

## ベントナイト

Bentonite

小 峯 秀 雄 (こみね ひでお)

茨城大学 准教授

## 1. ベントナイトとは

ベントナイトという名称の響きから、粘土鉱物の一種と知っている読者もいるかもしれない。実はベントナイトは、カオリナイトやモンモリロナイトのように、粘土鉱物の名称ではない。また、ベントナイトは1種類しかないと思っている読者もいるかもしれないが、実は、非常に数多くの種類がある。

ベントナイトは、アメリカ・ワイオミング州の Fort Benton 層中から発見されたので、「ベントナイト」と呼ばれている<sup>1)</sup>。学術的には、ベントナイトは凝灰岩や火山灰等が続成作用や熱水変質作用などを受けて生成されたもので、膨潤性粘土鉱物のモンモリロナイトを主成分とし、石英、 $\alpha$ -クリストバライト、沸石、方解石等を含む弱アルカリ性粘土である<sup>2)</sup>。図-1に、ベントナイトのX線回折パターンの一例を示す。この図から分かるように、単一の粘土鉱物から成るものではない。

ベントナイトの特徴には、水中において大きく膨潤する点と一般の土質材料と比較して著しい低透水係数を示す点があり、これらについて読者は周知のことと思う。口絵写真-32は、ベントナイトの膨潤挙動を示した写真である。このように、体積が4倍から大きいものでは10倍以上にも膨張するものもある。

## 2. モンモリロナイトとは

ベントナイトは、高膨潤性や低透水性など他の一般的な土質材料と大きく異なる性質を有するが、これらの性

質はベントナイト中に含まれる膨潤性粘土鉱物であるモンモリロナイトの性質に由来する。モンモリロナイトという名称は、1847年にフランス中部のモンモリヨン地方に産出する、水に浸すと顕著に膨潤する粘土鉱物に対し命名された<sup>1)</sup>。その後、モンモリロナイトと似た性質を有し、化学組成が異なる粘土鉱物(サポナイトやノントロナイトなど)が発見され、1955年英国鉱物学会の粘土鉱物研究グループは、これらの粘土鉱物に対して「スメクタイト」と総称することを提唱した。

モンモリロナイトは層状珩酸塩鉱物であり、図-2に示すような結晶構造をしていると考えられている<sup>3)</sup>。

モンモリロナイトの単位結晶は、厚さが約1 nm (ナノメートル)、幅が0.1~1  $\mu\text{m}$  (マイクロン)の極めて薄い薄片状である。この単位結晶が数枚積み重なって、1個の鉱物粒子を形成していると考えられている。

モンモリロナイトは、図-2に示すように、結晶層間に水や交換性陽イオンを保持する。モンモリロナイトは水と接触すると、層間に水を吸い込んで層間を広げ、全体の体積を増大させる<sup>2)</sup>。このようメカニズムから、ベントナイトは高膨潤性という性質を持つと考えられている。また、モンモリロナイトが膨潤しベントナイト中の間隙が充填されることにより、一般の土質材料と比べて、著しく低い透水係数を示す。口絵写真-33に、締固めたベントナイトが吸水し、水みちとなる間隙が充填される様子を環境制御型電子顕微鏡で観察した写真を示す<sup>4)</sup>。

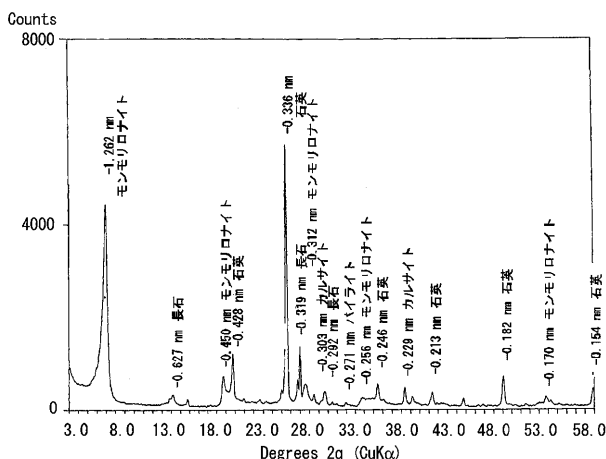


図-1 クニゲル V1 (クニミネ工業) の X 線回折パターン

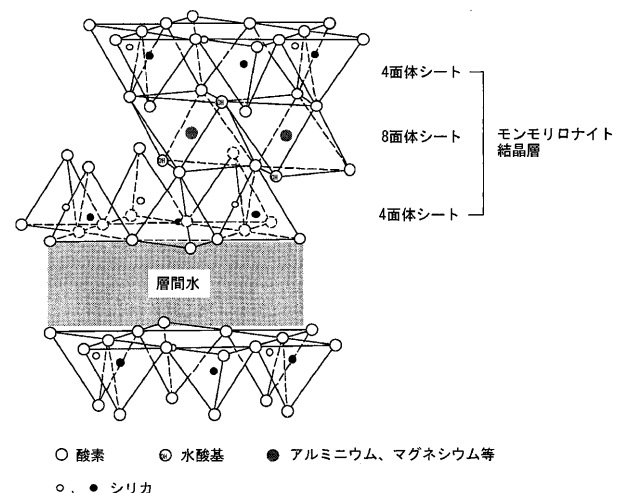


図-2 モンモリロナイトの結晶構造と層間水<sup>3)</sup>

### 3. ベントナイトの種類と用途

本技術手帳の冒頭で述べたように、実はベントナイトには非常に多くの種類がある。その分類方法としては、ベントナイトの最大の特徴である膨潤性を左右する交換性陽イオンの種類による分類が一般にとられている。交換性陽イオンによる分類は以下のようなになる<sup>2)</sup>。

