

可視光通信による3次元写真解析システムの開発

3D Photogrammetric System using Visible Light Communication

掛橋 孝夫 TAKAO KAKEHASHI

三上 博 HIROSHI MIKAMI

鈴木 茂之 SHIGEYUKI SUZUKI

土木設計部 永元 直樹 NAOKI NAGAMOTO

ビルや道路・橋・トンネルなどの建設・維持や災害予測などのさまざまな場面において測量技術は必要不可欠なものであるが、トータルステーションやGPSなどの既存の測量技術では手間や時間やコストがかかるといった問題がある。一方で、普及の進むLED照明からの光を利用した可視光通信が研究されている。可視光通信では、イメージセンサーを受信機として用いることで複数の信号を同時に受信することが可能である。本論文では、測量技術に可視光通信とイメージセンサーを用いることで、複数箇所を短時間に同時に測量可能かつ簡易なシステムで実装可能で実用的な精度を有する測量システムを提案する。また、実際にシステムを開発し、実験を行い評価することにより有用性を示す。

キーワード：可視光通信、写真測量、デジタルカメラ、変位計測、LED、イメージセンサー

The author proposes a new measurement system using visible light communication and image sensor. Measurement is an essential technique for building, bridge and tunnel construction and disaster prediction. However, conventional measurement method such as total station (GPS) takes much time and works. On the other, visible light communication utilizing LED lighting equipment is being developed. Visible light communication can receive plural light signals at the same time by using image sensor as receiver. The 3D photogrammetric system using visible light communication system proposed in this paper can measure multiple locations at the same time at short times and can be implemented easily. The availability of the proposed method is demonstrated by experimental assessment.

Key Words: Visible Light Communication, Photogrammetry, Digital Camera, Displacement, LED, Image Sensor

1. はじめに

橋梁やトンネルなどの建設工事では、構造物を精度よく建設するために測量は不可欠な技術であり、頻繁に実施されている。測量技術は近年、測量機器の開発、改良が進むとともに、GPSを用いた測量システムなど新たな測量システムも開発、実用化されている。このようななかで、航空写真だけでなく、近年は、技術的進歩が著しいデジタルカメラを用いた写真測量についても技術開発が進み、適用範囲を広げている。

一方、情報システム分野の技術的進歩もまためざましいものがあり、建設産業でもICタグを用いた情報管理システムを活用するなど、新しい情報システムを適用する

事例が増えつつある。このなかで、可視光通信は世界に先駆けて我が国で研究、開発が進んでいる次世代の通信技術で、発光ダイオード（以下、LED）等の可視光に情報を載せて通信する技術である。本技術は、照明を用いた案内情報配信実験が関西国際空港で行われるなど、さまざまな分野で実用化に向けた開発が進められている。

本研究では、写真測量技術と可視光通信技術を組み合わせた可視光通信による測位・モニタリングシステムを開発し、実験によりその有用性を示す。

2. 目的

(1) 写真測量

写真測量とは、計測対象を撮影した写真から3次元位置を算出することである。写真測量は非接触型の測量であるため、建物や橋梁における歪の計測や地すべりの監視など、さまざまなモニタリングシステムに用いられている。また、古くから航空写真を用いた写真測量も行われている。今日では、デジタルカメラの普及によりデジタル写真測量が広く一般に行われている。

写真測量を行う場合、計測対象面に座標が既知な基準点および計測点を設けて、視点の異なる場所から撮影を行い、後方交会によりカメラ位置を求め、前方交会により計測点を計測する。写真測量を自動化するためには、解決すべき課題の一つとして、2視点以上の方向から撮影されたターゲット（基準点および計測点）の対応付け作業がある。ターゲットの対応付け作業を手動で行う場合は、ターゲットの数に比例して多大な時間と労力を消費し、加えて、人為的ミスにより計測精度が悪くなる場合もある。また、対応付けを独立な模様を持ったターゲットを用意して自動化する方法¹⁾は、撮影距離や撮影方向に依存するため、常に安定した対応付けを行うことは困難である。

