

高架橋のひび割れを診断する

大村 寛和
 構造物技術研究部
 (基礎・土構造 研究員)

篠田 昌弘
 同
 (同 副主任研究員)



おおむら ひろかず しのだ まさひろ

はじめに

列車が走る線路は、橋、トンネル、盛土など多くの土木構造物によって支えられています。これらの土木構造物は他の道路・港湾・空港などの交通基盤施設の中でも比較的早期に整備されたため、長い年月を経た古い構造物が多く、材料の劣化に伴ってコンクリート片が落下することが深刻な問題となっています。したがって、コンクリート片の落下を未然に防ぎ、列車の安全で安定な走行を保つためには、土木構造物が健全かどうか定期的に確認することが重要になります。健全かどうかを確認する方法には対象となる構造物のコンクリート表面をハンマーで叩いたときの音を確認する打音検査など、様々な試験法が挙げられます。また、最近では、特に構造物に損傷を与えずに健全かどうかを定量的に確認でき、さらに確認する検査技術者の高齢化や人員削減といった現状も踏まえ、簡易に実施できる方法が望まれています。その方法として赤外線での構造物の温度の変化を調べる方法が挙げられます。ここでは、この赤外線を用いた診断法について述べることで、数多くの構造物の中から特に第三者災害に繋がる可能性が高いと考えられる高架橋のひび割れ診断への適用について述べることで、

(c) の内部のひび割れが表面まで達していない場合は、短期的な落下の可能性は小さいと考えられます。

赤外線法の概要

上記で説明した斜め方向のひび割れは浮きと呼ばれ、その後の進展によりコンクリート片が剥がれ落ち、結果として列車の運行、旅客および公衆の安全を脅かすこととなります。この浮きを目視により確認することは一般に困難であるため、従来、構造物表面を打撃し得られる反響音から浮きを確認する『打音法』が主として実施されてきています。近年では、この打音法にかわる手法として『赤外線法』が採用される事例が増えています。赤外線法は構造物に対して非接触で試験を実施することが可能であり、温度差を判定の指標とすることから判定結果に個人差が無くなる等といった長所があります。

構造物の中で熱の移動があった場合、コンクリートと浮き(空気)では熱伝導率(熱の高い方から低い方への移動のおこしやすさを表すもの)が異なります。浮き(空気)は熱が伝わらない層として作用し、その結果として浮きがある箇所の構造物表面部分とその周囲とで温度差が生じます。赤外線法とは、構造物を赤外線カメラで撮影することで温度差を構造物表面から放射される赤外線量として捉える手法です。

図2に赤外線の原理のイメージ図を示します。(a)の気温が上がってくる時間帯に赤外線カメラによる撮影を実施した場合、浮きがある箇所の表面部分は周辺に比べ温度が高くなり、(b)の気温が下がってくる時間帯に撮影した場合には表面温度が低くなります。なお、撮影の際には、構造物表面の汚れのようなものも温度差として生じることがあり、浮きが生じていないかどうかを判別する必要があります。この場合には同じ構造物に対して可視カメラによる撮影を実施して判別するのが一般的となっています。

上記の原理により撮影した例を図3に示します。

ひび割れの特徴

図1にひび割れ状況を模式的に表した図を示します。この模式図のうち、(a)の鉛直方向のひび割れの場合は、落下による災害発生の可能性は小さく、(b)の斜め方向のひび割れの場合は剥落の可能性が高いと考えられます。また、

