

頁岩のスレーキング特性に及ぼす堆積環境と試験条件の影響

Effect of testing conditions and sedimentary environment on the slaking properties of shales

増本 清 Kiyoshi MASUMOTO (島根大学総合理工学部)
 亀井健史 Takeshi KAMEI (島根大学総合理工学部)
 三枝暁弘 Akihiro MITSUEDA (元島根大学学生)
 佐藤貴史 Takafumi SATOH (元島根大学学生)

島根県東部に分布している淡水成、海成の頁岩に対して、室内スレーキング試験を行い、堆積環境の違いがその崩壊過程に及ぼす影響を比較検討した。同時に、試験条件の影響も調べるために、堆積環境が異なる2種類の頁岩に対して、飽和度と乾燥温度を変えたスレーキング試験を行った。その結果、古浦頁岩はタマネギ状に崩壊し、成相寺頁岩はブロック状に崩壊が進行していくことが示された。このような崩壊形態の違いは、乾湿を5サイクル繰り返し、サイクル毎にスレーキング残存率を2.8mmから11.2mmまでの5種類のふるい目で測定した結果から、定量的に示唆された。また、スレーキング試験開始時の飽和度と乾燥温度の違いがスレーキング特性に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。

キーワード: スレーキング特性, 堆積環境, 粘土鉱物, 試験条件, 初期飽和度, 乾燥温度, 室内試験 (IGC:F02)

1. はじめに

新第三紀の堆積岩は、土が岩になる続成作用の中間過程にあり、固結度が小さく、モンモリロナイト等の膨潤性粘土鉱物に富む。このような堆積岩は、地表に現れると含水状態や応力状態の変化に伴い短期間に、スレーキング現象(細粒化・泥状化)を起こすことがある。これにより、地山の押し出しや土圧の発生、切り取り斜面の急速な風化など、工学的問題が生じる。したがってこのような軟岩のスレーキング特性を把握することが重要である。

これまでの研究から、一般的に軟岩のスレーキングは、水の出入りに伴う乾燥・湿潤によるもので、スレーキングによる崩壊の進行速度は新第三紀層の軟岩に多く含まれるスメクタイトの含有量や岩石の間隙の大きさに影響を受けるといわれている。しかし、軟岩を構成している鉱物、構造だけでなく、水質や乾燥浸潤の条件、応力状態など物理的・化学的に多様な要因から影響を受けるスレーキング現象のメカニズムは完全に解明されているわけではない。

鉱物組成や構造は、その地層が形成されたときの堆積環境によって決定されてくる。このような堆積環境の違いがスレーキング現象に及ぼす影響を調べることにより、スレーキング現象のより正確な定量予測に資することができるものと考えられる。

一方、軟岩を構成する鉱物やその構造だけでなく、温度や飽和度などの諸条件がスレーキング特性に大きく影響することが知られている。室内試験においても条件によって軟岩のスレーキング結果は大きく異なることが指摘されている(例えば市川ほか¹⁾など)。影響因子として考慮すべき試験条件は、水質、水温、乾燥と浸潤の方法、初期飽和度、試料の大きさや形状などが挙げられる。このうち、市川ほか¹⁾は、初期飽和度と乾燥温度がスレーキングに大きく影響することを沖縄島尻層群の泥岩に

対する室内試験から示している。しかし、国内の多様な泥岩に対して詳細な試験条件の影響が調べられているわけではない。また、試験結果からスレーキングによる劣化度を評価する指標は必ずしも統一されていない。これは、多種多様な岩石によるスレーキング崩壊メカニズムが一様でないことが一因として考えられる。このような困難があるものの、ISRMの指針²⁾、日本道路公団の規準³⁾、土木学会の指針(案)⁴⁾など、スレーキング試験の方法に関する規準作成が試みられている。しかし、原位置の条件に見合った試験方法を一様に規定することは難しく、試験方法が統一されるに至っていないのが現状である⁵⁾。

こうした状況を踏まえて、本研究は、堆積環境の違いを比較するために、淡水成、海成の頁岩について、多数のサンプルを用いて、室内スレーキング試験を行い、その崩壊過程を観察・記録して、比較を試みた。その際、各岩の含有粘土鉱物を計測し、その影響も合わせて検討した。また、スレーキングの進行過程をより精密に測定できるように浸潤乾燥の繰り返し回数を5回に増やし、複数のふるい目により残存率を計測することにより、堆積環境の異なる頁岩の崩壊形態の違いを識別できる可能性を考察した。さらに、試験条件(初期飽和度、炉乾燥温度)を変えて試験を行うことにより、試験条件が堆積環境の異なる頁岩のスレーキング特性に及ぼす影響を調べた。

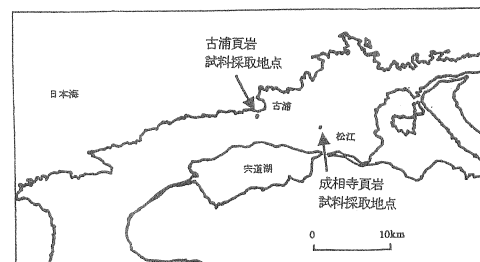
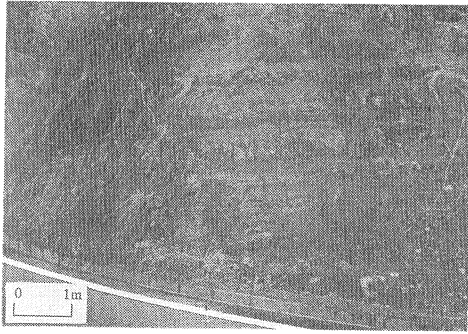
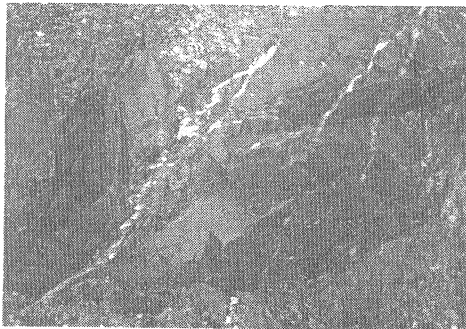


