

関東ロームのシキソトロピー現象の鉱物学的解釈

防衛大学校 宗石英明・正垣孝晴

(財)地域地盤環境研究所 北田奈緒子

(株)竹中工務店技術研究所 金田一広

1. はじめに

土工の難質材料である関東ロームは、シキソトロピーによる強度回復が知られている¹⁾が、設計・施工の中で、その量を積極的に見積もることは行われていない。シキソトロピーによる強度発現のメカニズムが明確になっていないことに加え、強度発現の定量的評価が行えないことが大きな理由である。関東ロームの強度・圧密特性に及ぼすシキソトロピー現象の解明を目指して、その実態²⁾を明らかにして、一次鉱物の変化に着目した検討を行ってきた³⁾がメカニズムの解明には至っていない。本稿では、新規ロームの主成分と考えられているアロフェンが(加水)ハロイサイトに変化する過程に着目して、EPMA(Electron Probe Microanalyzer)のEDS(エネルギー分散)法による成分分析の変化から、関東ロームの強度・圧密特性のシキソトロピー現象のメカニズムを検討する。

2. 供試土と検討方法

供試土は一連の検討^{2),3)}で用いている Dam と NDA ロームである。塑性指数 I_p とブロックサンプリングで採取した試料の一軸圧縮強さ q_u は、両ロームともに 38, 130kPa 程度である。含水比 w の変化がないように練り返した試料は、養生中の乾燥による w の変化がないようにパラフィンコーティングを施して 17°C の恒温室で静置養生した。Dam ロームはダム天端部で 1m の深さから採取したが、 w 、湿潤密度、粒度特性、 q_u 等の土質データは深さに依存していなかった。したがって、Dam 試料に関してもダム堤体の現状の w 下のシキソトロピー効果を検討することにする。

EDS 分析では、Si, Al, Fe, Ca, Mg 等を定量分析した。二次電子像の撮影に加え、点分析は基質(マトリックス)を代表する場所から無策略に 5 点程抽出して測定した。一軸圧縮試験 UCT と段階載荷圧密試験 IL の供試体寸法は、それぞれ直径 $d=15\text{mm}$ と高さ $h=35\text{mm}$, $d=30\text{mm}$ と $h=10\text{mm}$ である。

3. 各元素の酸化物の量に及ぼす養生期間の影響

関東ロームは火山ガラスを含む凝灰質物質を母材とする。雨水や地下水によって火山ガラスや斜長石の表面が酸化鉄で分解され、Si, Al, Fe, Mg 等がイオンとなって溶脱する過程で Si と Al が水と結合して非晶質やそれに近い粘土鉱物のアロフェンが形成される。続成作用や風化作用に伴う化学変化によって、アロフェンは加水ハロイサイトとなり、ハロイサイト(一次鉱物)に変化して安定した結晶になる。

分析した元素を地質学的分析の慣例に従い酸化物で検討する。NDA ロームの養生 10 日の測定点の 1 つを例示すると $\text{SiO}_2(24\%)$, $\text{Al}_2\text{O}_3(22\%)$, $\text{FeO}(3\%)$, $\text{K}_2\text{O}(2\%)$, $\text{MgO}(1\%)$, 他の酸化物は 0% であり、関東ロームであることを反映して、 SiO_2 と Al_2O_3 が主要構成酸化物であった。Dam を含む他の養生期間においてもこの傾向は同様である。

図-1 と 2 は、 SiO_2 と Al_2O_3 の含有量を養生期間に対してプロットしている。これらの図には養生期間の平均値を結ぶ線も示している。各プロットは測定点に含まれる構成酸化物の変動を反映してばらつ

