粗粒砂岩の風化による岩石物性の変化

西山 賢一*

要 旨

熊本県天草地域に分布する古第三系の粗粒砂岩を用いて、風化による砂岩の岩石物性の変化について検討した。鏡下観察の結果、風化した試料では新鮮な試料に比べて、砂岩の基質を構成する方解石が溶解して減少し、水酸化鉄が基質部分に濃集している。有効間隙率・間隙径分布・強度測定の結果、風化した試料ほど、有効間隙率と間隙量がともに増加し、点載荷強度と土壌硬度が減少している。風化に伴う間隙の増加の原因は、砂岩の基質を構成する方解石の溶解に由来するものと考えられる。粗粒砂岩の風化に伴う岩石組織の変化においては、方解石の溶解が主因のひとつと考えられる。

Key words : 間隙構造 pore structure, 砂岩 sandstone, 風化 weathering, 天草 Amakusa

1. は じ め に

風化による岩石の物性変化は、長期的に見た斜面安定性の低下や、スレーキングに代表される急速な岩盤強度の低下など、種々の応用地質学的な問題に関与する現象である。風化によって変化する岩石の強度および透水特性を把握するには、岩石内部に存在する間隙の量と大きさ、ならびにその連結程度を求めることが必要になる。間隙の量は、水浸法による有効間隙率測定によって容易に求められるが、間隙の大きさを求めるには、水銀圧入式ポロシメータを用いた間隙径分布測定が有用である^{1)~10)}。

本研究では、代表的な堆積岩である砂岩の風化による物性変化に着目した。砂岩の代表的な岩石物性である間隙径や間隙構造については、これまで主として堆積岩岩石学や石油地質学の観点から注目されてきた^{11)~17)}。一方、風化による間隙径や間隙構造の変化についての研究は数例程度である^{18)~22)}。本研究では、露頭（のり面）において砂岩の風化帯区分を行うとともに、採取した砂岩の薄片観察、水浸法による有効間隙率の測定に加え、水銀圧入式ポロシメータを用いて間隙径分布を計測し、砂岩の風化による物性変化について検討を行った。

2. 対 象 砂 岩

対象とした砂岩は、熊本県天草上島に分布する古第三系

白岳層^{23), 24)}の粗粒砂岩（以下、白岳砂岩と呼ぶ）である。白岳層は、基底に泥岩～炭質泥岩を伴う以外は、塊状・硬質で厚い粗粒砂岩からなり、斜面では急崖をなすことが多い。しばしば石英の細礫を含み、中礫サイズの礫を含んで含礫砂岩状を呈する箇所もある。平行葉理や平板状斜交層理が認められる場所もあるが、成層構造はあまり明瞭ではない。層理面の間隔は数m前後であり、層理面に直交した節理の間隔も数m程度であることが多い。

急崖をなす露岩部分では、しばしば比高10m以上のトアをなす。トアなどの露岩の表面には、タフォニと呼ばれる楕円形の孔が開口していることがあり、その成因には塩類風化が関与していると推定されている²⁵⁾。一方、緩斜面では見かけの厚さ2～5m程度の風化帯を構成しており、最上部の強風化部では、マサ状を呈する場所もある。なお、白岳砂岩の強風化部では、1972年7月の記録的豪雨による斜面崩壊と、それに起因する土石流が多発したことが知られている（天草豪雨災害）^{26)~29)}。

3. 調査・測定方法

3.1 白岳砂岩の風化帯区分

図-1に示す熊本県上天草市の2露頭（地点AとB）での風化帯区分と物性測定を行った。風化帯区分は、のり面における目視と岩石ハンマー打診によって行った。のり面では、硬質な部分ではシュミットロックハンマーを用いた反発度（R値）を測定し、同一地点を複数回打撃する連打法³⁰⁾に従って10回の打撃を行い、平均値を求めた。軟質な部分では山中式土壌硬度計を用いた貫入硬度値（Y値, mm）の測定を行い、5回測定した平均値を求めた。また、色彩計を

