

断熱塗料を用いたコンクリートの高品質化に関する実験的検討

An Experimental Study on the Effect of the Heat Insulating Paint on the Improvement of Concrete Properties

福手 勤* 酒庭 直樹** 斎藤 衛***

1. はじめに

コンクリートは言うまでもなく社会資本（インフラ）を支える主要材料であり、日本の経済成長を経て、今日の我々の生活や経済活動を支えてきた。現在ではコンクリート構造物は構造性能のみならず耐久性能に関しても注目が集まっている。

近年の気候変動の問題は、コンクリートの品質保証の面からも懸念されている。たとえば、夏季の温度上昇に起因するアジテータトラック内の急激な温度上昇によって、コンクリート温度が許容範囲を超えて、ワーカビリティが低下し、施工が困難になる恐れがある。また冬季の温度低下は、コンクリートの不十分な養生の原因となる恐れがあるとともに、積雪寒冷地においてはコンクリートの凍害劣化を加速させる恐れもある。

安倍政権の国土強靱化政策によって、公共投資額が増額され、2020年の東京オリンピック・パラリンピックの開催に向け、新設インフラの建設が進む。次の世代におけるインフラメンテナンスの負担軽減、そして構造物の長寿命化を考えたとき、新設構造物の適切な施工がこれまで以上に必要となる。

本研究は、省エネルギーの観点から近年注目を集めている断熱塗料を用いて、夏季のコンクリート温度の上昇抑制、冬季のコンクリート温度の低下抑制効果を把握し、高品質のコンクリートを実現するための技術資料を得ることを目的として実施したものである。

断熱塗料を用いたコンクリート施工の事例は少ないため、今回は断熱塗料がコンクリートの初期養生に及ぼす効果を把握することを目的に、初期養生時に断熱塗料を用いた場合の断熱効果と、それがコンクリートの強度発現に及ぼす影響を確認するための一連の実験を行った。

2. 実験概要

2. 1 実験の種類

1つ目は、鉄製容器（鋼製一斗缶）を養生用型枠とし、その一斗缶外部表面に断熱塗料を塗布し、その中にコンクリートを打ち込んで、硬化に伴う温度変化を測定する実験（温度測定試験）である。すなわち、断熱塗料による遮熱効果、内部の温度蓄積効果を調べるために行ったものである。

2つ目の実験は、コンクリート供試体作製用プラスチック製型枠（プラモールド）の外部表面に断熱塗料を塗布し、コンクリートを打設した後、封緘養生して、その後脱型し、圧縮試験を行うものである。すなわち、養生型枠に断熱塗料を塗布したことによって、蓄熱効果が増大し、その結果水和反応が促進され強度発現を加速する効果があるかどうかを確認するために行ったものである。

2. 2 使用材料

(1) 断熱塗料

断熱塗料としては、海外で効果が確認されているというA材と、わが国で市販されているB、C、D材を用いた。このうちA材、B材は塗膜内に含まれる真空バルーンで断熱性を達成しようとする、いわゆる「断熱塗料」であるのに対し、C、D材は塗膜材料の熱伝導係数を低下させる「遮熱塗料」に分類されるものである。

① A（生産国：ロシア）

塗料の性質：水性

一液型

標準塗布量：0.50/m²

比重：0.65

② B（生産国：日本）

* 理工学部 都市環境デザイン学科

** 元 理工学部 都市環境デザイン学科（現 JR 東日本）

*** 初雁興業株式会社

塗料の性質：水性
一液型
標準塗布量：0.667ℓ/m²
比重：0.75

③ C (生産国：日本)

塗料の性質：油性
二液混合型
標準塗布量：0.12ℓ/m²
比重：資料なし

④ (生産国：日本)

塗料の性質：水性
一液型
標準塗布量：0.23/m²
比重：資料なし

(2) セメント

今回の実験では、セメントとしては JIS R 5210 に規定される早強ポルトランドセメントを使用した。その意図は以下の通りである。すなわち、今回実験の実施が冬季になると予測され、普通ポルトランドセメントを用いた場合、顕著な温度変化が見られない恐れがあった。水和熱が多く発生し温度変化を顕著に見られるようにするために、今回は早強ポルトランドセメントを使用することにした。

