

III-248 繰返し載荷を受けた不攪乱粘性土の非排水せん断特性について

早稲田大学理工学部土木工学科
同 大学院

正 員 赤木 寛一
学生員 ○ 古山 泰史

1. まえがき

動的な応力履歴を受けた粘性土地盤の力学的諸特性の変化を把握するには動的な応力履歴による粘性土の骨格構造の変化状況を知ることが必要である。飽和粘性土が非排水状態で動的な応力履歴を受けた場合、正の過剰水圧が残留し有効応力が低下して力学的特性が変化することが知られているが、その時の骨格構造変化(乱れ)のメカニズムについては不明の点が多い。今回、現場より採取した不攪乱粘性土を用いて非排水繰返し載荷履歴を受けた場合と除荷による過圧密履歴を受けた場合について、それぞれ静的非排水せん断時の力学的挙動を詳細に調査した。本報告はその結果をもとに、繰返し載荷を受けた不攪乱粘性土の骨格構造の乱れと除荷による骨格構造の過圧密化及びそれに基づく力学的特性の変化状況について基礎的な考察を加えたものである。

2. 実験の概要

種々の応力履歴が不攪乱粘性土の力学性状に及ぼす影響を調査するために、以下に述べる3通りの応力履歴を与えた供試体についてそれぞれ静的非排水せん断試験を実施した。図1に示すように ① $p'=6.0$ (kgf/cm²)で圧密を行う場合：A→B（正規圧密履歴）② $p'=6.0$ (kgf/cm²)で圧密後、所定の過剰間隙水圧 ($\Delta u_r=2.8$ kgf/cm²) が発生するまで非排水繰返し載荷を加える場合：A→B→D（繰返し載荷履歴）③ $p'=6.4$ (kgf/cm²)で圧密後 $p'=3.2$ (kgf/cm²)に除荷膨潤する場合：A→C→D（過圧密履歴, OCR=2.0）の3通りである。

実験に用いた試料は東京都大田区京浜島より採取した不攪乱沖積粘性土であり、試料の諸性質は表・1に示す。

実験手順は以下の通りである。現場より採取した土塊より直径50mm、高さ100mmの円柱形供試体を成形し、段階的に等方圧密を行った。各圧密段階での打ち切り時間は3t。法により定めた(約20時間)。圧密中の排水は「ペーパードレン」を併用して上下面より行い、この間1.0 (kgf/cm²)の背圧を作用させたが、圧密後の間隙圧係数B値はほぼ1であった。②の繰返し載荷履歴を与える場合には圧密終了後非排水状態とし、所定の過剰間隙水圧 ($\Delta u_r=2.8$ kgf/cm²) が発生するまでひずみ振幅制御で正弦波の繰返し載荷を加えた(B→D)。このとき周波数(f)を0.1Hz・0.5Hz、ひずみ振幅($\Delta \epsilon$)を0.2%・0.4%と変えて実験を行い、また実験中の軸方向荷重、変位及び間隙水圧の変化はX-Yレコーダーに記録した。繰返し載荷終了後約1時間放置し間隙水圧の安定を待って、残留軸ひずみ、過剰間隙水圧を測定した。さらに、上記の3種類の応力履歴を受けた供試体について、それぞれ静的非排水三軸圧縮試験(ひずみ速度 $\dot{\epsilon}=0.05\%$ /min)を実施した。

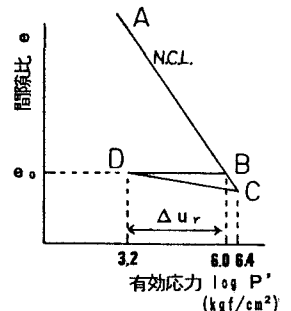
3. 繰返し載荷時の不攪乱粘性土の挙動

図・2は繰返し載荷中のせん断剛性低減比、過剰間隙水圧及び軸ひずみと繰返し載荷回数Nの関係を周波数、ひずみ振幅別に示したものである。ここでせん断剛性低減比は G_N/G_1 (G_N : 載荷回数N回でのせん断弾性係数)の値を、また過剰間隙水圧、軸ひずみはそれぞれの振幅の中間の値を用いて表した。繰返し載荷回数Nの対数とそれぞれの値はほぼ比例関係にある

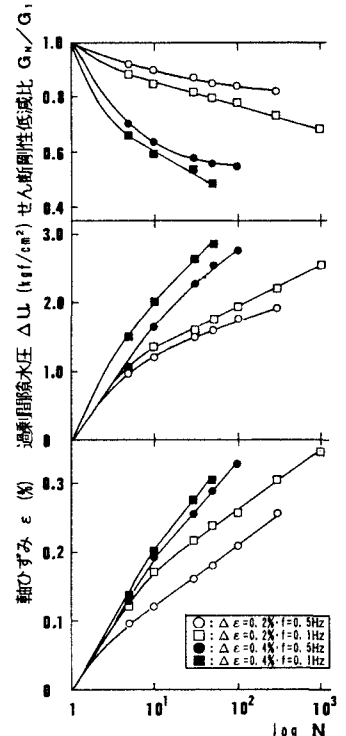
表・1 試料の諸性質

比重	G_s	2.693
液性限界	w_L (%)	91.0
塑性限界	w_P (%)	43.1
塑性指数	I_P	47.9
初期間隙比	e_0	1.86 ± 0.13
鋭敏比	S_i	14.4

