

繰返し載荷を受けた中間土のせん断特性について

中央大学大学院 学生会員 ○熊谷 悠
中央大学 正会員 石井 武司
中央大学 正会員 金澤 伸一
中央大学 フェロー会員 太田 秀樹
中央大学 正会員 齋藤 邦夫

1. はじめに

粘土分を含む中間土は、繰返し載荷を受けても砂地盤で見られる液状化を容易に起こすことはない。しかしながら、繰返し載荷を受けると、地盤内に過剰間隙水圧が蓄積されて有効応力が減少するため、強度の低下が懸念される。また、発生した過剰間隙水圧が消散すれば、間隙比が低下し、現土被り圧下における強度よりも大きくなることも考えられる。同時に、繰返し載荷を受けることにより、変形係数も影響が及ぶと予想される。そこで本研究では人工的に調整した中間土を作成し、繰返し載荷を経験させた場合、あるいは繰返し後排水を許容した場合のせん断特性に関する検討を三軸試験で行った。

2. 使用試料

本研究では、東京湾汐留地区で採取した $I_p=40$ の粘性土と、これに珪砂 7 号を混合して砂分量が 50%, 60%, 70%となるように人工的に調整した試料を用いた。以後、作成した中間土は砂分量に応じて、それぞれ SK50~SK70 と呼ぶものとする。また、どの試料も、液性限界の 2 倍となるように初期含水比を調節し、圧密圧力 100kPa で予備圧密を行った。各試料の物理特性を表-1 に示す。

3. 実験概要

本実験の流れを図-1 に示す。人工調整試料を 100 kPa にて予備圧密し、直径 50mm、高さ 100mm にトリミングして試料を成形した。B 値が 0.96 以上となっていることを確認した後、背圧 $u_b=200\text{kPa}$ 、有効拘束圧 $\sigma'_o=200\text{kPa}$ の下で等方圧密を行った。圧密終了後、ひずみ制御方式¹⁾にて、軸ひずみ片振幅を $\varepsilon=0.5\%$ 、載荷周波数を 0.1Hz とし、非排水繰返し載荷を与えた。その後、図-1 に示すように非排水条件を保ちつつ間隙水圧が定常(約 1 時間程度)になったことを確認した後、非排水圧縮試験を行った。また繰返し載荷後に排水を行い過剰間隙水圧が十分に消散(約 4 時間)したことを確認した後、非排水圧縮試験を行った。各試料について行った実験ケースを表-2 に示す。

表-1 試料の物理特性

試料名	汐留粘土	SK50	SK60	SK70
土粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.70	2.65	2.65	2.65
液性限界 $w_L(\%)$	66.4	42.9	39.1	30.6
塑性限界 $w_P(\%)$	27.2	21.9	22.9	24.0
塑性指数 I_p	39.2	21.0	16.2	6.6
砂分(%)	8.5	50	60	70
シルト分(%)	41.5	23.2	18.8	14.4
粘土分(%)	50	26.8	21.2	15.6

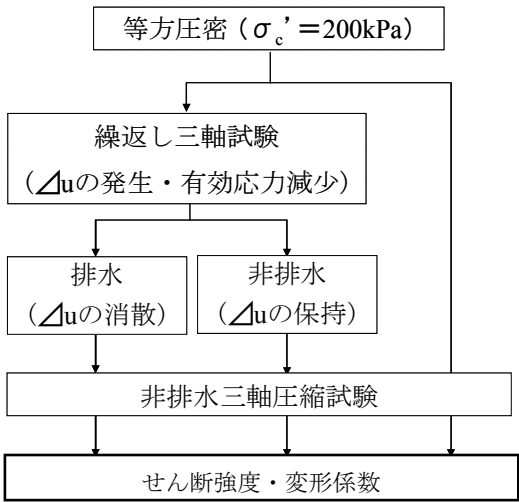


図-1 実験の流れ

表-2 実験ケース

試料名	繰返し回数	繰返し載荷後	
		非排水放置	排水消散
汐留粘土	100	○	○
	50	○	—
	10	○	—
SK50	100	○	○
	50	○	○
	10	○	○
SK60	100	○	○
	50	○	○
	10	○	○
SK70	10	○	○
	4	○	○

中間土 繰返し載荷 せん断特性

連絡先 〒112-8511 東京都文京区春日 2-1-12 中央大学 都市環境学科 地盤環境研究室 TEL 03-3814-1812

4. 実験結果と考察

実験を行った試料の中で汐留粘土、SK70 の繰返し載荷過程における応力-軸ひずみ関係、間隙水圧の挙動ならびに有効応力経路を図-2 に示す。汐留粘土の繰返し回数は 100 回であり、SK70 は繰返し回数 10 回である

