

江田島市東能美島における花崗岩の風化

於保幸正・平山恭之

広島大学大学院総合科学研究科

Weathering of the granite at Higashi-Noumijima, Edajima city, Hiroshima Prefecture, Southwest Japan

Yukimasa Oho and Yasuyuki Hirayama

Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University,
Kagamiyama 1-7-1, Higashihiroshima, Japan

Abstract

Weathering of granite at south end of the Higashi-Noumijima island was investigated by field observations, measurements of rock hardness and observations under a microscope. The rock hardness is measured by the Schmidt rock hammer rebound to estimate the grade of weathering. The weathering features of this area are as follows:(1) fresh granite and slightly weathered granite are mainly distributed; (2) fresh granite gradually change to weathered one; (3) microsheeting joint is observed in the slightly weathered granite and is developed along sheeting joint; (4) weathered granite commonly referred as grus is observed only along a ridge. Higashi-Noumijima island is located in the Inland Sea of Japan and the characters of weathering as described above are typical in the islands in the Inland Sea. On the other hand, granite in the inland of the Chugoku district shows the thick grus and no microsheeting joint. These difference is possibly due to the difference of erosional and weathering processes.

1. はじめに

中国地方には花崗岩が広く分布し、多くの場所で風化しマサ土となっている。風化状況を詳細にみると、中国地方の内陸部では侵食小起伏面が発達し、そこでは深層風化が著しく進んでいる。一方、瀬戸内海の島嶼部では約300-400 mの山稜があり、斜面では岩盤が現れ、厚いマサ土が観察されることは稀である。また、ほぼ水平で小さな割れ目からなるマイクロシーティングは、内陸部は観察されることが少ないが、島嶼部ではしばしば観察される。この違いは恐らく内陸部と島嶼部で

は風化や侵食の進行状況が異なっていることによると考えられる。内陸部の風化状況については、岩海の形成と関連付けて既にその一部について報告しているが（於保他，2008）、島嶼部の風化状況についてはまだ研究が十分になされている訳ではない。本論では、内陸部と島嶼部での風化の進行の違いを明らかにするために、島嶼部である江田島市東能美島の南端における花崗岩の風化状況について調査を行った。その際、肉眼観察以外にシュミットハンマーによる反発度の測定と風化花崗岩の顕微鏡観察を併せて行った。本論ではその結果について報告する。また、瀬戸内海島嶼部に

における風化状況と中国地方内陸部の風化状況の違いについても議論する。

2. 地質概要

調査地は江田島市東能美島の南端に当たり、約200-300 mの山稜がほぼ東西に走っている(図1)。調査地はこの山稜の南側斜面であり、その南には瀬戸内海が広がっている。本地域には呉花崗岩が広く分布している(松浦, 1997)。これは粗粒な黒雲母花崗岩であり、主要な構成鉱物は石英、カリ長石、斜長石および黒雲母である。粒子の大きさは0.5 mmから数 mmである。カリ長石では1 cm程度の大きさをもつものもある。

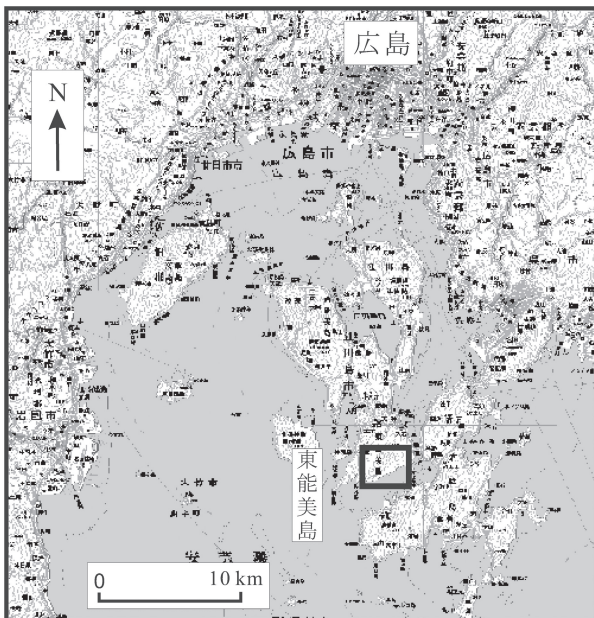


図1. 東能美島の位置図(国土地理院 数値地図200000 広島の一部を使用)。

3. 風化状況

(1) 野外での観察

東能美島の南端付近では、斜面に花崗岩が広く露出している。花崗岩にはほぼ直交する三方向の節理が観察される(図2)。以下詳しい風化状況を、長瀬鼻西方(A地点)、長瀬鼻北方の石切り場(B地点)、長瀬鼻東方の石切り場跡(C地点)について記載する(図3)。

