

トンネル舗装の路面摩擦低下対策に関する研究

研究予算 : 運営費交付金 (一般勘定)

研究期間 : 平 26～平 28

担当チーム : 寒地道路保全チーム

研究担当者 : 木村孝司, 丸山記美雄, 井谷雅司, 上野千草,
大浦正樹, 田中俊輔

【要旨】

トンネル内の舗装は耐久性や視認性の観点からコンクリート舗装が多く用いられている。しかしながら、トンネル内のコンクリート舗装のすべり抵抗値が低下する現象への対応に苦慮している現場が多く見られる。本研究では、トンネル内のコンクリート舗装の路面摩擦が低下する原因とそのメカニズムを明らかにするとともに、コストを考慮した効果的な対策技術を提案することにより、道路利用者のトンネル走行時の安全の確保と道路維持管理コストの低減を目指すことを目的とする。

研究の結果、トンネル内舗装のすべり抵抗値の低下原因の一つとして、セメント内のカルシウムが舗装表面に結晶層(カルサイト)を生成することが原因の一つであることを確認した。また、その対策として、表面に生成したカルサイトを除去するとともにすべり抵抗値の改善することが可能な表面研削技術であるダイヤモンドグラインディング工法を提案し、その効果や持続性、さらに冬期路面対策としても有効であることを確認した。

キーワード : ダイヤモンドグラインディング工法, カルサイト, すべり抵抗値, 表面研削処理, 冬期路面対策

1. はじめに

トンネル(以下、「TN」と称す。)内のコンクリート(以下、「Co」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。この原因としては、海岸部のTN内Co舗装においては表面に結晶物質カルサイトが生成すること¹⁾や、タイヤ走行によるすり磨きの影響で車輪走行部(OWP, IWP)のマイクロテクスチャが平滑になり、すべり抵抗値が低下すること²⁾などが報告されている。しかしながら、内陸部のTNや車輪非通過部(BWP)においてもすべり抵抗値の低下が確認されている。

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、国土交通省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た。

本報告では、TN舗装における路面摩擦低下の原因の解明を目的として、Co舗装の表面成分の変化に着目し、すべり抵抗値の低下に起因する要素について検討した。また、TN舗装の路面摩擦低下の対策技術の提案を目的

として、試験施工によるDG工法の対策効果と持続性の検証、冬期路面におけるDG工法の対策効果の検証を行った結果について報告する。

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Co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^{1), 2)}(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。道路維持修繕要綱³⁾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、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。

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TN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

これ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

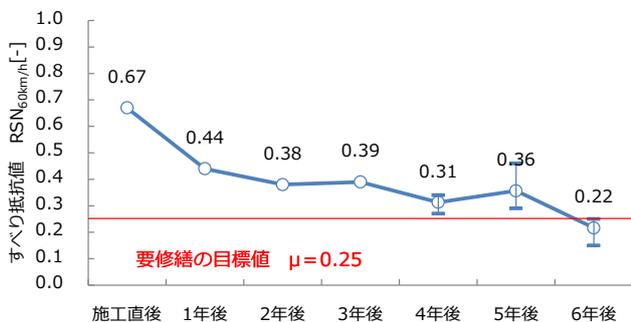


図-1 TN内Co舗装のすべり抵抗値の推移の一例

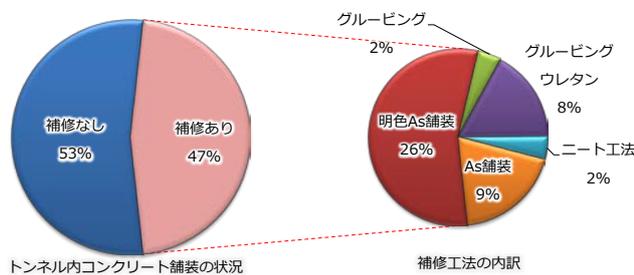


図-2 TN内舗装の補修の実態

3. TN舗装における路面摩擦低下の原因の解明

Co舗装のすべり抵抗値は舗装表面の仕上げの状態と密接に関係しており、使用材料、舗装表面のテクスチャや排水状況によって大きく影響されるのでこれらについて総合的に評価する必要がある。

Co舗装のすべり抵抗値に関する既往研究⁴⁾によると、Co舗装の断面は図-3のように概略され、細粒分で構成されるⅠ層、砂と細粒分で構成されるⅡ層、粗骨材・砂・細粒分で構成されるⅢ層の3層構造で、それぞれ異なったすべり抵抗性を有するとされている。

最上層の第Ⅰ層は細粒分で構成されており、一般に、この層は2,3ヶ月程度でタイヤの走行や天候の影響で飛散する。

その下にある第Ⅱ層は1mm以下の砂と細粒分とで構成されている。この層は比較的長い間摩耗しないので存在し、細粒分による表面の粗さによりすべり抵抗性に寄与する。以上の2層で表層モルタルが形成されるが、配合や現場での施工条件によりこの厚さは異なるが、概ね1.5mm程度とされている。

