

Ⅲ-199

不飽和粘性土の圧縮時およびせん断時のコラプス現象とその解析

北陸電力（株）	正会員	○滝脇	泰将
名古屋工業大学	〃	松岡	元
〃	〃	加藤	正司
〃	〃	孫	徳安

サクシヨンの変化が不飽和土の変形・強度特性に与える影響を、サクシオンを減少させコラプスを生じさせる応力経路を含んだ三軸試験結果に基づいて考察した。そして、粘着成分を有する摩擦性材料に対する拡張SMPに基づく弾塑性構成式¹⁾を一部拡張したもの²⁾によりコラプス時の変形も含めて解析した。

1. 試料および実験概要

試料は市販の白色粉末粘土 ($G_s=2.71$, $w_L=40\%$, $I_p=12.3$) を用いた。この試料を気乾状態から含水比を約26%に調整後、締め固めて直径3.5cm、高さ8cmの供試体として実験を行った。実験装置は不飽和土用に改造した三軸試験装置を用いた。なお、供試体の体積は側方変位計により供試体の中心と1/4点で直径を測定し、供試体の変形形状を2次曲線と近似して求めている。実験はすべて $p=20\text{kPa}$ 、サクシオン $S=49\text{kPa}$ をかけた状態を実験開始応力点（図-1, 2中のA）とし、せん断は排気排水条件下で応力制御で行った。図-1と図-2はそれぞれサクシオン S を減少させコラプスを生じさせる過程を含む三軸圧縮試験および三軸伸張試験の応力経路図である。なお、図-1の等方圧縮時にコラプスさせた試験結果については昨年度のデータ³⁾も引用している。

2. サクシオンを変化させた三軸試験およびその考察

図-3はサクシオンの減少過程 ($A \rightarrow D$, $C_0 \rightarrow D_0$, $C_1 \rightarrow D_1$, $C_2 \rightarrow D_2$, $E_2 \rightarrow F_2$, $G_1 \rightarrow H_1$ の経路) を応力経路に含む三軸試験の破壊時のモール円を示している。これらのモール円に対する包絡線を描くと図のように原点を通る直線となった（サクシオンによるボンド応力 $\sigma_0=0$ ）。これより、サクシオンの減少によって生じるコラプス現象は等方圧縮時、三軸圧縮せん断時、三軸伸張せん断時という応力状態によらず、ボンド応力 σ_0 を消失して飽和状態に近づく構造の安定化過程とみることができる。図-4, 5は等方圧縮時にサクシオンを減少させる過程 ($A \rightarrow D \rightarrow D_2 \rightarrow F_3$, $A \rightarrow C \rightarrow C_2 \rightarrow D_2 \rightarrow F_3$ の経路) を含む三軸圧縮試験結果について点Aから破壊時の応力点 F_3 までの間隙比 e を p に対して整理したものである。図中のプロットは実測値を示している。実線は提案式^{1), 2)}による解析結果であり、解析値がプロットによって隠れている場合は水

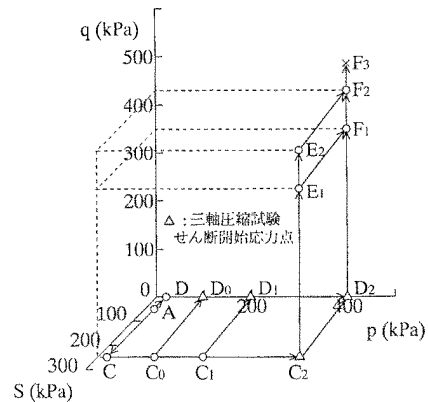


図-1 サクシオンを減少させる過程を含む三軸圧縮試験の応力経路図

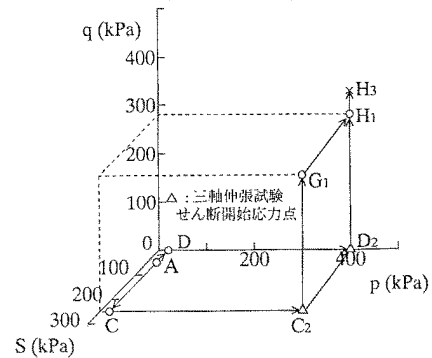


図-2 サクシオンを減少させる過程を含む三軸伸張試験の応力経路図

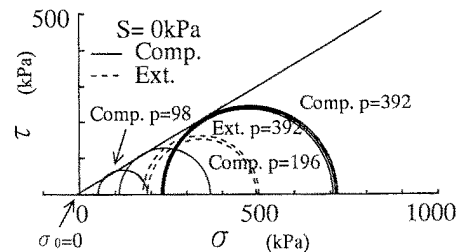
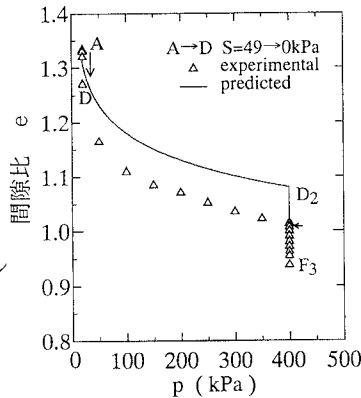
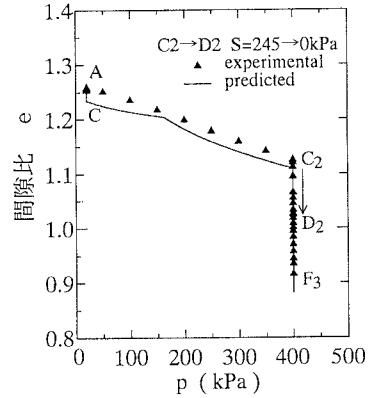


