

表面研削処理による舗装の冬期路面摩擦等の機能性付与技術に関する研究

研究予算 : 運営費交付金

研究期間 : 平 29～令 2

担当チーム : 寒地道路保全チーム

研究担当者 : 丸山記美雄、佐藤圭洋、上野千草、田中俊輔

【要旨】

ダイヤモンドカッタによりコンクリート舗装表面を薄層で研削し、すべり抵抗性等を改善する研削工法がある。本研究では、この工法のアスファルト舗装への応用を試みた。アスファルト舗装への表面研削処理技術の適用に当たっては、アスファルト舗装に適した研削方法の検討が必要となる。そこで、切削方法、切削深さ等の研削形状の異なる舗装供試体を用いて、研削初期、ホイールトラッキング試験後、凍結路面時においてすべり抵抗値及びきめ深さを測定し、各研削形状のすべり抵抗性等の性能の向上度合や持続性について比較評価した。また、苫小牧寒地試験道路にて騒音低減及び骨材飛散抵抗に関する試験を行い、それらに効果のある品質規格について検討した。さらに、過年度から調査を継続している既設トンネル内コンクリート舗装の表面研削工法施工後の路面性状についてその持続性の調査を行い、これまでの技術的知見を基に表面研削工法に関する技術資料を作成した。キーワード : 表面研削、すべり抵抗、性能、騒音低減、骨材飛散抵抗

1. はじめに

舗装路面のすべり抵抗性能を確保することは、車両の走行安全性にとって非常に重要である。すべりやすくなった路面の対策として、ダイヤモンドカッタにより舗装表面を薄層で研削することによりすべり抵抗性能を改善させる工法がある¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。これは、ダイヤモンドカッタを組み合わせた円筒状の集合体を回転させ、舗装表面を数mm程度で縦断方向に研削して、路面の表面性状を改善させる工法である。この工法は、国内では主に既設のコンクリート舗装を対象として施工されており、これまでアスファルト舗装に適用された事例はほとんどない。この理由として、アスファルト舗装が摩耗ですべるという課題がコンクリート舗装と比較して少ないことや、アスファルト舗装の冬期路面対策としての研削方法や研削深さの品質規格が未確立であることなどが考えられる。

しかし、積雪寒冷地のアスファルト舗装は、冬期に凍結してすべりやすい路面になることから、このような路面にダイヤモンドカッタによる表面研削工法を適用すれば、路面に凹凸形状を形成させることによって路面摩擦力や排水能力の向上が見込まれ、冬期路面対策としての効果が期待できる。さらに、騒音の低減などの機能の向上も期待できる。そこで、この工法のアスファルト舗装への応用を試みた。

アスファルト舗装にダイヤモンドカッタによる表面研削処理技術を適用するにあたっては、最大骨材粒径、配合、アスファルトバインダの影響により、コン

クリート舗装と同様の研削方法では良い表面研削形状や持続性が形成できない可能性がある。そのため、アスファルト路面に適した研削方法の検討が必要と考えられる。そこで、研削形状による性能の違いや、表面研削による舗装表面のすべり抵抗性の向上、凍結路面時のすべり抵抗性の向上について評価するため、表面研削処理を施したアスファルト舗装供試体を用いて、すべり抵抗値、及びきめ深さを測定する試験を行った。

また、表面研削処理によるアスファルト舗装路面への機能性の付与については、すべり抵抗値の向上以外にも、騒音の低減などの機能の付与が考えられるが、アスファルト舗装に表面研削処理を施した場合の騒音低減効果の有無や、その効果の発現度合については不明な点が多い。さらに、舗装表面の耐久性の観点では、タイヤのねじり作用や摩耗による骨材の飛散が考えられ、アスファルト舗装に表面研削処理を施した場合のこれらの性能の耐久性については不明な点が多い。そこで、きめ深さ及びすべり抵抗値の持続性が比較的高い研削形状に着目し、深めの溝を組み合わせた研削形状も含めて、さらなる性能の検討を行った。

本研究では、研削形状による性能の向上、持続性の違い、路面騒音低減の効果の有無や、表面研削による骨材飛散抵抗性などの耐久性について把握するため、室内試験において、研削初期、ホイールトラッキング試験後凍結路面時のきめ深さやすべり抵抗値を測定した結果と、苫小牧寒地試験道路において、表面研削アスファルト舗装路面の騒音低減や骨材飛散抵抗に関す

る試験を行った結果について報告する。また、既設トンネル内コンクリート舗装において、表面研削工法による施工を行い、路面性状の改善を確認し、さらにこれまでに蓄積した技術的知見に基づき、既設トンネル内コンクリート舗装へのダイヤモンドカッタによる表面研削工法に関する技術資料を作成したので、報告する。

2. 室内試験における表面研削供試体の性能の測定

2.1 表面研削形状・供試体の種類

室内試験で使用した供試体の研削処理は、タイプ1（従来のコンクリート舗装に用いられているダイヤモンドカッタによる表面研削処理、ブレード幅3mm、スペース幅2.35mm、切削深さ3mm）、タイプ2（ブレード幅6mm、波形、深さ1mm）、タイプ3（タイプ2のカッタブレードのスペースを1.5mmとしたもの）の3種類に加え、比較のため無処理の4種類とした。

各タイプ別のカッタの研削形状とそれにより想定される供試体の研削表面の形状イメージを図-1に示す。タイプ1は、排水機能を持たせた深溝とその間の浅溝を組み合わせさせた形状をしている。タイプ2、タイプ3は通常のダイヤモンドカッタによる研削形状より凹凸が小さい形状をしている。このうち、タイプ2はスペースのないカッタの凹凸部分のみで路面の凹凸形状を形成させるものであるのに対し、タイプ3はスペース部分でも同様の凸部形状を形成させることを意図したものである。これらのタイプは、削る量が少なくなるのでカッタの消耗費が安くなり、施工費が安く抑えられる可能性がある。また、泥水の処分費の抑制、施工速度の向上などの利点も考えられる。

また、母体となる舗装供試体のアスファルト混合物の種類・配合は、表-1、表-2に示すとおりである。北海道の国道において主に使用されている密粒度13F（StAs）、密粒度ギャップ（改質I型）、細密粒度ギャップ13F55（改質II型）、密実なSMA（改質H型）、排水性（改質H-F型）の計5種類とした。使用した供試体の

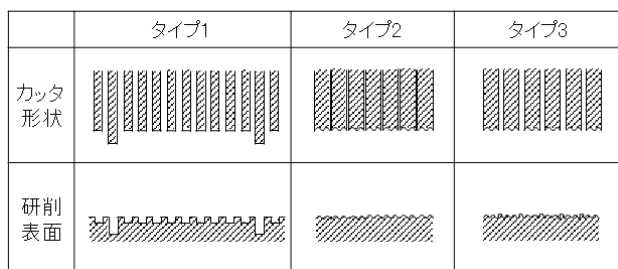


図-1 カッタの研削形状と供試体の研削表面のイメージ

数は各タイプ2個を基本とした。

2.2 表面研削形状の状態確認

表-1に示すアスファルト舗装供試体33個（40cm×40cm×5cm、混合物別：密粒度=6個、密粒度ギャップ=7個、細密粒度ギャップ=7個、SMA=6個、排水性=7個、タイプ別：タイプ1=10個、タイプ2=10個、タイプ3=8個、無処理=5個、測定のため運搬した際に破損させた供試体を除いた）について、表面研削後に研削形状の状態を確認した。各タイプ別の供試体の表面研削形状は図-2に示すとおりである。また、ノギスにより細密粒度ギャップ供試体の表面研削形状の寸法を測定したので、溝幅、溝間隔（上面幅）、溝深さ、凸部本数の測定結果を表-3に示す。

