

ベタ雪豪雪地帯において雪下ろしを不要とする通気工法屋根の開発に関する研究

(課題番号：12555166)

平成12年度～平成15年度科学研究費補助金(基盤研究(B)(2))
研究成果報告書

平成16年3月

研究代表者 深澤 大輔
(新潟工科大学工学部建築学科教授)

はじめに

昭和44(1969)年10月に今回実験場所とした新潟県栃尾市原町に正面が正三角形をなす滑落式の住宅を設計し、完成させた。そして、昭和47(1972)年の夏から2年間にわたり栃尾市葎谷の住宅と生活に関する調査を新住宅普及会の研究助成金を貰って行った。当初、住宅改善を通じて雪国の生活改善を図ることを狙っていたが、その中で屋根雪処理問題が出稼ぎと過疎化が進行する中で大きな問題であることを実感した。そして、秋に農村建築研究会の機関誌「農村建築研究」に特集「積雪地の建築」を企画執筆し、雪国の建築については、早稲田大学の今和二郎先生、木村幸一郎先生、吉坂隆正先生他が戦前から取り組んでおられ、屋根雪荷重については東京大学の構造系の先生を中心に研究がなされているが、屋根雪処理に関する建築計画的な研究は皆無に近く、手探りで始めることになった。

山形の永井秀二郎氏は、昭和46(1971)年から日本雪氷学会の年次大会で「雪国の建物は水平に限る」と水平屋根提唱のキャンペーンを開始していた。昭和52(1977)年4月に東京を離れ、愛知県豊田市に住むようになって、同大会の席で、新潟でも水平屋根の建設を推進してはどうかと薦められた。その効果を確認するために昭和57(1982)年の冬に $0^{\circ}30'60''$ の模型屋根を栃尾市原町の庭に設置し、計測を行ってみた。その結果、捕雪量の多い 60° の屋根雪が最も雪が少なくなった。これは、山形の地吹雪地帯に比べて新潟の深々と降り積もるベタ雪地帯では屋根面積が2倍となることで捕雪量は増えるが、その分屋根雪の表面積が増加し、気温と風、日射や雨の影響を受けやすかったためと推察された。

これによって、気温融雪工法のアイデアを描くようになり、五六豪雪の翌年の昭和57(1982)年11月25日に山形県米沢市で開催された克雪技術研究発表会(積雪連合主催)に「木造耐雪構造+気温融雪方式の提案」と題し、1月の気温が ± 5 で、風速が 0.5m/s の北陸のベタ雪豪雪地帯において自然エネルギーを活用した新しい屋根雪処理方式として提案した。当初は、「厳寒期になるとベタ雪地帯でも水枯れが井戸や河川に見られる」、「1月の月平均気温が 0 の地域では日中に気温が 5 まで上昇しても夜間に -5 に下がってしまえば、融雪期になるまでは屋根雪荷重の減少は期待できない」などから、本方式については批判的な意見が聞かれた。

しかしながら、それと平行して前述した三角形の家の後に同工法の二階建ての居住実験建物を建設した。完成した直後の冬に五九豪雪が襲来し、周辺の家では5~6回の雪下ろしを行ったが、実験建物では軒先にできた雪庇切りをしたのみであったが、完全消雪は雪下ろしをした家より早くなり、提案の正当性を証明する結果が得られた。その後、この方式が採用され建設された住宅は、30棟以上に上り、栃尾市・長岡市・小千谷市・塩沢町・上越市など新潟県内の上中越に広がっている。

ところで、大雪の時に校庭に鉄棒を放置すると、雪消えの際に雪が沈降し、周辺の雪荷重が鉄棒に集中する「ふとん効果」によって、曲がってしまうことが知られている。屋根に単管パイプを使った場合、そのようなことが起きるかどうかが、起きるとしたらどのような形で補強すれば良いかを確かめようと、第2章に掲載した実験と同じものを昭和63(1988)年冬に行った。90cmの高さに4本の単管パイプを固定した上に、積雪 3m 、雪荷重 1000kg/m^2 の雪が載ることを想定したが、暖冬少雪だったため滑落した屋根雪をその上に 2m の高さに積み上げ、固めて 1000kg/m^2 になるようにした。その結果は、雪を3倍以上もの荷重になるように積み上げたにも関わらず、雪に埋没した単管パイプには何の変形も起きず、周辺の地上積雪の場所と殆ど同じ時期に消雪した。これと平行して積雪層内部の状況を把握するために、水槽を浮かせて設置し内部の状況を再現し観察(第2章2-1参照)できるようにしたが、そのメカニズムの解明は難しく、未解明のまま時間が経過した。

このような形で、通気融雪工法の実験研究は、研究代表者である深澤が実家のある栃尾市原町において20年間継続してきたが、平成8(1996)年4月に愛知県の国立豊田高等工業

専門学校から柏崎市に新設された新潟工科大学建築学科に赴任したことに伴い、本格的な実験研究をする体制が整った。そして、平成 9(1997)年度から 11(1999)年度の 3 年間にかけて萌芽的研究、平成 12(2000)年度から 15(2003)年度の 4 年間にわたり基盤研究(B)(2) の科学研究費の補助を受けることができたことから、本報告書をまとめることができた。

実際に毎冬、周辺地域を含めてほぼ毎日雪を観察し、通気融雪に効果的との仮説が立ち次第、実験装置を製作し、実験を繰り返してきた。その結果、本方式の全体像が描けるようになり、漸く実用段階に近付き、本報告書で示した如き形で技術的な要点を明らかにすることができるようになった。その内容を、第 1 章でベタ雪地域における様々な自然積雪と融雪の様子、第 2 章で各種融雪実験の概要、第 3 章で二重屋根式通気融雪工法の性能、第 4 章で通気融雪工法の成立範囲、第 5 章で通気融雪工法のデザイン、第 6 章で通気融雪工法採用に当たっての注意事項という構成でまとめた。そして巻末に資料編として過去 4 年間の計測データと、一連の発表論文を掲載した。

本実験研究によって、特に、厳冬期において本方式による屋根雪の融雪水を貯水して見ると、常識とは裏腹に大量の水がでることが確認できた。屋根雪底面には過飽和水が雪粒子の間に毛管現象によって吸い上げられ、表面張力によって安定化しているため、夜間などに気温が氷点下になると再凍結してしまう。この表面張力のバランスを崩せる 20° 以上の勾配に屋根面を傾けると、保水能力が低下し、大量の融雪水が出ることを示した。また、屋根雪の底面から融雪水を抜く複式折板による方法、エキスパンドメタルを使って二重屋根にし融雪水を抜く方法、90%以上が雪表面で融雪している積雪層の表面から直接融雪水を抜く方法、屋根表面積を拡大するためにピラミッド型屋根とし融雪を促進させる方法、積雪層の空洞化を積極的に進めることによって融雪を促進させる方法、雪庇を防止する方法など、様々な通気融雪の仕方を主に時系列的な経過写真を掲載することで示した。

今後、本方式を一般に普及させて行くためには残されている課題も多い。取り分け、豪雪地帯には過疎化と高齢化が深刻である。その根本原因は、若者の就業の機会が限られていることにある。本方式が北陸のベタ雪豪雪地帯の約 70%の人口と世帯に恩恵を与え得ると言っても、空念仏になりかねない。その改善こそが今後とも望まれる。

平成 16 年 3 月 3 日
研究代表者 深澤大輔

研究組織

研究代表者	深澤大輔	新潟工科大学建築学科教授
研究分担者	飯野秋成	新潟工科大学建築学科教授
研究分担者	富永禎秀	新潟工科大学建築学科教授
研究分担者	田中 浩	(株)有沢製作所技術部研究員
研究分担者	平井正明	(株)有沢製作所技術部研究員

目 次

はじめに

ベタ雪豪雪地帯において雪下ろしを不要とする通気工法屋根の開発に関する研究(概要)

第1章	ベタ雪地帯における様々な自然積雪と融雪の様子	1
1-1	温暖な中緯度地帯が世界3大豪雪地帯	1
1-2	日本海側における豪雪のメカニズム	2
1-3	北陸のベタ雪地帯の雪は量が多いが変態スピードも早い	3
1-4	ベタ雪地帯における様々な自然積雪と融雪の様子	3
1-5	ベタ雪地帯における自然エネルギーと様々な積雪と融雪現象	5
1-6	雪えくぼの間隔と発生インターバル	9
1-7	融雪過程と融雪水	14
1-8	エキスパンドメタルによる雪の表面積の拡大	17
第2章	各種融雪実験の概要	20
2-1	積雪層内部に障害物がある場合の積雪と融雪の状況	20
2-2	水平雪切り格子による融雪効果実験	23
2-3	融雪板による融雪効果実験	34
2-4	エキスパンドメタルによる融雪効果実験	36
第3章	二重屋根式通気融雪工法の性能	39
3-1	実験場所の概要	39
3-2	実験装置の概要	40
3-3	平成15年1月5~13日における実験結果の概要	42
3-4	実験データ解析結果の概要	45
第4章	通気融雪工法の成立範囲	51
4-1	成立並びに適用条件	51
4-2	北陸四県における受益人口と世帯数	52
第5章	通気融雪工法屋根のデザイン	59
5-1	ピラミッド型の融雪工法屋根	59
5-2	複式折板式の融雪工法屋根	62
5-3	急勾配二重屋根式の融雪工法屋根	67
5-4	通気融雪工法に関するまとめと考察	71
第6章	通気融雪工法の採用に当たっての注意事項	73
6-1	年最大積雪深の大きな変動の繰り返し	73
6-2	栃尾の累計積雪深と降雪パターン	73
6-3	通気融雪工法の確保すべき耐雪強度の目安	75
6-4	通気融雪工法屋根の建物建設に際しての安全性の確保と注意事項	75
資料編		
資料-1	計測データ	
資料-2	発表論文	

おわりに

研究種目及び課題番号

基盤研究(B)(2) 12555166

研究経費

平成12年度	4,700千円
平成13年度	1,000千円
平成14年度	1,200千円
平成15年度	1,300千円

Key Words : ベタ雪、北陸四県、屋根雪処理、通気融雪、自然エネルギー

研究発表リスト

(1) 学会誌等

- ・深澤大輔、総論「雪と住宅」、住宅、Vol.52,2003、7-11、(社)日本住宅協会、2003.1。
- ・深澤大輔、北陸ベタ雪地帯におけるこれからの家づくり、ほっとほくりく、No.34、13-14、(社)北陸建設弘済会、2004.1。

(2) 口頭発表

- ・深澤大輔、ベタ雪地帯における通気融雪工法の開発に関する研究 - 生垣を覆う45°傾斜した雪囲いの積雪と融雪の時系列変動 -、日本雪工学会誌、Vol.16 No.4(Ser.No.57)、101-102、日本雪工学会、2000.10。
- ・深澤大輔、ベタ雪地帯における通気融雪工法の開発に関する研究 - ドカ雪に伴う通気の閉塞過程の解明 -、日本雪工学会誌、Vol.17 No.4(Ser.No.61)、57-58、日本雪工学会、2001.10。
- ・深澤大輔、ベタ雪豪雪地帯向けの通気融雪工法屋根の開発に関する研究 - 北陸四県における成立可能地域 -、日本建築学会北陸支部研究報告集、第45号、165-169、日本建築学会北陸支部、2002.6。
- ・富永禎秀・深澤大輔、熱収支モデルに基づく自然融雪エネルギーの地域分布に関する研究、日本雪工学会上位越支部論文報告集、第1号、31-34、日本雪工学会上位越支部、2001.8。
- ・深澤大輔、通気融雪工法に関する研究 - 降雪から融雪出水に至る過程の解明 -、日本雪工学会上位越支部論文報告集、第1号、35-38、日本雪工学会上位越支部、2001.8。
- ・深澤大輔、通気融雪工法に関する研究 - イキポイントモデルによる融雪出水過程の解明 -、日本雪工学会上位越支部論文報告集、第2号、29-34、日本雪工学会上位越支部、2002.8。
- ・深澤大輔、通気融雪工法に関する研究 - イキポイントモデルによる通気融雪工法の概要 -、日本雪工学会誌、Vol.18 No.4(Ser.No.65)、73-74、日本雪工学会、2002.10。
- ・深澤大輔、通気融雪工法に関する研究 - 屋根デザインに関する事例的検討 -、日本雪工学会上位越支部論文報告集、第3号、19-22、日本雪工学会上位越支部、2003.8。
- ・深澤大輔、通気融雪工法に関する研究 - 屋根勾配0°30°45°の場合 -、日本雪工学会誌、Vol.19 No.4(Ser.No.69)、29-30、日本雪工学会、2003.10。
- ・深澤たまき・深澤大輔・須永修通、通気融雪工法に関する研究 - 45度勾配二重屋根式の融雪効果実験 -、日本雪工学会誌、Vol.19 No.4(Ser.No.69)、31-32、日本雪工学会、2003.10。
- ・深澤たまき・深澤大輔・須永修通、通気融雪工法屋根に関する研究、太陽エネルギー学会・風力エネルギー協会合同研究発表会論文集、133、太陽エネルギー学会、2003.11。

研究目的と背景

ここ10数年間地球温暖化の影響で暖冬少雪年が続いているが、雪が降らなくなるとの保障はない。雪国では超高齢社会に突入し、若者流出の中で雪下ろし労力の不足は益々深刻なものとなっている。これに対し、電力や灯油を使った屋根融雪装置の開発が進み所々に見られるが、その初期投資費・維持費・運転費・償却費は個人の可処分所得を年々圧迫し、他方では貴重な資源を大量に消費し、温暖化ガスCO₂を大量に発生させている。従って、本研究では、厳寒期においても北陸のベタ雪豪雪地帯では雪が融けていることに着目し、屋根を二重とし小屋組を融雪に適したものとして、自然エネルギーによって雪荷重を軽減し、雪下ろしを不要とすることを狙うものである。

研究計画

平成12年度

- (1) 東西6.0m×南北5.4mの鉄筋コンクリート製の車庫の屋根(既存)を南北に二分し、木板製と鉄板製の融雪板(12×150×1820)を30°45°60°に傾斜させて融雪効果実験を行い、データの収集を行う。気温については、「熱伝対」を要所にセットすることにより、データ収集を行い、解析する。
- (2) 風速と風向については、「デジタル指示微風速計システム」により記録し、融雪量については、「転倒桁式の雨雪量計」で計測する。
- (3) 日射については、「全天日射計(瞬時)」で記録し、これらのデータを「データロガー」に格納し、「パソコン」で推移が30分毎にグラフ化され読みとれるようにする。
- (4) 外気の湿度については、簡易防水型のデータミニによって計測し、データを合成し、比較出来るようにする。
- (5) 毎日9時に全体の様子の写真撮影を行い、日射・気温・湿度・風速・風向・積雪深・日降雪深などを見ながら融雪の状況などについて日誌を付ける。
- (6) 気流の流れについては、建物周辺と二重屋根の内部についてビデオ撮影し、流れの方向や渦流を適宜観察する。

平成13年度

- (1) 東西6.0m×南北5.4mの鉄筋コンクリート製の車庫の屋根を南北に二分し、約50cmの高さに45度傾斜させ南面させて、南側には砂付きルーフィングを巻き付けた融雪板(12×150×1820)を上から見た時に75mmのスリットが空くようにして5枚並べ、北側にはエキスパンドメタルの融雪板(3×910×1820)を敷設する。
- (2) 昨年度購入した計測器を使用して同様に、気温・湿度・風速・日射・降雪重量・融雪重量を30分間隔で、平成14年1月1日から3月15日にかけて計測する。
- (3) この期間の日中にはインターバル撮影機能の付いたデジタルビデオカメラを設置し、実験装置とその周辺における積雪と融雪の状況を記録する。

平成14年度

- (1) 東西6.0m×5.4mの鉄筋コンクリート製の車庫の屋根を南北に二分し、南側に45度、北側に30度の屋根型を南側に傾斜させ連続させる形で作成し、その上に約50cm浮かしてエキスパンドメタルの融雪板を固定し、南と北それぞれ2区画に分け、融雪水を計測出来るようにする。(8~10月)
- (2) 4つのそれぞれの区画の外周には約1m(許容雪荷重)の高さでエキスパンドメタル製の雪庇防止ネットを廻らし、区画毎に樋を付け、融雪出水量を計測できるようにする。

する。(11月)

- (3) 降雪期に入ったら、気温・湿度・風速・日射・降雪重量・融雪重量などを30分間隔で計測する。(12～3月)

平成15年度

- (1) 通気融雪工法についてこれまでの3年間で得られた新潟県栃尾市原町における実験結果を整理し、日降雪深と気温の積算というような簡単なデータによってその安全性が確保できる数値式を提案する。
- (2) これを敷衍して、北陸四県における成立範囲を明らかにし、地域ごとに自然融雪の特性を整理し、実用化に目途を立てる。
- (3) 屋根上の積雪層をイレギュラーにし、水抜き面を20度以上の急勾配とすることによって自然融雪が厳寒期においても促進されることが明らかになっているので、スペースストラクチャーなどによる二重屋根の骨格構造のディテールや既存建物のデザインについて検討を加える。
- (4) 昨年度に作成した実験装置で今年度も同様の計測と観測を行う。平成15年の1月から3月にかけての積雪深は、平年の半分程度で十分なデータが取れていないので、再度計測を行う。そのデータを加えることでより信頼性の高い装置の開発を目指す。
- (5) 本年度は最終年度となるので、結果を報告書としてまとめる。

研究成果の概要

- (1) 通気融雪工法による雪処理技術は、自然界の熱エネルギー、雪そのものの物理的性状、屋根ないし装置の形状を三位一体として捉え、自然融雪の促進に最善となるそれらのバランスを掴み技術化することによって完成する。
- (2) 平成15～16年冬の通気融雪工法屋根の最難関融雪力は10.5～6.5 [kg/(m²・day)]であった。1月の月平均気温が0以上のベタ雪地帯で420 [kg/m²] (積雪140cm)の耐雪能力を持つ建物に本方式を採用すれば、4mの年最高積雪深時にも雪下ろしをしないで済む。
- (3) 通気融雪工法の確保すべき耐雪強度の目安

降雪累計	地上積雪重量	地上積雪深	根雪日数	耐雪強度
3.75m未満	300kg/m ² 未満	1m未満	60日未満	不要地域
3.75～7.5m	300～600kg/m ²	1～2m	60～89日	210kg/m ²
7.5～11.25m	600～900kg/m ²	2～3m	90～119日	420kg/m ²
11.25～15.0m	900～1200kg/m ²	3～4m	120～149日	630kg/m ²
15.0m以上	1200kg/m ² 以上	4m以上	150日以上	不可地域

注1)降雪累計は、根雪期間以前と以後の降雪は含まない。

注2)地上積雪重量は、降雪累計に単位重量0.8kg/(m²・cm)を掛けたものである。

注3)耐雪強度は、北陸の通気融雪工法の適用地域における目安である

- (4) 北陸四県における通気融雪工法屋根による受益人口と世帯数
1月の月平均気温が0以上で、過去最高積雪深が1～4m未満の地域を通気融雪工法の成立地域とすると、北陸四県における通気融雪工法屋根による受益人口は4,132千人(73.6%)、世帯数は1,326千世帯(72.7%)となる。
- (5) 通気融雪工法の設計の要点
日射・気温・通風・雨などの自然エネルギーを融雪エネルギーとして最大限に活用する。
屋根雪が成層構造にならないように斜材を設置するか、柵状に雪切りを行って通気を確保し、雪表面積が大きくなるようにする。
飽和状態に保水されている融雪水の表面張力のバランスを崩すために雪底面の角度

は 20° 以上とする。

降雪日には融雪出水はストップする。これを無理して熱を加えて出すようにすると悪循環に陥る。

その場所における 1 月の月平均気温が 0 以上で、過去最大積雪深が 1~4m 未満が成立可能地域である。

地域の降雪の特性を考慮して安全側となる耐雪力を確保する必要がある。1~2m 地域：210 [kg/m²] 、 2~3m 地域：420 [kg/m²] 、 3~4m 地域：630 [kg/m²]

(6) ベタ雪地帯における種々の通気融雪工法屋根の選択

以下のような種々のタイプの中から規模や用途により、適正なものを選択する。

水平屋根の住宅の場合には、複式折板による通気融雪工法とする。

急勾配屋根の住宅の場合には、二重屋根による通気融雪工法とする。

体育館やスーパーマーケット・駅舎などの大規模建築物の場合には、立体トラス又は吊り構造屋根とし、その小屋組ないし構造部材を自然融雪装置とする。

(7) 本報告で述べたように「積雪層に滞留してしまう量が最小限となるように屋根面を傾斜させ、自然エネルギーによって雪が融けたら再凍結させずに排水出来るように工夫する。」ことで、屋根雪荷重の低減を計ろうとする試みは、未だ普及しているとは言えない。21 世紀を迎えた現在、多雪地帯における合理的な建築設計の仕方を追究して行くことで、豊かで文化的な雪国を創っていけるものと期待される。

以上の成果をまとめて研究成果報告書を作成した。

第1章 ベタ雪地帯における様々な自然積雪と融雪の様子

1 - 1 温暖な中緯度地帯が世界3大豪雪地帯

豪雪問題をもたらす要素は、寒気団を発達させる「大陸」があり、雪の元となる「水」が大量に存在し、その雪が丘陵ないし山岳で堰き止められて降る地帯に「居住地」が発達している所となる。そのような観点から世界の3大豪雪地帯を探すと、図1-1に示したごとくとなる。いずれも中緯度地帯、比較的温暖な地域に豪雪地帯が形成されていることが分かる。

「北米の五大湖の東側地域」は、北米カナダ大陸で寒波が発達し、蒸発した五大湖の水が上空で雪となってその東側一帯の丘陵地帯からニューヨーク付近まで雪を降らせる。この地域は豪雪よりも寒波による被害の影響が大きい。

「黒海とカスピ海の東側の丘陵地帯」は、ヨーロッパ大陸で寒気が発達し、蒸発した黒海とカスピ海の水が上空で雪となってトルコ東部・イラン北部・トルクメスタンなどの丘陵から山岳地帯に雪を降らせる。しかし、この地域の人口は比較的少なく産業もあまり発達していないので、雪問題は殆ど表面化していない。

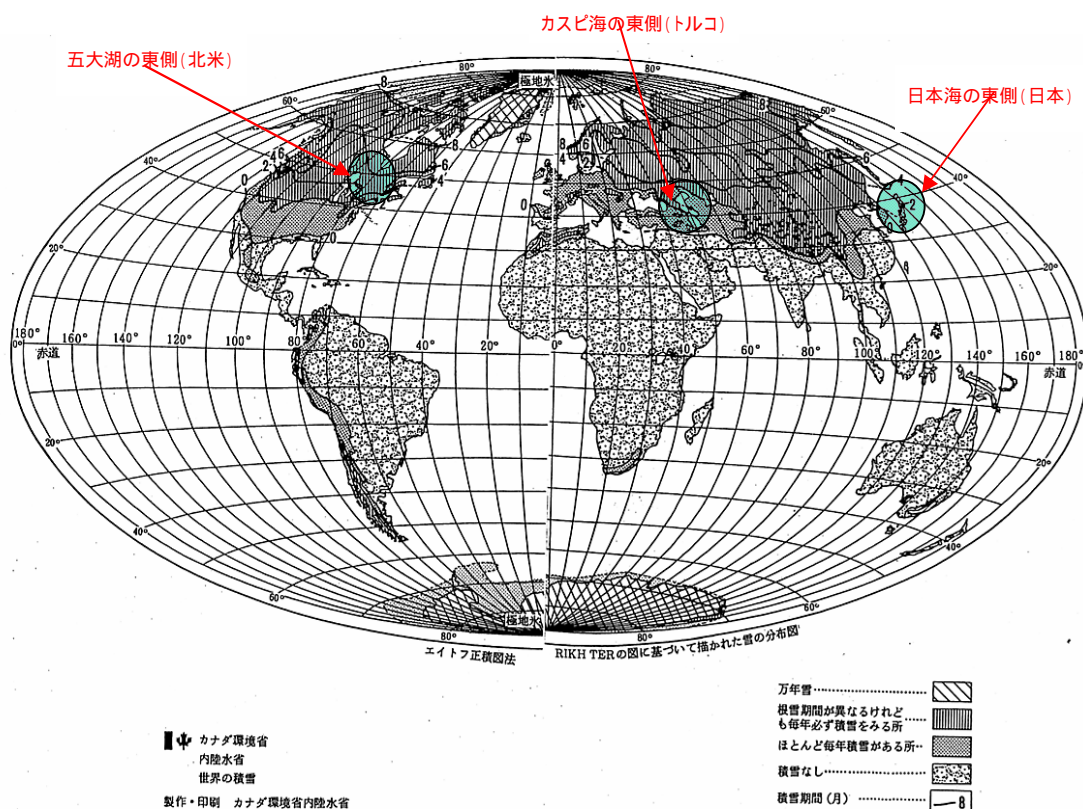


図1-1 世界の3大豪雪地帯

1 - 2 日本海側における豪雪のメカニズム

地球の自転に伴い北半球の中緯度地域には偏西風が西から東に向かって吹いているため、西から東に向かって天気は変化する。図 1-2 に示した如く、冬季には寒気を含んだシベリアの高気圧が南下し、北海道の東部にアリューシャン低気圧が台風並に発達すると、北海道から山陰にかけての日本海側で大雪となる。図 1-3 に示した如く、大雪の時には冬型の西高東低の気圧配置となる。その時、高気圧は上から下に向かって右回り、低気圧は下から上に向かって左回りの気流となって合流し、次から次へと南下する。そして、輪島上空 3000~5000m で -36~-40 に達する寒気団が、佐渡沖で厳寒期でも 10~14 の水温を保っている対馬暖流の水蒸気を大量に吸い上げ、ベタ雪と称される大量の雪を北陸地域に降らせる。

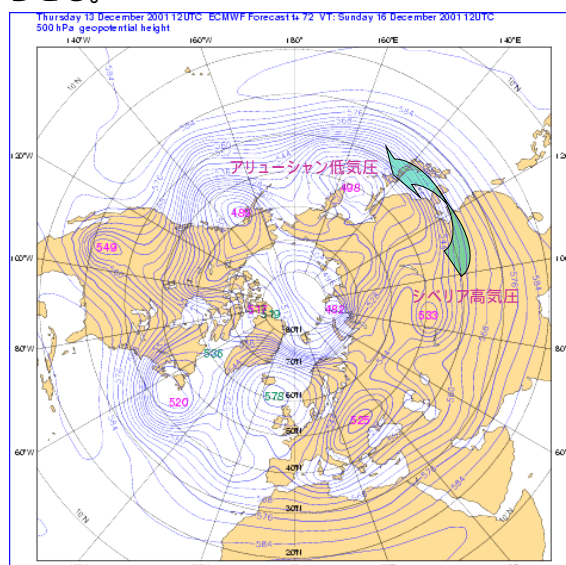


図 1-2 北極を中心とした上空 500hPa の気圧配置 2001.12.13

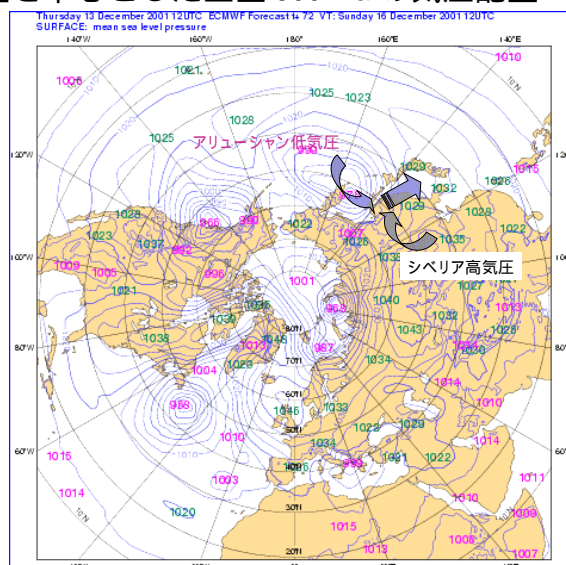


図 1-3 北極を中心とした地上 1013hPa の気圧配置 2001.12.13

山側には脊梁山脈に雪雲がぶつかり、山雪と称される雪が毎年同じように降る。これ

に対し、平野部には寒気が上空に居座ると大量に里雪と称される雪が降る。この里雪は年によって変動が大変大きい。

1 - 3 北陸のベタ雪豪雪地帯の雪は量が多いが変態スピードも早い

我が国における積雪の最高記録は、山岳では滋賀県の伊吹山の 11.82m、居住地では新潟県中頸城郡板倉町寺野の 8.18m である。旧国鉄では飯山線の長野県栄村の森宮野原駅構内の 7.85m が最高である。三八豪雪の際に栃尾市街地でも 4.28mの積雪が記録され、陸の孤島となって自衛隊のヘリコプターが生鮮食料品や急病人を長岡に運び出すなどとなった。長岡で 3m18cm、三条で 4m25cm にも達した。しかしながら、4 月半ばには市街地の雪は消え、5 月の連休頃には山間部の水田に雪が残って田植えが遅れるなどは見られたが、殆ど消えてしまった。

このように雪が多いのは前述した如く厳寒期においても比較的暖かいためである。このため、大量に雪は降るが、変態スピードも早いために 3 月の融雪期に入ると、急速に融け出し、3 月の終わりから 4 月の始めにかけて雪の姿が見られなくなる。

北海道は冬の訪れが早いために雪の量も多いと考えている人が多いが、実際は緯度が高いために気温が低く、一旦積もると長く残るが、積雪量はそれ程多い訳ではない。北海道よりも更に高緯度地帯に行くと、夏は短く、ツンドラ地帯となり、万年雪や氷河の見られる地域となる。北陸のベタ雪豪雪地帯は、これらの寒帯とは融雪の状況は大きく違っていることをまず知る必要がある。

1 - 4 ベタ雪地帯における様々な自然積雪と融雪の様子

1 - 4 - 1 丘陵における積雪と融雪の様子

自然地形における雪の積もり方と融け方を融雪期に観察すると、斜面と平地、林と畑、水田と池などによって一律では無く、かなり不均一となっている状況が見られる。

図 1-4 は、3 月末に栃尾市と山古志村の市村界付近で撮った写真である。良く見ると、60 度前後の急勾配の斜面では雪が付着しないために斜面の土が露出しており、灌木の生えている緩斜面では木の周りに空洞ができています。また、草地や水田には大量の雪が見られるが、谷からの水が入っている養鯉池の雪は消えている。この写真では分からないが、風の強い尾根部分では雪が飛ばされて少なく、逆に風の弱い谷の部分には雪が吹き溜まりとなって多くなっている。また、日射の少ない北斜面では多い南斜面に比べ、遅くまで雪が残っている。雪渓のできる谷間では、雪の底面は無数の蛤形でえぐり取られるような形で融けているが、雪原では新雪が降り積もった後に暖気がやってくると急速に雪の表面から融雪が始まり、雪えくぼが発生する。灌木の回りの空隙は新雪が吹き溜まると平らになるが、積雪層の密度が異なるため、降雪が止む融雪期になると急速に穴が拡大する。尚、北側の斜面の下に雪がたまり、その上に土砂や木の葉が被ると夏頃まで残ることがある。



図 1-4 斜面における積雪と自然融雪の様子

1 - 4 - 2 市街地における積雪と融雪の様子

市街地における屋根上の積雪は、北向きと南向きの屋根（方位） 水平と勾配屋根、暖房の有無、風上と風下などによって異なることが一般に知られている。

図 1-5 は、栃尾市街地における屋根上の積雪と融雪の様子を撮った写真である。これを見ると、雪は多い屋根のものと少ない屋根のものとがあり、更に詳細に見ると、ほぼ均一に積もっているものと、軒先に向かって多くなっていたり、雪止め毎に段差ができていたり、暖房の影響から屋根雪が融けているものなど、多様な形態となっている。

栃尾市街地は盆地に形成されているが、西高東低の気圧配置となると北から西の風が吹くが、普段は南側に聳えている標高 1,573m の守門山の方向から比較的暖かい微風(0.5m/s)が吹き下ろしている。雪の多い勾配屋根は北ないし西向きで、少ない勾配屋根は南ないし東向きである。水平屋根の場合、屋根雪は北から西の風上側はやや少なく、南から東の風下側にやや多くなり雪庇ができる。この両者の違いは、前者は気温と日射・南風によるもので、後者は降雪時に吹く北西の季節風によるものと考えられる。後者の屋根の場合、前者に比べてかなり少なくなっているように見えるが、栃尾市街地では風が弱いため、地上に比べて最大 10%程度の差しか見られない。

ところで、海岸に近い柏崎市の平野部の場合は、西高東低の気圧配置になると風速 5～10m/s 程度の強い北西の季節風が吹くため、北から西向きの屋根雪は吹き払われて少なくなる。しかしながら、時間の経過とともに日射の影響を強く受ける南向きの屋根の方が北側の屋根より雪は少なくなる。市街地における屋根上積雪に対する風の影響については、未だ解明されていない点が多いが、ビルの周りの低い木造住宅の屋根には吹き溜まりが生じ、

連続する家並みの場合、少しでも低いとそこに雪が積もるので、少しずつ屋根の高さを高くする動きが上越市高田などでは見られる。断熱材の施されていない屋根の場合、暖房による影響も見られる。また、雪止めがある屋根の場合、降雪の状況、雪止めの材料と規模と形態、屋根勾配、断熱材の有無などの違いによって、ほぼ均一につもっているものから、大きく段差ができていくものまで、その積雪形状には大きな差が生じている。



図 1-5 市街地における屋根上の積雪と融雪の様子

北陸の冬は、いつもどんよりと曇っていて日照時間が太平洋側に比べて半分程度と少ないが、屋根雪の日照による影響はかなり大きなものがあると読みとれる。因みに、南向きの屋根を「緯度 + 15°」に傾斜させると最も冬季の受熱量が多くなるとされている。世界の豪雪地帯であるにもかかわらず、屋根の向きはバラバラで、勾配も雪下ろしの際に危険を感じることのない 3~4 寸勾配が主流である。屋根の勾配と向きを変えるだけで、屋根雪の量は 20~30% 程度も減少させることができると考えられる。今後の雪国における居住地計画の際には、検討すべき課題と指摘できる。

1 - 5 ベタ雪地帯における自然融雪エネルギーと様々な積雪と融雪現象

1 - 5 - 1 積雪層と融雪水の様子

図 1-6 は、融雪エネルギーの供給源について模式的に示したものである。

積雪層は、前述した如く下の方が古く、ざらめ雪・しまり雪・新雪の順に新しい雪が被

る形となっている。融雪をもたらすエネルギー源の90～95%は太陽であり、地球のマグマによる地熱の影響は、一般的には2～3%と極めて少ない。

融雪は、気温と風、日射や雨、湿度などの影響を受けて生じており、底面からの地熱の影響は、降雪初期以外、根雪期間には日射が遮られてしまうため、地面の温度は0 となつてしまい、一般的には殆ど数%しか期待できない。

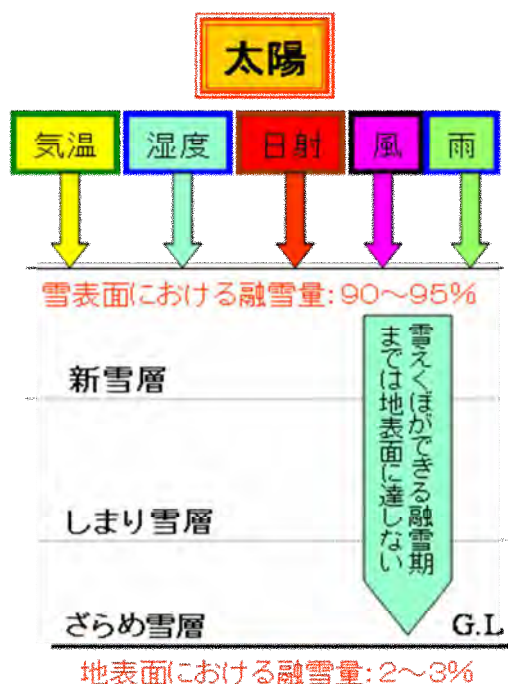


図 1-6 融雪エネルギーの供給源

自然エネルギーを活用した屋根雪処理方式の開発の場合、雪の表面で発生した融雪水を積雪層に滞留させずに、また、底面に達した融雪水をいかにして少しでも多く抜くかが、大きな課題となる。

1 - 5 - 2 積雪層の底面・内部・表面における積雪と融雪の様子

積雪層は、上から「新雪」、「しまり雪」、「ざらめ雪」の如く重なり、気温と時間経過の中で変態し、最終的に融雪水となって流れ出て、姿が見えなくなる。また、積雪層を良く観察すると、全体的には均一層となるが、密度が異なる不均一層や箇所が見つかる。また、何らかの障害物があるとその下に空洞ができていたりする。

もう少し詳しく観察すると積雪層は、地層と同様な形に、古いものが下になりその上に新しい雪が被さって、降雪毎に水平に積層された形で形成されている。一般的には下層部は密度 0.3～0.5g/ccの「ざらめ雪」、中間層は 0.2～0.3g/ccの「しまり雪」、表層部は 0.08～0.1g/ccの「新雪」となっている。

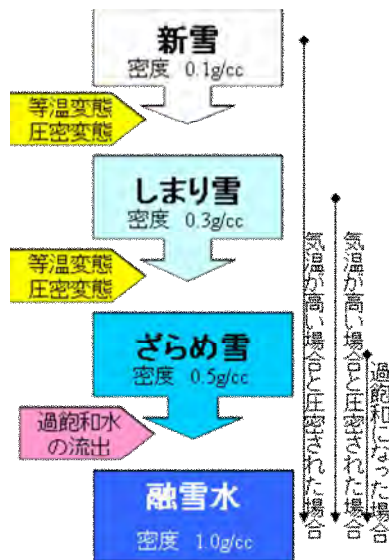


図 1-7 雪の変態過程と融雪出水

下層部の「ざらめ雪」の粒径は、直径 1～5mm 程度で、時間の経過と共に大きくなり、全体が結合し合っている。空隙率は 45%程度であるが、融雪出水が進むとポーラス状となり、保水能力と耐力が低下する。

中間の「しまり雪」層は、空隙率は 70%程度で、降雨や日射の強い日があると融雪水を含んだ層となるが、それが寒気に晒されると氷り、薄い氷板となって閉じ込められ、表層部からの融雪水を滞留させてしまう。しかし、積雪表層部から気温や日射の影響を受けて次第に全層が「ざらめ雪」に変わる。北陸のベタ雪はそのスピードが早く、その期間は数日から数週間である。

表層部の「新雪」は、空隙率は 90%程度であるが、寒気が強いと「粉雪」、雪下ろしの雷が鳴る時には「あられ」となるが、一般的には「ぼたん雪」と称される雪の結晶が上空でくっつき合い、水分を多く含んで結晶の原型がかなり崩れた状態となり、降り積もって形成される。

一般に寒冷地では安定した雪の層が形成されるため、春先の融雪期を迎え、全層がざらめ雪となり、融雪水が地上に流下して「雪えくぼ」が見られるようになるまでは、上に降雪や降雨があるとそのまま積雪荷重となって重くなるが、ベタ雪地帯の場合は、次節で述べる如く、全層がざらめ雪化するたびに「雪えくぼ」は何回も発生している。

図 1-8 は、平成 9 年 2 月 6 日に栃尾市原町において積雪 95cm の断面を観察した時の様子である。下から順に、0～28cm のざらめ雪は 1 月 8 日～1 月 20 日、28～35cm のざらめ雪は 1 月 20 日～1 月 29 日、35～37cm のざらめ雪は 1 月 29 日～1 月 31 日、37～60cm のしまり雪は 1 月 31 日～2 月 4 日、60～74cm のしまり雪は 2 月 4 日～2 月 5 日、74～95cm の新雪は 2 月 5 日～2 月 6 日の降雪による雪である。尚、1 月 7 日以前の雪は融けて無くなっている。



図 1-8 積雪断面の様子 栃尾市原町 H9.2.6

また、積雪層の内部に障害物がある場合、降雪初期はその障害物に雪が付着するため、地面の雪の量は少なくなる。降雪が進み障害物が積雪層に埋没するとその下は空洞となり、



図 1-9 積雪層内の空洞 於栃尾市原町 H12.3.11

周辺に比べて密度の低い場所が形成される。更に降雪進むと全体に雪が締まり積雪層は沈降するが、それに伴って障害物のある箇所の空洞が拡大する。降雪が止み時間が経つにつ

れて積雪層はざらめ雪化が進み、空洞が更に全体に拡大して融雪が進む。障害物のある場合の積雪層の挙動について今後更に検討して見る必要がある。

雪渓は、谷間の吹き溜まりに形成される。最初は谷の底面に融雪水が過飽和状態になるまで保水しているが、その限界を超えると流れ出す。そして、その融雪水が次第に多くなり、川を形成する。そうすると地熱と水温、気温などの影響を受けるようになって、急速に雪渓底面の空洞は拡大する。



図 1-10 雪渓底面の形態 於栃尾市栃堀道院 H6.5.8

その底面を観察すると、全体に円筒形をしているが、その表面は蛤形で無数にえぐられた形をしている。そのような中で、随所の下に向いた凸部から融雪水の滴が滴り落ちている。しかし更に良く観察すると、全体的にはその近傍の一番低いところに水が集まり滴り落ちているが、それらは均等ではなく、勢い良く滴っている凸部にはその一番高い空洞の頂部よりも低い箇所からも融雪水を吸い上げ、流れている様子が見られる。融雪水は0℃で熱エネルギーを殆ど持っていないために、滴の出ている箇所の融雪は殆ど進まず、水分が吸い取られている箇所の後退の方が目覚ましい。このようにダイナミックな動きが見られる中で、雪渓の空洞は拡大し続けるが、日射や気温・風・雨などの影響を受ける雪渓の表面の後退の方が更に目覚ましく、次第に痩せ細って姿が見られなくなる。尚、雪渓は雪というより氷に近いが、その層には無数の空隙があり、底面には2～4cm程度の高さで過飽和水が毛管現象で吸い上げられている層が見られる。

1 - 6 雪えくぼの間隔と発生インターバル

1 - 6 - 1 雪えくぼの発生と盛衰過程

雪えくぼとは、ざらめ雪の上に大量の新雪が積もり、急激に融雪が進むとより流下しやすい場所で圧密が進み、雪原一面にえくぼ状の窪みができる。その名称のことである。この窪みの中には水路が形成され、地表面まで達している。その間隔は、数 cm から 1m 以上に達するが、平成 16 年 2 月に観察されたその盛衰過程について以下に示す。



図 1-11 雪えくぼの発生 H16.2.1 AM9:44 積雪 50cm 於栃尾市原町



図 1-12 雪えくぼの成長 H16.2.1 AM10:06 積雪 50cm 於栃尾市原町



図 1-13 雪えくぼの発達 H16.2.1 PM13:37 積雪 50cm 於栃尾市原町



図 1-14 雪えくぼの発達 H16.2.1 PM14:47 積雪 50cm 於栃尾市原町



図 1-15 雪えくぼの上への降雪 H16.2.7 AM10:43 積雪 90cm 於栃尾市原町



図 1-16 雪えくぼの再形成 H16.2.11 AM8:50 積雪 87cm 於栃尾市原町

図 1-11～14 は平成 16 年 2 月 1 日の朝、積雪が 50cm の時に雪えくぼが発生し成長する過程を捉えた写真である。雪えくぼの間隔は、2～3m に達しており長い。その後、4 日に 16cm、5 日に 18cm、6 日に 20cm、7 日に 19cm と降雪が続き、図 1-15 は雪えくぼの上に新雪が被り隠れた様子である。更に、8 日に 50cm 降り、積雪が 130cm に達した。そして、9 日に 7cm、10 日に 3cm と降ったが、図 1-16 は前日から再び雪えくぼが見られるよ

うになり、その間隔は 20～50cm 程度とかなり密度が高く、窪みが明瞭になった様子を撮影した 11 日の写真である。



図 1-17 雪えくぼの密度の増加 H16.2.13 AM8:43 積雪 78cm 於栃尾市原町



図 1-18 雪えくぼの消滅 H16.2.14 AM10:53 積雪 75cm 於栃尾市原町



図 1-19 雪えくぼの消滅 H16.2.21 AM9:22 積雪 49cm 於栃尾市原町

図 1-17 は図 1-16 から 2 日経過した 13 日の様子である。全層のざらめ雪化が進み、窪みが不明瞭になってきている。図 1-18 は更に 1 日経過した 14 日の様子で、図 1-19 はそれから更に 1 週間が経過した 21 日の写真である。この期間には殆ど降雪は見られず、雪えくぼ

の姿はほとんど消滅し、雪の全表面から融雪が進み、流下する状態となった。

1 - 6 - 2 様々な場所の雪えくぼ等

古志郡山古志村では平成 14 年 12 月 9 日から根雪となり、積雪深は 12 月 13 日に 120cm に達したが、12 月 18 日に 50cm、12 月 25 日に 38cm と減少し、全層がざらめ雪となった。その後、再び降雪が見られ、12 月 30 日に 115cm に達し、1 月 1 日には雪が止み、快晴となって日射が強くなり、気温も上昇して積雪 105cm の上のしまり雪層に雪えくぼが発生した。図 1-20 は、その時に撮影した写真である。

この積雪 105cm の時の雪えくぼの間隔は、写真から短いもので 30cm、長いもので 180cm、平均で 60cm 程度であったと推測される。この冬の最高積雪深は 2 月 6 日に 232cm に達したが、その後一進一退を繰り返し、3 月 12 日に 215cm に達した後は融雪に向かい、4 月 21 日に完全に消雪した。この期間に何回雪えくぼが発生したかは不明であるが、数回繰り返されたものと推察される。



図 1-20 雪えくぼ 平成 15 年 1 月 1 日 積雪 105cm 積雪古志郡山古志村

図 1-21 は、積雪 87cm の平成 16 年 2 月 1 日に栃尾市原町において屋根雪に発生した雪えくぼを撮影した写真である。普段見慣れていないが屋根上でも同様の現象が起きている。



図 1-21 屋根上に発生した雪えくぼ H16.2.11 AM8:45 積雪 87cm 於栃尾市原町

同様に、図 1-22 は、積雪 87cm の平成 16 年 2 月 1 日に栃尾市原町において屋根雪に発生した雪えくぼと水路を撮影した写真である。水田や畑と同様に 2/10 程度の緩い勾配の屋根には雪えくぼが発生し、4/10 以上のやや急な屋根には屋根雪の表面を融雪水が流下した水路が見られる。2 月 8 日には地上の積雪が 130cm に達したため、多い家では 2 回目の雪下ろしが行われている。



図 1-22 屋根上の雪えくぼと水路 H16.2.11 AM8:32 積雪 87cm 於栃尾市原町

1 - 7 融雪過程と融雪水

1 - 7 - 1 水の表面張力

コップに水を入れ、1mm メッシュの金網で蓋をし、手でこぼれないように押さえてコップを逆さにし、静かに手を離すと、コップの水はこぼれずに残る。これは水に表面張力が働いているために起きる現象である。金網を 20° 程度傾けると、水の表面張力のバランスが崩れるため、金網から水がドッと流れ落ちる。



図 1-23 表面張力の働きのために逆さにしたコップの水が金網から抜けずに残る様子

1 - 7 - 2 水の毛管現象

ところで、300×100×50 のざらめ雪の塊を図 1-24 は水平にし、図 1-25 は 45° 傾斜させて気温約 20 の時に栃尾市原町の庭に放置し、観察した時の写真である。

図 1-24 を見ると融雪水が毛管現象によって吸い上げられ、底面から約 3cm 程度一面に保水されている様子が観察される。ざらめ雪の直径が 1mm の場合は 4~6cm、3mm の場合は 2~4cm、5mm の場合は 1~2cm、7mm の場合は 0~1cm 程度と径が大きくなるにつれて、その吸い上げ高さは減少する。



図 1-24 雪塊を水平にした時の毛管現象で吸い上げられた過飽和水
底面全体に毛管現象で融雪水が吸い上げられている

これを 45° 傾斜させた図 1-25 を見ると、下面に三角柱状に融雪水が残っているのみで、大部分が流出していることが分かる。同じ気圧で空隙もほぼ同じ場合には毛管現象によって吸い上げられる高さは同じである。しかしながら、20° 以上底面を傾斜させると、表面張力のバランスが崩れ、雪粒子の空隙から水が抜けるため、このような結果となる。



図 1-25 雪塊を 45° 傾斜させた時の毛管現象で吸い上げられた過飽和水
底面に三角柱状にのみ毛管現象で融雪水が吸い上げられている

このような形状で積雪層底面に形成され残った融雪水は、気温が氷点下に下がると再凍結することとなるが、積雪層の雪荷重は大幅に減少すると期待される。

1 - 7 - 3 しまり雪とざらめ雪の融雪スピードとその形態

平成 12 年 2 月 10 日に暖房を行っていない室内で、しまり雪とざらめ雪を 800g ずつ円筒に取り、金網の上に載せて放置し、その融雪スピードの違いとその形状を観察した。

外気温は、午前 9 時が 1.0 、午後 2 時前後の最高気温が 6.0 、翌日明け方の最低気温が -2.0 であった。天候は曇りで、日中の室温は 10 程度まで上昇した。室温が上昇したため、表面積の大きなしまり雪の方が温度の影響を受け易く、流下スピードの早いざらめ雪よりも変態と融雪は早かった。明け方に室温は 0 程度まで下がったと推察されるが、目視では雪粒子の拡大は見られなかった。しまり雪でもざらめ雪でもプラス気温の中に放置されると、上から次第に融雪水が下に流下する。そして、底面において雪粒子の大きさに応じた間隙の毛管現象による吸い上げ高さまで融雪水が上昇し、過飽和状態になるとその分が出水する。0 の融雪水は底面の融雪には寄与せず、融雪水の抜けた上部は水を介することなく直接雪にエネルギーが伝達されるため、早く融雪が進む。また、筒状の雪の内部には熱が伝わりにくいため、外側の方が早く消える。このため、円柱形が円錐形となって融雪が進む。この結果から、雪はなるべく粒子が大きくなりたくない新雪かしまり雪のうちに、自然エネルギーで融けるようにする方が効果的といえる。この実験で、気温が高いと新雪やしまり雪のべた雪の場合、ざらめ雪に変態しなくても出水することが実証された。



図 1-26 それぞれ 800g の円筒形のしまり雪(左) とざらめ雪(右) 10:00
しまり雪は表面積が大きい、ざらめ雪は流下スピードが早い



図 1-27 左側のしまり雪の変態が右側のざらめ雪よりも進んでいる様子 13:00
吸い上げ高さはしまり雪は 5cm、ざらめ雪は 3cm



図 1-28 左側のしまり雪はほぼ円錐となり体積の減少が顕著となっている 16:00
吸い上げ高さの位置で若干融雪が他より進んでいる

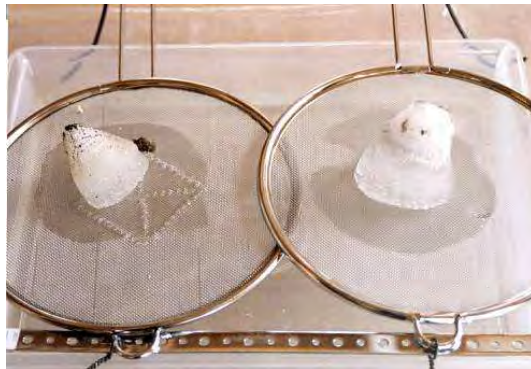


図 1-29 24 時間後にお結び形に残ったしまり雪とざらめ雪の様子
表面積が大きく気温の影響を受けやすいしまり雪が早く消えた

1 - 8 エキスパンドメタルによる雪の表面積の拡大

1 - 8 - 1 スキーリフトの足場から垂れ下がった雪

図 1-30 は、平成 12 年 1 月 3 日に奥只見丸山スキー場のリフトの点検足場のエキスパ
ンドメタルから無数に垂れ下がった雪の房を撮った写真である。



図 1-30 エキスパンドメタルから無数に垂れ下がった雪の房
奥只見丸山スキー場のリフトの点検足場 H12.1.3

これは、鉄でできているエキスパンドメタルは熱伝導率が良いため、日中の気温と雪の表面から反射された日射の熱を雪に伝え、圧密された接触面で融雪が進み、写真のような形態となったものと推察した。このように雪が心太の如く押し出され垂れ下がれば、雪塊の表面積が拡大するので、プラス気温と風の影響を受けて極めて効率良く屋根雪の融雪が促進できると考えた。

1 - 8 - 2 水平に張ったエキスパンドメタルにおける実際と改善方法

栃尾市原町でエキスパンドメタルを水平に固定して約 50cm 程度浮かして実験して見たところ、融雪水が抜けずに再凍結してしまい図 1-31 のような形になった。



図 1-31 約 50cm 程度浮かしエキスパンドメタルを水平に固定した実験
融雪水が抜けずに再凍結してしまった 栃尾市原町 H12.2.27

同様に 158cm 高さのピラミッド型屋根の上にエキスパンドメタルを水平に固定して実験して見たところ、図 1-32 のような形に融雪水が再凍結してしまい、凍った房が融雪するまで時間がかかり、効率が低くなった。



図 1-32 158cm 高さのピラミッド型屋根の上にエキスパンドメタルを水平に固定した実験
再凍結した雪の房が融けるのに時間がかかった 栃尾市原町 H16.2.11



図 1-33 エキスパンドメタルを 45° 傾斜させて行った実験
エキスパンドメタルから新雪が垂れ下がった様子 H14.2.16

この問題を解決するためエキスパンドメタルを図 1-33 に示した如く 45° 以上傾斜させて設置すると、新雪の降雪時に雪の垂れ下がりが再現できた。しかし、その部分が融け、底面のざらめ雪化が進むと、殆ど見られなくなった。しかし、エキスパンドメタルを傾斜させると融雪水の落下が促進されるため、融雪水が再凍結してしまう現象は少しばかり見られる程度に納まり、大変融雪効率は良くなった。

第2章 各種融雪実験の概要

2 - 1 積雪層内部に障害物がある場合の積雪と融雪の状況

この実験は、栃尾市原町において平成3年の1~3月に単管埋設及び水槽実験として行ったものであるが、平成11年1~3月にかけても積雪層内部に障害物がある場合の積雪と融雪の状況を観察するため行ったので、その概要を示す。

幅60cm×奥行30cm×高さ45cmの水槽に90cmの足を4本付けて持ち上げ、長軸が南北になるようにして庭に設置した。水槽の内部には高さ25cmの位置に、長さ29cmで径が2.5cm程度の塩化ビニールにビニールひもを巻いたもの・銅・銅に針金を巻いたもの・ステンレスの4本のパイプを北から順に約15cm程度離して鉄板で吊した。尚、融雪水は水槽の底に開けられた小さな穴から自然に抜けるようにした。

平成9年2月20~26日にかけて見られた積雪から融雪・消雪に至る1サイクルについて示すと図2-1~7の如くである。



図2-1 雪が降り落下した雪が波打って積雪している降雪日の翌日の様子 H9.2.20



図2-2 雪が降り積もりパイプが埋もれ空洞が発生している様子 H9.2.21



図 2-3 更に雪が降り積もりパイプが埋もれ空洞が変化している様子 H9.2.22



図 2-4 雪が少し降っているがパイプの下の空洞が拡大している様子 H9.2.23



図 2-5 雪が降り止みパイプが露出し空洞が拡大している様子 H9.2.24



図 2-6 パイプの下の雪が融け、全体に融雪が進んでいる様子 H9.2.25



図 2-7 水槽内部の雪が殆ど融け、水槽の下に大きな空洞が発生している様子 H9.2.26

このように積雪から消雪に至る過程は平成 9 年 1 月初めから 2 月終わりまでにかけて 8 回見られ、1 サイクルの最短は 3 日間、最長は 13 日間、平均は 7.25 日間であった。

