

(3) 斜材ケーブル点検ロボットの実橋梁への適用

長谷川 瑛士¹・河村 圭²・塩崎 正人³

¹学生会員 山口大学大学院 創成科学研究科電気電子情報系専攻
(〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)
E-mail: g067vg@yamaguchi-u.ac.jp

²正会員 山口大学大学院准教授 創成科学研究科電気電子情報系専攻
(〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)
E-mail: kay@yamaguchi-u.ac.jp

³正会員 三井住友建設株式会社 技術本部建設情報技術部 (〒104-0051 東京都中央区佃 2-1-6)
E-mail: MasandoShiozaki@smcon.co.jp

斜材ケーブルの点検は、高所作業車を用いる目視点検または、特殊高所作業技術による目視点検により行われている。しかし、高所作業車を用いる目視点検では、橋面上約 30m が点検限界であり、点検中は交通規制が必要である。また、特殊高所作業技術による目視点検では、作業者の安全確保が重要となる。これらを背景として、著者らは斜材ケーブル点検の効率化を目的にケーブル装着型の点検ロボットの開発を進めている。著者らの点検ロボットの特徴として、UAV を用いた装置の打ち上げ、装置降下中の速度の自動制御、撮影データからの斜材展開図作成があげられる。本稿では、開発中の点検ロボットプロトタイプ装置を既設橋梁へ適用し、実用性の検証を行った。

Key Words: cable-stayed bridges, inspection, robot, combining image

1. はじめに

近年、道路の高齢化により、それらの維持管理が重要となっている。道路に分類される橋梁の一種であり、斜材ケーブルを用いた代表的な斜張橋は、2016 年 4 月現在、約 320 橋が国内で建設されている¹⁾。斜張橋の維持管理において、重要な項目として、橋梁を支える斜材ケーブル(以下、斜材とする)の機能保全があげられる。既存の人の目視による点検では、交通規制が必要であったり、点検者の安全の確保が重要であるなどの問題がある。このことから、ロボットを用いた点検装置の開発²⁾が活発に進んでいる。既存開発としては、VESPINAE³⁾やコロコロチェッカー⁴⁾さらに著者らの斜材ケーブル点検ロボット⁵⁾などがあげられる。著者らは、斜材表面を複数台のカメラで撮影することで斜材の損傷を発見する点検ロボット CHiQWA の開発を進めている。本ロボットの特徴は、カメラによる撮影データから、斜材表面の展開図(以下、撮影画像展開図とする)を作成することである。本稿では、著者らが開発している CHiQWA のプロトタイプ装置を越谷市管理橋梁に適用し、本点検ロボットの実用性の検証を行った。

2. CHiQWA の構成

CHiQWA は、斜材を撮影する「点検ロボット」と、撮影により得られたデータから、撮影画像展開図を作成する「画像結合ソフト」から構成される。ここで、図-1 に点検ロボットの構成図を示す。

(1) CHiQWA の要件

本ロボットの主な要件は、「自動制御で等速降下し、斜材を撮影すること」、「UAV を動力としているため

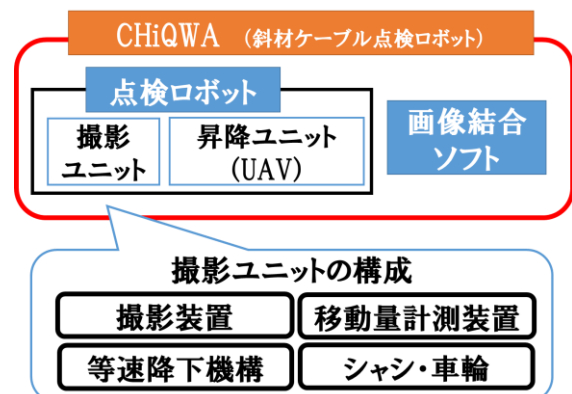


図-1 CHiQWA の構成

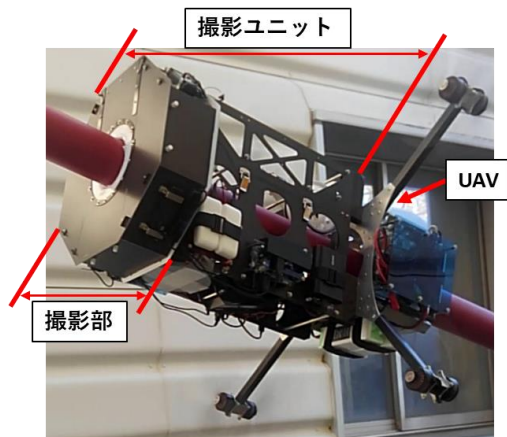


図-2 CHIQUAの外観（斜材装着時）

装置構成を軽量にすること」，「1度の装置の昇降で斜材全周を撮影すること」，「撮影動画から斜材全周の撮影画像展開図の作成を可能とすること」および「撮影画像展開図から幅2mmの傷を確認できること」の5点である。

