

超低下下での粘性土の圧密・せん断特性

鹿児島大学工学部 正会員 春山元寿
同 上 正会員 ○北村良介
福岡県庁 齋藤雅子
入船時弘

1. まえがき

軟岩、砂質土、粘性土のような地盤材料の力学特性を把握し、包括的で、しかも、わかりやすい力学体系を確立することは、土質力学にとって必須のことである。また、海洋工学においては、海底地盤によくみられる沖積粘土の超低下下での力学特性の解明は重要な課題の1つである（ここでは、0.5kgf/cm²以下の圧力を超低下と便宜的に定義する）。著者らは、これらの問題に対する1つのアプローチとして、広範囲な圧力下での地盤材料の圧縮・せん断実験を行ってきた¹⁾²⁾³⁾。そして、地盤材料の正規圧密状態、過圧密状態に着目し、若干の考察を加えている。すなわち、粘性土に対して定義された正規圧密、過圧密状態は、砂質土の場合には、0～数百kgf/cm²という広範囲な圧力下で定義できること、また、圧縮曲線（ $e \sim \log p$ 関係）からは過圧密状態であるが、stress-dilatancy関係からは正規圧密状態と判断される第三の状態が砂質土には存在することを明らかにした¹⁾³⁾。粘性土の場合には、この第三の状態は超低下下で存在するのではないかと考え、超低下下での浸透力を利用した圧縮実験を行った²⁾。

本報告では、粘性土を対象とし、超低下下での圧縮・せん断実験を行い、これらの実験より得られた若干の知見について述べている。

2. 実験試料、装置、手順

実験に用いた試料は市販の信楽粘土である。その液性限界 W_L は44.7%、塑性限界 W_P は23.0%、比重 G_s は2.57である。この試料を用いて二種類の実験を行った。1つは、水の浸透力を利用した圧縮実験であり、もう1つは、通常の三軸装置を用いたせん断実験である。

図-1は、圧縮実験に用いた装置の概略図である。装置の原理は、今井ら⁴⁾のHydraulic consolidation test apparatusと同じである。直径5cm、高さ20cmのアクリル円筒モールドに所定の含水比で練り返した試料をセットし、モールドの上、下端に圧力差を生じさせ、モールドを満たしている水の浸透力によって圧縮荷重を与えている。今井⁵⁾によって、図-1に示すような浸透力を利用した圧縮装置では、深さ z での圧縮荷重 $p(z)$ は、次式のように誘導されている。

$$p(z) = \gamma_w \{ h_0 - h(z) \} + \int_0^z \gamma'(\eta) d\eta \quad (1)$$

ここに、 γ_w : 水の単位体積重量、

$\gamma'(\eta)$: 試料の水中単位体積重量、

h_0 : 供試体上端での圧力水頭、

$h(z)$: 深さ z での圧力水頭。

$h(z)$ 、 γ' がともに z の一次式であらわされると仮定すると、供試体中央部での圧縮荷重 $p(L/2)$ は次のようになる。

$$p(L/2) = \frac{1}{2} (\gamma_w \cdot \Delta h + \gamma' \cdot L) \quad (2)$$

ここに、 L : 供試体の長さ、

Δh : 供試体上、下端での圧力水頭差。

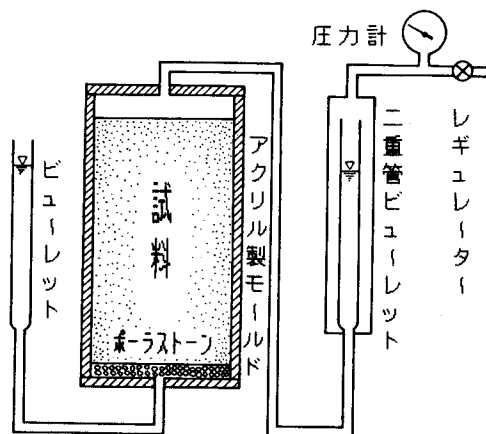


図-1 圧縮実験装置の概略図

実験データの整理に際しては、 γ' の深さ方向の変化（いいかえれば、含水比 W の深さ方向の変化）、および、過剰間隙水圧の深さ方向の変化を測定していないため、(2)式を用いて得られた値を供試体中央部での圧縮荷重とした。一方、圧縮量は、アクリル製モールドに目盛られたスケールによって測定した。

せん断実験は、所定の圧縮荷重での圧縮が終了後、アクリル製モールドより試料を取り出し、通常の三軸実験装置によって行った。試料とり出し時の圧縮荷重が0.1kgf/cm²以下では、試料は自立しなかった。実験はひずみ制御型の側圧一定、排水圧縮せん断実験であり、ひずみ速度は 2.5×10^{-2} mm/分である。

