

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—

Strength and Deformation Characteristics of Cement-Treated Clays
—Evaluation of Torsional Shear Strength and Residual Strength—

○洞毛 和成¹, 山田 雅一², 安達 俊夫², 桐原 良輔¹

*Kazunari Horage¹, Masaichi Yamada², Toshio Adachi², Ryousuke Kirihara¹

Abstract: The objective of this study is to obtain the mechanical properties of cement-treated clays by the cement stabilization. To this end, the hollow cylindrical torsional shear tests were performed under drainage conditions to the samples of cement-treated Kaolin clay. In this paper, the results of these tests and the practical applicability of the failure criterion of the power function type, in which the unconfined compression strength is a major parameter, for cement-treated sands are presented.

1. はじめに

セメント安定処理地盤を基礎地盤として広く活用していくためには、セメント安定処理土の強度・変形特性を明確にする必要がある。既報¹⁾では、カオリンを安定処理した粘性土改良土に対して、安定材の添加量と圧密応力を変動因子として、等方応力状態で排水条件下での中空ねじりせん断試験を行った。本報告では安定材の配合条件、圧密応力条件を変動因子として異方応力状態で中空ねじりせん断試験を実施した。ここでは、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せん断強度と残留強度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

本試験に用いた試料はカオリンである。カオリンの物理的性質を表 1 に示す。安定材にはセメント系固化材を用いた。表 2 には、固化材の配合条件と試験条件を示す。表 2 に示した含水比 w は、粉体のカオリンを調整する含水比であり、液性限界の約 2 倍の 120% とした。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

中空ねじりせん断試験は、表 2 に示すような固化材添加量 C と平均有効主応力 σ'_m ($=(\sigma'_a + 2\sigma'_r)/3$) を変動因子として、圧密応力比 $K(=\sigma'_r/\sigma'_a)=1.0$ の等方応力状態¹⁾と $K=0.4$ の異方応力状態で圧密し、排水条件下でせん断ひずみ速度を $0.025\%/min$ として荷重(トルク)を単調載荷した。ここで、 σ'_a は軸方向応力であり、 σ'_r は側方向応力である。また、ねじりせん断試験と同じ材齢で一軸圧縮試験を実施した。

3. 試験結果

3.1 せん断強度, 残留強度と平均有効主応力の関係

図1に、せん断強度 τ_d と平均有効主応力 σ'_m 関係の試験結果を示す。同図中には、試験条件ごとにCoulombの破壊規準

Table 1. Physical properties of Kaolin clay

土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_P (%)	塑性指数 I_P
2.663	63.5	33.0	30.5

Table 2. Production conditions of sample and Test conditions

含水比 w (%)	固化材添加量 C (kg/m ³)	水・固化材 質量比 W/C (%)	平均有効主応力 σ'_m (kN/m ²)	圧密応力比 K	材齢 (日)
120	50	60	49, 69, 98	1.0	28~31
	100		49, 69, 98, 137		
	150		49, 69, 98		
	50		29, 41, 59, 82	0.4	
	100				
	150				

を適用して直線で併せ示した。図1より、粘着力 c_d (直線の切片)と内部摩擦角 ϕ_d (直線の傾き)は固化材添加量と圧密応力比の影響を受けることが明白である。

図2には、残留強度 τ_{dr} と平均有効主応力 σ'_m 関係の試験結果を示した。同図中には、図1と同様に試験条件ごとにCoulombの破壊規準を適用して直線で示した。ここで定義した残留強度 τ_{dr} はせん断応力がほぼ一定でせん断変形のみが継続する限界状態における強度であり、ほぼ定常状態と見なせる $\gamma=20\%$ 時の τ の値とした。図2より、残留強度 τ_{dr} と平均有効主応力 σ'_m 関係は、 $\tau_{dr} \sim \sigma'_m$ 関係の試験結果に比べてばらつきが小さく、粘着力 c_{dr} と内部摩擦角 ϕ_{dr} は固化材添加量と圧密応力比による影響が小さいことがわかる

3.2 せん断強度と残留強度の破壊規準

本試験によるカオリン改良土のせん断強度 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。べき関数型のせん断強度と残留強度の破壊規準をそれぞれ(1)式と(2)式に示す。この規準式は、セメント改良砂に対する系統的な中空ねじりせん断試験結果から、砂の種類と密度、安定材の配合条件、材齢の影響を受けないこと、圧密応力の異方性に関しても平均有効主応力 σ'_m で表すことで圧密応力比 K の影響を受けないことが報告されている²⁾。また、セ

1 : 日大理工・学部・建築 2 : 日大理工・教員・建築

メント改良砂の三軸圧縮強度 q_{max} と σ'_m の関係についても、砂の種類、固化材の種類、配合条件に依らない一義的な関係になることが示されている。

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³⁾で、 q_u は一軸圧縮強度 (kN/m^2)、 q_{uo} は基準一軸圧縮強度 ($=98\text{kN/m}^2$)、 σ'_{mo} は基準平均有効主応力 ($=98\text{kN/m}^2$)、 α_p 、 β_p 、 γ 、 α_r 、 β_r は強度定数である。ここで、 β_p と β_r は、圧密応力によって変化する内部摩擦角と関連づけられる量であり、 $\beta_p = \beta_r = 1$ のときには線形関係が成立することになる。従って、この場合には Coulomb の破壊規準と同じになる。

