

コンクリートポンプ車を活用した インフラ点検ロボットの開発

中 島 良 光・太 田 健 司・松 林 卓

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ることが可能となるインフラ維持管理用点検アタッチメントを開発した。この専用アタッチメントをコンクリートポンプ車のブーム先端に取り付けることにより、橋梁や法面構造物に対する点検作業へ適用できる可能性を示した。また、本工法を適用することにより、高所作業車などといった既存の点検作業で用いられる特殊車両と同程度の点検作業を実施できる可能性を示した。

キーワード：点検ロボット、コンクリートポンプ車、近接作業代替技術

1. はじめに

コンクリートポンプ車は昭和 40 年代に我が国に登場したと言われ、その後の高度成長期の土木インフラの整備に活躍し、今やコンクリート施工には無くてはならないものになっている。一方、日本におけるコンクリートの打設量は 1990 年をピークに、当時と比べて半減しており、それに伴ってコンクリートポンプ車の需要も減っている。

また、土木でも建築でも時代はプレキャスト化に進んでおり、現場打ちのコンクリートの数量はますます減少の一途をたどっていくものと推測される。

これまで日本のインフラ構築を支えてきた重要な施工機械であるコンクリートポンプ車、ひいては圧送業界はこのまま衰退の一途をたどるのであろうか。

筆者らは、コンクリートポンプ車は我々建設技術者が古くからお世話になってきた建設ロボットのひとつと考え、その機能を最大限生かしつつ、新しい時代のニーズに合わせて活かすことが出来ないかと考えた。

ロボットの機能で言えば、ブーム式コンクリートポンプ車は脚、胴体、肩、腕、動力を備えた遠隔操作型アームロボットの一種と言える。その機能を利用し、足りない機能である手首、掌、指、及び各種感覚器官である目、耳、鼻等の代理となる各種センサーをつけ足せば、技術者不足等の社会問題化しつつあるインフラ維持管理における点検ロボットが出来るのではないかと考え、開発を実施した。

2. 点検装置用アタッチメント

(1) コンクリートポンプ車を活用する利点

インフラ構造物の維持管理において、構造物の調査や点検作業の省力化などを目的としたインフラメンテナンスロボットの開発が盛んに行われている。ロボットの開発においては、調査項目や調査目的に応じた専用ロボットの開発や、急速に普及しているドローンなどを活用した開発が増えている。しかしながら、各調査項目や調査内容に特化した点検ロボットの開発は、膨大な初期コストが必要となる場合や、開発後の汎用性に欠けることなどが懸念される。また、ドローンを活用する際には、操縦に特殊な技能を要すること、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こと、ドローンによっては長時間の連続飛行が厳しいこと、ドローンに積載可能な重量が数キロ程度に限定されることや積載重量や強風などにより飛行体勢を安定させることが困難であることなどの多くの課題がある。

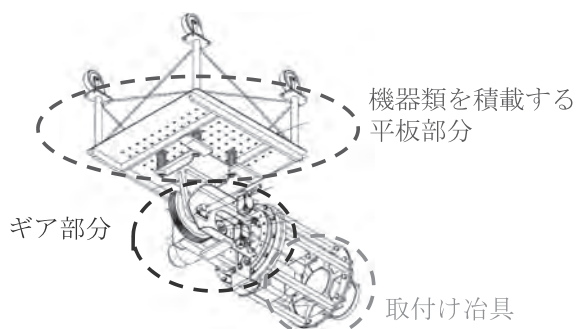
そうした課題がある中で、インフラメンテナンスロボットとして建設現場で汎用的に使用されている既存のコンクリートポンプ車を適用することで、初期コストを大幅に抑制することができる。このコンクリートポンプ車は建設現場のコンクリート工事で汎用的に利用されているため、既存の橋梁点検車などと比較しても国内における車両の保有台数が多く、機種も建設現場のニーズに合わせて多数取り揃えられており、一日当たりの使用量も比較的安い。またそれを操作する熟練技術者も多数在籍している。そのため、技術者や操縦者が不足するといった問題も解消することができ

る。また、コンクリートポンプ車のブームを利用するため、ドローンでは搭載が困難な重量の機器類も積載することができることや静止した際の安定性が高いこと、機器を構造物に接地させての調査などが可能である。その他として、コンクリートポンプ車の多段式ブームを利用することで、道路上からの橋梁桁下面へのアクセスが可能であることや道路法面など近接作業が困難な場所の点検への適用が可能になる。作業中の安全性についても、ドローンのように飛行中の制御不能による落下などといった危険性が低いため、第三者被害などの影響も最小限にとどめることができるし、風雨などによる作業可能時間への影響も少ない。

