

排水性舗装のマイクロテクスチャの評価方法の提案

増山幸衛¹・片山潤之介²・草刈憲嗣³・岩井茂雄⁴

¹正会員 工修 世紀東急工業(株) 技術研究所 (〒329-4304 栃木県下都賀郡岩舟町静和 2081-2)

²正会員 修士(工学) 同上 同上 (同上)

³正会員 同上 同上 (同上)

⁴正会員 博士(工学) 日本大学理工学部社会交通工学科 教授 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

排水性舗装の騒音低減効果の回復を目的として行った表面処理の試験施工において、表面が滑らかになるにつれ、騒音レベルが大きくなる現象が見られた。粗骨材は変動しないと仮定し、アスファルトモルタルのすり減りと空隙つまり状態に基づき、マイクロテクスチャによる排水性舗装表面を評価できる新たな方法を提案した。機能回復に伴うテクスチャの変化の解析から、粗骨材の不動区間の存在がみだせ、マイクロテクスチャの変化を評価できることの可能性および、マイクロテクスチャの変化と動的摩擦係数との間に高い相関のあることが確認できた。このことから、表面が滑らかになるにつれ、騒音レベルが大きくなる現象は、接地面でのタイヤレッドブロックのStick-Slipによるものであることが推定できた。

Key Words : porous pavement function recovery works, micro-texture, dynamic friction coefficient, tire/road noise, stick-slip

1. はじめに

排水性舗装は、その空隙の多さによって騒音低減効果を有することが知られている。同時に、その低減効果は供用期間とともに低下することから、機能の維持、または回復が大きな課題となっている。そのため筆者らは、空隙つまり物（以下、つまり物）を除去することによって、機能回復を行うための手法についての研究を行ってきた¹⁾。

しかしつまり物を除去しても、騒音の低減効果が回復しない事例が報告されるようになってきている²⁾。この原因は、舗装表面のテクスチャが関係していると考え、2.研究の目的に示したように、表面処理による機能回復手法に関する研究を行い、一定の成果を得た。

このとき、テクスチャの評価はMPD(S)³⁾ (MPD: Mean Profile Depthを10cm×100cmの範囲で110ヶを平均化した値)によって行っていたが、MPD(S)が小さくなる程に騒音レベルが大きくなる現象が生じた。また、現在提案されている他の評価方法についても、MPD(S)との相関が高いことから、同様の傾向が示される。

この現象は、従来の表面が粗くなるにつれ、騒音レベルが大きくなるといわれている傾向⁴⁾とは異なる。その原因について、MPD (以下、MPDと記す場合はMPD(S)

を含む)は基長区間を平均することから、表面処理のように微細な変化の結果を評価しきれないものと推定した。そのため、骨材の形状に着目し、マイクロテクスチャを考慮した仮の基準点を設定する評価方法を見出したので、本手法とその評価方法に基づく表面処理の効果について報告する。

2. 研究の目的

筆者らは、排水性舗装の騒音低減効果の回復を目的として、つまり物の除去や、表面処理などによる機能回復作業の開発を進めてきた。排水性舗装のテクスチャの変化は、表面のアスファルトモルタル分（以下、アスモル）の消失や摩耗による変化、つまりやつぶれによる空隙の変化等によると考えられる。そしてこれらの変化は、舗装の騒音低減効果に大きく関係しており、MPDなどと正の相関がある⁴⁾とされている。

筆者らの研究³⁾によると、現在提案されているMPD(S)と累計延長比⁴⁾、接触部分比⁵⁾には高い相関のある事が確認できたことから、この3手法は、多少の違いはあるものの、本質的には同じような評価方法と考えられた³⁾。

しかし表面処理を行った路面において、MPD(S)とタ

イヤ/路面騒音レベルの間に、高い負の相関が生じた。そのためタイヤ騒音の発生メカニズムを考える上で、微少な表面のテクスチャの変化についてはMPDよりもっとマイクロテクスチャに注目した評価が必要と考え、以下を目的に新たな評価方法についての研究を行った。

- ・ マイクロテクスチャの変化を評価できること
- ・ 変化した部分を特定する事ができること
- ・ 機能回復効果を評価できること

3. つまり物の除去ならびに表面処理による騒音低減効果の回復効果

排水性舗装の騒音低減効果の回復効果として、つまり物の除去による方法²⁾は示されているものの、表面処理による方法は示されていない。そのため現道において、つまり物の除去と表面処理についての検証を行った。

