

トンネル維持管理作業台車の開発

Development of tunnel maintenance vehicle

寺戸 秀和¹・横沢 圭一郎²・竹本 憲充³・三浦 康則⁴・稲川 雪久⁵

Hidekazu Terato, Keiichiro Yokozawa, Norimitsu Takemoto,
Yasunori Miura and Yukihisa Inagawa

¹正会員 修(工) 社団法人日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 研究第一部
(〒417-0801 静岡県富士市大淵3154)

terato@cmi.or.jp

²社団法人日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 研究第一部

³正会員 修(工) 社団法人日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 研究第三部

⁴三信建設工業株式会社 (〒112-0004 東京都文京区後楽一丁目2-7)

⁵正会員 岐阜工業株式会社 (〒501-0464 岐阜県本巣郡真正町十四条144)

This report describes the concept of a vehicle intended for use in inspection and repairs of road tunnels. In the present situation, inspection and repairs of the two-lane tunnels in service are often conducted in such a way that traffic along one lane is banned while the other remains in use. In that case, the work on the crown sections that stretch over between the two lanes must be restricted, resulting in time-consuming undertaking as a whole.

The vehicle aims at facilitating such tasks for the crown sections of two-lane road tunnels where the jobs have met with difficulty.

Key Words : *tunnel maintenance, tunnel crown section, two-lane road tunnels, maintenance vehicle*

1. はじめに

近年の社会資本整備は、これまでの“造る”時代から、“使う”時代に移行しているといえよう。この“使う”の中には、いかに上手に使うかという課題が必然的に含まれており、上手に使うために、社会資本に対する維持管理の重要性はますます高まっているといえる。この点についてはトンネルも例外ではなく、国内のトンネルの総延長が20,000kmを超える¹⁾といわれるわが国においては、既存のトンネルの維持管理を合理的に行うことは喫緊の課題である。

一概にトンネルと言っても、その用途は道路、鉄道、上下水道、ガス、電力、通信など、多種多様である。トンネルの維持管理においては、これらの用途も十分に考慮することが必要となる。また、維持管理の合理化にはソフト面の取り組みとハード面の取り組みがあり、両者を有機的に結びつけることも

重要な課題であると考えられる。

このような背景のもと、ハード面での取り組みの一つとして、筆者らは道路トンネルを対象としたトンネル維持管理作業台車（以下、維持管理台車という）の開発を行った。本報告では、当該台車の主要な仕様等を述べるとともに、補修工事への導入効果について試算した結果を述べる。

2. 現状における技術的な課題

本開発では、供用中の2車線以上の道路トンネルを対象とした。このような条件下において、車線規制を行いながら維持管理に関わる作業を行う場合、一般には以下のような課題があると考えられる。

