

寒冷期の赤外線カメラによるコンクリート構造物剥離診断調査

The method of diagnosing flaking off of concrete structures with infrared rays camera in term of cold

(独)北海道開発土木研究所構造研究室 正会員  
(株)ドーコン 橋梁部  
(株)ドーコン 橋梁部  
(株)ニコン技術工房  
日本アビオニクス(株)TVS 部

○正会員  
正会員  
正会員

池田 憲二 Kenji Ikeda  
上北 正一 Masakazu Uekita  
佐々木 聡 Satoshi Sasaki  
外川 勝 Masaru Togawa  
福山 伸弘 Nobuhiro Fukuyama

1. はじめに

社会基盤施設であるトンネルや橋梁を含めたコンクリート構造物の劣化損傷によるコンクリート片の落下事故の発生により、管理機関では、構造物の下面（内空）を利用する環境である、道路・鉄道・航路・駐車場・公園などのトンネルや橋梁は、第三者の損傷等による被害を未然に防止するため、最新技術を利用した調査や補修の検討が試みられている。最近発生している北海道内の橋梁RC床版の剥落事故は、いずれも凍結融解を繰り返す3月に集中している。

コンクリート片の落下原因は、潜在的にひびわれ損傷を受けていたコンクリートが、春先の日中の気温上昇に伴い融雪水が損傷コンクリート内部のひびわれに浸透し、夜間の急激な気温低下で凍結し内部で体積膨張を起す。（冬期浸透水の凍結融解）この自然現象の繰り返しにより損傷を拡大してゆくものと推定されている

国土交通省でも国道橋梁による第三者被害防止の一斉点検が実施され、床版や壁高欄のコンクリートの剥離や空隙を発見するために赤外線カメラを利用した点検が行われている。この結果、打音検査範囲決定の手段として、初期段階の利便性が確認されている。

赤外線カメラは、足場の設置を必要とせず、目視点検では発見困難なコンクリート内部の損傷や空隙を把握可能な非破壊検査器具である。しかし、コンクリート構造物の損傷検査装置としての歴史はまだ浅く、その使用性や性能について十分な技術研究がなされていない他、統一的な検査要領の策定も遅れている。時に、温度の低い積雪寒冷地における赤外線カメラの検査技術についての検証は極めて少ない状況にある。

赤外線カメラによるコンクリートの剥離診断を行うに当たり寒冷期のフィールド試験を行ったのでこれを報告する。

2. 現場試験概要

- ① 試験目的物：擁壁壁面 （図-2 参照）
- 調査面方位：北北西画角 2.5m
- 橋梁地覆側面 （図-3 参照）
- 調査面方位：北北西 画角 2.0m

- ② 試験装置：日本アビオニクス社(株)製 TVS-600  
(二次元非冷却マイクロボロメータ)  
その他（日射計、温湿度計、風向風速計）
- ③ 画像処理：(株)ニコン技術工房製 GS-Thermo
- 表-1 試験地測定環境

