

赤外線サーモグラフィ法によるコンクリートの微細ひび割れの定量的評価手法の検討

Approach for Quantitative Estimation of Concrete Micro Crack with Infrared Thermography Method

○田村 雄平*, 緒方 英彦*, 佐藤 智**, 石神 暁郎**
TAMURA Yuhei*, OGATA Hidehiko*, SATO Satoshi**, ISHIGAMI Akio**

1. はじめに

寒冷地のコンクリート構造物には、凍結融解の繰返し作用による凍害として微細ひび割れが発生する。凍害によるコンクリートの劣化程度の評価には超音波法や共鳴振動法があるものの、これらの手法では微細ひび割れを直接的に評価することができない。

本研究で行う赤外線サーモグラフィ法は、コンクリート表面の温度分布から欠陥部を検査する手法である。赤外線サーモグラフィ法は、マクロな欠陥部や目視可能なひび割れの評価に用いられてきた実績はあるものの、微細ひび割れの評価に用いられてきた事例は少ない(例えば)。

そこで本研究では、赤外線サーモグラフィ法によるコンクリートの微細ひび割れ評価手法を確立することを目的に、アクティブ法による微細ひび割れ評価手法の試験条件および定量的評価手法について検討した。本研究で用いた試験体は、凍害が発生している北海道のコンクリート製開水路から採取したコアである。

2. 微細ひび割れ評価手法の試験条件

2.1 熱負荷の方法

試験体に温度差を発生させるための熱負荷の方法には加熱と冷却がある。本研究ではその中でも加熱法を採用した。理由としては、冷却法(−20℃から30℃への温度変化)では健全部と劣化部の間に発生する温度差が安定していないのに対し、加熱法(80℃から20℃への温度変化)では温度差が終始安定して発生していたからである。冷却法で温度差が安定しなかったのは、冷却された試験体により空気中の水蒸気が露点に達し水へと変化したために表面が濡れ、これが赤外線の放射率に影響を及ぼしたからである²⁾。

2.2 コアの加熱方法について

コアの加熱方法には、表面加熱法と全体加熱法の2種類が考えられた。表面加熱法はホットプレートを使用し測定する面だけを加熱する方法であり、全体加熱法は恒温乾燥器を使用しコア全体を加熱する方法である。実際に2種類の方法で加熱し撮影した画像1、画像2を見比べると、表面加熱法では電熱線の配置の影響で加熱ムラが生じていることが分かる。

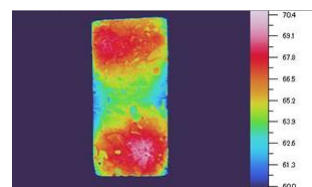
本研究では、撮影した熱画像を画像解析ソフトを使用し高温域の温度範囲を抽出することでひび割れを抽出する方法を行っている。そのため加熱は全体的にムラが無く、且つ1回ごとの撮影での温度差は小さいほうが望ましいことから、本研究では全体加熱法を採用した。

2.3 測定時の試験体の設置方法

本研究では、コアを採取した開水路側壁における凍害劣化の状況を踏まえ、水路内面側を上にして試験体を設置し、温度変化を測定する面以外を発泡スチロール製の断熱材で覆った。発泡スチロールで覆ったのは、測定する面以外からの熱の移動を防ぐためである。

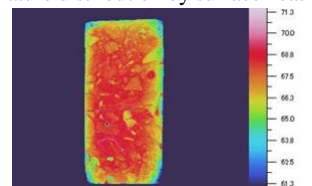
2.4 画像の撮影範囲

本研究では、撮影範囲が異なる全体画像と局所画像の2種類を撮影した。全体画像の特徴は



画像1 表面加熱法の温度分布

Temperature distribution by surface heating method



画像2 全体加熱法の温度分布

Temperature distribution by entire heating method

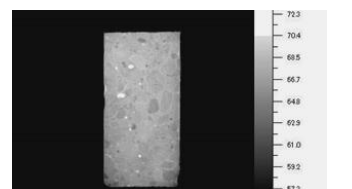
*鳥取大学農学部, Faculty of Agriculture, Tottori University** (独)土木研究所-寒地土木研究所, Incorporated Administrative Agency Public Work Research Institute Civil Engineering Research Institute for Cold Region, 微細ひび割れ, 赤外線サーモグラフィ, コンクリート製開水路

