

コンクリートポンプ車の多段式ブームを活用したインフラ点検技術の開発

太田 健司*1・中島 良光*2・松林 卓*1・山本 和範*2・吉田 兼治*3・羽田 匡彦*4

Development of the infrastructure inspection utilize by multistage boom of concrete pump vehicle

Kenji OHTA, Yoshimitsu NAKAJIMA, Taku MATSUBAYASHI, Kazunori YAMAMOTO, Kenji YOSHIDA, Tadahiko HANEDA

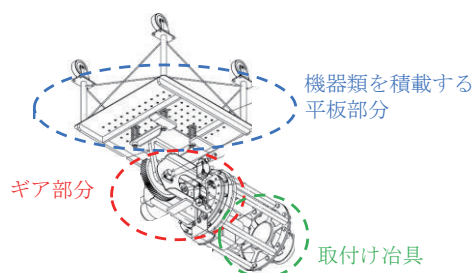


図-1 点検装置用
アタッチメント



写真-1 アタッチメント
取付け状況

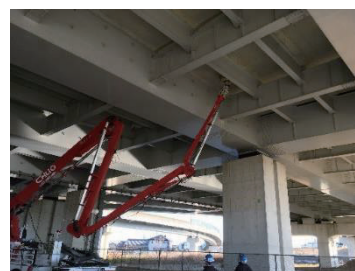


写真-2 床版の点検状況

研究の目的

少子高齢化の進行に伴い、多くの産業で労働人口が足りていない状況であり、建設産業全体で作業の省力化や生産性の向上を目的としてロボット技術を活用する研究開発が盛んに行われている。

こうした中で、構造物の近接目視点検代替技術として、特殊な機能を有する新たなインフラメンテナンス専用のロボット開発やドローンを活用した開発が進められている。しかし、特殊ロボットの開発には多くの初期コストを要する。そこで著者らは、建設現場で汎用的に使用されるコンクリートポンプ車の多段式ブームをロボットアームとして活用できることに着目し、多段式ブーム先端に取り付け可能な点検操作アタッチメントを開発し、実構造物を用いて点検への適用性について検証を行った。

技術の説明

今回開発した点検装置用アタッチメントはコンクリートポンプ車のブームガイド先端に取り付けることが可能である。点検装置用アタッチメントは、大きく分けて、構造物の調査や点検に使用する機器を搭載することができる平板（600mm 角）、機器を搭載した平板を上下方向への首振りおよび旋回を可能とするための 2 種類のギア、コンクリートポンプ車のブームガイド先端に設置するための取付け治具から構成されている。その他の機能として、構造物と接触した際の衝撃を緩衝するための機構も有している。なお、今回開発した点検装置用アタッチメントには、およそ 15kg までの重量の機器を搭載することが可能であり、計測機器に 100V の電源を供給することも可能となっている。

主な結論

既存のコンクリートポンプ車ブームをインフラ構造物の調査、点検に活用するため、点検装置用のアタッチメントを開発し、その適用性について検証を行った。その結果、コンクリートポンプ車のブームを多段式のロボットアームとして利用することにより、橋脚の床版や橋脚、法面など様々な場所への点検に活用することができる可能性を示した。また、実際に打音検診装置を搭載して行った検証実験において、高所作業車を利用した既存の点検方法と同程度の作業時間で点検が可能であることを示した。打音検査の判定結果については、橋脚で 90%以上、床版では 80%以上を正確に判定することが可能であった。以上のことから、コンクリートポンプ車のブームを利用した本工法を点検に適用することで、今回検討した範囲においては近接目視と同等の点検をできる可能性を示した。

*1 本店 技術研究所
*3 (株)ヤマコン 事業開発部

*2 本店 事業戦略本部 プロジェクトマネジメント部
*4 沖電気工業(株) 情報通信事業本部 社会インフラソリューション事業部

コンクリートポンプ車の多段式ブームを活用した インフラ点検技術の開発

太田 健司*¹中島 良光*²松林 卓*¹山本 和範*²吉田 兼治*³羽田 匡彦*⁴

要 旨

コンクリートポンプ車の多段式ブームをロボットアームとして活用すべく、ブーム先端に取り付け可能な専用のアタッチメントを開発した。この多段式ブームを活用した点検工法への適用性について、橋梁や法面構造物を対象としてブームの稼働範囲に関する検証や打音検査への適用性について検討を行った。

