

九州大学工学部 正員 ○ 巻内 勝彦

" " 山内 豊聡

1 まえがき

中間主応力が土の応力・ひずみ関係と破壊規準に及ぼす影響に関しては、3主応力独立制御の三軸試験によって数々の実験的検証が行われてきている。しかし、その傾向と程度は、三軸加圧機構のタイプの差により必ずしも一致を示さない事や、土の種類と状態、試験条件、異方性など種々のファクターとの関連においてまだ充分解明されていない現状である。静的単調増加応力以外の場合として、路床土や機械基礎のような長期にわたる連続的繰返し荷重を受ける土の回復ひずみが中間主応力の影響を受ける事を前に発表した²⁾。今回は非回復(塑性)ひずみの場合についてデータの解析・整理を行ったのでその結果をここに報告する。

2 実験条件

実験に用いた試料は、砂:シルト:カオリン粘土 = 40:35:25 (重量割合)の混合土で粒度分布は Talbot's 曲線の $n = 0.5 \sim 0.25$ の範囲に入り、最大粒径 $d = 0.6 \text{ mm}$ である。供試体の締固め条件は、Proctor による締固め仕事量が $E_c = 2.5$ および $25.6 \text{ cm} \cdot \text{kg}/\text{cm}^3$ (標準および修正 Proctor に対応)の最適締固め状態の中間点となる $\gamma_d = 2.06 \text{ g}/\text{cm}^3$, $w = 9.03\%$, $S_r = 85\%$ とした。供試体は初期寸法が $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$ の等方性材料となるようにフローティング・モールド法静的締固めによって作成した。繰返し載荷立方供試体三軸圧縮試験機は、3主応力を剛板方式によって載荷(軸応力容量 1 MPa)し、3主ひずみを測定するもので装置の詳細は他に述べてある³⁾。試験条件は、周波数 1 Hz (載荷: 除荷 = $0.5 : 0.5 \text{ sec}$) の振矩矩形波で、載荷回数は $N = 100,000$ 以上、もしくは軸ひずみの1つが 4% に達するまで行った。

3 実験結果と考察

中間主応力パラメータとしては、

$$\text{Nadai-Lode stress parameter, } \zeta = \frac{2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3} \quad \cdots \textcircled{1}$$

を用いた。 $\zeta = -1, +1$ はそれぞれ軸対称圧縮, 伸張状態である。

$$\text{結果は八面体応力とひずみで示してある。} \quad \epsilon_{\text{oct}} = \frac{1}{3}(\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3) \quad \cdots \textcircled{2}$$

$$\gamma_{\text{oct}} = \frac{1}{3} \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_3 - \epsilon_1)^2} \quad \cdots \textcircled{3}$$

各繰返し回数毎に変化(増減)するいわゆる増分ひずみは、回復ひずみ $d\epsilon^e$ と非回復(塑性)ひずみ $d\epsilon^p$ に分けられる。以下にはこの増分塑性ひずみについて述べるが、累積塑性ひずみは増分塑性ひずみを加算して得られる。

3.1 繰返し回数と塑性ひずみの関係

増分塑性

ひずみは、体積ひずみ成分 $d\epsilon_{\text{oct}}^p$, せん断ひずみ成分 $d\gamma_{\text{oct}}^p$ ともに、載荷回数の増大につれて急激に減少し、次式で表わせる。

$$d\epsilon_{\text{oct}}^p = \alpha_1 N^{\beta_1} \quad \cdots \textcircled{4} \quad d\gamma_{\text{oct}}^p = \alpha_2 N^{\beta_2} \quad \cdots \textcircled{5}$$

ここで $\alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2$ は実験定数で、この関係は相関係数 $r^2 \geq 0.86$ を得た。後に示すように $\beta_1 = \beta_2 \approx -1$ とすれば、関係式は簡単な表示となり定数 α の物理的意味も明確になるが、増分塑性ひずみは回数が増大すると極めて微小となるので他に測定例が少ない。この点についてはさらに実験と考察を重ねたい。

3.2 繰返し応力量依存性

応力 σ_{oct} および τ_{oct}

と塑性ひずみの定数 (α, β) の関係を求めたのが Fig. 1 と 2 である。両図をみると α_1 と α_2 は、応力に比例して大きくなる。

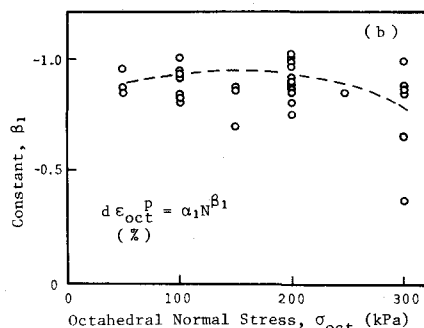
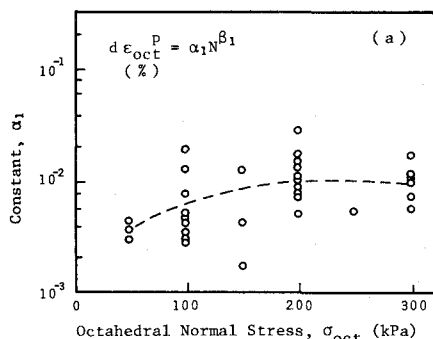


