

粘土が粘弾性的性質を有しているのは良く知られている。ところで、その粘弾性的性質を量的に示す粘弾性常数は非常に time-sensitive (時間に鋭敏) である。たとえば振動に対する実験的性質を良く示すようなモデルを假定し常数の値を求めた場合と、クリープ現象を説明するため、こしらえたモデルを比較すると、常数の値が桁違いになるのみならずモデルの形さえも違つて本質的な相違を示す。一体これはどういふ理由であらうか。粘土の性質といつても純粋変形係数の増減微小破壊等の種々の機構があつて、互いに関係しているのが複雑なのは当然である。たとえば、これらの機構の時間過程を規定する緩和時間、遅延時間が異なつていれば他から加えられた操作に対し、粘土の性質として主役を果す機構が場合場合によつて異なるのは当然である。實際上このため粘土が time-sensitive と考えられる場合も多い。

しかしこゝでは純粋変形流動一つに着目して、その性質(粘性係数であらわされる)が変形速度によつていかに変わるか広い範囲にわたつて測定した。粘土のクリープを測定すると最初のうちは変形量は時間の対数に比例するが時間が経つにつれ比例しなくなる。変形量と時間の対数の直線関係が成り立たなくなつて後線り直し粘土では変形量が時間に比例する定常関係に入る。未だく乱粘土でもやはり一時定常関係に入るが剪断応力が或る値以下では静止状態にうつり、或る値以上では破壊に達する⁽¹⁾と考えられている。クリープ実験によつて、この定常状態の剪断応力度と変形速度から粘性係数を以前に求めてある⁽²⁾。それで今度は変形速度のもつと早い場合を Parallel Plate Plastimeter⁽³⁾によつて求めた。Parallel

Plate Plastimeterとは2枚の円盤の間に試料をはさんで圧縮し、試料を側方に押し出す装置である。圧縮速度と圧縮に要した力から試料の粘性係数が求められる。すなわち圧縮に要する力を F 、両円盤の距離を h 、円盤の半径を a 、時間を t 、円周率を π 、粘性係数を η とすると、次の式が導かれる。

$$F = -\frac{3\pi\eta a^4}{2h^3} \frac{dh}{dt} \quad (1)$$

但し(1)が成り立つための條件は (i) $a/h > 10$ (ii) 試料は非圧縮性で Newton 液体である。実際は粘土は非圧縮性でないし、Newton 液体でもない。けれど粘土が両円盤の中で圧縮され側方に押し出されるときには圧縮は終り非圧縮の段階に入つてゐると考えられる。この是非圧縮になつてゐるので純粋変形と考えられ好都合である。また粘土はむしろ Bingham Body と考えられるので(1)の右辺に粘性係数による力だけでなく降伏値に関係する力も入るであらう。それでその値を消去する意味で次式を用いた。

$$F_2 - F_1 = -\frac{3\pi\eta a^4}{2} \left\{ \frac{1}{h_2^3} \left(\frac{dh}{dt} \right)_{h=h_2} - \frac{1}{h_1^3} \left(\frac{dh}{dt} \right)_{h=h_1} \right\} \quad (2)$$

添字 1, 2 はそれぞれ或る時間に対応する値を示す。また実際には時間の狭い範囲で $\left(\frac{dh}{dt} \right)_{h=h_2} = \left(\frac{dh}{dt} \right)_{h=h_1}$ であるので

$$F_2 - F_1 = \frac{3\pi\eta a^4}{2} \left(\frac{1}{h_1^3} - \frac{1}{h_2^3} \right) \frac{dh}{dt} \quad (3)$$

である。実験は平行円盤と三軸試験器を組み合わせて行った。円盤の粘土に当る側には同

心円のみぞが掘つてあつてスリツプを防いでいる。測定記録はプロマイド紙に time mark とともに自記させた。三軸試験のひずみ制御に用いる歯車系を変えてひずみ速度 $\dot{\epsilon} = \frac{1}{n} \frac{dh}{dt}$ を約 10^{-2} の場合と 10^{-3} の2種類実験した。粘性係数 η が含水比により、いかに変わるか図-1 に示した。次に η はひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ とともにどう変わるか第1表に示した。また $\eta \dot{\epsilon}$ と $\dot{\epsilon}$ との関係調べたのが第2表で $\eta \dot{\epsilon}$ はほとんど一定なのが分る。数値は山形県大蔵村粘土の値を示すが、大阪粘土では $\eta, \eta \dot{\epsilon}$ とともに未かく乱粘土は練り直し粘土より大きい。 $\eta \dot{\epsilon}$ が $\dot{\epsilon}$ の広い範囲で一定ということば次の考えから説明できる。

