

研 究 報 告

令和 8 年 4 月 23 日

公益財団法人 前田記念工学振興財団

理 事 長 岸 利 治 殿

研究代表者

所 属 : 神戸大学大学院工学研究科

氏 名 : 鈴木 広隆

研究課題名 : 面照射型人工照明を搭載したマルチコプターの取得画像によるクラック
検出システムの開発

助成金額 : 96 万円

研究実施期間 : 自 令和 7 年 4 月 1 日 ~ 至 令和 8 年 3 月 31 日

面照射型人工照明を搭載したマルチコプターの
取得画像によるクラック検出システムの開発

Development of Crack Detection System using Images Captured
by a Quadcopter Equipped with a Surface Illumination Light Source

所属 神戸大学大学院工学研究科 教授 氏名 鈴木広隆

(研究計画ないし研究手法の概略)

本研究は、建築物の外壁や道路面のクラックの調査において、マルチコプター(本研究では、「ドローン」もしくは「UAV: Unmanned Aerial Vehicle」のうち複数の回転翼により飛行するものとする)を用い、可視画像のノイズを排するために検査面にアクティブに光を照射し、クラック検出の精度を向上させることを目的としている。これまでクラックの検出には、目視や打音による検査が行われてきたが、近年マルチコプターにより取得された可視画像を用い、検査面におけるクラック部分とそれ以外の部分の輝度の違い(画像上では画素階調値の違い)を利用する方法が普及しつつある。この方法は、昼光(主として直射日光、天空光)による輝度分布を用いるものであり、検査面周辺の建築物等の人工物や樹木の影の影響を強く受けることとなり、また撮影時の時間帯、季節、天候による輝度の違いも大きくなる。本研究は、このように受動的な光を利用するのではなく、マルチコプターに面照射のための人工照明を搭載し、夜間に人工光を検査面に照射してクラック部分とそれ以外の部分の輝度をそれぞれ常に同様のレベルとし、周辺条件や撮影条件の影響によるノイズを排して検出を行うものである。これにより、撮影条件によらず、常に一定精度のクラック検出が可能となる。

(実験調査によって得られた新しい知見)

本研究で得られた知見について、2025年度前期と後期に分けて報告を行う。前期はシミュレーションを用いた検討による知見であり、後期は面照射型人工光源を搭載したマルチコプターを飛行させて取得した画像により得られた知見である。

(a) 2025年度前期の検討

前期には、シミュレーションによる検討を行った。道路のクラックの実物のサンプルを図1に、シミュレーションのためにこのクラックを斜角柱でモデル化したもののパラメータを図2に示す。また同様に、地面に対するマルチコプターのカメラと光源の位置のパラメータ

