

自然堆積粘土のひずみ制御繰返し単純せん断試験

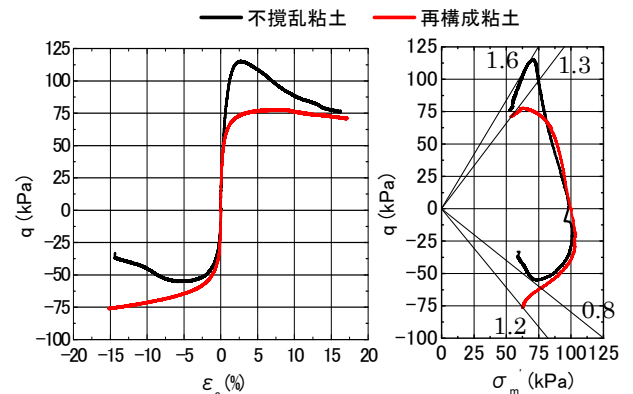
名城大学 学生会員 ○大野雄貴・吉田賢史
名城大学 正会員 小高猛司・崔 瑛

1. はじめに

東日本大震災では多くの河川堤防が液状化によって大変状するという被害が発生したが、その多くは粘性土地盤上にあった。しかし、その変状メカニズムの検証にあたっては、それら粘性土地盤が果たした役割についてはほとんど注目されていない。本報では、海溝型地震のように長時間にわたり繰返し大きな地震動が作用する場合の粘性土地盤の挙動について着目した実験を行った。具体的には、鋭敏な不攪乱自然堆積粘土を用いて繰返し単純せん断試験を実施することにより、地震時ならびに地震後の沈下挙動を検討する。

2. 試験概要

試験試料は、大阪府大東市赤井で採取した不攪乱 Ma13 沖積粘土（以下、不攪乱赤井粘土）であり、内湾部の汽水環境で形成されており鋭敏性が高い¹⁾。図1に不攪乱赤井粘土の非排水三軸試験結果²⁾を示す。塑性圧縮を伴うひずみ軟化挙動が顕著に現れており、構造が卓越した鋭敏な粘土であることがわかる。供試体寸法は、直径60mm、高さ30mmの円柱形である。供試体をセルに設置した後、二重負圧法によって飽和化を行い、背圧を200kPa作用させ、20時間圧密後、非排水条件で繰返しせん断試験を実施した。繰返しせん断は、片せん断ひずみ振幅を5%に設定して約24時間（42回）繰返しせん断した。せん断後、その際発生した過剰間隙水圧が消散するまで圧密し、排水量ならびに軸圧縮量を計測した。同じ供試体でこの操作を2回繰返すことにより、複数回の地震を模擬した。なお、繰返しせん断時の載荷速度は全試験 Case とともに0.5%/minである。



(a) 応力～ひずみ関係 (b) 有効応力経路
図1 赤井粘土の三軸試験結果

3. 試験結果

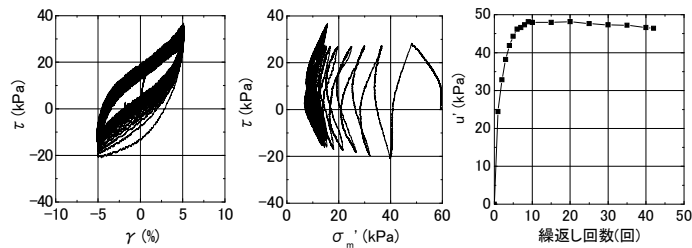
表1に各試験 Case のせん断前の圧密条件を示す。Case A は等方圧密条件であり、それ以外の Case B～E は原地盤に近い異方圧密条件とした。また、Case B は原地盤の有効土被り圧相当であり、Case C～E は盛土築造などを想定して降伏応力を超えた応力に設定した。例として Case C の1回目の繰返しせん断試験結果を図2に示す。有効応力経路では、1波目の載荷で有効応力が大きく減少するが、2波目以降は減少・回復を繰り返しながら、有効応力は徐々に低下してゆく。

図3に2回目の繰返し載荷試験結果を示す。1回目の繰返し時よりも、有効応力の減少・回復の経路が近く、過圧密性が強く現れている。また、せん断応力も図1の試験結果に比べて大きくなっている。これは繰返しせん断後の圧密により、間隙比が小さくなり過圧密性が高くなっていると考えられる。

図4に Case B～E の繰返しせん断時の軸ひずみを示す。いずれの Case でも1回目の繰返しせん断によって、軸ひずみが大きく発生している。図中の赤および青の点線は、それぞれ1回目および2回目の繰返しせん断において、載荷時に増大する過剰間隙水圧が有効セル圧と等しくなる時点を示す。1回目の繰返しせん断では、赤い点線以降で特に軸ひずみが大きく発生している。一方、2回目の繰返しせん断では、全般的に軸ひずみは小さいものの、やはり青い点線以降に軸ひずみがやや増大している。

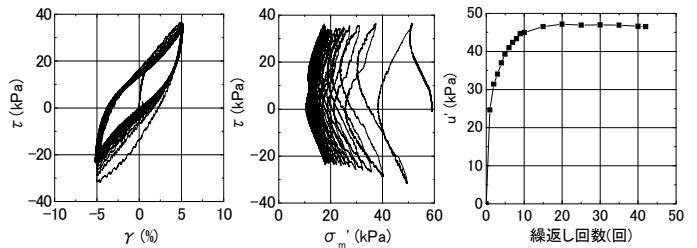
表1 各試験 Case の圧密条件

Case	深度	土被り圧	K_0	σ'_{10}	σ'_{30}	σ'_{m0}
A	7.3m	53kPa	1.0	40kPa	40kPa	40kPa
B				60kPa	30kPa	40kPa
C				90kPa	45kPa	60kPa
D	7.5m	55kPa	0.5	120kPa	60kPa	80kPa
E				150kPa	75kPa	100kPa



