

富山市における橋梁モニタリングに関わる取り組み

— 橋梁の効率的な管理への、実装のための実証 —

植野 芳彦*

富山市が管理する道路橋梁は約 2 200 橋。高度成長期に建造された橋梁の老朽化が懸念され、さらに人口減少などによる財政難が今後予測される。これに対抗すべく、さまざまな手法を講じ、有効かつ効率的な維持管理手法を確立すべく取り組んでいる。そのうち、モニタリングシステムの活用を検証概要を述べる。今後活用が期待される場所ではあるが、「実装のための実証」が欠けているところもある。モニタリングシステムは今後の構造物老朽化において、有効な手段となることが期待されることも大きいことから、フィールド提供を積極的に行い、管理者としてモニタリングシステムの有効活用に向けて寄与したいと考えている。

キーワード：維持管理、モニタリング、維持管理高度化、橋梁マネジメント

1. はじめに

わが国の社会インフラは、今後 20 年以内に 50%以上が、耐用年数と想定される 50 年を経過し、急速に老朽化が進むと予測される。そして、地方自治体においてはそれを上回る勢いで訪れることが予測されている。平成 26 年度の国土交通省令により、管理橋梁の全数に対する 5 年に一度の近接目視が義務付けられて、第 1 巡目が終了し、場面は第 2 ステージへと突入した。しかし、これらの点検および補修・補強・更新といった一連の老朽化対策の流れが適切に実施されているのか、またその行き着くべき目的は何なのか？明確に考えられていない場合も多い。さらに、財政難、技術者不足から、多くの自治体は、その対応策に苦慮しているところである。

地方自治体における、老朽化対策の課題として、よくあげられるのが「財政不足」と「職員の要員や技術的知見の不足」である。さらには、地方には確固たる、技術力を有したコンサルタントが存在しないケースが多い。これらの悪条件が重なり、おそらく老朽化対策に関わる事項においては今後、地方自治体ほど大きなリスクとコストを背負って行くことになりかねない。

財政の問題は課題としては非常に大きな問題であるが、おのおのの財政上の課題であるため、われわれの役割としては管理していくうえでの技術面での課題を解決していく必要が大である。かつてより自治体などの職員の技術的知見の低下の問題が課題視されているが、具体的な解決策は、

どこからも示されていない。そういう意味からも現在、役所における「技術職員」の有りがたが問われている。職員の「技術力」は、日頃の業務内容から鑑みるに、現状のまま確保することは難しいといわざるを得ない。これからの社会においては、適正な判断と措置が下せる、新たな感性が重要あり、「新たなインハウス・エンジニアの育成」が最重要課題となってくるであろう。しかし、実際には、過去からの実績やしがらみからの脱却は難しく、なかなか進展しないのが現状である。状況を俯瞰的に把握しマネジメントしていく能力を身に付けることが重要である。さらに、新技術などを積極的に採用できる能力も今後は重要となってくる。わけが分からずに新技術に飛びつくのではなく、現在何が必要で、どういう機能が必要かという事を理解したうえでの導入が重要となる。

本報文において、皆様が期待するところは、どのようなモニタリングシステムが管理者のニーズに合致して多数活用される可能性があるのか？という点になるのではないかと考える。細かな技術的記述は守秘義務の関係からも、それぞれの開発者からの他稿に譲るものである。

2. 富山市の橋梁維持管理・現状と課題

2.1 管理橋梁の概要

本市では、大小あわせて約 2 200 橋の橋梁を管理している。その多くが高度経済成長期に集中的に整備され、架設後 50 年を迎えることから、今後一斉に老朽化の進行が加速することが明らかとなっている。

さらに、明らかに施工当初からの施工不良により、早期劣化の例も多々ある。維持管理に対しこれまで十分な投資がなされていなかったことから、すでに劣化損傷が進展し、耐荷力の不足・耐震化の遅れが顕著であり、健全性が著しく低下している老朽化橋梁が数多く確認されている。何よりも、設計当初 TL-14 で設計された橋梁に、制限を設けず、現行の重交通（B 活荷重相当さらには過積載車両）を通していても劣化を早める要因であるがその議論は、されていない。これも、地方自治体の老朽化対策において大き



