

平成23年度

# 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

(独) 土木研究所寒地土木研究所 寒地道路保全チーム

○金子 雅之  
熊谷 政行  
丸山 記美雄

本検討では、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性やその適用範囲に関して、室内試験や試験施工等の現地調査に基づく検討結果について報告するものである。骨材露出工法は、コンクリート舗装表面のセメントモルタルを除去し、粗骨材を露出させる表面処理工法である。従来のほうき目仕上げに比べすべり摩擦係数が良好に維持されると期待されている。室内試験結果から、骨材露出工法はほうき目仕上げと同程度の摩擦抵抗性を示し、きめ深さの持続性はほうき目仕上げより若干高く保たれる結果を得た。また、試験施工の追跡調査結果から、経年変化によるすべり摩擦係数の低下がほうき目よりも小さいことが確認された。一般国道のトンネルでの交通事故データやトンネル内への雪氷引込長の調査結果から、トンネル坑口部から 200m までの区間において骨材露出工法の適用範囲とすることを提案した。

キーワード：トンネル内舗装、骨材露出工法、すべり対策、コンクリート舗装

## 1. はじめに

高規格幹線道路のトンネル内舗装は、走行安全性に着目し、視認性の向上、ハイドロプレーニング現象の防止、長期耐久性の向上を目的として、連続鉄筋コンクリート版の上にポーラスアスファルト舗装を表層に配したコンポジット舗装が運用されている。しかし、厳しい財政情勢や経済性の観点から、平成 21 年度より従来、適用されていたコンポジット舗装から変更し、コンクリート舗装による試験施工が行われている。さらに、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、コンクリート舗装の表面処理をする骨材露出工法を採用した試験施工を実施している。骨材露出工法は、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(写真-1)。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され、すべり摩擦係数が良好に維持されると期待されている。浅野らは<sup>1)</sup>、2種類の骨材露出工法について、試験施工の実施し、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課題点や性能に関して調査を行い、骨材露出工法の適用に向けた検討している。その中で、コンクリートの配合設計の変更や、出来形・品質管理等の規格値を設定している。また、施工直後の路面性状に関して良好な値であることを報告している。

本検討では、室内試験や試験施工箇所の継続調査を行  
Masayuki Kaneko, Masayuki Kumagai, Kimio Maruyama

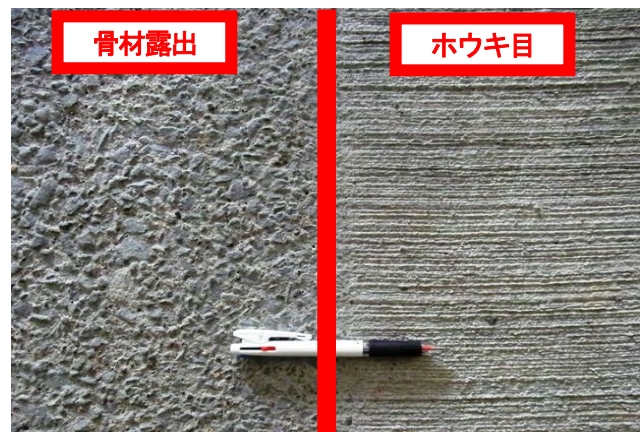


写真-1 コンクリート舗装の表面処理

い、骨材露出工法のすべり抵抗性や耐摩耗性、路面の粗さの持続性等の比較検討を行い、トンネル内で発生している交通事故データや、除雪等によるトンネル内への雪氷の引込長の調査、工法の経済性の比較を行った。それらの結果を踏まえ、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性やその適用範囲について報告するものである。

## 2. 室内試験による骨材露出工法の適用性の評価

### (1) 骨材露出工法の種類と室内試験項目

室内試験では、二種類の骨材露出工法を使用し検討を行った(表-1)。一つは、コンクリート打設・平坦仕上げ後に、表面に凝結遅延剤を散布し、一定時間経過後、

表-1 室内試験の種類

|                |         |
|----------------|---------|
| 骨材露出           | 比較対象    |
| 遅延剤散布+ブラシ式     | ホウキ目仕上げ |
| 若材齢時ショットブラスト方式 |         |

