

斜張橋の斜材保護管の外観点検ロボット

コロコロチェッカー

原 田 耕 司・伊 藤 幸 広・盛 重 知 也

斜張橋の斜材保護管の詳細点検では、高所作業車等を用いた近接目視による点検が基本となっているが、点検範囲に制限があるため保護管全長を点検できないことや交通規制などの課題があった。そこで、これらの課題を解決するために、保護管の外観を点検するための自走式の外観点検ロボットを開発した。本稿は、開発した外観点検ロボットの概要について説明し、続いてその性能について述べたものである。具体的には、点検時間の設定に必要な走行性能、および損傷の測定性能について述べた。また、実際の斜張橋での点検事例についてもその概要を紹介した。

キーワード：斜張橋，斜材，保護管，外観，点検，ロボット

1. はじめに

我が国の斜張橋の歴史は、1960年に神奈川県に建設された勝瀬橋が始まりと言われている¹⁾。その後、斜張橋のもつ経済性、合理性とその美しさから、歩道橋から長大橋まで多くの斜張橋が建設され、道路橋だけでも約320橋もの斜張橋が建設されている²⁾。この様に多くの斜張橋が我が国でも建設されているが、近年、斜張橋の経年化に伴い、点検や補修・補強等の維持管理の重要性が増してきており、その構造特性を考慮したより具体的で合理的な維持管理技術の開発が望まれている。

斜張橋の維持管理は、基本的には一般の橋梁と異なるものではないが、斜材などの一般の橋梁にはない部材が維持管理を行う上で、重要なポイントの一つとなる。斜材は、斜ケーブル(PC鋼材)、保護管、充填

表—1 斜材の変状

部材	劣化および変状
斜ケーブル	張力の減少・過剰な振動
定着部	損傷・変形・水分の侵入・腐食
制振装置	損傷・変形・腐食等
保護管	損傷・変形・変色
充填材	充填材の漏出

材等の部材で構成されており、各部材の劣化および変状としては表—1に示すものが挙げられる。これらの部材の中で保護管は、最も外的要因を受けやすい環境にあり、欧米では、保護管が経年劣化や走行車両からの落下物等により損傷し、斜ケーブルに腐食が発生、多数の斜材を取り替えた事例が報告されている^{3), 4)}。

保護管の点検では、表—2に示すように日常点検および定期点検では橋面上からの目視あるいは双眼鏡

表—2 PC斜張橋の一般的な点検種別とその内容⁵⁾

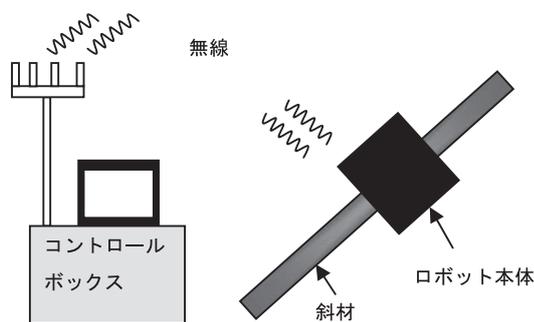
点検種別	点検内容
初期点検	初期欠陥、損傷、劣化の有無を把握するとともに、今後の維持管理のための基礎データを収集することを目的として行う点検。新設橋梁では供用開始以前の点検。
日常点検	道路の利用状況や交通の安全に直接係わる部分を点検の主体とし、異常の早期発見を目的とする。車上からの目視または降車して目視または双眼鏡による点検。
定期点検	橋梁の状況を全体的に点検し、異常・損傷の早期発見を目的とする。徒歩による目視または双眼鏡による点検。
詳細調査	測定器具などを用いて、橋梁の状況を細部にわたり点検し、二次的な損傷を未然に防ぐことを目的とする。高所作業車等を用いた近接目視、測定機器を用いた点検。
臨時点検	地震時 地震時に伴う損傷を発見するため、地震発生直後に行う点検。徒歩による目視または双眼鏡による点検。
	暴風時 暴風に伴う損傷を発見するため、暴風発生直後に行う点検。徒歩による目視または双眼鏡による点検。
	その他 定期点検などから詳細点検が必要であると認められた場合や通報などによって行う点検。

