

III-303

岩質材料の三軸圧縮試験データベースと繰り返し载荷モデル

(株)大林組	(正) ○ 沖 誠一
名古屋大学工学部	(正) 京谷孝史
名古屋大学工学部	(正) 市川康明
名古屋大学工学部	(正) 川本眺万

1. はじめに

地震のような繰り返し载荷状態における土木構造物の安定問題を考えるとき、除荷時の力学挙動を明らかにする必要がある。そこで、繰り返し载荷試験から得られたデータから新しい方法で弾性、塑性ひずみを分離し、ベクトル型降伏関数を表現した。なお、実験データは今まで名古屋大学地盤工学第一講座で行われてきた岩盤材料の実験を集大成したデータベースから得たものである。

2. 岩石の材料試験データベース

このデータベースは、統計的に岩石の物性値を求めることを第一義的な目的とするのではなく、岩石試験の結果をデータベース化することによって、各種の岩石の力学試験の結果を容易に検索出力し、理論解析に利用できることを目的とするものである。データ総数は133、岩石の種類は船入石、大谷石、流紋岩、琉球石灰岩、花崗岩の6種類、試験の種類は繰り返し試験、一軸試験、三軸試験、割裂試験が現在収められている。

3. ベクトル型降伏関数¹⁾

ベクトル型降伏関数は、体積変形が生じる地盤材料に対して、体積成分、偏差成分それぞれ独立した応答関数を導入したものである。すなわち、静水圧軸に対して等方な応力・ひずみ応答を示す物体の偏差応力と塑性ひずみの応答、体積応力と塑性ひずみの応答を

$$s = \phi(e^p, \bar{\epsilon}^p), \quad \bar{\sigma} = \psi(e^p, \bar{\epsilon}^p) \quad (1)$$

とすると(ここに、 e は偏差ひずみ、 $\bar{\epsilon}$ は体積ひずみ)、ベクトル型降伏関数は

$$f = \begin{Bmatrix} s - \phi(e^p, \bar{\epsilon}^p) \\ \bar{\sigma} - \psi(e^p, \bar{\epsilon}^p) \end{Bmatrix} = \mathbf{0} \quad (2)$$

で表される。また、弾性応答に関しても同様にして表される。(上添字 p は塑性を示す。)

4. 負荷時・除荷時における力学挙動について

新しい弾性、塑性ひずみの定義を示すことにする。*Fig.1*において負荷曲線上のA点における接線を l 、除荷曲線の接線を u とし、それぞれの接線係数を E_l 、 E_u とする。これらを使って、微小応力増分 $\Delta\sigma$ に対するA点の回復可能な微小ひずみ $\Delta\epsilon^e$ 、回復不可能な微小ひずみ $\Delta\epsilon^p$ を表すと

$$\Delta\epsilon^e = \frac{1}{E_u} \Delta\sigma, \quad \Delta\epsilon^p = \left(\frac{1}{E_l} - \frac{1}{E_u} \right) \Delta\sigma \quad (3)$$

となる。このようにして、負荷曲線上の増分ひずみを求めていくことにより、任意の弾性ひずみ、塑性ひずみは、その積分形で

$$\epsilon^e = \int_0^\sigma d\epsilon^e = \int_0^\sigma \frac{1}{E_u} d\sigma, \quad \epsilon^p = \int_0^\sigma d\epsilon^p = \int_0^\sigma \left(\frac{1}{E_l} - \frac{1}{E_u} \right) d\sigma = \epsilon - \epsilon^e \quad (4)$$

と書くことができる。また、除荷曲線、再载荷曲線に対しても同様の考えで弾性ひずみ、塑性ひずみを分離することができる。上記の方法に基づいて、岩石試験データベースから取り出した船入石の三軸繰り返し载荷試験のデータ²⁾(拘束条件0,2,4,8,10 MPa)から得られる、軸応力 σ_1 、軸ひずみ ϵ_1 、側圧 σ_3 、側方ひずみ ϵ_3 を用いて、(1)式で示される弾性、塑性それぞれの応答を負荷時、除荷時について表した。(Fig.2~9)

5. おわりに

せん断塑性変形と体積塑性変形が同時に起こる岩質材料を対象として、従来とは異なった弾性、塑性ひずみを定義し、載荷時および除荷時の非線形弾塑性応答を表現した。理論的な取り扱いはいくつ型降伏曲面を用いた多重応答理論に依る。以下に得られた結論を述べる。

