

III-619

繰り返し応力下の岩石の間隙水圧挙動

埼玉大学 正会員 長田 昌彦
 埼玉大学 正会員 吉中 龍之進

1. はじめに

脆性領域における岩石の変形・強度特性がクラックの発生・進展に大きく支配されていることは、供試体の直接観察および弾性波速度やAEの観測などにより明らかである^{1),2)}。繰り返し応力下においても、メカニズムは別としてマイクロクラックが発生・進展し、それらが局所化して最終的な破壊にいたる^{3),4)}。しかし、発達したマイクロクラックの量（例えば、体積）に関する定量的な計測はほとんどなされていない。そこで本報告ではクラック量を直接反映すると考えられる非排水条件下での間隙水圧に注目し、その変化について考察する。

2. 実験方法

間隙水圧の計測は試料の透水性に大きく影響を受けるので、試料は表-1に示すように多孔質な新第三紀の凝灰岩（大谷石）を用いた。直径：高さが2である円柱形（ $\phi 50 \times 100$ mm）の供試体に整形し強制飽和させたあと、圧密非排水条件下で一定の軸差荷重を供試体が破壊するまで繰り返し载荷する疲労試験を実施した。なお、バックプレッシャーとして 5 kgf/cm^2 を加え、繰り返し周波数は 0.2 Hz とし、波形は正弦波を用いた。拘束圧は 35 kgf/cm^2 まで変化させたが、その依存性に関して系統的な変化は得られていない。ここでは拘束圧 5 kgf/cm^2 、初期軸差応力 43 kgf/cm^2 、応力振幅 38 kgf/cm^2 の場合を例として考察する。

3. 間隙水圧挙動

間隙水圧の最大値と最小値の差 疲労試験から得られた間隙水圧の経時変化より各応力サイクルに対応する間隙水圧サイクルの振幅が刻々と変化していることがわかる⁵⁾。そこで1 応力サイクルにおける間隙水圧の最大値 (u_{max}) と最小値 (u_{min}) に注目し、その差を

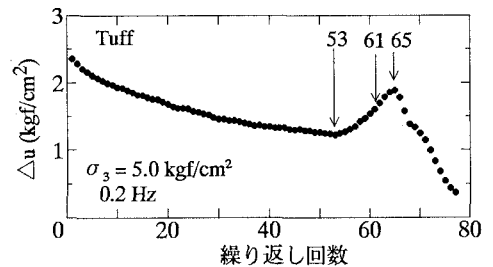
$$\Delta u = u_{max} - u_{min} \quad (1)$$

と表わすことにする。 Δu の変化は図-1 のようになり、破壊に到るまでに極小値と極大値をとる。図-2 にはこのときの u_{max} と u_{min} の変化が示しており、ともに単調減少していることがわかる。両図より、繰り返し初期に Δu が減少していくのは u_{max} の減少量が u_{min} に比べ大きいためであり、逆に Δu が減少から増加に転じるのは u_{min} の減少量が u_{max} より大きいためであることがわかる。

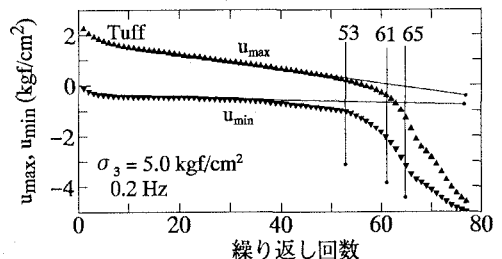
位相差のずれ 疲労試験から得られた間隙水圧一軸ひずみ曲線に見られるように、応力が増加しているにも関わらず間隙水圧は減少するといった現象が起こる⁵⁾。水で飽和された岩石の粘弾性的な性質により、载荷された繰り返し応力に対して発生するひずみおよび間隙水圧はある一定の位相差をもって同周期の挙動をするはずであるが、本実験のように実験中

表-1 凝灰岩供試体の物理的性質

岩種	凝灰岩
比重	2.31
湿潤密度	1.754 (gf/cm^3)
間隙比	0.771
引張強度	5.76 (kgf/cm^2)
一軸圧縮強度	69.5 (kgf/cm^2)

