

# 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

秋田大学 学生会員 谷田貝友裕 非会員 チャン アン トウン  
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 深澤勇気 正会員 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現地調査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.土質特性

実験に用いた試料は秋田県由利本荘市内の市道亀森線沿いの2つの斜面から採取した3種類の粘性土(亀森1a, 亀森1b, 亀森2)である。これら2つの斜面の表層はいずれも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り、過去に降雨によって表層崩壊を起こした履歴を持つ。このうち、亀森1の採取現場では比較的大規模な崩壊が発生しており(図-1), 異なる深度から2種類の試料を採取した。試料は内径60mm, 高さ20mmのカッターリングを原地盤に貫入して採取し、室内試験に使用した。また、この他に別途攪乱試料を採取し、物性試験を実施した。表-1に試料の物性値を、図-2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、表層付近から採取した亀森1aは砂分が、深度約3.8mから採取した亀森1bは粘土分が多く含まれており、深度によって堆積要因によって土の物理的性質は大きく異なっている。

## 3.試験概要

せん断試験は $\sigma_v=20,60\text{kPa}$ で圧密後、定体積条件にてせん断速度 $0.1\text{mm/min}$ 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。

また、亀森1の採取現場近傍では簡易貫入試験および土層検査棒によるベンコーンせん断試験を実施した。

## 4.一面せん断試験結果

図-3～図-5は各試料のせん断応力-せん断変位関係を示している。不かく乱試料のため、せん断応力-せん断変位関係は乱れており、一部の結果は固結した試料に特徴的な複数のピークを呈している。亀森2では浸水による強度の低下が見られるが、亀森1a, 1bでは必ずしも明瞭な強度低下は生じていない。

浸水前後の供試体の飽和度の変化を表-2に示す。亀森2では試験前の飽和度が60%以下であるが、亀森1a, 1bでは80%以上と高く、浸水による飽和度の変化が少なかったために、強度低下が見られなかったと考えられる。図-6～図-8はこれらの図に対応する有効応力経路である。浸水によって強度低下を起こさなかったこれらの実験では浸水と非浸水で経路の違いはほとんど見られない。

有効応力経路の形状は $\sigma_v=60\text{kPa}$ の場合は、せん断初期に有効応力の低下が見られるが、 $\sigma_v=20\text{kPa}$ の場合、有効応力の低下はほぼ見られず、ほぼ一定か増加する、過圧密土に特徴的な挙動を示している。図-6～図-8の有効応力経路の包絡線から浸水、非浸水それぞれの場合について有効応力

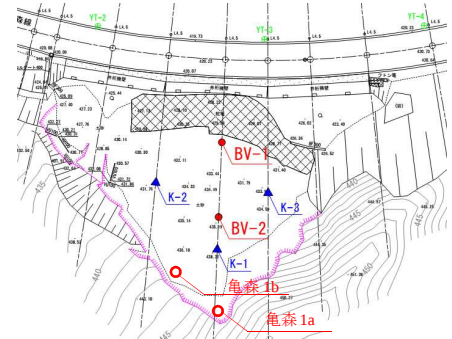


図-1 試料採取位置(亀森1)

表-1 物性試験結果

|      | 採取深度(m) | 自然含水比(%) | $\omega_L$ (%) | $\omega_p$ (%) | 土粒子密度( $\text{g/cm}^3$ ) |
|------|---------|----------|----------------|----------------|--------------------------|
| 亀森1a | 0.5     | 70.0     | 99.2           | 50.2           | 2.75                     |
| 亀森1b | 3.8     | 66.7     | 94.5           | 45.8           | 2.77                     |
| 亀森2  | 0.5     | 71.1     | 94.9           | 35.2           | 2.63                     |

