

## 粘性土改良土の強度・変形特性 —粘土の種類の影響—

### Strength and Deformation Characteristics of Cement-Treated Clays

#### —Influence of Kinds of Clays—

○中浜 悠史<sup>1</sup>, 山田 雅一<sup>2</sup>, 安達 俊夫<sup>2</sup>

\*Yushi Nakahama<sup>1</sup>, Masaichi Yamada<sup>2</sup>, Toshio Adachi<sup>2</sup>

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 and the unconfined compression tests were performed by means of the samples of cement-treated different kinds of clays. In this paper, the practical applicability of the failure criterion of the power function type and the evaluation formula of the initial shear modulus, in which the unconfined compression strength is a major parameter, 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。本研究では、セメント安定処理粘土の正確な強度・変形特性を把握するとともに、その特性相互の関連を明確にするため、安定処理した種類の異なる粘土に対して、一連の系統的な中空ねじりせん断試験と一軸圧縮試験を実施している。

本報告は、種類の異なる粘土を用いた本試験結果と既報 1)～5)における試験結果を含めて、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<sup>6)</sup>への適応性を検討する。また、初期せん断弾性係数と一軸圧縮強度との関係<sup>4)</sup>についても検討する。

### 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蛙目粘土とカオリン B である。既報 1)～5)ではカオリン A を用いており、これらの試料の物理的性質を Table 1 に示す。安定材にはセメント系固化材 (固化材 B) を用いた。既報 1)～4)では固化材 A を用いている。固化材 A と B は強度発現が異なるのが特徴である。Table 2 には、固化材の配合条件と試験条件を示す。Table 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る。カオリン A に対する配合条件と試験条件ならびに供試体の作製方法については、既報 1)～5)を参照されたい。

#### 2.2 試験方法

中空ねじりせん断試験は、Table 2 に示すように固化材添加量  $C$ 、平均有効主応力  $\sigma'_m$  ( $=(\sigma'_a + 2\sigma'_r)/3$ ) および試験材齢を変動因子として、圧密応力比  $K(=\sigma'_r/\sigma'_a)=0.4$  の異方応力状態として、所定の軸方向応力  $\sigma'_a$  と側方向応力  $\sigma'_r$  で圧密した。圧密終了後、ひずみ制御で  $\gamma=10^{-5}$  のひずみレベルでの繰返し載荷を行って初期せん断弾性係数  $G_{max}$  を求めてから、

Table 1. Physical properties of samples

試料	土粒子の密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	液性限界 $w_L(\%)$	塑性限界 $w_P(\%)$	塑性指数 $I_P$
蛙目粘土	2.469	43.2	12.1	31.1
カオリンA	2.663	63.5	33.0	30.5
カオリンB	2.741	46.9	23.5	23.4

Table 2. Production conditions of samples and Test conditions

試料	含水比 $w(\%)$	固化材添加量 $C(\text{kg/m}^3)$	水・固化材 質量比 $W/C(\%)$	平均有効応力 $\sigma'_m(\text{kN/m}^2)$	圧密応力比 $K$	材齢 (日)
蛙目粘土	90	50	60	29, 41, 56, 82	0.4	28~31
		100				
		150				
カオリンB	120	100		29, 41	0.4	436, 437

ひずみ速度を 0.025%/min として排水条件で単調載荷した。

また、中空ねじりせん断試験と同じ材齢で、円柱供試体に対して一軸圧縮試験を JIS A 1216 に準拠して行った。

### 3. せん断強度と残留強度の破壊規準

蛙目粘土とカオリン B によるセメント改良粘土のせん断強度  $\tau_d$  と残留強度  $\tau_{dr}$  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<sup>6)</sup>をそれぞれ(1)式と(2)式に示す。

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<sup>7)</sup>で、 $q_u$  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 ( $=98 \text{ kN/m}^2$ )、 $\alpha_p$ 、 $\beta_p$ 、 $\gamma$ 、 $\alpha_r$ 、 $\beta_r$  は強度定数である。Fig.1 と Fig.2 には、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による影響を取り除くために  $q_u/q_{uo}$  で除し、

1 : 日大理工・院・建築 2 : 日大理工・教員・建築

さらに  $\sigma'_{mo}$  で正規化した関係を示した. Fig.1 と Fig.2 より, 蛙目粘土とカオリン B によるセメント改良粘土の正規化した  $\tau_{dr} \sim \sigma'_m$  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の種類と配合条件, 圧密応力比および材齢の影響を受けない一義的な関係が認められる. そこで, 両図中には, ここに示した全試験結果に対して, それぞれせん断強度に対する (1) 式と残留強度に対する (2) 式の規準式を適用して実線で示した. 両図より, (1) 式と (2) 式のべき関数型の破壊規準式が適用できていることがわかる.

#### 4. 初期せん断弾性係数と一軸圧縮強度の関係

既報 4), 5) では, セメント改良粘土の初期せん断弾性係数  $G_{max}$  は, 固化材の種類と配合条件, 応力条件, 材齢に関わらず一軸圧縮強度  $q_u$  値から評価できる可能性を示した. そこで, 本試験結果に対して既報 4), 5) と同様の検討を行う. 同図中には, Tatsuoka ら<sup>8)</sup>による三軸圧縮試験で得られた初期最大ヤング係数  $E_{max}$  と三軸圧縮強度  $q_{max}$  の関係式を示した. Tatsuoka らは人工的に固結した試料は  $E_{max}/q_{max} > 1000$  ( $=G_{max}/q_{max} > 400$ , ポアソン比  $\nu$  を 0.25 と仮定した.) になるとしており, その下限値である  $G_{max}=400q_{max}$  の曲線を破線で示した. また, 古垣内ら<sup>9)</sup>による流動化処理した建設発生土 (材齢 28 日, 56 日, 91 日) に対する一軸圧縮試験と超音波伝搬速度測定結果を併せ示した.

