

豪雪時の軒損傷対策に関する考察 Consideration Concerning Damage of Eaves at Heavy Snow

伊東敏幸 (北海道工業大学), 苫米地司 (北海道工業大学)
ITO Toshiyuki, TOMABECHI Tsukasa

1. はじめに

2011 年度冬期の空知地区は記録的な豪雪であり、平年よりも低温であったことも作用して屋根雪の積雪量が多大となり、写真 1 に示すような屋根の軒部損傷が多く発生した¹⁾。この豪雪時における屋根雪の積雪状態を基に、軒部が損傷する要因を整理すると、屋根雪が地上積雪と連結した状態で地上積雪が沈降することによる損傷、緩勾配屋根のために屋根雪が滑落せずに軒部に大きな巻垂れを形成することによる損傷、あるいは巨大な雪庇が形成されることによる損傷が主な要因となっている。

本研究では、豪雪時においても軒部が損傷しないような屋根の構工法を検討することを目的とし、2011 年度冬期の屋根上積雪状態に対応した軒部材への荷重モデルを設定し、その荷重モデルを用いて部材応力を算定した。

2. 屋根上積雪状態の分類

豪雪時における屋根雪状態の調査結果¹⁾を基に、屋根雪が多量積雪する状態を分類すると、屋根形状と大きく関わって次の 5 種類となる。

- ①均等積雪の勾配屋根：弱風で多量降雪した後の状態であり、軒部やケラバ部に巻垂れや雪庇が形成されていないので、屋根面上の積雪荷重のみで応力算定できる。
- ②巻垂れのある緩勾配屋根：緩勾配および屋根材の劣化によって屋根雪が微速滑動することで軒部に巻垂れが形成される。巻垂れの荷重モデルの検討が必要である。
- ③雪庇のある屋根：M形屋根やフラット屋根あるいは勾配屋根のケラバ部に屋根上吹雪によって雪庇が形成される。雪庇の荷重モデルを検討する必要がある。
- ④氷板化積雪がせり出した屋根：緩勾配屋根において長期間の融解凍結作用によって氷板化した屋根雪が軒先にせり出す状態になると軒先に過大荷重が作用する。
- ⑤屋根雪が地上積雪と連結した屋根：1階屋根と地上積雪が連結した状態になると、融雪期の地上積雪沈降による荷重が軒先に作用する。

以上のような 5 種類の積雪状態に対応した積雪荷重の作用モデルを考慮して軒部材の応力算定を行うこととした。

3. 軒部材の応力算定の結果

軒部の積雪荷重を負担する野地タル木の木材強度は、表 1 のように規定されている。



写真 1 豪雪後における軒部損傷の事例

表1 構造用木材の強度

木材の強度 (国交省告示 1452 号より)、(曲げ強度は並列材の割増なしの値)						
えぞまつ、とどまつ	曲げ強度(N/mm ²)			せん断強度(N/mm ²)		
	長期許容	短期許容	材料強度	長期許容	短期許容	材料強度
JAS 甲種1級	12.5	22.8	34.2	0.66	1.2	1.8
JAS 甲種2級	10.3	18.8	28.2			
無等級	8.1	14.8	22.2			

