粘性土の地震時変状を関連付ける損傷パラメータ

茨城大学 ICAS　　フェロー会員　○安原　一哉

１．はじめに

地震時残留変形の残留変形を含む不安定性評価のためにNewmark法[1)]等を適用するために使われる損傷パラメータには，過剰間隙水圧と両振幅ひずみが考えられるが， Newmark 等で見られるように，地震時損傷パラメータとしては両振幅ひずみを用いることが多い。筆者らも粘性土の過剰間隙水圧と両振幅ひずみのどちらが適当かを議論して上手に使い分けるべきと結論した[2)]。

ここでは，この経過を踏まえて，強度・剛性だけでなく，強度定数の低下についても調べてみた結果を報告したい。

２．実験手順と不安定評価・残留変形予測への適用

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，表 1 に示した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，表 2 で示すような，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み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 0.05 %/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。

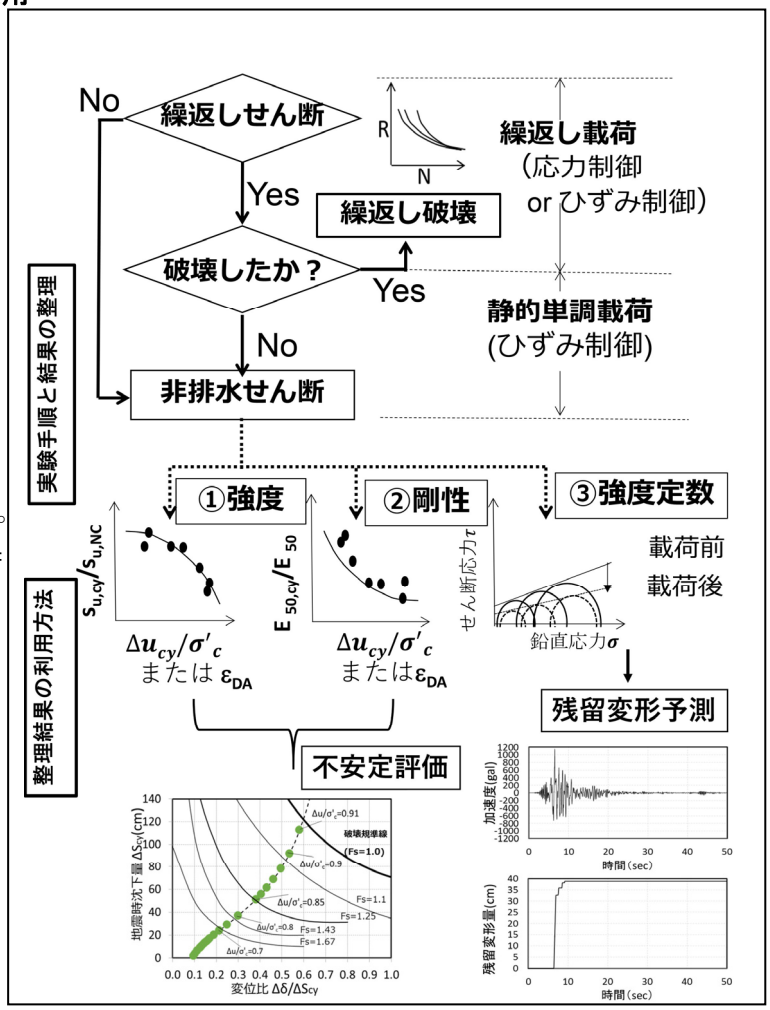

図１　実験手順，整理方法と適用方法

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。

３．実験に用いた火山灰質粘性土

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のうち，塑性指数 Ip = 19.1，自然含水比 63.9% が液性限界 61.3% に近いかあるいはやや

キーワード　地震，損傷パラメータ，強度低下，両振幅ひずみ，過剰間隙水圧
連絡先　　〒310-8512　茨城県水戸市文京 2-1-1　茨城大学 ICAS　TEL 029-228-8787

© Japan Society of Civil Engineers

大きいものがあることから，この粘土はやや鋭敏かもしれない．粒度試験の結果からは細粒分はシルトが多い。

４．せん断に関する力学定数に及ぼす両振幅ひずみの影響

繰返し載荷履歴後の単調載荷非排水せん断試験に於ける応力ひずみ曲線から非排水強度 s_u と割線変形係数 E_{50} を決めて非排水繰返し載荷時に生じた両振幅ひずみ ε_{DA} と対応させるとそれぞれ図 2 と図 3 が得られる。これによると，非排水強度は両振幅ひずみ DA に関係なく，ほぼ 4 割低下するが，剛性は DA に敏感で DA=10% 付近では変形係数は 1 割程度しか残っていない。

