

# 写真測量による平和の像の 3 次元計測

Three Dimensional Measurement of "Statue of the Peace" by Photogrammetry

村井俊治\*・奥田 勉\*・鈴木芳朗\*\*

Shunji MURAI, Tsutomu OKUDA and Yoshiro SUZUKI

富山県宇奈月町の山の上に、12.7 m のブロンズ像“平和の像”が建設された。像の形質から見て、風、雪、温度、雷等の自然の外力により変形することが危惧される。各種の応力解析と対策が施されてはいるが、完成直後の 3 次元形状を計測しておき、今後の変形量を調査および分析する資料とすることはきわめて重要である。これだけ大きい像に足場をかけ実測することは、経費の上からも精度の上からも実用的ではない。そこで、測定用カメラにより写真測量を行った。成果によれば平面で±2~3 mm、奥行きで±5 mm の測定精度が得られた。

## 1. 計測の目的

平和の像の 3 次元形状を計測する目的は次の 3 つである。

- (1) 竣工時における形状を計測することにより、設計図のとおり施工できているかを検査する。
- (2) 将来、自然の外力を受けて変形することが予想されるので、変形量を求める基準として竣工時の形状を計測しておく。
- (3) 竣工時の形状を計測しておくことにより、将来破損した場合の復元に役立つ資料にする。

## 2. 平和の像の計測環境

### (1) 建設位置

富山県宇奈月町から車で約 15 分登った標高 570 m の小さな山を整地した敷地が建設位置である。平和の像は直径約 50 m 弱のほぼ円形の敷地の中心よりやや南寄りのところに、顔が北を向くように建てられている。したがって北側が正面で台座まで約 25 m の空間がある。しかし、裏側は約 10 m、左右は約 15 m の空間しかない。

### (2) 平和の像の概略の形状

図 1 に示すように、ブロンズ像の高さが 12.7 m、台座

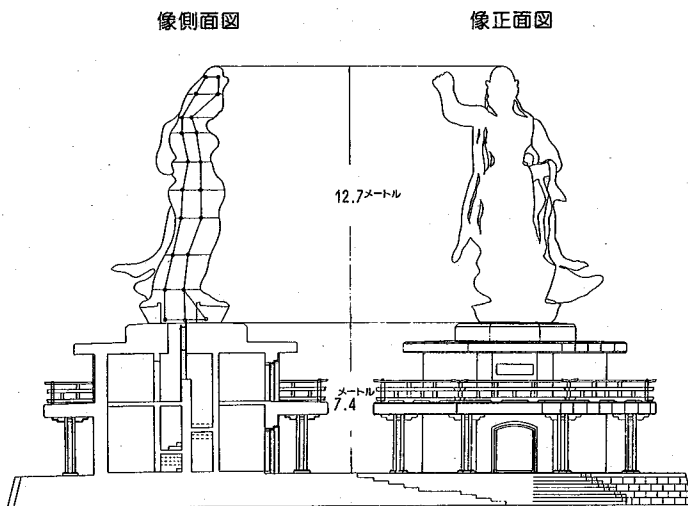


図1 平和の像の構造

\* 東京大学生産技術研究所 第 5 部

\*\* 日本大学理工学部

の高さが7.4 m, 土台の高さが1.7 mで, 敷地から合計21.8 mとなる. 台座の1階床は八角形で17 mの奥行きがあり, ブロンズ像が立っている2階屋上の台座は6 mである.

### 3. 立体写真撮影の方法

#### (1) 使用カメラ

スイスのウィルド社製の地上写真測量用カメラ P 32を用いた. カメラの諸元は以下のとおりである.

焦点距離  $f=64.09\text{mm}$

画角; 長手方向:  $64^\circ$

短手方向:  $50^\circ$

フィルム寸法 6 cm×8 cm

レンズ歪  $\pm 5\mu\text{m}$  以下

#### (2) 使用フィルム

アグファ社製白黒乾板を用いた.

#### (3) 撮影点の選定 (図2参照)

正面からの撮影の場合, 図2に示すように, 中心より北に30.8 mのところを基線ととり,  $\pm 5\text{ m}$ , すなわち基線長10 mの平行撮影と $\pm 10\text{ m}$ , すなわち基線長20 mの収れん撮影による立体写真の撮影を行った. 地上からの水平撮影では, 全体が入らないため, いずれのケースも, クレーン車を用いて地上約10~15 mの高さから水平方向に立体写真の撮影を行った. 平行撮影による立体写真は写真測量図化機のためのものであり収れん撮影によるものは数値計算用である. 後続の作業で写真測量用の図化機にかけるためには,  $\pm 5^\circ$  以内の平行性をもたさなければならないので, カメラを水平に保ち, 視準線を目標とおりにするための工夫を行った. 数値計算用の写真の撮影には, 図化機用のように平行性等の制約がないため, 基線長を長くし, さらに光軸を互いに斜めにした収

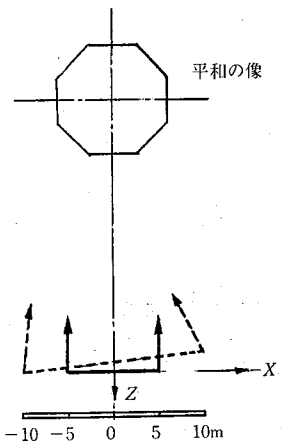


図2 平行撮影と収れん撮影の位置  
(実線: 平行撮影, 点線: 収れん撮影)

れん撮影を行い精度の向上を図ることができる.

