

トンネル内舗装のすべり対策に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 25

担当チーム：寒地道路保全チーム

研究担当者：熊谷政行, 丸山記美雄, 井谷雅司,
磯田卓也, 田中俊輔

【要旨】

トンネル内の舗装は主にコンクリート舗装が施工されている。コンクリート舗装は設計期間 20 年で設計されているが、設計期間を超えて供用されているトンネル内コンクリート舗装において構造や性能に課題を抱えるものが増加している。コンクリート舗装が構造的な破壊に至っている場合は打換えを検討する必要があるが、すべり対策のような性能面の課題に関しては、補修により対応する。しかしながら、トンネル内舗装の補修に関しては、交通規制条件が厳しいこと等の課題があり、効率的な補修方法が求められている。さらに積雪寒冷地では、トンネル抗口周辺部は雪氷の吹き込みや凍結路面などが発生するため、その対策が重要な課題となっている。

本研究では、これらの課題を鑑み、トンネル内舗装のすべり抵抗値や補修技術に関する実態調査を実施した。また、トンネル内コンクリート舗装の補修工法として近年注目されている明色混合物による切削オーバーレイに関する検討結果、さらに、高規格幹線道路のトンネル内舗装のすべり対策として国内で初となる「若材齢時ショットブラスト方式を用いた骨材露出工法」の適用を検討し、その成果を設計施工マニュアルとして取りまとめた。また、凍上によるトンネル内コンクリート舗装の損傷に関して調査を行うため実態調査を行った。本報告ではこれらの検討成果について報告する。

キーワード：トンネル内舗装、コンクリート舗装、すべり対策、実態調査、明色混合物、骨材露出工法

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。

上記の理由等から、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。

コンクリート舗装が構造的な破壊に至っている場合は打換えを検討する必要があるが、すべり対策のような性能面の課題に関しては、補修により対応す

る。

しかしながら、トンネル内舗装の補修に関しては、交通規制条件が厳しいことや建築限界等の制約があり、効率的な補修方法が求められている。

また、積雪寒冷地ではトンネル抗口周辺部の路面が雪氷の吹き込みや凍結路面などが発生し、事故が発生する危険性もある。このため、低コストな冬期のすべり対策は重要な課題となっている。

本研究では、これらの課題を鑑み、トンネル内舗装のすべり抵抗値や補修方法に関する実態調査を実施した。また、トンネル内コンクリート舗装の補修工法として近年注目されている明色混合物による切削オーバーレイに関する検討結果、さらに、高規格幹線道路のトンネル内舗装のすべり対策として国内で初となる「若材齢時ショットブラスト方式を用いた骨材露出工法」の適用を検討し、その成果を設計施工マニュアルを取りまとめた。また、凍上によるトンネル内コンクリート舗装の損傷に関して調査を行うため実態調査を行った。本報告ではこれらの検討成果について報告する。

2. トンネル内舗装の実態調査

2.1 トンネル内舗装のすべり抵抗値の実態調査

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

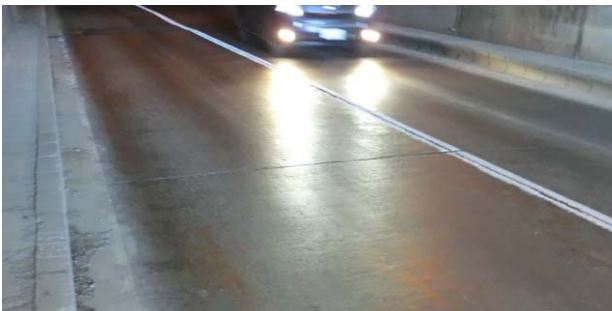


写真-2 光沢を帯びたコンクリート舗装路面



写真-3 除雪車の刃により表面が削られた路面

このような場合、路面のすべり抵抗性能が、どの程度なのかについては知見が少ない。このため、トンネル内コンクリート舗装のすべり抵抗性能の実態を把握するため、供用中のいくつかのトンネルを対

象に DF テスタによるすべり抵抗値の測定を行った。測定時期は4月から11月の間である。測定結果を図-1に示す。測定結果は、トンネル内の複数の箇所で計測した値の最大値、最小値、平均値を示している。また、表-1に道路維持修繕要綱に示される維持修繕要否判断の目標値を示す。舗装維持修繕要綱では“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を実施する目標値とされている。図-1よりトンネル内コンクリート舗装のすべり抵抗値は、同じトンネルであっても測定位置によりすべり抵抗値が大きく異なることがわかる。また、多くのトンネルでは、すべり抵抗値の平均値は維持修繕の目標値 $\mu=0.25$ を上回っているが、場所によっては、すべり抵抗値が $\mu=0.25$ を下回る場所も存在することが確認された。また、トンネル内のどの位置においてすべりやすい路面が発生しているのか確認するためにすべりやすい位置が特徴的な3つのトンネルについて坑口からの距離と車輪通過位置、車輪非通過位置のすべり抵抗値をプロットしたものを図-2に示す。太い縦線は坑口部を示している。すべり抵抗値が低い箇所は、両方の坑口付近(Xトンネル)、片側坑口付近(Yトンネル)、トンネル内部(Zトンネル)などあり、規則性はない。また、横断方向のすべり抵抗値を見ると車輪走行部が低い場合もあれば、車輪非走行部が低い場合もあり、これも規則性はみられない。これらのことをまとめると、トンネル内のコンクリート舗装はすべり抵抗値が低い箇所が存在する場合があり、その発生位置はトンネルにより異なることいえる。すべりやすい路面が発生する原因としては、カルシウムの結晶層の生成などが既往の研究から示されているが、検証も含めて今後も継続調査を進める必要がある。なお、明かり部のコンクリート舗装では路面のすべり摩擦の低下は確認されておらず、トンネル内コンクリート舗装特有の現象と考えられる。

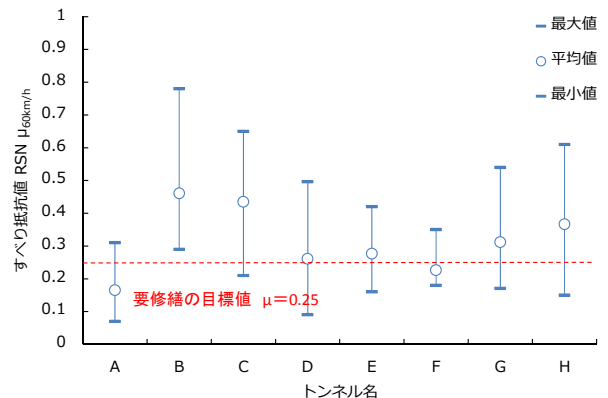


図-1 トンネル内コンクリート舗装のすべり抵抗値

表-1 維持修繕要否判断の目標値

道路の種類	項目 わだち 掘れ おび ラン ダ (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 ホール 径 (cm)
		橋	管渠				
自動車専用道路	25	20	30	0.25	8 mプロファイル 90 (Pr I) 3 mプロファイル 3.5 (σ)	20	20
交通量の多い 一般道路	30~40	30	40	0.25	3 mプロファイル 4.0~5.0 (σ)	30~40	20
交通量の少ない 一般道路	40	30	—	—	—	40~50	20

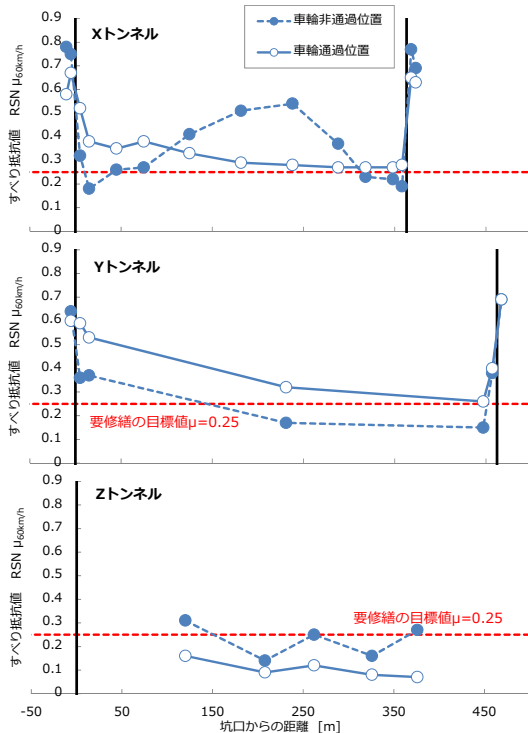


図-2 すべり抵抗値と抗口からの距離の関係

2.2 トンネル内舗装の補修実態調査

先にも述べたとおり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。しかしながら、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目し、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-3 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。図-3より約半数（47%）のトンネル内舗装で何らかの補修が行われていることがわかる。

補修工法のうち、グルーピング工法、グルーピングウレタン工法、ニート工法は主にすべり対策として用いられる工法である。ニート工法による対策箇所は、コンクリート舗装との付着の悪化や除雪車による削り取りにより、剥がれもみられ、特に積雪寒冷地においては、効果の持続性には問題があると思われる（写真-4）。

また、アスファルト舗装、明色SMA（Stone Mastic Asphalt）舗装は、すべり対策の他に構造的な損傷が大きい場合にも用いられる工法である。これらの工法はコンクリート舗装のようにすり磨き等の影響を受けにくいため、すべり抵抗値の確保には有効であり、特に明色SMA舗装は、トンネル内の明るさが確保されるため照明を変更しなくても良いことから、近年注目を集めている。

