

# 粗面化工法によるトンネル内コンクリート舗装の湿潤路面・凍結路面の摩擦抵抗改善効果について

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路保全チーム ○井谷 雅司  
同 上野 千草  
同 木村 孝司

コンクリート舗装はトンネル内舗装として使用されることが多いが、供用に伴い路面摩擦が低下する事例があることが分かっている。また、積雪寒冷地においては、冬期における路面凍結時の路面摩擦の確保も安全性への寄与に重要な要素である。本報告では、近年粗面化工法として注目されているダイヤモンドグラインディング工法の湿潤路面に対する効果及び各種粗面処理工法の凍結路面に対する効果について室内試験にて検証した結果について報告する。

キーワード：すべり抵抗値、コンクリート舗装、トンネル、凍結路面、湿潤路面

## 1. はじめに

トンネル内（以下、「TN内」と称す。）のコンクリート（以下、「Co舗装」と称す。）舗装は、供用からの時間経過に伴い路面摩擦が低下する事例が見られる。また、その対策としては、近年は、路面摩擦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（以下、「As」と称す。）混合物による切削オーバーレイ（以下、「OL」と称す。）などが実施される例があるが、コストが高いことが課題であり、より安価で効果的な路面摩擦改善技術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、平成25年度より北海道開発局管内の国道231号のTN内Co舗装において、ダイヤモンドグラインディング（以下、「DG」と称す。）工法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、開発局管内のTN内舗装の補修の実態、過年度報告した試験施工の追跡調査結果、さらに、DG工法の凍結路面対策効果に関する室内試験結果について報告する。

積雪寒冷地のTN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、TN内舗装でどのような補修が施工されているかに着目し、現地における目視調査により北海道開発局管内の63本のトンネルの実態調査を行った。図-2にTN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 TN内Co舗装の約半数は何らかの原因（すべり以外にも構造的損傷も含まれる）で補修されている。
- ② 補修工法はAs混合物でOLされる例が7割以上。



写真-1 左：施工直後のCo舗装のほうき目仕上げ  
右：供用に伴い光沢を帯びたCo舗装路面

## 2. 北海道開発局管内のTN内舗装の補修実態

TN内Co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左）。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<sup>1)・2)</sup>（写真-1右）。図-1にほうき目仕上げを行ったTN内Co舗装のすべり抵抗値を長期的に観測した結果の例を示す。供用後数年ですべり抵抗値が要修繕の目標値を下回る場合があることを示すものである。

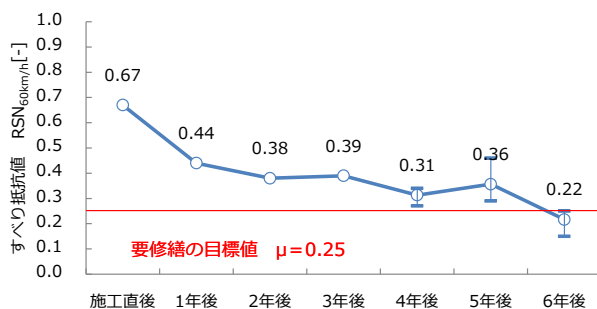


図-1 TN内Co舗装のすべり抵抗値の推移の一例

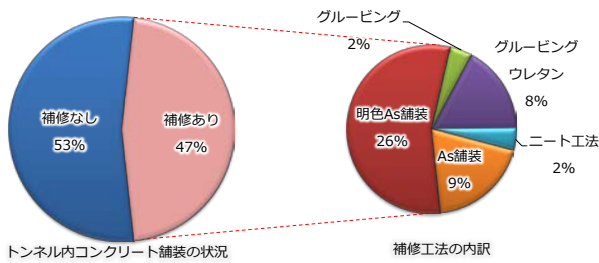


図-2 TN内舗装の補修の実態

### 3. DG工法による試験施工の追跡調査結果

平成25年度に国道231号の海岸線沿いのTN内Co舗装にてDG工法によるすべり抵抗値改善に関する試験施工を実施した。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枚組み合わせ合わせたもの(幅1m)を使用した。また、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。DG施工後の表面の仕上がり状況を写真-2に示す。DG工法の詳細やDG施工後の路面状況については既報<sup>3)</sup>にて報告しているため参考とされたい。

