

III-203

不飽和土のコラプス時の変形・強度特性

名古屋工業大学 正会員 ○加藤 正司 正会員 松岡 元
(株)建設技術研究所 川田 善久 愛知県道路公社 加藤 正純

不飽和土に特有なコラプス(サクシヨンが減少して発生する体積圧縮現象)時に生じる変形とコラプス後の強度特性について調べるために、等方圧縮過程とせん断過程中にサクシヨンを減少させる応力経路を含む三軸圧縮試験を行ったので、その実験結果について報告する。そして、サクシヨン減少時に生じるコラプスが飽和状態へと近づく構造の安定化過程であることを示す。なお、有効応力は $\sigma' = \sigma - u_a$ (σ :全応力、 u_a :間隙空気圧)で定義し、応力記号として平均有効主応力 $p = (\sigma_a' + 2\sigma_r')/3$ 、サクシヨン $S = u_a - u_w$ (σ_a' : σ_r' :軸圧および側圧、 u_w :間隙水圧)を用いる。

1. 実験概要 実験に用いた試料および装置は既報¹⁾と同様である。実験の応力経路は、図-1中の点A($p = 20\text{kPa}$ 、 $S = 50\text{kPa}$)から $S = 245\text{kPa}$ まで S を増加した後、 p を増加してから S を減少する経路(図-1中の $A \rightarrow C \rightarrow C_0 \rightarrow D_0$ 、 $A \rightarrow C \rightarrow C_1 \rightarrow D_1$ 、 $A \rightarrow C \rightarrow C_2 \rightarrow D_2$ の経路)と、点Aから $S = 0\text{kPa}$ まで S を減少した後、 p を増加する経路(図-1中の $A \rightarrow D \rightarrow D_1$ 、 D_2 の経路)の2種の経路を経た試料に対して、最終点 D_0 、 D_1 、 D_2 でそれぞれ p 、 S 一定の三軸圧縮試験を行った。また、せん断過程中的サクシヨン減少により生じるコラプスについて調べるために、点 C_2 から $p = 392\text{kPa}$ 、 $S = 245\text{kPa}$ 一定でせん断を開始して、途中でせん断応力 $q = 342\text{kPa}$ 一定でサクシヨンを $S = 245\text{kPa}$ から 0kPa まで減少する経路を含む三軸圧縮試験を行った。なお、せん断はすべて排気排水条件下で応力制御で行った。

2. 実験結果および考察

1) 等方圧縮過程でのコラプス 図-2は $S = 0\text{kPa}$ に保ちながら p を増加する圧縮過程($D \rightarrow D_1$ 、 $D \rightarrow D_2$ の経路)と $S = 245\text{kPa}$ に保ちながら p を増加して圧縮後、 p 一定で $S = 0\text{kPa}$ まで S を減少する経路($C \rightarrow C_0 \rightarrow D_0$ 、 $C \rightarrow C_1 \rightarrow D_1$ 、 $C \rightarrow C_2 \rightarrow D_2$ の経路)での間隙比 e の変化を示している。この図から、点 D_0 、 D_1 、 D_2 での間隙比が2種の経路でほぼ等しくなっていることがわかる。また $D \rightarrow D_1$ 、 $D \rightarrow D_2$ の経路では飽和度が90%程度になりほぼ飽和していたことを考慮すると、 $C_0 \rightarrow D_0$ 、 $C_1 \rightarrow D_1$ 、 $C_2 \rightarrow D_2$ の経路で生じるコラプス現象はボンド応力 σ_0 を消失して飽和状態へ移行する構造安定化過程と見ることができる。このボンド応力 σ_0 を消失する現象は、点 C_1 、 C_2 での p 、 S 一定($p = 196$ 、 392kPa 、 $S = 245\text{kPa}$)の三軸試験結果¹⁾では $\sigma_0 = 60\text{kPa}$ であったのに対して、図-3の破壊時のモール円の結果が示すように、点 D_0 、 D_1 、 D_2 において $\sigma_0 = 0\text{kPa}$ であることから確認することが

