

Ⅱ-3 デジタル写真を利用したのり面挙動監視システムの開発

○ 渡邊 弘行
Hiroyuki Watanabe

蓮池 康志
Yasushi Hasuike

寺田 常夫
Tsuneo Terada

【妙録】のり面崩壊の防止を目的とし、デジタルカメラとパソコンを使用してのり面表面の変動量を把握するシステムを開発した。本システムは、のり面をデジタルカメラにより撮影しその画像データからのり面表面の変動量を算出するものであり、従来の定性的な目視監視や局所的な計測監視に比べて、広域的なのり面監視を定量的かつ効果的に行うことが出来るものである。デジタルカメラによる撮影が可能なのり面であれば監視が可能であり、比較的容易に定量的なのり面監視業務を実施することが出来る。本報文では本システムの概要について述べるとともに、室内基礎試験と屋外試験の結果に関して記述する。

【キーワード】デジタルカメラ、パソコン、デジタル画像データ、のり面挙動監視、立体写真測量、変動量、不動点、土砂地盤、室内基礎試験、屋外試験

1. はじめに

のり面崩壊の防止を目的とし、デジタルカメラとパソコンを使用してのり面表面の変動量を把握するシステムを開発した。本システムは、のり面をデジタルカメラにより撮影しその画像データからのり面表面の変動量を算出するものである。従来の定性的な目視監視や局所的な計測監視に比べて、広域的なのり面監視を定量的かつ効果的に行うことが出来る。デジタルカメラによる撮影が可能なのり面であれば監視が可能であり、比較的容易に定量的なのり面監視業務を実施することが出来る。

2. システムの概要

(1) システムイメージ

本システムのイメージを図-1に示す。デジタルカメラによる撮影は立体写真測量と同様の方法であり、

図に示すようにのり面前面の2箇所からの撮影となる。撮影した画像データは日付データ等とともにパソコンに記録し、評価したい2時点の画像データからのり面表面の変動量を算出する。算出結果としては図-2に示すようなコンター図の他、監視判断の指標となるよう多様な出力形式を準備している。

(2) 基本原理

本システムは、デジタルカメラを使用した立体写真測量の技術を基礎としている。立体写真測量とは2枚以上の写真から被写体の3次元座標を求めるものであり、人が2つの目で3次元空間を認識するのと同様の原理である。本システムでは、2箇所から撮影した2つのデジタル画像を同一画像となるように解析処理することによって3次元座標を算出し、これを基本データとしてのり面表面の変動量を求め

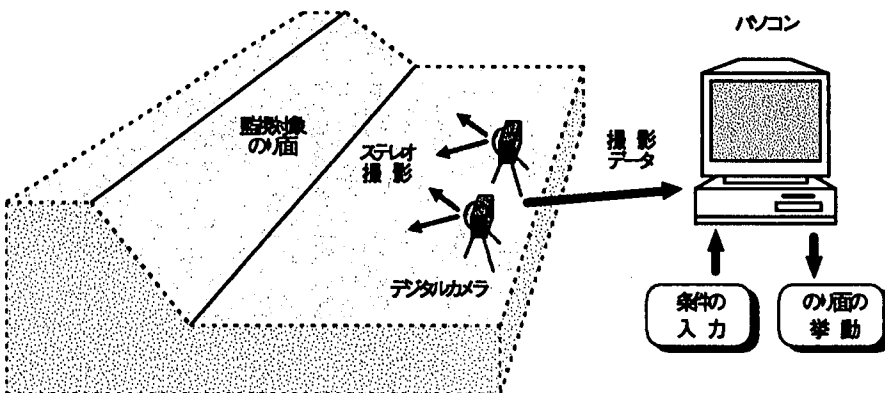


図-1 システムイメージ

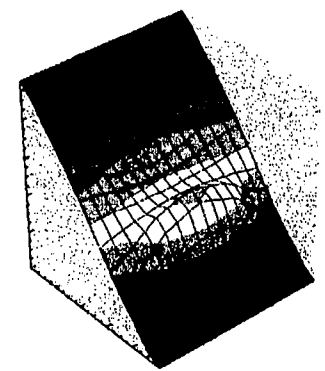


図-2 出力例（コンター図）

ている。

計測計器等による計測と比較した変動量把握のイメージを図-3に示す。計測計器等による計測では、あらかじめ設定した計測点を追いかけて変位を把握する。一方本システムでは、多数に分割した領域の撮影時の表面高さを算定し、その経時的な変化から表面の変動量を把握しようとするものである。このように、面で変動量を評価することによって、デジタル画像に含まれる豊富なデータを効果的に利用することが出来る。

