

九州大学工学部 正員 山内豊聰  
同 〇 岸原一哉

1. まえがき 粘土の二次圧密の原因については議論が多く、統一した見解は得られていないが、二次圧密を粘弾性の性質に基づくクリープ現象と考えるなら、それは実験室におけるような小さな供試体でも、載荷と同時に始まっているはずである。しかしながら、層厚が大きくなれば、長期にわたる一次圧密中に含まれてしまい、実際の現場では問題にならないというかつての石井博士<sup>(1)</sup>の結論は、その理論の明解もあって、その後の研究に大きな影響を与えている。それゆえ、一次圧密中に含まれる二次圧密も実験室においても普通これを無視している。ところが泥炭等の有機質土においては、その相似法則も明らかでなく、圧密圧縮特性も普通粘土とは異っており、もちろん石井理論が適用できるわけではない。むしろ、この石井理論にもいくつか疑問点<sup>(2)</sup>があり、また Bjerrum<sup>(2)</sup>は層厚のかなり厚い、上部にサイロやオイルタンクのような構造物のある粘土層において、一次圧密が比較的早く終り、その後10~20年も二次圧密と考えられる状況が継続した例を報告しており、二次圧密については検討の余地のあることを示している。これらのことから、著者らは圧密において、とりわけ二次圧密の卓越すると考えられる有機質土について、その相似法則を明らかにある必要があると考え、検討中であるが、今回はその第一報として、二次圧密が高さの変化に伴いどのような法則性をもって変化していくか、つまり石井理論が正しいとすれば、二次圧密が高さの変化につれて一次圧密ほどのように含まれていくか、に注目してまず実験において一次圧密中に含まれると考えられる二次圧密の取扱いについて述べ、標準圧密試験に適合させてみた。供試体高さの影響については、続けて報告を予定している。

2. 有機質土の圧密特性について 泥炭のような有機質土に対しては、一般にTerzaghi理論は全く適合出来ないと言われているが、実験結果からは必ずしもそうとは断定できないようである。というのは、理論によれば圧密度 $\square < 50\%$ の範囲では、 $\square$ と時間係数 $T_v$ との間には近似的に次の関係があることが知られている。

$$\square = 2\sqrt{\frac{t}{T_v}} \quad (1)$$

(1)式を利用して実験結果を $d \sim \sqrt{t}$ にプロットし、 $d_{90}$  (90% 圧密終了点) を求めるのが理論に基づくTaylorの方法であるが、泥炭(Y層)の圧密試験結果をこの方法によつて整理してみると、粘土と同様に初期の直線部分がかつきり現われて、うまく $d_{90}$ から $d_{100}$ を求めうる。かえって、経験に基づき $\log t$ 法によつては、直線部分が明確でなく整理しにくい。また著者らが行った前期ヤキ水圧の実験曲線を理論曲線と比較してみると、図-1. のようになりに良く一致しており、これらのことから泥炭は、一次圧密の範囲ではTerzaghi理論によつて説明できるが、一次圧密終了後の二次圧密が卓越するため、

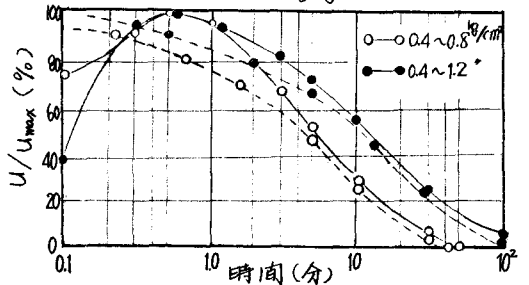


図-1. 泥炭の同ヤキ水圧消散曲線 (実線は理論曲線を示す)

理論に合致しないという風に誤解されているのではないかとと思われる。

泥炭の圧密試験結果の整理方法については、著者らの行った実験結果では先述の様に、 $\log t$ 法では整理できなため、圧法あるいは大平氏らの提案する  $\log \sim \log$  法によって整理するのが良いと思われるが、両法の間には表-1.のごとく、その整理結果にかなりの不一致がみられるため、既報において著者ら<sup>(4)</sup>の間がキ水圧を突刺することと提案した。また黒ボウのような有機質火山灰土においては、 $\log t$ 、 $\log \sim \log$ 、 $\log$ 法のいづれでも整理できるが、これらの間にも表-1.のようにかなりの差がみられる。この問題について、三笠氏<sup>(5)</sup>は  $\log t$ 法は一次圧密を過大に、二次圧密を過少に見積りすぎるため、やはり理論に基づいて圧法が良いとされているが、見方を変えれば  $\log t$ 法あるいは  $\log \sim \log$ 法も意義ある方法ということもできる。といつのは、物性論の分野では軟弱といふ現象があるが、圧密をこれに類似した現象としてとらえるならば、半対数あるいは正対数グラフ紙における直線性に注目して求めうる、一次圧密から二次圧密へ遷移する臭  $d_{100}$  (または  $t_{100}$ 臭)は、ちょうど軟弱臭 (図-2.における  $T_m$ ) に匹敵するものと考えることができ、 $\log t$ 法は  $\log \sim \log$ 法により圧密において土の物性の遷移する臭を求めるとすれば、 $d_{100}$ も意義がないとはいえない。既報におけるように著者らの間がキ水圧測定結果において、無機質土においてであるが、 $\log t$ 法が良く適合できるとの結論が得られたのは、これらのことを裏付けているのではないかとと思われる。

