

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

増山幸衛¹・片山潤之介²・草刈憲嗣³・岩井茂雄⁴・寺田 剛⁵

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 助教授 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)

⁵正会員 独立行政法人土木研究所 主任研究員 (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)

低騒音舗装の騒音低減効果は、表面のテクスチャと空隙の状態に大きく影響することが知られている。現在表面のテクスチャは、数個程度のデータによって1測線として評価されているが、舗装の表面が均一でないことから、路面のテクスチャを評価するには不十分であると言える。そのため、テクスチャを面として測定することにより、信頼性の高いデータを採取するための基礎研究を行った。その結果、面としてのテクスチャの変動を明確にすると同時に、安定した解析を行うために必要なデータの個数を示すことができた。

さらに、解析方法についての検討を行った結果、解析方法によって異なった値が得られるなど、解析方法を考慮する事によって、より高い精度での評価が行える可能性を示す事が出来た。

Key Word : texture , MPD , Surface Texture Meter , Method of analysis , Precision of analysis , Dispersion of data , Evaluation as surface , Amount of data , Baseline

1. はじめに

低騒音舗装の騒音低減効果は、空隙に大きく影響される吸音効果と、テクスチャに大きく影響される発聲音との関係で決定されると考えられる。テクスチャについては、PIARCの報告¹⁾などでも騒音との関係が示されており、レーザ変位計などを用いて測定されている。しかし、測定されたデータが路面を代表するものなのか、また測定データ数やさらには測定精度については明らかではない。

筆者らは、空隙つまり物を除去することで、低騒音舗装の機能を回復させる研究を行ってきたが、機能回復が認められた場合でも作業前後のテクスチャの比較では、明確な差を見いだせないケースが生じている。その原因について、測定するデータ数が少なく、測定面を代表するに至っていないことや、解析手法の違いによりテクスチャの評価に差が生じるのではないかとということが考えられた。

そのため本研究では、解析に用いる手法やデータ数が、テクスチャの評価に与える影響を明確にするため、従来のレーザ変位計の約25倍のサンプリング能力を持つレーザ変位測定装置を開発して、先ず路

面テクスチャを1測線で評価することにより、解析方法の選択を行った。次いで、舗装を面としてとらえ、データのサンプリング方法によって、データにどの程度のバラツキが発生しているのか、また、どの程度の個数で解析を行えば統計的に測定範囲を代表したデータが得られるのかなどについて検討を行った。

その結果に基づき、舗装全体としてのテクスチャの変動を確認すると同時に、面でとらえた場合、各解析方法によって、テクスチャの評価がどの様に変ってくるのかについても改めて検討した。

2. 測定装置

テクスチャの測定は、レーザ変位計などによって行われているが、それらは1測線(X軸上)を測定²⁾³⁾するものであり、また、データのサンプリング速度が1秒あたり10点程度⁴⁾である。そのため、面としての評価を行うために必要な大量のデータを現場で採取することは困難と考えられたことから、1秒間で250点程度の測定が可能で、なおかつ、X、Y軸方向

で面的に測定が出来る試験器として、STM (Surface Texture Meter) を製作し、解析方法の違いを考慮した検討を行うのに十分な数のデータが採取できる様にした。

装置の仕様を表-1、外観を写真-1 に示す。

今回製作した STM は、タイヤの走行を考慮し、縦断方向のテクスチャを測定する事を目的としている。従って、ASTM でテクスチャの測定器⁵⁾として示されている CTM(Circular Track Meter)とは、目的とした対象が異なり、CTM と STM の測定範囲は図-1 に示す様に、前者が 284mm の円周上を測定するのに対し、後者は 100mm×1000mm の長方形を一定の間隔で測定する。

3. 解析方法の比較

テクスチャの評価方法としては、MPD⁶⁾ (Mean Profile Depth; 平均プロファイル深さ)、凹凸量累計延長比³⁾ (以下、累計延長比) および接触部分比⁶⁾などが提案されている。これらの評価値について、排水性舗装 13mm (以下、排水 13mm) を対象に、延長 1000mm 区間において、測定ピッチ 0.1mm、基長 100mm で 10 ケの測定データを採取し、解析方法の比較を行った。

表-1 STM仕様

項目	仕様	
測定範囲	縦断方向	Max 1,000mm
	横断方向	Max 100mm
測定ピッチ	縦・横断	Min 0.1mm
測定時間	10,000ケ×11測線で約7分	
センサーヘッド	KEYENCE社製 CCDレーザ変位センサ LK-080 分解能 3μm	



