

方解石の溶解に始まる砂岩の連鎖的風化  
Sequential weathering of sandstone commenced with the dissolution of calcite cement

○松澤 真・千木良雅弘

○Makoto MATSUZAWA, Masahiro CHIGIRA

Weathering mechanism of sandstone-dominant alternated beds of sandstone and mudstone was clarified by analyzing mineralogical, chemical, and mechanical properties of Cretaceous sandstone and mudstone in a quarry in Niihama city, east Ehime prefecture. The weathering of sandstone started from the dissolution of sparse calcite cement and calcite veins by the sulfuric acid in percolating water from the sandstone and mudstone. The calcite dissolution is followed by the leaching of iron and linkage of dead pores in rock matrices and eventually mechanical properties greatly deteriorated.

### 1. はじめに

我が国の中古生代の堆積岩は緻密で硬質であるため、風化が進行にくく、厚い風化帯を形成することはないと考えられていた。しかし、松澤ほか<sup>1)</sup>により、白亜紀系和泉層群の砂岩泥岩互層分布域で、厚い風化帯が形成されている事、また、強風化した岩盤上の土層にて豪雨時に表層崩壊が多発する事が明らかとなった。砂岩の自然状態での風化プロファイルの研究は非常に少なく、Chigira and Sone<sup>2)</sup>の研究がある程度であるが、これは、沸石に膠結された特殊な砂岩の風化であり、一般的な砂岩の風化断面に関する研究はない。

砂岩には、膠結物質として方解石が含まれる場合も多く、二酸化炭素の地中貯留においては、その溶解が岩石の劣化に重要であるとの研究がある。しかしながら、地表での風化における膠結物質としての方解石の役割については、西山<sup>3)</sup>の予察的な指摘があるにとどまっている。

本研究は、和泉層群の砂岩泥岩互層を対象に方解石セメントを微量に含み、泥岩を挟在する砂岩の風化メカニズムを明らかにすることを目的とする。

### 2. 調査地点・方法

調査地点は、愛媛県新居浜市の採石場であり、白亜系和泉層群の砂岩優勢砂岩泥岩互層が 42° 傾斜している。掘削から半年以内の急傾斜の掘削面で、中粒砂岩単層および、それに接する泥岩の風化状況を観察し、同一層準の中粒砂岩単層から、松澤ほか<sup>1)</sup>の風化区分による強風化から 2 試料、中風化から 5 試料、弱風化およびそれ以上に新鮮

な岩石から 9 試料採取した。新鮮な砂岩採取位置と最も風化した岩石採取位置との標高差は約 100m である。新鮮岩については、密にサンプリングした単層の他に 5 つの層準からサンプリングした。泥岩は、砂岩の試料採取位置に隣接する箇所から、強風化砂岩の隣で 1 個、中風化砂岩の隣で 2 個、弱風化砂岩の隣で 2 個、最も深部の新鮮岩の隣で 1 試料を採取した。まず、砂岩試料の切断研磨片を作成し、岩石の色、岩石の硬さを指標とし、風化程度を新鮮な岩石から 6 つ (I ~ VI) に区分した。次に、それぞれの密度、間隙率、および間隙径分布の測定、顕微鏡観察、XRD 分析、XRF 分析および色彩値測定を行った。泥岩は、XRD 分析、XRF 分析、色彩値分析のみを行った。

### 3. 調査結果

観察と分析の結果によれば、新鮮な砂岩には、厚さ 1 mm 以下の方解石脈が層界面に高角に交わって 10~30cm 間隔で発達し、また、砂岩粒子の間隙に方解石が 10~500  $\mu\text{m}$  の大きさの膠結物質として岩石中に分散して 0.6% 含まれていた。さらに、この砂岩と隣接する未風化の泥岩は、1~3% の黄鉄鉱を含んでいた。各風化帯の特徴的な変化を以下に示す。

#### 1) 砂岩の風化に伴う変化

I  $\Rightarrow$  II : 岩石の色が暗灰色から灰色に変化する。方解石脈および方解石粒子が消失し、緑泥石も消失する。この方解石の溶解した部分では 10~500  $\mu\text{m}$  程度の大間隙が増加する。

II  $\Rightarrow$  III : 岩石の色が灰色から灰白色に変化する。黄鉄鉱がわずかに減少し、鉄も減少する。小間隙

( $0.01\sim 0.1\mu\text{m}$ )が増加し、これは方解石の抜けた孔に硫酸が浸透し、さらに周辺鉱物を溶解することによると推定される。開放間隙率<sup>4)</sup>が増加し、これは小間隙が大間隙を連結した事によると推定される。これに伴い、弾性波速度も若干低下している。

III⇒IV: 岩石の色が灰白色から灰褐色に変化する。黄鉄鉱が消失し、 $a^*$ 、 $b^*$ の変化傾向<sup>5)</sup>からゲーサイトが生成されたと推定される。肉眼の観察においても、色がわずかに褐色化していることがわかる。弾性波速度は、引き続き低下する。

IV⇒V: 岩石の色が灰褐色から黄灰色に急激に変化する。小間隙が拡大したことにより中間隙( $0.1\sim 10\mu\text{m}$ )が増加する。これに伴い、ほぼ全ての間隙が開放間隙となる。V以降の割れ目付近には褐色の被膜が形成される。

