

高速道路路面管理へのテクスチャの 適用性についての検討

七五三野 茂¹、早川 泰史²

¹正会員 博（工）日本道路公団 試験研究所 舗装研究室 室長 （町田市忠生1-4-1）

²正会員 日本道路公団 試験研究所 舗装研究室 （町田市忠生1-4-1）

高速道路で測定された、SMTD(mm)とBPNをそれぞれマクロテクスチャとミクロテクスチャを示す指標として、これまでに得られている研究結果をもとにテクスチャにより計算されたすべり摩擦係数と実測値の比較を行い、テクスチャの路面管理への適用性を検討した。その結果、次の内容が明らかとなった。(1)密粒系舗装ではテクスチャの適用が可能であり、すべり摩擦の測定値の分布や舗装耐久性を考慮して管理目標値を設定できる。(2)半たわみ性舗装についてはデータ数に限りがあるが、テクスチャ適用の可能性のあるものと考えられる。(3)排水性舗装については、マクロテクスチャが著しく大きく密粒系舗装と同様の方法でテクスチャを適用することができなかった。今後、テクスチャの測定・評価方法を更に検討する必要がある。

Key Words: Macrottexture, Microtexture, Skid Resistance, PDI, SMTD, BPN, Monitor of Pavement

1. はじめに

高速道路では安全な路面の確保が最も優先される課題であり、舗装路面のすべり摩擦の測定、管理はその最も基本となるものである。このため、日本道路公団（以下、JII という）では2台の大型のすべり測定車を所有し、全国の高速道路網のすべり摩擦を定期的に測定、管理している。平成10年度末の高速道路の総延長は約6,400kmに達し、今後も車線延長が増加する中で合理的なすべり摩擦の測定、管理が必要である。

ところで、ヨーロッパの幾つかの国々では、すべり摩擦と密接な関係にあるといわれているテクスチャを路面管理の実務の中に取り入れており¹⁾²⁾、テクスチャをすべり摩擦の測定と合わせて利用することにより効率的な路面管理が可能となることは明らかである。

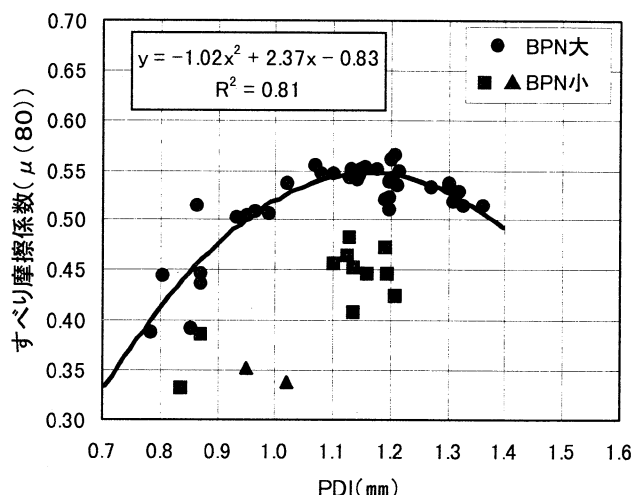
そこで、本研究ではすべり摩擦と密接な関係のあるテクスチャに着目し、筆者がこれまでにやってきたテクスチャとすべり摩擦に関する研究内容に基づき、テクスチャをすべり摩擦測定の補助的手段として路面管理に適用できるかを検討したものである。なお、対象とする舗装はこれまでの経緯より高速道路上の密粒度アスファルト混合物を用いた通常舗装であるが、半たわみ性舗装および排水性舗装についても検討を試みた。

2. 研究方法

(1) 目的と手法

本研究の目的はこれまでのテクスチャとすべり摩擦の関係に基づき、テクスチャを用いて推定したすべり摩擦係数と実測により得られたすべり摩擦係数を比較することによりテクスチャによる高速道路の路面管理が可能であるかを検討することである。この場合、すべり摩擦係数の計算値と実測値の間の相関関係を求めることではなく、計算値が実測値の測定範囲内でどのように分布しているかを調べることによりテクスチャによるすべり摩擦推定の適否を検討するものである。また、テクスチャについては路面管理への適用の観点から、実用的でかつ容易な測定方法により得られたものを用いることを前提とする。なお、本研究で扱うマクロテクスチャとミクロテクスチャはPIARCの定義³⁾に示される内容である。

