

粘性土改良土の強度・変形特性 —せん断弾性係数のひずみ依存性—

Strength and Deformation Characteristics of Cement-Treated Clays —Strain Dependency of Shear Modulus—

○中浜 悠史¹, 山田 雅一²*Yushi Nakahama¹, Masaichi Yamada²

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. This paper showed that the strain dependency of shear modulus of cement-treated clays.

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。また、セメント安定処理地盤の応答解析を行うためにはせん断弾性係数のひずみ依存性 ($G \sim \gamma$ 関係) が必要となる。しかし、安定処理地盤の $G \sim \gamma$ 関係は明確となっておらず、安定処理土を弾性体として扱っているのがほとんどである。本研究では、セメント安定処理粘土の強度・変形特性を明確にするために系統的な中空ねじりせん断試験を実施している。

本報告は、既報 1)～4)における単調載荷試験結果からせん断弾性係数のひずみ依存性を検討する。

2. 試験概要

2.1 試料, 安定材の配合条件

試料はカオリン A である。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。Table 2 には、固化材の配合条件と試験条件を示す。また、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。供試体の作製方法については、既報 1) を参照されたい。

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
カオリンA	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 $C(\text{kg/m}^3)$	水・固化材 質量比 $W/C(\%)$	平均有効主応力 $\sigma'_m(\text{kN/m}^2)$	圧密応力比 K	材齢 (日)
120	50	60, 80	29, 41, 59, 82	0.4	28～31
	100				
	150				

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 $\sigma'_m (= (\sigma'_a + 2\sigma'_h)/3)$ 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 σ'_a と側方向応力 σ'_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、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. せん断弾性係数のひずみ依存性の検討

3.1 双曲線モデル

せん断弾性係数は単調載荷試験による $\tau \sim \gamma$ 関係から得られる割線せん断弾性係数で検討した。割線せん断弾性係数の求め方を Fig.1 (a) に示し、割線せん断弾性係数比 $G/G_{\max}$ とせん断ひずみ γ 関係の試験結果一例を Fig.1 (b) に示す。

せん断弾性係数のひずみ依存性を表すために試験結果を双曲線モデル⁵⁾で近似する。双曲線モデルは (1) 式で表される。Fig.1 (b) には、近似した双曲線モデルを実線で併せ示した。

$$\frac{G}{G_{\max}} = \frac{1}{1 + \frac{\gamma}{\gamma_r}} \quad (1)$$

ここに、 G はせん断弾性係数、 $G_{\max}$ は初期せん断弾性係数、 $\gamma_r (= \tau_f / G_{\max})$ は規準ひずみ、 τ_f はせん断強度と定義される。

Fig.1 (b) から安定処理粘土の $G/G_{\max} \sim \gamma$ 関係は双曲線モデルで概ね表すことができる可能性が示唆される。

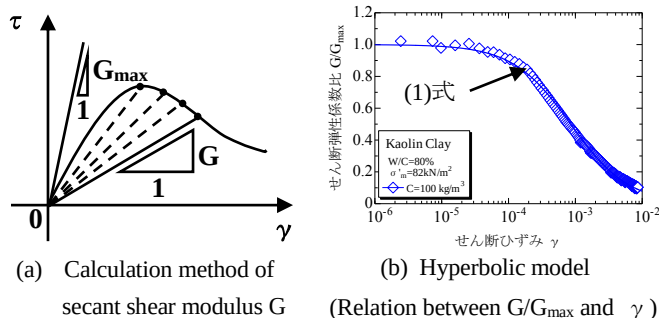


Fig.1. Pattern diagram

3.3 せん断弾性係数比とせん断ひずみの関係

Fig.2～Fig.4には、 $G/G_{\max} \sim \gamma$ 関係の試験結果を示した。同

図中には試験結果を(1)式で近似して、実線と破線で併せて示した。

Fig.2~Fig.4より、 $G/G_{\max} \sim \gamma$ の関係は平均有効主応力 σ'_m 、セメンテーション効果（水・固化材質量比W/C）の影響を受けていることが明白である。固化材添加量Cの影響は本試験結果の範囲内では明確でなかった。

また、試験結果と(1)式は概ね良い対応を示しており、カオリン改良土の $G/G_{\max} \sim \gamma$ 関係は本試験結果の範囲内では双曲

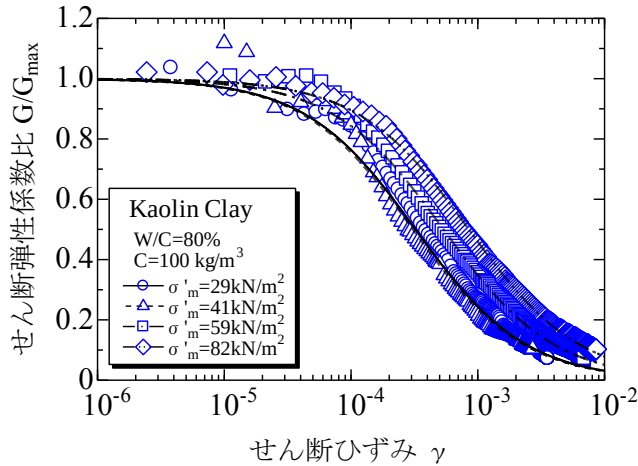


Fig.2. Relation between $G/G_{\max}$ and γ
(Influence of mean effective principal stress σ'_m)

