

Ⅱ-16 鋼桁橋を対象とした桁下点検ロボットの開発

勝俣 盛¹

Mori Katsumata

枝元 勝哉¹

Katsuya Edamoto

中村 優²

Masaru Nakamura

原 幸久¹

Yukihisa Hara

【抄録】 橋梁の長寿命化を図るためには、機能低下の要因となる損傷劣化を軽微なうちに発見し、適切な対策を講じることが肝要である。しかしながら、橋梁を概略的に調査する通常点検は、管理用通路などの限られた場所から行うため、詳細な調査や死角部分の異常を発見することは困難である。一方、検査員が直接対象部位に接近して行う定期点検では、外観的に現れるほとんどの異常を発見できるものの、点検設備にコストを要することや交通規制が必要な場合もあり、容易に実施できない状況にある。本報告は、以上の観点から開発した、鋼桁橋を対象として近接目視相当の点検が行えるロボットについて、その構造上の特徴と適用事例について述べるものである。

【キーワード】 鋼桁橋、維持管理、点検、ロボット、CCD カメラ

1. まえがき

橋長15m以上の道路橋を対象にその更新理由を調査した報告¹⁾によると、社会的条件や要求性能の変化に対応するためといった理由のほか、上部構造の損傷に起因するものが全体の約13%を占めている。この内訳をみると、鋼橋、コンクリート橋によらず、鋼材の腐食と床版の破損が理由の大部分を占めている。したがって、これらの異常やその予兆を通常点検によりの確に捉え、損傷がまだ軽微なうちに適切な対策を施すことにより、更新時期の延長、ひいてはライフサイクルコストの低減を図ることができると考えられる。

一方、日常的に維持管理を継続するためには多大なコストと労力を現状必要とし、このための資財や人員の確保も容易ではない。その結果、損傷劣化がある程度進行してから問題が顕在化し、大規模な事後対策を施すというケースも増えている。

以上の観点から、限られた予算内で効率的かつ効果的な橋梁の維持管理を行うためには、大規模な点検設備や多数の検査要員を必要とせず近接目視相当の点検が可能な技術を早急に開発することが望ましく、また、このような技術は通常点検をより一般的なものとする上でもきわめて有益であると言える。

本報告は、主として鋼桁橋の下面検査を対象として開発した自走式の橋梁点検ロボットについて、その構造上の特徴と基礎実験の結果について述べるものである。

2. 点検ロボットの概要

著者らは、過去に道路橋を対象とした簡易橋梁点検装置²⁾を開発し、これまでに二十数橋で運用した実績から定期点検の点検項目³⁾を定性的に評価できることを実証してきた。この装置は、大規模な交通規制や足場を必要とせず、橋梁下面や支承周辺の全域を調査するものであり、CCDカメラを介した間接目視により、近接目視相当の点検を手軽に行うことができる。その反面、路面上からのアクセスを前提とした設計がなされているため、高欄・防護柵の高さや幅員の規模等によっては適用できない場合が生じる。そこで、これらの課題を解決するため、写真-1に示すように、鋼桁橋の桁下空間において検査対象周辺まで直接自走接近していくことが可能な点検ロボット⁴⁾を新しく開発した。

図-1に示すように、この点検ロボットは、原則として主桁下フランジに沿って走行するベースユニットとCCDカメラを装着したカメラユニットで構成される。いずれも無線による遠隔制御が可能であり、検査員は作業環境の良い場所からこれら进行操作し、着

