

# CCDカメラによるセグメント計測システム

細矢知秀<sup>1</sup>・酒井秀昭<sup>2</sup>・上杉泰右<sup>3</sup>・横尾正幸<sup>4</sup>・小櫻義隆<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 工修 (株)横河システム建築 袖ヶ浦工場管理課 (〒299-0268 千葉県袖ヶ浦市南袖 11 番地)

<sup>2</sup>正会員 日本道路公団 市原管理事務所 (〒290-0031 千葉県市原市村上 815)

<sup>3</sup>正会員 八千代エンジニアリング(株) 橋梁部 (〒153-8639 東京都目黒区中目黒 1-10-23)

<sup>4</sup>正会員 工修 (株)横河ブリッジ 環境部第二課 (〒273-0026 千葉県船橋市山野町 27 番地)

<sup>5</sup>正会員 工博 (株)横河ブリッジ 環境部第二課 (〒273-0026 千葉県船橋市山野町 27 番地)

筆者らはコンクリートセグメントの形状管理システムにCCDカメラを利用した計測システムを適用した。本システムでは、計測精度を向上させるために高い位置決め精度を有する旋回装置の上にカメラを取り付けて計測する方法を採用した。写真測量ではカメラがキャリブレーション時の位置から地盤沈下等により変位した場合基準点等により外部標定要素の補正を行うが、本論ではこの方法がレンズ中心と旋回中心の一致していない装置においても有効であることを確認した。また、本システムでは平面幾何の公式と共線条件方程式を使ってカメラ画像から部材厚を計測する方法を開発した。

**Key Words:** CCD camera, photogrammetry system, concrete segment

## 1. はじめに

近年プレストレストコンクリート橋においては、製作技術の進歩により大断面の桁もプレキャストセグメント工法で製作されるようになった。プレキャストセグメント工法の一つであるショートラインマッチキャスト工法は、一定断面の型枠を繰り返し使用するため、型枠設備のスペースが狭くて済むという特徴を持った経済的な工法である。この工法は国内では重信高架橋で初めて採用され、それ以降第2東名高速道路の建設工事では多くの橋梁で採用されている。

筆者らは永年CCDカメラによる品質管理システムを鋼橋の製作ラインに適用して品質管理の合理化に取り組んできた<sup>1)2)</sup>。このシステムは、画像による三次元計測・数値シミュレーションを行い、出来形帳票を自動作成するので、人為的な誤差の入らない確実な検査結果を提供することが出来る。今回はこの技術を応用してコンクリートセグメントの品質管理の合理化を図るためのシステムを開発した。本文ではこのうちセグメントの計測システムについて論述する。

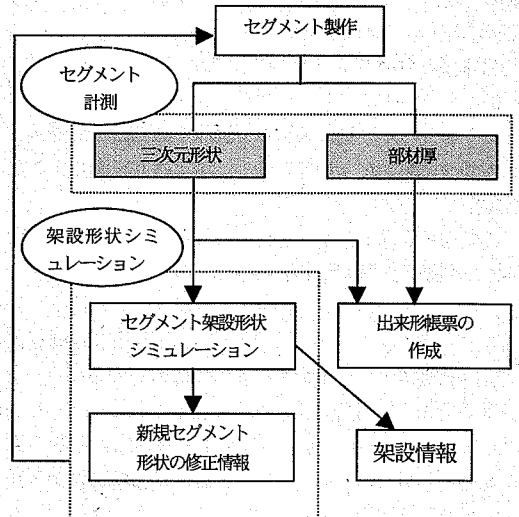


図1 セグメント形状管理システムのフローチャート

本計測システムの開発における課題は次の通り。

- ① 人為的な誤差の除去と計測作業の効率化  
人為的誤差を極力抑えることにより計測精度の向上と、計測作業に係わる人数の削減および作業時間の短縮を図り、計測作業の合理化を実現する。
- ② 地盤沈下に対する補正方法の確立  
計測システムは屋外に設置するため、地盤沈下によるカメラの変位が予想された。この対策を確立し、長期間に亘り安定した計測データを得ることが出来るようにする。
- ③ 部材厚計測方法の開発  
部材厚を直接スチールテープなどで計測するのではなく間接的な方法で計測できれば、部材厚計測用の足場が不要になり、高所での計測作業もなくなる。そのために部材厚を画像から計測する方法を開発する。  
本論ではこれらの課題を解決するための方法を論述し、実際の工事に適用した結果を報告する。

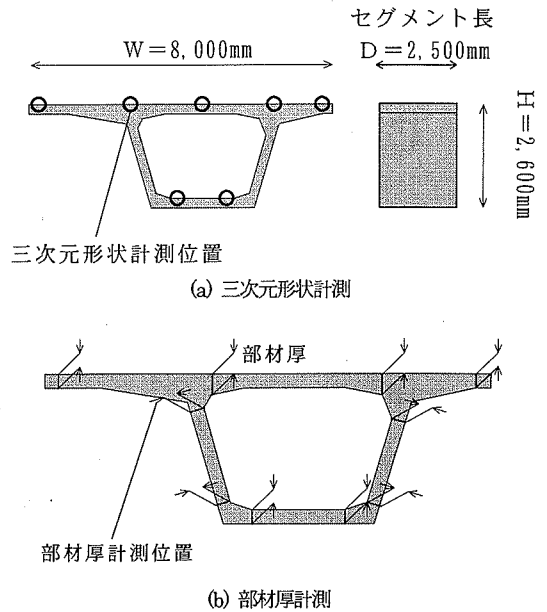


図-2 計測箇所の例

## 2. セグメント形状管理と計測システム開発の概要

セグメント形状管理システムのフローチャートは図-1の通りである。このシステムは、セグメントの三次元形状計測及び部材厚計測を行い、その結果を基に出来形帳票の作成する。またこのシステムでは計測結果を使ってシミュレーションを行い、続いて製作されるセグメントの修正情報を提供する。本論で述べる計測システムは、このシステムのセグメント計測の部分にあたる。なお、セグメント形状管理システムの詳細については酒井らの文献<sup>9)</sup>が詳しく、また架設形状シミュレーションについては横尾らの発表<sup>9)</sup>がある。