表2 軒部材の応力算定結果 1

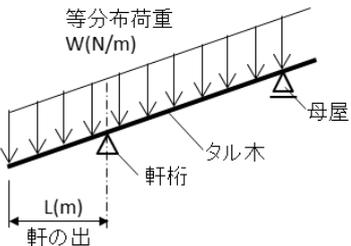
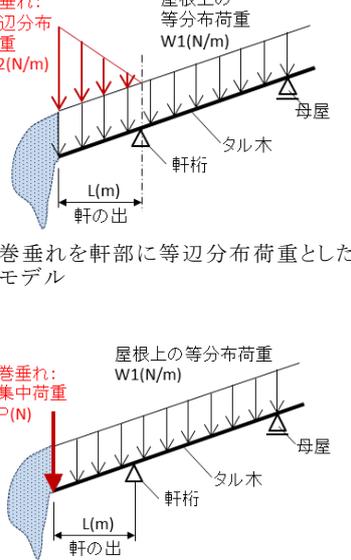
	積雪事例写真	荷重モデル	曲げ応力度・せん断応力度
均等積雪の勾配屋根		 <p>垂直積雪深 $S(m)$、雪密度 $D(kg/m^3)$ タル木間隔 $p(m)$ のとき、</p> <ol style="list-style-type: none"> 1)タル木 1 本に作用する等分布荷重: $W(N/m) = 9.8 \cdot D \cdot S \cdot p$ 2)タル木の最大曲げ応力(軒桁位置): $M(N \cdot m) = w \cdot L \cdot L/2$ 3)タル木の最大せん断応力(軒桁位置): $Q(N) = w \cdot L$ 	<ul style="list-style-type: none"> ●左上写真におけるタル木の応力度 <ul style="list-style-type: none"> ・積雪深 70 cm, 雪密度 300 kg/m³ ・軒の出 50 cm, タル木間隔 45 cm ・タル木断面 45×45 mm $w=926.1 N/m$ $M=115.8 N \cdot m$ →曲げ応力度 $\sigma=7.6 N/mm^2$ $Q=463.1 N$ →せん断応力度 $\tau=0.4 N/mm^2$ ●同条件で積雪深 1m のとき <ul style="list-style-type: none"> $M=165.4 N \cdot m$ →曲げ応力度 $\sigma=10.9 N/mm^2$ $Q=661.5 N$ →せん断応力度 $\tau=0.5 N/mm^2$ ●同条件で積雪深 1.5m のとき <ul style="list-style-type: none"> $M=248.1 N \cdot m$ →曲げ応力度 $\sigma=16.3 N/mm^2$ $Q=992.3 N$ →せん断応力度 $\tau=0.8 N/mm^2$
巻垂れがある緩勾配屋根		 <p>①巻垂れを軒部に等辺分布荷重としたモデル</p> <p>②巻垂れを軒先に集中荷重としたモデル</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●左上写真におけるタル木の応力度 <ul style="list-style-type: none"> ・積雪深 70 cm, 雪密度 300 kg/m³ ・巻垂れの桁方向断面積 1.2 m² ・軒の出 40 cm, タル木間隔 45 cm ・タル木断面 45×45 mm ①巻垂れを等辺分布荷重としたモデル <ul style="list-style-type: none"> $W1=926.1 N/m, W2=7938.1 N/m$ $M=497.4 N \cdot m$ →曲げ応力度 $\sigma=32.8 N/mm^2$ $Q=1958.0 N$ →せん断応力度 $\tau=1.5 N/mm^2$ ②巻垂れを集中荷重としたモデル <ul style="list-style-type: none"> $W1=926.1 N/m, W2=1587.6 N/m$ $M=709.1 N \cdot m$ →曲げ応力度 $\sigma=46.7 N/mm^2$ $Q=1958.0 N$ →せん断応力度 $\tau=1.5 N/mm^2$ ●左下写真におけるタル木の応力度 <ul style="list-style-type: none"> ・積雪深 60 cm, 雪密度 300 kg/m³ ・巻垂れの桁方向断面積 0.7 m² ・軒の出 45 cm, タル木間隔 45 cm ・タル木断面 45×45 mm ①巻垂れを等辺分布荷重としたモデル <ul style="list-style-type: none"> →曲げ応力度 $\sigma=23.6 N/mm^2$ →せん断応力度 $\tau=1.0 N/mm^2$ ②巻垂れを集中荷重としたモデル <ul style="list-style-type: none"> →曲げ応力度 $\sigma=32.8 N/mm^2$ →せん断応力度 $\tau=1.0 N/mm^2$

