

博士(工学) 川口光雄

学位論文題名

廃棄物最終処分場の跡地利用促進技術に関する研究

学位論文内容の要旨

廃棄物管理において必要不可欠な最終処分場は、廃棄物の埋立終了後、地域の福祉向上や地域の活性化に役立つように跡地利用されることが多い。しかし、跡地利用においては、雨水や空気による埋立廃棄物の分解や洗い出し効果によって内在する環境汚染リスクを継続的に軽減させる必要があり、発生する浸出水を長期間適正管理していかなければならない。従前の研究の多くは、埋立地盤の工学上の問題(物理特性、力学特性)や化学特性上の問題を対象としたものであり、住民や自治体が望んでいる周辺環境の保全を担保しつつ跡地の早期利用を図るための研究や、跡地利用中の維持管理費の低減のための実用的な研究は実施されていない。

そこで、本研究では、一般廃棄物の最終処分場の跡地利用を促進するために、新たな着想に基づいた最終処分場における周辺環境の保全を図る遮水機能維持技術を開発するとともに、維持管理の浸出水処理費を低減させる雨水浸透防止技術の比較検証を行った。

第1章では、本研究の背景と目的について述べた。最終処分場のライフサイクルは、施設の建設期間、廃棄物の埋立期間、埋立終了後に廃止基準等を満たして廃止されるまでの期間(埋立終了廃止期間)に分けられる。跡地の利用は、埋立終了後から可能であるが、埋立地をブロック割りすることなどにより埋立中からも段階的に利用可能である。埋立期間は通常10~15年で計画されており、埋立終了廃止期間は15年~30年(平均23年)という調査結果がある。従って、跡地の利用期間が、30年を超える長期となり、この間の「周辺環境の保全技術」と「浸出水処理費低減の雨水浸透防止技術」が、最終処分場に強く求められる。従って、本研究の目的を、以下の2項目とした。

- (1)長期的に最終処分場の周辺環境を保全するための遮水機能維持技術の開発
- (2)跡地利用時の維持管理費を軽減できる雨水浸透防止技術の比較検討

第2章では、最終処分場の跡地利用に関する現状を環境省の資料等から解析した。1997年時点で、廃止できずに維持管理中の最終処分場が201箇所、廃止した最終処分場は251箇所であった。埋立終了後の跡地利用だけでなく、廃止後の跡地利用も少ない状況であった。廃止後の跡地のほとんどは、緑地、公園、駐車場などとして、埋立地の覆土層内の表層が利用されている。つまり跡地利用においては、埋立地の形質を変更して中層、低層を利用するよりも、変更しない表層の利用の優先度が高いと考えられた。表層の利用は、被覆工の敷設により、埋立中からも可能である。しかし、上部に被覆工を敷設して表層を跡地利用した場合、下部遮水工の破損時には上層からの対応は難しい。したがって、跡地利用のための下部遮水システムには、長期的に遮水機能を維持するだけでなく、遮水機能の確認が可能で自己修復機能を持つ遮水工が必要と考えた。また、雨水浸透量減少のための被覆工としては、表層の土地利用パターンに応じて数種類が考えられるが、これらを実際の最終処分場に施工した場合について、経済的効果の比較検討が必要と考えた。

第3章では、新たな着想に基づいた最終処分場の遮水機能維持技術を開発した成果を述べた。すなわち、簡便な方法で最終処分場の遮水シートの破損を即時に検知し、破損部分の修復状況および修復確認が同時にあるいは連続して行える自己修復システムを考案し、「検知・修復型ライナーシステム」を構築するとともに、室内要素実験と実規模実証実験によって、その実用性を明らかにした。

シート破損修復の原理は、コロイド粒子が持つ泥膜形成機能である。破損したシートから流出したコロイド溶液(スメクタイト系粘土薄板状結晶のコロイド粒子からなる懸濁液)が遮水工下地基盤や遮水シート保護層に浸透すると、溶液中の水膨潤状態でプラス電荷を帯びているコロイド粒子がマイナス電荷を帯びた土粒子表面に吸着し、内部に包含していた水を放出してトランプ状に配列して難透水性の「泥膜」を作る性質を利用したものである。従来から遮水工として用いられるベントナイト混合土は、塑性限界あるいは収縮限界以内の半固体、固体で使用されることが多く、遮水工に亀裂が生じた場合、浸出水とNa⁺ベントナイトが反応膨潤して

