

繰返し非排水三軸試験を適用した強度低下特性の一考察

ため池, 修正ニューマーク D 法, 強度定数

中部土質試験協同組合 正会員 ○久保 裕一
 基礎地盤コンサルタンツ(株) 正会員 萩原 協仁
 中部土質試験協同組合 正会員 坪田 邦治
 // 正会員 池田 謙信

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震の発生により, 東北地方の多くのため池が被災した. これを受けて, 上野・毛利等によって, 非排水繰返し載荷に伴う強度低下特性を考慮した修正ニューマーク-D法¹⁾が開発され, 実務に供するようになった. この解析に供する地盤特性を得るためには, 地震による繰返し載荷過程で増加する損傷を算出するとともに, 損傷の増加に伴って継続的に低下する非排水強度を算出する必要がある. 本報文では, 修正ニューマーク-D法に適用する地盤材料の基礎的強度低下特性を把握するため, 藤森粘土に豊浦砂を加え, 細粒分含有率(F_c)を変化させて実験を行った. この結果, F_c の変化により, せん断力の低下や変形係数の低下等の基本的な地盤特性が得られたので報告する.

2. 実験条件

(1) 供試体作成方法及び供試体サイズ

実験試料は藤森粘土を適用し, 粒度構成を変化させるために, 豊浦砂を用いた. 砂分の添加量は5種類とし, 藤森粘土のみを $F_c=100\%$, 砂分20%添加を $F_c=80\%$, 同40%を $F_c=60\%$, 同60%を $F_c=40\%$, 同80%を $F_c=20\%$ (表示は近似の細粒分含有率)とした. 供試体作成方法は, 直径15cmの一次元圧密容器に粉体のまま投入, 蓋をしたのち下部から通水させる. 上部から通水を確認したのち, 拘束圧 $=200\text{kN/m}^2$ で圧密させ, 4等分して直径5cm高さ10cmの供試体とした. 粉体粘土の供試体作成は, 一般的には液性限界の2倍程度の含水比に調整し, 攪拌・真空脱気をして供試体作成をする. しかしながら, 砂と混入させた場合, 攪拌では砂が底に沈殿するため, 下部から通水する方法とした. 脱気なしのため, 飽和方法は二重負圧方を採用し, B 値を確認しながら実験を進めた. 本試験に適用した試料の物理特性と粒度分布を表-1と図-1に示す.

(2) 本実験の試験方法

上野・毛利等が提案するニューマーク-D法に適用する強度低下モデルを得るための試験方法¹⁾は, 圧密非排水(Ⅲ)三軸圧縮試験(4供試体, 純単調載荷), 繰返し非排水三軸試験(4供試体), 繰返し+単調載荷試験(8~11供試体)を実施して, 強度低下特性を求めると, 非常に多くの供試体が必要となる. このために, 本実験では, 表-2に示すパターンで, 概略の地盤特性低下傾向を把握することを試みた.

なお, SR_{20} は両振幅軸ひずみ $DA \leq 1\%$ の小さな値とした. また, 繰返し載荷時の載荷周波数は 0.2Hz とした.

3. 実験結果

(1) 応力~ひずみ関係

豊浦砂を用いて砂分の添加率を変化させ, $F_c=100\% \sim 20\%$ での応力~ひずみ関係を求め図-2に示した. 得られた応力~ひずみ関係の傾向から以下に特徴をまとめた.

1) $F_c=100\% \sim 60\%$

純単調載荷と $DA=1\%$ では, 応力~ひずみ関係が近似し, ピークの位置もほぼ同程度である. このことから, $DA=1\%$ の場合, 繰返し載荷による影響がほとんどないと考えられる. $DA=5\% \sim 10\%$ になると大きく異なってくる. 最大ひずみでの主応力差は, $DA=10\%$ 以外は各ケースともに, ほぼ近似しており, $F_c=100\%$ 試料に比較すると $F_c=80\%$ 試料は5

表-1 比較試験材料の物理特性

試料番号 (F_c 含有率(%))	100%	80%	60%	40%	20%
湿潤密度 (g/cm^3)	1.754	1.819	1.864	1.900	1.901
乾燥密度 (g/cm^3)	1.294	1.406	1.504	1.573	1.579
土粒子密度 (g/cm^3)	2.69	2.678	2.666	2.668	2.659
自然含水比 (%)	35.6	29.4	23.9	20.8	20.4
間隙比	1.079	0.905	0.773	0.684	0.684
飽和度 (%)	88.8	87	82.4	80.4	79.3

