

III-27 不飽和粘性土の力学的性質についての考察

早稲田大学理工学部 正賀 稔引恵一

I. はじめに.

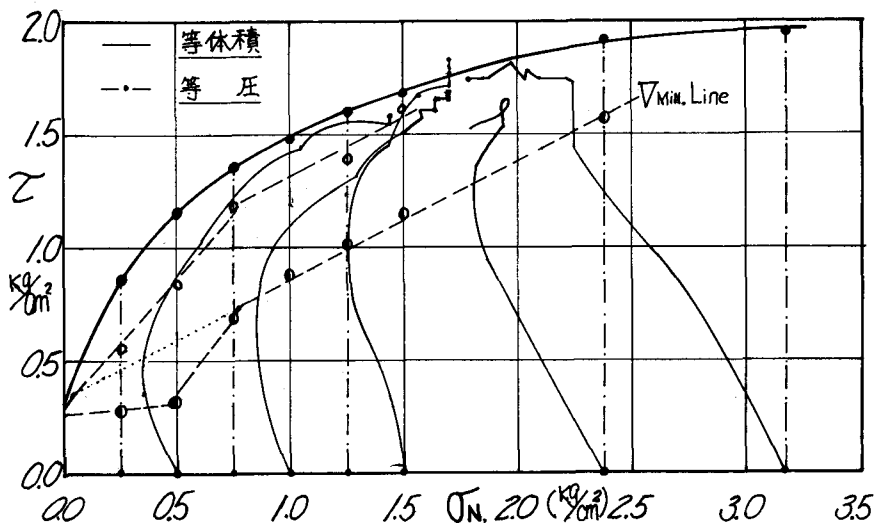
従来、不飽和粘性土に対する研究は、比較的、少ないようである。これは、飽和粘性土に比較して、土が空気をも含む三相系であるために、多くの困難が生ずるためであろう。例をあげれば、間げき液体相の圧力測定において、液体相と気体相の圧力を、別個に、正しく測定する事は、その土の飽和度により程度は異なっても、非常に難しい問題である。これに関しては、間げき気体圧 u_a と間げき液体圧 u_w を求め、不飽和粘性土に対しても、有効応力の考え方を適用しようという。Bishop 等の考えが正しい方向を示しているとしても、 u_a , u_w を正しく求める事が現実の問題なのである。この間げき圧は、体積変化と密着する関係を持っている。この事から、体積変化の方向から、不飽和粘性土の性質を明らかにしていく事の可能性がある。筆者は、従来、三軸試験により、体積一定試験、体積変化(側圧一定)試験を行ってきたが、セン断面上での応力ヒズミ関係を明確につかむ事が困難である為、今回は、改良型一面セン断試験機(土質試験法に記されている型)を用いて不飽和粘性土の等圧試験、等体積試験を行った。

II. 供試体

カオリン粘土を定めた含水比にし、2mmのフルイを通加させた後、 $D=6\text{cm}$, $H=2\text{cm}$ のリング中に静圧圧縮により成型し、24時間養生する。供試体の諸性質は次のようである。含水比 $w=23.5 \pm 0.2\%$, 間げき比 $e=0.82 \pm 0.02$, 飽和度 $S_r=80 \pm 3\%$ 。なお、カオリン粘土の諸性質は、^{1)~3)}以前に発表したものと同じである。又、静固め圧力は、 12kg/cm^2 であり、静固め時間は、約10分間である。この供試体の有効先行圧密荷重(不飽和であるから、圧密という用語は、不適当であるが、便宜的に用いた。)は、 3.4kg/cm^2 であった。これは、圧密試験結果より求めたものである。

以上の値は
従来、筆者が三軸試験用の $D=3.5\text{cm}$, $H=7\text{cm}$ の供試体を作成した時と同じである。この際、静固め圧力は、一定重量の試料を定めた体積にする

☒ - 1



ために必要な力であり、これが、三軸用および一面セン断用のように形状の異なる場合も等しいという事は、面供試体の他の物理的値が同じある事をも考えると、構造の同一性、類似性を暗示しているように思える。 载荷速度は、 0.5 mm/min である。 $\bar{\sigma}_N$ は、 $0.25 \text{ kg/cm}^2 \sim 3.17 \text{ kg/cm}^2$ の8種類である。