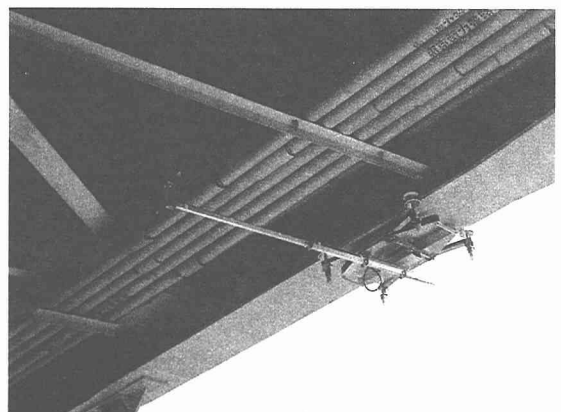


写真-1 点検ロボットの外観

1: 川田工業株式会社 技術研究本部技術開発室

〒321-3325 栃木県芳賀郡芳賀町芳賀台122-1

TEL.028-677-5611 FAX.028-677-5707

2: 川田工業株式会社 航空・機械事業部製品開発部

〒321-3325 栃木県芳賀郡芳賀町芳賀台122-1

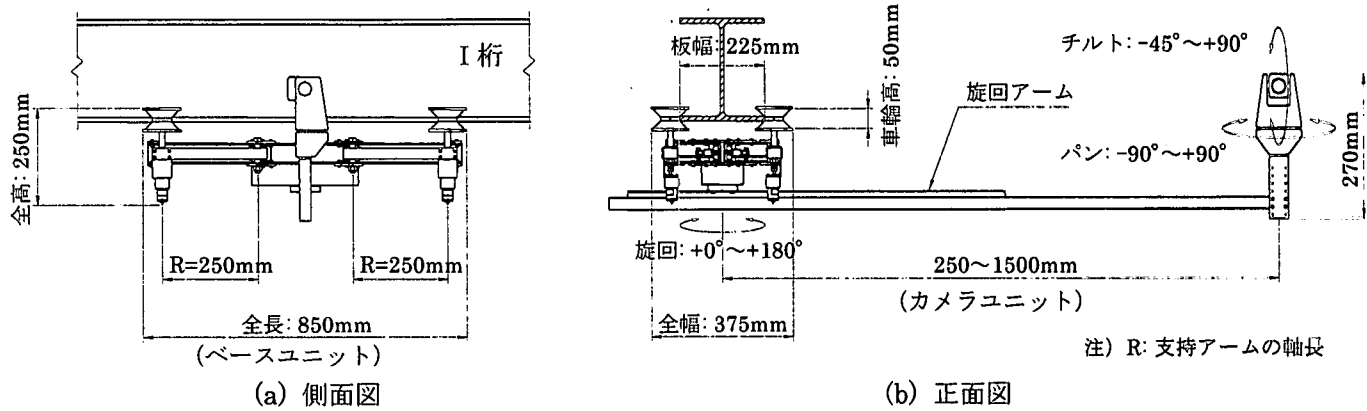


図-1 点検ロボットの概略図

表-1 点検ロボットの基本諸元

仕様	
ベースユニット	・ 定 格: 24DCV
	・ 走行速度: 約 300cm/min (標準)
	・ 寸 法: (W)375×(H)250×(D)850
	・ 重 量: 12kg (バッテリー含む)
	・ 積載重量: 10kg
	・ 適応板幅: 225~625mm (標準)
カメラユニット	・ 適応板厚: 10~50mm
	・ 登坂角度: 最大 30°
	・ 定 格: 12DCV
	・ カメラ型式: FCB-780SP (SONY 製)
	・ 画像素子: CCD 約 80 万画素
	・ レンズ: 光学式ズーム 25 倍 (デジタル式 12 倍)

目部の動画像・静止画像をリアルタイムでモニタリングすることができる。表-1に点検ロボットの基本諸元を示す。

ベースユニットの構造上の大きな特徴は、鼓状の車輪で下フランジを左右水平方向から挟み込む機構（特許出願中）を備えていることであり、このため専用レールなどの付帯設備や複雑な駆動制御機構を必要としない。また、支持アームの回転角が0°~45°の範囲内であれば、挟み込み力は回転角に依らずほぼ一定であり、下フランジ幅や板厚などの断面変化、添接板などの段差、さらに垂直補剛材などの障害物に対して、アームの開閉のみで自動的に追従することができる。その結果、駆動制御機構の簡素化と自重の軽量化を図ることが可能となり、搭載する小型バッテリーのみでおよそ8時間の連続走行が可能である。

本点検ロボットの対象とする橋梁は、ベースユニットの走行原理上、原則として下フランジの突起を有する鋼 I 桁橋、鋼箱桁橋となる。例えば鋼 I 桁橋を対象とした場合、支間長 44m の単純 I 桁橋の標準的な主桁下フランジの構成⁵⁾は、図-2に示すとおり板幅 250mm~700mm、板厚 10mm~90mm 程度である。そこで、今回製作したロボットでは、上記機構との兼ね合いから、連続して追従可能なフランジ幅を 225mm~625mm の範囲に設定した。また、従来の I 桁橋ではフランジの最大板厚が 32mm であ

