

デジタルスチルカメラを用いた形状計測システムの現場管理への適用

○三井建設(株)技術研究所 桜井 浩 三井建設(株)技術研究所 掛橋孝夫
三井建設(株)東京土木支店 角谷信雄 三井建設(株)大阪支店 加藤順造

1. はじめに

当社ではすでに昨年度のシンポジウムにて発表したとおり、対象物に対してデジタルスチルカメラを用いてステレオ写真を撮影することによって、容易かつすみやかにその3次元情報を算出できるシステムを構築している。その後、現在に至るまでさまざまな分野にシステムの適用を試み、評価・検討を繰り返しながらより効果的な利用方法を検討している。工業計測分野への展開や今回のシンポジウムにて別途発表しているCG/CAD分野への展開もその試みの一環である。

当然、システム開発の主目的である造成工事における出来形管理等の現場管理業務については積極的に適用を進め、現在までに当システムを用いた計測作業についてはほぼルーチンワーク化できたとともに、これら一連の適用作業を通じて、現場管理を対象としたシステムの機能向上により効果的な利用方法をまとめることができたので報告する。

2. 形状計測システムの概要

デジタルスチルカメラを用いた形状計測システムの概念図を図-1に、主な構成機器を写真-1に示す。このシステムは、写真画像をICメモ리카ードに数値情報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、対象物(地形等)を左右の方向からステレオ写真撮影し、この画像データをEWS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、すみやかにその形状情報を3次元的に算出することができるシステムである。解析結果は写真に示すようにモニタ表示されるとともに、DTMデータとしてファイル出力でき、目的に応じて各種のアプリケーションで利用することが可能である。

3. 形状計測システムの現場適用と機能向上

形状計測システムの展開として、造成工事における地形形状把握(出来形計測)や土量計測、面積測定といった現場管理業務への適用を試みている。写真-2および図-2は大規模宅地造成工事における現況地形測量への適用例として、撮影対象と3次元形状の出力結果である。この他にもさまざまな造成工事において適用を試みており、これらの作業を通して、現場担当者が当システムを用いて形状計測を行う場合の作業をおおむねルーチンワーク化することができた。

しかしながら、コンピュータ技術や写真測量技術については馴染みが薄く、施工管理業務を主たる職務とする現場担当者にとって、この形状計測システ

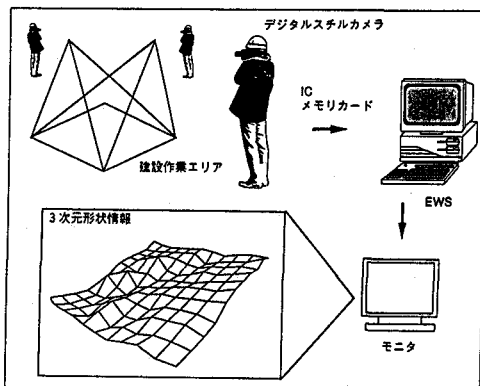


図-1 システムの概念図

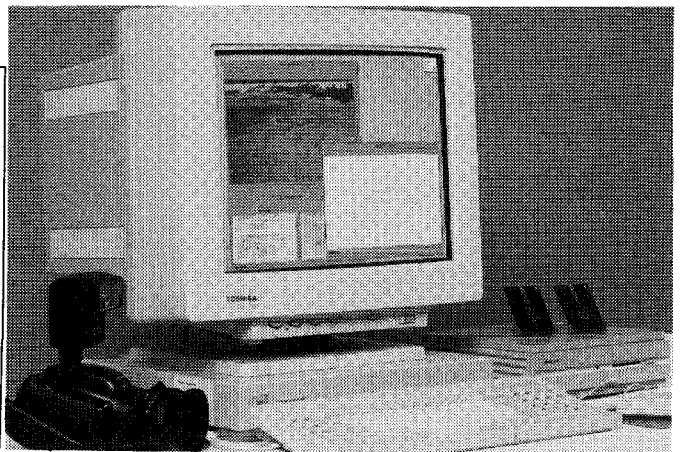


写真-1 システムの構成



写真-2 撮影対象

ムを用いた計測方法を現場管理のための有効な情報収集手段として定着を図るためには、『「面的な現場状況を記録し、これを必要な情報に変換し、結果を現場にフィードバックさせて次の作業に展開させること」が簡単にすばやくできる』ための機能が要求された。すなわち、現場担当者の立場から「写真を撮るだけですぐに状況がわかる」道具としてシステムの機能向上を図るよう求められた。そこで、現場管理業務への適用を前提に、

- ・高速化
- ・自動化
- ・操作性の向上

といった面からシステム機能の向上を図った。

1) システムの高速化

デジタルカメラで撮影記録される画像データは、赤色、緑色、青色の各色（バンド）について、それぞれ明暗の程度（反射強度）を数値化したデータであり、したがって3つのバンドデータを有している。しかしながら、処理の中心である偏位修正処理やステレオマッチング処理にはこれらすべてのバンドデータを使用せず、緑色バンドのみを用いることで高速化を図っている。これは、対象とする施工現場内にはそれ程多くの色が存在しないこと、緑色バンドデータが最も情報量が豊富であること等の理由によるものである。