表-2 試験項目

| 試験目的          | 試験項目                        | 試験方法  |
|---------------|-----------------------------|---|
| 冬期路面のすべり抵抗の評価 | 振り子式スキッドレジスタンステストによるすべり抵抗測定 | 舗装調査・試験法便覧(第1分冊)<br>ブラックアイス、氷板<br>氷膜を7層、各供試体に作成後、各層毎に振り子式スキッドレジスタンステストにより測定する |
| 氷の付着力の評価      | 氷着引張強度試験                    | 舗装性能評価別冊を準拠<br>鋼球は使用しない   |
| 路面の粗さの持続性評価   | 砂を用いた舗装路面のきめ深さ測定            | 舗装調査・試験法便覧(第1分冊)<br>サンドパッチング法<br>チェーン装着タイヤを使用したスパイクラベリング試験                    |
| 耐摩耗性の評価       | チェーンラベリング試験                 | 舗装調査・試験法便覧(第3分冊)<br>住復チェーン型・クロスチェーン使用   |

表面モルタルが、未硬化状態の時に回転ブラシ等で削り取る方法（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。比較対象として、従来施工されているホウキ目を用いた。冬期以外のすべり摩擦やきめ深さについては、既報で述べており、骨材露出工法は良好な結果であったことから、本検討における試験項目は、冬期間の安全走行に必要な機能に対する評価、および耐久性に対する評価をすることを前提に、表-2のとおりとした。

(2) 冬期路面のすべり抵抗値の測定結果

冬期路面時のすべり抵抗を評価するために、氷膜形成時のすべり抵抗値を計測を行った。氷膜は供試体上面に水を塗布して形成し、塗布回数毎に計測を行った。図-1に測定結果を示す。試験条件は、供試体温度-10℃に設定し、振り子式スキッドレジスタンステストを用いた。ホウキ目と骨材露出工法では、顕著な差とは言えないながら、骨材露出工法の値が、ホウキ目の値より若干高い傾向が確認された。供用に伴ってホウキ目が消失するような場合には、差が顕著になるとと思われることから、今後から、今後、現地調査も行って確認していく予定である。

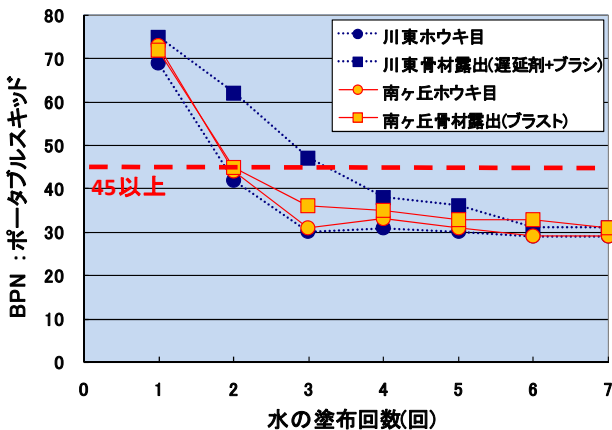


図-1 すべり摩擦抵抗値測定結果 (室内)

(3) 氷の付着力強度の測定結果

氷結路面の路面と氷板のはがれやすさを評価するために、引張試験機による引張強度を計測を行った。試験温度は-5℃とした。値が小さいほど付着力が弱い傾向にある。図-2に測定結果を示す。骨材露出工法とホウキ目の値には、若干の差はあるがほぼ同等程度であることが確認された。

