

- 研究開発項目 : 点検・モニタリング・診断技術の研究開発
- 研究開発テーマ : 学習型打音解析技術の研究開発
- 研究責任者 : 産業技術総合研究所 人工知能研究センター 研究チーム長 村川正宏
- 共同研究グループ : 首都高技術（株）、東日本高速道路（株）東北支社、（株）ネクスコ・エンジニアリング東北、（株）テクニー



研究開発の目的・内容



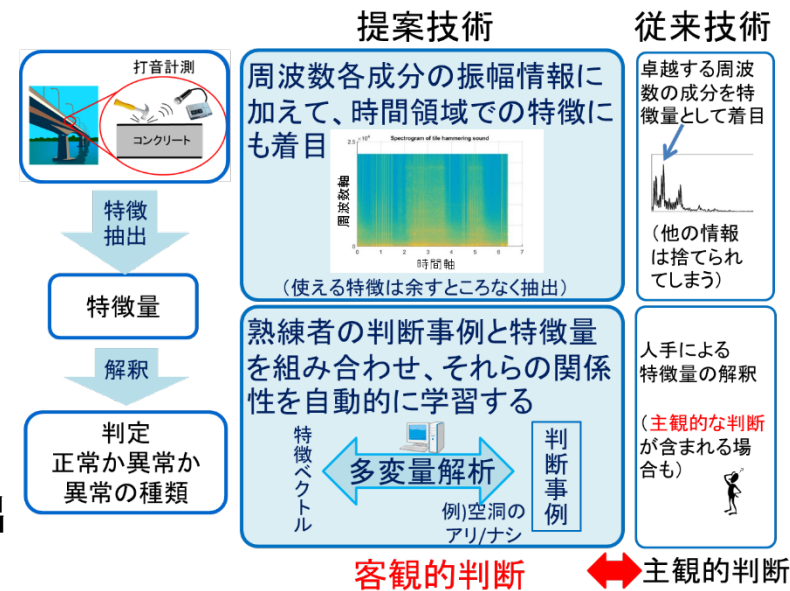
研究開発の目的

- ・1次点検手段としての打音装置の高度化
 - 簡便かつ確実
 - 高精度（熟練者でも難しい領域での損傷検知）
 - 報告書作成も含めたトータルな作業工数の削減
- ・打音検査結果の**定量化**と蓄積、その**可視化**を実現

研究開発の内容

- ・打音のデジタル化とその収集、分析による異常検知
- ・分析には機械学習に基づく音響解析技術を用い、打音の違いを自動判別し、構造物の損傷箇所を検出
- ・通常の点検ハンマと組み合わせて使える装置を開発し、提案手法の有効性を実構造物において検証

機械学習に基づく打音解析



二段階で行うメリット

- ・教師ラベル付のデータが十分に集まらない段階でも異常の有無が一段目で判定可能
 - **様々な構造物の打音の違いにも対応**
- ・汎用的な枠組みで、任意の打音装置に適用可能

