

京都大学	博士 (工学)	氏名	伊庭 千恵美
論文題目	粘土瓦の水分移動特性と温暖地における凍結・融解過程に関する基礎的研究		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文では、温暖地の屋根に一般的に使用される粘土瓦の長寿命化を目指して、実気象条件下における瓦の劣化性状を明確にし、実態調査や材料物性値測定結果を用いて、凍結融解過程における温度と水分性状を明らかにすることを目的としている。</p> <p>材料物性や製造方法が瓦の耐凍害性に与える影響、瓦の破壊の性状については数多くの研究が行われてきたが、瓦が実際に使用される温熱環境と水分供給経路に着目し、防水仕上げが水分移動に与える影響を考慮して凍結・融解性状を明確にしている点に本研究の独創性がある。</p> <p>本論文は8章で構成されている。第1章は序論であり、従来の研究のレビューを行い、本論文の目的と構成を示している。第8章は本論文の結論であり、第2章から第7章は、以下の内容となっている。</p> <p>第2章では、文献調査、実地調査、ヒアリング調査、促進劣化試験により、粘土瓦の劣化の実態と性状を明らかにし、第3章以降で取り扱う問題の抽出を行っている。京都市内の寺社を中心とした建物の調査では、瓦の内部で凍結・融解による応力が生じた場合、力学的に弱い部分で破壊が生じること、剥離や欠けが生じている部分の周囲にはひびが入っているものが多いこと、大きな剥落より薄く小さい表面剥離が多いこと、水が滞留しやすいところで劣化が多いこと等を確認している。</p> <p>JISで規定されている気中凍結水中融解法による凍結融解試験においては、既往の文献で指摘されているように、実態調査よりも凍結融解試験の結果の方が劣化の程度が激しいこと、部分的な吸水、結露水の滴下、降雨を模した噴霧など水分の供給条件を変えた独自に開発した凍結融解試験では、実際の劣化の状況に近い細かな表面剥離やえぐられたような形状の剥離が生じること、風の当たり方や下地の有無、水分の付着状況によって1枚の瓦でも部位により温度や水分付着の状況が異なること等を確認している。</p> <p>第3章では、表面仕上げ層をもつ粘土瓦の水分特性を把握することを目的に、基本物性、水分保持性能、水分移動係数の測定を行っている。</p> <p>基本物性として乾燥密度、吸水率、細孔径分布の測定を行い、細孔径分布の測定からは、$-0.1\sim-0.25^{\circ}\text{C}$で結氷を生じる$1\sim3[\mu\text{m}]$の直径をもつ細孔が全体の7割を占めることを確認している。また、相対湿度96%以下の低湿域での平衡含水率と99.8%以上の高湿域での保水性の測定を行い、高湿域で平衡含水率が急激に増加することを確認している。</p> <p>水蒸気と液水の両方について、表面仕上げの有無による移動係数の違いを測定している。また、仕上げ層をもつ材料における飽和時の水分伝導率については測定方法の提案を行い、試料内部に閉じこめられた空気が透水の抵抗となる可能性があるという問題点を明らかにしている。</p>			

第4章では、第3章の飽和時の水分伝導率測定において問題となった空気の影響について、メカニズムの推測と解析による影響の定量化を試みている。

簡単なモデルを用いて数値解析を行い、瓦内部の空気が抜けにくく、圧縮され圧力が上昇するような状況では、水分浸透へ与える空気の影響が大きいこと、空気の存在を考えずに測定を行うと水分伝導率の値を低く見積もる可能性があることを明らかにしている。

第5章では、多孔質材料内部の水分化学ポテンシャルと凝固点降下の関係、凍結・融解を生じる系の水分収支式、エネルギー収支式の導出過程を示し、数値解析手法について述べ、透湿率、透水係数の測定値から、温度依存性も考慮した移動係数を理論的に導出している。さらに、安定した解が得られる常微分方程式を用いた解析手法、仕上げ層のある材料表面における熱・水蒸気・液水移動の扱い方、従来の解析では扱われていない飽和付近の扱い方を示している。

第6章では、実験と数値解析により、表面仕上げ層をもつ瓦内部の水分移動の性状把握を行っている。

実験では、全体に表面仕上げ層をもついぶし瓦と、仕上げ層が一部にしかない釉薬瓦では、同じ降雨環境に曝されていても異なる水分分布が形成されることを確認している。数値解析では、表面仕上げを通して一定の水分が流入すること、表面仕上げ層の透水抵抗の分布や内部の空隙構造のむら等に起因する水分移動速度の違いにより含水率分布が異なる可能性を示している。

