

「レーザー打音検査装置」の社会実装に向けた研究開発

量子科学技術研究開発機構

関西光科学研究所

X線レーザー研究グループ

長谷川 登



2022/11/17(けいはんな広報ネットワーク 懇談会

研究の背景

・現在のインフラ点検は、全て技能者による手作業で行なわれている。

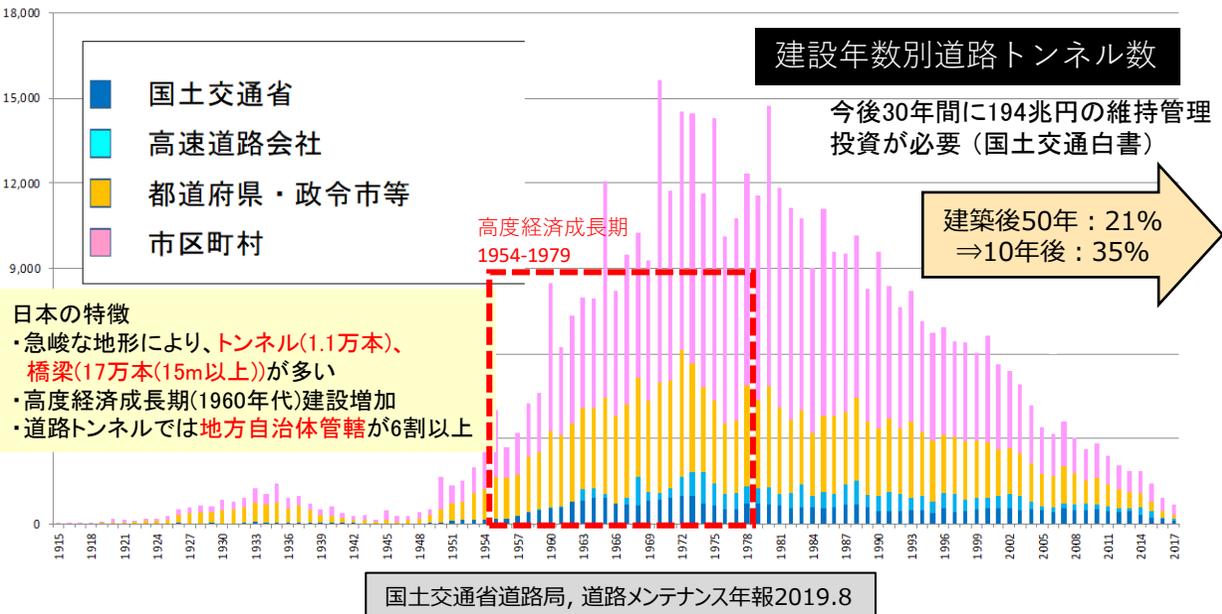


近接目視点検（見る・触る・叩く）

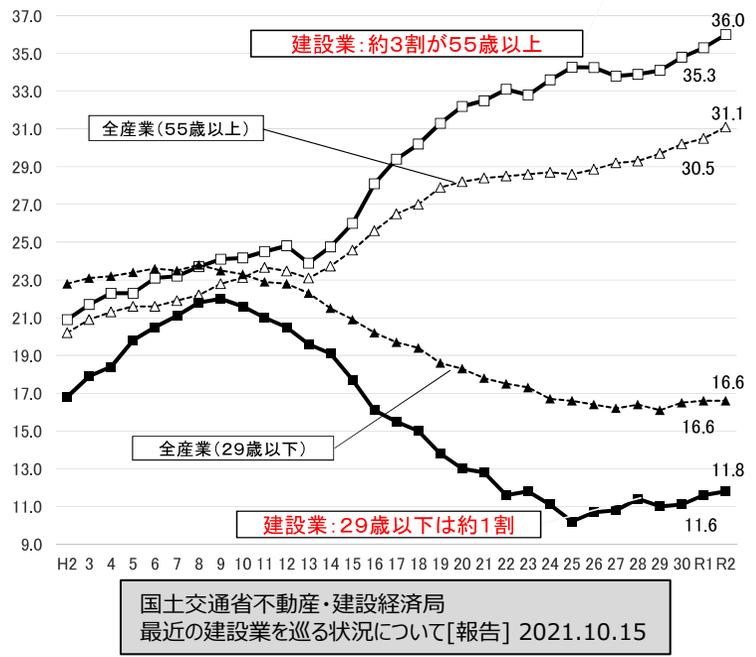
- 建設業就業者： 685万人(H9) → 498万人(H22) → 492万人(R2)
- 技術者： 41万人(H9) → 31万人(H22) → 37万人(R2)
- 技能者： 455万人(H9) → 331万人(H22) → 318万人(R2)

国土交通省不動産・建設経済局
最近の建設業を巡る状況について[報告] 2021.10.15

・日本のインフラの老朽化の進行



・建設業就業者の高齢化



レーザーを使用した「インフラ点検のロボット化」により、点検業務の支援を行なう。

レーザー打音検査：技術の概要1

通常の打音検査



レーザー打音検査



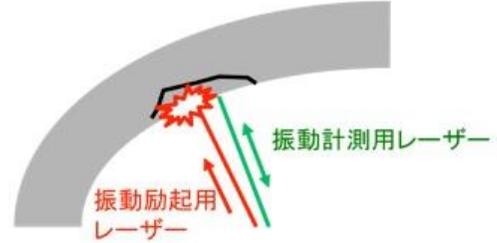
日経新聞2017/07/01 夕刊一面
<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO18374130R00C17A7AM1000/>

