

低コスト型遮熱塗料に関する研究

中村俊一*

Study on Low-cost Thermo Shield Coatings

Shun'ichi NAKAMURA

日射反射と熱伝導抑制の機能をあわせ持ち、少ない工程数で施工できる低コスト型の遮熱塗料としてガラスバルーンをおもな体質顔料として配合した塗料を試作し、遮熱特性を調べた。平均粒子径 $65\mu\text{m}$ 、かさ比重 0.075 のガラスバルーンを使うと広い配合量域で高い遮熱性能を示し、顔料容積濃度 40% で熱伝導率が $0.05\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 、日射反射率が約 90% の塗料を試作することができた。次に、上塗り工程を省略するために必要な塗料の条件を調べた。隠れ性向上には、ガラスバルーンに加えてルチル型酸化チタンを配合すると有効であることがわかった。

Keyword : Thermo Shield Coating 遮熱塗料, Solar Radiation Reflectance 日射反射率, Thermal Conductivity 熱伝導率, Glass Balloon ガラスバルーン

1. 緒 言

近年、地球温暖化やヒートアイランド現象など環境問題が深刻化するなか、屋根や壁面に施工し、建物の冷房効率向上や居住性向上を果たす特殊機能性塗料が注目されている。これら市販塗料は遮熱塗料や断熱塗料等と呼ばれ、その技術資料には、熱の伝導を低減する機能や日射を反射する機能を記述しているものが多い。本稿では、以後この特殊機能性塗料を遮熱塗料と記述する。

熱伝導は熱エネルギーが高温部から低温部へ移動する現象であり、分子同士の衝突による熱伝達である。したがって、分子間距離が大きい気体は衝突の機会が少ないため、固体より熱伝導率は小さい。熱の伝導を低減することを機能とする塗料は、中空球の充填材を体質顔料として配合することで塗膜中に空気相または真空相をつくり、熱伝導が低下するように設計されている¹⁾。日射は、太陽から地球へ向かって放射される輻射エネルギーのうち大気圏を通過して地上に到達する波長域 $300\sim 2500\text{nm}$ の近紫外、可視及び近赤外の放射である。日射反射を機能とする塗料は特殊な充填材を塗膜表面に導入し、塗料の色で反射率が制限される可視域を越えた 780nm 以上の近赤外域の放射を反射するように設計されている²⁾。

遮熱塗料はこうした機能により、省エネ・高居住性を必要とする建設・畜産等の業種において必要性が高まっている。また、塗装関連の業種でも、遮熱塗料が環境対応としての付加価値を生み出すことから必要性が高まっている。このような背景のもとに筆者らは、遮熱塗料についての情報を収集してきた。これまで遮熱性能の評価方法について検証を行い、塗装における遮熱性能のシミュレーションを

試み、遮熱塗料の効果を科学的に検証してきた³⁾⁻⁵⁾。そのなかで残った問題の一つが遮熱塗料の低コスト化である。現状の遮熱塗料の塗装工程では熱伝導抑制と日射反射とを異なる塗料を用い、2工程で塗装することでコスト高となっている。このことが遮熱塗料の普及が進まない原因のひとつになっている。

そこで本研究では、下塗りまたは中塗りとして用いられる熱伝導抑制効果の高いガラスバルーン塗料に着目し、この塗料に上塗りとしての機能をあわせ持たせるための研究を行った。ガラスバルーン塗料の2つの遮熱機能を調べ、さらには、作業性や付着性など上塗り塗料として必要な性能を持つことができるよう、配合する塗料材料について検討した。

2. ガラスバルーン塗料の試作

2.1 おもな塗料材料の選定

塗料は蒸発成分の違いにより有機溶剤系と水系に分類される。今回、遮熱塗料は環境に配慮した塗料であることから、VOC発生が少ない水系の塗料とすることにした。また、現場での煩雑な調合が不要な1液型の塗料とした。このため塗膜の主成分となる合成樹脂として、2液型のポリウレタン樹脂の採用はやめ、1液型のアクリル酸エステル共重合体のエマルジョン樹脂を選択した。

