

神戸大学工学部 正会員 軽部大蔵
 不動建設 正会員 〇苗村康造
 大阪瓦斯 北村ハ朗

1. まえがき 不飽和土の有効応力式は、Bishopにより提案されて以来、有効応力式における χ が問題となってきた。一般に、 χ は飽和土と不飽和土との比較より求められてきたが、筆者らは応力履歴の同じ不飽和供試体に対して、圧縮せん断と伸張せん断とを行なうことにより、不飽和土だけの実験より χ を求められることを示した。また、suction ($u_a - u_w$)を内部粒子間力として取扱ひ、有効応力を全応力より間げき空気圧を引いたものとする方法を提案した。

2. 実験装置と実験方法

実験装置としては、二重セル型三軸圧縮伸張試験機を使用した。供試体は信楽粘土($G_s=2.55$, $w_L=58\%$, $w_p=22.62\%$)を一定含水比($w=19.2 \pm 0.35\%$)に調整し、一定乾燥密度($\rho_d=1.462 \pm 0.018 \text{ g/cm}^3$)となるように最適含水比($w_{opt}=21.6\%$)より乾燥側に締固めた。供試体は高さ8cm, 直径3.5cmの円柱形とした。体積変化は、内セル内のグリセリン水溶液の液面変動より読みとった。間げき水压は、air entry value 2.0 kg/cm^2 のセラミックディスクを通じて測定した。間げき空気圧は、ガラスフィルターを通じて外部より強制的に与えた(排気状態 $u_a=1.7 \text{ kg/cm}^2$)。(図-1) 飽和土は、不飽和土と同様に締固めた供試体に、back pressure 0.5 kg/cm^2 をかけて作成した。供試体は所定の初期条件でそれぞれ等方圧縮を行なった後、平均主応力 σ_m 一定の条件のもとで圧縮せん断または伸張せん断を行なった(表-1)。

3. 実験結果と考察

図-2は排水排気等方圧縮試験中の体積ひずみ $E_v \sim \log(\sigma_m - u_a)$ 関係である。図中で飽和土のひずみは、soaking後からのひずみである。図中のA, B点は、 $(\sigma_m - u_a)$ が一定となるように σ_m と u_a を変化させた2点であるため、A, B点の E_v は、ほとんど変化していないのがわかる。また $u_a - u_w$ が大きいほど圧縮率は小さくなっているが、その変化は $u_a - u_w$ に対しては、非線形的である。非排水排気等方圧縮中の $u_a - u_w$ は、供試体の圧縮とともに減少しているが、せん断に入ると $u_a - u_w$ は増加し始める。そして、圧縮せん断の方が伸張せん断よりもその傾向が大きい。

不飽和土の有効応力式としては、Bishopの有効応力式(1)式がある。

$$\sigma' = (\sigma - u_a) + \chi(u_a - u_w) \quad \text{---- (1)}$$

しかし、図-3のような土塊の模型を考えた場合、本来のTerzaghiの

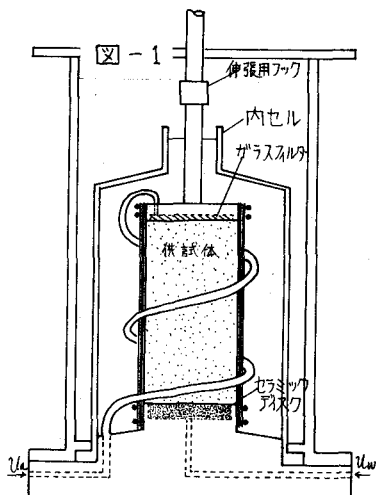
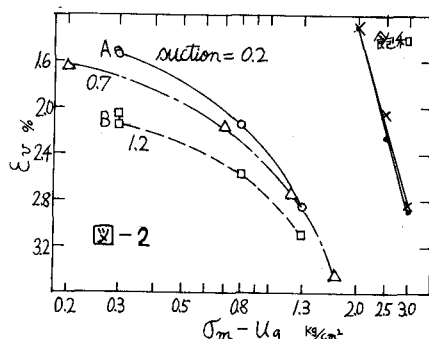


