C308

オロイド翼まわりの流れの可視化 (第3報)

奥野武俊[○] (大阪府立大学), 谷本 望 (㈱ジャトコ), 中谷直樹 (大阪府立大学)

Flow Visualization around Oloid (3rd Report)

Taketoshi OKUNO, Nozomu TANIMOTO and Naoki NAKATANI

ABSTRACT

In order to clarify the flow structure generated by Oloid wing, which is constructed by two circular disks, the flow velocity field is visualized and also is measured by a small velocimetry, a conventional propeller type one. In the previous two reports, it was found that the vortex ring can travel far away and it would be effective for mixing phenomenon. This paper deals with the measured flow rate, the entrainment rate, mixing time and so on. From the point of view as the fluid dynamic, the effectiveness of the mixing, these are examined in detail.

Keywords: Oloid, Flow Visualization, Mixing Rate, Entrainment

1. はじめに

二つの円盤を垂直に交叉させてできる円盤は, “オロイド” と呼ばれ¹⁾, これを二つの回転軸を持つフォーク型の継ぎ手で支持すると, カヌーなどに使うパドルに類似した運動をさせることができる. 最近この機構を用いて製作された攪拌装置が, 通常のプロペラ型攪拌装置に比べて, 駆動するための消費電力が少ないことが示された²⁾.

著者らはその要因を調べる目的で, オロイド周りの流れを可視化して観察し, オロイド翼からは流れ方向に進行方向を持つ2つの渦輪が交互に放出されており, それがかなり遠方まで移動することや, オロイドによって誘起される速度場は, いわゆる2次元ジェット流に近いこと, さらにプロペラ型の攪拌装置によって生じる流れは, いわゆるサーキュラージェットになっており, 翼の中心線上付近のみに強い流れができることなど明らかにした^{3), 4)}.

しかしながら, 攪拌装置としての性能を左右する, 混合過程の評価や, 混合時間などの計測は行われておらず, プロペラ型攪拌機との定量的な比較も十分でなかった.

本報では, オロイドによる攪拌機とプロペラ型の攪拌機によって生じる流れの違いを, 流体混合の視点から明らかにするために, 翼前方の流れ場を小型翼式流速計で計測して, 速度分布形状を3次的に

把握しながら, 攪拌特性を特徴づける吐出流量, 流速分布, エントレインメント, 攪拌時間などを計測して比較したものである.

2. オロイド翼と流れの可視化

もともとオロイド形状とは, Fig.1(a)に示す, 二つの円盤を組み合わせたものを指していたが, これを平面上で動かすときに, その包絡線で出来る物体 (Fig.1. (b), (c)) のことも, 同じように呼ばれるようになり, 最近ではその区別は明瞭ではなく, ここでは, (b), (c) のような形状物体をオロイド翼と呼ぶことにする.

(c) Photo of Oloid

Fig.1 Oloid

また、Fig.2はオロイド翼を使って最近開発された攪拌装置の一例で、この翼形状はFig.1(b)とは若干異なっており、Fig.1(a)の形状に近いものである。このオロイド翼を支持している回転軸は、厳密には円運動とならないため、通常のモータでは滑らかな駆動が困難であり、本装置では特別に開発された直流モータが使われ、ギアを使わずに回転数などが簡単に制御でき、装置全体を水中に設置できるものとなっている。

Fig.2 Mixing machine by Oloid

オロイド周りの流れを可視化するために、本研究では、水素気泡法で使う程度の大きさの小さなマイクロバブルを、加圧した水を多孔質陶器に通すことによって作り、これをトレーサに使った可視化画像をPTV⁵⁾手法を援用して解析した。その結果は前2報に示しているが、その一例をFig.3に示している。

Fig.3 Flow field around Oloid wing

図から、右方向への流れ中に回転方向が逆になっている渦対の存在が確認できる。観察時に撮影しているビデオ画像を解析すると、翼が最下端を通過した直後に渦輪が発生し、それ以前に発生した渦に追いつき、吸い込まれるように加速される様子が観察された。これは、渦輪の特徴的な運度を表している。

