

粘性土改良土の強度・変形特性

—長期材齢が及ぼす影響—

Strength and Deformation Characteristics of Cement-Treated Clays

- Influence of Long-Term Material Age -

○矢田部瑛平¹, 山田雅一², 道明裕毅², 近藤壮一郎³

*Yohei Yatabe¹, Masaichi Yamada², Yuki Doumyo², Soichiro Kondo³

Abstract: In the present study, a hollow torsional shear test and unconfined compression test was conducted on samples which added cementitious solidifying stabilizer to Kaolin at C=50kg/m³, 100 kg/m³ and 150 kg/m³. In addition, normalized shear strength and residual strength investigated that failure criterion of power function type can be applied to the cement-treated clays of long-term age.

1. はじめに

建築, 土木構造物の供用期間, 耐用年数を考えると長期スパンにおけるセメント安定処理地盤の諸物性の経年変化について明らかにする必要がある。

本研究では, 既往の研究^{1)~5)}を含めて材齢約 4 年のセメント安定処理粘土に対して, 圧密排水条件での系統的な中空ねじりせん断試験を実施している。本報告では, これらの試験結果に対して, セメンテーション効果の度合を表す指標である一軸圧縮強度を主要なパラメータとしたべき関数型の破壊規準への適応性を検討する。

2. 試験概要

2.1. 試料, 安定材の配合条件

本研究に用いた試料は, カオリン A (土粒子の密度 $\rho_s=2.663\text{g/cm}^3$) である。固化材にはセメント系固化材を用いた。Table 1 には, セメント系固化材の配合条件および試験条件を示した。供試体の作製方法については, 既報¹⁾を参照されたい。

2.2. 試験方法

本研究では, 固化材添加量 C と平均有効主応力 $\sigma'_m=(\sigma'_a+2\sigma'_r)/3$ を変動因子とし, 圧密応力比 $K=(\sigma'_r/\sigma'_a)=0.4$ の等方および異方応力状態として, 所定の軸方向応力 σ'_a と側方向応力 σ'_r で圧密した。圧密終了後, ひずみ速度を 0.025%/min として単調載荷による排水ねじりせん断試験を実施した。また, 中空ねじりせん断試験と同一材齢で, 円柱供試体に対して一軸圧縮試験を JIS A 1216 に準じて別途実施した。

Table 1. Production conditions of sample and test condition

Water content w(%)	Stabilizer amount C(kg/m ³)	Water-to-stabilizer ratio W/C(%)	Mean effective stress σ'_m (kN/m ²)	Anisotropic consolidation stress ratio K	Age (days)
120	50	60	29,41,49,59	0.4,1.0	1441~
	100				
	150		29,41,59	0.4,1.0	1562

3. 試験結果

3.1. せん断応力, 体積ひずみとせん断ひずみの関係

Fig.1 と Fig.2 には, 水・固化材質量比 W/C=60%, 圧密応力比 K=0.4, 平均有効主応力 $\sigma'_m=29\text{kN/m}^2$, 固化材添加量 C=50, 100, 150kg/m³, および材齢約 1 ヶ月, 約 1 年, 約 4 年に対するせん断応力 τ および体積ひずみ ϵ_v ~せん断ひずみ γ 関係の例を示した。Fig.1 より, 固化材添加量の増加に伴ってせん断応力が大きくなっていることが確認できる。また, 最大強度に達した後では, せん断応力が減少しほぼ全ての残留応力状態に到達する傾向が見られる。C=100, 150kg/m³ に関しては, 最大強度は材齢約 4 年が最も大きな値を示しているが, C=50kg/m³ に関しては, 材齢に伴って最大強度が下がっていることが見て取れる。

