

Ⅱ-3 デジタルカメラとパソコンを用いた3次元写真解析システムの開発

三井建設(株) ○掛橋 孝夫、佐田 達典

【抄録】急速に高性能化・大容量化が進んだパソコンとメガピクセル化・低下価格化が著しいデジタルカメラを利用したデジタル画像解析による3次元形状計測システムを開発した。本システムは面的でリニアに変化する地形形状を計測する自動マッチング処理および変化点を計測する点計測機能を有しており複雑な構造物の外形を計測することも可能である。また、パソコンとデジタルカメラをベースとしたシステムを開発することで、特別な機器が不要となり低価格なシステムを実現している。造成現場等の現況地形計測だけでなく構造物の3次元データ化、CAD、CGデータの作成、遺跡調査など多くの場面で利用が考えられる。

【キーワード】3次元形状計測システム、デジタルスチルカメラ、ステレオ写真、写真解析、CAD、災害調査、自動マッチング、自動計測

1. はじめに

筆者らは約5年前にデジタルカメラとEWSによるステレオ画像の3次元形状計測システムを開発し、今日まで様々な土木や建築の現場、遺跡調査、地滑り地形の計測等、多方面で運用している。しかしながら、宅地やゴルフ場の造成工事の土量管理を目的として開発したために、計測対象によっては効率的に測れないといった制限もあり基本設計の見直しが必要となってきた。また、近年のパーソナルコンピュータやデジタルカメラの急速な技術革新により、EWSによる解析が必要でない場面も多く、システム管理の簡便性、システム導入のコスト面からハードウェア構成についても検討の余地が生じてきた。

2. 開発の目的

面的でリニアに変化する地形形状計測に非常に有効であるという現行のシステムの特徴を継承しながら、建物のような輪郭が明瞭な対象物の計測も可能にするデジタル画像による3次元形状計測システムを開発するとともに、急速に高性能化・大容量化が進んだパソコンとメガピクセル化・低下価格化が著しいデジタルカメラでシステムを構成し導入コストを低く抑えることを目的とした。また、写真測量を意識することなく

誰でも簡単な操作性を実現することを念頭におき、順を追って作業を進めることで誰でも間違うことなく対象物の3次元形状を計測できる容易性と作業が直感的に行えるよう簡便性を達成するため、画像データと作業工程の綿密な管理、処理のアイコン化とヘルプ機能の充実を開発指針とし仕様を作成した。

3. システム構成

本システムのハードウェアは、画像データを取得する100万画像以上のCCDを搭載したデジタルカメラ、パソコンに画像データを高速に取り込むためのPCカードドライブ、画像データを3次元解析するパソコン、画像データおよび計測結果を出力するカラープリンタ、大量の画像データを保存管理するMOドライブから構成されている。各ハードウェアの主な仕様は表-1の通りである。

ソフトウェアは①撮影された画像データを管理する画像管理アプリケーション、②撮影カメラの諸条件を設定する標定要素解析アプリケーション、③3次元計測を行う3次元解析アプリケーション、④解析結果を各種フォーマットに変換して出力する計測データ出力アプリケーションで構成されている。①の画像管理アプリケーションでは撮影された複数枚の画像に撮影条件を付加して管理するだけでなく効率的に解析するための

画像の組み合わせを検索することも可能で、写真測量に精通してなくても解析に使用する画像を簡単に取捨選択できる。これにより撮影条件を気

表-1 システム仕様

デジタルカメラ	2/3 インチ型 130 万画素 CCD (有効画素 1280×1000)
パソコン	CPU:Pentium II 333MHz, メモリ:128MB, ディスプレイ:1024×768High Color, HDD:4GB
カラープリンタ	解像度: 1440dpi×720dpi
MO ドライブ	ディスク容量:640MB

にすることなく対象物の画像を数多く撮影することで撮影の失敗を未然に防ぐことが可能である。②の標定要素解析アプリケーションは相互標定、対地標定を行う。③の3次元解析アプリケーションは画像上に任意の間隔の格子点を配置して、その点をマッチング処理により自動的に計測する機能と、対象物の変化点を手動で指定して計測する機能を有している。手動の場合でもシステムが自動的にマッチングポイントを推測することも可能であり、2枚の画像それぞれについてマッチングポイントを指定することはない。これら2つの機能を使い分けることであらゆる対象物の計測が可能となった。④の計測データ出力アプリケーションは応用分野を広げることを目的に、計測データを各種フォーマットに変換するもので、DXF、SIMA等の出力が可能である。

