III-21　不飽和土の間ゲキ水圧についての一考察

阪神コンサルタンツ　正員　渡辺 弘

はじめに ---不飽和土のせん断強度，体積変化挙動を有効応力の項で説明しょうとする試みはBishop, Donald, Jennings, Burland, Blight, Matyas……などにより古くから行なわれており強度に関しては破壊状態での飽和土との比較のみが必要なこともあって適当な仮定を導入すれば，問題はあるが何とか説明がついているようである。
一方体積変化挙動では，変形途中の各段階での不飽和土と飽和土の挙動を比較する必要があり，一層困難となっている。不飽和土を有効応力で説明しょうとするために，外的応力による土の挙動と内的サクションによる土の挙動とは同一であると仮定し，有効応力の項での土の圧縮性は含水比や飽和度に無関係である。といった仮定をするのが普通だがいずれも怪しいようである。また土の状態を表わすのに飽和土に比べて不飽和土では更に飽和度と土の構造が必要と考えられる。後者についてこれにせん断をかけるとき問題となるのは微視的scaleでの構造上の再配列に伴なうサクションの変化と巨視的scaleでの応力ー変形関係への影響であろう。次にswellingとcollapseについて不飽和供試体を水浸させると拘束圧の大きさによってswellingしたりcollapseが生じたりする。水浸によるサクション解放で圧縮沈下するcollapse現象は有効応力では説明できないとされているが，これはサクション解放が土の構造に対して(1) intergranular応力の減少(2)土構造の剛性の減少 といった2つの効果をもつためであろう。以上はMatyasの文献[1]よりピックアップしたものだが，こういうことを念頭においたうえで，土のせん断変形は，モービライズド面上での粒子接点角の平均値($\bar{\theta}$)がせん断に伴なって変化する過程であるとする松岡[2]の考え方を導入する。ある飽和度以下になると水はもはや局部(粒子同士)的にとどまっており，サクションによる内的力は相隣る粒子の接点に個別に働くと考えられよう。このように考えると，もしサクションの値そのものがせん断中に変化しなくてもせん断をうける過程で$\bar{\theta}$が変化することから，$\bar{\theta}$のいかなる関数でサクションによる内的力の方向が変化するかはわからないが，とにかく巨視的scale例えば供試体でのσ_1', σ_3'に対するサクションの寄与はそれぞれ異なってくる。すなわち サクションそのものは単なるスカラー量であっても 例えば実験等の主応力面で整理する場合飽和土での間ゲキ水圧のような扱いではなく その面への成分として取扱うことが必要となる。当然 その成分の差はせん断が進むにつれて大きくなる。

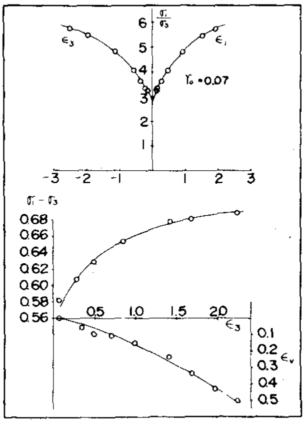

図-1 乾燥砂の実験値と計算値

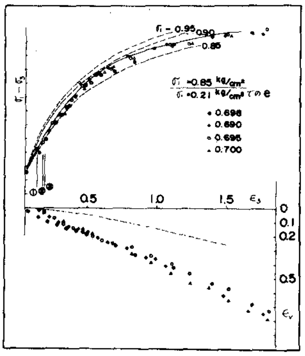

図-3 座標軸をshiftした場合

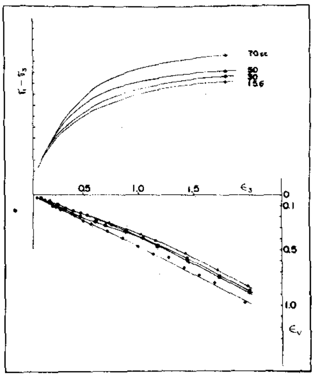

図-2 不飽和砂の実験値

今回の実験ではその第一stepとして不飽和砂のせん断試験を行なって乾燥砂の挙動と比べてみた。乾燥砂については予備実験から松岡の式に合うことがわかったのですべて計算値を用い，不飽和砂のdataと比較してサクションの項が巨視的に等方に働らくと考えら

れるかどうか又両挙動の差異が松岡の式における初期構造を反映するν_0の違いに起因するものかどうかを調べると同時に試算としてサフション の項についての考察を行なった。

<u>実験方法</u>……松岡による多軸試験機[3]を用い、平面ひずみ条件(σ_1= const. ϵ_3を制御)で、測定はϵ_3(ネジの回転)、ϵ_1(ダイヤルゲージ)、σ_3(ロードセル) サフションによる違いのみを取り出すために試料は豊浦標準砂を用い、590gの砂に70, 50, 30, 15.6 cc の水を加えて30分間程混合し静的力を加えて所要の間ゲキ比(目標e_0=0.69)に詰めた(三相)。σ_1はすべて0.85 kg/cm²

