

愛知県企業庁 正会員 ○ 片山 久紀
 名古屋大学工学部 正会員 川本 眺万
 名古屋大学工学部 正会員 市川 康明

1. はじめに

岩盤を対象とした土木構造物にはトンネル、橋梁および原子力発電所の基礎などがある。今後の需要と社会的要請に対応してその立地計画は必ずしも堅固な岩盤のみならず、固結度の低い軟岩を選択して行なわれる機会が多くなってきている。基礎岩盤としての支持力を考える場合にはその時間依存性挙動を考える必要がある。支持岩盤の安定性に関してはクリープ変形のみならず、地震時の動的変形に対してもその安全性の評価を行なうことが望まれる。しかしながら、軟岩の動的変形特性に関する研究は土や粘土を対象とした場合に比較して少ない。そこで今回は軟岩の動力学特性を調べるため、繰り返し圧縮載荷試験を行ない、変形挙動、載荷中のエネルギー特性、減衰特性について考察した。

2. 実験方法

実験材料としては自然飽和状態の大谷石を用い、供試体は直径5cm、高さ10cmの円柱形に成形した。側圧は 10 kgf/cm^2 、繰り返し振動の圧縮状態での平均レベルは軸差応力で $44(\pm 2) \text{ kgf/cm}^2$ 、繰り返し周期は1, 3.3, 12.5, 33, 100, 330秒の6ケースとし、特に3.3秒の場合には繰り返し振幅を種々変化させた。また、intact rock に対する実験と共に、あらかじめ切断面を一定の角度に入れた jointed rock についても実験を行なった。なお、繰り返し振幅の変化は平均レベルがほぼ一定であるので最大軸差応力の変化として以下に示す図中において各々の実験条件の違いを表わした。

3. 実験結果および考察

i) 変形挙動

繰り返し載荷時の軸ひずみはこれまでも報告されているように、クリープ現象と同等な挙動を示す。図-1は動的クリープにおける定常クリープ域の平均ひずみ速度と各時間との関係を示す。各直線の傾きは-0.955であるが近似的に、

$$t_s \cdot \dot{\epsilon}_s = \text{const}, t_a \cdot \dot{\epsilon}_s = \text{const}, t_f \cdot \dot{\epsilon}_s = \text{const}$$

が成り立つ。ここに、 t_s 、 t_a は各々定常クリープおよび加速クリープ開始時間である。また、最小ひずみ速度となる時間 t_c と破壊時間 t_f との間には、 $t_f/t_c = 3.05$ の関係がある。

ii) 等価剛性およびエネルギー

振動中の材料の復元力特性は、一般に等価剛性と損失指数(減衰指数)によって特徴づけられる。ここでは図-2のように等価剛性をヒステリシスループの割線弾性率で定義し、損失指数は損失エネルギー W_L 、弾性エネルギー W_E を用いて、 $\eta = W_L/(2\pi W_E)$ で定義した。載荷によって材料の劣化が進行し、剛性が低下することは知られており、図-3においても初期剛性に対して80%まで低下しているが、これは荷重制御試験のためひずみ振幅の増大が原因していると考えられる。また例外的に載荷途中に増大する場合もあるが、これはクラックの閉口に

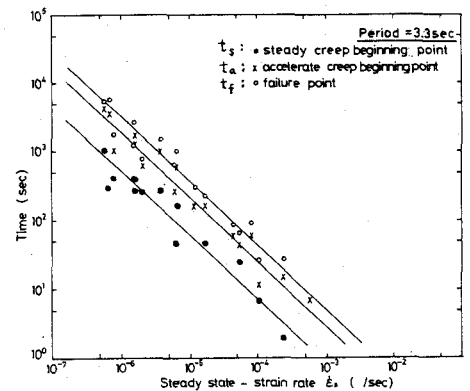


図-1

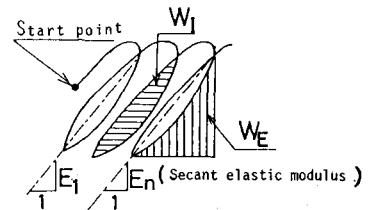


図-2

よるためと考えられる。繰返し载荷の第一サイクルにおける初期弾性係数は図-4で示すように周波数(繰返し周期の逆数)依存性を示す。周波数が大きいほど(短周期であるほど)弾性係数は大きく、いわゆるひずみ効果(strain effect)が表われている。