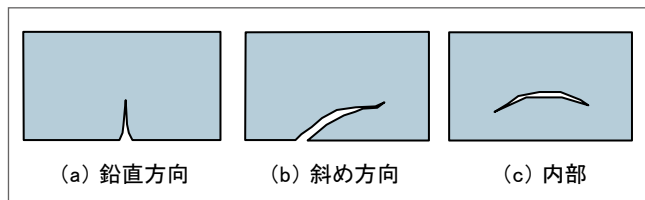


図1 ひび割れの模式図

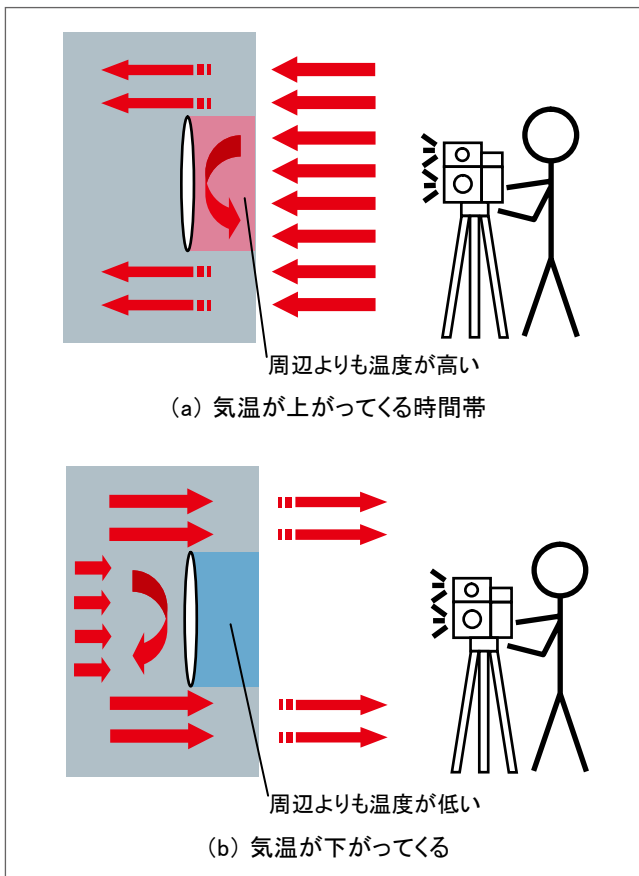


図2 赤外線法の原理

赤外線法の種類

赤外線法には、熱の発生させる手段の違いからアクティブ法とパッシブ法の2種類があります。対象となる構造物の特性や周辺の状況等に応じてどちらを採用するかを決定します。

(1) 人工的に加熱する方法(アクティブ法)

ハロゲン光源などの加熱用光源により構造物を人為的に加熱する方法(図4)で、構造物の周囲に熱源となるものがない場合において有効な方法です。周囲の温度環境に影響を受けにくいという長所があります。しかし、試験を実施するには加熱用光源を準備する必要があり、費用や効率の面で劣る場合があります。

(2) 太陽光等の気象条件を利用する方法(パッシブ法)

太陽光の照射など気象条件を利用して熱源を得る方法です。構造物の多くは外に建設されており太陽光の照射を受け易いため、パッシブ法による方法でも十分に適用が可能です。しかし、天候や構造物の方角など、気象条件や周囲の温度環境の影響を考慮する必要があります。図5にパッシブ法の検査機器を示します。また図6に健全部と欠陥部の表面温度差の時間変化を示します。通常は気温が上がってくる昼間に計測することが一般的となっています。

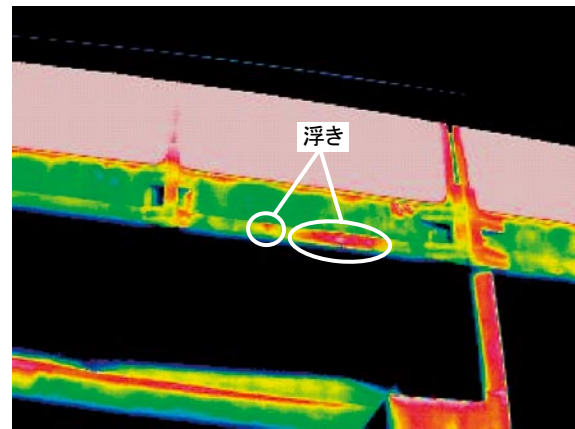


図3 赤外線カメラによる撮影例



図4 アクティブ法における検査機器の例
(加熱車両を有する)