A地点では、風化状況を東側の道路に面した露



図2. A地点(図3参照)のすぐ西側斜面にみられる花崗岩の節理。

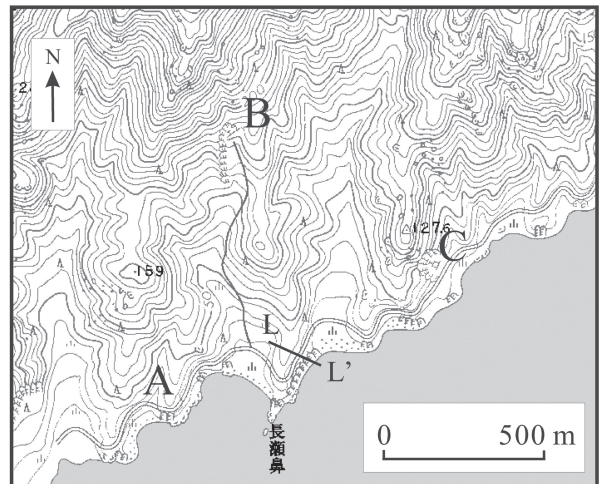


図3. 観察地点の位置(国土地理院 数値地図25000 大君の一部を使用)。

頭、南側の露頭、尾根周辺に分けて述べる。東側の露頭では、ほぼ新鮮な花崗岩が存在しているが、場所により20-30 cmの間隔で高角度の節理群が発達している所や断層が存在している所がある(図4)。高角度の節理として観察されるものは北西—南東方向を向くものが多く、割れ目は密着し、開口したものは観察されなかった(図5)。この露頭の南端では、マイクロシーティングがみられる個所が存在する(図6)。このマイクロシーティングは水平な節理(シーティングジョイント)に沿って帯状に発達し、その厚さは数 cmから30 cm程度である。マイクロシーティングが観察される帯状の部分は北に向かって、次第に観察されなくなる。ただし、さらに北側で道が北東に曲がる地点から先では、マイクロシーティングが帯状ではなく、ほぼ全露頭で広く観察される(図7)。そこで

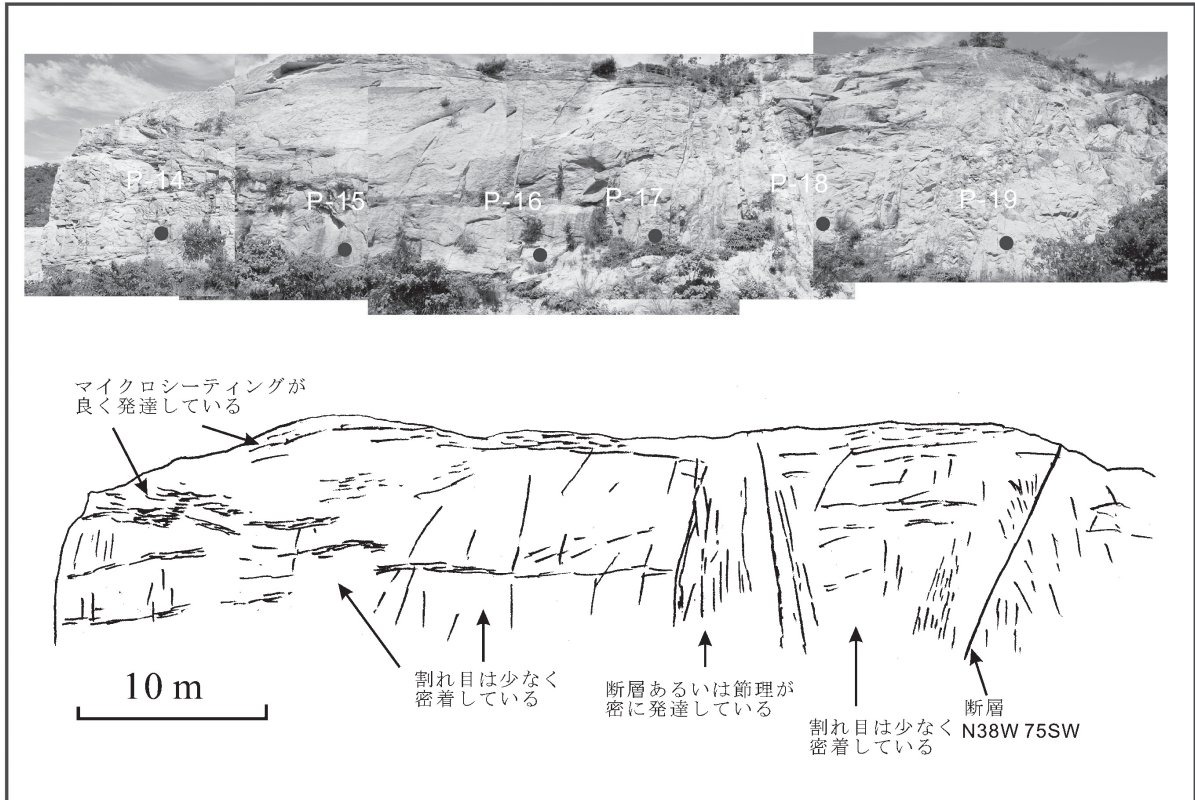


図4. A地点東側の露頭での花崗岩の風化状況. 番号はシュミットハンマーの反発度の測定点.

