

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 (その 2) -

Strength and Deformation Characteristics of Cement-Treated Clays

-Applicability of Failure Criterion of Power Function Type (Part 2)-

○富田早苗¹, 山田雅一², 安達俊夫²

*Sanae Tomita¹, Masaichi Yamada², Toshio Adachi²

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 proposed failure criterion of the power function type and the evaluation formula of the initial shear modulus were applied to the experimental results of the cement-treated clays reported by previous researches.

1. はじめに

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に、カオリンを安定処理した粘性土改良土に対して、一連の中空ねじりせん断試験と一軸圧縮試験を実施している。

一方、筆者らは、セメント安定処理砂に対して、砂の種類と密度、安定材と混和材の配合条件、圧密応力条件および材齢を変動因子として実施した、系統的な中空ねじりせん断試験結果に基づき、一軸圧縮強度を主要なパラメータとするべき関数型のせん断強度と残留強度の破壊規準を提案した¹⁾。

本報告は、既往の研究^{2)~8)}で報告されたセメント改良粘土の三軸圧縮強度と三軸残留強度に対して、提案したべき関数型の破壊規準の適用性について検討する。また、既報⁹⁾、¹⁰⁾で報告した粘性土改良土に対する初期せん断弾性係数と一軸圧縮強度の関係についても、既往の研究報告¹¹⁾と比較・検討する。

2. 安定処理粘土の破壊規準

筆者らは、セメント安定処理砂に対して、中空ねじりせん

断試験結果に基づいて(1)式と(2)式に示したべき関数型の破壊規準を提案している¹⁾。

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} はセメントレーション効果の度合いを表す指標¹²⁾で、 q_u は一軸圧縮強度(kN/m²)、 q_{uo} は基準一軸圧縮強度(=98 kN/m²)、 σ'_m は基準平均有効主応力(=98 kN/m²)、 α_p 、 β_p 、 γ 、 α_r 、 β_r は強度定数である。既報¹⁰⁾では、カオリンを安定処理した粘性土改良土に対する中空ねじりせん断試験結果は、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ず(1)式と(2)式に適合することを報告した。

一般に、土のせん断試験は試験の簡便さから一軸圧縮試験や三軸圧縮試験が慣用されている。中空ねじりせん断試験から得られた(1)式と(2)式の破壊規準を三軸圧縮試験に適用す

Table1. Experimental results reported by previous researches

試料	安定材の種類	一軸圧縮強度 q_u (kN/m ²)	圧密応力 σ'_c (kN/m ²)	圧縮強度 q_{max} (kN/m ²)	残留強度 q_r (kN/m ²)	参考文献
川崎粘土	ポルトランドセメント	294, 912	98, 147, 294	687~1805	687~1805	寺師ら(1980)
海成粘土	ポルトランドセメント	432~2992	20, 49, 98, 196, 392, 540, 687	461~3740	283~2917	龍岡(1986)
横浜粘土	ポルトランドセメント	196~3237	49, 98, 196, 392, 589	403~34329	52~1523	斉藤(1988)
大阪粘土	ポルトランドセメント	432~2992		360~4224	120~1365	
柳井粘土	ポルトランドセメント	441~4768		637~5750	312~2944	
伊万里粘土	ポルトランドセメント	510~2521		691~3634	181~1261	
海成粘土	セメント系固化材	1658~1687	20, 98, 196, 392, 589	1617~2303	1016~2052	山田ら(1990)
米山粘土	ポルトランドセメント	198, 258	98, 392	334~1422	294~1354	矢島ら(1994)
米山粘土	ポルトランドセメント	258	98, 294, 491	667~1668	392~1668	矢島ら(1997)
MCクレイ	高炉セメントB種, 半水石膏	87~200	50, 100, 150, 200	140~720	140~720	矢島ら(2011)

1 : 日大理工・学部・建築 2 : 日大理工・教員・建築

ると(3)式, (4)式で表される.

三軸圧縮強度に対する規準式:

$$\frac{q_{max}}{\sigma'_{mo}} \frac{q_{uo}}{q_u} = \gamma_{TRI} + \alpha_{TRI} \left(\frac{\sigma'_m q_{uo}}{\sigma'_{mo} q_u} \right)^{\beta_{TRI}} \quad (3)$$

三軸残留強度に対する規準式:

$$\frac{q_r}{\sigma'_{mo}} \frac{q_{uo}}{q_u} = \alpha_{TRI,r} \left(\frac{\sigma'_m q_{uo}}{\sigma'_{mo} q_u} \right)^{\beta_{TRI,r}} \quad (4)$$

ここに, α_{TRI} , β_{TRI} , γ_{TRI} , $\alpha_{TRI,r}$, $\beta_{TRI,r}$ は強度定数である.

本報告では, Table1 に示した種類の異なる試料や安定材を用いたセメント改良粘土に対する既往の研究の試験結果^{2)~8)}を基に, べき関数型の破壊規準への適応性を検討する.

Fig.1 は三軸圧縮強度 q_{max} と $\sigma'_m (= \sigma'_c)$ の関係 (q_u/q_{uo}) で除し, さらに σ'_{mo} で正規化した関係を両対数グラフで示したものである. Fig.1 より, 正規化した $q_{max} \sim \sigma'_m$ 関係には粘土の種類, 固化材の種類, 配合条件に依らない一義的な関係が認められる. また, 同図中には(3)式に示した関係式を実線で併せ示した.