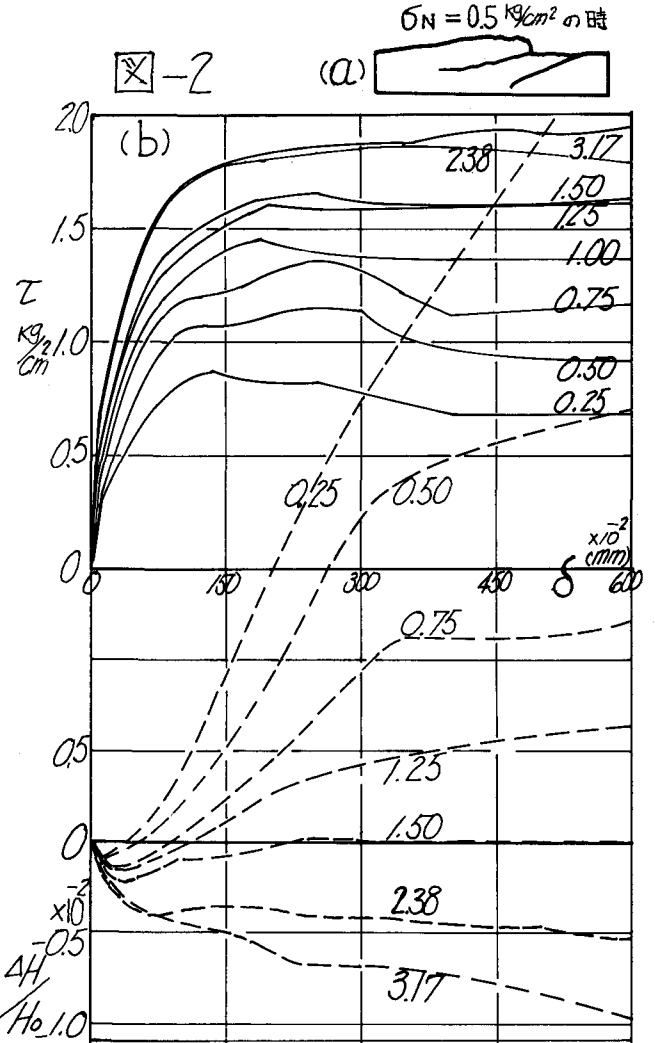
III. 実験結果.

前頁に示した図-1は、等圧試験、
等体積試験の $\bar{\sigma}_N$ (垂直圧) — τ (せん断力) を示したものである。試験に用いた $\bar{\sigma}_N$ が、先行圧密荷重よりも小さい為、いずれも、過圧密試料となり、等体積試験にその形状は明らかである。

さて、 $\bar{\sigma}_N = 0$ におけるでは、図-1において、約 0.3 kg/cm^2 である。同図中に示した、破線 --- は、図-2において、体積が初期の値に戻った時の τ と --- は、図-2における体積最小時の τ を示している。両線ともに、 $\bar{\sigma}_N = 0$ の時の τ の値として、約 0.3 kg/cm^2 を示している。この事は、 $\bar{\sigma}_N = 0$ の試験を行えば、体積がただちに膨張を始める事を意味している。筆者が行った三軸試験においては、上記の様な事はみられない上、一軸試験においても体積は、载荷初期には収縮する。この事は、一面セン断試験により強制される発生するスベリ面上の ϵ_N (垂直変位) と、三軸セン断試験において発生するスベリ面上の ϵ_N の相違もしくは、 $\frac{4H}{H_0} - 1.0$ の相違を意味するものと思われる。

次に、等体積試験に関しても、圧密完了後であれば、有効応力のベクトル・カーブを得られる事になるわけだが、本実験のように、過圧密試料と取扱っている場合には、 $\bar{\sigma}_N$ による再圧密には、長い時間を必要とする事はないと思われるので、図-1のベクトル・カーブを有効応力のものとみなす事も可能ではあるが、不明確な点もあるので、一応、等圧セン断と同様の応力 (全応力的) として取扱う。

- A) 等圧セン断試験; $\text{---} \bullet \text{---}$ で示した。●は、最大の τ を示す。 $\bar{\sigma}_N$ は、0.5, 1.0, 1.5 は、●のみ記した。
B) 等体積セン断試験; --- で示した。
C) 図-2; --- は、 $\tau - \delta$, --- は、 $(\frac{4H}{H_0} - 1.0) - \delta$ を示す。図中の値は $\bar{\sigma}_N$ を示す。



等圧セン断試験結果.