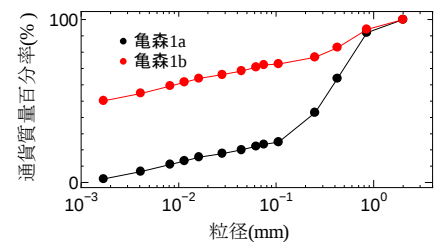


図-2 粒径加積曲線

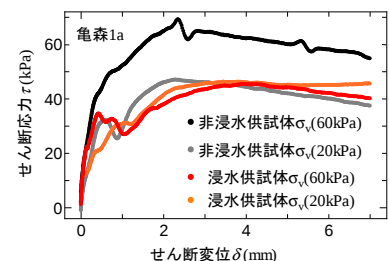


図-3 亀森1a せん断応力-変位関係

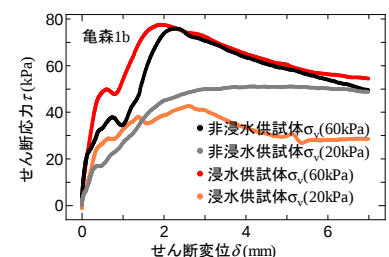


図-4 亀森1b せん断応力-変位関係

基づいた強度定数を求めるといずれの試料でも $\phi'$ は $40^\circ$ 前後とかなり大きな値を示し、浸水条件によってほとんど変化しないことがわかる。一方、圧密応力とせん断強度の関係から得られる全応力に基づいた強度定数は、非浸水の場合、 $\phi_{cu}$ はおよそ $30^\circ$ と試料による差はほとんどない。また、 $c_{cu}$ は $28\sim 40\text{kPa}$ であることから低圧密応力下においても比較的高い強度を発揮しうることがわかる。浸水時においては亀森2で $c_{cu}$ 、 $\phi_{cu}$ ともに大きく減少しており、降雨等による飽和度の上昇によって強度が低下する様子が再現されている。亀森1aでは実験結果のばらつきから非現実的な値となっているが、亀森1a、1bでは飽和度の変化は小さいことから、基本的に大幅な強度低下は生じないと考えられる。

## 6.簡易貫入試験・土層検査棒結果との比較

図-9は亀森1a、1bの試料採取点近傍において実施した簡易貫入試験より得られた貫入深さと $N_d$ 値の関係である。表層から深度約 $3.5\text{m}$ までは $N_d=5$ 前後でほぼ一定であり、 $3.5\sim 4.8\text{m}$ では $N_d=10\sim 20$ 程度に増加している。このことから、原地盤は深度約 $3.5\text{m}$ を境界とした二つの土層からなっていると判断し、表層付近から採取した亀森1aは上部層に、深度約 $3.8\text{m}$ から採取した亀森1bは下部層に対応するものとして、下式を用いて換算 $N$ 値を求め、換算 $N$ 値から $c$ を求めた。

$$N = 0.75N_d \quad (N_d \leq 4 \text{ の場合})$$

$$N_d = 1.7 + 0.34N \quad (N_d > 4 \text{ の場合})$$

$$c = 6.25N$$

得られた $c$ の値の範囲を図-6および図-7に示している。簡易貫入試験から得られる強度 $c$ は一面せん断試験の全応力に基づいた強度定数 $c_{cu}$ 、 $\phi_{cu}$ に対応する。いま、土層の単位体積重量を $18\text{kPa}$ と仮定して試料採取地点の土被り圧を概算すると、亀森1aでは深度 $0.5\text{m}$ として $9\text{kPa}$ 、亀森1bでは $68\text{kPa}$ となる。非浸水の場合の $c_{cu}$ 、 $\phi_{cu}$ からこれらの土被り圧に対応する強度 $s_u$ を求めるとそれぞれ $s_u=44\text{kPa}$ 、 $81\text{kPa}$ となるが、簡易貫入試験による $c$ はこれらの値より大幅に小さく $s_u$ の $50\%$ ほどである。また、亀森1bの採取地点近傍において実施した土検棒から得られた強度定数は $c=19\text{kPa}$ 、 $\phi=11^\circ$ であり、原位置試験からは一面せん断試験よりも小さな強度定数が得られた。

