

【技術ノート】

# FCC工法におけるたわみ管理システムの開発

Camber Control System of Prestressed Concrete Bridges  
by Free Cantilever Erection Method with Cable

森 本 洋 三\*  
*Yozo MORIMOTO*

野 田 行 衛\*\*  
*Yukie NODA*

中 山 良 直\*\*\*  
*Yoshinao NAKAYAMA*

町 田 文 孝\*\*\*\*  
*Fumitaka MACHIDA*

橘 吉 宏\*\*\*\*  
*Yoshihiro TACHIBANA*

## 1. はじめに

プレストレストコンクリート橋の施工方法の1つに片持ち張出し工法があり、その代表的なものに、主鋼材にPC鋼棒を用いたディビダーカ工法と、PC鋼線を使用したFCC工法(Free Cantilever Erection with Cable)がある。

この片持ち張出し工法によって施工される橋梁は、比較的長径間のものが多く、設計において各施工ブロック毎に応力やたわみ計算を行う必要があり、計算ステップが膨大になる。また、現場施工において橋体のたわみ管理は重要な項目の1つであり、張出し架設中は、常時たわみの測定を行って、計画上げ越し量との比較をしながら施工しなければならない。

この様な事から、片持ち張出し工法による施工が増大するに伴って、設計および施工管理の省力化の必要性が高まり、今般FCC工法に関するトータルシステムの開発を行ったに至った。

本稿では、主にたわみ管理における自動計測システムの開発について紹介する。

## 2. 自動計測システムの開発

自動計測システムを開発するにあたっては、

- ① 自動計測システムの構成
- ② CCDカメラ、画像処理機の選定
- ③ ターゲットの選定
- ④ 回転装置の開発
- ⑤ プログラムの開発

の5項目にポイントがおかれた。

### (1) 自動計測システムの構成

自動計測システムは、従来、レベル測量によって行われていたたわみ計測を、CCDカメラを用いる事によって、遠隔的に既設上部工の形状を把握するもので、時間の短縮と省力化が大いに期待される。

さらに、このシステムによって得られたデータは、計画上げ越し量と比較され、次の施工段階の上げ越し量を決定するための判断材料となる。

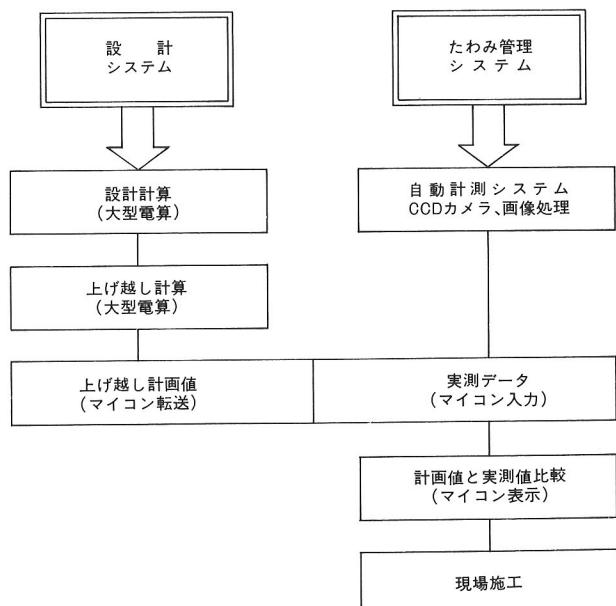


図-1 FCC工法における設計・たわみ管理システム

自動計測システムは、FCC工法におけるたわみ管理システムの一部分を構成するもので、全体における位置付けを示すと図-1のようである。

システムの構成器機は、図-2に示すとおり、ステッピングモーターを取り付けた回転台、CCDカメラとモニ

\*川田建設(株)工事本部技術部技術開発課課長 \*\*川田建設(株)工事本部技術部技術開発課係長 \*\*\*川田建設(株)工事本部技術部技術開発課  
\*\*\*\*川田工業(株)技術本部中央研究室