* Yoshihiko UENO

富山市
建設技術統括監

な要因である。

2.2 橋梁の維持管理・更新における課題

橋梁の維持管理においては、点検により明らかとなった損傷に対し、計画的に修繕などを実施することで健全性を維持することが可能になるが、老朽化の進展状況を踏まえると、厳しい財政状況下において、損傷が軽微な段階での維持修繕により延命化を図る「予防保全型管理」が困難な状況になっていることが自治体の現実である。

また、今後、人口減少などにより、市の財政力が低下していくことや、管理者側の人員や体制、技術力といった橋梁の維持管理・更新に必要な資源が不足していることなどを踏まえると、すべての橋梁を、現在と同じ管理水準で維持し続けることは困難であり、持続的に橋梁の維持管理・更新に取り組むための「新たなしくみ」を構築していく必要がある。

3. 「しくみ」としての「マネジメント基本計画」

3.1 「富山市橋梁マネジメント基本計画」

橋梁を取り巻く社会経済情勢の変化や、橋梁の維持管理・更新におけるさまざまな課題を踏まえ、本市の目指すべき橋梁マネジメントの基本方針を明確にし、各施策の具体化に取り組んでいくこととしている。モニタリングシステムの積極採用や実証フィールドの積極提供もこのなかを示しており、それに基づき実施している。

その中身は、

【基本方針 1】

かぎられた資源においても実行（効）力の有る橋梁マネジメントを実現

【基本方針 2】

新たな仕組みの導入により業務の高度化・効率化を推進

【基本方針 3】

選択と集中によるメリハリのある橋梁マネジメントの実施としている。

この基本方針に基づく対応策として17の施策を掲げ、より具体的に示している。

施策①：橋梁保全技術コンソーシアムの設置

施策②：技術力に応じた橋梁点検の発注

施策③：損傷リスクの把握や点検方法の工夫による品質精度向上

施策④：小規模橋梁点検の効率化および点検作業の効率化

施策⑤：点検方法の効率化

施策⑥：診断支援

施策⑦：診断結果の品質確保・橋梁マネジメントの効率化を実現するための診断様式の作成

施策⑧：維持管理を考慮した新設設計

施策⑨：数量計上を含めた効率的な補修工事の発注方法

施策⑩：設計・施工簡略化のための標準化

施策⑪：小規模橋梁の点検・措置の一括発注

施策⑫：小規模橋梁更新の地域一括発注

施策⑬：橋梁撤去事業の進捗方法

施策⑭：新技術を導入する仕組みの構築

施策⑮：効果的な詳細調査・モニタリング方法

施策⑯：小規模橋梁の市民参加型日常管理

施策⑰：日常における延命化措置

このような施策のもと、検討を行っているが、今回の報文ではモニタリング技術に関して述べることにする。太字がモニタリングに関わる施策である。

3.2 施策中の一番の要「橋梁トリアージ」

かぎられた資源で持続的に橋梁の維持管理・更新に取り組むには、点検により明らかとなった劣化損傷に対し、順次、維持修繕や更新を実施するといった、これまでの一律の維持管理からメリハリのある維持管理へ転換していく必要がある。

そのため、橋梁の社会的な重要度やまちづくりの方向性などを踏まえ、機能維持・向上を優先すべき橋梁を明確にする「橋梁トリアージ」を実施し、使用制限や橋梁の機能適正化も視野に入れた、適正な管理区分・管理方針を設定することで、戦略的な維持管理・更新を推進していく。

全数近接目視の第1ステージが平成30年度で終了し第2ステージに入っている。まさに、トリアージは第1ステージで終了し、今後の長期にわたる、橋梁管理のシミュレーションも可能となった状況である。第2ステージでは、「橋梁マネジメント・カンファレンス」と称し、橋梁および社会経済に関する有識者に参加していただき、職員とともに議論し今後の方向性などをアドバイス願う仕組みを導入し、職員の負担軽減を図って行きたいと考えている。

