

# 走行型計測技術等を活用した トンネル定期点検の効率化の検討

岡本 直樹<sup>1</sup>・前田 洸樹<sup>2</sup>・山本 秀樹<sup>3</sup>・重田 佳幸<sup>4</sup>・藤原 広志<sup>5</sup>・安田 亨<sup>6</sup>

<sup>1</sup>正会員 パシフィックコンサルタンツ(株) インフラマネジメント部 (〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目22)  
E-mail:naoki.okamoto@tk.pacific.co.jp

<sup>2</sup>正会員 パシフィックコンサルタンツ(株) インフラマネジメント部 (〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目22)  
E-mail:kouki.maeda@tk.pacific.co.jp

<sup>3</sup>正会員 パシフィックコンサルタンツ(株) インフラマネジメント部 (〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目22)  
E-mail:hideki.yamamoto@tk.pacific.co.jp

<sup>4</sup>正会員 パシフィックコンサルタンツ(株) インフラマネジメント部 (〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目22)  
E-mail:yoshiyuki.shigeta@tk.pacific.co.jp

<sup>5</sup>正会員 パシフィックコンサルタンツ(株) 情報システム部 (〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目22)  
E-mail:hiroshi.fujiwara@tk.pacific.co.jp

<sup>6</sup>正会員 パシフィックコンサルタンツ(株) 本社 技術研究センター (〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目22)  
E-mail:touru.yasuda@tk.pacific.co.jp

トンネルの健全性を効率的に、また客観的に評価するための技術として走行型計測技術を提案し、近接目視に先立ち画像から変状展開図を作成する。事前に変状展開図を作成することで、現地点検における重点的に着目する変状を事前に把握することができるため、見落とし防止や精度向上等の点検の高度化を図るとともに、スケッチ作業等の定期点検の効率化を図ることができる。また、現場システムとして開発したトンネル点検オンサイト入力システム「データベースおよび調書作成システムであるiTAMSを介し、タブレット端末(iPad Pro)に走行型計測技術で得られた画像、変状展開図、変形モード解析結果等の情報を転送し現地点検を行うシステム」を用いて更なる効率化が可能と考える。本報告では、走行型計測技術等を定期点検の支援技術として活用した際の点検日数や点検員数に着目し効率化を図れたかを検証した。

**Key Words :** Tunnel maintenance, Tunnel inspection, Measurement vehicle system, Soundness, Mobile mapping system

## 1. はじめに

道路トンネル定期点検は、近接目視を原則として実施している。現地点検は、トンネル点検車等の高所作業車を用い、トンネル覆工コンクリートに近接してひび割れや漏水等の変状を把握するとともに、打音検査を実施し、うきやはく落危険箇所等の利用者被害につながる変状を把握するものである。さらに、これらの変状を変状展開図にスケッチし、主な変状箇所に対して写真を撮影し、定期点検の結果から補修・補強対策等の措置の要否の判断や維持管理計画の基礎資料を得るものである。維持管理計画を策定するためには、継続的な変状の把握と進行性の評価が重要となる。

なお、従来の近接目視点検の課題として、①坑内は狭

隘で暗く厳しい条件下での作業、②スケッチを主体とする点検記録、③打音により点検者の主観による判定により安全性や客観性に乏しく、変状の進行を適正に評価できないなどの課題が指摘されている。

そこで、新都市社会技術融合創造セミナー(委員長:大西有三 京都大学副学長)「トンネル健全性評価プロジェクト(H18年度~H20年度)」<sup>1)</sup>ではトンネルの健全性を効率的に、また客観的に評価するための技術として走行型計測技術を提案している。走行型計測技術は、走行型画像計測(MIS: Mobil Imaging Technology System)や走行型レーザー計測(MMS: Mobile Mapping System)等がある。走行型画像計測では、トンネル覆工コンクリート表面の変状を写真画像で取得することができ、0.3mm程度のひび割れを認識できる精度を有しているため、近

接目視に先立ち画像から変状展開図を作成し、現地点検において重点的に着目する変状を事前に把握することができることから、見落とし防止や精度向上等の点検の高度化やスケッチ作業等の定期点検の効率化を図ることが可能となる。本報告では、実トンネルにおいて走行型画像計測技術を定期点検の支援技術として活用した際の点検日数や点検員数に着目し、現場作業の効率化について検証を行ったものである。

