

# ハイドロゲル壁面上の流れ

望月 修（東洋大工）

## Flow along a Hydro-Gel Wall

O. Mochizuki\*

\*Department of System Robotics, Toyo University

### ABSTRACT

The purpose of this study is to verify the possibility of friction-drag reduction of a flow along a polymer substance. The velocity profiles of a flow along an inclined agar with different water contents wall were measured by a PIV method. The velocity profiles on the agar were compared with the exact solution of the thin flow driven by the gravity along an inclined wall. The slip velocity was observed for the velocity profiles of flow on the agar. The wall shear stress decreases with increasing the rate of water contents of the agar. The results show the friction drag of water flow reduces in the case of the hydro-gel wall.

*Key Words:* Slip flow, Polymer substance, Hydro-gel, PIV measurement, Velocity profile

### 1. はじめに

壁面素材が流れにどのような影響するのか？例えばタイトルの Hydro-Gel では、成分のほとんどが水である。この壁面上を水が流れた場合、境界層速度分布はどのような様になるのか？ということ明らかにしたいというのが本研究の目的である。また、壁面粗さ要素が乱流境界層の速度分布一すなわち壁面摩擦係数に影響するように、ゲル表面上の糖鎖（髭状の突起）が層流速度分布に影響することはないのか？ということも興味の対象である。一言で言えば、「ゲル表面に流体の流動摩擦抵抗低減効果はあるのか？」ということである。生物の表面、特に水棲生物体表面はゲル状物質ムチン（糖タンパク質）で覆われている。いわゆる「ぬめり」のある高分子である。水棲生物は、この高分子物質によって抵抗低減の効果を得ていると考えられている<sup>(1)</sup>。

流体における抵抗低減に関しては、壁面のリプレット加工や、流体への高分子物質、界面活性剤、微細繊維などの添加による抵抗低減など、多くの研究が行われている<sup>(2)(3)</sup>。これらの研究では、壁面における流体分子と壁面分子の干渉は考えられていないが、壁面分子構造との組み合わせによっては、壁面上で流れの滑りが発生し、抵抗低減の効果が期待できるという報告がある<sup>(4)</sup>。

本研究では、ゲル上での流れにおける抵抗低減の可能性を探ることを目的とする。

### 2. 実験方法及び装置

**2.1 壁面摩擦の評価** 壁面におけるせん断摩擦力  $\tau_0$  は下式で表され、摩擦力は流体の粘性係数  $\mu$  と速度勾配に比例する。

$$\tau_0 = \mu \left. \frac{du}{dy} \right|_y \quad (1)$$

傾斜平面に沿う液膜の流れの速度  $u$  は次式であらわされる。

$$u = \frac{\rho g \delta^2 \sin \theta}{2\mu} \left\{ 2 \left( \frac{y}{\delta} \right) - \left( \frac{y}{\delta} \right)^2 \right\} + u_s \quad (2)$$

速度分布 ( $u_s=0$  の場合) に Fig.1 に示すように、自由表面で最大流速となるような放物線分布となる。ここに、 $\rho$  は流体の密度、 $g$  は重力加速度、 $\mu$  は流体の粘性係数、 $\delta$  は液膜厚さ、 $u_s$  は壁面上での滑り速度、 $y$  は液膜内の流路底面からの壁面に垂直方向の距離である。

流量を一定とし、滑りが発生した場合における速度分布を式(2)に基づいて描いたものを Fig.1 に示す。速度分布は、滑り速度  $u_s$  が大きくなるにつれて、最大速度が減少し、壁面における速度勾配も小さくなる。

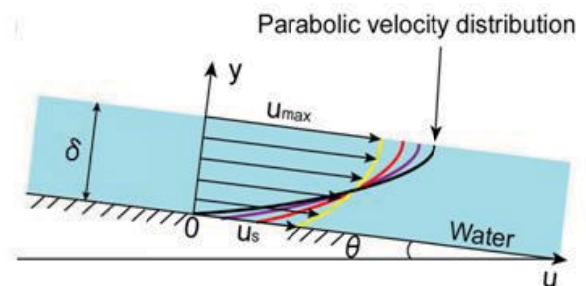


Fig.1 Symbols at velocity distributions for film flow.