一段目：教師なし学習手法

- ・検査対象ごとに、その場の「正常」を学習
- ・学習した「正常」からの逸脱として異常を定義
- ・異常の大小を各打撃点ごとに算出

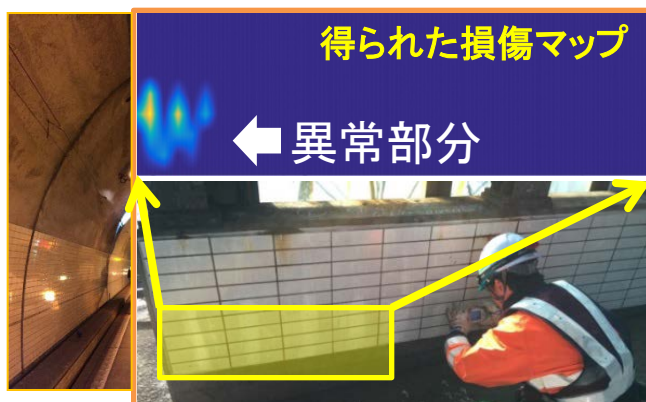
二段目：教師あり学習手法

- ・一段目の判定結果に教師ラベルをつけて蓄積
- ・蓄積した結果をもとに判別学習
- ・異常の有無の高精度化

トンネル内タイル打音検査での有効性検証実験



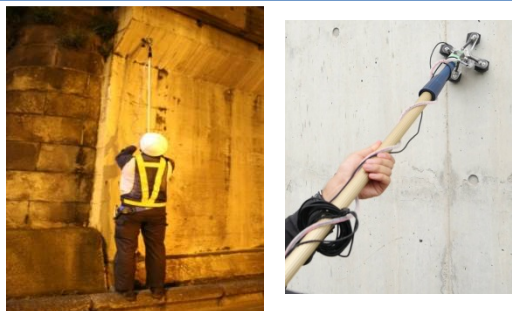
打診棒を用いた打音検査装置



騒音の大きいトンネル内においてさえタイルに浮きのある領域を確実に発見できた。

極めて**ノイズに強い**解析手法であることを確認

点検困難箇所用 打音装置の開発



- 橋台・橋脚等で手が届かない範囲の打撃用
- コンクリートの剥離だけでなく内部の欠陥も検知
- 足場設置の作業工数削減

- 打撃部にソレノイドを使用
- 打撃対象面に打撃部がうまくフィットするような機構を導入
- 開発中の打撃軌跡の自動取得システムと合わせて利用

供試体や地方自治体の実橋にて
評価実験中

台車型打音装置の 開発

- 舗装開削前の床版損傷状況の把握(非破壊調査)
- アスファルト舗装面上から土砂化・ひび割れを検知
- 打音調査の「作業工数」及び「開削調査費用」の削減

現状の人手による打音検査



解析システムと連動し、
損傷マップを自動作成



手押しにより前進
速度 1.5km/h 程度

開発した装置(試作2号機)

