

(16) 斜張橋ケーブル点検ロボットにおける 点検記録システムに関する研究

長谷川 達哉¹・河村 圭²・塩崎 正人³

¹非会員 山口大学大学院 理工学研究科環境共生系専攻 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

E-mail: v036vn@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 技術本部第三技術部 (〒104-0051 東京都中央区佃 2-1-6)

E-mail: MasandoShiozaki@smcon.co.jp

斜張橋ケーブルの調査は、高所作業車を用いた目視点検、または、クライミング技術等の特殊高所技術による目視点検で行われている。しかし、調査時に高所作業車を使用する場合は、橋面上約 30m の高さまでが限界であり、点検中は交通規制が必要である。また、特殊高所技術による目視点検の場合は、安全性の確保が問題となる。これらを背景として、著者らは、ロボットを用いた点検装置の開発を進めている。本研究では、USB カメラ、ミニ PC および画像処理技術の活用により、1 度の撮影でケーブル全周の、撮影画像展開図を作成可能とする点検記録システムのプロトタイプを開発した。

Key Words: Cable-stayed bridges, inspection, robot, USBcamera, miniPC

1. はじめに

近年、斜張橋の高齢化に伴い、その維持管理の重要性が増している。斜張橋の維持管理を行う上で重要な点として、主要部材である斜張橋ケーブルの機能保持が挙げられる。図-1 には、斜材保護管の損傷例を示す。2015 年現在、国内の斜張橋は、約 300 橋¹⁾建設されており、ケーブルの点検は、高所作業車を用いた目視点検またはクライミング技術等の特殊高所技術による目視点検で行われている。点検時に高所作業車を使用する場合は、橋面上約 30m の高さまでが目視点検の限界であり、点検中は交通規制を行わなければならないことが問題となる。また、特殊高所技術による目視点検の場合は、作業者の安全性の確保が問題となる。これらを背景として、ロボットを用いた点検装置²⁾の開発が活発的に進んでいる。既存の研究としては、コロコロチェッカー³⁾などが挙げられる。また、著者らは、点検精度および作業者の安全を考慮し、UAV やロボットを利用した斜材点検システムの開発を進めている。本研究では、斜材点検ロボットにおける点検記録システムのプロトタイプを開発した。さらに、本論文では、点検記録システムの信頼性および



図-1 斜材保護管の損傷(保護管の割れ)例

計測精度について検証する。

2. 斜材点検ロボットにおける点検記録システム

(1) 概要

図-2 には、著者らが提案する斜材点検ロボットの構成図を示す。本研究では、斜材点検ロボットにおける点検記録システムのプロトタイプを開発した。

(2) 点検記録システムにおける各種装置

点検記録システムの主な要件は、「撮影装置の構成を

安価かつ軽量にすること」，「1度の撮影でケーブル全周を撮影すること」および「撮影画像からケーブル全周の撮影画像展開図の作成を可能とすること」以上の3点である．本研究では，上記要件を満たすため，安価かつ軽量の USB カメラとミニ PC を使用して撮影装置を開発し，点検結果を動画および撮影画像展開図として出力させるために，移動量計測装置および画像結合ソフトを開発した．このように点検記録システムは，撮影装置，移動量計測装置および画像結合ソフトで構成されている．

(3) 撮影装置

撮影装置は，バッテリーの重量を考慮し低電圧で動作可能であるミニ PC，カメラ台数を考慮し広視野角ガラスレンズを採用した USB カメラ，撮影時の光源である照明で構成される．

(4) 移動量計測装置

本研究では，撮影時の撮影装置のケーブル延長方向に対する移動距離をエンコーダで計測し，ケーブル円周方向に対する移動量計測装置の角度を傾斜計で計測し，データロガーで測定値および測定時刻を記録する．なお，計測周期は 0.01 秒である．これらの記録情報は，撮影動画よりキャプチャされた画像間の結合位置座標の算出に使用する．

