

沈下速度より見た高有機質土の一次元圧密特性

及川 洋

正会員 工博 秋田大学助教授 鉱山学部土木環境工学科 (〒010 秋田市手形学園町 1-1)

本文は、高有機質土の基本的な圧密特性の一端を、これまで殆ど注目されることの無かった圧密中の沈下速度の時間的変化に着目して明らかにしたものである。検討の結果、圧密中の沈下速度と時間の関係は両対数紙上で折れ曲がった一本の直線で近似できること、その直線勾配を理論値と比較したところ、実験に用いた高有機質土の場合、沈下のどの部分も Terzaghi 理論では説明できないこと、さらに、圧密後半の沈下が $\log t$ に比例するか双曲線的に推移するかは、ある沈下式中の単なる係数の違いであること、また、その係数が -1 より小さい場合、二次圧密係数は時間とともに徐々に減少し、沈下は最終的に有限の値に収束すること、などが示されている。

Key Words : *highly organic soil, peat, one-dimensional consolidation, consolidation rate, Terzaghi theory of consolidation*

1. はじめに

泥炭と呼ばれる高有機質土の工学的性質の中で、かなり古くから研究されながら、未だに十分な解明がなされていない性質の一つに、その圧密特性が挙げられる。実用上はその圧縮性と圧密速度に関する特性さえ既知となればよいことではあるが、この二つの特性に関してさえ未だに十分な解明はなされていない。例えば、圧縮性に関しては、沈下の後半部分が $\log t$ に比例するという考え方^{1),2)}と、普通時間に対して双曲線的に推移するという考え方^{3),4)}があり、いずれの考え方を取るかによって最終的な沈下量は全く異なってくる。また、圧密速度に関しても、原位置での沈下の時間的推移は室内圧密試験に基づく予測値よりかなり早いというのがこれまでの一般的な経験^{5),6)}である。しかし、未だにその理由は説明されていない。

もちろん、以上のような問題は高有機質土に限ったものではなく、普通の無機質粘性土においても基本的には同様である。しかし、対象が高有機質土の場合、その圧密現象を説明するのに Terzaghi の圧密理論が適用できるかという基本的な問題をも含めて、未だ議論の余地が残されている。

高有機質土の圧密に関する以上のような諸問題を解決していくためには、その基本的な圧密特性に関して、更に詳細な調査、研究が必要と判断される。ここでは、これまで殆ど注目されることの無かった圧密中の沈下速度の時間的変化に着目することによって、高有機質土に Terzaghi の圧密理論が適用できるかという基本的な問

表-1 試料の物性

自然含水比 ω_n (%)	662 - 808
自然間隙比 e	11.90 - 14.56
強熱減量値 Lig (%)	72 - 79
分解度 D (%)	72 - 87
湿潤密度 ρ_t (kg/cm ³)	0.97 - 1.03
乾燥密度 ρ_d (kg/cm ³)	0.11 - 0.13

題をも含めて、その圧密特性の一端を明らかにする。なお、本文の内容は著者らによって既に報告されたもの^{7),8),9),10)}にその後の成果を加えて取りまとめたものである。

2. 実験試料と実験方法

実験に用いた試料は秋田市郊外から採取した乱さない高有機質土(泥炭)である。試料の採取は、内径 70 mm、高さ約 300 mm のサンプリングチューブを表層付近の泥炭層に人力で押し込んで採取したもので、その物性は表-1 に示すとおりである。表中の分解度は 105 μm ふるいをを用いた水洗い法による値である。

図-1 に、用いた試料の自然含水比と自然間隙比の関係(□印)を既存のデータ¹¹⁾(●印)とともに示した。他の高有機質土を含めた一般的な軟弱土と用いた高有機質土の物理的な位置関係が理解できよう。