4. 画像データを用いた計測手法

ステレオ画像データから3次元データを得るための基本原理は、従来の航空写真測量のものとほぼ同じであり、①標定、②ステレオマッチング、③3次元情報の算出の順で行う。

標定は画像データが撮影された時の計測対象面における座標系のカメラ位置と3軸まわりの傾きを求める処理であり、本システムでは x 、 y 、 z の値が既知な基準点を6点以上使用して求めている。カメラの位置と傾きは3次元計測を行う場合の基本となるため、できるだけ正確に求める必要がある。そこで、100万画素程度のデジタルカメラで撮影して得られる画像データは、通常のスチールカメラと比較するとまだまだ画質が粗いので1/8画素単位で基準点を指定することとした。

ステレオマッチングは、ステレオ画像データの方の基準となる画像上のある点に撮像されている対象物と同じ対象物が撮像されている点をもう一方の画像上から探索し、その画像上の座標値を求める処理であり図-1に示す原理で処理している。手動計測の場合はパソコンのディスプレイ上に表示されたステレオ画像を見ながらオペレータが指定することでマッチングを行い、自動計測の場合は、面積相関法を基本としたマッチング手法として高さを推定しながらマッチングを行う方法を採用した。処理は①ステレオ画像の一方の画像を基準画像としてマッチングポイントを設定する。他方の画像は対応画像とする。②マッチングポイント

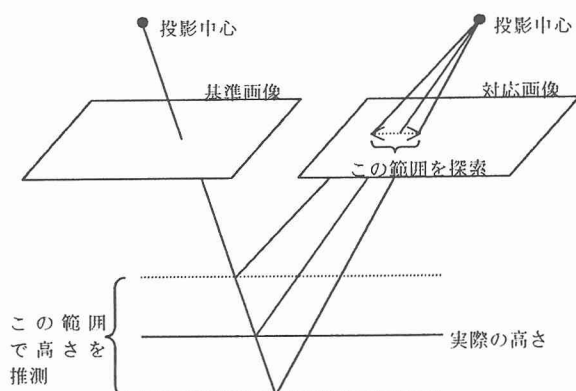


図-1 マッチングの原理

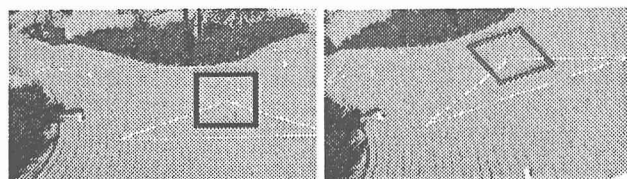


図-2 投影歪みを考慮した相関窓の設定

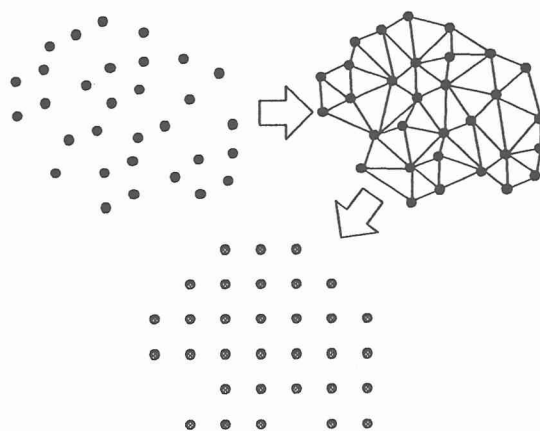


図-3 正方化したDTMの作成

を中心に相関窓を設定する。③仮の高さを設定して、仮の高さとマッチングポイントの画像座標から対応画像上のマッチングポイントの画像座標を算出する。④算出した座標を中心に相関窓を設定し、基準画像上の相関窓と相関係数を算出する。⑤③～④の処理を一定範囲の高さで行い、一番相関の高かった対応画像上の点を真のマッチングポイントとする。以上の手順で行われる。なお、本システムで取り扱う画像は通常の航空写真のように鉛直写真になっていないことが多く、投影歪が多く含まれる。従って面積相関法に通常使用される矩形の相関窓では投影歪により正確な相関がとれないことが多いことから、本システムでは図-2のように投影歪に応じて相関窓を変化させることで対処

