

粘土の一軸圧縮中の破壊形態の観察

大阪産業大学工学部 正会員 佐野郁雄 ○金岡正信

鴻池組 井田正一郎

村本建設 大北 洋

大和団地 安坂豪泰

1. まえがき

地盤構造物における変形の局所化や分岐の現象は、地盤の支持力や斜面の安定問題などに特徴的に現れる。このような破壊現象に直接関わる問題での寸法効果や進行性破壊などを考える上で、せん断帯生成過程を定量的に捉えていくという基礎的研究は重要である¹⁾。ここでは、粘土のせん断帯の生成過程や幾何学的性質を明かにすることを目的として、一軸圧縮試験中の粘土の変形挙動を観察して得られた結果を示す。

2. 試験装置

写真-1には、供試体を一軸方向に圧縮していく時、試料上面での破壊状況を観察および記録する試験装置が示されている。この装置の特徴は、せん断中に供試体の変形するため実体顕微鏡の視野から移動するが、X-Yステージテーブルを動かすことにより、ある領域に注目してせん断破壊の進行状況を観察できることである。また、局所的な変形について、画像解析により定量的に調べることも可能である。次に、この装置を構成している主な装置群の概要を述べる。

2-1. せん断試験装置

せん断試験装置は、X-Yステージテーブルの上に置かれた直角バイスに荷重計および変位計を取り付けたものである。この装置では、長さ6cmの供試体まで試験が可能である。また、テーブルをマイクロメータによりX、Y方向に0.01mmの精度で移動させて観察ができる。

2-2 実体顕微鏡

実体顕微鏡の双眼レンズを用いた場合には、供試体表面での起伏を立体視できる。また、顕微鏡上部に設置されたカメラを用いて自動露出による写真撮影が可能である。さらに、CCDカメラから解析装置を通して映像モニターに映し出して観察ができ、ビデオによる録画も可能である。照明装置は、光ファイバーを通して照射する機構になっており、ランプ光線熱による試料の含水比の変化を軽減することができる。

2-3 画像解析装置

撮影部に高感度CCD固体素子顕微鏡用カメラと組み合わせることにより、被写体の形状、寸法、座標、円等の各種の計測ができる。計測は水平640等分、

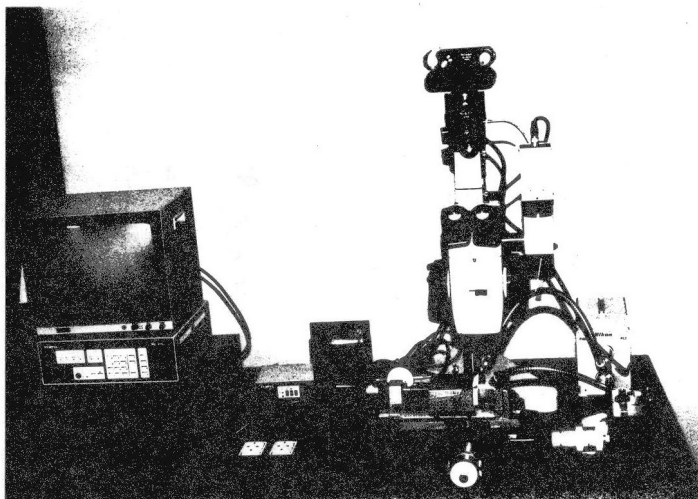


写真-1 試験装置全体図

Ikuo SANO, Masanobu KANAOKA, Syouichirou IDA, Hiroshi OHKITA, Takeyoshi YASUSAKA

表－1 粘土の物理特性

液性限界 w_L (%)	68.3
塑性限界 w_p (%)	35.3
自然含水比 w_n (%)	58.3
塑性指数 I_p	33.0
密度 ρ_s (g/cm ³)	2.65
砂分 (%)	1.7
シルト分 (%)	26.8
粘土分 (%)	71.5
p_o (kgf/cm ²)	0.60
q_u (kgf/cm ²)	0.38