| 撮影時刻  | 天候 | 対象面状況 | 外気温(度) | 湿度(%) | 日射量<br>30分積算<br>量(MJ/m2) | 風速(m/s) | 風向 |
|-------|----|-------|--------|-------|--------------------------|---------|----|
| 10:00 | 晴れ | 日向    | -      | -     | -                        | 0.5     | 北西 |
| 10:30 | 晴れ | 日向    | -      | -     | -                        | 1       | 北  |
| 11:00 | 晴れ | 日向    | -      | -     | -                        | 0.5     | 北西 |
| 11:30 | 晴れ | 日向    | 1.9    | 17.6  | 7.2                      | 1       | 北西 |
| 12:00 | 晴れ | 日向    | 1.1    | 19.3  | 4.0                      | 1       | 北  |
| 12:30 | 晴れ | 日向    | 0.7    | 19.3  | 2.0                      | 0       | 北西 |
| 13:00 | 晴れ | 日向    | 1.3    | 18.9  | 4.8                      | 0.5     | 北西 |
| 13:30 | 晴れ | 日向    | 0.9    | 19.5  | 2.0                      | 0.5     | 北西 |
| 14:00 | 晴れ | 日向    | 1.2    | 18.3  | 2.4                      | 0.5     | 北西 |
| 14:30 | 晴れ | 日向    | 1      | 20.3  | 2.4                      | 2       | 北西 |
| 15:00 | 晴れ | 日陰    | 0.3    | 22.4  | 0.7                      | 1.5     | 北西 |
| 15:30 | 晴れ | 日陰    | -0.2   | 26.2  | 0.3                      | 1.5     | 北西 |
| 16:00 | 晴れ | 日没    | -0.5   | 26.3  | 0.0                      | 0.5     | 北西 |
| 16:30 | 晴れ | 日没    | -0.8   | 33    | 0.0                      | 0       | 北西 |
| 17:00 | 晴れ | 日没    | -0.8   | 32.9  | 0.0                      | 0.5     | 北西 |

※地覆側面は13:00より壁面が日陰となる。  
※10:00～11:00の気温・湿度・日射量は未計測。

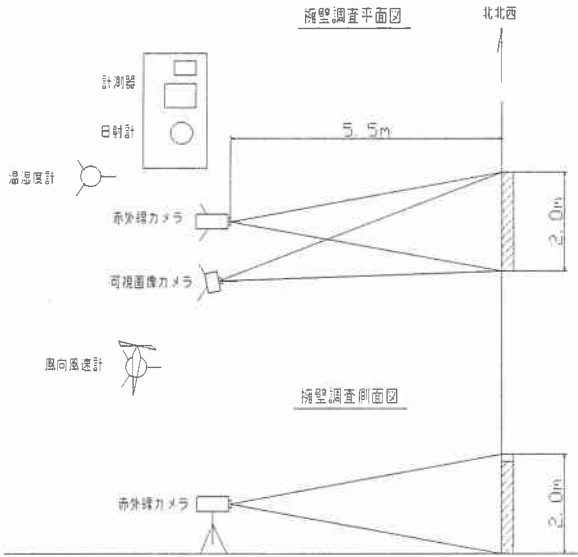


図-1 調査概要図

④ 概 況：試験日は終日晴れ（雲量は概ね 4）  
外気温 +1.9～-0.8℃

3. 現場試験結果

図-2 は調査擁壁部の損傷部である対象 1 と健全部である対象 2 を示す。他にも損傷部は存在するが当報告は対象 1 に着目した。対象 1 は打音検査により損傷部であると確認している箇所である。

図-3 は調査地覆側面部の損傷部である対象 3 と健全部である対象 4 を示す。

表-1 に見られるように、外気温は午前から午後にかけて +1℃ 前後で推移し、14:30 から徐々に低下し、氷点下まで下降する。調査は 7 時間行い外気温差は 2.7℃ と比較的小さい環境で行った。

