

PSIII-5 粘土の微視的せん断挙動

京都大学工学部 正員 嘉門 雅史、 学生員 内田 康彦

1. はじめに 粘土のせん断変形挙動を、電子顕微鏡を用いて直接観察することは、単にせん断中の微視的な粒子の動きを捉えるだけでなく、粘土の挙動を微視的レベルでモデル化する上で極めて重要であるといえるだろう。ここではこの微視的変形機構を、直接把握する手段としての超小型せん断試験機（以下 USSBTと称す）の有用性を示したものである。

2. 微視的せん断挙動解明システム USSBTの主要せん断機構は図-1のとおりである。一面せん断機構であり、供試体のサイズは 10mm(せん断方向：X)×30mm(ダイレイタンスー測定方向：Y)×13mm(奥行き方向：Z)である。実験は、せん断速度 37.5 $\mu\text{m}/\text{min}$ で、ひずみ制御にて行った。最大許容垂直荷重は 50kgf/cm² でペロフラムシリンダーによって載荷し、最大許容負荷せん断力は 100kgf/cm² である。供試体のXY方向の変位はポテンシオメーターで測定した。また、可動側と固定側のせん断箱の間隔は約 2mm であり、この間の供試体中の粒子の動きを、局所変位として求めることができる。測定にはVTRを用い、得られたSEM像の写真中の土粒子の各点の動きを、デジタイザーで算出した。このような微視的せん断挙動解明システムを図-2に示す。

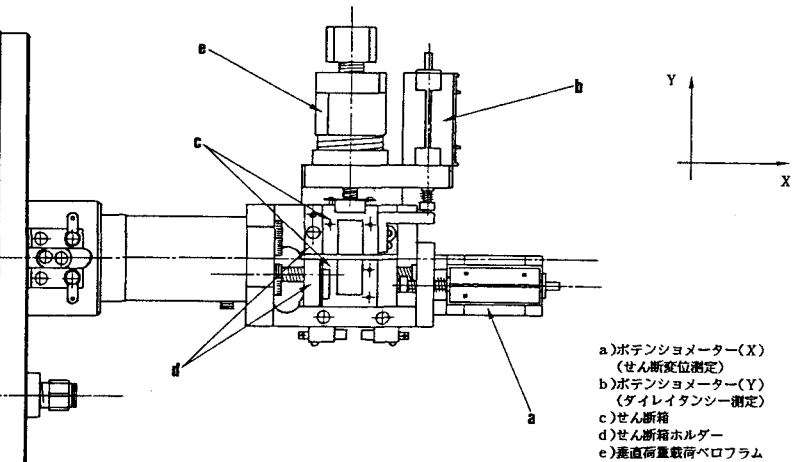


図-1 USSBTの主要せん断機構部

3. 実験供試体の作製方法 供試体には、カオリン粘土(Crown Clay)を用いた。含水比を 250%（液性限界の2倍）に調整して、約1ヶ月間圧密（荷重 1.0 kgf/cm²）させた。除荷による膨潤後、自然乾燥させたものを上記のサイズに成形し供試体とした。これは乾燥試料の定形試料作製手法である。一方、不定形試料の作製手法として、合成樹脂（P-レジン等）で周囲を固めてセットすることも可能であり、金属製のホルダーを用いる。

4. 得られた微視的せん断挙動 図-3に示す位置において局所変位の観察を行った。マクロ応力-ひずみ挙動との関連から、次のようにまとめられる。なお、微視的せん断挙動そのものは、VTRを用いて提示する予定である。

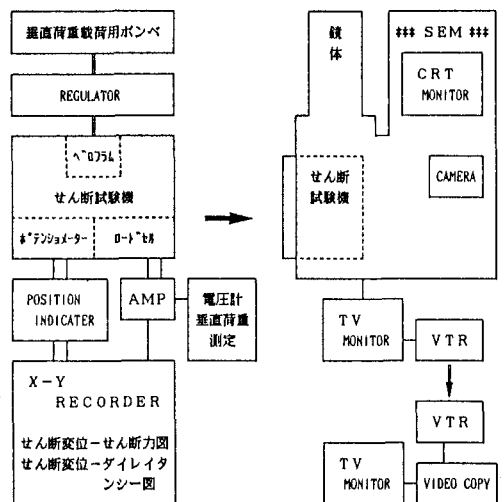


図-2 微視的せん断挙動解明システム

a) せん断初期の過程

一面せん断特有の挙動が確認された。それは、偶力(せん断力)により生じるモーメントの作用で、せん断箱の間の両端部に曲げモーメントが働くことを意味している。ここでは引張り領域が生じており、そのための伸びひずみが原因してマクロ的に正のダイレイタンスーが現れている。垂直荷重が小さいときには、この傾向は顕著であり、せん断強度ピーク前においてヘアクラックが生じ、マクロ的せん断応力の低下に対応する。このクラック出現場所は特定できないが、SIDE 2(図-3)付近が主であり、供試体成形状態により多少ばらついた。垂直荷重が大きくなると、ピーク前のせん断力の低下はほとんどみられなくなる。