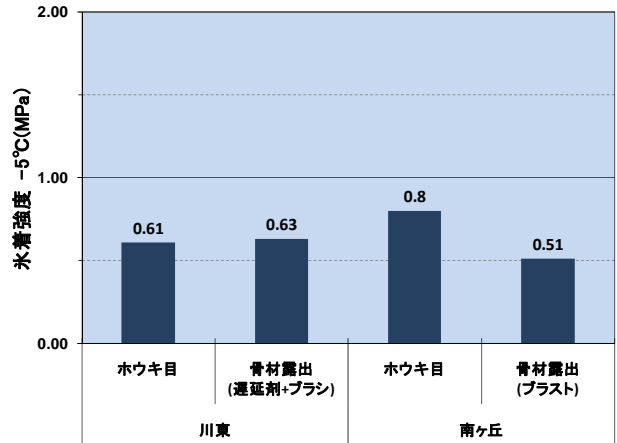


図-2 氷着強度試験結果 (室内)

(4) 路面の粗さの持続性測定結果

路面の粗さを評価するために、粗さの目安となるきめ深さを、サンドパッチング法により測定を行った。加えて、路面の粗さが供用後も持続するのかを評価するため、チェーン装着タイヤを使用したスパイクラベリング試験機を使用し、タイヤの通過回数毎にきめ深さを測定した。測定は0、1000、1500、2000、3000回の通過回数時とし、走行速度は40km/hとした。

図-3に測定結果を示す。骨材露出工法とホウキ目は、同等程度または、骨材露出工法の値が若干高い値で推移していることが確認された。実際の供用条件下においても、骨材露出工法のきめ深さがホウキ目よりも高く推移するものと期待される結果となった。

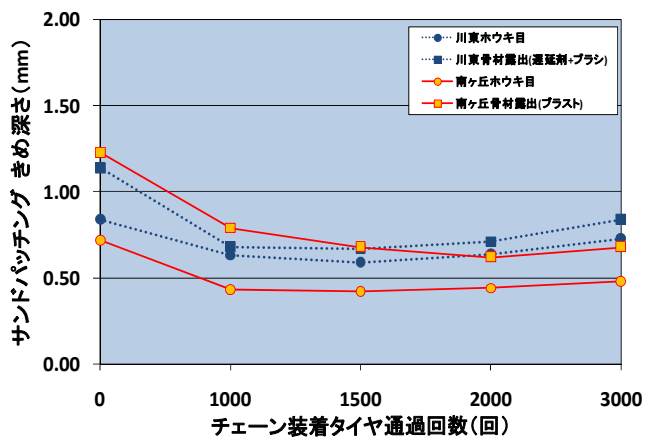


図-2 路面の粗さ測定結果 (室内)

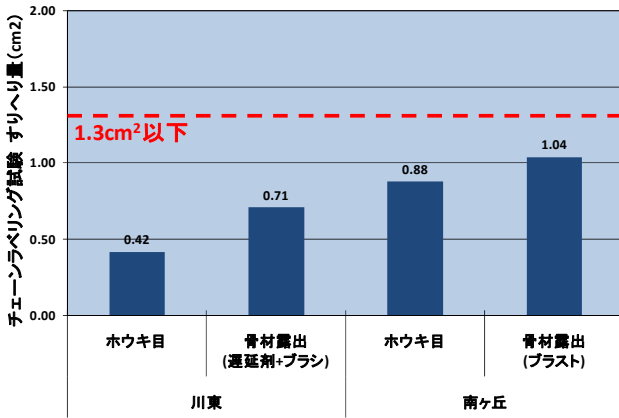


図-4 すり減り量測定結果 (室内)

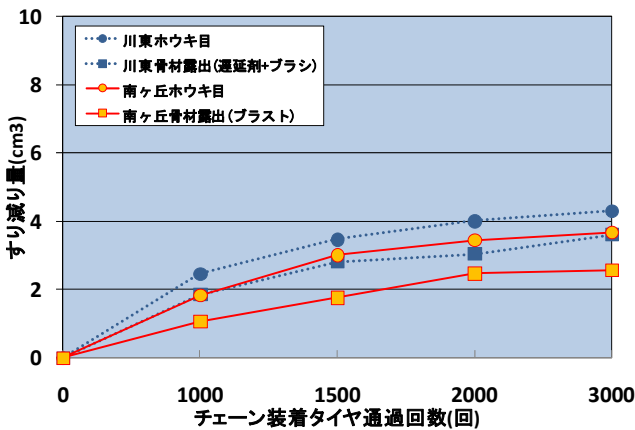


図-5 すり減り量測定結果 (室内)

