

壁乱流における大規模組織構造と凍結乱流仮説の数値的研究

山梨大学工学部 山本義暢
 名古屋大学工学研究科 辻 義之
 名古屋大学情報基盤センター 石井克哉
 地球水循環研究センター 坪木和久

壁面に沿って発達する流れ（乱流境界層）には、様々な長さスケールを有する渦構造（組織的構造）が存在することが古くから知られ、境界層中の乱れエネルギーの生成や散逸に重要な役割をはたしている。近年、直接数値計算（DNS）の結果から、スパン方向へ時空間的に揺らぎながら、流れ方向へ 20δ （ δ は境界層厚さ）程度の大きさをもつ構造が対数領域から粘性低層に存在することが、豪州の研究グループにより報告されている。このようなスパン方向への運動を含み、流れ方向へ大きなスケールを持つ構造は、従来の組織構造の概念を超えるもので **Super Structure**(SS と略記する)と名付けられた。SS は乱流境界層中の平均速度プロファイルのみならず、運動量やエネルギーの輸送にも大きな影響を与えることが予想される。

高レイノルズ数乱流実験と数値計算を同一体系で比較検討するための手法開発として、チャンネル乱流場 ($Re_\tau=1000$) を対象として、高精度乱流計測法、オイルフィルム法による底面せん断応力測定法、ならびに MPI 及び OpenMP によるハイブリッド並列化した直接数値計算手法の開発を実施し、その精度に関する比較検討を行った。その結果、平均速度、変動 rms 値の空間分布はよく一致することを確認した。PMS 形状を比較したが、両者の一致は芳しくなかった。その原因は凍結乱流仮説の妥当性、**Super Structure** の影響、プローブ分解能の影響が考えられるが、個々の要因の定量的評価はできていない。DNS データに関して、時間統計量を計算するには十分とは言えなかった。従って、より計算領域を大きくし、かつ長時間のデータの取得が必要であることがわかった。

そして室内実験等で指摘されている外層の高レイノルズ数効果を検討するには、 $Re_\tau=1000$ のレイノルズ数は、まだ小さい値であり、より高いレイノルズ数の計算に取り組む必要性を確認した。また、実験的手法として、圧力プローブの小型化による精度の向上、バックグラウンドノイズの除去方法を確立した。乱流境界層中で静圧変動を計測したのは、申請者らの研究が最初であった。実験データの信頼性を確認するため、数値計算との比較が必須であった。そこで本プロジェクトの協力を得て、直接数計算においては、主流方向の計算領域を大幅に拡大 ($L_x=12.8h \rightarrow 51.2h$, h :チャンネル半値幅) 及び圧力情報を抽出できるように改良した DNS コードを用い、世界最大級の大規模計算を実行し、空間情報：2916x1032x1024、時間情報：1280 点から構成される、速度・圧力・温度の 4 次元データベースの構築（総データ量：140TB）を行った。

しかし、計算規模・データ規模の拡大に加え、100T 超のデータベースとなったことから、時空間相関解析ならびに可視化解析において、さまざまな支障があることが判明し、計算科学・大規模可視化に関する研究者を含めた新たな研究体制の構築が不可欠であることがわかった。

従って、今後は計算科学・大規模可視化の研究者との協力体制を築き、実験結果及び大規模データベースを用いて、組織構造の抽出を介して、エネルギー輸送、壁面でのせん断応力の瞬時変動との関連を調べていく予定である。また大規模構造が壁との相互作用の過程で、どのように大きなせん断応力を発生するのかを、大規模構造自体を制御する観点から調査する。

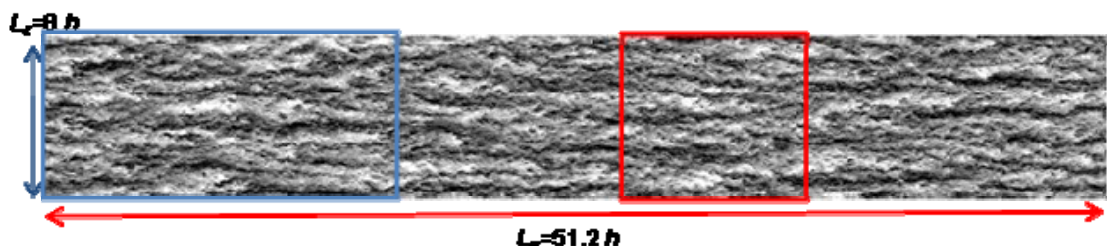


図1 高レイノルズ数における大規模構造及び凍結乱流場の仮定を用いて再現された大規模構造