

7. 阿蘇溶結凝灰岩の風化過程について

○森山哲朗・横田修一郎（島根大学・総合理工学部）

1. はじめに

阿蘇溶結凝灰岩は阿蘇カルデラから流下した火砕流堆積物の溶結部であり、中部九州に広く分布している。このような溶結凝灰岩は一般に適度な強度のため、加工性に富んでいる。なかでも河川に沿って柱状節理が発達している大分県大野川沿いなどでは、大きな原石が得やすく、また、搬出が容易なことから古くから石材に利用されてきた（渡辺・高木,1989）。また、節理の少ないところでは臼杵石仏などのように磨崖仏が刻まれている。しかしながら、溶結凝灰岩は加工しやすい反面、風化・劣化しやすいという性質を持っている。これは、磨崖仏を含む石造文化財の維持・保存において重大な問題となっており、溶結凝灰岩の耐久性の評価、有効な維持補修方法が求められている。

こういった中で、筆者らは阿蘇溶結凝灰岩の風化の実態と風化機構を明らかにするため、構成物の変質過程と物理的性質の変化との相互関係を研究しつつある。本報告では、その第一段階として、大分県大野町（図-1）において人工掘削法面に現れた溶結凝灰岩の風化状態および試行的に行った採取試料での測定結果をもとに風化過程を議論する。

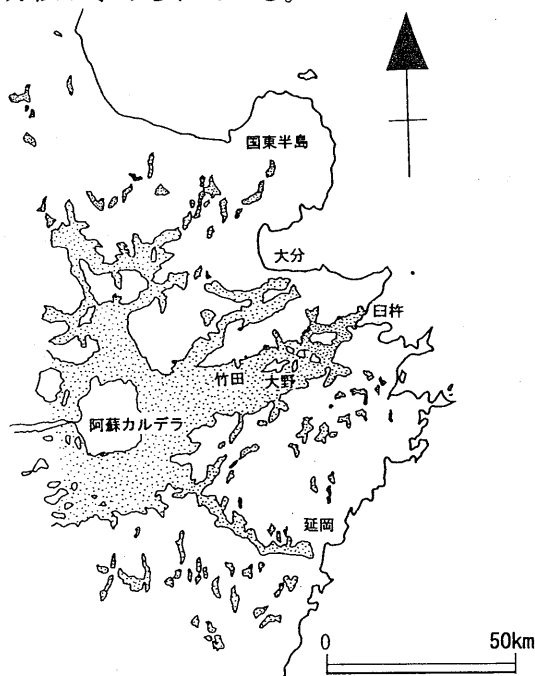


図-1 中部九州における Aso-4 火砕流堆積物の分布。

2. 阿蘇火砕流堆積物と溶結凝灰岩の風化・劣化

阿蘇カルデラを起源とする大規模な火砕流堆積物の噴出は約 27 万年前～9 万年前までに、数万年ずつ隔てて 4 回あり、これらは古い方から Aso-1, Aso-2, Aso-3, Aso-4 火砕流と呼ばれている（小野ほか, 1977 ; 小野・渡辺, 1983, 1985）。そのうち、今回対象としたのは、最も広く分布している Aso-4 火砕流堆積物（約 9 万年前）であり、その大半は溶結凝灰岩である。これは、小野ほか(1977)および小野・渡辺(1983, 1985)によれば、角閃石含有紫蘇輝石流紋岩の溶結凝灰岩である。溶結凝灰岩中にはユータキシチック構造が認められ、上下に偏平化した軽石の大半は黒曜石化している。

筆者らが鏡下で観察した結果では、斜長石のほか、斜方輝石、単斜輝石、角閃石などが斑晶をなし、なかでも斜長石は最大 1.5mm で、自形を呈するものが多い。また、斜方輝石、単斜輝石は最大 1mm で、ともに半自形～他形である。角閃石は最大 1.2mm で、自形～半自形をなす。不透明鉱物の多くは 0.2mm 以下である。外来岩片として最大数 cm の安山岩片が含まれている。基質として不定形をした火山ガラスがこれら斑晶鉱物の間を埋めており、これの連結によって岩石の強度が作りだされていると考えられる。

