

一定応力下において乾湿履歴を受けた堆積軟岩のせん断強度特性

関西大学工学部 正会員 楠見 晴重
 関西大学大学院 学生員 白神 敦
 佐賀県 正会員 片江 敏雄

1. まえがき

軟岩は乾燥・湿潤を繰返されることによって風化し、強度低下を引き起こすことが知られているが、応力一定の状態下での力学挙動に関する研究は行われていない。本研究では、軟岩供試体に一定せん断応力、垂直応力を載荷した状態で乾湿繰返し試験を行った。そのときの強度特性、変形特性から乾湿繰返しを受けた軟岩のせん断強度特性について検討を行った。

2. 実験概要

本研究では、凝灰岩の一種大谷石を用いた。表-1は、大谷石の諸物性値を示している。使用した試験装置はせん断応力と垂直応力を一定に保持した状態で、乾湿繰返しが可能な一面せん断試験機である。実験は、24時間炉乾燥後の大谷石に、一定のせん断応力、垂直応力を載荷し、24時間湿潤、24時間乾燥を1サイクルとして、2サイクルの乾湿繰返し試験を行った。さらに、乾湿繰返し試験終了後、引き続いてせん断試験を実施した。主な実験条件は、応力比()を0.4、0.5、0.6の3種類、垂直応力(σ_n)は0.1、0.3、0.5、0.75、1.0、1.5 (MPa)の6種類、合計18種類の応力条件で実験を行った。ただし局所的に応力比()0.3、0.7、0.8、0.9についても比較検討のため用いた。ここで、応力比()とは(1)式で示される。

$$= \sigma_c / \sigma_s \quad (1)$$

σ_c : 乾湿繰返し中の一定せん断応力
 σ_s : 湿潤供試体の最大せん断強度

3. 実験結果および考察

図-1はせん断ひずみ速度分布を示している。 $\alpha = 0.3 \sim 0.5$ 、 $\alpha = 0.6 \sim 0.9$ 、応力比の高低で分けられる2つのグループがあり、それぞれ1本の直線にのることが確認できる。本実験では応力比の高い条件で試験を行ったものは乾湿繰返し中にせん断破壊を起こす。そのため、この図で示される高い応力比を近似するラインは限界状態を示していると考えられる。図-2は乾湿繰返しを受けていない乾燥状態の軟岩供試体の破壊包絡線と $\alpha = 0.4, 0.5, 0.6$ の条件下での乾湿繰返しを受けた供試体の破壊包絡線を示したものである。この図から乾湿繰返しを受けていない軟岩供試体の破壊包絡線は、垂直応力 0.5 (MPa) を遷移点として、2本の直線で近似できることがわかる。そして、乾湿繰返しを受けた供試体は、各応力比において、垂直応力 0.75 (MPa) で遷移する2本の直線で近似できることが

表-1 大谷石の諸物性値

一軸圧縮強度(乾燥状態)(MPa)	13.78
一軸圧縮強度(湿潤状態)(MPa)	9.39
吸水率(%)	30.72
有効間隙率(%)	41.13

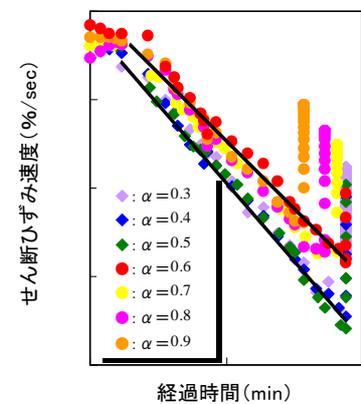


図-1 せん断ひずみ速度分布

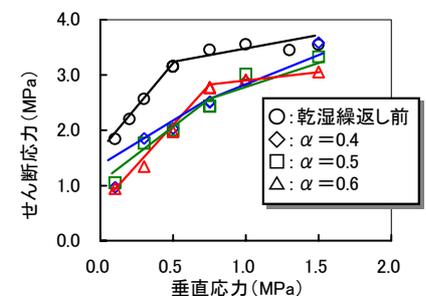


図-2 破壊包絡線

表-2 粘着力と内部摩擦角

		C(MPa)	ϕ (°)
乾湿前	$\sigma_n \leq 0.5\text{MPa}$	1.54	72.98
	$\sigma_n \geq 0.5\text{MPa}$	3.27	16.50
$\alpha = 0.4$	$\sigma_n \leq 0.75\text{MPa}$	0.94	65.27
	$\sigma_n \geq 0.75\text{MPa}$	1.40	55.54
$\alpha = 0.5$	$\sigma_n \leq 0.75\text{MPa}$	0.98	66.89
	$\sigma_n \geq 0.75\text{MPa}$	2.28	35.21
$\alpha = 0.6$	$\sigma_n \leq 0.75\text{MPa}$	0.58	70.63
	$\sigma_n \geq 0.75\text{MPa}$	2.52	19.80

