

不攪乱飽和粘土の圧密とせん断におよぼす back pressure の効果

赤 井 浩 一*
小 谷 章**

要 旨 自然状態にある飽和粘土はサンプリングや実験室内での圧密試験の結果、微視的にみて不飽和となり、試料の強度特性や変形特性を有効応力にもとづいて検討する上に誤差が入る原因となる。これを防止して粘土試料を現地の状態にもどすための back pressure が圧密ならびにせん断におよぼす影響を実験的に考察してその最適量を決定し、従来の試験法の不備を指摘するとともに、back pressure を用いる新しい方法の提案を行なうものである。

1. 緒 言

乱さない飽和粘土のせん断強さを知るために実験室内で行なう圧密非排水三軸圧縮試験では、その試料が完全に飽和しているということが基本的な条件となる。なぜならば、その試験結果は、せん断中に体積変化が生じないという条件のもとで、いわゆる有効応力解析法によって算定されるからである。

土のせん断強さは土中のある面に作用する全垂直応力と間げき水圧の差の関数として表わされるので、土の強度特性を上記の有効応力解析法で調べるためには、応力を受けた試料中に発生する間げき水圧の挙動を詳細に考察しなければならない。ところが現地地盤から採取した土は、いままで受けていた土かぶりによる応力が除去されるために体積膨張をするとともに試料中の間げき水圧は減少し、以前間げき水中に溶け込んでいた気体は自由な泡状となって試料の間げき中に遊離し、非排水試験中に体積変化をきたす原因となるばかりでなく、測定される間げき水圧にも誤差を生ぜしめる原因となる。

この弊害を除くためには、試験の期間中適当な時期に間げき線を通して供試体内部に u_b なる圧力を与えると同時に、側圧の方にも全く同量の圧力の増分を与える操作を必要とし、この付加圧力 u_b を back pressure と称しているが³⁾、これが試料の圧密とせん断におよぼす影響やその最適量の決定などに関する研究はいまだ十分とはいえない。したがって、本文では back pressure の三軸試験への適用効果を検討し、あわせて従来の試験による強度ならびに圧密変形量の推定にともなう二、三の問題点の解決を試みるものである。

2. back pressure の効用

土の非排水せん断強度に関する問題において、主応力の変化 $\Delta\sigma_1$, $\Delta\sigma_3$ のもとで生ずる間げき水圧変化 Δu は Skempton によって、つぎの形の式で表わすことができる²⁾。

$$\Delta u = \Delta u_a + \Delta u_d \\ = B [\Delta\sigma_3 + A(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)] \dots \dots \dots (1)$$

式中の係数 A, B を間げき圧係数という。式 (1) よりわかるように、一般にこの場合の主応力変化を2段階にわけて考える。すなわち、まず最初に土要素が全体的に $\Delta\sigma_3$ に等しい周圧の変化を受け、つぎに主応力差 ($\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3$) を受けるものとし、間げき水圧変化はこの各段階の間げき水圧変化 Δu_a と Δu_d の和考えるのである。周知のように間げき圧係数 B は飽和土において $B = 1$ 、不飽和土において $0 < B < 1$ である。

不飽和の試料内で間げき圧が増加すると、間げき内の空気はボイルの法則にしたがってその体積を減ずるとともに、増加圧力効果によりヘンリーの法則にしたがって間げき水中に溶解し、試料の飽和度が増大する。しかし試料外部から作用させている周圧の増加によって内部の間げき圧を増加させる方法は、以前空気 で 占められていた空げきを圧縮して土の骨格に好ましくない体積変化を生ぜしめる。一方、もし圧力が間げき中で徐々に発生するようにして、しかも以前空気 で 占められていたところを満たすように水を試料内に送ってやれば、土の骨格は最初の体積を保持することができる。

一定体積でしかも含水量の増加を許す条件のもとで、不飽和土を飽和させるに必要な間げき水圧の増分 Δu は次式によって表わされる³⁾。

$$\Delta u = p_0 \frac{1 - S_r}{S_r H} \dots \dots \dots (2)$$

ここに p_0 : 間げき内の初期空気圧

S_r : 試料の初期飽和度

H : ヘンリーの溶解率 (室温下の空気 で 水 1 cm^3 に対し約 0.02 cm^3)

