

京都大学	博士 (工学)	氏名	ケベデ テシヨメ バーハヌ KEBEDE TESHOME BIRHANU
論文題目	Enhancing Geotechnical Properties of High-Water Content Clay Using Finely Shredded Paper (古紙微細粉体を用いた高含水粘土の地盤工学的諸特性の改良)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本研究は、軟弱土の問題を解決し、建設コストの削減と生態系への影響を軽減するための新たな手法を探求することを目的としている。具体的には、古紙を微細化加工した粉体 (古微細粉体, Finely Shredded Paper: FSP) とセメントを組み合わせた材料に焦点を当て、特に高含水状態の粘土地盤の改良に関する研究を行っている。この研究は全 6 章から構成され、各章で高含水状態の粘土地盤の改良に関する様々な側面を詳細に検討している。</p> <p>第 1 章は序論であり、本研究で対象としている港湾の浚渫により発生する高含水粘土に関する問題の背景に深く言及し、これらの土壌が建設プロジェクトにおいてどのような問題を引き起こす可能性があるかを明確に定義している。具体的には、軟弱土に関連する一般的な問題、これらの土壌がインフラストラクチャー、特に道路の建設においてどのような課題を提起するか、そしてこれらの土を改良するための既存の技術を説明している。改良技術については、廃棄物を利用した地盤安定化技術や、セメントや天然繊維を用いた軟弱土の改良に関する既往の研究をレビューした上で、FSP とセメントを組み合わせる高含水状態の粘土地盤を改良するための課題と着眼点を整理し、本研究の背景と目的について述べている。</p> <p>第 2 章では、文献レビューを通じて、特殊土がインフラに与える影響に関する既存の知見を広範囲にわたって調査し、セメントや石灰を含むさまざまな改良材を用いた特殊土の物理的および力学的特性について詳細な分析を行っている。この章では、天然繊維の組み合わせによる地盤改良の効果についても検討し、既存の研究における知見のギャップを特定し、本研究が対象とする未解決の問題に光を当てている。</p> <p>第 3 章では、高含水状態の粘土地盤の処理に焦点を当て、FSP が粘土スラリーの特性に与える影響を評価するための実験的アプローチを紹介している。この章では、FSP 添加量の異なる土試料を準備し、これらの試料に対して一連の実験を行い、その物理的および力学的特性を評価している。これには、液性限界、塑性指数、吸水率といった物理的特性と、せん断強度、一次元圧密特性、透水係数といった力学的特性の両方が含まれている。実験結果から、FSP が高い吸水性能を持ち、その性能は FSP の嵩密度が低いほど高くなる傾向にあることを確認している。また、FSP が最大のせん断強さを示す最適な含水比が存在し、その含水比を超えるとせん断強さは減少するが、含水比が 200% に達するまでせん断変形に抵抗できることも確認している。FSP を添加する量を増やすと、粘土の塑性指数と液性限界が上昇し、処理土のコンシステンシー特性が変化する。FSP を多く添加することで処理粘土の透水係数が増加することを確認している。これは FSP の吸水性能に関連する選択的な浸透経路の形成と、処理された粘土の低密度化に起因する可能性があることを示している。</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	ケベデ テシヨメ パーハヌ KEBEDE TESHOME BIRHANU
<p>第4章では、FSPとセメントを用いて処理された高含水粘土の力学的特性について詳細に検討している。FSPの異なる粒子サイズに対する吸水特性評価が行われ、細かい粒子が高い吸水性能を示すことが明らかにされている。また、FSPを添加した粘土の物理的性質、特にコンシステンシー特性とせん断強度に及ぼす影響についても実験的に調査している。FSPを含む粘土は、様々な含水比条件下でも強度を維持する能力が優れていることが観察されたが、含水比が非常に高い場合にはFSPのみの添加では効果が限定的であることが示唆されている。このため、セメントとFSPの組み合わせによる処理が検討され、両者の相乗効果による強度向上が期待される。このアプローチにより、軟弱土の改良における新たな可能性を示し、環境への影響を考慮した持続可能な土壌改良技術の開発に寄与できる。</p> <p>第5章では、FSPとセメントによる改良土を道路の路床に使用した際の性能評価に重点を置き、PLAXIS 3D有限要素プログラムを使用して、異なる厚さの未処理および処理された軟弱粘土地盤上に構築された道路盛土の沈下と変形を数値的に分析している。この分析には、前章で得られたパラメーターが使用され、PLAXIS 3Dプログラムでのシミュレーションが行われている。分析結果から、処理された土層の厚みを増やすことで鉛直沈下が著しく減少し、これは改良処理による土層の強度と透水性の向上に関連していることを確認している。これらの結果は、道路盛土を建設する際やその安定性についての技術的な判断を下すのに役立つ。軟弱な地盤をどのくらいの厚さで処理するかや、その処理用材料が地盤改良にどのような影響を及ぼすかについて重要な情報を提供する。</p> <p>最後の第6章では、研究を通じて得られた結果の要約が示され、FSPとセメントの組み合わせが軟弱地盤の改良において有効であることが示されている。特に高含水状態の粘土地盤における改良効果が顕著であり、この手法が環境に優しい選択肢であること、またセメント使用量の削減が環境への影響を低減することが議論されている。本研究は、軟弱土壌の改良に関する新たな知見を提供し、建設プロジェクトのコスト削減と生態系への影響軽減に貢献する可能性がある。FSPとセメントを組み合わせた改良手法は、軟弱土壌問題に対する効果的な解決策を提供し、持続可能な建設実践に寄与すると期待される。</p>			

