

III-46

Two-surface モデルによる地盤材料の構成式について(中1報)

鹿児島大学工学部 正員 北村 良介
同 上 正員 春 山 元寿
同 上 高 橋 孝一

1. まえがき

1960年前後に発表された Cambridge モデル^{1), 2)}は、弾・塑性論に基づき、正規圧密粘土の圧密・せん断挙動を統一的に表現できる最初の地盤材料固有の構成式であった。このモデルにおける基本的な概念($e \sim \log p'$ 関係、エネルギー式)は、以後の弾・塑性論を用いた多くの構成式に取り入れられている³⁾。しかし、Cambridgeモデルは正規圧密粘土のくり返し載荷過程その挙動、あるいは、過圧密粘土や砂質土の挙動を十分に表現することができない。このような欠点を克服するため、1970年後半になって、過圧密領域での塑性ひずみ成分を評価できるように従来の降伏曲面の中に新たな降伏曲面を導入した Multi-surface モデル⁴⁾や Two-surface モデル⁵⁾が提案されてきている。

本報告では、Mróz が提案している Two-surface モデル⁵⁾をとりあげ、マトリックス表示形の構成式を誘導している。さらに、マイコン用プログラムを作成し、数値実験結果をもとに、Two-surface モデルを用いた構成式の適用性を検討している。

2. Two-surface モデルの概要

図-1は Mróz が提案している Two-surface モデルにおける2つの降伏曲面とあらわしている。図中の横軸 p 、縦軸 q は、それぞれ平均主応力、軸差応力である。これらの降伏曲面は次式であらわされる相似な楕円である。

$$\bar{F} = (p - c)^2 + \frac{q^2}{m^2} - a^2 = 0 \quad (1)$$

$$f = (p - \alpha_p)^2 + \frac{(q - \alpha_q)^2}{m^2} - a_0^2 = 0 \quad (2)$$

応力状態の変化により、2つの楕円 $\bar{F}=0$ 、 $f=0$ は拡大、縮小し、また、小さい楕円 $f=0$ は大きい楕円の内部を移動する。図-2は、構成式の誘導手順を示したものである。図より、ここに取りあげた Two-surface モデルは複合硬化則に基づき、関連流則を用いたモデルであることがわかる。

弾性ひずみ、塑性ひずみ成分は次のようにして評価される。現在の応力状態および応力増分ベクトルがともに小さい楕円 $f=0$ の内部にあるとき、あるいは、応力状態が $f=0$ 上にあり、応力増分ベクトルが内向きの場合には弾性ひずみのみが生じる。応力状態が $f=0$ 上にあり、応力増分ベクトルが外向きの場合には、 $f=0$ 、 $\bar{F}=0$ を降伏関数とし、内挿法を用いて塑性ひずみ成分が導かれる。そして、 $f=0$ は、新たな応力状態が $f=0$ 上にくるように移動、および、拡大、縮小する。さらに、 $\bar{F}=0$ も $f=0$ の拡大、縮小にともなって拡大、縮小する。応力状態が $\bar{F}=0$ 上にあり、応力増分ベクトルが外向きの場合には、 $\bar{F}=0$ を降伏関数とする塑性ひずみが生

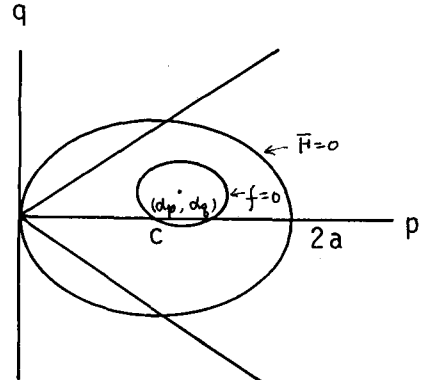


図-1 2つの降伏曲面

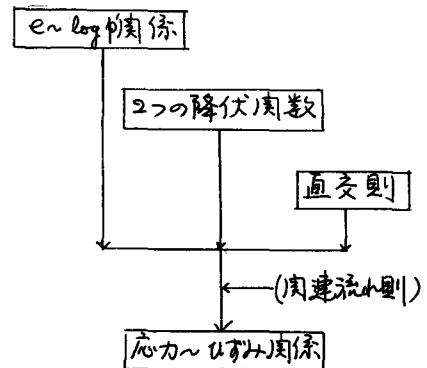


図-2 構成式の誘導手順

じ、 $F=0$ 、 $f=0$ が拡大する。

弾性ひずみ成分 $d\epsilon_{ij}^e$ 、塑性ひずみ成分 $d\epsilon_{ij}^p$ はテンソル表示すると次のようである。

$$d\epsilon_{ij}^e = \frac{C_s}{6.9(1+e)} \cdot \frac{d\sigma_m'}{\sigma_m'} \delta_{ij} + \frac{S_{ij}}{2G_s} \quad (3)$$

$$d\epsilon_{ij}^p = \frac{\frac{3(\sqrt{3}J_2 - \alpha_g)}{n^2 \sqrt{3}J_2} S_{ij} + \frac{2}{3} (\sigma_m' - \alpha_p) \delta_{ij}}{9.2 \frac{\alpha_0^2}{C_c - C_s} (\sigma_m' - \alpha_p)} \cdot \left[\frac{3(\sqrt{3}J_2 - \alpha_g)}{n^2 \sqrt{3}J_2} S_{kk} dS_{kk} + 2(\sigma_m' - \alpha_p) d\sigma_m' \right] \quad (4)$$