一般的なCo舗装のすべり対策はⅠ、Ⅱ層の表面モルタルにほうき目を形成する方法で行われる。骨材露出工法ではⅠ、Ⅱ層の表面モルタルを除去し粗骨材を露出させすべり抵抗値の確保を行う。

表層モルタル（Ⅰ、Ⅱ層）が車や降雨等の影響で取り除かれると、本来のCo混合物である第Ⅲ層の表面がすべり抵抗に支配的となり、表面に現れた粗骨材による粗い凹凸が、Co舗装のすべり抵抗に重要な役割を果たす。

骨材の性質は摩擦係数に重要な関係がある。スラグや砂岩、安山岩等はすべり止め骨材として良好であり、とくにシリカサンド、エメリーなどは優れたすべり止め効果を表す。一方、石灰岩は摩耗に弱く、摩耗した場合、平滑になるので滑り摩擦抵抗の低下の原因となることが多い。よって、摩耗が少なく、特に摩耗しても平滑にならないものが良い。また、骨材の選定にあたっては、川砂利よりも碎石を使用の方が長期供用後に粗骨材が露出してきた場合にすべり抵抗性が確保しやすいなどの利点がある。なお、骨材の化学組成も一部すべりに影響すると思われるがあまり明らかではない。

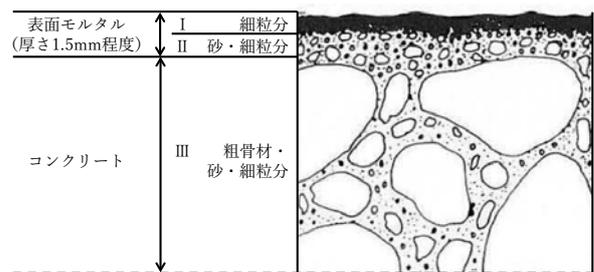


図-3 フィニッシャー仕上げ後のCo舗装表面部（概略図）

3. 1 化学成分の変化に着目した摩擦低下原因分析

現地測定結果からも確認されたとおり、TN内Co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。この原因としては、海岸部のTN内Co舗装においては表面に結晶物質カルサイトが生成すること¹⁾や、タイヤ走行によるすり磨きの影響で車輪走行部（OWP、IWP）のマイクロテクスチャが平滑になり、すべり抵抗値が低下すること²⁾などが報告されている。

しかしながら、内陸部の TN や車輪非通過部 (BWP) においてもすべり抵抗値の低下する例が確認されておりこれらの原因だけでは説明がつかない例も見られる。

そこで、舗装の表面成分の変化に着目し、すべり抵抗値の低下に起因する要素について考察する。

3.1.1 Co 舗装の表面成分の分析について

セメントの主成分は図-4 に示すとおり、主に①ケイ酸三カルシウム(エーライト: $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (略称 C_3S)), ②ケイ酸二カルシウム(ビーライト, $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (略称 C_2S)), ③アルミン酸三カルシウム ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (略称 C_3A)) であり⁵⁾、これらを構成する主成分は、カルシウム (Ca)、シリカ (Si)、アルミニウム (Al) である。よって、表面成分 (二次生成物: 環境により変化した成分) と舗装内部 (一次生成物: 環境影響を受けていない成分) から採取した粉末試料を酸抽出処理し、不溶解残分を除去 (骨材を除去) した後、溶出した成分から Ca, Si, Al の測定を行い、構成元素の含有量 (重量比) を測定した。測定に使用した試料は、Co 舗装から以下のとおり採取したものをを用いた (写真-2)。

- ① 表面成分: Co 舗装表面を薄くケレンで削り採取した粉末試料
- ② 舗装内部成分: 無水コア ($\phi 50\text{mm} \times \text{H}10\text{cm}$) の下部から採取した粉末試料

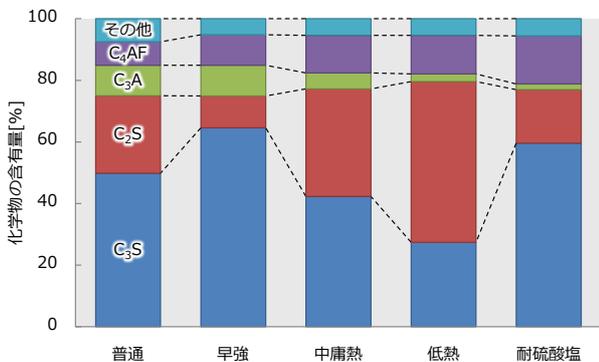


図-4 各ポルトランドセメント中のクリンカー構成化学物の構成比率³⁾



写真-2 試料採取状況

3.1.2 表面成分の変化

図-5 に表面部及び舗装内部から採取した試料の主成分分析を行った結果を示す。舗装内部の主成分 (黄色網掛け) は明かり部、海岸部 TN 内、内陸部 TN 内、いずれの箇所においても、主成分の重量比率は同程度であり、セメントペースト部が同様の成分で構成されており変質作用を受けていないことが示唆される。一方、表面成分は、明かり部においては内部に比べ、カルシウムの減少が顕著である。文献²⁾で示される雨水によるカルシウム分の流出の影響と推察される。また、TN 内においては、明かり部で見られるようなカルシウム分の顕著な減少は見られない。

