

## (61) PC斜張橋の戦略的施工管理システム

大成建設(株) 会員 ○ 関 文夫  
大成建設(株) 会員 タナカ シゲヨシ  
田中 茂義

### 1. まえがき

本稿は、PC斜張橋の施工管理のために開発された総合施工管理システムのうちで、桁のたわみ管理について報告するものである。

従来のPC斜張橋の施工管理においては、大型コンピュータにより求めた設計値を、現場のパソコンにデータベースとして保存し、各種の影響量を考慮して実測値と比較しながら施工管理を行なった例が多い。しかし、この種の施工管理では、もし大きな施工誤差が生じた場合、迅速な要因の究明と調整量の算定ができず、施工に支障をきたす事態も生じる。

そこで開発したこのシステムは、近年急速に発達したパソコンにより、計測した実測データから瞬時に将来形状の予測、誤差要因分析を行い、その分析結果をすぐに平面骨組み解析により新設計値を求め、最終形状を常に把握して、高精度の施工管理を可能にしたものである。さらにISDN機能を保有した、まさに「戦略的施工管理システム」と呼べる施工管理システムを説明する。

### 2. システム構成と特徴

本システムのたわみ管理は、4つのシステムから構成されており、各々の特徴を以下に示す。

- ① 計測システム 主桁レベル、斜材張力、主塔傾斜、橋体温度、応力度、歪、乾燥収縮度を、完全自動計測する。計測データは、パソコン通信により、どこでもデータ処理・分析可能である。
- ② 管理予測システム 実測データを瞬時にデータ処理し、設計値と比較し、管理基準値以内かどうか判断し、さらに将来形状を予測して、設計値の妥当性について照査できる。
- ③ 誤差分析システム 実測値と設計値の誤差を、論理的に分析し、実際の挙動をシミュレーションできる設計諸量仮定値（コンクリート弾性係数等）を算定する。
- ④ 新設計値計算システム ①②③の貴重なデータを基に、最適な調整量を決定し、各施工段階毎に平面骨組み計算を行い、迅速に新設計値を求める。

