

◆ 報 文 ◆

デジタルカメラ及びビデオ画像を用いた岩盤変位の簡易な測定方法

千田容嗣* 門間敬一** 浅井健一***

1. はじめに

岩盤斜面の崩壊は発生頻度が低いものの、崩壊が発生した場合には甚大な被害が生じる。平成8年度道路防災総点検の結果では、防災対策が必要と考えられる岩盤斜面や当面日常の監視等により管理していくことが必要な岩盤斜面が千箇所以上確認された。しかし、これらの岩盤斜面は、急峻であることなどから、人間が容易に近づくことができない場合があり、岩盤ブロック間の動きを測定する伸縮計等の計器の設置が困難なため、遠隔地から安全に計測ができる手法が求められている。また、広範囲にわたる岩盤斜面の場合、全ての岩盤ブロックに、伸縮計等の計器を設置して自動計測を行うのは、経済性・施工性の両方の観点から、現実的に不可能である。このような背景から、簡易に扱え、安価である手法として画像による岩盤変位の計測を考えた。

画像による変位計測手法は、カメラやビデオの写真や画像を基に、岩盤の変位を捉えることを目的とするものであり、画像の種類や撮影方法により、表-1のようにまとめられる。

表-1の手法のうち、①、②は従来から多く実施されている手法であるため、ここでは特に触れない。③、④は、定点からデジタルカメラやビデオカメラで撮影した、異なる時期の画像を経時的にならべて、変動範囲を抽出するとともに、岩盤表面上の任意点の2次元あるいは3次元的な変位量を計測する手法である。

これらの手法はデジタル画像を用いることにより、画像の定量化が簡単なこと、画像の劣化がないこと、画像処理が容易なこと、ほぼリアルタイムでの処理が可能であることなどが利点としてあげられる。

ここでは、簡易な画像計測手法である③によって実際の岩盤斜面において、遠隔から安全に、特殊なハード・ソフトに依存することなく、崩壊に至るまでの岩盤の変状を捉えることができたので報告する。

2. 計測を行った岩盤斜面と計測位置

本計測は、和歌山県西牟婁郡すさみ町天鳥橋西地区の岩盤斜面で行われた。計測対象の岩盤の模式図と各カメラの設置位置の関係を図-1に示す。当該斜面の規模は高さ約8m、斜面勾配は90°であり、伸縮計や亀裂計などの計測機器で岩盤斜面の監視が行われている。計測に用いたデジタルカメラは、岩盤斜面から約8mの位置に岩盤ブロックの側方に据え付けられている。ビデオカメラは全体が見渡せるように、岩盤の斜め45°の方向に

表-1 画像を用いた変位計測手法の例

手法	画像種類	撮影方法	計測成果
①写真の肉眼比較	単写真	定点からのカメラ撮影	肉眼による判定結果
②立体写真測量	ステレオ写真	複数地点でのカメラ撮影	各ポイントの3次元変位
③画像間比較	デジタル画像 ビデオ画像	固定定点でのデジタルカメラ撮影もしくはビデオカメラ撮影	変動範囲と方向・各ポイントの2次元変位
④ステレオ画像計測	ステレオデジタル画像	複数地点でのデジタルカメラ撮影	各ポイントの3次元変位

