ノート

デジタル写真測量法による三次元形状の評価技術に関する研究

高橋　靖*，中部　昇*，白川　正登*，樋口　智*
本田　崇*，大川原　真*，福田　拓哉*

Research on 3D Shape Evaluation Technology by Digital Photogrammetry

TAKAHASHI Yasushi*，NAKABE noboru*，SHIRAKAWA Masato*，HIGUCHI Satoru*
HONDA Takashi*，OHKAWARA Makoto*，and FUKUDA Takuya*

1. 緒　　言

大型の部品や製品の寸法，幾何公差などの精度管理は，大型になるほど測定機器も大掛かりで高価となるため，製造現場では対応が困難となる。

デジタル写真測量法は，SfM（Structure from Motion）と同義であり，写真測量の技術と，コンピュータビジョンから発展したステレオビジョン，MVS（Multi View Stereo）を組み合わせ，複数のデジタル写真画像から，カメラの位置・姿勢と，対象物の三次元形状を推定・復元する技術である。近年，演算装置の性能向上によって，比較的容易に三次元形状データを取得できるようになったため [1)]，土木建築分野における測量や文化財のデジタルアーカイブなど，様々な分野で用いられるようになってきている。この技術の最大のメリットは，あらかじめキャリブレーションされたデジタルカメラで対象物を撮影すれば，対象物の大きさによらず，比較的容易に三次元形状データを取得できる点にある。この技術によって取得した三次元形状データを形状評価に応用することができれば，大型製品の精度管理を容易に実現できる可能性がある。

そこで本研究では，デジタル写真測量法により三次元形状データを取得し，その寸法と角度が，どの程度の精度で評価できるかについて検討した。

*　下越技術支援センター

2. 測定サンプルおよび試験方法

2.1 測定サンプル

図 1，2 および表 1 に示すように，大きさの異なる 2 種類の M ブロックを測定サンプルとした。サンプルの寸法および角度は，別途，三次元測定機（Carl Zeiss 製 UPMC 550 CARAT）で測定し，その値を形状評価の基準値とした。

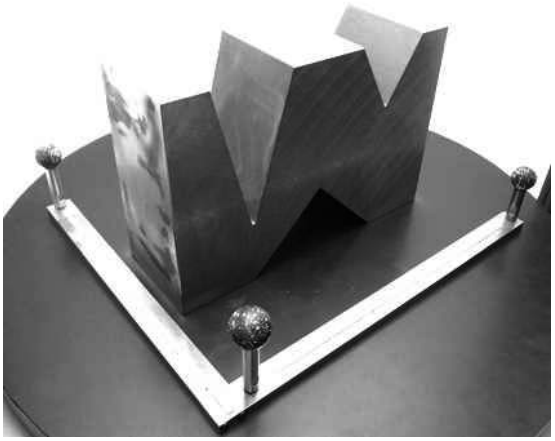

図 1　測定サンプルの外観

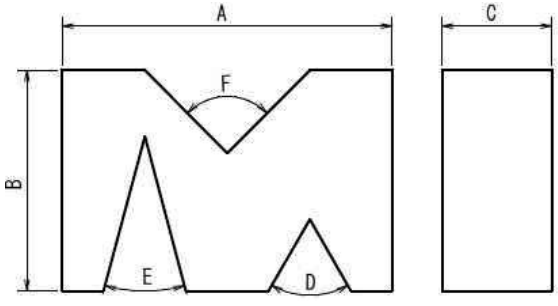

図 2　測定サンプルの形状

表 1　測定サンプルの大まかな寸法と角度

	寸法（mm）			角度（deg）		
	A	B	C	D	E	F
M ブロック小	75	36	24	90	90	90
M ブロック大	300	200	100	60	30	90

2.2　試験機器

形状取得に用いた試験機器を表 2 に示す。
また写真撮影のため，図 3 に示すように照明（蛍光灯，LED），回転テーブルなどからなる撮影装置を製作し，回転テーブルを駆動するステッピングモータ，デジタルカメラのユーティリティソフトウェア，RPA ソフトウェアなどを組み合わせた簡易自動撮影システムを構築した。

