A118 高速で回転する平板により誘起される流れ

埼玉大・工 塩崎 孝壽
埼玉大・院 李 浩民[○]
埼玉大・工 平原 裕行
埼玉大・工 川橋 正昭

Flow Field Produced by a Rotating Plate

Kouju SHIOZAKI*, Haomin LI*, Hiroyuki HIRAHARA*, Masaaki KAWAHASHI*

Density fluctuation caused by velocity fluctuation around a plane mirror scanner is one of the most important factors to determine the accuracy of laser pointing system.

Flow field produced by a rotating plane mirror is very complicated and three dimensional, and the maximum amplitude of density fluctuation in the flow field caused by velocity fluctuation cannot be disregarded to consider laser beam deflection.

In this report, to known fundamental flow field around the plane mirror scanner, visualization and velocity measurements of flow produced by a rotating plate are performed by means of laser-light-sheet method and a hot-wire anemometry.

Key words: rotating plate, laser-light-sheet method, hot-wire anemometry.

1. まえがき

平面ミラースキャナのように高速で回転する平板周りに誘起される流れ場は、ミラー周りの拘束条件によって複雑に変化し、通常三次元性の強い周期的変動流となる。レーザビームスキャナとして用いられる場合には、このような流れ場の変動によって生じる僅かな密度変動が、ビームの偏向をもたらし、ビーム焦点位置のずれを生じる可能性がある。

このような問題点を明らかにする手始めに、高速で回転する平板周りに形成される流れ場について、可視化による定性的な把握、および定量的流速計測を試みた。

ここでは、静止流体中で円盤状の台座に垂直に置かれた平板が、台座に垂直な軸周りに回転して誘起する流れ場を対象として、その三次元的流れの構造を可視化し、さらに熱線流速計を用いて変動速度分布およびその周波数成分を調べ、さらに時間平均流速分布などを調べた。

2. 実験装置及び方法

* Faculty of Engineering, Saitama University, 255 Shimo-okubo, Urawa, Saitama

Fig.1 に実験装置の概略を示す。回転平板は、縦23mm、横40mm、厚さ5mmであり、高さ500mm、縦・横それぞれ600mmの外気遮断ボックス（アクリルとガラス）のほぼ中央に設置されている。平板は電動機により垂直軸（z軸）周りに回転速度 $N=3600\text{rpm}$ で回転する。流れの可視化は、連続発振レーザー光源（Arイオンレーザー、出力4W）を用いて、レーザーライトシート法により行なった。レーザー光は光ファイバによりシリンドリカルレンズに導かれ、シート光を形成し、流れ場を照明する。光散乱粒子には、線香の煙を用い、煙発生装置から回転平板の上部より静かに注入される。可視化は、平板回転軸に対して平行な断面（垂直断面）と垂直な断面（水平断面）について行い、シャッター機構付きのCCDカメラを用いて断続的な可視化像を撮影して、ビデオレコーダに録画する。録画画像是、スチル画像としてモニタ上に再生し、更にそれをスチルカメラにより写真撮影する。CCDカメラのシャッタースピードは1/125秒と1/60秒である。

流速測定は定温度型熱線流速計で行なった。用いたプローブは標準型であり、感知部は長さ1.0mm、線径 $3.1\mu\text{m}$ のタングステン線である。熱線流速計の出力は時系列データとして取り込み、FFT処理による周波数成分および平均値などが求められる。なお流速測定時の熱線の向きは、Fig.1におけるy軸または、z軸と平行であり、2mmおきにx軸方向およびz軸方向に移動して流速を計測した。また、本実験に於けるレイノルズ数は、 $Re(=r^2\omega/\nu)=9.97\times 10^3$ で一定である。

3. 実験結果及び観察

3-1. 可視化

はじめに、平板の回転軸付近の軸に平行な断面における可視化写真をFig.2(a)に示す。図より以下のことが示される。本実験における平板の設置条件は、上部開放であることから、回転平板上部の中心付近より渦状に流下する流れが、下部で半径方向に曲げられ広がっていくような流れ場が形成される。さらに、流れが半径方向に広がるにつれて不安定

Fig.1 Experimental setup for flow visualization and velocity measurement.

