

デジタル画像を用いた3次元形状計測のPC構造物への適用性に関する研究

オリエンタル建設(株) 正会員 近藤 琢也
 " 正会員 佐々木 正良
 " 正会員 阿田 芳久

1. はじめに

近年、デジタルカメラを用いて撮影した画像の処理により3次元形状を算出する技術が各分野で活用されている¹⁾。建設分野においては、同様な事例としてCCDカメラを用いて橋梁のセグメントに関する立体形状を計測する手法が実用化されている。このような3次元形状計測に、デジタルカメラを用いることにより可搬性に優れ、高精度な立体形状計測が可能となる。また、形状計測にデジタル画像を利用することにより、製品の出来形の確認がいつの時点においても可能となる。また、発注者に対してインターネット等を利用して画像を送信することにより、離れた場所での管理を可能とし事実上全数立会検査を行うのと同等の管理が可能となる。それにより、一層の品質の向上が図れることと考える。本研究は、デジタル画像を用いた3次元形状計測のPC構造物への適用性について検討を行うものである。

2. 実験概要

2-1 計測対象

今回の実験では、工場製品を計測対象とした。対象物の形状を図-1および図-2に示す。対象構造物は中空ホロー桁の1セグメント(中央ブロック)とした。デジタルカメラによる撮影と同時にトータルステーションおよびスチールテープ等を用いて形状計測を正確に行い、デジタルカメラによる3次元計測の精度を確認する。精度の確認はデジタルカメラから解析した3次元形状より部材寸法を算出し、トータルステーションおよびスチールテープにより実測した部材寸法との比較により行う。

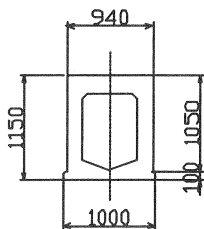


図-1 計測対象(断面図)

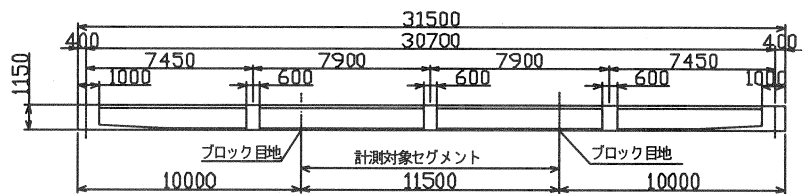


図-2 計測対象(側面図)

2-2 計測手順

以下にデジタルカメラを用いた計測の手順を示す。

(1) 対象物の配置: 画像内に写された被写体のサイズおよび撮影角度が後の解析精度に大きく影響するため、対象物は撮影の作業性を考慮し、カメラと被写体の距離がある程度確保できるスペースに配置する。

(2) マーカーの設置: コンクリート構造物ではコーナーであっても若干の丸みをおびることとなる。そのため、スチールテープとの寸法比較が明確に行えること、および画像解析時に作業を容易とするためにマーカーを設置した。写真-1に計測点に設置したマーカーを示す。マーカーは画像処理時に認識が容易となるよう白黒の目印とした。

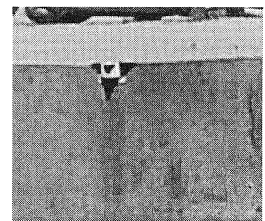


写真-1 マーカー設置状況

(3) 解析基準の設置: デジタル画像から立体形状を算出する場合に精度を確保する上で重要となるのは、カメラのレンズひずみ補正と画像内に設置する基準座標である。解析基準を変化させることにより解析誤差

が若干変化することが考えられるため、今回は以下の2通りの解析基準を準備した。

①立体フレーム (3D尺) の設置

直行する3方向の解析基準を正確に設定するため1辺2mとなる直行する3軸を有する立体フレームを用意した。フレームは撮影前に、スチールテープ (JIS1級) を使用して各軸の対角距離を計測することによりキャリブレーションを行い精度の確認を行った。