写真-1 STM 外観

(1) 解析方法の概要

テクスチャの評価方法として、MPD は ISO⁶⁾ において計算方法が明示されている。それに対し、テクスチャと騒音値の関係は、タイヤと路面の接触位置により大きな影響を受けるとの考えから、井原ら³⁾が累計延長比、そして橋本ら⁷⁾が接触部分比による評価方法を提案している。これらの解析方法の概念と解析方法を以下に示す。

a) MPD

一定区間 (基長) の範囲を中心から 2 分割し、それぞれの区間の最大値と平均レベルの差を算出し、さらに相加平均によって求める。解析の概念を図-2 に、計算式を式(1)に示す。

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

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

b) 累計延長比

累計延長比は図-3 に示すように、基長のピークレベルラインから、一定のさがり幅でのテクスチャの凸部の表面延長を累積し、測定延長に対する長さの比で示す。今回の解析では基長を 100mm さがり幅を 2mm とした。

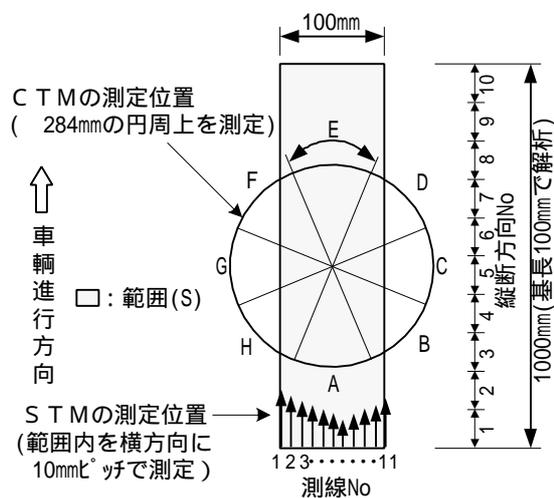


図-1 CTMとSTMの測定範囲

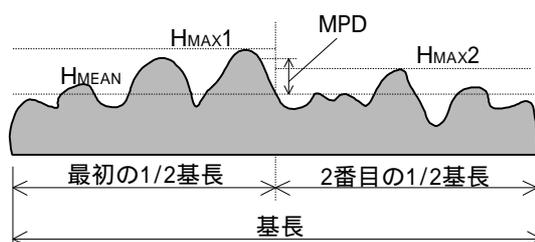


図-2 MPDの概念(参考文献⁶⁾ Figure-4を基に作成)

c) 接触部分比

接触部分比は図-3に示すように、基長のピークレベルラインから、一定のさがり幅を定めるが、テクスチャとさがりのラインの交わった直線長を累積し、測定延長に対する長さの比で示す。今回の解析では基長を100mm、さがり幅を2mmとした。

(2) 各解析方法の相関性

MPDは、テクスチャの深さを評価しているのに対し、累計延長比、接触部分比は、タイヤと路面との関係を考慮して評価している。しかし、これらの解析方法間の関係は明確ではなく、また、同じ路面を異なった特性値によって評価している事から、これを組み合わせる事によって、異なった路面の評価を示す事ができる可能性を探りたいと考えた。そのた

