

VR 技術を用いた橋梁目視点検支援システムにおけるラジコンヘリ活用の可能性

神戸大学大学院工学研究科	学生会員	○古川篤史
山口大学大学院理工学研究科	学生会員	西田彼方
山口大学大学院理工学研究科	正会員	江本久雄
山口大学大学院理工学研究科	フェロー会員	宮本文穂

1. はじめに

1960 年代からの高度経済成長に伴う社会資本ストックの急速な整備とともに多くの橋梁が架設され、その高齢化によって維持管理に転換する時代を迎えている。経年とともに高齢化・老朽化していく橋梁などの社会資本ストックの機能を損なうことなく、莫大な費用をかけずに維持管理するためには、これまで以上に目視点検・点検作業の信頼性と効率化の確保が重要になってくる。効率的な橋梁維持管理システムを補助するサブシステムとして、Virtual Reality (VR) 技術を援用して、橋梁の現状を仮想的に再現する橋梁目視点検支援システム（以下、本システム）が開発されてきている^{1)~3)}。しかし、本システム構築において、現地での写真撮影からモデル作成までの作成にかかる時間とコストの低減、さらには橋梁環境に左右されない撮影手法が課題であった。そこで本研究では、新たな橋梁撮影手法としてラジコンヘリ撮影手法を提案し、必要なひび割れ幅などの検出の可能性とその有効性を検証した。

2. 本システムの概要

本システムは、図-1 に示すような 3 次元コンピュータグラフィックス（以下、3DCG）を用い、橋梁の立体モデルを作成し、VR 環境を実現することにより、時間や場所の制約を受けることなく橋梁点検を繰り返し体験でき、低コストで橋梁点検技術者の育成・支援を行えるシステムである。本システムの作成のための作業として以下の 5 つが挙げられる：①対象橋梁の外観を写真撮影、②画像の処理・加工、③画像の連結、④ 3DCG モデルの基盤作成、⑤モデル基盤への画像の貼り付けおよび VR 機能付与作業。これらの全作業を行って本システムの完成となる。本システムの作成手順の一連の流れを図-2 にまとめて示す。

本システムの機能として、(1)立体画像による損傷確認、(2)VR 技術を利用して点検箇所ウォークスルーによる擬似体験、(3)損傷の確認と評価レベルの確認、(4)点検者の意見のフィードバックなどがある。現在の本システムは 3DCG モデルを自在に視点操作できる段階であり、さらに多機能の追加改良が検討されている²⁾。

上述のような本システム構築で採用されてきた対象橋梁の写真撮影では、多大な撮影時間と労力が必要となるのみならず、足場架設等のコストも必要となる。さらには、作業安全上の問題や対象橋梁が存在する環境条件にも左右されるといった問題も存在する。本研究では、このような写真撮影上の諸問題を解決する手法の提案と可能性の検討結果を以下に述べる。

