

(117) 赤外線サーモグラフィ法による点検診断技術

（前）（財）道路保全技術センター 橋梁診断員

（現）ドーピー建設工業（株）

正会員 ○高橋 輝光

（財）道路保全技術センター 橋梁構造部

正会員 今尾 勝治

（財）道路保全技術センター 橋梁構造部

野村 直茂

1. はじめに

昨年多発したコンクリート片剥落事故をきっかけに、劣化したコンクリート構造物の点検・診断技術の向上が重要視され、通常行われている打音点検以外の近代的な検査手法の導入が求められている。

橋梁の場合、道路・鉄道の交差条件以外にも、高架橋の下にある公園・駐車場等の施設が多く存在し、コンクリート片の剥離・落下による第三者被害を防止する必要性が有り、コンクリート構造物のひびわれ、うき、剥離を効率的かつ高精度に検出・計測できる非破壊検査手法の開発が重要視されている。

本文では、近年、打音点検にかわる新しい非破壊検査手法の1つとして注目を集めている赤外線熱画像カメラを用いた赤外線サーモグラフィ法の新しい検査手法への適用性をフィールドテストにより検証し、さらに、実際の橋梁点検に適用したのでその結果を報告する。

2. サーモグラフィ法の特長

サーモグラフィ法におけるコンクリート構造物のうき・剥離の検出には、一般に日照による加熱と夜間の放射冷却という24時間の温度変化が利用されている。（「図-1 構造物内部の変状と表面温度の経時変化の模式図」参照）

日中には太陽光の照射により構造物は表面から加熱されるため、構造物には表面から内部への熱移動が生じる。このため、構造物内部にうき・剥離が存在すれば、そこが断熱層となり剥離部分の表面温度は健全部と比較して高温になる。

逆に夜間には構造物内部に蓄えられた熱のため内部から表面に向かう熱移動が生じ、剥離部分の温度は健全部に比べて低くなる。このような健全部との温度差を、サーモグラフィを用いて検出することにより、コンクリートの剥離検出が可能となる。

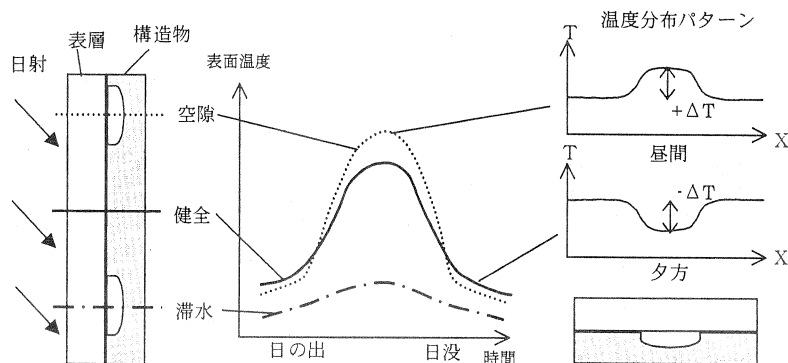


図-1 構造物内部の変状と表面温度の経時変化の模式図

以下にサーモグラフィ法の特長をまとめて示す。

- ①非破壊、非接触で点検が可能。
- ②短時間に広範囲な点検ができる。
- ③欠陥の位置・形状が温度分布から視覚的に特定できる。
- ④光学的計測法であり、適当な広角、望遠等の交換レンズを選ぶことにより、点検対象の大きさによる制限を受けない。

3. フィールドテスト

3. 1 概 要

第三者被害を予防するための橋梁点検方法としての赤外線熱画像カメラによる点検の有効性を確認する目的で、次に示す2橋についてフィールドテストを実施した。表－1にフィールドテストの概要をまとめて示す。

表－1 フィールドテスト概要表

対象橋梁	橋梁構造	点検対象部位	赤外線撮影 日時	目視・打音点検 日時
K橋 国道246	PC単純ポス テンT桁	張出床版 地覆・壁高欄	H12年1月21日 15:00～23:00	H12年1月28日
T橋 国道357	鋼鉄桁	張出床版 地覆・壁高欄 擁壁部	H12年2月8日 18:00～9日 18:00	H12年2月21日 ～22日