#### (4) 撮影時刻の選定

撮影は昭和57年8月31日および9月1日に行った. 顔が北を向いているため昼間近くでは顔に陰が生じ, 計測に適さない. 朝または夕方であれば太陽光が斜めから顔に入射する. しかしこの場合であっても夏の太陽の光は強いので, コントラストが強くて陰のところが真黒になるおそれがある. 以上のことを考慮して, 曇りがあるときの高曇り状態の時を夕方時に待つことにした. 幸いに山から雲が次々とおき上り, 時々太陽をかくす時を得たので, 計測に適した写真が得られた. 写真1および写真2に示した正面の立体写真は, 8月31日, 午後3時から3時45分の間に高曇り状態の時に撮影したものである.

### 4. 写真測量の方法

#### (1) 基準点

コンクリートの台座は不動構造体と考え, 台座1階床部に8点, 2階床部に5点, 3階に7点, 合計20点にX字型の標識をはり, セオドライトと水準儀により, 地上座標を測定した. 基準点の測定精度は平面座標で $\pm 2\sim 3\text{ mm}$ , 高さで $\pm 1\text{ mm}$ であった. (図3参照)

#### (2) 測定点

ブロンズ像は将来変形する可能性があるため, 顔, 腕, 胴, 衣などに鋺を打ちこみ, 赤い印をつけて測定点として認識できるようにした.

#### (3) 写真測量による3次元計測

次の2種類の3次元計測方法を試みた.

方法1: 写真測量用図化機による等高線図化

写真1に示す立体写真(平行光軸; 基線長約10 m, 基線比約1:3)を用いてスイスウィルド社製図化機 A 10 (日本大学理工学部所有)を用いて等高線描画を

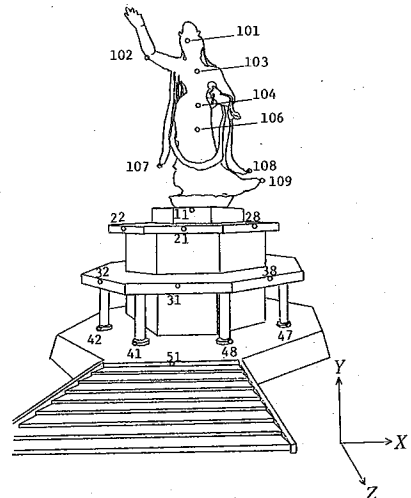


図3 基準点配置図



図 4 写真測量により描画された平和の像の等高線図(等高線間隔 2 cm)

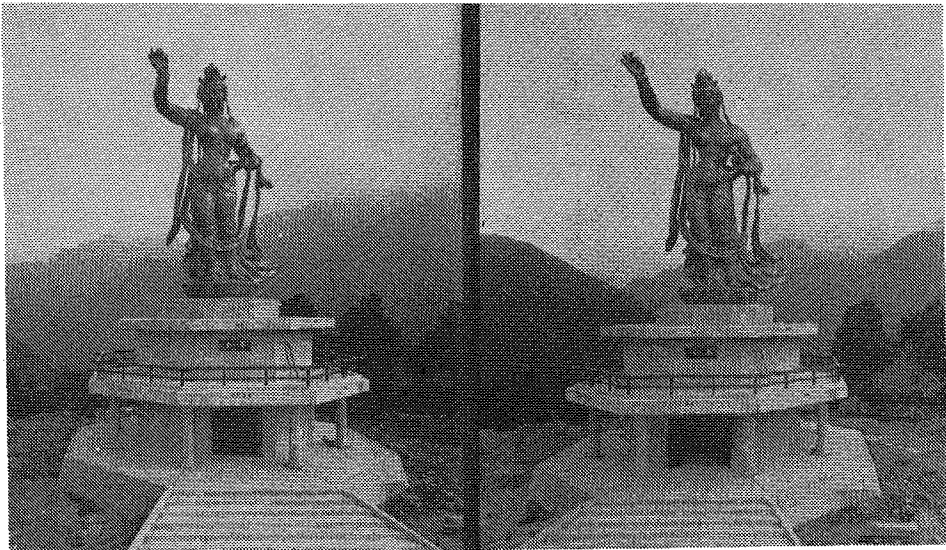


写真 1 平和の像立体写真；平行撮影 基線長約 10 m (写真測量図化機用)