第 1 回	1 月 1 日～1 月 7 日	8 日間
第 2 回	1 月 8 日～1 月 20 日	13 日間
第 3 回	1 月 20 日～1 月 24 日	5 日間
第 4 回	1 月 28 日～2 月 2 日	6 日間
第 5 回	2 月 2 日～2 月 12 日	11 日間
第 6 回	2 月 13 日～2 月 17 日	5 日間
第 7 回	2 月 19 日～2 月 26 日	7 日間
第 8 回	2 月 27 日～2 月 29 日	3 日間

尚、融雪水はプラス気温になっている時しか出ないので、氷柱の発生は見られなかった。

このように良く消えた原因は、ガラス水槽の温室効果の影響も考えられるが、水槽にパイプを吊したことにより、内部の積雪層の密度がアンバランスとなり、空隙ができ、雪の表面積が拡大し、融雪しやすい積雪構造となったためと考えられる。

2 - 2 水平雪切り格子による融雪効果実験

ベタ雪地帯では、格子の大きさに関係なく付着するものと考えていた。しかしながら、みぞれが本格的な雪になる際に成長するが、雪下ろしの雷が鳴る時にはあられ雪が多く、寒い時には粉雪が舞い、必ずしも簡単には付着しなかった。様々な材料と目の大きさによる実験を行ったので、その概要について報告する。

(1) 5cm 角の鉄板格子とアルミ板格子の場合

平成 12 年 1 月に 1 区画を奥行 30cm×幅 20cm×高さ 20cm の木枠を作り、メッシュの布、女竹、プラスチック格子、5cm 角鉄板格子、5cm 角アルミ板格子、3cm 角金網、1cm 目金網、5mm 目金網の如く取り付け、その積雪と融雪と出水の過程を観察した。

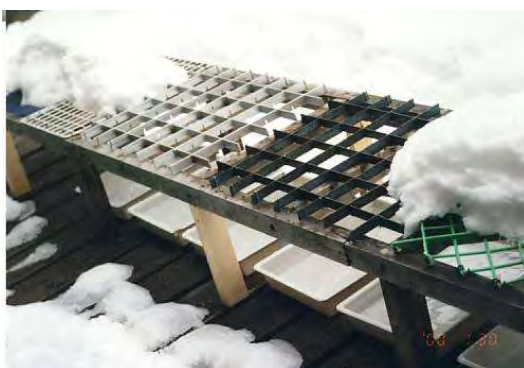


図 2-8 実験装置の様子 於栃尾市原町 H12.1.30



図 2-9 格子から雪が垂れ下がっている様子 於栃尾市原町 H12.1.30

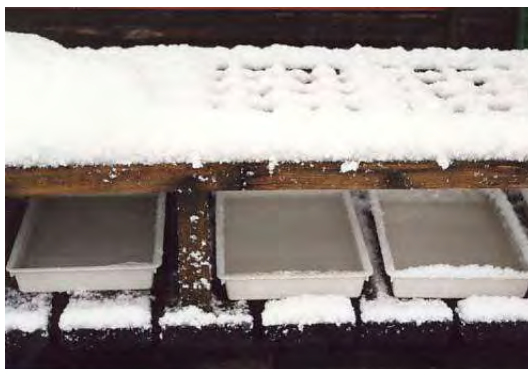


図 2-10 格子に雪が付着している様子 於栃尾市原町 H12.1.31



図 2-12 格子から雪が抜け落ちている様子 於栃尾市原町 H12.2.2

(2) 7.5cm 角の鉄板格子とアルミ板格子の場合

まとまった雪が降らず、上記図 2-8～12 のような結果が続いたため、平成 12 年 2 月に 1 区画を奥行 45cm×幅 60cm×高さ 100cm の単管パイプの枠を作り、その上に 7.5cm 角の鉄板とアルミ板の格子を固定した。次に、庭のざらめ雪をその上に 100cm 積み上げ、その融雪と出水の過程を観察した。



図 2-13 実験装置の様子（北：アルミ板、南：鉄板） 於栃尾市原町 H12.2.19



図 2-14 実験装置に雪を積み上げた様子 H12.2.19



図 2-15 格子から雪が垂れ下がり出している様子 H12.2.22



図 2-16 垂れ下がった雪に小さな氷柱が発生している様子 H12.2.27



図 2-17 垂れ下がった雪が氷の塊になっている様子 H12.3.3



図 2-18 雪塊がかなり融雪し小さくなった様子 H12.3.5

(3) 各種グリッドによる積雪と融雪過程

図 2-19 は、栃尾市原町の鉄筋コンクリート製の東西 6.0m、南北 5.4m の車庫の上に各種グリッドを水平に固定した様子である。西側 2.0m 幅には 15cm 角の鉄筋 6 の格子、中央 2.0m 幅には 15cm 角の F R P 板の格子、東側 2.0m 幅には南半分に 5cm 角のプラスチック格子、北半分にエキスパンドメタルを水平に固定した。また、融雪促進のため、南側 2.7m 幅には直径 12cm のステンレス製の筒 1.0m を約 90cm のグリッド交点に立てた。

() 全体の概要



図 2-19 実験装置の様子（西：鉄筋、中央：FRP、東：プラスチック&エキスパンドメタル。南側：融雪促進用にステンレス製筒） 於栃尾市原町 H12.1.9



図 2-20 新雪が実験装置に降り積もった様子 H12.1.21



図 2-21 東側だけに雪が積もり、中央と西側は落下している様子 H12.1.24



図 2-22 東側には更に雪が積もり、中央と西側にも雪が付着している様子 H12.1. 26



図 2-23 全面に雪が積もりメッシュを覆っている様子 H12.1. 28



図 2-24 雪が筒の周りとフェンス付近で融け後退し出している様子 H12.1. 29



図 2-25 筒の周りとフェンス付近の雪が更に融け後退している様子 H12.2. 3



図 2-26 筒の周りとフェンス付近の雪が更に融け後退している様子 H12.2.7



図 2-27 この一進一退の状態が1ヶ月続いた H12.2.10



図 2-28 装置全体に新雪が被さった2回目の様子 H12.3.10



図 2-29 残っている雪の上に新雪が被さった様子 H12.3.13

() 西側の鉄筋 6 の 15cm グリッドの積雪と融雪の概要

まとまった雪の降る日が少なく最高積雪深も 100cm と少く、霰や粉雪の時には鉄筋に雪は付着せずに下に落ちてしまうため、全体を雪が覆ったのは 2 回しか見られなかった。

ベタ雪が沢山積もると鉄筋に付着し、下に雪が垂れ下がる様子が観察されたが、もっと多くドカ雪となりかなりの積雪が見られるようになると、大きく雪が垂れ下がり融雪する様子が観察されたものと推察されるが、残念ながらそのような降雪には至らなかった。しかしながら、そのような場合には融雪水がその下端部に残るため、夜間などに冷え込むと凍ってしまい、悪循環に陥ることが懸念される。



図 2-30 新雪が被さり少し垂れ下がっている様子 H12.1.28



図 2-31 垂れ下がった雪に小さな氷柱が発生し融けている様子 H12.1.30



図 2-32 雪が垂れ下がり覆っている所に筒の周りには穴が開いている様子 H12.1.30



図 2-33 筒の周りの雪が融け周辺に雪が垂れ下がっている様子 H12.2.26

() 中央のFRP製の15cmグリッドの積雪と融雪の概要

FRP製の15cmグリッドの場合も中央に設置したため雪が若干多く残っているように見えるが、基本的には鉄筋グリッドの積雪と融雪と同様であった。

ベタ雪の場合、FRP製の15cmグリッドに付着するが、霰や粉雪の場合には付着しないで目から落ち、図 2-37 の如く下の屋根に堆積してしまう。完全に埋まり空隙が無い状態になると、沈降力によってFRP製グリッドが壊れてしまうことが懸念される。



図 2-34 新雪が被さり下まで垂れ下がっている様子 H12.1.28



図 2-35 垂れ下がった雪に小さな氷柱が発生し融けている様子 H12.1.30



図 2-36 周辺に雪が垂れ下がる中で筒の周りの雪が大きく融けている様子 H12.2.19



図 2-37 15cm と目が粗いため下の空洞が塞がり雪露出している様子 H12.2.26



図 2-38 新雪がFRPグリッドに被さり下まで垂れ下がっている様子 H12.3.11

() 東側南のプラスチック 7.5cm 角グリッドの積雪と融雪の概要

プラスチック製のフェンスの 7.5cm グリッドの場合、積雪の仕方は 15cm グリッドの鉄筋とFRPと比べ、最初から殆ど上に積もり、大きく異なった。

積もった深雪は、しまり雪やざらめ雪となり、その上にまた新雪が被るという形が繰り返し起きた。新雪の場合は少し垂れ下がり融雪するが、しまり雪となり、固いざらめ雪の塊となると凸状に融雪している様子が観察された。水分を沢山含んだざらめ雪の塊となると下に垂れ下がり融雪が進んだ。小さな氷柱の発生が見られたが、次に述べるエキスパンドメタルのように全面的に凍る現象は見られなかった。



図 2-39 筒の周りに少し空洞ができ新雪が少し垂れ下がっている様子 H12.1.21

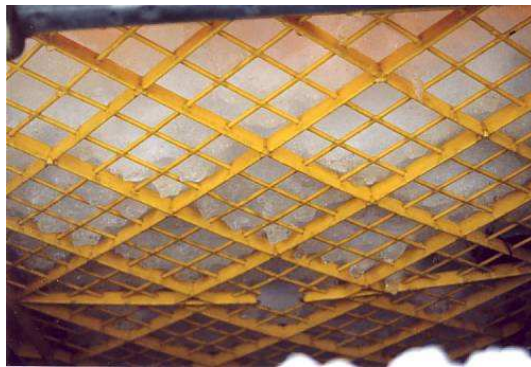


図 2-40 プラスチックの目の上に凸状に積もった雪が融けている様子 H12.1.29



図 2-41 上の雪塊がプラスチックの目から少し融けて垂れ下がっている様子 H12.2.20



図 2-42 上の雪塊が筒の周りで大きく融けている様子 H12.3.6

() 東側南のエキスパンドメタル 5cm×3.5cm の積雪と融雪の概要

エキスパンドメタル 5cm×3.5cm の場合の積雪と融雪の仕方は、プラスチック製のフェンスの 7.5cm グリッドと比べ、積もり方は同様であったが、融雪水は底面の表面張力によって抜けず、再凍結してしまうことが多く、大きく様相は異なった。

プラスチックに比べ鉄製のエキスパンドメタルは、熱伝導率が高いため、気温の上昇により融かすことも寄与するが、気温が下がると冷えるのも早く、融雪水を再凍結させてしまったと考えられる。融雪水を再凍結させないで抜く方法を検討する必要がある。エキスパンドメタルの鉄板は捻られており角度は付いているが、垂直よりも水平面積が大きくなっているため、融雪水が多く滞留してしまったと考えられる。

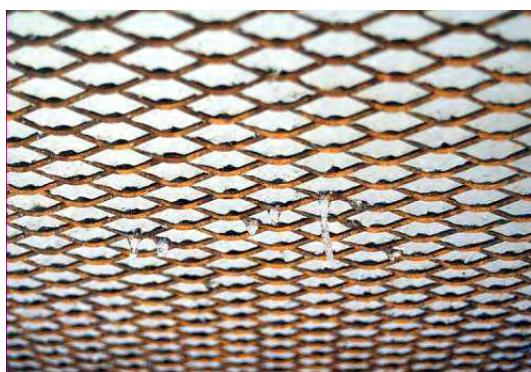


図 2-43 上にしまり雪が積もり小さな氷柱が発生している様子 H12.1.23



図 2-44 ざらめ雪からの融雪水が垂れ下がり凍っている様子 H12.1.29



図 2-45 融雪水の再凍結が繰り返され氷が発達している様子 H12.2.20



図 2-46 再凍結が繰り返され幾重にも氷が発達し重くなっている様子 H12.3.4

2 - 3 融雪板による融雪効果実験

図 2-47～52 は、平成 13 年冬に行った実験である。栃尾市原町の車庫の屋根の上に、南側には木板(150×1820×15)に砂付きルーフィングを貼り付けた融雪板、北側には U 字形に加工した鉄板の中に発泡ポリスチレンの断熱材を入れ、砂付きルーフィングを貼り付けて作成した融雪板(150×1820×20)を、それぞれ東側 30°、中央 45°、西側 60° になるようにして約 15cm 間隔で並べた。平成 13 年の冬は最高積雪深が 170cm に達し、平年を上回り、装置の雪庇防止用フェンス 90cm を超えて降り積もった。



図 2-47 全体に雪が被さった様子 屋根上 25cm/地上 40cm H12.12.28



図 2-48 雪がかなり消えた様子 屋根上 18cm/地上 29cm H13.1.3



図 2-49 再び雪が降り積もった様子 屋根上 47cm/地上 62cm H13.1.6



図 2-50 雪が装置の上端を越えた時の様子 屋根上 120cm/地上 170cm H13.1.17



図 2-51 雪が装置の上端を越えた時の様子 屋根上 80cm/地上 120cm H13.2.4



図 2-52 雪がかなり多く装置の上に残っている様子 屋根上 80cm/地上 120cm H13.3.11

以上の結果、熱伝導率の小さい南側の木板製よりも大きい北側の鉄板製の融雪板、東側の 30° よりも中央の 45° 、それよりも西側 60° と角度を急にした順に融雪効果があることが分かった。しかしながら、根雪期間に装置全体の雪が融ける姿は 1 度も見られなかった。これは、積雪深に対し装置の高さ方向の規模が小さ過ぎたためである。つまり、降雪初期には鋸歯状に雪が積もりそのまま消えるが、雪が融けずに多く積もってしまうと融雪板の上端に波打つような形で積雪層底面の雪が上昇し、そのままの状態が冬中続き、底面に保水された融雪水が再凍結し、悪循環を起こしてしまった。

2 - 4 エキスパンドメタルによる融雪効果実験

平成 13 年冬の結果の反省から、平成 14 年冬は融雪装置の規模を大きくして実験した。つまり、南北 $67.5\text{cm} \times$ 東西 73cm のグリッドの交点に 1m の単管パイプを垂直に立て、南向きに 45° の角度に単管パイプで固定し、その上に南側には前年に作成した融雪板を約 3cm のスリットを空けて 5 枚並べ、北側にはエキスパンドメタル 910×1820 を固定した。そして、頭繋ぎを南北に単管パイプで行った。

図 2-53~59 は、1 月 4 日から 11 日の 1 週間の経過を示したものである。このような形で積雪と消雪が繰り返され、特にエキスパンドメタルの下では図 2-60 に示したように新雪が積もると房状に雪が垂れ下がるため効果が上がることが確認できた。しかしながら、図 2-61 の如く北側は雪が積もると南側の陰になってしまい、消え難くなる問題点が残った。



図 2-53 頂部に雪が積もった様子 地上 45cm H14.1.4

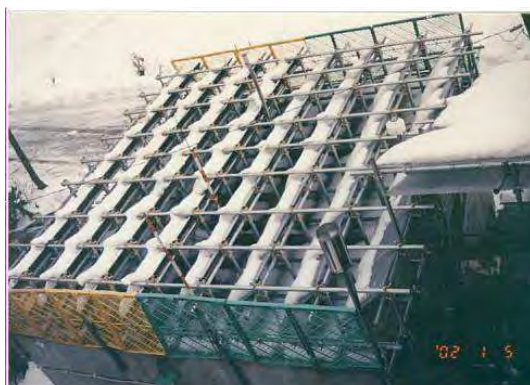


図 2-54 頂部に雪が後退し出した様子 地上 40cm H14.1.5

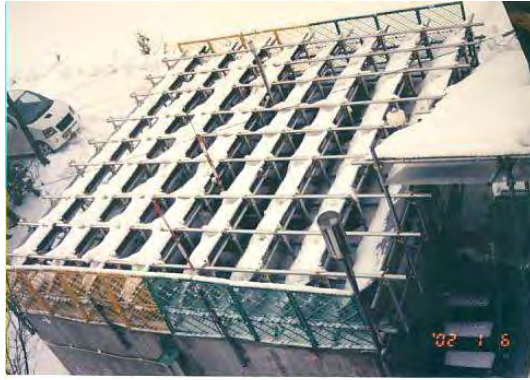


図 2-55 5cm の降雪があった時の様子 地上 38cm H14.1.6



図 2-56 北側の鉄筋部分の融雪が顕著になり出した様子 地上 30cm H14.1.7



図 2-57 北側の鉄筋 1 列目が殆ど露出した様子 地上 30cm H14.1.8



図 2-57 北側の鉄筋 1 列目が殆ど消雪した様子 地上 38cm H14.1.9



図 2-58 北側のI鉄パイプ 3 列目も露出し始めた様子 地上 33cm H14.1.10



図 2-59 北側のI鉄パイプ 部分が完全消雪した様子 地上 28cm H14.1.11



図 2-60 新雪がI鉄パイプ メタルから垂れ下がっている様子(横面)



図 2-61 雪がI鉄パイプ メタルに積もり通気が確保されている様子(側面)

第3章 二重屋根式通気融雪工法装置の性能

3 - 1 実験場所の概要

実験場所は新潟県栃尾市原町 1-7-33 とした。その概要は以下の如くである。

位置	北緯 37° 27' 46"	東経 139° 0' 14"
海岸までの距離	26.50km(寺泊海岸)	
山岳からの距離	18.32km(標高 1573m の守門山)	
標高	22m(標高 5m を基盤面とし 13m の河岸段丘の上の 2 段目の端部)	
過去最高積雪深	4m28cm(昭和 38 年 1 月)	
年最高平均積雪深	1m58cm(昭和 38 年～57 年の 20 年)	
1 月の月平均気温	1	
1 月の月平均風速	0.5m/s	

栃尾市街地は、上越新幹線の JR 長岡駅から直線で 13.52km 離れた東北東に位置している。周辺は山に囲まれた盆地で、市の中心には南の守門山から流れる刈谷田川と南西から流れる西谷側の合流点に発達している。

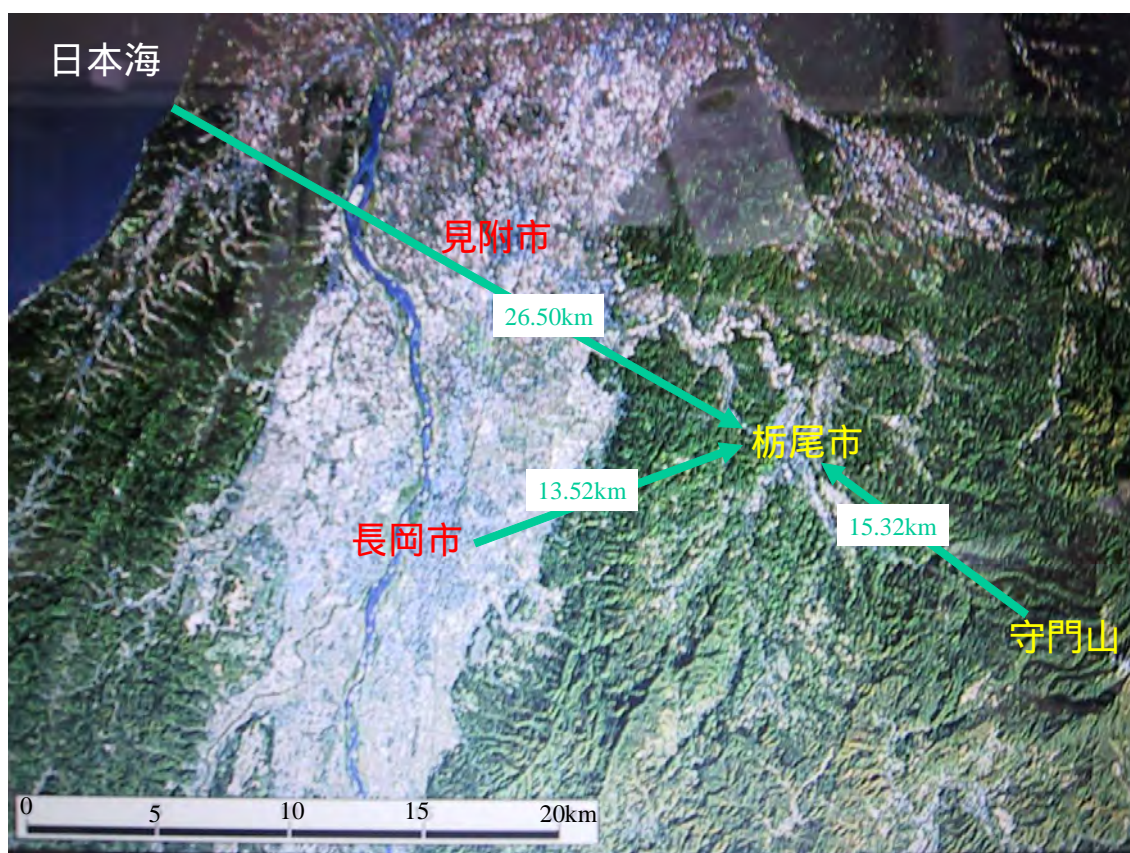


図 3-2 実験場所 (栃尾市原町 1-7-33) 周辺の概況図

実験場所の西側には刈谷田川が流れ、栃尾高校と栃尾東小学校があり、かつては水田単作を行っていた農村集落であったが、最近は土地区画整理が行われ、新興住宅地となっている。



図 3-2 実験場所（栃尾市原町 1-7-33）近辺の概況図

3 - 2 実験装置の概要

3 - 2 - 1 実験建物の概要

実験場所は、河岸段丘の西側の端部に位置し、比較的眺望が良く風通しも良い。約 600 m²の敷地に住居が 3 棟建っており、南側に庭を挟むようにして建っている鉄筋コンクリート製壁式の平屋の車庫(2 台)を実験建物として使用した。

車庫は東西 6.0m、南北 5.4m、高さ約 2.0m の大きさである。これを東西と南北に 4 分割し、東西 90cm、南北 60cm に単管パイプ 48 の柱を建て、東側は 45°、西側は 30° の勾配になるように波板樹脂の屋根を張った。その上 50cm の位置に単管パイプを固定し、それに U 字金物でエキスパンドメタルを固定した。そして、それぞれの南側を金網柵状型とし、北側を単管斜材型とした。

この他、母屋から道路に出る車庫の脇の階段部分には同様の形式で 20° 勾配の二重屋根を架け、融雪の状況を観察した。また、ピラミッド型の屋根には 1.58m の高さに水平にエキスパンドメタルを張り通路を確保した。更に、北側の複式折板による通気融雪工法屋根の部分にも水平に、西側を金網柵状型とし、東側を単管斜材型とし観察を行った。この他、庭の生け垣にはスリット型の雪囲いを 60° 45° 0° にセットし、観察した。



図 3-3 実験建物の外観

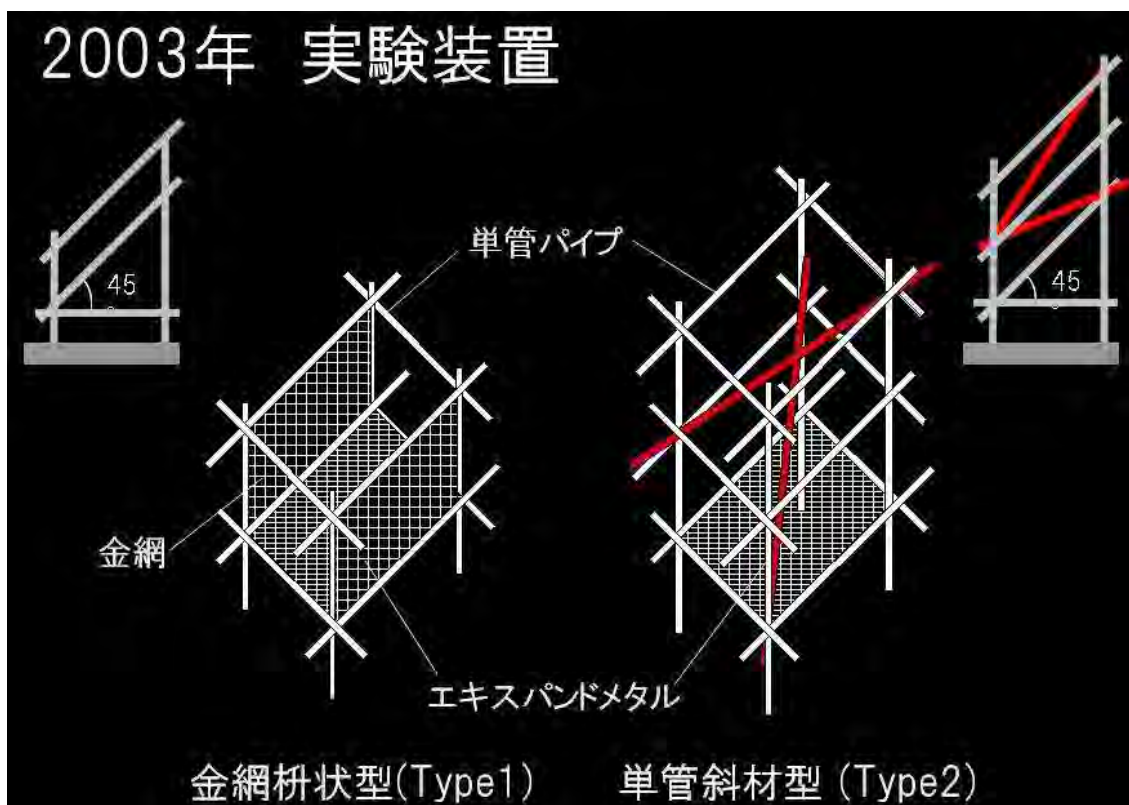


図 3-4 金網桁状型と単管斜材型の詳細

3 - 2 - 2 計測装置の概要

降雪水量と融雪水量を計測し、その入水と出水のタイムラグが生ずる間に各種の熱的な作用が働くものと考え、それらを捉えるために以下のような計測器を設置した。

雨雪量計 3 台、全天日射計 1 台、超音波微風速風向計 1 台、温度計測用熱伝対 18 本、温

湿度計(2個)を設置し、データロガー2台(雨雪量計からのパルス入力端子が2箇所しかなかったため)で30分毎のデータを3.5FDに収録し、ノート型パソコンを使ってエクセルに取り込み、解析を行った。また、この自動計測の他に、積雪深棒(3m)と降雪深棒(1m)、降雪重量と融雪水量を計るポリ容器4個(60ℓ)、最高・最低棒温度計(1本)、35mmカメラ(1台)、デジタルカメラ(1台)、インターバル撮影機能付きデジタルムービーカメラ(1台)、他を使い計測した。

通気融雪工法の実験観察装置



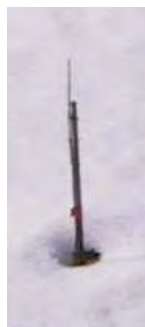
実験装置全景 上方:木板 下方:鉄板



データロガー(左)と風向風速計等データ変換器(右)
雨雪量計 超音波風向風速計



全天候型日射計



温度計測用熱電対

新潟県栃尾市原町1-7-33 平成13年1月~3月 科研費基盤研究(B)(2)

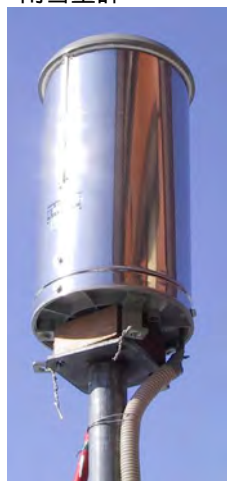


図 3-5 平成12年度に導入した計測装置

3-3 平成15年1月5~13日における実験結果の概要

平成15年冬季は、11月5日に初雪となり、12月10日から根雪となった。1月31日に積雪が85cmに達し、最高記録となった。その後も一進一退を繰り返し、3月23日に消雪日を迎えた。この1~2月にかけての降雪と積雪、融雪の過程については、次節で述べることとし、本節では1月5~7日にかけてまとまった降雪が見られ、その後13日にかけて融雪が進み、消雪に至った過程の写真を紹介する。

図3-6~7は付着期、図3-8~9は冠雪期、図3-10~11は雪塊期を示す。通気融雪工法屋根の上ではこれを1サイクルとする過程が数回繰り返され、雪荷重の軽減が見られる。但し、このサイクル長は平均7日程度であるが、降雪状況によって長くなることもある。



図 3-6 地上積雪が 50cm になった平成 15 年 1 月 5 日の様子「付着期」



図 3-7 地上積雪が 70cm になった平成 15 年 1 月 7 日の様子「付着期」



図 3-8 地上積雪が 64cm になった平成 15 年 1 月 8 日の様子「冠雪期」



図 3-9 地上積雪が 60cm になった平成 15 年 1 月 9 日の様子「冠雪期」



図 3-10 地上積雪が 40cm になった平成 15 年 1 月 11 日の様子「雪塊期」



図 3-11 地上積雪が 30cm になった平成 15 年 1 月 13 日の様子「雪塊期」

3 - 4 実験データ解析結果の概要

3 - 4 - 1 実測地の気候

実測期間（H15.1.5-2.28）中における実測地の気候を図 3-12 に記す。期間平均気温は 1.72、期間最低気温、最高気温は-6.4、16.8 である。また、期間平均日積算日射量は 1.75kW/m²であり、最高日積雪量は 31 cmであった。

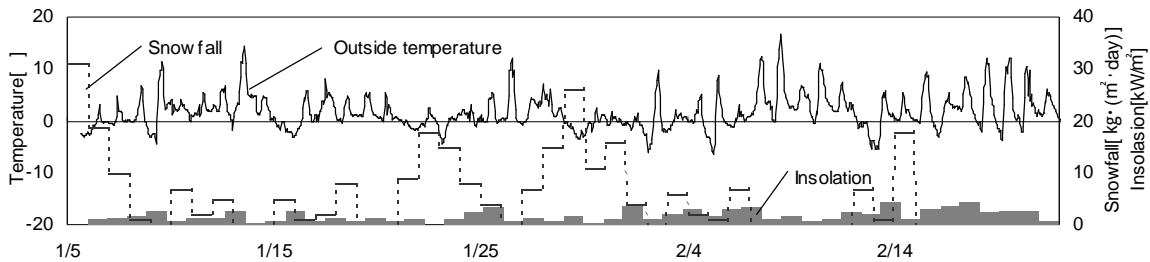


図 3-12 実測期間（H15.1.5-2.28）中における実測地の気候

3 - 4 - 2 実測結果の考察

(1) 融雪水量の補正

融雪水量が雨雪量計によって測れなかったため、手動で測定した。また、この手動測定では最高値 60ℓとして測定したため、それ以上融雪水が出た時と、雨水が混ざって融雪水として出てきた時に補正する必要があった。そこで図 3-13 の補正方法を繰り返し、写真・ビデオデータとほぼ一致するデータを得た。以下、この補正データをもとに検討した。

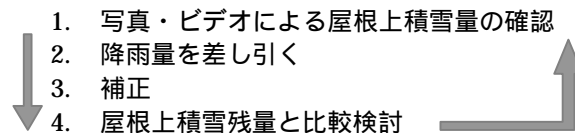


図 3-13 補正方法

(2) 融雪水量

図 3-14 に 9 時と 16 時の融雪水量を示す。9 時データは前日の 16 時から当日 9 時までに
出た夜間の融雪水量、16 時データは当日 9 時から 16 時までに
出た昼間の融雪水量とした。屋根上に積雪がある時の平均融雪水量は Type1 の夜間:2.87 kg/(m²·day)、昼間:4.89 kg/(m²·day)、Type2 の夜間:3.43 kg/(m²·day)、昼間:4.46 kg/(m²·day)であった。また最高融雪水量は Type1 は 16.32 kg/(m²·day) Type2 は 20.69 kg/(m²·day)であった。この装置で期待できる一日の平均融雪水量は Type1、Type2 とともに約 7.8 kg/(m²·day)あることがわかった。また、昼と夜の融雪水量を比較すると、昼間の方がより融雪されるが、気温の下がる夜間も十分融雪されていることが明らかになった。

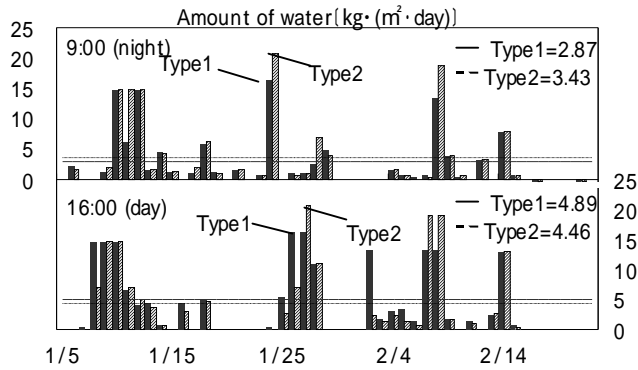


図 3-14 9時と16時の融雪水量

(3) 融雪水量と外環境

図 3-15 に一日の外気温(最高・平均・最低)と日射量、融雪水量との関係を示す。平均気温がマイナスとなる日でも融雪水が出ていることがわかる。融雪水量は最低気温の変動にあまり左右されていないようにみうけられる。気温が急激に下がる日はたいてい晴れの日で、放射冷却の影響により一時気温が下がるが最高気温も高くなるからである。日射量に関しては、全体的に少なくここではあまり関係がつかめず、日射量が多いと必ず融雪が進むとはいえない。

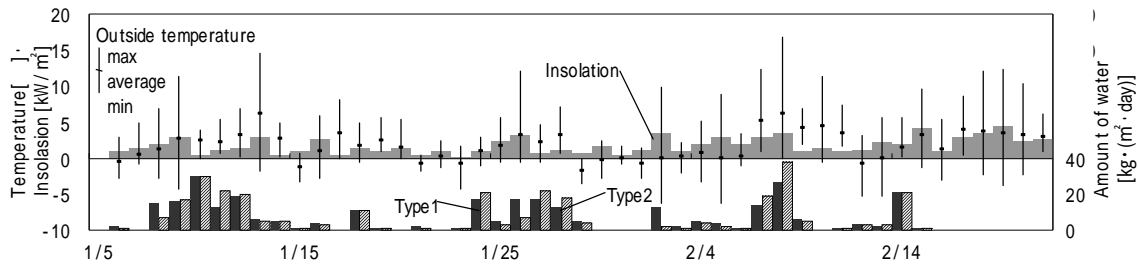


図 3-15 一日の外気温(最高・平均・最低)と日射量、融雪水量

また、図 3-16 に外気温変動と降雪量、融雪水量の関係を示す。雪が 15 cm 程度降雪するような時には融雪水は出ていない。これは次の雪が降る前に屋根雪がほとんど消えていること、寒波の影響による気温低下、日射量減少なども影響し、また融雪熱量が積雪層に吸収されてしまうことが原因と考えられる。また、気温変動に着目してみると、気温が一度

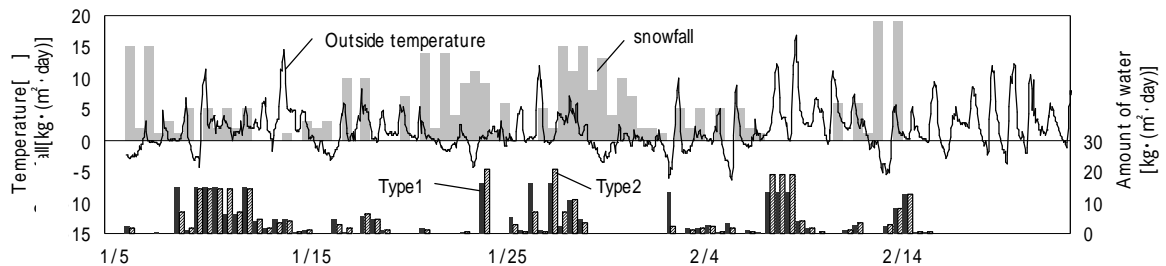


図 3-16 外気温変動と降雪量、融雪水量

零下に下がり気温が上昇しだすと融雪が始まっていることがわかる。このような観察結果から 2001 年・2002 年と材質が木製のものより金属製のものの方が融雪効果が高かったのは、金属の熱しやすく冷めやすいという性質が融雪装置に影響しているためと考えられる。

(4) 積雪重量比較

図 3-17 に積雪深、降雪重量、降雪重量累計、降雪重量累計から融雪水重量を差し引いた屋根上積雪重量(積雪重量を換算することが難しいため)を重ねて表示した。Type1 と Type2 の屋根雪荷重を見ると最終消雪に違いは観られないが、Type1 の方がコンスタントに消えていて豪雪時に有利と考えられる。屋根上の装置荷重を考えても Type1 の方が適しているといえる。地上の雪が常にある根雪期間中、屋根上の雪は 5 回完全に消えている。寒波が上空にある降雪時には地上と同様に積雪していくが、消えだすと早い。次の寒波が押し寄せて雪が降る前に屋根雪が消えるために根雪とならず、そのため雪が積もらないといえる。2003 年は 2 月 14 日に地上は積雪深が 50 cm あるが屋根上の雪は完全に消えている。また、降雪重量累計に着目すると、地上は最大積雪重量が約 300 kg/m²であったのに対し、屋根上は約 90 kg/m²におさまっている。2003 年は豪雪年とはいえないが、地上の積雪量に対してこれだけの差が出たことは通気融雪工法屋根の効果は期待できるといえる。

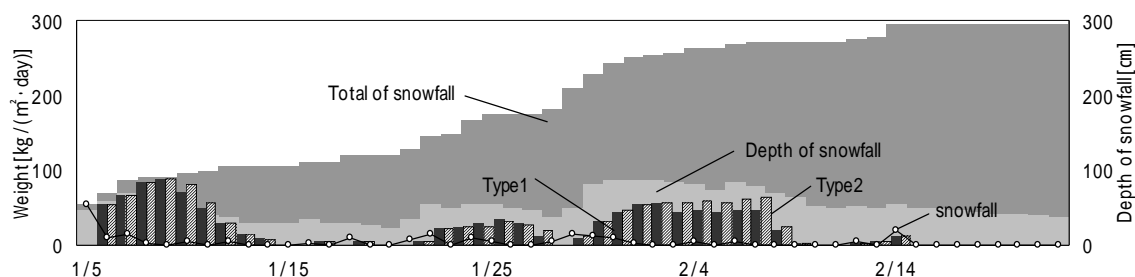


図 3-17 積雪深、降雪重量、降雪重量累計、降雪重量累計から融雪水重量から差し引いた屋根上積雪重量

(5) 融雪水量と外環境の関係

図 3-18 に各時間内平均外気温に対する融雪水出水日数の頻度分布と平均出水量と関係を示す。出水日数は 1 の時が最も多く、14 日間である。さらに-3 から 6 の低い気温の間に何回も出水している。昼間に期間平均気温 1.72 のとき約 60%の確率で Type1 は 2.41 kg/(m²·day)、Type2 は 2.92 kg/(m²·day) 出水するといえる。

図 3-19 に各時間内積算日射量に対する融雪水出水日数の頻度分布と出水量との関係を示す。出水日数は 0.2kW/m²の時が最も多く、19 日間である。昼間に期間日積算日射量 1.75kW/m²のとき約 50%の確率で Type1 は 5.22 kg/(m²·day) 出水されるといえる。Type2 についてはばらつきが大きすぎる。図 3-18・19 とともに夜間と昼間を比べると夜間の方が気温に対する効率がいい。これは融雪されてから出水されるまでの時間差があるためだと考えられる。

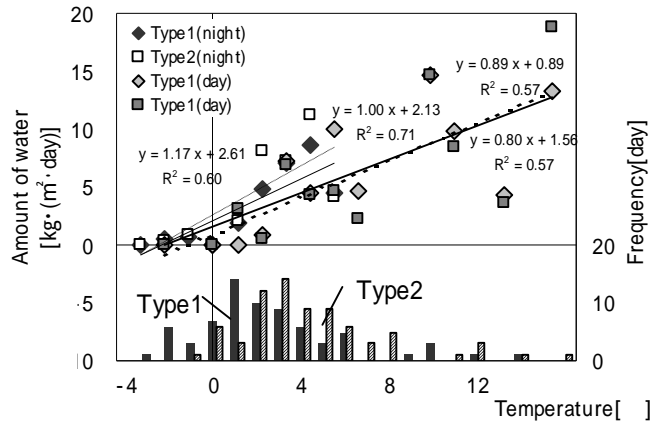


図 3-18 各時間内平均外気温に対する融雪水出水日数の頻度分布と平均出水量

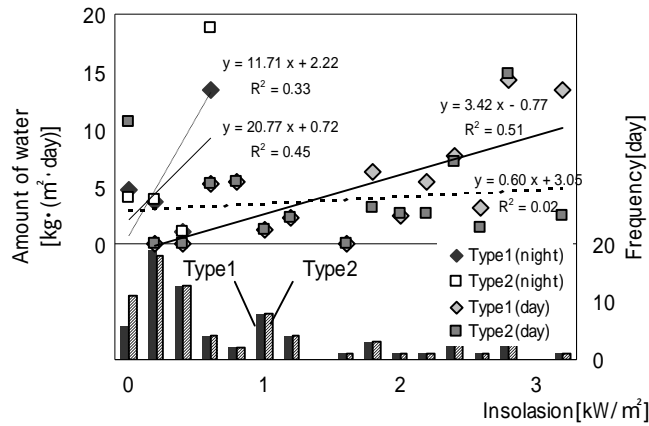


図 3-19 各時間内積算日射量に対する融雪水出水日数の頻度分布と出水量

図 3-20 に積雪深に対する融雪水量の出水量の頻度分布と出水量の散布図を示す。相関しているとはいえないが、屋根雪が深いときは融雪水量が少なくなっていることが予想できる。屋根雪が深くなると表面で融雪が起こっても出水されずに途中で止まってしまうため、出水はしないが融雪水が雪の状態を変化させていることが予想される。

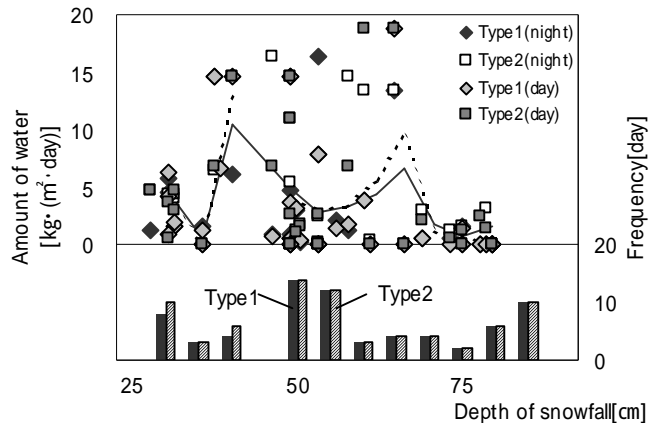


図 3-20 積雪深に対する融雪水量の出水量の頻度分布と出水量の散布図

(5) 通気融雪工法屋根の最大融雪期待量

今回の計測結果ではこの装置の平均日融雪水量は Type1、Type2 とともに約 $7.8 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ であった。しかしながら、平成 15 年 1-2 月の最高積雪は 85cm と平年 158cm の約半分程度で、いわゆる暖冬少雪年であった。

前節で図 3-6 ~ 11 に写真で示した如く平成 15 年 1 月 4 日の夕方から屋根上に雪が降り積もり始め、13 日の夕方には完全消雪した。この 10 日間の累計降雪重量は $105 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot 10 \text{ day})$ であった。この 1 サイクルを標準とする形で降雪と消雪が 120 日間(12 月 1 日 ~ 3 月 31 日)に 12 回繰り返す続いたと仮定すると、 $1260 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot 120 \text{ day})$ の融雪が起こることとなる。この $10.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ は、4m の年最高積雪深時に匹敵する融雪量である。4m の年最高積雪深を記録する豪雪年の根雪期間は、5 月の連休前後まで伸びるので、150 日間(12 月 1 日 ~ 4 月 30 日)とすると、 $8.4 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ となるので、この装置の最大融雪期待量 $10.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ はかなりゆとりのある数値と言える。また、平成 15 年 1-2 月は少雪年にも関わらず今回の期間平均日融雪水量は Type1、Type2 とともに約 $7.8 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ であったことは大変良い成績であったと評価される。

尚、平成 16 年 1-2 月においても同様の計測を行った。地上積雪が 30cm と減少した 2 月 3 日から再び降り始め、8 日には 50cm のまとまった降雪により積雪が 130cm とピークを記録した。そして、地上の積雪が 60cm に減少した 19 日には前述した 45° の二重屋根の雪は完全消雪した。 30° と複式折板式の積雪と融雪の過程については第 5 章に写真を掲載したが、それらもほぼ同時に完全消雪した。この期間の累計降雪深は 133.5cm であったので、新潟県の場合、それに新雪の荷重 $0.8 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{cm})$ を掛けるとその期間の積雪重量として $106.8 \text{ kg}/\text{m}^2$ が求められる。このインターバルは 16 日間であったので 1 日当りに換算すると $6.7 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ の融雪量という結果となる。ところで、これが 120 日間平均的に継続したと仮定すると、 $816 \text{ kg}/\text{m}^2$ (積雪 272cm 相当)となる。これだと、4m の積雪地帯では 128cm ($384 \text{ kg}/\text{m}^2$) 以上の耐雪性能を有していないと危険と言える。しかしながら、一般に雪下ろしを行っている豪雪地帯では 140cm ($420 \text{ kg}/\text{m}^2$) 程度の耐雪性能を持つ形で造られているので、一応、安全の範囲内に納まる。

3 - 4 - 3 まとめ

平成 15(2003)年 1-2 月の実験解析から、通気融雪工法屋根について以下のことが明らかになった。

- 1) この装置の期間平均日融雪水量は Type1、Type2 とともに約 $7.8 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ であった。
- 2) 平均外気温がマイナスの日でも融雪される。
- 3) 降雪が 15 cm 程度になると融雪水は出ない。
- 4) 気温が一度零下に下がり気温が上昇しだすと融雪が始まる。
- 5) 金網柵状型(Type1)の方が単管斜材型(Type2)よりコンスタントに融雪する。
- 6) 地上の積雪深と屋根積雪深は 50 cm 以上の差が出た。

- 7) 最大積雪重量は地上が約 300 kg/m²であったのに対し、屋根上は約 90 kg/m²に納まった。
- 8) 外気温が-3 と低い時や日射量の少ない時にでも融雪は進む。
- 9) 通気融雪工法屋根の融雪性能は 6.7 ~ 10.5 kg/(m²・day)程度である。
- 10) 以上から、本方式を 1 月の月平均気温が 0 ° 以上のベタ雪地帯で採用すれば、4m の年最高積雪深時にも雪下ろしをしないで済む。

今回の計測では、融雪水と雨水とのデータ判別はアメダスデータと実際の降雪量・時間の誤差が大きく難しい。また、雪の状態変化を何をもって判別するか、積雪時の計測が困難などの実測上の問題もあった。今後、何に影響されて融雪が促進されるのかをより細かく検討し、適した材料・構造を検討する必要がある。この他、実用化するためには色々な地域のそれぞれの年度における降雪パターンや降雪強度、気温の低下などに対してどの程度この装置が対応できるか、更に明らかにしていく必要がある。

第4章 通気融雪工法の成立範囲

4 - 1 成立並びに適用条件

通気融雪工法の性能については、第3章に述べた如くである。安全性を加味しその成立並びに適用条件を要約すると、以下の2点となる。

1月の月平均気温0 以上
過去最高積雪深1 m以上4 m未満

日本列島で1月の月平均気温0 以上となる地域は、理科年表のデータによると酒田以西の地域に分布しているが、その内で過去最深積雪深が1 m以上で4 m未満の可住地のある地域はほぼ北陸四県に限定される。

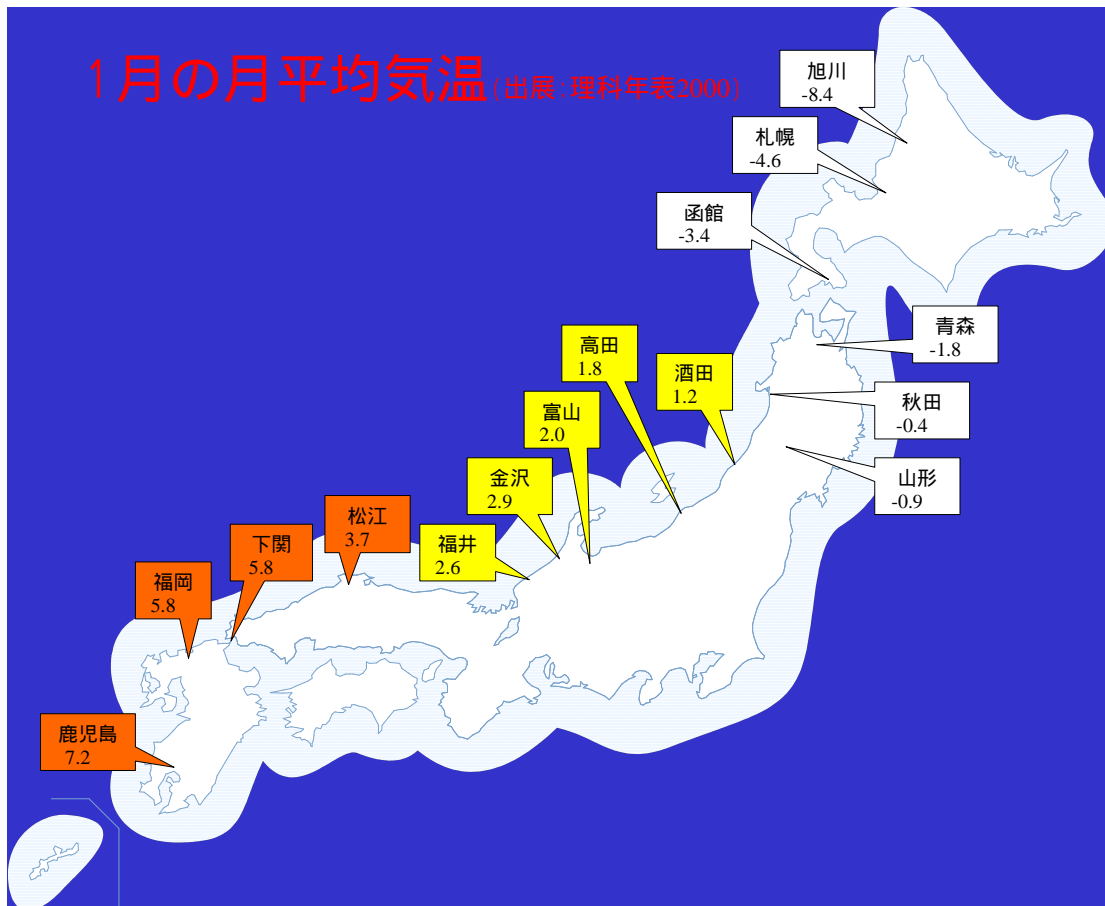


図 4-1 日本海側の主要都市の1月の月平均気温 (出展: 理科年表 2000)

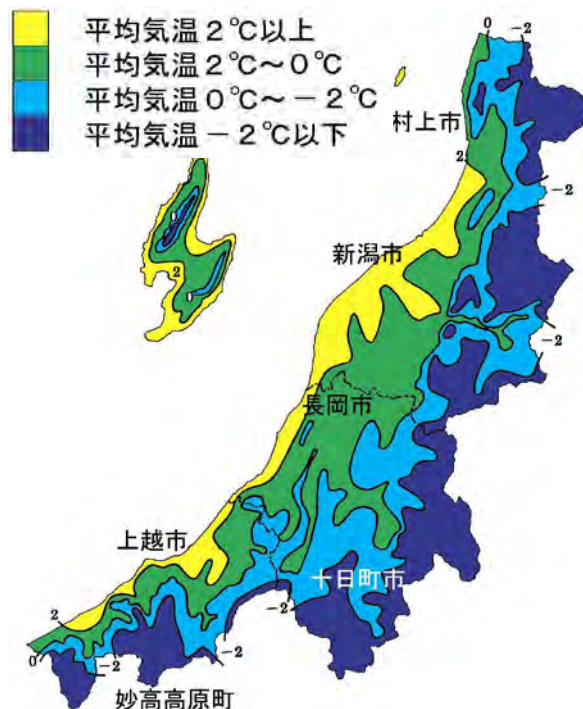
4 - 2 北陸四県における受益人口と世帯数

4 - 2 - 1 通気融雪方式の受益者の算定方法

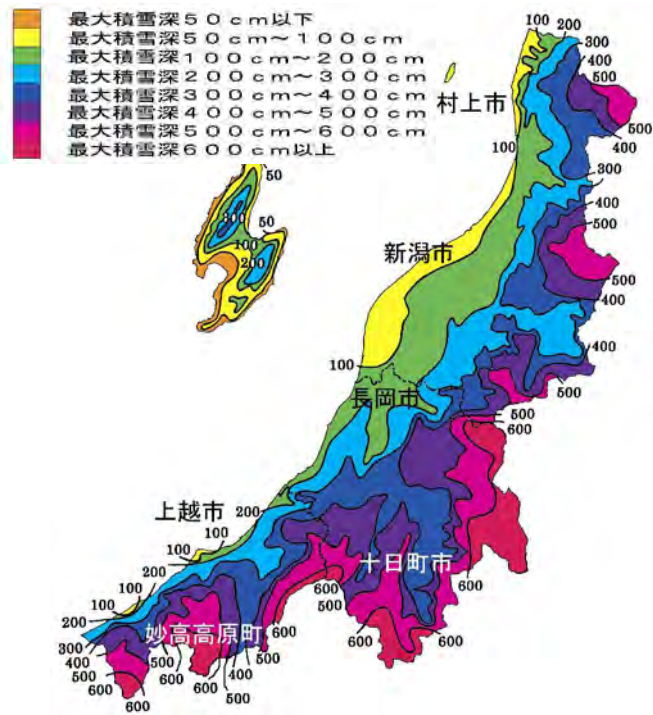
通気融雪工法の成立範囲を前述の如く 1月の月平均気温0℃以上で、過去最高積雪深1m以上4m未満の地域として、北陸四県におけるその受益人口と世帯数の試算を行う。

試算の方法は、まず、県別に等高線図を作成し、その上に入手できた地点毎の1月の月平均気温をプロットし、標高が100m上昇すると気温がおおよそ0.6℃ずつ低下することを基本に「a.1月の月平均等値線図」を作成する。同様に地点毎の過去最高積雪深をプロットし、等高線にそう形で「b.過去最深積雪等値線図」を作成する。そして、「a.1月の月平均等値線図」を見て平均気温が0℃以下になる地域を除外し、「b.過去最深積雪等値線図」を見て積雪が1m未満の地域は通気融雪工法などの採用をしなくても済む地域として除外し、また、4mを越える地域は適用が難しいとして除外し、これらの結果、残った範囲を「c.通気融雪方式の成立地域図」とする。次に、この「c.通気融雪方式の成立地域図」に市町村役場の位置をプロットし、不要地域、受益地域、不可地域のどこに位置するかを見て、人口と世帯数を集計し、その結果を受益人口と世帯数とする。