* 徳島大学大学院理工学研究部 Graduate School of Science and Technology, Tokushima University (会員)
 E-mail : nishiyama@tokushima-u.ac.jp

図-1 調査地域の位置
打点部は白岳層の分布

用いた色彩測定は、風化による岩石物性の変化を簡便に把握できる手法として広く用いられている^{31)~33)}。本研究ではコニカミノルタ製SPAD-503（測定窓の直径は8mm）を用い、測定方法は直接法³⁴⁾とし、色彩値は $L^*a^*b^*$ 表色法で表記した。 L^* 値は明暗（白が100、黒が0）、 a^* 値は正が赤、負が緑、 b^* 値は正が黄、負が青を、それぞれ表す。 L^* 値は、主として測定試料の含水状態によって変化し、 a^* 、 b^* 値は、風化に伴って変化することが知られている³⁴⁾。本研究では、風化に伴って値が変化する a^* 、 b^* 値を用いた検討を行った。

風化区分の結果を図-2、3に示す。風化が進行した方から順に、赤色マサ状風化帯（W3帯：見かけの厚さ0～3m）、角礫状風化帯（W2帯：見かけの厚さ0.5～2m）、塊状弱風化帯（W1帯：見かけの厚さ2～5m）、新鮮帯（F帯）に分けられる。

W3帯は、砂岩の風化物である粗砂～極粗砂を主体とし、細礫サイズの石英礫をしばしば含む。全体として赤色化・褐色化が進んでいる。砂岩の層理面・節理面はほぼ消失し

図-2 のり面における風化帯区分（地点A）

図-3 のり面における風化帯区分（地点B）

ており、マサ状を呈する。緩斜面をなすのり面（地点A）では、最大で見かけの厚さ3mのW3帯が観察されたが、谷壁沿いに位置するのり面（地点B）では削剥されており、観察されなかった。

W2帯は、径3～15cm程度の砂岩の角礫～亜角礫が主体で、基質は細礫を含む極粗砂～粗砂からなる。角礫の外周部は赤色化が進行しているが、内部の赤色化の程度は弱い。角礫はハンマーの軽打で割れる程度である。砂岩の層理面・節理面はほとんど確認できない。地点Aでは見かけの厚さ約2mのW2帯が観察されたが、地点Bでは見かけの厚さは約0.5mと薄い。

W1帯は、層理面・節理面が残存した塊状岩盤であり、岩塊の表面および層理面・節理面の褐色化が進んでおり、ハンマーの軽打ないしやや強打で割れる。地点Bでは見かけの厚さ2～5mと変化するW1帯が認められたが、地点AではF帯との境界が観察できず、厚さが不明であった。

F帯は、地点Bのみで観察された。層理面・節理面に沿ってやや褐色化しているものの、全体としては比較的新鮮で硬質な塊状岩盤である。地点Bでは、W1帯とF帯との境界の形状は、40°ほどで傾斜する砂岩の層理面に規制されている。また、W1帯とF帯との境界付近から、にじみ出し程度の湧水が認められることがある。

3.2 採取試料の岩石物性測定

採取試料については、露頭からハンマー・タガネを用いて不攪乱状態の非整形試料として採取し、非整形試料のまま比較的簡便に行える水浸法による有効間隙率 n_e （％、地盤工学会編³⁵⁾による）の測定（26試料）に加えて、偏光顕微鏡を用いた薄片観察を、肉眼観察でF帯とW1帯を代表すると判断した2試料について行い、さらに、水銀圧入式ポロシメータ（産業技術総合研究所のカルボ・エルバ社製ポロシメータ2000）による間隙径分布の測定を、肉眼観察でF帯とW1帯を代表すると判断した2試料を対象に行った。間隙径分布測定では、円筒と仮定した間隙の半径 r

($0.003\sim 20\mu\text{m}$) ごとの間隙容量 V (mm^3/g) を求め、同時に、水銀圧入法による有効間隙率 $n_e(m)$ (%), かさ密度 ρ (g/cm^3), 平均間隙径 μ (μm), 比表面積 S (cm^2/g) を求めた。最後に、力学的な指標値として、点载荷試験機による点载荷強度 St (MPa) の測定 (26試料) を行った。

