

北上川沖積粘土の繰返し単純せん断試験

名城大学大学院 学生会員 ○田中 貴之
名城大学 正会員 小高 猛司
中部土質試験協同組合 正会員 久保 裕一

1. 目的

地震時においては粘性土地盤においても繰返し載荷によって即時沈下したり、発生した過剰間隙水圧が消散することによって地震後に長期沈下するなどの変状が懸念される¹⁾。実際に、大地震後に粘土地盤が長期沈下を起こしている事例が報告されている^{2),3)}。本報では、単純せん断試験装置を用いて比較的大きなひずみレベルでの繰返し載荷試験を実施し、自然堆積粘土地盤の地震時並びに地震後の変形挙動について考察する。

2. 試験概要

本報では、宮城県石巻市不動町にてシンウォールサンプラーで採取した深度 29m から 29.85m の沖積粘土を用いた。物理試験結果を図 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。小さな貝殻が少し混入している、均質な粘土であった。

単純せん断試験の供試体寸法は直径 60mm，高さ 30mm の円柱である。上下ペデスタルに刃付きのポーラスストーンを設置しており、供試体との摩擦を確保したうえで、上部ペデスタルを水平移動させることにより単純せん断試験を行う。また、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 30 枚積層させて設置し、供試体側面形状を拘束しながらせん断することで、単純せん断モードを維持している。供試体をセルに設置後、二重負圧法によって飽和化を行い、背圧を 200kPa 作用させ、16 時間圧密した後、非排水条件で単純せん断試験と繰返しせん断試験を実施した。単純せん断試験は載荷速度 0.1%/min である。繰返しせん断試験は、両幅振幅が 12%を超えたところでせん断試験を終了し、水平変位を 0 にした後圧密を行う。なお、繰返しせん断時の載荷速度は 0.5%/min である。

3. 試験結果

図 1 に圧密試験による圧縮曲線を示す。供試体は高さ 12mm，直径 30mm，堆積面に対して垂直方向で成型したものと水平方向で成型した供試体、繰返し後に成型した供試体にそれぞれ段階載荷圧密試験を実施した。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、圧密降伏応力を超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、粘土を採取した地盤が未圧密地盤であった可能性も考えられる。繰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、繰返しによる構造の低位化が確認できる。また、図 1 に定ひずみ圧密試験(以下 CRS)の結果も示す。高さ 20mm，直径 60mm に成型した供試体

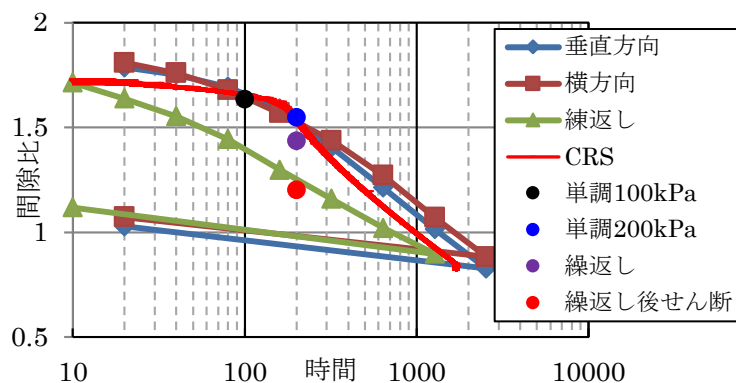


図 1 圧縮曲線およびせん断試験の初期間隙比

キーワード 1.粘土 2.単純せん断 3.繰返しせん断

連絡先 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部 TEL: 052-838-2347

を用いた。段階载荷試験の結果と比較すると圧密降伏力は同程度だが、正規圧密領域で大きく圧縮している。

図 2 に単調载荷による単純せん断試験の結果を示す。今回の単純せん断試験での圧密過程は等方圧密で行っているため、図 1 の一次元圧密の圧縮曲線には厳密に一致しないが、単調せん断試験の供試体の圧密後間隙比は、圧縮曲線とよく一致している。図 2 の黒線と青線のデータが単調せん断を実施した試験結果である。有効応力経路を見ると、有効拘束圧 100kPa ではやや立っているが、有効拘束圧 200kPa では塑性圧縮が顕著に現れる正規圧密挙動をしている。圧密試験での P_c が 134kPa であったことを考慮すると、 P_c を挟んだ圧密応力によって、挙動が変わることは圧密試験の結果に即している。図 2 右にはせん断中の軸ひずみの変化を示す。せん断中に軸方向に膨張する傾向が見られた。

