

休山トンネルにおける 非接触型トンネル清掃方式の開発について

佐川 俊之

中国地方整備局 広島国道事務所 管理第二課（〒734-0022 広島県広島市南区東雲 2-13-28）

本報告は、国道185号の休山トンネル内（延長1,706m）に設置した歩車道分離用のガラス壁面、磁器タイルに付着、堆積する排気ガス等による汚れを効果的に除去するために行った新しい清掃方式の開発についてまとめたものである。

一般的にトンネル内の壁面清掃は、回転ブラシ式のトンネル清掃車で洗浄する接触型洗浄装置を備えた洗浄用車両によって行われている。本開発では、清掃時間の短縮による経済効果の向上を第1目標として、最新技術（超微細気泡）を駆使した従来方式とは全く異なる非接触型清掃方法を開発した。

キーワード マイクロナノバブル、マイクロバブル、トンネル清掃、休山トンネル、維持管理

1. 現状と課題

（1）歩車道分離壁設置の経緯

国道185号の休山新道は、交通混雑緩和・走行時間短縮、交通事故の減少、交流連携を整備効果として、平成14年3月に延長2.6kmで開通した。

この休山新道のうち、休山トンネルは、呉市の中心部と阿賀・広地区を結ぶ約1.7kmの道路トンネルである。

休山新道の開通により、朝夕のラッシュ時の通過時間（呉本通り6丁目～阿賀中央6丁目まで）が21分から6分へと約15分の時間短縮が実現している。

しかし、その利便性より休山トンネルは、開通後の交通量が当初想定量の1.6倍に相当する3万8千台が利用するようになった。これに伴って、出口信号交差点からの渋滞がトンネル内にまで連なり、車両の排気ガスや騒音が発生するため、トンネル内を通行する歩行者から環境改善を求められていた。

その要望に応え、平成16年8月にガラス製の歩車道分離壁が設置され、歩道内の大気環境は表1に示すように大幅に改善された。

表-1 大気環境の改善状況

項目	単位	設置前	設置後	低下率	
一酸化炭素	CO	ppm	20.4	3.6	82%
窒素酸化物	NO	ppm	1.443	0.207	86%
	NO ₂	ppm	0.196	0.045	77%
浮遊粒子状物質	mg/m ³	0.224	0.072	68%	



写真1 休山トンネル全景



写真2 歩車道分離壁

(2) 現況の清掃作業

清掃作業は、図-1に示すように、4つのプロセスを実施しており、①トンネル清掃車で分離壁ガラスを清掃する。その後、②高圧洗浄機にて洗い流しを行う。

また、その後段で清掃車で洗った洗剤が困難なガードパイプ部、非常駐車帯・非常扉を③人力ゴムレーキにより清掃する。その後、④高圧洗浄機にて仕上げの洗い流しを行う。

また、高圧洗浄作業では多くの水を要するため、給水作業が必要となる。

(3) 維持管理作業における課題

歩行者からの要望で設置されたトンネル内歩車道分離ガラスは、環境改善、防犯上の問題から、その透視度を良好に保つため、半年に一度程度のトンネル内清掃が必要な状況となっている。

しかし、現況の清掃作業は、ガードパイプ部の清掃等が人力作業である。

また、複数の工程により、清掃および洗い流しを繰り返しているため、大量の水を必要とし、作業途中での給水作業等により、多くの作業時間を要している。

これらにより、長時間（約4.5h）の清掃作業を要し、昼間の片側交互通行では、延長が長く（1,706m）交通渋滞（日交通量37,600台/日）を招く恐れがある為、夜

間作業（22:00～5:00）による片側通行止めを余儀なくされている。

(4) 要求される技術

これらの課題を克服するために、以下の項目に着目した清掃方法の開発を実施する。

①コスト削減に関する検討

- ・現在、人力による清掃作業の機械化を検討する
- ・歩車道分離ガラスを損傷せず、斑なく清掃を行う
- ・ブラシのとどかない部分の清掃も可能にする
- ・人力作業を減らす
- ・交通規制の時間を短縮する

