



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



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

メタデータ	言語: jpn 出版者: 国際ジオシンセティックス学会 公開日: 2013-02-13 キーワード (Ja): 流動化処理土, 繊維材, 固化材添加量, 剛性, 三軸せん断特性 キーワード (En): liquefied stabilized soil, fiber material, cement content, stiffness, triaxial shear property 作成者: 木幡, 行宏, 伊藤, 企陽司, 小山, 雄大 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/1718

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

その他（別言語等）のタイトル	EFFECT OF CEMENT CONTENT ON SHEAR PROPERTIES OF LIQUED STABILIZED SOIL
著者	木幡 行宏, 伊藤 企陽司, 小山 雄大
雑誌名	ジオセンチックス論文集
巻	26
ページ	95-100
発行年	2011-12
URL	http://hdl.handle.net/10258/1718

doi: info:doi/10.5030/jcigsjournal.26.95

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

木幡行宏¹・伊藤企陽司²・小山雄大³

本研究では、繊維材で補強された流動化処理土に最近開発された固化材を用いた場合に、繊維材混合流動化処理土のせん断特性に及ぼす影響を検討する。実験は、新たに開発された固化材（特殊土用セメント固化材）を固化材添加量 40, 60, 80, 100 kg/m³ で添加した繊維材混合流動化処理土に対し圧密非排水三軸圧縮試験を、49, 98, 196 kPa の等方応力条件下で行った。実験結果から、従来の一般軟弱土用セメント系固化材及び特殊土用セメント系固化材による繊維材混合流動化処理土の強度・変形特性を比較・検討し、固化材添加量の違いによるせん断特性に及ぼす影響を検討した。

キーワード：流動化処理土、繊維材、固化材添加量、剛性、三軸せん断特性

1. まえがき

従来、掘削工事で発生する建設発生土は、産業廃棄物として埋め立て処分されている。しかし、近年、建設リサイクル法の制定とともに、建設発生土の有効利用が進められている。しかし、残土処分場の確保や埋め戻し用山砂の入手など、制約条件の厳しい都市域などでは、大規模プロジェクトの都市再開発や地下鉄建設に伴う建設発生土にセメント等の固化材を建設発生土に混合し、再び埋め戻し材として利用する流動化処理土工法が広く用いられるようになってきた。しかし、流動化処理土はセメント安定処理土と同様に固化材添加量を増やして強度を増加させると、脆性的な挙動を示し耐震性の低下が懸念される。また、強度の増加は再掘削が必要な箇所への適用を困難にさせる等の指摘がなされている。したがって、種々の土構造物に適用可能で、地震に対して粘り強く耐え得るような地盤材料とするためには、流動化処理土の靱性能を向上させることが望まれている。

著者らの研究では、流動化処理土の脆性的な性質を改善するため、繊維材として綿状に加工した新聞紙を補強材として流動化処理土に添加した繊維材混合流動化処理土に対して、一軸および三軸圧縮試験を行い、繊維材混合流動化処理土の強度・変形特性を検討してきた結果、ピーク後の脆性的性質が改善されることが報告されている^{1)~4)}。

本研究では、最近開発された新しい固化材（特殊土用

セメント固化材）を用いた場合の繊維材混合流動化処理土の力学特性に及ぼす固化材の影響を検討するため、固化材添加量を 40, 60, 80, 100 kg/m³ の条件で添加した繊維材混合流動化処理土に対し圧密非排水三軸圧縮試験（CUB 試験）を、49, 98, 196 kPa の等方応力条件下で行い、従来の一般軟弱土用セメント固化材及び特殊土用セメント固化材による繊維材混合流動化処理土の強度・変形特性と比較・検討し、強度・変形特性に及ぼす固化材の影響について検討した。

2. 試料および試験方法

(1) 試料

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 ($\rho_s = 2.762 \text{ g/cm}^3$, LL = 60.15 %, PL = 35.69 %, $I_p = 24.46$) を母材として用いた。固化材には一般軟弱土用セメント系固化材（太平洋セメント、ジオセット 10）と特殊土用セメント系固化材（太平洋セメント、ジオセット 200）を用いた。以下、一般軟弱土用セメント系固化材を C1、特殊土用セメント系固化材を C2 と呼ぶ。これまで、著者らの研究で用いてきた C1 は、近年、その固化材を用いた改良土から土質条件によっては、六価クロム溶出量が土壤環境基準（環境庁告示 46 号：権益 1 l につき 0.05 mg 以下）を越える濃度で溶出する場合があることが分かり、

