

大阪大学工学部 正員 伊藤 富雄
同 同 〇松井 保
大阪市土木局 同 阿部 信晴

〔1〕 まえがき

粘土-水系においては、一般にtime-dependentな変形を生ずる。たとえば、圧密粘土のフリープから粘土サスペンションの粘性流動に至るまで、含水量に応じて種々の現象が見られる。このように多様な粘土-水系の流動現象を系統的に取扱ひ、またそのメカニズムを解明するために、粘土サスペンションのニュートン流動、粘土ペーストの定常流動および圧密粘土の定常クリープを取り上げ、それらにRate process theoryを適用した。粘土-水系の流動機構についてはすでに若干の検討を行なったが、今回は主として流動に関与する基本機構について考察した。

〔2〕 流動機構の考察

Table-1に示す4種の粘土試料のうち数種を用い、粘土サスペンションに対して粘度試験、粘土ペーストに対して定回転速度のベーン試験および圧密粘土に対して三軸クリープ試験を行なった。Rate process theoryによる基本式は次式であらわされる。

$$\ln \dot{\gamma} = \frac{\lambda}{2kST} \cdot T - \left\{ \frac{\Delta F}{RT} - \ln \left(X \frac{kT}{h} \right) \right\} \quad (1)$$

ここに、 $\dot{\gamma}$ ：ひずみ速度、 T ：せん断応力、 ΔF ：活性化エネルギー、 λ ：Flow unitの移動距離、 S ：単位面積当りのFlow unit数、 T ：絶対温度、 h 、 k 、 R 、 X ：定数である。上記の実験結果に式(1)を適用して得られた活性化エネルギー ΔF と含水量の関係を図1および2に示す。Fig.1は粘土サスペンションの ΔF を示すが、この ΔF はニュートン流動領域においてほぼ一定で濃度に関係なく、純水の ΔF (4.02 Kcal/mol)ともほぼ同じ値をとるので、粘土サスペンションと純水の流動機構はほとんど変わらないと考えられる。したがって、この場合の流動の基本機構として水素結合を考えてもよいと思われる。Fig.2は粘土ペーストおよび圧密粘土の ΔF を示す。ほぼ30 Kcal/mol前後の値が得られているが、これは今までに種々の粘土について求められた ΔF の値とほぼ同じ値である。

また、粘土ペーストと圧密粘土の ΔF の値に大きな差がないことから、それらの流動機構の類似性が指摘される。このことは、Fig.3および4に示すごとく粘土ペースト、圧密粘土および砂について得られた τ - S 関係がともに比例関係をもり、ほとんどの点、 $\Delta F = 25 \sim 30$ Kcal/mol.の間にプロットさ

Table 1

sample description	A	B	C**	D
liquid limit	57.2	118.5	325.0	92.6
plastic limit	29.3	32.4	29.0	37.7
plasticity index	27.9	86.1	296.0	54.9
specific gravity	2.68	2.68	2.68	2.68
clay fraction	4.6	56.9	73.0	43.0

