

自然堆積粘土および再構成土の圧密特性に関する実験的研究

環境防災研究室 今野優太
指導教員 大塚悟

1. はじめに

新潟県には、沖積低地（海岸平野、河川平野）で構成される軟弱地盤が存在し、消雪のための地下水利用による広域地盤沈下のほか、道路盛土等において長期的にわたる残留沈下が問題となっている。近年、粘性土の圧密沈下をアイソタック則によって解釈する試みが行われている。しかし、粘性土の物理特性による挙動の差異などは十分に明らかにされていない。

本研究では、新潟県旧紫雲寺潟で採取した試料の自然堆積粘土（不攪乱状態）と再構成土で、異なるひずみ速度と試験中に変速する定ひずみ速度圧密試験（以下 CRS 試験）を実施した。これにより、試料のひずみ速度依存性の把握および考察を目的とする。

また、自然堆積粘土と再構成土は基本的に同じ粒度構成の土であるが、両者の挙動の差異は構造に起因すると考えられる。圧密現象理解の切り口として、圧密特性、速度効果、荷重履歴の影響を調査する。

2. アイソタック則（ひずみ速度依存性）

アイソタック則は、 $\epsilon - \log p'$ 関係がひずみ速度に依存することを指す。CRS 試験の結果より土の $\epsilon - \log p'$ 関係はひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ で変化することが報告されている。この概念図を図 1 に示す。図 1 より、 $\dot{\epsilon}$ が大きくなると $\epsilon - \log p'$ 関係は平行に右側にシフトする。粘性効果による差異が生じるが、二次圧密挙動との差異など不明な点が多い。

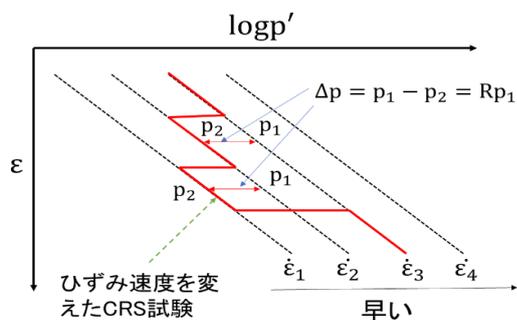


図 1 アイソタック則（ひずみ速度依存性）の概要図

3. 対象とした試料

実験で使用した試料は、新潟県旧紫雲寺潟で採取した海成粘土を用いた。使用した粘性土の基本的性質を表 1 に示す。表 1 より、粘土分が卓越することがわかる。また、液性限界が $78\% > 50\%$ と高い一方で、自然含水比が大きいことから圧縮性が高いといえる。

表 1 試料の基本的性質

| 試料名 | 粒度組成 (%) | | | コンシステンシー | | | |
|-----|----------|------|------|----------|-------|-------|-------|
| | 砂 | シルト | 粘土 | w_n | w_L | w_p | I_p |
| T-8 | 0.3 | 27.9 | 71.8 | 73.4 | 78.8 | 30.3 | 48.5 |

4. JIS A 1227 定ひずみ速度圧密試験（CRS 試験）

本研究では JIS A 1227 の CRS 試験をもとに圧密試験を実施した。実施内容は、異なるひずみ速度による CRS 試験と、試験中にひずみ速度を変速させる CRS 試験の二つを実施した。これにより、異なる試料状態の $\epsilon - \log p'$ 関係からひずみ依存性について考察する。

4.1 試験器概要

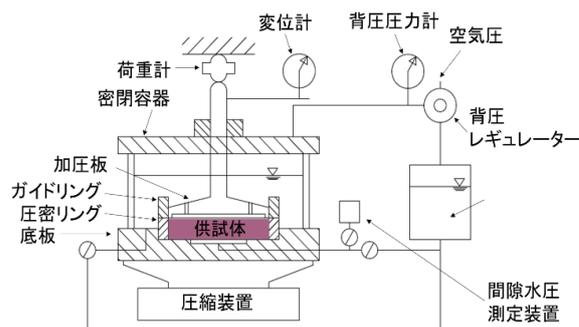


図 2 定ひずみ速度圧密試験器の構成例

図 2 に定ひずみ速度圧密試験器の構成例を示す。この試験は、土供試体を片面排水条件の下で、一定のひずみ速度で連続的に軸圧縮したときの圧密量、軸圧縮力と供試体非排水面での間隙水圧の変化より圧密所定数を求めるものである。

4.2 定速による CRS 試験

本試験は、異なるひずみ速度で CRS 試験を実施した。CRS 試験では、塑性指数 I_p に応じたひずみ速度を用いる。したがって、本研究の試料の $I_p=48.5$ からひずみ速度 $0.01\%/min$ を基準とした。 $0.01\%/min$ をもとに $1/10$ 倍、 10 倍、 100 倍のひずみ速度で CRS 試験を実施した。試験結果の整理は、圧縮指数、圧密降伏応力、ひずみ速度依存性 R (式 1) を算出する。ここでは、図 1 を参考に有効応力を用いてひずみ速度依存性 R を数値的に評価した。

