

平成25年度

トンネル内コンクリート舗装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—

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

○東 英俊
後藤 節也
井谷 雅司

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すべり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、国道231号の太島内トンネルにおいて、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ダイヤモンドグラインディング工法によるすべり対策を試験施工として実施した。本報告は、ダイヤモンドグラインディング工法によるすべり抵抗値の改善効果を中心に試験施工の結果を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

トンネル内のコンクリート舗装は、供用からの時間経過に伴いすべり抵抗値が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、現在研究段階である。

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、国道231号の太島内トンネルにおいて、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。）によるすべり対策を試験施工として実施した。本工法は、国土交通省におけるトンネル内のすべり対策としては初の試みとなる。

2. ダイヤモンドグラインディング工法の概要

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を使い、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（写真-1）。

主な効果として、コンクリート表面のキメを増大させ



写真-1 DG施工後の表面の仕上り

すべり抵抗値を高める効果があるが、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。

DG工法は、アメリカにおいては、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、DG工法は比較的新しい工法である。日本における実績は、2010年に東京都王子の区道にて昭和30年代に施工された明かり部のコンクリート舗装にて初めて施工され、すべり抵抗、平坦性、騒音低減効果の改善が報告されている。以後、NEXCOにおいて持続性のある新たなすべり対策工法として注目され、2012年に北陸自動車道の明かり部、トンネル部にて試験的に採用された。国土交通省においては、北海道開

発局管内の太島内トンネルにおける施工が初の施工であり、国道トンネル内で実施するのも初の施工となる。

本試験施工で使用したダイヤモンドブレードは、3mm幅のグレードを2mmピッチに180枚組み合わせたもの（幅1m）で、世界初の試みとして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-2）。



写真-2 ダイヤモンドブレード

3. 試験施工概要

太島内TNは国道231号（北海道石狩市厚田区）に位置する延長2,455mのコンクリート舗装のトンネルである。竣工は2002年であり、2013年現在で竣工から11年経過している。

施工前の路面状況を写真-3に示す。路面のほうき目は消失しており、路面の表面に黒い光沢が見られる。タイヤの繰り返し走行により路面が磨かれている状況である。このような路面は他のトンネルでもいくつか見られるものである。



写真-3 施工前の路面状況

DG工法の試験施工箇所は、トンネル内のカーブ部 L=347 m（48,168kp 付近～48,515kp 付近）と L=116m（49,953kp 付近～50,069kp 付近）の2箇所の上下線で実施した（計4工区）。

施工時の機械編成の延長は、20m 程度。施工に必要な機械は、トンネル内の施工箇所にて DG 切削機（写真-4）、濁水貯水タンクと水タンクを積んだトラック（写真-5）、濁水運搬トラック（写真-6）の3台である。規制は片側1車線規制で施工できる。

また、濁水はトンネル坑外に設置した濁水処理機により現場で処理し、脱水ケーキ（写真-7）として処分する。なお、脱水の際に生じた水はグラインディング切削用の水に再利用する。



写真-4 DG施工機械



写真-5 トラック（濁水タンク（手前）、水タンク（奥））



写真-6 濁水運搬トラック（大型車）



写真-7 濁水の脱水ケーキ(水はDG施工に再利用)

施工中の粉じん発生については、DG切削機に付属している真空タンクで切削水をすぐに吸引するため、DG切削機による粉塵の発生はない。機械の排気ガスによる粉じんが若干ある程度である。また、切削時の騒音は、静かで作業環境への影響は少なく、明かり部での施工でも問題ないと考ええる。

