

屋根融雪装置の必要能力とエネルギー消費量について

江 川 隆 進・西 岡 哲 平

Technical Study on Heat Capacity and Annual Energy Consumption of Snow Melting System on Roof

Takayuki Egawa・Tetuhira Nisioka

This paper deals with the heat capacity of snow melting system on roof and the energy consumption of these systems in Fukui, Katuyama-Ōno districts.

We investigated first on annual energy consumption of snow melting systems on roof now in operation in Fukui, Katuyama-Ōno districts. Then we estimated minimum heat capacity and energy consumption of these systems by the falling snow data and snow melting simulation.

From these studies the followings came to be apparent.

- 1) Capacity and annual energy consumption level of systems now in operation are rather higher than these calculated by simulation.
- 2) We think excessive energy capacity and consumption are caused mainly from (a)~(c).
 - (a) No effective operation control system and manual.
 - (b) No authorized designing standards based thermal calculations and the falling snow data in each district.
 - (c) Low thermal efficiency of systems caused from unsuitable roof design and structure.

1. ま え が き

わが国の豪雪地帯は国土の約50%を占め、2000万人以上の人々が豪雪の中で生活を営んでいる。特に北陸地方は毎年豪雪に見舞われて、社会的にも経済的にも、また生活面においても多大の被害を受けている。これらの被害対策、いわゆる雪害対策は近年、各県、各市町村単位で検討し始めてきており、それらの結果を雪の克雪・利雪のシンポジウムなどで発表されるようになった。しかしながら、公的機関の雪害対策は道路除雪排雪が中心になっているために、人々が直接生活に影響する屋根雪処理は各家庭の問題として扱われがちとなっている。そのために現状では、電気メーカ・建築会社・建築設計事務所などが中心となって盛んに研究開発に取り組むようになってきたために、わずかながら屋根融雪装置が普及し始めてきており、また融雪を考慮した住宅も

売り出されるようになってきた。しかし装置が高価なこと、エネルギーの消費量が過大なこと、また地域性・慣習・デザインなどを考慮した装置や住宅に必ずしも適していないことなどから、まだそれらの普及度は低く、今後の研究を待たねばならないのが現状である。

以上のような観点から、本研究はまず福井県内の屋根融雪装置の現状分析を行った。次に各寒冷期の1日毎の積雪深及び降水量観測データから、1日毎の屋根荷重を推定し、融雪シミュレーションによって融雪装置の融雪能力及び年間エネルギー消費量の検討を行うこととした。

2. 福井県内における屋根融雪設備のエネルギー消費量の現状

福井県内では、屋根融雪装置付きの住宅の販売や融雪装置の宣伝がここ2～3年の間に急に増えてきたにもかかわらず、それほどそれらの装置が普及していないようである。その理由はいろいろとあると思うが、第一に装置が高価なこと、第二にその経常費も高価になることがあげられる。

初期の屋根融雪装置は、現在でもわずかながら利用されてはいるが、地下水利用の屋根散水であった。しかしながら地下水汲み上げによる地盤沈下の問題、地下水低下による水不足、地下水の水質による屋根材の腐食、それに深井戸掘りが高価になることなどから、福井県内の地下水利用の融雪は道路消雪に向けられている。屋根融雪は大屋根のある工場でその装置を設けることがあっても、戸建て住宅となるとごくわずかである。住宅で普及しない理由としては、屋根が瓦葺きであるために散水しても効率が悪いことと、水が漏りやすいことなどが影響しているものと思える。

散水以外の融雪装置としては、最近では屋根葺き材の下部に電熱体を布設する方法と温水パイプを設置する方法などがあるが、一般に前者で融雪用電気を利用した方法が県全体で100件にも満たないごくわずかであるが普及している。これからも画期的な融雪装置が開発されない限りこの電熱体を用いた方法がわずかながら普及していくものと思える。しかしながら装置はもちろん経常費も高価なので、屋根の軒先部分とか雪降ろしが危険な二階屋根とか、屋根の一部分の融雪の普及はあるにしても、戸建て住宅の屋根すべての融雪は前述の理由からそう簡単には望めないだろう。