表-1 舗装供試体のアスファルト混合物の種類

混合物種類	バインダ	最大粒径 (mm)	表面処理	個数
密粒度13F	StAs	13	タイプ1(2個)、タイプ2(2個)、タイプ3(1個)、無処理(1個)の4種類	6
密粒度ギャップ13F	改質I	13	タイプ1(2個)、タイプ2(2個)、タイプ3(2個)、無処理(1個)の4種類	7
細密粒度ギャップ13F55	改質II	13	タイプ1(2個)、タイプ2(2個)、タイプ3(1個)、無処理(1個)の4種類	7
SMA13	改質H	13	タイプ1(2個)、タイプ2(2個)、タイプ3(1個)、無処理(1個)の4種類	6
排水性13	改質H-F	13	タイプ1(2個)、タイプ2(2個)、タイプ3(2個)、無処理(1個)の4種類	7

表-2 舗装供試体のアスファルト混合物の配合

混合物種類	密粒度13F	密粒度ギャップ13F	細密粒度ギャップ13F55	SMA13	排水性13
バインダ	stas80-100	改I	改II	改H	改H-F
骨材配合 (%)					
碎石6号	41.5	49.5	42.0	60.5	79.0
碎石7号	7.0	14.5	14.5	8.0	—
スクリーングラス	—	—	—	6.0	—
粗砂	29.0	8.0	6.0	13.5	16.0
細砂	12.0	17.5	27.0	—	—
石粉	10.5	10.5	10.5	12.0	5.0
植物性繊維	—	—	—	外割0.5	—
As量 (%)	5.9	5.5	5.9	6.8	5.1
基準密度 (g/cm ³)	2.397	2.395	2.371	2.369	2.087
理論密度 (g/cm ³)	2.474	2.475	2.454	2.432	2.502
空隙率 (%)	3.1	3.2	3.4	2.6	16.6

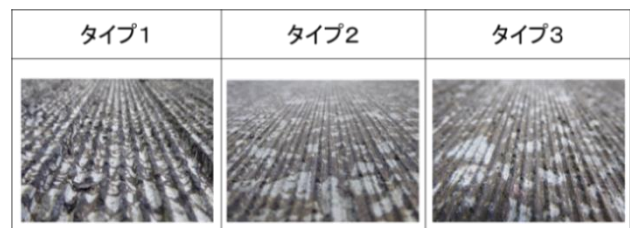


図-2 各タイプ別の供試体の表面研削形状

表-3 表面研削形状の寸法（測定結果）

	タイプ1	タイプ2	タイプ3
溝幅(mm)	3.0	2.2	1.4
溝間隔(上面幅)(mm)	2.0	0.8	0.8
溝深さ(mm)	2.4	0.4	0.5
凸部本数(本/m)	175	278	370

※タイプ1は大小の溝の内、小の溝の値

2. 3 研削初期の性能の測定

研削初期の性能として、CT メータによる平均きめ深さ MPD (Mean Profile Depth) 測定、及び DF テスタによるすべり抵抗値の測定を行った。結果を図-3、図-4 に示す。なお、すべり抵抗値は測定時に DF テスタより散水された路面湿潤状態での測定結果である。

図-3 より、いずれの混合物においても、タイプ1が最もきめ深さが大きく、タイプ2とタイプ3は同程度もしくは、タイプ3のほうが若干きめ深さが大きい結果となっている。また、表面に空隙のある排水性については、タイプ2とタイプ3は無処理よりもきめ深さが低下したが、それらを除けば、無処理供試体よりもタイプ1~3の研削供試体のほうがきめ深さが大きい結果となった。SMA (改質H型)のタイプ1のきめ深さが大きくなった理由としては、バインダとして改質H型を使用していることで、研削したときの凸部分が高いまま保持されたことによるものと考えられる。

図-4 より、タイプ1が最もすべり抵抗値が大きく、次いでタイプ2とタイプ3が同程度となった。タイプ1についてはきめ深さがタイプ2とタイプ3と比較して大きかったことから、すべり抵抗値もそれに応じて大きめの値となったと考えられる。また、供試体の種類による違いよりも削り方の違いのほうが、すべり抵抗値やきめ深さ等に及ぼす影響が大きいことがわかった。

図-5 にきめ深さとすべり抵抗値を整理した結果を示す。全体としては、きめ深さが大きいとすべり抵抗値が大きい傾向にある。各タイプ別に程度の差はあるが、無処理の供試体よりも研削処理により舗装表面に溝形状を形成させることで、きめ深さを大きくし、すべり抵抗性を向上させることが可能であると言える。ただし、図-3~図-5より、タイプ1の混合物ごとのきめ深さの大小とすべり抵抗値の大小を比べると、きめ深さが大きくても、すべり抵抗値が小さな値となるケースもある。この要因は、きめが深すぎるとかえって

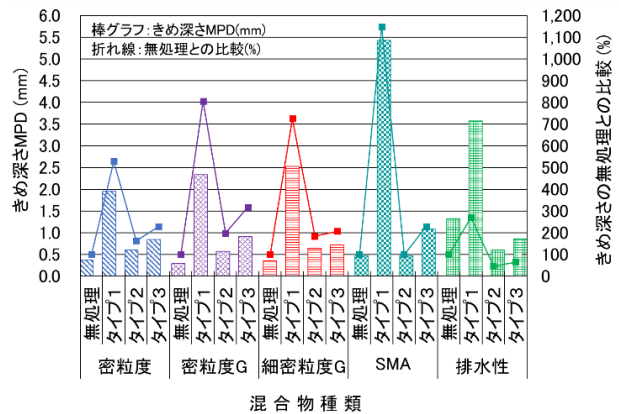


図-3 きめ深さの測定結果（無処理との比較）

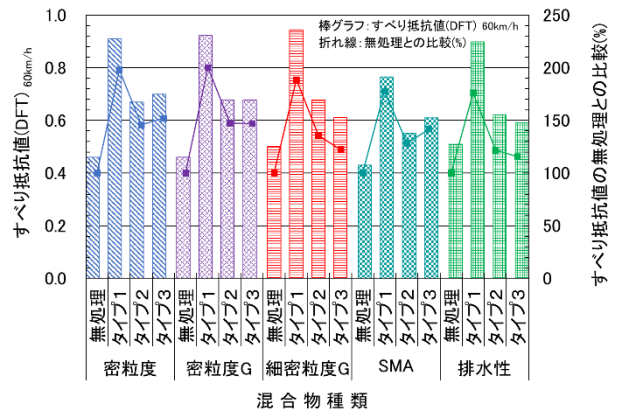


図-4 すべり抵抗測定結果（無処理との比較）

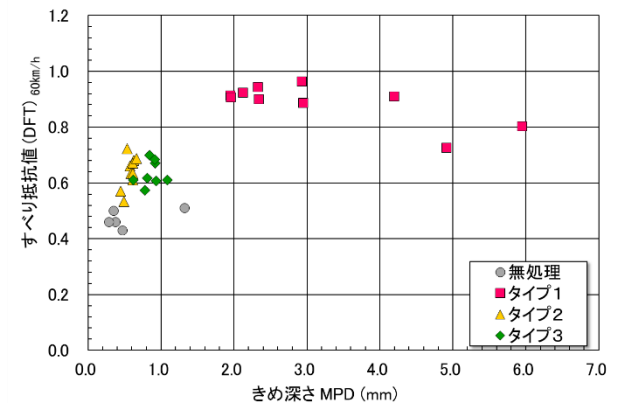


図-5 きめ深さとすべり抵抗値の関係

凸部が折れるか、もしくは変形してしまうことで、すべり抵抗値の保持が難しくなるためと考えられる。そのため、アスファルトを研削するための最適な溝形状の検討が必要であることがわかった。