実験は、JIS A1217 T-1978 (土の圧密試験方法)に準拠した通常の段階載荷方式の圧密試験である。すなわ

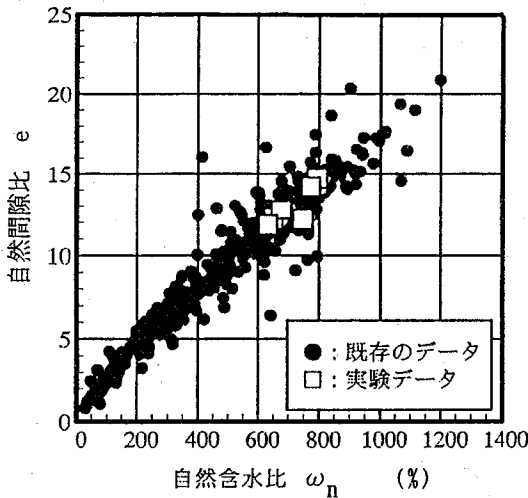


図-1 用いた試料の自然含水比と自然間隙比の関係

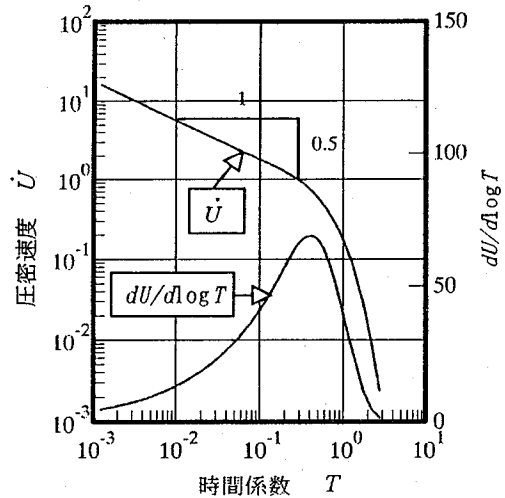


図-2 Terzaghi 理論における圧密速度

ち、供試体の寸法は直径 6 cm、高さ 2 cm で、荷重増分比は 1 である。行った実験と JIS 方法との大きな違いは、本実験では各荷重段階での圧密時間を 1 週間としている点である。また、圧縮量の測定にはひずみゲージ式変位変換器を用い、載荷直後の圧縮量を 1 秒間隔で測定している点も多少異なっている。その他は基本的に JIS の方法と全く同じである。

3. Terzaghi 理論における沈下速度

実験結果に基づく圧密中の沈下速度の時間的変化を検討する前に、ここでは、Terzaghi 理論における圧密中の沈下速度の時間的変化について簡単に検討しておく。なお、ここでいう沈下速度とは、一般にいわれているようなある圧密度に達するまでの時間の早さではなく、圧密中の各時間における沈下の速さである。

さて、Terzaghi の一次元圧密方程式を、排水面での過剰間隙水圧は時間 $t=0$ の時以外は常にゼロという境界条件、および $t=0$ の時の過剰間隙水圧分布は深さ方向に一定という初期条件のもとで解けば次式を得る。

$$U = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M^2} (-M^2 T) \quad (1)$$

ここに、 $M = \pi(2m+1)/2$ で、 m は自然数、 U は層全体としての平均圧密度、 T は時間係数である。

式 (1) はほとんど完全な形で次式のように近似できる¹⁰⁾。

$$U = \begin{cases} 2\sqrt{T/\pi} & (0 \leq T \leq 0.21) \\ 1 - \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 T}{4}\right) & (0.21 \leq T \leq \infty) \end{cases} \quad (2)$$

ここで、式 (2) を時間 T で微分し、圧密速度 $\dot{U} (=$

$dU/dT)$ を求めれば次式のようになる。

$$\log \dot{U} = \begin{cases} \log \sqrt{1/\pi} - 0.5 \cdot \log T & (0 \leq T \leq 0.21) \\ 0.301 - 1.072 \cdot T & (0.21 \leq T \leq \infty) \end{cases} \quad (3)$$

すなわち、式 (3) から分かるように、Terzaghi 理論における圧密速度の対数 ($\log \dot{U}$) は、圧密の初期 ($0 \leq T \leq 0.21$) は $\log T$ に比例して減少し、圧密の後半 ($0.21 \leq T < \infty$) は普通時間に比例して減少する。

図-2 に $\log \dot{U} - \log T$ 曲線を示した。ここで特に留意したい点は、圧密後半 ($0.21 \leq T \leq \infty$) における速度の対数 ($\log \dot{U}$) は、 $\log T$ 時間に対しては加速度的に減少していることである。このことのもつ意味については後ほど示す。

さて、式 (2) および式 (3) の関係を実際の沈下量 (圧縮ひずみ ϵ) と時間 t の関係で表せば次のようになる。すなわち、 ϵ_0 を理論に従わない初期圧縮ひずみ、 ϵ_{100} を一次圧密終了時の圧縮ひずみとすれば

$$U = (\epsilon - \epsilon_0) / (\epsilon_{100} - \epsilon_0) \quad (4)$$

として表わされるので、式 (2) は次のようになる。

$$\epsilon = \begin{cases} \epsilon_0 + b_1 \cdot \sqrt{t} \\ \epsilon_{100} - b_2 \cdot \exp\{(-c_v \pi^2 / 4H^2) \cdot t\} \end{cases} \quad (5)$$

ここに、 $b_1 = 2(\epsilon_{100} - \epsilon_0) \sqrt{c_v / \pi H^2}$

$$b_2 = 8(\epsilon_{100} - \epsilon_0) / \pi^2$$

c_v : 圧密係数

H : 最大排水長

式 (5) から分かるように、圧密初期の沈下は \sqrt{t} 時間軸に比例する。圧密係数 c_v を求めるための \sqrt{t} 法はこの性質を利用したものであることは周知の通りである。

いま、式 (5) を時間 t で微分し、沈下速度 $\dot{\epsilon} (= d\epsilon/dt)$ を求めれば次式のようになる。

$$\log \dot{\epsilon} = \begin{cases} a_1 - 0.5 \cdot \log t \\ a_2 - b_3 \cdot t \end{cases} \quad (6)$$

