

火山灰質粘性土の繰返し軟化

茨城大学 ICAS フェロー会員 安原 一哉

1. はじめに

2016 年熊本地震で熊本県益城町の宅地と周辺の擁壁がダメージをうけて機能を失った。その原因はいくつか考えられるが地盤工学的には盛土下に堆積していた凝灰質の火山灰質粘性土の繰返し荷重による軟化が一因であるとの観点から非静的せん断試験を伴う非排水繰返し三軸試験を実施している。その結果、剛性と強度とも繰返し荷重によって発生した過剰間隙水圧を損傷の程度を示すパラメータとしてその低下の程度を示してきた^{1),2)}。一方、Newmark 法などで地震時の盛土の残留変形を求める場合などでは繰返し載荷時の両振幅ひずみを使うことも多いようである^{3),4)}。ここでは、実験結果に基づいて、実務上どちらが便利かという観点から論じてみたい。

2. 提案している実験手順と結果の整理方法

図-1 は、本研究で用いた三軸試験の手順とその整理方法及び適用方法を纏めている。要約すると以下の通りである。

(ii) まず、シリーズ I では、平均物性を有する不攪乱試料が受けていた原位置での有効拘束圧の下で、シリーズ II では、拘束圧は一定の下で、夫々 24 hrs. 等方圧密させる。

(ii) 次に、所定の繰返し応力比 (0.1 Hz. の周波数) の下で設定した過剰間隙水圧 (シリーズ I) あるいは両振幅ひずみ (シリーズ II) に至るまで繰返しせん断応力を負荷する。シリーズ II では、動的強度試験から得られる $N=20$ cycles で両振幅ひずみ 5% に相当する繰返し応力比の下で、設定した両振幅ひずみに至るまで繰返しせん断応力を負荷する。

(iii) 設定した過剰間隙水圧あるいは両振幅ひずみに至ったら、直ちに載荷を止めて非排水状態のまま供試体に生じた過剰間隙水圧が安定するまで静置する。

(iv) 次いで、非排水条件のままで、ひずみ速度 0.1 %/min. のもとで、静的せん断試験を行い、ピーク強度と残留強度、および、割線変形係数を求める。また、モール円から強度定数を決める。

