サーモグラフィカメラとRTK-GNSSによるアスファルト締固めの温度管理

㈱愛亀　正会員　黒河洋吾、重信善昭、熊谷悠希、Macome Jaime
㈱環境風土テクノ　須田清隆、○本田陽一　立命館大学　横山隆明

1. はじめに

本報告は、国土交通省「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的術の導入・活用に関するプロジェクト」に「visual-constructionによる品質管理高度化コンソーシアム」で応募し、採択された『「平成 29-30 年度松二維持工事」施工現場における品質管理の高度化等を図る技術の試行業務』について報告するものである。

2. 工事概要

対象工事は、国土交通省四国地方整備局松山河川国道事務所発注「平成29-30年度松二維持工事」で、松山市を中心とした、Ｒ５６号、Ｒ１９６号の維持工事であり、主な工種は国道のメンテナンス工事である。本業務は、舗装路面のクラック調査およびアスファルト舗装工事での温度管理について品質管理の高度化への取組み、および昨年７月西日本豪雨災害で被災した、しまなみ海道大島道路の法面崩土復旧工事における定位置カメラとモバイルカメラによる遠隔コミュニケーションにより品質の向上を図る visual-construction に取り組むものである。なお、本報では、舗装工事の温度管理について報告する。

3. 締固め温度の面的管理

１）面的管理の目的

アスファルトには最適な締固め温度帯があるため、舗装施工時の締固め管理において転圧時の温度管理が重要な管理項目のひとつとなっている。アスファルト温度は工場出荷時、現場到着時、敷設時、転圧時、解放時などに測定し管理するが、測定は点測定となる。

温度を空間的、時間的に連続して全面測定することにより、温度の平面的なばらつきや時間変化の確認、構造物近傍やジョイント部など温度が低下しやすい領域の温度管理等を行うことが可能となる。これにより、温度管理品質の向上を図り、締固め施工品質管理の高度化を進めることを目的とする。

２）方法

アスファルト敷き均し後および転圧時の温度分布を面的に計測するため、非接触計測可能な赤外線温度計（サーモグラフィカメラ）を用いた。その計測方法は以下の二つの方法とした。

(1)手持ち撮影

アスファルト敷き均し中および転圧中に施工箇所周辺および内部から手持ちによるサーモグラフィカメラ撮影を行った。

(2)マカダムローラー取り付け撮影

マカダムローラーによる転圧直前の温度を計測するため、ローラー前部にサーモグラフィカメラを固定し、アスファルト敷設路面の連続撮影を行った。このとき、ローラーの位置計測を行う必要があり、以下の二つの方法を試行した。

①ArUcoマーカーによる方法

ArUcoマーカー（図１参照）とその関連ツールは映像中のマーカーの位置、方向およびマーカー固有番号を認識するためのツールであり、OpenCV にて提供されている。このマーカーを貼付したローラーをムービー撮影することで位置計測が行える。しかし、道路維持補修工事では夜間工事が多く、照度の不足により明瞭なマーカー画像が得られなかったことから、十分な位置情報を得られなかった。

図1　ArUcoマーカーの例

②RTK-GNSSによる方法

RTK-GNSS は GNSS 衛星からの信号の位相差も利用してリアルタイムにキネマティック測位を行う方法である。この方法は基地局の衛星受信データをインターネット経由などで受信し、移動局の計測データを補正することにより高精度の測位を行うものである。得られる最高精度は水平1cm、鉛直2cm程度とされる。ただし、この位置精度を得るためには基地局をおよそ10km圏内に設ける必要がある。今回は施工現場からおよそ 40km離れた基地局を利用したが、数cmの位置精度が得られた。

キーワード　舗装温度管理、サーモグラフィ、RTK-GNSS
連絡先　〒791-3131　愛媛県伊予郡松前町北川原79-1　株式会社愛亀　道路管路事業本部TEL089-984-3387

© Japan Society of Civil Engineers

３）計測結果

(1) 手持ち撮影

図２(左)にフィニッシャー後部から転圧の様子を撮影した熱画像を示す。フィニッシャーから巻き出されたアスファルトは十分な温度を保っているが、温度分布は必ずしも一様でないことがわかる。継目付近や構造物付近のバーナーによる加熱や転圧時の温度も確認することができる。また、ローラーやプレートコンパクター通過後の表面温度の低下の様子を見ることができる。

図２(右)は熱画像を写真画像から再構築した 3 次元モデル上に投影したものであり、平面的な温度分布の位置関係把握ができる。ただし、温度は時間経過や転圧等の作業により刻々と変化する。特定時刻の温度画像から転圧時の適正温度を確認することは難しい。

