

赤外線カメラ搭載 UAV による舗装内部劣化 検知に関する研究

明石工業高等専門学校 都市システム工学科 鍋島康之

赤外線カメラを搭載した UAV (ドローン) が市販され、様々な分野で利用されている。本論文では赤外線カメラを搭載した UAV でアスファルト舗装の劣化状況を把握できるか検討を行った。まず、実際のアスファルト舗装面の赤外線画像を撮影し、健全な舗装路面と劣化した舗装路面の赤外線画像の比較を行った。次に、舗装下部に空洞部に見立てた発泡スチロールを埋め込んだ模型を用いて室内実験を行い、舗装下部の空洞部の温度分布を赤外線カメラで撮影し、温度分布から舗装下部の劣化を判断できるか検討を行った。

1. はじめに

近年、舗装の点検業務の効率化が図られている。特に、移動車両からの舗装点検については、スマートフォン¹⁾、加速度計²⁾、車載カメラ²⁾などを用いた方法が提案されている。車載カメラを用いる方法では高解像度カメラだけでなく赤外線カメラを搭載し、舗装面の温度分布から劣化状況を判断しようとする試みが提案³⁾されている。本研究では、広範囲の舗装面を効率よく点検するため、赤外線カメラを搭載した UAV (ドローン) を用いた点検手法について研究することを目的とする。

先行研究³⁾では、舗装面の赤外線画像の温度分布から劣化状況を把握できる可能性について指摘しており、本研究では UAV を用いて広範囲の舗装温度分布を取得することにより点検業務を効率化することにより、処理広範囲の舗装面を短時間で点検できる方法を検討する。UAV で空撮した写真を作成することができる。このため、車載カメラを用いた場合よりも簡単に舗装面の画像を取得することが可能である。さらに、赤外線カメラで撮影した画像からは、表面温度分布から舗装内部の劣化を推定することが可能である。舗装下部に空洞が生じている場合は表面部分が温度が上昇するため健全な部分に比べ高温になる。このように、赤外線画像を分析することでより詳細な劣化状況の判断ができるため、舗装表面まで劣化が発展す

る前の段階で対策について検討し、補修を行うことが可能になる。本研究では、舗装内部の劣化について赤外線画像を用いて検知することを目的とする。

2. 赤外線カメラ搭載 UAV による赤外線画像

近年、赤外線カメラをあらかじめ装備した UAV が市販されており、通常のデジタル画像と共に赤外線画像を撮影することができる。例えば、DJI 社の Mavic Enterprise Dual や Parrot 社の ANAFI THERMAL などが比較的安価で入手しやすい機種である。これらの赤外線カメラ搭載 UAV でアスファルト舗装を撮影した画像について検討する。また、補完用に地上からも赤外線カメラを用いて赤外線画像を撮影した。

2.1 健全な舗装路面の赤外線画像

健全な舗装路面の赤外線画像を撮影する場所として、明石市二見浄化センター内のアスファルト舗装を選んだ。ここは走行する車両が少なく、あまり路面の劣化がみられず、比較的健全な状態の舗装路面であると判断した。図-1 は UAV (DJI Mavic Enterprise Dual) で撮影したデジタル画像である。撮影の際、路面に周辺の建造物の影が映らないよう 12 時から 13 時の間に撮影した。アスファルト舗装直上から撮影した画像である。図-2 は

同じ場所から赤外線カメラで撮影した画像である。画像センサーのサイズが異なるため撮影範囲が異なっているが、中央部分の舗装面を比較することができる。マンホール蓋周辺の温度が高くなっているため、赤外線画像では白色で表示されているが、アスファルト舗装面の温度分布は比較的均質であり、特に異常な温度を示している部分は見られないことがわかる。このことから、健全な舗装路面においては路面温度の分布には乱れが見られず、連続的に変化することがわかる。