ここに、 $a_1 = \sqrt{c_0 / \pi H^2} \log(\epsilon_{100} - \epsilon_0)$

$$a_2 = \log(\epsilon_{100} - \epsilon_0) / \pi^2$$

$$b_3 = c_0 \pi^2 \log e / 4H^2$$

すなわち、式(6)から分かるように、沈下が Terzaghi 理論どおりに進行するならば、圧密初期の沈下速度 $\dot{\epsilon}$ と時間 t の関係は両対数紙上で直線であればならず、かつ、その勾配は -0.5 でなければならない。また、圧密後半の沈下速度は普通時間に対して直線的に(両対数紙上では加速度的に)減少しなければならない。

4. 実験結果と考察

(1) 沈下曲線

図-3(a)-(c)に、実験から得られた沈下量-時間曲線($\epsilon - \log t$ 曲線)の一例を示した。図(a)は最も小さい荷重段階($p=5 \rightarrow 10$ kPa)での測定例で、図(c)は最も大きい荷重段階($p=640 \rightarrow 1280$ kPa)、図(b)はその中間的な荷重段階($p=80 \rightarrow 160$ kPa)での測定例である。図には $\epsilon - \log t$ 曲線の勾配($d\epsilon/d\log t$)の時間の変化も同時に示されている。ここに、($d\epsilon/d\log t$) は2測点間の圧縮ひずみの差から次式を用いて算出したもので、それをその測点間の中央の時間に対してプロットしたものである。

$$d\epsilon/d\log t = (\epsilon_{i+1} - \epsilon_i) / (\log t_{i+1} - \log t_i) \quad (7)$$

ここに、 ϵ_i : 時間 t_i における圧縮ひずみ。

図によれば、いずれの荷重段階における沈下曲線も普通の軟弱土に見られるような一般的な形状を示しており、総沈下量が普通の無機質粘性土に比べて多少大きいという点以外は特に変わった様子は見られない。また、一般的にいわれているように、曲線の後半部分は $\log t$ に対して十分直線的であり、二次圧密係数を求めることもできる。

しかし、この二次圧密係数に関して興味ある事項を同図に見ることができる。すなわち、図によれば、沈下曲線が $\log t$ に対して直線近似できる圧密後半部分においても、($d\epsilon/d\log t$) 値は僅かながら減少し続けている。したがって、沈下曲線の後半部分は正確には $\log t$ に対して直線ではなく、二次圧密係数は時間とともに徐々に減少し、沈下は最終的にはある有限の値に収束する可能性を示唆している。もちろん、この真偽は更に長期にわたる実測データから明らかにされるべきことではあるが、二次圧密係数が時間とともに減少し、沈下が最終的にある値に収束するか否かは、圧密後半の沈下速度の時間的変化を検討することによって比較的容易に予測できる。このことについては本文では後節に示す。

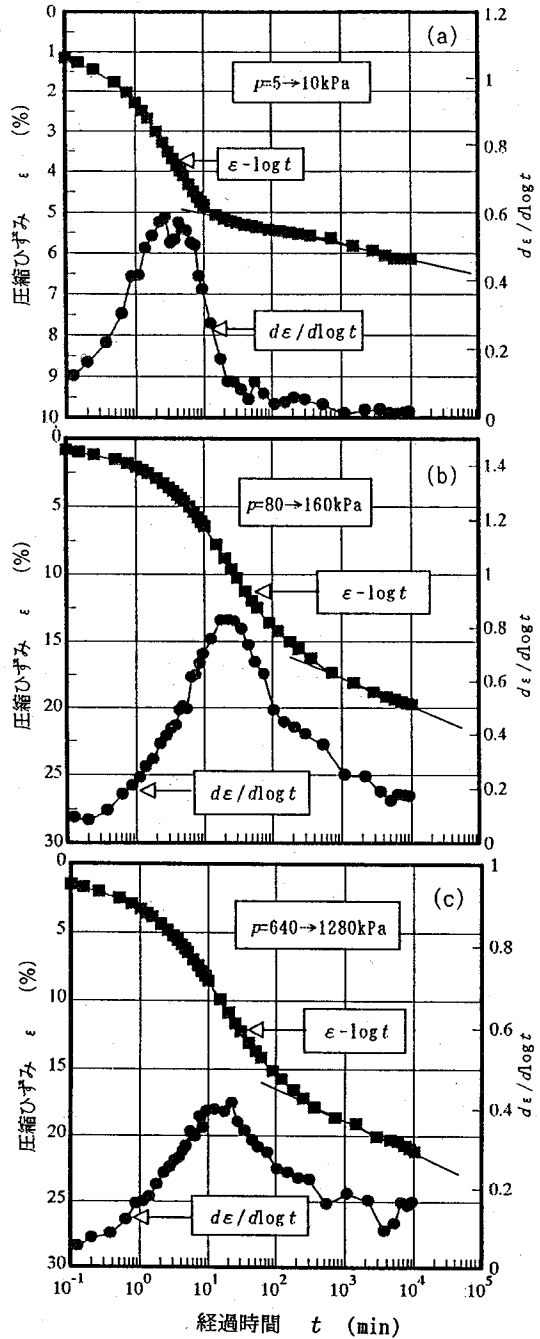


図-3 $\epsilon - \log t$ 曲線および $d\epsilon/d\log t$ 曲線

(2) 沈下速度-時間関係

図-4(a)-(c)に、圧密中の沈下速度 $\dot{\epsilon}$ と時間 t の関係を両対数紙上で示した。それぞれ図-3(a)-(c)に対応するものである。ここに、沈下速度 $\dot{\epsilon}$ は次式(8)を用いて算出し、それをその測点間の中央の時間に対してプロットしている。

