

Ⅲ-A60

塑性ひずみ径路依存挙動と力学的安定問題

京都大学大学院農学研究科 正会員 ○木山 正一
 京都大学大学院農学研究科 正会員 長谷川 高士

はじめに 塑性ひずみを制御した土材料の変形応答を理論的に分析する。本手法がひずみ軟化時に数学的限界を伴わない長所を有することはMroz and Rodzik(1995)によって提案されている。はじめに土の構成則においては硬化関数が塑性ひずみの関数で与えられることに注目し、関連流動則下で塑性ひずみ制御のための定式化を簡単にまとめる。本研究の目的は負荷状態に関わらず応力～ひずみ関係を記述できる本手法の利点を解析的に認識することにある。そこで 具体的に最終塑性ひずみ値に至るまでの塑性ひずみ径路を変化させ、安定・不安定状態の塑性ひずみ径路依存性について考察した。

1. 塑性ひずみ制御問題

移動硬化を考慮した構成関係をFig.1 にまとめる（応力 σ , 背応力 β ）。硬化関数 σ_p は塑性ひずみの関数とする。このとき塑性乗数速度 λ は塑性ひずみ速度 $\dot{\epsilon}^p$ の二次形式で与えられることに注意する。応力は消散エネルギー速度を塑性ひずみ速度で偏微分して得られ、応力速度はその時間微分となる。応力速度に関する微分方程式を解けば応力解が求まる。応力速度が決まれば弾性ひずみ速度成分が決まり、それを時間積分して全ひずみが求まる。 λ の $\dot{\epsilon}^p$ による二階偏微分は塑性ひずみ速度 $\dot{\epsilon}^p$ についてゼロ固有値をとり硬化則に依存しない。つまりひずみ硬化・軟化によらず応力が決まることを意味する。

土の構成則には、Fig. 2示すように修正カムクレイモデルと等価な降伏関数を定義する。硬化則には、カムクレイモデルに塑性偏差ひずみ硬化パラメータ ϕ を付加した。

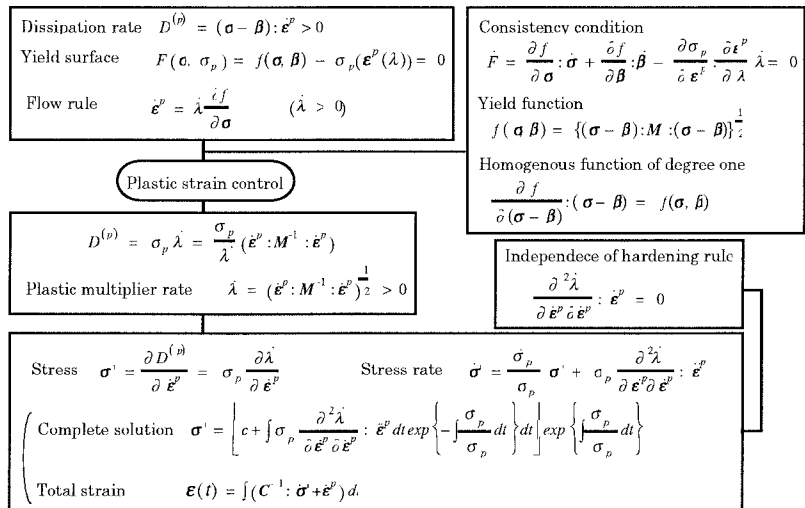


Fig.1 Stress-strain formulation at control by plastic strain

2. 塑性ひずみ径路問題

2.1 塑性ひずみの設定

塑性ひずみを体積成分・偏差成分ごとに次式で与える。

$$\begin{cases} \epsilon_v^p = a \sin(\omega t) \\ \epsilon^p = 0.0008 \{1 - \cos(t/50)\}, \quad 0 \leq t \leq 14400/\pi \end{cases}$$

とくに塑性体積ひずみに関してはTable1の4種類を与え、Fig.3に示すように初期・最終時刻での塑性ひずみ値が塑性ひずみ径路（SW1-4）によらず一定に保たれた。また材料パラメータはシルト質粘土を対象と

Table1 Coefficients of plastic strain

	a	ω
SW1	0.001	1/25
SW2	0.0005	1/25
SW3	0.001	2/25
SW4	0.0005	2/25

キーワード 塑性ひずみ制御, ひずみ軟化, 安定性, 塑性ひずみ径路依存性
 連絡先 (〒606-8502 京都市左京区北白川追分町 Tel. & Fax. 075-753-6346)

して以下の通り決定した。

$$\bar{\lambda} = 0.07812, \bar{\kappa} = 0.009114, M = 1.4, \varphi = 0.4, \nu = 1.8, p_c' = 98 \text{ kPa}$$

