

III-93 砂の非排水繰返し単純せん断試験シミュレーション

佐藤工業(株) 正 員 ○辻野修一

東京大学 正 員 石原研而

同上 学生員 Misko Cubrinovski

1. はじめに 地震時に水平成層地盤をせん断波が伝播すると地盤は単純せん断変形をする。従って、液状化解析等の地震応答解析に用いる土のモデルは単純せん断状態の土の挙動を正確にシミュレートできる必要がある。ここでは、モデルの検証のため実施した非排水繰返し単純せん断試験のシミュレーション結果について報告する。

2. 砂のモデル化 解析には以下に示すような弾塑性構成モデルを用いた。異方圧密状態から単純せん断変形をした場合、主応力軸の回転が生じることからここではGutierrez等が提案した¹⁾主応力軸の回転を考慮した流れ則を用いた。さらに、せん断応力比を塑性せん断ひずみの双曲線関数と仮定すると硬化係数 H^p は次式で表される。 $H^p = G^p (1 - r/r_t)^2$ ここで、 G^p : 塑性せん断係数、 r : 応力比、 r_t : 破壊時の応力比である。しかし、図-1に示すように双曲線により全てのひずみ域で実験結果(図中○印)と一致させることが難しい(図中A, Bの実線が双曲線近似)ことから、ここでは双曲線関数の2つのパラメータ破壊強度と初期剛性のうち初期剛性を塑性せん断ひずみにともない指数関数を用い減少させた。さらに、ストレス-ダイレタンシー関係 $(d\varepsilon_v^p/d\varepsilon^p = \mu - q/p')$ ここで、 $d\varepsilon_v^p$: 塑性体積ひずみ、 $d\varepsilon^p$: 塑性せん断ひずみ、 μ : ダイレタンシーパラメータ、 q : せん断応力、 p' : 平均有効応力)の μ は正規化塑性せん断仕事-塑性せん断ひずみ関係の勾配として与えられる。非排水繰返し単純せん断試験結果からこの関係を算定すると図-2のようになる。図中の番号は、載荷方向が変化する毎(半サイクル毎)のサイクル数を表している。この図より、載荷方向が変化する毎に曲線の勾配が小さくなり載荷を続けると徐々に大きくなっていくことが分かる。この関係をさらに詳細に検討すると、載荷方向の影響が見られるが、除荷直前の勾配 μ_{max} は半サイクル毎にほぼ直線的に増加している。このようなダイレタンシーパラメータの変化を塑性せん断ひずみの関数として表現している。そのほかのモデルパラメータとしては、弾性せん断係数(1225kg/cm²)、ポアソン比(0.2を仮定)を用いている。解析は、2次元平面ひずみ条件で、側方および鉛直変位を拘束し、せん断ひずみを入力とした。シミュレートした実験は、Pradhan²⁾によって行われた空中落下法によって作成された豊浦標準砂($e_0=0.684$)を用いた中空ねじり試験結果である。

3. 解析結果および考察 実験結果と解析結果の比較のうち、せん断応力-せん断ひずみ関係および有効応力経路(有効上載圧-せん断応力関係)を図-3に示す。実験結果は1サイクル目から変相が生じサイクリックモビリティを示している。そして、繰返し載荷にともないせん断ひずみ振幅が増加している。有効応力経路は載荷にともない減少・増加を繰返しながら変相時の有効応力が減少していき、最終的に有効応力が0近くまで減少している。実験結果と解析結果を比較すると、各サイクル毎のひずみ振幅および除荷直後の弾性的な挙動および有効応力の減少ともよく一致している。除荷直後に弾性的な挙動を示すためには、塑性せん断係数が弾性せん断係数に比べて大きな値を持つ必要がある。従って、微小ひずみレベルでの硬化係数を適切に評価することにより除荷直後の弾性的な挙動のシミュレーションが可能となっている。さらにサイクリックモビリティにおいてせん断ひずみ振幅が増加する現象は、載荷時のせん断応力比が破壊時の応力比に近いことから硬化係数値がほぼ0となり塑性せん断係数によって表現することはできない。ダイレタンシーパラメータを塑性せん断ひずみに応じて変化させることにより実験結果をシミュレートできている。

4. おわりに 硬化係数およびダイレタンシーパラメータを適切に評価することにより応力-ひずみ関係、有効応力経路とも実験結果を精度よくシミュレートする事が可能となった。今後、このモデルを用いた液状化解析について研究を進めていく予定である。

