

鹿児島大学工学部 正員 春山元寿
同 上 正員 北村良介
マレ川建設 川原克郎

1. まえがき

粘土、砂、岩などのような地盤材料の構成式の確立は、地盤材料の物性解明、あるいは、電算機を用いた有限要素法による地盤の変形・強度解析のためには不可欠であり、土質力学における重要な課題の1つとして1960年前後より世界各国で多くの実験的、理論的研究がなされてきている。本報告では、これらの中からLadeの¹⁾研究をとりあげ、しらすを用いた三軸圧縮試験結果とLadeが提案している構成式を用いた数値実験結果を比較、検討することにより、砂質土の構成式について若干の考察を加える。

2. Ladeの構成式¹⁾

図-1は砂質土の典型的な応力～ひずみ関係であるが、Ladeの構成式では、図に示すようにひずみが3つの成分に分けられている。すなわち、

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

ここに、 $\{d\epsilon_{ij}^e\}$: 弾性ひずみ、 $\{d\epsilon_{ij}^c\}$: plastic collapse ひずみ、
 $\{d\epsilon_{ij}^p\}$: plastic expansive ひずみ。

(1) 式中の弾性ひずみはHookeの法則を用いて次のようにあらわされる。

$$d\epsilon_{ij}^e = \frac{1+\nu}{E_{ur}} d\sigma_{ij} - \frac{\nu}{E_{ur}} d\sigma_{aa} \delta_{ij} \quad (2)$$

ここに、 ν : ポアソン比、 $E_{ur} = K_{ur} \cdot P_a \cdot (\sigma_3/P_a)$ (図-1参照)。

plastic collapse ひずみは関連流れ則 (associated flow rule) を用いて次のように導かれる。

$$d\epsilon_{ij}^c = \frac{dW_c}{f_c} \sigma_{ij} \quad (3)$$

ここに、 $f_c = I_1^2 - 2I_2$: 降伏関数、 I_1, I_2 : 応力の1次、2次不変量、

dW_c : plastic collapse ひずみによる塑性仕事増分。

plastic expansive ひずみは非関連流れ則 (non-associated flow rule) を用いて次のように導かれる。

$$d\epsilon_{ij}^p = \frac{dW_p}{3g_p + m\eta_2 (P_a/I_1)^m I_3} \cdot \left[3I_1^2 - \{27 + \eta_2 \left(\frac{P_a}{I_1}\right)^m\} (\sigma_{ij}\sigma_{kk} - \sigma_{ij}^2) + \frac{I_2}{I_1} m\eta_2 \left(\frac{P_a}{I_1}\right)^m \right] \quad (4)$$

$$d\epsilon_{ij}^p = \frac{dW_p}{3g_p + m\eta_2 (P_a/I_1)^m + I_3} \left[2 \left\{ 27 + \eta_2 \left(\frac{P_a}{I_1}\right)^m \right\} (\sigma_{kk}\sigma_{ij} - \sigma_{ik}\sigma_{jk}) \right] \quad (5)$$

(i ≠ j)

ここに、 $g_p = I_1^3 - \{27 + \eta_2 (P_a/I_1)^m\} I_3$: 塑性ポテンシャル関数、

I_3 : 応力の3次の不変量、 m, η_2 : モデルパラメータ、

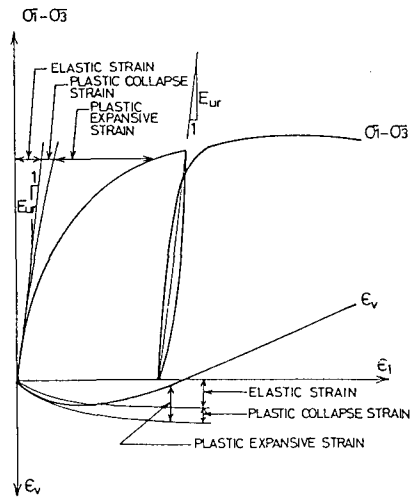


図-1 3種のひずみ成分

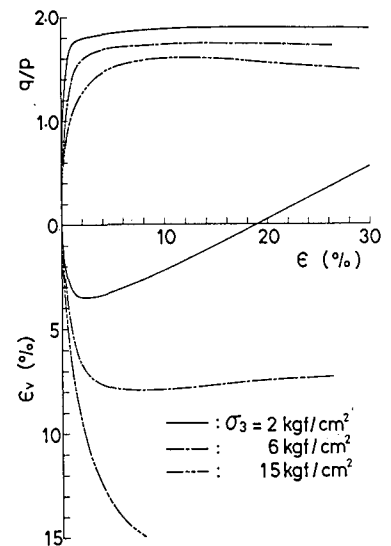


図-2 数値実験結果

$d\epsilon_p$: plastic expansive 土質に対する塑性ひずみ成分, P_0 : 大気圧。

数値実験は, 各ひずみ成分に対して図-5(a)のように誘導された構成関係式を次に示すようなマトリックス表示形によってプログラム化し, 電算機を用いて行った。

$$\{d\epsilon_{ij}\} = \{[D_1] + [D_2] + [D_3]\} d\sigma_{ij} = [D] d\sigma_{ij} \quad (6)$$

