

中空ねじりせん断試験ならびに単純せん断試験による再構成粘土の繰返しせん断強度の評価

粘土，繰返しせん断強度，単純せん断

名城大学 国際会員 小高猛司・板橋一雄
名城大学大学院 学生会員 ○福沢宏樹
名城大学大学院 学生会員 三好直輔
JR 東海コンサルタンツ 正会員 加藤信二郎

1. はじめに

粘土地盤の地震時挙動を予測する上で，繰返しせん断特性の把握は非常に重要である。特に，自然堆積粘土地盤は主に K_0 状態にあるため，異方圧密条件下におかれた粘性土の繰返しせん断特性を適正に評価する必要がある。地盤材料の繰返し強度特性を評価するためには，一般に繰返し三軸試験が用いられるが，三軸試験は圧密過程で異方応力状態を再現することはできても，その後の繰返しせん断過程の評価は難しい。本研究では異方応力条件下からの繰返しせん断を評価しやすい中空ねじりせん断試験と単純せん断試験を実施し，さらに繰返し三軸試験結果も加えて，それぞれの試験方法による再構成粘土の繰返しせん断特性について比較検討する。

2. 試験試料と試験方法

試験に用いた試料は東京湾で浚渫採取した有楽町層粘土である。液性限界，塑性限界および塑性指数はそれぞれ， $w_L=86\%$ ， $w_p=31\%$ および $I_p=55$ である高塑性粘土である。一旦スラリー状に練り返した後に，100kPa で一次的に予圧密して再構成試料を作製した。供試体寸法は三軸試験では直径 5cm，高さ 10cm，単純せん断試験では直径 6cm，高さ 3cm，中空ねじりせん断試験では外径 10cm，内径 6cm，高さ 10cm とした。供試体をセルに設置後，二重負圧法で飽和化を行い，背圧 200kPa，有効拘束圧 200kPa で圧密した後に，非排水せん断を実施した。なお，単純せん断試験においては，写真 1 に示すように，水が入ったセル内において，ゴムスリーブで覆った供試体の側面に厚さ 1mm のドーナツ形状のスリップリングを積層することにより，上部ペDESTルを横方向に移動させるのに伴い，供試体側面が等変位に拘束されながらせん断変形する効果を期待している。供試体側面を等変位拘束すれば，完全な単純せん断モードを実現することが可能であることは数値解析でも示しているが，実際は圧密過程において，供試体とスリップリングの間に遊びが生じるために，完全には単純せん断モードを満たせないことに注意する。

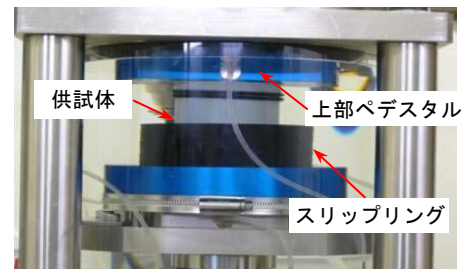


写真 1 単純せん断試験機のセル内

3. 試験結果

図 1 に，三軸圧縮・伸張試験，中空ねじりせん断試験および単純せん断試験の単調載荷試験結果の応力～ひずみ関係と有効応力経路を示す。すべての試験を同一尺度で比較するために，せん断応力としては偏差応力テンソルの第 2 不変量 $\sqrt{2J_2}$ （以下，偏差応力と呼ぶ）を用い，せん断ひずみとしては偏差ひずみテンソルの第 2 不変量 ϵ_s （以下，偏差ひずみと呼ぶ）を用いた。なお，今回の実験試料は，せん断中に大きな正のダイレイタンシーが発生する材料ではないことから，単純せん断試験においては，スリップリングと供試体の間に発生する相互作用力は無視している。いずれの試験においても，応力～ひずみ関係に明確なピーク強度は見られず，偏差応力が一定値で収束している。異方性と中間主

