

Ⅲ - A116

二方向単純せん断試験及び繰返し非排水三軸試験における砂の消散エネルギー

東急建設技術本部 正会員 遠藤 修
 鉄道総合技術研究所 正会員 西村 昭彦
 同上 正会員 澤田 亮
 東急建設技術研究所 正会員 大河内保彦

1. はじめに

水平面内に多方向・不規則な地震動が、砂地盤の液状化現象に与える影響を検討するために、二方向単純せん断試験と二方向同時加振による液状化振動台実験を行い、载荷中の砂の消散するエネルギー(D. E.)を用いた検討を行ってきた^{1), 2), 3)}。今回は、有効拘束圧を変えた二方向単純せん断試験と、繰返し非排水三軸試験を実施し、液状化に達するまでの砂の消散エネルギーについて検討した。

2. 実験概要、

実験に用いた試料は絶乾状態の硅砂6号であり、両試験とも空中落下法で供試体を作製した。

二方向単純せん断試験(SST)は、油圧サーボにより水平二方向の荷重を独立に制御できる直接せん断試験である³⁾。供試体は、直径30cm、高さ15cmであり、背圧 $\sigma_{BP}=196\text{kPa}$ とし、2種類の有効拘束圧 $\sigma'_c=98, 196\text{kPa}$ で等方圧密し、所定のせん断応力比でせん断した。せん断方法は、0.1Hzのsin波を用い、一方向単純せん断と水平面内のせん断応力の軌跡が円形となる回転せん断の2種類とした。供試体の相対密度 D_r は、50, 80%に設定した。

繰返し非排水三軸試験(CTT)は、直径5cm、高さ10cmの供試体を用いて行い、背圧 $\sigma_{BP}=196\text{kPa}$ 、有効拘束圧 $\sigma'_c=98\text{kPa}$ とした。その他の試験方法は、土質工学会基準に準じて実施した。なお、供試体の相対密度 D_r は、50, 70, 90%に設定した。

3. 消散エネルギーの定義

本報告では、消散エネルギーをせん断による単位体積あたりのひずみエネルギーとし、その増分 dDE を(1)式のように定義した。なお、ここでの座標系は、鉛直方向をz方向、水平直行2方向を、それぞれx、y方向としている。

$$dDE = (\sigma_z - \sigma_x) / 2 \cdot d(\epsilon_z - \epsilon_x) + \tau_x \cdot d\gamma_x + \tau_y \cdot d\gamma_y \quad (1)$$

ここで、 σ_z, σ_x : z、x方向の鉛直応力、 ϵ_z, ϵ_x : z、x方向の鉛直ひずみ、 τ_x, τ_y : x、y方向のせん断応力、 γ_x, γ_y : x、y方向のせん断ひずみ

計算は、二方向単純せん断試験(STT)の場合には、平均片振幅せん断ひずみ $\bar{\gamma} = \sqrt{\gamma_x^2 + \gamma_y^2}$ が、0.75、

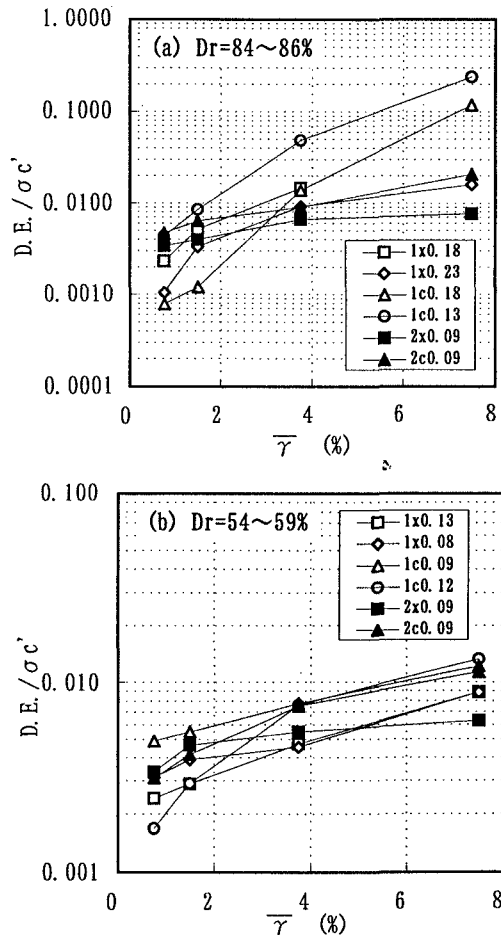


図1 二方向単純せん断試験結果

砂、液状化、二方向単純せん断試験、繰返し非排水三軸試験、消散エネルギー
 東京都渋谷区渋谷1-15-21、TEL03-5466-5261、FAX03-3406-7309

