

樹脂系滑り止め舗装の耐久性について

近江 隆洋* 浅野 基樹** 吾田 洋一***

1. はじめに

近年、積雪寒冷地域では冬期において非常に滑りやすい路面の出現や、夏期においても湿潤路面での滑りが問題となるケースが散見され、何らかの対策が望まれている。路面の滑り抵抗を高める工法の一つに滑り止め舗装があるが、滑り止め舗装は滑り抵抗を高める以外に、交差点部、曲線部等のトンネル・覆道等の構造物箇所など安全走行上注意が必要な箇所の注意喚起にも効果的な場合がある。このような工法は一般的に樹脂系滑り止め舗装として交通安全対策やバスレーン等の交通渋滞対策そして歩道等の景観対策として普及してきているが、これらには、使用される樹脂や骨材の材料特性、そして施工方法により耐久性に大きく影響を与えるものと考えられる。

特に、北海道のような積雪寒冷地域においては、路面表示を含めたこのような樹脂系滑り止め舗装の敷設は、冬期間の除雪作業により容易に剥離されたり、ブレード切刃による切削のため、切削面がより滑りやすくなるなど耐久性及び滑り止め対策としての性能の持続性の面から利用上必ずしも満足のいくものではない場合が見られた。

そこで、本研究では耐久性の強い積雪寒冷地域型樹脂系滑り止め舗装(以下滑り止め舗装と記す)を対象に、除雪グレーダーを用いて骨材の削れ率、滑り抵抗、周波数解析により耐久性の調査を行った。

2. 滑り止め舗装の耐久性試験

実験は当研究所交通研究室所有の江別の走行試走路で行った。実験日の天候は晴れ、気温24℃、湿度46%、路面温度32℃であった。この走行試走路上に幅員2.9m延長3mの滑り止め舗装を2m間隔で7種類敷設し(図-1,2参照)、2次除雪を想定し除雪グレーダーのセンター下部にあるブレードにグレーダーが可能な最大限の圧力をかけて走行することで、滑り止め舗装の耐久性を評価した。

評価は、滑り止め舗装厚の残存率の計測、滑り抵抗試験、深度分布試験、周波数解析により行った。観測は除雪グレーダーの通過回数が10回,50回,100回ごとに行った。除雪実験は当初200回までを予定していたが、切刃が摩耗し限界に達したため100回で終了した。現道での2次除雪は一般的に高速整正タイプの除雪グレーダーで行われており、今回も同様のものを用いた。一般的に凍結路面ではタイヤと路面の間の摩擦係数が低いため、冬期の除雪では切刃にかかる圧力は今回の実験より低い圧力になると考えられる。また、実際の除雪では切刃と路面との摩擦により火花が飛び散ることがあるが、今回の実験でも路面全体に火花が飛び散っていることから(図-3参照)、本実験は現道での除雪と比べ同様、あるいはより過酷な条件で行ったことになる。



図-1 滑り止め舗装設置概要図



図-2 滑り止め舗装敷設 全景



図-3 グレーダ走行状況

表-1 バインダー性能表

試験項目	品質規格 (樹脂舗装技術協会EPN規格)	Aタイプ	Bタイプ
密度	1.30以下	1.25	1.16
可使時間	10～40分	20	15
半硬化時間	6時間以内	3	3
引張強度 (kN/cm ²)	材令3日:材令7日の70%以上 材令7日:0.59kN/cm ² 以上	1.06	1.67
伸び率(%)	20%以上	1.18	1.88
塗膜収縮率(mm)	7mm以下	30	33.8
		4	2

表-2 骨材性能表

項目	セラミック	エメリー	カラーエメリー赤	炭化珪素
骨材の種類	A1粒 A粒	エメリー	カラーエメリー	炭化珪素
モース硬度	7～8	8～9	8～9	13
粒径(mm)	2～3.3 1.0～2.0	1.5～3.5 0.3～1.2	1.5～3.5	1～2.0 2～3.35
比重(表乾)	2.25～2.7	3.10～3.50	3.5	3.00～3.50
吸水率(%)	2.0%以下	0.5～2.0% 0.5～2.0%	1.82	2.0%以下

