特集≫ 維持管理・長寿命化・リニューアル

赤外線熱計測による道路構造物の損傷調査

前 田 近 邦・黒 須 秀 明

道路構造物等の内部損傷を検出するための非破壊検査技術として赤外線熱計測法が注目されている。本稿で紹介するシステムは、計測車両に赤外線サーモグラフィを搭載し、効率的な移動計測を可能とした赤外線熱計測システムである。広範囲に位置する道路構造物の内部損傷を短期間に計測可能であり、道路舗装、空港舗装、トンネル覆工コンクリートの内部損傷検査で利活用されている。本稿では、計測システムを紹介するとともに、調査事例について概説する。

キーワード: 赤外線サーモグラフィ, 移動体計測, 内部損傷, 道路構造物

1. はじめに

高度成長期に供用された道路構造物の老朽化が進展しているなか, 道路利用者に安全かつ快適な道路施設を提供するためには, 予防的修繕を考慮した維持管理と計画的な更新が重要となっている。これらの作業を適切に推進するには, 道路構造物の損傷状況を表面だけでなく内部状態も含めて正確に把握する必要があり, そのための効率的な検査技術が求められている。

赤外線熱計測法は赤外線サーモグラフィにより,道路構造物内部の損傷(例えば舗装表面下の層間剥離やトンネル覆エコンクリートの浮き等)を検知する計測方法である。従来,この技術は建築物の外壁の浮き等を診断するための技術として,主に静止計測の検査技術として利用されてきた。しかしながら,近年の赤外線サーモグラフィの性能向上に伴い,移動しながらの計測が可能となり,道路構造物における内部損傷検出のために有効な検査技術として利活用されている^{1),2)}。

本稿では、赤外線サーモグラフィによる道路構造物 の計測システムについて紹介するとともに、調査事例 について概説する。

2. 装置概要

(1) 計測原理

赤外線熱計測法は、構造物における素材の違いや損傷の有無などの物質(体)状態に基づく赤外線放射量を赤外線サーモグラフィで感知し、そこから得られる温度の相違に基づき、外観から視えない内部損傷を検

出する手法である。

構造物内部に損傷(空隙,滞水等)が発生した場合, 健全部と損傷部では物質(体)状態が異なるため,熱 容量に相違が発生する。熱容量の相違は温度の相違と なり,内部と表面の間で伝わる温度にも相違が発生す る。そのため,損傷が発生した個所では,表面温度が 健全部に比べて相対的に高いもしくは低い状態とな る。赤外線熱計測法では,赤外線サーモグラフィによ り,内部損傷に起因する構造物表面の相対的な温度差 を熱変状として捉えることで損傷状態及び箇所を把握 する。

例えば、アスファルト舗装やコンクリート構造物内部で損傷による空隙が発生した場合、昼間の太陽光による路面の加熱過程時であれば、空隙の空気層の影響により周囲のアスファルトやコンクリートよりも早く熱せられるため、周囲よりも高温となる。逆に夕方以降の気温降下に伴う冷却過程時であれば、空隙の影響により周囲よりも温度低下が早いため低温となる。一方、アスファルトやコンクリート構造物内部で滞水している場合、加熱過程時であれば周囲よりも低温となり、一旦加熱された後の冷却過程時であれば周囲よりも高温となる。すなわち空隙と滞水では一般的に温度平衡状態の場合を除き、温度の相対的な表出現象が反対になる(図一1)。

(2) 赤外線カメラの仕様

本システムで使用している赤外線サーモグラフィの 仕様を表―1に示す。赤外線サーモグラフィは、非 冷却式の熱型(マイクロボロメータ型)と冷却式でイ

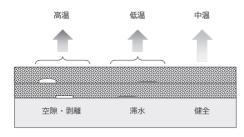


図-1 舗装の日中での模式的放射温度例

表一1 赤外線サーモグラフィの仕様

| 項目 | 仕 様 |
|-----------------|-------------------------|
| 測定温度範囲 | -10°C ~ 350°C |
| 有効画素数 | 640 (H) × 512 (V) 画素 |
| 測定波長 | $3\sim 5~\mu\mathrm{m}$ |
| 最小温度検出能 (温度解像度) | 0.018℃ |
| 測定視野角 | 35.5° (H) × 28.7° (V) |
| フレーム速度 | 最高 125 Hz(可変) |
| 重量 | 4.5 kg |