¹ 正会員、室蘭工業大学大学院、工学研究科、くらし環境系領域、教授（〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1）

² 正会員、(株)複合技術研究所（〒160-0004 東京都新宿区四谷 1-23-6）

³ 学生会員、室蘭工業大学大学院、工学研究科、建築社会基盤系専攻（〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1）

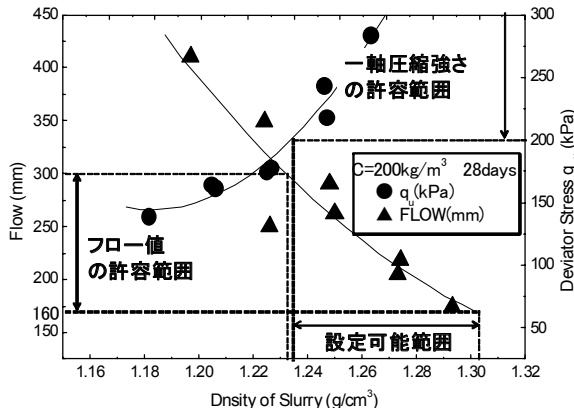


図-1(a) 配合設計基準図 (C1)

表-1(a) 密度試験の結果 (C1)

Paper Content	ρ_f (g/cm ³)	ρ_{LSS} (g/cm ³)	ρ_t (g/cm ³)
0kg/m ³	1.25	1.365	1.378
10kg/m ³	1.251	1.368	1.388
20kg/m ³	1.251	1.363	1.398

現在では作られていない。本研究で用いた C2 は、六価クロム溶出量低減型で、軟弱地盤の浅層・深層改良から、汚泥で質の固化処理に適応するように新たに開発された固化材である。繊維材には、入手が容易な新聞紙をフードプロセッサーを用いて綿状に加工したものを使用した。新聞紙を綿状にする加工手順は、まず、新聞紙を事務用のシュレッダーで適当な大きさに裁断し、その後、調理用のフードプロセッサーを用いて水と共に攪拌する。それを炉乾燥したものを手でほぐし、再びフードプロセッサーで粉砕し綿状に加工するものである。

(2) 配合

流動化処理土の混合方法には、泥水式と調整泥水式の2種類がある。泥水式は、発生土に適度の水を加え、密度調整された泥水を作製し、固化材を混合する方法であり、細粒分を多く含む発生土に適用される。調整泥水式は、発生土に加水し、砂または粘性土を調整材として加えて泥水を作製後、固化材を添加する方法である。この方式では、処理土の密度、材料分離抵抗性、流動性などを容易に調整することができる。本研究では、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流動化処理土を採用した。

泥水式流動化処理土の一般的な配合試験は、泥水密度と固化材添加量をパラメータとし、それぞれの値を変化させて行う。配合は、フロー試験、ブリージング試験、28日養生後の一軸圧縮試験を実施し、その結果から得られる特性値（フロー値、ブリージング率、一軸圧縮強さ）を配合設計基準図（図-1(a), (b)）として作成し、泥水密度と固化材添加量を読み取り、それぞれの値を決定する⁵⁾。図-1(a)は、C1の固化材添加量 C = 200 kg/m³、養

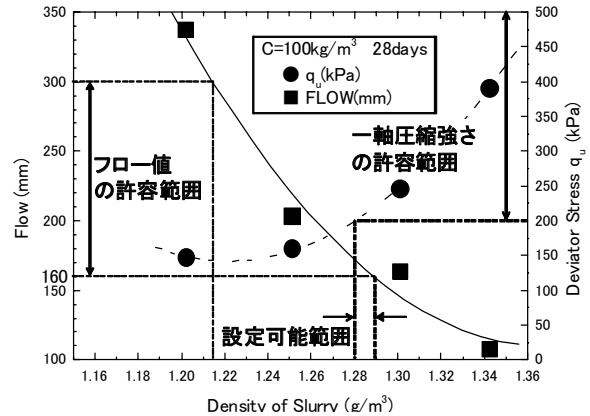


図-1(b) 配合設計基準図 (C2)