従来、花崗岩類や火山岩類を対象とした風化研究は多くなされており、特に構成鉱物の変質過程に関する研究が多くなされてきた（九里ほか,1971；斎藤ほか,1971,1974）。これに対し、溶結凝灰岩についてはほとんどなされていない。姜ほか(1997)は、南九州における更新世の溶結凝灰岩石材の風化状態を様々な化学的・物理的指標を用いて測定し、石材表面付近の強度劣化には構成鉱物の酸化作用と水和作用が大きく影響していることを指摘している。一方、内田(1999)は、磨崖仏が刻まれている阿蘇溶結凝灰岩の強度劣化は、析出している塩類から、地下水流による溶結凝灰岩中の塩類の移動・析出（塩類風化）が大きな原因であるとした。ただし、塩類の溶出にいたる具体的過程はよく分かっていないし、これ以外にも多様な風化・劣化機構が考えられる。

3. 掘削面上にみられる溶結凝灰岩の風化状態

今回、阿蘇溶結凝灰岩の風化状態を阿蘇火砕流の北東端に近い大分県大野町で調査した。図-3 はその 1 つで、人工的に掘削された法面上に溶結凝灰岩が広く現れている。法面は図-2 に示すように、幅約 15m、高さ最大 3m で北東方向に張り出した尾根の末端がカットされたものであり、上から下への風化状態が観察できる。地形的にみて、風化は尾根状緩斜面から溶結凝灰岩内部に向かって進行したものと推定される。

岩石組織からはほぼ同程度に溶結した溶結凝灰岩よりなる。ただし、図のように上端から 0.1～0.5m にわたって褐色化を呈しており、やや軟質化している。ここでは溶結凝灰岩中のユータキシチック構造に沿って水平な亀裂が発達しており、厚さ約 3～10cm に薄く細片化している。一方、これより下部の部分は灰色を呈し、硬質である。また、節理以外の割れ目はほとんど認められない。

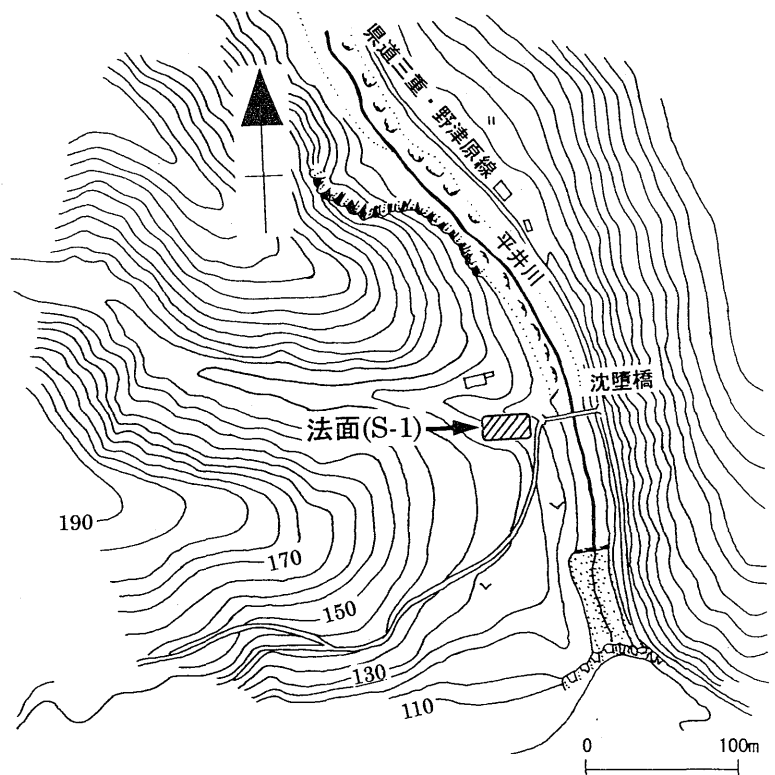


図-2 調査の対象とした溶結凝灰岩法面(S-1).
幅約 15m. 高さ最大 3m.