また、DG工法の効果の持続性について、施工から本年度までの2年間のすべり抵抗値(DFテストにて測定)の推移を図-3に示す。また、路面状況の推移を写真-3に示す。DG施工直後においてはすべり抵抗値は大きく改善するが、1年経過後にはある程度低下する。2年経過後においては、ほぼ横ばいで推移しており、安定している。道路維持修繕要綱<sup>5)</sup>では“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が、それを下回る箇所は見られず、安全な走行に問題ないレベルで推移しているといえる。

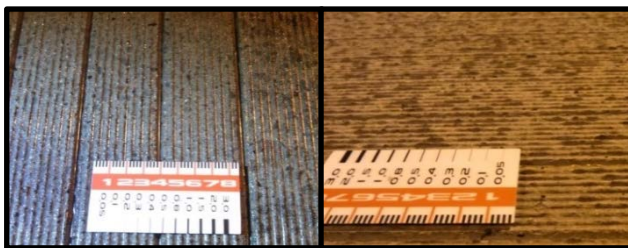


写真-2 DG工法施工後の表面の仕上がり

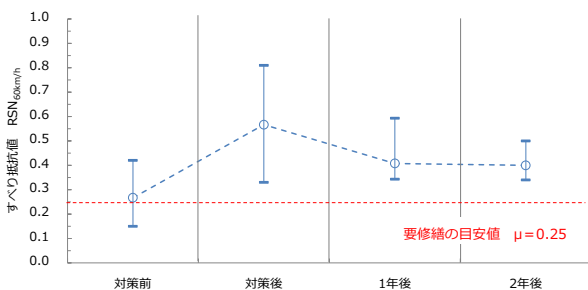


図-3 DG対策後のすべり抵抗値の推移

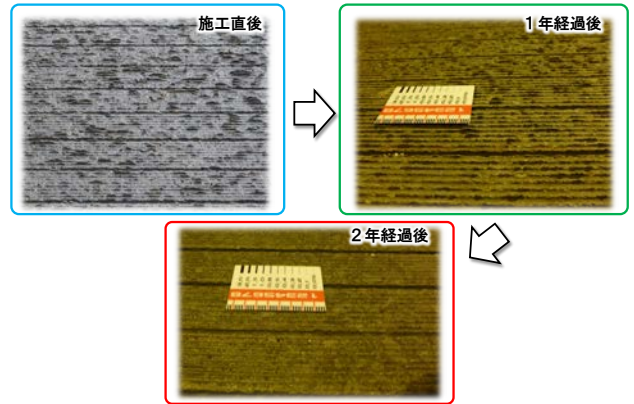


写真-3 DG工法の路面テクスチャの変化  
(細かい溝は残っている)

### 4. 凍結路面に対するDG工法の効果に関する室内試験

前章までに述べたとおり、DG工法による表面粗面化処理は、湿潤路面に対する路面摩擦の改善効果については良好な結果を得ているところである。

しかしながら、積雪寒冷地においては、冬期における路面凍結時の路面摩擦の確保も安全性への寄与に重要な要素であり、その際の路面摩擦特性についても検証しておく必要がある。図-4に平成16年度から平成20年度に北海道内のトンネル内で発生した事故の月別の発生件数と事故発生時の路面状態を示す。トンネル内で発生している事故の約70%は冬期間に集中しており、また事故発生時の路面状態は冬期路面状態(凍結、積雪)の場合が5割強であることがわかる。

