

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—

Strength and Deformation Characteristics of Cement-Treated Clays

—Correlation between Initial Shear Modulus and Unconfined Compression Strength—

○角川 将基¹, 山田 雅一², 安達 俊夫², 武浪 晃¹

*Masaki Tsunokawa¹, Masaichi Yamada², Toshio Adachi², Akira Takenami¹

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 Kaolin clay. In this paper, the results show that the initial shear modulus 'G_{max}' of cement-treated clays can be approximately evaluated from the unconfined compression strength 'q_u'.

1. はじめに

安定処理地盤と構造物の変形に対する問題を検討する場合には、安定処理土の変形特性、特に弾性係数などを正確に求めることが必要となる。本研究では、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に、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、圧密応力条件および試験材齢を変動因子とした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。

本報告では、これら中空ねじりせん断試験による変形特性試験結果と一軸圧縮試験結果に基づき、初期せん断弾性係数と一軸圧縮強度の関係について検討する。

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、試料の調整含水比と安定材の配合条件を示す。調整含水比 w は、液性限界の約 2 倍の 120% とした。また、実施工の仕様に合わせて、固化材添加量 C は、50, 100, 150kg/m³ の 3 種類とし、水・固化材質量比 W/C は 60% 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 3 に示すように固化材添加量 C 、平均有効主応力 σ'_m ($=(\sigma'_a+2\sigma'_h)/3$)、試験材齢を変動因子として行った。圧密応力は、圧密応力比 K ($=\sigma'_h/\sigma'_a$)=1.0, 0.7, 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'_h 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、ひずみ速度を 0.025%/min として排水条件で単調載荷した。

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

| 含水比 w (%) | 固化材添加量 C (kg/m ³) | 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 ³) | 平均有効主応力 σ'_m (kN/m ²) | 圧密応力比 K | 材齢 (日) |
|------------------------------------|---|--------------|-----------|
| 50 | 39, 55, 78, 110 | 0.7 | 28~31 |
| 100 | | | |
| 150 | | | |
| 50 | 29, 41, 59, 82 | 0.4 | |
| 100 | | | |
| 150 | | | |
| 50 | 29 | 0.4 | 365~367 |
| 100 | 29, 41, 59, 82 | | |
| 150 | 49, 69, 98 | | |

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。試験材齢は、約 1 ヶ月 (若材齢) と約 1 年 (長期材齢) とした。

3. 初期せん断弾性係数と一軸圧縮強度の関係

一般に、地盤材料の初期せん断弾性係数 G_{max} は次式で表される。

$$G_{max} = A \cdot \sigma'_r \cdot \left(\frac{\sigma'_m}{\sigma'_r} \right)^n \quad (1)$$

ここに、 A は実験定数、 σ'_m は平均有効主応力 (kN/m²)、

1 : 日大理工・学部・建築 2 : 日大理工・教員・建築

n は指数であり、 σ'_r は基準応力 (=98 kN/m²) である。

本試験によるカオリン改良土の $G_{max}/\sigma'_r \sim \sigma'_m/\sigma'_r$ 関係の試験結果を図 1 に示す。なお、若材齢における K=1.0 の条件下での変形特性試験は行っていない。図 1 から、カオリン改良土の初期せん断弾性係数 G_{max} は圧密応力 σ'_m と圧密応力比 K による依存性はほとんど認められないが、固化材添加量と試験材齢の影響を受けていることは明らかである。従って、(1) 式中の係数 A は固化材添加量と材齢の相違によるセメンテーションの結合力の大きさに依存しているものと考えられる。このセメンテーション効果の度合を表す指標は q_u/q_{u0} として表せるので¹⁾、係数 A は q_u/q_{u0} の関数で表されることが考えられ、(1) 式は(2)式で表される。

$$\frac{G_{max}}{\sigma_r} = \alpha \cdot \left(\frac{q_u}{q_{u0}} \right)^m \quad (2)$$

