

III - 7

内部変数理論による時間依存性挙動の表現について

東北学院大学工学部 学生会員 ○浅沼 智裕
 東北学院大学工学研究科 学生会員 加茂 謙一
 東北学院大学工学部 正会員 飛田 善雄

1. はじめに

地盤材料が示す時間（速度）依存性挙動に、現在2つの大きな問題が提示されている。その1つは、時間依存性挙動の本質に係わる問題であり、時間依存性はどのようなメカニズムによりもたらされるのかと言うものである。もう1つの問題は、時間依存性挙動の構成モデルとしての統一的な考え方とその定式化である。

地盤材料の時間依存性挙動のモデル化に対して統一視点をもちることが本研究の主要な目的である。そのためにも、材料として鋼材を対象とした解析を行った。

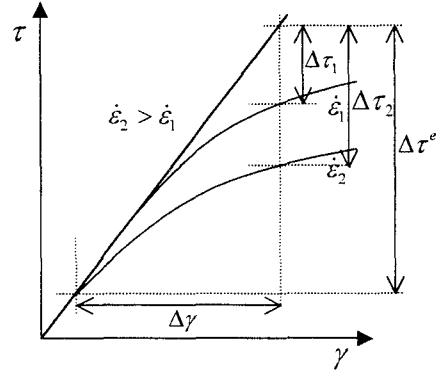


図-1 モデルの概念図(時間依存性挙動)

を取り上げ解析する。

2. 内部変数理論の概要

今回の研究では過去の研究を参考にして、拡散的メカニズムが支配的と考え、無限に速い荷重速度では内部構造変化を生じることができず、弾性的挙動を示すものと考えている。(図-1 参照)

荷重速度が遅くなると、荷重の間に内部構造が変化し、内部変数の変化、塑性ひずみの増大をもたらす供試体に作用する応力が減少する。荷重速度が遅くなればなる程、発生する塑性ひずみは大きくなり、小さな応力を支えることになる。荷重速度により応力-ひずみ関係が変化する現象を上記の如くとらえるのが本研究の特徴である。

本研究では1次元問題を対象として最も簡単な状況を設定し、内部変数理論に基づく弾・粘塑性モデルの基本的な特徴を表現する。内部変数を介在させることにより、材料の時間依存性挙動は内部変数の時間依存性がもたらしていることを明確に表現することができる。

ここでは代表的な、時間依存性挙動として、

- 1) 荷重速度依存性
- 2) 応力一定下のクリープ挙動
- 3) ひずみ一定下での応力緩和

3. 内部変数及び粘塑性の定式化

定式化の概要を下記に示す。

全せん断ひずみ γ は、弾性ひずみ γ^e と粘塑性ひずみ γ^p の線形和として、速度形式で表現する。せん断応力速度 $\dot{\tau}$ は弾性せん断ひずみ速度 $\dot{\gamma}^e$ に比例する。

$$\dot{\gamma} = \dot{\gamma}^e + \dot{\gamma}^p \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\dot{\tau} = G\dot{\gamma}^e = G(\dot{\gamma} - \dot{\gamma}^p) \quad \dots\dots\dots (2)$$

上式より、同じせん断ひずみ(速度) $\gamma(\dot{\gamma})$ であっても、粘塑性ひずみ γ^p あるいは $\dot{\gamma}^p$ が大きい程、物体に作用するせん断応力 τ あるいは増加する応力 $\dot{\tau}$ は小さくなることが理解できる。(図-1)

本研究では粘塑性ひずみ速度 $\dot{\gamma}^p$ は内部変数の変化速度 $\dot{\xi}$ に比例関係をもつと考える。内部変数の変化は(4)式により表現される。

$$\dot{\gamma}^p = \alpha \dot{\xi}, \quad \alpha = \text{const.} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\dot{\xi} = \frac{<\tau_d - \tau_s>}{\eta} \quad \dots\dots\dots (4)$$

((4)式の $<>$ は Macauley の括弧である。)