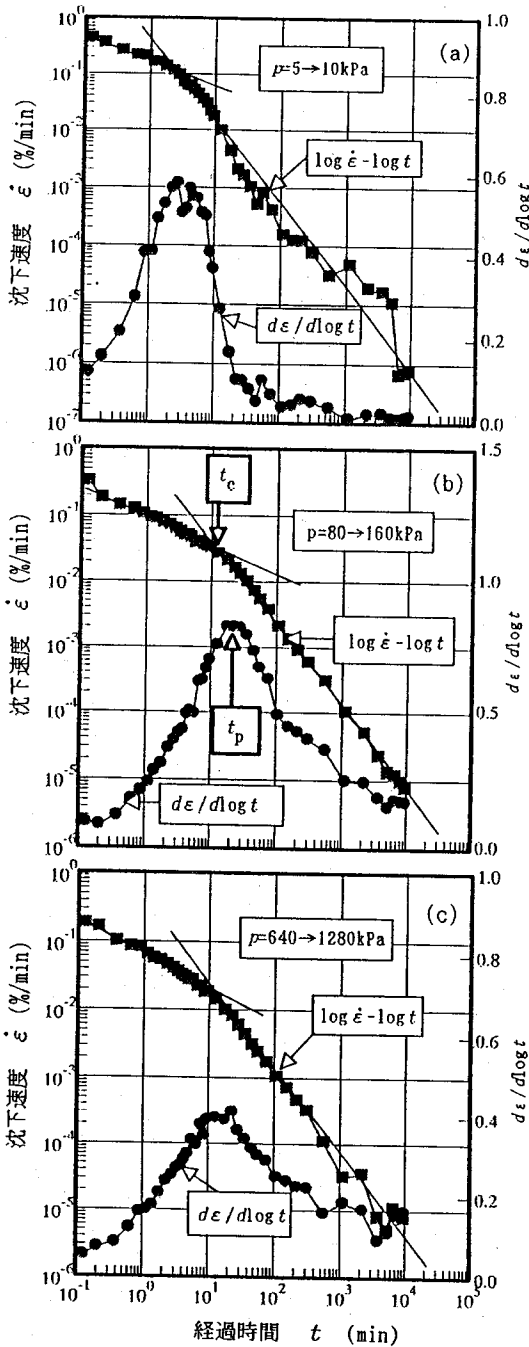


図-4 $\log \dot{\epsilon} - \log t$ 曲線および $d\dot{\epsilon}/d\log t$ 曲線

$$\dot{\epsilon} = (\epsilon_{i+1} - \epsilon_i) / (t_{i+1} - t_i) \quad (8)$$

図に示したように、 $\log \dot{\epsilon} - \log t$ 関係は折れ曲がった直線で近似できる。 $\log \dot{\epsilon} - \log t$ 曲線のこのような直線関係は、Wilson ら¹²⁾がカナダ・オンタリオ州の高有機質土に対する実験から見いだしたのが始めのようである。彼らは、直線の折れ曲がる点が $U=100\%$ に相当し、

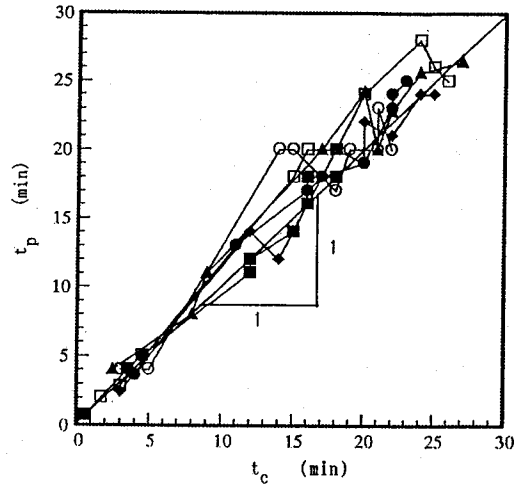


図-5 t_c と t_p の関係

前半の直線部分が Terzaghi の一次圧密領域、後半の直線部分が二次圧密領域に相当するという考え方を示した。しかし、前章に示したように、 $\log \dot{\epsilon} - \log t$ 関係が初期の直線性を失うのは理論上 $T=0.21$ ($U=51\%$) 付近であることを考慮すれば、彼らの考え方には多少の無理があるように思われる。