## 7.まとめ

鳥海山麓の斜面で頻発する表層崩壊を対象として、原位置から採取した泥流堆積物に対し一面せん断試験および原位置試験して、降雨等による飽和度の上昇が非排水強度におよぼす影響について検討した。本研究から得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 一面せん断試験の結果から、非浸水の場合、全応力に基づいた $\phi_{cu}$ は試料によるばらつきは小さく、およそ $\phi_{cu}=30^\circ$ であった。 $c_{cu}$ は $c_{cu}=28\sim 40\text{kPa}$ であり、低圧密応力下において比較的大きな強度を示した。また、飽和度が低い試料では、浸水によって大幅な強度低下が見られた。
- 2) 簡易貫入試験および土層検査棒から得られた強度定数はいずれも一面せん断試験よりも大幅に小さい値を示したが、今後、さらに多くのデータを蓄積し、原位置試験と室内試験の強度定数の相関関係が得られれば原位置試験の結果を有効に活用可能であると考えられる。

### 【参考文献】

- 1) 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.

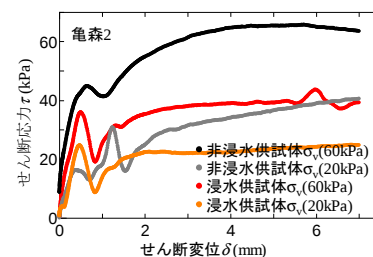


図-5 亀森2 せん断応力-変位関係

表-2 浸水による飽和度変化

| 試料    | $\sigma_v=20\text{kPa}$ |      | $\sigma_v=60\text{kPa}$ |      |
|-------|-------------------------|------|-------------------------|------|
|       | 浸水前                     | 浸水後  | 浸水前                     | 浸水後  |
| 亀森 1a | 87%                     | 97%  | 82%                     | 99%  |
| 亀森 1b | 101%                    | 102% | 93%                     | 100% |
| 亀森 2  | 57%                     | 89%  | 56%                     | 81%  |

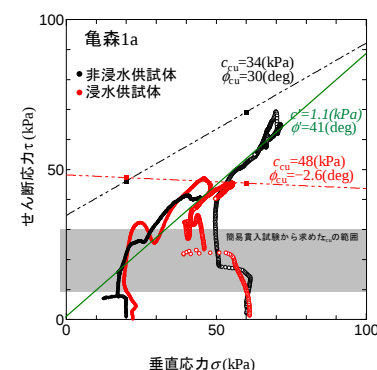


図-6 亀森 1a 有効応力経路

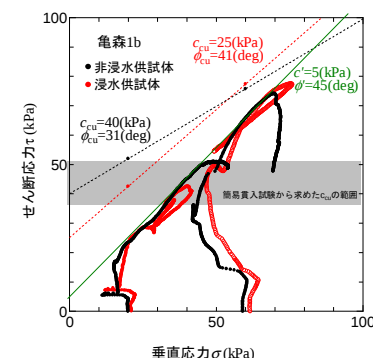


図-7 亀森 1b 有効応力経路

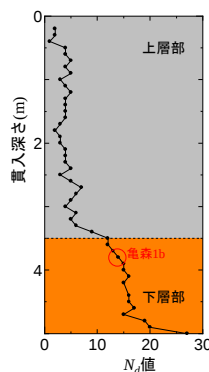


図-9 貫入深さ- $N_d$ 値の関係

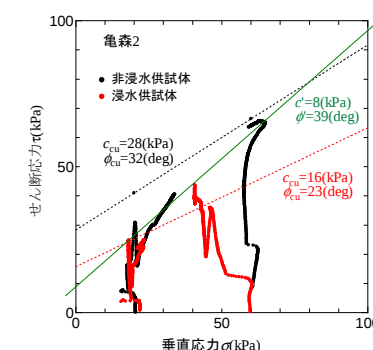


図-8 亀森 2 有効応力経路