さらに、オロイドから十分離れた位置(2m前方付近)で、水面に対して平行な面内で観察を行い、この渦輪の行方を追跡したが、流れは調査領域全体

に広がっており、小さな渦流れであることは確認できたものの、オロイド翼近傍で観察できた明瞭な渦輪は観察できなかった。しかしながら、発生する渦は小さな渦にカスケード的に分散していくものと思われるので、渦の動きは流体の混合に有効に作用するものと考えられる。

3. 混合特性

攪拌機の最大の目的は流体を均一に混合することであり、一般の攪拌装置の混合性能は、攪拌槽にトレーサを投入後均一な流体を得るまでの時間で評価されることが多い。

一般に、流体の混合過程では、二つの操作が基本となることが知られている。第一は水槽全体に流体塊を均一に分散することであり、分割・せん断・置換のモデル過程で表され、巨視的混合操作と呼ばれる⁶⁾。すなわち、流体が素早く槽内を循環することや隣り合う流体塊の距離を小さくして相互作用を起こさせ易くすることであり、吐出流量を大きくすることや流体変形を速くするための翼を用いることが有利と言われている。

静止あるいは、より低速な流体中にそれより高速な流れを噴出するようなものは噴流と呼ばれ、混合には有効なものと考えられている。噴流では、高速流体が低速の流体に隣接するとき、せん断応力が発達し運動量の交換が行われるとともに一部が噴流主流に加わるエントレインメントが起こる。これによって、巨視的な混合がなされることが知られている。オロイドによって生じ流れも一種の噴流と考えることができるので、これを調べることは有効なことと思われる。

第二は、二つ流体を分子の寸法まで均一に分散する操作であり、これは微視的混合と呼ばれ、乱流渦などによって促進されると言われている。

ここでは、吐出流量、時間平均流速分布、エントレインメント、混合時間などを、オロイド翼攪拌機による場合と、従来型のプロペラ攪拌機(ポエック社 PKU 01S)による場合に計測し、比較検討した。

3.1 流速分布の計測結果と吐出流量

大型回流水槽にFig.4のようにオロイド攪拌機、あるいはプロペラ攪拌機を設置して流れを発生させ、その前方の流れ場で、小型翼車式流速計を用いて流速分布を計測した。

$x=10\text{ cm}$ の位置で yz 断面における時間平均流を計測し、これを積分することで流量を求め、吐出流量とした。

Fig.4 Experimental setup

オロイドによる計測においては、モータの回転数を 100, 150, 00rpm とし、z 軸に対して流速分布が対称であること確認した後、yz 断面の片側のみで計測した。また、プロペラによる計測においては、モータの回転数を 200, 400, 600, 800rpm とし、200rpm における計測で軸対象であることを確認した後、他の回転数においては、一半径上だけで行った。また、計測結果から、流速分布が回転数を変化させても相似であることが確認できたので、流量はこの関係を使って求めた。

オロイドの流速分布を Fig.5 に示す。図の黒点が計測点で、流速の値は濃淡で示されており、その値は $z=0, y=0$ の流速で無次元化して示してある。結果から、オロイドの動きに沿った形で流速の大きな部分があり、当然のことながら装置の中央ではなく左右それぞれに流速の大きな部分があることが明瞭に示されている。

Fig.5. Velocity distribution by Oloid

オロイドとプロペラの吐出流量を Fig.6 に示す。同量の吐出流量を得るためにオロイドはプロペラに比べ軸回転数が低くて良いことがわかった。

次に、3 次元的な流速分布を把握するために、 $x=10, 30, 50, 100\text{cm}$ における yz 断面の時間平均流を Fig.7 に示す。これから、すでに Fig.5 に示した $x=10\text{cm}$ 断面での特徴的な流速分布の形状は、オロイドから離れるにつれて広がりながら減衰すること、

