

氏名	藤田 朝雄
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記号番号	博理工乙第173号
学位授与年月日	平成20年3月24日
学位授与の条件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題目	高レベル放射性廃棄物地層処分における粘土プラグの閉鎖性能に関する研究
論文審査委員	委員長 教授 風間 秀彦 委員 教授 渡邊 邦夫 委員 教授 桑野 二郎 委員 准教授 山辺 正 委員 准教授 長田 昌彦

## 論文の内容の要旨

高レベル放射性廃棄物の地層処分において、閉鎖による処分場全体の安全性を向上させるためには、埋め戻し材、プラグ、グラウト等の閉鎖要素についての材料特性の把握、施工性・性能の確認、およびその処分場全体における有効性の確認を行う必要がある。本研究では、国内外における処分場の閉鎖概念の考え方および課題を整理した上で、その課題を解決すべく実施した室内・原位置試験および解析結果について示すものである。

第1章では、研究の背景について概説するとともに、国内外における処分場の閉鎖概念の考え方および課題を整理した。本研究では、閉鎖要素のうち特にベントナイトを主材料とする粘土プラグについて着目し、閉鎖要素を構成する材料の特性を把握し、閉鎖要素自身の施工性の確認および期待される性能が発揮できることを確認するとともに閉鎖システムとしての考え方を整理していくために必要となる処分場構成要素を考慮した粘土プラグの水理的影響を評価することを目的と設定した。

第2章では、粘土プラグの主材料であるベントナイトに関わる、基本特性に関わる課題を整理した上で、特に、粘土プラグとして施工した後に、周辺岩盤から地下水が浸潤してくる際に重要となるベントナイトの化学ポテンシャル、水の浸潤挙動を表す物性値の計測結果を示すとともに各パラメータの影響を考慮した実験式を示した。

第3章では、カナダ AECL との共同研究としてカナダの地下研究施設において、実際の坑道規模で施工した粘土プラグの性能を確認するために実施した原位置試験の施工概要および連続計測で取得されたデータを示すとともに、施工した粘土プラグの止水性能を確認するために実施した加圧注水試験結果とトレーサー試験およびその試験結果に基づく解析結果を示した。

第4章では、第3章において実規模の原位置試験結果から得られた粘土プラグの特性を用いて、処分パネルにおける処分坑道と主要坑道の交差部および人工バリア周辺に存在する処分場構成要素を考慮した浸透流解析結果を示すとともに、人工バリア周囲の地下水流動に影響するパラメータおよび粘土プラグの有効性について考察を加えた。

以上の実験および解析から、第5章では次の結論が得られたこと示している。

- ①圧縮ベントナイトの水分特性曲線は、吸水過程、脱水過程での顕著なヒステリシスは観察されず温度が低いほど、モンモリロナイトの含有率が高くなるほどサクシオンは大きくなる。また、等温状態の水分拡散係数は、体積含水率の低領域、および高領域で大きくなるU字型の分布を示し、その分布全体が温度とともに上昇する。温度勾配下における水分拡散係数は温度が高くなるにつれて小さくなる。透水係数は、供試体の乾燥密度が小さいほど、ケイ砂混合率が多くなるほど、また、温度が高くなるほど大きくなる。
- ②締固めたベントナイトブロックを積み重ねて構築された粘土プラグは、50℃および4MPaでの加圧注水条件において粘土プラグの透水係数は $3.6 \times 10^{-12} \text{m s}^{-1}$ と低透水性の性能を発揮する。また、プラグ拡幅部の透水係数は、発破で掘削された坑道周辺のEDZの透水係数よりも小さくなり、ラインドリリング手法とロックスプリッティング手法はプラグ拡幅部の施工方法として有効な手法といえる。
- ③処分場の処分坑道端部および主要坑道に粘土プラグを設置すると、埋め戻し材の透水性に関わらず、坑道内の流れを抑制できる。コンクリートプラグの透水性は処分場を対象とした地下水流動に大きく影響を与え、コンクリート材料が健全である場合は止水材として性能が期待できる。動水勾配の方向は、人工バリア周囲の通過流量や最大流速に大きな影響を与える。
- ④上記より、粘土プラグの材料である圧縮ベントナイトの飽和・不飽和浸透特性は他の粘土と同様の特性を持ち、現状技術を組み合わせて施工した粘土プラグは、周辺部を含めて低透水性能が発揮される。このような性能を持つ粘土プラグを処分坑道端部へ配置することにより、人工バリアからの地下水の流出を抑制し、処分場全体の安全性の向上が期待できる。

