

斜面画像監視システムの精度とその改善

松井宗広* 門間敬一**

1. はじめに

急傾斜地などの崩壊を早期に予知し、対策を講じるために、斜面の状況の変化を時系列的に監視することが重要である。しかしながら、対象となる斜面は広範囲にわたり多数存在しているため、従来のセンサーを用いて、全てを監視することは現実的でない。斜面の状況の変化を簡易・安価に監視する手法の一つに、画像による斜面監視システムが開発されている¹⁾。

この斜面画像監視システムの構成は、コンピュータ、カメラ、画像取込装置などである。これらは一般的に市販されているものであり、比較的安価に入手できる。画像による解析で得られた結果を実際の斜面上の距離単位に変換するためには、デジタル画像の最小単位である画素 (Pixel) の大きさ (画像の分解能) が重要である。また撮影倍率により解析移動量を mm 単位で現地の変化量に置き換えるため、適正な倍率 (縮尺) を設定することなどが重要であり、画像上の移動量は人間の視覚により、画素単位で判別されるため、人為的誤差を確認しておく必要がある。

そこで、斜面に近寄らずに画像の分解能を求める方法や画像の保存形式及び人為的誤差などについて分析した²⁾。

2. 撮影画像の分解能を求める方法

撮影画像の倍率 (縮尺) や分解能を求める場合、画像内に既知長さの対象物 (時間的変化が微小) が写っていれば、画像内の対象物の大きさをもとに、それらを計算できるが、自然斜面に既知長さの対象物が存在することは少ない。そこで、遠方から非接触により倍率と分解能を測定するために、ノンプリズムレーザー距離計を使用して、斜面までの代表距離を求め、つぎに撮影に使用しているレンズの焦点距離から、計算により画像の倍率と分解能を求める方法を検討した (図-1)。

Correct Magnification and Accuracy on Picture Observation System of Slope Deformation

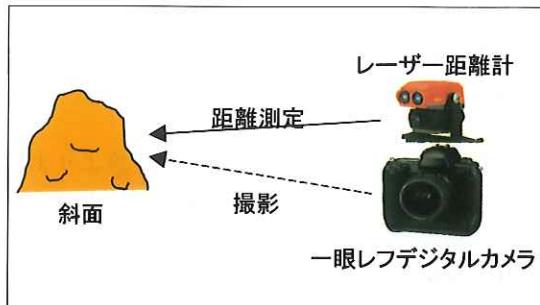


図-1 計算による方法



図-2 対象物の画像の例

また、既知長さの対象物を設置・撮影して、画像内の大きさを測定することにより、画像の倍率・分解能を求め、検証に用いた。

2.1 実験方法

レンズの公称焦点距離とレーザー距離計により計算で求めた画像の分解能と、既知長さの対象物を撮影し画像内の大きさを測定して求めた画像の分解能とを比較した。対象物には簡易倉庫を用い(図-2)、その幅は 2,520mm である。

計測に使用したレーザー距離計の精度は、 $\pm 20\text{mm} + 3\text{ppm} \times \text{距離}(\text{mm})$ である。仮に、対象物までの距離が 40m である場合、誤差は $\pm 20.12\text{mm}$ となる。対象物までの距離に対する誤差の割合は 0.05%程度であるため、計算により分解能を求める場合、精度に与える誤差の影響は無視できる。

使用した一眼レフデジタルカメラの画素数は、約 270 万画素 ($2000 \times 1312 \text{ Pixel}$ (横幅 × 縦幅)) であり、使用した交換レンズは、公称焦点距離 $f=80$ 、

105、200、300mm の 4 種類である。

アナログカメラのフィルムに相当する CCD(Charge Circuit Device)の大きさは $23.7 \times 15.6\text{mm}$ であり、一般的な 35mm フィルムの約 $2/3$ の面積に相当する。なお撮影地点は対象物正面から 40、60、80、90m 程度離れた場所とした。

ここで実際に、ピントを合わせることによって、レンズと CCD との距離変化の影響を照査する必要がある。倍率は、レンズの焦点距離にもよるが、撮影対象物までの距離におおよそ反比例する。

