

島根半島新第三系泥岩のスレーキングによる破壊形態とその定量評価

Evaluation of Destructive Process of the Neogene Mudstones in Slaking Test

増本 清 Kiyoshi MASUMOTO (島根大学総合理工学部)
北島涼子 Ryoko KITAJIMA (元島根大学総合理工学研究科学生)

島根半島に分布している新第三紀の淡水成の古浦層泥岩はタマネギ状に崩壊し、海成の成相寺層泥岩はブロック状に崩壊することが報告されている。本研究はこの違いを客観的に評価するために、古浦層泥岩と成相寺層泥岩を用いてスレーキング試験を行い、崩壊岩片の大きさと形状を計測し定量的な評価を試みた。その結果、古浦層泥岩の崩壊形状は塊状で角が丸く、成相寺層泥岩の崩壊形状は板状で角張っているという違いが定量的に示された。また、崩壊岩片の粒度分布より、古浦層泥岩は大きな塊が徐々に崩壊して、中程度の岩片が生じ、成相寺層泥岩は小さな岩片が多数生じるように崩壊していく過程が定量的に示された。

キーワード：スレーキング試験、泥岩、崩壊過程、崩壊岩片形状、(IGC : F02)

1. はじめに

土木工事の現場では、軟岩のスレーキング現象が要因となって起こる地山の押し出し、土圧の発生、切り取り斜面の急速な風化、地すべりなどの斜面不安定化が問題となることがある。これらの問題を解決するために軟岩のスレーキング特性を評価する試験法が既にいくつか提案されている^{1)~3)}。しかし、現象が複雑である等の理由から、試験法およびその結果の表示法は様々であり、定量的評価法が確立しているとは言えず、現象を十分な精度で予測するまでには至っていない。定量予測できるような評価法を確立するためには、崩壊過程の違いによる分類が有効と考えられる。崩壊過程に関して、増本他⁴⁾は島根県東部に分布する新第三紀の古浦層と成相寺層の泥岩を用いて室内スレーキング試験を実施し、古浦層はタマネギ状に、成相寺層はブロック状に崩壊することが定量的に示されている。これらの崩壊過程の相違は堆積環境等の違いが反映している可能性が指摘されており⁴⁾、スレーキング機構を解明する上で崩壊過程を検討することは重要であると思われる。

そこで本研究では、島根県東部に分布する新第三紀の古浦層・成相寺層の岩石を用いて、室内スレーキング試験を実施した。その結果から、崩壊岩片の形状の違いに着目して2つの形状の指標(形、丸み)を導入し、薄片の顕微鏡観察も加えて、比較検討を行った。

2. 試料

島根半島新第三系泥岩のうち古浦層泥岩と成相寺層泥岩を試料として使用した。古浦層泥岩は4部層に区分される古浦層の下部層と最上部層に位置する。また、古浦層はいろいろな層準から淡水貝化石の産出が報告されて

いることから、古浦層は非海成層と考えられている。成相寺層泥岩は1200m以上もある成相寺層の最下部、中部、最上部に位置する。また、成相寺層は海成貝化石の産出より海成層と考えられている(猪木他⁵⁾)。

試料採取地を図-1に示す。古浦層泥岩の試料採取地は鹿島町古浦から林道横手線を六坊方面に4kmほど進んだ露頭(KA)と、KAよりさらに東に50m進んだ露頭(KB)である。採取した試料は両方とも古浦層最上部に位置する。成相寺層泥岩の試料採取地は松江市西長江町の宍道湖北部広域農道から北に約1.3km進んだ道路法面(JN)と松江市秋鹿町の宍道湖北部広域農道から北に約800m進んだ道路沿いの川の中(JA)である。JNは成相寺層の中部に位置し、JAはその上位に位置する。なお、露頭毎に風化(微小亀裂発達等)程度が同じとは限らないが、極力新鮮(クラックが見られない程度)な試料を採取した。

