

締固め密度の異なる降下軽石層の水浸による強度低下

農学部 肥山 浩樹

1. はじめに

降下軽石層は、噴火による降下火砕物の中で軽石状に堆積した層¹⁾のことであり、全国各地に分布している。九州南部には、主に桜島を噴出源とした降下軽石層が10層以上にわたって堆積している。降下軽石層は透水性が高く、水みちとなりやすいことから斜面崩壊の素因となることが多い。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。

本研究では、採取した降下軽石層を3通りの密度で締固めて供試体を作製し、飽和状態で一面せん断試験を行い、締固め密度とせん断特性の関係について検討した。さらに、締固めたままの不飽和供試体をせん断中に水浸し、その強度や体積変化から水分量がせん断特性におよぼす影響について検討した。

2. 実験材料と実験方法

実験に用いた降下軽石層は、鹿児島県鹿屋市吾平において採取した。この試料は不透水層上部に約2mの厚さで堆積しており、上層は白色、下層は黄色を帯びていた。これらの試料をそれぞれA試料、B試料と称す。これまでの研究²⁻⁵⁾では主にA試料の特性について述べている。本稿ではB試料についてのせん断特性について取り扱う。

B試料の自然含水比 w_n は67.6%、土粒子の密度 ρ_s は2.520g/cm³であり、軽石系の土質材料としてはいずれも高い値であった。粒度試験の結果、細粒分が25%程度であり、地盤材料の工学的分類ではSF(細粒分質砂)に属す。地山の乾燥密度 ρ_d は0.74g/cm³であり、先に試験を行ったA試料よりもかなり小さい値であった。

せん断特性を把握するために、4.75mmふるい通過試料を用いて圧密排水一面せん断試験(定圧試験)を行った。試験は、密度を変化させて通常の飽和試料の一面せん断試験を行うものと、締め固めた不飽和状態のままでせん断を行い、せん断中に水浸させるものの2通りを実施した。前者を初期水浸、後者を途中水浸と称する。一面せん断試験に用いた供試体の初期乾燥密度 ρ_{d0} は0.66、0.74および0.89g/cm³とした。中位の密度が試料採取地点の地山密度相当であり、これより緩い供試体と密なものの3通りを準備した。任意の含水比に調整した試料を直径6cmの鋼製のカッターリングに入れ、高さ2cmで所定の密度になるように突き固めることで供試体を作製した。

実験には改良型(三笠式)一面せん断試験機を用い、圧密圧力 σ_c は50、100、200および300kN/m²の4通りとした。初期水浸試験では、作製した供試体を試験機にセットした後、5kN/m²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であり、0.1mm/minのせん断速度で8mmまで変位させた。なお垂直応力(圧密圧力)は載荷側のみ測定し、反力側では測定していない。途中水浸試験では、5kN/m²で加圧板を密着さ