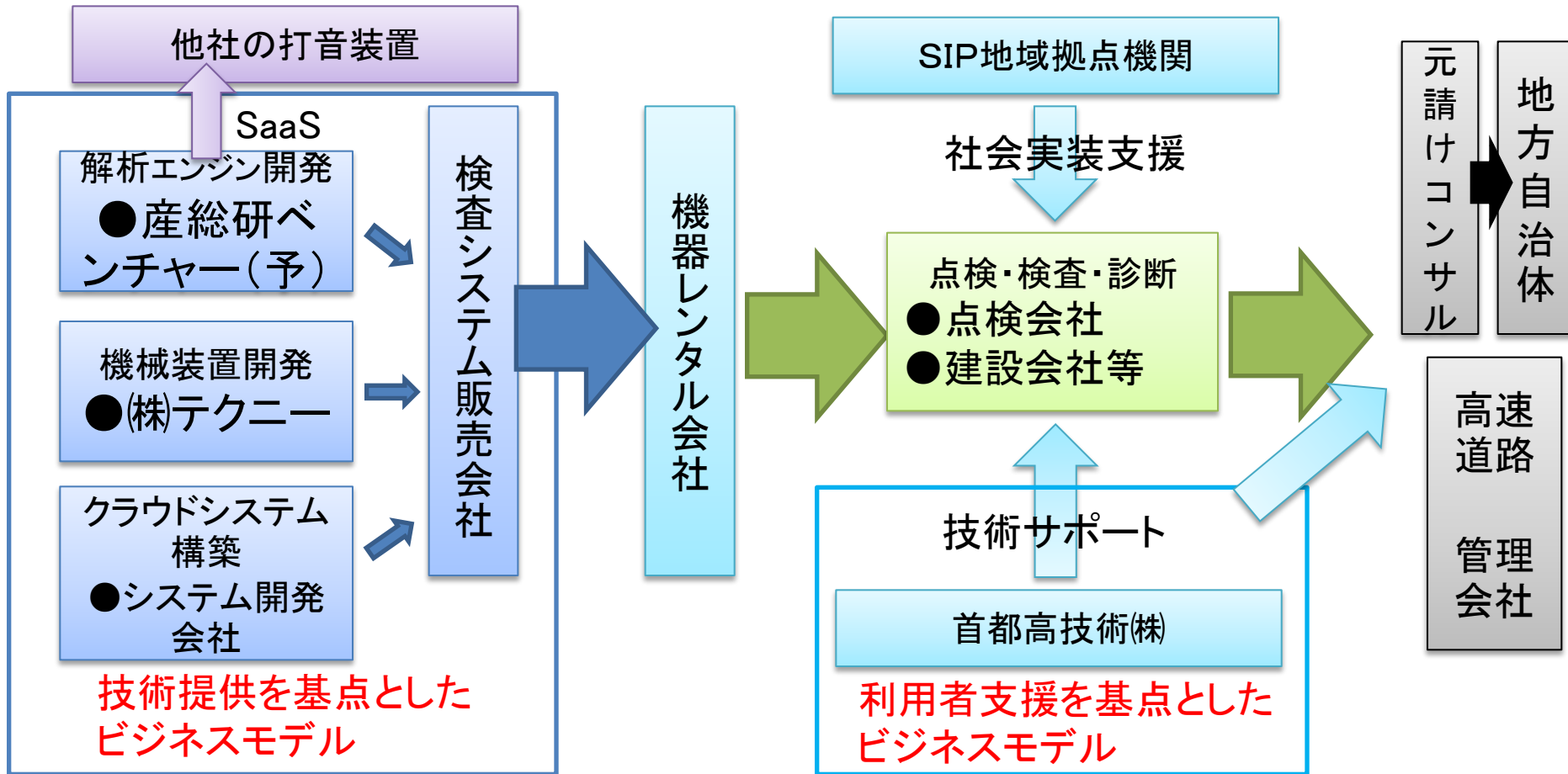


供試体や東北自動車道等
の実橋にて評価実験中



取替直前の床版で
異常検出箇所等を
コア抜きにより検証

- 既設床版内の水平クラック
- 増厚部と既設床版の界面破断



- ① **継続的に**技術の改良が行われる開発体制を構築
- ② 開発した機器 + (SIP地域拠点のご支援/技術コンサル) で展開
- ③ 解析エンジンについては **SaaS (Software as a service)** として提供
 - ・集中的なシステムの管理運営
 - ・サービスの安定供給とバージョンアップを永続化

SIP 維持管理技術のアピールシート

平成 29 年 1 月 13 日

説明会参加者の理解を助けるため、SIP ホームページに公開されている SIP 維持管理技術の情報をもとに、メンテナンスアドバイザー(MA)のコアメンバーが事前に出した意見を記載しました。これに、技術の開発者からコメント(囲み部分)を加えていただきました。

1. 研究開発の技術名称(研究責任者)

学習型打音解析技術の研究開発(村川 正宏)

2. 技術の特徴

従来、点検員が主観的に判断していた打音調査を、音響解析技術によって定量的に評価する技術である。

- ① 簡便かつ高精度で確実な打音検査をすることができる。
- ② 打音検査結果の定量化、蓄積、可視化を実現するとともに、その分析により構造物の異常を検知することができる。
- ③ 段階的な学習機能によって、より高精度な判定を行うことができる。

【開発者からのコメント】

本音響解析技術を用いた開発中の打音検査システムは、

- ・非熟練技術者でも打音検査が行える
 - ・打音点検実績が見える化できる(点検もれを把握できる)
 - ・点検結果をコンター図として可視化できる(図面化の工数を削減)
- という利点があります。

3. 岐阜県内での想定される活用方法

- ① 橋梁やトンネルの法定点検時に活用が可能と思われる。
- ② 台車型、高所打音装置など様々な形状があるので打音検査が必要な場所に利用可能。

【開発者からのコメント】

打音装置として、台車型、打検機の他に、一般的に使われている点検ハンマと組み合わせて使える打音検査システムを現在開発中です(本日のプレゼンでまだおみせできる段階ではなく申し訳ありません。)これが一番岐阜県内で活用いただける可能性があると思っていますのですが、ご意見頂戴できればありがたく存じます。

