

既設 PC 橋における多角的モニタリング計測の検討

NEXCO 西日本イノベーションズ（株） 正会員 ○広野 邦彦  
西日本高速道路（株） 正会員 大城 壮司  
西日本高速道路（株） 正会員 松井 隆行  
西日本高速道路（株） 正会員 福田 泰樹

1. はじめに

筆者らは、供用中の PC 橋の変状検知、および診断の一助とするため、各種調査・モニタリング計測を実施している。本稿では、各種センサを用いた多角的な橋梁モニタリング計測について述べる。

2. モニタリング計測手法の整理

橋梁モニタリング計測の手法には、「異常検知」や「計測値のトレンドモニタリング」、「解析や現地での残存プレストレス調査を併用した管理値計測」などが挙げられる。これらは密接に関係しているが、アプローチの方法がやや異なるといえる。橋梁モニタリングにおける異常検知や管理値計測のフローを図-1 に示す。

異常検知は、構造物の劣化や性能低下を計測センサの出力値から検知しようとするもので、安価に構造評価を

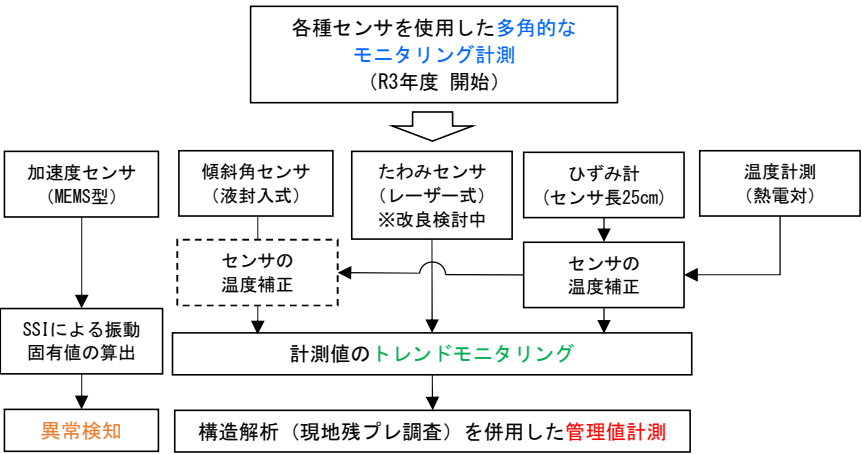


図-1 橋梁モニタリングにおける異常検知や管理値計測のフロー

を行い得るが、理論的な説明や解釈が難しいといった側面もある。計測値のトレンドモニタリングは、長期的な計測データの変動をモニタリングする手法であるが、センサの温度補正が必要になる場合が多い。管理値計測は、例えば PC 鋼材の破断を想定して解析的に構造物の応答を求めて管理値を設定し、計測結果を評価する。管理値計測による評価は分かり易いが、構造物の異常検知の信頼性を向上させるために、例えばひずみ測点を多く設置すると、費用が高額になるといった課題がある。このため、モニタリング計測では、そのようなことを踏まえて多角的なアプローチが必要になると考えている。また、異常検知やトレンドモニタリングでは、構造物に変状が発生していない平常時の計測データを取得しておくことが必要である。

3. 計測器およびモニタリングシステム

上記を踏まえて開発したモニタリング計測システムの概要を図-2 に示す。当モニタリング計測では、平常時における 10 橋程度の主桁たわみ、ひずみ、桁端部や中間橋脚付近の傾斜角、振動加速度、および橋体温度などの挙動を、遠隔で 24 時間計測・監視している。各種センサの出力値を現場に設置した計測器でデータ記録し、統計処理した結果を Web サーバー上にアップロードすると共に、モニター室に設置した解析用 PC に生データファイルを間欠的に送信する。解析用 PC 側では、振動加速度データから SSI（確率的部分空間法）を用いて振動の固有値（振動数、減衰定数、振動モード）を自動分析して計算結果を Web サーバー上にアップロードする。Web サーバー上のシステムでは、地図上で対象橋梁の位置や、各橋梁の統計処理結果などが確認でき、計測値が予め設定した管理値を超過した場合にはメーリングリストに警告メールを送信するシステムである。

