

斜張橋ケーブル点検ロボットの開発と活用

かけはし のぶ ふじきつよし
梯 誌修¹・藤木 剛²

¹ (株) 長大 第2構造事業部 第7構造技術部 (〒810-0004 福岡市中央区渡辺通1-1-1サンセルビル6F)

² (株) 長大 第2構造事業部 (〒810-0004 福岡市中央区渡辺通1-1-1サンセルビル6F)

道路橋は、平成26年の道路法施行規則の一部改正により、5年に一回の頻度で全ての部材に対し近接目視を基本とする点検が義務付けられている。一方で、斜張橋のケーブルは、極端に高所に設置される構造であるため、路面もしくは高所作業車からの遠望目視点検、または、ロープを用いた高所作業によって近接目視点検を行っているが、安全面や現場工期の長期化等の多くの課題がある。そこで、安全かつ迅速に近接点検が可能な点検ロボットを開発した。本稿では、点検ロボットの特徴および本ロボットの活用について述べる。

Key Words : 斜張橋, 近接目視, 点検ロボット, 点検方法

1. はじめに

近年、中央自動車道笹子トンネル事故など社会資本の老朽化に起因する事故をうけ、国土交通省は平成25年を「社会資本メンテナンス元年」と位置づけ、重点的に対策に取り組まれている。¹⁾⁻²⁾

道路橋については、平成26年の道路法施行規則の一部改正により、5年に一回の頻度で、橋梁の全ての部材に対し近接目視を基本とする点検が義務付けられている。

一方、斜張橋ケーブル(図-1)は、斜張橋の主塔と主桁を繋ぎ橋梁全体のバランスをとる極めて重要な部材でありながら、極端に高所に設置される構造であるため、これまでは路面や高所作業車からの遠望目視点検も行われていた。また、ロープ高所作業により近接目視する点検方法もあるが、安全面や現場工期の長期化等の多くの課題がある。(図-2)

このような状況の中、図-3のようなケーブルの損傷も発見されており、斜張橋ケーブルの点検においては、安全かつ迅速な点検が可能なシステムの開発が急務である。本稿では、斜張橋ケーブルの点検ロボットの開発とその活用について述べる。なお、本文は、i-Constructionの推進に関するシンポジウム⁶⁾および鋼構造年次論文報告集 第28巻⁷⁾に掲載された報告を要約、加筆したものである。

2. 点検ロボットの開発

(1) 点検ロボットの概要

開発したロボット(特許第65602746⁸⁾)は、点検

対象のケーブルをフレームで取り囲む構造を採用した。フレーム外側に4つのプロペラ、内側にケーブルとの離隔を確保する8輪のガイドローラーを配置し、プロペラ推力によりケーブルに沿って上昇・下降する機構を開発した。また、フルハイビジョンビ

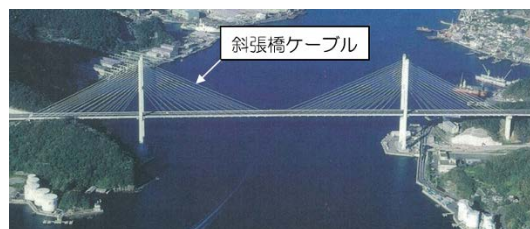


図-1 斜張橋の全景および斜張橋ケーブル

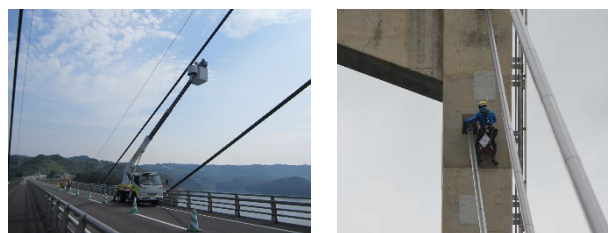


図-2 従来の点検例



図-3 ケーブルの損傷例

デオカメラを上下左右に4台搭載し、ケーブル表面全周を全長にわたり動画で撮影し、その動画を用いて目視点検を行うシステムとした（図-4、図-5）。

以下に開発したロボットの特徴を示す。

- ・高所作業車で近接できないケーブルの上部（路面より30m以上）について、撮影した動画を用いて安全に目視点検が可能。
- ・プロペラ推力により昇降する機構であり、ケーブルの角度や表面の状態によらず点検が可能。
- ・車輪駆動のロボット^{3)~5)}と違い、車輪とケーブルの摩擦力を確保する必要がなく、構造を簡素化できたため点検可能なケーブル径の範囲が広い。
- ・ロボット総重量が7kgと軽量であり、取り付け・取り外し・運搬の作業性がよい。（10本/日以上点検可能）
- ・ロボット自体がケーブルから逸脱、落下しない構造であり、点検作業中の第三者に対する安全性が確保されるため、交通規制は基本的に不要。（
- ・ケーブル表面全周および全長の動画を撮影するため、動画を用い繰り返し点検することが可能であり、損傷の人為的な見落としリスクが解消。
- ・撮影した動画の保存・蓄積により、将来の点検時に損傷の発生時期や経年劣化を把握可能。