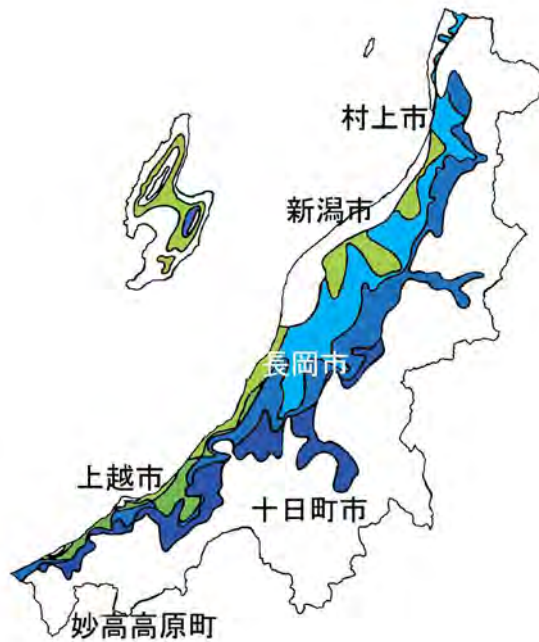
4 - 2 - 2 新潟県の受益地域



a. 1月の月平均気温等値線図



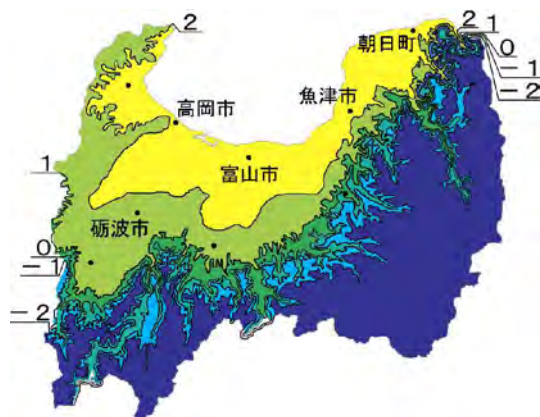
b.過去最深積雪等値線図



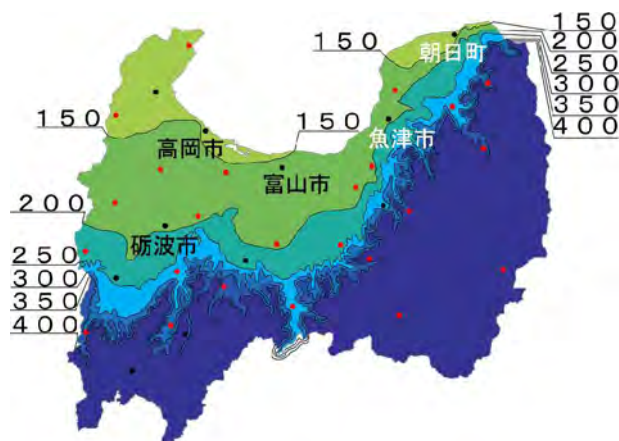
c.通気融雪方式の成立地域図

標高 300m 以上の中山間地域から山岳地帯にかけては 1 月の月平均気温が 0 以下で過去最高積雪深が 4m 以上となっているので通気融雪方式の除外地域となる。また、新潟市を中心とする海岸部と佐渡の多くは過去最高積雪深が 1m 未満なため不要地域となる。

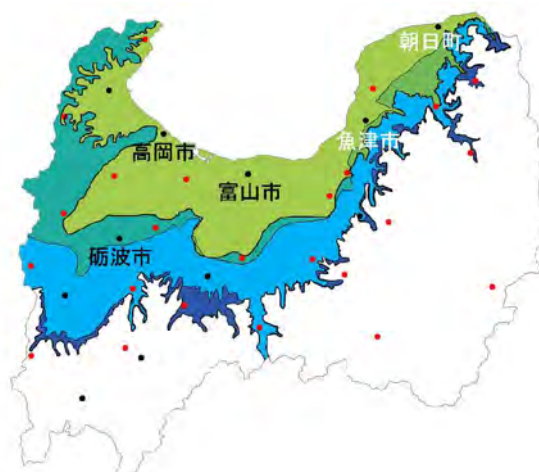
4 - 2 - 3 富山県の受益地域



a. 1月の月平均気温等値線図



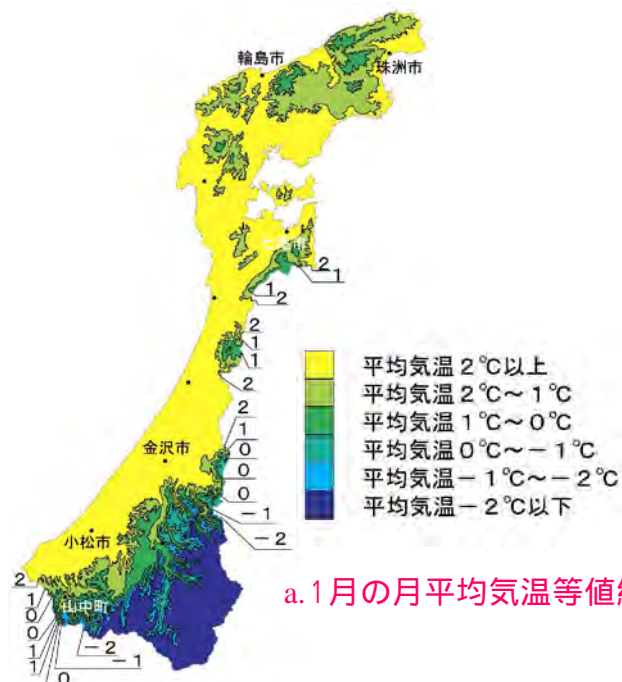
b. 過去最深積雪等値線図



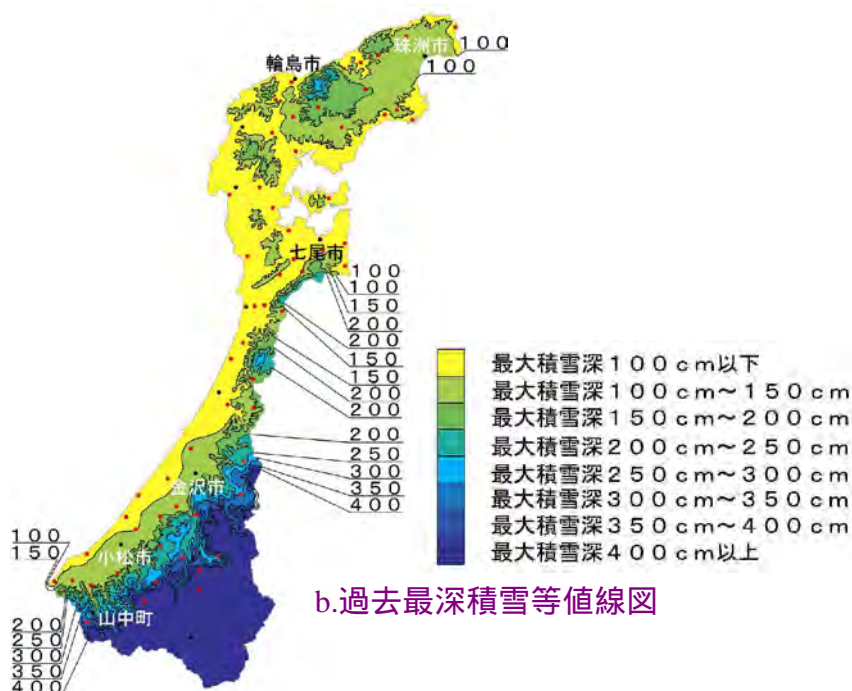
c. 通気融雪方式の成立地域図

標高 300m 以上の中山間地域から立山連峰などの山岳地帯は 1月の月平均気温が 0 以下で過去最高積雪深が 4m 以上となっているので通気融雪方式の除外地域となる。富山県全域が過去最高積雪深が 1m 以上なため不要地域は存在しない。

4 - 2 - 4 石川県の受益地域

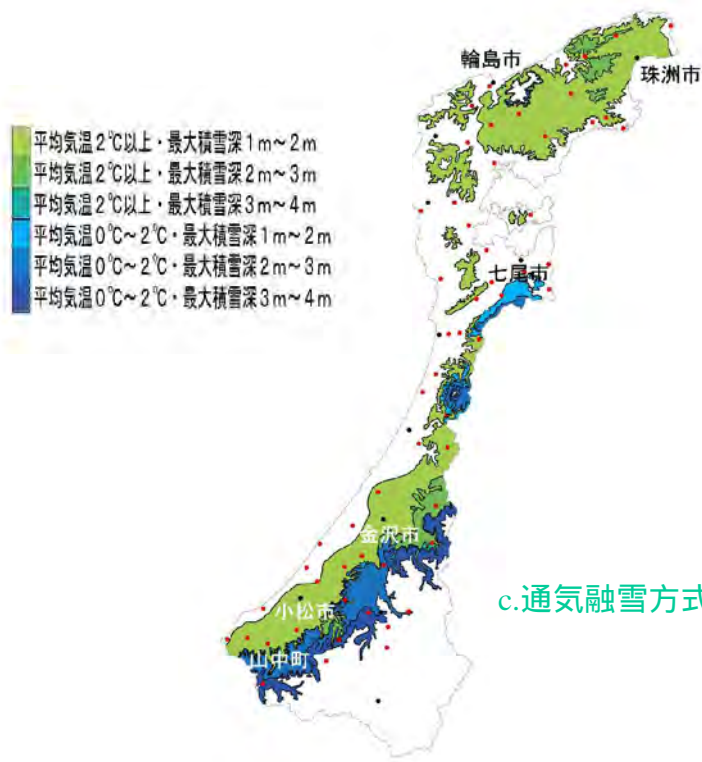


a. 1月の月平均気温等値線図



b. 過去最深積雪等値線図

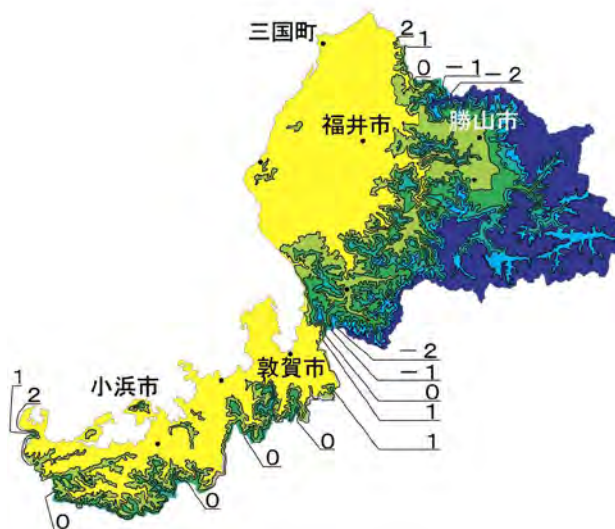
石川県南部の標高300m以上の白山周辺地域は1月の月平均気温が0℃以下で過去最高積雪深が4m以上となっているので通気融雪方式の除外地域となる。小松市から金沢市・七尾市・輪島市にかけての海岸部は過去最高積雪深が1m未満なため不要地域となる。このため、石川県における成立範囲はかなり限られた範囲となる。



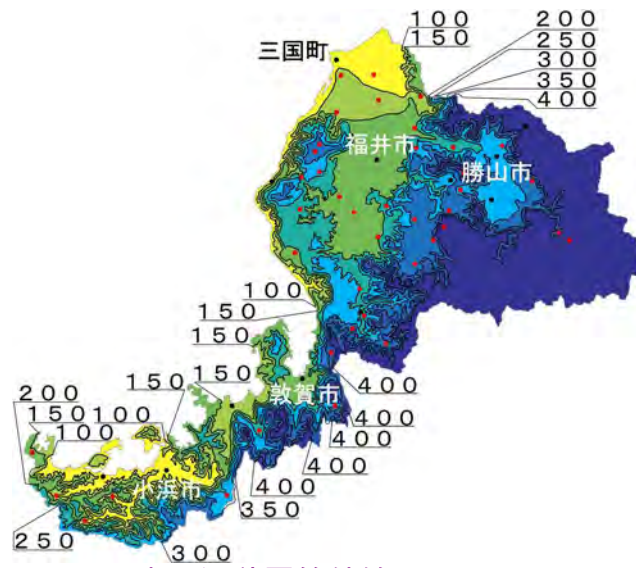
c.通気融雪方式の成立地域図

4 - 2 - 5 福井県の受益地域

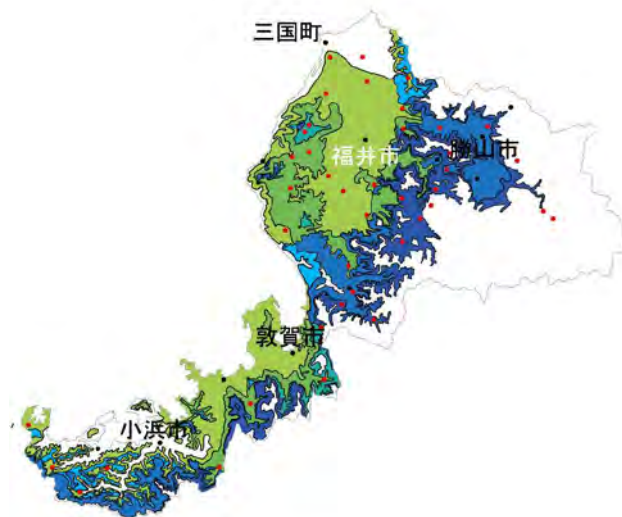
標高 300m 以上の勝山市と大野市の東部の山間地域は 1 月の月平均気温が 0 以下で過去最高積雪深が 4m 以上となっているので通気融雪方式の除外地域となる。また、三国町付近と小浜町の海岸部は過去最高積雪深が 1m 未満なため不要地域となる。この他の範囲が成立地域となり、かなり広く分布している。



a.1月の月平均気温等値線図



b.過去最深積雪等値線図



c.通気融雪方式の成立地域図

4 - 2 - 6 北陸四県における受益人口と世帯数

以上の結果に基づいて北陸四県における受益人口と世帯数を積算すると表 4-1 の如くなる。

新潟県は、約 50 万人の人口をようしている新潟市が不要地域となっているため、受益人口と世帯は 2/3 になっている。除外地域となる寒冷な豪雪地帯に 18 万人 5 万 3 千世帯が居住しているが、それら地域には自然落下方式の高床式住居など、別途の方式の提案が求められる。

富山県には不要地域が無いため、受益人口と世帯はほぼ全数となっている。除外地域となる寒冷な豪雪地帯には 3 万人 1 千世帯しか居住していない。

石川県は、小松市から金沢市・七尾市・輪島市にかけての海岸部に位置する都市が過去最高積雪深が1m未満の不要地域となるため、受益人口と世帯は1/2強と最も少なくなっている。除外地域となる寒冷な豪雪地帯に富山県と同数の3万人1千世帯が居住している。

福井県は、三国町と小浜市が不要地域となっているため、受益人口と世帯は4/5になっている。除外地域となる寒冷な豪雪地帯に800人300世帯が居住している。

以上から、北陸四県では413万人133万世帯が受益者となり、その比率は7/10以上に達する。従って、通気融雪工法は、北陸四県で今後、かなり普及し、多くの人と世帯に雪下ろしからの解放を可能とし、恩恵を与えうる潜在的な能力を持っていると言える。

表4-1 北陸四県における通気融雪工法屋根による受益人口と世帯数

	成立範囲	不要範囲	不可範囲	合計	受益率(%)	
新潟県	1,649	650	177	2,476	66.6	受益人口(千人)
富山県	1,117	0	3	1,121	99.7	
石川県	665	512	3	1,181	56.3	
福井県	701	127	1	829	84.6	
北陸四県	4,132	1,289	191	5,612	73.6	
新潟県	501	242	53	796	62.9	受益世帯数(千戸)
富山県	356	0	1	358	99.6	
石川県	249	161	1	411	60.5	
福井県	220	40	0	260	84.6	
北陸四県	1,326	443	55	1,825	72.7	

〔単位〕人口：千人 世帯数：千戸 資料 平成12年度国勢調査

第5章 通気融雪工法屋根のデザイン

今回の実験では、単管パイプや金網、エキスパンドメタルなどを使い実験を行った。これは実験を行うために仮設的な形でつくったものである。本章では、観察を行った勾配を付けた二重屋根式以外の通気融雪工法屋根を含めてその積雪と融雪形態を写真で紹介し、それに対応した屋根デザインの参考事例を掲げてみることにする。

5 - 1 ピラミッド型の融雪工法屋根

このピラミッド型の融雪工法屋根は、平成 8(1996)年 3 月に栃尾市原町に完成した。完成した当初の外観は、図 5-1～2 に示した如くである。平成 12(2000)年 1 月に地上積雪が 170cm を記録した際に、屋根全体が雪に覆われその後融雪する状況が観察されたが、暖冬少雪年が続いているため、未だ、その性能は明らかになっていない。ピラミッド型屋根の谷の部分にやや吹き溜まりが生じ、陰となって雪消えが遅くなるので、平成 15(2003)年 12 月に通路を確保するためにピラミッド型屋根の上にエキスパンドメタルを載せて、融雪を促進させる改良を行った。



図 5-1 ピラミッド形屋根の上部からの全体的な景観



図 5-2 1.8m の軒の出は雪囲いを不要とする経済設計

5 - 1 - 1 ピラミッド型の融雪工法屋根の設計コンセプト

ピラミッド型の融雪工法屋根の設計コンセプトは以下の如くである。

屋根雪はその雪表面で日射・気温・風・雨などの影響を受けて 90%以上が融雪している。従って、屋根雪の表面で融雪した融雪水を上から下に抜いてしまえるようにピラミッド形の鉄板葺き屋根を並べる。

ピラミッド形屋根の頭をブレースで繋ぐ。これによって、屋根相互を緊結するとともに、風が乱流となって雪表面に当たり易くし、そこに積もった雪が落ちたり、融けた滴が落ちることで雪切りを行う効果が期待できる。

軒の出は 1.8m とし、雪囲いをしないで済むようにする。連続梁とする事により、梁部材の背が低くて済むため、ローコスト化が計れる。軒の出部分は、大きな水平力に耐えられるようにトラス構造とする。

平成 7(1995)年 1 月 17 日に阪神大震災(M7.2)が起きたことから、雪が屋根上に載っている時に地震に襲われても大丈夫なように簡易免震工法を採用する。

5 - 1 - 2 ピラミッド型の融雪工法屋根の問題点と良かった点・改善点

ピラミッド型の融雪工法屋根の問題点と良かった点・改善点は以下のごとくである。

(1) 問題点

ピラミッド形屋根の高さを栃尾市原町の平年積雪深と同じ 158cm にしたが、暖冬少雪年が続いているため、V 字形の谷の部分に積もった雪は屋根の陰になり、消えずに残ってしまう。

ルーフドレン付近にゴミや土埃が堆積し、漏水の原因となるため、秋に掃除をする必要がある。

木部の接合部分に乾燥のため隙間が生じ、力の伝達が上手く行くかどうか怪しくなっている。

軒先に近い部分のピラミッド形屋根から積もった雪が午前 10 時前後に落下するため危険である。

(2) 良かった点

平成 13(2000)年 1 月 17 日に地上積雪深が 170cm に達した。この際、雪が屋根全体に被る形となったが、ブレース下部分に大きな空洞が発達し、数日の内に融雪が見る見る進み、その効果が確認された。

建物の周りに雪を落としたりしないため、3 月の上旬には雪が無くなり、春が早く来る。大きな屋根にも関わらずドカ雪が来ても雪下ろしをしなくても済むため、精神的に安心して住める。

(3) 改善点

平成 15(2003)年 12 月にピラミッド形屋根に冬でも安全に行けるように、通路を既存の建物の 3 階と繋ぐ形で確保した。

ピラミッド形屋根の上にエキスパンドメタルを載せて固定し、冬季の通路を確保した。



図 5-3 地上の積雪が 49cm の時の積雪の様子 H16.2.21 於栃尾市原町
エキスパンドメタルをピラミッド型屋根の上に並べる
ことにより、通路の雪 80cm が完全に融けた。

5 - 1 - 3 ピラミッド型の融雪工法屋根の積雪と融雪の状況

図 5-4 は地上の積雪が 170cm となり、すっぽりとピラミッド型の屋根が雪に覆われた時の様子である。図 5-5 はその 5 日後で、内部に空洞が発生し出した時の写真である。図 5-6 はその 10 日後の様子で、1 月 17 日の雪は高さが半分程度に減少し、その上にしまり雪が被っている。図 5-7 は更に 20 日経過した様子で、2 月に入ってから図 5-6~7 の状態が続き、3 月の中旬には完全に消雪した。



図 5-4 地上の積雪が 170cm の時の積雪の様子 H12.1.17 於栃尾市原町



図 5-5 地上の積雪が 130cm の時の積雪の様子 H12.1.22 於栃尾市原町



図 5-6 地上の積雪が 120cm の時の積雪の様子 H12.2.3 於栃尾市原町



図 5-7 地上の積雪が 105cm の時の積雪の様子 H12.2.23 於栃尾市原町

5 - 1 - 3 ピラミッド型の融雪工法屋根の参考設計例

図 5-8 はピラミッド型に整形した樹枝製の屋根をチューブ状に並べ、その頂部を木で結んで造った空港の休憩スペースの屋根である。図 5-9 は砂漠にキャンバスをピラミッド型に張って造った空港の屋根である。いずれも雪処理を考えてデザインされた建物では無いが、上部にピラミッド型の屋根が造られている。北陸のべた雪地帯でこのような形状の屋根を造れば、前記したような形で融雪するものと期待される。



図 5-8 ピラミッド型樹枝製の屋根をチューブ状に並べて造った
空港の休憩スペースの屋根

設計者 Renzo Piano (出展 : IBM traveling pavilion, glass in architecture, PHAIDON)



図 5-9 砂漠にキャンバスをピラミッド型に張って造った空港の屋根

設計者 Skidmore,Owens&Merrill(出展 : Light Structures Structures of Light, Horst Berger, Birkauser)

5 - 2 複式折板式の通気融雪工法屋根

複式折板式の通気融雪工法屋根の提案を昭和 57(1982)年 11 月に米沢で図 5-10・11 に示した形で行った。当初はグレーチングを全面に敷き詰めて水抜きをする形が良いと考えていたが、直接急勾配の折板に雪が接することで融雪水が上手く抜けること等から、軒先の樋の部分だけ雪が樋に入るのを防ぐために載せることとした。それに基づいて昭和 58(1983)年 12 月完成実物大の実験建物を栃尾市原町に完成させた。

今回、雪庇ができることと、当初この方式の場合、積雪層底面からのみ融雪するものであったが、融雪は気温や風・日射・雨・湿度などによって積雪層表面などで生じているため、それも加えて融雪が促進されるように、平成 15 年 8 月に金網柵状型(図 5-12)と単管斜材型(図 5-13)の改良を加えた。

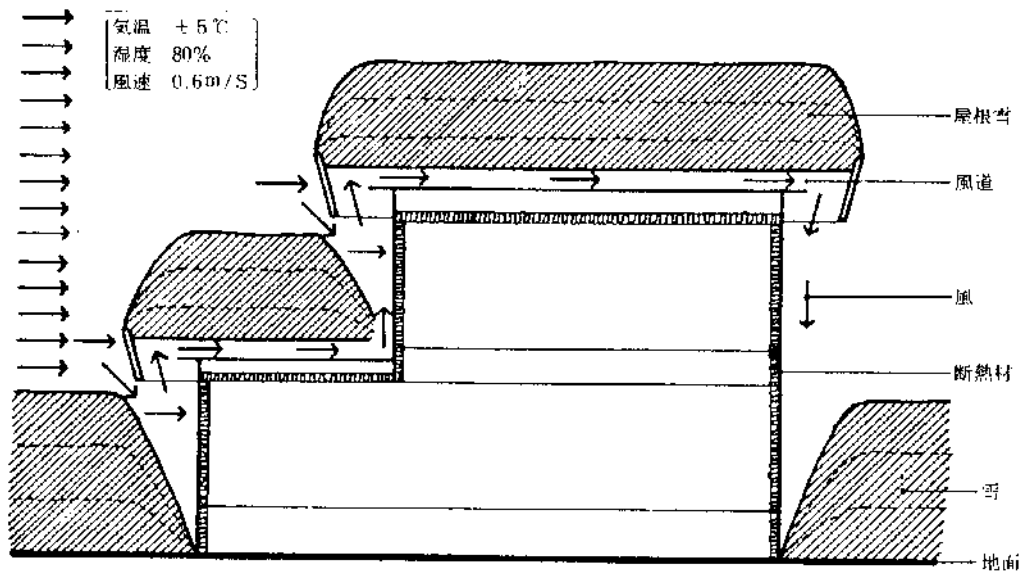


図 5-10 通気融雪工法の概念図 H57.11

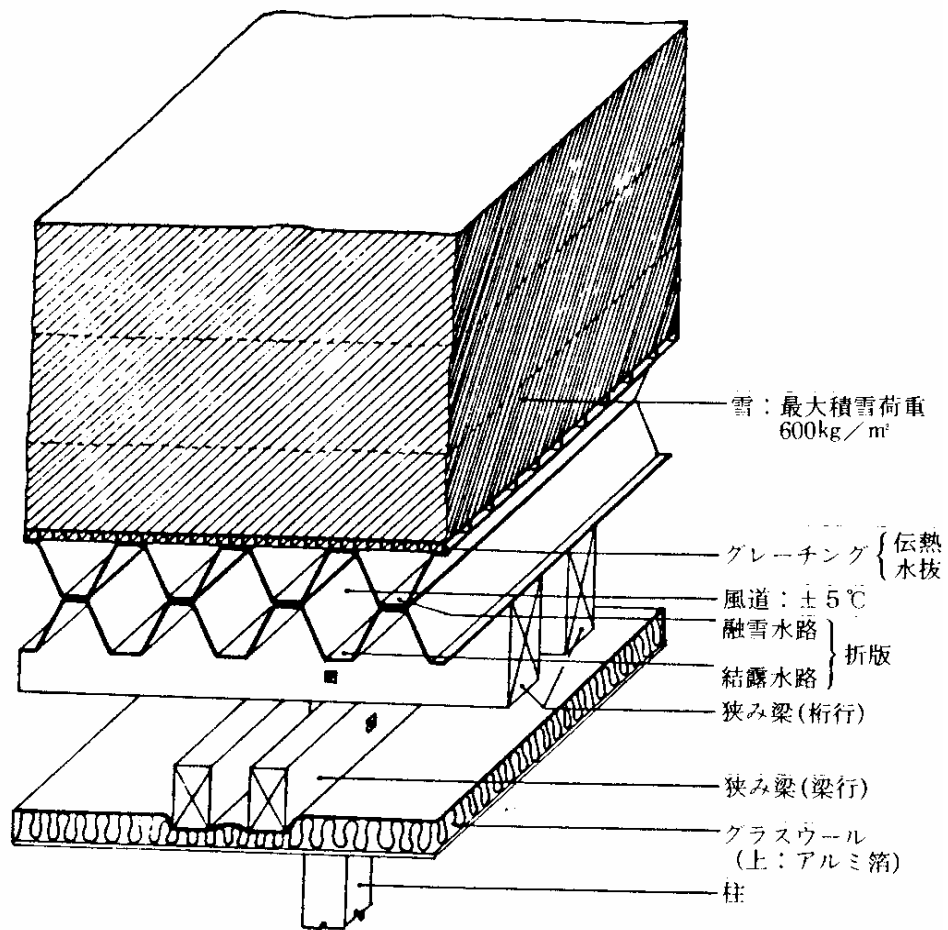


図 5-11 複式折板式通気融雪工法の拡大図 H57.11
 (グレーチングを載せる形で提案したが、熱の伝導と水吐け効率が落ちるので廃止)



図 5-12 複式折板屋根の上に単管で立体格子を組み柵状に金網で囲った様子



図 5-13 複式折板屋根の上に単管で立体格子を組み斜材を入れて積雪層を不安定にした様子

5 - 2 - 1 複式折板式の通気融雪工法屋根の設計コンセプト

複式折板式の通気融雪工法屋根における設計コンセプトは以下の如くである。

中越地域では「船柁(せいがい)造り」が雪荷重に耐える屋根として幕末期以降発達しているが、屋根構造に多くの費用が掛かっている。その雪荷重に耐えられ、費用を軽減出来るローコストな屋根工法として複式折板屋根を採用する。

ベタ雪豪雪地帯では、厳寒期においても屋根雪の表面において融雪が見られるが、その融雪水は下の積雪層に吸収され、夜間に再凍結するため、雪荷重は3月の融雪期に入るまであまり減少しない。複式折板屋根の空洞部分に通気を確保することで積雪層底面の融雪を計り、融雪水が素早く抜ける屋根形状とする。

5 - 2 - 3 複式折板式の通気融雪工法屋根の問題点と良かった点・改善点

複式折板式の通気融雪工法屋根の問題点と良かった点・改善点は以下の如くである。

(1) 問題点

五九豪雪(1984年)の時に雪庇が風下に発達したため、その切断作業をせざるを得なくなった。この問題解決のため、平成14(2002)年に軒先に雪庇防止用としてエキスパンションメタルを張り巡らした。

融雪水が素早く抜けると期待される形状の折板をカタログで選定したが、その調達が鋼材問屋の思惑から上手く行かず、その後は費用の面から普通のものを採用せざるを得なくなった。

積雪層底面からの融雪方法では融雪能力に限界がある。そこで、積雪層上面からも融雪

が可能なように平成 14(2002)年に軒先に単管を立体格子状(高さはその場所における
平年積雪深を考慮して決める)に組み、金網で柵席状に西半分を区画し、東半分は単管を
斜めに固定して融雪を促進する工夫を行った。

(2) 良かった点

五九豪雪(1984年)の時には1月の月平均気温が2℃も下がり地上積雪深は250cm(750km/
m²)に達したが、屋根上積雪深は200cm(600km/m²)以下に収まった。

雪が屋根の上に載っているのに、豪雪年の割には建物が雪で覆われるような状況にはな
らなかった。

(3) 改善点

平成 14(2002)年に軒先に雪庇防止用としてエキスパンションメタルを張り巡らした。

積雪層上面からも融雪が可能なように平成 14(2002)年に軒先に単管を立体格子状(高さ
はその場所における平年積雪深を考慮して決める)に組み、金網で柵席状に西半分を区
画し、東半分は単管を斜めに固定して融雪を促進する工夫を行った。

平成 15(2003)年 1~3 月には、パラペットの部分に雪が積もってしまったが、軒先には
雪庇の発達は見られなかった。

平成 15(2003)年 1~3 月には、西側の屋根雪は初め雪が単管に覆い被さり付着したが、
時間の経過とともに小判形の饅頭のような形となって融雪が進んだ。東側は、雪の層の
中に空洞が生じ、同様に融雪が促進された。両者ともに融雪の促進効果が認められたが、
その優劣の判定には更なる観測が必要である。

5 - 2 - 3 複式折板式の通気融雪工法屋根における積雪と融雪の状況

平成 15 年 1 月 6 日~14 日に至る図 5-14・15 は着雪期、図 5-16・17 は冠雪期、図 5-18・
19 は雪塊期における複式折板式の通気融雪工法屋根における写真である。順調に積雪と融
雪が進んだ様子が良く理解できる。



図 5-14 地上の積雪が 58cm の時の積雪の様子 H15.1.6 於 栃尾市原町



図 5-15 地上の積雪が 64cm の時の積雪の様子 H15.1.8 於 栃尾市原町



図 5-16 地上の積雪が 60cm の時の積雪の様子 H15.1.9 於栃尾市原町



図 5-17 地上の積雪が 50cm の時の積雪の様子 H15.1.10 於栃尾市原町



図 5-18 地上の積雪が 37cm の時の積雪の様子 H15.1.12 於栃尾市原町



図 5-19 地上の積雪が 29cm の時の積雪の様子 H15.1.14 於栃尾市原町

5 - 2 - 4 複式折板式の通気融雪工法屋根の参考設計例

図 5-20 は水平屋根に小屋組のトラスを載せて吊っている駅のプラットホームの設計例、図 5-21 は水平小屋組のトラスを屋根の上に出し吊っている空港の屋根の設計例である。

これらは大空間を確保するために小屋組を屋根の上に載せたものであるが、北陸のべた雪地帯でこのような屋根形状の建物とすれば、小屋組が融雪を促進する効果を持つことになる。スパンをやや短くすることで、これとほぼ同じスケールの小屋組部材で屋根を架けることが可能になると考えられる。



図 5-20 水平屋根に小屋組のトラスを載せて吊っている駅のプラットホーム
設計者 Peter Kilsdonk (出展 : The Modern Station, Brian Edwards, E&FN SPON)



図 5-21 水平小屋組のトラスを屋根の上に出し吊っている空港の屋根
設計者 VON GERKAN, MARG (出展 : THE ARCHITECTURE OF VON GERKAN, MARG + P
ARTNERS, TRADE FAIR, HANOVER, PRESTELL)

5 - 3 急勾配二重屋根式の通気融雪工法屋根

自然落下式の屋根勾配は 30° 45° 程度のものが多い。冬季において日射を最大限活用するためには屋根を南面させ、緯度 $+15^{\circ}$ に傾斜させるのが良いとされている。これに従うと北緯 37 度に位置する場所の場合、 52° に傾斜させるのが良いと言えるが、これだと屋根の上に安定的に雪を載せておくことが困難である。 52° に近い急勾配の屋根程望ましいと考えられるが、実際はどうか、 30° と 45° の二重屋根式の通気融雪工法屋根を造り、平成 15 年 1~3 月と平成 16 年 1~2 月にかけて、その効果実験を栃尾市原町で実施した。

5 - 3 - 1 急勾配二重屋根式の通気融雪工法屋根の設計コンセプト

急勾配二重屋根式の通気融雪工法屋根の設計コンセプトは以下の如くである。

融雪期に屋根雪の底面を観察すると、ざらめ雪の層に 2~4cm 程度融雪水が毛管現象に

よって吸い上げられる様子が観測される。これを水平に持ち上げても水は表面張力の影響を受けて抜けないため、そのバランスを崩すため 20° 以上の急勾配とする。

急勾配とすると屋根雪が下に滑り落ちてしまうため、二重屋根の上の屋根材を雪が引っかかって落ち難いエキスパンドメタルとする。

屋根雪が地層の如く安定した状態となると屋根表面の融雪水は途中で滞留して夜間に再凍結してしまうため、雪を金網で柵状に切るか、斜材を入れて空隙が出来るようにして、積雪層を不安定構造とする。

軒先の巻き垂れの防止と、けら場の雪庇防止のためにエキスパンドメタルを外周に垂直に固定する。



図 5-22 車庫の屋根に設置した 30° と 45° の実験屋根



図 5-23 柵状に金網で仕切った部分(左)と斜材を入れた部分(右)

5 - 3 - 2 急勾配二重屋根式の通気融雪工法屋根の問題点と良かった点

急勾配二重屋根式の通気融雪工法屋根の問題点と良かった点は以下の如くである。

(1) 問題点

既存の 20° 以上の勾配屋根にこのような融雪装置を載せるためには、支柱を母屋に載せ雪荷重に耐えられるようにする必要がある。

新設建物の場合には、小屋組を融雪装置として活用しローコスト化を狙う必要があるが、その融雪水ないし雨の処理についての検討が必要である。

金網柵状型と単管斜材型の規模は、高さ 50cm、幅 60cm、奥行 90cm としたが、小屋組のスケールと考えるとやや小さい。高さを高くするのは良いとしても、幅と奥行については、この程度が妥当と推察される。

降雪日が続くと融雪水の出が止まってしまう。安全を確保するために耐雪力を十分に取る必要がある。

(2) 良かった点

屋根雪はモチ網の上で膨らんだ小判形となるため、融雪が期待通りに促進される。
雪が落下しないため、建物の周りでも安心できる。

5 - 3 - 3 30°勾配の二重屋根式の通気融雪工法屋根における積雪と融雪の状況

図5-20～25は平成16年2月7日から21日に30°勾配の二重屋根式の通気融雪工法屋根における積雪と融雪の状況を撮影したものである。図5-20・21は着雪期、図5-22・23は冠雪期、図5-24・25は雪塊期の写真である。地上の積雪は3日には40cmであったが8日には130cmに達した。それが、19日には屋根の上の雪は完全に消えた。反対の東側の45°勾配屋根の場合、単管からの滑雪時期が早く、雪が固まるため、最終少雪は同じとなった。



図5-20 地上の積雪が80cmの時の積雪の様子 H16.2.7 於栃尾市原町



図5-21 地上の積雪が130cmになった時の積雪の様子 H16.2.8 於栃尾市原町



図5-22 地上の積雪が100cmに減少した時の積雪の様子 H16.2.11 於栃尾市原町



図 5-23 地上の積雪が 78cm に減少した時の積雪の様子 H16.2.13 於栃尾市原町



図 5-24 地上の積雪が 75cm に減少した時の積雪の様子 H16.2.14 於栃尾市原町



図 5-25 地上の積雪が 49cm に減少した時に完全消雪した様子 H16.2.21 於栃尾市原町

5 - 3 - 4 急勾配二重屋根式の通気融雪工法屋根の参考設計例

図 5-26 は工場のトラスを外に出し大空間を確保している工場の屋根の設計例、図 5-27 はトラスを外に出し大空間を確保している駅のプラットフォームの屋根の設計例である。

これらはいずれも屋根雪処理を意図してデザインされたものではないが、屋根が傾斜し、小屋組が上に露出している。北陸のべた雪地帯でこのような形態の屋根を採用すれば、屋根雪処理も兼ねられるものとなるため、一石二鳥と言える。

この二重式の通気融雪工法屋根の雪荷重は上の屋根に掛かることとなる。上の屋根から下の屋根には柱で荷重を伝えることとなるため、防水施工の必要のある下の屋根の形態は比較的単純なものとなると予想される。



図 5-26 工場のトラスを外に出し大空間を確保している工場の屋根
設計者 Mario Botta (出展 : BOTTA THE COMPLETE WORKS 1990 1997, BIRKAUSER)

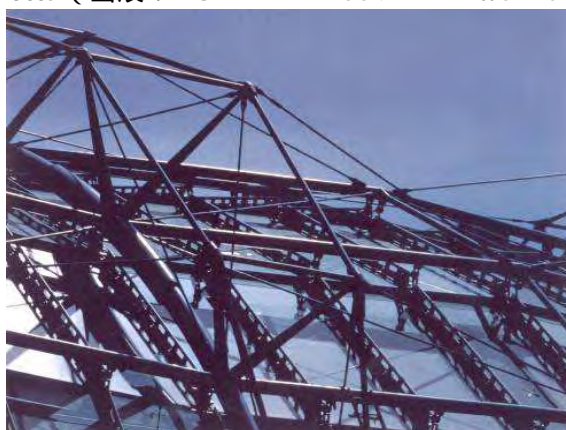


図 5-27 トラスを外に出し大空間を確保している駅のプラットフォームの屋根
設計者 Nicholas Grimshaw (出展 : Structure, Space & Skin, Rowan Moore, PHAIDON)

5 - 4 通気融雪工法に関するまとめと考察

5 - 4 - 1 通気融雪工法の設計上の要点

通気融雪工法の設計上の要点を整理すると以下の如くとなる。

日射・気温・通風・雨などの自然エネルギーを融雪エネルギーとして最大限に活用する。
屋根雪が成層構造にならないように斜材を設置するか、柵状に雪切りを行って通気を確保し、雪表面積が大きくなるようにする。

屋根雪は表面で殆ど融けているので、その上部における融雪水を再凍結させずに排水できる屋根とする。

飽和状態で保水されている融雪水の表面張力のバランスを崩すために雪底面の角度は20°以上とする。

降雪日には融雪出水はストップする。これを無理して熱を加えて出すと悪循環に陥る。その場所における1月の月平均気温が0℃以上で、過去最大積雪深が1～4m未満が成立可能地域である。

地域の降雪の特性を考慮して安全側となる耐雪力を把握して克雪性能を決定する必要がある。

5 - 4 - 2 ベタ雪地帯における種々の自然融雪屋根の可能性

規模により、以下のようなタイプを採用することによってローコスト化が計れると期待される。

水平屋根の住宅の場合には、複式折板による通気融雪工法とする。

急勾配屋根の住宅の場合には、二重屋根による通気融雪工法とする。

体育館やスーパーマーケット・駅舎などの大規模建築物の場合には、立体トラス又は吊り構造屋根とし、その小屋組ないし構造部材を自然融雪装置とする。

第6章 通気融雪工法の採用に当たっての注意事項

6 - 1 年最大積雪深の大きな変動の繰り返し

図 6-1 は長岡の過去 89 年間の積雪深の推移を示したグラフである。これを見ると、昭和 8(1932)年、昭和 10(1935)年、昭和 20(1945)年、昭和 22(1947)年、昭和 36(1961)年、昭和 38(1963)年、昭和 43(1968)年、昭和 56(1981)年、昭和 59(1984)年、昭和 60(1985)年、昭和 61(1986)年が、年最大積雪深が 3m 前後の大雪になった年である。平野部ではこのように年により大変大きな変動があることが分かる。十日町などの内陸部でも変動は大きいと言えるが、毎年かなり多くの雪が降り積もっている。このように大きな変動が過去に繰り返されていることから判断すると、最近、18 年程、暖冬少雪年が続いているが、この原因を地球温暖化に求め、今後、雪は平野部には殆ど降らなくなると予想することは難しい。

長岡の積雪 長岡市 平成13年4月

長岡市の中心部は平野部に属するので積雪の年較差は非常に大きい。東側の山間部の積雪は毎年3m前後に達している。温暖化の影響は見られるが豪雪年が無くなるとは言い切れない。

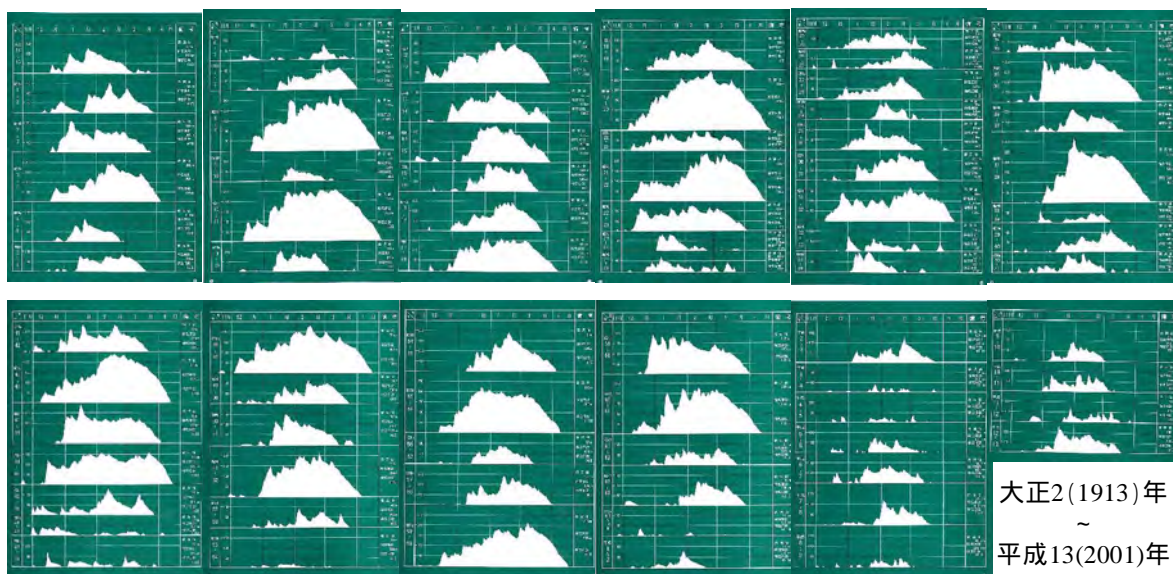
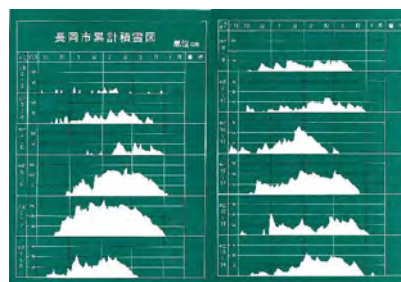


図 6-1 長岡の過去 89 年間の積雪深の推移

6 - 2 栃尾の累計降雪深と降雪パターン

栃尾市大町 2-11 の栃尾消防署(標高 23m)の記録によると、昭和 55(1980)年冬から平成 15(2003)年冬までの 24 年間の累計降雪深の平均は 6m62cm である。この間の最高は昭和 61(1986)年冬の 13m16cm、最低は昭和 64(1989)年冬の 2m29cm であった。尚、平成 15(2003)年冬の累計降雪深は 10m40cm であった。この年の最高積雪深は 85cm と平年の半分程度であったが、初雪が 11 月 4 日と早く、消雪は 4 月 13 日と遅かったためである。

図 6-2 は五六豪雪時、図 6-3 は五九豪雪時、図 6-4 は六一豪雪時、図 6-5 は平成 15 年冬の実験時のそれぞれ日降雪深の推移を示したグラフである。豪雪年には 30cm 前後の降雪が 1~2 週間程度続くことがある。そのような時には通気融雪工法屋根の上はかなりの積雪となることが予測されるので、それに備えて安全な耐雪力を決めておく必要がある。

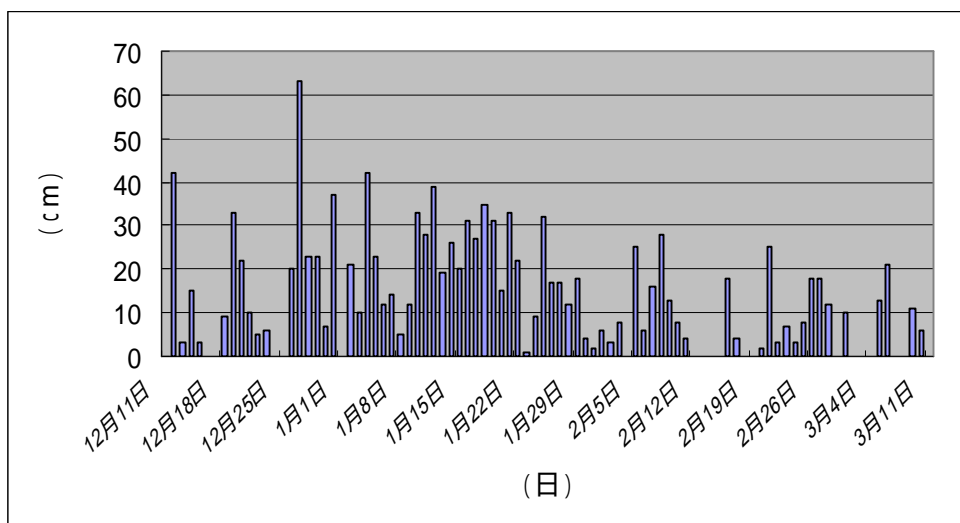


図 6-2 栃尾の五六豪雪時の日降雪深の推移

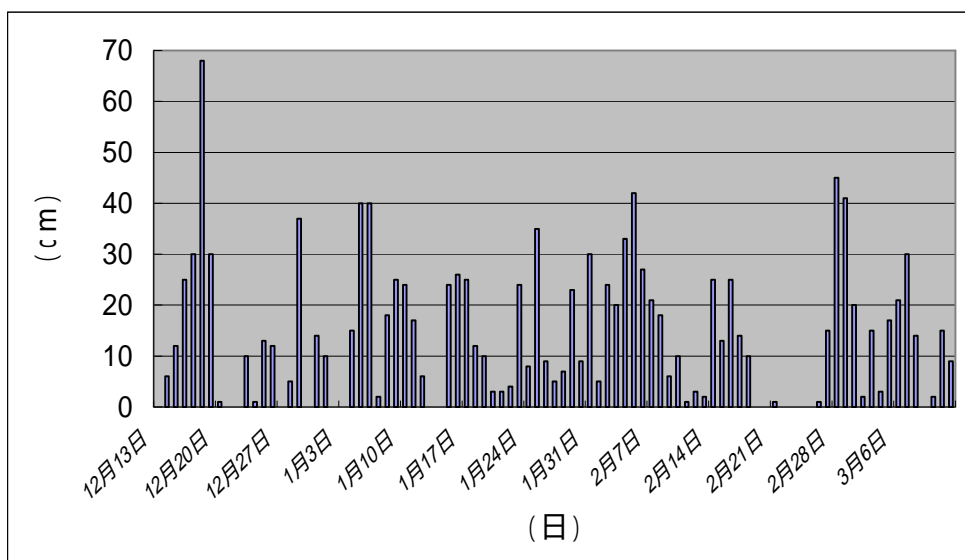


図 6-3 栃尾の五九豪雪時の日降雪深の推移

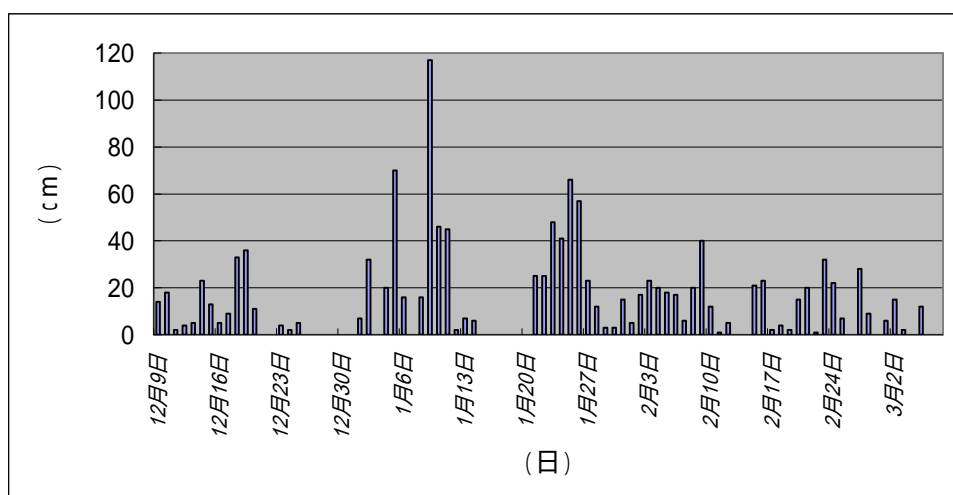


図 6-4 栃尾の六一豪雪時の日降雪深の推移

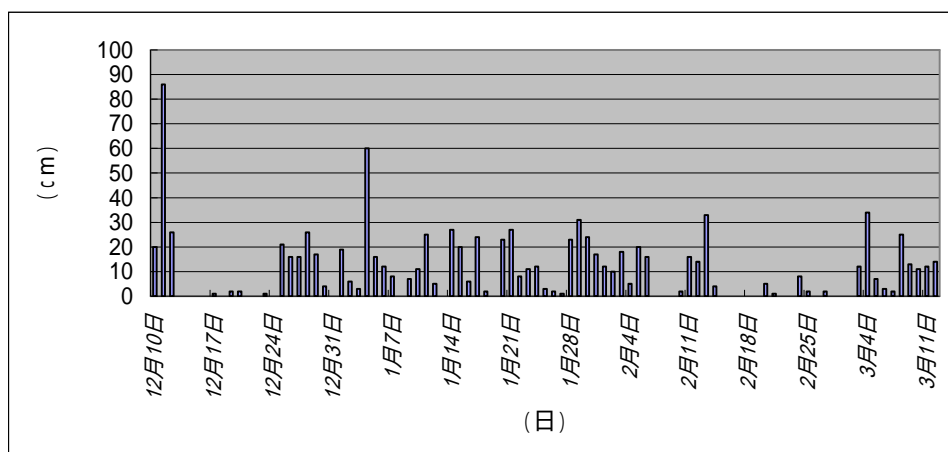


図 6-5 栃尾の平成 15 年冬の実験時の日降雪深の推移

6 - 3 通気融雪工法の確保すべき耐雪強度の目安

北陸四県のべた雪地帯で通気融雪工法を採用した場合、確保すべき耐雪強度の目安は、降雪累計と積雪深、根雪期間の関係から整理すると 表 6-1 の如くとなる。

過去最高の降雪累計が 3.75～7.5m の場所の場合、年最高積雪深は 1～2m 程度で、根雪期間は 2～3 ヶ月となる。この際の通気融雪工法屋根は、一時的に冠雪が生ずるが、一般の雪下ろし方式の建物の耐雪強度 210kg/m^2 を確保しておけば良いと推察される。

過去最高の降雪累計が 7.5～11.25m の場所の場合、年最高積雪深は 2～3m 程度で、根雪期間は 3～4 ヶ月となる。この際の通気融雪工法屋根の上には冠雪が生じ、次第に空洞が発達し、融雪が進むが、一時的に 1～2m 程度の雪が積もることが推察される。従って、一般の木造耐雪構造建物における耐雪強度 420kg/m^2 を確保しておくことを推奨する。

過去最高の降雪累計が 11.25～15.0m の場所の場合、年最高積雪深は 3～4m 程度に達し、根雪期間は 4～5 ヶ月となる。この際の通気融雪工法屋根の上には最大で 2～3m の雪が積もることが予想され、グレートモンスターのような屋根雪景観となることが推察される。従って、その時にも耐えられるように融雪装置の規模と強度は、金網樹状型及び単管斜材型ともに高さを倍程度にし、耐雪強度も 630kg/m^2 程度を確保し、部材の接合部における仕口の強度と納まりも十分なものとなるように設計する必要がある。

表 6-1 通気融雪工法の確保すべき耐雪強度の目安

降雪累計	地上積雪重量	地上積雪深	根雪日数	耐雪強度
3.75m未満	300kg/m^2 未満	1m未満	60日未満	不要地域
3.75～7.5m	$300\sim 600\text{kg/m}^2$	1～2m	60～89日	210kg/m^2
7.5～11.25m	$600\sim 900\text{kg/m}^2$	2～3m	90～119日	420kg/m^2
11.25～15.0m	$900\sim 1200\text{kg/m}^2$	3～4m	120～149日	630kg/m^2
15.0m以上	1200kg/m^2 以上	4m以上	150日以上	不可地域

注1)降雪累計は、根雪期間以前と以後の降雪は含まない。

注2)地上積雪重量は、降雪累計に単位重量 $0.8\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{cm})$ を掛けたものである。

注3)耐雪強度は、北陸の通気融雪工法の適用地域における目安である

6 - 4 通気融雪工法屋根の建物建設に際しての安全性の確保と注意事項

(1) 異常豪雪年対策

栃尾の三八豪雪時の最高積雪深は 4m28cm となった。年末の 28 日から雪が降り始め、年明けの 4 日頃から交通麻痺状態となり、8 日頃には青空が見え皆が除雪を行ったが、そのような状態が月末まで続き、新潟県中越地域の平野部は完全に雪に埋もれてしまった。この時よりも昭和 20(1945)年の時の方が多かったといわれているが、記録がないため不明で

ある。そのように連続して約 1 ヶ月間も雪が降り続くような豪雪年は、最近の地球温暖化傾向の中でしばらくは起こらないと考えられているが、万が一に遭遇した場合には、装置の上に雪が 2m 程度積もり残ってしまった段階で、雪下ろしをして倒壊を防ぐ必要がある。

(2) 積雪パターン対策

積雪パターンは、正規分布型、初期積雪型、後期積雪型、台形型、鋸歯型の 5 つに分類される。積雪重量はいずれも融雪期に入る直前に最大となるが、一般に積雪深が高くなると積雪重量も比例して多くなると誤認されているため、台形型の年の雪荷重の増加に対して無防備と言える。

