

正規圧密自然堆積粘土の繰返しせん断による沈下に及ぼす構造の影響

圧密 単純せん断試験 圧密沈下

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
 建設技術研究所 国際会員 李 圭太
 名城大学大学院 学生会員 田中貴之

はじめに

我々の研究グループでは、地震時の粘性土地盤の揺すり込みによる即時沈下やその後の長期圧密沈下について、繰返しせん断に伴う粘性土の骨格構造の劣化に起因するものと考えて検討を行ってきた。本報では、北上川流域で採取した自然堆積の沖積粘土を用いて、特に降伏応力前後の異方応力条件下に着目した繰返し単純せん断試験を行った。また、粘性土の骨格構造について検討するために、不攪乱ならびに再構成試料を用いた結果を示す。

実験概要

試験試料は、宮城県石巻市不動町でシンウォール採取された深度 29m~29.85m の不攪乱沖積粘性土であり、含水比 69.1%、液性限界 85.2%、粘土分 64.9%の高液性限界粘土である。図-1 に定ひずみ速度圧密試験の結果を示す。不攪乱状態試料の圧密降伏応力は 160kN/m² となり、採取深度に比べて降伏応力が小さい正規圧密粘土である。図-1 には再構成粘土の試験結果も示す。再構成粘土は、試験後の不攪乱試料を 0.425mm のふるいで裏ごししてから液性限界の 2 倍程度に含水調整してスラリー状にしてから良く練り返し、徐々に上載荷重を作用させて最終的に 20kPa で予圧密して再構成した粘土試料である。図-1 に示すように、不攪乱試料の圧密降伏応力付近まで、両試料の間隙比には大きな差があり、この差がこの不攪乱粘土試料の骨格構造の程度を端的に表している。本報で実施した単純せん断試験は、直径 60mm、高さ 30mm の円柱供試体を用いて、上部ペDESTALを水平移動させることにより単純せん断を行う。ゴムスリーブを被せた供試体の外側にはドーナツ形状のスリップリング（厚さ 1mm）を 30 枚積層させ、このリングがせん断中に供試体側面を拘束することで単純せん断モードが維持される。上下ペDESTALには供試体との摩擦を確保するための刃が設置されている。

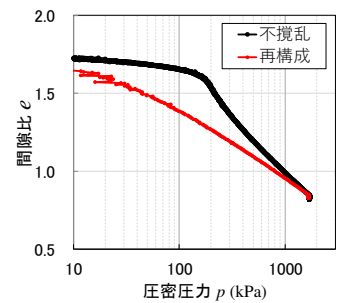


図-1 圧密試験結果

case	状態	K_0	σ_1'	σ_3'	σ_m'	繰返し回数	せん断ひずみ
case-A	不攪乱	1.0	200kPa	200kPa	200kPa	160	1%
case-B	再構成						
case-C	不攪乱	0.5	150kPa	75kPa	100kPa		
case-D	再構成						
case-E	不攪乱	0.5	150kPa	75kPa	100kPa	260	0.50%

表-1 試験条件

この粘土試料で「土の変形特性を求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 (JGS 0543-2009)」を実施した結果、せん断ひずみ 1%前後での応力~ひずみ関係等の試験結果は、中空円筒ねじりせん断試験と単純せん断試験との間に大きな差異はなかったため、本報では多くの試験数が確保できる単純せん断試験を実施した。

表-1 に試験条件を示す。不攪乱と再構成試料を用い、等方および異方圧密条件（それぞれ $K_0=1.0$ および 0.5、ただし K_0 は水平と鉛直の有効応力比として便宜的に使用）で 5 種類の試験条件で繰返し単純せん断試験を実施した。なお、供試体は二重負圧法と背圧 200kPa を加えることにより飽和化を行い 16 時間圧密した後、非排水条件で片振幅 1%と 0.5%の繰返しせん断試験を実施した。せん断速度は、繰返しせん断速度 0.5%/min でひずみ制御とし、繰返し回数は 24 時間（せん断ひずみ 1%は往復 160 回、0.5%は 260 回）とした。