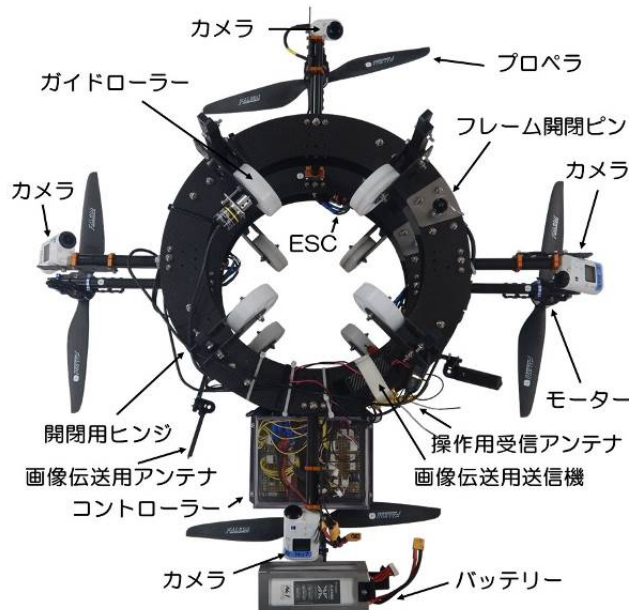


図-4 ロボット外観



図-5 機体取り付け状況

(2) 開発したロボットの適用範囲

以下にロボットの適用範囲を示す。

- ・対象ケーブル径：φ80mm～φ320mm
- ・対象ケーブル角度：制限なし
- ・ケーブル間隔：700mm以上
- ・ケーブル断面変化：直径で20mm以下

ただし急激な断面変化は適用不可。また、ケーブル同士を制振対策で繋いでいるなど、物理的に乗り越えられない場合は適用できない。

3. 有効な活用方法の検討

本ロボットを用いた点検と、従来技術のロープを用いた点検との比較検証結果を表-1に示す。

比較検証結果に示すとおり、現地作業の工程短縮や安全性の向上など、従来技術に比べ優位性が確認されるほか、ロボットを用いた点検の現状の課題として以下の点があげられる。

- ①机上での画像解析に時間を要する。
- ②撮影した画像上で損傷の深さ確認ができないため、細かい傷と汚れとの判別が困難。

これらの結果を踏まえ、現状で最も有効と考えられる本ロボットの用途としては、定期点検など、損傷が発生した位置の特定を目的とした1次スクリーニングでの活用が提案される。全てのケーブルの中

表-1 点検ロボットとロープ高所作業の比較検証結果

比較項目	ケーブル点検ロボット	ロープを用いた点検
点検時の安全性	ケーブルを囲む構造であり逸脱、落下することはない。 ◎	作業員が使用する道具の落下懸念から安全対策が必要。 ○
作業人員・規制の簡略化	橋梁点検員3名、交通誘導員1名、歩道の一部や路肩にて作業可能。（路肩規制等） ◎	橋梁点検員4名、交通誘導員3名、作業箇所直下は規制が必要。（車線減少等） ○
現地での点検作業時間	現地での点検作業は短い。 ※別途、机上での画像解析時間が必要。 ○	現地での点検作業時間は長い。 ※画像解析等は別途必要としない。 △
近接目視の代替	動画を用いた目視点検であり平面的な目視となるため、細かい傷と汚れの判断が困難。 △	近接目視で実施しており、確実な損傷判断が可能。 ◎
損傷の見落とし	動画の保存により、何度も確認が可能。また、他者の検証も可能。 ◎	橋梁点検員の技術力に依存し、他者の検証は困難。 ○

◎：優位、○：中位（一般的）、△：劣る

から損傷箇所が特定されることで、次ステップの詳細調査（直接目視や触診、非破壊試験等）の効率化に繋がると考えられる。

また、現在は前述の課題解消のため、本ロボットによって撮影される動画像から、ケーブル外観展開図の自動作成や、可視変状箇所を自動検出する画像処理手法の構築検討を行っている。

4. ロボットを用いた点検実績と点検結果の例

(1) 点検実績

開発したロボットを用いた点検の実績を表-2に示す。点検実績に示すとおり、本ロボットは夜間点検についても、LEDライトを装着した試行点検により適用性があることを確認している。さらに、斜張橋ケーブルだけでなく、吊橋のハンガーロープへも適用性があることを確認している。