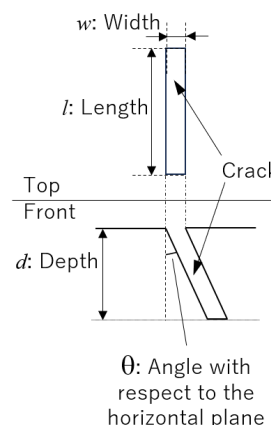


図1 道路のクラックの実物のサンプル 図2 斜角柱でモデル化されたクラックのパラメータ

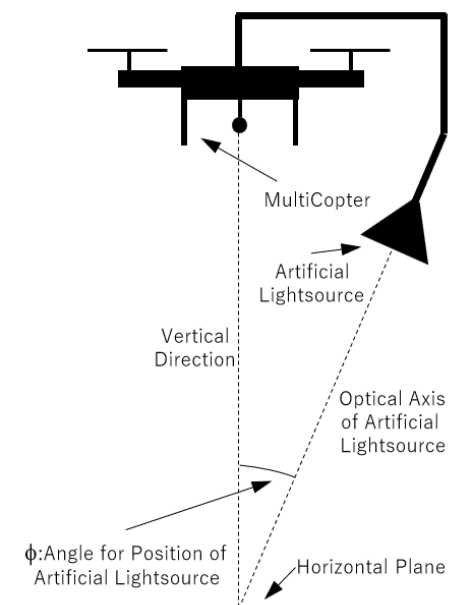


図 3 地面に対するカメラと光源の位置のパラメータ

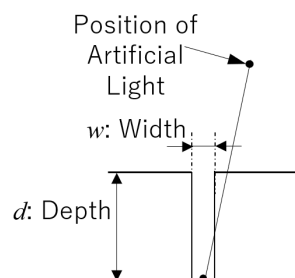


図 4 クラックの形状と光源方向のパラメータ

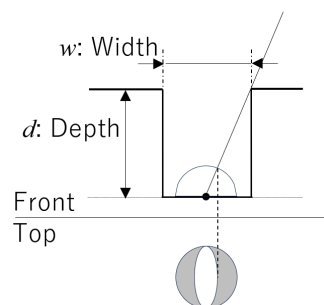


図 5 形態係数を計算するためのだ円

を図 3 に示す。ここで、クラックの奥行き長さ l は無限大、垂直方向に対する角度 θ は 0 とした。そして、従来の方法と提案手法によるクラック部分と非クラック部分の比較を行った。まず、晴天時には直射日光による電柱や樹木の影の影響が考えられ、明らかに提案手法が有利であるため、より厳しい条件として、従来の方法として曇天時を想定した。均一な曇天を想定した場合、クラック面の輝度と非クラック面の輝度比はひび割れ部分の底面における天空の形態係数に一致し、この値は図 4 に示す断面が奥行き方向に無限に続く場合、この図に示すひび割れの幅と深さである w と d を使用して、図 5 に示す楕円の面積を利用して次のように表すことができる。

$$\text{輝度比} = \text{形態係数} = \frac{w/2}{\sqrt{(w/2)^2 + (d^2)}} \quad (1)$$

提案手法の場合、クラック底面部分の照度と非クラック部分の照度の比が輝度比に一致する(クラックの底部分と非クラック部分の反射率が同じと仮定した場合)。直接光のみを考慮すると、人工照明からの直接光がクラック部分に届かない場合は照度が 0(Ix)で照度比が 0 となり、人工照明からの直接光がクラックに届く場合は照度比が 1 となる。図 4 に示すパラメータを用いて、照度比は次のように計算される。

$$\begin{aligned} \text{輝度比} = \text{照度比} &= 1 \quad (\tan \phi \leq \frac{w/2}{d}) \\ &0 \quad (\tan \phi > \frac{w/2}{d}) \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 $d = kw$ とし、クラックの深さを幅のパラメータで表すこととし、 k の変化によって式(1)による形態係数の値と式(2)による照度比がどのように変化するかを表したグラフを図 6 に示す。ただし本グラフには、人工光源の照射角度 ϕ を 5/100(rad)から 10/100(rad)まで 1/100(rad)ずつ変化させたものをプロットしている。

