

赤外線カメラを用いた夜間および冬期間における 斜面監視システムの開発に関する研究

応用技術株式会社 正会員 吉田 慎司
長岡技術科学大学 環境・建設系 正会員 鳥居 邦夫
長岡技術科学大学 環境・建設系 正会員 宮木 康幸

1. はじめに

現在、土砂崩れや斜面崩壊といった災害による事故が相次いでおり、斜面監視体制の強化が必要になっている。そのため崩壊の前兆をとらえる手段として様々な手法が開発されてきている。その中の一つに、長岡技術科学大学建設設計研究室で行っている CCD(Charge-Coupled Device)カメラを用いた斜面監視システムがある。このシステムは標柱による移動量計測や伸縮計による地盤伸縮変動量観測などの現行の斜面監視方法と比較して安価で、遠隔地での無人自動監視を可能にする等の長所を持つ。しかし、このシステムでは夜間および冬期間での監視計測が非常に困難で、日照の影響を受けやすいといった問題点がある。そこで、本研究では、赤外線を感じて画像にすることができる赤外線カメラを用いることにより夜間および冬期間での斜面監視を可能にした。

2. 計測機器

本研究では、赤外線を感じて画像にすることができる赤外線カメラを用いている。

(図-1)



図-1 赤外線カメラ

3. ブロックマッチング法

3-1 ブロックマッチング法の原理

本研究では、赤外線カメラで撮影した対象斜面の連続静止画にブロックマッチング法を適用することで地すべりなどの比較的ゆっくりした斜面の面内変位検出を行っている。すなわちターゲットを必要としないで、画像内のあるブロック自体がどこに移動したかを検出するものである。以下にその手順を示す。

(1) 対象斜面を水平画素 M [Pixel]、垂直画素 N [Pixel]の赤外線カメラを用いて一定時間間隔で撮影する。現在の画像と直前の画像の輝度値を、それぞれ $I_{k+1}(i, j)$ 、 $I_k(i, j)$ とする。ただし (i, j) はそれぞれ水平、垂直方向の画素を表し、 $0 \leq i \leq M$ 、 $0 \leq j \leq N$ とする。

(2) 画像 I_k のあるブロック(大きさ: $m \times n$ [Pixel])を B_k とする。(図-2 a)

(3) 画像 I_k 中のブロック B_k 自体を目標物と見なし、画像 I_{k+1} 内で逐次これを縦横方向に 1[Pixel]ずつスキャンし、ブロック B_k 自体のパターンと類似度の高いブロックを検索する。これを、ブロックマッチング法と呼ぶ。

(4) 次の画像を撮影し、 $(k+1 \rightarrow k)$ として、(1)~(3)の手順を繰り返すことで連続計測を行う。

3-2 類似度の評価

画像 I_k のあるブロックが I_{k+1} でどこに移動したかを検索するため、画像 I_k 内のブロック B_k と画像 I_{k+1} の探索範囲内のブロック B_{k+1} との相互相関係数を 1[Pixel]ずつずらしながら逐次的に計算することによって全検索を行う。画像 I_{k+1} 内での検索範囲は任意でよいが、崩壊の前兆現象を検出する目的と画像すべての中から移動先を探していたら計算時間がかかることから、 B_{k+1} の近傍に限定する。検索範囲は、例えば図-2 に示すように B_{k+1} の周囲 $2m \times 2n$ の範囲とする。

$$R_k(di, dj) = \frac{\sum_{i=am}^{(a+1)m-1} \sum_{j=bn}^{(b+1)n-1} B_k(i, j) I_{k+1}(i+di, j+dj)}{\sqrt{\sum_{i=am}^{(a+1)m-1} \sum_{j=bn}^{(b+1)n-1} B_k(i, j)^2 \sum_{i=am}^{(a+1)m-1} \sum_{j=bn}^{(b+1)n-1} I_{k+1}(i+di, j+dj)^2}}$$

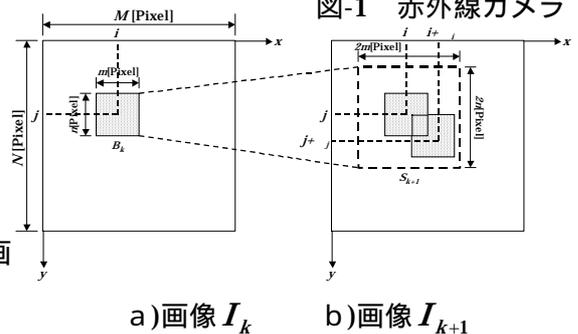


図-2 ブロックマッチング法の原理

Key Words : 赤外線カメラ、ブロックマッチング法、高速フーリエ変換

連絡先 : 〒530-0054 大阪府大阪市北区南森町 1-2-13 TEL.06(6363)3031 FAX : 06(6363)4896

画像 I_k においてあるブロック B_k 自体をターゲットと見なして画像 I_k 内でそのブロックの移動先を探す。

3-3 相互相関関数と高速フーリエ変換の関係

相互相関法で全探索を行う際、直接計算すると探索範囲を $N \times N$ [Pixel] とすると N^2 に比例する計算量が必要となってくるため、 N が大きい場合には直接相互相関法で計算するのは実用的ではない。しかし、高速フーリエ変換(FFT: Fast Fourier Transform)を利用すると $N \log_2 N$ に比例する計算量になるため、直接計算するよりもはるかに少ない時間で相互相関関数を求めることが可能となる。

