

岐阜大学 SIP 実装プロジェクト
第5回フィールド試験議事録
【3種類のロボット技術を用いた橋梁点検】

日時：平成29年2月22日（水）9時30分～15時

場所：岐阜県美濃市上野 下橋 板取川左岸で実施

出席者（70名）：

【研究担当者】

六郷恵哲，森本博昭，羽田野英明，加藤十良，古澤栄二

【ME ネットワーク関係者等】

尾澤 勲，三浦 聡史，川瀬 智彦，一川 毅彦，加藤 一郎，遠藤 徹，吉川 知宏，
小川 博，中島 宏輔，古田 晃資，鈴木 貴文，須田 剛史，田村 泰史，辛 軍青，
林 忍，新川 隆，上野 泰英，中島 章博，村瀬 徳宏，長谷川 斎，田口 正勝，
山辺 一正，加藤 波男，小西 喜順，森島 智貴，高橋 一人，原田 和樹，榮 義彦，
杉山 清己，市橋 利裕，今井 政雄，伴 祐樹，水野 歩未，長屋 喜文，野田 喜好，
葛目 和宏，細矢 秀行，末永 達明，矢島 賢治，乾 敬彦，河合 浩史，楠本 雅博，
市川 博康，小塚 正博

【技術開発者】

和田 秀樹，三浦 泰人，新家 祥之，永田 宗誠，山口 裕樹，西沢 俊広，山田 和正，
羽田 芳朗，掛橋 孝夫，藤原 保久，梅津 健司，綿谷 聡，山田 崇，千葉 史隆，
丹野 浩二

【SIP 関係者等】

三浦 悟，生井 達朗，鶴飼 孝盛，新田 益大

【学生】

蓮池里菜（M2），水谷美穂（B4）

なお、氏名については敬称略にて表記し、全体会議の司会進行は、羽田野が行った。

1. フィールド試験概要

美濃市が管理する下橋（コンクリートT桁橋，当初は車道橋として供用，現在は歩道橋として供用中）を対象として，ロボット技術を利用した橋梁点検のフィールド試験を実施した。SIP 技術開発者から，技術の詳細説明を受けた後，フィールド試験を実施し，測定結果などを確認しながら意見交換が行なわれた。試験終了後，参加者よりアドバイスシートの提出があった。試験対象技術は，以下の3件である。

- ① 近接目視・打音検査等を用いた飛行ロボットによる点検システムの研究開発
開発責任者：和田 秀樹（新日本非破壊検査株式会社）
- ② 橋梁・トンネル打音点検飛行ロボットシステムの研究開発
開発責任者：西沢俊広（日本電気株式会社）
- ③ 橋梁点検ロボットカメラ等機器を用いたモニタリングシステムの創生

開発責任者：藤原保久（三井住友建設株式会社）

2. 挨拶

開発責任者の六郷より、3つの技術のフィールド試験を行うことの趣旨、岐阜大学が主体となっていく説明会やフィールド試験の位置付けなどを踏まえた挨拶があった。事務局の羽田野より、配布資料、当日の日程の説明と確認が行われた。

3. 近接目視・打音検査等を用いた飛行ロボットによる点検システムの研究開発

(1) 技術概要の説明

開発責任者の和田秀樹より、次のような技術の概要説明が行われた。

- ① 安全面やコスト削減のためにロボットを活用することを目標とし、人が容易に近づけない場所をロボットで代替させようとしている。それによって、足場の設置や道路規制のコスト削減にもなる。
- ② より小さな形状の機器が求められているが、現状の大きさが精いっぱいであり、今回の現場は狭いので床版の間に入れるかどうかはわからない（試験では、桁間に進入しての点検は可能であった）。
- ③ 飛行ロボットによる近接目視と打音の代替ができるように開発し、二台のカメラで、できるだけ近接した映像を取得し、自動で解析して補正を行なっている。
- ④ 打音点検はピストン式の打音機構であり、音をマイクで拾って音響解析する。垂直面での実験も進めている。
- ⑤ 今年の夏ごろには垂直面の近接目視も可能になる予定である。

