

【2-7】

豪雪で被害を受けた木造建物の被害発生に関する考察

A STUDY ON THE COLLAPSE OF A DAMAGED TIMBER HOUSE UNDER HEAVEY SNOW

西村 督*¹, 後藤正美², 池本敏和³

Toku NISHIMURA, Masami GOTO and Toshikazu IKEMOTO

本報告では、平成 18 年豪雪で被害を受けた木造建物を対象とし、軸組各部の応力分布を数値解析的に調査し、被害の原因を考察した。その結果、母屋の曲げ破壊により小屋組が面外方向に倒れ、垂木や棟木の連鎖的破壊を引き起こし、最終的に屋根が崩落したと考えられる。また小屋組を支持する主架構が面内に座屈し、母屋の破壊を促したと推察される。

Keywords timber house, heavy snow, collapse

木造家屋, 豪雪, 倒壊

1. はじめに

近年の大雪として平成 17 年 12 月から平成 18 年 2 月にかけての大雪を、気象庁では“平成 18 年豪雪”と名づけており、この豪雪による木造建物の被害が発生している。

新潟県の山間部では積雪深が 4m を越え、約 190 世帯が孤立するまでに至った。石川県内では、木造建物の全壊被害が報告されている¹⁾。この被害のあった地域は、例年積雪深 100cm を超える地域であり、被害の家屋は伝統的木造建物で一部増築がなされていた。多雪地域の建物であることから、重い雪に耐えられるように主架構に太い部材を用いていると思われるが、写真 1 に見られる被害家屋は中央の小屋組みが崩落していた。全壊被害がある一方で、同じ地域なのにも関わらず写真 2 に見られる軒部の折損という被害の場合もあり、積雪被害と言っても被害状況が一様でないことがわかる。

架構の耐力が十分高いことを前提とするならば、積雪による建物被害は、軒先に生じると考えられる。鈴木、後藤らは軒部の折損を防止するために、加賀市域の木造家屋の被害調



写真1 屋根の崩落



写真2 軒の折損

査、小屋組の応力解析を行い、木造建物の屋根雪下ろし時期判定法を提示している²⁾。更にその判定方法の妥当性を小屋組の載荷実験によって検証している³⁾。

鈴木らは提示した判定法は、あくまで軒先が先行して損傷し、主架構が倒壊に至らないことを前提としており、架構が積雪により倒壊する条件も縮小模型の載荷実験で検討している。実験では、4 つの水平構面で構成される一層架構の縦 270mm×横 270mm×高さ 295mm の縮小模型を用い、鉛直載荷実験を行っている。実験結果から、架構全体が回転する座

*1 金沢工業大学 環境・建築学部 准教授・博士 (学術)

Associate Prof., College of Envir.Eng. and Archi., Kanazawa Institute of Tech., Ph.D.

*2 金沢工業大学 環境・建築学部 教授・博士 (工学)

Prof., College of Envir.Eng. and Archi., Kanazawa Institute of Tech., Dr. Eng.

*3 金沢大学 理工研究域環境デザイン学系 助教・博士 (工学)

Assistant Prof., School of Environmental Design, College of Science and Engineering, Kanazawa University, Dr. Eng.

屈、構面内筋かいの部材座屈、部材座屈して架構全体が回転する3つの崩壊モードが現れることが示されている⁴⁾。しかし、各座屈が生じる条件を明確に示されていない。池本らは、写真1に示す建物被害の原因を解明するために個別要素法を用いて主架構の数値解析を行っている⁵⁾。柱-梁接合部強度のパラメータスタディーを行い、架構がスパン中央方向に沈む崩壊パターンと梁間方向に sway して崩壊する二通りの崩壊パターンが現れることを示している。被害状況は、梁間方向に sway する崩壊パターンに似ていると述べられている。

木造建物が積雪の影響で、修復可能な被害に止まるか致命的な被害に至るかは、架構全体の応力分布と強度によって決まる。本報告では、豪雪による木造建物の倒壊を防止するための耐雪設計を提示することを目標に、その第一段階として積雪で被害を受けた建物の応力分布を数値解析的に調査し、被害の原因を考察する。

2. 木造軸組建物の応力分布と積雪被害に関する考察

平成18年豪雪で倒壊した木造住宅の応力解析を行い、解析結果と被害状況とを比較し、木造軸組建物が倒壊に至るまでの原因を考察する。

2.1 被害時の降雪状況と積雪荷重の推定¹⁾

白山市吉野谷での積雪・降雨状況を図1に示す。12月14日に積雪深が100cmを超え、1月3日まで積雪深は約110cmを保ち、ほぼ毎日10~20mmの降雨があった。この降雨で積雪

