

斜張橋点検ロボットの開発に向けた基礎実験

三井住友建設(株)		○塩崎 正人
三井住友建設(株)	正会員 工博	浅井 洋
(有)テクノフラッシュ		車田 茂美
山口大学大学院	工博	河村 圭

キーワード：斜材保護管，点検，デジタルビデオカメラ，自律制御

1. はじめに

平成26年6月に策定された『道路橋定期点検要領』では、基本的に定期点検を5年に1度実施することが具体的な点検サイクルとして明記された¹⁾。加えて、将来的な維持管理を効率化する観点から、紙ベースによる点検調書をデジタルデータによる管理へと移行することも進められている。このため、ICTなどを活用した効率的な点検手法の確立が急がれている。

斜張橋やエクストラドーズド橋における斜材保護管の点検もそのひとつである。斜張橋では斜材（吊材）としてPC鋼材を使用しており、これをポリエチレン管（以下、PE管）などで覆うことで鋼材を保護している。近年この斜材保護管が経年劣化し、傷や割れが発生した事例が報告されており、点検・補修が急がれている（写真－1）。斜張橋は全国に300橋余りが供用されているが、主塔の高さが50mを超える橋梁も多い。斜材の点検は遠望目視点検が一般的である。近接目視点検を行う場合、高所作業車を使用するか、宙乗りといった特殊高所作業となることから、斜材の近接目視点検は、費用的にも道路規制の面からも非常に困難な作業となっている。このため、足場を必要としない無人航空機（以下、UAV）や自走式ロボットを利用した画像計測機器の開発が始まっている²⁾。

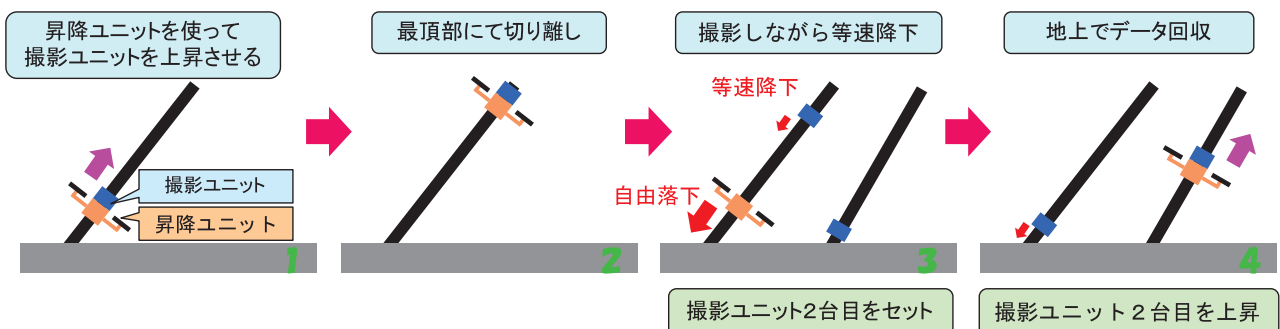


写真－1 斜材保護管の損傷例

筆者らは、UAVを動力とした昇降ユニット、ビデオカメラを搭載した撮影ユニットからなる分割型の斜張橋点検ロボットを開発し、これらのユニットを使った基礎実験を実施した。その結果を報告する。

2. 点検方法

今回開発する斜張橋点検ロボットでは、UAVを動力とした昇降ユニットと撮影機器を、別々のユニット



図－1 斜張橋点検ロボットによる点検方法

トとして製作する。これにより、1台の昇降ユニットを使って複数の撮影ユニットを打ち上げることが可能となるため、短時間に複数の斜材保護管の撮影(点検)を可能とする(図-1)。撮影ユニットは1回の降下で斜材保護管全周を撮影できるように複数台のカメラを設置する。カメラのフレームレートに合わせて、降下速度を制御することで、欠損無く斜材保護管の画像を撮影することが可能となる。

3. 装置開発

3.1 装置仕様

(1) 昇降ユニット

昇降ユニットは、以下の仕様で開発を行った。

- ・撮影ユニットを揚重は5.0kg以上とする。
- ・斜材保護管への取付けを考慮し、本体は半割り可能な構造とする(図-2)。
- ・地上から昇降を操作し、所定の到達距離でアラームを鳴らす。

昇降ユニットには、市販されている産業用UAVを分解してモーター、プロペラおよび基盤を転用する。

(2) 撮影ユニット

撮影ユニットは、以下の仕様で開発を行った。

- ・斜材保護管全周をデジタルビデオカメラで撮影する(図-3)。
- ・動画撮影は一定の光量で撮影するため、外光を遮断しLED照明を使用する。
- ・斜材保護管の画像欠損を防ぐため、カメラのフレームレートに合わせての等速降下装置を取り付ける。
- ・斜材保護管の割れを確実に撮影するため、カメラの分解能は0.5mm以下とする。
- ・撮影位置特定のため、走行方向測位にロータリーエンコーダ、回転方向測位に傾斜計を設置する(図-4)。
- ・UAVの最大揚重に安全率を考慮し、総重量を4.5kg以下とする。

