

学位論文題名

STUDIES ON THE PROCESS OF FROST DAMAGES
TO STONE REMAINS UNDER COLD ENVIRONMENTS
AND ITS PRESERVATION METHODS

（寒冷な環境下での石造遺跡の凍結破砕過程とその保存法に関する研究）

学位論文内容の要旨

石造遺跡は民族学的な研究に有用な史跡として重要であるばかりでなく、芸術的見地からも非常に重要である。このような認識から、石造遺跡の保存においては現在ある姿・形を可能な限り長く後世に残すことが最も基本的かつ重要な要件である。現状を長期にわたり保持するという要件から考えると、石造遺跡の保存上最も回避すべき劣化の形態は、遺跡の母岩の劣性防止もさることながら、亀裂、剝離等の破壊的な劣化である。

石造遺跡の劣化は構成する岩の風化そのものに起因している。岩の風化は一般的に生物学的、化学的、物理学的風化がその置かれた環境条件により相互に影響し合いながら進行すると考えられている。生物学的風化および化学的風化は微生物の働きや、大気中の可溶性ガスの働きによる一部の造岩鉱物の溶出および粘土鉱物化を引き起こし、岩の多孔質化および強度の低下を引き起こす。このような状況下で、物理的風化である塩類風化および凍結による破砕が起きた場合、石造遺跡の保存に関して最も有害な破壊的な風化が起こることになる。

本研究では、石造遺跡の保存に関して最も破滅的な被害をもたらす塩類風化および凍結破砕による風化の内、日本国内のほとんどの地域で発生し得る凍結破砕による劣化に関して、その劣化過程を明らかにし、発生の必要条件を人為的に除去することにより凍結破砕を防止する方法を、総合的に計画する手法を提案している。

本論文は以下の6章より構成されている。

第1章は緒論であり、本研究の背景、対象、目的および研究方法について述べている。

第2章では石造遺跡の多くが刻まれている凝灰岩の凍上実験を行い、凍結破砕の過程を実験的に確認している。すなわち、岩が凍結により脈状の純水（アイスレンズ）を成長させながら割れ、このアイスレンズは未凍結側からの間隙水の供給により成長したことを確認している。

第3章では第2章で確認される凍結破砕過程を解釈するために、凍上実験で用いた凝灰岩の空隙の性状および空隙表面に存在する間隙水の性質を実験的に調べている。調査した項目は、鉱物組成、空隙形状、空隙の連続性、比表面積、不凍水分量、水分特性曲線、不凍水の厚さ、アイスレンズの成長温度であった。この結果、凝灰岩の空隙性状および間隙水の状態は凍上性の土と酷似していることを確認している。

第4章では第2章で確認された凍結破砕の過程を、第3章の知見を基に土の凍上機構の考えを適用して解釈している。その結果、岩の凍結破砕は土の凍上と類似の現象によるものと結論されている。この現象は凍結中の岩盤内に岩を引き裂く圧力が発生し、発生した亀裂に温度勾配に沿って間隙水が流入してアイスレンズと呼ばれる純氷が成長することにより岩が破砕するという現象と結論づけられている。

第5章では石造遺跡の保存に対する基本的考えを整理確認した上で、第4章で明らかにした凍結破砕過程の発生し得る条件、すなわち露岩が氷点下になること、岩の中に十分な不凍水が存在すること、岩が比較的脆いことという3条件を総合的に調査、評価する方法を示している。また、その結果採用すべき防止対策を実例と共に示している。

第6章ではまず本研究の概要を示し、次に結論として本研究による新たな知見および今後の課題を示している。

学位論文審査の要旨

主査	教授	福田	正己
副査	教授	伊藤	浩司
副査	教授	梅澤	喜夫
副査	教授	小野	有五

石造遺跡は民族学的な研究に有用な史跡として重要であるばかりでなく、芸術的見地からも非常に重要である。このような認識から、石造遺跡の保存においては現在ある姿・形を可能な限り長く後世に残すことが最も基本的かつ重要な要件である。現状を長期にわたり保持するという要件から考えると、石造遺跡の保存上最も回避すべき劣化の形態は、遺跡の母岩の劣化防止もさることながら、亀裂、剝離等の破壊的な劣化である。