日本道路公団豊田工事事務所では、ショートラインマッチキャスト工法においてセグメントの形状を、コンピュータを使った計測システムで管理する場合、セグメントの図-2に位置について、表-1に示す性能を満たすことと規定している。

この規定を満足する可能性のある計測方法として、今回は2種類の計測方法を検討した。

### ① トータルステーションによる計測

トータルステーションと総称される三次元測定器は、計測精度が±1mm以下の仕様のももあり、土木構造物の精密な計測にも広く利用されている。しかしマニュアルで計測する場合は作業による個人誤差が入る可能性があり、自動で計測する場合はシステムが非常に高価なものとなる。また、トータルステーションで部材厚を計測するには、すべての部材厚計測位置にターゲットを取り付けなければならず現実

表-1 セグメント計測システムの性能<sup>9)</sup>

項目	規定
セグメント長	計測誤差 ±2mm以下
部材厚	計測誤差 ±2mm以下

的ではない。よってこの測定器はセグメント計測システムの計測装置として不十分であると判断した。

### ② CCDカメラによる計測

CCDカメラによる計測システムは、高解像度CCDカメラの低価格化により、測量分野で広く使われるようになってきた。

筆者らがこれまで開発した三次元計測システムは、被測定物に取り付けたターゲットの中心位置を自動的に計算するので個人誤差が排除でき、高精度の計測が行える。このシステムはカメラの分解能や計測のレイアウトによって高い計測精度を実現することが可能であり、鋼橋の計測システムでは±1mm以下の精度で計測を行っている<sup>1),2),9)</sup>。

また部材厚計測については、画像計測技術を応用し、ターゲットを使わずとも部材厚を計測できるシステムを開発したので、それをを用いることにした。以上のように、今回はCCDカメラによる計測システムを採用した。

### 3. CCDカメラによる計測システムの設計

#### (1) 計測システムの設計仕様

本システムは表2の目標性能で開発した。ここで三次元計測精度は、セグメント長を三次元形状計測位置の2点間距離(図2)から求めるときに、表1の性能を満足するために切る必要のある精度である。また仮置時間はセグメントの製作ラインの停滞を極力なくするために設定した目標値である。

本システムでは三次元計測の目標精度は $\pm 1.5\text{mm}$ となっているが、これを達成するためには、カメラの画素数を増やすか、焦点距離の長いレンズを使って被測定物を拡大して計測しなければならない。前者は今回の計測

表2 計測システムの目標性能

計測精度:	
三次元計測精度	$\pm 1.5\text{mm}$
部材厚計測精度	$\pm 2.0\text{mm}$
セグメント計測のための仮置時間:	
	20分以下

条件では数千万画素のカメラが必要となるので現実的ではない。一方後者ではカメラを固定すると計測範囲が狭くなってしまい、計測ポイントのすべてを計測することが出来ないという問題がある。この問題を解決するために鋼橋の部材計測システムでは台車で部材を搬送しながら