(3) システムの長所

本システムが、点の動きを測る従来の計測や測量等と基本的異なるのは、のり面表面を連続面として評価し変動量を把握する点と、測定媒体をのり面に設置する必要が無いところにある。その為本システムは、計測計器等による方法と比べて表-1に示すような長所を有している。

(4) 適用対象のり面

本システムは、デジタル画像データの経時的な変化からのり面表面の変動量を算出するものである。よって、基本的には土砂地盤からなるのり面で発生するような、土塊の比較的緩慢な崩壊現象が適用対象となり、急に発生する落石や岩盤崩落への適用に

は注意が必要である。また、写真撮影による画像データを基礎にしている為、のり面表面が植生等によって複雑に覆われている場合等には、挙動評価の判断が難しくなる。

(5) 撮影条件

変動量を絶対値として算出するには、何等かの固定条件が必要となる。そこで本システムでは、撮影条件に応じて次のような方法で対処している。

① 撮影箇所にカメラを固定出来る不動点がある場合。

ここにカメラ固定用の撮影台を設けて撮影を行う。撮影位置の固定条件から変動量を求める。

② ①のような場所はないものの、撮影範囲内に不動点を設けられる場合。

不動点に標点を設置しこれが入るように撮影を行う。この標点を基準として変動量を求める。

③ ①のような場所がなく、②のような不動点も設けられない場合。

仮の不動点用標点を設置しこれが入るように撮影を行う。測量等により定期的この標点の動きを確認しつつ、これを基準として変動量求める。

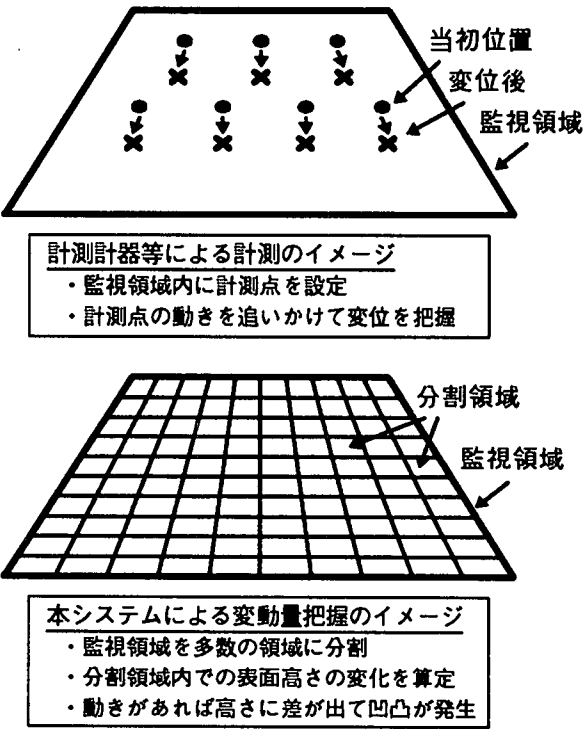


図-3 のり面での変動量把握のイメージ

表-1 本システムの長所

項 目	本システムを用いた のり面監視の場合	設計計測計器等を用いた のり面監視の場合
監視の漏れ	写真撮影による「面」の監視になる為、撮影範囲内での監視漏れはない。	設置箇所での「点」の監視となる為、監視漏れの可能性がある。
監視範囲の 広さと費用	監視範囲を広くした場合、撮影回数は増えるが費用には基本的に影響しない。	監視範囲の広さに比例して計測計器等にかかる費用が増加する。
監視範囲の 設定に関する 自由度	監視範囲の設定や変更等が容易に行える為、自由度の高い監視業務が行える。	当初設定した監視範囲を変更するのは容易でない為、事前の検討が大変重要になる。
監視業務の 安全性	離れた場所からの撮影で良い為、安全に監視業務が行える。	設置やメンテナンス等の為に危険箇所に立ち入る必要がある為、安全に対する十分な配慮が必要となる。
広域的な のり面管理 の方法	広域的な のり面管理を撮影データに基づき定量的に行うことが出来る。	広域的な のり面管理では、目視や踏査等の定性的な管理が主体となる。

3. 室内基礎試験

(1) 試験概要

本システムの基本的な性能を把握する目的で、室内基礎試験を実施した。

試験は、本システムでの1点の計測値と体積算定値に着目し、従来の他の計測システムと比較検討したものである。他の計測システムには、トータルステーションとアナログ写真測量を用いた。撮影対象は、図-4 に示すような台形モデルであり、模型表面には規則的に21個の標点を設けてある。

試験に使用したデジタルカメラの仕様は表-2 に示すとおりであり、600 万画素クラスのカメラである。このカメラに焦点距離の異なる2種類のレンズを使用し、モデルの傾斜角を変えながら写真撮影を行うとともに、他のシステムでの計測を実施した。試験ケースならびに試験概要を表-3 に示す。なお、デジタルカメラは計測用カメラでは無い為、キャリブレーションデータによる補正を行っている。