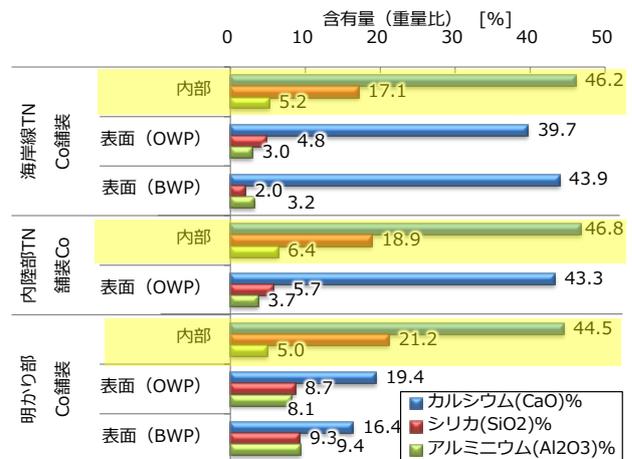


図-5 Co 舗装表面・内部の主成分分析結果

3.1.3 有機態炭素、無機態炭素の測定

すべり抵抗が低下している TN では路面表面に光沢部分が観察される場合が見られる。これが、二次生成したカルサイト (炭酸カルシウム CaCO_3)²⁾ であれば表面部分における無機態炭素 (炭素) の量は増加しており、また、路面表面光沢部分が排気ガス成分や油脂等であるならば、有機態炭素量が増加することが想定される。図-6 に表面及び内部の粉末試料の有機態炭素と無機態炭素の濃度比較図を示す。すべての地点において舗装内部の有機態炭素、無機態炭素の濃度は低い。これは、打設時のセメントペースト組成中に有機態炭素と無機態炭素が少ないことを意味している。表面部は、内陸部 TN、海岸部 TN いずれにおいても無機態炭素の増加がみられ、TN 内では特に無機態炭素の増加が顕著である。明かり部においては TN 内に比べて無機態炭素の増加が少なく、有機態炭素が増加していることが特徴である。無機態炭素、有機態炭素がいずれも、供用後に増加したことが伺える。

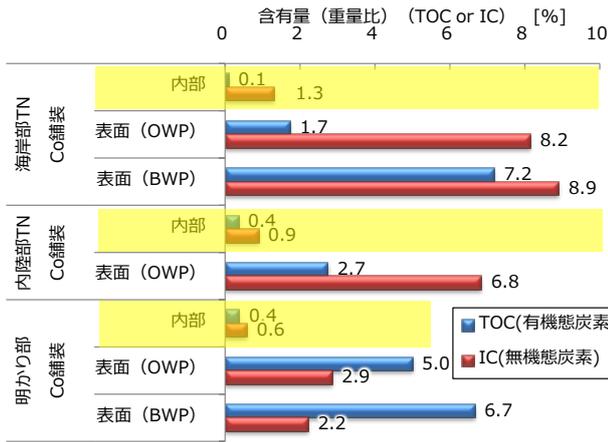


図-6 表層、内部のTOC, IC濃度の比較

3.1.4 X線回折試験による無機態炭素の分析

表面に生成している結晶物質が何であるか検証するため、粉末X線回折試験を実施した。試験結果を表-1に示す。粉末X線回折結果から方解石（カルサイト）がTN内Co舗装のOWP, BWPに検出された。明かり部のCo舗装からは微量しか検出されていない。

表-1 X線回折による結晶物質同定結果

場所		鉱物名								
		骨材由来							その他	
		Mi	Chl	Tri	Qz	F	Am	Px	Cal	Dol
内陸部TN	内部	-	-	-	+	++	-	-	-	-
	表面OWP	-	-	-	++	+	tr	-	++	-
海岸部TN	内部	-	-	++	+++	+++	-	-	-	-
	表面OWP	tr	+	+	+++	++	-	-	+++	-
	表面BWP	tr	tr	+	+++	++	-	-	+++	tr
明かり部	内部	-	tr	-	+++	++	-	-	-	-
	表面OWP	tr	+	-	+++	++	-	-	tr	-
	表面BWP	tr	+	-	+++	++	-	tr	tr	tr