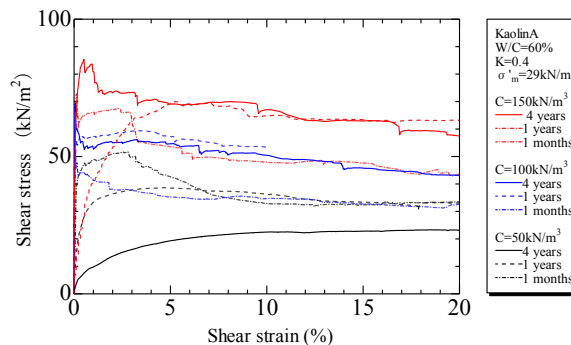


Fig.1. Relation between shear stress and shear strain

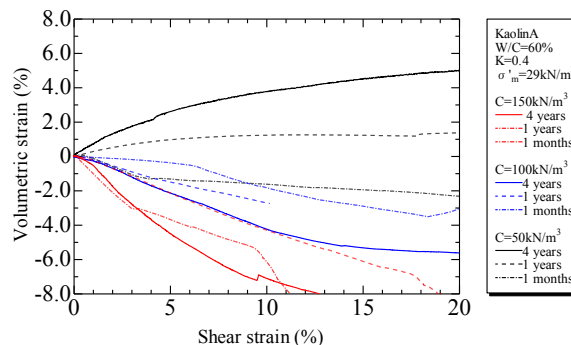


Fig.2. Relation between volumetric strain and shear strain

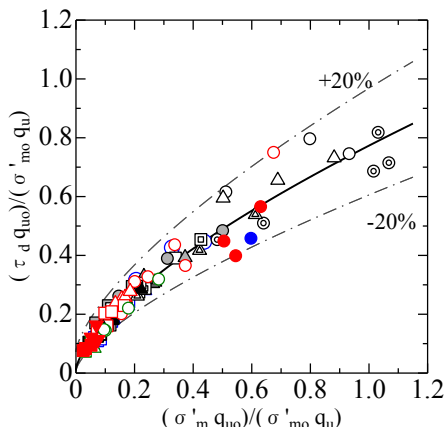


Fig.3.Relation between normalized $\tau_d \sim \sigma'_m$

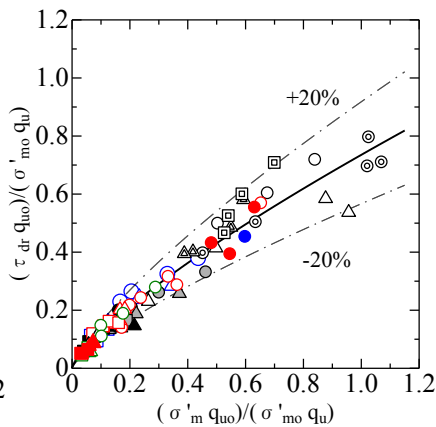


Fig.4.Relation between normalized $\tau_{dr} \sim \sigma'_m$

Kaolina				StabilizerA					
C (kg/m ³)	W/C (%)	K	Age (days)	C (kg/m ³)	W/C (%)	K	Age (days)		
○	50	60	1.0	28~31	○	50	60	0.4	28~31
△	100	60	1.0	28~31	△	100	60	0.4	28~31
□	150	60	1.0	28~31	□	150	60	0.4	28~31
●	50	60	0.7	28~31	●	50	80	0.4	28~31
▲	100	60	0.7	28~31	▲	100	80	0.4	28~31
⊙	150	60	0.7	28~31	⊙	150	80	0.4	28~31
○	50	60	0.4	28~31	○	50	60	0.4	436, 437
△	100	60	0.4	28~31	△	100	60	0.4	436, 437
□	150	60	0.4	28~31	□	150	60	0.4	436, 437
●	50	60	0.4	365~367	●	50	60	0.4	365~367
▲	100	60	0.4	365~367	▲	100	60	0.4	1441~1507
⊙	150	60	0.4	365~367	⊙	150	60	0.4	1481~1512
○	50	60	0.4	1495~1497	○	50	60	0.4	1562
△	100	60	1.0	1562					

KaolinaB				StabilizerB					
C (kg/m ³)	W/C (%)	K	Age (days)	C (kg/m ³)	W/C (%)	K	Age (days)		
○	50	60	0.4	28~31	○	50	60	0.4	28~31
△	100	60	0.4	28~31	△	100	60	0.4	28~31
□	150	60	0.4	28~31	□	150	60	0.4	28~31

Gairome clay				StabilizerB					
C (kg/m ³)	W/C (%)	K	Age (days)	C (kg/m ³)	W/C (%)	K	Age (days)		
○	50	60	0.4	28~31	○	50	60	0.4	28~31
△	100	60	0.4	28~31	△	100	60	0.4	28~31
□	150	60	0.4	28~31	□	150	60	0.4	28~31

Fig.2 では、固化材添加量の増加に伴って、体積変化特性が全体的に収縮傾向から膨張傾向に移行している。また、C=100, 150kg/m³ に関しては、材齢約 4 年が最も膨張傾向にあるのに対し、C=50kg/m³ では材齢に伴って収縮傾向にあることが分かる。