表-3 配合表

項目	骨材	粒径(mm)	配合比	バインダー
セラミック	セラミックA1粒	2～3.3	100%	Aタイプ
セラミック混合	セラミックA1粒	2～3.3	70%	Bタイプ
	セラミックA粒	1.0～2.0	30%	
エメリー	エメリー	1.5～3.5	100%	Aタイプ
エメリー混合	エメリー	1.5～3.5	80%	Aタイプ
	エメリー	0.3～1.2	20%	
エメリー赤・炭化珪素混合	カラーエメリー	1.5～3.5	80%	Aタイプ
	炭化珪素	1～2.0	20%	
エメリー・炭化珪素混合	エメリー	1.5～3.5	70%	Bタイプ
	炭化珪素	2～3.35	30%	

表-4 プライマー性能表

項目	試験結果	試験方法
種類	合成樹脂塗料	
不揮発分(%)	30	JIS K 5407
上塗り可能時間	3分	路面温度20℃

表-5 熱可塑性樹脂性能表

試験項目	試験結果	試験方法
溶融温度(℃)	190～200	作業性より判断
圧縮強度(kN/cm ²)	0.68	供試体作製後 18時間以上放置 測定温度20℃
引張強度(kN/cm ²)	0.12	
伸び(%)	13.3	

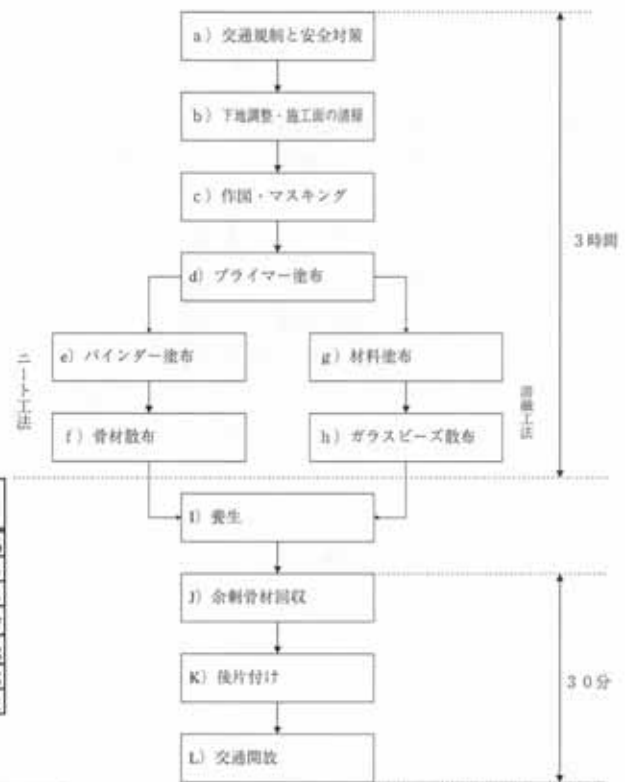


図-4 滑り止め舗装の敷設

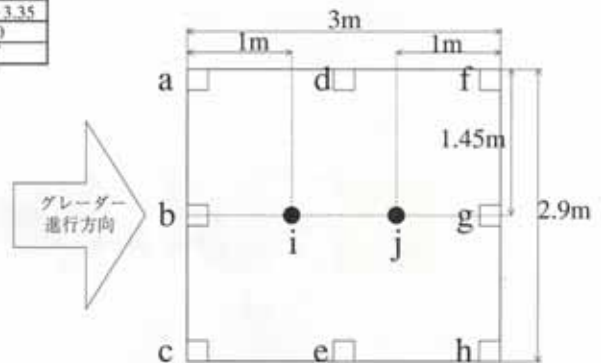


図-5 滑り止め舗装 測定点

2.1 滑り止め舗装の種類

滑り止め舗装は大別するとニート工法と溶融滑り止め工法の2種類がある。ニート工法とは既設、新設のアスファルト舗装、コンクリート舗装面上に、バインダーとして可塑性エポキシ樹脂を薄く均一に塗布し、その上に耐磨耗性のある硬質の骨材を散布して路面に固着させる方法である。過去において、当研究室では、ニート工法によるガラスカレット・黒色エメリー混合の耐久性試験を行っており、所定の評価を得ているので(開発土木研究所月報No533参照)、今回は試験対象を広げるため、さらに7種類の製品について耐久試験を行った。その内セラミック、セラミック混合、エメリー、エメリー混合、エメリー赤・炭化珪素混合、エメリー・炭化珪素混合の6種類をニート工法で敷設した。それぞれのバインダー、骨材の性能、配合比を表-1～3に示す。

