

トンネル内コンクリート舗装の補修実態と 対策技術について

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路保全チーム
留萌開発建設部 留萌開発事務所
札幌開発建設部 札幌道路事務所

○井谷 雅司
佐藤 秀人
東 英俊

トンネル内のコンクリート舗装は、供用からの時間経過に伴い路面の摩擦抵抗値が低下する事例が多く見られる。その対策としては、近年は、すべり抵抗値の改善効果や効果の持続性の観点から、白色アスファルト混合物による切削オーバーレイなどが実施される例が多いが、コストが高いことが課題であり、より安価で効果的なすべり対策工法の検討が求められている。このような問題を解決するため、昨年度より、北海道開発局管内の国道231号線の複数のトンネルにおいて、コンクリート表面のリフレッシュ工法としてダイヤモンドグラインディング工法（以下、「DG工法」と称す。）による路面摩擦改善に関する試験施工を実施している。本報告では、北海道内におけるトンネル内コンクリート舗装の補修実態および試験施工にて実施したDG工法による路面摩擦抵抗値の改善効果及び追跡調査結果について報告するものである。

キーワード：トンネル内舗装，コンクリート舗装，すべり抵抗値，ダイヤモンドグラインディング工法

1. はじめに

トンネル内の舗装は、主にコンクリート舗装が多く採用されている。その主な理由は以下のとおりである。

- ① コンクリート舗装はアスファルト舗装に比べて耐摩耗性に優れるためチェーン装着タイヤ等による摩耗の影響を受けにくく補修頻度が減る。
- ② コンクリート舗装は白いため黒いアスファルト舗装より照明の反射率が高く、照明コストを減らすことができる。
- ③ コンクリート舗装はトンネル内にて火災が発生した際に原油由来のアスファルト舗装のように有毒ガスが発生しない。

上記の理由などから、トンネル内舗装の多くにコンクリート舗装が採用されてきたが、近年、設計期間20年を超えるコンクリート舗装が増加し、構造的課題（クラック、段差等）や性能的課題（すべり、平坦性等）を抱える舗装が増加している。特に、すべり抵抗値は供用からの時間経過に伴い低下する事例が多く見られる。

その原因としては、ポリッシングによる摩耗のほか、コンクリート表面に結晶層（カルサイト）が生成されること¹⁾や、表面付近のCaOが明かり部に比べて高く（＝硬い）磨かれた場合すべりやすくなる²⁾などの報告事例があるが、それだけでは説明がつかない現場もあり、現在研究中である。

また、その対策としては、近年は、すべり抵抗値の改善効果や効果の持続性等の観点から、白色アスファルト混合物による切削オーバーレイなどが実施される例が多いが、コストが高いことが課題であり、より安価で効果的なすべり対策工法の検討が求められている。

このような課題を解決するため、国道231号のいくつかのトンネルにおいて、コンクリート表面のリフレッシュ工法としてアメリカでの実績が多いDG工法によるすべり対策を試験施工として実施している。

本報告では、北海道内におけるトンネル内コンクリート舗装の補修実態および試験施工にて実施したDG工法による路面摩擦抵抗値の改善効果及び追跡調査結果について報告する。

2. 開発局管内のトンネル内舗装の補修実態

トンネル内コンクリート舗装の表面は粗面化によるすべり防止を主な目的としてほうき目仕上げが実施される（写真-1）。

しかしながら、ほうき目部はコンクリート表面のモルタルの凹凸で構成されるため耐摩耗性は低く、供用に伴いタイヤによるすり磨き等により消失していく。その結果、供用に伴い光沢を帯びたすべりやすい路面が形成される場合がある（写真-2）。また、特に積雪寒冷地においては、チェーン装着タイヤによる摩耗や除雪車の刃により表面が削られすべりやすい路面となる場合もみられる（写真-3）。



写真-1 施工直後のコンクリート舗装のほうき目仕上げ



写真-2 光沢を帯びたコンクリート舗装路面



写真-3 除雪車の刃により表面が削られた路面

積雪寒冷地のトンネル内舗装がどの程度の割合で、どのような工法で補修されているのかは、管理台帳には記録されていない場合もあり把握されていないのが実態である。そのため、トンネル内舗装がどのような補修が施工されているかに着眼し、現地における目視調査により実態調査を行った。調査の対象とした地域は、札幌開発建設部管内、小樽開発建設部管内、室蘭開発建設部管内、旭川開発建設部管内の国道を対象とし63本のトンネルにおいて調査を行った。図-1にトンネル内舗装の補修の実態調査を行った結果を示す。ここから以下のことがいえる。