そのため、DG工法を初めとした粗面処理工法の凍結路面に対する効果について低温室における室内試験を実施した結果について報告する。

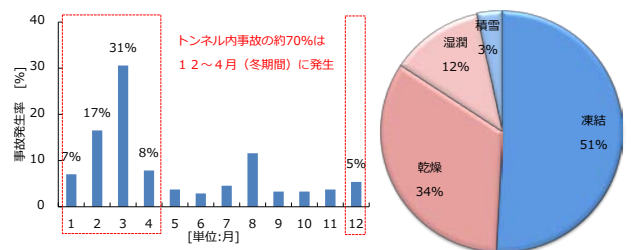


図-4 トンネル内事故の月別発生件数と路面状態  
(H16-20, 242件)

#### 4.1 凍結路面の成長に伴う路面特性の推移

##### 4.1.1 実験方法(氷膜成長試験)

-5℃に保たれた低温室に静置した40cm×40cmの供試体に水の噴霧により凍結路面を段階的に成長させたときのすべり抵抗値等の測定を行った。供試体の表面処理は「①ほうき目処理」, 「②骨材露出(以下、「SB」と

称す。）」、「③DG処理」、「④DG処理+グレーピング（以下、「GR」と称す。）」の4種類とした。散水する水の温度は0°Cとし、きめ深さを測定するCTメータのレーザを反射させるために白色に着色したものを使用した。また、供試体の端部からの漏水を防止するための端部処理を実施し噴霧を行った。実験フローと凍結路面作成途中の供試体の状況を図-5に示す。

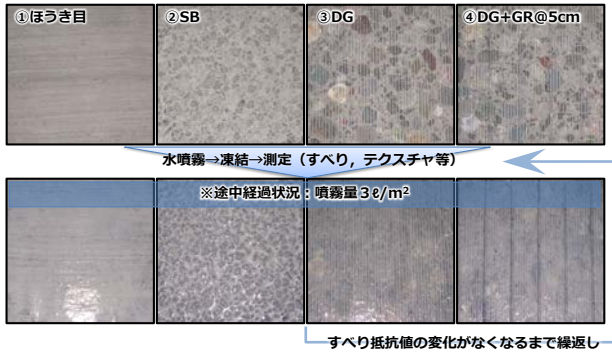


図-5 実験フロー（氷膜成長試験）

#### 4.1.2 実験結果（氷膜成長試験）

凍結路面生成に伴うきめ深さ[MPD]（CTMにて測定）と氷膜厚さ[mm]（膜厚計にて測定）の測定結果を図-6, 7に示す。氷膜厚さはタイヤが路面にもっとも接する位置を想定し、SB, DGでは露出している骨材の突端の氷膜厚さを測定している。ほうき目, SBで散水に伴い氷膜が成長していくのに対し、DG, DG+GRでは氷膜厚さの成長は顕著に小さいことが確認された。また、図-8にすべり抵抗値[RSN<sub>60km/h</sub>]の測定結果を示す。DG工法は散水による氷膜の影響を比較的受けにくく、またDG+GRでは、散水した水がGRの溝から排水される影響ですべり抵抗値が最も高く推移することを確認した。

さらに、車両の進行方向に対して縦方向・横方向のすべり抵抗値の違いを確認するため、振り子式スキッドレジスタンステスト（以下、「BPT」と称する。）を進行方向に対して縦・横方向に設置し、方向別のすべり抵抗値「BPN」を測定した結果を図-9に示す。ほうき目においては、氷膜生成前の段階においては縦方向で高い値を示すが、それ以降は同じ値で推移する。それに対し、DG+GRでは横方向で高い値で推移し続けることが確認できる。これはDGがカーブ部で車に横方向に作用する遠心力に対して有利に働くことを示唆するものである。

