

回転タンク内振動格子乱流の実験的研究

長松孝行 (16416578)

指導教員 森西洋平

1 はじめに

回転系乱流はタービン、ポンプ等の流体機械内の流れや地球の大気や海洋の流れにも現れ、工学や理学の分野で重要な流れである。本研究は回転系乱流の中でも最も基本的なものの1つである回転系振動格子乱流に着目し、乱流に及ぼす回転の効果を調べることを目的としている。

振動格子乱流に関する過去の研究としては、静止系では Tompson and Turner, Hopfinger and Toly, 浦ら, Drayton の研究があり、回転系では Hopfinger ら, Dickinson and Long, Mory and Hopfinger, Sugihara らによるものがある。これらのうち、回転系振動格子乱流を対象とした研究では流れ場の可視化実験等を行い乱流構造に及ぼす回転の効果が調べられている。筆者らもこれまで回転系振動格子乱流に関する研究を行っており、流れ場の可視化実験や LDV 計測実験を行い乱流に及ぼす回転の効果について調べてきた。しかし従来の研究でも示されているとおり、タンク内の流れ場には二次流れが発生し、理想的な実験条件とはならなかった。本発表では二次流れの影響の少ない理想的な振動格子乱流の生成方法を示し、LDV 計測装置を用いて流れ場を測定し定量的に確認する。また、乱流統計平均量に及ぼす回転の効果について調べる

2 実験装置

本研究で用いた実験装置の写真と概略を図5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。

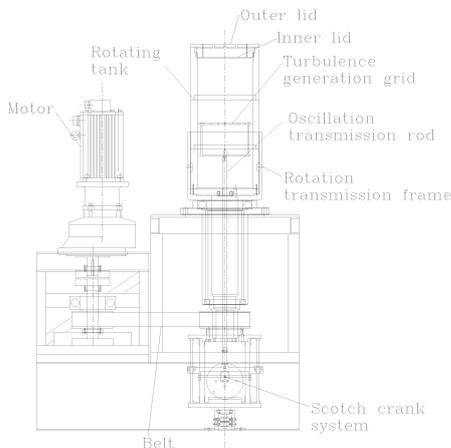


Fig. 1: Experimental apparatus

3 一様な流れ場の生成方法

3.1 乱流生成格子等

まず静止系について二次流れの影響の少ない理想的な流れ場の生成方法を示す。従来の研究で多く用いられている振動格子軸中心で格子を支持する一点支持乱流生成格子を用いて可視化実験を行った結果、タンク内の流れ場には格子中心付近から上昇し、内蓋に達した後格子とタンク壁面の隙間に下降する強い二次流れが存在した。そこで、格子直径 Φ を 200mm から 236mm へ拡大し格子とタンク壁面の隙間を狭くした一点支持乱流生成格子を新たに製作した (図2)。改良した一点支持乱流生成格子を用いて可視化実験を行った結果、格子とタンク壁の隙間に下降する強い二次流れは弱くなったものの、格子中央付近から上昇する二次流れが依然存在した。格子中央付近から上昇する二次流れを防ぐために、格子と振動格子軸を $L=150\text{mm}$ 離し、格子を振動格子軸に連結された4本の格子支持枝で支持する四点支持乱流生成格子を製作した (図2)。振動格子軸と格子支持枝を連結するボルト形状は円錐形に加工した。四点支持乱流生成格子を用いて可視化実験を行った結果、タンク内の流れ場の二次流れは弱くなりタンク中心から上昇しタンク壁と格子の隙間に至る弱い二次流れが残るのみとなった。さらに、残りの弱い二次流れの影響を取り除くため、内円筒 (内径 200mm, 厚さ 4mm) を格子振動の上死点位置から 10mm の位置に設置した。その結果、弱い二次流れの循環が遮断され、内円筒内部の流れ場は二次流れの影響の少ないより理想的な流れ場となった。

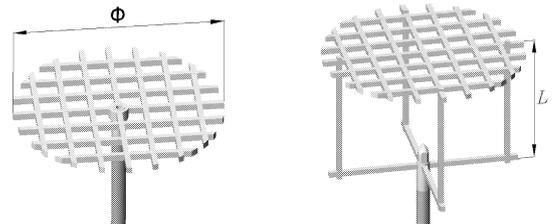


Fig. 2: Turbulence generation grid

4 一様性の評価

従来の研究結果では流れ場の一様性を定量的に示されていない。そこで、本研究ではまず LDV 計測装置を用いて流れ場を測定し定量的に確認する。

4.1 LDV 計測装置の設定値

LDV 計測装置の設定値はサンプリング周波数 $f_g=10\text{kHz}$, 測定点 $N=1048576$ である。

4.2 一様性の評価

前小節で示した乱流生成格子等を用いて、格子振動ストローク $S=40, 60\text{mm}$, 格子振動周波数 $f_g=2, 4\text{Hz}$ の条件で計測を行った。四点支持乱流生成格子のみを用いた場合とさらに内円筒を設置した場合の軸