となり、渦が崩壊する。ここで可視化されている渦は、渦心が回転平板の回転中心と同心円上に形成されている様子を呈しているが、さらに後述の写真と対比すると、この渦構造は3次元的構造を持つことが解る。

つぎに、平板下部に於ける回転軸に垂直な断面の可視化写真をFig.2-(b)に示す。この図より、平板上部における渦が平板により二つに分割され、半径方向に広がって崩壊する様子が示されている。以上の様に、平板の回転により、その周囲にはかなり高速で、複雑な流れが生じていることが解る。さらに、平板の一端から放出された渦がどのように崩壊して行くのか、可視化法を改良すると共に他の測定と併せて検討する必要がある。また、今回は、基本的な流れ場の把握のために、周囲の障害物を取り除いた実験を行ったが、実際の機器内の流れは、内部の構造物との干渉の為に、流れはさらに複雑になり、流体力が物体に与える影響も顕著になることが、今回の実験から推定される。したがって、実際の機器に対応した実験を行うことも重要である。

3-2 熱線流速計による速度計測

Fig.3に、回転平板下部の瞬時流速値が最大になる点における熱線流速計流速測定例、およびその変動波形の周波数分析結果を示す。図より流速の変動振幅は約 8 m/s であり、最小値は約 2 m/s 、最大値は約 10 m/s となることが示されている。ここで、回転平板の外周速度は、 7.5 m/s である。また、流速変動の周波数分析よりその卓越周波数が 120 Hz であることが分かる。このことは、回転平板の半回転ごとに速度が変動していることを示している。なおこのような流速変動振幅は、回転中心軸からの距離が増すにつれ急速に減衰する。つぎに、同一半径位置における流速変動振幅の z 軸方向変化を、Fig.4に示す。この結果、変動振幅は平板上方で小さく、下部に向かって増加することを示している。これは、可視化によって観察された流れの様子に対応していると考えられる。このような回転平板周りに生じる流速変動により、平板近傍で流速変動に応じた圧力変動、および僅かな密度変動が生じ、レーザビームスキャナーとして使用するような場

(a) Visualized plane is parallel to rotating axis. ($x=3$)

(b) Visualized plane is normal to rotating axis. ($z=-20$)

Fig.2 Visualized flow pattern.

合のビームの偏向に影響すると考えられる。

回転平板周りの平均的な流れ場を示すために、 $x-z$ 面内の各点における熱線流速計流速測定値の平均値を求め、それらの値を用いて等速度線を求めFig.5に示す。図より、平板上部より下部に向かって流速値が増加し、平板下端の円盤状台座に接する付近で流速値が極大となることが分かる。さらに、平板下部の半径方向への吹き出流の様子が示されており、可視化による結果と定性的に一致する。ただし、本実験における流速測定では、可視化によって得られた渦の崩壊部分については明確に示されていない。

4. まとめ

高速で回転する平板により誘起される流れについて、可視化および流速測定により実験的に検討した結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 回転する平板によって誘起される流れ場は、回転軸中心上部より吸い込み、平板によって二つに分割されて側面下端付近から半径方向に吹きだして崩壊するような三次元渦によって形成される。
- (2) 回転平板下部では、回転周期の $1/2$ に同期した大振幅周期的流速変動が生じる。
- (3) 平板によって誘起される流れの瞬間最大値が平板の周速より大きくなる場合がある。

最後に実験に協力してくれた4年生の菱沼達也君に感謝の意を表します。

○ Hot wire is parallel to x axis.
□ Hot wire is parallel to y axis.
Fig.4 Fluctuating velocity. $x=24$

Fig.3 Velocity and spectrum of induced flow.

Fig.5 Velocity contour.