

デジタルカメラを用いた橋梁構造物の計測管理

ジェイール西日本コンサルタンツ(株) 正会員 竹田 喜彦
 西日本旅客鉄道株式会社 非会員 武部 啓吾
 ジェイール西日本コンサルタンツ(株) 非会員 河野 義之
 ジェイール西日本コンサルタンツ(株) 非会員 清水 美孝

1. 工事概要

本橋梁改築工事は、河床低下工事に現鉄道橋梁構造物(23径間 L=482m)が支障するため、新設橋梁(8径間 L=488m)を現在線より10.5m上流に建設するものである。この橋梁改築は、既設構造物に近接した施工条件のもとで、鋼管杭(3m L=27m)の打設および橋脚躯体(鋼製型枠)の設置、更にこれらの施工ヤードとして仮橋(鋼管杭 0.8m L=18m)の施工を行う。

現地地盤はN値20程度の河川堆積性の砂礫層からなり、これらの施工に伴う地盤への影響により沈下が想定される。その為、既設構造物の変位(変状)をリアルタイムに監視し、列車走行の安全性を確保する為、デジタルカメラによる自動計測を行う事とした。

以下に、本計測法を用いた計測管理システムの概要を述べる。また、写真-1に対象橋梁の全景を示す。

2. 計測の必要性と項目

(1) 既設構造物に対する近接程度の検討

鉄道構造物に近接し新設工事を施工する場合、既設構造物の安全性を確保しつつ、有害な影響を与えない事を前提とする。そこで、近接範囲を行った結果、図-2.1のように、既設構造物に影響する施工であるとの結果となった。したがって、近接工事施工中は構造物の機能・安全性を確認しながら工事を行う為、計測管理施工を実施する事とした。

3. 計測機器の選定

今回、測定箇所が河川敷内であり、計測範囲が500mと長距離におよぶ事から、計測値の安定性及び計器の耐久性、耐候性も考慮する必要があった。

主たる検討項目としては、測定範囲と安定性 測線距離 機器の精度 機器類の耐久性 施工性 天候(自然現象等)による影響 温度変化の影響 定期点検の難易度 施工費等である。表-3.1に計器機器の比較一覧表を示す。

結果、本工事での総合評価としては、測定範囲が十分に大きく鉛直・水平変位が同時測定可能で、精度も十分な値が得られる、情報化施工の可能な自動デジタルカメラ計測を選定した。

4. デジタルカメラ計測

本計測は、既設橋台・橋脚に対する施工影響に対し、精度±1mm以内の範囲で実施する事を目標とした。そこで、カメラの計測精度を踏まえ図-4.1のように約500mの計測範囲を9台のカメラ縦列配置し、その映像をつなぎあわせ、全橋台・橋脚の変位を計測する計画とした。



写真-1 橋梁全景

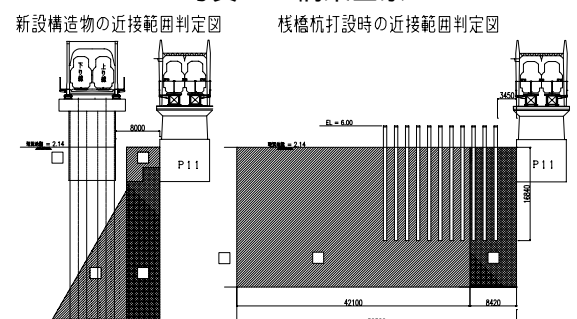


図-2.1 近接範囲判定図(橋梁中央橋脚)

