

## 粘性土改良土の強度・変形特性

## —排水ねじりせん断強度—

## Strength and Deformation Characteristics of Cement-Treated Clays

## —Drained Torsional Shear Strength—

○渡邊 俊治<sup>2</sup>, 山田 雅一<sup>1</sup>, 安達 俊夫<sup>1</sup>\*Shunji Watanabe<sup>2</sup>, Masaichi Yamada<sup>1</sup>, Toshio Adachi<sup>1</sup>

Abstract: The objective of this study has been 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 were 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。本報告では、カオリンを安定処理した粘性土改良土に対して、安定材の配合条件、圧密応力条件を変動因子として排水条件下で中空ねじりせん断試験を実施した。ここでは、その試験結果について考察し、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、セメント系固化材の配合条件を示す。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。

## 2.2 供試体の作製方法

試料土は、粉体のカオリンに所定の含水比に相当する水量を加えてソイルミキサーで混練して含水比調整を行った。供試体は、表 2 に示した配合条件で、中空ねじりせん断試験用の中空円筒供試体(外径 10cm, 内径 6cm, 高さ 10cm)と一軸圧縮試験用の円柱供試体(直径 5cm, 高さ 10cm)を地盤工学会基準 JGS 0821 に準拠して作製した。

供試体の養生方法は、モールドに充填した混合試料をラップフィルムで密封し、約 24 時間静置した。その後、供試体上端面をソイルナイフで平滑に成形し、モールドから供試体を脱型してから所定材齢まで水中養生した。

## 2.3 試験方法

中空ねじりせん断試験装置のキャップとペダスタルの多孔板には、せん断載荷時に供試体の上下端面での滑りを防止するために、高さ約 4mm の金属リブが 6 枚取り付けられているタイプを使用した。

Table 1. Physical properties of Kaolin clay

土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	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

含水比 $w$ (%)	固化材添加量 $C$ (kg/m <sup>3</sup> )	水・固化材 質量比 W/C (%)
120	50	60
	100	
	150	

Table 3. Test conditions

固化材添加量 $C$ (kg/m <sup>3</sup> )	平均有効主応力 $\sigma'_m$ (kN/m <sup>2</sup> )	圧密応力比 $K$	材齢 (日)
50	49, 69, 98	1.0	28~31
100	49, 69, 98, 137		
150	49, 69, 98		

中空ねじりせん断試験は、表 3 に示すように固化材添加量  $C$  と平均有効主応力  $\sigma'_m$  ( $=(\sigma'_a + 2\sigma'_r)/3$ ) を変動因子として、圧密応力比  $K(=\sigma'_r/\sigma'_a)=1.0$  の等方応力状態で圧密し、排水条件下で荷重(トルク)を単調載荷した。ここで、 $\sigma'_a$  は軸方向応力であり、 $\sigma'_r$  は側方向応力である。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。

## 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

図 1(a), (b) には、固化材添加量  $C=100$  kg/m<sup>3</sup> に対するせん断応力  $\tau$  および体積ひずみ  $\varepsilon_v$  ~ せん断ひずみ  $\gamma$  関係の試験結果を示した。図 1(a) より、 $\tau \sim \gamma$  関係では、圧密応力の増大に伴って最大強度が大きくなるのがわかる。また、最大強度に達した後、せん断応力が緩やかに減少しほぼ定常の一定値に到達する傾向が見られる。一方、図 1(b) より、 $\varepsilon_v \sim \gamma$  挙動は、圧密応力が大きくなるに従って体積収縮傾向が強くなるのが見て取れる。

### 3.2 せん断強度と平均有効主応力の関係

図 2 には、せん断強度  $\tau_d$  と平均有効主応力  $\sigma'_m$  の関係を示す。同図中には、固化材添加量ごとに Coulomb の破壊規準を適用して線で併せ示した。図 2 より、固化材添加量の増大に伴って内部摩擦角  $\phi_d$  は大きくなり、粘着力  $c_d$  は小さくなることわかる。

### 3.3 せん断強度の評価

カオリン改良土のせん断強度について、べき関数型の破壊規準への適応性を検討する。

筆者らは、セメント改良砂に対するせん断強度の破壊規準として、砂の種類と密度、安定材と混和材の配合条件、材齢および圧密応力条件を変動因子とした系統的な中空ねじりせん断試験結果に基づき、(1)式に示すべき関数型の破壊規準を提案した<sup>1)</sup>。この規準式は、砂の種類と密度、安定材の配合条件、材齢および圧密応力比  $K$  の影響を受けない。

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

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<sup>2)</sup>であり、 $q_u$  は一軸圧縮強度 ( $\text{kN/m}^2$ )、 $q_{uo}$  は基準一軸圧縮強度 ( $= 98 \text{ kN/m}^2$ )、 $\sigma'_{mo}$  は基準平均有効主応力 ( $= 98 \text{ kN/m}^2$ )、 $\alpha_p$ 、 $\beta_p$ 、 $\gamma$  は強度定数である。