v) 得られた強度と変形係数を履歴を受けていない粘土試料の値で正規化して、これらを過剰間隙水圧あるいは両振幅ひずみに対応させる。

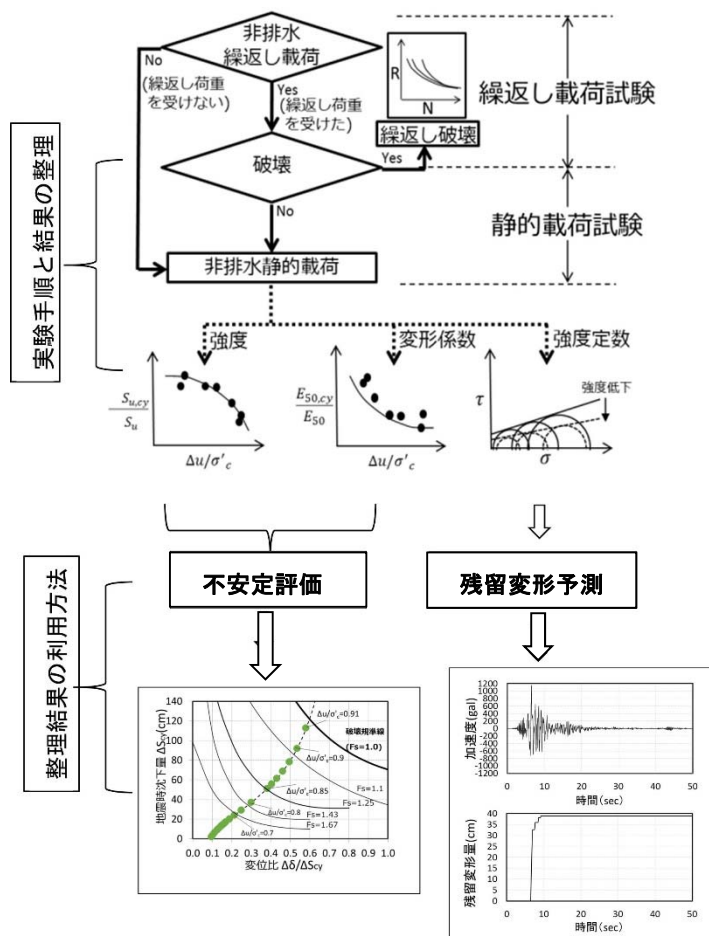


図 1 実験手順と結果の整理方法

3. 用いた試料と物性^{2),5)}

2016 年熊本地震時に宅地で大きなダメージを受けた益城町の 3 地点でサンプリングされた火山灰質粘性土の代表的な物性値によると、塑性指数はそれほど大きくはないが、①自然含水比が液性限界に近いあるいはやや大きいものがあることから、②この粘土は軟弱な粘性土であること、③やや鋭敏な粘性土かもしれないことが分かった。粒度試験の結果からは細粒分はシルトが多いことも分かっている。先に行った X 線分析では、粘土鉱物はハロイサイトであり、これらを総合するとそれほど特別な粘性土とはいえない。

4. 実験結果と考察

4.1 繰返し載荷中に生じた過剰間隙水圧と強度・変形係数劣化との関係

これらから、ピーク強度 $S_{u,cy}$ と割線変形係数 $E_{50,cy}$ を読み取って、繰返し時の過剰間隙水圧を初期拘束圧で除した正規化過剰間隙水圧 $\Delta u_{cy}/\sigma'_c$ に対してプロットしたものが図 2 と図 3 である。図中の実線は、筆者らが提案している繰返し軟化予測式による計算結果を示したものである。

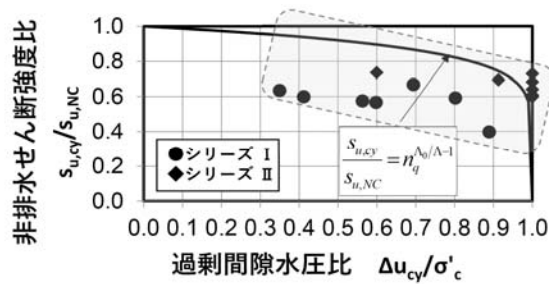


図2 強度低下比と過剰間隙水圧比の関係

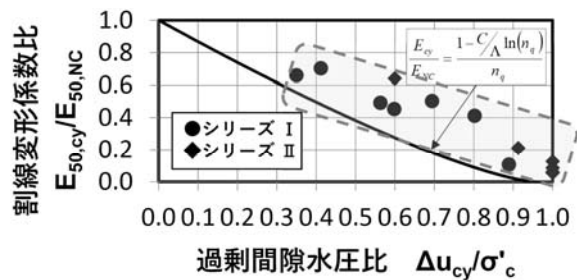


図3 変形係数低下比と過剰間隙水圧比の関係

さて、図5の強度低下の実験結果から、履歴のない場合の4割くらいは低下するものの、過剰間隙水圧にはあまり関係がない様子が見て取れる。この傾向は、筆者が過去に行ってきた粘性土の実験結果の傾向はとやや異なっており、火山灰質粘性土の傾向かもしれない。一方、図6に示した割線変形係数の低下の様子を見てみると、強度の低下に比べて、結構良好といえる。この傾向は過去のものとも一致している。加えて、過剰間隙水圧に対応させた強度の劣化傾向と変形係数の低下傾向は、どちらかという変形係数の低下のほうが顕著であることが分かる。