3. 実験結果、および、考察

3.1 圧縮実験

図-2は、三種の初期含水比 W_0 を有する試料の圧縮過程における供試体中央部での $e \sim \log p$ 関係を示している。圧縮荷重 $p = 0.01 \sim 0.05 \text{ kgf/cm}^2$ 付近に着目すると、圧縮挙動は、初期含水比に依存していることがわかる。すなわち、 $e \sim \log p$ 関係は、 $p = 0.05 \text{ kgf/cm}^2$ 付近で、初期含水比が高い場合には上方から、また、初期含水比が低い場合には下方から正規圧縮曲線に漸近していることがわかる。初期含水比が高い場合、 $e \sim \log p$ 関係が上方から正規圧縮曲線に漸近するという特性は、今井ら⁴⁾の実験によっても得られている。

図-3は、しらす(砂質土)試料を用いた $p = 0.5 \sim 100 \text{ kgf/cm}^2$ での $e \sim \log p$ 関係を示している。図より、しらすの場合には、 $p = 10 \text{ kgf/cm}^2$ 付近で下方より正規圧縮曲線に漸近していることがわかる。

図-2と図-3を比較すると、初期含水比 W_0 が75%の粘性土の $p = 0 \sim 0.05 \text{ kgf/cm}^2$ 付近での $e \sim \log p$ 関係は、しらすの $p = 0 \sim 10 \text{ kgf/cm}^2$ 付近でのそれと対応すること、しらすの場合には、正規圧縮曲線への漸近は下方からのみであるが、粘性土の場合には、初期含水比に依存して上方からも下方からも漸近することがわかる。これらのことより、粘性土のような粒子表面での間隙流体との物理・化学的相互作用の効果の大きい地盤材料では、その初期状態は、初期含水比(懸濁濃度)に依存し、高含水比の場合は正規圧縮曲線より上方に、また、低含水比の場合には下方に位置すること、砂質土のように粒径が比較的に大きく、表面での物理・化学的相互作用が無視できる地盤材料が水中堆積した場合には、土被り圧が 10 kgf/cm^2 以下程度の初期段階では、その状態は、常に正規圧縮曲線より下方にあることなどが推測される。

3.2 せん断実験

前述のような $e = \log p$ 関係における粘性土と砂質土の対応関係をさらに詳しく調べるために三軸圧縮せん断実験を行った。対応関係を調べるためには、図-2から判断すると、拘束圧 p_0 が 0.05 kgf/cm^2 以下でのせん断実験が必要であるが、そのような応力下での三軸実験は、供試体が自立しないため、実施できなかった。したがって、ここに示した結果は、圧縮荷重 p が 0.1 kgf/cm^2 での圧縮終了後、アクリル製モールドよりとり出した供試体を用いて行ったものである。

図-4は、応力～ひずみ関係、図-5は、松岡・中井⁶⁾が提案しているSMP上での Stress-dilatancy 関係である。図中の p : 平均有効主応力、 q : 軸差応力、 ϵ_a : 軸ひずみ、 ϵ_v : 体積ひずみ、 τ/σ_N : SMP上でのせん断・垂直応力比、 $d\epsilon_N/d\gamma$: SMP上での垂直・せん断ひずみ増分比である。図-4によれば、拘束圧 $p = 0.1 \text{ kgf/cm}^2$ の結果は、 $p = 0.3 \text{ kgf/cm}^2$ のものに比べると、ピーク強度が少し大きく、体積変化は圧縮傾向が小さくなっている。これは、アクリル製モールドより試料をとり出す際の応力解放の影響により、 $p = 0.1 \text{ kgf/cm}^2$ の供試体は少し過圧密状態にあったためと考えられる。