3. 一次圧密に包含される二次圧密の取扱いについて 圧密において二次圧密が一次圧密とは全く分離して起るといふふうに一般に理解されているが、これは圧密試験において特性値を求めるときに前項の標便法的に一次圧密終了臭  $d_{100}$  を決めることが、横軸として行なわれているためであろうが、実際には二次圧密は載荷と同時に一次圧密中にも起っているはずであり、このことはもっと強調されるべきである。次にその一次圧密中に包含される二次圧密量の経験的な分離方法についての考る。

1) 第I法: 1974年のグラフについて、1931年に Straub<sup>(6)</sup>と Nutting および Scott-Blair による  $d$  の時間関係の一般式を適用したのにならって、泥炭の圧密特性について次のような簡単な仮定を考える。

$$d = k \sigma^m t^n \quad (2)$$
  
 ここで  $d$ : 変形量,  $\sigma$ : 応力,  $t$ : 時間,  $k$ : 比例係数  
 (2)式の両辺の対数をとると  

$$\log d = \log k + m \log \sigma + n \log t$$
  
 圧密試験においては、 $\sigma = \text{const.}$  と考えてよいから、(3)は改めて次の様になる。

$$\log d = k + n \log t \quad (4)$$

表-1. 各直合法による二次圧密比の比較

試料	泥炭(ヤラ層)			黒ボウ		
	圧法	$\log t$ 法	$\log \sim \log$ 法	圧法	$\log t$ 法	$\log \sim \log$ 法
0.25	0.851	—	0.764	0.553	—	0.706
0.50	0.742	—	0.674	0.456	0.354	0.358
0.75	0.586	—	0.631	0.422	0.350	0.261
1.0	0.536	—	0.468	0.328	0.228	0.210
1.5	0.526	—	0.341	0.243	0.304	0.253
2.0	0.476	—	0.228	0.152	0.101	0.114

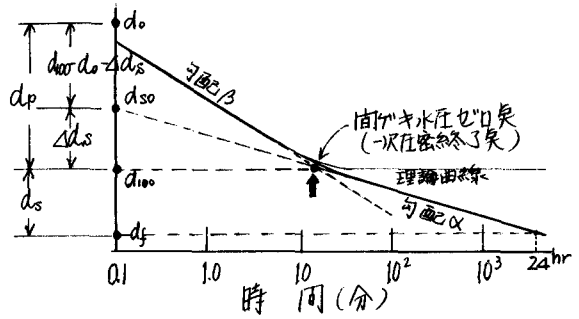
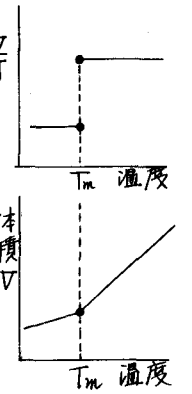


図-3. 泥炭の時間-沈下曲線 (両対数表示)

(4)式によれば、変形量と時間の関係は直線とならねばならないが、実験曲線は後に図-4.で示す様に二つの直線で表わされる。この初期の直線部分の正当性は理論的近似式(1)式の対数

$$\log U = \frac{1}{2} \log \frac{T_u}{\pi} = \frac{1}{2} (\log T_u + \log \pi) = \frac{1}{2} \log T_u + C \quad (5)$$