表-1(b) 密度試験の結果 (C2)

Paper Content	ρ_f (g/cm ³)	ρ_{LSS} (g/cm ³)	ρ_t (g/cm ³)
0kg/m ³	1.281	1.35	1.362
10kg/m ³	1.28	1.351	1.363
20kg/m ³	1.281	1.348	1.365

生日数 28 日での一軸圧縮強さとフロー値に対する泥水比重を示した配合設計基準図で、図-1(b)は、C2の固化材添加量 C = 100 kg/m³、養生日数 28 日での一軸圧縮強さとフロー値に対する泥水比重を示した配合設計基準図である。ここで、ブリージング率は、1%以下であったため設計基準図には示していない。

目標泥水密度 ρ_f は、一軸圧縮強さを 200~500 kPa、フロー値を 160~300 mm の許容範囲とし、配合設計基準図から C1 は目標泥水密度 $\rho_f = 1.250$ g/cm³、C2 は目標泥水密度 $\rho_f = 1.280$ g/cm³に決定した。また、繊維材添加量は泥水 1 m³に対して 0、10、20 kg の割合で添加した。

表-1(a)に一般軟弱土用セメント系固化材、表-1(b)に特殊土用セメント系固化材の各試料における繊維材添加量別の泥水密度 ρ_f 、繊維材添加前の処理土密度 ρ_{LSS} 、28日養生後の三軸圧縮試験時における供試体の湿潤密度 ρ_t を示す。 ρ_f については目標泥水密度の ± 0.001 g/cm³の範囲内に収まっている。

(3) 供試体の作製及び実験方法

C1 供試体は、目標泥水密度 $\rho_f = 1.250$ g/cm³に密度を調整した泥水に C = 200 kg/m³の固化材を、C2 供試体は、目標泥水密度 $\rho_f = 1.280$ g/cm³に密度を調整した泥水に固化材添加量 C = 40、60、80、100 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

表-2 試験条件

固化材の種類	C1		C2		
固化材添加量(kg/m ³)	200	100	80	60	40
繊維材添加量(kg/m ³)	0, 10, 20				
養生日数(日)	28, 56		28		
圧密過程	有効拘束圧(kPa)	49, 98, 196		98	
	背圧(kPa)	196			
せん断過程	軸ひずみ速度(%/min)	0.054			
	排水条件	非排水条件			

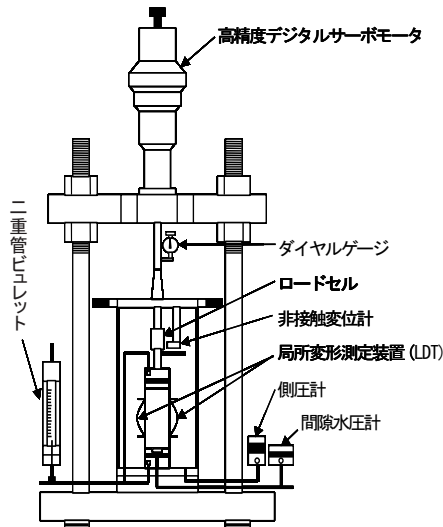


図-2 試験装置概略図

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。繊維材を添加することにより処理土に多量の気泡が混入するため，スラリー状処理土に98 kPaの負圧を30分間作用させ，処理土内の気泡を取り除いた。その後，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℃のもとで湿潤気中養生を行った。

本研究での実験は，作製した供試体に対して，C1 供試体は，養生日数を28，56日，C2 供試体は，C=100 kg/m³においては養生日数28，56日，C=40，60，80 kg/m³においては養生日数28日として，圧密非排水三軸圧縮試験（CUB試験）を実施した。拘束圧は，C1 供試体49，98，196 kPa，C2 供試体のC=100 kg/m³においては49，98，196 kPa，C=40，60，80 kg/m³においては98 kPaで12時間等方圧密後，軸ひずみ速度0.054%/minで非排水三軸せん断を行った。試験条件をまとめると表-2のようになる。本研究では，図-2に示す単調三軸圧縮試験装置を用いた。この試験装置は，三軸圧力室，側圧・負圧供給装置，軸荷重測定装置（ロードセル），側圧測定装置（側圧計），間隙水圧測定装置（間隙水圧計），軸変位測定装置（ダイヤルゲージ，非接触変位計，局所変形測定装置），体積変化測定装置（二重管ビュレット）によって