3. 目視点検支援システムにおけるラジコンヘリ活用の可能性

3.1 ラジコンヘリ撮影手法の概要

ラジコンヘリ（図-3 参照）とは、放射状に羽根が 4 枚以上から構成される、いわゆる遠隔操作マルチコプターのことを指す。機体の

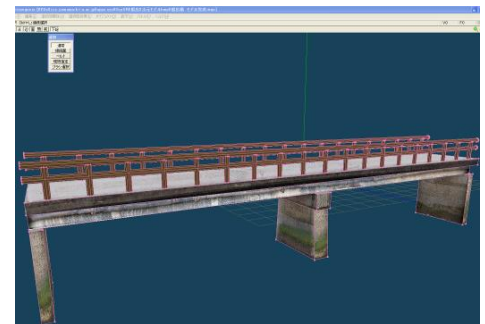


図-1 3DCG モデル

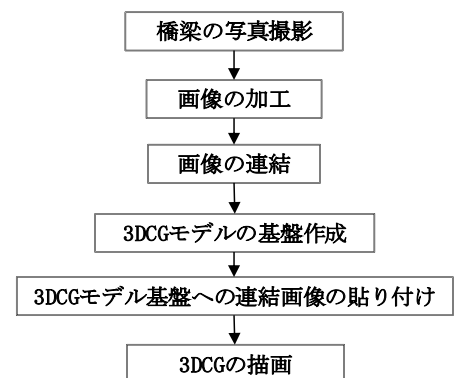


図-2 3DCG モデル作成手順

飛行において、上昇・下降はローターの回転数の増減によって行い、前進・後進などはローター回転数の増減で機体を傾けることで進む。ローターは右回り、左回りのものが交互に配置されることで、ローター回転の反作用を打ち消しあっている。これまでの撮影等で問題を解決する目的としてラジコンヘリ活用による撮影手法の検証を行った。活用方法として VR データ作成への活用、橋梁の撮影、動画データ転送がある。表-1 には本研究で用いたラジコンヘリ「スパイダー」（ルーチェサーチ株式会社製）の仕様を列挙する。



図-3 ラジコンヘリの外観

表-1 ラジコンヘリの仕様一覧

項目	諸元・仕様
寸法	850×850×450mm
機体重量	3800g
操作	手動オペレートおよび自律飛行
駆動	モータ
電源	バッテリー（リチウムポリマー電池）
飛行可能時間	連続飛行15分前後（積載量による）
飛行可能範囲	約1km
耐風	15m/s以下
接近距離	1m前後
到達高度	300m
飛行の安定性	GPS・ジャイロセンサ

3.2 ラジコンヘリ撮影手法

ラジコンヘリによる対象橋梁の撮影では、桁下空間での GPS の捕捉が困難であるが、GPS アンテナの設置により自律飛行が可能である。しかし今回は手動でのオペレートに転換して、ヘリ本体とカメラを地上から遠隔操作し、橋梁の隅々までの撮影を試みた。対象橋梁の撮影は、リアルタイムで動画を送信できる一眼レフカメラをラジコンヘリ上部に搭載し、1秒間に1枚のラップ率で連続的に撮影を行った。反復しながら撮影することにより、橋梁の下面全体を抜け目なく撮影できる。なお、本機は GPS 中継機の設置により自律飛行も可能になる。

3.3 桁下空間でのラジコンヘリの飛行

3.2 で述べたとおり、桁下空間では GPS を捕捉することが困難であり、自律飛行による撮影が出来なかった。そこで、桁下空間での自律飛行を可能にするために、GPS 中継機の設置による桁下空間での自律飛行の検証を行った。本検証では、GPS 再放射アンテナ RK-104、ラジコンヘリ（実機）、HandyGPS を用いて、室内での検証を行った。ここで、本実証で用いた GPS 再放射アンテナ RK-104 は、屋内や GPS の捕捉が困難な桁下空間などで再放射アンテナを取り付け、10～12m の範囲にわたり GPS 信号を受信することが可能であり、GPS の捕捉可能な位置での受信状況をそのまま桁下空間でリアルタイムに再現できるというものである。本検証では、桁下空間での GPS 捕捉による自律飛行を目指し、室内での再放射アンテナの効果の確認のため予備実験として行った。ここで、図-4 に GPS 受信機、図-5 に再放射アンテナを示す。今回は室外で取得した GPS 信号（図-6）を室内の GPS 信号が捕捉しにくい場所（図-7）でも GPS 再放射アンテナ設置により GPS 信号を転送することができることが分かった（図-8）。この結果をふまえた上で今後、GPS 中継機設置による位置補正が可能か、GPS 中継機の複数台設置によるラジコンヘリの位置情報取得できるか、橋桁での転送状況の確認、実際にラジコンヘリの GPS 捕捉による自律飛行が可能かなどを検証する必要がある。桁下空間での自律飛行以外にも、GPS の取得が可能になることにより、ラジコンヘリの機体の制御が行える。また、撮影距離維持による画像編集の手間も



図-4 GPS 受信機



図-5 再放射アンテナ



図-6 GPS 信号(室外)



図-7 GPS 信号(室内)



図-8 GPS 信号(中継後)

