

6. 熊本県天草地域に分布する古第三系白嶽砂岩の風化による物性変化

Vertical changes in physical properties due to weathering of Paleogene Shiratake Sandstone

○西山賢一（徳島大学）・千木良雅弘（京都大学防災研究所）・戸邊勇人（環境学園専門学校）

1. はじめに

1972年7月の豪雨により、熊本県天草地域では約4,600箇所にも達する多数の斜面崩壊が発生し、山麓の集落へ流下して甚大な被害をもたらした¹⁾など。天草地域には、古第三系の堆積岩類およびそれに貫入した火成岩類が分布するが、そのうち、白嶽砂岩と呼ばれる砂岩の斜面では、崩壊深さが浅く、崩壊分布が樹枝状を呈する斜面崩壊が群発した²⁾。この種の斜面崩壊の発生には、白嶽砂岩の風化帯構造が関与していると考えられる。今回、白嶽砂岩の地質断面（のり面）の観察に基づいた風化帯区分を行うとともに、各風化帯における岩石物性の鉛直変化に関して検討を行った。

2. 風化帯区分

対象とした白嶽砂岩は、熊本県の天草上島を中心とした地域に分布し、基底の一部に炭質泥岩を狭在する以外は、ほぼ礫混じりの粗粒砂岩からなる。白嶽砂岩の分布域は特徴的な地形を呈することが多く、同斜構造の斜面ではケスタ地形、向斜軸付近の斜面ではメサ地形を、それぞれ呈する。稜線付近の露岩は硬質なトアをなすことが多いが、斜面では風化した部分も分布し、強風化したものはマサ状を呈する。崩壊分布が樹枝状を呈する斜面崩壊は、同斜構造をなすケスタ地形の流れ盤斜面で群発した（西山・千木良，2003）。

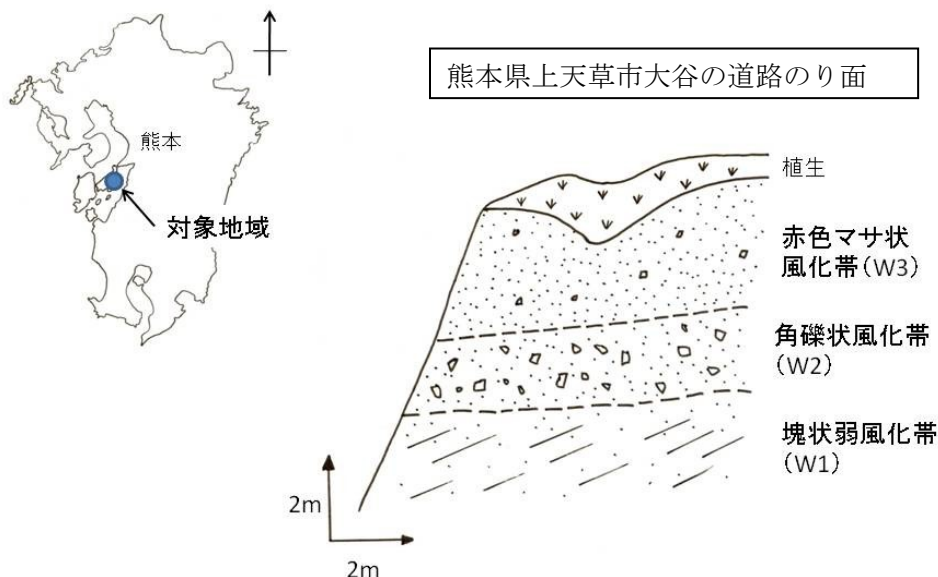


図1 調査位置ならびにのり面における風化帯区分のスケッチ

熊本県上天草市ののり面に見られる白嶽砂岩を対象とし、肉眼とハンマー打診による風化帯区分を行った(図1)。また、その風化区分を、周囲の複数ののり面に適用した。風化区分の結果、風化が進行した方から順に、赤色マサ状風化帯(W3帯:厚さ0~3m)、角礫状風化帯(W2帯:厚さ0.5~2m)、塊状弱風化帯(W1帯:厚さ2~5m)、新鮮帯(F帯)に分けられる。風化帯の厚さのレンジは、各露頭における差を表す。

W3帯は、白嶽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ており、塊状のマサに類似した特徴を持つ。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。W1帯は、層理面・節理面が明瞭な塊状岩盤であり、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。F帯は、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。なお、のり面では、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場合がある。