南魚沼郡塩沢町の旧国鉄の鉄道研究所では、2m 程度の最高積雪深で約 1000kg/m²の雪荷重となった記録が残されている。その年の積雪深は、2m 程度のまま 1 月中旬から 3 月上旬まで続き、平均密度が 5kg/(m²・cm)程度まで高くなったため、地上積雪重量がそのように多くなった。一般に積雪深によってその年の雪の多さが語られているが、降雪累計を把握し、実際の雪荷重がどの程度となっているか、考えられる環境の整備が必要である。

(3) 異常低温年対策

五九豪雪時の 1 月の栃尾はドカ雪となったのみならず、13 などの気温の低い日が続く、月平均気温は平年に比べて 2 程度下がり、100 年に 1 回程度の以上寒波の年となった。

氷点下の真冬日または冬日が続く時には、水平にした融雪装置の場合、融雪水が再凍結してしまい、融雪装置が機能しなくなってしまう恐れがある。幸い、複式折板式の通気屋根の場合、横樋の上にグレーチングを並べて雪が入るのを防ぎ、横樋と縦樋に線ヒーターを入れていたので、そのような問題は発生しなかったが、水平屋根でエキスパンドメタルを水平に浮かした場合には、そのような問題の発生が危惧される。

(4) 偏荷重対策

屋根雪は風下と風上、南側と北側などによってその積雪深に差が生ずる。勾配屋根の場合は軒先の雪が多くなるが、水平屋根の場合には風上の雪は吹き払われ、建物の高さの 2 倍程度の位置に吹き溜まる。また、パラペットやペントハウスがあるとその回りで吹き払いと吹き溜まりが生ずる傾向が見られる。つまり、屋根雪の積もり方は一様ではないことが多いので、その偏荷重の発生に注意する必要がある。

通気融雪工法屋根の場合、支柱が沢山立てられることになるので、少なくとも屋根の左右と中央、前と後ろの 9 箇所に積雪の状況が分かるように目盛りを付け、安全を確保できるようにしておくことが肝心である。

(5) 風向き対策

強い風は雪の降り始める時に吹く。これは冬型の西高東低の気圧配置が強まり、低気圧が接近してくる北または北西の風で、概して冷たく気温融雪には寄与しない。これに対し、寒波が治まった後に暖気を運んでくる南ないし南東からの風がある。山や川の位置や地形によってその風向きは場所によって異なっているが、そのような風温を利用するのが得策である。従って、その場所における季節風の向きと、常時吹いている主風向とを観察し、冬の主風向に面する形に屋根の向きを決めるのが良い。しかしながら、それが南方向でない場合は、南面化を優先させ、風は主風向側から迎え入れられるように別途検討することが得策と考えられる。

(6) 屋根勾配対策

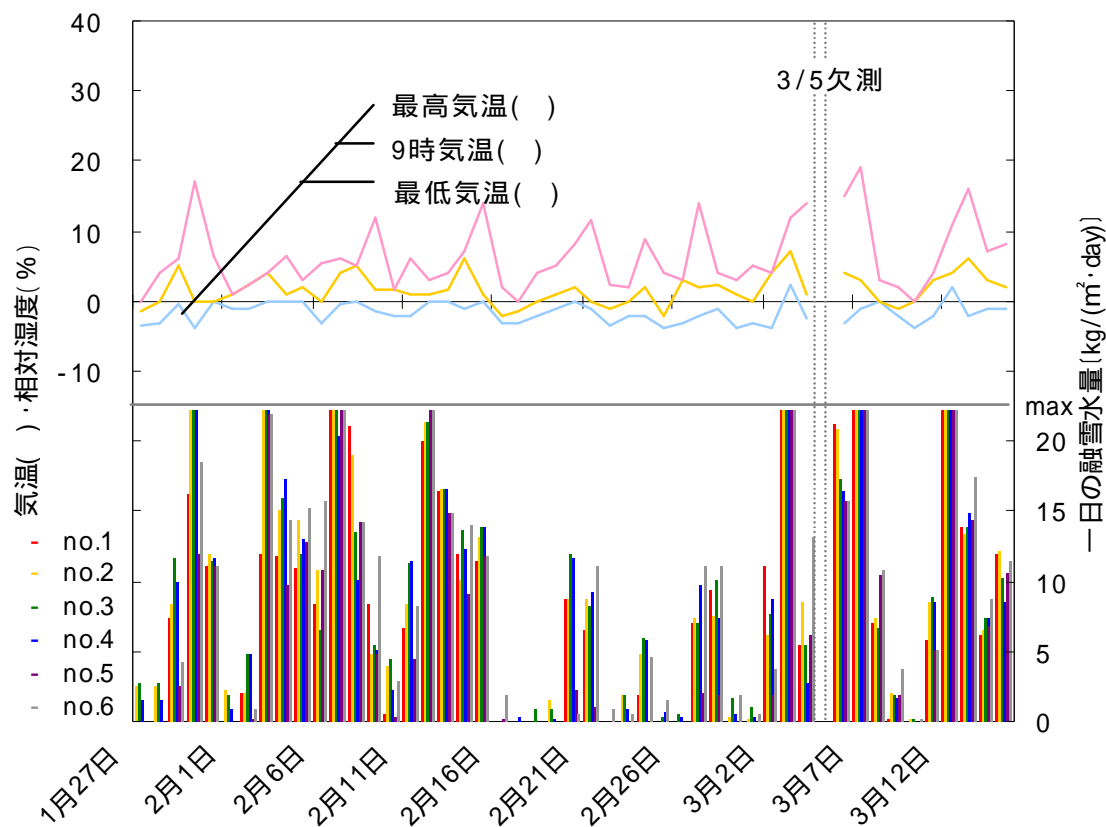
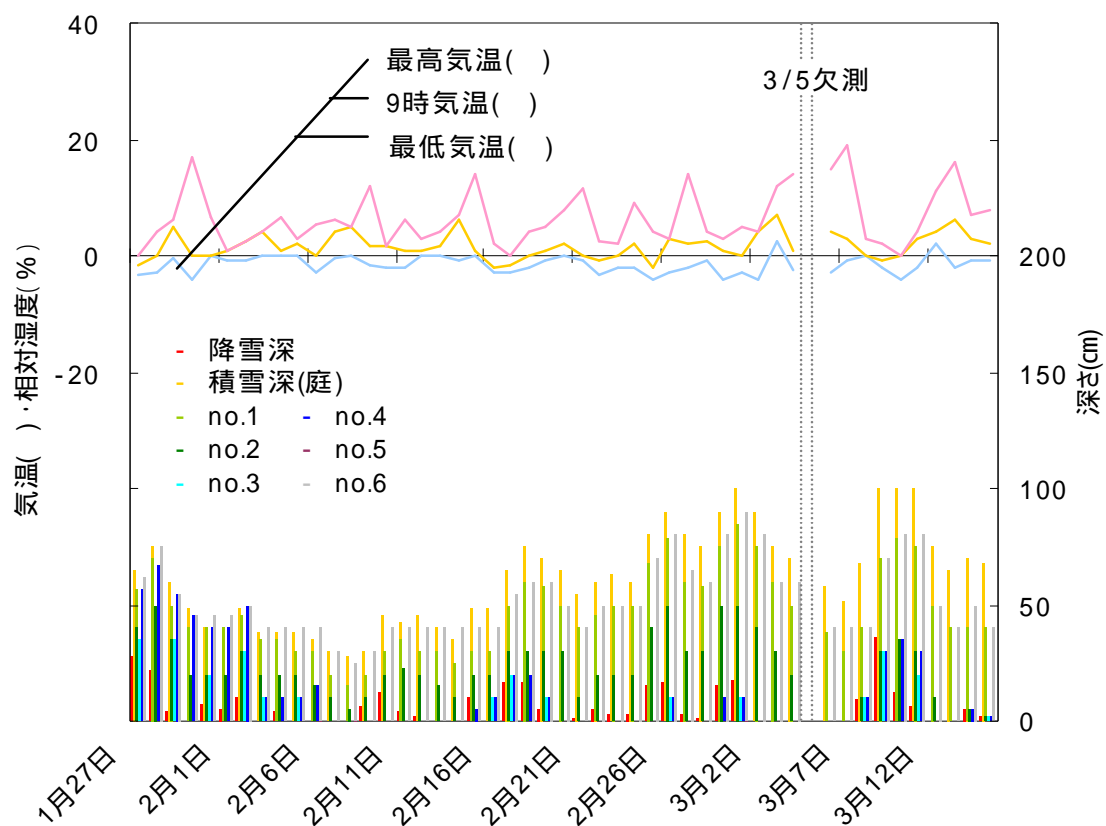
屋根勾配は、水の表面張力のバランスが崩れる 20° 以上で、なるべく「緯度 + 15°」の 52° 程度とし、南面化させて日射を最大限活用するのが良い。しかしながら、45° 以上の急勾配の屋根の場合、雪が暖気により滑落してしまう時期が早くなってしまう。従って、30° 程度の屋根勾配とし、冠雪が残り、積雪層に空洞が生じ、雪が固まらないで長持ちする角度にして南面化を図る方が良い。なるべく雪の密度が低い新雪かしまり雪の状態で融雪が進む形態とすることが得策と言える。

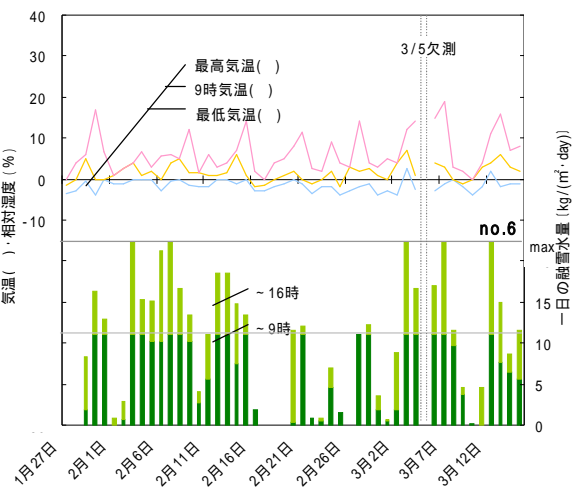
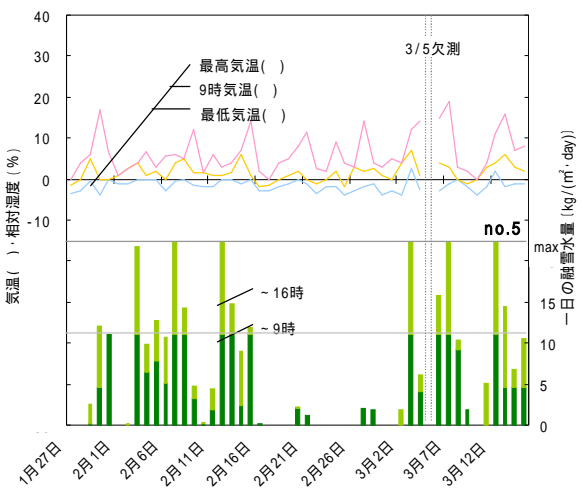
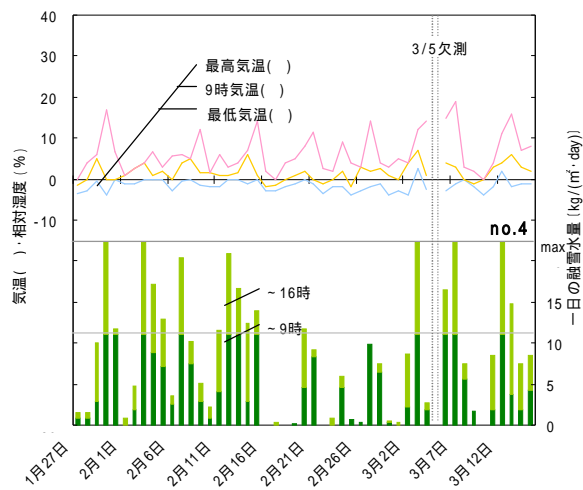
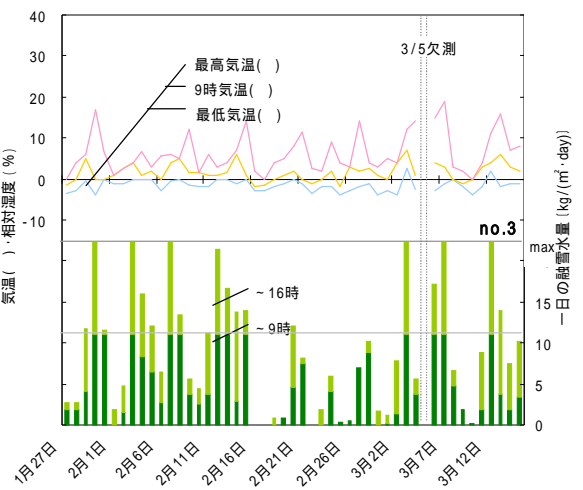
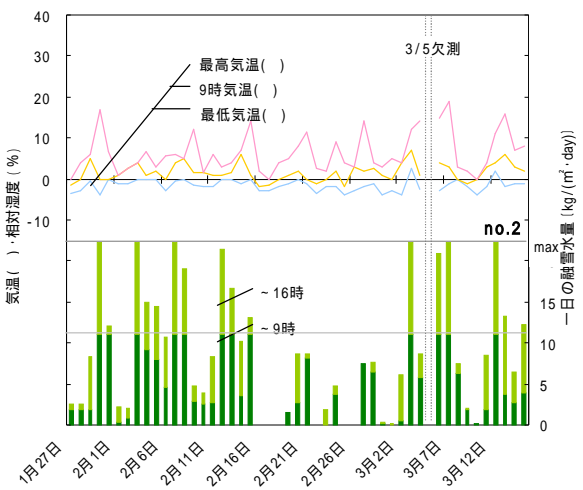
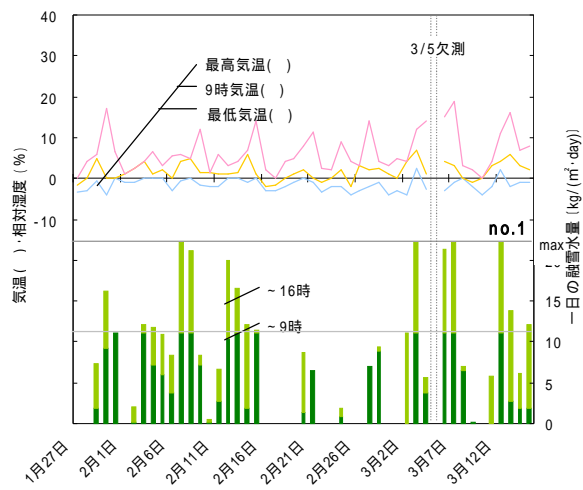
資料編

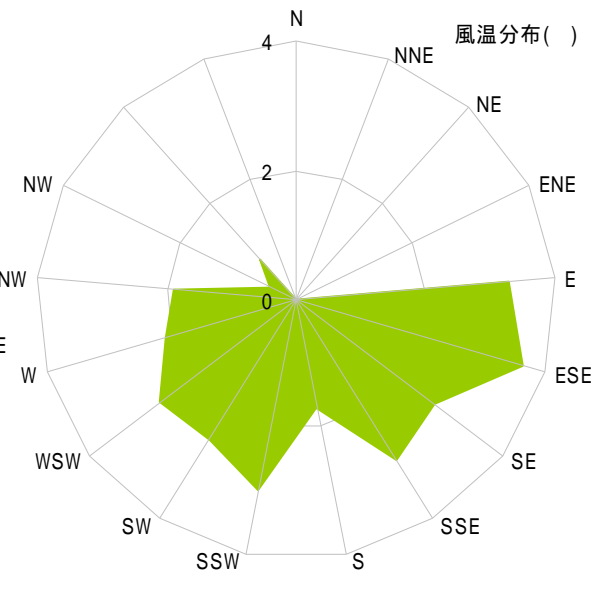
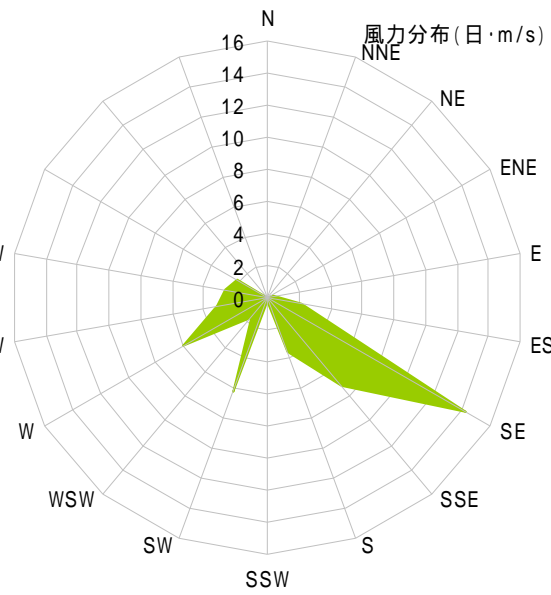
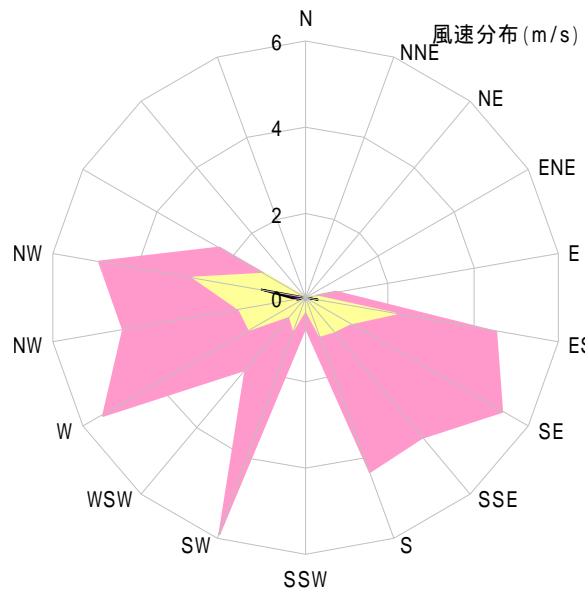
資料 - 1 計測データ

資料 - 2 発表論文

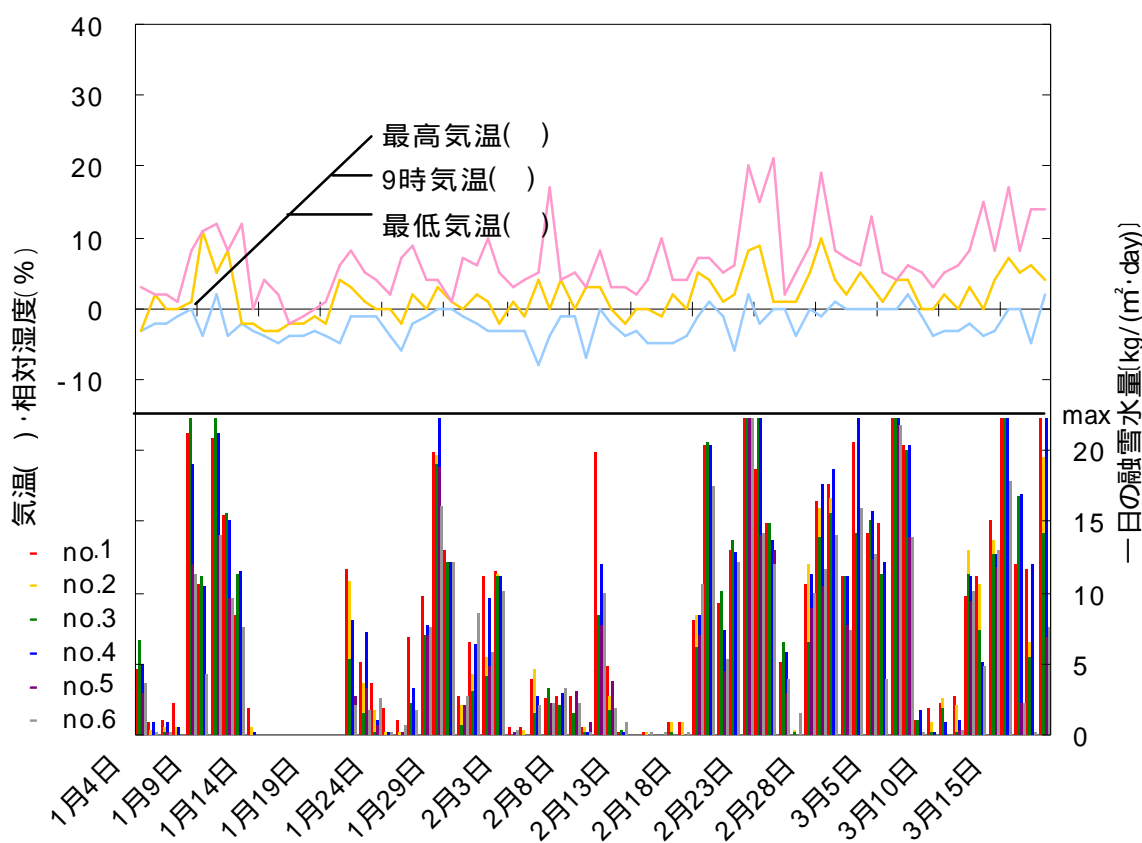
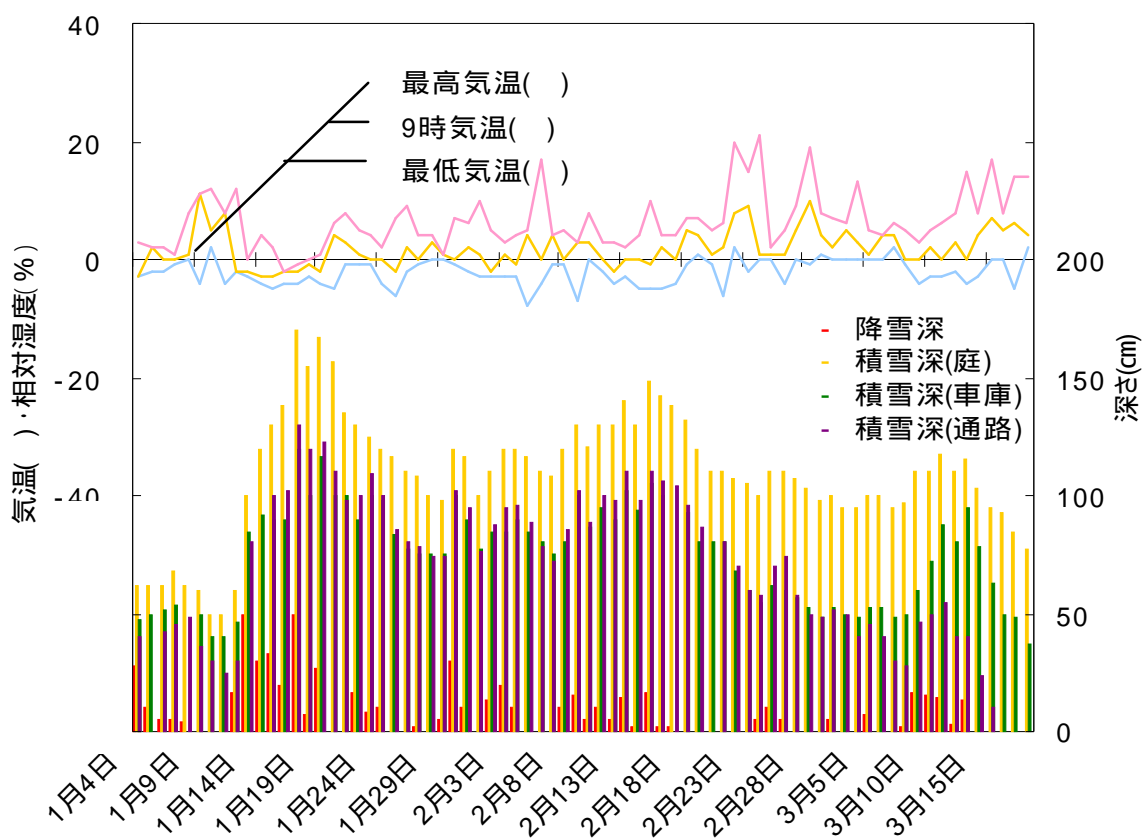
平成 12 年 1 ~ 3 月の自然融雪実験計測データによるグラフ (新潟県栃尾市原町)

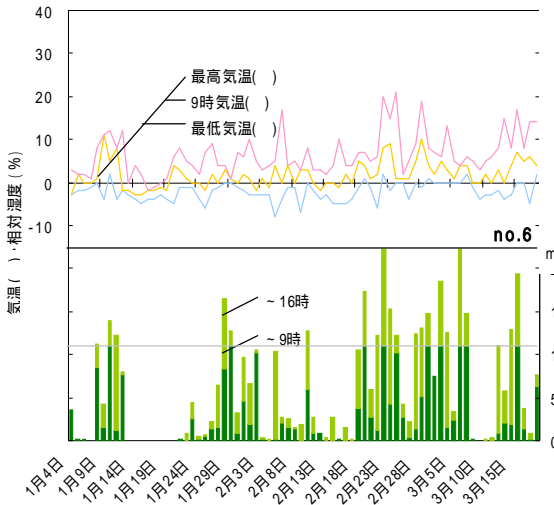
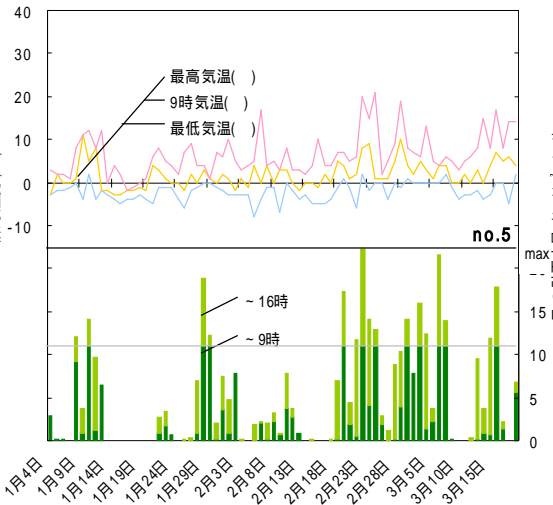
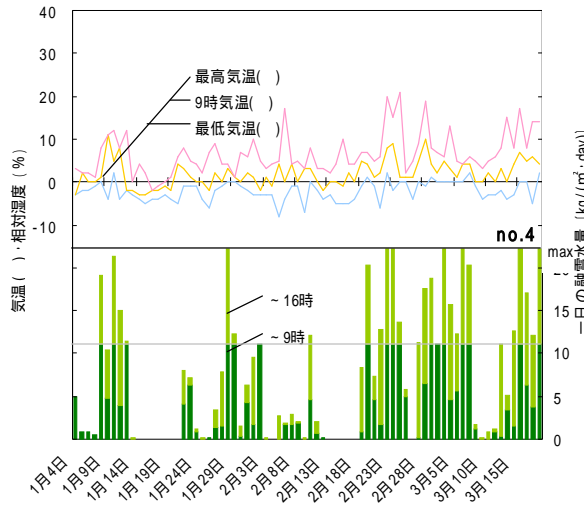
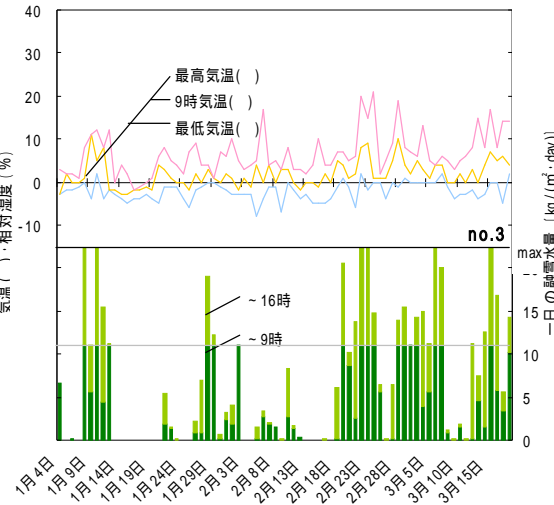
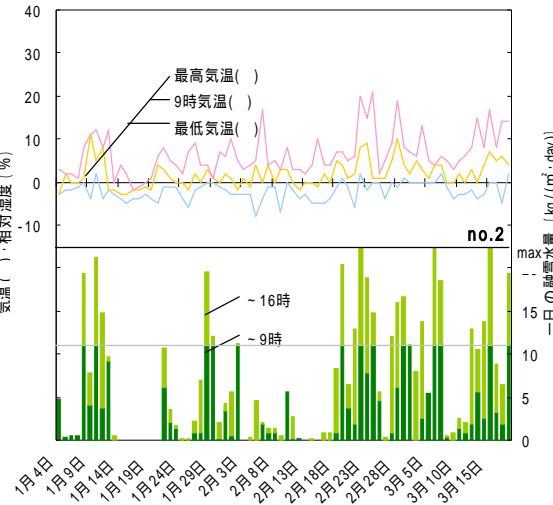
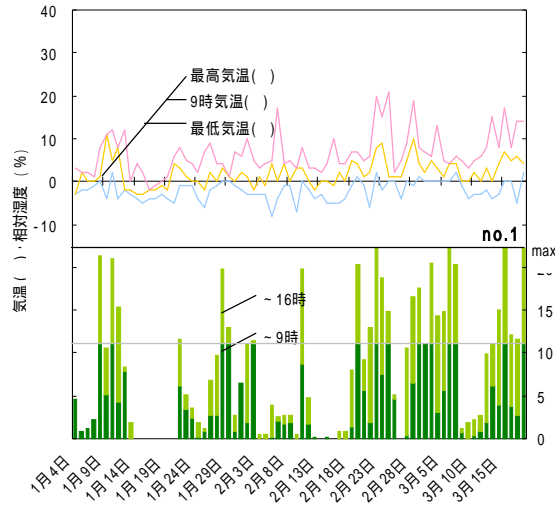




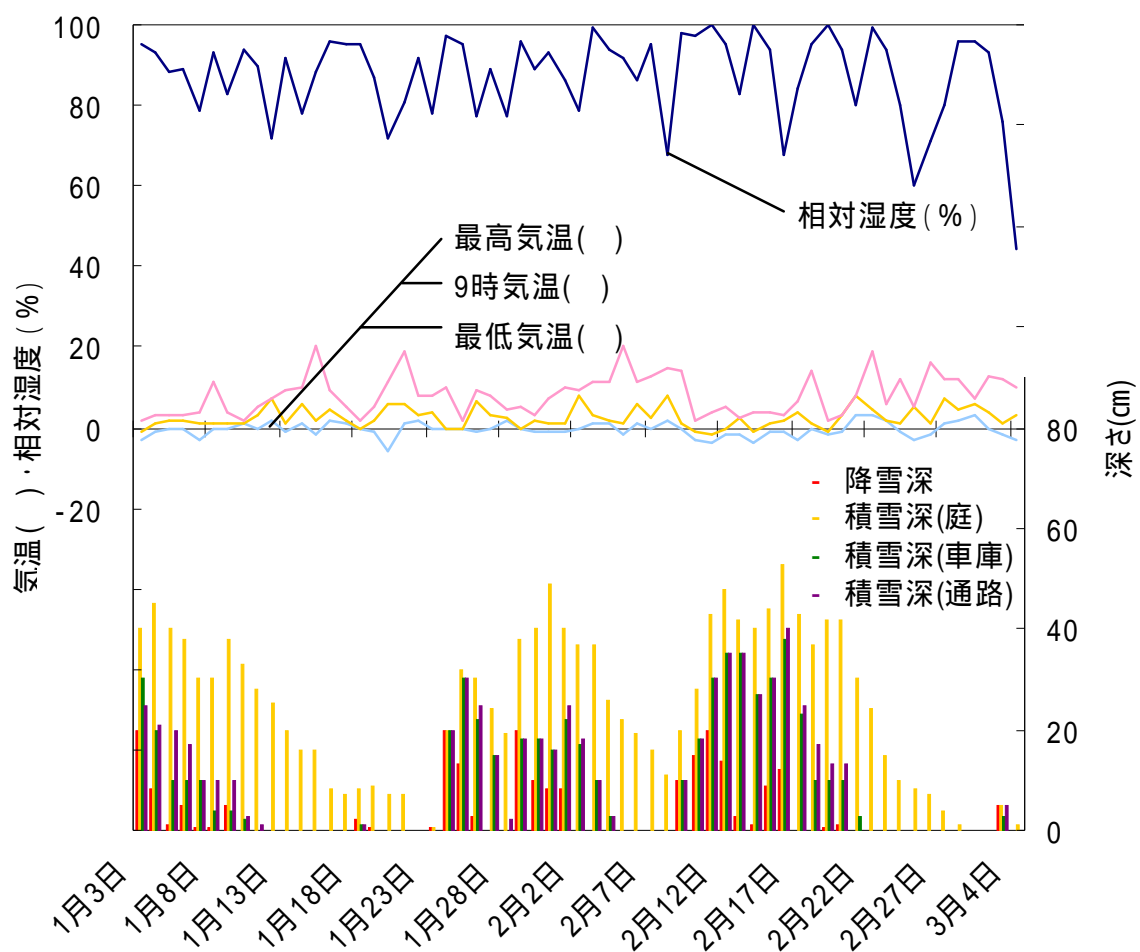


平成 13 年 1 ~ 3 月の自然融雪実験計測データによるグラフ (新潟県栃尾市原町)





平成 14 年 1 ~ 3 月の自然融雪実験計測データによるグラフ (新潟県栃尾市原町)



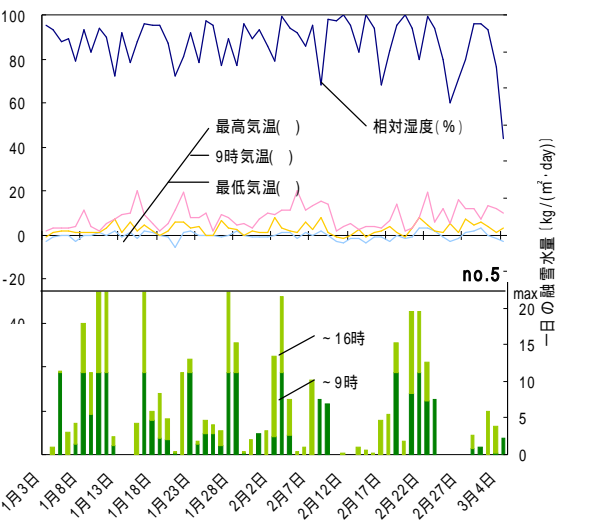
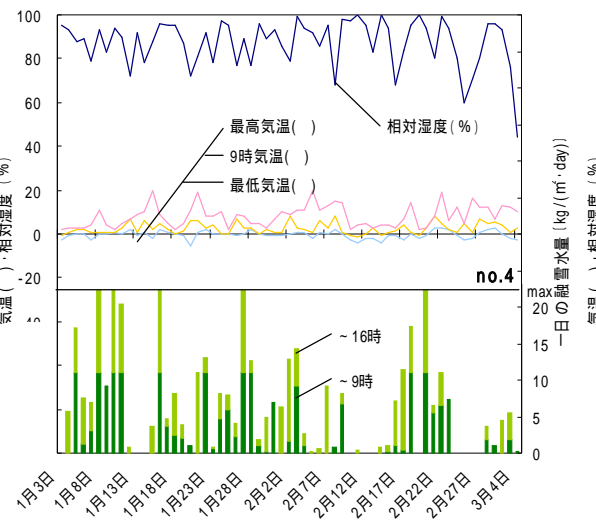
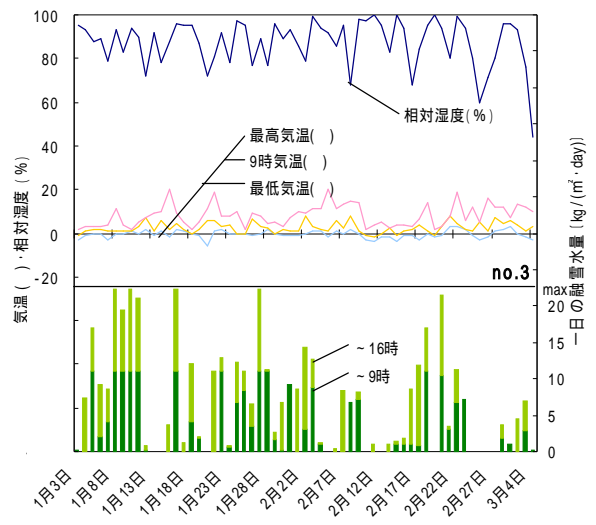
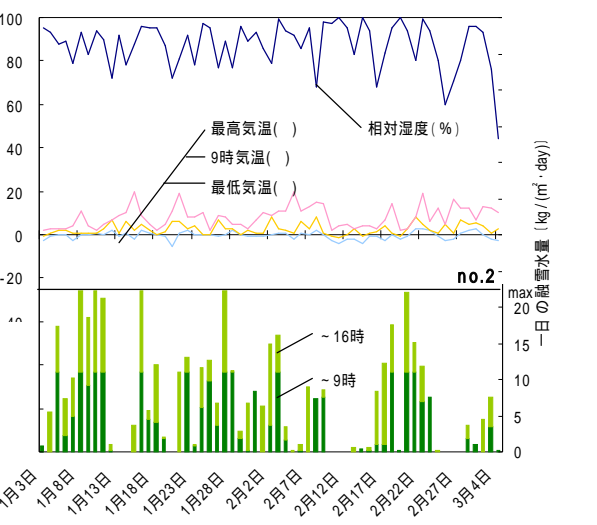
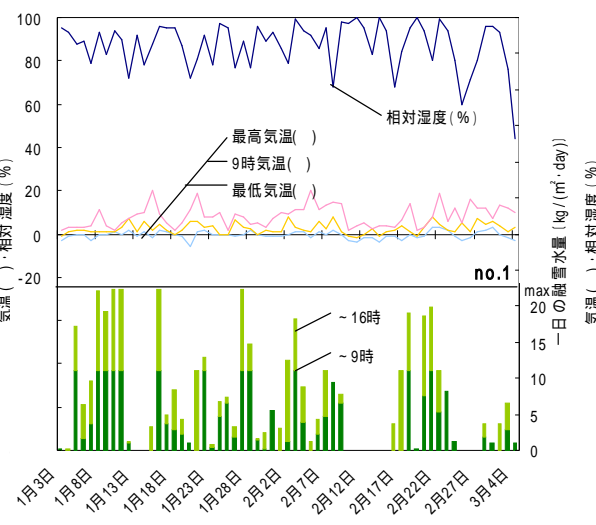
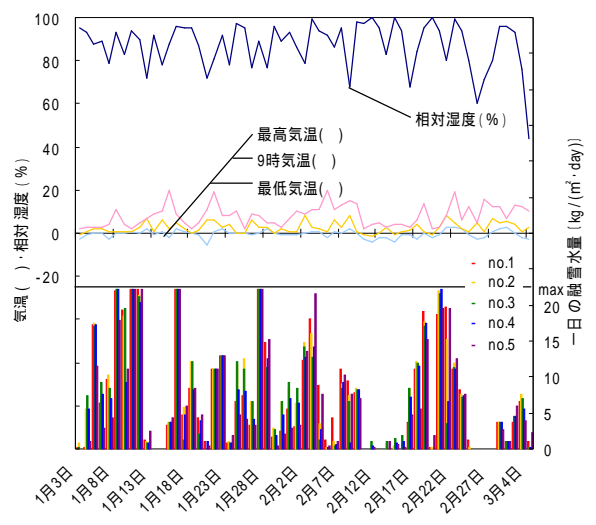


表 平成15年1~2月の通気融雪実験計測データ一覧(新潟県栃尾市原町)

※注 一:雪無し

60=max

月日	9時天気	雪質	降雪深 (井戸上) (cm)	積雪深 (底) (cm)	気温(°C)(底・柱)			相対湿度 (%)	風向・風速・風温(道路60秒間)					9時の融雪水量 (リットル)			16時の融雪水量 (リットル)			
					最低	9時	最高		風向	平均	最高	最低	風温	No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3	
1月1日																				
1月2日																				
1月3日																				
1月4日																				
1月5日																				
1月6日	雪	粉	10	58	-5.0	1.0								18	12	20				
1月7日	雪	わた	23	70	-5.5	0.0	3.0		SW	0.28	0.46	0.09	1.45	0	0	0	3	0		
1月8日	雪	ぼた	4	64	-1.0	1.0	2.0		SW	0.15	0.53	0.00	2.17	0	0	1	M	55	15	
1月9日	晴		0	60	-5.0	7.0	13.0		S	0.22	0.61	0.02	4.01	10	15	0	M	M	10	
1月10日	小雨		0	50	1.0	2.0	19.0		S	0.66	1.76	0.04	3.37	M	M	25	M	M	29	
1月11日	小雪	わた	0	48	-0.6	2.0	3.0		N	1.00	1.28	0.74	2.32	M	M	19	53	55	20	
1月12日	曇り		0	37	1.0	4.0	5.0	87	S	0.21	0.21	0.21	4.92	M	M	33	33	39	20	
1月13日	晴		0	30	-2.0	1.0	11.0		S	0.63	2.59	0.03	8.89	M	M	19	23	35	35	
1月14日	雨		0	29	1.0	4.0	20.0	94	S	0.19	0.48	0.00	5.36	45	42	45	M	M	M	
1月15日	曇り		0	23	-2.3	-0.5	5.0	74	N	0.91	1.69	0.29	0.31	M	M	M	0	0	0	
1月16日	曇り		8	35	-4.0	0.5	2.0	79	S	0.88	3.02	0.07	1.16	0	0	0	35	25	13	
1月17日	晴	わた	0	30	-1.0	3.5	7.5	83	W	0.60	2.97	0.13	4.68	M	M	44	50	51		
1月18日	曇り		3	29	-1.0	1.5	8.0	92	NE	0.08	0.19	0.00	3.06	M	M	M	39	38.0		
1月19日	曇		0	26	-0.8	2.3	4.0	86	N	0.70	0.93	0.49	3.48	M	M	14	0.5		2	
1月20日	曇り		0	22	0.0	2.8	5.0	91	S	0.29	0.89	0.02	4.20	0	0	0	24	22	17	
1月21日	吹雪		10	38	-1.0	0.5	8.0	89	無	0.29	0.59	0.00	2.34	29	27	0	0	0	0	
1月22日	雪	細雪	20	55	-2.0	0.1	0.0	96	無	0.27	0.50	0.00	0.81	0	0	0	1	1	0	
1月23日	曇り		25	50	-4.5	1.0	2.5	85	NE	0.05	0.21	0.00	0.38	5	5	7	0	0	0	
1月24日	曇り		5	55	-2.0	1.1	2.0	82	NW	0.41	1.05	0.00	2.28	M	M	30	2	1	1	
1月25日	曇り		4	53	-1.5	1.2	2.0	88	W	0.34	0.59	0.03	0.03	0	0	0	44	21	7	
1月26日	晴		0	50	-1.0	5.2	9.0	75	S	0.37	0.59	0.11	3.37	7	5	2	M	55	10	
1月27日	曇り		0	47	-0.9	2.3	11.0	83	SE	0.80	0.99	0.59	2.96	M	M	6	M	M	35	
1月28日	晴	強風	0	38	1.5	4.2	6.0	68	W	2.62	7.02	0.17	4.49	M	M	M	M	M	M	
1月29日	吹雪	粉	17	59	-1.3	1.3	6.0	89	SE	1.93	5.98	0.10	-0.12	38	30	28	0	0	0	
1月30日	吹雪	粉	10	80	-4.5	-2.3	-1.5	86	W	2.08	4.46	0.70	-1.33	0	0	0	0	0	0	
1月31日	曇		17	88	-3.0	0.7	3.9	89	W	0.79	1.22	0.09	0.98	0	0	0	0	0	1.5	
2月1日	雪	細雪	11	85	-2.0	-0.6	1.5	94	S	0.17	0.51	0.01	0.40	0	0	0	0	0	0	
2月2日	曇り		4	68	-3.5	2.0	4.0	86	SW	0.33	0.74	0.02	0.23	0	0	0	M	20	7	
2月3日	雪	ぼた	5	83	-3.0	0.4	12.0	94	SW	0.28	0.43	0.07	1.45	0	0	0	13	10	2.5	
2月4日	曇	わた	4	80	-1.0	3.0	3.0	89	SE	0.48	1.89	0.04	1.80	13	12	7	25	18	12	
2月5日	晴		0	73	-6.5	0.3	2.0	83	W	0.45	0.63	0.29	-0.86	5	4	5	26	12	4	
2月6日	曇	細雪	11	84	-2.0	1.0	1.0	95	N	0.67	1.24	0.12	0.52	M	M	13	10	5	1	
2月7日	曇り		0	78	-0.5	4.2	7.0	71	S	0.64	1.85	0.05	4.37	4	1	2	M	M	M	
2月8日	快晴		0	69	-0.9	6.8	16.0	97	W	0.16	0.61	0.01	7.40	M	M	50	M	M	45	
2月9日	小雨		-	63	2.5	3.6	20.0	97	SW	0.41	1.29	0.00	5.60	47	47	51	14	13	40	
2月10日	晴		0	63	-2.0	8.5	11.0	79	SW	0.14	0.43	0.00	7.76	M	M	13	M	M	11	
2月11日	曇り		0	50	1.5	4.2	11.5	93	E	0.42	0.66	0.12	5.00	-	-	1	34	33	25	
2月12日	曇	わた	0	51	-0.7	5.7	6.0	86	N	1.43	2.44	0.10	0.16	49	50	33	0	0	0	
2月13日	曇り		1	50	-6.0	-1.0	1.0	87	W	0.60	0.76	0.33	-0.84	0	0	0	20	はずれた	16	
2月14日	曇	わた	7	55	-0.8	7.0	9.0	97	SE	1.15	1.76	0.14	2.57	M	M	35	M	M	57	
2月15日	快晴		0	50	-1.5	4.5	6.5	70	S	1.01	2.34	0.14	4.14	5	4	3	5	4	13	
2月16日	曇り		0	60	-2.0	0.8	11.5	89	SE	0.12	0.26	0.00	2.90	0	0	0	0	0	3	
2月17日	曇り		0	47	1.0	4.5	5.0	88	無	0.42	0.62	0.06	4.59	5	5	5	-	-	-	
2月18日	晴		0	46	-2.0	3.3	11.0	77	NW	0.18	0.35	0.00	3.15	-	-	-	-	-	-	
2月19日	晴		0	42	-4.0	3.6	15.0	66	S	0.32	0.59	0.10	3.21	-	-	-	-	-	-	
2月20日	曇		0	41	-2.0	5.4	19.0	69	E	0.10	0.19	0.01	4.99	-	-	-	9	9	6	
2月21日	曇り		0.5	40	0.0	3.2	11.5	70	W	3.61	5.39	1.71	3.27	20	20	18	0	0	0	
2月22日	曇り		0	38	-1.0	3.8	8.5	77	W	0.25	0.52	0.02	4.59	-	-	-	-	-	-	
2月23日																				
2月24日																				
2月25日																				
2月26日																				
2月27日																				
2月28日																				

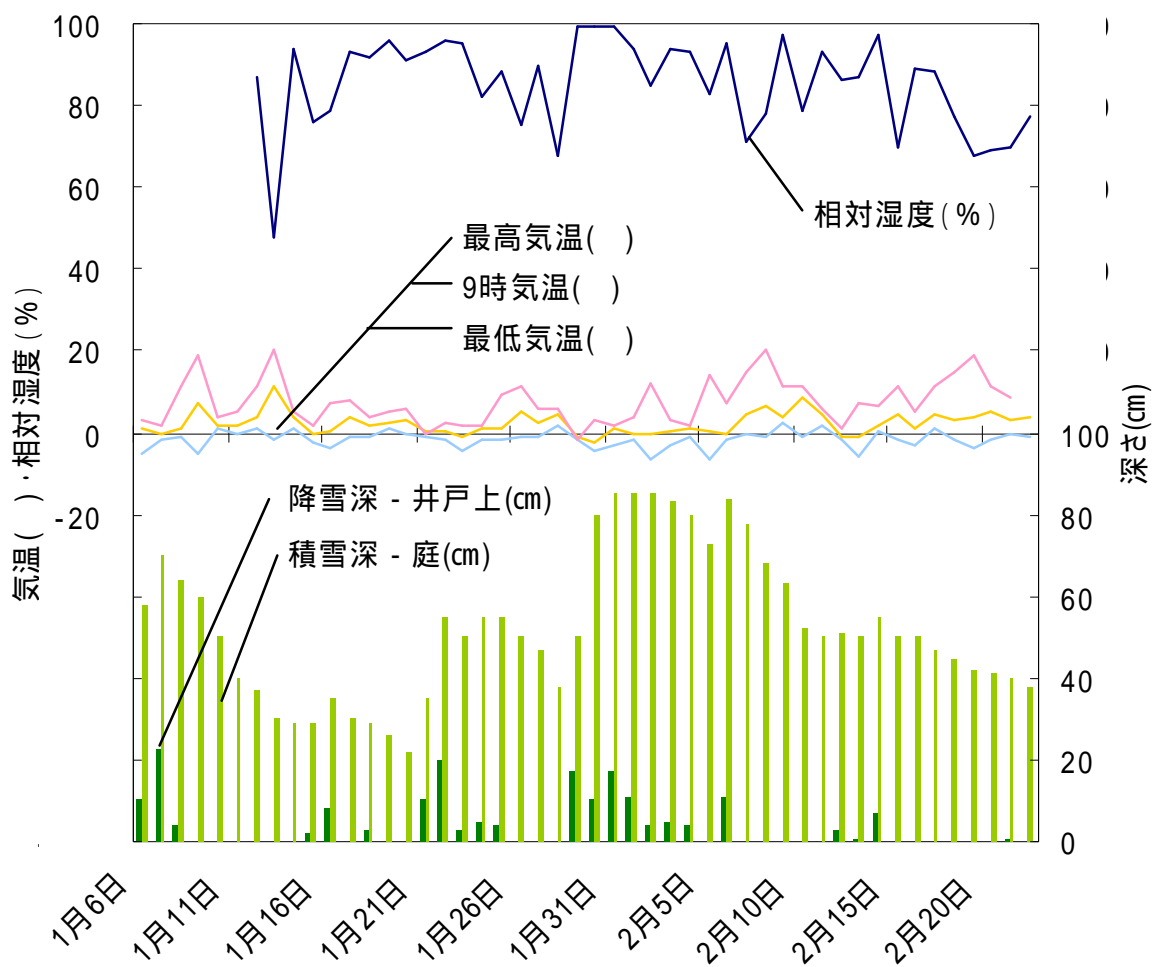
9時の融雪水量:積雪0

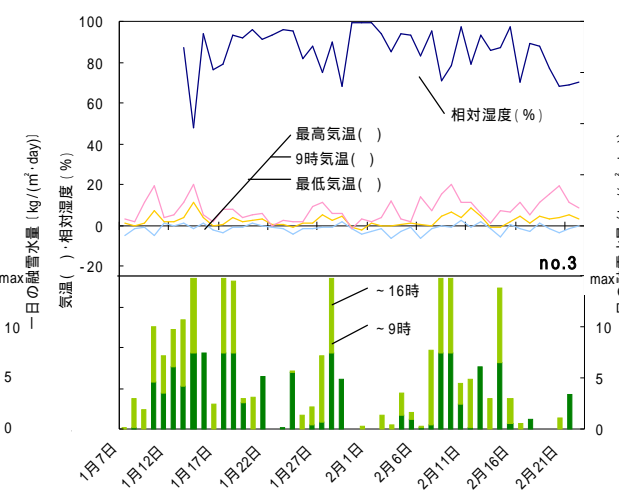
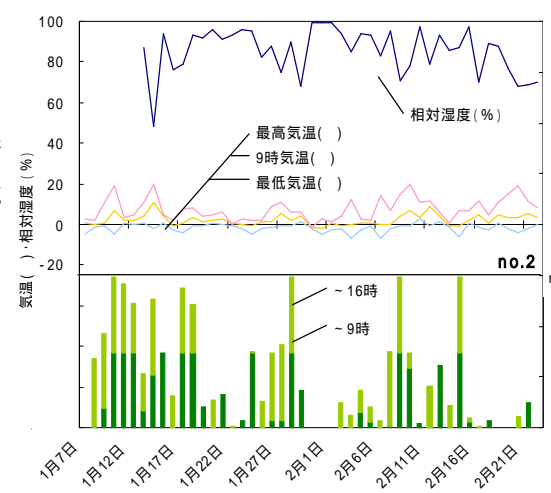
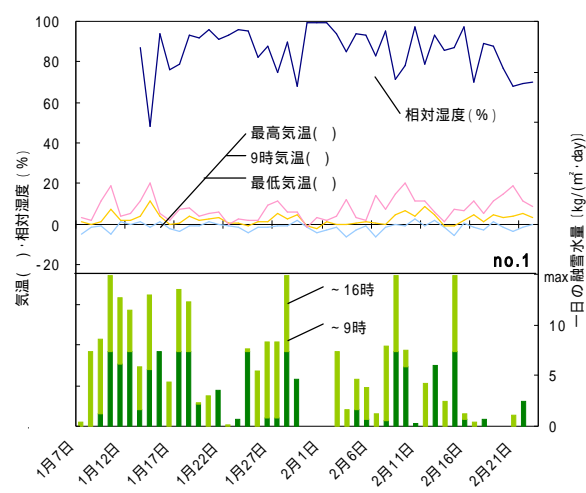
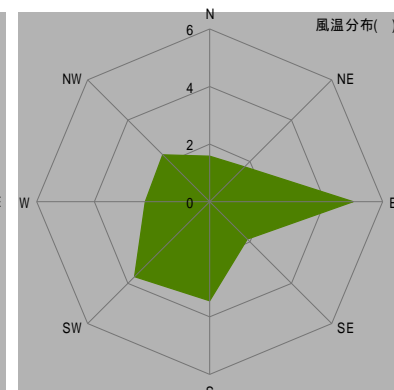
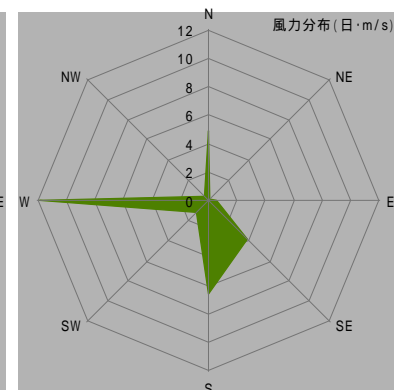
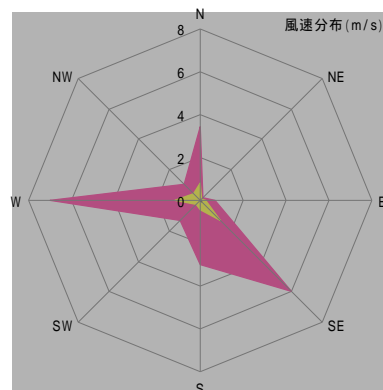
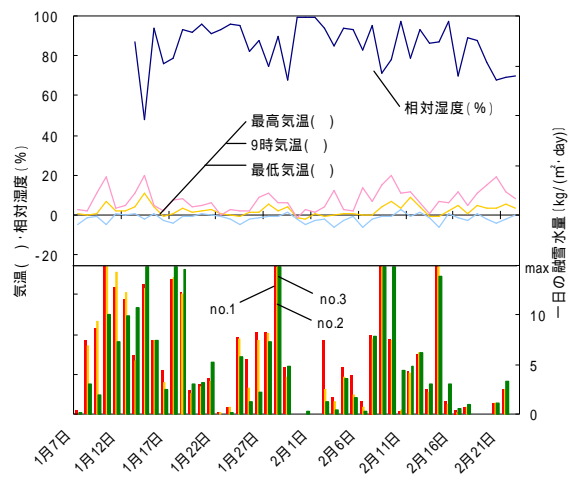
16時の融雪水量:雨量