しかしながら、普通の三軸試験機を用いる実験では、間げき内の初期空気圧 p_0 を測定することが困難であるので、本研究では back pressure による試料の飽和化の検証は式 (1) の間げき圧係数 B によった。

back pressure を利用することによって得られる利点は、つぎに述べる2点があげられよう。

1) 試料が現地の地盤中で受けていた中立応力を実験室で再現させながら試験を実施することができる。すな

* 正員 工博 京都大学教授 工学部土木工学科

** 正員 元京都大学大学院工学研究科学生

わち供試体を飽和し、試料内に発生している毛管張力(負圧)を消滅させ、有効応力解析法による試験結果を正しく算定することができる。

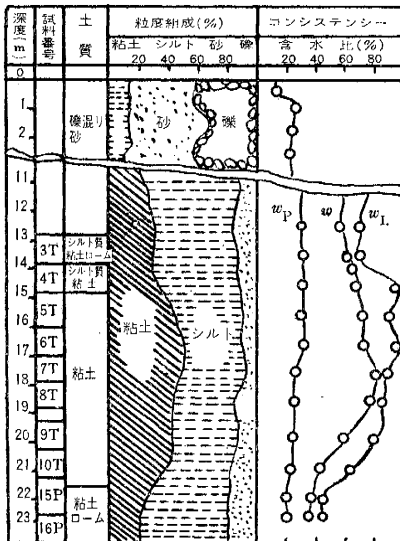
- 2) 圧密非排水試験を行なう場合、せん断試験直前の各試料内の間げき水圧を一定にすることによって、試験中主応力差の変化に応じて発生する間げき水圧を正確に測定することができる。

つぎに試料に back pressure を与える時期については、供試体を圧密する前に与える方法と、圧密終了後せん断を開始する直前に与える方法の2つが考えられる。前者を initial back pressure というが⁹⁾、この方法をとるときは供試体からの排水線の出口にも同じ圧力を与えて、側圧と排水線の圧力による水頭差をもって圧密圧力となしうよう三軸装置を改造する必要がある。本文では、飽和粘土の圧密におよぼす back pressure の効果を調べるさいにこの方法を採用した結果を 5. で述べる。一方、後者の方法、すなわち周圧による供試体の圧密終了後せん断直前に back pressure を与える方法は、前述の 2) の利点を有しているので、飽和粘土のせん断におよぼす back pressure の効果を検討する際にこの方法によった。

3. 試料および実験装置と実験方法

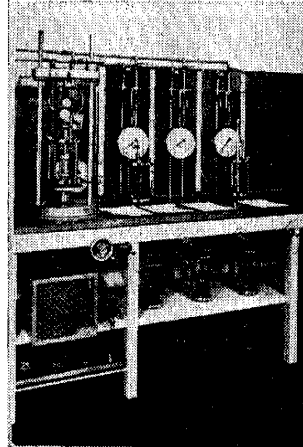
実験に用いた試料は、大阪市此花区高見町において薄肉ピストン サンプラーによって採取した乱さない粘土である。この地点の土質柱状図を 図-1 に示す。これより明らかなように、深度約 15~21 m までの間の試料は粘土含有量が 40~50% の比較的均一な粘土であり、実験はこの範囲の試料を用いて行なった。物理試験ならびに圧密試験などの結果、これらの試料は 3.0~3.9 程度の鋭敏比をもつ正規圧密飽和粘土であることが判明し

図-1 試料採取地点の土質柱状図



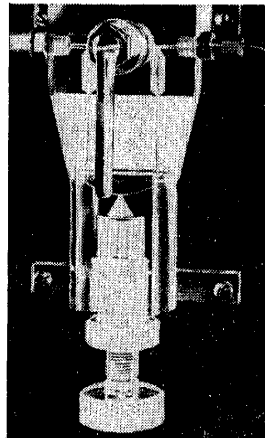
た。せん断試験のための供試体寸法は直径 35mm、高さ 80 mm (標準型) の円柱形とし、この側面に圧密加速のため濾紙をかご状にした、いわゆる ペーパー ドレーンを巻きつけてからゴム スリーブでおおい、三軸試験装置の圧縮室に水中セットした。

写真-1 NGI 型三軸試験装置



実験に用いた三軸試験装置はノルウェー国立土質工学研究所(NGI)で製作されたもので⁹⁾、写真-1にその外観を示す。この装置は3個の側圧室が一組となっており、それぞれプランジャー型の自動側圧調節装置を備えて、長期にわたる実験中の側圧のものを完全に防ぐことができる。さらに付属の間げき水圧測定装置は、写

写真-2 NGI 型間げき水圧測定装置



真-2のように水銀で満たされたU字管でできており、その一端は銅管で試料の底面に、他端はブルドンゲージまたは水銀マンオメーターを通じて回転式ピストンに連結されている。このU字管の上端は互いに短絡され、間げき水圧測定系(間げき線と略称する)の中に存在する気泡を除去したり、実験中不飽和になった試料内へ水を送るために用いられるが、

間げき線中の気泡の存在の有無は、バルブを閉じた状態で系内に約 4.5 kg/cm² の圧力をかけ、U字管内の水銀の移動が約 5 mm 以下になっているかどうかによってきわめて容易に照査することができる。間げき水圧の測定はもちろん0点法で、最高の感度が得られるようになっている。なお間げき線の中に使用する水はすべて脱気水とし、温度変化が実験におよぼす影響を防止するために、実験は 15°C に保たれた恒温室内で行なった。

