

富山市五福4号橋におけるモニタリング技術の現場実証

杉谷真司・中津井邦喜

1. はじめに

人口減少等により厳しくなる財政見通しの中、橋梁の老朽化対策に十分な人員や予算、技術力を確保することは困難であり、メンテナンスサイクルにおける各業務の効率的かつ効果的な推進が課題になっている。

本文は、富山市の橋梁マネジメントにおいて、劣化損傷の的確な把握と維持管理水準の向上を低コストで実現する、モニタリング技術の活用に向けた施策の一環として実施している、五福4号橋での現場実証によるモニタリング技術の有効性及び信頼性の検証、実装に向けた取組みを報告する。

2. 富山市の老朽化対策

2.1 持続可能な橋梁マネジメントの実現

本市では、これまでの老朽化が進めば順次修繕や更新をするといった一律の維持管理から転換し、橋梁を取り巻く社会経済情勢の変化を的確に捉え、選択と集中による対応を行うとともに、業務を効率的かつ効果的に取り組むことで、持続的かつ適正な橋梁の維持管理・更新を推進していくこととしている。

2.2 モニタリング技術の活用

今後の本市における橋梁老朽化対策として、重要性の高い橋梁は、優先的に維持修繕や更新を推

進する一方、他の橋梁は、老朽化の状況に応じて、重量制限や通行止めなどの使用制限や統合廃止も視野に入れた対応を行うこととしている。

そのため、措置の内容や方向性の決定においては、これまで以上に、劣化損傷の状況の的確な把握と評価、精度の高い健全性の診断が必要であり、モニタリング技術の活用は、業務の効率的かつ効果的な推進を図る上で有効かつ重要な手段の一つであると考えている。

2.3 民間等との連携

モニタリング技術は、近年、新技術の開発や高度化、複雑化が進んでいることから、その適切な活用のあり方について検討し、基本的な考え方や方向性について整理した（表-1）。また、モニタリング技術に関する知見の取得や、活用に向けての課題解決を図るため、本市が管理する橋梁を現場実証のフィールドとして、民間等へ積極的に提供することとした。

このような中、モニタリングシステム技術研究組合（RAIMS）および土木研究所と協定を締結し、橋梁の維持管理水準の向上を目的とした劣化損傷を的確に把握するためのモニタリング技術に関する研究を相互に協力して取り組むこととし、本研究の一環として五福4号橋をフィールドとしたモニタリング技術の現場実証や有効性・信頼性の検証等を実施することとした。

表-1 富山市のモニタリング技術のニーズ

想定される状況	モニタリング（目的）
<ul style="list-style-type: none"> 劣化損傷の原因が不明 劣化損傷による現状の耐荷力が不明 	モニタリングⅠ ⇒現状（状態）把握のためのモニタリング ・劣化原因の究明、耐荷力の把握
<ul style="list-style-type: none"> 将来的な廃橋の決定後も供用を継続（健全性の低下が著しいが、優先度が低い） 補修等の実施が決定後も、すぐに着手できず供用を継続（順番待ち） 	モニタリングⅡ ⇒供用中のリスクを回避するためのモニタリング ・経過観察（急激な劣化や損傷の拡大など異常発生観察）
<ul style="list-style-type: none"> 効率的、経済的な定期点検の実施 近接目視が困難な部位での劣化損傷の把握 	モニタリングⅢ ⇒定期点検を補完するモニタリング ・定期点検（近接目視）同等の状態把握

2.4 現場実証の概要

本市が管理する橋梁においてはRCT桁橋やRC床版橋の割合が多く、10～20m程度の支間長が最も多い。そこで、本市のRCT桁橋を対象として現場実証実験を実施した。RCT桁橋の劣化モニタリングの指標として主桁のたわみと振動特性の二つに着目し、各種モニタリング技術を屋外の実橋梁に適用することが可能であるか、検討を行った。現場実証実験の対象橋梁の諸元を表-2に、橋梁の外観を写真-1に主桁の劣化状況を写真-2に示す。



