

熱画像データの空間統計処理に基づく鋼矢板 - コンクリート複合材のひび割れ検出

(株)水倉組 正会員 ○小林 秀一
新潟大学 正会員 鈴木 哲也
新潟大学 正会員 森井 俊広

1. はじめに

近年、老朽化した農業水利施設に対する補修工の需要が高まっているが、補修効果の検証には効率的で信頼性の高い非破壊検査手法の開発が急務な課題となっている。本研究では、農業水利施設の補修工に適用した鋼矢板 - コンクリート複合材表面の変状部（ひび割れ）を効率的に検出するため、赤外線サーモグラフィ法（パッシブ法）を用いて熱特性を検討した結果を報告する。評価手法には、空間データの評価手法の一つである空間統計学のセミバリオグラムモデル¹⁾を用いて、熱画像データを空間的分布構造の観点から評価した。

2. 計測対象・方法

計測対象は、新潟市南区に位置する施工後 15 年が経過した白根郷地区新村排水路である。自立式護岸形式の農業用水路で、水路幅 5.5m、水路高 1.7m である。施設は、平成 23 年 11 月～平成 24 年 1 月の期間に鋼矢板 - コンクリート複合材による補修工が適用されたが、供用開始 11 ヶ月後（平成 24 年 11 月）に表面にひび割れによる変状が確認された。ひび割れ発生箇所は、既存の笠コンクリート目地部の直下であり、ひび割れ幅は 0.2mm である。調査は、ひび割れが確認された箇所を対象として、パッシブ法（太陽光を利用した自然状態での加熱）により 12 時間計測を行った。計測時の気象条件は、計測対象近傍で温湿度ロガーに

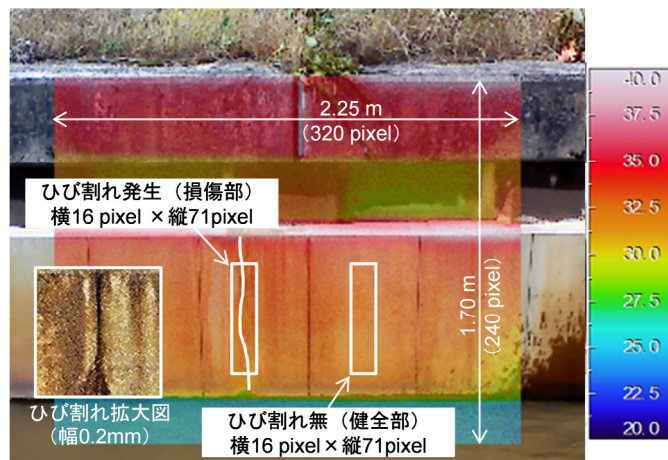


図-1 解析範囲の合成画像（熱画像+可視画像）

より計測した。計測期間中の平均値は、気温 30.6、湿度 53.5%、水温 23.2 である。熱画像データの計測は、30 分に 1 枚の間隔で行った。赤外線サーモグラフィは、鋼矢板 - コンクリート複合材表面から 5.5 m 離れた対岸側に設置し、横 320×縦 240pixel（横 2.25m、縦 1.70m）の範囲で熱画像データを計測した。計測した熱画像データを、ひび割れが発生した鋼矢板 - コンクリート複合材（以後、“損傷部”と記す）と未発生の鋼矢板 - コンクリート複合材（以後、“健全部”と記す）に分類し、それぞれ横 16 pixel×縦 71 pixel の範囲で表面温度を検討した（図-1）。

3. 解析手法

熱画像データの解析には、セミバリオグラムモデルを用いた。モデルの概要を図-2 に示す。本モデルは、横軸にラグ（lag, h : サンプル間隔）、縦軸にセミバリエンス（semi-variance, $\gamma(h)$ ）をとり、その関係性を評価するものである。ラグ h のセミバリエンス $\gamma(h)$ は、距離 h だけ離れた全ての組み合わせ $N(h)$ の評価値間のばらつきの程度を表す。本研究対象である鋼矢板 - コンクリート複合材では、局所的な損傷が無い限り、空間的に連続して物性値が変化すると考えられる。その際、セミバリオグラムは連続し、図-2 のような形状を示す。セミバリエンスの最大値をシル（sill）といい、データの内在的なばらつきを

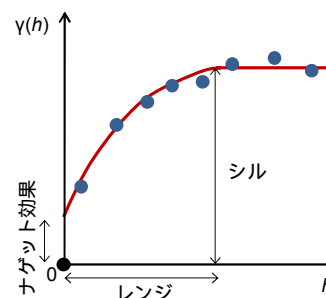


図-2 セミバリオグラムモデル概念図

キーワード 赤外線サーモグラフィ法、セミバリオグラム、空間統計学

連絡先 〒953-0041 新潟市西蒲区巻甲 5480 番地 (株)水倉組建設本部 TEL. 0256-72-2371 E-mail : s_kobayashi@mizukura.co.jp