遮水機能を自己回復させる性質を利用している。一方、本システムで採用している「泥膜」による遮水機能は、液状で Na^+ ベントナイトを使用しており、従来から遮水工に採用されているものとは逆の現象を利用している。この考えは、連続地中壁工法やシールド工法などの都市土木や石油や天然ガスの掘削井戸に利用されている泥膜による孔壁保護機能を発展させたものである。修復が完了すればコロイド溶液の流出は停止するので、遮水シートの破損、修復状況、修復の完了は、流量計によるコロイド溶液の流出量の常時監視で簡単に把握できる。

室内要素実験では、以下の結果が得られ、検知・修復型ライナーシステムの実用化の可能性を示した。

- (1) 重量比 3~5% のコロイド溶液は、二重シート内をほぼ水と同様に充填および還流できることを確認した。
- (2) シート破損時には、遮水工下地基盤や遮水シート保護層にコロイド溶液からの泥膜が形成され、遮水機能が回復されることを確認した。また、遮水シートの保護層や下地材として利用されることが多いまさ土の締固め度で、システムの遮水性能を管理できることを示した。
- (3) 600 日間のコロイド溶液密度の経時変化実験から、コロイド粒子の均質な状態が長期間安定的に持続することを確認した。

実規模レベルの実証実験によって、以下のことを明らかにした。

- (1) 遮水シートの実規模破損実験によって、直径 30cm 程度までの遮水シートの破損については修復可能であることを確認した。
- (2) 実規模レベルにおける配管内や 2 重シート内でのコロイド溶液流動特性を把握し、シート内への溶液充填・還流性能を確認した。

以上より、「検知・修復型ライナーシステム」は、長期的に安定して遮水機能を修復維持できることが確認され、実用化できることを明らかにした。

第 4 章では、雨水浸透防止技術（被覆工）を用いた跡地早期利用の経済効果を明らかにした。最終処分場では、適正な放流水質を確保するために浸出水の処理が高度化しており、浸出水処理施設の建設費と併せて、維持管理費が年々増大している。したがって、跡地利用をする際には、廃棄物の埋立てが終了した埋立地表面に、跡地利用目的に応じた「被覆工」を敷設して、雨水の浸透量を減少させることができ、浸出水処理施設の維持管理費低減には有利と考えられる。

そこで、実際の埋立処分場において、被覆工として「粘性土のみ」「粘性土 + 植栽」「遮水シート + 粘性土」を各々敷設した試験施設を設け、2 年間にわたり降雨量・蒸発量・表流水量・浸透水量の計測を行い、水収支を分析するとともに、実験対象の埋立処分場に 4 種類の被覆工を施設した場合の浸出水処理施設の維持管理費に及ぼす効果を検証し、以下の結果が得られた。

- (1) 水収支の分析から、実験対象埋立処分場に跡地利用タイプに応じた被覆工を敷設した場合の浸出水量を算定し、日平均の浸出水処理低減量を推定した。
- (2) 実験対象埋立処分場における跡地利用タイプ別に被覆工敷設等の初期投資と浸出水処理の維持管理費等の経年コストを算定した。
- (3) その結果、粘性土、植栽などの被覆では、土地利用以外での明確な経済効果は確認されなかつたが、遮水シートやアスファルト舗装による被覆では、10 年程度で初期投資を回収できることが確認された。

第 5 章は、総括であり、論文全体の成果を要約した。

- (1) 廃棄物最終処分場跡地利用時の周辺環境保全技術としての「検知・修復型ライナーシステム」を開発し、その実用可能性を、実験的に検証した。
- (2) 最終処分場跡地利用時の維持管理費を軽減できる雨水浸透防止技術（被覆工）の効果を明確にした。