はザラメ状の氷のように重くなり、見かけ以上の荷重が屋根に作用したと考えられる。

白山市の住宅被害は1月5日の午後7時ごろに発生した。写真1に示すように住家の棟木が折損しており、1階居間の上部にあたる小屋組が崩落した。このとき最も近い観測点(吉野谷)での積雪量は158cmであった。倒壊後の調査から積雪の密度は、上層部においては32.4 N/m²・cm、中層部は43.2 N/m²・cm、下層部は46.1 N/m²・cmであり、5786 N/m²の荷重が屋根に作用していたことになる。

2.2 全体架構と荷重のモデル化⁶⁾

図2に建物平面図を示す。ハッチングした範囲が倒壊した箇所である。図2の平面図や当時の写真などから得られる情報を基に、汎用解析ソフト Midas/Gen を用いてモデル化を行った。Midas/Gen は MIDAS IT 社で開発された汎用構造解析プログラムと建築構造物を対象とした最適設計ツールを統合した設計用構造解析プログラムである。全体の軸組架構を図3に示す。各部材断面、階高や柱寸法は一般的な木造住宅で用いられているものを参考に設定した。柱断面120mm×120mm、梁断面150mm×120mm、小屋組材・母屋断面100mm×100mm、垂木断面80mm×50mm、野地板を厚さ9mmとした。図2に示される倒壊範囲に接している太い柱は200mm×200mmとする。軒出水平長さは軒先90cmから82cmとした。木材はヒノキを使用し、ヤング係数は8826 N/mm²である。梁間方向を

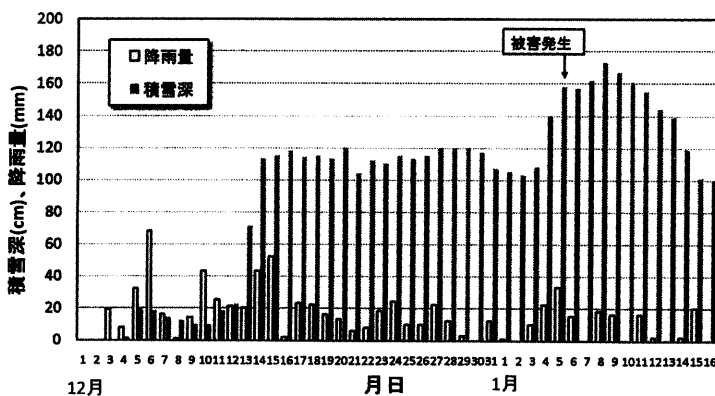


図1 積雪・降雨状況

(H18年12月~H19年1月 白山市吉野谷)

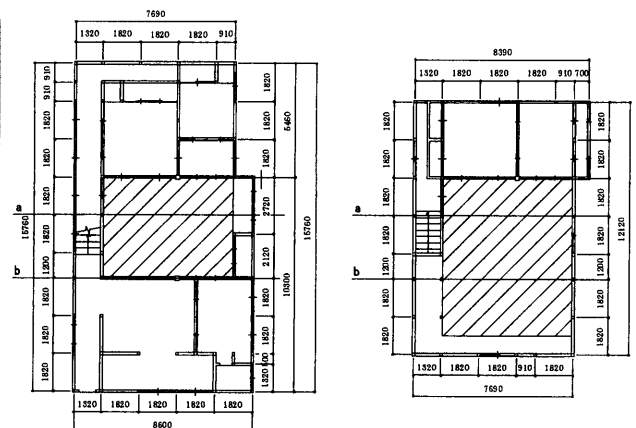


図2 平面図(X-Y平面)