(2) 可視光通信

可視光通信とは、光の波にデータを載せて通信を行うデータ通信技術のことである²⁾。この考えを拡張し、光の点滅パターンを画像処理によって検出することで、データ通信を行う技術も提案されている³⁾⁴⁾⁵⁾。本システムは、この光の点滅パターンを用いたデータ通信を用いて、ターゲットの自動的な対応付けを実現する。

点滅パターンを検出するためには、複数枚の画像を撮影する必要がある。写真測量を行う場合は、各視点でカメラを固定して複数枚の画像を撮影する。そして撮影した時系列画像を用いることで光の点滅パターンを用いてデータ通信を行うことが可能となる。

光の点滅パターンを用いてデータ通信を行う技術に関する従来研究では、フォトダイオードと呼ばれるハードウェアや³⁾、ハイスピードカメラが用いられてきた⁴⁾。また、応用事例として信号機を用いた位置計測が提案さ



図-1 受信機



図-2 送信機

れている⁵⁾。しかしながら、これらの手法は写真測量のターゲットの安定した検出と精度の観点から写真測量には適さない。

そこで、本研究ではターゲットの安定した検出と高い位置計測精度の測位・モニタリングを可能とする可視光通信による測量システムを開発した。

3. システム概要

(1) システム構成

本システムは、市販の高解像度デジタル一眼レフカメラ（受信機）、ターゲットとなるLED光源（送信機）と解析用パソコンから構成される。本システムで用いたカメラは、図-1に示す Nikon 製 D300 であり、4,288 × 2,848 画素の解像度を持つ画像を100枚連射して撮影することができる。図-2は半球型のLED光源であり、送信間隔を任意に設定することができる。なお、光源が送信するビット数はカメラが連続して撮影できる枚数に依存する。100枚という限られた枚数であることから、本システムで使用するLED光源はIDのみを送信することとした。図-3に本システムのインターフェース画面を示



図-3 システム画面

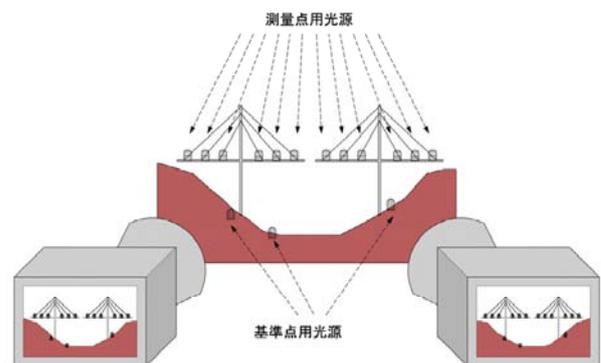


図-4 可視光通信を用いた3次元位置計測

す。また、図-4は本システムを実際の施工現場で用いた際の構成図である。前述のように、それぞれの光源が ID 番号を発信することにより、基準点（座標既知点）の座標データベースとの関連付けや、1枚目と2枚目それぞれにおける光源の関連付けが、容易に自動で行えるようになる。

(2) 計測手順

本システムを用いて写真測量を行う場合は、前処理としてカメラの撮影間隔を正確に測定しなければならない。これは、光源の点滅間隔とカメラの撮影間隔を一致させるためである。光源の点滅間隔を設定した後、光源を計測したい地点に設置して点滅させる。この際、現場計測時の利便性を考慮して各光源の点滅開始時刻は同期させる必要がないものとした。

次に、基準点となるターゲットの3次元位置をトータルステーション等により測量して、そのターゲットの ID と X, Y, Z 座標をシステムに入力する。各視点での撮影では、光源を一定の枚数で撮影し、システムにその連続画像を取り込んだ後、各視点で撮影された画像から光源の ID を検出し、基準点を基にした後方交会とそれら結果を基にした前方交会により計測点の自動解析を行う。