そのため、マクロテクスチャについては非接触のレーザーを搭載したMTM(Mini Texture Meter)により測定されたSMTD(Sensor Measured Texture Depth)により評価する。これは、従来のサンドパッチングなどの容積法と比べて、MTMによる測定は迅速であり、測定者による誤差も極めて少ないことや、これにより得られた平均プロファイル深さはすべり摩擦との相関が高いことなどが指



図－１ BPNの大小別のPDIとすべり摩擦係数の関係

摘されており⁴⁾、ISO 標準⁵⁾となるとともに、ASTM の試験法⁶⁾として確立されているためである。

また、マイクロテクスチャについてはこれまでのところ直接測定、評価できる測定方法は見当たらないが、これまでの研究より振り子式スキッドテストにより測定された BPN(British Pendulum Number)により間接的な評価が可能であることから、迅速さや測定者による誤差などの多少の課題があるものの、BPN により評価することとした。

(2) これまでの研究結果

これまで、定置式変位計により詳細に測定されたプロファイルについてヒストグラムによる評価を行うとともに、ヒストグラムより求められた平均プロファイル深さの一種である、PDI(Profile Depth Index)という指数とすべり摩擦係数の関係を分析することにより⁷⁾、すべり摩擦係数と PDI の間に(1)式のような関係が得られた⁸⁾。

$$\mu(80) = -1.02PDI^2 + 2.37PDI - 0.83 \quad (1)$$

$\mu(80)$: すべり摩擦係数 (測定速度 80km/h)

PDI : ヒストグラムより求められた平均プロファイル指数

また、すべり摩擦へのテクスチャの影響要因を分析することにより、マクロおよびマイクロテクスチャがすべり摩擦に与える影響について(2)式のような関係が得られた⁸⁾。

$$SR = SR(PD) + SR(CN) \times Sp(MICT) \quad (2)$$

SR : すべり摩擦係数 (測定速度 80km/h)

表－１ 測定箇所と舗装種別

道 路 名	舗装種別	箇所数
仙台東部道路	タイプA	3
	タイプG	3
中 央 道	タイプA	1
	タイプB	2
	タイプG	7
	排水性舗装	4
常 盤 道	タイプA	5
	タイプG	5
	排水性舗装	5
東 名	タイプA	2
秋 田 道	タイプB	2
山 形 道	排水性舗装	5
計		44

$SR(PD)$: マクロテクスチャに関係し、タイヤの貫入深さがすべり摩擦に影響を及ぼす因子

$SR(CN)$: ミクロテクスチャに関係し、タイヤと路面の接触数がすべり摩擦に影響を及ぼす因子

$Sp(MICT)$: ミクロテクスチャの形状がすべり摩擦に影響を及ぼす因子

分析の結果、 $SR(PD)$ 、即ち、マクロテクスチャの影響が卓越するが、 $SR(CN)$ 、即ち、ミクロテクスチャも影響を及ぼすことが明らかとなった。 $Sp(MICT)$ についてはBPNの大きさによりミクロテクスチャの影響を間接的に評価できることがわかった。

図－１は、PDI とすべり摩擦係数の関係において $Sp(MICT)$ の影響を示したものである。▲印は、新たにBPNの低い個所での測定結果を追加したものである。バラツキは大きいものの、PDI が 0.9 近傍においても PDI が 1.2 近傍と同様に、BPN が小さい場合は同じ大きさの PDI にも係わらず、すべり摩擦係数が約 15%小さくなる傾向を示していることが確認された。

(3)測定内容

① 測定箇所

表－１に測定箇所と舗装種別を示す。測定箇所については、秋田道以外は供用中の路線である。舗装種別については、タイプ A、B は密粒度混合物であり、2.5mm ふるい通過量はタイプ A が 42%程度、タイプ B が 45%程度である。タイプ G はギャップ粒度混合物であり、2.5mm ふるい通過量は 38%程度である。なお、1 箇所当たりの測定延長は 200m である。