※凡例 +++:多量 ++:中量 +:少量 tr:微量 -:不検出

鉱物名	雲母鉱物	緑泥石	トリディマイト	石英	長石族	角閃石族	輝石族	方解石	ドロマイト
	Mi	Chl	Tri	Qz	F	Am	Px	Cal	Dol

3.1.5 光学顕微鏡による表面物質の観察

X線回折にて確認された方解石（カルサイト）の生成状況を観察するため、現場採取した無水コアを光学顕微鏡により非同軸落射法（斜め上方から光源を照射）にて拡大率100倍で表面物質の撮影を行った。この手法は目視実体に則した観測ができるのが特徴である。撮影された舗装表面の状況を写真-3に示す。TN内の舗装表面には光沢物質が観察され、天然方解石との目視比較やX線回折等の分析結果等により光沢物質はカルサイトと推察される。カルサイト結晶は黒い汚れのようなものを内包しつつ、骨材の表面に覆いかぶさるように生成している。また、明かり部にはこのような光沢物質の生成は観測されない。骨材表面に生成するカルサイトが、すべり抵抗値を低下させる明確な因果

関係は明らかにされていないが、石灰石や大理石のような摩擦が低下しやすい鉱物がカルサイトを主成分とする鉱物であることを勘案すると、すべり抵抗値の低下に影響を与える一要因となることが推察される。

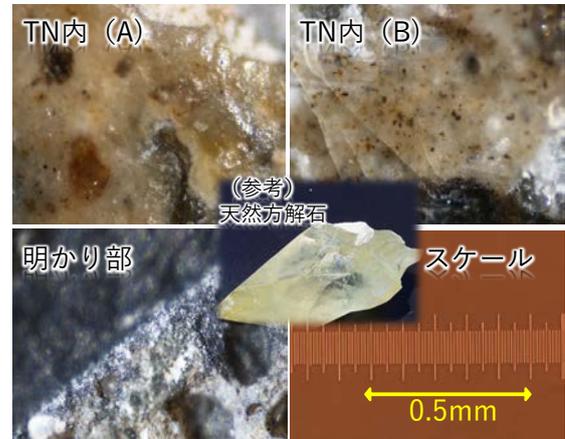


写真-3 Co舗装の光学顕微鏡撮影結果

3.1.6 分析箇所のすべり抵抗値

図-7に表面成分箇所のすべり抵抗値 $RSN_{60km/h}$ を示す。カルサイトが検出されたTN内においてはすべり抵抗値が低く、道路維持修繕要綱³⁾に示される修繕の目安値 $\mu=0.25$ を下回っている。一方、カルサイトの検出が微量であった明かり部においてはすべり抵抗値の低下が見られないことがわかる。カルサイトの存在が、すべり抵抗値の低下に影響を与えている可能性が示唆される。

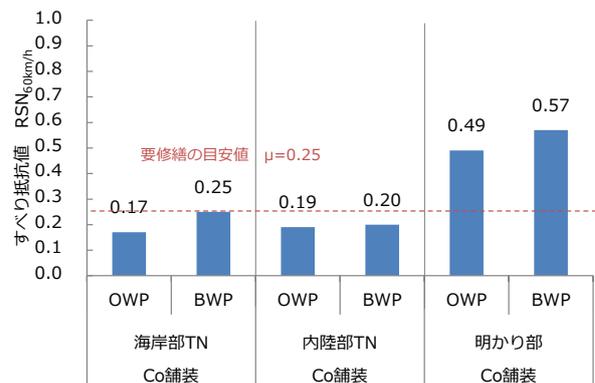


図-7 分析箇所のすべり抵抗値

4. TN舗装の路面摩擦低下の対策技術の提案

TN内Co舗装のすべり抵抗値回復には、表面のすべりやすい成分（カルサイト等）を除去し、新たなテクスチャを形成する表面研削技術による対策が有効である。

既設路面に対する表面研削技術にはショットブラスト（以下、「SB」と称す。）工法（※新設路面に適用

する骨材露出工法とは異なる技術であることに注意)やDG工法が比較的安価に実施することができる技術としてあげられる。しかし、これらの技術の効果や持続性が定量的に検証された例は少ない。そこで、現場における試験施工により効果の検証を行った。

4. 1 対策技術の概要

DG工法は、数mmピッチで組み合わせた研削ブレードを使い、Co舗装表面を3mmの薄層で研削する工法である。研削により既設Co表面のカルサイト分を除去し、凹凸に研削された骨材が露出することにより確実なすべり対策効果が期待される工法である (写真-4)。

主な効果として、Co表面のキメを増大させ、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 hidroplaning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、Co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Co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、TN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海岸線沿いのTNでの施工が初の施工であり、国道TN内で実施するもの初の施工となる。

