

曳航水槽と模型試験

プロペラ単独試験(1) (POT)

プロペラ単独試験(Propeller Open-water Test, POT) は、プロペラの前後に船体や舵が無いプロペラだけの場合の性能を求める試験です。ただし、図-1に示すように、スラスト、トルク、回転数を計測する装置がプロペラ後方に取り付けられていますので「全く単独」とはなりません。

ここでいう性能とは、推進性能のことで、プロペラを回す馬力(トルクと回転数を掛け合わせたもの)が、どれだけ効率よく船体を押す馬力(スラストとプロペラ前進速度を掛け合わせたもの)に変換できるかという性能を指します。ここでプロペラ単独性能と呼ぶ場合は、通常、プロペラのキャビテーション性能などは指しません。

試験の対象となる模型プロペラは、実船に装備するプロペラの模型と自航試験(次号以降で掲載予定)で使用する模型プロペラの2つに大別できます。

実船に装備するプロペラの単独試験の場合は、造船技術センターでは、通常、直径が25cm程度の模型を使用します。

自航試験で使用する模型プロペラは、模型の縮率を船体の縮率と同じにしますので、長さが6mの模型船用の模型プロペラの直径は22~23cmが普通です。このプロペラは、Stock Propellerと呼ばれていますが、一般的には、手持ちのプロペラの中から最適なものを選んで使います。当センターは、400個以上のプロペラを保有していますので、通常の試験では不自由することはありません。

一般に模型プロペラの材料は、実船のプロペラとの同一性は考慮されません。当センターでは、以前は、製作の容易性から鉛合金を使用していましたが、重い、表面に傷が付きやすい等の欠点があり、NC切削機の導入を機会に、今はアルミ合金を使用しています。

プロペラが、ある回転数 n で回転しながら、プロペラ軸の方向にある速度 V_A で前進するとき、必要なトルク Q と発生するスラスト T はどのようなパラメータに依存するのでしょうか。また、どのようにして模型試験結果から実船のプロペラ性能を得るのでしょうか。

まず考えられるのがプロペラの大きさです。プロペラの大きさはその直径 D で代表させます。次は、船体の抵抗試験について説明したとき(SRC News No. 24 参照)と同じで、水の密度 ρ 、水の動粘性係数 ν 、重力の加速度 g です。プロペラが水面近くで作動し空気を吸い込むような場合は、水の表面張力 S もプロペラ性能に影響します。

これらのパラメーターの次元は以下のようになります。

	工学単位	SI単位
スラスト T	kgf	kg m/sec ²
トルク Q	kgf m	kg m ² /sec ²
プロペラ回転数 n	sec ⁻¹	sec ⁻¹
プロペラ前進速度 V_A	m/sec	m/sec
プロペラ直径 D	m	m
水の密度 ρ	kgf sec ² /m ⁴	kg/m ³
水の動粘性係数 ν	m ² /sec	m ² /sec
重力の加速度 g	m/sec ²	m/sec ²
水の表面張力 S	kgf/m	kg/sec ²

これらのパラメーターから、次の無次元係数が得られます。

$$\text{スラスト係数} \quad K_T = T / \rho n^2 D^4 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{トルク係数} \quad K_Q = Q / \rho n^2 D^5 \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{プロペラ前進係数} \quad J = V_A / n D \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{レイノルズ数} \quad R_{nD} = n D^2 / \nu \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{フルード数} \quad F_n = V_A / \sqrt{g D} \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{ウェバー数} \quad W_e = n \sqrt{\rho D^3 / S} \quad \dots\dots\dots(6)$$

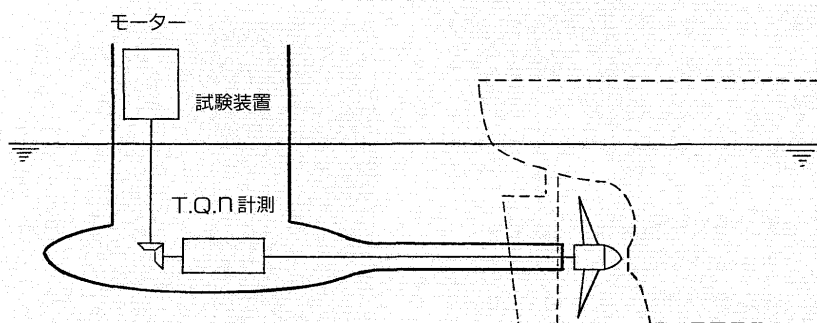


図-1 プロペラ単独試験の概念図

プロペラ前進係数は、プロペラ前進速度とプロペラ回転速度の比を表す係数です。（コラム参照）レイノルズ数は水の慣性力と粘性力の比を表すパラメータです。フルード数は、水の慣性力と重力の比を表すパラメータで、プロペラがつくる水面の波に関係します。ウェバー数はプロペラが水面から空気を吸い込む現象を支配します。