- (1) 負荷時、除荷時における塑性成分の偏差応力と体積ひずみ、偏差ひずみの応答、体積応力と体積ひずみ、偏差ひずみの応答共に単調増加である。
- (2) 負荷時、除荷時における弾性成分の偏差応力と偏差ひずみの応答は全域的に単調増加ではあるが、体積ひずみに依存しない応答である。

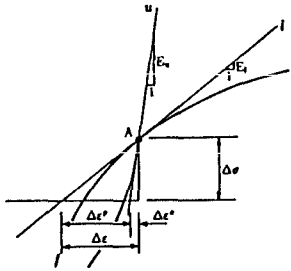


Fig.1 Schematic illustration of newly-proposed elastic and plastic strain definitions for a typical loading-unloading cycle

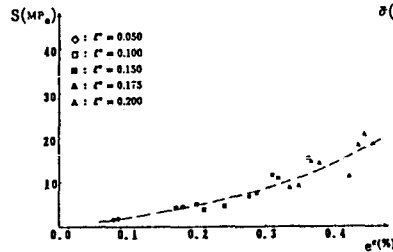


Fig.2 Deviatoric stress-deviatoric elastic strain curve during loading stage

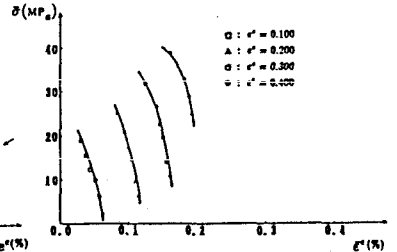


Fig.3 Volumetric stress-volumetric elastic strain curve during loading stage

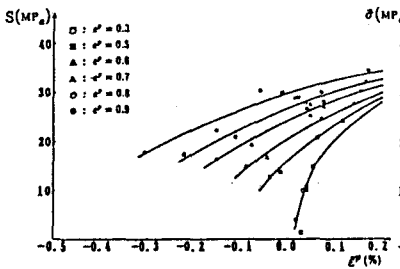


Fig.4 Deviatoric stress-volumetric plastic strain curve during loading stage

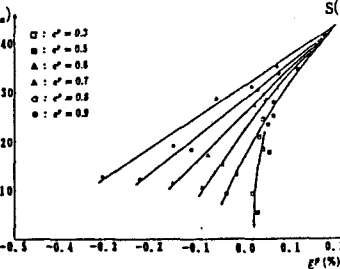


Fig.5 Volumetric stress-volumetric plastic strain curve during loading stage

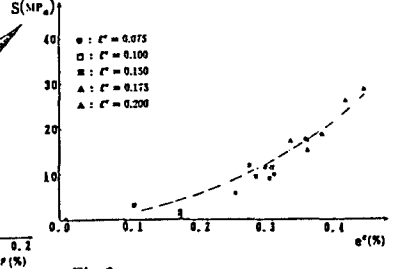


Fig.6 Deviatoric stress-deviatoric elastic strain curve during unloading stage

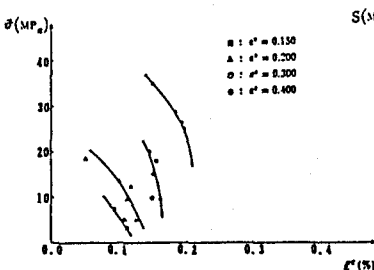


Fig.7 Volumetric stress-volumetric elastic strain curve during unloading stage

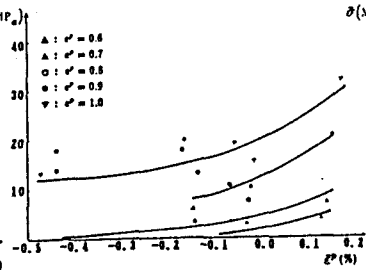


Fig.8 Deviatoric stress-volumetric plastic strain curve during unloading stage

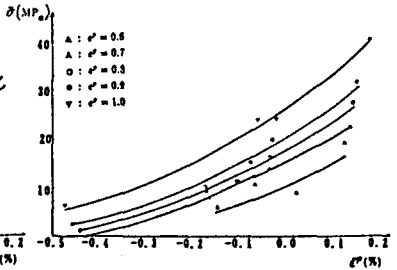


Fig.9 Volumetric stress-volumetric plastic strain curve during unloading stage

参考文献

- 1) 市川康明 (1986): 増分塑性理論と岩質材料の破壊過程に関する基礎的研究. 名古屋大学学位論文
- 2) 中村隆浩 (1987): 繰り返し載荷試験による岩質材料の変形破壊特性に関する研究. 名古屋大学修士論文