

# 降下軽石層の風化に伴う力学特性の変化 — 締固め密度がせん断特性に及ぼす影響 —

農学部 肥山 浩樹

## 1. はじめに

鹿児島県は、洪積世中期から活発になった火山活動に由来する特殊土壌で広く覆われている。代表的な火山性特殊土壌としては、しらす、黒ぼく、降下軽石、こら、赤ほやが挙げられる。鹿児島県ではこれらの土壌が互層を成し、数百メートルの厚さで堆積している箇所も見受けられる。これらの中で、しらすと黒ぼくは分布面積が広い上に賦存量も多く、早くからその土質特性について調査がなされ、データが蓄積されてきた。一方、その他の火山性特殊土壌は、分布範囲が南九州に限定されることと層厚が比較的薄いことから、これまであまり問題にされなかった。

降下軽石は、約 2 万年前から主に桜島を噴出源とした軽石を多く含む土壌であり、鹿児島県では 10 層以上にわたって堆積している。この中で、特徴的な層は「ぼら」や「大隅降下軽石層」と呼ばれることがある。降下軽石層は透水性が高く、風化とともに粘土化することから、たびたび斜面崩壊の素因として取り上げられている。しかしながら、賦存量が少ないことから、詳細な土質力学特性について報告されていない。

本研究は、比較的風化の進んだ降下軽石層を用いて室内土質試験を行い、締固め密度とせん断特性との関係について検討した。

## 2. 実験材料と実験方法

### (1) 実験材料

実験に用いた試料は、鹿児島県鹿屋市吾平町において採取した。ここには大隅降下軽石層と考えられる降下軽石層が約 2m の厚さで堆積しており、その下層に不透水層が存在した。現地での試料の様子を写真 1 に示す。この降下軽石層の上部は白色で下部は黄色であった。以下、これらの試料をそれぞれ A 試料、B 試料と表す。いずれの試料も堆積時の軽石の形状が残っておらず、比較的風化の進んだ降下軽石層と判断された。

採取した試料を室内に持ち帰り、自然含水比  $w_n$ 、土粒子密度  $\rho_s$ 、粒度分布および強熱減量  $L_i$  を測定した。粒度試験は JIS A 1204 に準じて行ったが、分散剤として水酸化ナトリウム溶液を用いた。強熱減量試験は JIS A 1226 に準じて行った。800°C の電気マッフル炉で 2 時間強熱し、恒量になったことを確認した。得られた結果を表 1 と図 1 に示す。いずれの試料も降下軽石として

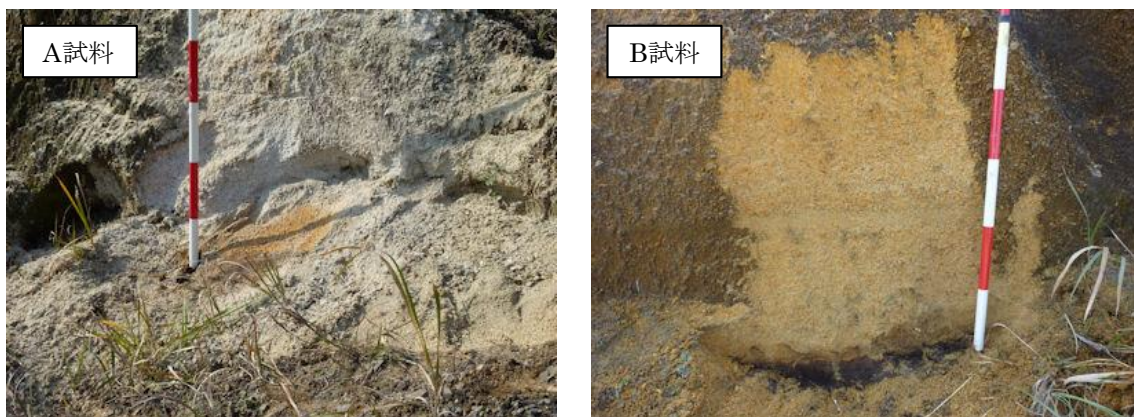


写真 1 採取試料

は高い  $\rho_s$  を持ち、 $w_n$  も比較的高い値を示した。また、無機質系の試料としては  $L_i$  が高く、いずれの試料も風化が進んでいることが推察された。粒度は似たような分布を示したが、下層に位置する B 試料の方が A 試料より細粒分が多い。両者とも粒度分布が良く、地盤材料の工学的分類では細粒分質砂(SF)に分類される。