### (5) すり減り量の測定結果

骨材露出工法の耐摩耗性を評価するために、ラベリング試験によるすり減り量の測定を行った。ラベリング試験は、チェーンラベリング試験および、チェーン装着タイヤによる摩耗試験とした。チェーンラベリング試験の試験温度は $-10^{\circ}\text{C}$ 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 $5^{\circ}\text{C}$ 、通過回数は0、1000、1500、2000、3000回、走行速度は $40\text{km/h}$ とした。

図-4に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<sup>2)</sup>におけるアスファルト混合物のすり減り値の標準は $1.3\text{cm}^2$ 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ホウキ目は、共に標準値を下回っているのが確認された。図-5にチェーン装着タイヤによる摩耗試験結果を示す。骨材露出工法はホウキ目と同等程度のすり減り量であり、耐摩耗性は問題ないと考えられる。

## 3. 現地試験施工による骨材露出工法の適用性の評価

### (1) 試験施工箇所の調査項目

骨材露出工法の現地における評価を行うために、表-3に示す試験施工箇所において追跡調査を行った。試験施工箇所における骨材露出方法は、室内試験と同様に、遅延

剤散布+ブラシ方式と若材齢時ショットブラスト方式とした。比較対象として同一車線上に施工したホウキ目を設定した。調査項目は、路面のすべり対策としての効果および、路面の粗さの持続性と耐久性評価を実施することを目的とし、表-4に示すとおりとした。いずれのトンネルも未供用区間ではあるが、第1南ヶ丘トンネルは、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と考えている。それ以外のトンネルは、工事用車両が時折通行する程度である。

### (2) すべり抵抗値の測定結果

路面のすべり抵抗を評価するために、回転式の円盤を用いたすべり抵抗測定器で、湿潤時のすべり摩擦係数 ( $60\text{km/h}$ 時) を測定した。図-6に第1南ヶ丘トンネル、図-7に川東トンネルの調査結果を示す。どちらの

表-4 試験項目

| 試験目的      | 試験項目                       | 試験方法                                      |
|-----------|----------------------------|---|
| すべり抵抗の評価  | 回転式すべり抵抗測定器による動的摩擦係数の測定    | 舗装調査・試験法便覧(第1分冊) DFテストにより測定する             |
| 路面の粗さの評価  | センサきめ深さ測定装置を用いた舗装路面のきめ深さ測定 | 舗装調査・試験法便覧(第1分冊) ミニ・テクスチャーマータ(MTM)により測定する |
| わだち掘れ量の評価 | 横断プロフィールメータによるわだち掘れ量の測定    | 舗装調査・試験法便覧(第1分冊) 横断プロフィールメータにより測定する       |

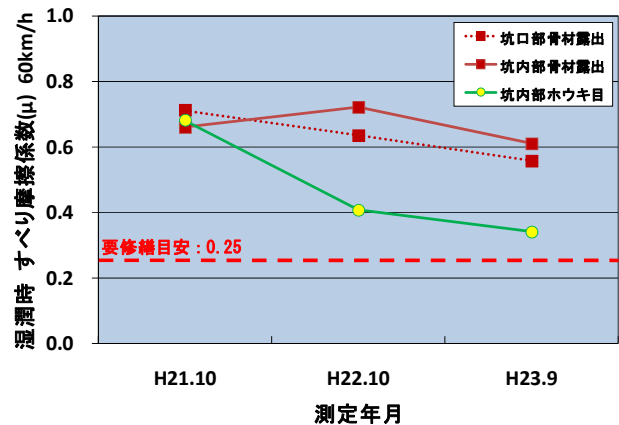


図-6 すべり抵抗値測定結果 (第1南ヶ丘トンネル、プラスト)