レーザー打音の原理・特徴

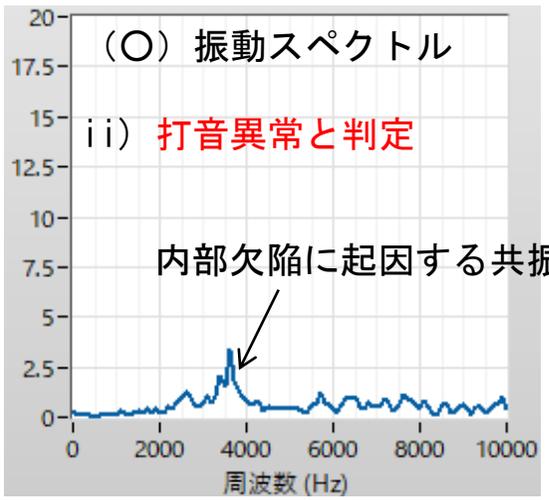
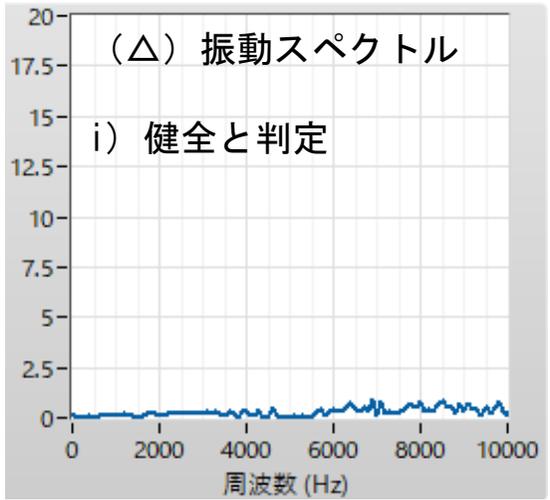
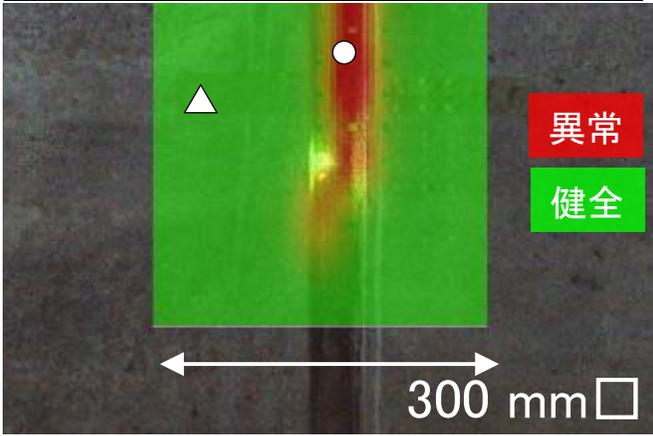
ハンマーに相当：振動励起レーザー
 耳に相当：振動計測レーザー

