

簡易型トンネル壁面清掃装置の最適化

本州四国連絡高速道路株式会社 神戸管理センター 施設課 廣田昭次

1、はじめに

トンネル内装板（タイル・内装板）は、表面の汚れに伴いトンネル内視環境・視線誘導効果・照明効果が低下するため、定期的な清掃が必要となる。JB本四高速では、従来の万能車（ユニモグ）による回転ブラシ方式に代えて、既存の除雪用大型トラックに積載し高圧の洗剤と水を壁面に噴射して洗浄する簡易型トンネル壁面清掃装置を平成16年度に開発した。この装置を使用して、平成17年度にトンネル壁面清掃を実施した結果、清掃後の内装板の洗浄効果（仕上がり）が、目標とする布やブラシで綺麗に磨いた状態に対し6割程度にしか達しなかった。このため、洗浄効果の向上を目的に洗浄ノズル角や作業速度洗浄圧力の違いによる洗浄効果や、洗剤変更による洗浄効果等の確認実験と、壁面清掃装置の改良や検証実験を積み重ね、目標の洗浄効果を得ることができた。

本論文では、洗浄効果の向上を目的に取り組んだトンネル壁面清掃装置の最適化について報告する。

2、簡易型トンネル壁面清掃の概要

簡易型トンネル壁面清掃装置は、水タンク（清水・洗剤の2槽式、容量2,300ℓ）、洗浄装置、発電機（レンタル品）で構成され、写真-1に示すとおり既存の除雪用大型トラックに積載し荷締め器具で荷台に固定して使用する。

清掃作業は、配管や高圧ホースをワンタッチで接続後操作員が釦操作でノズルビームを昇降・伸縮・傾斜させて、ノズルを壁面の所定の位置にセットし、高圧ポンプを運転させて4.0MPaの洗剤と洗浄水を壁面に噴射させ、有線の通話装置で大型トラックの運転手に清掃開始の合図を送るのみの簡単な操作である。合図を受けた運転手は、路肩の白線を目標に低速で走行するだけであり、万能車で必要な壁面とブラシの位置保持（常時接触）や、障害物の回避等の複雑なステアリング操作を必要としないため、H17年度の壁面清掃時の作業速度は、万能車の3.5倍（1.0 3.5 km/h）になり、操作性は格段に向上した。

洗浄用水は、水タンクの受入可能を示すパトライトの点滅を合図に、補給用の散水車の運転手が給水ポンプを運転・停止して連続供給する。さらに、洗剤は高圧ポンプ吸込側の配管に任意量注入できるため、壁面の汚れ程度に応じて濃度が任意に設定できる。写真-2に、舞子トンネル追越車線側の壁面清掃状況を示す。

仕上がりの評価は、タイルは光沢度計で清掃前後の光沢度を測定し、布で綺麗に磨き上

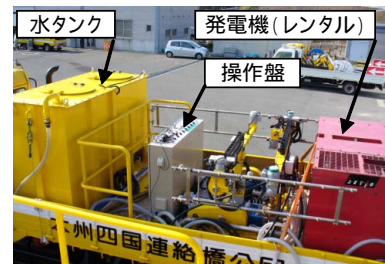


写真-1 清掃装置の積載状況



写真-2 清掃装置による清掃状況

げた程度（新品は90程度）の光沢度80以上を目標値とした。

内装板は、表面に凹凸があり光の単純反射を用いる光沢度計では測定できないため、清掃前後の内装板の表面輝度（cd/m²）を輝度計で測定する方法を考案



写真 - 3 光沢度の測定状況



写真 - 4 輝度の測定状況

した。この装置は、写真 - 4 に示すとおり、内面が黒色の遮光カバー内に設けた蛍光灯で測定面を照らした場合の輝度を測定するものである。仕上がりの評価は、内装板個々の差を無くするため、ブラシで綺麗に磨き上げた程度に対する回復率とし、回復率90%以上を目標値とした。なお、タイルと内装板の目標値は回転ブラシによる清掃と同等である。写真 - 3 に光沢度、写真 - 4 に輝度の測定状況を示す。