4. 解析の概要

図-2 に計算アルゴリズムの概要を示す。材料定数は参考文献 23) を参照して、 $\tau_y = 120\text{MPa}$ 、 $G = 120000\text{MPa}$ 、 $\eta = 12000\text{MPa}$ 、 $a = 1/60$ 、 $b = 1/60$ を選定した。せん断応力 τ が降伏応力 τ_y を越えたとき、弾/粘塑性挙動が生じる。各載荷速度に対して、 $\tau \sim \gamma$ 関係、 $\xi \sim t$ 関係、などが時間依存性挙動を表現する上で、必要以上の情報となりこれをそれぞれグラフ表現する。(プログラムソフトは *Mathematica:Wolfram Research* 社を使用した。)

5. 解析結果

本研究では、弾・粘塑性モデルに内部変数を用いた場合の基本的挙動を研究の対象としている。このため、比較的単純な条件の下での内部変数に基づく時間依存性挙動を表すことを試みた。

図-3 は、載荷速度依存性挙動を表現している。

図-4 は、物体にある一定の応力を与え、変形させ、その状態を一定に保つ時、その物体の応力が時間と共に減少していく応力緩和現象を示している。

図-5 は、応力を一定にしたときのクリープ現象に対する計算結果を示している。

本研究の主要な目的は、地盤材料の時間依存性挙動のモデル化に対して内部変数理論を利用して、統一的視点をもてるかどうかを実際に検証することである。今回の時間依存性挙動の表現する為の構成モデルは、第1段階として材料として、より容易と考えられる鋼材を考えた。次の段階としては、土骨格自身の時間依存性挙動を表現できるように発展させたい。

参考文献

- 1) 飛田善雄(2001): 内部変数理論に基づく地盤材料の弾・粘塑性モデル 土木学会応用力学論文集(投稿予定)
- 2) J.Lemaitre and J.-L.Chaboche(1997) : Mechanics of solid materials, pp253-345 Cambridge Univ.Press
- 3) P.Haupt(1999) : Continuum Mechanics and Theory of Materials, pp235-239 Springer

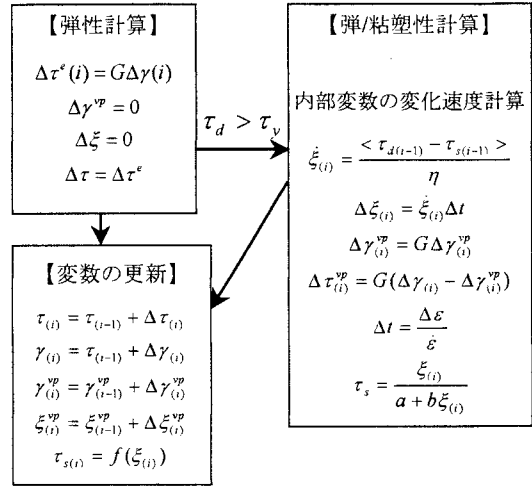


図-2 計算アルゴリズム

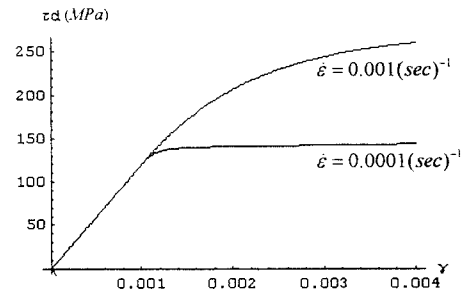


図-3 載荷速度依存性

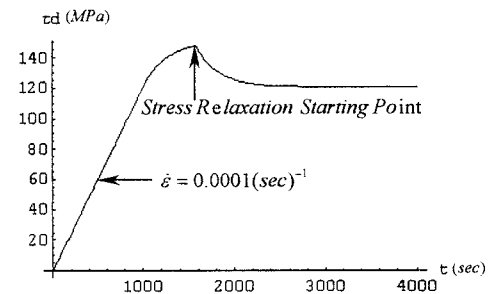


図-4 応力緩和現象

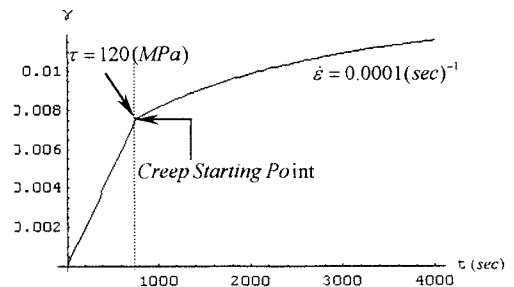


図-5 クリープ挙動