

原位置試験および室内試験による鳥海山泥流堆積物の非排水せん断強度

秋田大学 学生会員 工藤航也, 正会員 荻野俊寛, 正会員 高橋貴之
 奥山ボーリング株式会社 非会員 深澤勇氣, 藤井 登

1.研究背景・目的

過去の噴火による泥流堆積物が表層に厚く堆積する鳥海山麓では、近年、短時間・局所的に発生する豪雨によって、自然斜面や道路のり面の崩壊が相次いでいる。表層崩壊と降雨量との関係を把握するためにはまず、表層土の土質特性を明らかにする必要がある。本研究は山麓の市道沿いの斜面において実施した原位置試験および室内試験結果から得られた、鳥海山由来の泥流堆積物の物理特性および強度特性について報告する。

2.対象斜面

研究対象とした斜面は秋田県由利本荘市内の市道鳥海線沿いの自然斜面(図-1)であり、著者らりが過去に報告した亀森線沿いの斜面の近くに位置している。両サイトの距離はおよそ0.7kmである。この斜面は過去に表層崩壊を起こした形跡が見られ、表層は鳥海山由来の火山砕屑物を主体とする泥流堆積物からなる。斜面下部(調査点 S1)および上部(調査点 S2)において簡易動的コーン貫入試験および土層検査棒によるベーンコーンせん断試験を実施した。図-2 に簡易動的コーン貫入試験から得られた貫入深さと N_d 値の関係を示す。図から調査点 S1 では深度 3.4m, 調査点 S2 では 5.7m で $N > 50$ となっており、泥流堆積物の層厚はおよそ 3~6m と推察される。図中の c_u は後述の式(1)によって N_d から求めた値である。

また、滑落崖近傍から室内試験のために不かく乱試料を採取した(図-1)。試料の採取深度は調査点 S2 地表面からおよそ 1m である(図-2)。試料は内径 60mm, 高さ 30mm のカッターリングを原地盤に貫入して採取した。また、この他に別途乱した試料を採取し、物性試験を実施した。表-1 に試料の物性値を、図-3 に粒径加積曲線を示す。試料はいずれも高液性限界を示し、細粒分を多く含む。鳥海線試料の粒度分布は亀森 1b とほぼ一致している。

3.室内試験概要

採取した不かく乱試料を用いて圧密試験および一面せん断試験を実施した。圧密試験は JISA1217 による段階載荷圧密試験である。一面せん断試験は $\sigma_v = 20, 40, 60, 120\text{kPa}$ で圧密後、定体積条件にてせん断速度 0.1mm/min で、せん断変位 7mm までせん断を行った。試験は降雨時における強度低下を調べるため、浸水、非浸水の 2 つの場合でせん断試験を行った。供試体を浸水させる場合は原位置での降雨を想定し、圧密後、圧密応力を一定に保ったまま、浸水箱内に水を注入し、供試体を飽和させた後にせん断を行った。

4.原位置試験結果

簡易動的コーン貫入試験より得られた N_d 値は前掲図-2 のとおりである。表層から数 m までは N_d が 10~15 以下の低強度の層が堆積している。図-4 はベーンコーンせん断試験の結果であり、横軸にはベーンコーンに与えた鉛直荷重 W を、縦軸にはトルク T を示している。測定深は地表面から 0.3~0.5m である。調査点 S2 では鉛直荷重の増加とともにほぼ直線的にトルクも増大する結果が得られた。しかし、調査点 S1 では地盤が軟弱で、鉛直荷重の増加によってベーンコーンが地盤に貫入し、周辺が乱されたため、トルクの増加が見られなかつ