また、アスファルト舗装面上からコンクリート床板の損傷を検知する台車型打音装置に関して、岐阜県でのニーズがあるのかどうかもぜひご教示いただければと存じます。

4. 活用に際しての現状での問題点

- ① NEXCO 東日本、首都高速などで活用することを目的に研究開発されており、地方自治体で活用するための具体的なサービス形態が不明である。
- ② 調査機材（製品）を製造・販売する会社と技術的なサポートをする会社が同じとならない可能性がある。
- ③ 高速道路に比べて、損傷度合いが小さく、劣化進行速度が遅い地方道路橋において、どの部分で活用メリットがあるのか不明である。

【開発者からのコメント】

3. でも記載しましたが、一般的な点検ハンマとの組合せの打音検査システムを地方自治体で活用いただけるのではないかと考えており、地方道路橋のどの部分で活用の可能性があるのかご指摘いただけると幸いです。

5. 活用に向けての課題

- ① 新技術費用（ハードおよびソフトの導入、メンテナンス、点検業務委託）と従来技術費用を比較して、コスト面での導入メリットを明らかにする。
- ② 岐阜県での導入に対しては、サービス形態を明確にする。
- ③ 何を調査するために用いるのか明確にする。

【開発者からのコメント】

サービス形態については、機材および解析サービス（ソフト）が一体となったレンタル形式を検討していますが、コスト面での詳細化については今後ユーザー様のヒアリングを通じて決定する計画でいます。技術的なサポートをする会社の体制については現在検討中です。

6. 課題の解決策

- ① 技術開発者への詳細機能や条件等のヒアリングを実施する。
- ② 国土交通省へのヒアリング（制度として認められるか）を実施する。
- ③ 床版の劣化が進行している橋梁の RC 床版にて、作業効率、点検精度を検証

【開発者からのコメント】

詳細機能の作り込みについては、実証試験や使用感のヒアリングを通じて仕様を決定し、実装していきます。開発技術の定量的評価については、ご指摘のように RC 床版において、評価実験が現在進行中です。

7. これまでに利用されている既存技術

【開発者からのコメント】

8. 本 SIP 技術の開発状況および開発完了時期

【開発状況】

打音の解析技術について、1段階目の手法についてはすでに完成しており、以下1.1.に記載するような有効性も確認済みです。打音装置については、3.で記載した一般的な点検ハンマとの組合せの打音検査システムの評価版を年度内に完成させる予定です。

【開発完了時期】

来年度に現場での実証試験等を通じてブラッシュアップし、来年度中に研究開発を完了します。

9. 技術の新規性（既存技術との比較）

□ 既存技術にはない全く新しい技術である。

■ 既存技術をより良くするものである

本プロジェクトでの音響解析技術は、対象構造物ごとにその場での「正常」な打音を学習し、そこから逸脱した打音を「異常」として検出します。こうして検出された異常と、検出位置を組み合わせることで、コンター図をその場で自動生成し、点検結果を可視化できます。

また、この音響解析技術は汎用的であり、任意の装置に適用することができます。

10. 技術の適用範囲や精度

① 構造物の形状に対する制限

→ 構造物の端部の打音検査については、打音の反射の状態が中央部と異なるため現在のバージョンでは対応が難しい。

② 欠陥検出の精度

→ 1.1.に記載するような実績があるが、欠陥のサイズと深さに依存する。
実構造物での定量的な評価は現在実験中。

11. これまでの実績・成果等

■ 室内等での試験により成果が確認されている。

→ コンクリートブロック試験体により表面より6cm下の模擬空洞を検知可能（打検機）

■ 実構造物での試験により結果を確認している。

→ 実構造物供試体により、アスファルト舗装面下のコンクリート床板の土砂化（50cm角）を検知可能（台車型）

→ 手動点検ハンマの作業と比べて、工数を現状1/6に削減可能（台車型の場合）

→ 東北自動車道等の実橋にて、評価試験中（台車型）

→ 地方自治体等の実橋にて、評価試験中（打検機）

12. 実業務での利用時の対応

- ① 検査機器 1 式の導入コストは、どの程度となるか。(リース or レンタル)
→ ソフトウェアも込みでレンタル形式を想定している。価格については検討中。
- ② 利用時のコスト
→ ①と同じ
- ③ 利用者への教育
- 利用者教育あり
 - 取扱い説明書での対応
 - 専門の体制 (会社) により実施
 - その他 (→体制を現在検討中)
- ④ 測定機器のメンテナンス体制
→ベンチャー会社を含めた機器メンテナンス体制を構築予定
- ⑤ この装置以外で、利用者側で準備すべき機器等
- 特になし
 - 準備すべき機器 (→○○○○○)
- ⑥ 既存技術では不要であったが、本技術では準備すべき事項・対応など
- 特になし
 - 準備項目 (→ 検査機器 (バッテリー) の充電 (頻度は 1 日に 1 回を想定))