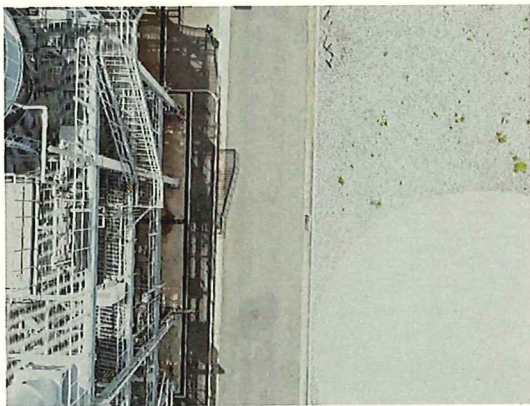


図-1 健全な舗装路面のデジタル画像

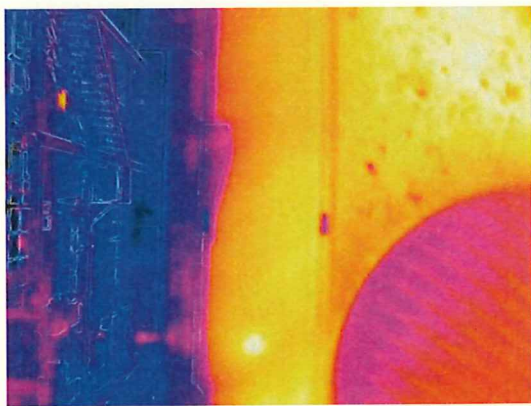


図-2 健全な舗装路面の赤外線画像

2.2 劣化した路面の赤外線画像

次に、劣化した舗装路面の例として、兵庫県美方郡新温泉町の国道9号で補修工事を行う前の舗装路面を赤外線カメラで撮影した。図-3は国道9号線の路面の状況である。図-3から明らかなように舗装路面が非常に劣化しており、無数のき裂が路面に表れている。図-4は同じ場所の赤外線画像である。赤外線画像から舗装路面が劣化した部分では温度分布に乱れが見られる。赤外線画像はFLIR Toolsという解析ソフトを使用することによ

って表示する温度範囲を変化させることができる。舗装路面の劣化した部分を強調するために、表示する温度範囲を変化させた画像を図-5に示す。この図では、路面温度の54.0℃から54.3℃の狭い範囲を表示している。き裂がある部分は周辺の舗装路面よりも温度が低いため、き裂部分が強調され、き裂部分のみを抽出することができる。様々な温度範囲を変化させた結果、1.0℃以下にした場合が最もき裂部分を抽出できることがわかった。



図-3 国道9号線路面状況

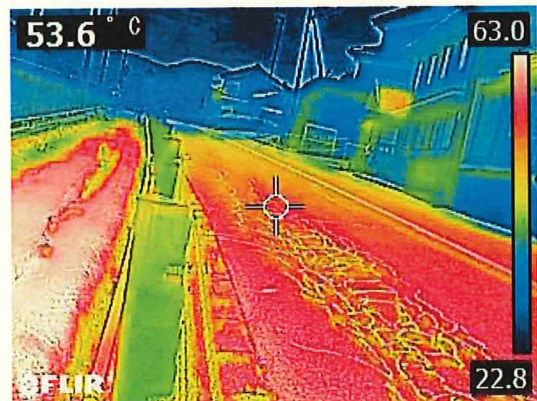


図-4 国道9号線赤外線画像

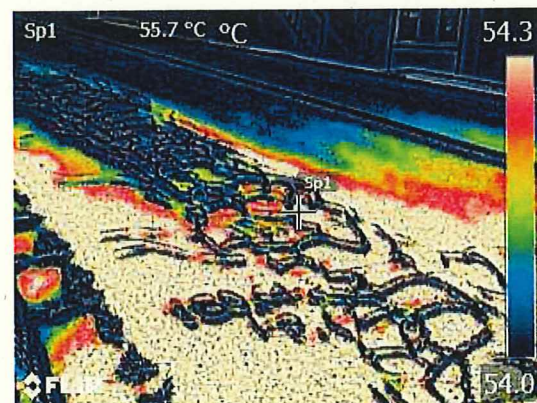


図-5 表示範囲を調整した赤外線画像

次に、図-6 は同じ国道 9 号の別の劣化部分を
示している。この部分は、轍が目立った箇所
で、写真右上の白い部分が特に轍が顕著な部分
である。図-7 は同じ部分の赤外線画像である。轍
が顕著な箇所の路面温度が低くなっていることがわ
かる。轍部分は面的に広がっているため、き裂部
分のような温度部分の乱れではなく、周辺部分よ
りも温度が低い部分として現れることがわかる。