本試験施工で使用した研削ブレードは、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、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、深い溝が切れる形状とした (写真-5)。



写真-4 DG施工後の表面の仕上がり



写真-5 DG工法の研削ブレード

4. 2 湿潤路面に対するDG工法の効果検証

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。

施工前の路面状況を写真-6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TNでもいくつか見られるものである。

施工時の機械編成の延長は、20m程度、施工に必要な機械は、TN内の施工箇所にDG切削機(写真-7)、濁水貯水タンクと水タンクを積んだトラック(写真-8)、濁水運搬トラック(写真-9)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TN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-10)として処分する。なお、脱水の際に生じた水はグライインディング切削用の水に再利用する。

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られる。

施工後は、既設路面の表面が研削され、すべりやすい表面を除去するとともに、表面に凹凸に研削された骨材が露出した。また、縦断方向に深い溝が形成された。これらによりすべり抵抗値の改善効果や排水機能の強化が期待される(写真-11)。



写真-6 施工前の路面状況



写真-10 濁水の脱水ケーキ(水はDG施工に再利用)



写真-7 DG施工機械

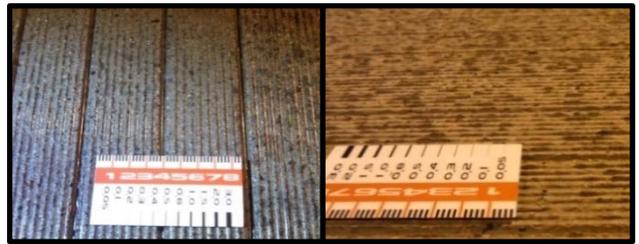


写真-11 DG工法施工後の表面の仕上り

4.2.1 DG工法のすべり抵抗値の推移

DG工法の効果の持続性について、施工から本年度までの3年間のすべり抵抗値（DFテストにて測定）の推移を図-8に示す。また、路面状況の推移を写真-12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年目以降においては、すべり抵抗値の平均値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³⁾に示される修繕の目安値 $\mu=0.25$ 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。また、DG工法を適用したTNでは、事故は発生しておらず、すべり対策に有効な技術と考えられる。



写真-8 トラック(濁水タンク(手前), 水タンク(奥))



写真-9 濁水運搬トラック(大型車)

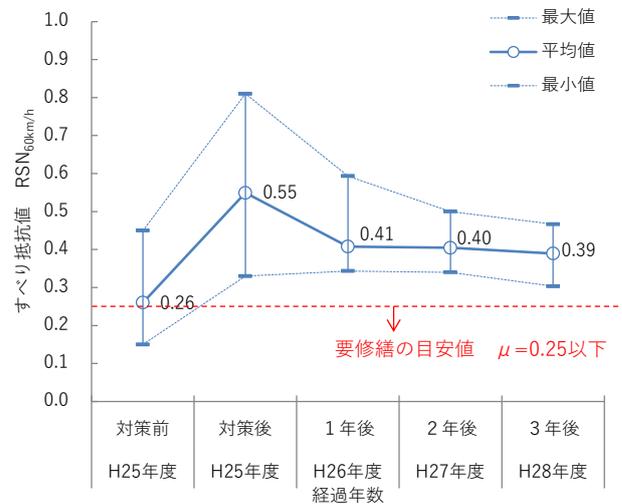


図-8 DG対策後のすべり抵抗値の推移

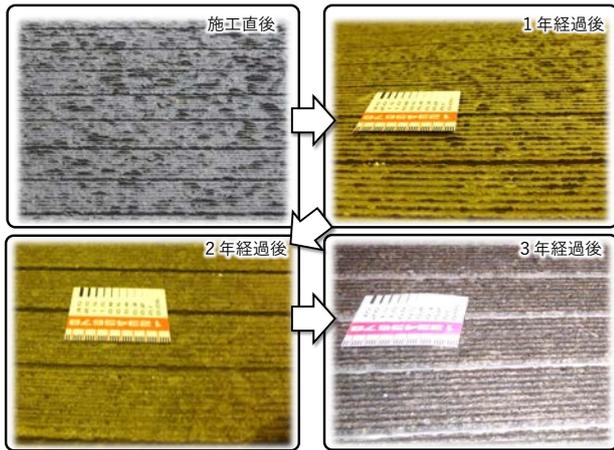


写真-12 DG工法の路面テクスチャの変化

4.2.2 表面研削方法の違いと摩擦改善効果の検証

先にも述べたとおり、表面研削技術であるDG工法及びSB工法がすべり抵抗値を改善する技術として有効と考えられるが、これらの技術の効果や持続性が比較検証された例はない。

