

研究助成実施報告書

助成実施年度	2019 年度
研究課題（タイトル）	強風災害時における金属屋根葺き材の飛散風速推定法の開発
研究者名※	今野 大輔
所属組織※	八戸工業高等専門学校 産業システム工学科 助教
研究種別	研究助成
研究分野	建築技術
助成金額	108 万円
発表論文等	

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

() は、報告書提出時所属先。

大林財団 2019 年度研究助成実施報告書

所属機関名

八戸工業高等専門学校

申請者氏名

今野 大輔

研究課題	強風災害時における金属屋根葺き材の飛散風速推定法の開発
<p>(概要) ※最大 10 行まで</p> <p>本研究では、強風災害時に顕著な被害を受ける金属屋根を有する木造住宅の屋根部を対象として、破損被害の進行の過程・メカニズムを実物大実験により明らかにし、既存の建物が持つ屋根部の耐風性能、飛散風速、破損リスクを評価する仕組みの開発を目的としている。リスク評価検討対象とする部位は、屋根-壁接合部および屋根葺き材である。屋根部を対象として、屋根葺き材の種類、屋根勾配、屋根部材構成や、築年数、建物配置条件といった個々の建物条件をパラメータとし、強風災害リスク評価を行う。なお、リスク評価に用いる部材耐力は、屋根-壁接合部の耐力試験、動的荷重効果を考慮した実物大実験結果に基づき評価する。建物の部材構成や配置に応じて個別のリスク評価(耐風診断)を行い、防災・減災対策の構築に繋がると期待できる。</p>	

1. 研究の目的	(注) 必要なページ数をご使用ください。
<p>本研究の目的は、木造住宅の屋根部に取り付く「金属屋根葺き材」を対象として、「金属屋根の強風による破損メカニズムの解明」を行い、「強風災害時における飛散風速の推定法を開発」することである。千葉県を襲った 2019 年台風 15 号による甚大な建物被害が記憶に新しいが、そのような強風災害が近年では頻発しており、特に屋根葺き材の破損が多く発生している。屋根葺き材が剥離・破損した場合には、単体としての被害は小さくとも、飛散物として他の建物にも影響を与えるために、周囲への被害が連鎖的に生じ、被害のエリアが広く、社会的インパクトは非常に大きい。そのような被害を低減させるためには、屋根部材の耐力情報を明確する必要があるが、我が国の木造住宅における屋根部の耐力情報は非常に乏しいほか、僅かに存在する耐力情報においても、風の作用を議論する上で最も重要な「動的荷重効果」が考慮されておらず、実現象に即した破損メカニズムも明らかになっていない。さらに、現存する建物は長い築年数が経過することによる劣化が生じているものと考えられるが、どれくらいの風速まで耐えることが出来るのかといった情報の信頼性が乏しく、屋根ふき材の耐風性能の向上や、修繕の為の意思決定の判断材料が欠ける要因となっている。そこで本研究では、実変動風圧載荷装置を用い、金属屋根葺き材を対象として実変動風圧を作用させる実物大耐力試験を行うことより、動的荷重効果を考慮した金属屋根の破損メカニズムの解明を目指す。本装置は時々刻々と変動する実変動風圧を高い追従性を持って載荷することが可能な日本で唯一の装置であり、屋根葺き材を対象とした実変動風圧載荷実験は日本で初めての試みであることから、独自性の高い実験結果が得られ、我が国における強風による建物被害の低減に資することが出来ると考えられる。また、筆者らが取り組ん</p>	

できた、外装材を対象とした「破壊風圧推定数値シミュレーション手法」および「木造住宅の強風被害予測モデル」を応用し、強風時の屋根飛散風速の推定手法の開発を行うことで、実際の強風が作用した際の現象を考慮した金属屋根葺き材、小屋組接合部の破損・飛散風速を示し、住民に対してより信頼性に富んだリスク情報の提供の可能となると考えられる。

2. 研究の経過

(注) 必要なページ数をご使用ください。

本研究は、以下のように計画した。

- (1) 「文献調査・フィールド調査」による建物の屋根構成の調査および対象モデルの決定
- (2) 「実物大耐力試験」による金属屋根の耐力評価および破損メカニズムの解明
- (3) 「要素試験」に基づく、金属屋根の破壊起点の耐力評価
- (4) 「有限要素解析」に基づく、金属屋根に作用する応力解析
- (5) 「数値シミュレーション」に基づく金属屋根、小屋組接合部の破損・飛散風速推定手法の開発