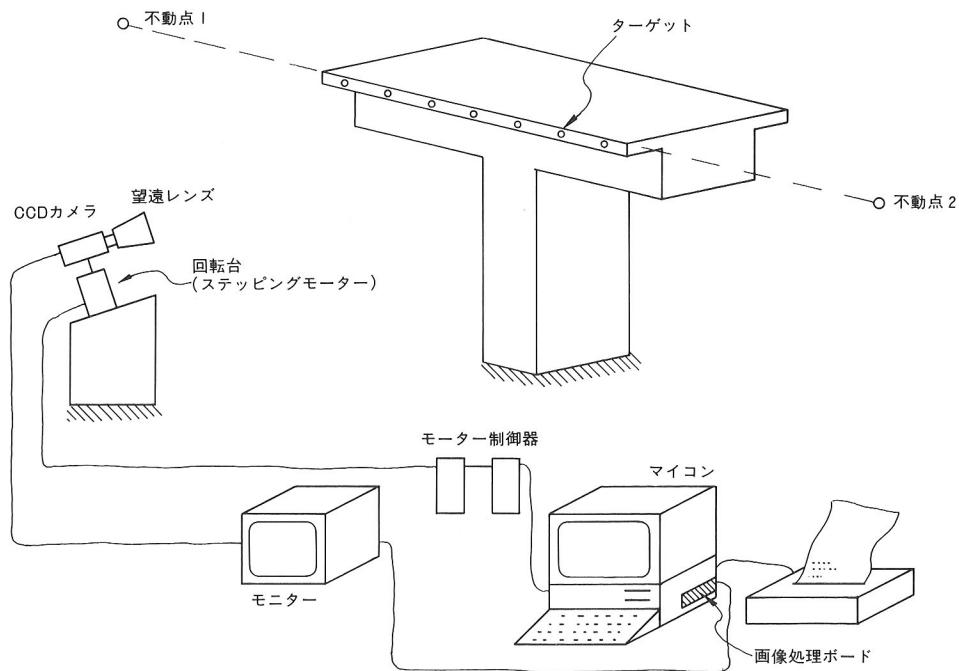


図-2 自動計測システム

ター、およびそれらを制御し、データを収集保存するマイクロコンピュータである。

ターゲットは不動点及び各ブロックの張出し方向先端部の側面に設けるものとする。

### (2) CCDカメラ、画像処理機の選定

橋体に取り付けたターゲットの重心座標を求める事が本計測方法の基本であるが、これはCCDカメラと画像処理機によって行われる。したがって、測定精度は、CCDカメラの画素数（固体映像素子数）やターゲットの大きさ等の影響を受ける事になる。

CCDカメラの画素数が多くなれば、解像度が上がるのでも、精度は向上する。ここでは縦横の画素数が $480 \times 500$ のものを用いた。

また、モニター上でターゲットの面積が大きいほど重心計算の安定性が増大するので、倍率の高い望遠レンズほど精度は上がる。しかし、CCDカメラと最も近いターゲットと最も遠いターゲットまでの距離差が大きい場合、高倍率の望遠レンズでは極端にピントがずれるので注意を要する。

例えば、視準距離が200~300mの場合、500mmの望遠レンズを使用すれば、ピントのずれはさほどなく、視野も2~3 m四方となり、計測に適している。

画像処理機は、CCDカメラの撮像装置から取込まれた画像に対して、2値化——ある基準よりも明るい部分を白、暗い部分を黒に分ける事——の処理を行って、白黒に識別し、白の部分に関する円周長・面積・重心座標・最大直径（フェレ径）を解析する装置である。モニター上に複数個のターゲットが映し出される場合を考え、解析したい部分を、カーソルによって任意に指定できる

析したい部分を、カーソルによって任意に指定できるようになっている。

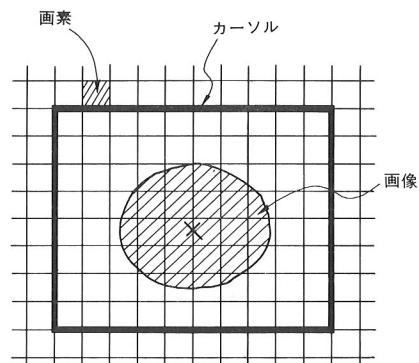
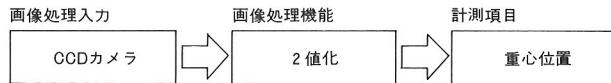


図-3 重心位置の測定方法

ようになっている。

### (3) ターゲットの選定

ターゲットは、2値化した時にその形状が明瞭に表わされるように、図-4の様な黒地に白い円を描いた塩化ビニルのプレートを使用し、接着剤で橋体側面に貼り付けるようにした。

