

粘性土の圧縮特性について

池 浦 勲*

The Compressive Characteristics of Cohesive Soils

Isao IKEURA

要 旨

本稿では、練返し時の含水比、応力増分、载荷時間が飽和粘性土の圧縮性に与える影響について調べた。

Synopsis

In this paper, the effect of remolding water contents, stress increment and loading time intervals on the compressibility of a saturated clay was investigated.

1. ま え が き

粘性土地盤の、時間的遅れを伴う圧縮つまり圧密の量、速度を予測するためには、乱さない試料による圧密試験が必須である。しかし、現場の複雑な地盤・応力条件を考慮した一般的な圧密理論を研究する際には、乱さない試料を採取することが困難なために、何らかの練返しを与えてから現場の条件に合せて再圧密を行なっていく場合が多い。この練返しを与える際の含水比の多少が以後の圧密性状に及ぼす影響についてはあまり報告されていないようなので今回若干の実験を行なってみた。併せて、1週間以上にわたるという現行の圧密試験がもっと短縮され得ないものかとの観点からの実験結果も報告する。

2. 試料および実験方法

2.1 試 料

試料は、オホーツク海沿岸に広く分布しているいわゆる重粘土のうち紋別市近郊から採取したものである。その諸性質を列記すると次のようである。比重 $G_s=2.72$, 液性限界 $w_L=82.4\%$, 塑性限界 $w_P=30.5\%$, タフネス指数 $=5.3$, 統一分類¹⁾: CH (粘土), シルト分 $=32\%$, 粘土分 $=68\%$

2.2 実験方法

i) 供試体は直径 60 mm, 厚さ 20 mm で上下両面から排水される。含水比 w を調整して1週間以上密閉放置した適当量の粘土塊を練返し、鉄板の上に打ち

つけることによって気泡を追出し、圧密リングと同一内径のカッターからリングに試料を移し変えて端面を整形した。このような方法で得られた供試体の飽和度は 90 % から 100 % に分布した。

ii) 練返し含水比 (以下 w_0 とする) は 3 種類に変えた。すなわち液性指数 $I_L=0.4\sim 0.7$ である。

iii) 载荷方法としては ① 荷重増加率 $\Delta P/P=1$, 各段階 24 時間载荷という JIS A1217 に依ったもの ② ①で荷重増加率を 2, 4 としたもの ③ ①で各段階の载荷時間を 1 時間としたものの 3 種類とした。

3. 実験結果および考察

圧密試験で得られる諸係数は沈下量の予測に用いられるものと圧密の速度を表わすものに大別される。前者には、単位応力増分を受けたときの体積圧縮ヒズミである体積圧縮係数 (以下 m_v と略記する) と、間ゲキ比 (e) と圧密圧力 (P) の対数グラフ上の傾きを示す圧縮指数 (C_c) があり、後者には透水係数 (k), 上下一軸排水による圧密速度を表わす圧密係数 (C_v) がある。以下载荷方法の順に、これら諸係数の変化についてまとめる。

3.1 標準载荷法による圧密諸係数について

i) 図-1 は m_v と平均圧密圧力 ($\bar{P}$) の関係を示したものである。 $\bar{P}$ としては各荷重段階の始終点のグラフ上の中点すなわち $\sqrt{P_n(P_n+\Delta P)}$ をとっている。図に見られるように、ある圧力以上では次式が成立する。 $m_v=A\bar{P}^{-B}$ ここに係数 A, B は練返し含水比 w_0 の高いものほど大きな値をとる。