図-1 古浦頁岩および成相寺頁岩の試料採取地

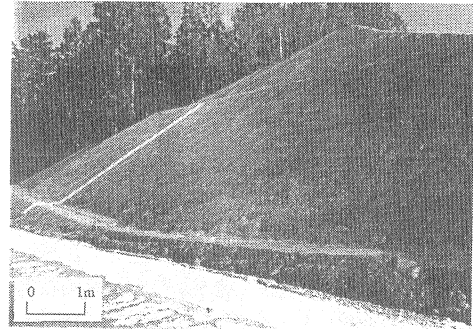


(a)露頭写真

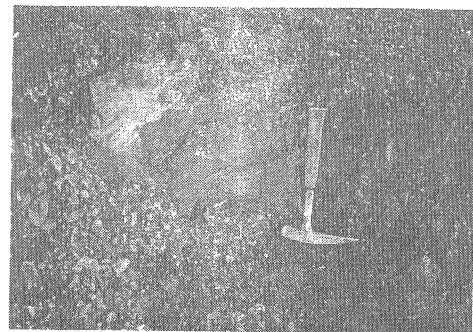


(b)露頭の風化状況

写真-1 古浦頁岩採取地の露頭と風化状況



(a)露頭写真



(b)露頭の風化状況

写真-2 成相寺頁岩採取地の露頭と風化状況

2. 試料

2.1 古浦層頁岩

島根半島の中新統の地質構造は、褶曲とそれに平行な断層を特徴とする。褶曲は東北東—西南西の方向に一般走行と、長さ数kmの軸をもち、雁行状に配列している。このうち背斜褶曲の軸部付近に古浦層の露頭がみられる。島根県東部に見られる古浦層は、いろいろな層準から淡水棲貝化石の産出が報告されており、主に淡水成層であると考えられている^{6,7)}。

古浦頁岩の採取地は鹿島町古浦から林道横手線を六坊方面に3kmほど進んだ道沿いの高さ25m、幅15mほどの法面崩壊跡地である(図-1)。写真-1(a)(b)は採取地の露頭写真である。露頭は砂岩・頁岩互層で、砂岩単層厚は30cm~120cmであった。また、表面の風化が激しく褐色がかっており、ハンマーで軽く叩くだけでぼろぼろと崩れる状態であった。この露頭の下部ではスレーキング現象によると思われる多くの碎片化した頁岩がみられた。

試料採取にあたり、表層の細粒化した岩石を取り除き、クラック沿いにタガネを入れて岩塊を採取した。採取した岩塊はサンプル袋に入れ含水状態が変化しないように密封し、試験まで保存した。

2.2 成相寺頁岩

島根半島の中新統のなかでは、成相寺層が最も広く分

表-1 古浦頁岩と成相寺頁岩に含まれる粘土鉱物

	スメクタイト	イライト	緑泥石
古浦頁岩1	○	-	-
古浦頁岩2	○	○	-
古浦頁岩3	○	-	-
古浦頁岩4	○	○	-
古浦頁岩5	○	-	-
成相寺頁岩1	-	○	○
成相寺頁岩2	-	○	○
成相寺頁岩3	-	○	○
成相寺頁岩4	-	○	○
成相寺頁岩5	-	○	○
成相寺(御津)1	-	-	○
成相寺(御津)2	-	-	○

布している。多くが黒色頁岩からなり1200m以上の層厚から二枚貝やウニの化石が産出していることが報告されていることから、海成層と考えられている⁸⁾。試料採取地は松江市西持田で、県道松江島根線から林道真山線に入る手前である(図-1)。露頭写真を写真-2(a)(b)に示す。露頭の状況は掘削してから数ヶ月経過した後で、表層はかなり碎片化していた。しかし、表層の碎片化したものを取り除いた下には、クラックの少ない一見新鮮な岩石が現れた。

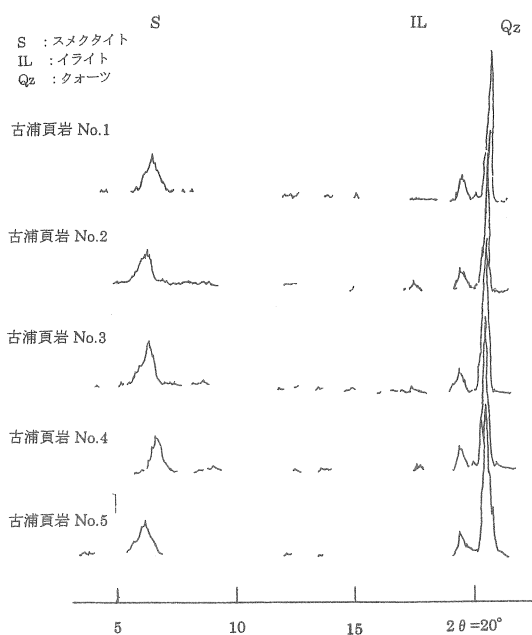


図-2 古浦頁岩の X 線パターン

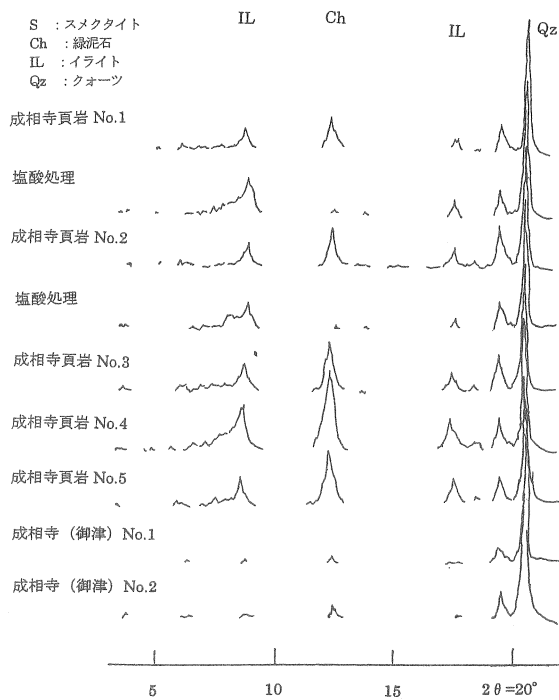


図-3 成相寺頁岩の X 線パターン

2.3 含有粘土鉱物

粘土鉱物の膨潤性がスレーキング特性におよぼす影響が大きいことがいわれている(例えば松倉, 谷津⁹⁾など)。また, 粘土鉱物の種類がスレーキング特性に及ぼす影響も大きいことがあることがいわれている(小島ほか¹⁰⁾)。含有粘土鉱物の違いはその地層の形成過程の違いを反映していることから, 本研究においても, 堆積環境の異なる古浦頁岩, 成相寺頁岩が含有する粘土鉱物の成分を測定し, 含有粘土鉱物の種類とスレーキング特性の関係を合わせて検討した。

X 線回折 (定方位法) 試験により含有粘土鉱物を測定した。定方位法は粉末法の一つであり, 層面に垂直な方向の原子配列に関する情報の解析に優れ, 鉱物族の同定や混合層の構造の判定などに必要なデータが得られる。試料作成方法は, まず, 親指の先ぐらいの大きさにした試料を鉄の鉢で細かく粉碎し, さらにその試料を耳掻き 3 杯程度取り, スライドガラスにのせ, 蒸留水を数滴垂らし均等に伸ばす。その後, 24 時間乾燥させて測定した。

古浦頁岩の X 線回折試験の結果を図-2 に示す。図に示されるように古浦頁岩はスメクタイトのピークがどのサンプルにも見られた。また, かなりピーク強度は低いものの, No.2 と No.4 の試料にイライトのピークが確認された。粘土鉱物のほかには, 石英や長石が含まれていることが X 線回折試験より分かった。

