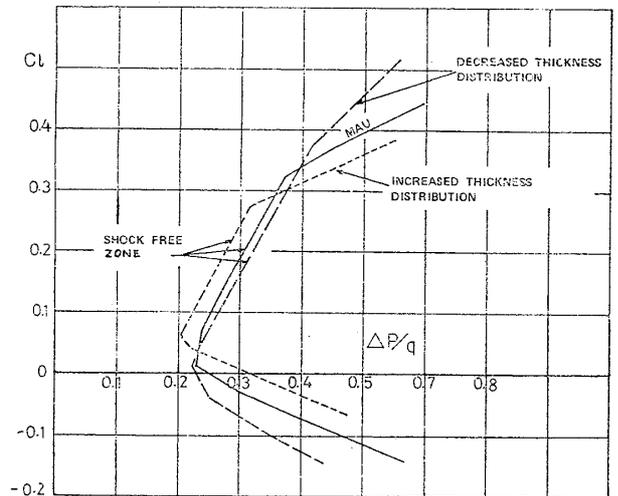


Fig. 3 Variation of three-dimensional cavitation bucket chart by thickness distribution

ン特性上有利ということになる。

2.2.2 前縁の Wash-back 量

従来から経験的に、前縁の Wash-back 量を増加させると正面キャビテーション対策上有利であるが背面キャビテーションの危険領域が広がり、Wash-back 量を減少させると逆に背面キャビテーションの対策上有利であるが正面キャビテーションが発生しやすくなる傾向があるといわれている。三次元キャビテーションバケット図による調査も、これと同様の結果を示している。

2.2.3 キャンバーの最大値

キャンバーの最大値を大きくすると、背面キャビテーションの発生しない安全領域は広がるが、Shock-free 領域は圧力降下量 ($\Delta P/q$) が増加する方向へ移動し、また正面キャビテーションに対する安全領域は狭くなる傾向を示した。

キャンバーを小さくすると、上記と逆の傾向を示す。

2.2.4 前縁の半径の大きさ

前縁の丸味の大きさを変更すれば、必然的に前縁から翼厚最大位置にかけての翼厚分布が変化してくる。従って前縁の半径を大とすると、キャビテーション特性に対しては前縁側の翼厚分布を大としたと同じ効果があり、また半径を小とすると翼厚分布を小としたと同じ効果がある。

3 改良 MAU 型プロペラ

三次元キャビテーションバケット図を用いて、プロペラ形状要素がキャビテーション特性に及ぼす効果を調査した結果、MAU 型プロペラのキャビテーション特性の改良に大きな影響を与えるものは翼弦方向の前縁側翼厚分布、前縁の Wash-back 量、キャンバーの大きさ、翼厚最大位置、ならびにこれらの半径方向の分布であることがわかった。従って前述のように、キャビテーション特性および効率を考慮しながら、これらの要素を組合せて、原型からあまり遊離しないプロペラ翼形状を合成すれば、著者らの意図した新型種のプロペラも、MAU 型プロペラを発展させたものとして、求められるはずである。

いろいろな組合せについて、三次元キャビテーションバケットおよび効率に関する計算を行ない、比較検討の上得られた新型種のプロペラを Fig. 1 および Table 1 に示し、これを KB 型プロペラと名付けた。KB 型プロペラの形状に関する特長は、Fig. 1 および Table 1 からわかるように次の点にある。

- (1) 翼輪郭を MAU 型プロペラよりも末広型としたこと
- (2) 半径方向の翼厚最大位置の分布を、Fig. 2 の中の (5) を採用し、MAU 型プロペラより翼弦中央寄りに移動させたこと
- (3) 翼断面における前縁側の翼厚分布を MAU 型より減少させたこと
- (4) 前縁の Wash-back 量を MAU 型の 80% に減じたこと
- (5) キャンバーの大きさは、MAU 型と KB 型で t^2l = 一定の条件が成立するように定めたこと。従って半径方向の翼厚分布は直線ではない。

4 MAU 型プロペラおよび KB 型プロペラの性能比較

前述のように、MAU 型プロペラを改良した新型種のプロペラ (KB 型プロペラ) を提案したが、これらのプロペラの単独性能、翼面圧力分布およびキャビテーション特性について計算と実験により比較検討した。対象と

