

論文 細骨材種類と細骨材率および摩耗時の環境湿度がコンクリート舗装の路面テクスチャおよびすべり抵抗性に及ぼす影響

遠藤 大樹*1・泉尾 英文*2・上野 敦*3

要旨: コンクリート舗装の粗骨材が露出する前にすべり抵抗性が低下する要因を明確にすることを目的に、細骨材種類、細骨材率および摩耗時の環境湿度が路面テクスチャとすべり抵抗性に及ぼす影響について検討した。その結果、摩耗時に湿潤状態の場合では、細骨材種類、細骨材率に関わらず、すべり抵抗性は低下した。湿潤状態では、タイヤの摩擦力が低下することから、路面テクスチャの変化が小さくなり、表面がすり磨かれやすくなったと考えられた。また、乾燥した状態であっても、石灰石砕砂を使用した場合や表層にペーストが多い場合は、ペースト部や細骨材がすり磨かれ、すべり抵抗性は低下する傾向を示した。

キーワード: コンクリート舗装, すべり抵抗性, マクロテクスチャ, マイクロテクスチャ, 細骨材

1. はじめに

舗装の走行安全性において重要なすべり抵抗性には、路面のマクロテクスチャ（波長 0.5~50mm）とマイクロテクスチャ（波長 0.5mm 未満）が影響を及ぼすとされている¹⁾。マクロテクスチャは路面の排水を促し、タイヤの変形に伴うエネルギー損失に起因するヒステリシス摩擦に影響する。マイクロテクスチャはタイヤと路面界面のせん断強度と接触面積による凝着摩擦に影響し、すべり抵抗性はこの2つの摩擦機構の相互作用である²⁾。

近年、一部のトンネル内でコンクリート舗装のすべり抵抗性が低下することが報告されており、その路面は車のヘッドライトを反射させるほどの光沢を帯びている³⁾。これは、スパイクタイヤの規制により路面が粗面とならず、すり磨き作用を受けるためと考えられている⁴⁾。また、トンネル内だけでなく、通常よりも富配合の早期交通開放型コンクリート舗装は、ほうき目の形成状況によって供用初期のすべり抵抗性が低くなる報告もある⁵⁾。以上より、すべり抵抗の低下抑制に寄与する粗骨材が露出する前に、すべり抵抗が低下する現象が発生している。

コンクリート舗装のすべり抵抗性には、骨材種類、単位骨材量および環境条件等が影響するといわれている。骨材は、すりへり特性が影響するとされ、特に石灰石骨材はすべり抵抗性が低くなるとの報告⁶⁾があり、細骨材

量が多い方がすべり抵抗の持続性が高いとの報告⁷⁾がある。また、環境条件では、風向き、湧水、漏水等によって結露しやすく、湿潤状態になりやすい箇所がすべりやすいといわれている³⁾。

本研究では、粗骨材が露出する前にすべり抵抗性が低下する要因を明確にすることを目的に、細骨材種類、細骨材率および摩耗時の環境湿度がコンクリート舗装の路面テクスチャとすべり抵抗性に及ぼす影響について検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

使用材料を表-1、コンクリートの配合を表-2 に示す。本検討では、摩耗過程で路面テクスチャに影響を及

表-1 使用材料

	記号	種類	密度 (g/cm ³)
水	W	上水道水	-
セメント	C	普通ポルトランドセメント	3.15
細骨材	TS	静岡県掛川産 山砂	2.59*
	CS	東京都青梅産 砂岩砕砂	2.69*
	LCS	埼玉県秩父産 石灰石砕砂	2.67*
粗骨材	G	東京都青梅産 硬質砂岩碎石 2005	2.64*
混和剤	SP	高性能 AE 減水剤 標準形	-
	AD	AE 減水剤 高機能タイプ	-

