

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

1. 研究の目的

トンネル点検で社会実装が進みつつあるレーザー打音検査装置について、音波ではなくコンクリート表面の変位（動き）を遠隔で計測できるレーザー打音検査装置の特徴を活かし、「うき・剥離の状態」を定量的データ化することで、検知・記録から診断する技術へ進化させ、橋梁等の道路構造物にも適用範囲を広げるとともに、従来点検以上の品質と効率性の向上を実現する

2. 研究の体制

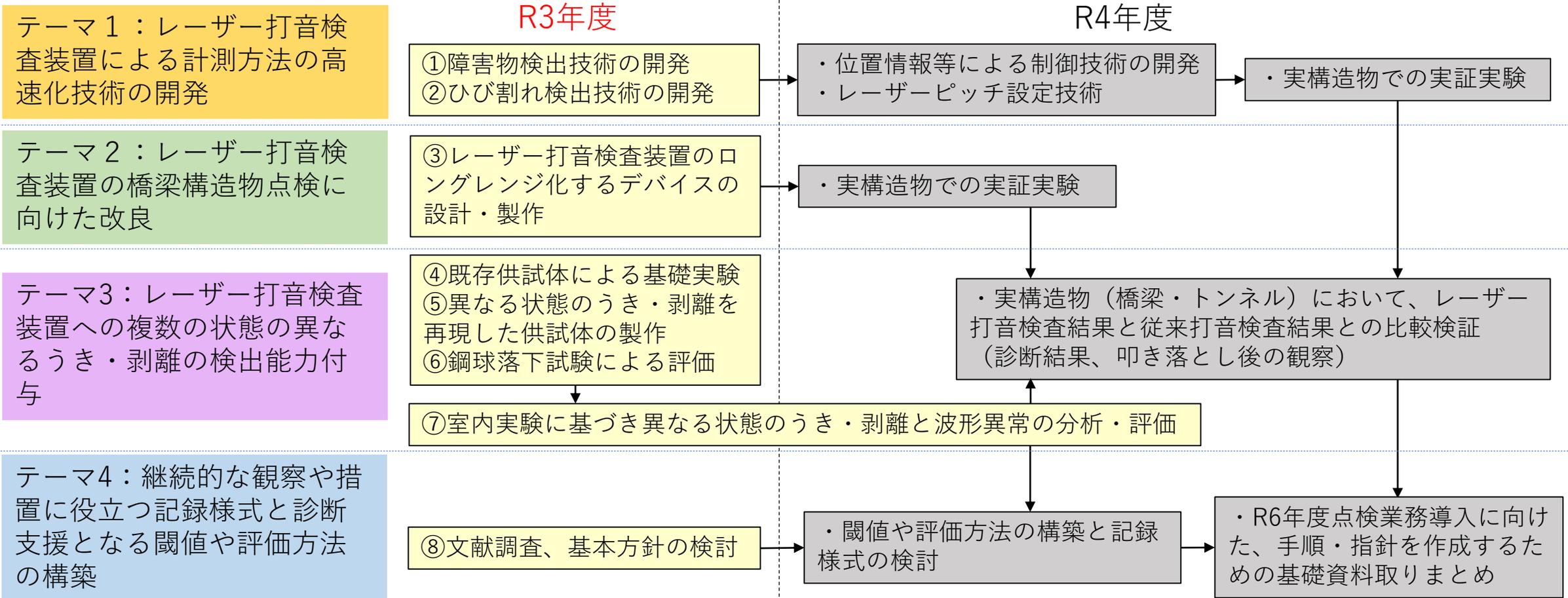
氏名/学位	所属等	主な担当分野
○中村 光/博士(工学)	(大)名古屋大学大学院	研究プロジェクト総括, テーマ3,4
戸本 悟史	(株)建設技術研究所	テーマ1: レーザー打音検査装置による計測方法の高速化技術の開発
安部 正道	計測検査(株)	
坂本 勝哉	(株)フォトンラボ	
長谷川 登/博士(工学)	(国) 量子科学技術研究開発機構	テーマ2: レーザー打音検査装置の橋梁構造物点検に向けた改良
		テーマ3: レーザー打音検査装置への複数の状態の異なるうき・剥離の検出能力付与
石田 辰英	(株)建設技術研究所	テーマ4: 継続的な観察や措置に役立つ記録様式と診断支援となる閾値や評価方法の構築

