

III-443

偏光顕微鏡による一軸圧縮された粘土のせん断帯生成の観察

大阪産業大学工学部 正会員 ○佐野郁雄
同 上 正会員 金岡正信

1. はじめに

粘土粒子の配向の程度で薄片標本の消光角が異なるため、せん断帯の生成状況が偏光顕微鏡により観察できる。ここでは、 1kgf/cm^2 で練り返し再圧密されたカオリン粘土(LL=89, PL=32, IP=57, 粒径 2μ 以下に粉碎)の直方体供試体($4\text{cm}\times 2\text{cm}\times 2\text{cm}$)を一軸圧縮して生じた圧縮方向に平行な断面から薄片標本作製し、偏光顕微鏡による観察を行う。特に、種々の軸ひずみ ε_1 を与えてせん断された供試体についてせん断帯の生成過程を供試体端面付近や内部で観察した特徴を述べる。

2. 実験方法について

まず、一軸圧縮試験機を用いて圧密方向と平行な方向に種々の ε_1 を与えた供試体について、土粒子の構造を壊さない程度の温度(約 70°C)のポリエチレングリコール樹脂溶液の中に漬け、水と樹脂とを置換する。つぎに、供試体を風乾により固化させ、その表面を研磨材や冷却油で磨き、光硬化接着材によりスライドガラスに接着させる。さらに、供試体を薄く切断し、もう片面を偏光顕微鏡により透過観察が可能となるまで研磨を繰り返して薄片標本作成する¹⁾。この薄片標本は、簡易偏光装置を取り付けた実体顕微鏡(オルソスコープ)や偏光顕微鏡(コノスコープ)により観察される。

3. 観察結果

(1) 単ニコルによる観察

圧縮方向と薄片の水平角度を α (右回りを正)とすると、スライドガラスを水平にして薄片標本を観察した場合($\alpha=0^\circ$)、写真-1(a)のようなせん断帯が観察される。一方、 α を $30^\circ\sim 45^\circ$ 回転させた場合は、写真-1(b)のようにせん断帯は観察できない。このように、せん断帯は薄片標本の回転にともない像が著しく変化する。これは、せん断を強く受けた場合、偏平な粘土粒子が回転しながらある方向に配向する数を増し²⁾、その方向に対しカオリン粘土の土粒子の光学的特性が強く反映されるためである。

薄片標本を1回転させる間に4回明瞭なせん断帯が観察できる。しかし、共役なせん断帯や他の位置でみられるせん断帯が明瞭に観察される回転角 α は、必ずしも一致しないことがわかる。なお、写真-1(a)からは、せん断帯が連続しているようにはみえず、せん断帯に平行または小さな角度をもつ細線(長さ $50\sim 300\mu\text{m}$, 幅 $5\sim 30\mu\text{m}$)群から形成されているように見える¹⁾。

(2) 直交ニコルによる観察

直交ニコルで薄片標本を回転させて観察すると、 $\alpha=30^\circ\sim 45^\circ$ で供試体全体が明るくなり、 $\alpha=0^\circ, 90^\circ$ 付近では消光位となり暗くなる。また、圧縮方向に垂直な断面については、回転によるこのような消光の現象は見られない。よって、このカオリン供試体は、マクロにみれば圧縮方向に平行な断面方向に対してのみ光学的異方体であることがわかる。写真-2(a)~(c)は、 ε_1 の増加により端面から明瞭に発達するせん断帯を示している。実際、図-1に示された ε_1 を与えた供試体について観察すると、 $\varepsilon_1=2.5\%$ を与えた場合には明確なせん断帯が現れないが、 5% では少し発生していると識別でき、 7.5% , 10% , 15% となるにつれて次第に大きなせん断帯に発達していくことがわかる。また、写真-3に示されるような共役な方向に発達する細い小さなせん断帯も、 ε_1 が増加するほど多くみられるようになる。

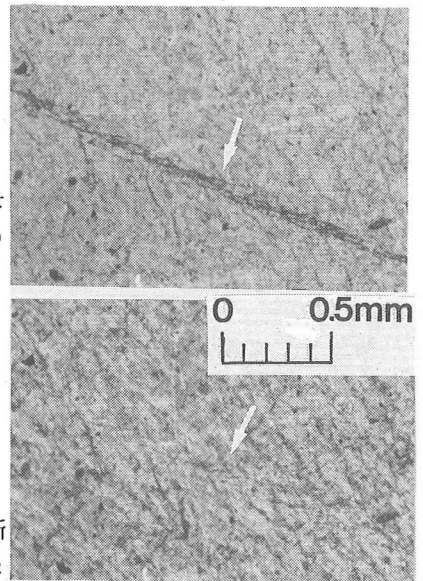


写真-1 回転にともなうせん断帯の消光
単ニコル ($\varepsilon_1=10\%$, $\alpha=(a)0^\circ, (b)45^\circ$)