3. 2 点検項目および点検方法

主にコンクリートのうき・剥離の検出を目的に、従来方法である近接目視および打音点検とサーモグラフィー法で点検を行い結果を比較した。

点検方法を表－2にまとめて示す。

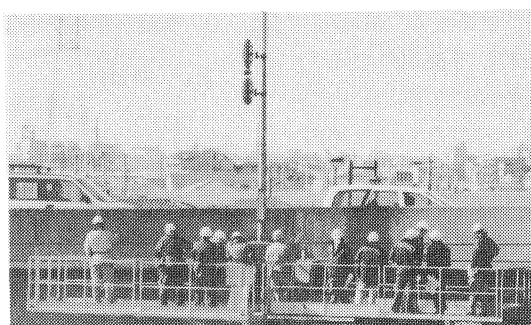
T橋における点検状況および結果の画像等を写真－1～6に示す。

表－2 点検項目および点検方法

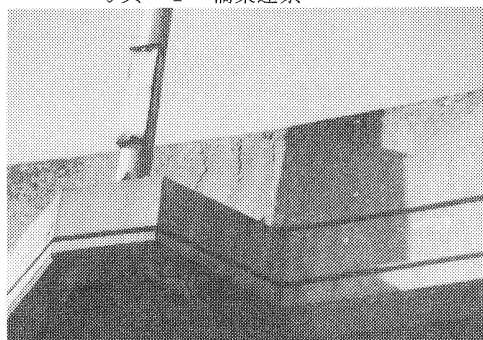
点検名		点検方法
サーモグラフィー法		赤外線熱画像カメラによる撮影
従来法	近接目視	近接目視による目視点検
	打音点検	点検ハンマーを使用した打音検査



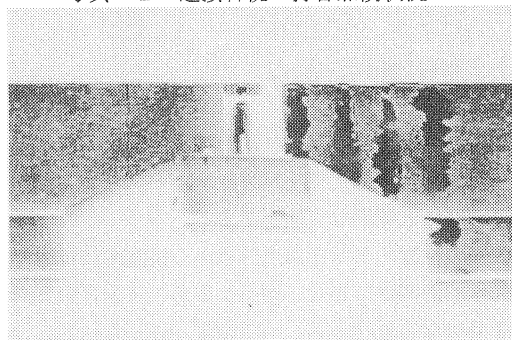
写真－1 橋梁遠景



写真－2 近接目視・打音点検状況



写真－3 一般遠望カメラによる状況写真



写真－4 赤外線熱画像（幾何補正、劣化強調処理後）

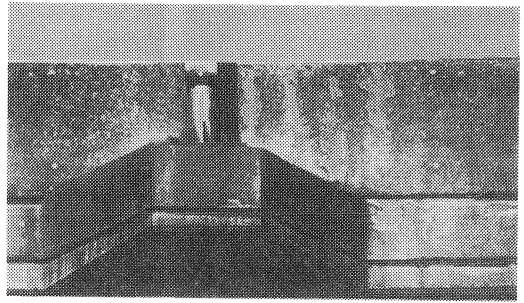
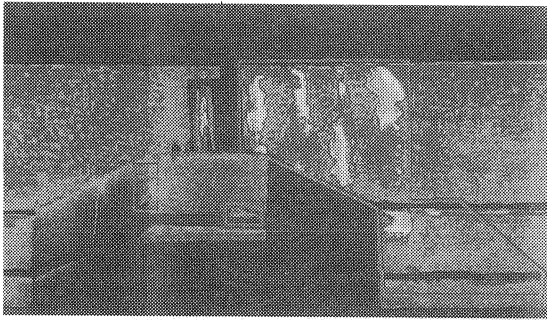


写真-5 赤外線熱画像（疑似カラー着色後）

写真-6 可視・赤外線合成画像

3. 3 結 果

T橋およびK橋について、近接目視・打音点検結果と赤外線撮影結果との比較を表-3に示す。

表-3 T橋の近接目視・打音点検結果と赤外線撮影結果との比較表

橋名	調査位置		打音点検 で検出さ れたうき 数	赤外線 で 検出された うき数	一致箇所 数 (a)	打音点検 のみで検 出された うき数 (b)	赤外線 のみで検出 されたう き数 (c)	検出率 X (%)
	地点名	部位						
K 橋	A 地点	張出床版等	14	15	14	0	1	93
	B 地点	〃	20	19	15	2	3	75
	C 地点	〃	27	26	22	3	2	81
	D 地点	〃	10	8	9	0	1	90
	E 地点	〃	7	8	7	0	1	88
	F 地点	〃	6	6	6	0	0	100
	合計		84	82	73	5	8	平均 85
T 橋	A 地点	擁壁	19	21	15	4	6	60
	B 地点	張出床版等	10	9	9	1	0	90
	C 地点	擁壁、張出床版	7	7	7	0	0	100
	D 地点	擁壁	8	7	7	1	0	88
	合計		44	44	38	6	6	平均 76

注) 検出率 $X = a / (a + b + c) (\%)$

フィールドテストの結果から打音と赤外線は平均約 80 %程度一致しており、打音による結果を正解としてサーモグラフィー法の適用性を判定しても、第三者の被害を予防する目的（コンクリートの剥離落下の予防）から考えれば、サーモグラフィー法はコンクリートのうきを点検する手法として十分な価値を持つと判断してよいと考えられる。

