

不飽和土のせん断時の体積変化について

信州大学工学部	正員	川上 浩
信州大学工学部	正員	阿部 広史
信州大学大学院	学生員	○ 永谷 彰 師

1 まえがき

不飽和土の体積変化挙動は、あるかぎり条件のもとでは、有効応力に相応して生ずるものと言える。しかし、反面では、構造的に不安定な土では荷重およびサクシジョン解放など、条件が整えば、有効応力では説明できない土の構造崩壊による変形を示す。これらは従来、不飽和土の圧密試験により示されているが、三軸試験中にサクシジョンを解放した場合にも、構造崩壊による体積変化が示される。突固め曲線の乾燥側で突固められた不飽和土の密度は、含水比の低下と共に、ゼロ空けき曲線から離れた状態になることから、このような不飽和土は、程度の差はあっても、多少とも不安定な構造をもつと考えられる。不飽和土を飽和した後、排水試験を行えば、サクシジョンが解放されるので、構造崩壊による変形を含めた体積変化を示すであろう。一方不飽和土のまま、せん断する場合には、一般にサクシジョンはむしろ増大する傾向にあり、構造崩壊は生じにくい状態にあると言える。そこで今回は、間げき室気圧を一定にしたせん断試験を行ない、先に行なったサクシジョン解放時の試験結果との比較から、サクシジョンが体積変化にどのように影響しているかを検討している。

2. 試料と試験方法

用いた試料は砂質シルトでこれを突固め曲線上の乾燥側の2種の状態で突固めている。すなわち $S_r = 48\%$ 、 $e = 1.015$ 、および $S_r = 65\%$ 、 $e = 0.915$ 、に突固めている。得られた供試体を水に浸透させ、さらに back pressure で飽和に近づけ、排水試験を行なったものを方法1として、成形時の飽和度と組合せて系列 48-1、あるいは 65-1 と記号づけている。また得られた供試体を不飽和のまま間げき水圧測定の実験を行なったものを方法を2とし、同様に 48-2、65-2 の記号を用いて表わしている。この2の方法では、間げき水は土中より排水されることなく、空気のみが出入り自由な試験であるから、排気試験ということもできる。これら試験の体積変化は、2重セル内の水銀表面の移動量により、測定している。試料の砂質シルトがいかなる性質のものかを示す一例として、図-1に圧密試験の結果を示したが、試験途中の段階で吸水させて、サクシジョンを解放した場合、構造崩壊により、沈下現象を示す。このように、この供試体の状態は構造的に不安定な状態にあると考えてよい。

3. 不飽和土の排気試験

図-2に不飽和土の排気試験でのみずみ進行とともに体積変化、サクシジョンの挙動を示している。体積変化挙動は側圧が低い

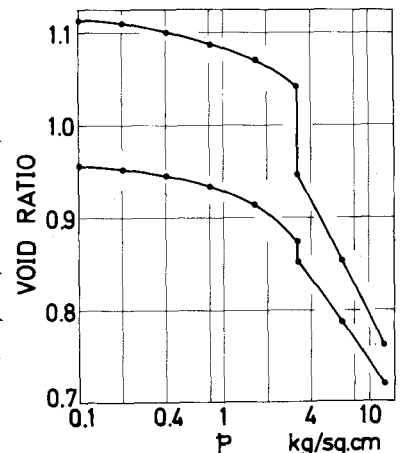


図 - 1

場合、当初の収縮傾向からひずみの増大とともに、膨張へと変化する。側圧が増大するにつれて、体積変化量も増大し収縮のみを示している。サクシオンは初期においてわずかな減少傾向を示すが、わずかなひずみで増大する傾向へと変化する。突固めた不飽和土では初期状態において、サクシオンによって一種の先行圧密荷重的なものを受けた状態にあると考える。低側圧時には、サクシオンによる土粒子骨組の剛性と荷重も小さいことにより体積変化量は小さくなる。そしてひずみの進行により、砂質土におけるようなせん断による体積膨張傾向を示すものと思われる。一方、高側圧時には、圧縮作用により飽和度が多少とも上昇し、サクシオンが全般的に低下することにより、サクシオンによる構造の剛性が小さくなり、荷重の増大に応ずる体積収縮を生ずるものであろう。