表-2 擁壁部測定環境と損傷判定の可否

| 撮影時刻  | 対象面状況 | 外気温(度) | 湿度(%) | 風速(m/s) | 風向 | 日射量30分積算量(MJ/m2) | 対象1  | 対象2  | 温度差(度) | 最適レンジ判定可否 |
|-------|-------|--------|-------|---------|----|------------------|------|------|--------|-----------|
| 10:00 | 日向    | -      | -     | 0.5     | 北西 | -                | 4.8  | 2.0  | 2.8    | ○         |
| 10:30 | 日向    | -      | -     | 1.0     | 北  | -                | 8.1  | 5.3  | 2.8    | ○         |
| 11:00 | 日向    | -      | -     | 0.5     | 北西 | -                | 9.6  | 6.0  | 3.6    | ○         |
| 11:30 | 日向    | 1.9    | 17.8  | 1.0     | 北西 | 7.2              | 9.3  | 5.9  | 3.4    | ○         |
| 12:00 | 日向    | 1.1    | 19.3  | 1.0     | 北  | 4.0              | 5.3  | 3.8  | 1.5    | △         |
| 12:30 | 日向    | 0.7    | 19.3  | 0.0     | 北西 | 2.0              | 4.5  | 3.8  | 0.7    | △         |
| 13:00 | 日向    | 1.3    | 18.9  | 0.5     | 北西 | 4.8              | 18.3 | 12.1 | 6.2    | ○         |
| 13:30 | 日向    | 0.9    | 19.5  | 0.5     | 北西 | 2.0              | 7.3  | 6.0  | 1.3    | ○         |
| 14:00 | 日向    | 1.2    | 18.3  | 0.5     | 北西 | 2.4              | 21.4 | 14.7 | 6.7    | ○         |
| 14:30 | 日向    | 1.0    | 20.3  | 2.0     | 北西 | 2.4              | 20.4 | 14.7 | 5.7    | ○         |
| 15:00 | 日陰    | 0.3    | 22.4  | 1.5     | 北西 | 0.7              | 10.9 | 6.5  | 4.4    | ○         |
| 15:30 | 日陰    | -0.2   | 26.2  | 1.5     | 北西 | 0.3              | 7.5  | 5.8  | 1.7    | △         |
| 16:00 | 日没    | -0.5   | 28.3  | 0.5     | 北西 | 0.0              | 0.8  | 3.8  | -3.0   | ○         |
| 16:30 | 日没    | -0.8   | 33.0  | 0.0     | 北西 | 0.0              | -0.7 | 2.6  | -3.2   | ○         |
| 17:00 | 日没    | -0.8   | 32.9  | 0.5     | 北西 | 0.0              | -1.4 | 1.7  | -3.1   | ○         |

※地覆側面部は13:00より壁面が日陰となる。  
※10:00～11:00の気温・湿度・日射量は未計測。

擁壁部の測定環境と損傷判定の可否について表-2 に示す。この表では損傷部を「対象 1」、健全部を「対象 2」とし、その温度差を記載した。最適レンジとは、ある調査時間における赤外線カメラモニターで温度差が鮮明になる様その都度温度レンジを変化させたときの損傷判定可否である。

当調査では損傷判定の可否は、温度、湿度、風向、風速には関連性が希薄であった。一般に、赤外線カメラを用いた非破壊検査は外気温温度差の大きい環境下で行うのが良いとされているが、外気温温度差は 2℃ 程度でも有効な調査が可能であるこ