#### (1) Na型ベントナイト

交換性陽イオンが主に  $\text{Na}^+$  イオンのモンモリロナイトを含有するベントナイトである。水中での膨潤性、低透水性、増粘性、懸濁安定性、耐熱性に富んでおり、ボーリング泥水等に利用されている。

#### (2) Ca型ベントナイト

交換性陽イオンが主に  $\text{Ca}^{2+}$  イオンのモンモリロナイトを含有するベントナイトである。水中での膨潤性はNa型と比べて小さく、一般には鑄型粘結剤に利用される。乾燥密度がある程度より高い場合、膨潤圧はNa型ベントナイトよりも大きく、粘結力は大きい、Na型ベントナイトよりも遮水性がやや低いとともに膨潤性、増粘性、懸濁安定性、耐熱性が比較的小さい。

#### (3) Na交換型ベントナイト（活性化ベントナイト）

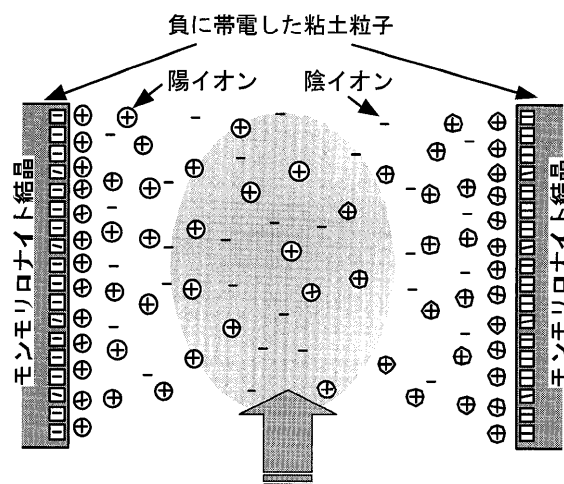
Ca型ベントナイトに炭酸ナトリウムを加え、人工的にNa型としたベントナイトである。用途としては、泥水や鑄型粘結剤に用いられている。

ベントナイトは、“千の用途を持った粘土 (a clay with thousand uses)” というニックネームを持つように、非常に用途の広い粘土である<sup>5)</sup>。主に鑄物業分野で利用されているが、土木基礎工事や農業の分野でも利用されている。また身近なものでは、化粧品や猫の小便を吸収する猫砂、ペンキ、シャンプーや洗顔パックなどにも使用されている。これらは、膨潤性や低透水性を活用したものが多く、また高い保水性に期待した利用も多い。

土木工学分野では、ボーリング掘削孔の崩壊防止を目的とした安定液やシールド工法における切羽の安定を図るベントナイト泥水としての利用は、読者も良くご存知のことと思う。最近では、一般・産業廃棄物の管理型処分場における遮水材として、数多く使用される事例が報告されている。また、放射性廃棄物処分における各種施設で緩衝材や埋戻し材の材料として注目されている（口絵写真-34参照）。

### 4. ベントナイトに関する研究展望

ベントナイトは、読者にとって興味の尽きない性質を有している。前章では、ベントナイトの特徴である膨潤性や低透水性を活用した用途について紹介したが、実は膨潤現象は、社会に対し被害を起こす現象でもある。例えば、地すべりの原因であったり、盤ぶくれの要因となったりもする。それに対して土木技術者は、膨潤のメカニズムに基づく対応策で立ち向かうのではなく、むしろ対症的な対策（地すべりが発生しそうな地層を事前に掘削する等）で対応してきた。一方、粘土科学者は、膨潤という特性を優位なものとして見て、そのメカニズムに



モンモリロナイト結晶層間の層間水と周辺の自由水との間にはイオン濃度に差が生じる。これに起因して、自由水が結晶層間に浸透しようとする現象が生じる。結晶の拘束条件により、膨潤変形もしくは膨潤圧が発生する。

図-3 拡散二重層理論による膨潤発生概念

基づき、種々の便利な商品設計を行い技術開発をしてきた。

現在、注目されている廃棄物処分のための遮水材は、ベントナイトを材料として見ており、要求される性能を発揮できるよう、施工管理し品質保証することが求められている。このような観点から、土木工学・地盤工学分野におけるベントナイト関連の研究・技術開発も、その結晶レベルの挙動メカニズムに立脚した研究展開が求められている。

コロイド化学や粘土科学、土壌物理学の分野では、図-3に示すように、拡散二重層理論等を活用し膨潤挙動を理解し予測してきた。最近では、分子動力学などを活用した研究展開もなされている。地盤工学者も、これらの研究成果を応用して、設計法や品質管理方法を考案することが重要である。このような新しい研究展開を通じて、21世紀の人類が抱える環境問題の解決に貢献できる。ベントナイトは、その挙動の魅力は勿論であるが、期待されているプロジェクトもとても魅力的なものである。

#### 参考文献

- 1) 須藤談話会編：土をみつめる—粘土鉱物の世界—，三共出版，1986。
- 2) 日本粘土学会編：粘土ハンドブック第二版，技報堂出版，pp. 709~710，1987。
- 3) Grim, R. E. (1968): Clay Mineralogy (Second Edition), McGraw-Hill Book Co., New York, pp. 77~92.
- 4) Komine, H. and Ogata, N.: Predicting swelling characteristics of bentonites, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, American Society of Civil Engineers (ASCE), Vol. 130, No. 8, pp. 818~829, 2004.
- 5) 古賀 慎：粘土とともに（粘土鉱物と材料開発），三共出版，1997。

(原稿受理 2008.1.25)