

Ⅱ-2 写真測量技術を応用した表面積算定システム

三井建設(株) ○掛橋 孝夫
 三井建設(株) 高田 知典
 三井建設(株) 桜井 浩

1. はじめに

当社では、写真をデジタルデータとして記録できるデジタルスチルカメラを用いて、地形を2方向から撮影することによりその3次元形状を解析できる3次元形状計測システムをすでに開発している。このシステムは①対象となる地形を非接触で計測できる、②だれもが簡単に短時間で計測結果を得ることができる、といった特徴を持っている。反面、予め計測対象面に基準点を設置する作業が必要があり、一時的にせよ計測対象内に近づかなければならなかった。そこで基準点の問題を解決するために、これまでに開発した3次元形状計測システムの標定計算部分に大幅な改良を施し、基準点を必要としない簡易形状計測システムを開発した。現在、これら2つのシステムを造成工事におけるさまざまな出来形管理作業や法面等の計測作業に展開し評価を行っている。これらの計測作業を通して、システムは崩壊法面や芝の吹き付け面積といった表面積の計測に利用できることが明らかになってきた。

2. システム開発の目的

写真測量技術を応用した表面積算定システムを開発した目的は以下に示す2点である。

- ①表面積の計測に対する要望が高いことから、すでに開発している基準点を必要としない簡易形状計測システムを基本に表面積算定に限定したシステムを開発する。
- ②現場において十分に活用される道具となるためには、機能が簡単で複雑な操作がなく、取扱いが容易なことが必須条件である。そこで、デジタルスチルカメラを用いた3次元形状計測システムの機能を表面積算定機能だけに絞り込むことによって、現場担当者が容易に利用できるシステムとする。

3. 表面積算定システムの概要

デジタルスチルカメラを用いた表面積算定システムの概念図を図-1に、ハードウェア構成を写真-1に示す。このシステムは写真をデジタルデータとして記録することができるデジタルスチルカメラを利用して

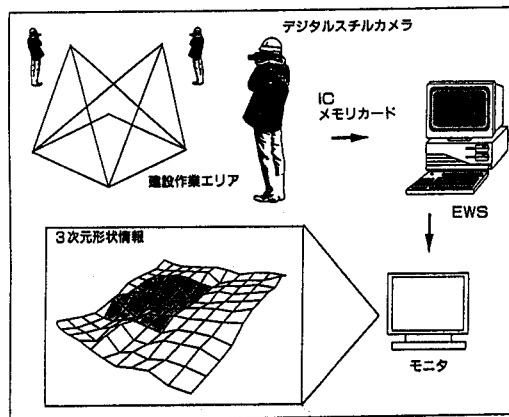


図-1 システムの概念図

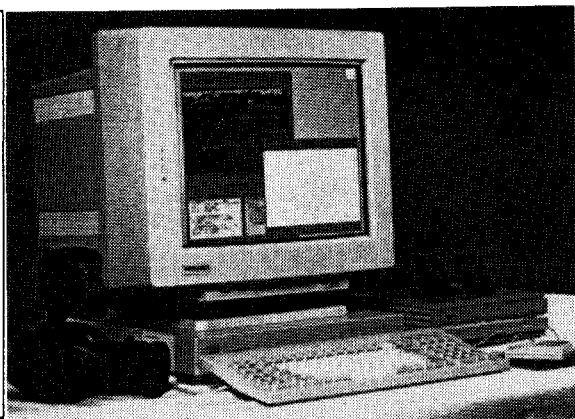


写真-1 ハードウェア構成

対象物（法面など）を2方向からステレオ写真撮影し、この画像データをEWS（エンジニアリングワークステーション）上に構築された解析写真測量プログラムを用いて処理することで、だれでも簡単かつ迅速にその3次元情報を解析することができる。これにより表面積を容易に求めることができ3次元形状や断面図も出力することが可能である。

4．3次元情報算出手法

本システムでは以下に示す手法によりステレオ画像から3次元情報の算出を行っている。

- ①パスポイントの座標をもとに左側のカメラ位置（ X, Y, Z ）を（0, 0, 0）、姿勢（ κ, ϕ, ω ）を（ $0^\circ, 0^\circ, 0^\circ$ ）として右側のカメラ位置および姿勢を相互標定に算出する（左側のカメラに対する相対的な右側のカメラ位置、姿勢が算出される）。相互標定には共面条件を用いる方法を、座標系と変量（カメラ位置・姿勢）の取り方としては左側のカメラ座標系を固定する方法を用いている。
- ②左側のカメラ位置、姿勢の計測値をもとに①で算出した相対的な右側のカメラ位置、姿勢を実際の撮影現場での位置、姿勢に変換する。カメラ位置・姿勢が不要な計測方法の場合は左側のカメラ位置を原点とするので①で算出した位置、姿勢の値をそのまま用いる。
- ③パスポイントの座標をもとに偏位修正およびマッチング処理を行い、各マッチングポイントの3次元情報を左右のカメラ位置、姿勢をもとに共面条件を用いて算出する。