図-6 国道 9 号線の轍 (写真の白い部分)



図-7 轍部分の赤外線画像

3. 室内模型実験

国道 9 号線の現地計測の結果から、赤外線画像
を用いてアスファルト舗装路面の劣化状況を把握
することが可能であることがわかったが、舗装下
部の空洞などの劣化状況については実際に舗装を
剥がす必要があるため実施困難であった。図-8 に
示す試験装置を用い、投光器のランプを供試体上
空に設置し、実験を行った。この実験では 500w の
ランプで供試体を照射し、15 分間隔で路面温度の
測定を行った。供試体は第 3 章の屋外試験で使
用したのと同じものを使用した。室温を 25°C に
設定し、試験開始と共に供試体を投光器で照射して

路面温度を供試体の 5 か所について非接触温度計
で計測するとともに赤外線カメラで供試体表面温
度分布を撮影する。



図-8 室内模型実験の様子

3.1 舗装表面温度

図-9 に舗装表面温度の推移を示す。舗装下部の
空洞の有無にかかわらず、最終的な路面温度は一
致している。投光器との距離が近かったためか、
路面温度が 120°C 近くに上昇してしまった。舗装
下部に空洞が無い供試体は空洞がある供試体と
比べて舗装表面温度の上昇が遅いことがわかる。そ
の一方で舗装下部に空洞がある場合は表面温度の
上昇が速く、空洞の規模が大きい供試体ほどその
傾向が明らかに表れている。

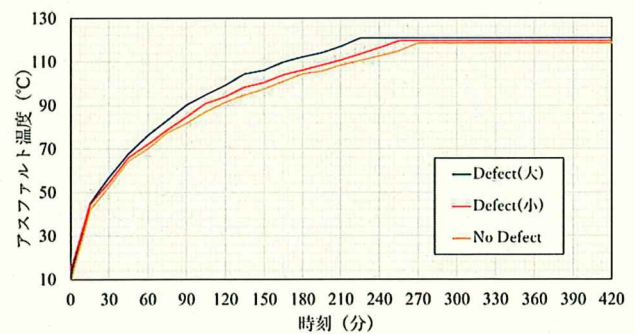


図-9 舗装表面温度の推移

3.2 赤外線画像による舗装下空洞の検知

舗装下部の空洞の有無により、表面温度の上昇
傾向に違いが見られたが、赤外線画像についても
空洞の有無により表面温度分布に差が見られた。
図-10 に各供試体における表面温度分布、FLIR
Tools による特定温度範囲の表示結果、供試体中心
線での温度分布断面図を示している。

熱赤外線画像を比較すると舗装下部の空洞がある場合と無い場合の差はあまり明確ではないが、先に述べた FLIR Tools ソフトにより表示温度範囲を 1°C 毎に調べた場合、その差は明らかになる。今回は 98~99°C の範囲を表示した場合を比較すると、空洞が無い場合と比べ、空洞がある場合の方がその範囲は大きく、空洞の範囲が大きいものほど、表示される範囲が広がっていることがわかる。また、赤外線画像から供試体中心線の温度断面図を作成すると、図-10 に示すようになり、空洞ありの場合について 99°C の位置を赤線で示している。先ほどと同じように、空洞が大きくなるほど、99°C の幅が広がっていることがわかり、舗装下部の空洞の範囲を把握することができる。

4. まとめ

本研究では、UAV に搭載した赤外線カメラや通常の赤外線カメラを用いてアスファルト舗装面の赤外線画像を撮影し、

- 1) 健全なアスファルト舗装面の赤外線画像では路面温度の分布は連続的であり、乱れが見られなかった。
- 2) 劣化したアスファルト舗装面の赤外線画像ではひび割れや轍など劣化した部分の路面温度の分布には乱れが見られ、赤外線画像を分析