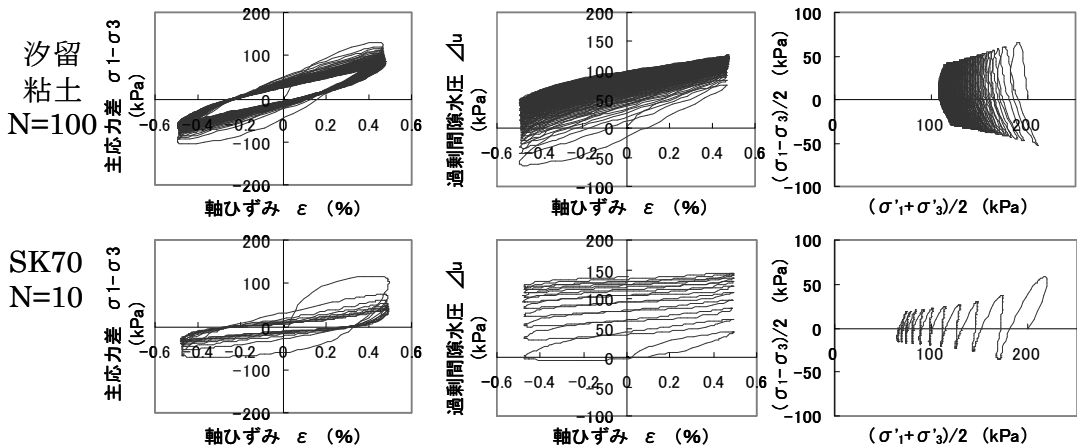
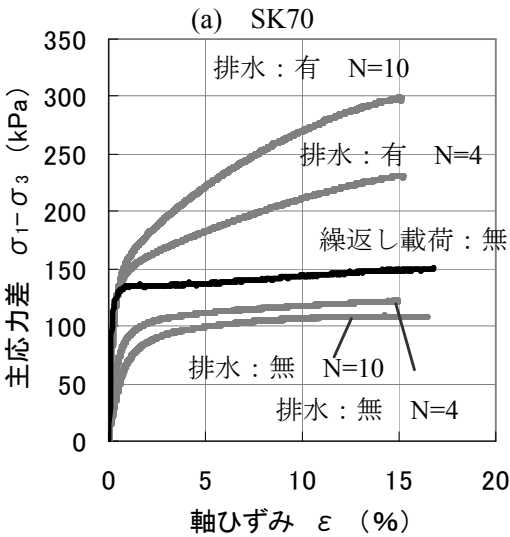


図-2 繰返し載荷時の挙動

る。図-2 から両試料を比較すると、過剰間隙水圧の上昇が大きく、有効応力が低下していることが分かる。よって、粘性土よりも砂分を多く含む中間土の方が、同じひずみ周期の載荷を行った場合、有効応力の低下が著しい。

次に、繰返し載荷を受けた供試体のせん断特性を調べるため、繰返し載荷後に排水を行う場合と行わない場合の非排水せん断試験を実施した。図-3 に SK70、汐留粘土における主応力差-軸ひずみの関係を示し、図-4 に SK70 の繰返し回数が 10 回のケースにおける一連の応力経路および間隙比と有効応力の関係を示す。図-3 より、繰返し載荷後、非排水放置してせん断を行った場合、SK70 では強度が繰返し載荷を経験していない静的強度の 7~8 割程度と低くなっている。一方、排水を行ったケースでは、強度が大きくなり、SK70 では繰返し載荷を受けていない静的強度の約 1.5 倍、約 2 倍の強度となっている。また、汐留粘土でも SK70 と同様の傾向が見られ、繰返し載荷を受けることにより強度が変化するが、SK70 よりも強度の変化が小さい。繰返し載荷を受けることによって強度が変化する要因として、以下の事柄が考えられる。繰返し載荷後に排水を行うことで、繰返し載荷によって生じた過剰間隙水圧は消散し、有効拘束圧が回復する。さらには、排水することで間隙比が減少し繰返し載荷前より密な状態となる。これらに起因することで強度が増加したものと考えられる。

また、繰返し載荷を受けることにより、有効応力が同じでも間隙比が小さくなる。応力解放等による通常の過圧密とはそれまでに受けた応力履歴の違いから区別される“擬似過圧密”²⁾と呼ばれる状態になっていると判断される。また、図-4 に示す応力経路では、繰返し載荷後に