*表乾密度

表-2 コンクリートの配合

名称	細骨材種類	W/C (%)	s/a (%)	Vs/Vm (%)	単位量 (kg/m ³)						SP (C×%)	AD (C×%)	フレッシュ性状		曲げ強度 (N/mm ²)
					W	C	TS	CS	LCS	G			SL(cm)	Air(%)	
TS-39	TS	42.0	38.8	51.4	146	348	702	-	-	1129	0.8	-	2.5	4.3	6.43
CS-39	CS	42.0	38.8	49.4	154	367	-	711	-	1106	-	1.0	3.5	3.2	-
LCS-39	LCS	42.0	38.8	53.0	139	331	-	-	736	1149	-	1.0	3.0	4.7	-
TS-42	TS	42.0	42.2	53.5	146	348	763	-	-	1066	0.7	-	2.0	4.3	6.31
TS-35	TS	42.0	35.4	49.1	146	348	640	-	-	1192	1.0	-	3.5	4.3	6.60

*1 住友大阪セメント株式会社 セメント・コンクリート研究所 修士 (工学) (正会員)

*2 一般社団法人セメント協会 研究所 博士 (工学)

*3 東京都立大学 都市環境学部都市基盤環境学科准教授 博士 (工学) (正会員)

ぼすモルタル中の細骨材に着目し、細骨材種類を山砂、砂岩砕砂および石灰石砕砂の3種類とした。これらは、いずれも JIS A 5308 附属書 JA に規定される細骨材である。また、細骨材の含有量による影響を確認するため、山砂を用いた場合のみ、細骨材率 s/a を 42%、39% および 35% の 3 水準とした。なお、参考までに細骨材の含有量は、モルタルに対する細骨材の体積比 (V_s/V_m) として表-2 に記載し、化学混和剤で調整したフレッシュ性状の結果および JIS A 1106 に準拠した材齢 28 日の曲げ強度を合わせて記載した。

2.2 供試体

各コンクリートを $460 \times 460 \times 50\text{mm}$ の平板型枠に打ち込み、ブリーディングが落ち着いた後にコテ仕上げを行い、コテ仕上げ後 30~60 分後に状況を確認しながら、粗面仕上げとしてほうき目仕上げを実施した。養生は、室内で材齢 7 日まで湿潤養生後に気中保管を行い、材齢 28 日以降に摩耗試験を開始した。

2.3 すべり抵抗の測定

すべり抵抗性は、舗装調査・試験法便覧 S021-3「回転式すべり抵抗測定器による動的摩擦係数の測定方法」に準拠した DF テスタの 60km/h における動的摩擦係数(以下、 μ_{60})で評価した。DF テスタは、回転式の円盤にゴムスライダが3つ取り付けられており、散水されながら円盤の回転速度が 90km/h に達すると回転しながら円盤が路面に落下し、ゴムスライダと路面が接触すると同時に速度に対する摩擦係数が測定される。本研究において、 μ_{60} での評価とした理由は、実道を評価するすべり抵抗測定車との相関が認められている速度領域であり⁸⁾、一般的に使用されているためである。

2.4 表面の摩耗方法

表面の促進摩耗には、写真-1 に示す三輪式摩耗試験機⁹⁾を使用した。試験機は三輪のタイヤが DF テスタの測定線上を回転しながら走行する構造となっており、摩耗した路面に対する μ_{60} を測定することが可能である。路面に直接影響を与えるタイヤは、実タイヤのトレッドのゴムを巻き付けて使用した。

本研究における摩耗時の環境湿度は、乾燥と加湿の2条件とした。乾燥は大気条件で実施し、加湿条件の場合は、三輪式摩耗試験機の空間内をビニールで覆い、加湿器を用いて、湿度 100% で供試体表面が濡れる状態とした。いずれの条件においてもタイヤ接地圧を大型車相当の 0.75MPa、摩耗輪数を 240 輪/分とし、0、1.5、3、15、27 万輪まで摩耗試験を行った。

2.5 路面テクスチャの測定および評価方法

(1) テクスチャの測定方法

テクスチャの測定は、すべり抵抗試験時に、レーザセンサを用いた非接触式および触針を用いた接触式により

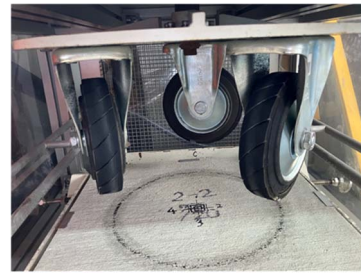


写真-1 三輪式摩耗試験機

表-3 テクスチャ測定条件

条件	非接触式	接触式
測定方法	青色半導体レーザ /CMOS センサ	触針
測定範囲	120mm	7mm
測定間隔	10 μm	0.5 μm
高さ範囲	5.20mm	0.36mm
高さ精度	0.20 μm	0.02 μm