- 1) 車線規制を行いながらの作業となるため、作業空間が片側車線部分に限定される（図

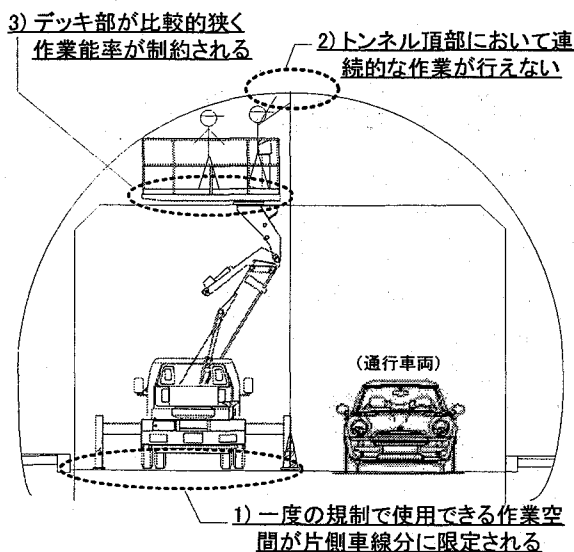


図-1 現状の維持管理作業における課題（供用中の2車線道路トンネルの場合）

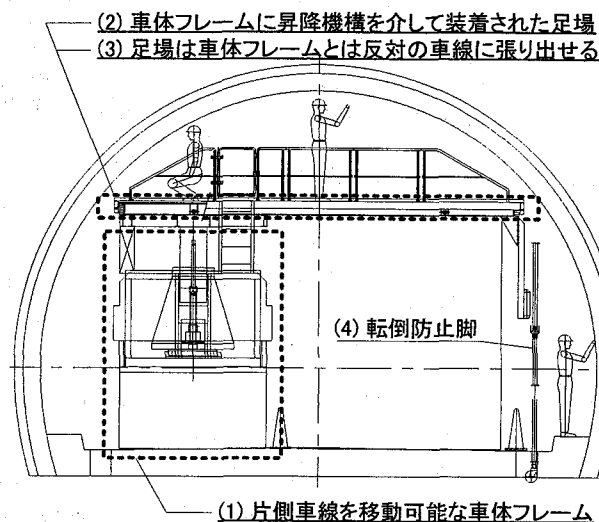


図-2 維持管理台車の概略と主要な構成

-1の1) 参照)。

- 2) 作業を行う車線と、車両が通行する車線との境界部となるトンネル頂部においては、通行車線側への侵入が制限される。このため、繊維シート等の施工では、当該箇所は不連続な施工を行わざるを得ない（図-1の2) 参照）。
- 3) 作業を行うデッキ部は2～3m四方のデッキであることが多く、作業空間が比較的小さいため作業能率が制約される（図-1の3) 参照）。

本開発では、上記のような課題の解消を目的とした維持管理台車の開発を行った。

3. 維持管理台車の特徴

(1) 主要な構成

図-2に維持管理台車の概略と主要な構成を示す。本台車の主要な構成は以下のとおりである。

- 1) トンネル内の2車線のうち、片側の車線を移動可能な車体フレーム（図-2の(1)参照）。
- 2) 1)の車体フレームに昇降機構を介して装着された作業足場（図-2の(2)参照）。
- 3) 2)の作業足場を、トンネル内の他方の車線空間の上方に張り出す作業足場張り出し手段（図-2の(3)参照）。
- 4) 足場上部での作業中に足場が転倒しないよう

うに転倒防止脚を設置（図-2の(4)参照）。

(2) 作業時の状態

維持管理台車による作業時の状態を図-3に示す。作業時は同図(a)の正面図に示すように、トンネル内の2車線のうち片側1車線に車体を配置した状態で、もう一方の車線に作業台を張り出すことができる。これにより、トンネル頂部においても通行車両に影響されことなく作業が可能となる。さらに、作業範囲も2車線分同時に行うことが可能となる。なお、作業時の移動は作業足場を張り出した状態での移動が可能である。

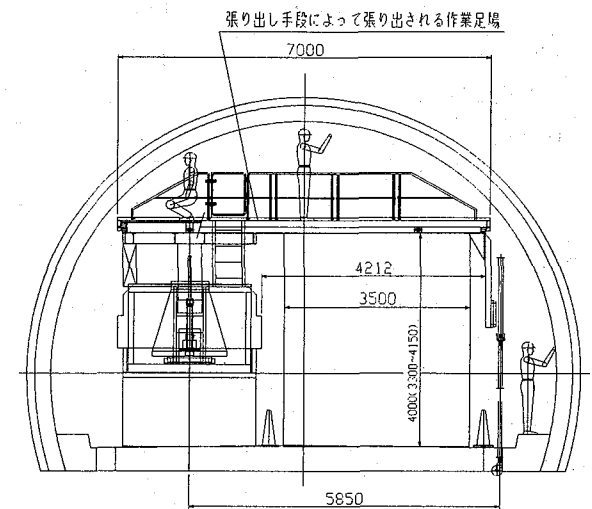
作業足場は図-3 (b)に示すように、作業時は図-3(a)に示した作業台の張り出し手段によって、作業台となるスライド式足場をトンネル縦断方向に2.5～4mの範囲で張り出すことが可能であり、比較的小さい作業空間が確保できる。

