

1. はじめに、不飽和土への有効応力適用の妥当性に関して、Jennings¹⁾と Bishop²⁾による論争に端を発し、有効応力の減少にもかかわらず圧縮変形(コラプス現象)を生じ、有効応力の原理に反する挙動が指摘された。コラプス現象は、圧縮を微視的にはせん断現象であると考え、定性的には理解できる³⁾とする考えもある。

一方、切り取り斜面や盛土において、比較的少ない降雨量でも、大きな変形・崩壊を生ずることがよく見られる。この現象は、不飽和土の飽和化するかわり、サクションの解放によるものと考えざるを得ない。

そこで、不飽和土の浸水時の挙動を調べるため、不飽和土用三軸 K_0 圧密試験装置を用い、実験的に検討した。

2. 実験装置、用いた装置⁴⁾を図-1に示した。この不飽和土用三軸 K_0 圧密装置は、セル圧およびサクションに変動があっても、軸荷重(σ_a)を一定に保持できる点に特徴がある。装置の詳細は、ここでは省略する。

3. 実験結果、用いた試料は、千曲シルトと呼ぶシルト質土で、その物理的性質は $G_s=2.71$, $LL=34$, $PI=13$ 。

a. 浸水飽和による K_0 -除荷と軸荷重の K_0 -除荷、スラリー状の試料を 0.5 kgf/cm^2 で予圧密し、 $75 \text{ mm} \phi \times 75 \text{ mm}$ Hに切出した供試体は、まず 0.1 kgf/cm^2 のサクションで脱水された。その後、軸荷重の増加とサクションによる脱水を繰返ししながら、供試体は K_0 状態を保持された。その制御の状況が図-2の○印である。サクションが 0.6 kgf/cm^2 , $\sigma_a - u_a = 1.4 \text{ kgf/cm}^2$ になったところで、 $(\sigma_a - u_a)$ を一定に保ちながら、サクションを徐々に解放した。このサクション解放による除荷に対し、わずかではあるが、圧縮変形が進行する。また、 $\chi=1$ と仮定した K'_0 は減少傾向を示す(図-2e)。

一方、同様の手法で同じ応力状態まで載荷・脱水を行なった後、軸荷重を除荷すると、サクションの解放とはまったく逆の現象が示された(図-2中、□印)。これは

飽和土の K_0 -除荷と同様の挙動である。

この二つの挙動を有効応力経路で示すと、図-3が得られる(締固め土の破壊線もあわせて示した)。軸圧減少による除荷過程○→①では、不飽和土の飽和土と同様の傾向を示すのに対し、浸水飽和によるサクション解放では、①→②へとまったく別の経路をたどる。有効応力経路が②→②へ進むことは、飽和化にともない、応力比(σ'_v/σ'_h)が増し、軸ひずみが進行すると解釈できる。不飽和土のコラー

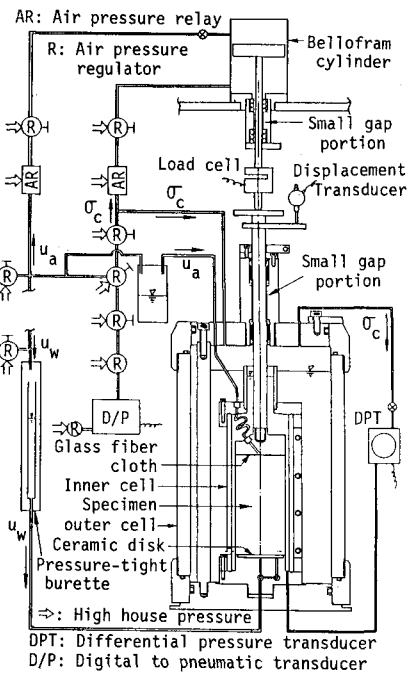


図-1 不飽和土用 K_0 圧密装置

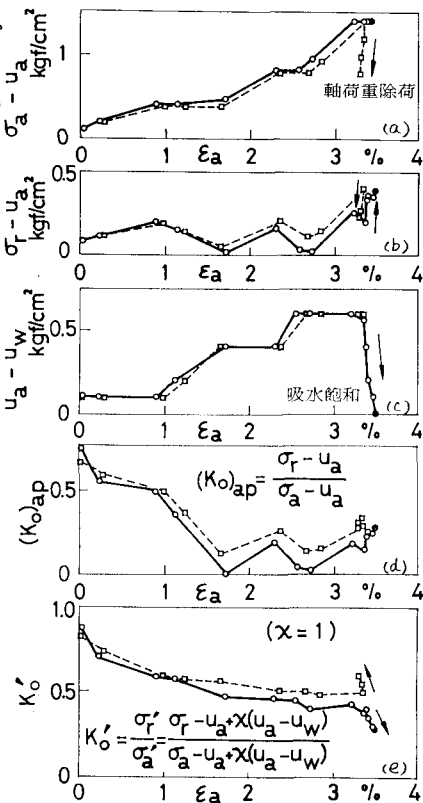


図-2 不飽和土 K_0 圧密時の
応力、 K_0 -ひずみ関係

プス現象もこの延長上の問題と思われる。

図-4に、 K_0 -除荷時の解釈を模式図で示した。不飽和土の軸荷重の K_0 -除荷では、飽和土と同様に、平均主応力 σ'_m 減少による変形と、応力比 (σ'_a/σ'_r) 減少による変形の重ね合わせにより説明できる。しかし、浸水飽和による K_0 -除荷の場合には、この二つの挙動だけでは説明がつかず、破綻で囲んだ“有効応力の外の世界”の何かを考えねばならない。両者の有効応力経路がまったく逆になるということは、変形問題すなわち K_0 -除荷経路問題を有効応力の原理で統一的に表示できないことを示している。

b. 締固め土の浸水飽和、最適含水比のやや乾燥側で締固めた供試体の K_0 圧密、浸水によるサクション解放の結果を図2、3と同様の表示で図5、6に示した。浸水飽和による K_0 -除荷では、この場合でも、軸荷重の K_0 -除荷とは逆の経路をたどる。