地点AでW1～W3帯, 地点BでF帯の試料を, それぞれ採取した。F帯～W2帯は8試料ずつ採取したが, 最も風化したW3帯では非破壊で採取できた試料が少なく, 2試料である。

4. 調査・測定結果

4.1 岩石物性の測定結果

測定した各風化指標値の風化区分ごとの変化を, 図-4に示す。括弧内の数値は標準偏差を表す。岩石の力学的性質の指標である山中式土壌硬度計の測定結果は, W3帯ではY値 (mm) が21程度と軟質であるが, W1帯では33程度と高くなる。シュミットハンマー反発値の測定結果は, W2, W3帯ではR値 (%) が測定不能だが, W1帯では30程度, F帯では60前後の値となった。点载荷試験による St 値 (MPa) は, W1帯では1.0, F帯では6.1となり, 両者の間で強度値のギャップが明瞭となった。

岩石の物理的性質の指標である有効間隙率 n_e (%) の測定結果をみると, W2帯で30程度, W1帯で12程度となり, この両者間での値の変化がやや大きい。岩石の鉱物学的・化学的性質の指標値である色彩値の測定結果をみると, F帯～W2帯までは大きく変化せず, W2帯とW3帯の境界で, a^* , b^* 値ともに値が急増しているのが特徴的である。

4.2 薄片観察結果

F帯とW1帯から1試料ずつ採取した岩石片の薄片観察を実施した。薄片写真 (単ニコール) を図-5, 6に示す。鏡下におけるF帯の試料は, 粗粒な石英粒子を主体とし, 長石を伴う。また, 花崗岩類・変成岩類・火山岩類などの岩片を多く含むアレナイト砂岩である。基質には, 1～2方向の劈開が明瞭で, 劈開が2方向の場合は菱形をなし, ス

図-5 薄片写真 (F帯)
写真の横幅は6.2mm

図-6 薄片写真 (W1帯)
写真の横幅は6.2mm

図-4 地点Aにおける物性値の鉛直変化。

括弧内の数値は標準偏差を表す。既存の研究結果^{1)～8)}などの比較のため, SI単位系でない表記が含まれている。

テージの回転とともに輪郭が浮き沈みする鉱物が観察され, 方解石と判断した。鏡下で識別できる方解石粒子の大きさは, $10^1\sim 10^2\mu\text{m}$ のオーダーである。一方, W1帯の試料の基質には, 劈開が明瞭な方解石が観察されず, 代わりに濃い褐色を呈する水酸化鉄が増加している。水酸化鉄粒子の大きさは, 間隙との識別が困難な場所も多いが, $10^1\sim 10^2\mu\text{m}$ のオーダーである。石英粒子そのものや, 多く含まれる岩片の風化変質は明瞭ではない。F帯では, 石英粒子や岩片内などに微細なクラックが認められるが, W1帯では, 単一の鉱物粒子に留まらず, 基質を含めて連続したクラックが認められることがある。

4.3 間隙径測定結果

F帯とW1帯から, それぞれ1試料を採取して間隙径分布を測定した。結果を図-7ならびに表-1に示す。 $10^1\mu\text{m}$ よりやや大きな間隙径の部分の間隙容量が局部的にゼロを呈している部分は, 間隙径分布測定装置の高圧測定部と低圧測定部の切り替えに伴うものである。F帯の試料 ($n_e(m)$ が2.45%) の間隙は, 測定範囲の全域にわたって少ないも

図-7 間隙径分布

表-1 間隙径分布測定による物性値一覧

風化区分	有効間隙率 $n_e(m)$ (%)	かさ密度 ρ (g/cm³)	平均間隙径 μ (μm)	比表面積 S (cm²/g)
F帯	2.45	2.04	17.56	0.39
W1帯	13.73	1.84	6.39	0.90

