

非塑性シルトと砂の繰返し履歴による剛性劣化特性の比較

茨城大学 学生会員 海野 寿康
 茨城大学 フェロー 安原 一哉
 茨城大学 正会員 村上 哲
 茨城大学 正会員 小峯 秀雄

1. はじめに

近年の地震における液状化及び液状化後の流動現象は、砂以外にシルトのような細粒分を含む砂質地盤でも発生している。その代表的な最近の実例としては、北海道南西沖地震(1993)、兵庫県南部地震(1995)、及びトルコ Kocaeli 地震(1999)などが挙げられる。これらの地震では、比較的液状化しにくいといわれていたシルトのような細粒分を含む砂質地盤の液状化及び液状化に伴う側方流動が生じているとされている^{1),2),3)}。しかし、シルト質土や細粒分を含む砂質土の挙動に関する研究例は、砂に比べて少ない。そこで本研究では、非塑性シルトと砂の繰返し履歴による剛性劣化特性を把握するため、繰返し三軸試験により過剰間隙水圧の増加による接線変形係数比および割線変形係数比の比較をした結果を報告する。

表 - 1 DL クレーの性質

土粒子密度 (g/cm ³)	最大乾燥密度 d _{max} (g/cm ³)	最適含水比 W _{opt} (%)	塑性指数	備考
2.53	1.55	21.1	N.P	岩砕粉末

(Dr*=70% = 0.70 d_{max} Dr*=91% = 0.91 d_{max})

2. 実験概要

研究に用いた試料は、豊浦砂と岩石を粉碎し調整

した DL クレーと呼ばれる非塑性シルトである。DL クレーはシルトに属し、塑性指数が NP (以下、非塑性と呼ぶ) である。これら試料を用いて以下に述べる方法で作製された三種類の供試体に対して繰返し三軸試験を行った。なお、非塑性シルトの供試体作製(自然落下法)方法による初期密度を統一的に表記するためのパラメータとして d_{max} と該当密度との比で表記したパラメータより Dr*を定義して豊浦砂との比較を行った⁴⁾。

(a)自然落下法(相対密度 Dr*=70%)：目標密度になるように乾燥試料を準備し、飛散を防ぐために予備試験結果で得られた含水比(この密度では約 20%)に調整しモールド内にスプーンを用いて 3 層に分けて試料を入れ、最後に高さを調整するために側面をたたく。

(b)締め固め法(相対密度 Dr*=91%)：目標密度になるように乾燥試料を用意し、表-1 に示す最適含水比に試料を調整後、ランマーを用いて 4 層に分けて締め固める。各層の締め固める回数は予備試験で予め求めておく。以上の方法で作成された供試体は、ともに直径 5 cm 高さ 10 cm であり予め行った予備試験結果より、初期密度分布及び初期含水比分布がほぼ均一な供試体となることが確認できている。

(c)豊浦砂(相対密度 Dr=55%)：豊浦砂の供試体は、直径 5cm 高さ 10cm で Dr=55%(中密)となるように自然落下で作製する。

室内試験は繰返し及び静的試験がともに可能な三軸試験装置を用いた。試験方法として、拘束圧 $\sigma'_c = 98 \text{ kPa}$ で約 2 時間程度等方圧密後、非排水状態で所定の過剰間隙水圧になるまで応力制御による繰返し載荷(周波数：0.1 Hz)を作用させ、その後非排水状態を保ったまま静的圧縮試験(ひずみ速度：0.1%/min)を行った。

3. 非塑性シルト及び豊浦砂の剛性劣化特性

図-1 は 2 種類の非塑性シルトと豊浦砂の繰返し載荷前後の載荷による応力～ひずみ関係を示している。繰返し載荷前後の接線変形係数 E_i と $E_{i,cyc}$ および軸ひずみ 0.1%における繰返し載荷前後の割線変形係数 E_s と $E_{s,cyc}$ を求め、過剰間隙水圧の増加による低下割合を得るため初期接線変形係数 E_i で繰返し載荷後の接線変形係数 $E_{i,cyc}$ を正規化した接線変形係数比および初期割線変形係数 E_s で繰返し載荷後の割線変形係数 $E_{s,cyc}$ を正規化した割線変形係数比を求めた。

キーワード 繰返し応力履歴，剛性劣化，非塑性シルト，砂

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 茨城大学工学部 TEL 0294(38)5174 FAX 0294(35)5268

図-2 は非塑性シルトと豊浦砂の接線変形係数比と過剰間隙水圧比 u/u_0 の関係を比較したものである。2 種類の非塑性シルトおよび豊浦砂の値を比較すると、ほとんど類似した挙動を示している。すなわち、非塑性シルト及び豊浦砂のどちらも過剰間隙水圧比が 0.8 付近から急激に変形係数が低下するという挙動を示す。また過剰間隙水圧比が 1 付近では自由落下法および締め固め法で作製された非塑性シルトの剛性はほとんど同じであり、そのことから非塑性シルトが液状化した場合、剛性は初期の構造状態に依存しないと判断される。

