

# 回転系振動格子乱流の可視化実験

水嶋洋行 (13116721) 澤登正嗣 (12216621)

指導教官 森西 洋平 助教授

2005年2月22日

## 1 緒論

回転系における乱流はタービン等の流体機械内の流れや惑星大気の流れに見られる．これから理解される通り，流体機械における流れの制御や地球物理の理解において回転が乱流に及ぼす効果を調べることは重要である．本研究では回転系乱流の中で最も基本的な流れ場の1つである回転系振動格子乱流に注目し，乱流生成格子によって生成された格子乱流場に及ぼす回転の効果を実験的に調べる．

昨年度の可視化実験では，タンク回転軸に垂直な断面に関しては動画による回転系からの可視化が昨年度行われた．しかし，回転軸を含む断面に関しては回転系からの可視化は行われていない．また，この可視化実験によって流れ場に二次流れが存在することが確認された．この二次流れは本研究のように一様でせん断のない乱流場に及ぼす回転の効果について観察するには好ましくない．

そこで，本研究ではタンク回転軸を含む断面を回転系から可視化するための実験装置の製作及び可視化実験を行い，渦構造について詳細な考察を行う．また，二次流れを軽減させるための格子の改良及び内円筒の設置を行い，それによる流れ場の変化について考察する．

### 1.1 実験装置と座標系

図1に実験装置を示す．図2には動画撮影した断面を表すための座標系を示す．可視化実験によって撮影する断面は，タンク回転軸を含む  $r-z$  断面とタンク回転軸に直行する  $r-\theta$  断面である． $r-z$  断面の可視化実験では図3に示す可視化実験装置によって動画撮影を行い， $r-\theta$  断面の可視化実験ではカメラをタンク上部に固定し，回転系からの撮影を行った．

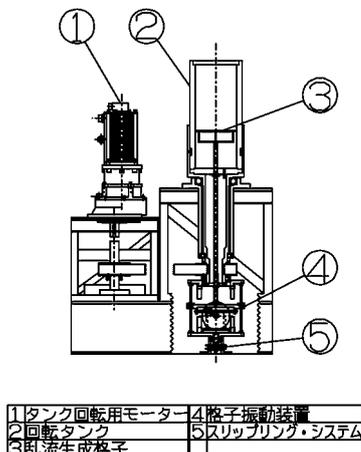


図1: 実験装置

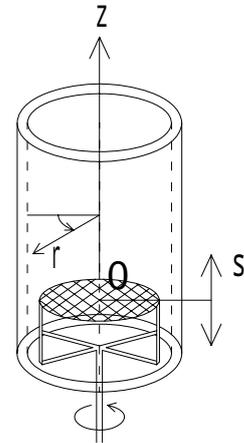


図2: 座標系

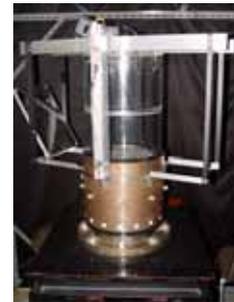


図3: 可視化実験装置

## 2 可視化実験方法

本研究では作動流体として水を用いるため，トレ - サ粒子としてアルミニウム粉末を用いた懸濁法による流れの可視化実験を行う．懸濁法とはトレーサ粒子となるアルミニウム粉末やポリスチレン粒子などをあらかじめ流体中に一様に懸濁させておき，流れによるトレーサ粒子の動きを観察して流線または流跡を調べる方法である．本研究では投光器とデジタルビデオカメラを用いた動画撮影を行い流れを観察する．

## 3 内円筒設置による二次流れの軽減

昨年度はタンク内の二次流れを軽減させるために新たな乱流生成格子を製作し，二次流れは軽減された．しかし，新たな乱流生成格子を用いても回転タンク内に二次流れが存在する．そこで本年度さらに二次流れを軽減する方法について検討した．従来の研究における二次流れの軽減方法について文献調査したところ，Hopfinger and Toly<sup>[3]</sup>, Dickinson and Long<sup>[4]</sup>らの研究では二次流れを取り除くために内側にタン

クを設置していることがわかった．本研究でもこれらの研究と同様に内円筒を設置することによって二次流れを軽減できると考えられる．そこで内円筒を設置し，内円筒により大きな二次流れの一部を遮断し，それに伴う上昇流や下降流を軽減でき回転タンク内全体の二次流れが減少した．その結果内円筒内部のタンク中心付近の流れはより一様になった．

## 4 可視化実験結果

### 4.1 r-z 断面

r-z 断面の回転系からの可視化実験の結果から流れ場に及ぼす回転の効果について考察する．

$\Omega=0$ [rpm] の場合は流れ場全体が 3 次元的な渦構造によって構成されている．

$\Omega=20$ [rpm] の場合は格子近傍では 3 次元的な乱れが観察され，その上部に準 2 次元的な縦渦構造が観察される．この準 2 次元的な縦渦は撮影した断面内に約 3 本あることが確認でき，曲がりくねった形状をしているものが多い．3 次元的な乱れの領域から準 2 次元的な縦渦領域への遷移点の位置は， $z=50$ [mm] 程度であると考えられる．