の、 $10^1 \mu\text{m}$ 前後の大きな間隙の容量がやや多い。このことを反映して、 μ が $17.56 \mu\text{m}$ と大きい。一方、W1帯の試料($n_e(m)$ が13.73%)は、F帯の試料に比べて、間隙径の全域での間隙容量が増加しており、特に $10^0 \sim 10^1 \mu\text{m}$ 間の間隙容量の増加量が多い。このため μ は、F帯の試料に比べて減少しており、 $6.39 \mu\text{m}$ となっている。一方、 S はいずれも $1 \text{ cm}^2/\text{g}$ 以下であり、W1帯の試料のほうがやや大きくなっている程度である。

5. 白岳砂岩の風化による岩石物性変化

5.1 風化帯構造

W3帯は、尾根などの地表直下に分布し、谷壁斜面などでは欠如することが多い。W3帯は非常に軟質であり、他の風化帯に比べてかなり赤色化が進行している。肉眼的には粗砂を主体としたマサに類似し、かつ赤色化が進行していることが特徴であり、今回の測定結果では、W3帯での a^* 値の急増として明瞭に現れている。また、W1帯試料の薄片では、基質に水酸化鉄が増加しており、これが赤色化の原因のひとつと考えられる。白岳砂岩はアレナイト砂岩であり、粗粒の石英・長石から構成されているため、その風化物の鉱物組成もマサと類似している。この部分は粗粒な風化物からなるため、透水性が高いと推定される。その下位にあるW2帯は、含まれる角礫はやや硬質であるが、

基質部分の土壌硬度はW3帯と同様であるため、強度や透水性はW3帯と類似した風化帯と考えられる。一方、下位のW1帯は塊状を呈する岩盤であり、W1帯はW2帯の間隙率より半分以下であることから、W2帯より透水性が大きく低下していると推定される。最も新鮮なF帯では、W1帯に比べて、 St 値と R 値が顕著に高い値を示す。

以上のことから、白岳砂岩の風化帯は、(1)最も風化が進行した地表近くのW3帯では色彩の変化(赤色化)が著しい、(2)W2/W1帯の間では間隙率にギャップが認められる、(3)W1/F帯の間で点载荷強度値の急低下が生じている、といえる。このことから、風化の時間的な進行過程を考えると、新鮮な砂岩が地表に露出すると、風化の初期段階に低下するのが強度であり、その後、風化帯の厚さが増加しながら間隙の増加が進行し、厚くなった風化帯の地表付近が赤色を呈する、というプロセスが考えられる。

5.2 風化に伴う間隙径の変化

間隙径分布の測定結果によれば、F帯の試料に比べ、W1の試料では、測定範囲の全域におよぼ間隙径が増加するとともに、特に $10^0 \sim 10^1 \mu\text{m}$ 間の間隙の増加量が多い。このサイズの間隙の増加は、主として砂岩の基質の溶解に起因すると考えられる。新鮮な砂岩の基質には、比較的溶解しやすい方解石が多く含まれ、風化した砂岩では方解石が明瞭ではなくなり、代わりに水酸化鉄が増加している。基質を構成する方解石の溶解により、砂岩の骨格をなす砂粒子間の連結が外れるとともに、その間隙の少なくとも一部は、風化に伴って増加する水酸化鉄によって充填されていると考えられる。その結果、特に $10^0 \sim 10^1 \mu\text{m}$ 間の間隙が増加したものと推定される。砂岩の風化によって $10^0 \sim 10^1 \mu\text{m}$ 間の間隙が特に増加する傾向は、房総半島の新第三系白浜層の砂岩(基質は主に沸石)や、四万十帯の白亜系～古第三系細粒砂岩(基質は主にイライト・カオリナイト・緑泥石)でも認められる現象である^{18)~20)}。

ただし、本研究ならびに上記砂岩の検討で用いられた間隙径分布測定装置では、 $10^2 \mu\text{m}$ 以上の領域での間隙容量を測定できない。今回の薄片観察結果から、粒子径が $10^2 \mu\text{m}$ に達する方解石の溶解と、新たに生成した同サイズの水酸化鉄による間隙の充填が生じているものとみられるが、測定範囲の制限により、上記のような間隙の生成と充填を十分把握できていない可能性がある。