圧縮室に水中セットした試料は、片面(底面)排水の状態ですべて4種類の圧密圧力、すなわち 2.0, 2.5, 3.0 kg/cm² および 4.0 kg/cm² のもとで等方的に圧密させたが、一つの側圧について6個ずつの供試体を用いた。上記の圧密圧力はこの試料の最大先行圧縮荷重強度 $p_c = 1.3 \sim$

1.6 kg/cm²より大きくとっており、したがって、この研究に用いた試料は、すべて実験時に正規圧密領域まで圧密されることになる。なお圧密に要する時間は 24 時間を基準としたが、排水量の時間曲線の形からみて 100% 一次圧密は約 150 分で完了していることが知られた。

4. 強度特性におよぼす back pressure の影響

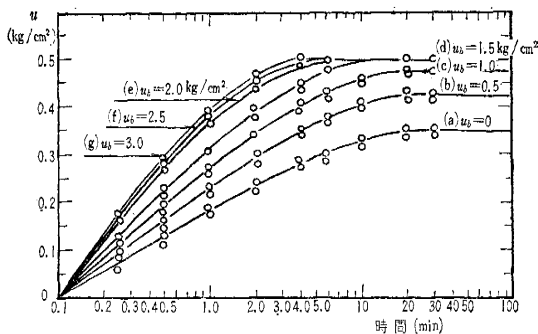
(1) 試料を飽和させるに必要な back pressure

ここでは試料を飽和状態にするに必要な back pressure と間げき圧係数 B との関係を求め、さらに、この場合の間げき水圧の挙動を検討するために行なった実験について述べる。

実験の第 1 段階として、まず 3. で述べた方法で圧密の完了した試料に対して、それぞれ非排水状態で 0.5 kg/cm² の側圧の増加を与え、試料内に発生する間げき水圧を測定した。その結果は 図-2 の曲線 (a) で示すとおりである。この図から知られるように、現地で採取した飽和粘土試料をいったん三軸装置に入れて先行圧縮荷重以上の周圧のもとで圧密したのちには、側圧の増加分だけの間げき水圧は発生しない。すなわち、式 (1) の B 値は 1 より小さく出る。これは圧密の進行によって試料内の間げき水圧が減少したため、間げき水に溶解込んでいた空気が気化して試料を不飽和にするためと考えられる⁶⁾。

つぎに側圧の増分に対して発生する間げき水圧が、究極の一定値に達するまでかなりの時間を要することが 図-2 より明らかである。この現象は間げき中の空気が土粒子自身あるいは間げき水によって圧縮され、やがては水中に溶解するのに時間的おくれをとまうことを意味している。

図-2 圧密完了後の側圧の増加にともなう間げき水圧の変化



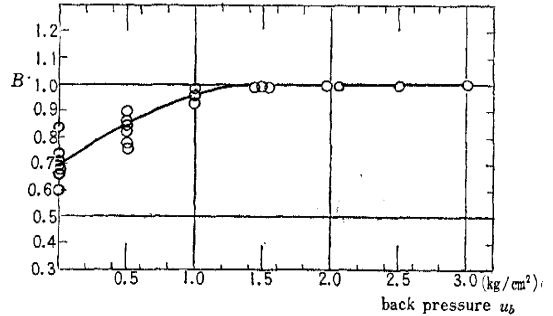
実験の第 2 段階としては、さきの第 1 段階において与えた側圧の増分量に等しい大きさの圧力を回転式ピストンによって間げき線に与える。このとき間げき水圧測定装置の U 字管の上部のコックを開くと、供試体の中へ水が移動してゆくの観察されるが、この水の移動は間げきを不飽和状態にしている遊離空気を圧縮し、これを再度間げき水中に溶解させて、試料の飽和度を高める役

割をしている。

間げき線中の水の移動が完全に終わるのを待って再び側圧を 0.5 kg/cm² だけ増加し、前述と同様な操作をくり返してゆくと次第に飽和度が高くなり、ある back pressure のもとで B 値はついに 1 に達する。これらの実験結果は 図-2 の曲線 (a)~(g) で示されているが、上述の現象を明確に表わすものである。

図-3 は back pressure と式 (1) の間げき圧係数 B との関係を表わしたものであって、これより圧密終了時

図-3 間げき圧係数 B と back pressure の関係



に不飽和の状態にあった試料も、back pressure を与えることにより飽和状態にせしめうることが明らかである。また本実験に用いた試料を飽和させるに必要な back pressure は $u_b = 1.5 \sim 2.0$ kg/cm² であり、この値は実験に用いた試料が現地で受けていた静水圧に等しい。

