

橋梁点検ロボット BRIDGE VIEW の開発

はしもと ひろし まつい よしまさ かきぬま ゆきお いしだ のぶひで たてやま あきら
橋本 大¹・松井 義昌¹・柿沼 幸夫¹・石田 辰英¹・立山 晃¹

¹㈱建設技術研究所 東京本社インフラマネジメントセンター

(〒103-8430 東京都中央区日本橋浜町 3-21-1)

本論文は、橋梁点検ロボットの開発概要と実橋検証実験の結果について記した。橋梁点検は近接目視点検が基本である。近接目視点検実施時には橋梁点検車や高所作業車を使用する必要がある。同状況においては、高所からの墜落・転落等の危険性を有している上、大型の車両を橋梁の上に長時間停車させることから、橋の交通を規制する必要があるなどの問題がある。これらの問題を解決するため、橋梁点検をロボットにより自動化する手法について検討した。

本実証実験で、橋梁点検ロボットの設置は、橋面の歩道部を 1.5m 程度占有で対応可能なこと、予め設定したルートに沿って自動走行して必要な情報を得ることが、マニュアル操作時においては技術者が近接するように橋梁の細部を確認することが検証できた。

Key Words:橋梁点検ロボット, 吊り下げ型ロボット, 狭隘部の点検, 橋上からの設置撤去

1. はじめに

橋梁点検業務では、近接目視点検を行うために大型橋梁点検車や高所作業車、梯子などにより、点検員が対象に近接して目視により点検を行っている。これらの資機材を用いても近接目視が困難な場合は、ロックライミングのようなロープアクセスによる近接も行われている。

高所での点検は点検車両のバケットに人が搭乗して行うため墜落・転落等の危険性を有している上、大型の車両を橋梁の上に長時間停車させることから、橋の交通を規制する必要があるなどの問題がある。

これらの問題を解決するため、橋梁点検をロボットにより自動化する手法について検討した。橋梁下面を点検するのに、UAVや磁気・負圧吸着による構造物表面移動方式などがあるが、本開発ではワイヤー吊り下げ方式が最も確実で実用性が高いと考え試作と実橋における実証実験を行った。ここでは、開発を進める橋梁点検ロボットの概要と検証実験結果の概要を報告する。

2. 橋梁点検ロボットの開発概要

BRIDGE VIEW は、橋面から車道規制無しに橋梁点検ロボットを設置でき、狭隘部を含め桁や床版の任意の位置に様々な方向から近接して橋梁点検が出来ることを目指した。また、点検の機能として、自動的に点検を行うことに加え、点検員が橋梁点検ロボットを遠隔操作しながら見たいところを自由に確認できることを目指した。

本橋梁点検ロボットは、橋梁点検で問題となる車道規制をなくすため、路肩幅 50cm 以内に収まるこ

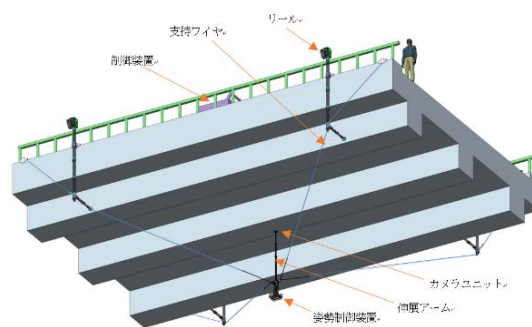


図-1 BRIDGE VIEW の外観

とを前提として開発を進めている。BRIDGE VIEWの概観を図-1に示す。

対象とする橋梁形式は、鈑桁形式、箱桁形式、床版橋形式などとし、桁下余裕高 2m 以上で曲線橋、斜橋、バチ橋にも対応できるものとした。

これらを実現するため、橋梁点検ロボットは橋の高欄の外側4隅に支持ロッドを設置し、そこからワイヤーを張り吊り降ろす構造とした。支持ロッドは地覆にクランプする構造としている。

橋長と幅員の適用範囲について、国内最大の橋梁点検車 BT400 で点検できる寸法を目標に、一度に点検できる範囲を 30m×30m とした。橋軸方向には、30m 以上の支間長の場合は支持ロッドを図-2のように移設して対応するものとした。