今回、用いたバインダーは除雪グレーダー切刃から受ける衝撃を考慮し、低温時における粘弾性を保持し、骨材の保持力及び柔軟性を有する物を用いた。

骨材には大きく分けて自然石であるエメリーと人工骨材であるセラミック、炭化珪素に区別できる。石英の硬度を7とするモース硬度によれば、エメリーはモース硬度が8～9と高く、崩壊面に沿って破碎する性質があり粗面が維持される特徴がある。

人工骨材であるセラミックはモース硬度が7～8とエメリーと比べると柔らかいが、骨材を製造する際に色素を入れることで赤褐色、黄色、緑等の色にすることも可能であるため、色覚による注意喚起にも適している。炭化珪素に関してはモース硬度が13と非常に高く、表面が鏡面状のため日光やヘッドライトを反射してきらきら光り視認性がきわめて良い。特に衝撃が加わると板状に割れる破碎特性から鋭角的な面を保持する特性を有している。また、今回異なる粒径の骨材を混合したものがあるが、これは骨材の粒度分布を広くすることで、粒径の大きな骨材が摩耗しても次に粒径の小さい骨材の鋭角的な部分が表面に露出し粗面化を維持することを目的としたものである。

溶融滑り止め工法は熱可塑性樹脂と顔料、骨材(セラミックA粒)から構成されており、プライマーを塗布し乾燥後に材料を溶解し、専用施工機で施工するものである。なお、視認性の向上のため施工時にガラスビーズを散布している。使用したプライマー、熱可塑性樹脂の性能を表-4,5に示している。

2.2 滑り止め舗装の敷設

滑り止め舗装の敷設は図-4の手順で行われる。この図に表記されている時間は作業時間である。この図のうちb)下地処理は路面が劣化している場合や汚れがひどい場合に行われるが、路面に劣化がなくきれいな場合は必要がない。d)プライマー塗布はコンクリート舗装の場合と溶融滑り止め工法の時には必要とする作業である。作業時間に関して、多少割高にはなるが人や機械を増やすことで、より短縮することが可能である。また、この図に表現されている作業時間は目安であり、現場の状況によって変化するものである。I)養生を行った時の路面温度は32℃でニート工法で2時間程度、溶融滑り止め工法では30分程度必要とした。特に路面温度がこれよりも高い場合には、養生の時間が短縮される。また、路面温度が5℃以下の場合や湿潤時には剥離されやすくなるため、敷設には適さない。

2.3 滑り止め舗装厚の残存率

滑り止め舗装は敷設の出来高厚が種類ごとで異なることから、耐久性を残存率(残存高/出来高厚)で評価した。各種滑り止め舗装厚の残存率の計測は図-5のように計測点(a～h)で行った。グレーダーの走行方向はbからgの方向である。なお評価を容易に行うため、図-5a,b,c地点を前部とし、d,e地点を中部、f,g,hを後部として、それぞれ残存率の平均を算出し評価を行った。

通過回数100回時における滑り止め舗装の写真を図-6～12に示す。また、残存率の結果を図-13～19に示す。全体的な傾向としては、グレーダーの通過回数が10回の時には各種類、各種部位によらず約80%に分布している状況にある。通過回数が50回、100回と増加するごとに前部の残存率が低下していることが分かる。前部の残存率が低下した理由としては、除雪車の切刃が舗装面から滑り止め舗装に乗り上げるときに生ずる衝撃が原因だと考えられる。セラミック系では前部の残存率が30%程度と低く、部分的に剥離している状態も見られた。また、中部、後部では50～60%程度で大きな差は見られなかった。エメリー系ではエメリー混合の前部が30%と低いとそれ以外では45～55%と比較的残存率が高い。エメリー系がセラミック系より前部の残存率が高い要因としては、エメリーの硬度が8～9に対し、セラミックの硬度が7～8と低く、衝撃を受けると前部では硬度の高いエメリーの方が耐久性があると考えられる。また、エメリー混合が他のエメリー系に比べ前部の残存率が低い要因としては粒径が0.3～1.2mmと小さいものが20%含まれているため、これ