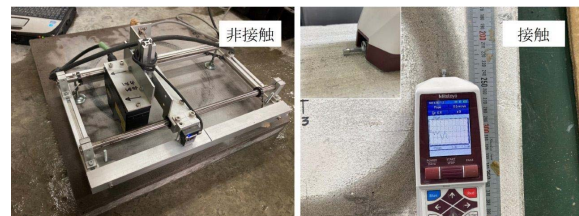


写真-2 測定状況

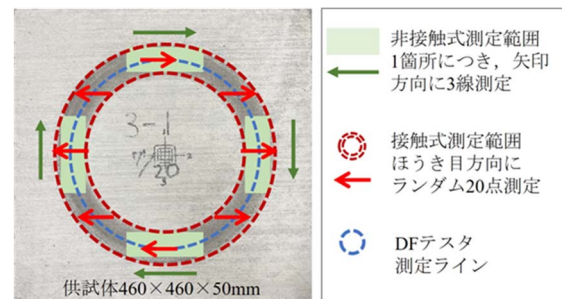


図-1 テクスチャの測定箇所

測定した。それぞれの測定条件を表-3 に示し、テクスチャの測定状況を写真-2 に、測定箇所を図-1 に示す。

非接触式は線状の光を対象路面に照射し、凹凸(以下、凹を谷部、凸を山部と称す)の路面からの反射光を受光して画像解析によって形状を測定する光切断法¹⁰⁾を用いた。接触式は、レーザセンサよりも高い分解能を有する小型表面粗さ測定機を使用した。非接触式は、ほうき目仕上げのマクロおよびマイクロテクスチャの評価が可能である。一方、接触式は初期のほうき目仕上げの山谷部の高さを乗り越えることが難しいが、表-3 に示すとおり、非接触式に比べて測定間隔が 1/20 であり、ほうき目上および摩耗後のペースト部や細骨材表面部などのマイクロテクスチャの評価が可能である。

(2) 粗さ曲線の取得方法

測定したテクスチャは、マクロおよびマイクロテクスチャが混在した路面波形となっているため、特定の路面波長以下の粗さ曲線を抽出する必要がある。図-2に粗さ曲線の算出イメージを示す。路面で得られた計測断面曲線に JIS B 634 に準拠して、ガウシアン関数を用いて算出したうねり曲線を計測断面曲線から除去し、粗さ曲線を得た。ガウシアン関数は、カットオフ値と呼ばれる特定の波長を与えることにより、最終的に特定の波長以下のテクスチャを抽出することができる。本研究では、マクロテクスチャは、ほうき目間隔を網羅できる波長 5mm とし、マイクロテクスチャは、従来からすべり抵抗性との関係性が高いとされる波長 0.5mm¹⁰⁾、0.1mm¹¹⁾を採用して、粗さ曲線を求めた。

(3) テクスチャの評価方法

得られた粗さ曲線を用いて、JIS B 0601 に準拠した算術平均粗さ Ra および JIS B 0671-2 に準拠した負荷長さ率 Rmr1 を用いてテクスチャを定量化した。Ra はテクスチャの山谷部の平均的な高さを示すものであり、波長 0.5mm の Ra(0.5)とすべり抵抗性との相関がある程度認められている¹⁰⁾。負荷長さ率 Rmr1 はある基準となる高さよりも突出した山谷部の割合を示し、Rmr1 は山部の割合を示している。これまでに Rmr を用いたすべり抵抗性の推定モデルが提案¹²⁾されている。

本研究では、マクロテクスチャの谷部が排水の役割を有することから、山谷部を総合的に判断する必要があるため Ra で評価した。マイクロテクスチャは、排水の役割よりも山部のタイヤとの接触部がすべり抵抗性に影響するものと考えられるため、Ra に同じ波長の突出した山部の割合を乗じた Ra(μm)×Rmr1(%) (以下、Ra') で評価した。なお、非接触式でのデータは、マクロおよびマイクロテクスチャを含めた波長 5mm、0.5mm の粗さ曲線を用いて Ra(5)および Ra'(0.5)で評価した。接触式でのデータは、波長 0.1mm の Ra'(0.1)で評価した。いずれの指標も測定値の平均値を採用した。また、本実験は摩耗前の路面状態から摩耗に伴うテクスチャの変化を確認した。

