

III-A 23

ひずみ速度が不飽和土のせん断強度に与える影響

中央開発(株) 正 ○中村 裕昭 池田 利昭  
 同上 荒井 靖仁 福原 誠

1. まえがき

三軸圧縮試験において飽和・不飽和に係わらず、ひずみ速度がせん断強度に影響を与えることはよく知られている。ひずみ速度がせん断強度に与える影響は、試験時の条件及び供試体の透水係数や透気係数などの透水特性によっても異なることは周知の事実である。飽和土の場合には、地盤工学会基準で採用すべきひずみ速度の目安値が記載されている。一方、不飽和土の場合には、試験方法が基準化されていないこと、また試験も非常に複雑であること、などからこれに関する文献は極めて少ないのが実情である。唯一、地盤工学会『不飽和地盤の安定性に関する研究委員会』の中で、不飽和三軸圧縮試験の試験仕様の提案がなされ、排気・非排水三軸圧縮試験では、ひずみ速度を $\dot{\epsilon}=0.1\sim 0.05\%/min$ とすることを標準としている。

しかし、このことはあくまで目安であり、砂質土である場合には試験時間の短縮を図れる可能性があると思われる。この観点より、本研究では不飽和土の排気・非排水三軸圧縮試験を行い、不飽和土のせん断強度に及ぼすひずみ速度の影響について考察したのでその報告をするものである。

2. 試験の試料および方法

試験試料は、豊浦標準砂および豊浦標準砂に細粒土（乾燥泥岩を乳鉢ですりつぶし $75\mu m$ ふるいを通させたもの）を10%（豊浦標準砂の乾燥土質量に対する比）添加した調整試料の2種類である。これらの粒径加積曲線を図2-1に示した。試験に用いた供試体（直径50mm、高さ100mm）は、2種類の試料に対して、豊浦標準砂では初期含水比 $W=5\%$ を試料①、調整試料では初期含水比 $W=5\%$ 、12%をそれぞれ試料②・③として用意し、いずれの試料も相対密度 $D_r=55\%$ を目標に締固めて作製した。これら作製した供試体の緒言を表2-1に示した。

試験条件は拘束圧 $(\sigma_3-u_a)=0.3\cdot 0.6\cdot 1.2\cdot 2.4\text{kgf/cm}^2$ の4種類とし、せん断ひずみ速度 $\dot{\epsilon}=0.08\cdot 0.1\cdot 0.2\cdot 0.5\%/min$ の4種類とした。なお、試験方法の詳細を図2-2に示した。

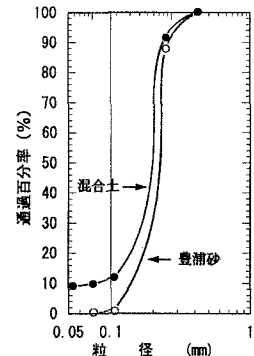


図2-1 粒径加積曲線

表2-1 供試体の初期状態

試料	ひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ (%/min)	側圧 $\sigma_3$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	初期状態				
			湿潤密度 $\rho_w$ (g/cm <sup>3</sup> )	初期含水比 $w$ (%)	飽和度 $S_r$ (%)	相対密度 $D_r$ (%)	
試料①	0.08	0.3	1.564	5.2	17.8	54.5	
		0.6	1.570	4.8	16.7	58.1	
		1.2	1.552	4.7	15.8	53.5	
		2.4	1.566	5.0	17.1	56.1	
	0.1	0.3	1.553	4.5	15.4	54.2	
		0.6	1.550	4.7	15.8	52.7	
		1.2	1.560	5.1	17.4	53.6	
		2.4	1.558	5.0	16.9	53.8	
	0.2	0.3	1.567	5.2	17.8	55.5	
		0.6	1.559	4.7	16.2	55.0	
		1.2	1.554	4.5	15.2	51.4	
		2.4	1.573	4.9	16.9	58.8	
0.5	0.3	1.573	5.0	17.4	58.2		
	0.6	1.554	5.2	17.3	51.8		
	1.2	1.559	5.3	17.9	52.5		
	2.4	1.560	4.9	16.8	54.4		
試料②	0.08	0.3	1.583	4.6	16.5	57.0	
		0.6	1.580	4.8	16.9	55.5	
		1.2	1.585	4.8	17.2	56.7	
		2.4	1.582	4.8	17.1	56.0	
	0.5	0.3	1.590	4.9	17.4	57.8	
		0.6	1.578	5.0	17.6	54.5	
		1.2	1.576	4.9	17.2	54.3	
		2.4	1.587	4.9	17.6	56.9	
	試料③	0.08	0.3	1.681	11.6	40.0	55.3
			0.6	1.691	11.7	40.8	57.1
			1.2	1.679	11.6	41.7	55.1
			2.4	1.690	11.8	40.6	56.5
0.5		0.3	1.682	11.7	41.0	55.4	
		0.6	1.692	11.8	42.1	57.0	
		1.2	1.682	11.5	40.5	58.0	
		2.4	1.688	11.9	41.9	56.1	

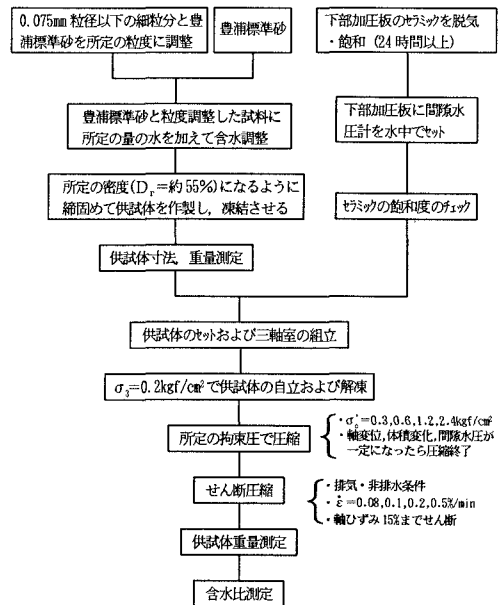


図2-2 試験手順及び方法

### 3. 試験結果及び考察

土のせん断試験条件は、試験結果を利用する目的や対象によって異なるものである。

本研究の不飽和三軸圧縮試験は、地下水位よりも上にある砂あるいは砂質土を対象としている。従って、有効拘束圧に関係する間隙空気圧は、地表面近傍での取り扱いとして大気圧に一致させた。