図-3 は成相寺頁岩の X 線パターンを示したものである。成相寺頁岩にはイライトおよび緑泥石あるいはカオリンのピークが確認された。緑泥石かカオリンかを同定するため, 塩酸処理を行った結果, 図-3 に示すようにピークが無くなった。このことからピークは緑泥石によるもの

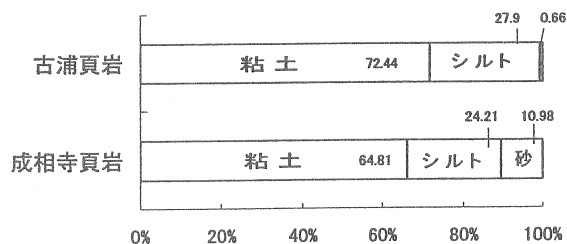


図-4 古浦頁岩と成相寺頁岩の構成粒子

と判定できた。以上から, 成相寺頁岩には, イライトおよび緑泥石が含有されていることが分かった。参考のためにほとんどスレーキングを起こさない鹿島町御津で採取された成相寺頁岩も X 線回折試験にかけた結果, 緑泥石が確認されたものの, 西持田の試料に比べてピーク強度が低く, 御津の成相寺頁岩には粘土鉱物がほとんど含まれないことが分かった。

以上の X 線回折試験の結果得られた含有粘土鉱物を表-1 にまとめた。

2.4 構成粒子の粒度分布

古浦頁岩, 成相寺頁岩の代表的試料について光学顕微鏡により粒度分布を調べた。粒子のカウントは, 4 μm 以上のシルト・砂粒について行い, 鏡下における 1mm の線上に占める全ての粒子の長さを測り, その長さを粒径とした。これをランダムに 10 ヲ所測定し, 合計して粘土・シルト・砂の比率を求めた(図-4)。その結果, 古浦頁岩はほとんど粘土とシルトで構成されるのに対し, 成

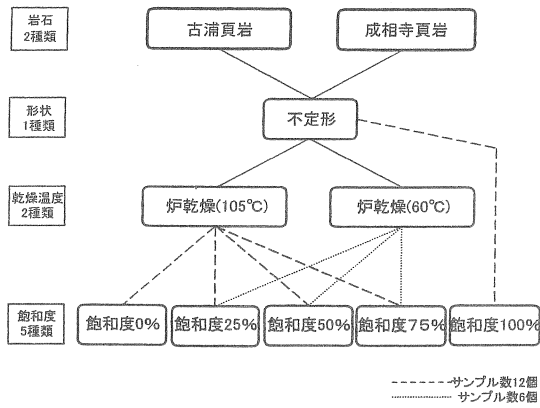


図-5 スレーキング試験の条件と供試体数

相寺頁岩は粘土とシルトの他に約1割の砂が含まれることが示された。この場合、古浦頁岩の方が成相寺頁岩よりも粒度が粗いといえる。

3. スレーキング試験の方法

試料の整形にあたり、コアピッカーなどを使用すると水の使用および整形中に加えられる外力の影響が危惧される。そこで、Franklin and Chandra¹¹⁾が提案しているようにハンマーで50~100g程度の大きさに整形したものを使用した。ただし、崩壊の形態を観察するために、円柱形(直径25mm, 高さ20mm)に成形した試料を用いた試験も別途行った。

異なる堆積環境による劣化状況の違いをより詳細に調べるために、水浸・乾燥の繰り返しサイクル数を5回行った。サイクル数は、崩壊が進行する過程を精密かつ定量的に評価できる回数として、予備実験結果に基づき5回とした。

比較のために、岩石の飽和度および炉乾燥の温度を変えてスレーキング試験を行った。炉乾燥温度105°Cに対しては岩石の飽和度は5段階(0%, 25%, 50%, 75%, 100%), 60°Cに対しては3段階(25%, 50%, 75%)に分けて行った。炉乾燥温度105°Cに対しては各ケース12個、60°Cに対しては各ケース6個の試料を使用した。図-5に示すように、サンプルの総数は156個となった。

目標とする飽和度を実現するために目標乾燥質量を式(1)により求め、それを目安として乾燥することとした。

$$W_2 = \frac{W_1(S \cdot w_s + 10000)}{100(w_s + 100)} \quad (1)$$

- W_1 : 水浸後質量 [g]
- W_2 : 目標乾燥質量 [g]
- S : 目標飽和度 [%]
- w_s : 飽和含水比 [%]

1 サイクル目の水浸後で岩石にはクラックや崩壊が生じ、

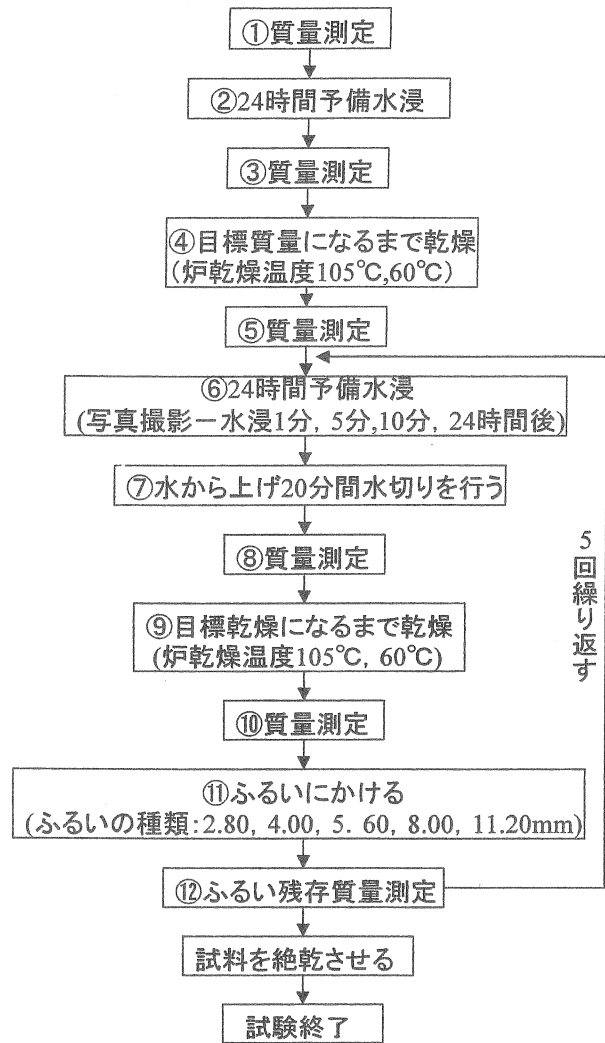


図-6 スレーキング試験方法の流れ

それ以降、サイクル数が増えるにつれて岩石の飽和含水比は増加する。そのため、水浸後ごとにその時点における飽和含水比を求める必要がある。そこで、あらかじめ式(1)に $S=0$ 、予備水浸後質量、あらかじめ求められた同一試料の飽和含水比の値を代入し、試料の絶乾時の質量を求める。そして、サイクルごとの水浸後質量および絶乾質量より、サイクルごとの水浸後の飽和含水比を求める。次に、式(1)にサイクルごとに求めた飽和含水比およびその時点における水浸後質量、飽和度の目標値を代入することによりサイクルごとの目標乾燥質量を求めることができる。