軟弱土の $\log \dot{\epsilon} - \log t$ 関係については、その後、Patrick ら¹³⁾が詳細な検討を行っている。彼らは普通の無機質粘性土に対する多くの実験から、後半の直線部分は一本の直線ではなく、勾配の異なる二本の直線から構成されるというデータを示している。彼らはさらに、詳細な検討は行っていないものの、後半の直線部分が折れ曲がる(勾配が僅かに緩くなる)点の時間は、過剰間隙水圧がほぼ消散する時間または沈下が $\log t$ に比例し出す時間に対応するようだと述べている。

Patrick らが示した $\log \dot{\epsilon} - \log t$ 曲線のパターンは、本実験においては図-4 (a) に見ることができる。すなわち、同図では $\log \dot{\epsilon} - \log t$ 関係の後半部分を一本の直線で近似しているが、図に見られるように、これを二本の直線で近似することは不可能ではない。このようなパターンの曲線は本実験においては他にも何例も見られている。したがって、 $\log \dot{\epsilon} - \log t$ 曲線の後半部分をどのように近似すべきかは興味ある問題であるが、本実験における大半のデータは図-4 (b), (c) に示すような一本の直線で近似できている。したがって、本文では、図-4 (a) に示すパターンの曲線も含めて、 $\log \dot{\epsilon} - \log t$ 関係の後半部分は一本の直線で近似できるものとして議論を進めることにする。

ところで、図-4 には、 $(d\dot{\epsilon}/d\log t)$ 値の時間的変化が再び示されている。図において、 $(d\dot{\epsilon}/d\log t)$ が最大値を示す時間を t_p 、 $\log \dot{\epsilon} - \log t$ 曲線が折れ曲がる点の

時間を t_c として両者の関係を調べたのが図-5である。図によれば、 t_c は t_p より多少早い時期に発生する傾向にあるものの、両者は近似的にほぼ一致していると見てよい。すなわち、 $\log \dot{\epsilon} - \log t$ 曲線の折れ曲がった直線関係は、沈下曲線が最急勾配を示す点 ($d\epsilon/d\log t$ 値が最大を示す点) を境にして前半の直線部分と後半の直線部分に分けてよいと判断される。先に示した図-2にも理論上の ($dU/d\log T$) 値の時間的変化を示したが、やはり、($dU/d\log T$) の最大値は $\log \dot{U} - \log T$ 関係における前半の直線部分が消滅する直後に表れており、沈下曲線が最急勾配を示す付近は理論的にも特異な点であることが分かる。

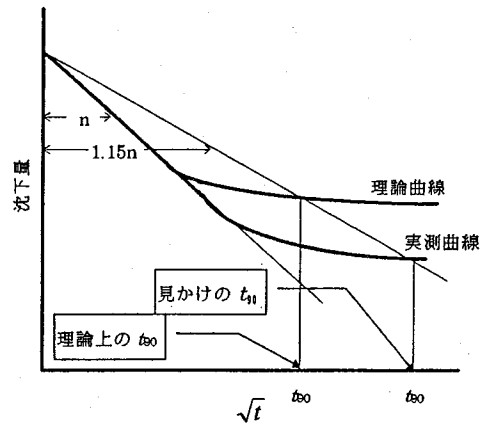


図-6 \sqrt{t} 法の問題点

(3) 二次圧密の発生時期と圧密係数の算出方法の問題点

第3章に示したように、沈下が Terzaghi 理論どおりに進行するならば、圧密後半における沈下速度の対数 ($\log \dot{\epsilon}$) は普通時間に対して直線的に減少し、 $\log t$ 時間に対しては加速度的に減少しなければならない。しかし、図-4に示したように、実測による圧密後半の沈下速度 ($\log \dot{\epsilon}$) は沈下曲線が最急勾配を示す付近から $\log t$ に対して直線的に減少し、加速度的には減少していない。このことは、沈下曲線が最急勾配を示す付近で、既に二次圧密沈下が全体の沈下挙動に影響を及ぼすほどに発生し始めていることを示すもので、それがために以降の沈下速度は Terzaghi 理論のような加速度的減少を示さないものと判断される。したがって、沈下曲線が最急勾配を示す点以降の実際の沈下は、もはや Terzaghi 理論では説明できないと結論される。

沈下曲線が最急勾配を示す以前ではどの程度の二次圧密沈下が発生し、それが圧密初期の沈下挙動にどのような影響を及ぼしているかは不明であるが、以上のような二次圧密沈下の発生は \sqrt{t} 法による圧密係数の算出方法に疑問を投げかけるものである。すなわち、図-6に、 \sqrt{t} 法による圧密係数の算出方法を模式的に示した。上記したように、沈下曲線が最急勾配を示す付近 (理論的には $U=70\%$ 付近) から沈下曲線には二次圧密沈下の影響が出始めると見てよいから、図に示すように、 \sqrt{t} 法で求める 90% 圧密度の点はもはや理論曲線上の点ではなくなっていることになる。そのため、図に示すように、90% 圧密度の時間 t_{90} は過大に評価され、したがって圧密係数は過小に評価されることになる。このことは高有機質土のような二次圧密沈下が卓越する材料ほど顕著になるだろうことは図から容易に理解できる。現位置での沈下の時間的推移が室内圧密試験に基づく予測値より早いという理由の一因をここに見ることができよう。しかしながら、高有機質土地盤における沈下の時間的推移に関する予測と実際の違いの大きな要因は別のところ

