

トンネル内コンクリート舗装の 骨材露出工法について

網走開発建設部 北見道路事務所 ○浅野 健志
同上 橋本 忠幸
寒地土木研究所 寒地道路保全チーム 丸山 記美雄

高規格幹線道路のトンネル内舗装は、走行安全性、快適性、長期の耐久性を考慮し、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工法とするよう当面の運用が図られているが、本工法は初期建設コストが高いことが課題である。そこで、コストを抑えつつ、高速走行時の走行安全性や快適性を確保する手法として、コンクリート舗装骨材露出工法の適用を検討している。本報告では、2種類の骨材露出工法を北見道路のトンネルで試験施工し、骨材露出工法の計画・準備・施工中・施工後の各段階における検討課題や性能に関して報告するものである。

キーワード：骨材露出工法、コンクリート舗装、きめ深さ

1. はじめに

高規格幹線道路のトンネル内舗装は、走行安全性、快適性、長期の耐久性を考慮し、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とするよう当面の運用が図られているが、コンポジット舗装は初期建設コストが高いことが課題である。そこで、コストを抑えつつ、高速走行時の走行安全性や快適性を確保する手法として、コンクリート舗装骨材露出工法の適用を検討している。

本報告では、北海道開発局で初めてコンクリート舗装の表面処理方法に骨材露出工法を採用し、図-1に示した一般国道39号北見道路の川東トンネル、第1南ヶ丘トンネル、第2南ヶ丘トンネルにおいて、2種類の骨材露出方法を試験施工して、骨材露出工法の計画・準備・施工中・施工後の各段階における課題点や性能に関して検討や調査を行った結果を報告する。



図-1 試験施工箇所的位置図

2. 骨材露出工法と試験施工の概要

骨材露出工法とは、コンクリート舗装表面のセメントモルタルを舗設後硬化する前に何らかの方法で除去し、粗骨材を露出させる表面処理工法である。骨材露出工法は、従来の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も長期間持続し、すべり摩擦係数が良好に維持されると期待される。

本検討では、骨材を露出させる方法として2種類の骨材露出工法を試験施工した。一つは、コンクリート打設・平坦性仕上げ後に、表面に凝結遅延剤を散布し、一定時間経過後、表面モルタルが未硬化状態の時に回転ブラシなどで削り取る方法（以下、遅延剤+ブラシ方式という）であり、もう一つはコンクリート打設後、コンクリートモルタルが完全に硬化する前に表面モルタルをショットブラストによって除去し骨材を露出する方法（以下、若材齢時ショットブラスト方式という）である。若材齢時ショットブラスト方式はこれまでに同様の施工実績がなく新たな取り組みといえる。各々の骨材露出方法の概要等を対比したものを表-1に示す。川東トンネルでは遅延剤+ブラシ方式を、第一南ヶ丘トンネルと第二南ヶ丘トンネルでは若材齢時ショットブラスト方式を試験施工した。なお、各々のトンネルでは、骨材露出工法と比較するために従来工法であるほうき目仕上げの区間を30m設けている。

表-1 骨材露出の方法対比表

区分	遅延剤散布+ブラシ方式	若材齢時ショットブラスト方式
試験施工場所	川東トンネル(L=913m)	第一南ヶ丘トンネル(L=1338m) 第二南ヶ丘トンネル(L= 472m)
概念図		
施工手順	<p>下層C。打設敷均 → 鉄網設置 → 上層C。打設敷均 → 締め平坦仕上 → ホウキ粗面仕上 → 遅延材散布 → ブラッシング → マット養生</p> <p>※遅延剤の流失抑制のため</p>	<p>下層C。打設敷均 → 鉄網設置 → 上層C。打設敷均 → 締め平坦仕上 → ショットブラスト → マット養生</p>
工法概要及び特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート打設後に凝結遅延剤を散布して表面付近のモルタルの硬化を遅らせ、ブラシによってモルタルを除去して骨材を露出させる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・遅延剤を用いずに、表面のモルタルが完全に硬化する前(若材齢時)にショットブラストによって表面モルタルを除去し、骨材を露出させる。 ・ブラシ式に比べ施工手順が簡素。 ・センターラインを挟んで横断勾配が変化する場合などでも対応が容易。
施工上の留意点	<ul style="list-style-type: none"> ・施工時の気象条件(温度、湿度、風)により露出作業開始のタイミングが変化するため、タイミングの把握が重要。 ・遅延剤の種類に応じて、露出作業開始のタイミングや散布量などを適切に設定する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・施工時の気象条件(温度、湿度、風)により露出作業開始のタイミングが変化するため、タイミングの把握が重要。 ・ブラストの投射強度を適切に設定する必要がある。
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・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するのが困難 	<ul style="list-style-type: none"> ・骨材が硬くないと、ブラストによって骨材が角欠けしてしまい、所定のきめ深さを得られない恐れがある。
施工状況写真		
路面状況	<ul style="list-style-type: none"> ・骨材の角がきれいに残った状態で露出する ・骨材表面は滑らか 	<ul style="list-style-type: none"> ・骨材の角がブラストにより多少削られ丸くなる傾向 ・骨材表面に細かな凹凸ができ、ざらついている