Table 1 Comparison of MAU type and KB type propeller shape

Items	MAU	KB
Boss ratio	0.18	0.18
Max. blade breadth ratio	0.344	0.348
Position of max. breadth	0.66R	0.70R
Max. thickness ratio	0.05	0.05
Max. thickness point from leading edge at 0.7R (%)	40.2	46.8
Max. thickness point from leading edge at 0.9R (%)	48.8	49.9
Camber at 0.7R	0.023	0.022
Camber at 0.9R	0.012	0.011
Skew ratio to diameter	0.06	0.06

するプロペラは、第1報に使用した MP 2172 (MAU 型) および MP 2172 V (KB 型) とし、実験は日本造船技術センターにおいて実施した。

4.1 計算による比較

4.1.1 単独性能

MP 2172 および MP 2172 V について、計算により求めたスラスト係数 K_T 、トルク係数 K_Q および単独効率 η_0 曲線を Fig. 4 に示す。

K_T および K_Q とも、前進係数 J に対し MP 2172 V が高い値を示すが、同一の K_T/J^2 の値で単独効率の比較を行なったところ、両者ともほぼ同一の値を示した。

4.1.2 翼面圧力分布

均一流中の 0.7R における計算比較の例を Fig. 5 に示す。

翼前縁部において、圧力降下が MP 2172 V の方が少なく、キャビテーション特性に良い影響を与えると考えられる。翼弦中央から後縁までの間は、MP 2172 V の

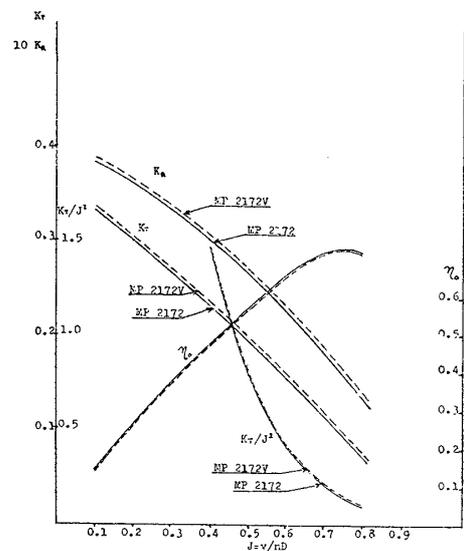


Fig. 4 Calculated open water characteristics of MP 2172 and MP 2172 V

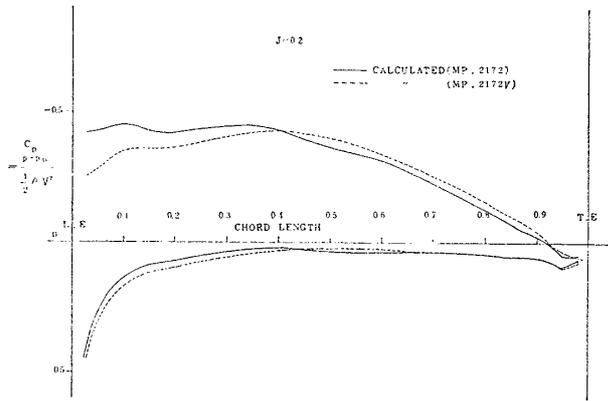


Fig. 5 Comparison of pressure distribution calculation, in uniform flow between MP 2172 and MP 2172 V at 0.7 R

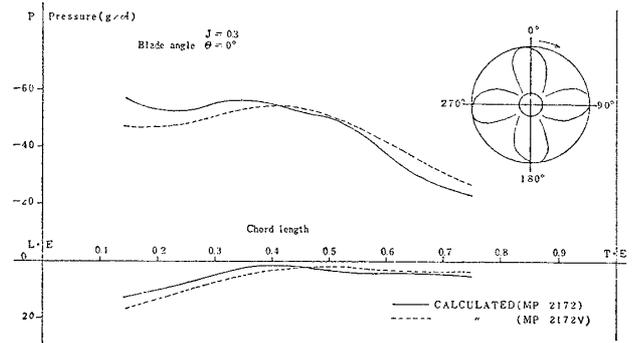


Fig. 7 Comparison of chordwise pressure distribution calculation in wake between MP 2172 and MP 2172 V at 0.7 R