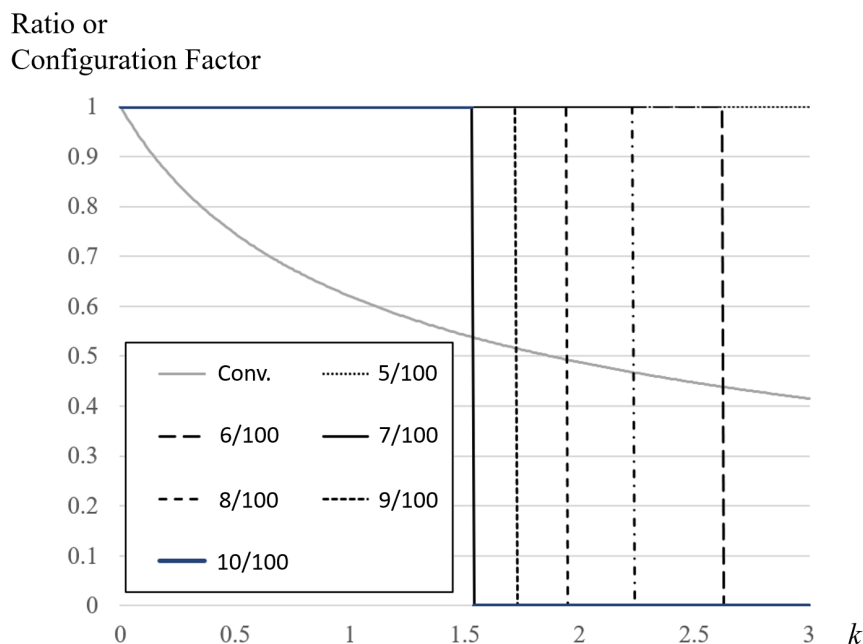


図 6 k の値を変化させた場合の形態係数と照度分布の値

このように、 d が w に比べて大きい範囲では、式(2)で計算される輝度比は 0 になり、式(1)で計算される形態係数の値よりも低くなる。このように、従来方法が有利になる曇天時においても、一定の範囲で提案方法が有利になることが明らかになった。

(b) 2025 年度後期の検討

後期は、実際に人工光源を取り付けたマルチコプターを飛行させ、搭載したカメラで撮影した画像を用いて比較検討を行った。図 7 のように、マルチコプターのカメラと同じ高さで水平方向に 80cm 離れた位置にアームを用いて人工光源を取り付けた。人工光源に加え、アームも長くなるほど重くなる(しなりを押さえるために剛な構造となる)ため、本測定では水平距離は 80cm が限界であった。またドローンの高さは 3m(カメラ位置で)とし、道路を想定した駐車場で飛行させた(図 8 参照)。なお図 8 に示したように、夜間の測定の場合に駐車場の周辺の水銀灯などのノイズとなる光源が存在するが、車の配置を工夫して、測定対象内に

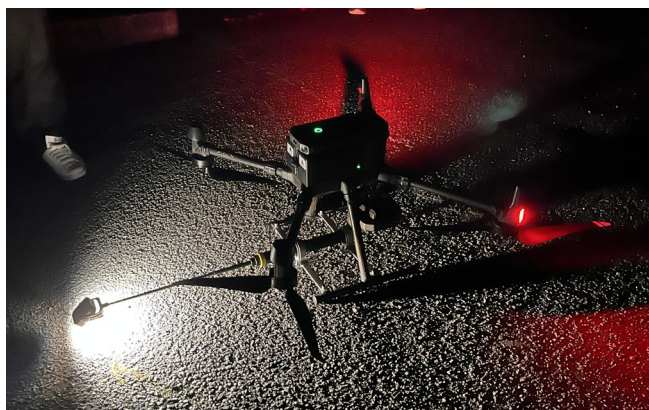


図 7 マルチコプターと取り付けられた人工照明



図 8 飛行の様子

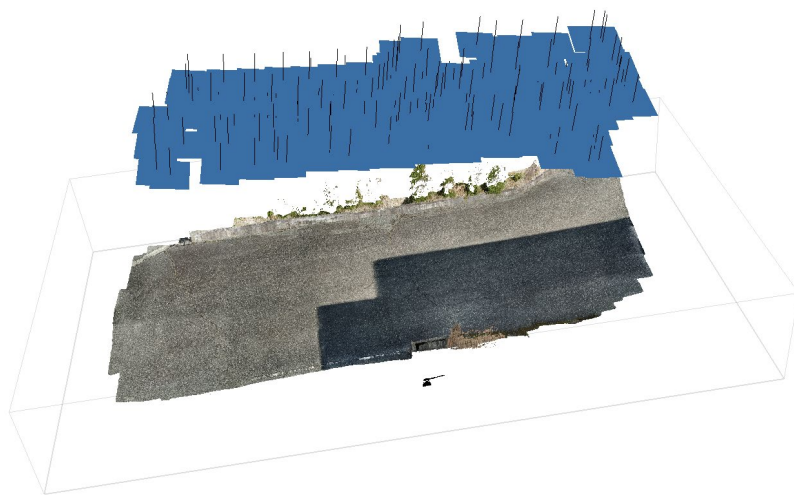


図 9 モザイク画像作成の際に用いられた静止画の位置と法線ベクトル(昼間撮影時)