実験結果

図-2 に等方圧密状態で繰返しせん断を実施した case-A と case-B の結果を示す。有効応力経路とせん断応力~せん断ひずみ関係のいずれにおいても不攪乱試料と再構成試料との明確な差は見られない。繰返しに伴う過剰間隙水圧比の発生過程は、再構成試料がほぼ頭打ちとなるのに対して、不攪乱試料では増加を続ける傾向が見られる。図-3 に異方圧密 ($K_0=0.5$)状態で繰返しせん断を実施した case-C と case-D の結果を示す。有効応力経路を見ると、図-2 の等方圧密状態での結果とは異なり、不攪乱試料の方がせん断初期において繰返しせん断に伴う有効応力の低下度合いがやや大きい。また、不攪乱試料の方が発揮されるせん断応力が大きく、見かけの剛性はやや高いことがわかる。繰返しに伴う過剰間隙水圧比の発生過程は、図-2 と同様に不攪乱試料では増加を続ける傾向が見られる。図-2 に示した等方圧密状態の試験では、初期の有効側方圧 σ_3' が 200kPa であったため、最終的な過剰間隙水圧比が 60%となっても有効応力は 120kPa 程度残っているが、図-3 に示す異方圧密状態の試験では、初期の有効側方圧 σ_3' が 75kPa であり、平均有効応力が正規化した過剰間隙水圧比が 60%程度であっても、有効側方圧 σ_3' はゼロ近くまで低下している。図-4 は、図-3 に示した case-C の繰

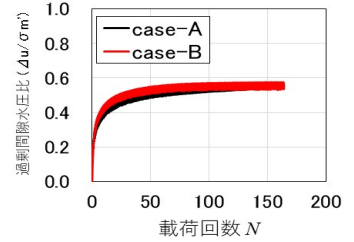
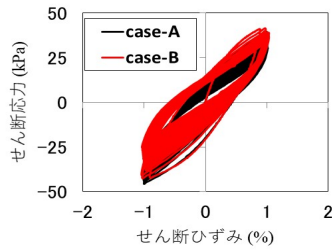
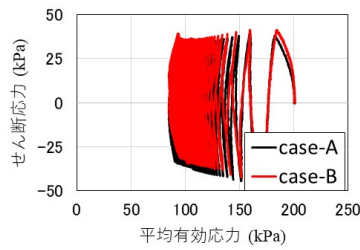


図-2 等方圧密条件の試験結果 (せん断ひずみ 1%)

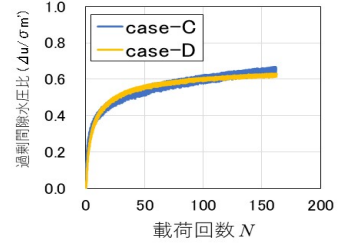
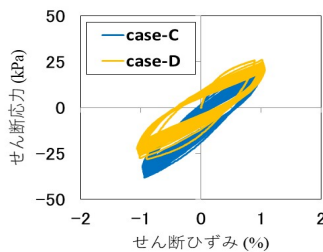
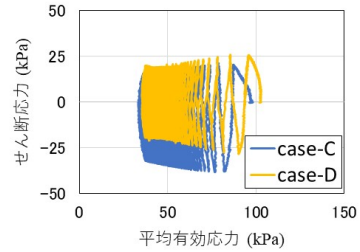


図-3 異方圧密条件の試験結果 (せん断ひずみ 1%)