ここで福井県内の屋根融雪のためのエネルギー消費量の実態を把握するために、北陸電力㈱の資料に基づいて、融雪用屋根面積がわかっているものと通電をしたことがあるものとのピックアップして電気使用量などをまとめたのが表—1, 2である。このデータは昭和54年度(54.4～55.3)と昭和55年度(55.4～56.3)の資料から作成したものであり、後者は56豪雪の時期のものである。現在でもその当時から融雪戸数の総数はそれほど変わっていないくて、新たに融雪装置を設けたところもあるが、反対に取りやめたところもある。福井地域と勝山・大野地域に分けてまとめたが、前者は一般に屋根の一部分融雪が多くて融雪屋根面積が小さいのに対して後者は屋根全体もしくは二階屋根全体を対象にした融雪が多いことがわかった。つまり福井地域よりも積雪量が多い勝山・大野地域では、軒先などの部分融雪を行っても、その部分以外の雪降ろし

表一 1 福井地域の融雪用電気使用量

融雪装置	融雪屋根 a (m ²)	契約電力 b (kW)	使用電力量 c (kWh)		契約電力あたりの 使用電力量 c/b (Wh/W)		単位面積あたりの 契約電力 b/a (W/m ²)		単位面積あたりの 使用電力量 c/a (kWh/m ²)	
			54	55	54	55	54	55	54	55
A	100	10	1,145	4,946	115	495	100	100	11.5	49.5
B	40	3	163	630	54	210	75	75	4.1	15.8
C	71	7	2,170	1,688	310	241	99	99	30.6	23.8
D	25	5	514		103		200		20.6	
E	38	6	279	1,901	47	317	138	158	7.3	50.0
F	12	2	173	414	87	207	167	167	14.4	34.5
G	68	11	1,386		126		162		20.4	
H	24	4	552	100	138	249	167	167	23.0	41.5
I	55	8	141	2,129	18	266	145	145	2.6	38.7
平均	48	6.3	725	1,687	111	284	141	130	14.9	36.3

表一 2 勝山・大野地域の融雪用電気使用量

融雪装置	融雪屋根 a (m ²)	契約電力 b (kW)	使用電力量 c (kWh)		契約電力あたりの 使用電力量 c/b (Wh/W)		単位面積あたりの 契約電力 b/a (W/m ²)		単位面積あたりの 使用電力量 c/a (kWh/m ²)	
			54	55	54	55	54	55	54	55
J	90	10	4,147	3,158	417	316	111		46.9	35.1
K	63	11	2,939	3,551	267	323	175		46.7	56.4
L	210	30	5,336	9,530	178	318	143		25.4	45.4
M	194	29	3,564	8,306	128	286	149		18.4	42.8
N	150	32	6,643	7,472	208	234	213		44.3	49.8
O	80	15	2,843	5,370	190	358	188		35.5	67.1
P	155	19	4,832	7,301	254	384	123		31.2	47.1
Q	160	33	3,345	7,614	101	231	206		20.6	47.6
平均	138	22.4	4,206	6,538	218	306	164		33.6	48.9

54：昭和54年4月～55年3月 55：昭和55年4月～56年3月

を行わなければならないからである。

このように福井と勝山・大野地域との大きな違いは積雪量にあり、積雪量が多ければ多いほど融雪量も多くなり、エネルギー消費量もそれに比例して多くなる関係にある。しかし電気使用料金については、融雪用電気の基本電気料金が高く使用電気料金は安い仕組みになっているために、単純な比例関係にはなっていない。つまり昭和55年度以降、北陸電力㈱では契約電気料金＝1,200円/kW・月、使用電気料金＝13.25円/kWh という料金体制になっているので、雪が降らなくて電気を使用しなくても、高い基本料金を支払わなければならない。しかし灯油やガスをエネルギー源とすれば一般に融雪量と使用料金とは比例関係にある。

融雪用電気の契約期間は福井県内では一般に12月末から3月末までの3ヵ月間となっている。その期間で融雪のために通電を行うのは主に1月に集中しているために、2、3月はほとんど基