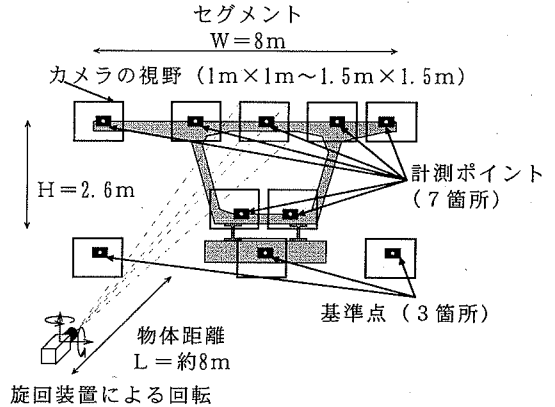


図3 カメラの視野と計測箇所の関係

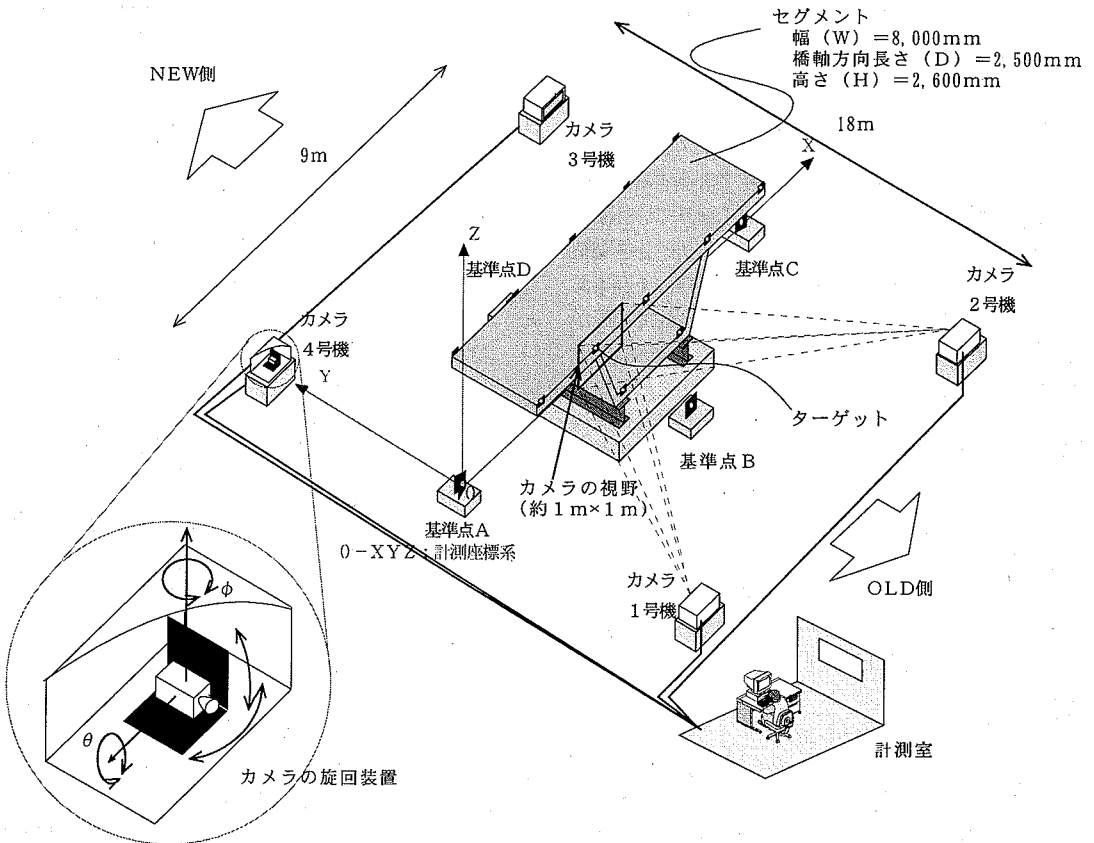


図4 CCDカメラを利用した計測システムのレイアウト

表3 計測システム構成機材一覧

名称	概要
CCDカメラ	130万画素白黒CCDカメラ
	6.7 (H) × 6.7 (V) μm
	シャッター速度 1/10000~1/12秒
レンズ	焦点距離b=75mm (固定焦点)
旋回装置	位置決め精度 2秒以上 (相対値)
コンピュータ	OS Windows2000

表4 カメラのパラメータ

内部標定要素

- b : 焦点距離
- $c_1, c_2$  : レンズ収差
- $x_0, y_0$  : 主点のずれ

外部標定要素

- $X_c, Y_c, Z_c$  : 計測座標系内のレンズ位置
- $\alpha, \beta, \gamma$  : 計測座標系に対するカメラの傾き

ら計測する方式を採っている<sup>23)</sup>。しかし、この方法は計測専用の台車を必要とするなど、システムが大掛かりなものとなる。そこで今回は計測装置の小型化を図るために、被測定物を動かすのではなくCCDカメラを水平及び鉛直方向に旋回させて計測する方法を採用した。図-3は計測箇所とカメラの視野の関係を示したものである。

図-4は本システムのレイアウトを示したもので、表3は計測システムを構成する機材である。ここでCCDカメラはセグメントを取り囲むようにして4ヶ所に設置され、セグメントの三次元形状計測ではセグメント断面に取り付けられたターゲットを2台一組で計測する。今回採用したカメラは、天候等に係わりなく屋外での計測作業がスムーズに行えるように、露光時間、ゲインを調整できるようになっている。レンズの焦点距離は1画素あたりの分解能が1mm (セグメントの断面位置で視野が約1m×1m) になるように決定した。また旋回装置は産業用ロボットの回転ユニットの駆動に利用されるDD (Direct Drive) モーターを利用した (相対的な位置決め精度は±2秒以上、絶対的な位置決め精度は±10秒)。これらの計測装置の仕様は、写真測量の原理 (共線条件方程式) に誤差伝播の法則を適用して、目標精度 (表-2) を満足することを確認した。なお、本システムは作業の迅速化、省力化を果すために、カメラや旋回装置などの計測装置はすべてコンピュータで制御され、また操作も作業員一人で行えるようにした。

(2) カメラのキャリブレーション

CCDカメラのキャリブレーションは単写真標定の手法を使った<sup>7)</sup>。ここで本システムは表4に示す11個のパラメータを内部標定要素及び外部標定要素として使った。なお内部標定要素を求めるには精度の高い複数の奥

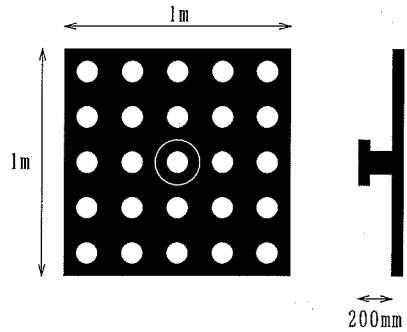


図5 立体定規

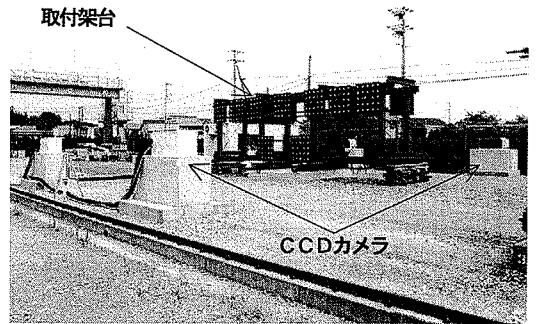


図6 立体定規の計測場への設置状況

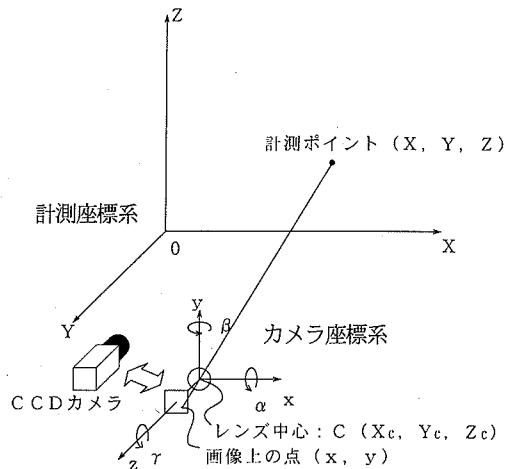


図7 単写真標定

行き方向の座標値情報が必要のため、今回は現場設置前に鋼橋部材計測システムの検定に使う立体定規を使って求めた。一方外部標定要素は、現場にカメラを設置した後、セグメントの計測位置 (図-2) 毎に図-5のような立体定規を設置して求めた。図-6はこの立体定規を架台に取り付けて計測場に設置した様子を示したものである。

### (3) 三次元計測

#### a) 計測原理

ここではCCDカメラによる計測システムの計測理論について説明する。本システムでは写真測量の単写真標定でキャリブレーションしたカメラを使って、三次元計測を行う。図7は単写真標定におけるカメラと計測ポイントの関係を示したものである。この関係は、外部標定要素の回転成分の関数である回転行列の式(1)を利用すれば、式(2)~(3)に示す共線条件方程式で表される。

$$a_{ij} = R_{ij}(\alpha, \beta, \gamma) \quad (1)$$

(i, j : 1~3)

$$X = \frac{a_{11}x + a_{21}y - a_{31}b}{a_{13}x + a_{23}y - a_{33}b} (Z - Z_c) + X_c \quad (2)$$

$$Y = \frac{a_{12}x + a_{22}y - a_{32}b}{a_{13}x + a_{23}y - a_{33}b} (Z - Z_c) + Y_c \quad (3)$$