・ひずみ速度依存性 R

$$R = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_2}{\sigma'_1} = \frac{\Delta\sigma'}{\sigma'_1} \dots (式 1)$$

σ'_1 : 変化後のひずみ速度の有効応力

σ'_2 : 変化前のひずみ速度の有効応力

4.3 試験中の変速による CRS 試験

本試験は CRS 試験中にひずみ速度を変化させて実施した。最初は圧縮ひずみ 5% までひずみ速度 $1.0\%/min$ で圧密を行い、ひずみが $+2.5\%$ 進む毎に 0.01 および $1.0\%/min$ の範囲でひずみ速度の切り替えを実施した。再構成土は試料作製上の困難さのために、 0.01 および $0.1\%/min$ の範囲でひずみ速度を切り替えた。

5. 試験結果

5.1 定速による CRS 試験の試験結果

本試験では、各試料状態で $0.01\%/min$ と $1.0\%/min$ の間で $\varepsilon - \log\sigma'$ 関係のシフトが確認された。この結果を表 2、図 3 に示す。図 3 より、 $\dot{\varepsilon}=1.0\%/min$ では降伏までは異なる試料状態で同様の圧縮挙動を示すことから、試料状態に関わらず同様の速度効果の影響を受けていると考える。自然堆積粘土の圧縮特性は過圧密領域の挙動が明瞭あるが、再構成土では不明瞭である。また、正規圧密領域の圧縮指数は自然堆積粘土が大きい。一方、ひずみ速度依存性 R は再構成土が大きい結果となった。自然堆積粘土と再構成土は粒度分布が等しいものの、粒子の構造の差異を反映して、圧縮特性は大きく異なる。

表 2 $0.01-1.0\%/min$ のひずみ依存性 R と圧縮指数 C_c

| 試料状態 | R | $C_c(0.01-1.0)$ | |
|--------|-------|-----------------|-------|
| 自然堆積粘土 | 0.557 | 0.710 | 0.846 |
| 再構成土 | 0.877 | 0.309 | 0.333 |

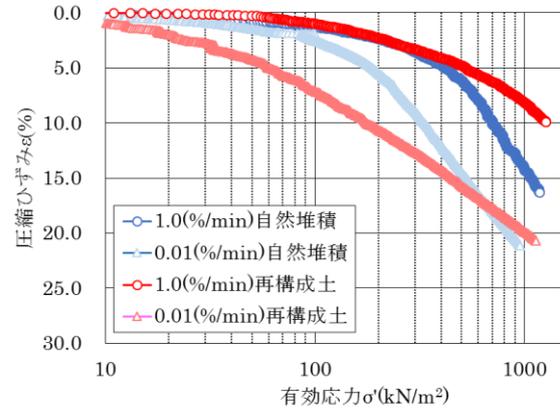


図 3 自然堆積粘土と再構成土の $\varepsilon - \log\sigma'$ 関係

5.2 試験中の変速による CRS 試験

図 4 に自然堆積粘土と再構成土の結果を示す。2つの試験では本試験では、実験に用いたひずみ速度の変化幅が異なるため、直接的な比較には注意が必要である。全体概況としては、図 4 より圧縮特性としてアイソソック挙動が確認された。また、正規圧密曲線はほぼ平行で、ひずみ速度によって異なる先行圧密応力を状態変数（塑性パラメータ）として記憶しており、負荷時には固有の正規圧密曲線をたどって圧縮することが分かる。ひずみ速度の変化では速度を速くする場合は弾性的であるが、速度を遅くする場合は先行圧密応力以内でも塑性変形が進展する挙動が顕著にみられる。

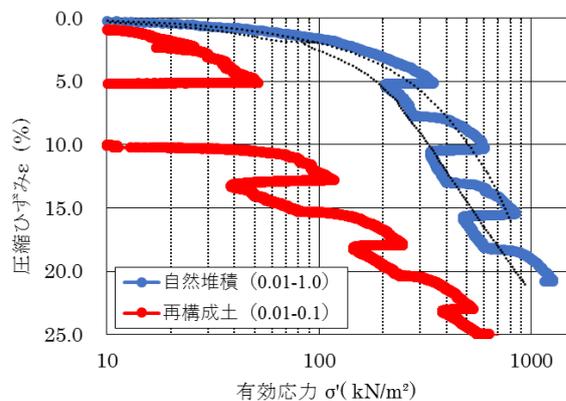


図 4 変速 CRS 試験の各試料状態の $\varepsilon - \log\sigma'$ 関係

6. まとめ

- 1) 粒度分布の等しい自然堆積粘土および再構成土の定ひずみ速度圧密試験を実施し、両試料でひずみ速度による圧縮強度の差異が観察された。自然堆積粘土は過圧密領域が明瞭な一方で、正規圧密での圧縮指数が再構成土より大きい結果が得られた。
- 2) 変速 CRS 試験の結果から、両試料でアイソタック理論に従う圧縮挙動が確認された。粘性土はひずみ速度に応じた先行圧密応力を状態変数として記憶することが確認された。