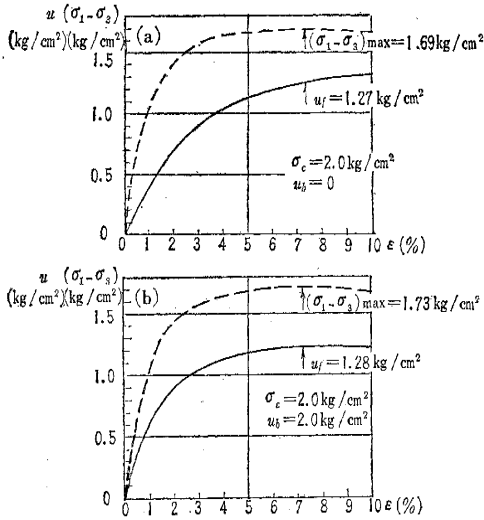
なお 図-2, 3 は圧密圧力 $\sigma_c = 2.0$ kg/cm² に対するものを記したが、ほかの側圧に対してもこれらと全く同様の関係が得られた。

(2) せん断中の間げき水圧の挙動

粘土の強度常数としての有効せん断抵抗角 ϕ' を求めるためには、試験中の間げき水圧の挙動を把握する必要がある。そこで 3. で述べた方法により三軸試験装置の圧縮室内で圧密を完了した試料に、それぞれ 0, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 kg/cm² および 3.0 kg/cm² の back pressure を与え、ひずみ速度を毎分供試体初期高さの 0.5% に制御して、間げき水圧を測定しながら非排水三軸圧縮試験を行なった。粘土がせん断応力を受ける場合、試料内に発生する間げき水圧はひずみ速度によって変化し、特にその速度が毎分供試体初期高さの 1% を越えると、間げき水圧の追従がいつちるしく悪くなり、間げき圧係数 A は急速に小さくなる⁶⁾。この結果、有効応力解析におけるせん断抵抗角 ϕ' は過小評価されやすいので、本実験では上述のようにひずみ速度を 0.5%/min として高い精度を得るように努めた。

図-4 は $\sigma_c = 2.0$ kg/cm² の圧密圧力について、(a) back pressure を与えない場合と、(b) $u_b = 2.0$ kg/cm² なる back pressure を与えた場合の応力-ひずみ曲線(破線)、間げき水圧-ひずみ曲線(実線)の比較を示し

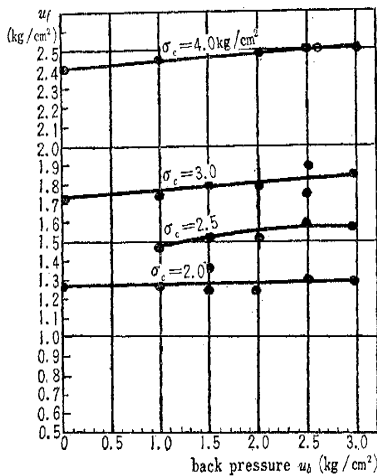
図-4 back pressureの有無による応力-ひずみ曲線ならびに間げき水圧-ひずみ曲線の比較



ている。従来から三軸圧縮試験においては、(I) 最大主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ と、(II) 最大有効主応力比 $(\sigma'_1 / \sigma'_3)_{max}$ との2つの破壊規準によって決定される有効せん断抵抗角 ϕ' が一致しないという問題があった⁷⁾。すなわち、この実験で用いた試料のように、主応力差が最大値に到達したのちも間げき水圧の上昇が認められるような場合(図-4(a)参照)には、(I)の規準によって求めた ϕ' が(II)の規準によるものよりも小さく出る。しかるに、図-4(b)を見るとわかるように、適当な back pressure を試料に与えることによって、せん断による間げき水圧の最大値が主応力差の最大値とほぼ同じひずみ量において生ずることが可能となり、したがって、上述の2つの破壊規準によって求めたせん断抵抗角 ϕ' の値をほぼ等しくすることができる。

図-5は破壊時の間げき水圧 u_f と試料に与えた back pressure u_b の関係を示しているが、 u_b を大きくするにつれて試料の飽和度が増加するので、試料内に発

図-5 破壊時の間げき水圧と back pressure の関係

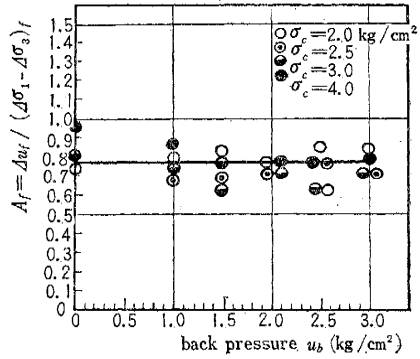


生ずる間げき水圧が増大するが、その程度はあまり顕著なものではない。また図-6は

$$A_f = \frac{\Delta u_f}{(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3)_f} \dots \dots \dots (3)$$

