

融雪瓦の開発

山本 紀一 浅井 邦雄 長谷川龍三

Development of Snow Melting Roofing Tiles

by

Kiichi YAMAMOTO, Kunio ASAI and Ryuzo HASEGAWA

東北地方や北陸地方など豪雨地帯において、出稼ぎや高齢化による雪下ろし作業者の不足が年々深刻になる社会環境に対応し、かつ、雪下ろし作業の危険から解放するため、除雪機能を付加した屋根材の開発が求められている。設備管理や温度管理の容易さ等を考慮して、粘土瓦1枚当たり最高30Wの電力加熱による融雪瓦を開発した。

ニッケルクロム線を生素地と乾燥素地へ埋設する方法を検討したが、技術的、コスト的に問題があるので、焼成後の粘土瓦に埋設する方法で融雪瓦を試作した。ビニールチューブで絶縁したニッケルクロム線を使用した試作融雪瓦は埋設長さ3450mmで12段折り返しである。発熱体の種類と加工条件は①発熱体種類；JIS NCHW 2，②線径；0.18φmm，③スパイラル内径；0.8φmm，④長さ；7568mm，⑤巻き数；3011回，⑥使用電圧；100Vである。技術的課題は少なく、実用性が高い。

発熱樹脂を使用した試作融雪瓦は瓦の裏面に釉薬を施し、その上に発熱樹脂をプリントした。幅3mm，厚さ0.5mm，長さ200mm，5本の並列接続である。発熱樹脂の上には、シリコン樹脂でカバーして絶縁した。技術的課題としては、発熱体の幅と厚さ及び体積抵抗率の調節などがある。

1. まえがき

東北地方や北陸地方など豪雨地帯¹⁾において、出稼ぎや高齢化による雪下ろし作業者の不足が年々深刻になる社会環境に対応し、かつ、雪下ろし作業の危険から解放するため、除雪機能を付加した屋根材の開発が求められている。

除雪機能は、物理的に除去する方法や薬剤を使用して凝固点を上げるもの及び、加熱による融雪方法等がある。ここでは、加熱による融雪方法のうちで、設備管理や温度管理の容易さ等を考慮して、粘土瓦に電気発熱体を熱源として付加したものを対象とした。

(2) 熱源を瓦の上に設置する。

(3) 熱源を瓦の中に設置する。

これらの特徴としては、

(1)の方法は、熱源と瓦の下部との空気層を介して瓦の下部を暖め、その熱が瓦の上部に伝わって雪を溶かすため熱効率が悪い欠点がある。

(2)の方法は、熱効率が良いが耐久性と美観等の点で問題がある。

(3)の方法は、瓦内部に熱源を設置するので、瓦の下に設置するより熱効率がよく電力を有効に利用できるし、熱源を瓦でカバーするので安全性が高い。又、外見は普通の瓦と同じあるので美観を損なわないし、瓦一枚ごとに取換えができるので補修上からも有利である。

このような理由から(3)の方法によることとした。

2.2 負荷電力

「日最低気温の月別平均値」の冬季(11月～3月)の平均値(℃)は、青森-2.6，秋田-1.0，山形-1.7，富山+1.3，長野-1.6である。長野

2. 試験方法

2.1 熱源設置場所

熱源の設置場所によって次の方法がある。

(1) 熱源を瓦の下に設置する。

2.4 発熱樹脂の検討

フェノール系熱硬化樹脂に導電性物質を加えて発熱体になる新素材について検討した。設置方法は、スクリーンでマスクしてプリントした。

2.4.1 スライドガラスにおけるプリント幅と抵抗値

プリントする物の表面性状が抵抗値に及ぼす影響を見るために、比較的平滑で入手しやすいスライドガラスにセロハンテープ（厚さ $50\mu\text{m}$ ）で、長さ 100mm 、幅 $2, 3, 4, 5\text{mm}$ の4段階にマスクして熱硬化発熱樹脂をプリントした。幅は実体顕微鏡で最も細い部分を測定した。

