

〈修士論文要旨〉

## 石造文化財の保存と修復

—— 岩石の乾湿繰り返し試験による風化速度とメカニズムの検討 ——

石 川 友 理\*

### I はじめに

西洋では石造建築が主であるのに対し、日本では木造建築物が主流であり、石の建造物はかつて殆ど見られなかった。しかし、石碑、石塔、彫刻、石垣といった小建築構造物や基礎は、多く作られており、各地に残されている。これらは様々な地域に広く分布し、日常生活空間のなかに溶け込んでいる。それらは地域住民にとっては日常的に当たり前のものとして、存在している故に、現状に関する認識は決して高くはない。また、保存に対する関心も同じく高くはない。

特に石造品は屋外に置かれていることが多い上に、日本の屋外に露出している石造文化財の多くは、概ね加工しやすい柔らかい石材が用いられている。従って劣化しやすく、肉眼での確認が容易でなくとも、徐々に劣化の一途を辿っている。また、酸性雨や大気汚染、地球温暖化など密接する要因の全てが石造文化財に悪影響を及ぼしている。

まず、石造文化財においては、それを構成する石材の自然進行的な劣化が遺跡の保存や修復を考える上で問題となっている。岩石表面の形態を説明するためには、その岩石がおかれてきた環境の把握が不可欠となる。風化環境とは、気温や降水量などと言った所謂気候環境と同義であるが、厳密に言うと岩石そのものの温度や水分などの組み合わせから作られる物理的状态をさすものである。このため、風化環境を明らかにするには、岩石の水分や温度を基準とする。しかし、どのような物性を持った岩石が風化環境の影響を受けやすいかについての実証的な研究は、極めて少ない。

そこで、本研究では風化環境を急激に繰り返す乾湿繰り返し試験を行うことで、風化を促進させ、石材ごとの劣化のメカニズムをデータ化することで今後の研究に活かせる指標を見出すことを目的とする。

### II 石材の劣化実験

#### 2-1. 実験に使用した岩石と塩溶液および樹脂

実験には和光一級、194-03355の硫酸ナトリウムを用い、飽和水溶液2.5%作り、使用した。これは、従来行われている実験の多くで、使用されているだけではなく、最も破壊力が大きく、実験時間を短縮することが出来ると考えたためである。また、塩溶液を用いた実験では、塩類風

平成21年度 \*文学研究科文化財史科学専攻

化と乾湿風化が同時に起こる可能性がある。乾湿風化の影響の有無を確認するために、塩溶液を用いた実験のほかに、純水での実験を並行して行った。

実験には4種類の岩石を用いた。内訳としては花崗岩（瀬戸内産）、大谷凝灰岩（栃木県産）、二上山凝灰岩（奈良県産）、和泉砂岩（泉南産）である。岩石試料の大きさは、5 cm×5 cm×10cmとした。二上山凝灰岩は、完全に同じ大きさではない。

また、科学的保存処理用の樹脂としては、ドイツワッカーケミ社のOH100を使用した。商品名はWACKER OH 100であり、成分はテトラエキトキシシランのモノマー溶液であり、溶剤はMEK（アセトン）である。OH100は近年、石造文化財の保存修復に多用されている樹脂である。

## 2-2. 実験方法

本実験では、はじめに十分に乾燥させた試料の初期重量、KONICA MINOLTAの色彩色差計CR-200を用いた色差および色彩の測定、写真撮影、株式会社サンコーのDino-Lite Digital Microscope AM-3FIのマイクロスコープを用いた表面観察、日本電色鉱業株式会社のデジタル変角光沢計VG-1D型を用いて光沢を測定し、その後以下の作業を繰り返して行った。光沢度の測定は、花崗岩と砂岩のみで行っている。理由としては、凝灰岩2種の劣化が激しく、実験序盤で光沢の測定が不能になったためである。

