

セメント改良粘土の強度特性

日大生産工（院） ○岡 弘和
日大生産工 今野 誠
東大生研 古関 潤一

1. はじめに

近年、地盤改良工法として、石灰やセメントを用いた固結工法が多く用いられるようになってきた。これらの改良土上に構造物を設計する際、改良体の挙動と元地盤のそれが大きく異なることから、より信頼性のあるデータが要求される。セメント改良土の研究はこれまでも実施されているが、それらの多くでは大気圧下で供試体を養生しているために、実際の地盤内でのセメンテーション発達過程を再現しているとは言い難い。そこで、本研究では応力作用下でセメントと粘土を反応させることに焦点を絞り、その改良体の強度特性が如何なる要因に依存しているのかを明らかにすることを目的とした。

2. 強度試験の手順

本試験に使用した粘土試料は、カオリン粘土（土粒子密度 $\rho_s = 2.65 \text{ g/cm}^3$ 、平均粒径 $D_{50} = 4.1 \text{ } \mu\text{m}$ 、液性限界 $w_L = 45.9 \%$ 、塑性指数 $I_p = 26.5$ ）に、早強セメントを乾燥重量比で3 %混入したものである。

供試体作成方法は次のとおりである。まず乾燥したカオリンとセメントをミキサーでよく攪拌し、スプリットモールド内で一次元圧縮することにより、高さ100 mm程度、直径50 mmの供試体に成形する（この時点では水を全く含まない）。この供試体を乾燥状態のまま三軸試験機にセットし、背圧として約100 kPaの負圧を与えることで等方的に圧縮した。その後、この等方応力状態を保ったまま、もしくは、所定の偏差応力を与えて異方応力状態にしてから、供試体内部に脱気蒸留水を供給し、セメンテーションを開始させ、所定の時間、圧密・養生した。ここでは、水が供試体に浸入し始めた瞬間を養生開始時と定義した。所定の養生時間経過した後、養生中の応力状態より直接、約0.01 %/minのひずみ速度で、三軸排水せん断した。せん断中の偏差応力は三軸セル内のロードセルで、軸ひずみは外部変位計で測定した。

試験において変化させた物理量は、養生時の間隙比（初期間隙比） e_0 、養生時間 t_c 、養生時の偏差応力（初期偏差応力） q_i 、せん断途中に行ったクリープ載荷中に保持した偏差応力（クリープ偏差応力） q_c の4種類である。それぞれを変化させた試験は以下のように定義される。①TCEシリーズ：養生前に最大1200 kPaまで一時的に p' を増加させることにより作製した異なる e_0 を持つ供試体を、 $p'_i = 100 \text{ kPa}$ の等方応力状

態で48時間養生した後、排水せん断したシリーズ ②QIシリーズ：供試体に異なる初期偏差応力 q_i (50, 100, 150 kPa) を与えて異方応力状態で48時間養生した後、排水せん断させたシリーズ ③TCシリーズ：供試体を $p'_i = 100 \text{ kPa}$ の等方応力状態で異なる養生時間 t_c だけ養生した後、三軸状態または無拘束状態（一軸状態）で排水せん断したシリーズ ④QCシリーズ：供試体を $p'_i = 100 \text{ kPa}$ の等方応力状態で24時間養生した後、異なるクリープ偏差応力 q_c (100, 200, 300 kPa) で24時間排水クリープ載荷してから破壊まで排水せん断したシリーズである。特記しない限りせん断中の有効拘束圧は100 kPaとする。

3. 試験結果と考察

まず、初期間隙比の影響を調べたTCEシリーズの試験で得られたピーク強度 q_{max} と初期間隙比 e_0 の関係を図1に示す。この図より、養生条件が同じであれば、供試体の e_0 が小さいほど、すなわち供試体が密な状態で養生したものほど、 q_{max} が大きくなるという結果を得た。また、図1を指数関数で近似することにより

$$q_{max} = 3205 \cdot \exp(-1.520 \cdot e_0) \quad \text{式(1)}$$

という関係を得た。ただし q_{max} の単位は kPa である

次に、供試体に異なる初期偏差応力 q_i を与えて異方応力状態で養生しせん断させたQIシリーズの結果を図2に示す。初期偏差応力 q_i が大きいほど、ピーク強度 q_{max} も大きくなるという相関性が見出せるが、養生中の平均主応力の差により各供試体の間隙比が異なる

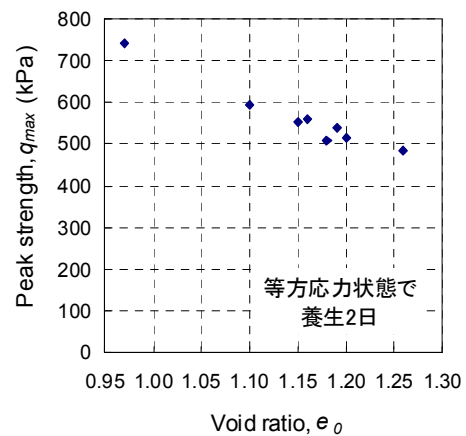


図1 TCEシリーズのピーク強度と初期間隙比の関係

Strength Characteristic of a Cement-Mixed Clay

Hirokazu OKA, Makoto IMANO (Nihon University), Junichi KOSEKI (University of Tokyo)