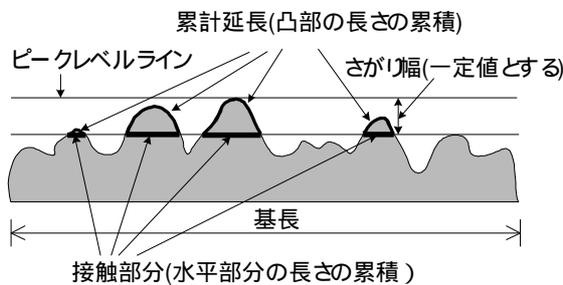


図-3 累計延長と接触部分の求め方

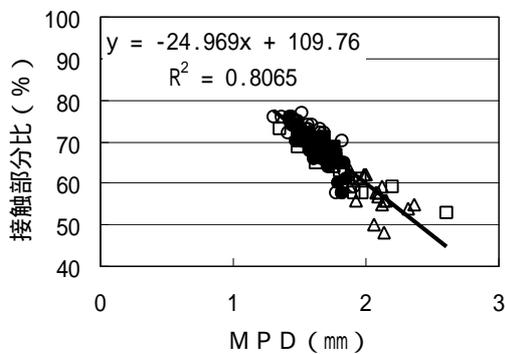


図-4 接触部分比とMPDの関係

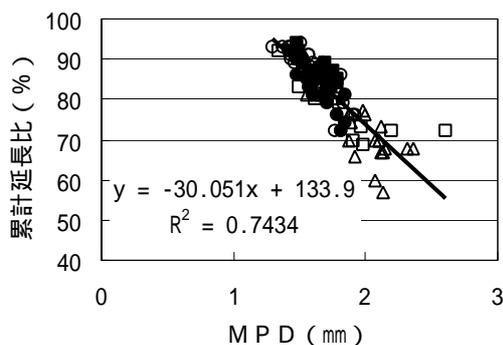


図-5 累計延長比とMPDの関係

め、それらの解析方法の相関性についての検討を試みた。

従来の直線上の1測線を計測する測定方法に従い、評価対象となる路面を限定し、1測線のみでテクスチャ測定によりデータをサンプリングした。このデータを基に路面テクスチャの評価を試みた。

各解析方法によって得られた結果の比較を、図-4, 5, 6に示す。ここで各記号の違いは、異なった現場で測定したデータであることを示す。

これより図-6に示すように、累計延長比と接触部分比は相関係数が0.94と最も高い。また、図-4, 5に示すように、MPDと接触部分比、MPDと累計延長比もそれぞれ0.81, 0.74と充分高い相関を有することから、各解析の相関性が確認できた。

(3) 基長が解析結果に与える影響

基長が解析結果に与える影響を調べるため、排水13mmを対象に基長を変えて解析を行った。その結果を図-7に示す。なお、ここで各方法の後の(S)は、1つの測線上の値でなく、面全体の測定値を平均化した値であることを示す。これより、基長によって解

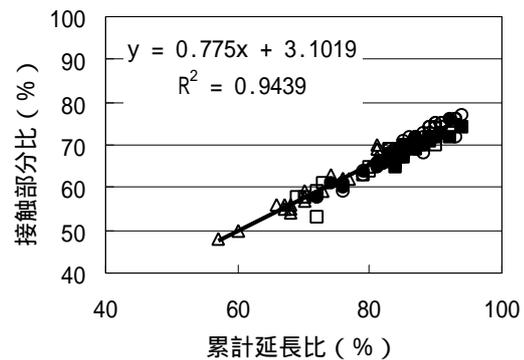


図-6 接触部分比と累計延長比の関係

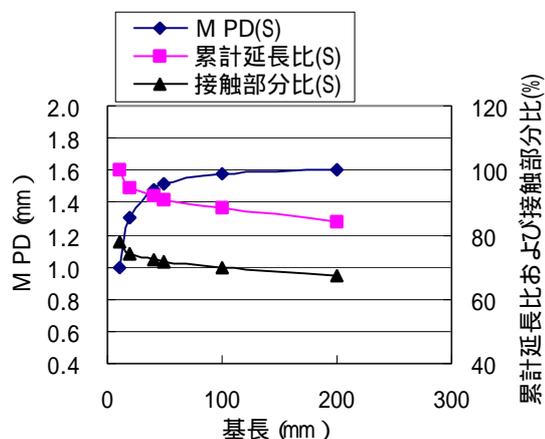


図-7 基長による解析値の変化

析の値は異なる事が確認された。また、3方法の関係を評価しようとした場合、その関係についても図-8に示す様に、基長を変えることによって、各解析方法間の相関係数が変化する事が確認された。従来用いられている基長100mmでは、解析結果の値さらに相関係数が一定値に近づき、安定した値が得られる事から、基長100mmを採用している妥当性が確認できた。従って以降は、基長100mmで解析を行った。

(4) 解析方法による路面評価のバラツキ

データのバラツキについて、通常1測線での評価が行われている事から図-1に示した100mm×1000mmの面的評価の範囲(以下 範囲(S))から各舗装で1測線(Line)の10ヶのMPDを平均した値(以下 MPD(L))の11測線のデータを採取し、その変動係数を求めた。累計延長比および接触部分比についても同様に11測線の変動係数を求めた。その結果を図-9に示す。

これより、A~Dの4現場の排水13mmを対象に、3種類の解析方法によって求めた変動係数は同様な傾向を示すものの、その値はMPD(1)が6.9%、累計延長比が4.3%、接触部分比が4.6%と、MPD(2)が最

