

機関番号：10103

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560586

研究課題名(和文) 繊維材混合流動化処理土の埋戻し地盤への適用に関する研究

研究課題名(英文) Study on the application to backfilling ground by using of Liquefied Stabilized Soil mixed with fiber material

研究代表者

木幡 行宏 (KOHATA, Yukihiro)

室蘭工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90215301

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、都市域における埋戻し地盤の耐震補強として、繊維材混合流動化処理土を用いた場合に、どの程度の補強効果が期待できるものかを実際のモデル地盤において検討するという着想のもと、大学構内のピットに繊維材混合流動化処理土地盤を作製し、原位置試験及び室内三軸試験によって、地盤の剛性を詳細に検討するとともに、変形・強度特性に及ぼす養生日数の影響を検討した。さらに、埋戻し地盤の耐震補強材料として、繊維材混合流動化処理土を原地盤へ適用する方法を検討した。その結果、本研究の範囲内では、繊維材混合流動化処理土を埋戻し材として現場に適用した場合には耐震性に富んだ粘り強い地盤が造成されることが明らかにされた。

研究成果の概要(英文)：In this study, the strength and deformation characteristics of liquefied stabilized soil (LSS) reinforced by fiber material prepared in a ground were investigated. A series of Consolidated Undrained triaxial compression tests under the various conditions such as constant strain rate, constant deviator stress, changing strain rate during monotonic loading have been carried out for LSS reinforced with different fiber content at curing days of 28 and 56 days, respectively. Based on test results, it was found that the effect of time-dependency on strength and deformation properties of LSS reinforced by fiber material is small independent of amount of fiber material and the stiffness under loading of LSS reinforced by fiber material increases after applying a rate change or a creep in stress-strain curve before peak. Aseismic performance in ground is improved and toughness ground will be constructed when the Liquefied Stabilized Soil with fibered material is applied as backfilling.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：地盤防災 流動化処理土 埋戻し材 圧密非排水三軸圧縮試験 小型FWD試験 せん断学特性 微小ひずみ 養生日数

1. 研究開始当初の背景

(1) 一般に、都市域における掘削工事後の埋戻しでは、山砂を用いて水締め・振動締め、あるいは水締め・転圧による場合が多いが、開削トンネルによる地下鉄工事などの大規模な掘削・埋戻しでは、供用後 10 年を経ると、躯体と躯体側部の境界部分で陥没が生じたり、地震時には躯体上部の埋戻し箇所が生じる液状化や側方流動などにより大きく陥没する場合がある。一方、近年、経済の成長に伴い、産業廃棄物の発生量が増大するとともに質的にも複雑化してきている。このような背景のなかで、環境問題が深刻化し、各種廃棄物・副産物の排出量を減らすためにリサイクル法の制定と廃棄物処理法の改正が行われるなど、社会的にもこれらの再資源化、リサイクルが大きな時流になり、循環型社会の育成が提唱されてきている。

(2) 地盤工学の分野においては多様な産業廃棄物に対して様々な有効利用手法が模索されており、固化による廃棄物の建設材料への再利用が盛んに研究されている。都市域においては、残土処分地の確保や埋戻し用山砂の入手など、制約条件が厳しいことから、建設現場で発生した土砂にセメント等の固化材を混合して再び埋戻し材として利用する等の流動化処理工法が広く取り入れられるようになってきている。最近では、地下鉄開削部での埋戻しは、締め固めを伴う山砂・水締めという従来の埋戻し工法に替わるものとして採用される場合が多い。しかし、流動化処理土には、セメント系安定処理土と同様に強度が増加するのに伴って脆性的な挙動を示し耐震性能の低下が生じる恐れがあること、固化材による強度の増加は再掘削が必要な箇所への適用を困難にする恐れがあること等の指摘がなされている。したがって、埋戻し材としての流動化処理土について脆性的な力学挙動を改善し靱性の向上をはかり、耐震性を向上させた流動化処理土を用いることにより埋戻し地盤を耐震補強することは重要な課題である。

2. 研究の目的

本研究では、都市域における埋戻し地盤の耐震補強として、繊維材混合流動化処理土を用いた場合に、どの程度の補強効果が期待できるものかを実際のモデル地盤において検討するという着想のもと、繊維材添加量(Pc)を 0, 10, 20 kg/m³ (以下、それぞれ Pc-0, Pc-10, Pc-20 とする)とした繊維材混合流動化処理土を大学構内のピットに埋戻した現場打設地盤を作製し、原位置から採取した乱さない試料と室内養生された試料に対して、圧密非排水三軸試験を実施することによって、繊維材混合流動化処理土の原位置・室内作製供試体による力学特性の比較・検討を行った。また、モデル地盤において小型 FWD 試験を実施することによって、地盤の非一様性の程度を詳