V⇒VI: 岩石の色の変化は少ないが、指先で崩す事ができる。弾性波速度、かさ密度が急激に低下するなど、岩石の劣化が大きい。これは、中間隙( $0.1\sim 10\mu\text{m}$ )、大間隙( $10\mu\text{m}\sim$ )の増加に伴うものと推定される。

## 2) 泥岩の風化に伴う変化

砂岩のI-II境界に隣接する部分でSが若干減少する。砂岩のIV-V境界に隣接する部分で黄鉄鉱およびSが消失する。黄鉄鉱の消失により多量の硫酸が形成されていると推定される。それ以外の区間では、泥岩には明瞭な変化は認められなかった。

## 4. まとめ

泥岩を挟在し、方解石セメントを微量に含む砂岩の風化帯を鉱物、化学、物理学的性質の面から多面的に分析した。その結果、風化・分解メカニズムは以下及び図-1のような連鎖的なものであることが明らかになった。

砂岩の風化帯は、深部からI(新鮮)、II(方解石脈および微量な方解石セメントが溶解、緑泥石が消失)、III(鉄が溶脱)、IV(黄鉄鉱が消失)、V~VI(機械的分解)に分帯される。このような帯状構造の形成は、初期的には挟在する泥岩および砂岩に含まれる黄鉄鉱の酸化による硫酸の形成と、その深部への浸透によって始まる。硫酸は泥岩と砂岩との境界などの割れ目に沿って流下し、岩石基質の方解石を溶解するとともに、砂岩内部の方解石脈を溶解して割れ目を開口させ、その周囲の岩石基質中の方解石を溶解する。この方解石の溶解した部分では $10\sim 100\mu\text{m}$ 程度の間隙径が増加する。方

解石の溶解した部分(II)は、緑泥石もともに消失する。方解石の溶解フロントよりも浅部では岩石中の鉄が溶脱される(III)。鉄の溶脱とともに、 $0.01\sim 0.1\mu\text{m}$ 程度の小間隙が増加する。その後、鉄の溶脱帯よりも浅部で砂岩中の黄鉄鉱も消失(IV)し、孤立した小間隙が連結して $0.1\sim 10\mu\text{m}$ 程度の中間隙が増加する。酸化帯よりも浅部では、岩石の機械的分解が急激に進む(V~VI)。岩石の間隙率は増加し、密度が低下し、弾性波速度も著しく低下する。

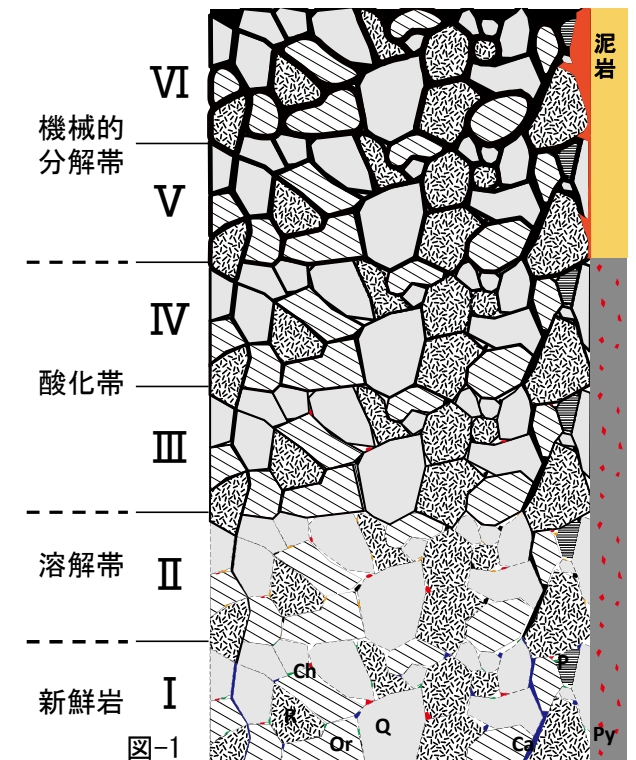


図-1 (Q: Quartz, P: Plagioclase, Or: Orthoclase, R: Rock fragment, Ca: Calcite, Ch: Chlorite, Py: Pyrite)

## 文献

- 1) 松澤 真ほか (2014): 岩石の風化程度および削剥前線に支配された表層崩壊発生場: 和泉層群の事例, 応用地質, Vol.55, No.2, pp.64-76.
- 2) Masahiro Chigira, Kenji Sone (1991): Chemical weathering mechanisms and their effects on engineering properties of soft sandstone and conglomerate cemented by zeolite in a mountainous area, Engineering Geology, Vol.30, No.2, pp. 195-219
- 3) 西山賢一(2016): 粗粒砂岩の風化による岩石物性の変化, Vol.57, No.5, pp.213-218
- 4) 西山直毅, 横山 正(2017): 岩石内部の水の分布—露頭スケールからナノスケールまで—, 2地学雑誌, Vol.123, No.3, pp.311-323
- 5) Nakashima et al (1989): Infrared micro spectroscopy analysis of the chemical state and distribution of hydrous species in minerals, Geochemical Journal, Vol. 23, pp. 57 - 64