強風のためNO.2はずれた

16時の融雪水量:雨量

平成 15 年 1 ~ 2 月の通気融雪実験計測データによるグラフ (新潟県栃尾市原町)





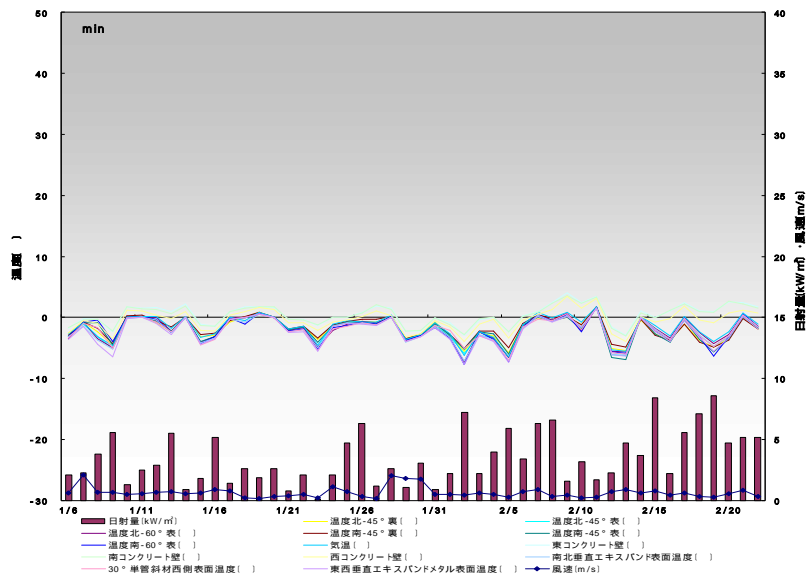
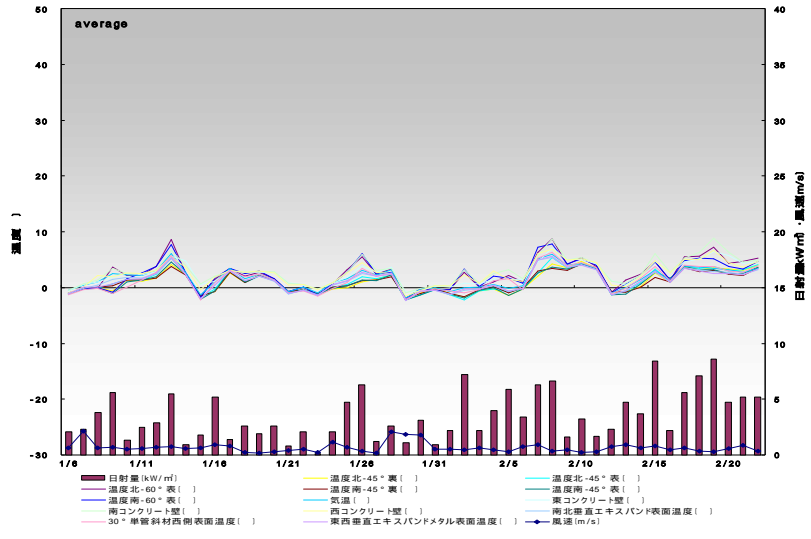
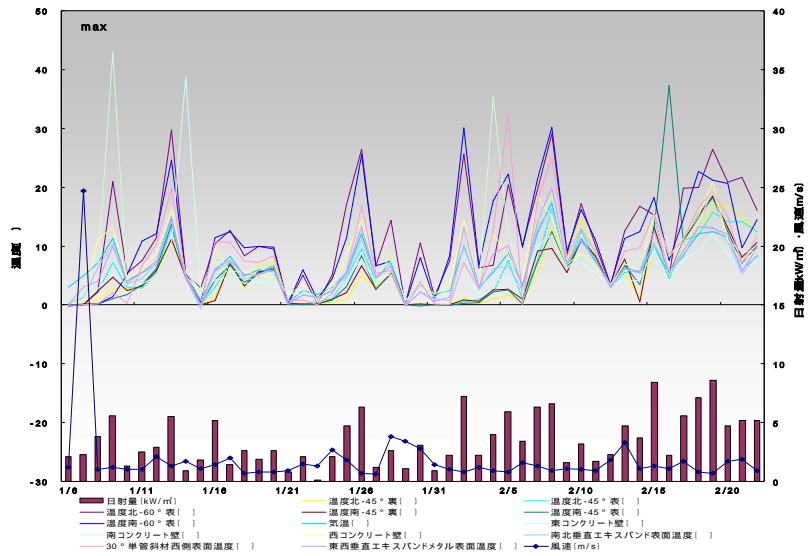


表 平成16年1～3月の通気融雪実験計測データ一覧(新潟県栃尾市原町)

月日	9時天気	雪質	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)	気温(°C)			風向・風速・風温				9時の融雪水量(L)			16時の融雪水量(L)			湿度		降雪重量 kg/底	備考
					最低	9時	最高	風向	平均	最高	最低	風温	1	2	3	1	2	3	1		
1月1日	曇	—			3	5	7	S	0.84	1.29	0.28	6.21	-	-	-	-	-	-	78		
2日	小雨	—			3	7	9	S	0.25	0.4	0.12	8.67	-	-	-	-	-	-	91		
3日	雨	—			3	5	11	S	0.39	0.59	0.18	6.93	-	-	-	-	-	-	93		
4日	曇	—			0	2	6	S	0.07	0.17	0.03	4.68	-	-	-	-	-	-	95		
5日	曇	—	うっすら	うっすら	0.5	5	11	SE	0.72	0.98	0.32	5.83	-	-	-	-	-	-	70		
6日	晴	ぼたん	4	4	-2	6	7	N	0.41	0.66	0.27	4.12	4	4	1	45	48	外れ	95		
7日	快晴	ぼたん	うっすら	うっすら	-4	4	14	N	0.43	0.45	0.38	1.24	0	0	0	0.5	0.25	4	-		
8日	雪	細雪	3	3	-3	-1	18	WN	2.13	3.33	1.21	0.79	M	M	M	0	0	0	84	0.9	
9日	曇	細雪	4	5	-2	1	1	SE	1.81	2.15	1.09	2.34	0	0	0	45	外れ	15	90	1.5	
10日	快晴		0	2.5	-6	3	6	WN	0.5	0.56	0.45	0.04	4	3	4	14	10	11	75	0	
11日	小雪	ぼたん	3	4	-5	-0.5	9	N	1.84	2.46	1.31	1.2	M	M	M	0	0	0	87	4.4	
12日	小雪	ぼたん	2.5	8	-2	1.5	2	NNW	0.17	0.31	0.07	3.6	0	0	0	25	24	12	92	1.15	
13日	晴		0	2	-2	3.5	13	N	0.47	0.51	0.43	3	0	0	0	33	36	46	85	0	
14日	曇	粉雪	4	8	-2	-1	5	NW	5.32	6.38	4.46	0.36	14	16	26	0	0	0	76	4.15	
15日	小雪	粉雪	13	24	-2	-2	0.5	無風	0.28	0.81	0.06	0.11	0	0	0	0	0	0	93	5.15	
16日	雪	粉雪	17	39	-2	-2	0	無風	0.5	1.06	0.21	0.69	0	0	0	0	0	0	94	4.6	
17日	曇		1.5	37	-7	-2.5	1	WN	0.38	0.42	0.34	-1.5	0	0	0	5	4	2	92	0.45	
18日	曇		0	30	-3	0	10	WN	0.59	0.62	0.54	0.87	0	0	0	45	36	5	87	0	
19日	雨		0	24	-1	2	12	無風	0.45	0.65	0.19	3.75	32	32	13	M	M	M	96	1.1	
20日	雨		0	15	1	2.5	5	S	1.1	3.41	0.09	4.65	M	M	M	41	35	35	93	2.26	
21日	晴		0	10	0	5	9	WN	0.39	0.55	0.23	4.39	16	13	19	14	9	14	86	0.4	
22日	小雪	粉雪	15	23	-1.5	0	19	S	1.05	3.31	0.12	0.83	55	53	45	8	3	0.5	83	4.6	
23日	雪	粉雪	6	31	-3	0	6	W	2.35	6.75	0.67	0.04	0	0	0	0.5	1	1	93	3.7	
24日	雪	粉雪	40	67	-1	0	3	ESE	0.64	1.32	0.12	0.89	5	9	5	19	19.5	6	73	8	
25日	曇後雪	細雪	30	80	-1	1	10	S	0.41	0.98	0.01	1.64	9	11	11	9	17.5	5	95	9.36	
26日	雪	細雪	20	82	-2	0	8.5	SW	0.57	2.16	0.03	1	1	4	0.5	1	外れ	0.5	96	3.8	
27日	雪	ぼたん	30	100	-1.5	1	2	S	0.19	0.47	0.01	1.6	0.5	1	0.5	9	11	1	97	6	
28日	雪	(ぼたん)	22	100	-2	0	3	S	0.65	2.32	0.05	0.67	0	0	0	M	54	13	100	97	4.2
29日	小雨	霧	0	85	-1	1	7	SE	1.59	3.37	0.34]	2.01	M	M	M	M	M	24	100	96	3.55
30日	曇		0	63	-1	3	7	S	0.75	1.47	0.1	4.28	25	25	7	M	M	17	98	94	0.2
31日	雪	みぞれ	0	58	0	1	5	W	0.88	1.53	0.32	2.94	M	M	38	40	44	20	94	89	1.45

月日	9時天気	雪質	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)	気温()			風向・風速・風温				9時の融雪水量(l)			16時の融雪水量(l)			湿度		降雪重量 kg/底	備考	
					最低	9時	最高	風向	平均	最高	最低	風温	1	2	3	1	2	3	1			2
2月1日	曇		0	50	0	2.5	5	S	1.03	2.11	0.06	3.79	35	42	22	M	M	50	89	83	0.2	
2日	曇(後雨)		0	48	-4	0.5	10	WN	0.4	0.62	0.88	1.99	6	10	9	M	M	M	95	91	0	
3日	雪(後雨)	ぼたん	0	40	1	2	8	W	0.71	0.99	0.3	1.91	M	M	M	26	31	26	100	97	3.95	雨
4日	雪	ベタ	16	55	0	0	3	SW	0.28	0.67	0	1.59	M	M	32	32	32	9	100	97	7.3	
5日	曇		18	64	-2	0	2	S	0.85	1.59	0.23	1.24	43	M	25	5	9	2	99	95	7.7	吹雪
6日	雪	ベタ	20	80	-2	-1	1	WN	0.61	1.24	0.07	0.36	0	0	0	2	6	1.5	100	97	4.6	
7日	雪	粉雪	19	90	-1.5	-1	2.5	無し	0.26	0.61	0	0.38	4	7	1	0	0	0	100	95	5	
8日	雪	ぼたん	50	130	-1.5	0	0	SE	0.57	1.51	0.06	1.3	0	0	0	40	30	14	100	98	10.3	
9日	雪	ぼたん	7	103	1.5	1.5	6	SE	0.99	1.8	0.15	1.47	M	M	M	12	19	5	100	95	8.8	
10日	雪	ぼたん	3	100	-2	1	1	WN	0.44	0.71	0.07	1.08	0	0	0	M	45	9	99	95	0.73	
11日	快晴		0	87	-7	1	11	WN	0.35	0.6	0.01	-2.2	0	0	0	M	M	16	99	92	0	
12日	雨		0.5	80	1	1	14	E	1.8	2.53	0.93	2.3	M	M	M	M	M	M	100	98	7.75	
13日	快晴		0	78	-1	5	5	S	0.54	1.09	0.12	4.7	M	M	48	M	M	38	95	88	1.95	
14日	晴		0	75	-2	10	14	S	0.25	0.4	0.15	10.7	43	37	12	M	M	M	63	68	6.5	
15日	曇		0	70	1	3	17	W	3.49	5.75	1.06	4.65	M	M	M	20	24	53	75	70	0	
16日	小雪	ぼたん	4	70	-1	1.5	4	S	0.49	2.08	0.08	2.92	19	24	12	25	20	28	95	90	1.43	
17日	晴		0	65	-1.5	4	4	S	0.55	1.45	0.1	4.55	9	7	11	35	33	50	75	64	0.2	
18日	晴		0	60	1	4	8	SW	2.17	4.7	1.42	4.3	27	27	M	10	6	17	62	52	1.8	
19日	晴		0	60	-1	7	8	SW	0.47	1.47	0.09	7.78	1.5	1	6	6	2	40	72	64	0	
20日	晴		0	51	1.5	9	16	S	微風	微風	微風		1	1	28	0	0	5	63	56	0	
21日	晴		0	49	-2	5	19	S	0.27	0.5	0.02	6.02	0	0	1	0	0	0.5	71	65	0	
22日	快晴		0	45	1	7	17	S	0.35	0.73	0	7.88	0	0	0				70	66	0	
23日	小雨		0	28	3	3	2.5	SW	3.11	6.09	0.79	3.12	M	M	36	2	2	2	90	85	4.2	
24日	晴		1	30	0	6	6	SW	0.67	1.46	0.11	6.8	14	14	9	1.5	1	4	57	50	0.75	
25日	曇		0	25	1	4	10	S	0.31	0.58	0	5.81	1.5	1.5	1.5	1	1	1	87	82	0.1	
26日	雨		0	20	1	5	15	W	2.25	5.81	0.24	4.78	11	11	13	21	20	16	93	90	0.8	
27日	雪	あられ(小)	9	28	-2	0	6	W	4.34	15.8	0.78	-0.2	13	14	8	17	22	9	96	92	3.6	
28日	晴		6	25	-1	3.5	6	N	0.21	0.4	0	4.53	M	M	25	M+10	M+7	M	99	96	5.5	
29日	雨		0	20	-1	4	13	S	0.37	1.48	0.02	5.34	22	22	16	52	50	34	98	94	0.9	

1. 総論「雪と住宅」

新潟工科大学工学部建築学科教授 深澤大輔

1. はじめに

世界の三大豪雪地帯は、五大湖東側の北米、カスピ海東側のトルコ、日本海東側の日本である。これらはいずれも中緯度地帯に位置するが、中でも日本は、シベリアの寒気団(-36~-40℃)と対馬暖流(10~14℃)の如く温度差が50℃にも達するため、西高東低の気圧配置となり、前線が停滞すると継続的に猛烈に水蒸気が蒸発し、冷やされて大雪となる。そこに1万人以上が住んでいる都市が連続しているため、豪雪問題が発生する。このような多雪に毎年見舞われている北陸地域は正に世界一の豪雪地帯である。最近、温暖化傾向が続く中で暖冬少雪年が続いており、雪は都市部に降らなくなると考えている人もいるが、温暖化と降雪のメカニズムは相違しているため、そのような判断は早計と思われる。

ところで、世界一の多雪地帯だとすれば雪対策は昔から施され、独特の住まいが見られるだろうと推察されるが、これまでの雪国には多雪に対応する住まいづくりはなされてこなかった。こう書くと、雪国には、雁木通りが見られ、縁側に欄間が取られ、厩中門造りや船柵造りが発達し、太い柱と梁で造られていると反論されそうであるが、世界一の豪雪地帯であるにもかかわらず、その程度の雪対策しかなされてこなかったのである。4寸程度の緩い勾配の屋根は、人が上って雪下ろしをするには良い勾配としても、それは雪を一番溜めやすく、その向きは日照を最大限に受けたり、風向きに合わせて吹き払われるように造られている例は殆ど見当たらない。最近はかなり改善されてきたが、30年程遡ると、どこの家でも、雪囲いを雪降り前に行い、雪下ろしをすると家の回りは雪ですっぽりと覆われてしまうために室内は昼でも電気を点けないと暗く、粗末な石油ストーブとコタツ程度の暖房設備しか無く、隙間だらけの住宅であった。そのために寒く、正に冬が通

り過ぎるのを待ち、冬籠もりをしていた。

ところで、八ヶ岳山麓の縄文時代の竪穴式住居跡は標高1000m以上の降雪地帯に分布しているが、これは雪が屋根の上に積もると断熱材となり、粗末な衣類を着ていても、炉の熱で暖を取る程度で子供を育て、生き延びることができたためである。雪の少ない北海道東岸の網走の北に位置する常呂の土蜘蛛族は、放射冷却を避けるためにブッシュで造られた屋根の上に土を盛って生活していた。雪国の家は変化したと言っても、そのような雪と共生した生活がつい30年ほど前まで見られた。雪見障子越しに雪景色を楽しむ生活は、京都や金沢のように雪の少ない地域で発達した文化で、多雪地帯においてはほんの一部の家にしかなかったといえる。

本論では、昭和35年以降の新潟県を中心とした雪国の変化の状況を整理し、今後の住宅と居住地の整備のあり方について展望してみることにしたい。

2. 雪問題の発生と克復

雪は1万年前の縄文早期にも降っていたが、それは殆ど問題とはされていなかった。厳寒期の一時期を凌げば、雪の上に残された足跡を辿って行けば確実に獲物を捕らえることができ、春になると山菜が芽吹き、むしろ雪国こそが楽園であった。稲作が始まってからも、田植え時期に豊富な雪融け水が得られ、好都合であった。

これが一変したのは、我が国の高度経済成長が始まった昭和35年以降のことである。出稼ぎ・挙家離村・太平洋側の都会へ集団就職が盛んとなり、金中心の社会へと大きく変身していく中で雪が地域の存亡に関わる大問題となった。

モータリゼーションの猛威の中で、雪国でも冬季に除雪される無雪道路が整備され、マイクロバスで兼業に出掛ける人が増え、最近ではマイカーが普及し、

1世帯1台から1人1台の時代となり、冬でも夏と変わらない生活が実現しつつある。

しかしこのような中で、屋根雪下ろし労力の不足が深刻化している。出稼ぎ時代には残された母ちゃんと爺ちゃんと婆ちゃんが雪処理をしていたが、サラリーマン社会となると、夜間に会社から帰った夫が雪下ろしをする姿が珍しいものでなくなった。最近、高齢者が増え、高齢化も第2段階を迎えているが、旧来の家の造りが70%程度と依然として多いために、雪処理中の死亡事故は交通事故を上回っている。家族人数が減少し、少子高齢化が進む中で、豪雪・過疎・高齢問題は深刻さを増している。

ところで、多雪地では急勾配屋根とし屋根雪を自然落下させる高床式住宅が普及しているが、これは雪国の豊かな人生行事や年中行事、冠婚葬祭などの地域生活様式を無視したものとなっている。雪国において明るく暖かく豊かで文化的な楽しい住まいとはどのようなものか、考え直すべき時期にきている。

3. 克雪住宅の建設

五六豪雪、五九からの三年連続豪雪に見舞われた際、道路除雪については一部を除いて三八豪雪の時に比べかなり改善されたが、生活関連、特に屋根雪処理の対策が遅れていることが多数指摘された。従って、それを契機に克雪住宅の建設が叫ばれるようになり、その融資制度や補助制度の整備が計られた。

その結果、多雪地帯では、新設住宅の70%前後が何らかの制度を利用して建てられるようになった。

その中で、自然落下式住宅の建設が最も多く、融雪式住宅や耐雪式住宅は一部に留まっている。昭和62年4月に当時の建設省住宅局から「高床式住宅にかかる面積の算定方法の特例について(通知)」が出されたことにより、多雪地帯では爆発的な勢いで高床式にした自然落下式住宅の建設が進んだ。しかしながら、平成7年1月に阪神淡路大震災が発生し、多数の木造住宅が倒壊したことから、高床式住宅の地震安全性が問題となり、平成10年に建築基準法が改正されたのを機会に、平成13年に「特別豪雪地帯における高床式住宅の特例基準」が出され、基礎の高さが1.5mを超える高床式住宅については建築確認申請書の提出時に構造計算書の添付が義務付けられ、現在、新たな局面を迎えるに至っている。

また、これまで個別に補助や融資を行ってきたことを改め、集団規定が緩和されたことを受けて、雪国の居住地を一団地として整備する場合に補助する形に変えられ、個別の克雪住宅建設の動きは鈍ってきている。

4. 自然エネルギーを活用した屋根雪処理

前述した克雪住宅の中で、北海道では、つらら防止とすがもり対策から考案されたM型屋根の無落雪式住宅の建設が昭和50年代から見られるようになり、札幌・江別・倶知安・旭川などに普及し、平成に入る頃から青森県にも建設の広がりが見られるようになってきている。

山形県では、戦後、県内のハウスメーカーが屋根勾配の緩いモダン住宅の建設を行っていたが、昭和46年に「雪国の屋根は水平に限る！」と永井秀二郎氏が主張し始め、木造耐雪構造と併用する中で、地吹雪地帯の屋根として、住宅・体育館・工場などに採用され、成果を上げている。

筆者は、昭和56年に北陸のベタ雪豪雪地帯向けとして通気融雪屋根の提案を行った。現在未だ実験段階で普及しているとは言えないが、気温・風・日射・雨・結露などの自然エネルギーを活用することで、3m地帯でも雪下ろしを不要とする屋根の開発に目途が立ちつつある。

今後、それぞれの地域の自然条件を活かし、建築形態を工夫することで、CO₂を発生させることなく、屋根雪下ろしをしないで済む耐雪型住宅の建設が主流になるものと期待される。

5. 克雪から利雪・親雪・和雪の時代へ

昭和50年代から進められてきた克雪住宅の建設は、一定程度の成果は見られたと評価できるが、それによって可処分所得の相対的な減少がもたらされ、若者の流出は依然として食い止められないでいる。

最近、金と工学的な技術によってねじ伏せようとする動きに対して反省の声が聞かれるようになり、雪と親しむ雪祭りなどの各種イベントが盛んとなり、住宅も高断熱・高気密住宅が登場する中で、ペアガラス越しに雪景色が楽しめるようになりつつある。そして、雪中に酒や野菜・果物などを貯蔵したり、雪の冷熱を利用して夏に雪冷房を行うなどの試みが

見られ、雪を資源として捉え、雪を文化の中に取り込む動きが活発になってきている。

6. 雪国におけるこれからの住宅更新の姿

(1) 雪荷重

最近、木造在来工法の見直しが叫ばれるようになってきているが、従来の木構造方式では420kg/m²しか耐雪力は期待できないとされてきた。それは積雪が2mを超すと、柱や梁がミシミシと音をたてるようになり、続き間座敷などの襖が動かなくなり生活ができなくなってしまっていたからである。

しかしながら、最近では木造で1t/m²程度の耐雪構造の建物も幾つか見られるようになってきている。

(2) 鴨居の吊り構造の見直し

梁の許容曲げ撓み量は、スパンの1/20である。このことは、例えば4mのスパンの場合、2cmまで許されるが、鴨居と襖とのゆとりは2~5mm程度しかないために建具が動かなくなる。このため、雪荷重420kg/m²を超えると木造耐雪構造は成立しないとされてきた。しかしながら、これによって直ぐに壊れてしまう訳ではない。陸梁の撓みを吊り束によって鴨居に伝えてしまう在来の方法を改め、鴨居を独立した形とすれば解決が付く。そのような見直しが在来木構造全般に必要となっている。

(3) 土台と基礎の取り合わせ

一般に布基礎の上に土台をアンカーボルトで緊結し、その上に柱を建て、ホールダウン金物で固定しているが、この方法だと、屋根に雪が積もると、その繰り返し荷重によって5mm以上、土台に柱がめり込むことが予想される。

これを防止するためには、柱を直接基礎の上に立てたり、長ほぞにして基礎にほぞの先端が接するようしたり、土台との間に堅木を入れて接地面積を3~5倍にしたりする必要がある。

(4) 高床式の基礎

前述した高床式住宅の場合、基礎部分はこれまで鉄筋コンクリート造の壁式で造られているものが多いが、この主構造を鉄骨ラーメン式とし、小梁をその上の間取りに対応させて配置し、その上に土台を配し、柱を鉄骨梁に溶接したプレートで緊結するようすれば、雪のある時の地震にも強くなるものと考えられる。

(5) 屋根形状の見直し

これまでの屋根は、雪下ろしを前提として造られてきたために人が上っても安全なように比較的緩い3/10~4/10程度にされてきたが、この勾配の場合、吹き溜まりが生じやすく、融雪水の排水も良いとは言えない。気温が低く、風の強い地域では屋根の高さを統一して、水平に近い屋根とする。ベタ雪地帯では急勾配屋根とし、できれば屋根を南面させる。滑落式の場合、雪を多く落としたい側の屋根を大きくし、少なくしたい側を急勾配として少なくするなど異形屋根の家とする。このような工夫をもっと積極的に行っていく必要がある。

(6) 雪国生活様式の確立

十日町市の雪祭りは、冬になると何もすることがなくなり地域の活気が失われてしまうので、それを打破するために皆が外に出て、雪ダルマなどの雪像を造ったり、芸能を楽しんだりしようということで昭和24年頃から始められたとのことである。

最近の新設住宅には、個室が確保されるようになり、電気コタツと石油ストーブ・テレビが設置され、一人で閉じ籠もる生活が広がっている。

現在も続き間座敷を確保している家は多く見られるが、かつてはイロリのある茶の間で広間型生活を行っていた。そのような開放型間取りにおける生活に戻すのは最早困難かも知れないが、それを再評価し、個室文化から脱却し、新たな雪国生活像を明確にして行く必要がある。

7. 雪国における豊かな居住地像の明確化²⁾³⁾

(1) 50年再現期待値積雪深の把握

まず、自宅の建っている又は建てようとしている場所の積雪がどの程度になるか、過去の積雪深記録から50年再現期待値積雪深を把握する必要がある。それが、0.3~1.0m未満か、1.0~2.0m未満か、2.0~3.0m未満か、3.0~4.0m未満か、4.0m以上かによって、雪処理の仕方やそこでの冬の生活の仕方は大きく左右される。

(2) 雪国生活像の明確化

居住する場所が決まり、そこにおける積雪深も把握できたら、冬の生活をどのようにしたいか明確にする必要がある。屋根雪処理はどうしたいか、家族のライフステージ毎の生活スタイルをどのような形

にしたいか、地域コミュニティをどのような形としたいかなどについて明確にする必要がある。場合によっては、その場所を諦め、描いた生活像の実現できる場所を選定し直す必要が生ずることもある。

(3) 屋根雪処理方式の選定

生活像を描いた中で、最も費用対効果の高い屋根雪処理方式を選定する。自然落雪式とするためには堆積余地を確保する必要があるし、融雪方式とすればそのイニシャルコスト・ランニングコスト・メンテナンスコスト・償却費を考慮する必要がある。載雪構造とするためには最初から構造計算をして設計し、雪庇対策などを講じておく必要がある。

敷地内で屋根雪処理を行うとすれば、どの屋根雪処理方式を選択するかによって、自ずとある宅地の規模と形状の場合、そこに建てられる住宅の規模と形状は決まってしまう。将来や近隣の状況を踏まえて慎重に決定する必要がある。

(4) 住戸規模

住戸規模は、家賃ないし建設費に左右されてしまうが、その中で家族何人が、個人・夫婦・家族全体で何をしてどのように過ごしたいかによって本来は決められるべきものである。

住戸は、室の集合体として成立しているが、室は多数の生活行為に対応した平面要素の集合体となっている。住戸規模が小さく、室数が少ないと、重層的な形で生活行為がこなせるように各室が装備されていないと、濃密な生活を楽しめるようにはならない。これと逆に大きいと、室分化が進むが、それに見合った生活が無い場合には、ガラんとした寂しいものになってしまう。規模がある程度大きく無いと、やりたい生活行為を満足する水準で確保できない。このようなことから、各自のライフステージにおける生活を明確化し、ライフサイクル全体を見渡した中で、それが適正な形態で確保できる規模の住戸を獲得することが求められる。

ところで、日本海側の多雪県の住戸規模は、どこも全国の上位を占めている。概ね、単身世帯層の居住しているアパートは 30 m²程度、一般サラリーマン層の借家は 75 m²程度、一般サラリーマン層の持家は 150 m²程度、伝統住宅居住階層の持家は 300 m²程度かそれ以上となっている。これを参考にもう一度自分にとって必要なまたは獲得したい規模と形状

はどの程度となるか検討してみる必要がある。

(5) 住宅の形態

現状の庭付き一戸建ての場合、雪を考慮するならば、総二階建てとすべきである。1階にLDK+続き間座敷を確保し、2階に個室を確保する形ではそのバランスが悪くなる。1階の接地性の確保できるスペースに高齢者夫婦の居室又は続き間座敷を確保し、車庫の上の中二階にLDKを確保し、二階に夫婦と子供の個室を確保し、全体を一つの大屋根で覆うような形態が一つのタイプと言えるのではないだろうか。

(6) 居住地形態

居住地の形態としては、戸建て住宅地、低層集合住宅団地、中層集合住宅団地、高層集合住宅団地、超高層集合住宅団地が想定される。雪国では、圧倒的に持地持家が多い。しかしながら、雪処理の負担の軽減や寒さ対策の観点からすれば、高層又は超高層の集合住宅の方が優れている。それに一気に移行するのは雪と寒さ以外にも様々な地域生活様式が存在するので現状では困難であるが、将来のオプションとして検討する価値は高いと言えよう。

(7) 宅地の規模と形状

宅地の規模は、100 m²未満、100~200 m²未満、200~300 m²未満、300~600 m²未満、600~1000 m²未満、1000 m²以上のどれが確保できるか、またはできているであろうか。この規模だけでなく、道路はどちら側にあり、除雪の程度はどうか。また、その宅地内に母屋・車庫・庭の確保をどのようにするか。その場合、先に選定した屋根雪処理方式を採用するとどのような余地を確保しなければならないか等を検討する必要がある。そうすると、同じ面積でも、その間口と奥行き、道路の位置等によってかなり利用価値が異なることに気が付く筈である。

個人では、宅地の区画割りについて発言する余地は少ないが、宅地開発業者が事前に建築協定を設定し、ゼロロットラインを設けたり、前後の画地を半分ずつずらして販売するなどすれば狭くても居住地全体の環境はかなり快適なものとなる筈である。

(8) 相隣関係の調整

雪国における居住地の特徴は、先ず雪処理対策が挙げられるが、次には濃密なコミュニティの存在がある。これまでは雪が降ると隣近所で喧嘩をして喧

み合う姿が見られ、あそこあそこは仲が悪い等と囁かれるが、それは家が建て込んで来て、それまでに培われてきた雪処理に関するルールが共有されなくなったために生じる摩擦と考えられる。

今後は、理想とする居住地像を共有し、屋根雪処理方式毎に建築後退距離を設定したり、塀を廃止したり、木を植える時のルールを明文化したりした建築協定を締結し、地区計画制度の導入を計って無用なトラブルの発生を未然に防いで良好な住環境整備を推進する体制を確立する必要がある。そうすれば、自ずと地域コミュニティは復活し、再生するものと期待される。

8. おわりに

雪問題の提訴は戦前に松岡代議士が行っているが、住民自らが深刻な地域問題として認識するようになったのは、我が国が高度経済成長しはじめ、マイカーが普及し、農村的な地縁・血縁をベースとした自営業社会から生活縁・生産縁による新たな工業や商業的なサラリーマン社会に移行する中で生じた過去40年間においてでしかない。

新全総によって新幹線と高速道路の整備、新産都市や工特地区の整備には目を見張るものがあるが、居住地整備については大規模ニュータウンの建設が大都市圏でなされたものの「遠く・高く・狭い」住宅供給しかできなかった。最近急速に少子高齢化が進む中で集合住宅は敬遠され、庭付き一戸建て住宅の獲得が全国的に進み、その数の充足目標が達成された。そのような中で雪国でも質の向上、良好な居住環境の整備が叫ばれるようになっている。

雪国では、HOPE計画・克雪タウン計画・住宅マスタープランづくりがなされてきたが、その成果は未だ目に見える形とはなっていない。4万人規模で計画された長岡ニュータウンは雪国における第1号としてその成果が期待されたが、計画から30年経った現在、入居者は3,000人程度でしかなく、計画人口は1万人に削減されてしまった。

我が国における居住環境整備は、世界の先進国のみならず、最近中国や韓国などの周辺国に比べても遅れが目立つようになっている。中でも雪国では夜中にサラリーマンが自宅の雪下ろしをせざるを得なくなっていたり、高齢者の雪処理事故は交通事

故以上となっているなどの実態が報告されている。

住宅は「私有財産」であるが、町並を形成する「公的資産」でもある。所有者である個人の意見や生活状況については尊重する必要があるが、皆がもっと快適に過ごせる居住地づくりを目指す必要がある。

最近の雪国では、住宅は規模も大きく、交通の便もマイカーによって確保され、スーパーやコンビニも近くに立地し、そこそこに住むことはできるようになった。しかしながら、急速に進んだ少子高齢社会の中で、地方都市に居住することの良さの実現をもっともっと推進する必要があると思う。

参考文献

- 1) 深澤大輔「通気融雪工法に関する研究 - 珪パノドメルによる融雪出水過程の解明 - 」『日本雪工学会上信越支部論文報告集』第2号、29-34、2002年8月。
- 2) 深澤大輔「雪国における居住地の空間計画に関する研究 - 屋根雪処理方式別の宅地及び住宅の規模と形状について - 」『日本雪工学会誌』、Vol.6 No.1、2-17、1990年3月。
- 3) 雪国の居住地計画委員会「雪国の居住地計画資料集 - 報告書・単行本などに見られる図表の抜粋 - 」『日本雪工学会誌』、Vol.6 No.4、1-113、1990年12月。

著者略歴

深澤 大輔 (ふかざわ・だいすけ)

1945年生まれ。1972年東京大学大学院工学系研究科博士課程建築学専攻単位修得退学。国立豊田工業高等専門学校講師・助教授・教授を経て、1996年4月より新潟工科大学教授。工学博士・一級建築士。著書に『ベタ雪豪雪地帯における屋根雪処理に関する建築計画的な研究 - 新潟県中越地域を中心に - 』（東京大学学位論文1987年）『多雪地における住宅と居住地の空間計画に関する一連の研究』（日本雪工学会学術賞1999年）『雪氷関連用語集』（雪センター1999年共著）『雪国の視座』（毎日新聞社2001年共著）他がある。

これからの北陸ベタ雪地帯における家づくり

深澤大輔

北陸地方は暖かいから大雪となる

今冬も雪囲いなどの準備が終わり、雪が降り始め、長い冬が始まった。最近、地球温暖化の影響からか、十年以上も暖冬少雪年が続いているが、少し昔を振り返ると、三八豪雪・五六豪雪・五九からの三年連続豪雪が北陸一帯を襲い、交通が途絶するなどの中で昼夜屋根の雪下ろしやその後始末に疲れ果てた経験を持っておられる方も少なくないものと考えられる。

ところで、世界の三大豪雪地帯は、カスピ海と黒海の東側地域、五大湖の東側地域、日本海の東側地域である。中でも、日本海側の特に北陸は、世界一の豪雪地帯となっている。つまり、輪島上空には、寒気団が中国大陸で氷点下三十六〜四十 程度まで発達して南下し、日本海では、真冬でも十から十四 もある対馬暖流が粟島付近まで北上し、豪雪をもたらすためである。一般には、寒冷地のシベリアやカナダ、グリーンランド、我が国では緯度

の高い北海道は寒いが比較的雪は少なく、実際は、中緯度地域の比較的冬でも暖かい地域が豪雪地帯となっている。

北陸の雪は多いが融けやすい

先述した豪雪年には、越後平野では三m前後の豪雪に見舞われた。もし、寒冷地であったら夏になっても融けずに残ってしまうが、北陸地域では、三月に入ると急速に融雪が進み、平野部では三月下旬には土埃が舞うようになり、山間の豪雪集落に行っても、五月のゴールデンウィークの頃には雪が消え、木々は一斉に芽吹き、山菜取りや田植え作業が開始される。北陸の雪は「多いが融けやすい」という点に最大の特徴がある。

このため、世界で過去最高積雪深が一mを越える地域に一人以上の人口を持つ都市は極めて稀であるが、北陸地域では五〜二十万人規模の都市が幾つも形成されている。

そのような多雪地帯における屋根雪処理方式は、場所によってばらつきが



平成十五年（一）二月に行った実験建物（新潟県柏尾市原町）

見られるが、大雑把に述べると、現在も人力雪下ろし方式が最も多く七十%近くを占め、高床式と急勾配屋根による自然落下方式が二十五%、残りが灯油や電気を使った融雪方式と、建築の耐雪性能を高めた耐雪方式である。

多雪地帯に住み続けて来た人達は、雪が多いということに対して、一般には忍従してきた。これに対し、昭和四十年頃から克雪が叫ばれるようになり、

各種の屋根雪処理方式が生まれ、昭和六十年頃には百二十種以上にも上ったが、最近では淘汰されて来た。水利用方式は、井戸枯れや地盤沈下・屋根の腐食などの問題を抱え停滞している。電気や灯油等のエネルギーを大量に消費し、温暖化ガスである二酸化炭素を排出する融雪方式には見直しが求められている。また、高床式の自然落下方式は、高齢者に対してバリアーが大きく、落雪側にその堆積余地を確保し、豪雪年にはその堆積雪を排雪処理する必要がある。また、車を複数台所有する傾向の中で、長大スパンの鉄骨梁を鉄筋コンクリート壁に載せた床組が多く、地震に対する不安感が高まっている。このように克雪型住宅の多くは大きな問題を抱え停滞している。

各種の建築的な屋根雪処理方法

建築的な屋根雪処理方法として最もポピュラーな方式は、各市町村毎に決められている設計用積雪深に耐えられる構造計算をして造られた鉄筋コンク

リート造ないし鉄骨造の建物である。

これらにはその設計用雪荷重を越える豪雪年には雪下ろしが必要との看板が建物の主要な箇所に掲示されている。

これに対し、寒冷少雪な北海道ではM型屋根として氷柱とすがもり対策を行った「無落雪屋根」が札幌や旭川を中心に新設住宅の約半分に普及している。この勢いは青森にまで波及し、数多く見られるようになってきている。地吹雪地帯の広がっている山形県では、昭和四十六年頃から「雪国の屋根は水平に限る」と地元で建築設計を数多く手

掛けてきた永井秀二郎氏が提唱し、住宅・学校体育館・工場など二百棟以上の建設がなされ、成果を上げている。屋根を水平にすると、雪が風で吹き飛ばされるため地上よりかなり積雪量が少なくなる。柱状に製材した間伐材を綴り床板としてボルトで縫い合わせて床と屋根を造り、屋根の上はシームレスのシート防水として融雪水を溜め、

ヘッドヘビーとなる屋根雪と縁を切ることで地震対策に結び付けている。雪の多い北陸では、瓦屋根や鉄板葺きの勾配屋根が主流を占め、人力雪下ろしが多く、高床式の自然落下式が目につく。これまでに述べてきた如く北陸の多雪の原因は暖かいためである。従って、量が多いがその変態スปีトも速い。以上のようなことから、この地ならではの屋根雪処理方式として提案しているのが、次に述べる新方式である。

『通気融雪工法屋根』の提案

この方式は、昭和五十七年十一月二十六日に米沢で開催された大雪研究発表会に筆者が、「木造耐雪構造+気温融雪方式」として提唱したものである。現在、長岡市・小千谷市・栃尾市・上越市・塩沢町に三十棟前後建てられているが未だあまり知られていない。

栃尾市原町の自宅で実験を毎年行い続けてきた結果、漸く性能についても認知されるようになってきた。

積雪層は地層の如く形成されるため、雪の表面で日射や気温・風・雨などによって融雪が進んでも、下層に滞留し、夜間に再凍結して氷板を形成してしまつたため、これまでは三月の融雪期を迎えるまでは屋根雪荷重の減少は殆ど見られない。また、積雪層底面では雪粒子の隙間に毛管現象が働き、融雪水が過飽和状態になつても水幕に表面張力が働くためにそれを抜くことが困難であった。しかしながら、雪と接する屋根面の角度を二十度以上傾斜させると表面張力のバランスが崩れ、過飽和水が流出する。これを再凍結しない内に排出し続けることで、雪荷重が次第に減少する。水平のままだと毛管現象によつて屋根全面に二丁四cm程度保水されてしまつが、傾斜させるとその下面に帯状に過飽和水が残るのみとなる。これに対し、実際の融雪は雪の表面

で九十%以上が生じているので、その表面における融雪水を積雪層下面にまで導くことが課題となる。この対処法として、「水平屋根の上にピラミッド形の屋根を沢山並べる方法」「複折折板による通気工法屋根の上に積雪深程度の立体格子を載せ、その格子毎に柵状に金網を張つたり、斜材を入れて、積雪層を小判形にしたり、不安定構造にする方法。三十〜四十五度程度の勾配屋根の上約五十cmの高さにエキスパンドメタルを屋根と平行に張り、その上に前記と同様に立体格子を造り、それに柵状ないし斜材を入れる方法」「工場や体育館などの鉄骨やワイヤーなどの小屋組を屋根の上に現しとして、前記と同様の二重屋根とする方法」が考えられる。写真に示した実験建物で平成十五年一〜二月にかけて栃尾市原町において行つた実験では、m当たり一日七・八kgの融雪出水が見られた。

『通気融雪工法屋根』の普及



深澤大輔 (ふかざわ だいすけ)

1945年生まれ。新潟工科大学工学部建築学科教授。

東京大学大学院工学研究科博士課程修了。工学博士・一級建築士。国立豊田工業高等専門学校を経て現職。

専門は、建築計画と雪工学で、特に地域住宅について詳しい。主たるフィールドとして新潟県中越地域を選定し、その地域における屋根雪処理に関する研究で学位(論文)を取得している。

主な著書に「農村計画の展開」(農村統計協会)、「雪水関連用語集」(雪センター)、「雪国の視座」(毎日新聞社)など。ゆきみらい97論文の部「最優秀賞」、日本雪工学会新潟地区会「学術・技術賞」、日本雪工学会「学術賞」、日本建築学会「会友賞」など受賞。

現在、この方式の成立範囲は、一月の月平均気温がプラスで、過去最高積雪深が一m以上四m未満の地帯を想定している。そうすると、新潟市や金沢市・輪島市などではこのような方式を採用しなくても済む地域となるため除外される。また、越後山脈や立山・黒部連邦、白山周辺では四mを越える豪雪寒冷地帯となっているので適用困難地域とされる。これらを除いた範囲が受益人口と世帯となるが、その数は四百十三万人、百三十三万世帯、両者とも約七十三%となる。今後更に詰めてローコスト化を計り、突発的な豪雪時に対する安全性を確保し、建築的なデザインを詰め、実用化を目指していく必要がある。しかしながら、このような自然エネルギーを活用し、建築設計技術だけでランニングコスト無しで融雪が可能となる目的が立ちつつあることは、二十一世紀の北陸居住者にとって朗報と言えるよう。

ベタ雪地帯における通気融雪工法の開発に関する研究 -
 - 生垣を覆う45°傾斜した雪囲いの積雪と融雪の時系列変動 -

Research Regarding the Development of a Ventilation Snow Melt Construction Method in Weat Snow Area

When series fluctuation of the snow and snow melt on the snow shelter that inclined 45° that cover a hedge

深澤大輔*1

Daisuke FUKAZAWA

はじめに

超高齢社会に突入した多雪地帯では、人力雪下ろし方式に代わるローコストな屋根雪処理方法の開発が、正に切望されている。電力や灯油などを使って融雪する装置は初期投資の他に維持費並びに運転費が掛り償却年数も短いために期待する程には普及していない。更に最近の環境問題を背景として、大量に炭酸ガスを排出する温暖化促進装置では受け入れられなくなりつつある。

ところで、日本海を北上する対馬海流(暖流)の真冬の水温は13~14、そこに-36以下の寒気団がシベリア大陸からやって来ると、50以上の温度差となり、大量に海水が蒸発する。そして、上空で冷やされると雪となり、北陸にベタ雪と言われる大量の雪が降る。このような豪雪地帯の雪は大量に積もるが、気温が高いために新雪がしまり雪、ざらめ雪へと変態するスピードが速い。このため、雪が多い割に消えるのも早い。

そこで、ベタ雪豪雪地帯と言われる北陸地方を対象として、気温と風と日射・雨などのクリーンエネルギーを使い、融雪水を効率的に抜くことによって自然に雪荷重を低減できる屋根の開発を目指す。しかしながら降雪強度が強く、そのような自然融雪では耐力が不足すると考えられる地域では耐雪構造と併用することとする。

1. 目的

新潟県栃尾市原町において、高さ3mの生垣を覆う形で単管パイプを45°と60°に傾けて立て掛け、パイプに十手金物を取り付け、板材(105×9×1820)で雪囲いすることによって、どの程度気温や風・日射・雨などのクリーンエネルギーで自然融雪が見られるか、観察する。そして、ベタ雪豪雪地帯においてどの程度自然エネルギーによる融雪が可能かについて探る。

2. 方法

平成8年1月~12年3月にかけての4冬期に渡って、北側に45°傾けた雪囲いの面の写真撮影を毎日午前9時に行い、その積雪と融雪の経過を整理し、考察を行った。また、その時の気温と前日の最高と最低気温、風速と風向、地上積雪深と降雪深、天候などについて記録し参考とた。尚、雪囲い板上の垂直積雪深は、写真からの相対的な寸法関係から推計して得た。

*1 新潟工科大学

また、これに付随してざらめ雪層の毛管現象による水揚げの様子や板を傾斜させることによってどれ位水が抜けるかなどの実験を行った。

1. 結果写真



生垣の雪囲いの様子(観察装置) H12.2.6

表 生垣の雪囲い通気融雪実験計測データ

平成12年1月20日~3月15日(新潟県栃尾市原町)

月日	9時天気	雪質	垂直積雪深 (cm)	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)	気温(°C)		風向・風速・風温					
						最低	9時	最高	風向	平均	最高	最低	風温
20日	晴		0	0	0	-2.5	6	11	SW	1			
21日	小雪		9	17.5	17.5	-3	-1	2.5	WSW	1.25	1.71	0.05	
22日	晴		13	11	30	-4	-1	3	ES	2.04	4.43	0.43	0.83
23日	晴後雨		10	0	26	1	-2.5	9	ES	0.62	1.32	0.15	3.46
24日	雨		4	0	18	-2.5	3	5	S	0.22	0.37	0	4.74
25日	小雪	霰	10	15	38	-3	-1	1	W	1.08	1.77	0.12	-0.4
26日	小雪	粉雪	14	15	40	-3	-2	0	ES	0.56	0.85	0.4	-1.4
27日	小雪	粉雪	22	27.5	65	-3.5	-1.5	4	S	0.55	1.02	0	1.12
28日	曇	ボタン雪	30	22	75	-3	0	6	S	1.83	3.69	0.51	0.21
29日	曇後快晴		25	4	60	-0.5	5	17	SSE	1.25	2.31	0.5	3.99
30日	曇		18	0	48	-4	0	6.5	ES	0.36	1	0.03	2.11
31日	曇	ボタン雪	11	7	40	0	0	1	ES	0.72	2.27	0.01	2.42
2月1日	曇	ボタン雪	10	5	40	-1	1	2.5	S	1.06	4.35	0.25	2.2
2日	曇	みぞれ	10	10	48	-1	2.5	4	ES	2.41	5.29	0.98	1.66
3日	晴		7	0.5	38	0	4	6.5	ES	3.57	4.41	2.18	5.19
4日	晴	みぞれ	5	4	38	0	1	3	W	0.22	0.71	0.01	2.67
5日	小雨		1	0	38	0	2	5.5	EES	2.15	4.48	0.3	4.03
6日	曇		0	0	35	-3	0	6	ESS	0.28	0.92	0.02	2.65
7日	曇		0	0	30	-0.5	4	5	W	1.98	3.55	0.74	5.09
8日	曇		0	0	28	0	5	12	WWS	0.51	0.86	0.16	4.51
9日	曇	みぞれ	3	6	30	-1.5	1.5	1.5	SW	1.09	2.08	0.19	2.38
10日	曇		7	12	45	-2	1.5	6	SW	0.33	0.99	0.06	2.36
11日	曇		10	4	42	-2	1	3	WVN	0.62	1.06	0.21	2.57
12日	曇		8	2.5	45	0	1	4	ES	0.82	2.39	0.11	3.48
13日	小雪		3	0	40	0	1.5	7	E	0.1	0.34	0	4.05
14日	曇		0	0	35	-1	6	14	ES	0.22	0.76	0.01	4.68
15日	曇	粉雪	8	8	48	0	1	2	NNW	1.41	2.35	0.51	1.16
16日	曇	粉雪	9	0.5	48	-3	-2	0	NW	2.67	4.91	1.04	-1
17日	曇	粉雪	14	16	65	-3	-1.5	4	ES	1.15	2.97	0.18	-0.4
18日	晴		20	16.5	75	-2	0	5	WWS	0.92	2.18	0.19	0.81
19日	晴	ボタン雪	14	5	70	-1	1	8	ES	1.69	3.24	0.39	1.82
20日	晴		12	0.5	65	0	2	11.5	ES	0.66	0.88	0.38	2.17
21日	小雪		9	1	55	-1	0	2.5	W	3.43	5.48	1.43	0.13
22日	小雪		11	5	60	-3.5	-1	2	W	0.36	0.79	0.07	0.52
23日	小雪		12	3.5	63	-2	0	9	ES	1	1.63	0.16	1.14
24日	小雪		12	3	60	-2	2	4	WS	0.36	0.48	0.18	2.71
25日	小雪		20	15	80	-4	-2	3	WS	0.27	0.43	0.05	0.04
26日	晴		32	17	90	-3	3	14	WWS	0.23	0.79	0.01	2.57
27日	晴		20	3	80	-2	2	4	WS	1.83	5.9	0.29	2.57
28日	曇		18	1	75	-1	2.5	3	WS	0.46	1.19	0.01	2.53
29日	曇時々雪	粉雪	25	15	90	-4	1	5	WVN	2.54	4.32	1.49	1.22
3月1日	曇	ボタン雪	33	18	100	-3	0	4	SSE	1.62	4.25	0.33	1.2
2日	曇		23	0	90	-4	4	12	E	0.3	0.72	0	2.55
3日	曇		0	0	75	2.5	7	14	SSE	0.81	1.61	0.18	6.91
4日	曇		0	0	70	2.5	1	3	SSE	0.73	1.07	0.21	2.48
5日	曇							15					
6日	晴		0	0	58	-3	4	19	ES	0.08	0.27	0	4.86
7日	晴		0	0	52	-1	3	3	SWS	0.29	0.72	0.06	4.32
8日	晴		5	9	68	0	0	2	SW	0.63	2.1	0.1	1.37
9日	曇		30	36.5	100	-2	-1	0	SSE	1.05	2.11	0.37	0.4
10日	曇	サラサラ	32	12	100	-4	0	4	NNW	0.75	1.86	0.02	0.5
11日	曇		25	6	100	-2	3	11	ES	1.54	2.15	0.87	2.73
12日	小雨		5	0	75	2	4	16	WVN	0.33	1.09	0.07	3.72
13日	小雨		0	0	65	-2	6	7	SW	1.32	2.88	0.12	6.27
14日	晴		5	5.5	70	-1	3	8	SSE	1.46	2.41	0.12	2.86
15日	小雪		5	2.5	68	-1	2		S	0.22	0.65	0.04	3.29
合計			629	365	3105	-93	81	338		57	114	16.3	126

4. 考察

(1)平成12年冬の生垣の雪囲いによる融雪成績状況

平成12年の冬は1月20日から根雪となった。真冬日は1日も見られなかったが、冬日は43日と80%にも達した。最高気温は、10℃を越す高い日が飛び飛びに12回観測され、暖冬であった。風向は16方位で多かった順に見ると、南東、南西、南南西、南・西の如くで、北西の風は1日しか見られなかった。9時の風速は平均で約1.0m/sであった。またその間に瞬間(最高)風速が5m/s以上を記録した日は3回見られた。

1月20日～3月15日までの55日間に38回の降雪日が見られ、累計降雪深は365cmとなった。日最大降雪深は3月9日の36.5cmで、次が1月27日の27.5cmであった。10cm以上の降雪日は上記以外に15回あった。

観察を中止した3月15日には68cmの積雪がみられたが、この間の最高積雪深は3月1日と9～11日の100cmであった。累計積雪深は3105cmとなった。

雪囲いの板の上の垂直積雪深は、3月1日に最高の33cmに達したが、地上に比べ1/3であった。この間に2回45°傾斜した北に面する雪囲いの板から積もった雪が一部分ズレ落ちたが、残りの雪は若干下にズレる程度で、そのまま消雪した。また殆ど雪が消えた回数はこの間に3回見られた。雪囲い上の累計垂直積雪深は629cmで、地上に比べ、1/5に留まった。自然のエネルギー以外全く無いため、氷柱は3cm程度の小さなものがたまに見られた程度で、融雪水の再凍結現象は板及びスリット近傍には殆ど見られなかった。

(2)雪荷重減少のメカニズム

地上積雪の断面観察を行うと、新雪の下にしまり雪、その下にざらめ雪の層が重なっている。融雪期になると全層がざらめ雪となる。融雪が地上まで到達すると雪の表面に雪えくぼが出来、表面で解けた融雪水の流量が増加する。地表面近くの雪の層では過飽和状態で水を数cm吸い上げる毛管現象が見られるが、ざらめ粒子が肥大化するにつれてそれが働かなくなり、底面の雪がポーラス状になり、急速に融雪出水が多くなる。しかしながら、融雪期以前は殆ど融雪出水は見られず、降雪と共に雪荷重は増え続ける。このようなことから一般には「厳寒期には融雪出水は見られない。」と考えられてきた。

これに対し、今回の雪囲いでは、底面が45°傾斜しているために底面の過飽和水の表面張力のバランスが崩れ、毛管現象による水の吸い上げは板の下端部に帯状に形成されるのみで、底面全体の融雪水は抜け落ちた。また、板と板の間に水平で3cm程度のスリットがあり、その場所では、霰及び粉雪は粒子同士が絡まったり付着し合わないために通り抜けてしまい、雪の層に空隙が出

来る。塞がってしまう場合でも雪の密度が低くなり、雪全体の層の密度にアンバランスが生じる。そのスリットを風及び対流によって大気エネルギーが大量に通過することによって、融雪が促進され、雪が少なくなったと考えられる。

(3)通気融雪工法の屋根雪処理技術としての可能性

昭和63(1988)年以降暖冬小雪年が続いている。今後温暖化の影響で以前に見られたような豪雪に見舞われるかどうかは確かでないが、経験的には繰り返されていると言える。栃尾市原町では三八豪雪(1963年)の時には最高積雪深が4m28cmに達している。その後の20年間の平均積雪深は1m58cmであるが、最近13年間はこの平均積雪深以下の年が続いている。

