

P22.微生物繁茂が岩石風化に与える影響に関する実験的検討

Experimental research on the influence of surface microorganisms on the stone weathering.

○朽津信明・二神葉子(東京文化財研究所)

Nobuaki Kuchitsu, Yoko Futagami

1. はじめに

石材の表面に微生物が繁茂すると、その石材の風化に関与する場合があることが知られており¹⁾、昨年の本学会においても、鮮苔類が繁茂している直下の石材は、そうでない状態の石材に比べて硬度値が低くなっている傾向を指摘した²⁾。本研究では、初期条件を測定した新鮮な石材を用いて実験を行い、そこに微生物を後天的に繁茂させることから、微生物繁茂が岩石風化に与える影響について検証を試みたので、その経過を報告しながらこの問題について再検討する。

2. 過去のデータの再検証

表面に微生物が繁茂した石材の物性について報告を行ったのは、カンボジアのアンコール遺跡群内にある、タ・ネイ(Ta Nei)遺跡においてである。同遺跡は、12世紀末～13世紀初頭頃に造られたと考えられている寺院遺跡だが³⁾(図1)、この遺跡の砂岩石材について調査した²⁾。



図1. タ・ネイ遺跡における生物繁茂

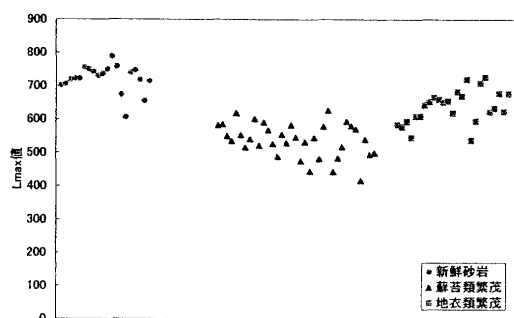


図2. 硬度測定結果(朽津²⁾による)

エコーチップ試験器による連打法⁴⁾で Lmax 値(同一箇所を20回連打して得られた値の最大値3つの平均値)を計測した結果、鮮苔類に覆われていた直下の砂岩表面の値(平均536)は、新鮮な砂岩表面(平均722)よりも小さいのはもちろん、地衣類に覆われた状態の砂岩表面(平均638)よりもさらに小さい値を示し

た²⁾(図2)。しかしながら、エコーチップ硬度は測定対象の含水状態にも影響を受けることが指摘されており⁵⁾、これを風化度合いの違いと即断することはできない。

そこで本研究では、タ・ネイ遺跡の砂岩石材において、そのつど JT エンジニアリング社製の赤外線水分計(JE-100)⁶⁾を用いて表面含水状態を確認しながら調査を行った。その結果、含水条件が同じと判断される箇所同士で比較しても、やはり鮮苔類直下の砂岩表面は、葉状地衣類直下の砂岩表面や固着性地衣類が繁茂した状態の砂岩表面上に比べて Lmax 値が低い傾向が得られた(表1)。このことは、やはり鮮苔類の繁茂した箇所では下の砂岩が風化している傾向を改めて示すものと解釈される。

表1. 硬度値の比較

硬度値は、それぞれの箇所ごとに3～5箇所を Lmax 値を測定して得られた値の平均値

赤外線 吸光度	鮮苔類 直下硬度	葉状地衣類 直下硬度	固着性 地衣類上硬度
0.11	606	673	-
0.10	637	709	723
0.16	643	686	640
0.56	531	-	606
0.78	448	-	467
0.55	562	-	712

3. 実験

以上よりタ・ネイ遺跡ではやはり鮮苔類の繁茂箇所と風化が進んでいる箇所とが基本的に一致する傾向が確認されたが、いずれが原因でいずれが結果であるのか、あるいはいずれもが独立に第三の要因の支配を受けているのかが議論できない。そこで新鮮な砂岩石材を用いて実験を行うことで、鮮苔類の岩石風化への影響についてさらに検証を試みた。

3.1. 試料

まず、市販のインド産砂岩石材を、8cmX8cmX5cmの直方体に加工して国内実験用の試料(I)とした。また、アンコール遺跡群東部の石切場にて採石された砂岩石材を現地実験用試料(1～10)とした。現地実験用石材は同様の直方体に切断した後、上面に意図的に最大3mm程度の凹凸を付けた状態とした。

3.2. 設置

測定対象面において初期物性値を測定した後、試料Iについては東京文化財研究所の庭に設置し、近傍に繁茂する鮮苔類を石材の一部表面に載せて放置した。試料1～10については、タ・ネイ遺跡内で周辺

に鮮苔類が著しく繁茂する箇所(1~4, 9)と、鮮苔類がほぼ認められない箇所(5~8, 10)とに設置した(図3). 国内実験は2007年11月に設置を行い、約21ヶ月が経過した2009年8月に表面状態を観察した. 現地実験は2008年7月に設置を行い、約1年が経過した2009年7月に現地で表面状態を観察した.



図3. 鮮苔類が繁茂するエリアに設置された実験試料 (左から, 試料9, 3, 4)

4. 観察と計測

4.1. 表面状態の観察

国内実験では、21ヵ月後の時点でも一部表面が設置時に載せた鮮苔類に覆われていた. この部分で鮮苔類を捲ると、その直下ではちょうど鮮苔類の幅分(約1mm)だけ表面が僅かに凹み、顕微鏡下ではその部分の表面が粗くなったような見かけを示した(図4左).