13. 開発者から特に付記したい項目など

【開発者からのコメント】

SIP 維持管理技術へのアドバイスシート整理結果

平成 29 年 3 月 27 日

研究開発の技術名称（研究責任者）

学習型打音解析技術の研究開発（村川 正宏）

岐阜大学 SIP 実装プロジェクトの説明会（2017/1/13）における参加者の立場

MA（メンテナンスアドバイザー）：自由に意見を述べ、アドバイスシートに記入する。

6 人

オブザーバー：制約はあるが、意見を述べ、アドバイスシートに記入する。

6 人

聴講者：意見を述べず、アドバイスシートにも記入しない。 0 人

合計：12 人

以下、MA の回答を（→）で、オブザーバーの回答を（⇒）で表記する。

1. 実業務への適用範囲

提案されている技術のみで、実業務に適用できると思う。(5 人)

既存技術の一部を補完する要素技術として適用できると思う。(3 人)

他の要素技術や既存技術との組合せによって利用の可能性は広がると思う。(4 人)

その他

適用基準、適用方法等のガイドラインが行政（道路管理者等）から提示されると普及すると思う。(1 人)

2. 提案技術の利用についての実務面からの印象

積極的に利用したいと思う。(5 人)

→打音装置による検査の効率化、および打音データの高度分析と損傷マップ作成による診断の高精度化が期待できる。

→床版の土砂化や水平ひび割れの検出に台車型打音装置は有効と思う。特に、鋼繊維補強コンクリートで増厚補強された床版で、打継面の剥離の有無の確認に利用できると思う。

→類似の技術が本 SIP で紹介されている。それぞれに利点があるので、適した場所で使う道具としてユーザーは選択するだろう。

→今までに行われた説明会及び今回紹介されました打音調査用の「打診棒」は「誰でも使える」と説明されている。ですから、利用者は、価格と打音調査する箇所の高さで使い良いものを選択することになる。

→積極的に利用したいが、コスト次第だと思う。

発注者からの指示であれば利用する。(5 人)

⇒今まで何種類かの打音自動判定装置を試してみたが、満足できる結果は得られていない。

タイルの剥離や化粧モルタルというような建築系の構造物であれば、ある程度の判定は可能だと思うが、鉄筋コンクリートの剥離等（剥離対象深さが深い）に関してはどうか。学習機能を備えているということで期待したい。

台車型については、舗装の上からでは舗装自体の構造・品質によるノイズがかなりあるのではと思う。また、人力の場合、現場にチョーキングをして全体の損傷状況を確認できるが、この機械では、どのように対処するのか。

⇒「指示」というよりも、発注者への提案と協議・協力が必要だと思う。

→施工前の簡易調査として十分活用できると思う。

□ 使えない（使いたくない）と思う。(1人)

