

応用研究論文

## 雪下ろし転落事故防止対策に関する提案

### 地域企業とのシステム共同開発

小林 淳<sup>1</sup>, 菅野秀人<sup>1</sup>, 櫻井真人<sup>1</sup>, 石山 智<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 秋田県立大学システム科学技術学部建築環境システム学科

積雪地域では屋根の雪下ろし作業中の転落あるいは、屋根からの落雪等による事故が多発している。2012年度の統計では、秋田県内で234人の死傷事故が発生しており、その約半数は雪下ろし作業中に屋根や梯子から転落したことによるものである。雪下ろし作業に際しては滑落・転落事故に備えた安全器具等を装着するのが基本であるが、①命綱を固定するために適切な場所がない、②命綱の装着により作業性が損なわれるなどの理由により、作業中の安全性が十分に確保されていない場合の事故例がほとんどである。さらには、③作業のための昇降に必要な梯子の固定が十分でない、④事前に準備した固定金具が雪に埋もれていて見つけにくいことにより、作業開始前に事故が発生することもある。また、⑤従来の安全帯は腰部分のみを固定するため、落下事故時に人体への衝撃が大きいことなどにより、安全具を装着した場合にも、十分な防護効果が期待できないことが懸念される。本検討は、雪下ろし作業中の事故防止を図ることを念頭におき、雪下ろし作業をひとつのシステムとしてとらえ、地域の気候条件を熟知した地域企業と共同して、固定金具の設置の方法から装着用安全具の形態までを含めた事故防止システムを提案するものである。

**キーワード**：雪下ろし，転落事故，事故防止，積雪地帯，安全対策，秋田県

秋田県をはじめ、日本海側の積雪地域では冬期間の雪下ろし作業が必要となる場合がある。特に木造住宅で、融雪装置など、積雪に対する特別の配慮がなされていない場合には、積雪の状況に応じて屋根上の除雪作業（雪下ろし）が必要で、一冬で数回から、多いところでは10回以上の作業が必要となる。

この作業は専門業者が行う場合もあるが、多くの場合は居住者自身が実施しており、安全対策の不備による滑落・転落等の事故が多数発生している。主原因は雪自体が滑動性を持っていることであるが、それに対する命綱、安全帯などの防護策が講じられていないことが重大事故につながる要因になっている。

防護策が講じられていない理由として、第一に、一般の住宅では命綱を固定する部分が設けられておらず、屋根に上る際に必要となる梯子を固定する場所に対しても特段の配慮がなされていない。第二の

理由として、寒さの中での雪下ろし作業を短期間に終わらせる必要があるのに対して、命綱等を装着することにより作業性が損なわれるため、さらには、作業に対する「慣れ」があり、安全帯の着用と命綱の使用などの安全対策を省略したいという心理が働くためである。したがって事故防止のためには、作業性を損なわない安全器具と簡便な作業手順を開発し、その成果を普及させる必要がある。

本検討は、秋田県総合防災課の「雪下ろし作業安全具改良開発検討会」として下記の地域企業と共同で開発した安全帯、命綱・親綱の緊結方法、昇降用梯子の固定方法等を組み合わせた安全な雪下ろし作業の普及を図ることを目的としたものである。本報告ではこの手法の作業効率と強度的な安全性を確認するために実施した実験結果について報告する。

## 事故防止システムの概要

### 雪下ろし作業の手順

雪下ろしの必要性が生じた場合の作業者の行動は、時系列的に以下ようになる。

- ① 作業具を準備する。
- ② 屋根の上に昇る。
- ③ 屋根の上での除雪作業を開始する。
- ④ 雪下ろし終了後、屋根から降りる。
- ⑤ 排雪された雪を雪溜め、排雪溝等に処分し作業を終了する。

本システムは上記②～④に関するものである。

### 積雪前の準備（命綱・親綱固定金物）

一般の住宅では、屋根上に命綱を固定する部分が設けられてはいない。その結果、安全具を装着せずに雪下ろし作業が行われているのが実状である。屋根葺き材の種別にかかわらず、一般の木造住宅の屋根はデリケートな部分であり、歩行などにより、屋根瓦の破損、屋根葺き鋼板の損傷が生じた場合には、本来の機能である防水性が損なわれる可能性がある。

