

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560517

研究課題名(和文) RC壁の内部探査のための赤外線サーモグラフィ画像の簡易補正手法に関する研究

研究課題名(英文) Study on Easy Correcting Method of Thermograph for Inspection of Internal Defect of Reinforced Concrete Wall

研究代表者

黒川 善幸 (KUROKAWA YOSHIYUKI)

鹿児島大学・理工学研究科(工学系)・准教授

研究成果の概要(和文)：

ハロゲンライトの光線の分布と時間変化を分光放射計を用いて測定した結果、波長分布は、波長の自然対数がガウス分布曲線で良く近似できること、光線強さ分布は楕円曲線で良く近似できること、スイッチを入れてから数分後には光線は既に安定していることなどが判った。

色彩との関係では、分光測色計を用いて各波長の放射率を測定し、そこから分光吸収率を求め、ハロゲンライトのスペクトルを掛け合わせることで、吸収熱量を求めることができた。

研究成果の概要(英文)：

The intensity spectrum of the halogen light is approximately figured as a Gaussian distribution, and the distribution of intensity of the light is approximately figured as an oval curve, while the intensity is stable after a few minutes from the turning on.

The absorbed heat on the surface of a wall is obtained by multiplying spectrum of the halogen light by absorption ratio in each wavelength.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度			
2007年度			
2008年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	200,000	60,000	260,000
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：赤外線サーモグラフィ法 内部欠陥 表面温度分布 日射吸収 色彩値 熱伝導  
アクティブ法 ハロゲンライト

## 1. 研究開始当初の背景

近年、各種の災害や事件・事故により、構造物の安全性に関する社会一般からの信頼が、設計・施工・維持管理の全ての段階において揺るがされている。そのため、オーナーや利用者に対して構造物の現状を客観的か

つ解りやすく説明するためのシステムが期待されている。特に、内部の見えないRC構造物において、内部探査が不可欠であり、非破壊検査による内部欠陥等の早期発見が求められている。

## 2. 研究の目的

表面温度を画像として撮影する赤外線サーモグラフィ法による内部探査は、熱伝導状態が正常でない箇所を感知するものであり、簡便性、効率性、安全性などの面で高く評価され、飛躍的に普及した。

加熱の方法として、日射を利用するもの他、人工熱源により過熱する方法が検討されている。日射の加熱力は強力であるが、適用が外壁に限られ、また、結果が立地や気象条件に大きく左右されるため、測定者の経験と技量に大きく依存している。そこで、室内やトンネルなどに適用可能な加熱法に関する研究が盛んに行われている。人工熱源には、室温を上げるタイプのほか、可視光線や赤外線を検査面に照射して、局所的に加熱するタイプがある。このような光線照射方式の場合、過熱する光線の分布が一様でないこと、検査面における吸収量が太陽光と同様に表面色の影響を受ける点が問題とされる。

本研究では、壁面の表面温度に与える表面色の影響を3次元定常熱伝導重畳法において、人工光源に用いるハロゲンライトによる入射熱量を分光放射計と分光測色計を用いて、波長ごとに考慮する解析手法の適用性を検討した。

## 3. 研究の方法

今回の実験には同じ2つのハロゲンライトを用いた。ハロゲンライトの特性を把握するため、まず光線強さとスペクトルの経時変化を調べた。測定の概要を図-1に示す測定には分光放射計と日射計を用いて、光源から300mmの距離で、1時間、光源IとIIを交互に2回ずつの計4回測定した。

日射計の測定結果を図-2に示す。ハロゲンライトは電源を入れて2分後には出力は充分であり、照射から約20分でその強さは安定してくる。その後は多少の変化はあるものの、誤差はほとんどない。

