関門層群のスレーキング特性と不撹乱試料の強度の関係

山口大学大学院創成科学研究科　正会員　○居石　和昭
山口大学大学院創成科学研究科　正会員　鈴木　素之
山口大学大学院博士前期課程　学生会員　逢阪　勇輝

1. はじめに

山口県西部から北部にかけて白亜紀前期の関門層群が広く分布する（図 1）．関門層群は砕屑岩からなる下部の脇野亜層群と火山砕屑岩および火山岩からなる上部の下関亜層群で構成される．Kochi et al.[2] は関門層群のうち強風化層からなる斜面で切土施工中あるいは施工後に崩壊が発生した例を報告しており，これまでに関門層群からなる斜面崩壊が相次いで報告されている．崩壊の素因としてはスレーキング特性[3] や光沢質黒色薄層土[4), 5)] の存在があげられ，その特性を考慮した法面の設計・施工が課題である．本報では山陰道豊田俵山道路建設予定地で進めている試験切土予定箇所の不撹乱試料に対して圧密非排水三軸圧縮試験（$\overline{CU}$）とその試験後供試体に対してスレーキング試験を実施し，両試験結果に基づいてスレーキング特性や光沢質黒色薄層土が不撹乱試料の応力−ひずみ関係および強度特性に及ぼす影響について述べる．

図 1　山口県地質図[1)]

2. 供試体概要

本研究で用いた不撹乱供試体は，試験切土予定地の高さ 7m の暫定的に切り取りされた斜面の法肩および法尻において，ネイルサンプリングにより水平および鉛直方向にそれぞれ採取したものである．採取した土試料は冷凍庫で凍結させた後，コアカッターで直径約 5cm，高さ約 10cm の供試体に成形した．なお，供試体の成形中に黒色薄層土沿いで断裂が発生したため，十分な本数の供試体が用意できなかった（特に法肩で採取した試料に断裂が多かった）．

3. 試験方法

供試体を三軸圧縮試験装置ペデスタルにセットし，有効拘束圧σ'=20kN/m² の状態で 24 時間かけて解凍した後，脱気水の通水，背圧の載荷を順次行い，B 値が 0.95 になることを確認した．圧密打切り時間t_cは$3t$法の値を参考に，それを超える一律 120 分間とした．圧密終了を確認した後，直ちにひずみ速度 0.2%mm で非排水せん断を行った．

4. 試験結果

4-1 圧密非排水三軸圧縮試結果

図 2 に不撹乱試料の応力−ひずみ曲線を示す．凡例は採取位置−採取方向（有効拘束圧）試験番号を示している．試験結果において，(1) 軸ひずみε_aが 3%までに主応力差の最大値（$\sigma_a-\sigma_r$）$_{max}$（ピーク強度と呼ぶ）を迎える，(2) ε_aの増加とともに（$\sigma_a-\sigma_r$）が単調に増加する 2 つのパターンがみられた．図 3 に各供試体のピーク強度と乾燥密度ρ_dの関係を示す．この結果より，乾燥密度が高い方がピーク強度が高くなる傾向にあることがわかった．また，法尻においてσ'=50kN/m² のときのピーク強度は水平供試体の方が鉛直供試体よりも高

キーワード　関門層群，三軸圧縮試験，スレーキング，光沢黒色薄層土，主応力差，破壊モード
連絡先　〒755−8611　山口県宇部市常盤台 2−16−1
ＴＥＬ0839−85−9316

いが，σ'=100kN/m² と 120kN/m² のときのピーク強度は鉛直供試体の方が水平供試体よりも高くなった．このことより，強度異方性が確認できた．さらに，法尻および法肩の鉛直供試体のピーク強度を比較すると，法尻の方が高くなることが分かった．

4-2 破壊モードについて

本試験から，(a) たすき状の鋭角なせん断破壊，(b) v 字状のせん断破壊，(c) 供試体がたる型に膨らむようなせん断破壊，(d) たすき状の鈍角なせん断破壊の 4 種類の破壊モードが識別された．前述のパターン (1) の応力-ひずみ曲線はいずれも (a) の破壊モードとなった．これに対して，パターン (2) の応力-ひずみ曲線は (b) ～ (d) のいずれかの破壊モードになった．これより，破壊モードと応力-ひずみ曲線には相関がある．また，図 3 に各供試体のピーク強度に対して 4 種類の破壊モードをグループ分けしたものを示す．この結果より，(a) たすき状の鋭角なせん断破壊，(b) v 字状のせん断破壊，(c) 供試体がたる型に膨らむようなせん断破壊，(d) たすき状の鈍角なせん断破壊の順でピーク強度が高いことがわかった．また，ρ_d=1.40 g/cm³ を超える破壊モードは (a) の破壊モードのみであるのに対して，ρ_d=1.40 g/cm³ を下回る破壊モードは (b) ～ (d) のいずれかの破壊モードになった．これより，ρ_d=1.40 g/cm³ を境として破壊モードが変化する傾向がみられた．ただし，法尻-水平 (120kN/m²) ②のみが (a) の破壊モードでありながら，ピーク強度は低く，乾燥密度は 1.40 g/cm³ を下回った．これについては，4-4 で述べる．