4. すべり抵抗値の測定結果

施工前後のすべり抵抗値の測定結果を図-1に示す。また、表-1に道路維持修繕要綱³⁾に示される維持修繕

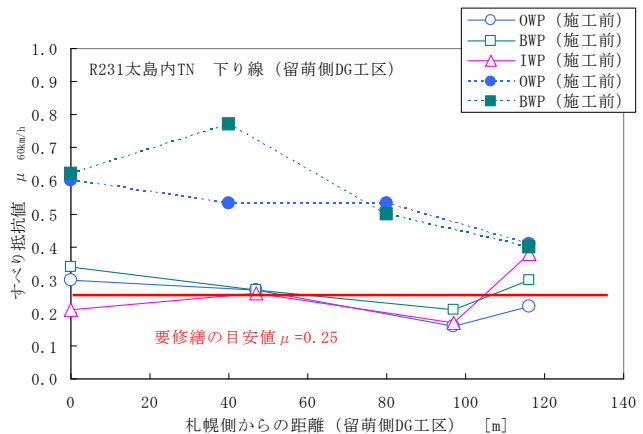
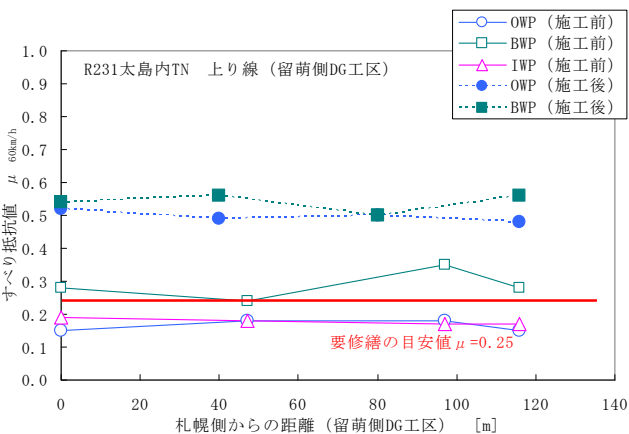
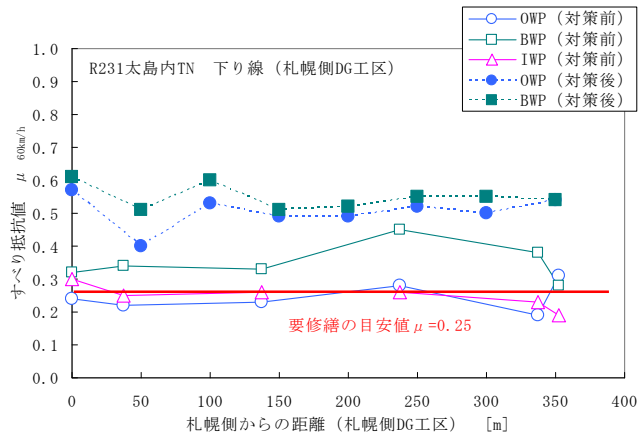
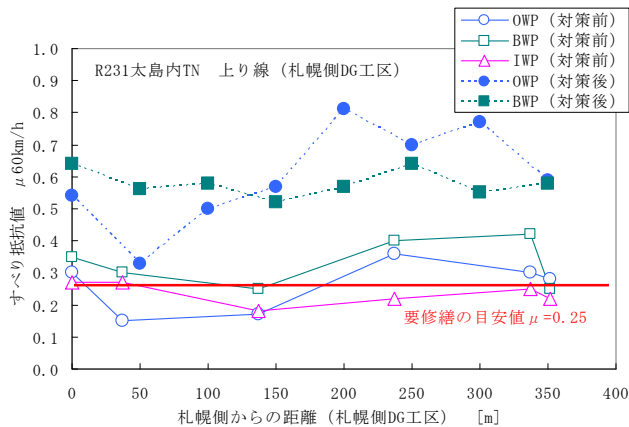
要否判断の目標値を示す。道路維持修繕要綱³⁾では“交通量の少ない一般道”ではすべり摩擦係数の修繕の目標値は規定されていない。太島内トンネルは交通量の少ない一般道路に該当すると考えるが、“交通量の多い一般道路”においてはすべり摩擦係数が0.25を下回ると維持修繕が必要とされる目安とされている。

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 (mm)	段差 (mm)	すべり 摩擦係数	縦断方向の凹凸 (mm)	ひびわれ度 (版底面まで) 達するもの (cm/m ²)	目地の 破損
自動車専用道路	25	10	0.25	8 mプロフィール 90 (PrI) 3 mプロフィール 3.5 (σ)	20	異常が認められたとき
交通量の多い一般道路	30~40	15	0.25	3 mプロフィール 5.0 (σ)	30	
交通量の少ない一般道路	40~60	—	—	—	50	

太島内トンネルは、施工前のコンクリート舗装では、0.25を下回る箇所が見られ、すべり抵抗値が低い状況であることがわかる。また、すべり抵抗値は車輪走行部(OWP, IWP)がすべり抵抗値が低い傾向にある。

トンネル内のコンクリート舗装が滑りやすくなる原因は明確になっておらず調査研究中(結晶層の生成や、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などの報告事例はある)である。今後、すべり抵抗値が低い路面がなぜ発生するのか研究を進めていく予定である。