分光放射計の測定結果を図-3に示す。光線強さは多少変化があるものの、スペクトルの形状は相似である。

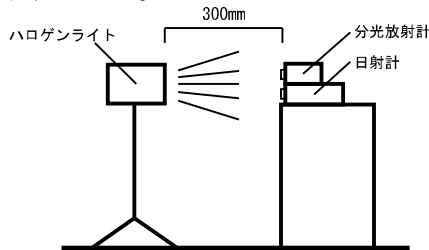


図-1 測定の概要

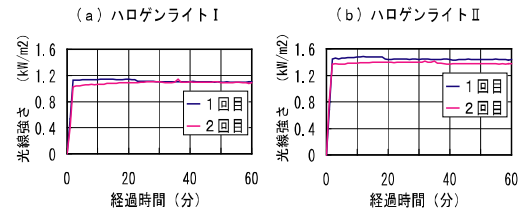


図-2 日射計測定結果による経時変化

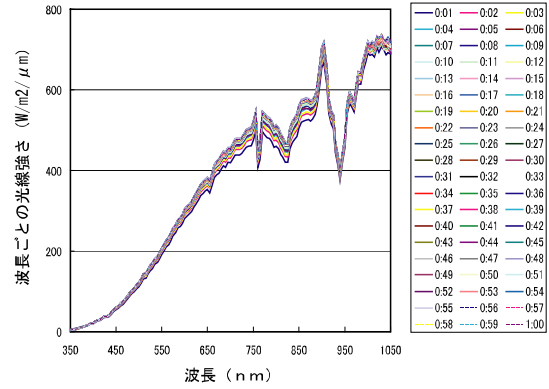


図-3 ハロゲンライトスペクトルの経時変化

ハロゲンライトの受照面での光線強さの分布を調べた。測定概要を図-4に示す。50mmの格子で400×400mmの面積の81点において、日射計と分光放射計を用いて測定した。

日射計の測定結果を図-5、分光放射計の測定結果を図-6に示す。両図のように楕円形状に分布していることが確認できる。

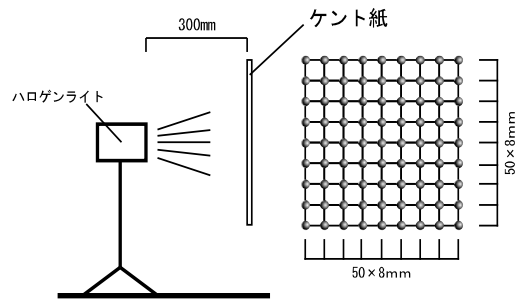


図-4 測定の概要

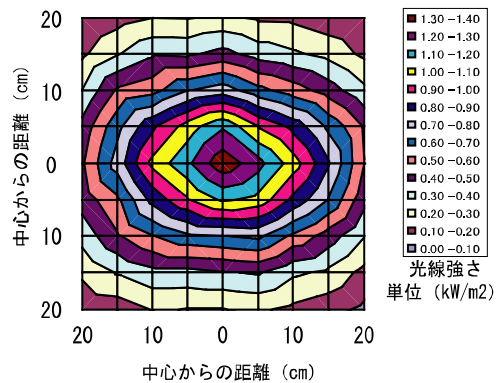


図-5 日射計測定結果による受照面の分布

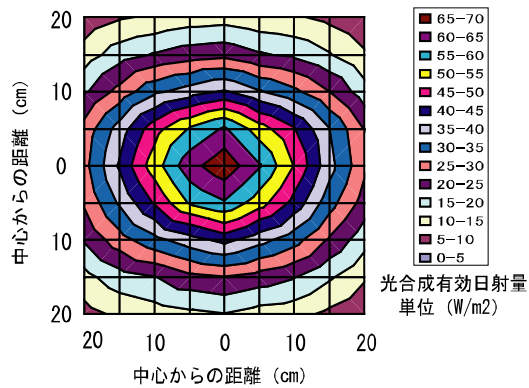


図-6 分光放射計結果測定による受照面の分布

今回、用いた分光放射計は、キャリブレーションが太陽光に設定されていたため、確かなスペクトルが得られていない。そこで既知のハロゲンランプの放射スペクトルに、ガウス分布曲線を用いて近似した。既知のスペクトルと近似したスペクトル、近似する前のスペクトルを図-7に示す。スペクトルは日射計の光線強さに比例すると仮定した。

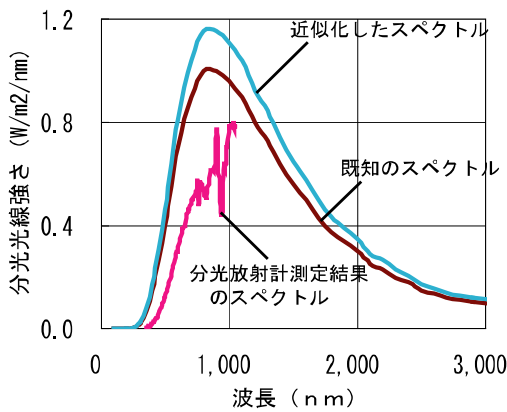


図-7 ハロゲンライトのスペクトル

今回の実験で用いる供試体の表面色の違いによる吸収熱量を求める。まず、分光測色計で各波長の放射率を求めそれらの値を用いて分光吸収率を求め、ハロゲンスペクトルを掛け合わせて吸収熱量を求めた。さらに、2.2で求めた日射量の分布を楕円関数で近似し、各表面色の各点での吸収熱量を求めた。

