

S 4. 真空環流式路面清掃車の粉塵の巻き上がり防止技術の開発

(社) 日本建設機械化協会 施工技術総合研究所 ○ 佐野 昌伴

1. はじめに

現在、市街地で使用されている真空環流式路面清掃車（以下、路面清掃車という）は、ガッター（歩車道境界）に堆積している塵埃を清掃する際に、塵埃を湿潤させて粉塵の巻き上がりを防止するため、事前散水を行う散水車との組み合わせ施工を実施しており、交通渋滞の原因の一つとなっている。

本稿では、この課題を解決することを目的として、要素試験や構内試験による粉塵対策技術の研究開発、およびその効果を確認するための現場実証試験を行ったので報告する。

2. 検討経緯

2.1 概要

開発フローを図-1 に示す。1 年目は基礎調査、2 年目は基礎研究、3 年目は実用化のための現場実証実験を行った。

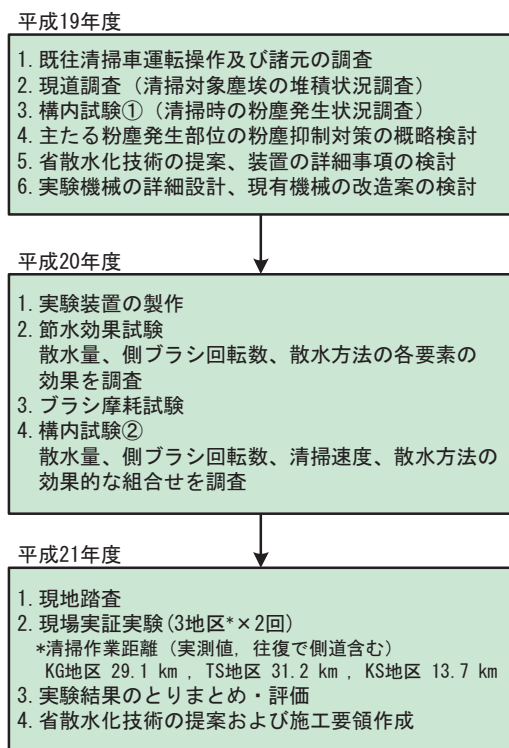


図-1 開発フロー

2.2 現道調査

路面清掃時の粉塵発生量は、清掃対象とする塵埃の堆積量および含まれる土砂の粒度分布等に影響されると考えられるため、九州地方整備局管内の一般国道の塵埃堆積量、土砂の粒度分布の調査を行った。現道の塵埃堆積量および粒度分布を図-2 に示す。

なお、この結果は構内試験の試験用砂（現道の塵埃の粒度分布に調整）として活用した。

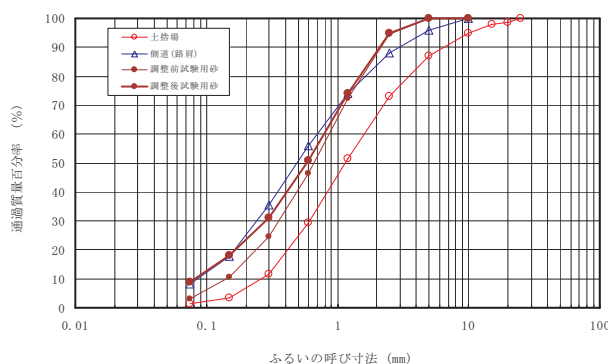


図-2 現道の塵埃と試験用砂の粒度分布

2.3 構内試験①

構内試験①では、模擬ガッターに試験用砂を堆積させ、路面清掃車による清掃を実施した。清掃時における粉塵発生箇所と粉塵発生量の関係を定量的に評価し、複数の対策技術の効果を確認した。計測位置を図-3、調査状況を写真-1、対策事例の一部を写真-2 と写真-3 に示す。

調査状況（写真-1 参照）における条件1（散水無し）については、側ブラシから濃い粉塵を巻き上げながら、車体後方から風下側側面全体に濃い粉塵がまとわりつき、徐々に拡散しながら移動しているような状況であった。

また、条件2（前ノズルによる散水）を行っても、側ブラシ直近で巻き上げられる粉塵は少ないが、車体風下側側面全体にはやや濃い粉塵がまとわりついていた。

対策事例①（写真-3 参照）は、側ブラシからサクシオンフードの上部をビニールシートでカバー、前方ゴムフラップ部の面積を拡大し、路面との隙

間を減少させた。しかし、対策したカバーの隙間から、粉塵が歩道側にオーバーフローし、条件2と同様に、側ブラシ上部カバーを付けても対策効果は見られなかった。

透光性遮音壁清掃機械やトンネル壁面清掃機械では、節水方法としてブラシに洗浄水を噴射する方式や、ブラシの回転軸中心から洗浄水をにじみ出す構造を採用している。そこで対策事例②（写真-3 参照）では、この技術を応用して、側ブラシに給水する方式で節水を試みた。結果は粉塵の発生が抑制され、ガッター部に薄い水跡だけが残し、粉塵抑制対策の可能性を確認できた。