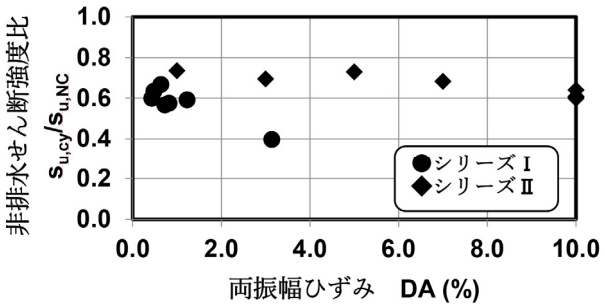

図 2　非排水強度比と両振幅ひずみの関係

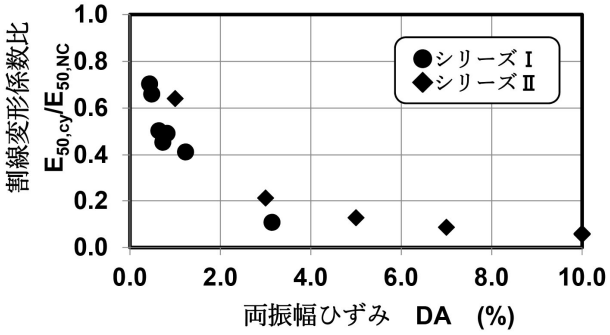

図 3　変形係数比と両振幅ひずみの関係

これに対して，強度定数のうち，内部摩擦角 ϕ_{cu} の DA 依存性を調べてみると，図 4 に示しているように，DA が小さい段階で急激に低下するように見えるが，その後は 2 割くらいしか低下せず，DA = 10% でも，約 5 割の低下である。この点で砂質土との違いがあるのではないかと思われる。

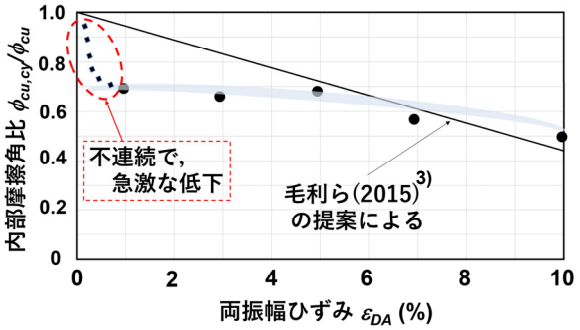

図 4　内部摩擦角低下に及ぼす両振幅ひずみの影響

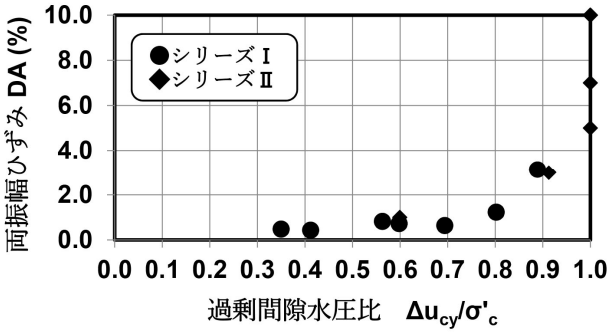

図 5　正規化過剰間隙水圧と両振幅ひずみの関係

著者らは繰返し荷重を受ける粘性土の損傷パラメータとして，正規化過剰間隙水圧 $\Delta u_{cy}/\sigma'_c$ を用いて地震時の変形と沈下を予測して盛土と基礎地盤の不安定性を評価する方法を提案している（図 1 参照）。そこで，繰返し載荷時の$\Delta u_{cy}/\sigma'_c$ と DA の関係を示すと図 5 のように，実験条件が異なるにもかかわらず，両者良好な関係がある。したがって，両者を理論的に関連づけることができれば，損傷パラメータはどちらを用いても互換性があって問題はないということになる。

５．あとがき

繰返し荷重を受ける粘性土の力学的性質の低下のうち，強度に比べると剛性のほうが両振幅ひずみに敏感である。したがって，地震時の不安定性評価 [4] や残留変形予測には，剛性低下も考慮していく必要がある。

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）による成果である。

引用文献 1)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.47，394-402，2016，2）安原他：第 52 回地盤工学シンポジウム発表論文集，2018，3）毛利他：H27 農村農業工学大会講演会講演要旨集，806－807，2015. 4) Yasuhara, et al., Lowland Technology International,19/3, pp. 205-216: ISSN 1344-9656.

© Japan Society of Civil Engineers