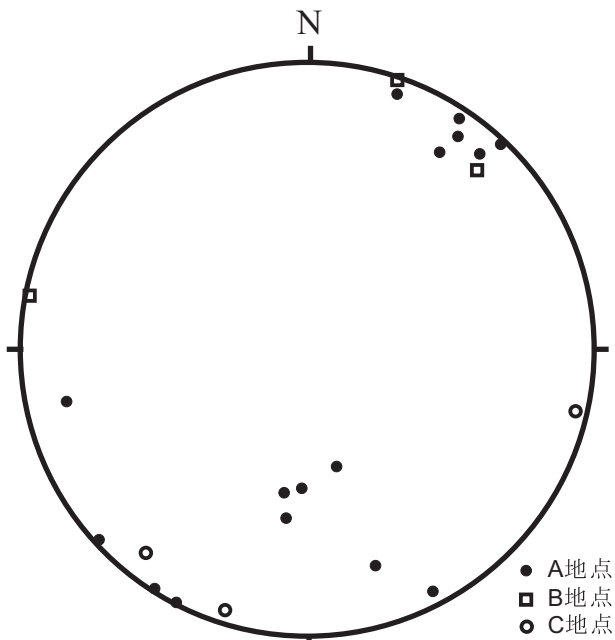


図5. A, B, C地点における節理の極のシュミットネット投影図 (下半球投影).

のマイクロシーティングは斜面の傾斜方向と同じ方向にゆるく傾斜している (図8) また、地表に近い箇所では開口した割れ目が観察されることが

ある。

道路のさらに東の海岸では、風化した花崗岩が観察される。表面では鉱物が表面に浮き出て現れ、細かい凹凸をつくっている。地表付近では、厚さ数cmのマサ土が観察される。

A地点での南側の露頭では、みかけ上、新鮮な花崗岩から風化した花崗岩まであり、全体として地表に近い場所で風化した花崗岩がみられる (図9)。その結果、花崗岩はハンマーで叩いた時金属音がするものから、鈍い音がするものまである。節理としては、北西—南東を向いた高角な節理がみられる (図5)。場所により10-数cmの間隔で節理が観察される所もある。地表に近い場所では節理に沿って開口している場合がある。

A地点の尾根周辺においては、約20°以下の勾配をもつ所で花崗岩中の鉱物の固結性がなくなり、砂状になったマサ土がみられる。その厚さは厚くて20 cm程度であり、多くは10 cm以下である。地形の勾配が20°を超えると、マサ土は地表で観察されなくなる。これは雨水が流れることにより、砂状のものが移動するためであると推定される。