図-3 は、非塑性シルトと豊浦砂の軸ひずみが 0.1%における割線変形係数比と過剰間隙水圧比 u/u_0 の関係を比較したものである。図-2 と同様に豊浦砂と自由落下法および締め固め法による非塑性シルトの供試体の剛性低下はほとんど同じような挙動を示すが、非塑性シルトの方がやや低い値を示している。また、図-2 同様に過剰間隙水圧比が 1 付近では自由落下法および締め固め法で作製された非塑性シルトの剛性は、ほとんど同じであり、このことから非塑性シルトの剛性低下は、初期の構造状態にほとんど依存しないということが読み取れる。

図-2 と図-3 を比較すると過剰間隙水圧比が 0.8 付近までは、図-2 の接線変形係数比では 2 種類の非塑性シルトが豊浦砂よりも高い値を示しているが、図-3 の割線変形係数比では豊浦砂が非塑性シルトよりも高い値を示すという反対の挙動を示す。一方、過剰間隙水圧比が 0.8 付近を過ぎると、図-2、図-3 どちらも非塑性シルトと豊浦砂は類似した挙動を示し、変形係数が急激に低下する。

4. まとめ

非排水三軸試験から得られた非塑性シルトと豊浦砂の繰返し載荷後の剛性劣化特性を比較した結果、次の知見が得られた。

- (1)非塑性シルトの繰返し履歴後の剛性劣化は、過剰間隙水圧比が 0.8 付近から急激に低下するが、豊浦砂の中密状態の繰返し履歴による剛性劣化特性とほぼ一致している。接線変形係数比と割線変形係数比とは定義した変形係数が異なるが、過剰間隙水圧比が0.8を過ぎ1付近になると接線変形係数比と割線変形係数比共に急激に低下する。
- (2)非塑性シルトの今回行った 2 種類の初期の構造状態の違いが繰返し履歴後の剛性劣化比に及ぼす影響は小さい。

参考文献

1)足立,陶野,規矩,安原：北海道南西沖地震において液状化によって発生した噴砂の粒度特性,第9回日本地震工学会シンポジウム論文集,pp.781-786,1994.2)中村,福原,小野,束原：1995年兵庫県南部地震における液状化調査,土木学会第50回年次学術講演会,pp.452-453,1995.3)地盤工学会：1999年トルコ・コジャエリ地震、台湾・集集地震調査報告書,地盤工学会,2000.(CD-ROM)4)島袋,安原,村上：堆積構造の異なる非塑性シルト質土の液状化及び液状化後挙動,土木学会論文集,第659号,pp.39-49,2000.

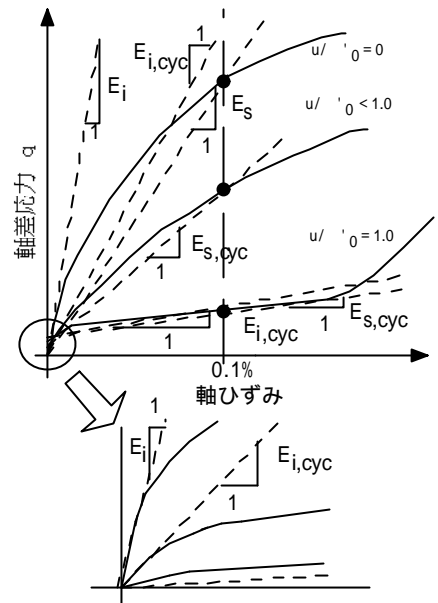


図-1 変形係数の定義

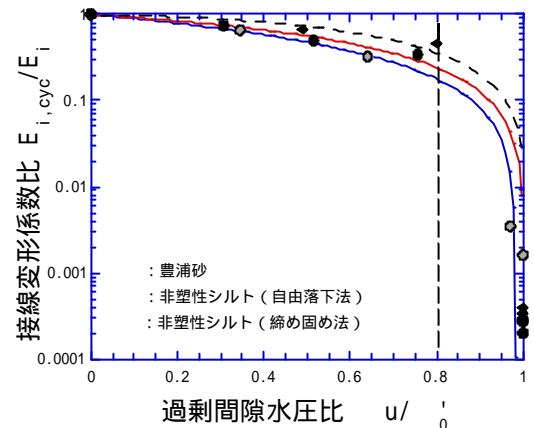


図-2 接線変形係数比 ~ 過剰間隙水圧比関係

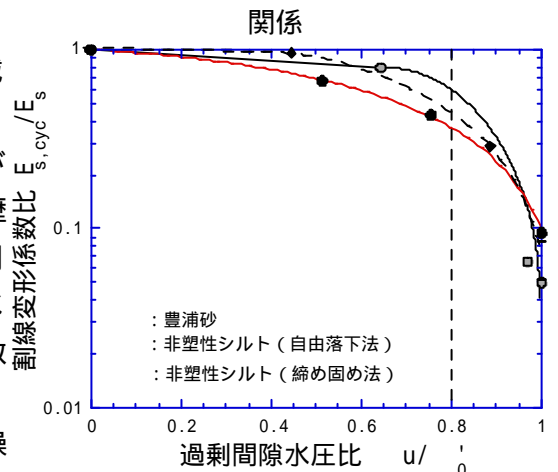


図-3 割線変形係数比 ~ 過剰間隙水圧比関係