

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：12614

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25820033

研究課題名(和文)液体架橋に由来する摩擦力における接触線のピン止め効果

研究課題名(英文)Effect of pinning of contact line on sliding friction by liquid bridge

研究代表者

田中 健太郎(TANAKA, Kentaro)

東京海洋大学・海洋科学技術研究科・准教授

研究者番号：60359693

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：液体架橋による摩擦抵抗における接触線のピン止め効果を明らかにすべく、架橋変形の様子を撮影可能な二面間摩擦測定装置を開発した。撮影動画から接触線(架橋濡れ面)の移動を追跡する技術を開発した。上下面共に表面粗さが大きく接触線の移動が制限される(ピン止めされる)場合には、架橋が変形し摩擦抵抗が大きくなる。また駆動面側の表面粗さは慣性による界面すべり発生のためピン止め効果が小さい。架橋による摩擦抵抗には非駆動面の表面粗さの寄与がより大きいことを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We focused on a pinning effect of contact line on sliding friction by liquid bridge. A force during sheared process of a liquid bridge between parallel plates was measured. Behavior of contact lines was also observed.

Combination of rougher surfaces results in larger pinning effect and larger sliding friction. We also found that slippage at liquid-solid interface is initiated by inertial effect. Roughness on the non-driving plate has larger effect on sliding force.

研究分野：トライボロジー

キーワード：トライボロジー 表面・界面張力 濡れ

1. 研究開始当初の背景

二固体面間に液体架橋が介在する場合、二面を滑り運動させるためには、固体接触による摩擦抵抗に加えて、架橋が変形することによる抵抗を超える力を加える必要がある。通常、この液体架橋の変形による抵抗は非常に小さく無視できることが多いが、系の大きさが小さくなると相対的に影響が大きくなる。古くはスキー板と雪面の摩擦における水分の影響として研究された。最近ではハードディスク記憶装置のヘッドとディスク間で、ディスク表面に塗布された潤滑膜がヘッドとの間につくる液体架橋による抵抗がヘッドの走行安定に及ぼす影響が議論されている。

2. 研究の目的

液体架橋による抵抗は、主に架橋の変形による気液界面のエネルギー変化と、接触線（架橋の濡れ面）の移動による固気・固液の界面エネルギー変化によると考えられる。しかし単純な界面エネルギーの計算だけでは、実験事実を説明することができない。表面粗さや局所的な欠陥などの効果を明らかにする必要がある。そこで本研究では、精度よく摩擦抵抗を測定し、気液・固気・固液界面の変形を画像処理により解析できる実験系を構築した。特に表面粗さが液体架橋による摩擦抵抗に与える影響を明らかにすることにした。

3. 研究の方法

二固体面間に液体架橋を形成する。一定の間隔を保持しつつ下面を水平駆動して架橋をせん断する。上面を支える平行板バネのたわみを測定して摩擦抵抗を精密に算出する。またこの際の架橋の変形の様子を撮影できる実験系を構築した (図1)。

4. 研究成果

液体架橋変形の様子を撮影した動画から、特徴点抽出の技術を用いて接触線の移動を追跡する技術を開発した。図2は実験により得られた画像の一例である。10 μ lの蒸留水による液体架橋をガラス面間に形成し、下面を20 μ m/sの速度で駆動してせん断している。緑色の小さな点で示しているのが固液・固気・気液界面が一同に会する接触線で、せん

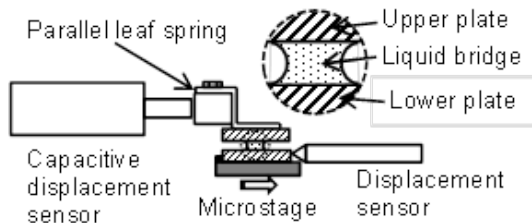


図1 実験装置概略

断に伴い移動している。矢印は接触線の初期位置である。図3はこの際の典型的な摩擦力変化と接触線の移動を示す。接触線の移動における“LR”等の記号は例えば Lower-Right の略で右下に位置する接触線の意味である。せん断開始直後の接触線がそれぞれ平板の運動に追従している間、つまり界面でのすべりが生じていない間は、摩擦力が下面の移動に比例して増加する。しばらくすると界面すべりが生じるとともに、摩擦の増加が鈍化し、最終的にはほぼ一定値で推移する。

