

覆工に生じる変状把握の精度向上のための 覆工表面洗浄の有効性

鈴木 俊雄¹・中村 純²・木村 定雄³・河合 隆則⁴

¹正会員 中日本高速道路株式会社 (〒914-0014 敦賀市井川 17 号字稲荷藪 8-1)

E-mail: t.suzuki.an@c-nexco.co.jp

²非会員 中日本高速道路株式会社 (〒914-0014 敦賀市井川 17 号字稲荷藪 8-1)

E-mail: j.nakamura.ac@c-nexco.co.jp

³正会員 金沢工業大学 工学部 環境土木工学科 (〒924-0838 白山市八束穂 3-1)

E-mail: s.kimura@neptune.kanazawa-it.ac.jp

⁴非会員 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社 (〒910-2178 福井市梅野町 12 字 9-1)

E-mail: t.kawai.b@c-nexco-hen.jp

供用されている道路トンネルの覆工表面は煤や油、汚濁水およびエフロレッセンス等により汚れている場合が多い。覆工表面の汚れは、走行型の画像撮影点検はもとより、近接目視による点検において、変状把握の正確性に影響する。本稿は覆工に生じる変状把握の正確性を更に向上させることを目的として、覆工表面の洗浄方法を検討するとともに、洗浄が変状把握に与える影響を検討したものである。

Key Words: tunnel lining, cleaning, inspection, crack,derioration of tunnel lining

1. はじめに

長期的に供用される道路トンネルの覆工表面は、通行車両の排気ガスに含まれる煤や油、通行車両からの引き込み雨水に路面の埃が混入した汚濁水の飛散およびエフロレッセンス等で汚れていることが散見される。とくに、汚れの主な原因である排気ガスの規制は、1966年にガソリン車の一酸化炭素の濃度測定の導入が契機となり、1972年にディーゼル車の黒煙の規制が導入され、その後、順次規制が強化されてきている¹⁾。このため、約 40 年以上、長期に亘って供用される道路トンネルの覆工表面は汚れている場合が多く、また、清掃や洗浄が施されていない実情にある。

一方、点検作業の効率化および近接目視の支援を目的として、覆工表面画像撮影を用いた走行型トンネル撮影システム等が導入されている²⁾。画像撮影はもとより、近接目視点検の実施において、覆工表面の汚れが覆工変状の状態把握に影響を及ぼし、その正確性の低下が懸念される。

筆者らは、覆工変状の状態把握において、より正確性の向上を図るためには、覆工表面に付着した汚れを除去することが望ましいと考え、供用から約 40 年経過した

道路トンネルの覆工表面をウォータージェット工法により洗浄する手法をとり上げた。同工法は建物の外壁、劣化コンクリート、浄化槽、橋脚などのチッピング、目荒らしおよびライニングのはくり作業に使用されているものである。本稿は、ウォータージェットによる覆工表面洗浄（以下、覆工洗浄という）の手法を検討するとともに、それが変状把握に与える影響を検証したものである。

2. 洗浄システムの概要

(1) 洗浄システムの概要

洗浄システムの概要図を図-1 に示す。この工法は、給水車より水タンクへ水を供給し、超高压水発生機で発生させた超高压水を超高压ホースにより導水し、ウォーターノズルを複数個配置したノズルヘッドから噴射し、その噴射反力でノズルを回転させ、効率的に洗浄やはくり作業を行うものである。また、作業において発生する汚濁水を同時にバキューム車へ回収することで、視界確保や騒音の低減、洗浄水の飛散防止等、作業環境の向上や第三者への影響を小さくすることができる。



図-1 洗浄システムの概要図



写真-1 ノズルヘッドの外観

(2) 洗浄システムの仕様

ノズルヘッドの外観を写真-1 に示し、その仕様を表-1 に示す。ノズルヘッドは使用圧力が80～180MPaの幅で設定が可能であり、ノズルは6穴式で、許容回転数は3000min⁻¹である²⁾。ノズルヘッドの特徴を示すと次のとおりである。①ノズル回転用の駆動モーターがないため、軽量・コンパクトで、作業性が向上する。②洗浄・はくり幅が広く、ノズル回転が高速なため、施工時間の短縮が可能である。③独自のノズル配列により、均一な処理面が可能である。④バキューム機能を装備し、作業中のミストを回収でき、作業者の手で噴射・停止操作が可能である。

