

(3) 画像解析について

実体顕微鏡の双眼レンズを用いると、供試体表面での起伏を立体視できるため、変形状態がよく観察できる。しかし、変形前の状態と比較するためには、写真やビデオにより録画して比較する必要がある。ここでは、CCDカメラから解析装置を通して映像モニター（対物レンズ倍率の約2.5倍）により観察した画像をビデオデッキで録画する。

具体的には、載荷板により変位を1mmステップずつ与え、図-3に示されるように20分割し、供試体表面全体を少しずつ重ねてビデオ録画をする。供試体長軸方向の中心線と固定載荷板の交点を全体座標の基準原点のA点とすると、画像解析装置により2点間のX軸、Y軸の相対的距離を求めることが可能であるため、すべての画面でターゲット点の座標が求められる。X-Yステージを各変位ステップごとに一定の距離だけ動かすことにより、モニターの観察画面位置番号が原点から常に固定された観測位置での観察を行うことになる。すなわち、あるターゲットの変位ステップの増加にともなう移動量は、その画面番号のモニターの左下を局部座標の原点Oとして、この不同点からターゲットまでのX方向、Y方向の距離を各変位ステップごとに測定することにより求められる。なお、X-Yステージは、マイクロメーターを用いて0.01mmの精度で移動が制御されている。

さらに、図-3に示されている注目するある観察位置で、各変位ステップの変形状態をビデオフロッピーの中へビデオテープから写真のように記録させる。これにより、その観察位置で、供試体表面の連続的な動きを捉えることができる。実際には、注目するターゲットにおける変位ステップに対応する移動量は、このビデオフロッピーで録画された画面から画像解析することにより求めることができる。なお、写真は、すべてこのビデオフロッピーからの映像を写真化したものである。

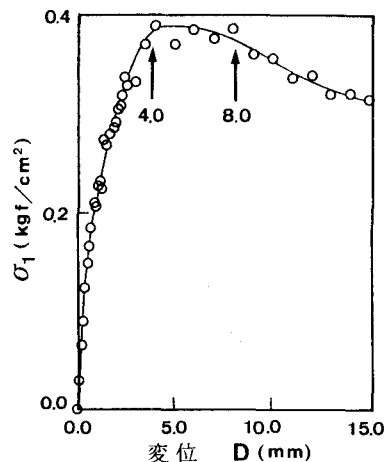


図-2 粘土供試体の応力-変位関係

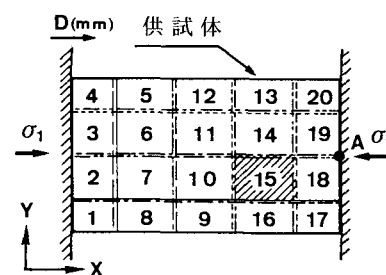


図-3 供試体の観察位置(観察No.15)

3. セン断帯層の生成状況の観察

観察された位置は、図-3のNo.15画面である。この画面で発生したせん断帯層の生成過程は、供試体に変位を0mm, 4mm（破壊応力付近）8mm, それぞれ加えた場合について示された写真-2(a)~(c)によって観察できる。写真-2(c)の矢印の先の点付近では、せん断が特に顕著に起こっており、当初にX, Y方向ほぼ平行に引かれた白線が、かなり変形していることがわかる。

ここでは、このような供試体に変位を加えた場合のNo.15画面での変形挙動について、図-4(a)に示される注目するターゲットの軌跡により比較する。ここで、写真-2(a)~(c)とターゲットとを対比をするため、図-4(a), (b)を写真と同じスケールで描いている。また、画像解析のモニター画面の原点O点、ターゲット1, ターゲット14の位置を矢印で写真中に示している。ターゲット1~14の軌跡は、写真と同スケールで図-4(b)に示されているが、ターゲット間の詳細な動きを比較しにくい。そこで、各ターゲットの移動軌跡を画像解析により求めた座標を用いて、拡大して図-5(a)~(c)に示す。なお、試験は、載荷板を11mmまで1mmずつ変位させて行われる。