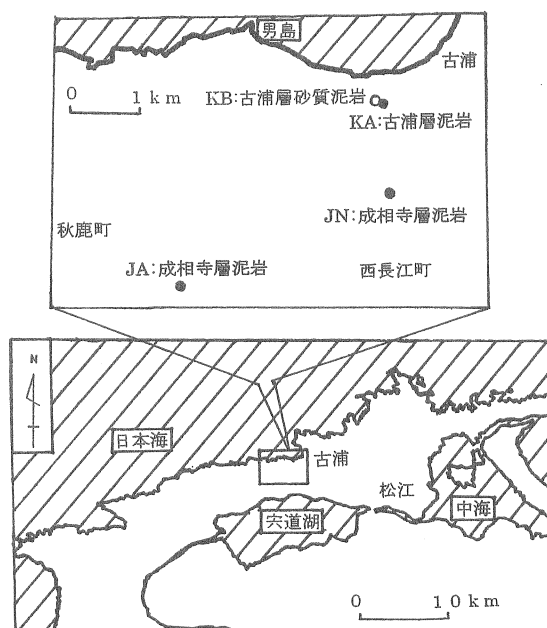


図-1 試料採取

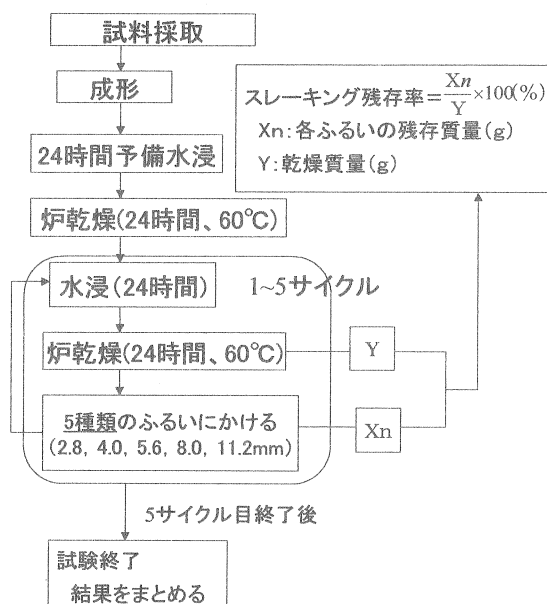


図-2 スレーキング試験の流れ

3. 試験方法

3.1 スレーキング試験の方法

試料として、島根県鹿島町古浦で採取した泥岩 (KA) を 12 個、砂質泥岩 (KB) を 12 個、松江市西長江町で採取した泥岩 (JN) を 30 個、松江市秋鹿町で採取した泥岩 (JA) を 12 個使用した。なお、JN は風化程度が激しくバラツキが大きいと考えられたので多めに採取した。試験を行う前に各試料を成形する。ここで、「成形する」とは、ハンマーを用いて試料を約 $50\text{g} \pm 10\text{g}$ (不定形) にすることをいう。スレーキング試験方法の流れを図-2 に示す。図-2 に示すように水浸からふるいわけまでを 1 サイクルとし、これを 5 サイクル行なった。スレーキング残存率は増本他⁴⁾と同様の方法で求めた(図-2)。

3.2 崩壊岩片の粒度分布の算出方法

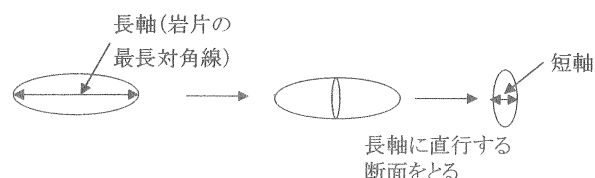
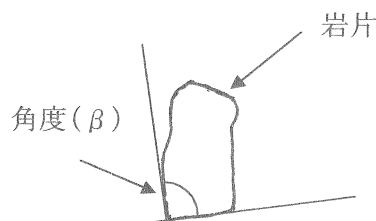
ここでは、隣接したふるいの目の開きに対するスレーキング残存率の差異(質量比)を用いて崩壊岩片(崩壊して得られた岩片)の粒度分布を表す。例えば、2.8mm の残存率が 75%、4mm の残存率が 60%だとすると、2.8~4.0mm の崩壊岩片の粒径における質量比は 15% (=75-60) となる。なお、ふるい分けに伴う誤差を考慮して、2.8mm を通過するものがある程度あるものをスレーキングが進行したものと判断し、5 サイクル目で 2.8mm の残存率が 98% 以下のものを使用して計算を行った。

