

III-62 不飽和土における近似的 ϕ' の決め方について

信州大学工学部 正 員 川 上 浩
 長野高専 正 員 峰 村 信 雄
 信州大学大学院 学生員 ○ 阿 部 広 史

1. 概説 アースダム上流側斜面において、施工時には不飽和な状態であるが、施工後長期の安定を考える際には飽和状態に達している。かかる場合のせん断常数決定の近似的方法として、飽和土ではほぼ $C' \approx 0$ であることおよび飽和度90%以上ではサクションによる粒子間応力増分の影響が小さいことに着目して、不飽和土の筒けき空気圧の測定値のみから ϕ' を求める方法を示した。¹⁾ その後さらに関東ローム試料として行なった実験の結果を示し、かなり問題のある点を明らかにする。

2. 不飽和土における C' , ϕ' の決め方 現在不飽和土の C' , ϕ' を決める最も確実な方法は、back pressure により試料を完全に飽和させて、飽和土の試験を行なうことであろう。しかし飽和度が低い場合には Lowe²⁾ の示した back press. でもかなりの高压になり、高压三軸室・恒圧装置など特殊な装置を必要とすることになる。水を浸透させて飽和度を高めその後 back press. を作用させるという手段によらざるをえないが、かなりの試験時間が必要とすることになる。Bishop³⁾ が不飽和土の有効応力式 $\sigma' = (\sigma - u_a) + \chi(u_a - u_w)$ (1) を示した際にも不飽和土と飽和土の破壊包絡線が一致するとの仮定のもとにパラメーター χ を決定している。Jennings⁴⁾ が不飽和土を吸水させて(1)式を2項のサクションを解放し、 σ' を減じた場合にも膨張を生ぜず不飽和土が収縮すること示していることから、(1)式による応力が飽和土で用いられている有効応力原理にそう有効応力を示すと考えることにはまだ問題がある。しかし不飽和土の粒子間応力を1項の外荷重による項と2項のサクションによる項とに分けて、両者による粒子間応力を考えて行く⁵⁾ ことには異論はない。

飽和土としての試験を行わずに不飽和土のみの試験を行なって C' , ϕ' を決める方法には Blight の方法がある。説明の都合上(1)式を2項を $P_r = \chi(u_a - u_w)$ とおきサクションによる粒子間応力を P_r とする。一般に不飽和土の筒けき空気圧のみを用いて $\sigma'' = \sigma - u_a$ によりベクトルカーブを画けば、図-1のB線のごとき破壊包絡線となる。C線を(1)式に沿う破壊包絡線とする。Blight はB線上の点(1)と(2)を通るA線を仮定の破壊包絡線とすると、

$$\begin{aligned} \tau_{(1)} &= C' + [(\sigma - u_a)_{(1)} + \chi(u_a - u_w)_{(1)}] \tan \phi' \\ \tau_{(2)} &= C' + [(\sigma - u_a)_{(2)} + \chi(u_a - u_w)_{(2)}] \tan \phi' \end{aligned} \quad (2)$$

となることより、 $C' = 0$ において両者の平均的 χ を求めている。Blight が行なった $u_a - u_w = \text{const.}$ の試験、あるいは(1)と(2)の間隔を充分小さくとれば $\bar{\chi}(u_a - u_w)_{(1)} = \bar{\chi}(u_a - u_w)_{(2)} = P_r$ と考えられる。この場合には、計算により求まる P_r の値は(1)と(2)を通るA線のx軸上の切

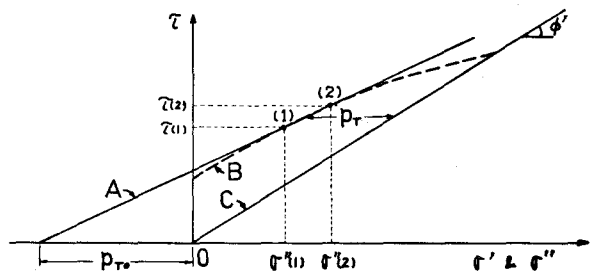


図 - 1

片の大きさを P_{r0} と求めることになり、A線がC線と平行である場合を除いては、すべて過大あるいは過小なる P_r の値を与えることになる。すなわち半めんとする P_r の値の代りに図-1に P_{r0} と示したものがえられることになる。一方、C線に平行な部分において P_r を求める場合に、 $\sigma'' = \sigma - u_a$ として求めた破壊包絡線上に沿うような形の応力軌跡のみを対象としていて、破壊後応力軌跡が包絡線上から離れるような場合には適用できない。このような場合には、 $(\sigma - u_a)$ がわずかに異なる2つの供試体から得られた破壊包絡線上の点(1)と(2)の状態として P_r を求めねばならない。なお P_r の精度を増すためには(1)と(2)の間隔をできるだけ狭くしなくてはならないが、その場合わずかな測定誤差も P_r の値に大きく影響し、変動が大きくなる。以上より、この方法は不飽和土のみの試験から P_r が求まり、 $\phi' \cdot C'$ を求めることができるが、(1)と(2)の点の選びかたが非常に難しいものと考えられる。

