

加熱後の冷却効果を利用したサーモグラフィー法によるコンクリート内部欠陥検出に関する研究

茨城大学大学院 学生会員 ○矢口 雅博

茨城大学大学院 正会員 沼尾 達弥

茨城大学大学院 正会員 木村 亨

1. はじめに

近年、コンクリートの劣化や施工不良によるトンネルや高架橋等でのコンクリート片の落下事故が報告されている。これは、コンクリート構造物中の内部欠陥に起因するものが多く含まれていると考えられる。そのため、構造物の内部劣化状況および欠陥箇所の早期発見のための、欠陥検出技術の開発が求められている。

また、一方では、構造物内部の劣化状況を調査するコンクリートの非破壊検査手法の研究が盛んに行われている。その有効な非破壊検査手法の一つである赤外線サーモグラフィー法¹⁾、欠陥部と健全部との温度差を画像表示でき、視覚的に欠陥部を判断できるとともに、広範囲の表面温度も測定できるものとして、その利用が期待されている。

サーモグラフィー法によるコンクリート内部欠陥検出には、表面の熱的变化を利用するものである。その方法として、日射を用いるパッシブ法と、人工的な熱源を用いるアクティブ法がある。しかし、トンネル内等の日射が当たらない環境下や屋内での検査を必要とする場合、人工熱源による加熱等を用いる必要がある。

本研究では、欠陥部と健全部の温度差の点から、表面加熱後の冷却方法の違いによるコンクリート内部欠陥検出への影響を比較することで、実験的に検討を行った。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体は図 1 に示すように、300×300×200mm のコンクリート内部に、100×100×10mm の発泡スチロールを、試験体中央部内部表面から各 30、50、70mm の深さに配置した。なお、コンクリートの配合は水セメント比 50%、スランプ 9cm、空気量 2.5±1.5%とした。

また、欠陥部と健全部の表面温度差を調べるため、図 1 にも示すように試験体表面中心部(A 点)を欠陥部の温度とし、試験体表面中心部から上下 70mm の点(B 点、C 点)の平均温度を健全部の温度として用いることとした。

2.2 実験方法

実験の要因と水準を表 1 に、測定概要を図 2 に示す。本実験は、試験体測定面を加熱後、各冷却方法により試験体測定面を冷却し、欠陥部と健全部の温度測定を、赤外線映像装置を用いて行った。以下に測定手順を示す。

室温に十分になじませた試験体を、発泡スチロール製の断熱材を用い測定面以外の箇所を覆い断熱し、熱伝達部のみを加熱面とした。

加熱面と赤外線ヒーター（出力 1000W）との距離を 500mm に固定し、試験体測定面を各水準の加熱時間に従い加熱した。

加熱終了後、自然冷却および 2 種類の風速の風にて試験体測定面を冷却し、時間経過に伴い変化していく試験体測定面の表面温度分布を、赤外線映像装置により 3 分間隔で 45 分間撮影した。

同時に試験体測定面の流入熱流束量、室温の測定を行った。また、確認のため熱電対による試験体表面温度の測定も行った。

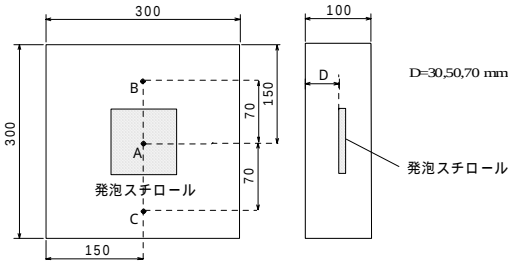


図 1 試験体概要

表 1 要因と水準

要因	水準
内部欠陥深さ	30mm, 50mm, 70mm
加熱時間	30分, 60分
冷却方法	自然冷却、風速1.0m/s、風速3.0m/s

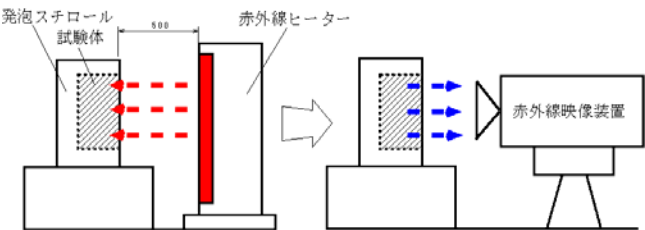


図 2 測定概要

キーワード 非破壊検査，サーモグラフィー法，アクティブ法

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 TEL:0294-38-5274 FAX:0294-38-5268

3. 実験結果

図3に内部欠陥深さ 30mm を 30 分加熱後風速 1.0m/s で冷却した赤外線画像を、図4に内部欠陥深さ 30mm を 60 分加熱後風速 1.0m/s で冷却した赤外線画像を、図5に内部欠陥深さ 50mm を 60 分加熱後風速 3.0m/s で冷却した赤外線画像を示す。各図中とも、左側に加熱終了直後、右側に欠陥部と健全部の温度差が最大温度差時の画像を示す。また、図6に内部欠陥深さ 30mm、図7に内部欠陥深さ 50mm、図8に内部欠陥深さ 70mm での経過時間と欠陥部と健全部の温度差の関係を示す。なお、図中の点線は、検出可能な閾値を 0.5 と設定して、表示している。

