

洗浄回復性に優れたトンネル内装タイルの開発

DEVELOPMENT OF EASY CLEANING TILES FOR USE OF INTERIOR WALL IN TUNNELS

辻道万也¹⁾・小林秀紀¹⁾

Kazuya TSUJIMICHI, Hideki KOBAYASHI

Development of easy cleaning tiles for use of interior wall in tunnel was carried out. The adherent auto exhausts stains on newly developed tiles coated by silicate are found to be more easily washed out by water spraying than those on non-coated tiles. It was also found that the function of coated tiles was durable over the long term for various loads caused by the cleaning and the construction. This easy cleaning tile is expected to decrease the cost of the cleaning compared to the non-coated tiles and other conventional wall materials used in tunnel.

Key Words: easy cleaning tiles, tunnel, adherent auto exhausts stains

1. 緒言

トンネル内装材にはトンネル内の視環境を確保する役割があるが、特に交通量の多い区間のトンネル内装材は、走行車両から排出される排気ガスによる汚れが激しい。そのためトンネル内の視環境は必ずしも良好ではない場合が多い。現状では、清掃用の回転ブラシ等を装備した洗浄車を用いた大掛かりな清掃によりトンネル内装材の汚れを除去しているが、それに伴う多額の清掃コストや清掃作業の安全性確保が問題となっている。本研究では、より簡易な清掃によって汚れが除去できるトンネル内装タイルの開発を試みた。

2. 試験方法

2.1 排ガス汚れ洗浄回復性の評価方法

タイルの洗浄回復性の評価は、試作タイルと通常タイル（比較用）に対して、排ガス汚れの付着と洗浄を行い、洗浄後の表面の汚れの度合いを比較、評価した。

排ガス汚れの付着と洗浄方法

- (1) ディーゼル車排気ガスを導入したボックス内に、試作タイル、通常タイルを曝露し、タイル表面に排気ガス汚れを強制的に付着させる。

(ディーゼルエンジンの回転数: 3000r. p. m. 10 分間) (図1 参照)

(2) 簡易噴霧器により常温の水道水をタイル表面に均一に散水する。(図2参照)

ここで(1)におけるサンプル表面に付着させる排気ガス汚れは、交通量が月に1万台を超える自動車専用トンネル環境の1か月分を想定したものである。この汚れは拡散反射率低下量約25%に相当する。(2)における散水洗浄の際の使用水量は、約400cc/m²とした。これは、実際にトンネル壁面の洗浄に使用されている散水車の標準的な使用水量に対して約2/3の水量である。また、散水は洗浄効率の観点から、ミスト状の水で行った。

タイル表面の汚れの評価方法

試作タイル、通常タイルの表面の汚れ度合いは、式(1)に示す拡散反射回復率(Fr)により評価した。

$$Fr(\%) = Dr^* / Dr \times 100 \quad \text{式(1)}$$

ここで、Drは排気ガス曝露前の初期の拡散反射率、Dr*は散水洗浄後の拡散反射率である。



図1 トンネル内環境を想定した
排気ガス曝露による表面の汚染

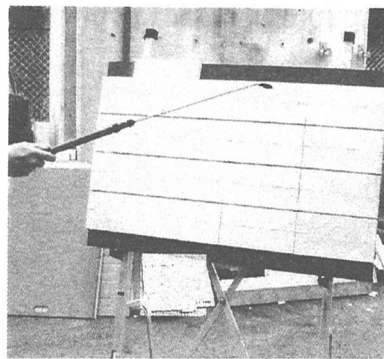


図2 散水によるタイル表面の洗浄

2.2 製膜材料の選定

タイル表面に付着した排気ガス汚れを散水洗浄のみの簡易な洗浄で除去することを可能とするためには、その表面が、排気ガス中の有機物汚れとの付着力が小さく、かつ水との馴染みが良いこと特性(親水性)を持つことが必要であると考えた。製膜の材料として表1に示す3種の化合物を検討した。これらの化合物を磁器質施釉タイル表面に所定の方法により塗布した後、熱処理することにより製膜し、前記の方法により洗浄回復性を評価した。

