

巡視船艇への新型推進装置の適用に関する調査研究

研究期間 11年度～13年度（3年計画）

研究機関 運輸省船舶技術研究所 推進性能部

研究者 工藤 達郎・右近 良孝

研究機関 装備技術部 船舶課

研究者 川島 英幹・松川 勝紀・竹原 隆

研究の目的

高速の巡視船艇やカーフェリーなどでは、推進装置としてウォータージェットが用いられる場合が多い。通常のプロペラでは、キャビテーションの問題があるからである。特に35～45ノットの速力での対応が困難とされている。この速度領域では、プロペラ翼面上の翼端側では（スーパー）キャビテーション状態、翼根側では非キャビテーション状態となり（この状態をトランスキャビテーション状態と言う）、効率の急激な低下や激しい振動などの問題が生じる。このトランスキャビテーション状態で使われることを前提に、翼端ではキャビテーション状態を積極的に活用し、翼根では非キャビティ状態での効率化を図るというコンセプトで開発したのが、TCP（トランスキャビテーション・プロペラ）である。

本研究では、TCPの性能を検証するため、TCPを設計・製作し模型試験を行った。

研究の内容

1 プロペラの設計

(1) 設計条件

設計条件を表1に示す。船速としてはTCP適用船速の下限と考えられる34ノット程度を想定した。

表1 プロペラ設計条件

プロペラ前進率 J	1.140
キャビテーション数 v	0.675
キャビテーション数 n	0.878
プロペラ荷重度 Ct	0.448
スラスト係数 Kt	0.229
目標効率	0.7

(2) 設計法

船研に於いて開発したTCP理論設計法1)を用いて設計を行った。本設計法は、まず揚力線理論により半径方向循環分布を決定し、それに基づき各半径位置に於いて翼断面に求められる揚力係数を実現するように、TCP状態（トランスキャビテーション状態）に於けるキャビテーションの発生を考慮した揚力面理論により翼形状を求めるものである。

(3) 設計結果

表1の設計条件に対して、翼数の異なる2つのプロペラ（3翼：MP463、4翼：MP464）を設計した。プロペラの主要目を表2、翼形状を第1図に示す。

表2 プロペラ主要目

名称	MP463	MP464
M.P.No.	463	464
ボス比	0.200	
ピッチ比(0.7R)	1.628	1.602
展開面積比	0.6914	0.7629
翼数	3	4
レーキ角	0	
スキュー角	0	
回転方向	右	
翼断面	SRJN/NACA16(a=0.8m)	

翼断面は、SC状態(スーパーキャピテーション状態)が予想される0.6Rより外側ではSRJNシリーズ翼型2)、内側ではNACA16翼型(a=0.8m)3)を用い、間は形状内挿によりフェアリングした。

設計された2つのプロペラについてSC-VLM3(TCP性能計算プログラム)1)で性能確認計算を行った。設計されたプロペラの設計点に於ける効率の予測値は、

揚力線理論(設計プログラム)

MP463・・・0.717

MP464・・・0.735

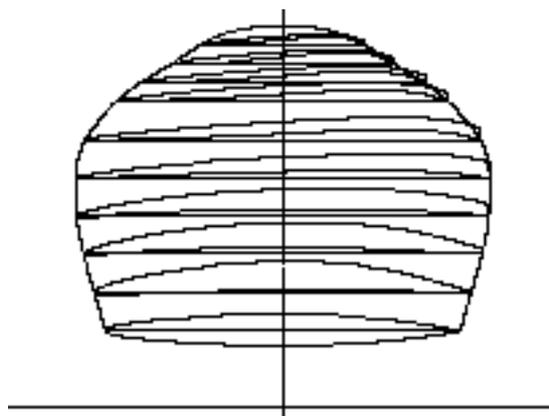
揚力面理論(性能計算プログラム)