3. 計画・準備段階での検討

(1) 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。その結果、本施工箇所では、表-2に示す数値とした。

表-2 コンクリート版の設計諸数値

項目	設計値
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

(2) コンクリートの配合に関する検討

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、細骨率や水セメント比などの配合は表-3に示すとおりとするなど、C-7の規格を基本に若干の変更を加えた。

表-3 コンクリートの配合

トンネル名	スラン プ(cm)	空気量 (%)	W/C (%)	最大骨材 粒径(mm)	細骨材率 (%)
川東T	25	45	41.5	20	33
第1,2南ヶ丘T	25	45	43	20	38

(3) 粗骨材のすり減り減量に関する検討

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く、すり減りしにくく硬い骨材を使用する配慮が供用後の耐久性向上に寄与すると考えられた。特に若材齢時ブラスト方式の場合は、ブラストによって骨材が角欠けして所定のきめ深さを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硬い骨材を使用することが望ましい。規格値としては、すり減り減量(JIS A1121)で25%以下と規定したが、実際に本試験施工に用いた粗骨材のすり減り減量は、表-4に示すように約10~13%と小さいものであり、硬い良質な粗骨材を使用できた。

表-4 粗骨材の規格

粗骨材の種類	すり減り減量(%)
G-15(15mmトップ)	13.0
G-20(20mmトップ)	10.7

(4) 遅延剤+ブラシ方式に関する検討

遅延剤+ブラシ方式によって所定のキメ深さを得るために、遅延剤とブラシに関する検討を行った。

まず、使用する遅延剤の種類、散布時期、散布量、散布方法に関して室内試験を実施して検討を行った。さらに、室内試験と実際の施工現場では施工条件等が異なる可能性があることから、本格的な施工に先立ち、現地においても試験舗設を実施して確認を行った。その結果、表-5に示すとおり規定した。

次にブラシに関する検討を行った結果、骨材露出専用のブラッシング機械を使用することとした。自動横行装置に懸垂されたロータリーブラシ(φ300×800mm)が高速回転して、表面のモルタル部を削りだす構造の機械で、削り出し深さの制御も可能である。削り取ったモルタルは集積ボックスに集められる。機械仕様を表-6に示す。

表-5 遅延剤に関する検討結果

遅延剤の種類	ディスパライトCR
散布のタイミング 及び確認方法	打設後約24時間程度 ショア硬度計で確認
散布量	0.2リットル/m ²
散布方法	専用の散布機を使用

表-6 骨材露出機の仕様

項目	仕様
作業幅員	7~8.5m
横行速度(m/min)	作業2l, 戻り25
作業能力(m ² /hr)	800~1200
ブラシ回転数(rpm)	450

(5) 若材齢時ショットブラストに関する検討

所定のキメ深さを得るためのショットブラストの投射強度およびショットブラスト実施のタイミングに関して、室内試験を行ない検討した。さらに、室内試験と実際の施工現場では施工条件等が異なる可能性があることから、本格的な施工に先立ち、現地においても試験舗設を実施して確認を行った。その結果、表-7に示すとおりとした。

表-7 ショットブラストに関する検討結果

項目	規定値
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

(6) 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、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. 施工段階での検討

(1) 日常管理および出来形管理方法の検討

所定のキメ深さの出来形を確保するために、本施工段階で日常的な管理試験を実施し、コンクリート打設後の表面硬化を確認し露出時期を決定するとともに、キメ深さが規定値を満足している事を確認することとした。日常管理試験の試験項目・試験方法および頻度は表-8に示す。

セメントコンクリート舗装版の出来形管理基準は、北海道開発局道路・河川工事仕様書の規定値によった。骨材露出工法の出来形管理基準は、表-9のとおり設定した。なお、表中に示した骨材露出工法の出来形目標値は暫定的な運用のために示したものであり厳密なものではない。データを蓄積することを主目的とし、目標値を逸脱するデータが存在することもある程度は許容する扱いとした。

