

橋梁等構造物の点検ロボットカメラの性能検証

三井住友建設(株)	正会員	博(工)	○梅津	健司
三井住友建設(株)	正会員		藤原	保久
三井住友建設(株)	正会員	博(工)	浅井	洋
(株)日立産業制御ソリューションズ			千葉	嘉隆

1. はじめに

わが国では高度経済成長期に数多く整備・建設されてきた社会インフラが、今後老朽化を迎え、維持管理費が逼迫することが懸念されている。社会インフラ構造物を永く健全に供用させていくには、構造物に損傷が生じていないかを把握するための点検が不可欠であり、そのためには点検作業の効率化、迅速化が大いに役立つことになる。

橋梁の点検では、上部構造の下面を近接目視するとき一般に、地上から梯子または脚立を立てて接近したり、または橋梁点検車を使用している。しかしながら作業安全性の問題や、橋梁点検車の使用では交通規制や費用の面での問題があった。

そこで筆者らは、橋梁等構造物を安全にかつ近接目視の代替で点検する装置、点検ロボットカメラを開発した。その性能、適用性についてフィールドにて検証試験を行ったので、以下に報告する。

2. 装置の概要

本装置のラインナップには、橋梁点検ロボットカメラ(図-1)と高所点検ロボットカメラ(図-2)がある。橋梁点検ロボットカメラは、橋面の高欄に最大4.5m伸張する架台を取り付け、下方に伸ばし、架台先端に取り付けた点検専用カメラにより、桁下面や支承部等の点検調査を行うタイプである。高所点検ロボットカメラは、地面に最大11.5m伸張するポールユニットを設置し、その先端に点検専用カメラを取り付け、床版や桁下面、支承部等の点検調査を行うタイプである。高所点検ロボットカメラは、日立産業制御ソリューションズが住宅屋根等を点検するために1995年より開発を始めた装置で、現在広く実用化されている。この高所点検ロボットカメラに今回、種々の新しい機能を追加して充実させたものが、橋梁点検ロボットカメラである。新しく開発したカメラは、高所点検ロボットカメラ用ポールユニットにも設置可能とした。そのため、点検現場の状況に応じて架台(ポールユニット)を使い分けて使用することができる。



図-1 橋梁点検ロボットカメラ

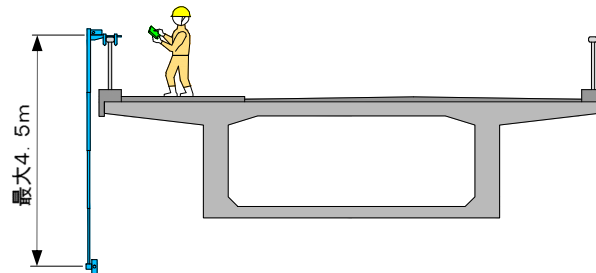


図-2 高所点検ロボットカメラ

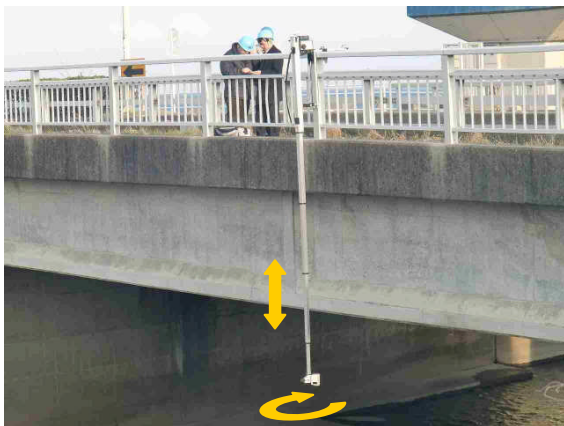


写真-1 懸垂した点検専用カメラ



写真-2 点検専用カメラ



写真-3 高欄の笠木にポールユニットを設置



写真-4 光学30倍の映像

点検専用カメラは、操作端末（WindowsタブレットまたはiPad）で遠隔操作するもので、点検結果を動画・静止画として操作端末内に記録できる。

本装置には、以下の特徴および機能を持たせた。

① 作業安全性

- ・橋面や離れた箇所から橋梁側面・下面の点検調査を可能とし、作業中の転落事故などの危険性を低減する。
- ・装置はコンパクトで、大きな設置場所を必要とせず、点検時の交通規制が軽減される。