表 1 製膜材料

製膜材料	試作タイル名
珪酸化合物	試作タイルA
チタン化合物	試作タイルB
リン酸アルミニウム化合物	試作タイルC

2.3 耐久性試験

2.3.1 排気ガス汚れの付着と散水洗浄の繰返し試験

実際のトンネル内装材は排気ガスによる汚染と洗浄が繰り返される環境下におかれ、その洗浄回復性の経時的な耐久性が要求される。そこで、種々の製膜材料を用いて作製した試作タイルの中で最も洗浄回復性が優れていた試作タイルおよび通常タイルに対して、排気ガス汚れの付着と散水洗浄を1サイクルとして、サイクルを繰返し行い、各サイクル毎にタイル表面の拡散反射率を測定した。サイクルの繰返しに伴うタイル表面の拡散反射率の変化より、試作タイル、通常タイルの洗浄回復性を比較、評価した。

2.3.2 機械的摩耗負荷に対する洗浄回復性評価試験

一般的なトンネル内壁の洗浄方法ではタイル表面は回転ブラシとの摩擦による機械的摩耗負荷に曝されている。長期的な使用を考慮すると、トンネル内装材の洗浄回復性は機械的摩耗負荷に対して高い耐久性が要求される。そこで、試作タイルおよび通常タイルに対して、水を介したブラシ（硬質ナイロン製）擦りを5回、乾燥を1サイクルとして、を120サイクル（10年相当：ブラシ洗浄車を清掃の頻度を月1回程度と仮定）繰返した後の排気ガス汚れ洗浄回復性を評価した。

2.3.3 施工時の負荷に対する洗浄回復性評価試験

トンネルタイルが施工時にうける代表的な負荷としては、塗り目地、PC打設養生、タイルパネル作製時の接着剤除去剤による表面洗浄がある。試作タイルおよび通常タイルに対して、表2に示す方法を用いて、施工時の負荷に対する排気ガス汚れ洗浄回復性を評価した。

表 2 施工時の負荷

施工時の負荷	試験方法
塗り目地	タイル用の目地を入れた後、希塩酸で洗浄
PC 打設養生	セメント打設後、12時間蒸気養生（最高温度 60℃ 1時間キーフ）その後、表面を希塩酸と水で洗浄
耐溶剤性	接着剤除去材（ラッカーシンナー）で表面洗浄

3. 結果と考察

3.1 製膜材料の選定結果

3種の材料を製膜した試作タイルおよび通常タイルに対して前記の方法で排気ガス汚れを付着、散水洗浄した表面の拡散反射率を測定した。図3に結果を示す。この結果より、珪酸化合物を表面に製膜した試作タイルAが排気ガス汚れに対する洗浄回復性が97%であり、最も優れていることが分かった。そこで試作タイルAに対して下記の詳細な洗浄回復性評価試験を行った。

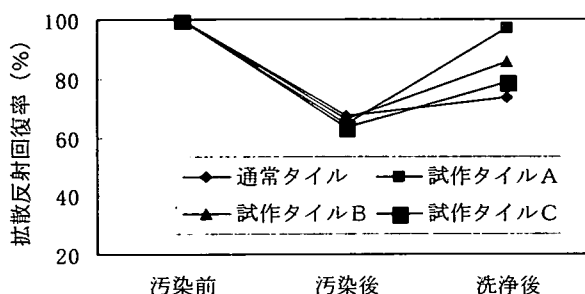


図3 試作タイルの洗浄回復性

3.2 排気ガス汚れの付着と散水洗浄の繰返し試験結果

図4および表3に試作タイルAと通常タイルの1サイクル目の汚れの除去過程を示す。散水洗浄により試作タイル表面の汚れは洗浄水と共に流れ落ち、ほぼ完全に除去されているが、通常タイルでは汚れはほとんど除去されず、一部は筋状の汚れとして残っている。

図5にサイクル毎、散水洗浄後の拡散反射回復率の変化を示す。通常タイルではサイクル数の増加に伴って、拡散反射回復率の低下が非常に大きいですが、試作タイルAにおいては低下が小さく、散水洗浄により表面の排気ガス汚れが継続的に除去されていることが分かる。交通量が多く汚れの激しいトンネルにおいては、散水洗浄を月1回程度の頻度で行い、内装材表面の拡散反射回復率が80%を下回った場合にブラシ洗浄車を用いた大掛かりな清掃を行うところもある。試作タイルでは散水洗浄のみによって汚れを容易に除去することができ、25サイクル(25か月相当)まで拡散反射回復率が80%以上を保っている。また、その後ブラシ洗浄を行えば、再び初期の洗浄回復機能を発揮することも確認した。