② 測定方法

表-2 定置式変位計のレーザーセンサーの仕様

テクスチャの測定範囲	20 (±10) mm
作動距離	56mm
光スポット径	100～150 μm
テクスチャ分解能	±10 μm
応答周波数	4kHz

表-3 MTMの仕様

項目	仕様	備考
測定速度	歩行速度 (約4km/h)	測定は乾燥路面とする
測定範囲	20mm	—
粗さの出力	10m区間の粗さの標準偏差	50m毎の平均も出力 (表示出力: 0.01 mm)
センサ	非接触形レーザーセンサ	不可視放射線光線
センサパルス	約2/1,000 秒	—
センサ分解能	10 μm	—

a) すべり摩擦抵抗の測定(JHS222-1992)⁹⁾

すべり摩擦抵抗は、すべり摩擦測定車 (車輪ロック方式) により測定され、80km/h の走行時の縦すべり摩擦係数に換算される。測定は、普通乗用車とほぼ同様の寸法のラジアルタイヤの前面に散水して水膜を作りながら約4kN の荷重を載荷して、測定軸及びブレーキにかかる負荷を測定し、その負荷と載荷荷重の比からすべり摩擦係数を算出するものである。測定は、キロポストに従い200mごとに3秒間、外側わだち部中央にて測定用タイヤをロックすることを繰り返して行われる。

b) プロファイルの測定

表-2 に示す仕様のレーザーセンサーを備えた定置式変位計によりプロファイルを測定した。外側わだち部中央線上に縦断方向に50cmの範囲を1回に測定することができる。レーザー光のスポット径が約0.1mmであるから、1回の測定で5000点の (水平・垂直) 変位データが測定される。プロファイルの測定位置は、200m ごとにすべり摩擦測定個所に合わせて、この区間の両端及び中央の3箇所とした。

c) マクロテクスチャの測定⁴⁾

表-3 に示す仕様の MTM によりマクロテクスチャを測定した。外側わだち部中央線上に縦断方向に連続的に測定する。測定されたデータは、30cm ごとに RSM (Root Mean Square) が算出され、10m ごときの平均値として SMTD (mm) を出力する。すべり摩擦抵抗の測定と同じく外側わだち部中央にて200m 間の測定を行い、平均値を算出する。

d) ミクロテクスチャの測定(JHS221-1992)⁹⁾

ミクロテクスチャは BPN により間接的に評価する。BPN は、高速道路ではすべり摩擦抵抗を評価するひとつの指標として使用されており、測定は、振り子式ポータブルスキッドレジスタンステスターによる。BPN の測定箇所は、プロファイルの測定と同じ箇所である。

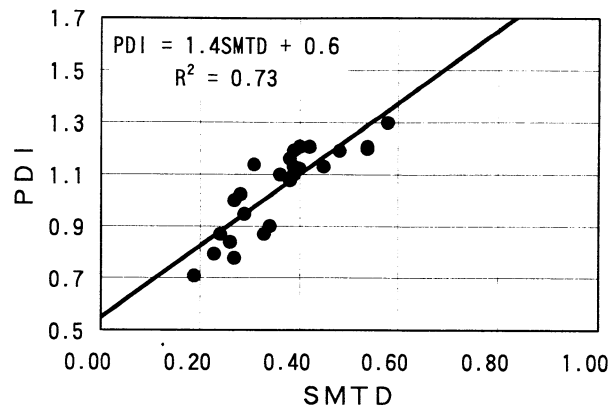


図-2 PDI と SMTD の関係

3. 検討結果

(1) 密粒系舗装におけるテクスチャによるすべり摩擦係数の推定

はじめに、ここではこれまでにテクスチャとすべり摩擦の関係を調べる際の対象としてきた、密粒度アスファルト混合物を用いた舗装 (密粒系舗装) について検討する。

図-2 は、すべり摩擦を測定した区間 (66m) における密粒舗装の SMTD の平均値と PDI の平均値の関係を示したものである。この結果より、SMTD と PDI の間には相関関係が見られ、両者には (3) 式が成り立つ。

$$PDI = 1.4SMTD + 0.6 \quad (3)$$

筆者のこれまでの研究により、(2) 式の関係をもとにすべり摩擦とテクスチャの関係は (4) 式のように表すことが可能である。

$$\mu(80) = f(SMTD) \times \alpha \quad (4)$$

α はミクロテクスチャの程度によって変わる係数である。図-1 に見られるように、BPN 小のグループのデータ数が限られており分布幅も大きい、以降では BPN 大と BPN 小ではすべり摩擦が15%程度異なるものとする。