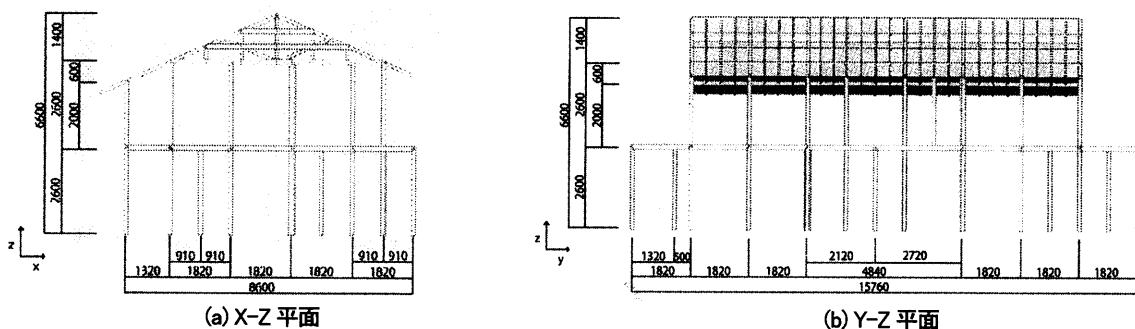


図3 木造建物の軸組

X 方向、桁行方向を Y 方向、鉛直上向きを Z 方向とする。各接合部はすべて剛接合とし、1 階柱脚を固定支持に設定した。

屋根一面に野地板をはり、そこに単位面積当たりの荷重を全体座標系 Z 軸の負の方向にかける。荷重は調査により得られた当時の状況を再現するため、 5786N/m^2 とした。

2.3 解析結果

垂直応力の分布図を図 4 に示す。屋根面に関して、Y 軸方向に最も長いスパンである図 2 の a-b 間の母屋に集中して応力が生じている。図 5 は、応力の大きい a-b 間の応力図を拡大した図である。母屋スパン中央の応力は圧縮 16.4N/mm^2 、母屋両端の小屋組部との接合部には、左端に引張応力 22.6N/mm^2 、右端に引張応力 21.6N/mm^2 が生じている。さらにその母屋上の垂木と棟木との接合部にも圧縮応力 19.8N/mm^2 が生じている。これらの応力はヒノキの短期許容曲げ応力度を超えている。この範囲は、実際に倒壊した範囲にあたる。図 6, 7 に小屋組と全体架構の変形図を示す。より視覚的に変化が分かりやすいように変位を約 15 倍にして表わしている。a-b 間の母屋と垂木が他の部材に比べて大きく変化していることがわかる。

図 8 より、主架構である大黒柱の柱頭に圧縮応力 15N/mm^2 生じている。大黒柱の座屈応力を推定する。図 3(a)の軸組図か

ら、柱の座屈長さを階高 2.6m の 1.5 倍とすると

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{Al_k^2} = \frac{3.14^2 \times 8826 \times 200^4 / 12}{200^2 \times (1.5 \times 2600)^2} = 19\text{N/mm}^2 \quad (1)$$

解析値は(1)式の座屈応力に近い値を示している。また、2 階柱頭と小屋束間の梁に、引張応力 (21.2N/mm^2) が生じている。写真 1 の大黒柱と小屋束を含む構面には、大きな応力が生じ、面内方向に不安定になる可能性がある。

2.4 建物被害原因の考察

解析結果から、木造軸組建物が被害を受けた原因に関して考察する。

解析では図 5 中の a-b 間の母屋に大きな応力が生じており、これが屋根崩落の原因の一つと考える。図 9(a)に示すように、まず母屋に大きな曲げ応力度が生じ、端部にて曲げ破壊する。そうすると母屋は 1 スパンの両端に接する小屋組の横補剛としての役割を果たしているため、図 9(b)のように小屋組が面外方向に対して支持力を失い桁方向に倒れる。また同時に、垂木と棟木に応力が再配分されるため、母屋が折れることで垂木の支持点間が長くなる。そうすると、図 9(c)に示すように屋根面の荷重を垂木と棟木だけで支持することとなり、過大な曲げ応力、せん断応力により垂木と棟木が破壊する。最終的には、図 9(d)に示す屋根の崩落へと至る。