3.2. せん断強度と残留強度の破壊規準

セメント安定処理粘土のせん断強度 τ_d と残留強度 τ_{dr} について、べき関数型の破壊規準への適応性を検討する。

筆者らは、セメント安定処理粘土に対して中空ねじりせん断試験結果に基づいて(1)式と(2)式に示したべき関数型の破壊規準を提案している⁶⁾。

せん断強度に対する規準式：

$$\frac{\tau_d}{\sigma'_{mo}} \frac{q_{uo}}{q_u} = \gamma + \alpha_p \left(\frac{\sigma'_m}{\sigma'_{mo}} \frac{q_{uo}}{q_u} \right)^{\beta_p} \quad (1)$$

残留強度に対する規準式：

$$\frac{\tau_{dr}}{\sigma'_{mo}} \frac{q_{uo}}{q_u} = \alpha_r \left(\frac{\sigma'_m}{\sigma'_{mo}} \frac{q_{uo}}{q_u} \right)^{\beta_r} \quad (2)$$

ここに、 q_u/q_{uo} はセメンテーション効果の度合を表す指標⁶⁾で、 q_u は一軸圧縮強度(kN/m²)、 q_{uo} は基準一軸圧縮強度(=98kN/m²)、 σ'_{mo} は基準平均有効主応力(=98kN/m²)、 α_p 、 β_p 、 γ 、 α_r 、 β_r は強度定数である。

Fig.3 と Fig.4 は、それぞれ $\tau_d \sim \sigma'_m$ 関係と $\tau_{dr} \sim \sigma'_m$ 関係についてセメンテーション効果の相違(材齢、粘土の種類、安定材の種類、固化材添加量、水・固化材質量比、圧密応力比)による影響を取り除くために q_u/q_{uo} で除し、さらに σ'_{mo} で正規化した関係を示した。両図中には、せん断強度に対する(1)式と残留強度に対する(2)式の規準式をそれぞれ実線で示した。

両図より、セメント安定処理粘土の正規化した $\tau_d \sim \sigma'_m$ 関係と $\tau_{dr} \sim \sigma'_m$ 関係の試験結果には材齢、粘土の種類、安定材の種類と配合条件(固化材添加量と水・固化材質量比)、圧密応力比の影響を受けない相関関係が認

められる。

Fig.3 より、正規化したせん断強度は長期材齢のセメント安定処理粘土に対してべき関数型の規準式が適用できることが見て取れる。また、Fig.4 より、正規化した残留強度も同様に、長期材齢のセメント安定処理粘土に対してもべき関数型の規準式が適用できることが見て取れる。

4. まとめ

本報告をまとめると以下の通りである。

- ①セメント安定処理粘土の正規化したせん断強度、残留強度と平均有効主応力の関係は、材齢、粘土の種類、安定材の種類と配合条件(固化材添加量と水・固化材質量比)、圧密応力比の影響を受けない相関関係が認められた。
- ②セメント安定処理粘土のせん断強度と残留強度は、セメンテーション効果の度合を表す指標である一軸圧縮強度をパラメータとするべき関数型の破壊規準に適用することが確認された。

【参考文献】

- 1)渡邊俊治他：粘性土改良土の強度・変形特性-排水ねじりせん断強度-,平成 23 年度日本大学理工学部学術講演会論文集,pp.235-236,2011.
- 2)洞毛和成他：粘性土改良土の強度・変形特性-ねじりせん断強度と残留強度の評価-,平成 24 年度日本大学理工学部学術講演会論文集,pp.181-182,2012.
- 3)武浪晃他：粘性土改良土の強度・変形特性-べき関数型の破壊規準への適用性-,平成 25 年度日本大理工学部学術講演会論文集,pp.159-160,2013.
- 4)近岡周平他：粘性土改良土の強度・変形特性-セメント系固化材の種類の影響-,平成 25 年度日本大理工学部学術講演会論文集,pp.159-160,2014.
- 5)中浜悠史他：粘性土改良土の強度・変形特性-粘土の種類の影響-,平成 27 年度日本大理工学部学術講演会論文集,2015.
- 6)例えば、山田雅一：セメント系安定処理砂の力学特性、セメント・コンクリート論文集, Vol.68,pp.529-536,2014.