(1) 「文献調査・フィールド調査」による建物の屋根構成の調査および対象モデルの決定

文献調査・フィールド調査においては、屋根部に作用する風圧に影響及ぼすとされる、建物の配置および各建物の屋根構成(形状、勾配)について調査を計画した。特に、金属屋根が多く用いられるのは積雪寒冷地である為、本研究では、青森県を対象として、青森県内の各地域における建物の配置の傾向、及び屋根構成の調査を行い、青森県における一般的な建物環境の抽出を試み、対象となる屋根葺きモデルを決定する。

研究の経過として、まず既往文献調査により、積雪寒冷地における木造住宅の屋根勾配の傾向を把握し、軒の出等のパラメータ整理を行った。今後は対象地域を決定し、フィールド調査を行い、青森県における屋根形状のフィールド調査を実施予定である。

(2) 「実物大耐力試験」による金属屋根の耐力評価および破損メカニズムの解明

実物大耐力試験においては、木造住宅の屋根構成部材を再現したアセンブリ試験体(図1)を作成し、実変動風圧を用いて実物大耐力試験を計画した。入力荷重としては、風洞実験において得られた屋根部に作用する風圧係数時刻歴(動的荷重)と、動的効果の影響把握のための対照実験として静的荷重(定荷重、漸増荷重)の載荷を行い、破損メカニズムの解明および動的荷重効果の検討を目的としている。本実験に関しては、東北大学所有の実変動風圧載荷装置(図2)の利用を予定していたが、現地での実験実施予定が変更となったため、装置を借用して現在筆者の所属機関における実験環境の整備を進めており、今後金属屋根ふき材を対象とした実物大動風圧試験を進める予定である。



図1 アセンブリ試験体例
(試作品)



図2 実変動風圧載荷装置
(東北大学)

(3) 「要素試験」に基づく、金属屋根の破壊起点の耐力評価

「実物大耐力試験」によって得られた破損メカニズムに基づき、初めに破壊が生じる「破壊起点」を抽出し、その部位における「要素試験」を実施する。要素試験を実施する目的としては、各種破壊モードにおける耐力サンプルを多く取得することである。「実物大耐力試験」は規模の大きさから限られたサンプル数(6体程度)による実施を予定している。その場合、破壊メカニズムの特定は可能としても、破壊風圧の値の統計的な信頼性には乏しい。そこで、実物大耐力試験により得られた破壊起点に着目した、小規模に実施可能な要素試験を実施することで、各種破壊モードにおける耐力を多くのサンプル数で評価する。

本章の経過については、前述の実物大動風圧試験の実施が変更となったため、実験準備と、筆者所属機関で実施可能な金属屋根接合部の疲労試験を計画し準備を進めた。

(4) 「有限要素解析」に基づく、金属屋根に作用する応力解析

「実物大耐力試験」および「要素試験」で用いた試験体の有限要素モデルを構築し、応力解析を行う。有限要素解析の目的は、実験で対象としたモデルとは異なる形状、金属屋根葺き方に対する応力解析である。実験時の形状、屋根葺き方のデータのみでは、飛散風速推定法の汎用性に乏しい。そこで第一に、有限要素解析により実物大耐力要素及び要素試験のモデルを作成し、載荷した荷重と測定した変位から解析モデルの妥当性を検証する。続いて第二に、実験で対象としたモデルとは異なる形状、金属屋根葺き方に対するモデルに展開し、各種モデルにおける荷重(風圧力)―応力関係のデータを取得し、数値シミュレーションの入力データとして用いることで、屋根葺き材の飛散風速推定法の汎用性拡大を行う。

本章の経過については、解析環境を構築し、簡単なモデルの作成を行った。今後、実物大動風圧試験、要素試験、金属疲労試験を実施した後に、それらの結果を基に解析モデルを構築し、様々なパターンにおける応力解析を行い、数値シミュレーションの入力データの拡充を行う。

(5) 「数値シミュレーション」に基づく金属屋根、小屋組接合部の破損・飛散風速推定手法の開発

数値シミュレーションは、「強風災害時の風速データ(気象データベースの風速情報を利用)」、「風洞実験(既往研究)により得られた屋根面に作用する風圧係数分布」、「実物大耐力試験(既往研究)により得られた小屋組接合部の耐力」「実物大動風圧試験により得られた屋根葺き材の破壊風圧」、「要素試験により得られた各破壊モードの耐力情報」、「有限要素解析による様々な屋根形状における荷重―応力関係の情報」に基づき、対象とする建物の条件(建物規模、配置、屋根形状)別の金属屋根葺き材の飛散風速の推定を行うプログラムを開発する。