(1) 施工概要

試験は国道10号、宮崎県新富町、宮崎市の2路線と、国道6号水戸市の各1路線において、つまり物の除去と表面処理による回復効果と、経時変化について検討を行った。

測定は供用されている状態（以下、現況）、つまり物の除去作業後（以下、除去後）、乳剤等による表面処理後（以下、処理後）、および一定期間経過後に行った。

(2) 機能回復方法

機能回復は、つまり物の除去と表面処理によって行った。

表-1 施工箇所概要および使用材料

路面処理方法	路線名	舗装種別	供用期間	表面処理材	施工方法
乳剤A①	R10 (新富町)	排水性舗装 13mm	3年8ヶ月	乳剤A	塗布
乳剤A②	R10 (宮崎市)		1年11ヶ月	乳剤A	
乳剤B				乳剤B	
乳剤C	R6 (水戸市)		2年11ヶ月	乳剤C	散布
樹脂		2年11ヶ月	樹脂		

表-2 使用材料の詳細

材料名	特徴	使用量
乳剤A	改質アスファルト かみ系	改質乳剤0.15kg/m ²
乳剤B	改質アスファルト かみ系	改質乳剤0.30kg/m ²
乳剤C	改質アスファルト かみ系 コームアップ配合	改質乳剤0.3+0.3+0.1kg/m ² 5号珪砂0.4kg/m ²
樹脂	排水性用	トップコート用樹脂0.5+0.5kg/m ² トップコート用骨材0.25+0.25kg/m ²

a) つまり物の除去

空隙に詰まっている塵埃を取り除くことによって空隙を確保し、騒音低減効果を回復させることを期待し、機能回復機¹⁾を用い、5MPaの高圧水による洗浄後、除去物と水を吸引回収する、つまり物の除去作業を行った。

b) 表面処理

表面処理は、つまり物を除去した後、路面が充分乾燥した状態で乳剤および樹脂を塗布、および散布して行った。施工場所の概要、および使用した処理材を表-1、使用材料の詳細を表-2に示す。

(3) 機能回復の結果

a) タイヤ/路面騒音レベル

除去後、および処理後のタイヤ/路面騒音レベルを図-1に示す。

ここで、タイヤ/路面騒音レベルは普通タイヤを用いて測定しているため、精度の高い測定は困難と判断し、基準路面を設け、その差で評価した。

これより騒音レベルが大きくなる場合があるものの、除去後は乳剤C、樹脂、処理後は乳剤A①、乳剤C、樹脂の路面で騒音レベルが低くなっている。表面処理については、処理材を多く使用した乳剤Cと樹脂の路面において、特に騒音レベルが低くなっていることから、機能回復の可能性が示された。

追跡調査により、経時変化を確認した。結果を図-2

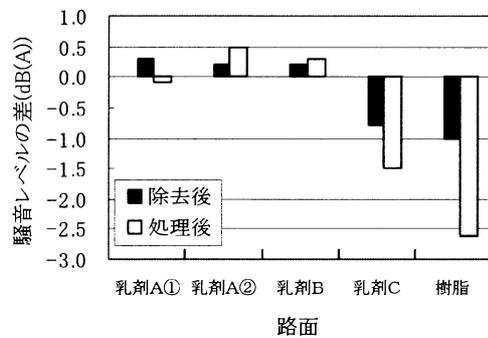


図-1 機能回復の効果 (タイヤ/路面騒音)

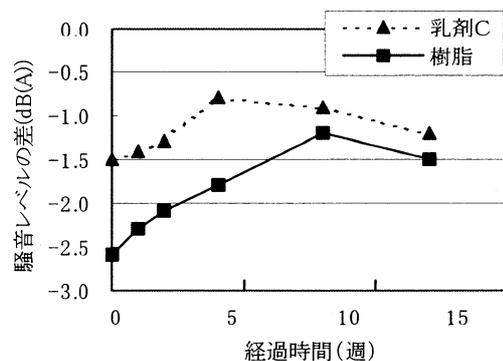


図-2 処理路面での騒音レベルの経時変化

に示す。これより乳剤C、樹脂ともに、徐々に低減効果は薄れ、8週程度で低減効果がほぼ一定値となる。

b) MPD(S)⁹

各路面のMPD(S)を図-3に示す。ここで、除去作業によるMPD(S)の差はあまり明確ではない。しかし処理後において乳剤Cは約0.2mm減少するのに対し、樹脂は約0.1mm増加と両極端な状況を示す。

追跡調査により、すりへり量の検証を行った結果を、図-4に示す。これより乳剤Cはあまり大きく変化しないのに対し、樹脂は時間とともに減少する傾向が見られた。

c) MPD(S)と騒音レベルに関する疑問

乳剤Cと樹脂は、図-5に示すように、MPD(S)とタイヤ/路面騒音は負の相関、つまりテクスチャが大きくなるほど騒音レベルは小さくなる傾向を示している。しかし従来、テクスチャとタイヤ/路面騒音については、正の相関が示されている⁴⁾。この事は、従来の評価方法とは異なった評価方法の必要性を示すものと考えた。

