X 線小角散乱法による種々の粘土鉱物のコンシステンシー特性比較

岩手大学大学院　学生会員　○齊藤　康明
港湾空港技術研究所　正会員　田中　政典
岩手大学　正会員　山川　裕美恵
岩手大学　正会員　大河原　正文

１．はじめに

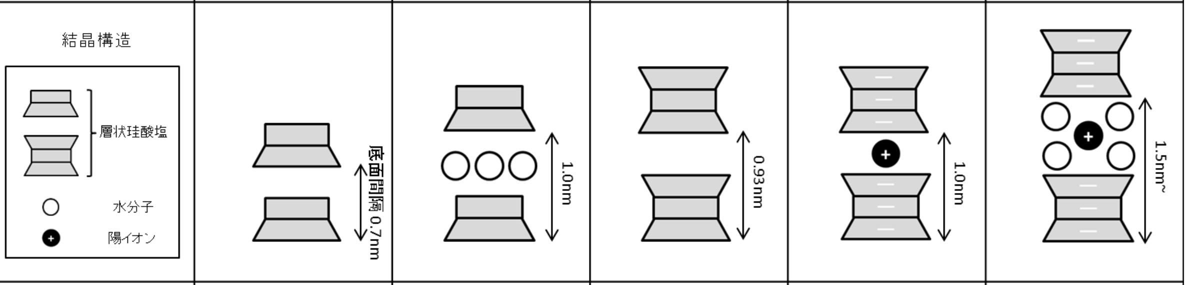
土は含水量の多少によって，固体状・半固体状・塑性状・液体状と状態を変化する。このような状態変化にともない，外力に対する抵抗性が変化する性質のことをコンシステンシーという。また，状態の変化点における含水比はコンシステンシー限界（収縮限界 w_S・塑性限界 w_P・液性限界 w_L）とよばれ，土質力学における重要な物性値のひとつである。しかし，なぜ含水量の多少によって土が状態を変化するのか，すなわち，コンシステンシーのメカニズムは未解明である。このメカニズムの解明には，土の主要構成鉱物である粘土鉱物と水との相互作用が鍵となる。

粘土鉱物の多くはシート状の層状珪酸塩が積層した結晶構造をもち，通常は μm オーダーの微細な板状の粒子として存在する。粘土鉱物は粒子外部（表面）および内部（層間）において水と作用して結晶構造を変化する。つまり，結晶構造を測定することで粘土鉱物と水の相互作用に関する情報を得ることができる。本研究では，X 線小角散乱法を用いて連続的に含水比を調整した種々の粘土鉱物の結晶構造（底面間隔・配向度）を測定し，含水比と結晶構造の関係を明らかとした。さらにその関係を鉱物種ごとに比較した。

２．試料

実験には，カオリナイト・ハロイサイト・パイロフィライト・セリサイト・モンモリロナイト（Na 型/Ca 型）の６種類の粘土鉱物を用いた。あらかじめ，JIS A 1205「土の液性限界・塑性限界試験方法」にしたがって，各試料の液性限界 w_L と塑性限界 w_P を求め，これをもとに測定試料の含水比を調整した。

表１．試料の粘土鉱物とコンシステンシー限界

試料名（製品名）	カオリナイト（関白）	ハロイサイト	パイロフィライト（勝光山）	劈開セリサイト（鍋山）	クニピアF / クニボンド
鉱物名	カオリナイト	ハロイサイト	パイロフィライト	セリサイト	モンモリロナイト（Na型/Ca型）
層電荷	0	0	0	0.6 – 1.2	0.2 – 0.6
結晶構造 					
コンシステンシー限界 (w_P / w_L)	31.0 / 49.8	38.4 / 67.4	23.8 / 50.4	44.4 / 109.3	クニピアF : 67.9 / 964.7 クニボンド : 46.9 / 167.0

３．X 線小角散乱実験

実験は兵庫県にある大型放射光施設 SPring-8 内にある BL40B2 を用いて行った。強力な X 線源を用いることで，試料表面のみならず内部の情報も短時間で得ることができる。また X 線小角散乱法では，通常の X 線回折法では測定できない 10nm 以上の結晶構造も測定することができる。

キーワード：粘土鉱物，コンシステンシー，膨潤，X 線小角散乱
連絡先：岩手県盛岡市上田四丁目 3-5

４．結果と考察

図１に含水比 w (%)と底面間隔 d (nm)の関係を示す。モンモリロナイトは含水比が増加すると，膨潤に伴う底面間隔の増加がみられた。これは層間に水が取り込まれることによって起きる。両方のモンモリロナイトにみられる d < 2.2nm の膨潤を結晶性膨潤，Na 型モンモリロナイトの塑性状でみられる d > 2.2nm の膨潤を浸透性膨潤という [1]。一方，それ以外の粘土鉱物では底面間隔の変化はみられなかった。粒子表面のみで水と作用する粘土鉱物に比べて，層間に水を取り込むことができる膨潤性粘土鉱物は液性限界が比較的大きい。

図２に含水比 w (%)と配向度の関係を示す。セリサイトとモンモリロナイトは塑性状付近において粒子の配向度が高まることがわかる。一方，その他の粘土鉱物でこのような配向度の変化はみられなかった。粒子の配向がみられる粘土鉱物は液性限界が比較的大きい。