⇒舗装の状態と床版の状態の判断、機械の大きさ、コスト等、まだ課題が多いと感じた。

今後、これらがクリアできれば、利用できる技術になると思う（クリアできる課題だと思う）。

3. 提案技術が優れていると思った項目

既存技術に比べて、提案技術が優れていると思われる項目、機能等

→打音データの高度分析、損傷マップの作成、台車型打音装置による舗装面からの床版損傷検知など打音検査の総合的、多角的な技術展開が優れている。

→鋼繊維補強コンクリートで増厚補強された床版では、レーダによる欠陥探査が難しいと聞いているが、この技術であれば打継面の剥離の有無の確認に利用できると思う。

⇒学習機能を持っている点

→他と比較した場合、ソフトに優越性があると思うが、今回はその説明はなかった。

- ・本技術で高い関心を持った項目は、解析ソフトに「学習手法 AI」を使用していることである。これからの技術は「AI+ビッグデータ解析」と考えるので、この分野に期待している。
- ・日本中で打音調査を数年間実施している。その膨大なデータを蓄積し、解析するシステムを「クラウド+AI」のコンセプトで展開すれば、日本仕様の標準化が可能となり、インフラメンテナンス技術の世界進出ツールになると考えている。
- ・現在は、本チームで開発した打音調査システムでの振動データの解析から着手しているようだ、他の打音調査システムでの振動データ解析が可能になることを期待している。
- ・説明書の目的に、「打音解析手法を SaaS 型サービスで提供する」とあるので、ソフト分野での実装化を期待している。

⇒正確性、客観性。

→簡易で経済的な装置での非破壊調査が可能である。

⇒学習機能により判定の精度が向上する点に期待できる。今までの同種の機器を考えると、かなり豊富なデータによる判定基準が必要と思う。

⇒検査品質の水準が確保され、バラツキが小さくなる。電磁波系の技術の非破壊検査に対して安価で迅速にできそう。

→機能が分かりやすく、誰でも使えそうで、測定結果がコンター図や位置情報として残せる点が良い。

⇒台車型打音装置に対しては、作業効率及び作業者の経験値等からかなり実用化が期待できる。アスファルト面から橋梁床版の土砂化、ひび割れ等を検出する手法は各種あるが、レーダ等による調査に比べ、コストパフォーマンスが高いため、どこまでの精度で確認できるかが鍵

ではないか。

⇒打音検査の数値化，音響解析技術，台車型打音装置という点が優れている。

→客観的な評価ができ，経験の少ない技術者でも活用できる点が良い。

4. 提案技術への改良提案

岐阜県内での実装に際して，充実させて頂きたい項目，機能等

→提案技術の普及，実績を促進するためにも，橋梁，トンネルの検査試行を行うに当たっては安価にて装置，技術の提供をお願いしたい。

→多くの構造物での適用，あるいは実証実験の実績を重ねていただきたい。

⇒得られたデータが良いか悪いのかの判断，どのような損傷の判定を行なっているのか等，このシステムだけで学習したものを判定しているのか。人力や他の解析で得られたデータに対する判定結果を使うことで，精度の向上が望めると思う。

→岐阜県が整備している地域統合型 GIS システムに調査箇所を連動させたい。

- ・打音調査結果と位置データを連携するよういただきたい。

- ・打音調査の位置のマッピングに苦慮しておられるようだが，本 SIP で発表されたマッピング技術を応用してはどうか。今の時点で技術開発に苦慮されているようなので，既に開発が進んでいる他社の技術を利用したほうが，SIP の限られた期間のなかで効率的な開発が進むと思う。打音計測と打音分析に集中したらどうか。

- ・特に屋外で使用する台車型打音装置に，数年後に実用化される PPP-RTK（精密 RTK-GPS）を搭載することで簡単に位置情報の習得が可能になると思う。

⇒実装に対する枠組みの整備，実装後のフォロー

→測定時間の短縮，現場検証結果の公開

⇒適用条件のガイドライン化

→・舗装撤去前の調査結果と撤去後の状態確認による検証実績を増やす。

- ・台車幅を広げて，1 車線分を 1 回の走査で調査可能にする。

（調査中の交通規制を最小限にするため、「できるだけ広範囲を短時間で」

⇒打診棒打音検査装置については，タイルの浮き調査では使用頻度が低くなるため，コンクリート自体の浮きに対して有効に活用できれば良いと思われる。なぜなら，コンクリート浮き調査は，点検者の経験に大きく依存し，作業として人工知能が経験を補う装置になれば，利用度が向上すると思う。橋梁床版，トンネル点検におけるコンクリート診断は必要であり，コンクリート床版への台車型打音装置による調査は適用できると思われるが，トンネルに対しては形状で対応するのか，打診棒で対応するのか，適用方法を検討する必要がある。