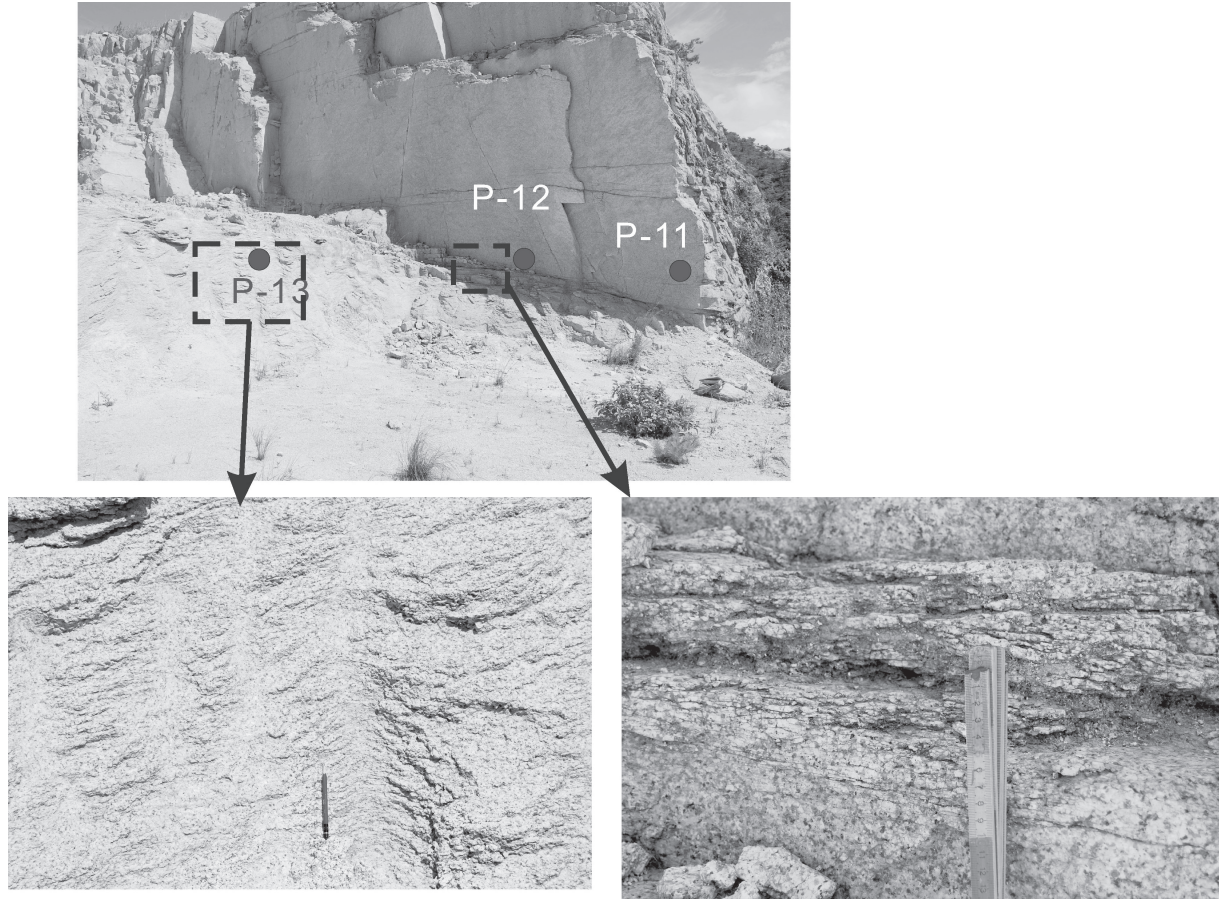


図6. A地点の東側露頭の南端における花崗岩の風化状況（写真は南端を南から北を向いて撮影したもの）。マイクロシーティングが帯状に観察される。



マイクロシーティングが
良く発達している

図7. 図4のさらに北東の露頭における花崗岩の風化状況。マイクロシーティングが厚く発達している。番号はシュミットハンマーの反発度の測定点。

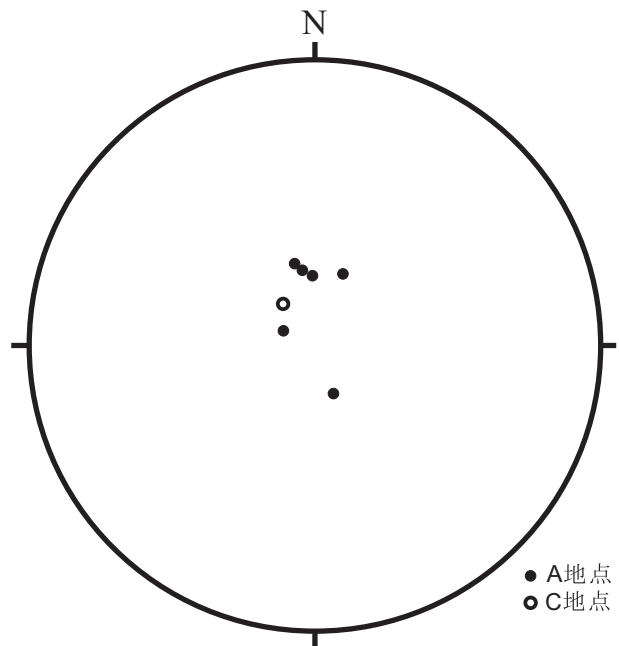


図8. マイクロシーティングの極のシュミットネット投影図（下半球投影）

● A地点
○ C地点

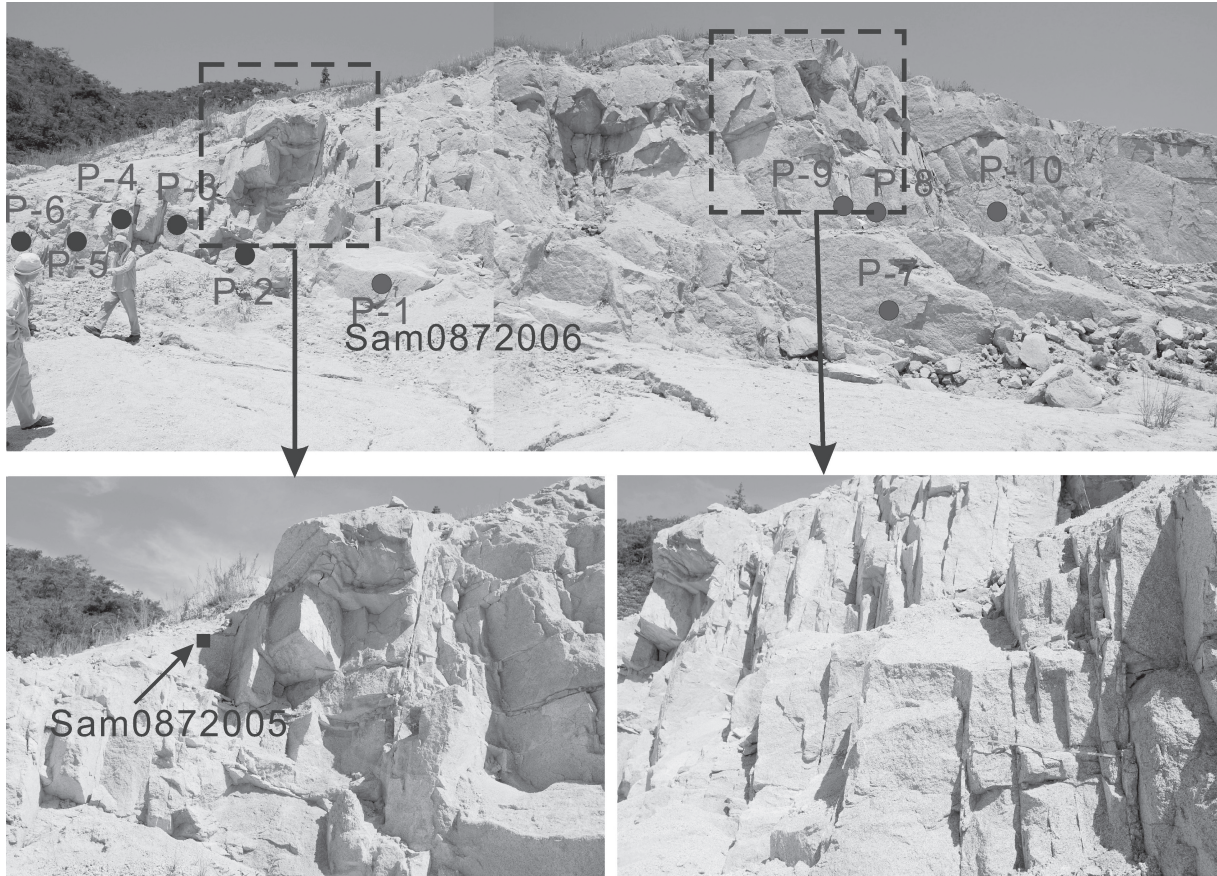


図9. A地点の南側露頭における花崗岩の風化状況。番号はシュミットハンマーの反発度の測定点と顕微鏡観察した試料の位置を表す。

また、勾配がやや急な場所では、地表の直ぐ下に灰色の風化した花崗岩が現れている。この花崗岩は弱いながらも固結性を保っている。

長瀬鼻北方約800 mに位置するB地点は、花崗岩の採石が現在行われている場所である。碎石場は斜面の下部にあるが、その上部でまだ採石されていない場所では見かけ上新鮮な花崗岩が斜面上に現れている。斜面上に現れた花崗岩の直ぐ下では花崗岩は薄い茶褐色を呈し、さらにその下では白色の花崗岩が分布している（図10）。