次に、遮熱性能を発現する体質顔料として、耐熱や防火用途として利用の幅が広がりやすい無機質の中空充填材を選択した。天然由来のシラスバルーン(主成分アルミノケイ酸ガラス)と人工物であるガラスバルーン(主成分ソーダ石灰ホウケイ酸ガラス)を数種入手し、これらを一定量配合した塗料について遮熱性能を調べた。その結果、シラ

*素材開発部

スバルーン塗料の日射反射率は67~71%、ガラスバルーン塗料の日射反射率は約94%、シラスバルーン塗料の熱伝導率は、0.09~0.11W/(mK)、ガラスバルーン塗料の熱伝導率は0.05~0.11W/(mK)であった。このなかで最も良い遮熱性能を示した平均粒子径が65μm、かさ比重0.075のガラスバルーンを体質顔料に選定した。

2.2 塗料の調製

選定したエマルジョン樹脂を主成分に増粘剤や消泡剤等を加えたビヒクルを調製した。次にビヒクルにガラスバルーンを配合し、塗料を調製した。調製にはインペラーの羽根をつけたかくはん機を用い、1200rpmでかくはんした。

3. ガラスバルーン塗料の遮熱性能

3.3 試験片の作製

はじめに、ガラスバルーン顔料容積濃度が約20~50%の塗料を調製した。調製した試作塗料をアネスト岩田(株)製スプレーガンW-200-251Gを用い、吹付け空気圧力0.3MPaでシナ合板にアルミホイル(厚さ15μm)を張り付けた素地に数回吹付け塗りし、約2mmの塗膜厚に調整し、試験片とした。試験片は直径50mmの円盤の形にシナ合板から切り取り、熱伝導率測定ではアルミホイルをつけたまま、日射反射率測定ではアルミホイルをはがしたものを試験に用いた。

3.2 遮熱性能の測定

遮熱性能のうち、日射反射率は、JIS R 3106「板ガラス類の透過率・反射率・日射熱取得率の試験方法」に準じた試験方法で調べた。このとき日射反射率は硫酸バリウムを標準試料とし、300~2500nmの波長範囲で、標準試料の反射率との比較によって求めた。分光測光器は、積分球を内蔵した試料室MPC-3100を付属した紫外・可視・近赤外分光光度計UV-3150((株)島津製作所製)を使用した。

次に、熱伝導率は、内部構造が不均質な薄膜について0.1W/(m・K)前後の見かけの熱伝導率を測定できる定常法円盤熱流計法式の熱伝導率測定器(ANTER社製UNITHERM 2022)を用いて調べた。測定温度30℃、上部ヒーターと下部ヒーターの温度差30℃の測定条件で試験した。

3.2 実験結果と検討

ガラスバルーンの配合量と調製した塗料の塗膜の日射反射率と熱伝導率の関係を図1に示す。このときガラスバルーンの配合量は顔料容積濃度で示した。

図1から、ガラスバルーンの配合量が増えるにつれて日射反射率は直線的にあがり、顔料容積濃度50%で日射反射率は95%を超えた値となった。ただし、このときの直線の傾きは小さく顔料容積濃度20%でも90%の日射反射率を示した。一方、熱伝導率は顔料容積濃度とともに約40%までは低下したがその後はほぼ一定となり、最低値0.05W/(m・K)となった。熱伝導率も顔料容積濃度20%で0.06W/(m・K)を示

したことから、試作塗料は、ガラスバルーンの広い配合量域で高い遮熱性能を示すことがわかった。

ここで、日射反射率については紫外・可視・近赤外域に分けて詳しく調べてみた。結果を図2に示す。図2からガラスバルーンの配合量の増加とともに日射の成分の中で特に紫外域における反射率の上昇が顕著になっていることがわかった。

今回の実験では、ガラスバルーンの配合量は顔料容積濃度50%がかくはんできる限界点であった。塗料調製の作業性や遮熱性能等を考慮すると、今回使用した塗料材料から塗料を調製する場合、最適なガラスバルーンの顔料容積濃度は40%と考えられた。