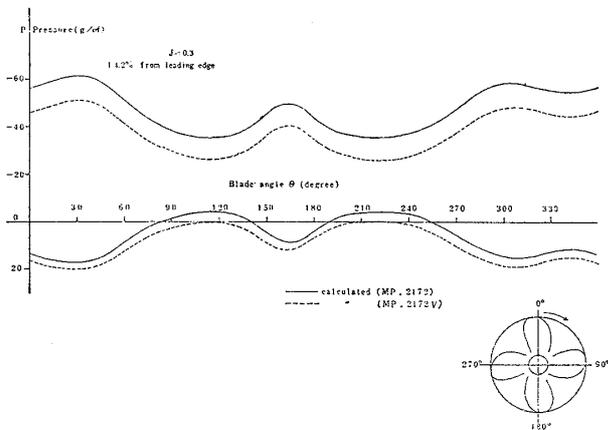


Fig. 6 Comparison of blade surface pressure calculation in Wake between MP 2172 and MP 2172 V at 0.7 R

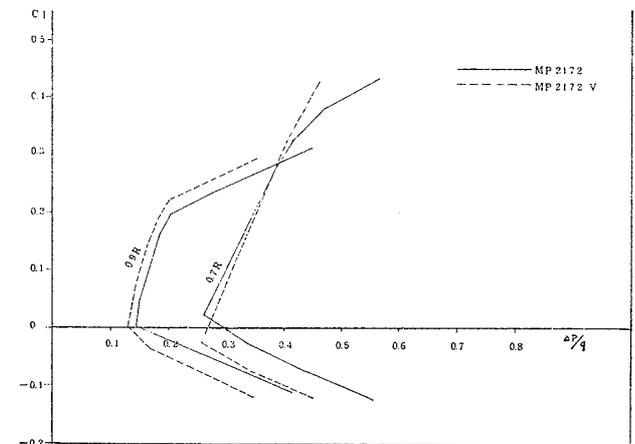


Fig. 8 Comparison of cavitation bucket chart between MP 2172 and MP 2172 V

方が、わずかに圧力低下量が増加しているのが見られる。

不均一流中の 0.7R における比較を、回転角方向、翼弦方向について、それぞれ Fig. 6, Fig. 7 に示す。MP 2172 V の回転角方向の圧力変動をみると、圧力の値は背面では減少し、圧力面ではわずかに増大している。これは形状変更による影響が、圧力面側よりも背面側の方に大きくでたためである。

4.1.3 キャビテーション

Fig. 8 に 0.7R, 0.9R の翼断面の三次元キャビテーションバケット図を示す。本図によれば、MP 2172 V では背面および正面キャビテーションとも安全領域が拡大していること、特に 0.9R においては Shock-free 領域が、安全な方向、すなわち左側に移動していることがわかる。

Fig. 9 は、第 2 報に述べた不均一流中のキャビテーション試験に用いたと同一の流場におけるキャビテーション発生を予想を、第 2 報と同一の計算方法により求めたものである。本図によっても、MP 2172 V における改良効果が認められる。

4.2 模型実験による比較

4.2.1 単独性能

プロペラ単独試験結果を Fig. 10 に示す。計算からも予想されたように、スラスト係数 K_T およびトルク係数 K_Q とともに MP 2172 V の方が高い値を示しているが、4.1.1 で述べたように、単独効率も、同一の K_T/J^2 の値で比較すると、ほぼ同等の値を示した。

4.2.2 翼面圧力分布

(1) 均一流中の計測 MP 2172 および MP 2172 V について、第 1 報と同じ条件でプロペラ翼面圧力を計測した。

一例として、前進係数 J が 0.2 の場合の翼弦方向の圧力分布を Fig. 11 に示す。圧力計測の実験精度には、まだ不十分な点があるので、本図の結果のみから MP 2172 V の有利性は認められないが、本図中に示した圧力分布の計算結果および後述の均一流中キャビテーション試験結果を採用すれば、著者らの意図したプロペラ改良の効果を認めてもよいであろう。特に計算による圧力分布の比較において、MP 2172 V の前縁近傍の圧力係数 C_p が低下しているのは、背面キャビテーションの初

