

# サーモグラフィー法による RC 橋梁のひび割れ検出に関する基礎的研究

佐賀大学大学院 学生会員 ○財部淳 佐賀大学 正会員 石橋孝治 佐賀大学 正会員 山内直利

## 1.はじめに

高度経済成長期に一斉に整備された社会インフラは耐用年数が近づきつつあるとされ、近年既設コンクリート構造物の機能保全と長寿命化に向けた施策がとられはじめている。そこで、本研究では遠方目視で確認できないひび割れを検出するために、非破壊検査手法の一つであるサーモグラフィー法に着目し学内での基礎的実験および実橋調査を行った。

## 2.サーモグラフィー法の特性把握

### 2.1 実験概要

撤去された小スパン RC 単純床版橋の切断帯片（以降、帯片と呼ぶ）を対象に実験を行った。帯片下縁面を北側に向けて上縁面に日があたり、実際に橋が架かっている日射状況とほぼ同等な状態に帯片を設置し、帯片底面の既存のひび割れを赤外線カメラ

〔2次元非冷却マイクロボロメータ型、波長領域 8.0～13.0μm、最小検知温度差 0.08℃（at30℃）〕で北側から測定した。帯片は2

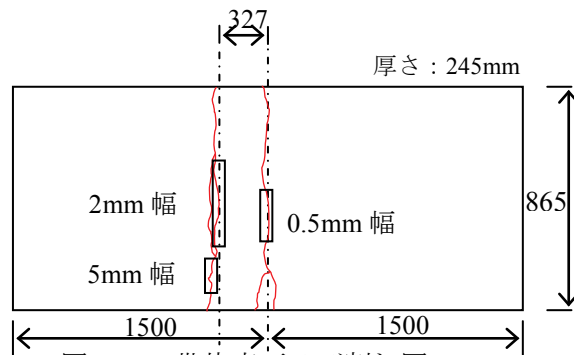
点載荷による曲げ試験を実施した後のものであり、ひび割れは中央と中央から 327mm 離れた場所に生じており、そのひび割れの中からひび割れ幅が 5mm、2mm、0.5mm である部位に着目し、それぞれのひび割れ部の検出検証を行った（図－1 参照）。赤外線カメラのひび割れ検出限界距離を把握するために、測定距離を 1m から 8m まで 1m 間隔で変化させた。これにより、使用する赤外線カメラでの各ひび割れ幅の検出限界距離を検証した。

サーモグラフィー法を用いるにあたり、日射量及び外気温の変動を利用したパッシブ法と人為的な加熱や冷却によって温度差を生じさせるアクティブ法の有効性を把握するために、(1) 帯片が冷やされている場合のパッシブ法 (2) 帯片が暖められている場合のパッシブ法 (3) 放水により冷却されている場合のアクティブ法 (4) 赤外線ヒーターにより加熱されている場合のアクティブ法の4パターンについて検証した。測定は (1) 平成 23 年 2 月 1 日、9:30 より 15:30 の 6 時間を 1 時間おき、

(2) 平成 23 年 5 月 18 日 6:00 より 17:00 の 11 時間を 1 時間おき、(3) 平成 23 年 6 月 9 日、11:30 より 15:30 の 4 時間を 10 分おき、(4) 平成 23 年 2 月 10 日、15:00 より 17:00 の 2 時間を 10 分おきに測定した。各条件の撮影状況を表－1 に示す。

### 2.2 実験結果

測定結果を表－2 に示す。検出結果の「検知」とはひび割れを検出、「異常」はひび割れとは断定できないが健全部と比べて画像上に温度差がみられる、「未検知」はひび割れ・異常を確認することが出来なかったという意味である。5mm 幅より 2mm 幅の方が高い検出率を得たが、2mm 幅の部分につながるようにも



図－1 帯片底面ひび割れ図

表－1 各種撮影状況

|     | 天候    | 撮影部位   | 気温                       | 平均風速   | 湿度  |
|-----|-------|--------|--------------------------|--------|-----|
| (1) | 晴一時薄曇 | 湿潤部位無  | 最高気温:10.1℃<br>最低気温:2.9℃  | 1.7m/s | 65% |
| (2) | 晴一時薄曇 | 近日の降雨無 | 最高気温:28.0℃<br>最低気温:10.8℃ | 2.0m/s | 44% |
| (3) | 曇     | 近日の降雨無 | 最高気温:27.8℃<br>最低気温:25.3℃ | 4.0m/s | 61% |
| (4) | 曇     | 近日の降雨無 | 最高気温:9.3℃<br>最低気温:8.9℃   | 0.9m/s | 53% |