4. テクスチャの評価方法

機能回復作業における処理の前後では、テクスチャが変化するものと想定される。またこれらの変化は、MPDで評価されるよりもっとマイクロな領域である可能性がある。

そのため、マイクロテクスチャの変化を評価する手法について、以下のように考えた。

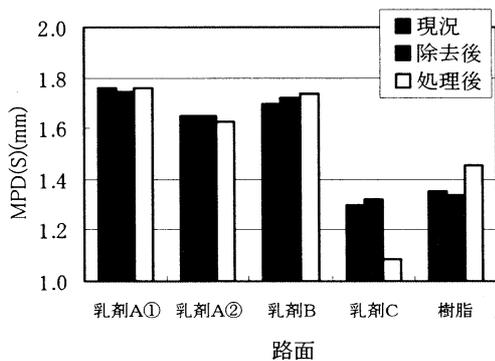


図-3 機能回復の効果 (MPD(S))

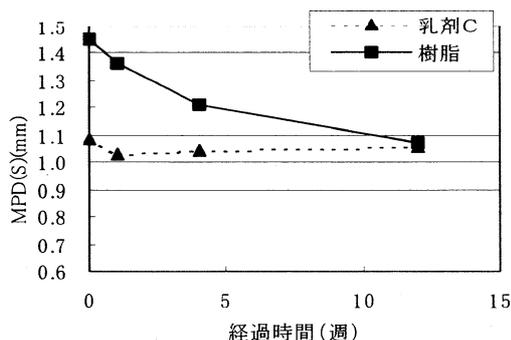


図-4 すりへり量の経時変化 (MPD(S))

(1) 評価方法の必要性

MPD⁹⁾は図-6、式(1)に示すように、基長区間の平均と、基長の半分の区間で最も凸となっている部分の差を、左と右(H_{MAX1}, H_{MAX2})で平均して求める。

$$MPD = (H_{MAX1} + H_{MAX2}) / 2 - H_{MEAN} \quad (1)$$

MPD : 平均プロファイル深さ

H_{MEAN} : 平均レベル

H_{MAX1,2} : 1,2番目の最大レベル

表面処理後のテクスチャの評価対象は、一定期間が経過した後のテクスチャである。テクスチャの変化を模式的に図-7に示す。ここで供用期間が長くなるにしたがい、テクスチャは以下のように変化すると考えられる。

- ① アスモルの消失による骨材表面の露出
- ② つまり物の堆積による、空隙の消失(空隙つまり)
- ③ 空隙の縮小による沈下(空隙つぶれ)
- ④ テクスチャの変化しない領域(不動区間)

ただし、今回は空隙つぶれについては考慮しないもの

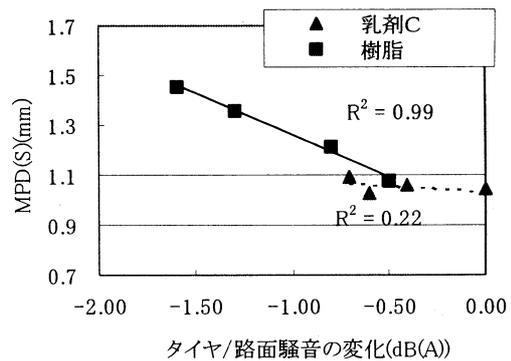


図-5 タイヤ/路面騒音レベルとMPD(S)の比較

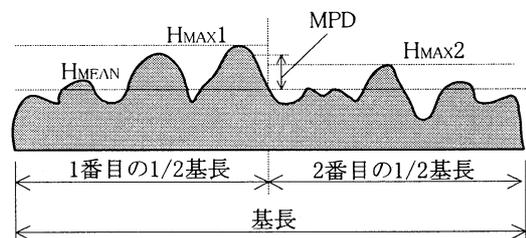


図-6 MPDの概念(参考文献6を基に作成)

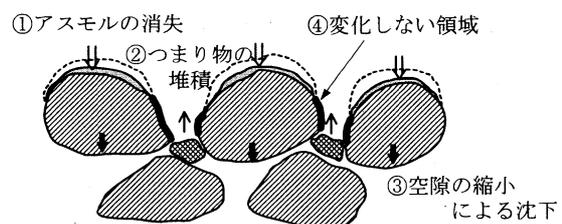


図-7 供用後の舗装表面の変化

として、わだち掘れの発生していない箇所を対象に検討を行った。

(2) 解析の概念

今まで提案されている方法では、例えば追跡調査を行う場合、1回目と2回目で同じ位置であることを確認することができない。そのため、以下の手順によって仮の基準となる区間（以下、不動区間）を求め、変化が生じたと想定される前後の値を比較することによって、評価を行えると考えた。以下に考え方を示す。

