

氏名	伊東敏幸
授与学位	博士（工学）
学位授与年月日	平成7年12月13日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第2項
最終学歴	昭和59年3月 北海道工業大学工学部建築工学科卒業
学位論文題目	積雪地域における勾配屋根の材料設計および維持保全に関する研究
論文審査委員	東北大学教授 三橋 博三 東北大学教授 山田 大彦 東北大学教授 吉野 博 東北大学助教授 野村 希晶

論文内容要旨

建築物およびその周囲の積雪が及ぼす居住環境への悪影響の多くは、屋根上積雪に起因している。屋根上積雪の落下あるいは雪おろし中の転落などによる人身雪害は、近年においても、積雪地域における重大な社会問題として顕在化しており、その適切な防止対策技術の確立が切望されている。このような雪害の発生要因は、不適切な屋根構法や配置計画、あるいは不用意な雪おろし作業にあると評されているが、その潜在的な要因として、屋根葺材の滑雪性能が経年劣化することの影響が考えられる。一方、この屋根上積雪は建築物に多大な荷重外力を及ぼし、その建築物に要求される構造強度を大きく支配する要因となることから、この荷重を低減させることによって、建築物の構造的な制約を緩和できる。このことを奨励する動向として、1993年に改正された日本建築学会荷重指針では、融雪あるいは滑雪などによる適切な屋根上積雪の制御による荷重低減を認めている。

近年の建築動向にみられる建築物の大規模化ならびに多様化は、積雪地域にも普及し、屋外運動施設あるいは公園施設などを通年利用できるようにした大規模建築物の建設が積雪地域でも増加している。これらの建築物は、その地域において前例のない屋根面積を有し、さらに天蓋空間を求めて透過性のある膜材やガラスを屋根材料に使用する場合も少なくない。また、これらの建築物では数千㎡に及ぶ屋根上積雪を低コストで適切に処理しなければならないことから、屋根上積雪の処理計画には細心の配慮を払う必要がある。

積雪地域における建築物の屋根上積雪は適切に処理しなければならないが、その際に膨大なエネルギーを費やすことは回避すべきである。すなわち、低ランニングコストで屋根雪処理を行うことが望ましいことから、現状においても、多くの建築物で自然滑落処理を基本とした屋根上積雪処理を採用している。この自然滑落処理を規則的に行うには、滑落現象を制御する必要があり、そのためには、屋根雪と屋根葺材の凍着性状、および屋根雪の滑落性状を適切に評価する必要がある。この場合、屋根葺材の初期状態における滑雪性能および耐候性を評価することは勿論であるが、その材料の経年劣化後における滑雪性能およびその劣化機構に関しても把握しなければならない。

このように、屋根上積雪を規則的に滑落させることを恒久的に維持することによって、屋根上積雪に起因する居住環境面の問題が解消されることから、このような滑落処理を行う屋根に適用できる材料設計および維持保全の手法を確立する必要があると言える。しかし、現状では、そのような手法に関する具体的な研究は行われていない。

以上のことから、本研究は、屋根上積雪の規則的な滑落処理を恒久的に維持することに対する材料学的な知見、すなわち屋根葺材の経年劣化機構に対応した滑雪性能変化およびその維持に関わる技術資料を得ることを目的としている。さらに、それらの知見を基に、屋根上積雪を滑落処理する屋根に適用できる材料設計および維持保全の手法について提案している。

本論文は全8章で構成されている。各章の概要は以下のとおりである。

第1章 序 論

本研究の背景となる屋根上積雪に起因する社会問題を明確化し、その対策に関わる既往研究の概要を示し、本研究の目的、および本論文の構成について述べている。

第2章 屋根上積雪の滑落処理に対する材料学的視点

本章では、屋根上積雪荷重の低減、および屋根上積雪に起因する人身雪害の防止を目的とした滑落処理に求められる材料学的な視点を検討し、規則的な滑落現象を制御する場合に要求される材料性能について、屋根雪の滑落時に作用する抵抗諸力を基に整理している。さらに、滑落処理に用いる屋根葺材の耐久性について考察し、耐久計画を考慮した材料設計および維持保全の基本的な考え方を述べている。また、それらの考察事項から本研究の課題および位置付けを明確化している。

