

氏名	ジョン 鄭	ハ 夏	イック 翼
学位(専攻分野)	博士(工学)		
学位記番号	論工博第3862号		
学位授与の日付	平成17年5月23日		
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当		
学位論文題目	Remediation of Contaminated Soils by Electrokinetic and Ultrasonic Methods (動電現象の利用と超音波手法とによる汚染地盤の修復)		
論文調査委員	(主査) 教授 嘉門雅史	教授 大西有三	教授 森澤眞輔

論文内容の要旨

土壌・地下水汚染浄化対策法の確立は緊急に要請される事項の一つであり、我が国のみならず韓国においても近年は重要な課題として数多くの取組が見られている。そのうちでも動電土壌処理技術 (electrokinetic soil processing) は汚染地盤の浄化方法として、世界各地で実証試験的な研究開発がなされている。しかしながら、動電 (Electrokinetic: EK) 現象を用いた重金属浄化工法は比較的新しい技術であり、重金属の他に複合的に有機化合物で汚染されている地盤に遭遇することも多く、それらの複合汚染物質の除去の基本メカニズムについても不確定要素が多いものである。また、いくつかの浄化原理を組み合わせたハイブリッド対策工法の導入に関する研究も、浄化効率の向上の視点から積極的に取り組むべきテーマである。

本論文では、このような EK 現象に基づく地盤汚染の浄化技術に焦点をあて、各種の粒度分布を持つ地盤を対象として、組合せ浄化工法の有効性と浄化効率の評価などを多角的な視点から詳細な実験に基づいて検討したものであり、以下の6章からなっている。

第1章は、序論であり、本研究の背景として近年問題となっている地盤汚染事例を示し、特に重金属や有機化合物で汚染された地盤の浄化のため、現在まで採用されてきた動電学的な処理方法について概観し、本研究の目的を示した。

第2章では対象とした地盤浄化手法のうちの洗浄工法、超音波工法、動電浄化工法に関する基礎メカニズムを詳細に整理するとともに、汚染土とスラリー状の汚染堆積物の汚染形態に基づいた既存浄化技術等についての得失を取りまとめ、組み合わせ技術の開発の必要性を明確にした。

第3章では韓国仁川粘土を対象に動電浄化実験を詳細に実施して、基礎的浄化メカニズムを検討した。鉛 (Pb) で汚染された地盤への直流電流の付加によって、陽極周辺の酸性領域が時間とともに拡大し、陰極近傍へ広げることによって著しい浄化効果を得ることを示し、100 mA までの付加までは電流値の増大とともに効果が増大すること、また電気浸透 (EO) 効果が大きいことを示した。さらに初期 Pb 濃度が大きいほど浄化効果が大きいことも明らかにした。

第4章ではスラリー状の汚染堆積物について検討した。対象試料として英国カオリンを用い、汚染有機物としてエチレングリコールを添加している。電極配置を逆転することによって、スラリー沈降状態では電気泳動 (Electrophoresis: EP) 現象で、堆積物状態では EO 現象に着目して動電浄化効率を定量的に検討した。沈降時におけるスラリーの密度変化は透過 X 線強度解析によって明らかにした。その結果として、汚染土のカップリング処理効果を定量的に明らかにし、EP 現象による沈降速度増大効果は付加電圧値の増加と、濃度レベルならびにスラリー濃度の減少に伴って著しいことを示す相関式を得た。堆積物の浄化効果についても同様の傾向を示した。

第5章では各種の粒度分布を持つ地盤を対象として、動電浄化効果と超音波浄化効果の組合せ手法の有効性と浄化効率の評価を詳細な実験に基づいて明らかにした。手法としては、洗浄処理、動電処理、超音波処理、動電+超音波処理の4種類を選定した。

まず、韓国標準砂を用いた Pb とエチレングリコール汚染土、及びカドミウム (Cd) と炭化水素であるディーゼル油での

汚染土では、超音波処理による洗浄促進効果が著しいことを示し、これが有機物であるエチレングリコールの除去に効果的であることを明らかにした。この時の地盤の透水性が浄化効果を大きく左右することを示している。