(3) 骨材

粗骨材は、石灰岩（埼玉県秩父産）、砂岩（埼玉県飯能市産）、細骨材は陸砂（埼玉県川越市産）、山砂（千葉県香取市産）を用いた。

(4) 使用したコンクリートと配合

コンクリートは、表-1、2 に示すレディーミクス
トコンクリート（JIS A 5308）を使用した。

2. 3 試験体の作成

(1) 温度測定用試験体

温度測定試験用試験体用の型枠は、市販の鋼製一斗缶（縦 230mm×横 230mm×高さ 345mm）に断熱塗料を塗布して作成した。作成は以下の手順で行った。

- ① 一斗缶の外面をサンドペーパーで万遍なく荒らし、バインダーを塗布し数分乾燥させる。
- ② バインダーが乾燥した後、一斗缶に下地塗りをする。下地塗りの乾燥後、ローラーを使って各塗料を塗布する。塗料の塗布後 24 時間乾燥させる。
- ③ 必要により、③を繰り返すことによって、所定回数
の重ね塗りを行う。

(2) 強度測定用供試体

圧縮強度試験用供試体は、直径 100mm×高さ 200mm のプラモールドに断熱塗料を塗布して作成した。塗料塗布の手順は、(1) と同様である。

(3) 養生

強度測定用供試体の養生は、封緘養生、水中養生、気中養生の 3 種類である。封緘養生は断熱塗料を塗布したプラモールドをつけたまま、試験室内に静置して養生するものであり、水中養生、気中養生は材齢 1 日で脱型し、以後は強度試験まで、20℃の水中または気中で養生するものである。水中養生、気中養生用試験体用のプラモールドには断熱塗料の塗布はしていない。

表-1 コンクリートの種類

呼び方	コンクリートの種類による記号	呼び強度	スランプ (cm)	粗骨材の最大寸法 (mm)	セメントの種類による記号
	普通	24	18	20	H

表-2 配合表

W/C(%)	Air(%)	s/a(%)	単位量(kg/m ³)						
			セメント	水	細骨材③	細骨材④	粗骨材①	粗骨材②	混和剤
53.0	4.5	45.6	353	187	543	232	483	470	3.530

2. 4 試験方法

実施した試験は、①屋内試験、②野外曝露試験、③圧縮試験の3種類である。

(1) 屋内試験（温度測定試験、圧縮強度試験）

屋内試験は、セメントの水和熱の逸散抑制効果、およびそれがコンクリートの強度発現に及ぼす影響を調べる目的で行った。実験パラメータは4種類の塗料、3種類の塗重ね回数（1, 2, 3回塗り）および塗料なしの13種類である。また比較のために、厚さ25mmの「押出發泡ポリスチレンフォーム」（以下、「断熱材」と称す）で囲った試験体も作成した。

塗装済み一斗缶の中央部に、栈木で固定した温度測定用の熱電対をセットした後、2.2に示したコンクリートを打ち込んだ。その後実験室内に設置し、データロガーに接続して15分間隔で温度を測定した。

川越キャンパス内のコンクリート実験室の床に発泡ポリスチレン製断熱材を敷き、その上に試験体を置くことにより、試験体と床との間の熱移動を極力少なくするように務めた。

(2) 野外曝露試験

本試験は、塗膜の違いが外部との熱移動の程度に及ぼす影響を調べるために、(1)の試験が終了後の温度測定用の試験体を川越キャンパスの屋外に暴露することにより実施した。ただし日射の不均一性、塗料の色の違いの影響を少しでも排除するために、直射日光の遮断を目的として、供試体をブルーシートで覆った。また供試体の下に断熱材を敷くことや温度測定の手順は(1)と同じである。

(3) 圧縮試験

(1)で断熱塗料を塗布した型枠で封緘養生したコンクリート、および材齢1日で脱型した後に水中養生、気中養生した供試体に対し、材齢3, 7, 28日でJIS A 1108に基づく圧縮試験を行った。

3. 試験結果

3. 1 水和熱の断熱特性

コンクリート打ちこみ後、1週間にわたるコンクリート温度の上昇及び低下の時間変化を図-1に示す。この図から断熱塗料の有無と種類による温度上昇量に差はほとんど認められないことがわかる。一方、発泡ポリスチレン製断熱材で囲った試験体は、材齢初期における温度上昇量が大きく、またその後の温度低減も緩やかであることから、完全ではないものの、断熱塗料に比べるとある程度の断熱効果があることがうかがえる。