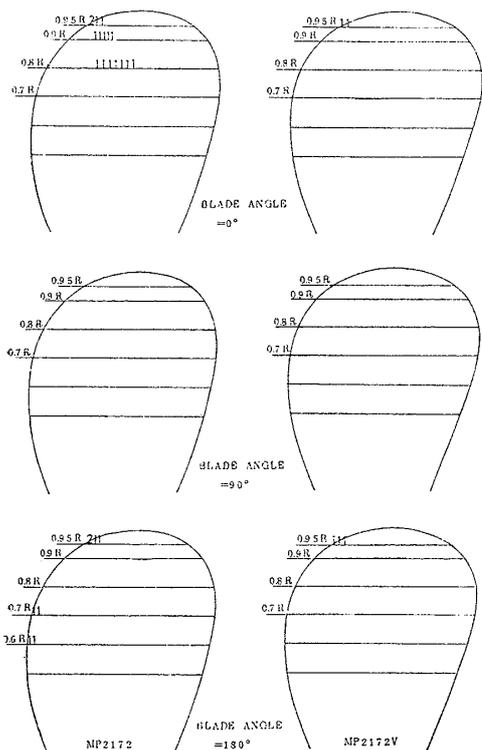


Fig. 9 Comparison of cavitation simulation between MP 2172 and MP 2172 V

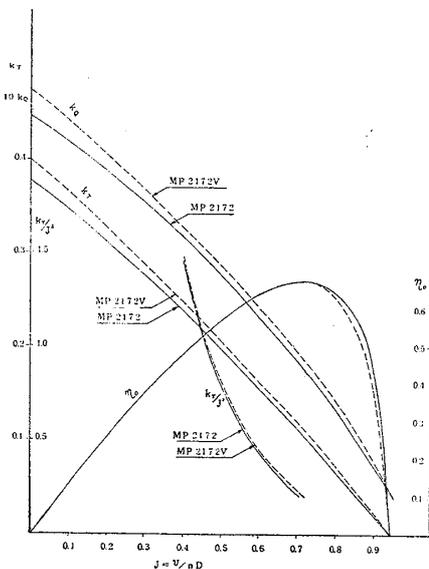


Fig. 10 Open water test results of MP 2172 and MP 2172 V

生に対しては有利な点である。

(2) 不均一流中の計測 第二報と同じ条件で、不均一流中の翼面圧力計測を行なった。

1例として、2種類の回転数 ($J=0.3$ および 0.5 に対応) について、前縁寄りの点の計測結果を Fig. 12 および Fig. 13 に示した。図によれば、両者の翼形状の差により1回転中の背面側圧力 P の変化には、明瞭な差がみられる。すなわち、MP 2172 V の方が背面におけ

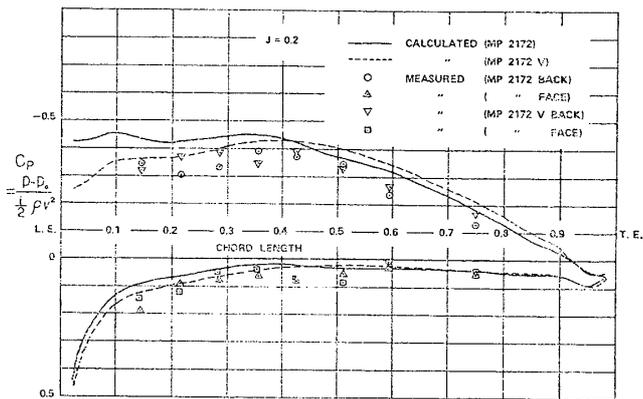


Fig. 11 Comparison of pressure distribution in uniform flow between MP 2172 and MP 2172 V at 0.7 R.