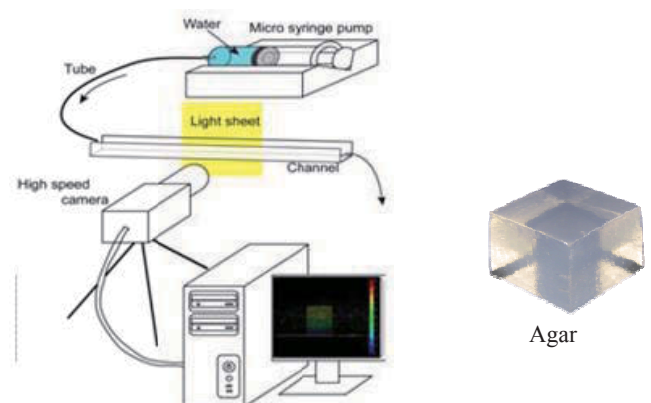


Fig.2 Experimental setup and Agar.

**2.2 実験方法** 実験装置の概略図を Fig. 2 に示す。長さ 300mm・幅 10mm・高さ 7mm のアクリル製流路を用いた。流路を勾配  $\theta \approx 0.3^\circ$  に傾け、流路内の水が傾斜に沿って流れるように設置した。この流路の底面に、食用寒天で作製したゲル層 (Fig. 2) を敷いた。トレーサー粒子 (KANOMAX 社製の ORGASAL 粒子径 48~52  $\mu\text{m}$ ) を混合した純水を流し、壁面からの膜厚が一定となる場所を選び、流路側面から流れの様子を撮影した。ゲル層のある流路とアクリル流路内の速度分布をそれぞれ計測し、流路底面に作用する壁面摩擦を評価し比較をする。撮影には PHOTRON 社製 FASTCAM-MAX の高速度カメラを使用し、撮影速度を 500FPS に設定した。レンズの倍率は 100 倍に固定した。水の送液には、一定流量を設定できる KD scientific 社製のマイクロシリンジポンプを使用した。本実験での流量は 13ml/min に設定した。光源にはメタルハライドランプを使用し、厚さ 2mm のシート光を流路底から水面へ向かうように流路の下に設置した。実験により得られた映像から、PTV 計測を用いて速度分布を計測し、比較を行った。

### 3. 実験結果及び考察

PIV 計測に用いた流れの可視化結果の一例を Fig. 3 に示す。速度分布は計測面内でのアンサンブル平均を取って求めた。アクリル流路における速度分布を Fig. 4 に示す。計測値は理論値と一致している。本実験の器具による速度分布の計測精度が良いことを示す。寒天を敷いた流路内における速度分布を理論値と比較したグラフを Fig. 5 に示す。壁面から計測点までの距離を液膜厚さで無次元化し、横軸は計測した流速を Fig. 1 の分布と比較するために実測値で示してある。ゲルの水の含有量 (縦軸は  $S$  で示す) が異なると速度分布に違いが現れることがわかる。流量が一定であるのでスリップ速度があると最大流速が減少することがわかる。寒天上の速度勾配の平均と式 (1) (2) から求められる速度勾配を Fig. 6 に示す。ゲル上の流れではゲルの含水量が多くなると摩擦抵抗が小さくなる。言い換えればゲル壁面上ではスリップすることがわかる。

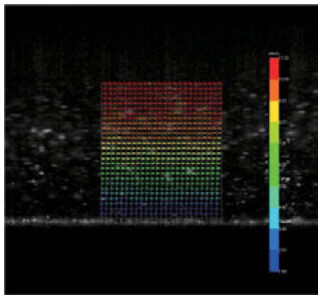


Fig.3 Flow visualization for PIV measurement.