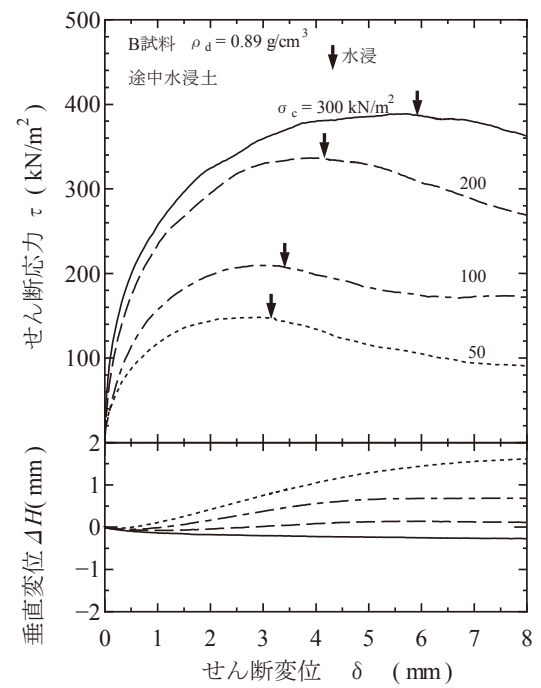
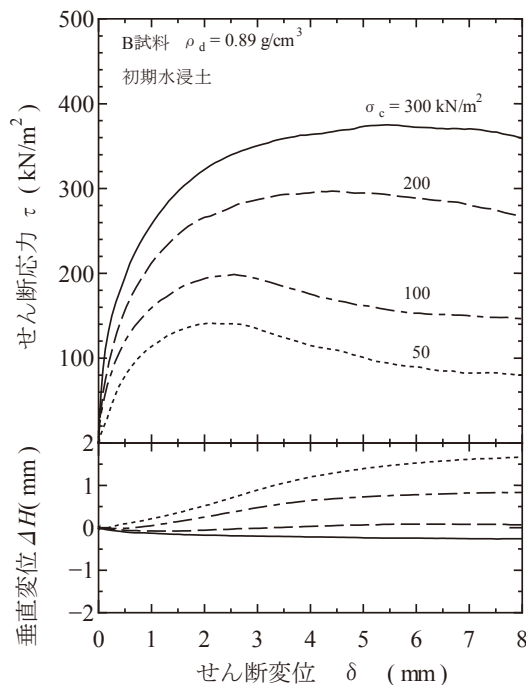
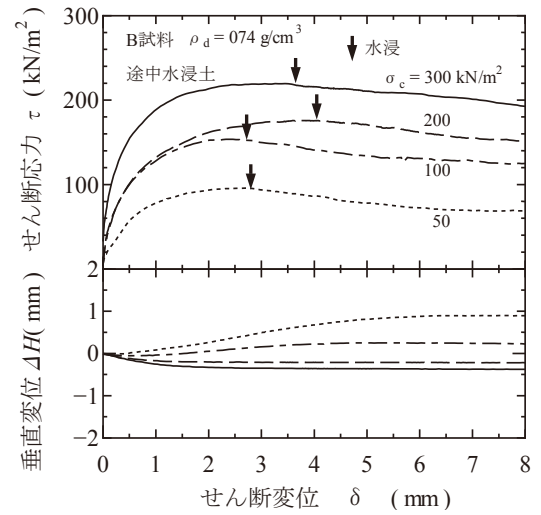
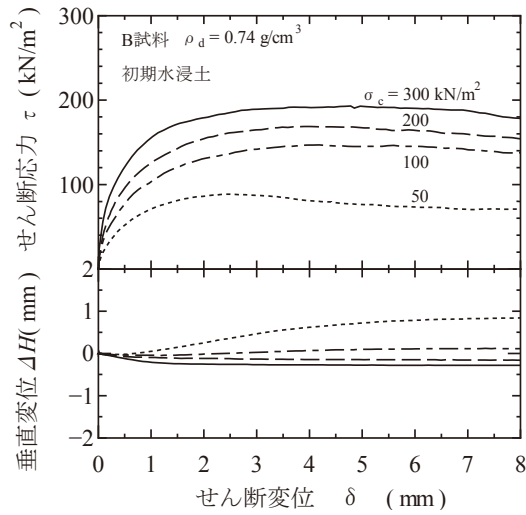
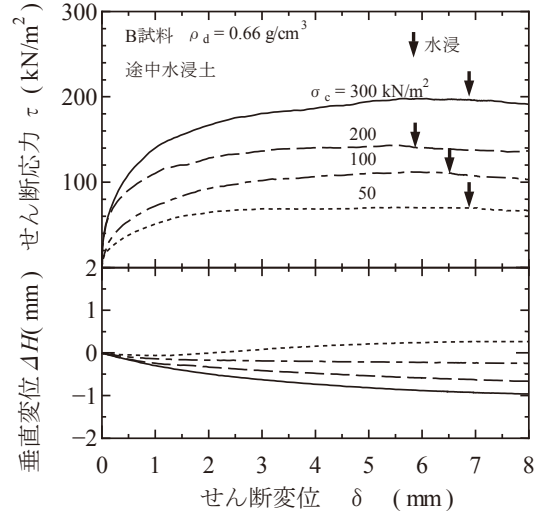
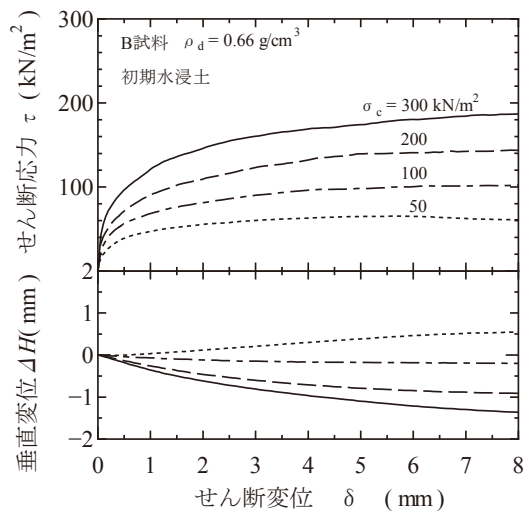