また、ダウンサイジングによって従来マシンに比べてパフォーマンスが格段に高いマシンを、比較的手頃に用意することが可能になった。そこで、CPUおよびクロックサイクルを向上させたマシンにシステムを移植することによって、従来（昨年度発表時）の3倍～4倍の高速化を図ることができた。具体的には、画像データの入力から3次元情報の算出まで、対話形式で処理を行うとして従来の30分程

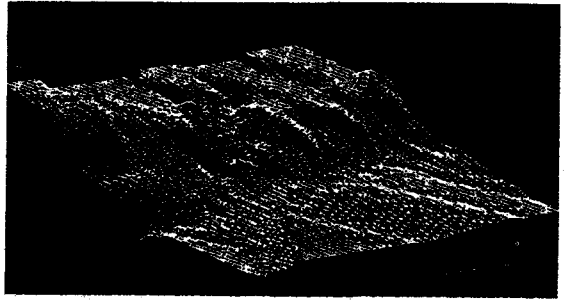


図-2 3次元地形形状の解析結果

度の処理時間から、15分程度に短縮することができた。なお、処理時間については後述する自動化、操作性の改善によってなおいっそうの短縮が可能で、ケースによっては10分以内に結果を算出することも可能である。

2) システムの自動化・機能の簡素化

現場において十分に活用される道具となるためには、道具としての機能を有することは当然のこと、機構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。したがって、当システムに関してもシステムの自動化と機能の簡素化が課題となる。コンピュータと対話しながら行う作業に限定すると、基準点およびパスポイントの選定作業と解析範囲の指示作業が担当者が直接に操作する作業であり、自動化を進める対象作業となった。

このうち基準点の選定については、現地に設置する基準点マークの色とパターンを工夫し、撮影された画像データをしきい値によって2値化する画像処理ルーチンを組み込むことで、基準点を自動抽出できるように改良した（写真-3）。これによって担当者が行う操作は、抽出された基準点について番号をふることのみとなった。

また、解析作業範囲を指定する際には、従来のようにマウスによって求めたい範囲の輪郭をトレースする方法に加えて、画像判別手法およびエッジ抽出機能を取り入れることによって、求めたい対象物を指定することでその輪郭を自動抽出できるようにした。写真-4はこの機能を利用して解析範囲を抽出したものである。この場合、切土法面について土砂部分の面積を求めたいわけであるが、写真のように分布範囲が複雑なため、従来のように手動で解析範囲を指示しては手間とともに、正確さにも問題が生じると思われる。なお、当然ながら自動抽出し



写真-3 基準点の自動抽出



写真-4 解析作業範囲の自動抽出

た範囲はマウスによって修正することも可能である。

また、あらゆる解析用途に対処できるように柔軟に設定されていた機能、例えばマッチングのための相関窓の大きさ指定やマッチング間隔等についても、施工現場における出来形計測を目的とした場合の標準的な値に固定するなど、本来当システムが有している機能のある程度絞り込んで簡素化させ、担当者の作業を軽減させている。

3) システムの操作性の向上

前節で述べたとおり、本システムが真に役立つ道具となるには、エンドユーザーである現場担当者がEWS上に構築されたシステムをあたかも電卓を利用するような気軽な気持ちで利用できなければならない。そこで、GUI機能を積極的に活用し、マウスを用いてボタンやスクロールバーなどを操作することで、必要な情報をキー操作に煩わされることなく簡単に入力できる工夫をしている。

また、解析処理そのものは緑色バンドデータのみを利用しているが、パスポイントの選定作業等の入力操作時には、3色の各バンドデータを合成した疑

似カラー画像をウィンドウ表示させて作業を容易にしている。

4. 現場管理のための効果的な利用方法の提案

デジタルスチルカメラで得られるステレオ画像データは、形状計測システムによって解析処理されることによって、単なる写真画像から”かたち”の情報、すなわち3次元的な位置情報を有した情報に変換される。逆に言えば、一般の測量データやDTMデータのような3次元位置座標としての数値情報のみならず、写真すなわち画像データとして対象物の色彩やきめ(テクスチャ)をはじめ実に多くの視覚情報を有しており、目的に応じてさまざまな管理情報を取り出すことができるデータでもある。しかも一般の写真と違い、デジタルデータゆえに時間が経過しても質が劣化しないという大きな特徴もある。

このように、当システムで得られる情報はきわめて特徴的であり、現場管理業務に適用するにあたっての効果的な利用方法を、情報の有効利用といった面から次に提案する。

1) 工事履歴情報としての情報の蓄積とデータベース化

3次元情報を潜在的に有する写真データを工事の進捗に応じて時系列に蓄積、データベース化することによって、時間軸を加えた4次元の情報として活用しようとするものである。