3、清掃装置による清掃結果

簡易型トンネル壁面清掃装置を用いて、平成17年度にタイル壁面（11km）と、内装板壁面（6km）を清掃した。

タイルの清掃結果は、図 - 1 に示すとおり清掃前の平均光沢度値39.1に対し、清掃後の平均光沢度は55.0と目標の80以上の6割程度であった。

内装板の清掃結果は、図 - 2 に示すとおり清掃後の輝度回復率が目標の90%以上に対し、平均回復率は77.0%となった。清掃後の表面には、タイル、内装板ともに指で軽く擦る程度で取れる汚れが残った。

また、清掃作業中に壁面に対するノズル向き角度（±5度～±15度）や、清掃速度（1.0km/h～3.5km/h）の条件を変えてみたが優位な差は見られなかった。

図 - 1 タイル壁面の清掃結果

光沢度測定結果（舞子TN下り走行上部）

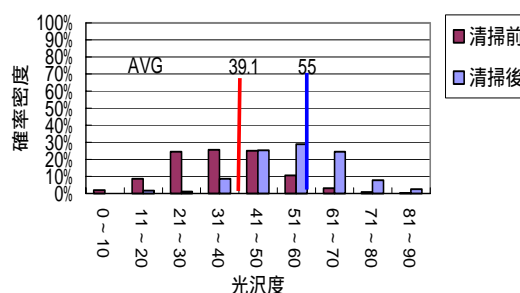
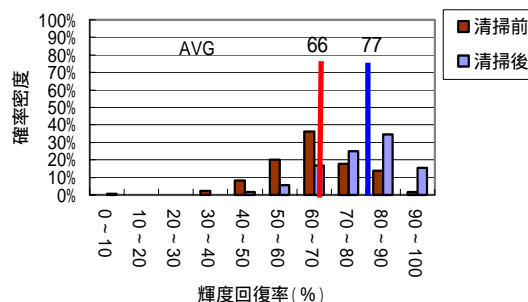


図 - 2 内装板の清掃結果

輝度測定結果



4、洗浄効果の向上の試み

4.1、洗浄時間と洗浄圧の違いによる洗浄効果

H17年度の壁面清掃と同条件（オレンジ洗剤、濃度1%）で、実際のタイル壁面を使い洗剤を壁面に噴射してから洗い流すまでの時間を、現状の0秒から60秒に延長した場合と、ノズル噴射圧を現状の4.0MPaから17.0MPaと高くした場合の洗浄効果の違いを実験で確認した。その結果、現状のオレンジ洗剤では洗浄時間を60秒に伸ばしても、ノズル噴射圧を4倍の17.0MPaに高めても清掃後の平均光沢度は68.0程度に止まり、洗浄時間と洗浄圧を

変えても優位な差は無く汚れが残る結果となった。

4.2、洗剤の変更

現状のオレンジ洗剤では、これ以上の洗浄効果の向上は望めないため、洗剤を変更（商品名：スタークリーン）しタイル壁面で実験した結果、新洗剤はオレンジ洗剤に比べて汚れ落ちが格段に向上した。また、変更した洗剤は壁面にミスト状に先行散布し、その後高圧水で洗剤を洗い流せば汚れが落とせることを確認し、洗剤の濃度もタイルで10%、内装板で20~30%程度必要であることを確認した。

4.3、壁面清掃装置の改良

洗剤変更の結果、洗剤濃度が当初の1%から30%に増えるため、洗剤濃度増による清掃コストの増加を抑える必要がある。そこで、洗剤用の高圧ポンプ電動機を減速比10分の1のギヤードモータに交換し、さらに洗剤噴射用ノズルも噴霧量が10分の1のものに交換し、洗剤の噴射水量を10分の1（当初1.2ℓ/m² 0.11ℓ/m²）に減らして、清掃コストの増加を抑えた。写真-5にミスト状に噴射する洗剤の状況を示す。



写真-5 ミスト状の洗剤噴射

4.4、清掃装置改良後の確認実験

清掃装置の改良後に、タイルと内装板で洗浄実験を行い効果を確認した。その結果、タイルは、図-3に示すとおり清掃後の光沢度は平均値で74.5と改良前の55%に比べて大幅に向上している。光沢度値は目標とする80よりも僅かに低いですが、写真-6、7に示すとおり