そこで、平成27年度に北海道開発局管内のTNにおいて、SB工法、DG工法による対策を行い効果の検証を行った。また、試験施工実施にあたり、SB工法は文献²⁾により有効性が検証されているブラスト鉄玉を2.0mmに改良したものを使用した（従来は1.3mmが標準）。SB工法の仕上がり路面を写真-13に示す。既設路面に見られる黒い光沢物質は除去され、骨材による凹凸が形成される。DG工区は、効果や持続性等に変化が見られるか検証するため研削ブレードのピッチを2.0mmと2.35mmに変更した2つの工区を設定した。試験施工工区は同一TN内に連続した3工区とし各々100mずつ施工を行いすべり抵抗値の測定を行った。すべり抵抗値の推移を図-9に示す。

いずれの工法も対策によりすべり抵抗値は大きく回復し、有効な対策効果が得られているといえる。すべり抵抗値は、いずれの工法も供用に伴い低下する傾向が見られる。DG工法の方がSB工法と比較し、すべり抵抗値は若干大きく推移しているが、大きな差ではなく、ほぼ同程度と考えられる。DG工法のブレードピッチの違いに関しても、ピッチが広いほうが若干高めに推移しているが、大きな差とはいえない。供用後1年目であり、明確な差は発生していないが、いずれの工法も初期対策効果は明らかである。

今後も継続して長期的な路面性状の推移を観察し、効果の持続性等を検証していく必要がある。

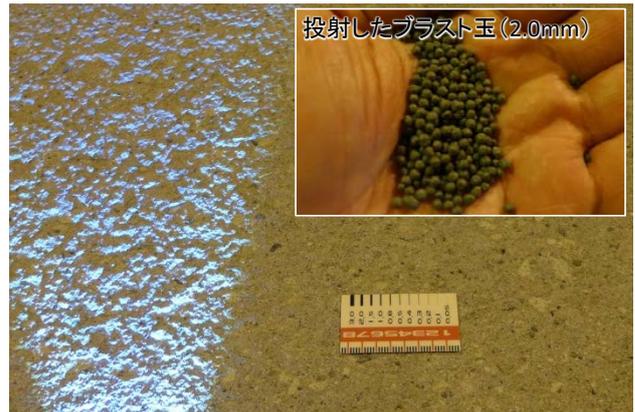


写真-13 ショットブラスト実施後の路面状況

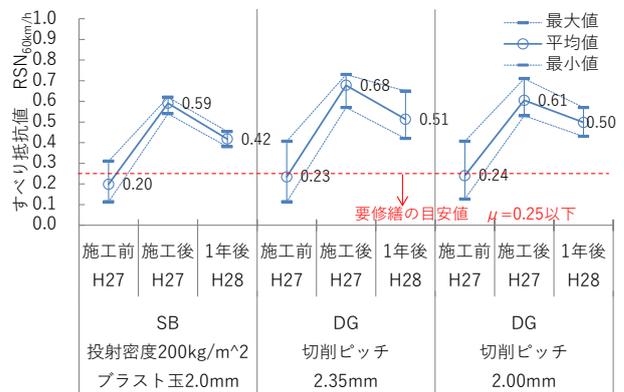


図-9 表層研削方法の違いとすべり抵抗値の推移

4.3 凍結路面に対するDG工法の効果検証

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-10に平成16年度から平成20年度に北海道内のTN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。TN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。

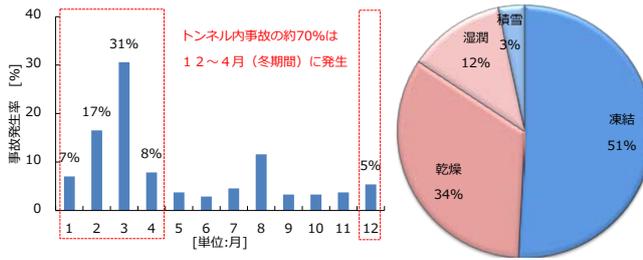


図-10 TN内事故の月別発生件数と路面状態 (H16-20, 242件)

4.3.1 凍結路面の成長に伴う路面特性の推移

(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。供試体は「①ほうき目処理」、「②DG工法」、「③DG工法 (排水強化)」※5cmピッチに4mm深い研削を追加の3種類である。散水する水の温度は0℃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-11に示す。



図-11 実験フロー (氷膜成長試験)

(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-12, 13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、露出している骨材の突端の氷膜厚さを測定している。

ほうき目では、表膜が成長していくのに対し、DG, DG (排水強化) 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-14にすべり抵抗値

[RSN_{60km/h}]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 (排水強化) では、散水した水が深い研削を行った箇所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-15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, DG (排水強化) 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。