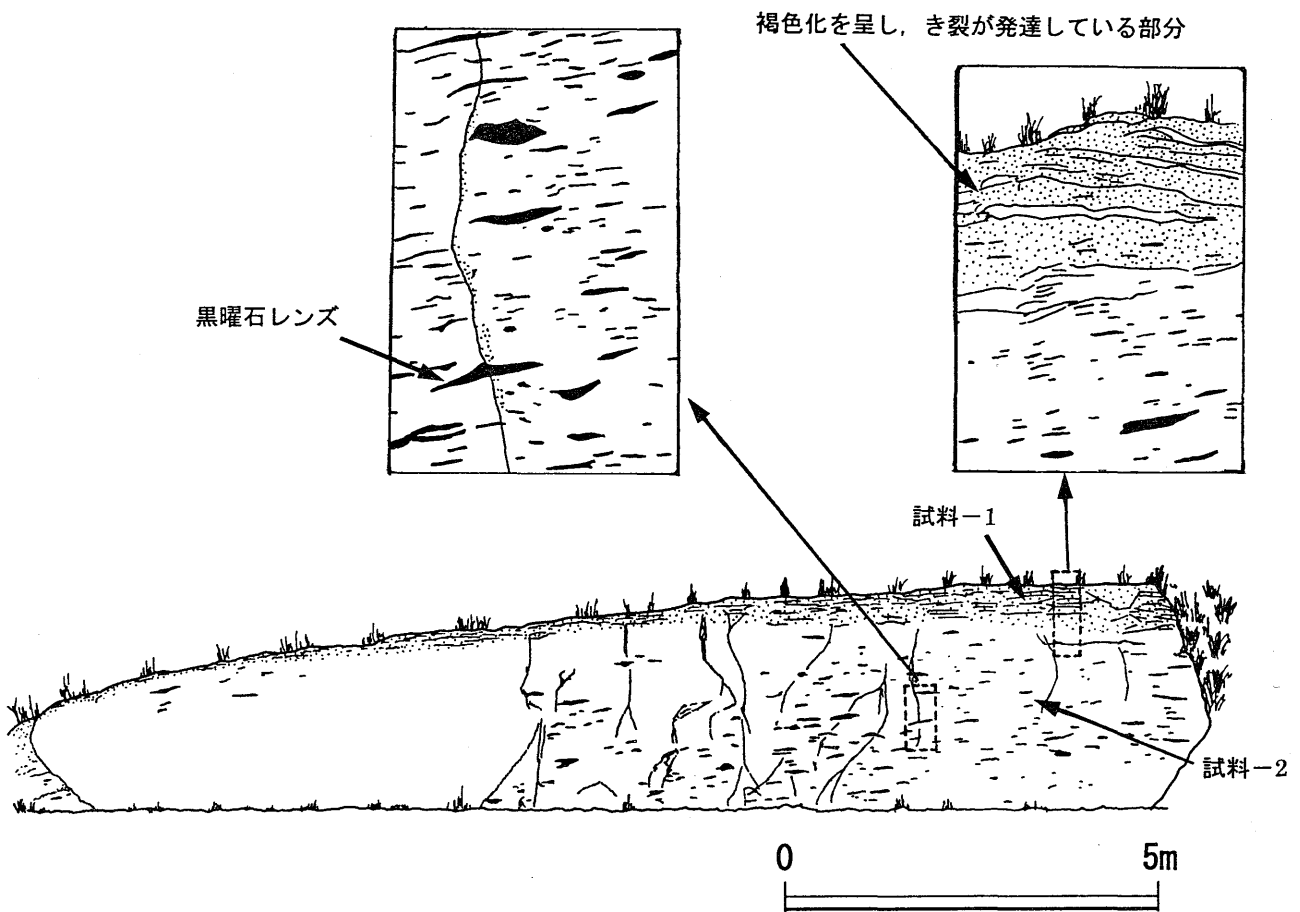


図-3 法面(S-1)における溶結凝灰岩の構造と風化状態。
岩石試料-1, -2 採取位置。

4. 採取試料の分析と考える風化機構

前述したような風化状態は他の掘削法面でも同様であり、したがって図-3は阿蘇溶結凝灰岩の典型的な風化構造といえることができる。そこで、このような風化に伴う物理的・力学的性質の変化を明らかにするため、上下のそれぞれの典型的な岩相部から試料を採取し(試料-1, 試料-2), 密度, 超音波速度, 一軸圧縮強度, 帯磁率の測定を行った。その測定結果を表-1に示す。それによると、いずれの物理指標値においても試料-1(風化部)は試料-2(未風化部)より低い値となっている。超音波速度, 一軸圧縮強度はいずれも試料-1の方が試料-2より低く、これは密度の違いにも表れている。また、帯磁率において試料-1の値が低くなっているのは、Fe-Ti 酸化物の変質(磁鉄鉱→マグヘマイト)が起きているためと考えられる。

試料-1は褐色化していることから、明らかに内部からFe成分が溶出し、表面に褐鉄鉱として析出したものと考えられる。この間、強度が低下しているのは内部のFe成分溶出にもなって間隙が増大し、斑晶-ガラスよりなるフレームが弱くなったためとも考えられる。ところで、一般に火山ガラスは風化によって粘土鉱物化することが知られているが、試料-1, -2のいずれにおいても風化によるガラスの粘土鉱物化は確認できていない。これは、こ

のレベルの風化では、強度の低下は主に成分の溶出・酸化によるものであることを示している。ただし、火山ガラスを多量に含むことからさらに風化が進めば粘土鉱物化し、スレーキングをともなって著しく軟質になることも考えられる。

表-1 採取試料の状態と物理指標値の比較