$\Omega=40$ [rpm] の場合は流れ場の構造は  $\Omega=20$ [rpm] の場合と同様で，準 2 次元的な縦渦の中には格子付近まで伸びているものもある．このことは Hopfinger らの研究でも確認されている．この準 2 次元的な縦渦は可視化断面内に約 5 本あると確認でき，その形状は  $\Omega=20$ [rpm] の時に比べ直線的になった．また，この準 2 次元的な縦渦は格子間から出ているように見える．遷移点位置は  $z=30$ [mm] 程度である．

$\Omega=60$ [rpm] の場合の流れ場の構造は他のタンク回転数と同様で，準 2 次元的な縦渦は可視化断面内に 7 本程度あることが確認でき，その形状は他のタンク回転数の場合と比較すると最も直線的になっている．また，縦渦は格子上死点のあたりまで伸びてきており， $\Omega=40$ [rpm] の場合と同様に格子間から出ているように見える．遷移点は  $z=25$ [mm] 程度であると考えられる．

以上のことから，タンク回転数が増加するにつれて準 2 次元的な縦渦は細くなり，その数が増加することがわかる．また，その形状は直線的になっていくことが観察された．

### 4.2 r- $\theta$ 断面

回転系からの r- $\theta$  断面の可視化実験結果から流れ場に及ぼす回転の効果について考察する．可視化断面位置は昨年度の結果と比較するために  $z=130$ [mm] とした．以下に各タンク回転数の r- $\theta$  断面の可視化実験結果から流れ場の考察を行う．

$\Omega=0$ [rpm] では内円筒設置によって，内円筒中はほぼ一般的な流れ場になっていることが確認できる．

$\Omega=20$ [rpm] の場合は内円筒内部のタンク中心付近では，渦が点在している．渦はタンクの回転方向と同じ方向に回転するサイクロニック渦と，タンク回転方向とは逆方向に回転するアンティサイクロニック渦がほぼ同数づつ含まれている．内円筒とタンクの間領域はアンティサイクロニックな流れとなっている．これより内円筒がアンティサイクロニックな流れと中心付近の渦の領域を分離していることがわかる．中心付近の渦の直径は約 50[mm] である．また，この渦は回転

系から可視化するとあまり移動していないことが確認できる．これは，内円筒設置によって二次流れが軽減されたためだと考えられる．

$\Omega=40$ [rpm] の流れ場は  $\Omega=20$ [rpm] の場合と同様の構造であることが観察できる．中心付近の領域の渦の直径は約 35[mm] であり，渦はあまり移動していない．

$\Omega=60$ [rpm] の流れ場は内円筒内部の中心付近では他のタンク回転数の場合と同様サイクロニック渦とアンティサイクロニック渦が混在し，あまり移動せず同じ位置に留まっている．渦の直径は約 25[mm] である．また，内円筒とタンクの間領域では流速は遅いがアンティサイクロニックな流れが存在し，その流れによって小さなアンティサイクロニック渦が移動している様子が観察される．

以上の結果から，タンク回転数  $\Omega$  が大きくなるほど，つまり格子ロスビー数が小さくなるほど縦渦の直径は小さくなっていくことが観察された．また，アンティサイクロニックな流れは内円筒とタンク内壁の間領域にのみ存在していることが観察された．

## 5 まとめ

- これまで本研究で行われていなかった r-z 断面の回転系からの可視化を行うための実験装置を製作し可視化実験を行った．
- 二次流れ軽減のために回転タンク内に内円筒を設置した．それにより大きな二次流れを軽減できそれに伴う上昇流と下降流が減少した．
- r-z 断面の可視化実験結果からタンク回転数が増加するにつれて準 2 次元的な縦渦は細くなり，その数が増加することがわかった．また，その形状は直線的になっていくことが観察された．
- $\Omega=40$ [rpm] 以上では準 2 次元的な縦渦は格子付近まで伸びてきていることが回転系からの可視化を行うことにより新たに観察された．また，この準 2 次元的な縦渦は格子間から出てきているように見えた．
- r- $\theta$  断面の可視化実験結果からタンク回転数  $\Omega$  が大きくなるほど，つまり格子ロスビー数が小さくなるほど縦渦の直径は小さくなっていくことがわかった．また，アンティサイクロニックな流れは内円筒とタンク内壁の間領域にのみ存在していることが観察された．

## 6 主な参考文献

- [1] 奥出雅人, 長松孝行 回転タンク内振動格子乱流の実験的研究, 名古屋工業大学機械工学科, 卒業論文, (2004).
- [2] 森義英, 回転タンク内振動格子乱流の実験的研究 名古屋工業大学大学院 生産システム工学専攻, 修士論文, (2004).
- [3] 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.
- [4] Dickinson and Long, Oscillating-grid turbulence including effects of rotation, J.Fluid Mech., vol.126,(1983),pp.315-333.