## 2. 定期点検における走行型計測技術の流れ

図-1に従来の点検の流れと走行型計測技術をトンネル定期点検の支援技術として活用した場合の点検の流れを示す。従来の定期点検では、点検計画策定後に現地の近接目視点検を実施するが、本手法においては点検計画策定後に走行型計測を実施し、トンネル覆工表面の画像取得および展開図作成、レーザー計測による断面形状計測および変形モード解析等を実施し、現地の近接目視点検前にトンネルの変状状態を把握する。また、走行型計測技術によって得られた情報に基づきひび割れや材質劣化、漏水等の変状箇所について重点着目箇所や追加調査の有無等について机上検討を行うものである。

さらに、現地点検において図-2のトンネル点検オンサイト入力システムを活用する。本システムは、データベースおよび調書作成システムであるiTAMSを介し、タブレット端末 (iPad Pro) に走行型計測技術で得られた画像、変状展開図、変形モード解析結果等の情報を転送し現地点検を行う。点検終了後、現地点検結果のデータをiTAMSに転送することで、現場データを調書に反映するものである。

## 3. 現場支援システムの活用と利点

図-1に示す走行型計測技術をトンネル定期点検の支援技術として活用した場合の利点は、現地点検を実施する前に覆工画像や変状展開図、変形モード解析図等に基づき、複数の技術者で近接目視で確認すべき重点着目箇所を確認できることである。このため、変状状況の確認や見落としはいけない点検重点箇所を事前に把握したうえで近接目視や打音検査が行えるため、見落とし防止や効率の良い現場作業が可能となる。

また、点検前に作成した正確な位置を示す変状展開図を用いて近接目視点検をすることで、ひび割れ幅や長さの確認、うき・はく落範囲の確認など変状展開図と現地の違いを確認する作業となり、省力化が可能となる。