2. 4 ホイールトラッキング試験後の性能の測定

表面研削形状及び混合物種類の異なる各供試体について、ホイールトラッキング輪荷重走行による表面

研削形状の耐久性を確認する試験を行った。試験に使用した供試体は表-1のうち、密粒度のタイプ1~3の3個、密粒度ギャップのタイプ1~3の3個、細密粒度ギャップのタイプ1~3の3個、SMAのタイプ2、3の2個、排水性のタイプ3の1個（研削初期のDFテストによるすべり抵抗値の測定で凸部が折れたか、もしくは変形した供試体は除く）の計12個とした。各供試体ともホイールトラッキング輪荷重走行（60℃、トラバース走行1時間）後にきめ深さ及びすべり抵抗値を測定した。試験条件は表-4のとおりである。

表-4 ホイールトラッキング輪荷重走行試験条件

試験温度 (°C)	走行時間 (min)	接地圧 (MPa)	走行速度 (回/min)	走行距離 (mm)	トラバース速度 (mm/min)	トラバース幅 (mm)
60	60	0.63	42±1	350	100	350

図-6にきめ深さの測定結果を示す。タイプ1のきめ深さの低下割合が大きく、タイプ1では、ホイールトラッキング輪荷重走行により、溝の凹凸形状が大きく変形する様子が確認された。また、タイプ2、タイプ3とも走行前よりも走行後のほうがきめ深さが減少した。いずれのタイプにおいても、走行後の研削表面の凹凸形状は、溝の上面から潰され、凸部分が消失した。

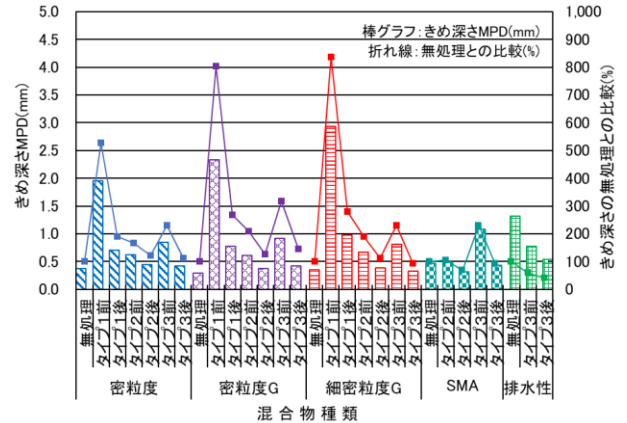


図-6 ホイールトラッキング試験前後のきめ深さの測定結果（無処理との比較）

図-7にすべり抵抗値の測定結果を示す。タイプ1、タイプ2、タイプ3とも、ホイールトラッキング後のすべり抵抗値は低下した。特にタイプ1のホイールトラッキング後のすべり抵抗値の低下が大きかった。タイプ2、タイプ3については、ほぼ同様の結果となった。

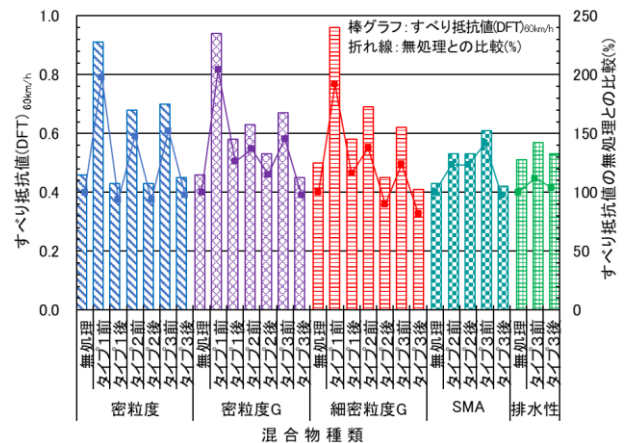


図-7 ホイールトラッキング試験後のすべり抵抗値の測定結果（無処理との比較）

図-8にきめ深さに対するすべり抵抗値の残存率（ホイールトラッキング走行後/研削初期）を示す。タイプ2、タイプ3ではすべり抵抗値の残存率がタイプ1と比較して高く、タイプ2とタイプ3を比較すると、すべり抵抗値の残存率は同程度の結果となった。

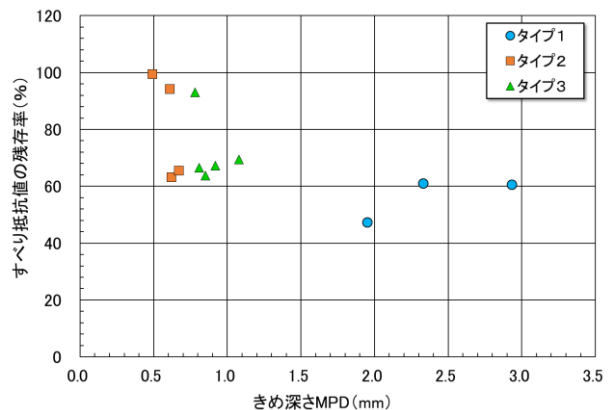


図-8 きめ深さに対するすべり抵抗値の残存率（ホイールトラッキング走行後/研削初期）

図-9にきめ深さの残存率（ホイールトラッキング走行後/研削初期）を示す。きめ深さの残存率は、タイプ2が最も高く、タイプ3はタイプ1に比べて高い結果となった。

タイプ1は、図-5よりホイールトラッキング試験前のきめ深さ、すべり抵抗値がタイプ2やタイプ3と比較して大きかったが、図-7、図-8よりホイールトラッキング試験後のすべり抵抗値の低下が大きかったことから、溝の持続性をより高めることができれば、すべり抵抗性能の発揮という観点においてより望ましいと考えられる。溝の持続性をより高めるためには、溝形状の流動による変形が起こりにくい配合のアスファルト混合物やバインダ種に対し適用することが考えられるが、今回の研削初期のきめ深さとすべり抵抗値の測定結果に見られるように、性能を期待して過度に研削の凹凸深さを大きくすることは、かえって溝の耐久性の観点から逆効果であり、走行荷重に対する溝折れや

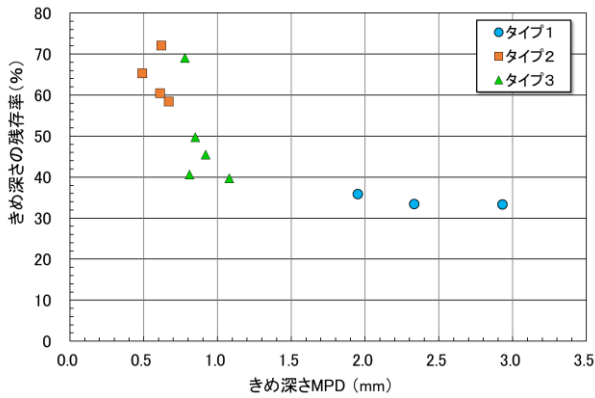


図-9 きめ深さの残存率

(ホイールトラッキング走行後/研削初期)

変形への抵抗性を考慮した研削深さの設定が必要になってくると考えられる。

一方、図-9 から読み取れるように、タイプ2とタイプ3のきめ深さがタイプ1より高めの残存率となったのは、タイプ1の溝深さがタイプ2とタイプ3と比較して大きく、より垂直に切り立った形状をしているのに対し、タイプ2とタイプ3は、タイプ1より溝深さが小さく、溝の勾配がゆるやかな形状をしているため、溝直下の母体となる供試体本体に溝からの荷重を分散しやすく、これにより変形が少なかったのではないかと考えられる。また、タイプ3よりもタイプ2できめ深さの低下割合が小さいものも多くみられたのは、タイプ2の表面凹凸形状の凸部分が均一であったため、走行荷重に対して、均一な溝全体で変形に抵抗したことで、溝上面部に加わる荷重が分散し、凸形状がより大きいタイプ3と比較して変形が少なかったのではないかと考えられる。このため、流動による変形をより考慮しなければならないアスファルト舗装においては、凹凸形状の変形抵抗持続性の観点から言えば、タイプ2の形状のほうがより望ましいと考えられる。