	試料採取位置	風化状況	色	密度 (g/cm ³)	超音波速度 (km/sec)	一軸圧縮強度 (MPa)	帯磁率 (10 ⁻³ SI _{UNIT})
試料-1	表層から 20cm	やや軟質 亀裂あり	淡灰色 一部褐色	2.09	1.96	45.5	13.94
試料-2	表層から 150cm	新鮮堅固 塊状	灰色	2.20	3.11	78.9	14.30

【文献】

- 九里尚一・阿部 司・斎藤徳美(1971)：花崗岩類の風化に関する研究(I)，物理探鉱，第24巻，第1号，pp. 6～17.
- 斎藤徳美・阿部 司・九里尚一(1971)：花崗岩類の風化に関する研究(II)，物理探鉱，第24巻，第5号，pp. 10～15.
- 斎藤徳美・阿部 司・九里尚一(1974)：火山岩の風化に関する研究(I)，物理探鉱，第27巻，第1号，pp. 3～15.
- 斎藤徳美・阿部 司・九里尚一(1974)：火山岩の風化に関する研究(II)，物理探鉱，第27巻，第1号，pp. 16～26.
- 小野晃司・松本徂夫・宮久三千年・寺岡易司・神戸信和(1977)：竹田地域の地質，地域地質研究報告(5万部の1図幅)，地質調査所.
- 小野晃司・渡辺一徳(1983)：阿蘇カルデラ，月刊地球，第5巻，2，p. 73～82.
- 小野晃司・渡辺一徳(1985)：阿蘇火山地質図，地質調査所.
- 渡辺一徳・高木恭二(1989)：古墳時代石棺材としての阿蘇溶結凝灰岩，熊本大学教育学部紀要，自然科学，第38号，29～38.
- 姜 開君・渡辺公一郎・江崎哲郎(1997)：石造文化財に使用されている溶結凝灰岩の初期風化の化学指標，応用地質，第38巻，第4号，pp. 205～212.
- 内田悦生(1999)：大分県に分布する磨崖物の劣化，第2回 岩石の風化に関するシンポジウム，p. 11.