ただし、打音とサーモグラフィー法が完全に一致しない問題も残り、今後の検討事項となる。

4. 赤外線熱画像カメラに関する調査結果

フィールドテストにより赤外線熱画像カメラの適用性は検証できたと考えられるが、現場での操作性を検討するため市販のハンディタイプカメラの検証を M 橋 (R 1 6) で行った。比較したカメラの諸元一覧表を表-4に示す。結果としては携帯性・操作性に大差はなく、赤外線熱画像カメラメーカー各社の、現場での使用を考慮した携帯性・操作性のもう一段の技術開発が望まれるところである。

現地比較状況を写真-7で示す。

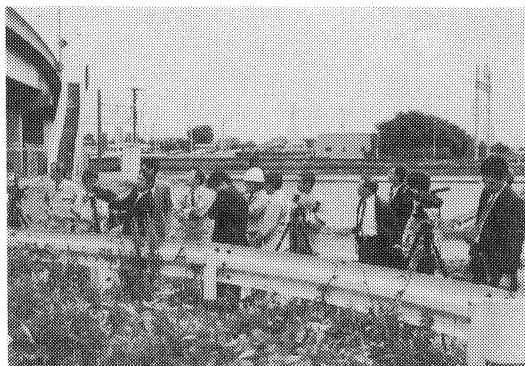


写真-7 赤外線熱画像カメラ現地比較状況

表-4 比較したカメラ諸元一覧表

形式名	A社 TH 7 1 0 2	B社 Palm IR-PRO	C社 LAIRD-S270	D社 TVS-610	E社 Therma CAM Model 390
画素数(H×V)	320×240	320×240	475×442	320×240	256×256
検知波長 (μm)	8～14	7～14	3～5	8～14	3.4～5
冷却方式	2次元非冷却	非冷却	スターリング冷却	2次元非冷却マイ クロボロメータ	スターリング冷却
測定温度範囲	-20～250℃	-20～500℃	-20～250℃	-20～300℃	-10～450℃
画像表示	カラー液晶ビュー ファインダ	2.5型カラー液晶モ ニタ	5.6型カラー液晶モニ タ(オプション)*	5型カラー液晶モニ タ	カラー液晶ビュー ファインダ
映像出力	NTSC、S- VIDEO	NTSC SMPTE- 170M	NTSC	NTSC	NTSC、S- VIDEO
外部インターフェイス	RS 232C	RS 232C	RS 232C	RS 232C	RS 232C
電源電圧 (DCV/ACV)	DC7.2V、AC7.2V	DC6V (2時間以 上)	AC7.2V/DC12V バッテリー/バッテリー (オプション)*	バッテリー、AC7.2V	DC6V
データ記録	コンパクトフラッシュメモ リカード 記憶容量65画面/ 10MB	コンパクトフラッ シュカード 容量60画面/8MB	メモリーカードレコーダー/ 4MBカード付(オプ ション)* 32MB、 96MB(オプション)	コンパクトフラッ シュカード 容量: 50画面/ 10MB	PCMCIAカード 容量: 80画面/ 10MB
カメラ寸法 (mm)	97(W)×169(D)× 110(H)	140(W)×254(D)× 102(H)	98(W)×165(D)× 120(H)	115(W)×220(D)× 142(H)	114(W)×210(D)× 89(H)
カメラ重量 (kg)	1.6kg(バッテリー含 まず)	1.8kg(バッテリー含 む)	2.5kg(レンズ含まず)	2.0kg(レンズ、バッテ リー含まず)	1.7kg(レンズ、バッテ リー含まず)

5. 橋梁点検への試み

現在の橋梁定期点検は、近接目視が原則で橋梁点検車や足場等により点検を行っているが、跨線橋などでは桁下に空間が無く、いずれの点検方法も危険が伴うため、線路上からの目視点検となりがちである。写真-8に線路上からの目視点検状況写真を示す。しかしながら、床版が鉄板で覆われている場合は線路上からの目視点検のみでは不十分な点検となり床版コンクリート片の抜け落ち等の問題がのこる。

そこで、赤外線サーモグラフィ法の実務への適用性を検証する目的も含め、J R敷地内から赤外線熱画像カメラを使用し、非破壊・非接触で遠隔地点から橋梁床版内部の変状が検知できる赤外線サーモグラフィ法により橋梁点検を行った。J R敷地内からの点検状況を写真-9で示す。橋梁点検は2橋について行っ