(2) 点検結果例

本ロボットを用いた点検結果の一例を図-6に示す。ロボットにて撮影した動画から、損傷および損傷位置の検出を行い展開図にプロットしたものである。既存の補修跡に錆跡や塗装の剥がれ、補修材の剥がれが確認されたほか、ケーブル被覆に施工時の接触が原因と考えられる傷が数箇所確認された。

これまでの点検結果によるケーブル保護管の損傷の種類を表-3に示す。いずれの損傷も定期的な経過観察や補修が必要な損傷であるが、表左下グラウト注入部周辺の亀裂のような、保護管を貫通し内部鋼線の腐食が懸念される特に早急な手当てが必要と考えられる損傷に対し、取得した動画で鮮明に確認できた。

表-2 点検実績

橋梁名	所在地	橋梁形式	最大支間	適用
女神大橋	長崎	3径間連続 鋼斜張橋	480m	点検
坂東大橋	群馬	3径間連続 鋼斜張橋	200m	点検
大島大橋	長崎	3径間連続 鋼斜張橋	350m	点検
とよみ大橋	沖縄	3径間連続 鋼斜張橋	150m	点検
鷹島肥前大橋	長崎	5径間連続 複合斜張橋	400m	点検
かつしか ハープ橋	東京	4径間連続 S字形曲線斜張橋	220m	試行点検 (夜間点検)
安芸灘大橋	広島	3径間2ヒンジ 補剛桁吊橋	750m	試行点検 (ハンガーロープ)
生名橋	愛媛	3径間連続 混合斜張橋	315m	試行点検
浜田マリン 大橋	島根	3径間連続 鋼斜張橋	200m	試行点検
サンブリッジ	和歌山	2径間連続 鋼斜張橋	240m	試行点検

5. おわりに

本稿においては、斜張橋ケーブルの点検における現状の課題を整理し、課題解決のため、安全かつ迅速に近接点検を可能とする点検ロボットを開発した。さらに、実際の点検においても損傷の抽出が可能であることや、夜間点検や吊橋のハンガーロープへの適用性を確認した。

また、実構造物の点検に用いた実績より、従来技術のロープを用いた点検との比較検証を行い、本ロボットの課題を抽出し活用方法を明確にした。

斜張橋や吊橋に代表される長大橋は、離島や海峡、河川などを道路で繋ぐことで、交通・物流のネットワークの要所となり、国民の生活や産業、医療活動等に大きく貢献している社会資本である。これら長大橋は、構造規模が大きく架替えにも莫大な費用が