ここでの花崗岩は全域においてほぼ新鮮な花崗岩であるが、碎石場の東端で地表面に近い所では、1-2 mのコア状の新鮮な花崗岩の周辺でやや風化している花崗岩がみられることがある。主な節理の方向は北西—南東方向および北北東—南南西を向き、傾斜はほぼ垂直である（図5）。

長瀬鼻東方のC地点は、かつて採石が行われた場所であるが、現在は採石されていない。ここは北北西—南南東方向で高角な節理面に平行

な露頭であり（図11）、この露頭にはほぼ垂直な北西—南東方向の節理が現れている。また、水平なシーティングジョイントがみられるが、露頭の上部ではシーティングジョイントに沿って、10 cm程度の厚さをもつて帯状に集まったマイクロシーティングがみられる。このC地点の周囲の山腹では節理をもった花崗岩が広く露出している。

（2）シュミットハンマーによる岩石の反発度と岩盤等級

土木工事を行う上で岩盤の掘削の難易度を表すために土砂、軟岩、中軟岩などの名称が従来用いられている。しかしながら、この区分名は主観によるもので、厳密に定義されているわけではない（小貫，1976）。ダムやトンネル工事では、岩盤における割れ目の程度や風化の程度を考慮して、岩盤はA、B、C、Dの4段階に分けて分類されている。Aは新鮮な岩石であり、Bはやや風化した岩石、Cはさらに風化した岩石、Dは完全に風化し



図10. B地点の露頭の様子。右上の写真と下の写真は撮影した日が異なるため、右上の写真のおおよその位置を下の写真で示す。番号はシュミットハンマーの反発度の測定点。