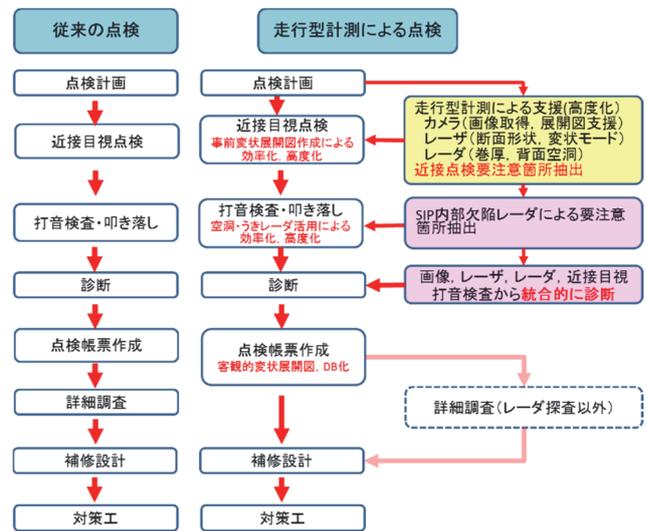


図-1 走行型計測技術を活用したトンネル点検の流れ

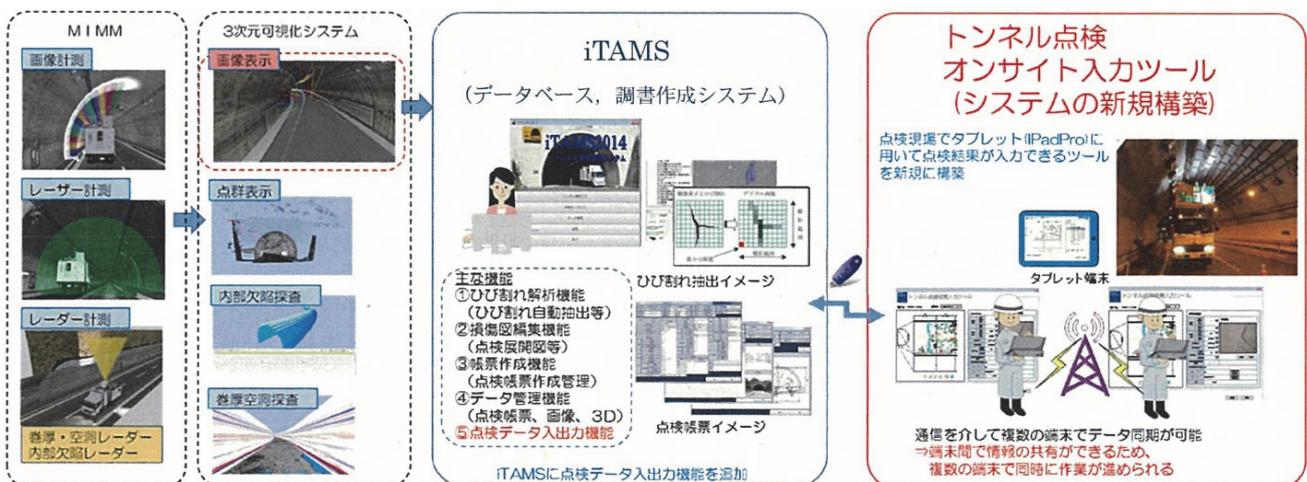


図-2 現場支援システムの活用イメージ

また、従来の点検では、トンネルの断面形状に基づき作成した展開図の白図にスケッチにて変状を記録し、調書作成時にCADによる清書を行っていたため、清書の労力や書き写しの間違い等が発生していた。トンネル点検オンサイト入力システムは、走行型計測で得られた多くの情報を入力したタブレット端末 (iPad Pro) を用いて現地点検を行う。近接目視は、道路トンネル定期点検要領<sup>2)</sup>に基づき実施し、ひび割れ幅等の補正や打音点検における状況をタブレット端末上で、追記、修正を実施する。操作が簡易であることや現場でデジタル入力が可能であることから見落とし防止および点検精度向上に寄与すると考える。

#### 4. 点検効率化の検討方法

走行型計測技術やトンネル点検オンサイト入力システムを活用することによる点検効率化の検証は、図-1の走行型計測による点検の流れに沿って定期点検を実施し、実際の点検に要した日数および点検員数を道路トンネル定期点検業務積算資料 (暫定版)<sup>3)</sup> (以下、「暫定版」と称す) と比較することで検証した。表-1に暫定版の現地点検歩掛を示す。現地点検の歩掛は、トンネル覆工コンクリートに発生しているひび割れ密度に対応しており、ひび割れ発生量が多いと点検日数、点検員数が増加する設定となっている。本検討においては、技師Bが2名、技師Cが2名、技術員が3名の7名体制を暫定版の点検員数とした。点検日数については、ひび割れ密度が  $0 \leq C \leq 0.1$  の場合で  $10,000\text{m}^2$  当たり 2.5 日 を要するものとし、点検効率化の指標として低減率を次式により定義した。なお、低減率は、数値が大きいほど効果が高いことを示している。

・点検日数の低減率 (%)  
 $= 1 - \frac{\text{実点検日数}}{\text{暫定歩掛りによる点検日数}}$  式(1)

・点検員数の低減率 (%)  
 $= 1 - \frac{\text{実点検員数}}{\text{暫定歩掛りによる点検員数}}$  式(2)

表-1 現地点検の歩掛 (暫定版)

項目		主任技師	技師A	技師B	技師C	技術員
点検 ひび割れ密度 ( $\text{m}/\text{m}^2$ )	$0 \leq C \leq 0.1$	—	—	5.0	5.0	7.0
	$0.1 < C \leq 0.2$	—	—	7.5	7.5	10.5
	$0.2 < C \leq 0.3$	—	—	10.0	10.0	14.0
	$0.3 < C \leq 0.4$	—	—	12.5	12.5	17.5
	$0.4 < C$	—	—	15.0	15.0	21.0

#### 5. 検討結果

対象 10 トンネル (矢板 4, NATM6) と実際の点検日数、点検員数を表-2に示す。対象トンネルのひび割れ密度は、0.01~0.29 と比較的ひび割れ等の変状が少ないトンネルである。点検日数および点検員数の低減率(%)を表-3に示す。点検日数の低減率は、3 トンネルで暫定歩掛と同等の日数の低減率 0%があったが、その他トンネルで 63.6~83.8%であった。また、点検員数の低減率は、12.5%~83.8%であった。