計測されたデータから、いろいろな分析を試み、常に最新の設計値に反映させて施工できるシステムである。

本システムの概要図、フローチャートを、次頁図-1、図-2に示す。

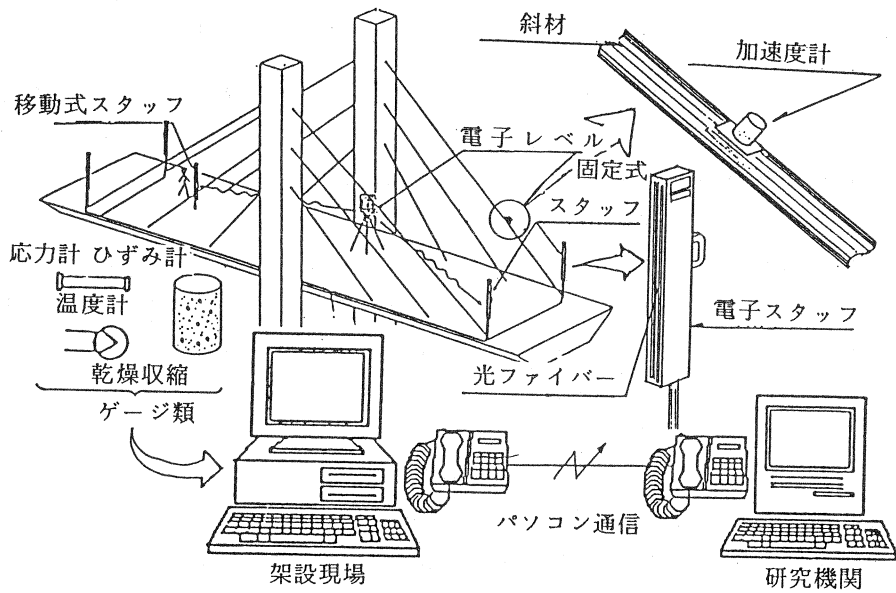


図 - 1 システム概要図

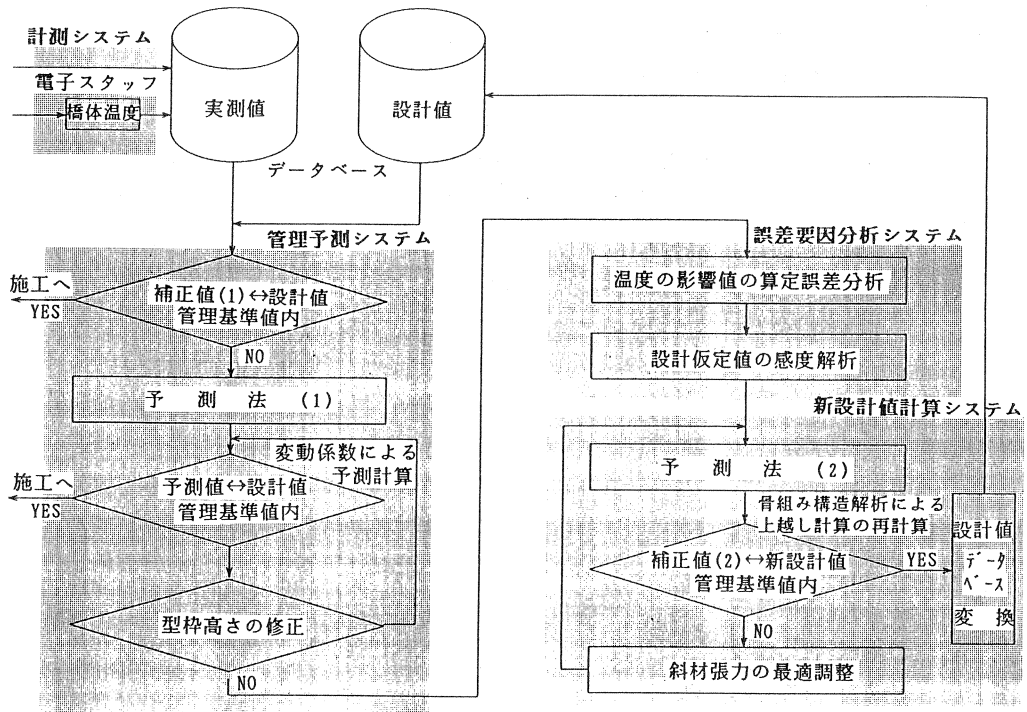


図 - 2 システムフローチャート

### 3. たわみ管理

PC斜張橋は、一般の橋梁に比較して主桁剛性が、小さいため施工途中の荷重変動に対して、非常に敏感である。長大PC斜張橋の施工報告等によると、張り出し中の主桁先端は、コンクリート打設時に、20cm以上ものたわみが生じるだけでなく、1日の温度変化により2~4cmものたわみ変動が生じるといわれている。

本システムのたわみ管理は、従来の設計値と単一の比較しかできなかったシステムとは違い、たわみ変動を的確に分析・解析しながら、高精度の形状管理を行なうことを目的としている。

そこで本稿では、橋長150mの2径間連続斜張橋(図-3)を想定し、施工管理システムの稼働状況を説明する。諸元として、1ブロックの張り出し長8m、施工ブロックは片側7ブロックとする。

現在第3ブロックまで施工完了しているものとする。

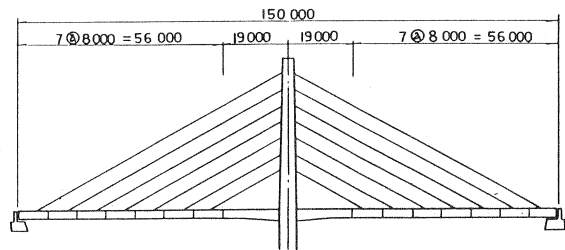


図-3 想定斜張橋モデル

#### 【1】計測システム

計測システムは、開発した光ファイバーを利用した電子スタッフにより、自動計測する。

計測の方法は、電子レベルにより常に水平に観点するレーザー光線を放ち、これを各計測点に水準されたボールに電子スタッフをセットし、電子スタッフ前面の受光部(光ファイバー素子)で受光する(図-1システム概要図参照)。受光した信号は、内部で増幅回路、演算回路を経て、コンピュータにデジタル信号(RS232C)として送信できる仕組みになっている(図-4)。