3. 三軸実験結果と数値実験結果の比較, 検討

しらすを用いた三軸実験および結果については昨年度の本講演会にて発表した²⁾ので, ここでは省略する。モデルパラメータの数は合計14個であり, これらの値を決定するためには, 三軸装置によって等方圧縮くり返し試験および側圧の異なる数ケースの側圧一定, 排水三軸圧縮試験を行う必要がある。図-2は, このようにして決められたモデルパラメータの値を入力して行った数値実験結果である。図中の実線, 一点鎖線, 二点鎖線は, 各々側圧が 2 kgf/cm^2 , 6 kgf/cm^2 , 15 kgf/cm^2 での応力ひずみ関係である。また, $q = \sigma_1 - \sigma_3$, $p = (\sigma_1 + 2\sigma_3)/3$, ϵ : 偏差ひずみ, ϵ_v : 体積ひずみである。図-3から5は, 各側圧での数値実験結果と三軸実験結果を示したものである。図中の実線は計算曲線, OPRは過圧密度(OCR)が1, Δ PRはOCRが1より大きい供試体による三軸実験での実験値である。図-2より, Ladeの構成式は側圧の変化による砂質土のせん断利性の变化, すなわち, 側圧が低いほどピークでの剪断力の値が大きいこと, および, 正のダイレイタンスが著しいことなどを定性的に表現できることがわかる。しかし, 図-3から5をみれば, しらすの実測値とよく対応が得られているとはいえない。また, 図-3から5の実測値で示されるようなOCRの差によるせん断利性の差異をLadeの構成式は表現することができない。

4. あとがき

得られた結果をまとめると次のようである。

- 1) 構成式に関する研究の目的が有限要素法などを用いた境界値問題への適用である場合には, 構成式はマトリックス形で表現されなければならない, また, 汎用性の高いものでなければならない。
- 2) モデルパラメータの数は少なく, また, 簡単な実験で精度よく決められることが望ましい。
- 3) 粘塑性土における正規圧密, 過圧密に対応する概念を砂質土に対して明確にしなければならない。

本研究は, 昭和57年度科学研究費(助成)の援助をうけてこを記録し, 謝意を表します。

(参考文献) 1) Lade, P.V.: Elastoplastic Stress-Strain Theory for Cohesionless

Soil with Curved Yield Surface, Report to National Science Foundation Grant, NSG37445, 1975, 2) 三浦清山, 土村孝: 第7回講演会, Ⅱ-19, 1982

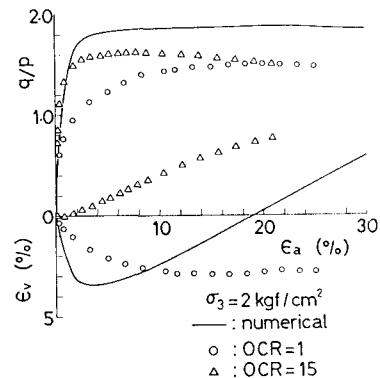


図-3 側圧 2 kgf/cm^2 での応力ひずみ関係

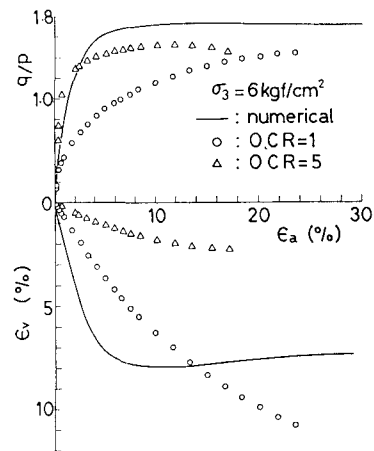


図-4 側圧 6 kgf/cm^2 での応力ひずみ関係

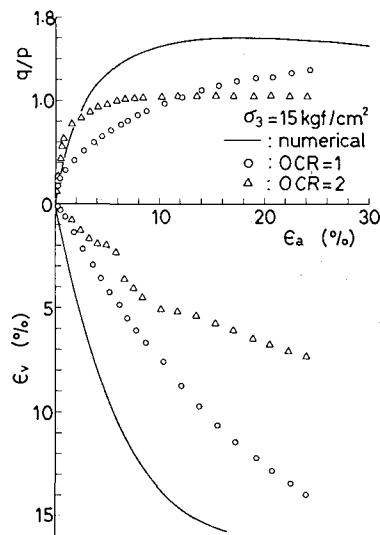


図-5 側圧 15 kgf/cm^2 での応力ひずみ関係