つまり、これまでの一律管理とは決別し「選択と集中の管理へ」舵を切ることが第一である。

3.3 さらに、民間などとの連携推進

これまでのように1件1件の業務を発注して対応するのではなく、民間の技術力と財力をインフラメンテナンスに注入してもらうような仕組みが必要であると考え。実現には少々時間を要する課題であるが、まず、民間の先進技術を維持管理の現場に導入するために、富山市においてはモニタリングシステムの活用や、3Dレーザースキャナなど、現在、民間企業などと共同でさまざまな実証試験を行っている（写真-1）。点検や監視のための新技術、補修補強のための新材料新工法などに関しては今後も「実証」が重要要素である。このためのフィールドを提供し、ともに確認を実施していくことがマネジメントの基本だと考えている。



写真-1 現場での実証試験（土木研究所と）

さらに、今後予想される、財政難においては、民間資金の導入などを目的にした、「維持管理のためのコンソーシアムの確立の検討」などを実施し、PPP/PFIの可能性、維持管理分野における官民連携の可能性の検証なども行う予定である。

ここで、述べたいことは、橋梁などの構造物の点検や補修において、「大変だ」と嘆くのではなく「工夫して取り組むこと」が重要である。

世の中では、さまざまな新技術・新工法が報告されているが、筆者が考えるに「実装のための実証が希薄」であるところである。公共事業に新技術・新工法を採用していくためには、それなりの効果が必要である。税金を投入し実施するので、安易な気持ちで採用することは、発注者として控えなければならない。そのためには判断材料となる、実際の現場での実証があることが重要と成るので、富山市では市長の許可をもらい、キチント協定さえ結んでいただければ、現場を実証フィールドとして提供している。実証にて効果が得られれば、富山市としても積極採用を行う方針である。

現在、10数グループ（大学や研究機関、ゼネコン、コンサルなど）と協定を締結し実証試験を実施している。記念すべき、第一号は、国立研究開発法人 土木研究所である。その後、京都大学、大阪大学、土木学会などと締結し、民間企業とも実施している。

業者の皆さんは、「NETIS」に登録済ということで、自信满满提案されている。その努力は認めるが、内容の保証と責任の所在が不明確な場合が多いので、それだけでは採用は難しいと考えている。わたくし個人的には、「技術審査証明」程度の認証は公共事業に導入するには必要であると考えている。しかし、これには時間と労力が相当かかることから、公的な場所での実証ということが重要であるのではないだろうか？

4. モニタリングシステムの活用へ向けて

4.1 構造物モニタリングの現状と課題

構造物を綿密に点検するためには現在、まず技術者が近接目視することになっているが、建造物に近づくためには、足場などを設置しなければならない。足場の設置費用が大きな負担となるなど、場合によっては実際の点検費用よりも足場費用の方が高価となってしまい本末転倒な結果になる。

また、人間が入れないような狭い場所、高所作業となるような、危険作業となる場合が実際には多数存在する。効率よくしかも有効に安全に点検を実施していくには、モニタリングシステムは有効な手段の一つである。

以下にPC橋およびRC橋に設置した例を示す。コンクリート構造物の計測はメタルに比べ挙動が出にくいことから、モニタリング化は難しいと考える。さらに、計測値の判断を的確に考えられる技術力も必要であろう。

4.2 モニタリングシステムの実証事例

(1) 90年以上経過したRC桁橋におけるセンシング

本市の維持管理計画の中でも老朽化が著しく（90年以

上経過）、架け替えを検討していた「五福4号橋」において、土木研究所およびRAIMSと共同で、RAIMS参加企業各社の各種センサーを設置し橋梁の挙動を観察した。最終的には現場での載荷試験を実施後に、撤去桁を土木研究所に搬送し破壊試験を実施した。これにより現場でのセンサーの測定値などとの差異を検証した（写真 - 2）。