② 観察性能

- ・光学倍率30倍により、20m先の0.2mm幅のひび割れが識別可能である。
- ・ひび割れ幅の測定は、映像に表示されるクラックスケールにて行うことができる。
- ・映像のコントラスト補正や霧除去、手振れ補正の機能により、対象物表面の状況を正確に把握できる。
- ・カメラから対象物にLEDライトを照射することにより、暗所での点検が可能である。

③ 操作性

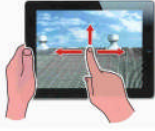


- ・橋梁点検ロボットカメラ、高所点検ロボットカメラとも、架台込みの重量は14～15kgで、一人で持ち運びできる。



写真-5 高所点検ロボットカメラ

- ・点検装置の設置は5分程度ででき、現地到着後速やかに点検作業が開始できる。
- ・操作端末は、タッチパネル方式の画面上で簡単に操作できる。
- ・動画を撮影しながら静止画を撮影することが可能である。
- ・画面にコメントや模様が手描き入力でき、保存できる。
- ・撮影した動画から静止画を抽出することができ、点検時に静止画を撮り忘れたときでも後から補える。

表-1 タブレット端末での主な操作

No.	主要操作	動作
1	フリック	 画面（1画面、1/2画面、1/4画面）単位で、上下左右に移動することで、点検漏れ低減できる。
2	ダブルタップ	 ダブルタップした位置が画面の中心になるように移動。
3	ピンチアウト/イン	 ピンチした領域が画面表示されるよう移動しながら拡大・縮小する。

3. 遠隔操作

点検専用カメラと操作端末とは、無線接続している。操作端末で映像を見ながら、カメラの向き、ズームなどを操作する。スマートフォンやタブレットと同様に、ダブルタップ、フリック、ピンチアウト/イン等により、カメラおよび映像を操作する。主な操作を表-1に示す。

点検専用カメラを橋梁の高欄から吊り下げ、操作端末をカメラから離れた河川敷に持ってきて試験したところ、距離が離れた箇所からも操作できることを確認した。ただし、操作可能な距離については、当該環境のLAN電波の多寡等の影響を受けるものと考えられる。

4. フィールドでの検証試験

4.1 画面上でひび割れ幅を測定する機能

本装置は、操作端末画面にメジャーおよびクラックスケールを表示させることができ、それを対象物にあてて、対象表面の長さを測ることができる。これは、カメラから対象物表面までの距離を、カメラに搭載した LRF (Laser Range Finder) により計測し、それを基に対象表面における寸法を認識する機能に拠っている。これにより、メジャーを用いれば対象表面の遊離石灰や剥離等の損傷の大きさが測定でき、クラックスケールを用いればひび割れ幅を測定できる。メジャーおよびクラックスケールは、画面において移動、回転が自在であり、実物表面でクラックスケールをあてる感覚と同様の操作性を提供している。



写真-6 フィールド試験状況



写真-7 点検専用カメラと操作端末



写真-8 試験体

ひび割れ幅の検出精度を確認するためのフィールド試験を実施した。対象試験体は、写真-8に示すひび割れを有した 40cm×40cm のコンクリート板である。あらかじめ近接目視にてひび割れ幅を測定

し、コンクリート板表面にひび割れ幅を印字した。試験体までの距離を段階的に変えて、視認できるひび割れ幅を確認した。

4.2 試験結果

(1) 対象物がカメラに正対している場合

写真-9は、試験体表面をカメラ視準軸に垂直に設置し、操作端末の画面において、ひび割れ幅0.2mmの箇所にクラックスケールを当てている静止画像である。試験の結果、確認できたひび割れ幅を図-3に示す。