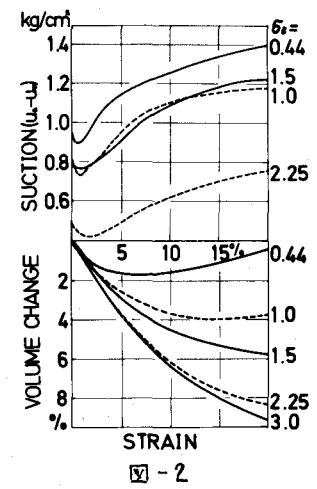


図-2

4. 排気試験の応力軌跡

測定された間げき水圧および間げき空気圧による応力軌跡の代表例を示すと図-3の通りである。空気圧は一定のため、その軌跡は座標軸と45°をなす直線となる。間げき水圧による応力軌跡は45°より傾斜が小さくなる傾向をもつ。不飽和土の有効応力は、この2本の線の間に存在するはずであるが、有効応力の値はBishopの有効応力式における α の値がわからないと求めえない。そこで、通常行なわれているように、破壊包絡線が、不飽和土と飽和土で一致するものと仮定して、各供試体の破壊時の α を求める。そしてこの破壊時の α と破壊時の飽和度の関係を求めている(図-4)。排気試験の間、体積収縮により飽和度は多少増大するので、この図-4の関係から、飽和度に応じて、各荷重段階での α 値を決めている。破壊時の α と飽和度の関係を破壊前の状態に摘要している点で問題があるが、現状では他に適当な方法がない。しかしいずれにしても不飽和土の有効応力は、間げき水圧と空気圧によるものの値の中間にくるはずであるから、図示する上では大きな誤差はもたらさないものと考えている。こうして得られた不飽和土の有効軌跡が△印の線で示される。

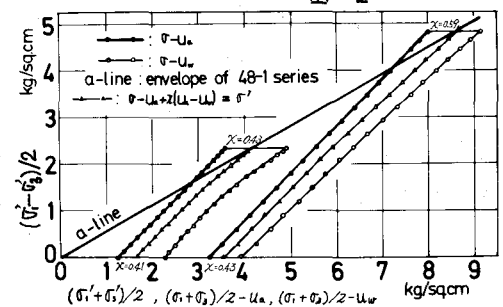


図-3

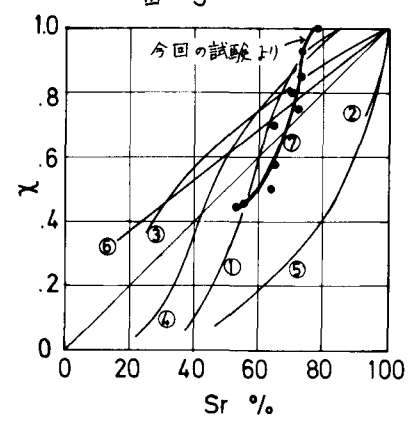


図-4

5. 等間げき比曲線

得られた不飽和土の有効応力軌跡によって、いかなる体積変化をしているかを示すために、応力軌跡上の間げき比の値から、間げき比の等値線を書いたものが、図-5である。等値線が一定の傾向をもつ曲線群ではなく、変曲している点が特筆される。一方、不飽和土を飽和後、排水試験を行なったものでは、図-6のごとき間げき比等値線が得られる。これらは滑らかな曲線群となっている。一般