3. 岩石物性の測定結果

岩石の力学的性質として、原位置で山中式土壌硬度計を用いた貫入硬度値(Y値, mm)の測定、シュミットハンマーを用いた反発値(R値, %)の測定、ならびに原位置簡易せん断試験機によるせん断強度の測定を行った。山中式土壌硬度計による測定(Y値)は、W3帯~W1帯で行い、シュミットハンマーによる測定(R値)は、W1帯とF帯で行った。Y値は、隣接箇所でも5回測定して平均値を求めた。R値は、同一地点を複数回打撃する連打法³⁾により、10回の打撃を行った。原位置せん断試験は、戸邊・千木良⁴⁾と同じ装置によるもので、粘着力 c と内部摩擦角 ϕ とを求めた。また、採取した非整形試料の点載荷試験による引張強度(St値, MPa)を求めた。点載荷試験による引張強度の測定は、W2帯~F帯で行った。物理的性質として、採取試料の水浸法による有効間隙率(ne値, %)、ならびに化学的性質を反映する色彩値(L^* , a^* , b^* 値)の測定を行った。有効間隙率の測定は、W2帯~F帯で行い、色彩値の測定はW3帯~F帯で行ったが、W3の試料は2個のみである。色彩測定は、自然含水状態の採取試料の切断面(研磨せず)で行った。これらとあわせて、白嶽砂岩の薄片観察(F帯~W1帯)を行い、鉱物組成の特徴と風化によるそれらの変化について検討した。

4. 白嶽砂岩の風化による物性変化

各風化指標値の風化区分ごとの変化を、図2に示す(値は平均値)。

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をみると、W3帯ではY値が20~22程度と軟質である。W2帯では、角礫部分でY値が大きく、基質部分で小さい結果となった。W1帯では、Y値が32程度であり、W2の角礫状部分と同レベルとなった。シュミットハンマーによる測定結果をみると、W1帯では、打撃初期の数回はR値が13~20程度を示すが、5回以上打撃すると、26~35程度に収束することが多い。F帯では、打撃初期の数回分のR値が50程度となるが、その後は55~60程度の値を示すことが多い。原位置せん断試験の結果は、供試体にしばしば礫が含まれるため、せん断強度が過剰となる問題があり、信頼に足る値が得られていない。W3帯で試行的に実施した結果、粘着力 $c=12.8\text{kPa}$,

内部摩擦角 $\phi=69^\circ$ となった。点载荷試験による引張強度値をみると、W2 帯では 0.15MPa、W1 帯では 0.97MPa、F 帯では 6.1MPa となり、W1 帯と F 帯との間の強度値のギャップが明瞭な結果となった。

岩石の物理的性質の指標である有効間隙率の測定結果をみると、W2 帯では 29%，W1 帯では 12%，F 帯では 6%となり、W2 帯と W1 帯との間での値の変化がやや大きいといえる。

