

- 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 : 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
- 研究責任者 : パシフィックコンサルタンツ株式会社 安田 亨
- 共同研究グループ : (株)ウォールナット, iシステムリサーチ(株), (株)三英技研, (株)フォーラムエイト

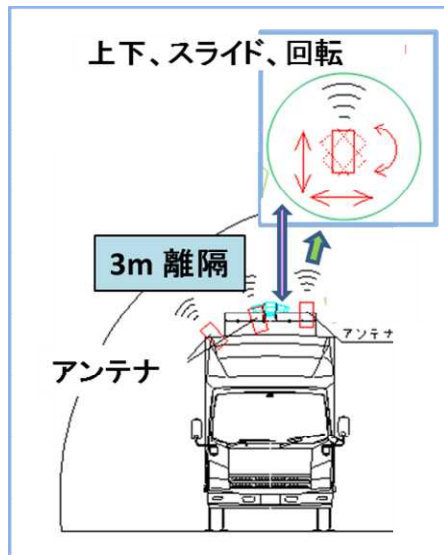


研究開発の目的・内容

研究開発の目的

- ①打音検査の代替技術、補完技術として、覆工コンクリートの内部欠陥を、高速走行型非接触レーダーにより検出する点検技術を開発し、交通規制を要しないトンネル維持点検業務を実現する。
- ②変状情報をレーザ計測の3次元位置情報と同期し、高精度な変状図を3次元可視化技術によってデータベース化するとともに、健全性を総合的に評価できる統合型診断システムを開発する。

研究開発の内容



内部欠陥探査用レーダー

- ・非接触型アンテナ 3基搭載 (3m程度の探査離隔は世界初)
- ・時速50km/h程度での走行型計測
- ・問題箇所をスクリーニング
- ・走行型計測車 (MIMM-R) に搭載



レーダーアンテナ



MIMM-R(カメラ,レーザ,空洞レーダー)に内部欠陥レーダーも搭載する

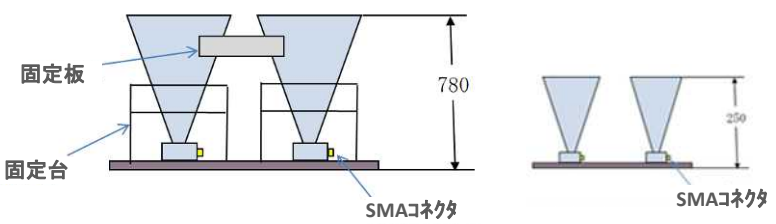
現状の成果① レーダーの開発

内部欠陥レーダーアンテナ (SIP新規開発)

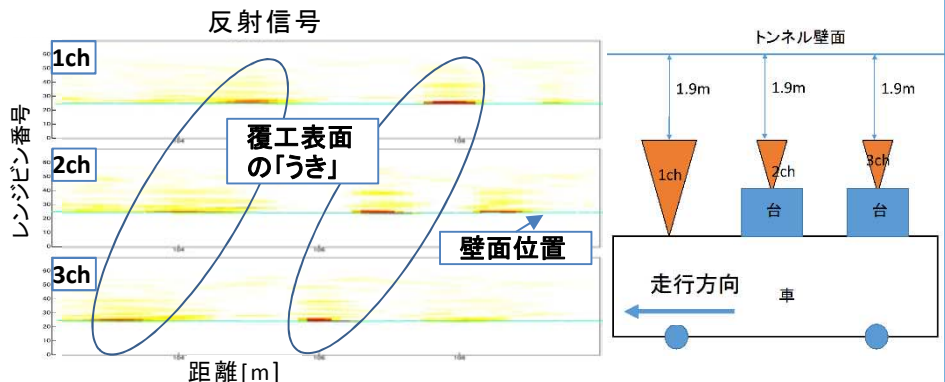
◆対象とする内部欠陥



◆開発した内部欠陥レーダーアンテナ



項目	諸元	備考
レーダー方式	FM-CW方式	送受別アンテナ方式
最大探知距離	4m	壁面まで 1m~ 3m(標準)
中心周波数(帯域)	3GHz(2GHz)	
アンテナ数	3基	大アンテナ1基、小2基