白岳砂岩の場合、風化による物性変化の初期段階に該当するW1帯で $10^0 \sim 10^1 \mu\text{m}$ 間の間隙が増加し、かつ n_e が10%強まで増加している。一方、四万十帯の細粒砂岩の場合、洪水時に運搬・堆積した河床礫を、風化部分が削剥されるため未風化状態と見なし、河床礫が離水した段丘堆積物は、離水後の経過時間を風化継続時間と見なす方法で、風化による物性変化を見積もった²¹⁾。その結果、風化継続時間が10万年以上と長い試料ほど、 n_e は20~25%まで増加する傾

向が顕著であることをすでに報告した²¹⁾。白岳砂岩と四万十砂岩とを比較すると、白岳砂岩の基質を構成する方解石が溶解しやすく、 n_e の増加量がそれほど大きくなくても岩石組織が分解されやすいこと、一方、四万十砂岩の基質を構成する粘土鉱物（イライト・カオリナイト・緑泥石）は方解石より溶解しにくいいため、基質がより多く溶解する（ n_e が増加）ことで岩石組織が分解されること、という違いが認められる。

白岳砂岩の基質をなす方解石は、化学的風化によって比較的容易に溶解しやすいことに加え、岩石の破壊強度にも影響する可能性が指摘されている³⁶⁾。すなわち、天草に分布する古第三系砂岩（白岳砂岩とは異なる）の三軸圧縮試験結果では、基質に方解石が卓越する砂岩の場合、緑泥石が卓越する砂岩に比べて、载荷によってクラックが高密度で生じやすい結果が得られている。この指摘は、上述のように、白岳砂岩の風化帯断面の深部にあたるW1帯とF帯の境界（すなわち、風化の初期段階）で生じているのが強度（ St ）の低下であり、W1帯では砂粒子から基質まで連続したマイクロクラックが観察されることと調和的といえる。

以上のことから、基質が方解石からなる白岳砂岩の場合、風化による方解石の溶解やクラックの発生が起こりやすく、岩石組織の分解や強度低下を引き起こしやすいといえる。粗粒なアレナイト砂岩の場合、基質の溶解に起因する岩石組織の分解は、最終的には、砂岩としては一見特異なマサ状の風化生成物を特につくりやすいと推定される。この種の表層風化帯の存在が、1972年天草豪雨のような記録的豪雨による表層崩壊の多発に影響した可能性が指摘されている^{26)~29)}。

6. ま と め

熊本県天草に分布する古第三系白岳層の粗粒砂岩を対象として、砂岩の風化による間隙構造の変化と、それに関連した物性変化を検討した。露頭観察に基づき、白岳砂岩の風化帯を、新鮮なものからF帯、W1帯、W2帯、W3帯に4区分した。W2帯までは層理面が残存するが、W3では層理面が不明瞭となり、全体として赤色を呈するマサ状に変化している。

薄片観察の結果、白岳砂岩の基質は、溶解しやすい方解石を多く含む。風化した試料では、砂粒子である石英や岩片などに明瞭な変化は認められないが、基質部分の方解石が減少し、代わりに水酸化鉄が増加している。一方、新鮮な試料の有効間隙率は数%なのに対し、最も風化した試料では約30%程度に達している。間隙径分布測定結果では、新鮮試料と風化試料とを比較すると、測定範囲の全域におよぶ間隙径が増加するとともに、特に $10^0\sim10^1\mu\text{m}$ 間の間隙の増加量が大きい。

以上の測定結果から、白岳砂岩では、風化によって基質の方解石が選択的に溶解しており、 $10^0\sim10^1\mu\text{m}$ 間の間隙を中心に、広い範囲の間隙が増加していることが判明した。このことから、白岳砂岩の風化による岩石組織の変化は、基質の方解石の溶解により、砂岩の骨格をなす砂粒子間の連結が外れることが主因の一つと考えられる。

謝辞 間隙径分布測定では、産業技術総合研究所の高橋学博士にお世話になりました。点载荷試験では、香川大学の長谷川修一教授にお世話になりました。査読者の指摘により、本稿は改善されました。以上の方々に、記してお礼申し上げます。