図-6 セラミック

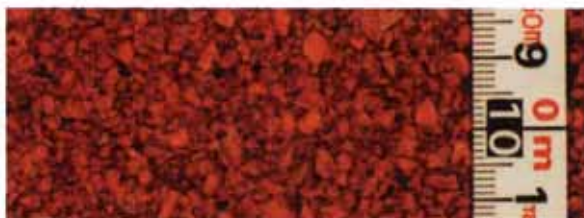


図-7 セラミック混合



図-8 エメリー



図-9 エメリー混合



図-10 エメリー赤・炭化珪素混合



図-11 エメリー・炭化珪素混合



図-12 溶融滑り止め工法

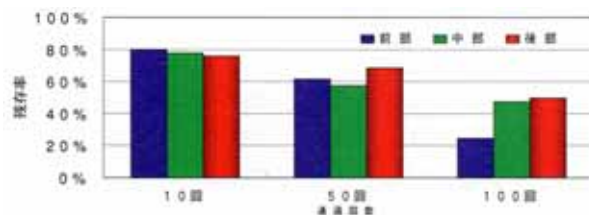


図-13 セラミック 残存率

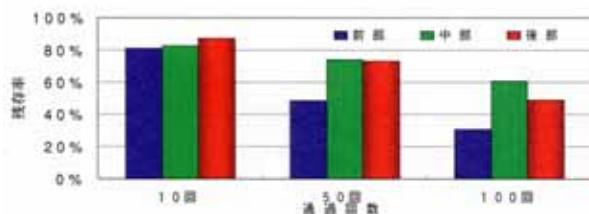


図-14 セラミック混合 残存率

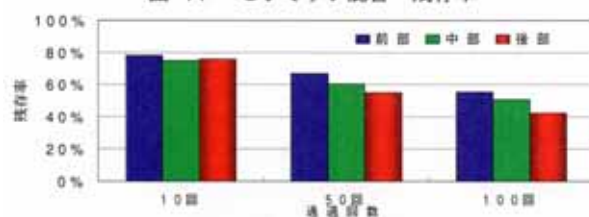


図-15 エメリー 残存率