3.3 崩壊形状の計測方法

スレーキングにより崩壊した岩片を定量的に評価するために、5 サイクル目の試料の形状に関して 2 種類の指標を導入して崩壊形状の違いを比較検討した。

3.3.1 形の指標化

試料を楕円体とみなし、ノギスを用いて長軸の長さを測定する。その長軸の中心を二等分した断面の短軸を測

図-3 岩片の長軸 a と短軸 b の測定方法
(扁平度の指標: $\alpha = \text{短軸}/\text{長軸}$)図-4 岩片の角度 β の測定方法
(丸みの指標: $\beta = \text{上から見た最小角度}$)

定する(図-3)。測定した長軸(a)と短軸(b)の比を形(扁平度)の指標(α)とする。

3.3.2 丸みの指標化

まず、試料を平らな面に最も安定する状態で置き、上から見てスケッチを行う。そのスケッチで最も角度が小さい部分の角度を測定し、試料の丸みの指標とした(図-4)。その際、2mm 以下の丸みは無視して、分度器の中心から 2mm 離れた点で角度(β)を測定した。

3.4 薄片による偏光顕微鏡観察

KA, KB, JN, JA の岩石で薄片を作成し、鉱物構造を観察した。薄片に使用した岩石はスレーキング試験に使用した岩石と同じ岩塊から採取したものである。

4. 結果および考察

4.1 崩壊過程の観察結果

スレーキング試験を行った全試料の崩壊過程の写真の中から、典型的な崩壊過程を各試料についてまとめて写真-1 に示す。それぞれの特徴は以下のとおりである。

4.1.1 試料 KA の崩壊過程

1 サイクル目水浸後 1 分に試料の中央に大きな亀裂が入り、その後小さな亀裂が生じた。1 サイクル目炉乾燥後ではいくつかのブロックに分かれており、そのブロックの角が丸くなっている。さらに乾湿を繰り返した後の 5 サイクル目の炉乾燥後では、角が丸い小さな細片が多数生じている。

4.1.2 試料 KB の崩壊過程

1 サイクル目炉乾燥後、いくつかの亀裂が入りブロックに分かれる。分かれたブロックに小さな亀裂が入り、さらに崩壊が進む。5 サイクル目炉乾燥後では KA と比較するとブロックが大きいものの、ブロックの角は丸く KA と類似している。