図 3 に繰り返しせん断試験の結果を示す。繰り返し回数は約 140 回で両幅振幅が 12%に到達した後停止した。単調せん断と同様に、せん断初期から間隙水圧の上昇と軸方向に膨張傾向が見られる。図 4 は繰り返しせん断後に過剰間隙水圧を消散させることによる 24 時間の圧密中の体積ひずみと軸ひずみの経時変化である。10000 秒付近までは、軸ひずみが体積ひずみの 1/3 以上の値となっており、軸方向の沈下が卓越しているように見受けられるが、10000 秒を超えたあたりから排水量が卓越してきており、最終的には体積ひずみは軸ひずみの 3 倍を上回っており、軸ひずみが圧密に追随していないことが分かる。 P_c を超えた領域での大ひずみ領域まで含む繰り返しせん断であったため、構造の劣化に伴う継続的な圧密が発生している可能性もある。ただし、長時間にわたる実験のために、漏水等の可能性も排除できない。24 時間圧密後は間隙比 $e=1.2$ にまで到達した。この間隙比は、別途実施した繰り返し試料による圧密試験において、繰り返し試料の正規圧密曲線上の間隙比とほぼ一致しており、繰り返し载荷によって相当程度粘土の構造が劣化したことを示唆している。図 2 には繰り返し载荷後に圧密させた供試体を、再度単調せん断した試験結果も赤線で示していた。24 時間圧密したが過剰間隙水圧が残留していたために、せん断開始時の平均有効応力は 175kPa 程度となっている。有効応力経路は初期拘束圧 100kPa の試験結果と類似した形状となっており、やや過圧密の挙動を示している。

4. まとめ

繰り返し単純せん断を行い自然堆積粘土の地震時沈下挙動の検討を行った。今回は等方圧密条件での実施であったが、繰り返しせん断後の圧密においては、発生した過剰間隙水圧の消散に伴い長時間圧密が継続することが確認された。異方圧密条件ではさらにその傾向は顕著になることが予想される。今後、現地盤において実際に発生するひずみレベルの大きさを数値解析などで検証しつつ、詳細な地震後挙動を検討する。

参考文献: 1) 例えば、松田ら：土の繰り返し圧密 7. 非排水繰り返しせん断を受けた飽和粘土の圧密，土と基礎 39-12, 1991. 2) 堀川ら：地震時における粘性土地盤上の河川堤防及び近隣地盤の変状予測手法，第 52 回地盤工学研究発表会，2017.3) 長谷川ら：柏崎平野の地震後地盤沈下に関する地形・地質調査，第 52 回地盤工学研究発表会，2017.

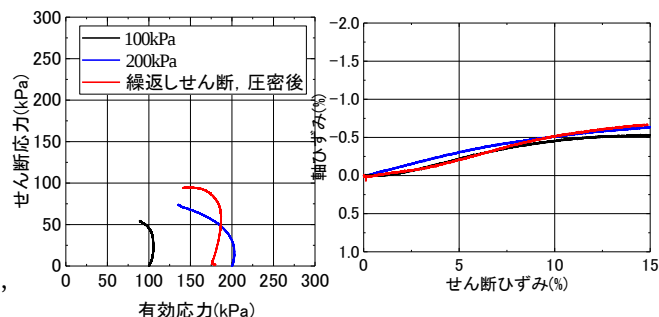


図 2 単調せん断試験

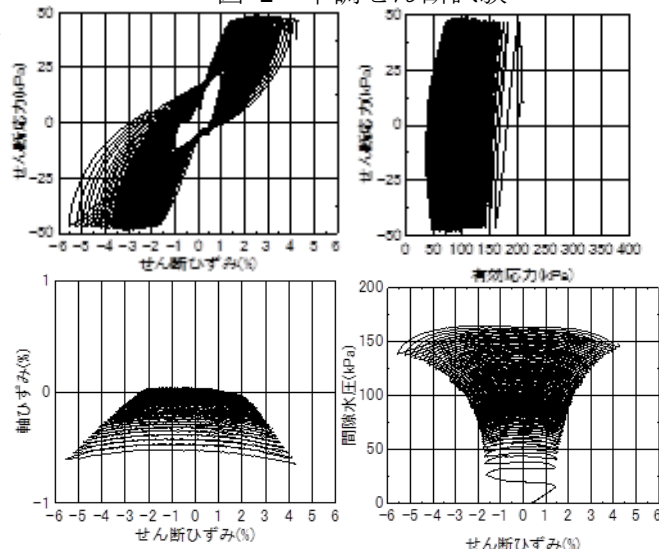


図 3 繰り返しせん断試験結果

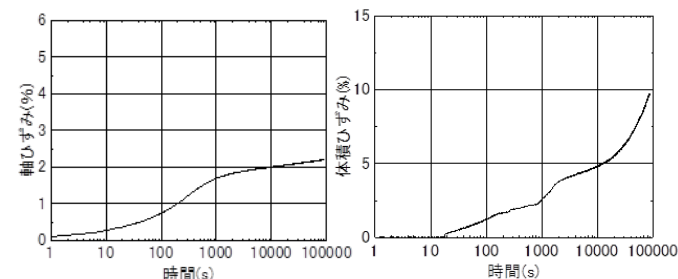


図 4 繰り返しせん断後圧密経時変化