Fig.6 Flow rate

その変化は徐々に滑らかになり、 $x=100\text{cm}$ 付近ではその特徴的な形状は明瞭に見られなくなっていることなどが分かる。これに対して、プロペラによる流れは、 $x=10\text{cm}$ では回転軸付近の流速がプロペラ翼正面より小さいものの、 $x=30$ 以降では軸を中心に単純に広がっており、その値はプロペラから離れるにつれて減衰している。

Fig. 7 Velocity distribution

3.2 エントレインメント

噴流における混合過程で重要なエントレインメントは、流量の変化として表されることが知られている。ここでは、 $x=10$ における流量を基準にして、流れ方向の流量比を、Fig.8 に示す。

これから、 $x=10\text{cm}$ から 30cm の間においてはオロイドに比べプロペラの流量増加が大きいものの、 $x=30\text{cm}$ 以降における流量の増加は、ほぼ同じと

なっているのがわかる。すなわち、吐出直後はプロペラ攪拌機がオロイドに比べ、エントレインメントが大きいものの、これを除くとオロイドとプロペラによる差異は大きくないと言える。

Fig.8 Entrainment

3.3 混合時間

混合特性を示す量として、混合時間があり、この測定を Fig.9 に示すような水槽で行った。すなわち、攪拌槽には幅 580mm 長さ 2000mm 深さ 1500mm のアクリル水槽を用い、水道水を 1000mm まで満たしておき、攪拌機を水槽底部に設置し、吐出流量が約 $0.01\text{m}^3/\text{s}$ となるように回転数を調整した。

水槽左端の液面から、8 リットルの水道水に 1 kg の食塩を溶かした食塩水を 60 秒間で静かに注入し、濃度変化を水槽の隅 3 点に設置した CT 計で測定した。その結果、高濃度の食塩水注入開始時から、食塩水が槽内母液に混合して十分一様濃度になるまでの混合時間は、オロイドの場合で 92 秒、プロペラ攪拌機 76 秒となった。計測された濃度変化を Fig.10 に示す。注入開始からの時間に対する濃度を、完全混合時における濃度を基準にして示している。これを見ると、オロイドの場合は、食塩水の投入開始から約 20 秒後に計測点②と③で 0.8 まで急激に上昇し、その後 50 秒までは変化がほとんどなく、約 50 秒後に計測地点 3 点で急激に上昇し、攪拌時間 92 秒までに 1.0 に近づいている。

これに対して、プロペラ攪拌機による場合は、食塩水投入開始から約 5 秒後に計測地点②と③が上昇し始め、約 10 秒後に計測地点①が上昇し始め、その後、攪拌時間 72 秒まで小さな上下変動をしながらほぼ直線的に一定の速度で濃度は上昇している。これらの結果、オロイドは翼による分割作用は小さく高濃度の食塩水が塊で輸送されているのに対し、プロペラは翼による分割作用で混合が進んでいることがわかる。

Fig.9 Experimental setup

Fig.10 Mixing time

4. 結言

オロイドを用いた攪拌機と、従来のプロペラ攪拌機による混合特性を比較するために、流れ場の速度分布、吐出流量、エントレインメントを計測し、比較検討した。その結果、攪拌に関する巨視的な混合特性については、流体力学的な視点からのオロイド攪拌装置の顕著な優位性は確認されなかった。

しかしながら、攪拌装置自体の消費電力はオロイド型の方が少ないことがわかっており、微視的な特性や、モーターを含めた機械的な性能の違いが大きいと考えられる。

参考文献

- 1) Oloid AG: <http://www.oloid.ch/>
- 2) 石橋忠也, 中谷哲治: 省エネルギー攪拌機の排水処理装置設備への適用, 科学装置, pp.91-95, 2001
- 3) 奥野武俊他, オロイド翼周りの流れの可視化, 可視化情報学会誌, Vol.22-1, pp.295-298, 2002
- 4) 谷本望他: オロイド翼周りの流れの可視化 (第2報), 可視化情報学会誌, Vol.23-2, pp.25-28, 2003
- 5) 木村一郎, 植村知正, 奥野武俊: 可視化情報計測, 近代科学社, 2001
- 6) 化学工学協会編: 化学工学便覧, 7 攪拌 pp.424-435