2.6 デジタルマイクロスコープによる表面観察

マイクロスコープを用いて、摩耗条件別の摩耗前と摩耗 27 万輪後の代表的な表面画像を取得した。撮影時は供試体の向き、照明方向はいずれも同じとし、ほうき目の状況、細骨材の露出状況などを画像から確認した。

3. 細骨材種類の検討の結果および考察

3.1 すべり抵抗性 (μ60)

摩耗条件による細骨材種類別の μ60 を図-3 に示す。摩耗条件に関わらず供試体作製時のほうき目の形成状況によって、摩耗前の μ60 はバラツキが大きい、いずれ

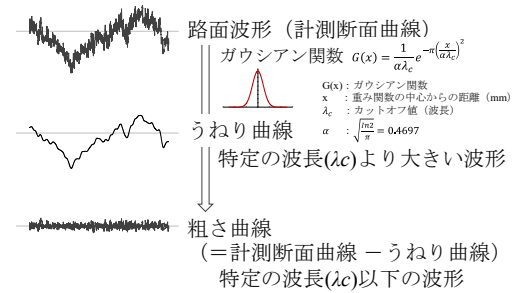


図-2 粗さ曲線の算出イメージ

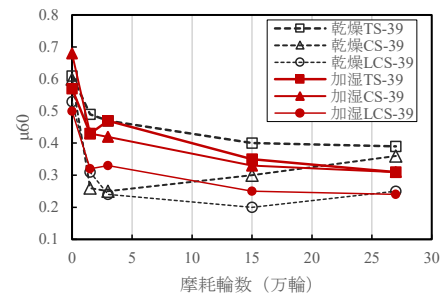


図-3 摩耗条件による細骨材種類別の μ60

も摩耗 1.5 万輪で μ60 は摩耗前に比べて大きく低下した。

乾燥条件の場合、TS-39 は摩耗 1.5 万輪以降に若干低下しながらもほぼ横ばいに推移した。CS-39 は、摩耗 3 万輪以降に大きく上昇する傾向を示し、TS-39 と同程度になった。一方、LCS-39 は摩耗初期の 1.5 万輪で低下した以降も低位で推移した。

加湿条件の場合、細骨材種類に関わらず、いずれも摩耗 3 万輪以降の μ60 は低下する傾向を示した。

3.2 テクスチャの変化および表面状況

摩耗条件による細骨材種類別のテクスチャを図-4 に示し、各供試体の表面状況を図-5～図-10 に示す。

(1) 山砂の場合 (TS-39)

乾燥条件では、ほうき目のきめが深く、他の供試体に比べて Ra(5)が最も大きくなったと考えられ、ほうき目が摩耗する過程で摩耗前に比べて Ra(5)が大きく低下して μ60 も低下したが、図-5 の表面状況から、27 万輪後には細骨材が露出しているため、Ra'(0.5)、Ra'(0.1)が増加した 1.5 万輪以降に細骨材の露出や、細かい細骨材が剥がれてマイクロテクスチャが形成された可能性が高く、その後の μ60 の低下が抑制されたと考えられる。また、タイヤのゴムなどが谷部を埋めている状況も確認された。

加湿条件では、ほうき目が摩耗する過程で摩耗前に比べて Ra(5)が低下したが、27 万輪後の Ra'(0.5)は摩耗前と同程度であり、乾燥条件に比べて変化量は小さかった。これは、図-6 の表面状況から、乾燥条件よりペースト部が粗面にならず、均質に細骨材が露出していることが原因と考えられた。また、Ra'(0.1)は乾燥条件と同様に摩耗に伴い低下し、27 万輪後の Ra'(0.1)は乾燥条件と同程

