

SIP 維持管理技術の第 3 回説明会議事録

日時場所：平成 28 年 12 月 7 日(水)13 時～17 時, じゅうろくプラザ 中会議室 1

出席者(46 名):

【研究担当者】

六郷恵哲, 八嶋厚, 沢田和秀, 小林孝一, 森本博昭, 羽田野英明, 村田芳信, 荻谷敬三, 加藤十良, 細江育男

【MEネットワーク関係者等】

河合成司, 加藤一郎, 武山保徳, 一川毅彦, 堀江勝樹, 小林大, 林忍, 樋渡一輝, 乾敬彦, 古田修, 加藤波男, 熊田素子

【説明者等】

西沢俊広, 加藤誉士, 式田直孝, 宮作尚宏, 山崎崇徳, 川村裕, 今野洋幸, 川村啓一, 村田稔, 石井孝和, 佐藤弘行

【SIP関係者等】

櫻井彰人, 松林伸生, 岡田正幸, 土居俊彦, 西野郁夫, 井上陽介, 石井弘子, 高橋香

【学生】

山本翔吾, 蓮池里菜, 武田和祥, 西尾亮人, 水谷美穂

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 3 回説明会配布資料(最終版)のものを表記する。なお, 全体会議の司会進行は, 羽田野と沢田が行った。

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, 次のような SIP 維持管理技術の説明会の趣旨説明があった。

今回の説明会においての目標は, 4 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との意見交換を通して, 相互に協力しながら新技術をより使いやすくし実務での活用を図ることである。

以上の説明のあと, 発表・質疑で 1 件あたり約 1 時間弱を予定していること, および今後の全体スケジュールが示された。

つづいて, MA とは, SIP の維持管理技術について, 岐阜県の維持管理技術者としてアドバイスを述べるという立場であることが説明された。今年度の説明対象としている 18 技術については, 事前にコアメンバーで選定したことが報告された。また, アピールシートは MA のコアメンバーで作成したものに SIP 技術開発者に追記して頂いたものであるとの説明があった。

アドバイスシートについては, その記入方法および, 取りまとめの際には, この研究が新技

術の利用を推進するという建設的な目的を念頭に、前向きに取りまとめることが説明された。さらに、このシートは、技術の内容を実際に聞いて理解し、利用者からのニーズを開発者の方々に伝え、紹介された技術について一緒に考えて、上手い使い方、特徴を活かした使い方はないかといったアイデアを出すことも大変重要であるとの考えが示された。

また、報告書等は年度ごとにまとめていく。その中にアピールシート、アドバイスシート、質疑応答の議事録等を載せていく予定であり、掲載する前には確認していただき訂正も行う予定であることも伝えられた。

2. 橋梁・トンネル点検用打音検査飛行ロボットシステムの研究開発の紹介（資料2）

西沢俊広（日本電気）より、資料2に基づき、「橋梁・トンネル点検用打音検査飛行ロボットシステムの研究開発」についての説明がなされた。説明終了後の質疑については、別紙-1に示す。

3. ALB（航空レーザ測探機）による洗堀状況の把握の紹介（資料3）

宮作尚宏（パスコ）より、資料3に基づき、「ALB（航空レーザ測探機）による洗堀状況の把握」についての説明がなされた。説明終了後の質疑については、別紙-2に示す。

4. 高精度かつ高効率で人工建造物の経年変位をモニタリングする技術の紹介（資料4）

村田稔（日本電気）より、資料4に基づき、「高精度かつ高効率で人工建造物の経年変位をモニタリングする技術」についての説明がなされた。説明終了後の質疑については、別紙-3に示す。

5. 衛星 SAR による地盤および建造物の変状を広域かつ早期に検知する変位モニタリング手法の開発の紹介（資料5）

佐藤弘行（国土技術政策総合研究所）より、資料5に基づき、「大型除草機械によるモグラ（小動物）穴の面的検出システム」についての説明がなされた。説明終了後の質疑については、別紙-4に示す。

6. 説明会講評

八嶋より、以下のような SIP 維持管理技術の第3回説明会講評と閉会の挨拶があった。

NEC の西沢様の発表で思ったことは、よく言われるように人間の耳や人間の目は、私たちが作り上げたセンサーと比べて非常に優れているということである。人間の耳に近づけるために、センシングしたデータを周波数解析すれば人間の耳に近づくとするが、よく考えると、打音の時、ハンマーの手の衝撃だけではなく、足元まで振動が伝わり、自分自身の固有周期と音の周期がどうずれているかまで、人間は感じ取っている。つまり音だけでなく、人間の五感の情報として伝わっている。私たちはそのことをよく知っている。ディープラーニングや AI を