b) せん断ピーク付近の過程

図-3のSCENE 1~5のいずれにおいてもX方向の局所変位は停滞し、最大せん断抵抗を受け持っていることを示す。ピーク強度付近からのY方向の局所変位(ダイレイタンスー)は、ピーク強度を越えた時点で最大となるが、せん断初期に出来た引張り領域に、クラックが生じて測定部が剥離していくことが、観察結果との対応から解る。このようなピーク強度付近での挙動は、せん断初期に生じるヘアクラックに左右される。この影響がない場合は、せん断強度ピークと前後してリーデルせん断面が現れ、

続いてこれに囲まれた帯状部分が回転し、剥離する。せん断初期にヘアクラックが生じた場合の挙動には、主せん断面形成に与える影響に二つの典型的なパターンがあった。一つは、それが発達して主せん断面となる場合であり、もう一つは、初期のクラックと無関係にピーク強度時に複数のせん断破壊面ができ、主せん断面の識別が困難な場合である。前者では、ピーク強度付近から、せん断面の凸部乗り越え、及びそれに伴う局所的破壊が多くみられた。

c) 残留強度付近の過程

残留強度時においては、いずれの場合もせん断面付近で大変形が観察された。せん断力が低下した残留強度域では、SCENE 1~4における変位速度はせん断箱のそれを上回り、巨視的なせん断箱の変位を追い始める。個々の破壊形態は多種多様であり、せん断によるものの他、局所的な引張りや圧縮によるとみられるものもあった。そしてこれらの局所的破壊により、剥離したベッドは細分化し、せん断面の凸部は小さくなるか、もしくは剥離する。クラック出現後からのダイレイタンスー特性は、これらのせん断面での挙動に支配される。つまり、クラック出現直後は引張り応力が減少し、破壊していない部分で伸びひずみが戻ることによって、局所的には体積減少が生じる。しかし凸部乗り越え、ベッドの回転による体積増加作用がそれを上回り、全体としては緩やかなダイレイタンスー増加を示す。さらに破壊が進むと、回転するベッドの細分化、凸部の破壊・剥離により体積増加作用が小さくなり、全体の体積が徐々に減少するのである。この過程では、せん断破壊面の形態が大きな影響を持ち、供試体ごとのばらつきの原因とみなされる。また破壊後においては、局所的せん断変形挙動は全体の変形に直接的には影響せず、局所的せん断変形速度、局所的体積増加は、全体的なそれらを上回ることにも生じる。

4. おわりに

以上の粘土の微視的せん断挙動は、乾燥供試体のものであり、湿潤供試体のそれとは大きく異なる。そこで間隙水を別の物質に置換して粘性を付与した状態で電子顕微鏡観察を実施することが今後の課題である。終わりに、USSBTの試作にあたり、協力いただいたサンユー電子(株)の後藤勝人氏に謝意を表するものである。本研究は昭和61年度文部省科学研究費の補助を受けたことを付記する。

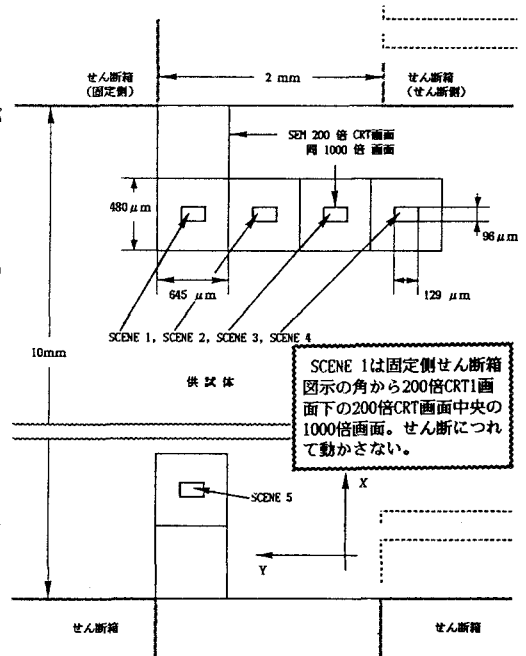


図-3 局所変位測定部位