以上、ここで求められた飽和含水比、飽和度の値は、あくまでも目安として算出した計算値であり実測値ではない。そのため、スレーキング試験の最終サイクル終了後、試料を絶乾させて計測することにより、飽和含水比および飽和度の値を再計算する必要がある。

試験の手順を図-6に示す。まず、整形した試料の質量を測定し記録する。質量測定に使用した天秤の読み取り精度は0.01gである。

その後、岩石を飽和させるために24時間予備水浸させ

る。予備水浸後、試料を水から上げてキッチンペーパーなどの吸収力の良いやわらかい紙で余分な水分をふき取り、質量を測定する。

ここで、前述の方法で目標乾燥質量を求める（飽和含水比は24個の同一試料の平均値とした）。そして、目標乾燥質量になるまで炉乾燥させる。炉乾燥温度は105℃と60℃の2通りで行った。

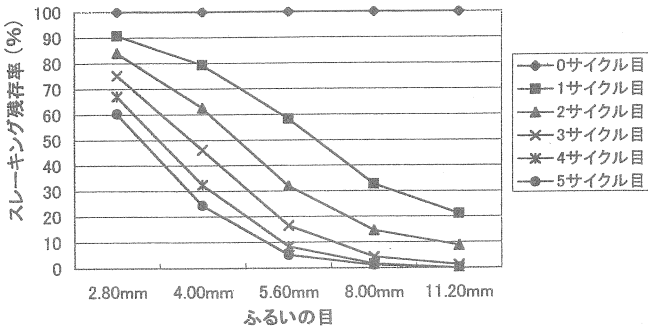
炉乾燥後、室温になるまで冷まし、乾燥質量を測定した後24時間水浸させる。ここで岩石の崩壊形態および崩壊速度を記録するために、水浸1分後、5分後、10分後、24時間後に写真撮影を行った。

24時間水浸後、試料の入った蒸発皿を傾け余分な水分を取り除くため20分間水切りを行い、余分な水分をキッチンペーパーで取り除き質量を測定する。

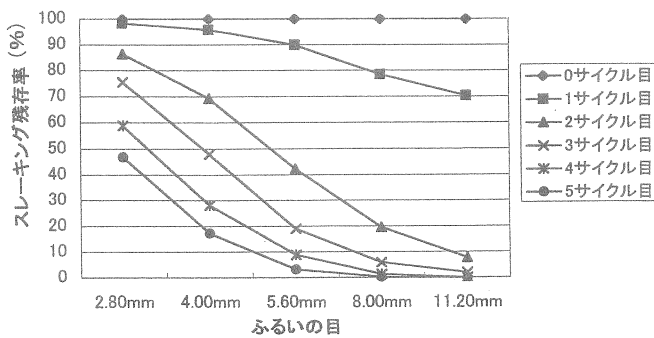
ここで、先に示した方法で目標乾燥質量を計算する。そして、目標乾燥質量になるまで乾燥させる。

乾燥後、室温になるまで冷まし、その試料をふるい目が2.80mm、4.00mm、5.60mm、8.00mm、11.20mmの5種類のふるいにかけて、ふるいから落ちたものを欠損分、ふるいに残った試料をスレーキング残存量とした。スレーキング残存率は、式(2)で求めた。

$$\text{スレーキング残存率(\%)} = \frac{\text{ふるい残存質量}}{\text{乾燥質量}} \times 100 \quad (2)$$



(a)古浦頁岩 (12個平均)



(b)成相寺頁岩 (12個平均)

図-7 古浦頁岩と成相寺頁岩のスレーキング特性の違い

その後、再び24時間水浸させる。そして、図-6に示すように⑥~⑫を1サイクルとし、これを5サイクル繰り返し行った。5サイクル終了後、試料を絶乾させて質量を計測し、それぞれの試料の飽和含水比および飽和度を再計算した。

4. 結果および考察

4.1 堆積環境

図-7、写真-5に、スレーキング試験から得られた古浦頁岩および成相寺頁岩のスレーキング特性（飽和度0%、乾燥温度105℃の場合）を示す。図-7は古浦頁岩および成相寺頁岩が乾湿のサイクルにともなって残存率が減少していく過程を示している。写真-3は、整形後、1サイクル目、5サイクル目の代表的な破碎試料の写真である。なお、データの精度に関しては後述する(4.4節)。図-7から、1サイクル目の残存率は、古浦頁岩の方が低く、したがってスレーキングの進行速度が成相寺頁岩より速いことがわかる。しかし、2サイクル目以降は、成相寺頁岩のスレーキング進行速度が大きくなり、5サイクル目には成相寺頁岩の方が残存率が下がり、細片化していることがわかる。写真-3からも古浦頁岩同様、成相寺頁岩も5サイクル目で細片化していることがわかる。

崩壊形態は、古浦頁岩と成相寺頁岩では大きな違いが見られた。古浦頁岩は水浸後、最初に大きな亀裂が生じ、そこから小さなクラックがあらゆる方向に生じた。そして表面からタマネギ状に割れて崩壊に至った。一方、成

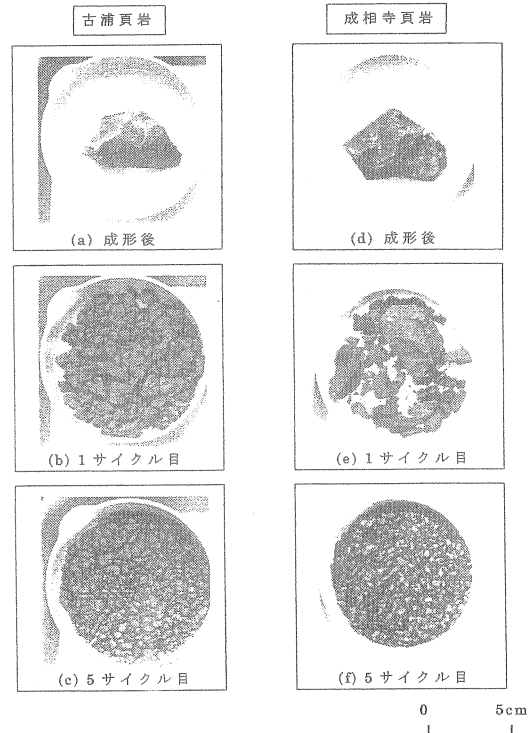


写真-3 代表的試料の破碎状況写真 (不定形試料、飽和度0%)

相寺頁岩は、大きな亀裂を生じた後、比較的大きなブロック状に崩壊していった。そして、最終的に細片化していった。今回の試験ではどちらも目に見える大きな崩壊は10分程度で終わった。このような崩壊過程の違いが5サイクルでサイクルごとに各種のふるい目による残存率を測定した結果に現れている。