表-3 擁壁部温度・日射量と損傷判定の可否

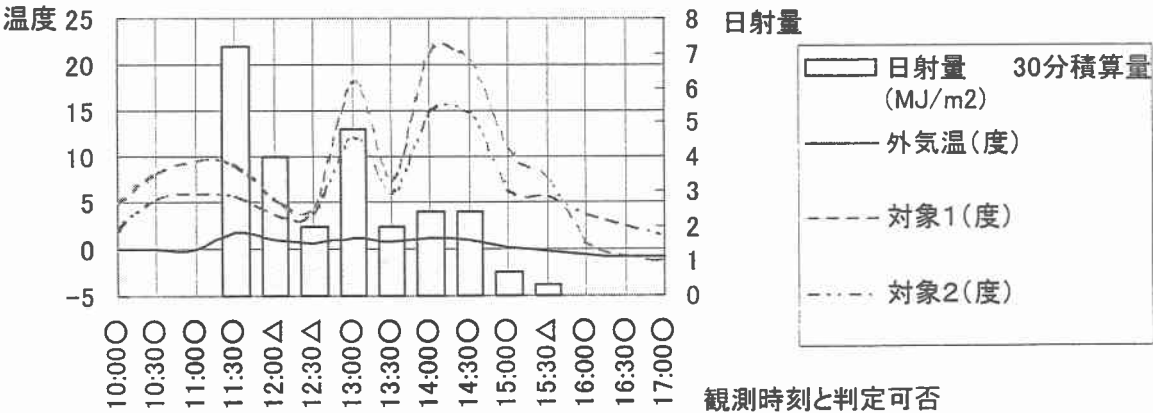


図-2 擁壁面

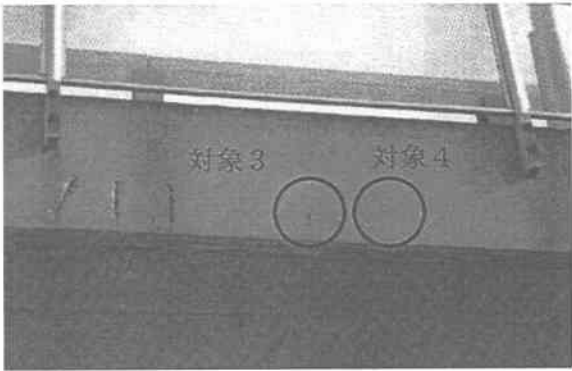


図-3 地覆側面

とが明らかとなった。また、損傷部と健全部の温度差が、2℃ 以上の差があれば容易に損傷と見なすことが可能である。0.5℃ 以上の場合も、判定可能な領域である。損傷判定の可否と温度や日射量との関係を見るために、表-3 にグラフ化した。

このグラフから日射量が減少すると表面温度も下降することが理解できる。調査当日、15:00 に日陰に変わり、16:00 には日没となっている。日陰になって 30 分後に損傷部と健全部がほぼ同温となり、日没時には温度差は逆転していた。

当調査では日射量と深い相関性があると仮定し調査を行った。

表-3 から、日射量が増加に向かう時間帯は温度差が大きくなり損傷判定を容易にする有効な期間であることが読みとれる。また、日没後の温度差も大きくなることから、日向から日陰に移行 1 時間後も有効な時間帯である。したがって、日射量が少なければ温度差が生じずに判定不可につなが

