

SIP 維持管理技術の第1回説明会議事録

日時場所：平成28年11月5日(土)13時～17時, 工学部 101 教室

出席者(54名)：

【研究担当者】

六郷恵哲, 八嶋厚, 沢田和秀, 木下幸治, 内田裕市, 森本博昭, 羽田野英明, 村田芳信, 加藤十良, 細江育男, 牧野徹, 古澤栄二

【MEネットワーク関係者】

河合成司, 加藤一郎, 一川毅彦, 佐藤昌彦, 葛目和宏, 野々村敏博, 河合浩史, 浅野幸男, 小林大, 上野将司, 楠本雅博, 新井裕輔, 中村憲市, 樋渡一輝, 林忍, 乾敬彦, 太田均, 古田修, 安藤貴昭, 井上雅王, 高橋一人, 内田寿英, 矢島賢治, 加藤波男, 熊田素子

【説明者等】

安田亨, 和田秀樹, 三浦泰人, 大野和則, 横江政和

【SIP関係者等】

重野寛, 櫻井彰人, 高橋正樹, 岡田正幸, 土居俊彦, 高野晶和, 西野郁夫

【学生】

山本翔吾, 蓮池里菜, 武田和祥, 西尾亮人, 水谷美穂

以下、氏名については敬称略にて表記し、資料番号については岐阜大学 SIP 実装プロジェクト第1回説明会配布資料(最終版)によって表記する。なお、全体会議の司会進行は、沢田が行った。

1. 説明会概要(資料1)

研究責任者の六郷より、資料1に基づき、SIP 維持管理技術に関する開発者からの説明や意見交換にあたり、SIP 維持管理技術の説明会の趣旨説明、今後の予定について説明を行った。

SIP 活動の目的として、日本を元気にする、インフラの安全を保つ、インフラ分野を活性化させるといった大きなことが挙げられる。現在、SIP では 60 近くの技術が提案されており、維持管理技術の高度化に向けて動いている。この岐阜大学のプロジェクトの目的は、SIP の数多くある技術の中から、面白そう・使いたくなりそうなものを選定し、選定した技術の内容を参加者に理解していただくこと、説明会やフィールド試験等も含め、明らかになったことをHP上で公開し、最終的には岐阜県内の自治体等で実際に使っていただくことである。今回の説明会の目的は、3 件の技術について説明をいただき、岐阜県の維持管理関係者がより理解を深め、維持管理者の立場から開発者に意見を伝え、相互に協力しながら新技術の利用を進めることである。

メンテナンスアドバイザー(MA)からは、SIP の維持管理技術についてアドバイスをいただく。今年度対象としている 18 件の SIP 技術は事前に MA のコアメンバーで選定したものである。アピールシートはコアメンバーで作成したものに、技術開発者が枠内に追記したものである。アドバイスシートの整理は、本説明会が新技術の使用を推進するという活動であるため、建設的な内容に取りまとめる予定である。

2. 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の紹介 (資料 2)

和田秀樹より、資料 2 に基づき、「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」について説明を行った。説明終了後の質疑を別紙-1 に示す。

3. 橋梁の打音検査ならびに近接目視を代替する飛行ロボットシステムの研究開発の紹介 (資料 3)

大野和則より、資料 3 に基づき、「橋梁の打音検査ならびに近接目視を代替する飛行ロボットシステムの研究開発」について説明を行った。説明終了後の質疑を、別紙-2 に示す。

4. 高速走行型非接触レーダーによるトンネル覆工の内部欠陥点検技術と統合型診断システムの開発の紹介 (資料 4)

安田亨より、資料 4 に基づき、「高速走行型非接触レーダーによるトンネル覆工の内部欠陥点検技術と統合型診断システムの開発」について説明を行った。説明終了後の質疑については、別紙-3 に示す。

5. 全体討議

3 件の技術説明完了後に実施した全体質疑応答を、別紙-4 に示す。

6. 説明会への講評

八嶋より、SIP 維持管理技術の第 1 回説明会について以下のような講評を行った。

「人間の耳と目は優れたセンサーである」という言葉に感銘を受けた。その通りだと思う。人間には五感の優れたセンサーがあるため、ロボットを擬人化することが果たして良いのだろうか、という問いが生まれた。ロボットにはロボットの強さがあり、すべての点検項目をロボットだけで補えるわけではない。人間の五感に代わるものではないので、機械では判断できないところを人間が判断する。そのため、手間はかかるが、人間が取得するデータよりも機械で得られるデータの方が余分に数多くの情報を得られるようにしなければならない。機械は機械として活用していく。機械の強い面を活かすよう、今後とも技術の高機能化を図っていただきたい。

