

赤外線サーモグラフィによるコンクリート内部の欠陥識別に関する基礎的研究

九州大学工学部 学生会員 ○渡邊 達郎
 九州大学大学院 学生会員 福井 雄気
 九州大学大学院 正会員 園田 佳巨

1. 緒言

近年、老朽化した RC 構造物における被りコンクリートの剥離事故などの多発にともない、老朽化した構造物に対する適切な維持管理の重要性が認識されると同時に非破壊検査法への関心が高まっている。非破壊検査法には種々の方法があるが、その中の一つに健全部と欠陥部の熱伝導率の差を利用したサーモグラフィ法がある。サーモグラフィ法は、健全部と欠陥部の表面温度に有意な差が生じた場合には、欠陥範囲を視覚的に容易に判断できる特長を有しているが、コンクリート表面の温度には、欠陥の状態のみならず周囲環境の影響を大きく受けるため、サーモグラフィによるデータから欠陥の状態を推定することは困難である。そこで、本研究ではサーモグラフィ法により欠陥状態がどの程度把握することが可能であるか簡易的な実験を行った。

2. 実験概要

2.1 実験供試体

赤外線サーモグラフィによる内部欠陥状態の推定可能性を把握するために、図 1 に示すように内部欠陥を模擬した発泡スチロール（厚さ $D=20\text{mm}$ ）を 3 種類の深さ（ $H=5, 10, 15\text{mm}$ ）に配置した矩形モルタル供試体（ $100\times 100\times 400\text{mm}$ ）を製作した。なお $H=5\text{mm}$ の供試体については、製作時点で表面から欠陥部に達するひび割れが一部にみられた。

2.2 実験方法

図 2 に示すように、供試体 3 体を欠陥面を同じ方向の側面に並べて 3 段に積み重ね（上 $H=5\text{mm}$ 中央 $H=10\text{mm}$ 下 $H=15\text{mm}$ ）、欠陥面から 5cm 離れたドライヤー（ 1200w ）を用いて全体を 90 秒間均等に加熱した。なお、検査面以外からの熱の出入りを防ぐため、検査面以外は断熱材として段ボールを用いて被覆した。赤外線カメラの撮影距離は 1m 、外気温は 9°C で、撮影間隔 20 秒で 10 分間にわたって赤外線画像の撮影を行った。

2.3 実験結果

実験開始から 10 分間供試体を撮影し、時系列な情報として表面温度に明確な相違が生じた赤外線画像を数枚抜粋した。加熱前の時点で、 $H=5\text{mm}$ の供試体を除いて欠陥部と健全部に表面温度差は殆ど無く、欠陥部を判別することはできない状態であった。図 3 に加熱開始 1 分後の赤外線画像を示す。 $H=5\text{mm}$ の供試体は、欠陥部が周囲に比べて表面温度が非常に高くなっており、欠陥領域を明確に認識することができる。しかし、欠陥が深い位置にある $H=10\text{mm}$ $H=15\text{mm}$ の供試体に関しては、欠陥部と健全部に明確な温度差が見られず、位置の判別は困難であることがわかる。次に、図 4 に開始 2 分後の赤外線画像を示す。 $H=10\text{mm}$ の供試体に関して、開始 1 分後では見られなかった欠陥部における表面温度差が確認できるが、 $H=15\text{mm}$ の供試体に関しては未だに欠陥部と健全部で有意な温度差が見られない。次に、図 5 に開始 3 分後の赤外線画像を示すが、 $H=15\text{mm}$ の供試体についても、ようやく欠陥部の表面温度が周囲より高くなっているこ