による点検が、詳細点検では高所作業車等を用いた近接目視による点検が基本となっている。しかし、高所作業車を用いて近接目視を行う場合でも、高所作業車で点検できる高さには限界があり、斜材全長にわたる詳細な点検は困難であった。また、高所作業車による点検では交通規制が必要であり、さらに高所での作業になるため作業者の安全確保等の多くの課題がある。

そこで、これらの課題を解決するために、斜材をガイドに自動で昇降し、斜材保護管の外観全周を撮影することにより、その損傷・変形・変色などの変状を点検できる小型軽量の外観点検ロボットを開発した。

2. 外観点検ロボットの概要

開発した外観点検ロボットは、図一に示すように斜材をガイドに昇降するカメラを搭載したロボット本体と、ロボット本体を無線により遠隔操作するコントロールボックスにより構成される。ロボット本体およびコントロールボックスとも小型軽量であるため、設置スペースが確保出来れば、通常は交通規制を行うことなく点検が可能となる。



図一 外観調査ロボットの構成イメージ

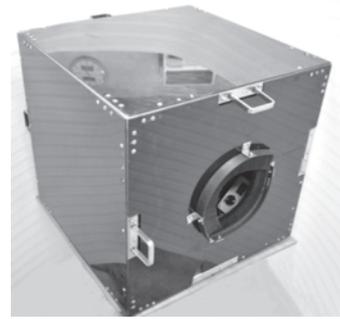
以下に、ロボット本体とコントロールボックスの仕様および機能について述べる。

(1) ロボット本体

(a) 外形・質量

ロボット本体の外観を写真一に示す。ロボット本体の外周には、内部部品の落下防止を目的とした黒色のプラスチック板を取り付けた。黒色を採用した理由は、撮影画像の色調を安定させるための遮光板の機能と³⁾交通事故防止のために走行車両の運転者から視認され難くしたためである。

表一にはロボット本体の仕様を示す。外形寸法は566×566×566mm（突起物を除く）であり、質量は31.6kgであり、橋面上の斜材定着装置周辺の狭



写真一 ロボット本体の外観

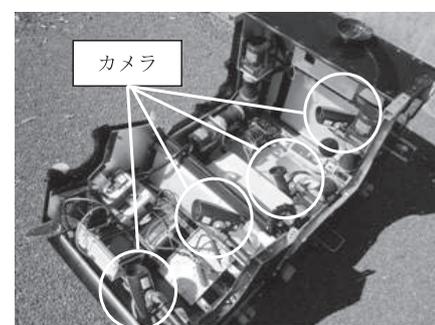
表一 ロボット本体の仕様

項目	仕様
外形寸法	566 × 566 × 566 mm
質量	31.6 kg
昇降装置	電動モーターによる自走式
走行速度	2.5 m/min（傾斜角 25°）
撮影機器	ワイヤレス CMOS カメラ
撮影画像	動画（AVI 形式）
電源	VRLA（制御弁式）バッテリー

隘な場所でも、作業員2人で運搬・設置・点検ができるよう小型軽量のものとした。なお、ロボット本体の下側1/4の部分は、ヒンジにより開閉できる構造となっており、下側部分を開けて斜材への設置を行う構造となっている。

(b) 外観撮影装置

保護管の外観は、写真二に示す4台のワイヤレス CMOS カメラと照明用の4個のLEDライトを用いて動画撮影を行う。CMOSカメラの形状は、60（W）×60（H）×131（L）mmであり質量は235gで、有効画素数は約30万画素である。撮影された動画は無線で伝送し、地上の受信機により受信、リアルタイムでコントロールボックスの液晶モニタに画像が表示される。