まず、施工状況をステレオ撮影・記録し、これを形状計測システムによって解析して撮影範囲に関する位置情報を求める。また、撮影日時については別途記録する。これによって、デジタル写真に関する属性データとして、写真に記録された施工範囲と撮影日時を数値情報として収集することができる。すなわち、撮影日と撮影範囲をキーにしてデジタル写真をデータベース化することができる。この際、解析された形状データはもちろん、このデータを用いて処理された土量等の出来形管理情報やCG/CADシステムによって作られたCG画像等の各アプリケーション結果があればこれについても登録しておく。この一連の作業を、工事の進捗に応じてその都度実施する。

このように、工事の履歴情報のひとつとしてデータベース化を図ることで、施工時期と施工場所から



写真-5 デジタル画像（原画像）

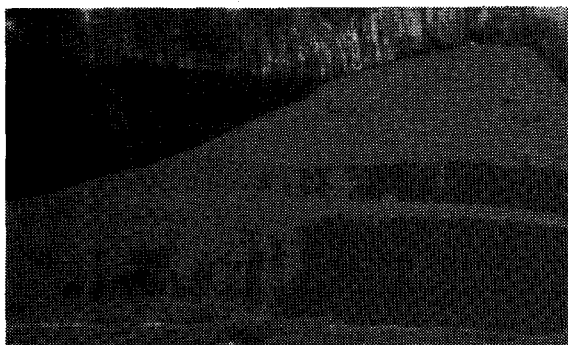


図-3 画像判別結果

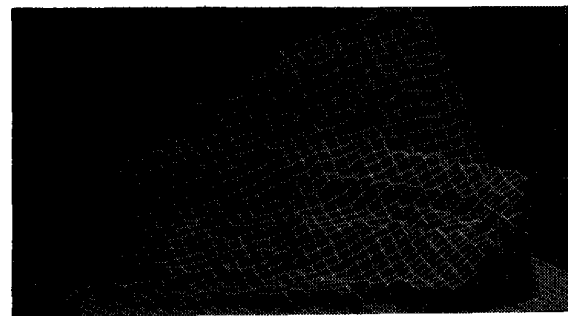


図-4 岩盤の3次元分布状況

該当する写真データおよびアプリケーション解析結果をすばやく検索、呼び出すことができる。工事の状況を視覚的に振り返ることができるとともに、同時に形状等の定量データと突き合わせて評価することもできる。さらに、工程情報とリンクさせて利用すれば現場管理上きわめて有効な情報源となる。

さらに、状況によっては当時の状況を再び解析処理することによって、新たに情報を取り出すことも可能である。これは、在来の測量等の調査方法では過去にさかのぼって調べることができないわけで、ステレオ撮影されたデジタル写真の有するきわめて大きな特徴といえる。

2) 形状情報と画像情報の複合による新たな利用

かたちの情報と色やきめといった画像情報を合わせもったデータの特徴を十分に活かして、次に例示するような利用方法を検討している。すなわち、3次元形状結果と画像判別結果を複合させて、より有効な新しい情報を生みだそうというものである。

まず、適用対象面（写真-5）についてステレオ撮影し、形状計測システムによって3次元形状を解析する。次に、このデジタル画像について、赤色、緑色、青色データの3つの画像データをもとにクラスター解析によって、岩盤部分と思われる部分を1つのクラスになるように画像判別したのが図-3である（図中の右下側の分布が岩盤クラス）。この判別結果と先に解析した形状計測結果から、岩盤部分の分布状況を3次元的に出力した結果が図-4である。

この結果、岩盤部分の分布状況を3次元的に捉えることができ、土砂と軟岩・硬岩といった材料別の数量として、出来形管理あるいは積算への展開が可能になる。さらに、前節で述べたように、例えばこの法面を工事の進捗に応じてその都度同様の解析を実施し、岩盤部分の分布状況を3次元的に重ね合わせて出力すればより立体的に把握することができる。このようにして、すでに施工した部分については当然のこと、これから施工を行う部分についてもあらかじめその分布状況を推測することができ、材料別の出来高数量の算出等がより確度を増すことになる。まさしくダムの原石山の材料管理などにはきわめて有効な情報となる。

5. おわりに

「離れたところから写真を撮るだけで、いろいろな情報がわかる」技術は理想的な技術である。非常に幅広い展開、応用が考えられるとともに、何でもできてしまう錯覚を抱きやすい。対象を絞り込んで、「どういった情報をどう利用するのか」、利用者がなにを望んでいるのかを十分に吟味しないと、現場担当者から見れば、逆の意味で単なる“理想的な技術”になりかねないと感じている。

（参考文献）

掛橋他、デジタルスチルカメラを用いた形状計測システムの開発、第17回土木情報システムシンポジウム、1992.10