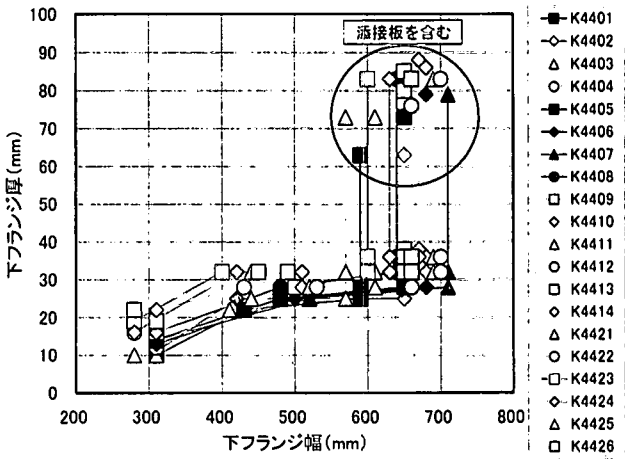


図-2 下フランジの構成（支間長 44m）⁵⁾

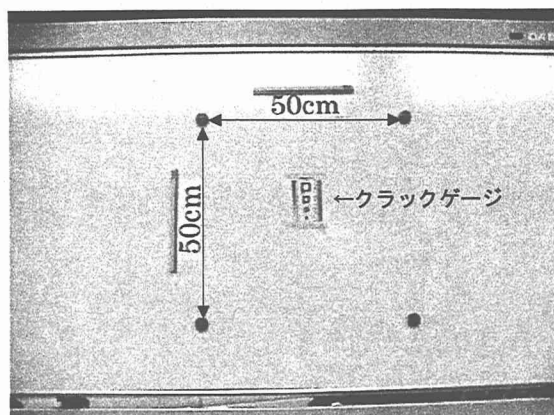
るため車輪高は 50mm で製作したが、最近の厚板化傾向や添接板の厚み等を加味した上で、最大 100mm 程度まで対応可能な車輪を別途用意している。なお、鋼少数主桁橋や箱桁橋のように下フランジ幅の広い橋梁に対しては、ベースユニットを左右に分割可能とし、あらかじめその間隔を調整しておくことで対応が可能である。

3. 室内試験

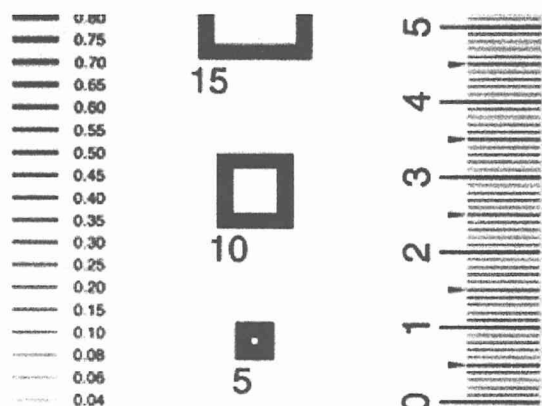
室内試験では、前述したベースユニットの走行原理を試験桁で検証するとともに、搭載するカメラユニットの基本性能を確かめた。走行試験では、安定した駆動性能が確認されたため、以下には、カメラユニットの性能に関して述べる。

自走式点検ロボットを用いる利点として、障害物を回避しながら検査対象部に接近させ、これまで視認が困難であった部材交差部や付属物の死角となる部位の点検が容易となる点が挙げられる。その際、床版や塗膜の劣化度合いは、搭載する CCD カメラで撮影した静止画像を必要に応じて画像処理するなどして間接評価することになる。

しかしながら、本ロボットに搭載する産業用の小



(a) 光学式 等倍



(b) 光学式 25倍ズーム

写真-2 視準点からの距離3mの画像

型 CCD カメラは、NTSC や PAL 規格に則った 35 万画素程度の動画出力を基本としているため、100 万～400 万画素が一般的となった市販デジタルカメラ等の画像に比べると、解像度の点でかなり劣ることは否めない。コンクリート床版などの劣化度を判定するためには、本来ひびわれ方向やひびわれ幅なども定量的に評価することが望ましく、搭載カメラの持つ撮影性能を事前に評価しておく必要がある。

そこで、80 万画素（有効 35 万画素）の産業用 CCD カメラを使用し、撮影距離と方向をいくつか変化した場合に得られる動画および静止画像の精度を検証する基礎試験を行った。試験では、視準距離およびパン、チルト角をパラメータとしてクラックゲージを視認したが、その際、読み取り可能なゲージ幅は 0.20mm を目標値とした。なお、画像サイズは動画 320 × 240、静止画像 640 × 480、色数はいずれも 24bit フルカラーである。

試験結果の一例として、視準距離が約 3m、パン、チルト角ともに 0°、光学式ズームの条件で撮影した画像を写真-2 に示す。写真-2 (b) から分かるように、この例では、チルト角が ± 30° 程度までの範囲において、識別目標値 0.20mm に対し 0.04mm のゲ-