にある。このことについては次節に述べる。

(4) Terzaghi理論の適用性について

上記したように、沈下曲線が最急勾配を示す点以降の沈下は、もはや Terzaghi 理論では説明できない。しかるに、沈下曲線が最急勾配を示す以前の沈下は理論どおりに進行しているであろうか。ここではこのことについて検討する。

第3章に示したように、沈下が Terzaghi 理論どおりに進行しているならば、圧密初期の $\log \dot{\epsilon} - \log t$ 関係は直線でなければならない。かつ、その勾配は -0.5 でなければならない。図-4に示したように、用いた試料の $\log \dot{\epsilon} - \log t$ 関係は沈下曲線が最急勾配を示す付近 (理論的には $U=70\%$ 付近) まで十分直線的である。したがって、この範囲における沈下は Terzaghi 理論どおりに進行しているように見える。しかし、その直線勾配を調べると妙なことになる。すなわち、図-7は、得られた $\log \dot{\epsilon} - \log t$ 曲線の初期直線勾配 (α で表す) を圧密圧力 (p) に対して示したものである。図によれば、初期直線勾配 (α) は $-0.55 \sim -0.90$ の範囲にあり、 -0.5 とはなっていない。すなわち、用いた高有機質土の場合、圧密初期部分の沈下でさえ Terzaghi 理論では説明できないと結論される。

得られた $\log \dot{\epsilon} - \log t$ 曲線の初期直線勾配 ($\alpha = -0.55 \sim -0.90$) が理論値 ($\alpha = -0.5$) より小さな値を示したことは、圧密初期の沈下速度の減少する早さは、理論上の減少速度より早いことを示している。これは Terzaghi 理論では考慮されていない圧密初期の透水性の急激な減少によるものと想像されるが、このような土の初期圧密沈下を \sqrt{t} 時間に対してプロットしても、 α が小さなものほど沈下は急速に収束する形の曲線となり、 \sqrt{t} 時間軸での直線部分は生じないことになる。高

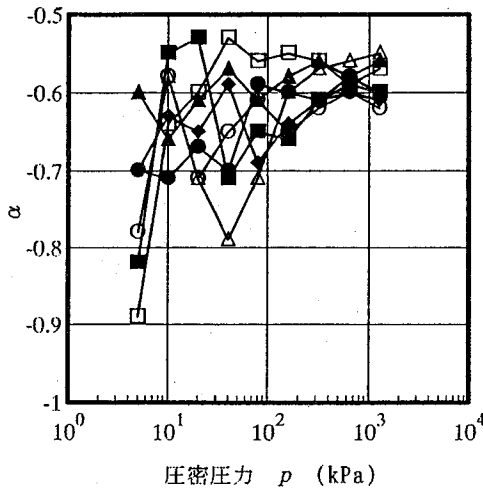


図-7 αの値

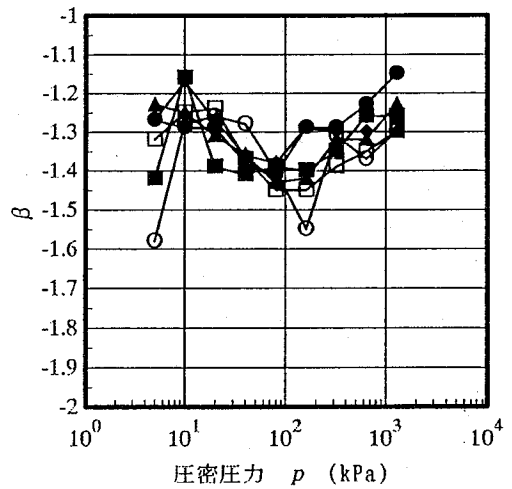


図-8 βの値

有機質土の圧密係数を算出する際、 \sqrt{t} 時間軸での初期直線部分を見出すのが困難であったり、曲線定規を当てはめるにしても、曲線の選定が困難な場合が多く、ほとんどいい加減なものとなりがちであることは古くからの経験である。図-7はその理由をうまく説明している。すなわち、高有機質土に対する \sqrt{t} 法や曲線定規法の適用性の困難さを示したこれまでの多くの報告は、図-7に示した結果の妥当性、およびそれから得られた上記の結論の妥当性を支持するものと見てよいであろう。