2. 5 凍結路面時の性能の測定

研削形状を設けることで凍結路面時の性能の向上が見られるのか、研削形状により凍結路面の形成に伴う路面特性の推移に違いが見られるのかを確認するため、タイプ1、タイプ2、タイプ3、無処理の4種類（母材は細密粒度ギャップ 13F55）を対象とし、-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形成させたときのすべり抵抗値等の測定を行った。散水する水は、温度を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

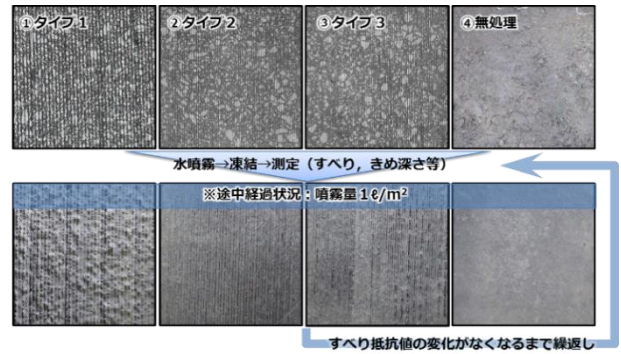


図-10 実験フロー（凍結路面時の性能の測定）

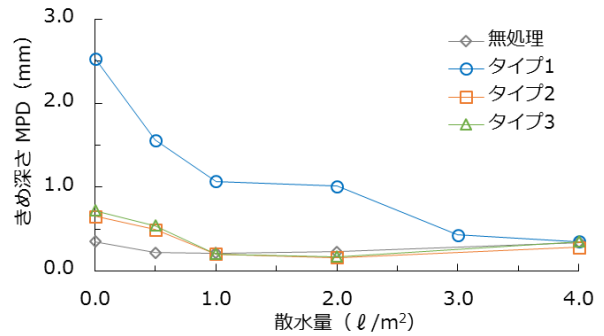


図-11 きめ深さの推移

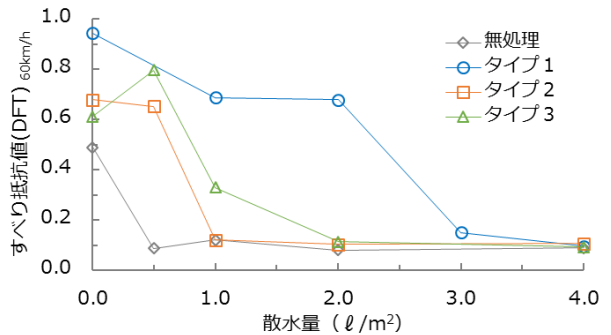


図-12 すべり抵抗値の推移

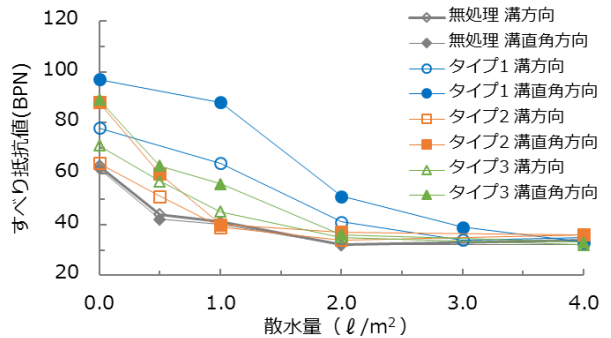


図-13 測定方向別 BPN 推移

実施し噴霧を行った。実験フローと凍結路面作製途中の供試体の状況を図-10に示す。

凍結路面生成に伴うきめ深さ[MPD] (CTMにて測定)の測定結果を図-11に示す。全てのタイプで、散水量の増加に伴い、きめ深さは低下していったが、タイプ1については比較きめ深さは高いまま推移していくことが確認された。

また、図-12にすべり抵抗値の測定結果を示す。タイプ2、タイプ3は散水量が 0.5 l/m^2 まではすべり抵抗値の低下はなく、散水による氷膜成長の影響を比較的受けにくい。またタイプ1では、すべり抵抗値は最も高く推移した。これは、散水量が 2 l/m^2 程度までは散水した水が凹部に溜まり、その分氷に覆われていない表面研削形状の凸部が路面氷膜上に露出しやすくなったためと考えられる。

さらに、車両の進行方向に対して溝方向・溝直角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を進行方向に対して溝方向・溝直角方向に設置し、方向別のすべり抵抗値[BPN]を測定した結果を図-13に示す。氷膜生成前の段階(散水量 0 l/m^2)においては、タイプ1の溝直角方向、次いでタイプ2及びタイプ3の溝直角方向のBPNが高い値を示し、タイプ1ではさらに散水量が増えても高い値で推移し続けることが確認できた。

3. 屋外試験における表面研削路面の性能の測定

3.1 屋外試験の表面研削舗装の種類

寒地土木研究所が保有する苫小牧寒地試験道路において、研削舗装試験箇所を作成した。図-14に苫小牧寒地試験道路の研削舗装試験箇所の概略図を示す。研削舗装試験箇所は苫小牧寒地試験道路のバックストレート側外回りの密粒度ギャップアスコン(改質I・13F)区間100mとし、その内、研削舗装試験箇所は、延長50mとした。

図-15に試験走路の研削表面形状を示す。表面研削処理の形状は、タイプA(アスファルト用浅溝、浅溝深さ1mm)と、タイプB(タイプAに排水機能用深溝入り、深溝間隔小)、タイプC(タイプAに排水機能用深溝入り、深溝間隔大)とした。タイプAは、通常のダイヤモンドカッターによる研削形状より凹凸が小さい形状、タイプBは、タイプAの浅溝に深溝を交互に組み合わせた形状、タイプCは、タイプAの浅溝に深溝をタイプBより広い間隔で組み合わせた形状とした。これに比較のため無処理を加え、4種類の舗装に対し、試験を行った。表-5に、タイプ別に溝幅、溝間

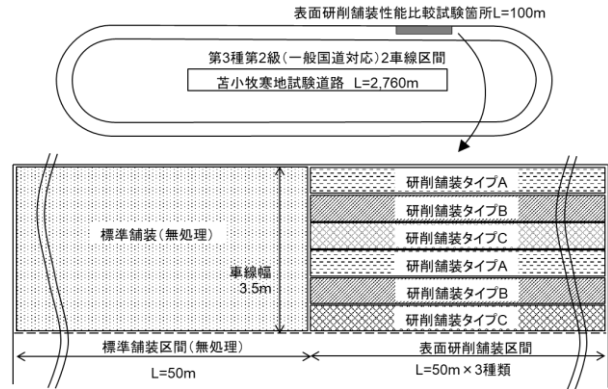


図-14 苫小牧寒地試験道路の研削舗装試験箇所平面図

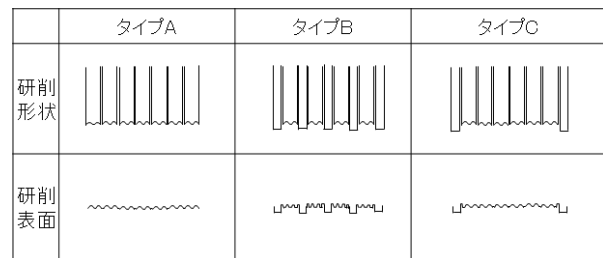


図-15 試験走路の研削表面形状(タイプA、B、C)

表-5 タイプ別の研削形状測定結果

	タイプA	タイプB	タイプC
溝幅(mm)	2.2	1.2	2.4
溝間隔(上面幅)(mm)	1.2	1.1	1.2
溝深さ(mm)	0.5	0.6	0.5
凸部本数(本/m)	287	324	286
深溝幅(mm)	—	3.6	3.8
深溝間隔(mm)	—	12.3	48.3
深溝深さ(mm)	—	6.4	6.4
深溝本数(本/m)	0	83	21