キーワード 橋梁モニタリング, 多角的モニタリング, 異常検知, PC 橋, 残存プレストレス

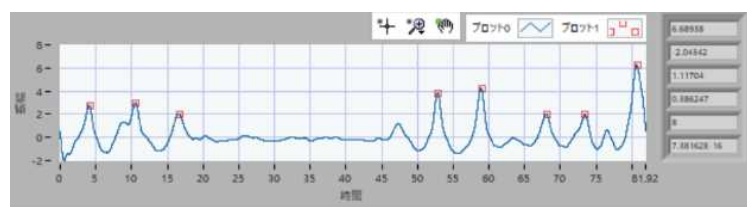
連絡先 〒532-0002 大阪市淀川区東三国 5-5-28 NEXCO 西日本イノベーションズ(株) TEL 06-6350-6132



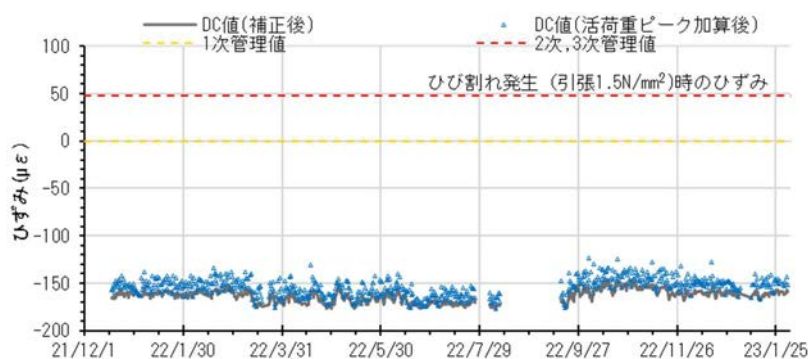
図-2 橋梁モニタリング計測システムの概要

#### 4. 主桁応力状態のモニタリング例

PC 箱桁橋の主桁下床版に設置したひずみ計による管理値計測の例を図-3に示す。図-3(a)は、活荷重による下床版ひずみのピークを読み取り、「平均値」、「標準偏差」、「ピークカウント数」などを分析した様子である。計測器の設定にもよるが、サンプリング周波数 400Hz 時では約 15 分毎に活荷重ピークの確率密度関数を求め、確率的に最大付近と考えられる値（平均値 +  $3\sigma$ ）を死荷重応答（DC 値）に加えて管理値と比較している。活荷重のピーク分布は正規分布または対数正規分布として集計する。ここで DC 値は、橋梁が 20℃ 時の値を初期値にしてセンサーの温度補正係数  $1.4\mu\epsilon/^{\circ}\text{C}$  で補正した値である。また、DC 値は、プレストレス等による全死荷重時のひずみ  $5\text{ N/mm}^2$  ( $-161.3\mu\epsilon$ ) をオフセット表示している。管理値については、下床版に引張応力が発生する閾値 ( $0\text{ N/mm}^2$ ) と、ひび割れが発生すると想定される閾値 ( $1.5\text{ N/mm}^2$ ) を設定している。実測結果は、1 次管理値を大きく下回っていることや、PC 箱桁橋では活荷重による影響は小さいことなどが分かる。なお、本計測器に実装したピーク分析機能としては、一定時間毎の振動の RMS 値や、ピーク振幅頻度に基づいた疲労の等価繰返し回数の計算などが実行できる。



(a) 主桁下床版ひずみの活荷重ピークの分析例



(b) 主桁下床版の死荷重・活荷重ひずみのモニタリング

図-3 リアルタイムでの温度補正と確率的活荷重ピーク（ $3\sigma$  加算）を考慮した主桁ひずみの管理値計測の例

実測結果は、1 次管理値を大きく下回っていることや、PC 箱桁橋では活荷重による影響は小さいことなどが分かる。なお、本計測器に実装したピーク分析機能としては、一定時間毎の振動の RMS 値や、ピーク振幅頻度に基づいた疲労の等価繰返し回数の計算などが実行できる。

#### 5. まとめと今後の課題

PC 箱桁橋では、図-3(b)に示したようにプレストレスによる影響が大きいので、今後、実橋で精度よく残存プレストレスを調査する手法について検討する。また、PC 鋼材の破断検知ができるような異常検知技術や、たわみ計測手法などについて検討する予定である。

#### 参考文献

- 1) 広野邦彦, 大城壮司, 松井隆行, 松尾祐典: 既設 PC 箱桁の応力状態のモニタリング, 土木学会第 77 回年次学術講演会, CS9, 2022. 9.