

解析学的信号処理によるトンネル等のうき・剥離の 高精度・高速検出の研究開発

1. 研究目的・目標

舗装の変状検出で実証された研究成果を計測技術と解析技術の両面で応用・発展させ、トンネル等におけるコンクリートのうき・剥離を点群情報から検出可能とすることを目的とする。

本研究成果は、高精度であるだけでなく、処理の自動化により高速にうき・剥離を検出することで、点検→診断→補修を準リアルタイムに連続的に行い、トンネル点検においてより効率かつ生産性の向上につながる技術として社会実装を目指す。

年度	実施内容	達成目標
令和元年度	【計測技術】 計測機器のプロトタイプ製作 【解析技術】 解析ロジックの確立 【技術実証】 うき・剥離の表層変化の検証	研究目標の実現性確認完了 現場（首都高速）での適応性検証の完了

2. 研究体制

研究代表者： 東京大学大学院工学系研究科 石田 哲也 教授

共同研究者： 東京大学生産技術研究所、首都高技術株式会社、朝日航洋株式会社



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

石田 哲也 教授

専門分野：コンクリート工学

全体統括／研究のとりまとめ



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

水谷 司 准教授

専門分野：デジタル信号処理

解析技術の研究開発
(検出アルゴリズムの考案)



首都高技術 株式会社

永田 佳文

インフラドクター部 部長

技術実証と適用性検討
(うき・剥離のメカニズム検証)



朝日航洋株式会社

鈴木 清

モビリティ空間技術部 部長

計測技術の研究開発
(移動体計測手法の考案)

解析学的信号処理によるトンネル等のうき・剥離の 高精度・高速検出の研究開発

3. 研究内容

サブミリの分解能を有するレーザ測距装置を搭載したプロトタイプ車両の構築、および当機によるフィールド計測を実施した。また、レーザ測距装置により取得した3次元点群データから、空間周波数解析によるコンクリート面のうき・剥離を検出する基本解析ロジックの有効性を確認した。

■ 1. 計測機器のプロトタイプ制作

一般的なレーザ測距方式である「タイムオブフライト（TOF）方式」「位相差距離（PS）方式」レーザによる厚さ別供試体の計測テストを実施し、**PS方式レーザの方が精度が良好であり、その精度は厚さ1mmの供試体の検知が可能であることを確認**

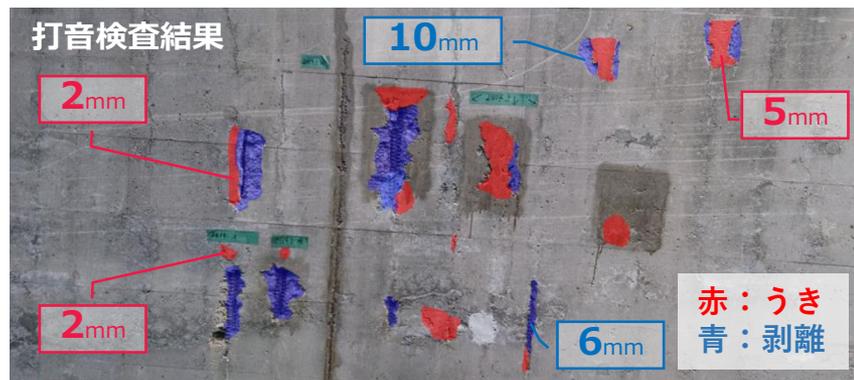
■ 2. 解析ロジックの確立

任意のデータ密度、スケール、凹凸の向きを認識・区別できるよう、既往の研究にて開発した路面凹凸性状評価アルゴリズムを改良

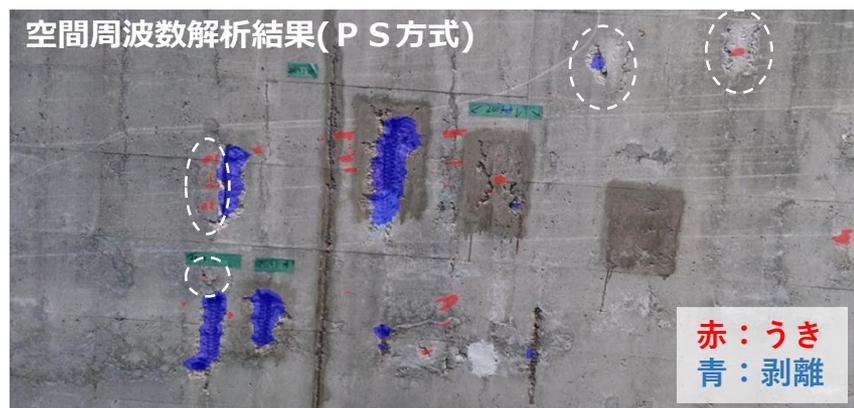
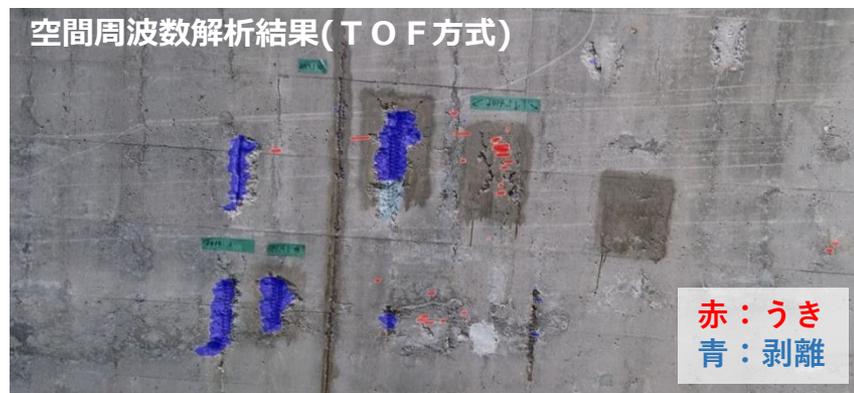
■ 3. うき・剥離の表層変化の検証

