(昭和 36 年 5 月造船協会春季講演会において講演)

プロペラ揚力面理論とその応用 (第3報)

正員 中 島 康 吉*

Theory of the Wide-Bladed Propeller and its Application
(The Third Report)By Yasuyoshi Nakajima, *Member*

Summary

The method of designing a cavitation free propeller on the basis of the theory as expounded by the author is mentioned.

According to the result obtained there, the distribution of the blade thickness should not be in the shape of a straight line but in the shape of concave curve, This fact fundamentally coincides with Manen & Troost's distribution of the blade thickness.

1 緒 言

プロペラ理論の実際への応用として重要な問題の一つとして cavitation free propeller の設計が考えられる。純理論的なプロペラ設計法を採用した場合には各半径におけるキャビテーション係数を求めることができるが、系統的単独試験の結果から作成された図表によつてプロペラを設計する場合には最近においても一般に特定断面 ($r/r_0=0.8$ または 0.9) についてのみキャビテーション係数を求めて限界回転数を算定したり、展開面積比を決定したりすることが行なわれている¹⁾。しかし著者のかつて行なつた計算結果²⁾から見ても特定断面のみについてキャビテーション判定を行なつたのでは不十分な場合が考えられる。即ち各半径についてキャビテーション判定を行い、最も適当と思われるプロペラを設計するためには各半径において shock free entry の状態にする必要があり、展開面積ばかりでなく翼厚分布も適当に撰択する必要がある。Manen-Troost 型³⁾の凹線状の翼厚分布はこれまでに発表された諸計算の結果⁴⁾⁵⁾から判断するとほぼ妥当と考えられ、同様な翼厚分布に長崎型⁶⁾がある。

著者は Troost 型プロペラの各翼断面の圧力分布を測定したが⁷⁾その結果から作成した図表と本理論によつて計算した断面揚力係数とから最も適した翼厚分布を求め、Troost 型プロペラを原型として、その性能を変化させることなく cavitation free propeller を設計する方法を本理論の応用例として示した。その結果得られた翼厚分布は一樣な凹線状ではなく翼端部において大きな曲率を有する凹曲線で表わされ、又 4 翼プロペラよりは 5 翼プロペラの方が翼厚分布の変更を必要とするようである。

2 キャビテーション図表

Troost 型プロペラの各翼断面 ($r/r_0=0.5\sim 0.9$) の圧力分布を測定した結果から求めた断面揚力係数と最大圧力低下量との関係曲線⁷⁾からさらにキャビテーション図表として図 1(a)~(e) を作成した。この図表は著者の以前の試み²⁾と異なり Schoenherr⁸⁾ の図表と同じ形式で表わされている。上限線より上方の範囲においては背面の最大圧力低下量が急激に増大するので背面キャビテーションが発生しやすく、下限線より下方の範囲においては正面キャビテーションが発生しやすいから、たとえ限界回転数が十分大きくても設計する場合にこの範囲の翼厚比はさけるべきである。上下限線の間はキャビテーションが発生しにくいと考えられる範囲であるがキャビテーション係数が小さくなれば背面にキャビテーションが発生することになる。設計線として示したのは厳密な意味ではないが shock free entry と考えられる状態を表わすものである。

原稿受付 昭和 35 年 12 月 20 日

* 日立造船株式会社技術研究所

図 1 (a) キャビテーション判定図表

図 1 (b) キャビテーション判定図表

図 1 (c) キャビテーション判定図表

図 1 (d) キャビテーション判定図表

図 1 (e) キャビテーション判定図表

3 翼厚分布の決定方法

Troost B・4・55 プロペラの $p=0.942$ （一定ピッチ）、 $J=0.665$ および B・5・55 プロペラの $p=0.942$ 、 $J=0.712$ について第2報で述べた方法で断面揚力係数を求め、図1から設計線上ならびに上下限線上の翼厚比を読みとつて図2および図3に示してある。この例においては4翼プロペラの場合は直線状の翼厚分布でもほぼ差支えないが、5翼プロペラの場合は $r/r_0=0.6$ および 0.8 の翼断面で正面キャビテーションが発生しやすい状態にあることが判る。

$r/r_0=0.8$ の翼断面における上下限の範囲の小さいこと、ならびに $r/r_0=0.5$ 、 0.6 の翼断面における最適翼厚比の連続性が悪いことから考えれば Troost 型プロペラの翼断面は cavitation free propeller を設計する原型として満足すべきものではないが、図2および図3に実線で示した翼厚分布を採用すれば shock free entry に近い状態のプロペラを得る。

このように翼厚分布を変化させれば必然的に零揚力角が変化し、従つて揚力分布もスラスト係数やトルク係数等プロペラ性能も Troost の系統的模型試験の結果と異つてくることになる。プロペラ性能が変化しないようにするためには有効ピッチ比を等しくする必要があり、原型のピッチ比 p の代りに

$$\tan^{-1} \frac{p'}{\pi x} = \tan^{-1} \frac{p}{\pi x} + K \left(\frac{t}{b} - \frac{t'}{b} \right) \quad (1)$$

図2 翼厚およびピッチ分布の設計例

図3 翼厚およびピッチ比の分布の設計例

なるピッチ比 p' を採用しなければならない。ここに $p, t/b$ は原型のピッチ比および翼厚比であり、 $p', t'/b$ は新しく設計したプロペラのピッチ比および翼厚比である。また K は零揚力角の翼厚比に対する係数であり、第2報の表1に示した値である。

p と p' との比較も図2および図3に示してある。 p' はあくまでも原型としたプロペラの性能と同一になるように決定したものであるから、Eckhardt & Morgan 等によつて理論的に optimum propeller として設計されたピッチ分布と直接的な比較はできない。

