

通電発熱塗料を用いた発熱シートの適用事例 ー寒冷地における土木材料の保温保管ー

佐藤工業 正会員 ○伴 享 正会員 前田 幸男
佐藤工業 菊田 道宣 塚本 健二
佐藤工業 内藤 和弘 佐々木 拓
メイジ 青沼 美鶴 武山 英治

1. はじめに

これまで、通電すると発熱する”通電発熱塗料“を用いた薄型の発熱シートを開発し、これを階段踏面裏面に貼付けて融雪を図る降雪時の転倒防止対策に適用してきた^{1)~4)}。ここでは、2022年~2023年冬期、青森県弘前市榎の口浄水場作業所で実施した寒冷地における発熱シートによる土木材料の保温保管の事例について報告する。

2. 事前検討

2.1 保管対象材料、保管条件

保管対象材料はコンクリートの打継目処理剤（凝結遅延剤）で、-5℃程度以下で凍結し散布不能となり、材料分離により性能が低下する。また、解凍利用する場合には、35℃以下で十分な攪拌が必要となるなどの使用上の制約がある。適用場所の気象記録⁵⁾は表-1に示すように、対策前年冬期の日最低気温が-5℃以下となった日が31/90日と多く、屋外でのシート養生保管では、材料の凍結が懸念された。

そこで、融雪マットとして利用していた薄型の発熱シートを用いた凍結防止方法について検討した。保管方法は、シート上の除雪、シートの取外し・再養生手間およびシートの断熱性などの屋外保管の問題に対し、内寸:1.8m×1.8m×2.1mの軽量鉄骨の小型倉庫（前面シャッター、屋根・壁は発泡ウレタン断熱材）内に配置した発熱シートにより保温とする方法とした。

2.2 発熱シートの発熱温度および倉庫内温度の予測

現場運用に先立ち、環境試験室を用い、低温一定条件下での性能確認試験を行った。発熱シート3種類、環境温度-15、-10、-5、0℃の4ケース、印加電圧100Vの条件で発熱させ、表面温度を測定した（図-1）。シート表面4ヶ所の平均温度は10℃~40℃、また、発熱温度Δθ（=表面温度-環境温度）は環境温度に依らず25℃~45℃程度のほぼ一定の値となった（図-2）。

つぎに、式-1に示す定常熱収支⁶⁾によって室温を計算し、倉庫内温度を推定した。発熱温度を試験で確認されたΔθ=25℃~45℃とした場合における外気温に対する倉庫内温度の推定結果を図-3に示す。この結果、前年冬期の最低気温-8.4℃程度が継続する環境においても、シートの発熱温度Δθが25℃以上であれば、倉庫内温度は概ね0℃以上となることから、材料の凍結は防止できると推測された。

表 - 1 実施場所の冬期気象データ⁵⁾

弘前気象記録（冬期3ヶ月：2021/12/1~2022/2/28）					
	最低・最小	最高・最大	平均	-5℃以下 日数	0℃以下 日数
日最低気温(℃)	-8.4	3.8	-3.9	31/90日	78/90日
日平均気温(℃)	-6.5	8.0	-0.6	3/90日	59/90日
降雪深さ(cm)	0	27.0	2022/1/5 記録		
最深積雪(cm)	0	112.0	2022/2/23 記録		

シート寸法： 1200×800mm 温度：熱電対4ヶ所 印加電圧：100V	シート種別		発熱シートの 層別材料	
	T-100、 T-200	T-200B		
		なし	ロンマット	≒2mm
			ラミネート PET	≒0.1mm
	シートに発熱塗料を スクリーン印刷		発熱塗料および電極 PETシート	≒0.25mm
			ラミネート PET	≒0.1mm
			アルミマット	≒4mm
		なし	遮水シート	≒1mm

図 - 1 試験状況および発熱シートの仕様

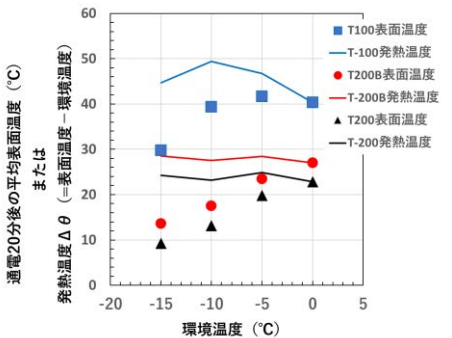


図 - 2 性能確認試験結果

$$\sum_k A_k U_k (\theta_k - \theta_R) + a_i A_g \{(\theta_R + \Delta\theta) - \theta_R\} = 0$$
$$\therefore \theta_R = \frac{\sum_k A_k U_k \theta_k + a_i A_g \Delta\theta}{\sum_k A_k U_k}$$

θ_R : 倉庫内温度 [°C]
 A_k : 各部位 k の面積 [m²]
 U_k : " の熱貫流率 [W/m²K]
 θ_k : " に作用する温度(外気温等) [°C]
 a_i : 室内側熱伝達率 [W/m²K]
 A_g : 床面での発熱面積 [m²]
 $\Delta\theta$: 発熱温度 (発熱面での室温との温度差) [°C]

.....式-1

キーワード 通電発熱塗料，発熱シート，コンクリート打継目処理剤，保温保管
連絡先 〒300-2658 茨城県つくば市諏訪 C30 街区 1 TEL029-817-5100