3. 研究により期待される具体的な成果と達成時期

- レーザー打音検査に支障となる障害物を避け、うき・剥離の可能性が高い部位は自動的に打音間隔を変え、精緻に計測する制御機能を実装する
- 高架橋や広幅員の橋梁に適用できるようにレーザー打音検査装置のロングレンジ化を図る
- 「直ちに措置が必要」「経過観察」「健全」についてうき・剥離を分類し、客観性のある計測データとして可視化、記録・評価する技術を実装する

表1 研究で目指す損傷検知レベルの細分化

損傷レベル	評価	評価内容
レベルⅠ	健全/異常	明確なうき・剥離がない健全な状態
レベルⅡ	健全/要注意	早期に剥落する可能性は低いですが、将来問題となる可能性があるうき・剥離
レベルⅢ	健全/措置	直ちに措置すべきうき・剥離



4. 中間成果

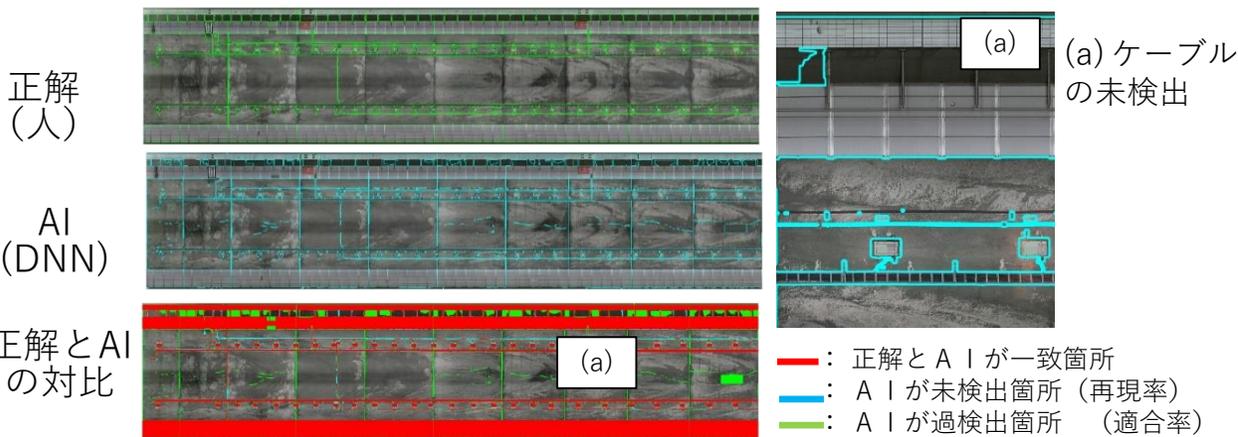
【テーマ1】

①障害物検出技術の開発

- 学習トンネル数：35箇所
- 学習枚数：約18,000枚
- 学習箇所：約40,000個

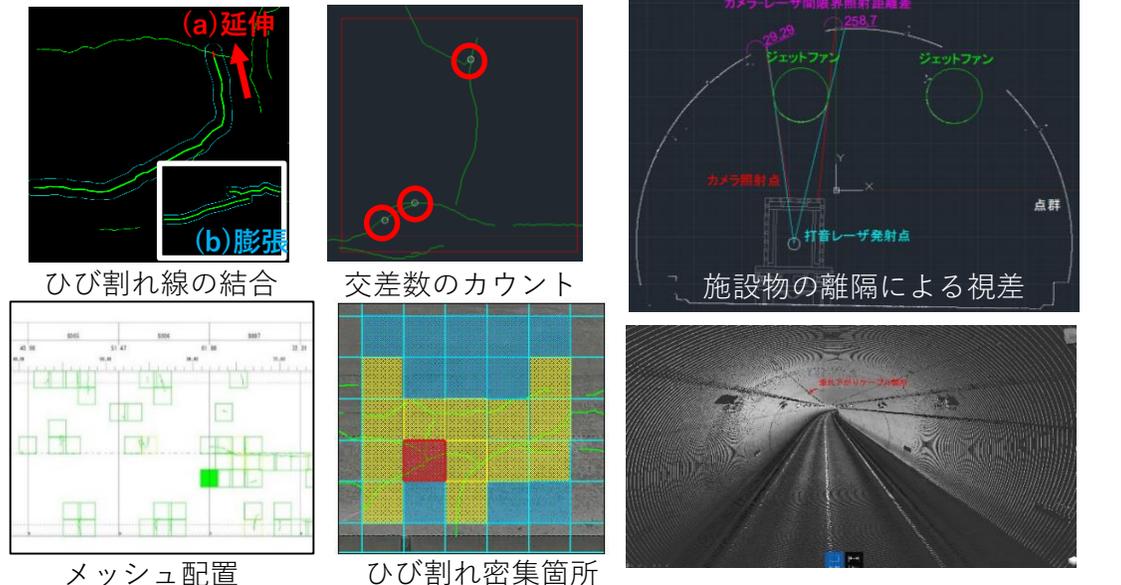
・学習対象外の3トンネルで検証
 再現率：正解箇所の中でAIが抽出箇所割合
 適合率：AI抽出箇所、正解の抽出割合