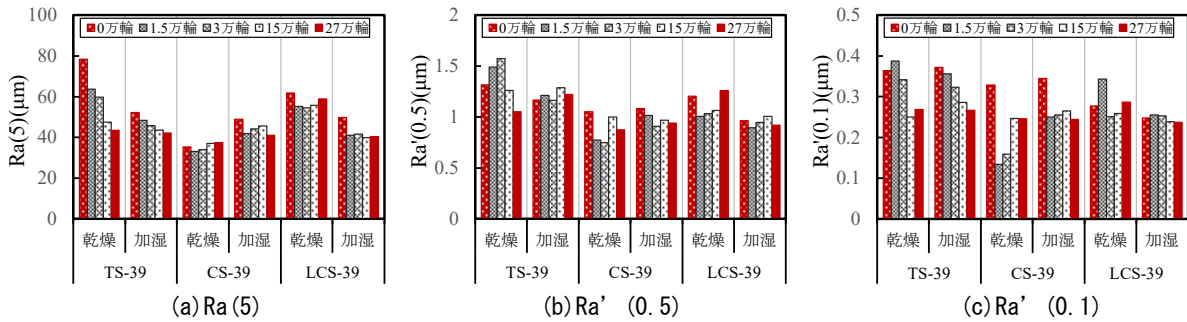


図-4 摩耗条件による細骨材種類別のテクスチャ

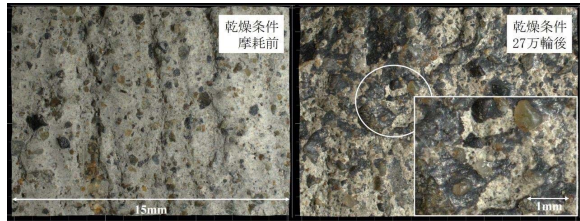


図-5 乾燥条件 TS-39

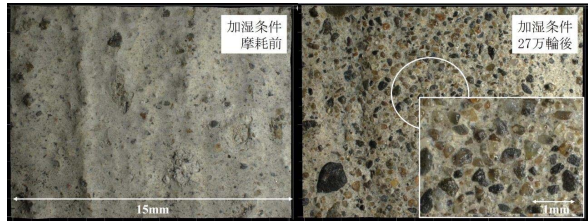


図-6 加湿条件 TS-39

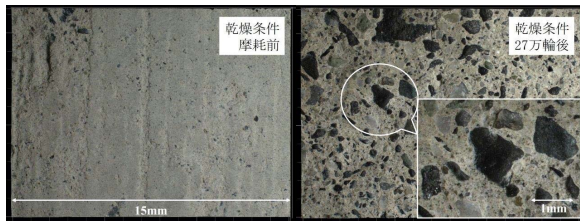


図-7 乾燥条件 CS-39

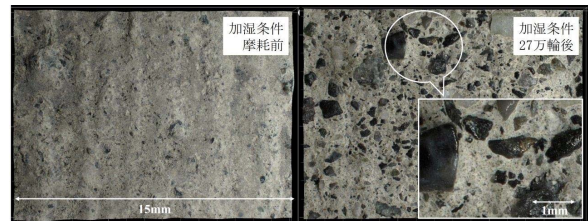


図-8 加湿条件 CS-39



図-9 乾燥条件 LCS-39



図-10 加湿条件 LCS-39

度であった。しかし、加湿条件では、細骨材に光沢が確認できるほど、すり磨かれた状況であり、加湿条件の方が27万輪後の $\mu 60$ は低いことから、 $\mu 60$ が低下した原因をテクスチャから特定することができなかった。

(2) 砂岩砕砂の場合 (CS-39)

乾燥条件では、図-7に示すとおり、摩耗前のほうき目の形成状況が悪く、 $Ra(5)$ は最も小さくなった。また、表面のペースト層をすり磨いたことから、TS-39に比べて摩耗に伴う $Ra(5)$ の変化は小さく、 $Ra'(0.5)$ 、 $Ra'(0.1)$ は、1.5万輪時で摩耗前よりも低下したと考えられる。一方、27万輪後の状況では、細骨材が露出していることから、 $Ra'(0.5)$ 、 $Ra'(0.1)$ が増加した3~15万輪の間に細骨材が露出した可能性が高く、 $\mu 60$ の上昇に繋がったと考えられる。