* 助教授 土木工学科

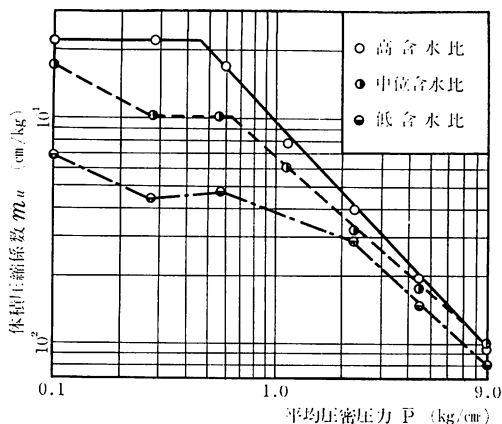


図-1 平均圧密圧力と体積圧縮係数の関係

ii) 図-2 は有効圧密圧力の対数とそのときの間ゲキ比の関係を示したもので $e \sim \log P$ 曲線と略称される。今回の試料は練返しを与えたのであるから、圧密降伏応力 P_y は現われないつまり $e \sim \log P$ 曲線とは直線となるべきものである。ところが図-2 を見ると明確な折れ曲り点が存在し、その点の P は w_0 が低いほど大きい。これは、 w_0 が低いほど半固体(塑性限界)に近い状態であって強固な土粒子構造が形成されたためと考えられる。この構造は練返しが完全であればランダム構造であるが今回の場合わからない。しかしながら圧密圧力のもとに示すといわれる²⁾ 配向構造とは別のものではあろう。すなわち圧密試験中において、練返し時点からの何らかの構造変化があり、この変化を起さしむる圧力としては粒子間粘着力の大きいほど大きなものが必要であると思われる。前述の m_v と $\bar{P}$ の関係(図-1)においても同様な折れ曲りを生じたが、それも、構造変化を生ぜしむる圧力以上では大きな圧

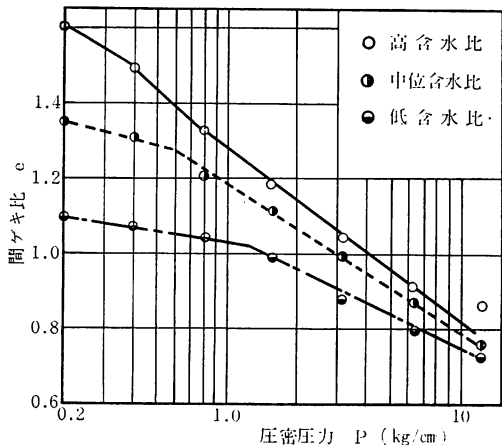


図-2 間ゲキ比と圧密圧力の関係

縮性を示すためと説明されよう。

図-2 においてさらに注目されることは、 w_0 の大小によって $e \sim \log P$ 曲線が変わるということである。乱さない正規圧密粘土では $e \sim \log P$ 曲線は一義的に決定され、したがって過去に受けていた圧力 σ_c と現在の応力、間ゲキ比がわかれば粘土の状態は決定されるといわれるが³⁾、乱された粘土ではさらに練返し含水比がわからなければ「状態」が決定できないことになる。この現象もやはり練返しによる構造変化の影響であらう。この影響は $\bar{P}$ が大きくなる(完全な配向構造になる)と消失すべきものであり、図-2 においても曲線は高圧力の 1 点に収束する傾向を示している。

iii) 図-3 は C_v と P の関係を示したものである。 C_v としては、実験で得られた時間～圧密量の関係を理論曲線に Fitting する際に、圧密の初期部分を重視するか中間部分を重視するかによって(それぞれ $\sqrt{t}$ 法、曲線定規法と呼ばれる)2通りの値が得られる。実験曲線が理論曲線と完全に合致すれば2つの値も一致するはずであるが、図に示すように両者は一定しないバラツキを示した。 C_v の $\bar{P}$ による変化は m_v のときに比して小さく、 C_v の求め方自体に含まれるバラツキを考慮すれば、 C_v は w_0 の大小や $\bar{P}$ の大きさに影響されないとみて差支えない。

