

Title	Soil Amended with Calcium-Magnesium Immobilizing Agent against Natural Arsenic Contamination( Abstract_要旨 )
Author(s)	Mo, Jialin
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	2019-03-25
URL	<a href="https://doi.org/10.14989/doctor.k21936">https://doi.org/10.14989/doctor.k21936</a>
Right	学位規則第9条第2項により要約公開; 許諾条件により本文は2020-09-25に公開; 許諾条件により要約は2020-03-25に公開
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	ETD

京都大学	博士 ( 地球環境学 )	氏名	莫 嘉麟
論文題目	Soil Amended with Calcium-Magnesium Immobilizing Agent against Natural Arsenic Contamination (カルシウム-マグネシウム系不溶化材を混合した地盤材料による自然由来ヒ素の緩衝効果)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、天然鉱物の焼成物を主成分としたカルシウム-マグネシウム (Ca-Mg) 系不溶化材を混合した地盤材料を対象とし、通水溶液中に含まれるヒ素に対する濃度低減効果とそのメカニズムを実験的に評価したものである。日本には地質起源で砒素や鉛など重金属等を含む岩石や土壌が広く分布しているため、トンネル掘削等の建設工事で発生する大量の土砂や岩石にそのような自然由来の重金属等が含まれていることが少なくない。重金属等による周辺環境の汚染を防止するため、掘削した土砂等は適切に管理・保管することが求められるが、自然由来で存在する重金属等の岩石からの溶出は基準値の数倍以内と比較的低濃度であることが多く、環境安全性を確保しつつも合理的に地盤材料として再資源化する技術の確立が求められている。本研究で対象とする吸着層工法はそのような地盤汚染対策技術の一つであり、盛土状に保管した土砂・岩石の下部に、重金属等を捕捉しうる吸着材料を敷設することにより、通過する浸出水中の化学物質濃度を低下させる工法のことである。従来の遮水シートによる封じ込め工法では地盤構造物内に強度的な弱部を形成するのに対し、吸着層工法では層全体が粒状体であるため堅固な土木構造物を構築できる点で有利であるが、設計法の確立には至っておらず科学的知見が求められている。本論文では、国内に広く分布するまさ土を母材に粉末状のCa-Mg系不溶化材を最大で5%添加した混合土を対象とし、水理的特性とヒ素吸着性能の観点から吸着層工法としての適用性を評価している。論文は7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、自然由来重金属等を含有する岩石や土壌の発生を伴う代表的な建設工事の事例を紹介している。また、本論文で対象とする吸着層工法の基本概念や地盤汚染対策における位置づけを述べるとともに、使用したCa-Mg系不溶化材の特徴と重金属吸着性能や基本的なメカニズムについて概説している。</p> <p>第2章では関連する先行研究をとりまとめている。掘削土や岩石に含まれる自然由来の重金属等や酸性水の成因を整理し、適切に地盤材料として有効利用するための対策法の重要性を述べるとともに、対策法としての吸着層工法の優位性を各種工法との比較を通じて論じている。次に、酸化マグネシウム等の他の改質材料を用いた事例も取り上げ、2000年代後半から活発になった吸着層工法に関する先行研究を網羅的に整理している。Ca-Mg系不溶化材</p>			

に関する既往研究については、化学組成分析やバッチ式の吸着試験の結果を中心にまとめており、まさ土に粉末状のCa-Mg系不溶化材を混合することで高い吸着作用が期待できる一方で、添加量や養生日数、浸透水との接触時間等の個別要因の影響について未解明であることを述べ、本研究の意義と位置づけを明確にしている。

第3章では、締め固めたCa-Mg系不溶化材混合土の水理的特性に及ぼす影響因子を、室内透水試験により定量的に評価している。不溶化材の添加量、養生日数、動水勾配を変化させ、Ca-Mg系不溶化材混合土の平均透水係数は約 $1 \times 10^{-6}$  m/sであることや、不溶化材の添加により透水係数が最大で4倍程度増加することを示した。一方で、28日までの期間では養生日数による透水係数への影響が軽微であることを明らかにしており、この要因として不溶化材の成分の一つであるMgOの速い水和反応の影響と結論づけている。また、透水係数は全体的に減少傾向を示すものの、時間の経過とともに勾配が緩やかになることも明らかにした。