そこで、(3) 式と (1) 式より SMTD とすべり摩擦係数の関係を示すと、(5) 式が得られる。

$$\mu(80) = (-2.0SMTD^2 + 1.5SMTD + 0.2) \times \alpha \quad (5)$$

α : ミクロテクスチャの影響を示す係数で、BPN > 60 の場合、 $\alpha = 1.0$ 、BPN ≤ 60 の場合、 $\alpha = 0.85$

(5) 式に基づき SMTD によりすべり摩擦係数を計算したものと、実測したものの関係を示したものが図-3 であ

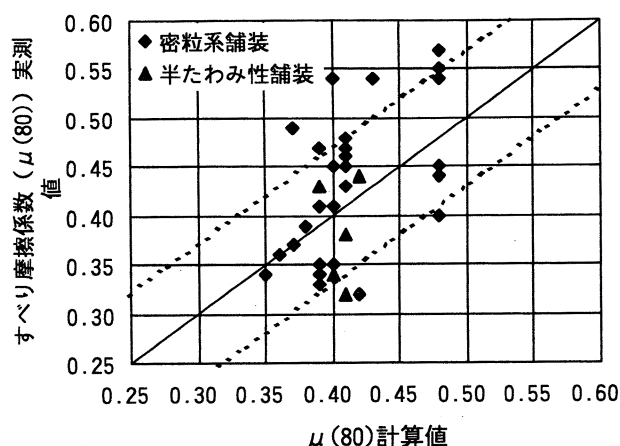


図-3 マクロ及びマイクロテクスチャによるすべり摩擦係数の計算値と実測値の関係

る。なお、平成6年度に測定された密粒系舗装のすべり摩擦係数の平均値は0.45であり、標準偏差は0.07である。そこで、図中の1:1の線に平行な破線は標準偏差の範囲を示したものである。マクロテクスチャのみならずマイクロテクスチャを考慮した場合のすべり摩擦係数の計算値は、一部で実測値よりも過小となるものも見られるが、大部分のものが標準偏差を加味した範囲内あるいは破線付近に分布しており、特に計算値が大きくなるような偏った傾向は見られない。

図-4は、(5)式のマクロテクスチャの影響を考慮しない($\alpha = 1.0$)場合の計算値と実測値の関係を示したものである。この関係より、1:1の線より下、即ち、計算値の方が実測値よりも大きくなるものが多く、分布幅も大きくなっている。この結果、SMTD、即ち、マクロテクスチャのみではすべり摩擦を大きめに推定してしまいう傾向があり、テクスチャによるすべり摩擦の推定が危険側となるケースが多くなることがわかる。

以上の結果より、密粒系舗装においてはSMTDのみではなくBPNも含めてテクスチャを評価することにより、安全上支障なくテクスチャを路面管理に適用できる可能性があることがわかった。

(2) 半たわみ性舗装におけるテクスチャによるすべり摩擦係数の推定

半たわみ性舗装は、セメントミルクが用いられるため表面の仕上げの状態によって施工直後のすべり摩擦が低くなることが多い¹⁰⁾¹¹⁾。簡易な方法で施工時の路面の状態を確認することができればその後の対応を適切かつ迅速に行うことができる。そこで、2路線6個所で実施された測定結果をもとに施工直後における半たわみ性舗装へのテクスチャの適用性について検討した。なお、供用後に摩耗により表面のモルタル分が除去された場合は通常の密粒系舗装と同様にテクスチャによるすべり摩擦係