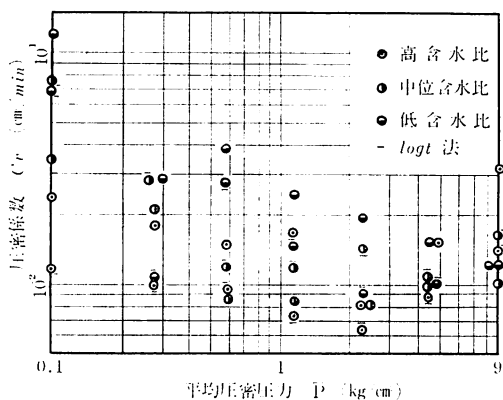


図-3 圧密圧力と圧縮係数の関係

3.2 荷重増加率、載荷時間の影響

同一の w_0 で荷重増加率や載荷時間を異にする試験の結果を図-4、図-5、図-6 に示す。これらの図は高い練返し含水比についてのみのものである。

i) $e \sim \log P$ 関係(図-4)は荷重増加率が1から4まで変化しても、載荷時間が短くても影響を受けないようである。他の2種の w_0 の試料についても同様である。

ii) $m_v \sim \bar{P}$ 関係(図-5)も今回の範囲では試験法

の影響を受けないようである。

iii) $C_v \sim \bar{P}$ 関係 (図-6) によると、荷重増加率が

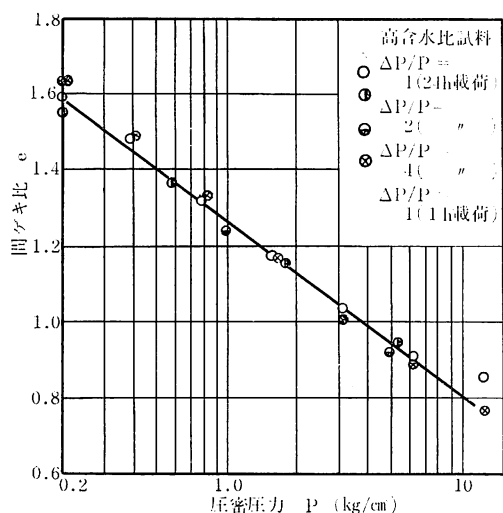


図-4 荷重法と $e \sim \log P$ 曲線の関係

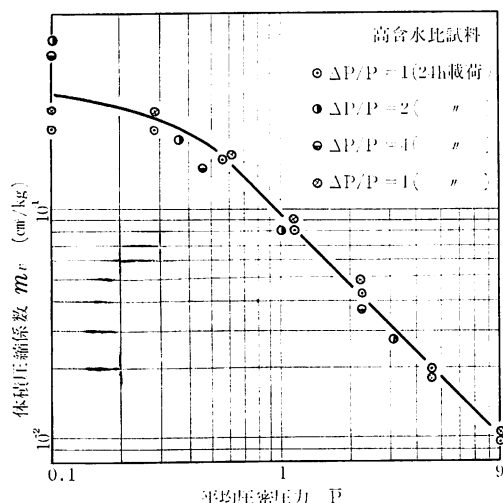


図-5 荷重法と体積圧縮係数の関係

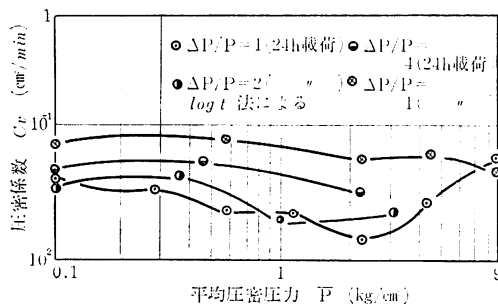


図-6 荷重法と圧密係数の関係

大きい場合や荷重時間の短い場合には C_v は同じ $\bar{P}$ において標準法よりやや大きい値をとるようである。しかしながらこの関係は中位から低い w_0 の試料では定かではなく、また図-6 の $P=0.1 \text{ kg/cm}^2$ のときの C_v のように本来同一の値をとるべきもののバラツキ程度からみても断言はできない。

