

プロジェクト・研究成果の概要(1/2)

プロジェクト:「トンネル点検支援技術の高度化に関する研究」

プロジェクトリーダー  
 ・氏名:石川 貴一朗  
 ・所属、役職:日本工業大学 基幹工学部 機械工学科、准教授

研究期間:平成30年4月～令和3年3月

プロジェクト参加メンバー(所属団体名のみ)  
 日本工業大学機械工学科、岡山大学大学院環境科学研究科、関西大学社会安全学部、早稲田大学理工学術院基幹理工学部、iシステムリサーチ(株)、(株)ウエスコ、応用地質(株)、(株)オリエンタルコンサルタンツ、計測検査(株)、(株)建設技術研究所、(株)鴻池組、国際航業(株)、(株)ニュージェック、パシフィックコンサルタンツ(株)、三井住友建設(株)、ライカジオシステムズ(株)、国土交通省近畿地方整備局道路部、近畿技術事務所、(一般)先端建設技術センター、(株)高速道路総合技術研究所、(一般)日本建設機械施工協会、(一般)近畿建設協会

プロジェクトの背景・目的(研究開始当初の背景、目標等)  
 道路トンネル点検は、厳しい環境条件の中で、熟練技術者による適切な判断が必要となっており、工期、コスト、安全、労働環境、精度、適任者の確保等が課題となっている。  
 本研究の目的は、走行型計測を有効に活用した道路トンネルマネジメント手法の確立である。その手段として、走行型計測の性能・機能を理解した上での画像・レーザー等から得られたデータに対する自動解析やAI技術の活用(支援)方法の検討 設計～施工～維持管理のプロセスにおける建設時からの正確な3次元形状データ、地山状況、施工法、損傷状況等のデータベース保管・活用方法についての検討 - を行うものである。

プロジェクトの研究内容(研究の方法・項目等)  
 本研究は以下の項目について実施する。  
 非破壊検査技術の有効活用によるトンネル点検支援技術の高度化  
 AI技術活用による健全度診断の効率化・判定精度の向上  
 トンネルデータベースの有効活用検討  
 令和元年度は、これらの各項目に対して以下の研究を行った。まず に関しては、  
 ・既存走行型レーザー計測技術によるトンネル断面計測精度の検証。走行速度による計測精度への影響検証。  
 ・衛星不可視下におけるSLAM技術の検証  
 ・変形モード解析による進行性評価(差分解析手法)の妥当性、精度の検証を行った。  
 に関しては、  
 ・AI用教師データ収集ツールの開発。  
 ・トンネル点検の実務経験を持つ技術者による教師データ収集  
 ・収集教師データを用いたAIの試作。  
 では、他時期差分比較のためのSLAM技術による位置推定精度の検証。過去の計測点群を用いたレーザースキャンマッチングによるトンネル内位置推定手法の開発と評価。  
 これらの検証を行うため、実トンネルにおいて、検証点、マーカーを設置し、静止計測をリファレンスとして検証を行った。

研究項目	目的	平成30年度	平成31年度	令和2年度
①非破壊検査技術の有効活用によるトンネル点検支援技術の高度化	<ul style="list-style-type: none"> <li>変状原因(外力or材質劣化、進行性)の評価法の確立とマニュアル化</li> <li>活用範囲、精度、運用方法の明確化</li> </ul>	トンネル定期点検の支援技術の明確化 レーザー計測に対する検出能力、精度の検証	Point1 点検要領判定目安に対する支援内容の整理 Point3 適切な教師データによるAI学習(変状、展開図、判定をセットにして属性付与) AIによる健全度の診断技術の開発	社会実装に向けた外力変状のスクリーニング、変状進行性評価の高度化の検証 コスト削減省力化
②画像・計測データへのAI技術活用による健全度診断の効率化・判定精度の向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>支援技術によるスクリーニングにより打音・触診箇所の明確化</li> </ul>	点群データによる各損傷の自動認識、損傷展開図の自動作成 課題の明確化	Point2 レーザ点群を活用した検出精度向上 スクリーニング技術の開発	Point2 レーザ点群を活用した検出精度向上
③i-Construction推進に向けたトンネルDBの有効活用検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>活用範囲、精度、運用方法の明確化</li> </ul>	誤差を適正化した高度解析技術による変形評価法 Point4 衛星不可視下での正しい中心軸決定の課題を解決	SLAMによる縦断方向計測精度の向上 3次元形状データの出来形検測への活用	SLAMによる縦断方向計測精度の向上 3次元形状データの出来形検測への活用

計測



速度	回数
20km/h	往復2回
40km/h	往復4回
60km/h	往復2回

検証断面



検証点、マーカー設置

評価用データの計測

断面計測  
P40, BLK360  
+ TS基準点測量



新規開発手法

SLAM  
スキャンマッチング  
MIMM+OS1



SLAM/GNSS/IMU複合  
VLP-16  
STIM300  
GNSS




移動体計測(既存技術)

MS60, ProScan  
TSによる外部トラッキング



車載計測  
GNSS/IMU複合航法  
Pegasus2



歩行計測  
SLAM  
GNSS/IMU複合航法  
Pegasus Backpack



プロジェクト・研究成果の概要(2 / 2)

プロジェクトの研究成果の概要(図表・写真等を活用しわかりやすく記述)

