

サクシオン載荷履歴を与えた細粒分を含む砂質土の不飽和繰返し三軸試験

複合技術研究所 正会員 ○木口 峰夫
 鉄道総合技術研究所 正会員 松丸 貴樹
 足利工業大学 正会員 西村 友良

1. はじめに

盛土等の土構造物は不飽和状態にあるが、浸透水や降雨散水の影響を受け、サクシオンが極めて小さくなることもある。また、常時において乾湿の繰返しにより複雑なサクシオンの変化が生じている。このような状況における不飽和土の地震時の強度・変形特性を把握するためには、低サクシオン領域でサクシオンの載荷履歴を考慮した室内土質試験を行うことが重要となる。本研究では、既設盛土等で弱点となりやすい材料である細粒分を含む砂質土を対象に、微細多孔質膜を用いた加圧膜法により非排気・非排水条件での不飽和繰返し三軸試験を行い、サクシオンの載荷履歴やその大きさが動的変形特性に及ぼす影響について検討を行った。

2. 試験概要

2.1 不飽和三軸試験装置の概要

試験装置の概要を図1に示す。試験機の構成は、多孔質膜用ペダスタル、二重セル式三軸セル、圧力計、排水量ならびに体積変化測定用の差圧計、間隙水圧制御用EP・コンバム、二重管ビュレット等からなる。間隙水圧計・間隙空気圧計・セル圧計は、供試体下部の高さに合わせ三軸室の外部に設置した。排水量の変化に伴う間隙水圧の変動は、二重管ビュレット内に負圧を与えることにより水位変動分の水圧を制御した。負圧は、EPとコンバムにより与え、間隙水圧が常に0kPaを保つようにパソコンで自動制御した。

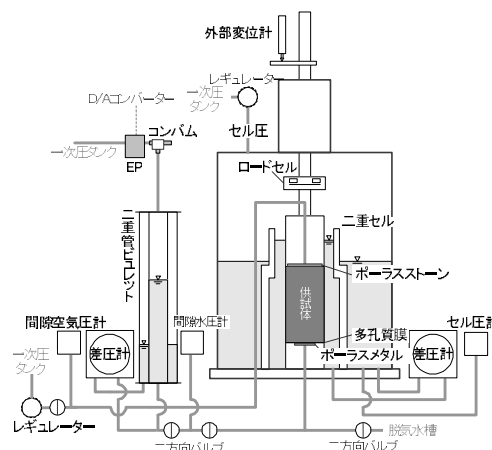


図1 不飽和三軸試験装置の概要

2.2 実験に用いた材料

試料は稲城砂を用いた。その物理特性は、土粒子の比重 $G_s=2.723$ 、50%粒径 $D_{50}=0.134\text{mm}$ 、均等係数 $U_c=9.29$ 、細粒分含有率 $F_c=23.6\%$ であり、粒径加積曲線は図2に示すとおりである。また、突固めによる土の締固め試験(A-c法)では最大乾燥密度 $\rho_{dmax}=1.517\text{g/cm}^3$ 、最適含水比 $w_{opt}=21.6\%$ であった。供試体は、乾燥密度が $\rho_d=1.108\text{g/cm}^3$ 、含水比が13%程度となるように、直径5cm、高さ10cmのモールド内での締固めにより作製した。

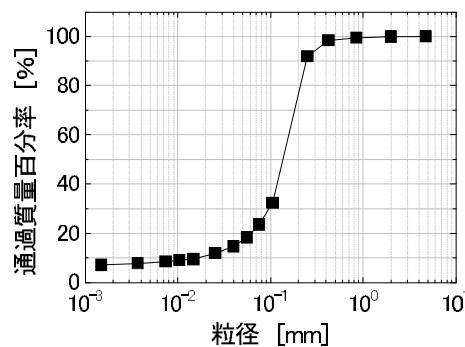


図2 稲城砂の粒径加積曲線

2.3 不飽和繰返し三軸試験の手順

本試験は、サクシオンの載荷履歴を様々に与え、不飽和繰返し三軸試験を5ケース行った。ケースごとに与えたサクシオン載荷履歴を表1に示す。CASE1では、水頭差60cm程度を与えて通水を行って見かけ上飽和とした上で、空気圧を増加させることでサクシオンを20kPa載荷した後に繰返し載荷を行った。CASE2~4ではCASE1と同様の手順で20kPaのサクシオンを載荷した後に、1.5~5.0kPaのサクシオンに低下し、その後繰返し載荷を行った。CASE5では5kPaのサクシオンを与え、繰返し載荷を行った。非排気・非排水条件下の繰返し載荷は、図3に示すように軸ひずみ片振幅0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 5.0%の三角波を各10波、ひずみ制御で与え、周波数は0.001Hzまたは0.0002Hzとした。また、基底応力は $\sigma_{net}=25\text{kPa}$ とした。

