

# Na ベントナイトの液性限界・塑性限界に及ぼす水質の影響（その1）

信州大学大学院 学生会員 ○山崎晴香  
 信州大学工学部 正会員 梅崎健夫  
 新潟大学災害研 非会員 渡部直喜  
 信州大学工学部 正会員 河村 隆

**1. はじめに** 地すべり地のすべり面粘土には、膨潤性粘土鉱物（モンモリロナイトやハロイサイトなど）が多く含まれている<sup>1)</sup>。第三紀層地すべり地における地下水は、すべり面粘土の土質特性に大きな影響を与え、古くからしばしば高濃度の NaCl 型地下水が湧出することが知られている<sup>2)</sup>。図-1 に示すように塩水は、Na モンモリロナイトの液性限界  $w_L$  や塑性指数  $I_p$  を減少させることが報告されている<sup>3)</sup>。

本研究では、イオンの種類や濃度が異なる場合の液性限界・塑性限界を詳細に検討した。さらに、STEM（走査透過電子顕微鏡）、TEM（透過電子顕微鏡）による微視的観察も行った。

## 2. 試験概要

### 2-1. 試料の物理的性質

試料は、関東ベントナイト鉱業（株）製の Na ベントナイト（新潟県三谷村産、モンモリロナイトの含有率 98%）である。主な物理的性質は、土粒子密度  $\rho_s = 2.487 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ 、液性限界  $w_L = 192.3 \text{ (%)}$ 、塑性限界  $w_p = 38.8 \text{ (%)}$ 、塑性指数  $I_p = 153.5$ 、粘土分含有率  $CF = 89.0 \text{ (%)}$  である。

### 2-2. 試験概要

液性限界・塑性限界試験は、JIS A 1205 に従い試験を行った。ただし、純水だけでなく NaCl、NaHCO<sub>3</sub>、KCl、NH<sub>4</sub>Cl、CaCl<sub>2</sub> の水溶液（0.001~1(N)）を使用した。各種薬品は、和光純薬（株）製の特級薬品を使用した。また、水溶液の作製に際しては、メスフラスコを用いて水溶液を精度よく作製し、スターラーを用いて 1200 回転/分の速度で 30 分以上撹拌したものを使用している。

STEM と TEM での観察に際しては、日本電子（株）製の JEM-2100F を使用した。使用した STEM と TEM の分解能は、粒子像 0.3nm 以下、格子像 0.1nm である。観察するための試料は、純水および NaCl、NaHCO<sub>3</sub>、CaCl<sub>2</sub>（0.001~1(N)）の水溶液に対する液性限界の含水比に調製した試料をグリットに塗布し、自然乾燥させて作製した。

## 3. 試験結果及び考察

Na ベントナイトの液性限界  $w_L$ ・塑性限界  $w_p$  および活性度  $A$  と NaCl、NaHCO<sub>3</sub>、KCl、NH<sub>4</sub>Cl、CaCl<sub>2</sub> 水溶液の濃度（0.001~1(N)）の関係を示す。

図-2 に示すように、液性限界  $w_L$  は、イオンの種類や価数が異なる場合も統一かつ連続的に 1 本の曲線で近似できる。求めた近似曲線は、

$$w_L = 198.4 - \frac{C - 0.01}{8.0 \times 10^{-4} + 7.3 \times 10^{-3}(C - 0.01)} \quad (1)$$

で、液性限界  $w_L/w_{L0}$  は 4 割程度まで低下する。液性限界  $w_L/w_{L0}$  の変曲点は 0.2(N) 程度で  $w_L/w_{L0} \doteq 0.5$ 、最大曲率点は 0.3(N) 程度で  $w_L/w_{L0} \doteq 0.55$  である。なお、地すべり地の地下水の NaCl、NaHCO<sub>3</sub> の濃度は 0~0.1(N) 程度である（図-2 の赤点

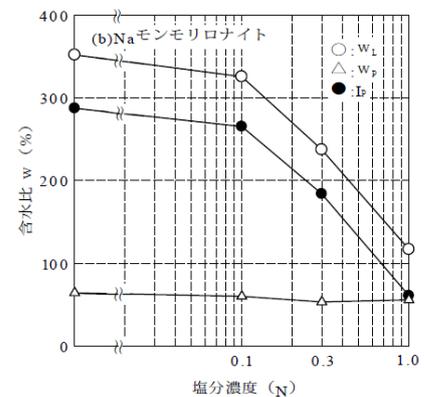


図-1 塩分濃度とコンシステンシー限界の関係（鈴木ほか，2003）

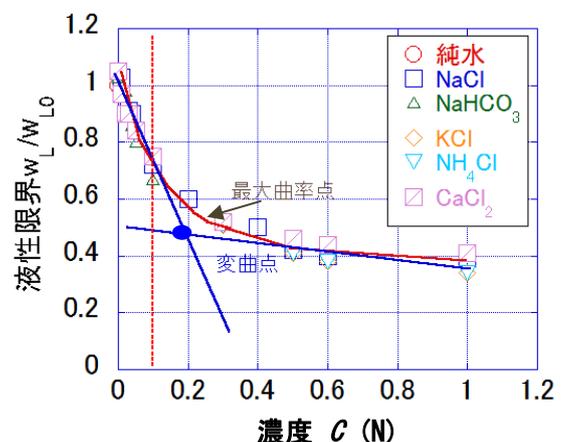


図-2 水溶液の濃度と液性限界の関係

線). また, 液性限界  $w_L/w_{L0}$  は 0.001 (N) のとき 1 を越えるものもあるが, 原因は不明である.