に正規圧密粘土では、図-7(a)のごとく同心円的な等間げき比が得られるのに対して、過圧密粘土では図-7(b)のごとく過圧密比の増大とともに立ち上がりが激しくなる曲線群となる。これらと対比した場合、図-6の曲線の傾向は、過圧密土のそれに類似した傾向があるといえる。飽和度65%の場合の結果を図-9に示しているが、曲線の傾向は同様なものである。図-6、図-9の場合、サクシオンはすでに解放されているが、サクシオンが作用していたことと突固め作用による効果が、先行圧密荷重の作用をもたらししていると考えられる。また粒子間にコウ結作用のあるロームでは、等間げき比線が一点に集中する傾向がある⁹⁾。このことからサクシオンの作用は、あるいはコウ結作用と類似な効果をおよぼすとも考えられ、今後の課題として明らかにしたい。図-5の不飽和土の等間げき比線は、かかる48%の飽和度の場合のみならず、実験者を変えて行なった $S_r = 65\%$ の場合にも、図-8に示すように、同様な傾向がみられる。このような不連続な状態は、等間げき比の変曲点を連ねる線の左右で、土の構造に大きな変化が生ずるためではないかと考えている。変曲点より右側の曲線の傾向は飽和した図-6の傾向と類似しており、この領域では飽和した場合同様な構造状態にあるかと推察される。したがってここでは体積変化に対するサクシオンの影響は比較的小さなものとなっているであろう。それに対して、変曲点より左側の領域では、サクシオンの影響が大きく、その影響下で体積変化が生じているものであろう。

6. 破壊時の間げき比

上述の体積変化を、水平面と45°をなす面上の直応力と対応して示すと図-10, 11を得る。 $S_r = 48\%$ のものを図-10に、 $S_r = 65\%$ のものを図-11に示している。図には等方圧密終了時の間げき比が、排水あ

