中間降伏面の概念に基づく飽和砂質土の構成方程式の評価

法政大学	学生会員	○吉野広	与一郎
法政大学	国際会員	草深	守人
法政大学	正会員	橋本	保

1. 研究の目的

飽和砂質土では、地震時のように大きなせん断ひずみを受けると砂地盤の密度によって正負の大きな体積変化を 生じる.従来の古典的な構成方程式ではこのような大きな体積変化を表現することが困難であったが、阪神大震災 のように地震時の液状化現象が社会問題になって以来、急速に研究が進展し、幾つかの有効な構成モデルが提案さ れるようになった.本研究では、限界状態論の枠組みの中で状態パラメータの概念を無理なく砂の構成モデルに組 み込む Y.Yang らによって提案された MSC モデルについて、モデルの応答特性と各種状態パラメータの関係を明ら かにし、かつこれらのパラメータや材料定数を通常の三軸試験結果の範囲で評価することとした.

2. 三軸圧縮試験条件

使用する試験機は通常の軸対象三軸試験機の範囲とした.同様に試験条件も一般的な UU 試験, CD 試験, CU-試験の範囲とした. 土試料は,豊浦標準砂を目標相対密度 40 % (L 試料:緩詰め), 70 % (D 試料:密詰め) に設 定した飽和試料とした. 拘束圧は,両試料ともに σ r=50, 100, 200, 400 kN/m 2 の 4 種類で試験を行った.

3. 材料パラメータの評価

MSC モデルには全部で 16 個の材料パラメータが存在する. これらのうち, 4 個は材料試験から直接決定でき, モデルを決定する上での技術上の困難さはほとんどない. しかし,残りの 12 個は材料試験結果に基づくキャリブ レーションを必要とすることから,前者に比べそれらの決定は難しくなる. そこで,この問題を多少なりとも軽減 するため,12 個のパラメータそれぞれが計算結果としての応力--ひずみ応答に与える影響を詳細に検討した. その 結果,これら 12 個のパラメータを効率的にキャリブレーションするに当たって配慮すべき以下の事項を明らかに した. なお,本文では紙面の制約上,MSC モデルの定式については全て省略している. したがって,以下で用い る記号の定義は,全て Y.Yang らの定義に従っているので文献 1)を参照されたい.

- 硬化係数 b は真の応答が第二疑似応答から第一疑似応答にどれだけ早く移動していくのかを表している。
 硬化係数 b を小さくするほど早く第一疑似応答に近づく.
- ② 同様に硬化係数 c はどれくらい早く限界状態になるかを決定する.硬化係数 c を小さくするほど早く限界 状態に到達する.
- ③ 以上のことから硬化係数 b, c は載荷後半の応答を決定するパラメータとして使用する.
- ④ 定数 A と k2 は土の体積収縮と膨張を表すのに使用される. A の増加は収縮と膨張の両体積変化を増加さ せ,k2の増加は膨張を増加させ,収縮を減少させる.
- ⑤ 硬化係数 a と k1 は載荷前半の硬化応答を表すのに使用される. 硬化係数 a を増加させ, k1 を減少させる ことによって硬化速度と強度を減少させることができる.
- ⑥ 弾性係数 E0 と G0 は真の応答の初期の勾配を決定するのに必要となる. 係数 E0 と G0 を増加させることによって初期勾配を大きくすることができる.

4. 計算値と実験値の比較

図1と図2は、L 試料に対する CD 試験結果と MSC モデルの計算結果の比較を示したものである. 図1の応 カー軸ひずみ関係の解析値と実験値はかなり良く一致している. しかし、図2の体積ひずみー軸ひずみ関係では、 実験値に現れる初期の体積圧縮を十分表現することが出来ない. 一方、軸ひずみ数%以降に生じる体積膨張につい ては、実験値と計算値の間に大きな差が生じているものの、古典的なモデルでは説明できなかった大きな体積膨張 過程をよく表現している.

キーワード 中間降伏面 限界状態論 MSC モデル

·連絡先 〒184-0002 東京都小金井市梶野町 3-7-2 法政大学工学研究科建設工学専攻 042-387-6291

図3と図4は、D 試料に対する CD 試験結果と MSC モデルの計算結果の比較を示したものである. 軸ひずみに 対する軸差応力や体積ひずみの応答は、ほぼ前述のL 試料と同様な傾向を示している. ただし、実験結果も計算結 果もD 試料の体積ひずみは拘束圧にほとんど影響されることはなく、異なる拘束圧に対してほぼ等しい体積ひずみ ー軸ひずみ曲線を示した.



図 1 L 試料: CD 試験, σr=200, 400 kN/m2



図2 L 試料:CD 試験, σr=200, 400 kN/m2



図3 D 試料:CD 試験, σr=200,400 kN/m2



図4 D 試料:CD 試験, σr=200, 400 kN/m2

5. 結論

前記までは、今回実施した実験条件のごく一部に触れただけであるが、他の実験条件を含めた総合的な結論を以下に示す.

- ① 計算値は実験値に対してやや早めにピーク応力に近づくが概ね良好な一致を示す.特に CD 試験条件で両者 は非常に近い応答挙動を示し、次いで圧密非排水条件の順となる.非排水状態では、試料中に残存する気泡 の体積圧縮が試験値に大きく影響することを考えると、試料の飽和度によっては、完全飽和としている計算 値とのズレが大きいことも十分予想される.
- ② 密な試料の CU 試験に現れる大きなひずみ軟化を計算によって表現でることは特筆に価する.
- ③ いずれの拘束圧においても載荷初期に現れる体積圧縮を十分表現できず、今後の改善が必要.
- ④ 体積膨張に転じた以降の計算値と実験値は比較的良い対応を示す.特に、計算によって実験結果に見られるような極めて大きな体積変化を表すことが出来たことは、これまでに提案されてきた多くのモデルでは実現できなかったことである.
- 参考文献: Yang, Y. & Muraleetharan, K. K.: The middle surface concept and its application to elasto-plastic behavior of saturated sands. Geotechnique 53, No. 4, pp. 421-431, 2003.