表-1

A	非排水排気 suction測定	$\sigma_m=4 \text{ kg/cm}^2$ まで等方圧縮	$\sigma_m=4 \text{ kg/cm}^2$ で圧縮せん断
B	非排水排気 suction測定	$\sigma_m=3 \text{ kg/cm}^2$ まで等方圧縮	$\sigma_m=3 \text{ kg/cm}^2$ で圧縮せん断
D	suction=1.2 kg/cm ²	$\sigma_m=3 \text{ kg/cm}^2$ まで等方圧縮	$\sigma_m=3 \text{ kg/cm}^2$ で圧縮せん断
E	suction=0.7 kg/cm ²	$\sigma_m=3 \text{ kg/cm}^2$ まで等方圧縮	$\sigma_m=3 \text{ kg/cm}^2$ で圧縮せん断
F	suction=0.2 kg/cm ²	$\sigma_m=3 \text{ kg/cm}^2$ まで等方圧縮	$\sigma_m=3 \text{ kg/cm}^2$ で圧縮せん断
G	飽和	$\sigma_m=3 \text{ kg/cm}^2$ まで等方圧縮	$\sigma_m=3 \text{ kg/cm}^2$ で圧縮せん断
C	非排水排気 suction測定	$\sigma_m=3 \text{ kg/cm}^2$ まで等方圧縮	$\sigma_m=3 \text{ kg/cm}^2$ で伸張せん断
H	suction=1.2 kg/cm ²	$\sigma_m=3 \text{ kg/cm}^2$ まで等方圧縮	$\sigma_m=3 \text{ kg/cm}^2$ で伸張せん断
I	suction=0.7 kg/cm ²	$\sigma_m=3 \text{ kg/cm}^2$ まで等方圧縮	$\sigma_m=3 \text{ kg/cm}^2$ で伸張せん断
J	suction=0.2 kg/cm ²	$\sigma_m=3 \text{ kg/cm}^2$ まで等方圧縮	$\sigma_m=3 \text{ kg/cm}^2$ で伸張せん断
K	飽和	$\sigma_m=3 \text{ kg/cm}^2$ まで等方圧縮	$\sigma_m=3 \text{ kg/cm}^2$ で伸張せん断



有効応力式の意味から考えると、有効応力式としては、次式である。そして、

$$\sigma' = \sigma - u_a \quad \text{---- (2)}$$

$u_a - u_w$ は、粒子間の接合部にだけ存在している内部粒子間力である。(2)式に、Mohr Coulomb の破壊応力条件と、Von Mises の破壊応力条件とを重ね合せたもの

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sin \phi' (\sigma_1' + \sigma_3') + \alpha \{ (u_a - u_w) + f(\sigma) \} \quad \text{---- (3)}$$