キーワード：軟岩 乾湿繰返し 破壊包絡線 せん断剛性

連絡先：〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 06-6368-0837

確認できる。これは、軟岩が乾湿繰返しを受けることによって、内部構造に変化が生じ、その強度特性を変化させるものと考えられる。表-2 は図-1 で得られた粘着力と内部摩擦角を示している。粘着力は、せん断応力が大きいほど遷移点前後の粘着力の差が大きくなる。内部摩擦角は遷移点後に減少し、遷移点前後での差はそのせん断応力の増加に伴い大きくなっている。このことより、軟岩は高い垂直応力がかかることによってセメンテーションの低下を招き、比較的粘性の高い特性を有すると考えられる。図-2 は $\mu = 0.6$ におけるせん断剛性と垂直応力の関係を示したものである。ここで、乾湿繰返し前のせん断剛性は、各垂直応力でほぼ一定の値を示すが、乾湿繰返し後のせん断剛性は、 0.75 (MPa) 以下の垂直応力では増加傾向となり、 1.0 (MPa) 以上の垂直応力になるとほぼ一定の値に収束することが確認できる。これは、垂直応力が遷移点より高くなると、供試体内部に微小なクラックが生じるために遷移点前後のせん断剛性にこのような特徴が現れるものと考えられる。

本研究ではせん断剛性とせん断変位との関連性について考慮するために、図-3 に示したせん断変位 u_1 に着目した。図-3 は任意条件のせん断応力 - せん断変位曲線を示したものである。 u_{AP} は最大せん断応力を与えるせん断変位、 u_1 は乾湿繰返し前の初期接線勾配と最大せん断応力 τ_{AP} との交点を与えるせん断変位と定義した。図-4 では、応力比ごとの比較を容易にするために u_1/u_{AP} として正規化を行ったものについて示している。ここにおいても垂直応力が 0.75 (MPa) 付近に至るまでは増加傾向を示し、それ以降はほぼ一定に落ち着くという特徴が確認できる。図-5 に示すのは本実験で得られたダイレーション特性である。ここで、垂直応力が低い時 ($\sigma_n = 0.5 \text{ MPa}$) においてはそれぞれの挙動に明らかな違いがみられるのに対して、高い垂直応力 ($\sigma_n = 0.75 \text{ MPa}$) に関しては同様の挙動がみられる。そして、 $\sigma_n = 0.75 \text{ MPa}$ では軟岩の圧密に対する σ_n の影響がみられるが、 $\sigma_n = 0.75 \text{ (MPa)}$ を超えたところで、圧密に対する影響が小さくなる。これは、 $\sigma_n = 0.75 \text{ (MPa)}$ で乾湿繰返しと高い垂直応力の影響によって、結合力が破壊されることに起因しているものと思われる。

4. まとめ

遷移点前では垂直応力が増加するとともに、せん断剛性が増加する傾向が見られた。しかし、遷移点後では垂直応力が増加しても、せん断剛性の変化はあまり見られない。その特徴は、本研究で定義した u_1 においても同様の挙動が見られた。またダイレーションに関しては、遷移点前は垂直応力の影響が顕著にみられるが、遷移点後では各垂直応力で同様の挙動を確認することができる。これは垂直応力の影響によって、軟岩の骨格構造に変化が生じることが原因ではないかと考えられる。したがって、軟岩の強度特性は2本の直線で近似できるのことが確認された。

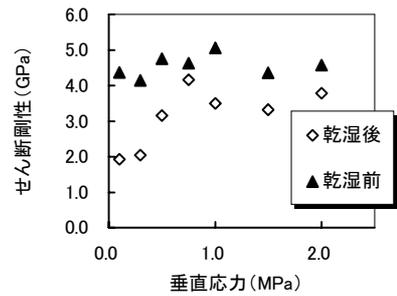


図-3 せん断剛性と垂直応力の関係 ($\mu = 0.6$)

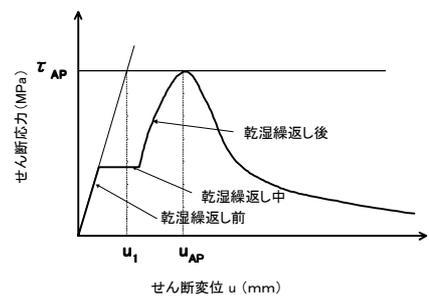


図-4 せん断変位-せん断応力曲線 (u_1 の定義)

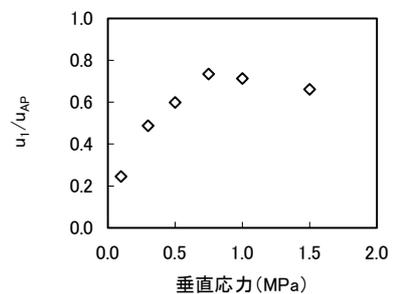


図-5 u_1/u_2 と垂直応力の関係 ($\mu = 0.4$)

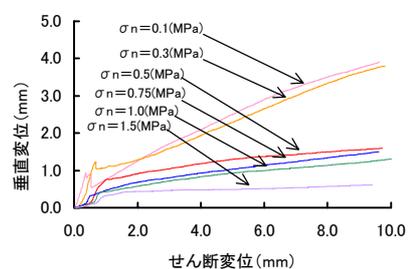


図-6 せん断変位-垂直変位曲線 ($\mu = 0.5$)