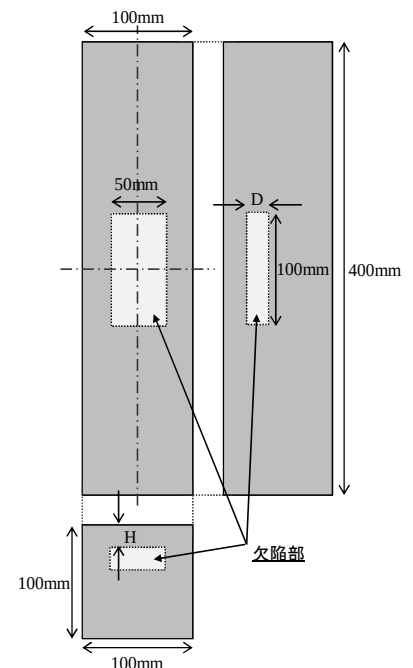


図 1 供試体の概略図

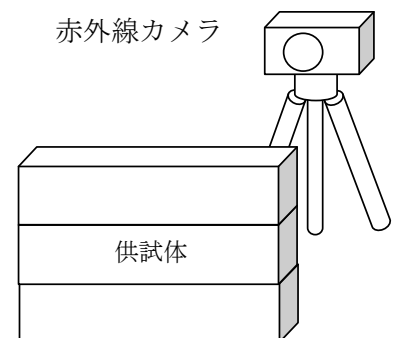


図 2 撮影方法

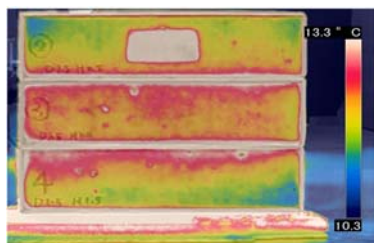


図3 開始 1 分後

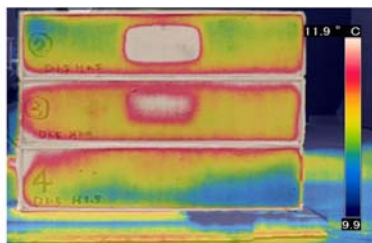


図4 開始 2 分後

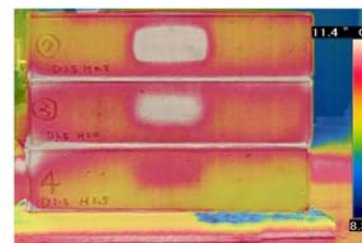


図5 開始 3 分後

とが分かるが、 $H=5\text{mm}$ 、 10mm に比べて、健全部との温度差は小さいことが認められる。

以上の結果をまとめ、欠陥部と健全部の表面温度の時間的変化を図6に示す。図6より、一定の熱量に対する表面温度の時間的変化は欠陥深さによって異なり、浅いほど時間的な温度変化は大きく、最大温度も高くなることが分かった。なお、 $D=15\text{mm}$ の供試体の 20 秒刻みの温度変化率を 1 とした場合の $D=5\text{mm}$ 、 $D=10\text{mm}$ の温度変化率の平均値はそれぞれ、7.2 と 1.7 であった。また、赤外線画像から欠陥領域を視覚的に判別するために要した時間は、 $H=5\text{mm}$ の供試体で約 20 秒、 $H=10\text{mm}$ で約 100 秒、 $H=15\text{mm}$ で約 180 秒と異なった。これらのことから、表面温度の反応速度の相違に着目して、測定条件（試験体寸法、周囲温度との差、単位時間当りの加熱条件）と表面温度の反応速度の関係を数値解析などを併用して把握できれば、欠陥深さの推定が可能になるものと思われる。

次に、供用中の鉄筋コンクリート高架橋を対象に実施したサーモグラフィ画像を示す。調査は 8 月の快晴の日に行った。図7に検査箇所の熱画像を示す。検査箇所に打音検査を行い、欠陥部、健全部と評価された箇所をそれぞれ A 点、B 点とし、その 2 点の温度と気温の時間的変化を図8に示す。気温と並行して表面温度が変化しており、前述の供試体の実験結果と同様に健全部よりも欠陥部の表面温度が高く推移していることが確認できる。外気温が高く、検査箇所には日射があったため壁面が加熱されて欠陥部が容易に識別できたものと考えられる。次に、図9に同じ検査箇所の 2 月の熱画像を示す。当時は外気温が低く日射も少なかったためサーモグラフィ画像から欠陥部を識別することは不可能であった。以上のことから、現地調査における欠陥箇所の識別には、日射条件や日較差が大きく関係し、夏場の外気温が上昇する日中が最も適しており、冬場でも外気温が急下降する日没後が有意な温度差を得られる可能性があると考えられる。

3. 結言

欠陥を有する供試体を加熱した実験で、欠陥部と健全部を短時間で識別できたことから、計測条件を工夫すればサーモグラフィ法による欠陥判別は容易であると考えられる。また、欠陥深さの違いが表面温度の反応速度に大きな影響を与えていることが確認された。今後の課題として、自然環境下（日射条件・日較差）の測定データと人工加熱による測定データの相互比較を行い、現場計測データから欠陥深さの推定を試みることが挙げられる。

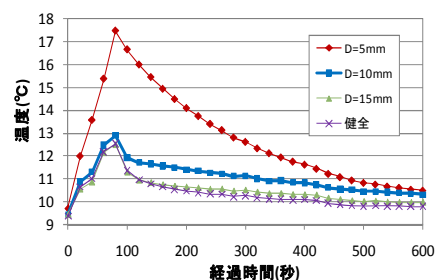


図6 温度変化

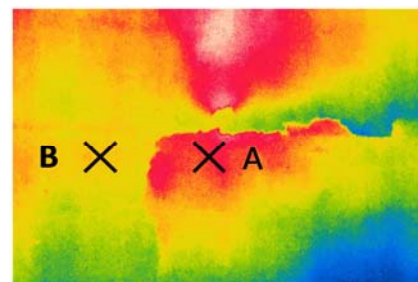


図7 検査箇所の熱画像(8月)

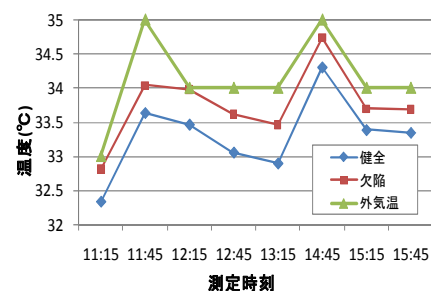


図8 温度変化

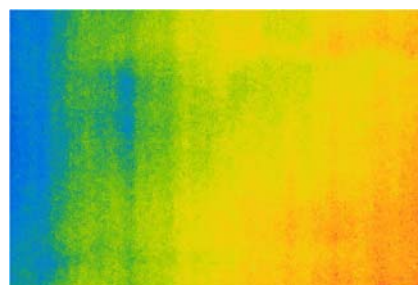


図9 検査箇所の熱画像(2月)