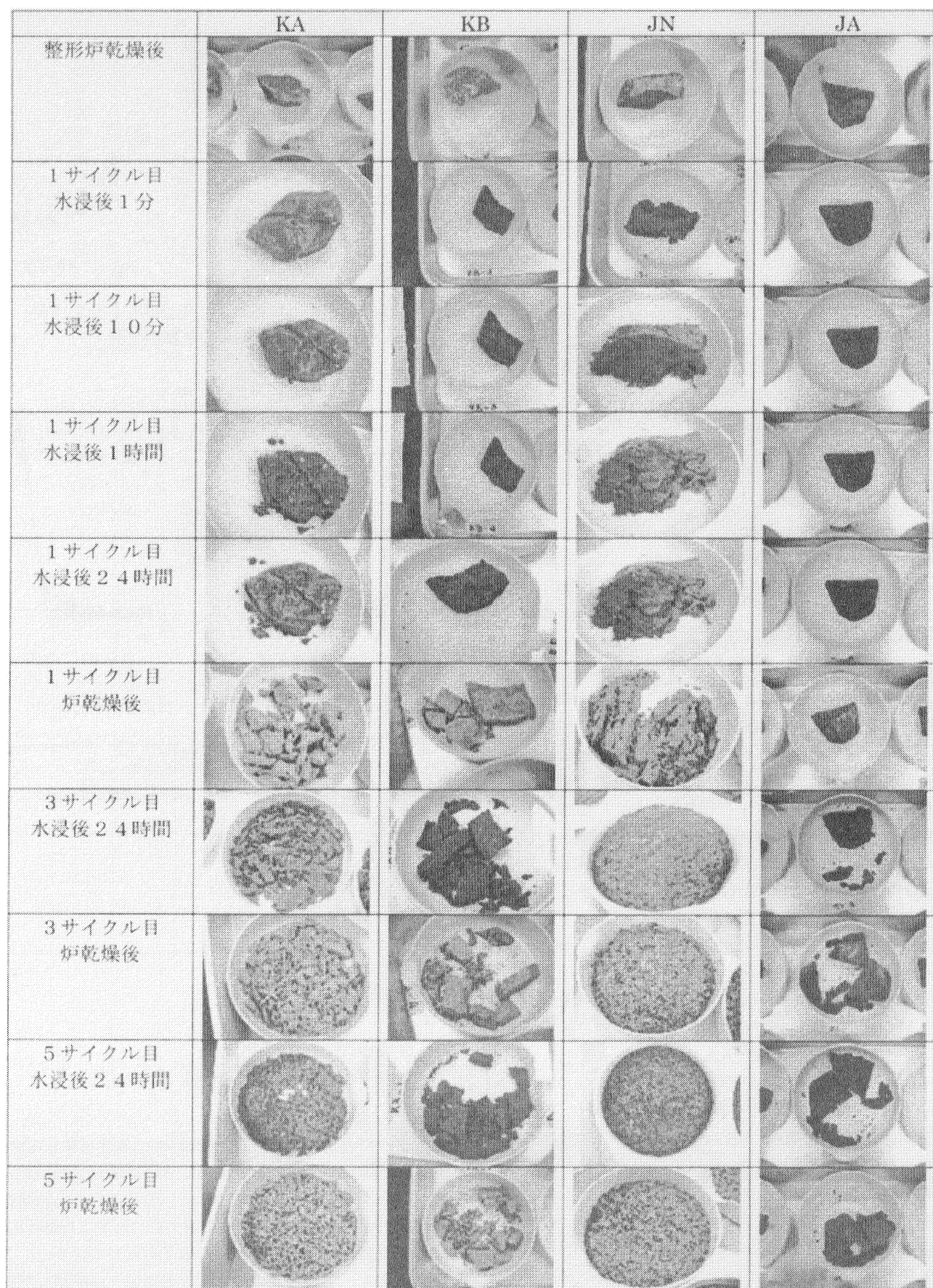


写真-1 崩壊過程

4.1.3 試料 JN の崩壊過程

水浸直後から試料全体に多数の亀裂が生じる。水浸後 10 分では試料の形を保っているが、時間が経過するにつれて側方から徐々に崩壊していく。1 サイクル目炉乾燥後では多数のブロックに分かれ、5 サイクル目炉乾燥後では多数の薄い板状の角張った細片になる。

4.1.4 試料 JA の崩壊過程

1 サイクル目では全く壊れないが、3 サイクル目で亀裂が入り、大きなブロックに分かれる。これ以上はほとんど壊れず、5 サイクル目炉乾燥後でも大きな角張ったブロック状のままである。

以上より、スレーキング進行速度の違い(初期微小亀裂等の違いの影響と思われる)によらず、古浦層泥岩は大きな亀裂が入り崩壊が進行し、崩壊後の試料は角が丸い形状になること、成相寺層泥岩は多数の亀裂が入りながら崩壊し、崩壊後の試料は角張った形状になることが定性的に把握できた。次に、崩壊過程の定量評価を行うためにスレーキング残存率による検討を行った結果を示す。

4.2 崩壊過程の定量評価

4.2.1 スレーキング残存率による検討

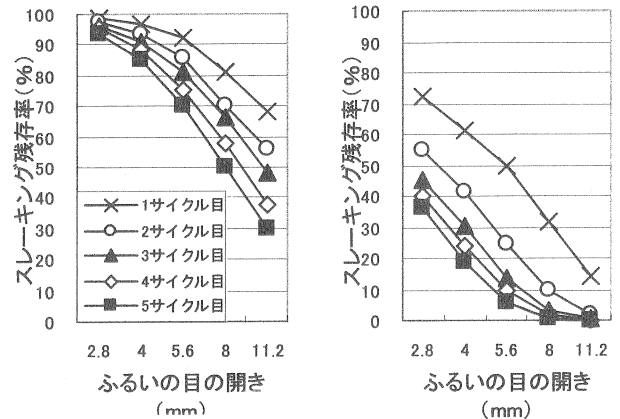
スレーキング残存率を用いて崩壊過程の違いを図-5 に示す。図-5(a), (b)より、KA が上に凸、JN が下に凸とグラフの形が異なることがわかる。これは増本⁴⁾と同様の結果を示している。より詳しく評価するために崩壊岩片の粒度分布を調べた。

