トンネル維持管理の効率化・高精度化を目的とした覆工マーカーの利用方法

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　安井 成豊
国立研究開発法人 土木研究所　正会員　新田 恭士

１．はじめに

現在の道路トンネルにおける点検作業は近接目視や打音検査等の人力作業が中心であり，作業効率や記録の再現性（精度）の面でいくつかの課題を抱えている．この問題に対して，各種ロボット技術を活用することにより大幅な改善効果が期待できるが，ロボットを利用する上で位置や計測精度を確保することが重要な課題となる．本研究では，このような課題を解決しロボット技術を導入するために必要とされるトンネル内の環境構造化に関する開発を目的とした．

２．ロボット利用上の課題

トンネル点検を対象としたロボットについては，覆工表面をカメラ等で撮影する方法，および坑内の形状を三次元情報として得ることができるMMSがある．これらの技術は既に実用化されているが，以下のような課題もある．

- ひび割れ幅や長さ，その他の変状の規模を計測するための基準がトンネル内に存在しないことから，撮影画像のみから変状の規模を把握するために測量などの補助作業が必要となる．
- トンネル内はGNSSによる測位が行えないため，GNSSやIMUにより座標補正を行うMMSによる計測では，延長が大きくなるにつれて誤差が累積する可能性がある．

これら課題に対し，各ロボットの利用者は，ひび割れ幅の基準シートを一時的に覆工面に貼り付けたり，高精度IMUによる補正方法の検討を行うなど個別に対応しているのが現状である．

３．覆工マーカーの提案と利用方法

上述したトンネル点検へのロボット利用上の課題に対し，トンネルそのものに何らかの簡易な対策を講じることで，ロボットを導入しやすい環境を整備することが本研究の目的である．筆者らはこの対策として，覆工マーカー（以下，マーカーという）をトンネル内へ設置することを提案した[1)]．**図1**にマーカーの一例を示す．マーカーは，トンネル覆工の1スパンに1～2箇所設置し，マーカーの中央部に座標情報を含めることを基本とする．マーカーをトンネルにあらかじめ設置しておくことにより，上述したロボット利用上の課題が解消されると考えた．

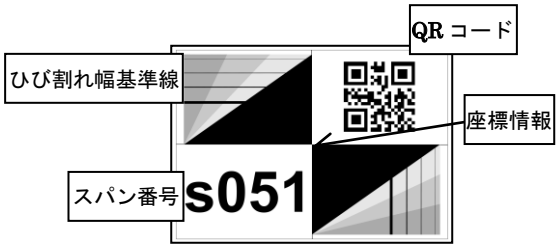


図1　覆工マーカーの一例

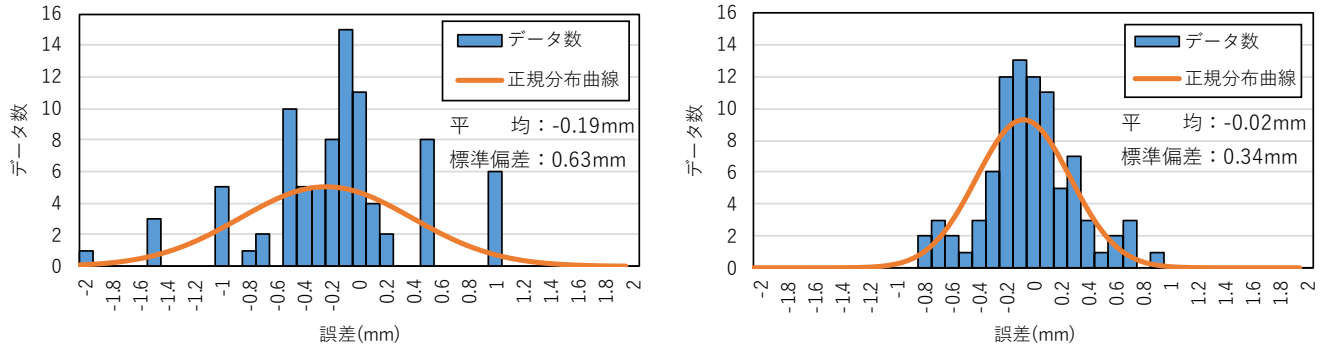
マーカーの利用方法と期待される効果の一例を**表1**にとりまとめる．本研究では，表中のいくつかの項目について供用中のトンネルを利用して検証を行った．このうち本稿では，表中のNo.1およびNo.2に対する検証結果について述べる．