が両対数紙上で直線となることから実証できる。この後半の直線部分が二次圧密を表わすと考えられるが、その直線性に注目して次の様な操作を施し、一次圧密中の二次圧密量を分離するのが一つの経験的方法である。図-3.を参照しながら説明する。後半部の二次圧密部分の直線が載荷当初から始まっていると考えてこの直線を左に延長する。t=0.1minとの交点をd<sub>50</sub>とし、(d<sub>∞</sub>-d<sub>50</sub>)=Δd<sub>s</sub>なる量を一次圧密中に含まれる二次圧密量とすれば、実質の二次圧密量はd<sub>s</sub>=d<sub>50</sub>+Δd<sub>s</sub>となり、二次圧密比は次のように修正される。

$$r'_s = d'_s / \Delta S = (d_{50} + \Delta d_s) / \Delta S \quad (6)$$

2)才II法:分離するもう一つの経験的方法は次のようである。この方法の基礎となる仮定は、一次圧密中に起る二次圧密と一次圧密とはある一定比をもって発生している、ということである。その一定比をさのずる定数として一次圧密、二次圧密の速度勾配とも言うべき直線の勾配比、αを考へる。そして(d<sub>∞</sub>-d<sub>0</sub>)においては(α:1)をもって一次圧密と二次圧密が起っているものとする。これによれば、(d<sub>∞</sub>-d<sub>0</sub>)中の二次圧密量は(d<sub>∞</sub>-d<sub>0</sub>)×α/(α+1)となり、二次圧密比r'<sub>s</sub>は次のようになる。

$$r'_s = d'_s / \Delta S = \{ d_{50} + (d_{\infty} - d_0) \times \frac{\alpha}{\alpha + 1} \} / \Delta S \quad (7)$$

以上はおもに、泥炭<sup>と泥炭</sup>の両対数表示による場合についてのみ考へてみたが、同じ有機質土でも黒ボクのようなローム質土<sup>と泥炭</sup>では、普通両対数より片対数で表示する。しかし、これを両対数で整理し直してみると片対数同様あるいはそれ以上にすぐ整理でき泥炭同様二つの直線で表わしうる。それゆへ、log~log法が有機質土を統一して取扱いうつと判断し、ここでは繁雑と避ける意味もあつて、log~logによる整理結果のみについて考へる。

4. 実験適用例<sup>と泥炭</sup> 泥炭と黒ボクについて、標準圧密試験を行ひ前項にのべた方法で整理してみた。実験は荷重増加比<sup>と泥炭</sup>の影響を考へるため、0.4~0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 1.0, 1.2 kg/cm<sup>2</sup>の6種類とす。夫々の時間沈下曲線を図-4.に、手I法, 才II法による二次圧密比の修正値および才II法, log~log法, log t法(黒ボクのみ)によつて求められる二次圧密比と荷重増加比との関係を図-5.に示す。荷重増加比が大になれば、二次圧密比の小なることは過去の研究においては周知のことであるが、図-6.に示すやうに、一次圧密中に含まれる二次圧密量にも同じ傾向がみられる。これを説明するためには結局二次圧密の原因を

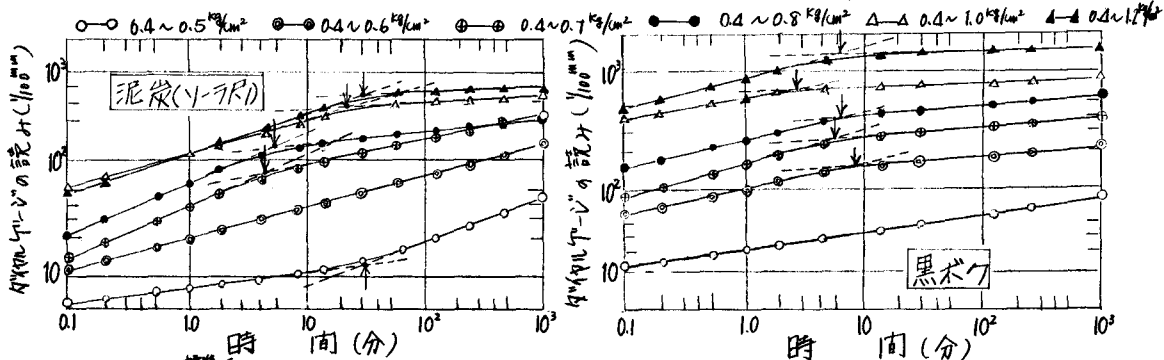


図-4. 圧密試験結果による時間沈下曲線(両対数表示)

考えねば説明がつかない。二次圧密の原因については、手がきでも述べたようにはっきりわかってはいないが、(1) 図-7. に示すように粘土粒子間の構造がより低位に向つて再調整されるときに、吸着水の粘性抵抗によって時間遅れを生ずる、(2) 非等力応力状態におけるせん断応力による粒子のグリーフ<sup>(7)</sup>、斥離<sup>(7)</sup>は避けられず、(3) 土粒子自体が粘性流動あるいは塑性流動を起す等と考えればよい。小荷重増加比では、これらの\*