今回使用した交換レンズのピント合せ変化は、撮影対象物までの距離が 40m 以上の場合には、その差を簡単には検出できないほど微小であるが、それ未満の距離から撮影する場合は補正する必要があろう。40m 以上離れて撮影する場合、計算による倍率は、以下の式によって求めることができる。

$$Bt = L/w \approx a/f \quad (1)$$

Bt : 倍率

L : 撮影対象の寸法

w : 撮影対象画像の寸法

a : 対象物までの距離

f : レンズの焦点距離

ここで、計算により分解能を求める場合には、倍率に CCD 素子の幅 23.7mm を乗じて、撮影範囲の実地の幅を計算でき、この幅を画像横方向の画素数 2000Pixel で割ることによって、画像の 1Pixel 当りの大きさ (mm) すなわち画像の分解能を求めることができる。

また、既知長さの倉庫を撮影・測定することにより、分解能を求める場合には、倉庫の幅 $2,520\text{mm}$ を画像中の倉庫の幅に相当する Pixel 数で割ることによって、それを求めることができる。

2.2 実験結果

レンズの焦点距離とレーザー距離計を用いて、計算により求めた、距離・レンズ別の分解能を、図-3 に示したが、当然のことながら、距離に比例して分解能が低下し、レンズの焦点距離に応じて向上している。また既知長さの倉庫を用いて、画像測定により求めた分解能(図は省略)も同様である。つぎに計算による分解能と測定による分解能の比を図-4 に示した。本来は同じはずである、計算による分解能と測定による分解能に最大で 4%程度の差が認められた。これは、レンズの

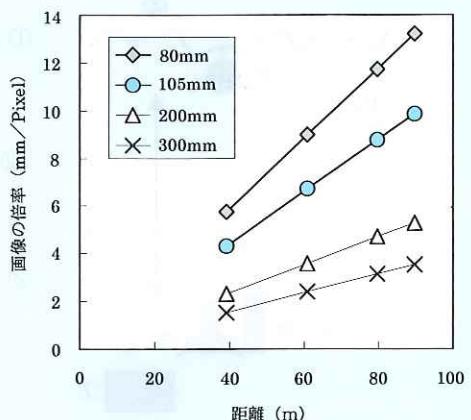


図-3 計算による画像の分解能(倍率)
(凡例はレンズの公称焦点距離:以降同じ)