- ① トンネル内コンクリート舗装の約半数は何らかの原因（すべりや構造的）で補修されている。
- ② アスファルト混合物でオーバーレイされる例が7割以上
- ③ ニート工法はほぼ行われていない。（摩耗や除雪車の刃の影響で早期に削られる例が多いため）
- ④ グルーピング工法は、溝にウレタン樹脂を詰めたグルーピングウレタン工法が多く採用されて

いる。グルーピング系の対策は抗口部の対策で多く用いられており、冬期においてはアイスバーン生成抑制（破砕効果）が期待される。トンネル内部での対策はあまり見られない。

- ⑤ コンクリート舗装の粗面化工法は、グルーピング系の工法以外は行われていない。

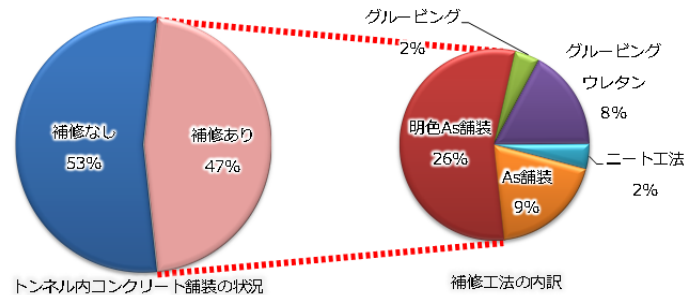


図-1 トンネル内舗装の補修の実態

3. すべり抵抗値低下の原因と粗面処理の有効性

トンネル内舗装のすべり抵抗値が低下する原因は、明らかにされていないが、既往文献や実態観測結果をまとめると以下が考えられる。

- ① 雨水の影響を受けにくく、固く平滑なカルシウムの結晶層（カルサイト）が生成され、それがタイヤで磨かれるため為
- ② 明かり部に比べて雨水の影響を受けにくいいためカルシウム分が消失しにくく表面が硬くなり、タイヤのすり磨きの影響でマイクロテクスチャが平滑になる（ツルツルになる）為
- ③ 車両の排ガス、オイル分等が、雨水で流出しにくく、結露や湧水、引き込み水の影響ですべりやすくなる為。
- ④ 除雪車の刃の影響で、雪氷が入り込んでいる抗口部から 200m 程度の範囲は路面が磨かれる場合がある為
- ⑤ トンネル内は風向き、湧水（漏水）によっては結露しやすく湿潤状態になりやすい為。
- ⑥ その他

また、明かり部ですべり抵抗値の低下が見られない理由は以下が考えられる。

- ① 雨水の影響で、結晶層（カルサイト）が生成されにくい為。
- ② 雨水の影響で、表面のカルシウム分が消失しやすく強度が低下し、ツルツルのテクスチャになりにくい為。
- ③ その他

いずれにしても、トンネル内コンクリート舗装がすべりやすくなる原因は様々考えられるが、主に表面部分がすべりやすく変化することが原因であり、それを除去する粗面処理工法は、低コストなすべり対策としては有効と考えられる。

4. DG工法の試験施工および追跡調査結果

4.1 試験施工概要

国道231号の海岸線沿いの4本のトンネル（A～D）にてDG工法による試験施工を実施した。DG工法の詳細やDG施工後の路面状況については文献⁴⁾・⁵⁾にて報告しているため参考とされたい。

DG工法は、数mmピッチで組み合わせたダイヤモンドブレードにより、コンクリート舗装表面を数mmの薄層で研削する工法である。DG工法は、米国においては、コンクリート舗装の表面のリフレッシュ工法として20年近い実績のある一般的な工法であるが、日本においては、比較的新しい工法であり施工事例も少ない。主な効果として、コンクリート表面のきめを増大させ路面摩擦を改善する効果があるが、それ以外に雨水の表面排水性も向上しハイドロプレーニング現象の抑制や平坦性の改善による走行性の向上、表面形状の修復などに使用される。

本試験施工で使用したダイヤモンドブレードは、3mm幅のブレードを2mmピッチに180枚組み合わせたもの（幅1m）で、さらにA,Cトンネルでは路面摩擦の持続性及び排水機能の強化等を目的として5cmピッチに4mm突起した大きめのブレードを配置し、縦グルーピングが切れる形状とした（写真-4）。



写真-4 DG工法施工後の路面

4.2 すべり抵抗値の推移

DFテストにて測定したすべり抵抗値の推移を図-2、3に示す。A、Bトンネルは昨年度施工しており、供用1年後のすべり抵抗値の推移も合わせて示す。

道路維持修繕要綱³⁾では“交通量の少ない一般道”ではすべり摩擦係数の修繕の目標値は規定されておらず、試験施工を実施したトンネルはこれに該当すると考えるが、“交通量の多い一般道路”においてはすべり摩擦係数が0.25を下回ると維持修繕が必要とされる目安とされている。DG施工直後（赤線）においてはすべり抵抗値は大きく改善する。ただし、タイヤ走行部はわだ

