

共通事業本部 地質部 河又 久雄¹⁾
安藤 勸²⁾



1)



2)

1. はじめに

近年のデジタルカメラの高解像度化やパーソナルコンピュータの高性能化により、これらを利用したデジタル写真測量技術の各種計測への適用が活発に試みられている。デジタル写真測量の特長の一つに、面的な広がりのある計測対象を瞬時に計測(撮影)できる点がある。また、撮影画像を直接パソコンに入力、処理することで計測の自動化、簡易化を図ることも可能である。このような背景から地質部では、複数の撮影画像から立体物の形状や三次元位置の計測を行える「三次元写真計測システム」(ソフト名; Kuraves(クラヴェス))を導入した。

この「三次元写真計測システム」は、市販のデジタルカメラで撮影した2枚以上の画像データを基に、様々な自然対象物や構造物を三次元データ化できるソフトウェアで、計測結果を三次元データとして対象物の長さや面積、体積、断面図など様々な目的用途に活用できる。

本報告では、三次元写真計測システム Kuraves(クラヴェス)の特長¹⁾、基本的な操作の流れ、実際の現場計測例、今後の利用方法について述べる。

2. 三次元写真計測について

「三次元写真計測」とは、立体物の形状や三次元位置の計測を「画像」から行うことで、その手法には様々なものがあり、大きく分類すると「受動型計測」と「能動型計測」の2つに分かれる。対象となる物体に対して、計測の補助となる特定の光や電波等を照射することなく行う計測を受動型計測といい、それに対して、三次元計測をするために光、電波、音波等を対象の物体に照射し、その情報を利用して計測を行うものを能動型計測という。

三次元写真計測システムは、受動型計測のうち、カメラ等を左右に2台並べて、三角測量の原理で計測を行う「ステレオ法」を応用したものである。計測原理イメージを図-1に示す。

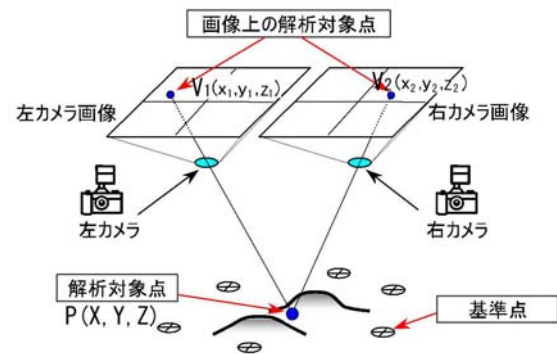


図-1 ステレオ写真測量計測イメージ²⁾に加筆

位置・姿勢が既知の2台のカメラ(または1台のカメラを移動)で計測対象を撮影し、解析対象点が各画像に写る画像座標およびカメラの位置・姿勢からその点の三次元座標を算出することができる仕組みとなっている。

視点 V_1 および V_2 から解析対象点 P を観測したときの点 P の座標 (X, Y, Z) は以下の式によって計算される。

$$\begin{pmatrix} L_1 \\ L_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\csc(\omega_1 - \omega_2) ((X_1 - X_2) \cos \omega_2 + (-Y_1 + Y_2) \sin \omega_2) \\ -\csc(\omega_1 - \omega_2) ((X_1 - X_2) \cos \omega_1 + (-Y_1 + Y_2) \sin \omega_1) \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1 + L_1 \sin \omega_1 \\ Y_1 + L_1 \cos \omega_1 \\ Z_1 + L_1 \tan \phi_1 \end{pmatrix} \quad \text{or} \quad \begin{pmatrix} X_2 + L_2 \sin \omega_2 \\ Y_2 + L_2 \cos \omega_2 \\ Z_2 + L_2 \tan \phi_2 \end{pmatrix}$$

3. Kuraves(クラヴェス)の特長

導入した Kuraves(クラヴェス)の特長として、市販のデジタルカメラ画像を取り込み、自動的に対応点を処理できることが挙げられる。これにより、専門知識がなくても容易に計測が可能であり、数時間の簡単な作業で処理が行える。また、災害個所や急傾斜地などの危険な場所の計測を行う場合にも、現地に立ち入ることなく遠方からの撮影のみで計測できるため、安全に現地状況を把握することができる。