4.2.2 各サイクルの崩壊岩片の粒度分布による検討

2.8mm 残存率が 5 サイクル目で 98% 以下となったのは、KA : 11 個、KB : 4 個、JN : 30 個、JA : 0 個であった(残存率 98% 以上は崩壊しなかったとみなす)。図-6 に KA, KB, JN の崩壊岩片の粒度分布を示す。図-6(a)より、KA は、1 サイクル目では 11.2mm 以上の岩片が多く、4mm 以下の岩片が少ないことがわかる。また、サイクルが増すにつれて 11.2mm 以上の岩片が少なくなっていくこと、2.8mm 以下の岩片の増加割合が少なく、4mm~8mm の岩片の増加割合が多いことがわかる。このことは、1 サイクル目では、11.2mm 以上の大きさの岩片が壊れず残っており、サイクルが増すにつれてその大きな岩片が壊れていくが 2.8mm 以下の小さな岩片はあまり生じておらず、4mm~11.2mm の中程度の岩片が多く生じている様子を示している。

同様に図-6(b)より、KB は、1 サイクル目では 11.2mm 以上の岩片が多く、11.2mm 以下の岩片が少ないことがわかる。また、5 サイクル目でも 11.2mm 以上の岩片が多く、8mm 以下の岩片が少ないことがわかる。このことは、全体的に各粒径における質量比の変化割合が小さく、乾燥・湿潤の繰り返しを与えても崩壊速度が遅い様子を示している。

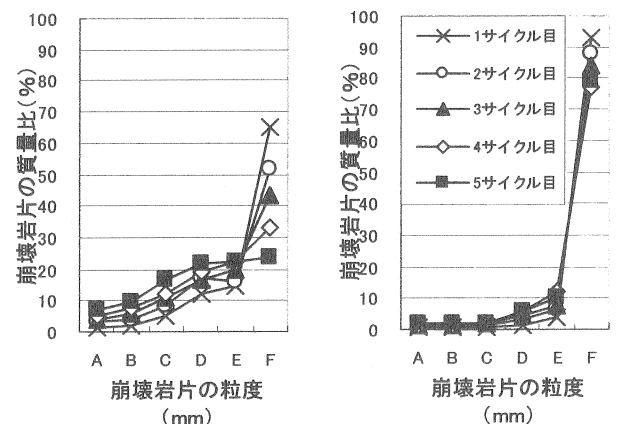
図-6(c)より、JN は、KA, KB に比べて、1 サイクル目で 2.8mm 以下の岩片が多く生じているが、まだ 5.6mm 以上の大きさの岩片も残っていることがわかる。また、



(a)KA 平均値(12個)

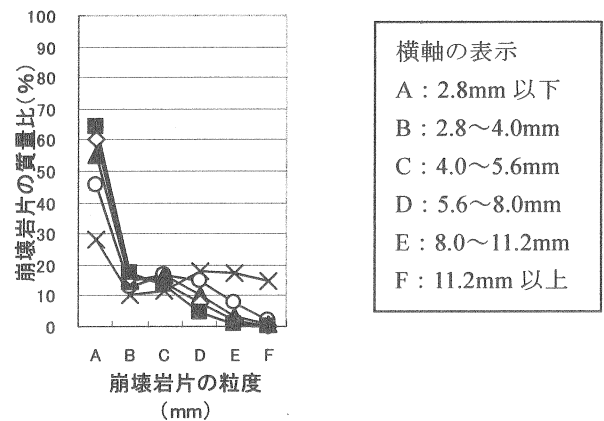
(b)JN 平均値(30個)