その結果、床版や橋脚、法面など様々な場所への点検に活用することができる可能性を示した。また、本工法を活用することで高所作業車などを利用した点検方法とは異なり、点検時の安全性が向上し、点検にかかる所要時間も既存の点検方法と概ね同程度の作業時間であった。以上のことから、本工法を点検に適用することで近接目視と同等の点検をできる可能性を示した。

キーワード コンクリートポンプ車／点検技術／近接目視代替技術／打音検査／多段式ブーム

目 次

- | | |
|----------------------|-----------------------------|
| 1. はじめに | 4. インフラ構造物点検方法への適用性検証 |
| 2. 現状の課題 | 5. 近接目視点検代替技術（打音検査）に向けた実証実験 |
| 3. コンクリートポンプ車の活用について | 6. まとめ |

DEVELOPMENT OF THE INFRASTRUCTURE INSPECTION UTILIZE BY MULTISTAGE BOOM OF CONCRETE PUMP VEHICLE

Kenji OHTA
Taku MATSUBAYASHI
Kenji YOSHIDA

Yoshimitsu NAKAJIMA
Kazunori YAMAMOTO
Tadahiko HANEDA

Synopsis:

Developed attachment dedicated to tip of boom for concrete pump vehicle, which regard multistage boom as robot arm. The authors investigated applicability to hammering test and operation range of boom for concrete pump vehicle, while subject of bridge and slope structure about inspection method of utilize regard multistage boom as robot arm.

As a result, it was suggested that possibility that could inspection of slab and bridge pier, slope. Also, compared with existing inspection method, that safety improvement inspection and same level amount of inspection time by utilizing method of multistage boom as robot arm. According to the above result, it was suggested that possibility that was equal inspection for proximity visual inspection by utilizing method of multistage boom as robot arm.

* 1 本店 技術研究所
* 3 株式会社ヤマコン

* 2 愛知道路コンセッション株式会社 道路運用部
* 4 沖電気工業株式会社

1. はじめに

インフラ構造物の多くが高度経済成長期に建設され、今後 20 年で竣工後 50 年を迎える構造物は加速度的に増加することなどから、インフラ構造物の老朽化が深刻な問題となっている。このことから、橋梁やトンネルを始めとしたインフラ構造物に対して、5 年に 1 度の近接目視点検が義務化されるなど、構造物の調査、点検などといった維持管理の重要性が高まってきている。

一方で、国内の人口情勢については少子高齢化の進行に伴い、建設産業のみならず多くの産業で労働人口の不足が課題であり、今後も引き続き減少していく見込みである。これらの担い手不足を解消するため、建設産業全体で外国人労働者の受け入れなどに加え、作業の省力化、省人化による生産性の向上、作業の自動化などを目的としてロボット技術を活用すべく研究開発が盛んに行われている。このロボット技術の活用は、建設中の構造物に対してだけではなく、インフラ構造物の維持管理においても進められている。例えば、近接目視点検の代替技術として、ドローンを活用した構造物の表面状態の観察や高精度カメラによる遠方からのひび割れ状況の撮影、画像処理技術を用いたひび割れの検知、打音装置による浮きの検査技術などが挙げられる。また、この様な点検、調査技術だけでなく既存補修工法の自動化への取り組みなども進められている。

以上より、コンクリートポンプ車の多段式ブームをロボットアームとして活用した場合の点検工法への適用性について、橋梁や法面構造物を対象としてブームの稼働範囲に関する検証や打音検査への適用性について検討を行った。

2. 現状の課題

点検や調査、補修などに特化した特殊なインフラメンテナンスロボットの開発には多くの初期コストを要することや異なる形式の構造物や点検手法などに対する適用性に欠けることなどが懸念される。例えば、ドローンを活用する場合には、操縦に特殊な技能や資格を要すること、飛行場所によっては事前の申請、協議が必要となる場合がある。また、常時電源供給が容易にできない環境においては長時間の連続飛行が厳しいこと、積載重量が数キロ程度に限定されることが積載物や強風などにより飛行姿勢を安定させることが困難となるなど多くの課題が挙げられる。

