

III - 38

非排水繰返しせん断履歴により生じる体積収縮量のモデル化に関する考察

東北大学大学院工学研究科 学生員 ○松谷明洋

同

上

正会員

仙頭紀明・渦岡良介・風間基樹

1. はじめに

液状化した地盤は、地震後に過剰間隙水圧を消散する過程において体積収縮する。この地震後の収縮特性は地盤の沈下や流動せん断変形などの地盤変形に大きく寄与する。従来の研究では体積収縮量と繰返しせん断履歴で生じた最大せん断ひずみ γ_{max} との相関が論じられてきた¹⁾。しかしながら、最大せん断ひずみのみで繰返しせん断履歴の影響の評価することには疑問が残る。そこで本研究では、地震時に受けた繰返しせん断履歴の影響を最大せん断ひずみ以外に、累積損失エネルギーと累積せん断ひずみに着目した整理を行い、各指標と体積ひずみの関係を示した。さらに体積収縮時の平均有効主応力と体積ひずみの関係をモデル化した。

2. 実験方法

実験は三軸試験機で行い、試料には豊浦砂を用いた。試料の作成方法は空中落下法により目標相対密度にあわせた。試験は19.6kPaで予備圧密後、CO₂、脱気水を供試体に循環させ、背圧を98kPaかけて飽和させた後、所定の圧密応力まで等方圧密した。非排水繰返しせん断履歴($\gamma = 1.5\epsilon_v$)は、図-1に示すようなひずみ漸増型(5波づつ):図-1の①~⑤、一定ひずみ片振幅(7.50%)繰返し回数変化型:図-1の⑥~⑨のケースを実施した。再圧密過程は等方状態を保ちながら体積ひずみ速度を一定にして排水させた。

3. 実験結果と考察

3-1 各指標の特性

各指標(最大せん断ひずみ γ_{max} 、正規化累積損失エネルギー、累加せん断ひずみ)を図-2~4に示す。

まず最大せん断ひずみによる評価では、繰返しせん断履歴をひずみ漸増で与えた場合は γ_{max} と体積ひずみには相関が見られるが、一定ひずみ振幅で繰返し回数を変えて与えた場合は、 γ_{max} は同じでも体積ひずみは大きく異なることから、 γ_{max} のみで評価することには無理がある。

次に累積損失エネルギーによる評価では、履歴パターンには砂の密度の違いが明確に現れている。一方、累加せん断ひずみにより評価では、履歴の違いによらず体積ひずみと相関があることが分かった。

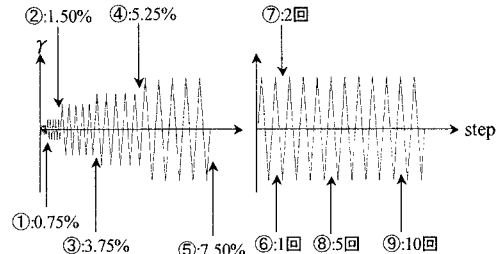


図-1 繰返しせん断履歴の模式図

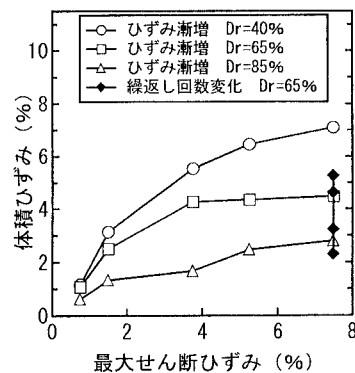


図-2 体積ひずみ- γ_{max} 関係

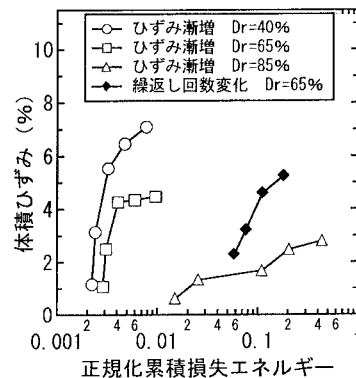


図-3 体積ひずみ-正規化累積損失エネルギー関係

3-2 体積収縮特性のモデル化

体積収縮特性 ($\varepsilon_v - \sigma'_m$ 関係) は図-5 に示すように強い非線形性があり、また平均有効応力がほぼゼロの領域では体積収縮量が大きくなる傾向がある。さらには履歴による砂の損傷の程度が大きいほど最大体積ひずみ量は大きくなることが分かった。