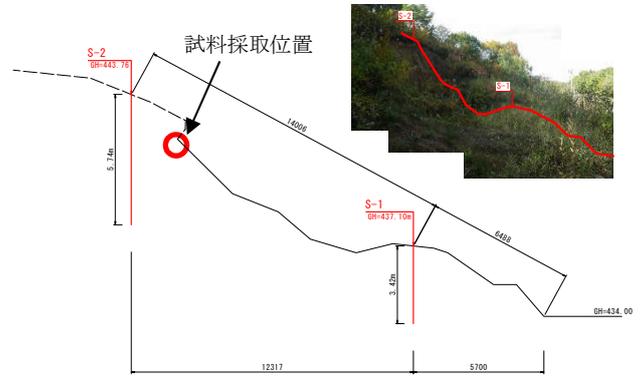


図-1 対象斜面

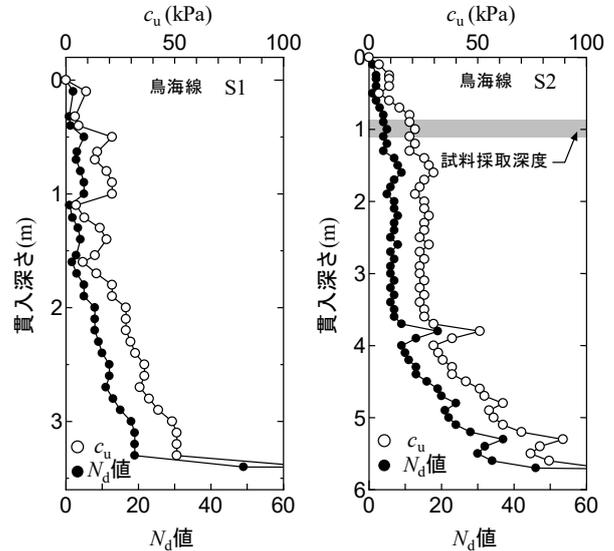


図-2 貫入深さ- N_d 値関係

表-1 物性試験結果

| | 採取深度 (m) | 自然含水比 (%) | WL (%) | w _p (%) | 土粒子密度 (g/cm ³) | C _c | C _s |
|---------------------|----------|-----------|--------|--------------------|----------------------------|----------------|----------------|
| 亀森 1a ¹⁾ | 0.5 | 70.0 | 99.2 | 50.2 | 2.75 | | |
| 亀森 1b ¹⁾ | 3.8 | 66.7 | 94.5 | 45.8 | 2.77 | 0.73 | 0.02 |
| 鳥海線 | 1.0 | 49.3 | 85.8 | 42.5 | 2.67 | 0.34 | 0.02 |

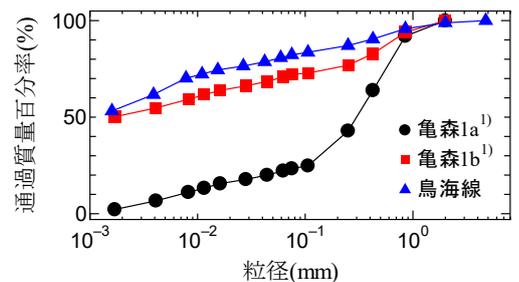


図-3 粒径加積曲線

た。鉛直荷重が大きくなると貫入量は増大し、100Nより大きな範囲では鉛直荷重を支持することができず、ベーンコーンせん断試験を行うことができなかった。

図-4の上軸および右軸にはそれぞれベーンコーンせん断試験にもとづいた経験式²⁾から計算した垂直応力 σ およびせん断応力 τ を示している。近似線から求めた強度定数はそれぞれ、 $c_{dk}=10\text{kPa}$ 、 $\phi_{dk}=16.5^\circ$ である。ベーンコーンせん断試験のせん断速度($1^\circ/\text{sec}$)から、せん断は非排水条件とみなせるため、 c_{dk} 、 ϕ_{dk} は全応力にもとづく非排水強度に対応すると考えられる。

5.室内試験による非排水せん断強度

図-5は圧密試験による圧縮曲線を示している。図には比較のため亀森線から採取した試料の結果も示している。いずれの試料とも圧縮曲線より得られた圧密降伏応力 p_c は土被り圧 $\sigma_{v\text{-}in\text{-}situ}$ よりも明らかに大きな値を示している。楊・諸戸³⁾はセメンテーションによる効果として、他の地域から採取された火山灰質粘性土について同様の結果を報告している。

図-6は一面せん断試験から得られたせん断応力-変位関係を、図-7は応力経路を示している。図から、土被り圧に最も近い $\sigma=20\text{kPa}$ の供試体は強く過圧密された土に特徴的な正のダイレイタンスを呈している。また、非浸水の供試体は浸水供試体よりも著しく高い非排水強度を示している。これは飽和化にともなうサクシジョンの低下が原因と推察される。応力経路から有効応力にもとづく強度定数 $c'=20\text{kPa}$ 、 $\phi=19.3^\circ$ 、および全応力にもとづく強度定数 $c_{cu}=32\text{kPa}$ 、 $\phi_{cu}=5.3^\circ$ が得られる。実験で設定した応力範囲では試料が過圧密状態にあり、一般的な正規圧密粘土よりも大きな c 、小さな ϕ が得られている。このことは泥流堆積物の表層崩壊に対する安定が過圧密領域の強度を用いて評価されるべきであることを示している。

図-7から、原位置の土被り圧を用いて c_{cu} 、 ϕ_{cu} から浸水時の非排水強度を求めると $c_u=33\text{kPa}$ となる。これは大雨や融雪によって原地盤が飽和した場合の原位置強度に相当する。不飽和状態の地盤では、非浸水状態の実験結果から原位置強度はおおよそ $c_u=74\text{kPa}$ と推測され、地表面付近であるにも関わらず、サクシジョンやセメンテーションの効果によって高い強度を有していることがわかる。

一面せん断試験の c_{cu} 、 ϕ_{cu} はベーンコーンせん断試験による c_{dk} 、 ϕ_{dk} に対応する。図-7には c_{dk} 、 ϕ_{dk} による強度増加も示しているが、両者は一致せず、ベーンコーンせん断試験の結果は非浸水の一面せん断試験よりも小さな強度を示し、経験式²⁾の適用性は高くない。

