

1. はじめに

従来、非常に長い荷重時間が必要であったクリープ試験から得られる情報が、繰返し荷重試験によって短期間に得られることが報告されている。たとえば、足立・高瀬¹⁾によって軟岩の加速クリープ開始までの時間 t_{ai} に対応する応力状態がひずみ制御振動荷重試験から得られることや、HYDE・BROWN²⁾によって過圧粘土について破壊を起こさないような荷重のもとでは、クリープ試験と繰返し荷重試験から得られる decay-constant が一致することなどである。本文では、軟岩(大谷石)について行なった片振り繰返し荷重試験から得られた結果について述べる。

2. 実験方法

試験は飽和した大谷石を供試体として用い、非排水条件で、側圧は一定とし、軸力のみを変化させる油圧サーボ方式の三軸試験装置によっている。片振り繰返し試験はまず一定の荷重(以後支持荷重と呼ぶ) σ_m を作用させ支持荷重を中心にして、支持荷重と同程度の大きさの荷重を周期的に作用させ、最大荷重 $\sigma_{max} = 2\sigma_m$ と最小荷重 $\sigma_{min} = 0$ で繰返す方法であり、圧縮荷重のみが作用する。荷重は三角波形を用いており、荷重の周期は 0.1 Hz である。また、大谷石について行なわれた静的な荷重試験から最大強度に対する破壊基準(1)式で表される)と残留強度に対する破壊基準(2)式で表される)が報告されている³⁾。

$$(\sigma/\sigma_0)_{peak} = 17.6 (\sigma/\sigma_0)^{0.38} \quad - - - - - (1)$$

$$(\sigma/\sigma_0)_{Residual} = 2.75 (\sigma/\sigma_0)^{0.86} \quad - - - - - (2)$$

これから側圧 3 kgf/cm^2 での最大強度と残留強度を求めてみると、それぞれ 57 kgf/cm^2 と 19 kgf/cm^2 である。これらの値を考慮して最大荷重としては、それぞれ 55 kgf/cm^2 (最大強度の 96%)、 50 kgf/cm^2 (88%)、 45 kgf/cm^2 (79%)、 40 kgf/cm^2 (70%)、 25 kgf/cm^2 (44%) の値を用いた。

3. 実験結果

図-1 には、最大荷重 50 kgf/cm^2 での軸差応力と軸ひずみの関係を、図-2 には、間隙水圧と軸ひずみの関係を示した。軸ひずみが 1% を越すあたりから急激に変形が増大し、間隙水圧も正から負に変化しているのがみられる。また、繰返し荷重で除荷のときには間隙水圧が減少し、再載荷によってまたもとの間隙水圧の値にもどっているのがみられる。 50 kgf/cm^2 以外の最大荷重を作用させたときに発生する間隙水圧について調べてみると、図-2 に示した間隙水圧と軸ひずみの関係とほぼ同じ関係を示すことがみられ間隙水圧の発生量は、明らかに軸ひずみに依存していることがわかった。これは、K.Y.L⁴⁾によって指摘されていることと一致する。彼は、正規圧密粘土で発生する間隙水圧が応力によって説明されるという「応力理論」では説明できない次のような現象を列挙している。1) クリープ試験において増加しつづける間隙水圧、2) 応力の除荷時に残留する間隙水圧、3) 繰返し荷重を受けたときに増加しつづける残留間隙水圧。これから、彼は、間隙水圧の発生量はひずみによって説明されるという「ひずみ理論」を

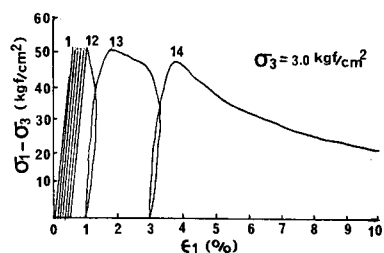


図-1 軸差応力と軸ひずみの関係

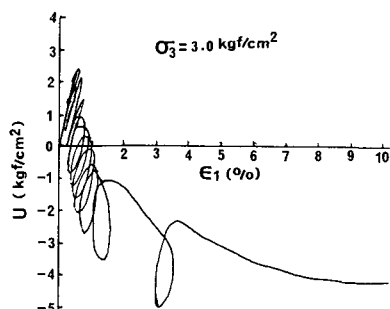


図-2 間隙水圧と軸ひずみの関係

次のように提案している。発生する間隙水圧 Δu の値は、平均主応力による値 Δu_a とせん断応力による値 Δu_s に分けられ、 Δu_s の値は、(3)式のように最大圧縮圧力 P で無次元化すると軸ひずみの関数で表されることが示されている。

$$\Delta u_s / P = f(\epsilon_1) \quad \text{--- (3)}$$

しかし、この間隙水圧の関数形はまだ決定されていない。図-3には、側圧 3 kgf/cm^2 に対する軸ひずみと繰返し回数との関係を繰返し最大荷重をパラメーターとして示した。また、図-4には、各繰返し回数毎の軸ひずみの増分と繰返し回数の関係を表した。これらの図から次のようなことがわかる。