図 3 と図 4 には、図 1 に示した $\tau_d \sim \sigma'_m$ 関係と図 2 に示した $\tau_{dr} \sim \sigma'_m$ 関係についてセメンテーション効果の相違 (固化材添加量の違い) 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、セメント改良砂の試験結果 (●印) と、せん断強度に対する (1) 式と残留強度に対する (2) 式の規準式を破線で、規準式の $\pm 20\%$ の範囲を一点鎖線で示した。

図 3 と図 4 より、カオリン改良土の正規化した $\tau_d \sim \sigma'_m$ 関係と正規化した $\tau_{dr} \sim \sigma'_m$ 関係の試験結果には固化材添加量と圧密応力比の影響を受けない相関関係が認められる。

図 3 より、カオリン改良土の正規化したせん断強度は、セメント改良砂の規準式を表す破線よりも全体的にやや下側に分布しているものの、カオリン改良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。同図中には (1) 式による規準式を実線で併せ示した。

図 4 より、正規化した残留強度は、セメント改良砂の試験結果とほぼ同じ分布を示しており、(2) 式が適合することがわかる。同図中には (2) 式による規準式を実線で示した。

4. まとめ

本報告をまとめると以下の通りである。

- ① カオリン改良土の正規化したせん断強度 τ_d 、残留強度 τ_{dr} と平均有効主応力 σ'_m の関係は、安定材の配合条件と圧密応力比 K 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合することが示唆された。

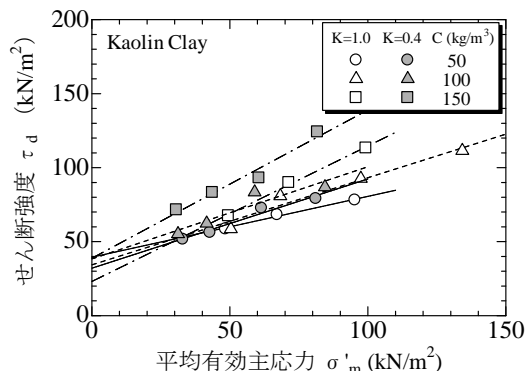


Fig.1. Relations of τ_d and σ'_m

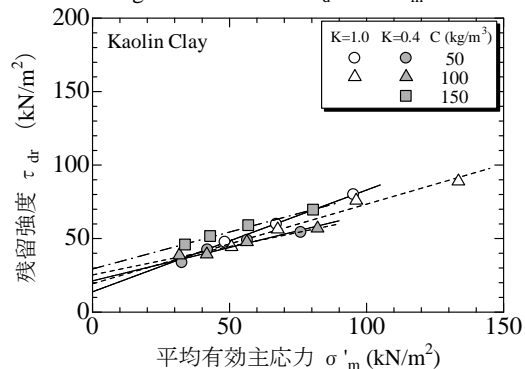


Fig.2. Relations of τ_{dr} and σ'_m

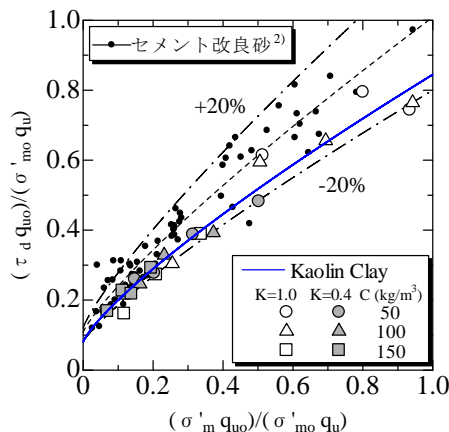


Fig.3. Relations of normalized τ_d and σ'_m

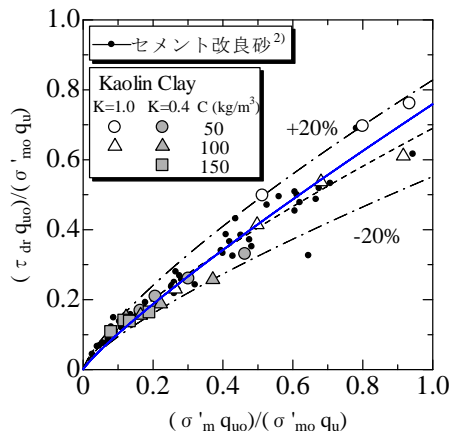


Fig.4. Relations of normalized τ_{dr} and σ'_m

【参考文献】

- 1) 渡邊俊治, 山田雅一, 安達俊夫: 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) 山田雅一, 安達俊夫: セメント改良砂の強度・変形特性と破壊規準, 日本建築学会関東支部審査付き研究報告集 3, pp.17-20, 2008.
- 3) 山田雅一, 安達俊夫: 中空ねじりせん断試験によるセメント改良砂の強度・変形特性, 日本建築学会構造系論文集, 第 570 号, pp.107-114, 2003.