

特徴点追跡手法を用いた岩盤構造物の変状モニタリングに関する研究

株式会社大林組 技術研究所 正会員 ○藤岡大輔 正会員 畑 浩二
岡山大学大学院環境生命科学研究科 正会員 西山 哲

1. はじめに

切羽崩壊や斜面崩壊といった岩盤構造物の災害に対する安全対策として、岩盤構造物の変状をモニタリングすることは重要である。しかしながら、岩盤構造物の変状メカニズムが明確ではないことや計測対象に近づくにくいこと、計測範囲が広大であることなどから、非接触で面的かつリアルタイムな計測手法が求められる。本報告では、動画処理技術の一つである特徴点追跡手法に着目し、岩盤構造物の変状モニタリングへの適用性を検討した結果について述べる。

2. 特徴点追跡手法の概要

特徴点追跡手法はロボットビジョンに頻繁に用いられており、例えば自律移動型ロボットが歩行者を特徴点として検出し、その動きを追跡して近づいたり避けたりすることが可能である。特徴点追跡手法は、まず動画の第1フレームにおいて特徴点の検出を行う。特徴点とは物体のコーナーやエッジといった色の濃淡が著しい点のことであり、その特徴点検出手法にはさまざまな種類がある。本研究ではコーナー検出法であるHarris法¹⁾を用いた。第2フレーム以降はKLT(Kanade-Lucas-Tomasi)アルゴリズム^{2,3)}を使用し、連続したビデオフレームにおいて同一の特徴点を追跡する(図1)。KLTアルゴリズムでは、追跡した点が妥当かどうかを検証しつつ、解像度を粗い画像から細かい画像として解析することで、大きな動きがあっても高速で追跡が可能である。第 n フレームの特徴点 i からは画像座標 $(px(i)_n, py(i)_n)$ が取得でき、第1と第 n フレームの画像座標の差から特徴点 i の移動量 $d(i)_n$ を計算できる。

$$d(i)_n = \sqrt{(px(i)_n - px(i)_1)^2 + (py(i)_n - py(i)_1)^2} \quad (1)$$

3. 岩盤構造物の変状モニタリングへの適用

従来の特徴点追跡手法を岩盤構造物の変状モニタリングに適用する際、その課題として、1)重機や車両の通行によってビデオカメラが大きく振動する、2)人や重機により撮影範囲が遮蔽される、3)特徴点をいかに取舍選別するか、が挙げられる。これらの課題に対して筆者らは次の方法を試みた。

(1)振動補正：振動によってビデオカメラ全体が揺れた場合、全ての特徴点がほぼ同様の移動量 d_{vib} で平行移動

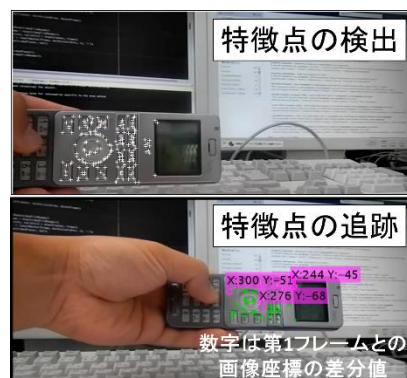


図1 特徴点の検出と追跡

する。振動影響を補正するため、式(2)で表される変位量 d_{disp} が閾値 d_{limit} を超えた場合、変状ありと判定する。

$$d_{disp} = d(i) - d_{vib} \quad (2)$$

d_{vib} は全ての特徴点移動量の平均値ではなく中央値を採用した。振動がない時に一部の特徴点に変状があっても $d_{vib}=0$ となる。また、平行移動しながら一部の特徴点に突出した変状がある場合でも、 d_{vib} は変状のない特徴点の平行移動量と近くなり、正しく変状を検知できる。
(2)人や重機による遮蔽：追跡中の特徴点が遮蔽された場合、KLTアルゴリズムでは確実に追跡できていないと判定され、その特徴点を追跡対象から外すことができる。ただし、計測点数が少なくならないように、その特徴点が再度追跡可能となったときには追跡を再開する。
(3)特徴点の取舍選択：岩盤表面は岩塊の角や亀裂、色の違いといったテクスチャーが豊かで、特徴点を取得しやすい。Harris法では特徴点ごとに「特徴量」が計算され(式(3))、特徴量が大きいほどコーナー(エッジ同士の交差点)に近づいたはっきりとした点であることを示す。

$$R = \det(M) - k(\text{trace}(M))^2 \quad (3)$$

ここに、 R ：特徴量、 M ：Harris行列(画像の勾配などから算出)、 k ：経験的なパラメーターで0.04とした。

追跡する特徴点は、岩塊の角(コーナー)などのはっきりとした点であるほど追跡精度が良くなり、色の違い(エッジのみ)などのあいまいな点は取り除いたほうがよい。そこで、スーパーピクセル法⁴⁾を用いて、第1フレームのRGB情報から計測範囲の領域分けを行った。続いて各領域内に存在する特徴点のうち、特徴量が大きい順に指定の個数で残せるようにした。領域数及び各領域で採用する特徴点数を指定することで、計測全体の特徴点数の調整も可能となった。

4. 岩盤模型を使った検証実験

特徴点追跡手法の岩盤構造物への適用性を検討するため、岩盤模型を使った検証実験を行った。図2に岩盤模型とその撮影状況を示す。岩盤模型は、高さ1.8m、幅1.8mの合板に岩肌模様を印刷した紙を張り付けたものである。そこに30cm×30cmの合板に岩石を付着させた岩塊模型を2つ設置し縦方向と横方向に動かすことができる。計測条件は以下の通りである。