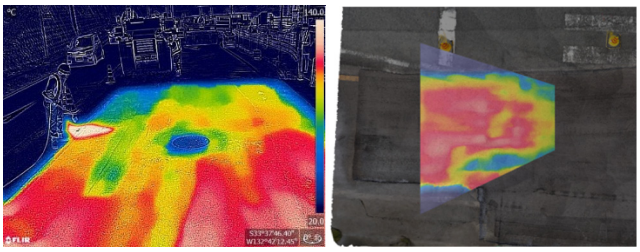

図２　手持ち撮影による熱画像(左)と平面投影(右)

(2) マカダムローラー取り付け撮影

マカダムローラー前面に取り付けたサーモグラフィカメラの様子を写真１に示す。サーモグラフィカメラはバックミラーの上部に固定しており、ローラーのオペレータが確認できるようにしている。

写真１　ローラーに設置したサーモグラフィカメラ

マカダムローラー上のサーモグラフィカメラから撮影される熱画像は路面を斜め方向から見たものとなることから、まず計測値を路面に平面投影するよう座標変換を行う。このとき、ローラー自体が撮影されている手間部分や遠方の領域のデータは削除する。これにより、X、Y の２次元平面の温度分布が得られる。さらに時間変化について Z 軸を用いて表現することにより、３次元空間内で温度の平面分布と時間変化を同時に表現することができる。手順を図３に示す。

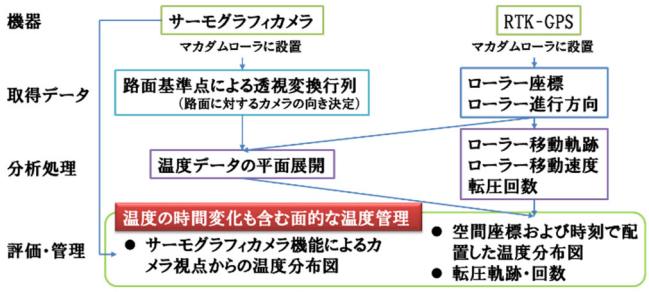

図3　処理フロー

このように面的な温度分布をローラー位置と時刻も含めて表現したものが図４である。ここにプロットされている多数の平面は路面の温度分布を表し、それらを結ぶ線はマカダムローラーの移動経路を示している。移動経路の色は移動速度を表す。図の左下を原点（計測開始時の座標および計測開始時刻）とし、時間経過（Z 軸方向）とともに移動する中で計測された面的な温度分布をその平面位置と時刻の座標に示している。

ローラーの転圧作業は 2 回に分かれているが、これは基層と表層の施工によるものである。図中の左下からローローラーが前方（図の右向き）に移動しているときの温度データがローラー前面のデータとなる。基層の転圧を終えていったん起点に戻る際(時刻 60 分付近)には路面温度が低下していることがわかる。

この 3 次元プロットの温度データには撮影番号が紐づけられており、この図の表示画面からサーモグラフィの撮影データを検索することも可能である。

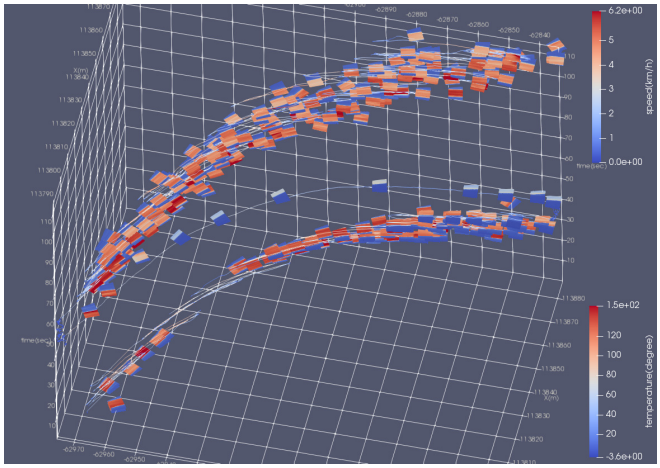

図4　温度と速度の XY 平面・時刻 3 次元プロット

６．まとめ

サーモグラフィカメラによる熱画像データを、位置および時間を座標軸とした３次元空間上に表現することにより、施工空間と施工時間中の全面的な温度管理を行うことができた。この施工時情報は詳細な施工品質確認、施工方法の検証などに用いられるとともに、維持管理の基礎データとして蓄積することができる。

© Japan Society of Civil Engineers