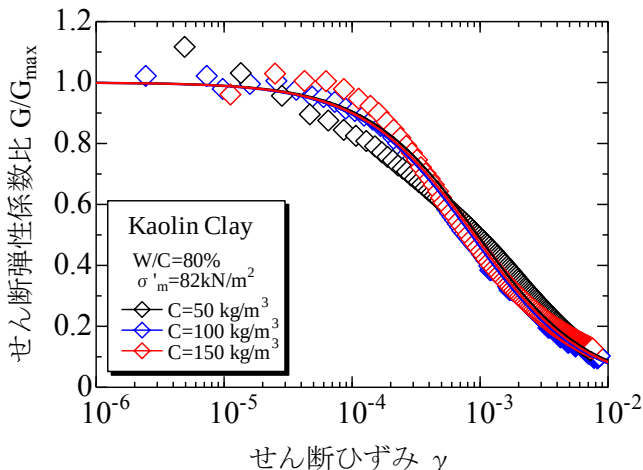


Fig.3. Relation between $G/G_{\max}$ and γ
(Influence of cement addition C)

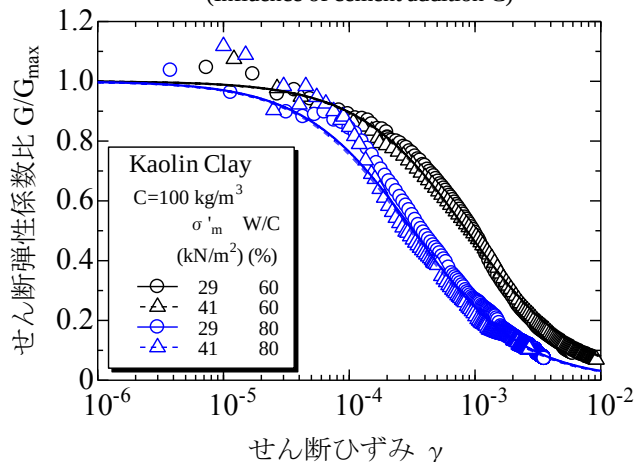


Fig.4. Relation between $G/G_{\max}$ and γ
(Influence of water-stabilizer ratio W/C)

線モデルで表すことができることがわかる。

3.4 規準ひずみと平均有効主応力の関係

Fig.5には、カオリン改良土の規準ひずみ γ_r と平均有効主応力 σ'_m の関係の試験結果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} （セメンテーション効果の度合を表す指標⁶⁾）で除し、さらに σ'_{mo} で正規化した関係を示した。

Fig.4より、カオリン改良土の一軸圧縮強度で正規化した γ_r と σ'_m の関係には、固化材の配合条件、圧密応力条件の影響を受けない相関関係が認められる。

同図に示した本試験結果から図中に実線で示した(2)式が得られ、セメント安定処理粘土の γ_r は、固化材の配合条件、圧密応力条件に関わらず q_u 値から評価できることが示唆される。

$$\gamma_r \left(\frac{q_u}{q_{uo}} \right) = 0.094 \left(\frac{\sigma'_m q_{uo}}{\sigma'_{mo} q_u} \right)^{0.84} \quad (2)$$

ここで、 q_{uo} は基準一軸圧縮強度 (=98 kN/m²)、 σ'_{mo} は基準平均有効主応力 (=98 kN/m²) である。

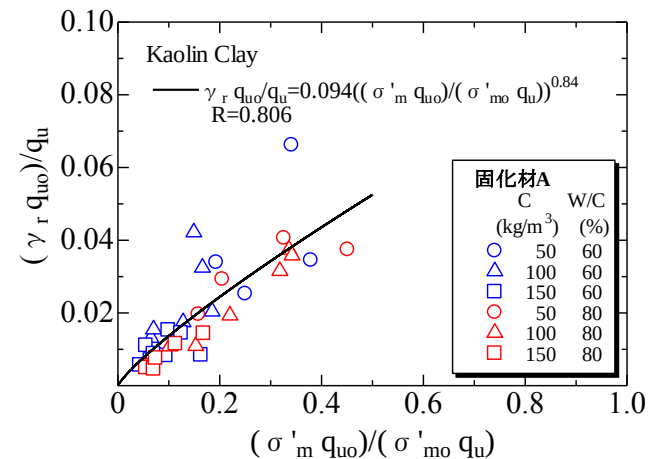


Fig.5. Relation between normalized γ_r and σ'_m

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 $G/G_{\max} \sim \gamma$ 関係は双曲線モデルで表すことができることがわかった。
- ② カオリン改良土の一軸圧縮強度で正規化した規準ひずみと平均有効主応力の関係には、固化材の配合条件、圧密応力条件の影響を受けない相関関係が認められた。
- ③ カオリン改良土の規準ひずみを一軸圧縮強度と平均有効主応力から求めることで $G/G_{\max} \sim \gamma$ 関係を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) 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 26 年度日本大学理工学部学術講演会論文集, pp.159-160, 2014.
- 3) 清田博真他：粘性土改良土の強度・変形特性-水・固化材質量比の影響(その 1) -, 平成 28 年度日本大学理工学部学術講演会論文集, 2016.
- 4) 佐藤一毅他：粘性土改良土の強度・変形特性-水・固化材質量比の影響(その 2) -, 平成 28 年度日本大学理工学部学術講演会論文集, 2016.
- 5) Hardin, B.O. and Drnevich, V.P.: Shear Modulus and Damping in Soils: Design Equations and Curves, Proc. ASCE, Jour. SMFD, Vol.98, No. SM7, pp.667-692, 1972.
- 6) 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.