弾性エネルギーの時間依存性は一定荷重振幅であるため弾性係数とは逆に単調増加傾向にあり、破壊時には初期弾性係数に比較してほぼ15%増加している。

損失係数は図-5のように著しい増大を示す場合があり、これは損失エネルギーの時間依存性に大きく影響されていると考えられ、損失エネルギーも同様の傾向を示す。なお損失係数(損失エネルギー)の変動パターンは図-5に示した他にも2種類あり、これら3種類の時間依存性の違いは破壊過程における材料内部のクラック成長のタイプが異なるためと考えられる。例えば、図-5の最大軸差応力が69.3 kgf/cm²の場合は载荷初期には微小クラックの開口により損失エネルギーが低下して(ヒステリシスループの幅が狭くなる)、载荷回数が増えると微小クラックの開口から巨視的クラックの発生へと進展している(ループ幅が広がる)と考えられる。

初期損失係数は図-6のように周波数依存性を示す。初期弾性エネルギーは実験結果として周波数に関してはほぼ一定であることがわかっており、初期損失エネルギーの周波数依存性の影響が大きい。近似的には、

$$\eta_1 = \alpha f^k, \quad W_1 = \alpha' f^{k'}$$

が成り立ち、 $k = -0.346$, $k' = -0.341$ である。

iii) 不連続供試体の剛性

Intact rockの初期弾性係数で正規化した値を図-7に示す。実験数が少ないので正確なことはいえないが、みかけの剛性は切断角度と線形関係にある。また、内部摩擦角との関係は明らかではない。

文献 大西ら;
岩盤シンポ, 1983
および 1984.

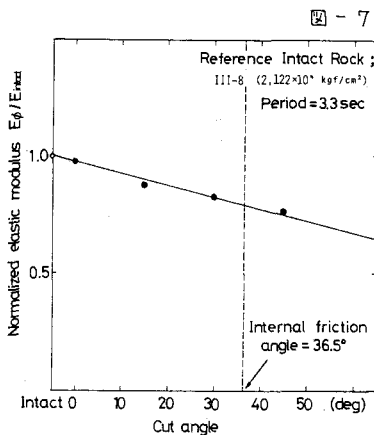


図-7

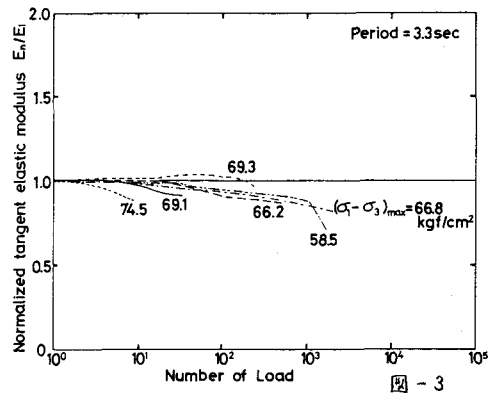


図-3

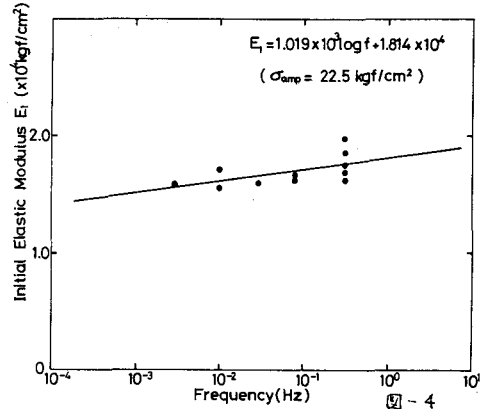


図-4

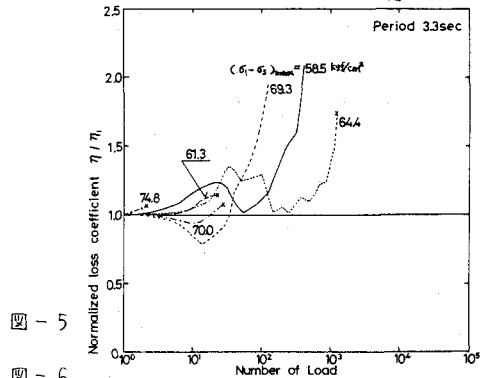


図-5

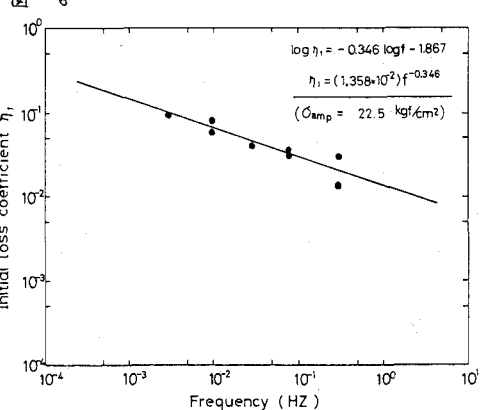


図-6