福井大学リポジトリ
UNIVERSITY OF FUKUI REPOSITORY

電熱式雪割装置による落雪促進効果

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2013-05-07 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 寺崎, 寛章, 齊田, 光, 福原, 輝幸 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10098/7400

福井大学地域環境研究教育センター研究紀要
「日本海地域の自然と環境」
No. 19，39-45，2012

電熱式雪割装置による落雪促進効果

Promoting Effect of Falling Snow Due to Electrically Heated Snow−Split Device

寺崎　寛章*
（地域環境研究教育センター協力メンバー）
齊田　　光**
（福井大学大学院工学研究科博士後期課程）
福原　輝幸***
（福井大学大学院工学研究科）

１．はじめに

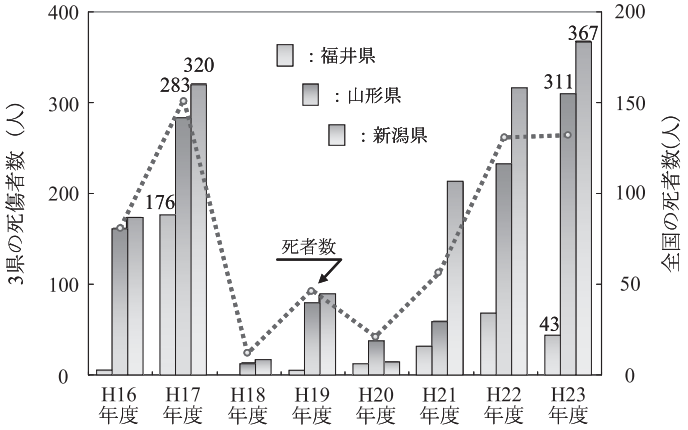
平成 13 年～平成 22 年の雪害による犠牲者の数は全自然災害の犠牲者の 3 割を超え，雪害は風水害に次ぐ第 2 の自然災害となった．特に 56 豪雪，平成 18 年豪雪，平成 22 年度および 23 年度の大雪では大きな物的･人的被害が生じた [1)~5)]．例えば，平成 22 年度冬期の大雪では，鳥取県内の国道 9 号，福島県内の国道 49 号および福井県内の国道 8 号において，大型車両の走行不能が原因となり，長時間に亘り 150 台以上の車両が道路上に停滞した．また，鉄道では北陸線が運転を休止し，車両内に乗客が閉じ込められるなどの被害が出た．さらに東北電力，中部電力，北陸電力，関西電力および中国電力で延べ約 56 万 5 千戸が停電になったほか，上水道では長崎県等で約 1 万戸が断水し，通信関係では固定電話で障害が発生し，携帯電話の基地局が停波するなど，その被害は多方面に亘った．

家屋に関する被害も多く，全国 21 道府県で全壊 9 棟，半壊 14 棟，一部損壊 623 棟，床上浸水 6 棟および床下浸水 62 棟が報告された．また，空き家の屋根雪放置による倒壊，落雪による物的･人的被害も深刻である．平成 10 年度～20 年度の 10 年間に，空き家は 181 万戸増加しており，今後，空き家に関連する雪害は更に増加する懸念がある．

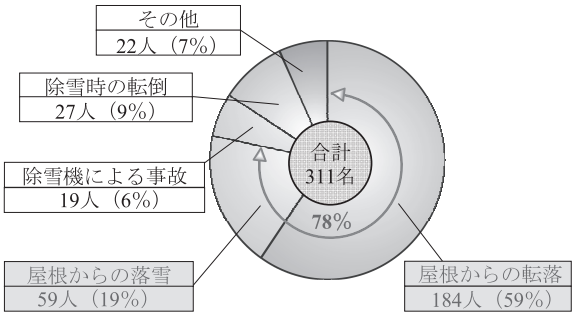
雪害は物的被害だけではなく，人的被害も深刻である．**図－1** は平成 16 年度～23 年度における福井県，山形県および新潟県の雪害関連の死傷者数と全国の死者数を示す．平成 18 年度～20 年度の 3 県の死傷者数に比して，とりわけ積雪量が多かった平成 17 年度，22 年度および 23 年度の死傷者（または死者）