不定形試料では、残存率として崩壊の形態の違いを良く表現できたが、タマネギ状崩壊とブロック状崩壊の違いをより明瞭にみるために円柱状試料によるスレーキング試験を行った。その結果を写真-4に示す。これにより、古浦頁岩がタマネギ状に、成相寺頁岩がブロック状に崩壊していく様子が明瞭に観察することができた。

1 サイクル目で古浦頁岩の崩壊が成相寺頁岩よりも早かった理由として、膨潤性に富むスメクタイトを比較的多く含んでいたことが考えられる。最近では、地球化学的性質、特に有機炭素/全硫黄比 (C/S 比) や全硫黄濃度により堆積環境の評価可能性が報告されており^{12)~16)}、このような化学的性質の違いが、化学的風化の違いをもたらし、含有粘土鉱物の種類の違いを生じ、それにより崩壊の形態が異なる可能性が考えられる。また、鹿島町

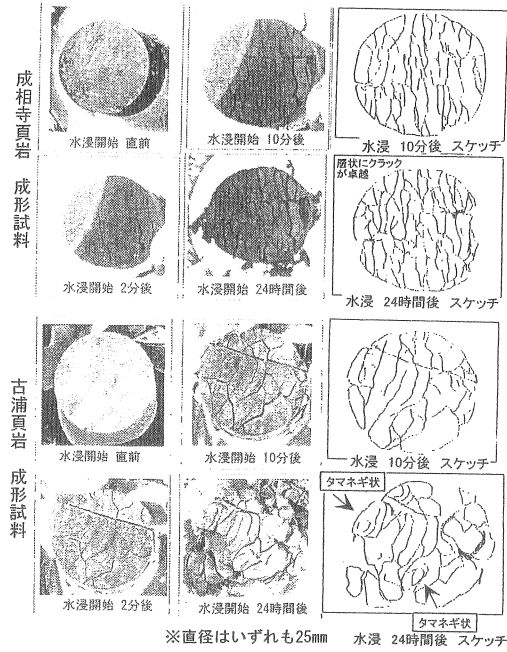


写真-4 1 サイクル目における試料の破碎状況写真とスケッチ (円柱形試料, 飽和度 0%)

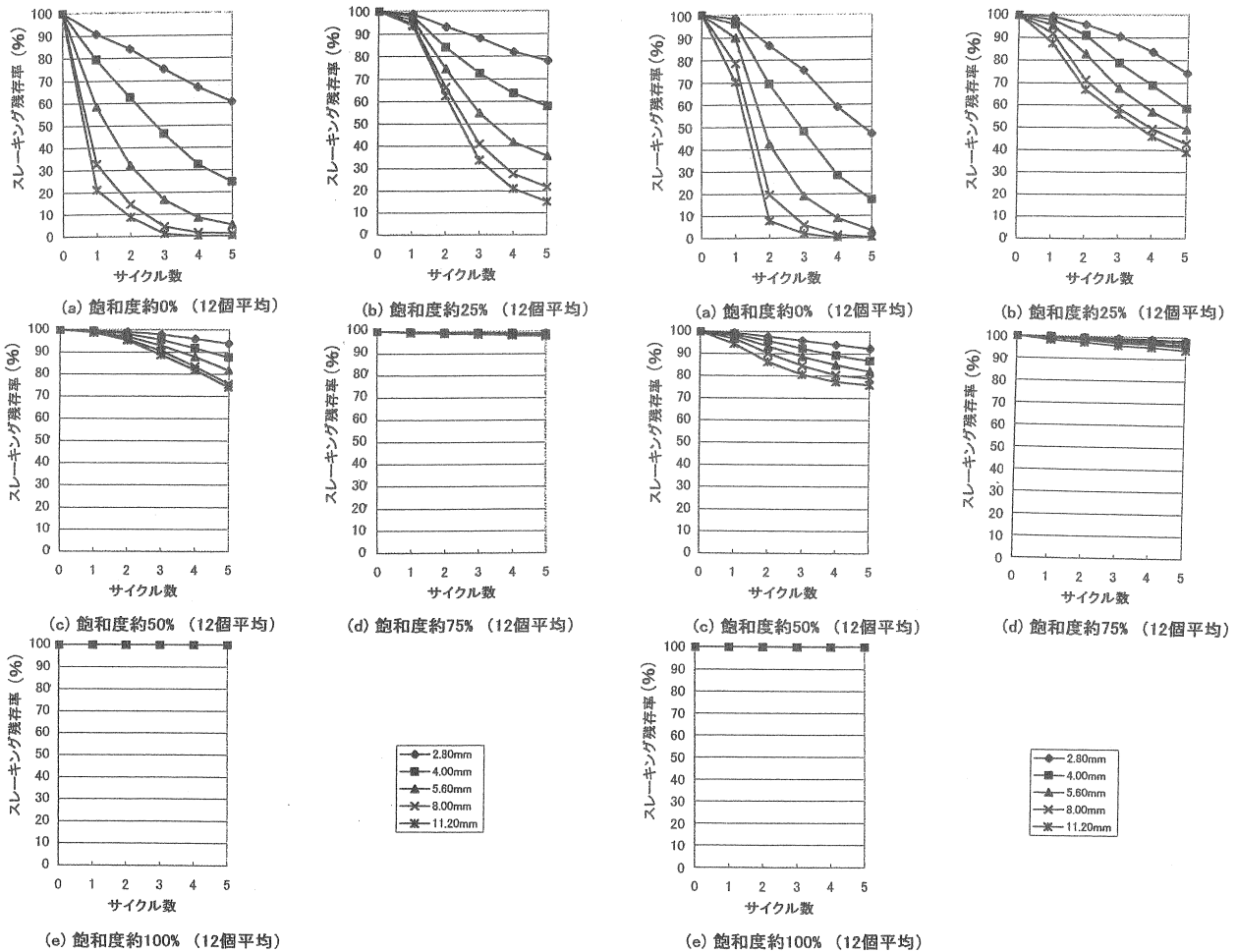


図-8 初期飽和度の違いによるスレーキング特性への影響 (古浦頁岩)

図-9 初期飽和度の違いによるスレーキング特性への影響 (成相寺頁岩)

