

鹿児島大学工学部 正員 北村 良介
同 上 正員 春山 元寿
タナベ工業 高橋 秀一

1. まえびき

当研究室では、地盤の変形強度解析に適用できる有限要素法プログラムの開発を行っている¹⁾。有限要素解析においてはメッシュの切り方、境界の設定などとともに構成式の優劣が解析の精度に影響を及ぼす。そのため、我々は、有限要素解析への導入を考慮し、汎用性の高い構成式の確立に関する模索を行ってきた^{2),3)}。

本報告では、Mroz⁴⁾の提案しているTwo-surfaceモデルを用いた構成式をとりあげ、前報³⁾に引き続き、排水条件での通常の三軸実験をシミュレートした数値実験結果について考察を加え、また、ピーク強度以後の軟化挙動についても言及している。

2. モデルの概要

モデルでは、弾塑性論に基づいて構成式が導かれている。すなわち、塑性ひずみ成分の誘導に際し、降伏関数として p - q 面における2つの相似な楕円を仮定している(ここに、 p :平均有効主応力、 q :偏差応力)。図-1は側圧一定、排水条件下での三軸実験における2つの楕円の移動、拡大、縮小を示した模式図である。図-1(a)は、等方圧縮終了時の2つの楕円と応力状態(●印)の関係を示したものである。図-1(b)は、膨潤が終了した段階でのそれらの関係である。(a)図の応力状態と(b)図のそれとの比が過圧密比となる。図-1(c)は、せん断過程での小楕円が大楕円に接するまでの状態での関係を示している。この時の応力状態は常に小楕円の周上にあり、応力状態の変化とともに小楕円は大楕円内を移動する。図-1(d)は、せん断過程での小楕円が大楕円に接した状態を示している。この時の応力状態は両楕円の接点となる。

ピーク強度以後の軟化挙動については、次のように考えた。すなわち、図-2に示すように、小楕円が大楕円に接した時の応力状態(接点)が破壊規準式 $q = Mp$ の外側にある時は軟化を生じ、接点が大楕円内にある場合には硬化が生じるものとした。

構成関係は次のようになっている。すなわち、応力状態、および、応力増分ベクトルがともに小楕円内にあるときは弾性ひずみ成分のみが生ずる。応力が図-1(c)の状態にあり、応力増分ベクトルが小楕円の外に出ているときは、大楕円と小楕円を降伏関数として導かれた塑性ひずみ成分をもとに、内挿関数を用いることにより、塑性ひずみ成分が求められる。応力が図-1(d)の状態にあり、応力増分ベクトルが大楕円の外に出ているときは大楕円を降伏関数として塑性ひずみ成分が導かれる。この時、モデルはModified Cam-clay⁶⁾モデルと一致する。すなわち、過圧密比が1での側圧一定、排水三軸圧縮試験に対する構成関係は、Modified Cam-clayモデルのそれと同じになる。また、軟化挙動を生じる場合には、大楕円を降伏関数として塑性ひずみ成分を求めた。

3. 数値実験

前節で述べたTwo-surfaceモデルの特徴を考慮に入れ、Basicプログラムを作成し、マイコンによる数値実験

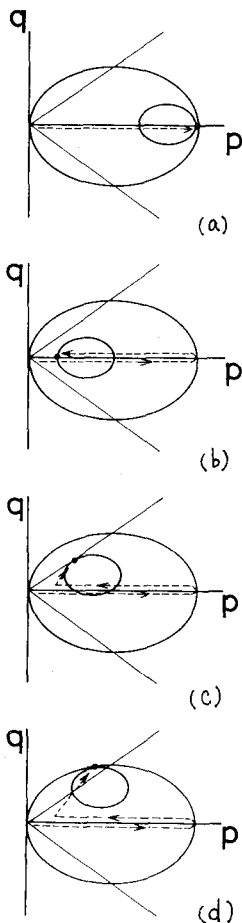


図-1 2つの楕円と
応力状態の関係

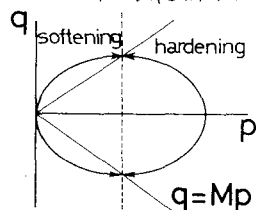


図-2 硬化・軟化挙動
の区別

を行, た。プログラムでは、有限要素解析用のプログラムへの導入の容易となるように、次式で示すマトリックス表示形の構成式を用いている。

$$\{d\epsilon_{ij}\} = [D]\{d\sigma_{ij}\} \quad (1) \quad \text{ここに、} d\epsilon_{ij} : \text{ひずみ増分、} d\sigma_{ij} : \text{応力増分、} \\ [D] : \text{応力} \sim \text{ひずみマトリックス。}$$