※OWP：外側車輪走行部、BWP：非車輪走行部、IWP：内側車輪走行部

図-1 太島内 TN の DG 施工前後のすべり抵抗値

5. DG 工法施工後の路面状況

DG 工法施工後のすべり抵抗値は、大きく改善し、確実な対策効果が得られていることがわかる。

DG 後の路面の近接写真を写真-8 に示す。DG 施工後は弱いモルタル部は除去され、骨材が削られた状態で露出し、ボコボコした路面になる。この凹凸によりすべり抵抗値が上昇するものと考えられる。

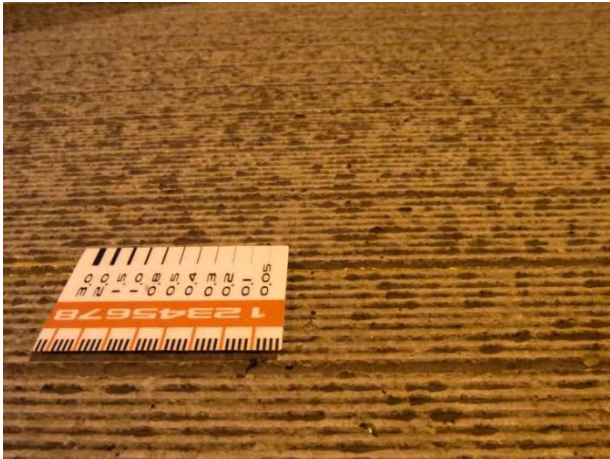


写真-8 DG 施工後の路面近接（骨材が露出しボコボコ）

また、DG 工法を施工することによる副次的な効果として、黒く変色（汚れた）した路面が、本来の白色に改善し視認性が向上する効果が観察された（写真-9）。これは、汚れた表面が除去され、Co 本来の白が現れたこと以外に、路面テクスチャが凸凹しているため、光が様々な方向に反射し、眩しい光が発生しないためだと考える（粗面系の舗装、例えば排水性舗装や機能性 SMA と同じ原理）。このことより、DG 工法はドライバーの路面視認性を良くし安全性向上に寄与する効果がある可能性が示唆されるが、供用に伴う色、反射度合いの変化にも着目していく必要がある。



写真-9 DG 工法施工後の路面は明るく見やすい



写真-10 わだち部が削り残っている



写真-11 Co 版端部の沈下による削り残り



写真-12 樹脂モルタルによる穴埋め箇所

しかしながら、DG 工法後のすべり抵抗値には、安全な走行には問題がないレベルで、ばらつきがあることもわかる。この原因は、Co 版の沈下やわだち掘れ部に、ダイヤモンドブレードが十分に届かず、場所によっては削り残りが発生するためである（写真-10, 11）。

よって、わだち掘れや Co 版の端部の沈下が大きい場合は、DG 工法による削り深さを大きくする必要がある。ちなみに、DG 工法ではコンクリート版表面から 1cm 程度までは削ることができる。

また、穴がある箇所は、樹脂モルタル（1時間程度で硬化）で表面を平らに仕上げた後に DG 工法を施工することで対応することができる（写真-12）。

わだち掘れ等が 1cm 程度と大きく、DG 工法で対応できない場合は、ブラスト処理やウォータージェットなどを用いるか、樹脂モルタルで平滑に DG 工法で施工するなど代替策として考えなければならない。

6. グルーピング併用 DG 工法の効果

太島内 TN ではグルーピング併用型の DG 工法が世界で初めて採用された。この形状により 5cm ピッチにグルーピング（細くて深い溝）が入る。

路面表面に水を散水した際の水の流れを観察したところ、グルーピングに添って水が流れる現象が観察された（写真-13, 14, 15）。

このグルーピングは、水を誘導する効果を有しており、表面に水が周りにくくする効果があることが伺える。これは、冬期のアイスバーンの生成の抑制及び雨天時のすべり抵抗値の改善、ハイドロプレーニングの抑制に寄与するものと考えられる。



写真-13 グルーピングに添って水が流れる



写真-14 シール材に溝があるため Co 版を超えて水は流れる



図-15 溝が切られたシール材部分

7. 結論

- ① DG 工法施工後はすべり抵抗値は大きく改善され $\mu_{60\text{km/h}}=0.25$ を大きく上回るすべり抵抗値が確保される。
- ② わだち掘れ部や沈下部では、表面が十分切削されず、すべり抵抗値が低い場所が発生する可能性がある。
- ③ グルーピング併用型のブレードにより、冬期のアイスバーンの生成の抑制及び雨天時のすべり抵抗値の改善、ハイドロプレーニングの抑制に寄与することが期待される。

8. 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。

【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