図-8に、モルタル供試体の概要を示す。モルタルの調合は、水セメント比が $W/C=0.5$ 、砂セメント比が $S/C=2.0$ である。寸法は、 $200 \times 200 \times 50$ mmで、欠陥ありの供試体での、内部の図に示す位置に、厚さ2mmの発泡ポリエチレン模擬欠陥を埋設した。打設後、 $20^\circ\text{C}$ 、 $60\% \text{RH}$ で2週間以上養生したあと、打設底面に屋外用水性塗料を塗装し表面とした。

塗装は、図-9および写真-1に示すように全面1色塗りまたは4分割4色塗りとした。そして、外形寸法が $600 \times 600$ mmの田の字形の木枠の内側に供試体をセットできるようになっている。各側面は発泡ポリスチレンで断熱した。

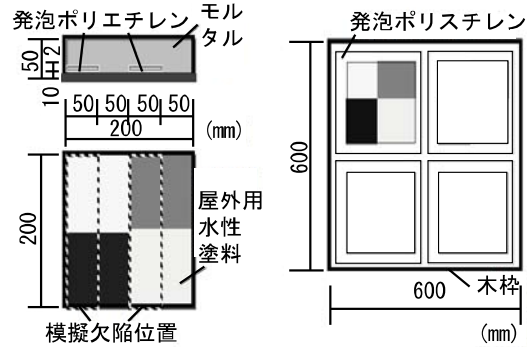
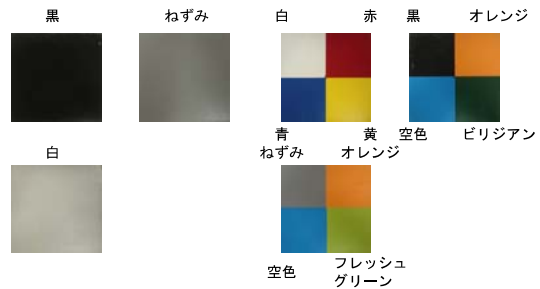


図-8 供試体の一例

図-9 供試体の断熱



(a) 全面1色塗り (b) 4分割4色塗り  
写真-1 供試体の例

図-10に、測定の詳細を図に示す。測定は、 $20^\circ\text{C}$ 恒温養生室で行った。木枠の左上の部分に供試体をセットし、水平距離300mmの位置から、供試体の中心に向けてハロゲンライトで加熱した。定常状態とするために30分間照射した後、赤外線カメラで撮影し、表面温度を測定した。

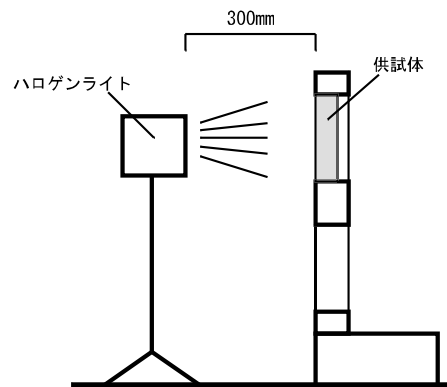


図-10 測定の詳細

#### 4. 研究成果

図-11 は全面黒色供試体の中段位置における様子である。(a), (b)は表面温度と吸収熱量の分布であり, (c), (d)は表面温度と吸収熱量の関係である。

図(c)より模擬欠陥のない供試体では吸収熱量の大きさに伴って線形に表面温度が高くなっていることが確認できる。図(d)より模擬欠陥のある供試体では, 同じ吸収熱量でも模擬欠陥のある部分の温度が高くなっていること, 欠陥部と健全部で熱の移動が起きていることが確認できる。

