

中空三軸試験による土の変形係数の測定

名古屋大学工学部 正会員 植下 協
 名古屋大学工学部 正会員 桑山 忠
 名古屋大学大学院 学生員 〇三 浦 修 一

1. まえがき

土の変形の問題は、有限要素法の開発により広く研究されてきており、複雑な応力・ひずみ関係を持つ土に対しても解析が可能になった。しかし、有限要素法を適用する際、土の各応力状態での変形係数の値をどのように表わすかが大きな問題となる。これまで、土の変形係数を求める実験式が、多く提案されているが、実際の地盤における応力・ひずみ状態の多くが平面ひずみ状態、あるいは三次元的な状態であることを考えると、それらの実験式が土の変形係数を十分に言い表わしているとは言えず、さらにこの方面での研究が望まれている。

本論文では、試作した中空三軸試験機を用いて、気乾燥豊浦砂および突固め粘性土について、応力緩和時における変形特性を調べるとともに、三次元異方性を考慮した変形係数について解析し、その結果について考察する。

2. 実験装置と実験方法

試作した中空三軸試験機の機構の概略を図-1に示す。供試体は内径6cm、外径10cm、高さ15cmの内筒形である。内・外セル内の体積変化は、二重ビューレットにより0.05cm³の精度で測定でき、ビューレット内の液面を通して内・外セル内に加圧する。軸荷重の測定にはロードセルを用いた。

実験は、まず気乾燥豊浦砂について行ない、標準三軸圧縮試験結果との比較をした。次に、中空三軸試験機を用い、気乾燥豊浦砂および突固め粘性土について内・外圧一定($P_r = P_\theta = \text{const.}$)の初期等方圧縮状態から、軸方向を平面ひずみ状態に保ち、 P_r を増加させる試験を行なった。 $P_r = 0.5, 1.0, 2.0 \text{ kg/cm}^2$ 、各応力段階に到る P_r の増加量 $\Delta P_r = 0.05 \text{ kg/cm}^2$ 、測定量は P_r, P_θ 、内・外セル内体積変化 $\Delta V_i, \Delta V_o$ 、軸荷重、供試体体積変化である。 ΔV_o はアクリル容器の変形量に対し補正を行なった。

なお、試料に用いた豊浦砂については $G_s = 2.66, U_c = 1.43, D_{50} = 0.154 \text{ mm}, e_{\text{min}} = 0.605, e_{\text{max}} = 0.905$ 、粘性土については、日本統一土質分類シルト質粘土C'Hに属し、 $G_s = 2.63$ 、砂分19%、細粒分81%、 $LL = 57.3\%, PI = 31.0\%, W_{\text{opt}} = 28.8\%, \gamma_{\text{dmax}} = 1.37 \text{ g/cm}^3$ である。

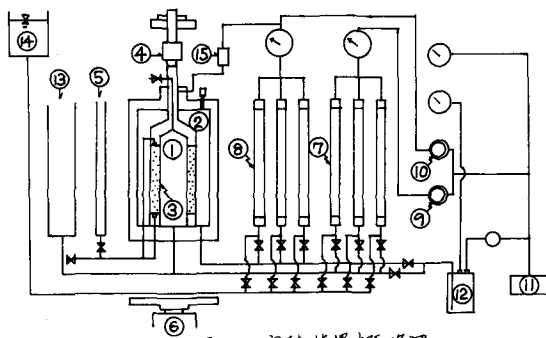


図-1 実験装置概略図

- ① 内セル
- ② 外セル
- ③ 供試体
- ④ ロードセル
- ⑤ 供試体体積変化測定用ビューレット
- ⑥ 載荷台
- ⑦ 内セル体積変化測定用二重ビューレット
- ⑧ 外セル "
- ⑨ 内セル用エアージェネレータ
- ⑩ 外セル用 "
- ⑪ ファンレスサー
- ⑫ 湯水タンク
- ⑬ 内セル水位計測用スタンドパイプ
- ⑭ 給水タンク
- ⑮ 強制注油装置

