

アスペクト比の小さい Taylor Couette 渦流れの UVP 計測

UVP Measurement of Taylor-Couette Vortex Flow at Small Aspect Ratio

正 木倉宏成(東工大) ○学 岸川真吾(室蘭工大院) 正 河合秀樹(室蘭工大)
正 有富正憲(東工大) 正 高橋洋志(室蘭工大)Hiroshige KIKURA, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 Ohokayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8550
Shingo KISHIKAWA, Muroran Institute of Technology, 27-1 Mizumoto-cho, Muroran-shi, Hokkaido 050-8585
Hideki KAWAI, Muroran Institute of Technology
Masanori ARITOMI, Tokyo Institute of Technology
Hiroshi TAKAHASHI, Muroran Institute of Technology

Key Words: Taylor-Couette Vortex Flow, Ultrasonic Velocity Profiler, Small Aspect Ratio, Velocity Profile Measurement

1. 概要

Ekman 境界層の影響を排除したアスペクト比無限大の Taylor-Couette 渦流れは、攪乱のスペクトル進化を伴うカオス発生の典型例として、多くの研究がなされている。その中でも超音波流速分布計測計(Ultrasonic Velocity Profiler;UVP)を用いた Takeda による一連の研究⁽¹⁾⁽²⁾では、時間変動する軸方向速度分布を計測し、大きな注目を集めた。

一方、上下に固定境界を有するアスペクト比の比較的小さい Taylor-Couette 渦流れでは、Ekman 境界層の影響を積極的に解明する方向で Benjamin⁽³⁾以降研究が続けられた。Ekman 境界層の過渡的な発達過程が様々な渦モードを作り出し、比較的低い Reynolds 数でも解が複雑に分岐することが知られている。

近年バイオ工学の発展に伴い、動・植物細胞の培養方法が極めて重要視されており、Taylor-Couette 渦流れを積極的に利用した流れの攪拌・混合・分離装置も、その特徴的性質から今後大きく発展するものと期待される。しかしながら、コンパクト構造への要求が高まる中、Ekman 境界層の影響を無視した設計は、流れの不安定性や細胞の凝集沈殿を誘発し、信頼性を大きく損なう危険性がある。そこで、アスペクト比の比較的小さい Taylor-Couette 渦流れの流れ場の解明が急務とされている。

ところで、アスペクト比を有限とするこれまでの研究では、例えば中村ら⁽⁴⁾や大村ら⁽⁵⁾の一連の研究が知られるが、渦モード間の遷移を含め、流れの時空間分布を直接測定した報告は少ない。そこで本研究では、アスペクト比が3前後の固定境界を有する Taylor-Couette 渦流れに UVP による時空間速度分布計測を試みる。特に、渦モードの遷移や、各渦モードにおけるスペクトル遷移について、FFT 解析し、渦モードの特徴を捉えることを目的とする。

2. 実験および結果

流れ場が可視化できる様に二重円筒装置はアクリルで作製した。使用した二重円筒の外円筒内径 R_2 、内円筒外径 R_1

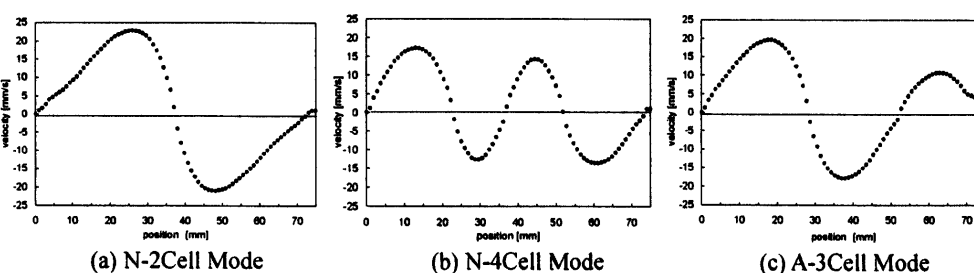


Fig. 1 Mean velocity profiles

Table 1 Experimental Conditions

	R_1 (mm)	R_2 (mm)	H (mm)	Γ	η
Vessel A	50	75	75	3	0.667
Vessel B	15	40	75	3	0.375

および高さ H の仕様は表 1 の通りである。なお、UVP の測定では、主に $\eta = 0.667$ を用いた。内円筒の回転数は、モータ付属のコントローラーで制御され一定回転するが、実験中の外部振動伝達を極力避けるため、共振振動数 0.5Hz の特殊除振台に装置を固定している。

作動流体は 68vol% のグリセリン水溶液を用いた。可視化には、少量のアルミ箔(平均径約 140 μ m)を混入し、レーザシートを用いて各セルモードの様子を可視化し、CCD から画像データをビデオテープに録画した。

本実験では、正規 2 セルモード、正規 4 セルモード、変異 3 セルモードの 3 種類のセルモードを、手動の急加速・減速により形成した後、所定の Re 数にて実験を行った。なお、本実験での Re 数の範囲は $Re=530\sim 2800$ である。

軸方向の速度分布を UVP を用いて計測した。使用した UVP monitor は MetFlow 社製の UVP model X3PSi である。超音波の基本周波数は 8MHz を用いた。超音波トランスデューサ(TDX)は容器上端部に設置し、TDX 中心軸を内円筒壁から 7mm の位置に固定した。この結果、各セルモードで軸方向平均速度分布が図 1 の様に計測され、内円筒近傍の渦構造を捕らえることができた。また、速度分布の過渡変化を調べる事により、アスペクト比の小さい Taylor Couette 渦流れにおいても、図 2 の様に準周期振動モード⁽²⁾を捕らえることができた。

文献

- (1) Y. Takeda, *et al.*, *Science*, 263 (1994), 502.
- (2) Y. Takeda, *J. Fluid Mech.*, 389 (1999), 81.
- (3) T. B. Benjamin, *Proc.R.Soc. London, Ser.A*, 359(1979), 27.
- (4) 中村・他 3 名, *機論*, 54-505, B(1989), 2425.
- (5) 大村・他 3 名, *化学工学論文集*, 23-6 (1997), 741.

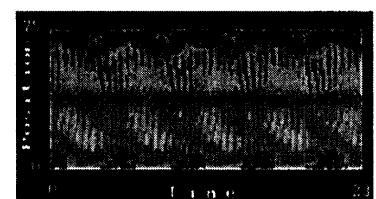


Fig. 2. Quasi-periodic state (N-2Cell Mode)