(2) 点検ロボットの構成

本点検ロボットは，斜材を自動制御により降下しながら撮影する「撮影ユニット」と装置を斜材の最上部まで移動させる「昇降ユニット(UAV)」の2つのロボットにより構成される。ここで，図-2にCHIQUAの外観を示す。次節では，撮影ユニットの詳細を説明する。

(3) 撮影ユニットの構成

撮影ユニットは，「撮影装置」，「移動量計測装置」，「等速降下機構」および「シャシ・車輪」から構成される。撮影装置は，点検結果の撮影のためのカメラと撮影データ保存のためのPCにより構成されている。本検証で利用する点検ロボットのプロトタイプでは，要件である「UAVを動力としているため装置構成を軽量にすること」を満たすために，軽量のUSBカメラとミニPCを用いて，撮影装置を開発した。USBカメラは，要件である「1度の装置の昇降で斜材全周を撮影すること」を満たすため，4台搭載している。ここで，図-3に撮影ユニットによる撮影のイメージ図を示す。本点検ロボットは，撮影データをAVI形式の動画ファイルとして，カメラ毎に保存する。また，移動量計測装置は，ロータリーエンコーダと傾斜計により構成される。ロータリーエンコーダと傾斜計は，点検中の撮影ユニットの自己位置推定のために，装置の斜材延長方向移動と斜材円周方向移動の2つのデータを計測する。一方で，等速降下機構は，UAVにより，斜材最上部に移動した撮影ユニットを，一定速度で降下させるための機構である。シャシ・車輪は，撮影装置，移動量計測装置と等速降下機構を搭載する撮影ユニットのフレームである。

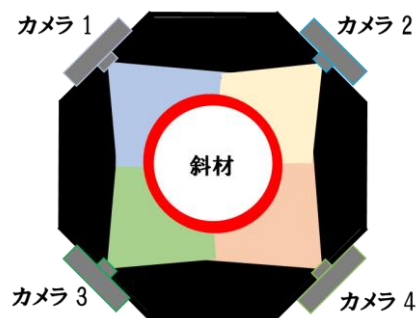


図-3 撮影部の撮影断面イメージ



図-4 CHIQUAの点検手順

(4) 画像結合ソフト

画像結合ソフトは，点検ロボットが点検の際に取得した，動画データと撮影ユニットの自己位置推定のデータを利用して，撮影画像展開図を作成する。現在は，1台のUSBカメラの動画データからの斜材4分の1周のみが作成可能であり，斜材全周の撮影画像展開図の作成は未実装である。

3. CHIQUAによる点検

図-4にCHIQUAの点検手順を示す。また，以下では，各手順を解説する。

STEP1 (USBカメラ撮影準備)：ミニPCに接続したUSBカメラを撮影待機状態にする。また，設定した距離を装置が移動した際に撮影を開始させるために，撮影ユニットの移動量を設定する。

STEP2 (点検ロボットの装着)：撮影ユニットおよびUAVを，点検対象の斜材に図-2に示したように斜材下部に装着する。

STEP3 (斜材最上部への移動)：撮影ユニットをUAVにより，STEP1で設定した距離を移動させる。移動が完了すると，等速降下機構が起動し，撮影を開始する。同



図-5 越谷市管理橋梁

時に移動量計測装置の記録を開始する。また、UAV は、先に降下して、UAV による撮影ユニットの移動は終了となる。

STEP4 (斜材撮影) : 撮影ユニットが等速降下機構により、一定速度で降下しながら、4 台の USB カメラが斜材表面全周を撮影する。STEP1 で設定した距離を降下すると装置が停止し、動画データと撮影ユニットの自己位置推定データを保存する。本 STEP 終了後、他の斜材を撮影する場合は、STEP1 に戻る。点検を終了する場合は、STEP5 に進む。

