

III-153

不飽和土の体積変形特性について

岡山大学工学部 正会員 西垣 誠
岡山大学大学院 学生員 ○孫 躍
岡山大学工学部 正会員 河野 伊一郎

1. まえがき

不飽和土と飽和土の区別は 不飽和土の体積変化が飽和土より非常に複雑な変動するためである。たとえば、不飽和土には、水の浸透や吸水などより体積膨張、コーラプス(Collapse)の現象がある。不飽和土の体積ひずみの変化についての研究は、不飽和土の変形およびせん断など力学特性に関する研究において、重要である。なお、不飽和土の体積ひずみ構成式は、不飽和土の弾塑性構成式において、一つの重要な構成部分である。従来より、不飽和土の体積ひずみとサクションおよび拘束応力に関する構成式がある。しかし、不飽和土の膨張およびコーラプスの発生における、サクションを予測することが非常に困難であることより、このような構成式では表現しにくい。本文には、実験データより体積ひずみの変化特徴を議論し、体積変形・飽和度・圧密応力の構成式を提案する。この体積ひずみ構成式により、浸水より生じたコーラプス、膨張体積ひずみを予測できる。最後に、二つの試験データを用いて、この構成式を検証した。

2. 不飽和土の体積ひずみ変化特徴

不飽和土には、液相の変化とともに力学性質が常に変化している。土の粘土成分の差異では、浸潤より膨張及びコーラプスの現象が発生することがある。この二つの現象はまったく逆の体積変形で、影響要素も多い。膨張とコーラプスが発生するかどうかは、上載応力または拘束圧力と関係がある。たとえば、コーラプス性を持つレス(loess)土の一軸圧縮浸潤試験においては、上載応力 P が コーラプスの発生する圧力 P_0 より大きくなると、浸潤よりコーラプスが発生する。コーラプス量は、上載応力 P の増加とともに増加している。図-1 に、以上のことを示した。また、膨張性を持つ粘土に対しては、上載応力 P が膨張圧力 P_0 より小さくなると、浸潤より膨張が発生する。図-2 に、不飽和土の体積ひずみの変化特徴を示している。ここには、膨張が発生した後、再載荷曲線（図-2 に L1 曲線）は、ほぼ初期圧密曲線と平行とする。以上の不飽和土の体積変化を予測するために、次に、体積ひずみの構成式を提案する。

3. 体積ひずみの構成式

不飽和土では、含水比または飽和度の変化とともに、膨張・コーラプスひずみが生じるほかに、土の弾性係数も変化する。ここでは、不飽和土の体積ひずみは次のように仮定する。

$$\varepsilon_v = \frac{de}{1+e_0} = \frac{de_n}{1+e_0} + \frac{de_r}{1+e_0} \quad (1)$$

ここでは、 $de_n/(1+e_0)$ は浸潤がないとき、拘束圧力 σ だけの变化より生じる体積ひずみで、次の式で計算できる。

$$\frac{de_n}{1+e_0} = \frac{\lambda(S_r)}{1+e_0} \frac{dP}{P_0} \quad (dS_r=0) \quad (2)$$

ここでは、 $\lambda(S_r)$ は、一定の飽和度に対応する圧縮係数であり、飽和度の関数である。図-3に、式(2)の $\lambda(S_r)$ の変化関係を示している。

式(1)の $de_r/(1+e_0)$ は、拘束圧力 σ が一定ときに、浸

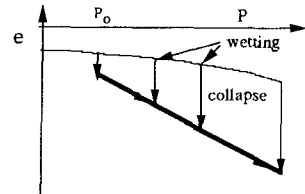


図-1. コーラプスがある不飽和土の典型的な一軸試験結果¹⁾

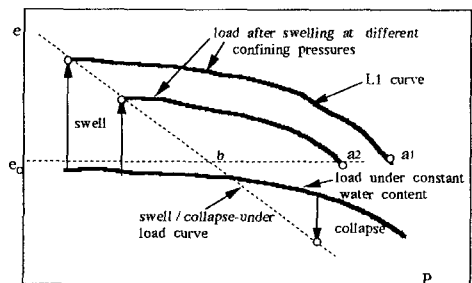


図-2. 膨張、コーラプスがある不飽和土の $e-p$ 曲線関係¹⁾

潤より生じる体積ひずみである。 $de_r/(1+e_0)$ 部分は主に膨張、コラプスひずみである。この部分のひずみの計算に対しては、浸潤より生じた膨張、コラプス体積ひずみはそれぞれ $\varepsilon_v \sim Sr$ 座標に双曲線として表現できると仮定する。図-4には $de_r/(1+e_0)$ の計算概念図を示し、次の式を用いる。

$$\frac{de_r}{1+e_0} = \frac{(Sr-Sr_0)}{a + b(Sr-Sr_0)} \quad (d\sigma=0) \quad (3)$$