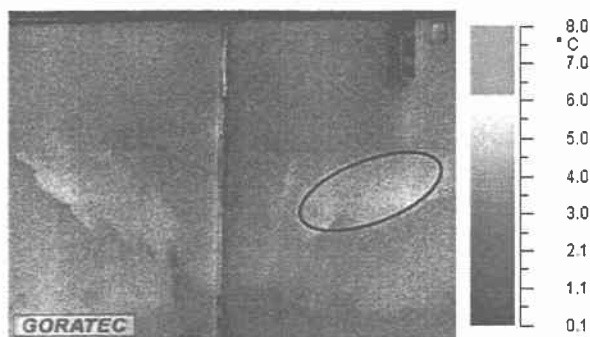


図-4 12:00における擁壁の赤外線写真

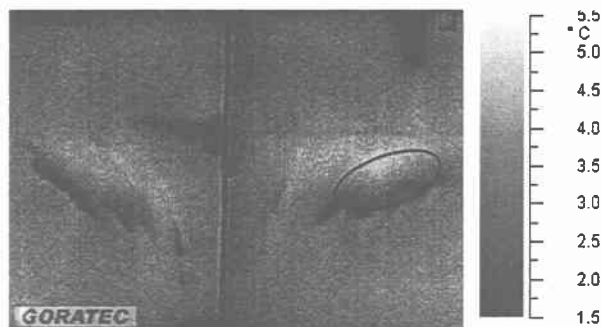


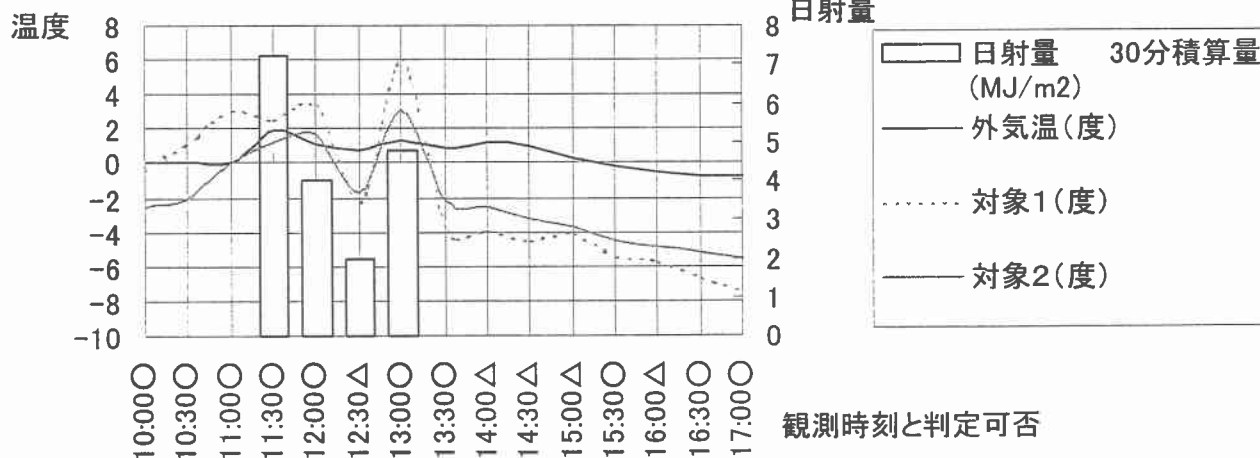
図-5 16:00における擁壁の赤外線写真

表-4 地覆側面部測定環境と損傷判定の可否

| 撮影時刻  | 対象面状況 | 外気温(度) | 湿度(%) | 風速(m/s) | 風向 | 日射量30分積算量(MJ/m2) | 対象1   | 対象2   | 温度差(度) | 最適レンジ判定可否 |
|-------|-------|--------|-------|---------|----|------------------|-------|-------|--------|-----------|
| 10:00 | 日向    | —      | —     | 0.5     | 北西 | —                | -0.42 | -2.5  | 2.1    | ○         |
| 10:30 | 日向    | —      | —     | 1.0     | 北  | —                | 1.05  | -2    | 3.1    | ○         |
| 11:00 | 日向    | —      | —     | 0.5     | 北西 | —                | 3.1   | 0     | 3.1    | ○         |
| 11:30 | 日向    | 1.9    | 17.6  | 1.0     | 北西 | 7.2              | 2.49  | 1.26  | 1.2    | ○         |
| 12:00 | 日向    | 1.1    | 19.3  | 1.0     | 北  | 4.0              | 3.31  | 1.67  | 1.6    | ○         |
| 12:30 | 日向    | 0.7    | 19.3  | 0.0     | 北西 | 2.0              | -2.34 | -1.7  | -0.6   | △         |
| 13:00 | 日陰    | 1.3    | 18.9  | 0.5     | 北西 | —                | 5.9   | 3.1   | 2.8    | ○         |
| 13:30 | 日陰    | 0.9    | 19.5  | 0.5     | 北西 | —                | -3.87 | -2.13 | -1.7   | ○         |
| 14:00 | 日陰    | 1.2    | 18.3  | 0.5     | 北西 | —                | -3.87 | -2.56 | -1.3   | △         |
| 14:30 | 日陰    | 1.0    | 20.3  | 2.0     | 北西 | —                | -4.54 | -3.21 | -1.3   | △         |
| 15:00 | 日陰    | 0.3    | 22.4  | 1.5     | 北西 | —                | -4.09 | -3.85 | -0.4   | △         |
| 15:30 | 日陰    | -0.2   | 26.2  | 1.5     | 北西 | —                | -5.43 | -4.54 | -0.9   | ○         |
| 16:00 | 日没    | -0.5   | 26.3  | 0.5     | 北西 | 0.0              | -5.65 | -4.9  | -0.8   | △         |
| 16:30 | 日没    | -0.8   | 33.0  | 0.0     | 北西 | 0.0              | -6.56 | -5.2  | -1.4   | ○         |
| 17:00 | 日没    | -0.8   | 32.9  | 0.5     | 北西 | 0.0              | -7.5  | -5.5  | -2.0   | ○         |