②アルミロッドの設置

画像ファイル内にアルミロッドを設置し、この長さを基準として画像解析を行う。基準軸が一方方向となるため他の2方向の解析については精度が落ちる可能性もあるが、ロッドに平行な面では比較的安定して精度が確保できることが考えられる。

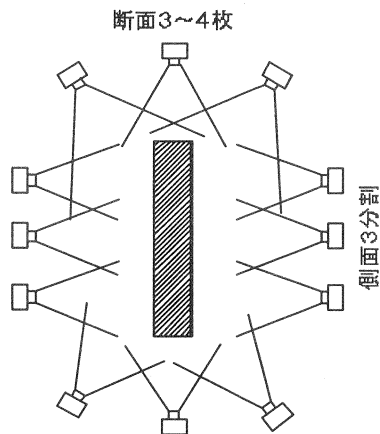


図-2 撮影状況

(4) 撮影: 撮影は図-2に示すように4方向から各3~4枚の撮影を行った。側面からの撮影は、全長を3分割する形で撮影した。これは、画像を分割することにより全体の解像度を高め、長手方向の全長の解析精度を向上するためである。また、撮影においては以下の点に留意し実験を行った。

- ・カメラ解像度: 使用するカメラの解像度は解析精度に直接影響するため極力高解像度のもので選定した。今回は800万画素のカメラを使用した。
- ・使用レンズ: レンズは、広角 (短焦点) になるほど画面外周部でひずみが大きく生じることとなる。そのためレンズひずみによる誤差を極力抑えるため比較的長焦点のレンズ (35mmレンズ) を使用した。
- ・レンズ補正 (キャリブレーション): カメラメーカーから提供されたレンズ補正データの利用も可能であるが、実際の撮影状況を想定し同様の条件 (ピント、倍率など) にてキャリブレーションを実施した。

(5) 解析および結果の確認: 撮影した画像を用いて部材寸法を算出する。最初に各マーカーの3次元座標を解析し、その結果を用いて部材寸法 (3次元空間上の2点間距離) を算出する。デジタル画像から算出した部材寸法とスチールテープおよびトータルステーションにより測定した部材寸法の比較を行う。

3. 解析理論

デジタル画像から、対象構造物の3次元座標を算出するソフトウェアは、すでに何種類かのソフトが開発されている。今回の解析にはメガ・ポインター (株式会社ニコントリプル) を使用した。

3次元座標算出の基本的な理論を以下に示す。まず、カメラ位置と画像上の点を結んだ線上に必ず対象点が存在するという理論が成立する。これは共線条件 (ピンホールカメラの原理) と呼ばれるもので図-3中に示す点A、点p1、点Pおよび点B、点p2、点Pがそれぞれ同一線上にあるという条件である。また、それぞれのラインは点Pで交会するため4点A、B、p1、p2は同一平面上に存在し、これも写真測量における基本原理であり共面条件と呼ばれる。これらの原理を用いて観測方程式を立てる。しかしながら、解析時においては、一般的にカメラ位置の座標および撮影角度は未知であるため各画像上の特徴点と被写体上の解析点を結び、左右の画像を移動することによりカメラ位置および3次元座標を算出する。

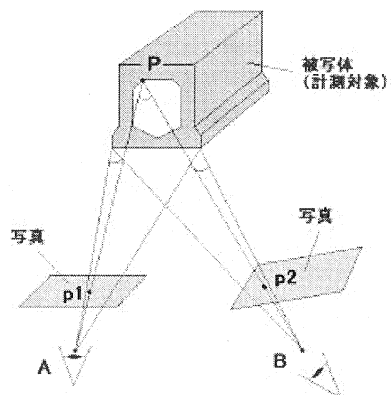


図-3 三角測量の原理

4. 実験結果

4-1 計測値の比較

前述の通りデジタル画像を用いた形状寸法算出は同じ撮影画像を用いて2ケースの基準から行った。

図-4に計測した部材寸法の位置を示す。図-5には、断面寸法に関する画像計測値と実測値(スチールテープ)との比較誤差を示す。図-6には、長手方向に関する画像計測値と実測値(トータルステーション)との比較誤差を示す。なお、両図とも画像計測値の解析基準を立体フレームもしくはアルミロッドとした場合の両方の結果を示している。