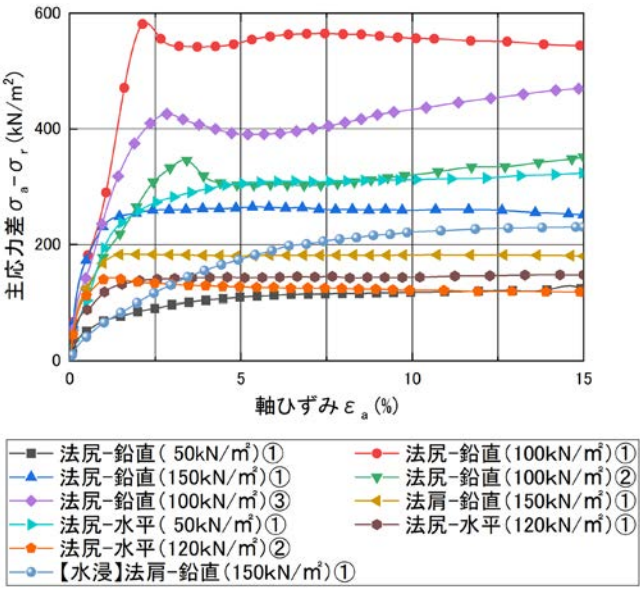

図 2　不撹乱試料の応力-ひずみ曲線

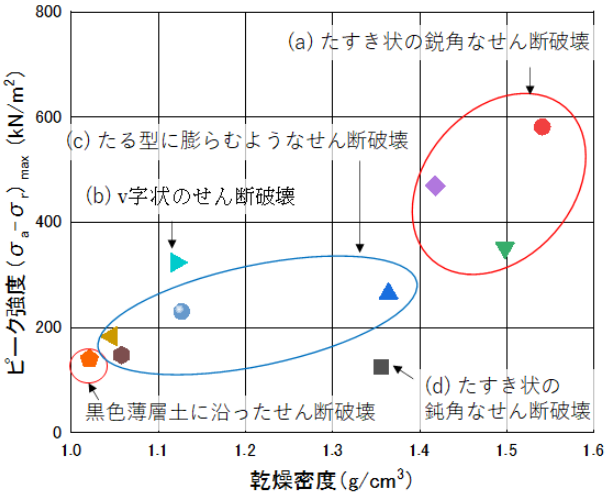

図 3　ピーク強度と乾燥密度

4-2 試験後の供試体のスレーキング結果

試験後の供試体のうち，法尻-鉛直 (50kN/m²) ①，法尻-鉛直 (100kN/m²) ①，法尻-鉛直 (150kN/m²) ①，法尻-鉛直 (100kN/m²) ②，法肩-鉛直 (150kN/m²) ①の 5 つを用いて，スレーキング試験を行った．表 1 および図 3 に試験結果を示す．ピーク強度が高い供試体ほどスレーキング指数が低い，すなわち，スレーキングしにくいことがわかった．

表 1　試験後供試体のスレーキング指数

試料名	法尻-鉛直① (50kN/m²)	法尻-鉛直① (100kN/m²)	法尻-鉛直① (150kN/m²)	法尻-鉛直② (100kN/m²)	法肩-鉛直① (150kN/m²)
ピーク強度 (kN/m²)	123.3	581.3	264.7	351.1	182.9
水浸前の含水比 (%)	3.5	2.5	3.2	0.9	2.8
水浸 24 時間後の 含水比 (%)	48.2	33	93.9	26.7	102.7
スレーキング指数	3	2	4	1	4

4-3 破壊モードとスレーキング結果

図4にスレーキング試験結果との相関図を示す. スレーキング指数が2以下はモード(a), スレーキング指数3はモード(d), スレーキング指数4はモード(c)のように, スレーキング指数の大小によって破壊モードが変わることが分かった.

