

IV-224 CCDカメラと画像処理装置とを用いたときの座標測定精度

岡山大学 正員 ○ 森 忠次
岡山県 正員 広金 幹生
鹿島建設 沼本 仁志

1. まえがき

デジタル画像を取得できるカメラを用いれば、その後はデジタル画像処理装置さえあれば、最低限の三次元座標計測を容易に実行できることを明らかにした。^{1)~3)} その後に、予告していた改良策を少し施したこと、実験例が増えたので、測定誤差の実状を報告する。

2. 機器システムと観測法

使用機器は前報と同じで、カメラはPIC-2350A（2,000素子の列が3,000ライン移動）である。この記録を実体観測できるようにディスプレイの画面に表示させ、浮標を用いて実体観測を行っている。計測の最小目盛りはディスプレイの1画素間隔であるから、精度を向上させようとすれば、元原像を拡大表示すればよい。ただし、こうすれば実体視が困難になるので、観測倍率を小さくした反射式実体鏡によって観測することとした（図-1）。本文では、断わりのない限り観測誤差の大きさを原画像での寸法に換算して示す。原画像およびディスプレイの画素間隔は、それぞれ13 μm 、500 μm である。

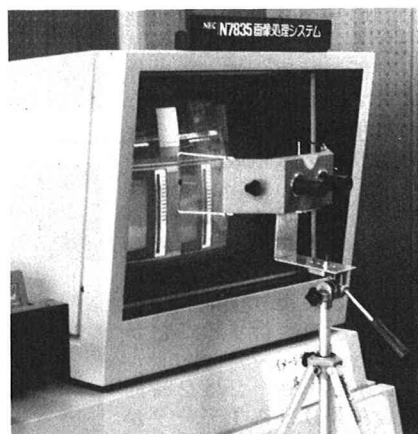


図-1

3. ターゲットの観測誤差およびカメラの標定誤差

明白なターゲットの観測誤差は表-1のとおりであって、精密観測の可能なことがわかる。ただし、このカメラにはCCDの移動に伴う遊びがあるので、残念ながら素子の位置誤差は表-2のとおりになる。そこで、自作のカメラ検定場に多数のターゲットを配置し、その画像座標観測値を用いて最小二乗法によって決定できる量から、ターゲット座標の観測誤差を求めてみた。

検定場において3箇所より撮影した画像について、①単写真ごとにカメラの内部標定要素の検定を行った。②こうして得られた検定値を用いて、単写真ごとに外部標定を行い、③さらに2枚の写真を組み合わせて得られる3つのモデルについて、共面条件による相互標定を実行した。これらの各場合における像の座標観測誤差を示したものが表-3である。内部標定および外部標定においては、基準点観測誤差なども加わり、ほぼ表-2に近い誤差を示している。しかし、相互標定ではy座標（素子配列方向）誤差のみしか影響しないので、誤差は小さくなっている。

4. 三次元座標再現の誤差

表-1 ターゲット観測誤差（ μm ）

ターゲットの種類	カメラ I	カメラ II
円形ターゲット中心	± 0.65	± 0.59
角形ターゲット隅角	± 1.18	—

表-2 素子の位置誤差（ μm ）

区 別	カメラ I	カメラ II
素子配列方向	± 1.5	± 2.6
素子移動方向	± 3.4	± 4.3
上記の二乗平均	± 2.6	± 3.6

表-3 画像座標観測誤差（ μm ）

区 別	カメラ I	カメラ II
①内部標定	2.7, 3.1, 3.7	3.3, 3.8, 3.8
②外部標定	2.3, 2.8, 3.1	3.7, 3.8, 4.2
③相互標定	1.7, 1.7, 2.4	0.9, 1.0, 1.1

前節の②の結果を用いて被写体の三次元座標が求められる。こうして得られた座標ともとの地上測量値との差の二乗平均を示したものが表-4である。これらの誤差の現れ方は、表-2および表-3から推定されるとおりであり、表-4における画像座標観測誤差は、カメラIでは $\pm 1.2 \sim 1.9 \mu\text{m}$ 、カメラIIでは $\pm 2.0 \sim 2.6 \mu\text{m}$ （*印は例外的に約 $\pm 1.1 \mu\text{m}$ ）であった。