3. コンクリートポンプ車の活用について

上記のような課題に対して、著者らは、普段から建設現場のコンクリート工事で汎用的に使用されているコンクリートポンプ車に付属している多段式ブームをロボットアームとして活用できると考えた。

コンクリートポンプ車は古くから建設現場で使用され

てきたため、全国各地のどこでも容易に手配することが可能で、国内におよそ 8000 台と多数の保有台数を有する建設機械である。このような既存のコンクリートポンプ車を積極的に活用することで、膨大な初期コストの削減につながる。また、多様な現場のニーズに対応するため、大小様々な車両があり、車種によってブームの長さや関節数も異なるため汎用性に優れると考えられる。この利点を活かして、適切な機種を選定することで様々な形式の構造物に対して適応することができる。また、全国に多数の車両が存在するだけでなく、コンクリートポンプ車を操作する有資格者や熟練技術者も多数在籍していることから、技術者不足の解消にもつながると考えられる。また、コンクリートポンプ車の多段式ブームは、圧送に伴うブームの脈動や圧送中のコンクリート重量に耐え得るように設計されているため、非常に強固かつ高耐久性を有している。そのため、ドローンなどでは搭載が困難な重量の大きい計測機器の積載や雨風による影響も受けにくく、安定してブームの稼働や静止状態を保つことも可能である。その他として、計測機器を構造物に接地（押し当てて）させる作業も可能となる。作業の安全性についても、多段式ブームを最大限に活用することで道路上から橋梁桁下面の状況を観察することや道路法面の点検などを無人で実施することができる。そのため、点検者と構造物との接触や、高所からの落下といった危険作業を回避することができる。また、ドローンのように飛行中の制御不能による突然の落下などの危険性も低いため、第三者への被害も最小限にとどめることができると考えられる。

加えて、コンクリート工事は近年、プレキャスト化が進んでおり、今後現場打ちコンクリートは減少していくものと考えられる。今後、市場が縮小していくであろう圧送業界にとって新たなビジネスに繋がるものと考えられる。

4. インフラ構造物点検方法への適用性検証

本工法を適用した際のコンクリートポンプ車の多段式ブームの稼働方法や稼働領域について、点検機器類を搭載していない状態で、橋梁や法面などの点検に対する適用性について検討した。本工法の各種構造物の点検作業などへの適用性について検証した結果を説明する。

4.1 点検装置用アタッチメントの概要

今回開発した点検装置用アタッチメントはコンクリートポンプ車のブームガイド先端に取り付けることが可能である。点検装置用アタッチメントを図-1 および写真-1 に示す。点検装置用アタッチメントを実際にブームガイド先端に取り付けた状況を写真-2 に示す。

図-1 に示す点検装置用アタッチメントは、大きく分けて、構造物の調査や点検に使用する計測機器を搭載する

ことができる平板（およそ 600mm×600mm），機器を搭載した平板を上下方向への首振り（ $\pm 90^\circ$ ）および旋回（ $\pm 175^\circ$ ）を可能とするための 2 種類のギア，コンクリートポンプ車のブームガイド先端に取り付けるための治具から構成されている．その他の機能として，構造物と接触した際の衝撃を緩衝するための機構としてキャスター部や緩衝用のスプリングも有している．なお，今回開発した点検装置用アタッチメントには，およそ 15kg までの重量の機器が搭載可能であり，100V の電源も常時供給可能な仕様となっている．

4.2 橋梁点検への適用性の検証

まず，本工法を橋梁の床版部への適用した場合について，橋梁の上面から床版下面を観察した場合の適用例について写真-3 および写真-4 に示す．つぎに，橋梁下から床版下面を観察する場合の適用例について写真-5 に示す．

橋梁上面から床版を点検する場合においては，写真-3 および写真-4 に示すように，コンクリートポンプ車を適用する最大の特徴である，多関節で構成される多段式ブームの構造を最大限生かすことで橋梁の上面から床版下面にブーム先端を取り回すことができる．このように，本工法を橋梁の点検に適用することで，橋梁上部からの点検作業については，橋梁点検車の代替技術となり得ると考えられる．本工法を適用することで構造物の構造形式によっては，橋梁点検車のバケット部分では入ることのできない写真-4 のような狭隘な箇所においても点検作業が可能となる．

