

異方応力条件下の粘土のひずみ制御繰返し単純せん断試験

名城大学大学院
名城大学
オリエンタルコンサルタンツ
(元名城大院)

学生会員 国際会員 正会員
○大野雄貴
小高猛司・崔 瑛
吉田賢史

1. はじめに

長時間にわたり繰返し大きな地震動が作用する海溝型地震の際には、盛土荷重が作用するような異方応力状態の粘土地盤では、地震時の即時的なゆすり込み沈下や残留間隙水圧消散に伴う地震後の継続圧密沈下が懸念される。しかし、東北地方太平洋沖地震において河川堤防などの盛土構造物に大変状の被害が多発したにも拘わらず、粘土基礎地盤の変形については、ほとんど検証されていない。そこで本報では、不攪乱粘土を用いて単純せん断試験を実施し、異方圧密条件下での粘土が、地震時ならびに地震後にどれだけ圧縮変形する可能性あるのか検討する。盛土直下の粘土地盤では、図 1 に示すように鉛直応力が卓越した状態にあるため、異方応力状態下での繰返しせん断を適正に評価できる単純せん断試験が適当であると判断した。また、継続時間が長い海溝型地震を想定して、小さなひずみ振幅を繰り返すひずみ制御試験を実施した。

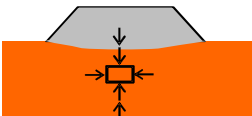


図 1 盛土築造
(異方応力状態)

2. 試験概要

試験試料は、大阪府大東市赤井より採取した不攪乱 Ma13 沖積粘土（以下、不攪乱赤井粘土）である。供試体寸法は、直径 60mm、高さ 30mm の円柱形である。単純せん断試験装置では、上下ペDESTAL に刃付きのポーラスストーンを設置しており、供試体との摩擦を十分に確保したうえで、上部ペDESTAL 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、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、せん断ひずみ片振幅を 1% に設定して約 48 時間（300~360 回）繰返しせん断試験を実施した。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。

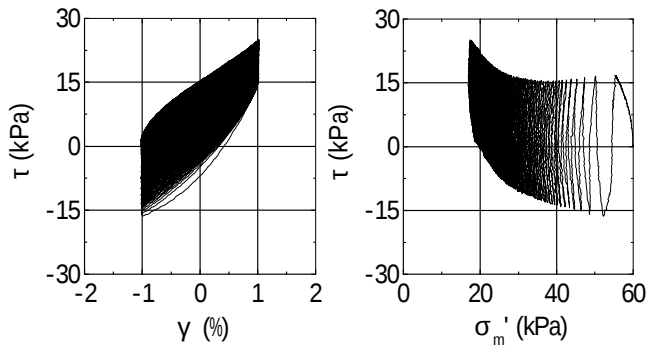
3. 試験結果

表 1 に各試験 Case のせん断前の圧密条件を示す。Case A および Case D は等方圧密条件であり、Case B,C,E,F は、原地盤を意識した異方圧密条件とした。また、Case F は異方応力状態の違いによる力学特性を把握するために、 K_0 値を変えて試験を実施した。図 2 に Case B の繰返しせん断試験結果を示す。有効応力経路を見ると、1 波目の載荷で有効応力が大きく減少し、2 波目以降は減少・回復を繰返ししながら、有効応力は徐々に低下していく。

図 3 に、繰返しせん断時の軸ひずみの変化を示す。等方圧密条件で実施した Case A および Case D では、軸ひずみはほとんど発生していないが異方圧密条件の Case B,C,E,F では軸ひずみが発生している。特に鉛直荷重を土被り圧より大きく作用させた Case E では、

表 1 各試験 Case の繰返しせん断前の圧密条件と繰返し回数

Case	深度	土被り圧	K_0	σ_1'	σ_3'	σ_m'	繰返し回数
Case A	7.7m	55kPa	1.0	60kPa	60kPa	60kPa	300 回
Case B			0.5	90kPa	45kPa	60kPa	
Case C	7.8m	56kPa			60kPa	30kPa	
Case D	7.9m			1.0	90kPa	90kPa	90kPa
Case E	8.0m	57kPa	0.5	120kPa	60kPa	80kPa	360 回
Case F				0.67	90kPa	60kPa	70kPa



(a) 応力～ひずみ関係 (b) 有効応力経路

図2 Case B の繰返しせん断試験

3%の程度の大きな軸ひずみが発生しており、地震時の揺すり込み沈下が示唆される。

図4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。Case B は他のCase に比べて体積ひずみが大きく発生している。Case C, F では、試験後半に体積ひずみが減少・増大を繰返しているが、軸変位は単調に減少していることから差圧計が不安定となっていたと考えている。軸ひずみは、Case B, C では体積ひずみの1/2程度、Case F