2種類のレーザーを用いて、表面の振動を解析し、内部の状態を検査する。

- ・遠隔化
- ・定量化
- ・デジタル化



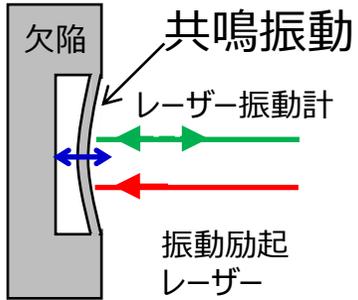
計測結果の表示例（横断目地）



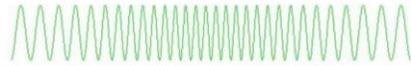
レーザー打音検査：技術の概要2

レーザー打音法の模式図

振動を計測するレーザー：出力1 W



ドップラー効果により
光は照射面の振動に応じた
変調を受ける



表面

振動励起レーザー：出力1 J、時間幅 10^{-8} 秒

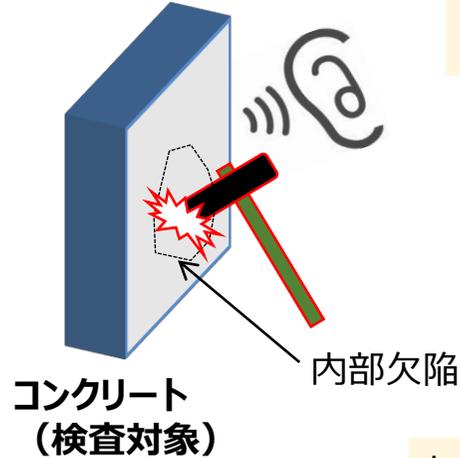


表面のアブレーション
(爆発的な剥離) によって
振動を発生させる

打音法との比較

ハンマーによる打音

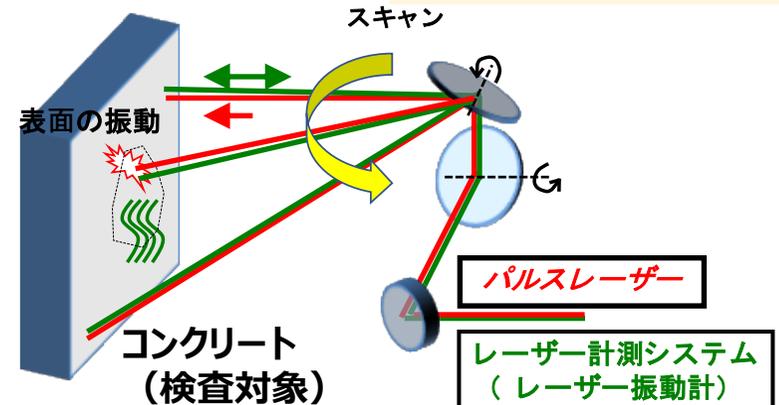
ハンマーで叩いて
