

Ⅲ－39

液状化解析における最小平均有効応力の物理的設定法

東北大学工学部土木工学科 学生会員 ○清水友子

東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 正会員 渦岡良介, 仙頭紀明

1. はじめに

液状化が発生した場合、液状化後の地盤の沈下により構造物などは多大な影響が生じる。従来、液状化解析は例えば $0.01\sigma_{m0}'$ (σ_{m0}' : 初期平均有効応力) という物理的に意味を持たない最小有効応力を用いて実施してきた¹⁾。また、実験は低拘束圧下において測定精度に限界があり、平均有効応力を正確に測定することはできない。このように、最小有効応力は正確性に欠ける値で用いられてきた。そこで、本研究では既往の研究に基づき、最小有効応力の物理的に意味のある設定法を提案し、液状化後の体積変形予測が可能な構成モデルを構築する。

2. 最小有効応力のモデル化

最小有効応力は、仙頭ら²⁾による再圧密時の体積収縮特性を表現できるモデルから、次式のように表せる。

$$\sigma_{m0}' = \sigma_{m0}' \times 10^{-x} \quad (1)$$

$$x = \frac{a \cdot \gamma_{acm}}{1 + \gamma_{acm} / b} \quad (2)$$

ここに、 σ_{m0}' : 有効応力が 0 の場合、体積ひずみが無限大にならないように導入したパラメータ(最小有効応力)、 γ_{acm} : 累加せん断ひずみ、 a : 相対密度の関数で表現できる係数、 b : 曲線形状を決める係数である。提案モデルは、既往の砂の繰返し弾塑性モデル³⁾に式(1),(2)から算定した最小有効応力を導入したものとする。また、提案モデルは、現行モデルで行っていた、変相線に到達した後の塑性偏差ひずみの累積に応じた体積弾性係数の低減を行わない。

3. 解析手法と解析条件

解析は相対密度 65% の豊浦砂を対象とし、砂の繰返し弾塑性モデルによるシミュレーションを行い、浅野ら⁴⁾による要素試験の結果と比較する。繰返しせん断過程は非排水条件下でひずみ制御で行う。ひずみ波形は図 1 のようにひずみ振幅漸増型の三角波を与える。その振幅は片振幅で 0.1%(5 波)、0.2%(5 波)、0.5%(3 波)、1%(3 波)、2%(3 波)、5%(1 波) である。

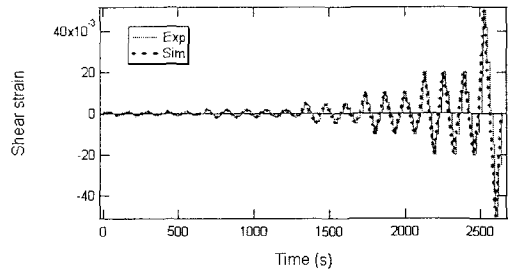


図 1 せん断ひずみの時刻歴

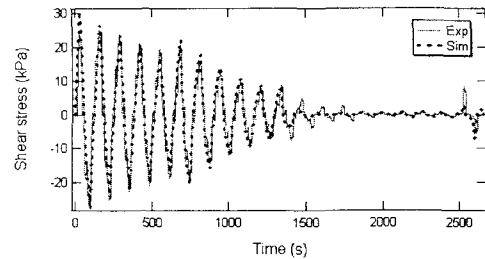


図 2 現行モデルのせん断応力の時刻歴

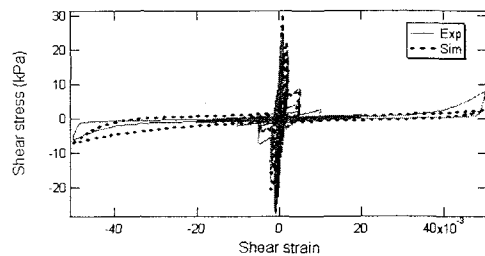


図 3 現行モデルのせん断応力－せん断ひずみ関係

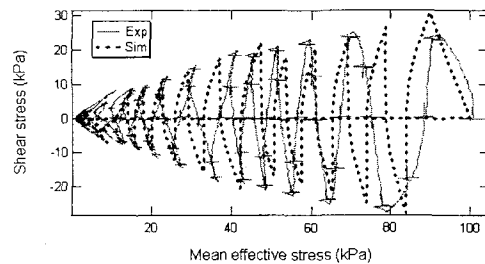


図 4 現行モデルの有効応力経路

再圧密過程はせん断応力が 0kPa になった点からとし、圧縮の体積ひずみを与える。

4. 要素シミュレーションの結果

図 2～4 に最小有効応力を導入する前の結果として、せん断応力の時刻歴、せん断応力—せん断ひずみ関係および有効応力経路を示す。なお、ここでは繰返しせん断過程に着目してパラメータを設定している。有効応力経路において、シミュレーションは実験に比べて平均有効応力が減少するのが多少早い。しかし、それ以外は実験の挙動を良く再現している。しかし $e-\log \sigma'_m$ 関係を示した図 8 において、シミュレーションは、液状化後の体積ひずみを表す間隙比の減少を過大に評価している。このように現行モデルは繰返しせん断過程に着目して設定したパラメータによって、再圧密過程を同時に再現することはできない。