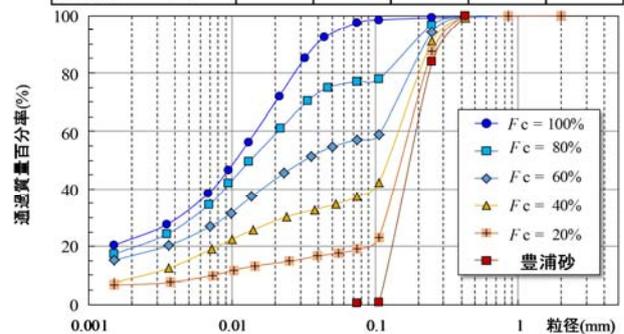


図-1 比較試験材料の粒径加積曲線

表-2 今回の実験ケース

実験No	試験概要	有効圧密 圧力 σ'_c	繰返し 応力振幅比 SR	両振幅 軸ひずみ DA
1	純単調載荷	200 kN/m^2	-	-
			-	-
			-	-
2	繰返し+ 単調載荷	200 kN/m^2	任意の 小さい値	1%
5%				
10%				

A Study of the strength lowering properties by the method for cyclic undrained triaxial test

Yuichi Kubo (Chubu Soil Research Co-operation (Geo-Labo Chubu)), Tomohito Hagiwara (Kiko-jiban Consultants Co.Ltd.)

Kuniharu Tsubota, Kenshin Ikeda (Chubu Soil Research Co-operation(Geo-Labo Chubu))

～10%程度小さくなり、 $F_c=60\%$ 試料では20～25%低下することが判った。

2) $F_c=40\%$

純単調載荷に比較すると $DA=1\%$ で立ち上がり部分にやや大きな差異がみられるようになる。主応力差が $F_c=60\%$ と比較して10～30%程度小さくなる。また、純単調載荷に比較すると、 $DA=10\%$ 以外で最大ひずみでの主応力差に差異が生じ、 $DA=10\%$ では57%に低下する。

3) $F_c=20\%$

$DA=1\%$ でもピークが生じず、全ての曲線が最大ひずみでピークとなる形状に変化する。最大ひずみでの主応力差の差が大きく、他の細粒分含有率の曲線と大きく異なることから、 $F_c=20\%$ では繰返し+単調試験における強度低下特性が大きく変化すると考えられる。

(2) せん断力の低下率

純単調載荷を1.0として正規化し、せん断力の低下率を図-3に示す。

$F_c=100\% \sim 60\%$ ではせん断強度の低下に大きな差異はないが、 $F_c=40\%$ 以下になると、この低下は段階的に大きくなること判る。このことは、池田等が三軸圧密排水(CD)試験で得られた $F_c \sim$ 過剰間隙水圧比の傾向²⁾と調和する。また、 $F_c=100\% \sim 60\%$ では $DA=10\%$ で低下の割合が大きくなるが、 $F_c=40\%$ 以下では、 $DA=5\%$ と $DA=10\%$ でせん断強度の低下傾向に大きな差異はないことも判る。

(3) 変形係数の低下率

純単調載荷を1.0として正規化し、変形係数の低下率を図-4に示す。

$F_c=100\% \sim 80\%$ では、変形係数の低下傾向は近似しているが、 $F_c=60\%$ 以下になると変形係数の低下が段階的に大きくなること判る。 $F_c=20\%$ では $DA=1\%$ でも0.15程度まで大きく低下する。また、 $DA=5\%$ 、 10% ではどの F_c でもほぼ0.1以下程度まで減少することが判る。

4. まとめ

砂分の配合量を変化させて作成した5種類の地盤材料を用いて、繰返し+単調載荷試験を行った結果、以下の地盤特性の傾向を得た。

- a. $F_c=100 \sim 60\%$ では、せん断強度と両振幅軸ひずみの関係に大きな変化はないが、 $F_c=40\%$ 以下になると両振幅軸ひずみの大きさによりせん断強度が大きく変化する。
- b. 変形係数の低下傾向は、 $F_c=100 \sim 80\%$ に比較して、 $F_c=60, 40, 20\%$ と段階的に低下することが判る。また、全ての材料で、両振幅軸ひずみ5%以上で変形係数が0.1以下まで低下する。