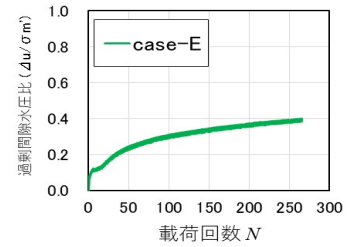
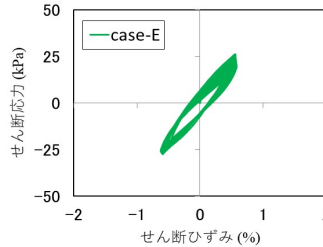
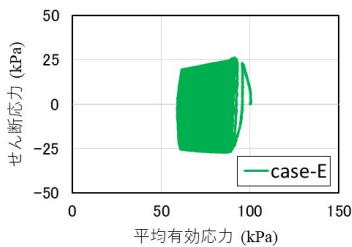


図-4 異方圧密条件の試験結果 (せん断ひずみ 0.5%)

返しせん断ひずみを 0.5%にした結果を示す。繰返し回数に応じて過剰間隙水圧が増加し続けるが、その量は図-3 に比べて小さく、有効側方圧 σ_3' もゼロ近くまでは低下していない。

図-5 に繰返しに伴う軸ひずみの推移を示す。等方圧密状態での繰返しせん断では、不攪乱試料と再構成試料ともにほとんど変化しない。一方、異方圧密状態では、いずれも大きな軸ひずみは発生し、再構成試料が不攪乱試料の 3 倍程度の変形を示している。これは地震時の即時沈下が、構造が定位な軟弱地盤であるほど大きくなることを示唆している。

図-6 に全試験の圧密圧力に対する間隙比の変化を示す。せん断試験の圧密条件は 1 次元圧密とは厳密には異なるが垂直圧を圧密圧力として簡易的に表示した。四角が圧密前、三角は圧密後 (せん断前)、丸がせん断後に排水させて過剰間隙水圧を消散させた後の間隙比である。Case-C と E のように全く同じ圧密条件でも圧密前後の間隙比にバラツキがあることから、絶対量よりも試験プロセス中の変化に着目する。異方圧密状態の試験では、繰返しせん断中の即時変形は観察されたが、圧密降伏応力よりも小さいことを反映して、繰返し後の間隙の変化は不攪乱、再構成ともにそれほど大きくない。一方、圧密降伏応力を超えて試験が行われた不攪乱試料においては、等方圧密条件の繰返しせん断で、せん断中の即時変形は全く観察されなかったにも拘らず、せん断後の変形が大きく発生することがわかる。これは、圧密降伏応力を超えた状態での繰返しせん断が、粘土の骨格構造の劣化に大きな影響を与えることを示している。

まとめ

単純せん断試験機を用いた繰返し載荷試験を、圧密降伏応力前後の等方圧密と異方圧密条件で行った。異方圧密状態での繰返しせん断は即時変形を与える。一方、圧密降伏応力を超えた状態での繰返しせん断は、不攪乱試料の骨格構造の劣化を誘発し、繰返しせん断後の変形を与えることが示された。圧密降伏応力を超えた異方圧密状態などの試験結果を今後示して、より詳細に粘性土の地震時変形について検討する予定である。

参考文献：1)久保ら：北上川流域の自然堆積粘土の力学特性，第 53 回地盤工学会研究発表会，2018。

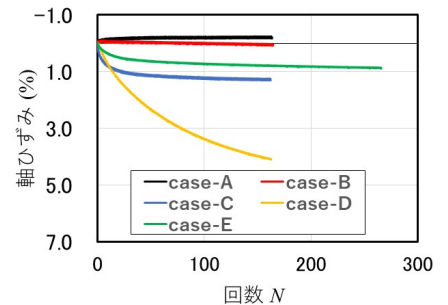


図-5 繰返し中の軸ひずみ

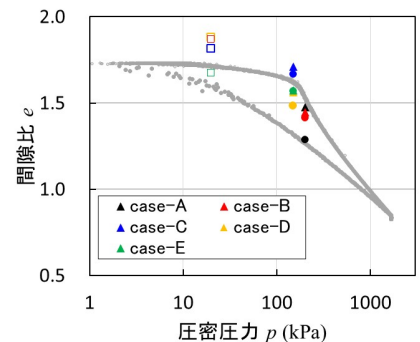


図-6 全試験の間隙比の変化