

検出波長域の違う赤外線カメラ撮影の留意点

西日本高速道路エンジニアリング四国(株)*1 ○正会員 橋本 和明
 西日本高速道路エンジニアリング四国(株)*1 正会員 明石 行雄

1. はじめに

赤外線サーモグラフィ法（以下、赤外線法という）によるコンクリート構造物の非破壊検査は、赤外線カメラで特異な温度変化部を浮き・はく離と判断する。よって、赤外線カメラの性能の違いで、診断の成否が左右される。赤外線カメラの性能は搭載された検出器の種類によって検出波長域が異なるが、検出器別波長域の違いの性能比較事例が少なく、効率的な診断となっていない場合がある。

本論は赤外線カメラの検出器別に撮影された熱画像を整理して、検出器別の特性を把握すると同時に、コンクリートと消石灰の放射率を計測することで、撮影時の留意点を整理した。

2. 検出器の種類と赤外線カメラの温度測定原理

2.1 赤外線波長域と検出器の種類

赤外線波長域別の検出器の種類を表1に示す。

表1 赤外線波長域別の検出器

検出器	赤外線波長域	温度分解能	冷却の有無
InSb	1.5~5.1 μm	0.02℃	有
QWIP	8~9 μm	0.025℃	有
μ-ボロメーター	8~14 μm	0.08℃	無

2.2 屋外における赤外線の伝達経路

赤外線カメラは対象物からの放射だけでなく、被写体周辺における熱的環境の影響を常に受けている（図1）。赤外線カメラは被写体から放射される赤外線だけでなく周辺の赤外線も捉えて温度に変換する。

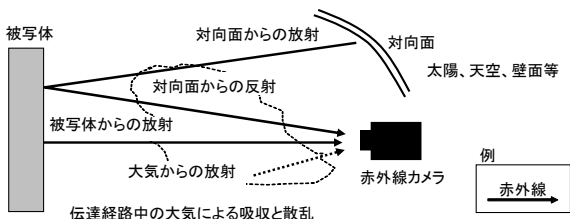


図1 屋外撮影の場合の赤外線放射エネルギー伝達経路

2.3 赤外線カメラの環境温度の影響

赤外線カメラは、被写体から放射された赤外線と対向面からの反射された赤外線も捉えて温度に変換する（図2）。通常、赤外線カメラの捉える赤外線は被写体の分光放射率に影響を受けるが、対向面の温度が一樣であるため、温度ムラがないと言われている。

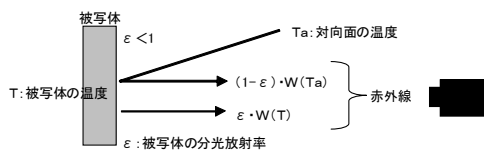


図2 被写体の分光放射率が赤外線カメラに与える影響

3. 検出器別に撮影した熱画像

3.1 コンクリート表面粗さによる熱画像

壁高欄部を夜間撮影すると、健全部であっても、冷たく検出する箇所が出てくる。事前に打音検査を実施した壁高欄（健全部）を検出器の異なる赤外線カメラで撮影した（図3）。検出器の波長域が8~10μmであると、コンクリートの表面の滑面の部分が誤検出される。

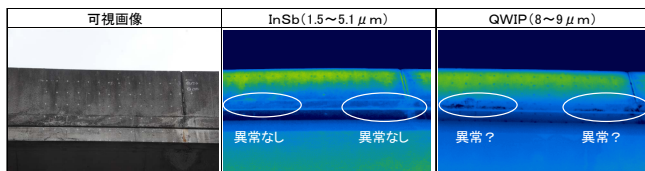


図3 検出器別の熱画像（健全部の壁高欄：夜間撮影）

3.2 検出波長域における天空放射温度の影響

検出波長域の異なる検出器で天空を撮影すると天空の温度が大きく異なる（図4）。8~13μmの検出器は、地表面の気温が35.7℃であっても、天空温度は0~-35℃と捉え、3~5μmの検出器の天空温度は20℃程度と捉える。被写体の分光放射率は、被写体の表面粗さによって異なる。天空温度が被写体温度と比べて大きく異なると、表面がツルツルした箇所は、特異な温度分布となって誤検出する。本論では、この現象を天空反射と言う。

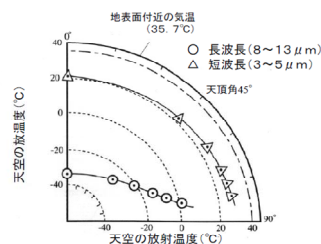


図4 天空の放射温度の天頂角特性

3.3 検出器別の天空反射

3種類の検出器で橋梁下部工を撮影した熱画像を図5に示す。この熱画像は、橋梁下部工（写真中の赤色で囲んだところ）を天空反射が映りやすいように45度の角度で撮影したものである。InSbの赤外線カメラは天空反射の影響を受けない。しかし、8μm以上になると天空反射を検出する。

キーワード：赤外線サーモグラフィ法、検出器、分光放射率、反射、遠赤外線フーリエ分光分析

*1 〒760-0018 高松市天神前10番5号

TEL 082-834-1196 FAX 082-834-1254

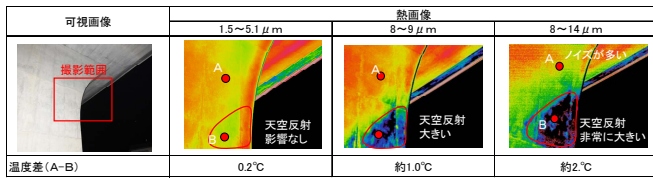


図5 検出器別の天空反射熱画像例

4. 天空反射の検証

4.1 検証概要

図6に示す供試験体を用いて天空反射を確認した。供試験体は、深さ2cm奥に15cm×15cmの内部欠陥を作成し、赤外線撮影面に①白ペンキ、②石灰、③無処理(滑面)、④レイタンス除去(粗面)を施した。この供試験体を90度から10度まで倒し天空反射を受けるように2種類の赤外線カメラで撮影した。また、天空反射を受けないように橋梁の下で撮影した。