ここで、 e_0 、 Sr_0 はそれぞれ浸潤前の初期間隙比と飽和度である； a 、 b は、双曲線の係数で、拘束圧力 σ の関数である。図-4には、式(3)の変化と a 、 b の求める過程を示した。

4. 構成式の検証

ここでは、試験データを用いて、式(3)の係数を求めて、試験結果をシミュレーションする。図-5には、膨張体積ひずみの試験と計算結果を示した。試験結果と計算結果を比較したところ、非常に良い結果が得られることがわかる。この図の結果より、浸潤より生じた膨張ひずみと飽和度の変化関係が基本的に双曲線で表せることがわかる。図-6には、レス(loess)のコラプスひずみの試験と計算結果を示した。この図の結果からも、拘束圧力 σ が大きく場合に、浸潤より生じたコラプスひずみと飽和度の変化関係が基本的に双曲線と一致することがわかる。拘束圧力 σ が小さく場合には、双曲線の最初の所で、試験結果と計算結果の誤差があるが、双曲線の後半において、試験結果と計算結果が基本的によく一致している。

5. おわり

本文において、提案した不飽和土の体積ひずみの構成式は、膨張、コラプスひずみの変化を予測できる。実際には、この式を使用するときには、不飽和土の膨張、コラプスが発生する判定条件が必要である。したがって、今後、多くのデータを検討して、不飽和土の体積ひずみの構成式を完成する。

参考文献 1) E. E. Alonso. (1987) " Special problem soils. General Report (Session 5)" 9th European Conf. SMFE, Dublin, August 31, 1987; 2) Brackley, I. J. A. (1975). Swell under load. Proc. 6th. Reg. Conf. for Africa on SMEF, 1:65-70. Durban.; 3) Dong, S. Y & Liu, Z. D (1987) " The constitutive relationship of collaps soil" The research report of Dept. of Hydraulic Engr. The Shaanxi Inst. of Mech. Eng. Xian. China. (in chines).

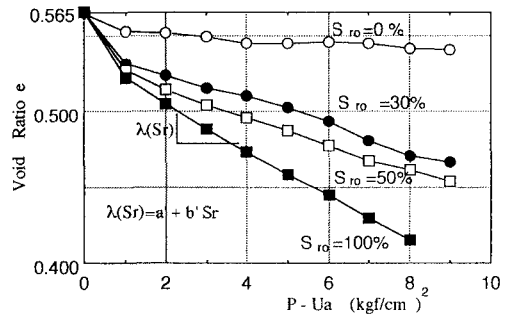


図-3. 締め固めた不飽和土の $e-P$ 曲線 (まき土)

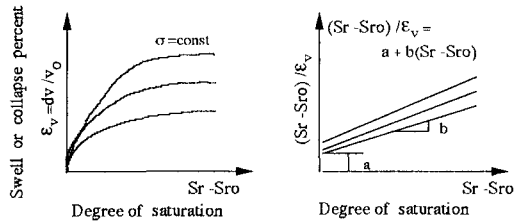


図4. 膨張、コラプス体積ひずみの構成式の概念図

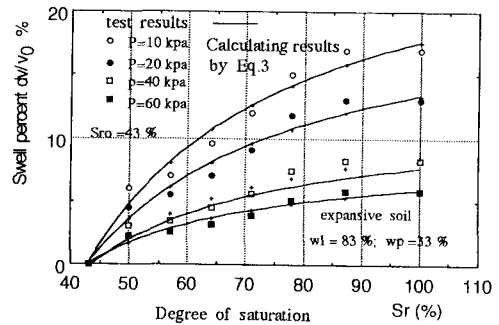


図-5. 膨張体積ひずみと飽和度の変化関係²⁾

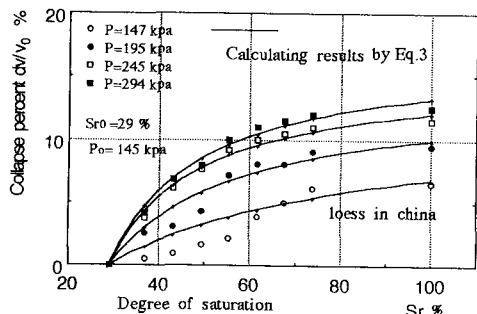


図-6. レスのコラプス体積ひずみと飽和度の変化関係³⁾