### (2) 実験方法

締固め密度の異なる降下軽石のせん断特性を把握するために一面せん断試験を行った。供試体は、4.75mm ふるい通過試料を任意の含水比に調整し、直径 6cm のカッターリング内に高さ 2cm で所定の密度になるように突固めて作製した。供

試体の初期乾燥密度  $\rho_d$  は、A 試料で 1.05, 1.21, 1.36g/cm<sup>3</sup>, B 試料で 0.66, 0.74, 0.89g/cm<sup>3</sup> である。いずれの試料も、中位の密度が地山の密度にほぼ相当する。

実験には改良型(三笠式)一面せん断試験機を用い、排水条件は圧密排水(圧密定圧)とした。圧密圧力  $\sigma_c$  は 50, 100, 200, 300kN/m<sup>2</sup> の 4 通りであり、せん断速度は 0.1mm/min とした。供試体を試験機に設置し、5kN/m<sup>2</sup> で加圧板を密着させ、下部ポーラストンから注水することで飽和させた。その後、所定の圧密圧力で圧密し、せん断に移行した。せん断箱の隙間は 0.2mm とし、7mm までせん断変位させた。なお、垂直応力(圧密圧力)は載荷側のみで測定し、反力側では測定していない。

### 3. 実験結果

圧密定圧一面せん断試験の結果を図 2 に示す。図中の矢印は最大せん断応力  $\tau_f$  が得られた点である。いずれの試料も、初期乾燥密度  $\rho_d$  と垂直応力  $\sigma_c$  の増加とともに  $\tau_f$  は増加する。A 試料は B 試料よりも  $\rho_d$  は大きいものの  $\tau_f$  は相対的に低い値にとどまった。A 試料では、全ての密度の  $\sigma_c=50\text{kN/m}^2$  と  $\rho_d=1.36\text{ g/cm}^3$  の  $\sigma_c=100\text{kN/m}^2$  で、せん断変位  $\delta$  - せん断応力  $\tau$  曲線がひずみ軟化するとともに垂直変位  $\Delta H$  は正のダイレタンス(膨張)を示した。これら以外の供試体ではせん断中の体積変化はわずかに収縮しただけであった。B 試料も同じく、全ての密度の  $\sigma_c=50\text{kN/m}^2$  と最も密度の高い  $\rho_d=0.89\text{g/cm}^3$  の  $\sigma_c=100\text{kN/m}^2$  で、 $\delta$  -  $\tau$  曲線がひずみ軟化し、 $\Delta H$  は正のダイレタンスを示した。正のダイレタンスが発生するという事は供試体作製時の突固めエネルギーがせん断試験時の垂直応力に比して大きかったためであり、粘性土における過圧密と同じ状態である。

最大せん断応力  $\tau_f$  が得られたせん断変位は  $\rho_d$  が高く  $\sigma_c$  が低い供試体ほど小さくなり、この傾向は B 試料で顕著であった。 $\tau_f$  が得られた点に対応する垂直変位を破壊時垂直変位  $\Delta H_f$  とし、これを垂直応力  $\sigma$  に対して示したのが図 3 である。A 試料では、 $\sigma$  の増加とともに  $\Delta H_f$  はわずかに減少(収縮)するが  $\rho_d$  による違いは見られない。一方、B 試料では、 $\sigma$  の増加とともに  $\Delta H_f$  が減少するのは同様であるが、 $\rho_d$  が小さい供試体ほど  $\Delta H_f$  も小さくなる。また、 $\sigma$  に対する  $\Delta H_f$  の変化の割合は A 試料よりも大きくなる。

表 1 試料の物理的性質

	$w_n$ (%)	$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	$L_i$ (%)
A 試料	47.19	2.612	3.99
B 試料	67.64	2.520	4.92