細に検討するとともに、養生日数の影響を明らかにする。さらに、埋戻し地盤の耐震補強工法として考えられる繊維材混合流動化処理土の原地盤への適用方法について検討するとともに、実際の合理的な施工方法を提案することを目的としている。

3. 研究の方法

(1) 本研究では、母材の均質性を考慮して、物理的性質が明らかになっている市販の粘性土である NSF-CLAY を母材として用い、固化材には特殊土用セメント系固化材(太平洋セメント、ジオセメント 200)を用いた。また、繊維材には、入手が容易な新聞紙をフードプロセッサを用いて綿状に加工したものを使用した。

(2) 流動化処理土の混合方法は、作製過程が簡便でパラメータを少なくすることができる泥水式を採用し、配合設計基準図に基づいて、目標泥水密度 $\rho_f = 1.280 \text{ g/cm}^3$ に密度を調整した泥水に 80 kg/m³の固化材を加え、ハンドミキサーにより混練して作製した。なお、作製過程では所定の密度となるように、AE モルタル容器と呼ばれる内容量 400 cm³のステンレス製の容器に処理土を充填し、余盛り部分をガラス板ですり切り、その質量を計測する方法で密度試験を行った。繊維材を添加する場合は、固化材混合後に添加し、ハンドミキサーによってよく攪拌した。処理土作製後、流動性を検討するためにフロー試験(旧日本道路公団規格「エアモルタル及びエアミルクの試験方法、1.2 シリンダー法」、JHS A 313)を行った。なお、本研究の配合条件ではブリージングはほとんど生じなかった。作製した流動化処理土は大学構内に作製したピットに流し込み、ブルーシートを被せ養生した。なお、埋戻し時には、原地盤に流動化処理土が浸透しないように、原地盤と流動化処理土の間にジオテキスタイルを敷設した後、ピット内に流動化処理土を流し込んだ。また、室内養生供試体は、直径 50 mm、高さ 100 mm の市販のプラスチック製モールドに余盛り用のカラーを取り付け、処理土を充填し上端面を高分子フィルムで被膜した。3 時間後に余盛り部分を切り取り、上端面を平坦に整形した後、再び高分子フィルムで被膜し濡れタオルを被せて 20±3 °C のもとで湿潤気中養生を行った。これまでの研究では、流動化処理土の作製時にハンドミキサーによる混練のため、試料内に気泡が発生・混入することからモールド充填前に試料を負圧により脱気していたが、本研究では、試料を大量に作製するため、脱気しなかった。

(3) 実験は、ブロックサンプリングした流動化処理土をトリミングして作製した供試体と室内養生した供試体に対して養生日数を 28, 56 日として、拘束圧 98 kPa、背圧 196 kPa で 12 時間等方圧密後、非排水三軸せん断を

行った。载荷装置には軸変位の制御精度が高く、反転時の「あそび」(バックラッシュ)を無視し得る高精度デジタルサーボモーターを使用し、圧密及びせん断はパソコンによる自動制御によって行った。試験条件は、case1 を 0.054 %/min の軸ひずみ速度として、単調载荷を行い、载荷中に微小な除荷・再载荷を行った。case2 は、軸ひずみ速度 0.054 %/min→クリープ→0.054 %/min→クリープ→0.54 (0.054 の 10 倍) %/min→クリープ→0.054 %/min という条件で実施した。すなわち、軸ひずみ速度一定の载荷中、及び軸ひずみ速度変化前にクリープを実施したものである。なお、軸ひずみ速度変化は軸ひずみ約 1 % 程度のピークに達するまでの範囲で実施した。また、本研究では、微小ひずみレベルからの軸変位量が測定可能な局所変形測定装置(Local Deformation Transducer : LDT)を供試体側面に配置した三軸圧縮試験装置を用いて、圧密非排水三軸圧縮試験(CUB 試験)を実施した。