4. 光源検出

(1) 送信データのフォーマット

光源が送信できるビット数は、カメラが連続して撮影できる枚数に依存する。本システムで用いた Nikon 製 D300 は連続して 100 枚の撮影を行うことができる。カメラの撮影開始と光源の点滅開始は非同期であるため、1パケットで用いることのできる枚数は50枚分となる。本システムでは、誤り訂正を行うために1ビットを4枚の画像を用いて表すことにする。つまり、これは1ビットを4サンプルで表すということであり、1パケットで用いることのできるビットの数は12.5ビットとなる。各画像において、光源が光った場合を1、光源が光っていない場合を0とし、次のような組み合わせを用いてビットを表す。

4 sample → 1 bit
0011 → 0
1100 → 1

検出された4サンプルに対して上記組み合わせと距離の近い方を割り当てる。つまり、1サンプルの誤りがあ

る場合、誤り訂正を行うことができる。

次に、1パケットで用いることのできる12.5ビットのうち、12ビットを用いて表-1のような送信データフォーマットを設定する。カメラの撮影開始と光源の点滅開始は非同期であるために、ヘッダーを用いて受信した信号からデータの開始位置を探索する。ヘッダーを設計するにあたり、上記のビットを表すサンプルの組み合わせと異なるものにする必要があった。そこで、3ビット、つまり12サンプルのヘッダーを次のように設定した。

Header → 111111000000

送信できるデータは6ビットであるため、64個の ID を設定することができる。また、受信したデータに誤りがある場合を検出するために、巡回冗長検査 (CRC) を用いた⁹⁾。巡回冗長検査とは、送信するデータに対して、あらかじめ定められた生成多項式で割り切れるような余りを付加し、受信側でその生成多項式で割り切れない場合に誤りがあると判別する。本システムでは、3ビットのCRCを生成するために以下の生成多項式を用いた。

$$x^3 + x + 1 \quad (1)$$

例えば、10という ID を送信する場合には、表-2のような送信データ (TD) となる。

(2) しきい値の算出

光源の点滅パターンから ID を算出するために、受信した際の値、つまり画素の値から0と1の2値に変換する必要がある。従来研究において光源検出を行う場合、あらかじめ設定されたしきい値以上の変化がある箇所を光源としていた³⁾⁴⁾。しかしながら、光源の明るさの変化は光源の明るさやカメラからの距離に依存して変化する

表-1 送信データフォーマット

Header 3bit	Data 6bit	CRC 3bit
----------------	--------------	-------------

表-2 送信データの例

ID	10
ID bit	001010
CRC bit	011
TD	111111000000001100111100 001111000011001111001100

るため、すべての画素に同一のしきい値を使うことは難しい。そこで、各画素について、時系列の値の変化を利用してしきい値を算出することとした。

本システムを用いて撮影を行う場合、100枚の撮影にかかる時間は約16秒である。そこで、撮影をしている間には明るさの変化がないものと仮定して(3)で述べる枚数の時系列画像に対し、各画素*i*において最大値 Max_i と最小値 Min_i を算出し、しきい値 Th_i は次の式によって算出する。

$$Th_i = \frac{Max_i - Min_i}{2} + Min_i \quad (2)$$

(3) 光源候補の検出

各画素について、(1)で述べた送信データのフォーマットに基づく規則性を満たすものを光源候補領域として検出する。送信データは、ヘッダー(111111000000)と各ビットを構成するサンプルのうち、1と0の数はともに偶数である。このヘッダーとビットと任意の組み合わせ方をした場合、0と1が切り替わる箇所、つまり01と10が起こる間隔は偶数となる。例えば、図-5のようなデータの場合、サンプルの間隔において、01と10の起こる間隔が偶数になっていることがわかる。そこで、各画素の2値に変換した時系列の値に対して、この規則に従っている画素を光源候補として検出する。