学位論文審査の要旨

主査 教授 古市 徹

副査 教授 大沼 博志

副査 准教授 谷川 昇

学位論文題名

廃棄物最終処分場の跡地利用促進技術に関する研究

廃棄物管理において必要不可欠な最終処分場は、廃棄物の埋立終了後、地域の福祉向上や地域の活性化に役立つように跡地利用されることが多い。しかし、跡地利用においては、雨水や空気による埋立廃棄物の分解や洗い出し効果によって内在する環境汚染リスクを継続的に軽減させる必要があり、発生する浸出水を長期間適正管理していかなければならない。従前の研究の多くは、埋立地盤の工学上の問題(物理特性、力学特性)や化学特性上の問題を対象としたものであり、住民や自治体が望んでいる周辺環境の保全を担保しつつ跡地の早期利用を図るための研究や、跡地利用中の維持管理費の低減のための実用的な研究は実施されていない。

そこで、本研究では、一般廃棄物の最終処分場の跡地利用を促進するために、新たな着想に基づいた最終処分場における周辺環境の保全を図る遮水機能維持技術を開発するとともに、維持管理の浸出水処理費を低減させる雨水浸透防止技術の比較検証を行った。

第1章では、本研究の背景と目的について述べた。最終処分場のライフサイクルは、施設の建設期間、廃棄物の埋立期間、埋立終了後に廃止基準等を満たして廃止されるまでの期間(埋立終了廃止期間)に分けられる。跡地の利用は、埋立終了後から可能であるが、埋立地をブロック割りすることなどにより埋立中からも段階的に利用可能である。埋立期間は通常10~15年で計画されており、埋立終了廃止期間は15年~30年(平均23年)という調査結果がある。従って、跡地の利用期間が、30年を超える長期となり、この間の「周辺環境の保全技術」と「浸出水処理費低減の雨水浸透防止技術」が、最終処分場に強く求められる。従って、本研究の目的を、以下の2項目とした。

(1) 長期的に最終処分場の周辺環境を保全するための遮水機能維持技術の開発

(2) 跡地利用時の維持管理費を軽減できる雨水浸透防止技術の比較検討

第2章では、最終処分場の跡地利用に関する現状を環境省の資料等から解析した。1997年時点では、廃止できずに維持管理中の最終処分場が201箇所、廃止した最終処分場は251箇所であった。埋立終了後の跡地利用だけでなく、廃止後の跡地利用も少ない状況であった。廃止後の跡地のほとんどは、緑地、公園、駐車場などとして、埋立地の覆土層内の表層が利用されている。つまり跡地利用においては、埋立地の形質を変更して中層、低層を利用するよりも、変更しない表層の利用の優先度が高いと考えられた。表層の利用は、被覆工の敷設により、埋立中からも可能である。しかし、上部に被覆工を敷設して表層を跡地利用した場合、下部遮水工の破損時には上層からの対応は難しい。したがって、跡地利用のための下部遮水システムには、長期的に遮水機能を維持するだけでなく、遮水機能の確認が可能で自己修復機能を持つ遮水工が必要と考えた。また、雨水浸透量減少のための被覆工としては、表層の土地利用パターンに応じて数種類が考えられるが、これらを実際の最終処分場に施工した場合について、経済的効果の比較検討が必要と考えた。

第3章では、新たな着想に基づいた最終処分場の遮水機能維持技術を開発した成果を述べた。すなわち、簡便な方法で最終処分場の遮水シートの破損を即時に検知し、破損部分の修復状況および修復確認が同時にあるいは連続して行える自己修復システムを考案し、「検知・修復型ライナーシステム」を構築するとともに、室内要素実験と実規模実証実験によって、その実用性を明らかにした。

シート破損修復の原理は、コロイド粒子が持つ泥膜形成機能である。破損したシートから流出したコロイド溶液(スマクタイト系粘土薄板状結晶のコロイド粒子からなる懸濁液)が遮水工下地基盤や遮水シート保護層