図1 初期水浸土のせん断試験結果

図2 途中水浸土のせん断試験結果

せるまでは初期水浸試験と同じである。その後、注水することなく、不飽和状態のまま所定の圧密圧力で圧密した。圧密終了後、直ちにせん断に移行した。せん断中、せん断応力が最大値を示したことを確認したところで下部ポーラストンから注水することで水浸させ、そのまません断変位 8mm までせん断を継続した。ひずみ硬化型の供試体の場合、せん断応力の最大値を確認することが困難であるため、せん断変位 7mm で水浸し、8mm まで試験を継続した。

3. 実験結果と考察

初期水浸土について、B 試料の圧密排水（定圧）せん断試験結果を図 1 に示す。緩詰め（ $\rho_{d0}=0.66\text{g/cm}^3$ ）試料のせん断応力 τ はせん断変位 δ にもない緩やかに増加するひずみ硬化を示す。せん断中の体積変化を表す垂直変位 ΔH は、 $\sigma_c=50\text{kN/m}^2$ の供試体だけ正のダイレイタンスーを示しており、 σ_c の増加にもない体積減少の割合が大きくなる。中位詰め（ $\rho_{d0}=0.74\text{g/cm}^3$ ）試料を緩詰めと比較すると、全ての σ_c において τ はわずかに大きくなるとともに ΔH は膨張傾向を強め、 $\sigma_c < 100\text{kN/m}^2$ の供試体で正のダイレイタンスーを示した。密詰め（ $\rho_{d0}=0.89\text{g/cm}^3$ ）試料の τ は他の試料のそれよりも急激に増加し、 $\tau - \delta$ 曲線の形状は σ_c が小さい供試体ほど最大値が明瞭に現れるひずみ軟化の挙動を示した。体積変化はさらに膨張傾向が強まり、 $\sigma_c < 200\text{kN/m}^2$ の供試体で正のダイレイタンスーを示した。

途中水浸試験には初期水浸試験と同様の方法で締固めた供試体を用いた。締固め時の初期飽和度 S_{r0} は緩詰め試料から順に 53、71、92%であった。途中水浸土のせん断試験結果を図 2 に示す。密度の違いによるせん断特性の変化は概ね初期水浸土の場合と同様であった。水浸以前の τ と ΔH を同じ密度の初期水浸土の場合と比較すると、 τ は幾分増加し、 ΔH はほぼ同程度の結果となった。A 試料について行った同様の試験では、せん断中に水浸することで急激にせん断強度が低下し、ダイレイタンスーが正の供試体ではそれ以上の膨張は発生せず、負の供試体ではコラプスと呼ばれる体積減少が認められた⁴⁾。しかしながら、今回試験した B 試料では、せん断中の水浸による強度低下や体積変化の急変は認められなかった。これは、B 試料の方が供試体作製時の初期飽和度が高く、せん断中に水浸

