

遠赤外線照射法によるトンネル覆工の変状検知（その1：基礎的検討）

（財）鉄道総合技術研究所 正会員○吉田 幸司
 同 正会員 鳥取 誠一
 三菱重工業（株） 正会員 栗田 耕一
 帝都高速度交通営団 正会員 大澤純一郎

1. はじめに

コンクリートの剥離、剥落問題がクローズアップされ、コンクリート構造物の維持管理の重要性が再認識されているが、既存の膨大な量の構造物を効率的かつ適切に検査する非破壊検査については、更なる研究を要するのが現状である¹⁾²⁾。種々の検査法の中でも、赤外線法はコンクリート表面に近い浮き等の変状を広範囲かつ比較的効率よく検査可能な手法として注目されている。今回、赤外線カメラによる撮像前の強制加熱源として、遠赤外線光源を用いた赤外線法（遠赤外線照射法）について、変状検出可能深さ等の基本性能を把握することを目的に実験的検討を行った。また、かぶりコンクリート剥離・剥落による公衆災害を防止する観点から、都市トンネルの標準かぶりを参考に表面から深さ約50mmまでの内部欠陥検出を目標とした。

2. 遠赤外線照射法の原理

赤外線法は、検査対象の表面温度分布を捉えて、健全部と内部欠陥部との温度差から変状を検出する方法である。そのため、対象構造物を撮像前に加熱あるいは冷却する必要がある。加熱源に、遠赤外線光源を用いた方法が今回の遠赤外線照射法である。図1に遠赤外線照射法の原理を示す。はじめに、光源により検査対象のコンクリート表面を加熱、次に、赤外線カメラによる撮像で、熱伝導率の差から内部欠陥部（剥離、空隙）の表面温度が健全部より高温になることを利用して、内部欠陥を検出する。

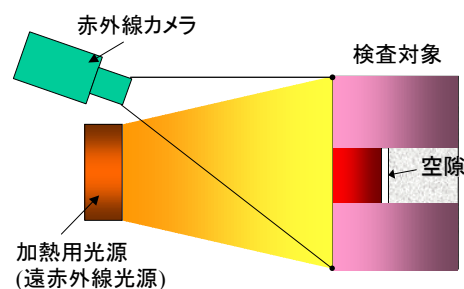


図1 遠赤外線照射法の原理概念図

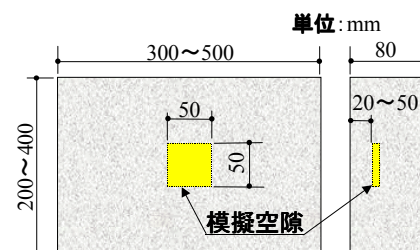


図2 模擬空隙供試体の概要図

3. 実験概要

はじめに、加熱光源の特性を把握するため、①今回提案する遠赤外線光源、②実用化されているハロゲン光源³⁾について、波長に着目し、コンクリートの深さ方向の加熱効果を実験的に比較検討した。

次に、赤外線光源加熱による光照射法の検出性能と検査における諸元を把握するため、模擬空隙を設けた供試体実験を実施した。供試体は、コンクリートと熱伝導率の異なる発砲スチロール製の薄板（50mm×50mm×1mm）を空隙に見立て、供試体内に深さ20~50mmで埋設し内部欠陥を模擬した（図2）。また、実験は、光源の照射条件（照射密度：0.10~0.55W/cm²、照射時間：5~30秒）、撮像条件（照射直後~60秒後）等をパラメータとして実施した。

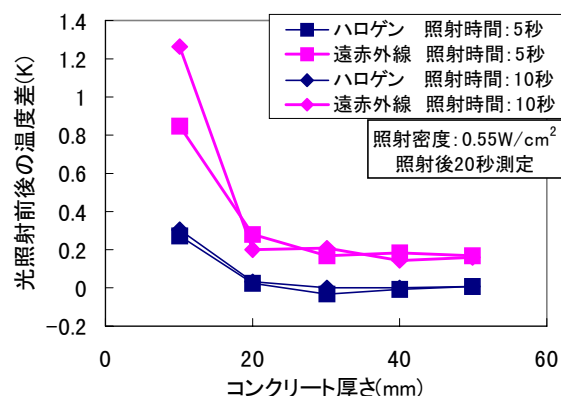


図3 遠赤外線光源とハロゲン光源の加熱効果

Keyword 非破壊検査, 赤外線法, 遠赤外線光源, コンクリート構造, 内部欠陥

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 tel：042-573-7281 fax：042-573-7282

