

# ウォータージェット

## (第4回 自航試験法)

ウォータージェット推進方式に関して、前回、推進効率の構成について説明しました。今回は、ウォータージェット船の自航試験について説明します。

### 1. 自航試験とは

自航試験とは、船が自分の力で航行している状態、自航状態での水槽試験のことです。従って、通常船なら通常のプロペラを、ウォータージェット船ならウォータージェット推進器を装備した模型船を製作します。

自航試験を行う目的は、推進効率を実験的に求め、最終的に実船の推進性能を推定する事にあります。

推進効率はいくつかの要素に分けることができますが、分けるためには自航試験だけではなく、抵抗試験や推進器の単独性能試験など、別の種類の試験も併せて行う必要があります。

有効馬力 $R_T V_s$ と伝達馬力 $P_D$ の関係を式(1)のように定義しますと、有効馬力は抵抗試験により、推進効率は自航試験などにより得ることができます。

$$R_T V_s = \eta P_D \quad \dots (1)$$

$R_T$  : 船体抵抗(吸い込み口なし) [kgf]

$V_s$  : 船速 [m/s]

$\eta$  : 推進効率

$P_D$  : 伝達馬力 [kgf-m/s]

一般的な分け方で説明しますと、推進効率は式(2)のように分けられます。

$$\eta = \eta_h \times \eta_{jet} \times \eta_{pump} \quad \dots (2)$$

それぞれは次のように定義できます。

$$\eta_h = (1-t) / (1-w) \quad \dots (3)$$

$$\eta_{jet} = T_g V_m / (Q \rho g H) \quad \dots (4)$$

$$\eta_{pump} = Q \rho g H / P_D \quad \dots (5)$$

$\rho$  : 流体密度 [kgf · s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>]

$g$  : 重力加速度 [m/s<sup>2</sup>]

$Q$  : 流量 [m<sup>3</sup>/s]

$H$  : ポンプ全揚程 [m]

$T_g$  : スラスト(グロス) [kgf]

$V_m$  : モーメント流速 [m/s]

$\eta_h$ は、船殻効率と呼ばれ、推力減少係数(1-t)と伴流係数(1-w)の比です。推力減少係数は、船体に働く抵抗と推力の関係を、伴流係数は船底の境界層がウォータージェットに与える影響を表しています。定義を式(6)、式(7)に示します。

$$T_g (1-t) = R_T \quad \dots (6)$$

$$W = V_m / V_s \quad \dots (7)$$

実用上、モーメント流速はキャプチャ(Capture)エリア内の船体進行方向の平均流速と等しいとみなす事ができます。

なお、 $T_g$ は次式により計算されます。

$$T_g = \rho Q (V_j - V_m) \quad \dots (8)$$

$V_j$  : ジェット流速 [m/s]

ジェット流速も、実用上、ノズルから吐出される船体進行方向の平均流速と等しいと見なす事ができます。

$\eta_{jet}$ はノズルによるジェット効率でウォータージェット推進装置の全揚程がスラストに変換される効率を示します。

ポンプ効率 $\eta_{pump}$ は、伝達馬力がウォータージェット推進装置の全揚程に変換

される効率です。なお、ここでは船体に装備されたことによる影響を示すポンプ効率比 $\eta_r$ は $\eta_{pump}$ に含めて扱っています。

ジェット効率とポンプ効率に含まれる全揚程 $H$ の定義を図-1に示す。

このインレット損失係数と、ノズル損失係数は自航試験で求めることが難しいので、別途、ウォータージェット推進装置単独での試験により求める事があります。

なお、単独性能試験は縮尺模型は使わずに、実機で行われる事が多いようです。

### 2. 自航試験の計測項目

ウォータージェット船の自航試験において、一般に必要とされる計測項目は次の3つです。

①流量

②曳航力

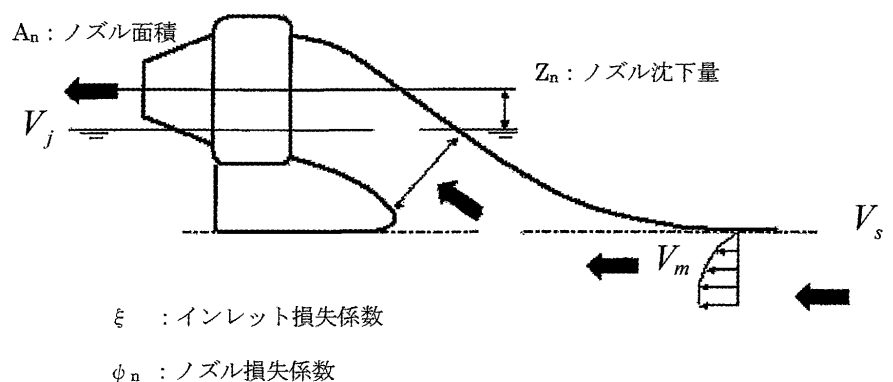
③ノズル沈下量

加えて、計測、あるいは理論推定や経験則により、

④キャプチャエリアの速度分布

を求めておく必要があります。

以上のうち、②と③については、計測に特別な困難はなく、通常プロペラの船舶と同様の計測が可能なので、ここではこれ以上述べません。①と④については



$$H = E_{out} - E_{in} + h_j = \frac{1}{2g} V_j^2 (1 + \psi_n) - \frac{1}{2g} V_m^2 (1 - \xi) + h_j$$