で定義される破壊時の間げき圧係数 A_f と u_b との関係を表わしている。すなわち、式(3)の添字 f はいずれ

図-6 破壊時の間げき圧係数 A_f と back pressure の関係

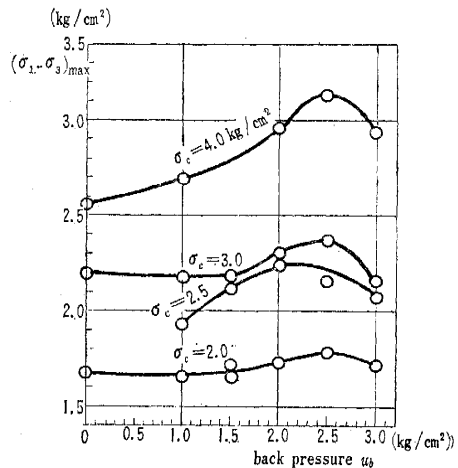


も破壊時のものを意味する。これよりわかるように、試料に back pressure を与えない場合には、 A_f は圧密圧力 σ_c が増加するにつれて大きくなるが、back pressure を与えて飽和度を大きくすれば、 A_f の値は次第に σ_c には無関係に一定となる傾向がある。

(3) 最大主応力差と back pressure の関係

図-7は最大主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ と back pressure u_b の関係を表わしたものであるが、この図によると u_b が増大するにつれて $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ も増加するけれども、過度に u_b を大きくして $u_b = 2.5 \text{ kg/cm}^2$ 以上にもなると、かえって $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ が減少することがわかる。これは試料内に異常に高い中立応力を与えることになり、内部の構造骨格に乱れを生ずるためと考えられる。したがって適度の back pressure がおのずから存在することになり、その大きさとしては前述のように試料が地中で

図-7 最大主応力差と back pressure の関係

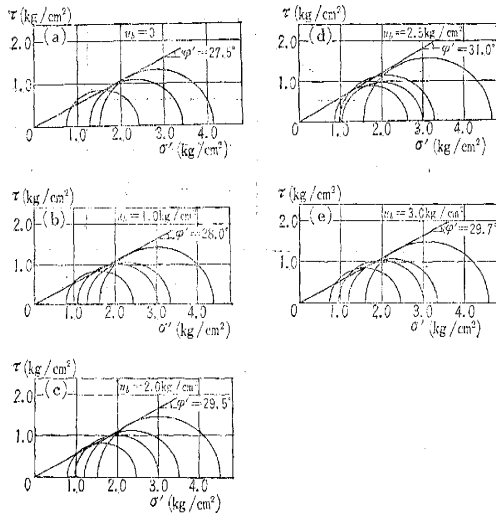


受けていた静水圧(この実験試料では $1.5 \sim 2.0 \text{ kg/cm}^2$)をとることができる。

(4) せん断抵抗角と back pressure の関係

図-8 (a)~(e) は有効せん断抵抗角 ϕ' と back pressure u_b の関係を調べるために描いた有効応力にもとづくモールの破壊円とその包絡線を示している。この図に

図-8 back pressure による有効せん断抵抗角 ϕ' の変化



よって知られるように、 ϕ' の値は u_b を大きくするとともに増加するが、ある大きさの u_b に至って逆に減少する。この現象は (2), (3) に述べた事項より明らかである。表-1 はこの試験結果を整理して、それぞれの場合の強度常数を求めたものである。全応力にもとづくせん断抵抗角 ϕ_{cu} が back pressure u_b によって変動する様子はさきの ϕ' と同様であるが、一方、見かけの粘着力 c_{cu} が u_b の増加とともに減少することが知られる。これは前述のように、現地から採取されてきた乱さない土試料は、いままで受けていた応力を解放されて間げき内に発生した毛管張力による見かけの粘着力を保有していたが、back pressure によりこれが除去されることを意味している。

表-1 back pressure による飽和粘土の強度常数の変化

back pressure u_b (kg/cm ²)	0	1.0	2.0	2.5	3.0
ϕ' (有効応力にもとづく)	27.5°	28.0°	29.5°	31.0°	29.7°
ϕ_{cu} (全応力にもとづく)	14.5°	15.0°	15.0°	15.5°	15.3°
c_{cu} (同上) (kg/cm ²)	0.16	0.10	0.08	0.05	0