本研究では、筆者らが過去に実施した、風洞実験結果、および小屋組接合部を対象とした実物大耐力試験により得られた小屋組接合部の耐力を用いて、軒の出のある金属屋根木造住宅の小屋組接合部の破損リスクシミュレーションを行い、対象とした住宅モデルに対する風速・風向毎の屋根部破損評価を実施した。本報告書においては、本章の結果の一部を中心に成果報告する。

3. 研究の成果

(注) 必要なページ数をご使用ください。

本研究では強風災害時に特に被害の多い屋根の垂木・軒桁接合部に着目し、建物条件や破壊シナリオを考慮したリスク評価を、接合部の耐力情報と風洞実験に基づく外力情報を用いて、数値シミュレーションに基づいて行った。

(数値シミュレーションの流れ)

数値シミュレーションのフローを図3に示す。まず、築年数や周辺状況、場所などの建物情報から風速や風向を決定する。これらの風情報は生成した変動風速データやアメダス等の一般公開データを参考にする。データをもとに各屋根面に作用する風圧を算出する。本研究では、筆者が過去に実施した、軒の出を有する切妻屋根住宅を対象として行った風洞実験データを用いる。次に小屋組に作用する風力の算出を行う。ここでは、筆者が過去に実施した垂木-軒桁接合部の耐力試験データを用いる。最終的に作用する風圧と屋根接合部の耐力を比較し、小屋組の破壊の判定および脆弱性曲線の作成を行った。

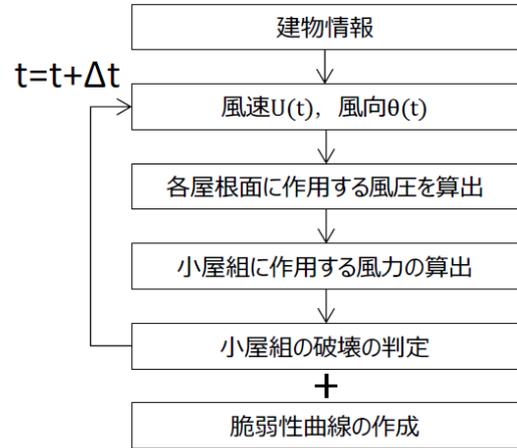
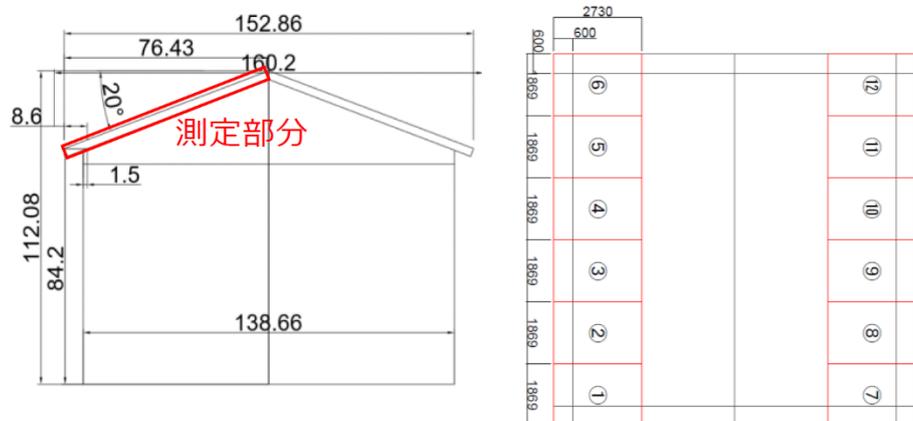


図3 数値シミュレーションフロー

(解析対象)

本研究で解析対象とする建物寸法を図4に示す。本研究では、建物寸法幅10m×奥行10m×軒高6.99mで20°の屋根勾配と0.6mの軒の出を持つ切妻屋根建物を解析対象としている。また本研究では垂木・軒桁接合部を対象としているが、実際の屋根には垂木の上に野地板が張られているため、図4(b)のように野地板に相当するエリアをplate1からplate12の12エリアに分割し、風荷重に対して各野地板が破壊した確率で判定を行う。数値シミュレーションで使用する風速データは、平均風速10m/s, 15m/s, 20m/s, 25m/s, 30m/s, 35m/s, 40m/s, 45m/s, 50m/sの変動風速を生成したものを用い、風向は風速データ毎に単一で、平側を0°とし、345°まで15°ピッチとした。垂木・軒桁接合部の耐力データは、図5のように、「釘両面打ちのみ」、「ひねり金物・釘両面打ち併用」、「ひねり金物のみ」の3種類の接合方法を対象とした垂木-軒桁接合部の破壊実験データを用いること