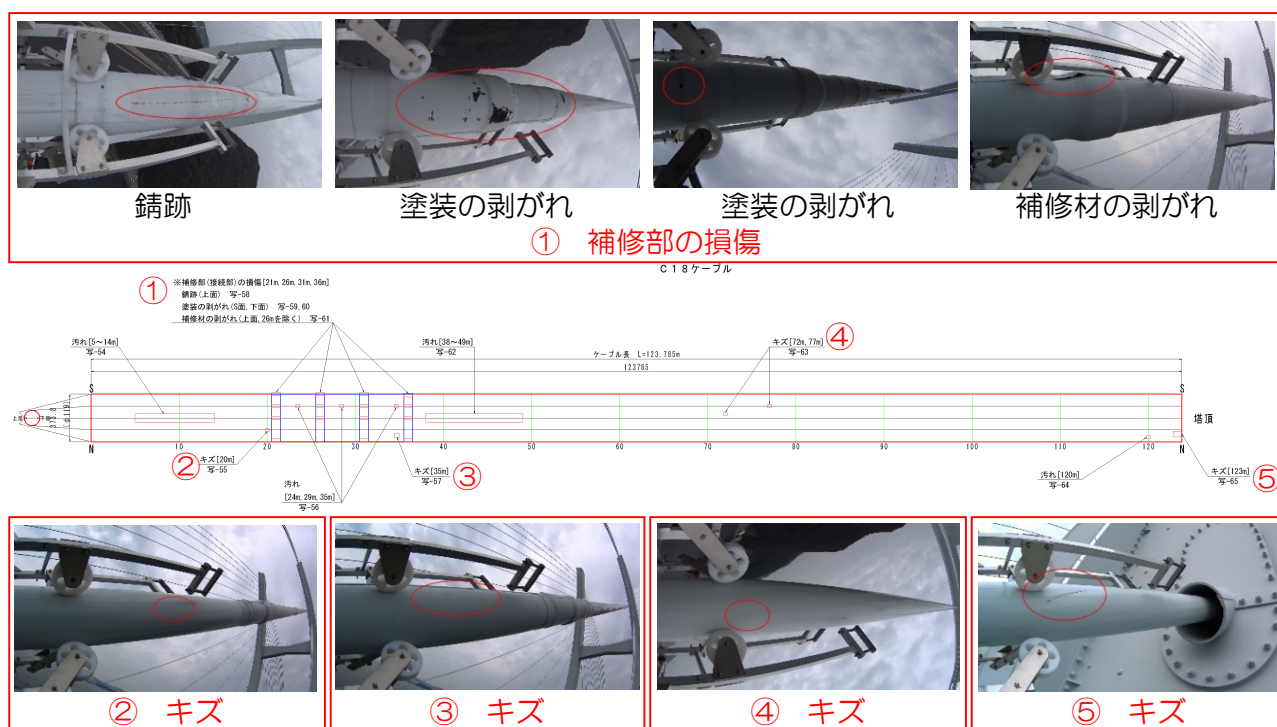


表-4 ケーブル保護管の損傷種類例

原因 推定	写真	損傷概要	原因 推定	写真	損傷概要
経年劣化		ケーブル下面に汚れが発生 雨水による伝い水が原因と推定	落雷		フッ素樹脂被覆の破損が円形に発生。 内部PE保護管に微細な傷を直接 近接目視で確認 落雷によるものと推定
		PE保護管の外面の塗装剥離。 経年的な塗装の劣化が原因と推定			フッ素樹脂被覆のひびわれが比較的 広範囲に発生 落雷によるものと推定
		防錆の目的で保護管内にグラウトを 注入しているケーブルのグラウト注 入口周辺に亀裂が発生 注入口の経年劣化により漏水し、内 部の鋼線の腐食膨張により注入口か ら亀裂が生じたものと推定	外的 要因		フッ素樹脂被覆に線状の傷が発生 施工時の軽微な接触等によるものと 推定

必要となるため、重点的に効率的な維持管理を行い、長寿命化を図っていく必要がある。

このような状況の中で、斜張橋の生命線と言える重要な斜張橋ケーブルは、高所に位置するという特徴から損傷の発見が遅れることもあり、予防保全段階で対策が間に合わず、損傷が進行してから対処する事後保全となることで、損傷によるケーブルの耐力低下や、補修に多額の費用が必要な状況であった。

本ロボットは、今まで容易に見ることができなかった高所に設置されたケーブルを、安全に点検できるシステムを提供することにより、橋梁の構造安全上問題となるような損傷や、第三者被害が懸念される損傷をいち早く発見し、予防保全の軽微な対策に繋ぐことで、斜張橋の長寿命化を図ることに資するものである。

斜張橋を健全な状態で維持していくことで、橋梁の耐力低下に起因する通行止めや重量制限などを未然に防ぐ事が可能となり、それを利用する国民の生活や産業、健康を支える医療活動等の安定的なサービス継続に大きく貢献できるものと考えます。

謝辞：点検ロボットの開発にあたっては、中村聖三氏（長崎大学工学研究科）、山本郁夫氏（長崎大学海洋未来イノベーション機構）、中島貞治氏（協和機電工業株式会社）に多大なるご協力及びご助言を頂きました。ここに記して深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：国土交通白書2014，2014.
- 2) 国土交通省：「道路の維持修繕に関する省令・告示の制定について」，
<http://www.mlit.go.jp/common/001034659.pdf>（参照日2021.6.21）
- 3) 小栗利夫，盛重知也：斜張橋の斜材保護管調査ロボット「コロコロチェッカー」改良機の開発，西松建設技報（CD-ROM），40号，2017.
- 4) 中日本ハイウェイ・エンジニアリング東京株式会社：「斜張橋における斜材の点検ロボット」，
<https://www.c-nexco-het.jp/tech/pdf/54.pdf>（参照日2021.6.21）
- 5) 岡本亮二，杉岡弘一，塚本成昭，太田典裕，勝島龍郎：ケーブル点検ロボットによる斜張橋ケーブル点検，土木学会第71回年次学術講演会概要集，I-070，2016.
- 6) 藤木剛，梯誌修，野田辰徳：斜張橋ケーブルの点検に用いるロボットの開発と実績，第1回「i-Constructionの推進に関するシンポジウム」発表論文集，pp.77-80，2019.7
- 7) 梯誌修，藤木剛，中村聖三，山本郁夫，中島貞治：斜張橋ケーブルの点検に用いるロボットの開発と実績，鋼構造年次論文報告集第28巻，pp.292-298，2020.11
- 8) （独立行政法人）工業所有権情報・研修館：「特許情報プラットフォーム，特許6560274」，