

繰返しせん断ひずみ履歴による体積収縮挙動に対する初期せん断の影響

日本大学工学部土木工学科 (元 農研機構 農村工学研究所) 正会員 ○海野 寿康

(独) 農業・食品産業総合研究機構 農村工学研究所 正会員 谷 茂

1. はじめに

液状化後の体積収縮挙動は、繰返しせん断過程において生じる負のダイレイタンスーに起因している。著者ら^{1), 2)}は、負のダイレイタンスーによる体積収縮特性について検討し、繰返しせん断試験において同一のせん断ひずみ履歴では、乾燥砂の排気繰返しせん断中に生じる体積ひずみが、飽和砂の非排水繰返しせん断後の再圧密時に生じる体積ひずみと等しいという結果を得た。結果から、繰返し載荷時のひずみ履歴が同一ならば、応力履歴によらず乾燥砂、飽和砂ともに繰返しせん断による体積収縮量は一定であり、繰返しせん断履歴による体積収縮特性はひずみ履歴にのみ依存するという知見が得られた。

一方、初期せん断を載荷した場合における繰返しせん断時のひずみの挙動は、等方圧密下のそれとは大きく挙動が異なり、載荷直後にせん断ひずみが最大主応力方向に増加する挙動を示す。よって、等方応力下の知見と初期せん断が存在する状態での結果とでは知見が異なる可能性が高い。本報告では、繰返しせん断ひずみ履歴と体積収縮量の関係に対する初期せん断の影響について検討を行った。

2. 試験方法

三軸試験に用いた供試体は、直径 5cm、高さ 10cm の円筒形で、試験試料には豊浦砂を用い、空中落下法を用いて作製している。繰返し載荷前の初期相対密度は $Dr=60\%$ とした。試験は全て飽和供試体で行っており、せん断前の B 値は全て 0.95 以上のものである。背圧は 100kPa であり、背圧載荷後 30 分ほど放置した B 値を測定した後、圧密時に有効拘束圧 50kPa で 1 時間ほど等方圧密した後、平均有効主応力 50kPa に保持したまま排水状態で所定の初期せん断応力を載荷、その後同一応力状態で繰返し載荷を行った。図-1 に試験の有効応力経路の概念図を示す。初期せん断は応力比 $q_i/\sigma'_c=0.08\sim0.75$ の範囲である。

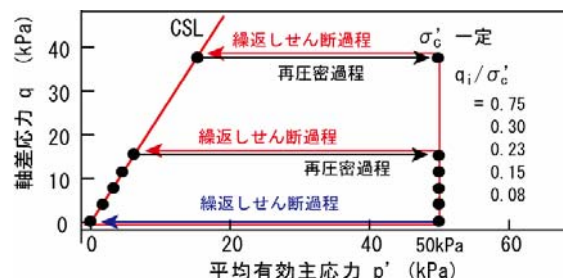


図-1 有効応力経路

(1) 非排水繰返しせん断試験

非排水条件下で繰返し載荷を与え、載荷終了後、排水、再圧密させ体積ひずみを測定した。なお本研究における体積ひずみは、有効応力が初期有効拘束圧に戻るまでに生じた体積ひずみと定義する。非排水条件下の繰返し載荷履歴はサイン波 $=0.1\text{Hz}$ である。

(2) 排水繰返しせん断試験

飽和供試体に対して排水条件で繰返し載荷を与え、載荷中の排水量（体積ひずみ）を測定した。圧密による初期平均有効主応力は 50kPa である。繰返し載荷は、非排水試験と同一のサイン波形を与えるが、排水を考慮し周波数は 0.05Hz とした。

(3) 繰返しせん断履歴の評価法(累加せん断ひずみ)

本研究では、繰返し載荷履歴の評価を累加せん断ひずみを評価指標とした。累加せん断ひずみは有効応力解析等にて土の損傷を表現するために内部変数として使われる量である。累加せん断ひずみは以下の式で定義した。

$$\gamma_{acm} = \int |\dot{\gamma}(t)| dt \quad (1)$$

ここで $\dot{\gamma}(t)$ は時刻 t におけるせん断ひずみ速度。

3. 試験結果

図-2 は、間隙比～累加せん断ひずみ関係であり、初期せん断を与えた供試体の繰返しせん断履歴による間隙比の変化量を示したものである。図中には、試験結果のプロットの他に海野ら (2008)²⁾ で示した

キーワード 繰返しせん断ひずみ履歴, 体積収縮, 初期せん断

〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 日本大学工学部土木工学科

繰返しせん断ひずみ履歴による体積収縮特性モデルである下記式の結果も示す。

$$e_{cyc} = e_{\infty} + (e_i - e_{\infty}) \ln(-a\gamma_{acm}) \quad (2)$$

ここで、 e_{cyc} :繰返しせん断後の間隙比、 e_{∞} :繰返しせん断による間隙比の収束値、 e_i :初期間隙比、 a :材料定数。各パラメータを表-2に示す。試験の結果、初期せん断が存在する場合でも、繰返しせん断ひずみ履歴に基づき整理した場合、排水試験における繰返しせん断中の体積収縮量と非排水繰返しせん断後の再圧密時の体積収縮量は等しい値を示し、『体積収縮量が累加せん断ひずみに依存し応力履歴に依存しない』という等方条件の知見^{1),2)}が成り立つ。