(5) 画像結合ソフト

a) 概要

画像結合ソフトは，録画処理，キャプチャ処理，撮影画像と移動量の同期処理，画像結合処理の4つの処理で構成される．また，現段階では録画処理のみをミニ PC へ組み込んでおり，その他の処理は別 PC で行っている．

b) 録画処理

録画処理では，動画ファイル生成し，また，動画ファイルを生成時に，USB カメラからミニ PC へと画像情報が送信された時刻を静止画像保存時間として記録する．本処理で生成される生成物は，動画ファイルおよび静止画像保存時間記録ファイルである．また，本処理で生成される動画ファイルは 8fps として保存している．

c) キャプチャ処理

本処理では，キャプチャ画像を生成する．具体的には，動画を1フレームごとに分割し，静止画像であるキャプチャ画像を png 形式で生成する．なお，画像サイズは 640×480 pixel である．

d) 撮影画像と移動量の同期処理

ここでは，静止画像保存時間と，移動量計測装置のデータロガーに記録された，計測開始からの経過時間を同期させ，撮影装置のケーブル延長方向移動距離(mm)お

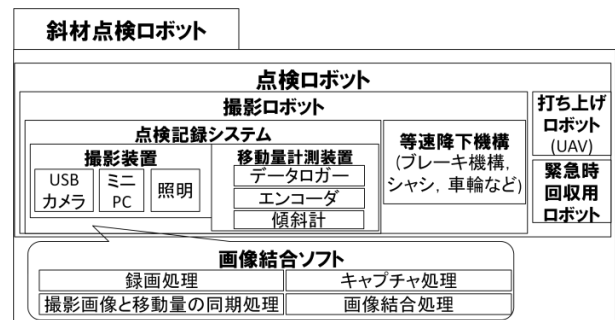


図-2 斜材点検ロボット構成図

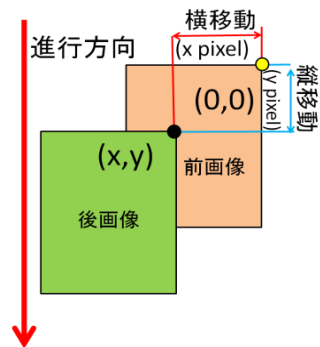


図-3 画像結合処理イメージ

よび傾斜角度($^{\circ}$)より，各キャプチャ画像間の結合位置座標 (pixel)を算出する．このように本処理では，各キャプチャ画像間の画像結合位置座標が，結合位置座標ファイルとして生成される．なお，本プロトタイプでは，静止画像保存時間と移動量計測装置の移動開始時間の同期は，手動での決定となっている．

e) 画像結合処理

本処理では，キャプチャ画像と結合座標ファイルを用いて，結合画像を作成する．図-3 には，前後画像間の結合方法のイメージを示す．ここで，図中の前後画像間の横移動距離は，傾斜計で計測された傾斜角度の変化より算出され，前後画像間の縦移動距離は，エンコーダで計測されたケーブル延長方向移動距離に対応する．

3. 点検記録システムの動作手順

(1) 点検記録システムにおける撮影手順

本プロトタイプでは，撮影装置および移動量計測装置は，現在自動同期ができないために，以下に記述する撮影手順が重要となる．なお，図-4 には，保護管を模擬した塩化ビニール管(以下，塩ビ管)の撮影状況を示す．

手順1：エンコーダを起動する

エンコーダを起動する．この時，エンコーダが移動して移動距離が変化しないように静止させる．ここで，エンコーダを先に起動させる理由は，現在，静止画像保存

時間と移動量計測装置の移動開始時間の同期を手動で行っているためである。

手順2：録画ソフトの起動

ミニ PC 内に組み込まれた録画処理プログラムを起動する。

手順3：点検情報の記録

録画を開始した時点で、エンコーダを図-4の進行方向に動かし、動画ファイル、静止画像保存時間およびエンコーダの移動量を記録する。点検終了後は、録画およびエンコーダの記録を停止する。