このような部位に命綱固定用の金具を新たに設置する場合には、屋根の構造と施工法に関する幅広い知識が必要となる。基本的には、瓦屋根・板金屋根にかかわらず、屋根葺き材の下には野地板があり、それを垂木が支える構造になっている（図1）。

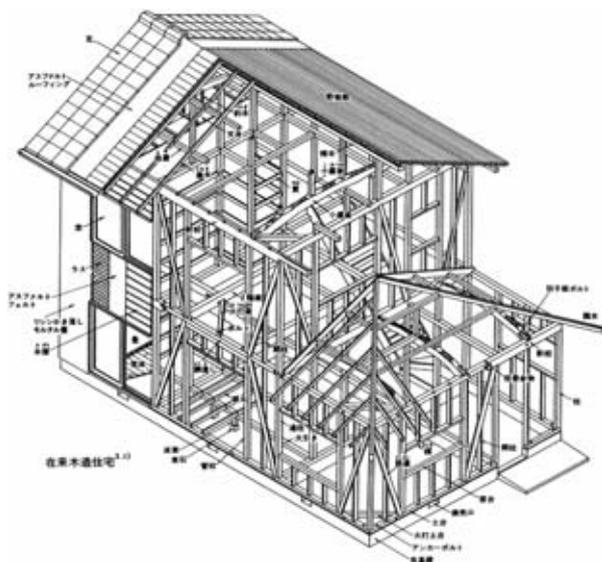


図1 木造屋根の構造（建築学会，構造用教材より）。

垂木は40mm×60mm程度の角材が用いられ、野地板は厚さ12mm程度の合板などが用いられている。したがって、野地板を貫通して垂木に木ねじで固定できる金物の形状を工夫すれば、既存の屋根に対しても命綱・親綱を固定するための金物を設置することが可能である。図2(a)は野地板を貫通して垂木に金物を固定した状態で、ベースプレートにはM16ボルトが溶接されている。同(b)は瓦を貫通させた後にアイナットを取り付けた状態でリング部分に命綱・親綱を固定する。同(c)は板金屋根への設置例で、屋根葺き材の表面から直接母屋まで木ねじを貫通させて設置し、当該部分には防水シール材が施工されている。白色の親綱とオレンジ色の細いロープが見えるが、このロープは雪に埋もれた固定金物を見つけ易くするもので、積雪前に地表まで降ろし、ガイドロープとして用いられる。

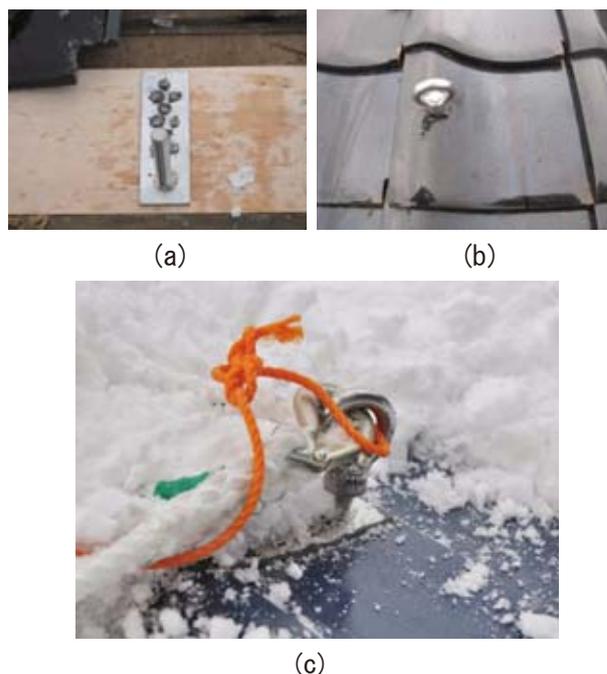


図2 命綱・親綱固定金物。

### 屋根への昇降

屋根に昇るためには梯子が用いられるが、この時点での事故例も少なくない。梯子の下部位置を確保した後に、梯子上部を軒、けらばを支点として固定することになる。足下の固定は地上作業なので問題はないが、上部は積雪・凍結した位置に掛けることになり、梯子固定用の金物と、命綱・親綱固定金物

から下げられたガイドロープを事前に設置しておくことで作業の安全性が確保される。

図 3(a)は梯子上部の、(b)は下部の固定状況である。軒またはけらばの先端に簡易な金物を固定しておき、命綱・親綱固定金物からのガイドロープを頼りに梯子上部を掛け、金物に梯子を緊結してから実際の作業を開始する。



(a)



(b)

図 3 梯子の固定状況.