## 論文の審査結果の要旨

本論文の審査委員会は、平成 20 年 2 月 5 日 16 時から地圏科学研究センター・セミナー室で論文発表会を公開で開催し、論文発表に引き続いて質疑応答と論文内容の審査を行った。審査結果の要旨はつぎのとおりである。

原子力発電によって発生する放射性廃棄物の処分は、世界的な問題になっている。特に高レベル放射性廃棄物は安全に処分するために地中深くに埋設すること（地層処分）になっている。この閉鎖による地層処分場の安全性を向上させるためには、埋め戻し材、プラグ、グラウト等の閉鎖要素についての材料特性の把握、施工性・性能の確認、およびその処分場全体における有効性を検討する必要がある。

本論文は、国内外の処分場の閉鎖概念の考え方と課題を整理した上で、これららの課題を解決するために、埋め戻し材、プラグ、グラウト等に用いる材料の工学的特性を室内実験から明らかにするとともに、現場の粘土プラグの施工性や原位置試験と浸透流解析によって水理的影響を評価することを目的とした研究である。

第 1 章では、研究の背景、これまでの論文の Review、研究の必要性、工学的意義などについて述べるとともに、前述の研究目的を記述している。

第 2 章では、粘土プラグの主材料のベントナイトの基本特性について、粘土プラグに水が浸透した際の化学ポテンシャル、水分特性を実験によって求め、パラメータの影響を考察している。その結果、圧縮ベントナイトの水分特性曲線は、吸水過程と脱水過程で顕著なヒステリシスは認められず、温度が低いほど、モンモリロナイトの含有率が高くなるほどサクシオンは大きくなること、等温状態の水分拡散係数は、体積含水率の低領域、および高領域で大きくなる U 字型の分布を示し、その分布全体が温度とともに上昇すること、温度勾配下における水分拡散係数は温度が高くなるにつれて小さくなること、透水係数は供試体の乾燥密度が小さいほど、ケイ砂混合率が多くなるほど、温度が高くなるほど大きくなること、透水係数は温度に依存性は、水の密度や粘性係数に起因すること、などを示している。

第 3 章では、カナダ AECL との共同研究で、カナダの地下研究施設に施工した粘土プラグの性能を確認するために実施した原位置試験と連続計測データの解析、加圧注水試験とトレーサー試験およびその解析結果などを示している。その結果、締固めたベントナイトブロックを積み重ねて構築された粘土プラグは、50℃ および 4MPa での加圧注水条件でも粘土プラグの透水係数は  $3.6 \times 10^{-13} \text{m/s}$  と低透水性であること、プラグ拡幅部の透水係数は、発破で掘削された坑道周辺の EDZ の透水係数よりも小さく、ラインドリリング手法とロックスプリッティング手法はプラグ拡幅部の施工方法として有効な手法であることの成果を得ている。

第 4 章では、第 3 章において実規模の原位置試験結果から得られた粘土プラグの特性を用いて、処分場の処分坑道と主要坑道の交差部および人工バリア周辺に存在する構成要素を考慮した浸透流解析を行い、人工バリア周囲の地下水流動に影響するパラメータと粘土プラグの有効性について検討を加えている。その結果、粘土プラグの材料である圧縮ベントナイトの飽和・不飽和浸透特性は他の粘土と同様の特性を持ち、現状技術を組み合わせて施工した粘土プラグは、周辺部を含めて低透水性能が発揮できること、このような性能を持つ粘土プラグを処分坑道端部へ配置することにより、人工バリアからの地下水の流出を抑制し、処分場全体の安全性の向上が期待できること、などの結果をえている。

以上のように、本論文では実験および解析から、粘土プラグに用いるベントナイトおよびベントナイトと珪砂混合土の基本的物性、水分特性、透水特性の解明を行い、また実際の坑道規模で施工した粘土プラグの性能実験と処分場の構成要素を考慮した粘土プラグに関わる浸透解析から、前述のとおり多くの意義ある研究成果を得ている。本論文に直接関係する研究成果は、Australian Geomechanics、国内論文集、査読付きの国際会議の論文集に既に掲載されている。これらのことから、当学位論文審査委員会は、本論文が博士（工学）の学位に相応しい内容であると判断した。