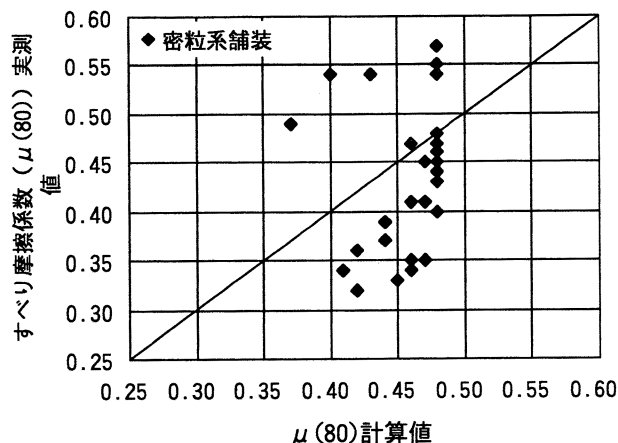


図-4 マクロテクスチャによるすべり摩擦係数の計算値と実測値の関係

数の推定が可能であると考えられるため、今回の検討対象としていない。

図-3の▲印は、(5)式に基づきSMTDとBPNにより半たわみ性舗装のすべり摩擦係数の計算値と施工直後の実測値の関係を示したものである。今回の測定結果では、データ数が限られるものの6箇所中5箇所のデータが標準偏差を加えた範囲内に分布しており、テクスチャによりすべり摩擦の状態を推定できることを示している。

今後、更にデータ数を増やして施工直後の半たわみ性舗装に対してすべり摩擦の推定にテクスチャを適用できるか検証する必要がある。

(3) 排水性舗装におけるテクスチャによるすべり摩擦係数の推定

排水性舗装のマクロテクスチャは密粒系舗装と比べて著しく大きいため、密粒系舗装用に導かれた(5)式よりすべり摩擦係数を推定することは困難である。そこで、ここではSMTDとBPNを個別にすべり摩擦係数と比較することにより、排水性舗装のテクスチャとすべり摩擦係数の関係を調べた。今回の測定の対象となった排水性舗装(表-1)は、すべて空隙率が約20%、アスファルト量約5.0%である。また、供用前の路線については工事用車両等により舗装表面が多少摩耗を受けており、供用後の路面状態に比較的近いと思われる箇所を選定した。

図-5は、BPNとすべり摩擦係数の関係を示したものである。密粒系舗装に見られるようにBPNが60を境にしてすべり摩擦係数の値に違いが見られない。また、図-6はSMTDとすべり摩擦係数の関係を示したものである。データ数が限られているものの両者の間には相関関係が見られる。なお、この関係にはBPNの大きさによる影響は見られない。