写真二 ロボット本体の内部

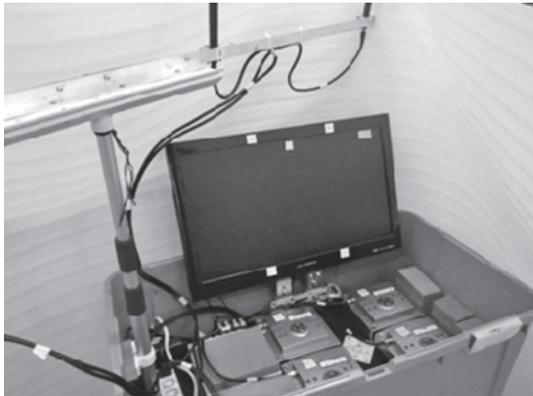
(c) 電源

ロボット本体の電源は、搭載した制御弁式のバッテ

リー（12V）から供給するものとした。昇降装置のACモータの駆動はインバータを介して行う。したがって、ロボット本体は、駆動関係の電源供給およびカメラ撮影・画像伝送ともコードレスとなっており、現場での操作性に優れている。なお、バッテリー等の質量が大きな部品は、ロボット本体の下部に設置し、ロボットの姿勢が安定するようにした。

(2) コントロールボックス

ロボット本体を操作するコントロールボックスを写真—3に示す。4台のワイヤレスカメラに対応するために4台の受信機を設置した。各受信機にはSDカードが内蔵され、カメラから送信された動画の記録を行うことができる。なお、4台の受信機に受信された画像は、画像分割器を通して液晶モニタに同時に表示される。



写真—3 コントロールボックス

ロボット本体の各操作は、現場での作業性を考慮して、コントロールボックス内の操作ボタンを押すだけで遠隔操作ができるよう単純化した。このシステムにより、地上でリアルタイムに保護管を観察しながらロボット本体の始動／停止、損傷箇所の動画の記録などが可能となる。

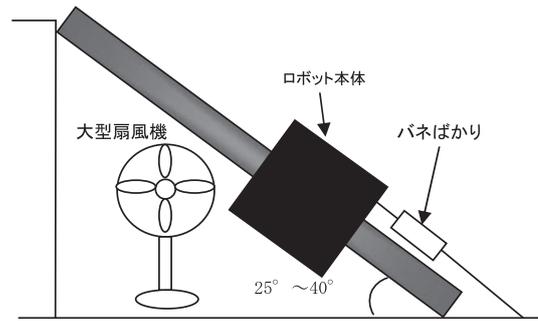
3. 外観点検ロボットの性能評価実験

研究開発段階において、外観点検ロボットの性能評価を行った実験について述べる。

(1) 走行性能実験

(a) 実験概要

ロボット本体の走行性能を調べるために、図—2のように実験棟内に保護管を設置し走行速度の測定を行った。使用した保護管は、直径140mm、厚さ10mmのポリエチレン製とした。実験要因としては、



図—2 走行性能実験の概要

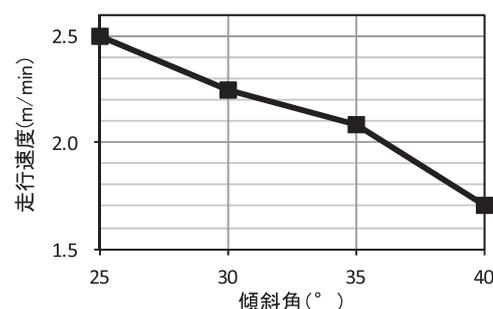
傾斜角および風速、風向である。具体的には、保護管の傾斜角を25°、30°、35°および40°と変化させ、各角度における走行速度を測定した。なお、ここでの走行速度とは、外観点検ロボットが斜材を登る速度を示している。

風速、風向の実験においては、傾斜角の実験と同じ条件で大型扇風機を用いて風をロボット本体側面から当てるケースと、正面から当てるケースの2通りについて検討を行った。風速は、2.5 m/s、5.0 m/s、7.5 m/sおよび10.0 m/sと変化させた。風速を10.0 m/sまでとした理由は、平均風速10.0 m/sで現場作業が中止となることが多いためである。