以下にクラヴェスの主な機能¹⁾を示す。

①カメラレンズ歪み補正機能

市販デジタルカメラの個々に持っているレンズ歪みを補正する機能(200万画素以上であれば市販のどの機種でも計測可能)。

②自動対応点処理

必要なライン上や格子状に切った面を自動対応付けできる機能。パターンパッチング手法を用いて自動的に対応点が生成され、数千点の三次元計測が瞬時に行える。

③測量点登録機能

公共座標系に変換したり、変位計測の目的で定点を固定したりできる機能。

④求積・測距計算機能

自動的に三角網を生成する機能やマウス操作によるポイントタッチにより、その場で面積や測長が計算され、リスト出力できる機能。

⑤オルソ画像三次元表示機能

求積機能で三角網を生成した対象物は、三次元表示機能で回転、縮小、視点等を変更しながら自由に観察・出力できる機能。対象物の形状確認(プレゼン)や対応点入力の間違い検出、GIS等へのオルソ画像出力、等高線等(DXF)の外部データをインポートし、写真との同時表示・出力も可能である。

⑥等高線・縦横断作図機能

等高線の高さや出力範囲設定をすれば、その場でコンタ図を作成できる機能。そこに線を入れれば縦横断図を表示・出力できる。

⑦体積計算機能

土砂量や、穴の容積など切り取る場所を指定すれば体積計算できる機能。計画図や前況を入力すれば、現況と比較し、現地地の切盛シミュレーションが可能である。

⑧複数画像接続機能

クラヴェスで作成されたデータ間を関連付け、複数の写真を接合することができる機能。

4. 計測手順

クラヴェスによる計測の流れを以下に示す。クラヴェスでは画像上で選択(自動または任意)した対応点について三次元座標を与え、それぞれの位置関係を自動で計算する。その結果より立体画像を得ることができ、平面図、縦横断図、等高線図等の図面が作成できる。

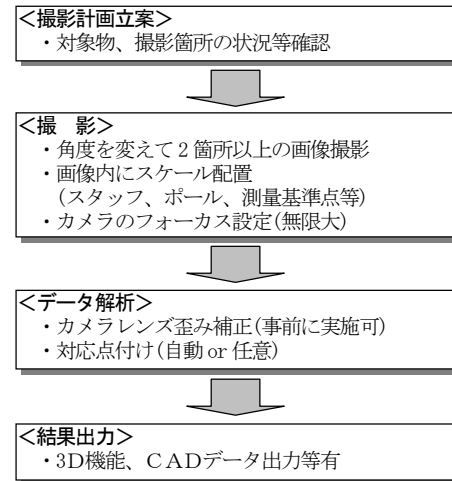


図-2 クラヴェス計測の流れ

5. 測量精度

測量精度は写真画像や撮影状況、対応点の処理等により異なるが、開発メーカーの性能試験では、室内で0.02~0.03%の平均誤差を示している(表-1)。屋外での精度評価としては、道路のり面においてトータルステーションとの比較で、面積誤差0.43%、長さ誤差平均0.013mの結果が得られている。

現状では、測量成果としては認められないものの、現況を把握する測量精度としては十分な性能があるものと考えられる。更に今後、三次元写真計測の実績や実証実験は増えていくものと考えられ、実用的な測量手法の一つに成り得るものと思われる。

表-1 性能試験結果表¹⁾

条件項目	内容
対象スケール	4.8m(X) × 2.9m(Y) × 2.2m(Z)
測定点数	135点(写真) マーカー付
測定機種	Nikon CoolPix700 ^{※2)} (200万画素)
測定比較機種	ライカ トータルステーションTCR303 ^{※3)}
撮影距離	約3m(3枚)
評価項目	内容
X軸・平均誤差	0.02%(4.8mに対して0.8mm)
Y軸・平均誤差	0.03%(2.9mに対して0.8mm)
Z軸・平均誤差	0.02%(2.2mに対して0.5mm)

※1 社内試験結果です。

※2 CoolPix700は株ニコンの登録商標です。

※3 TCR303はライカ社の登録商標です。

6. 現場計測事例

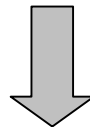
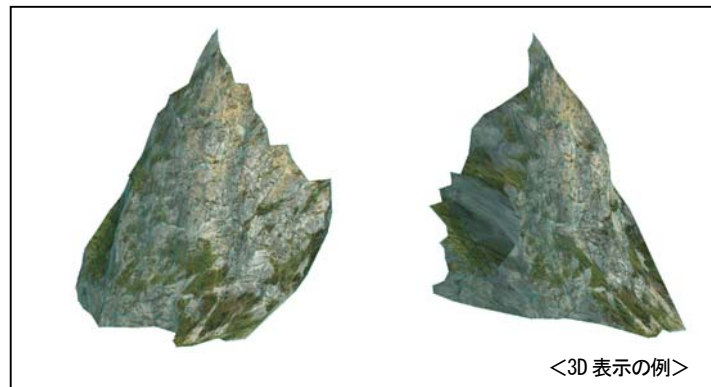
クラヴェスを用いた現場計測の実例を以下に示す。