音（振動周波数）の
違いを聞き分ける



原理的同一性

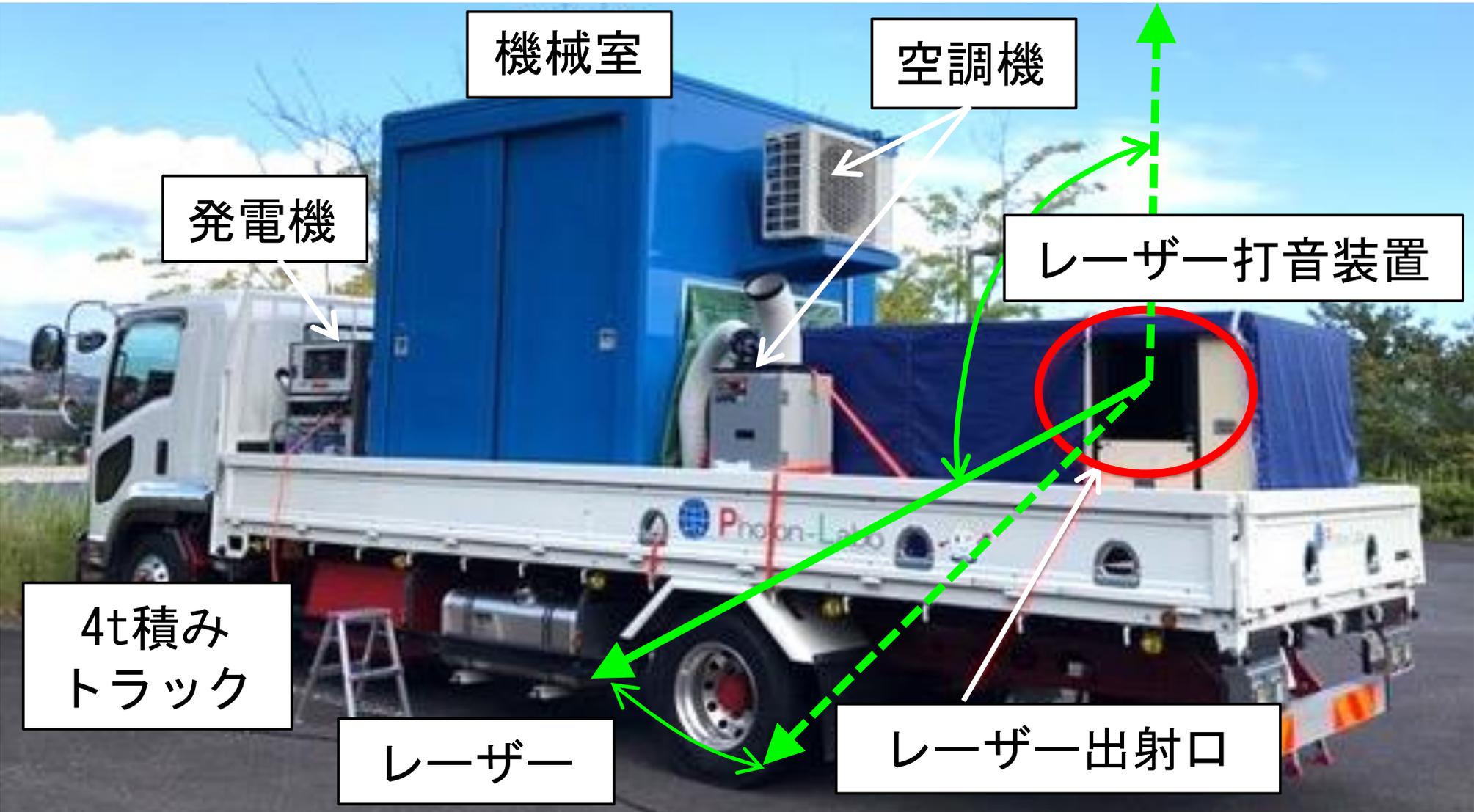
レーザーによる打音

レーザーで叩いて
表面振動（振動周波数）
の違いを検出する



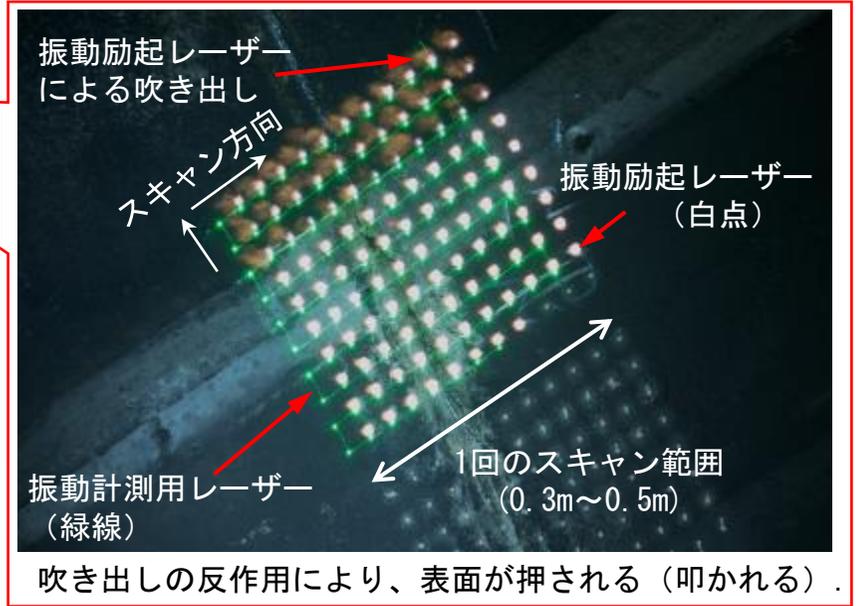
レーザーで打音検査を再現する。 → 遠隔化・定量化・デジタル化

レーザーの打音検査装置の構成

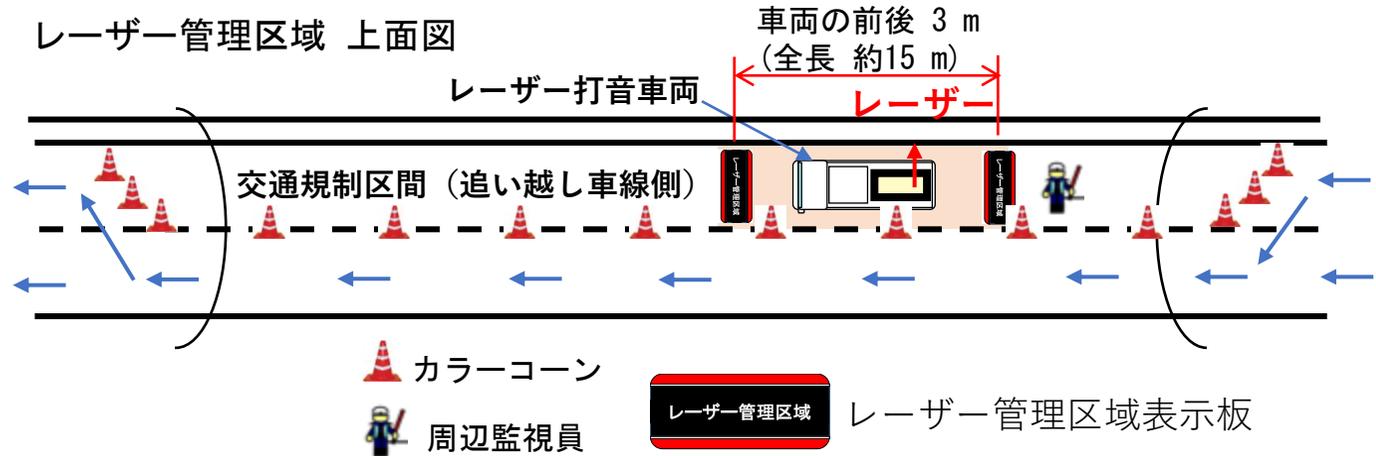
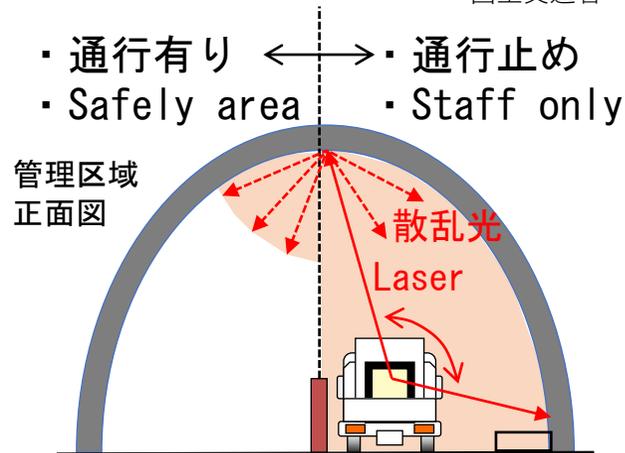


概略寸法：全長8.5m x 幅2.3m x 高さ3.2m

レーザー打音検査装置によるトンネル検査の様子



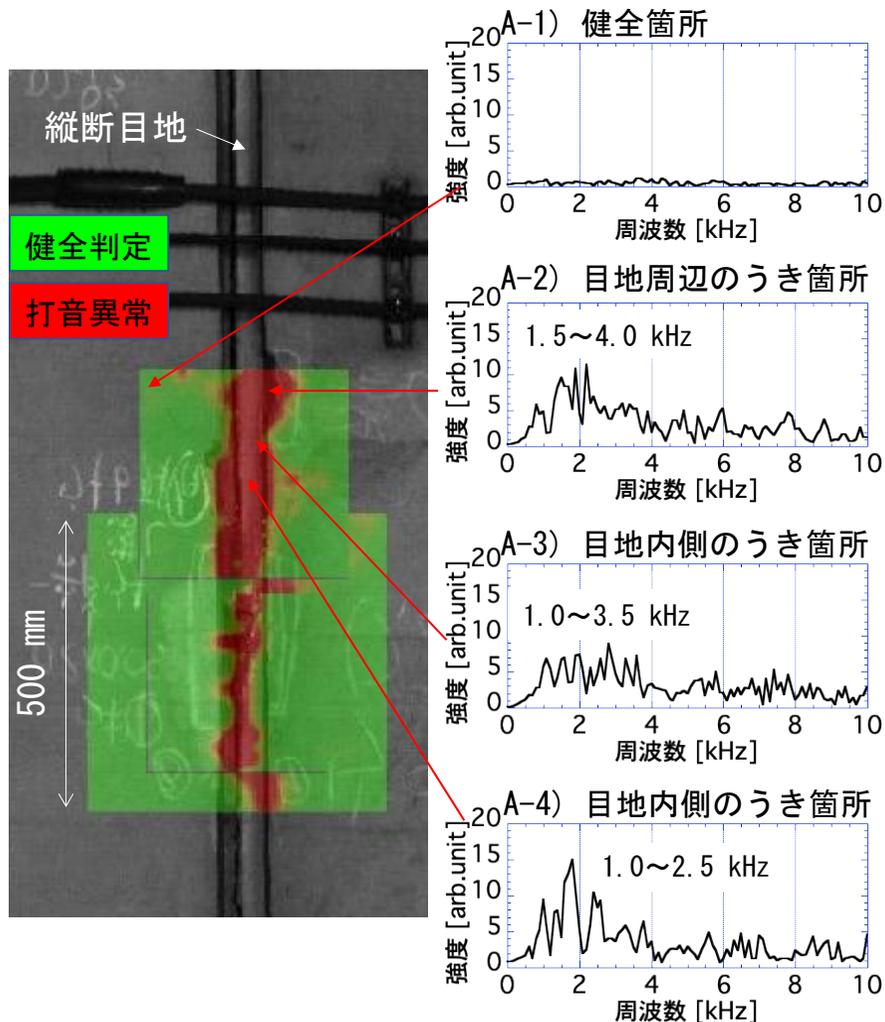
国土交通省：地方自治体に向けた維持管理への新技術導入の手引き (案) p.35 (2021)