超高压水発生機の概要を写真-2 に示し、その仕様を表-2 に示す。超高压水発生機は高压洗浄、はくり、はつりなど、ウォータージェット作業用に最適な小型パワーポンプである。その吐出圧力は最高280MPa、常用245MPaであり、吐出流量は30L/minである。また、駆動機は191kWの出力が可能であり、外観寸法は幅4,050mm、奥行1,650mm、高さ2,100mmであり、質量は3,750kgである。超高压水発生機の特徴は次のとおりである。①従来の高压ポンプに比べ吐出流量を最大20%アップし、スピーディーな洗浄、はくり、はつり作業が可能となる。②高精度ヘルカギアを内装することにより、エンジンを直結し、大幅な省スペースを図ることが可能である。③大容量アキュムレータの採用により高压脈動を抑え、ホースやノズルの耐久性が向上している。④ユニット全体は従来の剛性や強度を保持しながら軽量である。

バキューム車は、スーパーモビルという車両を用いた。スーパーモビルは汚泥の吸引や沈砂の回収で一般に多用されているものである。外観寸法は幅4,050mm、奥行1,650mm、高さ2,100mmであり、タンクの容量は30Lのものとした。



写真-2 超高压水発生機の外観

表-1 ノズルヘッドの仕様

型式	ASR-2515A-12
最高使用圧力	180MPa
最低使用圧力	80MPa
最大流量	15L/min
噴射角度	12°
許容回転数	3000min ⁻¹
質量	約6kg(ホース類含まず)
超高压ホース接続口	3/4-16UNF
バキューム吸い込み口	1・1/2(40A)
パイロットエアホース接続口	Φ6チューブ用

表-2 超高压水発生機の仕様

仕様			形式番号	標準タイプ
				JPHE-S8035
吐出圧力	最高	MPa	280	
	常用	MPa	245	
吐出流量			L/min	30
駆動機	出力	kW/min ⁻¹	191/1,800	
外観寸法	幅	mm	4,050	
	奥行	mm	1,650	
	高さ	mm	2,100	
質量			kg	3,750

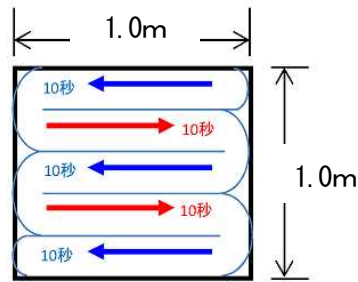


図-2 1箇所あたりのキャリブレーション



写真-3 キャリブレーション実施状況

3. 実トンネルにおける覆工表面洗浄

(1) キャリブレーション

a) キャリブレーション手法

ウォータージェットの使用圧力を決定するために、覆工洗浄を行う部位に近接する覆工表面でキャリブレーションを行った。図-2 はその概要を示したものである。1箇所当りの面積を 1m^2 とし、洗浄は1方向を約10秒間とし、1箇所当り、約50秒間の洗浄を行った（写真-3 参照）。使用圧力は5段階（80Mpa、100Mpa、120Mpa、150Mpa、180Mpa）とした。キャリブレーションは本施工に用いる洗浄システムを用いて行った（表-3 参照）。キャリブレーション後、近接目視で覆工表面の汚れの除去程度および表面粗さの確認を行い、本施工の使用圧力を決定した。

b) キャリブレーション結果

洗浄前後の覆工表面状態を図-3 に示す。使用圧力が80～120Mpaでは、覆工表面にやや煤汚れが残留するとともに、固着したエフロレッセンスが除去できない箇所が確認された。使用圧力が180Mpaでは、煤汚れやエフロレッセンスの大部分を除去できることが確認できたが、使用圧力が高く、覆工表面を過大に削り過ぎたため、骨材の露出が確認された。一方、使用圧力が150Mpaでは、煤汚れやエフロレッセンスの大部分が除去できることを確認するとともに、表面粗さも180Mpaに比べて、抑えられていることが確認された。これより、本施工における使用圧力は150Mpaとすることにした。