実証用フィールド（護国寺補修基地）において、空間周波数解析によるコンクリート表面のうき・剥離検出を実施し、**基本解析ロジックの有効性を実証**

PS方式レーザにおいては、**寸法120mm×60mmの損傷個所の中で、厚さ2mm以上のうき、および、深さ6mm以上の剥離の検出が可能であることを確認**



※詳細なうき・剥離の寸法は4ページ目に記載



解析学的信号処理によるトンネル等のうき・剥離の 高精度・高速検出の研究開発

4. 進捗状況

実施項目	進捗	計画・実績
1. 計測機器の プロトタイプ製作	完了	(計画) センサースペック、MMS車両速度と取得データの関係を整理 (実績) レーザ測距装置のスペックと取得データの関係を整理
	完了	(計画) トンネル内空面データを高精度かつ高速に取得する機器を設計 (実績) サブミリ単位の計測精度を有するレーザ測距装置を設計
	完了	(計画) 計測機器のプロトタイプを製作し、実証用フィールドでデータを取得 (実績) レーザ測距装置を搭載したプロトタイプ車両による計測を完了
2. 解析ロジック の確立	完了	(計画) 空間周波数分析手法を応用・発展させ、解析ロジックを確立 (実績) 任意のデータ密度、スケール、凹凸の向きを認識・区別できるよう改良
3. うき・剥離の 表層変化の検証	実施中	(計画) うき・剥離の表層特徴を現場にて確認し、検出すべき目標値を決定 (実績) 首都高速道路(護国寺補修基地)にて、打音検査を実施し、目標値を決定
	実施中	(計画) トンネルの施工法、形状、部位、材料による変状の違いを整理 (実績) 首都高速道路(護国寺補修基地)擁壁部(平面)に対する検出妥当性を実証
	実施中	(計画) 計測技術、解析技術を実際の現場に適用し、その実効性を検証 (実績) 首都高速道路(護国寺補修基地)の空間周波数解析結果の妥当性を実証

令和元年度の残作業と計画

検証フィールド	計測	打音検査	実証・適応性検討
首都高速道路(護国寺補修基地)	計測・解析完了	打音検査完了	適応性検討：完了
首都高速道路トンネル	計測完了。解析中	2020年2月予定	2020年2～3月予定
関東地方整備局管理トンネル	計測完了。解析中	2020年2月予定	2020年2～3月予定

解析学的信号処理によるトンネル等のうき・剥離の 高精度・高速検出の研究開発

5. 成果の見通し

令和元年度の検証では、位相差距離方式レーザによる計測技術と、舗装解析用の空間周波数解析技術を応用し、首都高速道路フィールド（護国寺補修基地）**コンクリート表面の特定のうき・剥離の検出を可能**とした。ただし、その**検出精度は一貫しているものではない**。

うき	厚さ(最大値)	2mm	2mm	1mm	2mm	2mm	—	2mm	1mm	2mm	4mm	3mm	1mm	5mm	5mm	
	検出可否 <TOF方式>	×	×	×	×	×	—	×	×	×	○	×	×	×	×	
	検出可否 <PS方式>	○	○	×	×	×	—	○	×	×	○	×	×	×	○	
剥離	深さ(最大値)	29mm	20mm	20mm	25mm	9mm	—	—	—	16mm	6mm	10mm	5mm	—	2mm	7mm
	検出可否 <TOF方式>	○	○	○	○	○	—	—	—	×	○	×	×	—	×	×
	検出可否 <PS方式>	○	○	○	○	○	—	—	—	○	○	○	×	—	×	×
	寸法(縦)	250mm	300mm	230mm	300mm	120mm	—	—	—	380mm	290mm	130mm	—	—	160mm	
	寸法(横)	100mm	100mm	150mm	180mm	60mm	—	—	—	200mm	—	70mm	—	—	100mm	

※TOF方式：タイムオブフライト方式、PS方式：位相差距離方式

今後の見通しとして、トンネルの施工方法（矢板工法、NATM工法、シールド工法等）や地域などの**条件の異なるフィールドも含め、うき・剥離の検出をロバストに行うための最適パラメータの検証等を行うことで、検出精度の向上を図ることができると考えられる。**

	検出精度に影響する要因	今後の対応策
①	うき・剥離の検出基準面が不均一である	サンプリング空間周期の調整・最適な計測仕様の選定
②	うき・剥離が多様なスケールを持つ	解析空間スケールの調整
③	基準面モデルと実データとの相違がある	検出基準面の定義と実装を実現