図-1 Δu と繰り返し回数の関係

図中の番号は 53:極小値を与える回数, 61:巨視的な破壊を定義した回数, 65:極大値を与える回数 を示す。

図-2 u_{max} , u_{min} と繰り返し回数の関係

図中の番号は 図-1 の付記に同じ。

にマイクロクラックが発達するような場合にはその位相差にずれを生じてくると考えられる。そこで繰り返し初期および巨視的な破壊直前での軸差応力と間隙水圧の時刻歴曲線を描くとそれぞれ図-3、4のようになる。これより加えた応力に対する間隙水圧の位相差のずれを生じていることがわかる。試験全体についての位相差のずれを調べるために次のようなパラメータを幾何学的な考察から定義する。1 応力サイクルに対して最大値 σ_{max} と最小値 σ_{min} を記録したときの間隙水圧をそれぞれ u_{high} と u_{low} とし、先の1 間隙水圧サイクルの最大値 u_{max} と最小値 u_{min} を用いて

$$\chi = \frac{u_{high} - u_{low}}{u_{max} - u_{min}} \quad (2)$$

とし、位相差のずれを表わすパラメータとする。（参考文献5）の定義とは異なる）このパラメータは供試体が弾性的に応答しているあいだは1をとり、位相のずれを生じてくると大きく変化し、応力の位相に対し半波長ずれると-1となる。ただし、このような位相の取り扱いは一時的なものではなく、分母の $u_{max} - u_{min}$ が一定値ではないため χ の値は一意的ではないなど、不確定な要素が含まれている。上述の例の χ の変化は図-5のように、载荷初期にはほぼ1であるがその後徐々に減少しており、疲労破壊にいたるかなり前の段階から位相差のずれが生じていることを示している。

4. 考察

u_{max} および u_{min} の物理的な意味を考察することは有意義である。図-6には各履歴ループより求めたせん断剛性率が単調減少することが示されているが、50 回付近で図中に直線で示した一定勾配の領域からはずれていく。勾配の一定した領域から徐々にはずれていく現象は u_{max} や u_{min} 、 χ についても読み取れる。これらを繰り返し回数について整理すると、30 回付近で変化するのは u_{min} と χ であり、50 回付近で変化するのは u_{max} と G であると分類できる。特に、位相差 χ はマイクロクラックあるいは間隙中の水の流れに大きく関与しているものと考えられ、その変化はクラックの連結性を表わしている可能性がある。

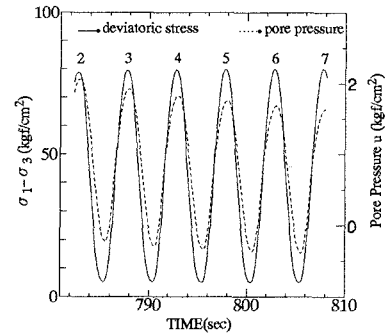


図-3 2～7 波までの時刻歴曲線

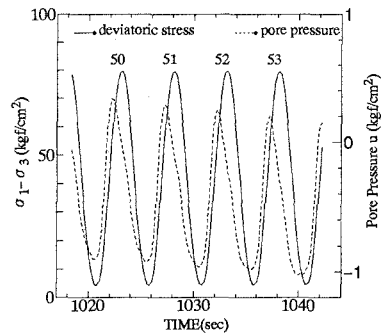


図-4 50～53 波までの時刻歴曲線

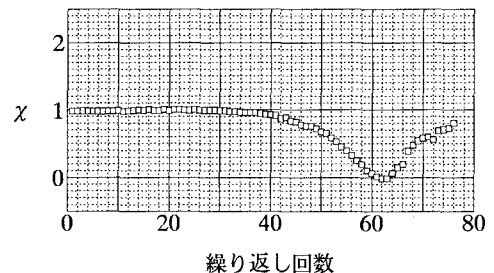


図-5 χ と繰返し回数の関係

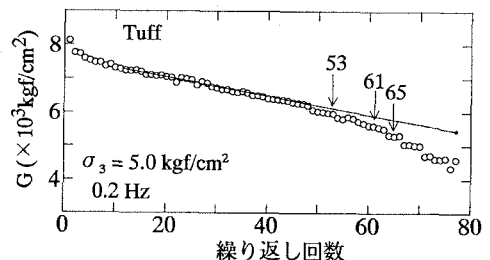


図-6 せん断剛性率 G と繰返し回数の関係

参考文献：1) 柳谷 俊、寺田 孚：弾性波CTによる岩石のダイレイタンシー局所化の観察：土木学会論文集，第370号／III-5，pp.159-168，1986。2) Rao, M.V.M.S. & Ramana, Y.V.：A study on progressive failure of rock under cyclic loading by ultrasonic and AE monitoring techniques：Rock Mech. Rock Engng., Vol.25, (4), pp.237-251, 1992。3) Scholz, C.H. & Kocynski, T.A.：Dilatancy anisotropy and the response of rock to large cyclic loads.：J.Geophys. Res., 84, pp.5525-5534, 1979。4) Costin, L.S. & Holcomb, D.J.：Time-dependent failure of rock under cyclic loading.：Tectonophysics, 79, pp.279-296, 1981。5) 吉中 龍之進、長田 昌彦、堀 渉：動的繰返し荷重下における堆積軟岩の強度・変形特性：第25 回岩盤力学に関するシンポジウム講演概要集，pp.116-120，1993。