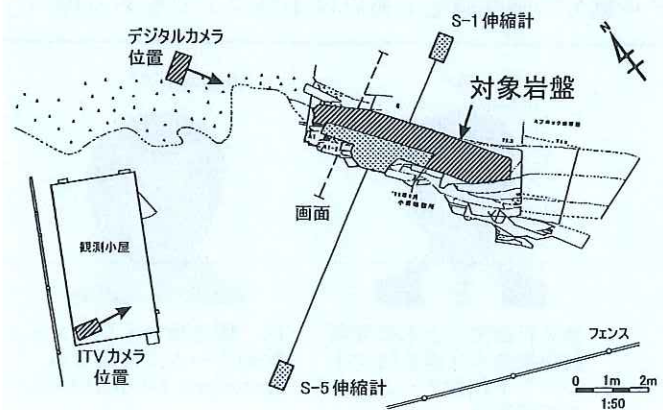
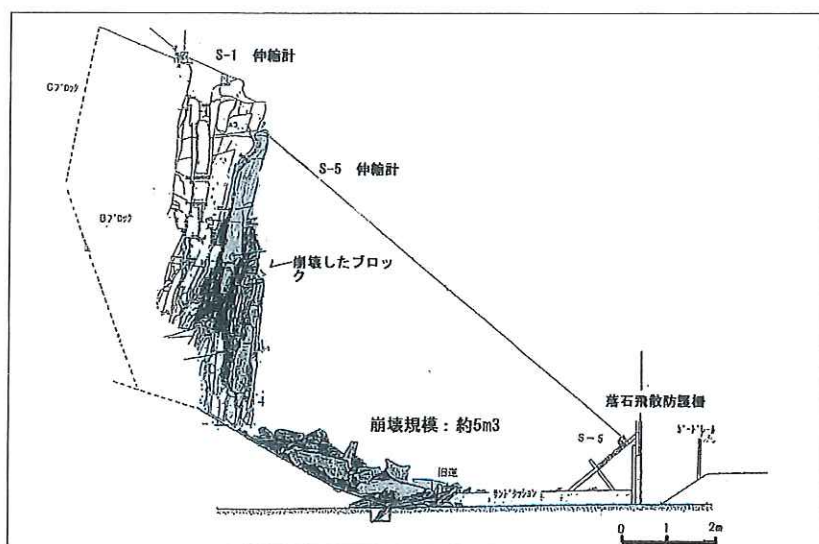
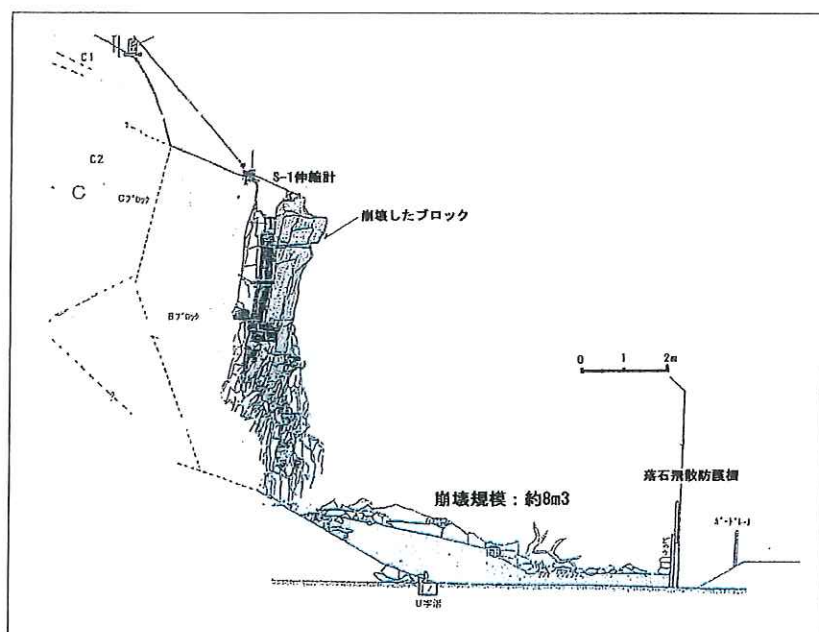


図-1 対象岩盤と位置図

Image Measurement of Rock Slope by Digital Pictures and Video Pictures



(a) 1999年2月27日の崩壊状況 (A2ブロック)



(b) 1999年3月18日の崩壊状況 (A3ブロック)

図-2 対象岩盤の側面図 (崩壊状況)

