

# UAV 搭載型熱赤外カメラによるコンクリート剥離検出における 日射量の時間変化に関する一考察

日大生産工(院) ○川村 郷 日大生産工 朝香 智仁  
日大生産工 渡部 正 日大生産工 野中 崇志  
日大生産工 杉村 俊郎

## 1. はじめに

サーモグラフィ法は、非接触で且つ遠隔からの観測により、コンクリート構造物などの劣化部分を検出する手法である。パッシブサーモグラフィ法は、自然発生的な熱遷移による温度分部から健全部と劣化部を検出する手法で、従来からコンクリート剥離部の検出に利用されてきた<sup>1)</sup>。近年、UAV (Unmanned Aerial Vehicle) に搭載できる熱赤外カメラが登場し、構造物などの点検への適用が試みられているが、UAVの観測方法に関する報告事例は少ない。著者らは、これまで水平に配置したコンクリート内部に剥離を模した試験体を用いて、夏季および冬季におけるパッシブサーモグラフィ法の適用性について検討してきた結果、夏季においては日射量が落ちる夕刻、冬期においては太陽光が当たる前の朝方に観測した熱赤外面像から、剥離部分が検出できることを明らかにしてきた。しかしながら、実際の土木構造物に対してパッシブサーモグラフィ法を適用する場合には、太陽光が当たらない部分も多いことから、全天日射量とパッシブサーモグラフィ法の適用性について検討しておくことが望ましい。

そこで本研究では、真西の方向へ垂直に配置したコンクリート試験体に対して、UAV搭載型熱赤外線カメラによるパッシブサーモグラフィ法の適用限界について考察することを目的とした。

## 2. 研究手法

本研究では、表-1に示す熱赤外カメラで、距離10mから観測した熱赤外面像を解析することとした。試験体には、模擬剥離として壁面（UAVから観測する側）から深さ10mm、20mm、30mm、および40mmにそれぞれ、100mm×100mm×1mmの空洞に模した発泡スチロールが、15cmの間隔をあけて埋め込んでいる。またコンクリート試験体は、壁面（UAV

から観測する側）を真西に向け、太陽光が当たらない時間帯と、太陽光が当たり始めた後に太陽光が遮られる時間帯に観測できるようにした。観測は2022年9月26日の快晴時に行い、観測間隔は、観測可能時刻付近の8:00～11:00は30分毎、11:00～15:00は1時間毎、15:00～18:00は30分ごととした。全天日射量は、コンクリート試験体の壁面（UAVから観測する側）の地上から1.5m付近で、下向き短波放射計（305nm～2800nm）によって測定した。

## 3. 結果と考察

図-1は9月26日の15:30に、また図-2は、9月26日の18時00分にコンクリート試験体を観測した際の可視画像および熱赤外面像である。図中のsp1～sp4は、深さ10mm、20mm、30mm、および40mmに設置した模擬剥離の位置を示したものである。可視画像より、15:30は日射が直接、試験体にあたっており、18:00は日没後の様子が確認できる。

図-3は、sp1～sp4とした剥離部の中心付近における表面温度と、その周辺の健全部における表面温度との温度差を縦軸の第一軸とした時の時間変化を示すグラフである。また、このグラフには各観測時間に測定した全天日射量を縦軸の第二軸として併記している。結果として、sp1およびsp2の剥離部と健全部との温度差がプラス側に最も差が大きく現れる時間帯は15:30であり、マイナス側に最も差が大きく現れる時間

表-1 UAV 搭載型熱赤外カメラの諸元

| センサ   | 非冷却 VOx マイクロボロメータ         |
|-------|---------------------------|
|       | DFOV (対角視野): 40.6°        |
| レンズ   | 焦点距離: 13.5 mm<br>絞り: F1.0 |
| 温度分解能 | ≤50 mK @ f/1.0            |

Evaluation for Detecting the Depth of Concrete Delamination Damage using  
UAV Thermal Camera due to Time-series Changes of Solar radiation

Go KAWAMURA, Tomohito ASAKA, Tadashi WATANABE, Takashi NONAKA  
and Tshiro SUGIMURA

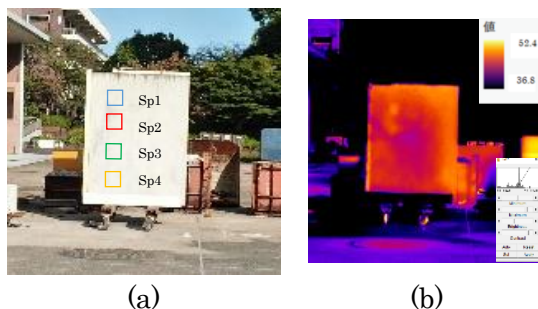


図-1 可視画像(a)および熱赤外面像(b)  
(2022年9月26日, 15:30 観測)

