

北上川流域の自然堆積粘土の力学特性

中空ねじりせん断試験 圧密試験 粘土

中部土質試験協同組合 国際会員 ○久保裕一
 名城大学 国際会員 小高猛司
 名城大学 学生会員 田中貴之
 中部土質試験協同組合 正会員 池田謙信

1. はじめに

南海トラフ巨大地震の発生が危惧され、国民の災害への関心が高くなっている。地震では液状化が注目されるが粘性土でも繰返し応力を受けると過剰間隙水圧が発生し、圧密沈下が発生することが報告されている¹⁾。そこで今回筆者らは、東北地方で採取された沖積粘土を対象に、圧密試験と土の変形特性を求めめるための中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験（以下、中空ねじり試験）を繰返す実験を試みた。また、圧密試験では、通常の縦・横方向の異方性を考慮した圧密試験に加え、繰返し試料も追加して詳細に検討した。

2. 実験条件

調査の対象とした試料は、東北地方宮城県石巻市不動町で採取された深度 29m の不攪乱沖積粘性土である。物理試験を実施した諸元を表 1 に示す。含水比が 69.1%、液性限界が 85.2%、粘土分が 64.9% である均質な粘土であった。今回使用した試験装置は空圧制御式中空ねじり試験機を用いた。供試体サイズは直径 7cm、内径 3cm、高さ 7cm である。圧密圧力は土被りを考慮し垂直応力 200kPa、側方向応力 100kPa の $K_0=0.5$ の異方圧密とし、背圧 200kPa を加え二重負圧法にて飽和させた。異方圧密は、等方状態で約 12 時間圧密を行った後、3 段階に分けさらに約 48 時間かけ慎重に行った。載荷方法は試験法 JGS0543-2009 に準拠し、せん断ひずみ約 1.3%（回転角度約 2 度）まで段階的に行った。繰返し方法は、初回の試験後に最終段階で排水したまま約 12 時間放置、その後、繰返し載荷をもう一度実施する。その後また 12 時間排水放置の後、最終の繰返し載荷を実施した。異方圧密条件下で合計 3 回の繰返し載荷を行う実験とした。

圧密試験は、直径 3cm、高さ 1.2cm の小口径のチタン製リングを使用した。小型のため検体数に限りがある場合や堆積方向の異方性を検討する場合に利用価値が高い。また、このリングを使用することにより、均質な供試体の作製が容易となり、比較的バラツキの少ない試験も可能となった。周辺摩擦についてはリングにワセリンを薄く丁寧に塗布するなど十分考慮し試験を実施した。

圧密試験は、直径 3cm、高さ 1.2cm の小口径のチタン製リングを使用した。小型のため検体数に限りがある場合や堆積方向の異方性を検討する場合に利用価値が高い。また、このリングを使用することにより、均質な供試体の作製が容易となり、比較的バラツキの少ない試験も可能となった。周辺摩擦についてはリングにワセリンを薄く丁寧に塗布するなど十分考慮し試験を実施した。

3. 実験結果

(1) 中空ねじり試験

図 1 にせん断剛性率と履歴減衰率の関係を示す。せん断剛性率では、微小ひずみ領域では差異がみられるが、比較的ひずみの大きい 1% 付近ではそれぞれの曲線が次第に漸近し重なる結果となった。履歴減衰率も初期の微小ひずみ領域で僅かな差異があるものの、ほぼ同じ曲線となっており大きな差異は無い。これら微小ひずみ領域の差異はセンサーの計測精度とも関係しており、計測誤差の影響も考えられる。何れにせよ僅かな差異であることから、繰返しによる影響は少ないと考えられる。次に図 2 に初期せん断剛性率 G_0 で正規化した G/G_0 曲線を示す。せん断剛性率では微小ひずみ領域に差異があったものの、正規化すると解消されている。ひずみ領域約 0.01%~0.1% 付近に着目すると 3 回目の曲線に若干の変化があり、やや非線形性が大きくなる傾向が見られるようであるが、これも微小ひずみ領域での計測精度に影響される事項であることに注意する。

表 1 物理試験結果

土粒子密度 g/cm^3	2.687	礫分%	0
自然含水比%	69.1	砂分%	0.8
間隙比	1.773	シルト分%	34.3
飽和度%	100.3	粘土分%	64.9