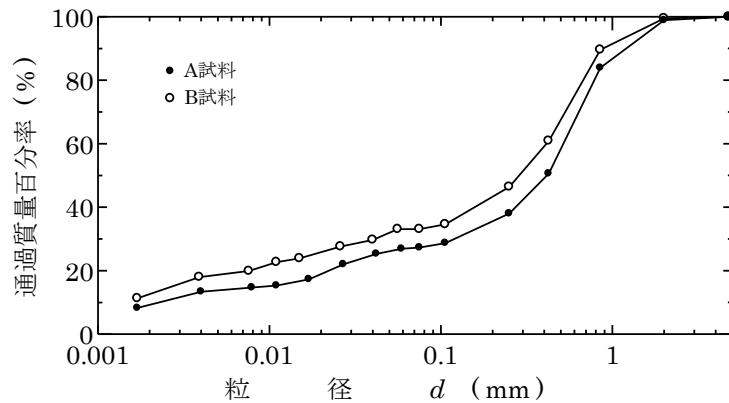


図 1 試料の粒径加積曲線

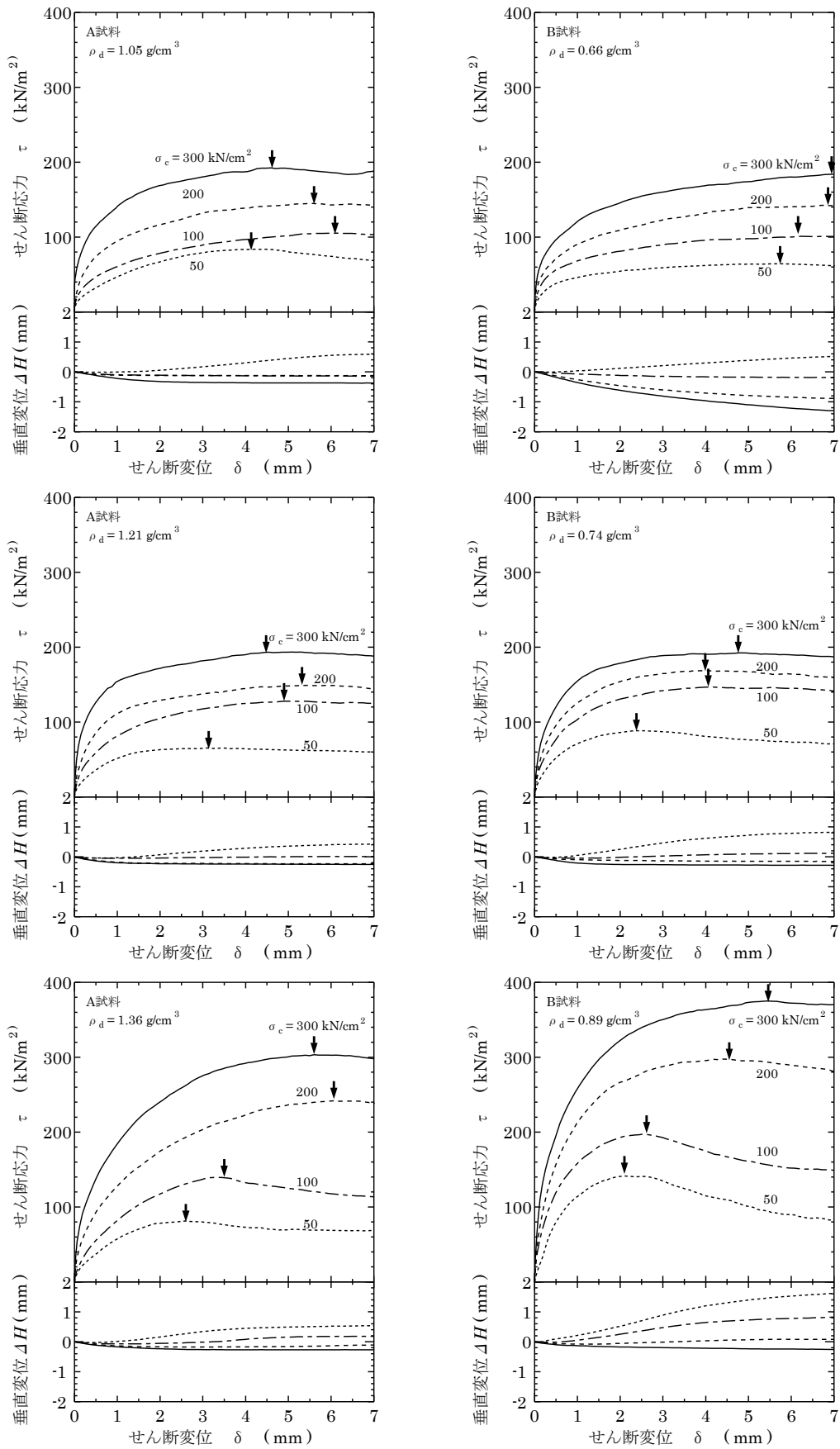


図2 一面せん断試験結果

密度ごとに試料の強度として  $\tau_f$  を  $\sigma$  に対して示したものが図 4 である。いずれの試料も緩い試料と中位の試料の強度に大きな差はないものの密な試料では強度が増大する。この図にクーロンの破壊基準を適用し、直線の傾きとして内部摩擦角  $\phi_d$ 、切片として粘着力  $c_d$  が得られる。A 試料では密度によらずほぼ同程度の  $c_d$  を持つ。 $\phi_d$  は緩い試料と中位の試料ではほぼ同じであるが密な試料で急激に増加する。B 試料の  $\phi_d$  も同様に密な試料で急増する。ただし、 $c_d$  は密度の増加とともに増加する。

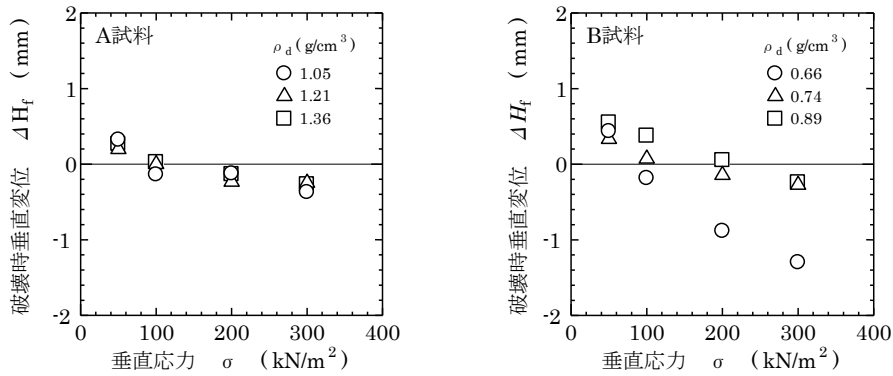


図 3 破壊時垂直変位の変化