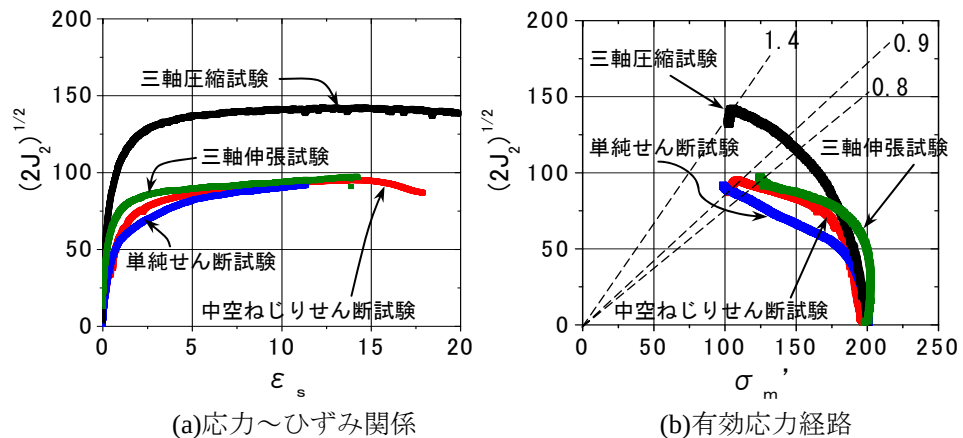


図 1 単調載荷試験の比較

Evaluation of cyclic shear strength of reconstituted clay using hollow cylinder torsional shear test and simple shear test:

Takeshi Kodaka, Kazuo Itabasi, Hiroki Fukuzawa, Naosuke Miyoshi(Meijo University), Shinjiro Kato (JR-Central Consultants)