(2) 試験実施時における説明

開発責任者の和田秀樹より、機器の説明が行われた。

- ① 機器が飛び立つ際に土やごみが入るのを避けるために、機器の下にビニールシートを敷いている。万が一、制御不能になった場合には、コントローラーの電源を切ることにより機器を停止させる。上方からロープを引いているのは、落下防止のための安全対策である。
- ② 使い方としては、下からドローンを見上げるように操縦する方法と、橋の上から操縦する方法を想定している。最終目標としては、橋の上からの操作を可能にしようと考えている。現段階では、ドローンが操縦者から見える状態とする規則があるので不可能である。しかし、自動制御の性能が認められ、規則が改められれば可能になると考えている。
- ③ ドローン本体は二重反転方式であり、プロペラが上下に付いており、そのプロペラが上と下で反転する。今は15インチのプロペラをつけており、約400mmの羽根の広さを持っている。これで運べる重量は約7kgである。
- ④ ケーブルの重さ、風の影響を考慮して、ドローンの車輪を床版に約2kgfの力で押し付けている。上部に車輪がついており、多少の傾きにも対応できるように、ジンバル構造をとっている。

- ⑤ 車輪と連動して打音検査機も動作し、測定面から水平に一定の距離で打音をするようになっている。
- ⑥ カメラの映像をタブレットでも見られるようになっているが、今回は電波の調子が悪く、実施できなかった。カメラの映像の課題としては、逆光等の影響があるので画像処理で上手く対処できるようにしなければならない。
- ⑦ 打音検査はマイクで音を拾う。幅が 800 mmあり、250 mm間隔で打音ができるようになっている。今回の走行時には 150 mm間隔で打音した。マイクはステレオマイクを使用している。
- ⑧ 取得映像は、画像解析を行なうことで自動的にひび割れを検出する。

(3) 質疑応答

試験の後、次のような質疑応答があった。

- ① 既にコンクリートが欠損している場合においては打音ができないように感じるが、そのような場合はどのように表れるのか。
→そのような場所では、ハンマーがうまく当たらない可能性があるので、画像と組み合わせて、そのデータは評価の対象としないようにする。
- ② 打音検査・画像共に、測定位置はタイヤの回転などで検知しているのか。
→今日は付けていなかったが、本来 GPS 付のカメラを付けて、目標点、ランドマークとなるような構造上の位置等を、CAD 図があれば、それにあらかじめ入力しておき、これをもとに、どの位置にいるかを判断する。今回は狭かったのでそこまでしなかったが、大規模な橋梁では、まずドローンを飛ばして GPS で自己位置を把握し、そこからどのように動いたかの軌跡を記録する。時間も記録でき、どこに移動して、打音もどこの位置で行ったかを記録することができる。
- ③ 位置の検出の精度はどの程度なのか。
→10cm 程度以内である。
- ④ 点検していると、塗膜の剥がれや細かな砂利とかが機器に入り込み、故障したりする恐れがあるが、その対策はあるのか。
→まだその対策はできていない。非常に難しい課題で、以前プロペラの周りを覆うような網を付けたが、網では小さなほこりは防げない。シートを張ったりすると風が出なくなってしまう。色々な課題があるので今後とも検討を行なう。
- ⑤ ピストンの位置が固定になっているが、今回のように走行位置が限定される場合、ピストンの位置を組み替えるなどの臨機応変な場所の変更は可能か。
→可能である。いろんな現場で試行し、対応させようと考えている。
- ⑥ 今日はフランジでの実証であったが、垂直面でも対応できるのか。
→垂直面に関しては、今年の夏ぐらいまでにカメラ画像の取得が確実にできるよう開発中である。現在は上部に車輪を付けているが、これを側面につけることで橋脚の垂直面等に車輪を押し付けて動かせることを確認している。
- ⑦ 実験実施の際に見せてもらった方向を変えたりするのは、ドローンのプロペラで行っているのか。車輪の駆動装置によるものか。