ここに、 α は実験定数、m は指数であり、 q_{u0} は基準一軸圧縮強度 (=98 kN/m²) である。

そこで、図 2 に本試験によるカオリン改良土の $G_{max} \sim q_u$ 関係 (= $G_{max}/\sigma'_r \sim q_u/q_{u0}$ 関係) の試験結果を示した。図 2 中には、一軸圧縮強度 q_u は拘束圧がゼロの状態での排水三軸圧縮強度 q_{max} と見なせる²⁾ことから、Tatsuoka ら³⁾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 ν 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、小泉ら⁴⁾ は室内での弾性波速度試験に基づいたセメント安定処理土のせん断波速度 V_s と一軸圧縮強度 q_u の関係式を提案しており、これを $G_{max} \sim q_u$ 関係に換算して同図中に一点鎖線で示した。

図 2 より、カオリン改良土の $G_{max} \sim q_u$ 関係の本試験結果は相関性が高く (相関係数 $R=0.948$)、Tatsuoka らと小泉らが報告した曲線に近い位置にプロットされている。カオリン改良土の本試験結果から(3)式で表した初期せん断弾性係数 G_{max} と一軸圧縮強度 q_u の関係式が得られ、同図中に実線で併せ示した。

$$G_{max} = 974 \cdot q_u^{0.82} \quad (\text{kN/m}^2) \quad (3)$$

このことから、安定処理粘土の初期せん断弾性係数 G_{max} は、安定材の配合条件、応力条件、材齢に関わらず一軸圧縮強度 q_u から評価できることが示唆される。

4. まとめ

本報告をまとめると以下の通りである。

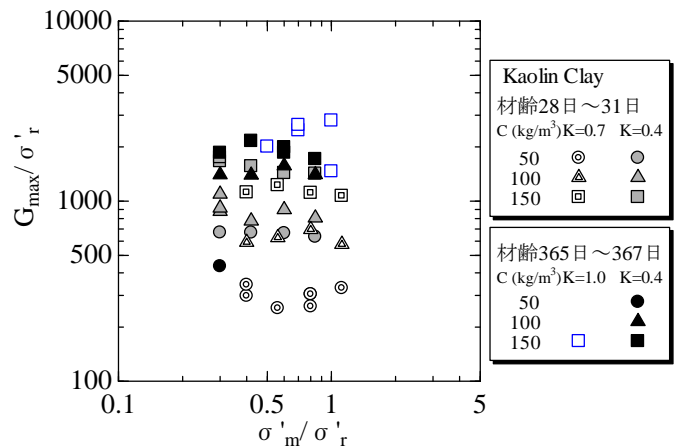


Fig.1. Relations of G_{max}/σ'_r and σ'_m/σ'_r

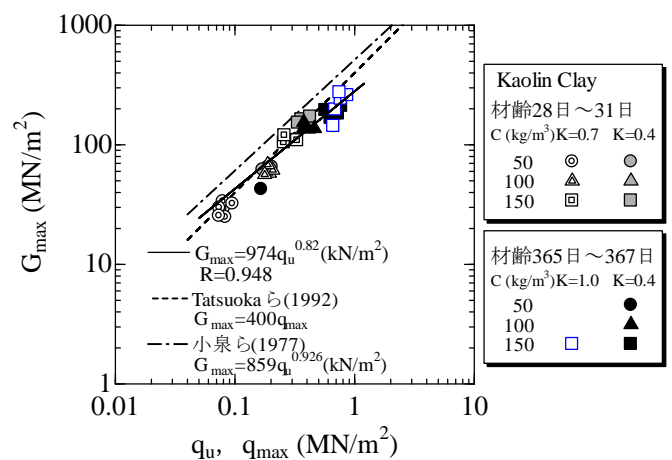


Fig.2. Relations of q_u , q_{max} , and G_{max}

- ①カオリン改良土の初期せん断弾性係数は、本試験結果の範囲では圧密応力と圧密応力比の影響を受けないことがわかった。
- ②カオリン改良土の初期せん断弾性係数は、主としてセメンテーションの結合力の大きさに依存することを示した。
- ③セメント安定処理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) 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-排水せん断強度と微小ひずみでの変形特性-, 日本建築学会構造系論文集, 第 570 号, pp.107-114, 2003.
- 2) 龍岡文夫：土質試験の課題と試験結果の評価-東京湾横断道路計画における土質工学の諸問題と室内土質試験-, 土質工学会, 「昭和 61 年度最近の土質・基礎に関する講習会」講演資料, 1986.
- 3) 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.
- 4) 小泉泰通他：セメントスラリーの軟弱地盤への適用について, 第 12 回土質工学研究発表会, pp.1289-1292, 1977.