



# 岐阜大学機関リポジトリ

Gifu University Institutional Repository

## 回転円筒上のねじれ乱流境界層の動的組織構造に関する実験と数値解析

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2008-03-12 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 山下, 新太郎 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12099/678">http://hdl.handle.net/20.500.12099/678</a>

本研究は三次元壁乱流の最も基本的なモデルであり、体積力や付加歪み速度を伴う複雑乱流の一つとして、軸流中の回転円筒上に形成される、ねじれた速度分布の乱流境界層の動的組織構造を明らかにしようとするものである。三次元境界層は、一般に圧力駆動型とせん断駆動型に分類される。前者では、流れのスパン方向に加えられた圧力勾配によって流れの三次元化が引き起こされ、後者では壁面のスパン方向せん断力によって直接的に境界層にねじりが付加されるものとされている。本流れ場は、後者のせん断駆動型三次元境界層の典型である。工学的応用では、タービン、コンプレッサを始め、軸流を伴う各種の回転機械においてこの種の流れが出現し、回転体上に発達する三次元境界層の解明が、回転機械内の流れの安定性や抵抗特性、熱伝達特性等と関連して重要な課題となっている。

乱流の特性を解明するという命題に対しては、目的に応じて幾つかの研究手法が存在する。本流れ場の場合、例えばレイノルズ数、回転速度比、流れ方向圧力こう配などをパラメータとして、(1)円筒の抵抗（トルク）特性、(2)乱流の平均構造、(3)乱流の動的構造をそれぞれ明らかにするという立場がある。本研究代表者らは、1972年以来、この問題に関する研究を継続的に発展させ、表 1-1 に示す条件について乱流場を解明してきた。本研究は、これまでに行われた研究を踏まえた上で、乱流構造の特に動的組織構造を明らかにしようとするものである。

平板乱流境界層やチャンネル乱流などの基本的な壁せん断乱流については、これまでに、その組織構造（秩序運動）の詳細が実験的・数值的に明らかにされてきたが、實際上重要な三次元壁乱流や複雑乱流の組織構造の解明は、実験的にも数值的にもこれからの課題として残されている。本研究では、回転円筒上の乱流境界層の動的組織構造を明らかにするため、主として以下について研究する。

- (1) VITA 法と四象限分割法によるバースト現象、組織構造の抽出。
- (2) 多点同時計測と時空間相関による大規模構造とらせん渦構造の相互干渉の解明。
- (3) ウェーブレット解析による組織構造の抽出。
- (4) 直接数値シミュレーション（DNS）の実行と乱流構造の解明。
- (5) 固有直交分解（POD 法）による動的組織構造の固有モードの解明。

関連する研究として、国内では、回転円錐体上の流れが小浜ら（東北大学 1980～1986）、伊藤ら（名古屋工業大学 1990～1995）によって行われているが、前者は乱流遷移、後者は乱流境界層の平均構造の研究で、秩序運動に関する研究は行われていない。また、乱流モデルを用いた計算が、差動回転円筒上の流れに対して島（静岡大学 1991）によって調べられている。国外では、以前は Bissonnette *et al.* (1974), Lohmann (1976), Higuchi *et al.* (1979, 1981), Hebbar *et al.* (1985～1987) による差動回転円筒まわりの乱流境界層の実験があり、これらのデータが各種の乱流モデルを用いた計算と比較されてきた。しかし、実験は平均構造に関するものが主で、質・量とも十分ではない。以上の国内外の実験的・数値的研究は当該研究と流れ場の類似性において強い関連を持っている。

この乱流境界層の動的組織構造を実験的・数値的に明らかにすることは、平均構造の解明に継いで取り組むべき重要な課題である。この動的組織構造は結果として平均構造の変化をもたらす根元的構造であり、これを明らかにすることで、この種の複雑乱流の乱れとレイノルズ応力の発生と維持の根元的メカニズムが解明される。また、本研究成果は、乱流の学問体系の中で複雑乱流の動的組織構造に関する知見として大きく寄与するものと考えられる。また、本数値計算結果をデータベースとすることにより、例えば乱流モデル構築への取り組みに弾みがつき、回転体乱流境界層に対する信頼性の高い実用計算が可能となるのみならず、一般の三次元複雑乱流の乱流モデルに対しても有益な示唆を与えるものと考えられる。

表 1-1 本研究代表者らによってこれまでに行われた実験

Body	Velocity ratio	Reynolds number	Pressure gradient	Reference
突起付き円筒 段付き円筒 (140 mm)	0, 1, 2	50,000	$\approx 0$	古屋・中村・山下 (1976)
円筒 (140, 200 mm)	0, 0.65, 1, 1.5, 2, 2.5	80,000	$> 0$ $\approx 0$ $< 0$	古屋・中村・山下・石井 (1976)
後細まり回転円錐体 (200 - 114 / 550 mm)	0, 1, 1.5, 2	80,000	$\approx 0$	古屋・中村・山下 (1978)
後細まり回転円錐体 (200 - 114 / 550 mm)	2, 2.5, 3	40,000	$\approx 0$	中村・山下・山本 (1982)
細長円筒 (80 mm)	0, 0.5, 1, 1.5	30,000	$\approx 0$	中村・山下・渡辺 (1981)
単一突起付き円筒 (80 mm)	0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2	30,000	$\approx 0$	山下・一宮・中村 (1990)
細長円筒 (80 mm)	0, 1, 1.5	30,000	$\approx 0$	矢野・山下ほか (1996-1998)