

山口大学大学院

学生会員 ○中本昌希 後田真里

山口大学大学院

正会員 中田幸男 兵動正幸

西日本高速道路株式会社

正会員 竹國一也

1. 序論

豪雨によるまさ土斜面の表層崩壊を検討するため、まさ土の飽和度の変化による表層の応力条件下におけるせん断強度の変化を把握することは重要なことである。本研究では水分状態の変化と斜面表層の応力状態を再現できる低圧単純せん断試験機を用いて試験を行い、不飽和土のせん断強度特性を明らかにすることを試みた。

2. 低圧単純せん断試験およびサクシジョンの測定

本研究で用いた低圧単純せん断試験機¹⁾を写真-1に示す。この試験機の特徴として、せん断時において供試体に単純せん断変形を与えることができる。これは、写真-2に示すようにせん断箱が9枚の積層板からなりそれぞれの積層板が独立してせん断方向に変位をすることで可能となっている。また、積層板にローラーが組み込まれ積層板間の摩擦を軽減する工夫により、低圧条件下で試験が可能となっている。さらに、サクシジョンが制御可能となっている。ひずみの定義として、せん断中の水平変位をせん断開始時の供試体高さで除したものをせん断ひずみ、せん断中の垂直変位を供試体高さで除したものを体積ひずみとしている。供試体の寸法は直径60mm、高さ22.6mmの円柱状である。試験条件は、乾燥密度 $\rho_d=1.339, 1.503, 1.666\text{g/cm}^3$ 、飽和度 $S_r=20, 40, 60, 80, 100\%$ の条件で行い、垂直応力を $\sigma=5.0, 10.0, 21.9, 38.9, 55.9\text{kN/m}^2$ とした。試験方法は、垂直応力により圧密を1時間行った後、せん断速度 $0.2\%/min$ でせん断を行い、せん断ひずみ26%のときのせん断応力をせん断強度とした。

初期サクシジョンの測定はせん断試験と同様の条件で行った。サクシジョンの測定方法は、水圧計内への空気の浸入がないように注意しながら、セラミックディスク上に供試体を設置した後、水圧計により間隙水圧 u_w を測定し、間隙空気圧 $u_a=0\text{kN/m}^2$ として u_a-u_w をサクシジョンとした。本試験では初期サクシジョンの測定とせん断試験は個別に行ったが、供試体は飽和度や密度管理を行っているため同一条件下の供試体で試験が行えたものとする。

3. 初期サクシジョンとせん断強度特性

図-1に初期サクシジョンの測定結果を示す。サクシジョンは飽和度が小さいほど落ち着くまでに時間を要することがわかる。初期サクシジョンの決定方法は、測定中のサクシジョンの10分間の増加量が 0.05kN/m^2 未満になった時の値をサクシジョンの値が落ち着いたとし、その時の値を初期サクシジョンとした。図-2は初期サクシジョンと飽和