本料金のための電気料金ということになる。

次に単位面積当たりの電気容量は福井地域で $130\sim 141\text{W}/\text{m}^2$ 、勝山・大野地域で $164\text{W}/\text{m}^2$ となった。この値は両地域とも積雪量・降雪速度・融雪効率などから考慮すると過大である。それには装置が手動操作であることや午前10時～午後4時の6時間は通電されない仕組みになっていることを考慮したものと推定できるが、現実には屋根が瓦葺きであるために雪がとけて空洞部分が生じ易くなり、その部分でエネルギーロスが出るので、実際の融雪量以上にエネルギーを使用していることになっている。

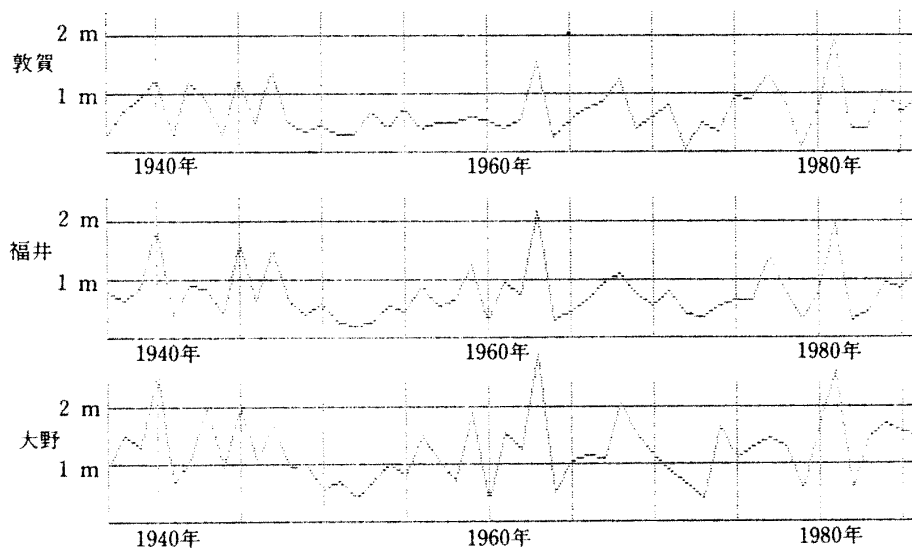
ここで勝山・大野地域の電気使用量などの現状を示せば、平年で使用電気量は約 $4,000\text{kWh}/\text{年}$ 、平均年間通電時間は約210時間/年、電気料金で示すと年平均約12万円という非常に経常費のかかる融雪装置を使用していることになる。このような現状では、電熱体を利用した融雪装置は福井県内の普及はそれほど望めないだろう。しかしながら現在のところ電気の変わりに灯油を使用すると約 $1/3$ の経費でよいことになるが、水の凍結、維持管理面と耐久性などに問題点が多い。またヒートポンプを利用することも考えられるが、現在のところ設備費が高価である。それ故に福井県内の住宅を対象にした融雪装置を普及させるには、まず瓦屋根に有効な装置でかつ外観上の変化がないことが第一の条件である。次に設備費も経常費も安価なことである。さらに耐久性に富み維持管理が簡単なことなどが考えられる。

3. 福井県内における降積雪と積雪荷重

1) 降積雪の特徴

福井県内3都市の最近50年間の年最大積雪深の推移を図一1に示す。

豪雪年は17～18年周期に現われており、最近50年間では、1940年、1973年(38年豪雪)、1981年(56豪雪)の3度の豪雪が目立っている。



図一1 福井県内各都市の年最大積雪の推移 (1937年～1986年)

福井県における各年度の降積雪の特徴は一口に言って、その変動が大きい事である。

気象統計によれば、同じ北陸地方でも福井県より平均積雪深の大きな富山県の各都市を越える積雪を上記の豪雪時に記録している。

このような降雪の特徴は福井、大野では共通して顕著であるが、嶺南の敦賀では56年豪雪時を除けば余りはっきりしていない。

2) 積雪荷重に関する検討

屋根融雪装置の主な目的が建築構造体への積雪荷重の軽減である以上、屋根上の積雪荷重に関する信頼性の高いデータが装置の合理的な設計に不可欠である。

積雪荷重を検討する上で重要なデータは勿論、積雪深と積雪の全層平均密度である。

一般に屋根上の積雪深 H_r は地上積雪深 H_g に比較して、風速の違いや室内の暖房熱の影響などによって小さい事が知られており、建築学会の設計用積雪荷重も H_g に種々の係数(一般に1未満)を掛けて H_r を推定する考え方がとられている。本研究では最大荷重を推定とするため屋根上積雪深 H_r は地上積雪深 H_g で代用するものとする。