3. 近似的 ϕ' の求め方 そこで我々は間接圧力として水圧が支配的となり $P_r \div 0$ となる $s_r = 100 \sim 90\%$ の範囲における下限、 $s_r = 90\%$ となる点Qと不飽和土の破壊包絡線上に求め、 $C' = 0$ と仮定して、原点とQ点を結んで近似的 ϕ' を求めている¹⁾。すなわちボイル・ヘンリーの法則から

$$u_a = p_0 \left\{ \frac{1 - S_0(1-H)}{1 - S_p(1-H)} - 1 \right\} \quad (3)$$

が与えられるが、 $S_p = 90\%$ として90%飽和に必要な間接空気圧の値を求める。また各実験の破壊時の間接空気圧 u_a と直応力 $\sigma'' = \sigma - u_a$ の関係をプロットする。この関係は直線的変化とみなして外挿法により先の u_{a0} に相当する σ''_0 を求めることができる(図-3)。そして $\sigma'' = \sigma - u_a$ を用いて画いたベクトルカーブにより $\sigma'' = \sigma''_0$ の破壊包絡線上の点Qを求める(図-5)。このQ点と原点を結び近似的 ϕ' を求める。

4. 実験結果 今回の実験における間接空気圧は図-2のごとく2ヵ所で測定している。1つは供試体上端においてガラスセン布を介して小型圧力計により測定し、またもう1つは下端面においてプラスチックディスクに $\phi 1mm$ 長さ $20mm$ の穴を4ヵ所あけこの部分を空気貯溜部として、管路の水と供試体との直接的接触をさせ、通常のヌルインジケータにより圧力を測定している。両者の測定結果は飽和度が低い場合には($s_r = 80\%$ 以下)、殆んど一致しているが飽和度の高い場合には破壊近くなって 0.05 kg/cm^2 程度下端のヌルインジケータによる方が大きくなっている。しか(今回の整理はすべて小型圧力計による測定値を用いている。

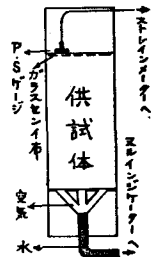


図-2

実験には埼玉県大宮近郊の関東ローム(LL=126, PI=66)を用いている。飽和度の影響を明確にするため、供試体はできるだけ同じ密度になるよう配慮し、含水比を66%~84%まで5段階変えて非排水試験を行なっている。その一覧表を表-1に示す。まず各系列による全応力破壊包絡線を示すと図-4の通りで、飽和度に応じた変化を示し典型的な不飽和土の包絡線であることがわかる。

$\sigma'' = \sigma - u_a$ を用いて画いたベクトルカーブは図-5, 6, 7に示すような曲線となる。なお図-8

系 列	I	II	III	IV	V
乾燥密度 kg/cm^3	0.656	0.654	0.644	0.646	0.652
初期飽和度	77.0	82.9	88.1	93.3	98.0
平均含水比	66.3	71.1	74.1	79.7	83.8
ϕ''	$38^\circ 10'$	$37^\circ 20'$	$36^\circ 50'$	$35^\circ 50'$	$32^\circ 00'$
C'' kg/cm^2	0.18	0.20	0.20	0.10	0.14
補正 ϕ'	$39^\circ 40'$	$39^\circ 50'$	$40^\circ 00'$	$40^\circ 00'$	$40^\circ 00'$

表 - 1

において、黒丸印で示したベクトルカーブは試験後下部より吸水していたことが判明した試料である。

これは1つの破壊包絡線を形づくりますが、サリションによる粒子間応力を考えていない見掛けの常数を与えるものである。参考までに C' 、 ϕ' として示してある。破壊時の u_a と σ'' との関係を各系列とも図示すると図-3がえられる。Ⅱ、Ⅲ系列ではばらついており、これらの点を連らねて直線を引きことはⅣ系列を除いてかなり困難であるが大胆に直線を引き示した。この直線により、(3)式より得られる90%飽和に必要な u_{a0} 時の σ'' を定める。この σ'' により図-5、6、7においてそれぞれ Q 点を求めている。この Q 点を用いて得られる補正 ϕ' は各系列とも40°近くになっている。この結果は表-1にまとめて示されている。

