

SPring8 による粘土のコンシステンシー特性のメカニズムに関する研究

岩 手 大 学	学 生 会 員	○下河原佑太
岩 手 大 学	学 生 会 員	山 口 潤
岩手大学大学院	学 生 会 員	齋 野 崇
岩 手 大 学	正 会 員	大河原正文

1. はじめに

コンシステンシー特性は、土と水との相互作用による土の物理的特性として広く知られている。しかし、なぜ含水比の変化に伴い土が固体（～半固体）、塑性体、液体へと状態を大きく変化させるのか、そのメカニズムについてはまだ解明されていない。ところで、物質の構造を調べる方法として X 線構造解析法がある。X 線回折法はその代表例で、0.1nm～5nm 程度の結晶レベルの構造をみることができる。これに対し、X 線小角散乱法は、数 nm～ μ m スケールを対象とするため、粒子などのより大きな構造をみることができる。本研究では、X 線小角散乱法により粘土の固体・塑性体・液体それぞれの状態における粒子構造を解析した。



写真1 土の状態

2. 実験施設

実験は、高輝度放射光施設 SPring8 により行った。使用した装置は、ビームライン BL40B2 に設置されている小角散乱装置である。この装置は、小角～広角までの広い測定範囲をもち、強い放射光を光源とするため厚い試料の分析が可能である。写真3に測定状況を示す。SPring8 の放射光の明るさは、従来の X 線発生装置から得られる光の明るさに比べ 1 億倍となっているため短時間での測定が可能である。本実験における 1 試料の測定時間は約 3 秒であった。



写真2 高輝度放射光施設 SPring8

3. 試料および実験方法

試料は、Na 型モンモリロナイトを主成分とするクニピア F、Ca 型モンモリロナイトを主成分とするクニボンド、カオリナイトを主成分とするカオリン KH である。これらの粘土をそれぞれ固体、塑性体、液体に含水比を調整した後、同じ厚さになるように試料セルに入れ、両面にスライドガラスを貼りつけ封入した。試料セルのサイズは、縦 3.4cm×横 3.4cm で、中心に直径 ϕ 1cm の穴の空いた金属板を使用した。なおスライドガラスを貼りつける際、封入された試料の含水比が変化しないよう注意した。

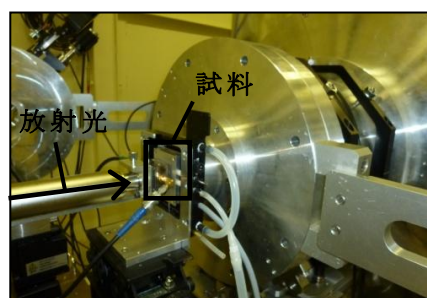


写真3 小角散乱の測定状況

測定においては、試料－検出器間距離を 50～100cm に設定し、試料に放射光を照射し、小角～広角反射までをイメージングプレート二次元検出器（RIGAKU RAXIS 7）で測定した。放射光の波長は 0.83Å，露光時間は 3 秒である。