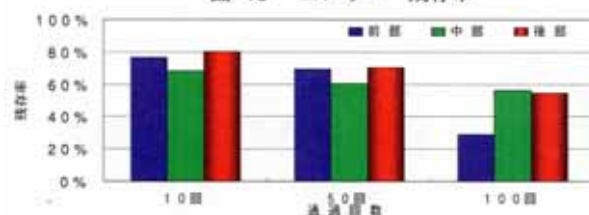


図-16 エメリー混合 残存率

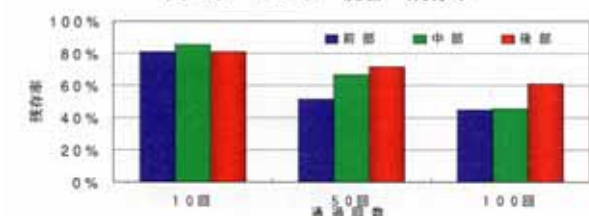


図-17 エメリー赤・炭化珪素混合 残存率

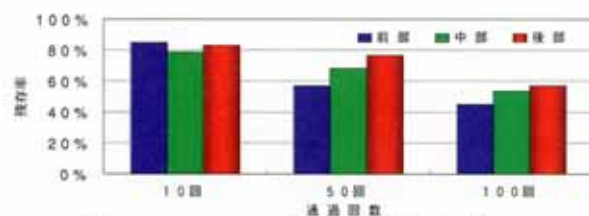


図-18 エメリー・炭化珪素混合 残存率

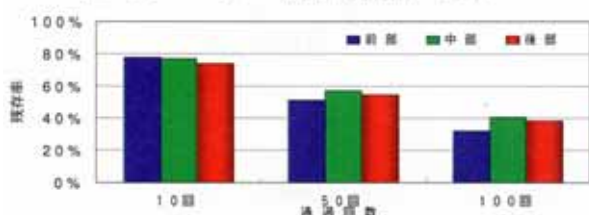


図-19 溶融滑り止め工法 残存率

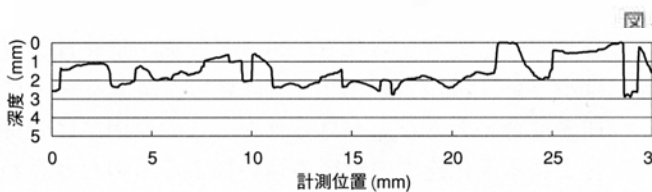
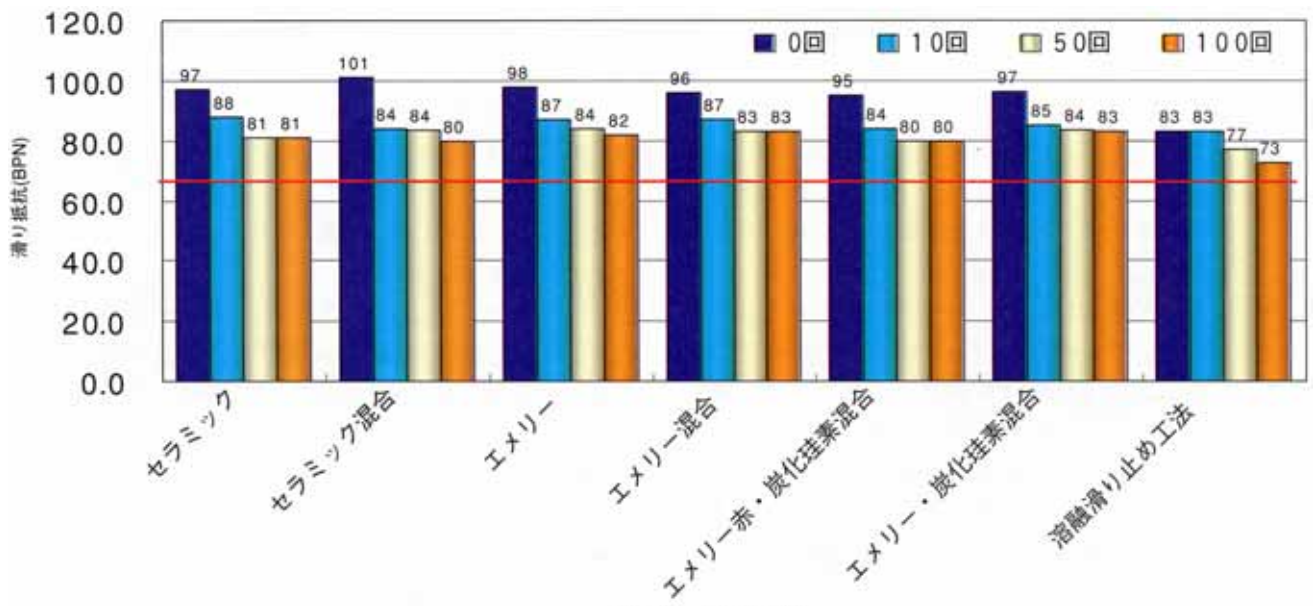


