

Drag Reduction Effect by Traveling
Wave-Like Wall Deformation in
Turbulent Channel Flow

February 2022

Yusuke NABAE

報告番号	㊦ 乙 第	号	氏 名	難波江 佑介
主 論 文 題 名 : Drag Reduction Effect by Traveling Wave-Like Wall Deformation in Turbulent Channel Flow (チャネル乱流における進行波状壁面変形による抵抗低減効果)				
(内容の要旨) 持続可能な社会に必要なエネルギーの効率的な利用のため、流体の流れに伴う摩擦抵抗低減のための流れの制御手法の確立は重要である．本論文では、直接数値シミュレーション(DNS)を用いて、壁面変形による 2 種類の主流方向進行波(スパン方向に一樣な進行波、およびウェーブマシン状進行波)の制御効果を、様々なレイノルズ数における十分発達したチャネル乱流において調査した． スパン方向に一樣な進行波では、レイノルズせん断応力(RSS)の乱流成分の減少だけでなく RSS の周期成分による寄与が、バルク速度を増加させる、つまり抵抗を低減させる方向に働いた．DNS の結果により得られたスケーリングに基づいて、抵抗低減率の予測を行うための平均流速分布に対する半経験式の提案を行った．この半経験式による予測の結果、実現象に匹敵する高レイノルズ数 $Re_{\tau} \sim 10^5 - 10^6$ においても 20%–25%の抵抗低減率が期待できることが示唆された． ウェーブマシン状進行波では、RSS の乱流成分の大幅な減少が確認された一方、ウェーブマシン状の壁面による主流方向に沿った大規模構造によって、一樣な進行波の場合では見られなかった正の RSS の周期成分が対数則領域に生成された．これらによって、一樣な進行波の場合よりも、ウェーブマシン状進行波の場合の方が抵抗低減効果が小さくなったと考えられる． より高い抵抗低減効果を得るために、確率過程に基づくベイズ最適化を用いて、スパン方向に一樣な進行波の制御パラメータの最適化を行った．最適化の結果、従来のパラメトリックスタディの結果よりもはるかに高い 60.5%の抵抗低減を達成した．これらの結果は、パラメータを微調整することにより進行波状壁面変形制御の乱流摩擦抵抗低減効果が大幅に向上する可能性を示している．				

Thesis Abstract

No. _____

Registration Number	☒ “KOU” ☐ “OTSU” No. _____ *Office use only	Name	Yusuke Nabae
Thesis Title Drag Reduction Effect by Traveling Wave-Like Wall Deformation in Turbulent Channel Flow			
Thesis Summary For more efficient use of energy which is essential to our sustainable society, it is of great importance to establish flow control methods for reducing friction drag accompanied by fluid flows. In this thesis, the control effect of two different waveforms of the streamwise traveling wave created by wall deformation (i.e., spanwise-uniform and wave-machine-like traveling waves) in a fully developed turbulent channel flow at different friction Reynolds numbers is investigated by means of direct numerical simulation (DNS). In the case of the spanwise uniform traveling wave, not only decrease of the turbulent Reynolds shear stress (RSS) but also the contribution from the periodic RSS increase the bulk-mean velocity, i.e., the drag reduction effect. Based on the scaling obtained from the DNS results, a semi-empirical formula for the mean velocity profile is proposed to predict the drag reduction rate. This formula predicts about 20%—25% drag reduction rate even at practically high Reynolds numbers, $Re_{\tau} \sim 10^5 - 10^6$. In the case of the wave-machine-like traveling wave, significant decrease of the turbulent RSS is confirmed, while the streamwise large-scale structures due to the wave-machine-like wall motion generates the positive periodic RSS in the logarithmic region, which is not present in the case of the uniform traveling wave. Therefore, the drag reduction effect in the wave-machine case is smaller than that in the uniform case. To achieve higher drag reduction, the control parameters of the spanwise-uniform traveling wave are optimized using the Bayesian optimization. As a results, 60.5% drag reduction rate is achieved, which is significantly higher than that obtained by the parametric study, i.e., 36.1%, which demonstrates the possibility of drastic improvement of drag reduction effect by a fine tuning of parameters.			