

氏 名	李 海 勲
学位(専攻分野)	博 士 (地球環境学)
学 位 記 番 号	地 環 博 第 7 号
学位授与の日付	平成 17 年 9 月 26 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	地 球 環 境 学 舎 地 球 環 境 学 専 攻
学位論文題目	Development of Triple Liner System for Waste Containment Facilities (廃棄物処分場のためのトリプルライナーシステムの開発)
論文調査委員	(主 査) 教 授 嘉 門 雅 史 教 授 松 井 三 郎 助教授 勝 見 武

論 文 内 容 の 要 旨

各種廃棄物の適正処理処分は、現代社会が解決すべき重要な課題である。近年、廃棄物の排出抑制と有効利用とに国を挙げて取り組んでいるが、その一方で最終的に埋立処分せざるを得ない廃棄物量は依然として高水準のままである。廃棄物最終処分場が適切に管理されない場合、処分場自体が環境汚染源となることから、廃棄物埋立処分場は安全で信頼性の高い遮水構造となるように設計されねばならない。本論文では新しく開発された一体型複合遮水シート工法に対して各種物性試験を実施し、適用材料の選定および強度・変形特性・化学安定性をはじめとする材料特性を評価するとともに、本工法の試験施工の実施に基づいた環境に安全な遮水システムの提案を行ったものであり、以下の7章から構成されている。

第1章では、廃棄物処分場の構造設計の基本的考え方をはじめとする本研究の背景を取りまとめるとともに、本研究の目的、論文の構成と内容に関して言及している。

第2章では、従来、廃棄物処分場の遮水工に用いられてきた、PVC（ポリ塩化ビニル）、HDPE（高密度ポリエチレン）、およびLDPE（低密度ポリエチレン）などのジオメンブレンによる遮水構造を取り上げ、この構造が持つ損傷危険性を示すとともに、1998年に改定されたわが国の構造基準では、安全性という観点から問題があることを具体的に指摘し、損傷危険性を全面的に改善しうる新たな遮水シート構造として開発された一体型複合遮水シート工法の詳細を示した。

第3章では一体型複合遮水シート（トリプルライナー）の基礎材料特性を詳細に検討した。トリプルライナーは、二重構造の遮水シート間に中間保護層を設けた三層構造の遮水シートである。ここで、中間保護層には、可とう性が大きく、かつ遮水性能の高い高分子材料が用いられている。遮水性中間保護材として用いる二液常温硬化型ポリウレタン（二液常温硬化型ポリブタジエン系ポリウレタンエラストマー）は、ポリブタジエン系ポリオール（A液）と液状ポリソシアネート（B液）を主成分とする高分子材料である。この材料は、構造の主骨格が疎水性のポリブタジエンであるため、ポリウレタンの柔軟性、可とう性を有しながら優れた耐加水分解性を併せて有しており、A液とB液は二重の遮水シートに注入する直前に混合攪拌される。トリプルライナーの製品規格をシートと中間保護層の高分子との材料機能を確認して、遮水シートへの適用性を明示した。

第4章ではトリプルライナーの遮水性能を実験的に検証した。一体型複合遮水シート工法における遮水性は、トリプルライナーを構成している遮水シートと中間保護層との接合性や、トリプルライナー構成材料の耐久性に依存するところが大きい。また、廃棄物処分場での利用を考えた場合、トリプルライナーは、廃棄物や地盤の変形による応力に耐えうるものでなければならない。すなわち、一体型複合遮水シート工法に用いるトリプルライナーの材料評価は、遮水シートとして用いられるジオメンブレンシートやポリウレタン自体の材料特性だけでなく、ジオメンブレンとポリウレタンとの複合遮水シートとしての材料特性を把握する必要がある。これらを踏まえて材料試験を実施して、新規開発したトリプルライナーは地盤沈下やクリープ変形に対する十分な強度と伸び率をもっており、高水圧透水試験や透湿度試験からはその卓越した難透水性を確認した。さらに、材料間の一体性を評価するため行った剝離試験からは、ポリウレタンとPVCの高い接着強度を確認し