構造物の健全度が一番高いのは初期状態である。ぜひ初期状態の情報をデータベース

で残し、初期条件をしっかり把握しておくことが重要である。竣工後、何年かを経過した状態でのデータを取得することによって、時間的変化量から求まる微分量を使って劣化曲線を推定するが、初期条件をきちんと把握しておくこと、より精度の高い劣化曲線を描くことができる。

個々の構成部材の健全性も大切ではあるが、最終的には構造としての健全性をどう見るかが、点検結果を診断する者の責任ではないかと思う。

「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」
に関する質疑応答・意見

1. 打音検査について

- ① 現在の構造の2本ある位置だと、上フランジとコンクリート床版との境界部などが叩けないと思う。打音のピストンを今後4本に改良するということが、残り2本は端部につくと考えてよいのか？
→端部の少し内側になると思うが、ロボットの幅全域の打音範囲をカバーできる位置に設置したい。
- ② 打音の力を変えることを考えているか？
→スプリングを変えることで変えられる。1/4 ポンドのハンマーを自然落下させた時の力の半分ほどの力を与えている。
- ③ 側面方向も叩けるということだが、コンクリート橋では両方同時に必要になると思うが、向きを変えて叩くことができるのか。例えば、RC の T 桁橋だと、上方向の床版と主桁の側面も叩きたい。
→現時点では、水平面と垂直面では機構を付け替える必要があると考えている。打音機構を多く積むとドローンにも大きな負荷がかかり、ドローンの操作も不安定になるため、2つユニットを付け替えることで考えている。
- ④ 打音1回に1.3秒とのことだが、パワースペクトル解析をするのにその程度の時間が必要ということか？
→もっと速い。機構的に、現在の段階では大きなモーターを積むと重量的なバランスの問題があるが、今後パワーを上げていけば、より速くすることが可能である。

2. 近接目視について

- ① 技術者が点検結果を基に健全度・判定結果を決めるとのことだが、今の予定だと、動画を基に位置情報と併せて損傷マップをつくらせるとのことだが、困難ではないのか。現場で、リアルタイムに見ることが可能か？
→そんなに困難なことでは無いと考える。非常に大きなデータであるため、IOT 技術を使う等で事務所に送り、高速なPCで解析し、現場へ送り直すことになる。現在は半日程度かかるが、半分くらいにはできると考えており、その程度の時間であれば現場で見ることが可能になると思う。
- ② 端部等は苦手な部分となる技術だと思うが、どのようにカバーするのか？
→ひとつのロボットで全部やってしまうのは難しい。一旦、現在の技術・装置を使えるものにした後で、そのような特殊部分に関して対応できる技術に拡張したいと考えている。
- ③ 橋長490mと50m程度の比較事例が報告されたが、橋梁の床板の何割ほどを点検できたの

か？

→実際にはまだ行っていないので、何割程度できるかは不明である。最初に実験した橋で実際に打音検査できる部分は、張り出し床版と中央部桁間である。近接目視は全域可能であり、二つ合わせて全域の調査が可能と考えている。

- ④ 操縦にスキルがいると思う。ルンバのような、障害物を察知するセンサ(自動センサ)を使って、どこかにぶつかったら戻る等ができれば、床版の張り出し部分等はくまなく点検できるのではないか？

→できると思う。正確な CAD 情報があるような橋であれば、超音波を使いながら位置情報を確認して自動制御を組めると考えており、今後取り組んでいく。

- ⑤ 現在は、真上のものを写すことに特化したカメラがついているが、操縦者がドローンに乗ったような気分で、モニター越しで操作ができるようなカメラを別途とりつけるのはどうか？

→現在の装置は、立体感がある映像が得られるように、少し傾けて設置している。できるだけ下から全体を写すようにすれば、オペレーターが見ているのと同じような状況にできるのではと考えている。