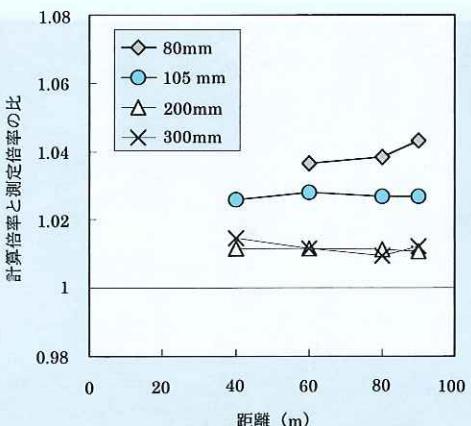


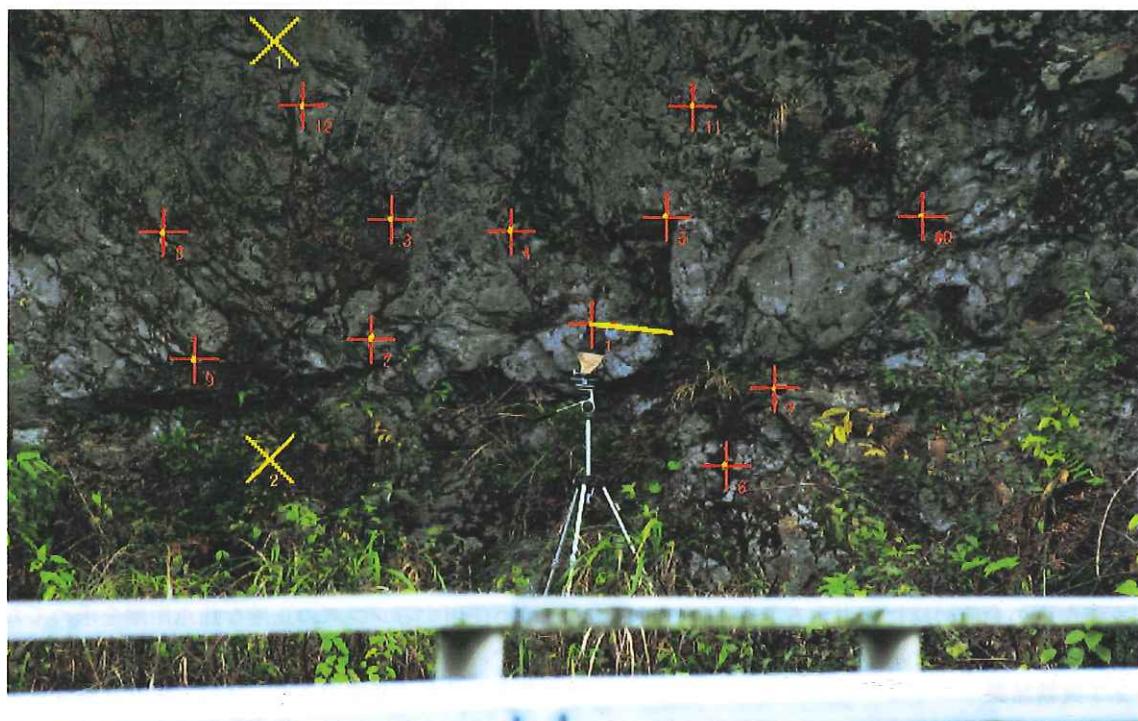
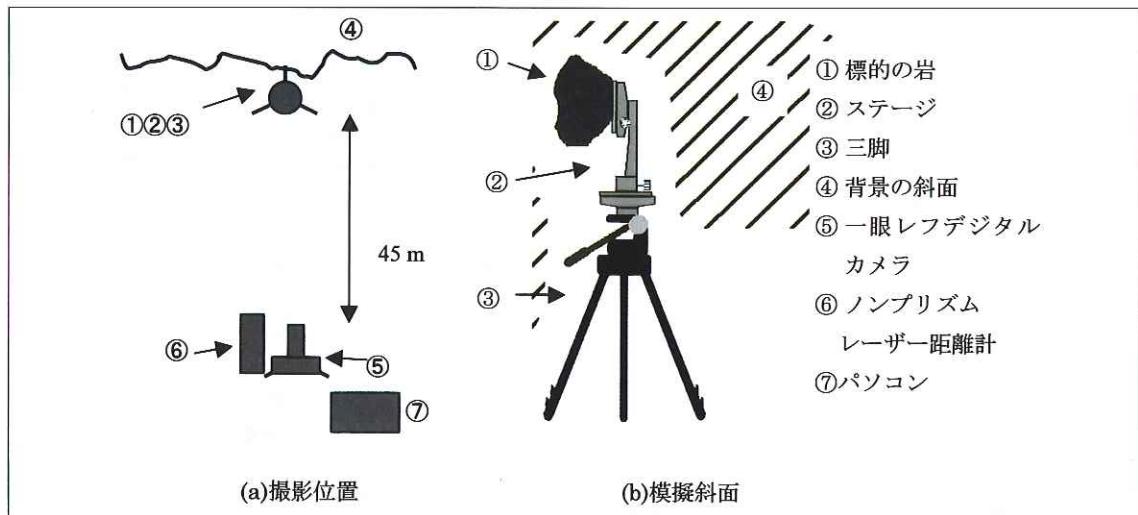
図-4 計算分解能と測定分解能の比

実際の焦点距離と公称焦点距離が異なるためと考えられる。一方、距離の違いによる比のバラツキは少ない。したがって、実際の斜面点検時には、予め使用するレンズの正確な焦点距離を求めておくか、既知長さの対象物を測定してレンズの倍率を求めておく必要がある。また、より正確な移動量を求めるためには、焦点距離の大きいレンズを用いる(部分的に拡大撮影する。)必要がある。