引 用 文 献

- 1) 田村 仁・鈴木隆介（1984）：第三紀堆積岩の間隙径分布と他の物理的性質，*地形*，Vol.5，No.4，pp.311-328.
- 2) 内野健一・一ノ瀬政友（1984）：挟炭層岩石の空隙構造に関する研究，*応用地質*，Vol.25，No.4，pp.195-205.
- 3) 山下伸太郎・鈴木隆介（1986）：風化による堆積岩の間隙径分布の変化とそれに伴う強度の低下，*地形*，Vol.7，pp.257-273.
- 4) 山口晴幸・黒島一郎・福田 誠（1988）：第三紀泥岩の空隙分布，*土と基礎*，Vol.36，No.12，pp.55-60.
- 5) 高橋 学・林 為人・西田 薫・蓑由紀夫（1999）：水銀圧入式ポロシメータによる岩石の内部空隙の寸法分布測定，*土と基礎*，Vol.47，No.4，pp.30-32.
- 6) 林 為人・高橋 学（2000）：水銀圧入式ポロシメータおよび岩石の内部空隙寸法の測定への適用，*地質ニュース*，No.549，pp.61-68.
- 7) 高橋 学・林 為人（2004）：水銀圧入式ポロシメータで得られる情報と測定の問題点，*資源と素材*，Vol.120，No.8，pp.455-460.
- 8) 高橋 学・藤井幸泰・安 昶完・竹村貴人・高橋直樹・朴 赫（2011）：来待砂岩の水銀ポロシメータおよびX線CT構造解析から得られる空隙構造，*応用地質*，Vol.52，No.5，pp.184-191.
- 9) Kate, J. M. and Gokhale, C. S. (2006) : A simple method to estimate complete pore size distribution of rocks, *Eng. Geol.*, Vol.84, pp.48-69.
- 10) Fusi, N. and Martinez, J. (2013) : Mercury porosimetry as a tool for improving quality of micro-CT images in low porosity carbonate rocks. *Eng. Geol.*, Vol.166, pp.272-282.
- 11) 内田 隆（1984）：貯留岩の孔隙性と孔径分布，*石油技術協会誌*，Vol.49，pp.29-40.
- 12) Doyen, P. M. (1988) : Permeability, conductivity, and pore geometry of sandstone, *Jour. Geophys. Res.*, Vol.93, No.B7, pp.7729-7740.
- 13) Krohn, C. (1988a) : Sandstone fractal and euclidean pore volume distributions, *Jour. Geophys. Res.*, Vol.93, B4, pp.3286-3286.
- 14) Krohn, C. (1988b) : Fractal measurements of sandstones, shales, and carbonites, *Jour. Geophys. Res.*, Vol.93, B4, pp.3297-3305.
- 15) 薛 自求・大和田朗・高橋 学・楠瀬勤一郎・石島洋二（1991）：