また、作業足場および足場上の作業員の荷重は、車体フレーム部に搭載される作業足場の昇降機構のみで受け持つこととなるが、安全性を考慮して図-2の車体フレームの対面部分に転倒防止脚を取り付ける構造となっている。転倒防止脚の位置は、図-2に示すように、右側車線部の路肩に位置する。

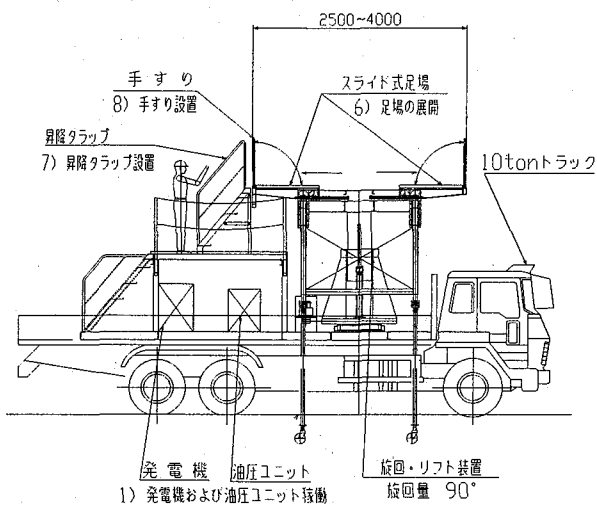
なお、図-3(a)のように、足場での作業と並行して、歩道上での作業を行うことも可能である。

(3) 作業準備・終了時の足場の旋回

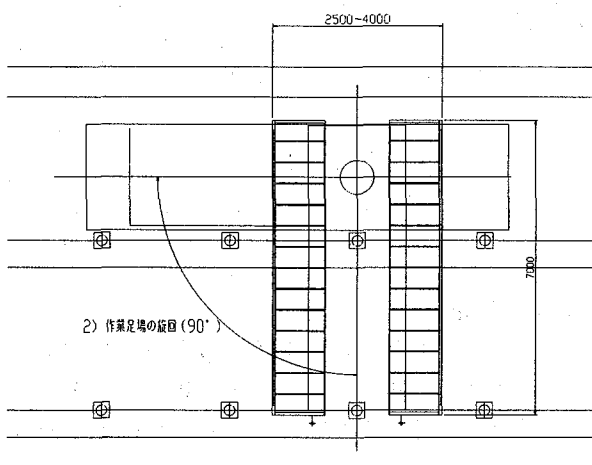
作業準備段階の足場の張り出しや、作業終了時の足場の格納では足場の旋回を行う。以下に、図-3



(a) 正面図



(b) 側面図



(c) 平面図

図-3 作業時の状態 (図中の番号は作業準備段階の作業手順を表す。他の手順は図-4に示す)

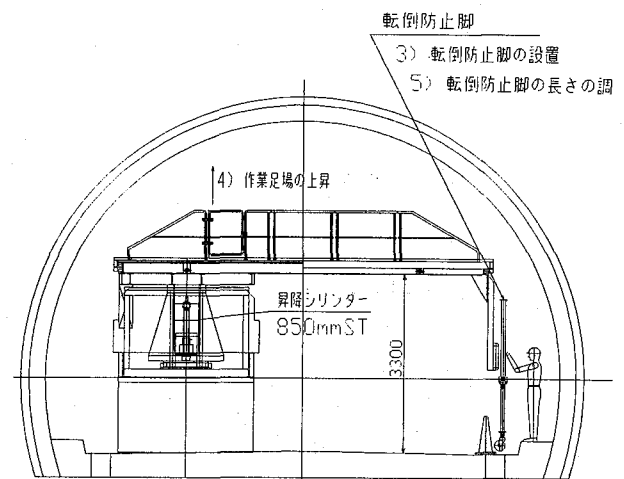


図-4 転倒防止脚の設置状況 (図中の番号は作業準備段階の作業手順を表す。他の手順は図-3に示す)