図-3にトンネル延長と低減率の関係を示す。トンネル延長が長いほど低減率が大きい結果を示していることがわかる。概ね延長 500m以上のトンネルは、点検日数および点検員数ともに 70%程度の低減率となった。

図-4に従来点検と走行型計測の併用による点検コストの比較を示す。対象 10 トンネル (計 2km) の点検コストを算出した。

上段は、ひび割れ密度が 0.1 以下の従来点検と走行型計測併用点検のコスト比較である。外業 (現地点検等) は、点検日数や点検員数が 70%低減することからコストダウンしているが、内業の覆工画像解析が高コストとなり走行型計測併用は従来と比較し、コストアップとなる。

下段は、ひび割れ密度が 0.4 を超える従来点検と走行型計測併用点検のコスト比較である。外業 (現地点検等) は、大幅にコストダウンすることから内業の覆工画像解析のコストを含めても走行型計測併用はコストダウンする結果となった。

図-4の比較図より、ひび割れ等の変状が多い場合は相対的にコスト低下することが確認できた。

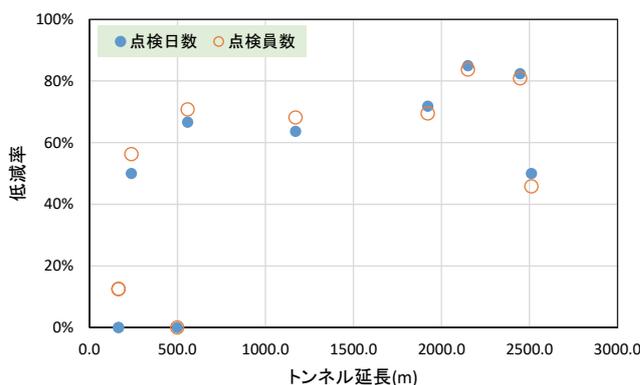


図-3 トンネル延長と低減率の関係

表-2 トンネル諸元と点検日数および点検員数

トンネル名	工法	延長 (m)	覆工点検面積 (m <sup>2</sup> )	ひび割れ密度 (m/m <sup>2</sup> )	実点検日数 (日)	点検員数 (人)			備考
						班数	点検員数	のべ員数	
Aトンネル	矢板	1,922.2	31,011.4	0.29	3	3	13	39	3班(12名)+1名
Bトンネル	矢板	2,510.9	31,153.4	0.21	4	13	13	52	"
Cトンネル	矢板	239.6	3,939.6	0.17	1	2	7	7	2班(6名)+1名
Dトンネル	矢板	559.0	10,403.3	0.04	2	2	7	14	2班(6名)+1名
Eトンネル	NATM	499.0	4,116.6	0.15	2	2	8	16	2班(7名)+1名
Fトンネル	NATM	2,151.0	39,919.5	0.22	2	3	13	26	3班(12名)+1名
Gトンネル	NATM	2,447.0	43,273.9	0.17	2	3	13	26	"
Hトンネル	NATM	165.0	3,372.6	0.05	1	2	7	7	"
Iトンネル	NATM	165.0	3,412.6	0.04	1	2	7	7	"
Jトンネル	NATM	1,171.0	21,426.0	0.01	4	2	7	28	"(夜間作業)

表-3 点検日数, 点検員数の低減率

トンネル名	工法	延長 (m)	覆工点検面積 (m <sup>2</sup> )	ひび割れ密度 (m/m <sup>2</sup> )	点検日数の低減率 (%)	点検員数の低減率 (%)
Aトンネル	矢板	1,922.2	31,011.4	0.29	71.9%	69.5%
Bトンネル	矢板	2,510.9	31,153.4	0.21	50.0%	45.8%
Cトンネル	矢板	239.6	3,939.6	0.17	50.0%	56.3%
Dトンネル	矢板	559.0	10,403.3	0.04	66.7%	70.8%
Eトンネル	NATM	499.0	4,116.6	0.15	0.0%	0.0%
Fトンネル	NATM	2,151.0	39,919.5	0.22	85.0%	83.8%
Gトンネル	NATM	2,447.0	43,273.9	0.17	82.4%	80.9%
Hトンネル	NATM	165.0	3,372.6	0.05	0.0%	12.5%
Iトンネル	NATM	165.0	3,412.6	0.04	0.0%	12.5%
Jトンネル	NATM	1,171.0	21,426.0	0.01	63.6%	68.2%