(2) 1点の計測値

計測結果の評価は、トータルステーションの計測値 (U₀) を基準にして次式により行った。

$$D=\sqrt{[\sum(U_0-U)^2]/n}$$

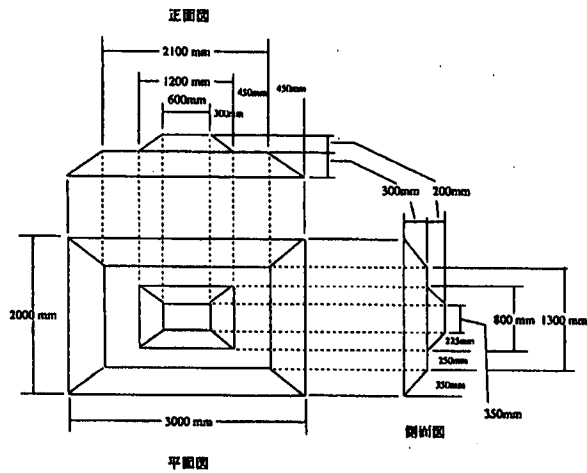


図-4 室内試験用模型の形状

表-2 デジタルカメラの仕様

項目		内容
型 式		Kodak DCS460
カメラ機構部		Nikon N90(一眼レフ)
C C D	サイズ	27.6mm×18.4mm
	有効解像度	3060×2036
感 度	COLOR	80(ISO感度相当)
	B/W	160(ISO感度相当)

試験結果をまとめると次のようになる。

- ①焦点距離 35mm では、撮影形態の相違による大きな差は見られない。誤差はX座標の平均値で3.3~3.8mm程度である。
- ②焦点距離 135mm では35mm よりも誤差が小さく、X座標の場合で3.0mm となった。
- ③モデル傾斜角に関しては、モデルの直上方向から撮影した方が、誤差が小さい傾向が見られた。焦点距離 35mm の90 度の場合、X座標の平均値で2.8mm となった。
- ④写真測量の誤差はデジタルカメラの場合とほぼ同等で、X座標の平均値で3.8mm である。

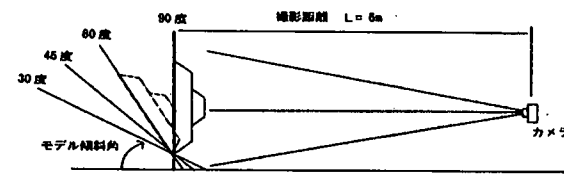
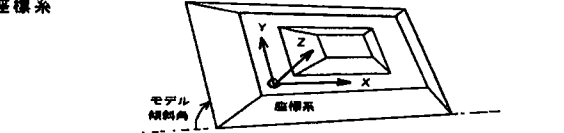
(3) 体積算定値

体積は、モデル寸法から算定した真値に対する誤差で評価した。その結果、デジタルカメラの場合の誤差は平均で約0.7%であり、トータルステーションの約0.5%と比べてほとんど差が無かった。写真測量の場合は約0.4%であった。

(4) まとめ

1点の計測値ではトータルステーションとの差が認められたが、体積での差は小さなものであった。これは、個々のシステムの座標系設定に関するものと考えられる。体積誤差が小さいことからすれば、本システムをのり面全体の変形挙動把握に利用する基礎精度は確保されていると考えられる。

表-3 試験ケースならびに試験概要

計測システム	焦点距離	基線比	撮影形態	共通事項
デジタルカメラ	35mm	0.1	平行	○撮影距離 L=5m ○モデル傾斜角 ①30度 ②45度 ③60度 ④90度
		0.2	収斂(θ≒6度)	
		0.3	収斂(θ≒9度)	
	105mm	0.23	収斂(θ≒7度)	
写真測量用カメラ	38mm	0.1	平行	
トータルステーション	—	—	—	
①基線比=基線長(ステレオカメラの間隔)/撮影距離(L=5m) ②収斂:カメラが模型方向に内側を向く状態でθはその角度 ③撮影概要  ④座標系 				

4. 屋外試験

(1) 試験概要

デジタル写真から変位を算出する為の解析モデルは、撮影するのり面規模や撮影条件により、大きさやデータ密度が様々である。そこで、システムの基本的な実用性を評価する目的で、模擬のり面を用いた屋外試験を実施した。デジタルカメラは、室内基礎試験と同様であり焦点距離は 35mm である。

模擬のり面の形状は図-5 に示すとおりであり、のり先から 3.5m の位置から撮影した。こののり面の外形を、図-6 に示すような崩壊の兆候を想定した変形状態に整形し、これを撮影して変形状態を算出した。また、トータルステーションによる多点測量も合わせて実施し、本システムによる算出結果と比較した。