表1　覆工マーカーの利用方法と期待される効果の例

No.	利用方法	期待される効果
1	ひび割れ幅の検出基準	マーカー内の基準線を利用することで，ひび割れ幅の検出精度が向上する．
2	座標補正	GNSS不可視環境下で座標の取得が可能となり，自己位置の特定等ができる．
3	各種情報の付加	QRコード等によりデータベースと関連付けすることで，施工・維持管理の情報を入手できる．
4	画像補正の特徴点	覆工面の画像のつなぎ合わせにおける特徴点とすることで，当該作業を容易にする．
5	画像の補正	マーカー間の距離に基づいて画像を補正することで，より精度の高い展開画像が作成できる．
6	スパン番号の付与	マーカー内のスパン番号により，人力点検時に行うスパン番号の付与が不要となる．
7	非常時の自己位置把握	火災等で緊急連絡を行う際，マーカーの番号を伝えることで発生位置を特定できる．

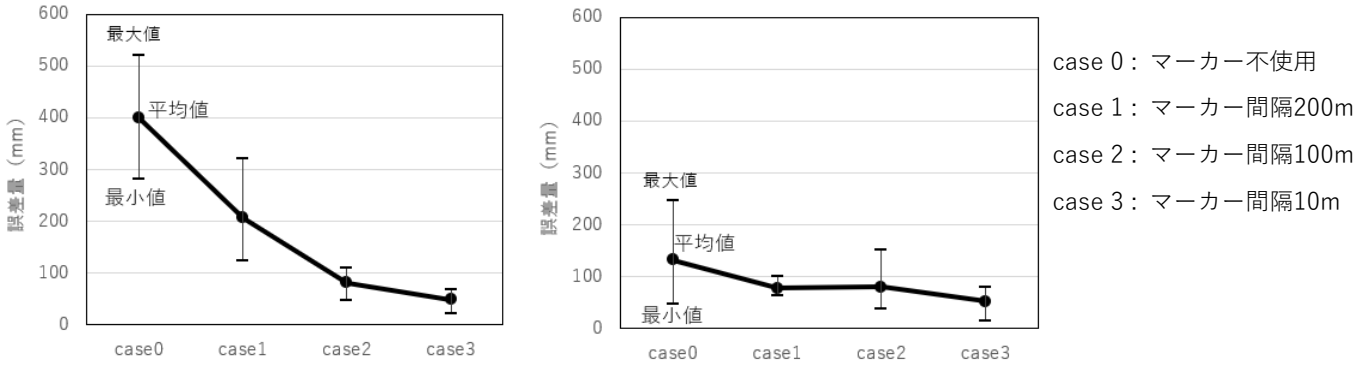
キーワード　トンネル，点検，ロボット，効率化，覆工マーカー
連絡先　〒417-0801　静岡県富士市大渕 3154　施工技術総合研究所　TEL 0545-35-0212

© Japan Society of Civil Engineers



(a) ひび割れ幅基準線不使用　　(b) ひび割れ幅基準線使用

図2　ひび割れ幅検出精度の向上効果の検証結果



(a) 曲線区間　　(b) 直線区間

図3　座標補正効果の検証結果

(1) ひび割れ幅検出精度向上効果

マーカーに示したひび割れ幅基準線を利用することで，ロボットにより撮影した画像上のひび割れ幅を精度よく検出可能とすることが考えられる．**図2**は，ひび割れ幅基準情報の使用有無に伴う検出誤差の頻度分布を比較した結果である．ここでは，幅0.3mm～3mmのひび割れを模した供試体を利用し，ひび割れ幅の自動検出を行った．ひび割れ基準線を利用することで，誤差が小さくなる傾向にあることがわかる．

(2) 座標補正効果に関する検証

MMSによるトンネル形状計測において，GNSSが不可視となるトンネル内での座標補正にマーカーの座標情報を利用することで，計測誤差を低減することが考えられる．**図3**は，実トンネルの曲線区間と直線区間それぞれの一断面を対象として，マーカーを用いた座標補正の有無と誤差の関係を示したものである．なお，ここでは，トータルステーションによる測量で求めた座標を正解値とした．図には，各ケースにおいて3回の計測を行った結果（最大値，最小値，平均値）を示している．同図に示すように，覆工マーカーを利用することで誤差が小さくなるとともに，計測結果のばらつきも小さくなることが確認される．

4．おわりに

マーカーの利用方法にはいくつかのレベルがある．トンネル内のある区間のみにマーカーを設置する場合や，マーカーへの座標付与を行わない場合でも一定の利用効果が期待される．各トンネルの条件に応じた覆工マーカーの利用方法の検討により，覆工マーカーを利用した効率的なロボット点検技術の普及が望まれる．

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74回年次学術講演会，VI-234，2018.8.

謝辞：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．また，計測作業にご協力いただいたパシフィックコンサルタンツ株式会社の皆様に謝意を表す．

© Japan Society of Civil Engineers