JIS C6802：「レーザー製品の安全基準」に沿って運用。

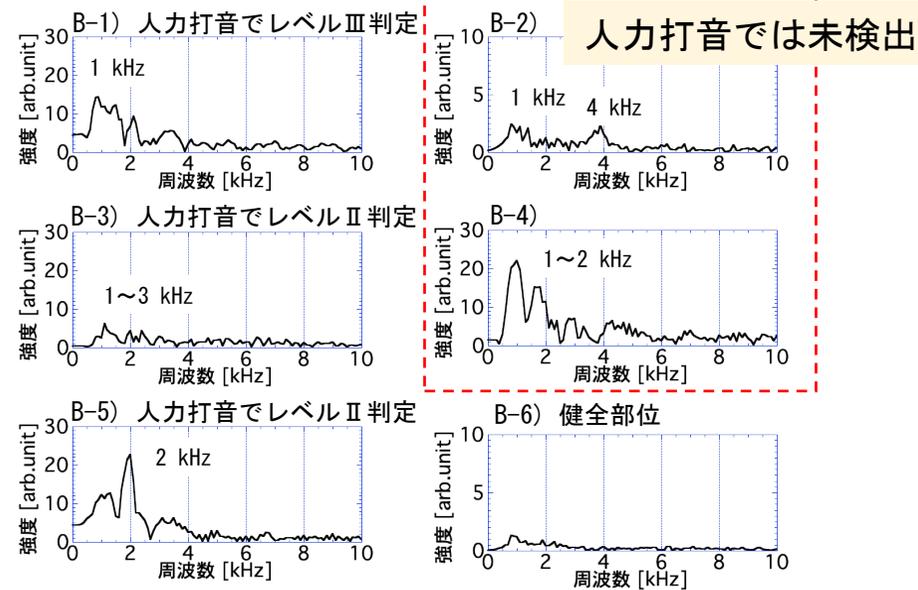
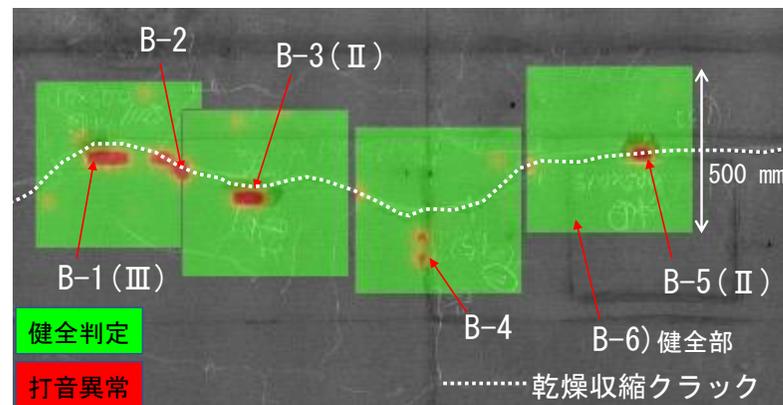


覆工目地部に対する診断支援



- 目地内側で、はく離が進行している事を予想
- 異常範囲の位置情報をより正確に把握

天端付近で連続する乾燥収縮ひび割れ



- 人力打音検査で異常と判定された箇所以外でも、レーザー打音検査によりうき、はく離と評価される振動値を計測

点検支援技術性能カタログへの登録

非破壊検査技術(トンネル) (1/8)



1. 基本事項			
技術番号	TN020003-V0121		
技術名	レーザー打音検査装置		
技術バージョン	VER1.0	作成:	2021年10月
開発者	株式会社フotonラボ (QST認定・理研ベンチャー)		
連絡先等	TEL: 048-483-4931	E-mail: laser-info@photon-labo.jp	レーザー打音事業部
現有台数・基地	1台	基地	京都府木津川市
技術概要	車面に搭載した2種類のレーザーを用いて覆工コンクリート内部におけるうきを対象とした点検を遠隔化・デジタル化する。搭載されたスキャナーにより、設定した範囲内を自動で格子状にスキャンする。深さ5cm程度までの覆工コンクリート内部のうきを検知可能であり、検査結果は装置に搭載した高精度カメラで取得した覆工面画像と重ね合わせて表示される。覆工面画像とともにうき部分の確認および、継続的に計測データを蓄積することでうき箇所の変化を確認することができる。		
対象部位	・覆工の横断目地 / 覆工の水平打継ぎ目 / 覆工天端 / その他覆工面		
変状の種類	・覆工面におけるうき・はく離 / 表面近くの空洞		
物理原理	パルスレーザーによる覆工コンクリート表面の振動の励起、および、レーザードップラー振動計による振動計測(20kHz以下)		
検出項目	レーザー打音による表面振動(周波数)の変化		

