

第 III 部門 パルプ繊維を用いて改良した処理泥土の力学特性に関する実験的研究

京都大学大学院 学生会員
 京都大学大学院 正会員
 日本製紙(株) 非会員
 安藤・間(株) 正会員
 (株)グロースパートナーズ 非会員
 京都大学大学院 正会員

○小島 拓巳
 木戸 隆之祐
 宮脇 正一
 永井裕之
 土井雅裕
 澤村 康生

1. はじめに

掘削工事に伴って発生する建設汚泥は一般に高含水であり、そもそも現場から運搬することすら困難である場合が多い。したがって、建設汚泥を地盤材料として再利用できる状態にするためには、適切な処理により取り扱いを容易にする必要がある。この課題に対して、筆者らは古紙を原料とする微細粉体（以下、Fine Shredded Paper : FSP）を用いた高含水泥土処理技術に関する研究を進めている^{1), 2)}。しかし、古紙を原料とするために品質が不均一になることや、新たな製造設備の導入が必要となることが課題となっている。

一方、FSPと同様にセルロース系繊維を主成分とした材料であるパルプ繊維は、既存の施設での生産が可能である。また、昨今のペーパーレス化の影響によりパルプ需要が減っており、製紙以外の活用法が求められている。パルプ繊維はFSPの1.5倍以上の吸水性能を示すことが分かっており³⁾、高含水泥土処理への効果が期待される一方、検証された事例はない。

そこで本研究では、パルプ繊維を用いて改良した泥土を対象にベーンせん断試験と一軸圧縮試験を実施し、改良泥土の力学特性を調べた。

2. 実験概要

本研究で使用するFSPとパルプ繊維の外観写真とSEM画像を図1に示す。力学試験の試験条件決定のため、まずは笠岡粘土 ($G_s = 2.70$, $w_L = 54.6\%$, $w_P = 26.8\%$, $I_P = 27.8$) にFSPおよびパルプ繊維を添加・混合した試料を作製して土の液性限界・塑性限界試験 (JIS A 1203) を実施した。図2にパルプ繊維を添加・混合した粘土の液性限界を示し、同時に各試験ケースにおける「パルプ、土の合計乾燥重量に対する含水比」を計算で求め、赤、青、緑の点で示している。今回は、液

性限界よりも高い含水比となる軟弱な試験ケース（図2の赤領域）とそれ以外の低含水の試験ケースがほぼ同数となるように添加率を決定した。その結果、添加率は粘土の乾燥重量に対して10%, 30%, 50%, 含水比は粘土の含水量に対して60%, 100%, 150%と決定した。

また、2種類の力学試験では以下の統一した方法で供試体を作成した。

- (1) 乾燥状態の粘土に所定の配合量の改質材を加え混ぜ合わせる。
- (2) 脱気水を加え、よく混ぜ合わせる。
- (3) 容器に試料を3層に分けて入れ、締固め試験A法に準拠して突き固め、試料を充填する。

ただし、図2の赤色の領域に含まれる、液性限界以上

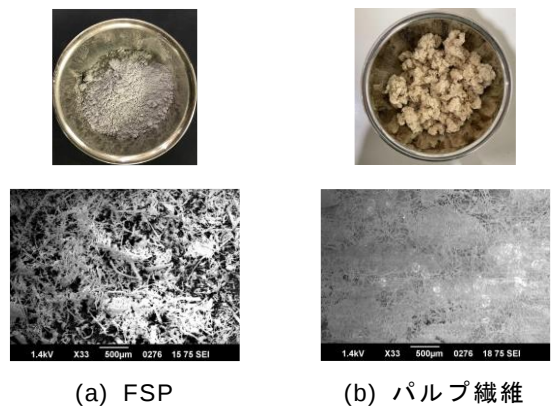


図1 試料の外観とSEM画像

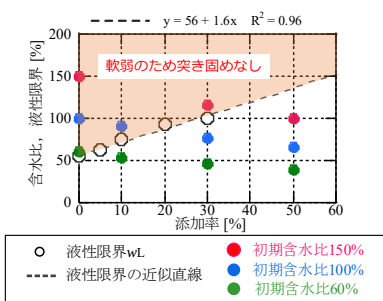


図2 混合後の含水比と添加率の関係

の含水比の試料については、流動性が高いため、ランマーによる突き固めで試料を充填することはできない。そこで、流動性の高い液状の試料に対しては、モールドに試料を3層に分けて入れ、各層ごとに突き棒（直径 4.00 mm）で気泡除去を行い充填した。流動性が比較的低い試料に対しては、乳棒（直径 50.7 mm）を用いて何層にも分けて突き固め、密に充填した。