構成されている。本試験では微小ひずみで除荷・再載荷を行うため，載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。供試体上下端面のゆるみ層や，ろ紙の圧縮に起因するベディングエラーを含まず，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)⁹⁾を供試体側面对角上に設置して軸変位量を測定した。なお，圧密・圧縮過程でLDTのパネ力によってメンブレンと供試体の密着が緩み，LDTが伸びてしまう恐れがあるため，供試体側面をわずかに削り，石膏を塗った上に瞬間接着剤を用いてメンブレンと供試体を接着した後，LDTを設置した。LDTの測定範囲外については非接触変位計とダイヤルゲージを併用し，ベディングエラー量を補正した結果を用いた。

3. 試験結果及び考察

(1) 軸差応力-軸ひずみ関係

図-3(a)，(b)は，それぞれC1とC2による繊維材混合流動化処理土に対する所定の養生日数28日と有効拘束圧 $\sigma'_c = 49$ kPaにおける繊維材添加量PC=0，10，20 kg/m³で行われた試験の軸差応力 $q (= \sigma_1 - \sigma_3)$ と軸ひずみ ϵ_a の関係である。なお，固化材添加量はそれぞれC=200 kg/m³，C=100 kg/m³である。図から，それぞれの試験におけるピーク後の $q-\epsilon_a$ 関係を比較すると，どちらも繊維材添加量が増加するとともにピーク後の軸差応力 q の減少傾向が改善されていることがわかる。このことから，異なる固化材を用いた場合でも，繊維材の添加により，脆性的性質が改善されるといえる。また，図-3(c)は，C2による固化材添加量C=40 kg/m³場合の繊維材混合流動化処理土における養生日数28日，拘束圧 $\sigma'_c = 98$ kPaにおける繊維材添加量PC=0，10，20 kg/m³の軸差応力と軸ひずみの関係である。この図においても図-3(a)，(b)と同様に繊維材添加量の増加によりピーク後の軸差応力 q の減少傾向が改善されていることがわかる。このことから，繊維材の添加による脆性的性質の改善は固化材添加量によらず発揮されるといえる。

図-4は，最大軸差応力 q_{max} と固化材添加量Cの関係を示した図である。この図から，固化材添加量Cの増加に伴い最大軸差応力 q_{max} が増加しており，また，両者の関係において，増加率はほぼ一定であると言える。このことから，最大軸差応力 q_{max} と固化材添加量の関係は比例関係にあると考えられる。

以上より，流動化処理土に繊維材を添加することによるピーク後の $q-\epsilon_a$ 関係は，固化材の種類，固化材添加量に関わらず，脆性的な性質が改善されることが示されたが，改善の程度は，最大軸差応力が小さいケースの方が大きいケースに比べて大きいようである。また，デー

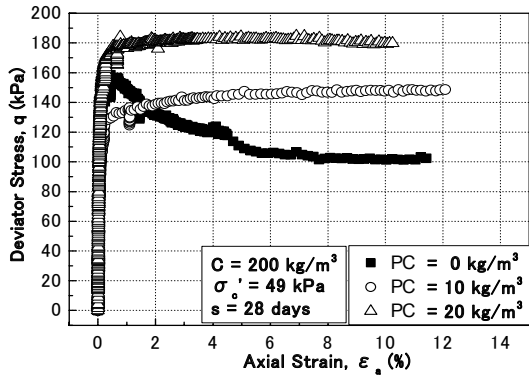


図-3(a) $q-\varepsilon_a$ 関係 (C1 : C=200 kg/m³)

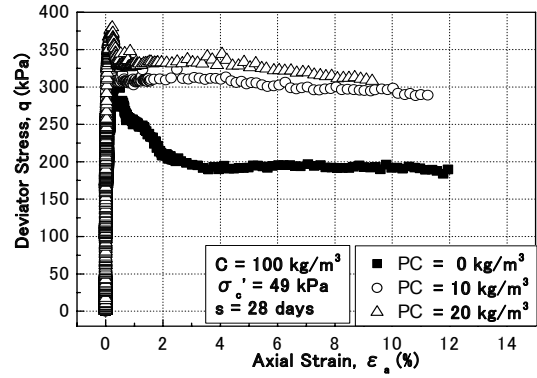


図-3(b) $q-\varepsilon_a$ 関係 (C2 : C=100 kg/m³)

