

Ⅲ－21 共焦点レーザー走査蛍光顕微鏡による粘土の残留状態せん断面観察

岩 手 大 学 学 生 会 員 ○奥 田 剛 史
 岩 手 大 学 正 会 員 大 河 原 正 文
 北海道大学大学院 フェロー 三 田 地 利 之

1. はじめに

共焦点レーザー走査蛍光顕微鏡は、レーザーを利用することで従来の光学顕微鏡にはない深さ方向の分解能をもつ光学顕微鏡で、任意の深さにおける平面・断層像を観察することが可能である。共焦点レーザー顕微鏡を用いることによりせん断面を断面方向から直接観察することができる。従来のせん断面の観察は、せん断面を剥がして大気中にさらされた状態で観察したり、軟X線写真撮影することで構造をみるなど、いずれも試料が乾燥する（電子顕微鏡では乾燥試料でなければ観察できなかった）、X線写真の解像度から大まかな構造を確認するにとどまるなどの問題があった。そこで、本研究では共焦点レーザー走査蛍光顕微鏡を用いて、せん断面に対して垂直方向からレーザーを照射し、せん断面とくに接触部付近の構造について検討した。くわえて、垂直応力により接触部がどのような変化をみせるのかについても検討した。せん断面の構造は、微小変位領域から大変位に至る過程で様相が異なる。本研究では、巨視的には平滑な二表面間の摩擦現象であると考えられている残留状態でのせん断面を対象にした。平滑な面である方が接触部を確認しやすいと考えたからである。

2. 共焦点レーザー走査蛍光顕微鏡

共焦点レーザー走査蛍光顕微鏡は Bio-Rad MRC-1024 を使用した（写真1）。共焦点レーザー走査蛍光顕微鏡は、細く絞り込んだレーザー光を走査しながら試料に当て、そこから出る蛍光の強度をモニターすることによって画像を得る装置である。ピンホール（図1）と呼ばれる小さな穴を通った焦点面からの光だけを計測するため、上下方向からの不要光を含むことがなく、従来の光学顕微鏡に比べ解像度が約1.4倍向上し、鮮明な画像化を期待できる。また、厚い試料でも任意の深さにおける蛍光断層像を鮮明に観察することができるため断層像を得ることができる。

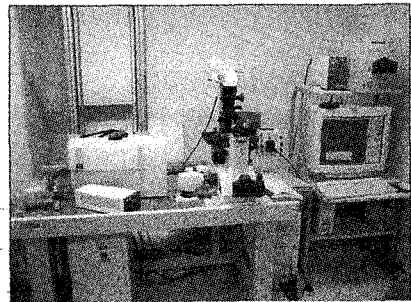


写真1 共焦点レーザー走査蛍光顕微鏡

3. 実験方法

実験には市販の NSF 粘土を用いた。共焦点レーザー走査蛍光顕微鏡特有の蛍光色を取得・画像化しやすいよう、粉末状の NSF 粘土に練り混ぜ段階で緑色蛍光塗料（プラチナカートリッジインク）を加えて染色した。その後、円筒形の型に流し込み予圧密を行い、一面せん断試験装置にて供試体をせん断した。試験後の供試体を加圧試験機（図2）に合うサイズに切り取り、せん断面を下にしてセットした。せん断面をスライドガラスに接触させて接触面にレーザーを照射した。また、試料と接するスライドガラスには、垂直応力を加えた際ガラス自体のたわみを少なくさせるために強化ガラスを用いた。垂直応力は図1に示す加圧試験機を用いておもりで載荷した。垂直応力は $\sigma = 0 \text{ kPa}$, 24.0 kPa , 47.7 kPa , 98.4 kPa である。

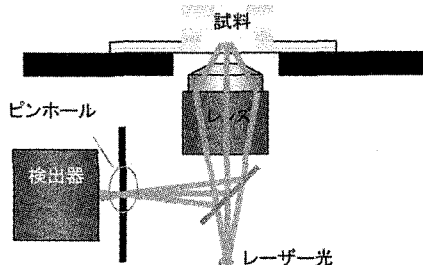


図1 共焦点レーザー走査蛍光顕微鏡モデル

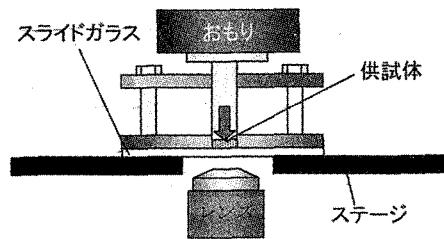


図2 加圧試験機モデル

4. 実験結果

写真2、3に共焦点レーザー走査蛍光顕微鏡から得られたせん断面とスライドガラスの接触部付近の画像を示す。

写真2はせん断面の平面像(写真a)とAB線の断面像(写真b)である。AB線上やや左側の丸みがあった黒色部分がちょうど断面像の白色部が欠けているところに位置する。これより黒色の部分が空隙であることがわかる。つまり、せん断面平面像の黒色域は非接触域である。