※地覆側面部は13:00より壁面が日陰となる。  
※10:00～11:00の気温・湿度・日射量は未計測。

表-5 地覆側面部温度・日射量と損傷判定の可否



るが、撮影時に日射量がなくとも、損傷判定は可能であるという結論に達した。

実際に撮影した映像を掲載する。図-4は擁壁部を12:00に撮影した映像である。円で囲まれた部分が損傷部であり、ある程度高温になっており、損傷判定可能であるが明確ではない。図-5は16:00に撮影した映像である。円の部分が周囲より低温となっていることが明確である。日射があっても日射量が減少している図-4と、日射量が無い図-5を比較した場合、単に日向であれば判定可能であるというのは早計である。

擁壁部同様に地覆側面部について表-4、表-5に示す。地覆側面部は擁壁部より50mほど離れた同一面上に存在するため、気温や日射量を地覆側面部においての計測を省略した。したがって、表-4の日射量および外気温は擁壁部の値を転用した。

地覆側面部は、13:00より日陰となっているため日射量を零とした。表-4でも擁壁部と同様の結果が得られた。2℃以上の差があれば容易に損傷と見なすことが可能である。0.5℃以上の場合も、判定可能の領域である。

図-6は地覆側面部を13:00に撮影した映像である。円で囲まれた部分が損傷部であり、損傷部が高温になり損傷判定が容易に可能である。図-7は13:30に撮影した映像である。13:00と一転し損傷部が健全部より低温に変化している。表面温度は30分単位で激しく変化することが理解でき、現場での損傷判定を行う際には、その都度温度レンジを適切に変更しなければならない。

図-8、図-9は可視画像と赤外線画像を合成し、損傷部をよりの確に表現したものである。構造物の損傷状況を経年データとして保存する際に役立つ。また、現場では判断しきれなかった部位についても画像処理で温度差を鮮明にすることが可能であることから、より精度の高い剥離診断が可能である。