ンジウムアンチモン等の赤外線撮像素子から構成される量子型の2型からなる。これらの2型のカメラは、感知する波長も異なり、熱型で $8\sim14\,\mu\,\mathrm{m}$ 、量子型で $3\sim5\,\mu\,\mathrm{m}$ を主な対象とする。本システムでは、赤外線の感知・取り込み速度が熱型よりも速く、しかも最小検出温度が0.018%と非常に高い温度分解能をもち、画素数も横 $640\times$ 縦512と多く高解像度の量子型赤外線サーモグラフィを用いている。

(3) 計測システム

計測システムを図―2に示す。専用車両の上部に赤外線サーモグラフィと可視画像カメラを搭載したシステムとなっている。計測システムは距離計を有しており、距離計の信号から任意の距離間隔で画像取得するための撮影信号を生成している。本システムは100 km/h までの高速走行で計測が可能であり、一般・高速道路において通行規制をすることなく、交通の流れに沿って計測することが可能である。また、専用のカメラ台により、上下左右問わず、任意の方向での赤



赤外線熱計測車両 Sonic Recon



路面性状測定車 Real

図一2 計測システム

外線データの取得が可能になっている。なお,赤外線 サーモグラフィは路面性状測定車にも搭載可能であ り,路面の表面損傷と内部損傷を同時に計測すること も可能である。

3. 調查事例

(1) 道路舗装

舗装の潜在的な損傷である路面下(舗装内部,床版上面等)の損傷は,舗装機能の劣化に影響を与える要因にも成り得る。そのため,予防保全の観点からみると表面損傷だけでなく路面下の損傷を把握することは重要であり,今後それらの情報を加味した舗装の維持管理が必要となる。

本システムでは舗装下の損傷として、層間剥離、排水性舗装の異常滞水、埋設ジョイント部の損傷、Uリブの滞水に基づいて推定される鋼床版デッキ貫通亀裂、およびRC床版の砂利化等の路面下の損傷を調査対象としている。路面下の調査は損傷部と健全部の温度差が出やすい日中に実施しており、層間剥離では表層と基層、もしくは基層と床板との間に空気層ができることから、損傷部は健全部よりも高温に検出される(図一3)。鋼床版デッキ貫通亀裂では、亀裂部から侵入した水によりUリブで滞水が発生することにより、Uリブの枠の部分が低温で検出される(図一4)。本システムでは計測時の交通規制を必要としないことから、高速道路等で多くの実績を有している。

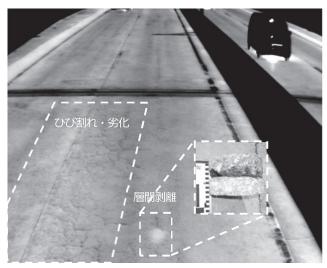
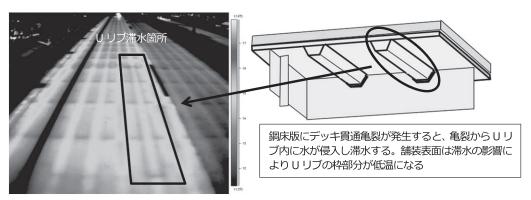


図-3 道路舗装での赤外線熱画像例(層間剥離)

(2) 空港舗装

改定された空港舗装補修要領及び設計例(財団法人 港湾空港建設技術サービスセンター、平成23年4月) では、アスファルト舗装の構造調査として赤外線サー



図―4 道路舗装での赤外線熱画像例(鋼床版デッキ貫通亀裂)