積雪の全層平均密度については従来からの研究を参考にしつつ、シミュレーション計算によって、各日の積雪荷重の上限値を推定するため、次のような降水量を基準とした推定方法を考案し計算を行った。

まず、積雪初日の全層平均密度 $\overline{\rho}_0$ は文献5より、次式に従うものとした。

$$\overline{\rho}_0 = 0.0167\sqrt{H_r} \quad (\text{g/cm}^3) \quad \dots\dots\dots (1)$$

次いで翌日以後の全層平均密度 $\overline{\rho}$ は(2)式のように各日の日降水量の積算値から推定するものとした。ただし、通常の屋根雪の平均密度は0.5以上にならない事も経験的に知られているので、 $\overline{\rho}$ は0.5を上限とした。

$$\overline{\rho} = \frac{\overline{\rho}_0 \cdot H_{r0} + (\sum_{i=1}^N P_i) \times 10}{H_r} \quad (\text{g/cm}^3) \quad \dots\dots\dots (2)$$

(ただし $\overline{\rho} \leq 0.5$)

H_{r0} : 積雪初日積雪深 (cm)

P_i : 日降水量 (mm)

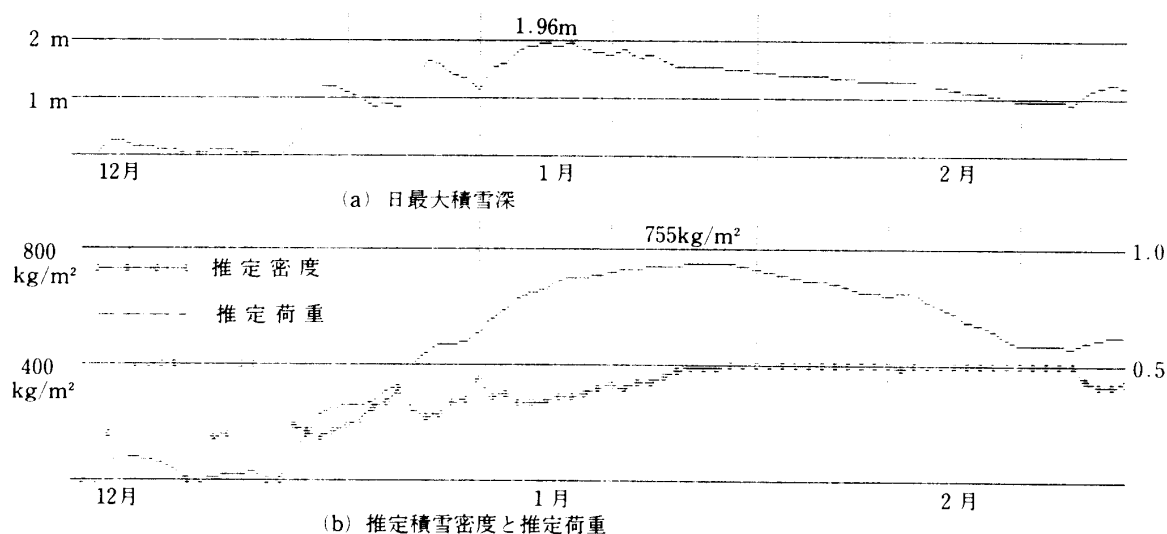
N : 積雪初日からの積雪継続日数

以上の方法によって得られた $\overline{\rho}$ と積雪深 H_r によって、シミュレーション計算に使用可能な屋根積雪荷重の推定値を得る事が出来る。