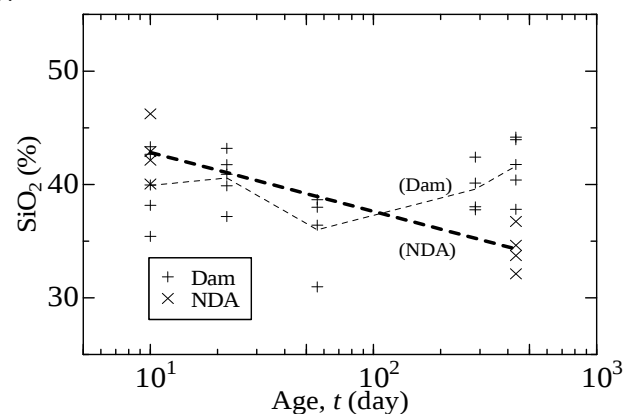


図-1 SiO_2 の養生変化

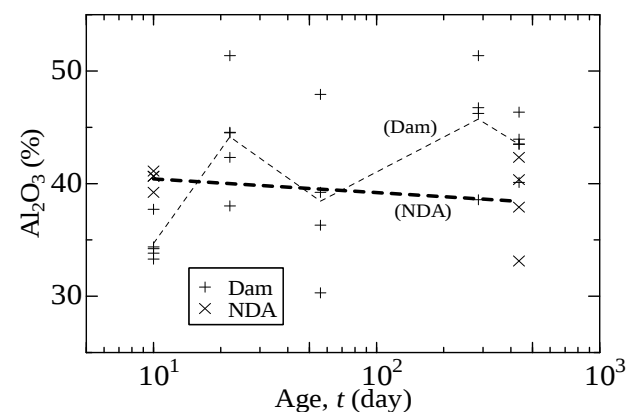


図-2 Al_2O_3 の養生変化

キーワード 関東ローム, シキソトロピー, 粘土鉱物, 一軸圧縮強さ

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL 046-841-3810

くが、NDA の平均値は養生期間とともに小さくなり、Dam の Al_2O_3 は逆に大きくなる傾向がある。

Al_2O_3 に対する SiO_2 の比は、珪ばん比 R_r と呼ばれている。アロフェンは、通常 R_r が 1~2 の範囲のものを指すことが多い。須藤⁴⁾ はアロフェンとハロイサイトの R_r として 1.27 と 1.13 を示し、ハロイサイトの R_r が小さいことを報告している。また、Deer ら⁵⁾ もハロイサイトの R_r として 1.14 を報告している。NDA と Dam ロームの R_r を養生期間に対して図-3 にプロットしている。 SiO_2 と Al_2O_3 の変動を反映して R_r もばらつくが、平均値を結ぶ線は右下がりであり、 R_r は養生とともに低下してアロフェンからハロイサイトへの結晶化が進んでいると推察される。

4. ハロイサイトへの結晶化が強度・圧密特性に及ぼす影響

図-4 は、 R_r と一軸圧縮強さ q_u の平均値 $\bar{q}_u$ の関係である。 $\bar{q}_u$ は既報²⁾ に示す結果を用いている。 R_r の低下によって q_u が大きくなる傾向が読み取れる。アロフェンがハロイサイトに結晶化することによって R_r が低下するとの立場に立てば、シキソトロピーによる強度発現はこの結晶化が主因と判断される。養生試料はパラフィンコーティングが施され、一定温度・含水比下の閉鎖系である。これらの酸化物の総量変化は無いが、試料の練り返しによって均質になった基質部が、養生による結晶化等による物質移動によって R_r の変化に帰結していることも考えられる。また、養生による微視構造の変化も強度増加への寄与が大きいと推察されるが²⁾、この微視構造の変化にも結晶化が影響していると推察される。

練返し強度 S_R に対する養生後の強度 S_A をシキソトロピー強度比 R_t として Mitchell⁶⁾ が定義している。 R_t を養生期間に対して図-5 にプロットした。同図にはカオリンとベントナイトの結果⁶⁾ も実線と破線で示している。メキシコ粘土(Δ)⁷⁾ は同じ養生期間に対してカオリンとベントナイトの中間的な R_t を有しているが、関東ロームの R_t はこれらの粘土より大きい。Dam の R_t は同じ養生期間に対して NDA のそれより大きい。Dam の R_t が小さく結晶化が進んだと考えると図-4 と 5 の強度の結果とも整合する。

5. おわりに

関東ロームは SiO_2 と Al_2O_3 が主要構成酸化物であり、養生とともに Al_2O_3 に対する SiO_2 の比は減少した。シキソトロピーによる強度発現は、結晶化等による物質移動や微視構造の変化が複雑に影響していると推察された。