内部欠陥深さ 30mm では、図3の加熱時間 30 分の場合には加熱終了直後で温度差は 0.3 と、欠陥検出は不可能だったが、風速 1.0m/s で冷却すると冷却開始 9 分後で最大温度差 1.3 の温度差が得られ、欠陥検出が可能となった。また、図4の加熱時間 60 分の場合には加熱終了直後から 1.0 の温度差が得られ、欠陥検出が可能となり、さらに風速 1.0m/s で冷却することにより冷却開始 9 分後で最大温度差 1.4 の温度差が得られた。図6からも、風による冷却の場合が自然冷却に比べ温度差が大きくなり、風速 3.0m/s より風速 1.0m/s で冷却した場合の方が、温度差が大きくなる傾向を示す。

内部欠陥深さ 50mm では、図5の加熱時間 60 分の場合でも加熱終了直後からの欠陥検出は不可能だったが、風速 1.0m/s で冷却することにより冷却開始 15 分後で最大温度差 0.7 の温度差が得られ、欠陥検出が可能となった。また、図7より、加熱時間に関わらず自然冷却では欠陥検出可能な温度差が得られなかったのに対して、風による冷却では経過時間とともに温度差が大きくなり、欠陥検出可能な温度差を得ることができた。しかし、風速の違いにおける有意な差はほとんど見られなかった。

内部欠陥深さ 70mm では、図8より、加熱時間と冷却方法の全ての要因と水準で欠陥検出可能な温度差を得られな

かった。内部欠陥深さ 70mm の検出には、より多くの熱量を流入させる必要があると考えられる。

4. 結論

内部欠陥深さ 30mm では、加熱時間を長くすることで加熱終了直後から欠陥検出が可能となった。また、加熱後冷却することで温度差は増加した。

内部欠陥深さ 50mm では、加熱後風による冷却で欠陥検出可能な温度差を得ることができ、欠陥検出が可能となった。

内部欠陥深さ 70mm では、全ての要因と水準で欠陥検出は不可能であった。内部欠陥深さ 70mm の検出には、より多くの熱量を流入させる必要があると考えられる。

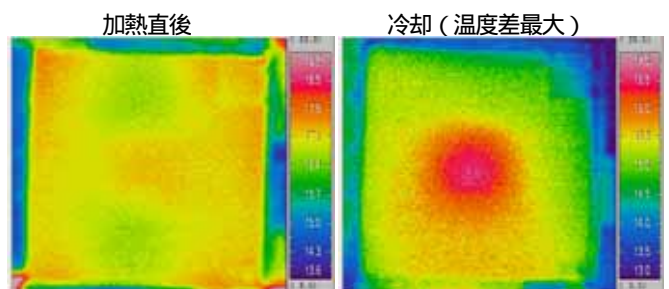


図3 内部欠陥深さ 30mm 赤外線画像 (30分加熱 - 風速 1.0m/s)

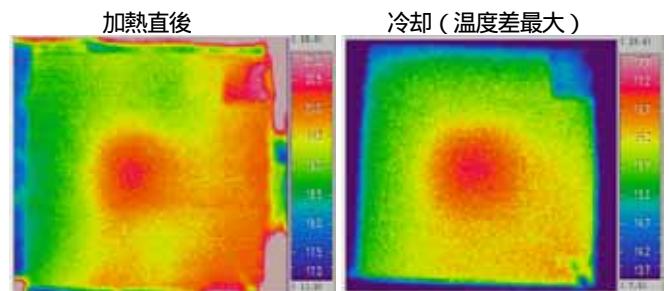


図4 内部欠陥深さ 30mm 赤外線画像 (60分加熱 - 風速 1.0m/s)

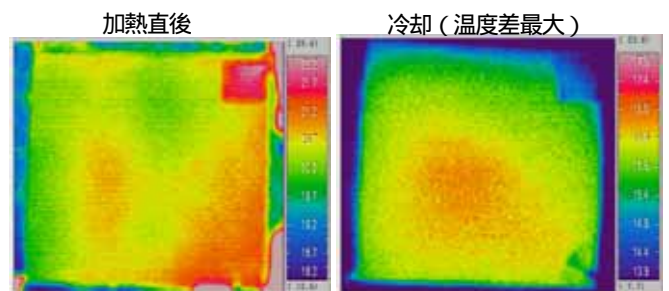


図5 内部欠陥深さ 50mm 赤外線画像 (60分加熱 - 風速 1.0m/s)

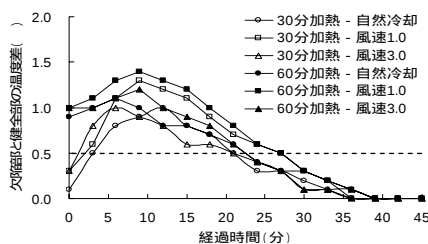


図6 経過時間と欠陥部と健全部の温度差 (内部欠陥 30mm)

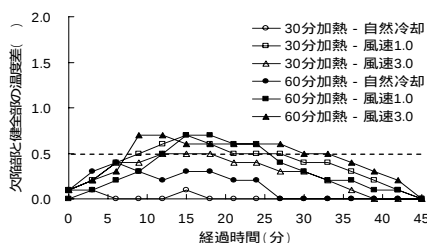


図7 経過時間と欠陥部と健全部の温度差 (内部欠陥 50mm)

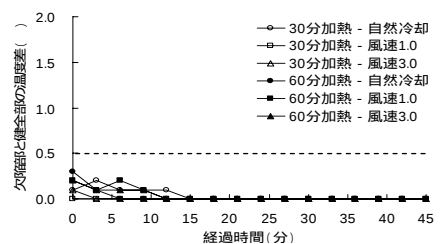


図8 経過時間と欠陥部と健全部の温度差 (内部欠陥 70mm)

<参考文献>

- 1) 安藤秀則, 山田和夫: サーモグラフィー法による内部探査結果の精度向上に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.1, pp.607~612, 2001