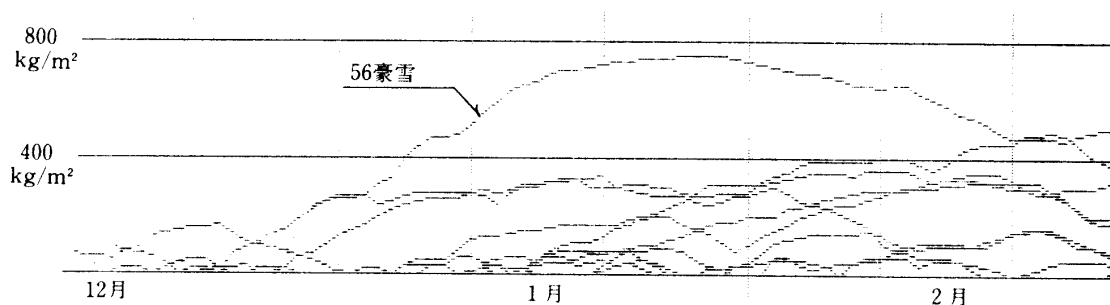
図-2に福井における56年豪雪時の全層平均密度と積雪荷重の推定結果を示す。

降雪初期の降雨によって著しく湿った雪が年末から1月中旬にかけての3度の「ドカ雪」の度に一旦0.3以下の密度になった後、除々に重くなってゆくプロセスが窺われる。

同様な方法によって、最近10年間の12月中旬から2月末までの日積雪荷重の変化の推定結果を図-3に示す。この図からも56年度豪雪における最大荷重が、いかに卓越して大きいかが判る。最大荷重は、この推定結果によれば最大積雪深(196cm)の起日1月15日から約10日ないし2週間



図一 2 各日積雪深及び降水量から推定した全層平均密度と荷重の推移
(福井1980年12月～1981年2月)



図一 3 各日推定積雪荷重の変化 (福井1977年～1986年)

遅れて現れており、推定値は 754.5kg/m^2 であった。(ちなみに56年豪雪を上回る積雪深(213cm)を記録した38年豪雪時の推定最大荷重は 720.8kg/m^2 であった。)

これらの豪雪に匹敵する豪雪は前述したように最近50年間に3度出現しており、それらの年には福井の最大積雪荷重は一般的に 700kg/m^2 を上回る可能性が高い。しかし、それ以外の通常の多雪年では 500kg/m^2 を越える事は希であると考えられる。

これらの結果から融雪装置を設計する場合17～18年に1度の豪雪に対して、完全に対処出来る能力を目標とするのか、それとも、それらの年には補助的に雪おろしを行い、通常の多雪年のみ対処出来る事を目標にするのかによって、装置熱容量は、かなり違った値となってくる事が判る。

4. 屋根融雪装置の融雪能力とエネルギー消費量

1) 融雪能力の検討

前章の方法によって種々の条件下における積雪荷重を推定し融雪シミュレーションを行って必要融雪能力の検討を行う。

検討を行う融雪装置は散水による完全融雪方式ではなく屋根表面加熱により積雪層下部から融

雪する方式とする。(以下、下層融雪方式と称する。)

下層融雪方式の場合、融雪中は一定の深さ以上の積雪層を常に残す事が融雪効率を保つため極めて重要である。この積雪深は融雪効率の面からは厚い方が有利であるが、反対に融雪開始の時期を遅らせて積雪荷重ピーク時の荷重軽減効果を損うので、その設定値については、よく検討して最適化する必要がある。

以上のような事から次のような条件下で福井の気象データに基づいた融雪シミュレーションを行う。

- ①積雪荷重の軽減目標は豪雪年においても $300\text{kg}/\text{m}^2$ を上限値とする。
- ②融雪開始は根雪開始後、積雪深が 50cm を越えた時点とする。
- ③融雪終了は融雪装置運動後の積雪深推定が困難であるため種々検討した結果、積雪荷重 $160\text{kg}/\text{m}^2$ より軽くなった時点とした。
- ④融雪効率については融雪用の正味のエネルギーを算出するため一応 100% として計算した。

図一 4 に福井の最近10年間のうち最大積雪深上位の2年間の降積雪データを用い融雪能力を変化させてシミュレーションした結果を示す。

56年豪雪時(1980年12月～1981年2月)には融雪装置の能力によって荷重の軽減効果に大きな差が生じるが(図一 4 上)それに次ぐ積雪深(147cm)を記録した1977年の冬期(図一 4 下)には融雪能力 $40\text{W}/\text{m}^2$ 以上において荷重軽減効果の差は豪雪時に比べて非常に小さい。