表 2　試験機器

カメラ レンズ	Canon EOS Kiss X7 Canon EF-S24mm F2.8 STM
パソコン	CPU Intel Core i5，RAM 16GB GPU Geforce RTX 1070(VRAM8MB) OS Windows 10 Pro
SfM ソフト	Agisoft Metashape Standard
検査ソフト	GOM Inspect

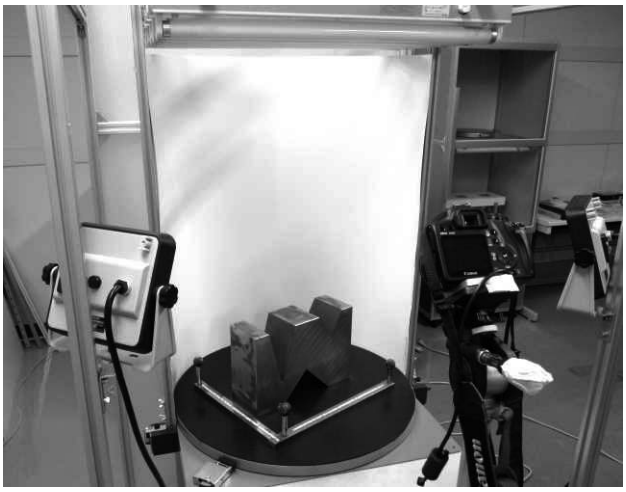

図 3　簡易自動撮影システム

2.3　基準尺

今回，三次元点群データ構築に使用した SfM ソフトウェア（Agisoft 製 Metashape Standard）は安価であるが，基準点を設定した絶対標定ができないため，正確な長さの絶対値を与えることができない。そのため本研究では，長さの基準を与えるために，基準球 3 個を有する測定治具を基準尺として用意し，測定サンプルの周囲に配置した状態で一緒に撮影し，測定サンプルと基準尺の三次元形状を同時に取得し，測定サンプルの寸法を求めることとした。基準尺の球間距離は，別途，三次元測定機で測定した。

2.4　試験方法

次の手順で試験を行った。表 3 に試験条件を示す。

2.4.1　写真撮影

測定サンプルを載せた回転テーブルを回しつつ，デジタルカメラで撮影し，測定サンプルの複数枚の写真画像を取得する。

2.4.2　三次元点群データの構築

SfM ソフトを用いて多数の写真画像から高密

表 3　試験条件

撮影条件	撮影距離　150～200mm（小） 600～800mm（大） 焦点距離　f 24mm（固定） 絞り値　F/22（優先） ISO 感度　200 Shutter 速度 1/10～1/2（可変） 画素数　5,184pix×3,456pix 撮影枚数　30～50
Alignment 設定	精度　高 キーポイント制限　なし タイポイント制限　なし
Geometry 設定	品質　高 深度フィルタ　中