Fig.3 より, 本試験による  $G_{max}/\sigma'_r \sim q_u/q_{uo}$  関係の全試験結果は相関性が高く, 古垣内らの試験結果とも良く対応していることがわかる. 同図に示した本試験結果から図中に実線で示した関係式が得られた. このことから, セメント改良粘土の  $G_{max}$  は, 粘土の種類, 固化材の種類と配合条件, 応力条件, 材齢に関わらず  $q_u$  値から評価できることが示唆される.

$$G_{max} = 860 \cdot q_u^{0.85} \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (3)$$

#### 5. まとめ

本報告をまとめると以下の通りである.

- ① セメント改良粘土の正規化したせん断強度  $\tau_{dr}$ , 残留強度  $\tau_{dr}$  と平均有効主応力  $\sigma'_m$  の関係には, 固化材の種類と配合条件と圧密応力比および材齢の影響を受けない相関関係が認められた.
- ② 粘土の種類が異なるセメント改良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を確認した.
- ③ セメント改良粘土の初期せん断弾性係数は, 一軸圧縮強度から評価できる可能性を示した.

#### 【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

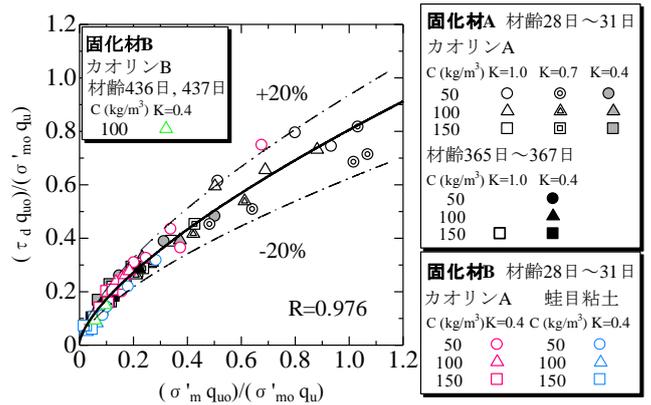


Fig.1. Relation between normalized  $\tau_{dr}$  and  $\sigma'_m$

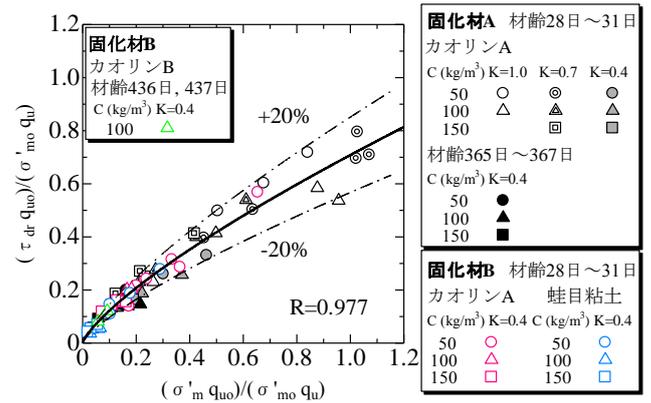


Fig.2. Relation between normalized  $\tau_{dr}$  and  $\sigma'_m$

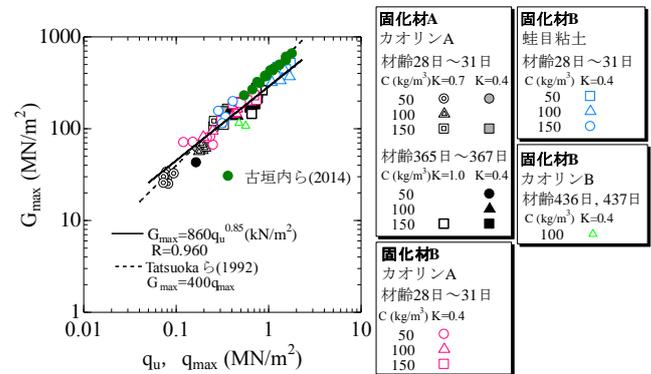


Fig.3. Relation between  $G_{max}$  and  $q_u$  (or  $q_{max}$ )

- 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 年度日本大学理工学部学術講演会論文集, pp.159-160, 2013.
- 4) 角川将基他: 粘性土改良土の強度・変形特性-初期せん断弾性係数と一軸圧縮強度の関係-, 平成 25 年度日本大学理工学部学術講演会論文集, pp.161-162, 2013.
- 5) 近岡周平: 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 26 年度日本大学理工学部学術講演会論文集, pp.159-160, 2014.
- 6) 山田雅一他: 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.
- 7) 山田雅一他: 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.
- 8) Tatsuoka, F. et al.: Deformation Characteristics of Soils and Rocks from Field and Laboratory Tests, Theme Lecture 1, Proc. Ninth Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.2, pp.101-170, 1992.
- 9) 古垣内靖他: 流動化処理土のヤング率に関する考察, 日本建築学会大学学術講演会梗概集, pp.591-592, 2014.