再構成粘土による中空ねじりせん断試験と単純せん断試験

名城大学　学生会員　○吉田賢史・福沢宏樹・三好直輔
名城大学　正会員　　小高猛司・板橋一雄

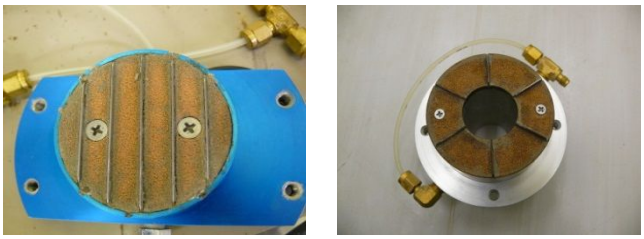
1. はじめに

自然地盤は異方応力状態にあるため，特に原地盤における繰返しせん断時の力学特性を把握するには，三軸試験だけでは限界がある。そのため，福沢ら[1)]は単純せん断試験によって，各種異方圧密応力条件下での粘性土の単調ならびに繰返しせん断特性を検討した。一方，三好ら[2)]は，三軸試験と単純せん断試験による結果が大きく異なることを示し，三軸試験だけで粘性土の材料パラメータを決定することの危うさを指摘した。本報では，粘性土の力学特性を正確に把握するためには，今後中空ねじりせん断試験や単純せん断試験などの単純せん断モードの試験が有望であると考え，それらの試験法の問題点と試験結果の妥当性について検討した。

2. 試験法の問題点の整理

①単純せん断あるいはねじりせん断時の上下端部の摩擦の確保

単純せん断試験と中空ねじりせん断試験では，供試体を挟んだ上下のペデスタルを直接水平移動あるいは回転させることによって供試体のせん断を行う。本研究では，単純せん断試験装置では厚さ 0.5mm，高さ 1.5mm の金属刃を平行に 5 枚配置し，中空ねじりせん断試験装置では厚さ 1mm，高さ 2mm の金属刃を放射線状に 6 枚配置することにより，ポーラスストーンと供試体間の摩擦を確保している（写真 1 参照）。しかし，これらの金属刃でせん断時の摩擦が十分に確保されていない懸念があるために，本研究ではエポキシ系接着剤によって供試体の上下面の半分の面積分を完全にポーラスストーンに接着することにより，金属刃による試験の妥当性を検討した。



(a) 単純せん断試験　　(b) 中空ねじりせん断試験

写真 1　ペデスタルに設置した金属刃の状況

②単純せん断試験における単純せん断モードの実現：

本研究の単純せん断試験では，圧力セル内において，メンブレンを被せた供試体の外側に供試体径と同じ内径の穴を持つ厚さ 1mm のドーナツ形状の多層スリップリングを積層させ，供試体側面を拘束しながらせん断する。写真 2 は圧力セル内の様子であり，中央部の黒く見える部分が供試体の外側に積層させたスリップリングである。このような構造のため，等方圧密後にはスリップリングと供試体間には隙間ができるので，厳密な単純せん断モードにはなっていない。本報では，中空ねじりせん断試験結果と比較し，単純せん断試験の妥当性を検討する。

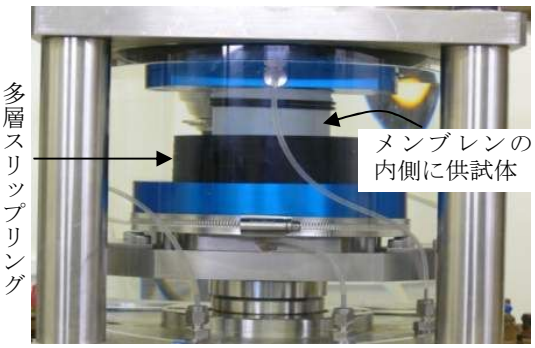


写真 2　単純せん断試験機のセル内の様子

③中空ねじりせん断試験の供試体の寸法

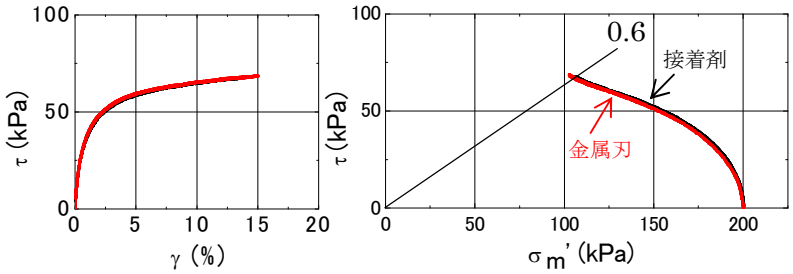
中空ねじりせん断試験では，長く薄肉の供試体ほど理想の単純せん断モードに近い。しかし，粘性土供試体を作製するには肉厚 20mm は必要であり，本研究では外径 100mm，内径 60mm，高さ 100mm の供試体寸法を基準としている。しかし，自然堆積粘土の試験を実施するためには，シンウォールチューブよりも細い外径を用いる必要がある。そこで，本報では外径 70mm，内径 30mm，高さ 70mm の供試体でも試験を実施した。肉厚は同じであるが，小径となるために単純せん断モードの実現はより厳しくなるが，この小径化が試験結果に及ぼす影響を検討する。