表-8 本施工における日常管理試験項目と頻度

試験項目	試験の頻度	目安値
表面硬度の測定	1箇所/10m 骨材露出の前 (適宜)	(目安値は設定せず、骨材露出前の値を記録)
平均テクスチャ深さ	1箇所/100m(3点/箇所) 各車線のOWPおよびIWP	1.5mm±0.2mm 0.45以上
骨材露出度	1箇所/100m(3点/箇所)	25以上

表-9 本施工における出来型管理試験項目と頻度

測定項目	目標値	測定箇所
平均テクスチャ深さ	・サンドパッチング法 1.5mm±0.2mm ・MIMによる方法 0.45以上	1箇所/100m(3点/箇所) 各車線のOWPおよびIWP
骨材露出度	・骨材露出度 25以上	1箇所/100m(3点/箇所)

(2) 事前舗設による確認の必要性

事前舗設は本施工にさきがけ、本施工に使用する機械と人員構成で施工し、施工管理および品質管理試験法を現場作業員に習熟、徹底させることと、本施工にのぞむ各種施工条件を決定する目的で実施した。試験項目・試験方法および頻度は表-10のとおりとした。

表-10 事前の試験舗設における試験項目と頻度

試験項目	試験の頻度
表面硬度の測定	1箇所/10m 骨材露出の前 (適宜)
平均テクスチャ深さ	1箇所/100m(3点/箇所) 各車線のOWPおよびIWP
骨材露出度	1箇所/100m(3点/箇所)

(3) 施工時騒音調査結果

骨材露出施工時の騒音が、沿道の環境に影響を与える場合も考えられるため、基礎データ収集のために骨材露出施工時の騒音調査を行った。測定対象となる作業機械が運転している間の10分間の等価騒音レベル L_{Aeq} を積分型精密騒音計で測定した結果を表-11に示す。

遅延剤+ブラシ方式の騒音値と、若材齢時ショットブラスト方式の騒音値には大きな差がない。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ュ打設時の騒音は、いずれの骨材露出工法よりも大きいことから、骨材露出工法を行うがために騒音が問題となることは考えにくい。

表-11 騒音測定結果

測定方式	測定位置	機械近傍 (dB(A))	機械から30m 離れ(dB(A))
遅延剤+ブラシ方式		90.7	85.9
若材齢時ショットブラスト方式		90.2	85.1
(参考)コンクリフィニッシュ打設時		97.3	90.5

(4) 作業環境粉じん測定結果

骨材露出の方法によって、作業環境における粉じん濃度に差があるか否か、基礎データ収集のために粉じん濃度測定(質量濃度測定、A測定、B測定、併行測定)を行った。測定対象となる作業機械が運転している間に、質量濃度測定と併行測定は10分以上、A測定は60分間、B測定は10分以上実施した。

川東トンネルにおける遅延剤+ブラシ方式による骨材露出工法の粉じん測定結果と、第2南ヶ丘トンネルにおける若材齢時ショットブラスト方式の粉じん測定結果を表-12に示す。遅延剤+回転ブラシ工法の粉じん濃度は管理濃度を超える状態であり、管理区分判定は第3管理区分(適切でない)と判定された。作業中はマスクの着用が望ましい。一方、若材齢時ショットブラスト工法の発生粉じん濃度は $0.01\text{mg}/\text{m}^3$ 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、若材齢時ショットブラスト工法は、遅延剤+ブラシ方式に比べて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った。ショットブラスト機械ではモルタル除去と同時に粉じんを集塵機で吸引回収するのに比べ、ブラシ方式ではモルタルを集積ボックスに掃き溜める構造であることが粉じん濃度の差を生むものと考えられる。

表-12 粉じん測定結果

測定方式	測定位置	A測定結果 $E_A(\text{mg}/\text{m}^3)$	B測定結果 $E_B(\text{mg}/\text{m}^3)$	管理濃度 (mg/m^3)	管理区分 判定
遅延剤+ブラシ方式 (川東T)		0.81	1.3	0.39	第3 (不適切)
若材齢時ショット ブラスト方式 (第2南ヶ丘T)		0.01	0.0	0.16	第1 (適切)

5. 施工後の調査

(1) わだち掘れ量・平坦性測定結果

わだち掘れ量・平坦性の初期値測定結果を表-13および表-14に示す。わだち掘れ量をみると、骨材露出区間はわだち掘れ量が3~5mm程度と問題ない程度に小さく、ほうき目区間と比べても大きな差はない。平坦性についてみると、コンクリート舗装版の平坦性の出来形管理規程が2.4mm以下であるのに対して、骨材露出区間もほうき目区間も平坦性はこれを満足していることがわかる。