いうまでもなく、これら無次元係数の積・商も無次元係数ですが、流体力学的意味、慣例から、これらの係数を使用しています。プロペラ理論やウォータージェット推進等のタイプの異なる推進器と比較する際は、(1)式の分母で使用しているプロペラ回転数の代わりにプロペラ前進速度を使用し、面積の次元を有する D^2 の代わりにプロペラの全円面積 πR^2 （ R

はプロペラ半径）を使用した無次元係数

$$C_T = T / \frac{1}{2} \rho V_A^2 (\pi R^2) \quad \dots\dots(7)$$

が使用されます。

今回は、これら無次元数を用いて模型試験から実機プロペラの性能を求めていきます。

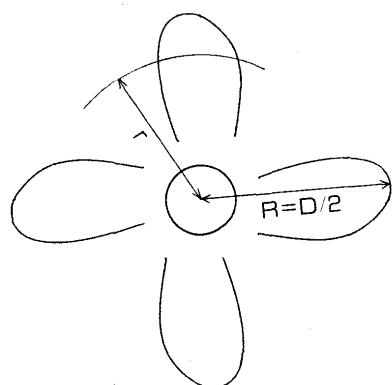
◆プロペラ前進係数◆

図一2に示すように、プロペラの翼のある半径 r で切断して平面に展開しますと、図一3、4に示すように切断面は翼型になっています。これが半径 r における翼素です。プロペラは回転しながら前進しますので、翼素の前進方向は図一3の合速度のようになります。横向きのベクトルはプロペラ回転による速度 $2\pi r \times n$ です。縦向きのベクトルはプロペラ軸の方向でプロペラ前進による速度 V_A です。この2つのベクトルを合せた合ベクトルがこの翼素の合速度です。

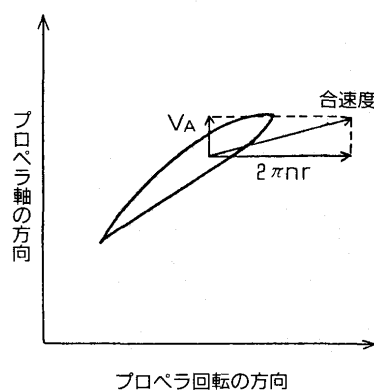
2つのベクトルの比 $V_A / 2\pi n r$ において、半径位置をプロペラチップ（プロペラ翼の先端） $r = R$ とし、定数 π を省きますとプロペラ前進係数となります。つまり、プロペラ前進係数は、プロペラ前進速度のプロペラチップの回転速度に対する比を表す係数です。

図一3と同じことを、プロペラの翼素が固定されており、それに流れが当たっている場合に置き換えますと図一4のようになります。図一3の合速度は、長さが同じで向きが反対の流入速度を表すベ

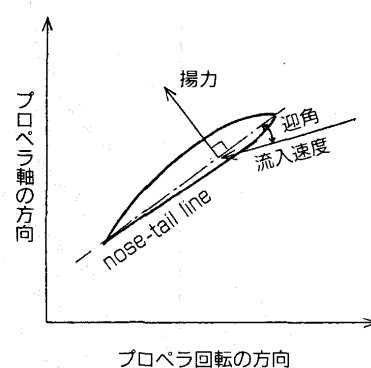
クトルになります。このベクトルと翼の nose-tail line のなす角が（幾何学的）迎角です。プロペラの回転数を同じにしてプロペラ前進速度を小さくした場合、プロペラ前進係数は小さくなり、翼素に流入する流れの迎角は大きくなります。迎角が大きくなると翼素が発生する揚力も大きくなり、揚力のプロペラ軸方向成分に関係するスラスト、回転方向成分に関係するトルクも大きくなります。



図一2 ある半径 r で翼を切断



図一3 翼素の前進速度



図一4 翼素を固定したときの流入速度