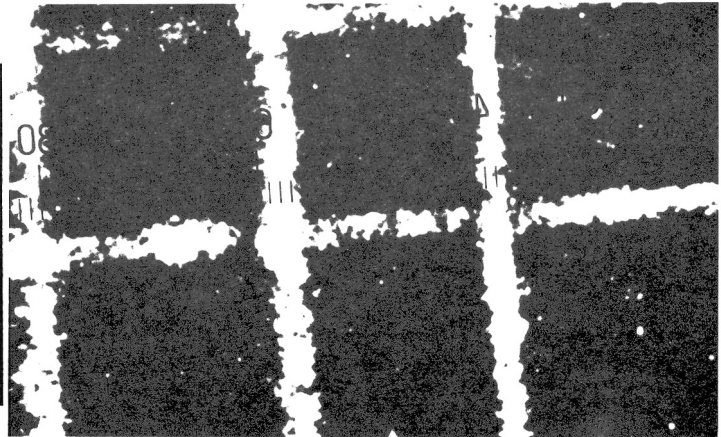
垂直480等分の分解能で行うができ、計測データはモニター画面に表示される。

3. 供試体について

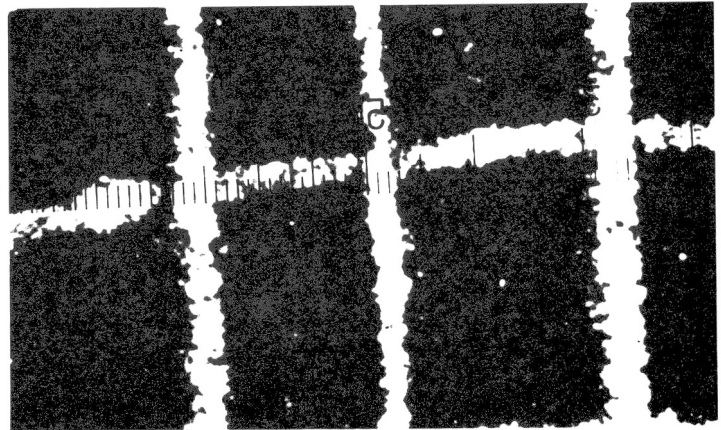
供試体は、垂直断面を2cm×2cmの正方形、長さを4cmとする直方体の粘土試料を用いた。その物理特性は、表－1に示す通りである。なお、写真－2に示す白線の格子状マーカーは、作製した供試体の上に約3mm間隔で幅0.5mmのスリットが入ったプラスチック板を乗せた後に、かたくり粉を均等に振りかけて付けられたものである。

4. 破壊の進展状況の観察

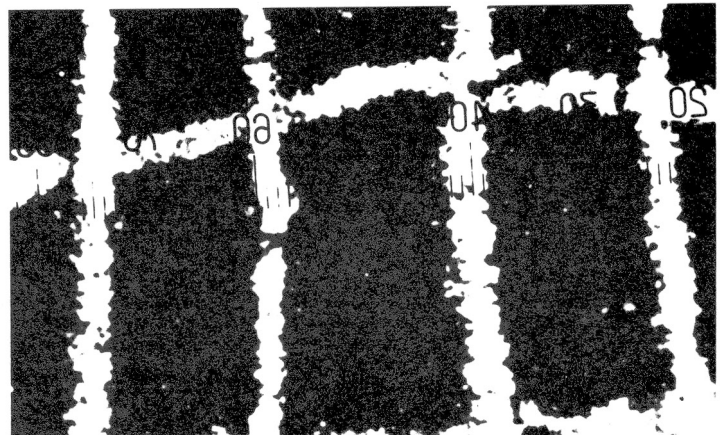
一軸方向にせん断を開始して小さな変位を与えた時には、試料の表面にヘアークラックが生じ、白線の横線は次第に波打つように外側に膨らみ、縦線の間隔が狭くなる。変位が増加するにつれ、供試体上面に凹凸ができ、せん断帯に沿う破壊が卓越していく。このような試料表面の一連の破壊状況について写真－2(a)～(c)に示す。白線のゆがみや試料に入るクラックに注目すると、試料が破壊していくようすがわかる。写真2－(b)では、ヘアークラックが多く確認でき、せん断帯も現れ始め



(a) $D = 0$ mm



(b) $D = 4.0$ mm



(c) $D = 7.0$ mm

写真－2 破壊の進展状況

ている。その後、試料はこのせん断帯に沿ってずれていく。写真-2(c)では、はっきりとしたせん断帯が確認でき、クラックも大きく成長して長く伸びているものが観察される。また、せん断帯付近でかなり開口している部分が見られる。ヘークラックは、せん断帯に平行かまたは分岐する形で雁行状に並んでいることがわかる。これは、直接せん断試験において観察されるクラックの特徴²⁾とよく似ている。なお、ここでは主に総倍率7.5倍、75倍で観察を行っている。