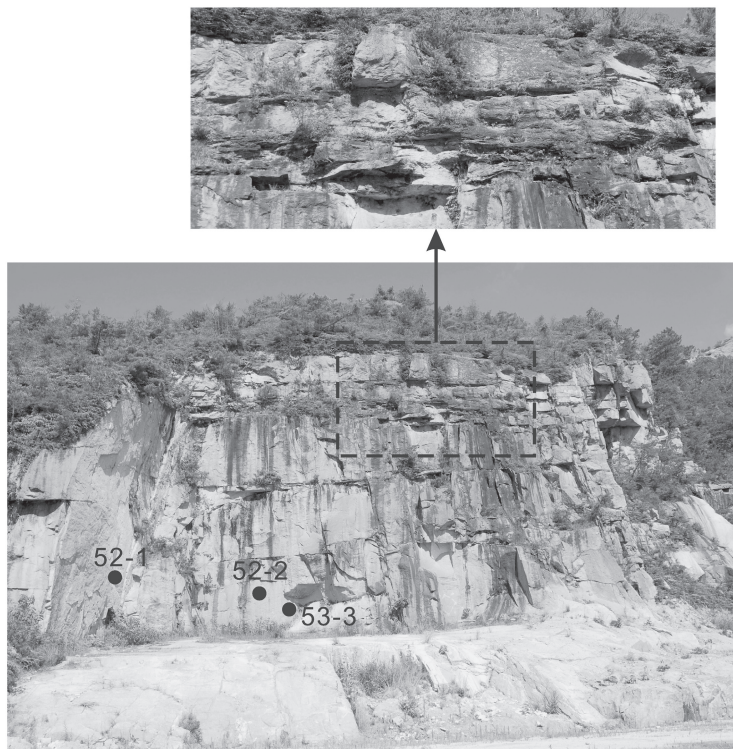


図11. C地点における花崗岩の風化状況。露頭の上ではシーティングジョイントに沿ってマイクロシーティングが発達している。

た岩石を表している。CはさらにCH, CM, CLに細分されている。本稿では、菊池他(1982)が提案しているシュミットハンマーによる反発度も考慮に入れた岩盤等級分類基準に従って花崗岩の等級を分類することにした(表1)。

岩石の強度を簡便に調べるために、シュミットハンマーによる反発度を測定した。各測定点で10回程度の測定を行い、計測値の中で最小値と最大値を除き、残りの測定値から求めた平均値を測定点の反発度として表した。なお、シュミットハンマーは圧縮したバネに蓄えられた力を解放することによって、ハンマーを岩盤表面にたたきつけ、その反発力(弾性的な跳ね返り)を測定することによって、反発硬度から岩盤の強度や弾性係数を推定しようとするものである。跳ね返りの距離をハンマーが衝撃を与える前にばねの力によって動いた距離に対する百分率で表し、これを反発度(R値)として表す。新鮮な硬い岩盤ほどハンマーの跳ね返りの距離は大きくなる。

A地点の南側の露頭ではP-1からP-10で測定を行った(図9, 表2)。反発度は最大値で57.3, 最小値で17.8である。測定点により値のバラつきがみられる。南側の露頭のさらに南にある海岸では(測定点51-1から51-5), 反発度14.5から36.2の間であった。東側の露頭ではP-14からP-19で測定を行った(図4)。反発度の最大値は41.9であり、最小値は18.0である。東側の露頭に続く南東を向いた露頭ではP-20とP-21の2点で測定を行なった(図7)。両地点での値はそれぞれ34.2, 21.1である。上記の測定地点の中でマイクロシーティングが観察される所は、P-14, P-21および海岸の51-2である。これらの地点での反発度は21.1から24.9の間にあり、このことからCM級の花崗岩にマイク

表1. 岩盤等級の分類基準 (菊地宏吉他, 1982より)

岩盤等級分類基準		シユミットハンマー反発度
岩盤等級	硬質岩	
A	岩質は極めて新鮮で火成岩の造岩鉱物あるいは堆積岩の構成粒子は全く風化変質しておらず、また節理はほとんど分布していない。岩盤としては極めて堅牢、緻密である。	36以上
B	岩質は新鮮で火成岩の造岩鉱物あるいは堆積岩の構成粒子は全く風化変質していない。また節理の分布はまばらであり、密着している。岩盤としては堅牢、緻密である。	
C	C _H 岩質は概ね新鮮堅硬であるが、火成岩では造岩鉱物中、長石類および雲母などの有色鉱物がわずかに風化変質している場合もあり、また堆積岩類では構成粒子として二次的に存在する長石類および有色鉱物がわずかに風化変質している場合もある。節理はかなり分布しており、また節理面は風化変質を受けて変色汚染されている場合が多く、時には風化物質が付着していることもあるが、一般には概ね密着している。岩盤としては堅固である。	36~27
	C _M 岩質は一般にやや風化変質している。このうち火成岩では石英を除き、長石類および有色鉱物は風化を受け、褐色を呈している。また堆積岩類では構成粒子として二次的に存在する長石類および有色鉱物が風化変質し、火成岩の場合と同様褐色を呈している。節理は開口し、岩石中には毛髪状割目が多く胚胎していることが多いので、岩石ハンマーで強打すれば崩壊することがしばしばある。岩質は新鮮であっても開口節理の分布が著しく、クラッキーな状態を示すものも、このクラスに含まれる。	
	C _L 火成岩の造岩鉱物あるいは堆積岩の構成粒子は著しく風化を受けているために、岩石全体としても一般に褐色を呈する。節理は開口し、細かな毛髪状割目の分布が著しく、この割目に沿って風化も進んでいるので、岩石ハンマーによる軽打によって容易に崩壊する。岩質は新鮮であっても、開口節理の分布が著しく、石積状を示すものこのクラスに含まれる。	15以下
D	火成岩の造岩鉱物あるいは堆積岩の構成粒子は著しく風化を受け砂状および粘土状を呈する部分が見られる。このクラスの岩盤では節理の分布は不明瞭である。	