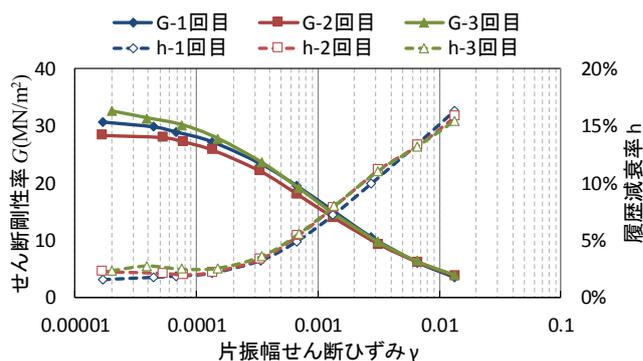


図 1 セン断剛性率と履歴減衰率関係

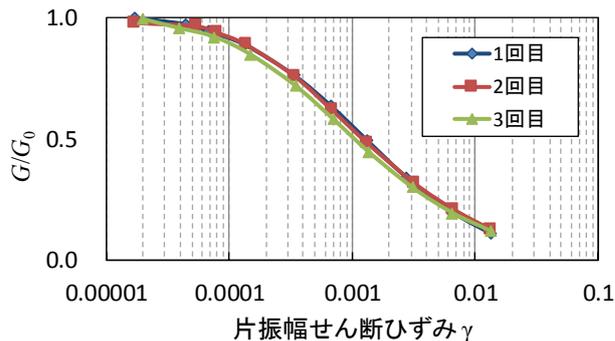


図 2 正規化した G/G_0 関係

図3にそれぞれの各回数で発生した載荷終了時の体積ひずみと軸ひずみを示す。体積ひずみ、軸ひずみ共に初回ではやや大きく発生するが、それ以降はやや小さくなるものの、ひずみが継続的に生じていることがわかる。今回の実験では載荷終了から次の段階開始までの放置時間を12時間としたが、初回以降のグラフを見る限り粘性土のひずみは緩やかに長時間続くことがこれらから推測できる。また、異方圧密条件下であるにも拘わらず、体積圧縮が等方的に発生していることから、一次的に沈下が発生することが予想される原地盤に近い条件を検討する必要がある。

図4にそれぞれの回数で発生した過剰間隙水圧比（10サイクル目）を示す。図から過剰間隙水圧の発生は、いずれの回数も0.1%付近からであることがわかる。そして、繰り返し回数が増えるごとに発生する過剰間隙水圧比は減少していく様子がわかる。これらは繰り返しによって発生した過剰間隙水圧が排水されることによる密実化の影響と考えられる。今回の実験では、せん断ひずみを最大約1%程度とそれ程大きくないひずみで繰り返しを行ったが、確実に密実化していくことが確認された。久保らが過去に行った縦方向の繰返し三軸試験の10サイクル目の過剰間隙水圧比の発生状況²⁾と比較するとねじり試験では過剰間隙水圧の発生は少ないようである。

(2)圧密試験

図6に圧密試験結果を示す。繰り返し試料の供試体では、不攪乱試料を垂直および水平方向に載荷できるように成型した供試体より間隙比が小さく、繰り返しによる構造の低位化が確認できる。また、垂直および水平方向の不攪乱試料と比較し、曲線の折れ点が不明瞭である。今回の実験では繰り返し試料の最終圧密応力が小さいために推測しかできないが、3本の曲線は最終的に交わっていくものと考えている。

垂直と水平方向を比較すると初期の圧密応力が小さい付近では間隙比はほぼ等しいが、圧密降伏応力を越えた正規圧密領域に入ってから垂直方向の供試体の圧縮性が高く現れる結果となった。この差が垂直と水平方向の堆積や異方性の影響であるかは、実験を重ねる必要がある。圧密降伏応力を算出すると、垂直方向が134kPa、水平方向が159kPaと水平がやや大きな値となった。これは水平方向の降伏後の圧縮性が垂直方向より小さく、圧縮曲線の曲率が小さくなったことによる影響である。いずれにせよ今回の採取深度29mから考えると不攪乱試料の圧密降伏応力は非常に小さく、未圧密地盤である可能性も考えられる。