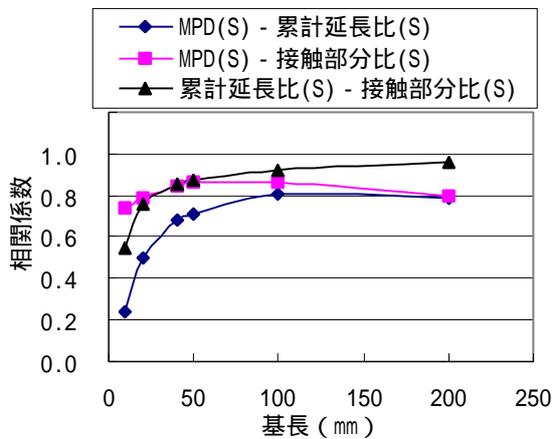


図-8 基長による相関係数の変化

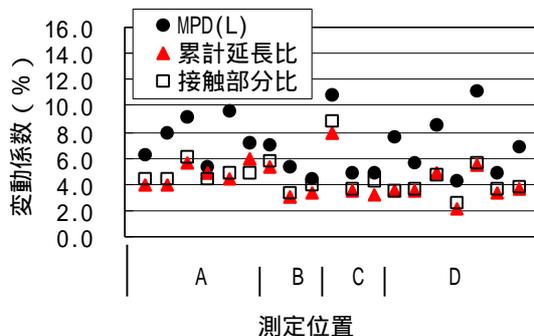


図-9 排水13mmの変動係数

も大きい。

したがって今後の検討では、最も変動係数の大きな解析方法で、安定したデータが得られるのであれば、他の解析方法でも同様に安定したデータを得る事ができると考えた。また機能回復作業を行った場合、空隙つまり物の除去によって舗装のテクスチャが変化すると仮定した場合、MPDが最も評価しやすいと考えられる事から、MPDを対象として解析を行うこととした。

(5) 面的評価の必要性

図-9で示した4現場で測定したデータに、排水性舗装5mm(以下、排水5mm)と密粒度舗装13mm(以下、密粒)各1現場のデータを加え、範囲(S)のMPDの平均値と最大最小値の範囲を図-10に示す。MPDとMPD(L)の平均値、変動係数、および変動範囲の平均を表-2に示す。

これより、範囲(S)を1ヶのMPDから評価した場合の変動範囲は、密粒が最も小さく0.47mm、ついで排水5mmで0.77mm、排水13mmは最も大きく1.75mmもの差が生じる可能性のある事が明確となった。それに対し、10ヶのMPDを平均化するMPD(L)では、それぞれ0.07、0.13、0.37mmと安定した値が得られる。

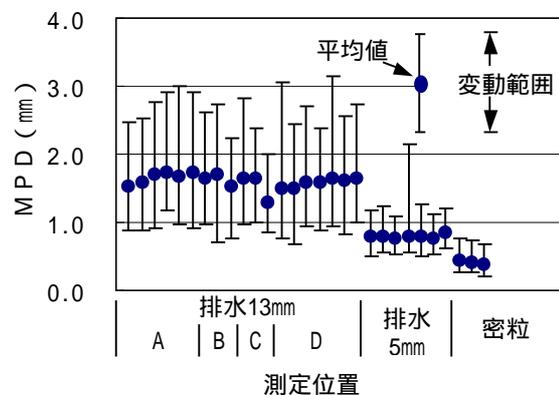


図-10 範囲(S)のMPDの平均値と変動

表-2 MPDとMPD(L)の測定例

	平均値 (mm)		変動係数 (%)		変動範囲の平均 (mm)	
	MPD	MPD(L)	MPD	MPD(L)	MPD	MPD(L)
排水13mm	1.60		20.7	6.93	1.75	0.37
排水5mm	0.80		16.3	5.06	0.77	0.13
密粒	0.41		22.5	5.02	0.47	0.07

しかしMPD(L)であっても、特に排水13mmにおいては路面のテクスチャにバラツキが生じている事から、従来のように路面を延長1m程度の1測線のみで採取したデータで評価することは疑問が残ることが明らかになった。

4. テクスチャの面的評価に関する検討

舗装表面のテクスチャを精度良く評価する為には、ある程度のデータ数が必要と想定される。その場合、延長の長い1測線からデータを採取する方法と、面的にデータを採取する方法が考えられる。タイヤの走行を考慮すると、面として平均化する事が有効と考えられた。