- ① 図-8に現況の路面形状のモデル化した図を示す。ここで、基長区間の最も高い位置を H_{MAX} とし、そこからの下がりを、大きい方から順番に左から右に並べたグラフを整列形状とする。ここで、下りの大きな位置は空隙の底部に位置するところであることから、Bottom部、下りの小さな位置は凸部に位置するところであることからTop部と記す。
- ② 図-7のつまり物が堆積した状況と、表面のアスモルが失われた状況のテクスチャをモデル化すると、図-9のように示すことができる。アスモルが失われた状態と空隙つまりの状態では、上の領域と下の領域に変化が現れることは容易に推定できる。しかし、現在提案されているテクスチャを評価する手法においては、これらを区別することができない。
- ③ 基長区間の最も高い位置 H_{MAX} を基準として整列形状を示すと、図-10のようになる。しかし、ここではどの部分に変化したかを知ることはできない。このような現象は、基準となる不動区間を特定で

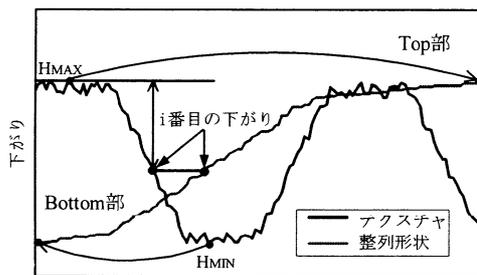


図-8 基長区間における路面形状と下りの整列形状のモデル

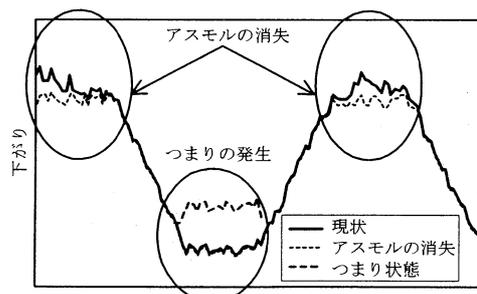


図-9 路面形状の変化のモデル

きないためと考えられる。そこで、ここでは中間付近に位置する部分は変化しないものと推定できることから、その部分を重ね合わせると、図-11のように示す事ができる。ここで、Top部とBottom部付近においてテクスチャが変化し、その間は変化がないことから、不動区間と想定される。

- ④ 図-11の不動区間は傾きを持つことから、より分かりやすくするため、特定の整列形状を基準とし、その差（以下、整列形状差）を評価することとした。その結果を図-12に示す。これより、基準とした整列形状に対して変化がない部分は、表面凹凸の変化が一定の値、つまりX軸に対して平行に示される。したがって、上方向に変化した部分は増加する形状、下方向に変化した部分は減少する形状を示すものと想定される。

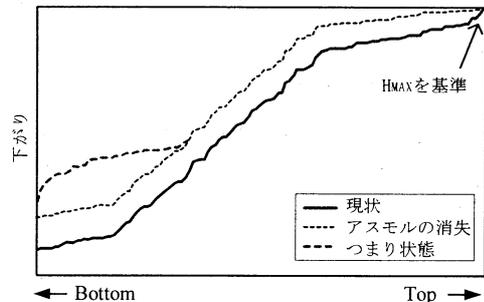


図-10 整列形状の変化のモデル(最高点を基準)

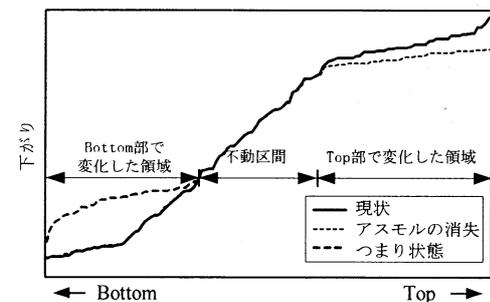


図-11 整列形状の変化のモデル(不動区間を想定)

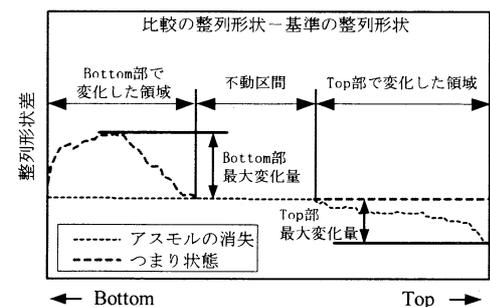


図-12 整列形状差のモデル

5. 評価手法の確認

本手法によって評価が可能である事を確認するため、表面性状が異なると考えられる舗装面を対象にデータを採取し、不動区間に対する考え方についての検証を行った。

対象とした排水性舗装は、**図-13**に示すように、不動区間が想定される路面と不動区間がないと想定される路面であり、どのような路面であれば本手法の適用が可能かについても評価を行った。