$a_{ij}$  : カメラ座標系の計測座標系に対する回転行列 (文献 7 : (4.4) 式参照)

$X_c, Y_c, Z_c, \alpha, \beta, \gamma$  : 外部標定要素

$b$  : レンズ焦点距離

$x, y$  : 主点のずれ( $x_c, y_c$ )と収差( $c_x, c_y$ )を補正した被測定物の画像座標値

$X, Y, Z$  : 被測定物の計測座標値

キャリブレーションを行うと、計測ポイントの画像座標値 ( $x, y$ ) 以外は全て既知となる。そのため計測ポイントの三次元座標値は、2台以上のカメラで画像座標値 ( $x, y$ ) を求めて共線条件方程式をたて、それらを連立させることにより求まる。

実際の三次元計測では、セグメントに図8のようなターゲットを設置して、ターゲットの表面の三次元計測を行い、ターゲットの厚さだけ計測値を補正する。ターゲット設置位置は架設形状推定時にNEW及びOLDセグメントで同一点となる必要がある。そのためコンクリー

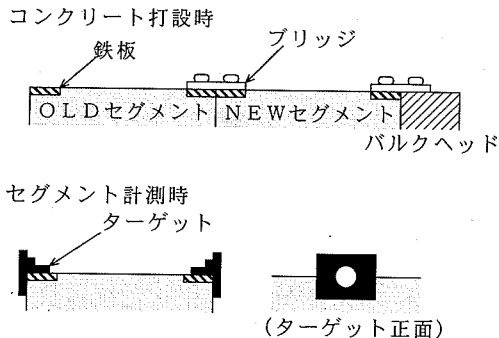


図8 ターゲットの設置方法

トの打設時に、ターゲットを設置するための鉄板がブリッジと称するプレートで所定位置に固定されるようにした (図8)。

#### b) 外部標定要素の補正方法

地盤沈下等によりカメラの計測座標系内の位置と傾きがキャリブレーションの状態から変位すると計測精度が低下する。この対策として、今回は次の2つの方法について検討を行った。

##### ① 画面の平行移動による補正

この方法は、計測部材に取り付けたターゲットと別に設置してある基準点を計測して、基準点の初期状態からの変位量を求め、ターゲット座標値をこの量で補正する (図9)。鋼橋部材の計測システムではこの補正方法を、カメラ架台の傾きの補正に利用している。

当初はこの方法を本システムに適用することを考えた。しかしこの方法は、カメラ架台の微小な傾きを補正することは可能だが、カメラの平行移動は補正することが出来ない。今回の計測場では、地盤沈下等の影響によりカメラに大きな鉛直変位が生じると予想されているので、この方法は本システムには不十分であると判断した。

##### ② カメラ変位量推定による外部標定要素の補正

カメラ座標系 (レンズ) 中心と旋回装置の回転中心が一致した装置では、基準点に対する旋回量の変化量を外部標定要素 (カメラの回転角) に反映させることが出来る。しかしそのようなことが出来る装置を開発するのは、容易ではない。そこで今回は、旋回装置の上に、ある程度ラフに設置したカメラで計測する場合

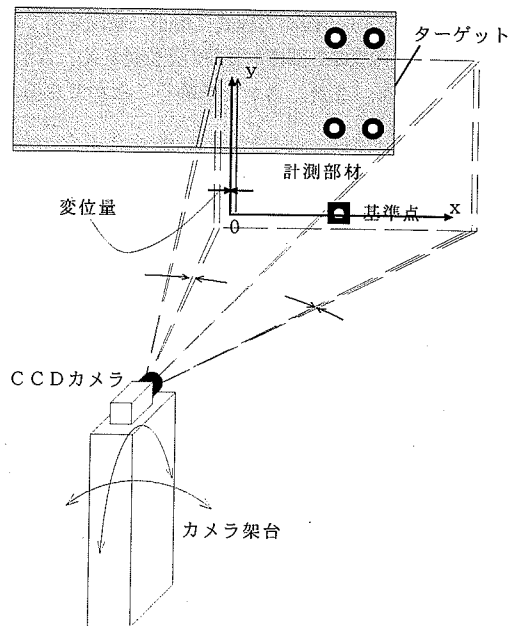


図9 画面の平行移動による補正方法 (従来の方法)

の、外部標定要素の補正方法について考えた。

この方法では、1台のカメラにつき3点以上の基準点をセグメントの周りに配置(図4参照)し、それら基準点の位置よりカメラがキャリブレーション状態から変位した量を逆算する。そしてセグメント上の計測ポイントを求めるための外部標定要素もその変位量を使って補正することで、計測ポイントの三次元座標値が検定時の精度をたもったまま計算される。

図-10は基準点より変位を推定する方法を、カメラを固定した視点で示したものである。ここではまず地盤沈下等により計測座標系に相対的な回転変位( $\Delta\alpha$ ,  $\Delta\beta$ ,  $\Delta\gamma$ )が生じたと考える。このとき旋回装置の相対的な位置決め精度が $\pm 2$ 秒と非常に高いので、各基準点へ正対したカメラは、各カメラの旋回装置上で一体となって動くと考えられる(キャリブレーション時の計測座標系と各カメラ座標系の相対的な差は元のままであるとみなせる)。従ってキャリブレーション時の外部標定要素に回転変位を加えたもの( $\alpha + \Delta\alpha$ ,  $\beta + \Delta\beta$ ,  $\gamma + \Delta\gamma$ )が沈下後の計測座標系に対するカメラ座標系の傾きとなる。次に計測座標系に相対的な平行移動( $\Delta X_c$ ,  $\Delta Y_c$ ,  $\Delta Z_c$ )が生じたとする。これについてもカメラは一体となって移動すると考えられるので、キャリブレーション時の外部標定要素にそれらの変位を加えたもの( $X_c + \Delta X_c$ ,  $Y_c + \Delta Y_c$ ,  $Z_c + \Delta Z_c$ )が沈下後の計測座標系に対するカメラ座標系の原点位置になる。いま基準点kに対する外部標定要素を、 $\alpha_k$ ,  $\beta_k$ ,  $\gamma_k$ ,  $X_{ck}$ ,  $Y_{ck}$ ,  $Z_{ck}$ とすると、式(1)~(3)は式(4)~(6)のように変形される。そして、式(5)及び式(6)に対する条件方程式をたて、基準点の数の倍だけ成立する観測方程式に最小二乗法をあてはめれば、カメラの外部標定要素の変位量 $\Delta X_c$ ,  $\Delta Y_c$ ,  $\Delta Z_c$ ,  $\Delta\alpha$ ,  $\Delta\beta$ ,  $\Delta\gamma$ を求めることができる。