雨の降り方についての検討も行い、急激に多量の水分が供給されると、内部への拡散が追いつかず表面付近が飽和近くに達し、内部へ流入できない水分は流下するため、積算降水量が同じであっても、短時間に強く降る雨の場合より長時間にわたる弱い雨の場合の方が、瓦内部へ流入する水分量は多くなることを明らかにしている。

第7章では、温暖地における屋根瓦の凍害を引き起こす要因の一つとして、夜間放射による温度低下と結露に着目し、実気象条件下で屋根瓦が凍結する可能性と凍結融解性状の検討を行っている。

京都市の気象データを用いて表面結露の頻度と結露量を算定し、室内側からの熱供給を受けにくい場合には、夜間放射の影響により表面温度が外気温度よりも3~4℃低下し、冬期は屋根表面で3日に1回程度の割合で結露が発生する可能性があること、冬季の外気温平年値が0℃を上回る温暖地においても屋根温度は0℃以下となり、含水率が高ければ結氷を生じる可能性があることを明らかにしている。

表面結露と雨水の流入を考慮した解析では、降雨は多量の水分を供給するが、頻度としては結露の方が多く、結露の浸透は瓦表面付近の含水率を飽和近くまで上昇させることを確認している。また、仕上げ層の位置や透水・透湿抵抗、瓦内部の水分伝導率が含水率・含氷率分布に大きな影響を与えることを明らかにしている。

(論文審査の結果の要旨)

本論文では、温暖地の屋根に一般的に使用される粘土瓦の長寿命化を目指して、実気象条件下における瓦の劣化性状を明確にし、実態調査や材料物性値測定結果を用いて、凍結融解過程における温度と水分性状を明らかにすることを目的としている。

材料物性や製造方法が瓦の耐凍害性に与える影響、瓦の破壊の性状については数多くの研究が行われてきたが、瓦が実際に使用される温熱環境と水分供給経路に着目し、防水仕上げが水分移動に与える影響を考慮して凍結・融解性状を明確にしている点に本研究の独創性がある。

本研究の成果は以下のように要約される。

(1) 実態調査から、瓦の凍結被害としては薄く小さい表面剥離が多いこと、水が滞留しやすいところで劣化が多いこと等を明らかにした。また、従来凍結融解試験とは異なる水分供給条件を課す促進劣化試験を提案し、その試験により実際の状況に近い劣化性状が再現されること、周辺気候や下地、瓦の形状などの局所的な条件が凍害性状に大きな影響を与えることを明らかにした。

(2) 粘土瓦の吸水率、細孔径分布、平衡含水率関係、水分移動係数の測定を行い、水分移動特性を明らかにした。液水移動係数測定においては、空気が透水の抵抗となる可能性を指摘するとともにその影響をモデル化し、実験と数値解析によりモデルの妥当性を示した。

(3) 凍結融解過程を考慮した解析モデルを提案し、従来は取り扱いが困難であった材料内部が水と氷で飽和する状況の取り扱いを可能にした。このモデルを用いて、降雨のように多量の水分が供給される条件下での解析を行い、短時間に強く降る雨より長時間にわたる弱い雨の方が、瓦へ流入する水分が多くなることを示した。

(4) 温暖地(京都)の気象データを用いた凍結融解過程の解析を行い、放射冷却による温度低下により冬季は屋根表面で3日に1回程度の割合で結露が発生する可能性があること、冬季の外気温平年値が0℃を上回る地域においても屋根温度は0℃以下となり、結露や降雨により含水率が上昇すれば結氷を生じる可能性があること、瓦内部の水分移動速度や表面仕上げの欠損が凍結時間や量、結氷範囲に大きな影響を与えることを明らかにした。

本論文は、仕上げ層を有する粘土瓦の水分移動特性に関して詳細な測定を行い、水分の気液同時移動を考慮した解析により実験結果の再現を行うとともに、温暖地における屋根瓦の凍結融解過程に関して、実態調査、実験、数値解析によりその性状を明らかにし、周囲環境が与える影響についても定量的に示しており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成22年1月26日、論文内容とそれに関連した事項について口頭試問を行った結果、合格と認めた。