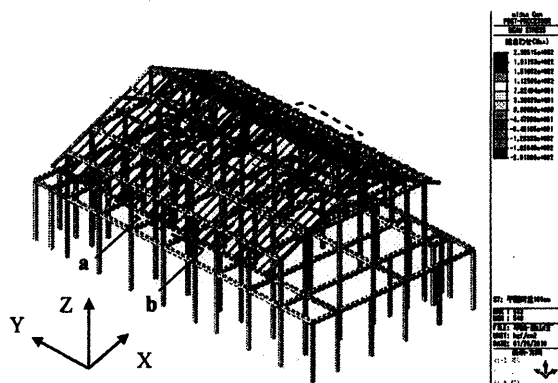


図 4 垂直応力分布

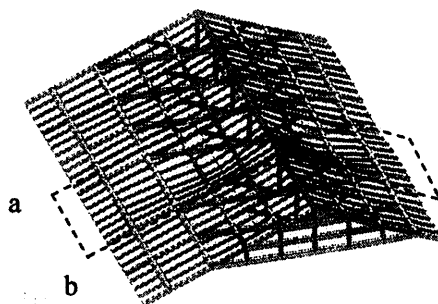


図 6 小屋組の変形

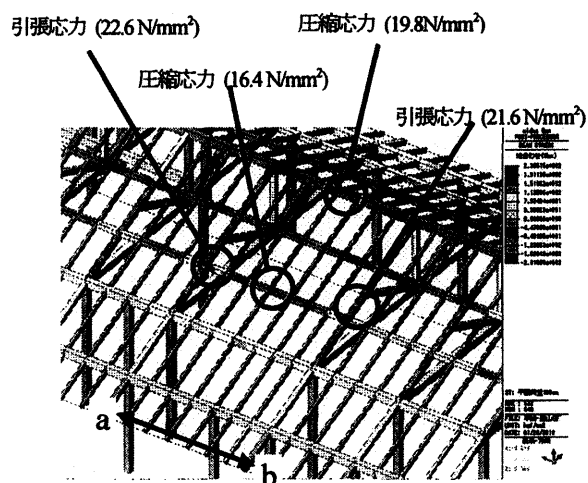


図 5 a-b 間拡大図

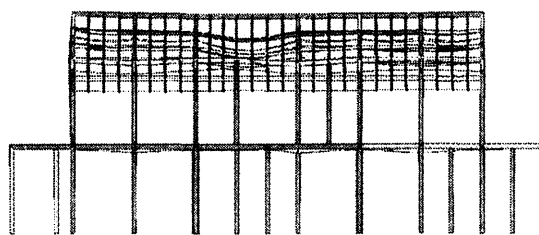


図 7 全体架構の変形図 (Y-Z 方面)