$$a_{ij} = R_{ij} (\alpha_k + \Delta\alpha, \beta_k + \Delta\beta, \gamma_k + \Delta\gamma) \quad (4)$$

$$X_k = \frac{a_{11}X_k + a_{21}Y_k - a_{31}b}{a_{13}X_k + a_{23}Y_k - a_{33}b} (Z_k - (Z_{ck} + \Delta Z_c)) + X_{ck} + \Delta X_c \quad (5)$$

$$Y_k = \frac{a_{12}X_k + a_{22}Y_k - a_{32}b}{a_{13}X_k + a_{23}Y_k - a_{33}b} (Z_k - (Z_{ck} + \Delta Z_c)) + Y_{ck} + \Delta Y_c \quad (6)$$

(k=1~基準点の個数)

以上で求めた補正量は、旋回装置の高い位置決め精度により、基準点と計測ポイントの双方に共通していると考えられる。

今回は、後述(3.(3).e)の性能確認試験を行い有効性を確認できたので、この方法を採用した。

### c) 基準点の管理

この考え方では、基準点が沈下しても配置された基準点の相対的な位置関係が変わっていなければ、絶対的な沈下量は考えなくてよい。そこで今回は、一日一回の計

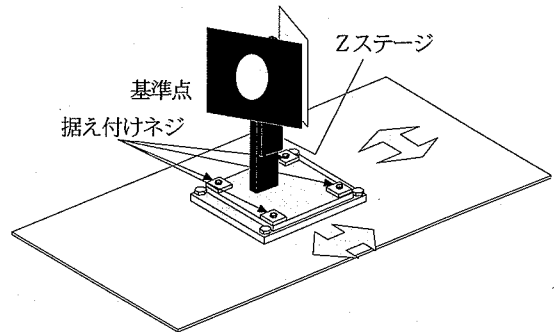


図-11 基準点の構造

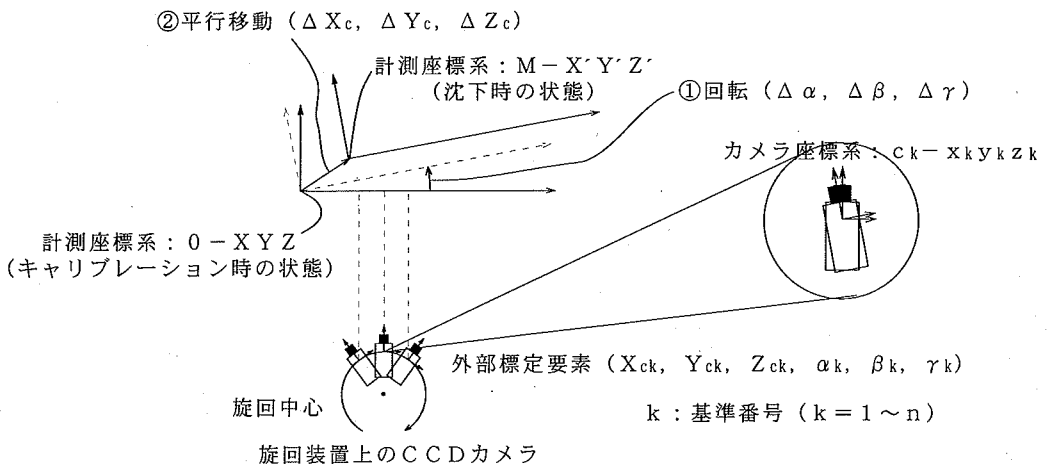


図-10 地盤沈下に対する基準点による外部標定要素の補正の考え方

測作業前における4台の基準点のレベル計測と、一月一回の三次元計測（計測精度±1mm以下のトータルステーションを使用）により、基準点の相対的な位置関係が保たれているかを管理した。図-11は基準点を取り付けたステージの構造を示したものである。ここで基準点は、一日一回のレベル計測での調整作業を容易にするために、Zステージに取り付けた。

#### d) 補正パラメータの選定

外部標定要素の補正量は理論的には上述の方法で求めることができる。しかし基準点の配置は地面に近い場所に限定されるので、補正值算出の計算が収束しにくくなることが予想された。そのため本システムではCCDカメラの旋回装置をレベル調整台の上に設置し、外部標定要素のうち $\alpha$ と $\gamma$ の補正は考えないで済むようにした。

#### e) 計測機能の確認

今回は、実際に屋外の計測ヤードでカメラの架台が地盤沈下した場合に、外部標定要素の補正方法が妥当な補正を行っているかを確認するため、基準点を故意に変位させてから計測ポイントを三次元計測するという実験を行った。図-12は、4台の基準点が検定時の位置にあるときと一律10mm上昇又は降下させた位置にあるときの、セグメントの三次元計測値のばらつきを示したものである（但し、垂直方向成分（z）については、Zステージで変位させた量を差し引いてある）。ここで計測値は、基準点を一律に上下させる限り、±1mm以下の範囲に収まっている。このことから、この外部標定要素の補正方法を使えば、4つの基準点が相対的にカメラのキャリブレーション時と同じ状態を保っている限り、必要な精度で計測できることが分かる。