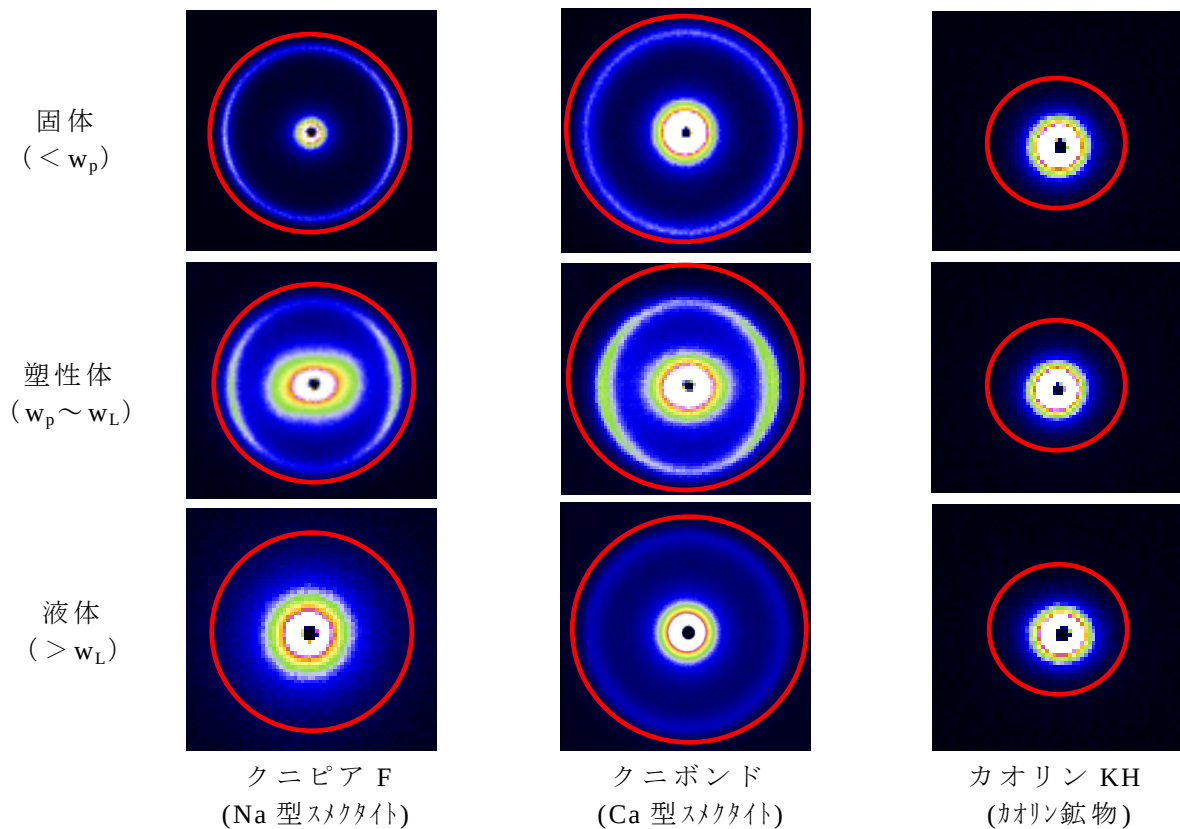


図 1 塑性体・液体における粘土の X 線散乱像

4. 測定結果および考察

図 1 に固体、塑性体、液体のクニピア F、クニボン ド、カオリン KH の X 線散乱像を示す。小角領域における散乱像には、粒子の大きさ、回転半径、形状、表面などの情報が含まれるが、本研究では粒子間距離（もしくは層間距離）と配向性に関する情報を取得した。散乱像における物体間距離 d は、 $d = 2\pi/q$ (q : 散乱ベクトル, d : 距離) の関係にあり、散乱像では 2 物体間の距離が大きいほどリングは中心に寄ってくる。また、散乱像と粒子配向には相関があり、リングが真円から楕円に、あるいはリングの輝度が対角線上に偏ってくるほど配向が進んでいる。

図 1 からクニピア F は、散乱像の赤丸で記した外側のリングの大きさが、固体から塑性体になるにつれ対角線上に偏り、液体では消失している。この輝度の偏りは、塑性体において粒子（もしくは粘土ユニット間）が配向しているためと考えられる。クニボン ドでは、固体から塑性体になるに伴い、外側のリングが偏るだけでなく、直径も小さくなっている。これは固体から塑性体になるに伴って粒子（もしくは粘土ユニット間）の距離が大きくなっていることを示している。カオリン KH は、固体、塑性体、液体によらず散乱像は非常に小さく、固体、塑性体、液体の状態に関係なく間隙水中に粒子がランダムに浮遊していると考えられる。

5. まとめ

X 線小角散乱法により、粘土の状態ごとの X 線散乱について検討した。その結果、スメクタイト（クニピア F、クニボン ド）では、固体から塑性体、さらに液体になるに伴って粒子間距離は大きくなり、特に塑性体において粒子は配向している。これに対し、カオリンでは固体、塑性体、液体の状態に関係なく粒子間距離が広くランダムな状態になっていると考えられる。以上より、スメクタイト系粘土のコンシステンシー構造モデルを推測すると図 2 のようになる。

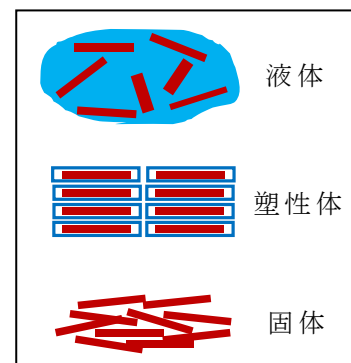


図 2 粘土のコンシステンシー構造モデル