** bentonite

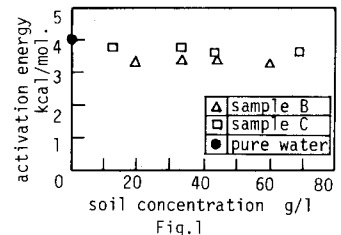


Fig. 1

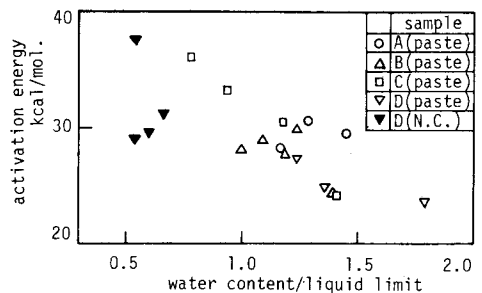


Fig. 2

れることから裏付けられる。また同時にこれらの結合が固体原子間の結合であることが予想される。この ΔF の値は一次結合(10~200 kcal/mol.)の範囲内にあるので、もしFlow unitの結合が単一結合と仮定するならば、流動の基本機構として30 kcal/mol. 前後の結合力をもつ一次結合を考えればよいことになる。Rosenqvistによれば、クリープ挙動は本質的には酸素イオンの緩速拡散過程であること、シリカ鉱物中の酸素イオンの拡散において測定される ΔF が30~40 kcal/mol.であることから、酸素の一次結合が流動の基本機構の重要な位置を占めていると推測される。一方、Fig. 2において、同一試料についてみれば含水量の増加とともに ΔF がやや減少する傾向が認められる。含水量が非常に大きい粘土サスペンションの ΔF が非常に小さい(約4 kcal/mol.)ことを考え合せると、この間に過渡領域が存在し、その領域では複数の流動機構が関与している可能性がある。すなわち、粘土-水系の流動の基本機構は本質的にはhomogeneous processではなく、heterogeneous processと考えることにより系統的に取扱ひ得ることを示唆している。

(3) Heterogeneous process

heterogeneous process として2種のprocessが存在すると考える。これらのprocessにおいては、必ずみ速度およびFlow unitの移動距離は等しいと仮定する。また単位面積当りのFlow unit数、せん断応力および活性エネルギーをそれぞれのprocessで S_1 , τ_1 , ΔF_1 および S_2 , τ_2 , ΔF_2 とする。仮定より $\dot{\gamma}_1 = \dot{\gamma}_2 = \dot{\gamma}$, $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$ だから、式(1)より、

$$(\lambda/zkT) \cdot (\tau_1/S_1) = \ln \dot{\gamma} + \{ \Delta F_1/RT - \ln(X \cdot kT/h) \} \quad (2)$$

$$(\lambda/zkT) \cdot (\tau_2/S_2) = \ln \dot{\gamma} + \{ \Delta F_2/RT - \ln(X \cdot kT/h) \} \quad (3)$$

$\tau_1 + \tau_2 = \tau$, $S_1 + S_2 = S$ とおき、式(2)および(3)を加え合せると、

$$\frac{\lambda}{zkT} \cdot \frac{\tau}{S} = \ln \dot{\gamma} + \left\{ \frac{(S_1 \Delta F_1 + S_2 \Delta F_2)}{RT} - \ln(X \cdot \frac{kT}{h}) \right\} \quad (4)$$

式(1)および(4)を対比すれば、heterogeneous processの見かけの活性エネルギー ΔF_a は次式で表わされることが分かる。

$$\Delta F_a = (S_1 \Delta F_1 + S_2 \Delta F_2)/S = (\Delta F_1 + \alpha \Delta F_2)/(1 + \alpha) \quad (5)$$

ここに、 $\alpha = S_2/S_1$ である。 $\alpha = 0$ のとき $\Delta F_a = \Delta F_1$, $\alpha = \infty$

のとき $\Delta F_a = \Delta F_2$ となり、ともにhomogeneous processとなる。試みに、2種のprocessを酸素の一次結合および水素結合によるものとし、 $\Delta F_1 = 30$ kcal/mol., $\Delta F_2 = 4$ kcal/mol. と仮定して ΔF_a と α の関係を図示するとFig. 5のごとくになる。以上のごとく現象を単純化して考えれば含水量の増加につれて ΔF が減少する傾向を定性的に説明しうられると思われるが、含水量と α の関係をすなわち S_1 と S_2 の分布状態が未知であるので定量的な議論は現状では困難である。最後に実験に労を惜まれなかった本学大学院学生長瀬恵一郎君に感謝します。

- 参考文献 1)伊藤・松井・両部：第7回工芸工学研究発表講演集5.1, PP 201~204
2) Mitchell et al. : A.S.C.E. Vol. 95, SM 5 PP 1219~1246
3) Andersland et al. : Géotechn. z. No. 1 PP 1~16