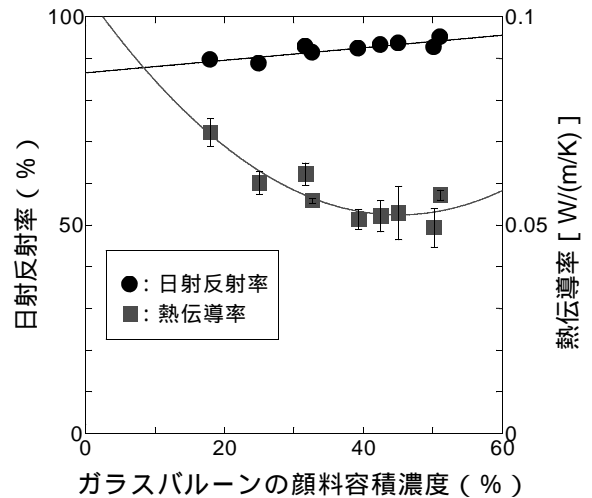


図1 ガラスバルーンの配合量と遮熱性能

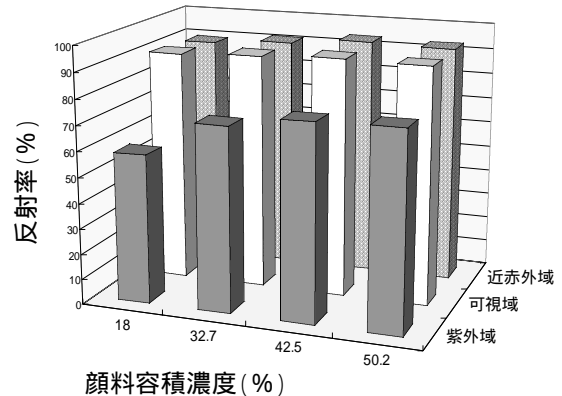


図2 ガラスバルーンの配合量と日射反射率

3.4 市販塗料との比較

試作したガラスバルーン塗料と3社の市販塗料との日射反射率について同様に試験し比較した。結果を図3に示す。ガラスバルーン塗料は、市販塗料に比べ日射反射率が高く、特に紫外域の反射率が高いことがわかった。

4. 上塗りに必要なガラスバルーン塗料の条件

4.1 粘性と作業性

ガラスバルーン塗料が上塗りとして使えるためには、吹

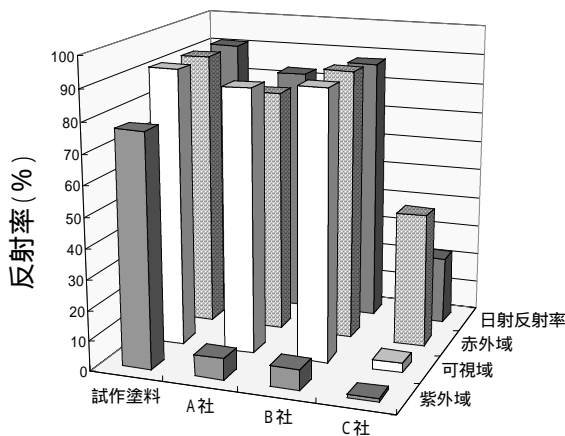


図3 ガラスバルーン塗料と市販塗料の日射反射率

付け塗りだけでなくローラーはけ塗りが可能であることが必要である。この作業性に影響すると考えられる増粘剤について検討した。

増粘剤には、エマルジョン塗料に一般によく用いられるヒドロキシプロピルメチルセルロース及びメチルセルロースを使用した。これに、ポリカルボン酸塩、高級脂肪酸アミド・ポリエチレンワックス系の粘度調整剤を後から添加して塗料の粘度・粘性の変化を調べた。塗料のガラスバルーン顔料容積濃度は約40%とした。粘度はB型粘度計（(株)東京精機製作所製）で測定した。また、B型粘度計の測定で、6 rpmで測定した粘度を60rpmで測定した粘度で除して求めたT I値（チキソトロピックインデックス）から粘性を比較した。T I値は1に近いほどニュートン流動になり、T I値が大きくなるほど構造粘性がある。