本結果はRAIMSのモニタリングシステムのガイドライン作成などにも一部活用されている。



写真 - 2 センサーの設置状況

(2) FBG 光ファイバーセンシング

築38年（1978年竣工）のPC単純T桁を実証フィールドとして、モニタリングを実施した。本橋は、築20年頃からASRと推定される軸方向ひび割れや、床版間詰部の剥落などが確認され、ひび割れ注入と、劣化が激しかった桁端部の断面修復をすでに実施している。築35年の段階で、橋面防水工および伸縮継手の交換などの修繕を行ったが、現時点において、注入したひび割れの再劣化や、桁端部の断面修復部のひび割れなど、新たな劣化ひび割れの発生が確認されており、ASRの進行継続が疑われる橋梁である。

年に1回程度（数日間連続）の断続的なモニタリングを実施している（写真 - 3）。

① 長期計測（年1回程度の測定）

- (a) ひび割れの発生・進展、ひび割れ幅の変化
- (b) ASRなどによる膨張、乾燥収縮ひずみ
- (c) 桁上縁・下縁の軸方向ひずみ（桁曲率）の変化
→ 曲げ剛性（ヤング係数）の変化、プレストレスの損



写真 - 3 光ファイバーの設置状況

失などを推定

② 短期の高周波サンプリング（数日間の連続測定）

(a) 車両走行時のひずみ、曲率、継目開口など→たとえば、重量既知車（20t）を走行させ、その値の経時変化を記録

(b) 走行車両重量分析測定期間中に走行した全車両の台数、重量、速度を調査→重車両による疲労回数推定、過積載車両の有無・頻度の把握など

(3) シート型センサー

大阪大学 関谷栄誉教授のグループが医療用のセンサーを基に開発した、シート型センサーを神通大橋はじめ複数の橋梁に設置し、センシングを行っている。

このセンサーは用途ごとに印刷パターンを変えることにより、ひずみやたわみや自然電位など、目的別に設置できることや、取り扱いがやすく低コストのセンサーであることが先進性がある。

本誌における2橋（PC桁、RC桁）において、ひずみ・たわみ・自然電位に関して実証している。特筆すべきは、本システムで低コスト化が図れることと、「自然電位」に着目していること、接着剤などの劣化状況なども試験していることである（写真 - 4, 5）。

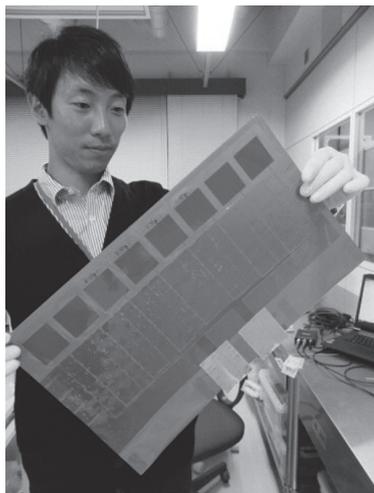


写真 - 4 シート型センサー



写真 - 5 シート型センサーの設置状況

(4) 共振型 AE センサー

撤去予定の RC ホロースラブ橋における共振型 AE センサーによる載荷試験を実施し、高度なセンサーの短スパン橋梁への応用を確認した（写真 - 6）。



写真 - 6 実験の状況

(5) ローコスト化の検証

供用 50 年を過ぎ ASR が懸念される PCT 桁橋にて、4G 回線を使ったモニタリングシステムの実証実験を行った。この種のモニタリングシステムは多々存在するが、本システムはコストを抑えることを主目的とし、モニタリング項目は主桁のたわみを主とした。モニタリング方法は、桁に設置したひずみセンサーで橋軸方向のひずみ量のモニタリングを行い、それを桁の垂直方向のたわみに置換し、桁のたわみを間接的に把握することにより経年劣化を評価する方法である。

測定されたひずみ量（モニタリング対象）と実際の桁の中央のたわみとの関連性の把握が必要かつ重要となる。そのため、同時に変位計にて桁たわみを直接測定し、両者の測定結果を比較することにより、その相関性を把握することにした。