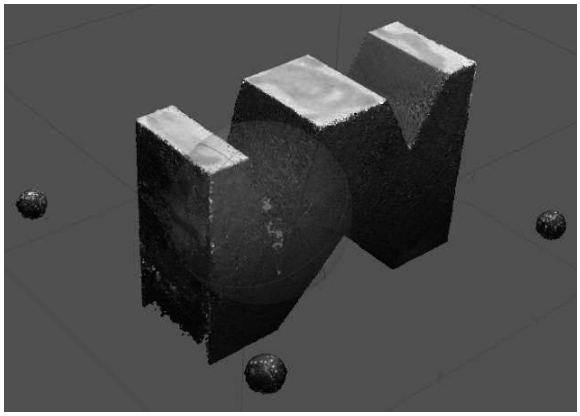

図 4　三次元形状データのイメージ

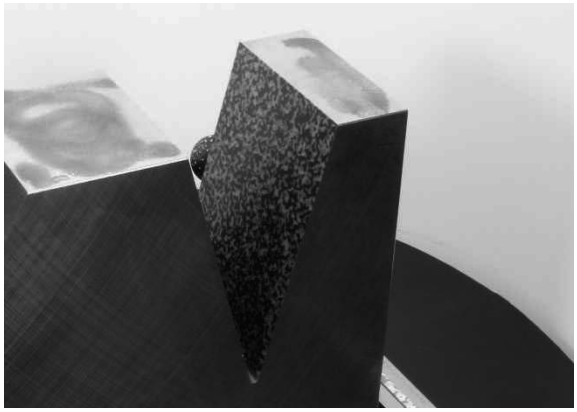

図 5　ランダムパターンを付加した様子

度な三次元点群データを構築する。三次元形状データのイメージを図 4 に示す。

2.4.3　検査ソフトによる解析

検査ソフトを用いて，三次元点群データに平面や球などの幾何要素をフィッティングさせ，要素間の距離（寸法）や角度を求める。

3.　測定結果

各測定サンプルを 3 回ずつ評価し，その平均値と基準値，および基準値との誤差を表 4，表 5 に示した。その結果，寸法については，基準値からの誤差が±0.1%程度で測定できることがわかった。

表 4　M ブロック小の結果

	寸法 A (mm)	寸法 C (mm)	角度 D (deg)	角度 E (deg)
基準値	74.992	23.941	90.014	90.007
測定値	75.028	23.951	90.060	90.282
誤差	0.05%	0.04%	0.05%	0.31%

表 5　M ブロック大の結果

	寸法 A (mm)	寸法 C (mm)	角度 D (deg)	角度 E (deg)
基準値	300.30	100.21	60.000	29.997
測定値	300.00	100.10	60.160	29.578
誤差	-0.10%	-0.11%	0.27%	-1.40%

角度についても，基準値からの誤差が±0.3%程度で測定できているものの，M ブロック大の角度 E のみ，誤差が-1.4%と大きくなった。この原因は，形状が鋭角の谷であるため，光源からの光が届きにくいことと，撮影時にカメラの視野から隠れる部分が多いことから，うまく形状を捉えていないことが影響しているものと思われる。

この解決手段として，図 5 に示すように，測定サンプルの表面に部分的にランダムパターンを付加することで，三次元形状データの欠損がなくなり，誤差が-1.40%から 0.43%に小さくなることを確認した。部分的にランダムパターンを付加した前後での三次元形状データのイメージを図 6 に示す。

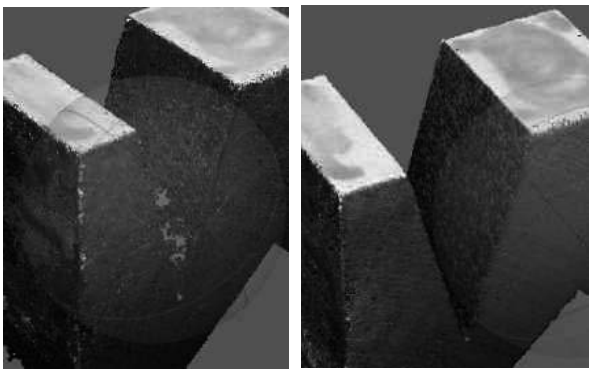

図 6　ランダムパターンを部分的に付加した三次元形状データのイメージ（左：付加前，右：付加後）

4. 考　察

デジタル写真測量法では，三次元形状データを取得する際に，表面の光沢や反射によると思われるノイズが入ると，そのノイズが後の検査工程に影響を与え，形状評価の精度を悪化させる要因となる。そのため，三次元形状データのノイズ削除が必要であり，その作業に時間を要する点がデメリットであると思われた。

ノイズのより少ない三次元形状データを取得するためには，ワークの表面テクスチャーを整えること（光沢や反射を除去する，ランダムパターンを付加するなど），撮影環境を整えること（模様のない背景を設定する，影が出ないよう均一に照明を当てるなど）などの検討が更に必要であると思われる。

5. 結　言

(1) デジタル写真測量法によって三次元形状を評価したところ，基準値との誤差が，寸法については±0.1%程度，角度については±0.3%程度で測定できることがわかった。
また，本研究の範囲では，サンプルサイズが変わっても誤差にそれほど大きな違いはなかった。

(2) 三次元形状データの取得が不十分な部分については，形状精度悪化の要因となる。その対策として，サンプル表面へのランダムパターンの付加が効果的であることを確認した。

参考文献

1)（社）日本写真測量学会編，三次元画像計測の基礎―バンドル調整の理論と実践，東京電機大学出版局，2016，p.20.