(b) 実験結果

無風で傾斜角を変化させた実験において、走行速度の測定結果を図—3に示す。走行速度は、図—3より傾斜角25°で最大となり2.50 m/minとなっている。この速度で100 mの斜材を外観点検ロボットが登る時間は約40分となる。また、降下時間は登る時間より早く約10分である。外観点検ロボットの設置および取り外しには、それぞれ20分程度かかることから、外観点検ロボットの設置から点検、取り外しまでの所要時間は、全長100 mの斜材で約90分となり、短時間で点検を行うことができる。走行速度は、傾斜角が大きくなるほどほぼ直線的に低下し、傾斜角40°で1.70 m/minとなっている。

風の影響について検討を行った結果を図—4および図—5に示す。例えば、傾斜角30°で正面から風を



図—3 傾斜角と走行速度の関係

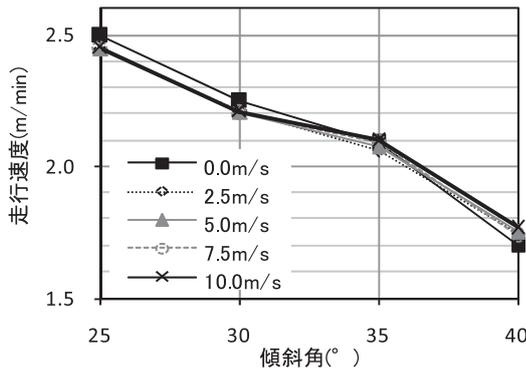


図-4 側面から風を当てた場合の走行速度

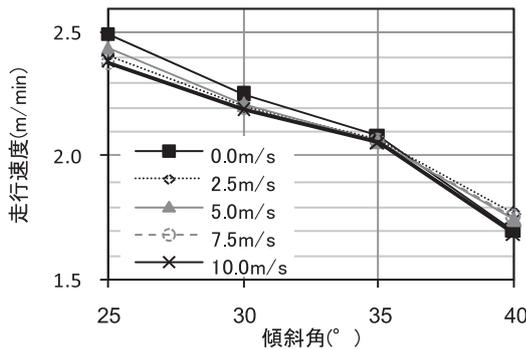


図-5 正面から風を当てた場合の走行速度

当てた場合、無風時と風速 10.0 m/s とでは約 0.06 m/min の低下が見られる程度であり、走行速度は、側面および正面から風を当てた場合でもほとんど影響がないことが分かる。

(2) 損傷測定性能実験

(a) 実験概要

外観点検ロボットで撮影された損傷の測定精度を調べるため、写真-4 に示すように屋外に保護管を設置し損傷測定性能実験を行った。保護管の傾斜角は 30° とし、保護管の表面には図-6 に示すような損傷を付けた。損傷の種類としては、20 mm ~ 80 mm の 4 種類の長さの溝（溝の幅 1.1 mm、深さ 0.5 mm）を保護管の円周方向および長手方向に付けた。



写真-4 損傷測定実験状況

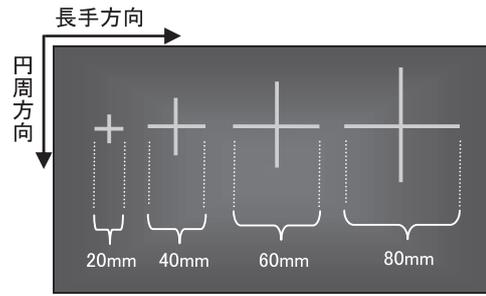


図-6 損傷パターン

保護管には図-6 の損傷を 2 箇所につけ、2 台のカメラで走行中に動画を撮影した。走行実験は 3 回行い、画像解析より求めた解析値とメジャーによる実測値との比較を行った。

(b) 実験結果

円周方向の溝に関する測定結果を図-7 に、長手方向のそれを図-8 に示す。円周方向および長手方向ともに、単回帰式の傾きが 1 に近く、決定係数が 0.99 以上と高い相関性が見られた。溝の長さが長くなるほど誤差が大きくなり、長さ 80 mm の時に誤差が最大で、円周方向は 6 mm、長手方向は 3.7 mm であった。この理由としては、溝が長くなるほど画像処理の段階において溝の先端部が特定しづらくなり誤差が大きくなったものと考えられる。