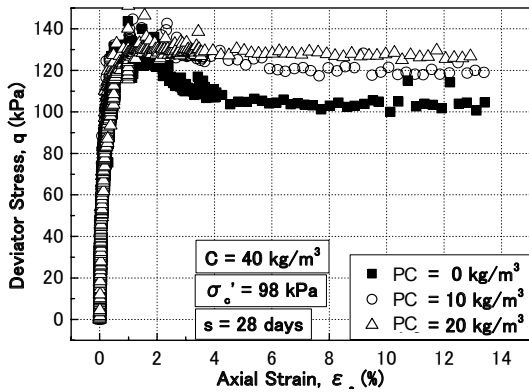


図-3(c) $q-\varepsilon_a$ 関係 (C2 : C=40 kg/m³)

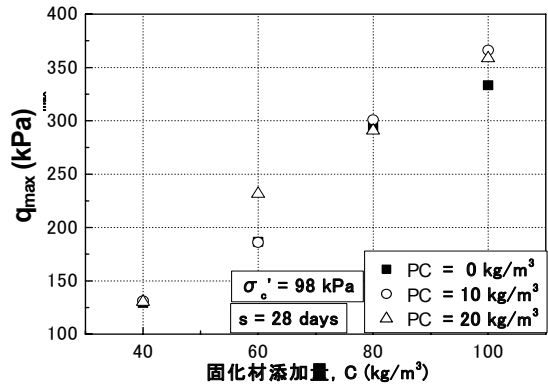


図-4(a) q_{max} - 固化材添加量 C 関係 (C2)

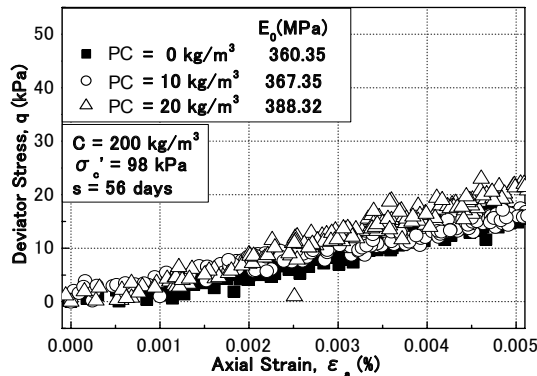


図-5(a) $q-\varepsilon_a$ 関係 ($\varepsilon_a=0.005\%$, C1 : C=200 kg/m³)

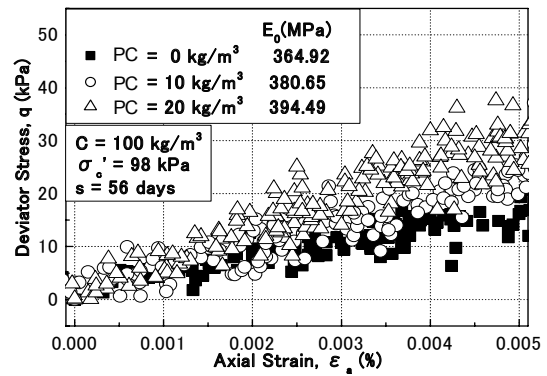


図-5(b) $q-\varepsilon_a$ 関係 ($\varepsilon_a=0.005\%$, C2 : C=100 kg/m³)

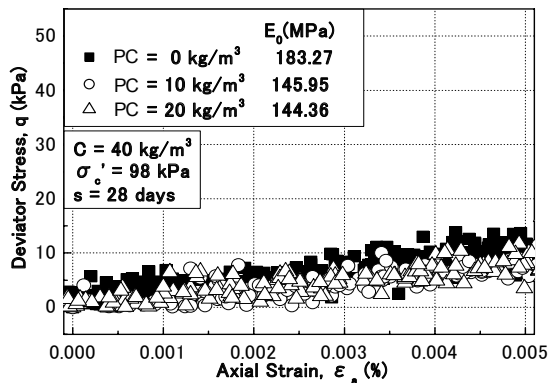


図-5(c) $q-\varepsilon_a$ 関係 ($\varepsilon_a=0.005\%$, C2 : C=40 kg/m³)

