

ウォータージェット推進装置装備船の 馬力計算について

1. はじめに

ウォータージェット推進装置を装備する船の実船馬力を計算することは、プロペラチャートが装備され、計算手法も確立している通常型プロペラ装備船の場合に比べて、何かと不便ことが多い。

ウォータージェットの製造社の指定する全体の効率 η_a を信じ、機関馬力BHPに η_a を掛けて求める $EHP' = BHP \times \eta_a$ と船体抵抗から求めた有効馬力EHPとが等しくなる速力を求める程度と言っても過言ではない。ウォータージェット推進装置の特性を通常プロペラの単独特性に対応させて計算が出来れば、設計検討に大変役立つと考えられるのでそのような目的で発表されている論文⁽¹⁾の要旨を解説もあわせて以下に紹介する。

2. 馬力計算法の比較

2.1 普通プロペラの場合

船速 v_s 、抵抗 R_s および推力減少率 t 、伴流係数 w_s が与えられたとき、推力 T およびプロペラ前進速度 v_p は次のように求められる。

$$\left. \begin{aligned} T &= R / (1 - t) \\ v_p &= v_s \times (1 - w_s) \end{aligned} \right\} (1)$$

プロペラ直径を D_p とし、プロペラ特性のうちの $\sqrt{Kt} / J$ に対応する値を求める。

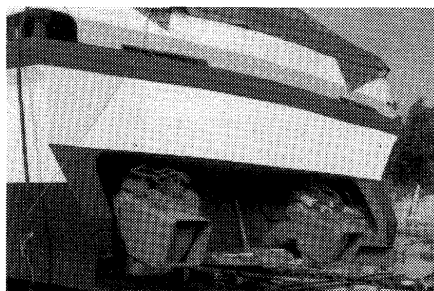
$$\sqrt{Kt} / J = \sqrt{T / \rho} / v_p \times D_p \quad (2)$$

なお、 ρ は水の密度である。

与えられたプロペラ特性曲線より、(2)式で求めた $\sqrt{Kt} / J$ の値に対応するプロペラ効率 η_p および前進率 J を読み取り、以下のように馬力および回転数を求めることが出来る。

$$\left. \begin{aligned} BHP &= R \times v_s / (\eta \times 75) \\ \eta &= \eta_p \times \eta_r \times \eta_h \times \eta_t \\ N &= 60 \times v_p / J \times D_p \end{aligned} \right\} (2)$$

ただし、 η_r は船後効率比、 η_h は船殻効



率で $(1 - t) / (1 - w_s)$ と表わす。 η_t は伝達効率である。

2.2 ウォータージェット推進装置の場合

まず、基本的な量のウォータージェット推進装置と普通プロペラとの対応を決めておく。夫々の定義により対応する量は、普通プロペラの場合の、前進率 $J = v_p / n D$ 、スラスト係数 $K_T = T / \rho n^2 D^4$ 、プロペラ効率 $\eta_p = T v_p / 2 \pi n Q_p$ に対するウォータージェット推進装置の流量係数 $q = Q / D^2 u = Q / \pi n D^3$ 、揚程係数 $\Psi = g H_p / u^2 = g H_p / \pi^2 n^2 D^2$ 、ポンプ効率 $\eta_p = \rho g H_p Q / 2 \pi n Q_p$ がある。ただし、 v_p はプロペラ前進速度、 n はプロペラ回転数、 D_p はプロペラ直径、 T は推力、 ρ は水の密度、 Q_p はプロペラトルク、 Q は流量、 u は周速 $(= \pi n D)$ 、 D はポンプ直径、 H_p はポンプ揚程、 g は重力加速度である。