加湿条件では、 $Ra(5)$ 、 $Ra'(0.5)$ および $Ra'(0.1)$ のいずれも摩耗に伴って低下した。図-8の表面状況から、27万

輪後は乾燥条件と同程度の細骨材の露出が確認できたが、細骨材は光沢が確認できるほどすり磨かれており、 $Ra'(0.1)$ は乾燥条件と同等であったため、TS-39同様にテクスチャから原因を特定することはできなかった。

(3) 石灰石砕砂の場合 (LCS-39)

乾燥条件では、 $Ra(5)$ 、 $Ra'(0.5)$ および $Ra'(0.1)$ はいずれも摩耗前と27万輪後は同程度で、TS-39およびCS-39よりも大きい値となったが、 $\mu 60$ は最も低かった。図-9の表面状況から、他の細骨材と異なり、乾燥条件でも細骨材に光沢が確認できるほどすり磨かれていた。そのため、1.5万輪でほうき目の摩耗に伴い $Ra(5)$ が低下したが、細骨材のすり磨きの過程で細骨材が削られるため、TS-39のように $Ra'(0.5)$ は増加しなかったと考えられる。また、3~27万輪時にはいずれの Ra 、 Ra' は増加傾向にあることから露出した細骨材が剥がれたことで、特にマイクロテクスチャの $Ra'(0.5)$ および $Ra'(0.1)$ が摩耗前と同程度

上に上昇し、Ra(5)は摩耗前よりは小さいが、付随して15万輪から微増したと考えられた。

加湿条件では、27万輪後のRa(5)は摩耗前より低下したが、Ra'(0.5)、Ra'(0.1)の変化量は小さく、摩耗前と同程度であった。図-10の表面状況から、他の細骨材と同様に加湿条件はペースト部よりも、細骨材のすり磨きが確認された。このことからLCS-39は摩耗条件にかかわらず、骨材自体がすり磨かれやすいと考えられた。

4. s/aの検討の結果および考察

4.1 すべり抵抗性 ($\mu 60$)

摩耗条件によるs/a別の $\mu 60$ を図-11に示す。

摩耗条件に関わらず、s/aが最も小さいTS-35は3万輪以降も低下傾向を示したことから、すべり抵抗の持続性に対して、s/aは大きい方が効果的と考えられる。しかし、加湿条件の場合は、s/aによる $\mu 60$ の差は小さかった。

4.2 テクスチャの変化および表面状況

摩耗条件によるs/aの各テクスチャを図-12に示し、各供試体の27万輪後の表面状況を図-13~図-16に示す。なお、s/a39%の結果は3.2(1)山砂の場合(TS-39)に示すとおりである。

(1) s/a42%の場合 (TS-42)

乾燥条件のRa(5)、Ra'(0.5)およびRa'(0.1)はTS-39と同じ傾向であり、図-13の表面状況から、27万輪後には細骨材が露出しているため、Ra'(0.5)、Ra'(0.1)が摩耗前よりも増加した1.5万輪以降に細骨材が露出した可能性が高く、その後の $\mu 60$ の低下が抑制されたと考えられた。

加湿条件は、27万輪後のRa'(0.5)が摩耗前より若干大きい、Ra(5)、Ra'(0.5)およびRa'(0.1)はTS-39と同じ傾向であり、図-14の表面状況から、細骨材のすり磨きが

確認された。

(2) s/a35%の場合 (TS-35)

乾燥条件では、Ra(5)、Ra'(0.5)およびRa'(0.1)が摩耗により低下したが、27万輪後のRa'(0.1)はTS-42やTS-39よりも小さくなった。これは、図-15の表面状況から、細骨材率が小さいため、ペースト部のすり磨きが顕著となったことが、TS-42やTS-39よりも $\mu 60$ が小さくなった原因と考えられた。このため、富配合や細骨材が少ない配合、または、ほうき目仕上げ時にペーストが集まっているような表面は、摩耗に伴って、ペーストがすり磨かれ、すべり抵抗が低下しやすい可能性があった。

加湿条件では、Ra(5)、Ra'(0.5)は乾燥条件に比べて変化量が小さかったが、Ra'(0.1)は乾燥条件と同じように摩耗に伴って低下した。図-16の表面状況から、一部細骨材のすり磨きを確認したが、27万輪後のRa'(0.1)は乾燥条件と同等であり、加湿条件の $\mu 60$ が小さくなった原因は細骨材種類同様にテクスチャでは特定できなかった。