図5 パッシブ法における検査機器の例

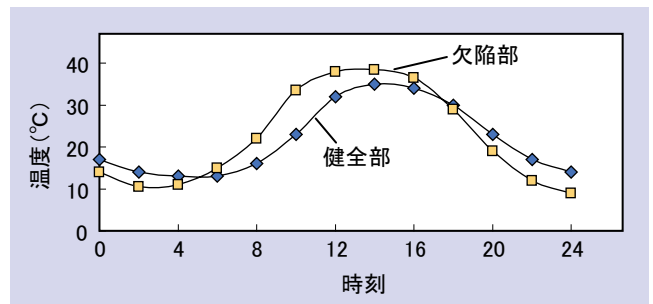


図6 健全部と欠陥部の表面温度変化

赤外線画像・可視画像融合型 コンクリート診断システム

前述したとおり、赤外線カメラあるいは赤外線カメラ・可視カメラの両方を用い、構造物に生じた変状の把握が行われることもあります。画像処理の精度に問題があることや、処理作業に人力を要する場合もある等の問題があります。このような背景から、簡易で高精度な実用的な診断システムが開発されています。このシステムを、コンスファインダーⅢと呼んでいます。従来の赤外線カメラと可視カメラからなるシステム構成にレーザ測距計と角度測定器（俯仰角・振り角を測定）が新たに加えられています。また、レーザ測距計と角度測定器から得られる位置情報、事前に登録した赤外線・可視カメラのレンズ情報等をひとつに集約し、簡易に画像処理や欠陥部の計測を行うことが出来るソフトウェアも同時に開発されています。なお、このシステムは現場での操作性や可搬性を考慮し、タブレットパソコン、バッテリー電源、三脚等を採用しています。図7にシステムの外観を示します。



図7 コンスファインダーⅢの外観

コン、バッテリー電源、三脚等を採用しています。図7にシステムの外観を示します。

タブレットパソコンにプレインストールさせているアプリケーションソフトには下記の①～⑤に挙げたメニューを用意しており、調査、判定、報告書作成の一連の作業を円滑に行うことが可能となっています。また、撮影記録を時系列で比較していくことも容易であり、浮きの進行性を確認する上で役立ちます。

①熱画像と可視画像の並列表示

本システムの基本機能です。撮影後、図8に示すように、モニター上に熱画像と可視画像を並べて表示します。

②熱画像と可視画像の重ね合わせ表示

①で表示した2つの画像を瞬時に同一画像に重ね合わせ、モニター上に表示します。熱画像と可視画像の濃度比率は任意に設定可能であり、この表示画面から浮きによる温度差であるかどうか、ひび割れを伴う浮きかどうか、などの判定を行いやすくしています。

③画像の正射投影変換（あおり補正）

①で表示した2つの画像をあたかも構造物の真正面から撮影したような画像に変換することが可能です。また、②の重ね合わせ表示を併せて行うことも可能となっております。

④欠陥部指定画面表示および欠陥部リスト作成

図9に示すように、モニター上に表示された浮きやひび割れといった欠陥箇所をタッチペンやマウスでなぞることで、その面積と長さを自動計測・集計することができます。

⑤熱画像における温度強調表示

着目したい温度帯のみをカラーで表示し、それ以外をモノクロ表示します。

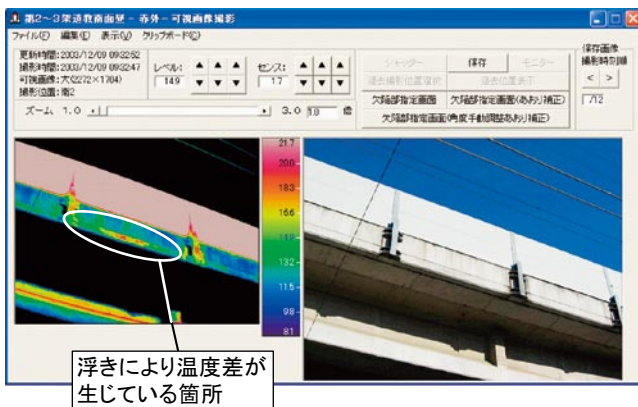


図8 アプリケーションソフト表示例
(その1：熱画像－可視画像)

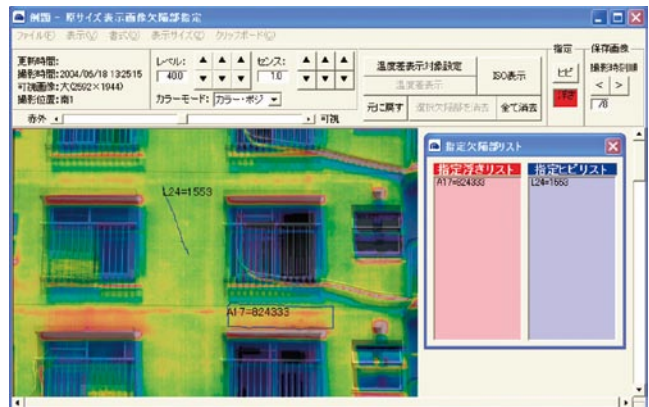


図9 アプリケーションソフト表示例
(その2：欠陥部抽出)

