



Title	Evaluating the Mechanical and Diffusive Leaching Performance of Cement-Stabilized Clay Mixed with Recycled Concrete Aggregates
Author(s)	Ruangsangthong, Akkarachai
Citation	大阪大学, 2025, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/101682">https://hdl.handle.net/11094/101682</a>
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## Abstract of Thesis

Name (RUANGSANGTHONG AKKARACHAI)	
Title	Evaluating the Mechanical and Diffusive Leaching Performance of Cement-Stabilized Clay Mixed with Recycled Concrete Aggregates (再生砕石を混合したセメント改良土の力学特性および拡散溶出挙動の評価)
<p><b>Abstract of Thesis</b></p> <p>In Japan, soil improvement techniques often involve the application of cement-based stabilizers, which are locally available and can achieve sufficient compressive strength within a short period. To reduce costs and CO<sub>2</sub> emission associated with cement usage and promote waste recycling, supplementary materials derived from construction and demolition works and other industries, such as recycled concrete aggregate (RCA), have been adopted to improve mechanical properties. However, the use of waste-derived materials and cement raises environmental concerns due to the presence of hexavalent chromium (Cr(VI)) and other chemicals. Thus, their leaching should be appropriately evaluated and controlled. The objectives of this research addresses three related technical issues; 1) to investigate the leaching of Cr(VI) from compacted cement-stabilized clay (SC) and the influential factors, 2) to assess both mechanical and leaching performances of stabilized clay compacted with RCA; and 3) to conduct analytical modeling of environmental impact by leaching from the compacted stabilized clay with RCA.</p> <p>In chapter 1, the objectives and scope of this work were clarified.</p> <p>In chapter 2, the mechanical performance, internal structure, and transport of heavy metal contaminants within RCA-clay mixtures were reviewed. The significance of diffusion in the migration of heavy metal contaminants was emphasized, with particular focus on key parameters such as the effective diffusion coefficient (<math>D_{eff}</math>), partitioning coefficient (<math>K_d</math>), and their experimental determination.</p> <p>In chapter 3, preliminary investigation of Cr(VI) leaching from cement-stabilized soil was presented by conducting tank leaching tests (TLTs) for 28 days, focusing on influential factors such as mixing methods (dry mixing and wet mixing), curing periods, specific surface areas of the specimens, and liquid-to-solid ratios. Wet mixing specimens exhibited significantly lower Cr(VI) leaching than dry mixing specimens with the equivalent unconfined compression strength, due to improved homogeneity and cement hydration. Specimens cured for 7 days showed higher Cr(VI) leaching compared to those cured for 28 days, attributing to less Cr(VI) precipitation from hydration products. Leaching rates were also affected by the specific surface area, suggesting a need to revise Japanese TLT regulations for the cement-stabilized soil to better account for these factors.</p> <p>In chapter 4, after mixing the RCA to SC with varying RCA contents (20%, 40%, and 60% by weight), laboratory experiments, including Proctor compaction tests, hydraulic conductivity tests, batch leaching tests, and TLTs with periodic replacement of the leach solution were conducted. These tests revealed that RCA improved the compaction performance of SC-RCA mixtures and lowered hydraulic conductivity. The minimum void ratio was achieved at 60% RCA, while the lowest hydraulic conductivity was obtained at 40% RCA since the effective compaction of soil fraction was achieved. Higher RCA content led to increased Cr(VI) leaching in the batch leaching tests, but negligible leaching in TLTs. Calcium (Ca) was measured in TLTs to further determine <math>D_{eff}</math>. <math>D_{eff}</math> values decreased as RCA content increased; however, for specimens with 60% RCA, <math>D_{eff}</math> increased due to better pore connectivity, which facilitated faster diffusion of Ca.</p> <p>In chapter 5, the experimental parameters of compacted SC-RCA mixtures were used to predict the long-term leaching behavior of Ca and Cr(VI) through FE analysis. The results revealed that that Ca and Cr(VI) concentrations at the point of concern was effectively limited by mixing compacted SC with 40%-RCA due to its lowest <math>D_{eff}</math>. While the increasing RCA content in compacted SC-RCA mixtures extended the leaching period for Ca due to higher <math>K_d</math> values, Cr(VI) leaching remained consistent across mixtures as <math>K_d</math> values showed minimal variation.</p> <p>In chapter 6, the main conclusions and recommendations for future work were summarized.</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( RUANGSANGTHONG AKKARACHAI )			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教 授	乾 徹
	副 査	教 授	鎌田 敏郎
	副 査	准教授	廣畑 幹人