#### 4. おわりに

当調査は積雪寒冷地における赤外線カメラを用い

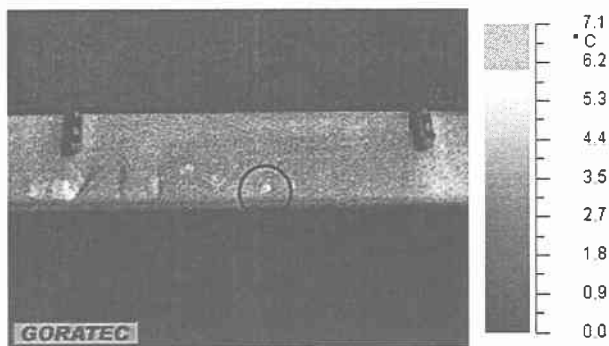


図-6 13:00における地覆側面の赤外線写真

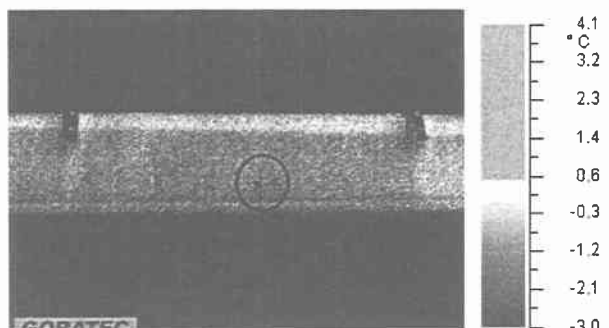


図-7 13:30における地覆側面の赤外線写真

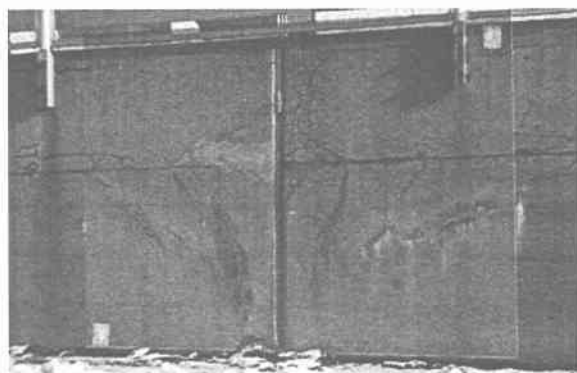


図-8 擁壁面の可視・赤外線合成写真(カラー)

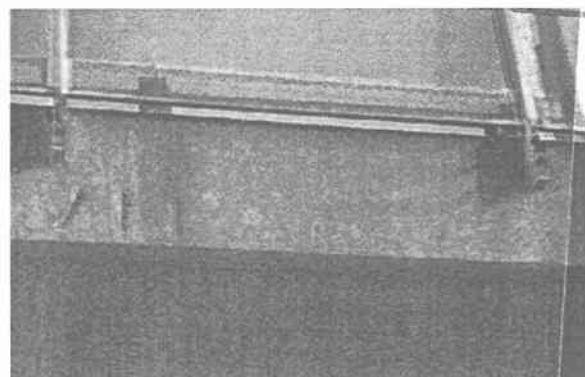


図-9 地覆側面の可視・赤外線合成写真(カラー)

たコンクリートの剥離診断が有効に行われるかについての検証であった。検証結果として寒冷期であっても赤外線カメラによる日照部のコンクリート剥離診断は有効で

あると判断する。

剥離診断時の気象条件については、外気温の差の大きさには左右されず、日射量や日射時間が重要である。日向から日陰に移行して1時間程度は表面温度が激しく変化する。

また調査における注意点もいくつか見出す事が出来たのでここに紹介する。

- ① 寒気のため赤外線カメラのモニターの濃度がうすくなり、損傷部の判定の難易度が上がる場合がある。
- ② 寒気のため各種機器の電池の消耗が早い。
- ③ 赤外線カメラの温度表示レンジは最小レンジ間隔 3.5℃のものを使用したが、日射により熱伝導があった日射部が日影部に変更し、損傷部と健全部の温度差の少ない場合にも有効である。

## 5. 今後の課題

今回調査した箇所について、実際に剥離部をはつり、その大きさと深度を計測し、赤外線映像による診断結果との比較を行う予定である。

今回の調査では風向・風速・外気温・湿度と判定可否の関連性は見られなかったが、他のケースのデータを収集し明確にしたい。

また、当調査は幸い好天に恵まれたが、天気が曇りの場合や、北側の壁面および床版下面といった日照が無い部位、さらに一般に剥離診断を控えている夏場において、比較的すずしい北海道の剥離診断の有効性について、レンジ幅の小さい(例えば1℃刻みの表示色を0.5℃刻みに表現できる)赤外線カメラによる検証が必要と思われる。

## [参考文献]

- 1)魚本健人、加藤潔、広野進共著(1990)「コンクリート構造物の非破壊検査」,森北出版株式会社
- 2)青野健治、中岡勇、朝川誠(2001)「赤外線サーモグラフィーによるコンクリート構造物の内部欠陥検査技術の研究」表面損傷・サーモグラフィー合同シンポジウム講演論文集 4-2pp95-100
- 3)長田文博、虫明成生(2001)「赤外線カメラによる高架橋コンクリートの剥離診断手法」表面損傷・サーモグラフィー合同シンポジウム講演論文集 5-1pp105-110
- 4)外川勝(2001)「赤外線対応画像診断支援ソフトG S - Thermo の開発」表面損傷・サーモグラフィー合同シンポジウム講演論文集 5-2pp111-112
- 5)加藤久和(2001)「赤外線サーモグラフィーの動向」表面損傷・サーモグラフィー合同シンポジウム講演論文集 5-3pp113-116