

3613 高架橋コンクリート剥離検知手法の開発

Development of Sensing and Detection Method for Concrete Exfoliation in Overpass Structure

正 [土] ○泉並 良二 (JR 西日本) 正 [土] 山田 裕一 (JR 西日本)

Ryoji Izunami West Japan Railway Company Technical Research and Development Dept.
Yuichi Yamada West Japan Railway Company Technical Research and Development Dept

The construction surface temperature rises in the defect portion as compared with the sound portion in daytime when the void by concrete exfoliation exists in the construction. The detection of the exfoliation becomes possible by sensing this temperature distribution in the thermal image. However, inspecting concrete exfoliation with thermal image is greatly influenced by environmental conditions of sunshiny and temperature, etc. Moreover, there will be improper time zone in the observation in a day, and the time zone is also different depending on an environmental condition. Therefore, the thermal image observation in the field and numerical analysis by the heat balance model were done to verify whether concrete exfoliation was able to be distinguished in case of what condition be it, and the use condition was made a fixed quantity.

Keyword: concrete exfoliation temperature distribution thermal image

1. はじめに

高架橋かぶりコンクリートの剥離については、従来から目視及び打音により検査を実施してきた。しかしながら、近年相次いで発生したコンクリートの剥落事故から、目視検査の問題点として高所など離れた位置の状態や表面被覆を施してある場合には判別が困難であるという点や、打音検査の場合には足場が必要となり、膨大な構造物数量に対して作業を効率的に実施できないといった課題が明らかになった。そこで、この剥離箇所の診断に対して、非破壊、非接触での効率的な調査が可能な熱画像を用いた検知手法の開発を行ったので、その結果を報告する。

2. 剥離検知の原理

構造物の内部に剥離による空隙が存在する場合、Fig.1に示すように健全部との間に温度差を生じ、剥離部は日中は健全部に比べて高温になり、夜間では低温になる。この構造物表面の温度分布を熱画像でとらえることで剥離箇所の抽出が可能となる。一方で、熱画像は表面温度の分布を検知するため、日照、気温等の環境条件に大きく影響される。また、Fig.2に示すように、剥離部が正しく認識できないという観測に不適切な時間帯があり、その時間帯も気象条件により異なる。したがって、どのような条件であれば

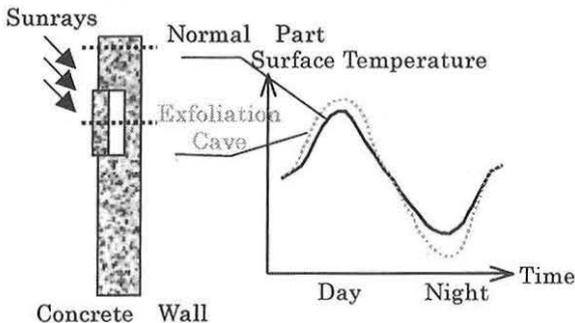


Fig.1 The Principle of the thermal image

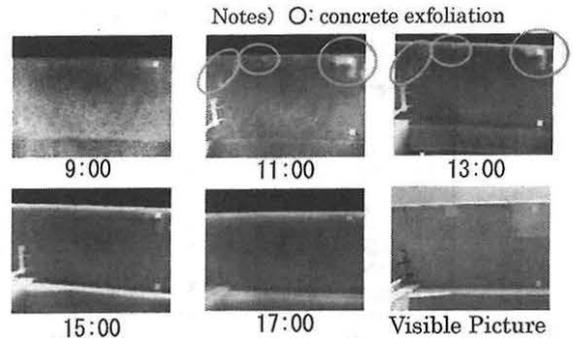


Fig.2 The Change of the thermal image

剥離の判別が可能であるのかを検証する目的で日中の試験観測等を行い、調査条件の定量化を行った。

3. 観測方法

3-1 使用機器

観測に用いた赤外線カメラは、一般に入手可能な機種について検出精度、作業性等を比較検討し選定した。

3-2 観測内容

a) 現地観測

標準的な環境条件の高架橋を観測対象とし、高欄部(南北)、張出部(南北)、床版部の5部位を測定対象とした。観測は、天候、時間帯、測定部位等の環境条件を変えて日中1時間毎の定時観測を行い、時系列の画像を入手した。温度、日射等の環境条件に関しては、連続的に観測を行い、時系列データを取得した。さらに、打音検査により剥離箇所を叩き落とし、熱画像の検知に関する整合性を確認した。