- ⑥ 現状では、飛行担当と PC 操作者に分かれている。連絡・連携はどうしているのか？

→無線で行っている。

- ⑦ 位置情報に関して、どのようにして正確な位置を取るのか？

→近接目視のカメラとは別に、ある程度幅広く見ることが出来る GPS 付きのカメラを搭載している。橋の裏の GPS 信号が受信できないところでは、予め図面上で基準とする位置を定めておき、後からカメラ画像を基に照合させている。ロボットは、ジャイロ(加速度計)の信号で位置情報を保管するため誤差を蓄積するので、画像の基準点で補正している。リアルタイムではなく、事後処理で行っている。そのためにマーキング機能を付けて、オペレーターが取りこぼさないようにチョークで線を引いている。

- ⑧ 橋梁の桁を検査するときは、疲労クラックも見つかる必要がある。塗装割れか疲労クラックか等見分けが付きにくい。画像で撮ってもう一度戻って確認したい時には、点検車両等の準備が必要になるのか、別の精度を上げた確認方法、例えばカメラを変える等、対策はあるのか？

→鋼橋の疲労割れはカメラで見つけるのは難しい。インフラ構造物で一般的に使われる超音波を用いることを検討しているが、疲労割れが起こりやすい部分までセンサーを運搬し隅角部にうまく押し当てられるかが問題であると考えている。

- ⑨ 疲労き裂は超音波だけでは難しいと思う。精度も確立されておらず、どの程度のクラックによるか、またどこまで必要とするかになってくると思う。

→目視に比べると超音波のほうが検出感度は上がると思っている。磁粉探傷等もできたらと考えている。

3. 今後の展望について

① 今後の大きな展望として、制度としてこういうものがあつたらいい、点検はどうあつてほしい等の中で、この技術の位置づけ等について、どのように考えておられるのか？

→開発目的としては、点検を簡単にする、コストを下げる、橋梁点検車の使用を減らす(人が乗ることはリスクが高い)、交通規制を減らす、早い期間で安く点検することでインフラ構造物の安全性をより密に点検できるのではないかと考えている。特に疲労の激しい橋梁においては5年に1回の点検を、より短い間隔で実施できるのではないかと考えている。

「橋梁の打音検査ならびに近接目視を代替する飛行ロボットシステムの研究開発」
に関する質疑応答・意見

1. ディープラーニングに関して

- ① ひび割れに関してだけのディープラーニングなのか？
→ひび割れ以外の損傷についても 7 種類くらいやっているがデータが一番集まりやすいのがひび割れであって剥離や浮きなどのいろんなデータを集めているが安定の精度を評価するにはデータが足りていない。
- ② ひびではなく、浮き等は画像だけでは判断が難しいと思う。ディープラーニングを高め画像と叩く音と一緒にできないのか。
→試作中の打音装置により画像ではわかりづらい箇所をピンポイントで叩くことで合わせて損傷箇所が分かるように作っている。

2. 球殻ヘリ, 打音装置に関して

- ① 橋台付近の落橋防止装置等の先の尖った部材があると厳しいのではないかと？
→非常に尖ったものが内部に入り込み、プロペラに当たるのは危険である。内部に取り付けるプロペラガードの有効性は確認しているが、重くなる。風の抵抗を受ける等の問題があり、現場ごとに対応を考えている。
- ② バッテリーの稼働時間に関して、8~10 分と短時間であるがどのような対応を行なうのか？
→区画で区切り、飛ぶ、一度戻してバッテリー交換、次の区画という繰り返し作業である。安全性も保てるし、検査にかかる時間の概算も可能となっている。

3. カメラ機器, 画像処理に関して

- ① カメラは、レディーバグ社の製品か？
→GoPro を使っている。0.4m/s で動かしたときに一番良いものが撮れたので採用した。
- ② 損傷の判定不良に関し、パノラマ化後に判定しているとの説明であった。使用しているカメラでは、画像だけでは 0.1mm より細かいき裂も判定できるのではないかと？
→GoPro はシャッタースピードがコントロールできないことから、暗闇に入って速く動くとぶれるので、確実に測れるものは 0.2mm である。規定が 0.1mm となっているので、カメラの精度を上げていきたい。
- ③ カメラは横と上を撮影できるとあるが、箱内へ入ったときには、下側も必要ではないかと？
→上と横にカメラを取り付けており、上昇していくときに下側面も横向きで撮影している。
- ④ 下フランジの上側部分(ゴミがたまる部分)は映るのか？
→上昇していくときに映るように、というテクニックが必要だが可能である。
- ⑤ 鋼桁は様々な部品で組みあがっていると思うが、それらも同様の技術で可能なのか。