石造遺跡の劣化は構成する岩の風化そのものに起因している。岩の風化は一般的に生物学的、化学的、物理学的風化がその置かれた環境条件により相互に影響し合いながら進行すると考えられている。生物学的風化および化学的風化は微生物の働きや、大気中の可溶性ガスの働きによる一部の造岩鉱物の溶出および粘土鉱物化を引き起こし、岩の多孔質化および強度の低下を引き起こす。このような状況下で、物理的風化である塩類風化および凍結による破砕が起きた場合、石造遺跡の保存に関して最も有害な破壊的な風化が起こることになる。

本研究では、石造遺跡の保存に関して最も破壊的な被害をもたらす塩類風化および凍結破砕による風化の内、日本国内のほとんどの地域で発生し得る凍結破砕による劣化に関して、その劣化過程を明らかにし、発生の必要条件を人為的に除去することにより凍結破砕を防止する方法を、総合的に計画する手法を提案している。

本論文は以下の6章より構成されている。

第1章は緒論であり、本研究の背景、対象、目的および研究方法について述べている。

第2章では石造遺跡の多くが刻まれている凝灰岩の凍上実験を行い、凍結破砕の過程を実験的に確認している。すなわち、岩が凍結により脈状の純水（アイスレンズ）を成長させながら割れ、このアイスレンズは未凍結側からの間隙水の供給により成長したことを確認している。

第3章では第2章で確認される凍結破砕過程を解釈するために、凍上実験で用いた凝灰岩の空隙の性状および空隙表面に存在する間隙水の性質を実験的に調べている。調査した項目は、鉱物組成、空隙形状、空隙の連続性、比表面積、不凍水分量、水分特性曲線、不凍水の厚さ、アイスレンズの成長温度であった。この結果、凝灰岩の空隙性状および間隙水の状態は凍上性の土と酷似していることを確認している。

第4章では第2章で確認された凍結破砕の過程を、第3章の知見を基に土の凍上機構の考えを適用して解釈している。その結果、岩の凍結破砕は土の凍上と類似の現象によるものと結論されている。この現象は凍結中に岩盤内に岩を引き裂く圧力が発生し、発生した亀裂の温度勾配に沿って間隙水が流入してアイスレンズと呼ばれる純水が成長することにより岩が破砕するという現象と結論づけられている。

第5章では石造遺跡の保存に対する基本的考えを整理確認した上で、第4章で明らかにした凍結破砕過程の発生し得る条件、すなわち露岩が氷点下になること、岩の中に十分な不凍水が存在すること、岩が比較的脆いことという3条件を総合的に調査、評価する方法を示している。また、その結果採用すべき防止対策を実例と共に示している。

第6章ではまず本研究の概要を示し、次に結論として本研究による新たな知見および今後の課

題を示している。

以上を要すると、本論文は寒冷な環境下におかれた野外石造遺跡が劣化する過程を実験と観測に基づいて明らかにし、特に凍結破碎の機構を定量的に掌握している。さらにその成果に立脚して、劣化の進行しつつある石造遺跡をいかに保全するかの方策をも示唆している。遺跡そのものに合成樹脂処置する、いわば直接的な対策よりも、遺跡の置かれた、環境要素を分析し、凍結破碎発生に関わる環境要素を、人為的に除去する「環境制御」による遺跡の保全という新たな概念を提案している。これは我が国における野外石造遺跡の保存策の立案に大きな影響を与え、また海外の著名な学術誌に公表されて高い評価を得ており、審査員一同は申請者は博士（環境科学）を受けるのにふさわしい資格を持つものと判断する。