Fig.2 には, 残留強度 q_r を Fig.1 と同様に整理して示した. Fig.2 より, 残留強度においても正規化した $q_r \sim \sigma'_m$ 関係には粘土の種類, 固化材の種類, 配合条件に依らない一義的な関係が認められ, (4)式に示した関係式を実線で併せ示した.

Fig.1 と Fig.2 より, 既往の研究の試験結果に(3)式と(4)式による規準式を適用して得られた相関係数はそれぞれ $R=0.937$ と $R=0.954$ であり, べき関数型の破壊規準が適合することが確認された.

3. 初期せん断弾性係数と一軸圧縮強度の関係

Fig.3 に既報¹⁰⁾で報告したカオリン改良土の初期せん断弾性係数 G_{max} と一軸圧縮強度 q_u の関係を示した. 同図中には, Tatsuoka ら¹³⁾により人工的に固結した試料の下限値として示された $G_{max}=400q_{max}$ の曲線を破線で示した. 本試験結果は相関性が高く, Tatsuoka らが報告した曲線に近い位置にプロットされている. 本試験結果からは同図中に実線で示した関係式が得られた.

また, Fig.3 には, 古垣内ら¹¹⁾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, 古垣内らの試験結果は, 本試験結果と良く対応していることがわかる. 従って, セメント安定処理土の 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.

4. 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三軸圧縮強度と三軸残留強度は, 一軸圧縮強度を主要な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示した.

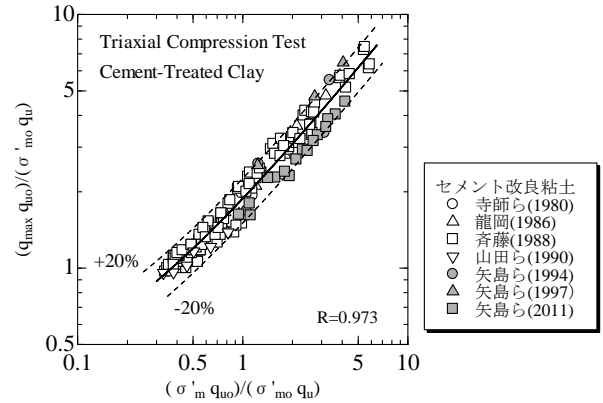


Fig.1. Relation between normalized q_{max} and σ'_m

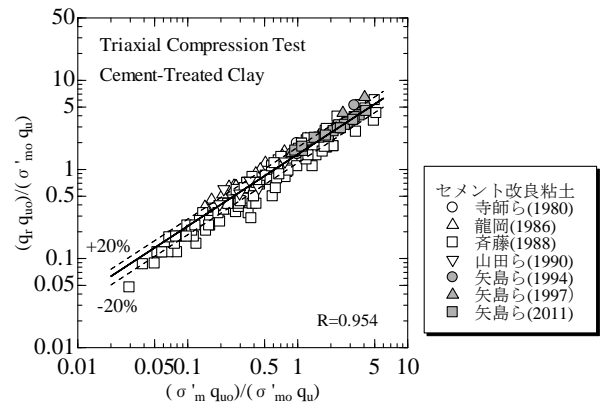


Fig.2. Relation between normalized q_r and σ'_m

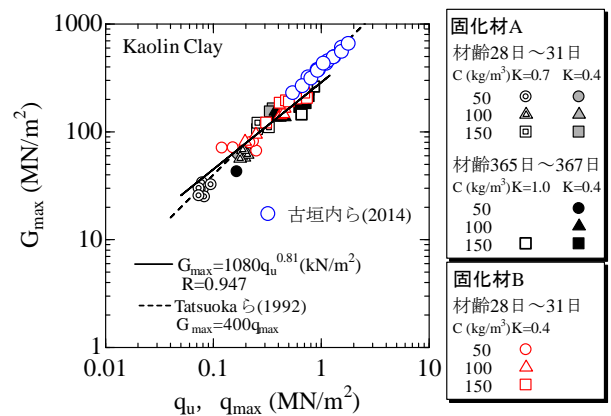


Fig.3. Relation between G_{max} and q_u (or q_{max})

- ② セメント改良粘土の初期弾性係数は, 一軸圧縮強度から評価できることを示した.

【参考文献】

- 1) 山田雅一他: 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) 寺師昌明他: 港湾技術研究所報告, 第 19 巻, 第 1 号, pp.33-59, 1980.
- 3) 龍岡文夫: 最近の土質・基礎に関する講習会講演資料, 土質工学会, 1986.
- 4) 齊藤聡: 深層混合処理工法によるセメント改良地盤の工学的性質に関する実験的研究, 日本大学博士論文, 1988.
- 5) 山田雅一他: 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1615-1616, 1990.
- 6) 矢島寿一他: 土木学会論文集, No.499/III-28, pp.197-205, 1994.
- 7) 矢島寿一他: 土木学会論文集, No.561/III-38, pp.205-214, 1997.
- 8) 矢島寿一他: 地盤工学ジャーナル, Vol.6, No.2, pp.331-339, 2011.
- 9) 角川将基他: 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.
- 10) 近岡周平他: 平成 26 年度日本大学理工学部学術講演会論文集, 2014.
- 11) 古垣内靖他: 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.591-592, 2014.
- 12) 山田雅一他: 日本建築学会構造系論文集, 第 570 号, pp.107-114, 2003.
- 13) Tatsuoka, F. et al.: Theme Lecture 1, Proc. Ninth Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.2, pp.101-170, 1992.