再現率 (3トンネル平均)	96%
適合率 (3トンネル平均)	94%



②ひび割れ検出技術の開発

- 剥離の可能性が高い**ひび割れ密集箇所**の検出技術を新たに開発
- スコア = $\frac{\text{ひび割れ密度} [\text{m/m}^2]}{1 + 0.2 \times \text{ひび割れ交差数}}$
- ひび割れ交差数** = メッシュ内のひび割れ交差数をカウント
- スコアが高いほど、危険と判断する

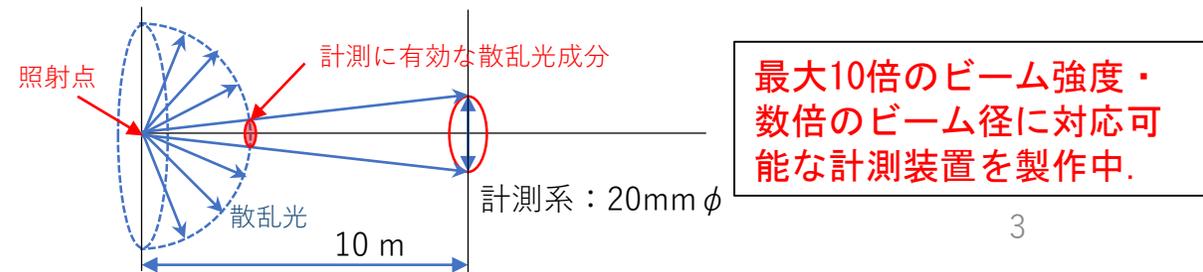


【テーマ2】 ③レーザー打音検査装置のロングレンジ化するデバイスの設計・製作

長距離化(10m → 30m)の課題： 1. 対象に当たる前に発生するプラズマにより、レーザーの一部が屈折し、エネルギーの伝達率が低下。→ 加振力の低下。
 2. 距離の増大による振動計の光量(信号量)の低下。

問題点1の解決：プラズマの発生確率は、主に「レーザー強度」によって決まる。大気中のチリ等がプラズマ化するレーザー強度(1.3 J/cm²以上)における光路長を短くする。→ 集光の角度が小さくならないように、大口径化。

問題点2の解決：レーザードップラー振動計は、検査対象からの散乱光を計測するため、距離の2乗に反比例して信号強度が低下する。
 → レーザー強度の増大 & 観測立体角(光学系・ビームの大きさ)の増大。



【テーマ3】 ④既存供試体による基礎実験 ⑤異なる状態のうき・剥離を再現した供試体の製作 ⑥鋼球落下試験

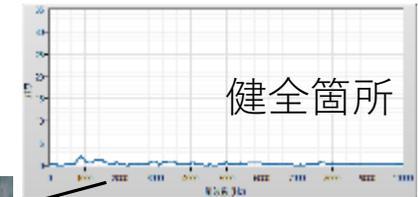
- 電食供試体は、過大なひび割れ再現までは困難なため、**静的破碎剤**による劣化供試体を先行（電食試験は、継続中）
- 損傷度、ひび割れ箇所、ひび割れパターンが異なる様々な供試体を製作中（**現在まで約150体**）
- **鋼球落下試験**で損傷検知の事前に行い、レーザー打音による評価結果の検証
- 検査員による損傷レベルの評価