ジ幅を認識することが可能であった。

上記の結果から、CCD カメラを対象部位に 3m 程度まで近接させることにより、コンクリート床版などの劣化度に関しても本点検ロボットによる定量的な評価が可能であると判断される。

4. 現場試験

室内試験の結果を実務的に検証する目的で、実橋における走行試験を実施した。

対象とした橋梁は、写真-3 に示すように、橋長 53.7m (2@26.3m) の 2 径間連続 4 主 I 桁橋（耐侯性鋼材使用）である。本橋は河川上に位置しているが、とくに管理用の通路等は設置されていない。また、水面からの桁下空間が狭いため、護岸上からの遠隔目視点検も事実上困難である。規模の大小は異なっても、類似の架橋状況にある橋梁は全国に多数存在すると考えられるため、本橋を対象としてロボットの操作性と CCD カメラの視認性に関する検証を行い、実務への適用性を確認することとした。

はじめに、写真-4 に示すように、本橋の下フランジを利用した走行試験を行った結果、鼓状車輪による安定した走行が確認され、原理上問題のないことがあらためて確認された。また、走行速度約 3m/分 で記録した動画は、走行振動にともなう CCD カメラの動揺をひろうことはほとんど無く、円滑にリアルタイムモニタリングを行うことが可能であった。なお、本橋の規模であれば主桁一本の走行に要する時間は 10 分程度であり、点検者の注意力が散漫となることもなかった。

次に、ベースユニットを静止させた状態で記録した静止画像に関して、市販のデジタルカメラ (300 万画素相当) との精度比較を行う目的で、それぞれ表-2 の条件でガセットプレートの溶接ビード部を撮影し、その止端形状の視認性を比較した。写真-5 に示した結果を参照することにより、本研究で採用した CCD カメラ程度の性能を有していれば、溶接止端のオーバーラップやアンダカットなどを識別することが十分に可能であると判断される。また、塗装橋梁の場合には、この部位に発生する疲労亀裂に対して、塗膜われから発生する微小領域の錆汁を追跡調査により識別し、疲労亀裂の早期発見が可能であると考えられる。

表-2 撮影条件

	記録画素数	ズーム倍率	視準距離
デジタルカメラ	2,048×1,536	光学式2.5倍	約2m
CCDカメラ	640×480	光学式10倍	約1m

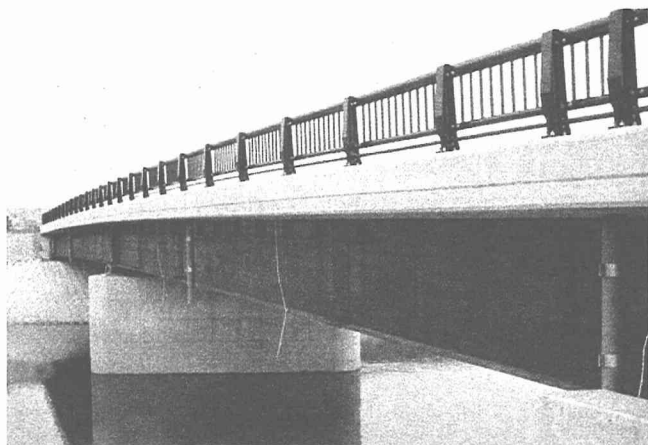


写真-3 対象橋梁の外観

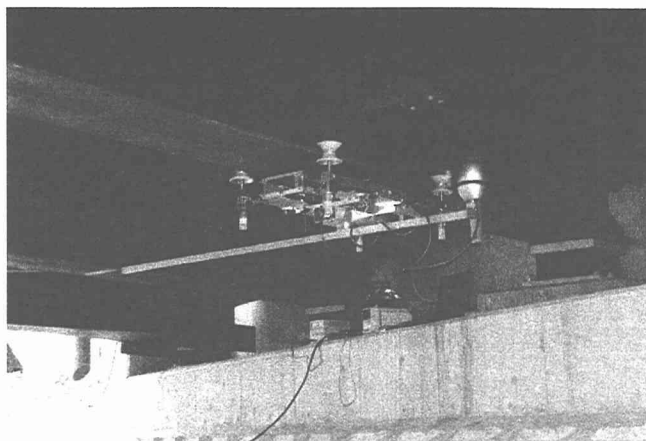
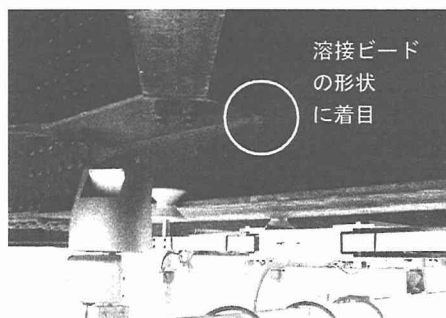
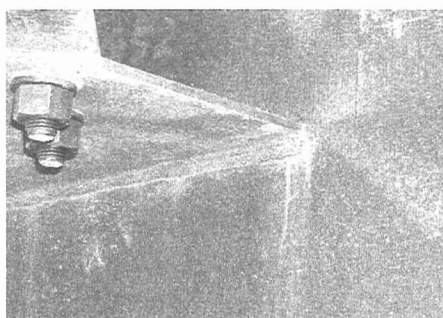