図-21 セラミック混合 耐久試験前深度分布

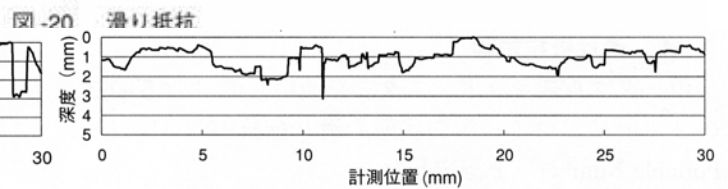


図-25 エメリー混合 深度分布

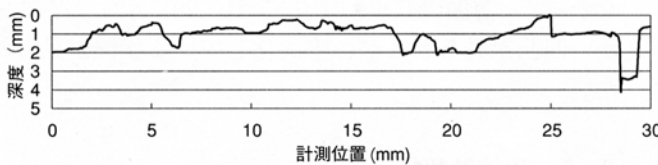


図-22 セラミック深度分布

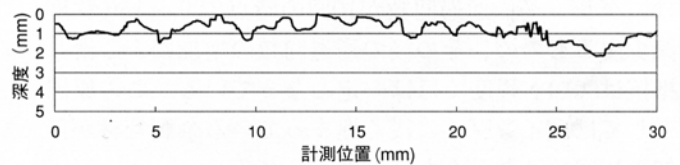


図-26 エメリー赤・炭化珪素混合 深度分布

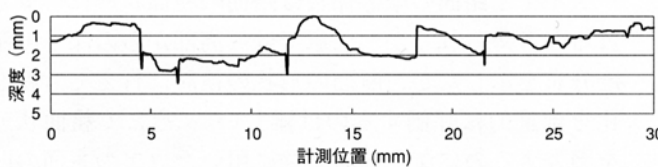


図-23 セラミック混合 耐久試験後深度分布

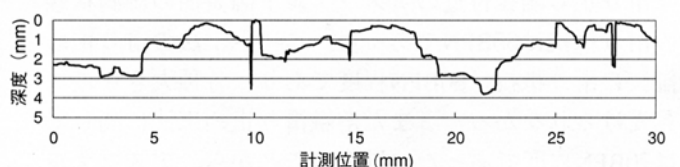


図-27 エメリー・炭化珪素混合 深度分布

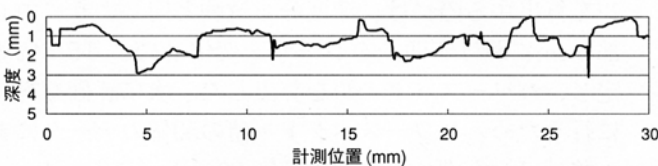


図-24 エメリー 深度分布

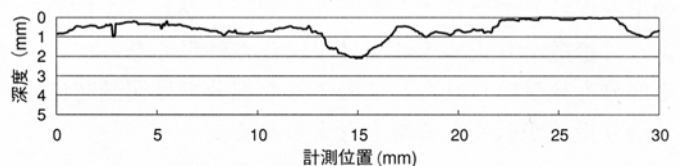


図-28 溶融滑り止め工法 深度分布

表-6 深度分布

	セラミック混合 グレーダ耐久試験前	セラミック	セラミック混合 グレーダ耐久試験後	エメリー	エメリー混合	エメリー赤・炭 化珪素混合	エメリー・炭化 珪素混合	溶融滑り止 め工法
平均値(mm)	1.52	1.06	1.35	1.22	1.04	0.83	1.41	0.63
最大値(mm)	2.89	4.06	3.41	3.10	3.14	2.15	3.80	2.08
標準偏差	0.73	0.64	0.73	0.64	0.49	0.46	0.95	0.47
平均値+標準偏差	2.25	1.70	2.08	1.86	1.53	1.29	2.36	1.10
平均値-標準偏差	0.79	0.41	0.62	0.58	0.55	0.37	0.45	0.15

がグレーダーからの衝撃により剥離あるいは破碎したと考えられる。

前部のa、b、cは強い衝撃を受ける箇所が多くなるため、滑り止め舗装の残存率を評価するとき中部のd、eを全体の代表的な点と考えた。ニート工法のd、e点で残存率は50～60%程度で各種滑り止め舗装に大きな差は見られなかった。

溶融滑り止め工法では前部、中部、後部とも残存率が40%以下となっている。また図-12のように所々黒く平滑化している部分も見受けられた。これは滑り止め舗装との摩擦熱によって加熱された切刃の圧力によるものと考えられる。実際の除雪では摩擦熱の影響は小さくなくなると思われるが、残存率に大きく差が出たことから溶融滑り止め工法はニート工法と比べ耐久性は劣ると考えられる。

2.4 滑り抵抗試験

ポータブルスキッドテスターを使用して、図-5のi、jの2カ所において、湿潤状態の滑り抵抗BPN(British Portable Number)を測定した。

滑り抵抗は図-20に示す。ニート工法の滑り止め舗装は、グレーダー通過回数が10回の時点で9～15%程度減少するものの、その後の通過回数の増加による滑り抵抗は80BPN程度でほぼ一定となっている。この原因としてはバインダーに浅く埋まっている余剰骨材が最初の10回で逸散したためと考えられる。

滑り止め舗装付近のアスファルト舗装面の湿潤状態の滑り抵抗は65BPNであった。ニート工法の滑り止め舗装の滑り抵抗は80BPN程度であり、各種大きな差は見受けられなかった。また溶融滑り止め工法に関しては70BPN程度であった。以上のことから、アスファルト舗装面と比較すると、各種滑り止め舗装は滑り止め効果を保持していることがわかった。しかし、図-12のように溶融滑り止め工法では平滑化され黒くなっている部分も見受けられた。このような部分では湿潤時には滑り抵抗が低くなる事も考えられる。

2.5 深度分布試験

グレーダ耐久試験後の各種滑り止め舗装に関して粗面化が維持されている状況を捉えるため、最高部からの深さの分布について検討を行った。また、対象実験としてグレーダ耐久試験前のセラミック混合を加えて行った。

まず、グレーダ走行後に直径14cmのコアを各種舗装毎1個ずつ抜き試験体とした。表面形状の測定には

CCD (Charge Coupled Devices) レーザ変位センサユニットを使用し、試験体の中心部の3cmについて直角方向で2方向で行った。

試験方法は0.05mmピッチで行い、測定点の中で最も高い部分を基準として、そこからの深さ (mm) に変換した。図-21～28、表-6に各種滑り止め舗装の深度分布を示す。

セラミック混合耐久試験前では1mm程度の比較的小さな凹凸が見られるが、耐久試験後ではグレーダにより小さな骨材が切削、あるいは破碎したため図-23のように大きな凹凸が目立つ形状になったと思われる。