図-3 破壊時のモール円

平方向の小矢印によって解析値の最終点を示している。両図よりサクシジョンの減少により生じたコラプス過程で、間隙比が大きく減少しているのがわかる。モデルによる解析結果は実測された $e \sim p$ 関係をほぼ説明している。図-6, 7, 8はそれぞれせん断時にサクシジョンを減少させる過程を含む3経路の一部（ $A \rightarrow C \rightarrow C_2 \rightarrow E_1 \rightarrow F_1$ 、 $A \rightarrow C \rightarrow C_2 \rightarrow E_2 \rightarrow F_2 \rightarrow F_3$ 、 $A \rightarrow C \rightarrow C_2 \rightarrow G_1 \rightarrow H_1 \rightarrow H_3$ の下線部分）における三軸


図-4 $e \sim p$ 関係

図-5 $e \sim p$ 関係

圧縮試験および三軸伸張試験結果（図中の黒のプロット）を、 $q/p \sim \varepsilon_d (=2(\varepsilon_1 - \varepsilon_3)/3) \sim \varepsilon_v$ 関係で整理したものである。これらの図には、比較のため同じ $p = 392 \text{ kPa}$ のもとの $S = 245 \text{ kPa}$ 一定（白三角）と $S = 0 \text{ kPa}$ 一定（白丸）の三軸圧縮試験および三軸伸張試験結果もそれぞれプロットしてある。解析結果としては、 $S = 245 \text{ kPa}$ 一定（一点鎖線）、 $S = 0 \text{ kPa}$ 一定（実線）および $S = 245 \rightarrow 0 \text{ kPa}$ に変化（破線）が示してある。これらの図からせん断時にサクシジョンを減少させる過程では、せん断ひずみと体積ひずみがともに大きく発生しているのがわかる。なお、提案モデルによる解析値は実測された $q/p \sim \varepsilon_d \sim \varepsilon_v$ 関係をほぼ説明している。

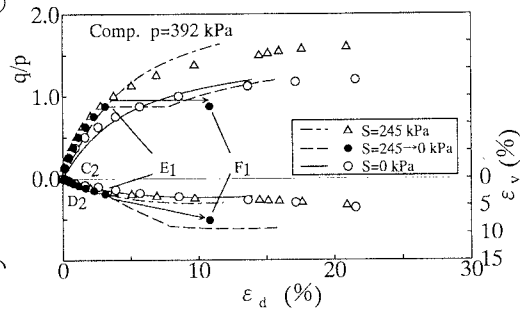
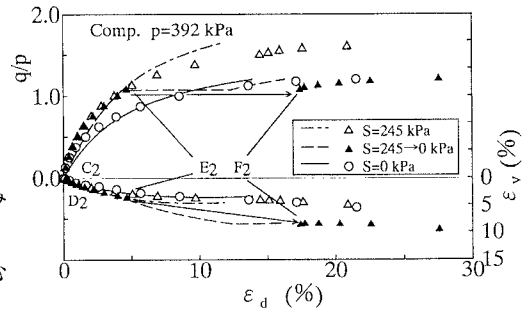
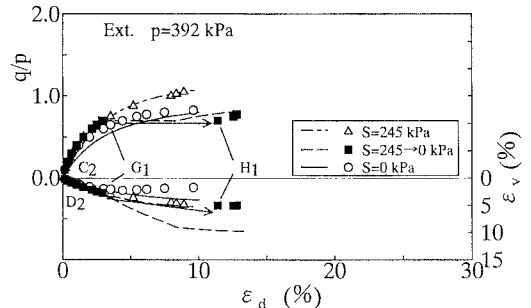
3. まとめ

コラプス現象は等方圧縮時、三軸圧縮せん断時、三軸伸張せん断時という応力状態の違いによらず、ボンド応力 σ_o を消失して飽和状態へ近づく構造の安定化過程とみることができる。また、拡張 SMP に基づく c 、 ϕ 材料の弾塑性構成式によるモデル^{1), 2)} がコラプス現象を含む不飽和土の応力・ひずみ挙動を妥当に表現できることが確認された。

謝辞 実験方法に関して助言を頂いた(株)中部地質 阿部 廣史氏に謝意を表する。

参考文献

- 1) 松岡・孫：粒状材料と金属材料を両端に含む統一的な弾塑性構成式とその適用，土木学会論文集，No. 505/Ⅲ-29，pp. 201-210，1994。
- 2) 加藤・松岡・孫：土木学会（松山）発表予定
- 3) 加藤・松岡他：不飽和土のコラプス現象とその変形強度特性への影響，第29回土質工学研究発表会，pp. 619-622，1994。


図-6 $q/p \sim \varepsilon_d \sim \varepsilon_v$ 関係 (Comp.)

図-7 $q/p \sim \varepsilon_d \sim \varepsilon_v$ 関係 (Comp.)

図-8 $q/p \sim \varepsilon_d \sim \varepsilon_v$ 関係 (Ext.)