3. 解析方法

解析に用いた座標系は軸方向を Z 、半径方向を r 、円周方向を θ とし、各方向の応力を σ_z 、 σ_r 、 σ_θ 、圧縮を正とする。軸対称変形直交異方性を考慮した弾性理論と、軸方向平面ひずみ条件、弾性係数の対称性、ひずみ表示式、釣合条件式から応力・ひずみ関係に対する解法がŠukljeらにより導かれている。そこで、各応力段階での増分応力・ひずみ関係を考慮し、 E_r 、 E_θ 、 E_z を求めた。

4. 実験および解析結果

排水条件下で中空円筒供試体と標準三軸供試体で、それぞれ圧縮試験を行なったところ、砂の内部摩擦角はFrydmanら²⁾によって指摘されているように、その差は認められず、 39° であった。

軸方向を平面ひずみ状態に保ち P_0 を増加していく実験では、 σ_z は増大し最大主応力、 σ_θ は減少し最小主応力、 σ_r は減少し中間主応力となる。この時の σ_θ の減少量と円周方向平均ひずみ ϵ_θ の関係を砂について図-2に示してある。粘性土においても同じ傾向を示している。

破壊が半径方向に進むようすは、 P_0/P_0 と Δr_i 、 Δr_o の関係(図-3)より、供試体の内側から破壊が進むことがわかる。厚肉円筒供試体($r_o=5\text{cm}$ 、 $r_i=1\text{cm}$)を用いて同様の試験を行ない、X-ray観察により供試体内の各位置での半径方向の変位を測定し、

R/P_0 との関係を求めた実験においてもこのことを示して³⁾いる。

次に、各荷重段階における E_r 、 E_θ 、 E_z を求めた一例を豊浦砂で示せば図-4のようである。

5. 謝辞

この研究は、玉野雷雄氏(大阪市下水道局、前名大大学院生)が手がけた研究であり、その多大な努力と貢献に感謝申し上げる。また、本研究は昭和48年度文部省科学研究費(一般研究C)の援助を受けたことを記し感謝申し上げる。

6. 参考文献

- 1) Šuklje, L. and Pronovšek, J.: "Investigation of The Tensile Deformability of Soils Using Hollow Cylinders," Proc. 6th Int. Conf. on S.M.F.E., Vol.1, 1965, pp. 368-372.
- 2) Frydman, S., Alpan, I. and Zeitlen, J. G.: "Stress-Deformability Behavior of Sand Studied in Hollow Cylinder and Triaxial Apparatus," Asia Conf., 1971.
- 3) A. C. Palmer and R. J. Mitchell, "Plane-strain expansion of a cylindrical cavity in clay," Proc. Stress-strain behavior of soils, G. T. Foulis & Co. Ltd., 1972, pp. 588-599.

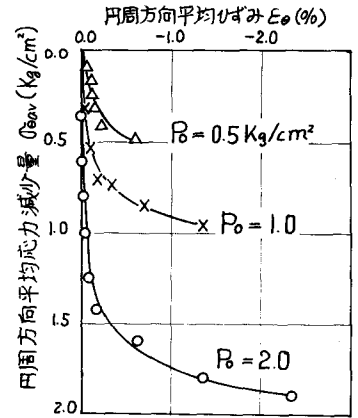


図-2 $\sigma_{\theta av} - \epsilon_\theta$ の関係(豊浦砂)

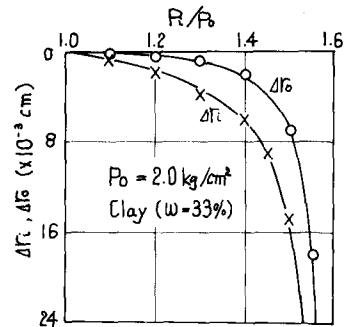


図-3 $R/P_0 - \Delta r_i, \Delta r_o$ の関係

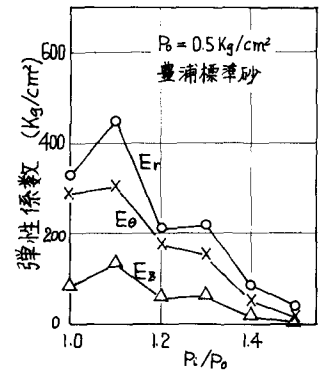


図-4 弾性係数の変化