1) 40 kgf/cm^2 以上の最大荷重強度で繰返した場合には破壊しており、 25 kgf/cm^2 の最大荷重強度で繰返した場合には破壊していない。2) 破壊している場合でも破壊が生じるまでの繰返し回数は、最大荷重強度の増大とともに減少している。3) 55 kgf/cm^2 と 50 kgf/cm^2 の場合には、 $1 \sim 2\%$ 程度の軸ひずみを生じたあと急激に変形が増大しているが 45 kgf/cm^2 と 40 kgf/cm^2 の場合には、かなり大きな軸ひずみが発生するまで繰返し載荷が可能であり、非常に緩慢な破壊である。4) 45 kgf/cm^2 と 40 kgf/cm^2 でみられる定常状態のあとに状態は、クリープでみられる現象とは異なっており、繰返し載荷の特徴ではないかと思われる。図-5には、繰返し載荷における各最大荷重における有効応力の変化を示しているが、負の間隙水圧の発生によって、平均主応力 σ'_m が増加し破壊にいたっているのがわかる。また、図中には、(1)式と(2)式で与えられる破壊基準線もそれぞれ示した。

4. まとめ

繰返し載荷を受けた場合、最大荷重強度が一定の値を境にして破壊にいたる場合と破壊にいたらず平衡状態にいたる場合がある。また、破壊にいたる場合でも急激な破壊と緩慢な破壊のあることがわかった。また、繰返し載荷したときに発生する間隙水圧は、最大荷重強度には関係せず、ひずみ率値によって影響されるという実験結果が得られた。

参考文献

- 1) 足立・高瀬；“ひずみ制御振動載荷時の軟岩の力学挙動”，第15回（北）工質工学研究発表会 P1417～P1420。
- 2) A.F.L.HYDE and S.F.BROWN；“The plastic deformation of a silty clay under creep and repeated loading,” *Geotechnique*, Vol.26, NO.1, 1976. P173～P184
- 3) 足立・小川；“堆積軟岩の力学特性と破壊基準”，土木学会論文報告集第295号，1980年3月，P51～P53
- 4) K.Y.La；“The Pore Pressure-Strain Relationship of Normally Consolidated Undisturbed Clays PART I.” *Can. Geotechnique*, Vol.16, 1969. P380～P394

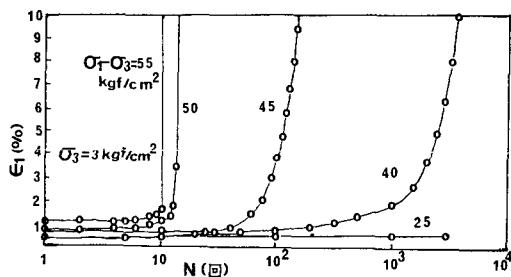


図-3 軸ひずみと繰返し回数の関係

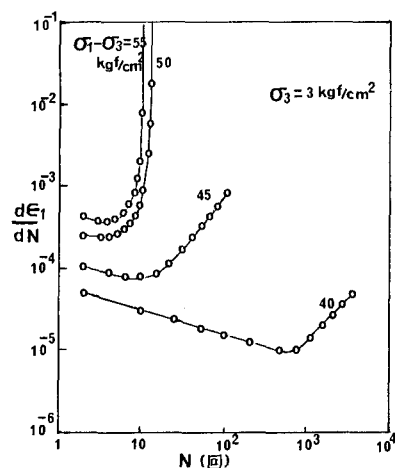


図-4 軸ひずみ増分と繰返し回数の関係

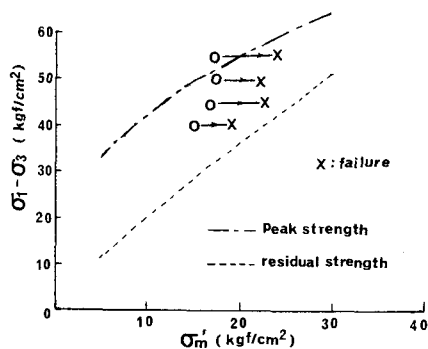


図-5 有効応力経路