MP463・・・0.665

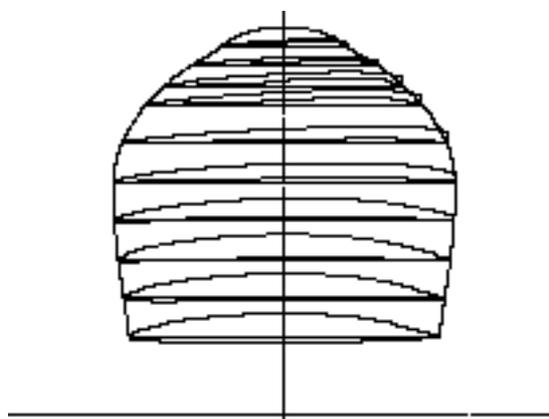
MP464・・・0.697

であり、定量的な差はあるものの、両者共に4翼TCPの方が3~5%効率が高いという予測であった。

第1図 プロペラ翼形状



(a) MP463



(b) MP464

2 模型試験

(1) 供試模型及び試験装置

表2の2つのプロペラについてそれぞれ直径250mmの模型を製作し、船研大型キャピテーション試験水槽第1計測部(直径750mmの円形断面)に於いて性能計測を行った。動力計にはシャフトが下流から出ている斜流動力計(Kempf&Remmers社製H38、スラスト容量200kg、トルク容量10kg-m、最大回転数50rps)を用いた。

(2) 試験結果及び考察

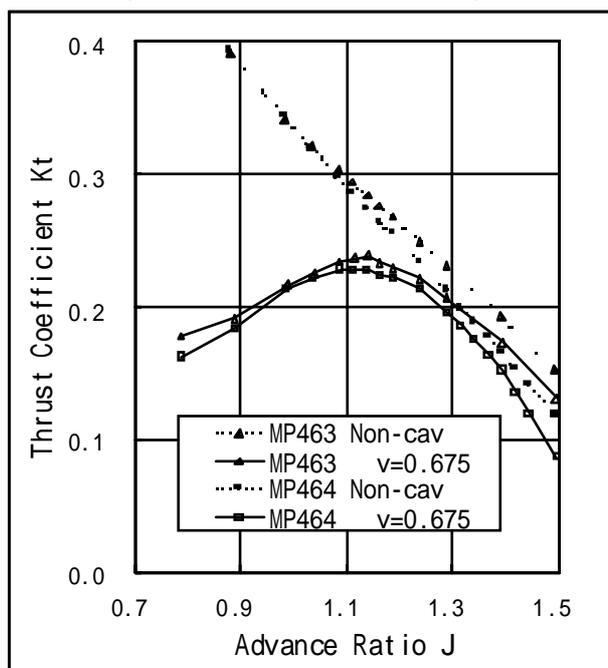
イ 前進率に対する変化

前進率Jに対するスラスト係数 K_t 、トルク係数 K_q 、効率のそれぞれの変化を、2つのプロペラを比較して第2図~第4図に示す。設計点(J=1.140)におい

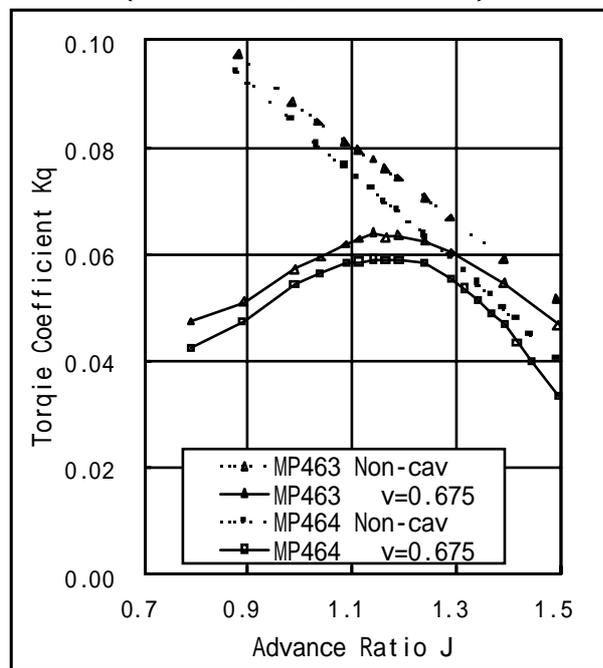
て4翼のMP464はほぼ要求値に等しいスラスト ($K_t=0.228$)であるが、3翼のMP463は4.4%過大なスラスト ($K_t=0.239$)となった。効率はMP464が0.702であり目標効率を達成したが、MP463は0.680に留まり3%ほど低かった。この関係は設計予測に一致しており、揚力面理論による計算では効率の予測精度は約2%以内であった。また、揚力線理論による予測値も、絶対値としては効率を約5%過大に見積もったものの、2つのプロペラの相対関係については精度良く予測できている。揚力面理論計算はワークステーションを用いて数十分かかるが、揚力線理論計算は数秒で終わることを考えると、設計段階での翼数、輪郭などの検討においては揚力線設計プログラムによる予測値を用いることが適当であると言える。