構内試験①の結果として、塵埃堆積量が多い($0.2 \text{ m}^3/\text{km}$) ケースでは、現行の噴霧方式は散水車による事前散水がないため、側ブラシおよび車体の後方から粉塵の舞い上がりが見られた。また、側ブラシのカバーの対策効果はなかったが、側ブラシに直接噴霧した対策は粉塵の抑制効果が見られた。

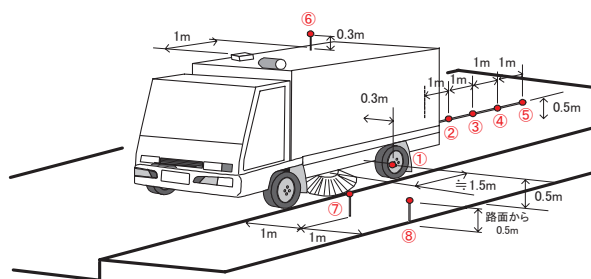


図-3 計測位置

条件1（散水なし）



条件2（側ブラシ散水あり）



写真-1 調査状況



写真-2 対策事例①（側ブラシカバー）



写真-3 対策事例②（ブラシ経路の給水）

2.4 省散水化技術の提案

粉塵発生状況調査の結果をもとに、主たる粉塵発生部位の粉塵抑制対策について、清掃方法、ブラシ構造、フィルター技術、省散水技術の側面から17技術について概略検討を行った。

また、それぞれの技術を適用した場合の必要動力、重量増加、費用等について概略検討し、実現性の高い次の3技術を抽出した。

(1) 水タンク容量を増やし散水に活用

追加容量は、搭載場所のスペース、車両の保安基準(タイヤ負荷率、最大安定傾斜角度)などを検討した結果、350Lの増加が可能である。



図-4 水タンク容量の追加

(2) 側ブラシの回転数調整

側ブラシの回転数を現在の固定式から調整式

(ブラシの駆動用油圧回路に圧力補償型可変バルブを挿入して油量を調整：90 min⁻¹ ~ 150 min⁻¹) に変えることで、塵埃量や走行速度に対応した回転数の調整によって発塵抑制を図ることができる。

(3) ブラシ経由給水方式

構内試験では、前記 2.3 の通り、前方散水、側ブラシ散水、フード内散水を行ったが効果が見られず、側ブラシに直接散水した場合は、濡れたブラシが土砂を確実に濡らして省散水化に寄与することが確認できた。

次の開発課題として、適正なブラシ回転数の制御に加えて、より散水効果を得るために、側ブラシに散水する角度、ノズルパターン(直射、扇形)、ノズルの数量、ノズル位置などを 2.5 以降のように検証した。

2.5 節水効果試験

適正な噴霧量、ノズルの噴霧位置・方向、側ブラシ回転数の組合せについて、面的な水量分布を計測して定量的に評価した。水量計量台の概略図を図-5、水量計量台回収容器配置図を図-6、計測結果の一例を図-7 に示す。