(a)応力～ひずみ関係 (b)有効応力経路 (c)過剰間隙水圧

図2 1回目の繰返しせん断試験結果



(a)応力～ひずみ関係 (b)有効応力経路 (c)過剰間隙水圧

図3 2回目の繰返しせん断試験結果

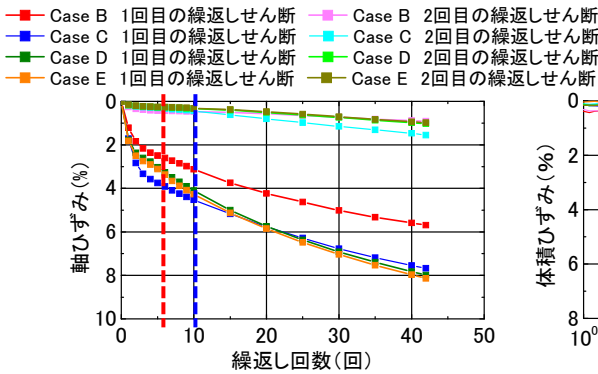


図4 繰返しせん断中の軸ひずみの変化

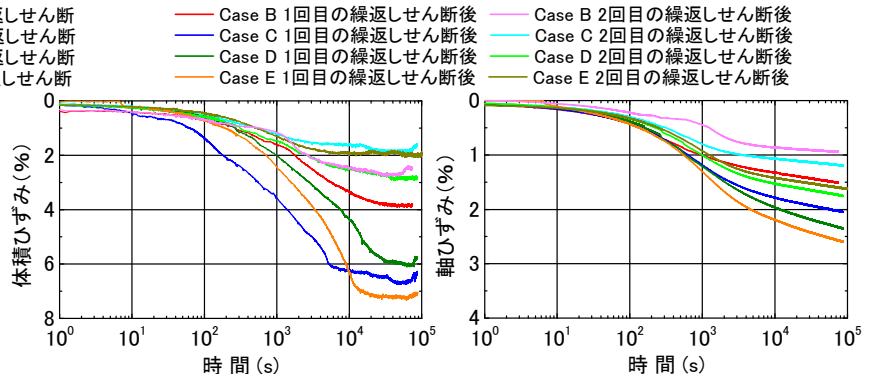


図5 繰返しせん断後の圧密時の体積ひずみと軸ひずみの変化

図5に繰返しせん断後の圧密時の体積ひずみと軸ひずみを示す。図2(c)より、過剰間隙水圧は有効セル圧を超えてからはほぼ一定であることから、有効セル圧を超えて以降も繰返しせん断を続けたことによる体積ひずみへの影響はさほど大きくはないと考えている。1回目の繰返しせん断後の圧密時における軸ひずみは、各Caseとも体積ひずみの1/3弱と小さいが、繰返しせん断中に過大な軸ひずみが発生しているため、その後の圧密時には逆に小さくなったものと思われる。2回目のせん断後の圧密時には、値は小さいながらも体積ひずみの1/2強の軸ひずみが発生しており、異方応力状態を反映した軸圧縮が大きな変形となっている。

図6に一連の試験に伴う間隙比の変化を示す。比較のため別途実施した不攪乱赤井粘土とその再構成粘土（予備圧密100kPa）のCRS圧密試験結果²⁾も併せて示す。全く同一深度の試料ではないため単純せん断試験結果と多少の相違があるが、構造の程度に起因する不攪乱粘土と再構成粘土の圧縮曲線の差に注目されたい。繰返しせん断後の圧密により、全試験Caseにおいて間隙比が低下している。その低下の度合いは、鉛直荷重が大きいほど顕著であり、2回の繰返しせん断を経て、構造が徐々に劣化することを示唆している。

4. まとめ

本実験の結果より、盛土荷重などの異方応力状態にある粘性土地盤においては、継続時間が長い海溝型地震においては、3%程度の大きな即時沈下が発生する可能性があることが示唆された。さらに、粘土地盤の骨格構造が高位な場合には、繰返しせん断時の過剰間隙水圧の消散とともに、骨格構造の劣化によって地震後にも大きな圧密沈下が生じることが確認された。

参考文献：1) 大島ら：東大阪地域の鋭敏粘土層の分布域と堆積環境から見たその成因の再検討，材料，59（1），pp.2-7，2010。

2) 吉田ら：構造と異方性による粘土の力学挙動に及ぼす影響，平成23年度土木学会中部支部研究発表会論文集，2011。

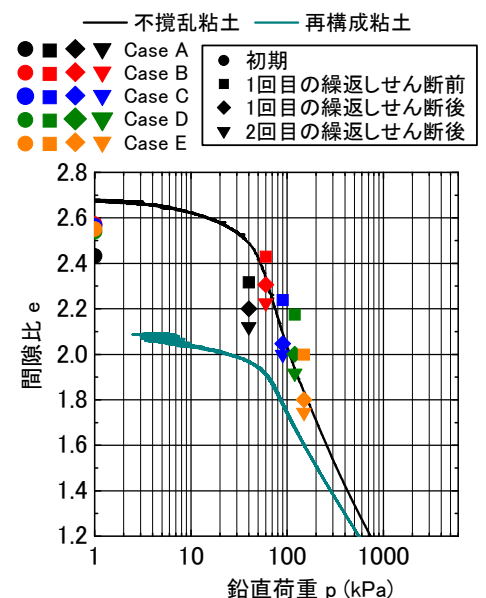


図6 一連の試験に伴う粘土の間隙比の変化