登録番号：TN020003-V0121 (2020)



非破壊検査技術(橋梁) (1/8)



1. 基本事項			
技術番号	BR020016-V0021		
技術名	レーザー打音検査装置		
技術バージョン	VER1.0	作成:	2021年10月
開発者	株式会社フotonラボ (QST認定・理研ベンチャー) 株式会社建設技術研究所 計測検査株式会社		
連絡先等	TEL: 048-483-4931	E-mail: info@photon-labo.jp	株式会社フotonラボ・レーザー打音事業部 錦野 得元
現有台数・基地	1台	基地	京都府木津川市
技術概要	車面に搭載した2種類のレーザーを用いてコンクリート部材におけるうきを対象とした点検を遠隔化・デジタル化する。搭載されたスキャナーにより、設定した範囲内を自動で格子状にスキャンする。深さ5cm程度までのコンクリート部材内部のうきを検知可能であり、検査結果は装置に搭載した高精度カメラで取得した道路橋における表面画像と重ね合わせて表示される。コンクリート部材表面画像とともにうき部分の確認および、継続的に計測データを蓄積することでうき箇所の変化を確認することができる。		
対象部位	コンクリート部材(主桁、横桁、床板、橋台、橋脚)		
変状の種類	コンクリート部材のうき		
物理原理	パルスレーザーによるコンクリート部材表面の振動の励起、および、レーザードップラー振動計による振動計測(20kHz以下)		
検出項目	レーザー打音による表面振動(周波数)の変化		

登録番号：BR020016-V0021 (2021)



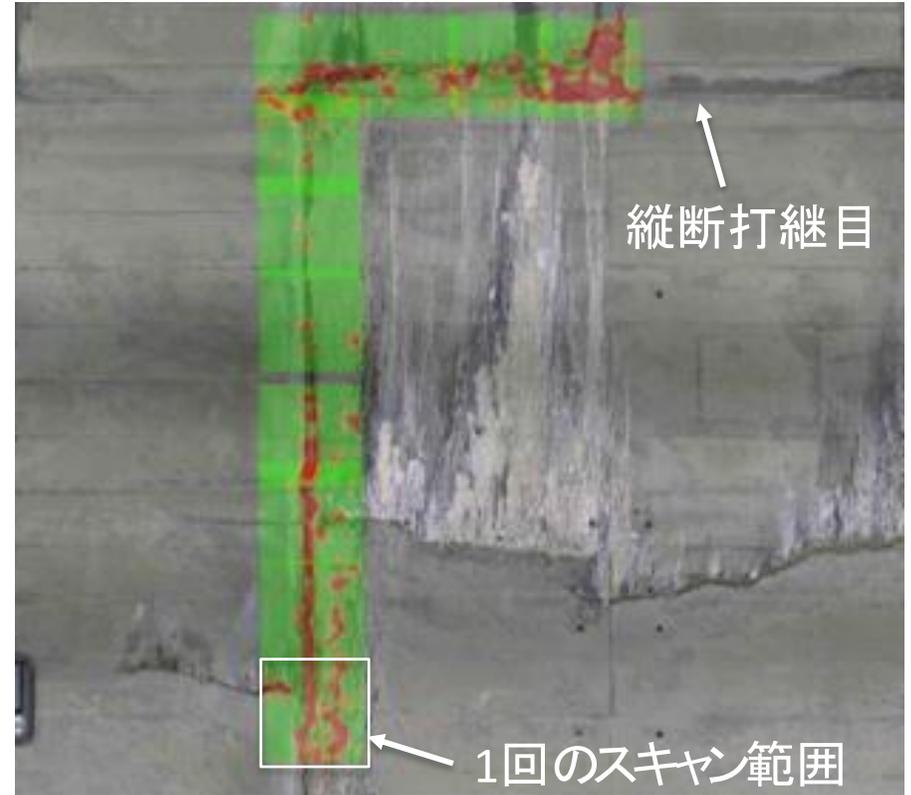
検査業務への参入が可能に!

内閣府SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)第2期: レーザー打音検査装置による、トンネル点検のデジタル化

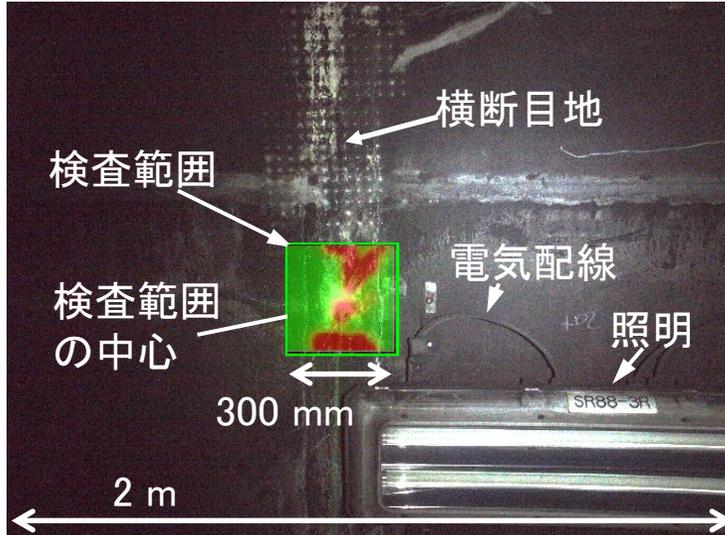
1. MIMMによりトンネル覆工面(内壁)の写真を取得.
→ 点検が必要な箇所を見つける.



4. レーザー打音により、覆工面内部の欠陥を判定.
5. 計測結果をMIMMの覆工展開写真に貼り付け.



