

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)	氏名	大木 純一
学位授与の要件	学位規則第4条第1・2項該当		
論 文 題 目			
正方形断面を有する曲り管路内における高 Womersley 数脈動乱流構造に関する研究 (Pulsatile turbulent flow in a square-sectioned curved duct at high Womersley number)			
論文審査担当者			
主 査	准教授	尾形 陽一	印
審査委員	教 授	西田 恵哉	印
審査委員	教 授	遠藤 琢磨	印
審査委員	准教授	井上 修平	印
〔論文審査の要旨〕			
<p>本論文（本研究）は、曲り管路内での脈動流速場における乱流構造について論ずるものであり、工学的応用事例として自動車用エンジンの吸排気流れの様な時間変動の速い高周波（高 Womersley 数）脈動乱流構造の実験的・数値的研究を行い、曲り管内脈動乱流の新たな知見とそのメカニズムについて論じられている。</p> <p>第1章では、吸排気流れ特性についての記述と、本研究に関連する管内流れの基礎研究レビューを行っている。曲り管内の定常・脈動層流場における管路断面内の二次流れ構造等は多くの研究があるが、Swirl-switching 等の比較的大規模な乱流構造特性に関する議論は未だ不十分であり、脈動周期よりも小さい時間スケールまで考慮した乱流特有の非定常特性を踏まえた流体実験の意義を、数値計算分野の発展と関連付けて説明し、第2章以降の研究成果に繋がる。</p> <p>第2章では、曲り部や曲り通過後に生じる主流の偏流特性及び局所的逆流について議論されている。本論では二つの曲りを有する S 字形状を成した矩形流路に、4 気筒ガソリンエンジンを用いて空気の脈動流を流し、速度 2 成分を取得する時系列 Particle Image Velocimetry (PIV) を用いて管軸に水平な断面内の速度場を計測する。曲り内壁側で主流が加速され、上流側に位置する第1曲り通過後は高速域が外壁側へと対流し、高周波脈動を有する流れ場に特有の現象として、境界層剥離に起因する曲りの内壁側で生じる逆流が示された。これは管軸方向の圧力勾配と脈動起因の圧力勾配に起因し、速度場に対する Proper Orthogonal Decomposition (POD) 解析から逆流を表すモード構造の非定常性が明らかにされている。</p> <p>第3章では、第2章と同様の実験条件下で、エンジンと位相が同期されたステレオ PIV を用いて平均的な二次流れ構造を論じている。上流側の第1曲り通過後は、二次流れとして最も基本的な Dean 渦に近い構造が観察されるが、第2曲り通過後は Dean 渦と逆回転の Lyne 渦が</p>			

発生することが明らかにされた。また、実験と同条件で乱流モデルを用いた数値シミュレーションで二次流れの考察を行い、遠心力及び圧力勾配分布から曲り内壁方向の二次流れ生成機構の議論を行い、第2曲り上流側の主流の偏流に起因することが明らかにされた。

第4章では二次流れの非定常性に着目し、定常乱流条件では既往研究で示されてきた Dean 渦の振動現象 (Swirl-switching) の議論がなされている。本論著者が作成した脈動流発生装置を用いて理想的な正弦波に近い脈動波形の流入条件を実現し、管路断面内の速度場を時系列ステレオ PIV で計測する。面内の速度 2 成分データに対する POD 解析から、モード 0 の Dean 渦と併せて、脈動乱流下で Swirl-switching を形成するモード 1 の断面全体を占める渦構造を初めて示した。Dean 渦とスワール構造それぞれに対応する時間依存の POD 係数と、バルク速度の時間波形を比較し、脈動流では Dean 渦強度の時間変化とバルク速度時間変化の波形には類似性があるが、曲り部からの二次流れ対流時間スケールの時間差が生じることが示された。また、曲り前の主流方向変動速度と曲り後の管路断面内変動速度に対してスペクトル POD を行い、ある特定の時間スケール (Strouhal 数 : $St = 0.38$) を有する Swirl-switching の存在を表すスワール構造が曲り後では抽出されるが、曲り前では様々なスケールを有する構造が連続的に分布することから、Swirl-switching が曲り前の大規模構造に由来するものではなく、曲り自身に起因する乱流変動であることが解明された。

第5章では本研究の総括と、今後の展望が述べられている。また、付録で実験、解析方法の詳細な理論・説明がなされている。

以上、審査の結果、本論文の著者は博士 (工学) の学位を授与される十分な資格があるものと認められる。

備考 : 審査の要旨は、1,500 字以内とする。