①急崖斜面の計測例

- 目的：任意点の変位観測、岩切箇所 の体積把握、対象岩体の寸法計測
- 撮影日：2005年9月30日(金)
- 携帯設備：KONIKA MINORTA DiMAGE Z5
- 撮影環境：全景を見渡せる海蝕台があり撮影を行うことができた。解析に必要なスケールは波返しブロックを用いた。
- 撮影作業：一枚撮影後、右手方向に5m移動。
- 解析作業：複雑な地形を表現するため、対応点は任意に行った。作業時間は1時間30分程度である。
- 結果：解析された三次元データにより、不安定岩体の寸法計測、岩切の体積把握には十分利用可能と考えられる。

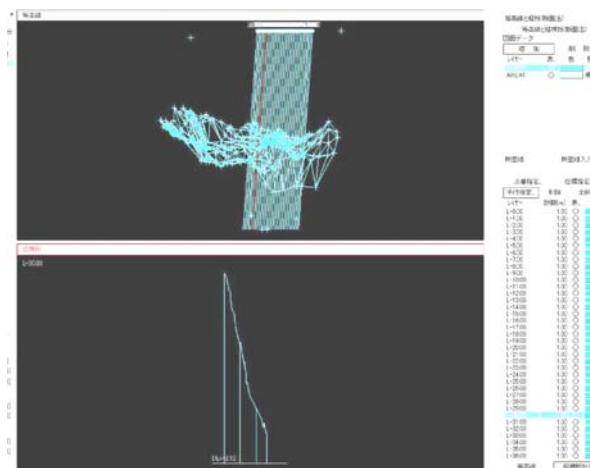


デジタルカメラで撮影した2枚の画像内に対応点をプロットし、モデルを構築する。



構築したモデルに標高データや座標など基準となるデータを入力すると、コンタ図や任意方向の断面図を容易に作製することができる。

<任意方向の断面図の例>
(CADデータ出力可能)



②道路のり面の変状計測例

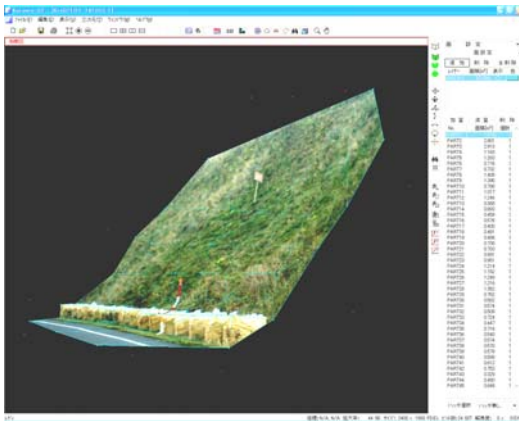
- 目的：変状箇所の形状計測
- 撮影日：2005年8月12日(金)
- 携帯設備：FUJIFILM DS-270HD
- 撮影環境：解析に必要なスケールは道路視線誘導標を用いた。
- 撮影作業：道路起終点の2方向から各2枚撮影。
- 解析作業：地形変換点が不明瞭(のり面は草で覆われている)であるため、対応点は任意で行った。作業時間は4時間程度である。

- 結果：対応点が不明瞭であり、解析に時間が掛ったが、解析された三次元データにより、変状箇所の土量を概算することは容易にできた。現地の写真や対応点の目印となる基準点を増やして解析に反映させれば、更に精度を上げられる。