第4章では、混合土のヒ素に対する吸着性能を、バッチ吸着試験及び上向流カラム通水試験により検討している。バッチ吸着試験の結果から、混合土の吸着性能はFreundlich型の吸着等温線により表現できることを明らかにするとともに、不溶化材添加量に対してはヒ素吸着量が線形的に増加するものの、7日と28日の養生日数では吸着性能が変化しないことを示した。また、供試体に定流量で連続的に溶媒を通水させる上向流カラム通水試験により、排出水中のヒ素濃度の変化は古典的な移流分散方程式に従うことを明らかにするとともに、カラム通水試験での液固比20におけるヒ素の吸着量はバッチ試験の結果と一致することを明らかにした。

第5章では、混合土のヒ素吸着性能の時間依存性を評価している。混合土のヒ素吸着性能は溶媒との接触時間に依存するが、流入するヒ素濃度が低濃度の場合には差異が顕著ではないことを明らかにした。さらに、異なる流速で行った上向流カラム試験の結果から、接触時間が長いケースより短いケースの方が早期に破過に至るがヒ素吸着量が多いこと等を示した。これは、接触時間が長くなることで $Mg^{2+}$ 及び $Ca^{2+}$ の溶出量が増え、混合土のpH緩衝作用が低下したことや、 $Mg(OH)_2$ の溶解が進んだことによると論じている。

第6章では、第3章から第5章までの結果を踏まえ、想定事例に基づいて自然由来の重金属等を含む岩石等を盛土の下部に吸着層を設ける際の、透水性能及びヒ素の遮へい性能を定量的に示し、各章で得られた成果の実務的意義を述べており、具体設計に向けた結果の解釈について述べている。

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。

(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地球上の様々な国・地域における重要な環境課題であり、自然由来の重金属等を含有する掘削土砂等を地盤材料として再資源化するための技術と制度の整備が求められている。本論文は、カルシウム-マグネシウム (Ca-Mg) 系不溶化材を混合した地盤材料を対象とし、溶液中に含まれるヒ素に対する濃度低減効果とそのメカニズムを評価したものである。得られた主な成果は以下の通りである。

第一に、Ca-Mg系不溶化材を混合した地盤材料の透水性能及びヒ素吸着性能と不溶化材混合量や養生日数等の各パラメーターの関係を明らかにした。既往研究では不溶化材単体の吸着性能については議論されていたが、本研究により質量比で約5%の添加率であっても高いヒ素吸着性能が見込めることを示しており、性能設計に基づく合理的な吸着層工法の実現に向けた有用な知見が得られたと言える。さらに養生期間による吸着性能の変化は見られないことから長期にわたり安定した性能を期待しうることや、混合土の平均透水係数は約 $1 \times 10^{-6}$  m/sで透過性を維持しうること等を明らかにしており、Ca-Mg系不溶化材混合土を用いた吸着層工法の適用性を定量的に示した点で学術的に価値が高い。

第二に、カラム通水試験により供試体に溶媒を異なる流速で供給することで、Ca-Mg系不溶化材混合土のヒ素吸着の時間依存性を初めて明らかにした。接触時間が短いほど $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ の溶出が抑えられ、pH緩衝作用を維持することにより、高い吸着性能が長期に渡り期待できることや、流入するヒ素濃度が低濃度の場合には吸着性能の時間依存性が顕著ではないこと等を明らかにしている。これらの成果は、吸着層の緩衝特性や長期性能を把握する上で重要な知見であり、地盤環境工学における学術的意義が高い。

第三に、想定事例に基づいて吸着層を用いる場合の透水性能及びヒ素の遮へい性能を定量的に示すことにより、具体的な設計手法の確立に向けた可能性を示している。この成果は、入力する現場条件によって吸着層の性能を予測しうること示唆しており、実務的意義が高い。

以上の成果により、本論文は地盤汚染対策としての吸着層工法の有効性を示すとともに、性能に基づいた設計に資する科学的知見を提示しており、合理的な土壌汚染対策技術の普及に貢献することが期待され、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、平成31年2月18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。