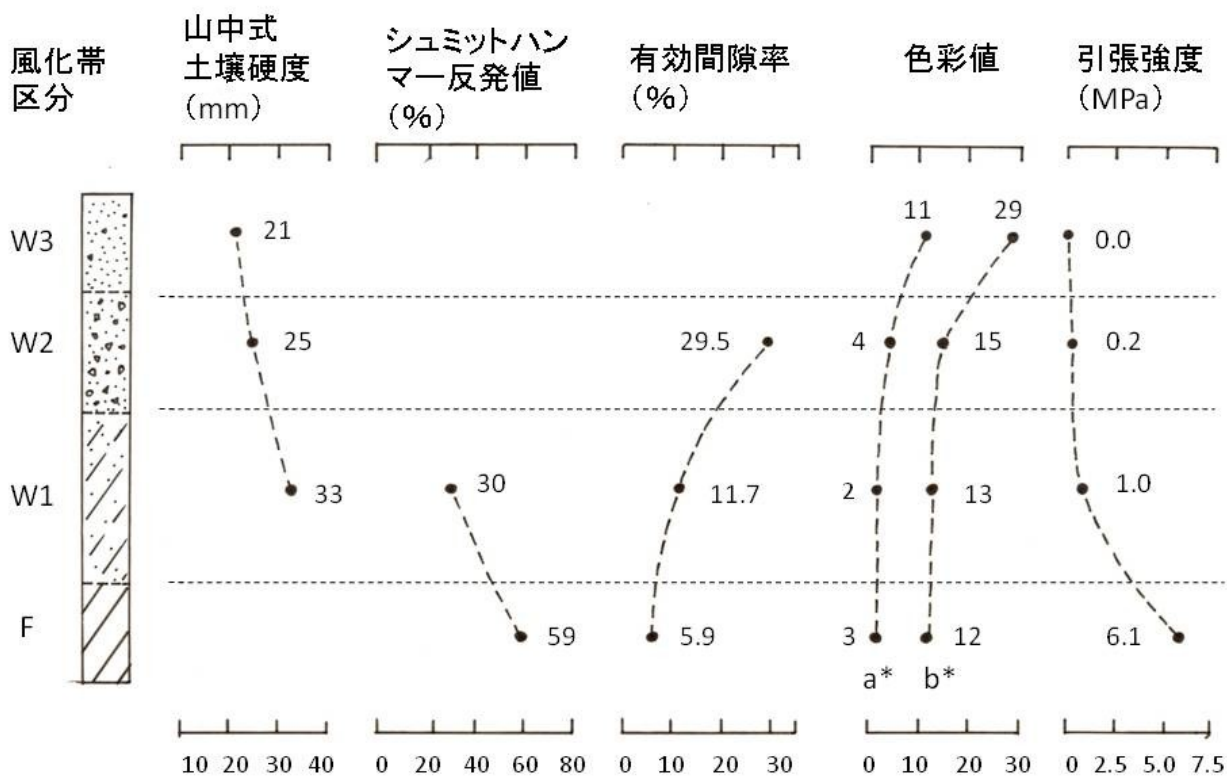


図 2 風化帯ごとにみた白嶽砂岩の岩石物性値の変化

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、W3 帯では、 a^* 、 b^* 値ともに、W2 帯に比べて値が急増しているのが特徴的である。また、薄片観察結果によれば、F 帯に比べて W1 帯では、基質を構成する微細な鉱物が減少し、鉄鉱物が増加する傾向が認められる。このことから、風化に伴って基質部分の微細な鉱物が減少することがクラックや間隙の増加の原因となることに加え、基質部分には鉄鉱物が増加しており、これが色彩値の変化の原因と考えられる。

5. 白嶽砂岩の風化帯構造

W3 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、W3 帯での色彩値 (a^* 値) の急増として明瞭に現れている。白嶽砂岩はアレナイト砂岩であり、粗粒の砂粒子 (石英・長石) と、花崗岩や片麻岩の岩片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。しかしながら、W1 帯ではまだ山中式土壤硬度計による測定が可能な部分もあり、引張強度値でも W2 帯との差異がそれほど顕著ではない。最も新鮮な塊状岩盤である F 帯では、W1 帯に比べて、引張強度値とシュミットハンマー反発値が顕著に高い値を示す。

以上のことから、白嶽砂岩の風化帯は、(1) 最も風化が進行した地表近くの部分では色彩の変化（赤色化）が著しいフロントが認められる、(2) それより内部では間隙率（≒透水性）にギャップが認められる、(3) 最も岩体内部で、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、まず風化の初期段階に低下するのが強度であり、その後、間隙の増加が進行し、色彩の変化が最も遅く現れる、というプロセスが考えられる。薄片観察結果ともあわせて考えると、風化による物性変化は、基質部分の微細な鉱物の溶解やクラックの形成による強度低下が初期に生じ、その後、基質部分の溶解による間隙の増加が進行し、最終的に、基質に残存ないし濃集した鉄の結晶化による赤色化が進行していると考えられる。

ところで、白嶽砂岩からなる斜面は、しばしばケスタ地形ないしメサ地形を呈する。白嶽砂岩からなるケスタ地形の流れ盤斜面のうち、1972 年豪雨で斜面崩壊が発生した溪流では、一般に W3 帯・W2 帯は残存せず、角礫などの河床堆積物もほとんどなく、W1 帯ないし F 帯の塊状硬質な岩盤が直接露出した岩盤河床をなすことが多い。このことから、1972 年豪雨により斜面崩壊が発生した斜面では、斜面に分布していた風化帯の多くが削剥されたと考えられる。崩壊により除去された風化帯は、野外調査からは W3 帯と W2 帯である可能性が高いが、当時の崩壊地形（特に滑落崖の断面）を直接観察できるところがないため、確定することはできない。のり面などで観察できる風化帯（W3+W2）の厚さは 0~3m 程度であり、メサ地形をなす緩斜面でやや厚い傾向が認められるものの、花崗岩地域のような厚いマサは分布しない。このことは、1972 年当時に発生した斜面崩壊の深さが薄かったことと調和的である。

今後は、斜面を構成する土層の厚さ、せん断強度、ならびに貫入強度の深度分布などを求め、斜面における風化帯の形成と表層崩壊の発生プロセスをより詳しく考察する予定である。

謝辞 岩石の引張強度値の測定に当たっては、香川大学工学部長谷川研究室の皆様にお世話になりました。記してお礼申し上げます。

文献

- 1) 自然災害科学の総合的調査班（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，193-222.
- 2) 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形・地質的特徴．京都大学防災研究所年報，46（B），149-158.
- 3) 松倉公憲・青木 久（2005）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，25，175-196.
- 4) 戸邊勇人・千木良雅弘（2007）携帯式原位置せん断試験機の開発．日本応用地質学会関西支部 平成 19 年度研究発表会論文集，18-19.