

洪積粘土の微視的変形機構について

京都大学工学部 正 員 嘉門雅史
 京都大学大学院 学生員 ○前川憲治

1. はじめに 電子顕微鏡を用いてせん断変形時の粘土の挙動を直接観察することは、土粒子構造の力学的挙動を微視的レベルでモデル化する上で非常に有効な手段である。著者は既に、そのための超小型せん断試験機(USSBT)を開発し、有効性を報告しているが、¹⁾²⁾ここでは洪積粘土を対象として、微視的なせん断変形機構を直接観察するための方法を整理して、手法としての確立を図ったものである。

2. 実験方法 走査型電子顕微鏡(SEM)で粘土の変形挙動を直接観察するには、以下の4つの基本的課題がある。

- (1) SEM鏡体内という空間的制約(USSBTの計測機構にも小型化が求められる)。
- (2) 鏡体内を高真空にすることから、 1.0×10^{-3} Paを超える蒸気圧を持つ物質を用いることができない。つまり、通常の湿潤状態の土は観察できない。
- (3) 滑り層を特定の位置に、強制的に発生させる機構の試験が必要。
- (4) 観察面が解放されている必要がある。つまり、観察面には基本的に応力を作用させない。

課題(1)(3)より、図1に示すようなUSSBTが用いられる。USSBTは、せん断変位、ならびにせん断応力の計測装置、垂直応力の载荷装置及び計測装置とダイレイタンスの代用としての垂直変位測定機構を備えている。なお、垂直荷重载荷用ベロフラムは、SEM鏡体内の空間的制約のため単筒式であり、SEM鏡体内を真空にすると、約 2.3 kgf/cm^2 の垂直応力が無条件で作用してしまい、このためSEM観察時の垂直応力条件をこの値より小さくできないという欠点がある。今後、単筒式ベロフラムをダブルにしてこの欠点を除去する予定である。

課題(4)は基本的に解決されていないが、課題(2)については、自然粘土を乱さないまま、間隙水をポリエチレングリコール(PEG; 平均分子量400, 飽和蒸気圧 9.0×10^{-5} Pa)に置換する方法を新しく確立することにより、粘性を付与した状態での土の挙動の観察を可能にした。ここでは、大阪南港より得られた洪積粘土を使い、以下の3つのPEG置換の方法について検討した(図2)。

- (a) 試料をPEG中に完全に沈めて、そのまま真空ポンプ内に入れ脱気し、間隙水を常温沸騰させること

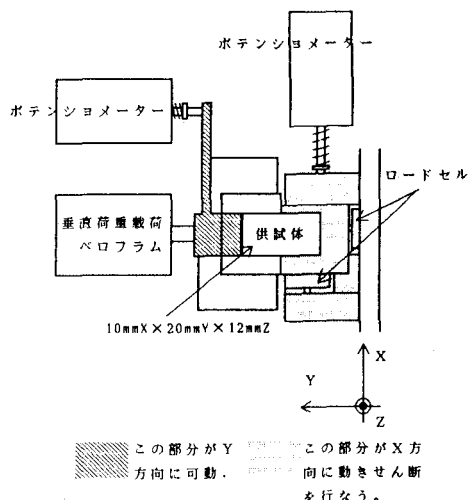
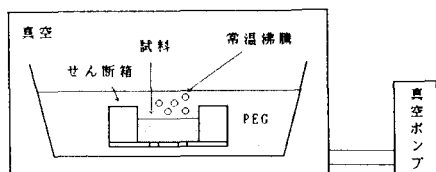
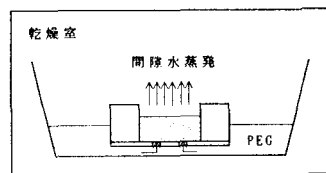


図1 セン断試験機 平面模式図

(a)



(b)



(c)