しかしながら、アスファルト混合物による対策は、トンネル断面の建築限界の影響を受けるためコンクリート版の切削オーバーレイが必要となる。そのため、コンクリート版の強度が低下することに関する検討が必要となる。この検討方法については、3.にて検討を行った結果を述べる。

トンネル内のコンクリート舗装の補修実態をまとめると、コンクリート舗装の約半数はすべり抵抗値の低下や構造的な損傷等により補修されており、アスファルト混合物による対策が多く行われていることが確認された。

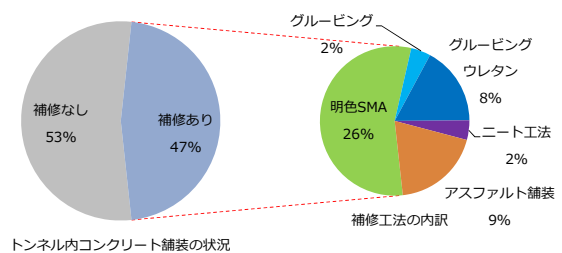


図-3 トンネル内舗装の補修の実態



写真-4 ニート工法の剥がれ

3. 明色混合物によるトンネル内コンクリート舗装の補修に関する検討

先にも述べたとおり、一般にトンネル内の舗装は、耐摩耗性や耐久性、明色性が必要であり、コンクリート系の舗装が多く施工されている。一方、供用後に構造的（クラック、段差等）、機能的（すべり、平坦性）な問題が生じた場合、コンクリート版の打替えを行うことは、養生期間が長く規制が長期に渡ることやコストが高額となる等の課題があることから、アスファルト系の混合物による補修が近年注目されている。しかし、トンネルには建築限界が存在し、補修を実施するには、既設のコンクリート版を切削する必要が生じるため、切削に伴う既設舗装の構造面での検討が必要となる。また、すべり対策として実施する場合においても、既設コンクリート版のひび割れに起因するリフレクションクラック対策が必要となる。さらに、トンネル内の既設照明の明るさや設置個数は、コンクリート路面に対して必要な路面輝度 (nt) が得られるように考慮されているため、脱色バインダの使用が求められる場合がある。

これらのことを鑑み、トンネル内コンクリート舗装の補修に明色混合物を使用する際の留意事項について検討を行った。

3.1 既設コンクリート舗装版の評価と対処方法

トンネル内のコンクリート舗装の補修は、すべり対策として実施する場合においても、コンクリート版にひび割れがある場合には、リフレクションクラック対策を検討しなければならない。また、コンクリート版の切削の影響を評価する必要がある。ここでは、トンネル内コンクリート舗装の上に明色舗装を施工する場合において、基盤となる既設コンクリート版の損傷程度の評価と対応方法（ひび割れ等の処理方法、コンクリート版の切削の影響）について整理した結果を述べる。

3.1.1 ひび割れの処理方法

ひび割れの処理を実施するにあたり、既設コンクリート舗装のひび割れからどのような対策を行う必要があるか検討する必要がある。図-4、表-2にコンクリート舗装の補修技術資料（2010年版、(社)セメント協会）に示されるコンクリート版のひび割れの発生の種類と原因を示す。これらから何に起因するひび割れかを確認し対策を検討する必要がある。なお、これらの複合としても生じていることもある

ので留意が必要である。

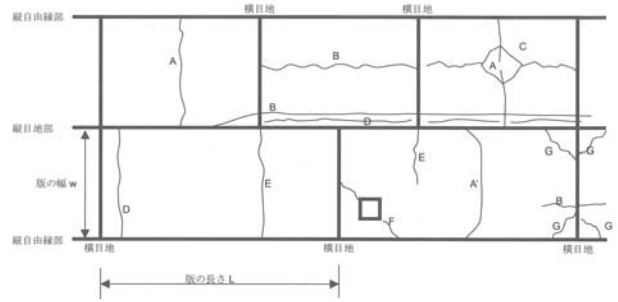


図-4 構造的なひび割れ発生の種類（平面図）

表-2 ひび割れ発生の原因

図中の記号	原因
A	大きすぎる版の長さ (L)
	ダミー目地のカット切断時期の遅れ
	凍上、路盤に凍結融解を生じ易い材料を使用
	疲労
	コンクリート舗装時の悪条件（例えば、コンクリートの温度が30℃を超え、養生が不良）
B	路床の沈下
	敷きならし時の中断（転写コンクリート舗装のアスファルトフィニッシュによる敷きならし） →施工方向に向かって円弧(凹)状にひび割れが発生する(A')
	大きすぎる版の幅 (w)
	コンクリート舗装時の悪条件（例えば、コンクリートの温度が30℃を超え、養生が不良）
	疲労（車線幅が狭い場合は、走行位置集中による疲労によるひび割れが目地から発生する）
C	路床の沈下
	凍上、路盤に凍結融解を生じ易い材料を使用
	コンクリート舗装時の悪条件（例えば、コンクリートの温度が30℃を超え、養生が不良）
D	凍上、路盤に凍結融解を生じ易い材料を使用
E	ダミー目地のひび割れ誘導材の位置が不適切（目地溝とひび割れ誘導材の位置が一致してない） ダウエルバーの設置の不整列
F	目地が舗装版全体（全幅）に連続的に設けていない
G	目地の位置に対して、局部的な構造物設置のための箱張りする目地の位置が不適切 構造物によるコンクリート版の伸縮の拘束（絶縁の目地がない）
(隅角ひび割れ)	疲労
	コンクリート版の隅角が鋭角になっている ダウエルバーの設置の不整列

なお、ひび割れの種類に対する処置方法に関しても、コンクリート舗装の補修技術資料に準じて実施するのが良い。また、リフレクションクラック対策として、コンクリート版とアスファルト混合物の間にシート工法（引張強度の強いもの。例えば、ガラス繊維系など）の適用などを検討するのが良いと考える。ただし、ひび割れの損傷程度が大きい場合には、明色舗装による補修ではなくコンクリート版の打替えも検討する必要がある。

3.1.2 コンクリート版を切削した際の影響

トンネルには建築限界が存在するため、補修を実施するには、既設のコンクリート版を切削する必要が生じるが、版厚が薄くなることによりコンクリート版の曲げ強度等は低下するため、切削可能深さの検討が必要となる。

コンクリート版の設計には「舗装設計便覧 (H18.2 (社) 日本道路協会)」に示されるものとして「経験に基づく方法」と「理論的設計法」がある。「経験に基づく方法」として既設舗装の構造評価を残存等値換算厚 (T_{A0}) にて評価する方法が記載されている。

しかし、これはオーバーレイ工法等のように既設舗装の上に混合物を被せる際に適用するものであり、コンクリート版に切削を伴う場合には適用するものではない。

このようなことから、切削を行うコンクリート版の構造評価には交通荷重および温度荷重の合成応力から設計を行う「理論的設計法」により切削可否、切削深さの検討が必要である。以下にこの点を考察し「理論的設計法」により切削可能な深さの検討を行った例を表-3に示す。

検討に当たり留意すべき事項は、①コンクリート版の温度分布を把握すること、②輪荷重の荷重分布を把握することであり、これらの実測データを計算条件とすることが理想である。

表-3 疲労度計算結果(例)

項目	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	備考
コンクリート版厚(cm)	20	21	22	23	25	-
疲労度(FD)	1.67	0.47	0.19	0.09	0.02	-
疲労度(FD)×信頼度に応じた係数(γ _R)	3.00	0.84	0.34	0.16	0.04	信頼度90% γ _R =1.8
判定(FD×γ _R <1.0)	×	○	○	○	○	-

表-3の疲労度計算結果より、版厚25cm～21cmまでは判定(FD×γ_R<1.0)を満足している。この計算結果から、現交通量であれば切削深さは4cmまでであれば力学的な安全性を有すると判断することができる。

3.2 明色舗装混合物の配合設定方法に関する検討

舗装材料としての明るさは、輝度測定から求められる反射率、あるいは路面照度と路面輝度から算出される平均照度換算係数で評価されている。照度はlx(ルクス)で表され、単位面積当たりに入射する光の量である。輝度はnt(ニト)あるいはcd/cm²で表され、路面に入射した光のうち反射されて運転者の目に向かうものの程度を示し、運転者から見た路面の明るさである。既設照明の明るさや設置個数は、既設コンクリート路面に対して「道路照明施設設置基準・同解説(S56.4(社)日本道路協会, p.65)」に示される必要な路面輝度(nt)が得られるように考慮されている。路面が既設コンクリート路面から他の路面に変わる場合は、路面の明度や反射が異なってくるので、考慮が必要となる。反射率や照度換算係数を算出する方法は、主として3手法ある。算出方法を表-4に示す。

表-4 反射率や照度換算係数を判定する方法

測定方法	測定	算出結果	メリット	デメリット
(1)	反射率	平均照度換算係数	・反射率から直接求められる	・測定条件の影響が大きい ・現場での再現性に乏しい
(2)	明度	平均照度換算係数(反射率が介在)	・反射率の測定の再現性が高い ・現場での再現性も高い	・換算式が2つあり、かつ実測値による換算式
(3)	明度	照度換算係数	・反射率の測定の再現性が高い ・現場での再現性も高い	・実測値による換算式の検証が必要である(データ数が少ないため)