(4) モデル地盤においては、室内三軸試験用の供試体を採取する前に、小型 FWD 試験を実施し、モデル地盤の K 値(剛性)を求めた。

4. 研究成果

(1) 養生日数 28 日、56 日における Pc-0, 20 の室内及び原位置作製供試体に対する case1, case2 について、 $\epsilon_a = 0 \sim 2.0$ % の範囲で示した軸差応力 q と軸ひずみ ϵ_a の関係を図-1, 図-2 に示す。 $q \sim \epsilon_a$ 関係を比較すると、28 日、56 日養生ともに、現場養生供試体の最大軸差応力 q_{max} が室内養生供試体の q_{max} に比べ、概ね大きくなる傾向にある。これは、現場養生供試体では、温度及び湿度の管理が出来ないため、養生環境等の要因により室内養生供試体に比べセメンテーションの発現が早まったからだと考えられる。また、28 日養生と 56 日養生の q_{max} を比較すると、現場養生供試体、室内養生供試体ともに、56 日養生のほうが概ね大きい傾向にあることから、繊維材混合流動化処理土は現場で埋戻し材として使用された場合においても、養生日数が増加するにつれ強度が増加する傾向があると考えられる。また、図-1(b), 図-2(b)より、繊維材を混合するとピーク後の脆性的性質は改善されていることが分かる。すなわち、繊維材混合流動化処理土を埋戻し材として用いた場合には、耐震性に富んだ粘り強い地盤が造成されると考えられる。なお、図-1(b)に示す原位置作製供試体の q_{max} が他の現場養生供試体の q_{max} に比べ小さい傾向にあるが、これは現場の養生環境等の要因で他の現場養生供試体に比べセメンテーションの発現が遅れ、強度が小さくなったと思われる。

(2) 図-3(a), (b)は Pc-0, 20 について、室内及び現場作製供試体の養生日数 28, 56 日における case1 の $q \sim \epsilon_a$ 関係における接線変形係数

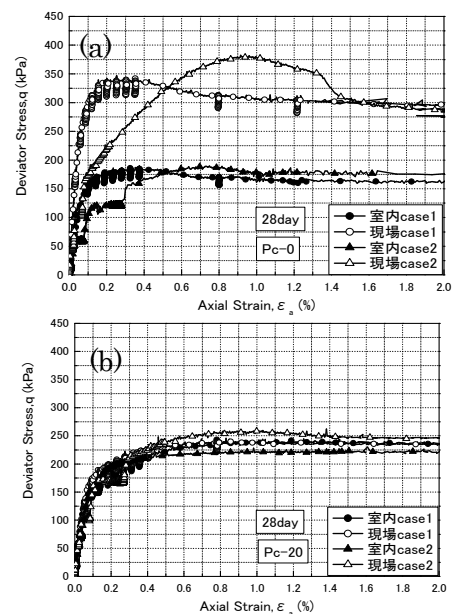


図-1 $q \sim \epsilon_a$ 関係：養生 28 日

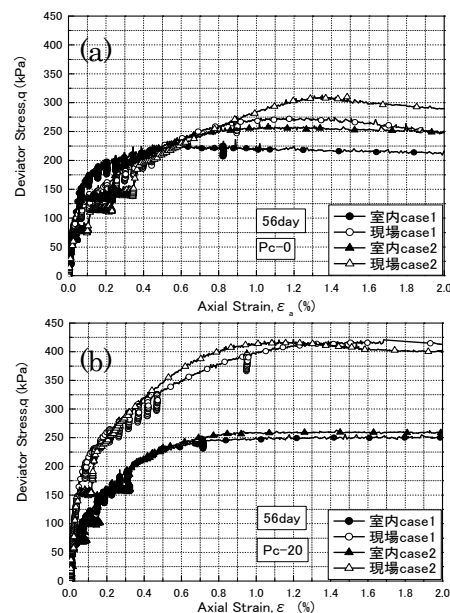


図-2 $q \sim \epsilon_a$ 関係：養生 56 日

E_{tan} を初期変形係数 E_0 で正規化した E_{tan}/E_0 と軸差応力 q を最大軸差応力 q_{max} で正規化した E_{tan}/E_0 と軸差応力 q を最大軸差応力 q_{max} で正規化した q/q_{max} の関係である。室内及び原位置作製供試体、ともに、 $E_{tan}/E_0 \sim q/q_{max}$ 関係は、ほぼ同様な関係を示している。一般に、セメント改良土の場合、養生日数の増加につれ、非線形性が減少することが報告されているが、本研究の範囲内では全体的に 28 日養生に比べ 56 日養生のほうが E_{tan}/E_0 の減少率が大きく、非線形性が大きい。これは、供試体作製時に混入した気泡の影響により、せん断に伴う軸ひずみの発生が大きかったことによるものと考えられるが、今後、さらなる検討が必要である。図-4(a), (b)は Pc-0, 20 について、室内及び現場作製供試体の養生日数 28, 56 日における case2 の E_{tan}/E_0 と q/q_{max} の関係である。室内及び原位置作製供試体、ともに、