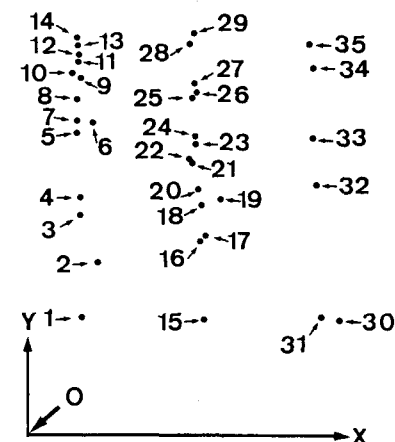


図-4(a) 写真-2(a)のターゲット番号

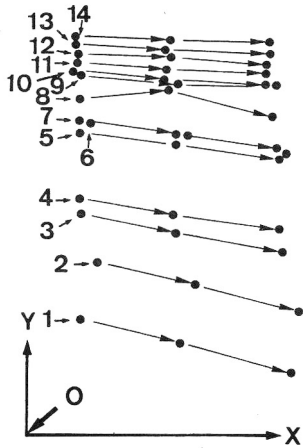


図-4(b) 写真-2のターゲットの軌跡

この供試体が非排水条件下で均質な変形をしていると仮定してターゲットの全体座標から求まる軌跡が、図-5(a)の破線として描かれている。実軌跡と比較すると、X方向の変位は、変位4mmの段階まではかなり似ている。特に、中心線付近（ターゲット8～14付近）ではそれ以降の変位ステップでも大きく異ならない。しかし、その他のターゲットは、次第に1ステップごとの変位増分は大きくなり、中心線より遠ざかるほど著しい。また、Y方向の変位は、初期の段階より大きく異なるが、変位ステップ初期には直線的に増加する動きがみられる。しかし、大きな変位ステップではY方向にも直線的挙動をしなくなる。全体的な動きとして、ターゲット1～8では、非排水状態で均質な変形はしていないものの、形状を大きく変化させないようなひずみが生じている挙動をしており、これは、ターゲット9～14でも同様にいえる。

中心線付近に注目すると、ターゲット9～14は、初めはほぼX軸の正の方向（変位を与えた方向）へ動いているが、変位ステップ4mm以降より、次第にY方向の動きが逆転し始める。一方、ターゲット8でも初めはほぼ同じ挙動をしているが、変位ステップが大きくなるとY軸の負の方向に動き続ける。このようにせん断帯が発生するターゲット8～9の間の軌跡は、ある変位ス

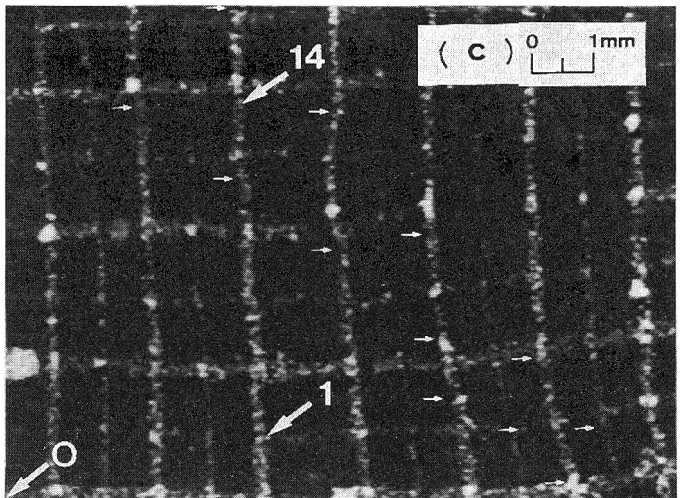
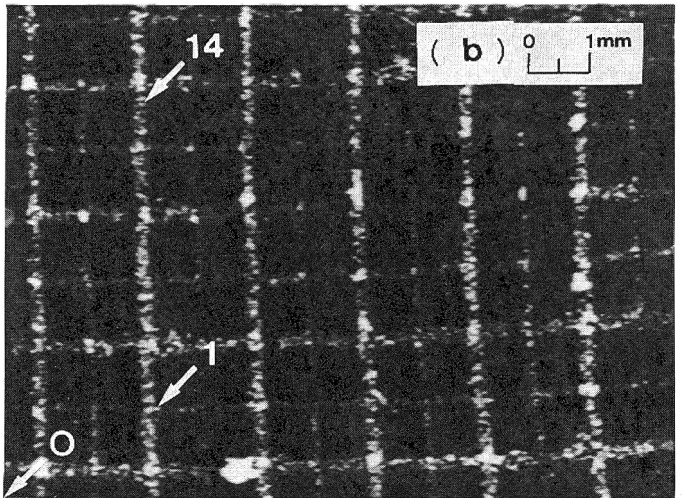
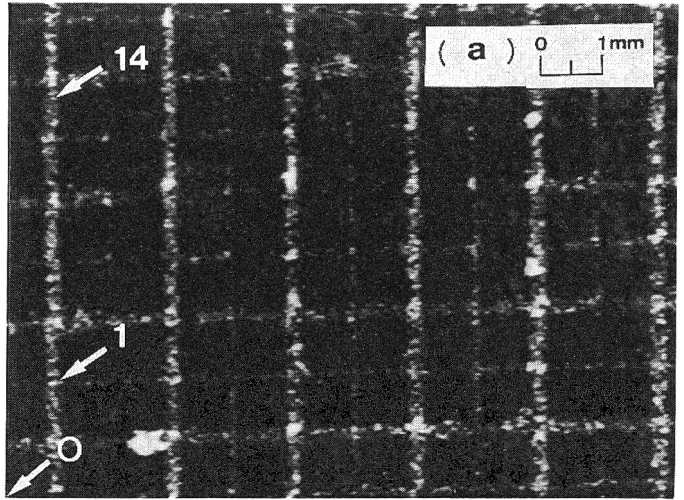


写真-2(a), (b), (c) No. 15での観察

テップから大きく異なることがわかる。また、同一変位ステップ(0mm, 4mm, 8mm, 11mm)で結んだ線からは、その方向が異なり、間隔も大きくなるため、ターゲット8~9という狭い範囲で大きなせん断変形や回転が起こると考えられる。