コスト比較

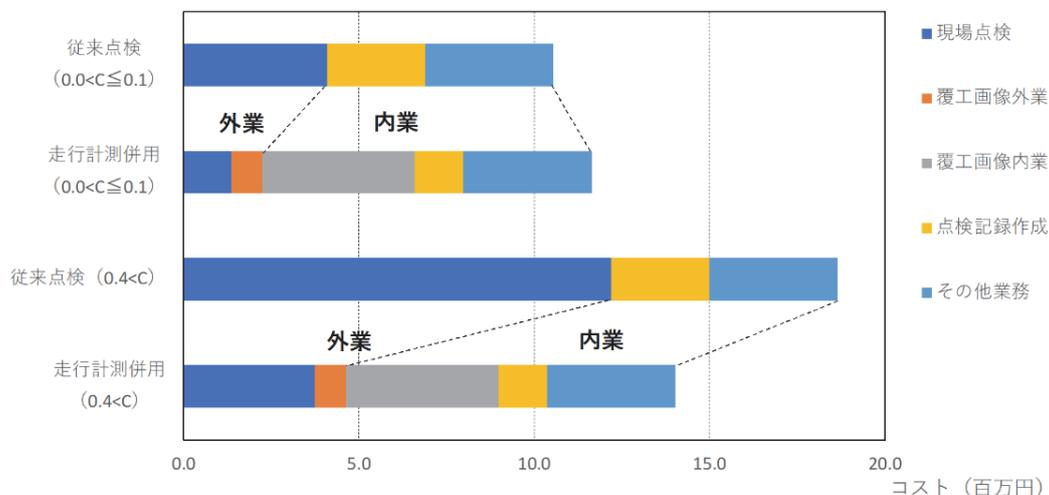


図-4 従来点検と走行型計測による点検のコスト比較

## 6. まとめ

走行型計測技術をトンネル定期点検の支援技術として活用した場合の効率化を確認するため、暫定歩掛の実点検日数と点検員数について低減率を定義し検討した。その結果、点検日数、点検員数とも暫定歩掛と比較して延長の短いトンネルでは同程度となったが、延長 500m を超えるトンネルについては7割程度の低減率となり、大幅に効率化が図れることを検証した。

さらに、ひび割れ等の変状が多い場合は、相対的にコストダウンできることを確認した。

## 参考文献

- 1) 新都市社会技術融合創造研究会 道路トンネル健全性評価技術研究プロジェクト：走行型計測技術による道路トンネルの健全性評価の実用化研究 研究成果報告書，2013.2
- 2) 国土交通省 道路局 国道・防災課：道路トンネル定期点検要領，2014.6
- 3) 国土交通省 道路局：道路トンネル定期点検業務積算資料（暫定版），2014.8

(2018. 8. 10 受付)

## ONSIDERATION OF EFFICIENCY OF THE TUNNEL REGULAR INSPECTION USING MEASUREMENT VEHICLE SYSTEM TECHNOLOGY

Naoki OKAMOTO, Kouki MAEDA and Hideki YAMAMOTO and  
Yoshiyuki SHIGETA and Hiroshi FUJIWARA and Touru YASUDA

We propose running measurement technology as a technique to evaluate the soundness of tunnels efficiently and objectively, and create a transformation map from the image prior to close visual observation. Before the tunnel inspection, by creating a deformation development map, it is possible to grasp the deformation that focuses attention on the local inspection. Therefore, it is possible to improve the efficiency of periodic inspection, efficiency of inspection such as prevention of overlooking, improvement of accuracy and the like. We also believe that further efficiency can be achieved by using "tunnel inspection on site input system" developed as a field system. In this report, we verified the efficiency improvement when running type measuring technology is used as support technology for periodic inspection.