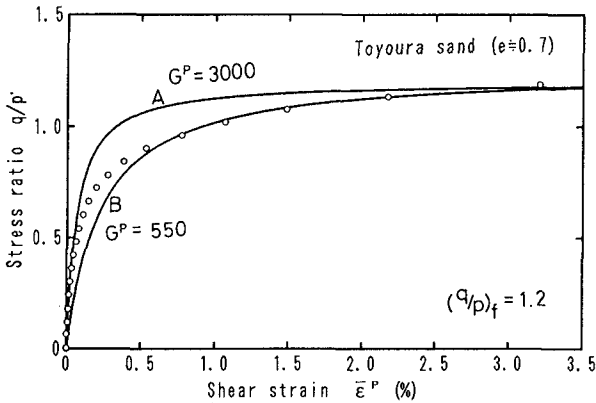


図-1 セン断応力比-塑性せん断ひずみ関係
の双曲線近似

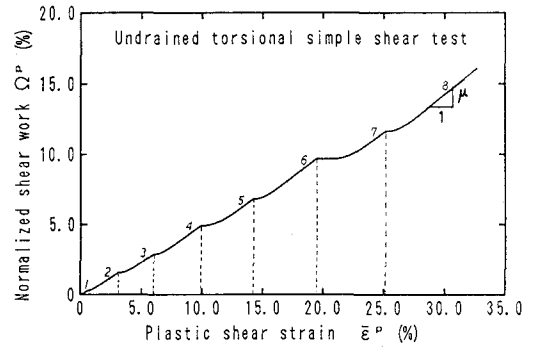


図-2 正規化塑性せん断仕事
-塑性せん断ひずみ関係

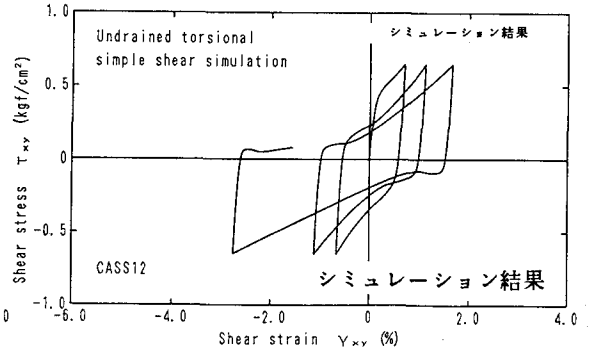
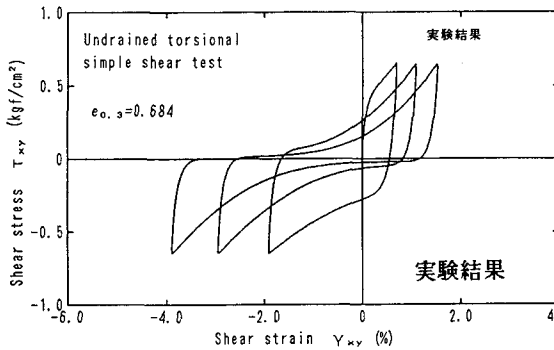


図-3 (a) セン断応力-せん断ひずみ関係

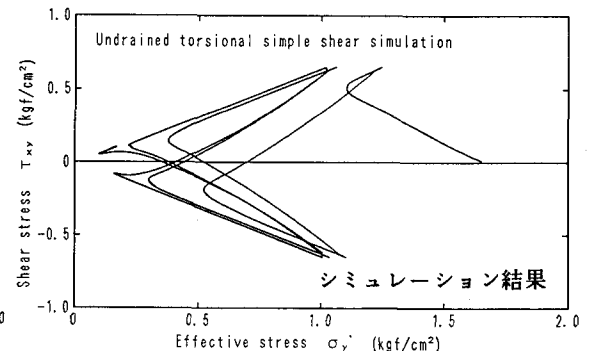
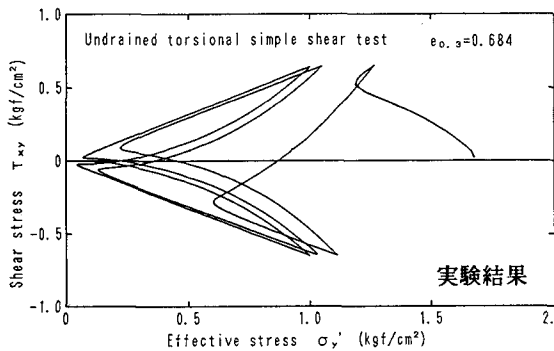


図-3 (b) 有効応力径路

参考文献

- 1)Gutierrez, M., Ishihara, K. and Towhata, I. (1991): " FLOW THEORY FOR SAND DURING ROTATION OF PRINCIPAL STRESS DIRECTION," Soils and Foundations, Vol. 31, No. 4, pp.121-132.
- 2)Pradhan, T. B. S. (1989): " The Behavior of Sand Subjected to Monotonic and Cyclic Loadings," 京都大学学位論文.