以上の処理を行って光源候補を検出する場合、検出される光源候補の画素数は、用いる時系列の画素数に依存する。検出された光源候補は、次の(4)において巡回冗長検査によって光源かどうかを判別されるが、巡回冗長検査はすべての時系列画像を用いて行うため、光源候補の数に比例して処理時間が増大する。そこで、光源候補

00:11111111:00000000:1111:0000:11

図-5 送信データの一部

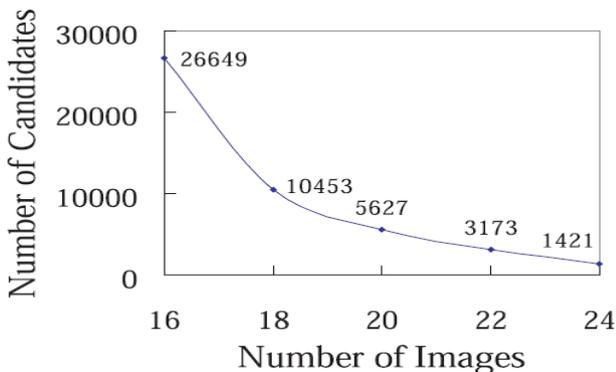


図-6 時系列の画像数と光源候補の画素数の関係

補の画素数はできるだけ少なくする必要がある。図-6は用いる時系列の画像数と検出される光源候補の画素数の関係を示している。本システムは解像度が $4,288 \times 2,828$ の画素を用いており、時系列の画像を16枚用いた場合には、光源候補の画素数は26,649であった。全光源の画素数は236であることから、光源以外の画素においても、上記の規則が観測されたことが分かる。そこで用いる時系列の数を増加させていくと、図-6のように上記の規則が観測される画素が少なくなっていくことから、画像枚数を増やすことで光源候補を絞り込むこととした。ただし、処理可能な枚数はパソコンの仕様に依存することと、適切な時間内で処理を行う必要性から、本システムでは20枚の画像を使用した。

(4) 光源の検出とIDの算出

検出された光源候補の画素に対し、ラベリングをすることで近傍の画素を一つの領域とする。例えば、時系列の画像を20枚用いた場合では、光源候補の画素数が5,627に対して、領域数は2,110となった。このなかには、一つの領域の画素数が1のものが1,466個含まれており、面積のしきい値処理を行うことで候補数を大幅に絞り込むこともできる。

次に、各候補領域において、すべての時系列画像から受信データの検出を行い、巡回冗長検査によって誤りが検出されなかった領域を光源とする。各領域の各画素は、(2)において算出されたしきい値を用いて2値化を行い、各画素の0と1の数について多数決を行うことで、その領域の0と1を算出した。始めにヘッダーの探索を行い、ヘッダーが見つかったものに対して、巡回冗長検査を行う。その結果、誤りのなかった領域を光源とし、その光源のIDが同時に算出される。

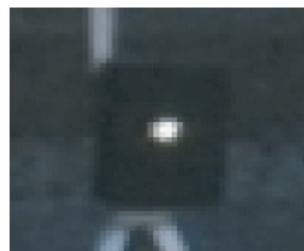


図-7 入力画像



図-8 光源領域

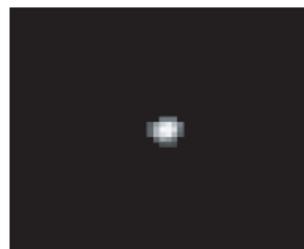


図-9 領域の重み

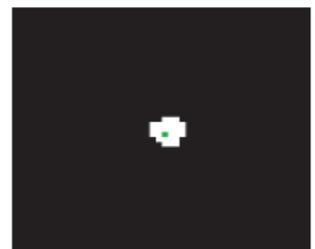


図-10 光源の重心

(5) 光源の中心部の算出

測量を行う地点に光源の中心を設置するため、画像中の光源の中心座標を算出する必要がある。図-7は、Nikon製 D300 を用いて20m先に設置したLED光源を撮影した例で、画像サイズは50×50画素である。図-8は、(4)によって検出した光源領域である。この光源の中心座標を算出するために、各画素を重み付けして重心を算出する。各画素の重みは光源が点灯している場合の画素の平均を用いた。これは図-9のように光が拡散した周辺部の重みを小さくするためである。図-10は、重心を1画素で表しているが、計算上は重心の位置をサブピクセル単位で処理している。

