

ふれまわり運動中の円柱型ロータに作用する流体力

堀口祐憲、崎本健太、杉山和靖

大阪大学 大学院基礎工学研究科 機能創成専攻 機能デザイン領域 流体工学グループ

背景

水車やポンプなどのターボ機械は、振動の応答として生じるロータダイナミック流体力が原因で激しい自励振動を引き起こすことがある。漏れ流れの慣性に起因する流体力は、**ふれまわり運動の角速度に対して線形に変化することが理論と実験で示されている**。しかしながら、ふれまわり運動の角速度の絶対値が大きい範囲では、**流体力の分布は二次曲線的になることが実験と数値シミュレーションで明らかになっている**。水車やポンプなどのターボ機械のさらなる高信頼性化のために、この**原因の解明が望まれている**。

目的

本研究では、ふれまわり運動の軌道の接線方向の流体力の特性をより深く理解するために、ふれまわり運動の**角速度と流体力の無次元化を試み、また接線方向流体力の分布が二次曲線的になる原因を解明する**。

方法

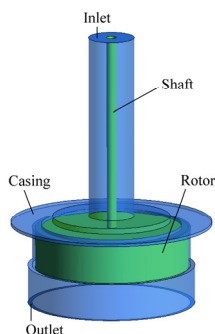


Fig.1 The computational domain

水車のフロントシュラウドを円柱で模擬

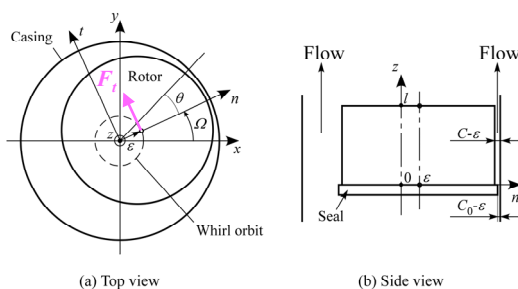


Fig.2 The schematic of the whirling columnar rotor

公転時の流れを計算（公転する座標系で流れは定常）

● ANSYS CFX18.0を使用

● 主要諸元

物理量	値
円柱ロータの半径、 R [mm]	117
シールの平均隙間、 C_0 [mm]	1
偏心量、 ϵ [mm]	0.5
シールの長さ [mm]	5
ロータとケーシングの平均隙間、 C [mm]	4
流路長さ、 l [mm]	55

● 計算条件

物理量	値
流量、 Q [L/min]	0, 15, 30, 60
公転回転数、 N [min ⁻¹]	0~1600

結果

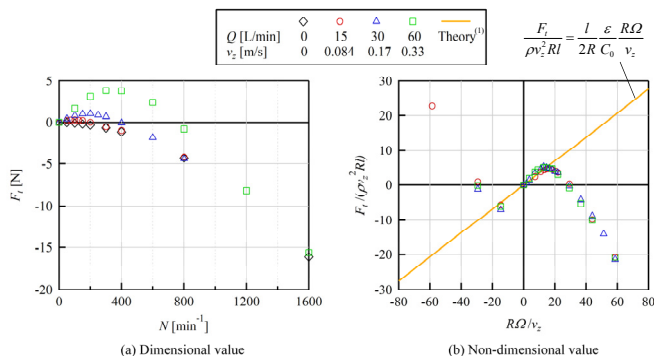


Fig.3 Rotordynamic fluid forces at various flow rate

公転速度 $R\Omega$ を平均軸流速度 v_z で割った
流体力 F_i を $\rho v_z^2 Rl$ で割った

この無次元化により、1つの曲線上に流体力を整理できた

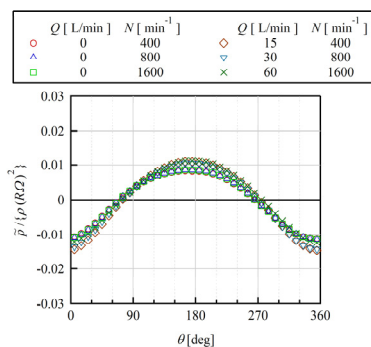


Fig.4 Pressure distributions at $z = l/2$ in the case of $R\Omega/v_z = 60$. Results of $Q = 0$ L/min are also plotted

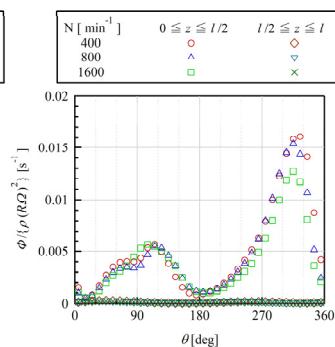


Fig.5 Dissipation functions divided by $\rho(R\Omega)^2$ at $Q = 0$ L/min.

$$\phi = 2\mu \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial u} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial v} \right)^2 \right]$$

$\theta = 180$ deg に関して非対称

$\theta = 300$ deg で大きな圧力損失

静止流体中でロータが公転する場合、

ロータ後流の圧力損失によって流体力が発生

結論

- 隙間の周方向分布の回転速度 $R\Omega$ を隙間の平均軸流速度 v_z で割ることによって得られた無次元数 $R\Omega/v_z$ により、 v_z の2乗で割って定義した接線方向流体力の無次元値を整理できる。
- $R\Omega/v_z$ が小さい範囲では、軸方向流れの慣性によって生じる圧力分布、 $R\Omega/v_z$ が大きい範囲では、静止流体中でロータが公転することによって生じる圧力分布、 $R\Omega/v_z$ が中程度の大きさ範囲では、それらの両方の効果によって生じる圧力分布により接線方向流体力が生じる。
- 静止流体中でロータが公転することによって生じる圧力分布とこれに起因した接線方向流体力は、せん断応力とロータ端からの流体の押し出し、吸込み効果に加えて、ロータ後流の圧力損失によって生じる。