4. 実験結果及び考察

4.1 加熱光源の検討

図3に遠赤外線光源とハロゲン光源の加熱効果を比較した結果を示す。なお、両光源の照射条件は同一である（照射密度： $0.55\text{W}/\text{cm}^2$ ，照射時間：5，10秒）。ハロゲン光源は深さ20mm以上では温度差が得られないが、遠赤外線光源は目標とする深さ50mmにおいても温度差が得られ、コンクリート内部への熱伝導効果に優れている。これは、遠赤外線光源が長波長成分の卓越する光源特性を有しているためと考えられる。

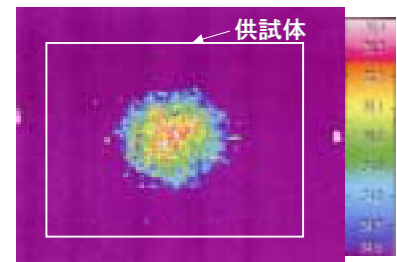
また、深さ20mm以上では、照射時間の差異はなく、遠赤外線光源の照射条件は、照射密度： $0.55\text{W}/\text{cm}^2$ ，照射時間：5秒以上であればよいと考えられる。

4.2 遠赤外線照射法の検出性能

図4に遠赤外線照射法による検出例（空隙深さ50mm）を示すが、模擬空隙を設置した中央部に表面温度の高い部分が現れ、この位置に、内部欠陥を検出できている（この場合の光源の照射条件は、照射密度： $0.55\text{W}/\text{cm}^2$ ，照射時間：5秒）。また、この事例よりも空隙深さの浅いケースに対しても同様の結果が得られた。このことから、目標である表面から50mm程度までの内部欠陥の検出が可能であると考えられる。

また、50mm程度の内部欠陥を検出するための加熱後の赤外線カメラ撮像条件について、空隙厚さをパラメータとして、照射後の経過時間と温度差との関係を検討した。図5に健全部と空隙部の温度差の経時変化を示す。なお、この場合の光源照射条件は図4の場合と同様である。実験の結果、深さ50mmの検出を目標とすれば、赤外線カメラの撮像は照射直後から約30秒程度の範囲がよいと考えられる。

加熱後、赤外線画像



空隙深さ: 50mm

図4 遠赤外線照射法による検出例

5. まとめ

遠赤外線照射法の実験的検討により、以下の知見を得た。

- ① 加熱光源には、光源の特性として長波長成分の卓越する遠赤外線光源が優位である。
- ② 模擬空隙供試体による実験の結果、深さ50mm程度まで内部欠陥検出が可能である。
- ③ 光源加熱は、今回の照射条件（照射密度： $0.55\text{W}/\text{cm}^2$ ，照射時間：5秒）以上であれば、目標とした深さ50mmの内部欠陥検知に有効である。
- ④ 健全部と空隙部の温度差は照射直後が最も大きく、その後時間経過とともにほぼ指数関数的に減衰するため、照射後の撮像時期は、照射直後から約30秒程度の範囲が適切である。

今回、コンクリート構造物の浮き等の内部欠陥を検出する非破壊検査手法として、遠赤外線照射法の基本的な検査諸元や検査性能を把握した。現在、本手法の実用化に向けて、遠赤外線照射設備等の試作機の製作・試験を帝都高速度交通営団、三菱重工業株式会社との共同研究を実施している。

（参考文献）

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書（維持管理編），2001.1
- 2) 阪上隆英，込山貴仁：赤外線サーモグラフィによるコンクリートの非破壊試験，非破壊検査，1998.10
- 3) 石坂利一：赤外線画像によるトンネル検査システムの開発，鉄道施設協会誌，1998.2

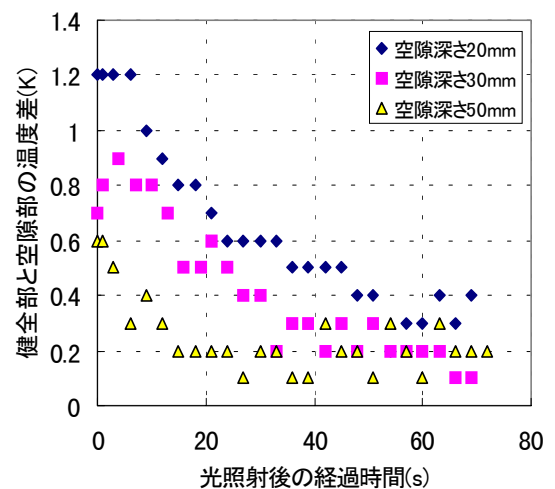


図5 健全部と空隙部の温度差の経時変化