

短繊維混合固化処理土の強度定数に関する一考察

石川工業高等専門学校 正会員 重松宏明
 北海道大学 多田駿太郎
 石川県庁 能澤貴人
 金沢大学 学生会員 ○ 山栗祐樹

1. 緒言

これまで、短繊維混合固化処理土(石灰系固化材に短繊維を複合利用させた改良土)の力学特性を明らかにするために、粘性土試料に石灰系固化材と短繊維(FS)を異なる配合で混ぜ合わせて作製した供試体に対して、圧密排水(CD)・非排水(CU)三軸圧縮試験を行ってきた¹⁾。本研究では、これらの試験結果を集約し、モール・クーロンの破壊規準を適用させて粘着力 c' と内部摩擦角 ϕ' を求め、短繊維混合がこれらの強度定数にどのような影響を及ぼすのかを検証した。

2. 研究の概要

実験で使用する短繊維(Short-Fiber, FS)は、石川県内の繊維会社から毎年大量に排出される長さ 10~20mm 程度のポリエステルである。石灰系固化材(Lime-Stabilizer)は、工業用消石灰を母材とし、これに石膏(廃石膏ボードを再生させた半水石膏)と珪質土(シリカを主成分とする珪質岩の廃材)の 2 種類を添加材として加えたものである。各原料の比率は乾燥質量比で消石灰2に対して、石膏1、珪質土1である。処理対象土には、京都市深草地区で採取された市販のパウダー状の粘性土試料(0.425mm ふるい通過分)を用いた。以後、この土を藤森土と呼ぶ。表-1 に藤森土の物理特性を示す。表中の Fuji10 と Fuji14 は、それぞれ 2010 年、2014 年に購入した藤森土の呼び名を表す。表に示すように、同じ藤森土でも購入時期によって、粒度やコンシステンシー限界が若干異なっている。

試料調整から供試体の作製、試験方法までを説明する。先ず加水調整した藤森土に所定の混合率(8%, 12%)で固化材を混ぜ合わせた後、乾燥しないように施し、インキュベーター内にて一定温度(20℃)のもと、3日間湿潤養生させる。この間にエトリング反応が起こる。養生終了後、よく解きほぐしたFSを所定の混合率(0.5%, 1.0%)で土試料に混ぜ合わせ、円筒形の割型モールドに詰めて静的に締め固める。なお、作製した供試体の初期含水比を処理対象土である藤森土の最適含水比(=22.9% or 24.4%)、乾燥密度を同じく藤森土の最大乾燥密度(=1.601g/cm³ or 1.524g/cm³)と同じ値になるように調整した。脱型後、供試体を三軸試験装置にセットし、比較的低い圧密応力下($\sigma'_c = 50 \sim 400 \text{ kN/m}^2$, 過圧密領域)で $\overline{\text{CU}} \cdot \text{CD}$ 試験を行う。

三軸圧縮試験の結果から強度定数(c' , ϕ')を求める方法の1つに図-1の方法がある。この方法はモール円群の破壊包絡線を引く際の個人差を極力排除するために適用される。最大せん断応力(縦軸)と平均主応力(横軸)は、モールの応力円の頂点に位置する応力の値に対応する。得られた各応力をプロットし、最小二乗法によって直線近似する。その直線が勾配 m_1 , 切片 f_1 であれば、 c' と ϕ' は図中の式から求まる。

3. 結果および考察

図-2~4に $\overline{\text{CU}}$ 試験および CD 試験から求めた短繊維混合固化処理土の有効応力表示によるモールの応力円を示す。表-2は図-1の方法で求めた c' と ϕ' をまとめたものである。表中には、固化材とFSを混ぜ合わせていない、未処理土の強度定数も併記した。先ず $\overline{\text{CU}}$ 試験で得られた強度定数に注目すると、短繊維混合固化処理土は一部の条件を除いて c' を

