

大山倉吉軽石の不攪乱試料の一面せん断試験
—強度に対する間隙比の影響—

鳥取大学工学部（正） 清水正喜
愛媛県庁（正）○福田貴之

1. はじめに

日本は世界有数の火山大国であり、火山灰を起源とする土、「火山灰質土」が広い範囲で分布している。それらの多くは風化して粘土化が進んでおり、土質工学の分野では特殊土の代表的なものの一つとして位置付けられている。火山灰質土の特異性として、土粒子構造が団粒化していたり、練り返すことにより強度が低下したり、また、乾燥を受けると著しく物理的性質が変化することが挙げられている。本研究では大山起源の火山灰質土である大山倉吉軽石(DKP)を対象とする。「軽石」は火山の噴出によって発砲した多孔質の白色鉱物で、これらの降下堆積物あるいは火砕流堆積物を「軽石土」、あるいは「軽石層」と呼んでいる。この軽石土は攪乱すると味噌のように柔らかくなることから「味噌土」とも呼ばれている。

2. 試料

試料は2001年5月に鳥取県倉吉市桜の道路建設現場切土斜面において採取した大山倉吉軽石(DKP)である。現場でシンウォールサンプリングチューブによって採取した試料から現場密度を測定し、そこから含水比、間隙比、飽和度を求めた(表1参照)。実験時に自然状態の飽和度に近づけるために飽和度調整を行った。飽和度は水中真空脱気によって上げた。現場の飽和度に近づけることができた。物理的性質について考察する(表2参照)。日本統一土質分類法に基づき分類を行うと、火山灰質粘性土(Ⅱ型)(VH₂)になった。この試料のもっとも目を引く点は含水比、間隙比共に非常に高い値を示していることである。また液性限界・塑性限界は粒度調整を省略する方法と425μmふるいで裏ごしして粒度調整する方法のどちらも高い値を示しており、どちらの方法でも液性限界が自然含水比程度あることからこの試料の鋭敏性が高いことを裏付けている。

	現場	実験時	
		飽和度調整なし	飽和度調整あり
平均含水比w(%)	181	177	206
平均間隙比e	5.197	5.722	5.852
平均飽和度S _r (%)	95	85	95

表2 DKPの物理試験結果一覧		
粒度	土粒士の密度ρ _s (g/cm ³)	2.727
	細粒分(%)	57.5~59.4
	砂分(%)	39.8~41
	礫分(%)	0.8~1.5
コンシステンシー	液性限界w _L	173 ^{a)} 222 ^{b)}
	塑性限界w _P	129 ^{a)} 140 ^{b)}
	塑性指数I _p	44 ^{a)} 82 ^{b)}
	日本統一土質分類	火山灰質粘性土(Ⅱ型)(VH ₂)

a)425μmふるい省略 b)425μmふるい通過

3. 一面せん断試験の方法

圧密排水条件(CD)で緩速一面せん断試験を行った。せん断速度は0.05(mm/min)とし、試験機は改良型一面せん断試験機を使用した。圧密過程では所定の垂直応力σ_cを一回で、または段階的に载荷した。人工的過圧密供試体に対しても試験した(最大先行圧密圧力p_{max}=400kPa:過圧密比OCR=4,8,16)。各荷重段階において、圧密の打ち切り時間は3時間を基準とし、3t法より判断して沈下が進んでいるようであれば時間を延長した。

4. せん断試験の結果及び考察

図1に段階载荷による圧密の結果求めたe-logpの関係を示す。圧密降伏応力p_cは150~210kPaと決定されたが、以下の議論ではp_c=180kPaとした。圧密圧力がp_cより大きくなると、土粒子の構造は自然状態から変化するものと考えられる。図2に破壊時のせん断応力τ_fと垂直応力σ_cの関係を示す。破壊線の勾配が、σ_c=p_c(=180kPa)で明らかに異なっている。

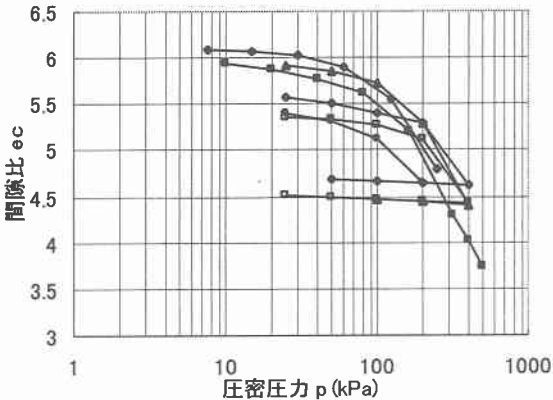


図1 圧密圧力と間隙比の関係

$\sigma_c > p_c$ の状態 (●) を正規圧密状態と呼ぶことにする。この状態については、 τ_f と σ_c の関係は多少のばらつきは見られるものの、原点を通る直線でほぼ近似でき、 σ_c の増加に伴って τ_f は増加している。同様に $\sigma_c < p_c$ の状態 (◆) を過圧密状態と呼ぶことにする。この場合の τ_f は $\sigma_c > p_c$ で表わされる直線で推定される値よりも大きくなる。また人工的に過圧密状態にした供試体 (▲、■、×) のせん断強さは、同じ垂直応力でも人工的に過圧密状態にしなかったもの (◆) よりも大きくなった。このことは人工的に過圧密状態にすることによって圧密沈下量が増加し、供試体の間隙比 e_c が密になり、同じ σ_c であってもせん断応力が高くなったと考えられる。