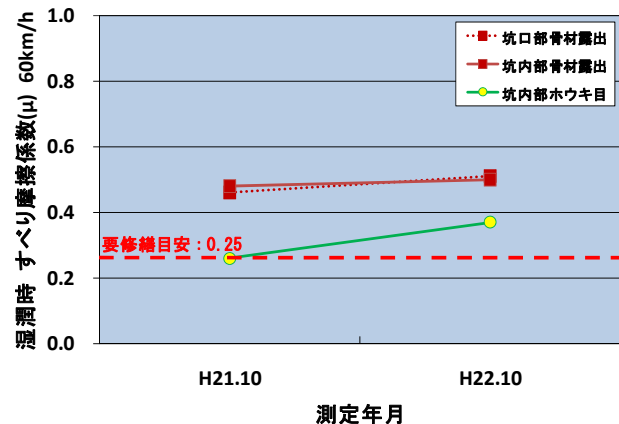


図-7 すべり抵抗値測定結果 (川東トンネル、遅延剤+ブラシ)

トンネルに関しても、すべり摩擦係数の目安となる 0.25 以上を満足していた。第1南ヶ丘トンネルのすべり摩擦抵抗値の経年変化は、骨材露出工法とホウキ目の減少傾向に差が見られ、骨材露出工法はホウキ目より減少傾向が小さい結果となった。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。また、川東トンネルのすべり摩擦抵抗値の経年変化は、若干の変動はあるがほぼ横ばいである結果となった。

図-8に大曲トンネルおよび上庶路トンネルの調査結果を示す。すべり摩擦抵抗値に差はあるものの、どちらのトンネルに関しても 0.25 以上を満足していた。

### (3) 路面の粗さ測定結果

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-9に第1南ヶ丘トンネル、図-10に川東トンネルの調査結果を示す。試験施工における骨材露出工法のきめ深さの目標値は、MTM による測定で 0.45 以上を目安に施工を行っている。どちらのトンネル関しても骨材露出工法の目標値は満足する結果である。骨材露出工法のきめ深さの値の経年変化は、横ばい若しくは、若干の減少傾向が確認された。

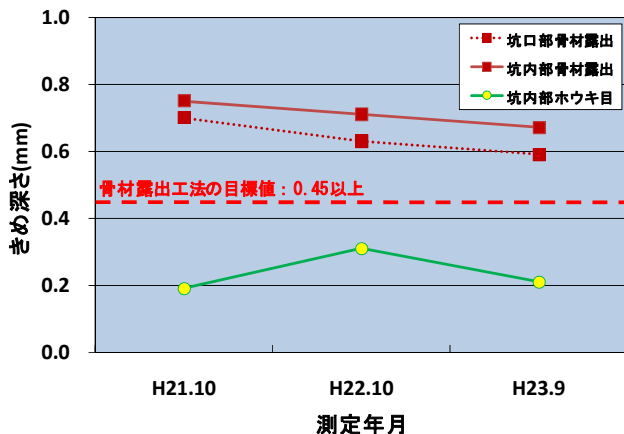


図-9 MTMによるきめ深さ測定結果  
(第1南ヶ丘トンネル、ブラスト)

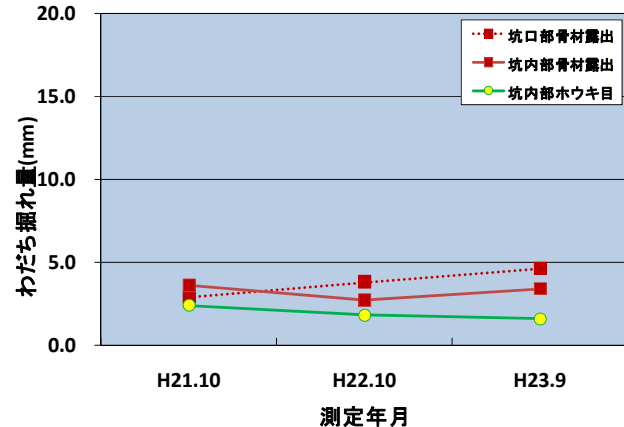


図-11 わだち掘れ量測定結果  
(第1南ヶ丘トンネル、ブラスト)