→横向きに関しても、映像としては撮れている。現在の技術開発は、主として床板に対し行っている。

- ⑥ 自動的に勝手に全部撮ってくるということは難しいのか。

→SIPの期間である残り2年間では、市場に出せるようにすることが目標なので考えていないが、今後取り組んでいきたい。

- ⑦ シータのような全天球カメラは使わないのか？

→全天球カメラを使って点検することは考えていない。中継機に載せるカメラには、リコーシートのものと同様にそれ以外を検証している。リコーシートは解像度が低いので、中継機用としては厳しい。

- ⑧ 合成した画像をCADに結び付ける手間はどれほどか？

→二次元のCADデータを写真に重ね、4点を指示するだけなのでさほど手間ではない。

4. 今後の技術進展に関して

- ① 吸着できるとのことだが、どれくらいの磁力で吸着することができるのか。東京測器の特殊ひずみ計などを利用して、ひずみを測れないか？ 特殊ひずみ計を傾き3度以内にピンポイントに設置できないか？

→ピンポイントで吸着させることが難しい。3度以内におさめるのは難しいが、今後精度を上げていきたい。磁界の変化等からみることが出来るデータも存在する。

- ② この機器をグループ活動のように使用することはできないのか？

→複数台を使っていきたい。

- ③ コンクリートに吸着するものはあるのか？

→吸引式で吸着するものを、名城大のグループがやっている。組み合わせるとさらに良いと思われる。

「高速走行型非接触レーダーによるトンネル覆工の内部欠陥点検技術と統合型診断システムの開発」に関する質疑応答・意見

1. コスト面について

- ① コストはどの程度で、既存の手法とどのくらい違うのか？
→性能が良くてもコストが高くては使うことができないので、全面通行止めなどをして行う従来の点検技術と同程度のコストで、より客観的で高性能な点検ができる技術を目指している。

2. 適用例について

- ① 鉄道の実績はあるのか？
→鉄道は夜間しか行う時間がないため、本技術では、時間をかけずに行うことができる鉄道は実際の使用例が多くある。山間部などは点検車でもって行くのではなく、点検車の上のレーダー等の部分だけ取り外して軌陸車に載せて持つて行く。
- ② トンネル形状であれば、ドーム等も対応できるのか？
→対応可能である。坑口がボックス形状のものにも既に点検事例がある。
- ③ 新設の状態を保存したいとの依頼はあるのか？
→中部地整や近畿地整で、開通前に点検して、不良を見つけ直して開通させた事例がある。
- ④ 笹子トンネルで天井版が落ちる前に点検を行っていれば察知できたかどうか？
→断面が円形ではなく、天井版があるような形状でも断面解析は可能だが、笹子トンネルの例に対して危険察知ができたかは、一概には言えない。出来上がってすぐに初期データを取り、複数回データを取っておくことで、段階的に変状が進んでいることが分かる。

3. 検出対象について

- ① 付属物や天井版等の落下・剥落しそうな部位は検出できるのか？
→接触型ではないので、落ちそうなものを見つけることは難しい。画像撮影を利用することでボルトのゆるみはわかる。天井版があると、天井版の裏側の検出は難しい。
- ② レーダーに関して、支保工が入っていると検出できるのか？
→空洞レーダーで、支保工の位置はわかるが、昔のトンネルのような支保工位置が 60cmの深さのものは、レーダーでは厳しい。本技術では、50cm程度までの深さで、剥落の可能性のある空洞がある薄い部分の発見を目的としている。
- ③ 鉄筋の位置や形状は検出できるのか。
→高速で計測していることもあり、鉄筋位置までは分からない。だが、浮きだけが可視化できるような処理をしているので、「N2U-BRIDGE」では、鉄筋の奥にある空洞は発見することができた。

