

ひずみ軟化型弾塑性構成式の材料定数について

京都大学工学部 正会員 足立紀尚 岐阜大学工学部 正会員 岡二三生
中国・同済大学大学院 張 鋒 京都大学大学院 学生会員○若山裕介

1. はじめに

本研究は、過圧密粘土、密な砂および軟岩などにみられるひずみ硬化-軟化型挙動とダイレイタンスー挙動を説明できる足立・岡のひずみ軟化型弾塑性構成式¹⁾の材料定数の系統だった決定法を確立するとともに、同構成式における特徴的なパラメータの物理的意味を明らかにし、さらには同構成式の軟岩への適用性を検討したものである。

2. 足立・岡の構成式

全ひずみ増分 $d\epsilon_{ij}$ は弾性ひずみ増分 $d\epsilon_{ij}^e$ と塑性ひずみ増分 $d\epsilon_{ij}^p$ の和であると仮定する。

$$d\epsilon_{ij} = d\epsilon_{ij}^e + d\epsilon_{ij}^p \quad (1)$$

ここで、(2)式で表される応力履歴テンソル σ_{ij}^* を導入する。ただし、 z は4階の等方テンソル Q_{ijkl} を用いて $dz = Q_{ijkl}d\epsilon_{ij}d\epsilon_{kl}$ と表されるひずみ測度である。

$$\sigma_{ij}^* = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} \exp(-(z-z')/\tau) \sigma_{ij}(z') dz' \quad (2)$$

この応力履歴テンソル σ_{ij}^* を導入することで、 $d\epsilon_{ij}^p$ は式のように導かれる。

$$d\epsilon_{ij}^p = \Lambda \left[\frac{\bar{\eta}_{ij}}{\eta} + (\bar{M} - \bar{\eta}) - \frac{\delta_{ij}}{3} \right] \left[\frac{\eta_{kl}^*}{\eta^*} - \eta^* \frac{\delta_{kl}}{3} \right] \frac{\sigma_{kl}^*}{\sigma_m} \quad (3)$$

ここに、

$$\Lambda = \frac{M_f^{*2}}{G'(M_f^* - \eta^*)^2} \frac{\gamma^p \bar{\eta}}{e_{mn}^p \bar{\eta}_{mn}} \quad \bar{\eta}_{ij} = S_{ij}/(\sigma_m + b) \quad \eta_{kl}^* = S_{kl}^*/\sigma_m^*$$

一方、弾性ひずみ増分 $d\epsilon_{ij}^e$ は、等方弾性体を仮定すると、次式で与えられる。

$$d\epsilon_{ij}^e = dS_{ij}/2G + d\sigma_m \delta_{ij}/3K \quad (4)$$

この構成式に含まれる材料定数をまとめると以下の8個である。

G : せん断弾性係数 K : 体積弾性係数 M_f^* , G' : ひずみ硬化-軟化関数パラメータ
 σ_{mb} , b : 塑性ポテンシャルパラメータ $\bar{M}_m$: 過圧密境界面パラメータ τ : 応力履歴パラメータ

3. 弾性係数の決定

・弾性係数(G, K) せん断弾性係数 G と体積弾性係数 K は、軸差応力 q -偏差ひずみ e_{11} 曲線および体積ひずみ r -偏差ひずみ e_{11} 曲線の、初期接線勾配 $\Delta q/\Delta e_{11}$ と $\Delta r/\Delta e_{11}$ を用いて求める。

・ひずみ硬化-軟化関数パラメータ(M_f^*, G') M_f^* は、残留強度状態における応力履歴比 $\sqrt{2J_2^*}/\sigma_m^*$ の値である。ここに、 J_2^* は応力履歴テンソルの偏差成分の第二不変量であり、 σ_m^* はその等方成分である。一方、 G' は一度軟化させた状態、すなわち、残留強度状態において除荷させ、再載荷時の軸差応力 q -偏差ひずみ e_{11} 曲線における初期接線勾配 $\Delta q/\Delta e_{11}$ を用いて求めることができる。

・塑性ポテンシャルパラメータ(σ_{mb}, b) σ_{mb} は、応力と体積変化の関係において圧密降伏応力に相当する応力とする。 b は、最大の体積圧縮ひずみが発生するときの応力状態線によって推定できる。

・過圧密境界面パラメータ($\bar{M}_m$) $\bar{M}_m$ は、せん断過程において最大の体積圧縮ひずみが発生するときの応力状態における応力比 $\sqrt{2J_2}/(\sigma_m + b)$ の値である。ここに、 J_2 は偏差応力の第二不変量、 σ_m