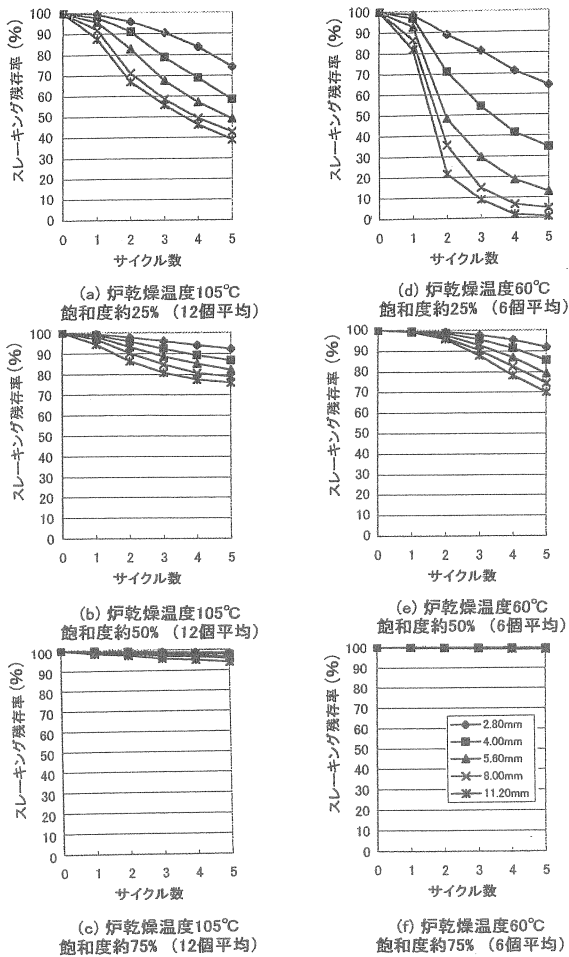


図-10 乾燥温度の違いによるスレーキング特性への影響 (古浦頁岩)

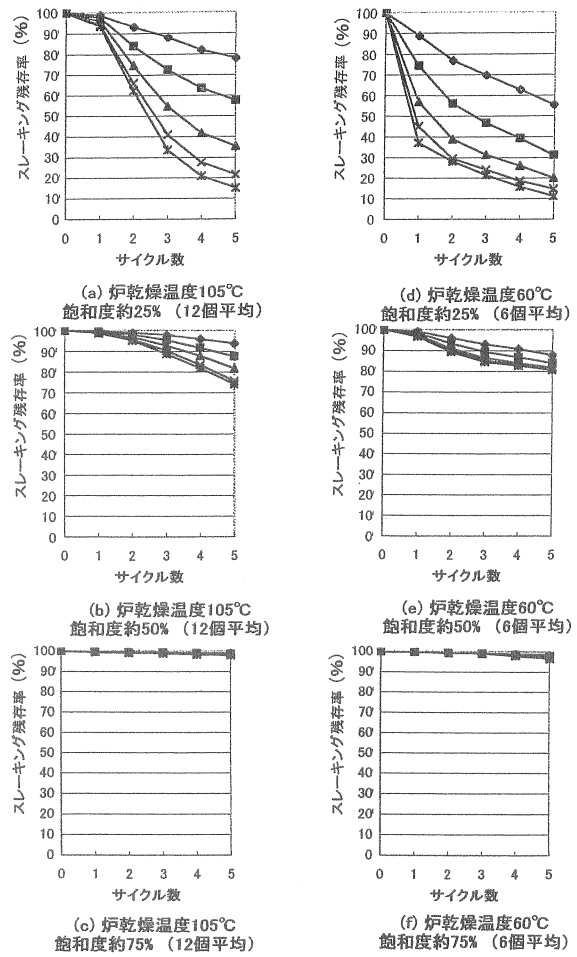


図-11 乾燥温度の違いによるスレーキング特性への影響 (成相寺頁岩)

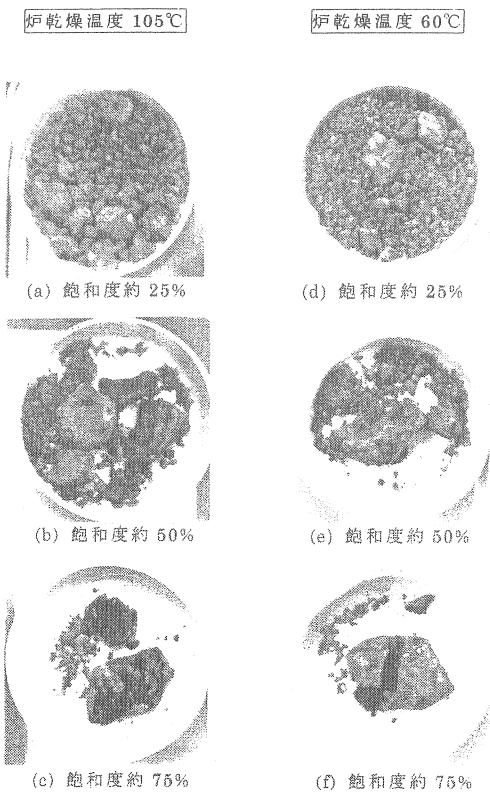


写真-5 異なる乾燥温度による破砕状況 (古浦頁岩, 5 サイクル目)

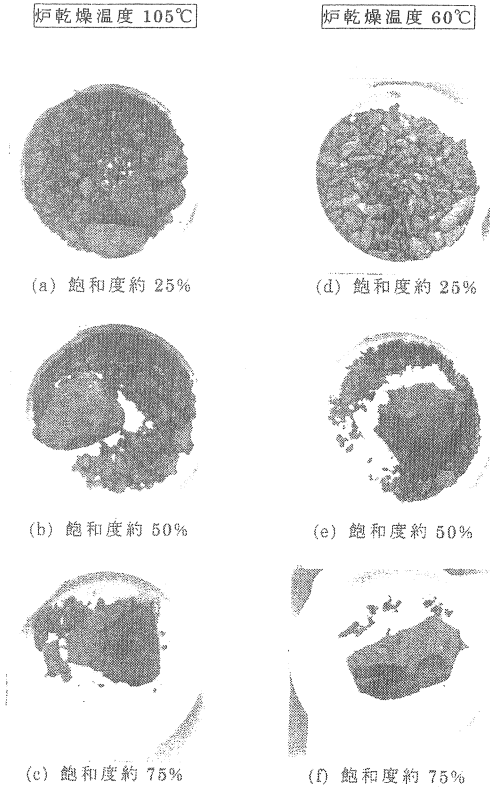


写真-6 異なる乾燥温度による破砕状況 (成相寺頁岩, 5 サイクル目)