5．表面積算定方法

表面積算定にあたっては、現地の座標系で計測する場合にはカメラ位置・姿勢が必要な計測方法を、相対的な形状を計測する場合にはカメラ位置・姿勢が不要な計測方法を用いる。

(1) カメラ位置・姿勢が必要な計測方法

この計測方法の場合、写真-2のようなカメラ一体型トータルステーションを使用して計測を行う。この機器は写真撮影した際の、カメラの位置および姿勢（水平角と鉛直角）が分かる機構になっており、以下の手順で表面積を算定する。

①左カメラ位置の計測

左の写真撮影する位置にカメラ一体型トータルステーションを設置し、既知点を2点視準してカメラ位置を計測する。

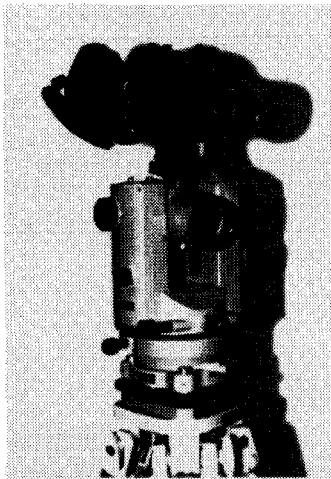


写真-2 カメラ一体型トータルステーション

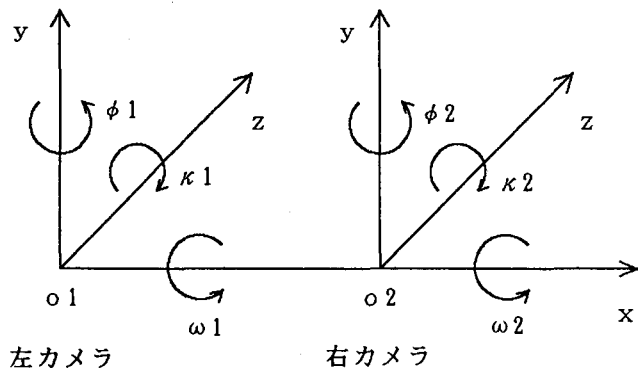


図-2 写真座標

②左カメラ姿勢の計測

対象物にカメラを向けて固定し、その時の水平角 (ϕ) および鉛直角 (ω) を計測する (図-2 参照)。 κ (z 軸の回転) についてはカメラをトータルステーションに固定する際、0 度になるように調整している。なお、カメラの光軸とトータルステーションの光軸のずれ量は予めキャリブレーションを行い補正値を求めている。

③写真の撮影

カメラの位置および姿勢を計測した後、左の写真撮影し、次に右の写真撮影する位置にカメラを移動して撮影する。右の写真撮影時のカメラの位置および姿勢の計測は行わない。

④カメラ間の距離計測

左の写真の撮影位置に設置された、トータルステーションで右側のカメラ (プリズムを取り付けている) を視準して左右のカメラ間の距離を計測する。

⑤EWSでの処理/解析

③で撮影したステレオ画像データをEWSに転送して、パスポイント (左右の画像上で対応する点) と①、②、④で計測したカメラ位置、姿勢、カメラ間の距離をEWS上に構築した表面積算定システムに入力する。各値の入力後、自動的に右側のカメラ位置・姿勢が算出され、対象物の3次元形状が求められる。なお、現地の座標系で計測する必要のない場合は左カメラの位置 (X, Y, Z) を ($0, 0, 0$) に姿勢 (κ, ϕ, ω) を ($0^\circ, 0^\circ, 0^\circ$) にすることにより、左カメラを原点とした相対的な形状を計測することができる。

⑥計測結果の出力

EWSのモニタ上に表示された画像から表面積が欲しい領域を指定することにより⑤で求められた3次元形状から表面積が算定される。

(2)カメラ位置・姿勢が不要な計測方法

この計測方法の場合、写真-3のように手持ちで対象物の写真を撮影し、以下の手順で表面積を算定する。

①写真の撮影

対象物にカメラを向けて手持ちで写真を左右2方向から撮影する。(1)の方法のようにカメラの位置および姿勢は気にする必要はないが、カメラ間の距離が(1)に比べて正確に計測できないため、できれば長さが分かっているポールのようなものを写し込む。