ため、一意的に結論づけることができない。そこで、式(1)でそれぞれの間隙比における強度を求めてそれで q_{max} を正規化すると図3を得る。この図を見ると、図2に示された強度の違いは、初期偏差応力 q_i の違いによってではなく初期間隙比 e_0 の違いによって、ほぼ説明されることが分かる。

続いて、TC シリーズの試験から得られたピーク強度 q_{max} と養生時間 t_c の関係を図4に示す。図4中には、養生方法は同じであるが、有効拘束圧 100 kPa でせん断された三軸試験と無拘束圧でせん断された一軸試験の結果、ならびに、無拘束圧下で養生した試料の一軸試験結果の3種類がプロットされている。どの試験においても養生時間が長くなるほど、ピーク強度が増加するが、その増分は拘束圧にそれほどよらない傾向が見られる。養生時間に対するピーク強度の増加率を考えると、拘束圧が大きいほど、養生初期の強度が大きいので、その増加率は小さくなる。このような現象は Barbosa-Cruz (1998) でも報告されている。

最後に、等方応力状態で 24 時間養生し、異なる偏差クリープ応力 q_c でさらに 24 時間クリープ载荷をした後、せん断した QC シリーズで得た応力ひずみ関係を図5に示す。すべての試験において、クリープ载荷直後に高剛性域が出現するのと、クリープ载荷後は応力ひずみ関係が硬化しているのが確認できる。しかしながら、クリープ偏差応力 q_c がピーク強度 q_{max} に及ぼす影響はほとんど見られなかった。

4. まとめ

本研究で行った試験の結果から、セメント混合粘土を用いた三軸排水試験におけるピーク強度 q_{max} は、初期間隙比 e_0 が小さいほど、養生時間 t_c が長いほど大きくなるが、養生中の偏差応力の影響はほとんど見られないことが分かった。

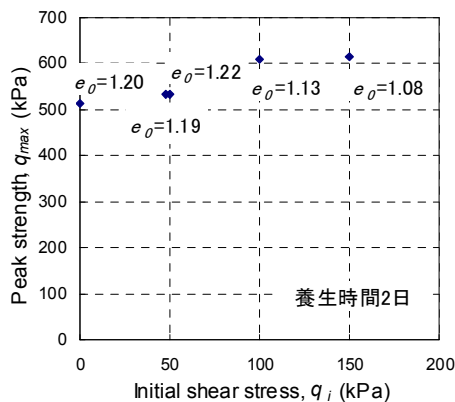


図2 QI シリーズのピーク強度と初期偏差応力の関係

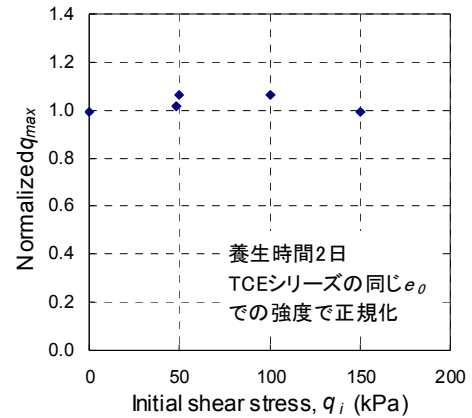


図3 QI シリーズの正規化した q_{max} と初期偏差応力

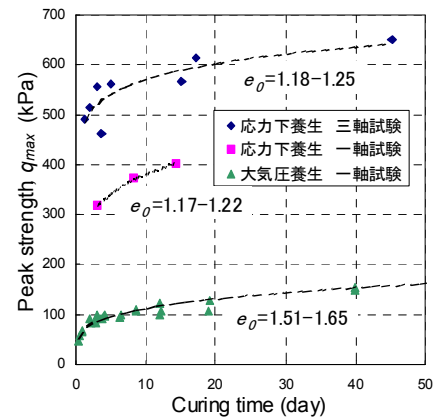


図4 TC シリーズのピーク強度と養生時間の関係

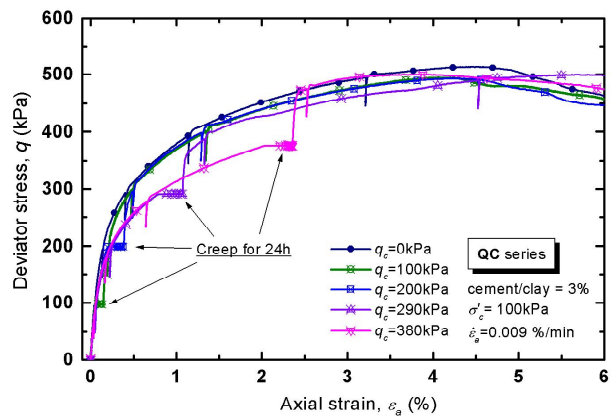


図5 QC シリーズにおける偏差応力 q と軸ひずみ ϵ_a の関係

参考文献

- 1) Barbosa-Cruz E.R., Deformation and strength characteristics of a cement-treated sandy soil, Master thesis in University of Tokyo, 1998