本システムによる損傷検出の流れおよび点検の結果得られた損傷数量集計表の一例をそれぞれ図10および表1に示します。

打音法との比較例

打音法との作業性の比較を行うため、実鉄道ラーメン高架橋を対象に線路延長100m（南北面で総延長200m）にわたる調査を行いました。

打音法では、試験者が二人1組で高所作業車を使用し、バケットに乗って打撃を行い、高所作業車の移動・据付を繰り返すという、実作業と同じ方法で行いました。一方、本システムを用いた調査では、同じく二人の試験者で、高所作業車は使わずに側道にシステムをセットし、日中の気温の変化の中で撮影調査を行い、移動するという作業を繰り返しました。

その結果、打音法では延べ3日間（一部夜間作業）掛かりましたが、この診断システムでは1日の作業時間内で終わることができました。ちなみに、その時の調査では、本システムにより不良箇所と認識できた箇所数は、南面21箇所、北面44箇所（主に、地覆部に於ける浮きであった）でした。なお、調査後の確認作業では、不良箇所の見落としは無いものの、ただの汚れを不良箇所として誤判定していたのが3箇所あったことが確認できました。しかし、このことは、見落としではないので、深刻な誤判定と捉える必要の無いものと考えています。

まとめ

高架橋の浮きを診断する方法として赤外線法を紹介しました。また、赤外線法の中で赤外線画像と可視画像を融合した高精度で実用的なコンクリート診断システムである、コンスファインダーⅢについて紹介しました。本システムの活用により、将来、剥落に繋がる恐れのある「浮き」や「ひび割れ」の発生箇所や、その進行性を効率的かつ精度良く把握することが可能となりました。また、これにより鉄道構造物の検査手法は大きく省力化されるとともに、鉄道構造物の一層の安全性の確保に結びつくこととなります。これにより、第三者災害に対する安全性は飛躍的に向上することとなります。

なお、コンスファインダーⅢは株式会社コンステック、大和小田急建設株式会社と鉄道総研の3社の共同研究により開発された商品です。RRR

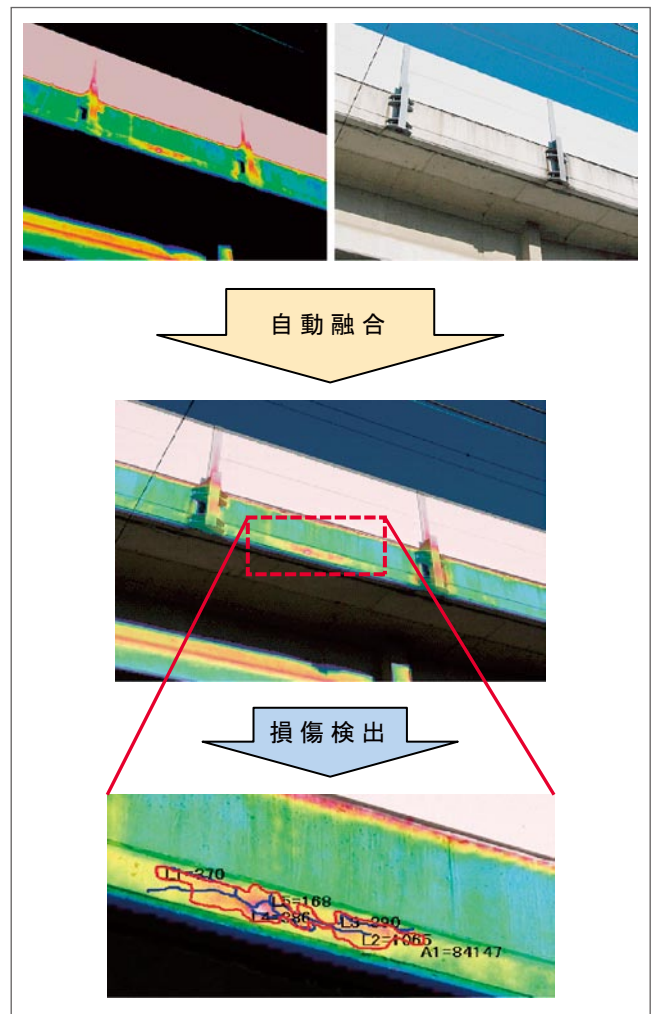


図10 構造物欠陥損傷モニタリングシステムによる損傷診断の流れ

表1 損傷数量集計表

欠陥種別(色)	No.	長さ(mm)	No.	面積(mm ²)
浮き(赤)			A1	84147
			合計	84147
ひび割れ(青)	L1	370		
ひび割れ(青)	L2	1065		
ひび割れ(青)	L3	390		
ひび割れ(青)	L4	386		
ひび割れ(青)	L5	168		
	合計	2379		