以上の手順で撮影を行い、撮影動画および画像結合ソフトで使用するデータを記録する。

(2) 結合画像作成手順

3. (1)における手順1から手順3で取得されたデータより結合画像を作成する。以下に、画像結合ソフトによる結合画像の作成手順を示す。

手順1：キャプチャ処理

撮影動画より、キャプチャ画像を作成する。

手順2：撮影画像と移動量の同期処理

まず、動画から目視によって撮影装置移動開始時のミニ PC 内部時間を特定する。さらに、エンコーダで記録されたケーブル延長方向移動量変化より、撮影装置移動開始時の計測経過時間を目視で特定する。これらの時間を利用し、手動で画像結合ソフトへ入力することで、撮影画像間の結合位置を決定する。

手順3：画像結合処理

手順1で作成したキャプチャ画像を手順2で生成された結合座標ファイルに基づき貼り合わせ、結合画像を作成する。

4. 実験

(1) 概要

本実験では、点検記録システムの信頼性を、次の3つの観点から検証する。なお、本実験では、塩ビ管を撮影し、結合画像を作成した。

検証A：撮影動画の検証

本検証では、撮影動画および静止画像保存時間の信頼性について検証する。

検証B：移動量の検証

本検証では、エンコーダが記録したケーブル延長方向移動距離データの信頼性について検証する。

検証C：結合画像の検証

本検証では、画像結合用のキャプチャ画像として、トリミング加工なしのキャプチャ画像(640×480pixel)とトリミング加工ありのキャプチャ画像(640×300pixel、原

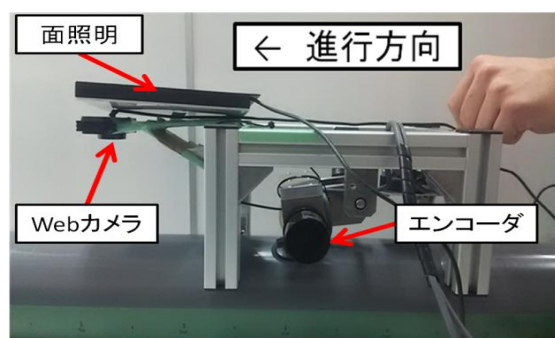


図-4 塩化ビニール管の撮影風景

画像の上部 180 pixel をトリミング加工した画像) を利用した場合の画像結合を検証する。これは、本撮影装置は、USB カメラを採用しているため、撮影画像では、画像端部に向かうほどレンズによる大きな歪みが発生する。このため、歪みが小さい画像中央部を利用した場合(トリミング加工あり)と利用しない場合(トリミング加工なし)を比較することで、歪みが結合画像に及ぼす影響を検証する。

(2) 実験条件

本実験は、図-4のように移動量計測装置に USB カメラおよび白色面照明を取り付けた装置を使用し、室内環境で撮影を行った。本実験は、点検記録システムのプロトタイプの検証実験であるため、使用機器は、撮影装置であるミニ PC 1 台、USB カメラ 1 台および移動量計測装置 1 台で実験を行った。被写体である塩ビ管の側面の長さは 1500mm、断面の内径は 100mm、外径は 114mm である。また、被写体である塩ビ管には、方眼紙を巻き付けた。なお、方眼紙のマスサイズは、1 マスあたり縦 25mm、横 25mm である。さらに、移動速度は、約 50 mm/s となるよう記録装置を手動で動かし、装置の移動は水平に移動することを前提とした。すなわち、本実験では、画像間結合処理は、縦移動距離のみが対象となり、横移動距離は考慮しない。

(3) 実験結果

図-5 には、撮影フレームレートの推移グラフを示す。また、表-1 には、本実験で生成された各ファイルの内容を示す。次に、図-6 および図-7 には、それぞれ、表-1 の情報およびトリミング加工を行っていないキャプチャ画像を用いて作成した結合画像、また、表-1 の情報およびトリミング加工を行ったキャプチャ画像を用いて作成した結合画像を示す。続いて、以下には、検証 A、B、C の結果を示す。

検証 A：表-1 より、静止画像保存時間のデータ数 178 個と動画から作成されたキャプチャ画像の枚数 178 枚が同値である。また、図-5 より、撮影動画における撮影

フレームレートは不定値であるが、約 8fps で推移しており、0fps のケースは見られない。このことより、画像結合ソフトにおける録画処理およびキャプチャ処理は、データの欠損がなく、正常に動作していることがわかる。