写真-1 苫小牧寒地試験道路表面研削舗装区間

隔(上面幅)、溝深さ、凸部本数、深溝幅、深溝間隔、深溝深さ、深溝本数を測定したので、その結果を示す。

写真-1に3種類の研削舗装試験区間の外観を示す。

苫小牧寒地試験道路の表面研削舗装区間の研削幅は各タイプとも1列あたり0.5mとし、各タイプ2列の計6列とした。外側線から1列目と4列目がタイプA、2列目と5列目がタイプB、3列目と6列目がタイプCとした。各タイプの中心間隔は、タイヤ/路面騒音測定において乗用車のタイヤの左右両輪を同じタイプの研削舗装レーンに乗せるため、1.57mとした。

3. 2 騒音低減に関する比較試験

(1) タイヤ/路面騒音 (苫小牧寒地試験道路)

苫小牧寒地試験道路バックストレート側外回りの密粒度ギャップアスコン (改質 I・13F) 試験舗装区間100m 内において、タイプA、タイプB、タイプC、無処理の各延長約50m のタイヤ/路面騒音を測定した。タイヤ/路面騒音の測定は、普通タイヤによるタイヤ路面騒音測定方法 (舗装調査・試験法便覧³⁾ S027-1T) に準じて行った。集音マイクを、マフラーが付いていない後輪タイヤ付近に取り付け、走行速度50km/h の条件でタイヤ/路面騒音を測定した。

図-16 にタイヤ/路面騒音測定試験結果を示す。測定データは、10Hz (0.1 秒毎) で等価騒音レベルをサンプリングしたデータより、路面騒音レベルと外気温の関係から標準外気温20°C温度補正、路面騒音レベルと区間走行速度の関係から50km/h 速度補正し、各タイプの騒音値を整理した。路面タイヤ騒音は、無処理 (密粒 G13F) >タイプB>タイプC>タイプA の順で小さくなる結果となった。研削タイプA、B、C の路面タイヤ騒音は、標準路面と比べ1.0~2.2dB の差があった。また、全てのタイプで標準路面と比べ騒音レベルが低くなっていた。3種類のタイプの中ではタイプA が最も小さかった。

(2) 沿道騒音 (苫小牧寒地試験道路)

また、タイヤ/路面騒音測定と同様に走行速度50km/h の条件にて沿道騒音を計測した。沿道騒音測定の集音マイクの位置は、各工区延長の中央にて路面からの水平距離1.5m、高さ1.2mとした。

図-17 に沿道騒音測定試験結果を示す。無処理 (密粒 G13F) >タイプB>タイプA>タイプC の順で小さくなる結果となった。研削タイプA、B、C の沿道騒音は、標準路面と比べ0.3~0.8dB の差があった。また、全てのタイプで標準路面と比べ騒音レベルが低くなっていた。3種類のタイプの中ではタイプC が最も小さかった。

(3) 騒音低減効果に関する考察

タイヤ/路面騒音及び沿道騒音の試験結果より、タイプA、タイプB、タイプC の騒音値は、無処理路

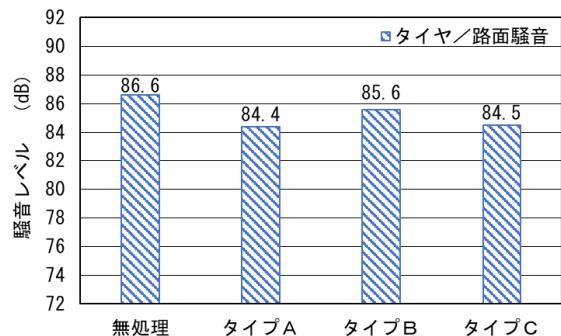


図-16 タイヤ/路面騒音測定試験結果

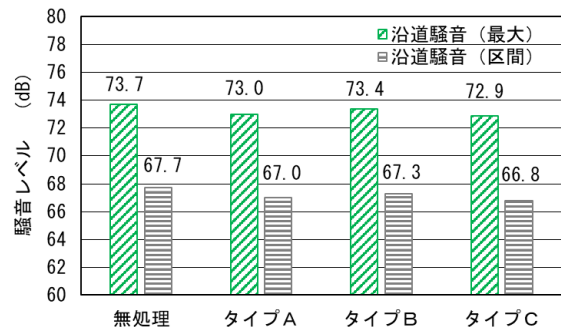


図-17 沿道騒音測定試験結果

面よりも騒音値が低かった。これは、縦溝の効果と考えられ、表面を薄層で平坦に研削したことにより、車両進行方向の凹凸が極めて平坦になっていることによると考えられる。また、タイヤの回転による空気の圧縮を溝が逃がすことより、空気の圧縮音が軽減されている可能性が考えられる。これらのことから、縦溝の研削路面は標準路面よりも騒音が低くなっているのではないかと考えられる。

また、タイプ別では、浅い溝のみとしたタイプA、及び深い溝の数が少ないタイプCの騒音値が低い傾向にあった。このことは、騒音を低減するのに適した溝形状が存在する可能性が示唆されたものと考えられる。今回試験を行った深めの溝は、騒音の低減にはあまり効果がないが、浅めの溝は、騒音の低減に寄与している可能性が高く、騒音低減に資する形状と考えられる。

3. 3 骨材飛散抵抗に関する比較試験

(1) タイヤすえ切り試験 (苫小牧寒地試験道路)

苫小牧寒地試験道路バックストレート側外回りの密粒度ギャップアスコン (改質 I・13F) 試験舗装区間100m 内において、4種類の舗装 (タイプA、タイプB、タイプC、無処理) に対し、タイヤすえ切り試験を行い、表-6 に示す試験条件にてねじりによる荷重の負荷を与えた。一定のすえ切り回数ごとに舗装表面の剥離

状況を確認し、剥奪した深さをノギスで測定した。試験は、回転数 60 回までのすえ切り作業を行った。

すえ切り回数と剥奪深さの関係について、図-18 に試験結果を示す。60 回旋回後の剥奪深さについて比較すると、タイプ B の剥奪深さが最も大きく、次いで、タイプ C、タイプ A、無処理の順となった。

図-19 にすえ切り前後の路面状況を示す。すえ切り 0 回とすえ切り 60 回後の舗装表面の状況を比較すると、タイプ B は舗装表面の深溝の凹凸が消失した状態になっていることがわかる。また、タイプ C については、深溝に一部角欠けが生じているものの、タイプ B のような中央部が陥没する状態までは至っていない。また、タイプ A については、無処理と同様に飛散の程度は小さかった。

表-6 タイヤすえ切り試験条件

タイヤ荷重・温度条件			タイヤ旋回方法
タイヤ荷重条件	タイヤ幅	200 mm	
	接地長さ	300 mm	
	接地面積	60,000 mm ²	
	前軸の荷重	27,175 N	
	前輪1輪の荷重	13,587.5 N	
路面温度条件	1回目(全平均)	36.2 °C	
	2回目(全平均)	28.8 °C	

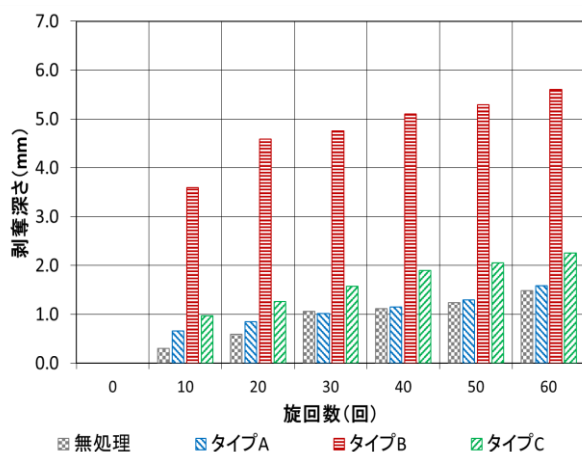


図-18 すえ切り回数と剥奪深さの関係

(2) ねじり骨材飛散試験 (研削供試体)