明色舗装混合物の明るさを管理する場合、配合設計時の明るさから舗装後の明るさまでを管理する必要がある。従って、再現性が高く、かつ迅速に測定する方法が必要である。このような観点から上記の3方法にあてはめると、測定方法(2)、(3)の方法が有効と考えられる。ゆえに、明度測定から平均照度換算係数、照度換算係数を求める方法を推奨する。

必要な路面輝度は「LED道路・トンネル照明導入ガイドライン(案):国土交通省, H23.9」より、平均照度換算係数(lx/nt)がコンクリート舗装で13(lx/nt)、アスファルト舗装(黒)で18(lx/nt)が妥当とされている。よって事前の配合により明色混合物が照度換算係数13(lx/nt)を満足するか測定する必要がある。照度換算係数の算出方法は既往の研究⁷⁾より以下の式を用いる。

$$\text{照度換算係数}(lx/nt) = 136919 \times \text{明度}^{-2.3163}$$

明度の測定は、色彩色差計で行うのが容易である。その値を用いて照度換算係数を算出し13以下となれば問題ないと判断することができる。

3.3 明色混合物への顔料の添加量の確認方法

明色混合物は白色の顔料の添加量により色合いが異なり、得られる照度換算係数が異なる結果となる。

検討した供試体による顔料の決定方法を以下に示す。この決定方法の際に用いた測定方法は測定方法(3)による。また、供用後においては、タイヤの走行等により黒く変色していく経過をたどることが予想されるため、ここでは汚れを想定して、意図的に汚れた状態を再現し、顔料の添加量の決定を検討した。なお、供用中のトンネルにおける路面の汚れの度合は交通条件、供用年数等により異なるためここでの結果は、すべての現場条件を再現しているものではない。

パラメーターは顔料の添加量であり、添加量1%、

添加量3%および添加量5%の供試体を作成した試験を実施した。写真-5に測定に使用した供試体を示す。供試体は、ホイールトラッキング試験に用いるものである。各供試体の上部が汚れの再現前、下部が汚れの再現後である。図-5に顔料の添加量および汚れによる照度換算係数の変化を示す。図中の値は、上部および下部をそれぞれ10回測定した平均値で示している。なお、表層の汚れはブラスト処理により再現した。

図-5によると、汚れの再現前においては、添加量1%、3%、5%とも照度換算係数13を満足する。汚れの再現後においては、3%および5%が照度換算係数13を満足する。従って、経済性を考慮すると、照度換算係数13を満足する顔料の添加量は3%と判断することができる。

なお、工事において顔料の添加量を検討する場合は、使用する骨材の色や骨材配合率、特に砂の色合いや配合率に明るさが依存するため、工事ごとに事前に本検討方法を参考として顔料の添加量を決定するのが良いと考える。



* 上部：汚れの再現前 下部：汚れの再現後
写真-5 測定に使用した供試体

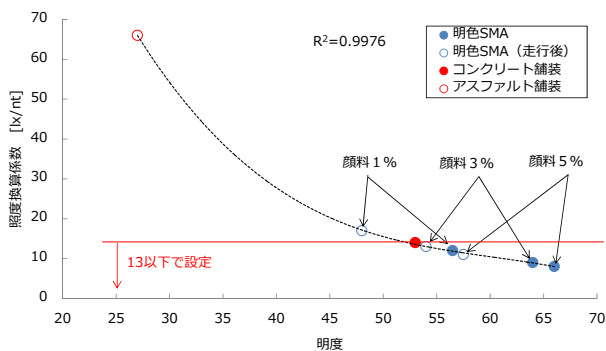


図-5 顔料の添加量および汚れによる明るさの変化

3.4 タックコートの選定に関して

タックコートの目的は、舗装施工便覧（（社）日本道路協会、平成18年2月）によると、「タックコートは、新たに舗装する混合物層とその下層の瀝青安定処理層、中間層、基層との接着、および継目部や構造物との付着をよくするために行う。」と標記され

ている。さらに、使用材料に関しては、「タックコートには、通常、アスファルト乳剤（PK-4）を用いる。なお、ポーラスアスファルト混合物、開粒度アスファルト混合物や改質アスファルト混合物を舗装する場合、さらに橋面舗装など、層間接着力を特に高める必要がある場合には、ゴム入りアスファルト乳剤（PKR-T）が用いられる。」と標記されている。

このため、ポーラスアスファルト混合物、開粒度アスファルト混合物を舗装する場合は、下層との接触面積が通常より小さくなることから、層間接着力を高める必要が生じるため、ゴム入りアスファルト乳剤を使用するのが良い。また、改質アスファルト混合物を舗装する場合は、改質アスファルト混合物に改質アスファルトが使用されていることから、ゴム入りアスファルト乳剤を使用するのが良い。

なお、トンネル内舗装にアスファルト混合物を用いる場合は、目地部の損傷やポットホール等の不具合を可能な限り抑止する必要があるため、コンクリートとの付着性を重視する必要がある。また、これまで施工された現場では、ゴム入りアスファルト乳剤にて施工されている。現場における不具合は報告されていない。

以上より、トンネル内のコンクリート舗装を切削して明色混合物でオーバーレイする場合は、ゴム入りアスファルト乳剤を使用することが望ましいと考える。ただし、施工車両のタイヤに付着した乳剤が白い明色舗装を汚してしまい、トンネル内に必要な路面輝度（nt）を得ることができなくなる可能性が懸念される場合には、さらに、明色タックコートの使用や付着改善型のタックコートを使用することが望ましいと考える。

3.5 目地部の処理方法に関して

コンクリート舗装上にアスファルト混合物によるオーバーレイを施工する際の留意事項が、舗装施工便覧（（社）日本道路協会、平成18年2月）に示されている。それによると、「オーバーレイの最小厚は、8cmとすることが望ましい。」と示されている。また、リフレクションクラックについては、「リフレクションクラックは、既設コンクリート版の目地やひび割れが影響して生じることが多く、オーバーレイする厚さが薄いほど発生しやすい傾向にある。このひび割れの発生を完全に防止することは難しいが、その対策には以下に示すことを参考にするとよい。オーバーレイ厚が10cm以上となる場合は、コンクリー

ト版上に開粒度アスファルト混合物を5cm程度設けることによって、リフレクションクラックを抑制する効果がある。あるいは、コンクリート版上にシートを敷設し、アスファルト混合物層に生じる変位を吸収することによって、リフレクションクラックの抑制を図ることもある。また、コンクリート版の目地位置の直上においてアスファルト混合物層をカット切削し、ダミー目地構造とすることもある。」と記載されている。以上からリフレクションクラックの抑制対策をまとめる。

- ① オーバーレイ厚 10cm 以上の場合
 - ・コンクリート版上に開粒度アスファルト混合物層 5cm を設ける
- ② オーバーレイ厚が薄い場合（例えば 10cm 未満の場合）
 - ・シートを敷設する
 - ・ダミー目地構造とする

ダミー目地は、2cm カッタ後アスファルト系注入材を充填した。また、収縮目地および膨張目地も同様に施工しているが、不具合の報告はない。収縮目地および膨張目地を区別することなくダミー目地による処理を行う（図-6）。

なお、これまで施工された現場では、ダミー目地構造にて施工された事例が多く、現在のところ目立った損傷の発生は報告されていない。

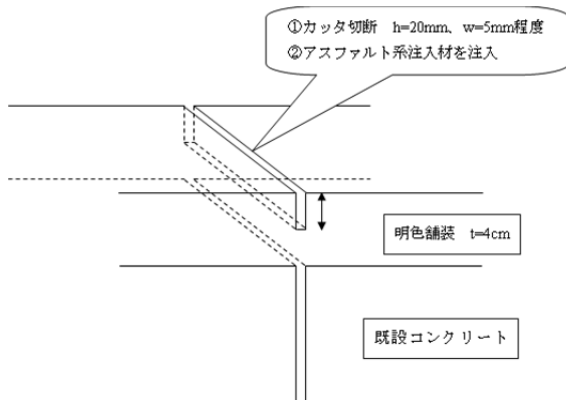


図-6 実際に施工したダミー目地構造（例）



写真-6 トンネル内明色舗装（施工後）

4. 高規格幹線道路のトンネル内舗装のすべり対策に関する検討

北海道の高規格幹線道路のトンネル内舗装は、連続鉄筋コンクリート版の上に排水性舗装を配したコンポジット舗装が用いられてきた。しかし、コンポジット舗装は初期建設コストが高く、経済性の観点から、コンクリート舗装を適用することを検討している。

コンクリート舗装の表面仕上げは従来ほうき目仕上げが行われてきたが、高規格幹線道路へのコンクリート舗装の適用にあたっては、高速走行時の安全性や快適性を確保することを目的として、表面を粗面化する「若材露出ショットブラストを用いた骨材露出工法」の適用について試験施工等により検証を行った。本工法の検討及び現場への適用は、国内初の試みとなる。

以下にこれまでの試験舗装、室内試験等の調査結果より得られた知見および高規格幹線道路のトンネル内舗装に骨材露出工法を適用するにあたっての留意事項を取りまとめ報告する。