そのため、MPDで評価した場合、どの程度データが変動するのか確認した。その後、舗装を面として評価する事が可能なかどうか、可能であるならどの程度の個数のデータを採取すれば、信頼できる評価を行う事ができるのかの検討を行った。

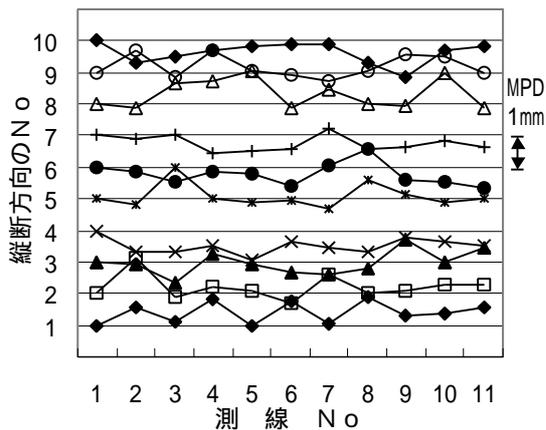


図-11.1 縦断方向のMPDの変化

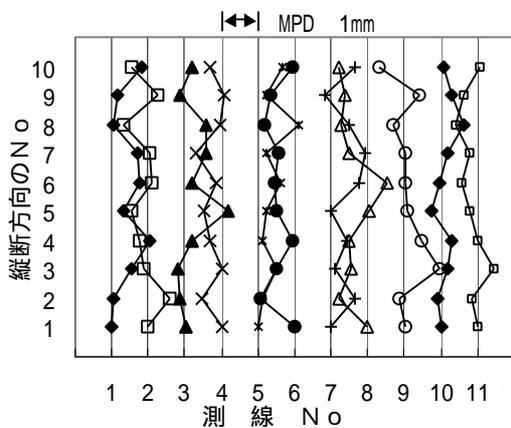


図-11.2 横断方向のMPDの変化

(1) テクスチャの不均一性

MPDを100mmの基長だけで評価した場合、測定位置によってどのような値が示されるか、(独)土木研究所の舗装路面騒音施設に設けられた基準路面を用いて範囲(S)の面を対象に検討した。なお、基準路面を測定対象としたのは、使用材料、舗装構成などのデータが明らかとなっているためである。

排水13mmと排水5mm、密粒において、図-1に示す範囲(S)で測定を行い、10×11ケのMPDを求めた。

測定結果の例として、排水13mmのMPDを、測線No1を基準として求めた縦断方向の変化と、縦断方向No1を基準として求めた横断方向の変化を図-11.1、11.2に示す。

これらより縦断方向、横断方向ともにMPDは変動しているものの、その分布に規則性は見られず、排水5mm、密粒でも同様な傾向であった。

(2) 面的評価に関する検討

舗装を面として評価するために必要なデータのサンプル数についての検討を行った。

範囲(S)のMPDの分布状況について検討を行った。なおデータは、図-1に示した10mmピッチ11測線ではなく、1mmピッチ101測線から採取し、1010ケのMPDによって評価を行った。

排水13mmの結果を図-12に示す。この結果、データの分布状況が正規分布と近似している事から、データは正規分布していると見なし、母平均の区間推定を行った。

表-3に母平均の区間推定値を示す。これより95%

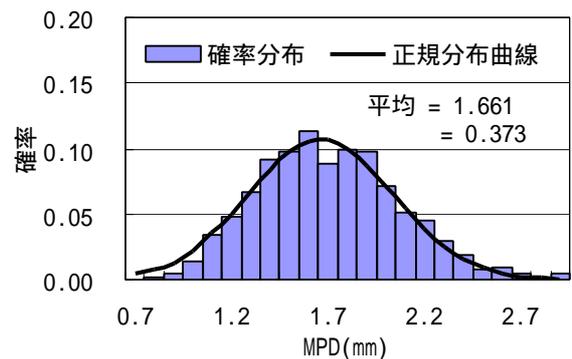


図-12 データの分布状況

表-3 母平均の区間推定 (信頼区間95%) n=1010

	最小値	μ	最大値	幅
排水13mm	1.638	1.661	1.684	0.046
排水5mm	0.847	0.856	0.865	0.018
密粒	0.388	0.394	0.400	0.012

信頼区間において、最大値と最小値の区間の幅が0.05以下と狭く、この範囲を代表する値として十分な精度を有している事が確認できた。したがって、適切な統計処理を行うことにより、範囲(S)を面として評価できると判断した。