することとした。

3次元情報の算出は、撮影時のカメラ位置と傾きおよびステレオ画像上のマッ

チングポイントの画像座標から算出する。マッチングポイントは基準画像上に格子状の配列となっているが3次元算出した点群は不規則な配列となっており、オルソ画像作成等の処理の際には正方メッシュが必要となる。そこで本システムでは図-3のように不規則な点群データを三角平面で面を貼ってデータを連結した後メッシュ間隔を設定して正方化したDTMを作成している。

5. 計測手順

計測は以下の手順で行う。①計測対象にx y z座標値が既知な点を設置し、位置を変えながらデジタルカメラで複数枚画像を撮影する。撮影は多めに行う。②撮影した複数の画像をパソコンに取り込む。③プレビュー画面で画像を確認しながら解析に使用する画像をシステムに登録する。④基準点情報を設定し、撮影時のカメラの諸条件を解析する。⑤計測範囲を指定し、マッチング処理により自動的に3次元形状を計測する。⑥自動で計測できない箇所は手で計測点を指定し、計測範囲を全て処理する。⑦適当なフォーマットに計測データを変換する。⑧必要に応じてCADやCGのシステムにデータを渡す。これら一連の作業は撮影枚数等や計測条件によって作業時間は異なるが、撮影時間を除くと3時間程度である。

6. 精度検証と計測事例

本システムの計測精度を検討するために形状が正確に計測されたモデルを用意して計測実験を行った。表-2はデジタルカメラのCCD画素数による計測精度を比較したものである。現在市販されているデジタルカメラは40万画素前後のCCDを搭載したものと100万～200万画素のCCDを搭載したものに分けられ、実験では40万画素と120万画素のCCDで撮影した画像で比較を行った。40万画素での位置精度はX方向0.446mm、Y方向0.292mm、Z方向1.180mm、体積は3.1%、120万画素での位置精度はX方向0.124mm、Y方向0.068mm、Z方向0.234mm、体積は0.3%であった。40万画素程度のデジタルカメラ

表-2 計測精度

CCD	位置精度			体積
	X	Y	Z	
40万画素	0.446 mm	0.292 mm	1.180 mm	3.1%
120万画素	0.124 mm	0.068 mm	0.234 mm	0.3%

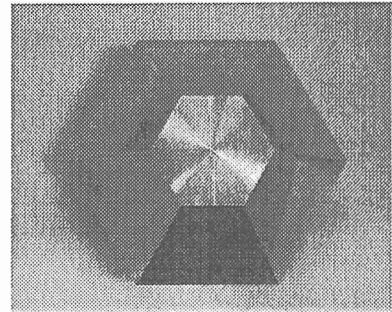


図-4 精度検証用モデル



写真-1 崩落が懸念される斜面

でも基準点およびマッチングポイントを正確に指定することが出来ればある程度の計測は可能であると思われるが、画像の細部を見るとかなり惚けており、実際の計測には不向きである。計測用のデジタルカメラとしては最低でも100万画素以上のものが必要である。

写真-1は崩落が懸念される斜面である。写真に写っている斜面は高さ約40m、幅約50mで、この斜面を約60m離れた上方からステレオ撮影を行い、本システムで解析した。図-5と図-6は基準点の設定画面とマッチング画面である。マッチングは以下の手順で行った。①基準画像状にメッシュを設定して面的にマッチングを行う。②自動マッチング出来なかった領域を手動でマッチングする。マッチングポイントは約1200点、処理時間は約30分であった。図-7は解析結果より作成した3次元モデルである。