設置されている。なお、当該岩盤斜面は1999年2月27日及び3月15日にトップリング崩壊を起こしている(図-2)^{1),2)}。

3. 画像計測及び画像処理手法

3.1 デジタルカメラによる画像計測

(1) 計測期間

計測には、表-2に示す解析精度のデジタルカメラを用いて、2週間に1回の頻度で撮影した(写真-1)。なお、今回の解析で使用した画像データは、1998年10月31日から崩壊に至る直前の1999年2月28日(A2ブロックのデータは2月18日)までである。

(2) 画像処理方法

画像処理方法は下記のとおり行った。

- ① デジタルカメラで撮影された画像をパソコンにとりこみ、画面をみながら作業者が岩盤の外形状をトレースして、形状トレース図を作成する。
- ② 変位の有無及び移動方向は、複数時期のトレース図を重ね合せて、その変化から判断する。
- ③ 移動量は周辺に存在する不動岩盤上の任意の標定点と、傾動岩盤上に設定した任意の標定点にある画面上の座標を測定し、その差を求めることで移動量を算出する。

なお、画像解析にあたり、画像の端部でレンズの歪みの影響が考えられるが、今回の場合、対象岩盤まで近距離であること、岩盤変位の簡易な計測手法としての適用可能性の検討を目的としていることから、考慮していない。今回の画像では、画像の画角4.5m×3.5mに対して記録画素数が1,280×1,000ピクセル*であることから、理論上、1ピクセルが約3.5mm(縦4,500mm/1,280、横3,500mm/1,000)に相当する。

画像上から任意の点の移動量は、式(1)によって求めた。

$$\text{移動量 (mm)} = 3.5 \times \text{移動ピクセル数} \quad (1)$$

*ピクセル(Picture Element)とは、表示できる画像の最小単位をいう。

(3) 画像解析結果

A2ブロック、A3ブロックの5時期の岩盤の形状トレース図を重ね合せたものを図-3に示す。異なる時期のトレース画像を比較して、岩盤ブロックの全体的な傾動状況を見ると、岩盤ブロックの上部が下部に比べて相対的に大きな変位を示していることがわかる。このことから、A2ブロック、

表-2 デジタルカメラの諸元と解析精度

デジタルカメラの規格・仕様	F社DS・330 撮影素子：2/3インチ単板 約140万画素
記録画像ファイル形式	TIFF・YC (非圧縮)
階調	RGB各8bit 256階調 1677万色
記録画素数	1280 × 1000ピクセル
レンズ焦点距離	f=25.8mm (35mmカメラ換算105mm相当)
対物距離	約8m
画像の画角	約4.5 × 3.5m
1画素当たり大きさ	約3.5mm