一方で，橋梁下から床版を点検する際には，多段式のブームを必要な関節部分で折り畳むことにより，写真-5 のように作業が可能となる．橋脚を点検する場合においても，写真-5 と同様にして点検することが可能であり，コンクリートポンプ車の多段式ブームの稼働範囲内の構造物であれば，多段式ブームの伸縮により各高さで点検することが可能となる．このように，橋梁下において作業する際は，高所作業車の代替技術として活用することが可能となる．

4.3 法面構造物点検への適用性の検証

本工法を利用した点検については法面の点検にも有効であり，実際の法面構造物へ適用した状況を写真-6 に示す．

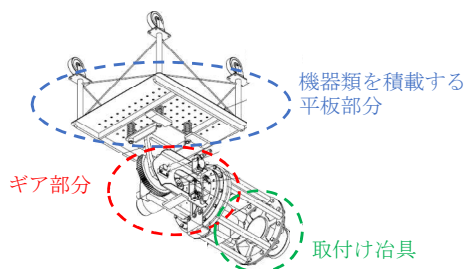


図-1 点検装置用アタッチメント

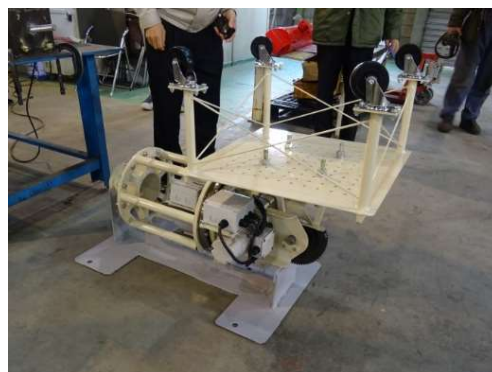


写真-1 点検装置用アタッチメント



写真-2 アタッチメント取り付け状況



写真-3 ブームの操作状況（橋梁上部）



写真-4 ブーム先端の取り回し状況

このように，法面構造物の点検作業へ本工法を利用することで，点検用の作業足場や作業ロープなどを整備する必要が無く，点検作業を容易に実施することができる．特に，法面構造物での作業は作業足場が不安定となる場合が多いため，本工法を適用することで災害のリスクを

大幅に抑制できると考えられる。

5. コンクリートポンプ車のブームを利用した近接目視点検代替技術（打音検査）に向けた検証実験

4章で本工法を橋梁や道路法面などの構造物へ適用した際の適用例について検証した。そこで、この章では打音検診装置を利用して、橋梁の橋脚部分および床版部分を点検することで本工法の打音検査への適用性について検証した。その検証結果について報告する。

5.1 打音検診装置の概要¹⁾

今回の検証に用いた打音検診装置は、ソレノイド式のハンマーを用いて、一定の打力で壁面を打撃する機構を有しており、ハンマーによる打撃時の反発音を集音、自動解析し、集音した音を音響解析技術により解析することで、打撃壁面の異常の有無を判別することができる装置である。なお、打撃音の集音は周囲の雑音の影響を受けない機構を有しているため、コンクリートポンプ車のエンジン音やブーム稼働時の操作音などの影響は考慮しなくてよい。打音検診装置の取付け状況写真を写真-7に示す。また、この打音検診装置で判別可能な異常については、コンクリート表面の浮き、はく離、内部欠損等であり、事前の検討により、熟練作業員による異常の判別結果とほぼ一致する結果が得られている。そのため、本工法と組み合わせることにより、打音検査の自動化並びに省力化が可能となる。

5.2 検証実験の概要

打音検診装置を用いた本工法の実証実験では写真-8に示すような構造の橋梁に対して、橋梁の下からコンクリートポンプ車（ブーム回転半径 26m）のブームを用いて打音検診装置にて打音検査を実施した場合と、高所作業車（最大地上高 11m）のバケットに技術者が搭乗し、打音検診装置を用いて人力で打音検査を実施した場合について、打音検査開始から終了までの作業時間および打音検診装置による異常の有無の判定結果の違いを比較した。なお、打音検診装置により取得したデータは、無線により自動で計測用の PC に転送する仕様とした。