一方、体積収縮挙動自体に対する初期せん断の影響について着目すると、繰返しせん断によってほとんどの供試体で間隙比が低下しており体積収縮を生じているが、初期せん断応力比の増加に伴って供試体の体積収縮は鈍くなる傾向にある。

図-3は、繰返しせん断履歴による体積収縮量と初期せん断応力比の関係を示したものである。体積収縮量の減少は、初期せん断応力比 0.2 以上になると繰返しせん断前後の間隙比の差は 0.02 以下となり、が 0.3 ともなればほとんど体積収縮せず収縮量は頭打ちになる。ただし、初期せん断があることによって体積収縮が減少し、試験後の残留変形自体が減少するという訳ではない。図-4はせん断終了後の残留軸ひずみ、体積ひずみと初期せん断応力比の関係を示したものである。同図には、等方応力条件下のものも表記する。図中、各試験によって繰返しせん断履歴が一定していないため試験後の残留軸ひずみ、体積ひずみとも値がばらつくが初期せん断応力比を大きくすることで体積ひずみが減少するとともに残留軸ひずみが増加する傾向にある。また、両ひずみとも、初期せん断応力比を大きくすると生じる量は頭打ちとなる結果になった。

5. 結論

本報告より得られた知見は以下のとおりである。

1. 初期せん断がある場合においても繰返しせん断ひずみ履歴を用いて評価すると、排水繰返しせん断中の体積収縮量と非排水繰返しせん断後の再圧密による体積収縮量は等しい結果となった。ただし、初期せん断の載荷量が大きくなるほど

繰返しせん断による体積収縮量は小さくなる。

2. 体積収縮量には下限値があり、初期せん断応力比で 0.3 ともなれば、ほとんど体積収縮しない結果となった。

参考文献

- 1) 海野寿康・風間基樹・渦岡良介・仙頭紀明：同一繰返しせん断履歴における乾燥砂と飽和砂の体積収縮量の関係，土木学会論文集 C, Vol.62, No.4, pp.757-766, 2006. 2)海野寿康・谷茂：繰返しせん断ひずみ履歴による飽和砂の液状化後の体積収縮挙動とその評価，第 43 回地盤工学会年次大会，2008（投稿中）。

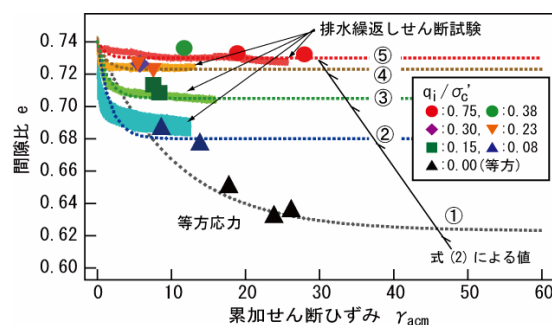


図-2 繰返しせん断による体積収縮特性

表-1 式(2)中のパラメータ

	①	②	③	④	⑤
q_i/σ'_c	0.00	0.08	0.15	0.30	0.75
a	0.10	0.40	0.70	0.90	1.0
e_i	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
e_{∞}	0.623	0.680	0.705	0.723	0.730

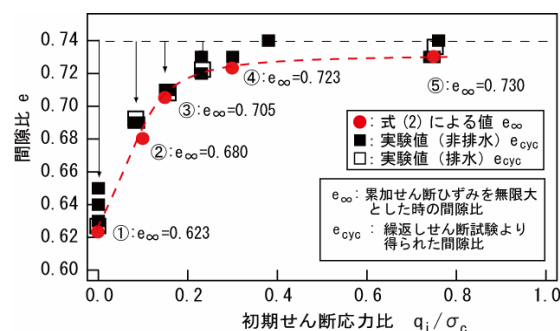


図-3 体積収縮と初期せん断応力比の関係

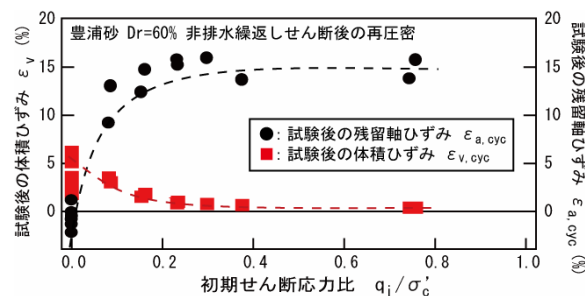


図-4 せん断終了後の残留軸ひずみ、体積ひずみと初期せん断応力比の関係