4.1 骨材露出工法とは

骨材露出工法とは、コンクリート舗装の表面仕上げ方法の一つで、コンクリート打設後に硬化する前に何らかの方法で表面モルタル部を2~3mm程度除去し、粗骨材の頂部を露出させる工法である（写真-7）。

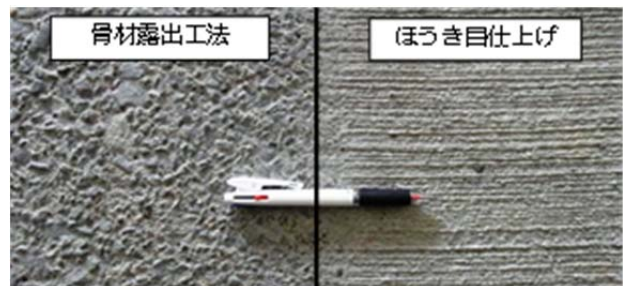


写真-7 骨材露出工法とほうき目仕上げ

コンクリート舗装の表面仕上げの主流である「ほうき目仕上げ」に比べ、骨材の凹凸が供用後長時間持続し、すべり摩擦係数が良好に維持されることが期待される。

骨材を露出させる方法を大別すると「ブラシ方式」と「ショットブラスト方式」があげられる。（図-7）

ブラシ方式は、コンクリート版の打設時に表面に凝結遅延剤を散布し、表面モルタルが未硬化時に回転ブラシなどでモルタル分を除去するものである。

ショットブラスト方式は、ショット玉（小粒径鉄

球) をコンクリート表面が完全に硬化する前に打ち付け、除去したモルタルとともに吸引回収する方法である。

ブラシ方式は施工機械の構造上、センターラインを挟んで横断勾配が変化する場合などに対応が困難であり、また、ブラシ施工中の粉じん発生が課題であるが、ショットブラスト方式は、小型ブラスト機械で施工するため横断勾配が変化する場合も対応が可能であり、また、除去したモルタル分は集塵機へ吸引回収する方式であり作業粉じんの発生は問題とならない等のメリットがある。

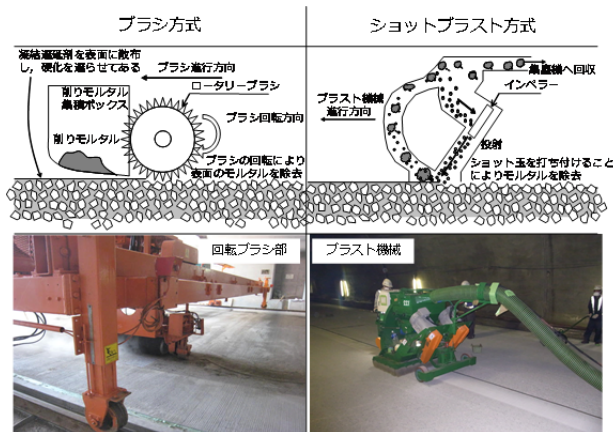


図-7 ブラシ方式とショットブラスト方式

4.2 骨材露出工法の効果検証

4.2.1 試験施工による評価

骨材露出工法の効果検証を行うため国道39号北見道路の第一南ヶ丘トンネルにおける追跡調査結果を示す。トンネル内のコンクリート舗装の表面仕上げは骨材露出工法(ショットブラスト)とし、トンネル中央部の200m区間を比較のためのほうき目仕上げとしている。未供用区間のトンネルであるが土砂運搬のためのダンプトラックが頻繁に通行しており、供用後の推移をある程度評価できるものと考えている。

1) 路面の粗さ(きめ深さ)の持続性

路面の粗さを評価するために、路面の粗さの目安となるきめ深さを、センサきめ深さ測定装置(以下、MTM)により測定を行った。図-8に調査結果を示す。

骨材露出工法のきめ深さの値の経年変化は、ほぼ横ばいであり、路面の粗さの持続性があること確認された。

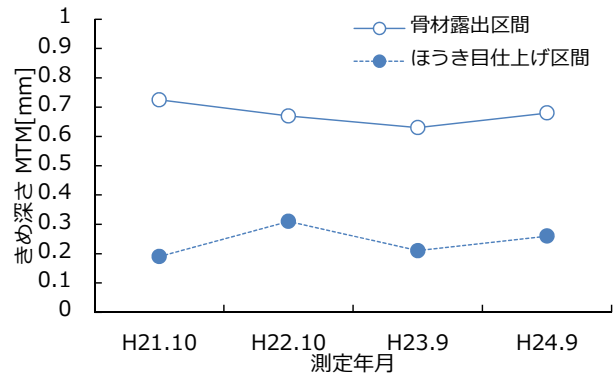


図-8 MTMによるきめ深さの推移

2) 湿潤路面のすべり摩擦力の持続性

路面のすべり摩擦力を評価するために、DFテストで、湿潤時のすべり摩擦係数(60km/h時)を測定した。図-9に測定結果を示す。すべり摩擦係数はいずれの路面においても修繕の目安となる0.25以上を満足していた。

すべり摩擦抵抗値の経年変化は、骨材露出工法とほうき目仕上げの減少量に差が見られ、骨材露出工法はほうき目仕上げより減少量が小さく、すべり摩擦力を持続する結果が得られた。骨材露出工法の方がすべり摩擦の持続性が高いと評価できる。

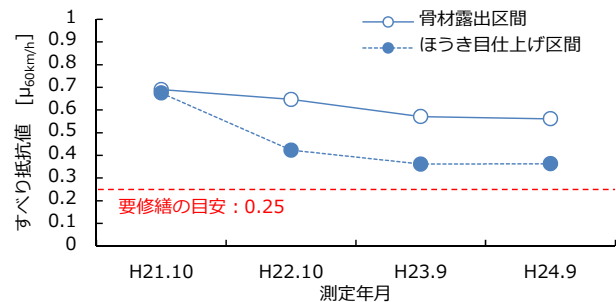


図-9 DFTによるすべり抵抗値の推移

4.2.2 冬期間の路面性状に関する室内試験

冬期間の安全走行に必要なすべり抵抗性およびタイヤチェーンに対する耐久性を評価することを目的に室内試験による検証を行った。室内試験に使用した供試体は試験施工と同じ材料および配合で作成した。

1) チェーン装着タイヤに対する耐久性

骨材露出工法の耐摩耗性を評価するために、チェーンラベリング試験(往復チェーン型)および、チェーン装着タイヤによる摩耗試験(回転スパイクチェーン型)を実施した。チェーンラベリング試験の試験温度は-10℃とした。チェーン装着タイヤによる摩耗試験の試験温度は5℃、通過回数は0, 1000, 1500, 2000, 3000回、走行速度は40km/hとした。

図-10 にチェーン装着タイヤによる摩耗試験結果を示す。骨材露出工法はほうき目よりも若干低いすり減り量で推移し、耐摩耗性は問題ないと考えられる。

図-11 にチェーンラベリング試験の結果を示す。北海道開発局道路設計要領におけるアスファルト混合物のすり減り減量は 1.3cm^2 以下を標準としており、その値と比較すると、骨材露出工法およびほうき目は、ともに標準値に適合していることが確認された。

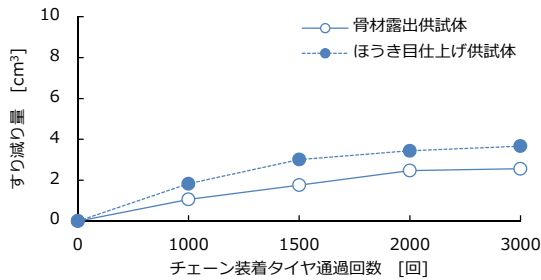


図-10 チェーン装着タイヤによる摩耗試験結果

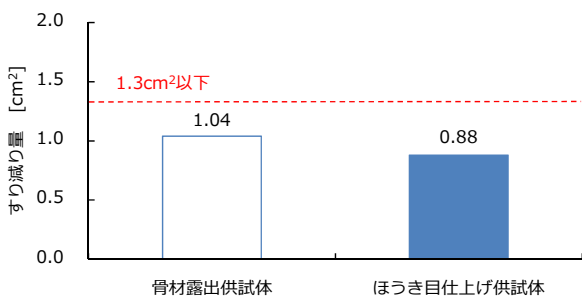


図-11 チェーンラベリング試験によるすり減り量測定結果

2) 氷膜形成時のすべり摩擦特性

各種舗装路面の路面凍結時のすべり抵抗値およびすべり対策技術（塩化ナトリウム散布，7号砕石散布）をの効果を検証するため、「密粒」「排水性」「機能性 SMA」「コンクリート舗装（ほうき目仕上げ）」「コンクリート舗装（骨材露出仕上げ）」の $40\text{cm} \times 40\text{cm} \times 5\text{cm}$ の供試体を作成し、室内試験にて効果の検証を行った。作成した各供試体のきめ深さ MPD(mm)を図-13 に示す。

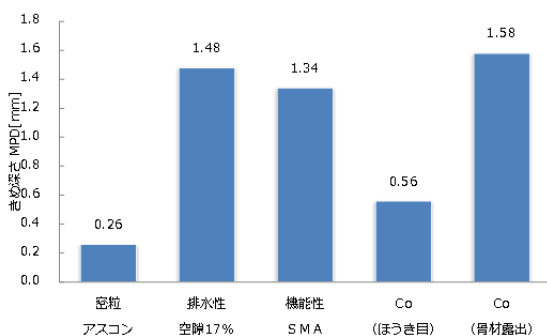


図-13 各供試体のきめ深さ (MPD)