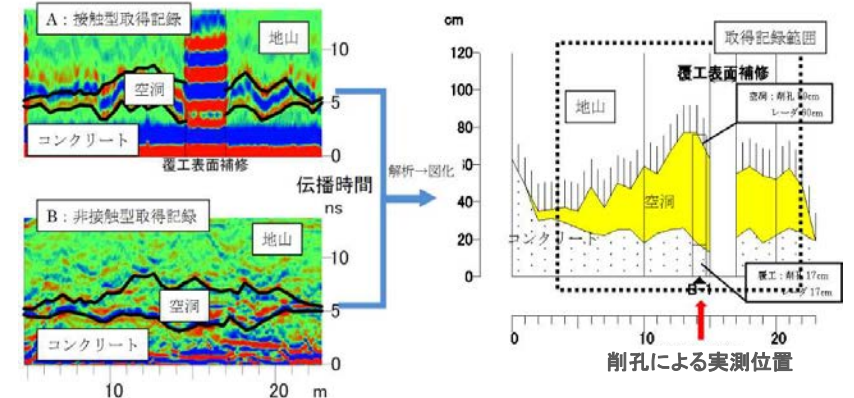
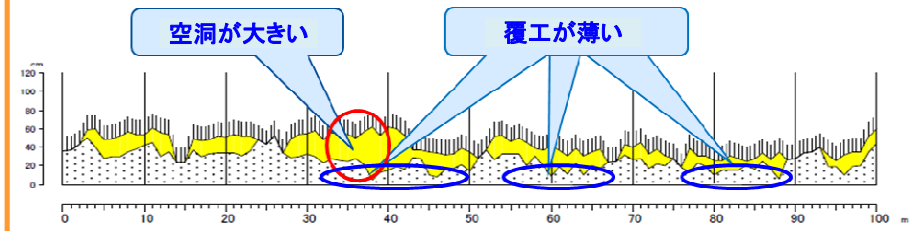
◆うきの検出実験結果

車両上部に3アンテナを走行方向に配置し、走行しながら、同一のうきが検出できるかを検証。
3アンテナとも、うきの検出に成功

巻厚・空洞レーダーアンテナ (開発済み)