* e_0 , S_i は 6.0 (kgf/cm²) の下で等方圧密終了後の供試体のものである。



図・1 実験方法の概要



図・2 繰返し載荷時の挙動

が、特に繰返し初期に各値の変動が著しい。これはより高位な骨格構造を持つ鋭敏性の高い不攪乱粘性土は繰返し載荷初期に大きく構造の乱れを受ける¹⁾ためである。また繰返し載荷時のひずみ振幅によって供試体の挙動は大きく異なり、ひずみ振幅が大きい場合の方が骨格構造の乱れも大きいと考えられる。

4. 異なる応力履歴を受けた不攪乱粘性土の静的非排水せん断特性

図・3に正規圧密履歴、繰返し載荷履歴及び過圧密履歴を受けた供試体の静的非排水三軸せん断時の軸ひずみ～主応力差・過剰間隙水圧の関係を示す。繰返し載荷履歴を受けた場合には、同等の有効応力状態にある過圧密履歴を受けた場合や正規圧密状態の場合と比較して骨格構造の乱れの影響を受けているのでせん断抵抗は低下している。また変形係数 E_{sa} も過圧密履歴($E_{sa}=533\text{kgf/cm}^2$)、正規圧密履歴($E_{sa}=595\text{kgf/cm}^2$)と比較して、 $\Delta\epsilon=0.4\%$ の場合小さな値($E_{sa}=470\text{kgf/cm}^2$)となっている。また、繰返し載荷に起因する骨格構造の乱れの影響は骨格構造状態と密接な関係を持つ図・4の間隙圧係数 A 値の挙動にも表れており、 $\Delta\epsilon=0.4\%$ の場合には過圧密履歴を受けた場合より A 値が大きくなっている。この傾向はせん断試験初期に明瞭であるが、せん断ひずみが大きくなると過圧密粘土との差異はほとんど見られなくなっている。

しかしながら、 $\Delta\epsilon=0.2\%$ の繰返し載荷を受けた場合は静的せん断初期の挙動が異なり E_{sa} も大きな値となっている($E_{sa}=813\text{kgf/cm}^2$)が、その理由は次のように考えることができる。今回の実験では圧密時にペーパードレンを用いて側方排水を併用し等方圧密を行った為に、供試体は外周部の排水が速やかに進み内部の圧密状態が不均一であると考えられる。²⁾このように圧密された供試体に繰返し荷重を加えると、ひずみ振幅が小さい(0.2%)場合には供試体の外周部の圧密度の大きい部分が破壊されない状態で、供試体内部の間隙水の移動が生じて内部の圧密状態が均一化し、繰返し載荷を受けていない供試体よりも変形係数が大きくなる。一方大きなひずみ振幅(0.4%)の繰返し載荷を行うと供試体外周部の圧密度の大きい部分が破壊されるため変形係数が小さくなると考えられる。この状況は図・4に示す間隙圧係数 A 値のせん断初期の挙動にも示されており、 $\Delta\epsilon=0.2\%$ の場合の A の値は過圧密履歴を受けた場合よりもさらに小さな値となっている。

5. まとめ

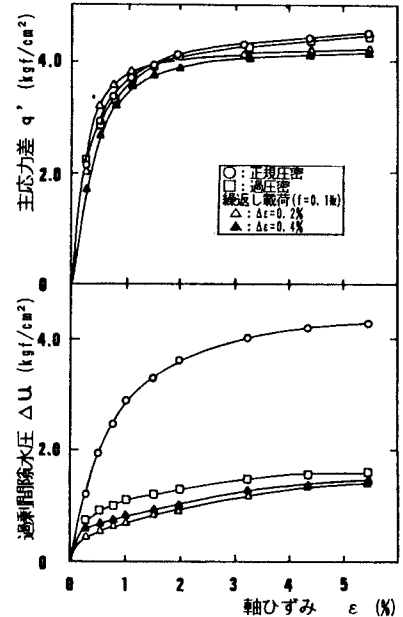
本報告は振動三軸試験装置を用い、応力履歴の違いに着目して不攪乱粘性土の力学的特性について基礎的な考察を加えたものである。その結果を要約すると以下の通りである。

- (1) 鋭敏性の高い不攪乱粘性土は繰返し載荷初期に大きく骨格構造の乱れを受ける。
- (2) 繰返し載荷時のひずみ振幅の違いによって繰返し載荷時や静的せん断時の挙動が異なる。
- (3) 繰返し載荷履歴を受けた粘性土は過圧密履歴を受けた粘性土に比べ、骨格構造の乱れの影響により力学的特性が劣化する。
- (4) 等方圧密された供試体の三軸せん断特性の解釈にあたっては、供試体内部の圧密状態の不均一性を考慮する必要がある。

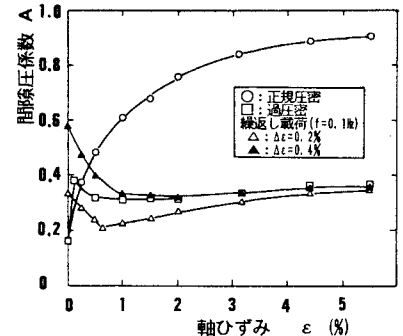
最後に不攪乱試料の採取にあたって便宜を図っていただいた関係機関各位に厚く謝意を表します。

〔参考文献〕

- 1) 赤木・大塚：「非排水繰返し載荷が飽和粘性土の力学的特性に及ぼす影響 —特に、土の鋭敏性に着目して—」第22回土質工学研究発表会講演集、No. 239, pp. 625-628, 1987
- 2) 松井・阿部：「三軸粘土供試体の圧密について」第22回土質工学研究発表会講演集、No. 90, pp. 231-232, 1987



図・3 静的せん断試験時の挙動



図・4 静的せん断試験時の間隙圧係数 A 値