図-5 スレーキング試験結果



(a)KA 平均値(11個)

(b)KB 平均値(4個)

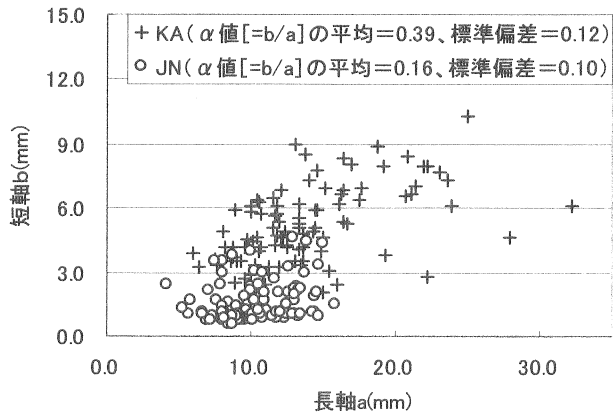


(c)JN 平均値(30個)

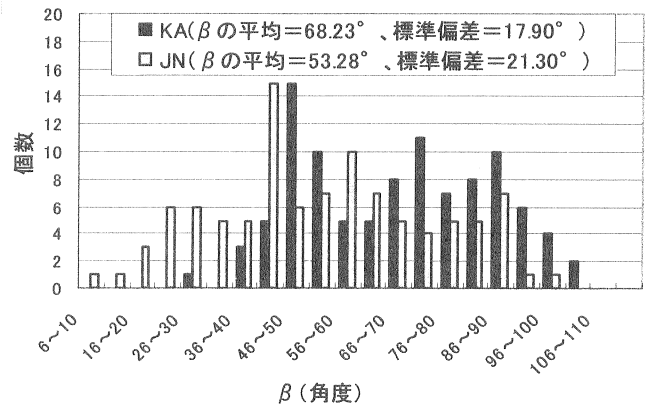
図-6 各サイクルの崩壊岩片の粒度分布

サイクルが増すにつれて 2.8mm 以下の岩片が多くなり、11.2mm 以上の岩片は 3 サイクル目には壊れて残っていないことがわかる。このことは、1 サイクル目から試料の大部分が崩壊し、サイクルが増すにつれて 2.8mm 以下の小さな岩片が多数生じていく様子を示している。

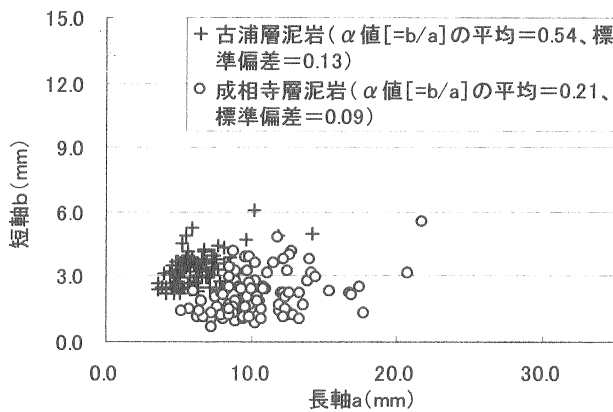
以上より、古浦層泥岩は大きな塊が徐々に崩壊して中程度の岩片を生じ、一方で成相寺層泥岩は小さな岩片が多数生じることが定量的に示された。このように崩壊岩片の粒度分布を計測することにより崩壊過程の違いを明瞭に示すことができた。