積雪が多い年には気温が下がり、日降雪深も大きくなる。その場合、スリットが雪で覆われ、1回の降雪インターバル以内では融雪が不可能となり、ズレ落ちる回数が増加するものと推察される。これに対処するためには10.5cmの板の幅を15～20cmのものとし、それと比例させてスリットの幅も5～10cm程度まで広げることで、平均積雪深1.58m程度の積雪に対応できる装置に改善できると考えられる。しかしながら、2mを越し、3m以上になった場合には、かなりの雪が残り、その雪荷重は無視出来なくなる。従って、その場合にはどの程度の雪荷重になるか推計し、それ以上の耐雪力を持つ建築構造設計と併用することが求められる。ズレ落ちに関しては、今回は生垣の雪囲いと言うことで全面が45°に傾斜する形態となっているが、屋根の場合、水平屋根とし、その水平面に板を45°立てた形で南面させて並べることで解決が付く。しかしながら、その場合、スリットに雪が詰まり、垂れ下がった雪の下面に融雪水が溜まり、夜間に気温が下がるにつれて再凍結してしまうと悪循環となる。これを避けるためには板の表面を荒仕上げのままとして雪が板の上を滑り落ちない工夫が求められる。傾斜を緩くすることも考えられるが、冬の太陽高度は30°前後と低いため、傾斜を45°以下とすると日射を受けるには不利となる。尚、木材の熱伝導率は0.09～0.15kcal/mhであるが、亜鉛鉄板は38、銅板は320である。金属板の場合、日中のプラス気温の際には有利に働くが、夜間マイナス気温になると日中の融雪水を再凍結させてしまうため、良い材料とは言えない。木材は、可燃性材料であるため、屋根材としては殆どの地域で使用出来ない。このような板を水平屋根に50cm程度浮かせて並べた二重屋根とする場合、雪囲いと同様、仮設的なものとする必要がある。

以上は、文部省科学研究費萌芽的研究(平成9～11年度)に行った研究の一部である。

ベタ雪地帯における通気融雪工法の開発に関する研究 ドカ雪に伴う通気の閉塞過程の解明

Research Regarding the Development of the Ventilation Snow Melt Construction Method in Weat Snow Area
Clarification of the blockade process of the ventilation associated with heavy snowfall

深澤大輔*
Daisuke FUKAZAWA

1. 目的

平成12年度大会において、生垣を覆う45°傾斜した雪囲いの積雪と融雪の時系列変動について報告¹⁾した。その結果を受けて、砂付き不燃ルーフィングでくるみ、雪が滑らなくした融雪板(150×1820×15)を30°・45°・60°と傾斜させて、水平に並べて実験を行った²⁾ところ、平成13年1月12日から本格的に降り出した雪が17日には170cmにも達したため、装置の全面に雪が覆い被さる状態となり通気が得られなくなってしまった。融雪はそれなりに進んだが、この閉塞状態に陥ることのない装置とすることが出来れば、通気によってより多くの融雪効果が期待出来ると考えられる。従って、本報ではドカ雪が降っても数日で通気が回復する融雪装置(板)のスケールと形態について検討することを目的とする。

2. 方法

「新潟県降積雪及び気温観測30年報」³⁾(以下「30年報」と略称)に掲載されている127個所について、その最深積雪深データを調べて、積雪深別地区区分を行う。次に、「新潟県降積雪及び気温観測調査報告書」⁴⁾(以下「調査報告書」と略称)の最も厳しかった年度の日降雪深データを整理し、それを基に地帯区分毎に最も厳しい降雪周期期間における積雪深を想定する。そして、それぞれの積雪深に対応したそれに耐えられる適正な融雪装置の規模について検討を行う。但し、その際、想

定する実験装置の形態は、写真1に示すものとする。また、その規模は、既製の単管パイプの長さが1.0m・1.5m・2.0mなどとなっているため、それに対応させて、融雪板の数を4枚(空隙垂直高さ60cm)、6枚(空隙垂直高さ90cm)、8枚(空隙垂直高さ120cm)とし、考察する。

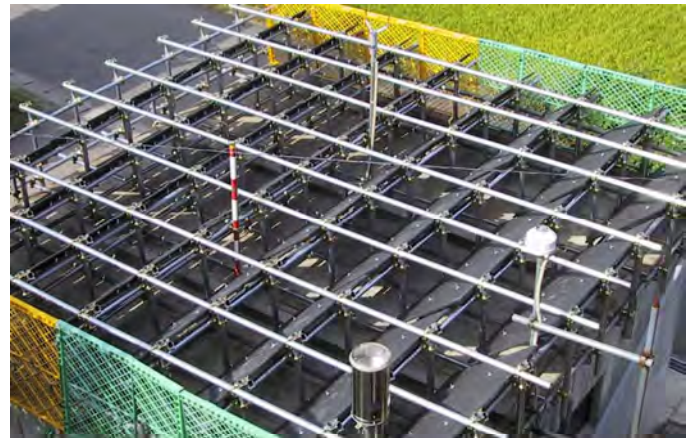


写真1 融雪実験装置の外観(5.4m×6.0m×1.0m)

3. 結果

(1)新潟県の積雪深地帯区分と該当地区

この通気融雪工法の普及促進地域は、過去30年間に於ける1月の月平均気温が±0以上、最高積雪深が1m以上4m未満と想定⁵⁾している。従って、先ず、その前後の除外地帯を(0-1m)と(4m以上)とし、1-4mの間を3区分して(1-2m)・(2-3m)・(3-4m)とする。

この地帯区分に従って、30年報によって最深積雪深

表1 新潟県の積雪深地帯区分と該当地区(昭和44年度～平成10年度) 注)気温は30年間の9時の1月の月平均気温 資料:新潟県工降積雪及び気温観測30年報

地帯区分	融雪板枚数 空隙高さ他	該 当 地 区(新潟県管轄観測所87個所、気象庁管轄観測所40個所)		
		- 2 未満	- 2 ~ 0 未満	0 ~ 2 未満
:0-1m	除外(過小)			2 以上
:1-2m	4枚 ポール:1.0m 空隙高:60cm			巻 白根小、曾根小、(柿崎小)、名立町役場、粟島、二ツ亀、相川、新潟、羽茂、寺泊
:2-3m	6枚 ポール:1.5m 空隙高:90cm	見附第二小、七名小、原小、(頸南消防署)、津川	宮本小、六日市小、菅谷小、米倉小、七谷小、諏訪小、鼓岡小、日出谷小、下条小、(塚山中)、理科教育センター、大和町役場、赤石小、柿崎町黒岩、(中郷村役場)、女川小、黒川俣小、三面、宮寄上、鍵取、栃尾、長岡	柏崎、五泉小、直江津東中、刈羽小、大潟、糸魚川
:3-4m	8枚 ポール:2.0m 空隙高:120cm	旧北陸農試、十日町馬場、笠堀分室、田委山小、湯沢町、津南町役場、葡萄スキー場、高根、赤谷、十日町、湯沢、関山	北条北小、塩川小、斐太南小、五十沢小、五日町小、後山小、仙田小、渋海小、針小、東飛山観測所、室谷、小国、小出、安塚、塩沢	柏崎第五中、高田、能生
:4m以上	除外(過大)	三俣小、清津峡小、松代 赤倉小、野中小、西小、須原小、大白川 新田、豊葦地区	岩沢小、名ヶ山小、中野俣小、上早川小、小滝小、水原小、種苧原小、橋小、門出小、浦川原中、浦田小、松之山中、大島村役場、牧小、牧村役場、吉川中、入広瀬、大湯、津南、平岩	田麦平

* 1 新潟工科大学建築学科・教授・工博

と1月の月平均気温のデータを調べて、積雪深別地帯区分を行うと、表1の如くとなる。島嶼部と沿岸部が地帯、内陸部の中山間僻地が地帯となる。地帯には概ね平野部、地帯には内陸山際地区や低地盆地部、地帯には中山間地や標高のやや高い盆地部が属している。

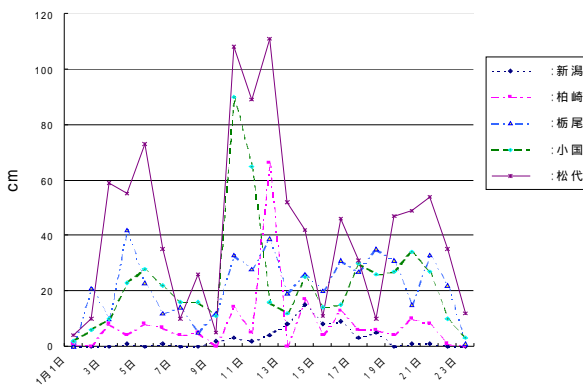
(2)最も厳しい降雪期間の融雪装置上の積雪深

過去30年間において降雪強度が激しかった年は、五六豪雪、五九からの3年連続豪雪の時である。その中で最も厳しかった昭和56年1月1日～23日にかけて、各地帯の標準的な地点における降雪状況をグラフ化すると図1の如くとなる。尚、1月1日/23日の積雪深は、新潟0/17cm、柏崎42/106cm、栃尾148/273cm、小国152/332cm、松代190/462cmであった。

五六豪雪は、昭和55年12月12日頃から降雪が始まり、1月23日前後にほぼピークを迎えた。この間の地帯新潟の日降雪深の最大は15cmと少なかったが、地帯松代では111cmに達した。地帯の柏崎では66cmに達したが、単発で終わった。地帯の栃尾は、39cmと比較的少なかったが、期間中降り続いたので、積雪深は273cmに達した。地帯の小国では最大90cmに達し、降雪が続いたので積雪も3mを超える状況になった。

この間の降雪累計は、新潟63cm、柏崎191cm、栃尾499cm、小国528cm、松代974cmであった。

図1 五六豪雪時の地帯別降雪状況



(3)積雪深に対応した融雪装置の適正規模の想定

通気融雪工法を採用した場合の装置上の積雪は、新たな降雪周期が始まる前の地上積雪深の1/2が残り、その上に雪が降り止んだ日より3日以上前の雪は1/3、前日と前々日の雪は1/2に圧密され、当日の雪はそのまま被さるものと仮定した。そして、上記の仮定に基づいて23日の各地点における装置上の積雪深を計算すると、新潟は21.2cm、柏崎は86.1cm、栃尾は247.9cm、小国は260.1cm、松代は443.0cmとなった。

融雪装置の規模は、既製の単管パイプの長さが1.0m・1.5m・2.0m・2.5m・3.0mなどとなっているため、それに対応させて製作すると、融雪板の数4枚(空隙垂直

高さ60cm)、6枚(空隙垂直高さ90cm)、8枚(空隙垂直高さ120cm)、10枚(空隙垂直高さ150cm)、12枚(空隙垂直高さ180cm)の装置が出来る。

雪に埋没せずに通気確保出来る装置の規模は、柏崎は6枚であるが、栃尾と小国は3mの単管パイプの柱では成り立たない。五六豪雪のような豪雪年には空隙高さの2倍まで雪が積もっても耐雪構造によって切り抜けられるものとする、柏崎は4枚、栃尾と小国は10枚の規模の装置が必要になる。これを3倍まで許し、場合によっては上部の除雪をするなどという形とすると、柏崎は4枚、栃尾と小国は6枚の規模の装置で良いことになる。

4. 考察(まとめ)

ところで、写真1に示した如く融雪板の上部に装置の頭を繋ぐ単管パイプを60cmピッチで配している。これによって融雪板の耐雪強度を増しているが、暖気風を乱して融雪を促進し、雪が融けて水滴が滴り落ちることによって雪切りを行う効果も狙っている。また、パイプを設けると、それに遮られて下の積雪層の雪は少なくなる。この結果、積雪層の安定構造が崩れ空隙が出来る。これにより一時的に装置は雪に埋没し、通気確保できなくなるとしても、数日後には次第に通気確保されるようになり、それが拡大して変態が進み、融雪に繋がることを期待している。この現象については平成3年の実験以来把握しているが、その期待し得る性能については、今後さらに解明を行っていく必要がある。

五六豪雪の如く連日連夜雪が降り続く年には期待する程装置の融雪効果が得られなくなるが、最近の温暖化傾向は当装置にとっては有利に働くものと期待される。また、屋根の上に載せる装置としてその高さは景観上、2.0mを超えるものでは普及が困難と思われる。

以上のことから、装置の規模は地帯はポール1.0m融雪板4枚、地帯はポール1.5m融雪板6枚、地帯はポール2.0m融雪板8枚とし、豪雪年には装置上の雪を一部除去する形で対応する形態が妥当と考える。

参考文献

- 1) 深澤大輔:ベタ雪地帯における通気融雪工法の開発に関する研究- ,日本雪工学会誌,Vol.16No.4,pp.101-102.
- 2) 深澤大輔:通気融雪工法の開発に関する研究- ,日本雪工学会上信越支部論文報告集,第1号,pp.35-38,2001.8.
- 3) 新潟県企画調整部:pp.1-407,平成11年12月.
- 4) 新潟県企画調整部:昭和44年度～平成11年度.
- 5) 秦大志:新潟工科大学建築学科卒業研究梗概集,第2号,pp.61-62,2000.3.

ベタ雪豪雪地帯向けの通気融雪工法屋根の開発に関する研究 北陸四県における成立可能地域

Research Regarding the Development of the Ventilation Melting Snow Construction Method Roof for the Wet Snow Heavy Snowfall Area
The Area of Materialization Possibility in the Hokuriku 4 Prefecture

正会員 深澤大輔
Daisuke FUKAZAWA

通気融雪工法という新しい屋根雪処理方式が、ベタ雪の降る北陸四県の中のどのような地域で成立するか、地理的な分布を明らかにし、それによって恩恵を受けると予想される人口と世帯数をカウントして見た。その結果、北陸四県全体で成立可能性の厳しい順に見ると、新潟県>富山県>福井県>石川県となり、受益世帯数は平均すると72.7%約133万世帯、受益人口は76.3%約413万人にも達するとの結果が得られた。今後、このような結果を受けたことから、本方式は技術開発を進めてその信頼性を高め、実用化に結びつけていく意義が十分にあるといえる。

Keywords Hokuriku wet snow Processing snow on the roof Materialization area Natural energy
北陸 ベタ雪 屋根雪処理 成立地域 自然エネルギー

はじめに

世界の豪雪地帯は、北半球の中緯度地域の大陸と海または湖の東側に分布している。その中で北陸四県は、南下するシベリア大陸からの寒気団(-36 ~ -40)と北上する対馬暖流(1月の水温 13 ~ 14)との温度差が 50 にも達するため、猛烈に水蒸気が海面から蒸発する。そこに西高東低の気圧配置が強まり前線が停滞すると、水蒸気が冷えて雪となり、大量に降り積もる。しかし、その寒気団の勢力が弱まり気圧配置がゆるむと急速に雪の変態が進み、厳寒期でも融雪水が大量に出る。

これまでの屋根の場合、積雪層の毛管現象と融雪水の表面張力などのため、効果的に融雪水が抜けず、2月下旬から3月上旬の融雪期に入るまであまり雪荷重は減少しなかった。今後、この通気融雪工法の屋根の形態や性能については、別の機会に詳細な報告を行う予定である。

1. 目的

通気融雪工法の性能については未だ実験を行っている段階であるが、本報告では、「1月の月平均気温が0以上で、五六豪雪と五九からの3年連続豪雪の年に年最

高積雪深が1m以上4m未満の地域」が成立可能地域だと仮定した。その場合、北陸四県ではどの程度の地域において成立するか、またその受益人口と世帯はどの程度となるかについて明らかにする。この新方式がどの市町村で成立するかが明らかになり、北陸四県の豪雪地帯の大部分をカバーし得るとの結果が得られれば、本研究開発の社会的有用性が高まるものと期待される。

2. 方法

本報告で成立範囲を検討する通気融雪工法装置の概要は、以下の写真に示すもの(詳細は省略)である。



写真1 通気融雪工法屋根の外観

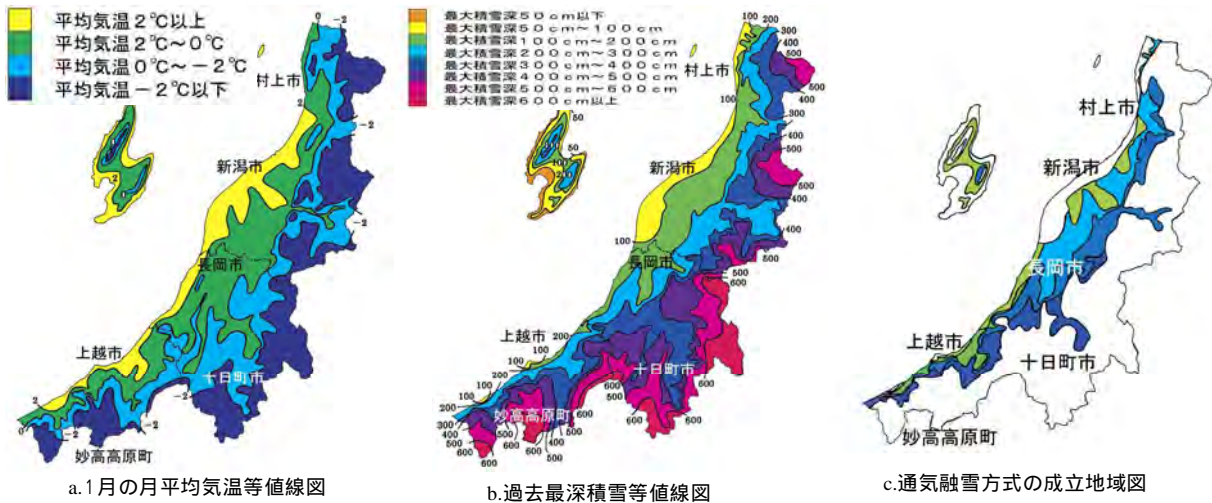


図1 新潟県における通気融雪工法の成立地域

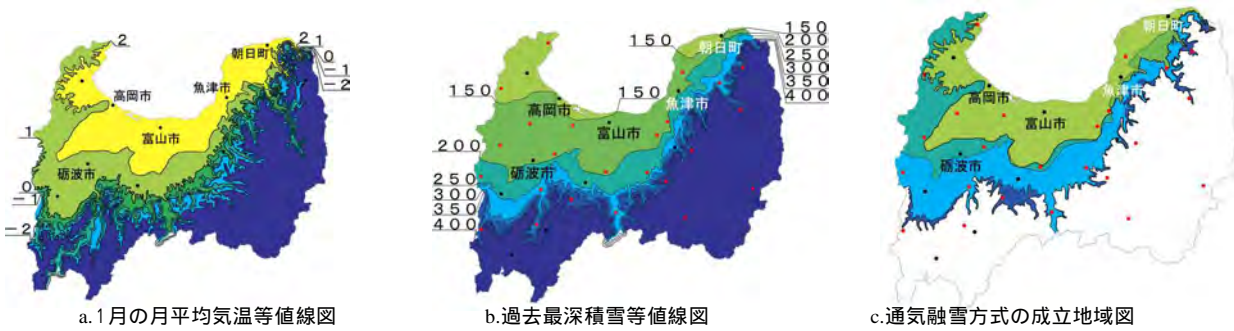


図2 富山県における通気融雪工法の成立地域

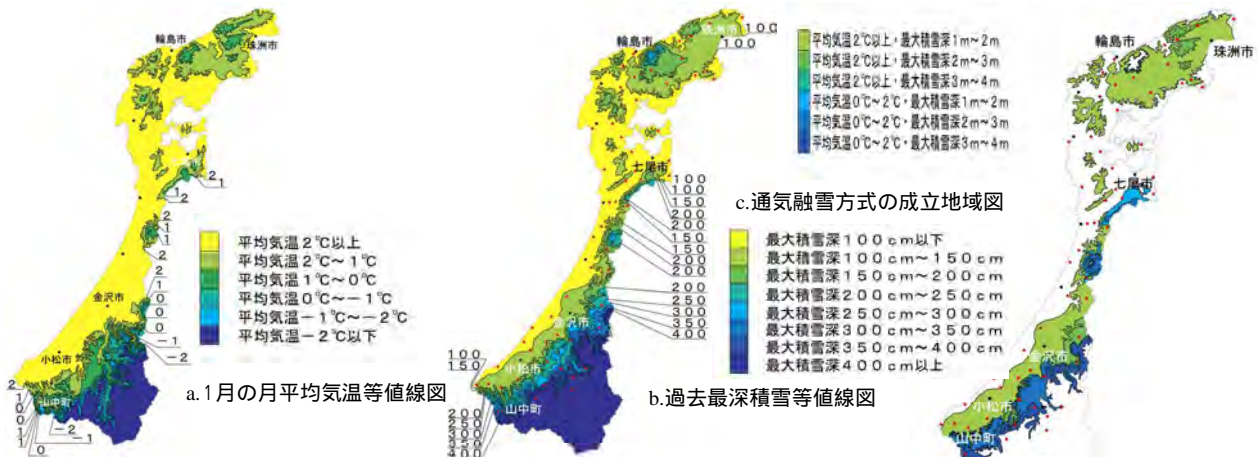


図3 石川県における通気融雪工法の成立地域

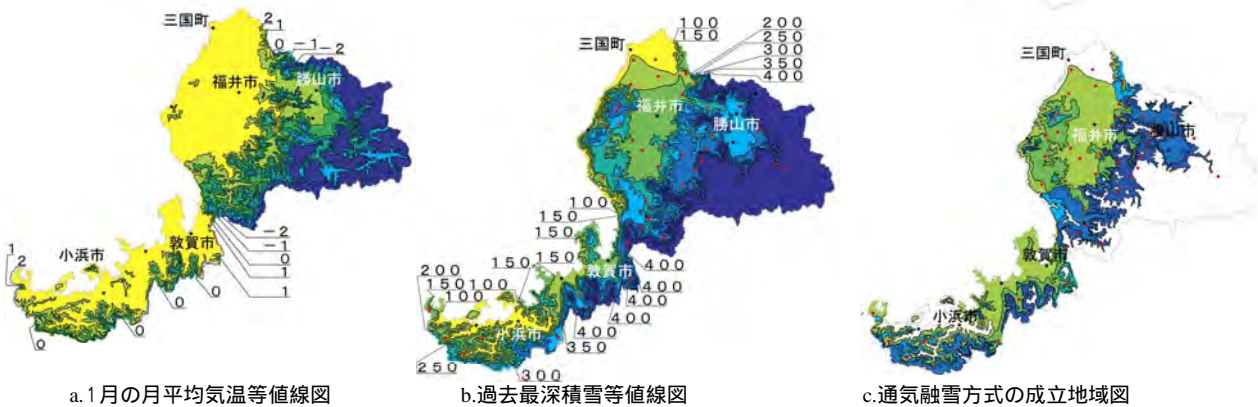


図4 福井県における通気融雪工法の成立地域

国土地理院の数値地図 50 mメッシュ(標高)から各県単位で「標高線図」を作成する。各県単位で、観測地点毎に1月の月平均気温をプロットし、標高に比例配分する形で1きざみで等値線を引いて県別の「1月の月平均気温等値線図(以下「気温等値線図」と略称)」を作成する。同様に、積雪深データを集め、観測地点毎に過去最高積雪深をプロットし、標高に比例配分する形で1m毎に等値線を引いて県別の「過去最深積雪等値線図(以下「積雪等値線図」と略称)」を作成する。「気温等値線図」と「積雪等値線図」とを重ね合わせ、積雪1m未満と4m以上並びに気温0以下を除いた範囲を「通気融雪方式の成立地域図(以下「成立地域図」と略称)」として描く。描かれた「成立地域図」に市町村役場の位置をプロットし、成立地域内にある市町村の人口と世帯数をカウントして、本方式による潜在的な受益人口と受益世帯数を明らかにする。

3. 結果

上記の方法によって県別に作成すると「積雪等値線図」と「気温等値線図」と「成立範囲図」はそれぞれ図1~4、また、その受益人口と世帯は表1の如くとなる。

4. 考察

過去最深積雪深は、昭和2年・20年・38年など三八豪雪以前のデータが無かったため、殆ど五六・五九からの三年連続豪雪時に得られたデータとなった。しかし、今後も温暖化の傾向が続くと予想されるため暖冬少雪年が続き、今回扱った最高積雪深を超えることは殆ど無いものと推察される。

月平均気温は、1月と2月のどちらを選ぶのが良いか議論のあるところと考えられるが、1月に降雪が多いことから1月とした。また、新潟県は過去30年間、富山県・石川県・福井県は過去22年間の1月の月平均気温の平均値とした。このため、やや新潟県の方が気温が低

くなっていると考えられる。

実際の成立可能性の把握のためには、自然融雪が期待出来なくなる降雪の連続日数や真冬日の出現回数などの検討を地点毎に行う必要があるが、本報告では触れていない。降雪パターンによって装置が期待する程に効果を発揮せず、積もってしまうことも場所によっては想定されるので、そのような場所については、50年再現期待値積雪深を基に耐雪強度を増して安全性を確保しておく必要がある。

新潟県の場合、海岸部では積雪が1m未満の地域が多くこのような装置の設置の必要が無いが、山間部になると4mを超える豪雪地帯が広がり、標高が高くなるため、気温も下がり、不成立地域が増える。このため、全体としては62.9%の世帯に恩恵を与えるに留まった。

富山県の場合、海岸部の市町村でも積雪が1mを超え、山間部でも4mを超える市町村は少ない。また、1月の気温は居住地では殆ど全域で0を超えるので、99.6%の世帯に適用が可能と言える。

石川県の場合、4mを超える豪雪地帯は白山付近に限られ、1m未満の不要範囲が広いため、60.5%の世帯と、やや適用される割合が少なくなる。

福井県の場合、4mを超える豪雪地帯は山岳部を除くと見られないが、1m未満の不要範囲が海岸部に見られるため、84.6%の世帯に適用できる結果となった。

北陸四県全体で成立可能性の厳しい順に見ると、新潟県>富山県>福井県>石川県となる。また、受益世帯数は平均すると72.7%約133万世帯、人口は76.3%約413万人に恩恵を与えられる結果となった。

おわりに

本報告は、文部省科学研究費の内、平成9年度からは「萌芽的研究」、平成12年度からは「基盤研究(BⅡ)」を受けて行っている研究の一部である。本報告の新潟県については平成11年度の秦大志君¹⁾、富山県・石川県・福井県は平成13年度の松原正恵君²⁾の卒業研究の成果によるものである。両君の名前を記して謝辞としたい。参考文献

1) 秦 大志：新潟県における通気融雪工法の成立可能範囲に関する研究、平成11年度新潟工科大学卒業論文、平成12年1月、深澤研究室。

2) 松原正恵：通気融雪工法の実用化に向けての研究 - 北陸三県における成立可能性について -、平成13年度新潟工科大学卒業論文、平成14年1月、深澤研究室。

通気融雪工法に関する研究

- 降雪から融雪出水へ至る過程の解明 -

Research Regarding A Ventilation Melting Snow Construction Method

- Clarification of the process that reaches from a snowfall to melting snow water flowing -

深澤 大輔*

Daisuke FUKAZAWA

はじめに

北陸地方は世界一の豪雪地帯である。可住地に大量の降雪が毎年繰り返され、その処理が重要な社会問題となっている。ところで、これは日本海を北上する対馬暖流の海水温は真冬でも 13~14 あり、シベリアからの -36~-40 の寒気団によって冷やされると温度差が 50 前後となるため、海水の蒸発量が極端に多くなる。そのようにして発生した大量の雪が脊梁山脈によって遮られて北陸地方に降る。しかしながら、北陸地方は暖地に位置するため寒気団の接近に伴って大量の降雪を見るが、それが過ぎ去ると、日中の気温はプラスとなる。このため、「新雪」が「しまり雪」となり「ざらめ雪」となる変態スピードも早く、その融雪も早い。従って、ベタ雪豪雪地帯では、その融雪した水を積雪層に対流させずに抜くことのできる屋根を開発すれば、雪荷重の低減を自然のクリーンなエネルギーを利用して、CO₂を全く排出しない、ランニングコストのかからない、ベタ雪豪雪地帯である北陸地方の理想的な屋根融雪装置となる。

そのようなことから、昭和 57 年に通気融雪工法の提案を行い、それに関する実験を種々行って来た¹⁾²⁾が、今回は、文部科学省の科学研究費の補助によりデータが得られたのでその一部について報告することとした。

1. 目的

これまでに新潟県栃尾市原町において行った実験では、「気温が下がり降雪が続く期間内には融雪出水は見られない。しかし、降雪が止むとしばらくして出水する。」ことが確認されている。気温が高くなっても、風が強くなっても、日射が得られても、雨が降っても、それだけでは積雪層の状況によっては出水に至らないことがある。従って、本報では、その出水に至るメカニズムとその要因について考察してみることとしたい。

2. 方法

2-1 融雪装置の概要(写真1参照)

東西 6.0m、南北 5.4m、高さ 2.0m の鉄筋コンクリート製の車庫の屋根の上 50cm に、南面させて東から西に向かって 30°・45°・60°に傾斜させた木製(南側半分)と鉄板製(北側半分)の融雪板(150×18×1820)を真上から見て 5cm のスリットが空くように並べ固定した。

木製の融雪板は、板材を不燃砂付きルーフィングでくるんだ物で、鉄板製の物は、表面に不燃砂付きルーフィング、裏面に不燃製の断熱材を接着したものである。



写真1 実験装置の外観(向側:木製、手前側:鉄板製)

2-2 データ収集の概要(写真2~6参照)

栃尾市原町において、平成 13 年 1 月 3 日~ 3 月 20 日にかけて、天候・雪質、気温(含最高・最低)、湿度、積雪深・日降雪深、日射、風向・風速、融雪板表面温度、コンクリート壁表面温度・降雪水量・融雪水量等のデータを各種計測機器を設置してデータロガーに収集した。一部手作業によるデータも含まれるが、これらのデータの一部をグラフ化して比較することにより、各降雪周期毎にどのような融雪要因が働いていたか整理してみる。

*新潟工科大学建築学科 教授



写真2 全天候型日射計(左上) 写真3 温度計測用熱電対(中央)



写真6 データロガーとA/D変換器

写真5 超音波風向風速計

3. 結果

3-1 13年冬季の降雪と出水状況(表1参照)

期 1/4-11(8日間) : 1/3 から根雪となり、1/7 には積雪が68cm に達した。その後、1/8~11 に掛けて最高気温が 10 を超える晴の日が続いたため、融雪出水が多く見られ、積雪深は50cm にまで後退した。

期 1/12-21(10日間) : 1/12 からは 9 時の気温が氷点下になる日が続き、1/15・16 は真冬日となった。その間の日降雪深は 20~50cm となり、1/17 には積雪が 170cm に達し、今冬の最深積雪を記録した。1/20 は快晴となったがこの間に融雪出水は見られなかった。1/21 にはみぞれが降り、前日の日射の影響もあり、融雪出水が 12.6kg/m²・日見られた。

期 1/22-29(8日間) : 1/22~24 にかけて融雪出水が少なくなったが、1/25~29 にかけては小雨の日が混じり気温も上がったため、1/28~29 には 12kg/m²・日以上の融雪水が見られた。

期 1/30-2/2(4日間) : 1/29・30 には 30cm と 10cm の降雪が見られたが止水には至らず、少量ながら融雪水が出続け、2/1 は曇りであったが気温が 10 にまで上がったので融雪が進み、2/2 には 12.4kg/m²・日以上の出水となった。

期 2/3-7(5日間) : 2/2~3 にかけて 20・10cm の降雪があったため殆ど出水しなかったが、2/5~8 にかけて 2.8~4.8kg/m²・日の出水が見られた。

期 2/8-11(4日間) : 2/8・9 には 15cm と 5cm の降雪が見られ、2/9 は晴れたにもかかわらず融雪水は殆ど出なかった。

表1 自然融雪実験データ 平成13年1~3月 新潟県栃尾市原町

周期	天気	雪質	積雪 cm	降雪 cm	屋根 cm	最高	最低	9時	融雪水 kg/m ² day
1月3日	曇時々雪	あられ	29	28	-	3	-	4	>12.0
1月4日	雪	粉雪	62	10	47	2	-3	-3	5.0
1月5日	曇	-	62	5	50	2	-2	2	1.0
1月6日	小雨	粉雪	62	5	52	1	-2	0	1.2
1月7日	曇	-	68	4	54	8	-1	0	2.4
1月8日	小雨	-	62	0	0	11	0	1	>20.8
1月9日	晴	-	60	0	49	12	-4	11	11.4
1月10日	小雨	-	50	0	40	8	2	5	22.1
1月11日	晴	-	50	16	40	12	-4	8	>16.6
1月12日	雪	粉雪	60	50	46	0	-2	-2	9.0
1月13日	雪	粉雪	100	30	85	4	-3	-2	2.0
1月14日	雪	粉雪	120	33	92	2	-4	-3	0.0
1月15日	雪	ぼたん	130	20	90	-2	-5	-3	0.0
1月16日	雪	粉雪	138	50	90	-1	-4	-2	0.0
1月17日	雪	ぼたん	170	7	120	0	-4	-2	0.0
1月18日	雪	粉雪	155	27	94	1	-3	-1	0.0
1月19日	曇後雪	粉雪	167	0	111	6	-4	-2	0.0
1月20日	快晴	-	157	0	94	8	-5	4	0.0
1月21日	みぞれ	-	135	17	94	5	-1	3	12.6
1月22日	雪	ぼたん	130	8	84	4	-1	1	5.6
1月23日	雪	ぼたん	125	10	94	2	-1	0	3.8
1月24日	小雪	ぼたん	120	0	92	7	-4	0	2.0
1月25日	曇	-	116	0	78	9	-6	-2	1.2
1月26日	曇・小雨	小雨	110	2	71	4	-2	2	7.4
1月27日	雪	ぼたん	108	0	69	4	-1	0	3.0
1月28日	みぞれ	みぞれ	100	5	69	1	0	3	>12.0
1月29日	曇	-	98	30	69	7	0	1	>14.0
1月30日	雪	ぼたん	120	10	94	6	-1	0	3.0
1月31日	晴・小雪	ぼたん	117	0	84	10	-2	2	7.0
2月1日	曇	-	100	13	71	5	-3	1	12.0
2月2日	雪	ぼたん	110	20	79	3	-3	-2	>12.4
2月3日	吹雪	あられ	120	10	79	4	-3	1	0.6
2月4日	雪・晴	ぼたん	120	0	84	5	-3	-1	0.6
2月5日	快晴	-	117	0	79	17	-8	4	4.2
2月6日	曇・雨	-	110	0	74	4	-4	0	2.8
2月7日	曇	-	108	10	69	5	-1	4	3.0
2月8日	雪	ぼたん	120	15	74	3	-1	0	3.0
2月9日	晴	-	130	5	94	8	-7	3	0.6
2月10日	曇	-	121	10	81	3	0	3	21.4
2月11日	雪	ぼたん	130	5	89	3	-2	0	5.2
2月12日	曇	-	130	14	84	2	-4	-2	0.2
2月13日	雪	ぼたん	140	2	96	4	-3	0	0.0
2月14日	曇	-	130	17	88	10	-5	0	0.2
2月15日	雪	ぼたん	148	2	99	4	-5	-1	0.0
2月16日	曇	-	142	2	94	4	-5	2	1.0
2月17日	晴	-	138	0	7	7	-4	0	1.0
2月18日	曇後雨	-	132	0	87	7	-1	5	8.6
2月19日	曇	-	120	0	74	5	1	4	>22.0
2月20日	曇	-	110	0	74	6	-1	1	10.0
2月21日	晴	-	110	0	74	20	-6	2	>14.0
2月22日	晴	-	107	0	62	15	2	8	>24.0
2月23日	快晴	-	105	5	54	21	-2	9	>20.2
2月24日	雪	みぞれ	100	10	49	2	0	1	>16.0
2月25日	曇	-	110	5	56	5	0	1	5.6
2月26日	雪	粉雪	110	0	54	9	-4	1	0.0
2月27日	曇	-	107	0	51	19	0	5	11.4
2月28日	曇後雨	-	103	0	47	8	-1	10	17.8
3月1日	曇後雨	-	98	5	42	7	1	4	>19.0
3月2日	雪	みぞれ	100	0	47	6	0	2	>12.0
3月3日	晴	-	95	0	44	13	0	5	>22.2
3月4日	曇	-	95	7	42	5	0	3	>15.4
3月5日	雪(強風)	-	100	0	47	4	0	1	16.0
3月6日	雨(風)	-	100	0	47	6	0	4	>24.0
3月7日	小雨(風)	-	95	2	42	5	2	4	>22.0
3月8日	雪	粉雪	97	16	44	3	-1	0	1.2
3月9日	雪	粉雪	110	15	54	5	-4	0	2.0
3月10日	晴	-	110	14	66	6	-3	2	2.4
3月11日	雪	粉雪	118	3	82	8	-3	0	3.0
3月12日	晴	-	110	13	74	15	-2	3	10.6
3月13日	雪	ぼたん	115	0	89	8	-4	0	12.0
3月14日	快晴	-	103	0	72	17	-3	4	>16.2
3月15日	雨	-	95	0	57	8	0	7	>24.0
3月16日	晴	-	93	0	44	14	0	5	13.0
3月17日	晴	-	85	-	42	14	-5	6	12.6
3月18日	雨	-	77	-	31	12	2	4	>24.0
3月19日	晴	-	60	-	28	19	4	12	3.0
3月20日	晴	-	50	-	4	-	1	12	-

しかしながら、翌日には前日の日射の影響により $21.4\text{kg/m}^2 \cdot \text{日}$ の出水が見られた。

期 2/12-25(14日間)：2/12~16 にかけて 2~17cm の降雪があったため、2/12~17 にかけて殆ど止水した。2/14 の最高気温は 10 にまで上昇したが、2/14 には 17cm の降雪があり出水は殆ど見られなかった。2/19~24 にかけては曇りや晴・快晴の日が続いたため、 $10\sim 24\text{kg/m}^2 \cdot \text{日}$ と以上の大量の出水が見られた。2/23~25 にかけて $5\text{cm} \cdot 10\text{cm} \cdot 5\text{cm}$ の如く降雪が見られたが、出水が続いた。

期 2/26-3/7(10日間)：気温が下がったため 2/26 になって漸く止水した。2/28~3/7 の間は、3/1 に 5cm、3/4 に 7cm の降雪が見られたが、融雪水は $16\sim 24\text{kg/m}^2 \cdot \text{日}$ と大量に出続けた。

期 3/8-20(13日間)：3/8~10 にかけては $14\sim 16\text{cm}$ の降雪が続いたため融雪出水が減少したが、3/14~18 にかけては快晴の日や雨の日が混じたため、融雪出水が多く見られた。その後は、屋根上の雪が少なくなってしまったので、出水量は相対的に減少し、3/20 には殆ど消滅した。

3 - 2 3/8-3/20における融雪要因別の変動の実態

(1)降雪と融雪出水の実態 (図1参照)

8 日には 9.5kg/m^2 、9 日には 36.0kg/m^2 とかなり激しい降雪が見られた。10・11 日には 8.0kg/m^2 程度の雪が降り続いたため、融雪出水は見られなかったが、12 日には 12.9kg/m^2 、13 日には 3.1kg/m^2 、14 日には 17.8kg/m^2 と出水が見られ、15 日には 40.6kg/m^2 も出水した。その後も 20.0kg/m^2 程度出水し続けたが、屋根が露出し雪が一部を覆う形となったため、相対的に融雪量は少なくなった。尚、融雪出水は日射の得られる日中に殆どが生じている。

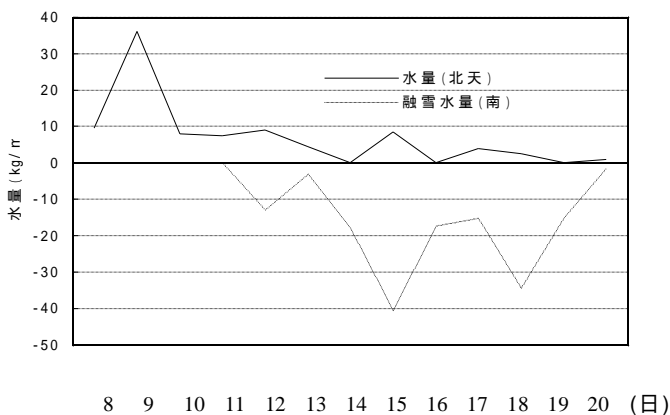


図1 3月8～20日における降雪水量と融雪出水量

(2)気温と湿度の実態 (図2参照)

気温は明け方に最低を記録し、正午過ぎに最高を記録していることが分かる。12日以降は最高気温が $5\sim 20$

に達したため、融雪が進んだ。

湿度は、降雪の続いた 8~11 日は終日 100%であったが、12 日以降の日中には、気温が上がると空気中に含むことのできる水蒸気量が多くなるため、相対湿度は下がる傾向が毎日見られた。0 の雪に水蒸気を含んだ空気が触れて冷やされると、空気中に含むことのできる水蒸気量が減少するのでその差の分が結露水となる。この際に放出される凝結熱によって、結露水量の 7.5 倍の雪が融ける。実際、この間にどの程度の融雪量となったかについては、今後の作業によって明らかにしていきたい。

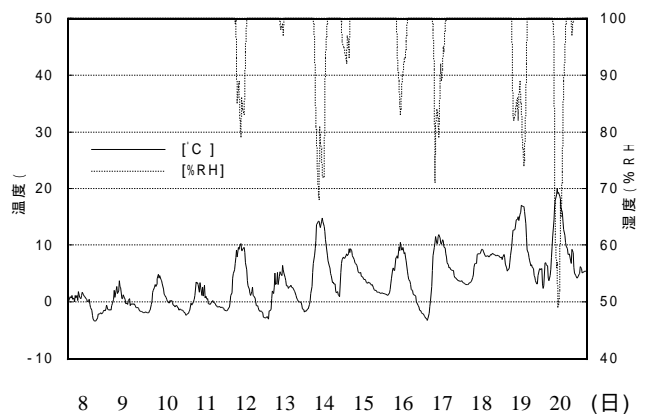
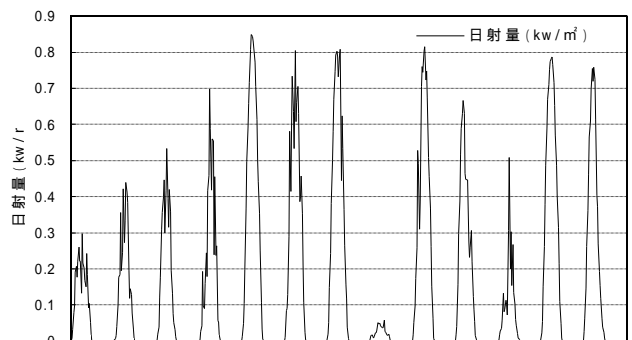


図2 3月8～20日における気温と湿度の変動

(3)日射の実態 (図3参照)

日射は、日が昇ると得られ、沈むと得られなくなっている。この期間の一日の 30 分毎のピークの日射量は、 $0.3\sim 0.84\text{kw/m}^2$ でその平均は 0.28kw/m^2 であった。

ところで、3/15 は雨で 0.06kw/m^2 程度しか日射量は強くならなかった。しかしながらその日の出水量は 40.6kg/m^2 と最も多くなった。雨量に比べて出水量は数倍になっている。このエネルギーは次に述べる風によってもたらされたものであったと推察される。



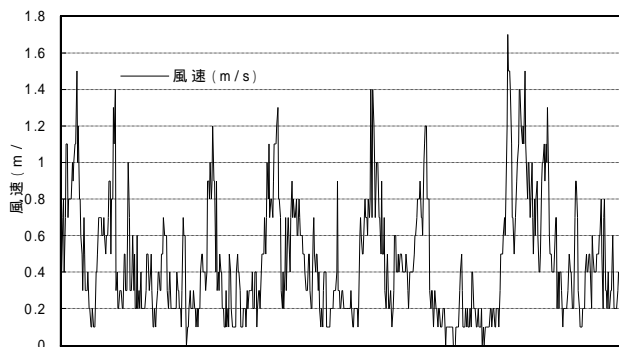
雪 雪 晴 雪 晴 雪快晴雨 晴 晴 雨 晴 晴

8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 (日)

図3 3月8～20日における全水平日射量

(4) 風向と風速の実態 (図4 参照)

3月8日から20日にかけての30分毎の平均風速は、0.55m/sであった。最大は18日の1.70m/sで、かなり弱い地域と言える。しかしながら、完全に0.0m/sとなった時は6回程度しか見られなく、常に微風が得られていることが分かる。尚、8~11日にかけては低気圧が接近し、北西の季節風が卓越し、寒い風が吹いたが、12日からは日中の気温も上昇し、特に15日には融雪エネルギーを大量に供給したと言える。



8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20(日)

図4 3月8~20日における風速

(5) 地上と屋根上の積雪深の推移

降雪は、8日に2cm、9日に16cm、10日に15cm、11日に14cm、12日に3cm、13日に13cmの如く続いた。この結果、地上の積雪深は8日に97cmであったものが、11日に118cmとなり、その後徐々に減少して20日には50cmとなった。屋根上の積雪は、8日に44cmであったが13日には89cmに達し、その後減少して20日には4cmとなった。しかし、実際の15日以降の積雪深は、雪が鏡餅のような形で残ったものを計測した値であり、地上の形状とはかなり違っている。

4. 考察(まとめ)

雪が降り気温が下がると止水する。

快晴となっても、最高気温が10前後と高くなっても、新雪やしまり雪層が厚い場合には出水に至らない。

雪が降り積もってもざらめ雪層が厚く日中の気温が5程度まで上昇する日には融雪出水が見られる。

全層が大粒のざらめ雪となった場合、新雪が被さっても、日中気温が5以上になると多量の出水が見られる。

晴または快晴の日があると、その翌日の融雪出水が増加する。遅れる理由は、当日は放射冷却によって凍結した雪の表面の氷を融かす必要があるためと考えられる。

最高気温が10を超える曇りや晴・快晴の日が続くと大量の出水がみられる。

日射があると融雪が進む。

雨天時には日射が少なくても大量の出水が見られることがある。

降雨があると積雪層の圧密が進み、見た目にも積雪深の後退の様子が分かる。そして大量の出水も見られる。この融雪エネルギーについては検討の余地がある。

空気中の水蒸気が結露する時に生ずる凝結熱でどれだけ融雪するか、見ただけでは分からない。気温が比較的高く湿度の高い日には出水量が多くなっているようだ。

気温の低い北西の季節風よりも、川や市街地からの暖かい日中の気流の方が融雪には効果的と考えられる。

地上と屋根上の積雪を比べると前者より後者の方が常に20~50%少なくなった。融雪期に入るとその差はもっと大きく広がり、消雪時期が10日程度早くなった。おわりに

本報では、融雪期に入ってから融雪の遅れについてまとめて見た。平成13年冬季は様々な降雪状況が見られ、貴重なデータが得られた。これを基に更に今後通気融雪工法の可能性について追究して行くこととしたい。

本論では触れなかったが、1/12~17にかけて襲った連続降雪により、融雪板の上に1m前後の雪が降り積もったため、積雪層内部を貫通する通気の確保が困難となった。これを改善するため、14年冬季には融雪板のスケールを大きくして同様の実験を行う予定としている。

尚、本研究は、私が代表者で、文部科学省の科学研究費補助金基盤研究(B)(2)の助成を受け、飯野秋成助教授・富永禎秀助教授・田中浩研究員・平井正明研究員によって行っている共同研究の一部である。毎日の計測と記録は深澤三枝子氏に行っており、本報のデータのグラフ化などは、卒研学生の松原正恵君に手伝って貰った。これ以外にも融雪板の作成には研究室の学生諸君に行ってもらった。末尾ながら、諸氏に感謝の意を表して置く。

参考文献

- 1) 深澤大輔：屋根雪処理に関する建築計画的な研究 - 新潟県中越地域を中心に -、昭和62年2月、pp.1-166、東京大学学位請求論文。
- 2) 深澤大輔：自然融雪式載雪型屋根の提案、第12回日本雪工学会大会、pp.6-1 ~ 6-12、1998年。

熱収支モデルに基づく自然融雪エネルギーの地域分布特性に関する研究

Study on regional distribution of natural energy for snow-melting based on heat balance model

富永 禎秀*¹ 深澤 大輔*²
TOMINAGA Yoshihide FUKAZAWA Daisuke

1.. 序

本研究では、積雪面における熱収支解析¹⁾に基づき、地域毎の自然融雪特性を明らかにし、自然エネルギーを有効利用した省エネルギー型の融雪方式を構築するための基礎資料を得ることを目的とする。まず、熱収支モデルの概要と、その精度を検証するための実測調査を行った結果について報告し、次に熱収支法による融雪量の予測モデルに「拡張アメダス気象データ」の結果を組み合わせることによって、自然融雪エネルギーの地域特性について考察する。

2.. 自然融雪量に関する実測調査

2.1 実測調査の概要

1) 実測場所

新潟県柏崎市の新潟工科大学グラウンドを使用した。

2) 実測日時

2月5, 20, 21日の3回行った。天候は3日とも晴れ時々曇り。

3) 測定項目及び測定方法

表1に測定項目並びに使用した機器を示す。気象要素は10分間隔で測定し、その値から1時間の平均を求めた。融雪量は融雪パン法²⁾により測定。概要を図1に示す。

2.2 測定結果

1) アルベド

図は省略するが、3日とも積雪は新雪よりも少し古い雪で、0.7程度であった。

2) 全天日射量(図2)

2/21が最も大きく、最高で800[W/m²]程度であったが、2/20は雲が多く、最高でも550[W/m²]程度で日変動が激しかった。

3) 気温(図3)

気温は2/21が最も高く、日中最高で15[]程度まで上昇した。2/20が最も気温が低く、最高でも8[]程度であった。

4) 絶対湿度

図は省略するが、測定期間を通して絶対湿度は2.5[g/kg]程度で、大きな日変化はなかった。

5) 風速(図4)

2/20が最も高く、2.0[m/s]程度である。2/5と2/21は1[m/s]程度と風は比較的弱かった。

表1 測定項目及び測定機器

測定項目	測定機器	備考
反射日射量		日射計を下向きにして測定
絶対湿度	サーミスタ型温湿度計	百葉箱の中に設置、地上高さ1m
積雪表面温度	乾球温度計	雪面に温度計を刺して測定
融雪量	融雪パン	時間毎に融雪パン法を用いて測定

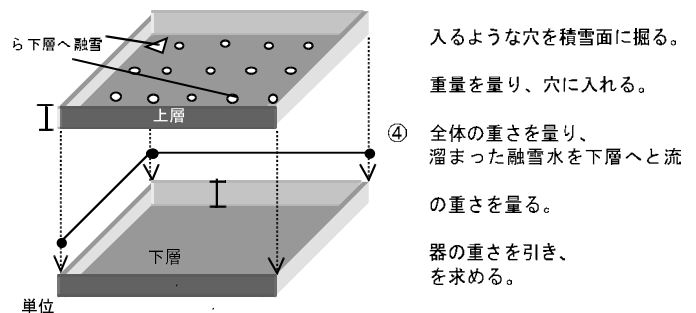


図1 融雪パン法の概要

6) 積雪表面温度

乾球温度計を積雪面に軽く刺し測定したが、測定時間を通じて常に0であった。

7) 融雪量(図5)

測定された融雪水の量[g]は、使用した容器(融雪パン)の面積900[cm²]で割ることによって、水当量として表す。融雪量は、2/21が最も多い。2/21は日射量が多く、気温も高いため、融雪量は最も多くなっている。2/5は雲が多かった2/20よりも日射量が多く、気温、湿度も高いため、全体的な融雪量は2/20と同じかそれよりもやや多くなっている。2/20は、日射量が他の二日に比べるとかなり小さいにも関わらず、日中の融雪量は他の二日との差はそれほど大きくない。これは、この日の風速が非常に大きかったためであると考えられる。

3.. 熱収支モデルの概要

積雪面の熱収支は、(1)式で表すことができる³⁾。融雪エネルギーM[W/m²]が正ならば融雪が起きる。

$$M = R - L + H + E \quad (1)$$

各要素は近藤³⁾に倣い、以下のように求めた。

1) 入力放射量 R[W/m²]

$$R = (1 - \text{ref})S^{\downarrow} + L \quad (2)$$

ref: 雪面のアルベド, S : 全天日射量[W/m²]

*1 新潟工科大学工学部建築学科 助教授・博(工)

*2 新潟工科大学工学部建築学科 教授・工博

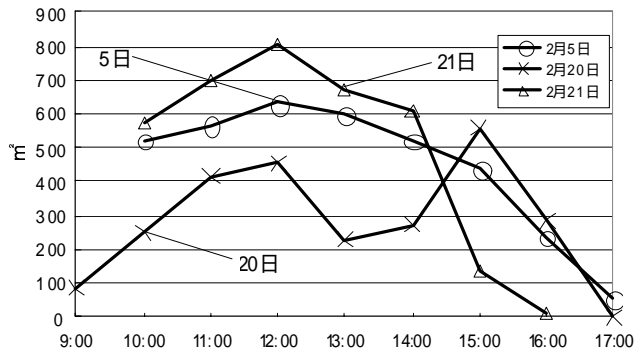


図2 全日射量の日変化

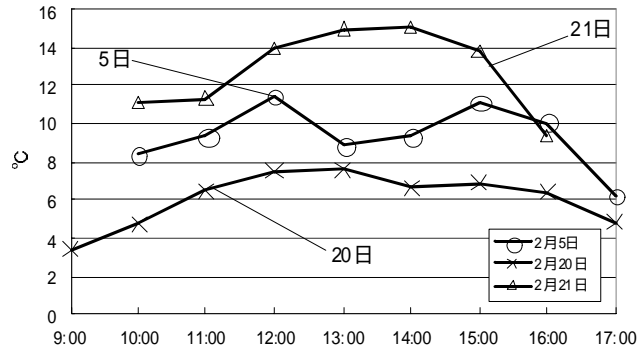


図3 気温の日変化

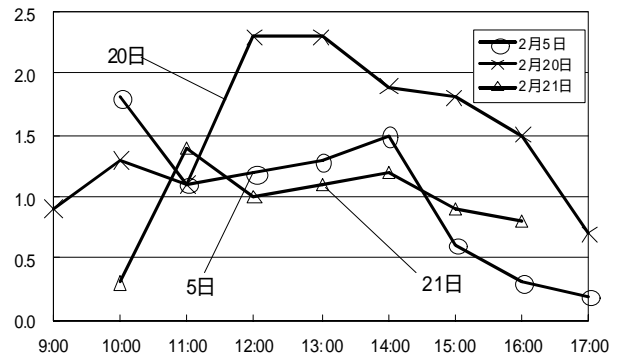


図4 風速の日変化

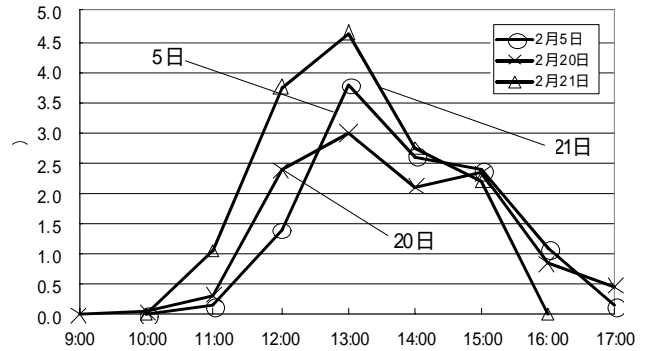
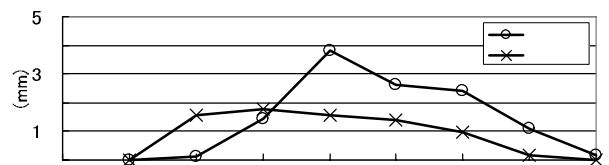
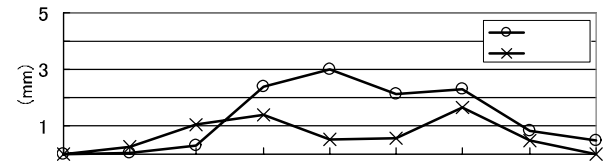


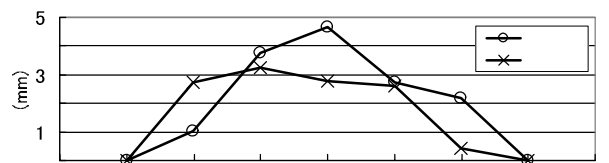
図5 融雪量の日変化(実測結果)