(1) つまり物除去作業

つまり物を取り除く除去作業においては、表面のアスモルなどに対する影響はないことから、空隙が詰まっている箇所以外は不動区間になると想定した。作業後の整列形状の値から、現状の整列形状の値を引いた値を**図-14**に示す。これより、予想どおり不動区間の存在することが確認できた。

(2) 表面にアスファルト乳剤を塗布した路面

今回調査を行った表-1の乳剤A①、A②、Bにおいては、除去後、次の日に表面処理を行っている。この時乳剤は、塗布したことから、その表面性状は**写真-1**に示すように、表面にだけ乳剤が付着しており、それ以外の骨材部分は露出している事から、不動区間を有すると考えられる。処理後の整列形状の値から、除去後の整列形状の値を引いた結果を**図-15**に示す。

これより、推定どおり不動区間の存在することが確認できた。

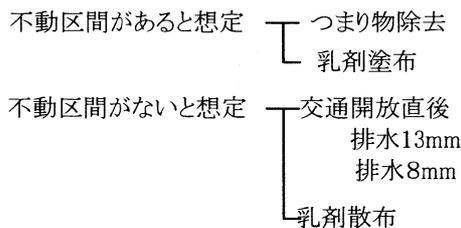


図-13 解析の対象とした路面

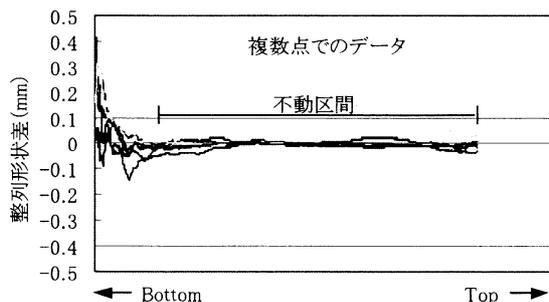


図-14 除去作業による路面の変化

(3) 新設排水性 13mm

アスファルト混合物のわだちばは、交通開放直後に初期わだちばが発生しやすい。この時骨材は、タイヤによるニーディング作用によって、垂直に沈下するのではなく、こねるように、骨材に回転が加わって動くものと想定されることから、不動区間はない可能性があると考えた。

交通開放後7週間の整列形状の値から、開放前の値を引いた値**図-16**に示す。これより、予想に反し不動区間の存在することが確認できた。

(4) 新設排水性 8mm

新設排水性 13mmと同様、最大骨材粒径の小さな8mmであっても、交通開放直後には骨材全体が動くものと想定された。交通開放後2週間の整列形状の値から、開放前の値を引いた値を**図-17**に示す。これより排水13mmと同様、不動区間の存在する事が確認できた。

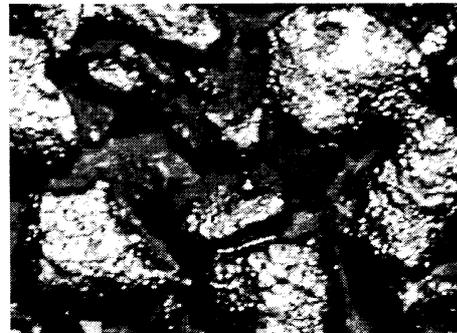


写真-1 乳剤塗布後の表面性状
(白く光っている部分が乳剤)

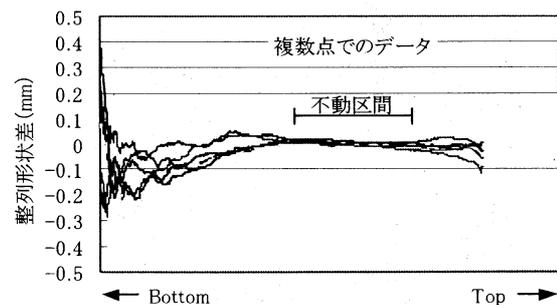


図-15 乳剤塗布による路面の変化

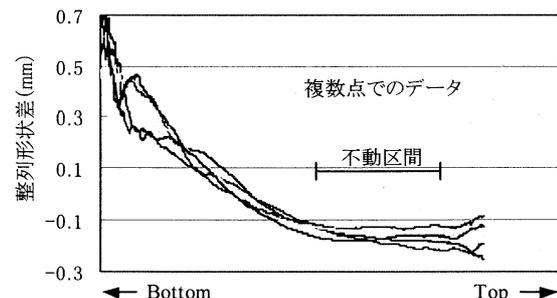


図-16 新設時の変化 最大骨材粒径 13mm

(5) 表面に乳剤を散布した路面

表-1 の乳剤 C に対応する。アスファルト乳剤を塗布した場合に比べ、散布した場合には、写真-2 に示すように表面だけではなく、空隙の中にまで乳剤の付着が確認されることから、不動区間の存在しない事が想定された。