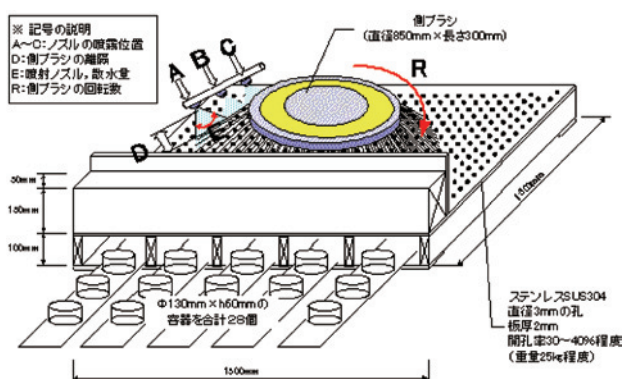


図-5 水量計量台の概略図

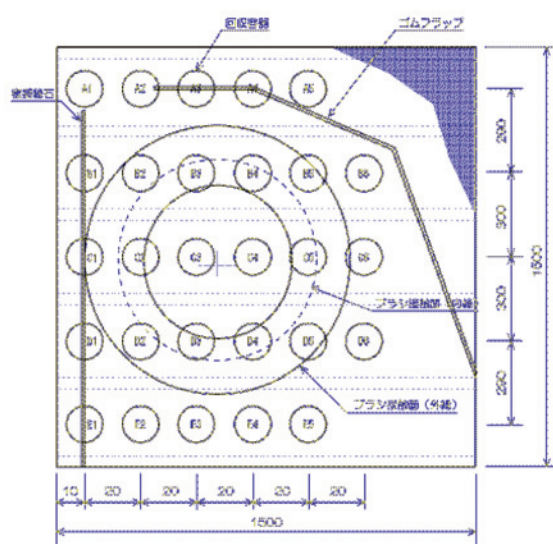


図-6 水量計量台回収容器配置図

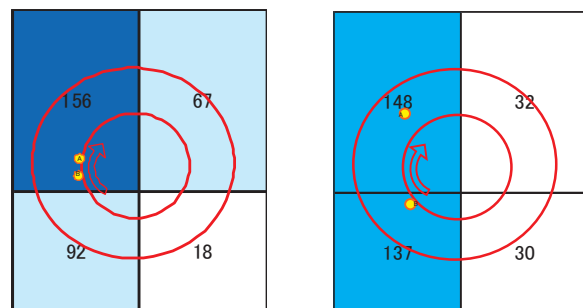
計測結果の評価は、清掃の進行方向に対して、

側ブラシのガッター側前方散水量が多いほうが、塵埃に効率的に散水できると考え、最適な組合せを決定した。

図-7 は、ガッター側前方散水量に着目した検討結果であるが、高回転(側ブラシ回転数 150 min⁻¹)の試験 No.3 は、実作業の際に縁石等に衝突する可能性があるため、実務では採用できない。

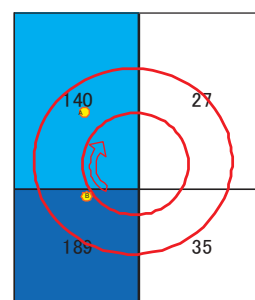
中回転(120 min⁻¹)の試験 No.12 は、Bノズルが斜め進行方向であるため、直接路面に散水されるので、ブラシ経由の給水方式の効果が低減されると考える。

低回転(90 min⁻¹)の試験 No.7 は、側ブラシのガッター側前方及び後方の散水量が多く、高回転や低回転でも同様な傾向が見られ、回転数が異なっても良いバランスを維持できている。このため、ブラシ経由の給水方式での最適な組合せは「45° 下向き and 120° 下向き」であると考えられる。

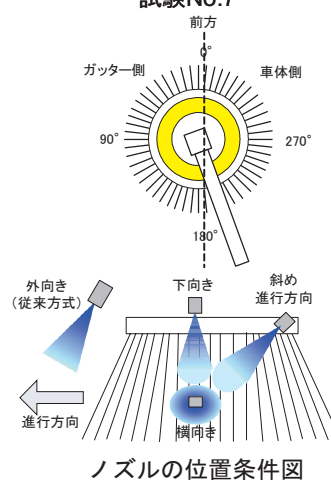


A: 90° (横向き)
B: 90° (横向き)
試験No.3

A: 45° (下向き)
B: 120° (下向き)
試験No.7



A: 45° (下向き)
B: 120° (斜め進行方向)
試験No.12



ノズルの位置条件図

図-7 計測結果

2.6 ブラシの摩耗試験

現行の噴霧方式とブラシ経由給水方式のブラシ磨耗量および表面温度を計測して定量的に評価した。模擬側溝の概略を図-8、試験状況を写真-4 に示す。

試験結果のうち、時間当たりの磨耗量(平均)の比較では、ブラシ経由給水方式は現行の噴霧方式の 0.6 倍の磨耗量に抑制した。

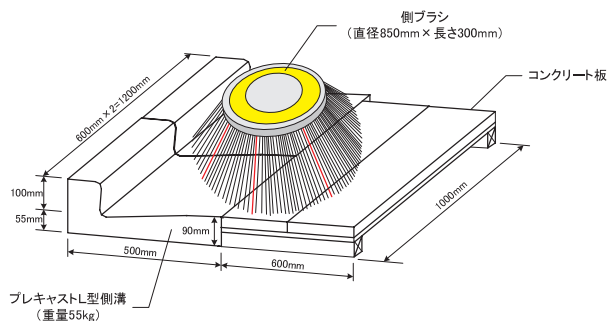


図-8 模擬側溝の概略



写真-4 試験状況

2.7 構内試験②

構内試験②の試験状況を写真-5、粉塵量の比較結果を図-9に示す。試験では模擬ガッターに試験用砂を堆積させ、路面清掃車の清掃を実施し、ブラシ経由給水方式について、塵埃堆積量、清掃速度、ブラシ回転数、噴霧量の組合せを、粉塵発生量を指標として定量的に評価し、最適な組合せを3章のように決定した。