用いて、ビッグデータ処理によって人間の感覚に近づけるということ、非常に大胆なことだと思いが頑張ってもらいたい。打音による一回目と二回目の変化率だけで結果の違いを予測できるかという議論があったが、難しいことだと思う。議論の中でもあったが、コンクリート構造物の状態は、硬さ、強度、構造によって、初期条件がまったく異なったものである。やはり、今後は建設した構造物の最も初期の状態、最も美しい状態のデータベースを構築する必要があると思う。そうしないと、ある時期の変化(接線勾配)だけで将来の劣化曲線を考えなければ「ならなくなり、大変難しい気がする。ぜひ初期状態を把握し、そのビッグデータから将来を予測して頂ければと思う。最後に試験体を用いて、非常に微小な欠損と大きな欠損について、人間とセンサーが、どのように判断することができるかという話があった。小さな欠損は、無理やり判定しなくてもいいのではないか。自分たちが決める構造物の要求性能、もしくは全体安定性に寄与するものがどのようなものかということを考えればよい。もちろんカタストロフィ的に小さな欠損がすぐ全体崩壊につながるようなものであれば、構造物として微小な欠損もモニタリングが必要である。

パスコの宮作様からは、非常に面白い技術をお聞きした。近赤外線普通のレーザプロファイラに加えて、緑色レーザによって水深が測定できることである。発表では、いろんな限界を包み隠さず話して頂いた。レーザの強度の問題、濁度の問題、例えば波の問題であるとか、環境によっては計測できないことがあることを丁寧に話して頂いた。河川管理者が常に思っているニーズの一つには、平常時のモニタリングもあるが、やはり出水時における危険個所の発生状況をリアルタイムで測りたいということもある。モニタリングのフローのところ、定期点検には使えそうだけでも、出水時という非常時点検、詳細点検、追跡点検については別途の枠になっていた。

NECの村田様、国総研の佐藤様の両方の技術の印象を述べる。村田様の最初のスライドにこのようなことが述べられていた。予防保全の課題として、効率化、高度化を計らなければならない。そうすることによって、効率的な予防保全ができるというお話があった。効率化というのは現状の技術に代わるので、点検・診断の所まででコストの比較をすべきである。ところが、高度化というのは新たな付加価値が生まれるものであり、当然ながら従前の技術に比べてコスト面では劣ることが多いと思う。しかし、高度化によって得られた情報というのは、実はLCCを低減することに役立つかもしれない。そのような観点でできたらよいが、やはり行政の予算の仕組みから、点検・診断までのコストの比較ばかりが議論されているように思う。Xバンドで3mの分解能、リフレクターを用いると10mm以下5mmの精度で変位が測れることは素晴らしいと思った。後半の佐藤さんのお話にもあったが、「合成開口レーダのデータというのはアーカイブ」として残っている。タイムマシンのように、地滑りが起きると、その地滑りが起きる前の過去に翻って、どのような前兆があったのかを見つけることができる素晴らしい技術だと思う。村田様の発表では、スライドの中にNEC独自の技術ということがあった。ただ、最後に佐藤様がセンチネルのデータとして、ヨーロッパの合成開口レーダ、もちろん分解能は若干悪いわけだが、自分たちが求めようとする分解能に合致しているとすれば、実は無料

で利用できる。センチネルの解析ソフトも、無料で利用することができる。ヨーロッパのデータは無料で、解析するソフトウェアも無料である。ただ、使うときには少し教育を受けなければならないが、ヨーロッパでは雇用促進のために、データおよびその解析ソフトすら無料になっている。日本でも使えることがあるのではないかと思っている。佐藤様の発表で、それぞれの時代に行われているモニタリング技術には、それぞれ長所、短所があり、それらを考えながら融合して、よりよいモニタリングを作りあげていくというのが、インハウスエンジニアの責務であるという話を頂いた。岩手・宮城内陸地震でのり面が大きく被災した荒戸沢ダムや、徳山ダムの事例も示して頂いた。徳山ダムのダム湖の上流に、県が管理している道路がある。地すべりを起こしている。現在、地すべり対策を進行中である。概成まで 40 億円程度必要だとかかる。岐阜県としては非常に大規模な地すべり対策を行っている。ただ、その地すべりが顕在化する前の情報を私たちは知らない。余力があれば、私たちにデータを提供していただければと思う。