処理後の整列形状の値から、除去後の整列形状の値を引いた値を図-18 に示す。これより全区間に渡り、平行な形状がないことから、不動区間のないことが明らかとなった。

また散布後にも追跡調査を行っているため、不動区間についての確認を行った。現況を基準とした整列形状との差を図-19 に示す。これより、処理後以降の形状が似ていることから、現況を基準とするのではなく、3ヶ月の追跡調査は1ヶ月を基準というように、前回調査との整列形状の差を求めた。その結果、図-20 に示すように、処理直後には不動区間が見られないものの、それ以外に

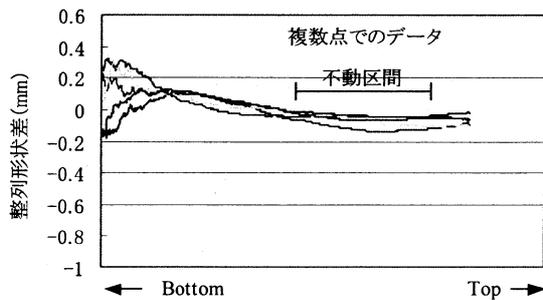


図-17 新設時の変化 最大骨材粒径 8mm



写真-2 乳剤処理後の表面性状
(黒い空隙を除き、全体的に乳剤の存在が確認できる)

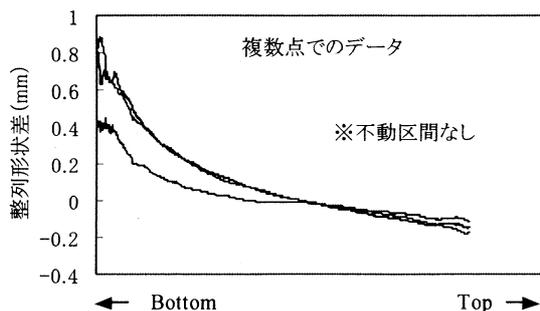


図-18 乳剤散布後の変化

は不動区間が存在する。従って、乳剤散布のように表面のテクスチャの状態が大きく変化する場合でない限り、不動区間のあることが確認できた。

(6) 適用限界について

以上の検討の結果、路面全体に乳剤を散布した場合を除き、不動区間の存在する事が確認できた。ただし、乳剤を散布した場合であっても、その後の追跡調査時は不動区間が存在することから、極端に大きなテクスチャの変化がない限り、不動区間は存在する事が確認できた。

6. 樹脂散布作業に対する評価

MPD とタイヤ/路面騒音に負の相関を示した、樹脂を散布した工区について、不動区間を考慮した評価を試みた。さらに、その結果に基づき、滑りとの関係についても評価を行った。

(1) 表面に樹脂を散布した路面の評価

処理後の整列形状の値から、除去後の整列形状の値を引いた値を、図-21 に示す。これより、不動区間の存在することが確認できる。さらに処理後以降にも不動区間があることを確認するため、乳剤散布と同様、前回調査との整列形状の差を求めた。その結果、図-22 に示すように、不動区間が確認できる。

そこで図-12 に示すように、変化の大きな Top 部と

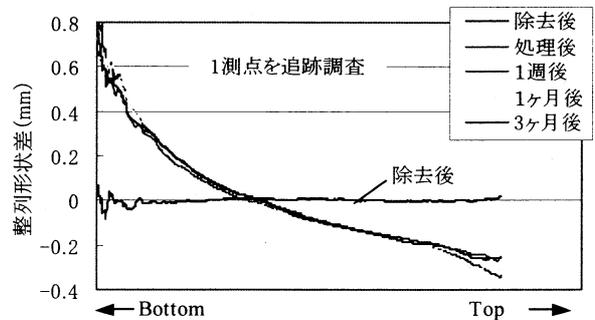


図-19 乳剤散布による整列形状差の変化
(現況を基準)