試験は室温 -5°C の凍結室にて実験を行った。供試体に水を 30mg の刷毛で塗布することにより、その際のすべり摩擦係数の測定を行った。水の塗布は薄い氷膜（1回塗付）、氷膜（3回塗付）、氷板（5回塗付）を行った。これらの塗布水準は5回塗付後にはほうき目において表面の凹凸が氷で覆われる水準となるよう設定した。すべり摩擦係数の測定は水を散布し約2時間経過後に凍結したことを確認し DF テスタにて測定した。すべり対策を行わない場合の結果を図-14 に、塩化ナトリウムを散布した結果を図-15 に、砕石を散布した結果を図-16 に示す。図-14 より骨材露出工法は氷板形成時に排水性舗装以上のすべり抵抗値を有していることがわかる。また、ほうき目仕上げは氷が厚くなるに従いすべり抵抗値が大きく低下することがわかる。

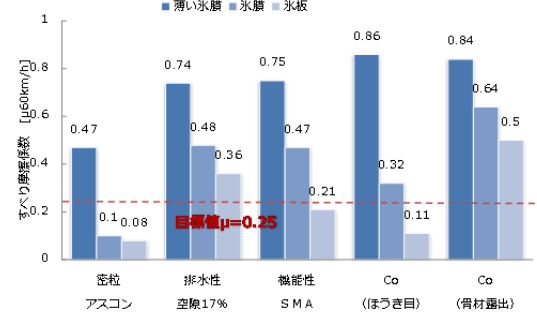


図-14 対策を行わない場合の各種舗装のすべり抵抗値

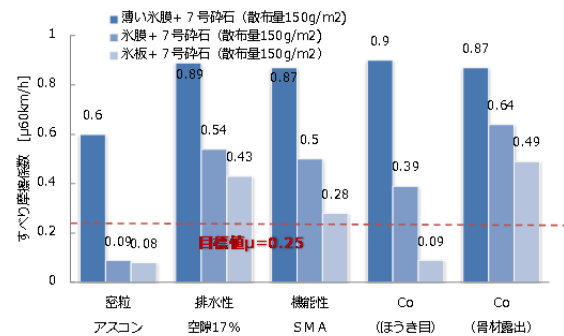


図-15 砕石を散布した際の各種舗装のすべり抵抗値

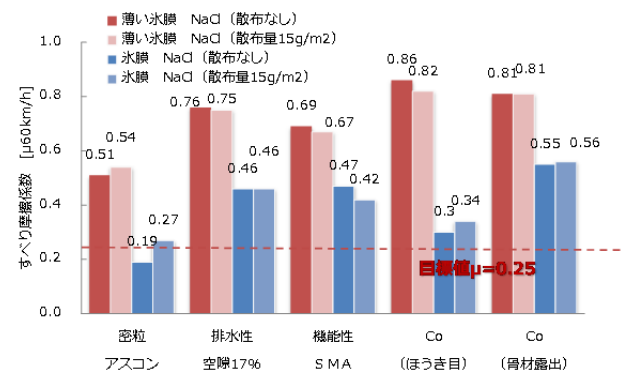


図-16 NaCl を散布した場合の各種舗装のすべり抵抗値

図-15より砕石を散布した際の効果について骨材露出工法は排水性舗装や機能性SMAといった粗面系舗装と同程度の効果を発揮することがわかる。また、図-16より塩化ナトリウム散布の効果について他の粗面系舗装と同程度の高いすべり抵抗値を有することが確認された。

このことより、骨材露出工法は、凍結路面においてもアスファルト系の粗面系舗装と同程度のすべり抵抗性能、およびすべり対策技術(塩化ナトリウム、7号砕石)の効果を発揮することが伺え、冬期トンネル内舗装の路面対策として適しているといえる。

4.3 適用範囲に関する検討

先に述べたように、骨材露出工法はほうき目仕上げよりもきめの持続性が高いなど利点が多く耐久性も遜色ないことから、高規格幹線道路のトンネル内全線での適用が望ましい。しかし、骨材露出工法は、ほうき目と比べて施工単価が1.25倍程度増加するため、トンネル内全延長に適用するのはコスト高となるため、必要最小限の整備により効率的な効果を得るため適用範囲について検討が行う必要がある。そこで、トンネル内で発生している交通事故に着目し、一般国道の交通事故データやトンネル内への雪氷の引き込み長の調査結果をもとに適用範囲の検討を行った。

4.3.1 トンネル内の交通事故調査

一般国道のトンネル内で発生している人身事故に関して、発生件数や発生位置に着目し調査を行った。データは、平成16年から20年までの5年間で発生した事故数242件のうち、位置が特定可能であった206件を対象とした。事故発生位置のトンネル坑口からの距離を整理した結果を図-17に示す。トンネル内の事故は、トンネル坑口から近い位置で発生している割合が多く、坑口から200m以内で全体の約80%の事故が発生していることがわかった。図-18にトンネル内事故の月別発生件数を示す。トンネル内事故は特に、2月から3月の間に多く、約70%の事故は12月から4月までの冬期間に発生していることがわかった。図-19にトンネル内事故発生時の路面状態を示す。事故の50%以上が冬期路面状態である凍結路面と積雪路面時に発生していることが確認された。

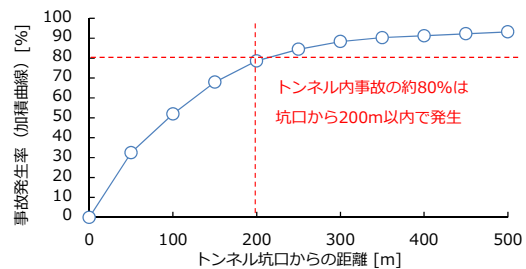


図-17 トンネル内事故と発生位置関係

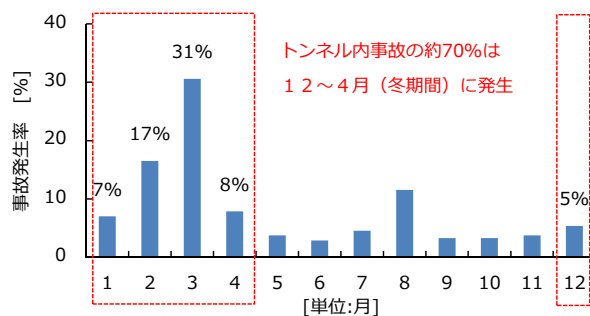


図-18 トンネル内事故の月別発生件数

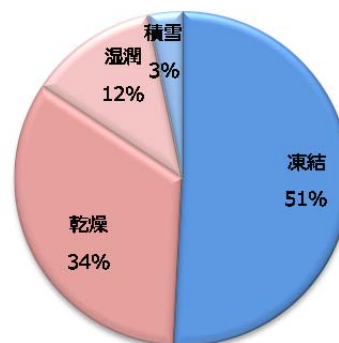


図-19 トンネル内事故発生時の路面状態

4.3.2 トンネル内への雪氷の引込長調査結果

トンネル坑口部において、除雪や車両走行による雪氷や水分の引き込み延長に着目し、道内各地の13箇所のトンネルにおいて調査を行った。図-20に測定結果を示す。雪氷引込長は、60~280mの間に分布している。

同地域内のトンネルにおいてもばらつきのある傾向となったが、全道的に見ると概ね200m程度は、冬期間において路面に雪氷が引き込まれていることが確認された。

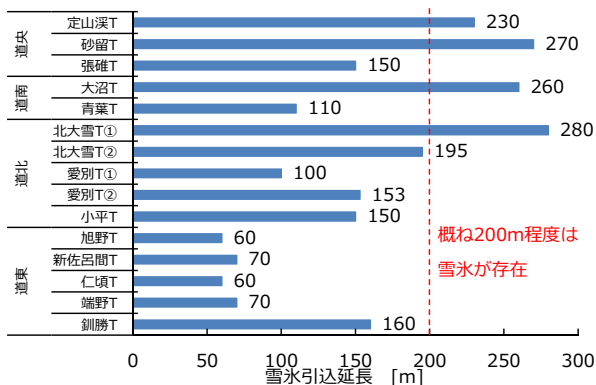


図-20 トンネル坑口からの雪氷引込延長

4.3.3 適用範囲に関するまとめ

トンネル内事故の発生位置や雪氷の引込延長の調査結果を勘案すると、坑口から200mの範囲に骨材露出工法を適用するのが適切と考える。

4.4 材料・配合・構造設計に関する検討

4.4.1 骨材のすり減り減量

骨材露出工法は骨材を路面に露出させるため、骨材自体がタイヤによる摩耗や、凍結融解による作用を受けやすいことから、すり減りにくく硬い骨材を使用することが供用後の耐久性向上に寄与すると考えられる。

試験施工では表-5に示すように約10%~13%と固い良質な粗骨材を使用し、施工後も良好な路面性状を保っている。

ショットブラスト方式では、ブラストによって骨材が角欠けして所定のきめ深さが得られない事態を避けるためにも、すり減り減量が極力少なく固い砕石を使用することが望ましいと考える。また、使用する骨材が、川砂利では表面が滑らかで滑りやすいことや石灰岩では表面の摩耗が懸念されるため使用は極力避けることが望ましいと考える。