（キーワード：屋根雪，電熱式落雪板，雪割，野外試験，落雪性能）

* Hiroaki Terasaki
(Department of Civil Engineering, Graduate school of Engineering, University of Fukui, Fukui, 910-8507)
** Akira Saida
(Department of Civil Engineering, Graduate school of Engineering, University of Fukui, Fukui, 910-8507)
*** Teruyuki Fukuhara
(Department of Civil Engineering, Graduate school of Engineering, University of Fukui, Fukui, 910-8507)



図－1　過去 8 年間の雪害関連の死傷者数



図－2　山形県の雪害関連の原因別死傷者数

表－1　従来の屋根雪処理方式

方式	細目	内容･機材		課題
除排雪	人力	スコップ･スノーダンプ		危険
	機械	滑落	除雪板･シート	滑落のタイミング不明
		装置	発熱切断	コスト増加、荷重増加
	自然	急勾配		滑落のタイミング不明
放置	耐雪	M型屋根		初期コスト増加
消融雪	散水	水道水･地下水		水量の確保難、凍結の恐れ
	無散水	滑落	発熱体(面状･線状)	コスト増加
		装置	放熱パイプ(温水･温風)	コスト増加

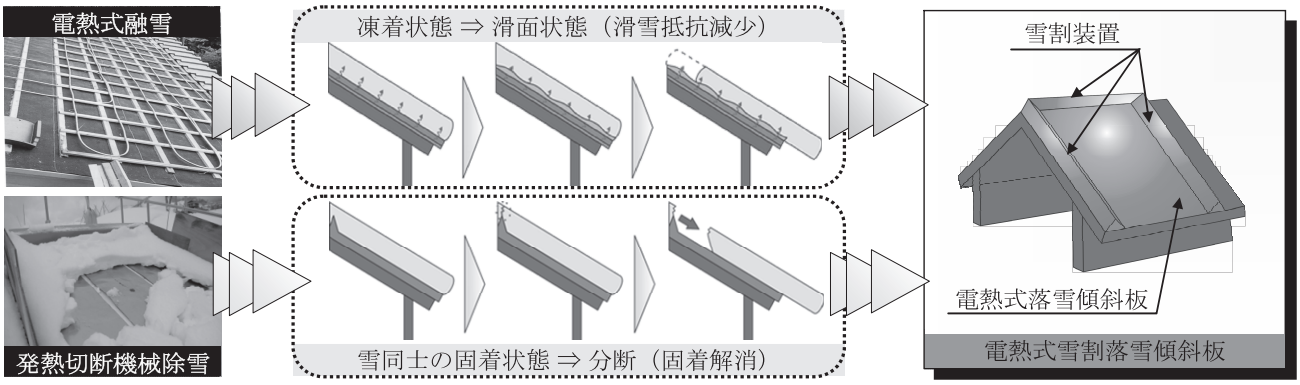
数は著しく多いことが分かる[5)~9)].

図－2 は，平成 23 年度の山形県の原因別の死傷者数の割合を示す．合計 311 人の人的被害のうち，184 人が屋根からの転落(59%)，59 人が屋根からの落雪(19%)，19 人が除雪機による事故(6%)および 27 人が除雪時の転倒(9%)であり，人的被害の約 78%が屋根雪に関連していることが分かる[10)].

雪害は社会構造とも関連がある．特に，中山間部では過疎高齢化が急速に進んでおり，高齢者世帯での屋根雪処理が大きな問題となっている．平成 22 年度の大雪では死者 131 名のうち，65 歳以上 74 歳以下が全体の 28%(36 人)，75 歳以上が全体の 38%(50 人)であり，65 歳以上の高齢者が全体の約 66%を占める[5)]．また死傷者の約半数は 1 人での除雪作業中の事故に関連する．このように，高齢者世帯の屋根雪下ろし対策は冬期の雪害死傷者数削減に欠くことのできない命題である．

