

北上川自然堆積粘土の繰返し動的変形特性と圧密異方性

中部土質試験協同組合 正会員 ○久保 裕一
名城大学 正会員 小高 猛司
建設技術研究所 正会員 李 圭太
中部土質試験協同組合 正会員 池田 謙信

1. はじめに

近年の研究では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)~3)}。筆者らは、東北北上川流域で連続採取された沖積粘土を入手する機会を得たので、圧密試験と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（以下、中空ねじり試験）を繰返す実験を行った。繰返しによる動的変形特性と、圧密試験での異方性について詳細に検討した。

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連続採取された N 値 4 程度の深度 29m~35m の不攪乱沖積粘性土 3 試料である。柱状図では深度 21m からの層厚 16m の厚い粘土層であった。物理試験結果等の諸元を表 1 に示す。含水比が 59.3%~69.1%，液性限界が 82.6~85.2%，粘土分が 56.3~69.6%，全て高液性限界粘性土である。

使用した中空ねじり試験の試験供試体サイズは直径 7cm，内径 3cm，高さ 7cm。圧密圧力は土被りを考慮し垂直応力 200~260kPa， $K_0=0.5$ の異方圧密とし、背圧 200kPa を加えた。異方圧密は、等方圧密約 12 時間の後、3 段階で約 48 時間かけ異方状態とした。中空ねじり試験の载荷方法は JGS0543-2009 に準拠し、せん断ひずみ約 1.3%（回転角度約 2 度）までステージ的に行った。繰返しの方法は、载荷過程の最終ステージ後に約 12 時間排水放置。その後、再度载荷過程を実施し最終ステージで 12 時間排水放置。そして、もう一度繰返し载荷過程を実施し最終ステージで再度 12 時間排水放置する。これで载荷過程と排水過程が 1 試料につき 3 回、3 試料で計 9 回の繰返し実験とした。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、直径 7.5cm 高さ 11cm の一検体から採取した。小口径を使用することによる周辺摩擦の影響については、ワセリンを丁寧に塗布するなど十分考慮し実験を行った。

3. 実験結果

図 1 に初期せん断剛性 G_0 で正規化した T-3 の G/G_0 曲線を代表で示す。繰返した 3 回の曲線は全てのひずみ領域でほぼ差異はない。次に、全ての試料の G/G_0 曲線を図 2 に示す。図からせん断ひずみ 0.01% 付近でやや異なるが、総じてほぼ同じ非線形性と考えられる。また紙面の都合上割愛しているが、せん断剛性率 G も 3 回の繰返しにより殆ど変化しなかった。次に T-3 のせん断ひずみと履歴減衰率の関係を代表して図 3 に示す。せん

表 1 各試料の物理試験結果

試料番号	T-1	T-2	T-3
深さ	29.00-29.85m	32.00-32.85m	34.00-34.85m
垂直/側方向応力 kPa	200/100	200/100	260/130
湿潤密度 g/cm^3	1.611	1.602	1.699
乾燥密度 g/cm^3	0.969	0.969	1.103
土粒子密度 g/cm^3	2.687	2.677	2.695
自然含水比 %	69.1	63.9	59.3
間隙比	1.773	1.763	1.443
液性限界 %	85.2	82.6	85.3
塑性指数	50.9	47.1	52