ブラシ後方

車体後方

写真-5 構内試験状況

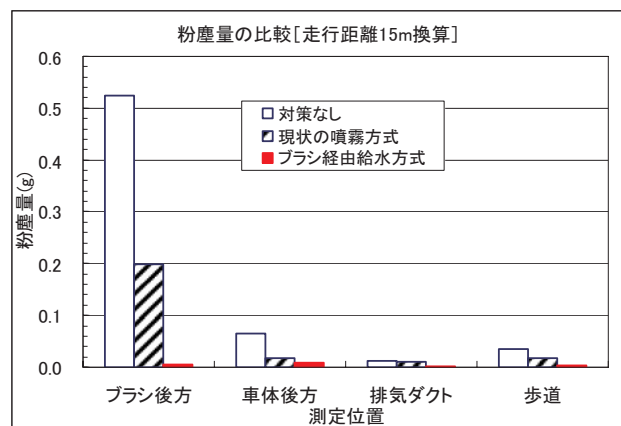


図-9 粉塵量の比較

3. 粉塵の巻き上がり防止技術の概要

前記の試験結果から、清掃時の粉塵の巻き上がりを防止するには、現行の噴霧方式より「ブラシ経由給水方式」のほうが、少量噴霧で粉塵対策に有効であることを確認した。側ブラシの噴霧方式の違いを表-1に示す。

側ブラシに水を直接噴霧することで、側ブラシ先端は絶えず湿潤状態となり、側ブラシと接触する土砂を確実に湿らせ、発塵の抑制と冷却効果によるブラシの延命を図ることができる。

また、側ブラシの回転数を現在の固定式から調整式（ブラシの駆動用油圧回路に圧力補償型可変バルブを挿入して油量を調整： $90 \text{ min}^{-1} \sim 150 \text{ min}^{-1}$ ）に変えることで、塵埃堆積量（清掃速度）に対応した回転数の調整によって粉塵を抑制できる。

- ◇ 噴霧方式：ブラシ経由給水方式（ノズル2方向から側ブラシに給水、表-1参照）
- ◇ 塵埃堆積量多（ $0.2 \text{ m}^3/\text{km}$ ）の最適な組合せ：側ブラシ回転数 90 rpm、噴霧量 4 L/min、清掃速度 6 km/h 以下

4. 現場実証実験

現場実証試験では、現行の噴霧方式に対してブラシ経由給水方式の効果を客観的に評価するために比較検討を行った。

実施回数は3地区×2回の合計6回で、清掃作業距離（実測値、往復で側道含む）は、KG地区 29 km、TS地区 31 km、KY地区 14 kmである。

現場実証試験結果の評価を表-2に示す。ブラシ経由給水方式は現行の噴霧方式に比べて、粉塵発生量の抑制、ガッターへの散水量・噴霧量の低減、清掃効果の向上、およびブラシ摩耗量の延命によるコスト削減を図ることが可能である。

これより、ブラシ経由給水方式による清掃方式は、散水車（事前散水）なしで路面清掃車の単独清掃が可能であると評価できる。

表-1 側ブラシの噴霧方式の違い

主項目	現行の噴霧方式	ブラシ経由給水方式
散水位置		
	進行方向のブラシ先端	ノズル2方向から側ブラシに給水
ブラシ回転数	150 rpm	90 rpm
清掃機械 の組合せ	2 t ダンプトラック（作業員2名）＋路面清掃車（作業員1名）	
	散水車（作業員1名）	なし
水タンク容量	1,500 L（＋散水車 6,500 L）	1,500 L（350 L の増加可能）