に浸透すると、溶液中の水膨潤状態でプラス電荷を帯びているコロイド粒子がマイナス電荷を帯びた土粒子表面に吸着し、内部に包含していた水を放出してトランプ状に配列して難透水性の「泥膜」を作る性質を利用したものである。従来から遮水工として用いられるペントナイト混合土は、塑性限界あるいは収縮限界以内の半固体、固体で使用されることが多く、遮水工に亀裂が生じた場合、浸出水と Na^+ ペントナイトが反応膨潤して遮水機能を自己回復させる性質を利用している。一方、本システムで採用している「泥膜」による遮水機能は、液状で Na^+ ペントナイトを使用しており、従来から遮水工に採用されているものとは逆の現象を利用している。この考えは、連続地中壁工法やシールド工法などの都市土木や石油や天然ガスの掘削井戸に利用されている泥膜による孔壁保護機能を発展させたものである。修復が完了すればコロイド溶液の流出は停止するので、遮水シートの破損、修復状況、修復の完了は、流量計によるコロイド溶液の流出量の常時監視で簡単に把握できる。

室内要素実験では、以下の結果が得られ、検知・修復型ライナーシステムの実用化の可能性を示した。

- (1) 重量比 3~5% のコロイド溶液は、二重シート内をほぼ水と同様に充填および還流できることを確認した。
- (2) シート破損時には、遮水工下地基盤や遮水シート保護層にコロイド溶液からの泥膜が形成され、遮水機能が回復されることを確認した。また、遮水シートの保護層や下地材として利用されることが多いまさ土の締固め度で、システムの遮水性能を管理できることを示した。
- (3) 600 日間のコロイド溶液密度の経時変化実験から、コロイド粒子の均質な状態が長期間安定的に持続することを確認した。

実規模レベルの実証実験によって、以下のことを明らかにした。

- (1) 遮水シートの実規模破損実験によって、直径 30cm 程度までの遮水シートの破損については修復可能であることを確認した。
- (2) 実規模レベルにおける配管内や 2 重シート内でのコロイド溶液流動特性を把握し、シート内への溶液充填・還流性能を確認した。

以上より、「検知・修復型ライナーシステム」は、長期的に安定して遮水機能を修復維持できることが確認され、実用化できることを明らかにした。

第 4 章では、雨水浸透防止技術(被覆工)を用いた跡地早期利用の経済効果を明らかにした。最終処分場では、適正な放流水質を確保するために浸出水の処理が高度化しており、浸出水処理施設の建設費と併せて、維持管理費が年々増大している。したがって、跡地利用をする際には、廃棄物の埋立てが終了した埋立地表面に、跡地利用目的に応じた「被覆工」を敷設して、雨水の浸透量を減少させることができ、浸出水処理施設の維持管理費低減には有利と考えられる。

そこで、実際の埋立処分場において、被覆工として「粘性土のみ」「粘性土 + 植栽」「遮水シート + 粘性土」を各々敷設した試験施設を設け、2 年間にわたり降雨量・蒸発量・表流水量・浸透水量の計測を行い、水收支を分析するとともに、実験対象の埋立処分場に 4 種類の被覆工を施設した場合の浸出水処理施設の維持管理費に及ぼす効果を検証し、以下の結果が得られた。

- (1) 水收支の分析から、実験対象埋立処分場に跡地利用タイプに応じた被覆工を敷設した場合の浸出水量を算定し、日平均の浸出水処理低減量を推定した。
- (2) 実験対象埋立処分場における跡地利用タイプ別に被覆工敷設等の初期投資と浸出水処理の維持管理費等の経年コストを算定した。
- (3) その結果、粘性土、植栽などの被覆では、土地利用以外での明確な経済効果は確認されなかつたが、遮水シートやアスファルト舗装による被覆では、10 年程度で初期投資を回収できることが確認された。

第 5 章は、総括であり、論文全体の成果を要約した。

これを要するに、著者は、廃棄物最終処分場の跡地利用時の周辺環境保全技術としての「検知・修復型ライナーシステム」を開発し、その実用可能性を実験的に検証すると共に、跡地利用時の維持管理費を軽減できる雨水浸透防止技術(被覆工)の効果を明確にしたものであり、廃棄物管理工学、最終処分場計画、環境リスク管理工学の発展に貢献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あるものと認める。