(b) 汐留粘土

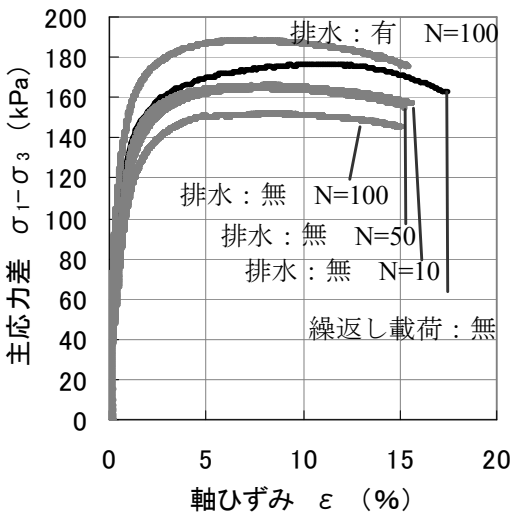


図-3 主応力差一軸ひずみ関係

過剰間隙水圧が上昇する傾向が見られ、図に示すケースでは過剰間隙水圧が約 20kPa 上昇し、有効応力が約 50kPa に減少した。これは、せん断により供試体内の間隙水の移動が遅れ、測定にタイムラグが生じたためであると考えられる。さらに、せん断過程における応力経路に着目すると、繰返し载荷を経験した供試体も繰返し载荷を経験していない供試体もほぼ同一の破壊線に至ることが分かる。

図-5は繰返し载荷によって生じた過剰間隙水圧と繰返し回数の関係を示している。この関係からどの試料においても、繰返し回数が増えると過剰間隙水圧が大きくなる傾向が見られる。次に、繰返し载荷後の非排水せん断過程から得られる強度と変形係数について、繰返し载荷を経験していない場合との比較を図-6、図-7に示す。図-6は、繰返し载荷を経験した各試料の実験ケースによる繰返し载荷後のせん断強度と、繰返し载荷を受けていないせん断強度との強度比である。また、図-7に応力-ひずみ関係から得られる変形係数比を示す。両図の横軸は各実験ケースにおいて繰返し载荷によって発生した過剰間隙水圧である。繰返し载荷後に排水を行った場合、強度比は1より大きくなる傾向を示し、排水を行わないケースでは1より小さくなる。また、繰返し载荷によって生じる過剰間隙水圧が大きいほど、強度の変化が大きくなっている傾向が見られる。過剰間隙水圧の発生による有効応力の低下が大きいほど、より過圧密な状態になると考えられる。このため、その後の強度に影響を与えているものと思われる。また、繰返し载荷後に消散を行わないケースでは、過剰間隙水圧が大きくなるにつれ、一様に変形係数比が小さくなっている。一方、消散を行うケースでは変形係数比にばらつきが見られる。繰返し载荷後に排水を行わない場合、繰返し载荷によって生じたせん断剛性の低下が維持され、変形係数比が小さくなっていると考えられる。また、SK70の繰返し载荷後に排水を行うケースにおいて、強度比は約1.5~2.0と大きくなるが、変形係数比は1より小さくなる。他の試料の同一の実験条件の場合、強度比は同様に1より大きくなる傾向が見られ、変形係数比は1または1より大きくなる傾向となっている。SK70のみ他と異なる傾向となったため、供試体を構成する粒度の違いが影響を与えている可能性があると考えられる。このことから、特に砂分量が多い試料に対し、繰返し载荷によ

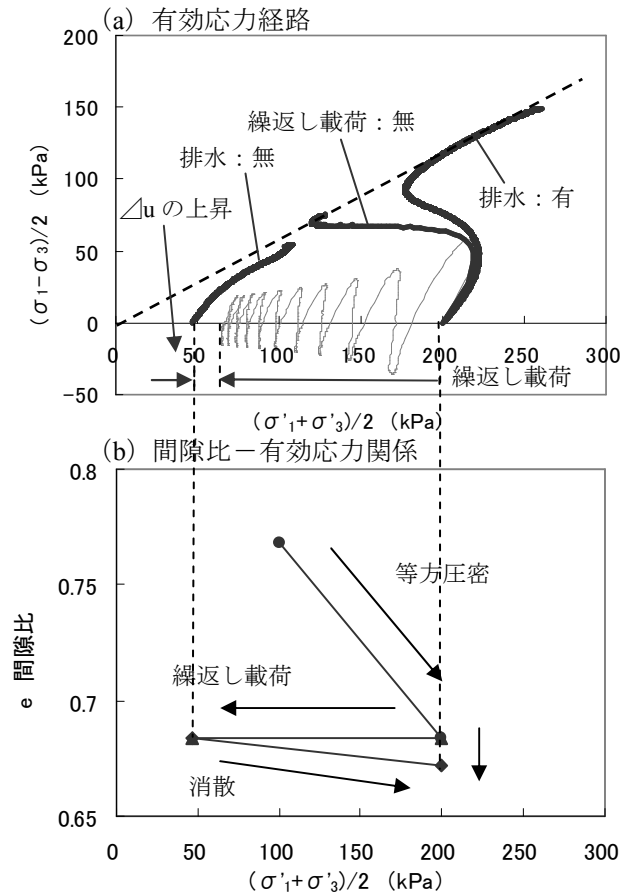


図-4 実験の有効応力経路および
間隙比-有効応力関係(SK70)