⇒高所打音装置の改善（軽量化）

→劣化した舗装面において，正確な情報収集ができると良い

5. 提案技術の別な用途での利用提案

開発意図とは異なる方面での利活用ができると思われる項目等

⇒打診棒打音検査装置により，トンネルなどのコンクリート自体の浮きに対して活用できないか。

⇒車の走行スピード程度で実施する路面性状調査に応用できないか。

- 床版上面の劣化範囲の特定。
- ⇒学習機能に関しては、さまざまな分野で利用可能と思われる。
- ⇒道路下の空洞の探査に活用できそうである。
- ・吹付モルタルへの活用
 - ・ボルトのゆるみ点検への活用
- ⇒台車型打音装置のトンネル壁面への利用
- 道路土工部での空洞調査

6. 提案技術と他の新技術との組み合わせの提案

- 実装に際して他の技術と組み合わせると、更に使いたくなると思うこと等
- ⇒画像やレーザーでの学習的な解析と組み合わせれば、より精度が高くなるのではないか。画像の判別による異常検出や、三次元的な凹凸の発見等が期待できる。同じ座標に落とすことが難しいかもしれない。
- 他社の SIP で開発されているマッピング技術と組み合わせる。岐阜大学が、本 SIP のプロジェクトで発表された研究から、組み合わせを仲介されてはどうだろうか。
- 調査結果の CAD 化。
- 本技術と電磁波レーダとを組み合わせたらどうか。打音と電磁波レーダとの相互の検証にもなるのではないか。

7. 提案技術に対する技術的発展の期待度

本技術提案は、インフラ維持管理・更新・マネジメント技術として、システム化されたインフラマネジメントを構築でき、インフラの事故を未然に防ぎ、維持管理やメンテナンスの負担軽減を図ることが期待できますか。

□ 大いに期待できると思う。(10人)

- 打音検査の効率化、高精度化に資する技術で、汎用性と発展性も期待できる。
- 装置がコンパクトで、抵抗感無く手軽に利用できると思われる。
- 打音解析技術が優れている。解析手法を、現場でのタブレットでの判別と、クラウドシステムでの判別の2段階で構成している。タブレットでの判別は打音方法に汎用性があるとのことである。クラウドでの解析は特殊な解析とのことである。打音データが少ないので SVM 及びカーネルの高度化の途中とのことであるが、実装化により打音調査技術者の判断スキルの標準化が可能となり、打音計測全体のスキルアップにつながることも期待できると思う。
- 橋面の舗装打替え工事および橋面防水工事に先立ち、この技術で床版上面の劣化状況（土砂化等）を事前に把握しておくことで、予定外の断面修復工の増工や交通規制期間の延長等を防ぐことができると考える。「舗装をめくったら予想以上にひどくて、交通規制期間内に終わらないから、仕方なく手当てできずに舗装するしかなかった・・・」というようなことも聞いたことがある。
- ⇒音響解析技術は、とても有効で活用範囲も広いと思う。
- ・電磁波レーダに比べて正確性が高いと思われる。

・橋面舗装の修繕工事において事前調査としての活用には有効であると思われる。

□ 改良等を行えば期待できると思う。(2人)

⇒コンクリート構造物の点検手法としてかなり以前から着目されているが、有効な手段が開発されておらず、かなりハードルが高いと思われる。まずは実構造物による判定の有効性の確認が必要だと思う。

□ 本日の説明だけでは、期待できないと思う。(0人)

8. その他（自由な意見を記入してください）

⇒たたく強さは任意でいいのか。素人にも使えるのか。どういう異常が判断できるか。異常の影響度をランク付け（Ⅰ～Ⅳ等）できるのか。

→打音判別する技術者の感応判断が、本システムで置き換えが可能とは考えていない。あくまで、技術者の補完機能として考えている。

⇒どのような損傷（剥離深さ、剥離規模、土砂化等）が、どの程度の確率で判定可能であるのか、実証試験を重ねていただきたいと思う。

⇒自治体の場合、定期的に検査というより、何らかの別の情報で不具合がわかった場所について、集中して検査するような使い方になると思う。

→電磁波レーダと競い合うのではなく、組み合わせてしまうほうが使いやすいかもしれない。信頼度も上がるのではないかと思う。

⇒舗装面からの打音検査の際、アスファルトの種類や劣化状況等の影響を区別し排除できるとさらに良いと思う。

以上