この等体積試験の結果より、①初期 σ_N に
 かかわりなく、最終的には、 $\sigma_N = 1.0$ の付
 近へ集中してくる。(図-3参照) ②等
 圧試験の V_{MIN} Line 上に $\sigma_N MIN.$ の点があ
 る。①に關しては、わからぬ点が多いが、
 ダイレクشنシーがない σ_N は、先行圧密
 荷重のはば $1/2$ であるという事と関連が
 あろう。②に關しては、従来筆者が行っ
 た三軸の結果では、 V_{MIN} と $\sigma_N MIN.$ は一
 致しなかったが、セソ断面上での取扱い
 (一面セソ断)と、全体と1マの取扱いに
 軸試験との相違であろう。

次に、セソ断面の状態については、
 図-2および図-3に示した。図-2(a)
 は、 $\sigma_N = 0.5 \text{ kg/cm}^2$ の等圧セソ断のスベリ
 面であるが、さず、スベリ面(強制され
 た水平スベリ面)は、体積が大きく膨張
 した事からもうかがえる様に、ランダム
 な形状を示している。一方、図-3中に
 示した、初期 $\sigma_N = 0.5 \text{ kg/cm}^2$ の等体積セソ
 断のスベリ面は、強制された面で、ほぼ
 水平に起っている。さらに、本実験に
 用いた供試体は、前述の物理的諸性質か
 らも推察できるように、相当ブリトルな
 性質を持っている。この結果、主スベリ
 面以外に、斜め方向にクラックを生じて
 いる。このクラックの角度から推定する
 内部マサツ角は、等圧試験で 27° 、等体
 積試験で 30° であり、これらの値は、以前に報告した三軸試験より求めた値と一致する。両試験と
 もに、クラックは数本入っているが、等体積試験の場合は、平行になり、等圧試験の場合は、平行と
 はならない。これも妥当な結果である。何故ならば、等圧試験の場合、2本目のクラックは、体積が
 相当膨張してからのものであるから、内部マサツ角が^{変化}している事は、充分考えられる。さらに、
 $\sigma_N = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ 以上では、クラックは、一本しか入らなかったが、この事は、 τ の変化からもうかがえ
 る。

図-4について；図-4は、等体積セソ断に關して、 $\tau/\sigma_N - \delta$ 關係を示したものである。図中に
 ○、○があるが、○印は、図-3において、 σ_N が一定の安定した値を示し始めた位置(δ)を示し、