2つのTCPの単独効率は設計点のキャビテーション数において共に非キャビテーション状態のそれを上まわり、その値もMP464では0.7を超えた。この値は、同じ荷重度で比べて非キャビテーション状態の通常型プロペラの単独効率とほぼ等しい値である。最高効率はMP463で0.707、MP464で0.731に達した。

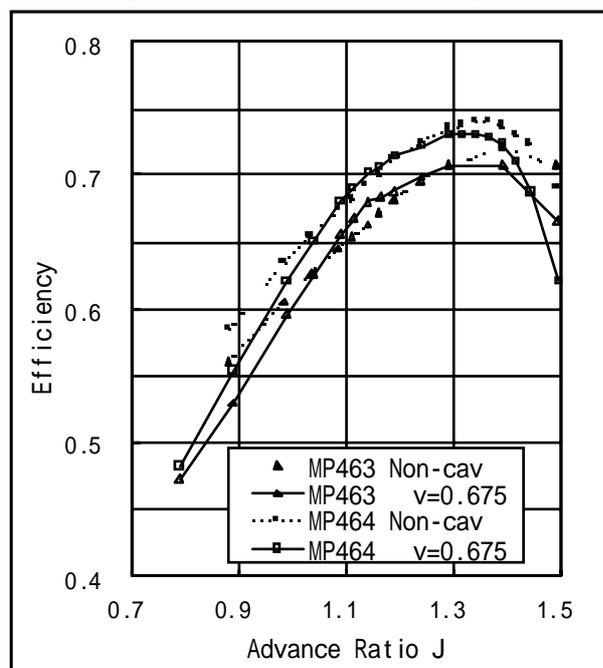
第2図 前進率に対するスラストの変化
(Non-cav 及び $v=0.675$)



第3図 前進率に対するトルクの変化
(Non-cav 及び $v=0.675$)



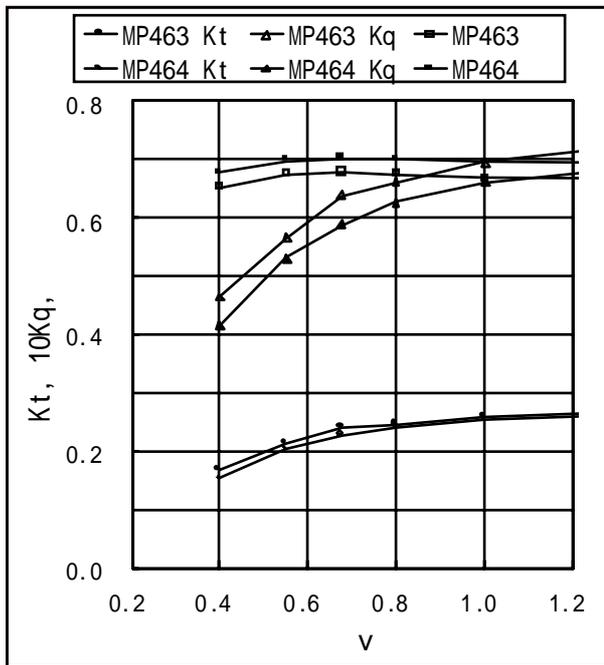
第4図 前進率に対する単独効率の変化
(Non-cav 及び $v=0.675$)