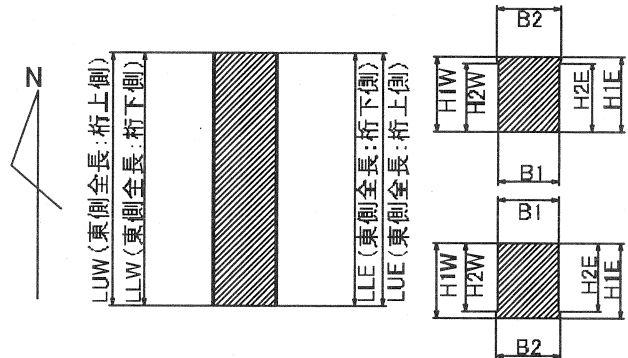


図-4 部材寸法位置図

まず、2つの図をみるといずれにおいても立体フレーム(3D尺)を基準とした方が良い結果が得られていることが分かる。また、立体フレームから算出した結果に着目すると、断面寸法での誤差の2乗平均は1mm、誤差の最大値は2mmとなる。長さ寸法では2乗平均で2.35mm、最大値で4mmとなっている。

解析に使用する基準を立体フレームとした方が良い結果が出たのは、アルミロッドの場合には両端の2点を基準として指示するのに比べて、立体フレームの場合原点および3軸の端点である合計4点を基準として入力するため、基準長さの設定誤差がある程度消去されたためと思われる。

また、長さ方向の精度が断面寸法に関する精度よりも低いのは、橋軸方向に画像分割を行ったためこの結合の誤差が含まれた可能性があること、およびトータルステーションの機械誤差(2mm)が含まれていることなどが考えられる。

4-2 誤差の発生と改善方法について

解析精度および作業性の点で多くの課題が残されているが、今後、作業のシステム化が比較的容易である工場製品に対して実用化することを目的として、以下に誤差の主要因と改善策を検討する。図-7に作業順序とそれぞれのステップにおける誤差の主要な発生要因を示す。

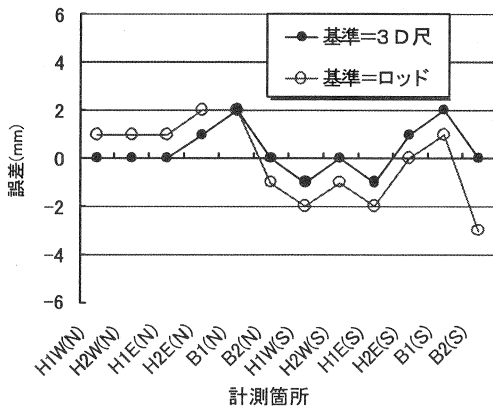


図-5 断面寸法の計測値比較 (スチールテープとの比較)

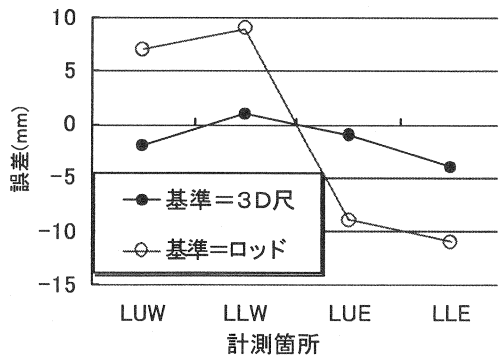


図-6 長さ寸法の比較 (トータルステーションとの比較)

