

(続紙 1)

京都大学	博士 (地球環境学)	氏名	Purbashree Sarmah
論文題目	Mechanical and leaching characterization of inert waste landfills for safe and sustainable management (安全かつ持続可能な管理のための廃棄物安定型最終処分場の力学特性及び溶出特性の評価)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、非分解性の産業廃棄物を埋め立てる廃棄物安定型最終処分場を対象に、物理特性、力学特性、環境安全性、斜面安定性等の地盤環境工学特性を評価し、処分場の長寿命化に資する合理的な設計や管理の方法を検討したものである。日本では産業廃棄物最終処分場は遮断型、管理型、安定型の3種類に分類されるが、そのうち安定型処分場では廃プラスチック類、ゴムくず、金属くず、ガラスくず・コンクリートくず・陶磁器くず、がれき類の非分解性の5品目が埋め立てられる。このように、有害物質を含まず非分解性の産業廃棄物のみを受け入れが規定されているものの、実際には有機物や有害物質等が完全に除去しきれず混入することで、浸透水水質の悪化やガス発生も指摘されているが、これまでに定量的データの取得に基づいた評価は十分になされていない。一方、安定型処分場の廃棄物層に含まれるプラスチック等の長尺物が補強効果を発揮するため斜面安定性が高いことが知られているが、その効果を設計法・管理法へ反映しうるだけの十分な科学的知見が得られていないのが実状である。日本国内では処分場の新設は困難で残余受入容量は逼迫しているが、今後も恒常的な排出が見込まれる安定型産業廃棄物のみならず、頻発する巨大災害時の災害廃棄物処理等の時代のニーズに応えるためにも、安定型処分場の合理的な設計・管理と長寿命化は喫緊の課題である。安定型処分場の長寿命化を実現するためには、廃棄物受入量の増大と良好な浸透水水質の維持を達成する必要があることから、本論文では、1) 物理特性と力学特性、2) 浸出水水質と水理特性、3) 斜面安定性、の3点について、現場試験、室内試験、数値解析の各方法を組み合わせて評価するとともに、得られた知見に基づき合理的な設計法・管理法を整理している。本論文は7章からなっており、各章の概要は以下に述べるとおりである。</p> <p>第1章は序論である。廃棄物最終処分場の類型化と、安定型処分場の現状と課題を、日本の事例を中心に述べている。本論文の目的を詳述し、各章での検討内容と論文の構成を概説している。</p> <p>第2章は既往の研究のレビューであり、非分解性廃棄物や建設系廃棄物の力学特性、浸出水水質、斜面安定性に関する研究事例を取り上げ紹介している。廃棄物処分場を対象とした研究は1990年代から見られるものの、日本国内の処分場の知見は少ないことから、本研究の有意性を明確にしている。</p>			

第3章では、廃棄物地盤の物理特性と力学特性を評価している。3年間で日本国内の4現場14地点において、原位置一面せん断試験により地盤強度を調査するとともに、廃棄物組成、現場密度、衝撃加速度、安息角等の各指標との関係を整理している。各現場試験の結果に基づき、安定型処分場の設計に必要な地盤強度のばらつきを論じるとともに、強度定数を推定しうる簡易試験法の有効性を示し、その実施方法を提案している。現場採取した試料を任意の組成となるよう試料を再構成し、室内強度試験によって廃棄物組成と強度変形特性との関係を検証している。その結果、繊維廃材を含む廃棄物地盤の強度定数は一般的な地盤と比較して高い値を有しており、せん断に対して大きな抵抗を発揮しうる一方、含まれる量が多すぎると転圧後のリバウンドにより締固め効果を維持し難く、相対的に強度定数は低くなることを明らかにしている。