- 砂岩の内部構造とその透水特性について, 地質ニュース, No.439, pp.50-53.
- 16) 内田 隆・多田隆治 (1992): 砂岩の孔隙の性質 その2, 孔隙分布曲線解析の天然砂岩への適用, 石油技術協会誌, Vol.57, pp.213-222.
 - 17) Song, Y. (2001): Pore sizes and pore connectivity in rocks using the effect of internal field, *Magnetic Resonance Imaging*, Vol.19, pp.417-421.
 - 18) Suzuki, T. and Hachinohe, S. (1995): Weathering rates of bedrock forming marine terraces in Boso peninsula, Japan, *Trans. Japan. Geomorph. Union*, Vol.16, pp.93-113.
 - 19) Hachinohe, S., Hiraki, N. and Suzuki, T. (1999): Rates of weathering and temporal changes in strength of bedrock of marine terraces in Boso Peninsula, Japan, *Eng. Geol.*, Vol.55, pp.29-43.
 - 20) 西山賢一・水上陽成・小池克明・松倉公憲 (2001): 風化による砂岩礫の間隙構造の時間変化, 応用地質, Vol.42, No.1, pp.2-14.
 - 21) 西山賢一・松倉公憲 (2002): 風化による砂岩礫の物性変化速度, 応用地質, Vol.43, No.4, pp.216-225.
 - 22) Tugrul, A. (2004): The effect of weathering on pore geometry and compressive strength of selected rock types from Turkey. *Eng. Geol.*, Vol.75, pp.215-227.
 - 23) Miki, T. (1975): Formation and development of sedimentary basins during the Paleogene in Amakusa and its adjacent areas, Western Kyushu, *Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ., Ser. D, Geol.*, Vol.23, pp.165-209.
 - 24) 大塚雅勇 (2011): 天草地域の上部白亜系および始新統の層序と二枚貝化石群集, 御所浦白亜紀資料館報, No.12, pp.1-44.
 - 25) 西山賢一・横田修一郎 (2010): 熊本県, 天草上島の古第三系砂岩に分布するタフォニの形状, 応用地質, Vol.51, No.3, pp.122-129.
 - 26) 木野義人 (1973): 天草の豪雨災害と地質, 地質ニュース, No.222, pp.4-10.
 - 27) 初倉克幹 (1973): 天草上島における47. 7山地災害の素因 —特に発生場所の予測と対策, 第10回災害科学総合シンポジウム講演論文集, pp.273-274.
 - 28) 自然災害科学の総合的研究班 (1973): 昭和47年7月豪雨災害の調査と防災研究, 昭和47年度文部省科学研究費報告書, pp.193-222.
 - 29) 西山賢一・千木良雅弘 (2003): 1972年天草豪雨で発生した斜面崩壊の地質的特徴, 京都大学防災研究所年報, No.46B, pp.149-158.
 - 30) 松倉公憲・青木 久 (2004): シュミットハンマー: 地形学における使用例と使用法にまつわる諸問題, 地形, Vol.25, No.2, pp.175-196.
 - 31) Nagano, T. and Nakashima, S. (1989): Study of colors and degrees of weathering of granitic rocks by visible diffuse reflectance spectroscopy. *Geochem. Jour.* Vol.23, pp.75-83.
 - 32) Nakashima, S., Miyagi, I., Nakata, E., Sasaki, H., Nittono, S., Hirano, T., Sato, T. and Hayashi, H. (1992): Color measurement of some natural and synthetic minerals. *Rep. Res. Inst. Natural Resources, Mining College, Akita Univ.*, No.57, pp.57-76.
 - 33) 満下淳二・石沢一吉・遠藤 司・武内俊昭 (1998): 岩石の色彩測定と風化区分および物性値評価への応用に関する検討, 応用地質, Vol.38, pp.370-385.
 - 34) 西山賢一・木村隆行・磯野陽子・井上 弦 (2011): 色彩計を用いた岩石・土壌の色彩測定法, 応用地質, Vol.52, No.2, pp.62-71.
 - 35) 地盤工学会編 (1994): 岩の調査と試験, 地盤工学会, pp.460-461.
 - 36) 安武由充・岩松 暉 (1986): 三軸試験による岩石の極脆性および脆性破壊, 鹿児島大学理学部紀要 (地学・生物学), No.19, pp.133-147.

(2016年1月21日受付, 2016年9月7日受理)

Changes in Rock Properties of Coarse Sandstone Due to Weathering

Ken-ichi NISHIYAMA

Abstract

Changes in rock properties and pore structure due to weathering were examined using Paleogene coarse sandstone in Amakusa Island, Kyushu, Japan. The results of the measurements are as follows: (1) according to observation of mineral texture in thin sections, matrix minerals such as calcite decrease with increasing weathering grade, while iron minerals have concentrated in matrix with increasing weathering grade, (2) effective porosity and pore volume increases with increasing weathering grade, (3) tensile strength and soil hardness decreases with increasing weathering grade.

These results suggest that increasing of pores in matrix of sandstone with increasing weathering grade is derived from leaching of calcite. Leaching of calcite and increasing pore volume plays a major role in the changes of rock texture of coarse sandstone due to weathering.

Key words: pore structure, sandstone, weathering, Amakusa