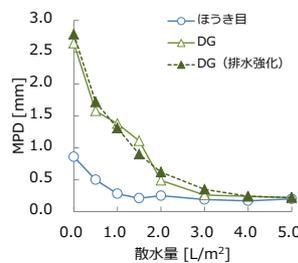


図-12 きめ深さの推移

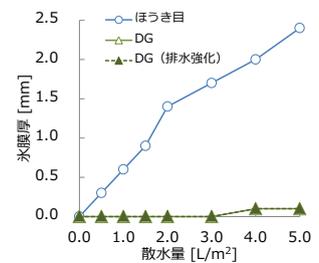


図-13 氷膜厚さの推移

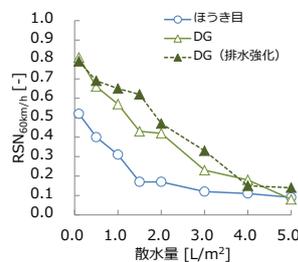


図-14 すべり抵抗値の推移

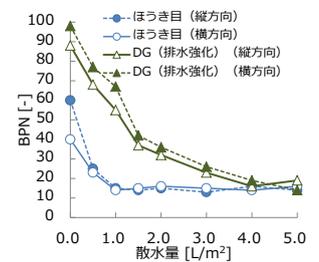


図-15 方向別のBPN推移

4.3.2 凍結融解作用に伴う路面特性の推移

(1) 実験方法 (凍結融解作用)

-5℃の低温室にて各種供試体に0℃の水を5.0L/m²散水し氷膜を成長させ、3時間経過後に室内を10℃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℃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-16に実験フローを示す。



図-16 実験フロー（凍結融解実験）

(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-17, 18に示す。氷膜厚さは「5.1.2」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、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。ほうき目に比べ、DG、DG（排水強化）では、きめ深さの回復が早い。これは、DG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-19にすべり抵抗値[RSN_{60km/h}]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、DG、DG（排水強化）ではすべり抵抗値が回復する。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-20に示す。ほうき目においては、ほぼ同じ値で推移するが、DG（排水強化）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。

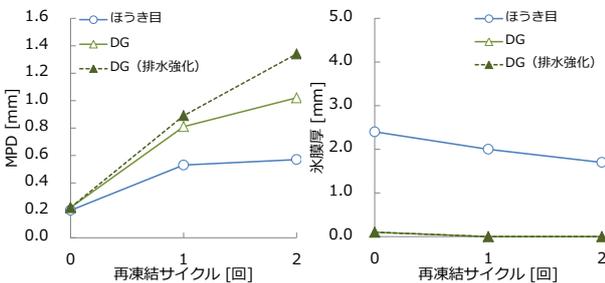


図-17 きめ深さの推移 図-18 氷膜厚さの推移

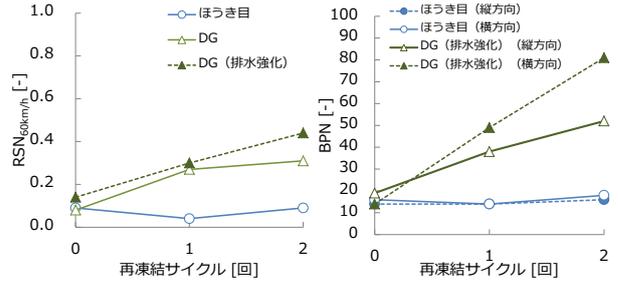


図-19 すべり抵抗値の推移 図-20 方向別のBPN推移

4.3.3 舗装表面の乾燥速度の観測

(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の恒温室内に静置した供試体に5L/m²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を行った。

(2) 実験結果（乾燥速度）

実験結果を図-21に示す。ほうき目に比べてDG及びDG（排水強化）では表面の乾燥速度が早い事がわかる、特にDG（排水強化）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。

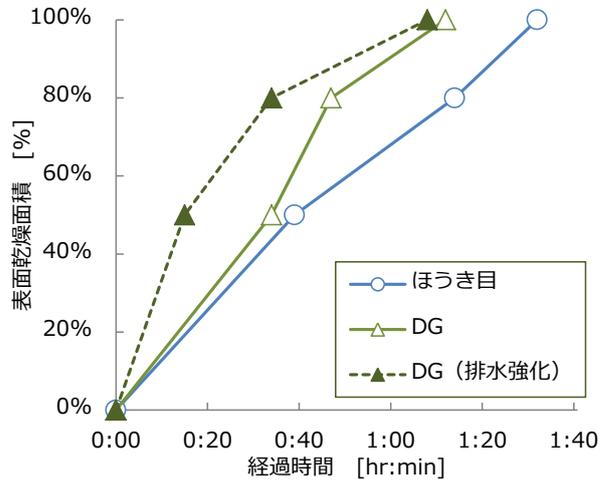


図-21 供試体の表面乾燥時間

4.3.4 現場におけるDG対策路面の状況

写真-14にDG対策を行ったTN内Co舗装の状況を示す。雪氷が研削された表面の溝に入り込み、骨材が路面に露出することによりすべり抵抗値が確保されている。冬期路面対策としての有効性が実道路面においても確認された。

