31 流れの可視化による渦流の計測

京都大学工学部 川野洋典

Measurement of velocity fields of a vortex flow
using a visualization technique

Yosuke KAWANO*

A vortex flow was generated by means of a stream of air bubbles released at the center of upper part of the rotating tank. The basic velocity measurements were made by photographing the motions of small marker particles and analysing time-exposure pictures.

It is obvious from these experimental results that the flow can be significantly influenced on the boundary conditions at both the top and bottom of the vortex. The vortex flow is confined to a cylindrical region which is composed of a spiral upward flow in the center surrounded by an annular downflow.

1. はじめに

台風や竜巻のシミュレーションとして、これまで渦流の理論的、および実験的研究が数多なされてきた。1) また最近、乱流境界層の流れ構造に関連して境界壁近傍に発生する縦渦が乱流の素過程としての秩序構造を示唆するものとして注目されている。2) しかし、これら渦流の、特にその定性的な特性は3次元構造からくる困難さのために充分把握されていないように思われる。

ここでは、回転する液体(塩水)の中に空気を送りこみ、その気泡が軸方向の伸長流を誘導し、渦流を造りだす手法を採用した。そして、トレーサ法によって流れを可視化し、粒子の軌跡から間接的に渦流の速度分布を求めた。その結果、渦流は自由表面や境界の影響を大きく受け、安定した渦流を得るためには実験装置に種々の工夫をこらす必要があった。

また、流速分布は満足な結果とはいえないが、渦流の構造を把握することができた。

2. 方法

2.1 実験装置 回転する容器の中に安定した渦流を造りだすためにFIG. 1に示すような実験装置を用いた。容器は直径32cm、深さ45cmの透明なアクリル樹脂製で、底面のみ黒色艶消し塗装されている。容器の上部中心部に空気気泡を送りこむためのノズルが取り付けられている。図に示

Fig.1 Rotating tank

* Faculty of Engineering, Kyoto University; Yosida-honmachi, Sakyo, Kyoto 606

Fig.2 Photograph of particle streaks

ように、このノズルは気泡が流れ全体を乱さないように直径3 cm、長さ10 cmのパイプで覆われている。さらにまた、気泡が流体の自由表面を乱すのを出来るだけ防ぐために自由表面のすぐ上に気泡を消すための板蓋が取り付けられている。これらの装置全体が回転台の上に取り付けられていて、角速度 $0 \sim 10\pi \text{ rad/s}$ の範囲で任意に制御することが出来る。

2.2 流れの可視化 流速を測定するためにトレーサーとして球状のポリスチレン粒子を用い渦流を可視化した。作動流体はポリスチレン粒子と密度を一致させるため、水に食塩を溶かし比重が1.034(水温 20°C)になるように調節された。

容器上部から強いライトを照射し、ポリスチレン

粒子の軌跡を容器の側面から35 mmカメラによって写真撮影した。ポリスチレン粒子は鮮明な軌跡をうるため直径約1 mmのものを用いた。露光時間は0.5秒から4秒まで流速の大きさによって変化させた。FIG. 2は底面からの高さ約5 cm、露光時間0.5秒での粒子の軌跡を示したものである。

2.3 流速測定 写真撮影された粒子の軌跡はネガのまま大きく引き伸ばされ、グラフ用紙に記入された後、上下の位置、螺旋の直径、回転角度をデジタイザーで読み取り計算機で処理する。また、容器が透明な円筒形であるため、縦横の倍率、視差をあらかじめ補正しておく。しかし、FIG. 2に示すような粒子の軌跡からは粒子の移動方向を判断することは出来ない。そこで、粒子の移動方向はカメラのファインダーをととして個々に判断した。

3 結果と考察

実験は容器の回転角速度が 0.624 rad/s の場合について行なった。Fig. 3は回転軸方向の速度分布を示している。図中の実線は最近、Tatumi & Yamada によって求められた伸長渦の速度分布である。³⁾

渦流の構造はその中心部に軸に沿うジェット状の流れがあり、それを取りまくように逆流する部分が存在する。また流れ全体は回転軸を中心として比較的狭い範囲に集中していることがわかる。

ポリスチレン粒子の軌跡から間接的に流速を求めるこの方法は渦流の中心部および逆流を生じる部分で計測が困難になる欠点がある。しかし、概略の速度分布を比較的簡便に求めることが出来る点は評価出来る。測定点にバラツキが多いことは今後充分検討する必要がある。

参考文献

- 1) TURNER, J.S. The constraints imposed on tornado-like vortices by the top and bottom boundary conditions, J.Fluid Mech. **25**(1966) 377-400
- 2) 大成博文, 佐賀考徳, 山本恭子, 斎藤隆: 壁乱流における縦渦の可視化, 流れの可視化, **14**(1984) 233-238
- 3) 巽 友正: 流れと渦と乱流れ, 第16回 流体力学講演会(1984) 206-214

Fig.3 Vertical velocity distribution