3. 実験結果

3.1. ベーンせん断試験

図 3 にパルプ繊維の添加量とベーンせん断強さの関係を示した。添加量の増加に伴い泥土の強度が増加する傾向が読み取れる。初期含水比 60% のケースは、その傾向が特に顕著である。

このような強度増加の原因は、即時的な吸水作用の他に、図 1 の SEM 画像からわかるような改質材の繊維の絡み合いにより、改質材自体の繊維補強効果が生じ、せん断強度が増加する効果が考えられる。

さらに、上記の効果の他に、粘土の不飽和化が挙げられる。高含水泥土に対してパルプ繊維を多く添加すると、パルプ繊維が粘土の水を吸うため、粘土の飽和度が低下する。これは粘土の水分特性曲線における毛管領域や吸着領域へ遷移する傾向に対応し、粘土内のサクシオンが大きくなり、せん断強度や剛性に寄与する。したがってパルプ繊維の添加によって粘土が不飽和化すると、高含水状態の粘土に比べて強度が上昇すると考えられる。

3.2. 一軸圧縮試験

添加量と一軸圧縮強さの関係を図 4 に示す。また、図 5 に改質材を 50% 添加した際の圧縮後の供試体の様子を示す。図 4 から添加量の増加に伴い、圧縮強度が増加する傾向が確認できる。しかし、含水比 60% のケースでは、FSP の場合には添加量の増加とともに、強度が増加することが確認できるのに対して、パルプ繊維の場合には添加率 30% より 50% 添加の方が強度低下している。これは、過剰添加されたパルプ繊維が泥土内の水分を吸水するため、サクシオンが作用せず脆い構造になったことが一因と考えられ、このメカニズムの検討は今後の課題である。

4. 結論

パルプ繊維の添加によって改良した泥土に対してコンシステンシー試験を実施し、試験結果から力学試験の試験条件を定めた。その後、パルプ繊維を用いた

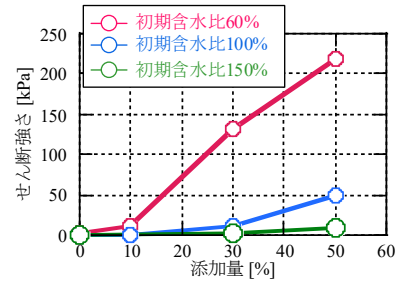


図 3 パルプ添加量とベーンせん断強さの関係

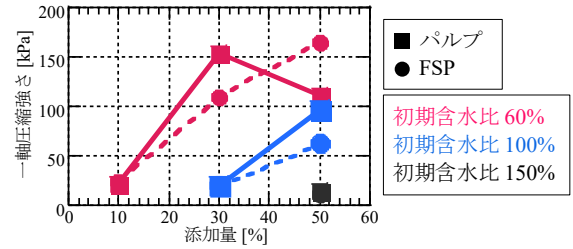


図 4 添加量と一軸圧縮強さの関係



(a) FSP



(b) パルプ繊維

図 5 w60_50%の圧縮後の供試体

改良泥土のベーンせん断試験、および FSP とパルプ繊維を用いた改良泥土の一軸圧縮試験を実施した。以下に本研究で得られた知見を示す。

- (1) パルプ繊維の添加量の増加に伴い泥土の強度が上昇した。これは改質材の繊維補強効果や粘土の不飽和化が影響すると考えられる。
- (2) パルプ繊維および FSP の添加により一軸圧縮強度が増加する傾向が見られた。しかし、初期含水比が低い泥土に過剰に改質材を添加した場合、十分な水が存在しないために供試体が脆くなり、逆に一軸圧縮強さが低下する傾向も見られた。

参考文献

- 1) 浅井泰一郎, 澤村康生, 宮崎祐輔, 木村 亮: 再利用を目的とした古紙微細粉体による高含水泥土処理—セメント添加時の各種力学特性—, 地盤工学ジャーナル, Vol. 17, No. 4, pp. 497-509, 2022.
- 2) 澤村康生, 矢野隆夫, 相原恵一, 西村正幸, 木村 亮: セルロースを主成分とする微細粉体による高含水泥土の力学特性変化, 第 12 回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, 地盤工学会, No.15-4, pp.505-510, 2017.
- 3) 小島拓巳, 澤村康生, 木戸隆之祐, 木村亮, 杓野拓斗, 塗木豊, 堀井浩之, 永井裕之, 土井 雅裕: 高含水泥土処理に用いるパルプ繊維の物理特性に関する研究, 第 58 回地盤工学会研究発表会, No.13-12-2-05, 2023