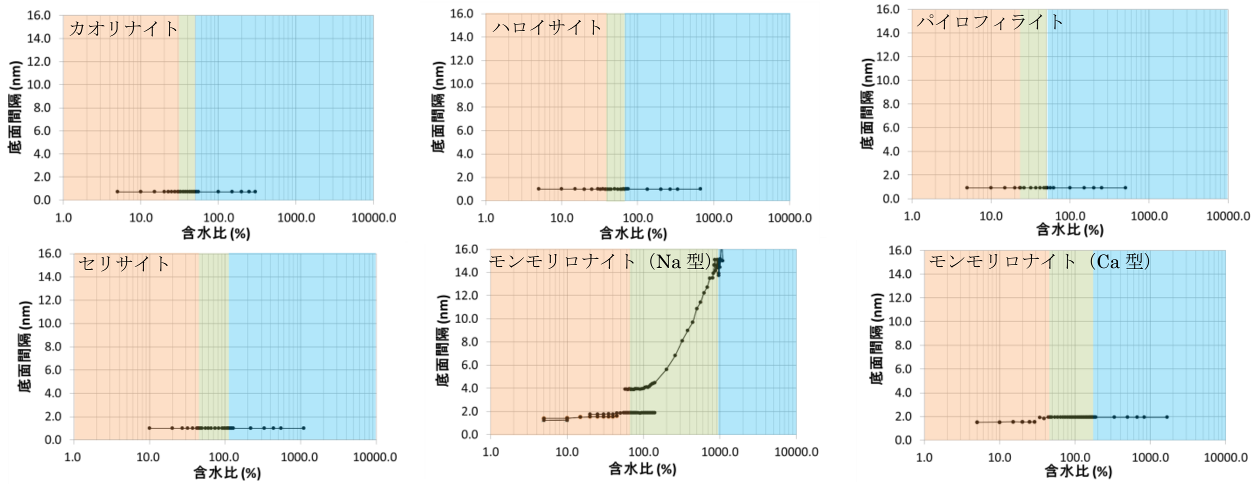


図１．含水比と底面間隔の関係（オレンジ：固体状，緑：塑性状，青：液体状）

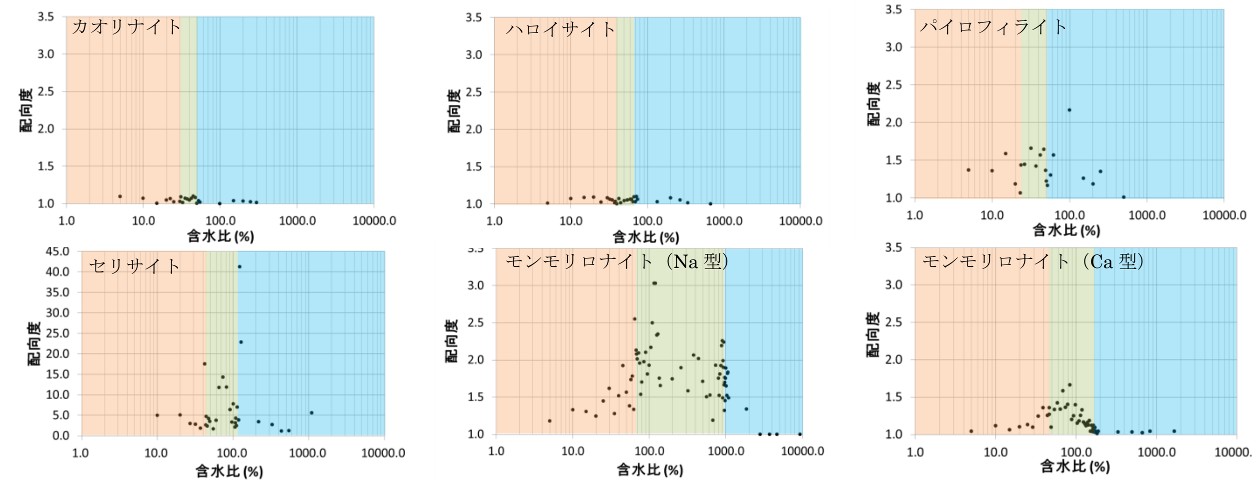


図２．含水比と配向度の関係（オレンジ：固体状，緑：塑性状，青：液体状）

５．まとめ

X 線小角散乱法により含水比と種々の粘土鉱物の結晶構造の関係を測定し，コンシステンシー特性の比較を行った。モンモリロナイトなどの結晶構造に変化がみられる粘土鉱物は，コンシステンシー限界が比較的大きい。特に著しい膨潤性を示す Na 型モンモリロナイトは液性限界がきわめて大きい。一方，カオリナイトなどの結晶構造が変化しない粘土鉱物は，コンシステンシー限界が比較的小さい。

[参考文献]

1) Sudhakar M. Rao, T. Thyagaraj , P. Raghuveer Rao (2013) Crystalline and Osmotic Swelling of an Expansive Clay Inundated with Sodium Chloride Solutions, Geotechnical and Geological Engineering, 31(4), pp 1399–1404