キーワード 短繊維, 三軸圧縮試験, 強度定数

連絡先 〒929-0392 石川県河北郡津幡町北中条タ1 石川工業高等専門学校環境都市工学科 TEL 076-288-816

表-1 藤森土の物理特性

	Fuji10	Fuji14
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.689	2.705
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.601	1.524
最適含水比 w_{opt} (%)	22.9	24.4
砂分 (%)	12.7	5.7
シルト分 (%)	76.9	75.7
粘土分 (%)	10.4	18.6
液性限界 w_L (%)	43.8	42.1
塑性限界 w_p (%)	21	22.7
塑性指数 I_p	22.8	19.4

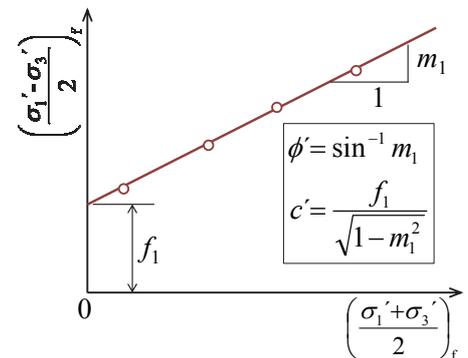


図-1 強度定数を決める方法

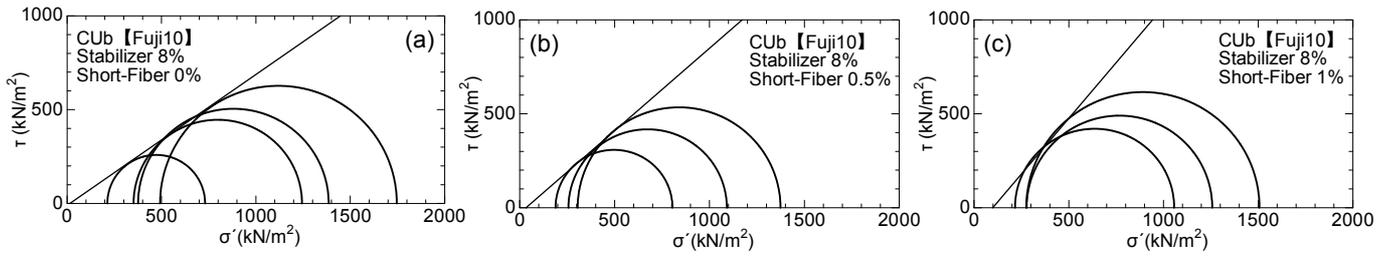


図-2 短繊維混合固化処理土の有効応力表示によるモールの応力円(CU試験, 固化材混合率 8%)

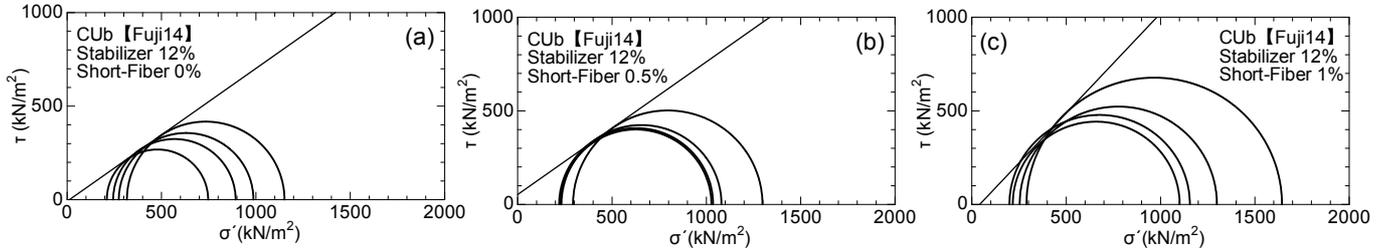


図-3 短繊維混合固化処理土の有効応力表示によるモールの応力円(CU試験, 固化材混合率 12%)