### (4) 部材厚計測

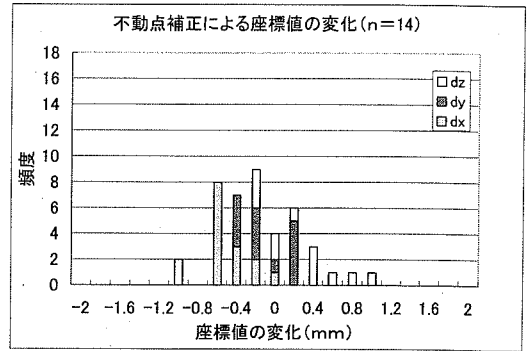
#### a) 計測方法の検討

セグメントの部材厚計測では、ターゲットを用いずに、作業者がCCDカメラの画像上でセグメントのエッジ部分（端点）をマウスでクリックすれば計測できるという方法を考えた。

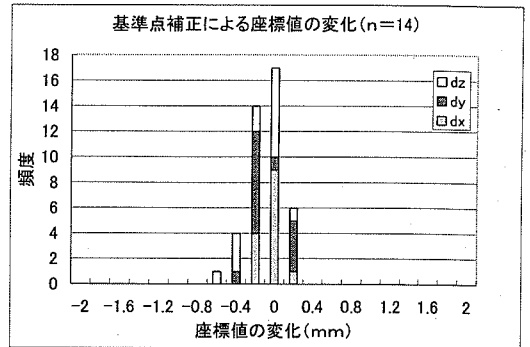
当初部材厚計測では、部材厚を計測すべき場所の両端の三次元座標値を直接求めて、その2点間距離＝部材厚とすることを考えた。しかし、2台のカメラで全く目印のないセグメント上の同一の場所を認識し、三次元座標値を算出するのは困難である。さらにセグメント断面の画像は必ずしもセグメントを正面から撮影したものにはならないので、2点を結ぶ線がセグメントの縁に対して直角にならずに、図-13(a)のように部材厚を斜めに計測する恐れがあった。

そのため本システムでは、図-13(b), (c)に示す方法で部材厚を計測することにした。

まず、セグメントの断面が、バルクヘッドとよばれる



(a) 基準点を+10mm上昇



(b) 基準点を-10mm降下

図-12 補正機能確認実験結果

鋼製型枠を利用して作られ、ほぼ平面を形成しているという点に着目し、セグメントの三次元座標値から平均的な断面（仮想平面）が求められる。ここで平面は式(7)の形で表されることが知られている。

$$AX + BY + CZ = D \quad (7)$$

ここで図-13(b)によれば、仮想面上の端点の三次元座標値（X, Y, Z）は、式(7)と共線条件方程式の式(5)、式(6)を連立させれば求まることがわかる。

そしてこの方法では、一方の端点（始点）は直接計測するが、残りの一方の端点（終点）は、コンクリートの厚さが最も薄いところを部材厚として計測するために、次の方法で間接的に求めることにした。すなわち、終点は終点側の2点（第1終点、第2終点）を結んだ直線と始点からの垂線が交わる点とした（図-13(c)）。このため本システムでは、仮想面上の端点の三次元座標値（X, Y, Z）を仮想平面の座標系の二次元座標値（v, w）に変換し、次の平面幾何の公式を利用して部材厚を計算した。

$$a v + b w + c = 0 \quad (8)$$

$$t = \frac{|a v_s + b w_s + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (9)$$

ここで式(8)は第1終点と第2終点を結んだ直線方程式であり、式(9)は直線と任意の点の距離を求める公式である。

#### b) 計測精度について

この部材厚の計測方法では、仮想平面に端点を投影してその三次元座標値を求めるため、端点の場所が仮想平面から大きく外れている場合、計測誤差が生じる(図-14)。この誤差は、CCDカメラをセグメントの平均断面から離して、なるべくカメラの仰角を抑えることにより解消することができる。

本システムでは部材厚計測精度を±2mm以下とするため、セグメント断面からCCDカメラを7m以上後退させ、またCCDカメラを高さ1mのベースの上に設置することで、カメラの仰角を抑えた。

このことにより、実際の断面が仮想平面に対して±2mm程度の傾いたとしても、セグメント部材厚と計測値との差は±0.4mmに抑えられる。よって、本計測方法は

部材厚計測の方法として十分な精度が確保できると考えた。

## 4. システム適用結果

### (1) 計測システム

本システムでは、計測装置はすべて1台のコンピュータにより制御されている。図-15は本システムの計測プログラムの画面とセグメントの計測状況を示したものである。(a)は本システムの計測メニュー画面であり、作業者はマウスで計測位置のボタンをクリックすると、カメラが自動的に旋回して画像を取り込む。(b)は三次元計測用のターゲットの画像処理状況を示したものであり、この処理により自動的にターゲット(白黒の円パターン)中心の座標値が算出される。(c)は部材厚の計測画面であり、本システムでは画面上で始点と第1及び第2終点をクリックすれば部材厚が計測される。また、(d)はセグメントを製作ヤードからストックヤードに搬送する途中、計測場に仮置きして計測している状態を示したものである。