また図2および図3には比較のため Manen-Troost 型および長崎型の翼厚分布を示してあるが、(1)式で表わされるピッチ比修正を行なわないので揚力分布が異なつたプロペラとなり、従つて上下限線上の値とは何等直接的な関係はない。

4 プロペラのキャビテーション係数

各翼断面におけるキャビテーション係数を σ とするとき、キャビテーション発生の限界状態においては

$$\sigma = \frac{p_0 - p_d}{q} = -\frac{\Delta p}{q} \quad (2)$$

なる関係があるから図1に記入されている最大圧力低下量 $\Delta p/q$ の値から限界回転数を計算することができる。ただし p_0 は大気圧と静水圧との合圧力、 p_d は蒸気圧、 q は各翼断面における動圧で近似的に

$$q = \frac{1}{2} \rho V^2 \left\{ 1 + \left(\frac{\pi x}{J} \right)^2 \right\} \quad (3)$$

で表わされる。 q は各半径によつて異なつた値を有するので σ の形でキャビテーション係数を表わしたのでは不便であるから、プロペラに関しては

$$\sigma' = \sigma \left\{ 1 + \left(\frac{\pi x}{J} \right)^2 \right\} \quad (4)$$

を用いることが多い。

前節において計算した例について σ' を求めると図4のようになる。図2および図3を参照すれば B・4・55 の原型プロペラにおいては $r/r_0 = 0.8 \sim 0.9$ において最も早く背面キャビテーションが発生し、B・5・55 の厚型プロ

ペラにおいては $r/r_0=0.6$ および 0.8 において最も早く正面キャビテーションが発生することが判る。また原型プロペラにおいては4翼より5翼の方がキャビテーションを発生しやすいのに、新しく設計したプロペラにおいては5翼の方がキャビテーションに対して安全である。Manen^{1),3)} は系統的に cavitation free propeller を設計し、それらについて限界のキャビテーション係数を求めてキャビテーション判定図表を作成しているが、それによれば同じ展開面積比の場合に翼数が増加するほどキャビテーションが発生しやすいことになり、図4の結果と相反している。かなり良好であるとは言え、Manen-Troost 型翼厚分布を画的に採用しているためではないと思われる。

図4に示されているように Troost 型プロペラを原型として新しく設計された cavitation free propeller においては $r/r_0=0.9$ における背面キャビテーションが最も早く発生することになり、限界回転数はこの翼断面によつて決定される。また原型プロペラにおいても新しく設計したプロペラにおいてもこの断面におけるキャビテーション係数は殆ど等しいから、与えられた回転数から展開面積比を決定するには $r/r_0=0.9$ についてのみ計算すればよく、しかる後に最適翼厚比を求めることになる。系統的模型による実験結果、あるいは第2報の図4および図5からスラスト係数、循環分布におよぼす展開面積比の影響は小さいと考えられるから、揚力係数は第2報(14)式から判るようにほぼ展開面積比に逆比例し、従つてまた図1(e)から $\Delta p/q$ もほぼ展開面積比に逆比例することになり、容易に必要な展開面積比を決定することができる。

本論文に述べたすべての数値は安全係数が含まれていないので Manen 等と同じく約 20% の安全率を見込むべきであると考えられる。B-4-55 プロペラの $r/r_0=0.9$ に対して 20% の安全率を加えたキャビテーション係数 σ' と著者の簡易理論²⁾から求めた値とを図4に比較しておいたが、簡易理論は展開面積比を決定するには十分役立つことが判る。

5 結 言

著者の展開したプロペラ揚力面理論は従来発表されているこの種の理論よりも実験結果とかなり良く一致し、この理論を使用して純理論的にプロペラを設計することも可能であるが、設計者の立場に立つて見ると系統的模型試験の結果から作成された設計図表を使用してプロペラを設計することの信頼度ならびに計算の安易さを簡単には捨て切れないように思われる。そこで本理論の応用として、系統的模型試験に用いられている原型プロペラから cavitation free propeller を設計する方法を導いた。

多くの例について計算していないので一般的な結論ではないが、Troost 型プロペラにおいては4翼より5翼の方がキャビテーションを発生しやすく、その発生箇所は $r/r_0=0.6$ および 0.8 附近の正面であり、最適翼厚分布を採用すればかえつて5翼の方が4翼よりキャビテーションに対して安全になるようである。この最高翼厚分布は凹線状であるが Manen-Troost 型とも長崎型とも異なり、また個々のプロペラについて決定すべきものである。

計算手順等については著者の行なつた方法が必ずしも最良でないと思われたので例示しなかつた。

参 考 文 献

- 1) J.D. van Manen, I. S. P., Vol. 1, No. 1, 1954
- 2) 著者, 造船協会論文集, 第 92 号, 1957
- 3) J.D. van Manen & L. Troost, Trans. S. N. A. M. E., Vol. 60, 1952
- 3) M. K. Eckhardt & W. B. Morgan, Trans. S. N. A. M. E., Vol. 63, 1955
- 5) J.D. van Manen & W. P. A. van Lammeren, I. S. P. Vol. 2, No. 7, 1955
- 6) 谷口中, 西部造船会々報, 第 6 号, 1953
- 7) 著者, 造船協会論文集, 第 108 号, 1960
- 8) K. Schoenherr, Trans. S. N. A. M. E., Vol. 42, 1934

図4 キャビテーション係数の比較