2．従来の屋根雪対策

従来の屋根雪処理は(I)除排雪，(II)放置および(III)消融雪に分けられる(**表－1** を参照)．(I)の人力による除排雪は最も一般的だが，先述のように危険を伴い，機械除雪ではコストの増加や屋根荷重が増加する．また急勾配屋根は，落雪時期の予測が困難であり，落雪による事故の危険性が高い．(II)M 型屋根を代表とする耐雪では雪下ろしを行う必要はないが，イニシャルコストが高く，既存の建物に適応し難い．また(III)温水や電熱を使用する消融雪[11),12)]では，屋根雪処理能力は高いが，ライフサイクルコストが高く，漏電や融雪ムラ，すが漏れなどの問題がある．



図－3　新たな屋根雪処理のコンセプト

上述のようにいずれの屋根雪処理方式も一長一短があり，コスト(経済性)，耐久性，維持管理および落雪時期の予測(安全性)などに，それぞれ固有の課題を残している．

3．研究目的

従来の電熱式(または温水)融雪方式は屋根雪を融雪するために多大な熱エネルギーを必要とし，初期およびランニングコストが増加するなどの課題を有する．また発熱切断機械除雪[13)]では，屋根上の雪を切断しても，その周囲の雪同士が固着して，切断された部分でさえ落雪し難いことが明らかとなっている(**図－3** の左下の写真を参照)[14)]．すなわち，落雪を確実に実施するためには，装置周辺の雪を縁切りする雪割が必要となる．

そこで本研究では，**図－3** に示すような雪塊が滑落し易いような滑面の電熱式落雪傾斜板に雪割装置を付属した新たな屋根雪処理装置(電熱式雪割落雪傾斜板)を提案し，その性能を検証することを目的とする．

4．滑雪モデル

滑雪の抵抗力には摩擦力と付着力があり，平板上の雪塊の力の釣り合い(滑雪運動モデル)は式(1)で表される(**図－4** を参照)．

$$F_s = F_f + F_a \tag{1}$$

ここに，F_s：滑雪抵抗力(N)，F_f：静摩擦力(N)および F_a：凍着による付着力(N)をそれぞれ意味する．

滑雪が起こる直前の斜面(屋根面)上の力の釣り合いは式(2)～(4)を用いて，式(5)で表される(**図－5** を参照)[15)]．

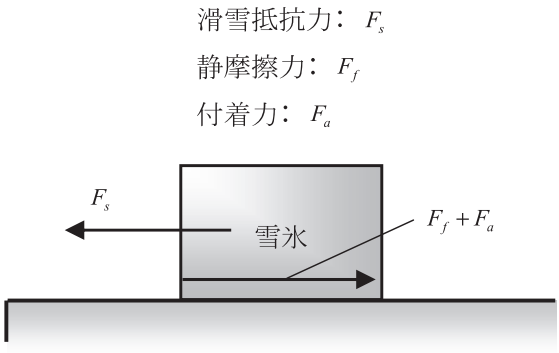
$$F_s = mg\sin\theta \tag{2}$$

$$F_f = \mu mg\cos\theta \tag{3}$$

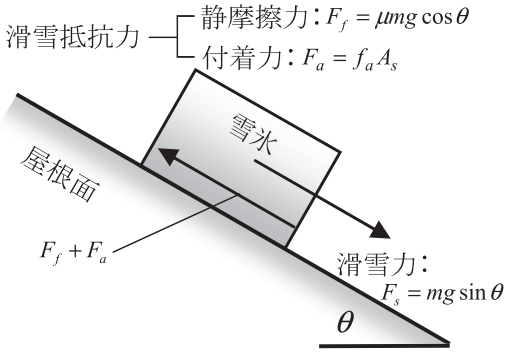
$$F_a = f_a A_s \tag{4}$$

$$mg\sin\theta = \mu mg\cos\theta + f_a A_s \tag{5}$$

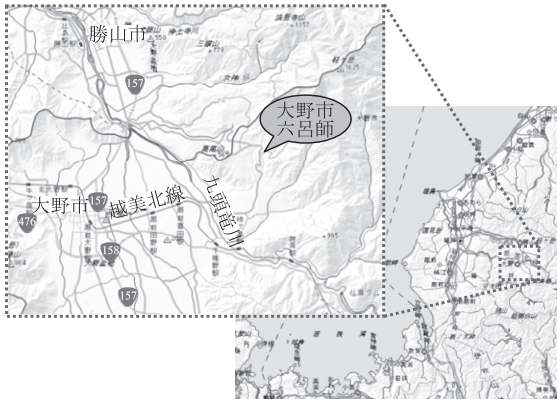
ここに，m：雪塊質量(kg)，g：重力加速度(m/s²)，θ：(屋根)勾配(°)，μ：静摩擦係数(-)，f_a：単位面