第3章 屋根雪の屋根葺材の凍着性状に関わる材料特性

本章では、屋根上積雪を滑落させる際に最も大きな抵抗力として作用する凍着抵抗力の発現過程を分析し、さらに各種屋根葺材の凍着性状に関わる材料特性について検討している。まず、降雪時における屋根面温度および気象要素の実測を行い、降雪開始時の前後における屋根面温度の推移を屋根の部位別に明らかにし、その温度推移の違いによって屋根雪下層の融雪状態が異なることを示し、その異なる雪質状態における凍着現象をモデル化している。さらに、そのモデルに基づく凍着実験を行い、代表的な屋根葺材における凍着強度の特性を述べている。また、それら材料の表面粗さおよび表面自由エネルギーが凍着抵抗力に関わっていることを明確化している。次に、材料の表面性状以外の性状が凍着強度に影響することに着眼し、屋内外での実験を行って、材料の熱特性が凍着性状に影響していることを実証し、各種材料における凍着性状に及ぼす熱特性の影響について実験的に検討している。その結果から、材料およびその厚さで異なる熱容量が凍着過程の水結速度を支配し、雪水体の凍着強度に大きく関わることを理論的説明を交えて明らかにしている。

第4章 屋根雪の滑落性状に及ぼす屋根表面の形状特性

本章では、屋根雪の滑落性状に及ぼす屋根表面の形状の影響について検討している。金属板屋根における各種葺工法を対象とした滑雪実験を行い、葺板接合部の差異が屋根雪の滑落速度に及ぼす影響を明確に示している。すなわち、屋根雪の滑落速度は、屋根面の傾斜方向に接合部がない工法よりも、傾斜方向にはこげや段継ぎがある工法の方が著しく速くなる傾向にあり、さらに、同一の葺工法においても、接合部のディテールや葺板サイズの違いによって滑落速度が変化することを示している。また、このように滑落速度が変化する要因として、屋根面に融雪水が生ずる湿潤状態の滑落においては、摩擦界面の融雪水によって生じる粘性抵抗力の特性が大きく関わることを指摘している。

第5章 屋根葺材の経年劣化後における滑雪特性

本章では、屋根葺材の滑雪性能の経年変化について検証している。はじめに、屋外で使用される各種材料における初期劣化後、すなわち紫外線あるいは汚染による劣化後の材料を対象とした雪水体の凍着実験を行い、劣化現象が及ぼす凍着性状への影響を明らかにしている。次に、積雪地域の勾配屋根で実際に使用されていた屋根用塗装鋼板における凍着性状および摩擦性状の経年変化を評価し、材料の損傷劣化過程における滑雪性能の変化特性を解明している。これらの塗装鋼板における凍着強度をみると、塗膜部のみが劣化した状態では、塗膜表面の樹脂分解が影響して、未使用状態よりも小さくなるが、塗膜剥離や発錆が生じている劣化状態の場合は、未使用状態よりも極めて大きくなる。一方、雪水体との動摩擦係数をみると、屋根葺材の経年過程において3区間に分けられる増加傾向を示す。すなわち、それらの動摩擦係数は5年経過頃まで急激に大きくなり、その後18年経過頃までは顕著な変化を示さないで推移し、さらに年数が経過すると再び増大するといった性能劣化曲線を示す。また、この様に経年変化する動摩擦係数は、材料の表面粗さ、光沢度、あるいは水滴の接触角を以て評価できることを述べている。

第6章 屋根葺材の表面劣化機構および摩擦損傷の経年変化

本章では、滑雪性能の経年変化を支配する材料表面の劣化機構を明らかにし、その劣化機構に基づく材料の摩擦損傷の経年変化を推定する手法について検討している。はじめに前章で用いた劣化過程の塗装鋼板における塗膜の厚さや表面粗さを調べ、屋根雪が滑落し易い急勾配屋根における塗装鋼板の塗膜は、屋根雪の滑落による表面摩耗を受けることを明らかにし、そのような材料の耐久寿命は滑雪による摩擦損傷に支配されることを指摘している。さらに、滑雪による摩擦損傷の促進実験を行い、摩擦損傷量は屋根雪の滑落回数および屋根長さに比例し、滑雪時における摩擦界面の砂塵量、積雪荷重および滑雪速度の影響を受けることを定量的に実証している。次に、屋根雪の落雪観測実験から定めた落雪時の気象条件を過去の気象データに照合して、積雪深別の年間落雪回数を算出し、この落雪回数を用いて摩擦損傷量の経年変化を推定する手法を提案している。また、この推定結果と実際に使用されていた塗装鋼板の実測値を比較し、勾配屋根に用いる屋根葺材の劣化機構を考察し、その劣化は、夏場に多い紫外線による化学的樹脂分解と降雪期の屋根雪滑落による機械的樹脂分解とが複合作用していることを述べている。