表-3 キャリブレーションのパターン

	パターン1	パターン2	パターン3	パターン4	パターン5
試験体大きさ(m^2)	1	1	1	1	1
使用圧力(MPa)	80	100	120	150	180
パス数	5	5	5	5	5
試験目標時間(sec)	50	50	50	50	50

使用圧力	覆工洗浄前	覆工洗浄後
80MPa		
100MPa		
120MPa		
150MPa		
180MPa		

図-3 キャリブレーション実施前後状況

(2) 覆工洗浄

a) 覆工洗浄計画

覆工洗浄を実施したトンネルは、矢板工法によって構築されたものであり、供用から約 40 年経過している。また、40 年の間、覆工洗浄は施されていない（写真-4 参照）。その延長は 1,272m であり、覆工スパン数は 110 であり、覆工コンクリートの設計基準強度は 200 (kgf/cm²) である。覆工洗浄の対象となる覆工スパンは過去の点検結果を鑑み、覆工の変状が著しく、汚れが著しいスパンとし、トンネル入口から 805～888m の区間とした。また、洗浄部位は走行車線の監視員通路上から追越車線の監査廊上の 18m とし、約 1,200m² の覆工洗浄を行った（図-4 参照）。

b) 覆工洗浄手順

覆工洗浄前に支障となる内装工や肥大化している溶脱物の部分的な除去を行い、樋については漏水するおそれがあるため存置した。洗浄作業は一般車両を供した中での作業となるため、走行車線側と追越車線側の車線規制を切り替えて行い、半断面ずつ行った。（写真-5 参照）。覆工洗浄作業は車線規制を設置した後、洗浄システムを搬入・設置し、キャリブレーションで決定された使用圧力（150Mp）で洗浄を行った。覆工洗浄作業により発生した汚濁水は、別のヤードに設置したノッチタンク（10m³）に移し、浮遊物質を沈殿させ、中和剤処理を施した上、PH 値を確認して、河川に放流した。また、ノッチタンクに沈殿した汚泥は産廃処理とした。覆工洗浄作業は人力で行うため、アーチ部の作業については、ノズルヘッドを操作する作業員を高所作業車に乗車させて行った。存置している樋や照明設備およびケーブルラックについては、接触しないよう注意しながら覆工洗浄作業を行った。作業時間は日中のみで、全体数量 1,200m² を 6 日間で施工完了したため、施工能力は 200m²/日であった。覆工洗浄後、覆工表面を観察した。その結果、表面に付着していた煤、油の汚れおよびエフロレンスの大部分を洗浄できたものの、覆工コンクリートの深部まで浸みこんだ汚れについては、時間をかけて集中的に洗浄したが、除去不可能な箇所もあった（写真-6 参照）。また、近接目視点検および輝度計を用いた壁面輝度を測定し、覆工洗浄効果を検証した。



写真-4 覆工表面洗浄前の状況

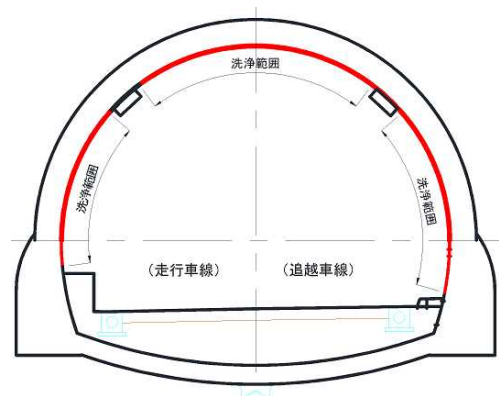


図-4 覆工表面洗浄範囲図（周方向）



写真-5 覆工表面洗浄状況（走行車線側）



写真-6 覆工表面洗浄後の汚れ除去不可能箇所

4. 覆工洗浄前後の状態評価

(1) 壁面輝度評価

a) 輝度測定手法

洗浄前および洗浄後の覆工表面輝度を測定し、覆工洗浄効果を検証した。輝度は写真-7 に示す輝度計を用いて測定した。輝度計の仕様は表-4 に示すとおりである。また、輝度測定は洗浄後、覆工表面が乾燥した状態で、1 箇所/20m、走行車線側と追越車線側の各々で 3 箇所ずつ側壁部で実施した。