非接触空洞探査レーダー



探査精度: 接触型に対し、80~90%

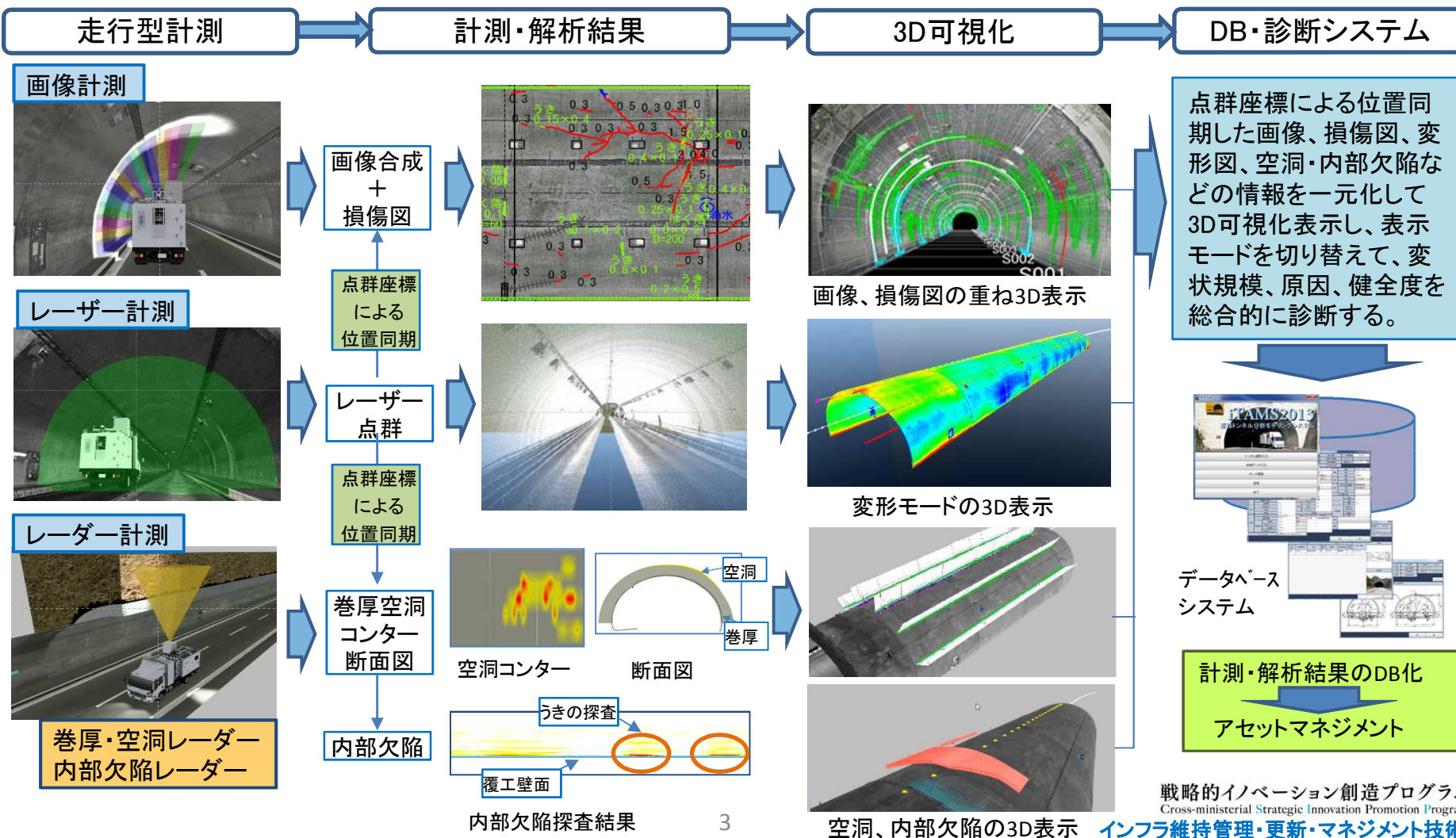
- 交通規制せず、打音検査箇所をスクリーニング
- 覆工, 空洞, 内部欠陥を総合して, 問題箇所を抽出

現状の成果② 3D可視化技術

3次元可視化技術(統合型評価診断システム)の開発【全体構成】

SIPにおける研究開発内容

- ◆点群解析機能:トンネル点群から自動的に目地位置検出を行い、スパンごとに断面形状やスパン軸を高精度に抽出する機能
- ◆レーダー計測結果可視化機能:内部欠陥、巻厚・空洞厚の計測・解析結果を位置同期し、3D表示、コンター、縦・横断面図表示する機能
- ◆下図の構成で、3D可視化、DB構築を行う。 **画像・レーザー・レーダーを組合せた健全度診断は日本で初めての試み。**



最終目標

達成目標と達成度

実施項目	達成目標	達成度
内部欠陥点検診断技術	アンテナシステム構築 ・検出精度:80%以上 ・縦断5cm,横断方向1m ・探査深度:20cm程度	・アンテナシステム完成 ・目標とする内部欠陥の信号受信に成功 ・探査深度20cm以上
点検診断結果の可視化技術	・位置同期、目地位置同期、進行性評価ソフト ・3D可視化VRソフト	・位置同期,目地検出完了 ・変状進行性ソフト完成 ・3D表示機能:ほぼ完了