5. 摩耗時の環境湿度とテクスチャの考察

これまでの状況から、Ra(5)は主にほうき目状況を表し、

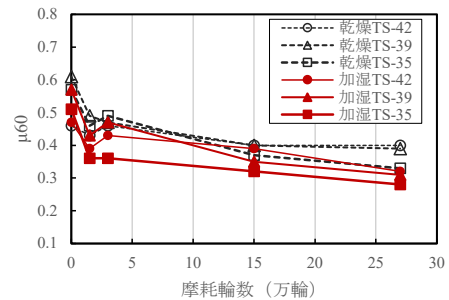


図-11 摩耗条件によるs/a別の $\mu 60$

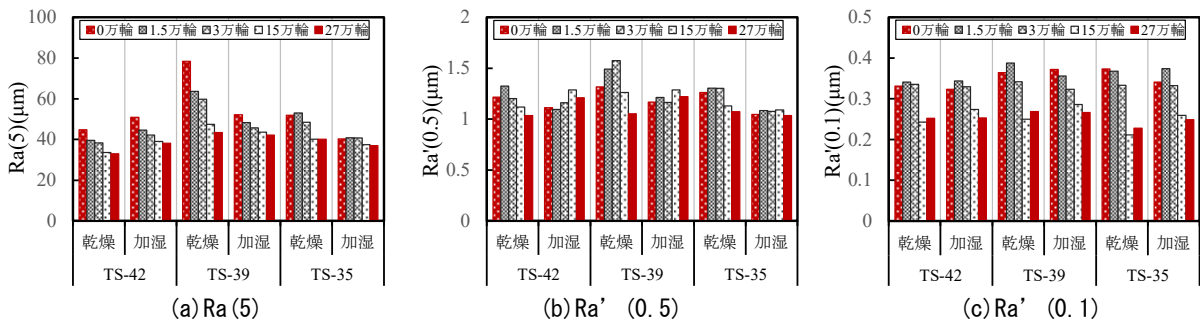


図-12 摩耗条件によるs/a別のテクスチャ

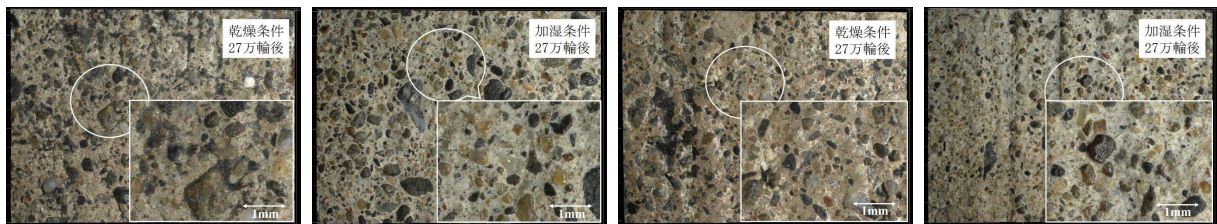


図-13 乾燥条件 TS-42

図-14 加湿条件 TS-42

図-15 乾燥条件 TS-35

図-16 加湿条件 TS-35

Ra'(0.5)はほうき目摩耗後のペースト面と細骨材面の露出のバランスを表し、Ra'(0.1)はペースト部や細骨材の平滑度を表していると仮定できる。その場合、乾燥条件は、摩耗に伴ってほうき目が消失することから Ra(5)が低下し、ペースト部が粗面になりやすいため、細骨材が露出して Ra(0.5)が増加する。その後、ペースト部または細骨材がすり磨かれ、Ra'(0.1)が低下することから $\mu 60$ は低下すると考えられる。特に細骨材率が小さい場合は、ペースト部のすり磨きが顕著になると考えられる。

一方、加湿条件では、摩耗に伴ってほうき目が消失することから Ra(5)が低下する。しかし、路面が湿潤状態のため、タイヤの摩擦力が低下することで、細骨材の露出度合が変化しにくくなり、Ra(5)および Ra(0.5)の変化量が小さくなる。その後、ペースト部または細骨材がすり磨かれ、Ra'(0.1)が低下することから $\mu 60$ は低くなったと考えられる。そのため、細骨材が露出した後のすべり抵抗性には、Ra'(0.1)の持続が重要であることが示唆された。ただし、27万輪後の Ra'(0.1)は乾燥条件と同程度であったことから、ペースト部または細骨材に光沢が確認できるほど、すり磨かれた状態の差をテクスチャで評価する場合には、波長 0.1mm より小さい波長領域が影響している可能性がある。