また、1台のスタッフで多くの計測管理点のデータを収集する場合、計測管理点にスタッフを移動しレーザー光線を受光した後に、次の計測管理点に移動しまた受光する。つまり、スタッフ内部のメモリー機能があり、一時的にデータの蓄積が可能である。蓄積されたデータは、必要な時にパソコンに転送し、実測値のデータベースとして活用する。

また、ISDN(Integrated Services Digital Network)として、一速い情報の伝達を目的とし、データベースに保存された貴重な実測データは、パソコン通信により各必要研究機関ネットワークに転送することができる。

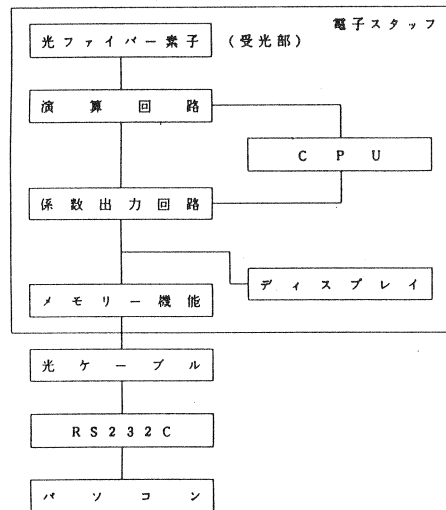


図-4 計測システム仕組み

【2】管理予測システム

まず始めに、計測システムにより得られたレベル実測値と、橋体温度実測値から、レベル実測値を補正し、同一温度条件下で、実測値と設計値の比較をする（図-5）。

式で示すと、次式（式-1）になる。

$$L_{oi} = L_{i} - \sum_{n=1}^6 [K_n] \cdot (T - T_n) \dots \text{ (式-1)}$$

ここで、

$L_{oi}$  ; 各点の温度補正後レベル (mm)

$L_i$  ; 各点の実測値レベル (mm)

$K_n$  ; 各部材毎の温度影響マトリックス

$T$  ; 基準温度 (設定基準温度)

$T_n$  ; 各部材毎の計測温度 (橋脚、主塔、主桁、斜材、床版温度差、主塔左右温度差)

設計値レベルを  $L_{di}$  とすると、 $L_{oi}$  との差が、

管理限界値を越えていないことを照査する。

次にたわみ誤差が、各施工段階毎に今後も定量的に続くものとして、各作業内容毎に変動係数を算定し（表-1）、将来形状を予測する（図-6, 7）。

変動係数算定式を次式（式-2）に示す。

$$H_m = \frac{1}{j} \times \sum_{i=1}^j \frac{(L_{oi-1} - L_{oi})}{(L_{di-1} - L_{di})} \dots \text{ (式-2)}$$

ここに、

$H_m$  ; ある構造系での作業内容毎の変動係数

$j$  ; 管理計測点の数

$L_{oi-1} - L_{oi}$  ; 各点の補正値たわみ (mm)

$L_{di-1} - L_{di}$  ; 各点の設計値たわみ (mm)

ある着目点における予測値は、残りの施工段階毎のたわみ量に上述係数を乗じて求めるものである。

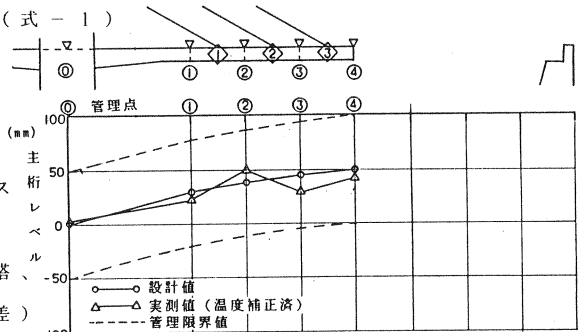


図-5 設計値と補正値の比較

表-1 各作業毎の変動係数

| 作業内容     | 17'ブロック<br>~37'ブロック | 平均値   |
|----------|---------------------|-------|
| コンクリート打設 | 1.041~1.108         | 1.074 |
| 桁内PC緊張   | 0.996~1.060         | 1.005 |
| 斜材緊張     | 0.843~0.944         | 0.885 |
| 作業台車移動   | 1.067~1.172         | 1.112 |