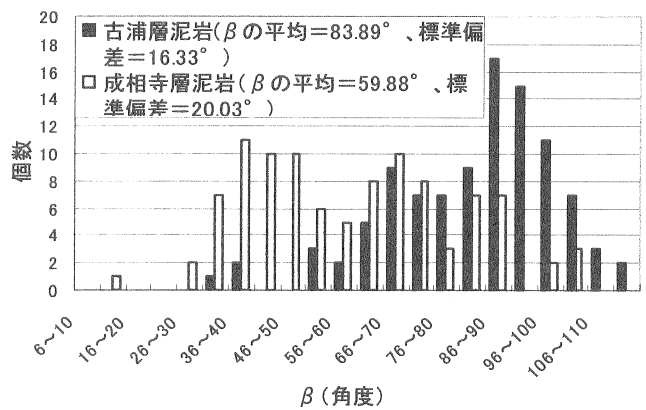
(a) 本試験結果



(a) 本試験結果



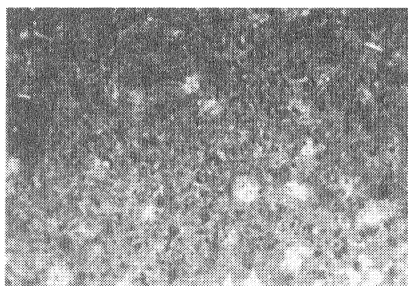
(b) 増本他⁴⁾試料の試験結果



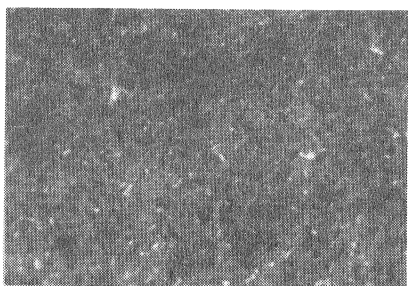
(b) 増本他⁴⁾試料の試験結果

図-7 崩壊岩片の形(扁平度)

図-8 崩壊岩片の丸み指標 β (角度) の分布

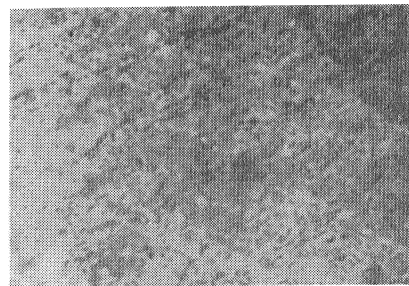


(a) オープン 0 0.5mm

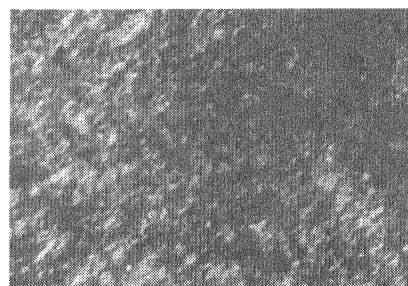


(b) クロス

写真-2 KAの薄片写真



(a) オープン 0 0.5mm



(b) クロス

写真-3 JNの薄片写真

4.3 試験後の崩壊岩片形状の計測結果

4.3.1 形の指標化による検討

KA と KB の崩壊形状, JN と JA の崩壊形状が類似していたので, 代表として, KA と JN の試料を用いた結果を示す. また, 比較のため, 増本他⁴⁾によるスレーキング試験の試料岩片も加えて検討した結果を示す.

ここでは KA と JN の試料を無作為に 100 個抽出し, 計測を行った. 図-7(a)より, KA は様々な大きさの崩壊岩片が存在し, 短軸が 2mm 以下の岩片が存在しないことがわかる. また, 指標 α (短軸/長軸) が大きいものが多い (α の平均=0.39, 標準偏差=0.12) ことがわかる. このことは, 崩壊岩片形状が塊状であることを示している. JN は KA と比較して崩壊岩片の α が小さいものが多く (α の平均=0.16, 標準偏差=0.10), 短軸が 2mm 以下のものがほとんどを占めている. このことは, JN の崩壊形状が板状であることを示している.

さらに, 増本他⁴⁾の古浦層泥岩から 100 個, 成相寺層泥岩から 100 個無作為に崩壊岩片を抽出し, 計測を行った結果を図-7(b)に示す. 図-7(b)より, 図-7(a)に比べて古浦層泥岩の崩壊岩片は小さいものが多く, 長軸が 10mm 以下, 短軸が 4mm 以下の試料が多いことがわかる. また, 本試験同様, 古浦層泥岩 (α の平均=0.54, 標準偏差=0.13) の方が, 成相寺層泥岩 (α の平均=0.21, 標準偏差=0.09) より小さい. 成相寺層泥岩は崩壊岩片の長軸は古浦層泥岩と比較して長い, 短軸の長さがほぼ 4mm 以下と古浦層泥岩と同程度なので, 大きさに関わらず, 古浦層泥岩と比較して板状のものが多いといえる.