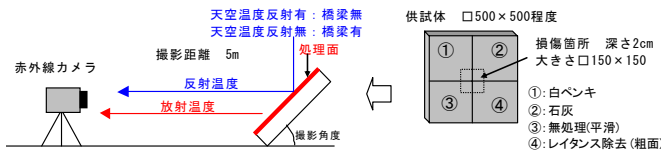


図6 天空反射の検証方法

4.2 検出器別の天空反射

InSbとQWIPの赤外線カメラで、供試験体を撮影して得られた熱画像を基に表面温度(平均)を算出した(図7、図8)。結果を以下に示す。

- 1) 天空反射を受けない橋梁下は設置角度に関係なく温度は一定している。
- 2) 天空反射を受ける場合は、供試験体の設置角度が小さくなるにつれて温度が低下する。
- 3) 天空反射を受けるInSbは、石灰と白ペンキを除いて、撮影角度が90~40度の間は温度変化がわずかである。QWIPは撮影角度が変化すると温度変化が激しく20度以下の撮影角度では、表面状態で温度変化の傾向が異なる。
- 4) InSbは天空反射の影響を受けず、QWIPは天空反射の影響が大きい。

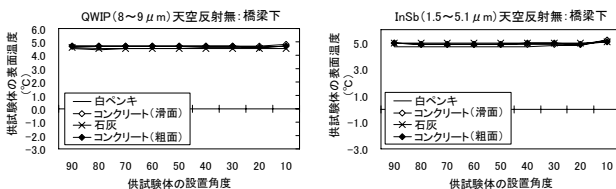


図7 橋梁下における供試験体の温度推移

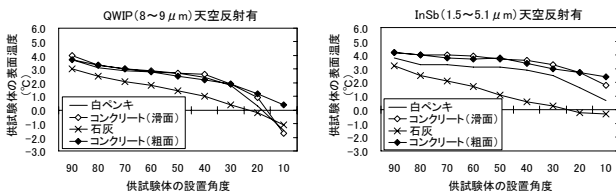


図8 天空反射の影響を受ける供試験体の温度推移

5. コンクリート表面粗さ別と消石灰の放射率

5.1 実験概要

遠赤外線フーリエ分光分析器を用いて物質の放射率と波長の関係を整理した。計測に用いた供試験体を写真1に示す。

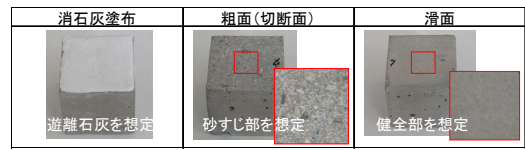


写真1 供試験体の表面状況写真

5.2 実験結果

実験結果を図9に示す。この結果から、消石灰塗布、粗面、滑面ともに放射率が異なる。特に、波長域が8μm以上になると滑面は粗面と消石灰塗布と比較して放射率が小さくなる。検出器は捉える赤外線波長域が異なるため、図9で求めた放射率を検出器別の対象波長域の平均放射率を求める(図10)。InSbは3つ材質の放射率は、ほぼ同じである。一方、QWIPとμ-ボロメータは滑面の放射率だけが小さい結果となった。

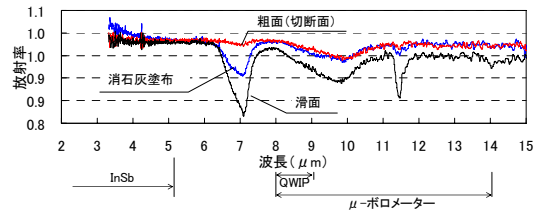


図9 波長と放射率の関係(消石灰・粗面・滑面)

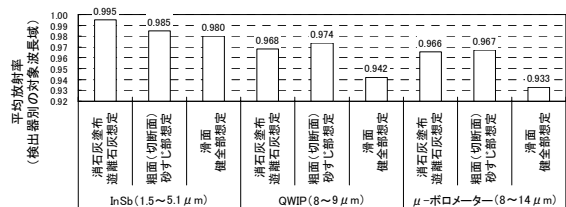


図10 検出器別の放射率(消石灰・粗面・滑面)

6. まとめ

以上の検証結果から熱的環境の安定する夜間に赤外線カメラで橋梁を撮影する際の留意点を以下に示す。

- 1) 橋梁表面を赤外線カメラで撮影すると、表面の状態で温度差が出現する。
- 2) 壁高欄部を撮影する際は、天空反射を受け、滑面部の箇所を冷たく検出する。
- 3) 短波長域(InSb)の赤外線カメラは天空反射の誤検出を防ぐことができる。
- 4) 短波長域(InSb)の赤外線カメラを使用しても遊離石灰部は天空反射の影響を受ける可能性があるため、撮影に注意が必要である。
- 5) 放射率の試験結果から、コンクリート表面に粗さの違いがあると誤検出する可能性がある。その傾向が強いのは、中長波長域(QWIP, μ-ボロメータ)の赤外線カメラである。