り出しの作業手順を示す。なお、作業終了時における足場の格納作業は、下記を逆順に行うこととなる。

- 1) 発電機および油圧ユニット (図-3(b)参照) を稼働させる。
- 2) 車体フレームの荷台に上載された作業足場を、図-3(c)のようにトラックが位置する車線の反対側の車線に90°回転させて張り出す。
- 3) 張り出した足場に、図-4に示すように転倒防止脚を設置する。
- 4) 作業足場を上昇させる。
- 5) 転倒防止脚の長さを調整する。
- 6) 作業足場をトンネル縦断方向にスライドさせて広げる (図-3(b)参照)。
- 7) 図-3(b)に示す作業足場への昇降タラップを設置する。
- 8) 図-3(b)に示すように作業足場に手すりを設置する。この手すりは折りたたみ式であり、格納時は足場の上に格納される。

なお、これらの作業は、作業条件に応じてトンネル坑内または坑外での実施が可能である。例えば、トンネルの全線を作業対象とする場合は、車両通行に影響のない坑外での準備・格納作業を行うことが可能である。一方、比較的延長の長いトンネルで、部分的な作業を行う場合は、作業対象区間までは足場を張り出さない状態で移動し、作業対象区間において準備・格納作業を行うといった作業が可能である。

および図-4を用いて、作業準備段階における足場張

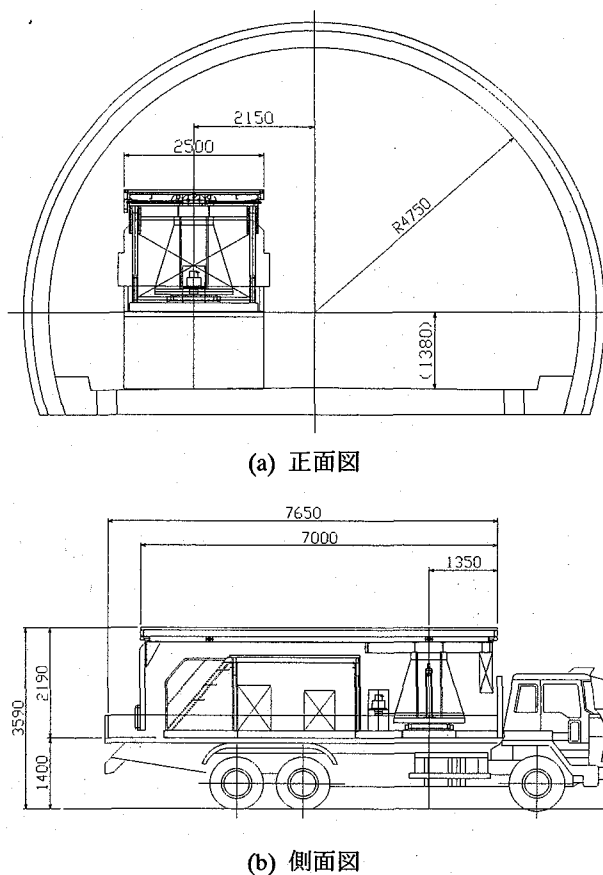


図-5 移動時の状態

また、準備・格納の所要時間は、後述する機械の仕様から準備については3分程度、格納については2分程度になると想定している。

(4) 移動時の状態

作業開始前、あるいは作業終了後に台車を移動する際は、図-3に示した作業台の張り出しを格納し、移動することとなる。図-5に移動時の状態を示す。上述した作業台は、市販の10tonトラックの荷台に格納することが可能である。

4. 維持管理台車の仕様

(1) 基本仕様

維持管理台車の基本的な仕様を表-1にとりまとめる。作業足場はアルミ製とすることで軽量化を図った。また、図-4(a)に示す転倒防止脚は、トンネルの内空幅の違いに対応するために、数種類の脚を適宜利用することとしている。