今回実験に用いた豊浦砂の繰返しせん断履歴後の再圧密過程 (体積収縮特性) をモデル化し、履歴に応じた体積収縮量のと平均有効主応力の関係を定式化した。

モデル化は橋口らの $\ln v - \ln p'$ モデル²⁾ を参考に以下のようにモデル化した。

$$\varepsilon_v = \rho \times \ln\{(p'/p_i') + 1\} \cdots \cdots (*)$$

$$p_i' = p_0' \times 10^{-x}$$

p_i' は p' がゼロの場合に ε_v が ∞ にならないために導入された量であり、初期有効拘束圧 p_0' とパラメータ x の関数として表した。ここに ε_v は体積ひずみ、 p' は平均有効主応力、 p_i' は最大体積ひずみを規定するパラメータ、 ρ は $\ln v - \ln p'$ 関係の正規圧密時の勾配である。パラメータ x を変化させることで繰返しせん断履歴による体積収縮量を定量的に把握することができる。

図-5 に示すようにこのモデル化により体積収縮特性がうまくフィッティングできた。また図-6 にはパラメータ x と履歴の関係を示した。パラメータ (p_i') は本来、数値解析が有効応力ゼロ付近で破綻しないために導入したものであるが、本論文ではその量とひずみ履歴を対応させたことを意味する。つまり、与えたひずみ履歴が大きいほど有効応力 p_i' は小さい値を取り得ることになり、これによって大きな体積ひずみが発生する。また、図-4 と図-6 を比較すると図の傾向はよく似ていることから、パラメータ x には履歴による砂の損傷の程度という物理的な意味も含まれている。すなわちこのモデル化によって、履歴量に応じたパラメータ x の算定を通して地盤変形量の予測が可能になる。

4. 結論

- 1) 最大せん断ひずみでは評価できなかった繰返しせん断履歴の影響を、累加せん断ひずみにより評価できた。
- 2) 履歴の影響を考慮した体積ひずみ-平均有効主応力関係のモデル化では、豊浦砂の体積収縮特性をうまく表現できた。今後 x と履歴の関係を砂の種類によらない汎用性のある形で提案できれば良いものとする。

参考文献: 1) K. Ishihara and M. Yoshimine: Evaluation of Settlements in Sand Deposits Following Liquefaction During Earthquakes, SOILS AND FOUNDATION Vol.32, No.1, pp.173-188, (1992).

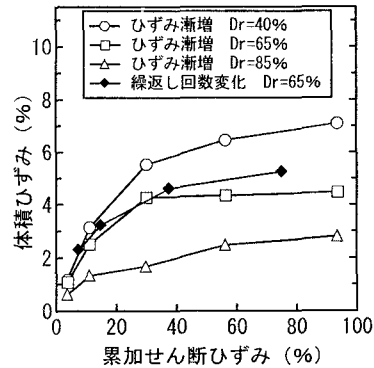


図-4 体積ひずみ-累加せん断ひずみ関係

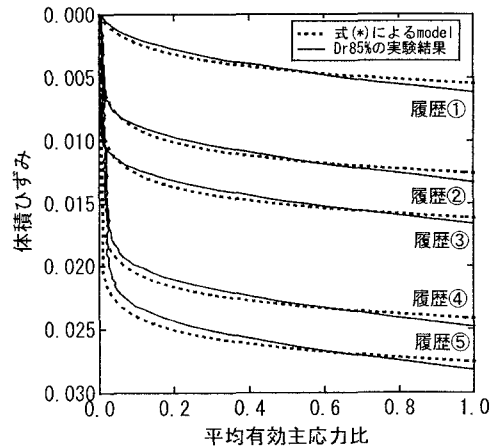


図-5 実験結果 (Dr=85%) とモデルとの比較

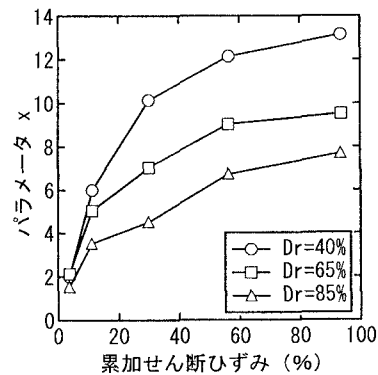


図-6 パラメータと履歴の関係

2) K. Hashiguchi and Z.P.Chen: Elastoplastic Constitutive equation of soils with the subloading surface and the rotational hardening INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL AND ANALYTICAL METHODS IN GEOMECHANICS Vol.22, pp.197-227, (1998)