②カメラ間の距離計測

左写真の撮影位置と右写真の撮影位置の距離をメジャー等で計測する。

③EWSでの処理/解析

①で撮影したステレオ画像データをEWSに転送して、パスポイント (左右の画像上で対応する点) と②で計測したカメラ間の距離をEWS上に構築した表面積算定システムに入力する。入力後、自動的に左側のカメラ位置を原点とした右側のカメラ位置・姿勢が算出され、対象物の3次元形状が求められる。①で長さ

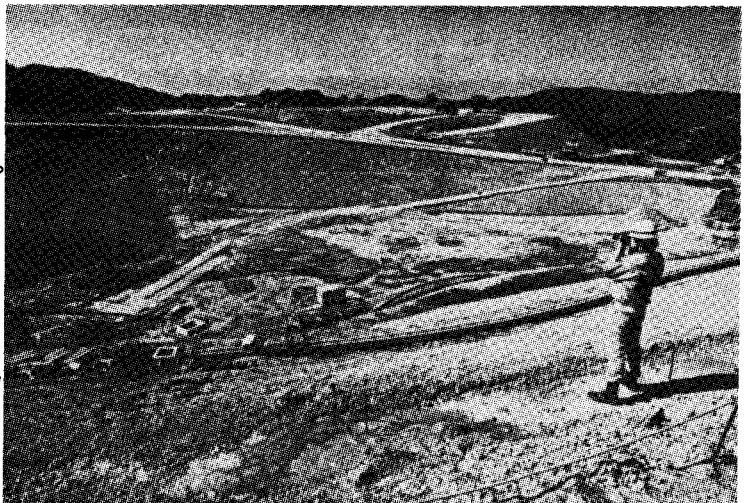


写真-3 手持ちによる撮影



写真-4 計測した崩壊法面

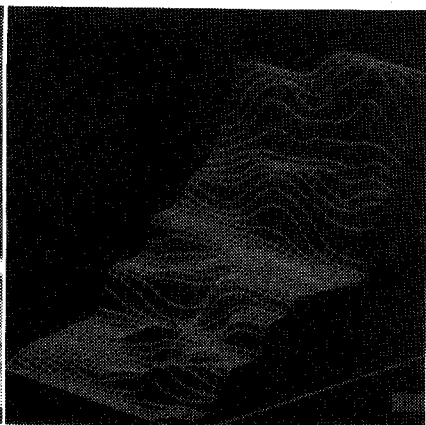


図-3 計測結果

が分かっているボールのようなものを写し込んでいる場合は、求められた3次元形状からそのボールの長さを算出し、実際の長さと同じかどうかを確認して、誤差が大きいうであればカメラ間の距離を調整する。

④計測結果の出力

領域を指定し③で求められた3次元形状をもとに表面積が算定される。

以上に述べたように本システムはカメラ位置・姿勢が必要な計測方法と、位置・姿勢が不要な計測方法の2通りがあり、現場で使用している座標系で計測しようとする場合にはカメラ位置・姿勢が必要な計測方法を使用する必要がある。しかしながら、カメラ位置・姿勢が必要な計測の場合、左側のカメラの位置および姿勢が計測精度に大きく影響を与えることから、カメラとトータルステーションの光軸のずれのキャリブレーションは非常に厳密に行わなければならない。また、ただ単に対象物（主に崩壊した法面など2次災害が予想される場所）の表面積や形状だけを把握したい場合は、主に手持ち撮影による計測を行っている。

6. 適用事例

写真-4は崩壊した法面である。この法面は崩壊直後であり、作業員が法面に近づいて形状を計測することは非常に困難かつ危険であったため、本システムを用いて形状を計測した（図-3）。なお本システムはゴルフ場造成地における芝の張り付け面積や池の面積等の算出にも適用可能である。

7. おわりに

本システムは基準点を必要とする計測に比べて計測精度は劣るものの、対象物に対して完全に非接触な計測が可能である。このため、崩壊法面等の2次災害が予測される危険な地域での計測（表面積、形状の把握）に大いに役立つものになると思われる。また、画像データの処理／解析に使用しているEWSを、携帯性に優れた小型のパーソナルコンピュータに置き換えることにより、崩壊した法面等を撮影し、その場所で表面積や形状を把握することが可能になる。これによって、より速やかに復旧対策を講じることが可能となる。なお、ここで紹介した表面積算定システムについて、現時点では十分な精度検証を行っていない。今後、模型等による精度検証実験や実際の現場で数多く適用することにより、実利用に耐えうるシステムに改良していく予定である。