### (4) わだち掘れ量の測定結果

コンクリート舗装の摩耗による発生するわだち掘れ量を横断プロファイルメータを用いて測定を行った。図-11に第1南ヶ丘トンネル、図-12に川東トンネルの調査結果を示す。両試験施工箇所とも経年変化もなく、良好な結果と言える。

### (5) 効果の持続性に関する考察

室内試験および試験施工調査結果をまとめて評価すると、骨材露出工法のすべり摩擦抵抗やきめ深さの持続性

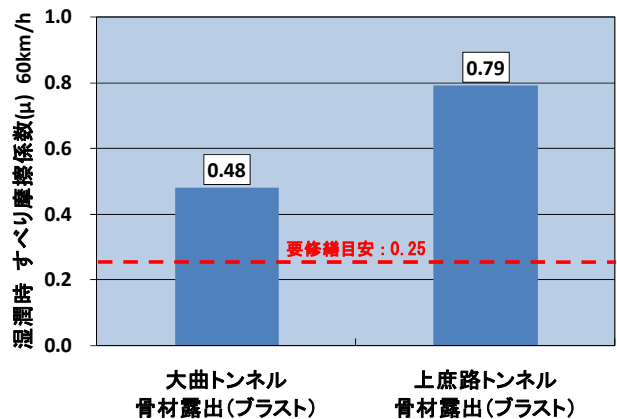


図-8 すべり抵抗値測定結果

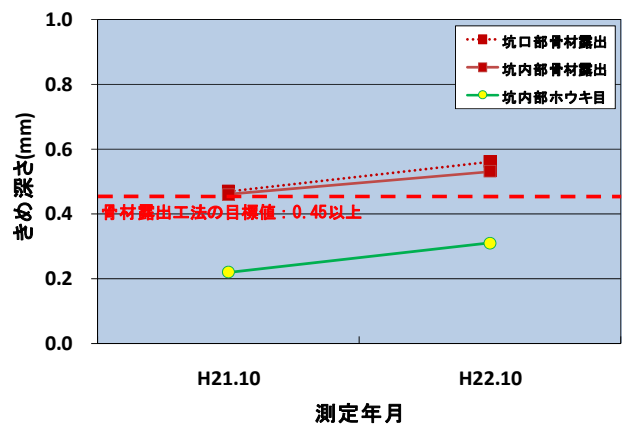


図-10 MTMによるきめ深さ測定結果  
(川東トンネル、遅延剤+ブラシ)

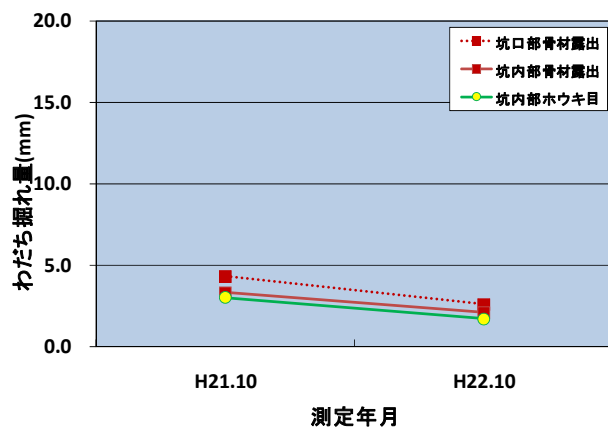


図-12 わだち掘れ量測定結果  
(第1南ヶ丘トンネル、ブラスト)

や摩耗に対する耐久性は、ホウキ目と比べて良好もしくは、同程度以上に推移していると言える。

#### 4. 骨材露出工法の適用範囲に関する検討

前章までに述べたように、骨材露出工法はホウキ目仕上げよりも利点が多く耐久性も遜色ないことから、トンネル内全線で適用できれば最も好ましい。しかし、骨材露出工法をトンネル内全延長に適用するのは非経済的とも考えられる。合理性の観点から、必要最小限の整備により効率的な効果を得るため、その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。