表-4 被写体の奥行き観測誤差

区 別		カ メ ラ I		カ メ ラ II	
標 定 基 準 点 数		8	5	11	7
モデル構成	基線比				
A-B	0.19	6.4(0.25)	5.8(0.23)	12.6(0.50)	12.7(0.51)
B-C	0.72	4.0(0.15)	5.1(0.21)	4.3(0.17)	4.5(0.18)
A-C	0.91	3.4(0.13)	4.4(0.18)	4.2(0.17)	3.8(0.15)
A-B-C	-	3.2(0.12)	4.3(0.17)	11.7(0.47)*	11.4(0.45)*

（注） 単位はmm、括弧内の数値は（精度）＝（奥行き誤差）／（奥行き距離）を示す。

5. 実体観測の誤差

左右の浮標によって任意点の位置を指定するのが実体観測である。見易い点（ターゲット中心、物体の角など）と見難い点（テクスチャ

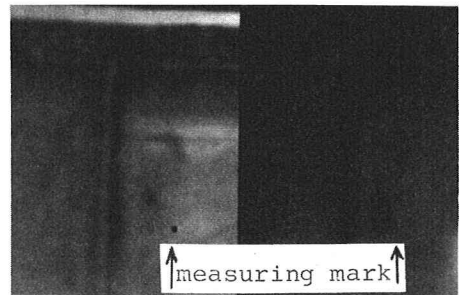
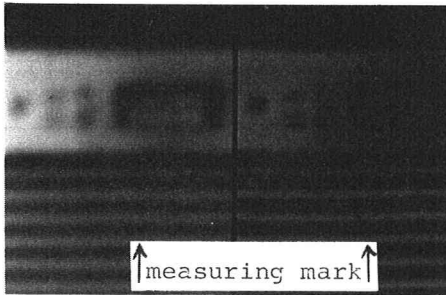


図-2

の少ない物体表面、図-2参照）に分けて、ディスプレイへの表示倍率と反射式実体鏡による観測倍率を変えて観測したときの座標観測のばらつきを調べた結果が図-3である。見難い点では観測のばらつき（標準誤差）が $\pm 10 \mu\text{m}$ に達している。精度向上のためには表示倍率の増大が望ましいが、そのためにはディスプレイの画素数を現状の 512×512 よりも多くしなければならない。

6. むすび

現在使用中のシステムによれば、明確な点が存在すれば原画面上で $\pm 3 \sim 4 \mu\text{m}$ の誤差で測れ、表-3のような精度が得られる。しかし、任意の点を観測すれば誤差が $\pm 10 \mu\text{m}$ を超えると推定しておかなければならない。より高精度の観測をしようとするれば次の3点を改良すれば効果がある。①カメラの可動部分をなくす。②ディスプレイの画素数を増す。③観測回数を増す。

参考文献

- 1) 土木学会第42回講演概要集第4部、p.16 (1987), 2) 土木学会第43回講演概要集第4部、p.446 (1988), 3) International Archives Photogramm. & Remote Sensing, Vol.27, Part 8, p.V1 (1988)

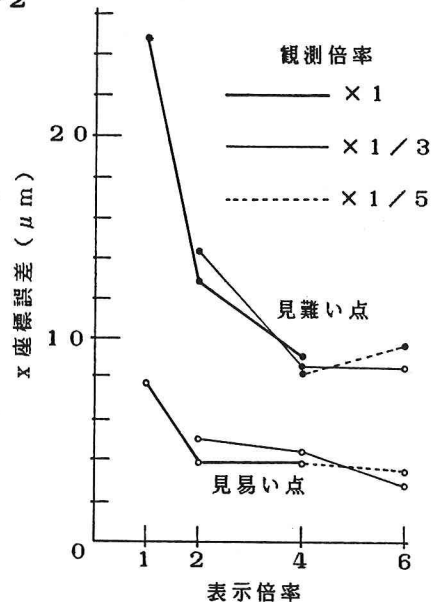


図-3