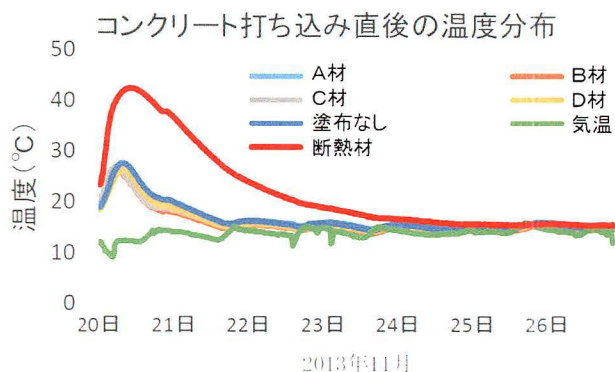


図-1 打ち込み後の温度変化

3. 2 屋外曝露試験による断熱効果の比較

図-2は屋外曝露試験によって得られた温度変化の一例である。測定は2013年12月～2014年1月にかけて実施した。断熱塗料を塗布した試験体では、いずれも外気温よりも幾分は温度変化が緩慢であるものの、ほとんど同じような温度変化を示していることがわかる。

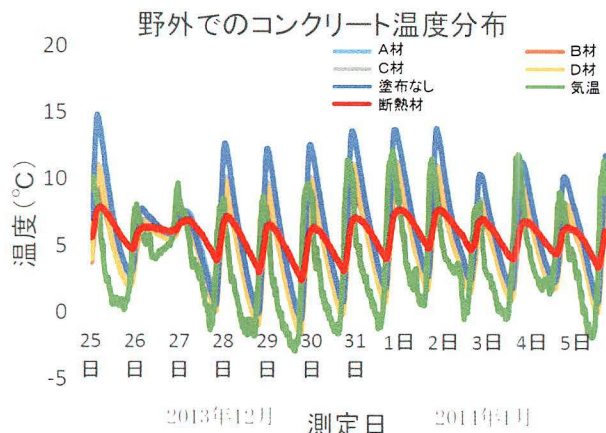


図-2 屋外曝露供試体の温度変化

これに対し発泡ポリスチレン製断熱材で囲った試験

体では、温度変化はかなり小さい。特に12月末は気温が氷点下となりかなり低下し、昼と夜の温度差が約15°C程度にもなっているが、断熱材で囲った試験体では温度変化は5°C以下にとどまっていることから、断熱材の優れた断熱効果が認められる。

3. 3 塗り重ね回数が断熱効果に及ぼす影響

各塗料をさらに重ね塗りし、4回塗り、5回塗り、6回塗りした試験体を使用して、塗り重ね回数が断熱効果に及ぼす影響を調べた。一例としてA材の結果を図-3に示す。日中の気温上昇に伴い、塗布なしの試験体は最高温度が17~20°C近くにまで上昇しているが、断熱塗料を塗布したものは重ね塗りや塗料の種類を問わず最高温度が11~13°Cに抑えられており、6~7°Cの温度上昇抑制がなされていることから、遮熱性の効果がはっきり確認できた。

また外気温の時間変化と比べると、幾分温度変化が緩慢となり、いずれも多少の断熱効果を認めることができた。

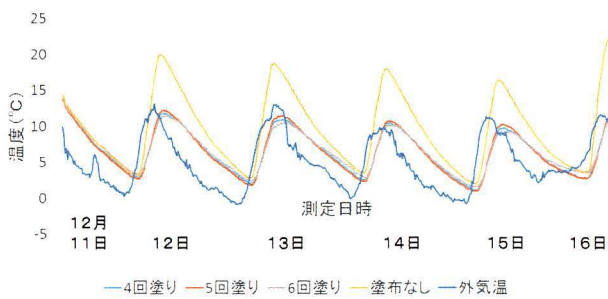


図-3 塗り重ね回数が断熱効果に及ぼす影響

一方、無塗装の試験体では、外気温よりも温度上昇量が7~8°Cも大きい。

さらに、塗り重ね回数を増やして膜厚を厚くしたことによる断熱効果の向上効果は認められなかった。この傾向はA材以外の塗料においても同様であった。

これらのことを総合すると、塗料の違いや膜厚の違いよりも、塗装したことによって色彩の変化が生じたことが、外部からの熱の吸収程度に差を生じさせた可能性がある。

3. 4 強度特性

塗装の仕様、材齢の違いが強度発現に及ぼす効果を示す図-4を見ると、予想通り材齢7日以後の標準養生(20°C、水中養生)において高い強度が出ている。しかし、塗布なしの封緘養生と各断熱塗料を塗布した封緘養生の違いはほとんど見られず、断熱塗料による圧縮強度の増加を確認することはできなかった。