1.5、3.75、7.5%に達するまでのD.E.を計算し、繰返し非排水三軸試験(CTT)の場合には、両振幅軸ひずみDAが1、2、5、10%に達するまでのD.E.を求めた。

4. 各ひずみレベルにおける消散エネルギー比

図1に、二方向単純せん断試験(STT)における消散エネルギー比 $D.E./\sigma'_c$ と平均片振幅せん断ひずみ $\bar{\gamma}$ の関係を示す。凡例の記号は有効拘束圧 σ'_c (1:98kPa、2:196kPa)、せん断方法(一方: x、円形: c)、平均せん断応力比 $\bar{\tau}/\sigma'_c = \sqrt{\tau_x^2 + \tau_y^2}/\sigma'_c$ を示している。

図1(a)の密な場合には、 $\sigma'_c=98kPa$ の円形の回転せん断で、ひずみの増加とともにD.E./ σ'_c の顕著な増加が認められる。しかし、 $\sigma'_c=196kPa$ の場合と一方せん断の場合には、せん断ひずみが大きくなっても消散エネルギー比はあまり増加していない。これらの原因としては、前者の場合には、ひずみが増加するのに繰返し回数が多いことが考えられ、後者では過剰間隙水圧比が0.8程度になるとひずみが急激に発生するために、消散エネルギーとしては小さくなったためと考えられる。図1(b)は、ゆる詰め試験結果であるが、この場合には各せん断ひずみに対応する消散エネルギー比は、有効拘束圧、せん断方法の違いによらずほぼ同程度の値となっていることがわかる。

図2は、 $Dr=94-96\%$ における繰返し非排水三軸試験(CTT)における消散エネルギー比 $D.E./\sigma'_c$ と両振幅軸ひずみDAの関係を示している。凡例は、今回の実験で実施した繰返し応力振幅比 $\sigma_r/2\sigma'_c$ を示している。これより、消散エネルギー比 $D.E./\sigma'_c$ に対する繰返し応力振幅の影響は小さいことがわかる。この傾向は、他の密度においても認められた。

図3は、二方向せん断試験(SST)の平均片振幅せん断ひずみ $\bar{\gamma} = 3.75\%$ 、繰返し非排水三軸試験(CTT)の両振幅軸ひずみ $DA=5\%$ における消散エネルギー比 $D.E./\sigma'_c$ と砂の相対密度 Dr との関係を示す。凡例中の数字は前述のように有効拘束圧を示している。これより、相対密度が同程度であれば両試験の結果はほぼ同様の値となっており、消散エネルギー比 $D.E./\sigma'_c$ により試験方法の違いに影響されず、初期液状化が統一的に取り扱える可能性があるかと推定される。

5. まとめ

二方向単純せん断試験と繰返し非排水三軸試験を行い、砂の消散エネルギーを比較した結果、消散エネルギー比 $D.E./\sigma'_c$ を用いると、試験方法によらず初期液状化を統一的に扱える可能性があるかと推定された。

<参考文献>1)Endo, O., Komanobe, K.1995. Single- and multi- directional shaking table tests of sand liquefaction. IS-TOKYO'95. 2)遠藤、駒延; 消散エネルギーを用いた多方向・不規則波加振による液状化実験の検討、土木学会第50回年次講演会、1995. 3)遠藤、大河内、駒延; 二方向単純せん断試験と振動台実験における液状化時の消散エネルギー、第32回地盤工学研究発表会、1997.

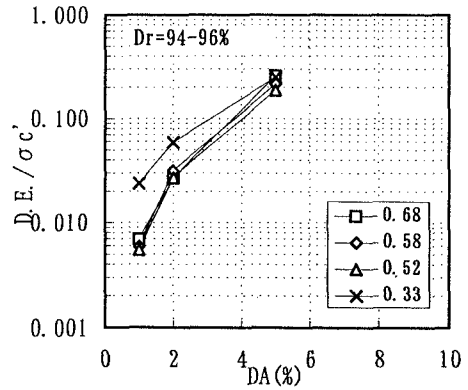


図2 繰返し非排水三軸試験結果

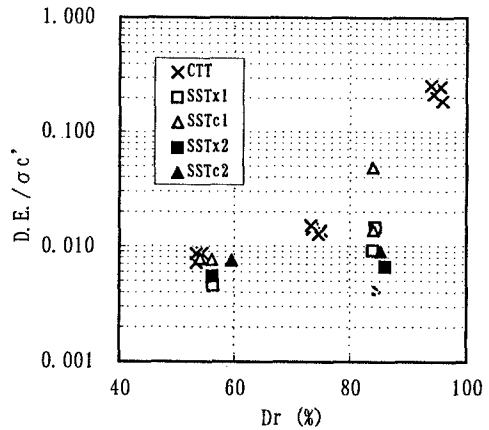


図3 相対密度と消散エネルギー比