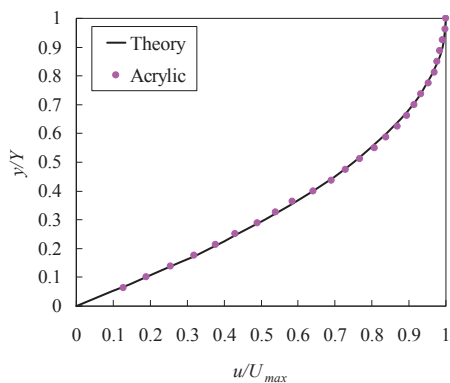


Fig.4 Velocity distribution on surface of Acrylic compared with theoretical distribution.

### 4. おわりに

寒天表面に純水を流し速度分布を PIV 計測した。含水量の異なる寒天表面上ではスリップ速度が観測され、その大きさは含水量が多いほど大きくなることがわかった。壁面せん断応力の見積もりから、寒天上の流れでは摩擦抵抗が低減することがわかった。

### 参考文献

- 1) S.C.Ling and T.Y.Ling, Anomalous drag-reducing phenomenon at a water / fish-mucus or polymer interface, J. Fluid Mech, vol.65, part 3, 499-512 (1974)
- 2) 社団法人 日本機械学会 “流体の抵抗減少効果” P-SC329 研究分科会 成果報告書 (2004)
- 3) A.Gyr and H.-W. Bewersdorff, Drag reduction of turbulent flow by additives, Kluwer Academic Publishers, (1995)
- 4) 鳥居大地 (東北大院)、小原拓 (東北大) “固体壁面間でせん断を受ける極薄液膜の分子動力学的研究” 日本機械学会論文集B編 Vol.71 No.710 Page.2507-2514(2005.10.25)

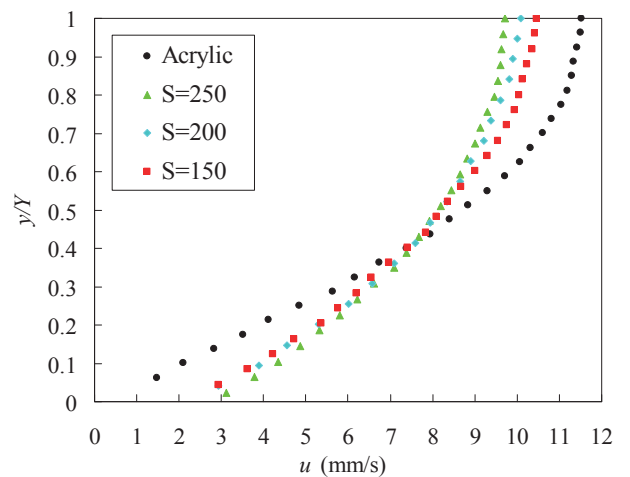


Fig.5 Velocity distribution on surface of Agar with different water contents.

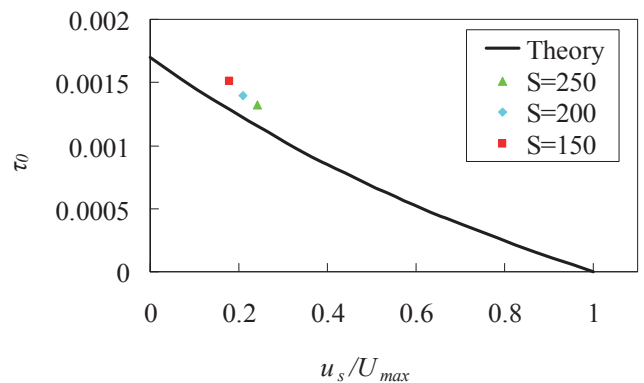


Fig. 6 Wall shear stress versus slip velocity.