b) 輝度測定結果

輝度測定結果を表-5 に示す。走行車線側の輝度は洗浄前の平均値 0.27cd/m^2 に対し、洗浄後の平均値は 0.99cd/m^2 となった。また、追越車線側の洗浄前の平均値 0.18cd/m^2 に対し、洗浄後の平均値は 1.06cd/m^2 となった。走行車線側および追越車線側とも輝度の上昇が確認できたとともに、路面からの遠望目視や走行しながら車上確認を行った結果、覆工洗浄後は覆工洗浄前に比べてトンネル内が明るく感じた（写真-8 参照）。

(2) 変状の状態評価

a) 状態評価手法

覆工洗浄後、約 1 週間後にアーチ部および側壁部について、近接目視点検を実施した。また、覆工洗浄前の点検結果は覆工洗浄を実施した約 1 年前に近接目視点検を実施した結果を用いて、両者を比較した。変状種類はひび割れとエフロレッセンスとした。ひび割れについては、幅 0.5mm 以下を 0.5mm 程度とし、幅 $0.6\sim 1.0\text{mm}$ 程度の幅を 1mm 程度として整理した⁴⁾。なお、点検対象とした範囲に幅 1.0mm 以上のひび割れは覆工表面洗浄前後とも、該当がなかった。

b) 状態評価結果

覆工洗浄前後の変状把握数量を図-5 に示す。幅 0.5mm 程度のひび割れは、覆工洗浄前に把握していた 205m の延長に対し、覆工洗浄後は 267m の延長を把握した。 267m の延長の内、 40m の延長が新たに把握され、覆工洗浄前に幅 1.0mm とされたひび割れが、幅 0.5mm のひび割れへランクダウンしたものが 97m あった。また、幅 1.0mm 程度のひび割れは、覆工洗浄前に把握していた 143m の延長に対し、覆工洗浄後は 60m の延長を把握した。 60m の延長の内、 8m のひび割れが新たに把握された。これまで煤やエフロレッセンスが覆工表面に付着していたため、ひび割れの不可視やひびわれ幅が過大に評価されたことが覆工洗浄効果により把握され、変状の新規発見や精度向上が図られた。

エフロレッセンスは、覆工洗浄前に把握していた 39m^2 の面積に対し、覆工洗浄後は 7m^2 を把握した。 7m^2 の面積の内、 1m^2 のエフロレッセンスが新たに把握され

た。新たに把握されたエフロレッセンスは、エフロレッセンスの表面に煤が付着しており、覆工洗浄後に表面の煤が除去されたことで覆工表面上に現れたものである。また覆工洗浄により大部分のエフロレッセンスを除去できたものの、前記の写真-6 で示すようなエフロレッセンスが覆工表面に残る箇所があった。このような除去不可能であったエフロレッセンスを除去するためには使用圧力を上げて除去できる可能性も考えられるが、使用圧力を上げすぎると、覆工表面状態が粗くなる可能性があるため、必要以上の覆工洗浄は実施しなかった。また、点検者にヒアリングした結果、覆工表面の汚れを除去したことで、覆工表面が綺麗になるとともにトンネル全体が明るくなったことで、点検しやすくなったという意見を得られることができた。



写真-7 輝度計

表-4 輝度計の仕様

形式	スポットタイプ 一眼レフ方式デジタル輝度計
測定角	$1/3^\circ$
光学系	$f=85\text{mm}F2.8$
測定距離 (測定面積)	$\infty\sim 1014\text{mm}$ ($\infty\sim \Phi 4.8\text{mm}$)
輝度単位	cd/m^2
使用温湿度範囲	$0\sim 40^\circ\text{C}$ 相対湿度85%以下 (35°C のとき)
保管温湿度範囲	$-20\sim 55^\circ\text{C}$ 相対湿度85%以下 (35°C のとき)
寸法	$79(\text{W})\times 208(\text{H})\times 150(\text{D})\text{mm}$
重量	850g (電池別)