一般に、材齢初期の養生温度が高く、積算温度が増大すれば圧縮強度は増加する。しかし今回の実験では、屋内試験の温度変化のようにコンクリートの硬化時に発生する水和熱が外部に逸散し、養生温度が室温とほぼ同程度となったため、圧縮強度にも差異が認められなかったものと考えられる。

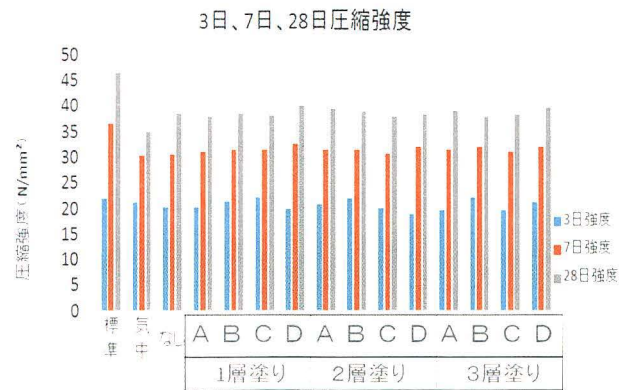


図-4 塗料の種類、塗り重ね回数が強度に及ぼす影響

プラモールド下面は鉄板できている。床との間に発泡スチロール製断熱材が敷いてあったとしても屋内試験でも考察したように、断熱材の断熱効果は完全でないため、熱が外部に逸散する原因になったと考えられる。同様に、試験体上部には断熱材を載せて熱の逸散を低減させようとしたが、同じような原因によって水和熱が外部に逸散してしまった可能性がある。

4. まとめ

本研究では、断熱塗料を塗布したコンクリート用型枠の断熱効果、またその型枠中で養生したコンクリートの強度発現に及ぼす影響について実験的に検討した。本研究で確認されたことは以下の通りである。

- (1) 断熱塗料を塗布した鋼製容器に打ち込んだコンクリートの温度上昇量は、塗料の有無と種類によってほとんど差は認められなかった。一方、発泡ポリスチレン製断熱材で囲った試験体は、材齢初期における温度上昇量が大きく、またその後の温度低減も緩やかであることから、断熱塗料に比べ、断熱効果があることがうかがえた。
- (2) 屋外曝露試験では、夜間の気温低下に伴い、容器内温度の低下は抑制できず、断熱性はほとんど確認できなかった。
- (3) 断熱塗料の重ね塗り回数による型枠内部の温度変化に違いはなかった。
- (4) 断熱塗料を塗布したプラスチック製モールドの中で養生したコンクリートに圧縮強度の違いはなかった。

以上の結果から、断熱塗料といえども、熱伝導の抑制効果を発揮するためには、今回の実験範囲を超える膜厚が必要となるなど、塗膜厚さの確保がかなり重要であると感じられた。つまり刷毛などで塗り重ねても、塗膜の厚さはせいぜい数 mm 程度であるため、十分な断熱効果を発揮することは難しいといえる。結果的に、家屋の床や壁の断熱材として一般的に用いられる厚さ数十 mm の発泡ポリスチレン板ほどの断熱効果を得ることは困難であると感じた。

また直射日光の影響を排除するためには、試験用塗料の色彩を一致させる必要があった。換言すれば、直射日光からの遮熱効果を高めるのであれば、塗料の色彩の重要性に着目する必要があることを改めて理解することができた。

一方積雪寒冷地などで、冬季における凍結防止効果などに対する評価は今後の検討課題である。

これらのことを今後詳細に検討するためには、熱源のスペクトル組成に応じた塗料の熱特性、塗膜厚の管理、熱収支の解析等を行うことが必要である。

参考文献

- 1) アクアス株式会社：断熱塗料のはなし
http://www.aquas.co.jp/doc/aquatec/info_pdf/info_vol_54.pdf#search='%E6%96%AD%E7%86%B1%E5%A1%97%E6%96%99%E3%81%A8%E3%81%AF'
- 2) 有限会社東亜システムクリエイト：断熱塗料ヒートカット
<http://www.toa-corp.co.jp/jp/garage/heatcut.html#tigai>
- 3) ロックペイント株式会社：シャネツロック
http://www2.rockpaint.co.jp/home_j/corporate/index.html
- 4) 株式会社エコロジーコミュニケーションズ：断熱塗料ガイナ
<http://www.ecology-com.co.jp/gaina/gaina.html>