

京都大学	博士 (地球環境学)	氏名	田 彦
論文題目	Quality assessment and enhancement of soil-bentonite cutoff wall (ソイルベントナイト遮水壁の品質評価と品質向上)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、地盤汚染の原位置封じ込めに用いられるソイルベントナイト遮水壁を対象とし、施工後の品質評価とセメント添加による性能向上を検討したものである。日本では、土壌地下水汚染に関わる調査件数はここ十数年で大幅に増加しているが、その対策工法としては、汚染土壌を掘削して最終処分場に運搬・処分する掘削除去工法が依然として広く採用されている。しかし、この方法は最終処分場の受入許容量の圧迫や過剰な対策費用等が問題点として予てから指摘されており、より合理的な対策工法の普及が求められている。本研究で対象としている原位置封じ込め工法は、低透水性の遮水壁を汚染地周縁に構築することで汚染物質の移動を抑制する工法であり、対象土の掘削・運搬を伴わないことから、掘削除去工法と比較して環境面・経済面で有利である。封じ込めに用いられる材料には多くの種類があるが、本論文で対象とするソイルベントナイトは、モンモリロナイト系粘土鉱物を主成分とするベントナイトを原位置土と直接混合・攪拌することで構築されるものであり、施工後も柔軟で変形追従性が期待できること、腐食等の劣化が生じず長期的な材料安定性が見込めること、等の利点を有している。一方で、(1) 地表面下で混合・攪拌して構築されるソイルベントナイト遮水壁の施工後の品質を詳細に確認した事例が極めて少ないこと、(2) ソイルベントナイトの持つ高い柔軟性に起因して施工中や施工後に周辺地盤の変状が懸念されること、等の課題があり、適用を制限する要因ともなっている。このことから、本論文では室内実験と数値解析を行い、これら2点の課題の解決に向けた検討を行っている。論文は6章からなっており、以下に各章の内容を説明する。</p> <p>第1章は序論であり、地盤汚染の現状や関連する規制について基本事項を概説するとともに、地盤汚染対策における原位置封じ込めの位置付けを述べている。また、対象とするソイルベントナイトの性能に関する基本的な原理等をまとめている。</p> <p>第2章は、既往研究をレビューしつつ研究の背景を整理している。ソイルベントナイトの膨潤特性と耐化学性、ソイルベントナイト遮水壁の現場品質や均質性の評価、セメントとベントナイトを併用した遮水壁に関する既往の研究・適用事例を紹介しつつ、研究の独自性を明確にしている。</p> <p>第3章では、国内2箇所の現場で採取したボーリングコアを用いて、ソイル</p>			

ベントナイト遮水壁の品質を評価している。2003年に試験施工を行い施工後15年が経過した遮水壁と、実プロジェクトで2019年に施工された最大深度約40メートルの遮水壁に対してボーリングを行い、物理特性、圧密特性、遮水性能とその深度方向のばらつきを議論している。いずれのサイトも、原地盤は礫層や粘土層が交互に存在する複雑な地盤構造を有しており、各物性値の層ごとの差異も大きい。ソイルベントナイトの各値の深度方向のばらつきは相対的に小さく、材料特性の均質性は大きく改善していることを定量的に示している。透水試験では、供試体寸法や試験装置の制約から十分な通水量は得られなかったものの、いずれの深度においても一般的な遮水壁の性能基準である 1.0×10^{-9} m/sの透水係数を十分に満足すること、施工後15年が経過しても遮水性能の上昇は確認されないこと、等を明らかにしている。また、ソイルベントナイト中に75 μ m以下の細粒分が20%以上存在する場合には、礫分の含有率が高くなるほど透水係数が低下する可能性を指摘している。