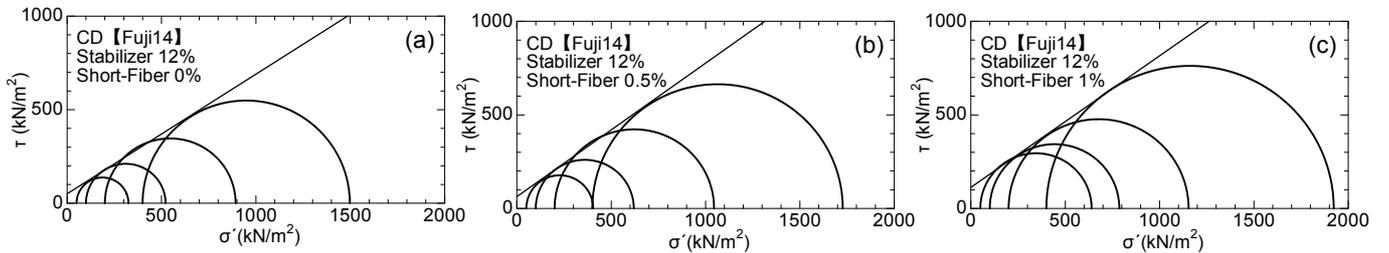


図-4 短繊維混合固化処理土の有効応力表示によるモールの応力円(CD試験, 固化材混合率 12%)

全く有していないことが分かる(ほとんどの条件で $c' < 0$). しかも FS 混合率 1%では, モール・クーロンの破壊規準から得られた Φ' が 49.85°, 46.80°と, 実際の地盤材料では得られないような大きな値を示している. 通常, 沖積粘土や洪積粘土のような自然堆積土では, 過圧密領域において若干の c' が存在することが知られている. この場合の c' は長い年月をかけて堆積したために生じた土粒子間の化学的固結(セメンテーション)や土骨格の形成に起因するものである. 短繊維混合固化処理土は, 養生初期(3日)とはいえ,

少なからずセメンテーションを受けており, かつ過圧密領域において三軸圧縮試験を実施している. そこで CD 試験で得られた強度定数を見てみると, $c' (=c_d)$ は存在しており, かつ FS 混合率の増加とともに大きくなっている. Φ' も 32~36°と, FS 混合率の高低によって値にそれほど大きな差は見られない. 一般に, 過圧密(重過圧密)領域に位置する飽和土を排水せん断すると, 吸水とともに間隙比が大きくなってせん断強度は低下し, c' も減少していく. この最終的に残った c' を「真の粘着力」と呼ばれることがある. まとめて, 石灰安定処理土(FSなし)や短繊維混合固化処理土のような改良土に対して設計定数 c' と Φ' を用いる場合, CD 試験で得られた強度定数が現実的で, かつ安全側であることが理解できる.

4. 結言

短繊維混合固化処理土の三軸圧縮試験の結果を集約して強度定数を整理したところ, CD 試験では設計定数としてある程度信頼性のある c' と Φ' を得た. これに対して, CU試験では $c' < 0$ や $\Phi' > 45^\circ$ など, 実際の地盤材料では得られないような不可解な値を示した. 今後も, 試験条件を増やし短繊維混合固化処理土の三軸圧縮試験を継続していく.

参考文献 1) 重松・多田・山栗・能澤:短繊維混合固化処理土の養生初期における力学特性, 第 51 回地盤工学研究発表会, 2016.9.

表-2 三軸圧縮試験の結果から求めた強度定数

SF(%)	Sta(%)	Soil	Test	f_1	m_1	$c'(\text{kN/m}^2)$	$\Phi'(^{\circ})$
0	0	Fuji10	$\overline{\text{CU}}$	-15.01	0.559	-18.09	33.96
0				-9.00	0.573	-10.98	34.92
0.5	8	Fuji10	$\overline{\text{CU}}$	-22.05	0.660	-29.34	41.28
1.0				-76.06	0.764	-117.97	49.85
0				-7.59	0.579	-9.31	35.39
0.5	12	Fuji14	$\overline{\text{CU}}$	42.55	0.578	52.15	35.33
1.0				-31.04	0.729	-45.35	46.80
0				42.38	0.539	50.30	32.60
0.5	12	Fuji14	CD	50.71	0.581	62.29	35.51
1.0				91.44	0.575	111.79	35.11