表-5 試験施工における粗骨材のすり減り減量

トンネル名	粗骨材の種類	すり減り減量[%]
第一南ヶ丘TN	G-15 (15mmトップ)	13.0
	G-20 (20mmトップ)	10.7

4.4.2 コンクリートの配合

コンクリートの配合が異なれば、結果として骨材露出の仕上がり状態も異なってくる。特に、骨材最大粒径、細骨材率、水セメント比が着目点となる。

通常のコンクリート舗装用のコンクリートは北海道開発局においてはレディミクストコンクリート

C-7を使用しており、その最大骨材粒径は40mmと決められている。しかし、文献調査と室内で配合試験を行った結果、骨材露出面積比率を高め、表面のきめの仕上りを均一にするために最大骨材粒径は20mmとし細骨材率や水セメント比などの配合は表-6に示すとおりとするなど、C-7(表-7)の規格を基本に若干の変更を加えた。

表-6 コンクリートの配合

トンネル名	スランブ [cm]	空気量 [%]	W/C [%]	最大骨材粒径 [mm]	細骨材率 [%]
川東TN	2.5	4.5	41.5	20	33
第一南ヶ丘TN 第二南ヶ丘TN	2.5	4.5	43	20	38

表-7 コンクリートの品質条件 (C-7)

記号	運用する 構造物 の代表例	設計基 準強度 (N/mm ²)	スランブ (cm)	空気量 (%)	最大水 セメント比 (%)	粗骨材の 最大寸法 (mm)	最小単位 セメント量 (kg/m ³)
	道路関係 舗装工						
C-7	(小規模人力施工は、 スランブ6.5cm としてよい)	okb=4.5	2.5	4.5	45	40	280

4.5 コンクリート版の構造設計に関する検討

コンクリート版厚、コンクリート版の配筋、コンクリートの設計曲げ基準強度、目地構造などは、骨材露出工法を採用することでの変更を要する点は特段なく、従来から北海道開発局設計施工要領等に示されているとおりとした。施工箇所では、表-7に示す数値とし問題は発生していない。

表-7 コンクリート版の設計諸数値

トンネル名	項目	設計値
第一南ヶ丘TN	版厚	25cm
	配筋設計	鉄網3kg/m ²
	設計曲げ基準強度	4.5MPa
	横収縮目地構造	カットによるダミー目地

4.6 施工に関する検討と留意事項

4.6.1 施工の流れと留意事項

図-20にショットブラストによる骨材露出工法の施工の流れを示す。施工方法は一般的なコンクリート版と同様であるが、締固め平坦仕上工程においては、骨材の沈降を防ぐため、過度な締固め作業は避けることに留意が必要である。また、平坦仕上げ後に散布する養生剤は、コンクリート表面付近の硬化を促進させ、表面硬度が高いにもかかわらず内部の硬化が進んでいないことがあり得るので、ショットブラストによる投射タイミングを判断する際は留意

が必要である。

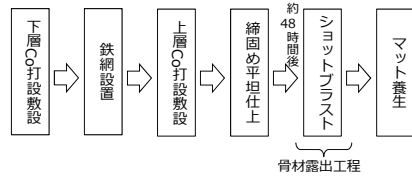


図-20 施工の流れ

4.6.2 骨材露出作業（ショットブラスト工程）

ショットブラストにおける骨材露出作業の開始時期の判断は、ショア硬度で表面硬度を確認しながら行った。試験施工の結果では、表-7に示すとおり、コンクリート打設後48時間後、ショア硬度70~80程度のときに投射強度200kg/m² (100kg/m²×2回)でブラストを投射することにより目標のきめ深さ (MPD= 1.5mm±0.2mm) が得られた。しかし、骨材、配合、気象条件等により目標のきめ深さが得られるタイミングが異なることが予想されるため、事前にブラストの投射のタイミング、投射強度を確認するのが望ましい。また、投射強度を大きくしすぎると、骨材自体の摩耗につながるため適切な値を設定する必要がある。

表-7 ショットブラストに関する検討結果

トンネル名	項目	規定値
第一南ヶ丘TN	研掃機械	研掃幅1m × 2台
	投射強度	200 kg/m ²
	ブラストのタイミング および確認方法	打設後48時間程度 ショア硬度計で確認

4.6.3 施工時騒音調査結果

骨材露出施工時の騒音が、沿道に与える影響を調査するため骨材露出施工時の騒音調査を行った。作業機械が運転している間の10分間の等価騒音レベル (LAeq) を積分型精密騒音計で測定した結果を表-8に示す。

ショットブラスト装置自体から発生する音は比較的小さいが、集塵機および発電機から発生する音が支配的で、このような結果になったと考えられる。なお、参考として示したコンクリートフィニッシャ打設時の騒音よりも、骨材露出工法作業時の騒音が小さい。

表-8 騒音測定結果

	機械近傍 (dB(A))	機械から30m 離れ(dB(A))
ショットブラスト作業騒音	90.2	85.1
(参考)コンクリフィニッシャ打設時	97.3	90.5

4.6.4 作業環境粉じん測定結果

作業環境における粉じん濃度を把握するために、作業環境評価基準（厚生労働省告示）に基づく粉じん濃度測定（質量濃度測定、併行測定、A測定、B測定）を行った。作業機械が運転している間に、質量濃度測定と併行測定を同一箇所て10分以上行い質量濃度換算係数（K値）を算出した。A測定（無作為に抽出した測点）は60分間、B測定（粉じん暴露を直接受ける作業箇所）は10分以上実施し、実測K値を用いてA測定、B測定の粉じん濃度を算出した。

表-9に粉じん濃度の測定結果を示す。ショットブラスト方式では、発生粉じん濃度は0.01mg/m³程度と管理濃度を大幅に下回っており、第1管理区分（適切）と判定された。以上のことから、ショットブラスト方式は、作業環境における粉じん濃度が低く、作業環境が良好であることが分かった。なお、ショットブラスト方式ではモルタル除去と同時に粉じんを集じん機で吸引回収するため粉じん濃度が低かったと考えられる。

表-9 粉じん測定結果

	A測定結果 EA[mg/m ³]	B測定結果 EB[mg/m ³]	管理濃度 [mg/m ³]	管理区分 判定
ブラシ方式 (川東TN)	0.81	1.3	0.39	第3 (不適切)
ショットブラスト方式 (第二南ヶ丘TN)	0.01	0	0.16	第1 (適切)

4.6.5 照明設備に関する検討

骨材露出工法はコンクリート舗装であるため、照明設備の設計に際しては、白色の普通コンクリート路面として扱ってよい。なお、連続鉄筋コンクリート版の上に排水性舗装表層を配したコンポジット舗装の路面は、黒色舗装として扱うことになるため、所定の路面輝度を得るために照明設備が多く必要となる。したがって、骨材露出工法の採用によって、コンポジット舗装に比べて照明設備費や照明のランニングコストを軽減することが可能と考えられる。

4.6.6 コストに関する検討

図-21にコンクリート舗装に各種表面処理工法等を施工した際の舗装工事全体の施工単価（B交通断面）を比較したものを示す。従来行われてきたホウキ目を施工した単価を1.00とすると、骨材露出工法を施工した場合は約1.25倍、滑り止め対策の一つであるグレーピングを施工した場合は、約1.7倍の単

価であることが確認された。骨材露出工法はすべり対策としては比較的安価な工法であるといえる。

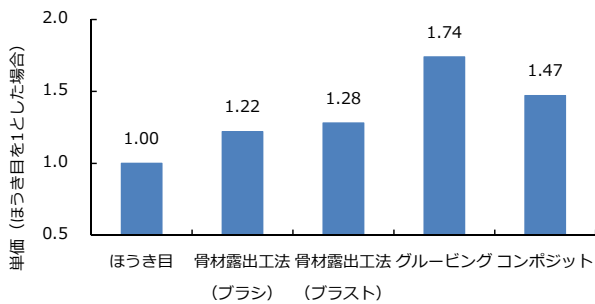


図-21 各種工法の単価比較

4.7 品質管理項目に関する検討

骨材露出工法における仕上り時の品質は、すべり抵抗値に大きく寄与する路面テクスチャ(きめ深さ)の管理が重要であり、これらの値を品質管理項目とするのが適切と考える。これらの管理基準値及び試験法を決定するにあたり、これまでの試験施工実績をもとに検討を行った。

4.7.1 表面テクスチャの基準値に関する検討

1) 路面テクスチャの測定方法に関する検討

路面テクスチャを測定する方法はいくつか提案されているが、おもな測定機器とその特性を表-10に整理する。サンドパッチ法は細かい砂を路面に円形に散布し敷き均した際の円の面積からテクスチャを評価する方法である。CTM, MRP, MTMはレーザーを用いて路面のテクスチャを評価する方法である。一般的に骨材露出工法の路面テクスチャの測定には、サンドパッチ法及びMTMによる管理が行われている。

表-10 路面テクスチャの測定方法

試験法	測定値(mm)			処理方法	測定ピッチ
	MTD	MPD	RMS(SMTD)		
サンドパッチ	○			-	-
CTM		○	○	1028個のデータを統計処理	0.87mm
MTM			○	30cm毎に統計処理	約2/1000秒
MRP		○	○	30cm毎に統計処理	0.3mm
値の意味	きめ深さ	きめ深さ(偏差)	ばらつきの程度(偏差の二乗平均平方根)		