今回の撮影ユニットは、UAVの揚重に制限があることから、軽量化を最優先とし、カメラなどの搭載機器を選定している。とくに、搭載するバッテリー重量が一番の問題であるため、必要最低限の容量のものを選択して軽量化を図ることとした。

3.2 装置製作

(1) 昇降ユニット

昇降ユニットには、産業用UAVに搭載されているモーターとプロペラの組み付けを調整して使用した。装着されていたシャフトは所定の長さにカットして組み付けた。本体部分については、半割り構造とするため再設計を行い、アルミ部材を加工して製作した(写真-2)。なお、昇降ユニットにウェイトを懸架した室内実験では、揚重が7.0kgとなりメーカー仕様を超える揚重能力であった。

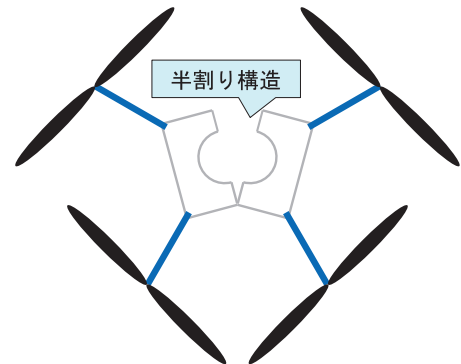


図-2 本体部の半割り

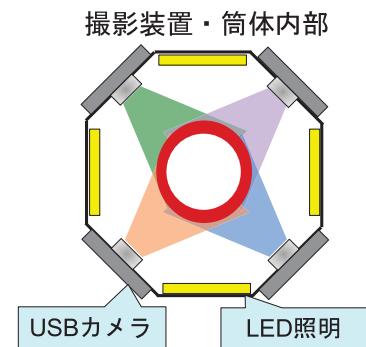


図-3 カメラ配置図

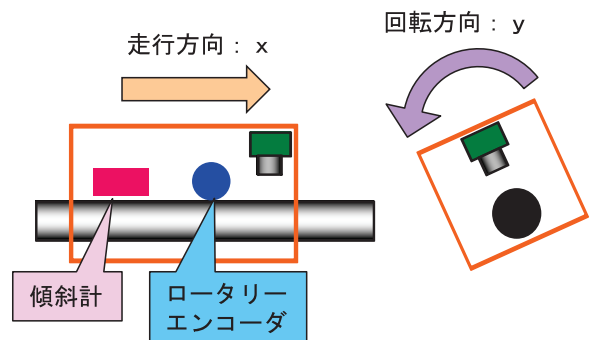


図-4 移動量計測装置イメージ図

(2) 撮影ユニット

撮影ユニットは軽量化を図るため、カーボン製とし肉抜きを行っている（写真-3）。使用するカメラはHD画質で画角120度と広角なうえ、重量70gと軽量なUSBカメラを選定した。加えて、このUSBカメラを動作させるため、DC5Vで動作可能なミニパソコン（以下、ミニPC）を選定した。DC5Vの場合、スマートフォンの充電用バッテリーを転用することができるため、市販品が多く選択肢が広い。一方で、低電圧PCは処理能力が落ちるという欠点もあるが、今回は軽量化を優先し、前述の組み合わせとしている。

カメラは、写真-3の左側塔体に配置した。外光を遮断するため、覆いを付けた構造としている。

写真-3の塔体右側には3つ車輪を上下交互に配置しており、下側の車輪に等速降下装置を装着した。上側車輪には、ロータリーエンコーダと傾斜計を設置し、ミニPCへデータを転送する。等速降下装置は、この距離データから降下速度を算定し、あらかじめ設定した速度で降下するよう制御するものである。撮影ユニットの総重量は4.2kgとなり、昇降ユニットの揚重内に収めることができた。



写真-2 昇降ユニット

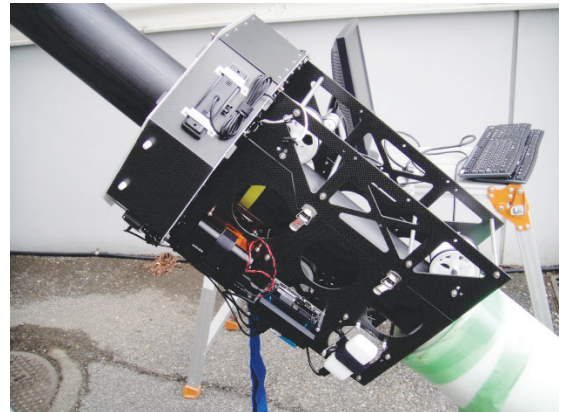


写真-3 撮影ユニット

4. 動作確認実験

第3章で製作した昇降ユニットおよび撮影ユニットの動作確認実験を行った。実験には技術研究所敷地内で斜張橋を模擬した実験装置を使用した（写真-4）。斜材には高さ10mmの段差や幅5mmの割れがあり、実際に損傷している斜材保護管を模擬している。斜材の長さは10mあり、角度45度で設置している。昇降ユニットで撮影ユニットを9mまで移動させ、到達後は撮影ユニットの等速降下装置による自動制御で降下しながら斜材全周の撮影を行った。また、斜材には方眼紙を貼付し、カメラ画像の検証を行った。