- 動点：左の岩塊を自由落下させる。
- 変状検知の閾値 d_{limit} ：5pixel ■ 領域数：100
- 特徴点数：領域1個につき5個

以下に計測の流れを示す。

- ①最初に計測範囲を指定し、その範囲内で特徴点を検出する(図3)。特徴点は未選別で613個検出された。
- ②計測範囲が領域分けされ、領域内の特徴点が取捨選別される(図4)。領域数及び特徴点は必ずしも設定通りとはならず、本計測では領域数は99個、特徴点数は選別されて342個となった。
- ③追跡中の特徴点は緑点、変状が検知された特徴点は黄色円で表示される。変状検知の閾値は岩盤斜面の管理基準値などから設定でき、本計測では仮に5pixelとした。本計測の分解能は、300mm(岩塊高さ)/60pixel(画面上の岩塊高さ)=5mm/pixelであり、閾値を実距離に直すと25mmである。また、追跡対象から外れた特徴点は赤色点、追跡を再開すると緑色大点で表示される。

図5に計測結果を示す。図5(上)は人及びその影が計測範囲に侵入した状況である。岩塊付近の影や人の胴体部分は計測対象から適切に除外できているが、人の頭や脚部の影では「変状あり」と誤検知した。図5(下)は岩塊が落下直後の状況であり、岩塊上部の変状を適切に検知できている。岩塊下部は人の影により計測対象外とされているため、変状が検知されていない。また、合板の隙間から見える背後の人の動きや岩塊落下に伴う合板の揺れも変状として検知してしまっている。さらに、録画のON-OFFに伴うビデオカメラの振動に対しては適切に補正され変状として検知されなかった。

5. まとめ

本研究では、特徴点追跡手法を岩盤構造物の変状モニタリングに適用するために改良を加え、岩盤模型を用いてその適用性を検証した。岩塊の落下に対しては正しく検知が行えるが、ゆっくりと計測範囲に侵入してきた人や影を完全に計測対象外とすることができず、変状ありと検知されてしまうことが多かった。今後は、誤検知の原因を整理するとともに、それらを取り除く手法の検討や、実際の岩盤構造物に適用した際における、岩盤表面からの特徴点検出法の選定や、閾値や計

測点数の検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) Harris, Stephens: A Combined Corner and Edge Detector, Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference, pp.147-151,1988
- 2)Carlo Tomasi, Takeo Kanade: Detection and Tracking of Point Features, Carnegie Mellon University Technical Report CMU-CS-91-132, 1991
- 3)Jianbo Shi, Carlo Tomasi: Good Features to Track, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1994
- 4) Achanta, Shaji, Smith, Lucchi, Fua, Susstrunk, SLIC Superpixels Compared to State-of-the-art Superpixel Methods, Journal of latex class files vol.6 No.1,2011

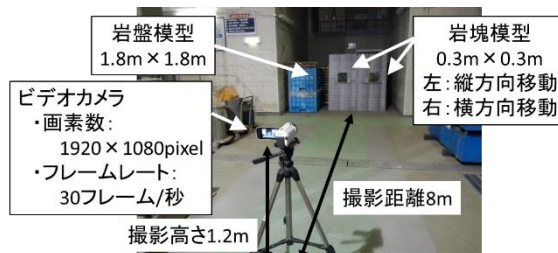


図2 岩盤模型と撮影状況

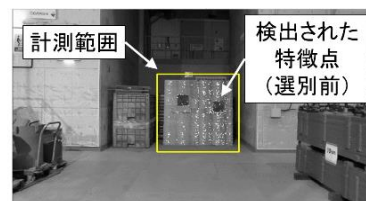


図3 計測範囲と検出された特徴点

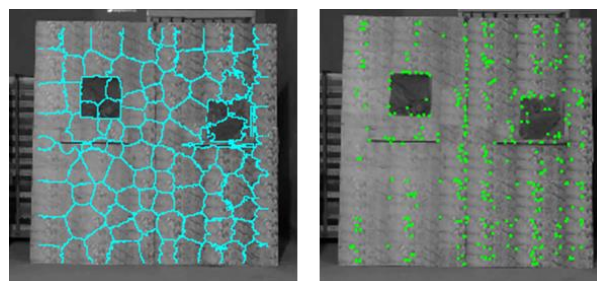


図4 領域分け(左)と選別された特徴点(右)

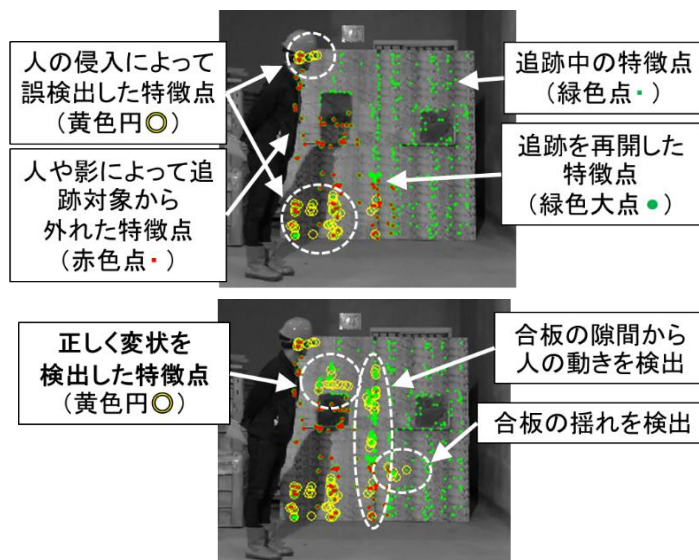


図5 計測結果(上：人の侵入時、下：落下直後)