

トンネル覆工マーカの表面材質について

一般社団法人日本建設機械施工協会	施工技術総合研究所	正会員	○安井	成豊
一般社団法人日本建設機械施工協会	施工技術総合研究所	正会員	寺戸	秀和
一般社団法人日本建設機械施工協会	施工技術総合研究所	正会員	伊吹	真一
一般社団法人日本建設機械施工協会	施工技術総合研究所		伊藤	良介
	国立研究開発法人 土木研究所	正会員	林	利行
	一般財団法人 橋梁調査会	正会員	吉田	好孝

1. 概要

現在の道路トンネルにおける点検作業は人力作業が中心であり、作業効率や記録精度、規制時間等の面でいくつかの課題を抱えている。この問題に対する解決手段として、ICT 機器や各種ロボット技術の活用が考えられる。ただし、ロボットによる計測では、検査対象の位置（座標）を特定することが求められ、それにはロボット自身が自己位置を把握していることが不可欠である。しかしながら、一般にトンネル内では GNSS を利用することができず、ロボットの自己位置把握が困難であり、ロボットによる計測をトンネル点検作業に導入する上で大きな課題となっている。

そこで筆者らは、トンネル内で自己位置の把握を可能とする環境を構築するための手段として、座標情報を有するトンネル覆工マーカの設置を考えた¹⁾。図 1 に、本研究で検討した覆工マーカの一例を示す。このマーカは、縦 200mm、横 400mm の四角形で、マーカ中心部の三次元座標をあらかじめ測定しておき、ロボットによりマーカの中心部を特定できれば、その座標を補正情報として使用できる。また、覆工の画像撮影を行う技術では、左下部に記載したトンネルのスパン番号から、覆工画像の位置情報を把握することが可能となる。さらに、覆工画像にあるひび割れ幅を計測するためのひび割れ幅の基準線（ここでは、幅 0.3mm、1mm の 2 種類）を配置した。本研究では、MMS、カメラによる画像撮影技術等の実用化されたロボットを対象とし、これらが覆工マーカを正しく認識し、情報の取得が可能となるようなマーカの表面材質について実験的に検討した。



図 1 トンネル覆工マーカ

2. 検証内容

覆工マーカはトンネル内に設置するため、マーカ表面に何らかの防護シートを貼るなどして、汚れ等を防止する必要がある。その際、シートの特性によっては MMS による点群データの取得や撮影した画像の認知性に悪影響を及ぼす恐れがある。反射機能の付いたベースパネルを用いて覆工マーカを試作し、予備的に実験を行った結果、MMS、撮影画像いずれにおいても無反射の場合と比べて認知性が低下することが確認された（図 2 参照）。そのため、本検証では反射を抑制する機能を持ったシートを中心に MMS と撮影画像における認知性を確認し、上記ロボット技術に対して最適なシート材質を実験的に検証した。

表 1 に、本検証で用いた表面シートを示す。これらを受反射仕様の覆工マーカに貼り付けて模擬トンネル内に設置し、MMS や撮影機能を搭載した車両でトンネル内を走行計測し、得られたデータから認知性の比較を行った。表 2 には、今回計測に用いた各種技術を示す。

普通反射	高輝度反射	無反射
普通・高輝度反射では十字線が見えない。		
高輝度反射では点群データがほとんど取得できていない。		

図 2 予備実験の結果

キーワード トンネル、点検、MMS、画像撮影、反射防止

連絡先 〒417-0801 静岡県富士市大淵 3154 一般社団法人日本建設機械施工協会施工技術総合研究所 TEL0545-35-0212

表 1 表面シート

表面シート	一般ラミネート	AR	AG	AR+AG
機能・特徴	一般的な看板に用いられるUVフィルム	反射光の相殺 (Anti-Reflection)	反射光の散乱 防眩 (Anti-Glare)	ARで消しされない反射光を拡散 (AG) させる。

表 2 技術構成

技術	技術要素	パーツ	備考
技術 A	MMS	レーザー	100 万点/秒、取付け角 40°
技術 B	画像撮影	カメラ 20 台	38 万画素、LED 照明 60 台使用
技術 C	画像撮影	ラインセンサカメラ 4 台	4096画素/ライン、LEDライン照明を4台使用

3. 検証結果

図 3 に、MMS、画像撮影による計測結果の一部を示す。

MMS による点群データ取得結果より、いずれの材質においてもマーカー形状および黒色三角形が把握可能であり、表面材質の違いは MMS の認知性に影響を与えないことが確認できた。

撮影画像においては、一般ラミネートでは白とびが発生し、AG シートでは散乱により全体的に発光し、ひび割れ基準線等のラインの確認が困難であった。AR+AG シートでは、共に画像の白とびの発生を低減する傾向が見られたが、技術 C では部分的に白とびが発生した。技術 B と技術 C で白とびの程度が異なるのは、撮影時の照明照射角度の違いによるものと思われる。いずれの手法であっても、AR シートを用いたマーカーはひび割れ幅基準線まで視認可能であった。

以上の結果より、表面シートの材質としては AR シートのような機能を持ったものが適切と考える。

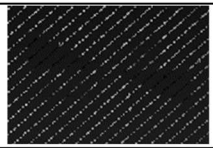
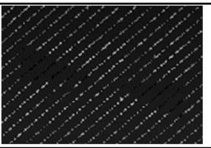
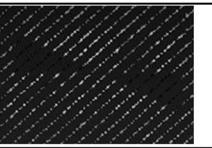
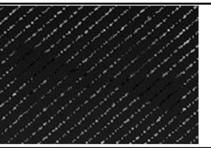
	一般ラミネート	AR	AG	AR+AG
技術 A (MMS)				
技術 B (画像撮影)				
技術 C (画像撮影)				

図 3 計測結果

4. おわりに

今回の検証で、MMS、画像撮影の両技術において有効な表面シートの仕様を確認することができた。また、本結果より、ひび割れ幅基準線のような細かなものであっても画像からの認知が可能であることが明らかになった。今後は実現場において、マーカーと ICT 機器や各種ロボット技術を用いた点検作業を試験的に実施しながら、マーカーに付与すべき情報や認知しやすいデザイン等を検討していく予定である。

また、データベース等との連携を想定して、今回用いた覆工マーカーは QR コードを設けたデザインとした。今後は、各種の計測・維持管理技術とデータベースとの効果的な連携も考慮して仕様検討を進めていきたい。

なお、本研究は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の「SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」(管理法人：国土交通省)によるものであり、国土技術政策研究所の委託研究として実施したものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

1)寺戸ら：トンネル点検の効率化を目的とした覆工マーカーの提案，土木学会第 73 回年次学術講演会（投稿中）