2.2 解析結果

Fig.3から全ひずみ応答は塑性ひずみ径路に依存して異なっている。とくに体積成分については著しく、振動数が大きな場合に弾性体積変化率が大きくなっている（SW3, 4）。Fig.4は各塑性ひずみ径路毎の有効応力径路を表わす。とくに限界状態以降には異なる応力状態を経験することが明らかである。またFig.5の第二次塑性仕事速度（ $\sigma' : \dot{\epsilon}^p$ ）からも、最終塑性ひずみ値が同じに関わらず、限界状態以降にひずみ硬化、軟化あるいは軟化から硬化と多様な負荷状態が発現することが認識できる。この結果、不安定化を回避あるいはその度合を軽減したり、また一度不安定化しても再び安定化する塑性ひずみ制御法が存在することが示唆された。

3. 結論

塑性ひずみ制御問題では、関連流動則を用いてもひずみ軟化が記述でき、滑らかな応力～ひずみ関係が負荷状態によらず得られることが示された。塑性ひずみの制御次第で得られる応力・弾性ひずみが多様化することは興味深く、変形応答の安定化を図る力学的処方の解明に役立つと考えられる。

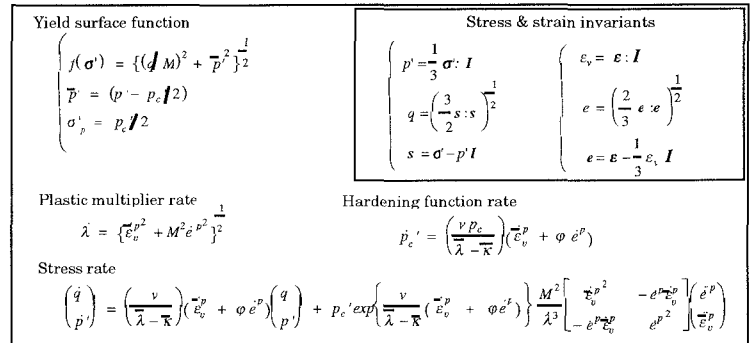


Fig.2 Constitutive relation for soil at plastic strain control

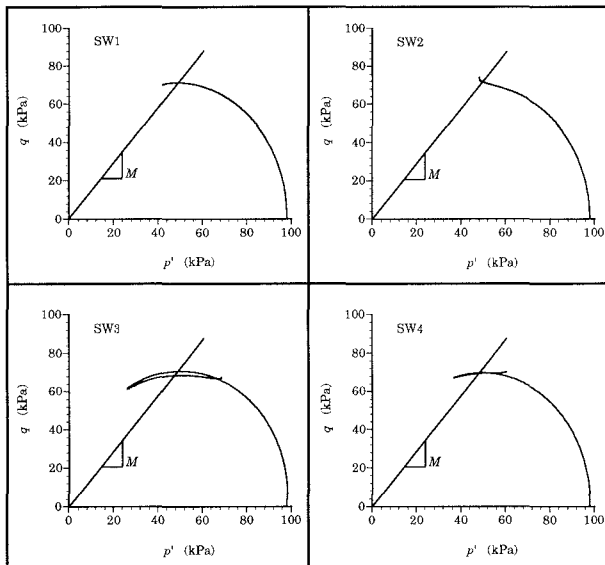


Fig.4 Effective stress path at plastic strain control

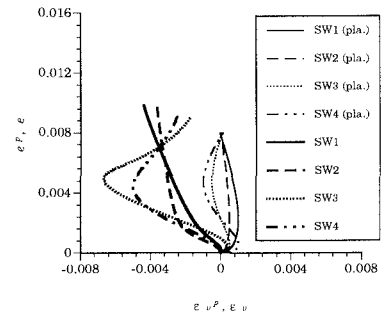


Fig.3 Strain response & controlled plastic strain

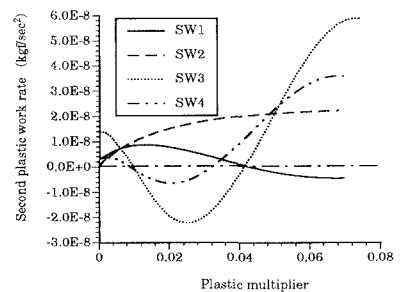


Fig.5 Plastic potential - plastic multiplier

参考文献 1) On the Control of Deformation Process by Plastic Strain: Mroz, Z. and Rodzik, P. (1995), *International Journal of Plasticity*, Vol.11, No.7, pp.827-842. 2) 塑性ひずみ速度場を利用した弾塑性変形応答解析: 木山, 長谷川(1998) 第33回地盤工学会研究発表会講演集. 3) 塑性ひずみ制御問題におけるひずみ軟化記述: 木山, 長谷川(1998) 平成10年度農業土木学会大会講演要旨集.