STEP5 (点検データ移動) : 点検者は、STEP4 で取得した動画データと撮影ユニットの自己位置推定データを画像結合ソフトを導入した PC へと移動する。

STEP6 (撮影画像展開図作成) : 点検者が、画像結合ソフトを用いて、動画データと撮影ユニットの自己位置推定データから、撮影画像展開図を作成する。

4. 越谷市管理橋梁への適用

著者らは、2018 年 3 月に越谷市のご協力の元、本点検ロボットのプロトタイプを越谷市管理橋梁へ適用した。本章では、本点検ロボットの適用結果を報告する。

(1) 越谷市管理橋梁

ここで、図-5 に越谷市管理橋梁の外観を示す。また、図-6 には、点検した斜材を示す。本橋梁は、2011 年に竣工した橋長 105.8m、主塔高 6.5m のエクストラドーズド橋である。

(2) CHiQWA の適用

本稿の検証では、図-6 中の C1 に対し、CHiQWA を適用した。具体的には、現場で図-4 に示した点検手順で点検を行い、撮影した動画を用いて、撮影画像展開図を作成した。橋梁には、約 1200mm の高欄が設置されており、高欄より上側を撮影領域としたため、撮影距離は約 8m である。また、点検対象の C1 には、画像の結合の正

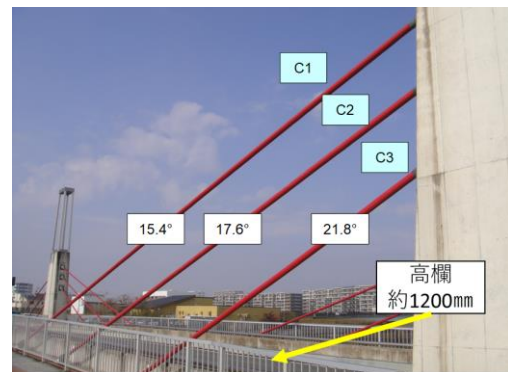


図-6 越谷市管理橋梁の斜材

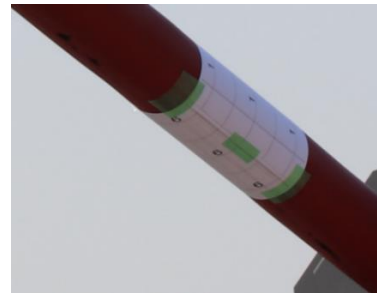


図-7 方眼紙

確性を確認するために方眼紙を貼付した。以下に適用した結果を示す。

a) 撮影時間

CHiQWA を用いた C1 の点検は、4 度実施した結果、撮影時間に、1 分 30 秒から 9 分とばらつきがあった。原因として、当日は気温が高く、斜材が温度上昇に伴い膨張したことで、斜材径が変化し、等速降下機構の動作に影響したと考えられる。

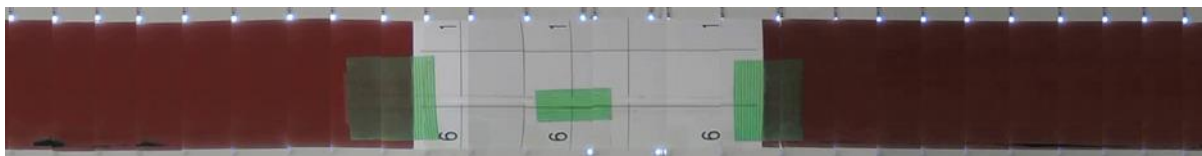
b) 撮影画像展開図

斜材に貼付した方眼紙を撮影した画像と USB カメラ 4 台の動画から作成した撮影画像展開図をそれぞれ図-7 と図-8 に示す。

図-8 の撮影画像展開図では、すべての USB カメラで、方眼中の数字が消えることなく撮影されている。しかし、(a)、(c)、(d) の画像では方眼の線が消失している箇所が見られた。さらに、(c)、(d) の画像では、方眼の線が二重となっている箇所が見られた。

また、図-8 中の斜材は、実際の斜材よりも暗く撮影されている。この原因として、USB カメラの撮影範囲に日光が入り込み、USB カメラが自動で、明るさを調整したと考えられる。ここで、図-9 に USB カメラが撮影した、結合前の画像を示す。