サクションは、巨視的に見ると等方圧と同様に扱える。しかし、微視的には、水は土粒子間の接点に付着した状態にあり、その表面張力により骨格構造を保持しようとする特性がある。これは、圧密に対する剛性を増す。またこの剛性も、浸水飽和することにより失われる。比較的密な状態にあっても、外力が卓越していると、水浸により圧縮変形が生ずると言える。Barden⁵⁾が定性的に示したコラプスが生ずる条件とも一致してくる。

4. まとめ。これまで、圧密リングを用いた圧密試験から、図-6 締固め土の K_0 応力経路コラプス現象を論ずるものが大部分であった。ここでは、同様の応力状態を再現できる三軸 K_0 圧密試験装置を用いて、有効応力経路について調べた。その結果、一次元状態でのサクション解放によるコラプス現象は、応力比の増加に伴うせん断変形現象であること示した。しかしながら、外力による項とサクションによる項を同列に扱うBishopの不飽和土有効応力式は、せん断破壊時には妥当であると考えられるが、変形問題に対する有効応力式では、サクションの解放時、サクションによる項と外力とは同列に扱えないと言える。浸水によるサクション解放で、有効応力経路が破壊線に逆ずく挙動は、これまで示されていない現象である。この研究は、東京大学生産技術研究所で行った。実験に際し御世話いただいた土壌研究室の関係各位に末筆ながら感謝の意を表します。

【参考文献】1) Jennings, J. E. and Burland, J. B. (1962): Geotechnique, Vol. 12. 2) Bishop, A. W. and Blight, G. E. (1963): Geotechnique, Vol. 13. 3) 八木剛男(1985): 東横工大学部紀要, 第10巻4号. 4) Okochi, Y. and Tatsuoka, F. (1984): Soils and Found., Vol. 24-3. 5) Barden, L., Madedor, A. O. and Sides, G. R. (1969): Proc. ASCE, Vol. 95, SM1.

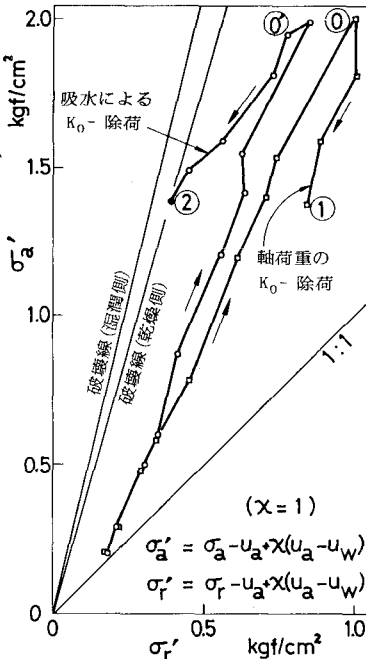


図-3 不飽和土 K_0 圧密時の有効応力経路。

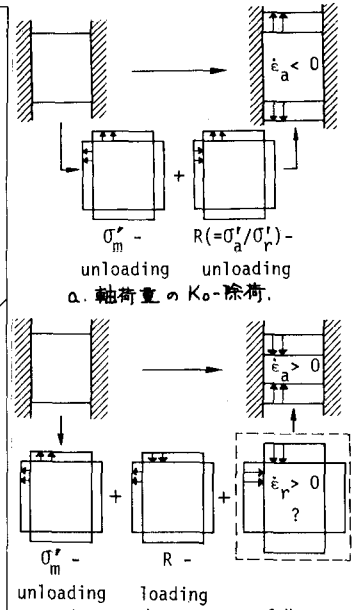


図-4 K_0 -除荷時の解釈。

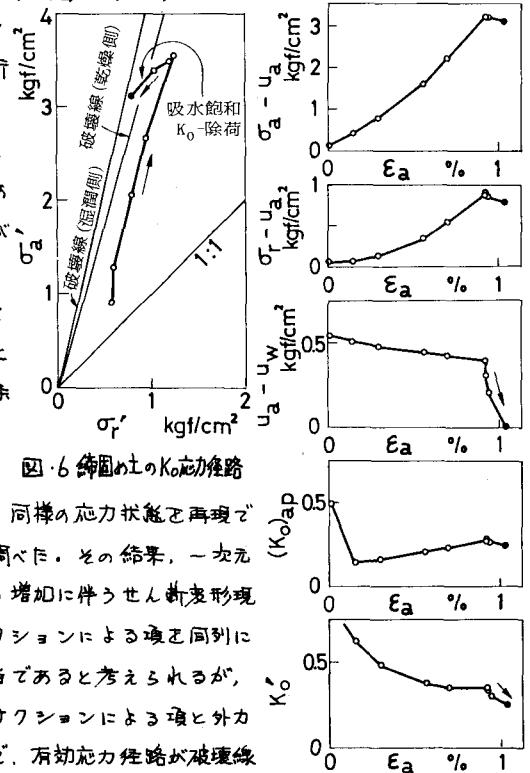


図-5 締固め土の K_0 圧密。