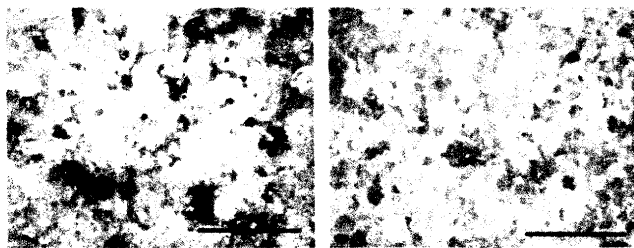


図4. 試料I表面の顕微鏡写真(×:500μm)
鮮苔類繁茂箇所の直下(左)は、そうでない箇所(右)に比べて表面が粗くなっている.

現地実験では、鮮苔類近傍のもので、一部に鮮苔類が成長し始めたが局所的であり、大部分は藻類が存在するのみであった. 一方、鮮苔類が乏しい場所の試料では、鮮苔類は全く見られず、藻類もごく僅かで、石材表面がある程度保たれているのが観察された.

4.2. 物性値の測定

各実験用石材は、それぞれを風乾させて表面の赤外線吸光度が相互に同程度の値を示すことを確認してから、エコーチップ試験器にて一試料あたりLmax値を3~5箇所測定して平均した. この際、試料Iでは鮮苔類を一旦捲って砂岩表面を晒してから測定を行い、鮮苔類が存在しない砂岩表面の値と比較した. 現地実験では、鮮苔類繁茂が不十分なためその直下を選んで測定することはできず、無作為にそのまま表面で

測定した. なお、現地実験試料では Terraplus 社のKT-10を用いて、同様に帯磁率⁷⁾も計測した.

結果を表2に示す. 国内実験では、鮮苔類繁茂箇所ですぐでない箇所よりも硬度値が低い値を示した. 現地実験では、初期値に比べて若干低めの硬度値を示す試料(9や3)も見られたが、殆ど初期値と変わらない試料(1や5)も存在し、はっきりとした傾向は認められなかった. また、帯磁率についても同様だった.

表2. 結果一覧 (帯磁率の単位は $\times 10^{-3}$ SI Units)

・(a, m)は、鮮苔類が近傍に繁茂する箇所に設置、試料表面には現在僅かに藻類及び鮮苔類が繁茂. ・(a)は、鮮苔類が殆ど繁茂しない箇所に設置、試料表面には現在僅かに藻類が繁茂. ・試料8と10は、調査時点で紛失が確認. ・mは、鮮苔類が表面に定着した状態.

試料	初期硬度	初期帯磁率	表面微生物	現状硬度		現状帯磁率	
	A	B		C	C/A	D	D/B
1	743	2.880	(a, m)	742	0.999	2.775	0.964
2	768	2.520	(a, m)	720	0.938	2.420	0.96
3	767	2.723	(a, m)	712	0.928	2.534	0.931
4	762	2.616	(a, m)	741	0.972	2.652	1.014
5	747	2.718	(a)	744	0.996	2.519	0.927
6	754	2.903	(a)	718	0.952	2.715	0.935
7	746	2.900	(a)	728	0.976	2.630	0.907
8	750	2.863	紛失	-	-	-	-
9	752	3.826	(a, m)	695	0.924	3.446	0.901
10	757	3.160	紛失	-	-	-	-
I	842	-	なし	817	0.97	-	-
I	842	-	m	788	0.936	-	-

5. 考察

国内実験(試料I)に関しては、風化が進行した部位に後から鮮苔類が繁茂したものではありえず、その具体的な過程は今のところわからないものの、表面に鮮苔類が存在することが、最終的に何らかの形で石材の風化を促進させたものと解釈される. 一方の現地実験に関しては、環境条件の違いにより微生物繁茂状況に違いが認められ始めてはいるものの、現状では鮮苔類の風化への影響を議論できるようなデータは得られていない. こうした風化実験を続けることにより、微生物が風化にどのように影響を与えるかが今後具体的に明らかにされ、さらにはそれに対する保存対策を検討する上でも有用なデータが与えられることが期待される.

引用文献 1) 東京文化財研究所:文化遺産の生物劣化と国際協力(2007), 2) 朽津信明:表面に微生物が繁茂する石材の表面風化状況について, 日本応用地質学会平成20年度研究発表会講演論文集, 147-148(2008), 3) 東京文化財研究所国際文化財保存修復協力センター:文化財の保存修復に関する国際共同研究成果報告書(2006), 4) 青木久・松倉公憲:エコーチップ硬さ試験器の紹介とその反発値と一軸圧縮強度との関係に関する一考察, 地形, 25, 267-276(2004), 5) 青木久・佐々木智也・松倉公憲:大谷石からなる風化岩盤の表面の強度に関する非破壊測定法:エコーチップ硬さ試験機と赤外線水分計を利用した例, 筑波大学陸域環境研究センター報告, 6, 33-38(2005), 6) 石崎武志・佐野千絵・三浦定俊:高松塚古墳石室内の温湿度及び墳丘部の水分分布調査, 保存科学, 43, 87-94(2004), 7) 日本国政府アンコール遺跡救済チーム:アンコール遺跡調査報告書 1995(1995)