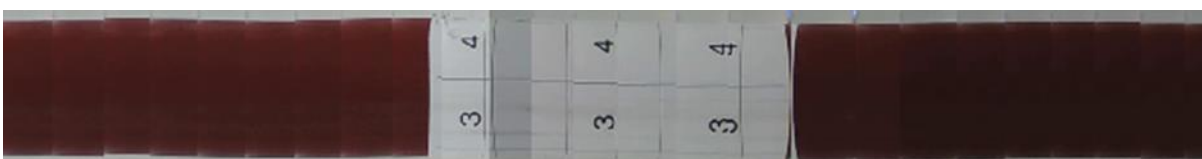
さらに、図-8 の撮影画像展開図では、方眼紙の左右で、画像の明るさに変化があった。この原因として、撮影対象の色が赤色から方眼紙の白色に変化したため、USB カメラが自動で、調整を行ったと考えられる。この傾向は、4 台の USB カメラすべてで見られた。



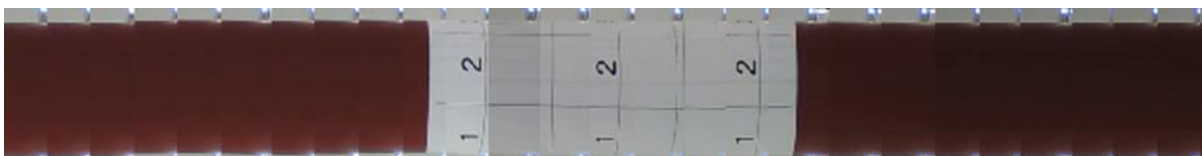
(a) カメラ 1 の結合画像



(b) カメラ 2 の結合画像



(c) カメラ 3 の結合画像



(d) カメラ 4 の結合画像

図-8 撮影画像展開図

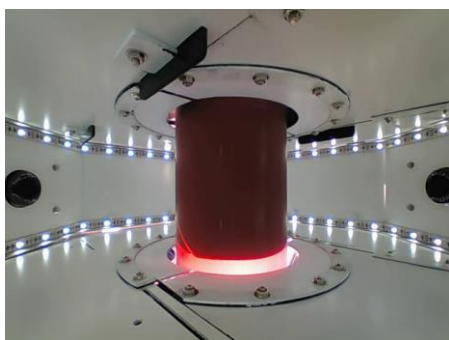


図-9 USB カメラの撮影画像

5. まとめ

本稿では、CHiQWA を越谷市管理橋梁へ適用し、検証を行った。本検証での知見を以下にまとめる。

- ・撮影時間は、約 8m を 1 分 30 秒で撮影可能である。
- ・気温変動による斜材径の変化に対応する必要がある。
- ・撮影画像展開図は、方眼中の数字を消失させない精度での結合が可能である。
- ・撮影部に差し込む日光の影響で、撮影画像は暗く撮影される。

以上のように、本検証により CHiQWA の有用性を確認し、今後の課題を抽出することができた。今後は、本検

証で得られた結果をもとに、点検の効率化、撮影画像展開図の結合精度の向上を行っていく。

謝辞：本研究にご協力頂いた越谷市建設部道路建設課の皆様、株式会社テクノフラッシュの車田茂美氏、本多健治氏に心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：道路統計年報、<<http://www.mlit.go.jp/road/ir-data/tokei-nen/2017/nenpo03.html>>，(入手 2018.6.5)。
- 2) 国土交通省関東地方整備局 平成 26 年スキルアップセミナー関東、岡田成礼：斜張橋の保護管点検ロボットの開発について、<http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000105692.pdf>，(入手 2018.6.5)。
- 3) 長大：斜張橋ケーブル点検ロボット「VESPINAE」，<<https://www.chodai.co.jp/news/20170316.pdf>>，(入手 2018.6.5)。
- 4) 西松建設：斜張橋の斜材保護管点検ロボットコロコロチェッカー，<http://www.nishimatsu.co.jp/assets/upload/solution/1455769046_074527800.pdf>，(入手 2018.6.5)。
- 5) 河村圭，長谷川瑛士，塩崎正人：斜張橋ケーブル点検ロボットののための点検記録システムの開発，土木学会論文集 F3, Vol.73, No.2, pp.I_201-I_210, 2017。