表-2 現場実証試験結果の評価

評価項目	評価方法	現行の噴霧方式	ブラシ経由給水方式
粉塵発生量	バットに水を張って粉塵を捕集（写真-6のA）、km 当たりの乾燥質量で評価	1 （基準）	0.42 （1/2 に抑制，図-10）
	目視（ビデオ撮影，ブラシ直視・歩道，写真-6のB）	散水車＋ブラシ噴霧により粉塵発生を抑制	散水車なしでも粉塵発生を抑制
		一部に水しぶき・飛び石あり	水しぶき・飛び石は見られない
清掃後のガッターの塵埃残量	清掃前後に計測（採取範囲はガッターの1 m 幅）	11 g	4 g （60%減少，図-11）
清掃能力（清掃前後の塵埃量）	回収率（%）＝（清掃前－清掃後）÷清掃前×100	95.2 %	98.0 % （約3%向上）
ブラシ摩耗量	清掃前後に計測	1 （基準）	0.65 （35%抑制，図-12）
清掃速度	実測	8.8 km/h	9.8 km/h （1km/h UP）
路面清掃車のブラシ噴霧量	10秒間のノズル噴霧量をビニール袋に捕集して求めた	散水車 20.4 L/min 3.88 L/min	3.88 L/min
ブラシ回転数（路面に接触）	清掃前に計測	150 rpm （実測 152.6 rpm）	90 rpm （実測 91.5 rpm）
交通渋滞状況	目視（清掃車の後部からビデオ撮影）	高架等の片側1車線区間で20台程度の渋滞	左同
現行の噴霧方式に見られた傾向	清掃後のガッターに残る水量が多い ブラシ後方の捕集バットに粒径5mm超の塵埃が見られる		

注1) 太枠部分は、現行の噴霧方式とブラシ経由給水方式を比較した場合に、その効果に差がある結果である。

注2) 調査数量は、KG 地区と KY 地区が5データ/方式×2回、TS 地区が3データ/方式×2回である。



写真-6 現場実証試験の検証方法

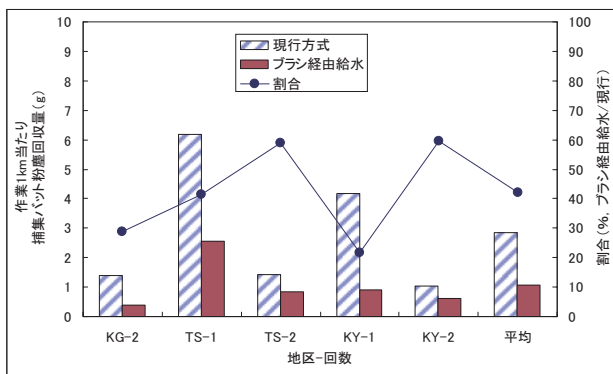


図-10 粉塵発生量の比較

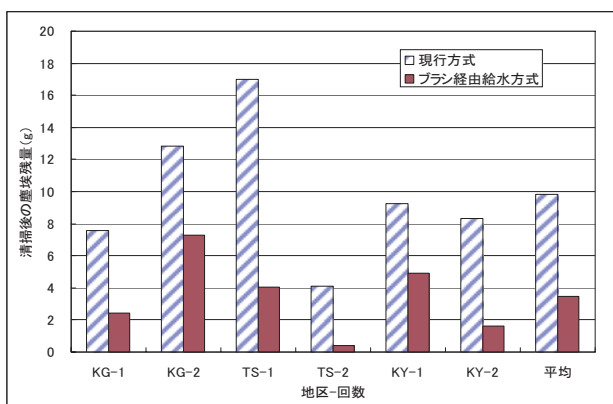


図-11 清掃後のガッターの塵埃残量

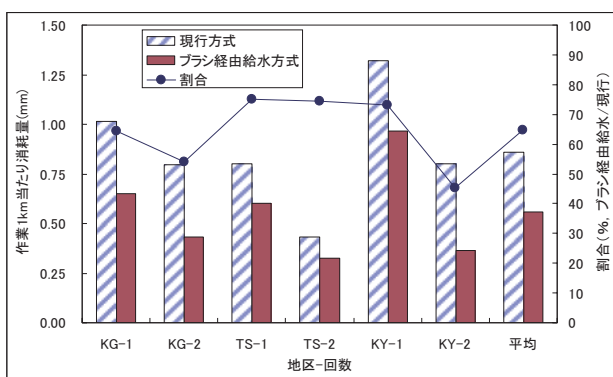


図-12 ブラシ摩耗量

5. まとめ

路面清掃車の清掃時における粉塵の巻き上がり防止技術として、ブラシ経由給水方式を提案し、現場実証試験結果から、現行の噴霧方式に対するブラシ経由給水方式の効果を確認した。

今後は、ブラシにより清掃を行う他の清掃機械に対して、ブラシ経由給水方式への取り組み（応用）が重要となる。

なお、本稿は九州地方整備局九州技術事務所からの受託業務として実施した研究の成果を取りまとめたものである。

参考文献

- 1) 長友久樹, 佐野昌伴: 真空環流式路面清掃車の粉塵の巻き上がり防止技術に関する検討, 社団法人土木学会第64回年次学術講演会, V-074, 2010.9