5. 標定処理

(1) 座標系

図-11は写真測量で用いられる座標系を示している。 (X_w, Y_w, Z_w) が地上座標系、 (x_c, y_c, z_c) がカメラ座標系、 (x, y) が画像座標系、 f が焦点距離であり、 (X_o, Y_o, Z_o) が地上座標系におけるカメラの位置を示している。カメラ座標系は、カメラの姿勢 (ω, ϕ, κ) から算出されるカメラの回転行列 R
 (ω, ϕ, κ) と地上座標系を用いて

$$\begin{pmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{pmatrix} = R(\omega, \phi, \kappa) \begin{pmatrix} X_w - X_o \\ Y_w - Y_o \\ Z_w - Z_o \end{pmatrix} \quad (3)$$

のように表せる。後方交会とは、このカメラの位置と姿勢を求めることに等しい。また、投影中心、画像中の像、地上の対象物が一直線上にあるという共線条件式を用いることで、画像座標系はカメラ座標系と焦点距離を用いて

$$x = -f \frac{x_c}{z_c} \quad y = -f \frac{y_c}{z_c} \quad (4)$$

のように表される。

(2) 後方交会

後方交会は、カメラの位置姿勢を求めることであり、カメラの焦点距離が既知の場合、画像上に3次元座標が既知の点が最低3点写っていれば行うことができる。本システムでは、共線条件式の線形化に基づく逐次近似解法によって後方交会を行う。

後方交会を行うにあたり、日本測量協会が行っている

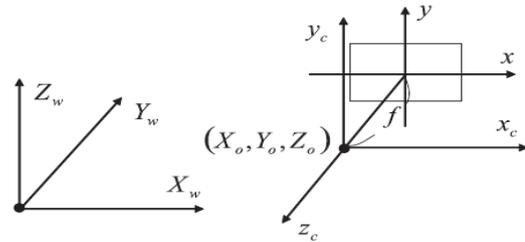


図-11 座標系

焦点距離とレンズ歪パラメータの測定結果⁷⁾を利用した。レンズ歪パラメータは、放射方向歪を補正係数が3次、接線方向歪補正係数が2次となっている。この歪パラメータと焦点距離情報を用いて、算出した光源の重心位置の補正を行った。

また、カメラの位置姿勢の算出にあたり、式(4)の共線条件式は非線形であるために線形化を行う。カメラ座標系 (x_c, y_c, z_c) は、カメラ位置 (X_o, Y_o, Z_o) との姿勢 (ω, ϕ, κ) から表せるため、式(4)は

$$F(X_o, Y_o, Z_o, \omega, \phi, \kappa) = -f \frac{x_c}{z_c} - x = 0 \quad (5)$$

$$F(X_o, Y_o, Z_o, \omega, \phi, \kappa) = -f \frac{y_c}{z_c} - y = 0$$

のような関数として表すことができる。式(5)に対して、カメラの位置姿勢の初期値を与え、テーラー展開の1次近似による線形化を行う。次にトータルステーション等により計測した光源の3次元座標値と検出された光源の重心位置を用いて、最小二乗法によってカメラの位置姿勢の補正量を算出する。この処理を繰り返して収束解を算出することで、カメラの位置姿勢を決定する。

(3) 前方交会

前方交会とは、各視点において後方交会を行った結果に基づいて、未知な点の3次元座標の算出を行う。式(3)と式(4)を次式のように変換する。

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} \sim P \begin{pmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