苫小牧寒地試験道試験舗装区間と同様に、密粒度ギャップアスコン (改質 I・13F) の供試体を用いて、4 種類の舗装 (タイプ A、タイプ B、タイプ C、無処理) に対し、室内でねじり骨材飛散試験を行った。試験は、ねじり骨材飛散試験方法 (舗装調査・試験法便覧³⁾ B021 供試体旋回タイプ) により、タイヤ寸法直径

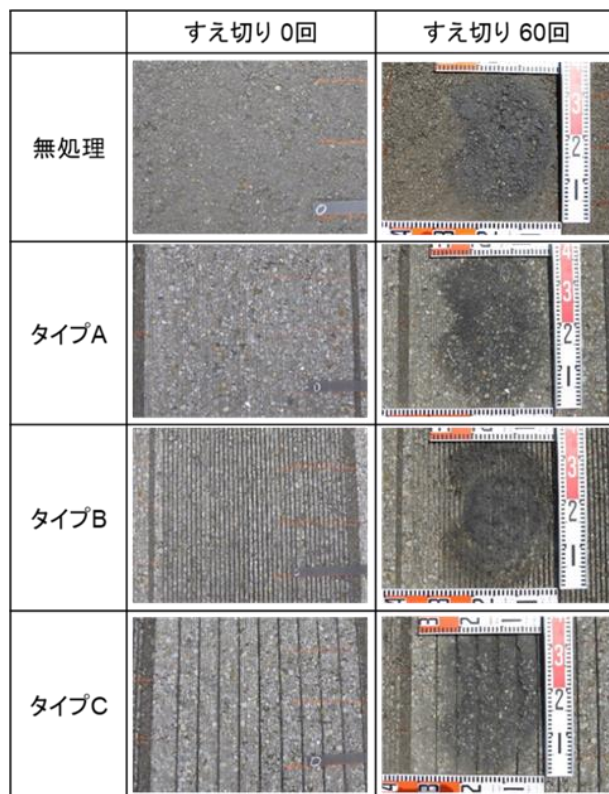


図-19 すえ切り前後の路面状況

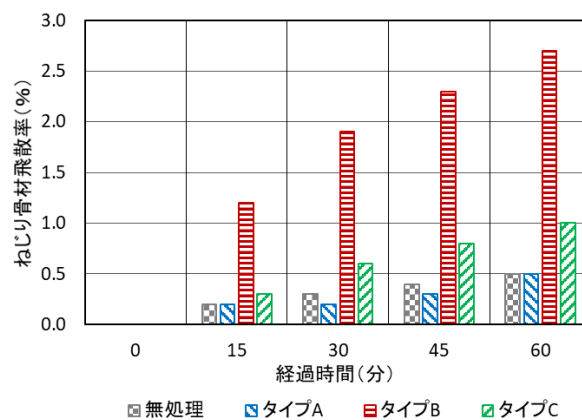


図-20 経過時間とねじり骨材飛散率の関係 (試験結果)

200mm×幅 65mm、載荷荷重 490N、試験温度 50±2°C の条件にて行った。経過時間とねじり骨材飛散率の関係について、図-20 に試験結果を示す。60 分経過後のねじり骨材飛散率について比較すると、タイプ B のねじり骨材飛散率が最も大きく、次いで、タイプ C の順となり、最後にタイプ A、無処理が同程度となった。

(3) チェーンラベリング試験 (研削供試体)

各種表面研削アスファルト舗装供試体に対し、室内でチェーンラベリング試験を行った。試験温度は-10°C とし、表面の凹凸形状の耐摩耗性を評価するために、

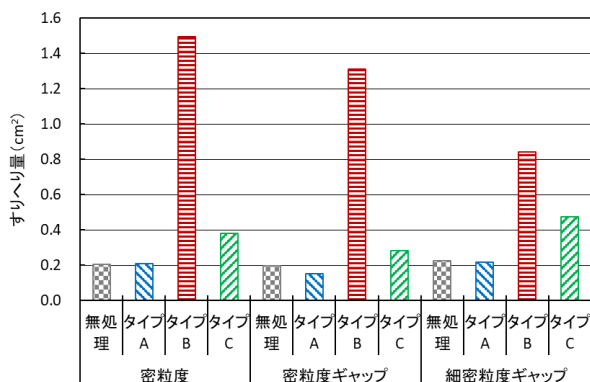


図-21 チェーンラベリング試験結果

試験時間は15分とし、経過時間後のすり減り量を測定した。チェーンはクロスチェーン「JIS G 3505」を用いた。

図-21 にチェーンラベリング試験結果について示す。すり減り量は、タイプBが飛び抜けて大きく、次いでタイプCがやや大きく、無処理（密粒 G13F）とタイプAは同程度となった。

(4) 骨材飛散抵抗に関する考察

タイヤ据え切り試験、ねじり骨材飛散試験、チェーンラベリング試験を行った結果、タイプBはタイヤのすえ切り、ねじり、チェーン等の破壊作用に対し、耐久性は低い結果が得られたことから、骨材飛散抵抗性が低いと考えられる。

一方、タイプAは、無処理とほとんど変わりなく、溝形状による飛散への影響がほとんどなかったことから、骨材飛散抵抗性が高いと考えられる。

また、タイプCについては、剥奪深さや、ねじり骨材飛散率、すりへり量ともに、タイプAよりも若干高い傾向があったが、深溝が存在するタイプBと比較すると、かなりその値は小さく押さえられていることがわかった。よって、同じ深溝が存在しても、深溝の間隔を広げることで、骨材飛散への影響を小さくできる可能性があると考えられる。

3. 4 すべり抵抗性能向上に関する確認試験

(1) すべり抵抗値等の測定結果（苫小牧寒地試験道路）

苫小牧寒地試験道路研削試験舗装のすべり抵抗値の測定結果を図-22 に示す。すべり抵抗値はDFテストにて測定した結果である。タイプA、タイプB、タイプCのすべり抵抗値は、無処理と比較して高い結果となった。

図-23 に苫小牧寒地試験道路研削試験舗装のきめ深

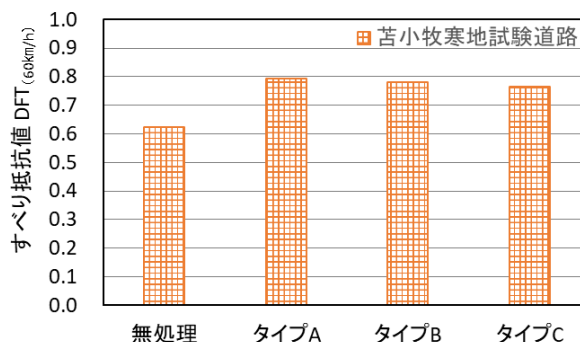


図-22 すべり抵抗値測定結果
(苫小牧寒地試験道路研削試験舗装)

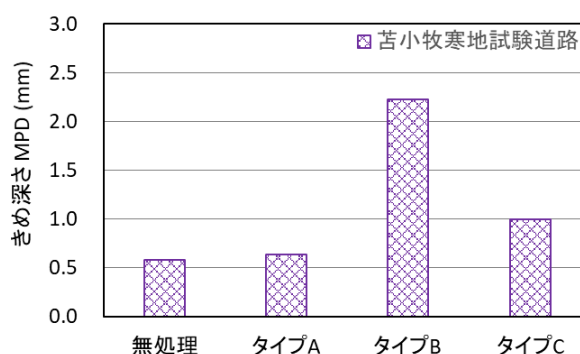


図-23 きめ深さ測定結果
(苫小牧寒地試験道路研削試験舗装)