試験した結果、ヒドロキシプロピルメチルセルロース及びメチルセルロース配合を基準とすると粘度については、ポリカルボン酸塩添加で増粘、高級脂肪酸アミド・ポリエチレンワックス系添加で粘度低下がみられた。粘性については、ポリカルボン酸塩添加ではT I値が約1増え、高級脂肪酸アミド・ポリエチレンワックス系添加では変化がみられなかった。

次に、調製した塗料のローラー塗りでの作業性を調べた。スレート板にウーローラー（ウーロン繊維使用のローラーはけ）で試作塗料を塗り付け、作業性と仕上がり状態を観察した。試験した塗料はすべて大きな凹凸模様のローラーマークが発生し、ローラーのすべりもあり、作業性は総じて良くなかった。その中で比較的作業性が良かったものは、T I値は3.3の試作塗料であった。

ローラー塗り作業性を改善するためには、さらに大きく粘性を変える塗料材料が必要であると考えられた。

4.2 塗膜の隠ぺい性と作業性

上塗り工程を省略するため、バルーン塗料に被塗物を覆い隠す性能（隠ぺい性）を付与することが作業性向上に必要である。ガラスバルーン塗料に隠ぺい性を付与するため

にガラスバルーンに加えて二酸化チタン（ルチル型）、炭酸カルシウム、タルクを配合した塗料を調製した。試験に用いた体質顔料は塗料用に一般的によく使用されるものである。もとのガラスバルーン塗料の顔料容積濃度は約40%とした。

隠ぺい性は、試作塗料を白地と黒地に半分ずつ塗り分けた試験板（素地は55×150×5mmのシナ合板）の上に3mmの厚さで塗りつけ作成した。隠ぺい性は隠ぺい率として式(1)で求めた。

$$\text{隠蔽率} = \frac{\text{黒地の可視光反射率}}{\text{白地の可視光反射率}} \quad \dots\dots(1)$$

ここで黒地・白地の可視光反射率は、紫外・可視・近赤外分光光度計UV-3150を用い、380～780nmで測定した。比較のために黒地部分と白地部分の色差をL*a*b*表色系の色差を色彩色差計CR-300（ミノルタ(株)製）で測定した。さらに調製した塗料の遮熱性能についても測定した。表1に結果を示す。さらに表中の塗り板の項目に試験片の状態を写真で示す。

表1から、各顔料を配合することで隠ぺい性の向上が見られた。このなかで二酸化チタンが最も隠ぺい性を向上させた。二酸化チタン2%の添加で隠ぺい率はタルクや炭酸カルシウムの15%配合とほぼ同等の0.98になった。また、二酸化チタンは、添加量の増加とともに日射反射率は向上し、熱伝導率の上昇もみられないことから、ガラスバルーン塗料の遮熱性能低下に影響を及ぼさないことがわかった。これに対し炭酸カルシウムやタルクは添加量増とともに熱伝導率の上昇がみられ、必要な隠ぺい性を得ると遮熱性能が低下した。

二酸化チタン使用の問題として、表中の塗面の状態に示すように、分散が悪く塗面に気泡が入りやすい傾向がみられた。分散剤、消泡剤、かくはん方法についてさらに検討することが必要であった。

4.3 塗膜の付着強さ

バルーン塗料の付着性を碁盤目試験で調べた。ここでは付着性向上をはかるために各種シランカップリング剤を配合した塗料について調べた。試験片は、鋼板（大きさ50×100×0.8mm）を素地に各塗料を2mmの厚さに塗って調製した。塗面にカッターナイフで2mm角の碁盤目の切り込みを素地に達するまで入れ、その面をセロハンテープを貼り付け引きはがして塗面の状態を観察した。また、碁盤目試験とは別の塗面で日射反射率も測定した。結果を表2に示す。試験したシランカップリング材の内容と碁盤目試験面の写真及び評価（を基準とし、はかなり向上、は向上、×は低下を示す）を表中に示す。表2に示すように、有機質と反応する基がエポキシやエポキシシクロヘキサルのシランカップリング剤では未配合のものより付着性が向上し