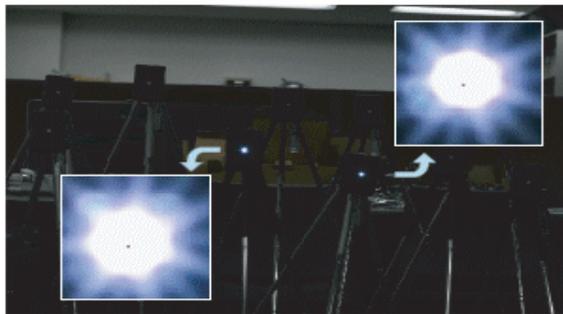
P は画像処理の分野で射影行列と呼び、焦点距離とカメラの位置姿勢を含む 3×4 の行列である。本システムは式(6)を用いて三角測量を行う。2視点以上の式(6)

表-3 可視光通信を用いた3次元位置計測

送信機	LEDのデータレート	1.61bps
	変調方式	2PPM
	平均送信電力	30mW(光源検出・精度検証実験) 5W(現場実験)
受信機	カメラ	Nikon製D300
	焦点距離	52.297mm(光源検出・精度検証実験) 28.659mm(現場実験)
	解像度	4288×2848画素
	イメージセンサーサイズ	23.6mm×15.9mm

表-4 光源検出可能な距離

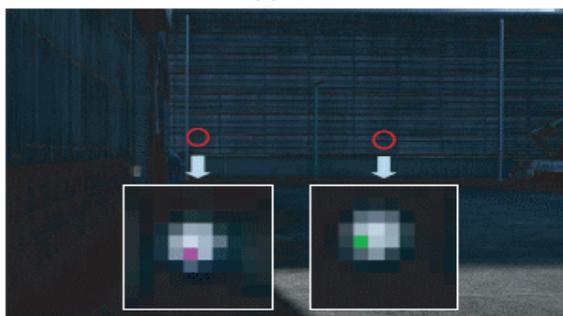
距離(m)	個数	平均の面積(pixel)
2	29	2963.6
35	27	7.4
50	25	6.5



(a) 2m



(b) 35m



(c) 50m

図-12 各距離の画像



図-13 点灯状態



図-14 消灯の瞬間

の方程式を作成して解くことで、光源の (X_w , Y_w , Z_w) を算出する。

6. 実験

(1) 光源を検出できる距離

表-3に示す仕様の機材で光源として検出することのできる距離の検討を行った。図-2に示した光源を10個使用して、2m、35m、50m先に設置し、各距離において3回撮影を行った。図-12に各距離において撮影した画像の例を示す。各画像の中に含まれる光源の図は、2mの場合は150×150画素サイズの画像、35mと50mの場合は10×10画素サイズの画像を拡大したものである。2mの場合は、光源の周辺に光が拡散しているが、中心部と比較をした場合に重みが非常に小さくなるため、光源の中心部を算出できていることが分かる。

次に、光源検出の安定性について評価を行った。各距離において1回の撮影につき、10個の光源検出を行い、撮影を3回行っているため、30個の光源について検出を行った。検出できた光源の個数とその面積の平均を表-4に示す。35mと50mの場合は、光源の面積が数ピクセルであったが、30個中、27個と25個の検出ができた。検出できなかった光源では、画像のノイズの影響から正しく信号を受信できていなかった。2mの場合は、30個中、1個の光源検出ができなかった。この原因は35mと50mの場合と異なり、点灯している状態から消える状態へ変わる瞬間を撮影してしまったためである。図-13は点灯している状態であり、この光源が消える瞬間を撮影したものが図-14である。これは送信機と受信機の周波数を一致できていない場合に生じる問題であり、1サンプル分多くサンプリングしたために、誤り訂正が行えない例である。