- ④ 漏水はどうやってみつけているのか？
→画像からが主であるが、レーザーの反射を使うことで確認もできる。
- ⑤ この技術は、変形モードがわかるということだが、地滑りによるトンネル変状は全国的に多い現状で、点検した中で変形モードから地滑りを確認したものはあるのか？
→複数回、同じ箇所点検車両を走らせることで、前回との変位差が確認可能である。前回とのデータを比較することで、どのような変形モードか判断できる。
- ⑥ 3GB のレーダーを使って確認できる隙間・浮きの厚さはどの程度か？
→5cm の浮きを検出することを目指していた。コールドジョイントのように、浮きがほとんど見られないものは検出できないが、1～2cm くらいの隙間が空いている浮きであれば確認できる。

4. 点検速度・精度について

- ① 走行速度はどう決めているのか。ゆっくり走るほど精度あがるものなのか？
→画像は50km/hも70km/hもあまり変わらない。レーザーの場合は、ゆっくり走れば間を詰めることができる。レーダーの場合は、ゆっくり走れば、精度はあがる。求められる情報に応じて使い分けている。
- ② 高速道路でも使用できるのか？
→80km/h での適用例がある。

5. 機器について

- ① 対象の面であるトンネル天井から離れてレーダーを出しているが、強いのか？
→ホーンアンテナを使って指向性を高めている。3m 離れていても 1m 幅が撮れるようになっている。
- ② 浮きの深さが、表面付近だと反射して検出できないのではないのか？
→表面反射については、解析処理しているため、表面付近の浮きも検出することができる。
- ③ 1GB のものでは、表面付近は検出できないのか？
→分解能が荒くなるため厳しい。

6. その他

- ① この技術が不得意なところはあるか？
→画像に関しては、古いトンネルで全面漏水をしている、遊離石灰が多くある、すすが付着しているなどの理由でひび割れ自体が見えない場合は、画像での点検は厳しい。レーザーは、軸がずれるトンネルは難しい。レーダーは、ねじに鋼板がついていたりすると見えない。
- ② これだけ実績があるのに、なぜ「N2U-BRIDGE」で実証実験をしたのか？
→実際の構造(実際の浮きの位置)と点検結果(検出した浮きの位置)とを比較するため、今回の SIP 技術である「浮きのレーダー」を、「N2U-BRIDGE」にて検証した。

- 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
- ② 橋梁の打音検査ならびに近接目視を代替する飛行ロボットシステムの研究開発
- ③ 高速走行型非接触レーダーによるトンネル覆工の内部欠陥点検技術と統合型診断システムの開発

全体討議

- (1) クラックの奥行方向のズレ(段差)は計測できるのか。
 - 【①】斜めにカメラを入れているので、ある程度は見えると思うが、サンプルが少なく評価ができない。現状では、どこまで見ることができるのかというデータはない。
 - 【②】ずれが大きいとオペレーターが見分けることができるが、小さいものは厳しい。
 - 【③】トンネル内で斜めにライトを当てているので、ライトの当たる方向にずれていると影が伸びて広くとれてしまうのが課題だが、0.5~1 mm程度ならレーザーで確認できる。
- (2) 自治体からこうして欲しいなどの情報があれば教えて欲しい。
 - 【①】北九州市と共同で開発をしている。道路維持管理課では、定期点検にはまだ使えないが、簡易的なモニタリングとしては使っていけると評価している。性能を評価した上で積極的に使っていきたい。
 - 【②】自治体に掲示すると、橋梁以外にも使えそうだけど、どこにどのように使えるかは手探り状態である。
 - 【③】点検要領の改訂の影響が非常に大きい。近接目視の完全代替を目指すのではなくて、支援や補完という方向を目指すのがロボットだと思っている。用途を明確にして支援をさせるということで使ってもらえたらありがたい。初回点検よりも2回目、3回目点検に有効に活用できると思う。
- (3) お互いに発表しあった人達で言いたいことがあればどうですか？
 - 【①】トンネルの点検も目標にしていたが、他の発表を聞いて難しいと感じている。ドローンには交通規制や速度の問題もあるので、よっぽどのがない限りドローンでのトンネル点検は難しい。ニーズがあれば、点検車で見たところをもう一度確認するときに使える程度である。
 - 【③】トンネル点検の難しさをやればやるほど感じる。カメラの性能は上げることも可能だがコストや効率を考え、ある程度割り切って進めているが、橋梁点検は正しく画像を撮ることに尽力していて興味深かった。ドローンの苦手なところは位置情報だとされていたが、正しい位置情報の取得に非常に努力をされており、興味深かった。

以上