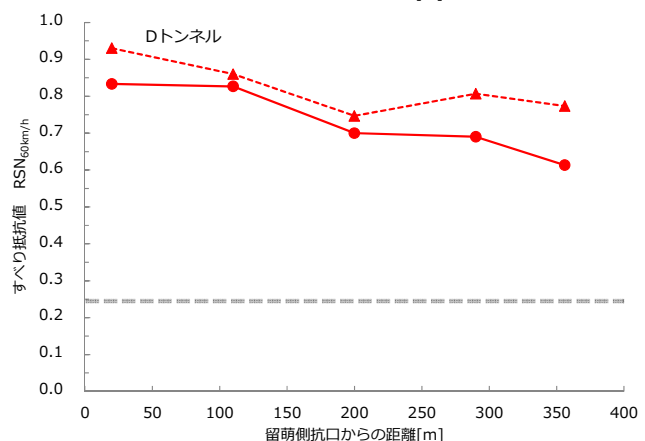
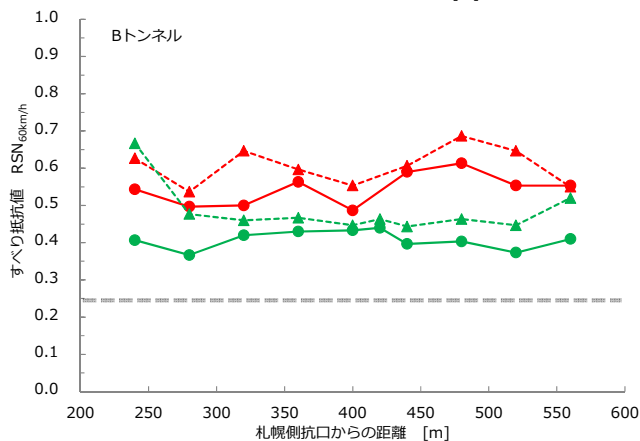
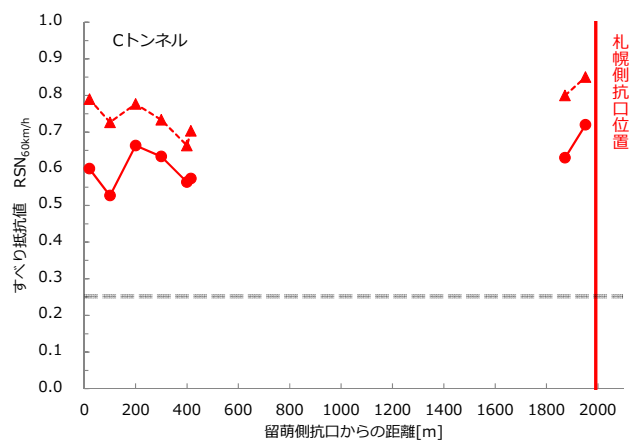
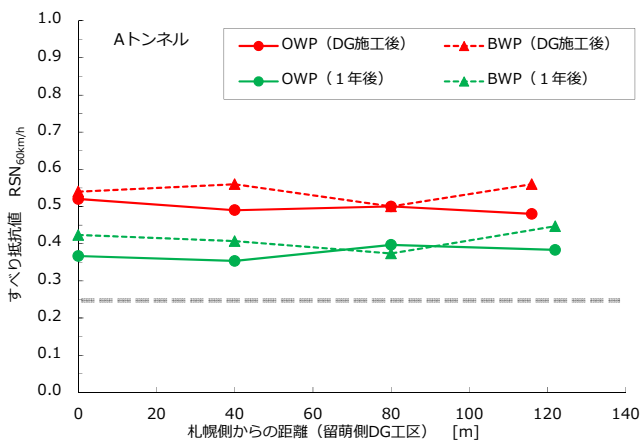


図-2 すべり抵抗値の分布

※OWP：外側車輪走行部、BWP：非車輪走行部

ち掘れの影響でブレードが届きにくいいため、すべり抵抗値は低めになる傾向がある。わだち掘れを考慮し、深く切削することにより良好なすべり抵抗値を得られるといえる。

また、1年経過後（緑線）においては、初期に比べすべり抵抗値は低下する。特にタイヤ走行部は摩耗等の影響により、すべり抵抗値が低下するが、安全な走行には問題ないレベルである。