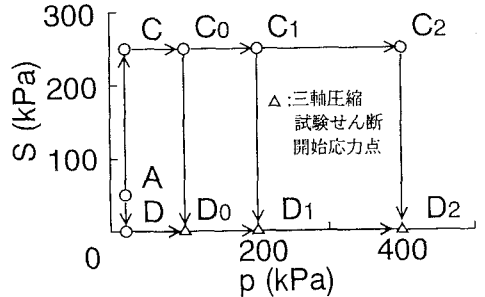


図-1 実験の応力経路

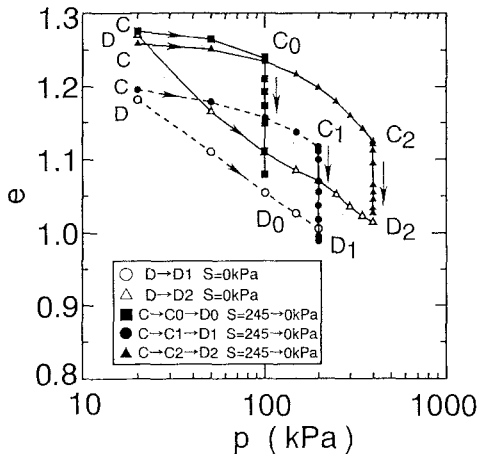


図-2 サクシヨン減少時の間隙比の変化

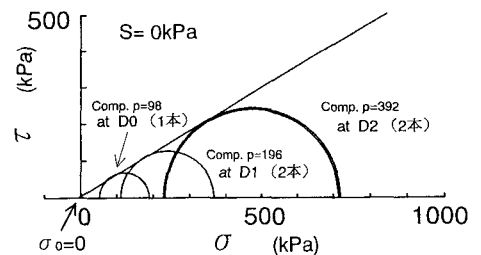


図-3 破壊時のモール円とボンド応力 σ_0

できる。なお図-3では前述の2種の経路を経た試料の破壊時の応力比がほぼ等しいため、点D₁、D₂でのモール円は2個重なって描かれており、計5個のモール円が書かれている。これらより、コラプス現象直後でも、飽和状態で圧密を受けた後でも、 p 、 S （=0 kPa）が同じであれば強度特性は変わらないと推定される。

2)せん断過程でのコラプス 図-4は、せん断中の応力比 q/p ～間隙比 e 関係を示している。図中のプロットは、点C₂から $p=392$ kPa、 $S=245$ kPa一定でせん断を開始し、 $q=342$ kPa一定でサクシオンを減少させた結果（●印）と、図-1に示すA→D→D₂の経路を経て、点D₂より $p=392$ kPa、 $S=0$ kPa一定で三軸圧縮せん断した飽和試料の結果（○印）をそれぞれ示している。サクシオン減少中にコラプスを生じ、●印のプロットの最終点が飽和状態の結果（○印）とほぼ等しくなっている。

（なお、以下の図中において○印と●印のプロットは同じ試験結果を示している。）図-5は、せん断中の主応力比 σ_1/σ_3 ～主ひずみ（ ε_1 、 ε_3 ）関係を示したものである。図-4と同じ傾向を示していることが分かる。図-6は応力比（ q/p ）～せん断ひずみ（ ε_d ）～体積ひずみ（ ε_v ）関係を示したものである。ここで△印のプロットはA→C→C₂の経路を経て点C₂から $p=392$ kPa、 $S=245$ kPa一定でせん断した結果¹⁾を示している。●印のプロットが q/p 一定時のサクシオン減少過程に○印の結果に近づいていることが分かる。この結果から、せん断時のコラプス現象は、 $S=0$ kPaの飽和状態の応力比～ひずみ関係へ近づく過程であると考えられる。 図-7は、主応力比 $\hat{\sigma}_1/\hat{\sigma}_3 \equiv (\sigma_1 + \sigma_0)/(\sigma_3 + \sigma_0)$ ～主ひずみ（ ε_1 、 ε_3 ）関係を示している。ここでサクシオン減少過程でのボンド応力 σ_0 は、図-3と過去の実験結果¹⁾（ $S=0$ kPaのとき $\sigma_0=0$ kPa、 $S=245$ kPaのとき $\sigma_0=60$ kPa）を用いてサクシオン減少時にはサクシオンと σ_0 が比例するものとして求めている。飽和状態の結果（○印）とサクシオン減少によりコラプスを生じる過程を含む結果（●印）が、図-5に比べてより近づく傾向を示している。