クリープ直後には剛性が高まる傾向にあり、その後、荷重とともに E_{tan}/E_0 の減少率は大きくなる傾向にある。さらに、繊維材を混合すると、クリープ直後には E_{tan}/E_0 値の 1.0 を示す範囲が増大する傾向が見られる。これは、繊維材の補強効果により、 $q \sim \epsilon_a$ 関係における非線形性を弱める効果が発揮されたからであると考えられる。以上より、現場養生供試体においても、繊維材を添加すると、繊維材の補強効果によりクリープ直後の $q \sim \epsilon_a$ 関係における線形的な範囲が大きくなると言える。

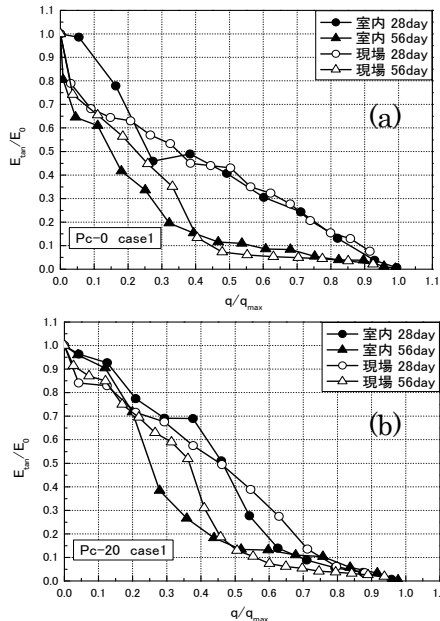


図-3 $E_{tan}/E_0 \sim q/q_{max}$ 関係
: 養生 28 日

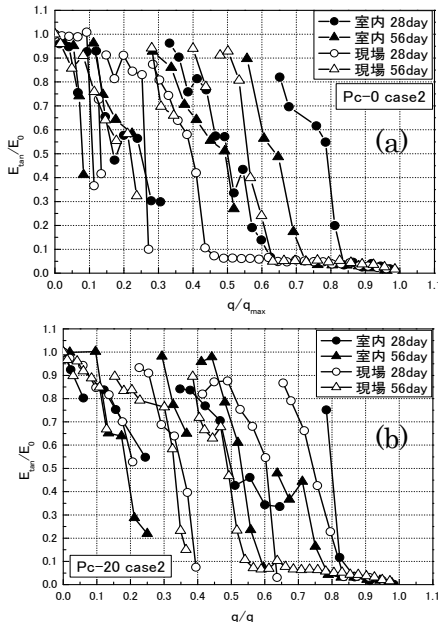


図-4 $E_{tan}/E_0 \sim q/q_{max}$ 関係
: 養生 56 日

(3) 図-5 は Pc-0, Pc-10, Pc-20 の K_{PFWD} 値を養生日数で比較したものである。養生日数 28 日では繊維材添加量に関わらずほぼ同程

度の K_{PFWD} 値であったが、56, 84 日では、Pc-0, Pc-20 の K_{PFWD} 値が増加する傾向が見られる。一方、Pc-10 の場合は養生日数が増加すると K_{PFWD} 値が減少傾向にある。これは Pc-10 の場合、埋戻し後、十分に固結しない状況で豪雨に見舞われ、ピット内に雨水が侵入したためと思われる。Pc-0, Pc-20 を比較すると、Pc-20 の K_{PFWD} 値のほうが、養生日数が増加することによって大きくなっていることから、繊維材を添加することにより補強効果が発揮され、剛性が高まると考えられる。