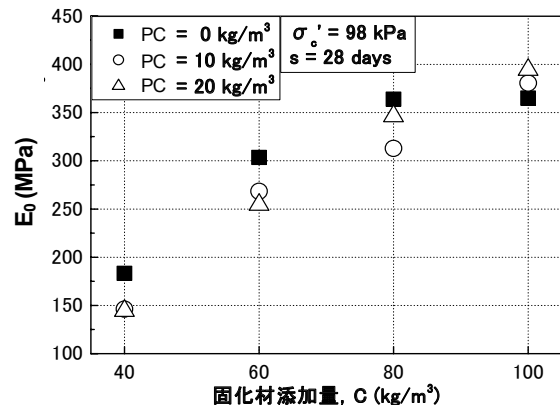


図-6 E_0 - 固化材添加量 C 関係 (C2)

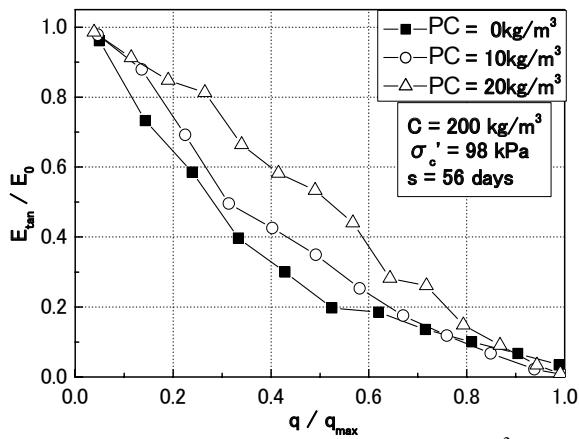


図-7(a) $E_{tan}/E_0 \sim q/q_{max}$ 関係 (C1 : $C=200 \text{ kg/m}^3$)

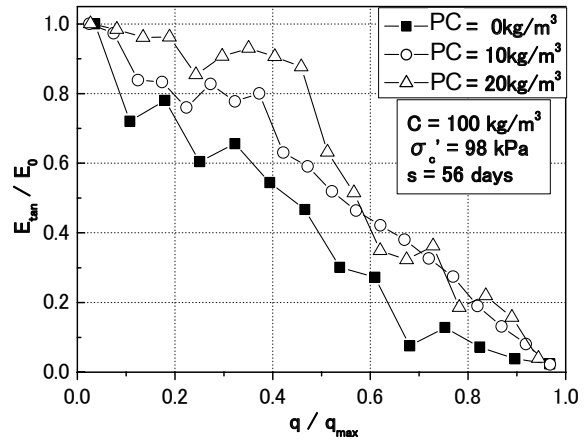


図-7(b) $E_{tan}/E_0 \sim q/q_{max}$ 関係 (C2 : $C=100 \text{ kg/m}^3$)

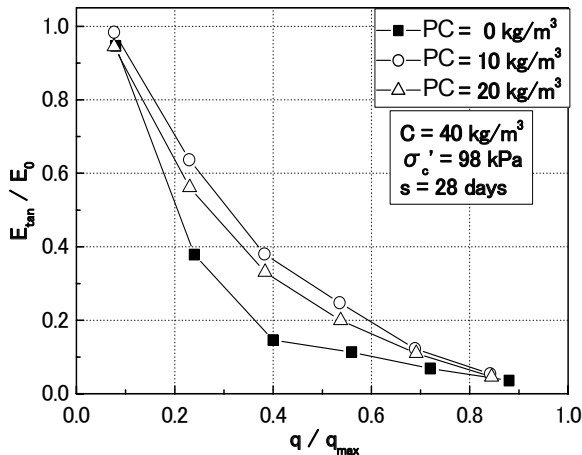


図-7(c) $E_{tan}/E_0 \sim q/q_{max}$ 関係 (C2 : $C=40 \text{ kg/m}^3$)