2.4.2 釉薬瓦におけるプリント幅と抵抗値

釉薬瓦の表面性状が抵抗値に及ぼす影響を見るために、釉薬瓦にセロハンテープ（厚さ $50\mu\text{m}$ ）で、長さ 100mm 、幅 $1, 2, 3, 4, 5\text{mm}$ の5段階にマスクして発熱樹脂をプリントした。幅は実体顕微鏡で最も細い部分を測定した。

3. 試験結果と考察

3.1 負荷電力

瓦1枚当たり（JIS 53A形）の最高負荷電力を長野市の気候から最高 30W/枚 とした。以下に計算結果を示す。

(1) 長野市の気候

- ① 冬季平均外気温度； -3°C
- ② 平均風速； 5m/s
- ③ 降雪量； 5cm/h

(2) 降雪を解かすために必要な電力 P_1 （ W/m^2 ）

$$P_1 = \frac{10^4 \times h \times \rho (C \times |t| + J)}{860 \times \eta} \quad (\text{W/m}^2)$$

ここに、 ρ ：雪の密度（ 0.05g/cm^3 ）

η ：熱の効率（ 0.8 ）

C ：雪の比熱（ 0.5cal/g ）

t ：冬季平均外気温度（ -3°C ）

J ：雪の融解潜熱（ 80cal/g ）

h ：降雪量（ 5cm/h ）

$$P_1 = \frac{10^4 \times 5 \times 0.05 (0.5 \times |-3| + 80)}{860 \times 0.8}$$

$$= 296 \quad [\text{W/m}^2]$$

(3) 平均外気温度のとき屋根表面を 1°C に保つために必要な電力 P_2 （ W/m^2 ）

$$P_2 = \frac{(\theta_1 - \theta_2) \times 1.163}{R \times \eta} \quad (\text{W/m}^2)$$

ここに、 R ：風速による熱伝導抵抗

$$= 1 / (4.81 + 3.4 \times V)$$

V ：風速 5m/s

η ：熱効率 0.8

θ_1 ：所要温度 $+1.0^\circ\text{C}$

θ_2 ：冬季平均外気温度 -3.0°C

$$P_2 = \frac{(1 - (-3)) \times 1.163}{[1 / (4.8 + 3.4 \times 5)] \times 0.8}$$

$$= 127 \quad (\text{W/m}^2)$$

(4) 融雪に必要な加熱電力 P （ W/m^2 ）

$$P = P_1 + P_2$$

$$P = 296 + 127 = 423 \quad (\text{W/m}^2)$$

(5) 瓦一枚当たりの加熱電力 P （ W/枚 ）

使用する瓦の種類を53A（53枚/坪）とすると

$$423 (\text{W/m}^2) = 1396 (\text{W/坪}) = 26.3 (\text{W/枚})$$

$$\approx 30 \quad (\text{W/枚})$$

3.2 ニッケルクロム線発熱体の埋設方法

3.2.1 焼成前埋設

(1) 生素地への埋設

瓦を浸水させた時の、浸水時間と絶縁抵抗の関係を図2に示す。

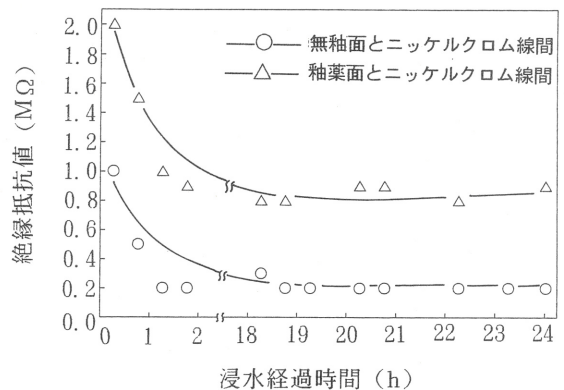


図2 融雪瓦の絶縁抵抗値
（焼成前埋設・生素地への埋設）

絶縁抵抗は数時間で安定するが、その時の絶縁抵抗は釉葉面（瓦の表面）とニッケルクロム線間では約 $0.8\text{M}\Omega$ 、無釉面（瓦の裏面）とニッケルクロム線間では約 $0.2\text{M}\Omega$ である。