以上より, 崩壊後の試料の形状として, 古浦層泥岩は塊状で, 成相寺層泥岩は板状の形状になることが定量的に示された.

4.3.2 丸みの指標化による検討

図-8(a)より, KA は, 崩壊岩片の丸み指標 β のバラツキが小さく (平均=68.23, 標準偏差=17.90), 角度 (β) が 50° 以上の岩片が多いことがわかる. 一方, JN は KA と比較して β のバラツキが大きい (平均=53.28, 標準偏差=21.30), 角度 (β) が 70° 以下のものが多いことがわかる.

増本他⁴⁾の試料について岩片の丸み指標を算出した結果を図-8(b)に示す. 図-8(b)より, 古浦層泥岩は β のバラツキが小さく (平均=83.89, 標準偏差=16.33), 角度 (β) が 80° 以上の岩片が多いことがわかる. 一方, 成相寺層泥岩は古浦層泥岩と比較して β のバラツキが大きい (平均=59.88, 標準偏差=20.03), 角度 (β) が 70° 以下のものが多いことがわかる.

以上より, 古浦層泥岩は崩壊岩片が丸く, 成相寺層泥岩の崩壊岩片は角張っていることが定量的に示された.

4.4 薄片から見た崩壊過程と試料の関係

古浦層と成相寺層に属する泥岩における上記に示されたような崩壊形態の違いは, 試料の構造の違いが関係すると考えられる. 各試料から作成した薄片の偏光顕微鏡

写真の内, 代表として KA と JN の写真を写真-2, 3 に示す. 写真-2 より, KA は板状鉱物の方向性が無いことがわかる. 一方, JN (写真-3) は鉱物が線状に配列していることが見てとれる. 以上より, 古浦層の試料はランダム構造で, 成相寺層の試料は一定方向に鉱物が配列した線構造を呈していることがわかる. このことから, 崩壊岩片の扁平度や丸みといった形状に鉱物配列構造が影響している可能性が推察される.

5. 結論

島根県東部新第三紀の軟岩である, 古浦層・成相寺層に属する泥岩を用いて室内乾湿繰り返しによるスレーキング試験を行い, 崩壊形態の違いを定量的に比較検討した結果, 以下の結論を得た.

- 1) 古浦層泥岩は大きな亀裂が生じて徐々に崩壊する. 試料の崩壊形状は形・丸み指標により塊状で角が丸いことが定量的に示された.
- 2) 成相寺層泥岩は多数亀裂が生じて崩壊する. 試料の崩壊形状は形・丸み指標により板状で角張っていることが定量的に示された.
- 3) 崩壊過程に伴う崩壊岩片の粒度分布の変化を計測することにより, 古浦層泥岩は大きな塊が徐々に崩壊して中程度の岩片を生じ, 一方で成相寺層泥岩は小さな岩片が多数生じるという崩壊過程の違いが明瞭に示された.

今後は, スレーキングによる崩壊形態の違いを考慮して, 現場観測データも加味することにより, 斜面等におけるより適切な崩壊モデルを構築したいと考えている.

謝辞

島根大学横田修一郎博士および亀井健史博士には, 激励と適切なご助言をいただきました. 和田佳記さん (島根大学学生) には, 編集作業でご協力いただきました. ここに記して感謝いたします.

参考文献

- 1) 土木学会: 軟岩の調査・試験の指針(案), pp64-72, 1991.
- 2) 岩の力学連合会: ISRM 指針 vol.1, pp21-24, 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) 増本清, 亀井健史, 三枝暁弘, 佐藤貴史: 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, 地盤と建設, Vol.20, No.1, pp.93-102, 2000.
- 5) 猪木幸男, 村上充英, 大久保雅弘: 日本の地質 7 中国地方, 共立出版, 1988.
- 6) 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.
- 7) Yong, R. N. and Warkentin, B. P.: Soil properties and behaviour, Elsevier Scientific Publishing, 1966.