

大山倉吉軽石（DKP）不攪乱試料のせん断強度－不均質性と間隙比の影響評価－

鳥取大学工学部 正会員 清水正喜
愛媛県庁 正会員 福田貴之

1. はじめに

鳥取県には大山を起源とする火山灰質土が厚く堆積している。特に、大山松江軽石層(DMP)と大山倉吉軽石層(DKP)は鍵層として知られている¹⁾。本報告では前報²⁾に引き続いてDKPを対象として物理的性質と不攪乱試料のせん断強度について、特に不均質性と間隙比を考慮して強度特性を考察する。

2. 試料

不攪乱試料は鳥取県倉吉市において新たに採取した。現場での飽和度は約95%であったが試験時には低下していたので一部の供試体は飽和度を高めた²⁾。液性・塑性限界は非乾燥法で試験した。425 μ mふるいで裏ごしした試料で $w_L=222$, $w_p=140\%$ であった。

図1に粒度分布を示す。試料を乾燥または非乾燥状態で粒度試験に供した場合、篩分けは水中で行いすべての乾燥質量を測定した場合³⁾（図中「水中・全質量」と記した）、さらに試料を機械的に攪拌させた場合の結果を示している。どの方法によっても、試料は礫から細粒分まで広い粒度を有することがわかる。特

に、機械的な攪拌を行うことによって細粒分含有率が高くなった。通常の方法による分散より分散効果が高いことを示す。攪拌装置は羽を使わずに高速回転（自転+公転）によって攪拌する機構を有する。

図2にせん断試験供試体の整形時の間隙比と含水比の関係を示す。飽和度 S_r をパラメータにした曲線は土粒子密度の平均値(2.730g/cm³)を用いて算出した理論曲線である。ブロックと飽和度調整の有無を識別できるようにした。飽和度調整の有無に関わらず間隙比および含水比が非常に高いこと、同じブロックであっても間隙比と含水比従って飽和度が大きく異なることがわかる。

3. 一面せん断試験の方法

改良型一面せん断試験機を使用して圧密・定圧/排水条件(CD)でせん断した。圧密過程では所定の垂直応力 σ_c を一回で、または段階的に載荷した。過圧密供試体に対しても試験した（最大先行圧密圧力=400 kPa；過圧密比=4, 8, 16）。せん断速度は0.05mm/min, 最大せん断変位は8mmとした。

4. せん断試験の結果及び考察

図3に、段階載荷時の各段階における間隙比 e と圧密圧力 p との関係を示す。供試体により異なるが、圧密降伏応力 p_c が150~200kPaの範囲にある。 p が p_c を超えると土粒子の構造が自然状態のものから変化するものと推測される。

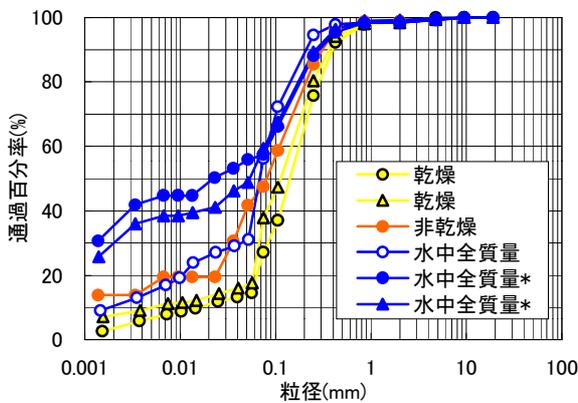


図1：粒径加積曲線（*は攪拌器使用）

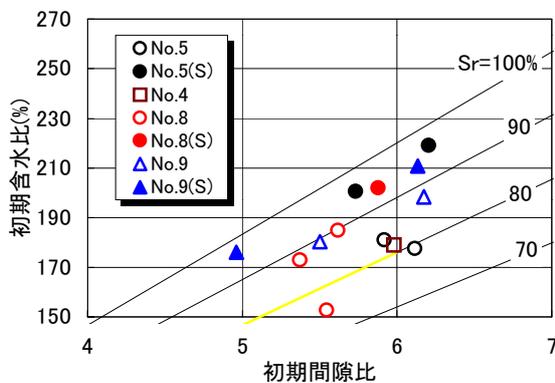


図2 試料の初期状態

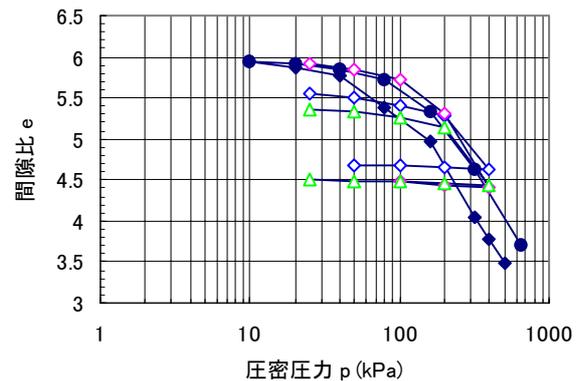


図3：圧縮曲線

図4に破壊時のせん断応力 τ_f と垂直応力 $\sigma_f (= \sigma_c)$ の関係を示す。塗りつぶしたマークは飽和度を調整した供試体である。破壊包絡線の形状が $\sigma_f=150\sim 200$ kPa付近を境に明らかに異なっている。この境界は p_c の値にほぼ等しい（以後 $p_c=200$ kPaと仮定する）。 $\sigma_f > p_c$ の状態（正規圧密状態と呼ぶ）では τ_f と σ_f の関係は