4. 赤外線カメラを用いた実験

4-1 ハロゲンランプを用いた実験

ハロゲンランプをターゲットとして、カメラから約 30m 離れた位置に設置し、降雪時の夜間における連続計測実験を行った。

ハロゲンランプをターゲットとして、輪郭抽出処理を行い、重心座標値を求めた。そのときの重心座標値の経時変化のグラフを図-3 に示す。その結果、標準偏差が X 軸方向 0.38[Pixel]、Y 軸方向 0.43[Pixel] であり、十分に観測可能な精度を得られた。よって、ハロゲンランプを用いることにより、降雪時や夜間であっても赤外線カメラでの監視計測が可能であるといえる。

しかし、ハロゲンランプを用いるということは、現場設置の危険性と電源の確保という問題点があるので、実用は非常に困難であるといえる。

4-2 樹木をターゲットとした実験

樹木を観測対象として、約 10m 離れた位置に赤外線カメラを設置し、ブロックマッチング法を用いた連続計測実験を行った。

樹木の枝分かれ部分をターゲットとして、ブロックマッチング法を行い、移動量を求めた。そのときの経時変化のグラフを図-4 に示す。その結果、標準偏差が X 軸方向 0.34[Pixel]、Y 軸方向 1.26[Pixel] であり、十分に観測可能な精度を得られた。よって、樹木をターゲットとし、ブロックマッチング法を用いることにより、降雪時や夜間における赤外線カメラでの監視計測が可能であるといえる。

4-3 日照の影響を考慮した樹木をターゲットとした実験

樹木をターゲットとして、晴れた日において連続計測実験を行った。

前項と同じように、樹木から約 10m 離れた位置に赤外線カメラを設置し、実験を行い、ブロックマッチング法を適用した。そのときの経時変化のグラフを図-5 に示す。その結果、標準偏差が X 軸方向 0.72[Pixel]、Y 軸方向 0.79[Pixel] であり、十分に観測可能な精度を得られた。よって、赤外線カメラを用いることにより、日照の影響を受けずに、監視計測が可能であるといえる。

5. 結論

結論として、本研究では、赤外線を感知して画像にすることのできる赤外線カメラを用いて、あらゆる条件下での連続計測実験を行った。その結果、ハロゲンランプをターゲットにすることにより、夜間および冬期間での監視計測を可能にした。しかし、ハロゲンランプを用いるということは、現場設置の危険性と電源の確保という問題点から、実用は非常に困難である。そこで、樹木をターゲットとし、ブロックマッチング法を用いることにより、することにより、夜間および冬期間での監視計測を可能にした。さらに、現行の CCD カメラを用いた斜面監視システムで問題となっていた日照の影響も改善できた。

今後の課題として、本研究では、赤外線カメラを用いることによって、監視計測が可能であるということが分かった。今後の課題として、実際の地すべり現場での監視計測による精度検証が必要であると考えられる。

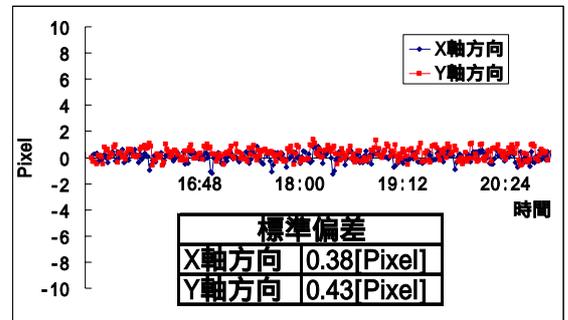


図-3 ターゲットの経時変化と標準偏差

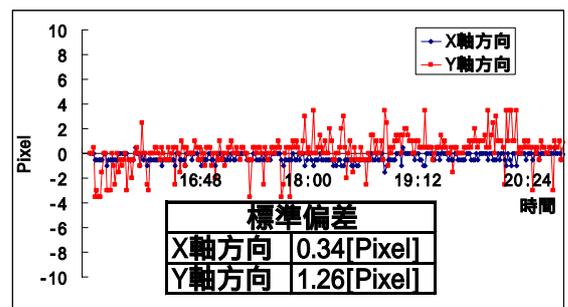


図-4 ターゲットの経時変化と標準偏差

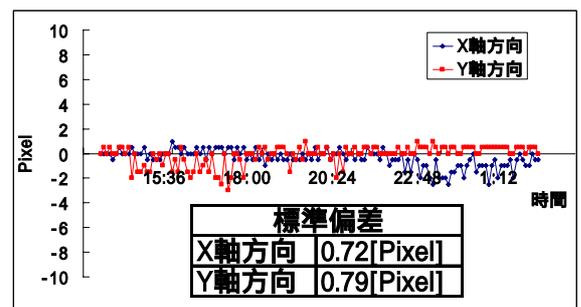


図-5 ターゲットの経時変化と標準偏差