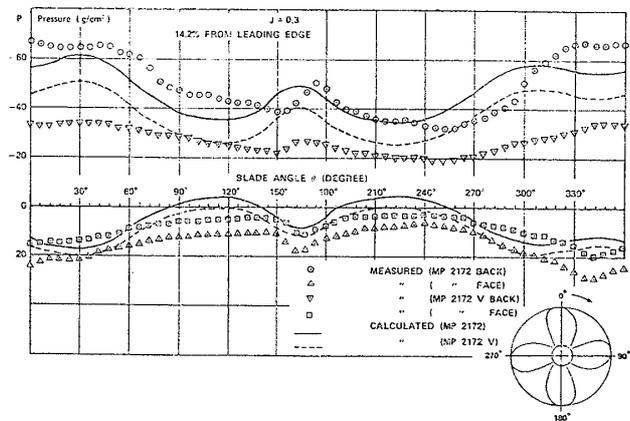


Fig. 12 Comparison of blade surface pressure in wake between MP 2172 and MP 2172 V at 0.7 R

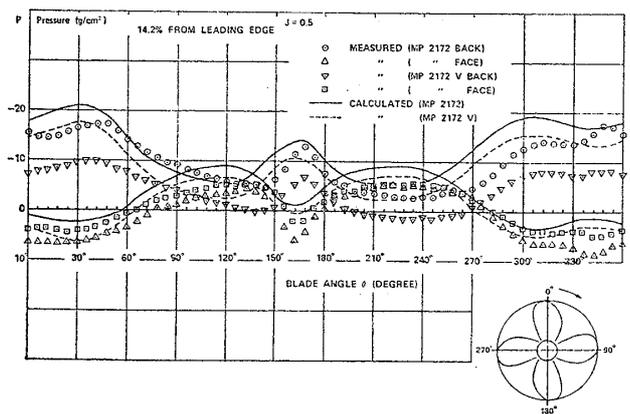


Fig. 13 Comparison of blade surface pressure in wake between MP 2172 and MP 2172 V at 0.7 R

る1回転中の圧力降下量も小さく、また圧力変動も少ない。圧力変動が平坦化している点は、キャビテーションパケット図上の Shock-free 領域に相当する部分が広いことを示唆している。正面側の1回転中の圧力変化の差は、背面側と比べて小さい。Fig. 14 および Fig. 15 は

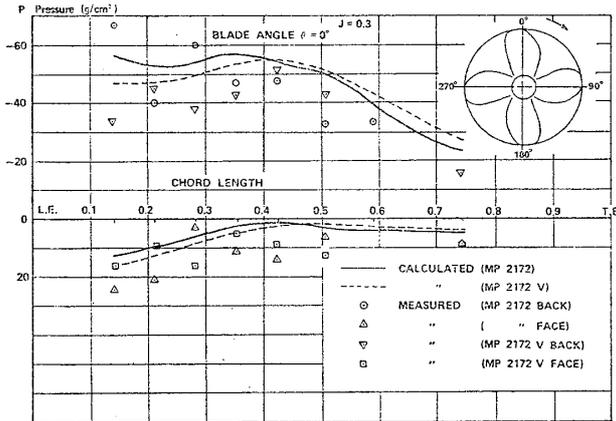


Fig. 14 Comparison of chordwise pressure distribution in wake between MP 2172 and MP 2172 V at 0.7 R

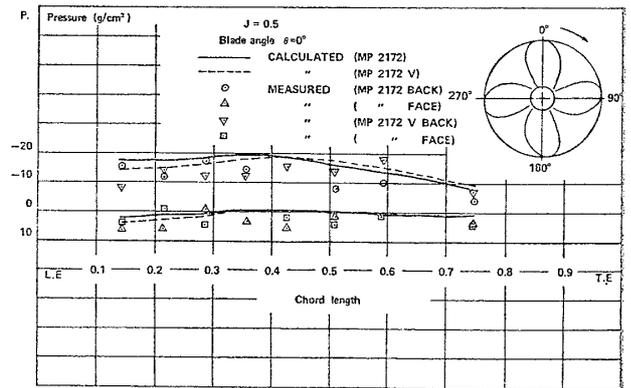


Fig. 15 Comparison of chordwise pressure distribution in wake between MP 2172 and MP 2172 V at 0.7 R