写真-1 橋梁の外観



写真-2 主桁の劣化状況

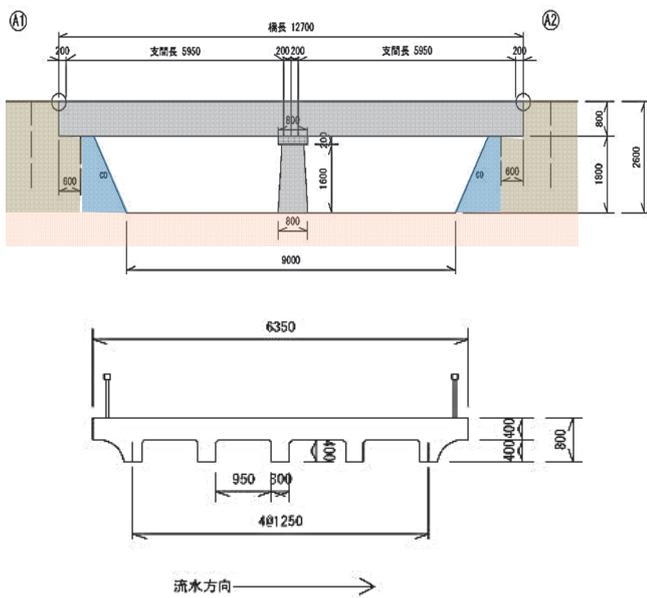


図-1 五福4号橋

表-2 橋梁諸元

橋 梁 名	五福4号橋(河川橋)
位 置	富山市内
構 造 形 式	RCT桁橋(T15※) ※架設年度より想定
竣 工 年	昭和2年
対 象 桁	第一・二径間
特 徴	コンクリート剥落・鉄筋露出(写真-2参照)
備 考	平成28年9月に架け替えによる撤去を実施

実験では橋梁上部工に直接設置して測定する「センサ設置型」と、橋梁の遠望から画像を取得し、画像解析により変位や振動特性を算出する「遠望型」の2種類を導入した。センサ設置型は変位計と加速度センサによる技術を、遠望型は画像センシングとサンプリングモアレ法を導入した。導入モニタリング技術の一覧を表-3に示す。

車両走行試験は現象の再現性や季節変動、耐久性等の検討を行うため、3か月毎に計3回の車両走行試験(写真-3)を行った。また、撤去工事ともなう橋梁の通行止め後に、鉄筋の腐食破断を模擬して主鉄筋を切断し、静的載荷試験(写真-4)と加振試験(写真-5)を実施した。



写真-3 車両走行試験状況



写真-4 静的載荷試験状況



写真-5 加振試験状況

表-3 導入技術一覧

実証対象	導入技術名称	
	技術名	センサ・機器名
たわみ	変位計測	変位計
		リング式たわみ計
		レーザーたわみ計
	画像センシング	動画撮影カメラ
	サンプリングモアレ	サンプリングモアレカメラ
振動	加速度計測	サーボ型加速度計
	固有振動数計測	固有振動数計
	固有振動数分析技術	無線加速度センサ
	低周波加速度特徴解析	加速度・傾斜センサ
	振動可視化分析	加速度センサ

高感度センサを橋梁上部工に分散配置して応答加速度を計測し、アクセラランスのスペクトル解析と固有モード法による振動形態分析から構造体の振動モードを抽出した。加速度センサの応答周波数範囲は1から500Hzである。センサの外観を写真-6、7に示す。



写真-6 加速度・傾斜センサの外観



写真-7 加速度センサ外観

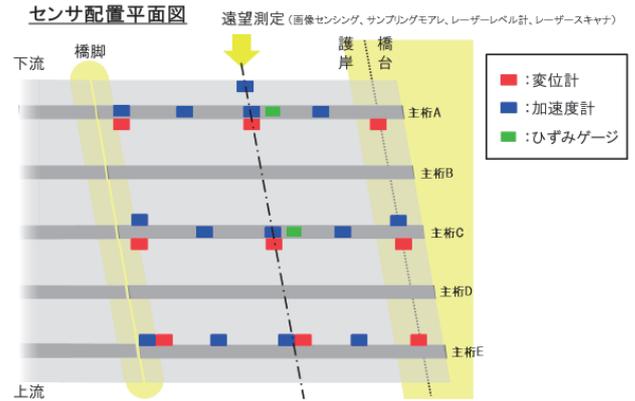


図-2 センサ設置位置

2.5 現場実証の結果

振動可視化分析結果（加速度センサ）の概要を図-3に示す。1次振動モードに類似の姿態として図中の①～③の3つのピークが見られた。ピークが23Hzのモードにおいては、主桁B-C間の位相差に相違が見られた。また、ピークが19Hzと26Hzのモードにおいては主桁Cが局所的に屈曲するような特異な振動が見られた。これらから、主桁や床版に何らかの損傷が生じているものと予想される。

