

京都大学防災研究所 正 員 村山 翔郎
京都大学大学院 学生員 飯田 邦夫

研究目的および方針 粘土骨格のレオロジー特性の表示には既に柴田村山によって提案された力学モデル⁽¹⁾があるが、さらに確率的考察のもとに改良してクリープと応力緩和の両特性の結びつきを一層明らかにすることができた。⁽²⁾ ここではこれら両特性の関連を実験的に検討するとともに、粘土骨格の力学モデルに用いられた諸力学要素の温度依存性や強度との関連特性について明らかにし、粘土の基本特性の解明に資したいと考えている。そのためここでは、試料として比較的性質の均一な大阪市上町台地の洪積層より採取した乱さない粘土を用いて次の実験を行なった。(i)温度 T 一定、初期ヒズミ ε_0 変化の応力緩和試験、(ii) ε_0 一定、 T 変化の応力緩和試験、(iii) T 一定、圧縮力 σ 変化のクリープ試験、(iv) σ 一定、 T 変化のクリープ試験。

実験方法および試料 実験に用いた粘土の物性は、粘土分43%、シルト38%、砂17%、比重2.57、LL76.2%、PL30.7%、 $I_p=3.2\%$ である。供試体は直径3.6cm、高さ8.0cm、の円柱形に成形し、これ応力緩和試験ではレオメータの水室セルに、クリープ試験では3軸セルにセットして、別に用意した温度調節装置ををなす恒温水槽とパイプで連結して、恒温水を循環させ供試体の温度をつねに一定にた。

実験結果および考察 温度 T の値を10°C、20°C、30°C、40°C、に選び、各温度について初期ヒズミ ε_0 を0.25%から2%まで数段階に変化させた、このときの応力と時間対数関係は図-1に示すように直線的に減少し、 ε_0 の値により異なった有根値に漸近する。このとき初期応力 $\sigma_{t=0}$ と終極応力 $\sigma_{t=\infty}$ とから、

$$\sigma_{t=0} = E_1 \varepsilon_0, \quad \sigma_{t=\infty} = \{E_1 E_2 / (E_1 + E_2)\} \varepsilon_0 \quad (1)$$

を用い E_1, E_2 を求め、 T をパラメータに ε_0 との関係とを求めると図-2となる。この図から E_1, E_2 の値は ε_0 が1%以下で一定になるがそれ以上では E_1 、図-1 応力 σ と時間対数関係とともに減少する。 $\varepsilon_0=1\%$ を加えたときの応力は σ_{∞} に一致するから、 $\varepsilon_0=1\%$ は降伏がはじまるヒズミと思われる。図-1から応力緩和速度 $-d\sigma/d\log t$ と ε_0 の関係を図示すると図-3となり、 $-d\sigma/d\log t$ にやば、 $\gamma \varepsilon_0=1\%$ で折変が現われる。 $-d\sigma/d\log t$ と ε_0 の関係は、 $-d\sigma/d\log t = E_1^2 (\varepsilon_0 - \sigma_{\infty}/E_1) / B_2 (E_1 + E_2) \quad (2)$

で与えられるが上の結果は ε_0 が1%以下では上式と一致する。

(2)式から図-3の勾配は $E_1^2 / B_2 (E_1 + E_2)$

になる。したがってこの勾配と

図-2の E_1, E_2 の値から B_2, E_2 の値

が求まる。 B_2, E_2 の ε_0 との関係

は図-4で示され、 $\varepsilon_0=1\%$ 以下

ではほぼ一定になる。つきに

これらの結果を $\varepsilon_0 = \text{const}$ で

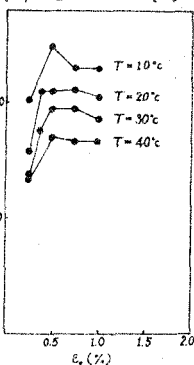
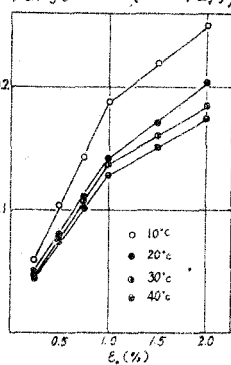
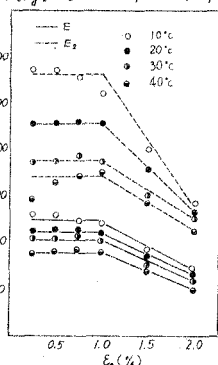
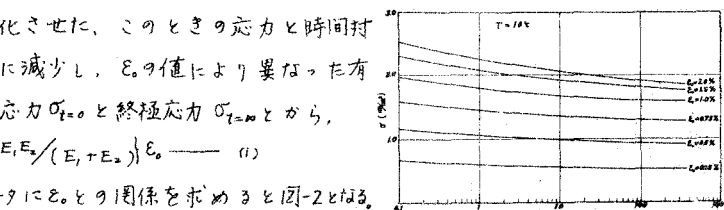


図-2. $E_1, E_2 \sim \varepsilon_0$ 関係

図-3. $-d\sigma/d\log t \sim \varepsilon_0$ 関係

図-4. $B_2, E_2 \sim \varepsilon_0$ 関係

温度依存性を調べた。図-5は E_1, E_2 と T の関係を表し、 E_1, E_2 は T とともに減少する。図-6は $\frac{d\sigma}{d\log t}$ と T の関係を表し、 $\frac{d\sigma}{d\log t}$ は T とともに減少する。図-7は $B_2 E_2 \sim T$ の関係で $B_2 E_2$ も T とともに減少する。