(b) 環境条件と表面温度の関係

観測された熱画像状況、表面温度、温度差の時系列変化と環境条件の時系列変化を対比させ、両者の関係を検討した。なお、現地観測による評価は、冬季(12月)と春季(3月)に実施し、夏季、秋季については、以下に示す熱収支モデルを用いた数値解析により評価を行った。

4. 観測・解析結果

4-1 観測データによる検証

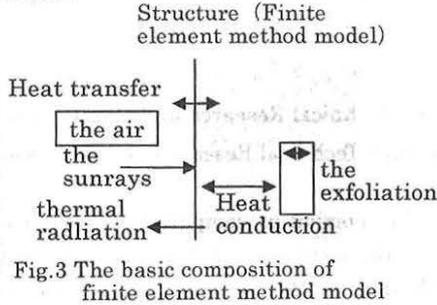
観測された熱画像から各剥離が判別できるかどうか3ランク(○:明確に判別、△:不明瞭、×:判別不能)に分類し、統計解析の結果、剥離部と健全部の温度差は、判別性○:0.5℃、判別性△:0.3℃、判別性×:0℃程度であった。

4-2 熱収支モデルによる検証

Fig.3に示す熱収支モデルでパラメータ

(日射量、気温、各種物性値等)の適正化をFig.りながらミュレーションを行い、条件を変え、コンクリートの表面温度を求めた。

この結果から、(1)のしきい値を基準値として判別性の評価を行った。



4-3 使用条件

検証結果から日中については「夏季を除く季節で晴天時(1時間に30分以上の日射)の10時から14時には、日照時間、気温の日較差が一定の条件を満たせば剥離の判別が可能である。」ということが判明した。

5. 観測事例

使用条件下での観測事例をFig.4に示す。熱画像上で○で囲んだ所が実際に浮いていた箇所、目視では見えない剥離箇所

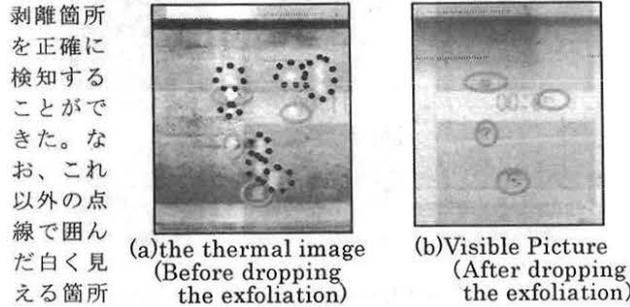


Fig.4 Floor undersurface (13:00, month 12, sunny)に補修で

用いた断面復旧材である。また、これ以外にも表面の汚れ等が熱画像上で白く見える事例があった。これらの剥離と補修材等については同様に白っぽくなることから、熱画像だけでは区別できないため、至近距離からの確認等が必要ではあるが、安全側には判断していると考えている。

6. 観測時間の拡大

これまでの試験により、一定の条件を満たせば熱画像による剥離検知手法が有効であることが確認できた。ただし、今回定義した日中における条件では年間に赤外線カメラを用いた剥離検知が可能日数が75日程度と限定されるため、使用条件の拡大が課題となった。このため、夜間における温度低下時に剥離部が低温になることに着目し、四季に渡り、三箇所(A, B, C)で夜間における観測を行った。