表－2 損傷箇所検出数及び検出率

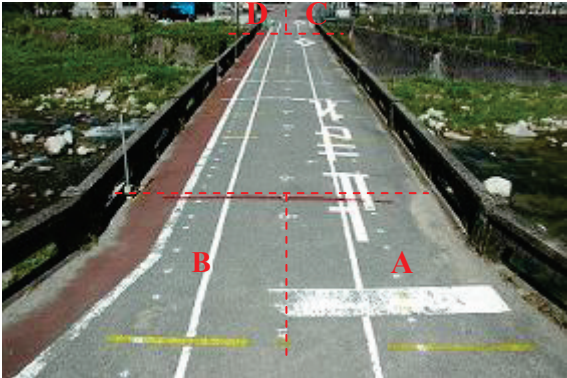
| (1)    |     |     |     |     |     |     |       |     |     |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-----|
| ひび割れ幅  | 5mm |     |     | 2mm |     |     | 0.5mm |     |     |
| 検出結果   | 検知  | 異常  | 未検知 | 検知  | 異常  | 未検知 | 検知    | 異常  | 未検知 |
| 検出回数   | 40  | 0   | 16  | 7   | 38  | 11  | 0     | 0   | 56  |
| 最大検出距離 | 8m  | 検出率 | 71% | 8m  | 検出率 | 80% | -     | 検出率 | 0%  |
| (2)    |     |     |     |     |     |     |       |     |     |
| ひび割れ幅  | 5mm |     |     | 2mm |     |     | 0.5mm |     |     |
| 検出結果   | 検知  | 異常  | 未検知 | 検知  | 異常  | 未検知 | 検知    | 異常  | 未検知 |
| 検出回数   | 65  | 0   | 31  | 38  | 30  | 28  | 0     | 0   | 96  |
| 最大検出距離 | 8m  | 検出率 | 68% | 8m  | 検出率 | 71% | -     | 検出率 | 0%  |
| (3)    |     |     |     |     |     |     |       |     |     |
| ひび割れ幅  | 5mm |     |     | 2mm |     |     | 0.5mm |     |     |
| 検出結果   | 検知  | 異常  | 未検知 | 検知  | 異常  | 未検知 | 検知    | 異常  | 未検知 |
| 検出回数   | 113 | 86  | 1   | 116 | 83  | 1   | 26    | 46  | 128 |
| 最大検出距離 | 8m  | 検出率 | 99% | 8m  | 検出率 | 99% | 8m    | 検出率 | 36% |
| (4)    |     |     |     |     |     |     |       |     |     |
| ひび割れ幅  | 5mm |     |     | 2mm |     |     | 0.5mm |     |     |
| 検出結果   | 検知  | 異常  | 未検知 | 検知  | 異常  | 未検知 | 検知    | 異常  | 未検知 |
| 検出回数   | 88  | 5   | 11  | 66  | 28  | 10  | 22    | 2   | 80  |
| 最大検出距離 | 8m  | 検出率 | 89% | 8m  | 検出率 | 90% | 4m    | 検出率 | 23% |

う 1 本ひび割れが入っており、その影響により浮きとなり浮き全体で温度差が生じ、異常として検出回数が増加し検出率が高くなったものと考えられる。パッシブ法では 0.5mm 幅のひび割れを検出する事ができなかったが、アクティブ法では検出する事が出来た。(3) では測定開始 100 分後ひび割れ全体が健全部との温度差を画像上で捉えはじめ、ひび割れと検知した最大距離は 4m であった。(4) では測定開始 10 分でひび割れを確認することができ、ひび割れと検知した最大距離は 3m であった。(3) と (4) で比較すると、検知と異常を含めた最大検出距離・検出率の良い (3) の放水によるアクティブ法が有効であると考えられる。