##### (1) 一般国道のトンネル内における交通事故データの調査

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-13に示す。トンネル内の事故は、トンネ

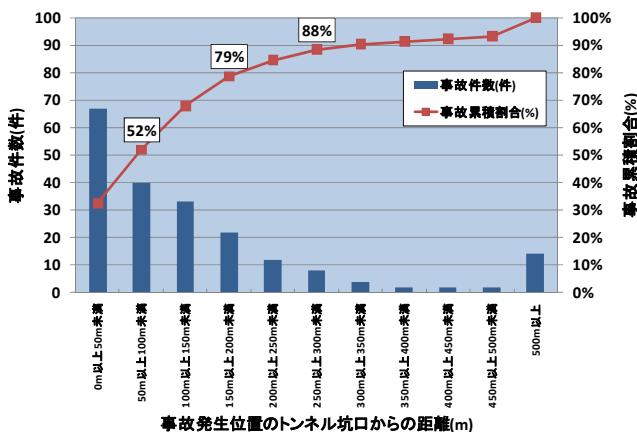


図-13 トンネル内事故発生位置のトンネル坑口からの距離

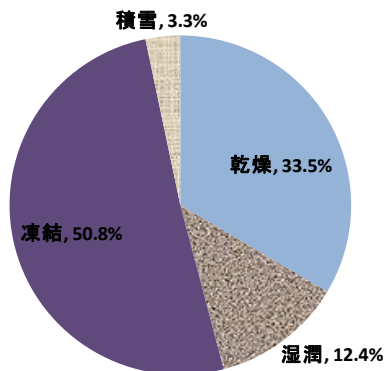


図-15 トンネル内事故発生時の路面状態

ル坑口から近い位置で発生している割合が多く、坑口から離れるにつれ徐々に減少している結果となった。坑口から100m以内の事故割合は52%で全体の約半数を占め、坑口から200m以内の事故割合は79%で全体の約8割がこの範囲で発生していることがわかった。

図-14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、12月から徐々に増加し、3月をピークに4月までの冬期間に発生し、その割合は70%程度を占めていることがわかった。図-15にトンネル内事故発生時の路面状態を示す。事故の約55%は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。

##### (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（箇所）のトンネルにおいて調査を行った。図-16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。