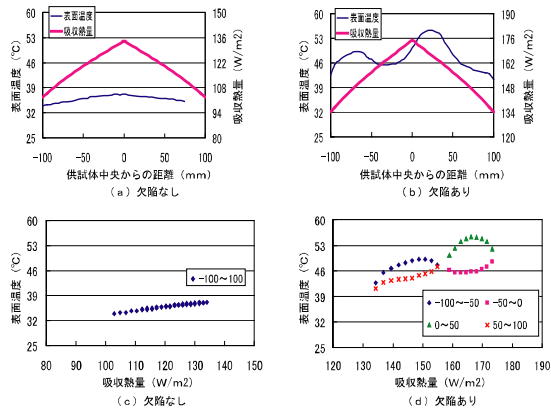


図-11 全面黒色供試体の結果

図-12 は全面ねずみ色供試体の中段位置における様子である。

図(c)より黒色供試体同様に, 模擬欠陥のない供試体では吸収熱量の大きさに伴って線形に表面温度が高くなっていることが確認できる。図(d)より, こちらも同様に同じ吸収熱量でも模擬欠陥のある部分の温度が高くなっていることが確認できる。

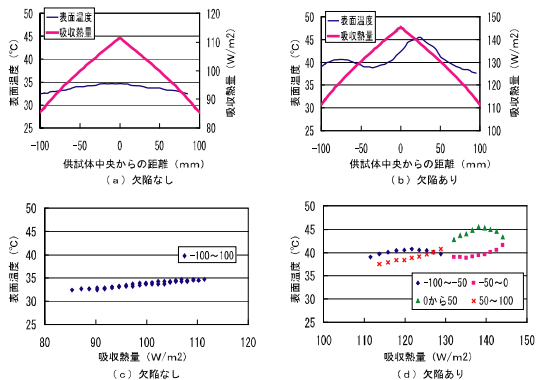


図-12 全面ねずみ色供試体の結果

図-13 は全面白色供試体の中段位置における様子である。白色は吸収熱量がとても小さいので, なかなか温度が上昇しにくいのが特徴である。それでも, ほんのわずかながら欠陥部分の方が温度が高いのが確認できる。これは, (d)の相関からも確認することができる。

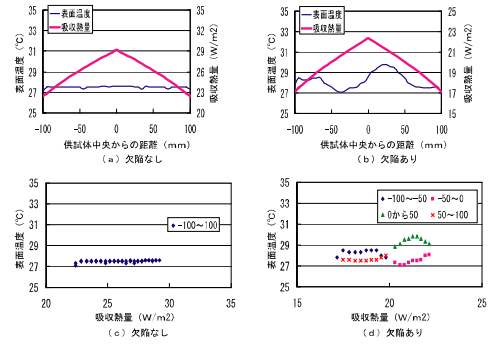


図-13 全面白色供試体の結果

図-14 は4分割4色塗り供試体の左が黒色, 右側がオレンジ色の中段位置における様子である。1色塗り供試体と違い, 左右で吸収熱量が大きく異なるため, 中心を境に表面温度の勾配が図(a), (b)より確認できる。

図(c)より, 黒色の部分で吸収熱量が大きくなるも, 表面温度が下がっている箇所が確認できるが, これは隣接部への面内熱伝導による影響と考えられる。

図(d)では, 欠陥部分で欠陥なしの吸収熱量と表面温度の関係を上回っていることが確認できる。

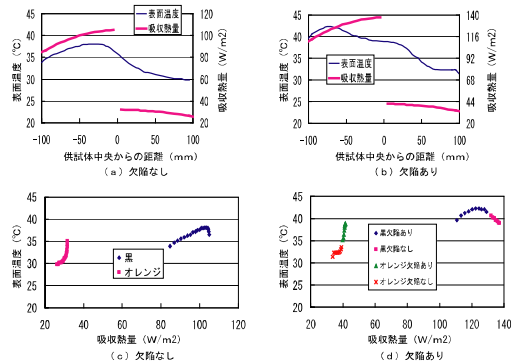


図-14 4分割4色塗り黒-オレンジ供試体の結果

以上本研究課題で得られた成果は以下の通りである。

- 1) ハロゲンライトのスペクトルと受照面の分布を把握しモデル化を行った。
- 2) スペクトルを用いて, 表面色における波長ごとの放射率から吸収熱量を求めた。
- 3) 全面1色塗りでは, 吸収熱量が大きいほど正確に欠陥が検出できることが解った。
- 4) 4分割4色塗りの場合でも, 欠陥は検出できるが, 隣接する表面色との吸収熱量差が大きいほど, 面内熱伝導の影響を受けてしまうことが解った。

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

黒川 善幸 (KUROKAWA YOSHIYUKI)

鹿児島大学・理工学研究科(工学系)・准教授

研究者番号: 50242839