

Title	Evaluation of the Stress State and Performance of a Soil-Bentonite Cutoff Wall Considering Mechanical Interactions with Surrounding Soils
Author(s)	Lin, Zhexin
Citation	大阪大学, 2026, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/105476
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 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 (LIN ZHEXIN)	
Title	Evaluation of the Stress State and Performance of a Soil-Bentonite Cutoff Wall Considering Mechanical Interactions with Surrounding Soils (周囲地盤との力学的相互作用を考慮したソイルベントナイト遮水壁の応力状態と性能の評価)
Abstract of Thesis Soil-bentonite (SB) cutoff walls, which exhibit low hydraulic conductivity and high flexibility, are widely used to contain contaminated soil-groundwater and illegally dumped waste, as well as for seepage control. In Japan, the trench cutting re-mixing deep wall (TRD) method is commonly employed, as it enables the construction of highly homogeneous walls, even in layered ground. After installation, the SB walls undergo consolidation, which is significantly influenced by mechanical interactions with the surrounding soil, such as arching effects and lateral squeezing. As a result, the effective stress mobilized in the wall is much lower than that predicted under geostatic conditions. Furthermore, the hydraulic conductivity and mechanical properties of SB walls are highly stress dependent. Therefore, the stress state of the SB wall is a critical factor in evaluating and ensuring its performance. The primary objective of this study is to evaluate the mechanical interactions between the SB cutoff wall constructed using the TRD method and the surrounding soil. In addition, the influences of the strength parameters of both the SB cutoff wall and surrounding soil, as well as the shear strength reduction factor R, on the mean effective stress σ'_m mobilized in the SB wall is discussed. In Chapter 1, the objectives and scope of the dissertation are outlined. The fundamental mechanisms governing the behavior of the SB cutoff walls are described, emphasizing the importance of evaluating their stress state and shear behavior at the interface with the surrounding soils. Chapter 2 presents an overview of the development and advantages of SB cutoff walls. The mainstream construction techniques, quality control requirements, and several existing models for predicting the internal stress state of SB walls are summarized. The concept of the shear strength reduction factor at the interface, R, is also introduced. In Chapter 3, the internal shear behavior and interface shear behavior of remolded soil-bentonite mixtures (SBM) are evaluated through laboratory tests. Consolidated-undrained (CU) triaxial tests are conducted to characterize the shear behavior of SBM. A finite element analysis is conducted to verify the applicability of the Modified Cam-Clay (MCC) model in simulating the mechanical response of SB. In addition, constant-volume direct shear tests are performed at the interface between the SB and decomposed granite soil to determine the effective interface shear strength parameters. The shear strength reduction factor, R, for the remolded SB is determined to be 0.89. In Chapter 4, undisturbed SBM samples are collected from a 15-year-old SB wall at the test site. Consolidation tests are performed to determine the consolidation yield stress of the undisturbed SBM samples, which corresponds to the effective stress mobilized after consolidation. Based on the existing arching model and the evaluated stress state with depth, the R value is determined using a least-squares fitting method, yielding a value of 0.60. In Chapter 5, numerical simulations are conducted to evaluate the effective stress state and interface interaction of the 15-year-old SB wall at the test site. The MCC-based shear and deformation parameters are employed, and interaction between the SB wall and the surrounding soil is modeled by introducing internal contact elements with normal and shear stiffness derived from laboratory tests. A numerical fitting method is used to determine the value of R mobilized at the site, which is found to be 0.63. The results indicate that only the shallow zone of the interface reaches the critical shear strength. Chapter 6 investigates the practical implications of this study through a parametric analysis. Comparisons are made between the SB cutoff walls constructed using the TRD method ($R = 0.63$ and 0.90) and the conventional backfilling method ($R = 0.10$) in terms of the σ'_m mobilized and deformation of a hypothetical 14.5-m-deep SB cutoff wall. The results show that the TRD method reduces consolidation settlement of the wall, while decreasing the σ'_m by approximately 60% at 5 m depth and by approximately 55% at the base of the wall, and increasing the horizontal displacement of the surrounding soil toward the wall. These findings highlight the importance of accounting for reduced mean effective stress in hydraulic performance evaluation and of monitoring the lateral deformation of the surrounding soil in practical design. Chapter 7 summarizes the conclusions and outlines future research directions.	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (LIN ZHEXIN)			
論文審査担当者	(職)		
	氏 名		
	主 査	教 授	乾 徹
	副 査	教 授	鎌田 敏郎
	副 査	准教授	緒方 奨