3. 実橋調査

3.1 実験概要

2.2 の結果を基に佐賀県県道 275 号、上熊川交差点に撤去予定の 3 径間 RC ゲルバー橋を対象に調査を行った。本橋は橋長 45.1m、全幅員 5.5m あり、撮影可能場所を考慮して右岸下流方向・上流方向、同じく左岸下流方向・上流方向にそれぞれ ABCD と 4 分割し測定した。各底面部 14 平方メートルの範囲を河川から電動ポンプで水を吸い上げ、市販の高圧洗浄機で 20 分間放水した。A；平成 23 年 8 月 11 日、11：30 より 13：30 の 2 時間を 30 分おき、B；平成 23 年 9 月 1 日 11：50 より 13：50 の 2 時間を 30 分おき、C；平成 23 年 8 月 26 日、11：20 より 13：20 の 2 時間を 30 分おき、D；平成 23 年 8 月 26 日、14：10 より 16：10 の 2 時間を 30 分おきに測定した。各条件の撮影状況を表－3 に示す。測定結果と管理機関による目視点検報告書と比較し、また報告書に記載されていないひび割れを検出した場所については梯子を使い近接目視を行った。



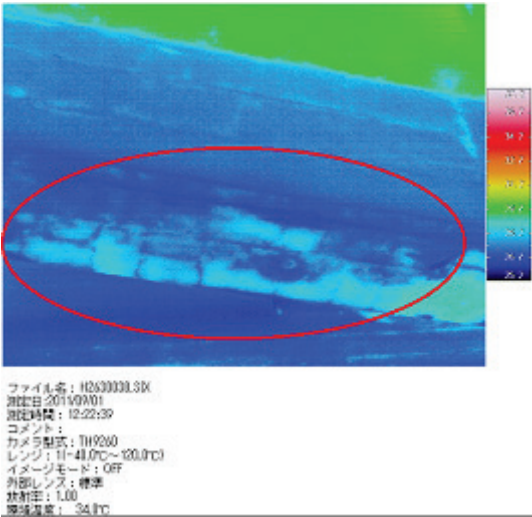
図－2 ゲルバー橋及び分割概要

表－3 各種撮影状況

|   | 天候 | 撮影部位   | 気温                       | 平均風速   | 水温    |
|---|----|--------|--------------------------|--------|-------|
| A | 晴  | 近日の降雨無 | 最高気温：31.0℃<br>最低気温：30.0℃ | 2.3m/s | 24.1℃ |
| B | 晴  | 近日の降雨無 | 最高気温：31.6℃<br>最低気温：30.8℃ | 6.5m/s | 24.5℃ |
| C | 晴  | 近日の降雨無 | 最高気温：33.0℃<br>最低気温：29.6℃ | 2.7m/s | 24.4℃ |
| D | 晴  | 近日の降雨無 | 最高気温：34.2℃<br>最低気温：30.8℃ | 5.9m/s | 24.4℃ |

3.2 実験結果

図－3 にひび割れを検出できた熱画像の一例を示す。測定によるひび割れと疑われる場所を近接目視し、測定画像と比較した結果を表－4 に示す。表－4 の「検知誤差」とは画像から得たひび割れの長さを実際の長さを比較した誤差のことで、「誤検知」とはひび割れと検知した箇所が実際は浮きや苔といった誤ってひび割れと確認した箇所、「未検知」とは測定により検知されなかった箇所にひび割れが確認された箇所のことである。前章の帯片では 100 分後からひび割れを検出する事が出来たが、本橋の測定では測定開始後 30 分で 0.6mm 幅のひび割れを検出した。これはゲルバー橋の蓄熱量が大きかった為だと考えられる。さらに 0.1mm 幅のひび割れも検出できたが、0.1mm より幅の大きいひび割れが未検知の箇所があった。これは、測定距離が 5m を超えていたことや高圧洗浄機の水が届かず放水が不十分であった為と考えられる。



図－3 熱画像一例

4. まとめ

サーモグラフィー法では天候や撮影距離、放水方法など測定には様々な環境条件が関与する。今回、肉眼では捉えられないひび割れをアクティブサーモグラフィー法から画像として一度に広範囲の検出をする事ができたが、河川に架かる橋梁の下縁面の表面温度は橋面のそれとは差が大きく、放熱環境の違いを意識した測定が求められる。

表－4 損傷箇所検出数及び検出率

| 誤差  | 検知    |       | 誤検知 | 未検知 |
|-----|-------|-------|-----|-----|
|     | 10%未満 | 10%以上 |     |     |
| 検知率 | 10ヶ所  | 6ヶ所   | 5ヶ所 | 8ヶ所 |
|     | 34%   | 21%   | 17% | 28% |
|     | 55%   |       | 45% |     |