今回の測定では、排水性舗装のマクロテクスチャが著しく大きく、マクロテクスチャのすべり摩擦への影響が

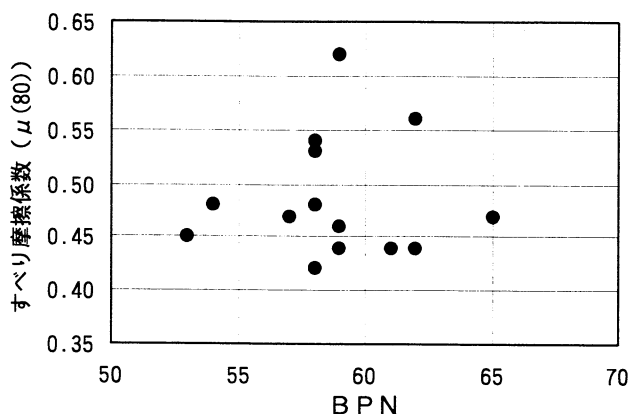


図-5 高機能舗装のBPNとすべり摩擦係数の関係

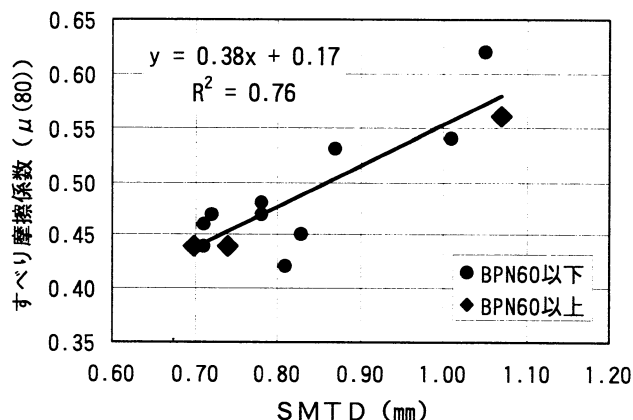


図-6 高機能舗装のSMTDとすべり摩擦係数の関係

表-4 密粒系舗装のテクスチャ管理目標値の例

すべり摩擦係数 ($\mu(80)$)		0.38	0.45	0.52	備考
SMTD (mm)	BPN>60	0.20 (0.30)	0.30 (0.50)	0.50 (1.00)	()はサンド パッチによる MTD(mm)
	BPN≤60	0.30 (0.50)	0.50 (1.00)	—	

卓越しマイクロテクスチャの影響が見られない結果となった。排水性舗装では路面の水膜の形成が密粒系舗装と異なることからマイクロテクスチャの影響をほとんど受けずマクロテクスチャのみで路面管理できる可能性があるが、SMTD の測定結果への空隙の影響なども含めて今後更に測定、評価方法の検討が必要である。

(4)管理目標値

以上より、密粒系舗装では SMTD と BPN を用いてテクスチャによる路面管理が可能であることが確認された。ここでは密粒系舗装についてテクスチャにより路面管理を行う場合の管理目標値について検討した。

はじめに、すべり摩擦係数(測定速度 80km/h)については平成6年度の平均値である 0.45 を中心に、標準偏差 0.07 の分布幅を考慮して、下限を 0.38、上限を 0.52 とする。マクロテクスチャの管理目標値を求める手順については、まず、図-1 よりすべり摩擦係数と PDI の関係に基づきすべり摩擦係数から PDI を求め、次に図-2 の PDI と SMTD の関係から SMTD を求め、最後に小数第1位に丸めた。

表-4 に、密粒系舗装のテクスチャの管理目標値の例を示す。()内の値は、これまでの試験結果より得られた関係($MTD = 2.8SMTD + 0.36$)¹²⁾を基にサンドパッチングにより測定した平均テクスチャ深さ(MTD)を参考までに示したものである。マイクロテクスチャの影響が小さい(BPN ≤60)場合、1ランク上のマクロテクスチャの管理目標値を適用しなければならないことがわかる。

これまでの研究ではマクロテクスチャが大きくなってもタイヤの貫入深さがそれほど変わらなくなるためすべり摩擦の大きさは変化しなくなること⁸⁾、マクロテクスチャは 2.5mm ふるい通過量との相関関係があるが、必要以上に粗骨材量を多くすることはアスファルト量の減少を招き、はく離やひびわれなど耐久性低下の原因となること¹³⁾などから、マクロテクスチャを必要以上に大きくしても効果がない。例えば、ギャップ舗装ではひびわれなどに配慮して 2.5mm ふるい通過量を 38%程度とした場合、その時のマクロテクスチャ(SMTD)の最大値はおおよそ 0.5mm である¹²⁾。すべり摩擦係数の上限値(0.53)に対して、上述の手順により求めた SMTD は最大で 0.60 となるが、舗装の耐久性を考慮してマクロテクスチャの上限値は 0.50 程度とすることが妥当であると考えられる。

そこで、マイクロテクスチャの影響が普通(BPN>60)の場合、マクロテクスチャ(SMTD)の管理目標値の範囲は 0.20~0.50mm であり、マイクロテクスチャの影響が小さい(BPN≤60)場合、マクロテクスチャの管理目標値の範囲は 0.30~0.50mm となる。以上より、マクロテクスチャのみで路面管理する場合の管理目標値の範囲は 0.30~0.50mm となる。平均テクスチャ深さの範囲は 0.50~1.0 mm であり、ドイツにおける高速道路用のマクロテクスチャ管理目標値の範囲²⁾と結果的に同程度となった。

ただし、ここではマクロテクスチャについての望ましい管理目標値の範囲を示したものであり、マクロテクスチャ(SMTD)が 0.20mm あるいは 0.30mm を下回ったからといって即危険な状態ということではない。

