

回転流体中における振動格子乱流の特性

九州大・総理工○杉原裕司、本地弘之、松永信博、右田昌士

1. はじめに

回転テーブル上に搭載された振動格子乱流水槽を用いて、系の回転によって生ずるコリオリの力を外力として受ける乱流の特性を実験的に調べた。回転系では"Taylor-Proudmanの定理"によって、回転軸方向の流体運動が拘束を受ける。そのため、振動格子乱流の様な等方性の強い乱れにおいても二次元的な組織化が行われ、明瞭な秩序構造が現れる。

2. 実験装置および実験方法

図1に実験装置の概略図を示す。回転テーブルは直径1.0mの円形で、0~1.0Hzの間で回転数を調節できる。テーブル上に直径20cm、深さ40cmの円形振動格子乱流水槽が搭載されている。格子は、棧の幅5mmの正方角柱格子であり、これを正弦鉛直振動させることによって乱れを発生させた。格子振動の周波数 f は2.0と4.0Hz、振動幅 S は2.0と4.0cmであった。テーブルの回転数 Ω は0、0.1、0.4、0.8Hzで変化させた。変動速度は、レーザー流速計を実験室系に固定し、回転している水槽中にレーザー光を入射して測定した。得られた流速データより剛体回転の成分を差し引いて乱れ成分を求めた。乱れの統計量の鉛直分布はレーザー・プローブを鉛直方向にトラバースすることによって求められた。円形水槽内の流体運動を側面より観察した場合、その像はレンズ効果によって歪むことになる。そのため可視化実験においては、円形水槽を矩形水槽の中に入れ、2つの水槽の間を作業流体で満たした実験装置を用いた。回転テーブル上に固定されたスライドプロジェクターによるスリット光を側面より挿入し、トレーサーとしてアルミ粉を用いて乱流構造を可視化した。

3. 実験結果および考察

写真1の(a)と(b)はそれぞれ、 $f=2.0\text{Hz}$ 、 $S=2.0\text{cm}$ で $\Omega=0\text{Hz}$ と $\Omega=0.8\text{Hz}$ における振動格子乱流をアルミ粉を用いて可視化したものである。(a)の場合、乱れの様相は空間的に無秩序で、等方的な乱流場が形成されていることがわかる。一方、 $\Omega=0.8\text{Hz}$ で系が回転している(b)の場合、乱流構造が鉛直方向に二次元化し、秩序構造の存在が明瞭である。この秩序構造の形成は、回転流体のTaylor-Proudmanの定理によるものと思われる。この定理は比較的遅い流れの場合に成立するものであり、この効果が乱流においても見られるのは非常に興味深い。

図2は、 $f=4.0\text{Hz}$ 、 $S=4.0\text{cm}$ に固定した測定において得られた変動流速の水平成分の乱れ強度 u' を f 、 S を用いて無次元化し、 Ω/f をパラメータとして z/M に対してプロットしたものである。図中の実線は、Hopfinger & Tolyによって提案された乱れ強度の経験式を表している。静止時の乱れの分布はこの経験式に従っている。 Ω/f が0.025の場合、静止系の時よりも乱れが鉛直上方に輸送されないことがわかる。 $\Omega/f=0.1$ 、0.2と系の回転数が増加するに従って、鉛直方向に乱れの分布が一樣化していく。このことより、回転の効果は、回転数が比較的小さい時には乱れの拡散を抑制し、回転が大きくなると促進させる性質をもつことが明らかとなった。この結果は、回転流体中の連行速度が回転数が小さい時には静止状態より遅くなり、回転数が大きい時には速くなるというMasudaの指摘を直接的に指示するものである。

図3は、変動流速の鉛直成分の乱れ強度を無次元化し、 z/M に対してプロットしたものである。鉛直方向の乱れ強度の分布では、水平方向の分布よりも回転の影響が顕著に現れている。 w'/fS の場合も u'/fS 同様に回転数が比較

的小さい時には乱れの拡散が抑制されることがわかる。

今後は、広範囲の条件における乱流計測により、秩序構造の発生条件および乱流特性量の普遍表示を行い、それをもとに回転成層流体中での連行則を明らかにする予定である。

参考文献

1) Hopfinger, E.J. & Toly, J.A.(1976) J. Fluid Mech., **78**, 155-175.
 2) Masuda, A.(1983) Rep. Res. Inst. Appl. Mech., Kyushu Univ., **XXXI**, No. **97**, 29-45.