つぎに、せん断帯層が明瞭にあらわれる図-5(b)のターゲット15~29の軌跡を見ると、ターゲット25~27を除くすべての点で、変位ステップの増加によりそれぞれ形状がかなり異なっていくことがわかる。すなわち、せん断帯層内部の中央付近のターゲット25~27では、ある程度形状が変化しない動きをしているが、全体的にはかなり異なる種々の変形速度や方向を持つことがわかる。特に、ターゲット16~17を直線で、また、大きな屈曲をしているターゲット18~20を三角形で結ぶと、変位ステップ4mm以降で直線方向や長さ、三角形の形状が大きく変わることに、局所的に大きな変形を受けていることがわかる。なお、このような3点以上の接点変位からひずみやひずみ速度および回転成分に分けた形で定量的な評価を行うことも変形の局所化を表現する一つの方法として考えられる²⁾。ほかに、X方向、Y方向の移動量が中央線付近のターゲット25~29に比べ、Y方向に外側に離れるターゲットほど大きく移動する傾向は、図-5(a)と同様である。

さらに、図-5(c)から、せん断帯の生じているターゲット30~31付近で大きなせん断変形や回転が生じていると予測されるが、その他のターゲットは、図-5(a)のターゲット1~8と同様の動きを示しており、相対的に大きな変形速度の違いが生じていないようである。

4. おわりに

ここでは、せん断帯層付近の変形挙動について画像解析により捉えられたターゲットの移動量を用いてその特徴を述べた。この方法を倍率を上げた観察について丹念に行えば、せん断帯についての変形挙動についてもその特徴を探ることができる。粘土のせん断帯の幅は、約数 μm ~数十 μm であることが知られており、ターゲットとしてコーンスターチの1粒子(粒形は約0.01~0.005mm)に注目すれば、ある程度定量的な評価が可能であると考えている。

(参考文献)

- 1) 佐野郁雄, 金岡正信, 井田正一郎, 大北洋, 安坂豪泰: 粘土の一軸圧縮中の破壊形態の観察, 平成4年土木学会関西支部年次学術講演会講演概要, III-7-1~2, 1992.
- 2) たとえば, F.Tatuoka, S.Nakamura, C.C.Huang, and K.Tani: Strength Anisotropy and Shear Band Direction in Plane Strain Test of Sand, Soils and Foundations, Vol.30, No.1, pp.35-54, 1990.

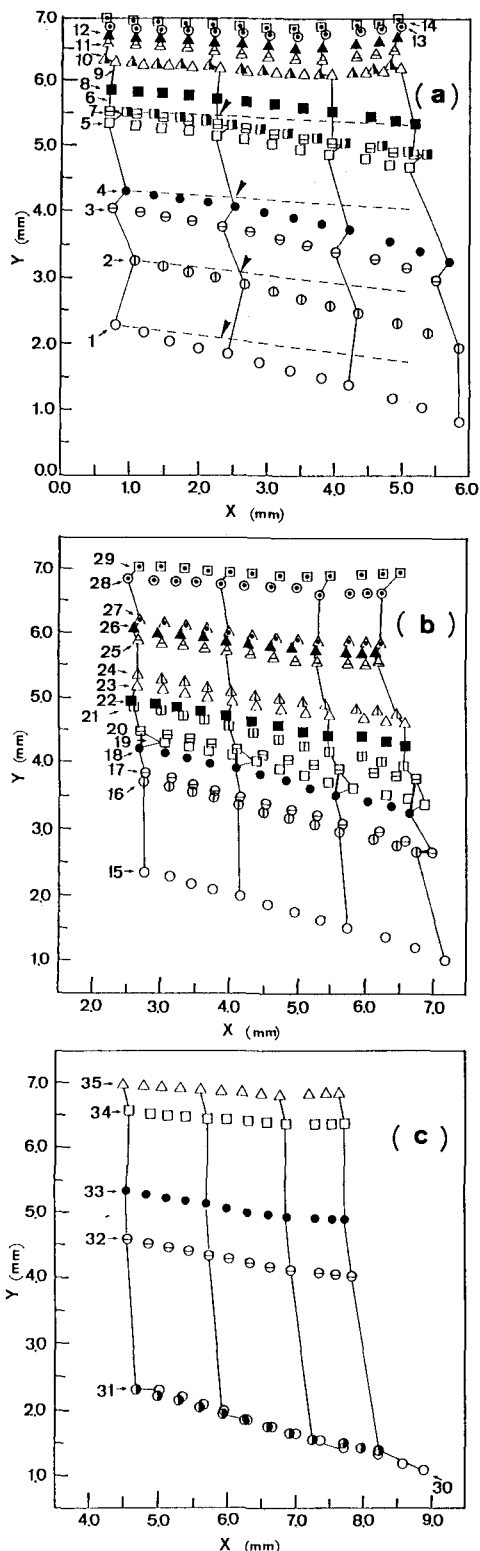


図-5(a), (b), (c) ターゲットの軌跡