キーワード 軽石，一面せん断，間隙比，強度。

連絡先 〒680-8552 鳥取市湖山町南4-101 鳥取大学工学部，TEL 0857-31-5290。

直線的であり、圧密によって強度が増加する。式で表すと

$$\tau_f = \sigma_f \tan \phi_d \tag{1}$$

この式で評価されるせん断強さを等価せん断強さ τ_{EQ} と呼ぶ。

$\sigma_f < p_c$ の場合、 τ_f は式(1)で推定されるものより大きい。人工的過圧密供試体 (Δ) のせん断強さは、同じ垂直応力に対して、人工的に過圧密させなかったもの (\circ や \bullet) より大きい。

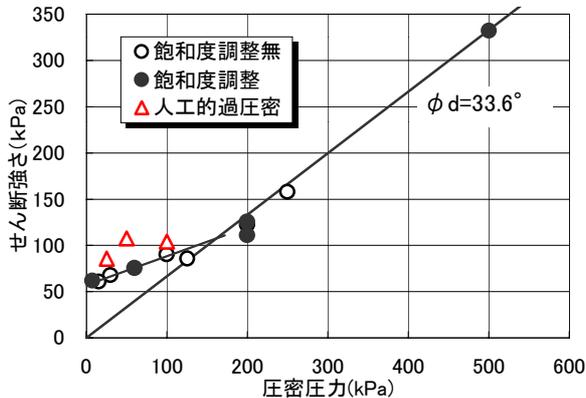


図4：圧密圧力とせん断強さの関係

図5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。図の直線は正規圧密状態の間隙比とせん断強さの関係に相当する。ばらつきがあってすべての点を通る直線を引くことができないので、その外側にはプロットされない領域の境界を正規圧密状態における関係と定めた。式で表すと

$$e_f = e_{f0} - C_f \log \left(\frac{\tau_f}{\tau_{f0}} \right) \tag{2}$$

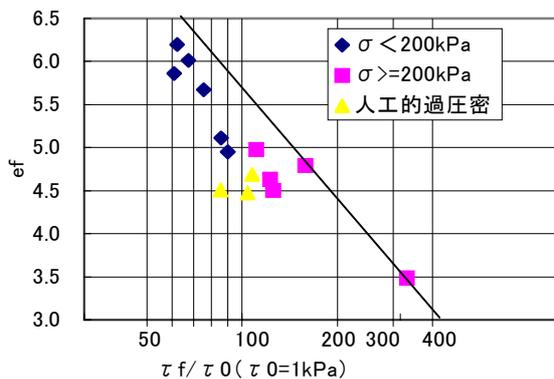


図5：破壊時の間隙比とせん断強さの関係

先に述べたように、 p_c より小さい垂直応力でせん断された供試体が発揮するせん断強さは、式(1)で表わされるせん断強さより大きい。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)による間隙比減少の効果である。また、時間効果の一部である固結力(diagenesis)もその効果の一因である。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_f に対応する間隙比(等価間隙比; e_{EQ})との差、即ち $e_f - e_{EQ}$ で評価することにする、こ

こに

$$e_{EQ} = e_{c0} - C_c \log \left(\frac{\sigma_c}{\sigma_{c0}} \right) \quad (\sigma_c = \sigma_f) \tag{3}$$

上式中のパラメータ e_{c0} と C_c は圧密後の間隙比 e_c と垂直応力 σ_c との関係より決定できる(図6の直線)。

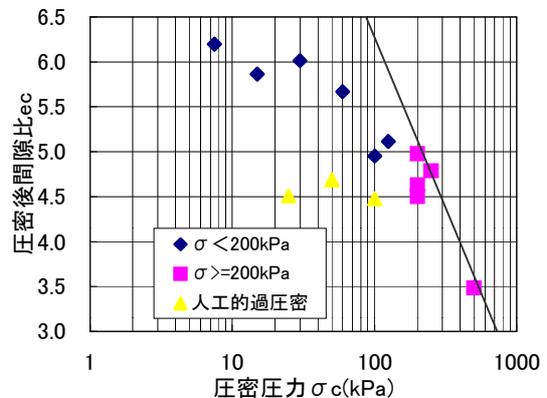


図6：圧密後の間隙比と圧密圧力の関係

図7はこの考えに立って、せん断強さ増加率 τ/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強度増加率が増えている。人工的に過圧密させなかった供試体(\circ と \bullet)は、人工的に過圧密させた供試体(\blacktriangle 、 \blacklozenge)より、同じ間隙比減少量であっても強度増加率は大きい。換言すれば自然堆積中の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効果が大きいといえる。

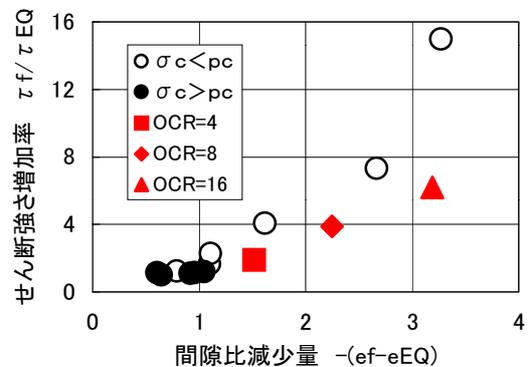


図7：せん断強さ増加率と間隙比減少量の関係

5. 結論

圧密降伏応力より小さい垂直応力で発揮するせん断強さに対する間隙比の影響を、正規圧密状態の $e - \log p$ 関係と $\tau_f - \sigma_f$ 関係に基づいて評価した。自然堆積中の間隙比の減少は、人工的過圧密によって生じた間隙比の減少に比べて、せん断強さの増加に対する効果が大きい。

参考文献

1) 例えば前田・新井(1992)：「火山灰アトラス」，東京大学出版会。2) 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, 3) 清水・田合(1999)：不攪乱軽石風化土の排水せん断特性—一面せん断試験—第34回地盤工学研究発表会，pp. 693-694。