3. 保温保管の実施

倉庫内の保温は、2022/12/7 にヒーターの運転を開始し、2023/2/17 まで、倉庫内の室温（棚上）、内壁面の温度を小型データロガーで測定した（図-4）。図-5 に示すように、同期間（約 72 日）の弘前の毎時記録⁵⁾の気温-9.9℃～12.4℃（平均-0.8℃）に対し、倉庫内室温は、平均 18.6℃、最低 4.2℃となった（ただし、電源停止期間を除く）。室温の変化は、外気温に対応し各日の昼頃にピークを示し、電源停止期間中の夜間の気温低下時には室温と外気温がほぼ等しくなっている。別途、非接触赤外線温度計で測定した 2023/2/9 時の外気温-1.3℃、倉庫内室温 14.8℃状態における各箇所温度は、ヒーター面：27.2～37.1℃（平均 32.0℃）、外壁：2.7℃、天井面：4.2℃、一斗缶面：3.1～10.5℃（平均 6.5℃）となることから、缶内の材料は管理目標の温度-5℃以上となると判断された（図-4 参照）。

つぎに、図-6 に示す気温～倉庫内室温関係をみると、室内温度は、外気温+（15～25℃程度）となり、定常熱収支の推定結果（図-3）と傾きはほぼ等しく、断熱条件とした床面以外の天井、壁面の諸物性の設定は妥当であったと思われる。また、シャッター開放時の室温低下に伴う材料温度の推移については測定を実施していないが、別途行った過渡応答より、数十分程度では、顕著な温度低下はしないと推定された。

4. おわりに

土木材料の低温凍結による性能劣化予防として、薄型の発熱シートを用いた倉庫内での保温保管を行った。火器を使用せず省スペース、加熱出力（電力密度）設定・温度制御が容易となること、また、アイランプなどと比べて、所定面積の均一加熱となるため、熱源近くの過剰加熱リスクの低減および材料の均等温度の保管が可能となることなどから、今後、各種材料の保温保管などの用途に適用していきたいと考える。

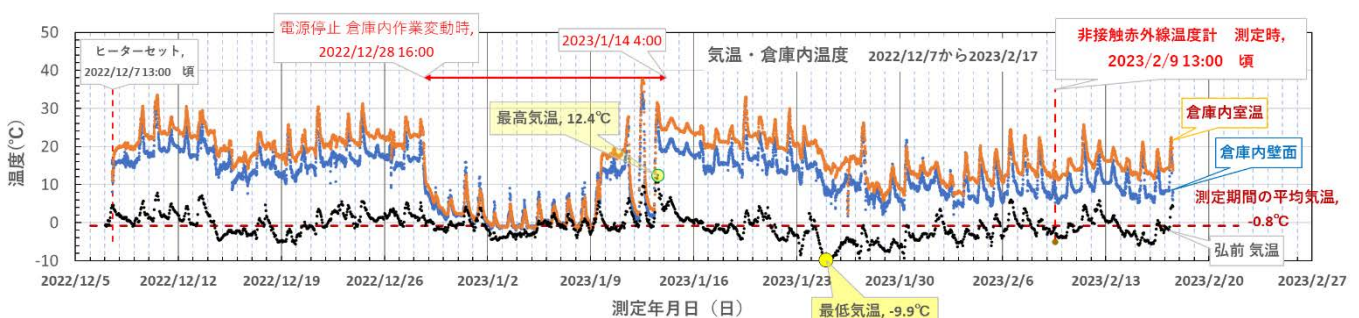


図-5 外気温および倉庫内温度の経時変化（外気温：弘前毎時記録値，倉庫内温度：10 分間隔値）

参考文献

- 1) 前田幸男，伴享他：通電発熱塗料を用いた発熱シートによる融雪試験-降雪時の運転状況-，令和 4 年度土木学会全国大会，2022.9，VI-440
- 2) 伴享，前田幸男他：通電発熱塗料を用いた発熱シートによる融雪試験-積雪時の運転状況-，令和 4 年度土木学会全国大会，2022.9，VI-441
- 3) 前田幸男，伴享他：冬期融雪対策への通電発熱塗料を用いたシートヒーターの適用，令和 4 年度建設技術報告会 北陸地方建設事業推進協議会，2023.1，pp.73～76
- 4) 前田幸男，伴享他：通電発熱塗料を用いた発熱シートによる融雪-冬期現地試験による融雪能力の検討-，佐藤工業技報，No. 47，2022.12，pp.13～20
- 5) 気象庁ホームページ：各種データ・資料，<https://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>
- 6) 例えば，環境工学教科書研究会：環境工学教科書，1996.3，pp.54～55

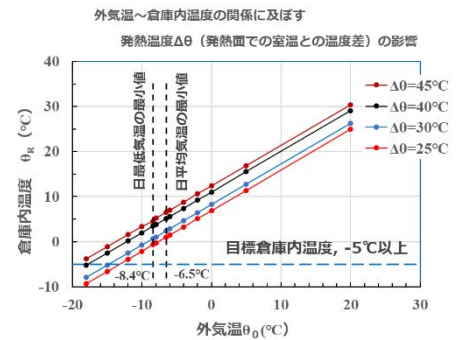


図-3 倉庫内温度の推定結果



図-4 保温保管状況（2023/2/9 10:12 時）

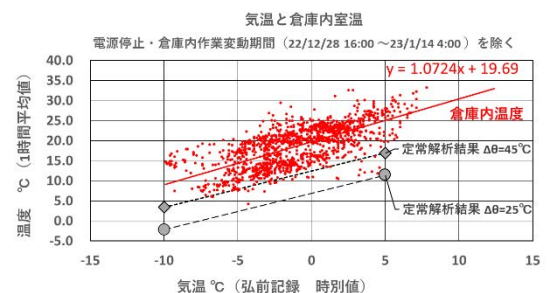


図-6 外気温と倉庫内室温との関係