5. 三軸圧密におよぼす initial back pressure の影響

従来実施されてきた三軸圧密試験では排水系の圧力は大気圧であり、側圧の増加によって供試体内に間げき水圧を発生させ、この間げき水圧と大気圧との差で供試体

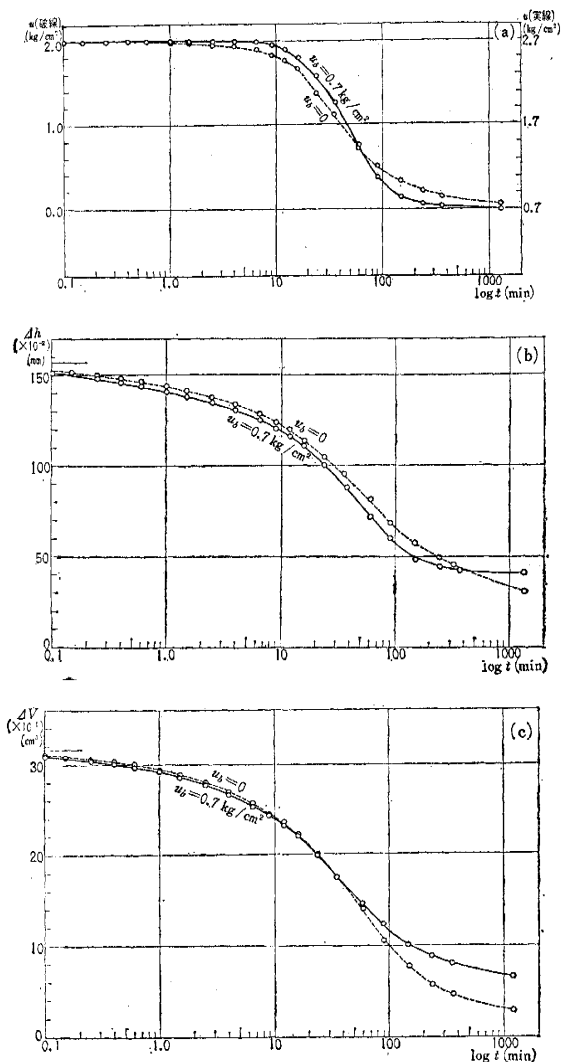
からの排水を行なっている。一方、現地において地下水面上に存在する粘土はほとんど完全飽和の状態にある。しかし、サンプリングを行なって実験室で試験に供せられる間に、地中で受けていた応力が解放されることになるので試料は不飽和状態となり、間げき内では空気と水とが現地とは異なった圧力状態で平衡を保っていると考えられる。また現地における圧密現象は、元来地中で相当大きい中立応力を受けているところへの外的圧力の増加、あるいは中立応力の減少がある場合に生ずるものである。

したがって、実験室において現地の状態をできるだけ再現させて試験を行なうためには、三軸試験機にセットした試料に現地で受けていた中立応力に等しい圧力を側圧ならびに排水系に与え、しかるのちに側圧を任意の圧密圧力だけ増加させて圧密を行なうか、または排水系に加えていた水圧を低下させて圧密を行なうかの、いずれかの方法によるのが適当であると考えられる。

そこで著者らは排水系に任意の圧力を与えるように三軸試験装置を改良し、上述のいわゆる initial back pressure が三軸圧密におよぼす影響を調べた。この場合の実験はすべて等方的圧密とし、圧密圧力 $\sigma_c = 1.0, 2.0, 3.0 \text{ kg/cm}^2$ および 4.0 kg/cm^2 で back pressure を与えない場合と、これら、それぞれの側圧について $u_b = 0.7 \text{ kg/cm}^2$ なる back pressure を与えた場合における圧密特性の比較を行なった。供試体の直径はせん断の場合と同じく 35 mm であるが、高さは圧密時間を短くする目的で特に 20 mm とし、供試体上面からの排水中、下面で圧密中の間げき水圧を測定するためにペーパードレーンは使用しなかった。

図-9 はこの比較の一例であって、 $\sigma_c = 2.0 \text{ kg/cm}^2$ の場合を示している。すなわち back pressure を与えない場合と与えた場合の間げき水圧、軸方向ひずみおよび供試体からの排水量で測定した体積ひずみをそれぞれ図-9 (a),(b),(c) に示す。図-9(a) は供試体下面で測定した圧密中の間げき水圧の時間的な変化であり、別報で述べておいたように理論上圧密度 33% までは間げき水圧は側圧に等しい初期値を保っている⁹⁾。back pressure u_b がある場合とない場合とでは、前者の場合の方が間げき水圧が上述の初期値から低下しはじめる時刻はいくぶんおそいが、圧密の終期にはすみやかに $u = u_b$ なる終極の一定値に到達する。一方、 $u_b = 0$ なる場合は圧密の終期に間げき水圧の低下がおくれ、かつ $u = 0$ の終極値にならず残留間げき水圧がみられる。これは 4.(1) で述べたように、圧密の進行とともに間げき水圧が減少する結果、最初飽和していた試料でも間げき水中にあった気体が遊離して不飽和化し、式(1)の B 値が 1 より小さくなるためである。また図-9 (b),(c) はそれぞれ圧密中の軸方向変位および体積変化量を示しているが、これよ

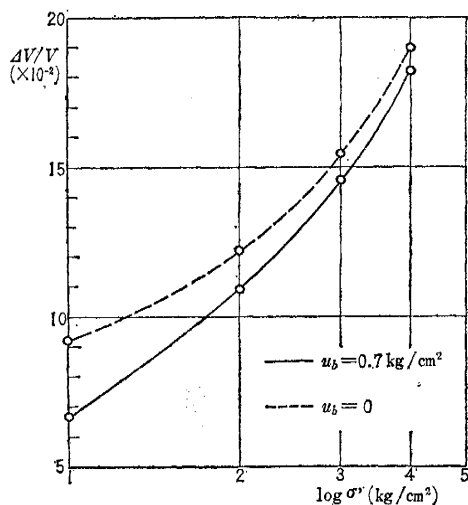
図-9 back pressure の有無による圧密中の間げき水圧、軸方向変位および体積ひずみの経時変化の比較