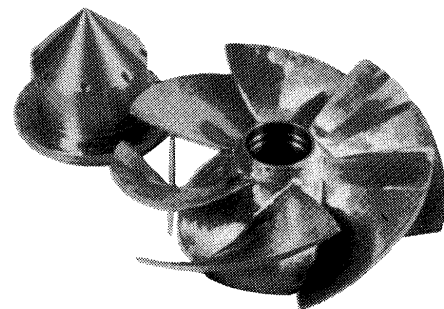
抵抗 R 、自航要素 t 、 w_s より、推力は $T = R / (1 - t)$ 、ポンプへの流入速度 $v_m = v_s (1 - w_s)$ が求まる。この時、流量 Q および揚程 H_p はポンプの式より、 $Q = \frac{1}{2} A_j v_m (1 +$

$$\sqrt{1 + 4 T / \rho v_m^2 A_j}) \quad (3)$$

$$H_p = v_j^2 / 2 g * (1 + \xi_j) - v_m^2 / 2 g * (1 - \xi_i) + \Delta h \quad (4)$$

ここで、 A_j はノズル断面積、 v_j はノズル流速 $(= Q / A_j)$ 、 ξ_j はノズル損失、 ξ_i はインレット損失、 Δh はノズルの高さであり、これらの値から、 Q 、 H_p を求めることが出来る。

従って、普通プロペラの $\sqrt{K_T} / J$ に対



応する $\sqrt{\Psi} / q$ は $D^2 \sqrt{g H_p} / Q$ により求められる。ウォータージェット推進装置特性より、流量係数ベース (q) に $\sqrt{\Psi} / q$ および η_p の特性曲線図を作成しておき、 $\sqrt{\Psi} / q$ の値より、対応する q および η_p を読み取って、馬力および回転数を以下のように求めることが出来る。

$$\left. \begin{aligned} \text{回転数 } N_p &= 60 \times Q / \pi q D^3 \\ \text{馬力 } BHP &= R v_s / (\eta * 75) \end{aligned} \right\} (5)$$

$$\text{ただし、} \eta = \eta_p \times \eta_s \times \eta_h \times \eta_t \times \eta_r$$

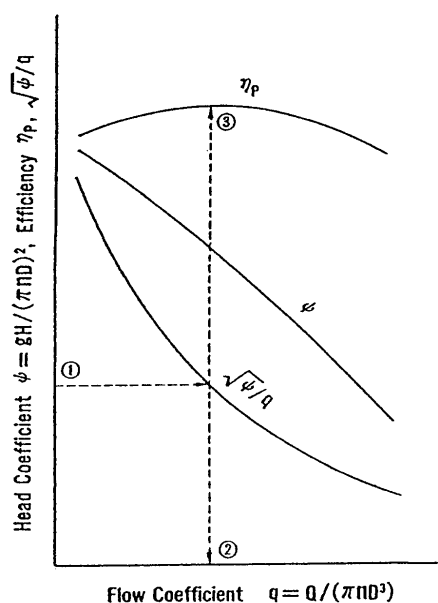
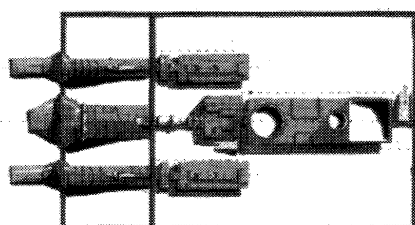
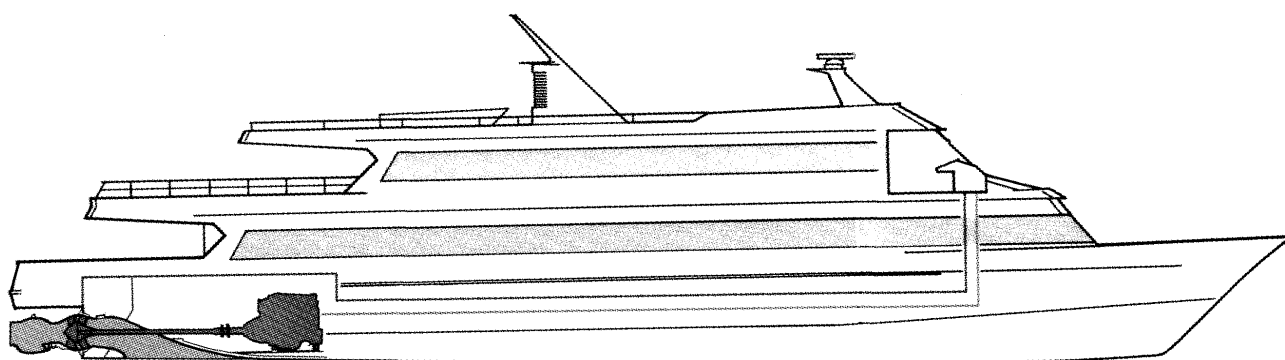
η_s はシステム効率と称し、 $T v_m / \rho g H_p Q$ で表せる。