表-3.1 計器機器を比較一覧表

名称	精度	測定範囲	計測方法
デジタルカメラ計測	±1.0mm	3072 × 2048 (画素)	デジタルカメラと測定用ターゲットから構成している。基準部(不動点)と測定点部にターゲットを設置し写真撮影する。撮影した画像を基に基準部と測定点部の相対変位を検出するものである。
2次元変位計測システム(水盛式沈下計)	0.1mm	±10.0mm	基準装置部と各測点の鉛直変位検出部(複数台設置可能)を水路で結び構成している。影響範囲外に基準装置部を設け、基準タンクの水面を基準水面とする。水路で接続した検出部にフロートを浮かべ計器本体に渦電流式変位センサを取付け、変位が生じると計器本体とフロート間の距離に変化が発生する。その変化量を捉え、基準部との相対変位を検出する装置である。また、水路内にワイヤーを張る事で水平変位が同時に測定できる。
水盛り沈下計	0.2mm	±50.0mm	オーバーフロー式基準タンクと差動トランス式の圧力計を用いた各測点の沈下計(複数台設置可能)を、水封入した連通管(φ33)で結び構成している。影響範囲外に基準装置部を設け、基準タンク内に常時水を補給し基準水面を保つ。沈下計に変位が生じれば、内部の水面位置が変化する。この水位の変化を沈下計が電気出力する事で基準沈下計との相対変位を検出するものである。
HVラインレーザー計	0.1mm	±17.5mm	影響範囲外の基準部(不動点)間に特殊ワイヤーを張り、「基準ライン」として、測定点にレーザー変位センサを設置し構成している。レーザー変位センサで、基準ラインと測定点との相対変位を検出するものである。また、センサを水平方向に設置する事で水平変位が同時に測定できる。

Key Words : Digital CCD Camera, Railway, Automatic Measuring, Intelligent Construction

連絡先: 〒532-0011 大阪市淀川区西中島 5-4-20 中央ビル 8F TEL.06(6303)1454 FAX: 06(6303)6991

(1)現位置座標への換算

デジタルカメラによる計測は、以下の(2)式により求める事ができる。

f：焦点距離（現場の状況に応じて選定する既知の値）
 Z：レンズ中心から測点までの距離（事前測量により既知の値）

$$X = \frac{X_c}{f} \times Z$$
 式(1)
$$Y = \frac{Y_c}{f} \times Z$$
 式(2)

(2)測点の配置方法

本計測では絶対値変位計測の全体形状算出の為の計測値結合を行う上で、回転誤差を極力少なくするべく、各計測点に3点以上の標点を設置した。この事は、各計測点の相対変位の精度向上にも貢献している。

写真-4.1 に計測撮影されたカメラ映像を示す。

(3)相対値変位計測

相対値変位計測は、デジタルカメラで捉えた1画像内にある連続した3ヶ所の橋脚にて、両端の弦に対する中央位置の差を相対変位とした。

(4)絶対値変位計測

絶対値変位測定では、橋脚 P₂₂ と、橋脚 P₁ は施工影響による変位が他に比べて少ない事から橋脚 P₁・P₂₂ を計測不動点と考えた。橋台 A₁・A₂、橋脚 P₂～P₂₁ は、計測点及びカメラ設置位置が変位する可能性がある為、個々のカメラだけでは、その変位量の算出はできない。そこで、図-4.2 に示すように9台のカメラにより計測区間を重複させた計測を行い、それらの値を統合する事により絶対変位値の算出する方法を採用する事とした。

統合は、後続のカメラを以下の式を満足させるように行った。

$$Q_i = (P_{i,j} - P_{i+1,j})^2 \text{ ----- (4)}$$

最後に、計測不動点と考えた2つの橋脚へ最小二乗法を用い座標変換する事により、絶対変位値として算出した。また、日変動誤差による統合のばらつきを考慮し、24時間（データ数 10分1回 = 6×24 = 824個）による移動平均法を導入して計測値の安定化を図る事とした。

(5)計測結果

事前計測で得られた約半月の計測誤差は、表-4.3の通りである。

以上のように、計測設計精度 ±1mm に対し、標準偏差で相対値では橋脚 0.3mm、橋台では 0.6mm と設計と同等もしくは以下で計測が行われている。また、絶対値においても24時間の移動平均ではあるが誤差影響が集中する中央の橋脚でも 0.8mm と良い精度で計測が行われている。