梯子から屋根に昇ることになるが、屋根勾配があるため、積雪・凍結した斜路伝いに屋根頂部に設置された命綱・親綱固定金物にたどり着くまでに滑落の危険性がある。この点を解決するために、図 4 に示すような軽量の簡易木製梯子を斜路に置き、昇り口を梯子に固定しておけば滑落の危険は回避でき、これを足がかりとして屋根頂部に安全に到達できる。

これら一連の作業開始にあたり、前述した親綱固定金物から、梯子固定金物の位置を経由して、地上まで、赤色などの目立つ色のガイドロープを設置しておくことで屋根への昇降作業が容易かつ確実にできる。このガイドロープは大きな荷重を支えるものでなく

でも良く、事前に設定した屋根に昇るルートと雪の下に隠れている金物を見つけ出すためのものであり、梯子の仮固定にも有効である。



図 4 斜面用簡易木製梯子.

#### 除雪作業の準備

屋根頂部に設置した親綱固定金物に命綱を仮固定することで、以降の親綱を設置する作業の安全性が確保できる。同様の固定金物を屋根の数カ所に設置しておき、その間に命綱を掛けるための親綱を張ることにより、屋根のほぼ全面の広い範囲での作業が可能となる。(図 5)



図 5 親綱の設置状況 (無積雪時).

ここで、親綱とは、安全帯の命綱留め金物を掛けるための堅固なロープであり、親綱の設置範囲に命綱の長さを加えた範囲での安全な作業が可能となる。親綱は屋根の棟に近い部分に設置することになる。一般的な命綱の長さは 2m 程度であることから、親

綱と命綱の組合せだけでは作業範囲に限りがある。両者の間に、図6に示す巻き尺様の伸縮可能な装置（ベルブロック）を介することにより作業範囲を屋根全面に広げることが可能となる。この伸縮装置は市販品で5~10m程度の範囲で伸縮するものが入手可能であり、その重量自体は親綱に持たせられることから作業者の負担重量とはならない。通常の作業時には自由に伸縮するが、滑落・転倒の衝撃を受けた場合には伸縮部が瞬時にロックされるものであり、自動車のシートベルトと同様のロック機構を有するものである。



図6 ベルブロックの取付状況.

### 安全帯（装着用具）

図7, 8に、高所作業に用いる安全帯の例を示す。広く普及しているのは腰部分に着用するベルト状のものである(図7左)。その問題点は、事故発生時に腰部分のみに荷重が集中するため腹部への圧迫力が大きく、そのこと自体で内蔵圧迫、脊椎損傷などの可能性があることは周知の事実である。また、人間の下半身と上半身の重量を比較すると、後者の方が大きく、命綱が作動した場合には上半身が下になる、いわゆる逆さ吊りの状態になるケースが多い。この

場合には作業者自身の力で原状に復帰する動作が非常に困難となることも懸念される要因である。

これに対して、身体全体を肩・腰・股関節部分で支えるベルト状の安全帯も市販されているが、ベルトが絡みやすく、寒冷時に手袋を着けた状態での装着を難しくする要因になっている(図7右)。



図7 一般的な安全帯(左)とベルト式安全帯(右)。

本検討では同様のベルト状の安全帯にベスト状の布地を組合せ、手袋を着けたままでも容易に装着が可能な安全ベストを提案している。(図8)



図8 ベスト状安全帯の装着状況.

ベスト状安全帯は両肩および股間を支えるベルトを胸部および腰部でバックル固定するもので、ベスト状の布が組み込まれているため装着が容易である。吊り金具も背中部分に取り付けられており、作業の妨げにはならず、滑落時には頭部が上になる形で吊り下げられるよう配慮されている。

秋田県総合防災課の「雪下ろし作業安全具改良開発検討会」での検討結果を踏まえ、以上の組合せによる安全な作業システムの提案がなされたが、その普及を図るためには、良好な作業性を実地試験で確認し、各部の強度についての安全性(強度)確認試験を行っておく必要があるとの結論に達した。