そこで、図 3 には、図 2 の  $\tau_d \sim \sigma'_m$  関係を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  $\sigma'_{mo}$  で正規化した関係を示した。同図中には、セメント改良砂に対する(1)式の規準式を実線で、規準式の  $\pm 20\%$  の範囲を破線で示した。図 3 より、カオリン改良土の正規化した  $\tau_d \sim \sigma'_m$  関係には固化材添加量の影響を受けない相関関係が認められる。また、カオリン改良土の試験結果は、セメント改良砂の規準式を表す実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(1)式が適応できることが示唆される。図 3 中には、文献 3) で報告された海成粘土のセメント改良土 ( $C=100 \text{ kg/m}^3$ ,  $W/C=60\%$ ) に対する三軸試験結果について、せん断強度  $(\sigma'_a - \sigma'_r)_{max}/2$  と最大強度時の  $\sigma'_m$  の関係を  $q_u/q_{uo}$  と  $\sigma'_{mo}$  で正規化して●印でプロットした。図 3 より、海成粘土を母材とする改良粘土の三軸試験結果もカオリン改良土の試験結果と良い対応を示すことが見て取れる。

### 4. まとめ

本報告をまとめると以下の通りである。

- ① カオリン改良土の正規化したせん断強度  $\tau_d$  と平均有効主応力  $\sigma'_m$  の関係は、固化材添加量の影響を受けない相関関係が認められた。
- ② カオリン改良土のせん断強度は、セメンテーション効果の度合を表す指標として位置付けられる一軸圧縮強度を

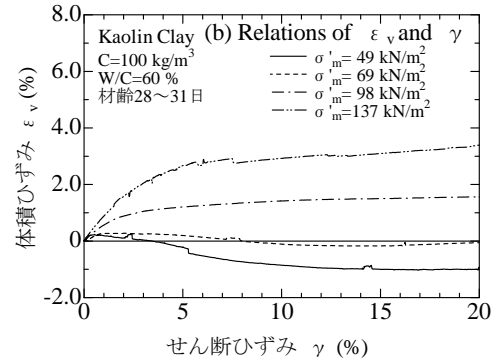
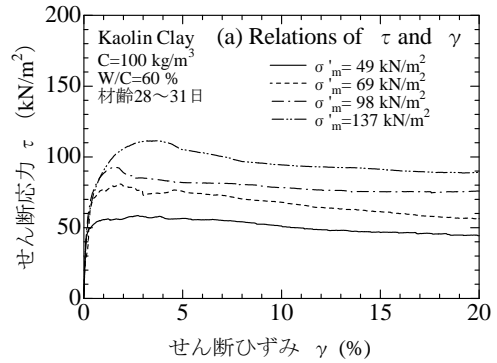


Fig.1. Test results ( $C=100 \text{ kg/m}^3$ )

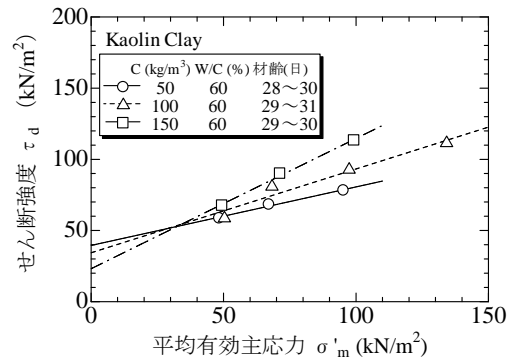


Fig.2. Relations of  $\tau_d$  and  $\sigma'_m$

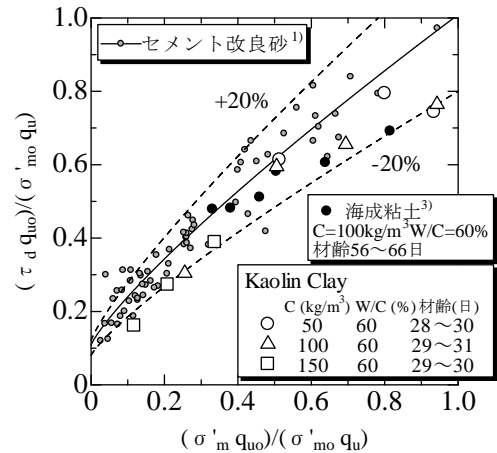


Fig.3. Relations of normalized  $\tau_d$  and  $\sigma'_m$

パラメータとするべき関数型の破壊規準に適応することが示唆された。

### 【参考文献】

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 山田雅一, 高橋守男, 荒木一司: 粘性土改良土の強度・変形特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-1, pp.1615-1616, 1990.