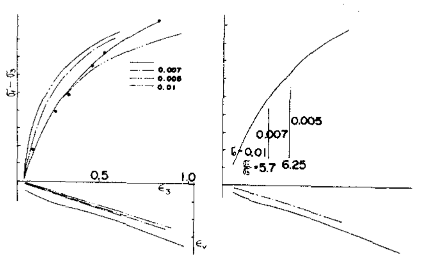

図-4　70cc 含水の不飽和砂

<u>結果および考察</u>… 図-1は不飽和砂と比較するのに松岡の式を用いているので、その妥当性について示したものでありよく合っているのがわかる。図-2は不飽和砂の実験値で縦軸の$\sigma_1-\sigma_3$は一目盛が0.01 kg/cm²、飽和度によって$(\sigma_1-\sigma_3)\sim\epsilon_3$、$\epsilon_v\sim\epsilon_3$曲線に明白な違いがみられる。横軸としては$\epsilon_3$制御であることから$\epsilon_3$をとってみた。$\sigma_1$=0.21 kg/cm²での$e$が同じになるようにしており載荷圧はすべて0.85 kg/cm²で行なったことから、もしサフションが飽和砂における間ゲキ水圧のごときものだとすれば、飽和度の低い方がサフションが大きいことから三軸試験におけるいわゆる等方圧密圧σ_{3c}が大きいことになり$(\sigma_1-\sigma_3)\sim\epsilon_3$曲線のたちあがりが急になると予想されるが実験値は$(\sigma_1-\sigma_3)\sim\epsilon_3$については全く逆であるが$\epsilon_v$についてはダイレイタンシーにより飽和度の低い方が予想通り大きくなっている。以上4個のdataの座標軸を適当にずらすと図-3のように$(\sigma_1-\sigma_3)\sim\epsilon_3$、$\epsilon_v\sim\epsilon_3$がうまく一致した。図中の①②③はそれぞれ50, 30, 15.6ccの座標軸の位置を示している。松岡によるK₀試験の解釈を乱暴に適用すると飽和度が小さくなるにつれて$\sigma_1'/\sigma_3'=(\sigma_1-u_1)/(\sigma_3-u_3)$の値が大きくなるとも考えられる。すなわちせん断が進むとuが異方的となる。ここにu_1, u_3はサフションの項を巨視的にみた場合のσ_1, σ_3方向の成分。以下ではサフションの項を等方的なものとして考察する。一般に$K_0=(\sigma_3-u)/(\sigma_1-u)$であり乾燥砂では0.3~0.33位だったので逆算してuを求めると全て0.07~0.08 kg/cm²程で飽和度による差は今回のdataではでてこなかった。これより$\sigma_1' \fallingdotseq 0.85+0.08=0.93$ kg/cm² 図-3の破線はちなみに乾燥砂の$(\sigma_1-\sigma_3)\sim\epsilon_3$、$\epsilon_v\sim\epsilon_3$を$\sigma_1'$=0.95, 0.90, 0.85($e_0$=0.69の場合)について描いてある。どちらも一致しそうにない。そこで初期の構造により定まるν_0の値をいろいろ変化させて合うかどうか調べた。図-4~7がそれであり、例えば図-4について説明すると左図の実線が実験値、一、二、三点鎖線はそれぞれν_0=0.007, 0.005, 0.01でのσ_1=0.95の曲線群でありどれも合いそうにない。そこで途中でν_0が変化すると仮定して実験値に近づけようとしたのが右図である。ϵ_3と共にν_0が変化、しかし各ϵ_3での実験値σ_3と計算値σ_3'との差を求めると、最初に仮定した0.08 kg/cm²とは全く異なってくる。これはすべてサフションの項を等方としたことに起因する。

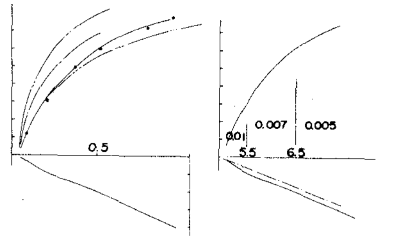

図-5　50cc 含水の不飽和砂

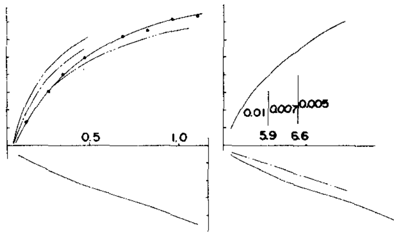

図-6　30cc 含水の不飽和砂

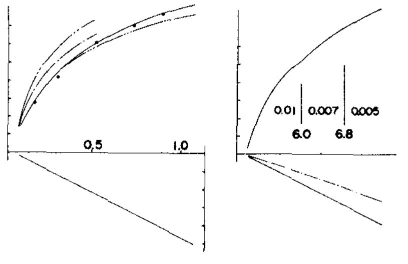

図-7　15.6cc 含水の不飽和砂

実験については防災研究所在職中に行なったものであり村山朔郎教授、松岡助教授に感謝の意を表します。

参考文献　(1) Matyas : Volume change characteristics of partially saturated soils, Geotech. 1968　(2) 例えば 松岡：せん断時の土の応力-ひずみ関係について，京大防災年報 S.47　(3) 松岡、橋本：多軸試験機の試作とその測定結果の解析について，第8回土質