乾湿繰り返し試験方法については、旧道路公団において定められた乾湿繰り返し試験（JHS111-1992）を参考に、試験体を用意し、まず、水道水で洗い、室内で2週間完全に乾くまで養生し、2週間目に樹脂含浸試料についてはOH100を含浸させ、直射日光のあたらない場所で樹脂が乾くまで、再び2週間程度養生させた。樹脂が完全に乾いたら初期測定を行い、試験を開始する。まず、乾燥した岩石をそれぞれの溶液の中に24時間浸漬し湿潤状態にする。これを80℃に設定したアズワン株式会社プログラム定温乾燥機DO-600FPAの中に入れ、乾燥状態にする。これを1サイクルとする。重量測定は湿潤後、乾燥後とそれぞれ行う。

下部に岩石の底面とケースが触れ合わぬよう、スペーサを設置し、溶液に漬ける。

湿潤過程後にケース底に落ちているものを風化による欠損とみなした。

岩石の風化の進行状況に応じ、3サイクルから21サイクルの実験を行った。

## Ⅲ 終わりに

本研究では風化環境を急激に繰り返す乾湿繰り返し試験を行うことで、風化を促進させ、石材ごとの劣化のメカニズムを明確にデータ化し、今後の研究に活かせる指標を見出すことを目的として、花崗岩、和泉砂岩、大谷凝灰岩、二上山凝灰岩を用いて室内実験を行った。劣化の進行を示す指標として、写真撮影、重量、吸水率、色差値を採用し、それぞれの変化を計測した。結論は以下のとおりである。

- ①花崗岩においては乾湿風化の影響はほぼ受けないと考えてよいが、塩類風化の影響によって雲母がへき開にそって薄く剥離していくことが確認された。
- ②砂岩は砂岩を形成する岩石のそれぞれの結合が花崗岩に比べて緩い為、薄い石片となって表

面から剥がれ落ちるだけでなく、初期段階から砂粒となって風化が進んでいくことが確認された。

- ③大谷凝灰岩は、吸水率が20%に達すると岩石成分の溶解が始まり、20%を越えるとヒビが生じ、20%後半に達するとヒビから崩壊が進む。
- ④大谷凝灰岩では、塩類風化が起これば表面から崩壊が進んでいくが、乾燥風化が起こればミソが流れ出し、内部から崩壊が進み空洞が増えることで、強度が弱まり崩壊する事がわかった。
- ⑤二上山凝灰岩は、塩類風化が起これば、火砕流堆積物と水底堆積物からなる岩石のどの部分からも崩壊してゆくが、乾燥風化が起これば火砕流堆積物からなる岩石部分から崩壊していく。
- ⑥二上山凝灰岩は十分に乾燥風化の影響も受けるといえる。
- ⑦二上山凝灰岩は吸水率が15~16%を越えたところで、ヒビが見受けられるようになり、17%を越えると土砂化が顕著なものとなる。

つまり、本実験を行った結果、大谷凝灰岩と二上山凝灰岩の劣化の指標を考えるに、吸水率が有効である事がわかった。

花崗岩、和泉砂岩においても同じく、吸水率が著しく増大するなどの変化が起こるまで、乾湿繰り返し試験を行えば、更なる劣化の指標を見出すことが出来ると考える。

石造文化財とはそれを構成する岩石が、木材などに比べて構造が緻密で硬く、目に見えての劣化には乏しいため、保存修復などは見逃されがちになり、重大なダメージを受け、崩壊した時点からの保存修復が行われることが少なくない。しかし、ダメージを受けた時点からの保存修復は容易ではないし、何が原因となって劣化が起こったのかを見出すことも容易ではない。よって、劣化に乏しくとも、初期の段階で将来文化財が劣化していくことを念頭に、保存を行っていくべきである。

故に、本研究で見出された風化メカニズムを指標に、長期曝露試験を行い、本実験の測定項目と比較することで、乾湿繰り返し試験1サイクルに相当する日数が導き出せ、今後の石造文化財の保存修復において十分に活かしていく事ができると考える。つまり、現在の状態がいかなるもので、今後どれほどの時間で次の劣化に繋がっていくのかを想定することができ、その石造文化財がどれ程、長期保存が可能であるのか判断することが出来る。また、その判断から、今後の保存修復を如何なる方法で行っていくのか、選択して行くことが、長く石造文化財を後世に伝えていくためには重要である。