### 作業性と安全性の確認実験

由利本荘地域でも積雪の多い鳥海地域にある2階建て住居において作業性を確認するための実地試験を行った。さらに、提案したシステムの安全性を確認するために、ダミー人形を用いた落下実験と、システム各部の強度試験を実施した。

#### 作業性の確認実験

提案システムを用いた作業性の確認は鳥海町に位置する2階建て住宅で行われた。2013.02.22 当日の積雪量は屋根上で50cm程度であり、必ずしも雪下ろし作業が必要な状態ではないが、提案システムの作業性を確認するために雪下ろし作業を実施した。

図9に示すように、昇降用梯子、斜路用梯子を用いて屋根上にあがり、作業範囲の親綱を設置した後、伸縮装置と安全帯を用いて、効率的、かつ、安全に作業できることが確認できた。作業者によれば、従来の手法に比べて作業効率が高く、安心感があるとのコメントが得られている。



図9 提案システムを用いた作業状況。

#### システム各部の強度確認実験

滑落・転倒など事故時の安全性を確保するためには、事故時に作用する荷重に対してシステム各部が十分な強度を有していることを確認する必要がある。最初に実施したのは、長さ約3.5mの親綱を設置し、

その中央付近に今回試作した安全具を装着したダミー人形（重量約55kg）を、親綱とは別の吊りワイヤーによって仮吊りしておき、このワイヤーを切断することで作業者の滑落を模擬して、その際の親綱等に作用する荷重に対して、各部の耐荷力を確認するものである。

実験後、各部の破損の有無を確認するとともに、安全帯と親綱の間に設置したロードセルで検出した負荷荷重と親綱のたわみ角度等により、垂直落下の場合の各部分に対する作用力を推定することを目的としている。

実際の作業は3/10～4/10程度の勾配（ $\theta = 17^\circ \sim 22^\circ$ ）を有する屋根斜面上で行われることから、滑落時の作用力は本実験時の作用力に対して、 $\sin \theta$ 分小さくなるが、軒先から転落する場合もあり得るので、十分安全側の評価結果が得られるよう本実験では垂直落下実験を採用し、得られた衝撃荷重をもとに各部の強度的安全性を確認することとした。

#### 落下試験

落下実験はスパン3.3mの間隔に立てられた2本の鉄骨柱に固定金物を設置し、その間に張られた親綱にロードセルと伸縮用バルブロックを介して命綱を掛け、ダミー人形の安全帯を支持する方式とした。その状態でダミー人形を別途クレーンで吊り上げ、吊り上げ用の番線を切断することにより滑落・落下現象を模擬した。

瓦屋根、板金屋根などの違いにより固定金物の形状は異なるが、今回は、野地板と垂木部分までを試験範囲とし、図2(a)に示したステンレスプレートにM16ボルトを溶接したものとした。このタイプは突出したボルトの先端に取り付けられたアイナット部に荷重が作用するため、ボルトと取付プレートに作用する曲げモーメントの影響も含めて強度確認できるからである。

安全帯としては、従来型の腰ベルトタイプと今回試作したベストタイプの2種類を用いた。

図10に示すように、野地板・垂木に取り付けた固定金物は垂木部分でシャコ万を用いて鉄骨柱に固定されており、親綱と吊り具の間にはロードセルを配置して落下時の衝撃力を測定することとした。



図10 固定金物と吊り具.

落下試験後の状況を図11に示す。(a)は今回試作したベストタイプのもので、(b)は従来型の腰ベルトタイプのものである。鉛直落下に対していずれの場合にも装置各部の破断等の異常は見られなかったが、今回開発したベストタイプのものを用いた場合には頭部が上向き状態で良好な態勢が維持されているのに対して、腰ベルトタイプでは頭部を下にした形で逆さ吊り状態になっている。



(a)

(b)

図11 落下直後の状況.

### 落下時衝撃力の推定

安全帯の取付け部分にはロードセルが設置されており、落下時の衝撃荷重が命綱に作用する張力として記録されている。その一例を図12に示す。

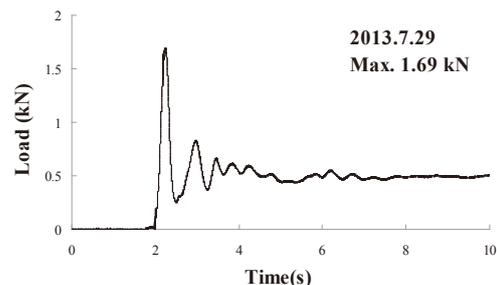


図12 落下時の負荷荷重.