本技術の社会実装イメージ

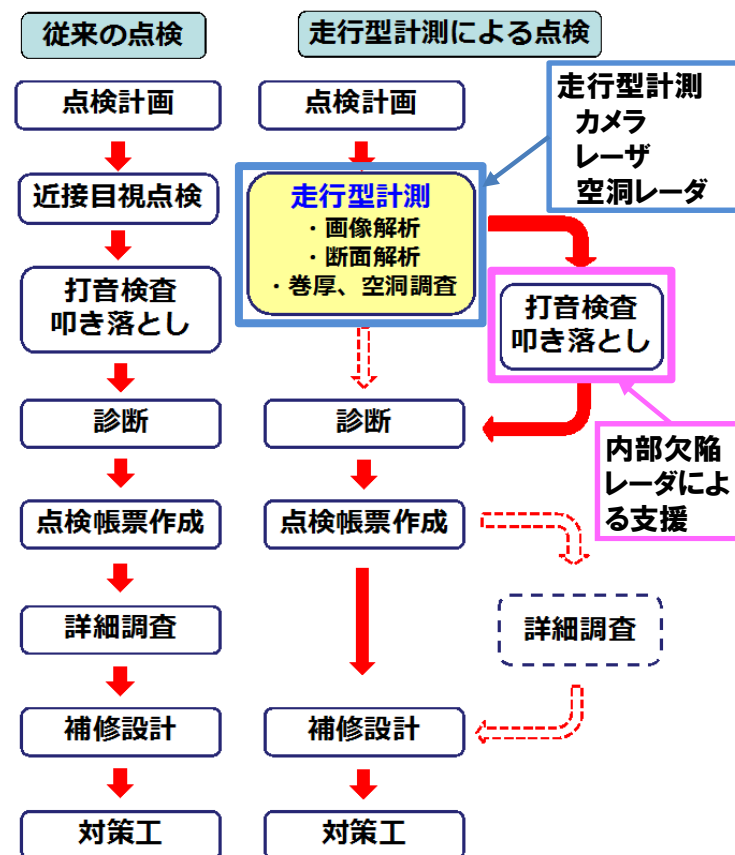
- ①開発レーダー、診断システムの点検業務への活用**
 - ・開発レーダーを含む走行型計測手法を近接目視、打音検査の補完、支援技術として活用する。(右図)
 - ・標準化を目指す。
- ②自治体を中心とした技術指導、現場指導**

走行型計測、統合型診断システムの普及。
- ③国内へのレーダー販売、開発ソフト販売**

開発終了後、レーダー5台程度の販売。
ソフトは年10本程度の販売。
- ④開発レーダーの海外販売、技術支援などの海外展開**

走行型計測車両を活用した海外展開(車両やソフトのカスタマイズ、販売、技術指導)

トンネル定期点検の支援



カメラ、レーザー、レーダーおよび、近接目視打音検査を総合的に融合させ、適切な判定を実施し、トンネル点検・診断全般の効率化、省力化を支援し、低コスト化を目指す。

SIP 維持管理技術のアピールシート

平成 28 年 12 月 05 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)

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 (安田 亨)

2. 技術の特徴

交通規制を要しないで、トンネル点検を可能にする技術である。

- ① 高速走行型非接触レーダーを用いて、時速 50km のスピードで覆工コンクリート表面を計測することができる。
- ② 統合型評価診断システムにより、取得したデータから覆工コンクリートの内部欠陥を検出することができる。

【開発者からのコメント】

走行型計測の画像に基づき変状展開図を作成、レーザ計測による点群データから変形モードを算出、非接触レーダー探査から巻厚不足、背面空洞の有無および内部欠陥を検出し、近接目視点検、打音検査を支援します。従来点検時に併せて、画像、レーザ、レーダー計測を実施することにより、変状原因、巻厚不足、背面空洞を考慮した総合的な健全度診断ができます。国交省による次世代インフラ用ロボット試行を受け、I、試行的導入へ向けた検証を推奨するとの評価を得ています。