表1 各体質顔料を配合した塗料の隠ぺい性と遮熱性能

体質顔料	未塗装	ガラスパル ーンのみ	二酸化チタン(ルチル)			炭酸カルシウム			タルク		
			2%	4%	6%	5%	10%	15%	5%	10%	15%
塗り板											
黒可視反射率	5.068	84.301	95.219	96.568	96.936	88.431	90.136	91.709	88.995	86.922	85.444
白可視反射率	94.565	95.593	97.417	97.466	97.434	95.904	95.625	94.904	92.553	89.437	87.498
隠蔽率	0.054	0.882	0.977	0.991	0.995	0.922	0.943	0.966	0.962	0.972	0.977
E黒白	74.89	5.86	1.03	0.47	0.35	2.7	2.4	1.34	1.71	1.17	0.96
塗面の状態	...	良好	気泡	気泡	気泡	気泡	良好	良好	良好	良好	良好
日射反射率	...	81.5	90.4	92.1	92.6	86.9	88.1	89.7	87.3	85.0	83.7
熱伝導率	...	0.058	0.060	0.060	0.058	0.064	0.071	0.080	0.066	0.077	0.084

表2 ガラスパルーン塗料の付着性とシランカップリング材の効果

シラン カップリング剤 X ~ Si(OR) ₃ 有機質と反応する 基	無し	アミノアルキル NH ₂ ~	メタクリロキシ CH ₂ =C-COO ~ C H ₃	エポキシ CH ₂ -CH ~ O	アミノアルキル NH ₂ ~	エポキシ シクロヘキシル 	エポキシ CH ₂ -CH ~ O
塗膜の厚さ (mm)	1.09	1.19	1.38	1.18	1.38	0.85	1.05
日射反射率 (%)	84.2	88.3	88.1	85.5	91.5	82.7	87.1
基盤目試験							
		x					

た。ガラスパルーン塗料の付着性向上にシランカップリン
グ剤の一部は有効と考えられた。日射反射率への影響は特
に見られなかった。

5. 結 言

低コスト型の遮熱塗料としてガラスパルーン塗料につい
て検討した結果、次のことが明らかになった。

- (1) 平均粒子径65 μm、かさ比重0.075のガラスパルーンを
使うと広い配合量域で高い遮熱性能を示し、顔料容積濃
度40%で日射反射率が約90%、熱伝導率が0.05 W/(m・K)
の塗料を試作することができた。
- (2) ガラスパルーン塗料は紫外域の反射率が高い特徴がみ
られた。
- (3) 増粘剤を検討することである程度は粘度・粘性を調製
することができた。しかし、ローラー刷毛塗り作業性向
上のためにはもう一段の調製が必要であった。
- (4) 上塗り工程を省略するため、ガラスパルーンに加えて
他の体質顔料を検討した結果、二酸化チタンが隠ぺい性

を最も向上させ、遮熱性能への影響も少ない顔料である
ことがわかった。

- (5) ガラスパルーン塗料の付着性向上にシランカップリン
グ剤の一部は有効であった。

謝 辞

研究を進めるに当たり、有益な助言を賜りました職業能
力開発総合大学校造形工学科助教坪田実先生に謝意を表
します。

参 考 文 献

- 1) 村木克彦, 石原有七: 塗料の研究138, 67(2002)
- 2) 井上孝一: TECHNO COSMOS, 11, 85(2002)
- 3) 中村俊一, 瀧石和人, 坪田実: 第18回塗料・塗装研究発
表会講演予稿集, A-12, 51-55(2003)
- 4) 中村俊一ら: 塗装工学, 38(11), 376-382 (2003)
- 5) 中村俊一ら: 2003年度色材協会講演要旨集, 3B09, 72-73
(2003)