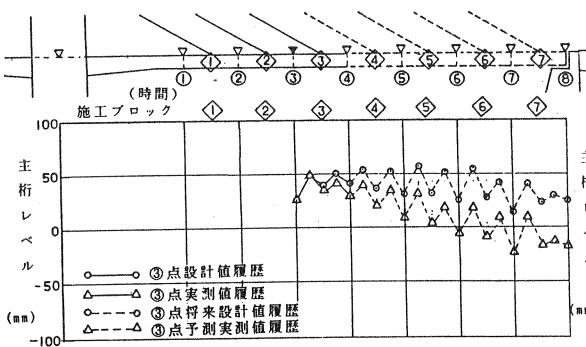


図-6 将来形状予測 (③点に着目した場合)

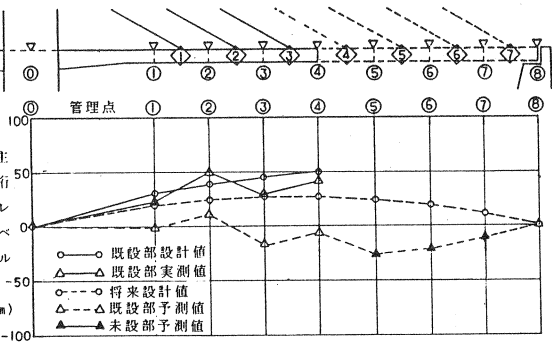


図-7 将来形状予測 (全体)

【 3 】 誤差要因分析システム

実測値と設計値の間に生じる誤差の要因は、次なる項目が考えられる。

- ① 解析モデルと実際の構造物の違いによる影響（温度による影響量等）
- ② 設計諸量仮定値の影響（コンクリート弾性係数、クリープ係数、乾燥収縮度等）
- ③ 施工中の各荷重の変動の影響（コンクリート重量、作業車重量、作業荷重等）

この中で、まず無視できないのが①の影響である。管理予測システムでは、温度補正を行なっているが、ここでの補正量は、実際の挙動と誤差が生じ、真の補正量が求められていない。そこで、温度による厳密な補正を行なうために、（式 - 1）を変形して（式 - 3）なる補正方法を採用する。

$$L_{oi} = L_i - \sum_{n=1}^6 \alpha_n \cdot [K_n] \cdot (T - T_n) \dots\dots\dots (式 - 3)$$

ここで、

$\alpha_n$  ; 各部材毎の温度補正係数（橋脚、主塔、主桁、斜材、  
床版温度差、主塔左右温度差）

とし、この  $\alpha_n$  を求めることにより、より正確な温度補正を行なう（表 - 2）。

次に、②、③項目のなかで、影響量の大きいものを、「コンクリート弾性係数、コンクリート重量、作業車重量 + 作業荷重」の3項目に着目して、感度解析なる計算を実行する。この感度解析とは、各項目に感度係数なる係数を乗じて、平面骨組み解析により、もっとも実際の挙動に近い、設計仮定値を求めるものである。感度解析によるたわみを  $Y_{pi}$ （式 - 4）、実測値たわみを  $y_{oi}$  とすると、 $y_{pi}$  と  $y_{oi}$  の差の2乗和が最小になる感度係数を、収束計算にて求めるものである（表 - 3）。

$$Y_{pi} = Y_{pi} (P_e \cdot E, P_w \cdot W, P_p \cdot P) \dots\dots\dots (式 - 4)$$

ここで、

- E ; コンクリート弾性係数設計仮定値
- W ; コンクリート重量設計仮定値
- P ; 作業荷重設計仮定値
- $P_e, P_w, P_p$  ; 各感度係数