り $u_b = 0$ の場合には圧密の終期に、なおかなりのひずみ速度をもち、しかも変位の総量も back pressure を作用させた場合に比べてかなり大きいことが知られる。従来等方圧密における 図-9 (b),(c) の $u_b = 0$ に対する曲線のような、いわゆる二次圧密に類似の現象は粘土の構造的な異方性に起因するものと考えられていたが、図-9 (a) の間げき水圧の挙動より考察すると、これは back pressure を用いないための試料の不飽和化に帰せしめるのが妥当と思われる。

図-10 は上記の一連の試験における試料の体積ひずみの終極値 $\Delta V/V$ と有効応力 σ' の関係を示しており、back pressure を与えない場合の曲線は常に上位にあることがわかる。これらの図より明らかなように、従来のような back pressure を用いない試験では、飽和粘土の圧密量を過大に見積るおそれのあることが知られる。ゆ

図-10 back pressure の有無による究極圧密量の比較



えに現地の条件に還元した状態での圧密特性を把握するためには、その土試料が現地で受けていただけの中立応力を排水系に与えるような圧密試験を行なうべきであると提案するものである。

6. 結 語

この研究では、乱さない飽和粘土の圧密とせん断におよぼす back pressure の効果について種々の実験的考察を行なったのであるが、得られた結果のおもなものを列記するとつぎのようになる。

- 1) 自然状態にある飽和粘土は、サンプリングや実験室内での圧密試験の結果、微視的にみて不飽和となる。有効応力にもとづく粘土の強度を正しく算定するためには、これを飽和状態にもどす必要があるが、その手段として試料に back pressure を与えることが有効である。
- 2) 乱さない粘土を飽和させるために必要にして十分な back pressure としては、現地で試料が受けていた静水圧をとるのが妥当であり、本実験に用いた試料では $1.5 \text{ kg}/\text{cm}^2$ ないし $2.0 \text{ kg}/\text{cm}^2$ であった。
- 3) 試験に際して試料に与える back pressure は過度に大きい値を用いてはならない。過大な back pressure は土粒子の構造骨格に乱れを生ぜしめ、強度特性の正しい評価を不可能にする。本実験に用いた試料では、約 $2.5 \text{ kg}/\text{cm}^2$ が与えるべき back pressure の上限値であった。
- 4) この研究における実験結果より、従来のような back pressure を用いない圧密非排水試験から求めた乱さない粘土のせん断強さは、現地のものにくらべて過小に算定されているおそれがあることが判明した。
- 5) 試料が現地で受けていた中立応力に等しい back pressure をせん断前に適用することによって、最大主応

力差と最大有効主応力比の2つの破壊規準による強度特性の差をなくすることができる。

6) 飽和粘土の圧密特性におよぼす initial back pressure の影響について考察した結果、従来のような back pressure を与えない試験では圧密量を過大に見積るおそれのあることが知られ、等方周圧下での圧密終期に現われる2次圧密の現象は back pressure を用いることによって減少せしめうる事が、圧密時の間げき水圧の挙動から明らかになった。

以上の考察から土の圧密特性ならびに強度特性を現地の条件に還元した状態において把握するためには、土試料が現地で受けていたただけの中立応力を back pressure として用いて、圧密試験およびせん断試験を実施すべきことを提案するものである。

参 考 文 献

- 1) Lowe III, J. and Johnson, T.C.: Use of Back Pressure to Increase Degree of Saturation of Triaxial Test Specimens, Proc. ASCE Research Conference on Shear Strength of Cohesive Soils, 1960, pp. 819-836.
- 2) Skempton, A.W.: The Pore Pressure Coefficients A and B, Géotechnique, Vol. 4, No. 4, 1954, pp. 143-147.
- 3) Bishop, A.W. and Eldin, G.: Undrained Triaxial Tests on Saturated Sands and Their Significance in the General Theory of Shear Strength, Géotechnique, Vol. 2, No. 1, pp. 13-32.
- 4) Casagrande, A. and Hirschfeld, R.C.: Stress-Deformation and Strength Characteristics of a Clay Compacted to a Constant Dry Unit Weight, Proc. ASCE Research Conference on Shear Strength of Cohesive Soils, 1960, pp. 359-417.
- 5) Andresen, A. and Simons, N.E.: Norwegian Triaxial Equipment and Technique, NGI-Publ. No. 35, 1960, pp. 1-11.
- 6) 赤井浩一・山本順一・小沢良夫: 飽和粘土のせん断における間げき水圧の挙動について, 土木学会論文集第 85 号, 昭和 37 年 9 月.
- 7) Bjerrum, L. and Simons, N.E.: Comparison of Shear Strength Characteristics of Normally Consolidated Clays, NGI-Publ. No. 35, 1960, pp. 13-22.
- 8) 赤井浩一・小谷 章・足立紀尚: 飽和粘土の三軸圧密における間げき水圧の挙動について, 土木学会論文集第 90 号, 昭和 38 年 2 月.