参考文献

- 1) 道路公団：設計要領第一集 土工編, 2008.
- 2) 正垣・吉津・長坂・金田：関東ロームのシキソトロピーによる強度・圧密特性の変化, 地盤工学会誌, Vol.57, No.11, pp.24-26, 2009.
- 3) 宗石・正垣・金田・北田：生石灰を混合した関東ロームの強度特性と鉱物変化に及ぼす養生期間の影響, 第6回地盤工学会関東支部発表会, pp.200-205, 2009.
- 4) 須藤：粘土鉱物学, 岩波書店, 1974.
- 5) Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussman, J., Rock-forming minerals, pp.202-203, Longmans.
- 6) Mitchell, J. K.: Fundamental aspects of thixotropy in soils, ASCE, SM3, pp.19-52, 1960.
- 7) Zeevaert, L.: An investigation of the engineering characteristics of the volcanic lacustrine clay deposits beneath Mexico City, Ph.D, thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, 1949.

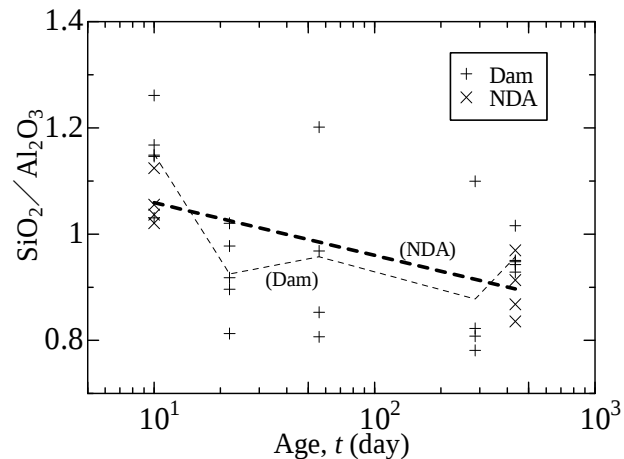


図-3 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ の養生変化

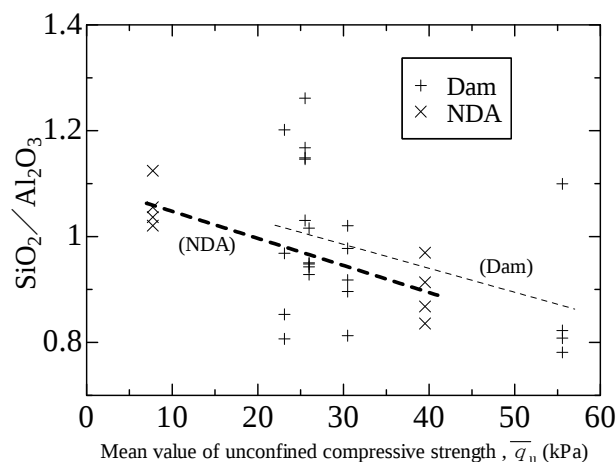


図-4 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ と $\bar{q}_u$ の関係

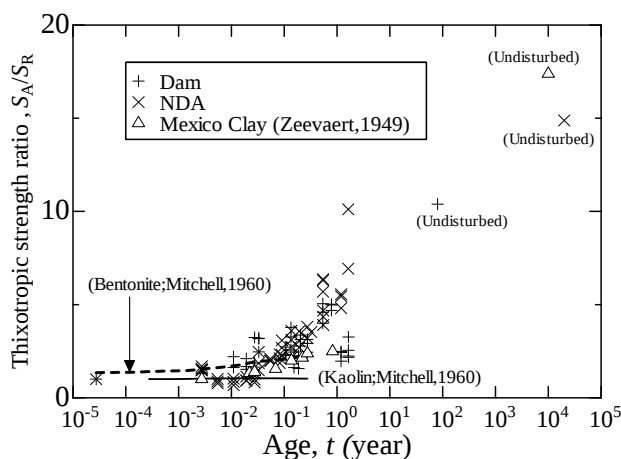


図-5 シキソトロピー強度比の養生変化