試験体における劣化範囲が評価できることであり、局所画像の特徴は全体画像に比べて細かなひび割れまで観察できることである。1画素の大きさは、全体画像において1~1.25mm²であるのに対し、局所画像(6cm×4cm)において167μm²である。本研究では、微細ひび割れの定量的評価手法を検討する上で、超音波伝播速度と劣化部位の面積の相関性を調べるため、局所画像ではなく全体画像を選択した。ここで、全体画像で評価できる最小のひび割れ幅は、試験体からサーモグラフィまでの距離が60cm空間分解能1mmの時の熱画像において10~20μmであり、10μm以上のひび割れは評価可能であることをデジタルマイクロスコープによる観察で確認した。

3. 微細ひび割れの定量的評価方法

本研究では、撮影した熱画像をグレースケールに変更後、アイソサーム機能を用いて劣化部であると認められる高温の箇所を抽出した(画像3)。アイソサーム機能とは、設定した温度間の部分を異なる色で表示する機能のことである。高温箇所をアイソサーム機能で抽出した後、試験体全体のピクセル数(Pt)を求めするためにトリミングを行い、ヒストグラムの結果からアイソサーム機能で白色に変更した劣化部のピクセル数(Pd)を求め、劣化部割合(Pd/Pt×100)を算出した。赤外線サーモグラフィ法によるコンクリートの微細ひび割れの評価では、空洞放射効果によってひび割れ部に生じる放射率の変化を放射温度の差異として検出するため、周辺温度と試験体の温度の温度差が大きいほどひび割れ部を検出しやすい³⁴⁾。そのため本研究では、断熱材として使用している発泡スチロールの耐熱限界である80℃を加熱温度として設定して熱画像の撮影を行った。また、本研究では、超音波伝播速度は水路側壁の部材厚方向に透過法により測定した。

9つのコアにおける測超音波伝播速度と劣化部割合の結果を図1に示す。超音波伝播速度が最も大きいコア(超音波伝播速度4470m/s)と最も小さいコア(超音波伝播速度2850m/s)は特異な傾向をしているため別途詳細な検討を加



画像3 グレースケールの熱画像
Thermal image of gray scale

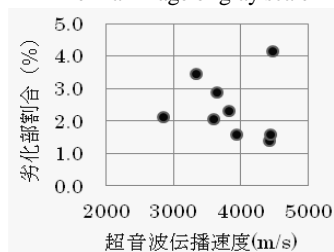


図1 超音波伝播速度と劣化部割合の関係
Relationship deteriorated part of proportion to the ultrasonic propagation velocity

える必要があるが、他の7つのコアの結果からは、超音波伝播速度が小さくなるほど劣化部割合が大きくなることが分かった。

4. おわりに

本研究では赤外線サーモグラフィ法によるコンクリートの微細ひび割れ評価手法における試験条件の幾つかを明らかにした。また、微細ひび割れの定量的評価方法として、熱画像解析で求めた劣化部割合と超音波伝播速度との間には、相関があることが示唆されることを明らかにした。今後は、試験体の本数を増やすことで、劣化部割合と超音波伝播速度の間に傾向が見られないコアに対する詳細評価、凍害劣化が進行し伝播速度3000m/s以下の試験体に対する評価を行い、赤外線サーモグラフィ法によるコンクリートの微細ひび割れ評価手法の確立を行いたい。

参考文献

- 1) 長滝重義ら：コンクリートのひび割れ評価におけるサーモグラフィ法の適用，材料46(2)，pp.198-203 (1997)
- 2) 天野勲ら：特殊構造物の外壁診断におけるガイドライン，建設の施工企画708，p.2 (2009)
- 3) 岡本芳三：遠赤外線リモートセンシング熱計測法，コロナ社，pp.30-34 (1994)
- 4) 川嶋紘一郎ら：非破壊検査工学最前線，共立出版，pp.112-113 (2009)