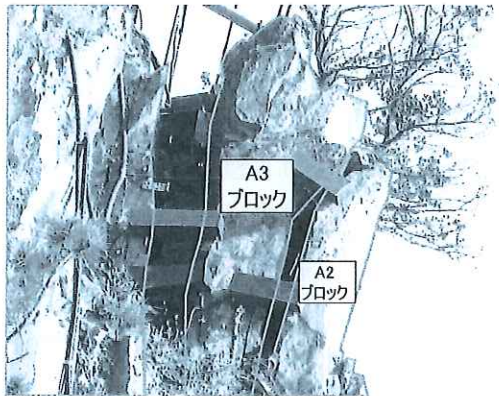


写真-1 デジタルカメラによる岩盤撮影写真

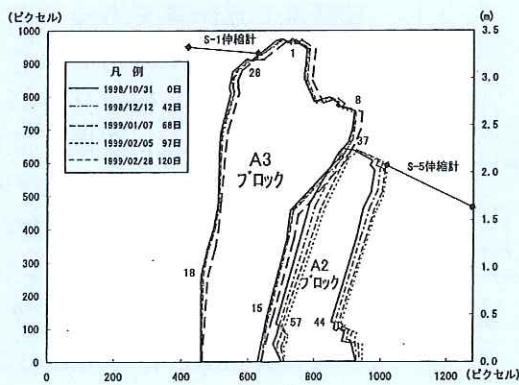


図-3 岩盤形状の変状計測図



(注) 図の番号は、図-3で示した位置を示している。

図-4 時系列変位計測

A3ブロックがトップリング破壊をしていることがわかる。

1998年10月31日を基準として、A2ブロック、A3ブロックの変位を画像計測した結果と、同期間と同じ岩盤ブロックの変位を伸縮計で計測した結果を図-4に示す。1999年1月以降の計測結果から、岩盤ブロックの各点の累積変位が伸縮計による計累積変位と同様の傾向を示していることがわかる。測点毎の移動量をみると、A3ブロックでは、岩盤ブロックの上部の方が下部に比べて相対的に大きな累積値を示している（トップリングの挙動を捉えている）が、A2ブロックでは、岩盤ブロックの下部の方が上部に比べて相対的に大きな累積値を示している時期がみられる。これは、岩盤の移動を2次元の移動方向で測定しているため、撮影面に対して、岩盤斜面が奥行き方向に傾斜すると、今回の画像計測方法では正確に移動量を捉えられないためであると考えられる。

また、1998年10月31日から1999年2月18日までのNo.37と伸縮計S-5の計測結果を比較すると、最大で10mm程度の差が生じている。この差は、光陰等によるピクセル認識の不明（人為的誤差）や岩盤ブロックの移動の向きに対する伸縮計の設置方向とデジタルカメラの設置方向（撮影方向）との違い（傾動方向と奥行き方向の相違）によるものと考えられる³⁾。

3.2 ビデオカメラによる画像計測

(1) 計測期間

今回の解析で使用した画像データは、1998年12月12日から崩壊に至る直前の1999年3月15日までである。

(2) 画像処理方法

ビデオカメラで撮影された画像を毎日定時に、静止画としてパソコンに保存した上で、それを経時的にならべて動画化した。また、複数の時期の静止画を任意に抽出して、各画像（フレーム）毎に岩盤ブロックの端部（標定点）の座標を測定し、デジタルカメラによる手法と同様に岩盤の形状変化図を作成し、この形状変化図から、岩盤ブロックの移動の方向や移動量を算出した。

表-3に示す解析精度のビデオカメラを使用して静止画及び動画化の検討を行った。なお、ビデオカメラで撮影された画面を1日毎

に動画化する方法のイメージは、図-5のとおりである。

(3) 計測結果

ビデオ画像の例及びそれから認知できる経日変化のイメージを図-6に示す。また、上記方法により動画化をイメージした崩壊時の連続写真を写真-2に示す。変位速度が小さい段階では、映像そのものをみてもその変化を認知しにくいですが、ビデオから抽出したフレームを経時的に、アニメーションのように動画化することによって、変位の有無、落石等で変化した箇所や変動している範囲を視覚で認知しやすくなった。

計測精度については、デジタルカメラと同様に時系列画像をピクセルにより定量化した場合、今回の画像では、理論的には、測定点の変位が約20mm以上あればビデオ画像においても計測が可能である。

ただし、天候による見え方(照度)の変化が著し

表-3 ビデオカメラの諸元と解析精度

カメラの規格・仕様	V社 TK-N1100 撮影素子：1/3インチ -2CCD (赤外線黑白用/カラー用)
記録画像ファイル形式	NTSCアナログ映像をビデオキャプチャソフトを用いてデジタル画像化 Windows-BMP形式 (非圧縮)
階調	RGB各8bit 256階調1677万色
記録画素数	640 × 400ピクセル
レンズ焦点距離	f=6.0mm+ワイドアタッチメント装着 (35mmカメラ換算約25mm相当)
対物距離	約11m
画像の画角	約16 × 10m
1画素当たり大きさ	約25mm