省け、ルート設定によって効率的に無駄画像を削減できるといった利点もあるため、GPS 取得が重要になってくる。

4. ラジコンヘリ撮影手法と

従来の手法との比較

表-2 は、ラジコンヘリによる撮影手法の特徴をまとめたものである。表-2 から分かるように、ラジコンヘリの運用として、従来の人手による撮影に比べ、撮影環境に影響されず、効率的に作業時間の短縮ができる大きなメリットである。VR の作成の際には、ある程度橋梁環境の条件が揃わないとモデルを作成することができなかったが、ラジコンヘリの運用により作成できる対象橋梁の幅が広がる。

ここで、従来の撮影手法である近接画像（図-9）、近接画像をモデル用に画質を落としたモデル画像（図-10）、ラジコンヘリ画像（図-11）の比較を行った。今回の検証方法では、近接撮影が 0.5m の撮影距離で撮影を行ったのに対し、ラジコンヘリ撮影ではラジコンヘリの安全性を考慮し、3m の撮影距離で撮影を行った。実際には、ラジコンヘリの橋梁下面への接近距離は 1m 前後まで接近できるため、カメラのズーム機能や望遠レンズを装着することにより、近接撮影で得た画像の検出できるひび割れ幅（0.04mm 幅）と同等の精度でひび割れを検出できる。桁端部や桁側面などの撮影困難箇所への対応として、ラジコンヘリに搭載するカメラの向き・角度等を調整することが挙げられるが、より効果的な撮影方法と画像処理方法を今後も検討する必要がある。

5. ラジコンヘリ活用による効果

ラジコンヘリ活用により、対象橋梁の上部や側面の撮影だけでなく、桁下下面の撮影が行える。さらに遠隔操作による撮影が行えるため、水面上の桁下など足場や交通規制の必要がなく、点検コストの削減・点検回数の増加が図れ、現場作業の省力化と効率化が望める。また、ラジコンヘリによって撮影された画像は客観的で再現性のあるデータであり、維持管理における画像の品質向上を実現できる。

本システム作成においても、GPS・IMU（慣性計測装置）やジャイロセンサ等により、撮影距離を維持し、ブレの少ない画像と画像サイズ等の編集の手間も省くことができる。撮影画像は画像合成で 0.2mm が見える一覧性に優れた画像に加工することが可能となった。その他にも、ラジコンヘリにはデジタルカメラ以外にもサーモグラフィー等の積載できる重量ならば様々なセンサーを搭載することができ、空洞や浮きなどの検出が可能であり、調査機能を広げることができる。

6. 検証結果

本研究におけるラジコンヘリの活用において、①GPS 電波取得による桁下空間での飛行、②橋梁底面部の損傷状況の把握と点検支援を行うためのラジコンヘリによる写真撮影、③リアルタイム動画転送による目視点検支援を行うためのラジコンヘリによる動画撮影について検証を行った。①では、桁下空間の桁下の高さによっては GPS 電波が取得できないことが分かっている。そのため、自律飛行が出来なかった。そこで今回、

表-2 ラジコンヘリ撮影手法と従来の近接撮影手法の比較結果

	従来の撮影方法	ラジコンヘリによる撮影方法
メリット	・0.2mm幅程度ひび割れの表示が可能 ・無駄画像が少なく、その場で画像の確認が可能 ・桁端部や桁側面などの撮影困難箇所を撮影が可能	・作業効率が上がり、時間の短縮が見込める ・撮影環境に依存しない ・人員削減
デメリット	・撮影時間がかかる ・足場架設等のコストがかかる ・環境条件に左右される ・安全性の問題 ・連結作業に要する時間がかかる	・0.2mm程度のひび割れの表示困難 →接近距離、カメラの性能により解決可能 ・桁端部や桁側面などの撮影困難箇所がある



図-9 近接画像



図-10 モデル画像



図-11 ラジコンヘリ画像

GPS 電波取得を可能にするために GPS 中継機の検証を行った。その結果、実際に桁上で取得した GPS 電波を桁下に転送することが可能であるが、転送範囲や位置情報の誤差（10m 程度）の問題があり、実用化にはまだ検討の必要がある。②では、桁中央付近の桁下下面、床版については撮影できるが、内側の桁側面は影となる場合が多く、ラジコンヘリに設置するカメラの向き・角度等を調整する必要がある。また、桁端部への撮影方法・画像処理方法についても今後検討する必要がある。③では、重要度の高いデータを早期に管理事務所に送信する機能を付加することで、今後の維持管理型社会に対応したシステム構築をし、各デバイスで得られたデータはデータベース化することで、経年劣化を把握し、橋梁維持管理に役立てることができる。