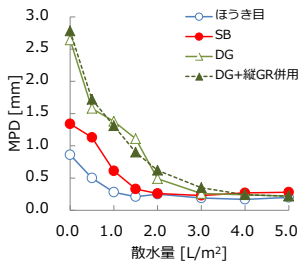


図-6 きめ深さの推移

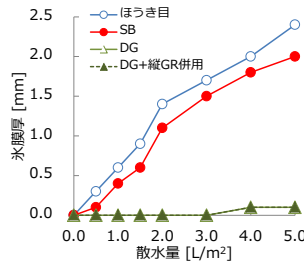


図-7 氷膜厚さの推移

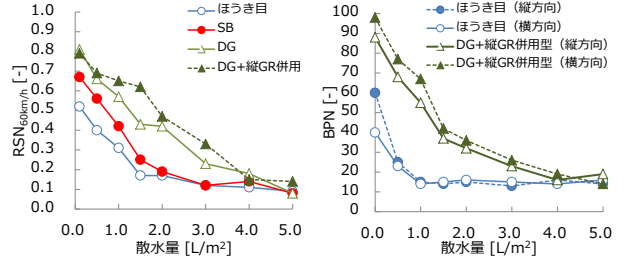


図-8 すべり抵抗値の推移 図-9 測定方向別のBPN推移

## 4.2 凍結融解作用に伴う路面特性の推移

### 4.2.1 実験方法（凍結融解作用）

-5°Cの低温室にて各種供試体に0°Cの水を5.0L/m<sup>2</sup>散水し氷膜を成長させ、3時間経過後に室内を10°Cまで上昇させ1時間放置し、表面の氷膜を融解させる。その後、再度-5°Cにて3時間養生し、表面を再凍結させる。これを1サイクルとして、2サイクル実験を実施した。図-10に実験フローを示す。

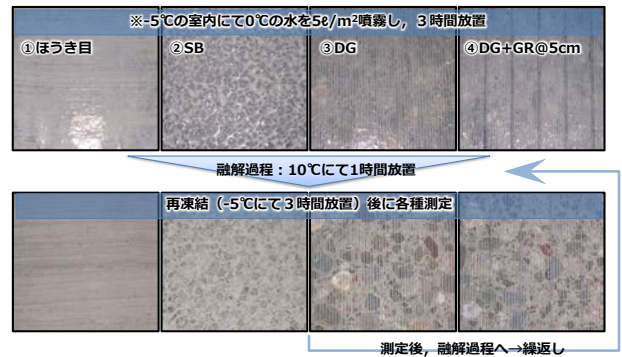


図-10 実験フロー（凍結融解実験）

### 4.2.2 実験結果（凍結融解作用）

凍結路面生成に伴うきめ深さ[MPD]と氷膜厚さ[mm]の測定結果を図-11, 12に示す。氷膜厚さは「4.1.2.」に示した位置と同様にタイヤが路面にもっとも接する位置を想定し、SB, DGでは露出している骨材の突端の氷膜厚さを測定している。ほうき目, SBに比べ、DG, DG+GRでは、きめ深さの回復が早く、また、DG+GRは最も回復が早い。これは、GRによる融氷水の排水効果が大きいためと考えられる。また、図-13にすべり抵抗値[RSN<sub>60km/h</sub>]の測定結果を示す。再凍結サイクル回数が増加するに従い、SB, DG, DG+GRではすべり抵抗値が回復する。特に、DGはSBに比べ回復の速度が早いことがわかる。さらに、縦方向・横方向のすべり抵抗値の違いを確認するため、BPTを進行方向に対して縦・横方向に設置しBPNを測定した結果を図-14に示す。ほうき目においては、ほぼ同じ値で推移するが、DG+GRはすべり抵抗値の回復が早く、特に横方向のすべり抵抗値の回復速度が早いことがわかる。