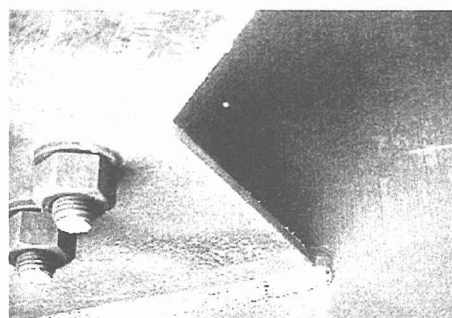
写真-4 下面の点検状況



(a) 着目部位 (ガセットプレート周辺)



(b) デジタルカメラによる画像

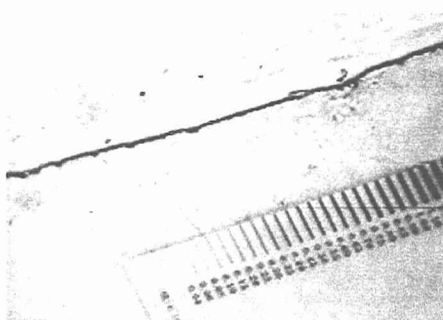


(c) CCD カメラによる画像

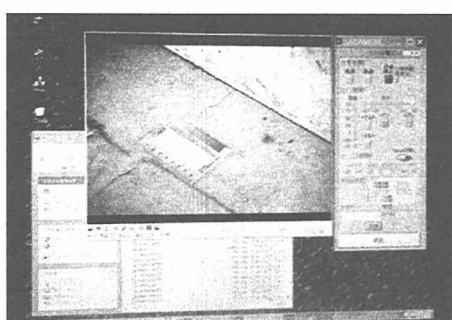
写真-5 デジタルカメラと CCD カメラの視認性の比較



(a) 光学式 5 倍ズーム



(b) 光学式 10 倍ズーム



(c) ノートパソコン上の視認画面

写真-6 搭載 CCD カメラの視認性能テスト

最後に、コンクリートのひびわれに関しては、写真-6に示すとおり、撮影距離3m程度までロボットを近接させ、光学式10倍ズームの静止画像を取得することにより、幅0.10mm程度のひびわれを識別することが可能であった。なお、写真-5、6はいずれも桁下暗部における撮影であるが、その際、カメラの持つホワイトバランス機能により、とくに照明などをを用意する必要はなかった。

5. まとめ

各種実験の結果から、橋梁点検ロボットは作業の効率化、点検コストの削減、および検査員の安全性向上に大きく寄与できるものと判断された。

現在、さらに操作性を高めたベースユニットと視準自由度を高めたカメラユニットを開発中であり、これによりロボットの適用範囲が広がるとともに、

より緻密な動作制御が行えると考えられる。今後は、画像処理機能を盛り込むことにより、ソフトウェアに関しても一層の充実を図る予定である。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所：既設橋梁の架け替えに関する調査結果(Ⅲ)，土木研究所資料第3512号，平成9年7月。
- 2) 磯光夫，小松和憲，越後滋，勝俣盛，中村優，林篤史：簡易橋梁点検装置の開発について，土木学会第55回年次学術講演会概要集，CS-102，平成12年9月。
- 3) 建設省土木研究所：橋梁点検要領(案)，土木研究所資料第2651号，昭和63年7月。
- 4) 勝俣盛，枝元勝哉，中村優，原幸久：鋼桁橋を対象とした橋梁点検ロボットの開発，土木学会第57回年次学術講演会概要集，I-248，平成14年9月。
- 5) 全日本建設技術協会：建設省制定土木構造物標準設計，第23巻，昭和53年3月。