最小有効応力を用いた提案モデルによるシミュレーションの結果として、せん断応力の時刻歴、せん断応力—せん断ひずみ関係および有効応力経路を図 5～7 に示す。現行モデル同様、シミュレーションは平均有効応力が減少するのが早い点以外は実験の挙動を良く再現している。図 8 に提案モデルと現行モデルを比較した $e-\log \sigma'_m$ 関係を示す。提案モデルは、最小有効応力を導入することにより、実験では測定できない低拘束圧下でもモデル化でき、液状化後の再圧密過程における体積ひずみの減少と繰返しせん断過程の実験の挙動を同時に再現できた。

5. まとめ

現行モデルでは繰返しせん断過程、液状化後の再圧密過程を同時に再現できなかったが、最小有効応力を用いることで両方の過程の挙動を同時に良く再現でき、液状化後の体積ひずみ量を予測できる。しかし、シミュレーションする際に用いる数値解析上のパラメータが多いという問題点がある。式(2)に用いる a 、 b 、 γ_{acm} などの変数にまだ検討の余地があり、パラメータの数を減らすことが課題の一つである。

参考文献

- 1) 液状化解析手法 LIQCA 開発グループ: LIQCA2D04 資料, LIQCA2D04 の定式化, pp.17-18, 2004.
- 2) 仙頭紀明, 風間基樹, 渦岡良介: 非排水繰返しせん断履歴後の再圧密実験と体積収縮特性のモデル化, 土木学会論文

集, No.764/III-67, pp.307-317, 2004.

- 3) Oka, F., Yashima, A., Tateishi, A., Taguchi, Y. and Yamashita, S.: A cyclic elasto-plastic constitutive model for sand considering a plastic-strain dependence of the shear modulus, Geotechnique, vol.49, No.5, pp.661-680, 1999.
- 4) 浅野隆司, 渦岡良介, 仙頭紀明, 風間基樹: 液状過程における豊浦砂の弾性定数, 第 39 回地盤工学研究発表会, pp.425-426, 2004.

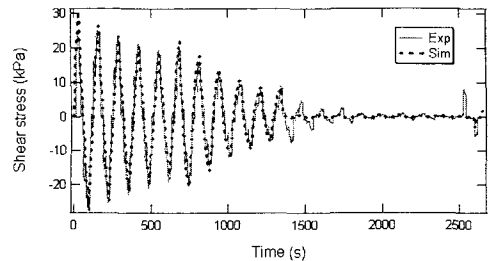


図 5 提案モデルのせん断応力の時刻歴

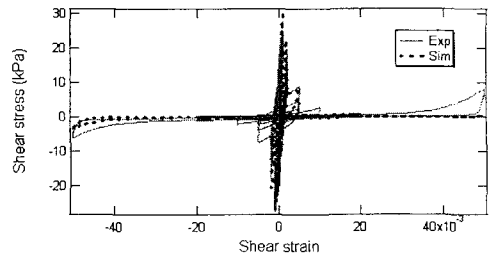


図 6 提案モデルのせん断応力—せん断ひずみ関係

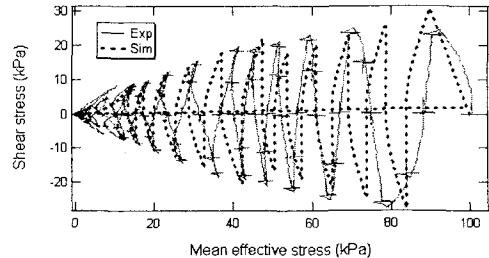


図 7 提案モデルの有効応力経路

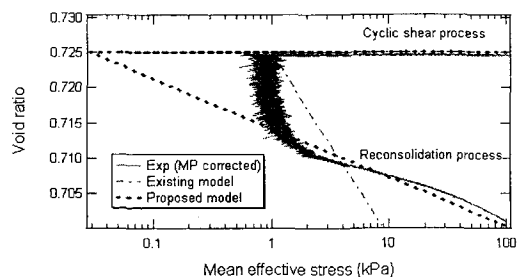


図 8 現行モデル, 提案モデルの $e-\log \sigma'_m$ の比較