以上までの検討から明らかなように、用いた高有機質土の場合、沈下のどの部分も Terzaghi 理論では説明できない。すなわち、その沈下の時間的推移は Terzaghi 理論では予測できないと結論される。もちろん、このことが全ての高有機質土に対して結論できるかどうかは今後の検討課題であるが、このことが高有機質土地盤における沈下の時間的推移に関する予測と実際の違いの最も大きな要因の一つになっているものと想像される。

ところで、高有機質土のための圧密理論は Berry ら¹⁴⁾によって提案されており、室内試験レベルではあるが、その圧密挙動を程良く説明できるとする報告がなされている。しかし、この理論を利用するに当たっては、圧密試験の各荷重段階で透水試験を必要とするため、実務のための理論としては受け入れ難い。一方、例えば三笠の圧密理論¹⁵⁾は二次圧密沈下を考慮していないものの大変形ひずみを扱っている。したがって、この理論が高有機質土の圧密沈下をどれほど説明できるかは興味ある問題であり、今後の検討課題である。

(5) 最終沈下量について

軟弱土の二次圧密沈下は無限に継続するのか、あるいは時間の経過とともにある有限の値に収束するのかは議

論の分かれるところであるが、このことを明確にしておくことは、軟弱土の圧密に関する今後の研究を進める上においてはもちろんのこと、実用上の立場においても非常に重要な検討課題である。以下ではこのことについて検討する。

さて、図-4に示した $\log \dot{\epsilon} - \log t$ 関係における後半の直線部分は次式で表される。

$$\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_c (t/t_c)^\beta \quad (9)$$

ここに、 t_c は $\log \dot{\epsilon} - \log t$ 関係における後半の直線部分の開始時間、 $\dot{\epsilon}_c$ はその時の沈下速度、 β は直線の勾配である。したがって、時間 t_c 以降の沈下と時間の関係は式 (9) を積分することによって得られる。

いま、 $\beta = -1$ として式 (9) を積分すれば次式を得る。

$$\epsilon = \epsilon_c + \dot{\epsilon}_c \cdot t_c \cdot \log(t/t_c) \quad (10)$$

すなわち、沈下は $\log t$ に比例し、無限に継続することになる。

一方、 $\beta \neq -1$ 以外の一般的な β の値に対して式 (9) を積分すれば次式を得る。

$$\epsilon = \epsilon_c + \frac{\dot{\epsilon}_c}{(1+\beta)t_c^\beta} (t^{1+\beta} - t_c^{1+\beta}) \quad (11)$$

式 (11) で表される沈下は、 $\beta > -1$ に対して無限の値を示し、 $\beta < -1$ に対して有限の値に収束する。また、特に $\beta = -2$ の場合には

$$\epsilon = \epsilon_c + \frac{(t-t_c)}{a+b \cdot (t-t_c)} \quad (12)$$

ここに、 $a = 1/\dot{\epsilon}_c$

$$b = 1/\dot{\epsilon}_c \cdot t_c$$

となり、沈下は双曲線的に推移しながら有限の値に収束することになる。すなわち、沈下が無限に継続するか、有限の値に収束するか、あるいは $\log t$ に比例するか双曲線的に推移するかなどは、式 (9) 中の係数 β の違

いであることが分かる。

図—8に、本実験から得られた β の値を圧密圧力に対して示した。図によれば、用いた試料の β の値は $-1.15 \sim -1.60$ の範囲にある。すなわち、用いた高有機質土の場合、圧密後半の沈下は $\log t$ に直線ではなく、かつ、普通時間に対して双曲線的でもないことになる。その沈下は式(11)で表され、最終的には次式で表される有限の値に収束することになる。もちろん、この場合、二次圧密係数は時間とともに徐々に減少することになる。

$$\varepsilon_{\max} = \varepsilon_c - \frac{\dot{\varepsilon}_c t_c}{1 + \beta} \quad (13)$$

なお、もし、 β が -1 より大きな値を示すならば、沈下曲線($\varepsilon - \log t$ 曲線)は時間の経過とともに再び速度を増すような形の曲線、いわゆる三次圧密(tertiary consolidation)曲線を示すことになる。すなわち、式(9)は β の値に応じて殆ど全てのパターンでの沈下曲線を表現できそうである。

5. ま と め

本文は、高有機質土の圧密特性の一端を、これまで殆ど注目されることのなかった圧密中の沈下速度の時間的変化に着目して明らかにしたものである。本研究結果をまとめれば次のようになる。

(1) Terzaghi理論における圧密中の沈下速度の対数($\log \dot{\varepsilon}$)は、圧密初期は $\log t$ に対して直線的に減少し、圧密の後半は普通時間に対して直線的に($\log t$ に対しては加速度的に)減少することが分かった。

(2) これに対して、用いた試料の圧密中の沈下速度の対数($\log \dot{\varepsilon}$)は $\log t$ に対して一本の折れ曲がった直線で近似できた。

(3) また、 $\log \dot{\varepsilon} - \log t$ 曲線が折れ曲がる点の時間は沈下曲線($\varepsilon - \log t$ 曲線)が最急勾配を示す時間にほぼ一致することが分かった。