(2) 精度検証実験

表-3に示す仕様のデジタル一眼レフカメラとLED光源を用いて、模擬測量実験を行った。図-15のように10点のLED光源を設置し、約20m遠方の2箇所より撮影した。本実験では6点を基準点(0~5)として光波測量機器を用いて座標を測量した後、測量点4点(6~9)を含む全10点と同じ画面に写るように2箇所から高速連続撮影した。撮影した画像データの基準点から標定処理により得られた各撮影箇所におけるカメラ位置と方向等の情報と各画像における測量点の光源の位置情報を用いて、測量点4点(6~9)の座標を算出した。

このようにして求めた測量点の座標と、光波測量機器を用いて計測した測量点4点の座標とを比較することに

よって、精度確認を行った。その結果を表-5に示す。ここに示されているように、比較の結果、最大の誤差で10mmと、光波測量機器自体の測量誤差と遜色ない程度の差異であることが確認された。なお、この誤差は使用するデジタルカメラの画素数にも依存するため、高解像度のデジタル一眼レフカメラを使用することで、さらに精度向上を図ることが可能である。

(3) 現場実験

図-15に示す施工中の実現場において実験を行った。

表-5 測量結果の比較

ID	光波測量			写真測量			誤差
	X	Y	Z	X	Y	Z	
6	59.227	50.000	25.020	59.225	50.004	25.018	0.005
7	57.164	49.998	25.064	57.164	50.003	25.060	0.007
8	53.998	50.002	25.207	53.998	50.006	25.208	0.004
9	49.991	49.996	25.234	49.992	50.005	25.230	0.010

(単位:m)



図-15 現場実験状況



図-16 高輝度LED光源

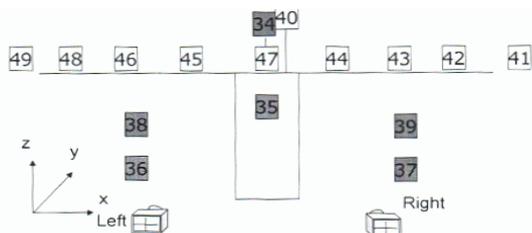


図-17 現場の機材設置状況

実現場においては、長距離の計測が必要となることから100m以上の距離から認識可能な高輝度タイプの防塵防水加工を施したLED光源(図-16)を作成して計測に使用した。その仕様と他実験機材の仕様を表-3に示す。

現場においては、図-17のようにLED光源を配置し、約50m離れた地点2箇所よりカメラで100枚連続撮影を行った。基準点は精度検証実験と同様に6点を使用して解析を行い表-6に示す結果を得た。カメラ撮影位置より100m以上離れた画像端部に写った41, 48, 49のLED光源の精度は悪いものの、それらを除けば約20mmの誤差で計測可能である。

7. 結論

以上の実証試験を踏まえ、本システムの特徴としては、以下のことが挙げられる。

- ①市販のデジタルカメラ、パソコンと簡易なLED光源のみを使用してシステムを構築することが可能
- ②暗闇でも計測可能
- ③多数の点を同時に、しかも短時間で計測可能
- ④2箇所から撮影したそれぞれのLED光源に関する情報を、自動的にで関連付けできる。
- ⑤一度だけLED光源を設置すれば、測定の度に人が測点に行く必要がないため、省力化、安全性の向上につながる可能性がある。
- ⑥安価に自動計測システムを組むことが可能
- ⑦計測データはデジタル出力のため、測量データを他の用途へ利用しやすい。

これらの特徴を生かした実施工現場での改善対策として、以下の用途が考えられる。

(1) 橋梁建設時の形状管理

これまでの橋梁における形状管理では、すべての測点を1点ずつ計測していくため、大規模な橋梁などでは測量に多くの時間を要していた。長大斜張橋などでは日照などの影響により、各部材の温度が逐次変化するため、測量時間中に温度変化による変形が生じ、測量誤差の拡大(測量条件の不一致性)にもつながっていた。また、温度の安定する夜間の測量は、測量点を目視により視準する関係上、実施が困難であった。