さの測定結果を示す。きめ深さは、CTメータにより測定した結果である。タイプBのきめ深さが高く、次いでタイプCとなり、タイプAと無処理はほぼ同様の値となった。

(2) すべり抵抗値等の測定結果（研削供試体）

苫小牧寒地試験道路研削試験舗装と同じ舗装種類の供試体に対し、DFテストによるすべり抵抗値、CTメータによるきめ深さの室内試験を行った。

図-24 にすべり抵抗値の測定結果について示す。タ

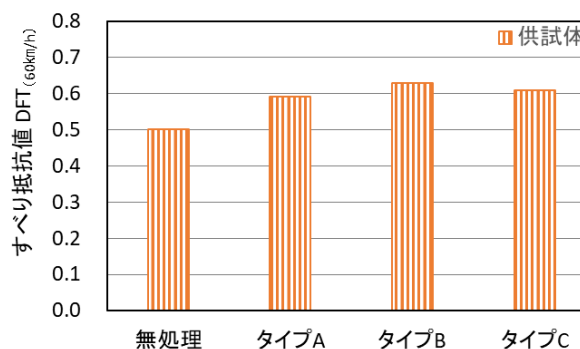


図-24 すべり抵抗値測定結果（研削供試体）

タイプA、タイプB、タイプCのすべり抵抗値は、無処理と比較して高い結果となった。

図-25 に、きめ深さの測定結果について示す。苫小牧寒地試験道路の測定結果と同様に、タイプBのきめ深さが高く、次いでタイプC、タイプA、無処理の順となった。

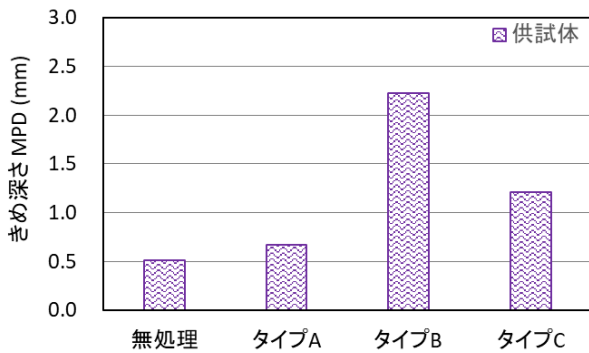


図-25 きめ深さ測定結果（研削供試体）

(3) すべり抵抗性能向上に関する考察

苫小牧寒地試験道路及び供試体のすべり抵抗値・きめ深さの測定結果から、研削舗装区間は無処理よりもすべり抵抗値の性能が向上すると考えられる。また、浅溝形状が同じであれば、タイプA、タイプB、タイプCのすべり抵抗値にそれほど大きな差はなかったことから、すべり抵抗値は、タイヤと路面が接する浅溝部分の形状に大きく依存すると考えられる。

4. 既設トンネルコンクリート舗装の表面研削技術適用箇所

4.1 ダイヤモンドカッタによる表面研削工法施工後のすべり抵抗値の持続性

トンネル内コンクリート舗装のすべり抵抗値の改善には、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ダイヤモンドカッタによる表面研削工法による表面研削が有効である。ダイヤモンドカッタによる表面研削工法のすべり抵抗値改善効果とその持続性について、施工前後と供用後5年間のすべり抵抗値（DFテストにて測定）の推移を図-26に示す。ダイヤモンドカッタによる表面研削工法の施工直後においてはすべり抵抗値は大きく改善する。1年経過後にはある程度低下するが、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⁷⁾では「交通量の多い一般道路」においてはすべり抵抗値が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言える。

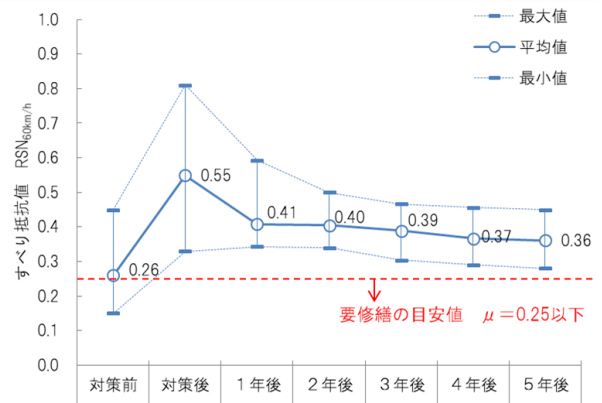


図-26 すべり抵抗値の推移⁸⁾

4.2 既設路面への表面研削技術の適用

2020年度に既設トンネルコンクリート舗装区間において、ダイヤモンドカッタによる表面研削工法を施工した。その結果、ダイヤモンドカッタによる表面研削工法は、既設の路面の性状を改善する施工が可能であり、施工後の路面性状の改善が見られた（図-27）。このことから、表面研削技術は、経年的にすべりやすくなった既設コンクリート路面への対策技術として有効と考えられる。

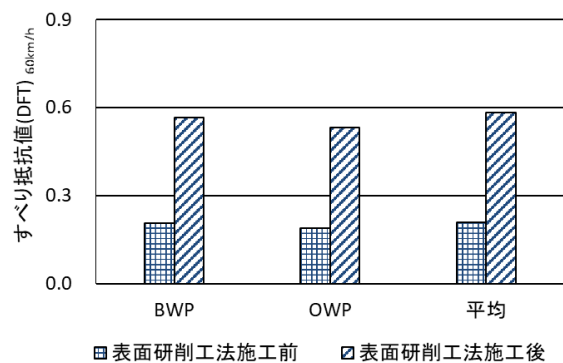


図-27 施工後のすべり抵抗値の改善

4.3 既設コンクリート舗装路面へのダイヤモンドカッタによる表面研削工法施工マニュアル（案）の作成

主にトンネル内コンクリート舗装のすべり抵抗性改善を目的に実施する、ダイヤモンドカッタによる表面研削工法の標準的な施工における留意点や推奨事項を示した技術資料として、「既設コンクリート舗装路面

へのダイヤモンドカッタによる表面研削工法施工マニュアル（案）」⁸⁾を作成した（図-28）。寒地土木研究所のホームページより公開し、無料でダウンロードできるようにした。

なお、すべり対策工法としては他にも様々な工法があり、対策工法を選択にあたっては、個別の箇所ごとにコストや効果などをもとに適切な工法を選択することが望まれる。北海道の国道のトンネル内コンクリート舗装におけるすべり対策選定手順の一例を図-29に参考として示すが、適切な工法としてダイヤモンドカッタによる表面研削工法を選定した場合に、本マニュアルを参考にされると良いと考える。