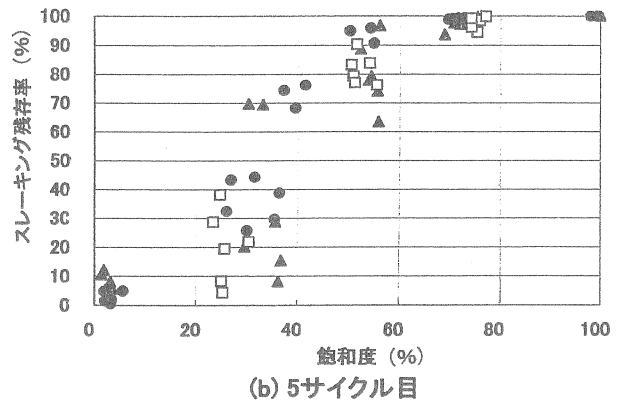
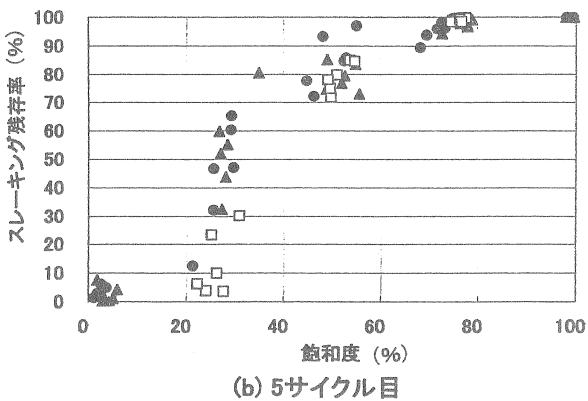
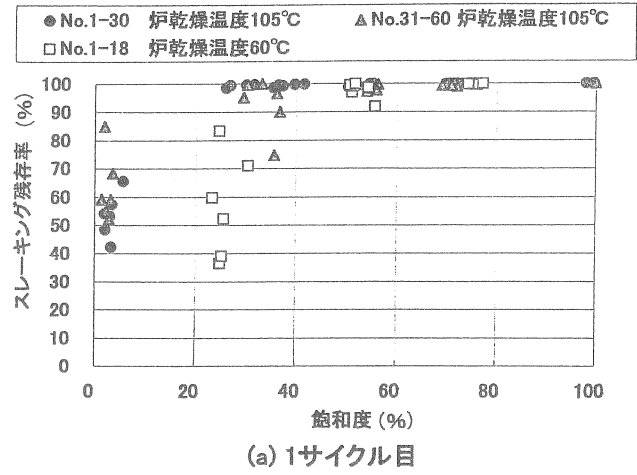
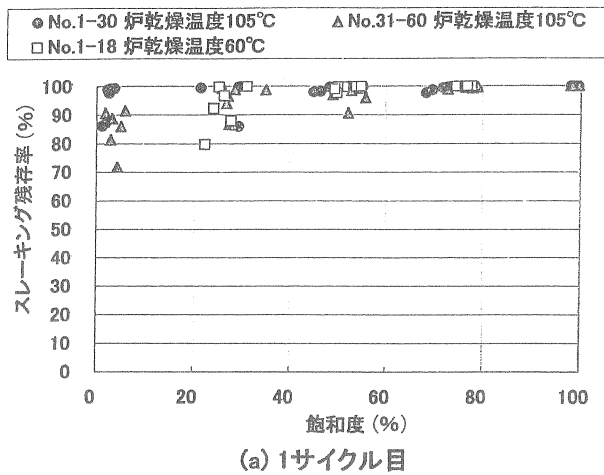


図-12 平均初期飽和度とスレーキング残存率の関係 (古浦頁岩, ふるいの目: 5.6mm の場合)

図-13 平均初期飽和度とスレーキング残存率の関係 (成相寺頁岩, ふるいの目: 5.6mm の場合)

御津の海岸付近で採取した成相寺頁岩はスレーキングを起こさなかった。これはイライトをほとんど含まず、粘土鉱物含有量が比較的少なかったことによると思われるが、海水の影響を受けた可能性が考えられる。以上より、粘土鉱物の影響は頁岩のスレーキング現象に大きな影響を与えることが示唆された。

4.2 試験条件

図-8, 図-9 に, それぞれ古浦頁岩および成相寺頁岩の飽和度の違いによるスレーキング試験の結果 (乾燥温度 105°C の場合) を示す。また, 図-10, 図-11 に, 乾燥温度を変えて飽和度に違いを与えた場合のスレーキング試験結果の比較を示す。代表的な破碎状況を写真-5, 写真-6 に示す。図-12, 図-13 は横軸に再計算飽和度 (5 サイクル平均) をとった場合の, 飽和度と乾燥温度のスレーキングへの影響を表している。これらのことから以下のことが考察される。

4.2.1 初期飽和度

図-8, 図-9, 写真-5, 写真-6 から, 古浦頁岩および成相寺頁岩のどちらも, 飽和度が低いほどスレーキングしやすい傾向が認められる。また, 図-10, 図-11, 図-12,

図-13 より, 乾燥温度を 60°C に下げた場合でも飽和度が低いほどスレーキングしやすいことが示されている。この理由として次のことが考えられる。乾燥過程において飽和度が高い状態にある場合は, たとえ表面付近が乾燥したとしても水が内部から表面に向かって拡散する。しかし, 乾燥を長時間行った場合は, 岩石内の水分が減ることにより内部からの水の拡散がなくなり, 表面が乾燥収縮し, 内部とのひずみ差が発生してクラックが形成されやすくなることが考えられる。

4.2.2 乾燥温度

図-10, 写真-5 に示すように古浦頁岩に対しては, 飽和度を約 50%, 75% 程度にした時, 乾燥温度の違いによる影響はそれほどないように見える。しかし, 飽和度を約 25% まで下げると, 1 サイクル目のスレーキング速度は乾燥温度 60°C の方が大きい結果がでている。写真-5(a), (d) を見ても 5 サイクル目において, 乾燥温度 60°C の方がやや細粒化している。また, 成相寺頁岩は, 図-11, 写真-6 に示すように古浦頁岩と同様に飽和度が約 50%, 75% の場合は乾燥温度の違いによる影響は小さいようにみえる。しかし, 図-11(a), (d) から示されるように飽和度を約 25% にしたときは, 2 サイクル目のスレーキング

残存率および5サイクル目の破碎状況は大きく異なっており、乾燥温度60℃の方が細片化が進行している。これは、105℃と60℃で乾燥させた場合の岩石内の乾燥分布がそれぞれ異なることによって、スレーキング特性に何らかの影響を及ぼすのではないかと考えられる。また、乾燥温度の違いにより、粘土鉱物あるいは岩石組織に変質が生じている可能性も考えられる。

4.2.3 試験条件の違いと堆積環境

2種類の頁岩のスレーキング特性を見るために、飽和度が25%と低い場合について、図-10(a), (d)および図-11(a), (d)を比較する。1, 2サイクル目の結果が、乾燥温度105℃の場合は両頁岩とも同程度であるのに対して、乾燥温度60℃の場合は、古浦頁岩が1サイクル目で大きくスレーキングによる崩壊が進行している。その一方で成相寺頁岩は2サイクル目で急にスレーキングが進行している。この結果から、乾燥温度の違いが、堆積環境の異なる2種類の頁岩のスレーキング特性に対して異なる影響度があることが示唆される。このような違いは5サイクルの乾湿繰り返しおよび5種類のふるい目を用いてスレーキング残存率を求めたことにより、検討することが可能となった。しかし、一般にはこのような多数の供試体を用いた手間のかかる試験を行うことは難しい。そこで、通常の簡易スレーキング試験の場合は、結果評価の際に試験条件の影響が岩種によって異なることを考慮することによって評価精度の向上が期待できる。

4.3 試験結果の精度

本研究では同じ試験条件に対して、最低6個の供試体を用いている。試験結果の精度をみるために、例として、古浦頁岩の乾燥温度105℃、初期飽和度約0%および25%に調整した場合における各供試体(6個ずつ)のスレーキング残存率計量結果の一部を図-14に示す。この図から、スレーキング残存率の試料ごとのばらつきが5サイクル目においても高々20%程度と、比較的小さいことがいえる。他の供試体についても同等の精度が得られている。したがって、不定形試料を用いた今回のスレーキング試験は、これらの平均値を用いて行っているため、十分な信頼性があるといえよう。