ノンプリズムレーザー距離計を用いて、非接触で画像の倍率を求め、移動量を計算する場合、実斜面は傾斜・変形していることから、複数点の距離を求めておき、倍率を補正する必要がある。

3. 焦点距離の違いによる精度への影響

前述した画像の分解能を求める方法を用いて、実斜面における対象物の模擬移動により、本シス



テムの検証を行った。

3.1 実験方法

実験装置の概要を図-5に示す。実験装置は、一眼レフデジタルカメラ、ノンプリズムレーザー距離計、コンピュータ、実斜面から成り立ち、実斜面は背景である自然斜面とステージ、模擬移動対象である石(約15×20cm)で構成される。

自然斜面の正面に三脚に固定したステージを置

いて、ステージ上に対象物の石を固定し、斜面の変状を模擬するために、ステージを動かして石を右方向に5mmずつ50mmまで動かした。

使用したレンズは、公称焦点距離 $f=105, 200, 300\text{mm}$ の3種類である。カメラを斜面正面の約45m離れた位置の三脚に固定した。カメラの固定位置から斜面までの距離をノンプリズムレーザー距離計で計測し、使用レンズ毎の測定焦点距離に

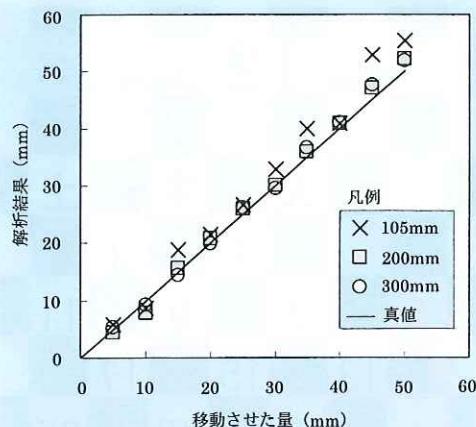


図-7 画像解析結果

より画像の分解能を求めた。

3.2 実験結果

図-6に解析に用いた画像の例を示した。200mmレンズを使用し、石を50mm移動させ、それを黄色の線で5倍に強調したもので、赤色の+印は特徴点であり、黄色の×印は基準点である。

撮影位置から斜面までの距離を測定した結果、44.965mであった。計算により求めた画像分解能は、公称焦点距離105mmの場合に4.81mm/Pixel、同じく200mmの場合に2.61mm/Pixel、300mmの場合に1.74mm/Pixelであった。

図-7は、ステージの移動量に対する焦点距離別の画像解析結果を示したものであり、各焦点距離とも、移動させた量とおおむね同じ値を示している。つぎに図-8では、ステージを移動させた量と画像解析結果との誤差をPixel単位で示した。誤差のばらつきは各焦点距離とも2Pixel程度以下であり、後述する特徴点設定時の人為的誤差量に相当する。したがって測定範囲である画像の幅に対する精度の割合は、画像の幅が2000Pixelであることから、各焦点距離とも0.1%程度以上であることを示している。さらに図-9では、同様に誤差をmm単位で示したが、前述の計算により求めた画像分解能とおおむね同様の値となっていることがわかる。また、レンズの焦点距離が長くなるほど、斜面を拡大して撮影することから、当然のことながら、分解能・精度が向上する。

一方、今回の実験では、移動量が増加すると、解析結果の誤差が+側にシフトする傾向が見られ、

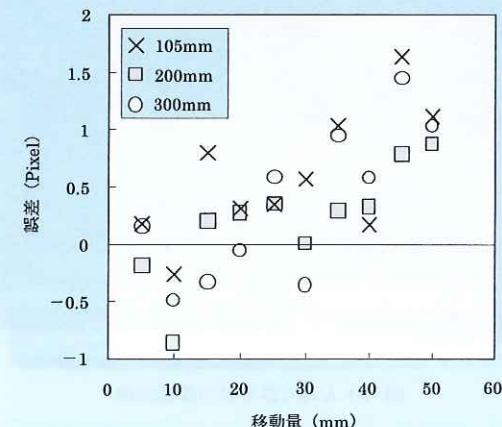


図-8 移動量と誤差 (Pixel 単位)