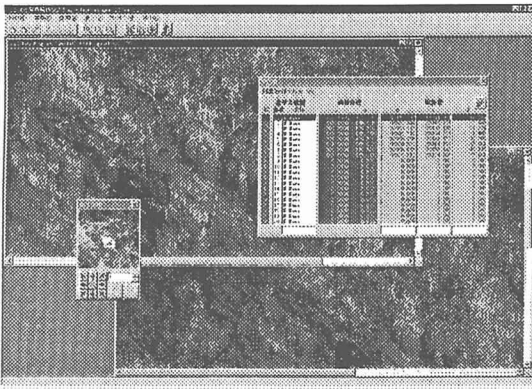


図-5 基準点設定画面

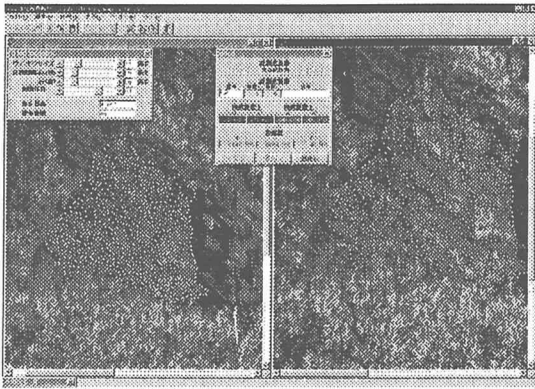


図-6 マッチング画面

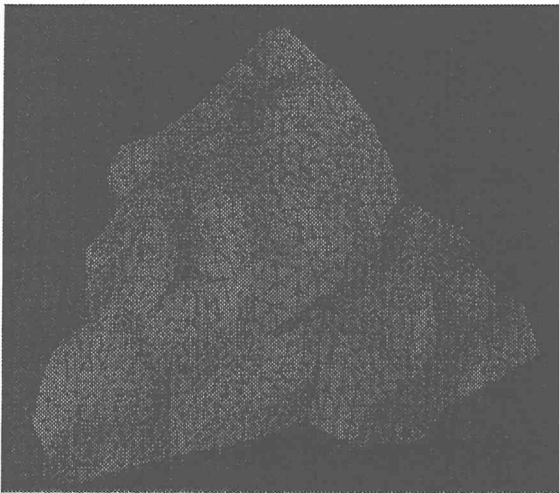


図-7 解析結果の3次元モデル

7. システム導入による効果

システムを現場に導入する効果として以下のことが挙げられる。①作業を止めることなく計測できる。②急傾斜地や二次災害の危険性のある災害地等の立ち入り困難な場所での計測が可能である。③画像から解析するため工事が進んでも過去に遡って計測でき、過去から現在の地形形状を時系列的に把握可能である。④

従来の計測に比べ短時間に計測結果を得ることが可能であり地形形状の変化を綿密に把握できる。⑤現場の規模に関係なく利用可能で、従来の測量作業の省力化や省人化が図れる。以上の効果から残工事に対する適切な施工計画を立てることで、工事コストの削減に寄与することが可能である。また、パソコンとデジタルカメラをベースとしたシステムを開発したことで①デジタルカメラで撮影された画像はパソコンで3次元解析が行われるため、システム導入に特別な機器は不要で導入コストを低く抑えられる。②従来の光学的偏位修正機を用いた計測に比べ、デジタルな画像データをパソコンで解析する本システムはカメラの内部標定及び外部標定要素の適用範囲が広く撮影時の制約条件が少ない。③デジタルカメラを用いることにより投影、フィルム処理などの作業による誤差がない。④写真測量に精通していない人でも撮影から3次元形状計測データを得るまで3時間程度で行える。⑤3次元形状データと画像データを組み合わせたデジタルオルソ画像を作成することで、景観シミュレーション等にも応用が可能である。

8. おわりに

造成現場での土量管理等における計測の場合、デジタル画像による3次元形状計測システムは従来の写真測量のような位置座標の計測精度は得られないが、計測対象をメッシュ化して面的に計測することで実用上十分な精度が得られることは過去の実績で確認済みである。本システムはこの面的な計測と変化点を手動で計測する新機能と機能向上により、計測困難な構造物の3次元データ化、CAD、CGデータの作成、遺跡調査、事故等による現場検証など、より多くの利用場面が考えられる。今後、画像データの入力機器としてデジタルビデオカメラや高解像度衛星画像の検討を行うとともに、多くの分野の対象物を計測することで更なる機能の充実と操作性の改善を図る予定である。

参考文献

東京理科大学リモートセンシング研究所：東京理科大学総合研究所紀要 リモートセンシングシリーズ No. 13 衛星リモートセンシングデータを用いた地形計測の効率化に関する研究，1993年3月25日