

プロジェクト名：石造文化財に用いられる石材の岩石物性に関する研究

プロジェクト代表者：小口千明（地圏科学研究センター・准教授）

1 研究目的

近年、大谷石石材の地場産業復活の動きなど、地球資源素材を利用した地域開発の動きがある。しかし、それらを最大限に活用するためには、きちんと物性を調べ、風化（劣化）に対する応答を考慮したうえで、その長期にわたる耐久性を評価しなければならない。本研究では石造文化財の保存修復の先進国であるフランスに学び、国内、とくに埼玉県内における事例の保存修復方法を検討する。とくに、石造建造物で使用されている石材や、考古遺跡における基盤岩の特徴の評価を、風化機構と風化速度に注目して行いたため、岩石の風化の観点から研究を進めた。

2 研究方法

欧米における石造建築物の対象としては、フランス国境付近に位置するオーバル修道院（ベルギー）を、日本調査地点としては国指定史跡である吉見百穴（埼玉県）（図1）を、主調査地点と定め、環境モニタリング装置の設置とデータ収集を主体的にすすめた。いずれの地点も、塩類の析出が顕著である（図2、図3）が、岩石そのものの劣化様式は異なる。オーバル修道院では、まず記載を重点的に行い、4つの観測地点を定めて温度・湿度のデータロガーを設置した。また、析出塩類を採取し、実験室に持ち帰り、XRDによる鉱物同定を行った。吉見