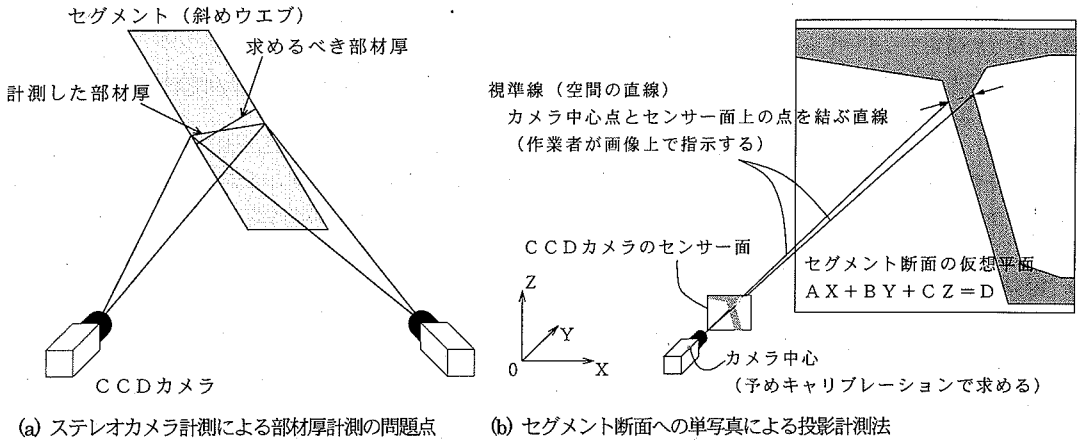


図-13 セグメント部材厚計測方法の検討



## (2) 計測結果

本システムを適用した現場における三次元計測精度の確認結果を図-16に示す。ここでは、キャリブレーションに使った立体定規を計測範囲内に再設置し、立体定規上のポイントを計測した。この結果では、立体定規の座標値とCCDカメラによる三次元計測値との差は $\sigma = \pm 0.3\text{mm}$ であり、計測精度を満足していることが分かる。ここで三次元計測精度は、当初想定していた $\pm 1\text{mm}$ と比べるとその半分以下であるという結果が得られた。これは、本システムの外部標定要素の補正方法が巡回装置の原点検出時の角度誤差を吸収する役割も果たして、セグメントの計測精度自体の改善にも役立つためであると考えられる。すなわち当初、本システムで採用した巡回装置の原点の検出精度は $\pm 10$ 秒であったので、外部標定要素は $\pm 10$ 秒の角度誤差があると考えていた。しかし今回設置したシステムの計測条件（基準点までの距離が平均8m、ターゲットの計測分解能は0.1mm）を誤差伝播の法則に当てはめると、巡回装置の原点復帰精度は $\pm 5$ 秒程度に相当することが分かった。

また図-17は三次元計測精度確認の時に収集した映像を使って、立体定規上の計測ポイント間の距離を計測し、部材厚の計測精度を確認した結果である。この結果では、定規の規定値に対するCCDカメラによる計測値の精度

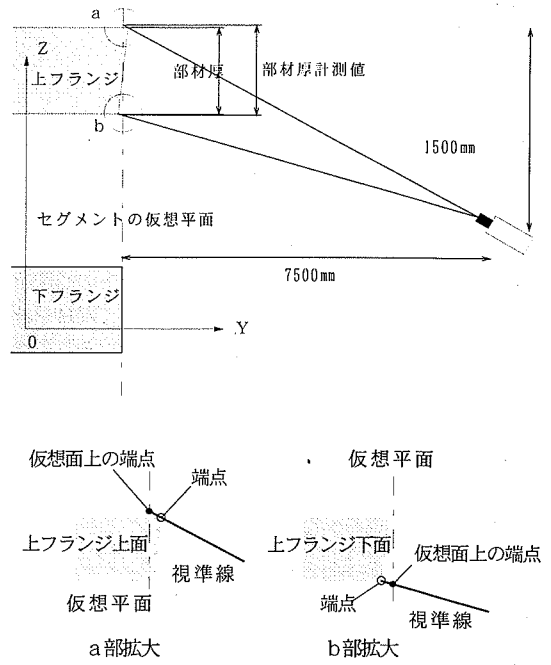
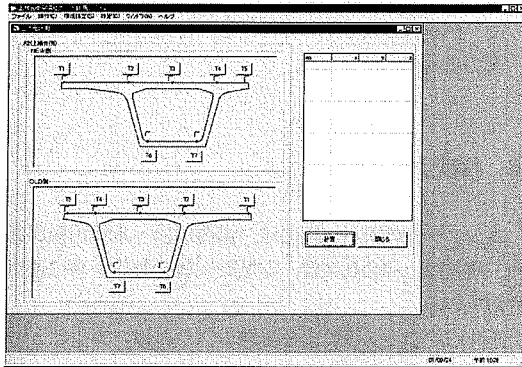
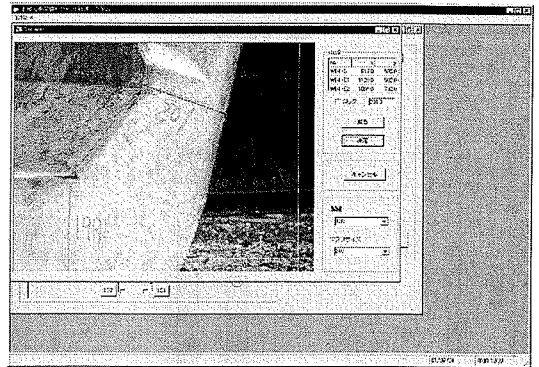


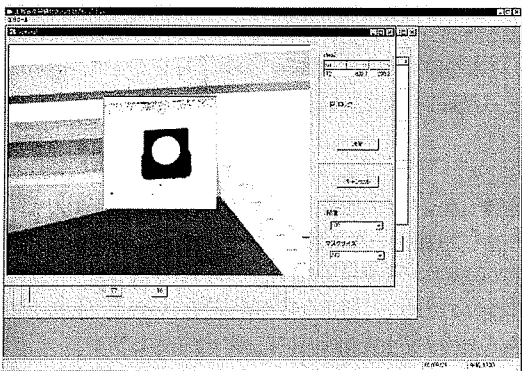
図-14 CCDカメラと仮想平面の関係



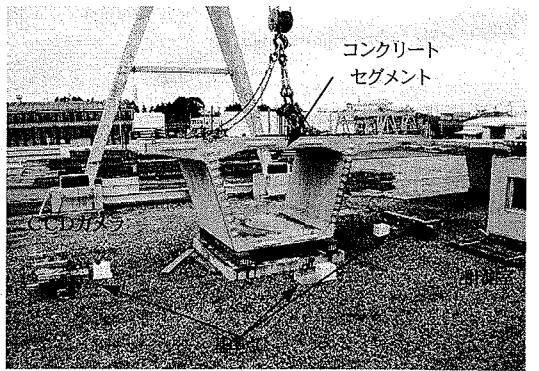
(a) 三次元計測箇所を示すメニュー画面



(c) 部材厚計測の処理



(b) 三次元計測のターゲット自動抽出処理



(d) セグメントの計測状況

図-15 計測プログラム操作画面とセグメントの計測状況

は $\sigma = \pm 0.8\text{mm}$ であり、要求精度を満足していることが分かる。

### (3) 計測時間

本システムで三次元計測ポイント 14 箇所、部材厚計測ポイント 20 箇所を有するセグメントを計測した場合、実計測作業時間は表5に示す通りであった。

ここで今回は、セグメントの仮置き時間を極力少なくするために、部材厚計測についてはセグメントの画像を一旦コンピュータのハードディスクに保存し、部材を計測場から搬出後の、作業者の手の空いた時間にそれを呼び出して部材厚計測作業を行っている。このことより、本システムはセグメント計測システムの目標性能(表2)を満足していることが分かる。

