

粘土のチキソトロピーについて

大阪大学工学部 正員 松井 保
同 大学院 学生員 伴野 勝則

□ まえがき

現在までの研究では、チキソトロピーは、(1)平板粒子の近接による結合力の増加、(2)粒子構造の変化による綿毛化構造の形成などにより、説明されている。しかし拡散二重層理論を理論的根拠とした概念⁽¹⁾では、定性的なメカニズムは説明できても定量的な議論はできない状態である。筆者らは、今まで土の粒子間接合の微視的機構をRate Process理論にもとづいて物性的に説明してきた。そこで本報告では、粘土のチキソトロピーのメカニズムを定量的に把握することを目的として、Rate Process理論にもとづく物性的立場からこの現象を説明しようと試みたので、その結果を報告する。

□ 実験方法

市販のベントナイトとカオリンを重量比で1対1に混合した試料を大型圧密装置により圧密1 kg/cm²で圧密する。その後、この試料をビニールシートに包み、手で練速すことにより練速した飽和粘土(含水比約119%)を作成する。予備実験により練速し時間は5分間とした。この試料を高さ8 cm、直径3.5 cmの内筒に成形したものを供試体とした。行、た試験は、非圧密非排水状態の三軸圧縮試験および二回荷重増分を有する三軸クリープ試験(DI試験)である。前者はせん断強度を求めるためのものであり、0日、1日、7日、14日、28日、56日放置後の6個の供試体について、それぞれひずみ速度1%/minで圧縮試験を行う。後者は活性化エネルギー ΔF および結合数 S を求めるためのものであり、2回のクリープ荷重の平均値は圧縮試験で得られたせん断強度の41~61%の範囲のものを用いた。1段階の荷重時間は60分である。DI試験によるせん断変形が微小(最大軸ひずみ約2%)であるので、DI試験に用いられた供試体はそのまま三軸セル内で1 kg/cm²の側圧で保存され、0日、1日、7日、14日、28日、56日放置後の6回のDI試験に連続的に用いられた。この方法は、同一供試体を用いて連続的にデータが得られるため、初期状態の供試体間の差異を考慮しなくてよいのが特長である。

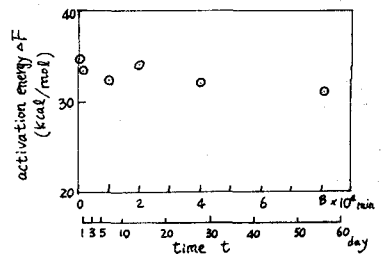
DI試験の結果より、ひずみ速度の対数とひずみの間の直線性を利用して、応力増分荷前後のひずみ速度を外挿すれば、次式により活性化エネルギー ΔF および結合数(流動単位数) S が求められる。

$$\Delta F = 2.303RT \left\{ \log \frac{\dot{\epsilon}_2}{\dot{\epsilon}_1} + \log \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \left(\frac{\tau_1}{\tau_2 - \tau_1} \right) - \log \dot{\epsilon}_1 \right\} \quad (1)$$

$$S = \frac{\lambda}{2.303 \times 2RT} \times \frac{\tau_2 - \tau_1}{\log(\dot{\epsilon}_2/\dot{\epsilon}_1)}$$

ニニに、 τ_1 および τ_2 は荷重前後のせん断応力、 $\dot{\epsilon}_1$ および $\dot{\epsilon}_2$ は荷重前後のひずみ速度、 T は絶対温度、 λ は流動単位平衡位置間の距離、 k_1 , k_2 , および R は定数である。

Fig. 1.



③ 実験結果および考察

実験結果として得られた ΔF , S およびせん断強度 T_f の経時変化をそれぞれFig 1, 2および3に示す。ただし, 1日, 7日, 14日, 28日放置後の T_f の値は, クリーフ試験に用いられた供試体と初期状態が幾分異なり, これらの20日の T_f を基準にして補正されたものである。これらの図より, 時間の経過とともに, ΔF はやや減少するが(ほぼ一定値)であり, S および T_f は増加することがわかる。Fig 4は T_f と S の関係を示す。 T_f と S の間にほぼ比例関係があることが確認でき, それらの比 T_f/S がなわち破壊時に流動単位1個当りに作用するせん断力 f_f は約 $1.24 \times 10^{-7}g$ になる。これらの結果は, 流動単位が微視的な基本機構であり, その数が時間の経過とともに増加するという概念によって, 巨視的なデキストロピーによる強度増加が説明できることを意味している。

Fig 5には, 時間 t と $t/(S - S_0)$ の関係が示されている。ここに, S_0 は0日における結合数である。図より, t と $t/(S - S_0)$ の間にほぼ直線関係があり, $(S - S_0)$ と t が次式の双曲線関係にあると思われる。

$$S - S_0 = t / (A^* + B^*t) \quad (2)$$

ここに A^* および B^* は定数である。この図の切片および勾配より A^* および B^* を求め, 式(2)を示すと, Fig 2の定曲線になり(ほぼ実験値に一致している。式(2)に $S = T_f/f_f$ を代入すると,

$$T_f = f_f \{ t / (A^* + B^*t) + S_0 \} \quad (3)$$

式(3)はFig 4に定曲線を示すような放物線となり, 近似的に実験値と一致している。また, T_f の終極値は $T_{full} = 114.6 g/cm^2$ と求められる。

以上は1種類の粘土に対する一例ではあるが, 粘土のデキストロピー現象がRate Process理論にもとづく物性論的立場から, 結合数の増加という粒子間の微視的構造の定量的な表現により説明できる可能性が示唆された。今後は種々の粘土に対して実験を行い, パラメータ A^* および B^* の物理的意味を明らかにする必要がある。

なお, 本研究に協力された元本学大学院生, 長瀬恵一郎君(現在建設省九州地建)に感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) J.K.Mitchell : Fundamental Aspects of Thixotropy in Soils, ASCE, Vol.86SM13 (1960)
- 2) 伊藤, 松井 : 粘土の流動機構に関する研究, 工学論文報告集, 236号 (1975)
- 3) 松井, 伊藤 : 粘土系を統一的流動機構に関する基礎的研究, 工学論文報告集, 242号 (1975)

Fig. 2.

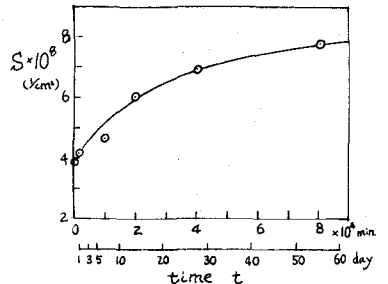


Fig. 3.

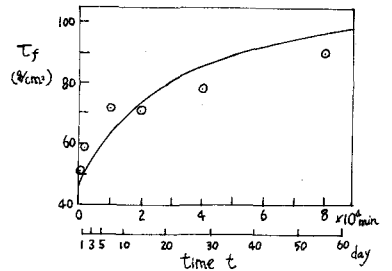


Fig. 4.

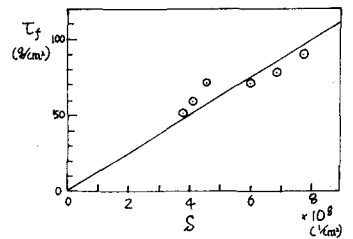


Fig. 5.