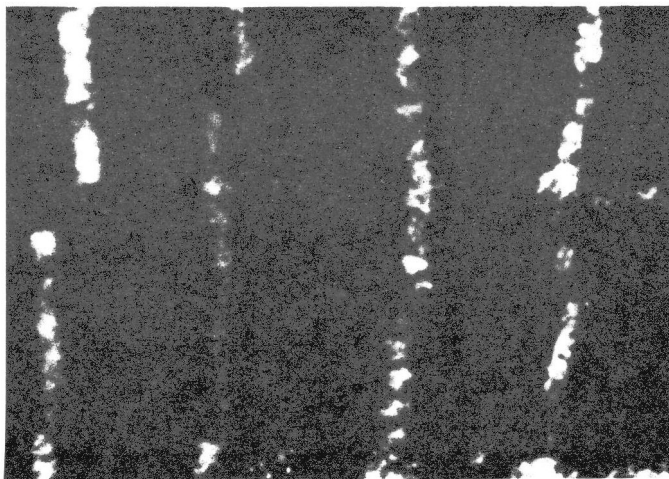
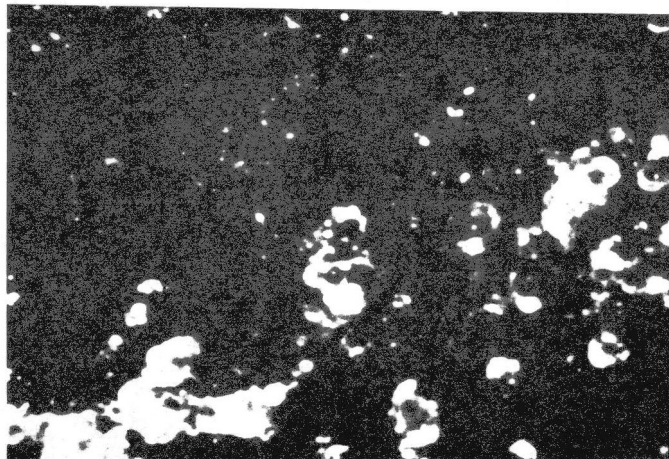


写真-3 クラックの発生状況 (D = 10.0 mm)

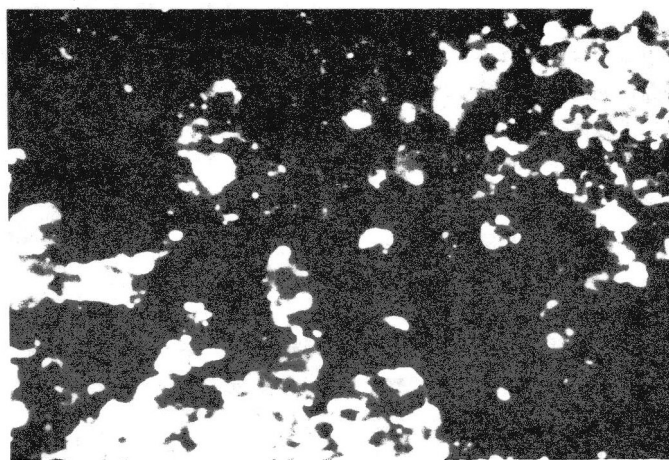
5. クラックの幅と方向について

写真-3では、斜め方向に共役に入ったクラックが示されている。供試体上に現れるクラックについてモニター画面を通して幅などを測定すると、大きく成長しないクラックの幅は、0.05～0.20mm程度の範囲にあることがわかる。すなわち、クラック幅がある一定の値まで成長した後は、ある範囲内で増加、減少を繰り返すことが観察される。

クラックの入る角度は、圧縮量が小さい場合には変位方向に対して 25° 前後のほぼ平行なものが多く見られる。しかし、ここで観察されるような大きく成長したクラックについては一定の方向のみではなく、 $15^\circ \sim 45^\circ$ の範囲にある場合が多く見られる。



(a) D = 5.50 mm



(b) D = 6.20 mm

写真-4 せん断帯付近の挙動 ($\times 75$)

6. せん断帯付近での土粒子の動き

まず、実体顕微鏡の倍率を7.5倍として供試体表面の白線の動きに注意した観察を続ける。せん断帯が入ると予測される部分がわかった段階で、倍率を75倍に拡大し、せん断帯付近を観察する。写真-4(a)、(b)で観察されている小さな丸い粒子は、白線マーカーに用いたかたくり粉の粒子である。この