(1) 2月5日



(2) 2月20日



(3) 2月21日

図6 融雪量の日変化(数値解析と実測の比較)

5.. 自然融雪量の地域分布特性に関する数値解析

5.1 解析概要

本稿では、札幌、秋田、酒田、長岡、富山の計5地点で比較した結果を示す。気象データは、「拡張アメダス気象データ」⁴⁾の標準年の1月の月平均のデータから、全日射量・気温・風速・絶対湿度・大気放射量の日変化を与えた。なお拡張アメダスデータの風速測定高さは6.5mで整理されているため、雪面の粗度長を $0.00014m^{1)}$ とした対

L : 大気放射量[W/ m²]

2) 上向き長波放射量 L[W/ m²]

$$L = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad (3)$$

: 積雪の射出率(本研究では0.97とした³⁾)

: ステファン・ボルツマン定数[W/ m²/K⁴]

T_s: 積雪表面温度[K]

3) 顕熱輸送量 H[W/ m²]

$$H = C_p C_H U (T_s - T_A) \quad (4)$$

C_p: 空気の比熱[J/kg/K], ρ: 空気の密度[kg/m³]

C_H: 顕熱輸送のバルク輸送係数(本研究では、0.002³⁾)

U: 高度1.0mでの風速[m/s], T_A: 気温[K]

4) 潜熱輸送量 E[W/ m²]

$$E = C_E U [(1 - H_R) q_{SAT}(T_A) + (T_s - T_A)] \quad (5)$$

: 氷の昇華の潜熱または水の気化の潜熱[J/kg]

C_E: 潜熱輸送のバルク輸送係数(本研究では0.002³⁾)

H_R: 相対湿度, q_{SAT}(T_A): 気温T_Aに対する飽和比湿[kg/kg]

: 飽和比湿の温度に対する変化率

4.. 実測結果と数値解析結果の比較(図6)

上記の熱収支モデルに、実測によって得られた全日射量、風速、気温、湿度を入力し、算出された融雪エネルギーから融雪量を求めた^{注1)}。実測との比較を図6に示す。数値解析結果は、実測結果に見られる測定日による融雪量の差や日変化を概ね再現している。しかし全体的に、実測の方が数値解析よりも1時間程度遅れて融雪量のピークが発生しており、また数値解析より実測結果の方が融雪量がやや多いという傾向が見られる^{注2)}。

数則を仮定し、地上1m高さの値に補正した。雪面のアルベドは0.7で一定とした。

5.2 気象要素の比較

1) 全天日射量(図7)

札幌と富山が同じ程度で最も大きく、他の3都市はそれよりも日中で100[W/m²]程度小さい。

2) 気温(図8)

富山が最も高く、秋田、酒田、長岡はそれよりやや低いが、氷点下にはならない。札幌は一日を通じてかなり低く、0 以上にはならない。

3) 絶対湿度(図9)

富山が最も高く、札幌が最も低い。都市による差が比較的大きい。

4) 大気放射量(図10)

札幌が一番小さく、他の4都市は大体同じ程度である。大気放射量は絶対湿度と気温の関係によって決まる。札幌は絶対湿度も気温も低いいため、大気放射量の値は小さくなっている。

5) 風速(図11)

秋田が一番強く、札幌が一番弱い。絶対湿度と同様、都市による差が比較的大きい。

5.3 計算結果及び考察

1) 融雪エネルギーの計算

上記の気象データを用いて、各都市における融雪エネルギーの日変化を前述の熱収支法に基づく融雪量予測モデルにより求めた。図12に各都市における融雪エネルギーの日変化を示す。5都市の中で、最も融雪エネルギーが大きいのは富山である。次いで長岡、酒田、秋田の順

で、札幌では融雪エネルギーは発生しなかった(すなわち融雪が起きない)。全天日射量が富山と同程度であった札幌では、融雪は発生しなかったにも関わらず、富山や札幌よりも日射量が少ない長岡・酒田・秋田では融雪が発生している。

2) 融雪エネルギーの内訳(図13)

图中、正の値が融雪に寄与することを示している。長岡は札幌よりも全天日射量は小さいにも関わらず(図7)、正味放射量が大きい。また富山は他の都市に比べて正味放射量が非常に大きい。これは富山、長岡は気温と絶対湿度が札幌より高いため、大気放射量が増加した結果、入力放射量が増加したためである。

顕熱輸送量は、札幌では正午付近で負値(地表面から大気に熱が移動する)を示している^{注3)}のに対して、それ以外の都市では、一日中正値であり、融雪エネルギーを増加させる働きをしている。一方、潜熱輸送量は富山と札幌の一部を除いて負となる。

また秋田、長岡は全天日射量と気温がほぼ同様である

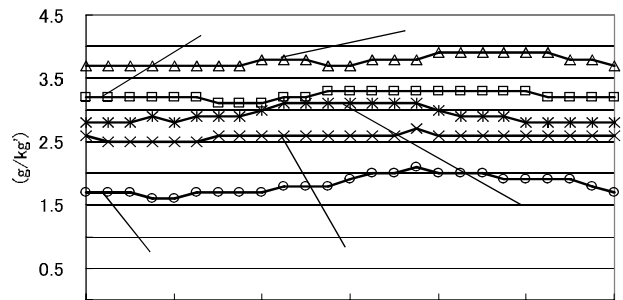


図9 絶対湿度の日変化

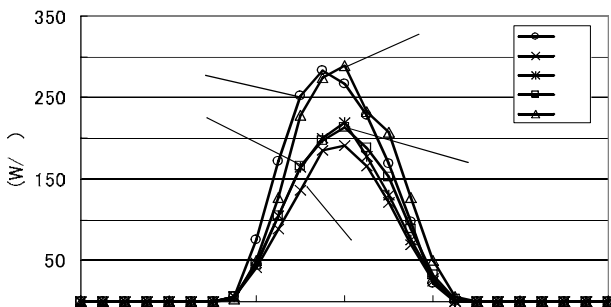


図7 全天日射量の日変化

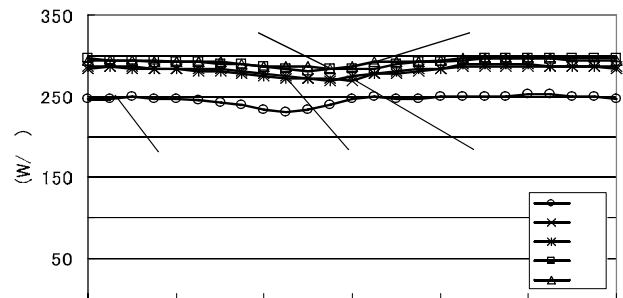


図10 大気放射量の日変化

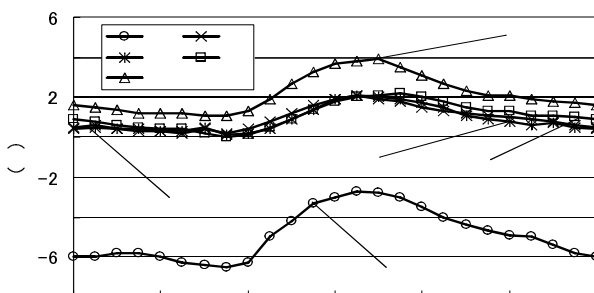


図8 気温の日変化

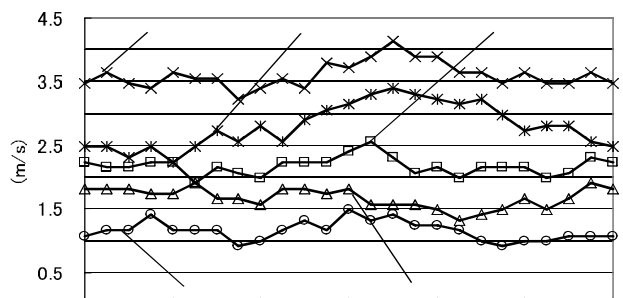


図11 風速の日変化

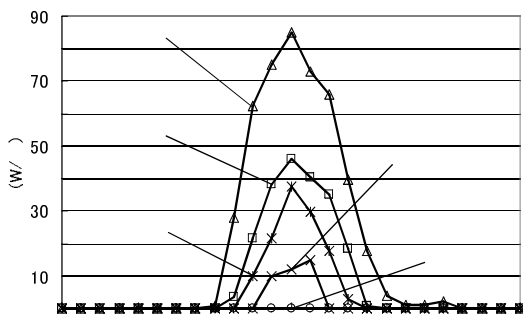


図 12 融雪エネルギーの日変化

にも関わらず、融雪エネルギーには違いが生じている。長岡の場合、絶対湿度が高いため(図9)、負の潜熱輸送量が小さくなり、また大気放射量も大きくなるため、全融雪エネルギーが大きくなる。それに対して、秋田は風速が大きいため顕熱輸送量が大きい、絶対湿度が低いために負の潜熱輸送量も大きくなり、さらに大気放射量も小さくなるため融雪エネルギーが小さくなる。

6.. まとめ

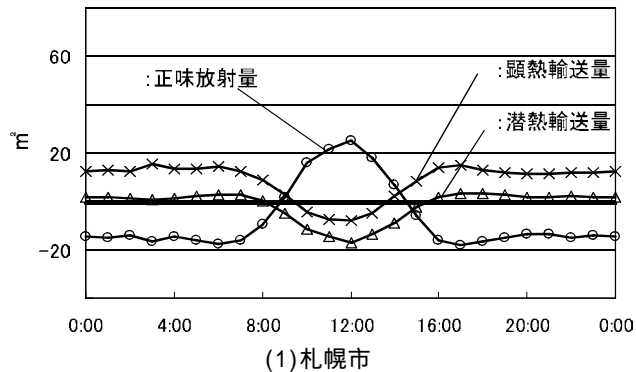
実測結果及び熱収支モデルと拡張アメダス気象データを用いて、地域毎の自然融雪エネルギーの分布について調べ、以下の結論を得た。

- 1) 日射量だけではなく、気温や風速、湿度といった他の気象要素も融雪に比較的大きな影響を与える。
- 2) 実測により得られた融雪量の、数値解析による再現を試みた結果、融雪量の日変化に関して、ほぼ対応する結果が得られた。すなわち本研究で用いた熱収支モデルは概ね妥当なものであることが示された。
- 3) 積雪面上での熱収支は地域毎に様々な違いが見られた。これらを詳細に検討する事は、地域の自然エネルギーを利用した融雪システムを構築するのに有効である。

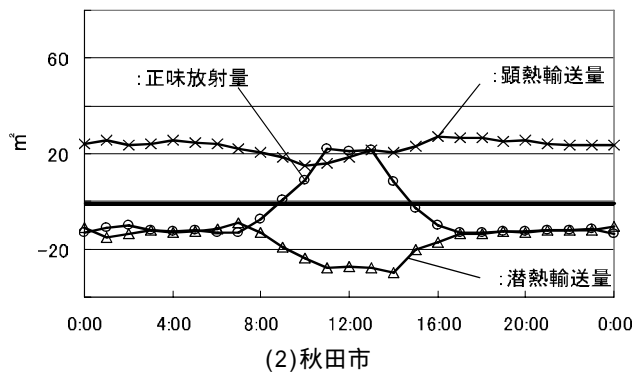
注1) 数値解析の場合、(1)式によってある時刻の融雪エネルギーが求められる。これを、1時間あたり cm^2 あたりに換算し、雪の融解の潜熱 $L_f (=334[\text{J/g}])$ で割ることにより、実測と比較可能な水当量[mm]となる。

注2) まず時間差については、実測において融けた融雪水がすぐには融雪パンの下層の容器へと流出せず、上層の容器中の積雪内に留まっていて、ある程度の量に達してから下層へと流れ落ちるためである。また数値解析より実測結果の方が融雪量が多い点については、実測において、融雪パンの一部が雪面上から露出してしまったため、その部分に日射があたることによって若干加熱され、融雪が促進された影響と推察される。この点については、測定方法及び熱収支モデルの更なる検討が必要である。

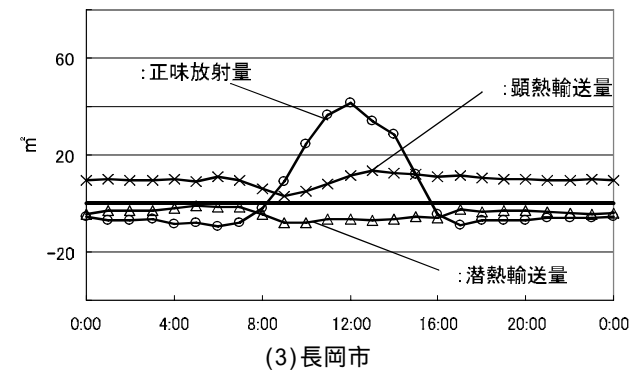
注3) 札幌の積雪表面温度は正午近くに0 近くまで上がるが、気温は常にマイナスであるため、雪面温度の方が高くなり、顕熱輸送量が負になる。



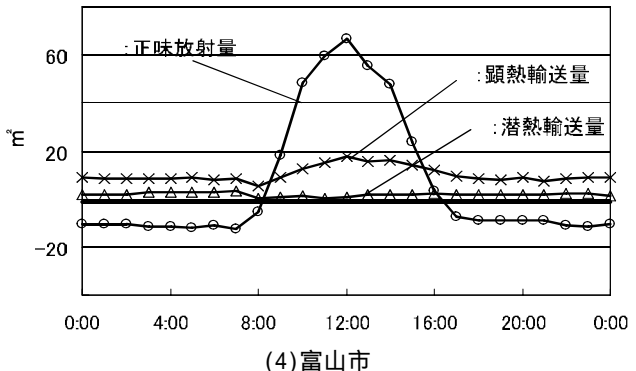
(1)札幌市



(2)秋田市



(3)長岡市



(4)富山市

図 13 雪面熱収支の内訳

(酒田は長岡とほぼ同様の分布であったため省略)

謝辞 本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(B)(2))及び(財)内田エネルギー科学振興財団・試験研究費の助成を受けて行われた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 近藤純正編著:水環境の気象学 - 地表面の水収支・熱収支 -, 朝倉書店, 1994
- 2) 日本雪氷学会北海道支部:雪氷調査法, 北海道大学図書刊行会, 1991
- 3) 近藤純正, 山崎剛:熱収支法による融雪熱量の予測, 雪氷, 49巻4号, 181-191, 1987
- 4) 日本建築学会: 拡張アメダス気象データ, 丸善株式会社, 2000.1

通気融雪工法に関する研究 -

- エキspandメタルによる融雪出水過程の解明 -

Research Regarding a Ventilation Melting Snow Construction Method -

- Clarification of the melting snow water comes out process by expand-metal -

深澤大輔*

Daisuke FUKAZAWA

はじめに

昨年度の第1回研究発表会では、「通気融雪工法に関する研究」と題し、30°・45°・60°に傾斜させた木製(南側半分)と鉄板製(北側半分)の融雪板(150×18×1820)を真上から見て5cmのスリットが開くように並べ固定して行った実験結果について、降雪から融雪出水へ至る過程の解明という形で報告¹⁾を行った。本報告は、それに関連して行った一連の実験結果について整理し、平成14年1月から3月にかけて910×1820のエキspandメタルを南面させて45°傾斜させて得られた融雪出水過程について考察しまとめてみたものである。

1. 目的

これまでに「ベタ雪豪雪地帯では、厳寒期においても積雪表面において日射や風・気温・降雨などによって90%以上融雪している。」と述べてきたが、実際の屋根ではその融雪水が積雪層に滞留し、再凍結してしまうために雪荷重の低減はあまり期待できなかった。従って、本報告では、どのようにすればその融雪水を最大限効率的に抜くことができ、雪荷重を低減させることが可能となるか、これまでに行ってきた様々な試行的な実験結果を整理し、その基本事項の整理をすることを目的とする。

2. 方法

栃尾市原町に建つ東西6m×南北5.4m、高さ約2mのコンクリート製の屋根をメインの実験建物とし、そこに隣接する庭をサブの実験場として、平成8年から14年まで毎年1月から3月にかけて、気温・湿度、風速・風向、日射、積雪深・降雪深、融雪水量などを気象観測機器と人力を併用して計測してきた。

本報では、昭和47年に通気融雪工法を提案して以来行った実験も含め、一連の結果を鳥瞰的な形で整理してみる。紙面の関係で詳細を示すことができないが、別の機

会に報告書の形でまとめる予定でいる。

3. 結果

3-1 グリッド状の各種材料を水平に浮かせて行った融雪効果実験結果

北魚沼郡湯之谷村の奥只見丸山スキー場リフトのエキspandメタル製の点検足場から20cm程度垂れ下がった雪は、当初、金属のエキspandメタルに接する面の雪塊の自重の圧密によると考えられた。しかしながら、以下に示した実験結果からは、雪が締まり積もるとその底面から顕著に垂れ下がる現象は見られなかった。そして、降雪期において気温が氷点下であっても-5前後から凝結現象が見られることから、融雪水は出なくとも変態が進むための現象だと分かった。気温が低くてもこのように雪が垂れ下がり雪の表面積が何倍にも拡大すると、気温の上昇と共に融雪が促進されるため、この現象が出現する形状または材料は、融雪装置にとって大変効果的なものとなる。

1) 各種メッシュないしグリッド材を水平に並べ浮かせて行った融雪実験

実験装置は、高さを30cmとし、11種類の材料の占有面積を30cm×45cmとした。実験は、平成11年3月6日(土)の午前9時にザラメ化した雪塊約10kgを各材料の上に載せ、融雪水重量を下に受け皿を置いて2時間毎に台秤を使って計測した。気温は、9時から17時までの間、6.0 5.8 8.0 7.8 5.0 の如く推移した。その結果、融雪水量は1360gから1100gとバラツキが、多く出た順に並べると ゴム足拭きマット(上向き) 布製ネット ベニア板 金網5mm 金網30mm プラスチックフェンス プラスチックメッシュ10mm×30mm ゴム足拭きマット(下向き) 女竹 金網15mm ゴム足拭きマット(30)の如くとなった。この結果では、

*新潟工科大学建築学科 教授

材料の熱伝導率や断熱保温性能、形状が異なり、雪塊の形状も厳密にはそれぞれ異なるため、観察からも特に顕著な優劣は判定できなかった。



写真1 各種メッシュ材に雪を載せた様子H11.3.7.12:24



写真2 雪がかなり融けた様子H11.3.10.9:12

2) 水平に50cm浮かせたプラスチックフェンスとガラス繊維ネット、エキスパンドメタルによる融雪実験

平成11年1月から3月にかけて、車庫の屋根上に50cm浮かせた位置に南側半分にプラスチックフェンス、北側半分にガラス繊維ネットとエキスパンドメタルを固定して融雪実験を行った。

プラスチック製のフェンスには小さなつららの形成が若干観察されたが、暖気がやって来るとプラスチック表面に融雪水が付き、順調に融雪水が滴り落ちる様子が観察され、それなりの融雪促進効果が確認された。

しかしながら、約90cm×90cmの区画に水平に張った約50×50のガラス繊維ネットと50×35のエキスパンドメタルの方は、雪の荷重で中央が撓み、そこに融雪水が集まり、夜間に再凍結するなどの悪循環が見られた。

3) 鉄とアルミ板の50mmと75mm格子による融雪実験

1)で行った実験を行った翌年に同じ装置を使い、中央部分の4つの材料を外し、2.3×30の鉄とアルミ板を組

み合わせて50mmの格子を造り、45cm×60cmのスペースに並べて観察実験を行った。

新雪が降ると最初は50mmのメッシュを通過するが、次第に雪が格子に付着し、格子の目が塞がり、下に若干雪が垂れ下がる様子が観察された。その状態を過ぎるとドンドン雪が降り積もり、50mmの格子ではその上に雪が乗ってしまい、圧密され雪が下に食い込んで下がるようにするためには目が小さすぎるように感じられた。

従って、次に2.3×30の鉄とアルミ板を使って75mmの格子を持つ600×900の融雪板をそれぞれ作成し、約1m浮かせて固定し、その上に約1mの締めり雪とザラメ雪の混じった雪塊を積み上げ、平成12年3月上旬の約1週間その融雪経過の観察実験を行った。



写真3 鉄とアルミ格子75mmからの垂れ下がりH12.3.9

その結果、アルミ製の格子の方は、熱伝導率が鉄よりも高いために自重で雪がめり込み、融雪水の量も相対的に多く出ているように観察された。しかしながら、確かに日中は少しの気温上昇でも融雪水が出るが、過飽和状態になった融雪水が下面に滞留し、夜間には逆に氷点下の熱を伝えやすいので再凍結を促進する結果となった。そして、日に日に時間の経過と共に氷が発達し、悪循環に陥ってしまった。鉄の格子の方は、それ程悪循環に陥ること無しに経過し、南側の底面の融雪が進んだため、片荷重となり、1週間後には雪が地面に転倒した。

この結果から、あまり熱伝導率の良い材料よりも、程々のものが効果的であるように感じられた。

4) 3の鉄筋と3×10のFRP製150mmメッシュによる融雪実験

平成11年の1月から3月にかけて車庫の陸屋根の上約50cmに単管パイプを水平に組み、南側半分に3の鉄筋、

北側半分にFRP製の150mm角のメッシュをそれぞれ固定し、融雪実験を行った。

メッシュの目が大きいために最初は下の屋根に通過し、なかなか目が塞がらなかったが、一晩で30cm程度のドカ雪が降った時に目が塞がり、下に鍾乳石と鍾筍状の雪柱が形成された。これは、その後の暖気で急速に融雪が進み消えた。しかしながら、その上には雪が一面に残り、降雪時に次から次へと積もり続けた。その後は積もって締まった雪はなかなか融けず、自重によってメッシュに食い込むなどの姿は観測されなかった。

3-2 水抜きと屋根雪の安定的な固定方法など

通気融雪工法屋根をベタ雪豪雪地帯で考える場合、最大の技術的なポイントは融雪水が如何に効率よく抜ける構造とするかにある。これまで、雪渓底面の融雪形状の把握もあまりされて来なかった。実際は、ハマグリ貝形になっているが、何故かという追求は殆どされて来なかった。また、角度を付ければ融雪水は流出するが、その臨界角は何度か。その角度以上の屋根勾配にして屋根材を木材やルーフィング・鉄板などとした場合、雪塊はどの位の角度まで滑らずに傾斜面に安定的に留まることができるかなどの解明がなされてきていないといえる。

1)水の表面張力・毛管現象・サイホン現象確認実験

これらは小学校の理科の実験で学んでいる事柄といえるが、雪と融雪水の間にはこれらの現象が見られることを再確認しておく必要がある。

表面張力のバランスを崩すためには20°以上傾斜させてやる必要がある。融雪水の毛管現象は締めり雪とザラメ雪、スノージャム状となった雪に見られるが、その吸い上げ高さは空隙の大きさに左右される。粒径が5mm以上となると保水能力は落ち、7mm程度となると雪の底面はポーラス状となり、過飽和状態の保水は見られなくなる。

2)30°・45°・60°勾配の木製板上の雪塊不滑落実験

冬の太陽高度は新潟県の場合9時から15時にかけての平均は30°程度となる。従って融雪板を南面させ日射を最大限利用するためには60°に傾斜させるのが望ましい。しかしながら、そのような急勾配とした場合、屋根上に雪が安定的に載せ続けられるかが問題となる。

ベニア板を30°・45°・60°に傾斜させてその上に約10cm×30cm×5cmに切り出したザラメ化した雪塊

を載せて放置して見ると、30°の場合は安定的でそのままの状態に融雪し消滅するが、60°の場合には融雪水が底面に滲むようになると滑落してしまう。45°の場合はその中間的な挙動を示す。

次に、45°に傾斜させた台の上に、約30cm角のベニア板に布ヤスリ#400・#200・#100・#60・#30を貼ったものとベニアのままのものとを用意して並べ、上記と同じ雪塊を載せて経過を観察すると、#400 #100 #200 #60の順に滑落し、目の粗い#30とベニア板からは滑落せず、そのまま融雪した。ベニア板の場合には融雪水が板に浸透し雪の滑落を阻止する力が働いているように観察された。また目の粗い#100の方が細かい#200よりも雪の移動が早かった。これは、前者ではザラメ雪粒子の粒径が底面のヤスリの粗度と合わなかったのに対し、後者では融雪水が雪の底面を埋めて巧く引き合う関係となったためと推察された。

これまでに雪の粒径は時間の経過と共に次第に大きくなるということが知られている。従って、融雪が進み屋根表面に付着力が働かなくなっても、接触面の雪粒子の大きさによって、微妙に安定・不安定は変化するものといえる。

3)0°と45°勾配の雪塊の保水実験

上記と同じ雪塊を0°と45°にして放置して置くと、0°の場合には底面全体に融雪水が見られ、次第にその水位が上昇し、2から4cm程度になると雪の保水限界を超え、出水する様子が観察される。45°の場合には、雪塊の最下部のV字形をした底面に帯状に2から4cm程度保水するがそれ以外の融雪水は流出することが観察される。従って、この差の積算結果が雪荷重の低減となって現れてくるといえ、45°傾けると全体の保水量は保水高(cm)/勾配方向の屋根長さ(cm)となる。



写真4 雪塊を水平に置いた時の保水の様子H12.6.18

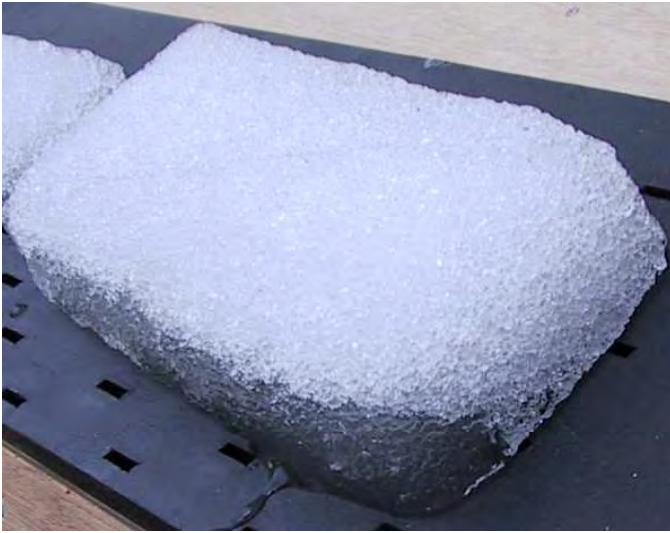


写真5 雪塊を45°傾斜させた時の保水の様子H12.6.18

3-3 融雪板を傾斜させ浮かせて行った融雪効果実験

水の表面張力のバランスが崩れる臨界角度は20°程度であるので、融雪板をそれ以上に傾斜させることとした。その際、どれ位の角度まで安定的に雪が載っているか、屋根材として使用可能な不燃または難燃材料として、砂付きルーフィングを巻き付けた木板と鉄板、エキスパンドメタルを選び、検討してみた。

1) 30°・45°・60°に傾斜させた木製(南側半分)と鉄板製(北側半分)の融雪板による融雪実験

装置は、砂付きルーフィングを巻き付けた150×1820×20の木板と鉄板の融雪板を約50cm浮かせて5cmのスリットが開くようにして30°・45°・60°に傾斜させて並べて造った。その結果、鉄の方が木よりも良く、勾配が強い程効果的であると観察された。しかしながら、雪が50cm以上積もると、屋根全面を雪が覆ってしまい通気が底面だけとなるため効率が落ちる結果となった。



写真6 30°45°60°の融雪板上の積雪の様子H13.1.12

2) 45°傾斜させた木製融雪板にアルミ製の雪切り板を取り付けて行った融雪実験

雪が融雪板の隙間から自重によって垂れ下がる形となれば、効果的と考え、45°傾斜させた木製融雪板にアルミ製の雪切り板を取り付けて実験を行ってみた。若干垂直に取り付けたアルミの雪切り板の周辺に空洞の発達するのが見られたが、雪が一面に降り積もり固まってしまうと殆ど効果がないことが分かった。

3) 45°傾斜させ木製融雪板4枚スリット配置形とエキスパンドメタルによる融雪実験

1)で行った実験装置では積雪深に対し規模が小さ過ぎると考えられたので、その融雪板を3cmのスリットを開けて4枚45°傾斜させて車庫の南側に並べてみた。北側には同じ形状の単管パイプ製のフレームに910×1820のエキスパンドメタルを取付け観察を行った。



写真7 45°の融雪板上の積雪の様子H14.2.11



写真8 45°の融雪板上の積雪の様子H14.2.21



写真9 鉄パイプの外から雪が垂れ下がった様子H14.2.16

鉄製のエキスパンドメタルは 3-1 の 2)他で述べた結果からまた何らかの悪循環に陥るのではないかと予想していたが、融雪水が再凍結することはなく、木製の融雪板に比べ、より効果的であった。積雪深に対応した装置の規模は、50年再現期待値積雪深と日最高積雪深やドカ雪の継続期間を調べ、支柱の高さを 1.0m・1.5m・2.0m・2.5m と変えることで解決できると推察された。

尚、この実験では単管パイプを 60cm 間隔で融雪装置の頭を繋いで行った結果、これが雪をブロック状に切断し、かなり雪が積もっても通気がその下で確保された。そして、その箇所から空隙が拡大していき、かなり雪切り効果が期待できるとの感触が得られた。



写真10 45°の融雪板頭繋ぎに伴う融雪の様子H14.2.20
3-4 単管パイプのグリッド配置による雪割り効果実験

積雪層が安定状態の場合にはその表面で融雪が進んでも地表面まで融雪水が到達せずに途中で滞留してしまい、夜間氷点下に気温が下がると再凍結してしまう。

従って、積雪層をイレギュラーな形態とするために、屋根面から 1m 程度上に単管パイプで 90cm × 90cm の格子を組む。そうすると、約 5cm 幅の単管パイプの上には雪が積もり、融けるとその直下に滴が垂れ、落下する場合にも密度が変化する。尚、単管パイプが露出している時には、日射などで暖められると輻射熱を雪表面に与えることとなり、微風がある場合には整流が乱流となり、やはり屋根雪に気温エネルギーなどを与え、雪切り効果を発揮するものと考えられる。また、雪に埋もれた場合には、下に空洞が形成され発達するため、やはり融雪を促進することになる。

1) 雪の沈降力に対する単管パイプの曲げ耐力補強実験

これは平成 3 年に行ったものである。雪中に鉄棒が埋没してしまうと、春先に沈降力によって曲がってしまうことは多雪地では良く知られている。しかしながら、これは無限雪原において 1 本の鉄棒が埋没した場合であって、90cm 程度の間隔で井桁に組んだ場合には、全体で雪荷重を支えることとなる。従って、屋根雪は軒先で殆どの場合切れているために、フトン効果は見られず、純粹にその 1 本 1 本のパイプに係る分担荷重を計算し、耐えられるかどうかチェックすれば良いといえる。

2) 空中に水平なパイプがある場合の積雪形状と融雪促進効果を見る水槽実験

これは 1) と同じ時期に雪に単管パイプが埋没してしまうと積雪層内部の様子が分からなくなるので行った実験である。降雪の初期は、水平材の上に雪が積もるために地面では波板の断面形状のように積もる。水平材が埋没するようになると、水平材の下に大きく空洞が発達する。そして、暖気がやって来て融雪が進むと、空洞が益々発達し、全体の融雪が進む。また、融雪水を水槽に溜めておくと夜間に再凍結し破損させてしまうために水槽の下に水抜き穴を開けて下に落ちるようにして置いたところ、融雪水が氷柱になることはなかった。これは強制融雪方式でなく、気温が上昇し融雪水が出た時だけ抜く方式であるため、悪循環に陥らないためと観察された。

3) 水平屋根にピラミッド形屋根を並べ、単管パイプで頭繋ぎをすることによって見られる融雪効果実験

一般の屋根では、雪の表面で 90% 以上が融雪しているにもかかわらず、その下にある積雪層に融雪水が吸われてしまうために、融雪水が抜けずに雪の層に閉じ込め

られ、再凍結してしまう。

従って、高さ 1.58m、底面 1.2m 角のピラミッド形屋根として、平年積雪の時には雪の表面からピラミッド形屋根が突き出し、その近傍で融雪した水はその急勾配屋根を伝って落下して、水平面の屋根に到達し、3.6m のグリッド交点毎に配したルーフトレインから抜く形態とすることでどの位融雪能力が期待できるか観察した。

雪が少ない年には谷の部分に吹き溜まりが生じ、北側には日陰も生ずるために効果的とは言えないが、ピラミッド形屋根が埋没する多雪年には頭繋ぎの単管パイプの働きで空洞が発達し、かなりの効果が期待できる結果が得られた。



写真11 ピラミッド形屋根の頭繋ぎが埋まった様子H13.1.17



写真12 ピラミッド形屋根と頭繋ぎの融雪効果H14.2.23

4) 複式折板による通気工法屋根に単管パイプをグリッド

配置した水平屋根型の通気融雪工法の効果確認実験

複式折板による通気工法は昭和 57 年に提案したものでこれまでに数 10 棟の建築実績がある。いかながら、雪が降り積もると底面からだけでは融雪能力に限界があるところに問題が残っている。そこで、単管パイプを屋根面から上に 1m 程度浮かした位置にグリッド状に組み、融雪を促進する。この工法の効果については平成 15 年冬季に確認のための実験を行う予定としている。

5) 30° と 45° 傾斜した屋根にエキスパンドメタルを 50cm

浮かせ、その上に単管パイプをグリッド配置した傾斜屋根型の通気融雪工法の効果確認実験

現状を見ると勾配屋根が圧倒的に多い。従って、急勾配屋根にエキスパンドメタルを 50cm 浮かせ、その上に単管パイプをグリッド状に組めば、ローコストな融雪装置の開発に繋がると期待できる。そこで、4) と平行して同様に効果確認実験を行う予定としている。

4. 考察

エキスパンドメタルには縦と横、表と裏、上と下がある。横・表・上を見て施工する必要がある。

エキスパンドメタルの目の大きさは 1cm 程度の小さいものから 10cm 程度の大きいものまで市販されている。どの程度の大きさのものが効果的であるか、最高積雪深との関連で更に検討する必要がある。

エキスパンドメタルは、二重屋根の上屋根材として使うのみならず、雪庇の防止ネットとしても使用できる。エキスパンドメタルは融雪水の表面張力のバランスが崩れる臨界角の 20° 以上傾斜させて使用する。

5cm 程度の目のエキスパンドメタル表面には雪の付着は良く、一瞬にして一面が白くなる。

新雪の降雪時にはエキスパンドメタルの目から雪が心太のような形で垂れ下がる現象が見られる。その雪は暖気の襲来と共に急速に融雪する。

雪がエキスパンドメタルの上に降り積もると、底面からの融雪は見られるが効率が落ちるので、約 1m 程度上に 90cm 程度のグリッド状に単管パイプを組み、雪を切り、ブロック化させ通気を確保する必要がある。

水平屋根の場合には鋸屋根状にエキスパンドメタルを傾斜させて設置することが考えられるが、20° 以上の急勾配屋根であればその勾配を利用した二重屋根とする方が経済的である。

二重屋根の支柱にはかなりの集中荷重がかかることになる。従って、棟に材を引っかけ下ろし、母屋または母屋と母屋の間でその集中荷重に耐えられる構造とする必要がある。

以上科研費基盤研究(B)(2)による研究の一部である。

参考文献

- 1) 深澤大輔：通気融雪工法に関する研究 - 降雪から融雪出水へ至る過程の解明 -、日本雪工学会 上信越支部論文報告集、第 1 号、pp35 ~ 38、2001 年。

通気融雪工法に関する研究 -

- エキスパンドメタルによる通気融雪工法の概要 -

Research Regarding a Ventilation Melting Snow Construction Method -

- Outline of the Ventilation Melting Snow Construction Method by Expand-Metal -

深澤 大輔*

Daisuke FUKAZAWA

はじめに

平成 13・14 年度の第 1 回と第 2 回上信越支部研究発表会で、「通気融雪工法に関する研究」と題し¹⁾と²⁾を報告した。本報告は、今までに行った一連の実験結果について整理し、エキスパンドメタルを使った通気融雪工法の概要についてまとめたものである。

1. 目的

これまでに「ベタ雪豪雪地帯では、厳寒期においても積雪表面において日射や風・気温・降雨などによって 90 %以上融雪している。」と述べてきたが、実際の屋根ではその融雪水が積雪層に滞留し、再凍結してしまうために雪荷重の低減はあまり期待できなかった。従って、本報告では、エキスパンドメタルをどのように設置した二重屋根構造とすればその融雪水を最大限効率的に抜くことができ、雪荷重を低減させることが可能となるか、これまでにやってきた様々な試行的な実験結果を整理し、その基本事項の整理をすることを目的とする。

2. 方法

栃尾市原町に建つ東西6m×南北5.4m、高さ約2mのコンクリート製の屋根をメインの実験建物とし、そこに隣接する庭をサブの実験場として、平成8年から14年まで毎年1月から3月にかけて、気温・湿度、風速・風向、日年度の射、積雪深・降雪深、融雪水量などを気象観測機器と人力を併用して計測してきた。

本報では、昭和47年に通気融雪工法を提案して以来行った実験も含め、最近行っているエキスパンドメタルを使った一連の結果を鳥瞰的な形で整理してみる。紙面の関係で詳細を示すことができないが、別の機会に報告書の形でまとめる予定でいる。

3. 結果

3-1 グリッド状の各種材料を水平に浮かせて行った融雪効果実験結果

北魚沼郡湯之谷村の奥只見丸山スキー場リフトのエキスパンドメタル製の点検足場から20cm程度垂れ下がった雪は、当初、金属のエキスパンドメタルに接する面の雪塊の自重の圧密によると考えられた。しかしながら、雪が締めり積もるとその底面から顕著に垂れ下がる現象は

見られなかった。そして、降雪期において気温が氷点下であっても -5 前後から凝結現象が見られることから、融雪水は出なくとも変態が進むための現象だと分かった。気温が低くてもこのように雪が垂れ下がり雪の表面積が何倍にも拡大すると、気温の上昇と共に融雪が促進されるため、この現象が出現する形状または材料は、融雪装置にとって大変効果的なものとなる。

しかしながら、実際にエキスパンドメタルを水平に張って見たところ、底面に保水され残った融雪水が夜間などに気温が下がると再凍結してしまい、悪循環に陥ってしまうことが分かった。

3-2 水抜きと屋根雪の安定的な固定方法など

通気融雪工法屋根をベタ雪豪雪地帯で考える場合、最大の技術的なポイントは融雪水が如何に効率よく抜ける構造とするかにある。これまで、雪渓底面の融雪形状の把握もあまりされて来なかった。実際は、ハマグリ貝形になっているが、何故かという追求は殆どされて来なかった。また、角度を付ければ融雪水は流出するが、その臨界角は何度か。その角度以上の屋根勾配にして屋根材を木材やルーフィング・鉄板などとした場合、雪塊はどの位の角度まで滑らずに傾斜面に安定的に留まることができるかなどの解明がなされてきていないといえる。

そこで、先ず、約 10cm × 30cm × 5cm 雪塊を水平と 45 °に放置して見たところ、写真 1 と 2 の如くとなった。

水平の場合には底面全体に 2 ~ 4cm 保水するのに対し、45 °傾斜させるとV字形をした底面に帯状に 2 ~



写真 1 雪塊を水平に置いた時の保水の様子 H12.6.18

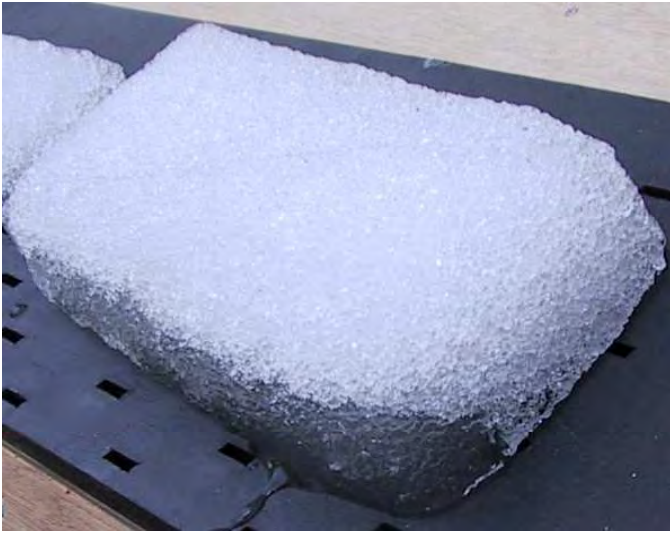


写真2 雪塊を45°傾斜させた時の保水の様子H12.6.18
4cm 保水するのみとなり、その量は、保水高(cm)/勾配
方向の屋根長さ(cm)と大幅に減少することが分かった。

雪塊を傾斜面に南面させ、冬季に日射を利用して融雪
の促進を計るためには、60°傾斜させるのが北緯37°
付近では望ましいが、その角度で雪塊を安定的に固定す
ることは難しい。実験して見ると、水の表面張力のバラ
ンスが崩れる臨界角度は20°程度であることが分かる。

以上から、融雪板を20°以上に傾斜させることが必
要であることと、なるべく多くの冬季における日射の確
保ができる屋根の角度として、取りあえず45°の勾配
の屋根とすることが望ましいと考えることとした。

3-3 融雪板を傾斜させ浮かせて行った融雪効果実験

ところで、屋根材は不燃または難燃材料でなければな
らない。そのため、砂付きルーフィングを巻き付けた木
板と鉄板、エキスパンドメタルを選び、45°傾斜させ
て検討してみた。前二者についての結果は割愛するが、
後者の結果は新雪時に写真3に示したような現象が見ら
れ、融雪に効果的であることが分かった。



写真3 エキパンドメタルから雪が垂れ下がった様子H14.2.16

鉄製のエキスパンドメタルは、傾斜させると、融雪水
が再凍結することはなかった。積雪深に対応した装置の
規模は、50年再現期待値積雪深と日最高積雪深やドカ
雪の継続期間を調べ、支柱の高さを1.0m・1.5m・2.0m
・2.5mと変えることで解決できる。

尚、この実験では単管パイプを60cm間隔で融雪装置
の頭を繋いで行った結果、これが雪をブロック状に切断
し、かなり雪が積もっても通気がその下で確保された。
また、積雪層内に単管パイプが埋没すると、その箇所か
ら空隙が拡大し、融雪を小促進する効果が期待できる。
今後、積雪深との関連でその適正規模と形状、ローコス
ト化等について更に検討する必要がある。

4. 考察

エキスパンドメタルには縦と横、表と裏、上と下があ
る。横・表・上を見て施工する必要がある。

エキスパンドメタルの目の大きさは1cm程度の小さ
いものから10cm程度の大きいものまで市販されてい
る。どの程度の大きさのものが効果的であるか、最高
積雪深との関連で更に検討する必要がある。

エキスパンドメタルは、二重屋根の上屋根材として使
うのみならず、雪庇の防止ネットとしても使用できる。
エキスパンドメタルは融雪水の表面張力のバランスが
崩れる臨界角の20°以上傾斜させて使用する。

新雪の降雪時にはエキスパンドメタルの目から雪が心
太のような形で垂れ下がる現象が見られる。その雪は
暖気の襲来と共に急速に融雪する。

雪がエキスパンドメタルの上に降り積もると、底面か
らの融雪は見られるが効率が落ちるので、約1m程度
上に90cm程度のグリッド状に単管パイプを組み、雪
を切り、ブロック化させ通気を確保する必要がある。
水平屋根の場合には鋸屋根状にエキスパンドメタルを
を傾斜させて設置することが考えられるが、20°以
上の急勾配屋根であればその勾配を利用した二重屋根
とする方が経済的である。

二重屋根の支柱にはかなりの集中荷重がかかること
になる。従って、棟に材を引っかけて下ろし、母屋ま
たは母屋と母屋の間でその集中荷重に耐えられる構造と
する必要がある。

以上科研費基盤研究(B)(2)による研究の一部である。

参考文献

- 1) 深澤大輔：通気融雪工法に関する研究 - 降雪から融雪
出水へ至る過程の解明 -、日本雪工学会 上信越支部論
文報告集、第1号、pp35～38、2001年。
- 2) 深澤大輔：通気融雪工法に関する研究 - エキパン
ドメタルによる融雪出水過程の解明 -、日本雪工学会 上
信越支部論文報告集、第2号、pp29～34、2002年。

はじめに

新潟県栃尾市原町において昭和 44(1969)年に実家を新築して以来、これまで色々な屋根形状の家を造り、その融雪効果について観察して来た。これまでの屋根雪処理技術の多くは、屋根雪に熱を加えることによって融かす方式が大部分であったが、本シリーズの目指す一連の実験研究は、北陸のベタ雪地帯を対象とし、建築デザイン的なアプローチを取るものである。

本報告ではこれまでに行ってきた一連の屋根における屋根雪処理のメカニズムとその効果について紹介し、通気融雪工法屋根の可能性について今後どのような展開が可能となるか、展望して見ることとしたい。

1. 60°の急勾配屋根による自然落下式屋根と融雪池 昭和 44(1969)年 10 月完成

(1) コンセプト

昭和 38(1963)年に三八豪雪に見舞われ栃尾の積雪は 428cm に達した。そのような豪雪年にも雪下ろしをしないで老夫婦で冬を過ごせる家とする。

昭和 36(1961)年 2 月 2 日の雪のある時に長岡地震(M5.2)、昭和 39(1964)年 6 月 16 日に新潟地震(M7.5)が発生した。このため、地震にも強い家とする。

上記の 条件を満たす家として、正三角形の家とし、落雪した屋根雪を融雪池で融かす。

60°の屋根勾配は、雪崩の発生する臨界角が 55°であることから、それ以上にすれば雪崩現象が発生しないという理由から採用した。

(2) 問題点

大量に落雪する屋根雪を融かすのに、融雪池の水を冬に確保するのが大変である。第 1 は水量が少なくなるため、思うように水が確保出来ない。第 2 はポンプの取水孔に取り付けたストレーナーが目詰まりするため、その清掃が 2 週間に 1 回程度必要となる。融かし切れなくなると軒先まで雪が堆積するため、その部分の雪切りを行ったり除排雪をする必要が生じる。このため、落下堆雪側の窓は閉め切りとなり、採光が出来ず、室内が暗くなった。

(3) 良かった点

屋根に登って雪下ろしをする危険が無くなった。

南北に大きな開口部を設けたため、冬でも明るい家となった。



写真 1 フロック雪崩現象が発生しない 60°の急勾配屋根



写真 2 落下堆積雪の融雪池と地震対策の丸太材

2. 複式折板式通気融雪工法

昭和 58(1983)年 12 月完成

(1) コンセプト

中越地域では「船柁(せいがい)造り」が雪荷重に耐える屋根として幕末期以降発達しているが、屋根構造に多くの費用が掛かっている。その雪荷重に耐えられ、費用を軽減出来るローコストな屋根工法として複式折板屋根を採用する。

ベタ雪豪雪地帯では、厳寒期においても屋根雪の表面において融雪が見られるが、その融雪水は下の積雪層に吸収され、夜間に再凍結するため、雪荷重は 3 月の融雪期に入るまで減少しない。複式折板屋根の空洞部分に通気を確保することで積雪層底面の融雪を計り、融雪水が素早く抜ける屋根形状とする。



写真 3 南北の複式折板の空洞に通気を確保した屋根



写真 4 複式折板屋根の上に単管で立体格子を組み柵状に金網で囲った様子



写真 5 複式折板屋根の上に単管で立体格子を組み斜材を入れて積雪層を不安定にした様子

(2) 問題点と改善点

五九豪雪(1984年)の時に雪庇が風下に発達したため、その切断作業をせざるを得なくなった。この問題解決のため、平成 14(2002)年に軒先に雪庇防止用

としてエキスパンションメタルを張り巡らした。融雪水が素早く抜けると期待される形状の折板をカタログで選定したが、その調達が鋼材問屋の思惑から上手く行かず、その後は費用の面から普通のものを採用せざるを得なくなった。

積雪層底面からの融雪方法では融雪能力に限界がある。そこで、積雪層上面からも融雪が可能なように平成 14(2002)年に軒先に単管を立体格子状(高さはその場所における平年積雪深を考慮して決める)に組み、金網で柵席状に西半分を区画し、東半分は単管を斜めに固定して融雪を促進する工夫を行った。

(3) 良かった点

五九豪雪(1984年)の時には1月の月平均気温が2も下がり地上積雪深は250cm(750km/m²)に達したが、屋根上積雪深は200cm(600km/m²)以下に収まった。雪が屋根の上に載っているため、豪雪年の割には建物が雪で覆われるような状況にはならなかった。平成 15(2003)年1~3月には、パラペットの部分に雪が積もってしまったが、軒先には雪庇の発達は見られなかった。

平成 15(2003)年1~3月には、西側の屋根雪は初め雪が単管に覆い被さり付着したが、時間の経過とともに小判形の饅頭のような形となって融雪が進んだ。東側は、雪の層の中に空洞が生じ、同様に融雪が促進された。両者ともに融雪の促進効果が認められたが、その優劣の判定には更なる観測が必要である。

3. ピラミッド型融雪工法屋根

平成 8(1996)年3月完成

(1) コンセプト

屋根雪はその雪表面で日射・気温・風・雨などの影響を受けて90%以上が融雪している。従って、屋根雪の表面で融雪した融雪水を上から下に抜いてしまえるようにピラミッド形の鉄板葺き屋根を並べる。ピラミッド形屋根の頭をプレースで繋ぐ。これによって、屋根相互を繋結するとともに、風が乱流となって雪表面に当たり易くし、そこに積もった雪が落ちたり、融けた滴が落ちることで雪切りを行う効果が期待できる。

軒の出は1.8mとし、雪囲いをしないで済むようにする。連続梁とする事により、梁部材の背が低くて済むため、ローコスト化が計れる。軒の出部分は、大きな水平力に耐えられるようにトラス構造とする。平成 7(1995)年1月17日に阪神大震災(M7.2)が起きたことから、雪が屋根上に載っている時に地震に襲われても大丈夫なように簡易免震工法を採用する。

(2) 問題点

ピラミッド形屋根の高さを栃尾市原町の平年積雪深と同じ157cmにしたが、暖冬少雪年が続いているため、V字形の谷の部分に積もった雪は屋根の陰になり、消えずに残ってしまう。

ルーフトレーン付近にゴミや土埃が堆積し、漏水の原因となるため、秋に掃除をする必要がある。

木部の接合部分に乾燥のため隙間が生じ、力の伝達が上手く行くかどうか怪しくなっている。

軒先に近い部分のピラミッド形屋根から積もった雪が午前10時前後に落下するため危険である。

(3) 良かった点

平成13(2000)年1月17日に地上積雪深が170cmに達した。この際、雪が屋根全体に被る形となったが、ブレース下部分に大きな空洞が発達し、数日の内に融雪が見える見る進み、その効果が確認された。

建物の周りに雪を落としたりしないため、3月の上旬には雪が無くなり、春が早く来る。

大きな屋根にも関わらずドカ雪が来ても雪下ろしをしなくても済むため、精神的に安心して住める。



写真6 ピラミッド形屋根の上部からの全体的な景観



写真7 1.8mの軒の出は雪囲いを不要とする経済設計

4. 急勾配二重屋根式の通気融雪工法

平成15年1~3月(効果実験実施)

(1) コンセプト

融雪期に屋根雪の底面を観察すると、ざらめ雪の層に2~4cm程度融雪水が毛管現象によって吸い上げられる様子が観測される。これを水平に持ち上げても水は表面張力の影響を受けて抜けないため、そのバランスを崩すため20°以上の急勾配とする。急勾配とすると屋根雪が下に滑り落ちてしまうため、二重屋根の上の屋根材を雪が引っかかって落ち難いエキスパンドメタルとする。

屋根雪が地層の如く安定した状態となると屋根表面の融雪水は途中で滞留して夜間に再凍結してしまうため、雪を金網で柵状に切るか、斜材を入れて空隙が出来るようにして、積雪層を不安定構造とする。軒先の巻き垂れの防止と、けら場の雪庇防止のためにエキスパンドメタルを外周に垂直に固定する。

(2) 問題点

既存の20°以上の勾配屋根にこのような融雪装置を載せるためには、支柱を母屋に載せ雪荷重に耐えられるようにする必要がある。

新設建物の場合には、小屋組を融雪装置として活用しローコスト化を狙う必要があるが、その融雪水ないし雨の処理についての検討が必要である。

小屋組のスケールとその地点における平年積雪深とは必ずしも平行ではない。最高値を設定して高さを決めると高価なものとなることが危惧される。降雪日が続くと融雪水の出が止まってしまう。安全を確保するために耐雪力を十分に取る必要がある。

(3) 良かった点

屋根雪はモチ網の上で膨らんだモチのような形となるため、融雪が期待通りに促進される。

雪が落下しないため、建物の周りでも安心である。



写真8 車庫の屋根に設置した30°と45°の実験屋根



写真 9 桁状に金網で仕切った部分(左)と斜材を入れた部分(右)

5. 小屋組構造が屋根の上に見える建物の実例 雪対策のためのデザインでは無いが以下実例を示す。



例 1: オランダ ドウイベンデウレヒト駅舎の屋根
ピーター キルズドンク設計 出展：現代の駅



例 2: イギリス ロンドン ウォータールー駅 1993 年
ニコラス グリムショウ設計 出展：構造・空間・外装

6. 通気融雪工法に関するまとめと考察

(1) 通気融雪工法の設計の要点

日射・気温・通風・雨などの自然エネルギーを融雪エネルギーとして最大限に活用する。

屋根雪が成層構造にならないように斜材を設置するが、桁状に雪切りを行って通気を確保し、雪表面積が大きくなるようにする。

屋根雪は表面で殆ど融けているので、その上部における融雪水を再凍結させずに排水できる屋根とする。飽和状態に保水されている融雪水の表面張力のバランスを崩すために雪底面の角度は 20° 以上とする。降雪日には融雪出水はストップする。これを無理して熱を加えて出すようにすると悪循環に陥る。

その場所における 1 月の月平均気温が 0 以上で、過去最大積雪深が $1 \sim 4\text{m}$ 未満が成立可能地域である。地域の降雪の特性を考慮して安全側となる耐雪力を把握して克雪性能を決定する必要がある。

(2) ベタ雪地帯における種々の自然融雪屋根の可能性規模により、以下のようなタイプを採用することによってローコスト化が計れると期待される。

水平屋根の住宅の場合には、複式折板による通気融雪工法とする。

急勾配屋根の住宅の場合には、二重屋根による通気融雪工法とする。

体育館やスーパーマーケット・駅舎などの大規模建築物の場合には、立体トラス又は吊り構造屋根とし、その小屋組ないし構造部材を自然融雪装置とする。

7. おわりに

これまでの発想では、「融雪 = 加熱」と考えられてきた。しかしながら、そのようなエネルギー多消費型で大量に温暖化ガス CO_2 を発生するような屋根雪処理技術の開発は、今後、推奨出来ない。

本報告で述べたように「積雪層に滞留してしまう量が最小限となるように屋根面を傾斜させ、自然エネルギーによって雪が融けたら再凍結させずに排水出来るように工夫する。」ことで、屋根雪荷重の低減を計ろうとする試みは、未だ普及しているとは言えない。又、その技術は必ずしも確立できたと言う訳でもない。しかしながら、21 世紀を迎えた現在、多雪地帯における合理的な建築設計の仕方を追究して行くことで、豊かで文化的な雪国を創っていけるものと期待される。