撮影ユニットの降下の際には、PE管の継目や損傷箇所などの段差箇所等で等速降下装置を制御することで、段差を乗り越えて降下できることを確認した。一方、割れについては、車輪が引っ掛かることで装置が15度程度回転する場合があります。回転角度が大きくなると降下速度が低下した。回転角度が等速降下装置の動作に影響を与えているものと考えられる。



写真-4 実験装置

5. 画像結合

撮影した動画は、著者の一人が開発した画像結合プログラム³⁾を用いてパノラマ化した。

当初は、筆者らが開発した「トンネル走行型計測システム用の画像結合プログラム」⁴⁾を用いて画像結合を行ったが、斜材保護管はトンネル壁面よりも特徴点が乏しく、同じ位置に画像が重なってし

もうエラーが発生し、特徴点抽出による画像結合は困難であることが判明した。このため、ロータリーエンコーダと傾斜計の測位データを用いることとした。カメラの撮影時間と測位データの取得時間から、画像1枚ごとの移動量を算出して画像結合を行うプログラムを開発した。このプログラムを用いて結合した画像が写真-5である。カメラ1台のキャプチャ画像に要する結合時間は10分程度である。

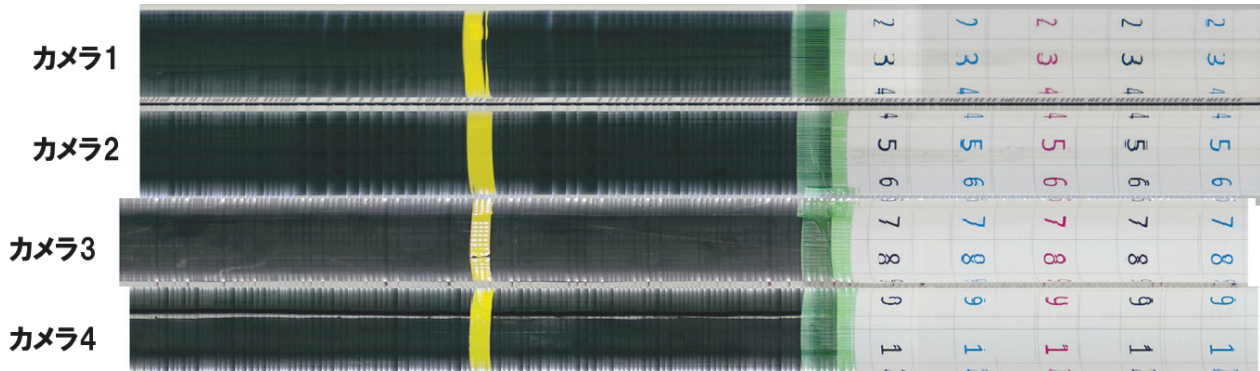


写真-5 結合画像カメラ4台分 (抜粋)

また、カメラ1～4の結合は手動で行っている。

4台のカメラで円周方向に欠損無く撮影できていることがわかる。特徴点抽出と比較した場合、画像と画像の結合にズレが生じるなど、滑らかな結合とはならないが、変状を抽出する上で支障はないと考えている。

6. まとめ

今回の基礎実験から以下の知見を得ることができた。

- ・昇降ユニットで撮影ユニットを所定高さに移動することができる。
- ・等速降下により降下速度を制御することで、欠損無く安定した動画撮影を行うことができる。
- ・ロータリーエンコーダと傾斜計の測位データを用いることは、特徴点の乏しい画像を結合することに有効である。
- ・段差だけでは等速降下装置は影響を受けないが、装置の回転が大きくなった場合には降下速度に影響を及ぼす。

今回の実験では長さ10mの所内実験であったため、斜材点検ロボットが途中で停止した場合も回収が容易であったが、実際の橋梁で適用した場合の回収機構について検討する必要がある。また、複数台のカメラ画像を結合するプログラムも必要である。これらの開発を急ぎたい。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局国道防災課：道路橋定期点検要領，pp. 1-2，2014. 6
- 2) 岡田成礼：斜張橋の斜材保護管点検ロボットの開発について，平成26年度スキルアップセミナー関東，一般安全・安心(1)部門，2015. 7
- 3) 長谷川瑛士，河村圭，長谷川達哉，塩崎正人：斜張橋ケーブル点検ロボットの装置回転を考慮した撮影画像結合手法の提案，第69回土木学会中国支部研究発表会，I-③，DVD-ROM，2017
- 4) 松本潤児，河村圭，塩崎正人：トンネル壁面連続撮影画像からの画像処理による画像展開図作成の有効性，コンクリート工学年次論文集，Vol. 37，No. 1，pp. 1783-1788，2015. 7