表-1 維持管理台車の仕様

項目	仕様	
本体運搬車両	10tonトラック	
本体寸法	高さ	2190mm
	長さ	7000mm
	幅	2500mm
足場寸法	高さ	7000mm
	長さ	2500～4000mm
本体重量	9800kg	
作業時最大積載重量	400kg (150kg/m ²)	
旋回装置	駆動方法	油圧シリンダー
	動作ストローク	90°
	最大動作速度	1.5r.p.m (10秒/90°)
昇降装置	駆動方法	油圧シリンダー
	動作ストローク	850mmST
	最大動作速度	上昇 18秒/850mmST 下降 9秒/850mmST
スライド足場	駆動方法	油圧シリンダー (計4本)
	動作ストローク	750mmST
	最大動作速度	伸び 10秒/750mmST 縮み 7秒/750mmST
油圧ユニット	AC200V 60Hz 7.5kW	
	ポンプ吐出量	23.1l/min
	ポンプ吐出圧力	14MPa
発電機	25kVA	
安全装置	障害物検出センサー	
	センターライン確認用レーザーマーカ	
	ホーン付パトライト	
	警報サイレン	

(2) 安全対策

維持管理台車の安全対策は、本台車が供用中の道路トンネルにて利用されることを想定して各種の安全対策を講じている。以下に、本台車の安全設備について述べる。

a) ホーン付パトライト

図-6(1)にホーン付パトライトの設置位置を示す。作業時にパトライトを点灯することで、一般車両に注意を促すことを目的としている。パトライトは台車後方に2箇所、台車中央付近に2箇所の計4箇所に配置している。

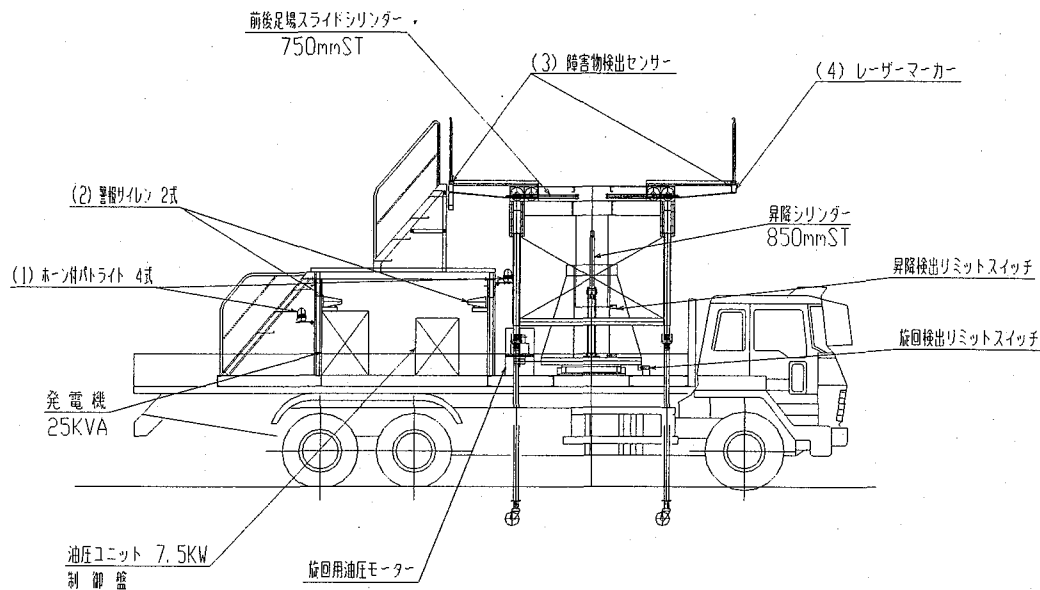


図-6 安全設備の配置

また、本パトライトは、駆動部（油圧シリンダー、油圧モーター）の動作時にチャイムを鳴らし、作業員の注意を促すことも目的としている。

b) 警報サイレン

図-6(2)に警報サイレンの設置位置を示す。警報サイレンは、非常時にサイレンを鳴らすことで作業員に避難を促す。この警報サイレンは、制御盤に配置した手動押しボタンを押すことで稼働する。