翼角 0° における翼弦方向の圧力分布の比較を行なったものである。翼面圧力計測の精度上の問題もあるので、これらの図のみから MP 2172 V の優位性を速断できないが、図中に示した計算による圧力分布および後述の不均一流中のキャビテーション試験結果を援用すれば、プロペラ改良の効果を認めてもよいと考えられる。前縁近傍において、MP 2172 V の圧力 P が低下している点は、背面のキャビテーション発生に対して有利であるといえる。

4.2.3 キャビテーション

キャビテーション試験における Reynolds 数および空気含有量が試験結果に大きな影響を与えることが、今回の試験過程で判明したので、本比較試験においては Reynolds 数 (nD^2/V) はすべて 1.0×10^6 以上とし、また、空気含有量は 35~45% に保つことにした。

(1) 均一流中の試験 試験条件を Table 2 に示す。スラスト係数およびキャビテーション係数が同一のときの MP 2172 および MP 2172 V のキャビテーション発生範囲を、Fig. 16 に示した。図から明らかなように、背面シートキャビテーションの発生範囲は、MP 2172 V の方が狭くなっている。正面キャビテーションに関しては、差は認められなかった。

(2) 不均一流中の試験 第2報と同じ条件で、不均一流中の試験を行なった。試験条件を Table 2 に示す。スラスト係数およびキャビテーション係数が同一のときの背面キャビテーション発生状況を比較すると、すべて

のプロペラ回転角位置において、MP 2172 V の方がキャビテーション発生範囲は狭かった。1例として、プロペラ翼が 315°~20° の回転角位置を通過する際のキャビテーション発生状況を、Fig. 17 に示す。

この比較実験では、両者ともバブルキャビテーションやクラウドキャビテーションはみられず、また正面キャビテーションも発生しなかった。

プロペラ単独試験、翼表面圧力計測およびキャビテーション試験を通じて、新型種の KB 型プロペラは、著者らが意図し、かつ計算により予測したとおりの性能をキャビテーション特性の面でも、また効率の面でも示すことが確かめられた。その結果、この KB 型プロペラは一般商船用プロペラとしてさらに発展させる価値があり、かつ十分実用に供しうるものであると考えられる。

5 結 論

著者らは、第1報、第2報の成果をもとに MAU 型プロペラの改良を、主としてキャビテーション特性の面から検討し、一つの成案をえた。すなわち、三次元キャビテーションバケット図を応用して著者らは、MAU 型プロペラの形状要素とキャビテーション特性の関係を調査した結果、MAU 型プロペラの発展成果として、新型種 KB 型プロペラを開発した。その概要は次のとおりである。

1) 新型種の KB 型プロペラは、MAU 型プロペラに比べると、翼断面形状、翼輪郭、翼厚最大位置の半径方

Table 2 Cavitation test conditions

Items	Uniform flow		Non-Uniform flow	
	2172	2172 V	2172	2172 V
Model propeller No.	2172	2172 V	2172	2172 V
Revolution (rps)	30	25	26	25
Temp. of water (degree)	17.7	6.4	5.8	7.5
Reynolds No. (Rn)= nD^2/ν	1.76×10^6	1.08×10^6	1.10×10^6	1.13×10^6