3. 岐阜県内での想定される活用方法

- ① 5年に1回のトンネル点検 (法定) に有効であると思われる。
- ② 幅員が狭いトンネルにおける通行止め、延長が長いトンネルにおける長期片側通行規制が不要となる。

【開発者からのコメント】

走行計測時の交通規制が不要で、近接目視点検の前に走行計測による問題箇所スクリーニングを実施することにより、トータルでの交通規制時間を短縮できます。山間部などトンネルが連続する場合の一般利用者への負荷を軽減できます。特に2回目以降の点検で効率化、合理化、低コスト化を図ることが期待できます。

4. 活用に際しての現状での問題点

- ① ハード (車両) と解析ソフトは、販売することを予定しているが、高精度な機材を搭載した特殊車両となるため、相当高額になると思われる。

- ② 車両のメンテナンス，解析技術の保持等，継続的なサポート体制が必要である。
- ③ 内部欠陥検出の精度が不明である。

【開発者からのコメント】

計測車両の販売は想定しておらず，点検業務請負により実施します。レーダーについては，単体での販売を想定しています。データベース，3次元可視化ソフトについて販売を想定しており，計測・点検結果を総合的にデータ化し，判定を支援できます。

内部欠陥検出精度については，検証実験により確認しており，うきの箇所を検出できることから打音検査のスクリーニングに有効活用できます。

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（交通規制，点検業務委託）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。

【開発者からのコメント】

走行計測および近接目視，スクリーニング箇所の打音検査を，従来の点検費用と同等で実施できます。岐阜県での導入については，走行計測の実施による展開図，帳票の事前作成を提案します。近接目視，打音検査は県内業者による実施を想定しています。

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
- ② 国土交通省へのヒアリング（制度として認められるか）
- ③ 点検済の複数トンネル（延長の長短，幅員の大小など）にて，作業効率，点検精度を検証

【開発者からのコメント】

国交省による次世代インフラ用ロボット試行を受け，I，試行的導入へ向けた検証を推奨するとの評価を得ており，今年度はロボット支援による運用マニュアルの作成が進んでいます。今年度は，静岡県にて実施される従来点検の前に，走行計測を実施し有効性を検証しています。

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】

- ① MMS（レーザー計測）技術
- ② MIS（画像撮影）技術，変状抽出技術
- ③ 画像合成技術

8. 本 SIP 技術の開発状況および開発完了時期

【開発状況】

内部欠陥レーダー，3D 可視化技術の開発は概ね完了

【開発完了時期】

SIP 開発期間は3年であり，今年度末で完了

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
 - ・ 安全性が向上する。
 - ・ 調査時間の短縮が可能である。(走行計測は1km程度のトンネルで，合計1時間以内)
 - ・ 調査経費の削減が可能である。(現況比較で近接目視，打音検査も実施し，従来と同等程度)
 - ・ 高精度化 (展開図の位置情報は非常に正確)

10. 技術の適用範囲や精度

- ① 計測に対する制限
 - 照明を点灯しての画像計測に対しては，緩和申請済み。
 - レーザーに対しては，人体への影響はない。
 - 雨天時はカメラに水滴が付着するため，適用できない
- ② レーダーの精度
 - 検証により，従来の接触型レーダーと比較して，検出厚さが80～90%程度の検出精度となっており，スクリーニング点検としては実用レベル。

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。
 -
- 実構造物での試験により結果を確認している。
 - 走行計測はこれまでに550km程度の実績がある。
 - 空洞レーダーは，これまでに50本以上のトンネルで実績がある。
 - 内部欠陥レーダーは今年度検証中で，名古屋大学ニューブリッジのうき検証も実施し，良好な結果を得ている。