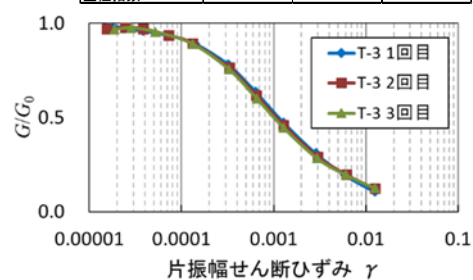


図 1 T-3 の G/G_0

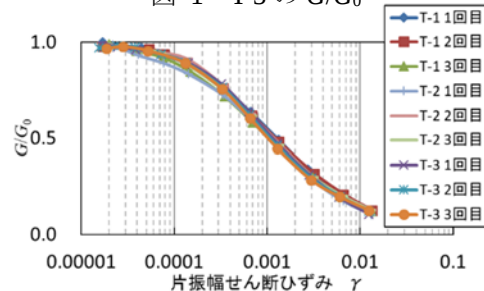


図 2 全試料の G/G_0

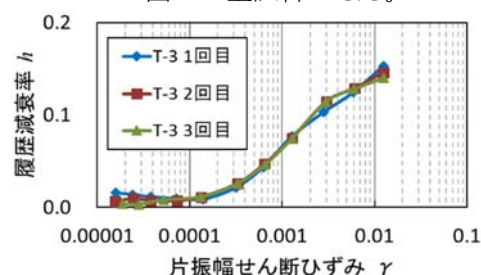


図 3 T-3 の履歴減衰率 h

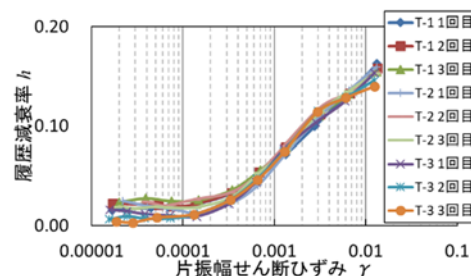


図 4 全試料の履歴減衰率 h

キーワード 中空ねじりせん断試験 圧密試験 粘土

連絡先 〒463-0009 愛知県名古屋市守山区緑ヶ丘 8 0 4 中部土質試験協同組合 TEL052-758-1500

断ひずみが 0.0001% 付近の微小ひずみ領域と 0.1 ~ 1 % 付近で少し異なっているが、総じて大きな差異はない。図 4 には全ての履歴減衰率を示す。全体として微小ひずみ領域でやや異なるものの、同じ曲線であることがわかる。これらからせん断ひずみ 1% 程度の繰返し作用では動的変形特性にそれ程大きな影響はなく、排水による密実化や繰返しによる作用は非線形性に影響を与えないと考えられる。次に、図 5 に全ての試料のせん断ひずみと過剰間隙水圧比の関係を示す。この図は載荷過程の各ステージ 10 サイクル目の過剰間隙水圧比を表している。図から過剰間隙水圧の発生は、せん断ひずみが 0.1% を境にして急激に大きくなることがわかる。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⁴⁾と比較すると、ねじり試験ではひずみ領域はやや大きく、発生量は少ないようである。図 6 と図 7 に最終ステージで発生した T-1 と T-3 の体積ひずみと軸ひずみを示す。T-1 と T-2 は大きな差異はなかったが T-3 の軸ひずみは T-1 の約半分となっている。

次に圧密試験の結果を示す。図 8 と図 9 は T-1 と T-3 の圧密応力と間隙比の関係 e -log p を示す。試験は垂直・水平・繰返しの 3 パターンを実施した。T-2 については、貝殻片が多く試験が不可能であった。図 8 の T-1 では繰返し試料と垂直・水平方向で間隙比の差があり、嵩張りが確認できる。垂直・水平方向の e -log p 曲線に大きな差異はなく、明瞭な降伏応力の折れ点が見られない。圧密降伏応力は垂直方向 134kN/m² ($C_c=0.66$)、水平方向 159kN/m² ($C_c=0.67$) と、どちらも土被りから計算するとかなり小さな結果となった。図 9 の T-3 では、T-1 同様に繰返しと垂直・水平方向に間隙比の差があり、嵩張りも確認できる。しかしながら、垂直より水平方向の嵩張りが大きく、折れ点も明瞭である。水平方向の折れ点が明瞭なのは興味深い。圧密降伏応力は垂直方向 351kN/m² ($C_c=0.59$)、水平方向 326kN/m² ($C_c=0.68$) と土被り相当の圧密降伏応力と考えられる。これら圧密試験の結果から筆者は圧縮指数 C_c がやや小さい印象を持った。これらが東北地方太平洋沖地震の影響なのか非常に興味深い。