今回のシステムは、多くの点を一度に測量できるために、同一条件下での形状を計測することができる。また、夜間に自動撮影を行うことにより、構造物の温度が一番安定している同一時刻にすべての点を測量することができる。以上より、精度向上が期待できるほか、一度だけLED光源を設置するだけで、それ以降は測量点にス

表 -6 測量結果の比較

ID	トータルステーションの値(m)			測量値(m)			誤差(m)			total(m)
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	
40	73.587	67.581	73.321	73.588	67.578	73.329	0.001	-0.003	0.008	0.009
41	97.616	50.036	71.972	97.564	49.996	71.960	-0.052	-0.040	-0.012	0.067
42	92.801	50.033	71.872	92.775	50.010	71.859	-0.026	-0.023	-0.013	0.037
43	88.011	49.971	71.75	87.995	49.957	71.740	-0.016	-0.014	-0.010	0.023
44	83.312	50.036	71.674	83.304	50.033	71.662	-0.008	-0.003	-0.012	0.015
45	68.398	50.054	71.37	68.399	50.040	71.354	0.001	-0.014	-0.017	0.022
46	63.628	49.995	71.308	63.630	49.964	71.290	0.002	-0.031	-0.018	0.036
47	75.834	50.125	71.546	75.832	50.120	71.532	-0.002	-0.005	-0.014	0.015
48	58.798	49.983	71.235	58.809	49.937	71.215	0.011	-0.046	-0.020	0.051
49	53.997	50.004	71.125	54.012	49.946	71.114	0.015	-0.058	-0.011	0.061
未知点の誤差の平均							-0.007	-0.024	-0.012	0.034
未知点の誤差の最小							0.001	0.003	0.008	0.009
未知点の誤差の最大							0.052	0.058	0.020	0.067

タッフやターゲットを配置する必要がないため、作業の省力化にも寄与できる。

(2) 地すべり地帯の自動計測

地すべり地帯などにLED光源を設置し、一定間隔で自動撮影をすることで、地すべりを常時監視することができる。また、測定の度に作業員が測点に行く必要がないため、安全性も向上する。

(3) トンネル内の変形監視

トンネル構内で変状が懸念される部位にLED光源を設置し、一定間隔で自動撮影する。そのデータをネットワーク経由で監視室などに伝送することにより、24時間の遠隔による変形監視を行うことができる。

8. おわりに

本論文では、最先端の通信技術である可視光通信を測量技術へ利用する取り組みについて紹介した。可視光通信は、今後ますますその適用事例を広げていくと考えられ、建設産業においても、その特徴を生かした利用法を検討していくことで、新技術開発の可能性が広がると考えられる。

今後、本システムを用いてさまざまな現場条件に合致するような光源の開発や精度向上などを図り、実施工へ展開していく予定である。

参考文献

1) M.Lightfoot and et al., “ The Measurement of Welding Distortion in Shipbuilding using Close

Range Photogrammetry,” 2007 Annual Conference of the Remote Sensing and Photogrammetry Society, 2007.

2) T.Komine and M.Nakagawa, “ Integrated System of White LED Visible-Light Communication and Power-Line Communication,” IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.49, No.1, 2003.

3) Y.Oike and et al., “ A Smart Image Sensor With High-Speed Feeble ID-Beacon Detection for Augmented Reality System,” IEEE European Solid-State Circuits Conference, pp.125-128, 2003.

4) N.Matsushita and et al., “ ID CAM: a smart camera for scene capturing and ID recognition,” IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp.227-236, 2003.

5) H.Binti and et al., “ Visible Light Communication with LED Traffic Lights Using 2-Dimensional Image Sensor,” IEICE transactions on fundamentals of electronics, communications and computer sciences, Vol.E89-A, No.3, 2006.

6) C.Shi-yi and L.Yu-bai, “ Error Correcting Cyclic Redundancy Checks based on Confidence Declaration,” 6th International Conference on TS Telecommunications Proceedings, pp.511-514, 2006.

7) 社団法人日本測量協会 <http://www.jsurvey.jp/>