128 船首部における壁面摩擦応力の画像計測

大阪府立大学 松村剛志, 奥野武俊, 西尾 茂, 田原祐介, 前山直子[○]

Image Measurement of Wall Friction at Bow Hull

T. MATSUMURA*, T. OKUNO**, S. NISHIO**, Y. TAHARA** and N. MAEYAMA***

A non-contact measurement method for wall friction distribution using oil film has been already proposed by the authors. The present paper describes the result of the application of the method to the fore part of small ship model. Since the boundary layer near the bow is generally very thin, it is impossible to use the normal device for measuring the wall friction, such as Preston tube. This method enable to measure the wall friction distribution and limiting streamline. The effect of turbulent stimulator is also examined through the experiment.

1 緒 言

物体表面に油膜を塗布して限界流線を可視化する手法は油膜法と呼ばれ、古くから多くの研究者によって使われてきたが、最近著者らは¹⁾、この手法を若干工夫することによって油膜の微小な移動量を画像から求める方法を示し、その結果から壁面摩擦応力分布を計測する手法を開発した。

著者らが提案した手法は、物体壁面に薄く塗布した油の移動量を CCD カメラで撮影した画像を使って非接触計測するものである。一般に、船首付近では境界層厚さが非常に薄く、船首部形状はバルバスバウなどを使った複雑な 3 次元曲面になっているため、プレストン管などの使用は容易でない。もちろん、提案されている手法を新しい計測法として確立するためには、解決しなければならない問題も残されているが、現段階でも壁面摩擦応力の分布形状や、摩擦力ベクトルや限界流線は求めることができる。

本論文は、この手法を使って船体模型の船首付近における壁面摩擦応力分布を計測した結果について述べたもので、船体模型の実験によく用いられる乱流促進のためのスタッドを使った場合と、使わない場合の結果を比較して、これらが壁面摩擦に与える影響を調査し、さらに CFD による数値計算結果とも比較検討したものである。

2 壁面摩擦応力の計測

著者らが提案している、壁面摩擦応力の画像計測手法は以下のようなものである。すなわち、まず船体表面上にエンジンオイルを薄く（約 25μ 程度の厚さ）一様に塗布し、その上にカーボンブラックなどの顔料を含んだ流動パラフィン（注）を少量散布した油膜を作る。この油膜を適当な時間間隔で 2 枚撮影し、それを時空間微分法²⁾と呼ばれる画像解析法によっ

* Graduate Student, University of Osaka Prefecture, Gakuen-cho, Sakai, Osaka 593, Japan

** University of Osaka Prefecture

*** Undergraduate Student

Fig.1 Measured results with 2 row turbulent stimulator.
 (a) Displacement vectors of oil, (b) Limiting streamline,
 (c) Wall friction distribution (longitudinal component).

Fig.2 Measured wall friction distribution with 1 row turbulent stimulator.

て油膜の移動量を求めるのである。時空間微分法は、画像の微少な移動量を解析するのに適しており、空間分解能の高い手法として知られており、著者らによって流場の速度分布計測に使われ、その有効性が示されている²⁾ものである。油膜は必ずしも長時間にわたって移動するとは限らないので、2枚の撮影時間間隔は長くないことが必要で、油膜の移動量は肉眼で識別できないほど小さくなるので時空間微分法が有効である。なお、著者らによって求められた油膜の移動量と壁面摩擦力の関係式には、摩擦力の小さい領域で難点があるものの、船首付近における摩擦応力は比較的大きな値であり、本研究では壁面摩擦応力の分布形状の違いを調べることを主な目的として、提案した実験式をそのまま用いている。

3 船首付近の壁面摩擦応力分布

実験で使用した模型船は、長さ 2m の低速肥大船型（肥瘦係数 $Cb = 0.802$ ）で、実験流速は 0.7m/s であり、Reynolds 数は $Rn = 1.66 \times 10^6$ となっている。油膜を撮影する CCD カメラは船体の横方向にセットされ、撮影する範囲はレンズの収差などを修正する必要がないほどに小さく定めてある。したがって、得られる表面上のベクトルは船体中央面に投影したものとなっている。

まず、船首 $S.S. - \frac{1}{10}$ および $S.S.9\frac{1}{2}$ に 5mm 間隔、壁面からの高さ約 1mm でスタッドが打ち込まれている場合の結果を示す。Fig.1(a) は油膜の移動量をベクトル表示したもの、Fig.1(b) はそのベクトル値を積分して流線を求めた結果である。この結果は、図には示していないが、通常の油膜法による可視化実験結果と非常によく似ている。Fig.1(c) は計測された摩擦応力の x 方向成分（船の前進方向）の等値線図で、第 2 列目のスタッド前後で摩擦応力が変化しており、ここで乱流遷移が起きている可能性を示している。Fig.2 は、第 1 列目のスタッドのみを使った場合の結果で、バルブ付近の様子は Fig.1 とよく似ているが、 $S.S.9\frac{1}{2}$ 後方では若干の違いが認められる。

さらに、Fig.3(a)～(c) は、スタッドを使わない場合の同様の結果である。流れは全体にわたって層流と思われるので、摩擦応力を求める検定曲線は上記のものとは別のものを使うべきであるが、ここではこれを無視してすべて同じ検定曲線を使ってみた。その結果は Fig.3(c) で、全体に摩擦応力はスタッドを使った場合より大きな値を示している。この違いは、検定曲線の違いによるものと思われる。

Fig.4 は CFD による数値計算の結果³⁾で、乱流モデルには 0 方程式モデルを使い、数値計算のスキームに有限解析法 (Finite Analytic Method) を使い、船首先端から乱流として計算したものである。スタッドの位置から乱流であると仮定すれば、Fig.1(c) でスタッドより後方の位置で比較できることになる。

4 結言

著者らが提案している壁面摩擦応力の非接触計測法を、船首付近の摩擦応力計測に適用し、スタッドの効果などを調査した。スタッドの無い場合は、層流と思われるので単純な比較はできないものの、境界層の薄い場所での計測に本手法は有効である。また、層流から乱流への遷移を議論することも課題の一つと思われる。

参考文献

- (1) 奥野武俊他：油膜を用いた限界流線と壁面摩擦応力の計測、日本造船学会論文集、第176号、pp.59 - 65、1994
- (2) 奥野武俊他：可視化画像の時空間微分法を利用した流場の画像計測、関西造船協会誌、第216号、pp.69 - 74、1991
- (3) Tahara, Y. et. al.: Application of Isotropic and Anisotropic Turbulence Models to Ship Flow Computation, 第27回乱流シンポジウム講演論文集、pp.129 - 132、1995

Fig.3 Measured results without turbulent stimulator.

- (a) Displacement vectors of oil, (b) Limiting streamline,
- (c) Wall friction distribution (longitudinal component).

Fig.4 Calculated wall friction distribution.