→車輪の駆動によって行っている。左右の車輪が独立で制御できるようになっており、スピードを変えることによって向きを変えるようにしている。

- ⑧ 独立の制御とは、タイヤにブレーキをかけているのか。
→タイヤの回転を止めたり、逆転させたりしている。
- ⑨ 打音の解析結果から損傷部を把握しているが、計測しながら損傷部を把握し、損傷部はより丁寧に点検する等の使い方はできるのか。
→現段階では、そのようにはできないが、今後はできるようにしていこうと考えている。現段階では数秒遅れてのデータ取得になっており、1mも進まない程度で戻して確認することは可能である。
- ⑩ オペレーターが二人体制であり、一人はドローンの操作、一人は走行の操作ということなのか。
→そうである。今は二人だが、来年度からは一人で操作できるように制御方法を考えていく。そして、オペレーターを養成して両方を上手く使えるようにしようと思っている。
- ⑪ 今日の構造物は低いので、ドローンを直接目視可能だと思うが、もし高くて見づらい場合は、モニターを見ながら操作することも考えているのか。
→それは考えている。現時点では国交省の方から肉眼で確認して飛ばすという規制があることから、予備としてモニターを置いて活用することができると思う。
- ⑫ 先ほどは桁の幅内での走行が上手くいったが、誤って脱輪したときの制御はどうなるのか。
→強風のとき等はそのようなことが起きるので、上からつるしているロープを上手くコントロールして、もし外れてしまったら電源を切り、一旦降下させてもう一度やり直す。ドローンに変な動きをさせると、暴走する可能性がある。例えば、橋面上に車や人が通行している場合、ドローンが暴走すると非常に危ないので、使い方としては、電源を切って降下させるという安全対策を考えている。
- ⑬ 基本的には有線で、電源をかなり昇圧して動作させているということだが、モーターは時間制限なく動作できるのか。発熱などは大丈夫なのか。
→時間的には、これまで一時間の連続稼働の実績はある。プロペラで自らを冷却しているので、その点は大丈夫である。
- ⑭ 適応条件について、天候は全天候型なのか。上空の風は、下から把握できないがその対処はどうなるのか。
→ドローンを飛ばす際、気象条件は重要なファクターである。本技術では、まだ防水機能がないので雨天の使用はできない。風が橋の下に入って乱流となり操作がしづらいということがよくある。可能であれば、上からひもを垂らして風の状態をみて、オペレーターがその状況を確認しながら操縦するという手順も考えている。
- ⑮ プロペラは上下二段の配置ということだが、機体をコンパクトにするためなのか。
→その通りである。

- ⑯ プロペラを二段にすることで、パワーが二倍になるのか。逆に弱くなるのか。
→二倍にはならない。実際は1.6~1.8倍程度であった。
- ⑰ ひもで垂らしているが、例えばポールの先にひもを付けて釣り竿のような形で制御したら、止めた時の対処が楽になるのでは。
→そのようにも考えられる。
- ⑱ 車輪は360度回転したりしないのか。3点タイヤではなく4点が良いのか。
→風に煽られて機体自体が回ってしまうことがあるので、それを抑えるために車輪を大きく、多くしたほうが摩擦により安定する。
- ⑲ 将来的には車輪が自由な角度に動くようにするのか。
→重心位置がずれるとドローンが不安定になってしまうので難しい。