表-3 には、ラジコンヘリによる各種検討事項および結果・対策をまとめたものを示す。

7. 結論

- ① 従来の画像データ取得における作業効率の向上と時間短縮が見込め、足場架設等のコストがかからない効果的な撮影手法である。
- ② 自律飛行を可能にするために、今回は GPS 中継機の可能性について検証を行ったが、実用化には今後も検討の必要がある。
- ③ 空中からのモニタリングとしての機能を十分に発揮し、有効性・活用性が非常に高いことが分かった。また、橋梁全体を大まかに表示する簡易 VR としての利用が有用であるが、カメラの性能・撮影距離によっては高精度 VR（0.2mm 幅ひび割れの表示）の作成も可能である。
- ④ 桁端部等の撮影困難箇所の撮影については、カメラの向き・角度の調節による解決法があるが、より効果的な撮影方法と画像処理方法を今後も検討する必要がある。
- ⑤ カメラの動画機能を利用したリアルタイムでの遠隔点検研修を行うにあたって、橋梁の損傷の経年劣化の把握とフィードバック可能なシステムの構築を目指し、今後検証を行う必要がある。

表-3 ラジコンヘリによる各種検討事項および結果のまとめ

	検討事項		検討結果	対策
①	GPSの捕捉	自動制御の可否	桁下に入ると捕捉できない	手動オペレートへの転換・GPS中継機設置
		写真データ情報の活用	できない	GPS中継機設置による位置情報の取得
	手動でのオペレート	接近距離	1m前後接近可	望遠レンズの装着による精度向上
		気象条件の制約	雨や強風の場合は操作困難	機体の中心部にカバーを施す
②	撮影範囲	撮影困難箇所	・主桁、横桁等の底面や床版は鮮明に撮影可 ・桁側面は、カメラの向き・角度等の調整の必要有 ・桁端部は、影となりやすく今後要検討	桁側面、桁端部等の撮影困難箇所の撮影は撮影方法・画像処理について今後要検討
		画角サイズ	ヘリの撮影距離や望遠レンズ装着などによる	使用カメラの変更や望遠レンズ装着
	位置情報	撮影情報	GPS捕捉できないため入力不可	GPS中継機設置
	作業時間		1フライト(バッテリー交換)で、15分～20分ほどの飛行が望める→積載量により変化	1スパン分での撮影で問題なし
	データ転送		今後も、継続調査	
③	撮影範囲	撮影困難箇所	・ヘリ操作によるが1m前後接近可能なため詳細に目視可能 ・写真撮影と同様、桁端部は課題有	今後、撮影方法など要検討
		画角サイズ	ヘリの撮影距離や望遠レンズ装着などによる	使用カメラの変更や望遠レンズ装着
	位置情報	撮影情報	GPS捕捉できないため入力不可	GPS中継機設置による位置情報の取得
	作業時間		1フライト(バッテリー交換)で、15分～20分ほどの飛行が望める→積載量により変化	1スパン分での撮影で問題なし
	画像の揺れ		飛行による振動が不安であったが問題なし	GPS・IMU(慣性計測装置)により問題なし

<参考文献>1) 内村俊二, 澤村修司, 宮本文徳: パーチャルリアリティを活用した橋梁目視点検支援システムの開発, コンクリート工学年次論文集, Vol. 32, No. 2, 2010, 2) 西田彼方, 長崎恭次, 澤村修司, 宮本文徳: 橋梁点検の勘所とそれを実現する VR 橋梁損傷体験システムの有効性, 2012, 3) 江本久雄, 内村俊二, 澤村修司, 高橋順, 宮本文徳: 橋梁点検技術者のためのバーチャルリアリティ体験システムの開発, 社会基盤マネジメントシリーズ No. 10, 2009. 12.