幾つかの表面粗さの組合せで実験を行った結果を図4に示す。表面粗さは滑らかな表面で算術平均粗さが3nm程度、粗い表面で60nm程度である。予想通り表面粗さが大きい平板の組合せでは摩擦抵抗が大きくなる事が確認された。一方で、表面粗さの異なる(粗いと滑らか)平板の組合せの場合には、

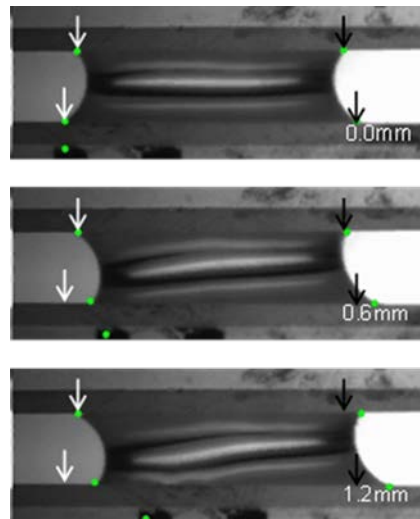


図2 液体架橋のせん断変形と接触線の追跡

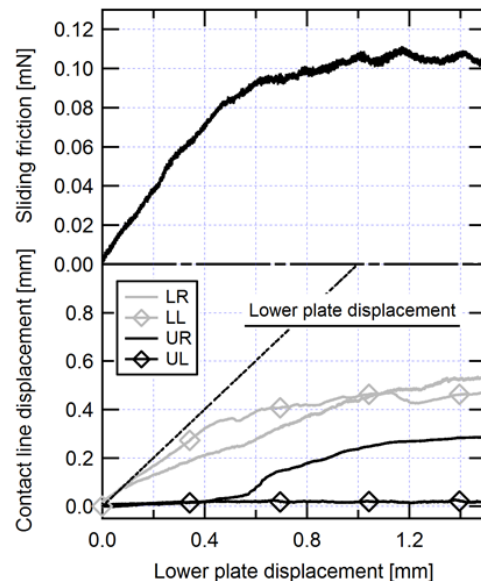


図3 摩擦力の変化と接触線位置の移動

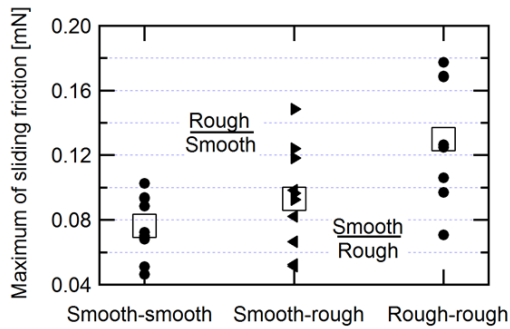


図4 最大摩擦抵抗と表面粗さの組合せ

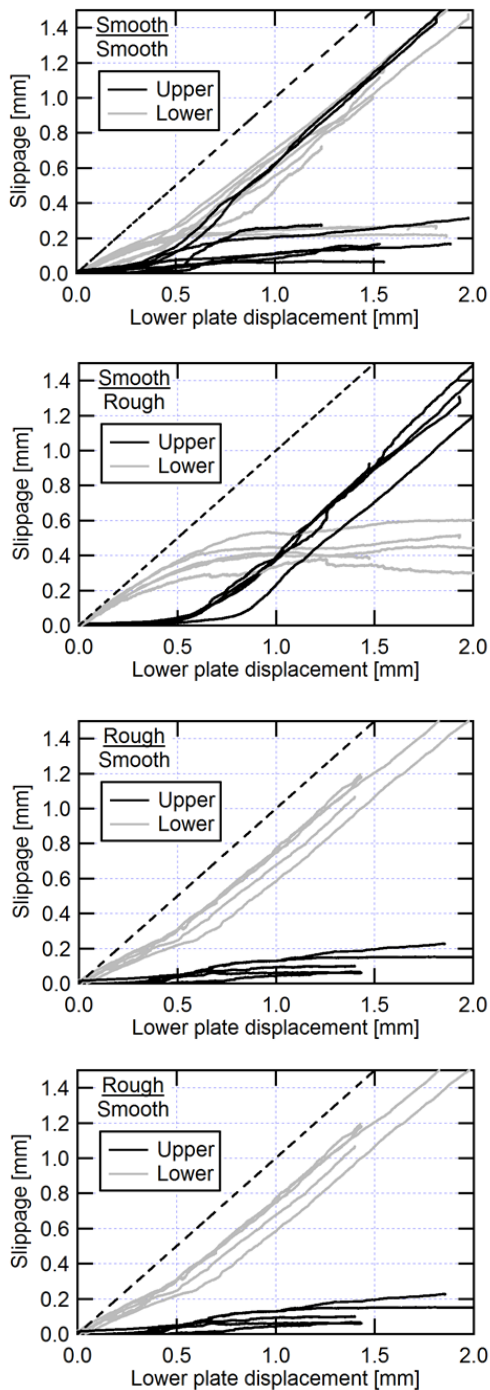


図5 界面すべりの推移

上下どちらの表面が粗いかによって摩擦抵抗の大小が異なるという結果が得られた。上面滑らかで下面が粗い場合には、両面共に滑らかな場合の実験結果に近い値を示し、上面が粗く下面が滑らかな場合には、両面共に粗い場合の実験結果に近い。

図5は、接触線の移動(例、図3下)から算出した上下固液界面でのすべり量を示す。例えば上から2番目の図は上面滑らか、下面粗いの組合せで行った実験5回分の結果である。界面すべり量ははじめ下面(灰色線)で大きくなり、その後、水平移動距離が0.5mmを超えたあたりから下面でのすべり量増加が止まる一方で、上面でのすべり量が(黒色線)が大きくなる。これは界面すべりの発生位置が下面から上面に移行したことを意味する。すべり量の大小に多少のバラツキはあるが、5回分全てで同様の傾向を示す。上面粗いと下面滑らかな場合と、両面共に粗い場合は常に下面での界面すべりが支配的で、移行は起きない。両面滑らかな場合には、移行が起きる場合と起きない場合が混在している。またいずれの実験条件の場合にも下面での界面すべりがはじめに大きくなるのが分かる。