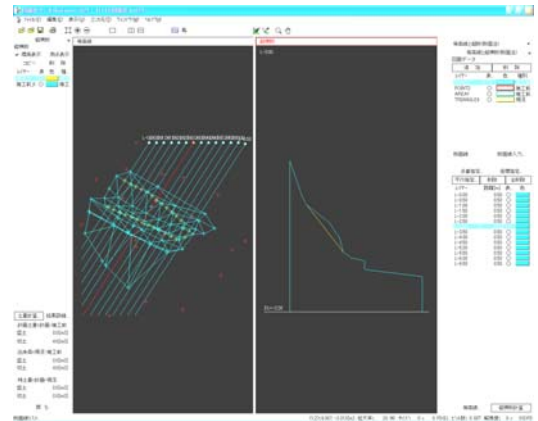
<計測写真>



<3D表示>



<任意方向の断面作成図>

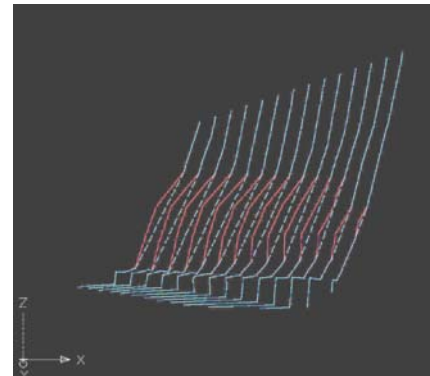


今回は断面図から変状箇所の底面を推定し、「平均断面法」により変状部の土量計算を行った。

<土量計算結果>

断面名1	断面名2	計画盛土[m3]	計画切土[m3]	出来高盛土[m3]	出来高切土[m3]	残盛土[m3]	残切土[m3]
L-0.00	L-0.50	0.0	0.4	0.0	0.4	0.0	0.0
L-0.50	L-1.00	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0	0.0
L-1.00	L-1.50	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0	0.0
L-1.50	L-2.00	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0	0.0
L-2.00	L-2.50	0.0	0.5	0.0	0.5	0.0	0.0
L-2.50	L-3.00	0.0	0.4	0.0	0.4	0.0	0.0
L-3.00	L-3.50	0.0	0.4	0.0	0.4	0.0	0.0
L-3.50	L-4.00	0.0	0.4	0.0	0.4	0.0	0.0
L-4.00	L-4.50	0.0	0.4	0.0	0.4	0.0	0.0
L-4.50	L-5.00	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0
L-5.00	L-5.50	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0
L-5.50	L-6.00	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0
L-6.00	L-6.50	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0
合計		0.0	4.6	0.0	4.6	0.0	0.0

<CADに出力した3D断面図>



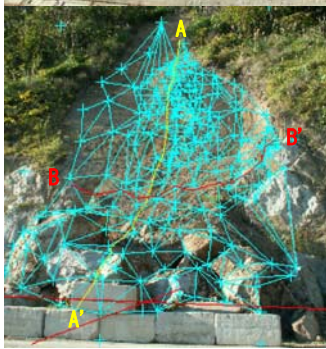
③崩壊斜面の計測例

- 目的：崩壊地の地形把握
- 撮影日：2005年9月5日(月)
- 携帯設備：KONIKA MINORTA DiMAGE Z5
- 撮影環境：斜面全体を見渡せる正面方向から撮影した。解析に必要なスケールはコンクリートブロックをテープ計測した。
- 撮影作業：視差角を与えて2枚撮影した。
- 解析作業：対応点付けは任意で行った。岩盤斜面であるため、形状把握は比較的容易であった。作業時間は2時間程度である。
- 結果：対応点が比較的明瞭に把握できたため、イメージ的には十分な立体画像が再現できた。直接の計測が難しい箇所でも断面図作製および崩壊土量の推定算出が可能である。

<計測写真>



<三角網図>



<作製断面図>



7. 今後の利用方法

現在地質部では、計測精度評価を実施し、斜面崩壊や落石の土石量算出や変位量観測に使用していく予定である。

また、災害発生時の復旧対策や二次災害対策など、早急に成果を求められる場合に、クラヴェスは活用できるものと考えられ、特に、緊急時の土砂崩壊量の推定や、測量不可能な急崖箇所・崩壊斜面等の危険箇所での図化作業では、クラヴェスを用いることで十分実用に耐えられる精度の図面が作成可能である。また、実測が難しい文化遺産などの計測にも有効であると考えられる。

クラヴェスでは撮影した写真を用いて立体画像を短時間で作成できるため、使用法によっては絶大なプレゼンテーション効果があるものと考えられる。また、それらの成果を用いることで、計画段階のイメージパースや概略数量の算定を行うことができるものとする。

誰でも簡単に撮影でき、短時間の簡単な作業で処理が行えるため、インシヤルコストも少なく済む。今後様々な業務において活用し、新たな利用方法も検討していきたい。

表-2 クラヴェスの利用方法

業務	対象物	利用方法
測量関係	斜面崩壊地、河川、道路	等高線図、縦横断面図作成
	土地、道路、建物、遺跡	平面・立面の図化
設計関係	現況・計画路線	切盛土量計算、出来高計算
	採石場、雪捨場、ゴミ捨場	体積計算
観測関係	斜面、のり面、地すべり地	定点・変位観測
	トンネル、コンクリート構造物	クラック・剥離計測
	動植物	動植物形状図化

<参考文献>

- 1) クラボウ エレクトロニクス事業部；Kuraves 製品カタログ
- 2) 黒沼出, 三浦悟, 今井道男；ダンプ積載土量計測システム, 鹿島技術研究所年報, 第51号, (2003), pp. 73-78