4. 橋梁・トンネル打音点検飛行ロボットシステムの研究開発

(1) 技術概要の説明

開発責任者の西沢俊広より、技術の概要説明が行なわれた。

- ① 橋梁トンネル用打音点検飛行ロボットシステムであり、ロボットだけでなくドローンに搭載するセンサーを棒に装着して高い所の点検にも使用できるというシステムを開発している。
- ② 従来の高所作業車の打音検査の課題を解決するためのシステムである。高さが8m程度であれば、このポール打検機で打音点検できる。それ以上の高さの場合は、ドローンで打音点検をするというシステム構成である。
- ③ 橋梁やトンネルなどGPSが届かないところでドローンを飛ばすことが可能で、風などがあるところでもドローンを自律的に飛ばすことができる。一般的なドローンは、GPSが届く環境では自律的に飛行するが、橋の下などGPSが届かないところでは目視で飛行させる必要がある。このシステムでは、GPSが届かないところでもトータルステーションを使用してドローンの位置を計測することで自動的に飛行させることができる。
- ④ コンクリート構造物の打音による変状検知が可能である。打音が清音か濁音かを検証して自動的に判別する。ポール打検機は先の方にハンマーとマイクとカメラがついている。清音か濁音かは基本的には作業員が判断するが、参考情報として機械の判断も提示する機能がある。茨城県での現場検証も実施済である。
- ⑤ ロボットによる点検の安全確保と生産性の向上が実現できる。飛行ロボットは、4月に行う各務原大橋でフィールド試験を実施する。ドローンが、横方向にセンサーを押し当てるといところがポイントである。JAXAの風洞実験で風速8m/sまでの安定飛行を確認済みである。
- ⑥ 今後、橋梁トンネルの打音点検支援、清音・濁音の判断支援、飛行ロボットの2時間連続稼働を目標として開発を進め、高度30m、風速8mで運用できるようなシステムの開発を目指している。ポール打検機は高さ8mを狙っている。

(2) 試験実施時における説明

開発責任者の西沢俊広より、ポール打検機の説明が行なわれた。

- ① 打検機は、打音検査における人の手が伸びた感覚である。周りがうるさいところであれば、ヘッドフォンで聞くことも可能である。
- ② 点検員と点検補助員 2 名での点検を想定しているため、足元や周りへの配慮は問題ない。応援団旗のように人に固定してみたこともあるが、使いにくかったため固定はしていない。
- ③ 従来の点検手法に比べて時間の短縮が可能で、コストも下げられるところがメリットだと思う。

(3) 質疑応答

ポール打検機による試験の後、次のような質疑応答があった。

- ① カメラ画像は打音しながら撮っているのか？
⇒打音して変状箇所が認められた箇所にチョーキングして、写真を撮って調書に記録する。
- ② 打検機能をドローンに載せるという説明だが、チョーク等の機能も載せるのか。
⇒ドローンには打音の機能だけ搭載するが、トータルステーションで位置が分かるので電子的にマーキングすることは可能である。
- ③ 耐久性は確保されているのか。
⇒実験装置なので耐久性はないが、製品化にするにあたって落下試験をしっかりと実施することを考えている。
- ④ ズーム機能は有しているのか
⇒ズーム機能は有していないが、比較的簡単なため今後装着する予定である。
- ⑤ ドローンに搭載した場合も、人間が耳で判断するのか。
⇒そうである。また、ドローンの場合はノイズが非常に大きいので、ノイズを低減する技術の開発を一緒に行っている。
- ⑥ 高所の点検を行うと思うが、転がるように連続でやるというのは難しいのか。
⇒先端にローラーを装着しているため、転がすことは可能である。
- ⑦ 音響で明らかに異常が出た時に、手元のタブレットにアラート表示が出るなどの機能はあるのか。
⇒その機能は有している。次回のフィールド試験で自動判定のデモを実施する。
- ⑧ 製品化した場合、打検機の価格ほどの程度となるのか。
⇒出荷台数によって異なる。10 台程度であれば、1 千万円／台だが、100 台販売できれば 100 万円／台、1000 台販売できれば 20～30 万円／台となる。