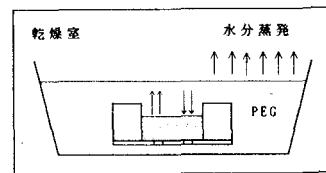


図2 置換方法模式図

Masashi KAMON and Kenji MAEKAWA

により急速置換する方法。

(b) 試料を一面だけ大気に曝しながらPEG中に沈め、乾燥室に入れて間隙水を徐々に蒸発させながら、PEGを浸透させる方法。

(c) 試料をPEG中に完全に沈めて、PEGの吸湿力と浸透力によって置換させる方法。

この中で(a)の方法は、簡単ではあるが、置換中の変化が激しく、土の構造になんらかの影響があると予想される。(b)では、間隙水の蒸発が速すぎ、試料の内部が明らかに置換不足となる場合がしばしばみられた。(c)の方法は多少時間を要するが、供試体の入ったPEG全体を乾燥室(約40℃)に入れ、PEGに染み出した間隙水を蒸発させることに努め、さらに、水分を含むPEGを頻繁に交換することによって置換を促進し、置換時間を短縮するというものであり、この(c)法を採用した。また、交換したPEGは真空容器中に入れ、常温沸騰させてPEG中に溶出した水分量を推定し、常温沸騰しなくなった置換PEGを得て、置換終了の確認とした。なお、置換には2～3日要し、またSEMの排気機構の安全管理上、最終的にPEG置換後試料を数時間真空中に曝した。

3. 実験方法に対する考察 せん断抵抗データの例を図3、4に示す。図3はPEG置換後鏡体内でせん断したもの、図4は未置換の試料を大気圧下でせん断したものである。なお、図中のNo.は試料番号、 σ は垂直応力を表す。供試体を手作業で作成したため、供試体とせん断箱との間、及びせん断箱とせん断箱ホルダーの間にギャップが存在し、せん断抵抗の立ち上がり個々の供試体により差があるが、ほぼ相似な特性が現れている。よって、巨視的にはこの試験に再現性があると考えてもよい。また図4では、ピーク後の減少がPEG置換のものに比べて少ないが、よく似た特性を示しており、巨視的には、PEG置換が比較的良い近似を得ていると考えてよい。

次に、垂直応力とせん断強度との関係を図5に示す。未置換のものの方が多少低めにでているが、超小型のせん断機であることを考慮に入れると、全体として比較的良い相関があるといえる。

全体として間隙水のPEG置換は、湿潤粘土の近似法としては一応満足できるものであり、湿潤粘土のひずみ硬化型の挙動を再現できる。

4. おわりに

巨視的ならびに、微視的ダイレイタンスの測定については、装置そのものに回転の影響を避け得ないなどの問題を残しており、今後の課題としたい。最後に、本研究の遂行にあたり終始暖かい御指導を頂いた京都大学名誉教授 赤井浩一先生に深く感謝する次第です。

参考文献

- 1) 嘉門雅史・内田康彦, 粘土の微視的せん断挙動, 第42回年次学術講演概要集第3部, 1989, pp. 10-11
- 2) 嘉門雅史・内田康彦, 粘性土の変形機構の微視的観察, 第44回年次学術講演概要集第3部, 1989, pp. 408-409

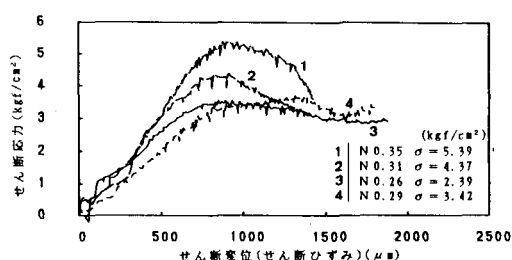


図3 せん断強度特性

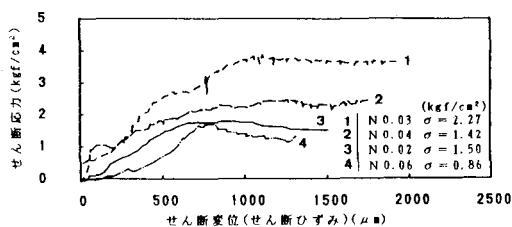


図4 せん断強度特性(未置換)

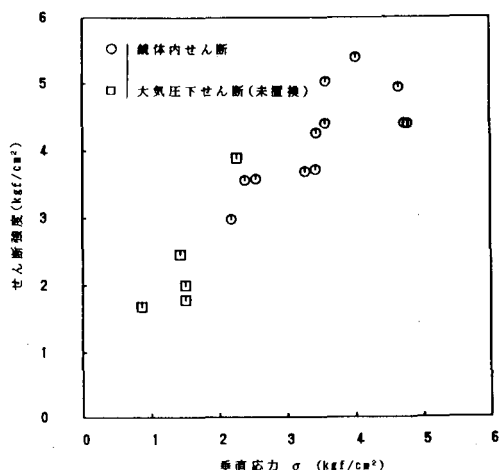


図5 垂直応力-せん断強度関係