粒子が土と同様の挙動をすると考え、2つの粒子に着目して画像解析装置により変位 D を与えた際の直線距離、鉛直方向距離、水平方向距離について測定を行い、供試体の変形挙動についての定量化を試みる。図-1は、写真-4(a)、(b)の矢印で示された二粒子間の直線距離 r が変位量 0.10mm ごとにどの程度移動しているのかを距離の差 Δr として示したものである。この図より、変位 D の増加にともない、せん断帯付近で次第に剛体的変位に近い変形挙動となることがわかる。また、同様にして鉛直、水平方向の距離の差を併せて考えることにより、変位増分の方向もわかる。したがって、計測する粒子の数を増やすことにより、せん断帯付近での局所化について定量的な把握ができる。

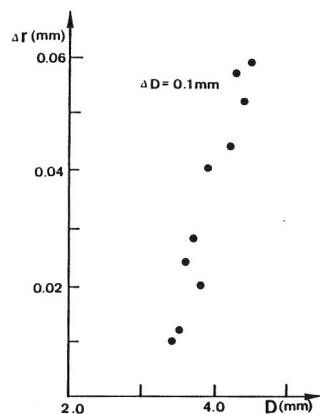


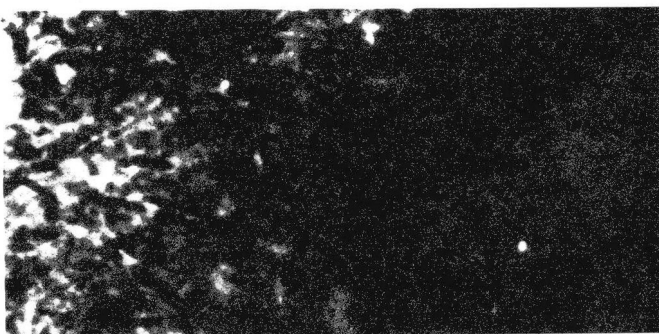
図-1 2粒子間の変位増分

7. 供試体内部について

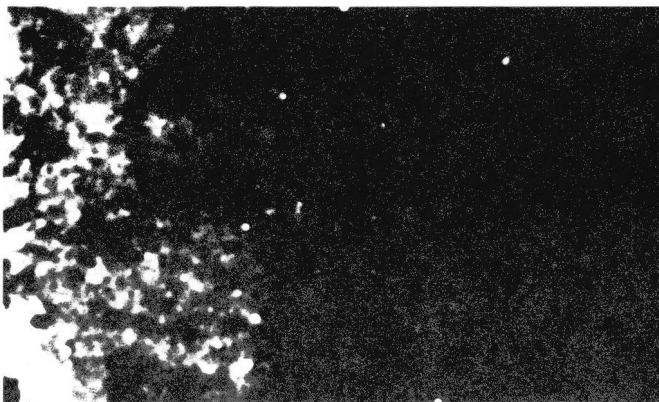
写真-5(a)は圧縮前の供試体を二分した横断面を示している。また、写真-5(b)はせん断帯がはっきりと確認できるまで圧縮した後のせん断帯に沿って二分した断面を示している。

圧縮前については、供試体断面に小さな空洞あるいはなだらかにぼみのようなものが見られるが、その数は多くない。また、供試体断面の表面は粗く、凹凸が大きいために波打つようになっている場所も見られる。

一方、圧縮後については、供試体断面に空洞の数が多く、穴はある程度深く切れ込んでいる。別に、微細なクラックも観察される。そのクラックの方向はほぼ一定であり、供試体の上面に生じた亀裂に対してほぼ垂直である。また、断面の表面は凹凸が少ない。なお、せん断帯付近で供試体表面に盛り上がりが見られる場合があるが、その内部の断面に大きなクラックが入り、開口した空洞が存在していることが多く観察された。



(a) 圧縮前



(b) 圧縮後 ($D \approx 10\text{ mm}$)

写真-5 供試体内部断面 ($\times 7.5$)

8. おわりに

一軸圧縮試験では、上面と側面が開放しているため、せん断帯の発生が観察面と垂直な面に生ずることもある。また、高倍率での観察ができないため、粘土粒子径レベルでのせん断帯付近の動きを捉えることはできなかった。これらの問題点はあるが、今後、上述の手法を用いて変形の局所化に関する定量化の精度の向上に取り組んでいきたいと考えている。

(参考文献) 1) 岡, 龍岡, 市川: 土と基礎, Vol.38, No.2, pp.115-120, 1990.

2) Morgenstern, N.R. & Tchalenko, J.S.: Geotechnique, Vol.17, pp.309-328, 1967.