5. 橋梁点検ロボットカメラ等機器を用いたモニタリングシステムの創生

(1) 技術概要の説明

開発責任者の藤原保久より、技術の概要説明が行なわれた。

- ① 高所型・懸垂型ロボットカメラは、レーザースキャナーやデジタルカメラ等に付け替

えることで、ステレオ撮影による3次元的な計測が可能である。

- ② 本技術の目的は、定期的に定点を計測し、劣化状況の変化をモニタリングすることである。
- ③ カメラは、クラックゲージ、L型定規をタブレットの画面上に表示することで、遠隔操作でひび割れ幅や、遊離石灰や浮きの大きさの計測が可能である。撮影した映像データは動画・静止画で保存が可能であり、動画で全て撮っているため撮り忘れを防ぐことができる。
- ④ 日照や天気等により映像の見え具合に影響があり、その補正のため、色調パレットを用いて色調補正を行うことや、色調パレットが貼れない場合はレーザーポインターの光を用いて色調補正を行うことが可能である。
- ⑤ 位置情報の保持として、GPSを用いてカメラの位置、カメラがどれだけ下がったか、どの角度で撮ったかをカメラの映像中に記録されるため、別の時期に同じ箇所を撮影することが可能である。
- ⑥ デジタルカメラを用いた2次元、3次元写真の解析として、先端に2台のカメラを設置し同時に同じ箇所をステレオ撮影することで、3次元的な形状の確認が可能である。更に、レーザースキャナーを用いた3次元解析として、橋梁全体の形状や横桁の形状を記録し、将来的に、例えばどこかが地震等によって欠けたりひび割れたりした場合に、レーザーによってその大きさを測ることができる。
- ⑦ 最終目標として、このような様々なデバイスを用いて橋梁のモニタリングをすることが挙げられる。現在、実用化しているのはカメラであるが、今後様々なデバイスを用いたトータル的なシステムの構築を目指している。

(2) 試験実施時における説明

開発責任者の藤原保久より、高所型ロボットカメラの映像を基にシステムの説明が行われた。

- ① カメラは光学で30倍までズームが可能である。対象物までの距離をレーザーで計測したのち、距離に応じてゲージの倍率を計算して表示される。写真データとして保存可能であり、保存データがどこで撮影したものか分かるように、手書きで文字等を書き込むことができる。またそれらのデータは後から消すことも可能である。
- ② 連続撮影機能があり、始点と終点を指定すると、重ね合わせの分を確保しながら撮影することが可能である。連続撮影間隔は8秒である。斜めの画像となった場合、対象面に対する角度も内部で計算されているため補正が可能である。事務所に戻った後に、画像を見ながらクラックゲージを表示させることも可能である。
- ③ 低倍率自動撮影機能があり、アップの画像を撮影した際に低倍率撮影のボタンをタップすることにより低倍率で撮影され、低倍率の画像中でどこをアップで撮影したのかを赤枠で表示することができる。
- ④ レーザースキャナーにより、点群のデータと色調が得られる。映像とXYZの座標データとして得られる。現在使用しているスキャナーは3.7mまで撮影することができるため、1~3mの位置に脚を据え、360°方向を変えて計測を行う。画像の合成につ

いては、基準点マーカーを貼ることで精度は上がるが、実際現場では難しいと思うので、特徴点の形・色を基に合成することも可能である。ひとつの欠点として、日が完全に照った明るいところではデータがとれない場合があるため、遮光シートを用いたり、午前または夕方に撮影を行う等の工夫が必要である。新しいスキャナー等で軽量のものであれば、交換して使うことも可能である。

- ⑤ ポールの性能として、高所型は最大 10.5m まで上げることができ、低い照明柱であれば上まで見ることが可能である。懸垂型では 4.5m まで下げることができ、延長が 1.5m あるため 6m まで下げることができ、長大橋を除けば対応できると考えている。また、カメラの先端に LED ライトが付いているため、約 20m 先まで見ることが可能である。