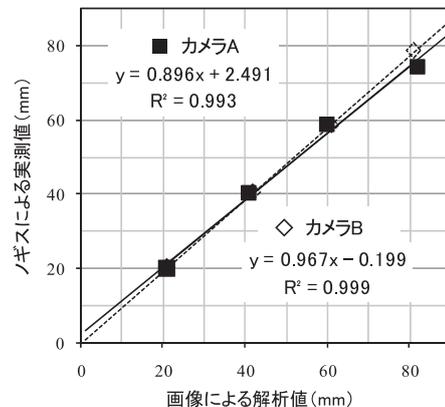


図-7 円周方向の測定結果

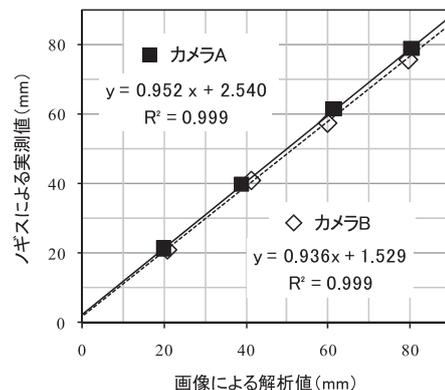


図-8 長手方向の測定結果

4. 実構造物での点検事例

開発した外観点検ロボットを、東名足柄橋（写真—5）の斜材の点検に適用したので、以降にはその概要について述べる。

東名足柄橋は、東名高速道路の大井松田IC～御殿場IC間にかかる橋長785mの橋梁であり、そのうち370mはPC斜張橋、415mはPC連続ラーメン橋で構成されている。



写真—5 東名足柄橋の全景

点検した斜材の諸元を表—4に示す。斜材の本数は合計80本あり、いずれの斜材も傾斜角は約30°であった。斜材の長さは20m～100m程度であり、その直径は140mmと160mmの2種類があった。斜材の点検は交通規制なしで実施し、合計80本の斜材を

表—4 斜材の諸元

項目	諸元
斜材数	80本
最大長さ	約100m
外径	φ140mm, φ160mm
傾斜角度	約30°



写真—6 点検状況

約1か月かけて無事に全数の点検を完了した。その結果、80本の斜材の保護管には、大きな損傷がないことを確認した。写真—6に点検状況を示す。

5. おわりに

斜張橋は比較的に新しい橋梁形式であるが、他のインフラと同様に高齢化を迎え始めている。斜張橋特有の斜材は、他の橋梁形式にはない特殊な部材であるため、これまで、双眼鏡を用いた点検が基本であったが、今後は効率的な維持管理を行うために、より精度の高い点検が必要になってくるものと考えられる。

開発した外観点検ロボットは、これまでは点検できなかった斜材の保護管全長を隈なく精度よく点検できるため、斜張橋の長寿命化に大きく貢献できるものと確信している。

JICMA

《参考文献》

- 1) 土木学会：鋼斜張橋，1990年
- 2) 道路統計年報2011，全国道路利用者会議，2012年
- 3) 成田信，上坂康男共訳：西ドイツ交通省局道路建設局・橋梁その他構造物の損傷事例集，土木施工・臨時増刊，1986年
- 4) 上坂淳，松田浩共訳：西ドイツ交通省局道路建設局・橋梁その他構造物の補修・補強事例集，土木施工・臨時増刊，1990年
- 5) 社)プレストレストコンクリート技術協会：PC斜張橋・エクストラードード橋維持管理指針，2011年

【筆者紹介】



原田 耕司 (はらだ こうじ)
西松建設㈱
技術研究所
首席研究員



伊藤 幸広 (いとう ゆきひろ)
佐賀大学大学院工学系研究科
教授



盛重 知也 (もりしげ ともや)
西松建設㈱
設計部設計課
課長