

学位論文題名

廃棄物処分に用いられるベントナイト材の  
遮水性評価に関する研究

学位論文内容の要旨

生活が豊かになるにつれごみの発生量が増加している今日、一般および産業廃棄物の処分について、焼却・減量の後管理型最終処分場への埋め立てる方法が普及している。また、エネルギー源としての比重が年々増加傾向にある原子力発電において、発生する放射性廃棄物を地中に処分する前提で種々の検討が進められている。これら廃棄物の処分場において、汚染物質が地下水や降雨によって拡散し人間の生活圏を汚染することを防ぐため、高い不透水性を示す遮水工が必要不可欠である。ベントナイト材は、浸出水が内部へ侵入することを遅延させまた亀裂が生じた場合にシーリングする特性に加え、有害物質や放射性核種が漏れてもその移動を防止・遅延させる吸着性があることが知られている。これらの特性から、例えば前者についてベントナイト混合土が遮水材の一つとして広く用いられ、また、後者ではベントナイトを用いた多重バリア構造による遮水工が検討されている。

管理型最終処分場において用いられるベントナイト混合土は、現地発生土や比較的安価な砂等を母材として混合された後、転圧・整形などの工程により現場施工が行われる。このベントナイト遮水工の配合率や材料特性など施工条件の遮水性に対する影響を明らかにすることが課題となっている。一方、放射性廃棄物たとえば低レベル放射性廃棄物の地中処分においては、従来の圧縮ベントナイトに加えてより低コストのベントナイト原鉱石を未加工で使用するなど、ベントナイト材を多様な方法で使用することが考えられており、そこで用いられるベントナイト材の均質性や乾燥密度の遮水性に対する影響などについて詳細な研究が必要視されている。このように、廃棄物処分に用いられるベントナイト材の遮水性に影響を与える要因を評価し、その迅速かつ簡易的な評価手法を開発することが求められている。

そこで本論文では、ベントナイト混合土の遮水性に影響する要因の一つである均質性について、近赤外分光法や X 線 CT 法などの非破壊測定法により測定しそれら評価手法の有用性について明らかにするとともに、ベントナイト混合土の施工条件や施工後の水質変化などが遮水性に与える影響について検討を行った。さらに、ベントナイト原鉱石について、長期透水試験により透水試験を行い、それらと X 線 CT 法による微細構造との関係について考察を行い、ベントナイト原鉱石の遮水性について評価を行った。

本論文を構成する各章の概要は以下の通りである。

第 1 章は序論であり、本研究の背景と目的について述べている。また、これまで報告されているベントナイト材の既往の研究についてまとめた。

第 2 章は本論文の研究手法に関する章である。施工現場におけるベントナイト定量の従来法である

メチレンブルー吸着量試験やファンネル粘性度試験、そして新たに本研究で導入した野外携帯型スペクトロメータによる近赤外分光測定法について述べている。また、本研究で行ったベントナイト材の透水試験の方法について説明するとともに、ベントナイト材の微細構造の非破壊観察法であるマイクロフォーカス X 線 CT 観察法および 2 次元 CT 像の解析法について述べている。

第 3 章は、管理型最終処分場の施工現場におけるベントナイト混合土の均質性について検討を行っている。ベントナイト混合土の遮水性はベントナイトの主成分であるスメクタイトの割合や存在状態などの特性に依存し、スメクタイトの分布状態がその品質の重要な要素となる。本章では、従来手法であるメチレンブルー吸着量試験やファンネル粘性度試験と近赤外分光法を比較し、遮水工の品質管理を行う上で近赤外分光法による遮水工の均質施工評価が評価手法の一つとして有効であることを明らかにしている。さらに、近赤外拡散反射スペクトルによる精度の高い現場測定へ向け、改善されるべき課題を示している。

第 4 章では、ベントナイトと珪砂により実際に施工される配合率の混合土を調製し、透水試験および X 線 CT による微細構造の観察を行い、混合方法や透水試験の浸透水の水質などの条件がベントナイト混合土の遮水性に与える影響を評価した。ベントナイト混合土の混合方法がその遮水性に影響を与えることが明らかとなり、現場施工において混合土の十分な均質混合が遮水工の品質管理の上で重要であることが示された。また、透水試験の浸透水の水質が透水係数に与える影響は大きく、ベントナイト混合土の遮水性はスメクタイトの微細構造(凝集状態)に関係することが示された。

第 5 章はベントナイト原鉱石の遮水性評価に関する章である。浸漬実験後のベントナイトの X 線 CT 観察による微細構造を調べ、その結果を踏まえて、ベントナイト原鉱石の長期透水試験結果と X 線 CT による微細構造の観察結果を述べ、考察した。浸漬実験後の月布産ベントナイトの粉末および粒状試料の微細構造はいずれも均質化するが、後者では低密度のベントナイト-水複合体が生成し、時間とともに粒間を充填し、均質化する方向へ変化が進むことを明らかにした。長期透水試験後のワイオミング産ベントナイト原鉱石に対して層理面方向と垂直方向の透水係数に方向による大きな違いはなく、圧縮ベントナイトと同様の遮水性を有することを示した。また、X 線 CT 観察で、ベントナイト原鉱石に認められた堆積構造は認められず、透水試験前および試験中に発生したと考えられるクラック部分以外はほぼ均質な構造を有すること、そして、クラック部分は低密度のベントナイト-水複合体によって充填されていることが判った。すなわち、低密度ベントナイト-水複合体の生成がそのベントナイト原鉱石の長期透水試験における遮水性発現に大きな役割を果たしていることを明らかにした。そして、ベントナイトの産状に関する組成や組織、また使用する際の粒径など材料特性が遮水性に影響を与えることを示した。