しかし、サンドパッチ法は使用する細砂の粒度誤差や人的誤差を含む試験方法であり簡易的な評価としては非常に有効だが、厳密なテクスチャ評価には適していない。また、MTMは現在生産が中止されており今後継続的に実施するのが困難な状況になる可能性がある。さらに、MTMで測定されるSMTD(RMS)は偏差の二乗平均平方根の値(ばらつきを示す指標)であり、直接的なきめ深さを測定する方法としては適していないと考える。

そのため、きめ深さを直接的に評価できる指標である平均プロフィール深さ(MPD: Mean Profile Depth)を採用し、測定方法にCTM, MRPの機器を用いることとする。これらの機器はきめ深さをレーザーにより測定する構造であり、サンドパッチ法に比べて人為的誤差が入ることが少なく、客観性が保たれるデータが得られるものとする。

2) 路面テクスチャの管理基準値に関する検討

路面テクスチャの管理基準値を検討するにあたり、試験施工により測定した延べ15トンネルにて測定を行ったCTM, MRPで測定した平均プロフィール深さMPDの相関関係を図-21に示す。CTMとMRPはほぼ1:1で正の相関関係にあり、決定係数 R^2 も高い。このことより、両試験機は概ね同じMPD値を出力すると考えて良いといえる。

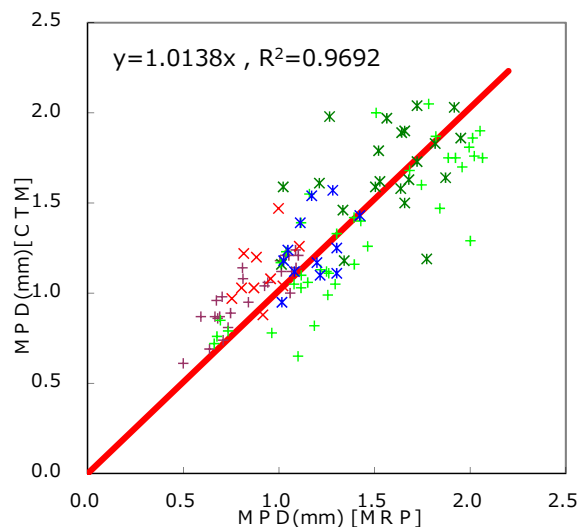


図-21 CTMとMPDの平均プロフィール深さの相関

表-11に試験機別のMPDの統計分析結果を示す。CTMとMRPのMPDの全平均値は、 $\mu = 1.4\text{mm}$

($\equiv \frac{1.24+1.35}{2}$)であり、標準偏差 σ の平均値は、 $\sigma =$

0.4mm ($\equiv \frac{0.33+0.39}{2}$)である。

それぞれの試験機の測定値は、ヒストグラム(図-21, 22)よりばらつきはあるものの概ね正規分布しているといえる。そのため、 1.4mm を中心に $\pm 0.4\text{mm}$ ($= \mu \pm \sigma$)の間に、多くの値(約70%)が分布しているといえる。個別箇所での測定においては $1.4\text{mm} \pm 0.4\text{mm}$ を超過する箇所もあることが想定されるが、骨材露出区間の平均値で管理すれば、それを超過することはないと考える。また、超過した場合は相当

表面の仕上りが悪いともいえる。よって、出来形管理値は、試験施工の実績値の分析結果から CTM もしくは MRP による平均プロファイル深さ (MPD) の測定値の平均値が 1.4mm±0.4mm を満足することとするのが適切と考える。

表-11 MPD の統計分析結果

試験項目	CTM[MPD]	MRP[MPD]
分散σ ²	0.11	0.15
標準偏差σ	0.33	0.39
平均μ	1.24	1.35
変動係数C.V.	0.27	0.29

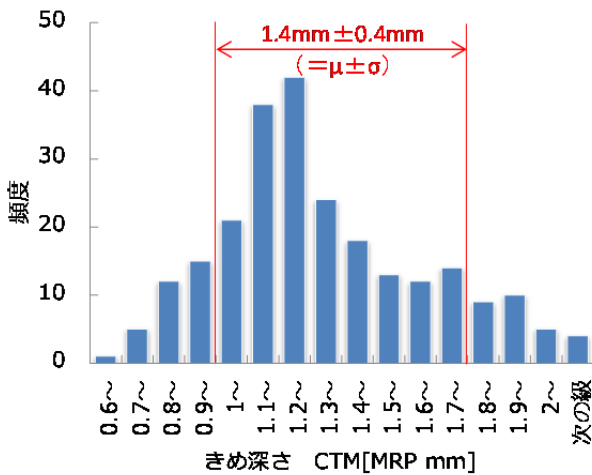


図-21 CTM の MPD ヒストグラム

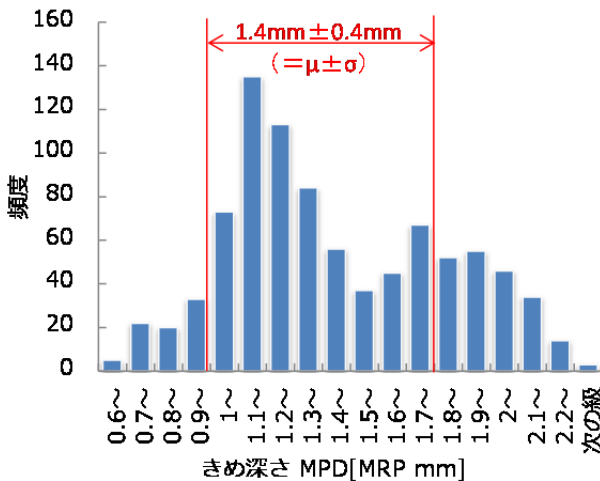


図-22 MRP の MPD ヒストグラム

3) 基準値による路面テクスチャのイメージ

骨材露出工法は 2mm～3mm 程度骨材を露出させることを工法であるが、提案する平均 MPD=1.4mm±0.4mm で管理した場合の表面テクスチャ形状の概念図を図-23 に示す。この結果から、2mm から 3.6mm 程度骨材を露出させれば、提案する管理基準値を満

足する結果となるといえる。

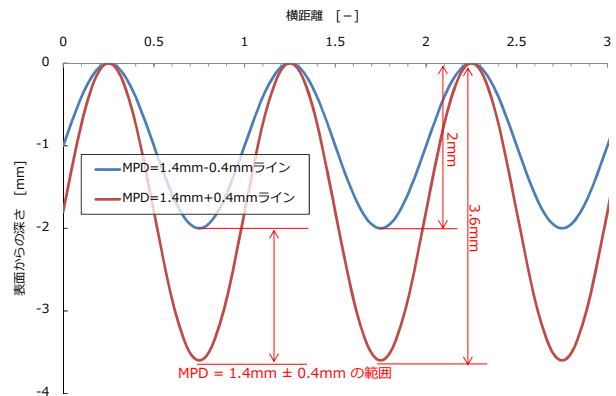


図-23 骨材露出工法の基準値の路面テクスチャ概念図

4.7.2 すべり抵抗値の基準値について

すべり抵抗値の出来形基準に関しては、舗装性能評価法等において設定されておらず、それに準拠し設定しないこととするが、補修の目安値については、舗装維持修繕要綱において自専道では 80km/h で 0.25 が示されており、これに準拠するものとする。

なお、これまでの試験施工では、骨材露出区間においてはこれを下回る箇所は発生していない。

4.7.3 試験施工トンネルの品質管理基準との比較

表-12 に提案する品質管理基準値を試験施工箇所に適用した場合の合否判定を示す。MRP,CTM では、きめ深さに関する管理基準は概ね満足するトンネルがほとんどである。基準値を満足しないトンネルにおいても、すべり抵抗値は良好であることがわかる。

表-12 試験施工トンネルの品質

トンネル名	MPD(mm) [MRP]	MPD(mm) [CTM]	判定	μ60 [DFT]	判定
A	0.90	0.98	×	0.48	○
B	-	1.39	○	0.80	○
C	1.52	1.67	○	0.77	○
D	1.45	1.24	○	0.67	○
E	-	1.08	○	0.46	○
F	1.11	1.25	○	0.68	○
G	0.98	1.08	△	0.74	○
H	-	1.49	○	0.76	○
I	-	1.22	○	0.69	○
J	-	1.18	○	0.57	○

4.8 設計施工マニュアルの作成と普及

これまでに述べた試験施工および室内試験等の結果を反映して、「若材齢時ショットブラスト工法による骨材露出工法 設計施工マニュアル(案)」を作成した。マニュアルの目次校正を図-24 に示す。マニュアルは寒地土木研究所の HP に 2013 年 4 月から公

開しており、2014年5月1日現在で245件（月平均20件程度）ダウンロードされている。また、本成果を踏まえて、北海道開発局において高規格幹線道路のトンネル内舗装に若材齢時ショットブラスト工法による骨材露出工法が2013年4月から正式採用されることとなり、運用にあたっては本マニュアルに基づき実施することが特記仕様書に明示されている。