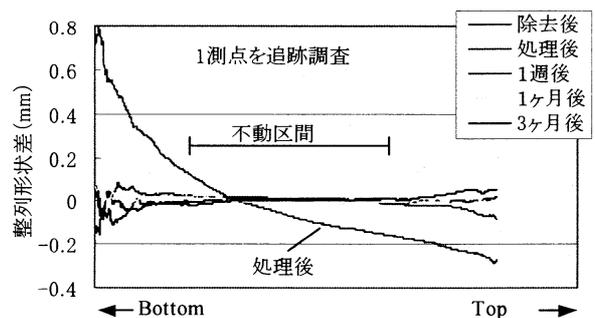


図-20 乳剤散布による整列形状差の変化
(前回調査からの変化)

Bottom部を対象に、不動区間と最も変化の大きい位置との差（以下、最大変化量）を求め、さらに処理後からの変化を求めるため、処理直後から3ヶ月経過後までの最大変化量を累積（以下、累積最大変化量）し、タイヤ/路面騒音レベルとの相関を求めた。その結果を図-23に示す。これより、Bottom部は相関が認められないものの、Top部を対象とした相関係数は0.89と高いことから、表面部の変化がタイヤ/路面騒音レベルに大きく寄与している事が確認できた。

(2) 表面部の変化と滑り抵抗との関係

前述の検討の結果、表面部の変化がタイヤ/路面騒音の変化に強く関与しており、なおかつ表面の累積最大変化量が大きいほど、騒音レベルの低下することが確認できた。このように、マイクロテクスチャに注目した場合に、

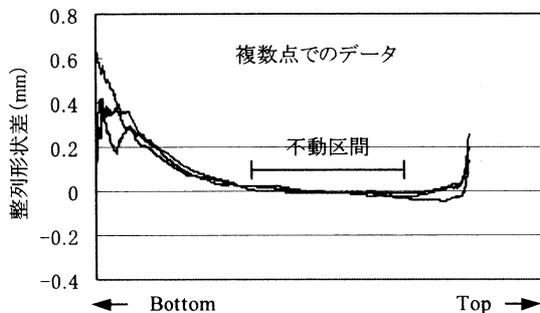


図-21 樹脂散布後の変化

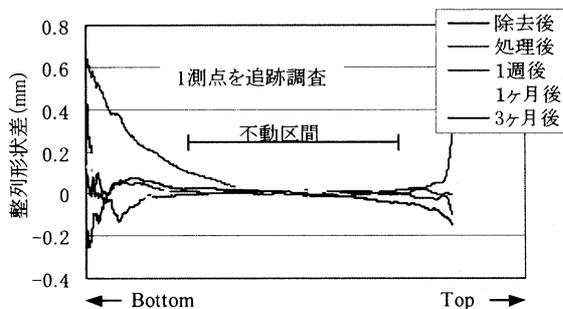


図-22 樹脂処理による整列形状差の変化
(前回調査からの変化)

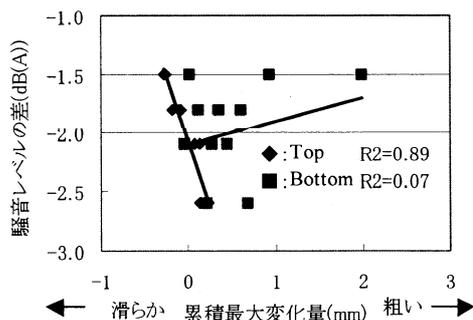


図-23 樹脂処理

表面が粗いほどタイヤ/路面騒音が低下する現象の原因としては、図-24に示すように、タイヤトレッドブロックが路面をすべる（Stick-Slipという）時に生じる摩擦音⁷⁾が、路面粗さの減少により増加するためと考えられる。そこで、3測点のデータにより、滑りと累積最大変化量の関係についての評価を行った。滑りは、DFテスターを用いて測定し、動的摩擦係数として求めた。その結果、3ヶ月後にほぼ0.4近くまで低下したものの、以降、向上する傾向を示している。

動的摩擦係数と累積最大変化量との関係を図-25に示す。これより、0.82~0.95と高い相関が見られた。この傾向は、40km/hを想定したRSN-40kmも同様であった。

上述したように、表面の累積最大変化量が大きいほどタイヤ/路面騒音が小さくなる現象は、滑りと密接に関係しており、Stick-Slipによると考えられる。

ここで、3測点ともに相関が高いのに対し傾きや切片が異なるのは、不動区間という、相対的な基準点を設けたため、すべてのデータを絶対的な値として比較できないためである。

7. 結論および課題

以上の研究より、テクスチャの評価について、以下の結論が得られた。

- 表面形状をマイクロテクスチャで評価した場合、テクスチャの状態が変化しない領域（不動区間）が存在することが確認できた。
- 不動区間を基準として、マイクロテクスチャの形状に