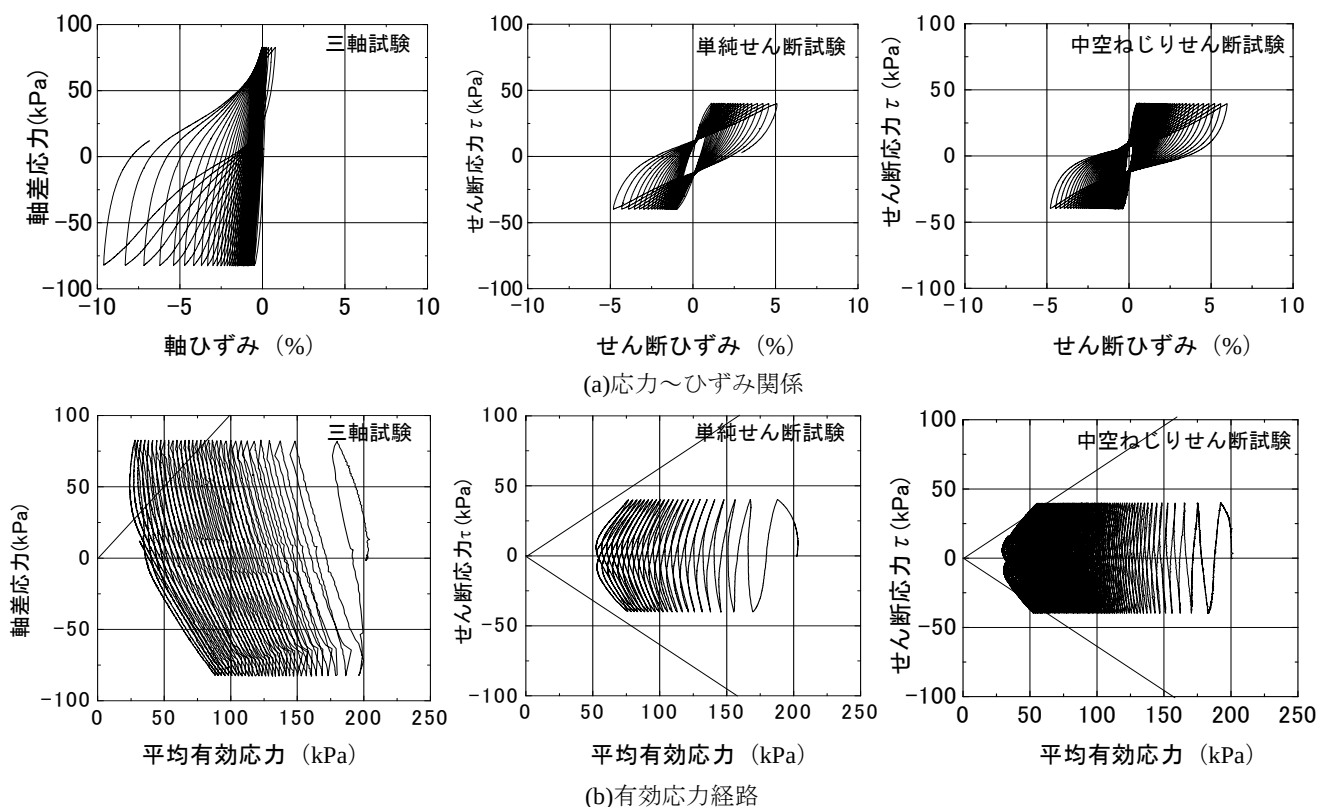


図2 繰返し载荷試験結果 (いずれの試験も繰返し応力比 0.2)

図2には三軸試験、単純せん断試験および中空ねじりせん断試験の繰返し载荷試験結果を示す。それぞれの有効応力経路図に示した直線は、単調载荷試験で得られた限界状態線を示す。三軸試験の応力～ひずみ関係では、伸張側に大きくひずみが偏る傾向が見られる。有効応力経路は圧縮と伸張で大きく異なり、圧縮時には限界状態線を越えてのせん断挙動が顕著となる。単純せん断試験と中空ねじりせん断試験では、左右の繰返しせん断に伴い、均等にせん断ひずみは増大しつつ、平均有効応力は減少して限界状態線に漸近してゆく。両試験とも比較的類似した挙動を示しているが、単純せん断試験よりも中空ねじりせん断試験の方がより均等にせん断ひずみが増加していることがわかる。有効応力経路においては、単純せん断試験はせん断時の第一波目に有効応力の減少が大きい、中空ねじりせん断試験は比較的せん断初期から徐々に有効応力の減少が生じている。

図4は繰返し強度曲線を示す。横軸は両振幅せん断ひずみが10%を超えた時点の繰返し回数であり、縦軸には単純せん断試験と中空ねじりせん断試験の場合は繰返し载荷時の最大せん断応力 τ と初期平均有効応力 σ_m' の比で定義した繰返し応力比 (τ/σ_m') を用い、三軸試験の場合は最大非排水せん断応力 $(q/2)$ と平均有効応力 σ_m' の比で定義をした繰返し応力比 $(q/2\sigma_m')$ を用いた。それぞれの試験方法によって、多少の差はあるものの、このように繰返し強度曲線として試験結果を表してしまうと、総じてそれほど変わらない繰返しせん断強度を有するものと評価できる。

4. まとめ

繰返し強度曲線にまとめると、試験方法によらずほぼ同一の結果となることが示された。しかし、応力～ひずみ関係や有効応力経路まで考慮すれば、試験法によって結果は大きく異なることに注意しなければならない。特に、繰返し三軸試験では、再構成粘土であっても、圧縮と伸張で軸ひずみの発生に大きな差が生じており、さらに、供試体端部で計測している過剰間隙水圧は供試体を代表するものではないとの指摘も古くからなされており、有効応力経路の信頼性が低いと言われている。したがって、粘性土の繰返しせん断挙動を、ダイレイタンス特性なども含めて構成式レベルで詳細に検討するためには、単純せん断試験や中空ねじりせん断試験の方が適していると考えている。今後は、今回の試験結果のシミュレーションを試みると同時に、異方圧密条件下での粘土や自然堆積粘土の繰返しせん断挙動についても詳細に検討を行う予定である。

参考文献：1)小高ら：再構成粘土の繰返し単純せん断試験とそのシミュレーション，第63回土木学会年講，2008。

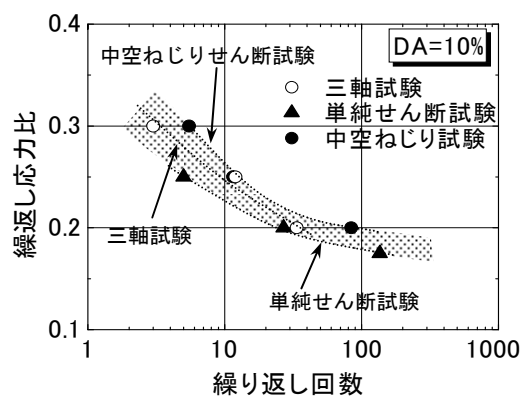


図4 繰返し強度曲線