一方、間隙水の挙動を支配する透水係数は、不飽和状態の方が飽和状態より小さいことが確認できている。従って、間隙水の挙動は非排水に近い状態にあるものと考え、試験条件は実務的に排気・非排水条件とした。なお、試験では図2-2に示すように、等方圧縮過程において軸変位置、間隙水圧、体積変化量がそれぞれ落ち着くのを確認した後にせん断を行った。

図3-1は、豊浦標準砂を用いた ( $\sigma_3-u_a$ ) = 0.3kgf/cm<sup>2</sup>時の軸ひずみ～体積ひずみ・サクシヨンの関係をまとめて示したものである。同図より、体積ひずみは軸ひずみが1%に達する前にピークを示し、以後軸ひずみの増加と共に徐々に減少していく傾向を示している。一方、サクシオンは軸ひずみの増加に係わらずほぼ一定値で推移する安定した傾向を示し、ひずみ速度に依存しない様相を呈した。これらの傾向は、他の試験においても同様な結果が得られた。

図3-2は、ひずみ速度  $\dot{\epsilon}=0.08\%/min$  および  $\dot{\epsilon}=0.5\%/min$  時の最大主応力差～サクシヨンの関係を全試験料まとめて示したものである。同図より、サクシヨンの挙動は、試験②に若干のバラツキが認められるものの同一試験料であれば、有効拘束圧、最大主応力差ならびにひずみ速度の違いに係わらずほぼ一定値を示す様相を呈した。また、同一試験料でかつ締まり状態が同じであれば、飽和度（含水比）の値が低い程、破壊時のサクシオンは大きい様相を呈した。

図3-3は、ひずみ速度～粘着力・内部摩擦角の関係を全試験料まとめて示したものである。同図より、粘着力および内部摩擦角の推移は、同一試験料であればひずみ速度の違いに係わらずほぼ一定値を示す様相を呈した。また、同一試験料でかつ締まり状態が同じであれば、破壊時のサクシオンの値が大きいほど、大きな粘着力が得られる様相を呈した。

#### 4. あとがき

本研究では、豊浦標準砂及び豊浦標準砂・細粒土の混合土について、排気・非排水条件の不飽和三軸圧縮試験を行った。その結果、本研究の範囲内において、ひずみ速度を0.5%/minまで速くてもせん断強度には影響を及ぼさないことが確認できた。また、同一な試験料・相対密度であれば飽和度の低い程、破壊時のサクシオンは大きくなり、破壊時のサクシオンの値が大きい程、大きな粘着力が得られた。しかし、今回得られた知見は、数少ないデータをもとに考察したものであり、今後はデータの蓄積を行い、不飽和地盤のせん断強度を解明していきたい。

最後に試験装置の導入および試験方法等に関しては、岡山大学：西垣誠教授より多大なご指導を賜りました。末筆ながらここに謝意を表します。

- 《参考文献》
- 1) 土質工学会 不飽和地盤の安定性に関する研究委員会：不飽和地盤の調査・設計・施工に関する諸問題シンポジウム発表論文集, pp.53～58,1993
  - 2) 北村良介・高田誠ほか：不飽和土の力学特性に及ぼすせん断ひずみ速度の影響, 平成7年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.566～567

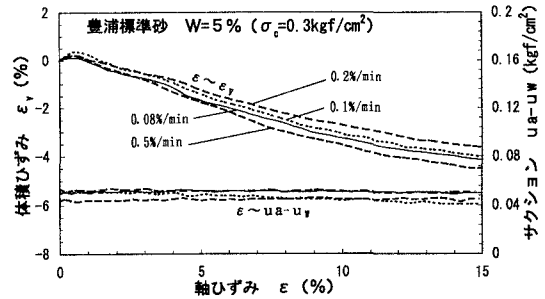


図3-1 軸ひずみ～体積ひずみ, サクシオン

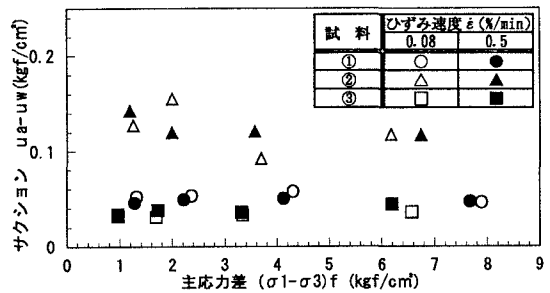


図3-2 最大主応力差～サクシオン

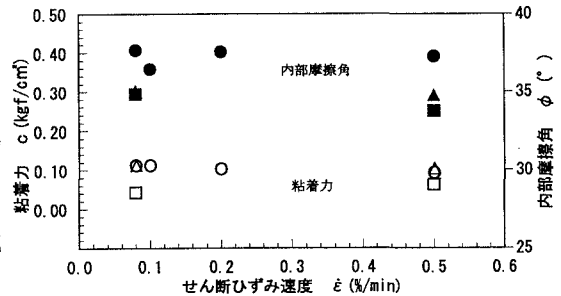


図3-3 軸ひずみ～粘着力, 内部摩擦角