(3) 質疑応答

試験の後、次のような質疑応答があった。

- ① 赤外線カメラの使用は可能か。
→先端に取り付けることで可能である。
- ② 色調パレットについて、カメラだけしか反応しないようなインクでマーカーをスタンプしていく等の何か良いアイデアは無いのか。
→マーカーの話は出ており、現在橋梁調査会でも試行されている。よくあるのは、小さい四角のマーカーをつけていく等の対応がある。
- ③ 撮った画像について、斜に撮ったものか正に撮ったものかを後から判断できるのか。
→レーザーを3点飛ばしており、正対した面が鉛直方向、水平方向にどれだけ傾いているかのデータが残っているため、画像がどれだけ傾いているかが分かる。
- ④ 正対していない場合、クラックが実際よりも幅広に写るのではないか。
→クラックゲージをそれに合わせて表示しているため問題はない。また、画像自体に補正を掛けているわけではなく、クラックスケール側に補正を掛けて対応しているため、画像自体は現物のままである。画面の右上に角度が表示されており、動かすとクラックゲージに反映される。このようにして計測の精度を上げている。
- ⑤ スタンド型は 10m 程度上がるとのことだが、重量はどれくらいか。
→ポールだけで 11kg である。
- ⑥ 上げていく作業は手動だが、10m 上げるのは結構きついのではないか。
→慣れれば問題はない。黒く見えている部分はカーボンであり、上部4段は軽い。下側はアルミ製で軽量化を行っている。
- ⑦ 高く上げていくと風の影響を受けると思うが大丈夫なのか。
→下の三脚を広げた状態で風速 5m までなら自立する。揺れるところはカーボン部分なので、アルミ部分だけを上げる。高さは低くなるがカメラの性能が良いので少し遠くても十分撮影することが可能である。
- ⑧ 三脚を伸ばさずに、下から見上げるような形で撮っていくことは可能か。
→角度を変えるアタッチメントを付けることで可能となる。まだリリースはしていないが、本日その方式でデータ収集を行った。
- ⑨ 高さの制限はあるのか。あまり距離があるとダメなのか。

→重心がずれているため、フルで伸ばした状態で出来るかは保証できない。今日は全く伸ばさずに行った。カメラの性能が良いので、こんな機能があれば欲しいと思ったら組み込める。

⑩ 導入費用はどの程度か。

→鉛直ポール、カメラ、懸垂、タブレット全てで300万円程度である。レンタルでは1日3万程度、最低3日程度の制限はあるようだが、そこはレンタル業者と調整して頂きたい。

⑪ より多く使ってもらうためには、橋梁点検要領の記述を例えばどのようにするとうまくいくか。

→近接目視のみ許可されているが、その代替としてカメラで撮影した映像でも良いとの記述を要領に加えるとよい。全部の代わりにではなくても、支援やスクリーニングに使っていただけるとよい。スクリーニングという話をしたが、本当に何も無いところだけをカメラで点検することで、近接目視すべき範囲を狭めることができるのではないかと考えている。

⑫ 調査点検で将来的にレーザースキャナーを用いて検査する事も視野に入れているのか、それとも i-construction との連動も考えての開発なのか。

→維持管理までを全部トータルで実施するために、将来的には i-construction との連動ができればと考えている。今は、損傷図を手で書くのではなく、その代わりにレーザースキャナーの画像を使い、そこに損傷部の写真を貼りつけることができれば手間が省けると考え、まずはそこを目指している。

⑬ 3D だと距離も座標も全て取り込めるので、撮影後会社に持ち帰って画像処理で、人間で行うというのがよいのではないか。

→それが一番効率的と考えている。

⑭ 点検要領で、例えば「何年かに一回モニタリングして、過去の画像と比べて変化を追っていきなさい」という記述となれば、画像、時間、座標を保存しておくことで、過去何年分もデータを追えるなどのメリットが出る。「重要なところ、問題があるようなところでは、何年も遡って急激に変化がないかを調べなさい」等の記述があれば、鮮明な画像、時間、座標が残る事、過去何年分もデータを追跡できる事、人が変わっても問題ない事などで、この技術のメリットが出るのではないか（コメント）。

⑮ 橋軸の直角方向は適用外か。

→直角方向に伸ばす腕があれば適用できる。横方向に3m程伸ばせる腕の試作品はあるが、一人で気軽に運べるものを目指しているので、現状では重量的に厳しい。今後試作していきたいと考えている。

⑯ データの容量はどれくらいか。

→画素数は100万画素程度である。最終的にはタブレットの容量にもよるが、128GBを推奨している。何10万枚の静止画、動画だけでも30時間程度は保存できる。

以上