2. 写真から検査の必要な位置を指示.
3. 機器搭載カメラにより照射位置を確認.



6. データベースに登録.
(デジタル化したトンネル台帳の実現)

社会実装の現状

(0) 社会実装はQST認定ベンチャー企業(株)フotonラボが担当

(1) 製品化・監督官庁の技術認証

国土交通省「点検支援技術カタログ」への掲載

非破壊検査技術 トンネル TN020003-V0121 (2020)

非破壊検査技術 橋梁 BR020016-V0021 (2021)

(2) 建設コンサルタント会社との業務提携

(3) 実際の事業として計測サービスを開始

受注実績 8件

(4) 新技術の実証事例として、

行政が強い関心を寄せている。

(国土交通省・経済産業省

デジタル庁・中小機構・自治体)

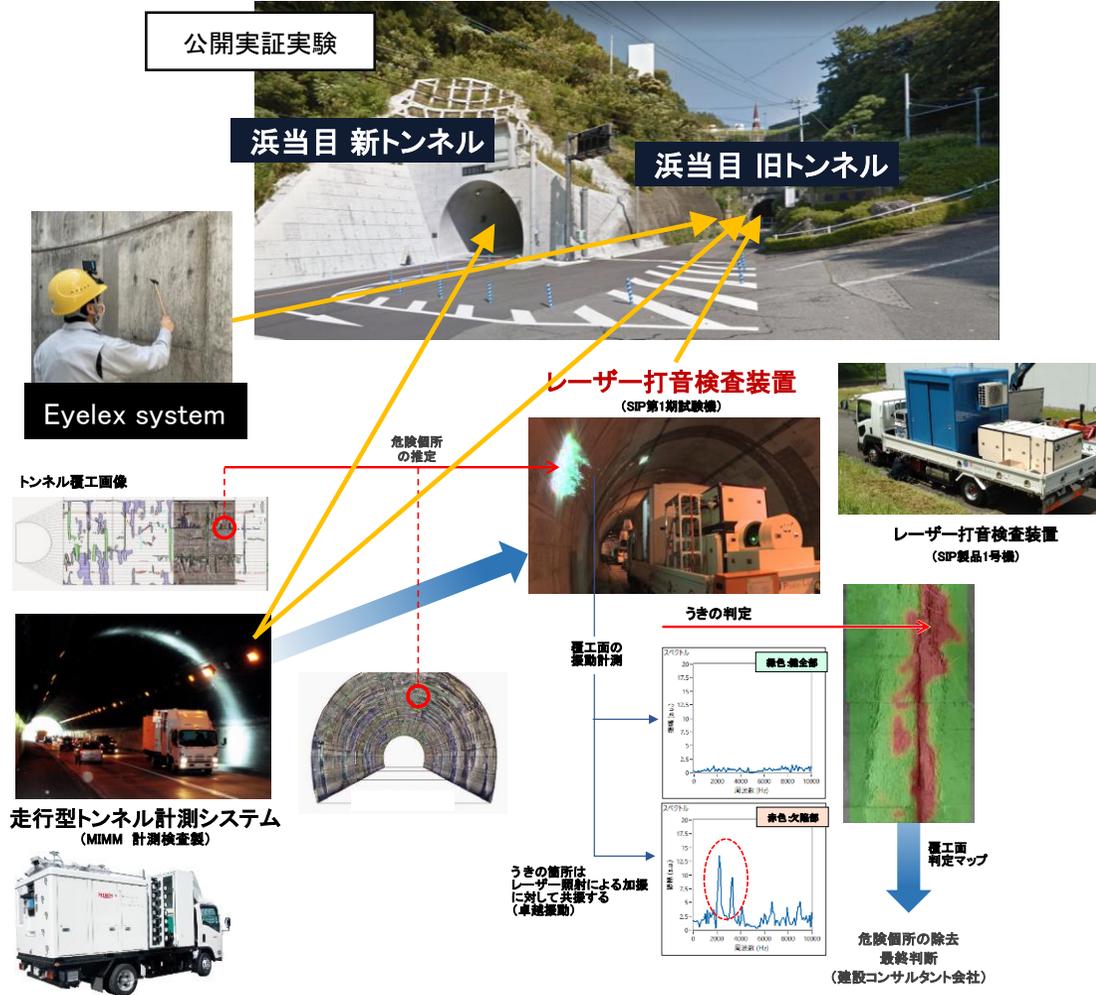
国土交通省「地方自治体に向けた維持管理への

新技術導入の手引き(案)」への掲載(2021)

(5) 公開実証実験(静岡県交通基盤部 共催)

静岡県焼津市 県道416号線

浜当目 新・旧トンネル (2022/9/6)



公開実証実験の様子（動画）

[静岡県焼津市 浜当目トンネル2022/09/06]



インフラメンテナンス最新技術の公開実証実験

2022/9/6 静岡県 浜当目トンネル

(理研コンソーシアム)

焼津市 大崩海岸
静岡県点群データより作成

公開実証実験の参加者からの評価



参加状況) SIPの1コンソーシアムからのコントロールされた情報発信で、国・自治体・事業会社など関係諸組織から非常に多くの方々を地方の現場(静岡県焼津市)に集めることができた。 **123名 (47組織)**

参加理由) 参加者の判断理由は次のとおり

資料で知っていた最新技術について次の要望を持ち、開催を期待していた公開実証実験だった。

- 1) 実際の運用現場で 実機を稼働状態で見ると
- 2) 技術のポイントや開発意図を開発者から直接聞く
- 3) 社会実装の方向性を事業企画者から直接聞く
- 4) 新技術の研究・開発方向性を研究者・技術者から直接聞く