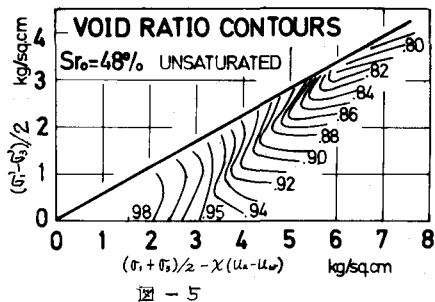


図-5

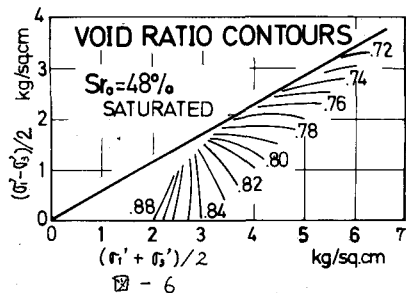


図-6

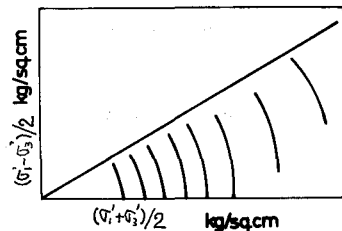


図-7 a

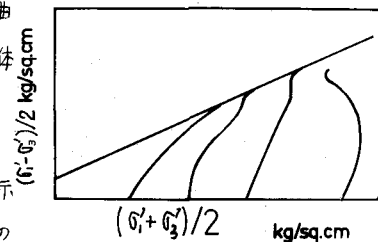


図-7 b

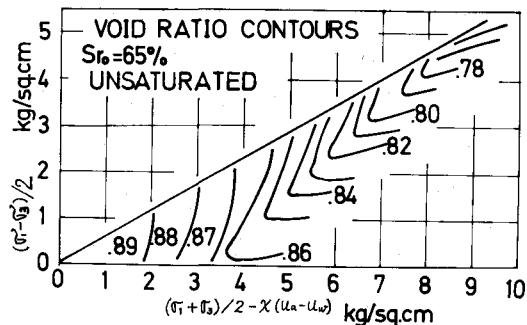


図-8

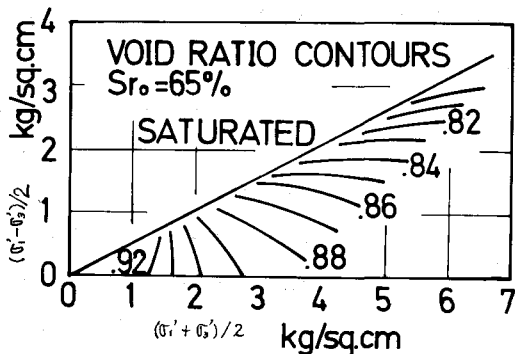


図-9

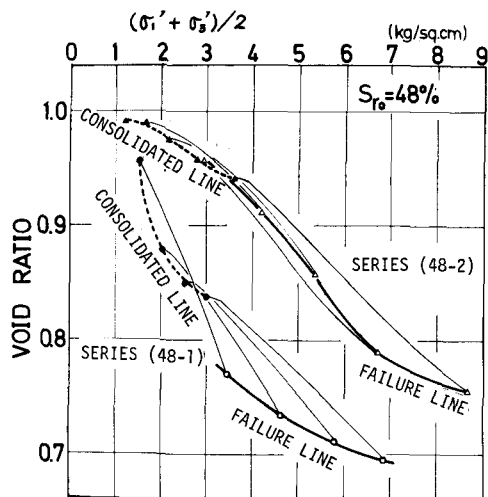


図-10

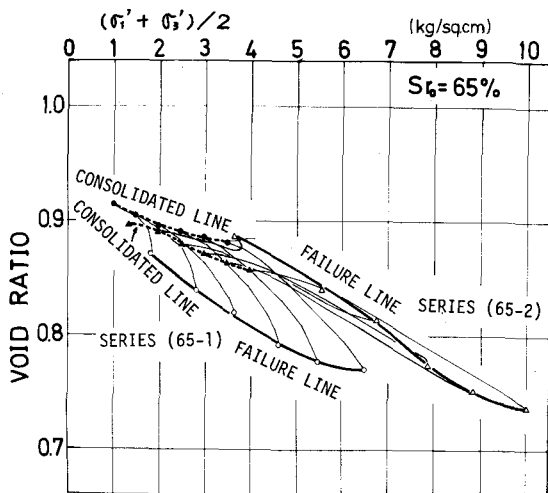


図-11

るいは排水試験により、破壊までにいかなる間げき比に到達するかを示している。そしてそれぞれの試験により、独立な破壊時間げき比の曲線を形作っている。

まず、図-10において、圧密後の間げき比の状態は不飽和状態と飽和後のものでは、かなりの差異を示す。飽和したものは、せん断により急激に圧縮されている。これだけでは、この圧縮変形がいかなる要因によるものか明示できないがサクシヨン消失による構造崩壊による変形を含むことを暗示していると考えている。一方不飽和土は σ' の小さい間は、圧縮量も小さいが、 σ' が増大すると大きな圧縮を示す。 σ' が大きくなった場合に、サクシヨンによる変形に対する抵抗性が落ちてゆくものであろう。

また、図-10と図-11における飽和土の最終間げき比を比べた場合、図-10の方が間げき比の小さい状態に達している。初期突固められた状態では、図-10の $S_r=48\%$ のものがゆるい状態であったものが、破壊時には締った状態に達している。これは $S_r=48\%$ のものが、初期に、より不安定な状態にあって、サクシヨンの消失、せん断の過程の中で圧縮変形を生じやすい状態にあったと思われる。このことから、突固められた不飽和土は、初期突固め時に多少とも異なった構造状態にあり、この状態がその後の変形挙動に大きく影響し、破壊時の間げき比の状態を異なったものとするのであろう。

7. まとめ

不飽和土のまま排水試験を行なったものと飽和後排水試験を行なったものの体積変化挙動の比較を行なって、サクシヨンが土粒子構造に変形の抵抗性を与えるものと推測している。しかしこのサクシヨンの作用は、それほど強力なものではなく、せん断の進行による荷重の増大により、その効果が薄れてくる。またサクシヨンが完全に消失した後は、その影響は一種の先行圧密荷重的な効果をおよぼしていると考えている。ただ、ここでいうサクシヨンの効果の中には、突固め荷重の影響も含まれており、ここでは明確に分離できない。不飽和土の変形特性を考える上での指針を得たと考えている。

(文献) 1) 川上、阿部、：信州ロームの工学的性質、

昭和50年 土木学会中部支部 講演発表会