また、動的簡易貫入試験の N_d 値から式(1)⁴⁾を用いて非排水強度 c_u を求めることができる(図-2)。

$$N=0.75N_d \quad (N_d \leq 4), \quad N=1.7+0.34N_d \quad (N_d > 4) \quad (1)$$

$$c_u=6.25N$$

これらの式から試料の採取深度における c_u を求めると、 $c_u=18.3\sim 21.3\text{kPa}$ となる(図-7)。これは一面せん断試験による c_u よりも小さく、二つの原位置試験から推定した強度はいずれも室内試験による強度を大きく下回ることが示された。これらの原位置試験結果から信頼できる強度を得るためには、さらに多くのデータを蓄積し、一面せん断試験結果との相関を明らかにする必要がある。

6.まとめ

本研究から得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 圧密降伏応力は土被り圧よりも著しく大きな値を示し、一面せん断試験の応力経路は強く過圧密された土に特徴的な挙動を示す。このことから表層部の安定評価には過圧密領域の強度特性を用いる必要がある。
- 2) 不飽和状態の強度はサクシジョン等の影響により大きな値を示すが、浸水によって大幅な強度低下が見られた。
- 3) 原位置試験から推定した強度はいずれも一面せん断試験よりも小さな値を示した。信頼できる原位置強度の推定には室内試験の強度と直接的な相関関係が必要であり、さらなるデータの蓄積が必要である。

【参考文献】 1) 谷田貝ら：鳥海山泥流堆積物の一面せん断強度におよぼす飽和度の影響，平成27年度土木学会東北支部技術研究発表会，CD-ROM，2016。 2) 土層強度検査棒による斜面の土層調査マニュアル，土木研究所，www.db.pwri.go.jp/pdf/D6641.pdf。 3) 楊俊傑・諸戸靖史：不攪乱火山灰質粘性土のセメンテーション効果に起因したせん断強さ，土木学会論文集，Vol. 617/III-46，pp. 175-189，1999。 4) 岡田ら：盛土表層部の土質強度に関する異種のサウンディング試験結果の相関性，土と基礎，Vol. 40，No. 411，pp. 11-16，1992。

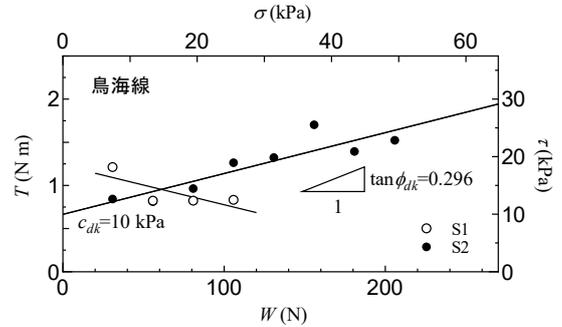


図-4 ベーンコーンせん断試験の結果

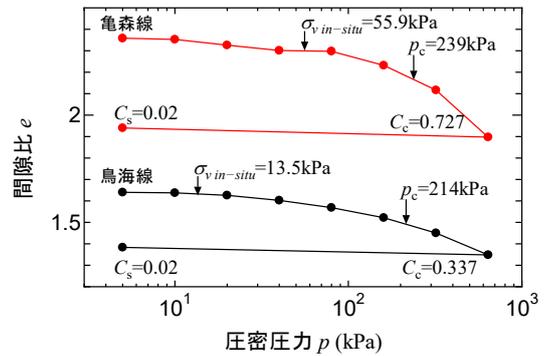


図-5 圧密試験から得られた圧縮曲線

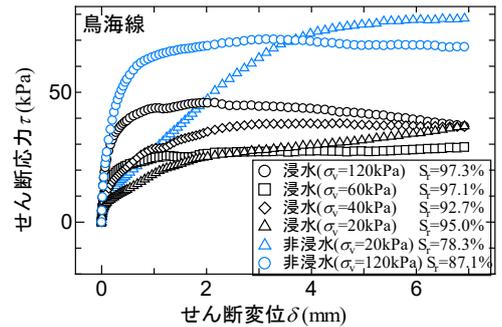


図-6 せん断応力-変位関係

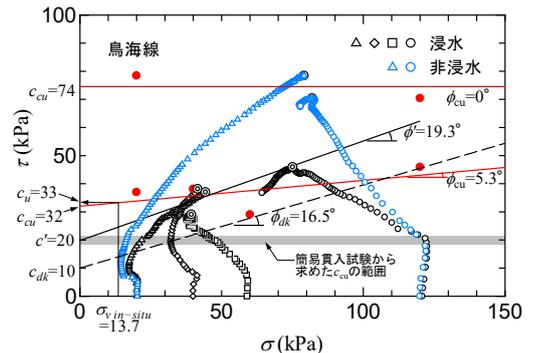


図-7 応力経路図