図-3 に示すように, 液性限界  $w_L/w_{L0}$  と濃度  $N$  の関係はほぼ一意的である. しかし, 塑性限界  $w_p/w_{p0}$  では 0.01~0.1 (N) において 1.18 まで上昇するものもあり,  $\pm 0.15$  程度のバラつきが確認できる. それ以外は概略的には, 塑性限界  $w_p/w_{p0}$  はイオンの種類や濃度が異なる場合もほぼ一定である.

図-4 に示すように活性度  $A$  は, 液性限界  $w_L$  と同様の 1 本の曲線で近似できる. 求めた近似曲線は,

$$A = 1.8 - \frac{C-0.01}{6.6 \times 10^{-1} + 7.9 \times 10^{-2}(C-0.01)} \quad (2)$$

である. 活性度  $A$  の変曲点は 0.2 (N) で  $A=0.5$  程度, 最大曲率点は 0.3 (N) で  $A=0.7$  程度である. また, 活性度  $A$  は純水るとき 1.7 と最も高く, 濃度の上昇に伴い急激に減少し, 0.5 (N) 以上では  $A=0.5$  程度でほぼ一定となる. このことは, 純水では活性粘土 ( $A=1.25$  以上) であるが, 0.2 (N) 以上は非活性粘土 ( $A=0.75$  未満) になるといえる. これらは, 粘土粒子がイオンを取り込むことによって, 他の物質を吸着することや化学的に結合する強さが弱まるため起きている現象であると推定される.

写真-1, 2 に STEM, TEM で観察した結果の一例を示す. 0.1 (N) では団粒化は顕著ではないが, 0.3 (N) では顕著である. 今後, 0.2 (N) でも検討が必要である.

**4. まとめ** 得られた知見は以下の通りである.

- 1) 液性限界  $w_L/w_{L0}$  は, イオンの種類や価数が異なる場合も統一かつ連続的に 1 本の曲線で近似できる (式 1).
- 2) 塑性限界  $w_p/w_{p0}$  は, 概略的には, イオンの種類や水溶液の濃度が異なる場合もほぼ一定である.
- 3) 活性度  $A$  は, 液性限界  $w_L$  と同様の 1 本の曲線で近似できる (式 2). 純水では活性粘土であるが, 0.2 (N) 以上は非活性粘土になる.
- 4) STEM, TEM を用いた定性的な観察において, 0.1 (N) では団粒化は顕著ではないが, 0.3 (N) では顕著である.

**参考文献** 1) 松尾新一郎・嘉門雅史・富田武満: 地すべりの物理化学的方法による予知とその対策, 土と基礎, Vol. 28, No. 2, pp. 45-52, 1980. 2) 佐藤修: 地すべり地の陸水の水質, 1. 虫亀・高倉地すべり, 新潟大学積雪地域災害研究センター一年報, 3号, pp. 47-58, 1981. 3) 鈴木素之・山本哲朗・笹西孝行・菅原真由美: 塩分濃度が異なる純粋粘土鉱物の残留強度, 山口大学工学部研究報告, 54(1), pp. 11-15, 2003.

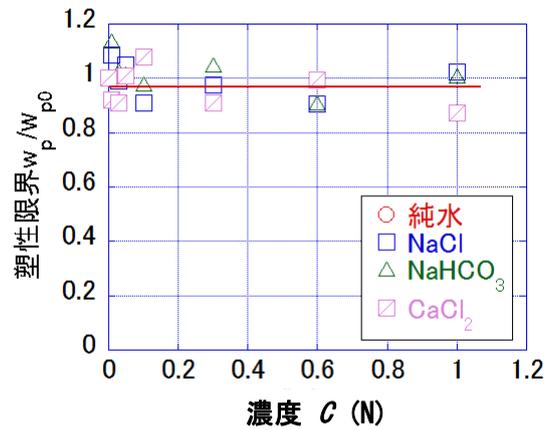


図-3 水溶液の濃度と塑性限界の関係

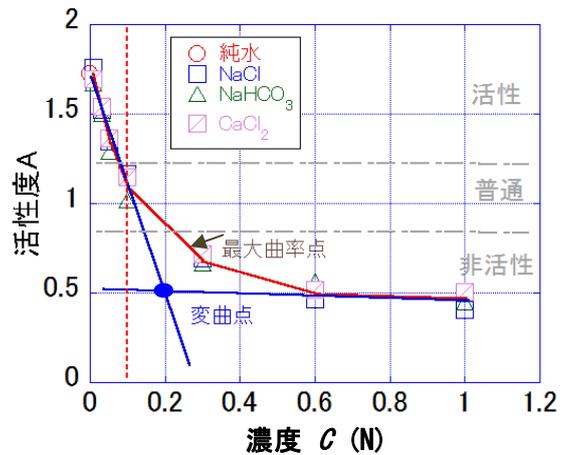


図-4 水溶液の濃度と活性度の関係



写真-1 STEM を用いた観察結果の一例 (左: 純水, 右: NaCl0.3 (N))

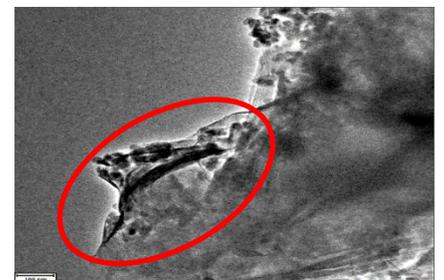


写真-2 TEM を用いた観察結果の一例 (上: 純水, 下: NaCl0.3 (N))