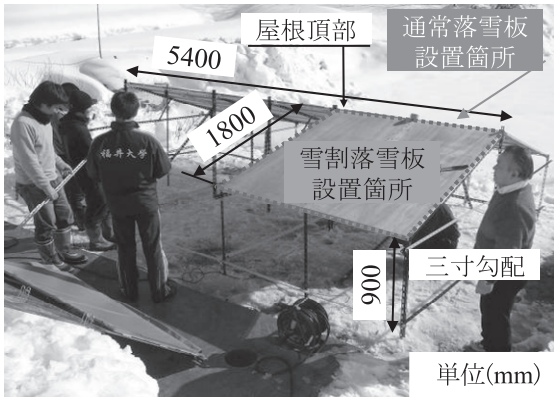
図－4　平板上の滑雪運動モデルの概要



図－5　斜面上の滑雪運動モデルの概要



図－6　落雪試験現場位置図



図－7　模擬屋根製作状況

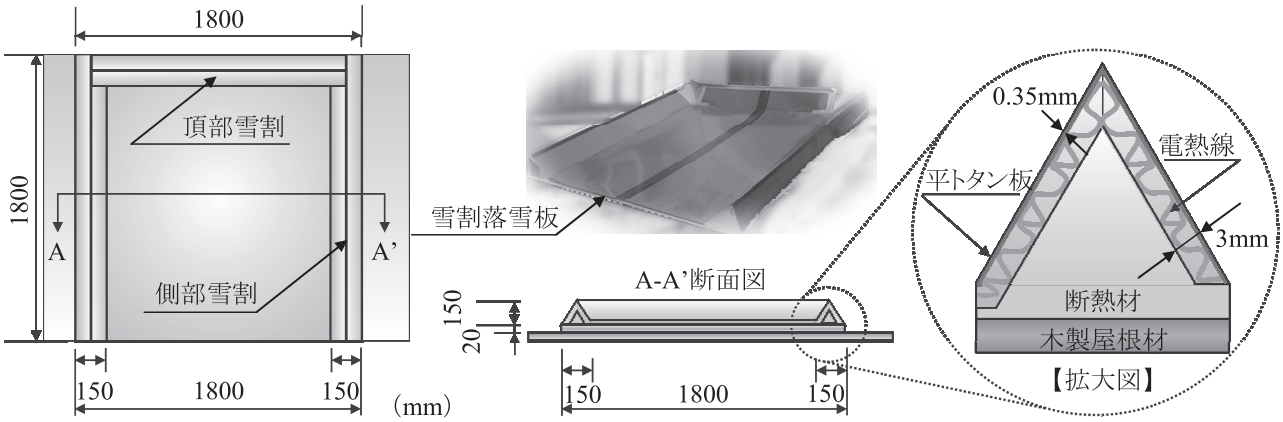
積当たりの付着力(N/m²)およびA_s：接触面積(m²)であり，μおよびf_aは質量含水率θ_w(%)の変数として考えられる．なお，式(5)より雪塊の滑落は$F_s > (F_f + F_a)$になった時点で始まる．

5．野外落雪試験概要

本研究で提案する電熱式雪割落雪傾斜板(以下，雪割落雪板と呼称)の落雪性能を調べるために，平成24年1月28日～2月18日に亘って福井県大野市六呂師(2011年12月～2012年3月の合計降雪量5.6m，**図－6**を参照[16])で野外落雪試験(以後，落雪試験)は行われた．落雪試験ではまず縦1800×横1800mmの骨組みユニットを6基製作し，それらを3基ずつ繋ぎ合わせた．この骨組みユニットに垂木を打ちつけ，その上に厚み 3mm の合板を貼り付けて，三寸勾配の模擬屋根(拝み勾配)を製作し，これを高さ900mmの架台に取り付けた(**図－7**を参照)．