検証実験は、橋脚および床版を対象とし、橋脚については 50cm ピッチでメッシュを区切り、1 区画当たり 10 回以上のデータを取得した後に、次の区画の打音作業へと移行した。なお、橋脚は合計 3 本（3 面）の打音検査を実施した。今回、本工法を検証した構造物は供用開始から比較的新しく（およそ 10 年）、定期点検において浮きなどが報告されていないため、事前に 100mm 角で厚さ 10mm 程度の薄いコンクリート版を作製し、橋脚の表面に空洞ができるように貼り付けることで、一部に浮きを模擬した箇所を設けた。橋脚の区画割り、浮きを模擬した箇所と打音検診の順序を図-2 に示す。

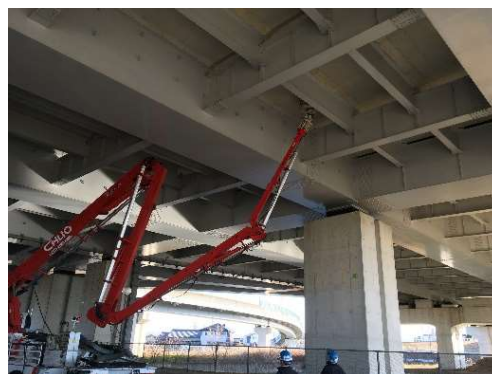


写真-5 ブームの操作状況（橋梁下）



写真-6 法面への適用状況

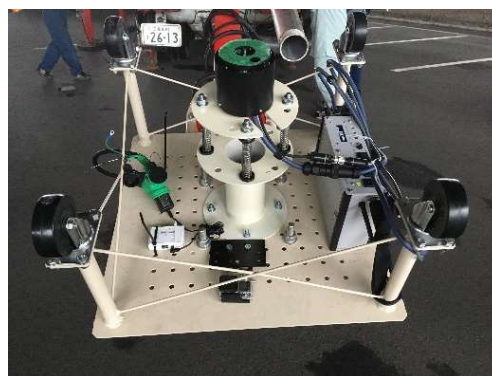


写真-7 打音検診装置取付状況

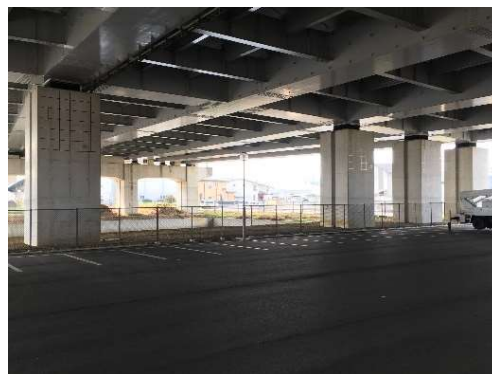


写真-8 実証実験場所の全景

床版については、1 面に対して 6 区画として橋脚と同様

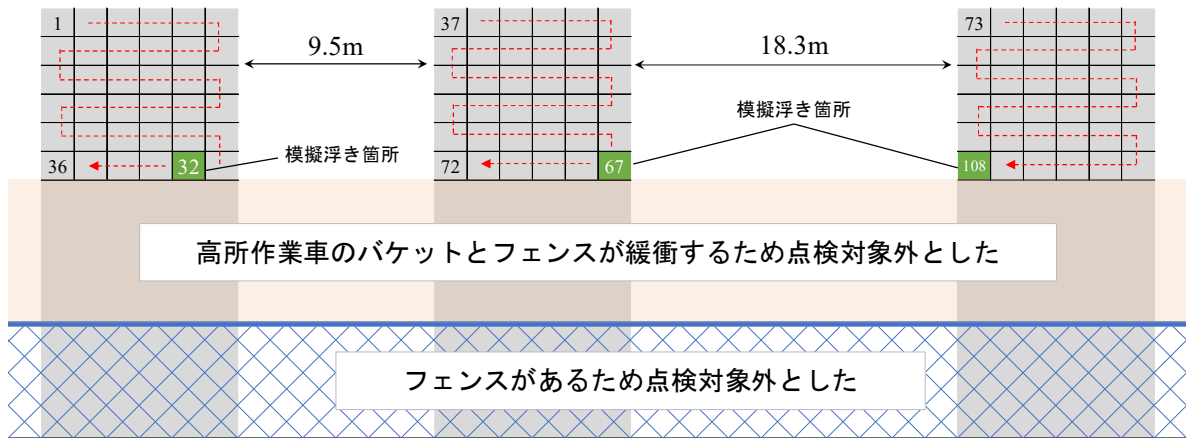


図-2 橋脚の点検順序

な要領で実施し、合計 3 面について検証した。なお、床版については、打撃時にコンクリート版が落下する危険が懸念されたため、浮きを模擬した箇所は設けなかった。床版の区画割りや打音検診の順序を図-3 に示す。

5.3 検証結果

橋脚および床版の打音検診に要した時間を表-1 に、判定結果を図-4 および図-5 に示す。

点検に要した時間の計測は、本工法においては、打音検診装置を取り付け、多段式ブームを稼働させた時点を計測開始とした。高所作業車については、バケット部分に打音検査の実施者が搭乗し、バケットを稼働させた時点を計測開始とした。表-1 に示す橋脚の計測時間の合計については、1 本目終了から 2 本目開始、2 本目終了から 3 本目開始の際に発生する段取り替えの時間を含んだ総時間としているため、各橋脚の計測時間を累計した時間とは異なるものとなっている。