使用者が、瓦の裏面を直接手で触ることは少ないと思われるが、安全性を高めるため瓦の無釉面と電熱線間絶縁抵抗値で検討した。

使用する瓦の種類を53A(53枚/坪)、建坪を40坪、半数を融雪瓦と仮定すると約1000枚の融雪瓦を使用することになる。

無釉面とニッケルクロム線間では、融雪瓦一枚で約 $0.2\text{M}\Omega$ であるから1000枚並列接続になり全体の抵抗は $0.0002\text{M}\Omega$ となる。

一方、一般家庭の家屋における絶縁抵抗値の規格は $0.1\text{M}\Omega$ 以上必要である。従って、融雪瓦の必要絶縁抵抗値はこれの500倍以上の絶縁抵抗値にする必要がある。つまり、融雪瓦一枚の絶縁抵抗は $100\text{M}\Omega$ 以上必要である。

安全性を確保するためには、絶縁抵抗値を大きくしなければならない。その方法として焼成温度を高くして吸水率を小さくするのも一つであるが、現在の配合粘土の場合「行儀」が悪くなる欠点がある。この欠点防止には、原料を変更したり、温度管理の向上等の対策を取れば有効な方法であるが、コストアップ要因となり実現性が少ない。

(2) 乾燥素地への埋設

ニッケルクロム線を窪みに埋めて施釉し平らにして焼成した。その結果、ニッケルクロム線は窪みの中で移動していた。この方法は、ニッケルクロム線の保持が困難であり、平らにして焼成することは焼成コストも高くなる欠点がある。

3.2.2 焼成後埋設

(1) 発熱体の種類と加工条件

埋設長さ3450mmとしたときの加工条件の計算結果を表1に示す。一般に線間隔は3本分以上に取るが番号6以外は3本分以上である。しかし、番号1,2,3は大きすぎるので除外する。表面負荷抵抗は密閉式電気炉の場合で $1\sim 2\text{W}/\text{cm}^2$ とされている。番号4と5は、 $0.7\sim 0.5\text{W}/\text{cm}^2$ と非常に小さい。従って、番号4,5が残るが、線間隔が大きい方がショートの可能性が少ないので番号4を最終候補とする。

加工条件等を以下に示す。

①発熱体種類；NCHW2(JIS C2520)

②線型； $0.18\phi\text{mm}$

③スパイラル内径； $0.8\phi\text{mm}$

④長さ；7568mm

⑤巻き数；3011回

⑥製品形状；スパイラル

⑦使用電圧；電圧100V

⑧絶縁物；塩化ビニール製薄肉チューブとし、内径×外径は $2.0\times 2.6\phi\text{mm}$ の規格品

(2) 配線密度

測定点12のなかで、最も低温であった測定点を低温部、最も高温であった測定点を高温部とした結果を表2に示す。

低温部における配線密度が「粗」と「密」のときの温度は180分経過すると「粗」が 15°C 、「密」が 16°C 上昇し、「密」の方が 1°C 高いのみである。

高温部における配線密度が「粗」と「密」のときの温度は180分経過すると「粗」が 20°C 、「密」

表1 発熱体の線径と巻き数等の関係

番号	適否	線径 d mm	導体抵抗 R Ω/m	長さ L mm	巻き数 n 回	外径 D mm	線間隔		表面負荷密度 P W/cm^2
							mm	※本文	
1	×	0.14	72.8	4574	1820	1.08	1.75	12.5	1.48
2	×	0.15	63.4	5252	2090	1.10	1.50	10.0	1.21
3	×	0.16	55.7	5978	2379	1.12	1.29	8.0	0.99
4	◎	0.18	44.0	7568	3011	1.16	0.96	5.3	0.70
5	○	0.20	35.6	9353	3722	1.20	0.72	3.6	0.50
6	×	0.23	27.0	12333	4907	1.26	0.47	2.0	0.33