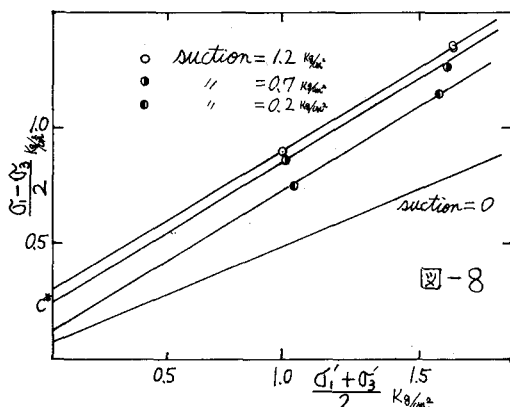
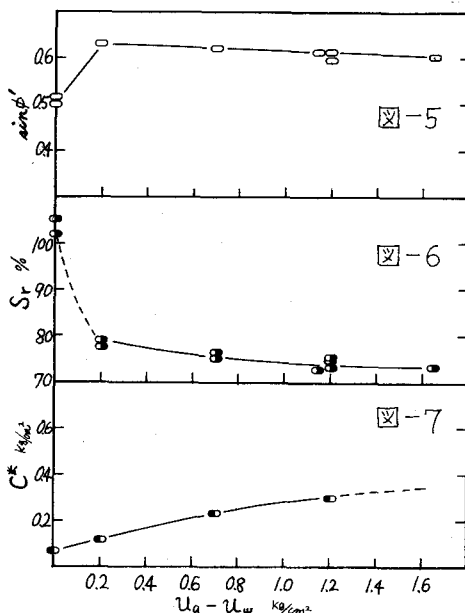
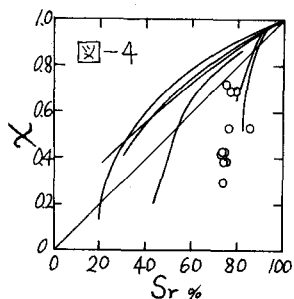
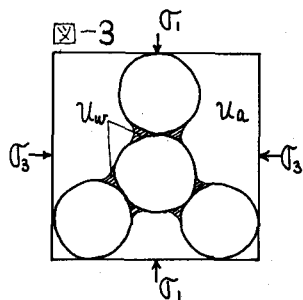
が(3)式である。ここで ϕ' は土の内部摩擦角、 α は土による定数、 $f(\sigma)$ は圧密圧力による粘着力成分である。 $f(\sigma)$ の項を無視して書きなおした式が(4)式である。

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sin \phi' (\sigma_1 + \sigma_3 - 2u_a) + \beta (u_a - u_w) \quad \text{---- (4)}$$

Mohr Coulomb の破壊応力条件に Bishop の有効応力式(1)を適用したものが(5)式で

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sin \phi' (\sigma_1 + \sigma_3 - 2u_a) + 2 \sin \phi' (u_a - u_w) \quad \text{---- (5)}$$

ある。(4)式と(5)式は同じ形である。従来、(5)式の $\sin \phi'$ に飽和土より求めた $\sin \phi'$ を使用して α を求めていた。しかし、筆者らは同じ応力履歴一したがつて α も同じと考えられる一の供試体に対して圧縮せん断と伸張せん断とを行なうことにより、(5)式より不飽和土だけの実験から $\sin \phi'$ と α を求めた。図-4 は、従来の研究者により求められた $\alpha - S_r$ 図に、筆者らの方法により求めた結果(○印)を記入したものである。図-5 よりわかるように、 $\sin \phi'$ は $u_a - u_w$ によらずほぼ一定であるが、飽和土の $\sin \phi'$ だけは小さく、そのため従来の方法で α を求めると1以上の値となる。 $u_a - u_w$ と S_r の関係を書いたものが、図-6 である。 S_r は、 $u_a - u_w$ が小さくなった所で急げきに増加する傾向にある。内部粒子間力の影響を調べるために、有効応力として(2)式を使用して、縦軸に破壊応力



$\sigma_1 - \sigma_3$ をとり、横軸に $\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ をとり、圧縮と伸張の結果をプロットしたものを直線で結び、縦軸の切片を C^* とする(図-8)。ここで、 C^* は内部粒子間力を表わしている。図-8 においては、図-5 よりわかるように、不飽和土 ($u_a - u_w = 0.2, 0.7, 1.2 \text{ kg/cm}^2$) は平行直線群となっているが、飽和土だけは、異なった傾きを示している。図-8 における C^* を $u_a - u_w$ に対してプロットしたものが図-7 である。 C^* が、 $u_a - u_w$ に対して非線形的に増加しているのがわかる。このことは、図-2 の所で述べたことと一致する。

参考文献

- 1) 軽部, 苗村, 北村 「不飽和粘土の圧縮, 伸張せん断」 土木学会関西支部年次学術講演会 1975
- 2) Bishop, A.W. & G. E. Blight 「Some Aspects of Effective Stress in Saturated and Partly Saturated Soils」 Geot. Vol.13 No.3 1963