円形の大きさは、望遠レンズの倍率とターゲットまでの距離に左右されるが、モニター上の直径が、10~20画素の場合に、精度が良い事が確かめられている。

### (4) 回転装置の開発

橋全体に取り付けたターゲットを計測するために、

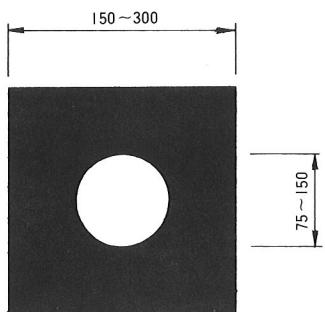


図-4 ターゲット

CCDカメラを回転させる必要がある。そのために、CCDカメラを、図-5の様なステッピングモーター付きの回転台の上に設置した。

回転台はトランシットを改造し、CCDカメラ据付け部 分と、ステッピングモーター取付け部分を新たに製作した。回転台とプレートを3本のボルト、プレートとコンクリート台を4本のボルトで固定させる構造にして、回転軸が任意に設定できるようにした。なお、ステッピングモーターは、 $360^\circ$ を50,000分割する精度のものを使用した。

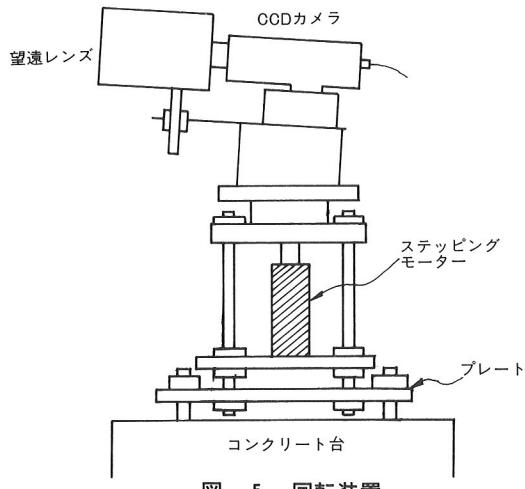


図-5 回転装置

表-1 CCDカメラの設置方法の比較

モーター軸	鉛直			傾斜		
	円錐面			平面		
視準面	視準面			視準面		
仰角: $\alpha$	一定			変化		
画面	左側	中央	右側	左側	中央	右側
	+	+	+	+	+	+
特徴	鉛直軸は画面底辺に対して常に直角であるが、視準標高が中央で最も低くなり、視点と測点の標高差が大きい場合、測定不可能になる事がある。			鉛直軸は画面底面に対して直角ではないが、橋軸を含む視準面を設定することによって、測定可能条件は制限されない。		
評価	汎用性なし			汎用性あり		

## (5) プログラムの開発

CCDカメラの設置方法としては、

- ① モーター軸を鉛直にする方法
- ② モーター軸を傾斜させる方法

の2通りが考えられるが、その両者を比較すると表-1の様になる。

①の方法は、カメラの設置位置が限定されるため、汎用性のある②の方法を採用し、これに基づいてプログラムを開発した。

ターゲットの標高は、モニター上で計測値に

- ・ カメラ仰角の補正
- ・ モニター縦軸と鉛直軸のずれの補正
- ・ 視準距離に対する画素と実長の比

の補正を行う事によって求める。

長期間の計測においては、CCDカメラやモニター軸が微妙に変化する可能性がある。このために、アバットや地上に不動点を2点設け、毎回の計測の最初に不動点を測定し、初期の回転平面とのずれを補正しながら、ターゲットの高さを算出している。