第7章 勾配屋根の材料設計および維持保全

本章では、前章までに得られた知見を基に、規則的な滑落処理を恒久的に維持することを考えた勾配屋根の材料設計および維持保全の手法に関して考察している。すなわち、材料の基本的な滑雪性能の評価法、経年劣化などの外的要因を考慮した滑雪性能の評価法、および材料に要求する性能水準の決定手法について示している。屋根雪を滑落処理する屋根に用いる屋根葺材に要求される材料性能の一つに、屋根雪との凍着および摩擦に関わる滑雪性能を位置付け、その滑雪性能に関わる外的要因として屋根雪の滑落現象が及ぼす劣化外力を考慮する必要があることを述べている。また、塗装鋼板のように表層材が滑雪性能を支配する材料の場合は、表層材の消失は屋根雪の滑落による摩擦損傷劣化に支配されるので、この摩擦損傷量を適切に推定することによって、材料の滑雪性能の耐久寿命が推定できることを指摘している。さらに、耐久寿命の推定に対し、過去の気象データから求めた屋根雪の年間滑落回数が有効なパラメータになることを提案している。次に、屋根葺材の滑雪性能の経年劣化曲線を基にした材料性能の定義および維持の考え方を示し、その手法に対応した材料設計および維持保全を計画することが、本質的な材料性能を考慮した有効な手法となることを提言している。

第8章 結 論

本章では、積雪地域の勾配屋根に用いる屋根葺材の滑雪性能の評価法および経年劣化特性、さらにそれらを基にした材料設計および維持保全の手法に関し、前章までに得られた知見を総括している。

審査結果の要旨

屋根上積雪は人身雪害の要因になると共に、建築物に多大な荷重外力を及ぼすことから、その雪を適切に処理することは積雪地域における重要な課題となる。その一つの手法となる自然滑落処理を規則的に行うには、滑落現象を制御する必要がある、そのためには滑落抵抗力を適切に評価しなければならない。この場合、屋根葺材の初期状態における滑雪性能を対象にすることは勿論であるが、その性能の経年劣化、並びに材料の劣化機構も併せて評価する必要がある。

本論文は屋根上積雪の規則的な滑落処理を長期的に維持することに対する材料学的な知見、すなわち屋根葺材の経年劣化機構に対応した滑雪性能の評価および推定の手法に関して論じている。さらに、それらの知見を基に、屋根上積雪を滑落処理する屋根に適用できる材料設計および維持保全の手法について提案している。本論文は全編8章からなる。

第1章は序論であり、本研究の背景および目的について述べている。

第2章では、屋根上積雪荷重の低減、および屋根上積雪に起因する人身雪害の防止を目的とした滑落処理に求められる材料学的な視点を整理し、規則的な滑落現象を制御する場合に要求される材料性能について論じている。

第3章では、屋根上積雪を滑落させる際に最も大きな抵抗力として作用する凍着抵抗力の発現過程、およびそれに対応する凍着強度と材料の表面粗さ及び表面自由エネルギーとの関係を明らかにしている。さらに、材料の熱容量が及ぼす凍着性状への影響を検討している。

第4章では、屋根雪の滑落性状に及ぼす屋根表面の形状の影響について論じ、金属板屋根の各種葺工法における滑雪速度の変化特性、およびその要因を明確化している。

第5章では、屋根葺材の滑雪性能の経年変化を検証している。すなわち、各種材料が紫外線あるいは汚染によって初期劣化した場合の凍着性状の変化を明らかにし、実際に使用されていた屋根用塗装鋼板における凍着性状および摩擦性状の経年変化を検証している。さらに、その結果を踏まえて、滑雪性能の経年劣化曲線を導いている。

第6章では、滑雪性能の経年変化を支配する材料表面の劣化機構を明らかにした上で、材料の摩擦損傷の経年変化を推定する手法を提案している。勾配屋根に用いる材料の耐久寿命は、滑雪による摩擦損傷に支配されることを指摘している。そして、摩擦損傷に対する諸要因の影響を実験的に明らかにし、得られた推定式に積雪深別の年間落雪回数を代入することによって、摩擦損傷量を経過年数の関数として推定できることを提案している。

第7章では、前章までに得られた知見を基に、規則的な滑落処理を長期的に維持することを考えた勾配屋根の材料設計および維持保全の手法に関して考察している。すなわち、材料の基本的な滑雪性能の評価方法、劣化外力などの外的要因を考慮した滑雪性能の評価方法、および材料に要求する滑雪性能水準の設定方法を示し、滑雪性能の経年劣化曲線を基にした材料性能の定義および維持の考え方を論じている。

第8章は結論であり、本研究で得られた知見を総括して述べている。

以上要するに本論文は、屋根葺材の長期的な滑雪性能を評価する手法を提案し、積雪地域の勾配屋根に適用できる材料設計および維持保全に対する知見を示したものであり、建築工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。