表2. シュミットハンマーによる反発度の測定値

地点	測定点	反発度	地点	測定点	反発度
A	P-1	55.0	A	51-1	28.9
	P-2	24.1		51-2	23.8
	P-3	31.5		51-3	26.4
	P-4	33.4		51-4	36.2
	P-5	33.3		51-5	14.5
	P-6	17.8	B	101-1	55.6
	P-7	38.8		101-2	65.3
	P-8	57.3		101-3	57.4
	P-9	34.0		101-4	58.2
	P-10	48.2		101-5	62.0
	P-11	33.8		101-6	54.4
	P-12	29.0		101-7	52.2
	P-13	23.0	C	52-1	56.6
	P-14	24.9		52-2	44.3
	P-15	36.7		52-3	52.8
	P-16	38.2			
	P-17	18.0			
	P-18	31.3			
	P-19	41.9			
	P-20	34.2			
	P-21	21.1			

ロシーティングがみられると考えられる。

A地点以外では、B地点で反発度は52.2から65.3の間にあり(図10, 表2), C地点でも反発度は44.3から56.6の間にあることから(図11, 表2), 両地点ともほぼ新鮮な花崗岩が分布しているとみ

なすことができる。

反発度の値からはほぼ新鮮な岩石であるとみなせる箇所では、節理が観察されることから、岩盤の等級としてはB級であると推定される。全体としてみると、調査地域には岩盤の等級としては主にB級とC級の花崗岩が存在していると考えられる。尾根付近ではマサ土に相当するD級の花崗岩がみられる。

(3) 顕微鏡観察

花崗岩の風化の様子を知るために、風化した花崗岩 (Sam0872005) と見かけ上新鮮な花崗岩 (Sam0872006) について岩石薄片を作成し、偏光顕微鏡観察を行った

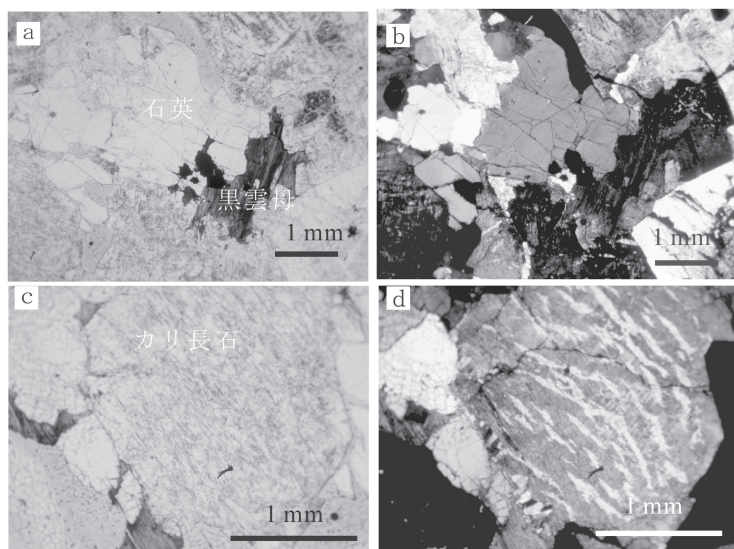


図12. A地点でのやや風化した花崗岩の顕微鏡写真 (Sam0872005). 左側の写真 (a, c) は平行ニコルで、右側の写真 (b, d) はクロスニコルで撮影したもの。

風化した花崗岩では鉱物粒子は互いに密着しているが、カリ長石や斜長石がかなり虫食い状になって粘土鉱物に変化している様子が観察された(図12)。黒雲母はやや黄金化した色を呈している。見かけ上新鮮だと考えられる花崗岩では、カリ長石や斜長石もやや風化を受けて虫食い状に粘土鉱物に変化していた。ただし、虫食い状になっている個所は風化した花崗岩と比較すると少なかった。このことは、反発度が55.0と高い値を示す花崗岩でも少なか

らず風化が進行していることを示すものと考えられ、上述の岩盤の等級と調和的である。

4. 風化断面図

上述した観察結果の主要な点は以下のようである。

- (1) みかけ上新鮮にみえ、かつ反発度の高い値を示す花崗岩はやや風化を受けており、総合的な岩盤の分類ではB級に相当するものである。風化した花崗岩はC級に相当するものであり、表面を覆う砂状のものはD級として考えられる。
- (2) 砂状に風化した花崗岩は表面を薄く覆うものであり、最大20 cm程度、通常は10 cm以下の厚さをもつものである。
- (3) 反発度が36以下の値をとるものはC級の花崗岩であると考えられる。このような花崗岩では、マイクロシーティングなどの水平な割れ目が良く発達する箇所がみられる。C級の花崗岩の厚さは全体として数mから10 mであるが、その下部にあるB級の花崗岩とは漸移するようみえる。
- (4) A地点の花崗岩は東あるいは南の海側に向かうに従って風化が進んでおり、C級の風化した花崗岩の厚さも海側に向かって厚くなる。