表3 軒部材の応力算定結果2

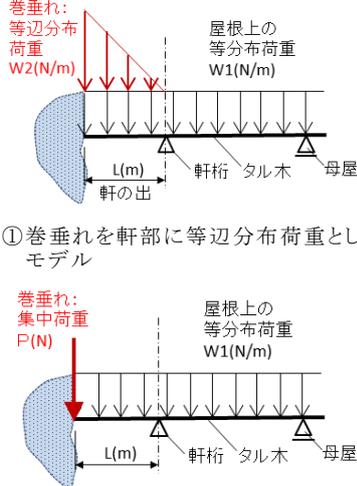
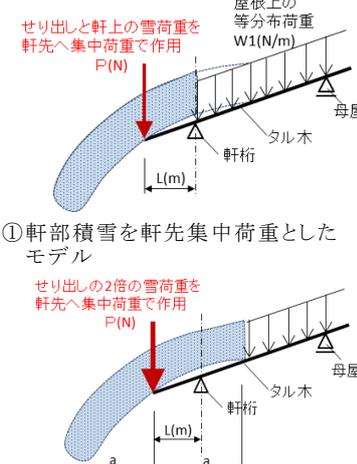
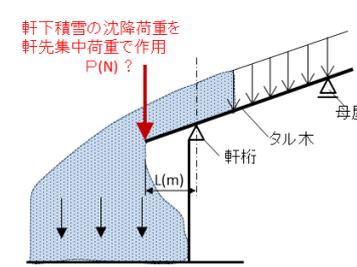
	積雪事例写真	荷重モデル	曲げ応力度・せん断応力度
雪庇のある屋根		 <p>① 巻垂れを軒部に等辺分布荷重としたモデル</p> <p>② 巻垂れを軒先に集中荷重としたモデル</p>	<p>● 左上写真におけるタル木の応力度</p> <ul style="list-style-type: none"> ・積雪深 60 cm, 雪密度 300 kg/m³ ・巻垂れの桁方向断面積 0.9 m² ・軒の出 50 cm, タル木間隔 45 cm ・タル木断面 45×45 mm <p>① 巻垂れを等辺分布荷重としたモデル → 曲げ応力度 $\sigma = 32.7 \text{ N/mm}^2$ → せん断応力度 $\tau = 1.2 \text{ N/mm}^2$</p> <p>② 巻垂れを集中荷重としたモデル → 曲げ応力度 $\sigma = 45.8 \text{ N/mm}^2$ → せん断応力度 $\tau = 1.2 \text{ N/mm}^2$</p> <p>● 左下写真におけるタル木の応力度</p> <ul style="list-style-type: none"> ・積雪深 80 cm, 雪密度 300 kg/m³ ・巻垂れの桁方向断面積 1.4 m² ・軒の出 30 cm, タル木間隔 45 cm ・タル木断面 45×45 mm <p>① 巻垂れを等辺分布荷重としたモデル → 曲げ応力度 $\sigma = 27.6 \text{ N/mm}^2$ → せん断応力度 $\tau = 1.7 \text{ N/mm}^2$</p> <p>② 巻垂れを集中荷重としたモデル → 曲げ応力度 $\sigma = 39.8 \text{ N/mm}^2$ → せん断応力度 $\tau = 1.7 \text{ N/mm}^2$</p>
	氷板化積雪がせり出した屋根	 <p>屋根面上に空洞あり</p> <p>軒が損傷した状態</p>	 <p>① 軒部積雪を軒先集中荷重としたモデル</p> <p>② せり出しの2倍を軒先集中荷重としたモデル</p>
地上積雪と連結した屋根雪		 <p>軒が損傷した状態</p>	 <p>軒下積雪の沈降荷重を軒先集中荷重で作用 P(N) ?</p>

