

耐候劣化によるポリマーセメント系塗膜防水層の微細構造と表面品質の変化
がサーモグラフィ法による劣化度測定結果に及ぼす影響

徳島大学大学院 賛助会員 ○豊田啓生 徳島大学大学院 正会員 塚越雅幸
徳島大学大学院 非会員 石川真志 徳島大学大学院 正会員 上田隆雄

1. はじめに

ポリマーセメント系塗膜防水層は有機材料であるポリマーと無機材料であるセメントの複合材料である。一般的に有機系材料は供用期間中、光（主に紫外線）や水（降雨・結露）、酸素、熱の影響を単独または複合して受けて劣化する。検査手法として大面積を非破壊検査することが求められており、本研究は、サーモグラフィ法を用いてポリマーセメント系塗膜防水層の劣化度の推定を行った。

2. 実験概要

2.1 ポリマーセメント系塗膜防水層の作製

セメントは密度 3.16 g/cm³、粒径 100 μm 以下に分級した市販の普通ポルトランドセメントを使用した。ポリマーは、密度が硬化時でおよそ 1.0 g/cm³ である粉体状のアクリル酸エステル系共重合体を使用した。細骨材には 7 号珪砂(粒径 200 μm 以下)で密度は 2.57 g/cm³ のものを使用した。

2.2 サーマグラフィ法

アクティブサーモグラフィ法は写真-1 に示すように、試験体上部より 25 cm の位置にランプを設置した。加熱は 500W で 20 秒間とし、計 60 秒間の加熱中および加熱終了後の温度低下過程を赤外線カメラで観察した。試験体は W/C=55% のコンクリート(100×100×100 mm)の型枠側面に防水層を塗布し 20±2℃、60±6%R.H.の環境で 7 日間養生した。防水層の調合は表-1 に示す通りで塗膜厚さは 2.0 mm とした。

2.3 促進耐候性試験

屋外での耐候劣化の主な原因である、紫外線・熱・水分の 3 要素を試験対象とした。促進耐候性試験の条件をまとめて表-2 に示す。促進劣化環境に暴露後、試験体を取り出し 48 時間以上実験室内に（20±2℃、60±6%R.H.）静置し、温度と含水率を調整した後に試験を行った。

3 実験結果

3.1 耐候劣化試験を行った試験体表面の温度履歴

サーモグラフィによって測定した結果を図-2 に示す。劣化した試験体は健全な試験体より最大上昇温度が低下した。

3.2 表面品質と微細構造の変化が温度に与える影響

温度変化が現れた原因として、試験体表面の明度や微細構造の変化が温度にどの程度影響があるか検討を行った。明度

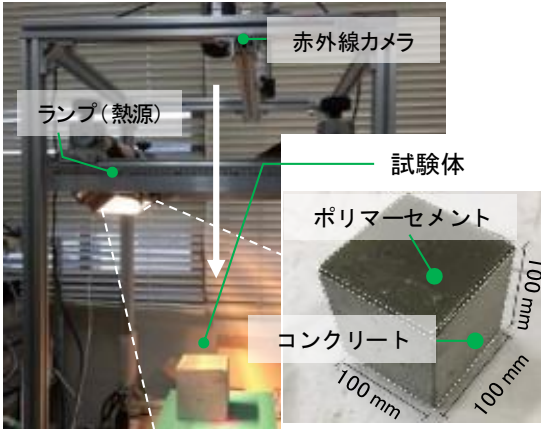


写真-1 アクティブサーモグラフィによる試験状況と試験体の形状と寸法

表-1 ポリマーセメントの調合

W/B (%)	P/C (%)	S/C (%)	W※ ¹ (kg/m ³)	B※ ² (kg/m ³)		S※ ⁵ (kg/m ³)
				P※ ³	C※ ⁴	
70	150	200	403	575		460
				345	230	

※1：水 ※2：結合剤（ポリマー+セメント）
※3：ポリマー ※4：セメント ※5：砂

表-2 促進耐候劣化試験の条件

項目	促進劣化環境		
	紫外線	熱	熱・水分
期間	500時間，1000時間		
条件	・環境条件 20℃，60%R.H. ・照射条件 18.2W/m ² (340nm)	・環境条件 70℃，50%R.H. 恒温恒湿槽	・環境条件 70℃温水浸漬