以上のことから、骨材露出区間のわだち掘れ量と平坦性は、骨材露出方式が異なっても問題がなく良好である。

表-13 川東トンネルの調査結果

路面区分	測点区間	わだち掘れ量 (mm)	平坦性 (mm)
坑口部・骨材露出	0~100	4.3	1.32
坑内部・骨材露出	200~300	3.3	1.3
坑内部・ほうき目	440~470	3	1.18

表-14 第1南ヶ丘トンネルの調査結果

路面区分	測点区間	わだち掘れ量 (mm)	平坦性 (mm)
坑口部・骨材露出	0~100	2.9	1.62
坑内部・骨材露出	200~300	3.6	2.09
坑内部・ほうき目	432~462	2.4	1.49

(2) 路面のきめ深さ測定結果

表-9で示したように、骨材露出路面のきめ深さの目標値としては、①サンドパッチで $1.5 \pm 0.2\text{mm}$ 、②MTMで 0.45mm 以上、を目安に施工を行っている。路面のきめ深さの測定結果を表-15、表-16に示す。川東トンネルのMTMによる測定値が 0.43 とわずかに目標値である 0.45 を下回っているものの、その他の骨材露出路面での測定値は目標を満足していることが確認できた。また、骨材露出の路面は、ほうき目に比べてきめ深さが大きいことや、遅延剤+ブラシ方式である川東トンネルよりも、若材齢時ショットブラスト方式の第1南ヶ丘トンネルの方がきめ深さが大きい傾向が確認できた。

表-15 川東トンネルの調査結果

路面区分	測点区間	測定位置	きめ深さ 平均値			
			砂拡大法 (mm)	サンドパッチ (mm)	CTメータ (mm)	MTM (mm)
骨材露出	0~440, 470~913	OWP	1.65	1.34	1	0.43
ほうき目	440~470	OWP	0.66	0.4	0.31	0.23

表-16 第1南ヶ丘トンネルの調査結果

路面区分	測点区間	測定位置	きめ深さ 平均値			
			砂拡大法 (mm)	サンドパッチ (mm)	CTメータ (mm)	MTM (mm)
骨材露出	0~432, 432~1388	OWP	1.78	1.61	1.15	0.65
ほうき目	432~462	OWP	0.69	0.33	0.29	0.2

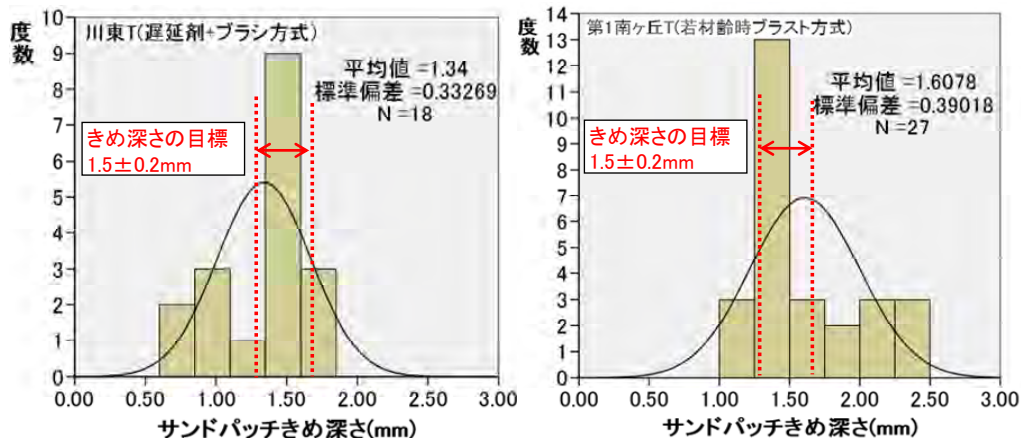


図-2 サンドパッチ測定結果のヒストグラム(左図：川東T, 右図：第1南ヶ丘T)