特に $100\text{W}/\text{m}^2$ 以上の融雪能力になると豪雪時においても、最大積雪荷重の軽減効果は、ほとんど増加しない事が判る。融雪ペースが早く頻繁に装置の発停を繰り返すためである。

以上の結果から次の事が判る。

- ①福井においては豪雪年においても最大積雪荷重を $300\text{kg}/\text{m}^2$ に抑えるために必要な融雪正味能力は約 $80\text{W}/\text{m}^2$ (56年豪雪時計算値 $75.9\text{W}/\text{m}^2$)である。
- ②通常の多雪年では必要な融雪能力は極めて小さく、最大荷重 $300\text{kg}/\text{m}^2$ レベルで約 $15\text{W}/\text{m}^2$, $250\text{kg}/\text{m}^2$ レベルで約 $30\text{W}/\text{m}^2$ である。
- ③大野においては30年豪雪, 56年豪雪のデータによって計算すると①と同条件での必要融雪能力は約 $120\text{W}/\text{m}^2$ (56年豪雪時計算値 $117.4\text{W}/\text{m}^2$)である。

2) 融雪エネルギー消費量の検討

表一 3 に福井の最近10年間の降積雪データを用いて融雪能力 $80\text{W}/\text{m}^2$ での融雪シミュレーション結果を示す。

10年間のうち積雪深が 50cm を越えて融雪装置が稼動するのは7寒冷期(前年12月～2月)である。

稼動日数の最高は56年豪雪時で29日, 7寒冷期の平均は12.4日である。

エネルギー消費量は〔融雪装置能力×稼動日数〕によって算出したが, 56年が $55.7\text{kWh}/\text{m}^2$ 年, 7寒冷期の平均は $23.8\text{kWh}/\text{m}^2$ 年であった。

大野においては融雪能力 $120\text{W}/\text{m}^2$ で56年豪雪時の稼動日数24日($69.1\text{kWh}/\text{m}^2$, 年)となっ