5.実施における問題点と課題（まとめ）

本施工では、約 500m と長距離の絶対値計測が必要とされた為、統合シミュレーションを行う事により全体形状の算出を可能としている。しかし、本計測では計測値の安定化を図る為、24時間の移動平均でデータを算出している。今後は、リアルタイムに安定した計測値を提供できる手法を研究する必要がある。

本計測工は、2004年10月下旬から開始し、今後約2年間の長期に渡り計測を行う予定である。その途上、日照の季節変動、河床上の空気密度の変化影響など、光学機器特有の誤差影響が考えられる。それらの誤差や異常値を、偶然誤差と系統誤差に分け処理するなど、計測値安定に向けた多くの課題が発生してくるものと考えられ、引き続き研究を進めていきたい。

最後に自動デジタルカメラ計測の導入に伴い関係個所の皆様に多大なるご指導、ご協力をいただき紙面を借りて厚くお礼申し上げます。

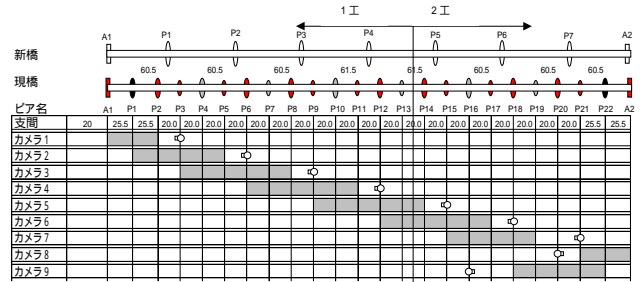


図-4.1 カメラ配置と計測範囲

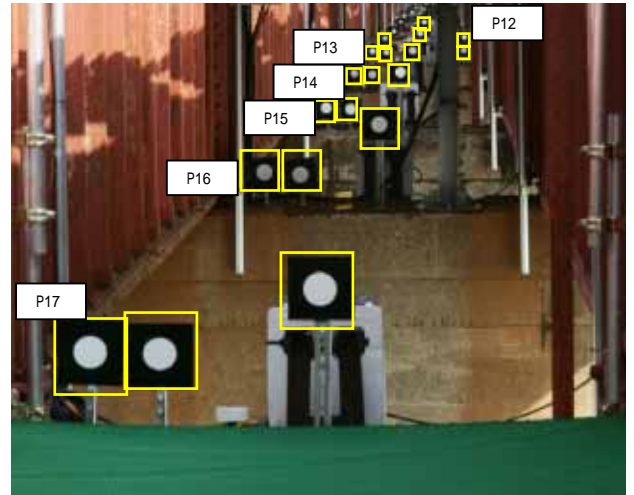


写真-4.1 計測画像（カメラ6）

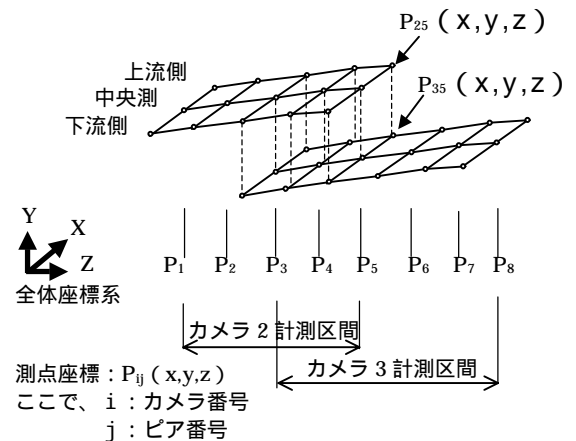


図-4.5 計測値接合方法

表-4.3 事前計測での誤差

計測項目	対象	最大値個所	最大誤差	標準偏差
相対値計測	A ₁ ,A ₂	A ₁ ,A ₂	2.4mm	0.6mm
	P ₁ ～P ₂₂	P ₁ ～P ₂₂	2.3mm	0.3mm
絶対値計測	A ₁ ,A ₂ P ₁ ～P ₂₂	P ₁₁ ,P ₁₂	1.5mm	0.8mm