B123 新しい壁せん断応力の画像計測法- 塗料剥離法の開発

Development of the paint erosion method for wall shear stress measurement using image

○中田雅子 (国立循環器病センター), 増澤 徹 (茨城大), 築谷朋典 (国循),
巽 英介 (国循), 妙中義之 (国循), 大場謙吉 (関西大)

Masako NAKATA*, Toru MASUZAWA**, Tomonori TSUKIYA*, Eisuke TATSUMI*,
Yoshiyuki TAENAKA*, Kenkichi OHBA***

*Dept. of Artif. Organs., National Cardiovascular Center, 5-7-1 Fujishiro-dai, Suita, Osaka 565-8565

** Dept. of Mech. Eng., Ibaraki Univ.

*** Dept of Mech. Eng., Kansai univ.

We have proposed the paint erosion method for non-contact measurement of wall shear stress distribution. The basic principle of this method is based on the assumption that erosion of paint on the wall is mainly caused by wall shear stress. Therefore, wall shear stress is estimated by detecting the decrease in paint thickness which is measured by light transmission power instantaneously using image. The relationship between wall shear stress and decreasing rate of paint thickness was clarified with steady and unsteady flow in a pipe flow. The Reynolds number was set in ranged from 885 to 14147 in steady flow to examine under laminar flow and turbulent flow condition. Frequency of unsteady flow was set 0.67, 1, and 1.13 Hz to observe influence of pulsatile flow to the erosion speed. The velocity profiles of each flow were measured by laser dopplar velocimetry. A definite correlation between wall shear stress and decreasing rate of paint thickness existed independently of the flow pattern, initial thickness, an pattern of the paint. We concluded that the paint erosion method has great potential to measure the wall shear stress without probe.

Keywords; Wall Shear Stress, Image Measurement, Paint Erosion Method

1. 緒言

我々は非定常流の壁せん断応力分布を非接触で測定することを目標として、可視化手法である壁面トレス法を応用した塗料剥離法を考案した。本法では、検査面上に塗布した塗料は主に壁せん断応力によって侵食され、この塗膜の侵食速度を透過光強度を利用して画像計測することで、壁せん断応力を非接触で算出しようとするものである。本研究では、塗料剥離法の流水中での基礎的な特性を明らかにするために、層流、乱流の違いや流れの非定常性が塗料の侵食特性に及ぼす影響についてレーザー誘起蛍光法 (LIF) を用いて得られた速度分布から算出した壁せん断応力と比較することで検討した。

2. 実験装置および方法

2.1 流れ系

図1に流れ系の概略を示す。試験円管は内径12mmの亚克力製の直円管で、動走距離を1mとった後に測定部を設けてある。定常流は流量の調節が可能な遠心ポンプを用い、また、非定常流は空気駆動型の補助人工心臓を用いて発生させた。管内の平均流量、および非定常流時の流量の変動は、試験円管入り口に取り付けた超音波

流量計を用いて測定した。

Fig.1 The experimental apparatus of circulating system

2.2 実験条件

定常流：層流および乱流状態での塗料の侵食速度の違いを検討するために、流量を0.5-8L/minまで変化させ、代表長さを管直径にとった被験Re数を885-14147に設定して実験を行った。

非定常流：塗料の侵食特性に影響を及ぼすと考えられる

非定常流のパラメーターとして本検討では振動数に着目し, 0.67, 1, 1.13Hzと変化させた実験を行った. 非定常流の他のパラメーターの影響を少なくするために, 実験中の平均流量および最大流量はそれぞれ3.0 L/min, 9.0L/minに保持して実験を行った.

2.3レーザー誘起蛍光法を用いた壁せん断応力の測定

本実験系における流れの特徴および壁せん断応力を得るために, レーザー誘起蛍光法 (LIF) を用いて速度分布の可視化を行った. 得られた速度分布を画像処理し, 下式を用いて壁せん断応力 τ_0 を算出した.

$$\tau_0 = \mu \cdot u / y \quad (1)$$

ここに μ :水の粘性係数, u :境界層内の速度,
 y :壁面からの距離

非定常流時の壁せん断応力は, 振動の一周期内を8分割した各位相において可視化を行い, それぞれの速度分布から求めた壁せん断応力の平均値をとることで算出した.

2.4塗料剥離法における塗料の浸食速度の測定

図2に塗料の浸食速度測定の大略図を示す. 図1の測定部に株式会社サクラクレパス製の耐水性絵の具アクリルガッシュ (コバルトブルー) を平均塗膜厚さ0.3mmに塗布したのち, 回路を水で満たし測定を開始した. 塗膜厚さを算出するための透過光光源として, 1000Wのハロゲンランプを用い, また, 塗料の侵食の過程はデジタルビデオカメラにて撮影を行った. 塗膜の浸食速度の測定は, 画像処理ソフト上で各画像の参照光強度および透過光強度を計測し, 式 (2) によって塗膜厚さに変換した後, 各画像間の膜厚と比較することで行った.

$$z = \ln(I/I_0)/(-n\sigma) \quad (2)$$

ここに, z :塗膜厚さ, I/I_0 :透過光強度/参照光強度比, n :塗料中の顔料粒子数密度, σ :粒子の投影断面積

Fig.2 The measurement system of paint erosion method

3.実験結果および考察

3.1層流と乱流の影響

LIFでえられた速度分布および壁せん断応力より本実験系では $Re=1769$ 以下において層流が形成され, $Re=3538$ 以上では乱流に遷移していたと考える. 図3に塗料の浸食速度と壁せん断応力との関係を示す. 図3において, 塗料の浸食速度に層流, 乱流の間での大きな不連続が確認されなかったことより, 塗料の浸食速度には層流や乱流といった流れ場の違いはあまり影響しないことが明らかになった.

3.2 振動数の影響

各振動数における壁せん断応力と塗料の浸食速度を図4に示す. 図より, 本実験で検討した振動数の範囲内では, 振動数は塗料の侵食に大きく影響を及ぼさないことが明らかになった.

3.3 定常流と非定常流の影響

壁せん断応力と塗料の浸食速度との関係について今回の検討の結果をまとめたものが図5である. この図より, 塗料剥離法を用いて壁せん断応力を計測するにあたって, 流れの状態および非定常性はあまり影響を及ぼさないことが明らかになった.

4.結論

新しい壁せん断応力の画像計測法として壁面に塗布した塗料の浸食速度から壁せん断応力を算出する塗料剥離法を提案し, その有用性について検討を行った結果, 塗料の浸食速度には定常・非定常流はあまり関係しないことが明らかになった.

Fig.3 Wall Shear Stress of steady flow estimated by LIF

Fig.4 Effect of frequency on erosion speed

Fig.5 Effect of the flow pattern on the erosion speed