今後とも、ただコストだけに、とられるのではなく、点検診断の中で自分たちの技術は効率化に相当するのか、高度化に相当するのか、両方なのかを考えて頂きたい。高度化を目指すのであれば、点検・診断までのコストを比較するのではなくて、その下流側にあたる補修・技術を含めた LCC の最小化に向けて、頑張ってもらいたい。

以上

橋梁・トンネル用打音点検飛行ロボットシステムの研究開発
(西沢俊広)に対する質疑応答

- ① ディープラーニングでは、コンクリートの浮きが最初健全で、だんだん浮いてきて、剥落しそう等の段階を追ってとらえることはできるようになるのか？
→コンクリートの強度、材料、厚さによって音が違い、そのような過程が分かればいいが、現状はそこまで達していない。第三者被害を防ぐことが第一目的であり、明らかに剥落しそうなものは叩き落しているのが現状である。
- ② 上向きでハンマーを使ったとき、かけら等が落ちてくると思うが何か対策はあるのか？
→現在はない。現時点の技術は叩き落す箇所を発見するところまでで、実際叩き落す場合は、その場にいる作業者が実施する。
- ③ 3D モデリングをできるということだが、先端のカメラのみを使うのか？
→下から撮影したものも含めて、すべてを使って3次元映像を作る。
- ④ 打音の判断基準はどのようにして設定するのか？
→現場で健全箇所を選んでキャリブレーションを行い、その音から大きく異なる場所を濁音として判断する。
- ⑤ 打音の判断基準は、キャリブレーションによる相対的なものになるのか？
→コンクリートの強度、構造、厚さによって音が変わってくる。明らかに健全であるところを叩いて、そこでの相対的な変化に把握する。点検員の耳は音を強さ、高さ、音色の3要素でみているが、現在のシステムの周波数解析では音色のみで判断している。現状は、点検員が耳で聞いて判断してもものに対して、補助的な使用としている。
- ⑥ 打音装置(3.3kg)を長時間使うのは難しいと思うのだが、小型化は図られているのか？
→ポールにコストをかけることができれば、軽くすることができる。
- ⑦ テストマーケティングをすると記載があるが、無償で貸していただけるのか？
→相談させてください。
- ⑧ 意見だが、高さ5~6m程度(最大8m)は、はしごでギリギリ行えるところだが、長さの設定があまり良くないという印象である。浮いている部分は分かりやすいが、割れてはいるけれど密着しているところ等は人間の耳ではわかりにくい。
→供試体レベルで打音してみると端部では、人間の耳では難しい部分がある。周波数解析を使えば、端部も比較的分かりやすい。振動センサーを使えば、人の耳では聞こえにくいところもわかるのではないかと考えている。
- ⑨ ポールで打音検査する際、位置の確認・間隔等の特定に展望はあるのか？
→現在は下からメジャーによって目視で確認している。将来的には、映像をたくさん撮れば、3次元モデルと実際の変状個所の写真をマッチングすることで位置が推定できるようになると思う。
- ⑩ 飛行ロボットにこれを搭載するというのが全体の計画と考えてよいか？
→今年度中に現場検証できるものを仕上げようと考えている。
- ⑪ 飛行ロボットへの搭載の難しさは何か？
→風等の影響で点検個所に安定して押し当てるとのこと自体が難しい。

- ⑫ この技術と技術者が慣れている自分のハンマーで自分の耳で聞いたものとの違いはどのくらいあるのか？
→それを同じ品質にするのが、この技術のテーマになっている。
- ⑬ 叩いているときに異常個所は音ではなく音響解析で点検補助員が分かると思うが、叩いている人自身がランプ等で確認できるような工夫はあるのか。
→そのような工夫をこれからしていきたい。現在はスマホでも表示できるので、棒の根元にスマホを取り付けてそれを点検員と点検補助員が同時に確認できるようになっている。
- ⑭ 上手にデータを集めれば人間を超えることができるのか？
→人間にも差があるので評価手法自体が課題となっている。人間と同等までは必ず行けるが超えるには何らかのチャレンジが必要だと考えている。