表-1 から橋脚および床版の点検に要した時間は、ともに高所作業車を利用した方が短時間となっている。しかし、橋脚について着目すると、計測の合計時間の両者の差は 10 分程度とそれほど大きな差ではない結果となった。これは、オペレータの技量にもよるため必ずしも同じような結果が得られるとは限らないが、コンクリートポンプ車のブームを活用することで、今回の計測箇所のような橋脚と橋脚の距離が離れている場合でも、高所作業車のように橋脚ごとに車を移動させる必要がなく、ブームの旋回のみですべての橋脚の点検作業を実施可能であったことによる効果と考えられる。また、今回の計測箇所のように、橋脚の付近にフェンスなどの付属構造物がある場合には、図-2 に示す範囲のように高所作業車のバケットと付属構造物とが接触する恐れがある。そのため、高所作業車では一度で検査できる範囲が限定されてしまい、別途、梯子などにより点検する必要がでてくる。しかし、本工法であれば、付属構造物などと干渉する領域が小さいため、多くの範囲の計測を実施することができる。

床版の計測については、今回の計測箇所は鋼桁までの

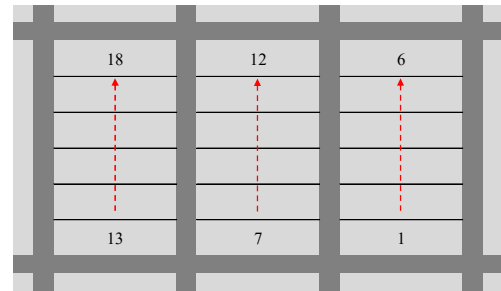


図-3 床版の点検順序

表-1 打音検診に要した時間

	橋脚				床版
	1本目 (1～36)	2本目 (37～72)	3本目 (73～108)	合計	
コンクリートポンプ車	23分14秒	33分30秒	32分35秒	1時間35分	23分35秒
高所作業車	22分27秒	25分13秒	26分49秒	1時間25分	19分35秒

高さが 8m 程度であったため、ブーム旋回などの作業の際に、コンクリートポンプ車のブームが窮屈な状態となり、慎重な操作が必要であったため、点検に時間を要した。

つぎに、実際の打音検診による判定結果について見ていく。今回計測した橋脚および床版については、浮きを模擬した以外の計測点は、打音ハンマーによる検査で異音が無いことを確認し、実際の橋梁点検時の調書においても浮きなどは確認されていない。このことを踏まえ、浮きを模擬した計測点（測定点番号：32，67，108）以外のすべての計測点では、異常が無いことを前提で打音検診装置による打音検査を実施した。

図-4 および図-5 から、まず高所作業車を利用して打音検診を実施した結果、判定が異なっていたのは 1 箇所のみであった。このことから、今回使用した打音検診装置については、非常に信頼性の高い結果を得ることができる装置であることがわかる。一方、本工法を利用した場合には、8 箇所では判定が異なる結果となった。これは、打音検診装置自体が対象構造物に対して正対して接地する必要があるため、コンクリートポンプ車のブームを利用