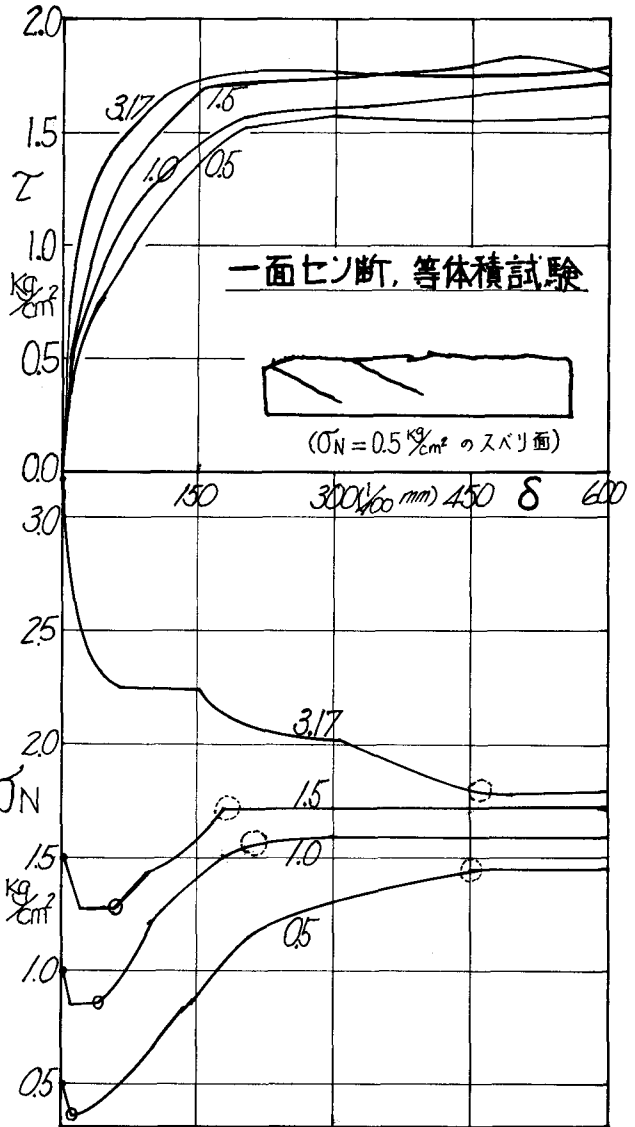


図-3 $\tau - \delta$, $\sigma_N - \delta$ 關係

○印は、同じく図-3において、 σ_N が増大しはじめる時の位置に対応している。これからみると、 σ_N が0.5, 1.0, 1.5 kg/cm^2 の場合には、 σ_N は再び増大するので、○印を持つが、 $\sigma_N=3.17 \text{ kg/cm}^2$ の場合には、 σ_N は減少のみであるから○印を持たない。図-4中に示された○印は、 σ_N の値にかかわらず、 $\tau/\sigma_N=1.0$ の点であり、○印は、 $\sigma_N=3.17 \text{ kg/cm}^2$ でははじめて τ/σ_N が1.0 になった時であり、他の σ_N の場合には、 τ/σ_N が再び1.0 になる時である。この事は、 σ_N の変化は、等圧変化における体積の変化と非常に深い関係を持つ事から

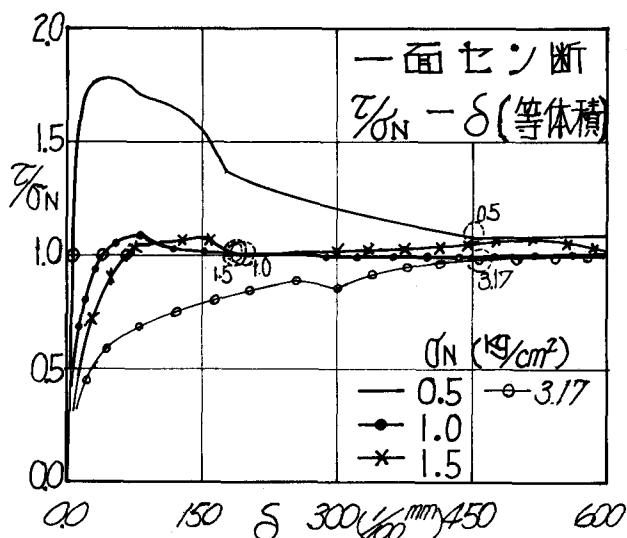


図-4. $(\tau/\sigma_N) - \delta$

体積の挙動と密着につながっていると考えられる。三軸の場合には、主応力の和の形で示される P と、偏差成分 q の比 q/p に関しての結果が、体積変化の特別な点 (V_{min} 点や、体積が初期体積にもどる点) と良い対応を示す事が示されていた。³⁾ この一面せん断においても同様の結果が得られると見られる。また、 τ/σ_N は、○印以後、ほぼ1.0の値をとり、この傾向は、 σ_N の初期値にはよらない。この○印が対応する δ においては、供試体は、すでに強制スベリ面で分離していると考えられる。この結果、 $\tau/\sigma_N=1.0$ の値は、この面におけるスベリ抵抗を示しているとも考えられる。

Ⅳ. 結語

従来、不飽土のデータが少ない為、データ整理の方法も確立していないようである。今回は、 τ/σ_N という、非常に単純な考えで整理をしたわけであるが、 σ_N の変化との関係が、新たに見出せた。又、 σ_N 図において、 V_{min} Line や、体積が初期体積にもどる点等の内、一定の関係のある事がわかった。最後になつたが、等圧、等体積試験ともに、破壊後に σ_N を0にした時に、残留している τ がある。この値は、前述の等圧せん断の破壊包絡線が $\sigma_N=0$ 軸と交わる点であり、同時に、 V_{min} Line 等のもつ、 $\sigma_N=0$ 軸の切片でもある。この値が、その土の持つ本質的な強度であるとも考えられる。なお、この実験を行うにあたっては、(株)佐藤工業干葉技術研究所において実験の便宜をいただいた。ここに記して感謝するものとする。

- 1) オ5回土質工学研究発表会「等体積試験による粘性土に対する一考察」後藤、稔引。
- 2) オ25回年次学術講演会「エネルギー的立場よりの粘性土の性質」後藤、稔引。
- 3) オ6回土質工学研究発表会「不飽和粘性土の力学的性状について」稔引。