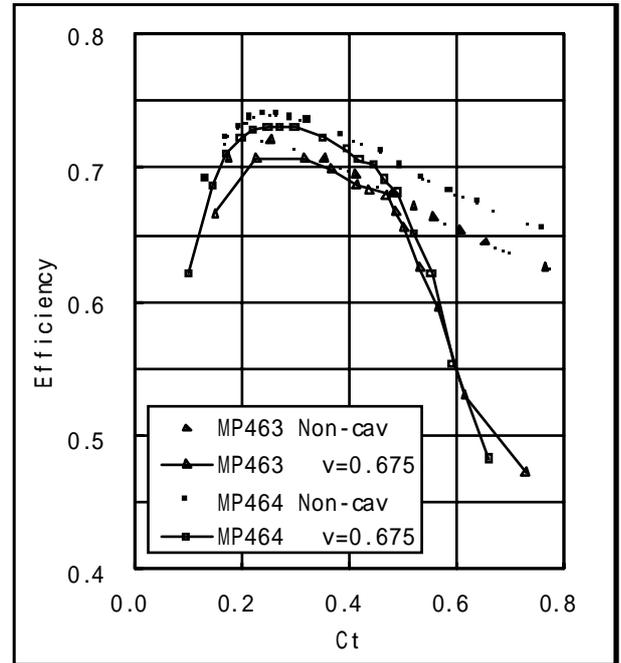
ロ キャビテーション数に対する変化

第5図にはキャビテーション数 v に対する変化を示す。スラスト、トルク共にキャビテーション数の減少と共に下がるが、効率は設計点 ($v=0.675$) において最大値を取っており、文献(1)の設計法がキャビテーションの影響を的確に取り入れた上で設計が為されていることを裏付けている。

第5図 キャビテーション数に対するスラスト、トルク、単独効率の変化
($J = 1.140$)



第6図 プロペラ荷重度に対する効率の変化
(Non-cav 及び $v = 0.675$)



ニ フェイス・キャビテーション

MP463では $J > 1.04$ 、MP464では $J > 1.09$ において翼根部のフェイス面側にキャビテーションが発生し、MP463の $J > 1.19$ 、及びMP464の $J > 1.12$ においては $0.3R$ より翼端側の翼面上においてもフェイス・キャビテーションが認められた。この範囲は設計点を含んでおり、循環分布やピッチ分布の決定に配慮が必要であると共に、フェイス・キャビテーション発生をモデルに含んだ予測法を開発する必要がある。

ハ 荷重度に対する変化

MP463は、結果的にスラストが設計要求値よりも大きくなったので、このプロペラを実機に取り付けて同じ船速を出す場合、回転数を落として J の高いところで使用することとなる。その分設計点の J における効率よりも高い効率が期待できる。その場合の比較を行うためにプロペラ荷重度 Ct を横軸に取った効率の比較を第6図に示す。MP463の効率は若干高くなり 0.683 となるもののMP464には及ばない。

むすび

- 1 従来同じプロペラ荷重度においても非キャビテーション状態に比べて効率が落ちるとされてきたTCP状態でも、その状態を前提としたTCP設計法を有効に用いることにより高効率なプロペラを設計可能である。
- 2 一般的に高速艇用のプロペラとして3翼プロペラが用いられることが多いが、TCPを用いる場合、4翼プロペラの方が単独効率が高いケースもある。
- 3 本研究で用いたTCP設計法はプロペラ翼数による差を定性的に予測することが出来、設計段階での比較検討に適している。揚力面理論に基づくTCP性能計算を併用することにより定量的にも単独効率を実用的精度をもって推定可能である。
- 4 本設計法で設計されたTCPは、模型試験において翼根部にフェースキャビテーションを発生した。翼根部の循環分布決定法、翼根におけるキャビテーション発生 の推定法などに改良の必要がある。

記号

$$C_t = (\text{スラスト}) / (\text{作動面積}) / (\text{流入流速動圧}) \\ = 8K_t / J^2$$

$$J = (\text{プロペラ流入流速}) / (\text{回転数}) (\text{直径})$$

$$K_q = (\text{トルク}) / (\text{密度}) (\text{回転数})^2 (\text{直径})^5$$

$$K_t = (\text{スラスト}) / (\text{密度}) (\text{回転数})^2 (\text{直径})^4 \\ = J K_t / 2 K_q$$

$$n = ((\text{軸芯静圧}) - (\text{蒸気圧}))$$

$$/ 0.5 (\text{密度}) (\text{回転数})^2 (\text{直径})^2$$

$$v = ((\text{軸芯静圧}) - (\text{蒸気圧})) / (\text{流入流速動圧})$$

参考文献

- 1 工藤達郎、右近良孝、加藤洋治：トランスキャビテーション・プロペラの理論的設計に関する研究、日本造船学会論文集、第186号、1999年12月、pp.41-50
- 2 右近良孝、工藤達郎、黒部雄三、星野徹二：スーパー・キャビテーション・プロペラ的设计、日本造船学会論文集、第173号、1993年12月、pp.101-111
- 3 Abbott and Doenhoff: Theory of Wing Sections, Dover Publications Inc., 1959