

陽イオン濃度調節水溶液を用いた地すべり粘土の強度・鉱物特性

(株) 扶養コンサルタント

(正) ○ 藤田 直丈

愛媛大学大学院理工学研究科

(正) バンダリ ネットラ P.

愛媛大学工学部

(正) 中島 淳子

1. 研究背景と目的

現在、地すべりの対策として用いられているのは、大きく分けて抑制工と抑止工の2つである。しかし、両方法とも共通して費用面、工期、メンテナンス等の問題点が挙げられる。そこで、粘土鉱物のイオン交換性に着目し、比較的安価で、なおかつ簡易・簡便な地すべり対策法に向けた研究を行った。粘土鉱物の表面は、負の電荷を保持しているため、その電荷と反対符号を持つ陽イオンの吸着・交換が起こることが知られている。すなわち、地すべり地の粘土に人工的にイオン交換をさせることは可能であり、そのイオン交換による強度特性に与える影響を評価することができれば、化学的な対策法の開発が可能になると考えた。本研究では、西の谷地すべり地の粘土を試料とし、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} の各陽イオン交換が粘土鉱物の強度特性、鉱物特性に与える影響について明らかにすることを目的とした。

2. 研究方法

本研究では、リングせん断試験を行うことで強度特性の検討を行い、X線回折試験を行うことで、鉱物特性の検討を行った。交換する陽イオンとして、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} を用いるため、 CaCl_2 水溶液、 MgCl_2 水溶液、 KCl 水溶液を使用した。また、それぞれの水溶液の濃度は、1000 mg/L、6000 mg/L、12000mg/Lの3パターンに調整した。試料が少なかつたため、イオンの吸着順を定め試験を行った。オリジナルの試料に Ca^{2+} を吸着させ、次に Mg^{2+} を吸着させることで同価数間での比較を、その次に K^{+} を吸着させることで異価数間での比較が行えるように設定した。また濃度調節をした CaCl_2 水溶液、 MgCl_2 水溶液もしくは KCl 水溶液を120ml、粘土を200gの割合で混ぜ、2日、7日と日数を変え試料作成をした。その試料を圧密した際に浮き上がってきた溶液をイオンクロマトグラフ試験することにより、各陽イオンの吸着量を算出し、確認を行った。この時、圧密後の試料はリングせん断試験をせん断速度0.16mm/min、垂直応力100kPa、排水せん断試験で行い、図1に示す残留強度と内部摩擦角で強度特性の評価を行う。内部摩擦角 ϕ_r は次式で算出する。

$$\phi_r = \tan^{-1} \frac{\tau_r}{\sigma} \dots\dots\dots (1)$$

τ_r : 残留せん断応力, σ : 垂直応力, 粘着力 $C=0$

残留状態確認後、リングせん断試験を終了し、その試料を炉乾燥させ、含水比を0の状態にして、X線回折試験により鉱物の変化を検討した。その際の指標として、X線回折試験のピーク回折強度・結晶化度を用いる。ピーク回折強度は、図1に示すような鉱物のX線回折強度の最大値のことであり、今回 $2\theta=6^\circ$ 付近にピークを示すクロライト・スメクタイトの混合性鉱物に着目した。結晶化度は、図1における結晶質物質と非晶質物質の比較であり、結晶質・非晶質の面積に対する結晶質の面積の割合で、次式で表すことができる。