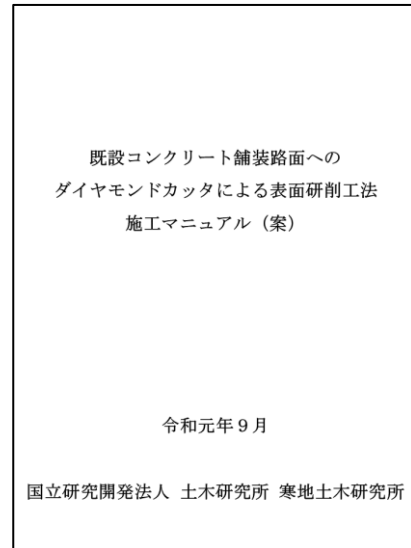


図-28 マニュアル（案）

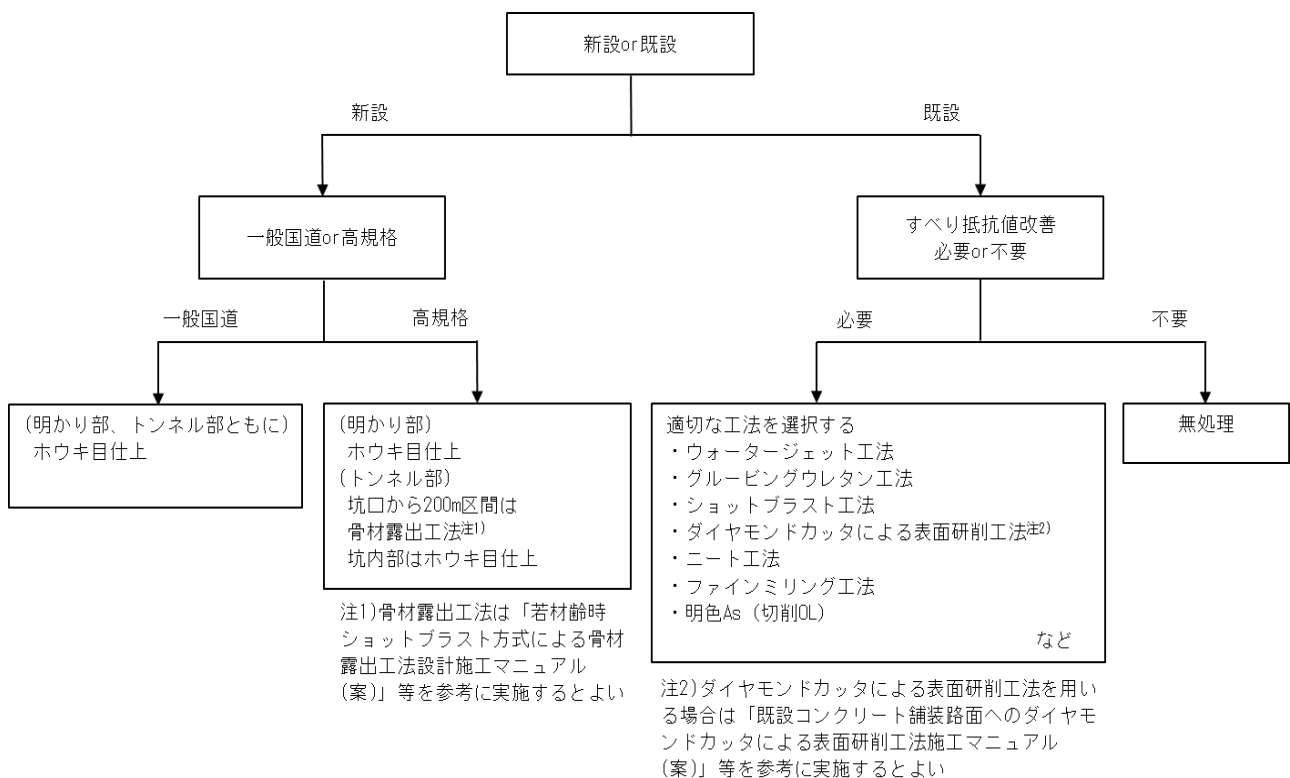


図-29 トンネル内コンクリート舗装のすべり対策選定手順の一例

5. 結論

(1) 室内試験における表面研削供試体の性能の測定

- ① 舗装表面を薄層で研削し、溝形状を形成させることで、すべり抵抗値の向上がみられること、また、配合による違いよりも削り方の違いのほうが、すべり抵抗値やきめ深さ等に及ぼす影響が大きいことがわかった。
- ② 排水機能を持たせた深溝とその間の浅溝を組み合わせた形状のタイプ1では初期性能が優れ、研削形状をアスファルト舗装用に工夫したタイプ2、タイプ3ではすべり抵抗値のホイールトラッキング試験後の残存率がタイプ1と比較して高く、タイプ2とタイプ3を比較するとほぼ同様の結果となった。きめ深さの残存率は、タイプ2が高い結果となった。
- ③ 凍結時の性能として、タイプ1は凍結路面発生時にはすべり抵抗値が比較的低下しにくく、タイプ2、タイプ3は、タイプ1と比較して上記の性能は劣るが、無処理と比較すると、散水量が少ないときはすべり抵抗値が改善される。

(2) 屋外試験における表面研削路面の性能の測定

- ① タイヤ/路面騒音及び沿道騒音測定結果から、縦溝の研削路面は標準路面よりも騒音が低いことがわかった。また、タイプ別では、浅い溝のみとしたタイプA、及び深い溝の数が少ないタイプCの騒音値が低い傾向にあることがわかった。
- ② ねじり骨材飛散試験、すえ切り試験、チェーンラベリング試験による試験結果から、タイプAの骨材飛散抵抗性が最も高く、タイプBの骨材飛散抵抗性が最も低いことがわかった。
- ③ きめ深さ・すべり抵抗値の測定結果から、研削舗装区間は標準舗装（無処理）よりもきめ深さが大きくなり、すべり抵抗値の性能が向上することを確認した。浅溝形状が同じであれば、タイプA、タイプB、タイプCのすべり抵抗値にそれほど大きな差はなかったことから、すべり抵抗値は、タイヤと路面が接する浅溝部分の形状に大きく依存すると考えられる。

(3) 既設トンネルコンクリート舗装の表面研削技術
適用箇所の路面性状調査及び技術資料の作成

- ① 既設トンネルコンクリート舗装の表面研削路面性状を経年的に調査し、施工後のすべり抵抗値等の測定の結果、すべり抵抗性の改善効果の持続性を確認した。

- ② 表面研削技術は、経年的にすべりやすくなった既設コンクリート路面への対策技術として有効と考えられる。
- ③ 主にトンネル内コンクリート舗装のすべり抵抗性改善を目的に実施する、ダイヤモンドカッタによる表面研削工法の標準的な施工における留意点や推奨事項を示した技術資料として、「既設コンクリート舗装路面へのダイヤモンドカッタによる表面研削工法施工マニュアル(案)」を作成し、寒地土木研究所のホームページより公開した。

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) コンクリート技術の要点'06, 日本コンクリート工学協会, p.5, 2006
- 4) 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
- 5) 井谷雅司, 上野千草, 丸山記美雄, 木村孝司: 凍結路面に対するコンクリート舗装の粗面化処理の効果について, 第31回日本道路会議, 2015.10
- 6) 舗装調査・試験法便覧(平成31年度版), 公益社団法人日本道路協会, 平成31年3月
- 7) 道路維持修繕要綱, (社)日本道路協会, S53.7
- 8) 既設コンクリート舗装路面へのダイヤモンドカッタによる表面研削マニュアル(案), 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所, 令和元年9月

RESEARCH ON SURFACE GRINDING TECHNOLOGY TO ENHANCE WINTER ROAD SURFACE FRICTION AND OTHER FUNCTIONAL PROPERTIES

Research Period : FY2017-2020

Research Team : Cold-Region Maintenance Engineering
Research Group (Road Maintenance)

Author : MARUYAMA Kimio, SATO Takahiro,
UENO Chigusa, TANAKA Syunsuke

Abstract : Road construction techniques include a grinding method that improves skid resistance by grinding a thin layer of concrete-paved surfaces with a diamond cutter. This research was conducted with the aim of applying this grinding method to bituminous pavement. Different grinding methods that are appropriate for bituminous pavement were researched. Different cutting methods and grinding conditions such as cutting depth were applied to different pavement specimens, and skid resistance and texture depth were measured on initial grinding, after a wheel tracking test and under frozen road surface conditions in order to analyze the improvement rate and performance duration of factors such as skid resistance under the individual grinding conditions. Experiments on noise reduction and aggregate scattering resistance were also conducted at the cold region road test site in Tomakomai to examine associated effective quality standards. In addition, research on the durability of road conditions after surface grinding of concrete pavement was initiated in an existing tunnel last year, and engineering data on surface grinding methods based on existing technical expertise were accumulated.

Keywords: surface grinding, skid resistance, performance, noise reduction, aggregate scattering resistance