次に，電熱式落雪傾斜板(以下，通常落雪板と呼称)および雪割落雪板について説明する．通常落雪板は，縦1800×横1800×厚み20mmの断熱材の上に，毛織物で上下を挟んだ直列配線方式の発熱線(消費電力500W，消費電力量310Wh)を配置した後，厚み0.35mmの平トタン板を表面に貼り付けて構成される．なお，雨水浸入防止のために断面部および接合部は防水加工を施した．

雪割落雪板は，**図－8**に示すように通常落雪板の屋根頂部および左右両端に雪割装置を備えたものである．雪割装置は，高さ150×底辺150mmの三角形状に平トタン板を曲げ加工し，その内部に通常落雪



図－8　電熱式雪割落雪傾斜板概要

板と同様に毛織物で上下を挟んだ発熱線を平トタン板に張り付け，断熱加工を施して製作された．

落雪試験ではまず，微気象観測を行った．落雪試験時における外気温および相対湿度は温度･湿度センサー(Vaisala 製)により，日降雪深および時間降雪深は降雪板により，風速は三杯式風速計(牧野応用測器製)により，それぞれ測定した．

雪塊の基本雪氷物性として，鋼管サンプラーおよび電子重量計(Mettler Toledo 製)により雪密度 ρ(kg/m^3)を，サーミスタ温度計および熱電対により雪塊温度を，遠藤式含水率計[17]により θ_w を，それぞれ測定した．

微気象観測および雪氷物性を調べた後，雪割落雪板および通常落雪板の雪を**図－7** に示す屋根頂部で分断した．その後，両落雪板の発熱線の通電スイッチを入れ，試験を開始した．なお，落雪速度および落雪時間は 3 台のビデオカメラを用いてそれぞれ調べた．

６．野外落雪試験結果

代表的な 2 月 4 日の落雪試験結果について説明する．試験開始時(午後 1 時)の天候は雪，気温は-1.0℃，風速は 0.3m/s であり，落雪板上には 476mm の積雪が確認された．また ρ は 80.9kg/m^3，θ_w は 5.28%であった(**表－2** を参照)．

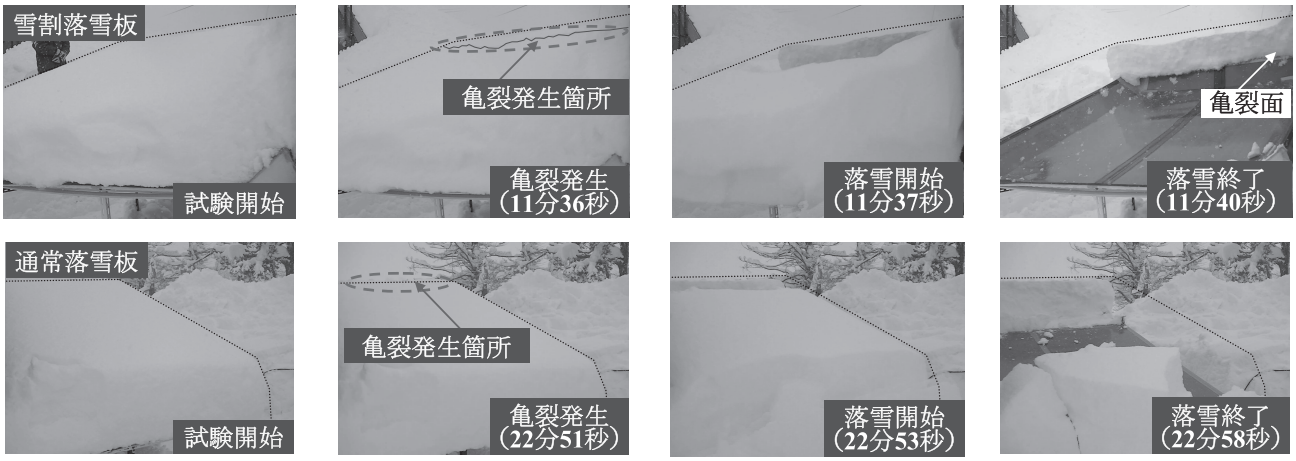
図－9 上段)および**下段)**は雪割落雪板および通常落雪板上の屋根雪(雪塊)の落雪状況をそれぞれ示す．試験開始直後より，両落雪板の表面温度は上昇し，落雪板上の雪塊は融解した湿潤状態となり，凍着が解消された状態になっていることが確認された．これより，滑雪抵抗力≒静摩擦力(付着力≒0)となり，滑雪し易い状態であったと推察される．