(4) 沈下曲線が最急勾配を示す点以降の $\log \dot{\varepsilon} - \log t$ 曲線の理論と実際の違いは、沈下曲線が最急勾配を示す付近で既に二次圧密沈下が全体の沈下挙動に影響を及ぼすほどに発生し始めていることを示すもので、したがって、沈下曲線が最急勾配を示す点以降の沈下は、もはやTerzaghi理論では説明できないと結論された。

(5) 一方、沈下曲線が最急勾配を示す以前の $\log \dot{\varepsilon} - \log t$ 曲線の直線勾配は、理論値の $\alpha = -0.5$ に対して実測値は $\alpha = -0.55 \sim -0.90$ であり、用いた高有機質土の場合、圧密初期部分の沈下でさえTerzaghi理論では説明できないと結論された。すなわち、用いた高有機質土の場合、沈下のどの部分もTerzaghi理論では説明できないことが判明した。

(6) 得られた α が理論値より小さな値であったことは、圧密初期の沈下を \sqrt{t} 時間にプロットしても初期の直線部分は得られないことを示すもので、高有機質土に対する \sqrt{t} 法の適用が困難な場合が多いというこれまでの経験をうまく説明できた。また、このことから上記(5)の結論の妥当性が示唆されたとともに、高有機質土地盤の沈下の時間的推移はTerzaghi理論では予測できないと結論された。

(7) 沈下曲線が最急勾配を示す以降の沈下と時間の関係は

$$\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}_c (t/t_c)^\beta$$

で表され、沈下が無限に継続するか、有限の値に収束するか、あるいは $\log t$ に比例するか双曲線的に推移するかなどは、上式中の係数 β の違いであることが判明した。

参考文献

- 1) Buisman, A. S. E. : Results of long duration settlement tests, *1st ICSMFE*, Vol.1, pp.103-106, 1936.
- 2) Mesri, G. : Coefficient of secondary compression, *Proc., ASCE.*, Vol.103, SM 1, pp.123-137, 1973.
- 3) 宮川勇：軟弱地盤と盛土，「土と基礎の設計法(その3)」，土質工学会，p.178, 1963.
- 4) 及川洋：双曲線近似における二次圧密沈下量の一評価方法について，土質工学会論文報告集，Vol.21, No.3, pp.107-116, 1981.
- 5) 佐々木晴美，能登繁幸，木元喬之：泥炭の工学的性質の特異性に関する考察，有機質土に関するシンポジウム発表論文集，pp.21-24, 1977.
- 6) 持永竜一郎：北海道縦貫自動車道における泥炭性地盤の処理について，土木学会昭和55年度全国大会研究討論会講演概要，No.3, pp.1-4, 1980.
- 7) 及川洋，石川剛，水戸健一：泥炭の圧密速度に関する一考察，土木学会東北支部技術研究発表会，pp.374-375, 1992.
- 8) 及川洋，石川剛：残留沈下の予測式に関する一考察，第28回土質工学研究発表会講演集，pp.387-388, 1993.
- 9) Oikawa, H., Vaid, Y. P. and Ishikawa G. : Settlement rates during one-dimensional consolidation of peat, *Proc. of Compression and Consolidation of Clayey Soils*, Vol.1, pp.149-154, 1995.
- 10) 及川洋：沈下速度より判明した泥炭の特異な圧密特性，地盤工学会東北支部平成7年度研究討論会講演概要集，pp.42-45, 1995.
- 11) 及川洋，山田親利：物理化学的性質より見たわが国高有機質土の土質工学的性質，土木学会東北支部技術研究発表会講演概要，pp.320-321, 1990.
- 12) Wilson, N.E., N. W. Radforth, I. C. MacFarlane and M. B. Lo : The rates of consolidation for peat, *6th ICSMFE.*, Vol.1, pp.407-411, 1965.
- 13) Patrick, T. W. L. and A.K. Parkin : Consolidation behaviour determined by the velocity method, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.22, No.2, pp.158-165, 1985.

14) Berry, P. L. and T. J. Poskitt : The consolidation of peat, *Geotechnique*, Vol.22, No.1, pp.27-52, 1972.

15) 三笠正人：軟弱粘土の圧密，鹿島出版会，pp.1-86，1963。
(1995.10.9 受付)

SETTLEMENT RATES DURING ONE-DIMENSIONAL CONSOLIDATION OF PEAT

Hiroshi OIKAWA

One-dimensional consolidation characteristics of undisturbed peat was examined in terms of the rate of settlement. From the test results, it was found that log settlement rate vs. log t relations were essentially composed of two portions of straight line. The measured slope of initial portion was smaller than that of theoretical value. From this fact, it was concluded that the settlement behavior of peat might not be explained by the Terzaghi theory. It was also found that if the slope of final portion is equal to -1 , then the settlement occurs in proportion to log t . If its slope is not equal to -1 , however, the coefficient of secondary compression decreases with time and settlement approaches to an ultimate value in an infinite time.