論文審査の結果の要旨

難透水性と変形追従性を有するソイルベントナイト (Soil-bentonite mixture: SB) 地中鉛直遮水壁は、土壌・地下水汚染や不法投棄廃棄物の原位置封じ込め、堤防周辺の浸透対策工などとして広く用いられている。地盤にトレンチを掘削し、機械混合した SB を埋め戻す従来工法に代わり、近年では、ベントナイトを原位置で直接噴射・攪拌することで均質な壁体が施工可能な等厚式地中連続壁 (Trench cutting re-mixing deep wall: TRD) 工法が国内で採用されている。SB 遮水壁は周辺地盤に比べ変形性が大きいため、アーチング効果や側方拘束といった周辺地盤との力学的相互作用の影響を受ける。その結果、SB 壁体に作用する有効拘束圧は土被り圧から予測される値よりも小さくなることが知られている。SB 遮水壁の透水係数や強度・変形特性は応力依存性が高いため、周辺地盤との相互作用を考慮した内部応力状態の予測が、遮水壁の性能を評価・確保する上で極めて重要である。しかし、TRD 工法によって施工された SB 遮水壁を対象に検討・予測された事例は限られており、評価方法も確立されていない。本研究では、TRD 工法により施工された SB 遮水壁に及ぼす周辺地盤との力学的相互作用の影響を定量的に評価することを目的とする。具体的には、SB 遮水壁の強度・変形特性、ならびに SB 遮水壁のせん断強度に対する SB 遮水壁－周辺地盤境界面のせん断抵抗の低下度で定義される低減係数 R の推定結果に基づき、これらの要因が SB 壁内に作用する平均有効応力 σ'_m や地盤内挙動に及ぼす影響を評価している。

第 1 章では、SB 遮水壁の挙動および性能を評価する上で、遮水壁内部の応力状態および周辺地盤との境界面におけるせん断挙動を把握する重要性を示し、本研究の目的を述べている。

第 2 章では、SB 遮水壁に関する既往の研究開発状況を整理し、主な施工技術、品質管理方法、ならびに SB 壁内部の応力状態を予測する代表的なモデルについてレビューしている。また、本研究で導入する低減係数 R の概念を説明している。

第 3 章では、再構成 SB 試料を対象として、室内試験により強度・変形特性および周辺地盤との境界面せん断挙動を明らかにしている。SB 試料の強度・変形特性は圧密試験、圧密非排水 (CU) 三軸試験により評価し、有限要素解析を通じて Modified Cam-clay (MCC) モデルにより SB のせん断挙動を記述できることを示している。SB と周辺地盤の境界面せん断挙動については、定体積一面せん断試験を実施し、せん断変位－せん断抵抗関係と強度定数を求めている。これらの結果から、本試料および本実験条件下における低減係数 ($R = 0.89$) を決定している。

第 4 章では、試験サイトで施工後 15 年経過した SB 壁から採取した SB 試料を対象として、強度・変形特性および採取深度と圧密降伏応力の関係を室内試験によって明らかにし、圧密完了後に SB 遮水壁に作用する平均有効応力 σ'_m の深度方向分布を推定している。その結果、当該サイトの条件下における低減係数 $R = 0.60$ であることを、既存のモデルに基づいて同定している。

第5章では、数値シミュレーションにより、第4章で対象としたSB遮水壁内部の応力状態を評価している。SBの強度・変形特性はMCCモデル、SB遮水壁と周辺地盤の境界面における相互作用はジョイント要素をそれぞれ用い、モデルパラメータは第3章および第4章の実験結果に基づいて決定している。その結果、計測された平均有効応力 σ_m の深度方向分布を再現する低減係数が $R=0.63$ であることを確認している。さらに、境界面のうち限界状態に達しているのは遮水壁浅部のみであること、ならびに周辺地盤においてくさび状の沈下およびひずみ集中領域が形成されることを明らかにしている。

第6章では、パラメトリックスタディを実施することにより、本研究の成果の実務的意義について検討している。従来工法で施工されたSB遮水壁($R=0.1\sim0.2$)と比較して、TRD工法により構築されたSB遮水壁は大きな R を示すことを踏まえ、前章までに同定された $R=0.63$ および 0.90 を対象として、仮想のSB遮水壁(14.5m深さ)に作用する平均有効応力および変状を評価している。その結果、従来工法と比較して、TRD工法による遮水壁では壁体の圧密沈下は抑制される一方で、作用する平均有効応力が5m深さで約60%、壁底部で約55%低下し、周辺地盤のSB遮水壁側の水平変位が増加することを明らかにしている。これを受け、実設計においては平均有効応力低下を見込んだ遮水性の確保、周辺地盤の強度・変形特性を考慮したSB遮水壁の強度確保が重要な課題であることを示している。

第7章では、本研究で得られた結論を総括し、今後の研究課題について述べている。

以上のように、本論文は、近年広く採用されているTRD工法により施工されたSB鉛直遮水壁を対象として、周辺地盤とSB遮水壁との力学的相互作用を詳細に検討し、SB遮水壁の性能に大きな影響を及ぼす平均有効応力の深度方向分布および地盤内挙動を明らかにしている。これにより、遮水壁の品質確保ならびに合理的な設計手法の確立に資する有用な知見を提供するものである。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。