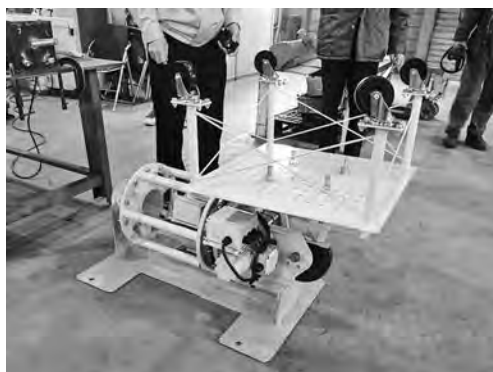
(2) 点検装置用アタッチメントの概要

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一1および写真一1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一2に示す。

図一1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機器を搭載することができる平板（600 mm 角）、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設置するための取付



図一1 点検装置用アタッチメント



写真一1 点検装置用アタッチメント



写真一2 アタッチメント取付け状況

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 15 kg までの重量の機器が搭載可能であり、100 V の電源供給も可能な仕様となっている。

3. コンクリートポンプ車のブームを利用したインフラ構造物の点検方法への適用例

本工法を適用した際のコンクリートポンプ車のブーム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の検証結果について説明する。

(1) 橋梁への点検適用例

本工法を橋梁の床版部へ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一3、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一5に示す。

橋梁上面から床版を点検する場合においては、写真一3、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一4のような狭隘な箇所においても、本工法を適用することで点検作業が可能となる。

一方、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たたむことにより、ブームの各関節部分よりも高い構造の橋梁であれば写真一5のように観察が可能となる。橋梁の橋脚を点



写真—3 ブームの操作状況（橋梁上部）



写真—6 法面への適用状況



写真—4 ブーム先端の取り回し状況



写真—5 ブームの操作状況（橋梁下）

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ブーム稼働範囲内の高さの構造物であれば、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。

(2) 法面構造物への点検適用例

法面点検は足場の悪い傾斜面で親綱ロープを使った点検作業となることが多く、作業効率が悪い上に安全性にも問題があり、近接目視及び打音検査を行うことが橋梁と同様に問題となる。

このような問題を解決するうえで本工法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。

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、点検用の作業足場を整備する必要が無く、点検作業を安全に実施することができる。

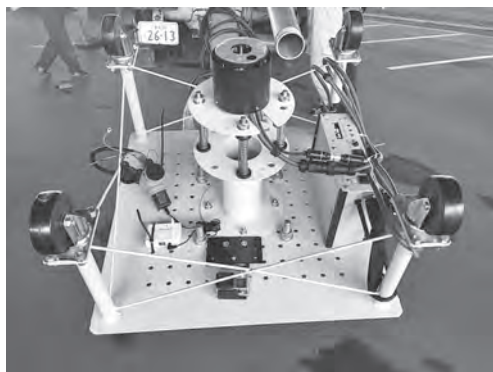
4. コンクリートポンプ車のブームを活用した打音検査への展開

インフラ点検においてロボット化や遠隔化を図る際に最もネックとなるのが打音検査の必要性である。人間が近接して点検ハンマーで叩いてコンクリートの浮きなどを判断する点検方法は、ロボット化や遠隔化が非常に難しく、浮きの程度や範囲を詳細に調査するには、ロボット化技術の越えなければならないハードルはまだまだ高いと言わざるを得ない。

しかしながら、まずは将来的な技術展開を進める上で鍵となる打音検査装置について、沖電気工業(株)で開発したシステムを搭載し、ポンプ車のブーム操作により実構造物での点検の現場適用性の検証を実施することにした。

(1) 打音検査装置の概要¹⁾

今回の検証に用いた沖電気工業(株)の打音検査装置は、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の操作音などの影響は考慮しなくてよい。打音検査装置の取付け状況写真を写真—7に示す。また、この打音検査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。



写真一七 打音検査装置取付状況

(2) 検証実験の概要

打音検査装置を用いた本工法の実証実験では写真一八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（ブーム旋回半径 26 m）のブームを用いて打音検査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 11 m）のバケットに技術者が搭乗し、打音検査装置を用いて人の手で打音検査を実施した場合の、打音検査開始から終了までの作業時間および打音検査装置による異常の有無の判定結果の違いについて比較を行った。なお、打音検査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 50 cm ピッチでメッシュを区切り、1 区画当たり