4.2 繰返し载荷中の両振幅ひずみと強度・変形係数劣化との関係

累積損傷理論を取り入れた盛土の地震時残留変形の予測方法のひとつである Newmark 法の基礎となっている強度の低下は両振幅ひずみをベースにしている。そこでここで行った繰返し荷重履歴後の火山灰質粘性土の強度と変形係数の低下を繰返し载荷時に生じた両振幅ひずみ DA に対してプロットしてみた結果を図4と図5に示している。これらの結果

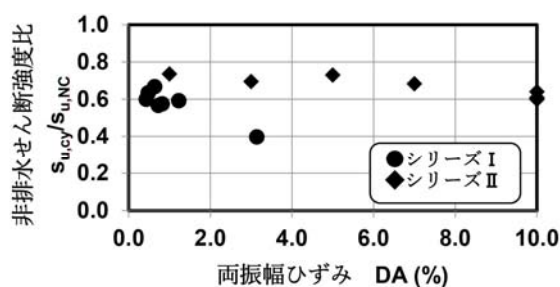


図4 強度低下比と両振幅ひずみの関係

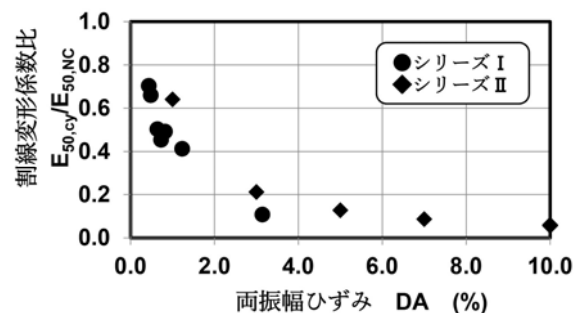


図5 変形係数低下比と両振幅ひずみの関係

からは、過剰間隙水圧を損傷パラメータに対するよりはその傾向の違いが良く分かるように見える。すなわち、強度については両振幅ひずみ DA の大きさによらず4割くらい低下する(図4)。一方、変形係数は DA が大きくなるに伴って顕著に低下する(図5)。

こうしてみると、繰返し劣化は、DA を損傷パラメータとしたほうがよさそうに見える。両者の関係は、図6に見るように良好であるが、ただ、残念ながら筆者らは両者を関連づける理論的手法を有していない。

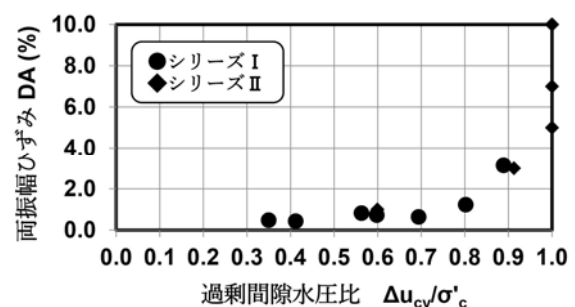


図6 過剰間隙水圧比と両振幅ひずみの関係

5. まとめ

粘性土は非排水繰返し履歴によって構造劣化を来とし、軟化による損傷がもたらされて、強度や剛性が低下する。その際に用いる損傷パラメータ(あるいは、劣化パラメータ)としては、当面は、不安定性評価には過剰間隙水圧を、残留変形には両振幅ひずみを利用するというように、使い分けることが適切であることを示唆した。

謝辞: 本文は、科学研究費・基盤研究A(課題番号 16H02362 研究代表者 安原一哉)の援助を受けて実施した。付記して謝意を表する。

引用文献 1) 安原・村上・豊田: 地盤工学会誌, 47(1), 51-56, 1999, 2) 安原他: 2017年地震工学研究発表会講演集, PS, 2017, 3) 龍岡他: 地盤工学会特別シンポジウム“東日本大震災を乗り越えて”講演発表集, No.47, 394-402, 2016, 4) 毛利他: H27 農村農業工学大会講演会講演要旨集, 806-807, 2015, 5) 安原他: 第61回地盤工学シンポジウム論文集, 9-3, 2018.