これらの結果から、上下面での表面粗さの違いが界面すべりの発生位置を区別し、このことが摩擦抵抗の大小に影響すると判断した。今回の研究の範囲では、界面すべり位置が上下面で移行しない場合に摩擦抵抗が大きくなる。また、初期界面すべりが常に下面で生じることから、水平駆動を下面で行っていることによる慣性効果が影響していると考えられる。表面粗さによるピン止め効果では慣性による界面すべり発生を抑制できない。言い換えると液体架橋による摩擦抵抗には非駆動面の表面粗さの寄与がより大きい。

これらの成果は、運動条件や材料の選択だけではなく、駆動・非駆動面での表面粗さの選択により摩擦が制御できる可能性を示している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 4 件)

① Kentaro Tanaka, Katsumi Iwamoto, Slippage at Liquid Solid Interface of Sheared Liquid Bridge, International Tribology Conference 2015, 2015. 9. 16-20, 東京都葛飾区 (発表確定)

② Kentaro Tanaka, Katsumi Iwamoto, Sliding Friction by a Liquid Meniscus Bridge, The 5th Advanced Forum on Tribology (日中先端トライボロジーフォー

ラム) , 2014. 4. 14, 静岡県富士市 (招待講演)

③ 田中健太郎, 岩本勝美, 平行平板間の液体架橋によるすべり摩擦 -接触線のピン止めと架橋の変形-, トライボロジー会議, 2013. 10. 25, 福岡県福岡市

④ Kentaro Tanaka, Katsumi Iwamoto, Sliding Friction by a Liquid Meniscus Bridge between Parallel Plates, 40th Leeds-Lyon Symposium, 2013. 9. 4, Lyon (France)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 健太郎 (TANAKA Kentaro)

東京海洋大学・海洋科学技術研究科・准教授

研究者番号: 60359693