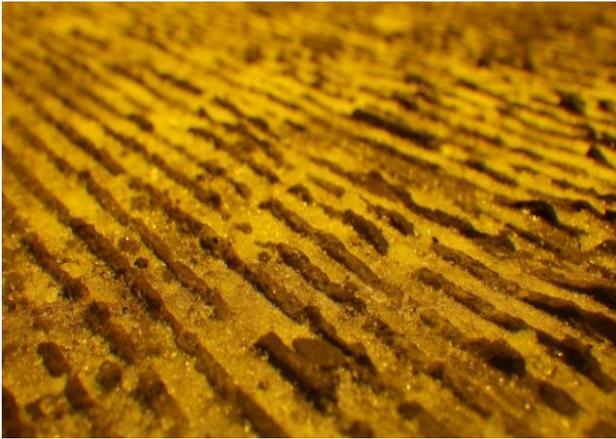


写真-14 冬期のDG対策路面の状況

5. 結論

一連の検討より以下のことが判明した。

(1) TN舗装における路面摩擦低下の原因について

- ① TN内Co舗装には供用に伴い表面にカルサイト (CaCO_3) が生成される場合があることが判明した。
- ② TN内Co舗装では、カルサイトの生成がすべり抵抗値の低下に影響を与える一要因となることが示唆される。
- ③ 明かり部のCo舗装は、表面に溶出したカルシウム (Ca) が雨水の影響により流出することにより、カルサイト (CaCO_3) が生成しにくく、すべり抵抗値は低下しにくいと推定される。

(2) TN舗装の路面摩擦低下の対策技術について

- ① すべり対策技術のうち、既設Co表面のカルサイトを除去し、凹凸に研削された骨材が露出することにより確実なすべり対策効果が期待される表面研削技術「ダイヤモンドグラインディング工法」の適用性を試験施工より国内の国道にて初検証した。検証の結果、既設路面のすべり対策効果および効果の持続性が確認され、有効な対策であることを確認した。
- ② ダイヤモンドグラインディング工法は、ほうき目に比べ凍結の影響によりすべり抵抗値が低下しにくいことを室内試験より確認した。
- ③ ダイヤモンドグラインディングにより形成される溝に雪氷が入り込み骨材が路面に露出するため路面凍結、雪氷引込によるスリップのリスクが低減することを現地観測により確認した。
- ④ 室内試験及び現地観測結果より冬期のすべり対策としても有効であることを確認した。

6. おわりに

本研究で提案した DG 工法は北海道開発局管内で現在までに 11 本の TN で採用された。適用箇所では、事故は発生しておらず安全性向上に寄与していると考ええる。

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) 森ら：海岸付近のコンクリート舗装のすべり抵抗低下の要因とその対策について、北海道開発局技術研究発表会発表概要集 第43 巻, pp.55-60, 2000
- 2) 中村ら, コンクリート舗装のすべり抵抗回復工法に関する研究, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.70, No.3, 2015
- 3) 道路維持修繕要綱, (社) 日本道路協会, S53,7
- 4) コンクリート舗装の表面性状のすべり抵抗値に及ぼす影響, J.ダーメス, P.ズルテン, 高速道路と自動車, 1981.12
- 5) コンクリート技術の要点'06, 日本コンクリート工学会, p5, 2006
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 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
- 9) 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

STUDY ON MEASURES AGAINST SURFACE FRICTION DETERIORATION IN CONCRETE PAVEMENT AT TUNNELS

Budget : Grants for operating expenses
(General account)

Research Period : FY2014-2016

Research Team : Road Maintenance Research Team

Author: KIMURA Takashi, MARUYAMA Kimio, ITANI Masashi,
UENO Chigusa, OURA Masaki, TANAKA Syunsuke

Abstract :

Concrete pavement has been widely used in tunnels for its durability and visibility. However, decreases in skid resistance values for concrete pavement in tunnels have been observed frequently.

To ensure the driving safety of road users in tunnels and to reduce road maintenance costs, this study aims to identify the causes and elucidate the process of surface friction deterioration for concrete pavement in tunnels and to propose an effective method of preventing that deterioration which considers costs.

It was found that one cause of the decrease in skid resistance of concrete pavement in tunnels was the development of a layer of calcite crystals on the pavement generated by the calcium inside the cement.

As a measure against the formation of such a layer, a diamond grinding method was proposed that can remove the calcite generated on the pavement surface and increase the skid resistance. The effectiveness of the method and its persistence were confirmed, and furthermore, the method was verified as an effective winter road safety measure.

Keywords: diamond grinding method, calcite, surface grinding treatment, winter road surface measures