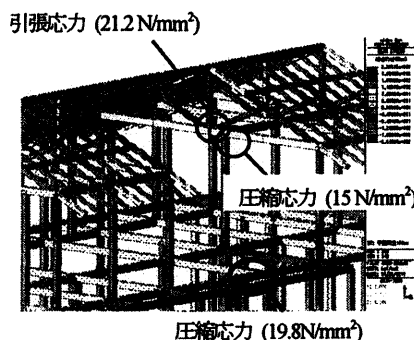


図 8 二階柱-梁接合部の垂直応力

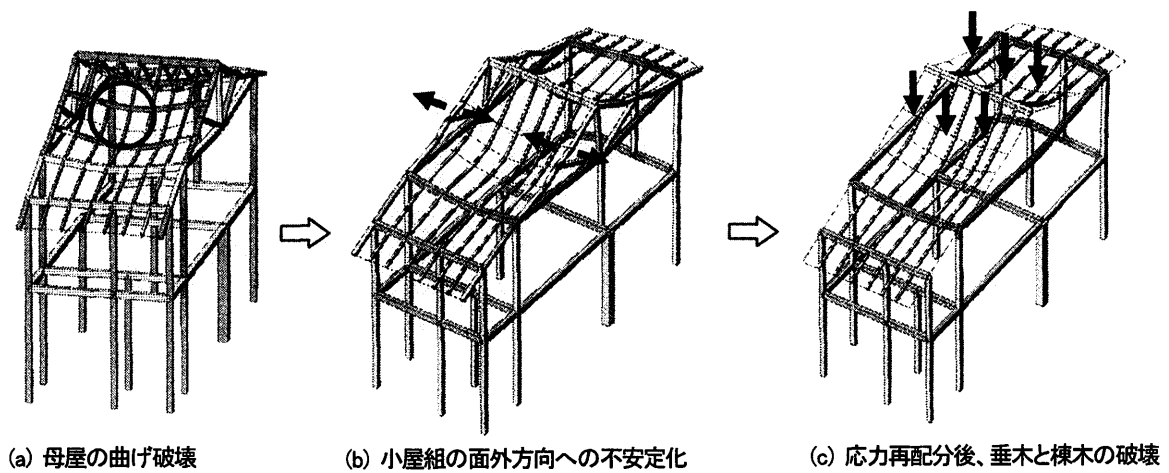


図9 屋根崩落の過程

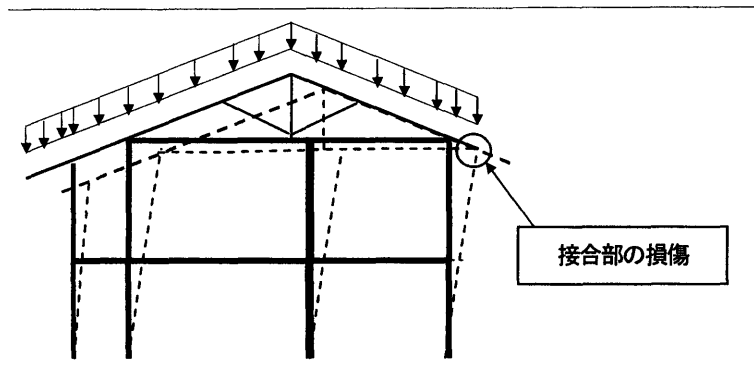
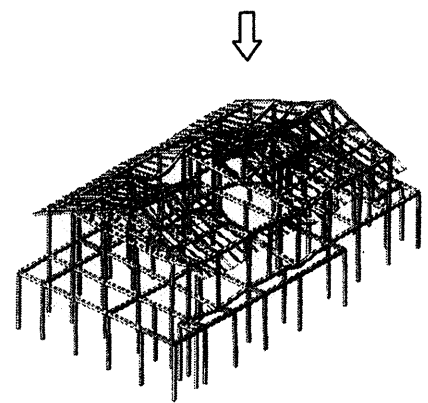


図10 主架構の面内座屈



(d) 屋根の崩落

一方、(1)式で示すように過大な鉛直荷重により、図10に示す大黒柱を含み小屋組を支えている主架構が面内座屈を起こし、架構が sway したと考えられる。この座屈は、母屋に二次的応力を付加し、前述した母屋の破壊を助長した可能性がある。写真1に、二階柱が面内方向に倒れた形跡が見られる。また、二階柱頭一梁との接合部に大きな損傷も確認されており、座屈後の水平移動が原因と推察される。文献5)では、接合部の損傷が屋根崩落を誘発した可能性を指摘している。

以上の小屋組の面外および主架構の面内不安定挙動により、木造家屋の屋根崩落に至ったと考えられる。

3. 結語

本報告では、平成18年豪雪によって被害を受けた木造建物を対象に応力解析を行い、部材の応力分布を調査した。その結果、以下の事項を確認した。

- [1] 被害のあった地域から最も近い吉野谷での積雪深は158cmであった。被害地域の積雪密度から屋根面には5786 N/m²の荷重が屋根に作用していたと考えられる。
- [2] 解析結果から、屋根が落ちた箇所の小屋組間をつなぐ母屋端部および中央の垂直応力が大きく、材料の許容応力を超えている。
- [3] 崩落した屋根面を支持していた主架構内の大黒柱の垂直応力は、推定される座屈応力に近い値を示している。

以上の解析結果から、被害の原因を考察すると

- [4] 母屋の曲げ破壊により小屋組が面外方向に倒れ、垂木や棟木の連鎖的破壊を引き起こし、最終的に屋根が崩落したと考えられる。
- [5] 小屋組を支持する主架構が面内に座屈し、母屋の破壊を促したと推察される。

謝辞

本報告で示した解析と図の作成に関して、金沢工業大学建築学科卒業生 山木智博、山岸徹唯 両氏の協力を得ました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1)池本敏和、北浦勝、宮島昌克：石川県の被害、金沢大学、pp.1-3, 2006.
- 2)鈴木有、後藤正美、東義則、西村督：在来構法木造建物の屋根雪下ろし時期の判定基準—(その1)～(その3)、日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)、pp.1347-1352, 1987.10
- 3)鈴木有、後藤正美、東義則：在来構法木造建物の屋根雪下ろし時期の判定基準—(その4) 軒部実大模型の荷重実験による検討—、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、pp.61-62, 1988.10
- 4)秦正徳、鈴木有、後藤正美、石川浩一郎、石井隆史、前田博司、天野正治：鉛直荷重を受ける木造立体架構の不安定挙動に関する研究(その1. 模型実験による最大耐力と崩壊モードの検討)、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)、pp.82-83, 1998.9
- 5)池本敏和、北浦勝、宮島昌克、村田晶、金子愛：2005年豪雪時における二階建て建物の倒壊挙動、雪氷研究大会誌要旨集、p.227, 2008.9
- 6)山木智博、山岸徹唯：積雪荷重を受ける木造建物の応力分布と積雪被害の原因分析、金沢工業大学プロジェクトレポート、2010.2