※本文とは線間隔と線径との比

が28℃上昇し、「密」の方が8℃高くなる。

冬季平均外気温度が-3℃から考えて低温部における配線密度が「粗」でも30分経過すると7℃上昇することになる。

これらのことから、埋設長さ1500mmで6段折り返し程度の配線密度も検討したい。

表2 融雪瓦の昇温試験結果（室温との差℃）

測定箇所	配線密度	経過時間(分)			
		10	20	30	180
低温部	粗	+4	+8	+10	+15
	密	+4	+9	+11	+16
高温部	粗	+10	+17	+18	+20
	密	+10	+17	+20	+28

3.3 発熱樹脂

3.3.1 スライドガラスにおけるプリント幅と抵抗値

プリント幅と抵抗値の関係図3に示す。その結

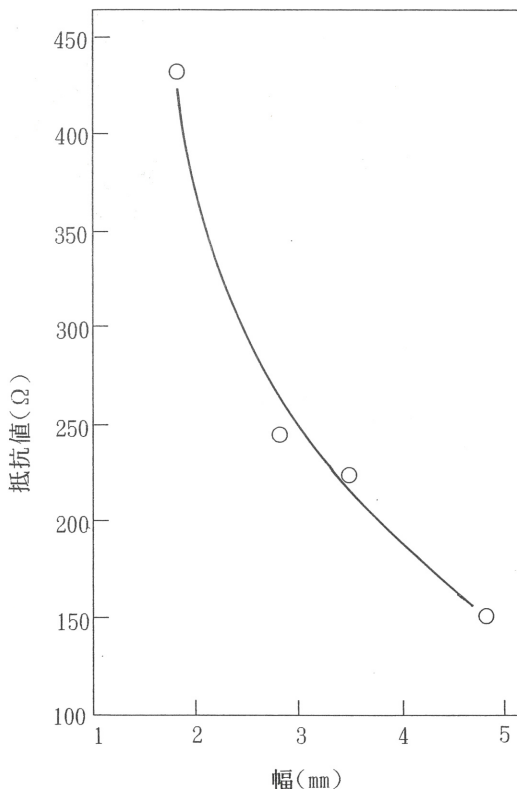


図3 スライドガラスでの幅と抵抗値との関係

果は次のとおりである。

(1) 厚さが一定のときは、幅と抵抗値は直線関係になるが幅が3mm付近で変化している。

(2) 抵抗値は幅の影響が大きいので、安定させるには3mm以上の幅にした方がよい。

3.3.2 釉薬瓦におけるプリント幅と抵抗値

プリント幅と抵抗値の関係を図4に示す。その結果は次のとおりである。

(1) スライドガラスに比較して、幅と抵抗値の間に直線関係がない。特に幅が1～2mmの間は変化が大きい。抵抗値は幅が変動したときは、一番細くなったところで拘束されるので、抵抗値を安定させるためには幅を比較的広く（3mm以上）するとよい。