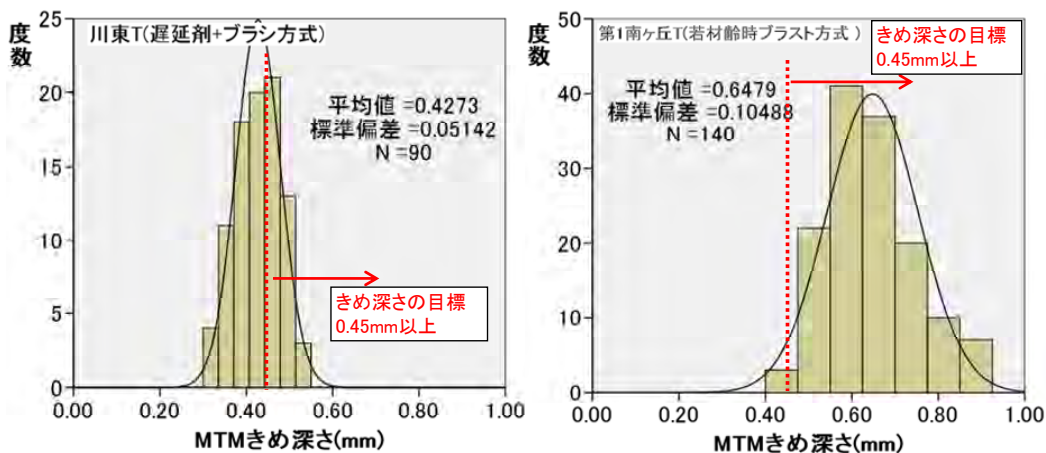


図-3 MTM測定結果のヒストグラム(左図：川東T, 右図：第1南ヶ丘T)

次に、きめ深さの測定結果をヒストグラム表示したものを図-2、図-3に示す。上述した目標値に比較して、測定値のばらつき具合が把握できた。今後、きめ深さの目標値を設定する際に、ばらつきを把握したこれらのデータを活用できると考えられる。

(3) すべり抵抗測定

湿潤時のすべり摩擦係数(60km/h時)をDFテストにより測定した結果を図-4に示す。骨材露出の路面は、すべり摩擦係数の目安となる0.25以上を十分に満足しており、良好な路面であるといえる。特に、若材齢時ショットブラスト方式の第1南ヶ丘トンネルの路面は、0.7程度と高いすべり摩擦係数となっている。これは、ショットブラストによって、骨材表面に細かな凹凸が出来たためすべり摩擦係数が高くなったものと考えられる。一方、ほうき目の路面は、第1南ヶ丘トンネルでは十分なすべり摩擦係数であるが川東トンネルでは0.3を下回っており小さい傾向にある。

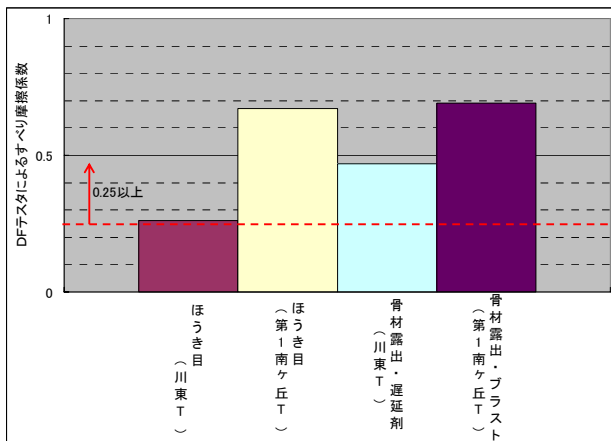


図-4 すべり摩擦係数測定結果

6. まとめ

本報告での骨材露出工法に関する取り組みをまとめると以下のとおりである。

- (1) 骨材露出の方法として、遅延剤+ブラシ方式と若材齢時ショットブラスト方式の2種類を試験施工した。計画・準備段階、施工段階で検討が必要となる項目を整理し、規定値などを適切に設定することで、所定の仕上がりを確保できた。
- (2) 施工後の調査から、骨材露出工法は、わだち掘れ量・平坦性ともに問題はなく、きめ深さも目標をおおむね満足しており良好な仕上がりにあつたと考えられる。また、すべり摩擦係数もほうき目仕上げに比べて高い傾向が確認できたと思われ、施工後の諸性能値については良好であると判断される。

7. おわりに

北海道開発局で初めてコンクリート舗装の表面処理方法に骨材露出工法を採用し、施工を行った。また、骨材を露出させる方法として、コンクリート硬化前の若材齢時ショットブラスト方式にも取り組むなど、新たな工夫も行った。本施工に多大のご協力を頂いた施工業者および関係各位に感謝の意を表す。本報告が今後の高規格幹線道路におけるトンネル内舗装の設計施工にあたり、参考となれば幸いである。

謝辞：本工事を施工するにあたり、施工者の立場から多大なる技術的提案を頂いた(株)NIPPO（一般国道39号北見市南丘舗装工事）及び、大成ロテック(株)（一般国道39号北見市川東舗装工事）の関係者の皆様に感謝の意を表します。