c) 障害物検出センサー

図-6(3)に障害物検出センサーの設置位置を示す。足場を張り出した状態でトンネル内を移動する際に、足場が壁面などに接触することを避ける必要がある。この対策として、上部足場に障害物センサーを設置した。障害物センサーが障害物を検出すると警告ブザーが鳴り、運転者に注意を促すことを目的とする。

d) レーザーマーカ

図-6(4)にレーザーマーカの設置位置を示す。坑内において足場を張り出した状態で台車を移動する際、台車の位置が所定の位置にあることを確認しながら運転を行うことを目的としたものである。これにより、台車の蛇行を逐次修正することが可能となる。

本手法では、足場前方に設置されたレーザーマーカによって道路のセンターライン部にレーザーを照射し、照射された位置をトラックの運転席から視認する。これにより、トラックが自身の通るべき軌道を外れないように運転することを目的とする。

e) 手動旋回用クラッチおよび手動下降用レバー

何らかのトラブルによって油圧が機能しない場合に、足場の旋回および下降を手動で行うことを目的とした機構である。

5. 維持管理台車の得失

開発した維持管理台車は、既往の手法に比べて以下の長所があると言えよう。

- 1) トンネルの頂部において、車線を跨いだ連続的な作業が行える。
- 2) 片側を車線規制した状態で、2車線分を作業できるため、作業途中での車線規制の入れ替えが不要である。

一方、短所としては

- 3) 主要な作業範囲が天端部付近に限定される。
- 4) 作業足場は、図-3(a)に示すように通行車両の建築限界外に設置するため、トンネルによっては十分な作業高さが確保できないことも考えられる。

といった点が挙げられる。

現段階においては本台車の製作は行われていないため、具体的な作業能力を求めることはできないが、上述の2)に示す車線規制の入れ替えが不要となる点について、想定される条件下でその優位性を考察する。

考察においては、連続繊維シート工を対象とし、

表-2 連続繊維シート工の試算結果（ケース1）

		現状の手法	維持管理台車	備 考
試算条件		・連続繊維シート工の施工面積：500m ² ・夜間作業（作業時間：20:00～5:00）		
作業班		2班 ・世話役：1名 ・特殊作業員：4名 ・普通作業員：2名	1班 ・世話役：1名 ・特殊作業員：4名 ・普通作業員：2名 ・特殊運転手：1名	・維持管理台車の運転には大型自動車の運転免許が必要なため、特殊運転手を計上した。
施工能率	下地ケレン 22m ² /日	23日	19日	・従来の手法より維持管理台車の作業デッキが広いことによる作業能率の向上率は1.2倍とした。
	プライマー塗布 50m ² /日	10日	9日	
	不陸修正 22m ² /日	23日	19日	
	シート貼付 18m ² /日	28日	24日	
	計	84日	71日	
経済性（従来の手法を1とした場合）		1	1.05	・費用は直接工事費にて比較

表-3 連続繊維シート工の試算結果（ケース2）

		現状の手法	維持管理台車	備 考
試算条件		・連続繊維シート工の施工面積：2,000m ² ・夜間作業（作業時間：20:00～5:00）		
作業班		2班 ・世話役：1名 ・特殊作業員：4名 ・普通作業員：2名	1班 ・世話役：1名 ・特殊作業員：4名 ・普通作業員：2名 ・特殊運転手：1名	・維持管理台車の運転には大型自動車の運転免許が必要なため、特殊運転手を計上した。
施工能率	下地ケレン 22m ² /日	91日	76日	・従来の手法より維持管理台車の作業デッキが広いことによる作業能率の向上率は1.2倍とした。
	プライマー塗布 50m ² /日	40日	34日	
	不陸修正 22m ² /日	91日	76日	
	シート貼付 18m ² /日	112日	93日	
	計	334日	279日	
経済性（従来の手法を1とした場合）		1	0.96	・費用は直接工事費にて比較