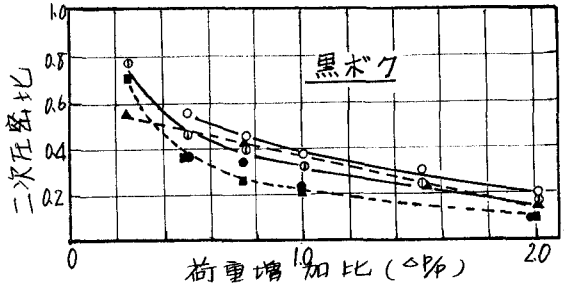
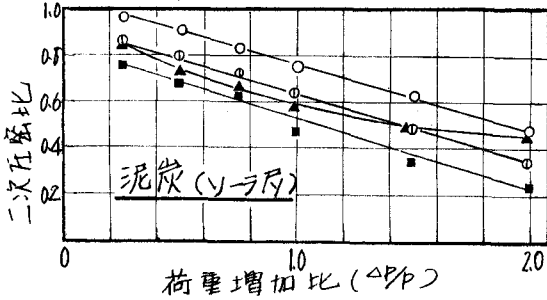
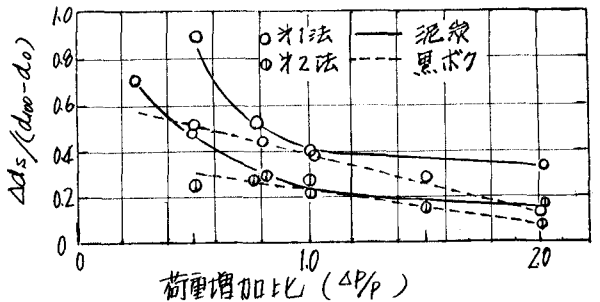


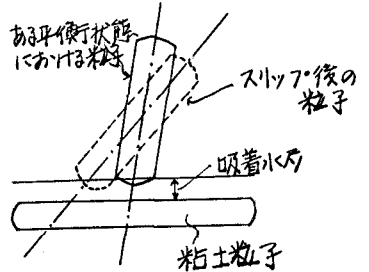
図-5. 修正された二次圧密比と荷重増加比との関係 (○-○粘土法, ○-○粘土法, ▲-▲砂法, ●-●log法, ■-■log-log法)

\*時間遅れがグリーフ的により起るが、増加比が大きくなると、粘性抵抗やグリーフの降伏値を越えよめ、短時間内にあるいは載荷瞬時に滑動なり降伏なり)が起るはず、時間遅れとしてのグリーフが起るためである。同時に透水性の問題も併せて考慮すべきである。つまり同程度の透水係数を持つ



下状態で、限られた時間内しか測定しない室内実験では、荷重が大きくなれば、それに適応するだけの排水量も大となるはずだが、同程度の透水係数をもっているならば荷重大の方が小の方が排水に時間がかかり、24時間では二次圧密比が小くなるわけである。またこの荷重増加比の影響について、Barden<sup>(8)</sup>は図-8. のように Ostwald の Power-law (構造粘性の概念) に基づいて、明解な説明を加えている。

図-6. 一次圧密中の二次圧密量と荷重増加比の関係



これらの結果からは、両法のどちらをとって整理すべきかは半信不疑<sup>(7)</sup>と信じているが、相似法則<sup>(7)</sup>を究明する中で考察しゆきたいと考えている。

図-7. 粘土粒子の構造模型 (藤本広, 1967)

引用文献 (1) 石井清丸他: 沖積粘土の工学的性質に関する研究, 土学論文集, Vol. 30, 1965. (2) Bjerrum, L.: secondary settlements of Structures subjected to large variations in line load, I. C. T. A. M. Sp. Rheol. Soil Mech., 1964. (3) 大平至徳・小谷章: 圧密試験の整理法、第3回土木工学研究発表講演集, 1968 (4) 山内豊徳・原一哉: 有機質土の圧密試験における間キ水圧の測定, 第4回土木工学研究発表講演集, 1969 (5) 三正人: 圧密試験の整理方法について, 第19回土木学会年次学術講演報告, 1962 (6) ライ著、柳沢訳: ソロビの基礎理論, 10十社 (7) 赤井浩一他: 有効応力のみで飽和粘土の一次元圧密と強度特性に関する研究, 土木学会論文集, Vol. 113, 1965 (8) Barden, L.: secondary Consolidation of clay and peat, geotechnique, Vol. 18, 1968.

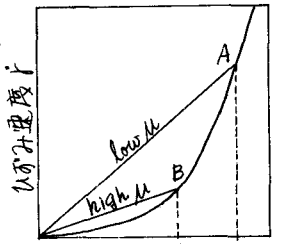


図-8. 有効粘性の変化 (Barden, 1968)