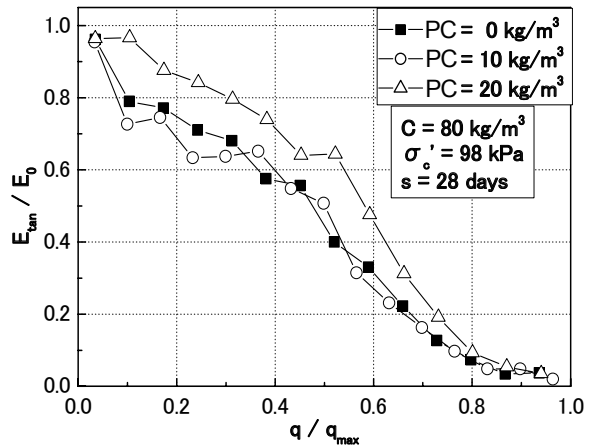


図-7(d) $E_{tan}/E_0 \sim q/q_{max}$ 関係 (C2 : $C=80 \text{ kg/m}^3$)

タのばらつきはあるが、繊維材を添加すると、添加しないケースに比べ、最大軸差応力は数%~10%程度大きくなる傾向にあるようである。

(2) 初期せん断剛性

本研究では、初期変形係数 E_0 を軸ひずみ $\epsilon_a = 0.002\%$ での微小ひずみレベルにおける勾配で定義される変形係数、接線変形係数 E_{tan} を軸差応力-軸ひずみ関係の接線勾配で定義される変形係数として定義した。

図-5(a), (b)は、0.005%以下での繊維材添加量別の $q \sim \epsilon_a$ 関係(養生日数56日, 拘束圧 $\sigma'_c = 98 \text{ kPa}$)である。C1, C2, どちらのケースにおいても、固化材添加量が 100 kg/m^3 以上で、養生日数が28日より大きい56日の試験結果である。この場合、どちらのケースでも、繊維材添加量の増加によって、 E_0 が増加している。これは、繊維材添加量を増加させると変形に対しても繊維材による補強効果が発現されるためと考えられる。図-5(c)は、C2の固化材添加量 $C=40 \text{ kg/m}^3$, 有効拘束圧 $\sigma'_c = 98 \text{ kPa}$, 養生日数28日の0.005%以下での繊維材添加量別の $q \sim \epsilon_a$ 関係を示している。この図においては、図-5(a), (b)と同様の傾向は見られず、 E_0 が繊維材の添加により若干低下していることが分かる。過去の著者らの研究では、短期養生では E_0 に対する繊維材添加量の影響は明確ではないが、長期養生することにより、繊維材添加量の増加

により E_0 が増加することが明らかになっている³⁾。すなわち、C2のケースも同様に、養生日数28日で、さらに、固化材添加量が 100 kg/m^3 より小さい場合には、せん断初期において、固化材と繊維材との間のセメンテーションに時間を要するため、初期の剛性に対しては、補強効果が発現されにくかったと推測される。図-6は、初期変形係数 E_0 と固化材添加量の関係を示した図である。この図から、固化材添加量の増加に伴い初期変形係数 E_0 は増加しているが、 $C=80 \text{ kg/m}^3$ 以上で、初期変形係数 E_0 の増加率が小さくなっていることが分かる。このことから、初期変形係数 E_0 は、固化材添加量の増加により、ある値に収束していくと考えられる。

(3) せん断剛性

図-7(a), (b)は、それぞれC1($C=200 \text{ kg/m}^3$), C2($C=100 \text{ kg/m}^3$)の養生日数56日, 拘束圧 98 kPa での $q \sim \epsilon_a$ 関係における接線変形係数 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 q/q_{max} の関係を示したものである。図-7(a), (b)の $E_{tan}/E_0 \sim q/q_{max}$ 関係を比較すると、C1に比べC2のほうが載荷初期部分の E_{tan}/E_0 の減少率が小さくなっている。また、その傾向は、C1, C2ともに、繊維材添加量 P_c が大きいほど大きくなる傾向にある。図-7(c), (d)は、C2を用いて、養生日数28日, 有効拘束圧 98 kPa , 固化材添加量が、それぞれ $C=40 \text{ kg/m}^3$, $C=80 \text{ kg/m}^3$ としたケースの E_{tan}/E_0

q/q_{max} 関係を示したものである。図から、固化材添加量 $C = 40 \text{ kg/m}^3$ のケースに比べ、 $C = 80 \text{ kg/m}^3$ のケースの方が、荷重初期の E_{tan}/E_0 の減少率が小さくなっていることがわかる。さらに、その傾向は P_c が大きいほど大きい傾向にある。

