

円管内脈動乱流の摩擦抵抗低減に関する実験的研究

Experimental Study of Drag Reduction by Pulsating Turbulent Pipe Flow

○ 相馬顕子, 農工大院, 東京都小金井市中町 2-24-16, 50007643216@st.tuat.ac.jp:

岩本薫, 農工大院, 東京都小金井市中町 2-24-16, iwamotok@cc.tuat.ac.jp:

村田章, 農工大院, 東京都小金井市中町 2-24-16, murata@mmlab.mech.tuat.ac.jp:

望月貞成, 農工大院, 東京都小金井市中町 2-24-16, motizuki@cc.tuat.ac.jp:

Akiko SOUMA, Tokyo University of Agriculture and Technology, Koganei, Tokyo 184-8588, Japan

Kaoru IWAMOTO, Tokyo University of Agriculture and Technology, Koganei, Tokyo 184-8588, Japan

Akira MURATA, Tokyo University of Agriculture and Technology, Koganei, Tokyo 184-8588, Japan

Sadanari MOCHIZUKI, Tokyo University of Agriculture and Technology, Koganei, Tokyo 184-8588, Japan

Drag reduction phenomenon of pulsating turbulent pipe flow is experimentally examined. The rotating speed of a centrifugal pump was periodically changed for generating the pulsating flow. The time-averaged friction Reynolds number is set to be 110 for comparison with the previous data of direct numerical simulation (DNS). It is found that the drag reduction and the energy saving rates are increased with increasing the mean pressure gradient in the acceleration phase and that an optimal value of the pulsating period exists. The overall trend is qualitatively similar to that of the previous DNS data. The maximum drag reduction and the energy saving rates are respectively 33% and 22% when the time period normalized by the friction velocity and the radius is 10.6 and the mean pressure gradient in the acceleration phase is 4.1 times as large as the cycle-averaged mean pressure gradient.

1. 緒言

近年, パイプライン輸送等の省エネルギー化を目的として, 輸送時の乱流摩擦抵抗低減が求められている. その手段の一つとして, 脈動流を用いた再層流化現象による抵抗低減技術が注目されている. 佐々布ら⁽¹⁾は直接数値計算 (DNS) を用いて平行平板間脈動乱流における摩擦抵抗低減とポンプ動力の低減効果を確認した. 一方, 実験においては, 脈動流による抵抗低減効果は確認されたが⁽²⁾, 再層流化による摩擦抵抗とポンプ動力の大幅な低減効果は確認されていない.

本研究では, 周期的に変化する流れ場を実験的に作成し, 脈動流による摩擦抵抗とポンプ動力低減効果を確認する.

2. 実験装置及び実験結果

実験装置を Fig. 1 に示す. テストセクションの寸法は呼び径 $d=20.1\text{mm}$, 長さ $l=2\text{m}$ とし, 水平に設置した. 作動流体には水を用いた. 流路内に遠心ポンプを設け駆動させた. 流れ場の評価には代表速度を摩擦速度 $u_\tau [\text{m/s}]$, 代表長さをテストセクションの半径 $r [\text{m}]$ とする摩擦レイノルズ数 $\text{Re}_\tau [-]$ を使用し, 本実験では $\text{Re}_\tau=110$ と固定した. 加速期で平均した圧力勾配 α^{**} は, 一周期平均した圧力勾配 $[dp^*/dx^*]_T$ の 2-6 倍である. 脈動周期 T^* は 0-29.2 の間で変化させた. ここで, $[\]_T$ は一周期平均を, $(*)$ は摩擦速度 u_τ とテストセクションの半径 r で無次元化したことを, $(**)$ は一周期平均をした圧力勾配 $[dp^*/dx^*]_T$ で無次元化したことを表す.

壁面摩擦抵抗低減率 $R_D [\%]$ とエネルギー低減率 $R_W [\%]$ を評価した. 一周期平均をした壁面摩擦係数と壁面摩擦抵抗低減率は次式で定義される.

$$[C_f]_T = \frac{[\tau_w]_T}{\frac{1}{2}\rho[u_b]_T^2} = \frac{[\Delta P]_T}{l} \times \frac{d}{2} / \left(\frac{1}{2}\rho[u_b]_T^2 \right) \quad (1)$$

$$R_D = \frac{C_{f, \text{Blasius}} - [C_f]_T}{C_{f, \text{Blasius}}} \times 100 \quad (2)$$

ここで $\Delta P [\text{Pa}]$ は差圧, $\rho [\text{kg/m}^3]$ は作動流体の密度, $\tau_w [\text{Pa}]$ は壁面せん断応力をそれぞれ表す. (Blasius) は Blasius の式を用いて算出した定常乱流における値である.

Fig. 2 に加速期における平均圧力勾配 α^{**} と, 脈動周期 T^* によ

る摩擦抵抗低減率 R_D の等高線を示す. ほとんどの実験条件において摩擦抵抗低減効果が確認された. 最大の抵抗低減, ポンプ動力低減効果が得られた条件は脈動周期 $T^*=10.6$, 加速期間の平均圧力勾配 $\alpha^{**}=4.1$ である. このとき, 定常乱流と比較して 33% の摩擦抵抗低減効果, 22% のポンプ動力低減効果が得られた.

参考文献

(1) 佐々布, 岩本, 河村, 脈動制御によるチャネル乱流の層流化における抵抗低減効果, 第 21 回数値流体シンポジウム講演論文集 (2007), p213-218.

(2) 高見, 丸山, 宮永, 大崎, 脈動管乱流の壁面抵抗と動力収支, 日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集 (2005), p.125.

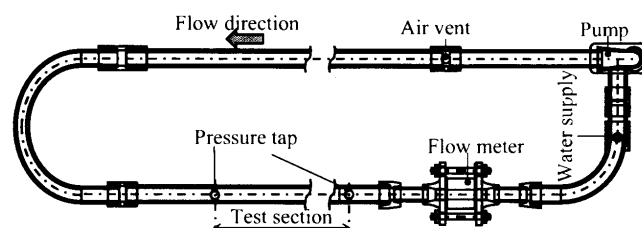


Fig. 1 Schematic of top view of experimental device.

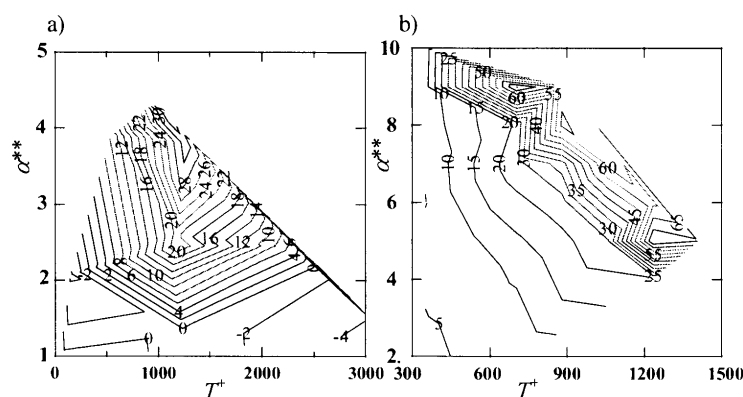


Fig. 2 Dependence of drag reduction rate upon the mean pressure gradient in the acceleration period and the pulsating period at $\text{Re}_\tau=110$; left) Experimental Result, right) Result from DNS⁽¹⁾.