4. 圧密諸係数の圧密への影響について

$\bar{P}$ は軟弱な自然地盤においては、土被り圧力プラス上載荷重による土中の応力増分 $\Delta\sigma$ の平均である。 $\Delta\sigma$ を一定と考えると 3. 1 で得た結果は「地中深くなるにつれ体積圧縮係数 m_v と透水係数 k は減少し、圧密係数 C_v は一定値を保つ」と換言できよう。この場合にその地盤の圧密速度が在来法による計算とどの程度の違いを生じるかについて考えてみる。

圧密沈下解析の基本式は次式である。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v(z) \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \dots\dots\dots(1)$$

ここに u : 過剰間ゲキ水圧

z : 圧密層表面からの深さ

t : 時間

しかしこの式は誘導過程において $k(z)$ = 一定という条件で得られたものであり、今回の実験のように $k(z)$ キ一定では(2)のようになる。

$$\frac{1}{c_v(z)} \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{1}{k(z)} \frac{dk(z)}{dz} \frac{\partial u}{\partial z} \dots\dots\dots(2)$$

Schiffmann らは $k(z)$, $m_v(z)$ が同時に、または一方だけが種々の形の分布をとる場合の、差分式に直した(2)式の数値解を示しているが、そのなかで $k(z)$, $m_v(z)$ が多項式変化し $c_v(z)$ が一定であるという図-7 (a) を計算の一例にあげている。 $z=0$ での $\bar{P}$ ($\bar{P}_0$ とする) は地盤条件や応力条件によって変わってくるが、いま $\bar{P}_0=0.1 \text{ kg/cm}^2$, $\gamma'=1.0 \text{ t/m}^3$ と仮定し $\bar{P}=\bar{P}_0+\gamma'z$ なる関係を用いて前述の図-1 を書き直すと図-7 (a) にプロットしたように Schiffmann の計算条件とほぼ同一になる。その条件での圧密曲線は図-7 (b) に示されるが(1)の Terzaghi 式より圧密速度が速いことがわかる。すなわち深さにつれて m_v や k が大きく減少するような軟弱地盤では、たとえ k/m_v つまり c_v が一定であっても、在来のようにそれらの変化を考慮せずに(1)式を用いると実際より遅い圧密速度を算定してしまうことになる。在来の圧密の観測値が、計算値より速い速度であることが多いといわれていることの一因はここにあると考えられる。しかしな

がら $\bar{P}$, P_0 の考え方や、今回の図-1 の普遍性には多くの検討の要があり、Schiffmann 図表をもっと多様化することを併せて現場の $\bar{P}$, k , m_v の測定例による検証が必要であろう。

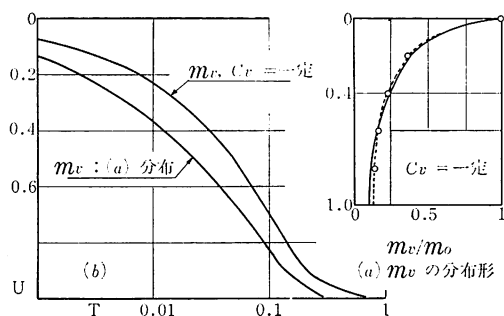


図-7 m_v , k の分布形の影響

5. ま と め

以上をまとめると次のようである。i) 荷重増加率，
 載荷時間は試験結果特に m_v にあまり影響を与えない。
 しかし c_v についてはさらに検討の必要がある。
 ii) 練返し含水比が圧密性状に与える影響は大きい。
 iii) m_v , k は圧密圧の増大につれて減少するようであるから，
 圧密速度の計算に際しては初期，載荷後の応力分布を考慮する必要がある。

おわりにこの実験とデータ整理に助力された本校卒業生菅原篤，高木敏雄，浦弘君に心から感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 土質工学会：土質試験法（改訂版）
- 2) 最上武雄：土質力学
- 3) 八木則男他：練り返し粘土の力学特性，土木学会年次講演会概要集（1973）

（昭和49年11月30日受理）