

瓦の劣化と結露、凍結

理事・京都大学大学院教授 銚井 修一

1. 瓦の劣化

CO₂排出量の削減が強く要請されていますが、民生部門は全排出量のほぼ1/3を占めるばかりでなく、いまだに増加し続けています。その意味でCO₂排出量削減は建築および建設に課せられた責務と言えます。これまでの調査、研究により、運用時の排出量が一番大きな割合を占めることが明らかとなっており、言うまでもなくそれは建物を長寿命化し長く使うことを前提としており、短命の建物では初期の建設に係るCO₂排出量が運用時のそれを上回ることとなります。

建物の長寿命化といっても、材料の劣化や機能上の劣化など様々な要素、観点があります。ここでは建物の外装材、それも瓦について私の研究室でこれまでに行ってきたことを紹介させていただきます。

建築を専門とする方々を対象とする本協会誌に、このようなことを書くのは恥ずかしいのですが、瓦の経年変化や劣化について気にし始めたのは、ほんの7～8年前のことです。何かの折に隣家の屋根をしげしげと眺める機会があり、そのときやっと瓦の表面にある小さな剥離に気がつきました。一度目につくと、少なからずあることが分かりました。

当然、次にはなぜ？という疑問が湧きました。すぐ思いつくのは気温や日射により瓦の温度が上下し膨張・収縮が生じたためということです。ただ、必ずしも日が良く当たる箇所に剥離が多いわけでもないようでしたので、次に考えたのが水分の影響でした。これは、自分の専門領域ということもあったかと思います。吸水・蒸発による伸び縮みのせいだろうか？それで剥離にまで到るのか？と考えを進めるうちに、凍結すれば剥離しそうだと思うようになりました。これも、その5～6年前から外壁における凍結・融解の研究¹⁾をしていたため、なにかにつけそれと結び付けようという傾向があったためかもしれません。

2. 関西で凍結がおきるか？

次の疑問は、関西で凍結が起きるのかということでした。瓦に関係する専門の方にお聞きすると、京都のような温暖地においても、凍結による劣化を当然のものと捉えておられるようでした。ただ、なぜそう判断されるのかを尋ねると、必ずしも明確（定量的）な根拠があるわけではなく、長年の経験に基づく知恵として定着しているように感じられまし

た。私の住む大津市や京都市では冬寒いといっても零下の日がそうしばしばあるわけではありません（図1²⁾）。京都市では気温が0℃を下回るのは一冬にせいぜい10日前後で、さらに最低温度は-2℃程度です。これではどうも迫力に欠けます。これについては、当然夜間放射を考慮しなければならず、放射冷却により5℃程度、条件によっては10℃の温度低下も可能なはずでです。それを計算したものが図2³⁾です。放射冷却の影響を加えると、等価な外気温が零下になる日が70日にも増加し、最低温度も-5℃まで低下します。これも車のガラスにつく霜の処理に毎日のように苦労していることを考えると、当然のことでした（もっとも、近年はヒートアイランドのせいでその回数は大幅に減少しているようですが。）この程度の低温と日数があれば、凍結とそれによる劣化が発生しても無理はなさそうです。

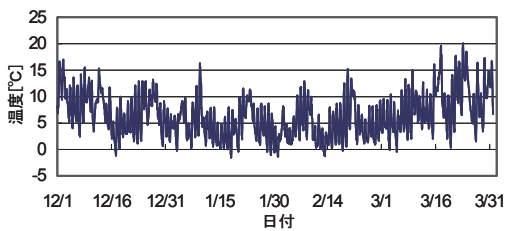


図1 京都市の冬期の外気温度²⁾

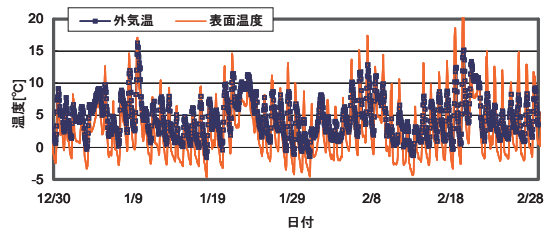


図2 瓦の外表面・外気温度推移³⁾

ただ、日中は日射による温度上昇もありますし、屋根の向きによっては零下にはならないのではと考え、図3のようなモデルを用いて計算したところ、日中の日射の影響は（下に外気が入る屋根構造としたこともあり）夜間には殆ど影響せず、従って方位もそれほど影響しませんでした。むしろ屋根の勾配や周囲建物の有無が効いてきます。また、風があるか否かが等価気温の低下には大きく影響することが分かりました。