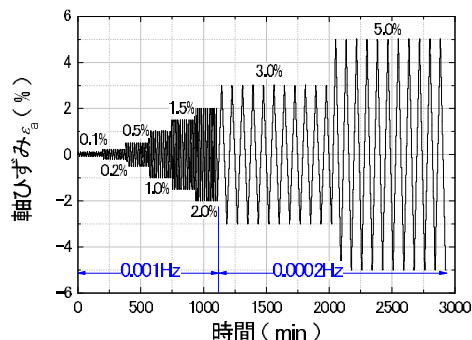


図3 繰返し載荷パターン

表1 試験ケースごとのサクシオン載荷履歴

試験ケース	飽和過程		排水過程			吸水過程		
	uw(kPa)	σ_r (kPa)	ua(kPa)	uw(kPa)	σ_{net} (kPa)	ua(kPa)	uw(kPa)	σ_{net} (kPa)
CASE1	6	20	20	*0→7	25	-	*0→7	25
CASE2			20	0		5		
CASE3			20			2		
CASE4			20			1.5		
CASE5			5			-		

*CASE1: サクシオンの平衡を確認せず非排気・非排水状態にしたところ、7kPaの間隙水圧が残存していたため実質のサクシオンは13kPaで繰返し載荷を行った。

キーワード: 不飽和土 繰返し三軸試験 サクシオン

連絡先: 〒160-0004 東京都新宿区四谷 1-23-6 協立四谷ビル 5F TEL:03-5368-4101 / FAX:03-5368-4105

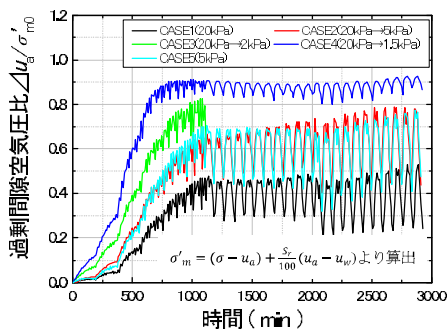


図4 過剰間隙空気圧比の時刻歴

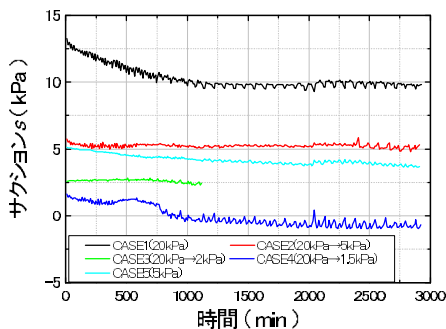


図6 サクションの時刻歴

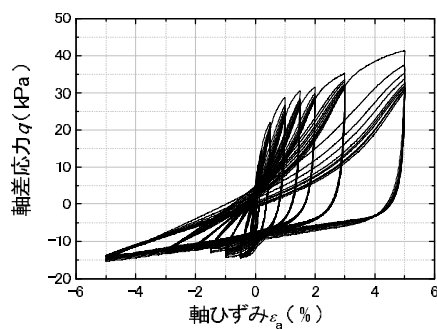


図8 軸差応力q～軸ひずみε_a(%)関係 (CASE2)