ALB(航空レーザー測探機)による洗堀状況の把握(宮作尚宏)
に対する質疑応答

システムの性能に関して

- ① 従来技術の音響レーダと比べて工程はどの程度減るのか？
→工程自体は減少しない。従来であると一点に多くの時間がかかるが、ALB では広域で20~30kmを計測しており、その中に架かる橋梁であればすべてを把握できるので、対象が増える程、有利であると思う。この程度の距離であれば、半日ほどでデータを採取できる。川の中の河床の状況を面的に捉え、川の中を「見える化」することが当初の目標である。
- ② 濁度の問題があると思うが、橋脚の基礎の掘れ具合を調べるにあたり、異常が発生してから変状を見るまで早ければ早いほど嬉しい。その時、固定型装置を橋梁の張出し部に設置した場合、きちんと変状把握する等の対応はできないか？
→洪水が起こった直後だと、水が濁っている。その状態では川底までレーザが届かないので、地形情報が得られない。河川の水質の状況が落ち着くまで待ってから計測する。橋梁の上に設置して実施するには、使用しているレーザが強くて危険であるため、現実的ではないと考えている。
- ③ ソニックを使っており120度の角度で振っているということだが、もう少し広げたらより広角になるのではないか？
→もう少し広げれば更に広角にはできるが、角度を広げるほど斜めに当たる等があり、現在は精度を考えて絞り込んで行っている。今後検証を行いたいと思う。
- ④ ビームを120度程度振っているということだが、それにより届く範囲等が変わると思うがそれを補正して出しているという理解でよいのか？
→水中での屈折率を考慮した解析を行っている。
- ⑤ 前半の説明ではマルチビームと対比していたのに、従来技術との比較ではシングルビームとの対比をしている理由は何か。
→ここで言う従来の技術というのは、200m 間隔の横断測量との比較のため、シングルビームと比較している。最終目標は、面的に計測することであるため、多くの部分でマルチビームの技術と比較している。
- ⑥ サイドラップを50%としている理由は何か。より重ねる形をとった方が良いのではないか？
→最初の段階では30%ラップで(コース間に)穴が開かない程度で行っていた。理論値ではあるが、両方の構図から計測点群が2倍になるということで50%ラップを行っているが、50%に固定しているわけではない。従来の技術のコストよりも安く・安全にできることが重要であり、高度化だけにこだわっていない。
- ⑦ クラス4のレーザを使っているということだが、航空法等の法的規制はないのか？
→ALB(近赤外レーザ+緑レーザ)ではクラス3B やクラス4 が採用されている。人間の目に対する安全性は非常に大切であり、弊社で使用しているALBは、少なくとも400m以上離して照射することで安全というメーカー保証がある。地形の高低差もあるため、今は500m離すことを標準として行っている。
- ⑧ 波があった際に入射角が変動すると思うが、どの程度の波高まで許容できるのか？

→円を描くスキャナーシステムであり、前で取った点を後ろから追い、同じところを 2 度計測することで精度をあげている。白波が立つほどだと、推定水面の派生ができないため計測が困難となる。海では、うねりが 2m 以下の時に計測する。

使用可能な対象域について

- ① 様々な工事が行われていて水質の悪い隅田川では、計測することができるのか？
→現段階では計測できない。羽田空港の管制圏に入っており、エアラインの離発着が非常に多いため、飛行条件として許可がおりない。水質ではなく、東京都心部では今の航空法だと ALB の飛行が困難である。
- ② 計測事例は河川の下流域の方かと思う。岐阜県内での利用を考えると、中流域でも活用できる必要があるが？
→固定翼の航空機に搭載しており、中流から上流域にかけて、飛行機は飛び辛い。回転翼に搭載できれば、上空でホバリングが可能となるため地形の影響は受けにくくなる。中流・上流のほうが浅く水質もきれいであるため、対応できると考える。ダムは濁度的に厳しい。

今後の展望等

- ① 活用分野について、対策区分の判定と書かれているが、河川に架かる人口構造物、河川自体の総合的な管理を本来の目的とした方が、よりこのシステムを活用できるのではないか？
→今回の紹介内容は洗掘状況の把握だが、河川を面的に測ることが本来の目的である。吉野川については今年度も測定している。今年度は河床変動解析も実施しており、面的な解析も進んでいる。その面について追及していきたい。
- ② 木曽川での一昨年事故の際、木曽川上流河川事務所の調査の結果、洗掘していることが判明した。木曽川上流河川事務所は多くのデータを持っていると思うが、そのような計測には適用していないのか。
→一昨年は ALB 導入前であったため計測できなかった。揖斐川と長良川は計測したが、今後は、木曽川も計測していきたい。