することで劣化した部分を抽出できる。

- 3) 室内模型実験で舗装面下部に空洞に見たてた発泡スチロールを埋め込んだ供試体にライトを照射した場合、空洞がある供試体の路面温度が速く上昇する。また、空洞部分が大きくなるほど温度上昇が速くなる。
- 4) 室内模型実験の結果から、路面温度分布を解析することによって、空洞部分の範囲を把握することが可能である。

参考文献

- 1) 山崎、野口、加藤、大町：スマートフォンを用いた舗装路面評価に関する研究、土木情報学シンポジウム講演集、Vol.39、pp.259~262、2014。
- 2) 窪田、木下、丸山、岡村、中川：集配車両のセンシングデータを用いた舗装維持管理の提案、土木学会論文集 E1 (舗装工学)、Vol.76、No.2、I-133~I-141、2020。
- 3) 丸山、星、木村：ポットホール発生箇所の赤外線による事前検知技術に関する基礎検討、寒地土木研究所月報、No.775、pp.3~9、2017。

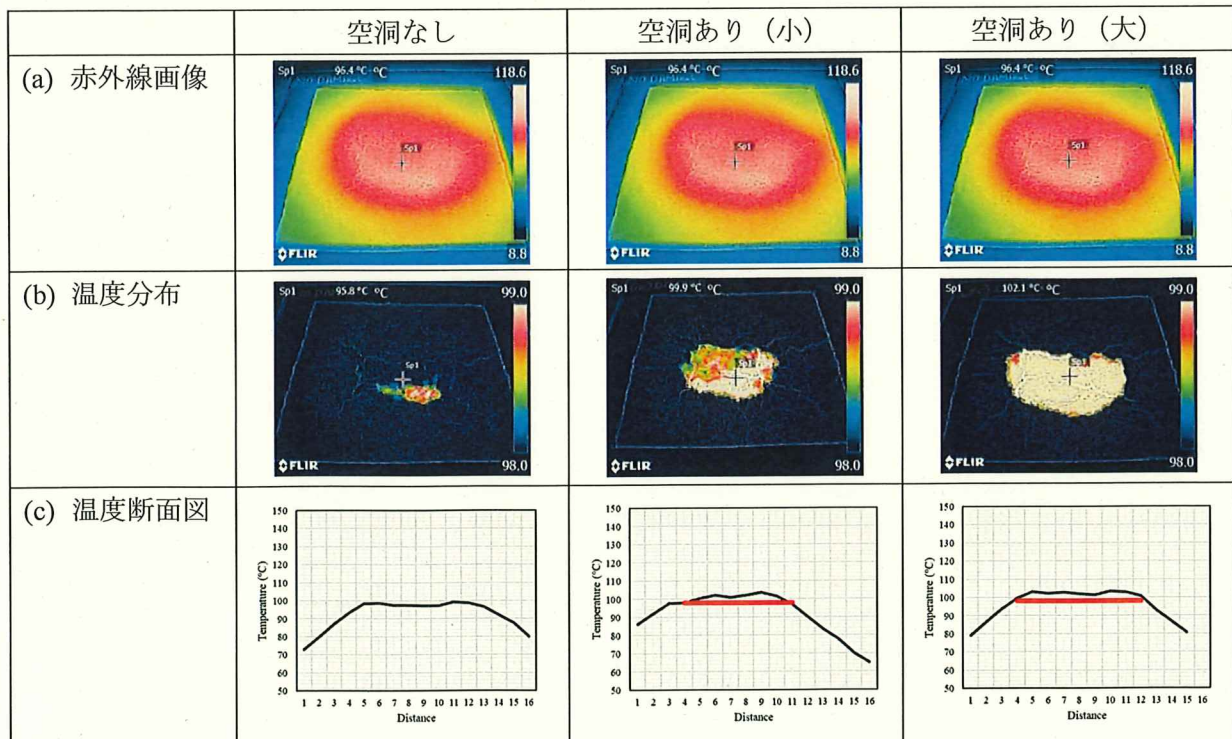


図-10 室内模型実験結果のまとめ