

地形材料・建設材料の劣化メカニズム解明 —タイ国アユタヤ遺跡および埼玉県・吉見百穴を事例として—

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）

プロジェクト協力者：高屋 康彦（地圏科学研究センター・非常勤研究員、現：筑波大学研究基盤総合センター研究員）

1 はじめに

古来より人類は、岩石や土をはじめとする自然材料を利用して、住居から都市建設物にいたる様々な建造物を造ってきた¹⁾²⁾³⁾。このような地球素材は、その産地により様々な種類があるため、地域特有の文化の原因となってきた。日本を含めたアジアにおいても、仏教寺院や王宮などの重要な建造物には石材や焼成レンガが使用され、一方で庶民の居住や埋葬の場として、日干しレンガの家や自然の岩盤を掘って利用している例が見られる。このような石造建築物に用いられている材料としての地球素材には多くの種類があり、その建造物が建設されてから長期間経過すると、その種類に応じて風化・劣化現象が生じる。したがって、修復を行う際には、風化・劣化メカニズムをきちんと把握する必要がある。しかし、現状では、岩石の種々の性質（岩石物性）と劣化現象とを関連させて検討した研究例は多くなく、多くの事例で検討を行う必要がある⁴⁾。本研究では、石造文化財の保護及び劣化速度の抑制を検討するための基本情報を提示することを目的とし、埼玉県比企郡吉見町に位置する国指定史跡「吉見百穴」とタイ国アユタヤ遺跡を調査した。

2 吉見百穴における調査およびその結果

史跡内にある第二次世界大戦時に掘られた軍需工場跡地の坑道を対象として、坑道内に12カ所の調査地点を設定し、月に一度、壁面に析出した塩類を採取し、塩とともに崩落した岩屑を採取した。

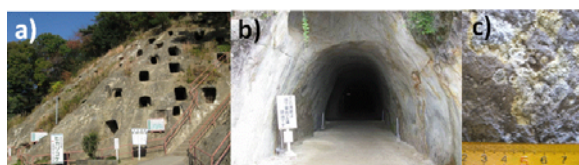


図1 国指定史跡「吉見百穴」(a)と、その史跡内に有する軍需工場跡地のトンネル (b)、および、トンネル壁面に析出した塩類 (c)。

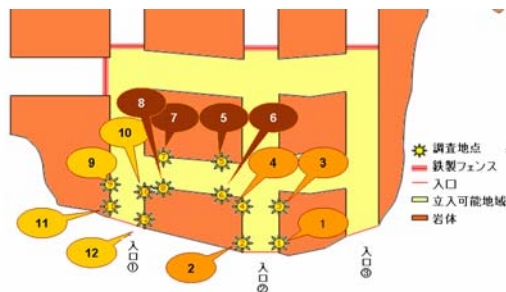


図2 「吉見百穴」軍需工場跡地トンネル内に設置した調査地点

各地点の壁面の温度および付近の空間の温度と湿度も測定した。12カ所のうち3地点を選び、それぞれの箇所において一時間毎に気温・湿度を記録できるデータロガーを設置し、毎月毎に温度・湿度の推移のデータを収集した。採取した塩類および崩落物質については、実験室に持ち帰り、XRDによる鉱物同定と、岩屑重量の測定を行った。調査地点2におけるXRD結果を図3に示す。吉見百穴においては、坑道入口付近の温湿度環境の変化が激しい壁面で白色または黄色を帯びた塩類の析出が確認され、これらは主にアルノゲンとジャロサイトであった。坑道の奥の壁面では、入口付近に比べ環境の変化が小さく、白色または灰色の柔らかい綿状の塩類（夏季：主に石膏、冬季：ハロトリカイト、ナトリウムミョウバン、エ

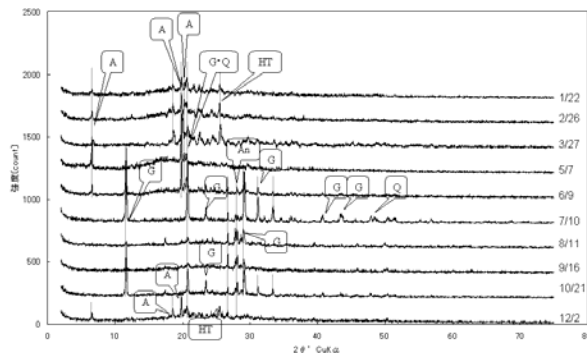


図3 調査地点2において析出していた塩類のXRD分析結果（データの一部に平成20年度の調査結果も含む）

プソマイト等)であった。

崩落した岩屑についても毎月の調査時に採取し、重量測定を行った。まず、採取時の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。坑道奥の壁面からの岩屑の重量は冬季に増加していた。岩屑生産には、ハロトリカイトやエプソマイト等は寄与しているが、アルノーゲンはそれほど寄与していないことが判った(図3)。