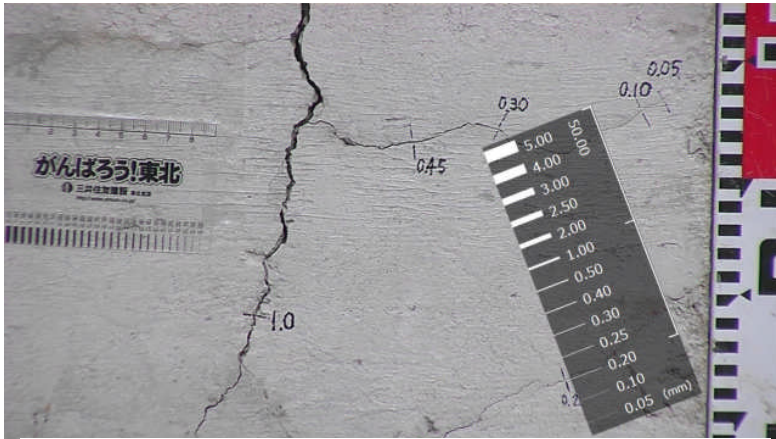


写真-9 クラックスケールを表示した操作端末の画面

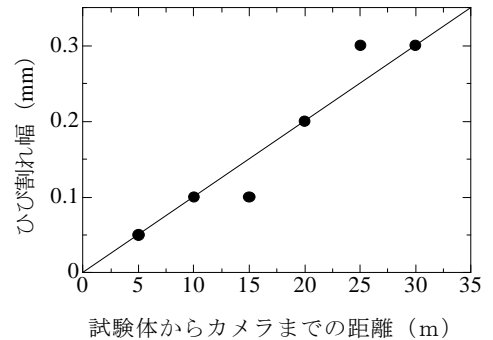


図-3 対象までの距離と視認可能なひび割れ幅の関係

図-3に示すように、5m 離れからは0.05mmのひび割れ幅が、20m 離れからは0.2mmのひび割れ幅が、30m 離れからは0.3mmのひび割れ幅が確認できた。回帰式は、式(1)となる。

$$b = 0.01 \times d \quad (1)$$

ここに、 b : 視認可能なひび割れ幅 (mm)

d : カメラから対象までの距離 (m)

(2) 対象物がカメラに正対していない場合

本装置は、カメラ視準方向に対して対象物表面角度が垂直でない場合にも対応するため、対象面の角度をLRFにより測定し、その角度に応じてクラックスケールを自動調整する機能を持たせた。

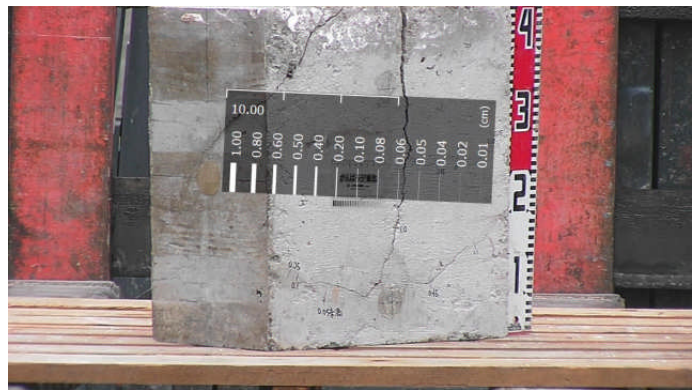


写真-10 水平方向に45度傾けた試験体

試験体の表面角度を、カメラ視準方向に対し水平方向に45度傾けた場合の静止画を写真-10に示す。クラックスケールは、正対して測定した場合の値に補正されて表示されており、ひび割れ幅を対象物表面幅で把握できていることを確認した。

5. おわりに

電器メーカーによる映像・ロボット技術と建設会社による点検・診断に関するナレッジを結集し、橋梁等構造物の点検ロボットカメラを開発した。今後、使用性をさらに向上させるべく改良を図っていく所存である。本装置は市販およびリースする予定であり、橋梁の定期点検および災害発生直後の緊急点検等に幅広く活用していただくことで、わが国のインフラ維持管理の省力化、効率化に貢献することが出来れば幸甚である。