表 4 積雪状態別にみた軒部材の曲げ応力度 σ の比較

均等積雪	巻垂れを伴う積雪	雪庇を伴う積雪	せり出しを伴う積雪
 <ul style="list-style-type: none"> ・積雪深 70 cm ・雪密度 300 kg/m³ ・軒の出 50 cm $\sigma = 7.6 \text{ N/mm}^2$ ・積雪深 1m ならば $\sigma = 10.9 \text{ N/mm}^2$ ・積雪深 1.5m ならば $\sigma = 16.3 \text{ N/mm}^2$ 	 <ul style="list-style-type: none"> ・積雪深 70 cm ・雪密度 300 kg/m³ ・巻垂れ断面積 1.2 m² ・軒の出 40 cm ①巻垂れを等辺分布荷重としたモデル $\sigma = 32.8 \text{ N/mm}^2$ ②巻垂れを集中荷重としたモデル $\sigma = 46.7 \text{ N/mm}^2$ 	 <ul style="list-style-type: none"> ・積雪深 60 cm ・雪密度 300 kg/m³ ・巻垂れ断面積 0.9 m² ・軒の出 50 cm ①巻垂れを等辺分布荷重としたモデル $\sigma = 27.6 \text{ N/mm}^2$ ②巻垂れを集中荷重としたモデル $\sigma = 39.8 \text{ N/mm}^2$ 	 <ul style="list-style-type: none"> ・積雪深 50 cm ・雪密度 450 kg/m³ ・せり出し断面積 0.45 m² ・軒の出 45 cm ①軒部積雪を軒先集中荷重としたモデル $\sigma = 26.5 \text{ N/mm}^2$ ②せり出しの 2 倍を軒先集中荷重としたモデル $\sigma = 53.0 \text{ N/mm}^2$

表のように無等級の木材における材料強度は、曲げ強度で 22.2 N/mm²せん断強度で 1.8 N/mm²であることから、以下に示す応力算定結果がこの値を超えると部材が破壊する可能性が高くなる。

前述した 5 種類の積雪状態別に野地タル木に作用する曲げ応力度 σ とせん断応力度 τ を算定した結果は表 2 および表 3 となる。なお、巻垂れ、雪庇および氷板化積雪のせり出しの状態においては荷重モデルを 2 通り設定して算定している。表に示すように、タル木のせん断応力度は材料強度 1.8 N/mm²を超える事例はみられないが、曲げ応力度においては均等積雪以外の状態で材料強度 22.2 N/mm²を超えている。

積雪状態別にみたタル木の曲げ応力度の一覧を表 4 に示す。屋根面上にのみ積雪する状態におけるタル木の曲げ応力度は材料強度よりも小さいことから、巻垂れや雪庇がない状態では積雪深 2 m 程度まで耐えられることになる。一方、巻垂れ及び雪庇を伴う積雪状態の曲げ応力度をみると、巻垂れや雪庇の積雪荷重を軒先に集中荷重で作用させるモデルは、軒部に等変分布荷重で作用させるモデルの 1.5 倍程度となり、何れも材料強度を超えていることから、実際の積雪層で生じる応力伝達に対応した荷重モデルを確立する必要がある。あるいは、巻垂れや雪庇を除去する建物管理手法を検討する必要がある。また、氷板化した屋根雪がせり出す状態における曲げ応力度は、極めて大きな曲げ応力度となることから、屋根雪除去等の適切な維持管理を行うことが不可欠になると考える。

以上のように、豪雪時の軒部損傷を防止するには、軒部構造材の強度を高めることと過大荷重を防止する適切な維持管理を施すことと言えるが、さらに軒部の構工法を改良することや非恒常的な豪雪時に対応した建物管理を併用することも有効であろう。

4. まとめ

豪雪時の積雪状態に対応した荷重モデルを用いた野地タル木の応力算定を行い、その結果を木材強度と比較し、豪雪後の軒部損傷を防止するための考察を行った。今後は、軒部材設計の適切な荷重モデル、木材の腐朽に伴う強度劣化、軒部の構工法および軒部への過大荷重を防ぐ建物管理手法について検討する予定である。

引用文献

- 1)伊東敏幸, 千葉隆弘, 前田憲太郎, 田沼吉伸, 苫米地司, 2012: 2011 年度冬期における岩見沢および三笠の屋根上積雪状態, 北海道の雪氷, 31, 147-150