第 6 章は結論であり、本研究で得られた成果が、広く廃棄物処分の遮水工に用いられるベントナイト材の利用法やその遮水性評価手法の開発に有効であることを示した。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 米 田 哲 朗  
副 査 教 授 金 子 勝 比 古  
副 査 准 教 授 佐 藤 努

学 位 論 文 題 名

## 廃棄物処分に用いられるベントナイト材の 遮水性評価に関する研究

近年、管理型最終処分場において広く用いられるベントナイト混合土は、現地発生土や比較的安価な砂等を母材として混合された後、転圧・整形などの工程により現場施工が行われる。このベントナイト遮水工の配合率や材料特性など施工条件の遮水性に対する影響を明らかにすることが課題となっている。一方、放射性廃棄物たとえば低レベル放射性廃棄物の地中処分においては、従来の圧縮ベントナイトに加えてより低コストのベントナイト原鉱石を未加工で使用するなど、ベントナイト材を多様な方法で使用することが考えられており、そこで用いられるベントナイト材の特性の遮水性に対する影響などについて詳細な研究が必要視されている。

本論文は、廃棄物処分に用いられるベントナイト材の遮水性について、影響要因の評価とその評価手法の新たな開発を行うことを目的として、ベントナイト混合土およびベントナイト原鉱石を用いて研究を行ったもので、以下の結論を含む6章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的について述べている。また、これまで報告されているベントナイト材の既往の研究についてまとめている。

第2章は本論文の研究手法に関する章である。施工現場におけるベントナイト定量の従来法であるメチレンブルー吸着量試験やファンネル粘性度試験、そして新たに本論文で適用性の検討を行った野外携帯型スペクトロメータによる近赤外分光測定法について述べている。また、本研究で行ったベントナイト材の透水試験の方法について説明するとともに、ベントナイト材の微細構造の非破壊観察法であるマイクロフォーカス X 線 CT 観察法および2次元 CT 像の解析法について述べている。

第3章では、管理型最終処分場の施工現場におけるベントナイト混合土の均質性について検討を行っている。ベントナイト混合土の遮水性はベントナイトの主成分であるスメクタイトの割合や存在状態などの特性に依存し、スメクタイトの分布状態がその品質の重要な要素となる。本章では、従来手法であるメチレンブルー吸着量試験やファンネル粘性度試験と近赤外分光法を比較し、遮水工の品質管理を行う上で近赤外分光法による遮水工の均質施工評価が評価手法の一つとして有効であることを明らかにしている。さらに、近赤外拡散反射スペクトルによる精度の高い現場測定へ向け、改善されるべき課題を示している。

第4章では、ベントナイトと珪砂により実際に施工される配合率の混合土を調製し、透水試験およ

び X 線 CT による微細構造の観察を行い、混合方法や透水試験の浸透水の水質などの条件がベントナイト混合土の遮水性に与える影響を評価している。ベントナイト混合土の混合方法がその遮水性に影響を与えることを示し、現場施工において混合土の十分な均質混合が遮水工の品質管理の上で重要であると述べている。また、透水試験の浸透水の水質が透水係数に与える影響は大きく、ベントナイト混合土の遮水性はスメクタイトの微細構造に関係することを明らかにしている。

第 5 章ではベントナイト原鉱石の微細構造と遮水性の関係について述べている。まず前段階の実験結果を示し、浸漬実験後の月布産ベントナイトの粉末および粒状試料の微細構造はいずれも均質化するが、後者では低密度のベントナイト-水複合体が生成し、時間とともに粒間を充填し均質化する方向へ変化することを明らかにしている。そして、長期透水試験後のワイオミング産ベントナイト原鉱石について、層理面方向と垂直方向の透水係数に方向による大きな違いはなく、いずれも圧縮ベントナイトと同様の遮水性を有することを示している。そして、ベントナイト原鉱石試料は、透水試験前および試験中に発生したと考えられるクラック部分以外はほぼ均質な構造を有すること、また、クラック部分は低密度のベントナイト-水複合体によって充填されていることを X 線 CT 観察により明らかにしている。すなわち、その低密度ベントナイト-水複合体の生成が原鉱石試料の長期透水試験における遮水性発現に大きな役割を果たすこと、さらに、ベントナイトの組成・組織また使用する際の粒径などの材料特性が遮水性に影響を与えることを示している。

第 6 章は結論であり、本研究で得られた成果が、広く廃棄物処分の遮水工に用いられるベントナイト材の遮水性評価手法の開発に有効であることを明らかにしている。

これを要するに、著者は、廃棄物処分に用いられるベントナイト混合土およびベントナイト原鉱石について、透水試験を行うとともにマイクロフォーカス X 線 CT 法などによる測定・観察を行うことにより、ベントナイト材の遮水性に対する影響要因とその評価手法に関して新知見を得たものであり、環境地質学の発展に寄与するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。