

攪乱粘土の強度回復に関する一考察

金沢大 正 員 西田義親
金沢大 正 員 ○八木則男
金沢大 学生員 松村夏樹

1. まえがき

一般に粘土は攪乱されると強度は低下し、静置すれば再び強度を回復する。この現象はチクソトロピーと呼ばれ、含水比の変化による強度変化や化学結合物質によるセメンテーションが無視される場合には、可逆的な現象といえよう。この様な攪乱後の粘土の回復強度を知ることは、実際問題として極めて興味深い。本文はコロイド化学の見地より、攪乱後の強度の経時変化について若干の考察を行ったものである。

2. 粘土-水系のゲル転移機構に関する考察

コロイド溶液のゾル→ゲル転移に対する説明は次の3つの立場より成されている。すなわち、1)コロイド粒子間に形成されるリンク構造による強度の発現。2)分散媒自体の固化によるもの。3)粒子表面電荷に由来する遠達力を原因とするものである。さらに進んでMitchell(1960)は、攪乱された直後の粒子間力の不釣り合いが、その後の静置により元の安定した粒子配置にもどること、

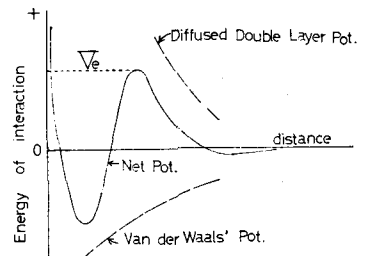


Fig-1 粒子間エネルギー分布曲線

つまり粒子が互に最小エネルギーポジションで安定すること、つまり強度が復元するとしている。¹⁾²⁾³⁾⁴⁾ 以上の諸説は、本質的には粒子間の相互作用を基とするものと、粒子-分散媒の相互作用を基とするものの2つに大別することができる。しかし実際には、これは同時に起っていると考えられるが、我々が扱おうとしている粘土-水系のチクソトロピーにおいては、吸着水の自由度の低下による影響を無視して、土粒子間のリンク構造(綿毛構造)の形成と破断のみで系全体の強度低下及び回復を論じて大過はないであろう。そこで粒子間相互の作用に基づく諸説に対し、著者らはコロイド粒子の凝集現象と凝結現象を考慮することで、具体的に統一的なチクソトロピー機構の概念を与えられるものとする。すなわち、凝集ないし凝結による粒子間のリンクが系全体に形成されると、或る大きさの強度が発現されるのであり、このリンクが攪乱により破壊されても再び粒子間の凝集、凝結によるリンクが形成され元の強度を回復すると考える。凝集、凝結は粒子間の衝突ないし接近がなければ起らないが、これは粒子の熱運動によってもたらされる。従って、凝結速度は粒子の熱運動の大きさと、Fig-1の V_e で示されているエネルギー障害(活性化エネルギー)の大きさで決まる。拡散2重層が十分に発達しており活性化エネルギーの高い粘土では凝結は起らないし、起っても極めて長時間を要するため我々が意識する範囲においては全く安定である。従ってモンモリロナイトの様に高活性な粘土は凝結による強度回復は少ない。無論、凝集ないし吸着水固化による強度の発現は存在する。

3. 回復強度の経時変化

チクソトロピックな挙動が粒子の凝結によるリンク構造の形成によるものと考えれば、強度の回復はコロイド粒子の凝結現象で論じられよう。そこで球形コロイド粒子が熱運動により互に接近し、

或る確率を持って Fig-1 で示されている活性化エネルギー E_a を飛び越えて凝結するものとし、初期の粒子濃度を n_0 (粒子数/cm³) とすれば t 時間後の濃度 n は次式で与えられる。^{5) 6) 7)}

$$n = n_0 (n_0 q t + 1)^{-1} \quad \text{ここに} \quad q = \frac{4}{3} \frac{k T}{\eta} \exp\left(-\frac{E_a}{k T}\right)$$

k : ボルツマン定数

T : 分散液絶対温度 η : 分散媒粘性係数 E_a : 活性化エネルギー

さて粒子数の減少は凝結点数の増加を示すから、 t 時間後の結合点数は $(n_0 - n)$ に比例するはずである。この結合点の成長がチクソトロピックな強度発現の原因と考えるのが著者の立場であり、回復強度はこの結合点数に比例するものと仮定すれば、結局攪乱粘土の強度回復比 $R (= \frac{\tau_{\text{Thixotropy}}}{\tau_{\text{Remold}}})$ は次式で与えられることができる。

$$R = A \{1 - (Bt + 1)^{-1}\} + 1$$

$$\text{ここに} \quad A = \alpha n_0 \cdot \tau_{\text{Remold}}^{-1} \quad B = q$$

α : 結合点1個が系に与える強度

A , B は粘土-水系の物理化学的なパラメーターの関数として示される定数であるが、実際の応用には実験より決定すればよい。上式を図示したのが Fig-3 であり Mitchell (1960) の実験カーブ (Fig-4) と極めてよい一致がみられる。すなわち、Fig-4 において $t = 1$, T (days) で $R = 1.70$, 2.45 が読み取られ A , B を決定すると、 $A = 1.75$ $B = 0.633$ となる。この数値を用いて 28 日目の R 値を計算すれば $R_{28} = 2.66$ となる。一方、実測 R_{28} 値は約 2.7 である。これは軟弱層中の摩擦杭の支持力変化を予測するに十分な精度と思われる。回復速度は温度や吸着イオン濃度、価数及び粒子濃度すなわち含水比の関数となるが、実験中のデータについては講演時に述べる。

4. 参考及び引用文献

- 1) Eirich (1960): *Rheology*, Volume III, Academic Press.
- 2) J. K. Mitchell (1960): *Fundamental Aspects of Thixotropy in Soils*, Proc. A.S.C.E., June.
- 3) C. M. McDowell & other (1931): *Viscosity & Rigidity in Suspensions of Fine Particles*, Proc. Roy. Soc. of London, Vol. 131.
- 4) F. L. Usher (1929): *A Mechanism of Gelatinisation*, Proc. Roy. Soc. of London, A 125.
- 5) 後藤廉平, 他共訳: コロイド化学 (M. J. Vold & R. D. Vold 共筆), 共立出版.
- 6) 渡辺昌訳: コロイド化学 (A. Scheludko 著), 共立出版.
- 7) 桜井俊男, 他編: 応用界面化学, 朝倉書店.

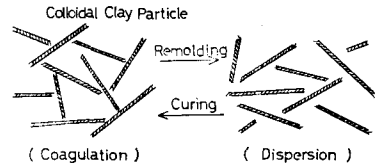


Fig-2 攪乱粘土構造模式図

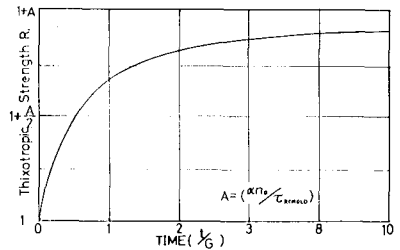


Fig-3 強度回復比-時間理論曲線

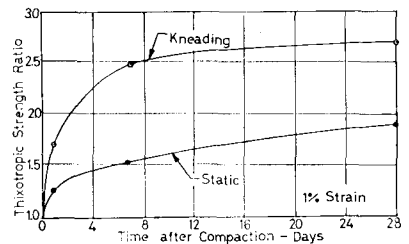


Fig-4 締固めたシルト質粘土(一軸圧縮)強度回復比-時間曲線 J. K. Mitchell (1960)