表 - 2 温度補正係数算定結果

| 温度補正係数     | 17℃<br>~37℃ | 平均値  |
|------------|-------------|------|
| $\alpha_1$ | 0.98~1.18   | 1.05 |
| $\alpha_2$ | 0.96~1.06   | 1.01 |
| $\alpha_3$ | 1.02~1.22   | 1.05 |
| $\alpha_4$ | 1.78~1.98   | 1.81 |
| $\alpha_5$ | 1.40~1.48   | 1.44 |
| $\alpha_6$ | 1.14~1.34   | 1.19 |

表 - 3 感度係数算定結果

| 感度係数  | 17℃<br>~37℃   | 平均値    |
|-------|---------------|--------|
| $P_e$ | 1.0972~1.2667 | 1.1212 |
| $P_w$ | 0.9821~1.1156 | 1.0245 |
| $P_p$ | 1.0281~1.3621 | 1.3451 |

#### 【4】新設計値計算システム

誤差要因分析システムの計算結果を受けて、これまでの上げ越し計算で使用している設計諸量仮定値（コンクリート弾性係数、コンクリート単位重量、作業荷重等）を変更し、平面骨組み計算を実施する。計算終了後、新設計値を用いて、施工対策を検討する。

もし、将来的に誤差が大きく生じる場合、その対策として未設部のブロックでは、型枠の調整、斜材張力の調整、既設部では、斜材の張力調整によって修正する（図-8）。

ここで、新設計値の軌道に、現状のレベルを移行することができれば、その後の挙動は、新設計値どおり、順調に施工を遂行できるはずである。たとえ、誤差が生じた場合でも、その値は小さく、さらにもう一度新設計値を求めれば、確実に誤差は減少していくはずである。

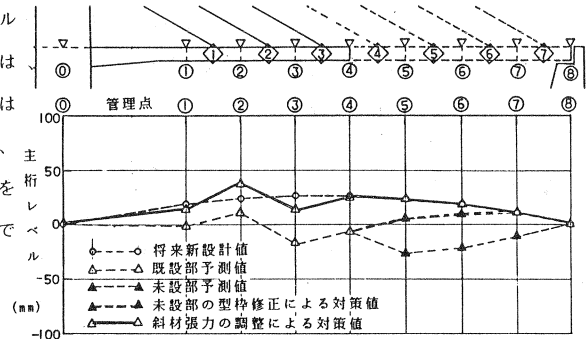


図-8 施工対策例

#### 4. 結論

本施工管理システムの導入により、次に挙げる成果を得られる。

- ① 迅速かつ高精度の計測が行え、計測業務が省力化される。
- ② パソコン通信機能により、施工情報の伝達速度が速く、橋梁架設現場以外の場所でもデータの収集・分析が可能である。
- ③ 計測データのリアルタイム処理を行い、常に最終形状を予測した高精度の形状管理が行える。
- ④ 厳密な温度補正の実施に加えて、誤差要因分析が合理的に行える。
- ⑤ 誤差要因分析の結果を受けて、平面骨組解体計算を再実施し、現実の挙動に即した新たな設計値を算定することができる。

#### 5. あとがき

本システムの開発により、P C斜張橋の施工管理が、より簡便で合理的になったことは確かである。本稿では、紙面の都合上たわみ管理に限定したが、張力管理、応力度管理についても、最新の計測システム、分析システムも兼ね備えた総合管理システムであることを追記しておく。そして、現在このシステムが、東名足柄橋（日本道路公団）にて稼働中であり、貴重なデータを収集分析中である。長大P C斜長橋の施工管理の技術力向上のために、報告できる日を楽しみに、本稿を閉じる。

#### 『参考文献』

- 1) 関、田中、石川、小沢：P C斜張橋の高機能施工管理システム、土木学会第45回年次学術講演会(1990.9)
- 2) 内藤、大河内、市橋、田中：光ファイバーを用いた橋梁レベル自動計測システムの開発、土木学会第45回年次学術講演会(1990.9)
- 3) 飯野、富樫、貞光、田中：日中大橋（P C斜張橋）の施工、橋梁と基礎(1989.3)