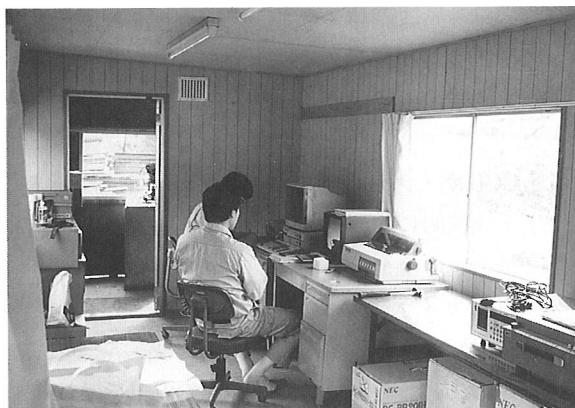


写真-1 計測風景

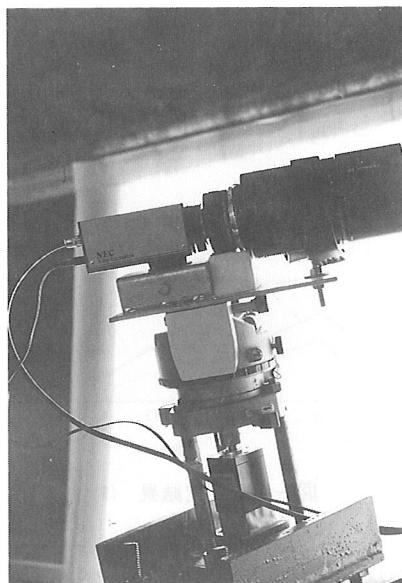


写真-2 自動計測器

上部工の形状は、自動計測から得られた高さの変化量とレベル測量によって求めた初期値とを加えることによって得られる。この算出式は以下のようである。

但し、 $H(n)$ ：n回目の実測上げ越し量

$h(n)$ : n回目の自動計測値

### h(1)：1回目の自動計測値

H(1)：レベル測量値（初期値）

各施工ステップで測定したターゲットの標高はマイコンに記録し、あらかじめ記録しておいた計画上げ越し量(大型電算で計算したもの)との比較図を随時ディスプレイに表示できるようにして、その後の施工検討の資料として活用できるようにした。

### 3. 測定精度

測定精度に影響を与える要因には以下の事が考えられる。

- ・回転装置の機械的誤差
  - ・レンズの収差による光学的誤差
  - ・大気の密度差による光の屈折
  - ・CCDカメラの分解能の限界による誤差

上記の誤差の程度を調べるために、次のような実験を行った。

- ① CCDカメラを回転させる事なく、同一のターゲットを連続的に5回測定し、鉛直方向の座標の最大値と最小値の差を求める。
  - ② CCDカメラを回転させ、同一のターゲットを測定し、回転前後の差を求める。

図-6は、朝7時から夕方6時までの1時間毎の測定結果を示したグラフである。破線は①の場合を示し、実線は②の場合を示すが、②の場合には、光学的な誤差も含まれたものである。

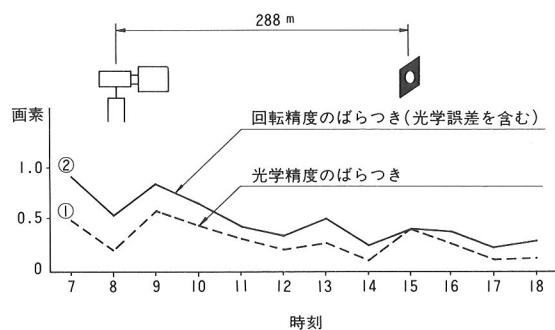
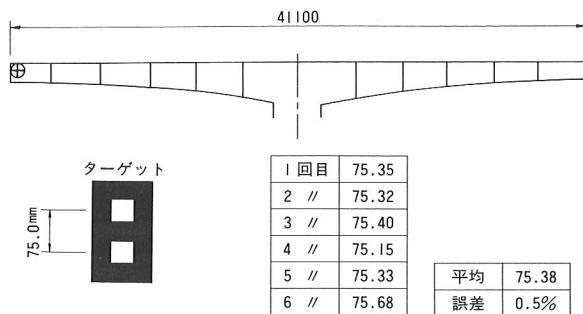


図-6 測定結果 (1)

バラツキは、午前中に比較的大きい傾向を示したが、その原因としては、大気のゆらぎなどが考えられる。

一方、夕方においては、大気が安定するために、バラツキは小さくなっており、回転誤差を含まない場合で0.2画素、回転誤差を含む場合で0.4画素であった。これは、視準距離288m先方の実長に換算すると3.0mm, 6.0mmである。

したがって、実際のたわみ計測は、早朝あるいは夕方に行うか、曇りの日を選ぶ事が望ましい。



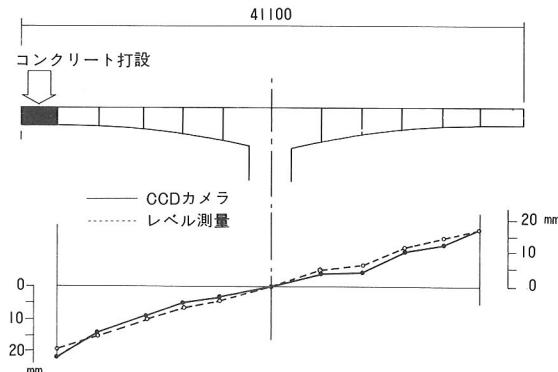
## 図-7 測定結果 (2)

図-7は、実橋に重心間隔75mmのターゲットを貼付し、CCDカメラによって重心間隔を測定した結果である。CCDカメラとターゲットの距離は約90mであった。

計測を6回連続的に行っての平均値は75.38mmで、誤差は0.5%であり、きわめて高精度の結果が得られた。

図-8は、片側にコンクリートを打設した時の桁の変形を、CCDカメラとレベル測量によって測定した値を比較したものである。実線はCCDカメラによる計測、破線はレベル測量を示す。両者の差は、最大で3mmであった。