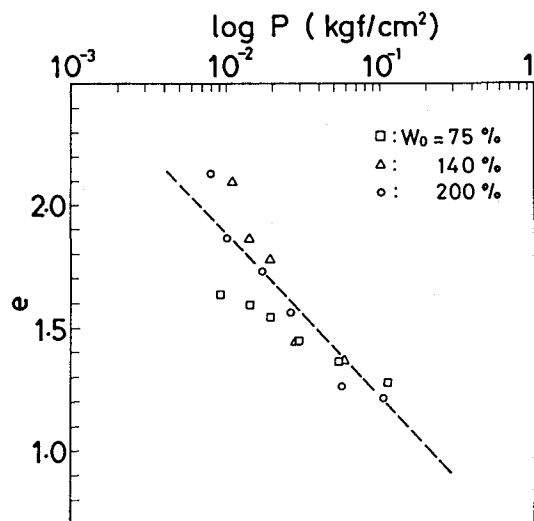


図-2 粘性土の $e \sim \log p$ 関係

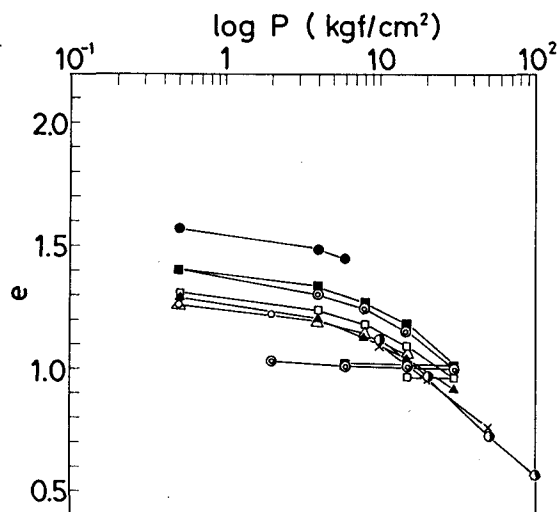


図-3 しらすの $e \sim \log p$ 関係

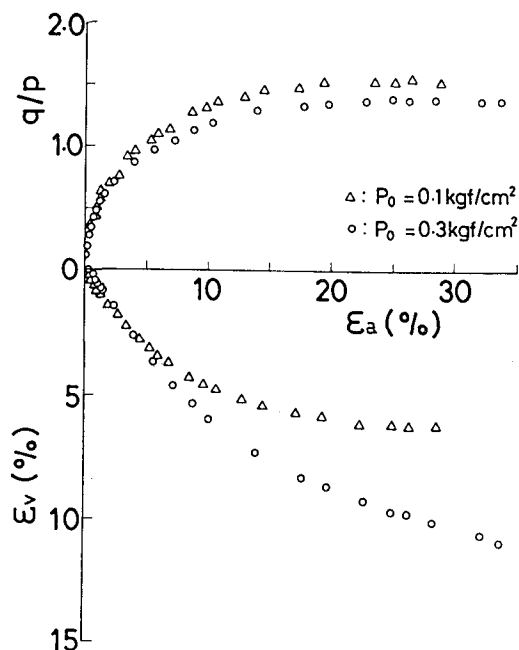


図-4 粘性土の応力～ひずみ関係

図-5によれば、bedding error、その他の実験誤差のためか、拘束圧のいかんにかかわらず、 τ/σ_N と $d\varepsilon_N/d\gamma$ の間にはほぼ直線関係が存在し、応力解放によるせん断挙動の差異はみとめられず、供試体はともに正規圧密状態にあったのではないかと考えられる。

いずれにしても、このような超低下での三軸実験は非常に困難であり、その精度も通常の圧力下でのものに比べると悪くなる。したがって、このような応力状態での粘性土のせん断挙動を説明するためには、三軸装置を用いる場合には、種々の工夫、改良が必要

である。また、別の試験法、例えば、ベーンせん断装置等を用いることは一つの有用な方法と考えられる。

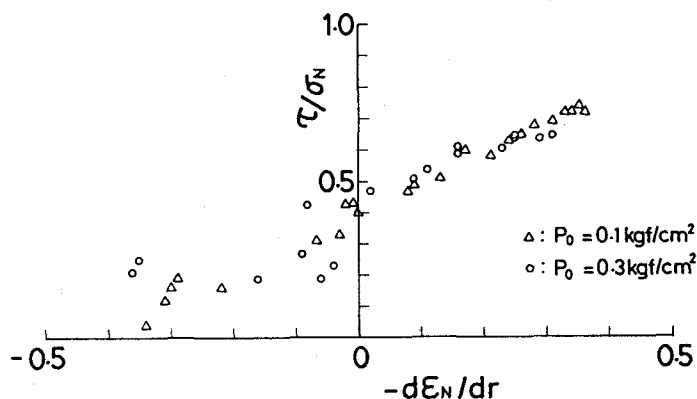


図-5 粘性土の stress-dilatancy 関係

4. あとがき

圧縮荷重、拘束圧が 0.5 kgf/cm^2 という超低下での粘性土の圧縮・せん断特性について若干の実験的考察を加えた。超低下での実験を初めて手がけたのであるが、現在、その困難さを痛感させられている次第である。ここに示した実験装置、手順等はかなり精度の悪いものであり、種々の改良点がある。今後は、実験装置に種々の工夫をこらし、圧力が $0.01 \sim 0.05 \text{ kgf/cm}^2$ 程度の範囲での精度のよい圧縮・せん断実験が可能になるような実験システムの確立をめざしたい。そして、まず、粘性土の超低下での挙動が、著者らが提案している砂質土の第三の状態に対応しているのかどうかを調べたいと考えている。

最期に、圧縮実験については、横浜国大・今井教授より貴重な助言をいただきました。また、二重管ビュレットについては、東大・籠岡助教授より図面をいただき、実験装置は本学の城本技官に作っていただきました。ここに謝意を表します。

本研究は、文部省研究費の援助を受けたことを付記します。

参考文献

- 1) 北村、春山、三隅：土と基礎、Vol. 32、No. 2、1984、pp. 17-21.
- 2) 春山、北村、入船：昭和59年度土木学会西部支部研究発表会、Ⅲ-31、1985.
- 3) 春山、北村、入船：第20回土質工学研究発表会、141、1985.
- 4) Imai, G., Yano, K. and Aoki, S. : S & F, Vol. 24, No. 2, 1984, pp. 29-42.
- 5) Imai, G. : S & F, Vol. 19, No. 3, 1979, pp. 45-60.
- 6) Matsuoka, H. and Nakai, T. : Proc. J S C E, No. 232, 1974, pp. 59-70.