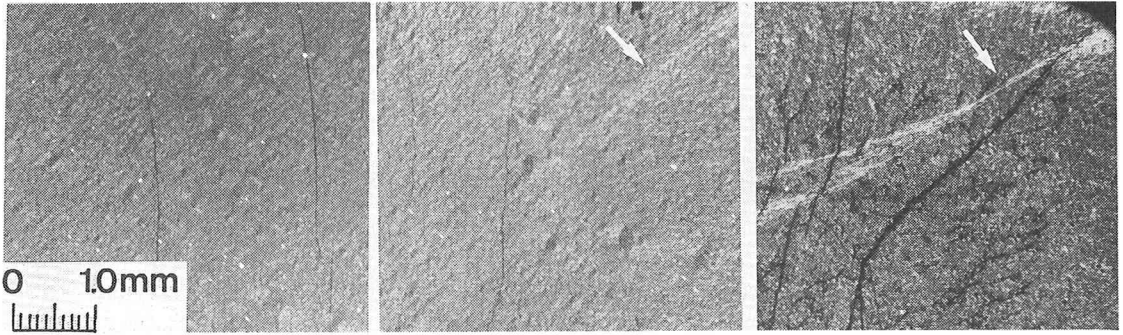


写真-2 端部のせん断帯の発達，直交ニコル

($\varepsilon_1 = (a)0\%$, (b)10%, (c)15%, $\alpha = (a)0^\circ$, (b)45°, (c)45°)

(3) 偏光顕微鏡による観察

ε_1 の増加にともなうせん断の痕跡は，土粒子の回転などによる配向の進展によって，強く残された状態にあると考えられる．そこで，せん断帯を構成している細線群に注目し，鋭敏色検板を挿入したコノスコープにより，供試体内部の種々の箇所を観察する．写真-4 (a)～(c)から， ε_1 の増加によりせん断帯やそれとは必ずしも認められない細線群の数が増えることがわかる．しかし，細線1本の長さや幅は，2.5%から5%付近では顕著な差がある場合も見られるが，明瞭なせん断帯となる場合を除き，あまり変化がみられない．

4. あとがき

せん断ひずみの増加にともなう微視的構造の変化を観察することは，金属材料や岩石の分野でかなり詳しい研究がされており³⁾，微視的な破壊面と粒界との関係，発生箇所や主応力の方向との関係などが議論されている．粘土についてこのような観点からの研究を進めるためには，細線群およびせん断帯の発生位置や間隔や発達状況について今後さらに詳しく検討を進める必要がある．

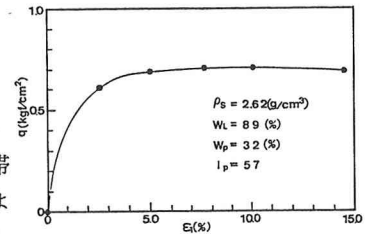


図-1 軸応力-軸ひずみ関係

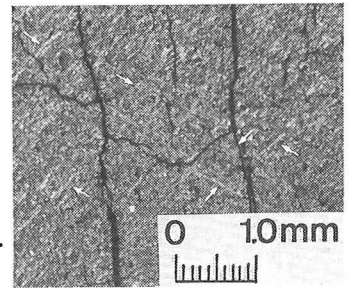


写真-3 内部の小さなせん断帯
直交ニコル ($\varepsilon_1 = 15\%$, $\alpha = 0^\circ$)

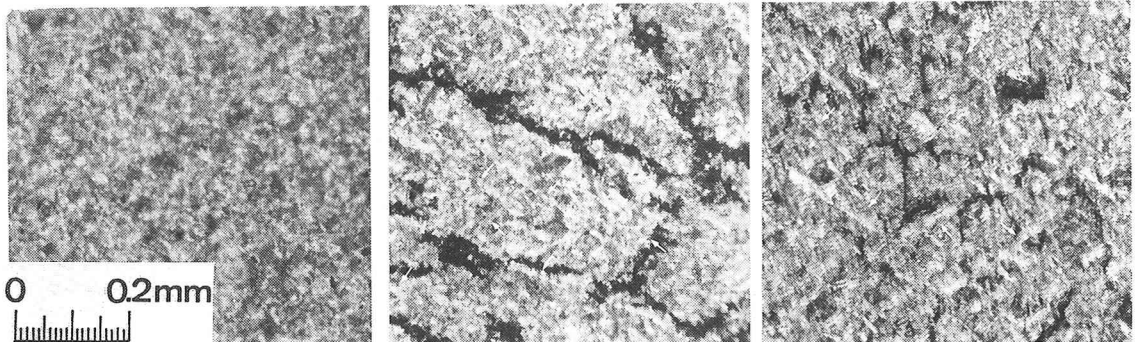


写真-4 内部の細線群の発達，コノスコープ ($\varepsilon_1 = (a)0\%$, (b)10%, (c)15%)

(参考文献) 1) 佐野郁雄，金岡正信：一軸圧縮による粘土の破壊形態の微視的観察，第28回土質工学研究発表会，1993. 2) Morgenstern N.R. and Tchalenko J.S.: Microscopic Structure in Kaolin subjected to direct shear, Geotechnique, Vol.17, pp.309-328, 1967. 3) D.K.Hallbauer, H.Wagner and N.G.W.Cook: Some Observations concerning the Microscopic and Mechanical Behaviour of Quartzite Specimens in Stiff, Triaxial Compression Tests, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol.10, pp.713-726, 1973.