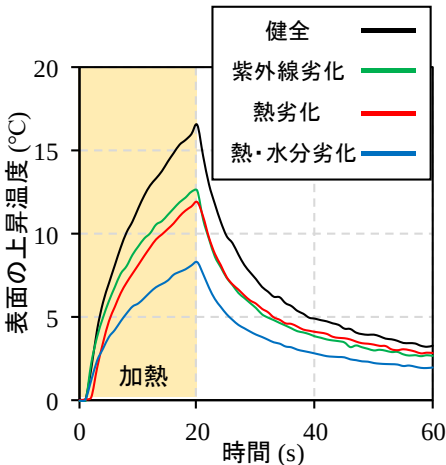


図-1 促進耐候劣化を1000時間行った試験体の表面温度の経時変化

の測定には、画像解析ソフトを用いて試験体表面のグレースケールを記録した。図-2 に健全な試験体に黒色、白色スプレーを散布した試験体のグレースケールと最大上昇温度の関係を示す。表面色が白くなるほど最大上昇温度は低くなる傾向にあった。促進劣化した試験体は、表面色以外の影響によって温度が低下したと考えられ、EDS による元素分析を行った。図-3 にポリマーの主成分であるポリマーの相対的な割合を示す。劣化によりポリマーの主成分である炭素原子の低下がみられ、これが温度変化に影響をもたらしたと考えられる。内部構造の変化による温度変化の影響を考慮するために式 (1) に示す Bruggeman の式¹⁾を用いた。本研究では、複合材料の熱伝導率を求めるため、有機材料 (ポリマー) の連続体の中に無機材料 (セメント・砂) が均一に分散したと仮定し複合材料の熱伝導を算出した。計算に用いた物性値は表-3 に示す各材料の熱伝導率を用いて計算した。

$$1-\phi=\frac{\lambda_o-\lambda_i}{\lambda_m-\lambda_i}\left(\frac{\lambda_m}{\lambda_o}\right)^{\frac{1}{3}} \quad \cdots (1)$$

ここで
φ:分散粒子の体積比 (-), λ:材料の熱伝導率 (W/m・K)
o, i, m:それぞれ, 有機材料 (ポリマー), 無機材料 (セメント及び砂), 複合材(防水層全体)

得られた熱伝導率をもとに、熱伝導解析ソフトを用いて、劣化による熱伝導率の変化が温度上昇にどのような影響を与えるか検討した。解析では、実験で行ったと同じ形状・寸法をモデル化し、加熱条件も同様としている。解析に用いた材料の物性値を表-2 に示す。計算は既存の差分法による熱伝導解析ソフトを用いており、防水層、コンクリート部共に x,y,z の 3 次元方向に 1.0mm 間隔で分割し、時間間隔は 0.1 秒で計算し、境界条件は、室温 20℃一定とした。実験値と解析値の最大上昇温度の関係を図-4 に示す。解析値の方が実験値よりも若干高い値を示したが、図-2 で示した明度の影響よりも熱伝導率の方が大きく影響している。複合材料の熱伝導率は、無機材料の体積割合が大きくなると、指数関数的に熱伝導率が大きくなると言われている。劣化によりポリマー成分が減少し、無機材料の体積割合が大きくなることで、防水層自体の熱伝導率が大きくなり温度変化として現れたと考えられる。

5. まとめ

- ・耐候劣化した試験体の表面の最大上昇温度は健全なものより低下した。
- ・サーモグラフィ法は表面品質の影響よりも物性の影響が大きく出ており、劣化度推定の可能性が示唆された。

参考文献：1) D. A. G Bruggeman, Ann Phys, Vol.24, pp.636-679, 1935

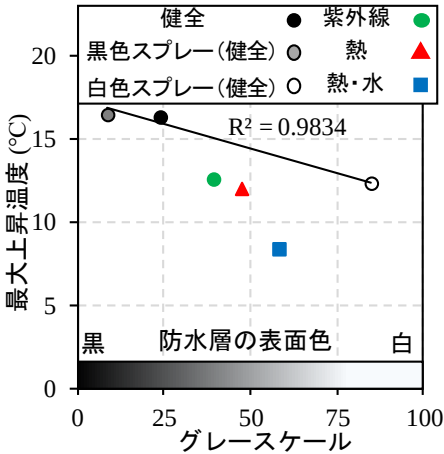


図-2 明度と最大上昇温度の関係

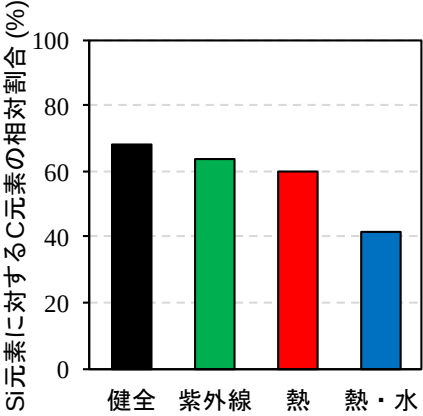


図-3 EDSを用いた耐候劣化による炭素原子の割合の変化

表-3 計算に用いた各材料の物性

材料	熱伝導率 (W/m・K)	比熱(J/g・K)	密度(kg/m³)
ポリマー	0.2	1400	1000
セメント	1.2	836	3160
砂	1.6	1000	2570
下地コンクリート	1.1	880	2300

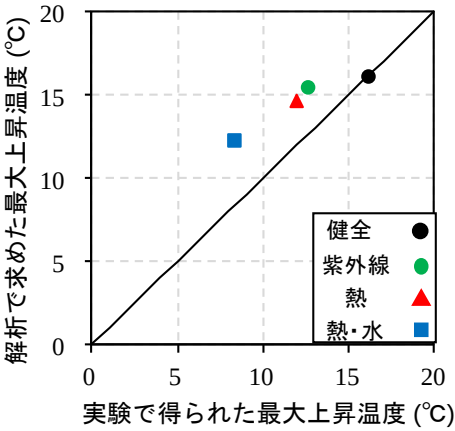


図-4 算出した熱伝導率から得られた最大上昇温度の解析値と実験値の比較