7. 夜間観測結果

四季それぞれにおいて夜間の観測を行ったところ、赤外線カメラによる剥離検知が可能条件について概略以下の知見が得られた。

①高欄部→張出部→床版部の順に判別可能な時間が遅れている。これは、床版下面部が下に凹形状をしていることか

ら、暖かい空気が溜まりやすく、気温低下が周辺大気の気温低下よりも遅れることが原因と考える。

②夜間で温度上昇を生じた際には判別性が低下することから、夜間の使用能条件として、気温が低下傾向にあることが必要である。また、最高気温との較差が大きい場合に判別可能時間が長くなる傾向が見られた(Fig.5)。

③夕方から日没にかけて気温が大きく低下した後剥離部と健全部の温度逆転現象が発生し、判別が可能となるが、特定の時間帯において共通して判別可能となるわけではない(Fig.6)。

④冬季夜間のような低温時は赤外線画像上にセンサノイズ(Fig.7)が発生しやすく、これが判別性を低下させている。

以上の観測結果をまとめると以下の通りである。

- ・ 夜間の使用能条件として、気温が低下傾向にあることが導き出された。
- ・ 夜間で温度上昇を生じた際には判別性が低下する。
- ・ 夕方から日没にかけて気温が大きく低下した後剥離部と健全部の温度逆転現象が発生し、判別が可能となる。
- ・ 観測に用いた赤外線カメラは冬季夜間にノイズが発生しやすいため、冬季夜間の使用には適していない。

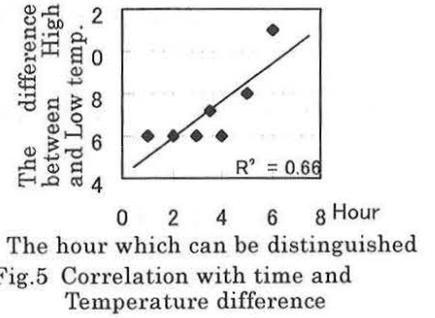
8. 今後の課題

夜間の場合、判別性に影響がある気象条件は基本的に気温と風を考慮すれば良いものと考えられる。このため、夜間における赤外線カメラによる使用条件を設定するためには、様々な条件(特に気温条件)のもとでの判別性の把握を時系列的に行う必要がある。一方、必要と考えられる様々な気象条件で実構造物の観測画像を得ることにより適用条件を一般化するには時間を要する上、気象条件待ちの時間が膨大となる。しかしながら、前述した昼間熱収支モデルによるシミュレーションを夜間気象条件で行えば、運用上必要と想定される気象条件を与えることによって判別性を時系列的に推定していくことが可能となる

このように、日中で設定した方法と同様に数値解析及び現地観測を併用し、観測可能な条件を定量化する必要がある。このようにして調査可能時間・日数を拡大することにより効果的に赤外線カメラを用いた調査を行い、高架橋等コンクリート剥離事故を未然に防止することに寄与することとしたい。

参考文献

- 岡本芳三: 遠赤外線リモートセンシング熱計測法, コロナ社
田坂英紀: 伝熱工学, 森北出版



The hour which can be distinguished

Fig.5 Correlation with time and Temperature difference

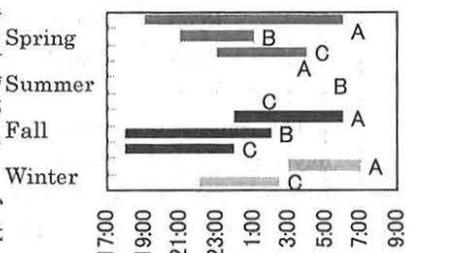


Fig.6 The variation of time zone using the thermal image in night

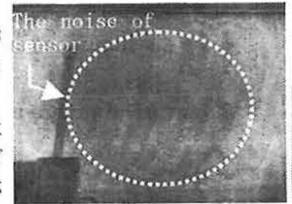


Fig.7 the thermal image in winter night