5~6秒経過後の安定した状態でダミー人形の質量約55kgに相当する張力が作用していることがわかるが、落下直後にはその3倍近い負荷が生じてることになる。加速度的にはほぼ3gに相当する衝撃である。落下後の親綱のたわみは約60cmであり、親綱の設置間隔3.3mとの関係から、親綱に作用する張力は片側で約2kN程度であり、この張力に等しい荷重が固定金物にも作用していることになる。

$$T = W / (2 \times \sin \theta)$$

$$\theta = \tan^{-1} (0.6/1.65)$$

ここに、 $W$  : 鉛直荷重 (kN)

$T$  : 親綱張力 (kN, 片側)

前述したように、除雪作業中の滑落は屋根の斜面上で生じることから、屋根勾配を4/10とした場合には斜面方向への滑落に対しては、鉛直落下時の約37%の荷重が各部に作用することになる。

$$F = T \sin (\tan^{-1} (0.4)) = 0.37 \times T$$

ここに、 $F$  : 斜面上での親綱張力

ただし、最悪の場合は軒下への転落も考えられることから、本検討では鉛直落下時の負荷荷重に対して装置各部の強度を確認しておくこととした。

### 各部の強度確認試験

落下実験終了後、親綱固定金物、親綱、ベスト状安全帯、ベルブロック等を含めて破損箇所は確認できなかったが、今回試作した親綱固定金物とベスト状安全帯に用いた場合のプラスチック製留め具に関しては、製品としての強度保証がなされていないと

いう観点から、両者については強度試験を行うこととした。

作成した固定金物は図 13 に示す 3 種類で、垂木・野地板部分に固定するためのビス穴のあるステンレス鋼板にボルトを溶接し、そのボルトにリング状のアイナットを組み合わせるもの (A-type)、同様の鋼板に U 字型金物を溶接したもの (B, C-type) 3 種類で、B, C タイプの違いは、U 字金物の突起高さである。B, C タイプは、A タイプ先端のアイナット部分が目立たないように改良したもので、ステンレスワイヤーを鋼板部に直接取り付けられるため、瓦屋根の場合には積雪期以外は、瓦の下にワイヤーとともに収納しておくことができる。今回の落下実験で使用したのは A-type のもので、親綱を取り付ける位置がベース金物から離れており、曲げ・ねじりの影響を含めて評価できると考えたためである。この金物を垂木・野地板に固定し、垂木部分を固定した状態で上向き方向の引張力と、水平方向のせん断力を加える試験を別々に実施した。



図 13 固定金物の形状 (左から: A, B, C)。

図 14 に示すベスト状安全帯のプラスチック製留め具は「保護用具」としての使用実績が無く、また、寒冷期での使用を考えると低温による強度低下も懸念される。そこで、プラスチック製留め具に関しては、常温時 (約 20℃) と冷却時 (-15℃) の場合の強度確認を行った。



図 14 プラスチック製留め具。

## 実験結果

固定金物取付部の強度確認は 3 種類の形状の金物に対してそれぞれ、取付方向に対する抵抗力 (引張試験) と水平方向に対する抵抗力 (せん断試験) の 2 種類を行った。試験体の一覧と実験結果の耐力を合わせて表 1 に示す。

いずれも必要とされる強度 2kN を満足しており、特に B, C 試験体は、金物部分で耐力が決まらず、取付部の母屋・垂木の強度で最大耐力が決定付けられている。A 試験体はプレート部の曲げ降伏で耐力が決まっているが、その理由はボルトがプレートに対して偏在しているためである。このタイプは開発当初、瓦屋根への取付方法と納まりを考慮して試作されたもので、現在は中央部にボルトを取り付けるよう仕様変更されている。

表 1 金物取付部分試験結果一覧。

試験体名	加力方向	破壊荷重 (kN)	破壊状況
A1	引張	4.90	プレート曲げ降伏
A2	引張	5.39	プレート曲げ降伏
A3	せん断	2.48	プレート曲げ降伏
B1	せん断	3.23	垂木割れ
B2	引張	13.13	垂木折損
B3	引張	11.60	垂木折損
C1	引張	7.06	垂木折損
C2	引張	6.50	垂木折損
C3	せん断	4.58	垂木割れ