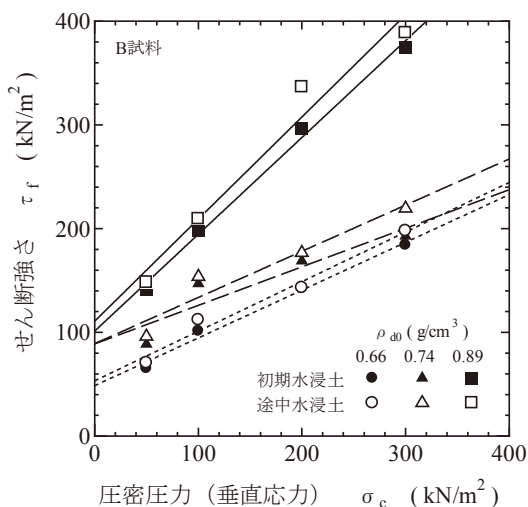


図 3 初期水浸土と途中水浸土のせん断強さ

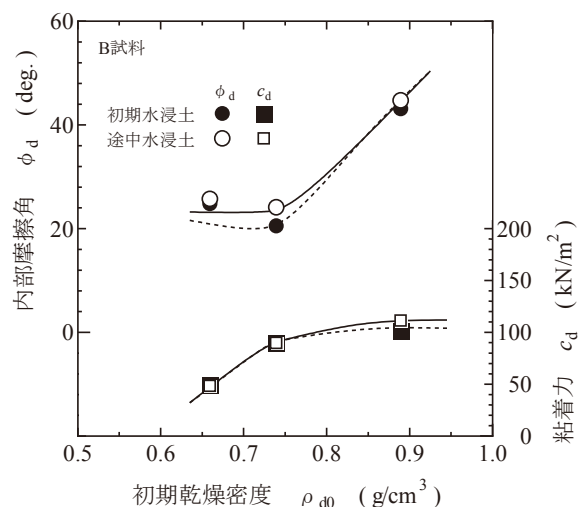


図 4 初期水浸土と途中水浸土の強度定数

した影響が小さかったためであると考えられる。

初期水浸土と途中水浸土のせん断強さ τ_f を ρ_{d0} ごとに比較したものが図 3 である。いずれの ρ_{d0} においても途中水浸土の τ_f が若干大きい、両者にそれほど大きな差異はない。また、緩詰めと中位詰め試料の τ_f にあまり大きな違いは無いが、密詰め試料のそれは明らかに大きくなり、特に σ_c が大きい領域で顕著である。この図にクーロンの破壊基準を適用し、強度定数を算定した。得られた強度定数を ρ_{d0} に対してプロットしたのが図 4 である。水分条件の異なる両者の強度定数は、内部摩擦角 ϕ_d 、粘着力 c_d ともにほぼ同じ値を示した。 ρ_{d0} の増加に対して、 ϕ_d は緩～中位の密度までは 24° 前後の一定値であり、砂質土としてはかなり低い値である。密度をこれ以上に増加させると 44° 程度まで急激に増大する。 c_d は ρ_{d0} の増加に対して緩やかに増大し、約 100kN/m^2 に漸近する。

4. おわりに

鹿児島県内で採取した降下軽石層について、締固め密度の異なる供試体を作製し、水浸条件を変えた一面せん断試験を行った。初期乾燥密度や水分量が降下軽石層のせん断強度特性におよぼす影響について検討した。その結果、初期水浸土では、初期乾燥密度が大きく圧密圧力が小さい供試体ほど正のダイレイタンスを示すと同時にひずみ軟化型のせん断挙動を示すことが分かった。緩詰めと中位詰めの供試体ではせん断応力に差はほとんど無いが、密詰め試料では急激に増加する。このせん断強度の増大は内部摩擦角に現れる。せん断強度が急変する密度が存在するため、この試料を建設資材で利用する場合や基礎地盤とする場合は密度管理が重要である。

途中水浸土のせん断強度は初期水浸土のそれより幾分増加するものの、先に行った A 試料ほどの明確な違いは認められなかった。これは供試体作製時の飽和度が高かったためであり、せん断中に水浸した影響が小さかったためであると思われる。

今後、水分量を変えたせん断試験を行い、飽和度の上昇にともなう強度低下を定量的に把握し、降雨の浸透にともなう斜面崩壊発生メカニズムについて検討していきたい。

参考文献

- 1) 地盤工学会編：地盤工学用語辞典(2006)
- 2) 肥山浩樹：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－，南九州から南西諸島における総合的防災研究の推進と地域防災体制の構築報告書，pp.91-94(2013)
- 3) H. Hiyama and S. Tanaka : Shear Strength Characteristics of Weathered Pumice Fall Deposit, Proceedings of 7th International Joint Symposium on Problematic Soils and Geoenvironment in Asia, pp.189-190(2013)
- 4) 肥山浩樹：初期含水比や密度の違いが降下軽石層の力学特性におよぼす影響，南九州から南西諸島における総合的防災研究の推進と地域防災体制の構築報告書，pp.77-85(2014)
- 5) 田中駿・肥山浩樹：降下軽石層の不飽和強度特性，平成 26 年度農業農村工学科九州沖縄支部大会講演要旨集，pp.200-201(2014)