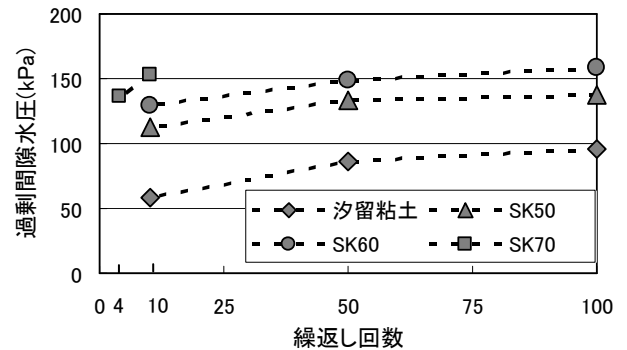


図-5 過剰間隙水圧－繰返し回数関係

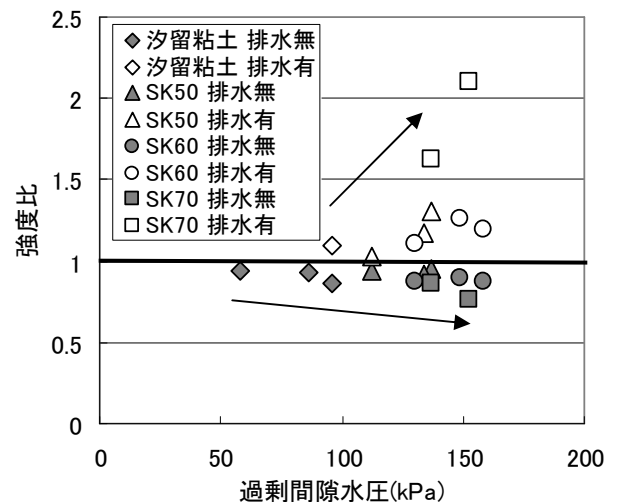


図-6 強度比

る過圧密の影響と、応力解放による通常の過圧密との違いについて検討する必要があると思われる。

5. まとめ

(1) 繰返し载荷を与えた後の強度特性について

- i) 繰返し载荷後に排水を許容しないケースでは、繰返し载荷を受けていないせん断強度よりもせん断強度が低下する。
- ii) 繰返し载荷後に排水を行うことで過剰間隙水圧を消散させるケースでは、繰返し载荷を受けていないせん断強度よりもせん断強度が増大する。

(2) 繰返し载荷を与えた後の変形特性について

- i) 繰返し载荷後に排水を許容しないケースでは、繰返し载荷を受けていない変形係数よりも低い変形係数となる。
- ii) 繰返し载荷後に排水を行うことで過剰間隙水圧を消散させるケースでは、変形係数にばらつきが見られる。

また、(1) および (2) は繰返し载荷時に発生した過剰間隙水圧が大きいほど、繰返し载荷を受けていないケースとの差が大きくなる傾向となった。このことから、繰返し载荷による有効応力の低下が大きいほど、その後のせん断特性に与える影響が大きい。

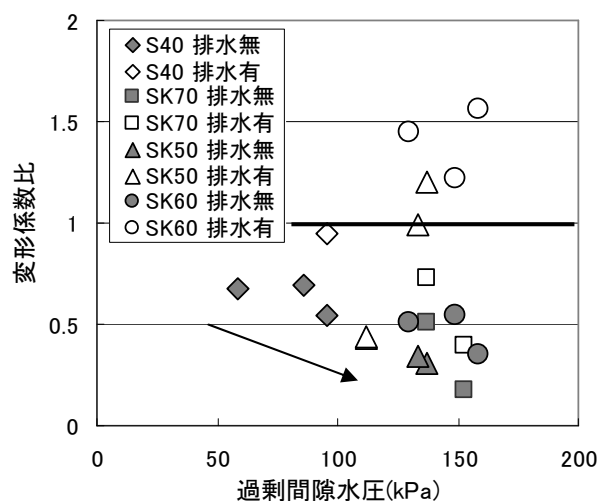


図-7 変形係数比

参考文献

- 1) 増田ら「ひずみ制御繰返し三軸試験による土の非排水繰返し強度評価」第32回地盤工学研究発表会(1997)
- 2) 松井ら「飽和粘土の力学的特性に及ぼす動的応力履歴の影響」土木学会論文報告集第257号(1977年)