雪割落雪板では，試験開始より 11 分 36 秒後に雪割頂部に亀裂が生じ，その 4 秒後に全ての雪塊が瞬く間に滑落した．一方，通常落雪板では試験開始より 22 分 51 秒後に亀裂が生じ，その 7 秒後に屋根雪は落雪したが，屋根側部で一部残雪が見られた．落雪に要した時間は，雪割落雪板のそれの約 2 倍長くなった．これは落雪抵抗の高い装置周辺の雪と落雪板上の固着力が，落雪板上の雪の滑落を妨げたと推察される．なお，本試験における落雪速度は両落雪板で大きな差異はなく，0.04～0.96m/s の範囲であった．また，1 月 28 日および 2 月 18 日の両落雪板の落雪時間には差が殆ど見られなかった．これは，雪割落雪板上の雪塊が落雪した衝撃により，通常落雪板上の雪塊に亀裂が生じ，落雪したためである．

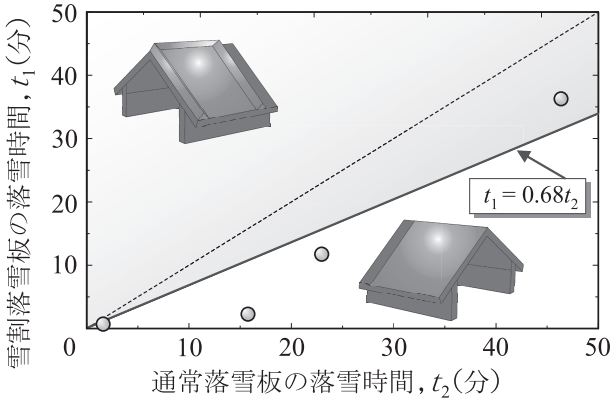
表－2　落雪試験における雪塊の雪氷物性一覧

日時	天候	気温（℃）	雪塊温度（℃）	含水率 θ_w(%)	積雪深 H（mm）	雪密度 ρ（kg/m^3）	雪塊質量 m(kg)	落雪速度 v（m/s）	平均落雪時間 t(分，秒)
1 月 28 日	曇り	1.6	0.8	5.66	461	99.4	66.0	0.96（0.79）	6 分 20 秒（6 分 23 秒※）
1 月 31 日	雪	0.5	0.1	10.88	332	59.8	28.5	0.04（0.04）	0 分 45 秒（1 分 34 秒）
2 月 2 日	雪	-5.1	-2.4		567	81.1	66.2	0.19（0.19）	36 分 18 秒（46 分 18 秒）
2 月 4 日	雪	-1.0	-0.3	5.28	476	80.9	55.4	0.73（0.27）	11 分 40 秒（22 分 58 秒）
2 月 9 日	雪	-2.8	-1.8	5.57	467	130.5	87.7	0.34（0.22）	2 分 8 秒（14 分 46 秒）
2 月 18 日	雪	-2.8	0.4	6.61	649	104.2	97.3	0.60（0.30）	15 分 9 秒（15 分 14 秒※）

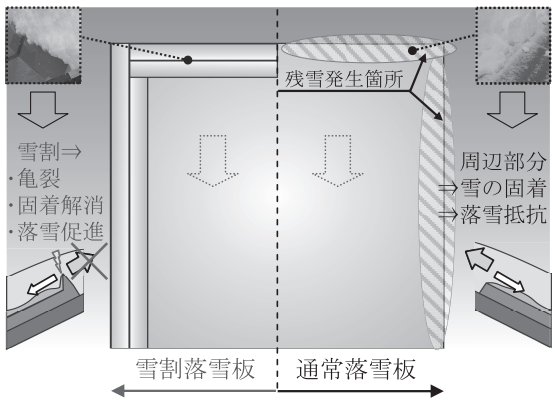
括弧内表記は通常落雪板の値



図－9　屋根雪の落雪状況（上段：雪割落雪板，下段：通常落雪板）



図－10　落雪時間の比較



図－11　落雪性能概要図

図－10 は 1 月 28 日および 2 月 18 日を除く，雪割落雪板および通常落雪板の落雪時間の比較を示す．本試験における雪割落雪板による平均落雪時間は，通常落雪板のそれの約 1.5 倍程度早く，落雪することが分かった．