次に、韓国仁川粘土を用いた Pb と有機化合物であるフェナントレン汚染土では、低透水性であることから動水勾配を与えることができないから、動電処理と動電+超音波処理との2種類の浄化を検討した。浄化は時間の経過とともに著しい増加を得て、動電+超音波処理の組合せ手法の有効性を明確に示している。

以上の結果に基づいて、粒度構成が異なる粘土混じり砂と砂混じり粘土を各種調整し、Pb とフェナントレン汚染土を対象に、上記4種類の浄化実験を行って詳細に浄化効率を検討した。

粘土混じり砂では、地盤の透水性に依存して動水勾配を与えた洗浄効果が高く、超音波処理と EO 現象による浄化効率の高さが著しい、ただしこの効率は粘土含有量の増加に伴って減少することを明らかにした。一方、砂混じり粘土では、粘土分を50%以上含むことによって単純な洗浄手法では浄化が不可能であることを示し、超音波浄化手法もそれだけでは浄化が困難であることを明らかにした。そのために動電浄化技術は EP ならびに EO 現象による効果が大きく、超音波浄化作用と相乗効果を示すことを、流入・流出濃度変化、土中の汚染物質の濃度変化ならびに浄化速度の測定結果に基づいて明らかにした。

さらに、本手法の現場への適用性に関して検討し、数値モデルを用いた詳細な定量的検討を今後必要とするが、所要の効果が得られる見通しを明らかにした。

第6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

地盤汚染の課題は近年韓国においても重要な問題として認識されるようになり、その適切な浄化手法の開発は喫緊の課題となっている。本論文は、重金属類や有機系化合物で汚染された地盤を電気化学的な動電現象と超音波振動との組合せによって、効率的に浄化する対策手法を開発し、各種の粒度分布を持つ地盤条件下での詳細な実験に基づいてその有効性を確認したものであり、得られた成果は以下の通りである。

- (1) 電気浸透などの動電現象を利用した汚染土の浄化手法の有効性を明らかにして、電気浸透による含水比の低下効果を利用し、さらに土とのイオン交換によって重金属を除去できることを実験的・理論的に検証した。特に、動電付加中の供試体内部の重金属イオン濃度や pH の変化を詳細に測定した。
- (2) 洗浄による汚染土の浄化との比較を行うために、懸濁液状態での浄化メカニズムを追求し、沈降分離と電気浸透効果の区分を行って、汚染物質の浄化に動電現象を利用することが効果的であることを明らかにした。
- (3) 超音波振動を砂質土へ加えると土粒子間の分散性が向上することに着目し、鉛とエチレングリコールによる人工汚染土に対して、30 kHz の超音波振動を与えることで効果的に浄化できることを示した。
- (4) 動電現象と超音波手法とを組み合わせた複合手法を導入することによって、より一層の浄化効果を得ることが出来ることを示し、粘土と砂の組合せ比率が異なる各種の汚染土に対して実験的に検討した。その結果、一般の洗浄手法が粘土含有量の増大に伴って、粘性土では全く効果が無くなるのに対して、複合処理工法では粘土含有量が増大しても汚染物質の除去効率に遜色無く、特に動電現象を利用した除去の効率が高いことを、重金属としては鉛を、有機化合物としてはフェナントレンを汚染物質として添加した人工汚染土に対する詳細な実験によって明らかにした。
- (5) 本手法の現場への適用性に関して検討し、数値モデルを用いた詳細な定量的検討が今後必要であることを示すとともに、所要の効果が得られる見通しを明らかにした。

以上要するに、重金属類や有機系化合物で汚染された地盤を、電気化学的な動電現象と超音波振動との組合せによって効率的に浄化する対策手法を開発して、その浄化メカニズムの解明と各種の粒度分布を持つ地盤条件下での浄化効率の評価を行って、有効性を確認したものであって、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(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成17年3月4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。