図-3 改良後の清掃実験結果（舞子TN）

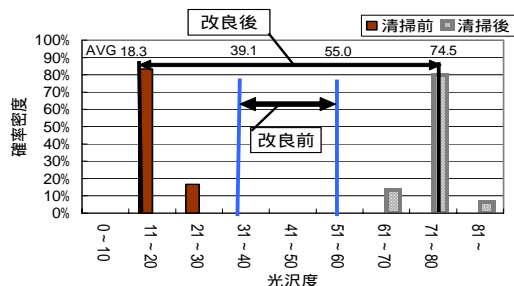
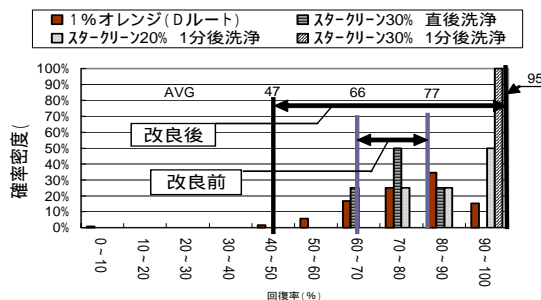


図-4 改良後の清掃実験結果（鳴門第2TN）



り、改良前に比べて改良後は布で磨いた箇所が判別できない程度に汚れが落ちている。

内装板も図-4に示すとおり清掃後の輝度回復率は、平均値で95%と改良前の77%に比べて格段に向上しており写真-8、9に示すとおり、改良前に比べて改良後は、ブラシで磨いた箇所が判別できない程度に汚れが落ちている。



写真-6 改良前の清掃面



写真-7 改良後の清掃面

なお、タイル、内装板ともに洗剤を壁面に先行して散布し、1分後に後行して洗浄するケースが最も効果的であり、1分程度経過後に洗浄する必要がある。

4.5、散水車の改良

清掃装置改良後の確認実験の結果洗剤を先行散布し1分後に後行して洗浄するには、現状の清掃装置では洗剤を散布した後、清掃装置を後退させて洗剤を洗い流す清掃手順となり清掃能力は1/3に低下する。



写真 - 8 改良前の清掃面



写真 - 9 改良後の清掃面

その対策として、洗剤と汚れを洗い流すために必要な洗浄圧を実験で確認した結果、水道水圧(0.1MPa)程度で綺麗に落とせることが確認できたため、散水車後部の散水配管(圧力:0.5MPa)に、写真-10に示すとおり下向きに65度傾けた洗浄ノズル管を接続する改良を行い実験で効果と必要水量を確認した。結果、洗浄後の平均光沢度は80.0と目標値を満足するとともに、使用水量が120ℓ/分程度と当初の360ℓ/分の3割で足りるため、1回の給水(散水車のタンク容量9,000ℓ)で、延長3.3kmの舞子トンネルが清掃でき、清掃途中の給水(約40分)が不要になる効果も生まれた。



写真 - 10 散水車による洗浄

5、H18年度の壁面清掃結果

前述の改良等の最適化後、平成18年度にタイル壁面(11.0km)の壁面清掃を実施した。洗剤を清掃装置で先行して散布し、1分程度時間をおいて散水車で洗浄したところ、写真-11に示すとおり洗剤散布で汚れを浮かし、写真-12に示すとおり散水車に装着した洗浄ノズル管で洗剤と汚れが綺麗に洗い流されている。

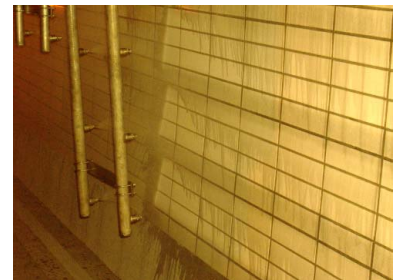


写真 - 11 装置による洗剤散布状況

洗浄後の平均光沢度も、82.0と目標値の80以上を満足する結果となっている。また、特に汚れのひどい管理路下段部は、薄い虎縞状の汚れが残ったが、清掃作業中に洗剤ノズル数の増や洗浄圧を高めることで解決できる見通しを得ており、更なる最適化を図る。



写真 - 12 散水車による洗浄状況

6、まとめ

簡易型トンネル壁面清掃装置は、従来の万能車方式に比べて機器費、年間償却費は1/3以下、年間維持費は1/6以下と安価で、清掃速度が万能車の3.5倍(1.0~3.5km/h)に向上し、清掃費も1km当たり13,000円程度安価となり、万能車に代わる安価な代替手段であると言える。さらに、清掃速度の向上に伴う清掃時間の短縮で、清掃時の交通規制時間の短縮による利用者へのサービス向上が図れるとともに、本州四国連絡道路はもとより一般道路への展開も可能である。