表す．シルに達する時のラグをレンジ (range) という．レンジは，空間依存性の限界を表す．ラグ 0 におけるセミバリアンスをナゲット効果 (nugget effect) といい，偶然のばらつきを示している．ナゲット効果は，非常に近い計測点において計測されたデータの一定のばらつきを示しており，局所的な損傷が大きい場合ナゲット効果は増加すると考えられる．各パラメータを解析的に求めるには，ラグとセミバリアンスの関係から最小二乗法による回帰分析により求められる．

4．結果および考察

検討の結果，鋼矢板 - コンクリート複合材表面の熱特性は，損傷度の違いにより異なる傾向が確認された (図-3)．8 時 30 分と 15 時 30 分の熱画像データを減算処理した表面温度差について検討した結果，損傷部では平均値 8.2，範囲 4.5 であり，健全部では，平均値 8.0，範囲 3.6 であった．これら表面温度の熱特性の違いは，既往の研究²⁾からも明らかなように熱容量の相違に起因しているものと考えられる．一般的に，表面にひび割れが発生したコンクリートは，表層部に損傷が発達する．コンクリートのひび割れ部位は，熱容量が低いことから，温度変化が拡大する傾向にある．本研究においても，損傷部ではひび割れの進行に伴う空隙量の増加が，健全部と異なる熱特性を顕在化させたものと考えられる．

本研究では，差異の少ない熱画像データのより詳細な評価を行うために，熱分布の空間的特性をセミバリオグラムモデルにより検討した．本モデルは，異常点 (本論ではひび割れ部位) の空間位置をセミバリアンスで評価し，その特性からデータの空間構造を評価するものである．赤外線サ - モグラフィ法により得られた熱画像をセミバリオグラムモデルにより検討した結果を図-4 に示す．検討の結果，損傷部では，ラグ $h=0 \sim 6\text{cm}$ において $0.12 \sim 0.23$ のセミバリアンス $\gamma(h)$ を記録し，明確なレンジに基づくセミバリオグラムが確認された．このことから，損傷部では，ひび割れなどの局所的な高温部の影響により物性値間の空間的依存性が低下することが示唆された．これに対して健全部では，セミバリアンス $\gamma(h)$ は $0.05 \sim 0.09$ の範囲にあり，明確なレンジ範囲は確認されなかった．

5．まとめ

損傷部と健全部の熱特性について，セミバリオグラムモデルを用いて検討した結果，ひび割れなどの熱特性が他の部位と比較して明らかに変質する変状部では，物性値の空間的連続性が無くなることにより，ラグ h の低い段階でのセミバリアンス $\gamma(h)$ の増加が確認された．このことから，セミバリオグラム特性を用いて損傷部と健全部との相違に着目した比較検証が可能であることが，本研究結果から示唆されたものと考えられる．今後の課題は，セミバリオグラム特性を考慮した計測範囲の定量化及び計測精度の向上であると考えられる．

参考文献

- 1) Hans Wackernagel 著 (青木謙治監訳): 地球統計学，森北出版，2004.3.
- 2) 鈴木哲也，青木正雄，大津政康: バリオグラムによる表面被覆工を施したコンクリートの熱特性評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，No.2，pp763-768，2008.

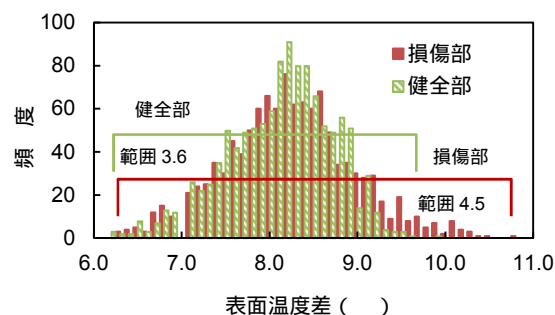


図-3 部位別表面温度差の熱特性

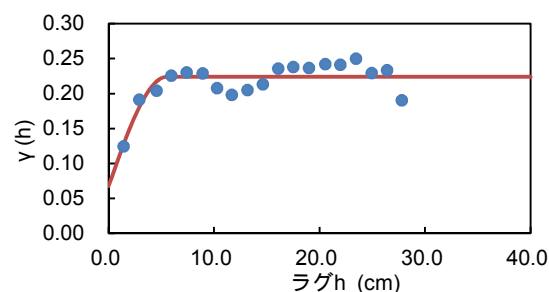


図-4 (A) セミバリオグラム
(損傷部: 8:30 - 15:30)

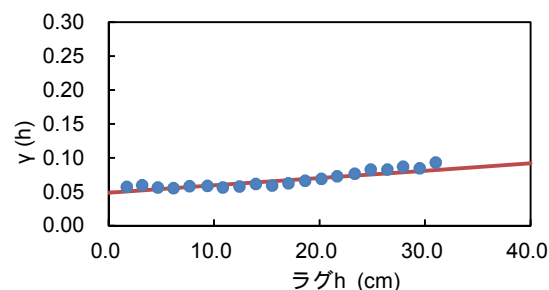


図-4 (B) セミバリオグラム
(健全部: 8:30 - 15:30)