1. 総則
2. 概要
2.1 骨材露出工法とは
2.2 若材齢時ショットブラスト方式による骨材露出工法
3. 設計および材料
3.1 コンクリート版の構造設計
3.2 コンクリートの配合
3.3 粗骨材の選定
3.4 遅延材を併用する場合
4. 施工
4.1 施工の流れ
4.2 事前舗設と本施工
4.3 ほうき目仕上げ
4.4 コンクリートの打設・敷均し・平坦仕上げ
4.5 骨材の露出（施工のタイミング）
4.6 骨材露出作業後の養生
4.7 品質管理基準及び規格値
4.8 日常管理
4.9 出来型管理

図-24 マニュアル目次構成

5. トンネル内コンクリート舗装の凍上調査

湧水などにより水分供給が豊富なトンネルでは、凍上の影響による舗装の破損が懸念される。

そのため、凍上の実態を調査するため、凍上が発生しているかどうかの調査を行った。調査方法はMRPによる路面の縦断プロファイル測定を冬期と夏期に実施し、その比較から凍上量の測定を行った。また、凍上に起因する可能性があるトンネル内舗装の破損形態の観測を行った。図-25、図-26に凍上影響確認のために行ったMRPによる冬期と夏期の路面高さ及びラフネス指数の変化を示す。トンネル延長は約950mである。

調査を行ったトンネルにおいては、大きな路面高さの変化やラフネス指数の変化は見られず、凍上の発生は確認されなかった。積雪寒冷地における舗装は20年確率の凍上量の70%を凍結抑制層で置換えを行っているため、長期的に観測しなければ凍上の影響を直接観測するのは困難といえる。

一方、トンネル内コンクリート舗装の破壊形態を確認するとコンクリート版中央に横断方向のクラックが多く入っている例が多く、多くのトンネルで確認され

た。特にインバートが入っていないトンネルにおいては多く観測される傾向であった。過去に凍上の影響を受けた影響かどうかは、不明であり現地観測及び解析的検討を含め、今後解明を進める必要があると考える。

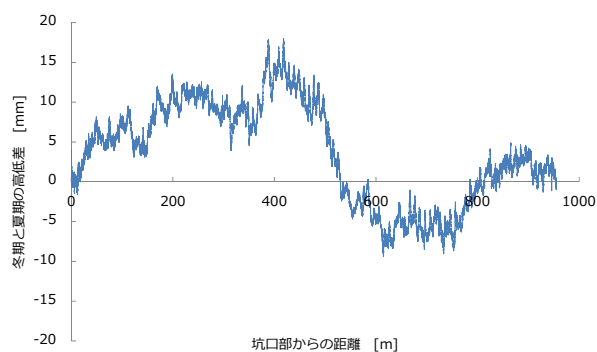


図-25 冬期と夏期の路面高さの変化

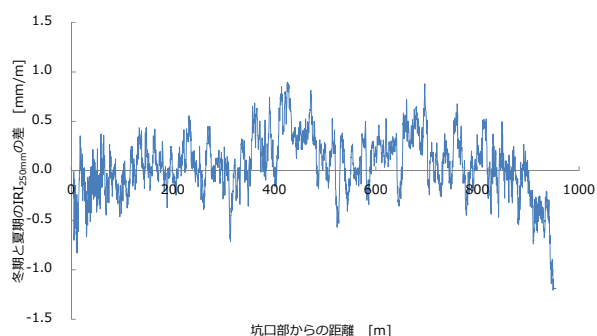


図-26 冬期と夏期のラフネス指数（IRI）の変化

6. まとめ

本研究で得られた成果を以下に列挙する。

1) トンネル内舗装の実態調査について

- (1) トンネル内のコンクリート舗装はすべり抵抗値が低い箇所が存在する場合がある。
- (2) すべり抵抗値が低い場所はトンネルにより様々である。
- (3) コンクリート舗装の約半数はすべり抵抗値の低下や構造的な損傷等により補修されている。
- (4) 補修方法はアスファルト混合物による切削オーバーレイ対策が多く行われている。
- (5) 特に明色 SMA による補修が、補修工法全体の半分を占める。

2) 明色混合物によるトンネル内コンクリート舗装の補修について

- (6) 理論的設計法を用いた切削可能深さの検討方法を提案した。
- (7) トンネル内の照度を勘案した明色舗装混合物

の配合設定方法および顔料の配合量決定方法を提案した。

(8) 上記を取りまとめ、明色混合物による補修の考え方を整理した。

3) 高規格幹線道路のトンネル内舗装への骨材露出工法について

(9) 骨材露出工法は、すべり摩擦抵抗性やきめの持続性、摩耗に対する耐久性が良好であり、骨材露出工法をトンネル内舗装の冬期路面对策として適用可能である。

(10) 国内初の取組となるショットブラスト方式は、小型ブラスト機械で施工するため横断勾配が変化する場合も対応が可能であり、また、除去したモルタル分は集塵機へ吸引回収する方式であり作業粉じんの発生は問題とならない等のメリットがある。

(11) 事故発生状況や雪氷の引込長を勘案すると、トンネルの坑口から 200m の範囲に骨材露出工法を適用することが安全性と経済性の観点から妥当と考えられる。これまでの試験施工の結果を勘案し、品質管理項目として CTM, MRP によるきめ深さの管理方法を提案した。

(12) 試験施工および室内試験等の結果を反映した、「若材齢時ショットブラスト工法による骨材露出工法 設計施工マニュアル(案)」を作成した。

(13) 本成果を踏まえて、北海道開発局において高規格幹線道路のトンネル内舗装に若材齢時ショットブラスト工法による骨材露出工法が 2013 年 4 月から正式採用されることとなり、運用にあたっては本マニュアルに基づき実施することが特記仕様書に明示された。

4) トンネル内コンクリート舗装の凍上調査について

(14) トンネル内舗装においては、東上に起因する大きな路面高さの変化やラフネス指数の変化は観測されなかった。

(15) しかしながら、トンネル内コンクリート舗装はコンクリート版中央に横断方向のクラック(構造的破壊)が多く発生することが判明。

(16) 特にインバートが入っていないトンネルにおいてはその傾向が多いことが確認された。

7. おわりに

試験施工や追跡調査でご協力頂いた開発建設部現

場担当者、施工業者および関係各位に感謝の意を表す。本研究成果が今後のトンネル内舗装の補修及び高規格幹線道路におけるトンネル内舗装での骨材露出工法の設計施工にあたり、参考となれば幸いである。

【参考文献】

- 1) (社)日本道路協会：舗装調査・試験法便覧，2007.6
- 2) (社)日本道路協会：道路維持修繕要綱，1978.7
- 3) (社)セメント協会：コンクリート舗装の補修技術資料(2010年版)，2010
- 4) (社)日本道路協会：舗装設計便覧，2006.2
- 5) (社)日本道路協会：道路照明施設設置基準・同解説，1981.4，p.65
- 6) 国土交通省：LED 道路・トンネル照明導入ガイドライン(案)，2011.9
- 7) 田口仁，伊東憲英，成瀬剛：明度による舗装路面の明るさの評価，土木学会第 57 回年次学術講演会，2002.9
- 8) 浅野健志，橋本忠幸，丸山記美雄：トンネル内コンクリート舗装の骨材露出工法について，第 53 回北海道開発技術研究発表会，2010.2
- 9) 金子雅之，熊谷政行，丸山記美雄：高規格幹線道路のトンネル内舗装における骨材露出工法の適用に関する検討，第 12 回北陸道路舗装会議，2012.6
- 10) Masashi Itani, Kimio Maruyama, Masayuki Kumagai: STUDY ON APPLICABILITY OF AGGREGATE EXPOSURE METHOD FOR CONCRETE PAVEMENTS IN TUNNELS, 第 11 回日中冬期道路交通ワークショップ，2012.9
- 11) 井谷雅司，丸山記美雄，熊谷政行：トンネル内舗装への骨材露出工法の適用，第 56 回北海道開発技術研究発表会，2013.2
- 12) (独)土木研究所寒地土木研究所，若材令時ショットブラスト方式による骨材露出工法設計施工マニュアル(案)，2013.3，<http://www2.ceri.go.jp/jpn/iji/manual/form.html>

以上

RESEARCH ON ANTI-SKIDDING MEASURES FOR PAVEMENT IN TUNNELS

Budget : Grants for operating expenses
(General account)

Research Period : FY2011-2013

Research Team : Road Maintenance Research Team

Author : KUMAGAI Masayuki, MARUYAMA Kimio,
ITANI Masashi, ISODA Takuya,
TANAKA Syunsuke

Abstract :

Concrete is commonly used to pave tunnel roads. For many tunnels, the concrete paving is due to be replaced and is unsound in terms of structure and material properties. Repairs to road pavements in tunnels must be carried out efficiently under strict traffic regulation. In cold regions in particular, extra care is required to address the problem of drifting snow and ice and freezing at the tunnel entrance.

Taking into account these issues, we measured the skid resistance value of the pavement on the tunnel roads and we inspected repairs made in the tunnels. This paper provides a discussion of a cut-overlay method that uses light-colored mixtures, which is a notable methods for repairing concrete pavements in road tunnels, and it provides a study on the feasibility of shot-blasting early-age concrete to expose the aggregates on the road surface, as the first case in Japan of using this paving method on a high-standard national highway. Based on those studies, we summarized our study in a manual for tunnel pavement construction. In this paper, we report the findings of the studies mentioned above.

Key Words: tunnel road pavement, concrete pavement, anti-skidding measures, investigation on the actual circumstances, light-colored asphalt, aggregate exposure method