滑り止め舗装の水膜や氷膜に対する効果は、骨材の凹凸が膜を突き破ることで滑り止めの効果が生じると考えられる。耐久試験後の深度分布では、図-27よりエメリー・炭化珪素混合が比較的大きな凹凸を有し、また標準偏差が最も大きいことから、最も大きな凹凸を有していると考えられる。エメリー赤・炭化珪素混合は小さい1mm程度の凹凸が目立ち、エメリー・炭化珪素混合と大きな差が見られた。この原因には骨材に含まれる炭化珪素の粒径の違いによるものと思われる。また、その他のニート工法では大きな差が見られなかった。溶融滑り止め工法では図-28に示すように細かい凹凸が見られるが、平面化している状況が見られた。

2.6 周波数解析

タイヤと路面の摩擦係数は路面の粗面状態に影響されると考えられるが、前章では最高部からの深さの深度分布を示したが、断面の形状の検討は行っても粗面化を定量的に評価するのは難しい。そこで粗面状態を調査するのに深度分布試験に用いたコアの表面の凹凸のパワースペクトルにより行った。パワースペクトルを算出する際には、深度分布試験と同じように中心部3cmにおける凹凸をレーザー変位計により512個測定し、パワースペクトルを算出した。次に評価を容易に行うため、パワースペクトル値の50個のデータによる移動平均を求めた。結果は図-29のようになった。

グレーダ耐久試験前のセラミック混合が最も高い値を示しているが、耐久試験後ではエメリー・炭化珪素混合が最も高い値を示している。つぎにエメリー混合、セラミック混合、エメリーが比較的近い値で推移している事から性能に大きな違いはないと思われる。次に、エメリー赤・炭化珪素混合、溶融滑り止め工法となっている。

エメリー・炭化珪素混合とエメリー赤・炭化珪素混

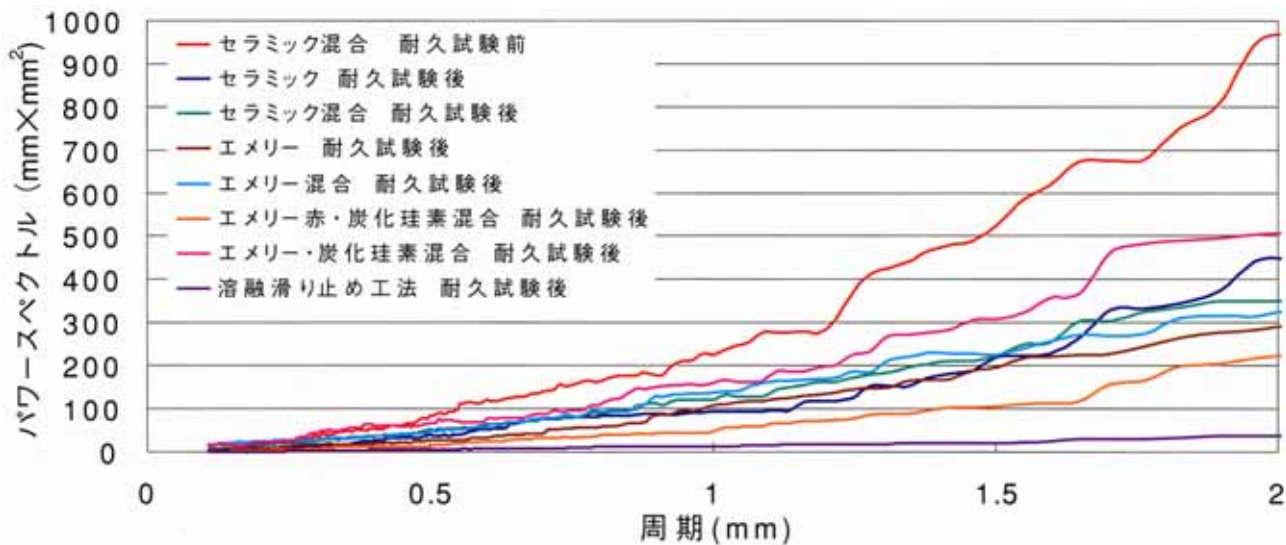


図-29 周波数解析

表-7 各種滑り止め舗装
経済比較

項目		敷設費計 円/m ²
ニート 工法	セラミック	5900
	セラミック混合	6600
	エメリー	5600
	エメリー混合	5900
	エメリー赤・炭化珪素	8000
	エメリー・炭化珪素	9300
溶融滑り止め工法 (ゼブラ施工時)		6100