た。

第5章では、廃棄物処分場の遮水工としてトリプルライナーの表面に用いられる、遮水シートとしてのジオメンブレンの耐久性を評価したものである。最近の研究によれば揮発性有機化合物（VOCs）がジオメンブレンを通過して、周囲の地盤や地下水を汚染させるおそれがあることが報告されている。このような VOCs の影響によるジオメンブレンの耐久性や力学的特性の変化を検討することを目的として、4種類の VOCs に対して主なジオメンブレンの浸漬試験を行った。その結果から最も浸透量が多かったトリクロロエチレン（TCE）の影響による、各ジオメンブレンの力学特性の変化を引張試験および貫入試験により評価をした。試験結果からは、HDPE の引張強度の低下が確認された。また貫入抵抗値の変化を分析することにより、今後の処分場や汚染土封じ込め設計におけるジオメンブレンの適用において有効な遮水システムの条件を提案した。

第6章では一体型複合遮水シート工法の廃棄物処分場への適用性、および汚染地盤封じ込め鉛直遮水壁として要求される性能、基本特性、ならびに施工条件などに関して、数値解析や現場試験を通じて検討を行った。有限要素解析（FEM）による変形および浸透流モードから、地盤の圧密変形や埋立による応力変化に対して、一体型複合遮水シートの安全性と遮水性を確認した。特に重要とみなされる、鉛直遮水壁と沖積粘土層との連結部における必要深さについても解析的に検討し、従来構造と同等以上の遮水効果を得るには、TLS を粘土層に2.1 m 貫入させるだけで十分であることを明らかにした。また、鉛直遮水壁として実規模の現場施工試験から、独特な構造を持つ遮水シートパネル連結部特性や様々な施工条件に対応させて、今後の遮水構造の設計上に必要とされる項目や留意点を確認した。

第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約し、今後の課題を整理して示している。

論文審査の結果の要旨

本論文では、廃棄物処分場における遮水工法として、現在一般的に用いられている処分場遮水構造の特徴や問題点を示し、これらの課題を解消するために新たに開発された一体型複合遮水シート（トリプルライナー）の材料特性、遮水性および工法としての施工性を、環境地盤工学的観点から、室内実験と現場試験施工ならびに数値解析等を用いて詳細に検討したものであり、得られた主な研究成果は以下の通りである。

(1) 一体型複合遮水シート工法に用いるトリプルライナーの材料特性の評価では、遮水シートやポリウレタン自体の材料特性だけでなく、遮水シートとポリウレタンとの複合遮水シートとしての材料特性を物理、力学試験を用いて把握した。その結果、トリプルライナーは地盤沈下やクリープ変形に追従する十分な強度と伸び率を持っており、高水圧透水試験や透湿度試験からはその卓越した難透水性（ 1×10^{-12} cm/s 以下）も確認した。これらの試験結果を踏まえてトリプルライナーに用いられる材料の選定条件を明らかにし、現場特性に応じた材料を提案した。

(2) 遮水シートとして多用されるジオメンブレンの耐化学性試験として、米国環境保護庁（USEPA）が提案した方法が従来は用いられているが、揮発性有機化合物（VOCs）に対する耐久性についての詳細な評価結果は明らかにされていない。このため、本研究ではトリプルライナーの表面に用いられる、遮水シートとしてのジオメンブレンの力学的特性に及ぼす VOCs の影響を定量的に評価することによって、今後の処分場や汚染土封じ込め設計で考慮しなければならない遮水シートに対する有効適用条件を明示した。

(3) 鉛直遮水壁として要求される一体型複合遮水シート工法の性能、基本特性、ならびに施工条件などに関して数値解析や現場試験を通じて検討し、地盤の圧密変形や埋立による応力変化に追従しなければならない、トリプルライナーの安全性と遮水性能を確認した。また、独特な構造を持つトリプルライナーパネルの連結部構造や、様々な施工条件に対応するための遮水構造設計上に必要とされる項目と留意点を示した。

以上要するに、本論文は、廃棄物処分場の遮水構造の適正化に貢献するべく、新たに開発されたトリプルライナーの材料特性、遮水性および一体型複合遮水シート工法としての施工性を、総合的に評価してその実用性を確認したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。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、平成17年8月8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。