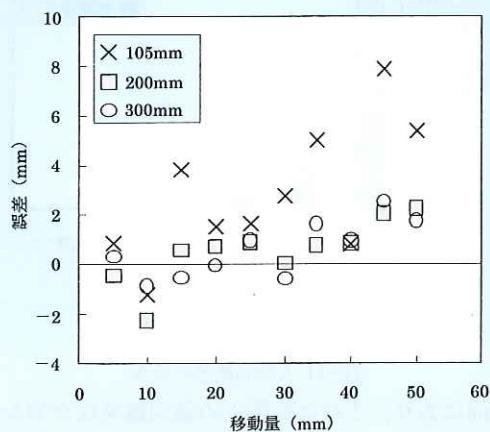


図-9 移動量と誤差 (mm 単位)

この原因の究明は今後の課題である。

4. 特徴点設定時の人為的誤差について

本システムは、画像上の特徴点(岩の角・亀裂、斜面の凹凸・小石、植物の根元など)を人為的に判断して、新画像上に同じ特徴点を設定することから、人為的誤差がどの程度生じるか検討した。

ステージを動かす前に、この斜面を2枚続けて撮影し、1枚目を基準画像として、予め特徴点を12点設定した。図-10に基準画像(人為的誤差量の確認画像)を示す。2枚目を測定画像とし、被験者が基準画像を基にして測定画像上に特徴点を設定し、その差違を解析した。初心者を含む3人の被験者が3回づつを行い、被験者毎に3回分の結果を累積して人為的誤差の分布を求めた。その結果を図-11に示すが、誤差の大きいほど度数が減る

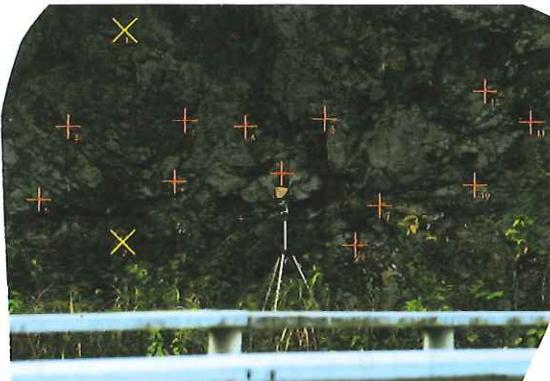


図-10 人為的誤差量の確認画像

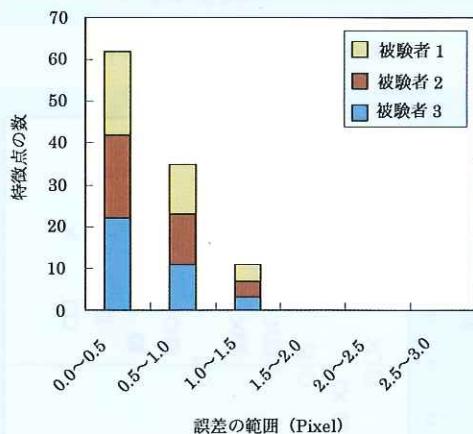


図-11 人為的誤差の分布

傾向にあり、これは特徴点の識別難易度が異なることに依る。また、各被験者によるばらつきは少なく、本実験画像における最大の誤差は 1.5Pixel 程度であった。

5. 画像の保存形式について

撮影した画像を保存する場合、大きく分けて非圧縮形式と圧縮形式の 2 種類の保存形式がある。非圧縮形式の場合には、保存による画像の劣化が無い。圧縮形式には、市販されているデジタルカメラの場合、通常 JPEG 形式が用いられていることが多い。JPEG 形式は、静止画像用の非可逆圧縮形式であり、人間の目には目立たない中間色などを破棄し圧縮するため、圧縮すると元の画像には戻らない³⁾。また、周辺の画像との関係を見ながら変換するため急激な色の変化に弱く、輪郭がにじむ場合が多い。

一般的なデジタルカメラでは、いくつかの圧縮率が設定でき、大幅に圧縮するほど、保存容量は



図-12 カレンダーの元画像



図-13 画像の圧縮による劣化

小さくなり、便利であるが、画質が低下する。

図-12 に、劣化のイメージを分かり易く表現するため、サンプルとして用いたカレンダー画像を示した(既存のデジタル画像)。これを非圧縮(High)形式と JPEG1/4・1/8・1/16 圧縮形式で保存し、サンプル画像の左下の赤線で囲われた部分を約 5 倍に拡大した画像を図-13 に示す。