ここに、 e : 空隙比、 C_c, C_s : 圧縮、膨張指数、 $\sigma_m', d\sigma_m'$: 平均有効主応力、その増分、 S_{ij}, dS_{ij} : 偏差応力、その増分、 J_2 : 偏差応力の二次不変量、 G_s : セン断弾性係数、 δ_{ij} : クロネッカーのデルタ。

(3)、(4)式を用いて、次のようなマトリックス表示形の構成式が導かれる。

$$\begin{aligned} \{d\epsilon_{ij}\} &= \{d\epsilon_{ij}^e + d\epsilon_{ij}^p\} = \{[D_e] + [D_p]\} \{d\sigma_{ij}\} \\ &= [D] \{d\sigma_{ij}\} \end{aligned} \quad (5)$$

(5)式は、 $f=0$ を降伏関数としたときの塑性ひずみ成分である。 $F=0$ を降伏関数とした場合には、 α_p と α_g は0にかきかえなければならない。

3. 数値解析例

(5)式であらわされる構成式をもとに、マイコン用プログラムを作成し、数値実験を行った。今回報告するのは排水条件での側圧一定、応力制御型の三軸圧縮試験をシミュレートした例である。図-3は、120 psi (≒ 8.4 kg/cm²)まで等方圧縮後、過圧密度(OCR)が1, 2, 4, 12となるように膨潤させ、その後側圧一定でせん断した場合の応力～ひずみ関係を示している。 σ_p/σ_c 関係は、OCRが大きくなる程、勾配が大きくなり、実際の地盤材料の挙動と一致している。しかし、実際には、ゲイレイタンシー塑性は、OCRが大きくなるにつれて、圧縮側向から膨張側向へと移行するのであるが、本モデルではそのようなことはない。

4. あとがき

今回報告したTwo-surfaceモデルは、汎用性の高いモデルであり、原理的には、正規圧密土、過圧密土の等方圧密、異方圧密、排水、非排水、くり返し載荷等に適用できる。今後は、これらの条件での実際の地盤材料の挙動を定量的に評価できるように検討を加えていきたい。

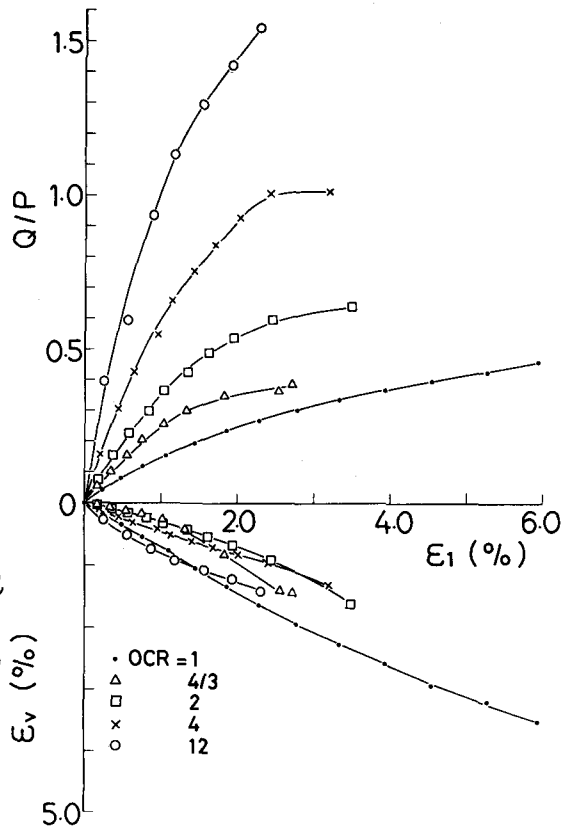


図-3 応力～軸ひずみ～体積ひずみ関係

(参考文献) 1) Schafeld and Wroth: Critical state Soil Mechanics, McGraw Hill, 1968, 2) Roscoe and Burland: On the Generalized stress-strain behaviour of Wet clay, Engineering Plasticity, Cambridge Univ. Press, 1978, 3) Hight and Poulos: Geotech., Vol.28, No.1, 1978, 4) Prevost: Proc. ASCE, Vol.104, EM5, 1978, 5) Hight: Geotech., Vol.29, No.1, 1979.