プラスチック製留め具の強度試験結果を表 2 に示す。温度条件による差は明確には認められず、いずれも 1kN 程度の耐力を示している。同時にベルト自体の強度確認も行ったが、7kN 以上の強度を示している。ベスト状安全帯は人体にかかる衝撃力を分散させることが目的であり、留め具は胸部、胴部、股間部に計 4ヶ所用いられている。したがって、一ヶ所あたりの負担力はバックル耐力よりもはるかに小さく、寒冷時の使用を含めて十分な強度が確保されているものと考えられる。

表2 留め具部分試験結果一覧.

試験体	温度条件	耐力 (kN)
No. 1	20℃	1.04
No. 2	20℃	1.11
No. 3	20℃	1.15
No. 4	-15℃	0.95
No. 5	-15℃	1.20
ベルト	20℃	7.61

### まとめと今後の方策

積雪地域の屋根の雪下ろし作業中の滑落・転落事故を防止するために、装着が簡便で作業性を損なわない安全器具と雪下ろし作業の手順を検討し、雪下ろし作業時の事故防止システムとして提案した。同システムを実施するにあたっては、冬季作業に先立ち、事前に親綱などの固定金具を設置しておく必要があるが、その部分を含めて各部に作用する力に対しての強度を確認するための確認実験を実施した。

昨年度の積雪期に行った作業効率の確認実験では良好な作業性が確認されており、今年度実施した強度確認試験の結果と合わせてシステムの有効性が確認できた。今後、同システムの普及を図ることで冬季間の事故を減少させることが可能と考えられるが、そのためには本検討結果の周知を図るとともに、行政機関の協力を得ながら、固定金具の事前設置を促進する必要がある。

1年間にわたる検討を経て、各種の屋根形状に対応できる固定金具とベスト状安全帯の改良は既に終了しており、今後の普及が期待される。

### 謝辞

本研究は、秋田県総合防災課が組織した「雪下ろし作業安全具改良開発検討会」との共同開発により実施されたものである。参加企業である木内商機㈱、サンルーフ KANEKO, 廣瀬産業㈱の各位に謝意を表す。



参考図1 固定金物取付部分強度確認試験 (引張).



参考図2 留め具部分強度確認試験 (常温).



参考図3 留め具部分強度確認試験 (冷却時).

〔平成 25 年 11 月 29 日 受付  
平成 25 年 12 月 11 日 受理〕

## **Proposal of a Secured Procedure to Remove Stacked Snow on Residence Rooftops**

### **Cooperative Study with Regional Enterprise**

---

Jun Kobayashi<sup>1</sup>, Hideto Kanno<sup>1</sup>, Masato Sakurai<sup>1</sup>, Satoru Ishiyama<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Department of Architecture and Environment Systems, Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University*

The northern parts of Japan, along the coast of the Japan Sea, suffer from heavy snowfall during the winter season. The snow in this area is humid and can sometimes have a relative density exceeding 0.3 for stacked snow. Because of the Tsushima Current (warm current) and seasonal cold winds from Asia, the depth of the stacked snow may exceed 100 cm in one day. To reduce the gravity load affecting the roof structure, inhabitants must climb up onto the roof and remove the stacked snow. Every year more than 200 injuries caused by rooftop snow removal are reported in the Akita prefecture. Some other prefectures also suffer from the same problem. The main reason for these accidents is a lack of awareness of the risky nature of the work on iced and slippery rooftops. The importance of a lifeline has been emphasized, and some people actually use a lifeline during rooftop snow removal.

To utilize a lifeline, hooks and/or anchors have to be fixed on the roof beforehand. For most of the sustained injuries, this procedure is neglected which results in similar number of injuries every year. In this report, a simple procedure to avoid these injuries is proposed. The procedure includes a method for setting the hooks and anchors on the rooftops before winter, and also promotes the use of particular equipment to secure the worker on the roof. The combination of a newly proposed harness, light weight ladder, and guide rope, along with other available equipment, allows workers to easily and safely work on rooftops. The effectiveness of the procedure was confirmed through a field test, and the strength of the equipment used in the procedure was verified by laboratory tests.

**Keywords:** snow removal, safety procedure, snowy region, human injury, accident prevention, Akita prefecture