レベル測量値自体が、ある程度の誤差を含んでいることから、3mm程度の差であれば、CCDカメラによる計測の精度は、ほぼ問題ないものと思われる。



### 図-8 測定結果 (3)

#### 4. 現場たわみ管理

大型電算で計算した計画上げ越し量と、各施工ステップで測定した実測上げ越し量を、マイコンに表示させた図表が、図-9である。この両者の差に基づいて、計画上げ越し量を補正する事によって、次のブロック施工の

## 上げ越し管理表

P 1 張出し施工 ( 1 )  
型枠セット時  
8

0 / 0 / 0	0:00
天候	温 度 湿 度
0 °	0 % 0 °

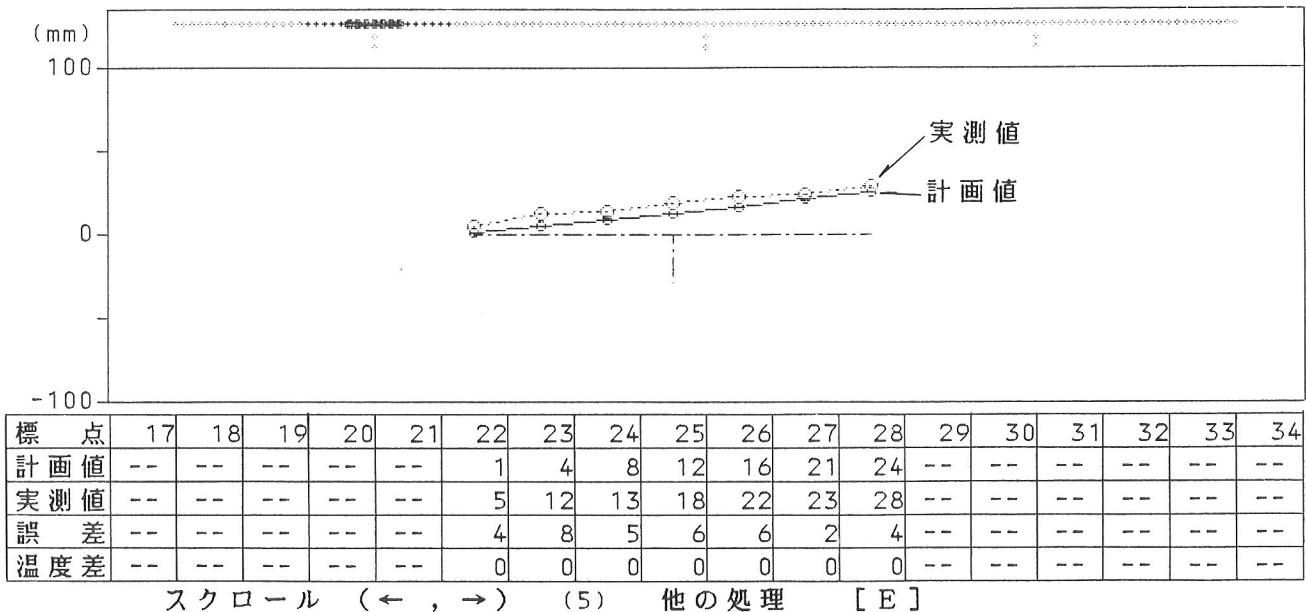


図-9 たわみ管理例

上げ越し量を決定する。

また、自動計測では、短期的な荷重による橋脚の倒れや沈下、あるいはコンクリート打設前後の型枠の変形なども容易に計測する事ができ、現場施工へのフィードバックがただちに行える。

## 5. おわりに

本システムは、現段階では橋体のたわみ計測の機能を有しているにすぎないが、将来的には、基礎等の変形などを含む管理データを取り込むことにより、誤差要因の分析や修正方法を検討し、修正量の決定を自動的に提示するシステムとすることを目指すものである。

## 参考文献

- 1) 北島・越後：TVカメラとマイコンを利用した標高計測システムに関する一考察、川田技報、Vol. 3, 1983.
- 2) 田村：コンピュータ画像処理入門、日本工業技術センター編、総研出版、1985.
- 3) 三藤、渡辺ほか：マイクロコンピュータを利用したPC橋の現場計測、土木学会第7回電算機利用に関するシンポジウム、1982, 10.