この値を飽和土の結果と比較するため飽和土の圧密非排水試験を行なった結果を図-8に示す。不飽和土として実験を行なったのと同じ試料は、試料が不足になり、黒丸で示された供試体1本しか行ないえなかった。白丸印の試料は再び同一地質と思われる場所から採取してきたものであるが、 $LL=130$ 、 $PI=38$ と変わってバクトルカーブとしても異なった傾向を示している。そこで ϕ' は1本の供試体だけで推定したが、参考として白丸印による値も示してある。これらの結果を表-1の補正 ϕ' と比較するとかなりよく一致していることが認められる。

以上の図示したもののなかで尚ほ

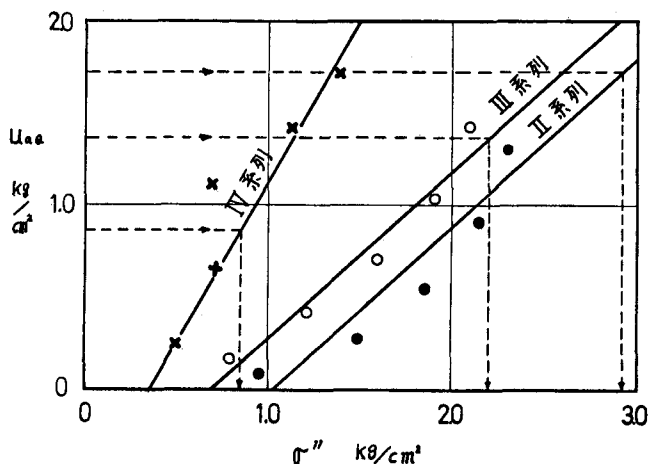


図 - 3

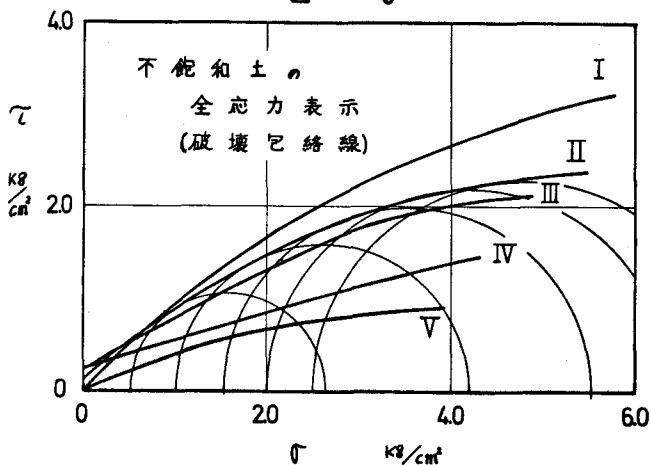


図 - 4

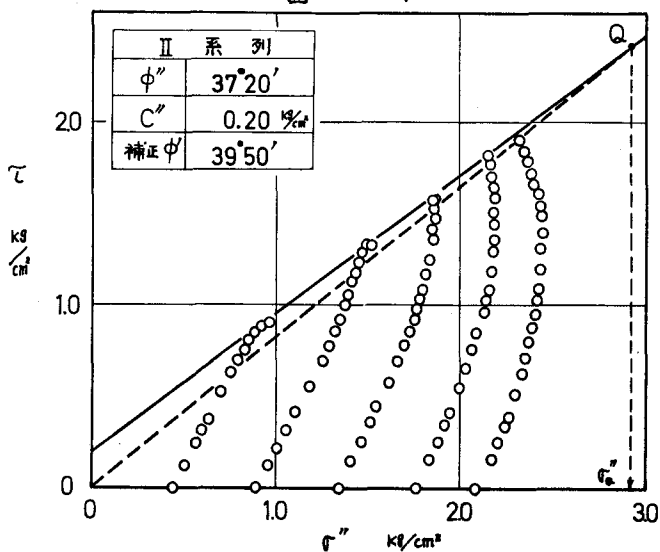


図 - 5

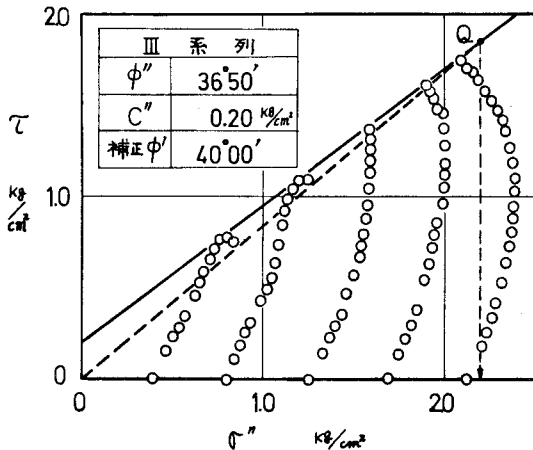


図 - 6

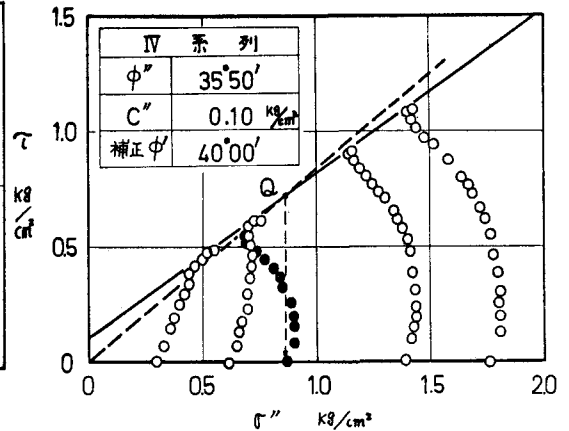


図 - 7

なるのは、まず図-7のかなり飽和度の高い例の場合、Q点より右側にくるベクトルカーブが図中の破線上にのるまいことである。Q点より右側ではすでに飽和度は90%以上に達し、飽和土と同様な破壊線を形成するものと考えているが、この不一致は先述の筒げき空気圧が飽和度の高い部分で、圧力計とヌルインジケーターにより値が食い違ってくるにも関連して、筒げき圧の測定に問題があるのではないかと考えている。

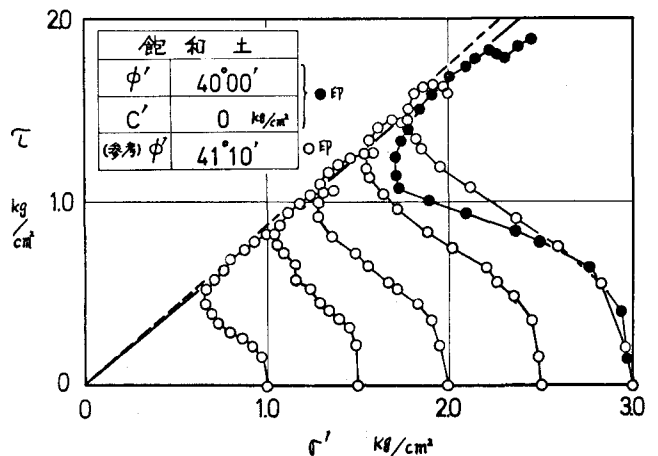


図 - 8

次に図-3のⅡ系列、Ⅲ系列の点のばらつきである。先述のごとく大胆な直線を描いているが、これはむしろ曲線と考えるべきである。かかる大胆な直線にそかかぬはず表-1の結果がまとまっているのは、図-5、6、7等におけるQ点が多少移動しても補正 ϕ' の値にあまり影響しないことによる。図-3については飽和度と関連してその意味を調べていかなければならないと考えている。

5. 結 び 実用的な意味では筒げき空気圧を測定した不能和度の試験から近似的な ϕ' を推定することができ、その値は飽和土の結果とよく一致していることが関東ロームを試料とした場合にも認められた。しかし飽和度の高い場合の筒げき空気圧の測定、 σ' と破壊時の u_a の関係のばらつきに問題があり今後検討して行かなければならないと考えている。

- [参考文献] 1) 川上浩・峰村信雄 “不能和粘土の強度について” 第4回土質工学会研究発表会 1969年6月。
 2) J.Lowe and T.C.Johnson "Use of back pressure to increase degree of saturation of triaxial test specimens" Proc. of Research Conf. on Shear Strength of Cohesive Soils, P819-836, 1960.
 3) A.W.Bishop "The measurement of pore pressure in the triaxial test" Pore Pressure and Suction in Soils, p38, 1960.
 4) J.E.B.Jennings and J.B.Burland "Limitations to the use of effective stresses in partly saturated soils" Géotechnique 12-2, p125-144, 1962.
 5) L.Barden, A.O.Madecor and G.R.Sides "Volume change characteristics of unsaturated clay" Proc. ASCE, SH1, p33-51, 1969.