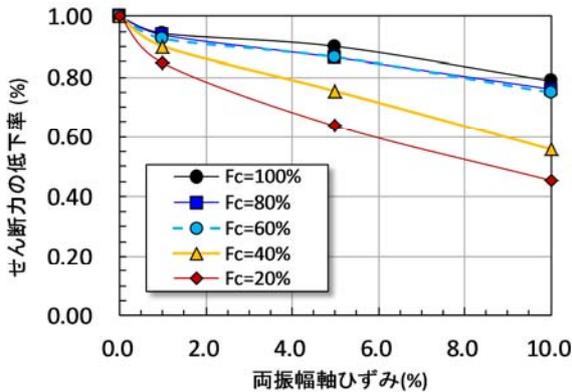


図-3 せん断強度の低下率～両振幅ひずみ関係

(参考文献)

- 1) 上野和広・毛利栄征・田中忠次・龍岡文夫：非排水繰返し載荷による強度低下の評価法および強度低下を考慮したため地堤体の活動変位量解析例，SERID研究会，2015.3.
- 2) 池田謙信・坪田邦治・久保裕一：圧密排水三軸試験(CD試験)の適用性に関する一考察，第46回地盤工学研究発表会，pp.319～320，2011.7.

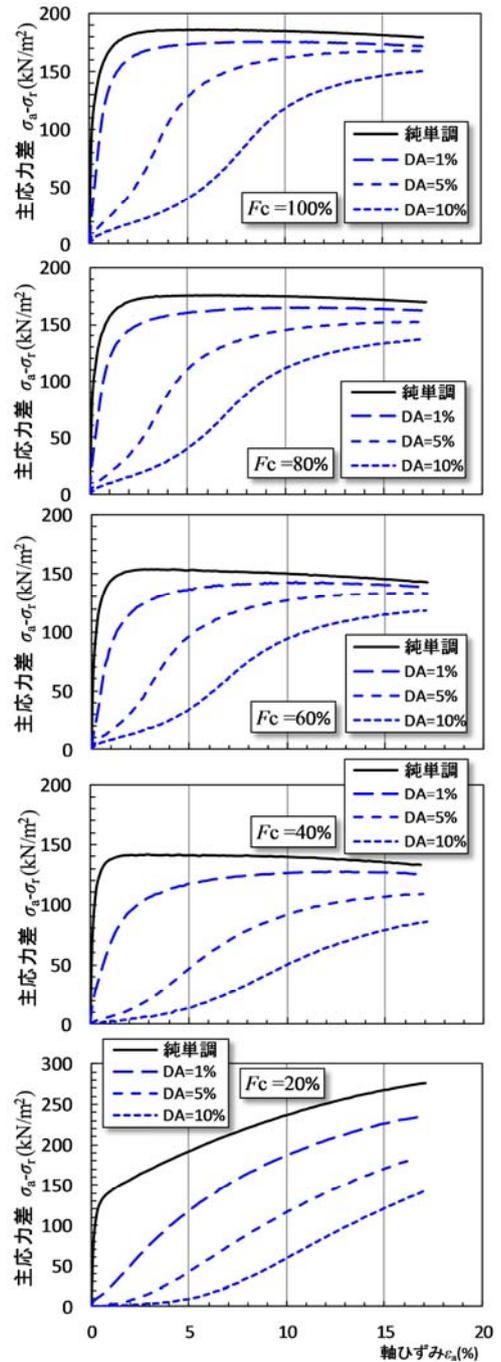


図-2 応力～ひずみ関係(X軸は共通)

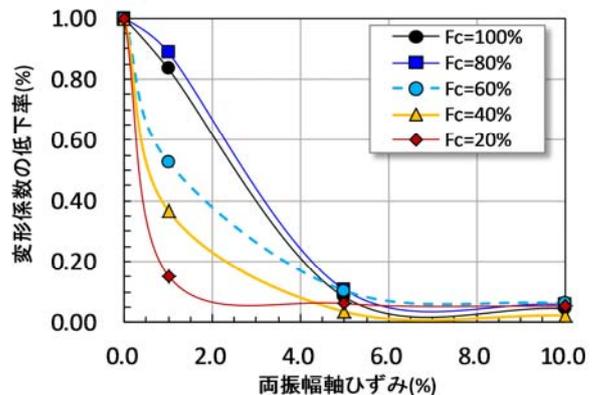


図-4 変形係数の低下率～両振幅ひずみの関係