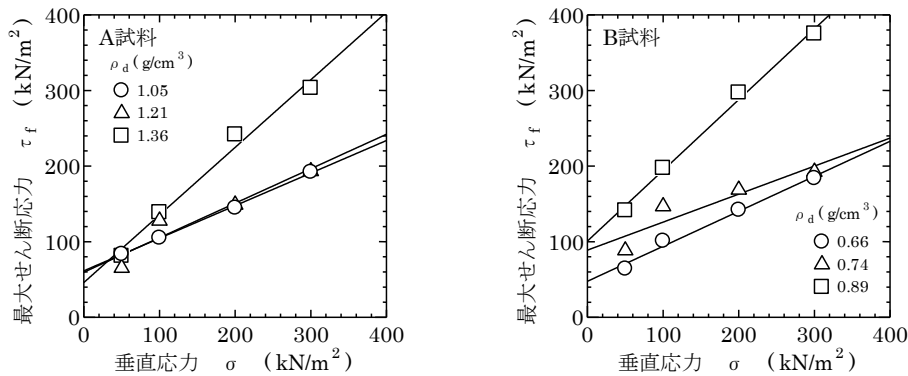


図 4 乾燥密度と強度定数の関係

#### 4. おわりに

鹿児島県内で採取した比較的風化の進んだ 2 種類の降下軽石について一面せん断試験を行い、締固め密度とせん断特性との関係について実験的に検討した。得られた主な成果は以下の通りである。

- (1) 垂直応力  $50\text{kN/m}^2$  では、 $\delta - \tau$  曲線がひずみ軟化するとともに正のダイラタンシーを示した。破壊時の変形挙動は、いずれの試料も垂直応力の増加とともに供試体が収縮し、B 試料では乾燥密度が小さい供試体で体積収縮の変化の割合が大きかった。
- (2) 粘着力は、A 試料では乾燥密度によらずほぼ一定であったが、B 試料では密度の増加とともに増加した。内部摩擦角は、いずれの試料も密度が緩い試料と中位の試料ではほぼ同程度であるが密な試料で急激に増加した。このことは、強度が急変する密度が存在することを意味しており、この試料を建設資材などで利用する場合や基礎地盤とする際には密度の管理や把握が重要である。