写真-1 低圧単純せん断試験機



写真-2 せん断箱および積層板

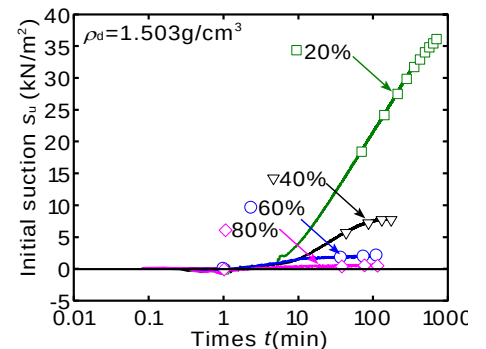


図-1 初期サクシジョンの測定結果

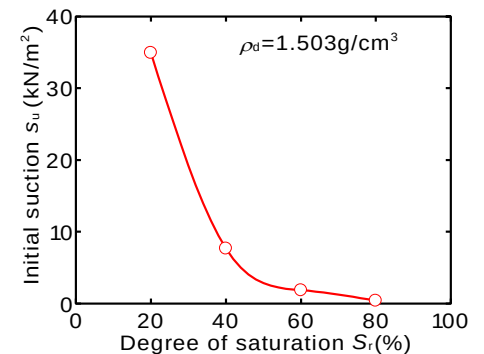


図-2 初期サクシジョンと飽和度の関係

度の関係であり、初期サクシオンは飽和度が増加するほど減少していることがわかる。また飽和度 60%と 80% では初期サクシオンの差が 5.8kN/m^2 であるのに対し、飽和度 20%と 40%では 27.3kN/m^2 の差があり、飽和度の変化による初期サクシオンの変化量は一定でないことがわかる。図 - 3 は各垂直応力におけるせん断ひずみとせん断応力および体積ひずみの関係である。せん断応力は垂直応力が大きいほど増加していることがわかる。また、垂直応力が小さいほど大きな膨張傾向を示すことがわかる。図 - 4 は各飽和度におけるせん断ひずみとせん断応力および体積ひずみの関係である。飽和度 $S_r=20, 60, 100\%$ のときのそれぞれのせん断強度が $44.48, 33.48, 28.99\text{kN/m}^2$ であることから飽和度が増加するほどせん断応力が減少していることがわかる。また飽和度が小さいほど供試体の体積は大きな膨張傾向を示すことがわかる。図 - 5 にせん断強度と垂直応力の関係を示す。垂直応力が増加するに従ってせん断強度は増加するが、これらの関係は非線形を示していることがわかる。このため、ここでは、 $S_r=100\%$ の結果において、垂直応力 0 kN/m^2 のせん断強度が 0 kN/m^2 となるように近似している。また、 $S_r=20, 60\%$ の結果は、 $S_r=100\%$ の結果を基準に、平行移動させて、近似曲線を描いた。このようにして描いた曲線について見ると、概ね実験結果をとらえていることがわかる。このようなことから低圧状態における不飽和まさ土の評価には Bishop²⁾、Fredlund³⁾により提案されたせん断強度式を適用することは難しいといえる。

図 - 6 に初期サクシオンとせん断強度の関係を示す。せん断強度はサクシオンが増加するほど増加することがわかる。ここで、粘着力は各垂直応力におけるせん断強度から飽和度 $S_r=100\%$ でのせん断強度を差し引いた値であるが、この粘着力もサクシオンが増加するほど増加していることがわかる。また、サクシオンが強度に与える影響は拘束圧には依らないことがわかる。

5. 結論

本研究では低圧単純せん断試験により、低圧条件下での不飽和まさ土のせん断強度特性を明らかにした。まさ土は飽和度が減少するほどサクシオンが増加し、せん断応力、粘着力が増加することがわかった。また、試験を行った応力下ではせん断強度と垂直応力の関係は非線形を示すことがわかった。さらに、サクシオンが強度に与える影響は拘束圧には依らないことが認められた。

参考文献

- 1)後田真里,中田幸男,兵動正幸,吉本憲正,不撓乱まさ土のための低圧単純せん断試験装置の開発,第 63 回土木工学会中国支部研究発表概要集,Ⅲ - 45,2011
- 2)Bishop, A. W., Alpan, I., Blight, G. E. & Donald, I. B., Factors controlling the strength of partly saturated cohesive soils,Proc. Am. Soc. Civ. Engrs Research Conf. Shear Strength of Cohesive Soils, 503-532,1960.
- 3)Fredlund, D. G., Morgenstern, N. R. & Widger, A., Shear strength of unsaturated soils,Can. Geotech. J.,Vol. No. 3, 313-321,1978.

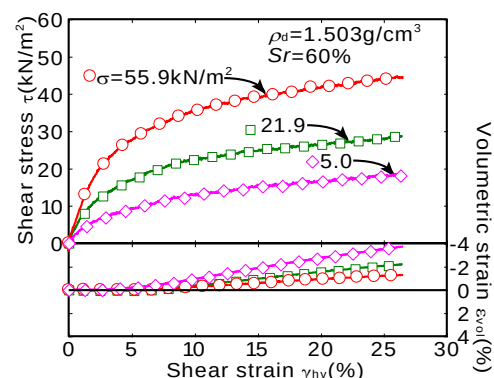


図-3 垂直応力の変化におけるせん断ひずみとせん断応力および体積ひずみの関係

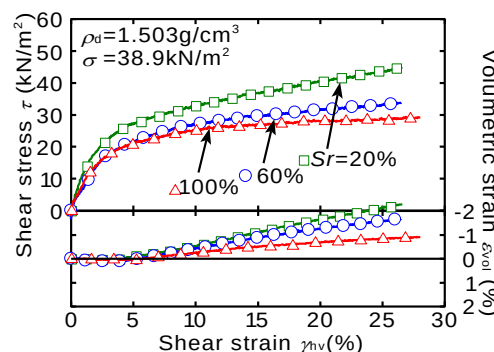


図-4 飽和度の変化におけるせん断ひずみとせん断応力および体積ひずみの関係

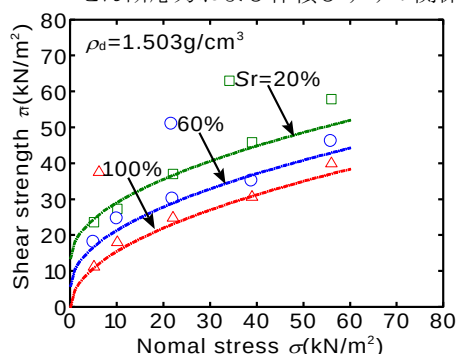


図-5 せん断強度と垂直応力の関係

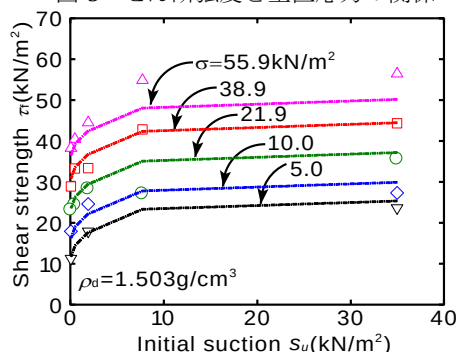


図-6 初期サクシオンとせん断強度の関係