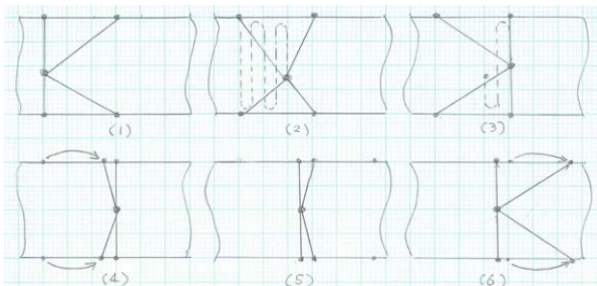


図-2 点検作業シーケンス

構造物の細部への近接については、吊り下げた点検ユニットに搭載した伸展するアームにより実現する。伸展アームの先端にカメラや打音点検装置を搭載し、損傷の確認や打音検査を行えるものとした。

橋梁点検ロボットは決められたコースを、添架物等をよけて自動走行し、点検者が必要に応じてマニュアル操作により制御することで必要な箇所に近接し損傷状況を確認できるものとした。これは、損傷の見落としをなくすこと、同一部材を多角的に観察することに対して有効である。

3. 橋梁点検ロボットの構造・機能概要

BRIDGEVIEW は橋梁点検を行うためのカメラを搭載した伸展アームとその姿勢を制御するアーム駆動制御装置からなる点検ユニット、点検ユニットを支持するワイヤーの繰り出し・巻き取りを行う支持ロッド、自重を支持する地覆クランプ機構、さら

にこれらの装置を搬送するための台車で構成される。また、台車には操作システムが搭載されており、カメラ画像をモニターで確認できる。4本のワイヤーは点検ユニットに直付けせず姿勢安定用アームを介し接続されている。また、現在伸展アーム先端に取り付ける打音装置の開発も進めている。

近接目視の代替機能については、4本のワイヤーに吊り下げた点検ユニット(図-3)に装備された3mまで伸縮する伸展アームと先端に取り付けたカメラにより実現する。カメラは、仰角 0-90 度、方位角 360 度で動作し、伸展アームとカメラの向きを遠隔で制御することで、見たい位置に近接して撮影をすることが出来る。カメラは 2000 万画素で光学ズーム機能を有し、高輝度 LED 照明を付加することで暗部での橋梁表面の欠陥判別分解能を 0.1mm まで向上させることに成功した。

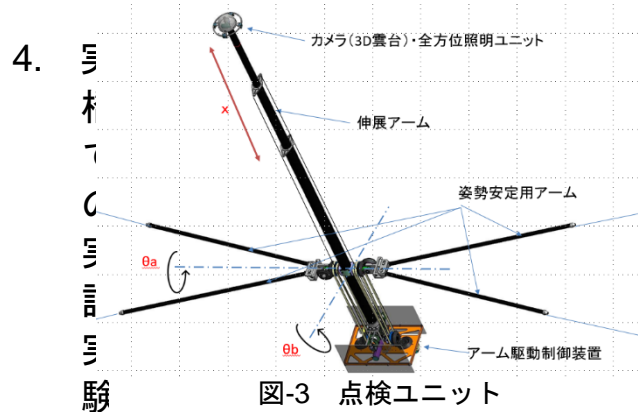


図-3 点検ユニット

実橋実証実験で今回設定した機能の検証を行った。実証実験対象橋梁は、川を渡る 9 径間の鋼橋で、橋長 526m、全幅員 15.3m、桁高 2.6m、実験対象支間の支間長 60m である。

BRIDGE VIEW は点検を径間単位で行い、最初に点検を行う径間まで台車等を用いて橋面上を歩道や路肩を利用して運搬する。目的の径間ではまず点検ユニットを吊り下げる支持ロッドを橋の高欄に片側 2本ずつ設置する。支持ロッドの設置は、壁高欄などに適用性を広げるため、地覆にクランプする方法を採用した。また、鈑桁構造には高欄と橋梁点検ロボットをV字に張ったラッシングベルトを用いて姿勢を制御する方法を加えた(図-4参照)。



図-4 支持ロッドの取付け状況

次いで、スリングショットや UAV 等で橋の下にパイロットロープを通し、それを使って、支持ロッドから伸びた4本のワイヤーを1箇所を集める。その後、点検ユニットにワイヤーを連結し橋面から吊り降ろす。吊り降ろしにはホイストを利用している(図-5)。