6. まとめ

粗骨材が露出する前のすべり抵抗性が低下する要因を確認することを目的に、細骨材種類、細骨材率および摩耗時の環境湿度がコンクリート舗装の路面テクスチャとすべり抵抗性に及ぼす影響について検討した結果、以下の知見を得た。

- (1) 石灰石砕砂は、摩耗条件に関わらず、骨材自体がすり磨かれている可能性があった。
- (2) 乾燥条件では、摩耗に伴ってマクロテクスチャが変化し、ペースト部が粗面になることで細骨材が露出し、マイクロテクスチャが増加する傾向であった。
- (3) 加湿条件では、細骨材種類や細骨材率に関わらず、表面が湿潤状態のため、タイヤの摩擦力が低下することで、乾燥条件に比べてマクロテクスチャの変化が小さく、表面がすり磨かれやすい傾向であった。
- (4) 摩耗により表面に細骨材が露出した後には、波長 0.1mm のマイクロテクスチャ Ra'(0.1)の持続が重要であることが示唆された。
- (5) 光沢が確認できるほど、すり磨かれた状態の差をテクスチャで評価する場合は、波長 0.1mm より小さい波長領域が影響している可能性があった。

謝辞

本成果は、セメント協会舗装技術専門委員会の路面テ

クスチャ WG において実施した試験結果に、マイクロテクスチャの波長 0.1mm の結果を加え、整理したものである。関係各位から多くのご協力とご助言を頂いたことを付記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) PIARC : Technical Committee Report On Surface Characteristics, Vxiith World Road Congress, J.B.Shears & Sons Ltd, p.98, 1987
- 2) NCHRP : Guide for Pavement Friction, Transportation Research Board, pp.24-25, 2009
- 3) 井谷雅司, 佐藤秀人, 東英俊 : トンネル内コンクリート舗装の補修実態と対策技術について, 第 56 回北海道開発技術研究発表会, 2015.2
- 4) 田中裕隆, 吉武勇, 大西隆太郎, 大和功一郎 : コンクリート舗装のポリッシング摩耗の簡易評価に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp.1323-1328, 2018.7
- 5) 藪政行ほか : コンクリート舗装の維持修繕に関する研究, 土木研究所平成 27 年度重点研究報告書, 2016
- 6) 瀧波勇人, 小林哲夫, 上川容市, 小梁川雅 : 石灰石骨材の舗装用コンクリートへの適用に関する検討-室内試験結果および試験施工 3 年目調査結果-, 舗装, Vol.52, No.10, pp.12-16, 2017.10
- 7) Jaganmuthu Senthilvelan, Hidefumi Izuo, Taiju Endo, Atushi Ueno : Influence of the Unit Content and Grading Distribution of Fine Aggregates on the Long-term Skid Resistance of Concrete Pavement, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.22, pp.431-444, 2024.8
- 8) 日本道路協会 : 舗装性能評価法, pp.105-126, 2013
- 9) 瀧波勇人, 安久憲一, 入江一次, 小梁川雅 : コンクリート舗装のすべり抵抗評価のための三輪式摩耗試験機に関する検討, 第 74 回セメント技術大会, pp.214-215, 2020.5
- 10) 泉尾英文, 鍋島美咲, 安久憲一, 岸良竜, 上野敦 : コンクリート舗装のすべり抵抗性と路面テクスチャの関連性の検討, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.77, No.2, I_145-I_153, 2021.12
- 11) 遠藤大樹, 安久憲一 : コンクリート舗装のすべり抵抗性とマイクロテクスチャに関する一考察, 第 74 回セメント技術大会講演要旨, pp.208-209, 2020.5
- 12) Jaganmuthu Senthilvelan, Atushi Ueno, Hidefumi Izuo, Taiju Endo : Relationship Between Material Texture Indices and skid resistance of concrete pavement, コンクリート工学年次論文集, Vol.46, No.1, pp.1634-1644, 2024.6