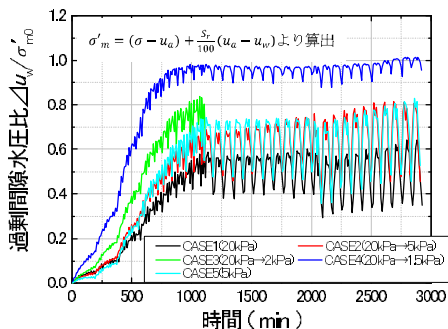


図5 過剰間隙水圧比の時刻歴

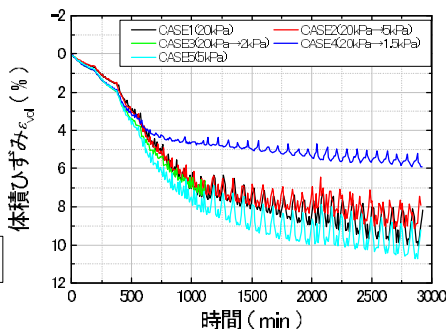


図7 体積ひずみの時刻歴

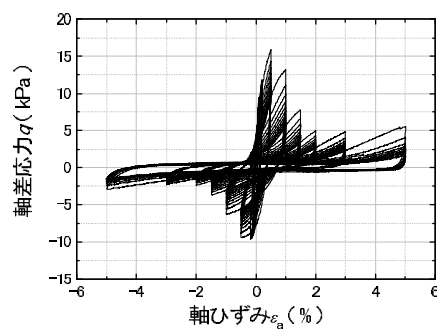


図9 軸差応力q～軸ひずみε_a(%)関係 (CASE4)

3. 実験結果および考察

3.1 過剰間隙空気圧比・過剰間隙水圧比・サクシジョンの経時変化

各ケースの過剰間隙空気圧比・過剰間隙水圧比の時刻歴を図4・図5に示す。与えたサクシジョンが小さい程、過剰間隙空気圧比・水圧比の上昇量は大きくなっており、サクシジョン1.5kPaのCASE4では過剰間隙水圧比が0.95を上回り、液状化状態となっている。また、サクシジョン2kPaのCASE3で過剰間隙水圧比が0.8を超えたあたりで繰返し載荷を終えている。サクシジョンが5kPaのCASE2とCASE5を比較すると、ほぼ同じ挙動を示しておりサクシジョン載荷履歴の影響はほとんど見られなかった。

次に、サクシジョンの経時変化を図6に示す。CASE1は、載荷初期からサクシジョンの低下が見られるが、CASE2~3ではほとんど低下が見られず、かつサクシジョンがゼロとなるようなことはなかった。サクシジョン1.5kPaのCASE4では、概ね750分頃からサクシジョンの低下が見られ、これ以降サクシジョンが大気圧を下回る値となった。風間ら³⁾の火山灰質砂質土を用いた不飽和繰返し三軸試験結果では、10kPa以上のサクシジョン領域でも大気圧以下になる報告があるが、本試験に使用した材料では微小なサクシジョン領域でしか見られなかった。なお、サクシジョン5kPaのCASE2と5では、サクシジョン載荷履歴を与えたCASE2の方がサクシジョンの低下が極めて小さく、ほぼ一定の値を示している。

3.2 体積ひずみの経時変化・軸差応力～軸ひずみ関係

体積ひずみの時刻歴を図7に示す。体積ひずみは、サクシジョンの大きさに関わらず圧縮を示している。CASE1~3とCASE4は、概ね750分頃から体積ひずみ量に違いが生じており、CASE4ではこれ以降、間隙空気の圧縮が難しい状況となったことから体積ひずみが他のケースと比較して小さくなったものと想定される。

また、CASE2 (サクシジョン5kPa) とCASE4 (1.5kPa) の軸差応力～軸ひずみ関係を図8・9に示す。CASE4 (図9) は、軸ひずみの増加に伴い軸差応力が低下していくが、CASE2 (図8) では、体積の圧縮 (収縮) による影響で増加し続ける傾向を示した。また、サクシジョン5kPa以上の他のケースでも圧縮側で軸差応力の増加が確認された。このような挙動は、風間ら¹⁾、松本ら²⁾の不飽和繰返し三軸試験にも見られる。サクシジョン5kPaのCASE2と5では、サクシジョン載荷履歴のあるCASE2の方が若干ではあるが大きな軸差応力が発揮されていた。

4. まとめ

20kPaのサクシジョンを与え再びサクシジョンを1.5kPaまで低下させた稲城砂は、過剰間隙水圧比が0.95以上となり、それ以外のケースでは過剰間隙水圧比は0.95以下となる結果を示した。また、サクシジョン2kPa程度以下では、軸ひずみの増大に伴う軸差応力の低下を示し、5kPa以上では圧縮側の軸差応力が増大する結果を示した。

参考文献

- 1) 風間, 高村, 海野, 仙頭, 渦岡: 不飽和火山灰質砂質土の液状化機構について, 土木学会論文集 62 巻, pp.546-561, 2006.
- 2) 松本, 西村, 古関: 不飽和履歴を受けた不飽和土の繰返し三軸試験結果, 第48回地盤工学研究発表会, 2013.7.
- 3) 木口, 松丸, 西村: サクシジョン載荷履歴を与えた細粒分を含む砂質土の不飽和三軸圧縮試験, 第48回地盤工学研究発表会, 2013.7.