写真一八 実証実験場所の全景

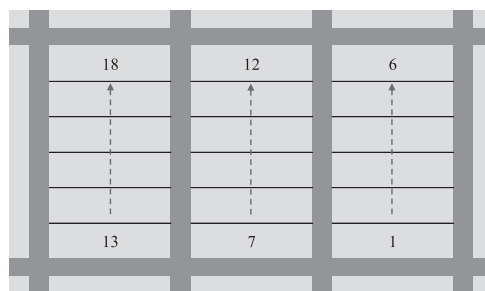
10 回以上のデータを取得した後に、次の区画の打音作業を実施し、3 橋脚の点検を実施した。橋脚の区画割り、浮きを模擬した箇所と打音検査の順序を図一2に示す。

床版については、1 面に対して 6 区画として橋脚と同様な要領で実施し、合計 3 面について検証した。床版の区画割りや打音検査の順序を図一3に示す。

(3) 実験結果

橋脚および床版の打音検査に要した時間を表一1に示す。

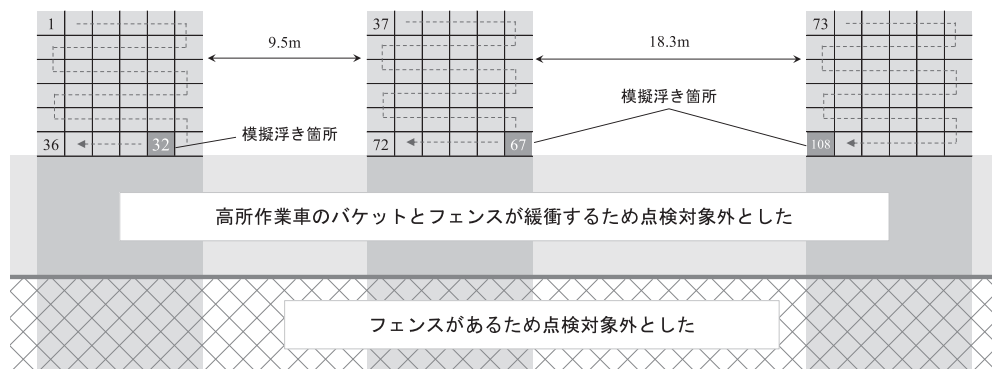
点検に要した時間の計測は、本工法においては、打音検査装置を取り付け、ブームを稼働させた時点時計測開始とした。高所作業車については、バケット部分に打音検査の実施者が搭乗し、バケットを稼働させた時点時計測開始とした。表一1に示す橋脚の計測時間の合計については、1 本目終了から 2 本目開始、2 本目終了から 3 本目開始の際に発生する段取り替えの時間を含んだ総時間としているため、各橋脚の計測時間を累計した時間とは異なるものとなっている。



図一三 床版の点検順序

表一1 打音検査に要した時間

	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



図一四 橋脚の点検順序

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。

(4) 今後の課題

実際の点検における打音検査では、浮いている箇所があればより細かく打音を行い、その範囲や雨季の程度を判断し、チョークによるマーキングを行ったり、浮きの場所が第三者被害を想定される箇所である場合には叩き落としを必要とするなど、実際に求められる要求事項が高度であるため、現状の技術レベルではクリアできないことが多い。今後の技術開発によって少しでもこれらの要求事項に応えられる装置に近づけていくためにも、打音検査装置だけでなく、より複合的な装置を組み合わせたロボットが必要となる。このようなニーズをクリアするためにも、ポンプ車のブームが備える積載許容量は魅力的であり、はつり装置や高圧洗浄装置との複合化を図ることにより課題を解決していくことが今後の課題であると考えている。

5. おわりに

既存のコンクリートポンプ車の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、実際に打音検査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。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。

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の機構を改良・複合化することにより、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、更なる発展が可能であると考えられる。

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)、(株)ヤマコン、中央建設(株)、並びに沖電気工業(株)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。

JCMA

【参考文献】

- 1) 阪上貴也, 横田毅彦, 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
- 2) 太田健司, 中島良光, 松林卓, 吉田兼治: コンクリートポンプ車のブームを利用した点検技術の開発, 第6回コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム論文集, 2018.8

【筆者紹介】

中島 良光 (なかじま よしみつ)
前田建設工業(株)
事業戦略本部



太田 健司 (おおた けんじ)
前田建設工業(株)
技術研究所



松林 卓 (まつばやし たく)
前田建設工業(株)
技術研究所