検証 B：表-1 より、総移動距離が 600mm に対し、エンコーダが記録した累積移動距離が 583mm となっている。その誤差は、約 3%である。

検証 C：図-6 および図-7 より、一部に方眼紙の格子線が二重に出ている箇所が見られるが、概ね良好に結合画像が作成できている。また、図-6 の結合画像は、方眼紙の格子線が全体的に左側に湾曲しており、トリミング加工を実施しないキャプチャ画像では、レンズの歪みによる影響が大きいことがわかる。一方で、図-7 の結合画像は、トリミング加工を行い歪みの少ない中央部を使用することで、方眼紙の格子線が直線になっている。

5. まとめ

本研究では、斜材点検ロボットにおける点検記録システムのプロトタイプを開発した。本研究で得られた知見を、以下にまとめる。

- ・検証 A より、本システムの録画処理およびキャプチャ処理はデータの欠損がなく、正常に動作している。
- ・検証 B より、エンコーダは、誤差約 3%の精度で移動距離を記録することができる。
- ・検証 C より、本点検記録システムは、結合画像を作成することが可能であり、レンズの歪みの少ない中央部分の画像を使用することで結合画像における歪みを軽減できる。

続いて、今後の課題として、以下の項目が挙げられる。

- ・静止画像保存時間の情報とエンコーダにおける移動開始時間の同期を自動化する必要がある。
- ・本研究において、画像結合を可能としたが、画像結合処理の精度の向上には、キャプチャ画像のカメラレンズの歪みの補正、静止画像保存時間情報とエンコーダの記録時間情報の同期が大きく影響するため、これらを考慮した結合処理の改善が必要である。
- ・本研究の点検記録システムはプロトタイプであり、すべての処理をミニ PC に組み込めていないが、今後は、すべての処理をミニ PC に組み込むことを目指す。

謝辞：本研究にご協力頂いた株式会社テクノフラッシュの車田茂美氏、菊地典明氏、本多健治氏、株式会社 ILC の梶本真志氏に心から感謝の意を示します。本研究は、JST 研究成果展開事業マッチングプランナープログラム「探索試験」MP27115663096 の助成を受けたものである。

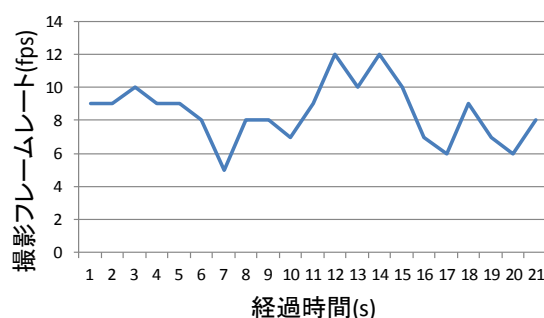


図-5 撮影フレームレート推移グラフ

表-1 本実験で生成された各ファイル

ファイル	項目	内容
動画ファイル	再生時間	22 秒
	再生フレームレート	8fps
静止画像 保存時間 記録ファイル	データ数	178 個
キャプチャ 画像	枚数	178 枚
移動距離	装置の累積移動距離	600mm
	エンコーダが記録した累積移動距離	583mm



図-6 結合結果(キャプチャ画像トリミング加工なし)

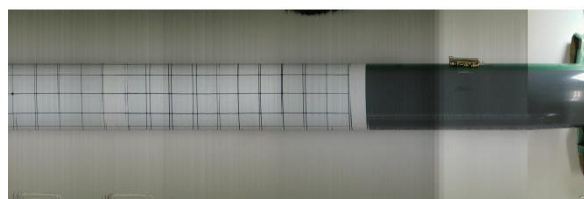


図-7 結合結果(キャプチャ画像トリミング加工あり)

参考文献

- 1) 国土交通省：道路統計年報，< http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/tokei-nen/2015/pdf/k_genkyou40.pdf>，（入手 2016.6.26）。
- 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 2016.6.26）。
- 3) 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 2016.6.29）。