図-1 全揚程Hの定義

ウォータージェット船特有の難しさがあるので、以下、詳しく説明します。

①の流量計測は、ウォータージェット船の自航試験特有の計測項目で、主に、スラストを評価するために計測します。

ウォータージェット船は、通常の船と異なり、推進器と船体を分離して扱う事が難しいので、インペラ単体のスラストを考えるのではなく、ウォータージェット推進器が流体に作用した結果として生じる運動量変化をスラストとして扱います。

スラストの計算方法を式(8)に示しましたが、その計算には流量Qを計測する必要があります事が分かります。

さて、自航試験における流量計測には、いくつかの手法が提案されていますが、よく行われている方法は次の2つです。

#### ア) 質量法

#### イ) 差圧計測による方法

質量法は航走時に模型船のノズルから吐出される水流を別途タンクに集めておき、その質量から流量を計算する方法です。この方法では、ノズルから吐出される水流を集める機構と、水を貯めておく装置を備えておく必要があります。

差圧計測による方法は、ノズルの絞りの上流と下流の壁面に圧力孔を設け、その差圧から流量を推定する方法です。この方法では、事前に差圧と流量の対応を求めておく必要があります。この場合、質量法、堰法などによる検定が推奨されています。また、ボラード状態におけるスラストから流量を推定し、差圧と対応させる方法もあります。

$$T_{\text{bollard}} = \rho Q V_j = \rho A_n V_j^2$$

$$V_j = \sqrt{T_{\text{bollard}} / \rho A_n}$$

$$Q = V_j A_n \quad \dots (9)$$

④のキャプチャエリアの速度分布は、 $V_m$ を推定する際に必要です。

キャプチャエリアというのは、インレット直前に設定したある断面を通過する

流れの内、ウォータージェットに吸入(キャプチャ)される範囲を意味しています。

速度分布は、例えば串型ピトー管式流速計などで計測できますが、キャプチャエリアを実験的に決定する事が難しいためCFDなどの数値計算による推定も推奨されています。CFDによる流れの吸入の様子を図-2(文献[2])に示します。

キャプチャエリアに関しては、フラッシュ型のインレットについて実験および数値計算による検討を行った結果、インテーク幅の1.3倍程度の幅をもつ半楕円形の領域を設定する方法が、ITTCのガイドライン(文献[1],[2])として提案されています。

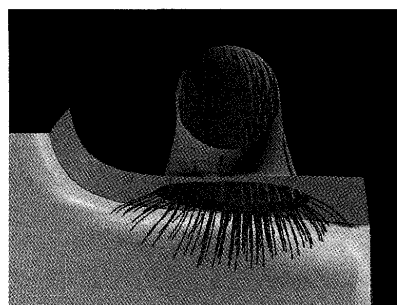


図-2 流れの吸入の様子

ここで、インテーク幅の定義を図-3(文献[2])に、CFDによるキャプチャエリアの設定例を図-4に示します。この例では、尺度影響を考慮して、模型スケールと実船スケールでキャプチャエリアの大きさを変えています。

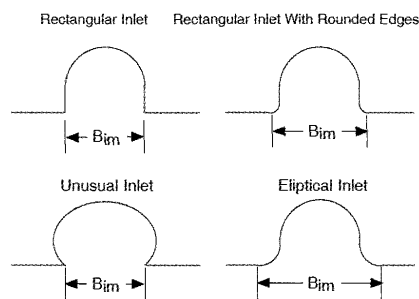


図-3 インレット幅の定義

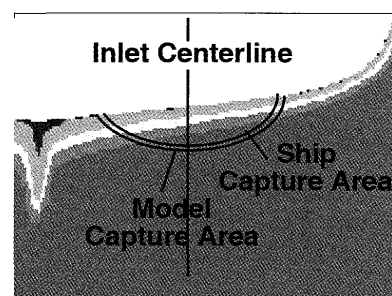


図-4 キャプチャエリアの決定例

また、扱いの難しいキャプチャエリアや流速分布を使わずに、模型船の1-wを推定する簡便な試験法も提案されています(文献[3])。

#### 参考文献

- [1] ITTC-Proceedings of the 23<sup>rd</sup> ITTC-Volume II "The Specialist Committee on Validation of Waterjet Test Procedures"
- [2] ITTC-Recommended Procedures and Guidelines 7.5-02-05-03.1 Rev.1, "Testing and Extrapolation- Methods High Speed Marine Vehicles, Waterjets Propulsive Performance Prediction"
- [3] 松村竹実, "第5回 船用プロペラに関するシンポジウム 第8章ウォータージェット推進"

(試験センター技術部 新郷 将司)