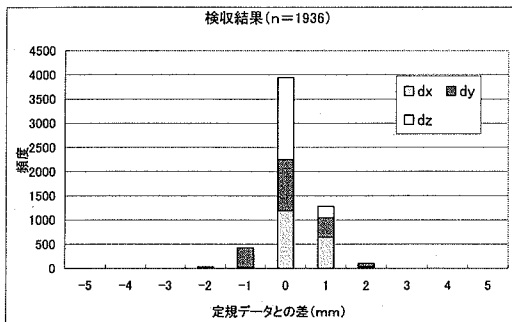


図16 三次元計測精度確認結果

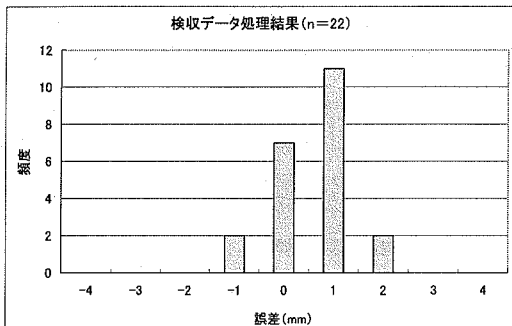


図17 部材厚精度確認結果

表5 計測システムの実作業時間

作業時間	
i 準備作業	10分
ii 三次元計測作業	10分
iii 部材厚計測用画像保存	6分
iv 部材厚計測作業	10分
↓	
セグメント計測のための仮置き時間: ii + iii	
約 16分	

## 5. まとめ

本システム開発では次のような成果が得られた。

- ① 効率的なセグメント計測システムが開発できた。  
CCDカメラを使った計測システムを開発することにより、計測のための足場を用意する必要がなくなり、また三次元形状計測は画像処理を使って行ったので人為的なミスが入り難くなった。また、セグメント一本当たりの計測作業にかかる時間は36分であったが、計測のために計測場にセグメントを仮置きする時間は16分で済み、効率的な形状管理が行えた。
- ② 地盤沈下に対する補正方法が開発できた。  
カメラ座標系の中心と旋回装置の旋回中心が一致しないような装置で写真測量をする場合においても、基準点による外部標定要素の補正方法は有効であることを確認できた。この結果、本システムによるセグメントの三次元計測結果を使って架設形状推定シミュレーションを行うことが出来るようになり、高度な品質管理が行えるようになった。
- ③ 効率的なセグメント部材厚計測方法が開発できた。  
写真測量の原理と平面幾何学の公式を利用した計測方法により、CCDカメラを使って部材厚を計測することが出来るようになった。特にこの方法では、通常先手と2人一組で計測する必要のある部材厚計測も、作業者1人ですべての作業が行えるため、現場作業の省力化に役立った。

## 6. おわりに

本システムの適用実績には、揖斐川橋・木曾川橋があり、現在は上和会高架橋、安城高架橋の製作工事に適用されている。

近年CCDカメラによる計測システムは、コンピュータの普及により、土工工事やトンネル工事など様々な用途に利用されている。筆者らも、さらにCCDカメラによる計測システムというツールの可能性を模索している。いろいろな分野への適用を試み、公共工事を安全性、経済性という面から支えていきたいと考えている。

謝辞：本システムを開発するにあたり多大なご尽力を賜りました(株)ピーエス森主任技師、大成建設(株)白谷係長、長岡技術科学大学鳥居教授に感謝の意を表します。また本論文のために、貴重な写真を提供いただきました上和会高架橋JV上野副所長に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) Kozakura, Y., Takada, K. and Torii, K. : Inspection System of Shop Assembly Configuration on Steel Arch Bridge Members, *Proceedings of the sixth international conference on computing in civil and building engineering*, pp.370-377, 1995.
- 2) 島津宗明, 白石典之, 辰巳裕一: 鋼橋数値仮組立検査システム~新材計測システムの開発, 第21回土木情報システム講演集, pp.121-124, 1996.
- 3) 利守尚久, 仁川弘幸, 高橋宣男: 数値仮組立システム, サクラダ技報, No.10, pp.1-7, 1998.
- 4) 酒井秀昭, 上杉泰右: 工場製作プレキャストセグメント工法PC箱桁橋の品質管理, プレストレストコンクリート, Vol.43/No.3, pp.62-67, 2001.
- 5) 横尾正幸, 谷中慎, 森拓也, 白谷宏司, 小櫻義隆: ショートラインマッチキャスト方式によるプレキャストセグメント橋の形状管理システム(その2) -架設シミュレーションシステム-, 第55回年次学術講演会講演概要集 I-33, 1-A233, 2000.
- 6) PC 箱桁橋プレキャストセグメント(工場製作) 施工管理要領(案), 日本道路公団名古屋建設局豊田工事事務所, 2000.10.
- 7) 日本写真測量学会: 解析写真測量 改訂版, pp.46-56, 日本写真測量学会, 1983.

(2002. 7. 18 受付)

## A CONCRETE SEGMENT MEASUREMENT SYSTEM USING CCD CAMERAS

Tomohide HOSOYA, Hideaki SAKAI, Taisuke UESUGI, Masayuki YOKOO  
and Yoshitaka KOZAKURA

Authors developed concrete segment measurement system using CCD cameras, which is set on rotation unit for covering measurement area widely. For photogrammetry system, it is hard that a fixed facility system measure objects outside, because camera sometime changes their position by ground subsidence. But this system measure object accurately by calculating displacement of CCD camera using base point in case of the camera is set on swing unit roughly. And this system measure thickness of concrete deck slab and web plate by a measurement method, which is combined orientation of a single photograph and plane equation of segment section.