非圧縮形式と比較して、JPEG1/16 圧縮形式では画像内のノイズが増加し、文字がつぶれている。

斜面の岩の角や凹凸などに特徴点を設定する本システムでは、対象物の輪郭がはっきりしている必要があるため、圧縮は測定精度の低下につながるおそれがある。

そこで、本システムに使用する場合に、画像の圧縮率の差による読み取り誤差の増大について、試験を行い、その結果を図-14に示す。使用した画像は、図-2の画像を非圧縮・JPEG1/4圧縮・JPEG1/8圧縮・JPEG1/16圧縮で保存し、右上付近の文字の画像をそれぞれ等倍に拡大し、非試験者3人により特徴点15点を読み取り、非圧縮画像における誤差の標準偏差 σ_0 に対する、各圧縮画像における誤差の標準偏差 σ_p の割合を示した。

JPEG1/4圧縮画像による誤差は、非圧縮画像のそれと大差はないが、JPEG1/8圧縮画像以上のはそれは大きく増えていることがわかる。

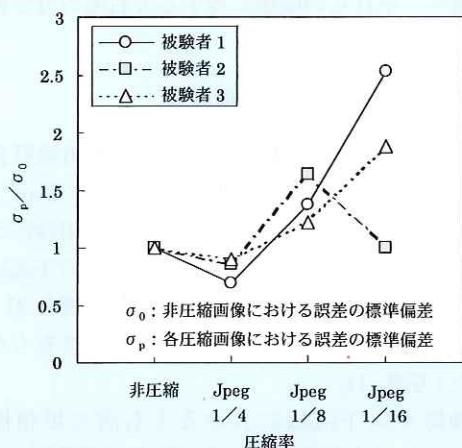


図-14 画像の圧縮による誤差への影響

6. まとめ

画像により斜面の状況の変化を監視する、斜面画像監視システムを用いて、斜面の点検時に必要となる、倍率の設定方法、画像の分解能と精度、人為的誤差及びデジタル画像の保存形式について検討し、自然斜面などを用いてその精度の確認と誤差の補正・改善方法などを検討した。

その結果、レンズの公称焦点距離と実際の焦点距離には差があるが、予め使用するレンズの焦点距離を正確に調べておくか、既知長さの対象物を撮影画像から測定してレンズの倍率を求めておき、レーザー距離計と組み合わせることにより、斜面に対し非接触で正確な倍率や画像の分解能を求める

ことができる。

画像解析における人為的な誤差について、自然斜面を用いその確認を行った結果、人為的誤差は最大1.5 Pixel程度であり、一方、レンズの焦点距離の違いにかかわらず、それが撮影範囲幅の0.1%程度の精度であることを確認できた。また、当然ではあるが、焦点距離の長いレンズを使用することで画像の分解能が増し、必要に応じてより詳細な動きを監視できることが確認できた。

一方、本システムで用いるCCD画像の保存形式は、画像の劣化が少ない、非圧縮形式・JPEG1/4圧縮形式までが望ましく、それ以上の圧縮を行うと画像が劣化し、精度が悪くなる可能性が大きく、場所によっては視覚による判別が困難となることなどが示された。

最後に、本研究に協力して頂いた、坂田電気(株)の須賀原慶久氏に感謝します。

参考文献

- 1) 門間敬一：斜面画像監視システム、土木技術資料 41-2, pp.2-3, 1999.
- 2) 須賀原慶久、中山淳：斜面画像監視システム、最近の地盤計測技術に関するシンポジウム発表論文集, pp.55-58, Dec-1999.
- 3) 谷尻豊寿：パソコンによる最新画像処理入門、技術評論社, 1996.

松井宗広*



(前 建設省土木研究所
砂防部長)
Munehiro MATSUI

門間敬一**



建設省土木研究所砂防部
砂防技術総括研究官
Keiichi MONMA