それぞれの項目に対して以下の研究成果を得た。

実トンネルにおいて、トンネル坑内に複数個所の検証点、検証用マーカーを設置し、その箇所においてトンネル断面計測精度の比較を行った。マーカー位置はあらかじめ基準点測量を行い、リファレンスには、マーカー上に設置した3Dスキャナ Leica P40 による計測結果を用いた。移動体計測は、車載計測 2 機種、バックパック型 SLAM 計測、TS によるトラッキング計測を行った。

走行型計測では以下の項目について検証した。

・断面計測精度(P40 との比較(図1))

アーチ部では、基準点補正がなしの状態、±5.0mm 程度の誤差であった。路面部の誤差が左車線と右車線で反転する傾向がみられ、これはトンネル内位置推定で課題となっている回転による影響と考えられる。

・走行速度による誤差

誤差値は、速度が上がるにつれ、誤差が小さくなる傾向となった。これは GNSS 不可視時間が短くなるため、ジャイロの累積誤差が減少するためであり、理論と一致している。

・再現性の検証

アーチ天端付近での同一速度による複数回計測した結果、1 mm ~ 4 mm 程度の再現性であった。

AI 教師データ収集のための簡易ツールを開発した。AI では、目視点検前のスクリーニングを目的としており、変状を発見するのではなく、正常な箇所を見つけ出すことにより、目視点検時に、点検不要な箇所を抽出する。教師画像は、正常、変状の可能性あり、付帯設備の三種類とし、点検業務従事者により、本ツールを使って分類収集した。収集した画像枚数はそれぞれ、18,499 枚、8,155 枚、7,375 枚となった。収集した画像を Sony Neural Network Console を使用して学習させ、分類器を試作した結果、F 値 0.95 となり、有効性が期待される結果となった。

他時期に計測したトンネルの進行性を比較するために、過去に計測したトンネル点群データを地図としたレーザースキャンマッチングによる位置推定手法を開発した。本来レーザースキャンマッチングやレーザースLAM は特徴点がない場所や似た形状が続く場所では位置推定に失敗することが知られているが、本研究では、トンネル内の付帯設備を自動抽出し、それをランドマークとして位置推定する手法を新たに開発した。 の実験と合わせた評価試験の結果、表のように、従来に比べて高い自己位置推定精度を得ることができた。従来、位置補正のために、ランドマークアップデート処理を必要としていたが、本技術により自動化できる見通しとなった。今後は、本技術を使用した際の差分解析の精度検証を行っていく必要がある。

表 2 自己位置推定誤差結果

	X m(rms)	Y m(rms)	Z m(rms)
GNSS/IMU	0.612	0.543	0.360
開発手法	0.183	0.153	0.027

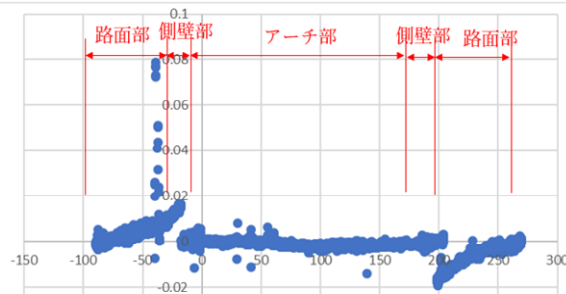
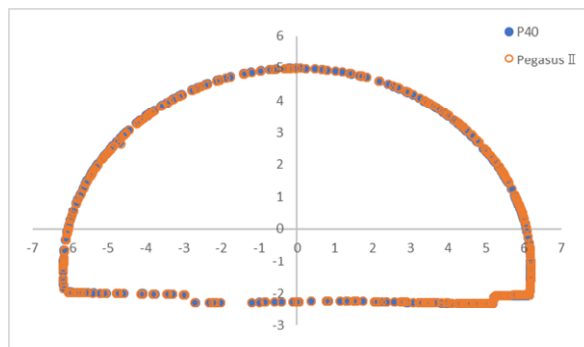


図1 断面計測精度の検証(P40 との比較)

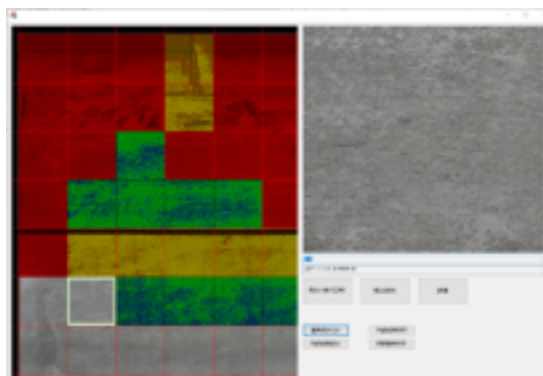


図 2 教師データ収集ツール

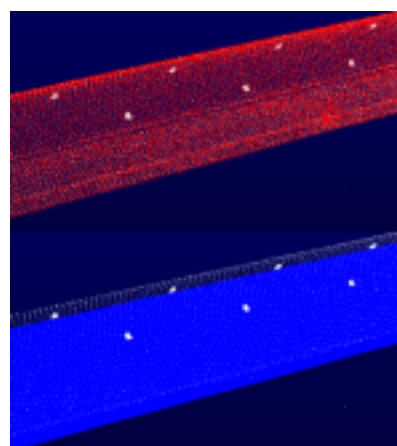


図 3 精度検証結果  
(白:過去データ、赤:提案手法  
青:GNSS/IMU 航法)