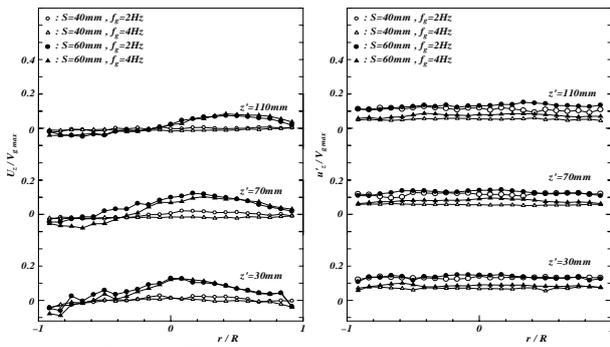


Fig. 3: Four points support grid

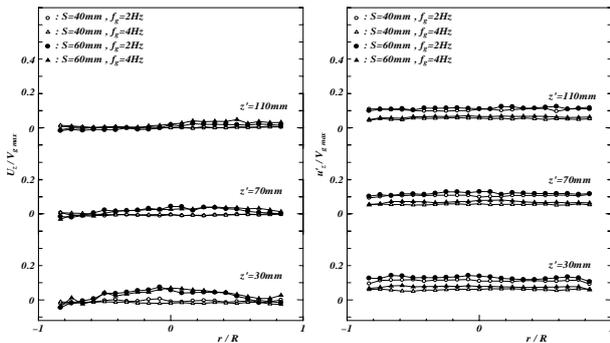


Fig. 4: Inner cylinder installation

方向平均流速と軸方向乱流強度の測定結果を Fig.3, Fig.4 に示す. その結果, 四点支持乱流生成格子のみを用いた場合よりもさらに内円筒を設置した場合の方がより一様な流れ場を生成していることが確認される.

また, 軸方向平均流速は格子振動周波数ではなく, 振動格子ストロークの変化によって速度が変化することがわかった. さらに, 軸方向乱流強度の測定結果から乱流強度の値は $S=60\text{mm}, f_g=2\text{Hz} > S=40\text{mm}, f_g=2\text{Hz} > S=60\text{mm}, f_g=4\text{Hz} > S=40\text{mm}, f_g=4\text{Hz}$ となることが分かった.

5 乱流統計平均量に及ぼす回転の効果

軸方向の乱流統計平均量の測定を行った. 実験条件は格子振動ストローク $S=40\text{mm}$, 格子振動周波数 $f_g=4\text{Hz}$, 回転角速度 $\Omega=0, 10, 20, 30, 40, 60\text{rpm}$, 測定範囲 $z'=20\sim 110\text{mm}$ である.

5.1 平均流速

軸方向平均流速の z 方向分布を Fig.4 に示す. その結果, 静止系では最大格子振動速度の 3% 程度の弱い下降流が発生し, 回転系では振動格子から離れるに従い緩やかに減衰することが確認される.

5.2 従来の研究結果との比較

静止系の測定結果を従来の研究結果と比較した結果, 乱流強度の減衰は格子近傍の $z'=22\sim 30\text{mm}$ の測定データを用いて最小自乗近似から求めると浦らの研究結果に近い減衰挙動となることが確認される. さらに, 格子から離れた領域で乱れの減衰が弱まる様子は Drayton と定性的に一致する

5.3 乱流強度

軸方向乱流強度の z 方向分布を Fig.6 に示す. $\Omega=0, 10, 20\text{rpm}$ の低回転領域では測定データのばらつきが大きく, 乱流強度に及ぼす回転の効果を確認する

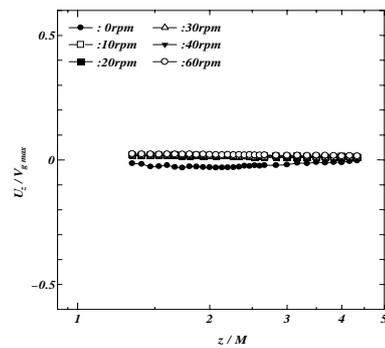
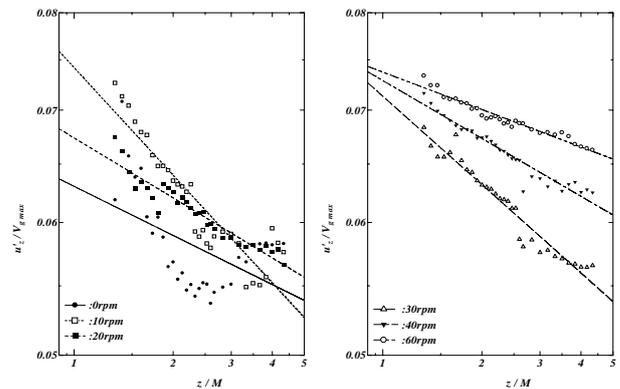


Fig. 5: Axial mean velocity profiles



(a) $\Omega=0, 10, 20\text{rpm}$ (b) $\Omega=30, 40, 60\text{rpm}$
Fig. 6: Axial turbulence intensity profiles

ことができない. $\Omega=30, 40, 60\text{rpm}$ と回転角速度が増加するにつれて, 乱流強度の値が増加し, 乱流強度の減衰が抑制されることが確認される.

6 おわりに

本研究では, 二次流れの影響の少ない一様な振動格子乱流の生成方法検討し, さらに LDV 計測装置を用いて一様性を確認した. そして, 乱流統計平均量に及ぼす回転の効果調べた.

1. 回転タンク内の振動格子乱流に発生する二次流れの抑制には, (1) タンク内壁と格子外周の隙間を狭くする. (2) 乱流生成格子を格子外側で支持する. (3) 回転タンク内に内円筒を設置. の 3 点が有効であることを示した.
2. LDV 計測実験による乱流強度の結果から, 本研究の実験装置で生成される静止系での振動格子乱流の空間的な減衰は格子のごく近傍で指数法則に従い, その減衰指数も従来の研究に近いことが確認された. さらに回転が比較的高い $\Omega=30, 40, 60\text{rpm}$ では, 回転角速度の増加により減衰が抑制される様子が確認された.

7 参考文献

- 浦勝, 小松利光, 松永信博, 土木学会論文集, 第 345 号/II-1, (1984).
- Sugihara, Y., Migita, M., Honji, H., Fluid Dynamics Research, 36 (2005).