なお、採取したデータの中から、延長100mm部分の1mmピッチのデータについて101ヶのデータを抽出して同様の検討を行った結果、95%信頼区間において、区間の幅が狭い事から、測定延長によらずある程度の個数のデータを採取すれば、面としての評価が行える可能性が示された。ただし、どの程度の面積であれば、舗装を代表する事になるのかについての検討が課題となった。

(3) データ数の検討

範囲(S)において、路面テクスチャを示すのに最低限必要なデータ数について検討した。排水性舗装に使用される骨材は、最大粒径13mmが主に用いられているが、騒音低減効果を高めるため、最大粒径5mmのような、小粒径も使用されている。また図-10に示したように、表層の舗装としては、密粒のMPDが最も小さいと考えられる。

表-2に示したMPDの平均値より、排水5mmが-0.2mm、密粒が+0.2mmの誤差で評価されるとすると、表層混合物としての違いを評価する事が困難となる。したがって、異なった種類の混合物である事を検出するには、少なくとも0.2mmの範囲内で評価できる事が

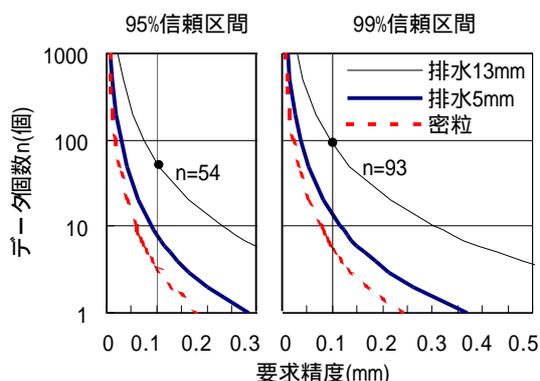


図-13 データ数と精度の関係

表-4 データ110ヶの精度 (mm)

	信頼区間	
	95%	99%
排水 13mm	0.070	0.092
排水 5mm	0.027	0.035
密粒	0.018	0.023

必要となる。そこで、0.1mmの精度を得るためにデータ数に関する検討を行った。

信頼区間95%、99%におけるデータ数nと精度の関係を図-13に示す。これより、MPDで0.1mmの差を検出するためには、舗装種別によって異なるものの、データ数が最も多い排水13mmにおいても、信頼区間99%で93ヶのデータを採取すれば良い事が明らかになった。実用的には、基長100mmの場合、縦断方向に1000mmに対し、横断方向は10mmピッチの間隔とすると、110個のデータにおける精度を表-4に示すように、11測線(110個)のデータを採取すれば良いことになることが明らかになった。

5. 既設路面への適用方法の評価

面での評価方法の有効性を確かめるため、舗装延長方向のテクスチャを測定し、MPD(S)の変化を確認すると同時に、累計延長比と接触部分比も同様に面としての解析(累計延長比(S)、接触部分比(S))方法を適用してみた。

3.(1)に示したように、累計延長比と接触部分比は、基長100mmに対し、測定区間の延長1000mmで平均化することとなる。したがって、累計延長比(S)と接触部分比(S)は、それぞれ1000mm×11測線の平均値を示す事となる。

(1) サンプリング位置に関する研究

(独)土木研究所の舗装路面騒音施設に設けられた基準路面の排水13mmと排水5mmを対象に測定を行い、解析値の比較を行った。

なおデータは、対象となる舗装から10m毎に複数個を採取し、延長方向のMPD(S)の変化について検討を行った。

測定位置を図-14に、縦断方向のテクスチャの変

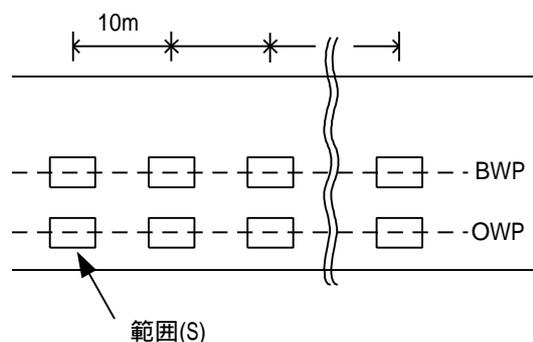


図-14 データの採取位置

化を図-15に、縦断方向に測定したテクスチャの変動係数を表-5に示す。

これより、同じ現場(同じ混合物や施工方法)であったとしても、テクスチャはある程度の変動を有しており、その変動係数は、MPD(S)では排水13mmと排水5mmは同程度であり、累計延長比(S)、接触部分比(S)では、排水5mmの方が小さいことが確認された。