**論文審査の結果の要旨**

軟弱地盤の土質改良には、広く流通しており、かつ短期間で所要の強度発現が期待できるセメント、もしくはセメント系固化材が使用されることが多い。ただし近年は、製造時の CO<sub>2</sub> 排出量が多いセメントの使用量を削減しつつ資源循環を促進する観点から、土質改良効果を有する建設副産物やスラグ、フライアッシュ等の産業廃棄物が改良助材として積極的に用いられている。一方、建設副産物のうち最も排出量が多いコンクリート塊は、主にコンクリート再生碎石（RCA）としての再資源化が進められている。しかし、利用用途の縮小によるストックの増加、および微量ではあるがセメント由来の六価クロム（Cr(VI)）の溶出への対応が近年課題となっている。特に、Cr(VI) の溶出については 2022 年 4 月に地下水環境基準が強化されたことを受け、RCA やセメント改良土（SC）を地盤材料として利用する際には Cr(VI) の溶出挙動を適切に評価、制御することが求められている。本論文では、これらの SC および RCA を取り巻く現況の技術的課題の解決に資する学術的知見を提供することを目的として、1) SC 成型体を対象とした Cr(VI) 溶出挙動とその影響要因の調査、2) SC に RCA を混合したハイブリッド材料（SC-RCA 材）を対象に、強度変形特性および水溶性物質の吸収・拡散溶出抑制効果の観点からの RCA 配合効果と適切な配合量の実験的解明、3) SC-RCA 材を地盤材料として利用した際の一連の実験結果に基づく地下水汚染リスクの評価手法の確立、および RCA 配合による地下水汚染リスク低減効果の評価、を実施している。

第 1 章では、研究の背景と目的、論文の構成を示している。

第 2 章では、文献調査に基づき、碎石と土壌を混合した類似の材料の強度変形特性や有害物質の移行特性に内部構造が及ぼす影響をレビューし、本研究の位置付け、重要性を明確にしている。加えて、成型体からの化学物質の溶出を支配する拡散溶出挙動について、有効拡散係数 ( $D_{eff}$ )、分配係数 ( $K_d$ )、溶出関与総量 ( $M_T$ ) といった重要なパラメータの評価方法をまとめている。

第 3 章では、既往の研究で Cr(VI) 溶出濃度が高い傾向が確認されている自然含水比状態の火山灰質粘性土を高炉セメントで改良した SC を対象に、その成型体からの Cr(VI) 溶出挙動と影響要因を室内試験で評価した結果を報告している。具体的には、28 日間に渡るタンクリーチング試験（TLT）を実施し、セメント添加方法（粉体添加およびスラリー添加）、処理土の養生期間、供試体の比表面積、および溶媒量が Cr(VI) 溶出量の時間変化に及ぼす影響を整理している。さらに、これらの要因による影響を踏まえ、国内で採用されているセメント改良土を対象とした TLT の試験操作方法を改訂する余地があることを指摘している。

第 4 章では、SC-RCA 材を対象に、締め固め特性や透水係数といった基本的な材料特性に RCA 配合量が及ぼす影響を把握した上で、Cr(VI) および Ca などの溶出挙動に及ぼす影響を拡散溶出試験、液固比バッチ試験などを用いて詳細に評価している。RCA 質量比 60% の SC-RCA 材が最小の空隙率を示すものの、RCA による骨格構造の形成によって

SC 分の締固め性が低下し、最小の透水係数が得られる配合は RCA 質量比 40%であるとしている。Cr(VI)の溶出挙動に及ぼす影響については、RCA 配合量が増加すると  $M_T$ が増加、 $K_d$ が低下するために溶出性は上昇するものの、成型体からの拡散溶出量は検出限界以下であること、ならびに  $D_{eff}$ は透水係数と同様に RCA 質量比 40%の供試体において最小となり、RCA 質量比 60%の供試体においては、細孔の連結性が向上し  $D_{eff}$ が上昇することを示している。

第 5 章では、第 4 章で得られた  $D_{eff}$ 、 $K_d$ 、 $M_T$ を用いて SC-RCA 材を路盤材として使用した場合の化学物質の溶出挙動をモデル化し、有限要素法による移流分散解析によって地下水質に及ぼす影響を評価している。その結果から、一般的な利用条件下においては、RCA 質量比 40%の SC-RCA 材における  $D_{eff}$ の低下による寄与が大きく、評価地点における Ca と Cr(VI) の地下水濃度が効果的に制限されることなどを示している。

第 6 章では、主な結論と今後の課題、提言をまとめている。

以上のように、本論文は建設副産物である RCA を軟弱地盤の土質改良における改良助材として使用することにより、強度変形特性や締固め性の改善のみならず、有害物質である Cr(VI) の溶出とそれによる地下水汚染リスクを長期的に抑制できることを明らかにするとともに、適切な RCA 配合量を定量的に示した点において、土質改良の合理化と環境負荷抑制、RCA の有効利用促進に貢献するところが大きい。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。