4. まとめ

以上、SMTD および BPN をそれぞれマクロテクスチャとマイクロテクスチャの指標として、テクスチャによるすべり摩擦係数の計算値と実測値の比較をとおして高速道路の路面管理へのテクスチャの適用性について検討した結果、以下の内容が明らかとなった。

- (1) マクロテクスチャのみを用いてすべり摩擦係数を計算した値は、実測値よりも大きく危険側となる場合が多いが、マイクロテクスチャも考慮することにより実測値に近い値となる。
- (2) 密粒系舗装では、すべり摩擦係数の測定値の分布や舗装の耐久性を考慮して管理目標値を設定し、テクスチャを路面管理に適用することが可能である。
- (3) 半たわみ性舗装では、データ数が限られるが、同様にテクスチャを路面管理に適用できる可能性がある。
- (4) 排水性舗装では、マクロテクスチャの影響が卓越しているためマイクロテクスチャの影響がほとんど見られず、密粒系舗装と同様の方法でテクスチャを路面管理に適用することはできない。密粒系舗装と比べてマクロテクスチャが極めて大きい、その測定方法や評価方法について検討が必要である。

5. おわりに

MTM や振り子式スキッドテストといった機器により容易に測定されたテクスチャについて、高速道路上の密粒系舗装の路面管理に適用することが可能であることがわかった。新設あるいは供用中の路面のすべり摩擦の状態を推定できるため、すべり摩擦測定の補助手段として実務上で直ちに利用することが可能である。今後は、密粒系舗装についても更にデータ数を増やすとともに、施工

面積が急速に拡大している排水性舗装について、テクスチャの測定や評価方法についての検討を進める予定である。

参考文献

- 1) Design Manual for Roads and Bridges, Volume 7 Pavement Design and Maintenance, The Department of Transport, U.K., 1994.1
- 2) 七五三野 茂、アウトバーンにおける路面管理について、道路建設、No.585、1996.10
- 3) 土木学会、舗装機能の評価法、1992.5
- 4) 日本道路協会、舗装試験法便覧別冊、1996.10
- 5) ISO 13473-1:1997, Characterization of Pavement Texture by Use of Surface Profiles—Part 1: Determination of Mean Profile Depth, ISO, 1997
- 6) ASTM E 1845-96、Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth, ASTM、1996
- 7) 七五三野、アスファルト舗装のテクスチャの特性とすべり摩擦への影響、舗装工学論文集、第1巻、土木学会、1996.12
- 8) 七五三野、川村、高速域のすべり摩擦に与えるテクスチャの影響要因分析、舗装工学論文集、第3巻、土木学会、1998.12
- 9) 日本道路公団、日本道路公団試験法、1992.4
- 10) 林、林田、光谷、半たわみ性舗装のすべり抵抗に関する実験的検討、第22回日本道路会議論文集、1997.12
- 11) 早川、七五三野、金田、半たわみ性舗装の表面処理に関する検討、第23回日本道路会議論文集、1999.10
- 12) 七五三野、小川、川村、高速道路におけるアスファルト舗装のテクスチャの特徴とすべり摩擦への影響、舗装 Vol.32、No.6、1997.6
- 13) 松崎、佐藤、七五三野、寒冷地におけるギャップ混合物の配合設計手法、ハイウェイ技術 No.7 日本道路公団試験研究所、1997.4

A Study on Applicability of Texture to Pavement Surface Monitoring in Expressways

Shigeru SHIMENO, Yasushi HAYAKAWA

The SMTD(Sensor Measured Texture Depth) measured by Mini Texture Meter and BPN measured by the British Pendulum were used to estimate the coefficient of skid resistance and the estimated values were compared the measured skid resistance on expressways to testify the applicability of texture to the monitor of pavement surface. As the result, followings were made clear; (1)it is possible to apply the texture for monitoring dense-graded asphalt pavement, (2)it might be applicable the texture for monitoring semi-rigid pavement considering the limited number of data ,(3) it is not possible to apply the method which is applicable to dense-graded asphalt pavement for drainage pavement due to the extraordinary large macrotexture and measurement technique.