

乾湿繰返し・応力解放・温度変化が制御可能な スレーキング試験装置の開発と適用

九州大学 学 ○平島匡将

九州大学 F 安福規之 正 石藏良平

1. はじめに

2018年10月1日に佐賀県伊万里市南波多町府招地区において法面の崩落が発生した。この崩落の原因として、乾湿繰返しによるスレーキングが急速に進行し、地盤強度が低下したことが影響を与えたと考えられた。スレーキングとは、塊状の物質(土塊や軟岩)が吸水・乾燥を繰返すことで、収縮膨張現象で微細なクラックが発生・増加することで破壊作用が進行し細片化する現象のことである。これまでスレーキングによる斜面災害は全国各地で発生しており、スレーキングの劣化進行特性を事前に把握し評価することが長年の課題である。既往の研究では、菊本ら¹⁾が拘束応力を与えた条件下でのスレーキング特性と応力ひずみ特性への影響を考察する圧縮スレーキング試験を実施し、粒度指標 I_G と最大・最小間隙比や限界間隙比を関係づけることでスレーキング現象を構成側の範疇で考慮できるという考えを示した。スレーキングは一般的にスメクタイト等の膨潤性粘土鉱物を含む場合に顕著に表れるが、実際にはそれだけではなく多様な内的・外的要因が挙げられている。そこで、本研究では乾湿繰返し・応力解放・温度変化の三つの外的要因に着目し、三つの要因を付与できるスレーキング試験装置の開発とスレーキング試験方法の提案を行い、試験結果と提案するスレーキング試験の有用性に関する考察を行った。

2. 実験の概要

2-1 試験装置の開発

試験装置の開発において、圧密試験機を応用してスレーキング試験装置(図-1・写真-1)の開発を行った。以下に試験装置の特徴について述べる。

(I) 乾湿繰返し

①の供試体の下から空気と水を入れられるように、供試体の上下部分に②のポーラスストーンを入れた。また、バルブで二つの通路をつくり、③の乾燥通路と④の湿潤通路をそれぞれつなぎバルブで制御できるようにした。水の通水は⑤の水タンクから水頭差により供給し、空気の注入は、シリカゲルを敷き詰め、乾燥空気が充填した⑥のタンクから供給した。この二つの経路を交互に解放することで乾湿繰返しを表現した。

また、バルブで二つの通路をつくり、③の乾燥通路と④の湿潤通路をそれぞれつなぎバルブで制御できるようにした。水の通水は⑤の水タンクから水頭差により供給し、空気の注入は、シリカゲルを敷き詰め、乾燥空気が充填した⑥のタンクから供給した。この二つの経路を交互に解放することで乾湿繰返しを表現した。

(II) 応力解放 (0.1kPa-500kPa まで制御可能)

鉛直応力はコンプレッサーから送られる空気圧により制御できるようにした。応力解放は、最初所定の鉛直応力を供試体上部からかけ、乾湿履歴に合わせて除荷することで表現できるようにした。載荷・除荷に伴う応力値と沈下量は PC とデータロガーをつなぎ自動計測した。

(III) 温度変化 (15℃-80℃まで制御可能)

湿潤経路に送られる⑤の水タンクを図のように二つ用意し、二つのタンク内の水をヒーターによって温度管理できるようにした。異なる温度設定をした二つの水タンクから、各湿潤過程に交互に通水することで温度変化を表現した。

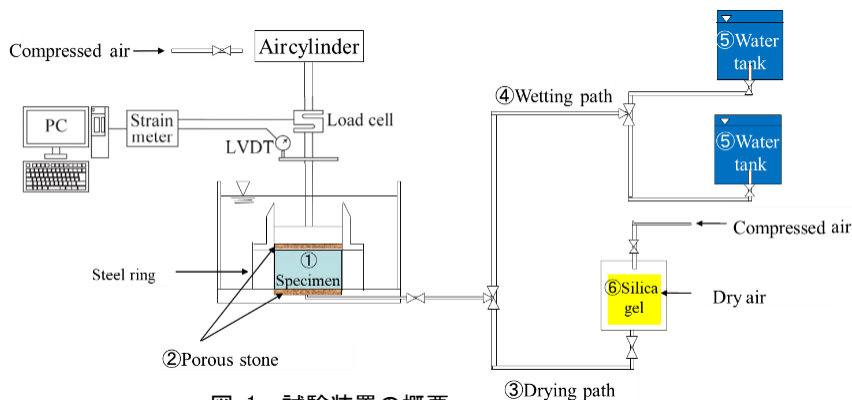


図-1 試験装置の概要



写真-1 試験装置

2-2 供試体の作製条件

実験には、斜面崩壊が発生した佐賀県府招地区で採取した泥岩と砂岩(写真-2・写真-3)を破砕機で2mm以下の土質材料にして攪乱試料として使用した。各試料の特性を表-1に示す。供試体は、粒径2mm以下の試料を直径6cm、高さ2cmの円柱型に締固めた。締固め条件は三層に分けて詰め、一層毎に締固め回数を10回とし、初期の相対密度は90%に統一した。