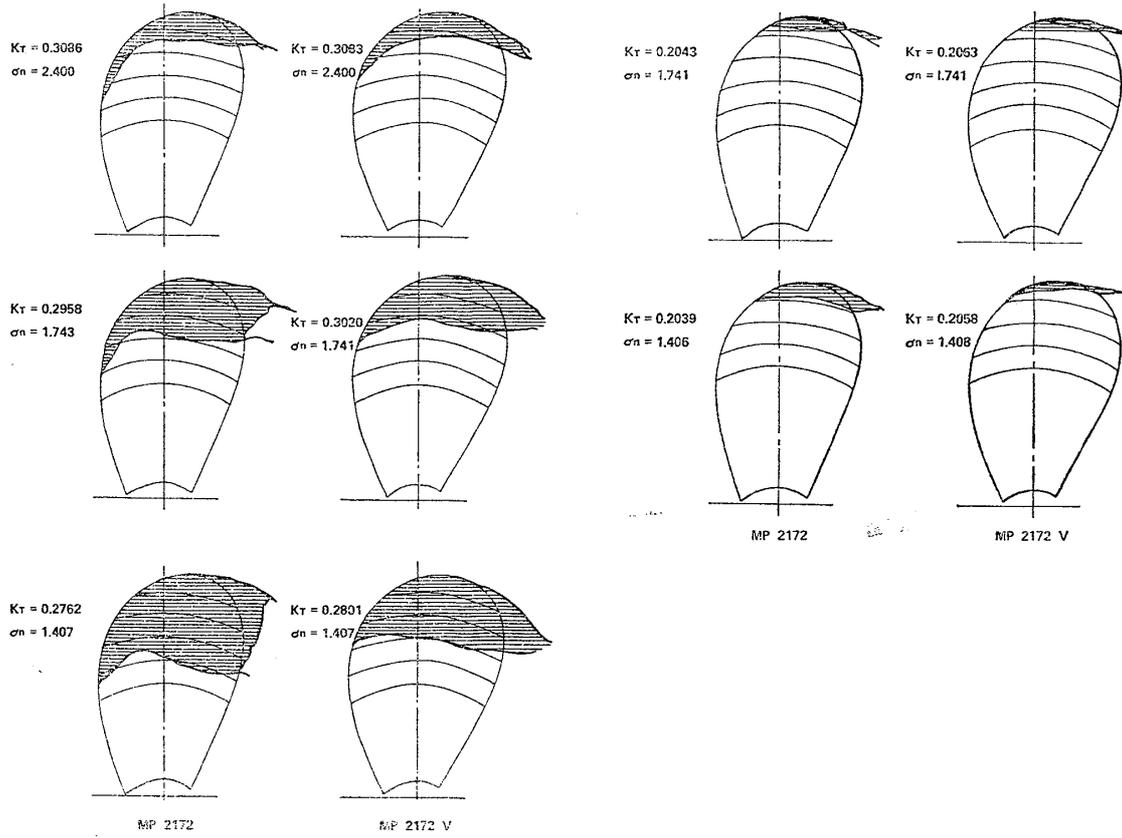


Fig. 16 Cavitation test results in uniform flow

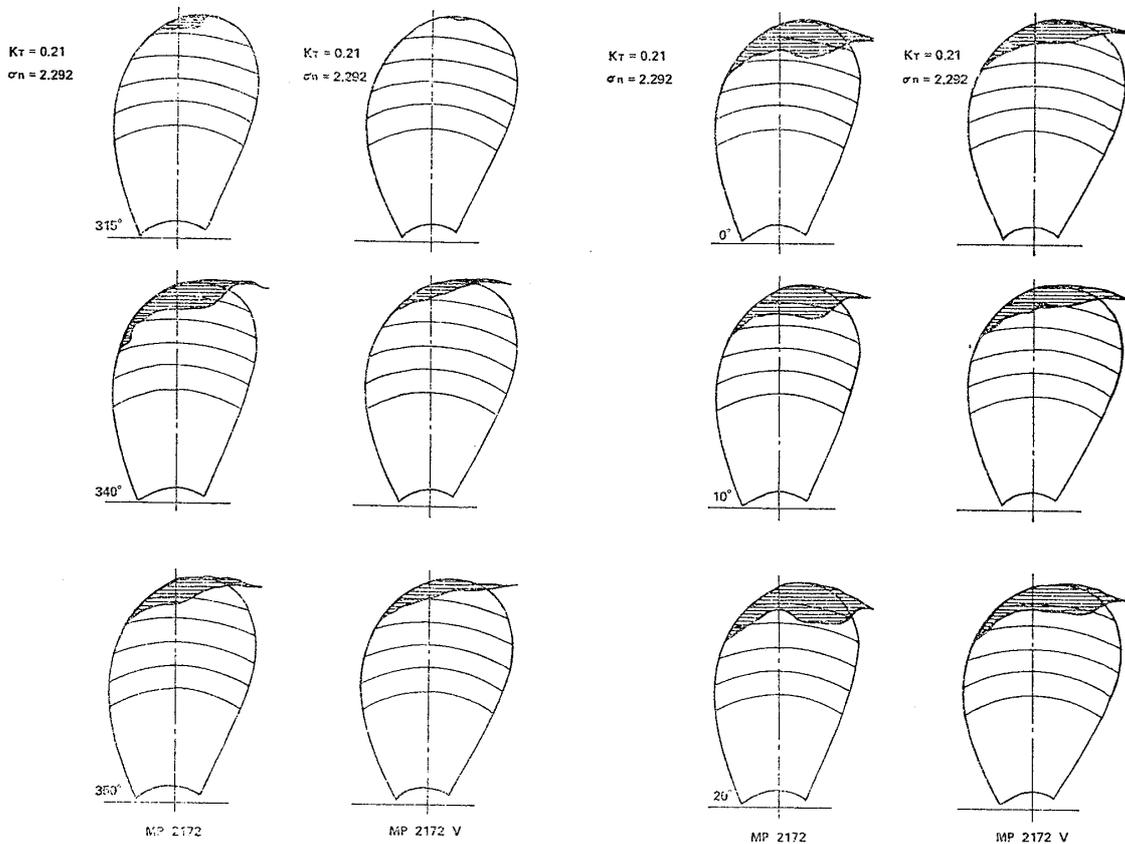


Fig. 17 Cavitation test results in non-uniform flow

向分布などが異なっているが、これらの変更は著者らが採用した理論的解析に基づいて行なわれたものである。

2) MAU型およびKB型プロペラについて、模型によるプロペラ単独試験、翼面圧力計測およびキャビテーション試験を行ない、効率およびキャビテーション特性に関する理論的予測が実験の上でも確認された。

3) KB型プロペラは、従来から効率面で良好な性能を示したMAU型プロペラに対し、効率を犠牲にすることなく、キャビテーション特性が一段と改善された。

4) KB型プロペラの開発の基本方針は本研究により求められたが、これをさらに広範囲に実用化してゆくためには、日常のプロペラ設計に必要な各種資料を整備しなければならない。著者らは、今後とも引続き、この面での試験研究を行ないたいと考えている。

謝 辞

本報告を終わるにあたり、当初から本研究の全般について終始御懇切な御指導を賜わった、東京大学 乾崇夫教授、同 加藤洋治助教授、日本造船技術センター矢崎敦生常務理事に対し深甚なる感謝の意を表します。

また、理論計算に関し御指導をいただきました船舶技術研究所の菅井和夫・小山鴻一の両氏、模型実験に際して御援助をいただいた日本造船技術センターの伊藤讓氏、荒木繁氏、塩田昭男氏に厚く御礼申し上げます。

さらに、(株)神戸製鋼所 西原守常務取締役、久保慶正取締役事業部長、宮下幸好事業部長代理、南方潤三技術部課長、および中野市次呉事業所長はじめ呉事業所関

