

回転タンク内振動格子乱流の可視化実験

鵜飼利光 (13116638)

指導教員 森西 洋平 助教授

1 はじめに

回転系乱流は自然界においては大気や海洋などに見られる流れであり、またタービンや羽根車等の流体機械にも関連しており、工学上・工業上重要となる。本研究では回転系振動格子乱流に着目し、回転するタンク内の一様な格子乱流を実験的に観察することで、純粋な回転の効果調べを目的としている。昨年までの可視化実験によってタンク内に二次流れが存在することが確認され、この二次流れを取り除くために格子の改良、内円筒の設置を行い、また回転による自由表面の違いを軽減するために内蓋の設置を行うなど、より理想的な流れ場を生成する工夫を行ってきた。これらの工夫によってタンク内の二次流れがほぼ抑制されることが昨年度確認された。この可視化実験で、格子近傍の三次元的渦構造とその上部に準二次元的な縦渦状構造が存在することが確認されている。そこで本研究では、回転の効果によって生じる縦渦状構造に注目し、気泡による渦芯の可視化実験、染料拡散の可視化実験を試みた。その結果、格子下部からの染料注入による染料拡散実験が縦渦状構造の可視化に最も適していると判断し、その考察を行った。染料拡散の可視化実験においてタンク回転数と染料注入位置の条件を増やすことでタンクの回転数及び注入位置が染料の拡散に与える影響をさらに詳細に調べる。

2 実験装置

本研究で用いた実験装置の概略を Fig.1 に示す。本研究で用いた実験装置は回転タンク (内径 242mm, 深さ 600mm), 振動格子軸によって格子振動装置に連結された乱流生成格子 (角柱幅 6mm, 格子メッシュサイズ $M=30\text{mm}$, 真鍮製角柱正方格子), そしてベルトを介してこれらを一体回転させるモータで構成されている。格子振動装置にはスコッチクランク・システムを採用している。作動流体には水が用いられている。また、座標系と乱流生成格子を Fig.2, Fig.3 に示す。

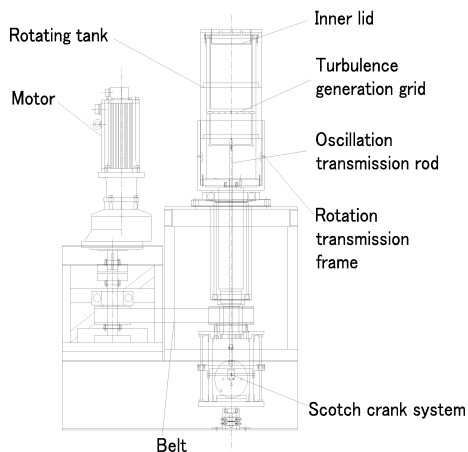


Fig. 1: 実験装置概要

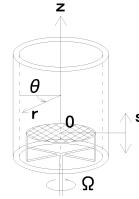


Fig. 2: 座標系

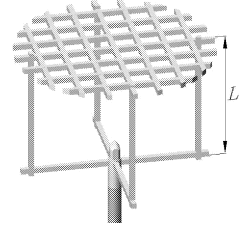


Fig. 3: 乱流生成格子

3 気泡による渦芯の可視化実験

本研究で行う気泡による流れの可視化実験は格子下部から微小な空気泡を帯状に注入し、渦芯に吸い込ませることで渦芯の可視化を試みた。実験装置概要、空気を注入するエアストーンを Fig.4, Fig.5 に示す。

結果、気泡が大きくなってしまい、上昇速度が高くなってしまったため気泡が渦芯に吸い込まれなかった。また、気泡の帯全体が回転によってタンク中心付近に集まってしまふ力が働き、この気泡をタンク中心付近に集める力が渦芯の圧力差により引き寄せられる力よりも大きいことも、気泡が渦芯に集まらない要因と考えられる。

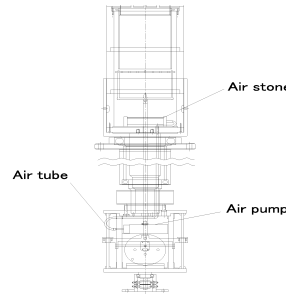


Fig. 4: 気泡による渦芯の可視化実験装置概要

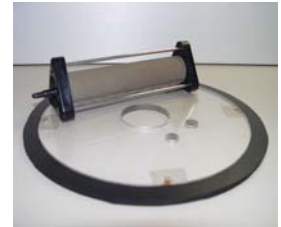


Fig. 5: エアストーン

4 染料拡散の可視化実験

4.1 格子下部からの染料注入

本実験では格子近傍から出ていると考えられる縦渦と格子との位置関係を特定するために、染料を格子の下部から注入し、染料拡散の可視化実験を行う。本実験では染料を注入する際、格子下部に設置された染料の入った風船を割ることにより染料を拡散させる方法を用いた。本実験で用いる実験装置を Fig.6 に示す。

今回の実験では染料を風船に入れたため染料の量が少なく、拡散の様子を観察することが困難であった。他にも格子下部から注入した染料が格子近傍の三次元

的渦の領域で強く拡散してしまい、格子近傍に存在するはずの縦渦状構造を観察することはできなかった。

4.2 染料上部からの染料注入

本実験では準二次元的な縦渦状構造の観察、及び染料の拡散の様子の違いを比較するために染料を格子上部から注入し、タンクの回転数及び注入位置が染料の拡散に与える影響を詳細に調べる。本実験で用いる実験装置を Fig.7 に示す。