写真-2 泥岩

写真-3 砂岩

表-1 試料の物理的特性

	泥岩由来の礫	砂岩由来の礫
乾燥密度 ρ_d	1.51	1.57
体積 V	56.55	
乾燥重量 m_s	85.44	89.06
最小密度 ρ_{dmin}	1.2	1.26
最大密度 ρ_{dmax}	1.56	1.62
密度 ρ_s	2.61	2.72
間隙比 e	0.73	0.72
最小間隙比 e_{min}	0.67	0.68
最大間隙比 e_{max}	1.18	1.16
含水比 w	2.81	1.06
破砕率	46.91	55.44
スレーキング率	97.16	1.03

表-2 実験条件

	乾湿繰返し	応力解放	温度変化
①	○		
②	○	○	
③	○		○
④	○	○	○

圧密試験装置を応用して作製した図-1に示すスレーキング試験装置を用いて実験し、以下に実験手順を示し、各外的要因の影響を把握できるように設定した実験条件に関して表-2に示す。

(a)供試体にかかる空気圧に関して、佐賀県府招地区の災害発生前の土被り圧を参考に初期段階の実験であることから、鉛直応力を0.88~2.64kPaの極めて小さい応力範囲で制御し、間隙比の変化を計測した。

(b)1 サイクルは乾燥→湿潤→乾燥→湿潤→乾燥で行い、1過程各24時間で実施する。一回目の乾燥過程で2.64kPaをかけ、一回目の湿潤過程において0.88kPaまで除荷し、そのまま実験終了までかけた。

(c)湿潤過程の水の流量は10ml/minで供給し、乾燥過程は供試体形状に影響を与えない程度に20kPaの空気圧で供給した。

(d)温度変化は、二度ある湿潤過程においてヒーターで温度制御した水(15℃、30℃)をそれぞれ通水することで表現した。温度は実環境を考慮して設定した。

3. 実験の結果と考察

ここでは、実験条件における①と②の比較による結果・考察を図-2、図-3に示す。泥岩由来の土質材料では、応力解放を起こした後、間隙比が急激に上昇し、影響を受けていることがわかる。一方で、砂岩由来の土質材料では、応力一定の場合乾湿繰返しの影響を受けて間隙比が顕著に変化しているが、応力解放による影響は確認されなかった。つまり、(1)試料の種類に関わらず一次元圧縮特性に乾湿繰返しの影響が見受けられること、(2)低応力下ではあるが、応力解放の影響も試料の種類に関わらず見受けられることがわかる。また、実験装置や方法に関して応力解放による間隙比の増減の違いが明らかに確認でき、試験装置と試験方法に対し一定の成果があったと考えられる。

4. おわりに

本研究では三つの外的要因を付与できるスレーキング試験装置を開発し、スレーキング試験による間隙比の変化を明らかにした。泥岩由来の土質材料では応力解放とともに間隙比が大きくなる一方、砂岩は応力解放の影響をほとんど受けなかった。また、試験結果から試験装置や試験方法の有用性についても確認することができた。今後の課題として、試験の実施データが不十分であり、多様な条件下で実験を行い、試験結果のさらなる蓄積が必要不可欠である。

謝辞：本研究を行うに際して試料採取・試験装置開発に際して、基礎地盤コンサルタンツ(株)の山下様、技術職員の中島様とアデル様にご尽力頂いた。本研究の一部は、令和2年度～5年度科学研究費補助金(基礎研究(A)、課題番号：20H00266)の支援を受けて実施されたものである。以上、心より感謝いたします。

【参考文献】：菊本統、福田拓海、京川裕之：破砕泥岩のスレーキング現象と変形挙動、土木学会論文集C(地圏工学)、Vol.72, No.2, p.126-135, 2016

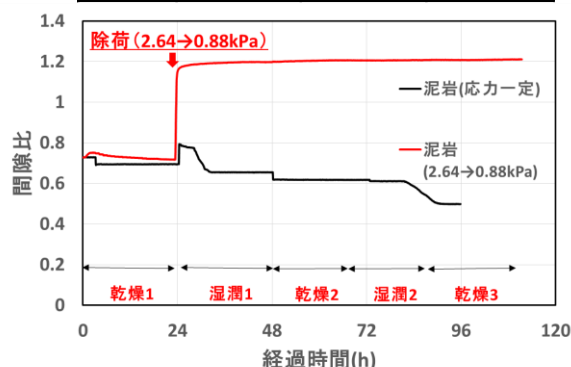


図-2 実験結果(泥岩)

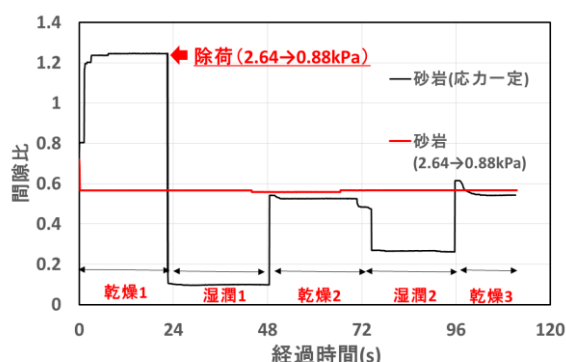


図-3 実験結果(砂岩)