これらの結果に基づき、岩盤の等級で現わした

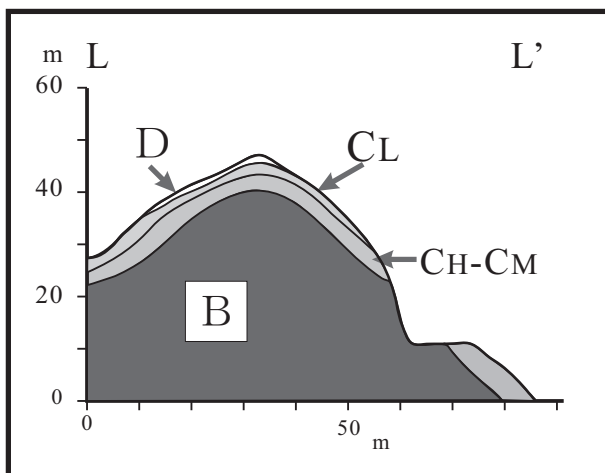


図13. A地点(L-L')での岩盤の等級で示した断面図。断面図の位置は図3に示す。

風化断面図を作成した(図13)。この図でみられるように、花崗岩は地表に近い所で風化し、深い所ではやや風化した花崗岩が存在しているものと推定される。

5. 瀬戸内海島嶼部と中国地方内陸部における風化の比較

中国地方の内陸部、特に侵食小起伏面が存在する所では、深層風化が進み30 m以上の厚さをもつマサ土が広く分布している。一方、本調査地では深層風化したマサ土はほとんど観察されないが、やや風化した花崗岩中にはマイクロシーティングが頻繁に観察される。このマイクロシーティングは調査地の東能美島だけではなく、他の瀬戸内海島嶼部にあたる巖島、下浦刈島、上浦刈島、伯方島などの島や中国地方の瀬戸内海沿岸部で観察される(於保, 2004)。一方、マイクロシーティングは中国地方内陸部ではほとんど観察されていない(於保他, 2008)。このような内陸部と島嶼部による風化の状況の違いについては、これまで認識されていなかったものである。なお、中国地方では第三紀中新世備北層群(第一瀬戸内層群)堆積前後に風化が進み、侵食小起伏面の形成に深く関与したことが知られている(於保他, 2008)。マイクロシーティングは、調査地域でみられるように風化と密接に関係し、風化の進行に従って風化した花崗岩中に発達するものと推定される。島嶼部では急峻な地形を形成していることから、侵食作用が活発な地域であると考えられる。そのことを考慮すると、マイクロシーティングがみられる風化した花崗岩は、深層風化が進んだ結果形成されたマサ土が運び去られ、その結果やや風化した花崗岩や新鮮な花崗岩が地表に現れ、その後さらに風化を受けたものである可能性がある。すなわち、島嶼部でみられる花崗岩の風化状況は、侵食作用が加わることにより、より新しい花崗岩が地表に現れ、さらに風化されて、そこにマイクロシーティングがみられるようになったものである。このことは、風化した花崗岩として同じようにみられるものでも、風化を受け始めた時期が島嶼部と内陸部では異なる場合があることを示して

いる。

6. まとめ

東能美島南端にある長瀬鼻付近において、花崗岩の詳細な風化状況について知見を得ることができた。それらは以下のようにまとめられる。

- (1) 本地域には急峻な斜面が存在するが、そこではやや風化したB級の花崗岩が分布し、花崗岩中にはほぼ直交する三方向の節理が発達している。
- (2) B級の花崗岩の上には風化しながらも固結性を保ったC級の花崗岩が存在し、そこではマイクロシーティングが観察される。
- (3) マイクロシーティングは、水平なシーティングジョイントから、上下に向かって厚さが増すようにして発達していくと推定される。
- (4) マサ土は斜面の傾斜が20°以下の緩やかな尾根付近でのみ分布している。
- (5) 以上の風化状況をみると、瀬戸内海島嶼部における風化の進行と中国地方内陸部におけるそれとは、大きく異なっているように考えられ

る。すなわち、島嶼部では風化の進行と共に侵食を受けた結果、深層風化を示すような厚いマサ土は取り去られ、より新鮮な花崗岩が地表に現れ、その後の風化の進行により、マイクロシーティングの発達がみられるものと推定される。

7. 文献

- 菊地宏吉・斎藤和雄・楠健一郎, 1982, ダム基礎岩盤の安定性に関する地質工学的総合評価について. 大ダム, No.102, 103 合併号, 20-31.
- 松浦浩久, 1997, 倉橋島及び柱島地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1 地質図幅), 地質調査所, 53p.
- 於保幸正, 2004, 瀬戸内周辺の花崗岩中に発達するマイクロシーティング. 科学研究費補助金基盤研究A(2)研究成果報告書「瀬戸内流域における自然物質循環速度を考慮した環境劣化の影響評価」, 41-46.
- 於保幸正・笠井康佑・海堀正博・平山恭之, 2008, 久井・矢野岩海の形成過程. 環境科学研究 (広島大学大学院総合科学研究科紀要Ⅱ), 3, 77-89.
- 小貫義男, 1976, 新編土木地質, 森北出版, 455p