本研究において、C1 に比べ C2 のほうが、少ない固化材添加量で大きな強度を示したことから、母材とした NSF-CLAY に対するセメント系固化材の改良効果は、C1 に比べ C2 のほうが大きいと言える。このことから、C1 に比べ C2 のほうが、養生日数に対するセメンテーション効果が早期に出現するため、 E_{tan}/E_0 の減少率が小さくなったと考えられる。同様の理由で、同じセメント系固化材の場合、固化材添加量を増加すると、荷重初期部分の E_{tan}/E_0 の減少率が小さくなったと考えられる。すなわち、固化材添加量を増加することにより、流動化処理土におけるセメンテーション効果の出現を早め、ピークに至るまでの $q-\epsilon_a$ 関係における非線形性を弱めると考えられる。また、繊維材無添加のケースに比べ、繊維材を添加したケースのほうが、荷重初期の E_{tan}/E_0 の減少率が小さくなっていることから、繊維材を添加することにより、 $q-\epsilon_a$ 関係における非線形性が弱まるという観点においては、固化材添加量に関わらず、荷重初期から繊維材による補強効果が発揮されるといえる。

4. まとめ

固化材の種類・固化材添加量が、繊維材混合流動化処理土の強度・変形特性に及ぼす影響を検討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、以下の知見を得た。

- 1) 固化材の種類・固化材添加量に関わらず、繊維材を添加することにより、脆性的性質が改善されるといえる。また、本研究内では、固化材添加量 C と最大軸差応力

q_{max} の関係は、比例関係にあることが分かった。

- 2) 固化材の種類によらず、繊維材添加量を増加させると変形に対し繊維材による補強効果が発現されると考えられる。
- 3) 繊維材添加量によらず、固化材添加量の増加に伴い初期変形係数 E_0 は増加するが、その増加率は小さくなっていくことから、初期変形係数 E_0 は、固化材添加量を増加させると、ある値に収束すると考えられる。
- 4) 固化材添加量を増加すると、セメンテーション効果が早期に出現し、ピークに至るまでの $q-\epsilon_a$ 関係における非線形性を弱めると考えられる。また、繊維材で補強された流動化処理土は、固化材添加量に関わらず、荷重初期から繊維材による補強効果が発揮されると考えられる。

参考文献

- 1) 木幡行宏・藤川拓・市原道三・神田政幸・村田修：一軸圧縮試験による繊維混合流動化処理土の強度・変形特性、第36回地盤工学研究発表会講演集, pp.635-636, 2002.
- 2) 木幡行宏・對馬広紀：流動化処理土の三軸せん断特性に及ぼす繊維材混合の影響、第39回地盤工学研究発表会, pp.721-722, 2004.
- 3) 木幡行宏、對馬広紀、藤川拓：長期養生した繊維材混合流動化処理土の強度・変形特性、地盤工学会北海道支部技術報告集第43号, pp.217-224, 2003.
- 4) 木幡行宏、市川昌嗣、Nguyen Cong Giang、加藤勇一：繊維補強した流動化処理土の三軸せん断に伴う損傷特性の検討、ジオシンセティックス論文集第22巻, pp.55-62, 2007.
- 5) 久野悟郎編著：「土の流動化処理工法—建設発生土・泥土の再生利用技術」、技報堂出版, 1997.
- 6) Goto, S., Tatsuoka, F., Shibuya, S., Kim, Y-S and Sato, T.: A simple gauge for local small strain measurements in the laboratory, Soils and Foundations, Vol.31, No.1, pp.169-180, 1991.

EFFECT OF CEMENT CONTENT ON SHEAR PROPERTIES OF LIQUED STABILIZED SOIL REINFORCED BY FIBER MATERIAL

Yukihiro KOHATA, Kiyoshi ITO, Yuta KOYAMA

Key Words : liquefied stabilized soil, fiber material, cement content, stiffness, triaxial shear property

A Liquefied Stabilized soil (LSS) is easy to occur a brittle failure as increased a strength due to an increasing of cement content. In this study, to examine the mechanical characteristic of LSS mixed with fiber material that uses the solidification material newly developed, a series of Consolidated-Undrained triaxial compression test was done to LSS mixed with fibered material that uses the solidification material for unusual soil and usual soft soil, and the influence on strength/deformation properties was examined. It was found that ductile property of LSS is improved as an increasing of fiber material, and reinforced effect for the damage by the shear.