動画により観察した染料の拡散の様子を以下に述べる。

- $\Omega=20\text{rpm}$, $z'=30\text{mm}$ 注入直後には染料は格子付近でほぼ均一に卵型に広がる。その後染料は縦渦に巻き込まれゆっくりと上昇する。上昇の様子は $r-\theta$ 断面内で不均一である。さらに時間が経過した後、染料はタンク全体にほぼ均一に広がった。
- $\Omega=60\text{rpm}$, $z'=30\text{mm}$ 注入直後に一部の染料は上昇を始める。残る大部分は格子近傍でほぼ均一に卵形に広がるが、その後縦渦に巻き込まれ比較的速い速度で上昇する。高さ方向中央付近に上昇するまでには染料は $r-\theta$ 断面においてほぼ均一に拡散している。さらに時間が経過した後、半径方向中心部以外では格子近傍に染料は見られなくなる。これは縦渦に巻き込まれて大半の染料が上昇してしまったためであり、半径方向中心部にのみ格子付近に染料が存在しているのはチューブに残った染料が注入後も少しずつ流出しているためである。
- $\Omega=20\text{rpm}$, $z'=170\text{mm}$ 染料の大部分は注入直後に縦渦に巻き込まれて上昇することではなく、格子近傍に下降するまでの間に縦渦に巻き込まれた後、ゆっくりと上昇する。また、半径方向の染料の拡散は不均一である。染料によって可視化される縦渦は大きく、ゆっくりと揺らいでいる。
- $\Omega=60\text{rpm}$, $z'=170\text{mm}$ 大部分の染料は高さ方向には中央付近に留まりながら、半径方向へ均一に広がっていき、その後染料は縦渦に巻き込まれて上下に拡散を始める。染料は少しずつ流出しているため半径方向中心に向かうほど量が多く、上下方向に大きく拡散し球型に広がる。十分時間が経過した後にはタンク上方の染料の濃度が下部よりも濃くなっている。これは縦渦によって染料が鉛直上向きに運ばれたためと考えられる。
- $\Omega=40\text{rpm}$, $z'=10\text{mm}$ 注入直後に染料は格子近傍で卵型に広がり、その後半径方向に均一に広がりながら縦渦に巻き込まれ上昇する。さらに時間が経過した後、染料はタンク全体にほぼ均一に広がった。
- $\Omega=40\text{rpm}$, $z'=110, 250\text{mm}$ 注入位置 $z'=250\text{mm}$ の場合において、染料は注入直後に初速によって $z'=110\text{mm}$ 付近まで下降しながら半径方向へ均一に広がる。また、 $z'=110\text{mm}$ の場合においては注入位置の高さに留まりながら半径方向へ均一に広がる。その後二つの

場合において同様に染料は $z'=110\text{mm}$ 付近に留まりながら、縦渦に巻き込まれて上下方向に徐々に移動する。下降した渦は格子近傍の三次元的渦の領域に達すると拡散する。さらに時間が経過した後、染料はタンク全体にほぼ均一に広がった。

- $\Omega=0\text{rpm}$, $z'=10, 110\text{mm}$ 注入直後に染料は格子近傍で拡散して上昇する。さらに時間が経過した後、染料はタンク全体に広がった。
- $\Omega=0\text{rpm}$, $z'=250\text{mm}$ 注入後染料は格子近傍まで下降し、格子近傍で拡散して上昇する。さらに時間が経過した後、染料はタンク全体に広がった。

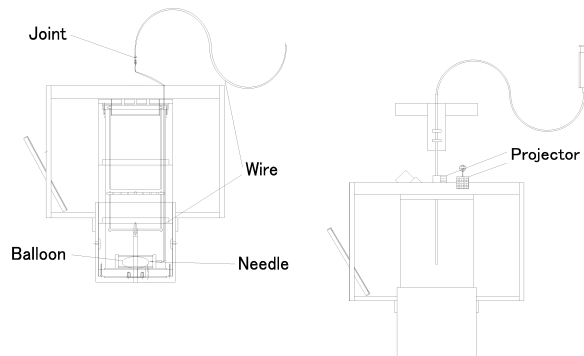


Fig. 6: 拡散実験装置概要 (格子下部からの染料注入) Fig. 7: 拡散実験装置概要 (格子上部からの染料注入)

5 おわりに

本研究ではタンク内に生成される振動格子乱流に及ぼす回転の効果を調べることを目的とし、可視化実験を行った。以下に染料拡散の可視化実験についての結果をまとめる。

1. 染料注入位置 z' を変化させた場合

- 準二次元的な縦渦の領域に染料を注入した場合、染料は縦渦に巻き込まれ上昇する様子が確認できる。
- 三次元的な渦の領域に染料を注入した場合、染料は注入直後に拡散し、その後縦渦に巻き込まれて上昇する様子が確認できる。

2. タンク回転数 Ω を変化させた場合

- 回転数が高くなるにつれて縦渦状構造が強くなることが確認できた。
- 十分時間が経過した後の染料の様子からタンク回転数が高くなるにつれて縦渦によって染料がタンク上方に押し上げられる様子が観察できた。

6 参考文献

- 水嶋洋平, 澤登正嗣 回転タンク内振動格子乱流の可視化実験, 名古屋工業大学機械工学科, 卒業論文, (2005).
- E.J.Hopfinger, & J.-A.Toly, Spacially decaying turbulence and its relation to mixing across density interfaces, *J.Fluid Mech.*, vol.78,(1976),pp.155-175.