この一連の研究は、科学研究費補助金基盤研究(B)(2)によって行ったものの一部である。今回はその実験データについては掲載していないが、別途、報告書としてまとめる予定である。

通気融雪工法に関する研究 -
- 屋根勾配 0° 30° 45° の場合 -
Research Regarding the Ventilation Melting Snow Construction Method -
- Case of Roof slope 0° 30° and 45° -

深澤大輔*1

FUKAZAWA Daisuke

はじめに

新潟県栃尾市原町において平成 15 年 1~2 月末にかけて通気融雪工法の屋根勾配を 0° 30° 45° とする実験装置を作成した。本報ではその融雪装置の概要を述べ、それらの適用の仕方について考察を行う。

1. 屋根勾配 0° の場合

昭和 58(1983)年 12 月完成、平成 14 年 8 月改良

(1) コンセプト

中越地域では「船桧(せいがい)造り」が雪荷重に耐える屋根として幕末期以降発達しているが、屋根構造に多くの費用が掛かっている。その雪荷重に耐えられ、費用を軽減出来るローコストな屋根工法として複式折板屋根を採用する。

ベタ雪豪雪地帯では、厳寒期においても屋根雪の表面において融雪が見られるが、その融雪水は下の積雪層に吸収され、夜間に再凍結するため、雪荷重は 3 月の融雪期に入るまで減少しない。複式折板屋根の空洞部分に通気を確認することで積雪層底面の融雪を計り、融雪水が素早く抜ける屋根形状とする。

(2) 問題点と改善点

五九豪雪(1984 年)の時に雪庇が風下に発達したため、その切断作業をせざるを得なくなった。この問題解決のため、平成 14(2002)年に軒先に雪庇防止用としてエキスパンションメタルを張り巡らした。

融雪水が素早く抜けると期待される形状の折板をカタログで選定したが、その調達が鋼材問屋の思惑から上手く行かず、その後は費用の面から普通のものを採用せざるを得なくなった。

積雪層底面からの融雪方法では融雪能力に限界がある。そこで、積雪層上面からも融雪が可能ないように平成 14(2002)年に軒先に単管を立体格子状(高さはその場所における平年積雪深を考慮して決める)に組み、金網で柵席状に西半分を区画し、東半分は単管を斜めに固定して融雪を促進する工夫を行った。(写真 1・2 参照)

(3) 良かった点

五九豪雪(1984 年)の時には 1 月の月平均気温が 2 も下がり地上積雪深は 250cm(750km/m²)に達したが、屋根上積雪深は 200cm(600km/m²)以下に収まった。

雪が屋根の上に乗っているの、豪雪年の割には建物



写真 1 複式折板屋根の上に単管で立体格子を組み柵席状に金網で囲った様子



写真 2 複式折板屋根の上に単管で立体格子を組み斜材を入れて積雪層を不安定にした様子

が雪で覆われるような状況にはならなかった。

平成 15(2003)年 1~3 月には、パラペットの部分に雪が積もってしまったが、軒先には雪庇の発達は見られなかった。

平成 15(2003)年 1~3 月には、西側の屋根雪は初め雪が単管に覆い被さり付着したが、時間の経過とともに小判形の饅頭のような形となって融雪が進んだ。東側は、雪の層の中に空洞が生じ、同様に融雪が促進された。両者ともに融雪の促進効果が認められたが、その優劣の判定は今回の観測結果からでは難しかった。

今後、融雪データを取り、比較して見る必要がある。

*1 新潟工科大学

2. 屋根勾配 30°と45°の場合

平成15年1~3月(効果実験実施)

(1) コンセプト

融雪期に屋根雪の底面を観察すると、ざらめ雪の層に2~4cm程度融雪水が毛管現象によって吸い上げられる様子が観測される。これを水平に持ち上げても水は表面張力の影響を受けて抜けない。従って、そのバランスを崩すためには20°以上の急勾配とする必要がある。急勾配とすると屋根雪が下に滑り落ちてしまうため、二重屋根の上の屋根材を雪が引っかかって落ち難いエキスパンドメタルとする。

屋根雪が地層の如く安定した状態となると屋根表面の融雪水は途中で滞留して夜間に再凍結してしまうため、雪を金網で柵状に切るか、斜材を入れて空隙が出来るようにして、積雪層を不安定構造とする。

軒先の巻き垂れの防止と、けら場の雪庇防止のためにエキスパンドメタルを外周に垂直に固定する。

(2) 問題点

既存の20°以上の勾配屋根にこのような融雪装置を載せるためには、支柱を母屋に載せ雪荷重に耐えられるようにする必要がある。

新設建物の場合には、小屋組を融雪装置として活用しローコスト化を狙う必要があるが、その融雪水ないし雨の処理方法について更に検討する必要がある。

小屋組のスケールとその地点における平年積雪深とは必ずしも平行ではない。最高値を設定して高さを決めると高価なものとなることが危惧される。

降雪日が続くと融雪水が止まってしまう。多雪地で安全を確保するためには耐雪力を十分に取る必要がある。

(3) 良かった点

屋根雪はモチ網の上で膨らんだモチのような形となるため、融雪が期待通りに促進された。

雪が落下しないため、建物の周りでも安心である。

3. 通気融雪工法に関するまとめと考察

(1) 通気融雪工法の設計の要点

日射・気温・通風・雨などの自然エネルギーを融雪エネルギーとして最大限に活用する。

屋根雪が成層構造にならないように斜材を設置するか、柵状に雪切りを行って通気を確保し、雪表面積が大きくなるようにする。

屋根雪は表面で殆ど融けているので、その上部における融雪水を再凍結させずに排水できる屋根とする。

和状態に保水されている融雪水の表面張力のバランスを崩すために雪底面の角度を20°以上とする。

降雪日には融雪出水はストップする。これを無理して熱を加えて出すと再凍結してしまい、悪循環に陥る。



写真3 車庫の屋根に設置した30°と45°の実験屋根

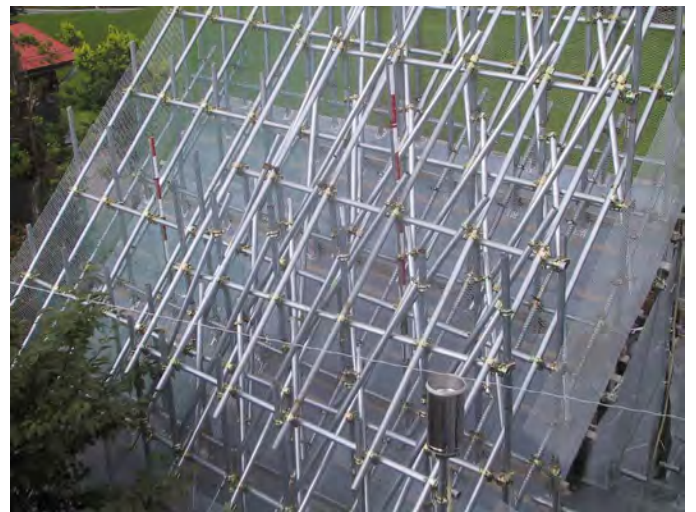


写真4 柵状に金網で仕切った部分(左)と斜材を入れた部分(右)

その場所における1月の月平均気温が0°以上で、過去最大積雪深が1~4m未達が成立可能地域である。

地域の降雪の特性を考慮して安全側となる耐雪力を把握して克雪性能を決定する必要がある。

(2) ベタ雪地帯における種々の自然融雪屋根の可能性

規模により、以下のようなタイプを採用することによってローコスト化が計れる。

屋根勾配0°の水平屋根の住宅の場合には、複式折板による通気融雪工法とする。

屋根勾配30°ないし45°の急勾配屋根を持つ住宅の場合には、二重屋根による通気融雪工法とする。

4. おわりに

これまでの発想では、「融雪=加熱」と考えられてきた。しかしながら、そのようなエネルギー多消費型で大量に温暖化ガスCO₂を発生するような屋根雪処理技術の開発は、今後、推奨出来ない。

引き続きで、平成15年1月から2月末における通気融雪工法屋根の実験データの解析結果について述べる。

以上は科研費基盤研究(B)(2)による成果の一部である。

通気融雪工法に関する研究 -
 - 45 度勾配二重屋根式の融雪効果実験 -

Research Regarding the Ventilation Melting Snow Construction Method -
 - Experiments of Melting Snow Effect on a Double Style 45 ° Slope Roof -

深澤たまき*1 深澤大輔*2 須永修通*1

FUKAZAWA Tamaki, FUKAZAWA Daisuke, SUNAGA Nobuyuki

1.はじめに

前報 では新潟県栃尾市原町における平成 15 年 1 月～2 月末にかけて通気融雪工法の屋根勾配 0°・30°・45°の概要を述べ、それらの適用の仕方について考察を行った。今まで融雪工法屋根の必要性、有効性は論じてきたが、実際にどれくらい有効なのかということは未だわかっていない。これからの融雪工法屋根の普及のためにはその有効性を定量的に示す必要がある。そこで、本報 では前報で報告した 45 度勾配二重屋根式通気融雪工法の効果実験データを解析する。また、本研究で通気融雪工法屋根を解析する上で、この装置がどのような要因により融雪されるのかを明らかにすることを目標としている。

2.実験屋根概要

2.1 対象 前報 の 2. に記されている 45 度勾配二重屋根式通気融雪工法を対象とした。図 2 に記す桁上に金網で仕切った南側を金網桁状型、斜め材を入れた北側を単管斜材型として解析した。各工法の概念図を図 2・3 に示す。

2.2 計測概要 外気温（含最高・最低）相対湿度、全天日射量、風向・風速、融雪板表面温度、コンクリート壁表面温度のデータを図 4・5・6・7 の各種計測機器を設置してデータを収集した。手作業により 9 時・16 時の天候・雪質、積雪深・日降雪深、降雪量・融雪水量データを収集した。また降雪量・降雨量は、実測地と約 200[m]離れた栃尾気象観測所のアメダス降水量データと 8 mmビデオによる比較によって分けている。

3.実測結果の考察

3.1 融雪水量の補正 今回、融雪水量が雨雪量計によって測れなかったため手作業による測定データに頼ることとした。最高値 60[l]とした測定をしたため、それ以上融雪水が出た時と、雨水が混ざって融雪水として出てきた時は補正する必要があった。図 8 の補正方法で補正し、写真・ビデオデータとほぼ一致するデータを得た。以下、この補正データを用いて検討した。

3.2 融雪水量 図 9 に 9 時と 16 時の融雪水量を示す。9 時データは前日の 16 時から当日 9 時まで、16 時データは当日 9 時から 16 時までに出た融雪水量のことである。つまり、9 時データは夜の融雪水量、16 時データは昼の融雪水量といえる。金網桁状型の融雪水量は 9 時:2.24[kg/(m²・day)]、16 時:3.68[kg/(m²・day)]、単



図 1: 45°勾配二重屋根式通気融雪工法

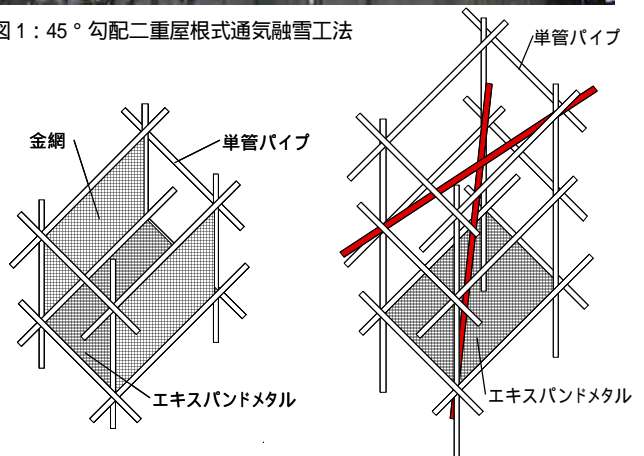


図 2: 金網桁状型の構造模式図

図 3: 単管斜材型の構造模式図



図 4: 全天候型日射計 図 5: 超音波風向風速計 図 6: 雨雪量計 図 7: 熱電対

1. 写真・ビデオによる屋根上積雪量の確認
2. 降雨量を差し引く
3. 補正
4. 屋根上積雪残量と比較検討

図 8: 補正方法

*1 東京都立大学大学院 *2 新潟工科大学

管斜材型は9時:2.66[kg/(m²·day)]、16時:3.26[kg/(m²·day)]である。昼の方が融けるが、夜も十分融けることが明らかになった。この装置で期待できる一日の平均融雪水量は約6[kg/(m²·day)]はあることもわかる。

3.3 融雪水量と外環境 図10に一日の外気温(最高・平均・最低)と日射量、融雪水量との関係を示す。この地域の平均気温は-1[]から6[]、積算日射量の平均値は1.75[kW/m²]を示す。平均気温がマイナスとなる日でも融雪水が出ている。また、図11に外気温変動と降雪量、降雨量と融雪水量の関係を示す。雪が20[cm]程度積もるときの融雪水は出ない。この時点で屋根雪があまり残っていないこと、寒波の影響による気温低下、日射量減少なども影響し、また融雪エネルギーが積雪層に吸収されてしまうことが原因と考えられる。

3.2 融雪水量と外環境 図12に累計降雪重量と融雪水量から換算した屋根上積雪重量(積雪重量を換算することが難しいため)、積雪深と降雪重量、累計降雪重量と示した。屋根雪重量は降雪重量から融雪重量を差し引いたものである。屋根上の雪は根雪期間中5回消えている。降雪時には庭と同様に積雪していくが、消えだすと早い。次の寒波が押し寄せて雪が降る前に雪山が消えるために雪が積もらないといえる。最終的には地上と屋根上の積雪深は50[cm]以上の差になった。

4.まとめ

今回データを解析をして、以下のことが明らかになった。1) この装置で一日の平均融雪水量は約6[kg/(m²·day)]は期待できる。2) 平均外気温がマイナスの日でも融雪される。3) 雪が20[cm]程度積もるときの融雪水は出ない。4) 庭の積雪深と屋根積雪深は50[cm]以上の差が出る。5) 最大積雪重量は、地上は約250[kg/m²]であったのに対し、屋根上は約90[kg/m²]におさまった。しかし、アメダスデータと実際の降雪量・時間の誤差が大きく、融雪水と雨水とのデータ判別が難しい。また、雪の状態を判別しにくい、積雪時の計測が困難などの実測上の問題もある。今後、よりよい実測を行い解析を進め、どのような要因により融雪されているか、どのような地域にはどれくらい対応できるのかなどを明らかにする必要がある。

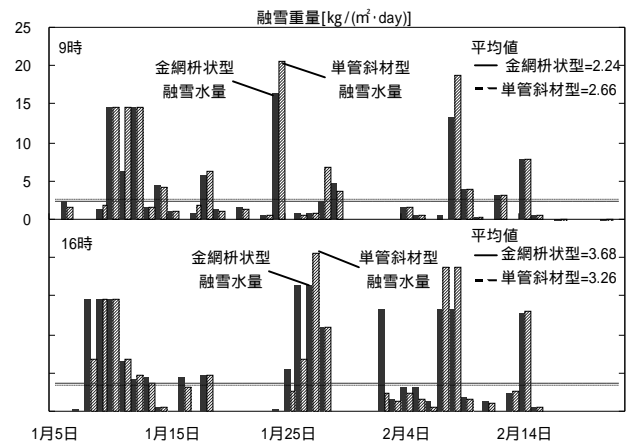


図9: 時間別融雪水量(補正データ)

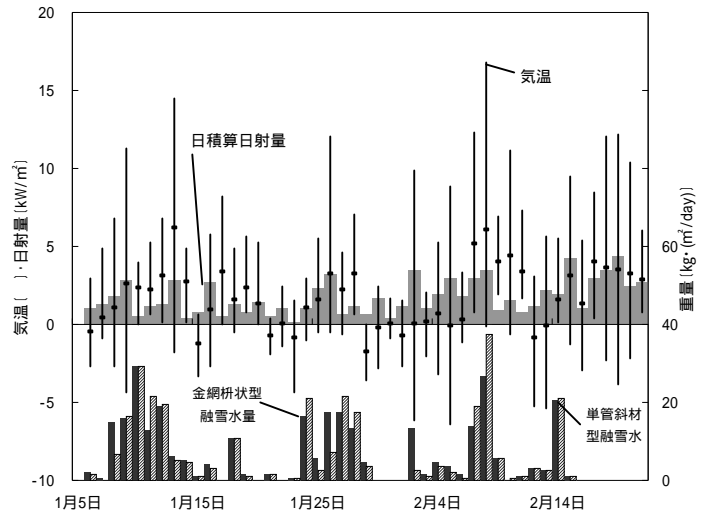


図10: 外気温(最高・平均・最低)と日射量、融雪水量との関係

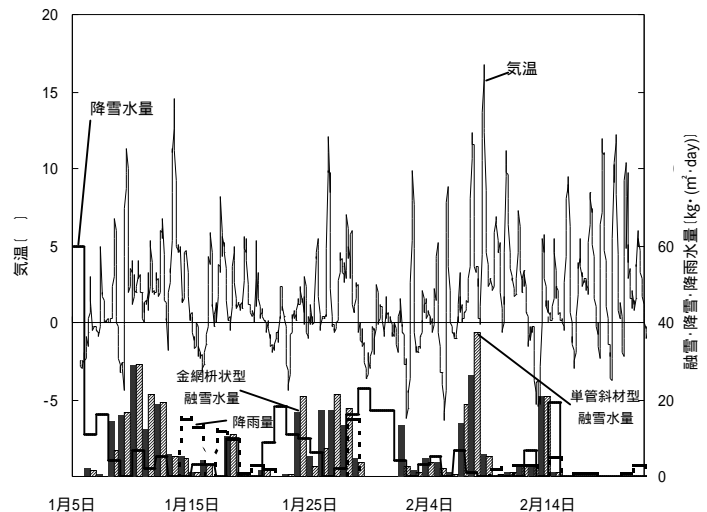


図11: 外気温変動と降雪量、降雨量と融雪水量の関係

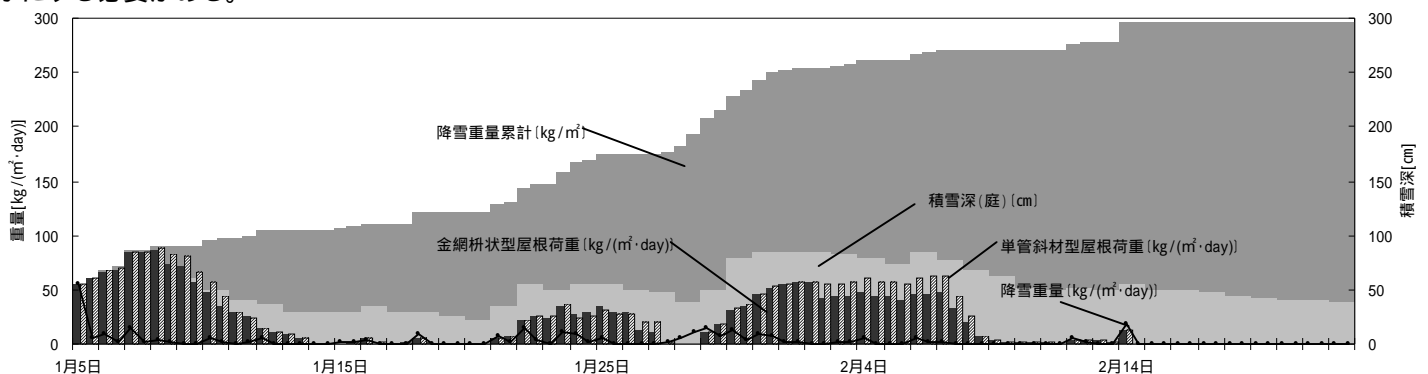


図12: 積雪重量比較(屋根上積雪重量・降雪重量・累計降雪重量・積雪深)

通気融雪工法屋根に関する研究

学生員 深澤 たまき (東京都立大学大学院)
会員 須永 修通 (東京都立大学大学院)

深澤 大輔 (新潟工科大学)

Research Regarding the Ventilation Melting Snow Construction Method

Tamaki FUKAZAWA*¹, Daisuke FUKAZAWA*²
Nobuyuki SUNAGA*¹

* 1 Tokyo Metropolitan University Graduate School of
Engineering, Dept. of Architecture
1-1 Minami-osawa, Hachioji, Tokyo, 192-0397, JAPAN
Fax: +81-(0)426-77-2793

E-mail: hukazawa-tamaki@c.metro-u.ac.jp

* 2 Niigata Institute of Technology

ABSTRACT

The Hokuriku district is heaviest snowfall area in the world. Disposition of snow on the roof have been an important social problem. So, Daisuke Fukazawa has proposed the Ventilation Melting Snow Construction Method for 2001. Consequently, he made the Ventilation Melting Snow Construction Method on a Double Style 45° Slope Roof in 2003.

In this paper the outline of this construction and the analyses were illustrated and the effects of these constructions were cleared. Then, mechanisms and causes of melting snow and suitable materials were cleared by these analyses. Hereafter, there is the necessity of these constructions can be adapted to other district and quality.

キーワード: 通気融雪工法、自然エネルギー利用

Keywords: the Ventilation Melting Snow Construction Method, use of nature energy

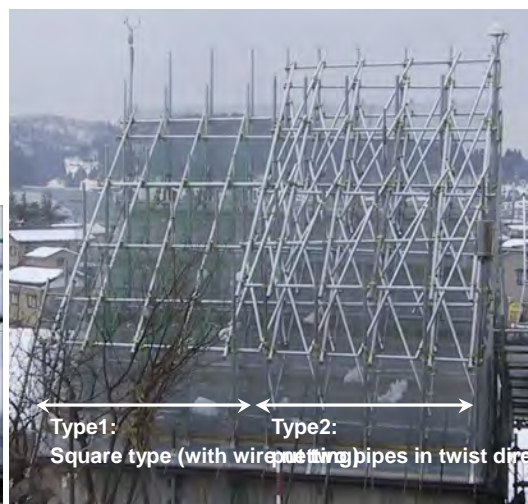
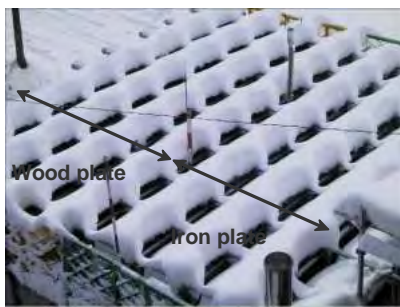
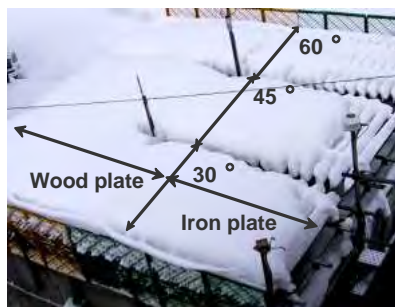


Fig1 2001 : The ventilation melting snow construction method

Fig2 2002 : The ventilation melting snow construction method

Fig3 2003 : The ventilation melting snow construction method

1. はじめに

北陸地方は世界一の豪雪地帯である。可住地に毎年大量の降雪が繰り返され、その処理が重要な社会問題となっている。今まで融雪工法屋根の必要性、有効性は論じられてきたが、実際にどれくらい有効なのかは未だ明確ではない。今後の通気融雪工法屋根の普及のためにその有効性を定量的に示す必要がある。

そこで筆者の一人深澤大輔は、新潟県栃尾市原町において 2001 年から融雪工法屋根を提案し、実測を行ってきた。2001 年には、30°・45°・60°に傾斜させた木製と鉄板製の融雪板による融雪実験を行い(図 1)、傾斜は 60°・45°・30°、材質は鉄板製・木製の順に効果があることを示した¹⁾。2002 年には、45°傾斜させた木製融雪板 4 枚スリット配置形とエキスパンドメタルによる融雪実験を行い(図 2)、鉄製のエキスパンドメタルでも融雪水が再凍結せず、木製の融雪板より効果的であること、また、単管パイプで融雪装置の頭を繋いでいたために雪をブロック状に切断し、雪が積もっても通気がその下で確保でき、その箇所から空隙が拡大して雪切り効果が期待できることを示した²⁾。これらの結果を踏まえ、2003 年には、急勾配二重屋根式の通気融雪工法として 45°勾配の屋根に単管パイプを組み立て、金網柵状型(Type1) と単管斜材型 (Type2)による融雪実験を行った(図 3)⁵⁾⁶⁾。

本報ではこの 2003 年に行った 45°勾配二重屋根式通気融雪工法の実験解析結果を示し、この装置が融雪を促進している要因を明らかにする。

2. 実験概要

2.1 実験施設 実験は新潟県栃尾市原町にある車庫に45°勾配二重屋根式通気融雪工法屋根を設置して行った。実測解析期間は2003年1~2月で、図3の桁上に金網で仕切った南側を金網桁状型(Type1)、斜めに単管を入れた北側を単管斜材型 (Type2)として解析した。

Type1、Type2の構造模式図を図4、図5に記す。

2.2 計測概要 外気温(含最高・最低)、相対湿度、全天日射量、風向・風速、単管パイプ表面温度、コンクリート壁表面温度のデータを図6・7・8・9の各種計測機器を設置してデータを収集した。また、手作業により9時・16時の天候・雪質、積雪深・日降雪深、降雪深・融雪水量データを収集した。また降水量については、実測地と約200[m]離れた栃尾気象観測所のアメダスデータと8mmビデオによる比較によって時間ごとに降雪量と降雨量とに分類した。

2.3 実測地の気候 実測期間中における実測地の気候を図10に記す。期間平均気温は1.72[°C]、期間最低気温、最高気温は-6.4[°C]、16.8[°C]である。また、期間平均日積算日射量は1.75[kW/m²]であり、最高日積雪量は31[cm]であった。

3. 実測結果の考察

3.1 融雪水量の補正 融雪水量が雨量計によって測れなかったため、手動で測定した。また、この手動測定では最高値60[l]として測定したため、それ以上融雪水が出た時と、雨水が混ざって融雪水として出てきた時に補正する必要があった。そこで図11の補正方法を繰り返し、写真・ビデオデータとほぼ一致するデータを得た。以下、この補正データをもとに検討した。

3.2 融雪水量 図12に9時と16時の融雪水量を示す。9時データは前日の16時から当日9時までに出了た夜間の融雪水量、16時データは当日9時から16時までに出了た昼間の融雪水量とした。屋根上に積雪がある時の平均融雪水量は Type1 の夜間:2.87[kg/(m²·day)]、昼間:4.89[kg/(m²·day)]、Type2 の夜間:3.43[kg/(m²·day)]、昼間:4.46[kg/(m²·day)]であった。また最高融雪水量は Type1 は16.32[kg/(m²·day)] Type2 は20.69[kg/(m²·day)]であった。この装置で期待できる一日の平均融雪

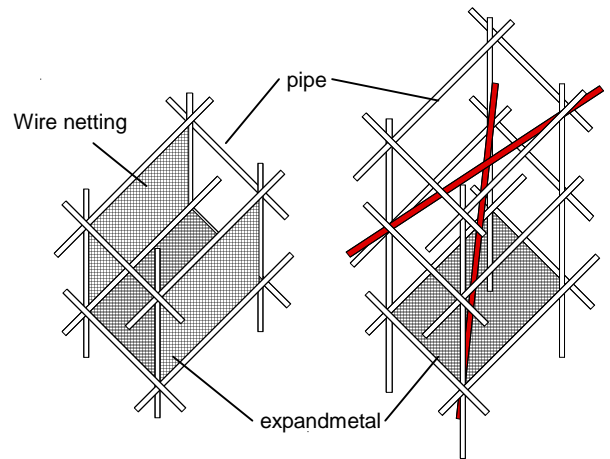


Fig4 Construction of Type1

Fig5 Construction of Type2



Fig6 Pyranometer (all-weather)

Fig7 Pyranometer

Fig8 Pluviometer

Fig9 Thermocouple

1. Confirmation of quantities of snowfall on the roof by pictures and videos
2. Results minus quantities of rainfall
3. Correct results
4. Comparison and examination of quantities of snowfall on the roof

Fig11 How to correct

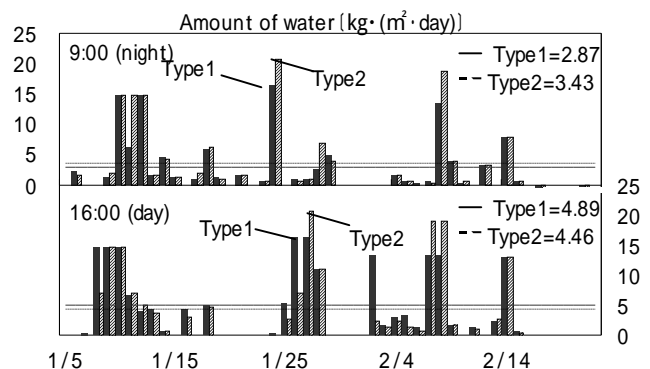


Fig12 Amount of water (melting snow)

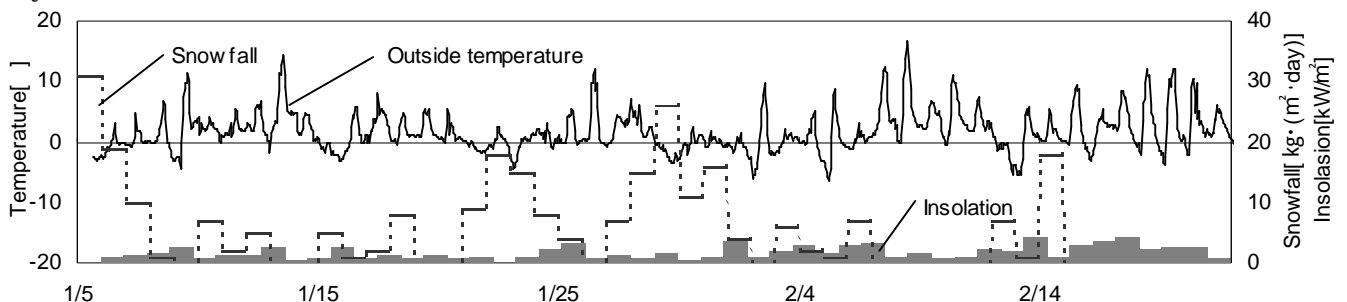


Fig10 Natural surroundings

水量は Type1、 Type2 とともに約 7.8[kg/(m²・day)]あることがわかった。また、昼と夜の融雪水量を比較すると、昼間の方がより融雪されるが、気温の下がる夜間も十分融雪されていることが明らかになった。

3.3 融雪水量と外環境 図 13 に一日の外気温(最高・平均・最低)と日射量、融雪水量との関係を示す。平均気温がマイナスとなる日でも融雪水が出ていることがわかる。融雪水量は最低気温の変動にあまり左右されていないようにみうけられる。気温が急激に下がる日はたいてい晴れの日で、放射冷却の影響により一時気温が下がるが最高気温も高くなるからである。日射量に関しては、全体的に少なくここではあまり関係がつかめず、日射量が多いと必ず融雪が進むとはいえない。また、図 14 に外気温変動と降雪量、融雪水量の関係を示す。雪が 15[cm]程度降雪するような時には融雪水は出ていない。これは次の雪が降る前に屋根雪がほとんど消えていること、寒波の影響による気温低下、日射量減少なども影響し、また融雪熱量が積雪層に吸収されてしまうことが原因と考えられる。また、気温変動に着目してみると、気温が一度零下に下がり気温が上昇しだすと融雪が始まっていることがわかる。このような観察結果から 2001 年・2002 年と材質が木製

のものより金属製のものの方が融雪効果が高かったのは、金属の熱しやすく冷めやすいという性質が融雪装置に影響していると考えられる。

3.4 積雪重量比較 図 15 に積雪深、降雪重量、降雪重量累計、降雪重量累計から融雪水量から差し引いた屋根上積雪重量(積雪重量を換算することが難しいため)を重ねて表示した。Type1 と Type2 の屋根雪荷重を見ると最終消雪に違いは観られないが、Type1の方がコンスタントに消えていて豪雪時に有利と考えられる。屋根上の装置荷重を考慮しても Type1の方が適しているといえる。地上の雪が常にある根雪期間中、屋根上の雪は 5 回完全に消えている。寒波が上空にある降雪時には地上と同様に積雪していくが、消えだすと早い。次の寒波が押し寄せて雪が降る前に屋根雪が消えるために根雪とならず、そのため雪が積もらないといえる。2003 年は 2 月 14 日に地上は積雪深 50[cm]あるが屋根上の雪は完全に消えている。また、降雪重量累計に着目すると、地上は最大積雪重量が約 300[kg/m²]であったのに対し、屋根上は約 90[kg/m²]におさまっている。2003 年は豪雪年とはいえないが、地上の積雪量に対してこれだけの差が出たことは通気融雪工法屋根の効果は大きいといえる。

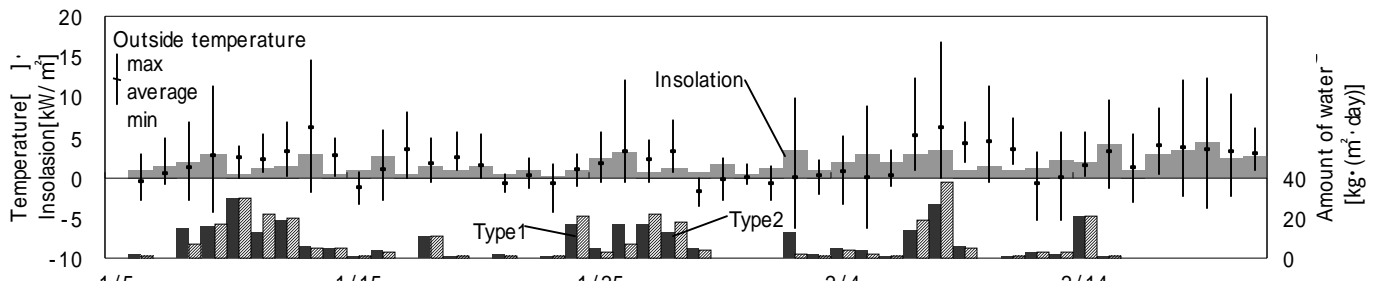


Fig13 Relation between outside temperature(max, average, min), Insolation and amount of water(melting snow)

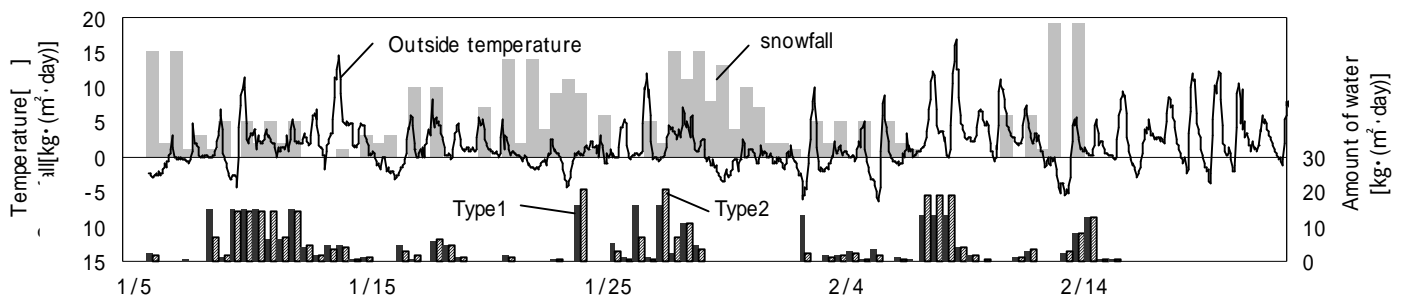


Fig14 Relation between wave of outside temperature, snowfall and amount of water(melting snow)

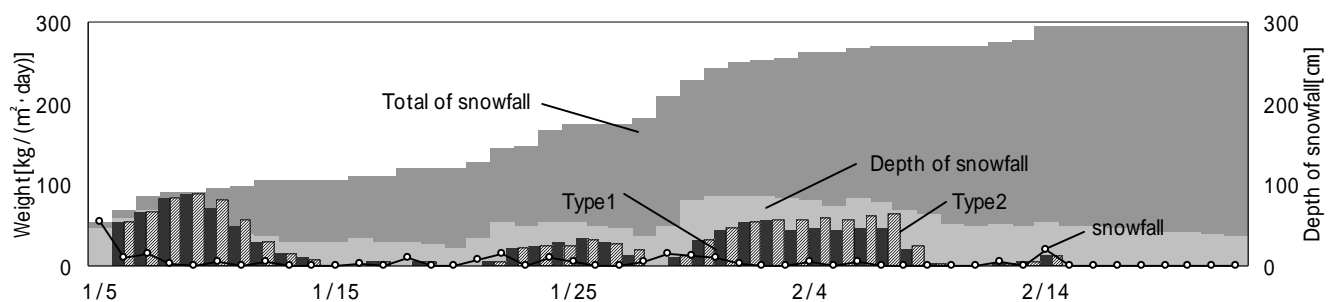


Fig15 : comparison of snow weight

3.5 融雪水量と外環境の関係 図 16 に各時間内平均外気温に対する融雪水出水日数の頻度分布と平均出水水量と関係を示す。出水日数は 1[]の 때가最も多く、14 日間である。さらに-3[]から 6[]の低い気温の間に何回も出水している。昼間に期間平均気温 1.72[]のとき約 60%の確率で Type1 は 2.41[kg/(m²・day)]、Type2 は 2.92[kg/(m²・day)] 出水するといえる。図 17 に各時間内積算日射量に対する融雪水出水日数の頻度分布と出水水量との関係を示す。出水日数は 0.2[kW/m²]の 때가最も多く、19 日間である。昼間に期間日積算日射量 1.75[kW/m²]のとき約 50%の確率で Type1 は 5.22[kg/(m²・day)] 出水されるといえる。Type2 についてはばらつきが大きすぎる。図 16・17 とともに夜間と昼間を比べると夜間の方が気温に対する効率がいい。これは融雪されてから出水されるまでの時間差があるためだと考えられる。図 18 に積雪深に対する融雪水量の出水量の頻度分布と出水量の散布図を示す。相関しているとはいいがたいが、屋根雪が深いときは融雪水量が少なくなっていることが予想できる。屋根雪が深くなると表面で融雪が起こっても出水されずに途中で止まってしまうためと考えられる。出水はしないが融雪水が雪の状態を変化させていることが予想される。

4.まとめ

2003 年の実験解析から、通気融雪工法屋根について以下のことが明らかになった。1) この装置で一日の平均融雪水量は Type1、Type2 とともに約 7.8[kg/(m²・day)]期待できる。2) 平均外気温がマイナスの日でも融雪されている。3) 降雪が 15[cm]程度になる融雪水は出ない。4) 気温が一度零下に下がり気温が上昇しだすと融雪が始まっている。5) Type1 の方が Type2 よりコンスタントに融雪している。6) 地上の積雪深と屋根積雪深は 50[cm]以上の差が出る。7) 最大積雪重量は地上で約 300[kg/m²]であったのに対し、屋根上では約 90[kg/m²]におさまった。8) 外気温が低い時、日射量の少ない時にでも融雪が進んでいる。

しかし、融雪水と雨水とのデータ判別はアメダスデータと実際の降雪量・時間の誤差が大きく難しい。また、雪の状態変化を何をもって判別するか、積雪時の計測が困難などの実測上の問題もある。また、積雪深 4[m]を超すような豪雪年にこの融雪装置に期待する性能は 12[kg/(m²・day)]であり、この装置で期待値に及んではない。今後、何に影響されて融雪が促進されるのかをより細かく検討を行い、適した材料・構造を検討する必要がある。また、実用化するためには様々な地域のそれぞれの雪に対してどの程度対応できるのかななどを明らかにしていく必要がある。

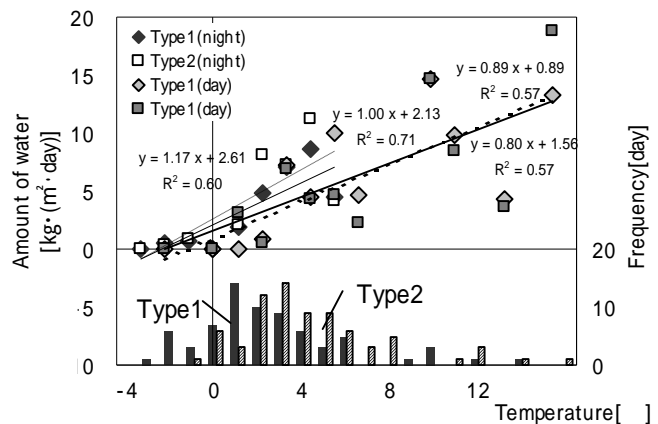


Fig16 Frequency and correlation(Relation between outside temperature and amount of water)

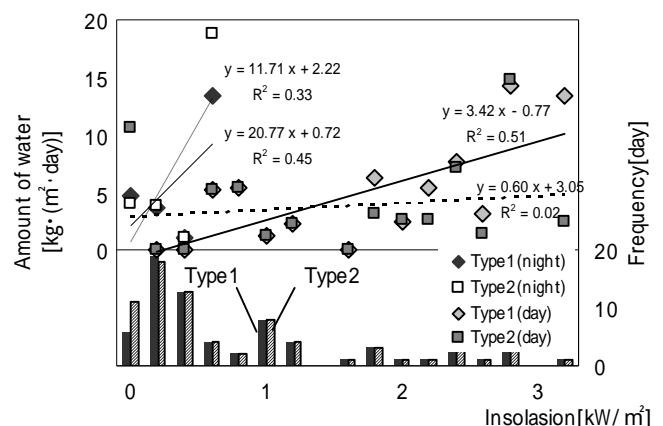


Fig17 Frequency and correlation(Relation between insolation and amount of water)

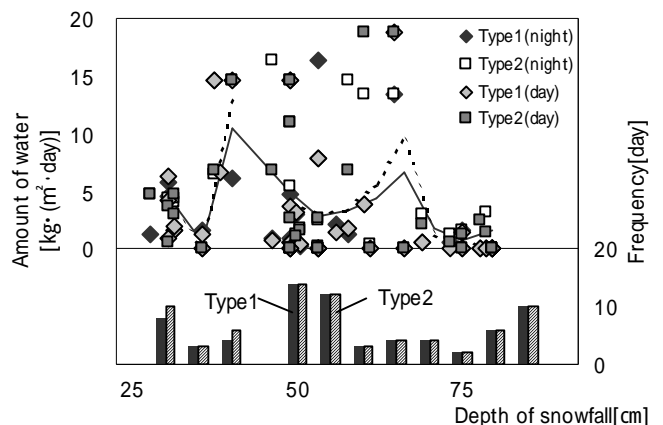


Fig18 Frequency and correlation(Relation between depth of snowfall and amount of water)

参考文献

- 1) 通気融雪工法に関する研究 -降雪から融雪出水へ至る過程の解明 日本雪工学会上信越支部論文報告集 第 1 号 pp35-38 深澤大輔
- 2) 通気融雪工法に関する研究 - エキスパンドメタルによる融雪出水過程の解明 日本雪工学会上信越支部論文報告集 第 2 号 pp29-34 深澤大輔
- 3) 通気融雪工法に関する研究 - エキスパンドメタルによる通気融雪工法の概要 日本雪工学会誌 18 刊第 4 号 pp73-74 深澤大輔
- 4) 通気融雪工法に関する研究 - 屋根デザインに関する事例的検討 日本雪工学会上信越支部論文報告集 第 3 号 pp19-22 深澤大輔
- 5) 通気融雪工法に関する研究 - 屋根勾配 0° 30° 45° の場合 - 深澤大輔
- 6) 通気融雪工法に関する研究 - 45 度勾配二重屋根式の融雪効果実験 - 深澤たまき 深澤大輔 須永修通

する。(11月)

- (3) 降雪期に入ったら、気温・湿度・風速・日射・降雪重量・融雪重量などを30分間隔で計測する。(12～3月)

平成15年度

- (1) 通気融雪工法についてこれまでの3年間で得られた新潟県栃尾市原町における実験結果を整理し、日降雪深と気温の積算というような簡単なデータによってその安全性が確保できる数値式を提案する。
- (2) これを敷衍して、北陸四県における成立範囲を明らかにし、地域ごとに自然融雪の特性を整理し、実用化に目途を立てる。
- (3) 屋根上の積雪層をイレギュラーにし、水抜き面を20度以上の急勾配とすることによって自然融雪が厳寒期においても促進されることが明らかになっているので、スペースストラクチャーなどによる二重屋根の骨格構造のディテールや既存建物のデザインについて検討を加える。
- (4) 昨年度に作成した実験装置で今年度も同様の計測と観測を行う。平成15年の1月から3月にかけての積雪深は、平年の半分程度で十分なデータが取れていないので、再度計測を行う。そのデータを加えることでより信頼性の高い装置の開発を目指す。
- (5) 本年度は最終年度となるので、結果を報告書としてまとめる。

研究成果の概要

- (1) 通気融雪工法による雪処理技術は、自然界の熱エネルギー、雪そのものの物理的性状、屋根ないし装置の形状を三位一体として捉え、自然融雪の促進に最善となるそれらのバランスを掴み技術化することによって完成する。
- (2) 平成15～16年冬の通気融雪工法屋根の最難関融雪力は10.5～6.5 [kg/(m²・day)]であった。1月の月平均気温が0以上のベタ雪地帯で420 [kg/m²] (積雪140cm)の耐雪能力を持つ建物に本方式を採用すれば、4mの年最高積雪深時にも雪下ろしをしないで済む。
- (3) 通気融雪工法の確保すべき耐雪強度の目安

降雪累計	地上積雪重量	地上積雪深	根雪日数	耐雪強度
3.75m未満	300kg/m ² 未満	1m未満	60日未満	不要地域
3.75～7.5m	300～600kg/m ²	1～2m	60～89日	210kg/m ²
7.5～11.25m	600～900kg/m ²	2～3m	90～119日	420kg/m ²
11.25～15.0m	900～1200kg/m ²	3～4m	120～149日	630kg/m ²
15.0m以上	1200kg/m ² 以上	4m以上	150日以上	不可地域

注1)降雪累計は、根雪期間以前と以後の降雪は含まない。

注2)地上積雪重量は、降雪累計に単位重量0.8kg/(m²・cm)を掛けたものである。

注3)耐雪強度は、北陸の通気融雪工法の適用地域における目安である

- (4) 北陸四県における通気融雪工法屋根による受益人口と世帯数
1月の月平均気温が0以上で、過去最高積雪深が1～4m未満の地域を通気融雪工法の成立地域とすると、北陸四県における通気融雪工法屋根による受益人口は4,132千人(73.6%)、世帯数は1,326千世帯(72.7%)となる。
- (5) 通気融雪工法の設計の要点
日射・気温・通風・雨などの自然エネルギーを融雪エネルギーとして最大限に活用する。
屋根雪が成層構造にならないように斜材を設置するか、柵状に雪切りを行って通気を確保し、雪表面積が大きくなるようにする。
飽和状態に保水されている融雪水の表面張力のバランスを崩すために雪底面の角度

は 20° 以上とする。

降雪日には融雪出水はストップする。これを無理して熱を加えて出すようにすると悪循環に陥る。

その場所における 1 月の月平均気温が 0 以上で、過去最大積雪深が 1~4m 未満が成立可能地域である。

地域の降雪の特性を考慮して安全側となる耐雪力を確保する必要がある。1~2m 地域：210 [kg/m²] 、 2~3m 地域：420 [kg/m²] 、 3~4m 地域：630 [kg/m²]

(6) ベタ雪地帯における種々の通気融雪工法屋根の選択

以下のような種々のタイプの中から規模や用途により、適正なものを選択する。

水平屋根の住宅の場合には、複式折板による通気融雪工法とする。

急勾配屋根の住宅の場合には、二重屋根による通気融雪工法とする。

体育館やスーパーマーケット・駅舎などの大規模建築物の場合には、立体トラス又は吊り構造屋根とし、その小屋組ないし構造部材を自然融雪装置とする。

(7) 本報告で述べたように「積雪層に滞留してしまう量が最小限となるように屋根面を傾斜させ、自然エネルギーによって雪が融けたら再凍結させずに排水出来るように工夫する。」ことで、屋根雪荷重の低減を計ろうとする試みは、未だ普及しているとは言えない。21 世紀を迎えた現在、多雪地帯における合理的な建築設計の仕方を追究して行くことで、豊かで文化的な雪国を創っていけるものと期待される。

以上の成果をまとめて研究成果報告書を作成した。

おわりに

通気融雪工法の開発は、ベタ雪地帯における降雪と融雪過程にはどのような形で気温や風、日射や雨などの自然エネルギーが働いているか、自然界で生じている現象を科学的に捉え、それを建築設計技術を駆使することによって、相対的に貧困な雪国の人々に手の届く屋根雪処理方式とすることを狙ったものである。考え始めてから既に20年が経過した。

栃尾の山野の多くは小学生時代昆虫と植物採集で歩き回った思い出の場所である。平成8年4月に戻り、それから既に8年が経過した。その当時と比べると広い舗装道路ができ、自然落下式の高床住宅が建ち並び、町は様変わりした。

雪が降ると、あちこちに車で出掛け、昆虫採集をしていた時と同様、様々な雪景色や積雪と融雪現象をカメラで撮り、アルバムにその写真を貼り整理した。その結果、これまでは気が付かなかった様々な発見をし、自然現象の複雑さとそのメカニズムの整然さに感動を覚えた。

また、試行錯誤を繰り返す中で、仮説が思い付くと、手当たり次第実験を行ってみた。小学生の理科の実験程度の内容でも、実際にやってその経過を写真に撮り、その結果からそのメカニズムを確認する作業を繰り返した。本報告書では、試行錯誤の結果、毛管現象によって吸い上げられ、表面張力によって安定的に雪塊の底面に留まっている融雪水を抜くには、 20° 以上傾斜させるのが良いとしているが、他にも良い方法がないかと思案している。また、雪は粒子状をなしており、その空隙は $1/3 \sim 2/3$ にも及んでいる。小さな雪洞を造り、中に火を着けた細い口ウソクを10本入れて密閉し、何分間何本燃え続けられるか実験を行ってみると、確かに火の勢いは衰えるが、半数程度は40分程度かかって燃え尽きる。他に陽の昇り始めた朝方、気温が -2 の時、単管パイプの表面から水滴が滴っているのを見て驚いた。一瞬、温度計が狂っているのではないかと疑ったが、正常であった。

これまで、雪の融解熱は 80 cal/g と考えてきたが、自然界における融雪は、その置かれた自然環境に左右されるため、かなり複雑な様相を呈している。通気融雪工法による雪処理技術は、自然界の熱エネルギー、雪そのものの物理的性状、屋根ないし装置の形状を三位一体として捉え、自然融雪の促進に最善となるそれらのバランスを掴み技術化することによって完成すると言える。

当初、近くの小学校の正面に植えられているサツキの雪囲いを見て、何とした手抜きかと思った。しかし、8年間その結果を観察してきた現在は、毎年派遣されているシルバーの人の老練さに感心している。三八や五六、五九からの3年連続豪雪の中で、これらの技術が完成したものと考えられる。つまり、まず、サツキの頭を縄で結び、2本約1間毎に杭を打ち、頭を角材で結ぶ。次に4本の支柱を横材に立てかけ、釘打ちする。そして、横材の中間に竹を渡して一本一本縄で縛り、杭にも縄を掛けて固定する。毎年のことなので150m程度の長さの作業は、2人で1日で仕上っている。大量の雪の荷重は木材で受けるが、軽い新雪の重みはサツキそのものが被り、支える。この一見隙間だらけの雪囲いであるが故に、通気と日射が確保されて程良く融雪が進み、春先にこれまで1本も支柱が折れたり、サツキが痛んだりした様子は見られない。このような地元の古老が持っている技術を掘り起こし、整理して学ぶことも必要だと実感させられた。

今後、通気融雪工法による雪処理技術を実用化させて行くためには、検討すべき課題が山積している。しかしながら、今回この報告書にまとめた内容で、かなりその技術的方向性が示せたものと思う。更に熱収支的なデータ解析を進める一方で、実用化に向けて実施例を増やし、その結果をフィードバックさせて更に改良を加えていくことが、ベタ雪豪雪地帯に住む人々を、雪下ろしから解放する近道と確信する。

(2004.3.4 深澤大輔 記)

謝 辞

愛知県の豊田に住んでいた時代の計測は、栃尾市原町に住んでいた母の深澤美恵子が、電話の指示により行ってくれた。正三角形の家の裏に増築という形で実験用建物の資金を出してくれたのも母であり、この永年にわたる研究を支えてくれたことにまず感謝したい。

深澤が栃尾に住むようになってからは、車庫の屋根を利用した実験装置も毎年材料を購入して、手作りで更新したが、その製作作業は妻の深澤三枝子が手伝ってくれた。冬の毎日の計測作業は、9時と16時の雪の降る時にも、定時に防寒具を羽織って行ってくれた。

今回の研究では「はじめに」に書いた組織で行った。しかしながら、実際は、研究代表者である深澤が試行錯誤を重ねている段階であったため、的確に組織を活用し、知恵を拝借することができなかった。このことは誠に残念なことであるが、このようなベタ雪豪雪地帯において自然エネルギーを活用して屋根雪を処理するという既往の研究が殆ど見あたらなかったために、限られた予算の中で上手く分担して作業を進めることができなかったと言える。そのような中でありながら、忙しいところ(株)有沢製作所技術部研究員の田中浩氏と平井正明氏には実験材料の提供とFRPに関する様々な情報提供をして戴いた。

計測装置の手配や修理には轟産業柏崎営業所の辻本氏、データ収集のための機器の設置とプログラム調整などには英弘精機の石橋氏にお世話になった。

平成12年と平成13年の8月には、板材とコンパネ材に砂付きルーフィングを貼り付けた融雪板やそれを取り付けた融雪装置の製作に泊まり込みで、深澤研究室の石川剛志君、松原正恵君他が参加し、コールドール系の接着剤で手を真っ黒にして手伝ってくれた。

平成14年8月には、降旗建築設計事務所の松岡る奈、山共建設の大工など5人から車庫の屋根の大量の単管パイプを北側の複式折板屋根の上に運んで貰った。11～12月には、みぞれや雪が降る中、栃尾市シルバー人材派遣センターの作業員2人に通気屋根のエキスパンドメタルや単管パイプの取り付け作業を手伝って貰った。

平成15年12月には、深澤研究室の巨漢の張建保君がピラミッド型屋根に通ずる渡り廊下の製作と通路のエキスパンド製の屋根、物見櫓形式の水平屋根の製作を手伝ってくれた。

第3章の3-4の実験データ解析結果の概要は、都立大学大学院修士課程の深澤たまきがまとめたものである。また、資料編の資料1計測データの整理も同嬢によるもので、高校時代を栃尾で過ごし、何かと父親が行っている実験や計測を見て関心を示していた結果、このような形でまとめを手伝ってくれるまでに成長したことを素直に喜びたい。第4章の通気融雪工法の成立範囲の内容は、新潟県は秦大志君、富山県・石川県・福井県は松原正恵君の両名による新潟工科大学建築学科深澤研究室における卒業研究の一部である。

この報告書では、引用文献はそれぞれの箇所に記載しているが、その他の参考文献は、特には挙げていない。しかしながら、昭和54(1979)年からの新潟県内の過去の積雪や気温のデータは、新潟県降積雪および気温観測調査報告書(新潟県総合政策部刊)を利用または参考させて戴いた。記して感謝の意を表しておきたい。

最後になったが、新潟工科大学総務課の真貝知さんと小林よしえさん、会計課の浅野哲也さんには、申請から報告書作成、会計処理など、色々とお世話になった。謝してお礼を述べたい。