(2) その原因は、表面性状が大きく影響するものと思われる。特に石英粒子による凸部や、ピンホールによる凹部が抵抗値の変動を大きくする原因と考えられる。

(3) 表面性状の影響を小さくするためには、厚さは0.2～0.5mm程度に、幅は3mm以上にした方がよい。

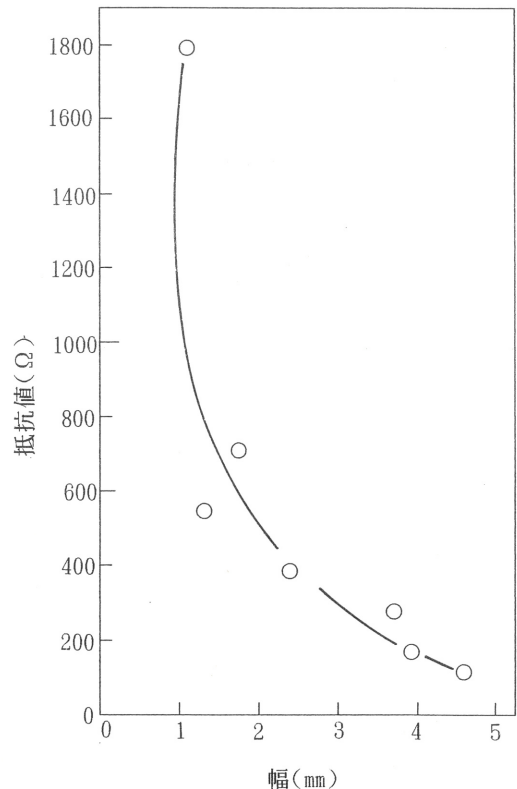


図4 陶器瓦での抵抗値と幅の関係

4. 融雪瓦の試作

4.1 ニッケルクロム線発熱体を使用した融雪瓦の試作

前記の発熱体の種類と加工条件で加工したニッケルクロム線を、電気安全性を高めるためビニールチューブで絶縁した使用した。配線密度は「粗」の埋設長さは3450mmで12段(図1)で試作したものを写真1に示す。

4.2 発熱樹脂を使用した試作融雪瓦の試作

ニッケルクロム線を生素地に埋設したときの絶縁抵抗が小さかったので、絶縁抵抗を高めるために陶器瓦の裏面に釉薬を施し、その上に発熱樹脂をプリントした。幅3mm、厚さ0.5mm、長さ200mm、で配線密度は5本の並列接続である。5本の並列接続としたのはニッケルクロム線の埋設と違い、並列結線を何本にしてもさほどコストアップ要因は見られないためである。発熱樹脂の上に保護と絶縁のためシリコン樹脂でカバーした。写真2に示す。

5. まとめ

5.1 瓦一枚当たりの最高電力を長野市の気候から最高30W/枚とした。

5.2 ニッケルクロム線発熱体

- (1) 安全性を得るためビニールチューブで絶縁した。
- (2) 配線密度は「粗」で埋設長さ3450mmで12段折り返しで十分である。埋設長さ1500mmで6段折り返しでも良いと思われる。
- (3) 瓦に設けた溝に入れて埋設したが、固定用突起物を設けてそれに付加しても良い。
- (4) 技術的課題は少なく、実用性が高い。

5.3 発熱樹脂

- (1) 陶器瓦の裏面に釉薬を施し、その上に発熱樹脂をプリントした。幅3mm、厚さ0.5mm、長さ200mm、で配線密度は5本の並列接続である。
- (2) 発熱樹脂の上に、保護と絶縁のためシリコン樹脂でカバーした。
- (3) 発熱樹脂の体積抵抗率に合わせて断面積や長さを決定するより、先に断面積や長さを決

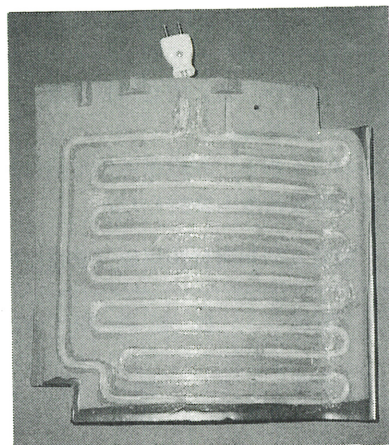


写真1 ニッケルクロム線を使用した融雪瓦の試作品

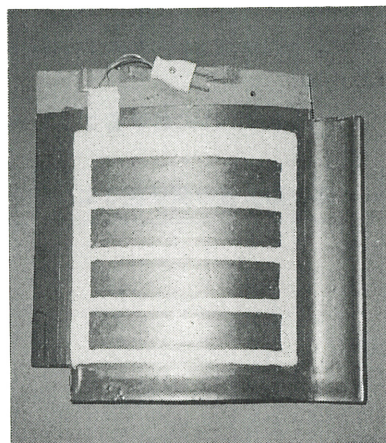


写真2 発熱樹脂を使用した融雪瓦の試作品

定し、導電性物質の調合割合で負荷電力を調節した方が良い。

- (4) 技術的課題としては、ニクロム線発熱体の使用と比較して、幅と厚さ及び体積抵抗率の調節技術などがある。

謝 辞

本研究に対して始終ご協力頂きました、中部電力株式会社 電気利用技術研究所に深謝致します。

参考文献

- 1) 豪雪地帯対策特別措置法, 昭和37年4月5日法律第73号