表-8 各種滑り止め舗装の特徴

項目	中部地点 残存率(%)	滑り抵抗 (BPN)	深度分布 標準偏差	経済性 (敷設費、円/m ²)
セラミック	47	81	0.64	5900
セラミック混合	60	80	0.73	6600
エメリー	50	82	0.64	5600
エメリー混合	56	83	0.49	5900
エメリー赤・炭化珪素混合	45	80	0.46	8000
エメリー・炭化珪素混合	56	83	0.95	9300
溶融滑り止め工法	40	73	0.47	6100

合は大きな差が見られた原因には、エメリー赤・炭化珪素混合中の炭化珪素の粒径が1～2.0とエメリー・炭化珪素混合中の2.0～3.35に比べ粒径の小さいものを用いているため、炭化珪素に衝撃が加わると板状に割れ鋭角的な面を保持する特性が機能しなかったとも考えられる。溶融滑り止め工法に関しては、どの周期においても最も小さい値を示していることからニート工法と比べると粗面状態の耐久性が劣ると思われる。

3. 経済性

各種滑り止め舗装の経済比較を表-7に示す。ニート工法の内、炭化珪素を含むエメリー赤・炭化珪素混合、エメリー・炭化珪素混合がエメリーのみと比べて敷設費が4～7割程度高く、最も高い敷設費になっている。また最も安価なのはエメリーで、次にエメリー混合、セラミックとなっている。なお、表中の金額はゼブラ施工したときのもので全面施工の場合は10%程度安価になる。また、敷設費は材料費、施工費、雑品を含む直接工事費を示している。

4. 考察

今回、7種類の滑り止め舗装を対象に残存率、滑り抵抗、粗面度の点から耐久性を検討したが、それぞれ

の試験項目を相対的に評価するため、各種滑り止め舗装の各試験項目での、試験結果を表-8に示す。

残存率の面からは、溶融滑り止め工法以外の工法では、セラミック及びエメリー赤・炭化珪素混合は他のものと比較し、残存率が低いという結果が得られ、また、前端部の剥離から見るとセラミック系には劣る点が見られたが、大きな差があると評価を下すのは難しい。また、滑り抵抗の耐久性の面でも、溶融滑り止め工法以外の工法では大きな差が見られなかった。

粗面度の面では周波数解析及び深度分布による評価を試みたが、これについても溶融滑り止め工法以外では明確な評価を下すことは困難であると考えられる。

今回の試験調査は以前、別途試験で行った耐久試験（開発土木研究所月報No533参照）の追加調査として行ったものである。以前行った試験ではエメリー・ガラスカレットを混合した滑り止め舗装について行い耐久試験を行い、十分な耐久性を有することが確認されていた。

今回の耐久試験でも同様に除雪に対する耐久性が確認されたことから、現場に敷設する際には骨材の着色効果や散光効果も考慮しつつ使用目的、使用環境に合わせて選定するのが望ましいと考えられる。

5. まとめ

滑り止め舗装は、本州等では交通安全対策として広く普及している手法であるが、道内では除雪ブレードによる樹脂の剥離や平滑化のため耐久性及び性能の持続性の面から普及が遅れていた。今回の試験調査により、滑り止め舗装は積雪寒冷地域での最大の課題であった除雪に対する十分な耐久性も有することが確認されたと考えられる。

6. 今後の課題

- 1) 今回の実験では試走路内の耐久性試験を行ったが、今後、実際の道路交通に供した場合の耐久性に関して調査を行う必要がある。
- 2) カーブ区間における減速マーキングとして敷設した場合の交通流に与える効果や、注意喚起として交差

点部に用いたときの追突やスリップ事故に対する効果を調査する必要がある。

- 3) 凍結路面で用いた際の効果に関する調査を行う必要がある。

<参考文献>

- 1) 吾田洋一、高木秀貴、長谷川常顯、除雪ブレードによる樹脂系滑り止め舗装の耐久性の評価、開発土木研究所月報 No533、1997年10月
- 2) 大沼秀次、稲沢公良、吾田洋一、滑り止め舗装の効果と耐久性について、第43回北海道開発局技術研究発表会
- 3) 稲沢公良、高木秀貴、吾田洋一、長谷川常顯、除雪ブレードによる樹脂系滑り止め舗装の耐久性の評価、第14回寒地技術シンポジウム



近江 隆洋*

開発土木研究所
道路部
交通研究室
室員



浅野 基樹**

開発土木研究所
道路部
交通研究室
室長



吾田 洋一***

開発土木研究所
道路部
交通研究室
研究員