

粘土の弾粘塑性構成式拡張のための基礎的実験

岐阜大学 学生会員 ○ 古田 竜一
 岐阜大学 正会員 八嶋 厚
 岐阜大学 学生会員 小出 啓剛 片岡 基晃 竹内 法道

1 はじめに

本研究では、粘土の繰返し弾粘塑性構成式の拡張のために、基礎的実験（繰返し等方圧密試験、定ひずみ三軸試験、中空ねじり試験）を行った。また、中空ねじり試験では、軸変位の拘束条件の違いによる変形・強度特性を把握するとともに、繰返し载荷時における軸変位の拘束条件が地盤の挙動に与える影響についても考察した。

2 粘土の弾粘塑性構成式

岡 [1]、岡・足立・三村 [2] の弾粘塑性構成式の静的降伏関数 f_y 、塑性ポテンシャル関数 f_p 、粘塑性ひずみ速度の発展則を式 (1)～(3) に示す。

$$f_y = \{(\eta_{ij}^* - x_{ij}^*) \cdot (\eta_{ij}^* - x_{ij}^*)\}^{1/2} + \tilde{M}^* \left| \ln \left(\frac{\sigma_m' + \sigma_{m2}'}{\sigma_{m0}'} \right) - y_m^* \right| - R_D = 0 \quad (1)$$

η_{ij}^* : 応力比テンソル x_{ij}^*, y_m^* : 移動硬化パラメータ $\tilde{M}^*$: 最大圧縮点における応力比
 σ_m' : 平均有効応力 σ_{m0}' : 単位平均有効応力 σ_{m2}' : 材料パラメータ
 R_D : 等方硬化の変数

$$f_p = \{(\eta_{ij}^* - x_{ij}^*) \cdot (\eta_{ij}^* - x_{ij}^*)\}^{1/2} + \tilde{M}^* \left| \ln \left(\frac{\sigma_m' + \sigma_{m2}'}{\sigma_{ma}'} \right) - y_m^* \right| = 0 \quad (2)$$

$$\dot{\varepsilon}_{ij}^{vp} = \langle \Phi_{1 \ ijkl}(F) \rangle \Phi_2(\xi) \frac{\partial f_p}{\partial \sigma_{kl}'} \quad (3)$$

$\langle \Phi_{1 \ ijkl}(F) \rangle$: ひずみ速度効果を表す汎関数 $\Phi_2(\xi)$: 第二材料関数
 σ_{ma}' : 塑性ポテンシャルパラメータ

3 基礎的実験

0.425mmふるいを通過した深草粘土（京都）のパウダーを液性限界の2倍の含水比で練り返し、68.6kPaで再圧密したものを試料とした。（ $\rho = 2.678(g/cm^3)$, $w_L = 64.6(\%)$, $w_p = 30.2(\%)$, $I_p = 34.4(\%)$ ）

3.1 繰返し等方圧密試験

この試験では、case1とcase2の2種類の試験を行った。case1では、圧密圧力9.8kPaより段階をおって196kPaまで等方圧密した後、98kPaで除荷、载荷を繰返した。case2では、圧密圧力9.8kPaより段階をおって294kPaまで等方圧密した後、196kPaで除荷、载荷を繰返した。その結果を図1に示す。このように等方圧密状態で除荷、载荷を繰返すことにより粘塑性体積ひずみ v^{vp} の蓄積を確認することができた。

3.2 定ひずみ三軸試験

表1に示す試験条件で定ひずみ速度による三軸試験を行った。図2の応力-ひずみ関係より、ひずみ速度が速いほど強度が大きくなることが分かる。また、図3の有効応力径路図より、ひずみ速度が速いほど過剰間隙水圧の発生量が小さくなることが分かることから、ひずみ速度の効果が発揮されていることが確認できた。

3.3 中空ねじり試験

実地盤の挙動は、図4に示すように自由地盤と構造物直下地盤で異なることが想像できる。実験に用いた中空ねじり試験機は、軸変位の上下拘束が可変であり、先に述べた地盤状況を忠実に再現することが可能である。そこで、軸変位の拘束条件が与える影響を調べるために単調载荷で中空ねじり試験を行った。試験条件を表2に、実験結果を図5、図6に示す。軸変位を拘束した $N-1$ のほうが拘束していない $N-2$ に比べせん断強度が弱く、過剰間隙水圧も著しく上昇しており、軸変位の拘束条件により地盤の変形・強度特性が大きく異なることを確認することができた。