(2) 解析方法間の関係

MPD以外の解析方法に対しても、面で評価する方法が有効であるかどうかを確かめるため、各方法の関係について図-4,5,6で示したデータと同じ位置からデータを採取し検討を行った。その結果を図-16,17,18に示した。

これより、面として評価したMPD(S)、累計延長比(S)、接触部分比(S)の相関性は、これまでに1測線で検討した結果と同様の傾向を示した。しかし、排水5mmと排水13mmでは傾向が若干異なることが認められた。そこで粒径毎に回帰式を求め、図中に示した。

また、図-16,17においては、図-4,5で示されたMPDの大きな、いわゆる粗れていると考えられる路面の場合でも、高い相関性が認められた。

したがってMPD(S)にした場合、路面のテクスチャの評価がより詳細に行えることが判明した。

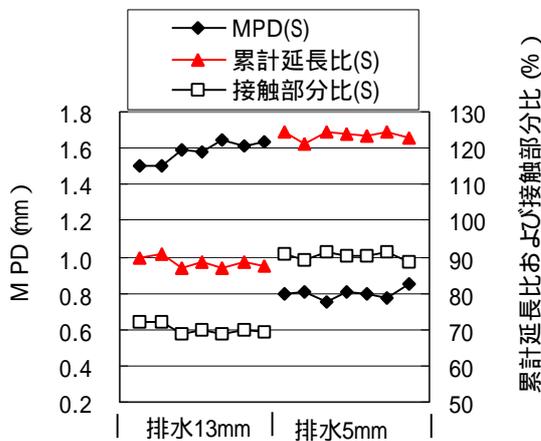


図-15 縦断方向のテクスチャの変化

表-5 縦断方向のテクスチャの平均と変動係数

	排水 13mm		排水 5mm	
	平均値	変動係数 (%)	平均値	変動係数 (%)
MPD(S) (mm)	1.58	3.8	0.80	3.8
累計延長比(S) (%)	88.4	1.6	123.5	0.9
接触部分比(S) (%)	70.0	2.0	90.2	1.1

6. まとめ

上記の研究結果のまとめを、以下に示す。

- (1) 基長によって解析の値が異なるため、解析に用いる基長を明確に定める事が必要と考えられる。
- (2) 1つの測線によるMPDでは、排水13mmで1.8mm、排水5mmでも0.8mm程度の変動を有する可能性がある。したがって面として平均化した値によって