Fig. 1 八面体鉛直応力 σ_{oct} と定数 α_1 および β_1 の関係

ただし、増加傾向は異なり、せん断応力の増大は増分塑性せん断ひずみを大きくし、累積塑性せん断変形を早めることが分かる。 β_1 と β_2 は α_1 と α_2 ほど大きな変動はなく、-1の値を幾分下まわっている。この国中でデータがバラツキを示すのは、この実験では σ_{oct} と τ_{oct} が互に独立でないことに起因する。次項でこれは分離して示す。

3.3 中間主応力の影響

Fig. 3 および 4 は、八面体応力をパラメータとして、定数(α, β)と中間主応力パラメータとの関係を示している。 α_1 と α_2 はともに、 ζ が-1から+1にかけて凹形に弯曲する傾向を示し、中間主応力の影響が存在することを明らかにしている。Fig. 3 で α_1 は、一定 σ_{oct} に対しては、 τ_{oct} の増大にともないや減少を示す。このことは、せん断応力に比例して増分塑性ひずみがダイレイタンスーを起すことを示唆している。一方、Fig. 4 においては、 τ_{oct} の一定値に対して、 σ_{oct} の増大につれて α_2 が大きくなる事が分かる。この両国において、 β_1 と β_2 は、中間主応力による効果の傾向にバラツキもあり、影響は明確でない。

4 まとめ

以上、得られた結果を要約すると、

(1) 増分塑性ひずみ $d\epsilon_{oct}^p$, $d\gamma_{oct}^p$ はともに中間主応力の影響を受けることが分った。その傾向は先に報告した回復ひずみの場合に類似している。

(2) 繰返し荷重下の増分塑性ひずみの詳しい測定報告は今までの間に、載荷回数との間に合理的相関性をもって、

④と⑤式のように示した。

今後は、中間主応力の影響に関連して、応力依存異方性、ダンピング特性な

どの考察と実験を行ないたい。

謝辞 実験に指導をいただいた Dr. SHACKEL に厚く謝意を表します。

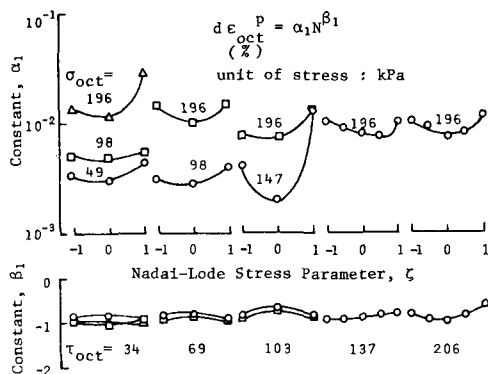


Fig. 3 八面体応力をパラメータとした場合の
体積ひずみ成分に与える中間主応力の影響

参考文献

- 1) Mesdary, M.S. and H.B. Sutherland (1970) Correspondence on : A Note on the Drained Strength of Sand under Generalized Strain Conditions, Geotechnique, Vol.2, No.2, pp.210-212.
- 2) Shackel, B. and K. Makiuchi (1977) : Three-Dimensional Deformation Laws for a Sand-Clay, Proc. 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.1, pp.295-300.
- 3) Makiuchi, K. and B. Shackel (1976) : Soil Characterisation Using a Repeated Loading Cubical Triaxial Apparatus, Proc. 8th Conference of Australian Road Research Board.

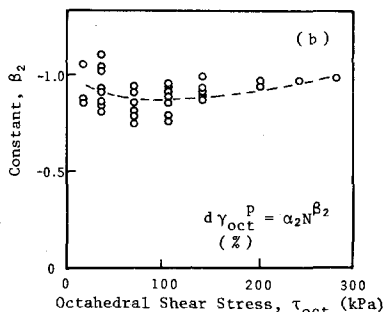
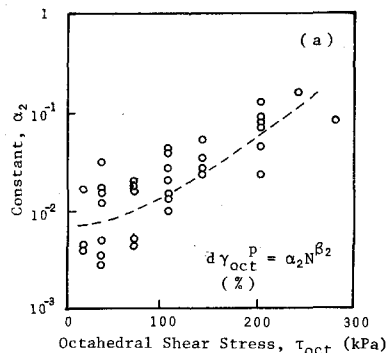


Fig. 2 八面体せん断応力 τ_{oct} と
定数 α_2 および β_2 の関係

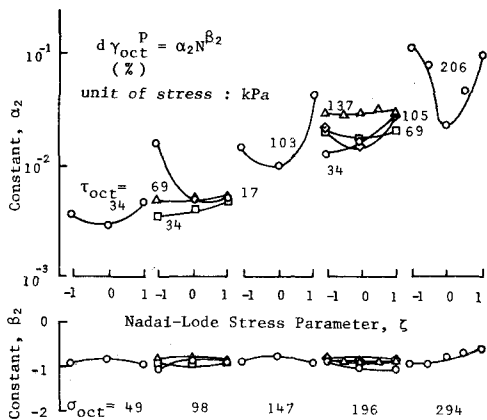


Fig. 4 八面体応力をパラメータとした場合の
せん断ひずみ成分に与える中間主応力の影響