ついでクリーフ試験結果について述べる、 T 一定で σ をパラメータにすると、ヒズミ時間対数関係が応力緩和の場合と同様直線性を示す。力学モデルからクリーフ速度 $\frac{d\epsilon}{d\log t}$ と ϵ_0 および T の関係は

$$\frac{d\epsilon}{d\log t} = (\sigma - \sigma_0) / B_2 E_2 = (\sigma - \sigma_0) / B_2 E_2 \quad (3)$$

図-6 $\frac{d\sigma}{d\log t} \sim T$ 関係、となるが実験結果は図-8の $\frac{d\sigma}{d\log t}$ と σ の関係、図-9の $\frac{d\sigma}{d\log t}$ と T の関係を表す図に示される。図-8から $\frac{d\sigma}{d\log t}$ と T の直線性を摄氏温度 θ で表わすと、

$$\frac{d\sigma}{d\log t} = (\sigma - \sigma_0)(\theta + 273) / B_2 E_2 = 0.0018(\theta + 10) - (4)$$

となる。(3)式を用いてヒズミ～時間対数曲線の勾配を知ると $B_2 E_2$ の値が求められる。 $B_2 E_2$ の値は温度が一定であると上限降伏値 σ_u までの σ では一定であるが、図-7に Δ 印で示されるように T が大きくなると減少する。その値は応力緩和から求めたものとほぼ一致する。

(4)式で示すように $\frac{d\epsilon}{d\log t}$ と θ が直線関係にあると、 E_1 と E_2 が σ_u 以下の応力では温度に関係なくその比が一定であると仮定、その比を α とすると(2)式から

$$-\frac{d\sigma}{d\log t} = \alpha^2 \sigma \epsilon_0 / (B_2 E_2^2 (1 + \alpha)) \times (\theta + 273)^3 / (\theta + 10) - (5)$$

となり、 $-\frac{d\sigma}{d\log t}$ は θ と双曲線関係にあることがわかる。これは図-6と同じ傾向をもつ。以上の実験結果をまとめると

- (1) 応力の緩和速度は T 一定では初期ヒズミ ϵ_0 に比例し、 ϵ_0 一定では T とともに減少する。
- (2) クリーフのヒズミ速度は T に比例する直線となり、 $\frac{d\epsilon}{d\log t} \sim T$ 関係の直線を外挿すると $\theta = -10^\circ\text{C}$ で横軸をきる。
- (3) クリーフのヒズミ～時間対数関係の勾配から求めた $B_2 E_2$ の値は、応力緩和速度から求めた $B_2 E_2$ とほぼ一致する。

またその値は T とともに減少する。

(4) 柴田村山のモデルで(3)の結果が得られ、応力緩和とクリーフを結びつけることができる。

(5) 弾性係数 E_1, E_2 は上限降伏値以下では一定であるが、上限降伏値以上では降伏し減少する。また温度が上昇すると減少する。

参考文献 (1) 村山 柴田; 土木学会論文集 No. 40, 1956. (2) 村山; 材料 Vol. 14, No. 139, 1965, pp. 282-288.

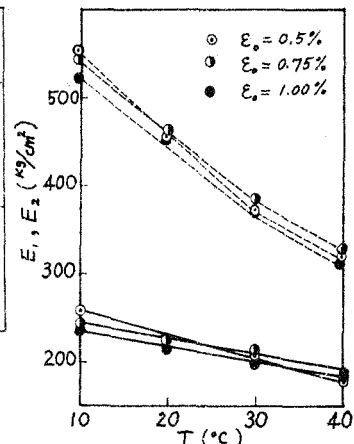
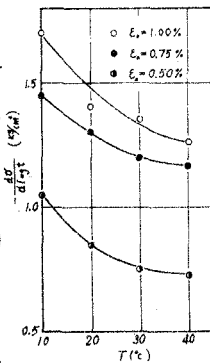


図-5 $E_1, E_2 \sim T$ 関係

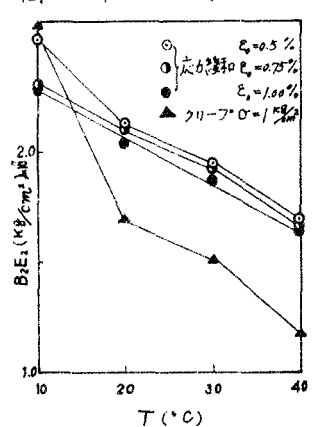


図-7 $B_2 E_2 \sim T$ 関係

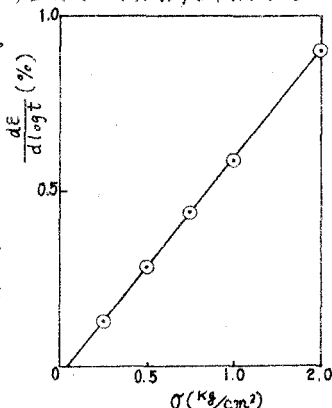


図-8 $\frac{d\sigma}{d\log t} \sim \sigma$ 関係

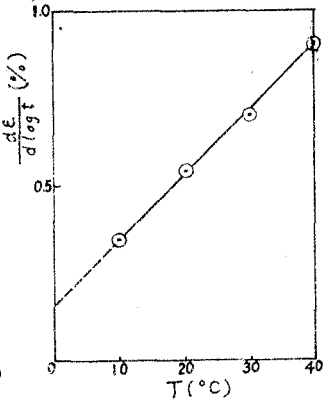


図-9 $\frac{d\epsilon}{d\log t} \sim T$ 関係