サクションの測定方法による不飽和せん断強度の推定に関する研究

岡山大学大学院	正会員	○金	秉洙
岡山大学大学院	学生会員	任	道駒
埼玉市	非会員	岩田	成史
岡山大学大学院	正会員	竹下	祐二
神戸大学大学院	正会員	加藤	正司

1. はじめに

近年,河川堤防の決壊や斜面崩壊などの不飽和地盤災害が頻繁 に発生している。不飽和地盤においての力学挙動を一定精度で推 定可能な簡易的方法が確立された場合,施工現場での作業効率や 安全性の向上に繋がれると考えられる。本研究ではサクション応 力¹⁾の導出に関係のあるサクションに着目し,サクションの導出 方法の違いによるサクション応力(*p*_s)を比較することで,実用性の 高い不飽和地盤のせん断強度の推定法について検討した。そのた め,本研究では水分特性曲線から間接的にサクションを推定する Suction stress-SWCC Method (SSM)²⁾と従来の方法である直接測定 法(供試体の下のペデスタルで間隙水圧を測定)による両結果を 比較した。異なる方法から求められた二つのサクションによるサ クション応力を不飽和土力学理論に基づき導出し,ピークせん断 強度に対する適用性について検討を行い,さらに限界状態につい ても考察した。

2. Suction stress - SWCC Method (SSM)について

SSM とは不飽和土の強度試験においてサクションがせん断応 力と体積変化に及ぼす影響についてサクション応力(*p*_s)の概念を 取り入れたものである²⁾。この方法は,水分特性曲線に基づいて せん断面におけるサクションを求め,破壊時の飽和度(**S**_r)と共に



$$p_{s} = \frac{S_{r} - S_{r0}}{1 - S_{r0}} \times s^{*} \qquad ({\rm zt-1})$$

サクション応力を決定することで、不飽和土のせん断強度を推定する(図-1)。SSM により求めたサクション 応力の式は、式-1 である。ここで、s^{*}は、SSM により水分特性曲線から求めたサクションである。

3. 試験概要及び結果

本研究では、飽和状態の力学特性の把握のため圧密非排水三軸圧縮試験(CU)を行い、不飽和土強度等を測定 すると同時に供試体のサクションを直接測定するために一定含水比圧縮試験(CWCC)を行い、SSM に用いる水 分特性曲線を得るために連続加圧式保水性試験を行った。CU 試験では有効拘束圧力 $\sigma_c = 100$ kPa, 200kPa, 300kPa において初期乾燥密度 $\rho_{di}=1.40$ g/cm³ の DL クレーを対象に行い、強度定数(c, ϕ)や M_p line、限界状態 線(CSL)の傾きを求めた。一方、一定含水比圧縮試験では、拘束圧力 0kPa、初期飽和度 $S_{ri}=30$ %、40%、50%、 60%、70%、80%において計 6 パターンを各 3 回ずつ行った。供試体の作製に関して、初期乾燥密度(ρ_{di})が 1.40g/cm³ となるようにモールドに詰め、0.1%/min のせん断速度でせん断を行った。また、保水性試験により 求められた実験データについて、Fredlund and Xing (1994)³の提案式を用いて水分特性曲線を推定した(図-2)。 サクション応力(p_s)の算出に用いる残留飽和度(S_{ro})について、直接測定法では残留飽和度をゼロとしているが、

キーワード サクション,間隙水圧,SSM,不飽和せん断強度,サクション応力

連絡先 〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中 3-1-1 岡山大学大学院 環境生命科学研究科 TEL 086-251-8992

表一	定義ご。	とに得ら	れた残留強度

				残留飽和度, Sro(%)			
	(i)	Sroを0%とする			0		
	(ii) 1500kPa のサクションを持つ際の飽和度を Sroとする				3.52		
	(iii)	サクション変化時の飽和度の変化量が微量となる飽和度	£を Sroとする		7.58		
SSM	【を用	1いた推定法については 3 つの残留飽和度の定義に	25				
より	求め	た推定値の差について検討した(表-1)。			<u>}}</u>		
4.	不飽	和土せん断強度に対するサクション応力の適用	¥ [₫ 15				

SSM を用いる推定に関して、3 つの残留飽和度の定義の違いによりサクション応力(式-1)の結果に差が発生した。サクション応力は、初期飽和度 60%付近でピーク値が得られており、残留飽和度が高いほど低下した(図-3)。つまり、破壊時の飽和度や残留飽和度の定義がサクション応力の推定に重要であることが明らかになった。

一方,一定含水比圧縮試験における(p_{net-f} , q_u)の関係につい て直接測定法と SSM により求めたサクション応力(p_{sf0} , p_{sf2}) を適用した結果図-4 に示す。図により、SSM により求めたサ クション応力(p_{s2})を適用した($p_{net-f} + p_{sf2}$)結果が直接測定法 ($p_{net-f} + p_{sf0}$)の関係より M_p line により近づいた。このような結 果により、不飽和土せん断強度と飽和土の破壊規準との関係 において SSM の方が直接測定法よりその関係性を把握する のに有用であると考えられる。

図-5 は、限界状態におけるサクション応力の適用結果と *McsL* line の関係を示している。ここで、限界状態の軸差応力 は、軸ひずみ 14%付近の残留状態に基づいて求められた。直 接測定法において得られたサクション応力(*psr*^①)と SSM によ り得られたサクション応力(*psr*^②)では、SSM により求められ たサクション応力の適用がより限界状態線に近づく事が示 されている。残留状態では、破壊時と比べ過圧密の影響は少 ないため、これに加えメンブレンによる飽和度の測定誤差や 水分特性曲線のずれ等が、応力点が限界状態線から離れた原 因と判断できる。



5. まとめ

本研究により,不飽和供試体の破壊時と限界状態共に(*pnet, qu*)の応力関係についてサクションによる有効拘 束応力の増分としてサクション応力(*ps*)を適用した結果,応力点が飽和状態での結果に一定な関係を示した。 また,直接測定法より算出されたサクション応力の適用よりも SSM により算出されたサクション応力を適用 した関係の方が飽和状態の応力線に近づく結果となった。

以上の結果より,破壊時サクションの測定方法において直接測定法より SSM がより有用であると考えられる。また,SSM を用いる推定に関して,残留飽和度(*S_{ro}*)の定義の違いによりサクション応力に微量な差が発生した。一般に残留飽和度が高い値をとる粘土やシルト分の多い地盤構造物や,低飽和度の地盤構造物の不飽和強度を SSM により推定する場合,残留飽和度の取り方に十分に留意する必要がある。

参考文献 (1) 軽部ら: 土木学会論文集, 575/Ⅲ-40, pp. 49-58, 1997. (2) Kim et al.: Canadian Geotechnical Journal, 47(9), pp. 955-970, 2010. (3) Fredlund et al.: Canadian Geotechnical Journal, 31(4), pp. 521-532, 1994.