参考文献 1) 加藤・松岡ほか、第28回土質工学研究発表会、pp.721-724、1993。

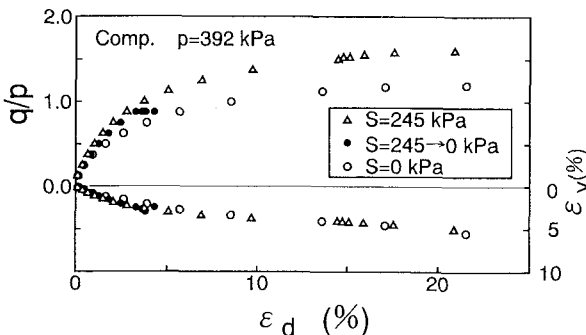


図-6 せん断時の応力比～せん断ひずみ～体積ひずみ関係

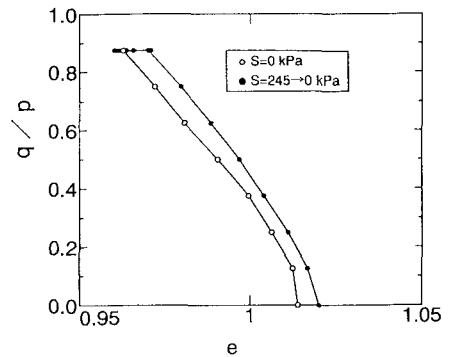


図-4 せん断時の間隙比の変化

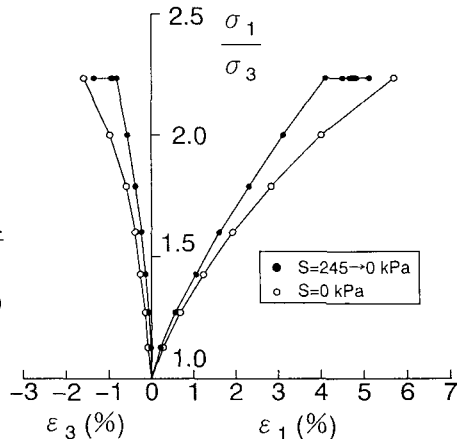


図-5 $\sigma_1/\sigma_3 \sim \varepsilon_1, \varepsilon_3$ 関係

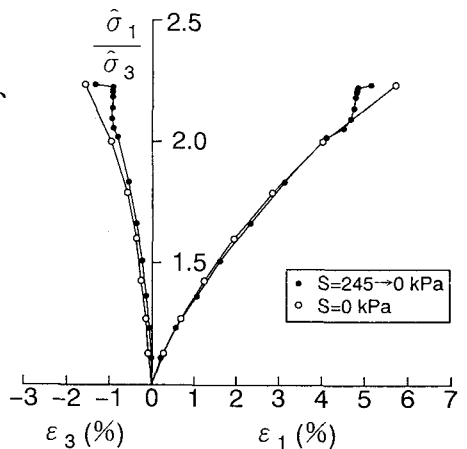


図-7 $\hat{\sigma}_1/\hat{\sigma}_3 \sim \varepsilon_1, \varepsilon_3$ 関係