では体積ひずみと同程度発生しており、異方応力状態を反映して軸圧縮が大きい変形となっている。また、全試験Caseとも、軸ひずみは収束せず継続的に沈下している。

図5, 6に等価ヤング率ならびに正規等価ヤング率と繰返し回数の関係を示す。等価ヤング率は繰返しせん断時の応力～ひずみ関係の履歴ループの両端を結んだ直線の傾きであり、正規等価ヤング率は、繰返し载荷2回目以降の等価ヤング率を1回目の等価ヤング率で正規化したものである。等価ヤング率、正規等価ヤング率ともに、繰返し载荷によってあまり低下せず、繰返し回数50回目以降はほとんど変わらない。これは粘性土特有の現象であり、有効拘束圧が減少してもせん断応力は急激に下がらないためである。

4. まとめ

本実験の結果より、盛土荷重などが载荷されている異方応力状態にある粘性土地盤においては、継続時間の長い地震においては3%程の鉛直ひずみが発生する可能性があることが示唆された。これは、粘性土層が厚く堆積している場合には無視し得ない即時沈下量となる。また、地震時に発生して粘土地盤内に過剰間隙水圧が残留している場合、時間の経過とともにその水圧が消散することにより、繰返し载荷後にも体積ひずみが発生することが示された。異方応力条件下においては、この体積ひずみの多くは鉛直ひずみとなり、粘土地盤にはさらなる沈下が発生すると考えられる。砂地盤においては、液状化後の体積ひずみの算定式が整備されている¹⁾が、粘性土においても海溝型地震による沈下量の算定式の整備が望まれる。

参考文献 1) Ishihara & Yoshimine, S & F, 32(1), 173-188, 1992.

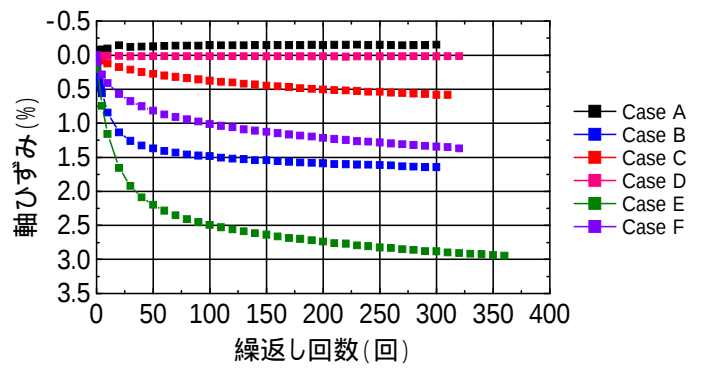


図3 繰返しせん断中の軸ひずみの変化

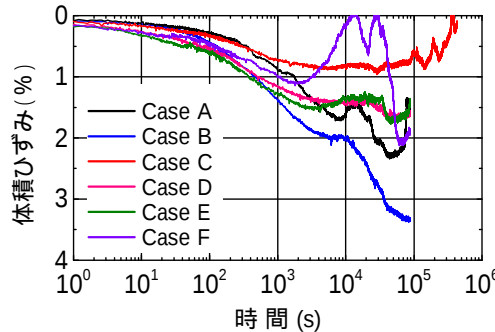


図4 繰返しせん断後の圧密時の体積ひずみと軸ひずみの変化

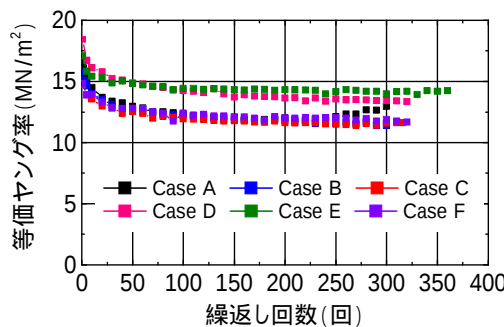


図5 等価ヤング率と繰返し回数の関係

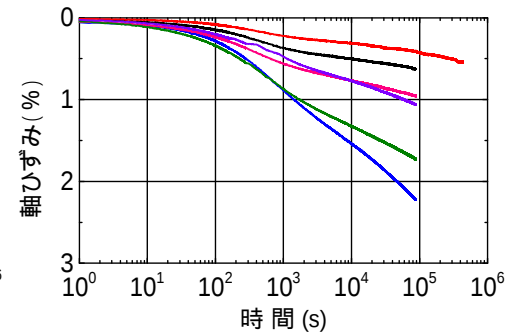


図6 正規等価ヤング率と繰返し回数の関係