②清掃作業の効率化

- ・洗剤を使用しない
- ・洗浄水を少なくする
- ・洗い流し工程の短縮を検討する
- ・トンネル内壁面、内装板への適用性を検討する

③効率的な維持管理手法の検討

- ・堆積粉塵による汚れ指標の検討
- ・トンネル内壁面の汚れの時間的変化の検討
- ・清掃方法による適切な運用方法の検討

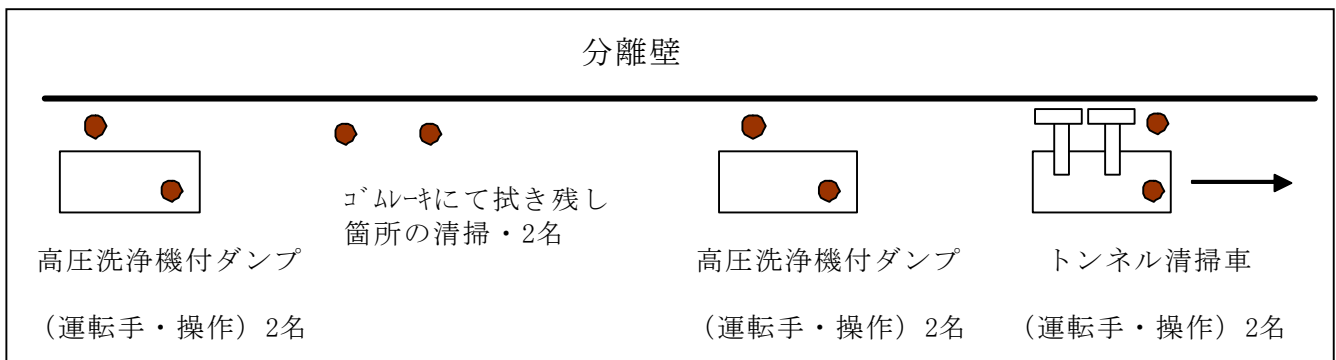


図-1 現況の清掃作業工程



写真-3 トンネル清掃車作業状況



写真-4 人力清掃作業状況

2. 課題に対する解決策と解決策に至るまでの経緯

(1) 開発目標

従来のトンネル清掃車によるブラシ式では、清掃時間の短縮と清掃作業の安全性とは相反する関係にあるため、これ以上の効率化は困難である。本検討では、新しく非接触型の清掃方式として、超微細気泡を用いた清掃方式の確立を目標とし、試験を実施した。

(2) 基本原理

超微細気泡による壁面清掃の基本原理は電気的な付着力を利用した技術であり、図-3に示すように、超微細気泡が粉塵より数倍径の小さい(100nm~10μm)ため、気泡の浸透性および気泡表面の電気的な付着効果により汚れの原因となっている粉塵を剥離させることを期待するものである。

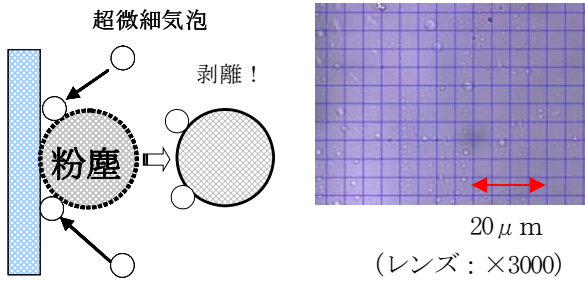


図-3 超微細気泡による清掃原理

3. 技術活用後の評価

(1) 超微細気泡による洗浄試験

a) 試験方法

洗浄効果の検証試験では、水道水、マイクロバブル、マイクロナノバブルの三種類で洗浄効果を検証した。

清掃効果の評価は、色彩色差計を用いて、図-4に示すとおり5点の明度を計測した。

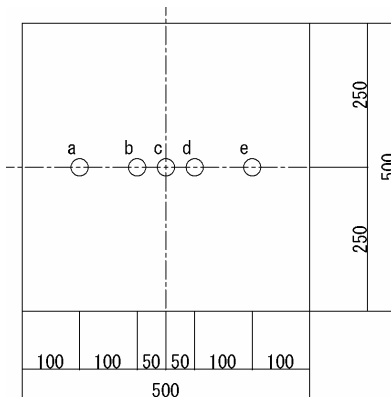


図-4 測定位置図

b) 試験結果

表-2に示すように、マイクロナノバブル水の清掃における優位性および清掃への有効性が確認された。

表-2 基礎試験明度 初期値 (70.92)

	中央 (C)	中央から 5cm(d)	中央から 15cm(e)
水道水	69.98	67.93	64.63
マイクロバブル水	69.40	69.16	64.62
マイクロナノバブル水	70.40	69.84	67.17

c) 結果考察

本試験では清掃に対して、有効に働く圧力を上昇させた結果、マイクロバブルが外圧により崩壊したため、通常の水と同様の状態で放射されたものと考えられる。

一方、マイクロナノバブルについては、その径が非常に微細であるため、圧縮気体による内部圧力が大きく、外力に耐えうる状況で放出されたため、水と比較した場合に清掃効果に差異がでたものと考えられる。