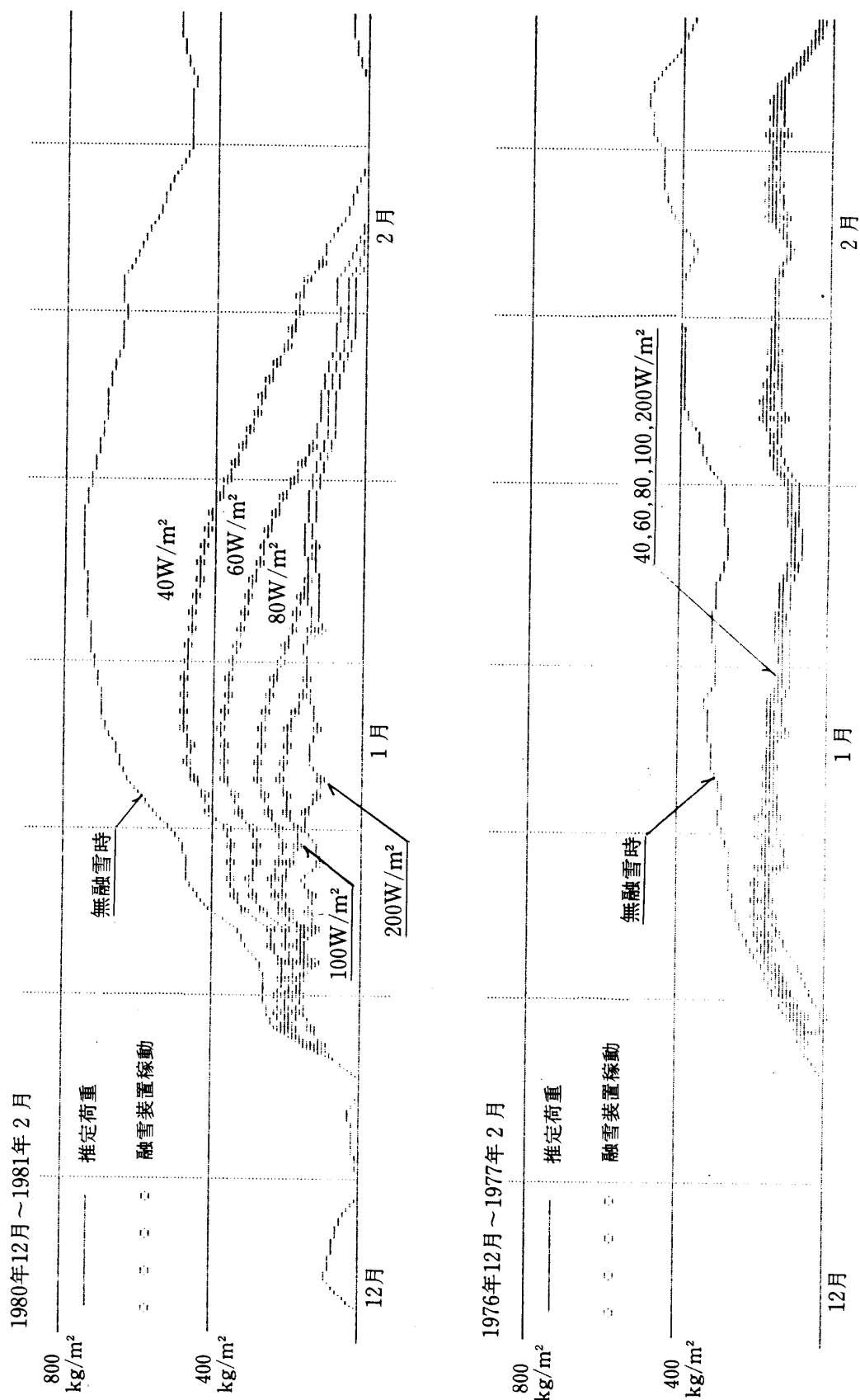


図-4 融雪装置による推定積雪荷重の軽減効果 (福井)

た。

このような条件下では福井(80W/m²)と大野(120W/m²)の融雪装置稼動日数に大きな差はない。

5. ま と め

屋根融雪装置の設計基準・運動制御方法についてのデータは極めて不足している。

今後、次のような研究を進めてゆく必要がある。

- ① 積雪下層融雪方式に適した融雪効率の高い屋根構造及び施工法の研究。特に小屋裏の断熱と軒先・棟などからの熱損失の抑制対策。
- ② 融雪面と積雪との間の空洞の発生を抑制する研究。融雪面における積雪層への熱伝達特性に関するデータの収集及び融雪面の表面温度と関連させた空洞発生メカニズムの研究。
- ③ 有効な自動運転制御システムの開発。
特に屋根荷重を検知して制御出来るシステム及び気象予報と連動した制御ソフトウェアの開発研究。
- ④ 経済性の高い融雪装置の製品化
ヒートポンプ、灯油焚きボイラーを熱源とする温水配管方式については現場施工法を確立してイニシャル・コストを現状より大巾に低減させる必要がある。

表— 3 融雪装置の稼動シミュレーション結果(福井80W/m²)

	最大積雪 (cm)	推定最大荷重(kg/m ²)		融雪稼動状況	
		(無融雪)	(融雪後)	日数	消費エネルギー
1977年	147	493	170	17日	32.6kwh
1978年	80	165	123	2日	3.8kwh
1979年	31	60	—	0日	—
1980年	82	350	159	10日	19.2kwh
1981年	196	755	281	29日	55.7kwh
1982年	29	77	—	0日	—
1983年	47	156	—	0日	—
1984年	95	324	158	8日	15.4kwh
1985年	83	336	165	9日	17.3kwh
1986年	127	361	167	12日	23.0kwh

参 考 文 献

- 1) 吉田順五：積雪災害の基礎的研究 1969年
- 2) 藤本・羽倉：現代建築防災工学，オーム社，1981年
- 3) 松下・和泉：建築耐雪論，新訂建築学大系，彰国社，1973年
- 4) 建築物荷重指針・同解説（第2版），日本建築学会，1981年
- 5) 前田博司：雪荷重の評価に関する研究（その1）（積雪平均密度について），日本建築学会論文報告集319号，1982年9月
- 6) 雪に強い住宅づくり研究調査報告書，富山県，1984年11月
- 7) 福井県気象年報及び月報，日本気象協会福井支部
- 8) 融雪用電力の稼動状況，北陸電力福井支店，1981年12月