5. まとめ

本稿では、約 40 年間供用され、覆工表面に汚れが付着している覆工表面の洗浄を行うことで、覆工変状の状態把握における覆工表面洗浄の効果について検討した。以下には、得られた知見を示す。

1) 覆工洗浄を実施することで、輝度の向上が認められ、視環境が改善された。また、覆工洗浄を実施したことで、覆工表面に付着した煤やエフロレッセンスで把握できなかったひび割れの点検精度が上がることで、覆工変状の状態把握の正確性が向上した。

2) 覆工表面洗浄により除去不可能であった汚れやエフロレッセンスに時間をかけて過度な洗浄を行うと、覆工表面が粗くなることから、トンネル毎に覆工コンクリートの強度等の状態が異なることを考えると、トンネル毎にキャリブレーションを実施し、使用圧力を設定する必要がある。

本稿では、覆工洗浄が変状把握に与える影響を検討した。今後は洗浄後の汚れを抑制するための防汚対策についても検討していく予定である。

参考文献

- 1) 石井素：日本マリンエンジニアリング学会誌，第 47 号，第 6 号，2012。
- 2) 佐野信夫，馬場弘二，山田隆昭，吉武勇，中川浩二，西村和夫：高速道路トンネルの合理的な点検システムの提案，土木学会論文集 D, Vol.63, No3, pp391-400, 2007.9
- 3) 水口尚司，大西有三，徳田浩一郎，西山哲，石村勝伸：道路トンネルにおける画像およびレーザーデータを用いたマネジメント手法の研究，土木学会論文集 F2, Vol71(1), pp20-30, 2015
- 4) 中日本高速道路(株)：保全点検要領（構造物編）補足資料（案），P5-13, 2018

表-5 壁面輝度の測定値

(単位:cd/m²)

測定箇所	洗浄前測定値	洗浄後測定値	差
走行車線側 測定①	0.30	0.90	0.60
走行車線側 測定②	0.28	1.14	0.86
走行車線側 測定③	0.22	0.92	0.70
走行車線側 平均	0.27	0.99	0.72
追越車線側 測定①	0.17	0.89	0.72
追越車線側 測定②	0.22	1.04	0.82
追越車線側 測定③	0.16	1.24	1.08
追越車線側 平均	0.18	1.06	0.87



写真-8 覆工表面洗浄後の状況

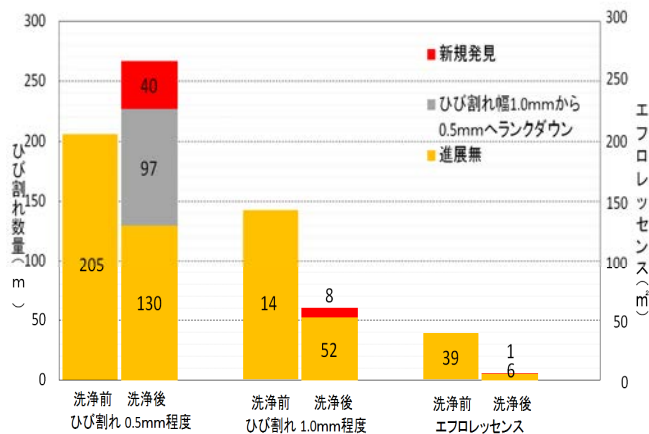


図-5 覆工洗浄前後の変状把握

CLEANING THE TUNNEL LINING TO VERIFY THE ACCURACY OF INSPECTION AND ITS EFFECTIVENESS

Toshio SUZUKI, Jun NAKAMURA, Sadao KIMURA and Takanori KAWAI

The lining surface of road tunnels in service is often contaminated by drought, oil, polluted water, efflorescence, and so on. The dirt on the lining surface affects the accuracy of grasping deformations in close-up visual inspection as well as running-type image inspection. The purpose of this paper is to investigate the cleaning method of the lining surface and to investigate the influence of cleaning on the grasp of the deformation for the purpose of further improving the accuracy of grasping the deformation occurring in the lining.