たが、ここではその内の1橋であるM跨線橋の結果について述べる。

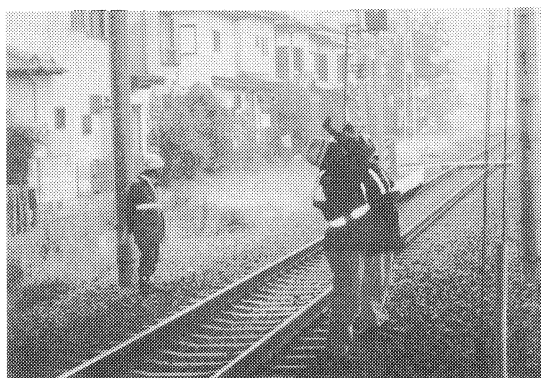


写真-8 跨線橋における目視点検状況



写真-9 赤外線撮影状況

5. 1 M跨線橋の 点検結果

点検当日の天候は、当初曇りで赤外線撮影には条件が悪かったが、10時半過ぎに晴天となり除々に好条件となった。問題視されているI形鋼格子床版のような合成構造の床版表面の変状をみると、とくに張出部に腐食や遊離石灰が多数分布している。熱画像でもこれらの腐食箇所や、鋼板の継ぎ手部に高温部、低温部が点在し、部分的な鋼板のうきや滞水の存在が懸念される。また、床版部表面に一部ではあるが、鋼板の継ぎ手部を中心に腐食や遊離石灰が分布している。熱画像でも、これらの腐食箇所や鋼板の継ぎ

表-5 変状がみられた箇所の熱画像と写真との比較表

写 真	熱 画 像
〔解説〕鋼板継ぎ手部に腐食と遊離石灰が存在する。熱画像ではこれらの腐食箇所に沿い、高温部が点在してみられることから、ごく一部の鋼板の浮きが懸念される。	
〔解説〕鋼板継ぎ手部にごくわずかの腐食と遊離石灰が存在する。熱画像ではこれらの腐食箇所や鋼板の継ぎ手に高温部がみられ、一部の鋼板の浮きが懸念される。また、桁との接合部には広範囲に低温部がみられ、滞水の存在も懸念される。	

注：熱画像の白色部は高温、黒色部は低温を表わしている。

赤線で囲んだ範囲は変状が懸念される範囲である。

手部梁との接合部等に高温部、低温部が検出され、鋼板のうきを中心とした変状が懸念される。

しかし、これらの変状は比較的小規模なものが多く、床版全体としてみると変状の比率も比較的低いと考えられる。熱画像観測の条件がやや悪く、ごく軽微な変状は除外されている可能性も考えられるが今回の熱画像点検結果を見る限り、床版部の変状は全体としては比較の軽微であると考えられた。

変状がみられた箇所の熱画像と一般の写真とを比較して表-5に示す。

5. 2 考 察

跨線橋にはI形鋼格子床版のような合成構造の床版が多く採用されており、従来からの点検方法である遠望からの目視点検では、不十分な点検となるので、赤外線サーモグラフィー法を使用した点検を行ったが、JR協議の関係から指定日に実施したため、赤外線撮影に適切な気象条件ではなかった。赤外線サーモグラフィー法による点検は気象条件に左右されるので、できるだけ適切な撮影条件下で実施できるよう、天候の安定した季節の選定や、複数の観測日の確保・調整方法の検討などが、今後の課題と言える。

また、赤外線サーモグラフィー法はコンクリートのうきを点検する手法として跨線橋では価値を持つと考えられる。

6. まとめ

コンクリート片落下防止点検への新たな試みとして、赤外線熱画像カメラによる点検手法の採用を考え、フィールドテスト、赤外線熱画像カメラの携帯性・操作性の現地比較検証、跨線橋の橋梁点検を行い、今回報告した。これらの結果より、本方法は非破壊、非接触で短時間に広範囲な点検が可能であり、フィールドテストの結果では打音と赤外線は平均約80%程度一致しており、第三者被害を予防する目的でのコンクリートの剥離落下の予防から考えれば、サーモグラフィー法はコンクリートのうきを点検する手法として十分な価値を持つと判断してよいと考えられる。

しかし、赤外線サーモグラフィー法の点検結果は、赤外線熱画像カメラを操作する技術者の技術と経験に大きく依存しており、簡単に正しい点検結果が得られる訳ではない。点検業者に点検依頼するとしても、現時点では信頼できる技術者が多数いるわけではない。

また、赤外線撮影は非破壊、非接触で短時間に広範囲な点検が可能である反面、天候等の気象条件に左右されるので、複数の点検日の確保・調整方法の検討が必要である。

国内で販売している赤外線熱画像カメラ本体の携帯性・操作性についても、もう一段の技術開発が必要であり、解析ソフトは橋梁点検に則したソフトの開発が望まれるところである。

今後の課題が多い反面、コンクリートのうき・剥離を効率的かつ高精度に検出・計測できることが検証できたことにより、近代的な非破壊検査手法として、これから点検実績を積み上げながら課題を解決していくことが望まれる。