次にせん断強度に及ぼす間隙比の影響について考える。¹⁾ 図3に破壊時の間隙比 e_f とせん断強さ τ_f の対数との関係を示す。せん断強さは単位せん断応力 ($\tau_{f0}=1\text{ kPa}$) で正規化した。正規圧密相当状態 ($\sigma_c > p_c$) においては、ばらつきがあるものの、次式で表わせる直線関係が見られる。 $e_f = e_{f0} - C_f \log(\tau_f / \tau_{f0})$ このような関係は飽和粘性土に通常見られるものである。また、正規圧密相当状態では図2で見たように、 $\tau_f = \sigma_c \tan \phi_d$ の関係がある。この式で表わされるせん断強さを等価せん断強さ τ_{EQ} と呼ぶ。先に述べたように p_c より小さい垂直応力 σ_c でせん断された供試体のせん断強さはこの式で表わされるせん断強さより大きい。即ち、この強度増加分は、人工的な過圧密や自然状態における時間効果 (Ageing) による間隙比減少による効果である。

これらの要因によって生じた間隙比の減少量を正規圧密状態において σ_c に対応する間隙比 (等価間隙比 e_{EQ} と呼ぶ) との差、即ち $e_f - e_{EQ}$ で評価することにする。ここで、 $\tau_{EQ} = \sigma_c \tan \phi_d$ 、 $e_{EQ} = e_{c0} - C_c \log(\sigma_c / \sigma_{c0})$ 左式中のパラメータ e_{c0} と C_c は、圧密後の間隙比 e_c と垂直応力 σ_c の関係から決定できる (図4の破線)。図5はこの考えを基にせん断強さ増加率： τ_f / τ_{EQ} を間隙比減少量： $-(e_f - e_{EQ})$ に対してプロットしたものである。間隙比減少量が大きくなるほどせん断強さ増加率が増えている。また人工的に過圧密状態にした供試体、特に (▲、×) のせん断強さ増加率は、同じ間隙比減少量でも人工的に過圧密状態にしなかったもの (◆) よりも小さい結果が見られた。言い換えると自然堆積中の Ageing によって生じた間隙比の減少はせん断強さの増加に対して大きな効果を発揮すると考えられる。

5. 結論

$\sigma_c > p_c$ で圧密すると土粒子の構造は自然状態から変化するものと考えられる。自然堆積中の Ageing によって生じた間隙比の減少は人工的過圧密による間隙比の減少に比べ、せん断強さの増加に対して大きな効果を発揮する。

参考文献

- 1) 清水正喜・田中淳・伊藤洋介：不攪乱風化軽石土の一面せん断強度に対する間隙比の影響、第55回土木学会全国大会、pp126-127、2000

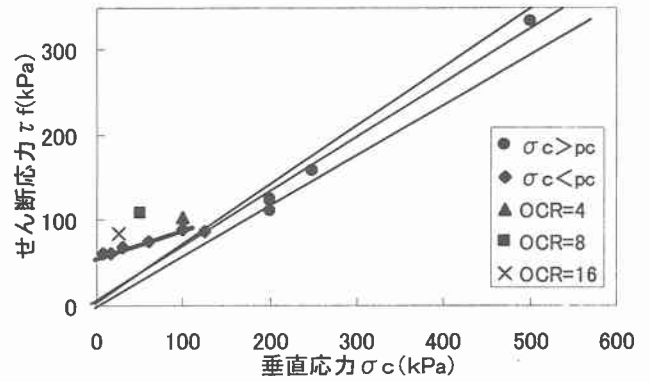


図2 せん断応力と垂直応力関係

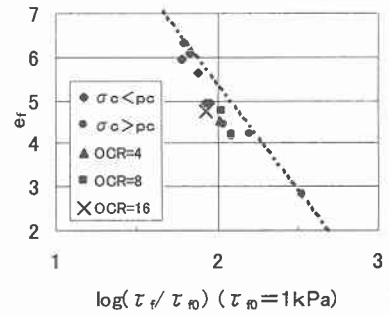


図3 破壊時間隙比 e_f とせん断強さ τ_f の関係

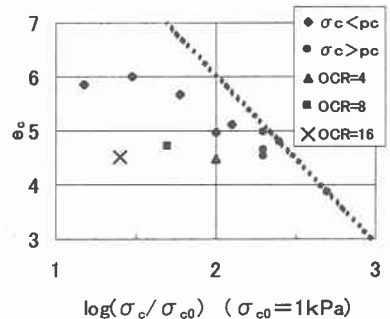


図4 圧密後間隙比 e_c と垂直応力 σ_c の関係

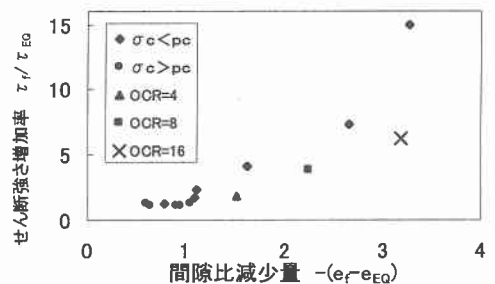


図5 せん断強さ増加率と間隙比の関係