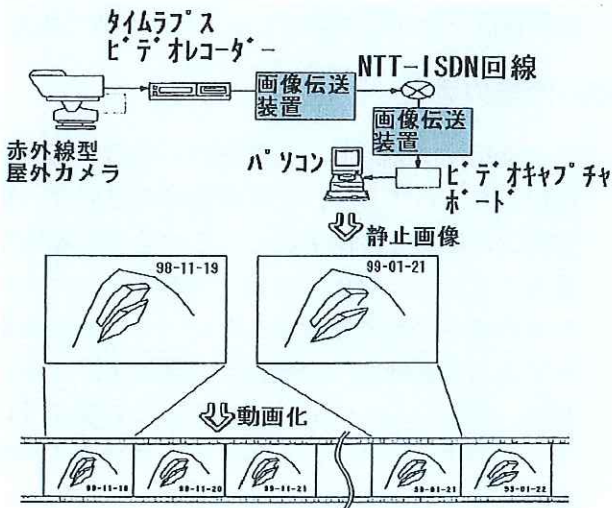
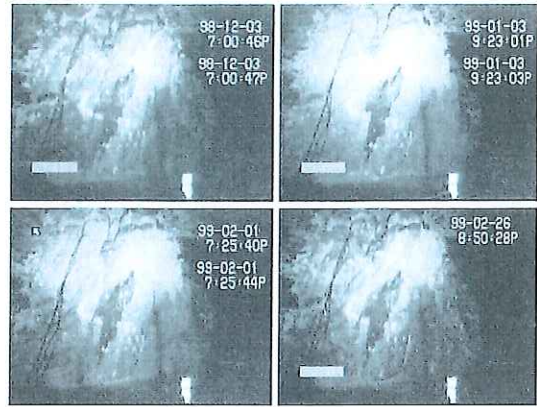


図-5 1日毎に動画化する方法のイメージ



ビデオ画像の例

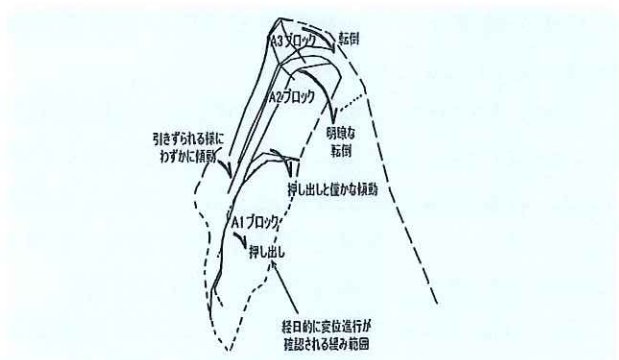


図-6 ビデオ画像から認識できる経日変化イメージ図



注：○は崩壊部分
写真-2 崩壊時の連続写真

表-4 A2、A3ブロックの測定点毎の累積変位とビデオ動画像による判読内容表 (単位: mm)

番号	10/31	12/12	1/7	2/5	2/18	2/28
36	0	57.1	115.4	149.1	187.9	—
1	0	26.0	41.7	48.6	55.2	104.2
44	0	43.6	79.3	102.4	124.1	—
S-5	0	89.6	116.9	149.8	169.5	226.2
1日あたり変位量	0.5~1.6		2.4~9.8			
ビデオ動画像	僅かずつ全体が傾動している状況がわかる		ブロック全体が傾動していることが明瞭にわかる			

(注) 10/31を0とした。

い日中の映像よりも、夜間の定照度による赤外線映像の方が認識しやすい場合がある。

なお、動画化する場合、どの程度の撮影間隔が良いかは岩盤の変位量によるが、誤認を防ぐためには、岩盤の植生状況や太陽光線等があまり変化しないスムーズな動画を得る必要があり、1日1コマ以上を抽出した画像の編集が望まれる。

A2、A3ブロックの代表的な計測点の累積変位とビデオ画像を1日毎に動画化して判読した内容を表-4に示す。1日あたりの変位量が大きくなる方が、岩盤ブロック全体の傾動状況を明瞭に判読できた。