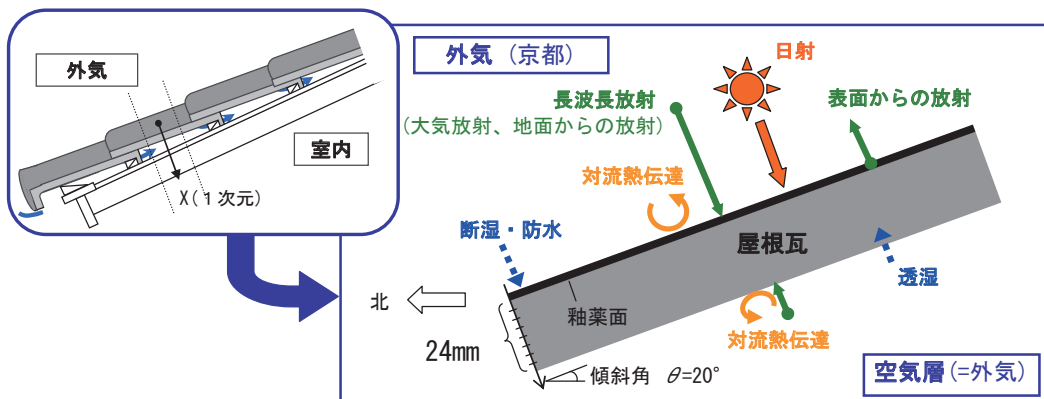


図3 計算対象モデル

3. 水分は一体どこから来る？

凍結の源となる水分は一体どこから来るのでしょうか？当初は当然雨と考えていましたが、冬季の降雨日数は少なく、また降ってもその後の日射により乾燥することもあり、本当に凍結して瓦を劣化させる程の影響を持つのか疑問に思いました。夜間の放射冷却により霜が降りることを考えると、冬季でも毎日のように結露しているわけで、ひょっとして結露水が凍結劣化に及ぼす影響も無視できないのでは、と思うようになりました。

図3のモデルを用いて結露の発生について計算すると、瓦表面に結露する日数は12月から3月までの4ヶ月間の間に70日にも達することが分かりました。雨の場合、一回当たりの水分量は結露に比して多いのですが、日数が少なくその影響は10日程度なのに対して、結露はほぼ毎日起きています。従って、結露水の影響を考慮しないと判断を誤ることになると考えられます。

また、この計算では瓦内部への水蒸気の浸入を考慮して瓦の温度や含水率を計算しているのですが、空気中の水蒸気は瓦の表面ばかりでなく、裏面から内部に入り瓦表面の塗膜の裏近傍にも結露し、凍結しています(図4)。これは塗膜の透湿抵抗が大きいためで、塗膜は表側からの水蒸気の浸入を抑制する一方で、裏面から入った水分が反対側(表面)から蒸発して抜けるのを妨げています。

同時に、この計算では瓦裏面への結水量が多くなっています。実際にそのような状況を見るのがこれまで無かったのですが、最近ある寺院の塀の屋根瓦にそれを見つけました。写真1に示すような層状の剥離が瓦裏面から生じています。水の由来については検討の余地がありますが、解析モデルにより実態が予測された可能性が高いと考えています。

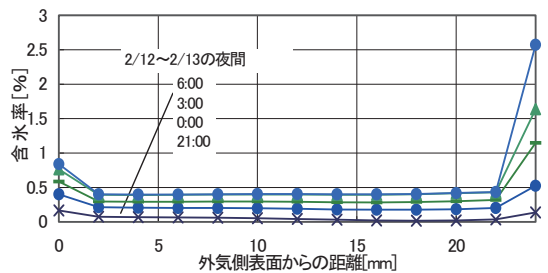


図4 夜間の瓦内部の含水率分布



写真1 瓦底面の劣化(層状の剥離)

4. 凍結による劣化か？

以上のような検討に加え劣化促進試験なども行いましたが、必ずしも雨が浸入して凍結し破断が生じたとは断定はできません。温度変化による膨張・収縮、水分の乾燥収縮など

の可能性も排除できないからです。また、色々な実験における破断の状況が実態の劣化状況と完全に一致しているわけでもありません⁴⁾。水分の影響が大変大きそうだという感触は得ているのですが、今後も実験、実態調査、解析などを重ね、慎重に判断したいと考えています。

5. おわりに

京都市では、伝統的木造住宅（京町屋）の保存と、さらに新しい形の町屋（平成の京町屋）への展開に向けた努力が払われています⁵⁾。本年の5月に京都市において建築物理に関する国際会議を開催しました⁶⁾。震災の影響もあり国内、特に関東からの参加者が必ずしも多くはなかったのですが、海外からは150名近くの方々に参加いただきました。国際会議の内容に関心を抱いたことが第一の理由というより、京都の魅力がこれらの多くの人々を引き付けたのではないかと、今となっては（残念ながら）思い始めています。海外の方々が京都という長い歴史と文化を持つ都市に強い関心を抱いていることを初めて実感するとともに、京都の町並み、景観を保存することの重要性を理解しました。

瓦にとっては好ましくないかもしれませんが、苔や藻の緑が雨で一段と映える情景は印象深いものです。瓦の劣化原因を探り、より長持ちのする瓦を目指して何がしかの提案をすることにより、残念ながら減少しつつある瓦屋根が増え美しい町並みが再生されるよう、少しでもお役に立てれば幸いと考えています。

参考文献

- 1) 畑野雅範、銚井修一、松本衛：ALC 壁体における凍結・融解過程に関する研究、日本建築学会計画系論文報告集、第545号、PP.23-28、平成13年7月。
- 2) 拡張アメダス気象データ：社団法人 日本建築学会、2000.1.
- 3) 伊庭千恵美、銚井修一、「屋根瓦における結露発生に関する検討」、日本建築学会環境系論文集、第74巻、2009.5.
- 4) Chiemi Iba, Shuichi Hokoi: Frost Damage of Roof Tiles in Relatively Warm Areas in Japan: Influence of Surface Finish on Water Penetration, Proceedings of the Building Enclosure Science & Technology (BEST3), 2012.4.
- 5) 平成京町屋ホームページ、<http://www.city.kyoto.lg.jp/tokei/page/0000087262.html>
- 6) IBPC (5th International Building Physics Conference)、<http://rcpt.kyoto-bauc.or.jp/IBPC2012/>

注) 本稿は、Roof & Roofing（屋根と屋根材）に掲載された

銚井修一、伊庭千恵美：瓦における結露と凍結に関する検討、Roof & Roofing（屋根と屋根材）、No.49、pp.53-55、日本屋根経済新聞社、2008.1.

に一部加筆したものである。