

III - A 68

ひずみ空間非関連流動則モデルによるひずみ経路試験の解析

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

地盤材料のひずみ経路制御試験（体積ひずみ増分と軸ひずみ増分の比が一定）を行うと、供試体の変形が一樣であっても、あるひずみ経路を境にひずみ軟化することが知られている。このような挙動を表現するために、本報告では、ひずみ空間非関連流動則モデルのひずみ経路荷重時の特性について考察している。

2. ひずみ空間モデルとひずみ経路

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。図-1, 2はひずみ空間修正Cam-clayモデルによるひずみ経路制御試験（ $dv/d\varepsilon_1 = \text{一定}$, 定体積せん断から等方圧縮までの11のひずみ経路）の解析結果である。降伏曲面はひずみ空間（この場合、 $v-\gamma$ 平面）内をひずみ経路とともに移動し、大きさも変化する。降伏曲面の拡大/縮小によってひずみ硬化/軟化が表現される。

3. ひずみ空間非関連流動則モデル

ひずみ空間における降伏曲面、塑性ポテンシャルをそれぞれ (1), (2) 式により定義すると、構成関係式は (3), (4) 式で与えられる。

$$f = f(\varepsilon_{ij}, \varepsilon_{ij}^p, k(\varepsilon_{ij}^p)) = 0 \quad (1)$$

$$g = g(\varepsilon_{ij}, \varepsilon_{ij}^p) \quad (2)$$

$$d\sigma_{ij} = d\sigma_{ij}^e - d\sigma_{ij}^p$$

$$= D_{ijkl} d\varepsilon_{kl} - \lambda \frac{\partial g}{\partial \varepsilon_{ij}}$$

$$= \left(D_{ijkl} - \frac{\partial g}{\partial \varepsilon_{ij}} \frac{\partial f}{\partial \varepsilon_{kl}} \right) d\varepsilon_{kl} \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{\frac{\partial f}{\partial \varepsilon_{ij}} d\varepsilon_{ij}}{\left(\frac{\partial f}{\partial \varepsilon_{ij}} + \frac{\partial f}{\partial k} \frac{dk}{d\varepsilon_{ij}^p} \right) D_{ijkl}^{-1} \frac{\partial g}{\partial \varepsilon_{kl}}} = \frac{\hat{f}}{H} \quad (4)$$

ひずみ経路制御試験の解析のために次のような非関連流動則モデルを考える。

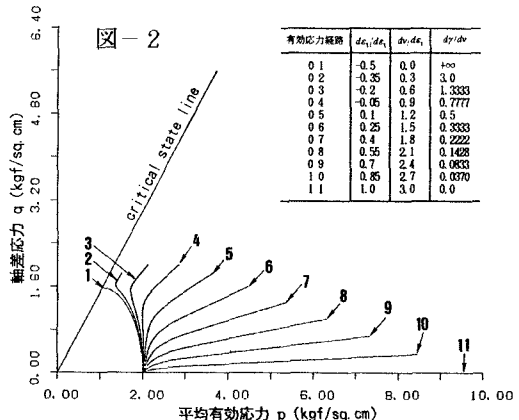
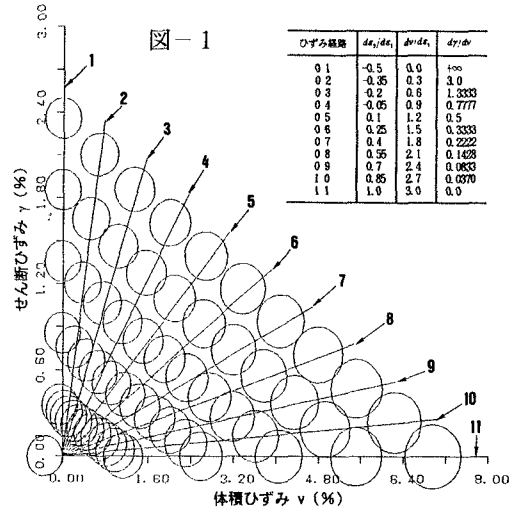
降伏関数 f はCam-clay系の応力空間モデルをひずみ空間に変換したものであり、塑性ポテンシャル g は降

$$f = [p_0 + K(v - v^p)] \left[1 - \frac{1}{(1 + 1/\alpha)M} \frac{3G(\gamma - \gamma^p)}{\{p_0 + K(v - v^p)\}} \right]^{-\alpha} - k = 0 \quad (5)$$

$$k = p_0 \exp \left[\left(\frac{1 + e_0}{\lambda - \kappa} \right) v^p \right] \left[r_u + (1 - r_u) \exp \left\{ -h(\gamma^p)^m \right\} \right] \quad (6)$$

伏関数と同じ関数でパラメータ α , M が異なるものとして与える。硬化パラメータ k は塑性体積ひずみと塑性せん断ひずみの関数である。

このモデルを用いたひずみ経路三軸試験の解析結果を図-3~5に示す。図-3, 4はひずみ経路を制御した圧縮せん断時の応力-ひずみ関係、有効応力経路である。 $dv/d\varepsilon_1 \geq -0.43$ なるひずみ経路ではひずみ



硬化が、 $dv/d\varepsilon_1 \leq -0.55$ ではひずみ軟化が生じることがわかる。図-5はひずみ経路に沿う降伏関数と塑性ポテンシャルの変化のようすである。塑性ポテンシャルの挙動は体積ひずみを圧縮側から膨張側へ制御するにともない変化し、膨張側であるひずみ経路において拡大から縮小に転じ、ひずみ軟化が生じる。

4. まとめ

ひずみ空間非関連流動則モデルを用いて三軸ひずみ経路試験の解析を行った。ひずみ軟化が膨張側のある

ひずみ経路を境にして生じるという解析結果はChu等の実験結果とも一致している。

【参考文献】

- 1)阿部・安井 (1995):ひずみ空間弾塑性モデルの負荷曲面について, 土木学会関西支部年次学術講演会講演概要
- 2)Chu, J & Lo, S.-C. R. (1994):Asymptotic behaviour of a granular soil in strain path testing, Geotechnique, Vol. 44, No. 1, pp65-82