粘土が Tololsky-Eyring の粘性に従うとすると流動の形は次の式で示される。

$$\frac{d\epsilon}{dt} = A \sinh B\tau$$

こゝに ϵ は変形量、 τ は剪断応力度、 A, B は定数、 t は時間である。クリープを測定した場合の τ が小さいときでさえ $\exp(B\tau) \gg 1$ が成り立つから

$$\frac{d\epsilon}{dt} = A \exp(B\tau)$$

と考えると差支えない。

$$\therefore \eta = d\tau / d(\frac{d\epsilon}{dt}) = \frac{1}{AB} \cdot \exp(-B\tau)$$

$$\therefore \eta \cdot (\frac{d\epsilon}{dt}) = 1/B$$

結局 $\eta \cdot (\frac{d\epsilon}{dt})$ は $1/B$ に等しいのが分る。クリープ実験から求めた $1/B$ を第2表に記入したが実測と合っている。

結論として今迄粘土が流動する場合、定常流を生ずるための最低の剪断応力度すなわち降伏値が変形速度が小さくなればなる程、小さくなるのが分つていたが、今度、粘性係数によって受持たれる力は変形速度の広い範囲にわたつて、ほとんど変りないのが分つた。

終始御懇切な御指導を賜った村山朝郎教授、佐々憲三教授に厚く感謝の意を表するものである。

文献

- 1) 村山朝郎他: 粘土のレオロジー特性について, 土木学会論文集, 40号(1956)
- 2) 山口真一: 粘土の流動について, 土木学会論文集に投稿中
- 3) G.J. Dienes 他: Theory and Application of the Parallel Plate Plastimeter., App. Phys., 17(1946) 458.
- 4) A. Tobolsky 他: Mechanical Properties of Polymeric Materials., J. Chem. Phys. Vol. 11(1943) 125~134

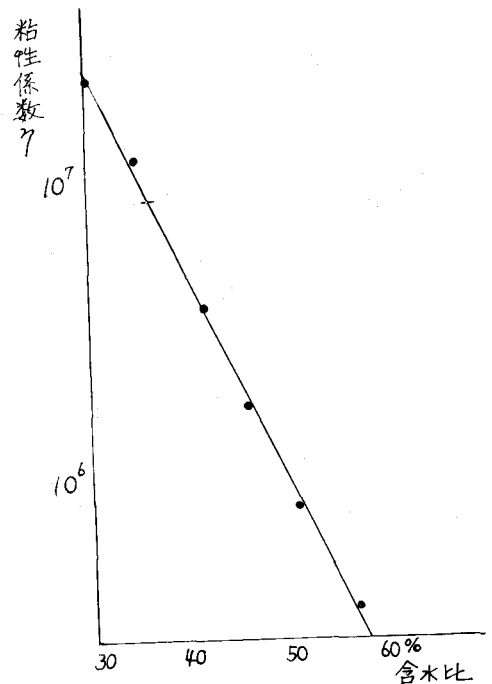


図-1 粘性係数~含水比関係
練り直し粘土
 $\dot{\epsilon} = 9 \times 10^{-3}$

表-1 粘性係数値 η

ひずみ速度 または変形速度	10^{-8}	10^{-3}	10^{-2}
練り直し 粘土	2×10^{12}	1×10^8	5×10^6
未かく乱 粘土	5×10^{12}	1×10^8	5×10^6

表-2 $\eta \dot{\epsilon}$

$\dot{\epsilon}$	10^{-8}	10^{-3}	10^{-2}	$1/B$
練り直し 粘土	2×10^4	1×10^5	5×10^4	1×10^5
未かく乱 粘土	5×10^4	1×10^5	5×10^4	6×10^4