図-5 ホイストを使用した点検ユニットの吊り下ろし状況

設置作業は、片側2名の4名で実施し、支持ロッドの設置からロボットの吊り降ろしまで、約1時間で出来ることを確認した。

BRIDGE VIEW が1回の設置で点検できる範囲は支持ロッドで囲まれた矩形の範囲で、最大30m×30mを仕様としている。そのため本実験対象橋梁のように支間長が30mを超える場合、支持ロッドを橋面上で移設することが必要となる。今回移設作業についても検証し、約1時間で出来ることを確認した。

橋梁の各部に近接した状況と、取得したデータの一例を以下に示す。

図-6は、下横構を避け、格間に伸展アームを挿入した状態である。



図-6 格間に伸展し床版に近接

図-7は、そこからRC床版を撮影したもので、遊離石灰を伴う床版ひびわれが確認できる。



図-7 RC床版のひびわれ状況

図-8は、張り出床版の点検状況を示す。

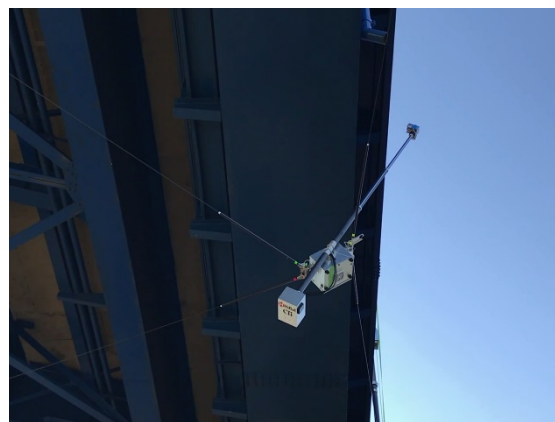


図-8 張り出し床版の点検状況

図-9はその張り出床版の縦リブの溶接線を撮影したものである。



図-9 鋼床版の縦リブ溶接線

図-10 は、桁端の狭隘部に入り込んだの支承周辺の点検を行っている状況である。

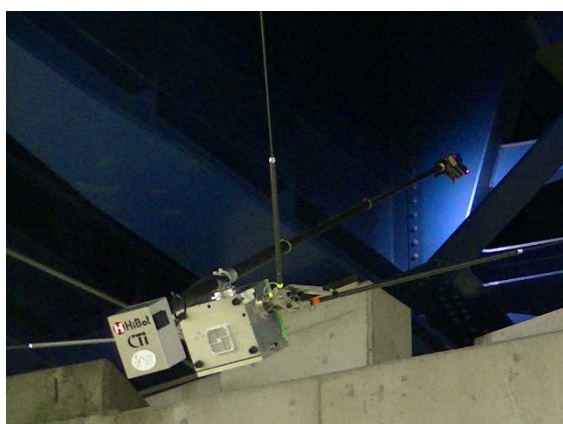


図-10 支承周辺の点検状況

図-11 では鋼製支承のカバーが紛失し、ローラーがむき出しになっている状態を確認できる。



図-11 鋼製支承カバーの紛失状況

これらの結果から、BRIDGE VIEW は設定した機能を十分満足するものであったと考えられる。

5. まとめと今後の展望

本実証実験で、BRIDGE VIEW に関して以下のことが検証できた。

- 1) 橋梁点検ロボットの設置は、橋面の歩道部を 1.5m 占有することで第三者の通行を確保しながら問題なくできることが検証できた。
- 2) 橋梁点検ロボットが予め設定したルートに沿って自動走行して必要な情報を得ることができると検証できた。
- 3) マニュアル操作時においては技術者が近接するように橋梁の細部を確認することが検証できた。

今後は、橋梁点検ロボットの設置・移設・撤去にかかる作業時間のさらなる短縮（設置目標 30 分等）と設置・点検作業人員の削減ができるよう設置手順等の改良を行いたい。

また、点検時のロボットの操作性の向上、点検調査作成のための補助機能を整理し、より実用性の高いシステムとすることを目指したい。これらを総合的に取りまとめた点検記録のデータベースシステム構築も進める計画である。

謝辞：

本研究は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」（管理法人：国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）によって実施されました。

参考文献

- 1) 小松洋音 塚越秀行 石田辰英 Michele Guarnieri Paulo Cesar Debenest Giorgio Valsecchi Giacomo Cimarelli Arturo E. Ceron Lopez 広瀬茂男 4ワイヤ支持型橋梁点検ロボットシステム BRIDGEVIEW の開発—基本構成の提案と第一次モデルの試作—, 第 34 回日本ロボット学会学術講演会, 2016.