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)
→
- ② 利用時のコスト
→近接目視点検，スクリーニング箇所の打音検査も実施し，従来点検と同等程度
- 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
■ 計測は専門の体制（会社）により実施
□ その他（→○○○○○）
- ④ 測定機器のメンテナンス体制
→メンテナンス体制は整備済み
- 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（→ ○○の規制）

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】

全県のトンネルを走行計測した自治体の実績が 8 県あり，点検要領改訂後に走行計測による点検マニュアルを策定した自治体もあります。国交省のロボットによる点検マニュアルも整備される予定で，新技術の活用が今後さらに期待されると考えております。

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 1 月 9 日

研究開発の技術名称（研究責任者）

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（安田 亨）

岐阜大学 SIP 実装プロジェクトの説明会（2016/11/05）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。
(11 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。(7 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。(3 人)
- (合計回答者数 21 人)

以下の記載は、※MA の回答を (→) で表記、オブザーバーの回答を (⇒) 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。(16 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。(2 人)
- 理由
- 本技術を使用する場合の「直接経費」と現場の適正によって、直接目視及びハンドタッチのスクリーニングに使用できる。
- 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。
 - その他 ()

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。(16 人)
- 理由
- 開発者の考え通り「スクリーニング」は可能。
 - 完成度が高く、使ってみたいと感じた。(MA3 人、オブザーバー1 人)
 - 交通規制が不要で、短時間に高精度な測定ができる。(MA2 人、オブザーバー1 人)
 - トンネルのデータ化、アセットマネジメントに活用できる。
 - 完成度が比較的高く、技術者が健全度評価をする際に有用となる多くのデータを一括して収集できる。
 - 法定近接目視と併用して利用できる。特に空洞検査率 80~90%は素晴らしい。
 - ⇒点検の補完技術として、完成度が高い。(疑問：成果のソフトは別納品か。CAD 化されたデータか。)
- 【開発者からのコメント】** 納品は、共通仕様の帳票、CAD データ、およびビューア機能をもつ DB ソフトとしている。

⇒ひび割れ位置を手書きでチョーキングした場合、端部が不明瞭になるため画像に残るのは、定量的で良い。

- 発注者からの指示であれば利用する。(1人)

理由

→費用。

- 使えない(使いたくない)と思う。(0人)

理由

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

→交通規制することなく、1回の走行で多様なデータが取得できる。(5人)

→新旧の比較ができる。(MA1人, オブザーバー1人)

→正確な損傷位置の記録ができる。(MA1人, オブザーバー1人)

→理想的な技術でレーザ, データベース, 走行性が優れている。(MA1人, オブザーバー1人)

→人が行う目視点検を支援という位置づけがしっかりしている。(MA1人, オブザーバー1人)

→完成形に近いと思われる

→十分に支援システムとして活用できると思う。

→多種類の計測: 位置=レーザ, 外観=画像, 内部構造=レーダーと3種類あること。

⇒空洞, うきの検出が可能。(2人)

⇒客観的に記録をデータベース化することができる事。

⇒レーザ, レーダー, 画像を組み合わせた技術。

⇒前回点検時との比較が容易。

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

→代替になるかどうか、法定点検のロボット点検マニュアルが必要。

→汚れているトンネルの点検。

→GISに掲載可能なデータの作成: 県域統合GISに載せる

→漏水の有無も重要な情報となるので、漏水箇所検査機能の搭載の検討。

【開発者からのコメント】漏水箇所は画像から判断し、変状展開図に記載できる。

→点検後、速やかに(可能であれば現場で)技術者が点検結果の参照、確認ができると良い。

→覆工コンクリートが厚い場合や、土砂が崩落して背面に堆積している場合の調査精度はどの程度か。

【開発者からのコメント】厚い覆工コンクリート背面に空洞があっても喫緊の問題にならないと考えている。背面が空洞で土砂が堆積している場合、ある程度判定することができる。調査精度は、堆積物の比誘電率で変化する。