(原稿受付: 1962.5.25)

THE EFFECT OF BACK PRESSURE ON THE CONSOLIDATION AND THE SHEAR OF AN UNDISTURBED SATURATED CLAY

By *Dr. Eng. Koichi Akai, C. E. Member*
and *Akira Kotani, C. E. Member*

SYNOPSIS

Saturated clays in the natural state have a tendency to lose their full saturation due to the sampling in the field and the consolidation test in the laboratory, which causes considerable error in investigating the strength or deformation characteristics of the sample in terms of the effective stress. In order to eliminate this disadvantage, we usually apply an additional pressure to the pore line and to the triaxial chamber simultaneously, called as the "back pressure". It cannot be said, however, that studies on the influence of the back pressure on the consolidation and the shear of the clay sample and on the determination of the suitable amount of back pressure have been comprehensively worked out. In the present paper the effect of the back pressure on the triaxial test is experimentally investigated, especially solving some problems accompanied by conventional tests to assume the strength and deformation characters of soil.

The remarkable results are summarized as follows:

(1) The advantage obtained by adopting the back pressure consists in two points; we can estimate the test result in the effective stress analysis, saturating the sample and diminishing the negative pore pressure in the specimen, and we can measure the pore pressure during shear of soil correctly, making the initial value before shear as constant in the consolidated-undrained test.

(2) Fig. 1 shows the correlation between the back pressure u_b and the pore pressure coefficient B , indicating that the sample can be fully saturated by using the suitable back pressure. A certain amount of back pressure which is necessary to resaturate the sample should be taken as the hydrostatic pressure encountered in the field.

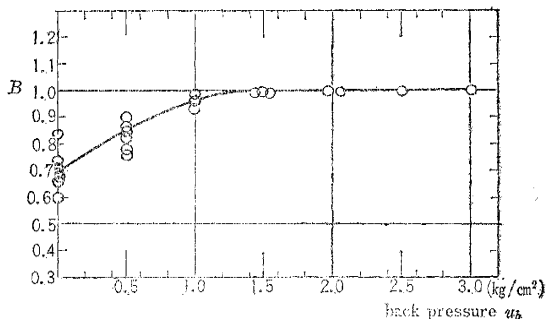


Fig. 1 Correlation between the pore pressure coefficient B and the back pressure.

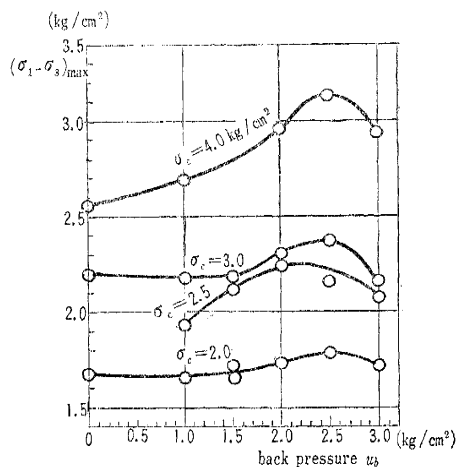


Fig. 2 Correlation between the maximum deviator stress and the back pressure.

Table 1 Variation of strength parameters of a saturated clay with back pressure.

back pressure u_b (kg/cm ²)	0	1.0	2.0	2.5	3.0
ϕ° (in terms of effective stress)	27.5°	28.0°	29.5°	31.0°	29.7°
ϕ_{cu} (in terms of total stress)	14.5°	15.0°	15.0°	15.5°	15.3°
c_{cu} (") (kg/cm ²)	0.16	0.10	0.08	0.05	0

(3) The back pressure applied to the soil sample should not be so great beyond necessity. Too high back pressure causes an undesirable disturbance to the structure of soil and makes it impossible to evaluate the correct strength characteristics. Such a fact can be seen from Fig. 2, indicating the relationship between the maximum deviator stress $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\max}$ and

the back pressure u_b .

(4) It is found out from this investigation that the shear strength of undisturbed clay obtained by the conventional consolidated-undrained test without back pressure has a tendency to be underestimated compared with the actual one. Table 1 shows the variation of strength parameters of a saturated clay with back pressure.

(5) There has been an unsolved problem respecting the failure criterion in the triaxial compression test that the angle of effective shearing resistance ϕ' does not accord with each other between values from the maximum deviator stress $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\max}$ -criterion and from the maximum effective principal stress ratio

$(\sigma_1' / \sigma_3')_{\max}$ -criterion. The difference of strength characteristics from both criteria can be eliminated by means of the back pressure before the shear test.

(6) The investigation has also been performed on the influence of "initial back pressure" on the consolidation characteristics of an undisturbed saturated clay. It is known from this study that the amount of settlement is overestimated in the conventional test without back pressure, and that the secondary compression can be decreased by using back pressure, considering the behaviour of pore pressure during consolidation of soil samples.

(Received May 25, 1962)