次に図7に間隙比と透水係数の関係を示す。初期の間隙比の小さい段階では加圧板と試料の密着の不安定化などからバラツキがでているが、それ以降は垂直・水平方向ともに大きな差はない。

4. まとめ

東北北上川地方で採取された不攪乱試料について中空ねじり試験を繰り返すことによる動的変形特性の影響について検討した結果、せん断ひずみが1%程度までの繰返し載荷では、変形特性にはそれ程大きな影響はないことが確認された。しかしながら、繰返しせん断後の圧密時に生じる体積ひずみや軸ひずみは緩やかながら長時間続くと考えられる。また、圧密試験から求めた異方性の影響については、僅かながら垂直方向の圧縮性が大きい結果となったが、その差が有意なものかどうかは今後の更なる検討が必要である。

参考文献

- 1) 例えば、松田博，安原一哉：土の繰返し圧密 7. 非排水繰返しせん断を受けた飽和粘土の圧密，土と基礎 39-12(407)，pp.71-77, 1991. 2) 久保裕一，坪田邦治：土の繰返し三軸試験における過剰間隙水圧の挙動に関する一検討，第47回地盤工学会研究発表会，2014.

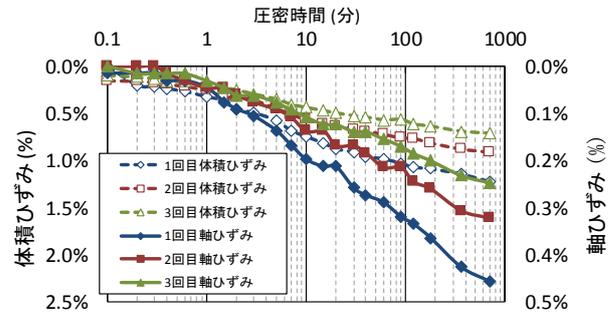


図3 最終段階の体積ひずみと軸ひずみ関係

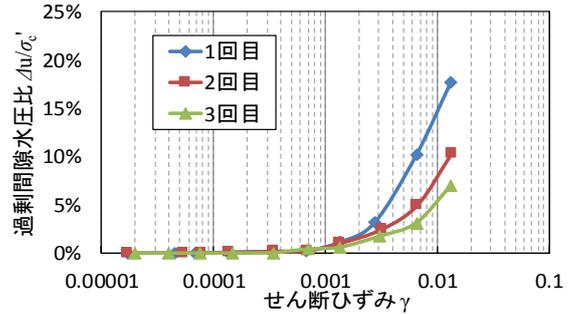


図4 せん断ひずみと過剰間隙水圧比関係

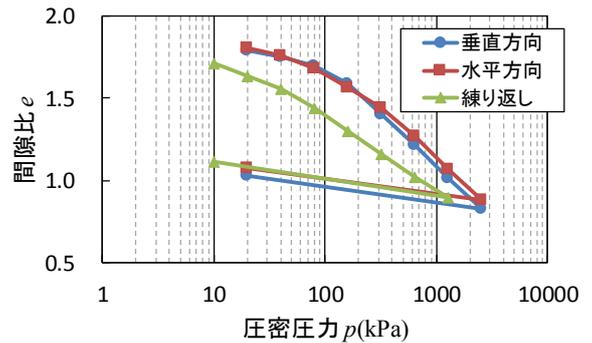


図6 間隙比と圧密圧力関係

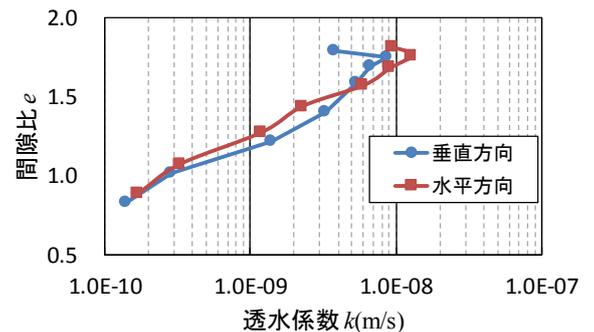


図7 間隙比と透水係数関係