4. 画像計測実施時に留意すべき事柄

デジタルカメラ及びビデオカメラにより岩盤斜面の経時変化の確認、計測を行う場合に、留意すべき事項を整理した。

- (1) カメラは固定点に設置する。
- (2) 移動方向をあらかじめ予想し、移動ベクトルが捉えやすい撮影位置にカメラを設置する。
- (3) 1ピクセルあたりの変位量が常に変化しないように、固定焦点距離のレンズを用いることが望ましい。
- (4) 岩盤全体の挙動を捉えるには、岩盤が変動すると想定される範囲全てを1画像の画角内に収めることが望ましい。
- (5) 撮影画角の中に、カメラからの正確な距離がわかっているスケールを写し込む(岩盤との実距離、方位の関係から、岩盤ブロックの実変位量が求まる)。
- (6) 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、1ピクセルの移動量換算は理論値だけでなく、人的誤差についても実画

像からチェックする。

5. まとめ

今回の検討結果から得られた知見を記述する。

5.1 デジタルカメラ

- (1) 理論値で最小3mm単位の変位計測が可能であるデジタルカメラを用いて簡易な画像処理を行った結果、実用上、1cmオーダーで岩盤の変位が捉えられた。また、多点を同時に計測することが容易であり、変状範囲とその運

動形態を認識できた。但し、端部における歪みの影響を補正していない。

- (2) 今回は、変位速度が1cm/1週間程度の、比較的近距离で撮影できる岩盤ブロックを対象とした事例であるが、デジタルカメラ等の高性能化、低価格化などを考慮すると、亀裂の開口状況等を把握するツールとして非常に有効な手法になると考える。

5.2 ビデオカメラ

- (1) ビデオからある時間間隔で抽出したフレームを経時的に、アニメーションのように動画化して見ることによって、斜面変位の有無、落石等によって変化した箇所や挙動している範囲を視覚で認知できた。
- (2) 取得した画像を動画処理することにより、精度的には劣るビデオ画像であっても、岩盤崩壊発生の数ヶ月前から、岩盤が徐々に転倒していく様子が把握でき、傾動しつつある範囲を特定できた。特に動画化することにより、数ヶ月の変動状況を数秒間で確認することが可能である。

6. 今後の課題

- (1) 今回用いた画像は、近距离から岩盤の変位を撮影したものであり、今回の検討の目的は、岩盤変位の簡易な計測手段としての適用可能性であることから、解析にあたって端部におけるレンズの歪みの影響を考慮しなかった。実用化を考えると遠距離からの撮影が必要であり、その場合、端部においてレンズの歪みの影響を受けることが考えられる。今後、レンズの歪みの影響について検討する必要がある。
- (2) 望遠レンズやより高性能なデジタルカメラ

を利用することにより、同程度の画素密度を確保した場合に、より遠距離からの計測が可能であるかを検討する必要がある。

(3) 崩壊形態や規模の異なる岩盤斜面についても、デジタルカメラやビデオカメラによる計測の有効性を検討する必要がある。

(4) 画像が変化した範囲を、自動もしくは半自動的に抽出し、計測できるシステムを構築していくことが望まれる。

なお、近畿地方整備局紀南工事事務所の協力により今回の計器の設置及び観測を行った。ここに、記して深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 門間敬一、小林豊、小野田敏、落合達也、荒井健一：岩盤斜面崩壊画像と計測結果の紹介，第 38 回地すべり学会研究発表講演集，pp.585-586，1999.
- 2) 門間敬一、高木登、小林豊、小野田敏、落合達也、荒井健一：重心解析による岩盤崩壊予測の検討，平成 12 年度砂防学会研究発表会概要，pp.26-27，2000.
- 3) 松井宗広、門間敬一：斜面画像監視システムの精度とその改善、土木技術資，42-6，pp.26-31，2000.

千田容嗣*



独立行政法人土木研究所技術推進本部主任研究員
Yoji CHIDA

門間敬一



リングネット落石吸収柵工法研究会
(前 国土交通省土木研究所砂防部砂防技術総括研究官)
Keiichi MONMA

浅井健一***



独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ主任研究員
Ken-ichi ASAI