5. 結論

島根県東部新第三系の泥質岩である古浦頁岩、成相寺頁岩に対して乾湿繰り返しによるスレーキング試験を行い、頁岩の堆積環境がスレーキング特性に及ぼす影響を明らかにした。今回得られた主要な成果を以下に列記する。

- (1) スレーキング残存率測定および写真観察により、淡水成の古浦頁岩と海成の成相寺頁岩ではスレーキン

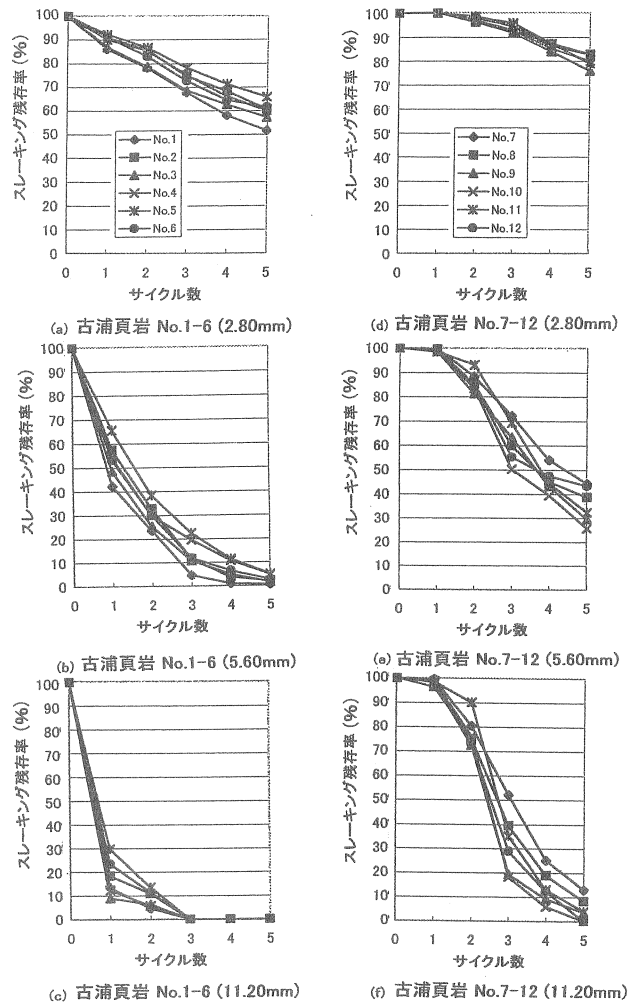


図-14 各供試体のスレーキング残存率のばらつき
(古浦頁岩, (a)(b)(c)は初期飽和度0%,
(d)(e)(f)は初期飽和度25%の例)

グに伴う崩壊のメカニズムが異なり、古浦頁岩はタマネギ状に、成相寺頁岩はブロック状に崩壊することが明らかとなった。このことより頁岩のスレーキング現象は堆積環境の影響を大きく受けていることが認められた。

- (2) 乾燥湿潤の1サイクル目では、スメクタイトを含む古浦頁岩の方がスレーキング進行速度は大きくなるが、5サイクル目では、緑泥石・イライトを含む成相寺頁岩の方が細片化することが明らかとなった。
- (3) スレーキング試験を行う場合、サイクル数を増やし、残存率測定のみふるい目の数を増やすことにより、スレーキングによる崩壊メカニズムの違いが定量的に比較検討できる可能性を示唆した。
- (4) 試験条件を変えて乾湿繰り返しによるスレーキング試験を行うことにより初期飽和度や乾燥温度がスレーキング試験結果に及ぼす影響を検討した。その結果、スレーキング試験開始時の飽和度と乾燥温度の違いがスレーキング特性に大きな影響を及ぼし、飽和度が低いほど劣化の進行が速く、乾燥温度は

105℃よりも 60℃の場合で劣化度が高いことが明らかとなった。また、堆積環境（海成、淡水成）が異なれば試験条件のスレーキングに対する影響度が異なることが示唆された。

以上のことから、今後、風化度や採取深度、岩盤区分などの比較や、他の岩種による検証などを行うことにより、より適切なスレーキング試験規準が確立されよう。

参考文献

- 1) 市川慧, 平野勇, 神保悟: 軟岩の簡易スレーキング法, 土木研究所資料, 第 2455 号, 1986.
- 2) 岩の力学連合会: ISRM 指針 Vol.1, pp.21-24, 1982.
- 3) 日本道路公団: KODAN 111-1975 岩の乾湿繰り返し試験方法, 日本道路公団土木工事試験方法, 1975.
- 4) 土木学会: 軟岩の調査・試験の指針(案), pp.64-72, 1991.
- 5) 土質工学会編: 岩の調査と試験, 土質工学会, 1988.
- 6) 島根県: 島根県の地質, p.646, 1985.
- 7) 山内靖喜, 三梨昂, 山本洋一郎: 島根半島の中新統, 日本地質学会第 87 回年総会・年会, 見学旅行案内書, 第 2 班, p.39, 1980.
- 8) 多井義郎: 島根半島中央区の層序と構造—島根半島第三系の地質学的研究(その 1), 地質学雑誌, Vol.58, pp.573-583, 1952.
- 9) 松倉公憲, 谷津栄寿: 頁岩および凝灰岩のスレーキングについて (II), 第 15 回土質工学会研究発表会講演集, pp.1345-1348, 1979.
- 10) 小島圭二, 斎藤保祐: 軟岩の膨潤・スレーキング特性(その 1) —簡易試験による評価—, 応用地質, Vol.25, No.1, pp.10-22, 1984.
- 11) J. A. Franklin and R. Chandra: The Slake-Durability Test, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Vol.9, pp.325-341, 1972.
- 12) 亀井健史, 徳岡隆夫, 三瓶良和, 石原廣和: 松江平野の完新世堆積物の堆積環境と地盤工学的性質, 応用地質, Vol.38, pp.280-295, 1997.
- 13) 亀井健史, 神田貢, 石原廣和: 出雲平野における完新世堆積物の堆積環境に関する学際的評価, 応用地質, Vol.40, No.2, pp.86-98, 1999.
- 14) 石原廣和, 亀井健史, 中村唯史: CNS 元素分析による出雲平野神西湖周辺の完新世堆積物の堆積環境とその地盤工学への応用, 応用地質, Vol.41, No.1, pp.12-23, 2000.
- 15) 亀井健史, 石原廣和, 近藤英明: 全硫黄, 全窒素, 全有機炭素からみた高岡平野完新世堆積物の堆積環境評価, 応用地質, Vol.43, No.1, pp.35-42, 2002.
- 16) 亀井健史, 石原廣和: ドラメン地域(ノルウェー)の氷河成堆積物の堆積環境と地盤工学的性質, 応用地質, Vol.43, No.2, pp.92-100, 2002.