3.4 繰返し载荷による中空ねじり試験

地盤上に盛土等の構造物が存在する場合の挙動を検討するため、これまで数多くの模型振動台実験が行われてきた。これらの実験より、繰返し载荷時における構造物直下地盤は、自由地盤より過剰間隙水圧比が頭打ちになることが確認されている。これは図4.に示すように、構造物直下地盤では構造物自体の荷重の影響による鉛直方向変位が発生するためである。そこで、軸変位の拘束条件を考慮した繰返し载荷の中空ねじり試験を行い、自由地盤と構造物直下地盤の変形・強度特性を確認する。

4 おわりに

これらの基礎的実験に基づいて、今後、式(1)~(3)で示した構成式のパラメータを推定するとともに、拡張を図る。

<表1 試験条件>

試験名	圧密応力 (kPa)	ひずみ速度 (%/min)
S-1	196	1.0×10^{-1}
S-2	196	5.0×10^{-2}
S-3	196	1.0×10^{-2}

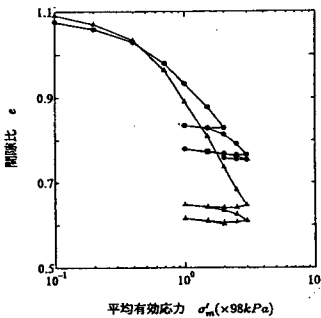


図1. 繰返し等圧圧密試験結果 ($e - \log \sigma'_m$ 関係)

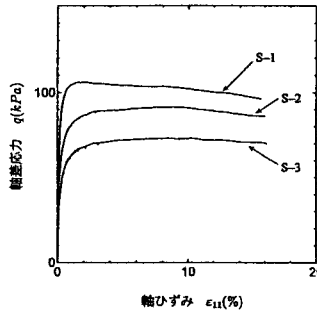


図2. 定ひずみ三軸試験結果 (応力-ひずみ関係)

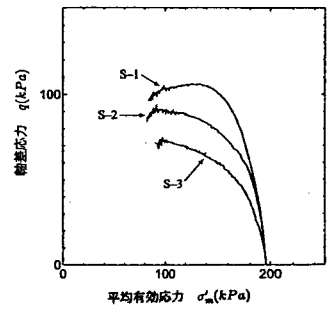


図3. 定ひずみ三軸試験結果 (有効応力経路)

<表2 試験条件>

試験名	圧密応力 (kPa)	ひずみ速度 (%/min)	鉛直変位
N-1	196	3.0×10^{-2}	拘束あり
N-2	196	3.0×10^{-2}	拘束なし

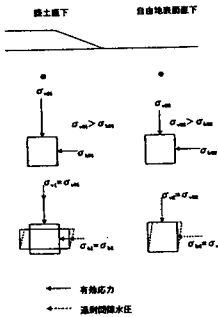


図4. 実地盤において想定される応力状態の模式図

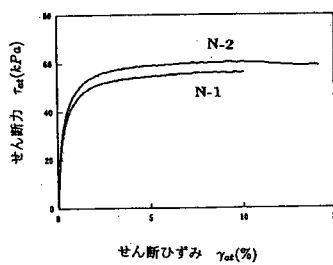


図5. 中空ねじり試験結果 (応力-ひずみ関係)

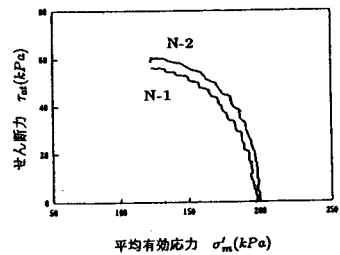


図6. 中空ねじり試験結果 (有効応力経路)

参考文献

- 1 Oka, F. (1982) : Elasto-viscoplastic constitutive equation for overconsolidated clay, *Proc. Int. Sympo. Numerical Models in Geomechanics*, Zurich, pp.13-17
- 2 Oka, F., Adachi, T., Mimura, M. (1988) : Elasto-viscoplastic constitutive models for clay, *Proc. Int. Conf. Rheology and Soil Mechanics*, Edited by M.J., Keedwell, Coventry, UK, pp.12-28