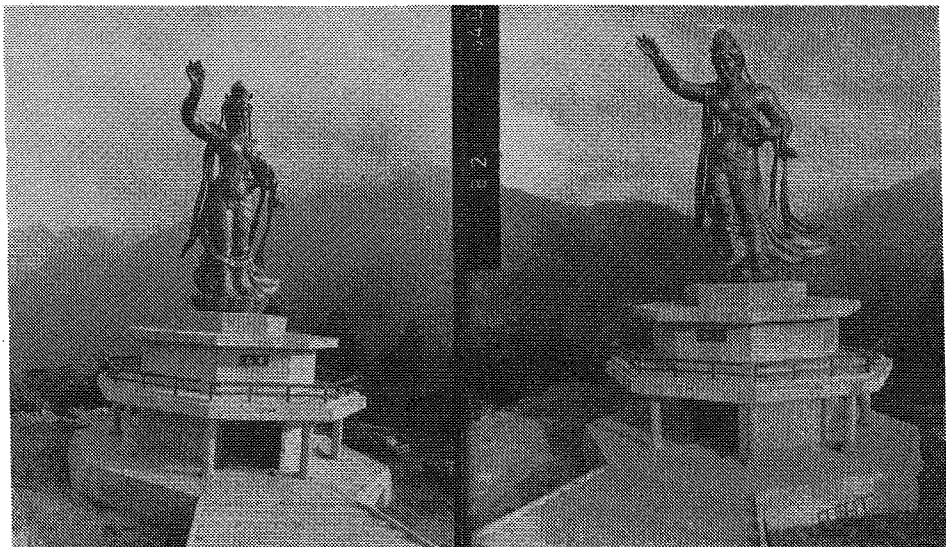


写真 2 平和の像立体写真；収れん撮影 基線長約 20 m (数値計算用)

表 1 単写真標定の精度

計算項目	左 写 真	右 写 真	備 考
$X_o$	-9.889m	9.867m	基線長=約20m
$Y_o$	15.804m	16.546m	撮影点の高さ
$Z_o$	0.074m	-2.299m	
$\omega$	3° 34' 59"	-30° 52' 50"	収れん角
$\varphi$	-2° 42' 25"	-5° 46' 17"	ほぼ水平視準
$\kappa$	-93° 01' 24"	-91° 33' 44"	ほぼ水平視準
基準点数	13	14	
中等誤差	6 $\mu$ m	5 $\mu$ m	

行った。図化機の制約から正確な 2 倍伸しポジフィルムを作成したものを図化機にかけた。絶対標定の際の精度は、約 ± 5 mm であった。図 4 は平和の像の等高線図の一部であり、等高線間隔は 2 cm、縮尺は 1/40 である。

方法 2：精密座標読取装置と計算機による数値計算

写真 2 に示す立体写真 (収れん写真；基線長約 20 m、基線比約 1 : 1.5) を用いて、精密座標読取装置 (東独ツァイスイエナ社製ステコメーター、最小読取値 1 $\mu$ m) により計測点の写真座標を読取り計算機により

表 2 3次元座標計測の誤差と精度

点 名	$\Delta X$ (mm)	$\Delta Y$ (mm)	$\Delta Z$ (mm)	相対精度(%)	備 考
11	0	0	2	0.068	
21	1	0	-4	0.148	
22	2	0	2	0.076	
28	0	1	-2	0.074	
31	0	0	1	0.033	
32	1	-2	1	0.056	
38	-3	0	0	0.024	
41	3	0	-1	0.013	
42	2	-3	4	0.121	
47	-3	-1	4	0.122	
48	-1	-5	-5	0.206	
51	-1	1	-2	0.086	
101	-4	5	-16	0.542	視準不良
103	2	2	-1	0.006	
104	-1	4	-7	0.230	
106	10	8	-12	0.290	視準不良
107	-3	6	-13	0.407	視準不良
109	-8	-4	21	0.552	視準不良
平 均	$\pm 3$	$\pm 2$	$\pm 5$	0.170	

撮影位置およびカメラ傾きを左右写真についてそれぞれ求めた(表1参照)。

この単写真標定の精度は写真乾板上で $\pm 5 \sim 6 \mu\text{m}$ であった。次に計測点の3次元座標を計算機により求めた。3次元座標の測定精度は表2に示すように中等誤差で平面X方向 $\pm 3$  mm, Y方向 $\pm 2$  mm, 奥行Z方向 $\pm 5$  mmであった。

## 5. 得られた成果

- (1) 竣工時におけるブロンズ像の正確な等高線図および主要計測点の3次元座標が写真測量によって得られた。
- (2) 今後のブロンズ像の変形量の測定が可能であるように、地上基準点の保存および変形すると思われる主要計測点への標識点設置などを行った。
- (3) 基線比1:3の立体写真を写真測量図化機で計測した結果 $\pm 5$  mmの測定精度が得られ、2 cmの等高線の描画が可能であった。
- (4) 基線比1:1.5の立体写真を精密座標読取装置と計算機により、計測点の3次元座標を求めた結果、平面で $\pm 2 \sim 3$  mm, 奥行きで $\pm 5$  mmの精度が得られた。

## 6. 今後の課題

- (1) ある年月が経過したのち、ブロンズ像がどのくらい変形しているかを計測する必要がある。現在の測定精度から見て、1 cm以上の変形量の検出が可能であると考えられる。
- (2) 測定の再現性を保償できるような不動点の長期維持および管理を行う必要がある。今回の作業では地上基準点の保存を行っている。

(1983年1月25日受理)

