

第Ⅲ部門

境界端面の潤滑性に注目した粘土供試体のせん断シミュレーション

神戸大学工学部

学生員 ○三好絵里子

神戸大学自然科学研究科

正会員 橘伸也

神戸大学都市安全研究センター

国際会員 飯塚敦

神戸大学工学部

国際会員 河井克之

1.はじめに

地盤材料の強度定数は、室内試験において求められる。圧密終了時には、均一・一様と見做せる供試体は、せん断が進行するにつれて、不均一変形を呈するため、供試体内の応力状態は均一・一様とは言えない。このような状態から算出される強度定数を材料固有の値と言い切ってしまうことには疑問を感じる。強度に影響を与える要因として考えられているものの中から、供試体端面の摩擦と供試体側面の初期不整に注目する。供試体を要素としてではなく、初期値・境界値問題と捉え、これらが強度に与える影響を、過去の研究を参考にしながら、二次元条件の下、非排水平面ひずみ圧縮せん断試験のシミュレーションを行う。

2.既往の研究

供試体の端面摩擦に注目した研究として、龍岡ら¹⁾によるものがある。彼らは、供試体と圧盤の間に潤滑剤を挿入することによって、端面摩擦を軽減させ、要素試験の精度を向上させることを目的として、実験的研究を行った。本研究では、彼らが行った潤滑剤の直接せん断試験から得られるせん断弾性係数 G とせん断応力 τ 、潤滑剤の見かけの摩擦角 ϕ を潤滑剤のパラメータとする。

3.解析概要

境界端面に摩擦が全くない場合と水平方向の移動を完全に固定した場合の解析モデルを図1に、上下端面に潤滑剤を設定した場合の解析モデルを図2に示す。また、解析条件と粘土供試体の材料定数は以下の通りである。

- ・ 軸ひずみスピード：0.03%/min
- ・ 初期応力：50kPa
- ・ 拘束条件：（上端面）水平方向スライド
（下端面）中心のみ固定，
他水平方向スライド
- ・ 初期不整：大きさ 0.02mm
非対称，対称（1次，3次モード）
- ・ 非可逆比 $\Lambda = 0.697$
- ・ ダイレイタンシー係数 $D = 0.051$
- ・ 限界応力比 $M = 1.220$
- ・ 有効ポアソン比 $\nu' = 0.344$
- ・ 透水係数 $k = 2.32 \times 10^{-3} (\text{mm} / \text{min})$
- ・ 潤滑剤の見かけの摩擦角 $\phi = 0, 2.5, 5, 10, 90(^{\circ})$

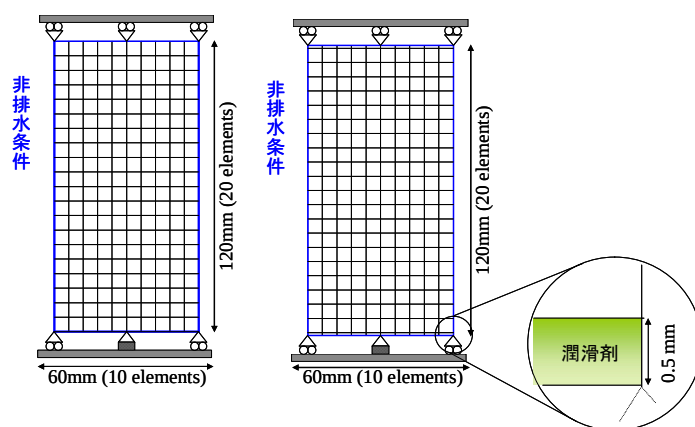


図1

潤滑剤なし

図2

潤滑剤あり

4.解析結果と考察

初期不整を対称1次モードで与えた場合の解析結果を図3から図5に示す。左が体積ひずみ、右がせん断ひずみの分布図である。

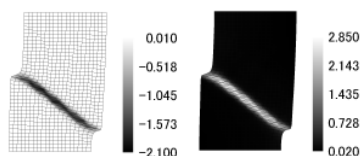


図3 上下端面摩擦なし $\psi=0^\circ$

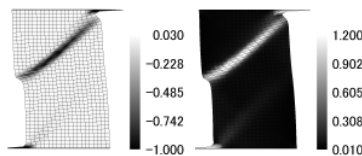


図4 潤滑剤あり $\psi=2.5^\circ$

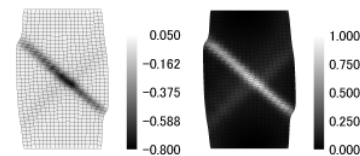


図5 上下端面固定 $\psi=90^\circ$

図から、せん断ひずみが卓越する領域で、体積が膨張していることがわかる。摩擦が全くない場合(図3)は、初期不整の影響のみで変形し、他のケースに比べてせん断ひずみが大きいことがわかる。潤滑剤を用いた場合は、図4のように供試体の隅にひずみが集中する特異な領域が見られた。図6は、上下端面を固定した場合の局所変形の遷移である。軸ひずみが5%辺りで偏差応力がピークを迎え、減少している。他のいずれのケースにおいても、同じ結果が得られた。ピークを迎えて減少するということは、軟化挙動を示している。また、ピークを迎えて以降、ある特定のモードに局所変形が卓越し、最終的な破壊形態に至ることを示した。図7は、偏差応力の最大値 $q_{\max}$ を強度とし、全ケースの $q_{\max}$ をプロットし、強度の比較を行ったものである。グラフ中に示す値は、各 ψ における $q_{\max}$ の平均値である。これから、摩擦によって強度は異なると言える。

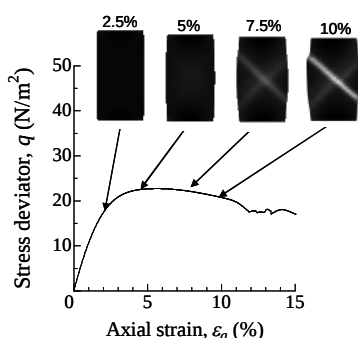


図6 上下端面固定 $\psi=90^\circ$

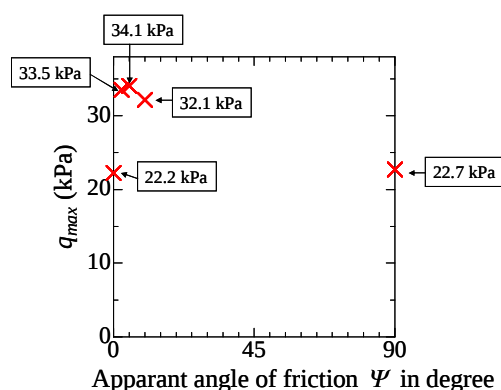


図7 強度の比較

5.まとめ

非排水平面ひずみ圧縮せん断試験シミュレーションを行い、供試体の局所変形を示した。全ての解析ケースにおいて、局所変形が見られたことから、端面の摩擦を完全に除去したとしても、初期不整の影響により、供試体の不均一変形は免れることはできないということを示した。すなわち、室内試験における供試体は、要素（マス）としてみることができず、実験で得られる強度や応力は境界値問題として得られるものであると言える。

参考文献

- 1) Tatsuoka F, Molenkamp FR, Tsuyoshi T, and Tsutomu H. Behavior of lubrication layers of platens in element tests. *Soils and Foundations* 1984;24(1):113-128.