係の方々には、研究の当初から物心両面にわたり全面的な御援助をいただきました。厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 高橋通雄, 奥 正光: MAU型プロペラのキャビテーション特性に関する研究, 第1報, 日本造船学会論文集, No.141 (1977).
- 2) 高橋通雄, 奥 正光: MAU型プロペラのキャビテーション特性に関する研究, 第2報, 日本造船学会論文集, No.143 (1978).
- 3) 土田 陽, 矢崎敦生, 高橋通雄: Open Water Test Series with Modern Five-Bladed Propeller Models, 造船協会論文集, No.102 (1958).
- 4) 矢崎敦生, 高橋通雄, 倉持英之助: Open Water Test Series with Six Bladed Propeller Models, 造船協会論文集, No.106 (1960).
- 5) 矢崎敦生, 高橋通雄, 上森初之: AU型4翼プロペラ及びAUw型6翼プロペラシリーズの設計図表の高ピッチ比への拡張, 日本造船学会論文集, No.131 (1972).
- 6) 矢崎敦生, 菅野博志, 高橋通雄, 山本 忠: Open Water Test Series of Modified AUw Type Six Bladed Propeller Models of Large Area Ratio 0.85, 日本造船学会論文集, No.125 (1969).
- 7) 菅井和夫: プロペラ揚力面理論とその応用, 日本造船学会第2回プロペラシンポジウム資料 (1971).
- 8) D. T. Valentine: The effect of nose radius on the cavitation inception characteristics of two-dimensional Hydrofoils AD-785834, Naval Ship Research and Development Center (1974).