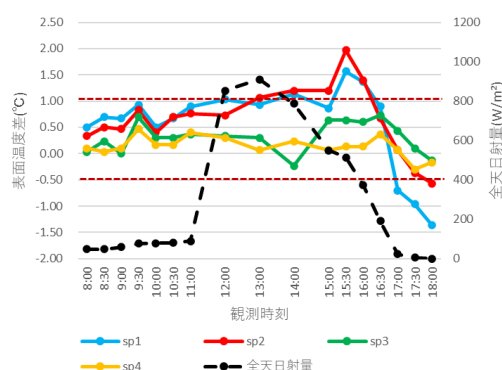


図-3 西向きに配置した試験体における  
健全部と剥離部との温度差および  
全天日射量の時系列変化

帯は18:00であることがわかった。一方で,sp3についてはその差がsp1およびsp2よりも小さく,sp4についてはほとんど変化がないことがわかった。

全天日射量については,11:00から13:00にかけてピークに向かい,17:00には試験体の西側にある建築物の影響により完全に日陰になったため,全天日射量がほとんど検出されなくなっている。図-1(b)は全天日射量が下がり始めている15:30であるが,剥離部と健全部との温度差がプラス側に最も差が大きくなるため,sp1およびsp2の位置がわかりやすいが,それぞれの境界部分が不鮮明な状態でもあった。図-2(b)は全天日射量がほとんど検出されない18:00であるが,sp1およびsp2の位置がわかりやすく,且つその境界部分もかなり鮮明な状態であった。さらに,全ての観測時刻の熱赤外面像より,剥離部と健全部との温度差がプラス側は1.0℃以上,マイナス側は0.5℃以下になるとsp1およびsp2の位置は概ね検出できることもわかった。

日射量の強い時間帯は剥離部の方が健全部より表面温度が高く,周辺の建造物の影響に

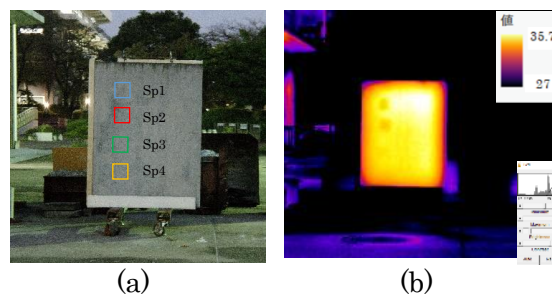


図-2 可視画像(a)および熱赤外面像(b)  
(2022年9月26日, 18:00 観測)

より日射が遮られた時間帯からは,剥離部の方が健全部よりも表面温度が小さくなるという典型的な現象<sup>2)</sup>も確認することできた。なお,長田ら<sup>3)</sup>は,コンクリートの剥離部と健全部の温度差0.5℃を判別可能な限界しきい値としているため,本研究の成果はある程度妥当な解析結果であったと考えられる。また,本研究で使用したUAV搭載型熱赤外線カメラによってパッシブサーモグラフィ法を適用する場合,どちらかといえば直射日光が当たらない時刻で,且つ9月下旬の陽気ならば外気温も低めとなる夕刻の方がコンクリート内部の剥離部を検出しやすくなると考えられる。

#### 4. おわりに

本研究では, UAV搭載型熱赤外線カメラによって,コンクリート構造物内部の模擬剥離をパッシブサーモグラフィ法によって検出する実験行なった。結果として,深度20mmよりも表面側に存在する模擬剥離ならば検出可能であるが,観測時刻や気象条件が揃わなければ熱赤外面像には鮮明に現れないと結論づけられる。今後は,深度30mmの剥離を検出できるような画像処理方法について検討することを予定している。

#### 参考文献

- 1) 阪上隆英,赤外線サーモグラフィによる非破壊検査,マリンエンジニアリング,2006, 41巻,5号, pp.683-690.
- 2) 久保昌史, 天野勲, 中山聡子: 赤外線熱画像と可視画像によるコンクリート構造物の劣化診断技術の開発と適用,コンクリート工学, 52巻,8号, p. 644-651, 2014.
- 3) 長田文博ほか,熱画像による鉄道高架橋コンクリートのはく離診断手法の開発,土木学会論文集No.760/V-63, 21-133, 2004