$$X = \frac{I_c}{I_c + I_a} \dots\dots\dots (2)$$

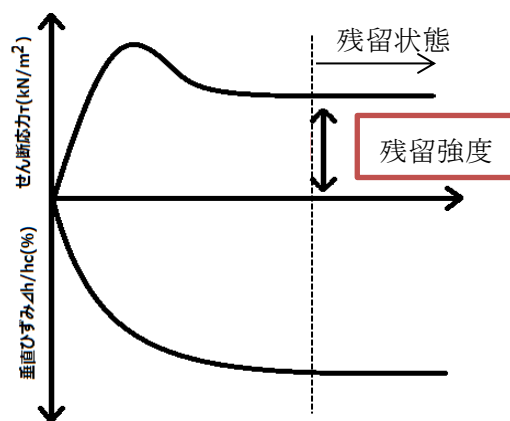


図1 残留状態模式図

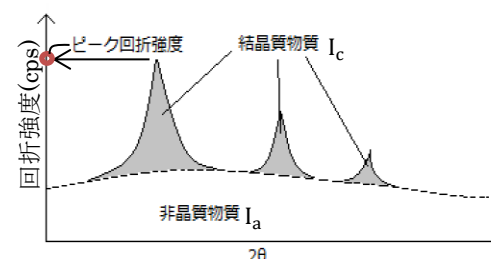


図2 ピーク回折強度・結晶化度算出模式図

一般に、ピーク回折強度、結晶化度が大きいものは構造が完全で綺麗であるため、摩擦抵抗が大きい。

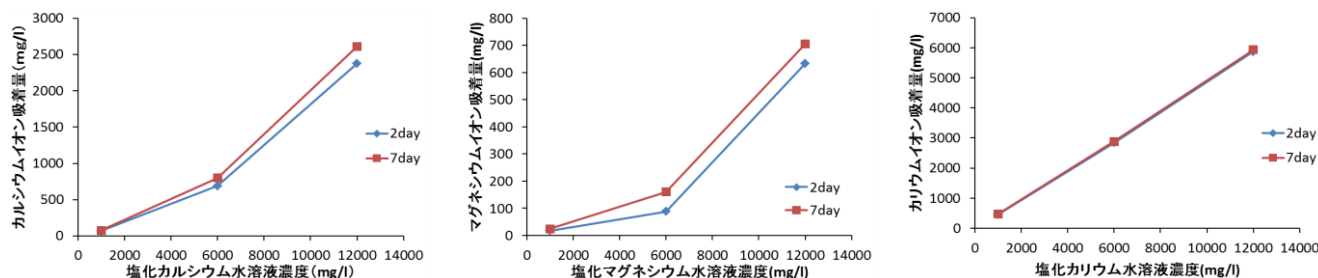


図 3 各イオン水溶液におけるイオンの吸着量

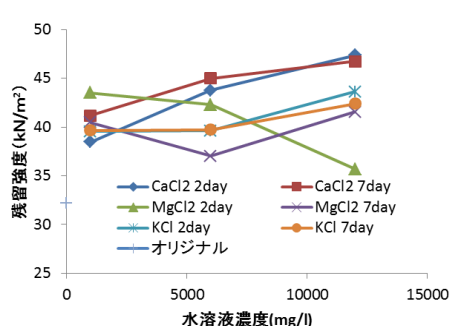


図 4 各水溶液濃度に伴う残留強度

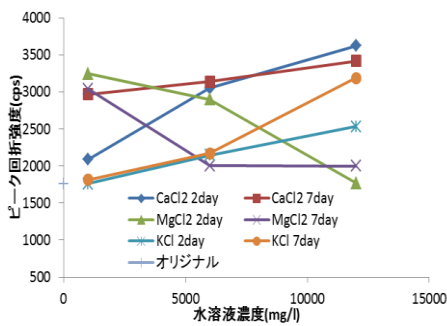


図 5 各水溶液濃度に伴うピーク回折強

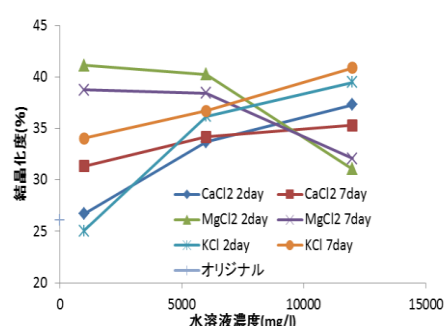


図 6 各水溶液濃度に伴う結晶化度

3. 実験結果

【イオンクロマトグラフ試験】図 3 の結果から CaCl₂ 水溶液、MgCl₂ 水溶液、KCl 水溶液ともに、水溶液の濃度が高くなるにつれ、粘土に吸着する各イオンの濃度も高くなることを確認できる。

【リングせん断試験】図 4 は各水溶液を用いた時の残留強度の変化を示している。CaCl₂ 水溶液、KCl 水溶液では水溶液濃度が高くなるにつれ、残留強度が増加している傾向が見える。MgCl₂ 水溶液を見ると、吸着するイオン濃度が高くなると残留強度が小さくなっていく傾向が見えた。

【X 回折試験】図 5 には各水溶液を入れた際のピーク強度を示している。ピーク強度においても、CaCl₂ 水溶液、KCl 水溶液では水溶液濃度が高くなるにつれ、ピーク回折強度が増加している傾向が見え、MgCl₂ 水溶液では濃度増加に伴い、ピーク回折強度の減少傾向が見えた。図 6 は各水溶液を入れた際の結晶化度を示している。結晶化度も前の 2 試験と同様に、水溶液の濃度が高くなるにつれ CaCl₂ 水溶液、KCl 水溶液では結晶化度は増加し、MgCl₂ 水溶液では結晶化度は減少することが確認できた。

4. まとめ

Ca²⁺の吸着により強度・鉱物構造がともに良くなった。また、Ca 吸着試料における Mg²⁺の吸着では、強度は低下し、鉱物構造は悪くなる。そして、Mg 吸着試料における K⁺の吸着では、強度・鉱物構造がよくなるが、Ca²⁺吸着時ほどの結果は見られなかった。Ca²⁺吸着時は、単位層表面の負電荷と Ca²⁺のクーロン力により粒子間の結合力が高まることが考えられる。Mg²⁺吸着時は、Ca²⁺と比べ、価数は等しいが分子量が小さいため、水和力が増加したことが考えられる。K⁺吸着時は K⁺とイオン半径がスメクタイト構造の表面酸素六員環に填まる大きさで、K⁺が固定化されて安定な構造になることが考えられる。このことにより、Ca²⁺の吸着交換が Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺の中で最も効率がよく、地すべりの安定に効果的ではないかと考えられる。

参考文献

- 1) 富田武満：地すべりの物理化学的調査と対策に関する研究 京都大学（1982 年 3 月 23 日）
- 2) 鬼形正伸：ベントナイトの特性とその応用