以上の結果より，本試験の範囲内において雪割装置は周辺部の雪同士の固着を解消し，屋根雪全体の滑落と滑落時間の短縮に有効であることが分かった（**図－11** を参照）．

7．おわりに

本研究では，電熱式落雪傾斜板（通常落雪板）に雪割装置を付属した電熱式雪割落雪傾斜板（雪割落雪板）を提案し，その落雪性能を明らかにすることを目的として，野外試験を行った．その結果を，以下に列挙する．

(1)雪割装置は周辺部の雪と落雪板上の雪の固着を解消するため，屋根雪全体の滑落に有効である．

(2)雪割落雪板による平均落雪時間は，通常落雪板のそれの 1.5 倍程度早い．

(3)本試験の範囲内では，両落雪板上の屋根雪は落雪速度 0.04～0.96m/s の範囲で滑落する．

今後は本試験結果を基に，装置のユニット化および屋根面への施工方法を検討する．

謝辞

本研究は福井大学工学研究科　博士前期課程の山路昂央君，草間政寛君，山元謙侑君の協力のもとで行われた．ここに記して謝意を表す．

参考文献

1) 科学技術庁　国立防災科学技術センター：昭和 56 年豪雪による北陸地方の災害　現地調査報告，主要災害調査，No. 17，pp. 1-34，1982.

2) 苫米地司：「平成 18 年豪雪」による雪害発生状況，日本雪工学会誌，Vol. 22，No. 2，pp. 24，2006.

3) 川本義海：平成 23 年大雪による福井県内の雪害状況等についての報告，日本雪工学会誌，Vol. 27，No. 2，pp. 87-94，2011.

4) 佐藤威：2010/2011 冬期の東北地方の降雪積雪と雪氷災害の状況，Vol. 27，No. 2，pp. 101-103，2011.

5) 内閣府・国土交通省：大雪に対する防災力の向上方策検討会　報告書，pp. 1-67，2012.

6) 福井県政策統計課統計分析グループ：福井県統計年鑑（H17～H22）.

7) 山形県総務部危機管理室総合防災課：雪下ろし・落雪事故等の発生状況（H17～H22）.

8) 新潟県防災局危機対策課：雪による被害状況（H17～H22）.

9) 国土交通省国土政策局：平成 22 年度，平成 23 年度の大雪の被害概況と課題，2012.

10) 沼野夏生：山形県における除雪事故の詳細分析―2011～2012 年冬期・転落事故を中心として―，雪氷研究大会（2012・福山）講演要旨集，pp. 65，2012.

11) 山口武司，土生善美：電熱式屋根融雪におけるシミュレーションと試験結果の関係-平成 6 年度冬期実証試　験結果との比較検討-，日本雪工学会誌，Vol. 13，No. 1，pp. 13-19，1997.

12) 植木圭一，佐藤寿実：ヒートポンプ利用による散水屋根融雪のフィールド実験報告，第 26 回寒地技術シンポジウム，CTC10-Ⅱ-042，pp. 394-399，2010.

13) 清水敬生，荒井勝，渡邊洋，福原輝幸：ヒーターブレードを利用した雪下ろし装置の開発，第 24 回日本雪工学大会，Vol. 23，No. 4，pp. 21-22，2007.

14) 清水敬生，富田強，渡邊洋，福原輝幸：ヒーターブレードを利用した雪下ろし装置の試み，雪氷研究大会（2009・札幌）講演要旨集，pp. 22，2009.

15) 前田博司：金属屋根板における積雪の滑落，日本雪氷学会誌，Vol. 41，No. 3，pp. 199-204，1979.

16) 国土地理院：電子国土 Web システム.

17) 河島克久，遠藤徹，竹内由香里：熱量式による簡易積雪含水率計の試作，防災科学技術研究所研究報告，No. 57，pp. 71-75，1996.