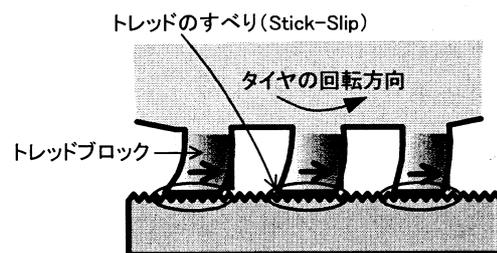


図-24 Stick-Slipの模式図（参考文献7を基に作成）

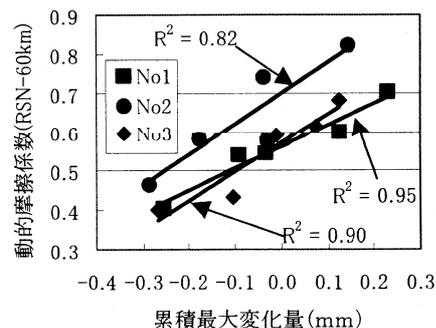


図-25 最大変化量と動的摩擦係数との関係

着目する事によって、テクスチャのどの部分が変化したのかを評価できる可能性がある。

- ただし評価はあくまでも相対的なものであり、それ以降の検証が必要である。
- タイヤ/路面騒音とテクスチャは、高い相関が認められた。同時に動摩擦係数との間にも高い相関が認められたことから、トレッドブロックのすべり音の発生要因である Stick-Slip がタイヤ路面騒音と密接に関係していることが推定できた。
- 今回の研究において「騒音低減効果の回復」と「テクスチャの評価」に関して、一定の成果を得た。しかし現場での検証が必要な事から、データ数が充分とはいえない。したがって、今後はデータ数を増やし、更なる研究を進めていく事が必要と考える。

8. おわりに

騒音低減効果の回復を目的に表面処理を行い、その有効性を確認する事ができた。同時に、テクスチャ評価に対する新しい手法を用いる事により、従来とは異なり Stick-Slip の卓越した現象を評価する事ができた。

これらの貴重なデータを得ることができたのは、検証のための現場を提供していただきました、久保所長（現独立行政法人土木研究所上席研究員）をはじめとした宮崎河川国道事務所の方々、および池田課長をはじめとした常陸河川国道事務所、菊池所長（現宇都宮国道事務所管理2課長）をはじめとした同水戸出張所の方々の御尽

力によるものである事を記し、心から感謝する次第です。

参考文献

- 1) 増山幸衛, 草刈憲嗣: 排水性舗装の機能回復作業の方向性, 舗装, pp26-32, 2003. 11.
- 2) 酒井雅利, 池田一壽, 戸倉健司: 低騒音舗装の機能低下と維持清掃作業に関する検討, 舗装, pp29, 2002. 11.
- 3) 増山幸衛, 片山潤之介, 草刈憲嗣, 岩井茂雄, 寺田 剛: 解析方法の違いを考慮したテクスチャの評価に関する研究, 土木学会舗装工学論文集, 第9巻, pp231-238, 2004. 12.
- 4) 井原務, 石垣勉, 井上武美: 排水性舗装の路面テクスチャとタイヤ/路面騒音に関する検討, 土木学会舗装工学論文集, 第7巻, pp. 1-1-1-6, 2002.
- 5) 橋本喜正, 新田弘之, 吉田武: 路面性状からのタイヤ/路面騒音の予測に関する検討, 土木学会舗装工学論文集, 第7巻, pp2-1-2-9, 2002.
- 6) Characterization of pavement texture by use of surface profiles-Part2: terminology and basic requirements related to pavement texture profile analysis, DRAFT INTERNATIONAL STANDARD ISO/DIS 13473-2, 1999.
- 7) Ulf Sandberg, Jerzy A. Ejsmont: TYRE ROAD NOISE REFERENCE BOOK, Part of the picture reproduced with permission by Continental Gislaved Dack AB, 2002. 4.

A PROPOSAL ON THE EVALUATION METHOD OF MICRO-TEXTURE OF POROUS PAVEMENT

Yukiei Masuyama, Junnosuke Katayama, Noritsugu Kusakari and Shigeo Iwai

An increase of tire/road noise level was measured as the surface roughness of porous pavement decreases under its surface treatment. The new surface evaluation method by micro-texture based on wearing out of asphalt-mortar and clogging condition is proposed assuming non-movement of the coarse aggregates. The result of the texture analysis shown the existence of the non-movement duration of the aggregates, then it is confirmed that the proposed method can evaluate the changes of micro-texture and that an adequate correlation between the changes of micro-texture and the dynamic friction coefficient. And then, it is estimated that the increase of tire/road noise level after surface treatment is generated by the stick-slip phenomena of tire tread block.