(論文内容の要旨)

本研究では、建設廃棄物の活用として古紙微細粉体 (FSP) とセメントを組み合わせ使用し、特に高含水状態の粘土地盤を改良する手法を検討した。高含水状態の粘土地盤の改良において、FSP などの天然繊維とセメントを組み合わせたアプローチを採用することは、複数のメリットがあると考えられ、従来の地盤安定化技術を変革できる。本研究の主要な目的は、FSP とセメント材料を用いた新たな地盤改良工法を開発することである。特に、従来手法よりもコストおよび環境負荷を低減できる手法を構築することである。これにより、建設作業が環境に与える影響を減らすことができ、世界中で進められている環境に優しい取り組みにも貢献できる。本研究で得られた主な成果は以下の通りである。

- (1) FSP が粘土に及ぼす影響について、詳細かつ広範囲にわたる評価を行った。初めに、FSP が様々な長さを持つ繊維が複雑に絡み合うことによって形成される独特の構造を持つことを確認し、この特有の構造が FSP の低い高密度、高い吸水能力、そして湿潤状態における高いせん断抵抗力という特性をもたらしていることを明らかにした。これらの特性の結果として、FSP を豊富に含む粘土はより凝集した構造を示し、低密度と高含水状態であっても、力学的に安定した状態を維持できることが判明した。
- (2) FSP とセメントの組み合わせを用いて高含水状態の粘土地盤を改良する新しい手法を提案し、この手法が極めて高い含水比を持つ粘土地盤においても効果的に機能することを示した。力学試験により、この手法が処理された地盤の一軸圧縮強さとコーン指数を向上させ、脆性を改善することが確認された。これは、FSP 繊維による補強効果と粘土間隙中の自由水の減少が主な要因であることを示唆している。FSP 繊維が粘土の間隙を埋めて構造を安定化させる一方で、セメントは化学反応を通じて粘土粒子間を結びつけ、固化を促進することにより、地盤の強度増加に寄与する。
- (3) FSP とセメントを使用した地盤改良技術の数値モデルを構築し、有限要素解析を用いて改良された地盤の厚さが地盤全体の性質に与える影響を詳しく分析した。この分析から、改良地盤の厚さを増やすことで下部層の変形が大幅に低減し、その結果、地盤全体の安定性が顕著に向上することが示された。これは、提案された改良手法が実際の現場での応用において地盤の安定性を大きく向上させる可能性を示しており、実用化に向けた重要な成果となる。

本研究は、低せん断強度の問題を抱える地盤の改良において、FSP とセメントの組み合わせが環境に優しいかつ効果的な解決策であることを明らかにした。この技術は、道路地盤の改良コストを削減し、生態系への影響も減少させる可能性を秘めている。以上の結果、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、令和 6 年 2 月 7 日、論文内容とそれに関連した事項について諮問を行い、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。