⇒計測結果がその場で分析・可視化できれば、当日に打音確認・叩き落としができるのでは。

【開発者からのコメント】計測結果のその場での分析・可視化は可能であるが、叩き落としのために交通規制が必要となるため、現実的には近接目視を行うタイミングで実施することになると思われる。ただし緊急性が高い場合は、規制をして速やかに処理することになる。

⇒うき検出の精度、背面空洞の精度の向上。(キャリブレーションを利用し、95%程度に)

⇒次期の点検に活かすため、全トンネルのデータを取得すること。

【開発者からのコメント】点検する1本のトンネルについては、全線のトンネルデータを1日の走行計測で取得する。

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

→RC床版への利用。

→橋梁、スノーシェッド、ロックシェッドへの利用。

→盛土、切土面などの斜面構造物の経年劣化及び変位、及びコンクリート背面の水分の有無。

→ダム堤体内の満水時、最低水位時のダム軸の挙動の把握。

→船に積ませるなどして、用水路やダム水路等の内部。

【開発者からのコメント】断面が小さい場合には搭載は困難である。小断面用の別のシステム（保有）が活用できる。

⇒舗装の点検、床版の土砂化への利用。(MA1人、オブザーバー2人)

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

→トンネルの覆工だけでなく、路面状態も測定できれば良い。

【開発者からのコメント】レーザによる路面計測は現状で可能である。画像撮影について現在開発中である。

→MCI計測の併用：周囲の変形が路面の性状に影響することの解析で異常個所の抽出ができると考える。

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。(17人)

期待できる項目

→トンネルの安全性確保に対して大変有効。(3人)

→竣工後から供用時までの状態がすべて自動的にデータベース化されること。

【開発者からのコメント】時系列データベース機能を持つソフトは開発済みである。

→点検補助，施設のデータ化，診断。

→トンネル点検の合理化。

→近接目視箇所及び打音計測箇所の抽出スクリーニングに限定。

→点検環境が悪いトンネル点検において，効率よく有用な資料を一括に得ることができる。

→コストが下がればさらに広く浸透可能だと考える。また，海外への展開も可能では。

→交通規制による一般道への影響回避。

⇒詳細調査が必要な箇所の発見を短時間でピンポイントに特定することができる事により，時間短縮，コストダウンにつながる可能性がある。

⇒前回点検との比較ができるのは良い。

□ 改良等を行なえば期待できると思う。(2人)

改良が必要と思われる項目

⇒現在の調査費と同程度の場合，危険箇所があった時，別途詳細点検に人件費が必要になるため。

□ 本日の説明だけでは，期待できないと思う。(1人)

期待できないと思う理由

→採用は困難：費用が既存の技術費用を超過。

- ・高度なシステムのため経費が高い。現状で交通規制+近接目視+打音より高額。

【開発者からのコメント】当日説明したとおり、交通規制+全面近接目視+打音に相当する既往点検コストで、画像、レーザ、レーダ計測+抽出近接目視+抽出打音+近接目視打音時の規制が同等の価格でできることを目指している。一度データをきちんと取得しておけば、2回目以降コストダウンが図れる。

- ・市町村管理の短いトンネルでは費用面でメリットは少ない。
- ・県管理若しくは市管理の長大トンネルのみ利用可能であると思われる。

8. 疑問，その他

疑問

→使用している GPS の使用方法は単独測位またはどのような干渉測位を使用していますか。

【開発者からのコメント】単独測位で，車載している 3 基の GPS で衛星を補捉し自己位置を求める。

→CAD データが無いトンネルの計測場所の位置づけはどのように行うか。新たに CAD を作成するか。

【開発者からのコメント】断面の CAD データという意味では，レーザ計測によって断面測量するため問題はない。変状展開図の CAD データという意味なら，レーザ計測により位置情報をもった展開図を作成する。計測位置はレーザ計測に基づいて算定する。