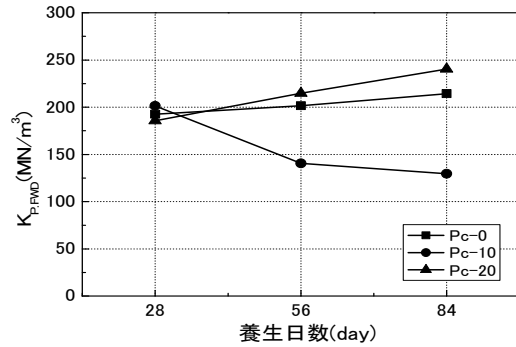


図-5 K_{PFWD} 値と養生日数

(4) 繊維材混合流動化処理土を用いて、室内・原位置作製供試体による力学特性の比較、検討をするため、圧密非排水三軸圧縮試験 (CUB 試験) を実施した結果、本研究の範囲内では、繊維材混合流動化処理土の $q \sim \epsilon_a$ 関係において室内養生供試体に比べ現場養生供試体の最大軸差応力 q_{max} が、概ね大きくなる傾向にあること、室内養生供試体と現場養生供試体の $E_{tan}/E_0 \sim q/q_{max}$ から、現場の流動化処理土においても、繊維材を添加すると、その補強効果により、 $q \sim \epsilon_a$ 関係の非線形性が弱まると考えられること、現場養生供試体においても、繊維材を添加すると、繊維材の補強効果によりクリープ直後の $q \sim \epsilon_a$ 関係における線形的な範囲が大きくなると考えられることが明らかとなった。

(5) 繊維材混合流動化処理土による埋戻し地盤の剛性を評価するために、小型 FWD 試験を実施した結果、埋戻し地盤においても、繊維材を添加することにより補強効果が発揮され、剛性が高まること、 K_{PFWD} 値と乾燥密度は一義的な関係にあると言え、繊維材混合流動化処理土による埋戻し地盤の剛性は、養生日数や繊維材添加量のほか、乾燥密度にも影響されると考えられること、変形係数のひずみレベル依存性を考慮すると、接線変形係数 E_{tan} と地盤変形係数 E_{PFWD} の値に矛盾がないことから、 K_{PFWD} 値は繊維材流動化処理土地盤の剛性を妥当に評価していると考えられることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 5 件)

① 大村 知史, 木幡 行宏, ズウオン ク

ワン フン, 繊維材混合流動化処理土の室内・原位置作製供試体による力学特性の比較・検討, 地盤工学会北海道支部技術報告集, 査読無, 第 54 号, 2014, pp. 49-56

- ② Yukihiro KOHATA, Hung Quang DUONG, Satoshi OMURA, Time-dependency on deformation property of Liquefied Stabilized Soil mixed with fibered material, Geotechnics for Sustainable Development, 査読有, No. 2, 2013, pp. 351-358
- ③ 大村 知史, 木幡 行宏, 繊維材混合流動化処理土の時間依存性に及ぼす養生日数の影響に関する検討, 地盤工学会北海道支部技術報告集, 査読無, 第 53 号, 2013, pp. 123-130
- ④ 小山 雄大, 木幡 行宏, 大村 知史, 繊維材混合流動化処理土の強度・変形特性に及ぼす時間依存性に関する検討, 地盤工学会北海道支部技術報告集, 査読無, 第 52 号, 2012, pp. 55-62
- ⑤ 木幡 行宏, 伊藤 企陽司, 小山 雄大, 繊維材で補強された流動化処理土のせん断特性に及ぼす固化材の影響, ジオンセティックス論文集, 査読有, 第 26 巻, 2011, pp. 95-100

[学会発表] (計 4 件)

- ① 木幡 行宏, 繊維材混合流動化処理土の室内・原位置作製供試体の非排水三軸せん断特性, 第 49 回地盤工学研究発表会, 地盤工学会, 2014 年 7 月 15 日, 北九州国際会場 (福岡県北九州市)
- ② 大村知史, 補強した流動化処理土の時間依存性に及ぼす養生日数の影響, 第 48 回地盤工学研究発表会, 地盤工学会, 2013 年 7 月 24 日, 富山国際会議場 (富山県富山市)
- ③ 小山雄大, 繊維材混合流動化処理土の時間依存性に及ぼす養生日数の影響に関する検討, 第 47 回地盤工学研究発表会, 地盤工学会, 2012 年 7 月 16 日, 八戸工業大学 (青森県八戸市)
- ④ 伊藤 企陽司, 繊維材混合流動化処理土の非排水せん断特性に及ぼすセメント系固化材の影響について, 第 46 回地盤工学研究発表会, 地盤工学会, 2011 年 7 月 7 日, 神戸国際会議場 (兵庫県神戸市)

[その他]

ホームページ等

<http://www.muroran-it.ac.jp/cea/index-j.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木幡 行宏 (KOHATA, Yukihiro)
室蘭工業大学・工学研究科・教授
研究者番号: 90215301