

氏名	内田 雅大
授与した学位	博士
専攻分野の名称	工学
学位授与番号	博乙第4293号
学位授与の日付	平成21年 3月25日
学位授与の要件	博士の学位論文提出者 (学位規則第5条第2項該当)
学位論文の題目	亀裂内の内部構造に着目した物質移行現象の時間的外挿に関する研究
論文審査委員	教授 西垣 誠 教授 花村 哲也 准教授 鈴木 茂之

### 学位論文内容の要旨

高レベル放射性廃棄物の地層処分においては、1 万年以上の安全性を示す必要があるのに対して、原位置で行うトレーサー試験は、現実的な制約条件から数日から数ヶ月程度でしか行われずに、トレーサーを回収する必要性から強制的に揚水する必要があり、自然条件の流れに対してはるかに速い流速条件で試験が実施される。このため、これまで国際的に原位置トレーサー試験の安全評価に対する有用性に関しては多くの議論がなされてきた。

このため、本論文では、原位置トレーサー試験と高レベル放射性廃棄物の地層処分における安全評価の関係に関する過去に行われた国際的な議論について整理するとともに、時間スケールおよび空間スケールの違いに基づく課題について検討した。特に、時間スケールの違いに起因する課題については、亀裂の内部構造をモデル化することにより、従来指摘されてきた課題の一部が解決できる可能性について示した。

第 1 章においては、過去に行われた国際的な原位置トレーサー試験に関する議論を整理し、本論文の目的と構成を述べた。

第 2 章においては、本論文の背景として、過去に提案された亀裂の内部構造の概念モデル、本論文で解析対象とした原位置トレーサー試験、本論文で用いた解析コードについて述べた。

第 3 章においては、米国サンディア国立研究所と協力して開発した X 線透過法を用いて、従来測定が困難であった亀裂内の断層ガウジなどの充填物質および変質部での拡散係数と空隙率を測定する手法とその結果を述べた。

第 4 章においては、通常用いられる平行平板モデルで原位置トレーサー試験を解釈して得られる亀裂の空隙率と岩盤マトリクスの拡散係数の妥当性について検討した。検討に際しては、亀裂の内部構造として、透水量係数の不均質性に加え、亀裂内の複数のサブ亀裂での流量の分配、断層ガウジ、変質部、健岩部への拡散を考慮した。検討の結果、平行平板モデルで原位置トレーサー試験を解釈した場合には、拡散係数が本来の値と較べて 2~3 オーダー大きく評価され、得られたパラメータを安全評価に使用した場合には、ピーク出現時間が 10~100 倍遅く評価される上、ピーク濃度は 1/50~1/300 過小評価されることとなり、「非保守的」な評価となることが示された。逆に、平行平板モデルに室内試験で得られた拡散係数を用いて安全評価を行った場合には、ピーク出現時間が 1/50 と早くなるとともに、ピーク濃度も 50 倍高くなり、過度に「保守的」な評価となることが示された。以上のことから、原位置トレーサー試験の解釈を行う際には、亀裂の内部構造を考慮したモデルを用いる必要があることを述べた。

第 5 章においては、亀裂の内部構造を考慮したモデルを用いた場合、原位置トレーサー試験は安全評価の時間スケールでの挙動を一定程度拘束可能であることを示した。

第 6 章においては、国際的議論を反映した原位置トレーサー試験を検討し、従来の亀裂内空隙率の評価に加え、マトリクス拡散寄与面積を評価することを目的とした試験のデザインを提案した。

以上により、国際的な議論であった原位置トレーサー試験の時間依存性について、亀裂内部構造に着目した国際共同解析を筆者より提案し、亀裂内部構造の重要性が国際的な認識として合意されるに至った。国際共同解析の結論は、Hydrogeology Journal に本論文の第 5 章の論文を含めて 5 編の論文として掲載されることになった。

## 論文審査結果の要旨

本研究は、原位置トレーサー試験と高レベル放射性廃棄物の地層処分における安全評価の関係に関する過去に行われた国際的な議論について整理するとともに、時間スケールおよび空間スケールの違いに基づく課題について検討している。特に、時間スケールの違いに起因する課題については、亀裂の内部構造をモデル化することにより、従来指摘されてきた課題の一部が解決できる可能性について言及している。

具体的には、まず、X線透過法を用いて、従来測定が困難であった亀裂内の断層ガウジなどの充填物質および変質部での拡散係数と空隙率を測定する手法について示している。次に、通常用いられる平行平板モデルで原位置トレーサー試験を解釈して得られる亀裂の空隙率と岩盤マトリクスの拡散係数の妥当性について検討しており、平行平板モデルで原位置トレーサー試験を解釈した場合には、拡散係数が本来の値と較べて2~3オーダー大きく評価され、得られたパラメータを安全評価に使用した場合には、ピーク出現時間が10~100倍遅く評価される上、ピーク濃度は1/50~1/300過小評価されることとなり「非保守的」な評価となることを指摘している。逆に、平行平板モデルに室内試験で得られた拡散係数を用いて安全評価を行った場合には、ピーク出現時間が1/50と早くなるとともに、ピーク濃度も50倍高くなり過度に「保守的」な評価となることを示した。したがって、原位置トレーサー試験の解釈を行う際には、亀裂の内部構造を考慮したモデルを用いる必要があることを提案している。さらに、亀裂の内部構造を考慮したモデルを用いた場合、原位置トレーサー試験は安全評価の時間スケールでの挙動を一定程度拘束可能であると述べている。最後に、国際的議論を反映した原位置トレーサー試験を検討し、従来の亀裂内空隙率の評価に加え、マトリクス拡散寄与面積を評価することを目的とした試験のデザインを提案している。

このように、本研究はきわめて独創的でありかつ有用性が高く、地盤環境問題の解決に大きく寄与するものである。また、ここで得られた結果は、工学的な意義が大きい。したがって、これらの成果より、本論文は博士学位論文に値するものと認定する。