

複数回液状化試験結果における消散エネルギーを用いた分析方法の検討

東京大学 学生会員 ○青柳 悠大

東京大学 フェロー会員 古関 潤一

1. はじめに

今後想定される首都直下地震や南海トラフ地震などの大地震の際の液状化対策を検討するうえで、砂質地盤における再液状化の発生メカニズムや影響因子の解明、また、再液状化が生じる危険性の予測手法の確立が望まれている。これまで、各液状化段階で異なるせん断ひずみ履歴を与えた複数回液状化試験¹⁾を実施し、その後、液状化過程に得られた応力-ひずみ関係から繰返しせん断中の消散エネルギーと累積ひずみを算定し、次の液状化段階において液状化が生じるまでの繰返し載荷回数との相関を調べた²⁾。ここでは、消散エネルギーに基づいた分析で2通りの設定条件を適用し、設定条件による違いを検討した結果を報告する。

2. 試験方法

気乾状態の豊浦砂($G_s=2.656$; $D_{50}=0.160\text{mm}$; $F_c=0.1\%$; $e_{\max}=0.992$; $e_{\min}=0.632$)を用いて、外径 150, 内径 90, 高さ 55mm の中空円筒供試体を作製し、同一の供試体に対して一次元圧縮と定体積繰返しせん断試験の組み合わせを複数回実施した。中空円筒供試体は初期相対密度 $Dr_{\text{ini}}=51\%$ となるように空中落下法で作製し、供試体上面に鉛直応力 $\sigma_{v,\text{Top}}=200\text{kPa}$ を載荷して一次元圧縮した。その後、キャップの鉛直変位を固定し定体積状態で一定の繰返しせん断応力振幅 $\tau_{\text{cyc}}=25\text{kPa}$ を与えた。その際に生じる両振幅せん断ひずみの最大値 $\gamma_{D\text{Amax}}$ を 2% または 10% と定め、目標の最大両振幅せん断ひずみを超えるまでせん断ひずみ速度 $0.7\%/min$ で繰返し載荷を行った。この試験では、供試体が気乾状態のままでも定体積条件下で繰返しせん断を与えることで負のダイレイタンスが生じ、最終的には鉛直応力がほぼゼロになって液状化状態に相当する応力状態に至る。その後、せん断ひずみがゼロに戻るまで除荷し、いずれの試験ケースでも、同一の供試体に対してこの手順を繰り返すことで、複数回液状化試験を実施した。本研究では、ひずみが急激に増幅し始める点である両振幅せん断ひずみ $\gamma_{D\text{A}}=2\%$ となった状態を「液状化」として取り扱い、この状態に至るまでの繰返し回数を「液状化強度」と称する。

3. 液状化時における消散エネルギーを用いた分析

同一の供試体に対して複数回液状化履歴を与えた際に計測した応力ひずみ関係から、次式により消散エネルギーと累積ひずみを算定した。

$$\text{消散エネルギー} : \sum \Delta W = \int \tau \cdot d\gamma$$

$$\text{累積ひずみ} : \sum \gamma = \int \left| \frac{d\gamma}{dt} \right| \cdot dt$$

図1にこれらの関係の一例を示す。図中の最初の変曲点(点1, 2周辺)までしか繰返し載荷しないとその次の段階で発揮される液状化強度が増加し、逆に、これらの点に到達後も繰返し載荷を継続するし次の液状化段階での液状化強度が減少する傾向があることが報告されている³⁾。

そこで、次の液状化段階における液状化強度が増加する「正の効果(positive impact)」が現れる範囲に消散したエネルギーの総和を「正の消散エネルギー $\sum \Delta W^{(+)}$ 」、次の液状化段階における液状化強度が低下する「負の効果(negative impact)」が現れる範囲に消散したエネルギーの総和を「負の消散エネルギー $\sum \Delta W^{(-)}$ 」と呼ぶ。これら2種類のエネルギーが次の液状化段階での液状化強度(再液状化強度)に及ぼす影響について定量的に検討した。

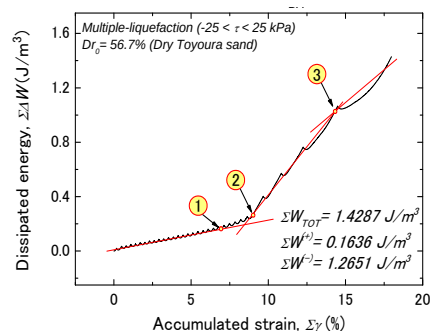


図1 消散エネルギーと累積ひずみの一例

キーワード 再液状化、せん断履歴、消散エネルギー

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻 TEL 03-5841-6121