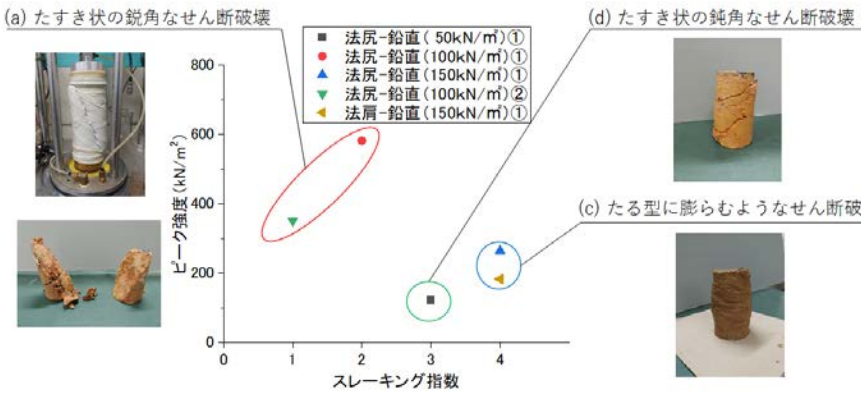

図4　ピーク強度とスレーキング指数

4-4 黒色薄層土沿いのせん断について

法尻−水平(120kN/m²)②は供試体内に黒色薄層土が潜在し, それに沿ってすべり面が発生した. 同条件の法尻−水平(120kN/m²)①と比較すると, ピーク強度はほぼ同等であるが, ピーク強度が発現したのがε_a=15%であるのに対して, 黒色薄層土を含む供試体ではε_a=2%程度でピークを迎えている. また, 各破壊モードにおいて, 法尻−水平(120kN/m²)②がモード(a)であるのに対して, 法尻−水平(120kN/m²)①はモード(c)であった.

以上より, たすき状の鋭角なせん断破壊のときピーク強度は比較的高い値を示すとしたが, 黒色薄層土を含む法尻−水平(120kN/m²)②はピーク強度が140.1kN/m²と低い値となった. これは本来高い強度を示す破壊モードでも, 黒色薄層土が弱面となってせん断されると強度が低くなることを示唆している.

5. まとめ

圧密非排水三軸試験の結果, 供試体によって応力−ひずみ曲線の挙動, 破壊モード, ピーク強度に違がみられた. 以下に結果を要約する.

(1) 軸ひずみε_aが3%までにピークを迎える供試体はピーク強度が高く, 破壊モードはたすき状の鋭角なせん断破壊であった.
(2) 軸ひずみの増加とともに徐々に主応力差が増加する供試体は上記(1)の供試体に比べてピーク強度は低く, 破壊モードは多様であった.
(3) 上記(1)と(2)の破壊モードは乾燥密度ρ_d=1.40 g/cm³を境に変化する.
(4) 黒色薄層土がすべり面となって出現したケースでは, 破壊モードがたすき状の鋭角なせん断破壊であってもピーク強度は低くなった.
(5) 試験後の供試体のスレーキング試験により, ピーク強度が高いほど, スレーキングしにくい結果となった. また, スレーキング指数によって破壊モードの違いに傾向があった.

謝辞：本研究は国土交通省中国地方整備局山陰西部国道事務所の受託研究の一環として実施したものである. 関係各位に謝意を表す次第である.

参考文献

1) 西村祐二郎,今岡照喜,金折裕司,亀谷敦 : 山口県地質図第3版(15万分の1)及び同説明書, 山口地質学会, 2012.
2) Kochi, Y., Yamamoto, T., Suzuki, M. and Nishikawa, T.: Characteristics of landslide and failure with their countermeasures in Kanmon-group slopes, Yamaguchi prefecture, Western Japan, Journal of the Japan Landslide Society, Vol.41, No.2, pp.84-93, 2009.
3) 神谷知佳，鈴木素之，太田岳洋，河内義文，松下英次：関門層群強風化土層における斜面崩壊リスクの検討，第55 回地盤工学研究発表会発表講演集，pp.1342-1344，2020.
4) 神谷知佳，鈴木素之，太田岳洋，河内義文：関門層群における強風化安山岩のスレーキング特性と切土斜面の脆弱化に関する検討，地盤と建設，Vol.37, Np.1, pp.99-106，2019.
5) 山本哲朗，鈴木素之，吉原和彦，宮内俊彦：不連続面土の光沢質黒色薄層土に起因した斜面崩壊と設計強度定数，地すべり，第37巻，第4号，pp.49-57，2001.