3. キャビテーションのチェック

ウォータージェット推進装置のキャビテーションのチェックには吸込比速度 $S = N \sqrt{Q} / (NPSH)^{3/4}$ がガイドラインを越えないことを目安としている。ただし、有効吸込揚程 $NPSH$ は $H_{atm} - H_{vapor} + H_{momentum} - H_{loss} - \Delta h$ であり、 $NPSH = 10100 / \rho g + v_m^2 / 2 g * (1 - \xi_i) - \Delta h$ である。ガイドラインとして、以下のような値を示しておく。

キャビテーション初生	$S = 142$
軸流限界	$S = 194$
斜流限界	$S = 239$
インデューサ付の場合の限界	$S = 387 \sim 645$

ただし、 n はrpm、 Q は m^3/s 、 $NPSH$ はmの単位である。



4. 計算例

台数 2
 インレット断面積 $A_i = 0.298 \text{ m}^2$
 ノズル口径 $D_j = 0.355 \text{ m}$
 ノズル面積 $A_j = 0.099 \text{ m}^2$
 ノズル損失 $\xi_j = 0.02$
 伴流率 $1 - w_s = 1.0$
 推力減少率 $1 - t = 1.0$
 船後効率化 $\eta_r = 1.0$
 海水の密度 $P = 1045.2 \text{ kg s}^2 / \text{m}^4$
 重力加速度 $g = 9.807 \text{ m} / \text{s}^2$
 インペラ直径 $= 0.816 \text{ m}$
 ポンプ特性 $\psi \sim q$ 、 $\eta_p \sim q$ は与えられたとする。

$V_s = 35 \text{ knots}$
 全抵抗 15420 kg
 $\text{EHP} = 3702 \text{ ps}$
 モーメント流速 $v_m = 18.01 \text{ m/s}$
 推力 $T = 7710 \text{ kg}$
 $4T / (\rho v_m^2 A_j) = 9.196$
 流量 $Q = 3.736 \text{ m}^3 / \text{s}$
 ジェット流速 $v_j = 37.75 \text{ m/s}$
 ジェット流速比 $v_j / v_m = 2.10$
 インレット流速 $v_i = 12.54 \text{ m/s}$
 インレット流速比 $IVR = v_i / v_m = 0.696$
 インレット損失 $\xi_i = 0.250$
 インレット効率 $\eta_i = 0.750$
 ノズル高さ $\Delta h = 2.1 \text{ m}$
 ポンプ揚程 $H_p = 63.812 \text{ m}$
 流量係数 $q = Q / D^2 u = 0.147$
 揚程係数 $\psi = g H_p / u^2 = 0.430$

ポンプ回転数 $N_p = 893 \text{ rpm}$
 有効吸込み揚程 $= 20.15 \text{ m}$
 吸込み比速度 $s = 181.5$
 ポンプ効率 $\eta_p = 0.858$
 システム効率 $\eta_{sys} = 0.568$
 全推進効率 $\eta_{opc} = 7665 \text{ ps}$
 制動馬力 $\text{BHP} = 8084 \text{ ps}$
 ウォータージェット1台分の馬力
 $8084 / 2 = 4042 \text{ ps}$

5. おわりに

ウォータージェットの性能を普通プロペラと同じベースで評価することは、設計において重要である。本稿が多少でもお役に立てば幸いである。

なお、本稿は以下の論文をベースとしている。

Contribution to the 20th ITTC Work-shop on Waterjets.

Determination of Propulsive Performance of Waterjets in Model and Full Scale.

by T.Hoshino & E.Baba