(2) 事前噴霧による洗浄試験

a) 試験方法

図-5に示すように噴霧ノズルおよび噴射ノズルによる2段階の清掃ステップによる清掃効果を検証した。

比較試験として、噴霧の有無による清掃効果を検証した。

清掃効果は色彩色差計で明度を測定した。

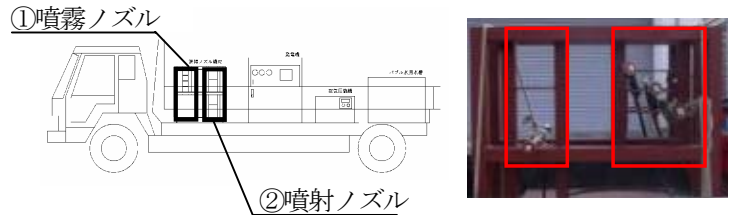


図-5 事前噴霧による洗浄効果試験

b) 試験結果

表-3のように前処理として、清掃面に超微細気泡水を噴霧することにより、清掃幅が5倍程度上昇することが確認された。

表-3 事前噴霧による洗浄効果試験

測点	明度 (L*)	
	噴霧あり	噴霧なし
1	66.64	65.70
2	69.44	65.49
3	69.50	65.52
4	69.46	66.14
5	70.50	68.14
6	70.64	69.43
7	70.64	69.46
8	69.76	69.76
9	70.48	69.52
10	70.62	69.41
11	69.84	68.31
12	70.05	65.09
13	69.58	64.82
14	69.13	64.17
15	68.86	64.18
16	69.36	63.46
17	68.86	64.03
有効幅	30.8cm	5.6cm

凡例
試験後明度
 69.5以上
 70.0以上

c) 結果考察

事前に汚れが付着している対象面に対し、超微細気泡を含む水を噴霧してやることにより、以後の洗浄が有効に実施できることが確認された。

これにより、清掃の効率化を図ることが可能となった。

(3) 実証試験（走行試験）

清掃条件を決定するため、清掃機材を車両に積載し、走行試験を実施した結果、15km/hでの走行が可能となった。

これは、前節3. (1) および3. (2) の基本試験の結果を踏まえ、現場で再現させたもので、表4に示すように各試験体に対し、十分な有効性があることを確認した。

表5は実証試験の結果より定めた清掃機材の仕様である。

また、清掃頻度に対する検証を実施した結果、歩道において安全性確保および人が体感する「汚れは非常に気になる」汚れの程度は明度差20¹⁾とし、今後の清掃作業は、ガラス面で50、内装板（磁器タイル）で68を清掃実施時期の目安とする。

表4 実証試験結果（ ）内は初期値

試験体	運転速度	明度		回復率
		洗浄前	洗浄後	
磁器 タイル (91.25)	15km/h	53.55	90.11	98.70%
	10km/h	82.51	89.67	98.30%
	2.0km/h	79.71	90.18	98.80%
ガラス (70.92)	15km/h	53.08	68.76	97.00%
	10km/h	53.64	70.49	99.40%
	2.0km/h	54.45	70.56	99.50%
コンクリート (63.76)	15km/h	51.07	59.69	93.60%
	10km/h	54.89	62.68	98.30%
	2.0km/h	52.84	61.38	96.30%

表5 清掃機械仕様一覧

清掃条件	検証結果
清掃速度	15km/h
清掃水圧	20Mpa
清掃距離	対象面から1.0m
清掃条件	噴霧+噴射（同時作業）
水条件	MNB水（噴射および噴霧）
清掃角度	90°（適宜角度調整可能）
清掃幅	設計有効幅80mm（清掃有効幅120mm）
清掃水量	3.2m ³ /1.7km
ノズル配列	水平方向に5cm間隔以上
気泡安定剤	重曹（炭酸水素ナトリウム）1g/l

(4) コスト削減効果

超微細気泡方式は清掃時間を削減することが可能とな

り、表6に示すように、維持管理費で44%程度のコスト削減を図ることができた。これは、作業の機械化（24%）、作業の省力化による清掃時間の短縮（84%）によるものである。

表6 清掃方式による清掃費用比較

清掃方式	従来方式 (トンネル清掃車)	微細気泡方式
施工能力(清掃時間)	○ [7.0]	△ [1.0]
環境への配慮	△ [洗剤を使用する]	○ [洗剤を使用しない]
清掃回数	△ 2回/年	△ 2回/年
清掃基面への影響	△ [キズが付く]	○ [影響はない]
経済性	清掃費 (一回当たり)	△ 1,250,000円 (84%削減)
	機材費	△ 50,000千円 (24%削減)
	維持管理費 (50年間)	△ 375,000千円 (44%削減)
評価	△	◎

4. 結論

本方式は、非接触型清掃方式での走行により、15km/hの速度での清掃作業を可能とした。その効果は、通行止め等の交通規制をかけずに清掃作業を行い、周辺交通への影響を緩和できるという点で大きいと考えられる。

休山トンネルの歩道は閉鎖空間が1.7kmと長いこと、その安全性を高めるため、現在も様々な方策を実施しているが、本方式の経済効果により、清掃頻度を年2回から回数を増加させることにより、ガラス面の汚れがひどくなる前に清掃作業を実施でき、歩道環境の安全性を高めることができると考えられる。

今後の課題として、機械化に伴い、試験時に使用した機材のスケールアップが必要となり、機械設備の効率化について、詳細な検討が必要であると考えられる。

トンネル内の清掃作業は周辺交通への影響が大きい現場では本方式のような非接触式の清掃方式を採用し、その効率化を図れば、道路サービスの向上に寄与することが可能であると考えられる、今後も実用化に向けて、検討を進めていきたい。

5. 参考文献

- 1) 上村克郎ら 外壁面仕上材料の汚染程度の表示量について（日本建築学会 大会学術講演梗概集、pp385-386、1986）