第4章では、現場採取した廃棄物試料を用いて通水試験を行い、埋立構造や廃棄物組成の違いが水理特性と浸出水水質に及ぼす影響を議論している。試験の結果から、混入しているプラスチックの大きさが廃棄物層の浸透特性と浸透水の水質に影響し、10 cm以上のプラスチックの存在が有意な差をもたらすこと、小サイズのプラスチックのみが混入した地盤では、プラスチックは水みちとして働き、廃棄物層の透水性を高めうること、浸出水の化学的指標は、浸出水のトラベルタイムの影響を受けやすく、滞留時間が長いほど各指標値が大きくなること等を明らかにしている。さらに、廃棄物下部に清浄な土の層を敷設することで、浸出水中の化学物質を吸着する効果が期待でき、浸出水の水質改善につながることを示している。

第5章では、遠心模型実験と動的応答解析を行い、斜面勾配や繊維廃材の有無、土えん堤の剛性等が地震時の斜面安定性に及ぼす影響を評価している。遠心模型実験により、廃棄物地盤内の繊維廃材に起因する引張抵抗と上載荷重の寄与により、土えん堤の滑動や廃棄物層のすべり破壊を抑制しうることを明らかにしている。動的応答解析の結果から、土えん堤の剛性よりも廃棄物層の繊維廃材の有無が安定型処分場の斜面安定性に及ぼす影響が大きく、繊維廃材による補強効果を考慮すれば斜面勾配を1:1、1:1.5、1:2に変化させても安定性に大きな違いがみられないことを示している。

第6章は、本研究で得られた成果の実務的意義を、力学特性、浸出水水質、斜面安定性の各観点から論じている。具体的には、安定型処分場の設計、埋立、拡張の各段階において採用すべき力学試験方法を、求められる特性の測定精度や試験の容易性の観点から提案しており、安定型処分場の合理的な管理方法を提示している。

第7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)

非分解性の廃棄物を埋め立てる廃棄物安定型最終処分場は、浸出水水質への懸念や繊維廃材の補強効果による高い地盤強度が指摘されているものの、埋立廃棄物が不均質で評価が難しく、定量データに基づく評価がほとんどなされていない。しかし、安定型処分場の今後の必要性を踏まえると、定量データに基づいた設計・管理の合理化は喫緊の課題である。本論文は、安定型処分場の力学特性、環境安全性を評価するとともに、具体的な設計・管理法を論じたもので、得られた主な成果は以下の通りである。

第一に、廃棄物層の地盤特性を網羅的に明らかにするとともに、強度定数を簡便に評価しうる可能性を示した。廃棄物層の強度定数は処分場の設計に不可欠であるが、従来の試験方法では試料成形に時間を要すること等が課題とされてきた。これに対し、本論文では現場で比較的容易に実施可能な衝撃加速度試験や安息角試験を適用し、各試験で得られる指標が強度定数と良い相関を示すことを明らかにしている。このことは、強度定数算出の効率化につながることから、安定型処分場設計の高度化に大きく資すると考えられる。

第二に、良好な浸出水水質を維持するために有効な埋立方法を提案した。混入しているプラスチックの大きさが廃棄物層の浸透特性と浸透水の水質に影響し、10 cm以上の大きさのプラスチックの存在が有意な差をもたらすことや、浸透水の廃棄物層内での滞留時間が長いほど水質が悪化すること等を実験により示している。廃棄物下部に敷設したまき土層の水質改善効果も明らかにし、これまで十分な知見が得られていなかった埋立方法と水質との関係を初めて定量的に示した。これらの知見は安定型処分場における埋立の合理化に反映しうることから、実務への貢献が極めて大きい。

第三に、安定型処分場の急勾配化の実現可能性を示した。本論文では、廃棄物層の繊維廃材による補強効果を考慮すれば、斜面勾配を大きくした場合でも崩壊しないことを明らかにしている。処分場斜面の急勾配化が実現できれば、廃棄物受入容量を増大しうるため、処分場の長寿命化につながる。繊維廃材の補強効果はこれまでも示唆されていたものの、具体的な断面モデルを用いて安定性を検討した例は無く、学術的な意義が大きい。

以上の成果より、本論文は廃棄物安定型最終処分場の設計や管理の合理化に資する多くの科学的知見を提示しており、廃棄物処分の高度化への貢献が期待されることから、社会的意義は高く、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2年7月31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