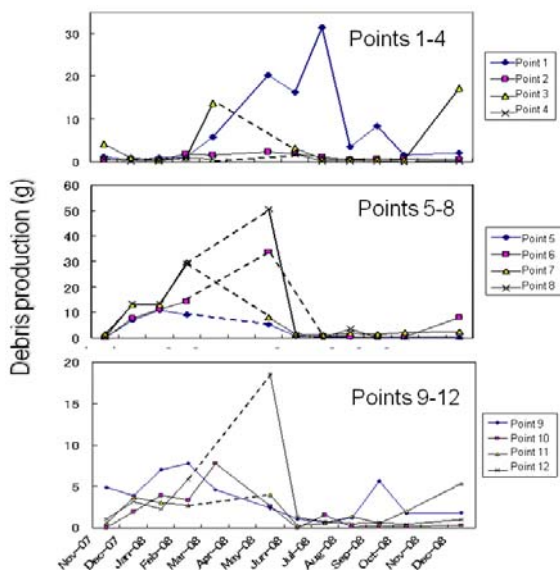


図4 岩屑生産量の変化(データの一部に平成20年度に採取した岩屑試料も含む)

3 アユタヤ遺跡における調査およびその結果

アユタヤ遺跡においては、調査時期が雨期であったため、塩類はほとんど流亡しており、採取してることが不可能であった。したがって、今後の調査への道筋として、タイ国地質調査所の Aprom Surdthad 博士に依頼し、アユタヤ遺跡周辺地域の地形図を入手し、地盤条件の解析をするとともに現地において地形観察を行った。また、劣化程度が激しい地点を対象として、風化により形成された凹みの深さを測定し、レンが表面の温度を測定した。その結果、地下水が毛管上昇する下部においてレンガ壁の風化がひどく、凹みの深さは2~5cmにも達していた。また、このような部分においては、周辺よりも表面温度が約5°C低いことが分かった。これは、日差しが直接当たらないことに加え、水分が凹部に集中していることも関係していると考えられる。



図4 アユタヤ遺跡のレンガ壁の劣化状況

4 まとめ

吉見百穴は、埼玉大からも近く、月1回のペースで綿密な調査を行うことができた。その結果、塩類はその種類に応じて、析出環境(温度、湿度、毛管被圧帯)との兼ね合いで析出の時期と位置が決定されることと、塩の結晶化もしくは水和化の際に発生する応力により石造文化財など地圏材料が甚大な被害を受けていること、が明らかになった。同様の現象はタイ国アユタヤ遺跡においてもみられる。塩類にはその析出時期に特異性があり、今回の野外調査では析出塩試料を持ち帰ることができなかったが、塩類風化による劣化が顕著であることは容易に理解することができた。今後の指針としては、劣化程度と環境条件とのモニタリングを行うことが重要であろう。

5 引用文献

- Oguchi, C. T., Matsukura, Y., Shimada, H. and Kuchitsu, N. (2006): Application of weathering susceptibility index to salt damage on a brick monument. *Heritage, Weathering and Conservation*, Fort, A. B., Gomez, H. and Vazquez, C. (eds), Taylor & Francis Group, London, pp. 217-227.
- Oguchi, T., Hori, K. and Oguchi, C. T., Paleohydrological implications of late Quaternary fluvial deposits in and around archaeological sites in Syria. *Geomorphology*, vol. 101, pp. 33-43, 2008.
- 渡辺邦夫、長田昌彦、小口千明 (2006): イラン、バム遺跡の修復に向けた国際協力. 地盤工学会誌, Vol. 55, No. 3, pp. 15-17.
- Yu, S. and Oguchi, C. T. Role of pore size distribution in salt uptake, damage, and predicting salt susceptibility of eight types of Japanese building stones. *Engineering Geology*, 2009 (in press).