⑦室内実験に基づき異なる状態のうき・剥離と波形異常の分析・評価

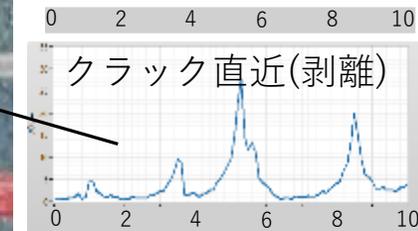
レベルIII相当の損傷について学習を開始。

— 人力打音
打音異常
正常

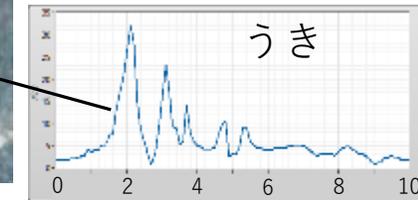
人力打音
+ レーザー打音



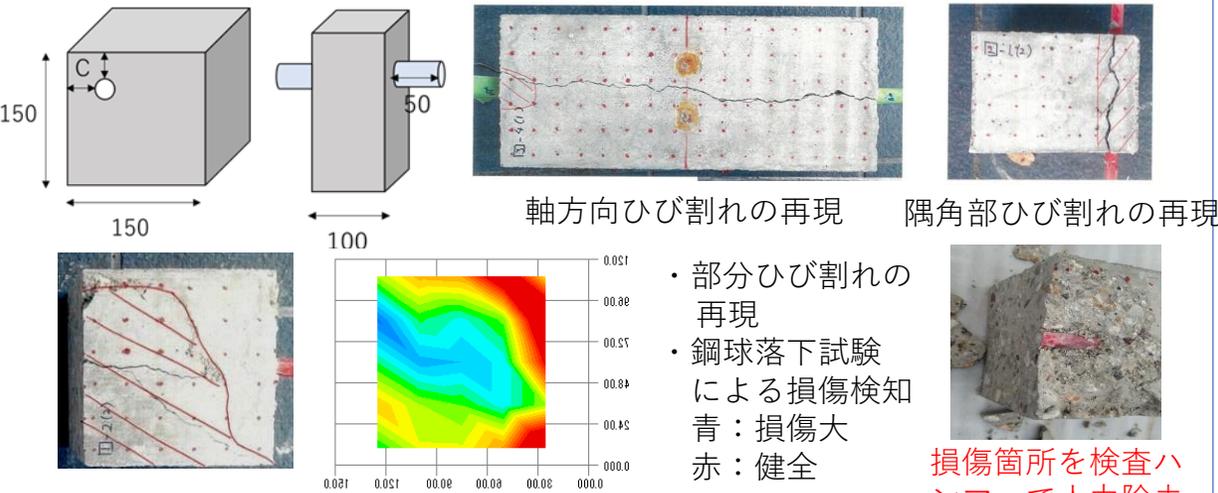
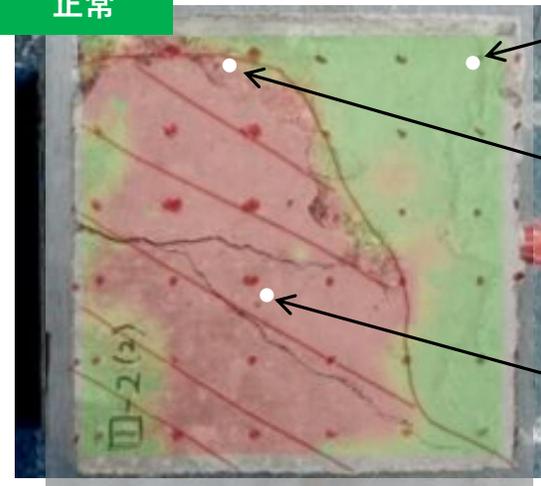
振動せず



振幅：大
周波数：大
⇒ 質量小
⇒ 剥離



振幅：大
周波数：小
⇒ 質量小
面積大
⇒ うき



【テーマ4】 ⑧文献調査、基本方針の検討

	到達点（イメージ）	検討課題
本技術のユースケースの検討	①危険個所のスクリーニング ②構造物全体の危険個所、措置結果の正確な記録	道路管理者のニーズ把握 施設点検者のニーズ把握
継続的な観察や措置に役立つ記録様式	①構造物全体の危険個所を俯瞰的に記録 ②構造物全体の危険個所を俯瞰的かつ正確に記	BIM/CIMとの連携 データのクラウド化、管理体制
閾値や評価方法	①第三者被害予防措置を実施することを前提に安全側の評価 ②見落とし及び過検出も内容に高精度な評価が必要	評価方法・閾値の確立方法 実構造物への適用性