この結果から損傷部材の特定を示唆できる可能性が示された。

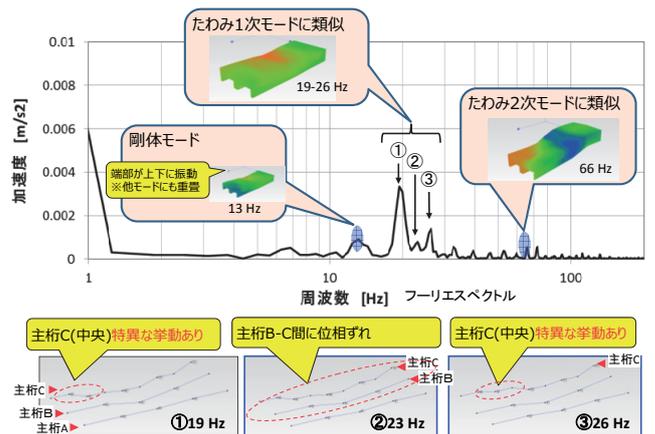


図-3 振動センシング分析結果

また、たわみ・振動のモニタリングとともに、今回の実証の範囲内においては、気温や走行車両の位置、車両走行速度が計測値に及ぼす影響は小さく、実環境下における適用の可能性を確認することができた。たわみのモニタリングにおいては、車両重量とたわみの間に強い線形相関がある状況

をモニタリングデータとして得ることができたことから、コンクリート桁橋の劣化を評価する技術としての可能性を確認することができた。低周波加速度特徴解析において、加速度センサ計測値より算出したたわみと変位計で計測したたわみとの比較したところ、強い相関が確認された(図-4)。加速度センサ計測値から算出したたわみの方が3割程度大きい傾向があるが、変位計は不動梁からの相対変位を計測しており、すなわち橋脚と橋台の沈下変位は測定が含まれない。加速度センサ計測値から算出したたわみにはそれが含まれることが要因であると考えられる。この結果からモニタリングⅠ(現状把握のためのモニタリング)を示唆できる可能性が示された。

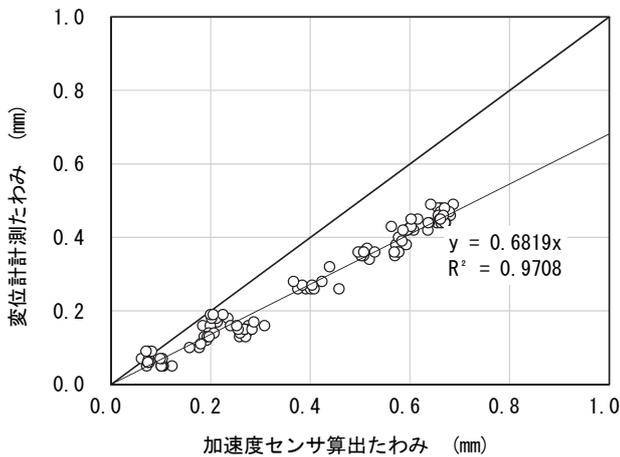


図-4 加速度・傾斜センサ計測値より算出したたわみと変位計で計測したたわみとの比較

3. 今後の課題

本実験では、主鉄筋を切断し構造的に耐力が低下した状態におけるたわみ・振動の変化やそれに伴うばらつきの評価については本現場実証で課題として残った。これについては、本現場実証の対象橋梁から入手した撤去桁を土木研究所に持込み、載荷実験を行うことによりモニタリングⅡ(供用中のリスクを回避するモニタリング)の実証を行いたい。

4. おわりに

今後は、現場実証や載荷実験の結果を踏まえて、総合的な評価、検証を行い社会実装に向けたモニタリングシステムのプロトタイプ構築を行ってい

きたい。



写真-8 撤去桁の外観状況(土木研究所)

謝 辞

本研究は、モニタリングシステム技術研究組合(RAIMS)が実施した研究であり、内閣府の「SIPインフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の一環として国土交通省が実施する「社会インフラへのモニタリング技術の活用推進に関する技術研究開発」委託事業研究の成果を含んでおります。

杉谷真司



富山市建設部橋りょう
保全対策室計画係 主査
Shinji SUGITANI

中津井邦喜



日本工営(株)大阪支店
技術第一部アセットマネ
ジメントグループ
Kuniyoshi NAKATSUI