3.3 機械的摩耗負荷に対する洗浄回復性の耐久性試験結果

図6に水を介したブラシ擦り、乾燥を繰り返した場合における各サイクルの拡散反射回復率の結果を示す。試作タイルAの拡散反射回復率はほとんど変化が無く、120サイクル後(10年相当：ブラシ洗浄車を清掃の頻度を月1回程度と仮定)においても拡散反射回復率が80%以上を維持していた。この結果より、試作タイルAは機械的摩耗負荷に対しても、その洗浄回復性機能の耐久性が高いことが分かった。

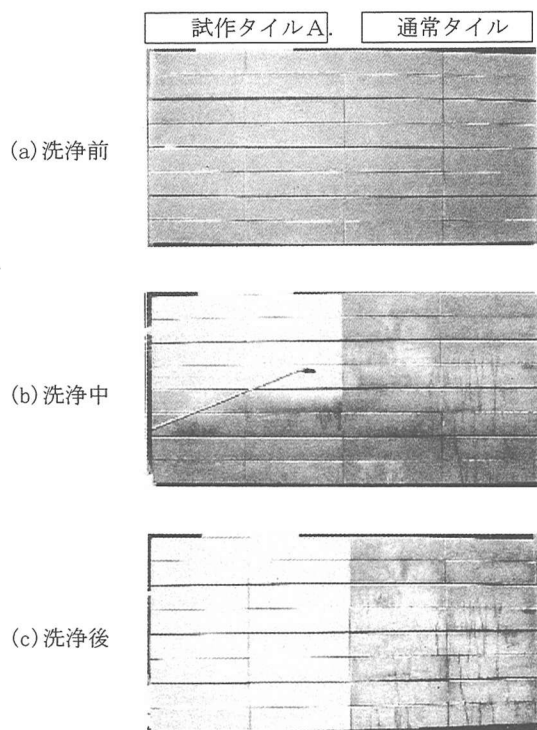


図4 散水洗浄による汚れの除去過程の比較

表3 散水洗浄による汚れの除去

	試作タイルA	通常タイル
汚れ付着前初期 拡散反射率(%)	76	76
洗浄前拡散反射率(%)	50	50
洗浄後拡散反射率(%)	74	56
拡散反射回復率(%)	97	73

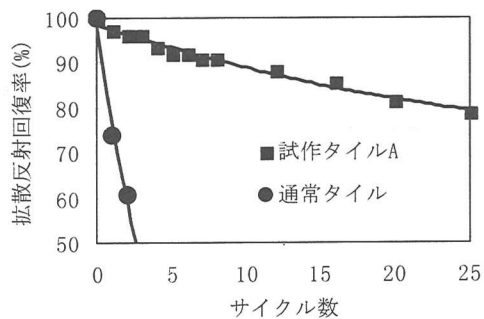


図5 繰り返試験における洗浄回復性の変化

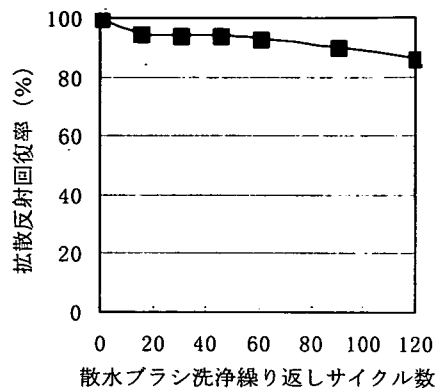


図 6 摩耗負荷に対する耐久性

3.4 施工時の負荷に対する洗浄回復性評価試験結果

表 4 にトンネルタイルが施工時にうける代表的な負荷である、塗り目地、PC 打設養生、接着剤除去剤による表面洗浄を加えた試作タイル A および通常タイルに対する排気ガス汚れ洗浄回復性を示す。試作タイル A はいずれの負荷に対しても洗浄回復性の低下はほとんど無かった。

表 4 施工時の負荷に対する耐久性（拡散反射回復率）

施工時の負荷	通常タイル	試作タイル A
塗り目地	74	93
PC 打設養生	74	93
耐溶剤性	74	93

4. 結言

- (1) トンネル内装材の排気ガス汚れ洗浄回復性を定量的に評価する方法を確立した。
- (2) 珪酸化合物が、排気ガス汚れに対して高い洗浄回復性を発揮する物質であることを見出した。
- (3) 上記化合物を製膜をしたタイルは、実際のトンネル内装材の清掃環境を想定した負荷および施工時に予想される負荷に対しても十分な耐久性を備えていることを確認した。

今回開発した優れた洗浄回復性を発揮するタイルを実際にトンネル内装材として使用すると、現状の内装材の場合と比較して、必要となる清掃回数・清掃経費・清掃時間の低減が期待できる。