高精度かつ高効率で人口構造物の経年変異をモニタリングする技術
(村田稔)に対する質疑応答

周波数・衛星について

- ① SIP 技術では、X バンドを使った方がよいのか？
→橋梁に対しては X バンドが良いだろうということで X バンドを選んだ。精度は、波長の短いほうが良いので、波長の短さと利用できる衛星の量から判断した。X バンドでなくてはならない理由はなく、そのほかの波長帯でも解析は可能である。対象によって使い分けをする。
- ② 日本で使うことができる衛星は 20 機あるのか、世界的に見て 20 機あるのか？
→打ち上げられているもの全ては使えず、5~6 機は使用可能である。X バンドが最も多く、お金を出せばデータを購入できるということもあり選択した。イタリアの衛星であれば 4 機、ドイツの衛星は 2 機、C バンドであればヨーロッパ 1 機、L バンドは日本のもので 1 機である。少なくなると計測頻度が落ちる。

計測精度について

- ① 点の密度はどの程度か。5m 幅程度の橋梁で左右の違いを判別できる程度の密度か？
→今使っているものは、分解能 3m のデータを解析している。しかし、計測できる点の条件があるので、それを満たしていない場合は、きっちり 3m 間隔で計測できるわけではない。
- ② 盛土などの変化が事前に分かるような精度なのか？
→ここは変位がありそうと当たりをつけて観測する。どこにあるか分からない時は、あらかじめ大きい範囲で解析後、絞り込む。盛り土マップを作るよう国交省から指示が出ているため、そこを重点的にモニタリングする。
- ③ 衛星とある点の変位を調べるということだが、1 つの構造物の変形を追跡できるのか？
→構造物そのものの変形を観測することは技術的には可能であるが、分解能を今より細かくする必要がある。1m, 50cm の分解能で、高密度で解析ができれば、1 つのビルの変形の状況を追えるようになる。現在 3m メッシュであるが、実際計測できる点はもっと少ないため、今後計測点を増やすことも課題である。

計測方法について

- ① 直接的に変位を観測するのは難しく、変位が可視化されるのは素晴らしい。橋梁の変位の経年変位が数ミリメートルと計測された場合、死荷重によるたわみなのか、活荷重によるたわみなのか重要だが、どのように捉えればよいのか。
→ある人工構造物までの直距離が伸びたか縮んだかを判断している。南から北と、北から南で観測し、ベクトル合成して変位の方向、変位を求めている。反射体を衛星に向けておけば分かる。変位があるということは分かるが、理由は分からない。専門家に変位があることを伝え、詳しい解析(近接目視等)をするときの優先順位、注目すべき点を先に示すことができるという技術である。
- ② 橋梁上や道路上では、車等の移動体をどのように処理しているのか？

→観測するための 3 つ目の条件(反射が変わらない)を満たさないで、その点は解析から外す。観測点に、たまたま車等が侵入した場合、その点の計測データは利用できない。

本技術導入について

① この技術をモニタリングに使ったとき、計測後どの程度のレスポンスで管理者に連絡できるのか？

→レスポンスが良くないことが課題である。統計的にランダム要素を処理していくので、20～30 シーン以上は欲しい。平均 4 日に 1 回観測、1 か月で 8 回観測することができる。

② 既に橋梁の点検の優先順位を決めるような実績があると捉えてよいか？

→SIPを高い評価で終了でき、社会実装に向けて動いている。現在、関係者にPRしているところである。現在は使われ始めているところである。世界的に見て、応用が始まる入口に来たところである。

その他・コメント

① 活荷重による影響を受けない部分の経過を追う技術である。地上部から、わかりにくい支承部分の圧潰等もわかる。この技術で不動点をモニタリングすることで、地上からわかりにくい部分も計測できる。

衛星 SAR による地盤および構造物の変状を広域かつ早期に検知する
変位モニタリング手法の開発（佐藤弘行）に対する質疑応答・意見

SAR について

- ① ダムを撮影する際、SAR 自体が撮影場所を選定しているのか？
→地球の南北方向に回っている。ひとつの四角のデータ内にダムが入るよう撮影してもらえよう要求中である。
- ② SAR のデータに誤差があるものなのか、無視できる程度のものなのか？
→誤差はある。測量を正としているが、計測値の経年変化をみると、SAR の方が滑らかなデータとなっている。空気中の水蒸気によって電波のデータが遅延することが大きな誤差要因であるが、多くのデータを用いることで誤差を低減できるように、時系列解析をして研究を進めている。

変位モニタリングについて

- ① 福岡の地下鉄工事の地盤変動について、C バンドで、過去 1 年程度のデータで予兆は見えている。
→対象とする構造物ごとに使うバンドを変えると良いと考えている。