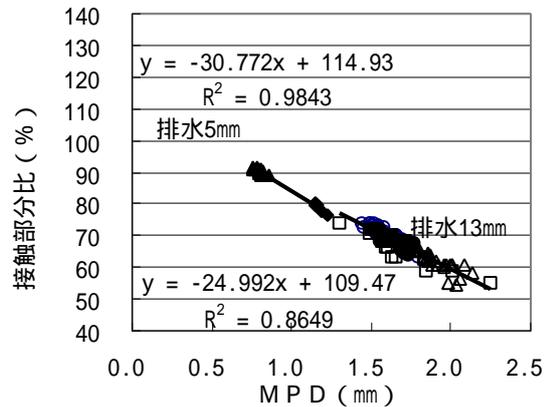


図-16 接触部分比(S)とMPD(S)の関係

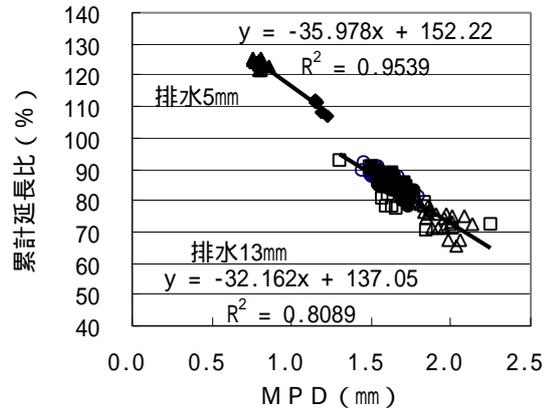


図-17 累計延長比(S)とMPD(S)の関係

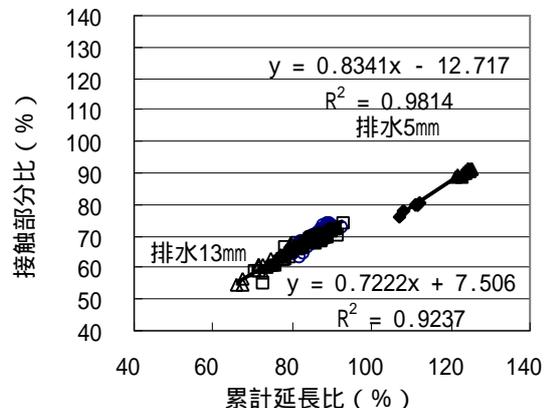


図-18 接触部分比(S)と累計延長比(S)の関係

評価する事が必要である。

- (3) 範囲(S)の面として評価するには、100ヶ程度のデータを採取する事が望ましく、その場合MPDは、路面状況によるものの、最も変動の大きな排水13mmであっても、0.1mmまで評価できる。
- (4) 面としてMPDを評価した場合、延長80m程度の舗装において、縦断方向のMPD(S)は排水13mm、排水5mm共に3.8%の変動がある。
- (5) MPD(S)の精度は、信頼区間99%として排水13mmで0.09mm、排水5mmで0.04mm程度と考えられる。

7. おわりに

排水性舗装におけるテクスチャは、すべりや騒音低減効果などに深く関係していることから研究が盛んに行われているが、精度の良いデータが得られているとは言えなかった。今回、舗装を面としてとらえる事により、精度の高い測定方法を示すことが出来た。しかし課題としては、基長の長さを含めたデータの解析方法を明確にしていく事が必要と考えられる。また、面としてとらえたMPDと、累計延長比および接触部分比を組み合わせる事によって、最大粒径の違いなどの舗装のテクスチャの特性を評価できる可能性があると考えられる事から、今後は、これらの課題を解決していくとともに、機能回復作業の評価、および、騒音とテクスチャの評価についての研究を進めていく予定である。

謝辞

なお本文は、(独)土木研究所と民間17社の共同研究の成果の一部としてまとめた「路面テクスチャの評価値の変動に関する検討」⁸⁾を基に、新たにデータを採取し、取りまとめたものである。

本論文をまとめるに際し、現場でのデータ採取に

ご協力を頂きました宮崎河川国道事務所をはじめとする関係各位の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1)Chavet.J, Dahbi.A, Descornet, G, P.Dhir.M, Huschek.S, and P.Leyder.J:OPTIMIZATION SURFACE CHARACTERISTICS, Xth WORLD ROAD CONGRESS, TECHNICAL COMMITTEE REPORT No1, SURFACE CHARACTERISTICS, pp.97-101, 1987
- 2)高橋修, 丸山暉彦, 帆苅浩三, 原富男:排水性舗装のテクスチャーに関する検討, 舗装, pp.11-16, 1994.9
- 3)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集, pp.1-1-1-6, 2002
- 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/路面騒音についての検討, 舗装, pp.3-8, 2004.2
- 5)ASTM :Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Properties Using the Circular Track Meter.Standard No.E2157-01,ASTM2001,
- 6) CHARACTERIZATION OF PAVEMENT TEXTURE UTILIZING SURFACE PROFILES-PART1: DETERMINATION OF MEAN PROFILE DEPTH, International Organization for Standardization, International Standard ISO 13473-1, 1996.
- 7)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集, pp2-1-2-9, 2002
- 8)片山潤之介, 増山幸衛, 寺田剛, 草刈憲嗣:路面テクスチャの評価値の変動に関する検討, 第59回年次学術講演会講演概要集(CD版), (社)土木学会

RESEARCH ON EVALUATION OF TEXTURE THAT CONSIDERS DIFFERENCE OF ANALYSIS METHOD

Yukiei Masuyama, Junnosuke Katayama, Noritsugu Kusakari, Shigeo Iwai
and Masaru Terada

It is known that the noise reduction effect of low noise pavement is affected by both of its surface texture and the state of air voids. At the present, surface texture is evaluated by a few profile data on the single measuring line on the pavement surface. Therefore, it follows that the evaluation of the texture of the whole pavement surface is difficult by the use of the present procedure due to the

variation of the surface conditions.

In this paper, a fundamental study on a sampling of precision data and an analysis of them were carried out for evaluating the texture of the whole pavement surface, based on the way of plane measurement of the pavement profile. As a result, it is shown the variation tendency of the texture for the whole pavement surface and a minimum number of the profile data for analyzing the whole surface texture. Furthermore, a probability of the evaluation of the whole surface texture with accuracy is also shown in consideration of the selection of the present analysis procedures.