入射するこれらの光源からの直接光は排除した。そして、撮影された静止画をつなぎ合わせて対象を 1 枚のモザイク画像とした。モザイク画像作成時に用いられた静止画の位置と法線ベクトルを図 9 に示す。さらにこの手法で得られたモザイク画像を図 10(夜間時)と図 11(昼間時)に示す。昼間時は、人工照明は点灯していない。また図 11 に示すように、昼間時は

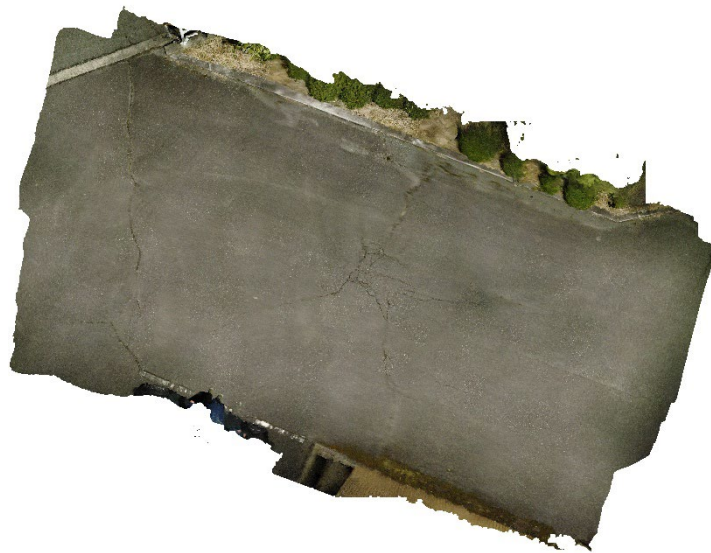


図 10 夜間時のモザイク画像



図 11 昼間時のモザイク画像



図 12 モザイク画像の中心部(左：夜間／右：昼間)

周辺建物の影響による直射日光による影が生じている。図 10 と図 11 の中心部を拡大して表示したものを図 12 に示す。この図で明らかなように、昼間時は直射日光の影響があるため、天空光のみ存在する部分(影の内部)においてクラック部分が不鮮明であり、単一の閾値を用いてクラックを検出した場合、正しく判定されない可能性がある。これに対し、夜間の画像では、中間と同等の輝度比でクラックが撮影されており、検出がより正確になると考えられる。一方で、夜間の画像ではクラック部分がぼやけている箇所が存在する。これは、人工照明からの照度が不十分であること、およびドローンの動きに伴う姿勢の変動で、撮影の際にぶれが生じている可能性があると考えられる。また、今回クラックに対して人工照明からの光が垂直入射しないように 80cm 離れた位置に光源を設置したが、地面から 3m の位置で 80cm という距離が十分ではなく、斜めに入射する直射日光のほうにアドバンテージがあった可能性もある。夜間の測定は、交通への影響などにおいてもメリットがあるため、同等の精度でクラックを検出できれば実用上大きな可能性があるが、光源が照射する光の強さや向きなど、今後検討する必要があると考えられる。

(発 表 論 文)

- 1) Hirotaka Suzuki, A STUDY ON THE METHOD OF DETECTING CRACKS ON THE ROAD SURFACE USING A MULTICOPTER EQUIPPED WITH A LIGHTSOURCE, Proceedings of Asia Lighting Conference, 4 pages in electric Proceedings (2025)
- 2) 鈴木広隆, 人工照明を搭載したマルチコプターによる画像を用いたクラックの検出に関する研究, 照明学会全国大会論文集 (2026) 予定
- 3) Hirotaka Suzuki, A STUDY ON THE METHOD OF DETECTING CRACKS ON THE ROAD SURFACE USING IMAGES CAPTURED BY MULTICOPTER EQUIPPED WITH A LIGHTSOURCE, Proceedings of Asia Lighting Conference, 4 pages in electric Proceedings (2026) to be Published