参加後の評価)

- ・ 技術の開発現状と実現可能性を確認し、**使えそう・使ってみたい技術と認識され、連携体制ができた。**
- ・ 同様な**公開実証実験を継続して開催してほしい**との要望が出されている。
- ・ **トンネル以外の構造物への適用の要望**や、その実証への協力の提案を頂いた。

⇒ **研究技術者・監督官庁・関連官庁・自治体・事業会社を結ぶ
新技術推進の新しいネットワークの形が見えてきた。**



**SIP成果としての
社会実装手法**

- ・官庁側: 新技術の実用化に向けた規制緩和・支援策の検討材料にする
- ・自治体: 実証実験の現場を提供するとの協力の申し出があった(静岡県・山口県は実施済)
- ・大企業: 事業化協力・実証実験場の提供 現場担当の中小企業: 運用現場からの質問・提案や協力

社会実装の展望

(1) インフラ計測ロボット化

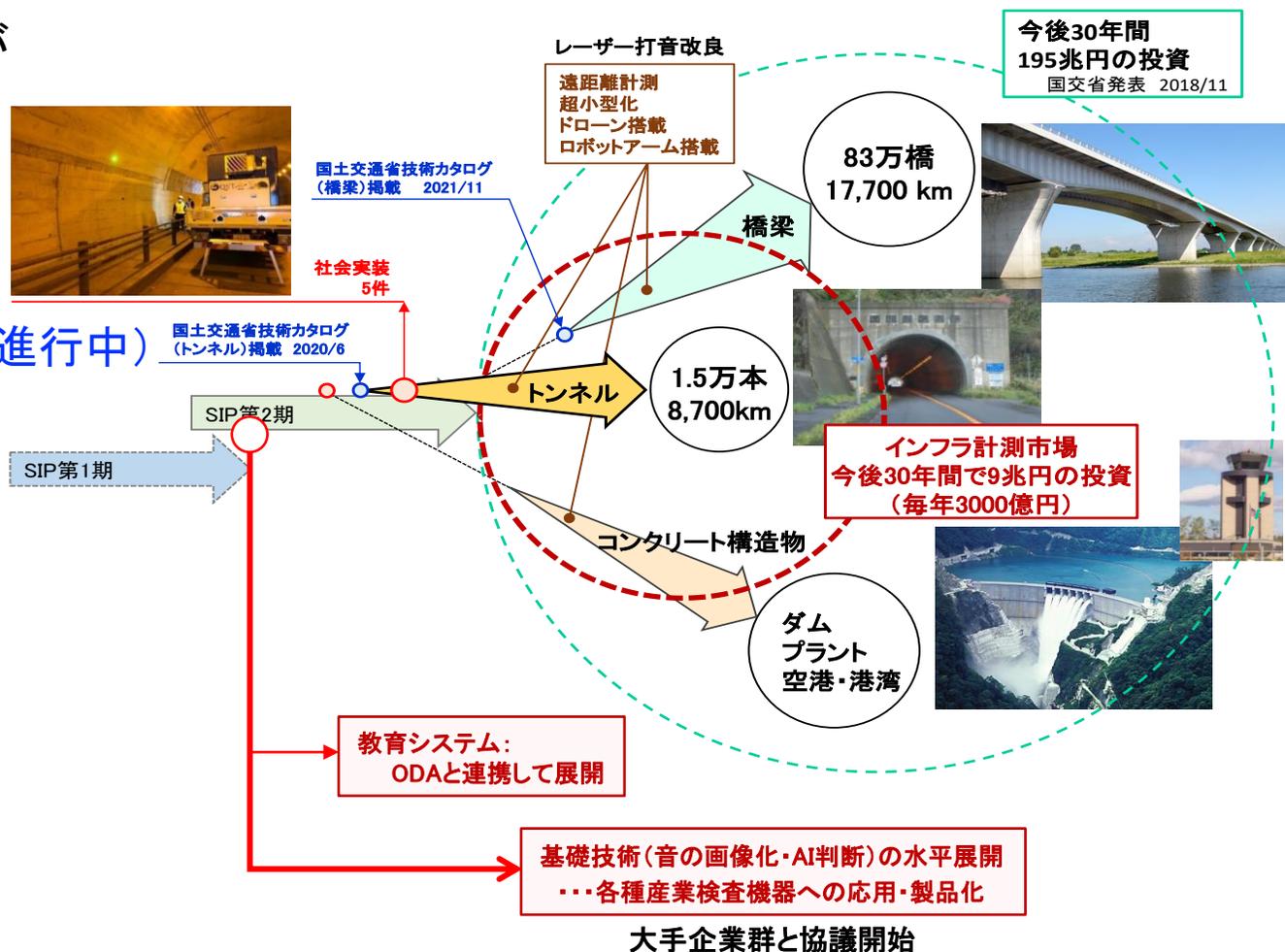
点検要領改訂後の2024年度以降が本格的普及期と予想される。

- トンネル、橋梁の**基本的検査方法**としての定着を進める。

(小型化、遠距離対応化の研究も進行中)

(2) 職人技のAI化

- AI検査技術の**水平展開**による多様な産業分野への対応。
- (用途に合わせたAIの構築)



謝辞



本研究の一部は、以下の外部資金により実施されました。

・内閣府総合科学技術・イノベーション会議「SIP/ビッグデータ・AIを活用したサイバー空間基盤技術」
(管理法人: 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)

・国土交通省: 道路政策の質の向上に資する技術研究開発

「レーザー打音検査装置を用いた橋梁・トンネル等の道路構造物のうき・剥離の定量的データ化による
診断技術の技術研究開発」