は平均主応力である。

・応力履歴パラメーター (τ) τ は、最大強度に着目して、軸差応力 q ~ 偏差ひずみ e_{11} 曲線に対する試行によるカーブフィッティングにより決定する。

4. 構成式の軟岩への適用

Ogawa²⁾ による堆積軟岩 (大谷石) の三軸排水試験結果 (側圧 1 ~ 20 kgf/cm²) を用いて、足立・岡の構成式の軟岩への適用性を検討する。決定された材料定数を用いた解析結果を Fig.1 に示す。

5. おわりに

本研究では、足立・岡の構成式の材料定数の系統だった決定法を確立するとともに、同構成式における特徴的なパラメーターの物理的意味を明らかにし、さらには同構成式の軟岩への適用性を検討した。しかしながら、塑性ポテンシャルパラメーター b を側圧によらず一定とすると体積ひずみの挙動をよく表現できず、この問題を解決するには、塑性ポテンシャル関数 f_p の関数形や応力履歴テンソル σ_{ij}^* を規定する核関数 $K(z)$ を改良しなければならない。低側圧でも高側圧でもダイレイタンス挙動をよりよく表現できる構成式の確立は今後の課題である。

参考文献

- 1) 足立紀尚・岡二三生：軟岩のひずみ軟化型弾塑性構成式、土木学会論文集投稿中。
- 2) Ogawa, T.: Mechanical Behavior of Soft-Sedimentary Rock, Master Thesis, Kyoto Univ., 1978.

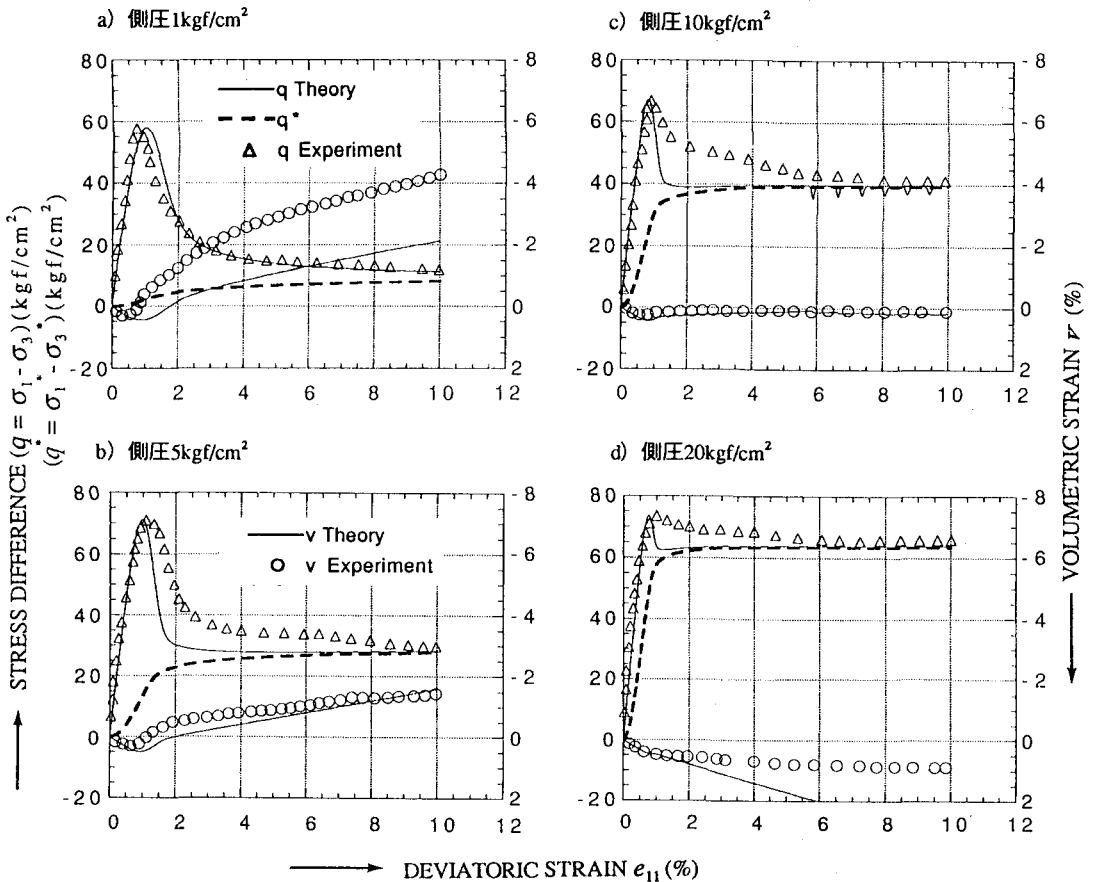


Fig.1 大谷石の解析結果