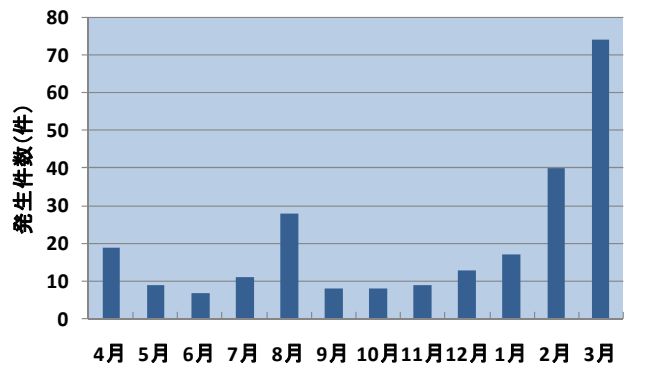


図-14 トンネル内事故の月別発生件数

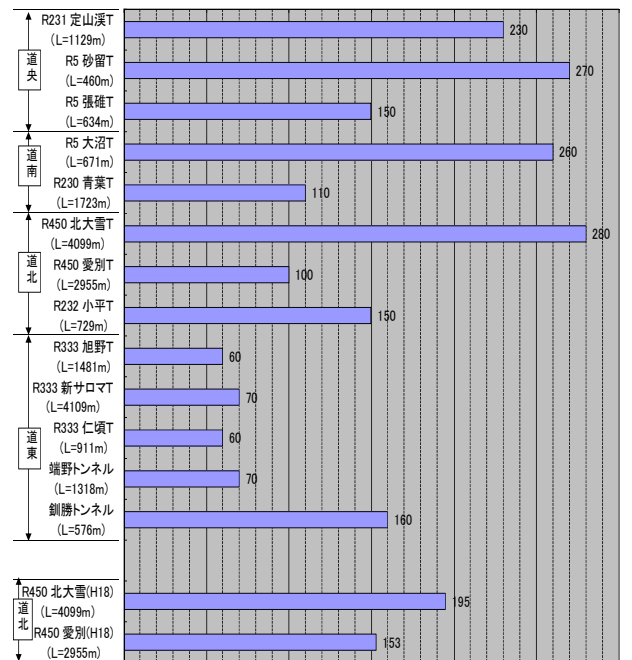


図-16 トンネル坑口から雪氷引込延長

同地域内のトンネルにおいても異なっている傾向となったが、全道的に見ると概ね 200m 程度は、冬期間および融雪期において路面に雪氷が存在する状態になりやすいことが確認された。

### (3) 各種工法の単価に関する比較検討

図-17 にコンクリート舗装における各種表面処理工法を含めた単価の比較を示す。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。

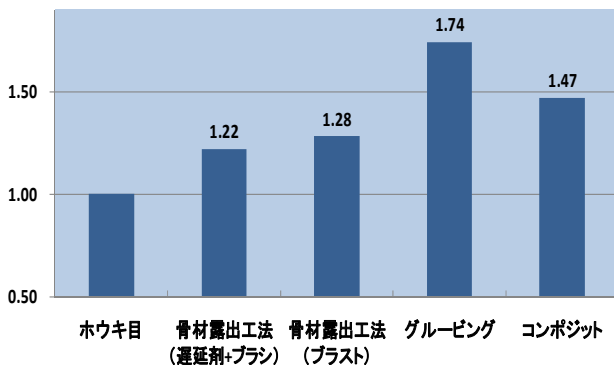


図-17 各種工法の単価比較

### (4) 骨材露出工法の適用範囲について

路面凍結等に起因する交通事故の発生状況や冬期間における雪氷の引き込み長から、坑口付近、特に坑口から 200m の範囲に何らかの冬期路面对策が必要であると考えられる。前章より、骨材露出工法は、ホウキ目より有効な冬期路面对策であると考えられる。経済性の比較から、骨材露出工法はグレーピングよりも安価であることから、トンネル坑口から 200m の範囲に骨材露出工法を適用することは妥当と判断される。

## 5. まとめ

トンネル内コンクリート舗装の骨材露出工法について、室内試験や試験施工箇所の現地調査による適用性の検討および、一般国道の交通事故データや雪氷引込長調査、各種工法の単価比較による適用範囲の検討を行った結果、以下のことが分かったので報告する。

(1) ホウキ目と骨材露出工法における室内試験や追跡調査の結果から、骨材露出工法はホウキ目と比べ、すべり摩擦抵抗性や路面のきめの持続性、摩耗に対する耐久性が、良好もしくは同等程度であることが確認された。よって、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することは問題ないと判断される。

(2) トンネル内における交通事故の発生状況や、トンネル内への雪氷の引込長の結果から、トンネル坑口から

200m の範囲内に何らかの冬期路面对策必要であると判断される。経済性の比較から、骨材露出工法はホウキ目より高価であるが、グレーピングより安価であることが確認された。

(3) 骨材露出工法はホウキ目より有効な冬期路面对策である結果や、トンネル坑口付近ではトンネル内事故の多くが集中していること、経済性の観点から、トンネル坑口から 200m の範囲内に骨材露出工法を適用することが妥当であると言える。

## 7. さいごに

試験施工や追跡調査でご協力を頂いた開発建設部現場担当者に感謝を申し上げる。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性やその適用範囲に関して報告した。今後さらに追跡調査や室内試験を行い、骨材露出工法の持続性や整備効果の検証を行っていきたい。

### 参考文献

- 1) 浅野建志・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(平成 21 年度)北海道開発局技術研究発表会 2010.2
- 2) 北海道開発局:道路設計要領、平成 23 年 4 月