以下の2ケースについて経済性、施工日数の比較を行った。

ケース1：500m²の連続繊維シート工

ケース2：2,000m²の連続繊維シート工

なお、連続繊維シート工の施工は、夜間作業（作業時刻：20:00～5:00）とした。また、本維持管理台車は、現状の手法に比較して作業デッキが広いため、そのことによる作業能率の向上が見込まれる。具体的には、以下のような点において作業効率の向上が見込まれると考えられる。

- 一度に行える作業範囲が広いため、作業時における台車の移動回数が少なくなる。

- 繊維シート工を施工する場合、シート同士を付け合わせる作業が減少する。
- 作業員同士の作業の連携がよりスムーズとなる。

しかしながら実機の製作が行われていない現段階では、その作業能率を定量的に求めるのは困難である。したがって、ここでは連続繊維シート工の作業経験者に対するヒアリングを行った。その結果から、本維持管理台車のデッキが広いことによる作業能率の向上は、既往の手法に比較して1.2倍と仮定した。

表-2および表-3に、それぞれケース1およびケースの試算結果を示す。なお、試算においては、文献²⁾

を参考にした。表-2に示すケース1では、現状の手法に比較して本維持管理台車の方が施工能率としては有利であるものの、経済性には劣る結果が示されている。一方、表-3に示すケース2では、施工能率および経済性とも本維持管理台車の方が有利という結果が得られている。

本維持管理台車を利用する場合、作業人員が従来の手法より1名多くなるとともに、維持管理台車の基礎価格が既往の台車に比べ高価である。このため、維持管理台車を利用することで作業能率を向上させたとしても、ある一定の施工範囲の下では人件費および維持管理台車の損料が既往の手法よりも大きくなってしまうため、経済的には不利になる。このことから、経済性を重視する場合には、ある一定以上の施工範囲を対象とすることで維持管理台車が優位になるものと考えられる。

一方、作業能率を優先する場合には、維持管理台車がいずれのケースも優位であるとの結果が得られている。ただし、本試算は、維持管理台車における作業能率の向上率を1.2と仮定した結果であることに留意されたい。この値の精度を高めるためには、実機による試験施工等の結果を踏まえる必要があり、それについては今後の課題としたい。

6. おわりに

本報告では、供用中の道路トンネルを対象としたトンネル維持管理作業台車の開発について述べた。本台車は現在までのところ詳細設計が終了しており、今後は実機の製作を進めていくことを計画している。

本台車の実用化に向けては、今後、プロトタイプ of 製作や試験施工の実施などによって運用上の問題点を明確にし、さらに改良を加える必要があると考

える。

本台車を利用した維持補修作業では、これまで道路トンネルにおける維持補修作業に比べて、

- 1) トンネル頂部にて車線を跨いだ連続的な維持補修作業が可能である。
- 2) 作業途中において規制車線の切り替えが不要である。
- 3) 作業効率の上昇が見込まれる。
- 4) 作業範囲によっては経済的になることが見込まれる。

などの特長を有していると考えられる。

ただし、上記の結果は実機による試験施工等を踏まえたものではないため、十分な精度での検証ではないと言えよう。しかしながら、本台車は今後の維持管理作業における一つの新しい試みとして有意なものであると考えられる。

今後は、実機の製作および試験施工を行うことで、より精度の高い検証を行うとともに、本維持管理台車の利点・欠点を明確にすることを考えている。

なお、本維持管理台車は、平成18年5月25日に特許公開（公開番号：特許公開2006-132119）となっていることを附記する。

謝辞：本報告で述べた台車は、三信建設工業株式会社、岐阜工業株式会社および社団法人日本建設機械化協会 施工技術総合研究所の三者による共同開発の成果である。本台車に開発に尽力いただいた各社の関係者の方々に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) (社)土木学会：トンネルの維持管理，トンネルライブラリー第14号，p.1，2005.7.
- 2) CRS研究会 土木部会：CRS工法（炭素繊維による構造物の補修・補強工法）積算資料（第2版），2002.3.