写真3は、加圧試験機により垂直応力を载荷したときのせん断面とスライドガラスとの接触部の平面像である。垂直応力を $\sigma_v = 0 \text{ kPa}$, 24.0 kPa , 47.7 kPa , 98.4 kPa と段階的に増加させるのに伴い、全体的に白色が増している様子が認められる。

また、共焦点レーザー走査蛍光顕微鏡の生画像は黒から白へのグラデーションで表示されるため灰色系の中間色が存在する。接触部分の面積率を算出するにあたり灰色部分を接触部分とすか非接触とすかそのままでは判断が難しいため、生画像を全て同じしきい値で白と黒に二値化して総面積における白色域の占める割合を算出した(表1)。表より、垂直応力の増加に伴って白色域の面積率が増加していることがわかる。白色域の面積増加は、粘土粒子とスライドガラスとの接触面積すなわち真実接触面積の増加を意味する。

5. 考察

共焦点レーザー走査蛍光顕微鏡によるせん断面の観察結果から真実接触面の存在と垂直応力の増加に伴い真実接触面積が大きくなることが確認された。松川(2003)によると真実接触面積が荷重に比例する理由を次のように説明している。真実接触面積は見かけの接触面積に比べて著しく小さいため圧力は非常に高く、弾性限界を越え塑性流動領域に達し、圧力は塑性流動圧力 P_m となっている。これは一定である。したがって、垂直応力 N と真実接触面積 A_r 、塑性流動圧力 P_m との間には $N = A_r P_m$ の関係が成り立ち真実接触面積は荷重に比例し摩擦力も荷重に比例する。

6. まとめ

蛍光染色した粘土の残留状態せん断面とスライドガラスとの接触部を共焦点レーザー走査蛍光顕微鏡で観察した。以下に得られた知見を示す。

- (1) せん断面とガラス面との境界面において接触域、非接触域の存在が確認された。
- (2) 真実接触面積は垂直応力の増加に伴い大きくなる。

参考文献

- 1) 田中 久一郎：摩擦のおはなし, 46p., 1995
- 2) トライボロジー辞典 トライボロジー学会編, 養賢堂, 338p., 1995
- 3) 松川宏：特集「摩擦研究の最先端とその応用」, 表面科学, pp. 1-13, 2003

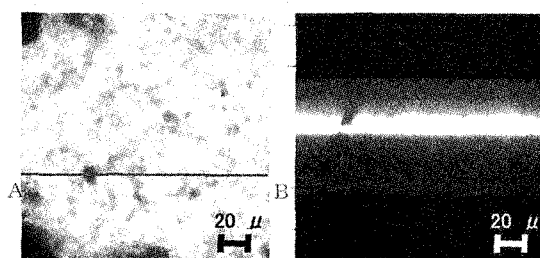


写真2 共焦点レーザー走査蛍光顕微鏡画像
a. 平面図 b. 断面図

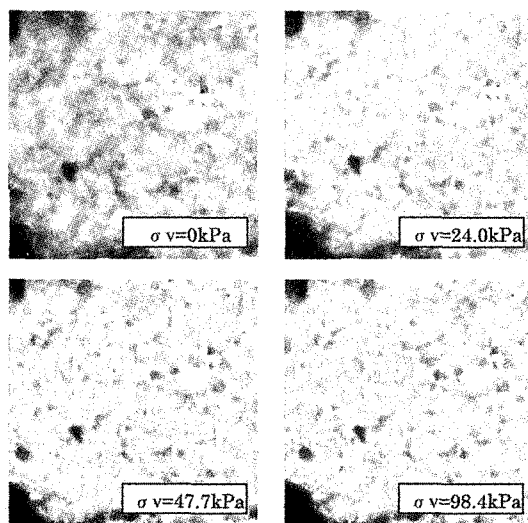


写真3 垂直応力増加に伴うせん断面挙動

表1 白色点(接触点)の占める面積率

垂直応力 σ_v (kPa)	計測範囲の 面積 (μm^2)	白色域の 総面積 (μm^2)	面積率 (%)
0	28900	19129	66.19031
24.0	28900	21277	73.62629
47.7	28900	22803	78.90196
98.4	28900	24042	83.19454