本システムの実証の狙いは

- ① 低コスト化
- ② 目的を絞った簡便な数値測定

であり、これが今後の自治体での必須項目となるので、地元非破壊検査会社と実施した（写真 - 7）。



写真 - 7 センサー設置状況（電源はソーラー）

5. 有効性

モニタリングシステムが、構造物の点検、診断をはじめ、施工管理や事故防止などに有用であることは従来から提唱されている。実は、筆者はすでに10年以上前に試行的に、土木研究所の木村上席(当時)、関東整備局の小輪瀬氏(当時)などの協力を得て、某PC箱桁橋梁にモニタリングシステムを設置させていただいた。

結果的に当初はうまく作動していたが、現場の湿度が高すぎて、センサーが1年程度で異常をきたす状況となってしまった。この時に課題になったのがセンサーそのものの寿命と、通信費の問題である。

加速度計により固有周期の変化を把握して診断する手法が研究されているが、RC橋やPC橋では相当の劣化が進行しないと検知できないなど、実用化には課題が多く、コンクリート構造物の老朽化診断には、部材の劣化具合と構造物全体としての挙動の変化などの総合的な評価が必要である。

モニタリングのもっとも単純な方法は、自分の目で見て定期的に観察していくことである。目視と測定を如何に機械にシステムチックにやってもらうかということが重要であり、モニタリングシステムをただ着ければよいというものではない。

6. 今後、自治体で導入するために

モニタリングシステムの提案に来られる方は多い。しかし、実際には自己中心的考えでの提案が多く、発注者としては、着ける価値を見出せない。われわれは研究目的ではなかなか着けることはできない。実用を目指し、目的を明確にして実施している。コストも大きな問題で、非常に高価なシステムは特殊な場合を除き実用されないであろう。

管理者において、モニタリングシステムをいかに導入するか?という課題に関して、

- ① コスト(初期導入+運用費+維持管理)
- ② 目的の明確化

である。

目的とは、

- ・何を目的とするのか?
- ・そのために、項目として何を測定すればよいのか?
- ・それはどう活用できるのか?

である。

これが明確でないと無用の長物を設置し、着けたこと自体に満足してしまい、何の役にも立たなかった。ということになりかねない。

では、どういう場合に使えるのかであるが、

- ① 構造物が危険な状態であり、常時監視をしたい場合
- ② 構造物が、山中や高所など行くことが困難な場合
- ③ モニタリングが点検を補完できる場合

などであり、目的を明確にしコストを抑えられることが、自治体としての、外せない項目である。われわれ管理者は研究者ではなく実務者なので、ここに留意しなければならない。

ただし、現在、実例が不足しているために、今後のために「実装のための実証」をしていくことは重要であり、誰かがやらなければならない。たとえば「富山市で実証済みである」ということが、その後のほかの自治体での採用に向けて重大な要素であることを、どれだけの方が理解しているのだろうか?

前述したが、着けたい側の自己満足では採用は難しい。着ける側、採用する側のニーズと会うことが重要である。さらには、着ける側、管理者であるが、こちら側も、何の目的で着けるのか?そこから何を見出せるのか?を理解できる能力が必要である。「現場は机上論とは違う」という認識を双方がもち、活用できれば大きな力となるであろう。

モニタリングシステムは、上手に活用すれば、職員の労力の削減や維持管理のコスト削減となり、有効なものとなるであろう。さらには、施工管理などにも活用できると考えている。関係各位のさらなるご活躍を期待したいところである。

【2019年8月30日受付】



新刊案内

高強度鉄筋緊張 PRC 構造設計指針(案)・同解説

2019年2月

本指針(案)・同解説は、2014年の本工学会の公募研究に採択され、「高強度鉄筋緊張 PRC の研究と指針作成委員会」(委員長:鈴木計夫 大阪大学名誉教授)でまとめたものです。設計例、図表等を盛り込んで設計者が活用しやすいように作成されています。

定 価 4,888 円(税込) / 送料 300 円

会員特価 4,000 円(税込) / 送料 300 円

公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会