百穴では、既に設置してあるデータロガーから回収した温度・湿度結果の解析と、塩類の種類の特定、また岩屑生産量の測定をすすめた。

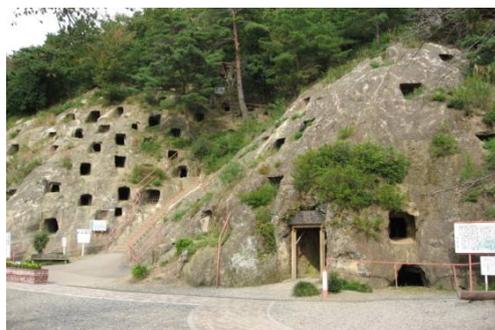


図1 吉見百穴概観

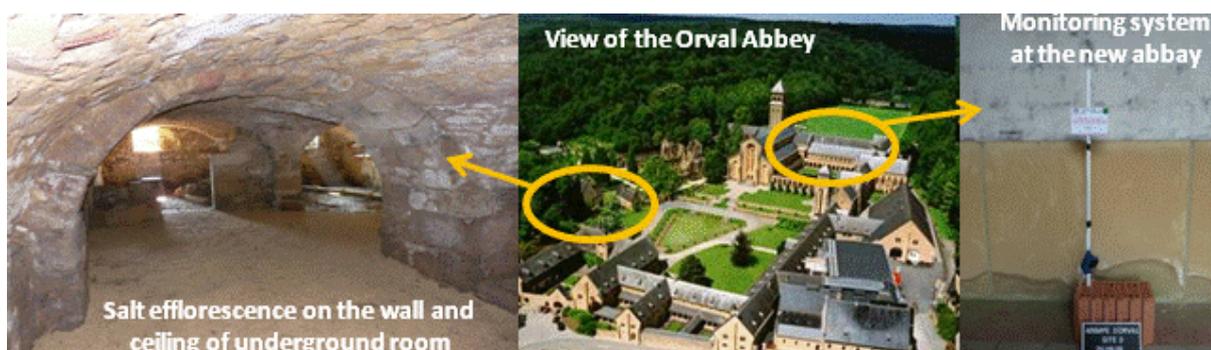


図2 オーバル修道院（中央）の地下室における塩類析出状況（左）とデータロガー設置状況（右）

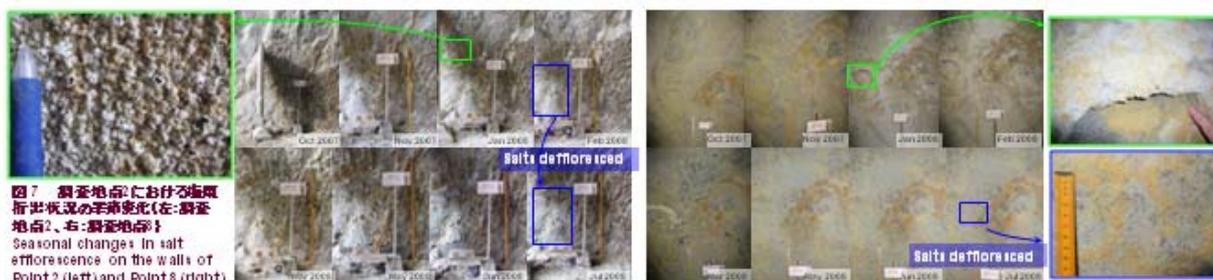


図3 吉見百穴・軍需工場跡地内におけるサイト2および8の壁面における塩類析出状況

3 風化の原因物質である塩類析出物の同定結果

オーバル修道院で採取した白色析出物は、主として **thenardite** (Na_2SO_4)であることが判明した。この修道院で用いられている岩石が主として石灰岩を砕いてセメントと混ぜて作成した **Fake Stone** (疑似石)であることを考慮すると、ナトリウムの起源を追求する必要がある。また、吉見百穴においては、入口付近の **site 1~4**、**site 9~12** では主にアルノーゲンが析出しているのに対し、**site 5~8** では石膏、ジャロサイト、ハロトリカイト、ナトリウムミョウバンが主に析出している。ハロトリカイトは **site 3, 4, 9, 10** でも比較的長い期間確認されていることから、入口付近よりもトンネル奥になるほど析出しやすい環境であると考えられる。

4 吉見百穴における崩落岩屑の重量

崩落した岩屑を設置した容器から約1ヶ月ごとに採取し、重量測定を行った。重量測定の方法としては、まず現地で採取した状態での重量を測定し、温度 110°C で24時間以上乾燥させた後、再度重量測定を行う。その後水で塩を溶かし、濾過を行い、再び温度 110°C で24時間以上乾燥させた後重量測定を行った。**site 1~3** は春から夏にかけて崩落量が多く、**site 4** ではあまり崩落が見られなかった。春に崩落した岩屑は多量に塩を含んでいるが、夏場の崩落岩屑は塩をあまり含んでいなかった。**site 5~8** は冬から春にかけて崩落量が多く、**site 1~4** より早い段階から崩落が始まり、6, 7月には崩落量が少なくなっていた。他の2つのエリアと比べると一番崩落量が多く、岩屑は水分が比較的少ない砂状のものがほとんどであった。**site 9~12** では、**site 9, 10** は2月、3月で崩落量のピークを迎え、**site**

11, 12 は5月にピークを迎えている。このことから、入口に近い場所の方が崩落量の多くなる時期が遅いと考えられる。

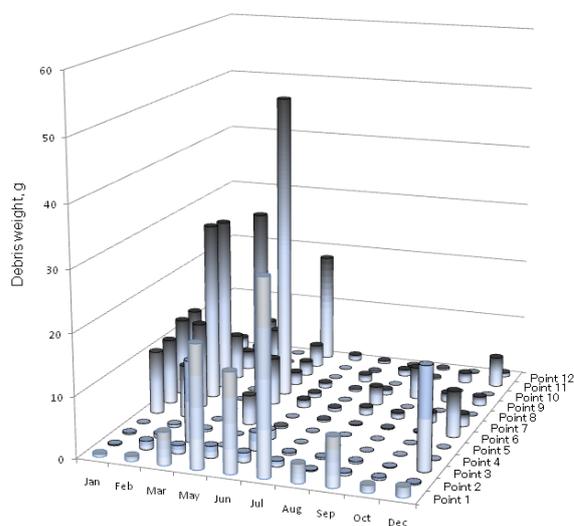


図4 Site 1 (手前) から site 12 (後方) で崩落した岩屑量の季節変化

5 まとめ

吉見百穴史跡内の地下軍需工場における析出する塩類、破壊形式、岩屑の崩落量が季節変化や温湿度環境によって異なることがわかった。温湿度がほぼ一定に保たれる内部では、石膏、ハロトリカイト、ナトリウムミョウバンが主として析出し、これらの測定地点における岩屑生産量が多いことが判明した。しかし、塩類析出量には最盛期は岩屑生産量の最多時期とは一致せず、塩類の析出量と岩屑生産量との関係が線形ではないことを意味する。したがって、今後は、詳細な塩類特定と、個別の塩類に対応した岩屑生産プロセスおよびその速度を把握し、壁面劣化への対応策を検討することが重要となる。

また、オーバル修道院においても、劣化にテナルダイトが寄与していることが判明した。今後は、塩類の起源と周辺環境を詳細に特定し、吉見百穴と同様に岩屑生産量を把握する必要がある。