

大阪大学工学部 正 会 員 阿 部 信 晴

大阪大学大学院 学生会員 ○安 井 利 彰

1. まえがき

ひずみ空間における弾塑性理論は、ひずみ硬化、完全塑性、ひずみ軟化を統一的に取扱うことができ、地盤材料をモデル化する上で有望な定式化と思われる。著者等は、応力空間モデルであるオリジナルCam-clayモデルから変数変換によって、ひずみ空間Cam-clayモデルを導き、両空間におけるモデルの負荷基準についてその関係を明らかにしてきた。本報告では、修正Cam-clayモデルから導いたひずみ空間モデルの負荷曲面について考察している。

2. ひずみ空間修正Cam-clayモデル

修正Cam-clayモデルの負荷（降伏）関数 f とひずみ硬化パラメーター p_y は次式で与えられる。

$$f = p \left\{ \frac{M^2 + \eta^2}{M^2} \right\} - p_y = 0 \quad (1)$$

$$p_y = p_0 \exp \left\{ \left(\frac{1 + e_0}{\lambda - \kappa} \right) v^p \right\} \quad (2)$$

ここに、 p, q : 平均有効応力, 軸差応力, η, M : 応力比, 破壊時の応力比, λ, κ : 圧縮指数, 膨潤指数, e_0, p_0 : 初期間隙比, 初期平均有効応力

次式により変数を変換する。

$$p = p_0 + K(v - v^p), \quad q = 3G(\gamma - \gamma^p) \quad (3)$$

ここに、 K, G : 体積弾性係数, せん断弾性係数, v, v^p : 体積ひずみ, 塑性体積ひずみ, γ, γ^p : せん断ひずみ, 塑性せん断ひずみ

ひずみ空間修正Cam-clayモデルは、(3)式の変換式を(1)式に適用することにより、次式で与えられる。

$$f^* = \{ p_0 + K(v - v^p) \} \times$$

$$\left[\frac{M^2 + \left\{ \frac{3G(\gamma - \gamma^p)}{p_0 + K(v - v^p)} \right\}^2}{M^2} \right] - p_y^* = 0 \quad (4)$$

$$p_y^* = p_0 \exp \left\{ \left(\frac{1 + e_0}{\lambda - \kappa} \right) v^p \right\} \times$$

$$[r_u + (1 - r_u) \exp(-h(\gamma^p - k)^m)] \quad (5)$$

r_u, h, m は軟化パラメーターであり、 k はひずみ軟化開始時の塑性せん断ひずみである。

また、ひずみ空間弾塑性モデルの構成関係式は次式で与えられる。

$$d\sigma_{ij} = D_{ijkl} d\epsilon_{kl} - \frac{\hat{f}^*}{H} \frac{\partial f^*}{\partial \epsilon_{ij}} \\ = \left(D_{ijkl} - \frac{\frac{\partial f^*}{\partial \epsilon_{ij}} \frac{\partial f^*}{\partial \epsilon_{kl}}}{H} \right) d\epsilon_{kl} \quad (6)$$

$\hat{f}^*$: ひずみ負荷関数, H : 硬化関数

3. ひずみ空間における負荷曲面

負荷関数(4)式を変形すると、

$$\left\{ v - \left(v^p + \frac{p_y^*}{2K} - \frac{p_0}{K} \right) \right\}^2 \\ \frac{\left(\frac{1}{K} \right)^2 \left(\frac{p_y^*}{2} \right)^2}{\left(\frac{M}{3G} \right)^2 \left(\frac{p_y^*}{2} \right)^2} + \frac{(\gamma - \gamma^p)^2}{\left(\frac{M}{3G} \right)^2 \left(\frac{p_y^*}{2} \right)^2} = 1 \quad (7)$$

すなわち、ひずみ空間における修正Cam-clayモデルの負荷曲面はひずみ履歴により $v - \gamma$ 平面上を動く楕円であることが分かる。応力空間において等方硬化モデルである修正Cam-clayモデルは移動硬化モデルとしてひずみ空間に変換される。これは一般的に成立するものである。図-1, 2はひずみ制御3軸試験の計算結果である。また、図-3, 4はひずみ軟化するケースについて同様の結果を示している。ひずみ空間での移動硬化モデルでは、ひずみ硬化とひずみ軟化は負荷曲面の拡大と縮小の違いのみによって表現されることがわかる。

4. まとめ

応力空間における等方硬化モデルは移動硬化モデルとしてひずみ空間に変換される。負荷曲面の拡大・縮小によって、ひずみ硬化・軟化が表現される。

【参考文献】1)阿部他:ひずみ空間Cam-clayモデル,平成6年度土木学会関西支部年次学術講演概要, ppⅢ-28-1, 2. 2)阿部他:ひずみ空間塑性論と負荷基準,第29回土質工学研究発表会講演集, pp605-606, 1994.