第4章は、セメント添加によるソイルベントナイトの改質を検討している。セメント添加量が増加すれば混合土の強度が高くなるのは自明であるが、ソイルベントナイトの変形追随性を維持しつつ強度を改善し、尚且つ高い遮水性能を発揮しうる条件を実験的に検討している。一般的な配合のソイルベントナイトに対し、0~100 kg/m³の割合で高炉セメントを添加して供試体を作製し、一軸圧縮試験により強度変形特性を、透水試験と3価のヒ素溶液を用いた吸着試験により遮水性能を、それぞれ評価している。その結果、養生期間が長くセメント添加量が多いほど混合土の強度が高くなるが、セメント添加量が75 kg/m³以下であれば載荷による供試体内の亀裂の進行はみられず靱性を維持しうると述べている。セメント由来の水溶性成分がベントナイトの膨潤を阻害するため、透水開始直後の透水係数がセメント添加量によらず顕著に増加するものの、セメントの水和生成物が間隙を充填するため、時間とともに透水係数が低下し性能基準を十分に満足しうることを、セメントの固化作用によりヒ素の吸着性能は大幅に改善することを示している。

第5章は、各章で得られた物性値を用いて移流分散解析を行い、ソイルベントナイト遮水壁の物質移行特性に及ぼすセメント添加の影響を評価している。透水係数や吸着性能の経時変化を考慮していないという解析上の限界はあるものの、セメント添加量が多いほど長期に亘り化学物質の浸出を抑制しうることを明らかにしている。一方で、濃度勾配に起因した拡散に比べ移流の影響が卓越するため、物質移行の観点からは、セメントを添加しないソイルベントナイトの性能が最も優れることを指摘している。

第6章は結論であり、論文を総括するとともに今後の課題を示している。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

地盤汚染への合理的な対策の実施は重要な環境課題であり、汚染土壌の掘削を要しない原位置封じ込めの適用を適切に推進するための科学的な検討が求められている。本論文は、ベントナイトを原位置土に直接混合することで造成されるソイルベントナイト遮水壁を対象とし、現場品質の評価とセメント添加による品質向上を行ったものである。得られた主な成果は以下の通りである。

第一に、現場採取した試料を対象に実験的検討を行い、深さ40メートルのソイルベントナイト遮水壁が高い均質性を有することを明らかにした。施工後も柔軟なソイルベントナイトの試料採取は技術的に容易ではなく、これまで現場試料を用いた直接的な品質の調査は行われてこなかった。本論文ではコアサンプルを用いて深度方向の品質のばらつきを明らかにし、ソイルベントナイト遮水壁の均質性が極めて高いことを初めて実証している。高い均質性は遮水壁として重要な要求事項であり、実務的意義が高い。

第二に、施工から15年が経過した遮水壁の性能を明らかにした。遮水壁を用いた原位置封じ込めは、汚染物質を原位置に残存させる工法であるため、長期に亘り高い遮水性能を担保しなければならないが、現場採取した試料を用いて遮水壁の経年的な性能の変化を評価した例はこれまでみられなかった。本論文では、いずれの深度においても性能基準を十分に満足する高い遮水性能を有していることに加え、15年経過した遮水壁でも性能が低下していないことを明らかにしており、学術的価値が高い。

第三に、セメント添加によるソイルベントナイトの改質の可能性を示した。ソイルベントナイト遮水壁は柔軟なため構造物が近接する場合に安定性が問題となりうることから、強度の改善が求められてきた。本論文では、75 kg/m³程度のセメント添加量であれば載荷による供試体内の亀裂の進展はみられず靱性を維持しうることを、セメント添加によりヒ素吸着性能は向上することを実験的に示しており、特長の一つである高い柔軟性を維持しつつソイルベントナイトの高機能化を実現しうる可能性を示唆している。

以上の成果により、本論文はソイルベントナイト遮水壁の適用範囲の拡大の可能性を示し、合理的な地盤汚染対策技術の普及に貢献しうることから、地球環境学の発展に大きく寄与した。よって本論文は博士（地球環境学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和3年8月10日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降