である。

モグラフィによる層間剥離調査が規定されている。この調査では、赤外線サーモグラフィによる層間剥離箇所と健全部の舗装表面温度を計測し、その差から層間剥離の発生位置を特定するものである。空港における調査は、一般的に航空機の運航終了後の夜間作業となるため、微小な舗装表面温度差を検出することが必要とされる。

本システムは高精度のサーモグラフィを使用していることから、夜間でも微細な温度差が検出可能であり、要領に規定された方法に準拠した調査が実施可能である。また、走行計測により、短期間で面的な層間剥離箇所の計測が可能であり、1日の作業時間が限られる空港での作業に対して有効である。

図―5に空港舗装の調査例を示す。層間剥離箇所が円状に多数検出されていることが確認できる。空港舗装の調査は夜間に実施されることから、昼間の温度上昇時とは逆の関係となるため、層間剥離箇所は周囲の健全部よりも低温で検出される。

(3) トンネル覆エコンクリート

トンネル覆工コンクリートでは、施工された年数や

から、昼間の温度 漏水部で健全部と異なる温度を有していることが確認 引剥離箇所は周囲 できる。図―6の通り、日中の温度上昇時に計測し た場合、浮き部は空気層の影響で周囲の健全部よりも 高温で検出され、漏水部は水の影響で周囲の健全部よ りも低温に検出される。

赤外線サーモグラフィを利用した熱計測は、従来の

点検頻度に応じて遠望または近接による目視点検が人

力により実施されてきた。このような中、トンネルの

老朽化の進展に伴い、全国の1万本のトンネルを対象

として、5年に1回のトンネル点検が義務化されたこ

とにより、点検量が増大することが想定される。その

ため、損傷検出のための効率的な計測手法が必要となっている。本システムでは、赤外線サーモグラフィ

を上方や側方に向けて計測することにより、トンネル

覆工コンクリートに発生する内部損傷調査が実施可能

本システムでの調査で計測できる点検項目は、道路

図―6にトンネルでの調査事例を示す。浮き部と

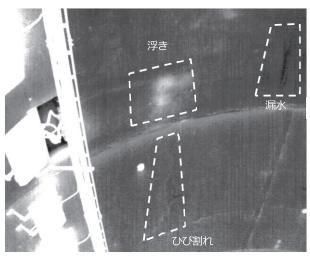
トンネル定期点検要領(案)(国土交通省同局国道課,

平成14年4月)にある点検項目のうち、浮き、はく離、

漏水に関する事項について調査を実施している。



図-5 空港舗装での赤外線熱画像例(層間剥離)



図―6 トンネル覆工面での赤外線熱画像例

トンネル詳細点検に先立って損傷箇所と非損傷箇所を スクリーニングするものであり、作業の効率化を目的 とした第一次調査手法として活用されている。

4. おわりに

道路構造物の老朽化に伴い、効率的な維持管理の重要性が増す中、表面からでは確認できない内部損傷を把握するニーズは年々増加してきている。このような中、移動計測が可能である本システムは、広範囲に位置する道路構造物の内部損傷を短期間に計測可能な技術として注目されており、利用の拡大が期待されている。

今後は、これらの技術により得られたデータを短時間で処理し、分かり易い情報として提供できるように更なる技術の開発を進めるとともに、これまでの点検データを利用した効果的な維持管理を推進していきたいと考えている。

《参考文献》

- 1) 塚本ら,赤外線による舗装の点検手法,舗装, Vol.46, pp.17-22, 2011.7
- 2) 黒須ら, 赤外線熱計測によるトンネル覆工コンクリートの損傷検出 1 - 高速走行計測, 土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集, VI -263, 2012.9

J C M A



[筆者紹介] 前田 近邦 (まえだ ちかくに) (株パスコ 研究開発本部 開発センター センシング機器開発一課



黒須 秀明(くろす ひであき) (株パスコ 研究開発本部 開発センター センシング機器開発一課 課長