6. まとめ

今回東北北上川流域で採取された粘性土において、異方圧密した中空ねじり試験を繰返して行った結果、動的変形特性にはせん断ひずみが 1% 程度では動的変形特性にそれほど大きな差異は生じないことがわかった。また、過剰間隙水圧はせん断ひずみ 0.1% 付近から上昇し始めた。圧密試験では、T-1 で土被りより相当小さい圧密降伏応力となったが、僅か数メートル下の T-3 では土被り相当となった。これは T-3 の軸ひずみが T-1 層の約半分と小さいことから同一粘性土層でも僅かな深度の違いにより大きく異なる性質をもつ地層が存在することを示唆している。

参考文献 1) 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) 堀川太郎, 楊雪松, 山根秀嗣, 安原一哉: 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) 長谷川拓也, 大塚悟, 磯部公一, 西達也, 佐藤豊: 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. 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 回地盤工学学会研究発表会, 2014.

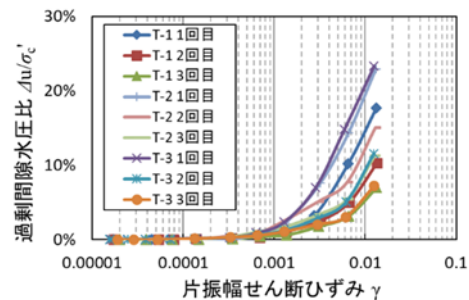


図 5 全試料の過剰間隙水圧発生状況

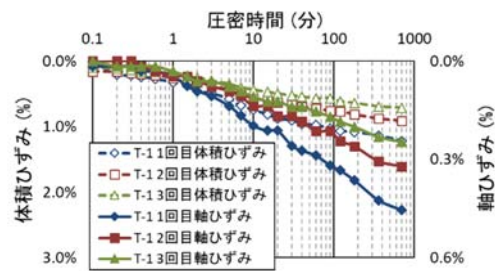


図 6 T-1 の体積ひずみと軸ひずみ

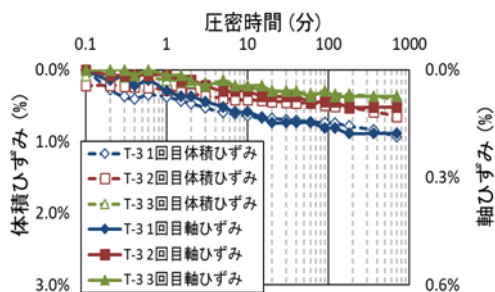


図 7 全試料の過剰間隙水圧比発生状況

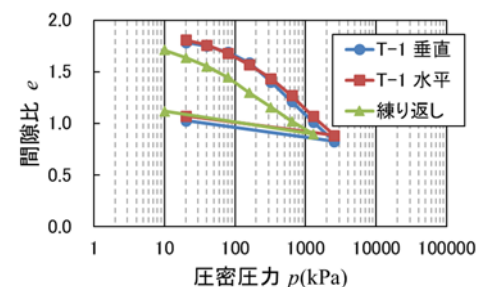


図 8 T-1 の e -log p 曲線

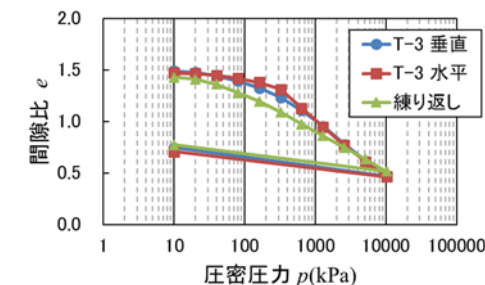


図 9 T-3 の e -log p 曲線