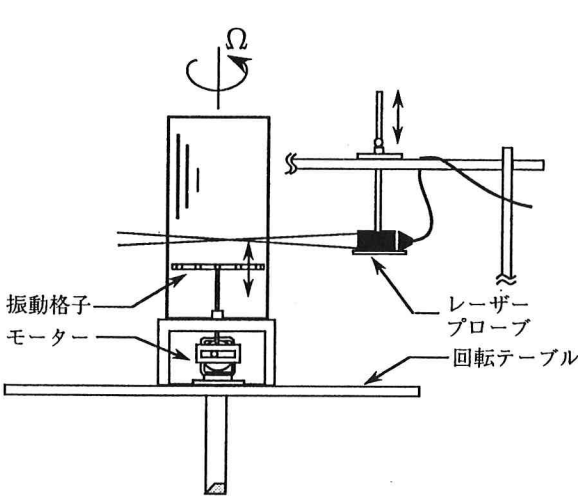
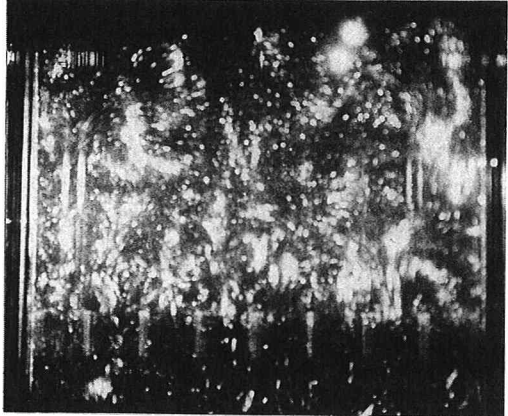
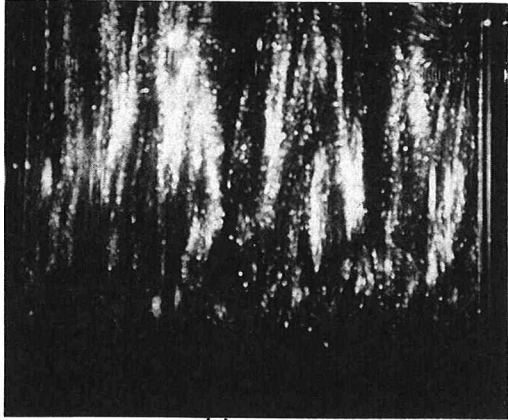


図1. 実験装置の概略図



(a) 0 Hz



(b) 0.8 Hz

写真1. 振動格子乱流の可視化

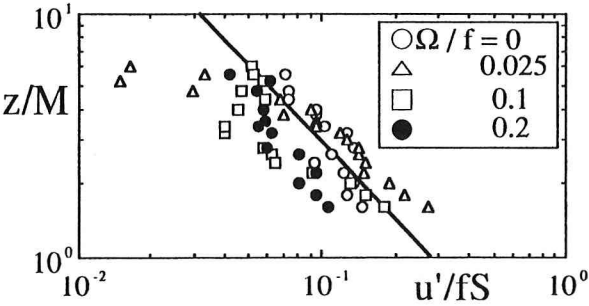


図2. u' の鉛直分布

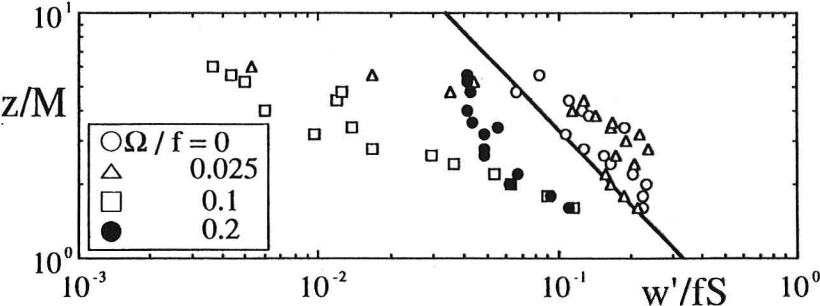


図3. w' の鉛直分布