DG工法による効果は供用1年目では全く問題はないが、持続性について継続的な検証が必要であるといえる。

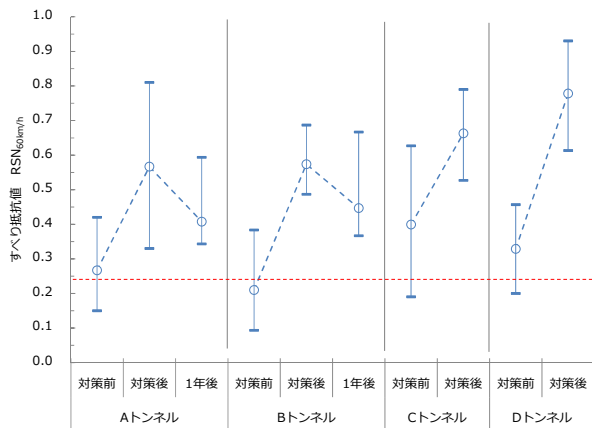


図-3 すべり抵抗値の推移

表-1 維持修繕要否判断の目標値³⁾

道路の種類	項目 わだち掘れおよびランベリ (mm)	段差 (mm)		すべり 摩擦係数	縦断方向の凹凸 (mm)	ひびわれ率 (%)	ポット径 (cm)
		橋	管渠				
自動車専用道路	25	20	30	0.25	8 mプロフィール 90 (Pr I) 3 mプロフィール 3.5 (σ)	20	20
交通量の多い一般道路	30~40	30	40	0.25	3 mプロフィール 4.0~5.0 (σ)	30~40	20
交通量の少ない一般道路	40	30	—	—	—	40~50	20

4.3 供用1年目の路面状況

DG工法特有の路面の凹凸は、タイヤ走行部においては、施工当初に比べると、露出した骨材の角がとれ丸みを帯びてきており、今後の経過を観測していく必要がある（写真-5）。

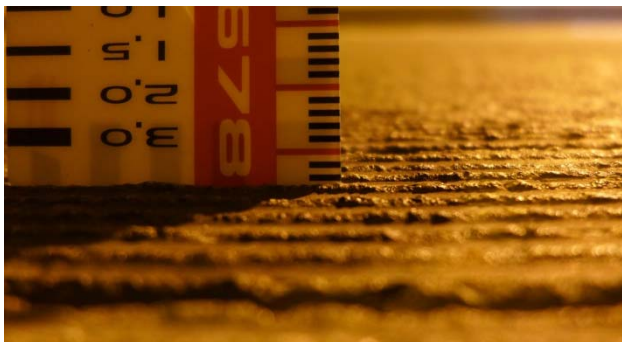


写真-5 DG工法の路面近接撮影（1年後）

また、走行性に関して、施工後1年後の路面のラフネス指標についてMRPで測定した結果、IRIは2~3(mm/m)程度であり施工直後から変化はなく、乗り心地はよい状態で推移している。

5. 結論

- ① 北海道開発局管内の多くのトンネル内コンクリート舗装は何らかの補修が実施されており、その工法は、アスファルトのオーバーレイが多く実施されている。
- ② DG工法施工後はすべり抵抗値が大きく改善され、1年経過後においても $\mu_{60km/h}=0.25$ を上回るすべり抵抗値が確保される。
- ③ タイヤ走行部は、タイヤによる摩耗等の影響で、非走行部に比べすべり抵抗値が低い傾向。

6. おわりに

トンネル内のコンクリート舗装のすべり抵抗値の低下は、本現場だけではなく、多くの現場で課題となっており、有効な解決策を検討している。

そのような中、DG工法はすべり抵抗値改善工法としては切削オーバーレイ工法より安価であり、有効な対策工法になり得る工法であると考えられる。

DG工法は、日本での施工実績も少なく、効果の検証のための追跡調査や試験施工など継続的に行わなければならない。

特に北海道においては、除雪作業が入った場合、DG工法の表面がどのように変化するか、すべり抵抗値が確保されるか、アイスバーンの発生抑制効果などは、北海道特有の課題であり、今後観察していかなければならない。

また、コンクリート舗装の粗面化工法は、DG工法以外にもいくつか開発されており、他の工法も含めた効果や持続性、費用対効果は明らかではなく、今後検討していく必要があると考える。

【参考文献】

- 1) 森一宏，高橋守人：海岸付近のコンクリート舗装のすべり抵抗の要因とその対策について，北海道開発技術研究発表会概要集 第43巻，2000
- 2) 中村和博，松本大二郎：道路構造によるコンクリート舗装のすべり特性，第68回土木学会年次学術講演会，2013
- 3) 道路維持修繕要綱，（社）日本道路協会，S53,7
- 4) 井谷雅司，磯田卓也，丸山記美雄，熊谷政行：ダイヤモンドグラインディング工法によるトンネル内コンクリート舗装の路面摩擦改善に関する試験施工報告，第69回土木学会年次学術講演会，2014
- 5) 東英俊，後藤節也，井谷雅司：トンネル内コンクリート細の摩擦係数低下回復-摩擦係数低下の現状と対策工法実施の報告-，平成25年度北海道開発技術研究発表会，2014