(1) 撮影

撮影時においては、被写体の撮影角度による影響、基準尺の設置、撮影枚数、画像分割、使用レンズ、撮影スペースなどが後の3次元座標解析に影響することとなる。今回の計測では、基準尺については特に留意し2種類を用意し計測前にキャリブレーションを行っている。そのため、特に長手方向で誤差が大きかった点を考慮すると、画像の分割方法や撮影角度などに誤差要因が多く含まれているのではないかと考えられる。これらの点については今後更なる検証を行う予定である。撮影のシステム化と言う点では、場内に計測レーンを設け各方向にカメラを設置し製品の移動時などに自動的に撮影する方法なども考えられる。また、計測レーンを使用しない場合においては測定寸法が長くなるほど精度が落ちる傾向を考えると、長尺の立体フレームなどを用意し長手方向の計測精度を向上する事も考えられる。

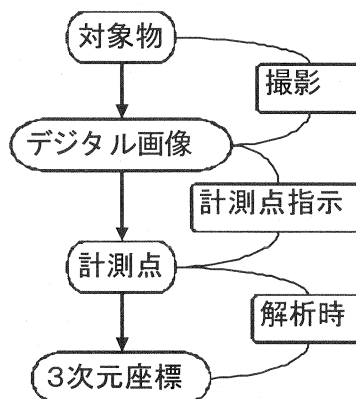


図-7 誤差の発生要因

(2) 計測点指示

複数画像における同一点の指示はソフトウェア上で解析者の手により行うため、この段階で人的な誤差が大きく発生すると思われる。今回の解析においては、計測点の認識を容易にするためマーカーを用意したが大きな効果は得られなかった。他の事例等では円形のマーカーを自動で追尾し重心位置まで自動算出するなどの処理を可能としているものもある。今回は視認性をよくするため白黒のラインが確認できるようなマーカーを設置したが、視認する方向によっては明瞭に計測点が判別できない場合があった。例えばマーカーを任意の方向からみても同じ形状もしくは計測点が容易に判別できるような形状、デザインにする必要がある。

(3) 解析

解析に直接影響する要因についてはレンズひずみ補正による誤差があげられる。今回は、実験時のレンズ状態を想定してひずみ補正を行っている。ただし、レンズの状態が同一であってもレンズひずみ補正誤差は一般的にカメラのレンズ形状誤差やCCDの製作精度の影響などを考慮して0.5ピクセル程度発生すると考えられる。レンズひずみの補正については、補正時の撮影枚数や撮影角度の変更および補正用画像の計測点のピッチなどを細かくするなどして精度を向上する必要がある。

5. おわりに

今回は、デジタル画像を用いた3次元形状計測のPC構造物への適用性に関する検討ということで簡単な試験を行った。作業性や精度の問題など今後更なる検討を重ね、最終的に現場における形状管理、上越し管理などでの活用も考えていきたい。また、既設橋の形状計測にも利用可能であるため、維持補修の分野においても種々の用途が想定される。さらに、現在PC建設業協会において研究が進められている3DPM(3次元プロダクトモデル)は、構造物の形状を3次元で表現することにより設計業務の効率化や施工品質の向上、施工管理の高度化、維持管理への活用などを図っている。3次元形状計測データを3DPMに連携することにより更なるITの活用がはかれると考えられる。

最後に、本システムの開発を行うにあたりPC建設業協会「3次元プロダクトモデル検討小委員会」の活動を参考とさせて頂き、また、本試験における計測作業に関しては大浦工測株式会社の方々に甚大な御協力を頂いた。関係者の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 秋本・服部・大西・三浦：画像計測法のトンネル内空形状計測への応用,土木学会論文集, No.687/3-56, pp.289~pp.301, sep.2001
- 2) 矢吹・志谷：プロダクトモデルを用いた包括的設計支援システムの開発,土木利用技術論文集, Vol.12, pp.273~pp.280, 2003