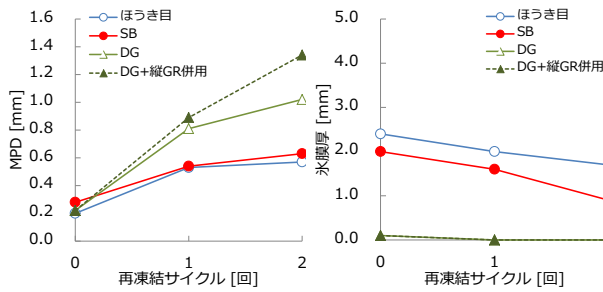


図-11 きめ深さの推移

図-12 氷膜厚さの推移

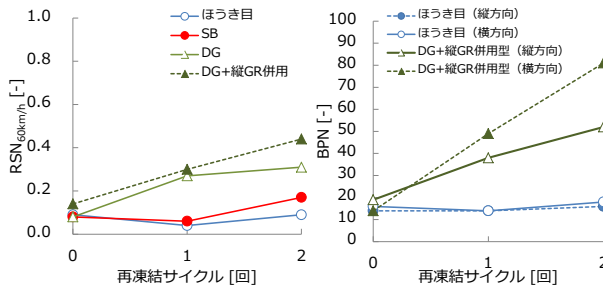


図-13 すべり抵抗値の推移

図-14 測定方向別のBPN推移

### 4.3 舗装表面の乾燥速度の観測

#### 4.3.1 実験方法 (乾燥速度)

舗装表面の乾燥速度は表面のテクスチャ (例えば比表面積や形状) に依存する可能性があり、乾燥しやすいテクスチャであれば、湿潤状態や凍結状態になる頻度が低くなる可能性がある。この表面乾燥特性の違いを観測するため、20°Cの恒温室に静置した供試体に5L/m<sup>2</sup>の水を散水してから表面の水が乾燥するまでの時間を目視観測する簡単な実験を実施した。

#### 4.3.2 実験結果 (乾燥速度)

実験結果を図-15に示す。ほうき目に比べてDG及びDG+GRでは表面の乾燥速度が早い事がわかる、特にGR併用では初期の乾燥速度が早い。これは、湿潤状態や凍結状態になりにくいことを示唆する結果ともいえる。

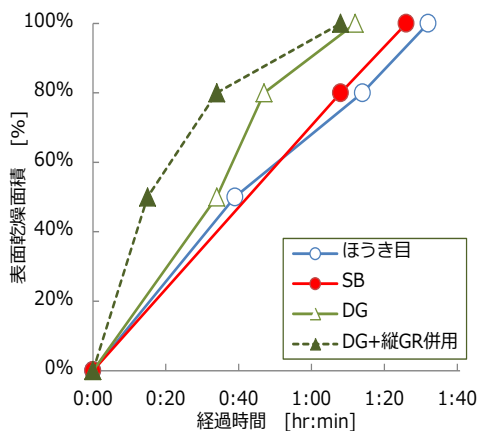


図-15 供試体の表面乾燥時間

## 5. 結論

一連の試験施工結果および室内試験結果より以下のことが判明した。

- ① DG工法施工後は湿潤路面のすべり抵抗値は改善され、2年経過後においても $\mu_{60kmh}=0.25$ を上回るすべり抵抗値が確保されることを確認。
- ② DG工法は凍結路面発生時において、すべり抵抗値が比較的低下しにくい。
- ③ DG工法は路面の水膜の凍結融解時にすべり抵抗値の回復がほうき目、SBに比べ早い。さらに、DG+GRはすべり抵抗値の回復が最も早い。これは、GRの溝による融氷水の排水が迅速に行われる効果と考えられる。
- ④ DG工法は表面乾燥速度がほうき目に比べて早い傾向があり、湿潤状態、凍結状態が発生する頻度が少なくなる可能性を示唆する結果ともいえる。これは、比表面積が大きいことが寄与している可能性がある。

## 6. おわりに

TN内Co舗装の路面摩擦の改善に対して、有効な解決策を検討している。DG工法は路面摩擦抵抗の改善効果を有し、また、凍結路面対策としても有効である可能性が本検討により示唆された。

今後、効果の持続性等を検証しLCCや適用条件を勘案した有効な対策方法を提案したいと考えている。

最後に、本調査にご協力を頂いた国土交通省北海道開発局の関係各位に感謝の意を表す。

### 【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) 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
- 4) 井谷雅司, 佐藤秀人, 東英俊: 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, 平成26年度北海道開発技術研究発表会, 2015.2
- 5) 道路維持修繕要綱, (社)日本道路協会, S53,7