3. 試験試料と試験方法

試験試料は再構成した有楽町粘土（w_L=86%，w_P=31%，I_P=55）である。液性限界の 2 倍程度のスラリーにしてから，100kPa で 2 週間ほど一次元的に予圧密して再構成した。単純せん断試験の供試体は直径 60mm，高さ 30mm であり，中空ねじりせん断試験の供試体寸法は上述の通りである。本報では，試験条件を揃えて比較するため，有効拘束圧 200kPa で等方圧密後，非排水条件で単調載荷した結果を示す。単純せん断，中空ねじりせん断ともに，ひずみ速度 0.1%/min のせん断ひずみ制御で試験を実施している。

4. 試験結果

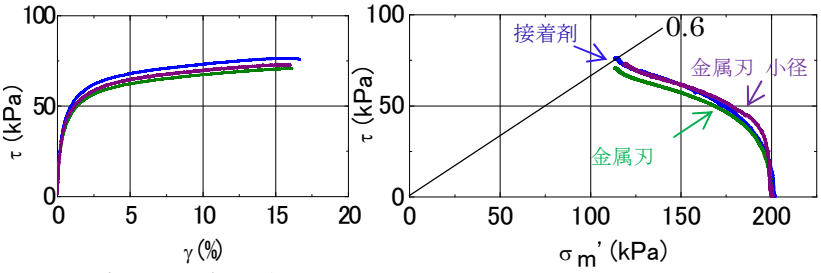
図 1 に応力～ひずみ関係および有効応力経路を示す。通常の金属刃による試験と接着剤で固定した試験の結果は完全に一致している。したがって，金属刃によってポーラスストーンと供試体の間の摩擦は十分に確保されていることが示された。



(a)応力～ひずみ関係　(b)有効応力経路

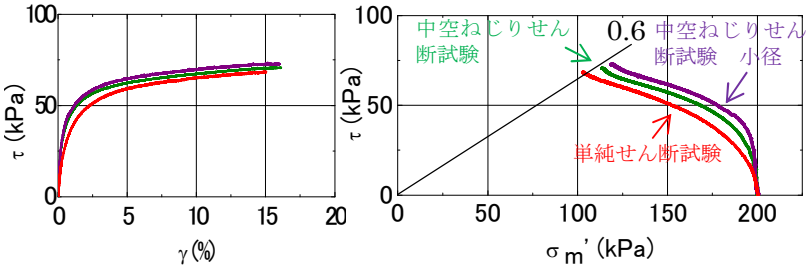
図 1　単純せん断試験の比較

図 2 に中空ねじりせん断試験の応力～ひずみ関係および有効応力経路を示す。金属刃による試験と接着剤による試験を比較すると，若干接着剤の試験の方がせん断応力が大きく現れているが，間隙比に若干の差もあるために，摩擦だけの差であるとは言い難い。一方，金属刃どうしで，供試体寸法による差を比較すると，若干小径供試体の試験方がせん断応力は大きく現れている。しかし，3 つの試験結果を並べてみると，3 者に有意な差があるとは判断できず，上記の差は試験誤差の範囲内と考えて良いと考えている。したがって，中空ねじりせん断試験においても，金属刃であっても上下端部の摩擦は十分に確保されていると考えて良く，また供試体径が小さくなっても試験結果に影響は無いと判断した。



(a)応力～ひずみ関係　(b)有効応力経路

図 2　再構成粘土の中空ねじりせん断試験結果



(a)応力～ひずみ関係　(b)有効応力経路

図 3　各種試験結果の比較

図 3 に単純せん断と中空ねじりせん断の試験結果を比較して示す。単純せん断試験結果が，2 つの中空ねじりせん断試験結果より若干せん断応力が小さく現れているが，せん断応力が単調増加し続けること，破壊応力比がほぼ同じであることなど，全体の傾向はほぼ一致している。以上のことから，試験が容易で，かつ小さな試料で実施可能な単純せん断試験は，中空ねじりせん断試験並みのデータを得ることが可能であり，有望な試験法であることが示された。

5. まとめ

今回の試験結果は，再構成粘土だけによる検証であるが，今後はシンウォールチューブで採取した不攪乱粘土試料を用いて，単調ならびに繰返し載荷条件での中空ねじりせん断試験を実施し，不攪乱粘土の力学特性の把握を試みるとともに，先行して実施している単純せん断試験結果[1),2)]との比較も行う予定である。

参考文献：1) 福沢ら：単純せん断試験による異方圧密粘土の繰り返しせん断強度特性の評価，第 21 回中部地盤工学シンポジウム論文集，2009. 2) 三好ら：高塑性粘土の力学挙動に及ぼす種々の要因についての実験的検討，第 22 回中部地盤工学シンポジウム論文集，2010.