数値実験に必要なモデルパラメータは次のようである。①圧縮指数 C_c 、②膨潤指数 C_s 、③内部摩擦角 ϕ 、④初期硬化係数 k_{po} 、⑤2つの楕円の初期の大きさの比 a/a_0 、⑥図-1(c)の状態に対する内挿関数で用いられるフィッティングパラメータ α 、⑦せん断弾性係数 G_s 。これらのモデルパラメータは等方圧縮膨潤試験と三軸せん断試験より求められる。数値実験に際し、入力データとして必要はこれらのパラメータは、Mrózらの論文⁴⁾、および、しらすの三軸実験より得られたものを用いた。図-3、4はそれらの数値実験結果を示した応力 $\sim$ ひずみ関係である。これらの図より、過圧密比(OCR)の差による $q/p \sim \epsilon_1$ (軸ひずみ) 関係の差は定性的には表現できている。しかし、体積ひずみについては、せん断過程初期において、図-3の $OCR=1/2$ 、図-4の $OCR=1/5$ の場合に OCR が1のものより圧縮傾向が大きく、実験結果に反している。図-5、6はしらすの三軸実験と数値実験結果を比較したものである。図-5は、硬化を生じる場合、図-6は軟化を生ずる場合の例である。これらの図より硬化についてはかなりよく実験結果を表現できようであるが、軟化については検討の余地が残されていることばかりである。

4. あとがき

Two-surface モデルを用いた構成式は汎用性が高いが、これまでの議論より、地盤材料の挙動を定量的に評価するには改善の余地が残されている。今後は2つの楕円の移動、および、拡大、縮小に関する法則について検討を加えていきたい。

参考文献)

- 1) 那須, 香山, 北村: 西部支部研究発表会Ⅲ-46, 1984,
- 2) 香山, 北村, 川原: 平沢講演会, Ⅲ-18, 1983,
- 3) 北村, 香山, 三隅: 土と基礎, vol. 32, No. 2, 1984,
- 4) Mrózら: *Geotechnique*, vol. 29, No. 1, 1979,
- 5) 北村, 香山, 高橋: 西部支部研究発表会Ⅲ-46, 1984,
- 6) Roscoe and Burland: *Engineering Plasticity*, Camb. Univ. Press, 1968

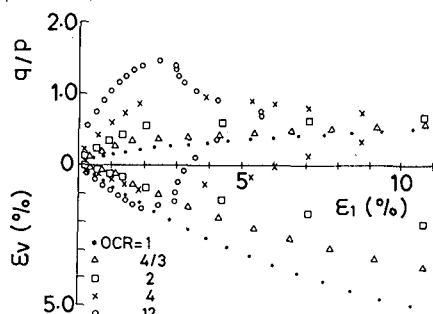


図-3 Mrózらのモデルパラメータを用いた応力 $\sim$ ひずみ関係

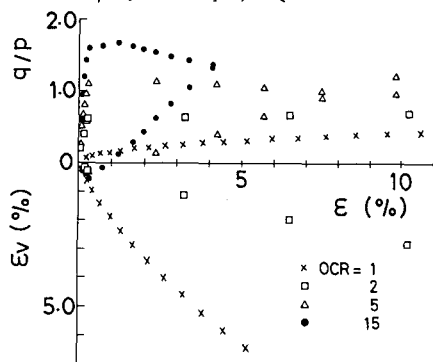


図-4 しらすの三軸実験より得られたモデルパラメータを用いた応力 $\sim$ ひずみ関係

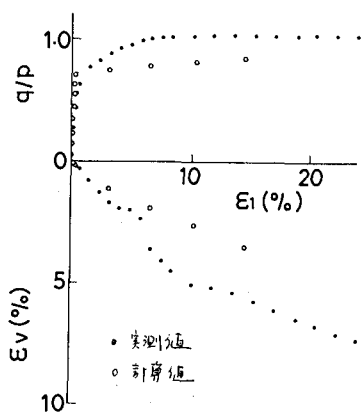


図-5 OCR=2 でのしらすの実測値と計算値

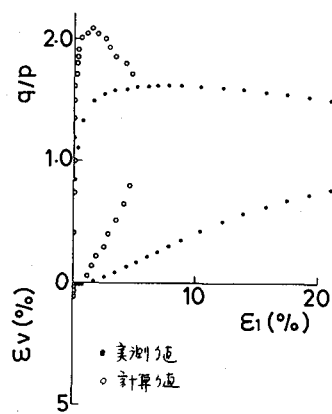


図-6 OCR=1/5 でのしらすの実測値と計算値