した場合において一部で正しく接地できていなかったことが影響していると考えられる。しかしながら、橋脚において 90%以上、床版においても 80%以上で正常判定と異常判定とを正確に捉えることが可能であった。

なお、一部のデータで判定結果の転送時に通信エラーが発生し、判定結果を反映することができなかった。

6. まとめ

既存のコンクリートポンプ車の多段式ブームをインフラ構造物の調査、点検に活用するため、点検装置用のアタッチメントを開発し、その適用性について検証を行った。その結果、コンクリートポンプ車の多段式ブームをロボットアームとして利用することにより、床版や橋脚、法面など様々な場所への点検に活用することができる可能性を示した。本工法を活用することで高所作業車などを利用した点検方法とは異なり、バケット部分に点検者が搭乗して作業を行う必要が無いため、点検時の安全性向上につなげることができる。また、実際に打音検診装置を搭載して行った打音検査において、高所作業車を利用した既存の点検方法に対して、橋脚で 10 分程度の時間差であったことから、点検用アタッチメントを改良することで、従来の点検方法よりも作業効率を高めることができると考えられる。

一方で、点検精度については、橋脚で 90%以上、床版では 80%以上を正確に判定することが可能であった。そのため、点検用アタッチメントの改良などにより従来の点検方法と同程度の点検精度を満足することで、点検の自動化が可能になると考えられ、省人化に繋げることができる。

以上のことから、コンクリートポンプ車の多段式ブームを利用した本工法を点検に適用することで、今回検討した範囲においては近接目視と同等の点検をできる可能性を示した。

今後は、ブームガイド先端に取り付ける点検装置用アタッチメントを改良することにより、点検の精度向上を目指すとともに、足場を利用した点検や高所作業車、橋梁点検車などの特殊車両の代替技術として積極的に活用できると考えられる。また、本工法は調査、点検作業のみならず、補修工事への発展や災害発生時での活用など様々なニーズに対して可能性を持った技術であるため、今後の更なる発展に寄与したい。

正常判定						異常判定						通信エラー					
1	2	3	4	5	6	37	38	39	40	41	42	73	74	75	76	77	78
12	11	10	9	8	7	48	47	46	45	44	43	84	83	82	81	80	79
13	14	15	16	17	18	49	50	51	52	53	54	85	86	87	88	89	90
24	23	22	21	20	19	60	59	58	57	56	55	96	95	94	93	92	91
25	26	27	28	29	30	61	62	63	64	65	66	97	98	99	100	101	102
36	35	34	33	32	31	72	71	70	69	68	67	108	107	106	105	104	103

コンクリートポンプ車のブームを利用した打音検診結果（橋脚）

1	2	3	4	5	6	37	38	39	40	41	42	73	74	75	76	77	78
12	11	10	9	8	7	48	47	46	45	44	43	84	83	82	81	80	79
13	14	15	16	17	18	49	50	51	52	53	54	85	86	87	88	89	90
24	23	22	21	20	19	60	59	58	57	56	55	96	95	94	93	92	91
25	26	27	28	29	30	61	62	63	64	65	66	97	98	99	100	101	102
36	35	34	33	32	31	72	71	70	69	68	67	108	107	106	105	104	103

高所作業車を利用した打音検診結果（橋脚）

図-4 橋脚の打音検診結果

18	12	6	18	12	6
17	11	5	17	11	5
16	10	4	16	10	4
15	9	3	15	9	3
14	8	2	14	8	2
13	7	1	13	7	1

コンクリートポンプ車のブームを利用した打音検診結果（床版）

高所作業車を利用した打音検診結果（床版）

図-5 床版の打音検診結果

謝辞： 本工法の実証実験の実施に際して、愛知道路コンセッション株式会社、沖電気工業株式会社、中央建設株式会社には多大なるご協力を頂きました。ここに記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 阪上貴也，槇田毅彦，山本剛司，関根理敏：社会インフラ構造物点検効率化システム，OKI テクニカルレビュー，第 226 号，Vol.82，No.2，pp.28-31，2015.12