ことで、接合方法の違いによる破壊確率の違いを検討する。接合部耐力は対数正規分布に従うとして、数値シミュレーションはモンテカルロシミュレーションにより各パターン1000回ずつ行った。



(a)建物寸法

(b)plate (野地板) 番号

図4 対象建物モデル(※aは風洞実験モデルサイズ(縮尺1/70))



(a)釘両面打ちのみ



(b)ひねり金物+釘両面打ち



(c)ひねり金物のみ

図5 垂木-軒桁接合部の実験モデル

(解析結果例)

図4に示す建物モデルを対象とした結果例を図6, 図7に示す。図6は風向 0° (図4の建物の平側), 図7は風向 45° における, 屋根全体に対する, 屋根端部に配置された野地板の破壊確率を示したグラフである(野地板1枚=垂木-軒桁接合部5本分)。グラフより, 釘両面打ちのみの接合方法では, ひねり金物を用いた場合よりも小さい風速で破壊確率が非常に高くなることが分かる。これらの解析結果から, ひねり金物を用いた場合がひねり金物を用いない場合よりも破壊確率が小さく, 釘・金物併用が破壊確率を低減する上で効果的であることが明らかとなった。

また, 風向 0° と風向 45° を比較すると, 風向 45° の方が小さい風速で破壊に至っている。これは, 風向 45° の時には, 軒先-ケラバの端部(屋根隅角部)に強い負圧(吹き上げ力)が作用し, 端部の野地板(図4のplate6)に大きな荷重が作用して破壊しやすくなる為であると考えられる。

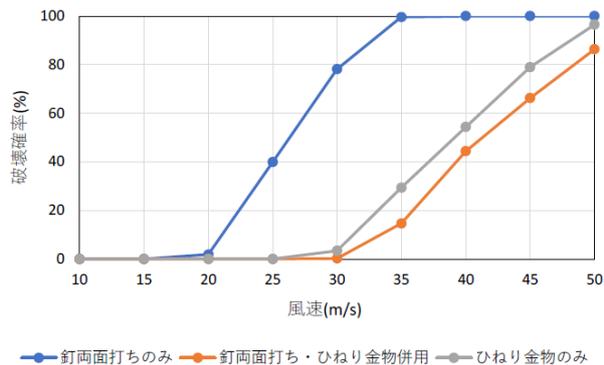


図6 屋根破壊確率-風速関係(風向 0°)

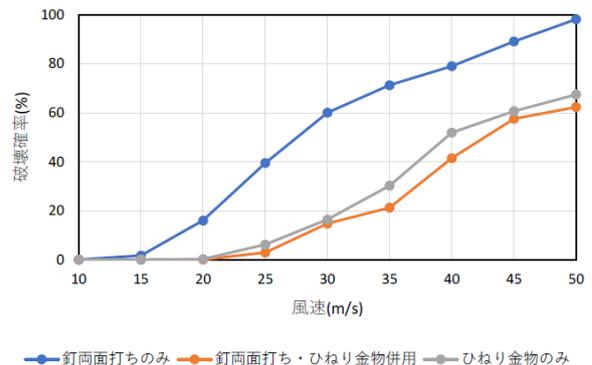


図7 屋根破壊確率-風速関係(風向 45°)

4. 今後の課題

(注) 必要なページ数をご使用ください。

本研究において, 垂木・軒桁接合部に対する数値シミュレーションを行ったことで, 本研究で目的としていた建物の風圧力に対する耐力と作用する外力を定量的に評価し, 強風災害リスクの評価手法を提案することは達成されたと考えられる。一方で, 一部計画変更により, 実物大動風圧試験, 要素試験, 有限要素解析等の耐力データの拡充を進めることが出来なかった為, 今後は実験の準備を進め, これらの耐力データの拡充, および金属屋根ふき材の破壊メカニズムの解明を進める。また, 本研究で行った数値シミュレーションの精度の向上と様々な屋根形状や開口部の有無, 周辺環境などに対応するシミュレーションの作成が必要であると考えられる。また, 本研究で提案した強風災害のリスク評価法を応用することで, 適切な修繕方法の提案およびコスト管理が容易になり, 強風による建物被害の低減につながることを期待できる。