(2) 試験結果

全層崩壊を想定したケース（ケース②）での、のり面正面からの写真を図-7 に示す。図中の白線の枠内が解析範囲である。このケース②における本システムとトータルステーションによる算出結果を、変位コンターとして表したものを図-8,9 に示す。コンター図の全体的な傾向としては、両者に大きな差は生じていないが、凸部分の形状に若干の差が見られた。これは、コンターを作成する為のデータ数の違いによるものと考えられる。いずれのコンター図も視覚的に有用な図であるが、本システムで作成した方がより効率的である。

5. おわりに

室内基礎試験並びに屋外試験により、本システムの基本的な実用性までは確認することが出来た。実際ののり面においては、のり面形状が多様である上、撮影条件にも数々の制約がある。よって、今後は実用化に向けて、実際ののり面での実証試験を積み重ねてシステムの整備を進める予定である。

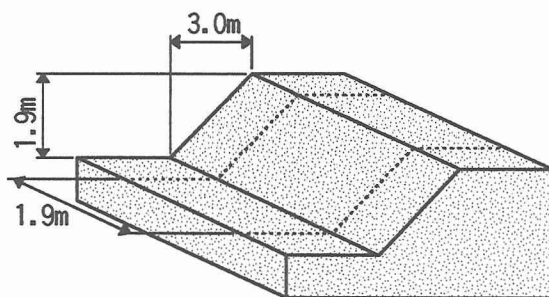


図-5 のり面形状と撮影領域

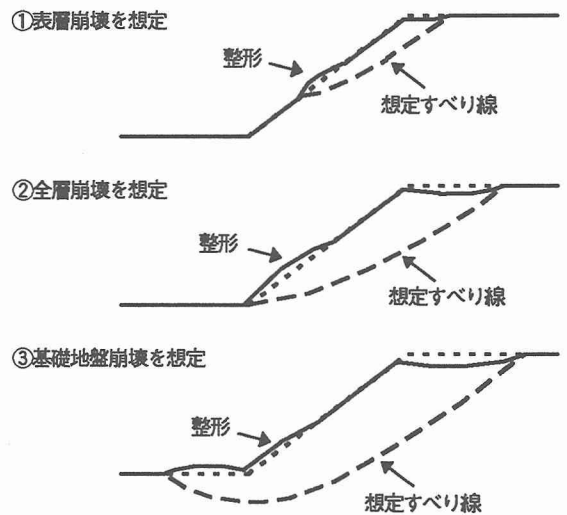


図-6 設定した変形状態

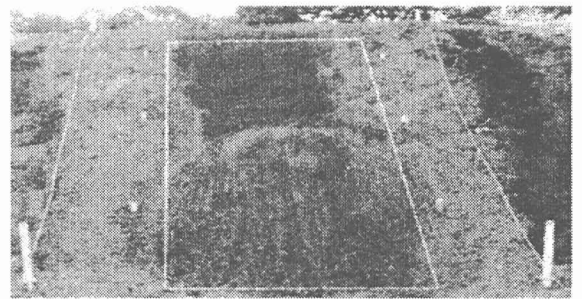


図-7 のり面正面からの写真 (ケース②)

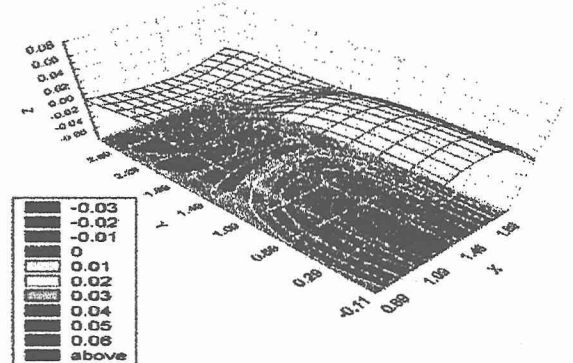


図-8 算出結果 (本システム)

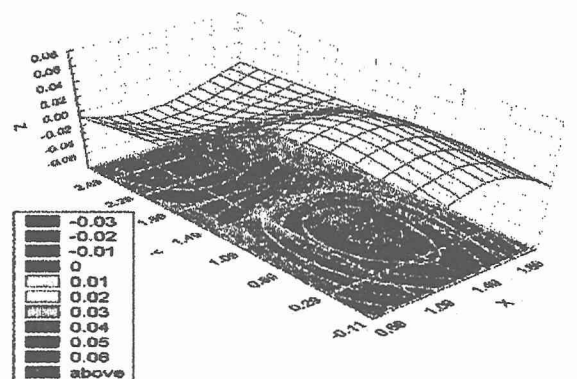


図-9 算出結果 (トータルステーション)