

IV-8

ポータブルテクスチャー測定装置の比較と国際摩擦指標 IFI 算出

室蘭工業大学大学院 学生員 山本 賢二
 金亀建設(株) 正員 玉井 昭典
 日邦産業(株) 正員 安部 裕也
 北海道工業大学 正員 亀山 修一
 室蘭工業大学工学部 フェロー 齋藤 和夫

1. はじめに

舗装路面、特に、湿潤路面のすべり抵抗は車両の安全性に大きく影響することから、路面の設計や維持管理において重要な要素の一つとなっている。タイヤと路面のすべり抵抗に影響する要因は多岐にわたるが、特に路面の凹凸(テクスチャー)はすべり抵抗を直接支配することから、道路交通技術者にとって関心の持たれるところである。しかし舗装路面の摩擦およびテクスチャーを測定するための装置は、世界各国によってさまざまな測定原理が用いられているためデータ間の比較は非常に困難な状況にある。そのため PIARC (世界道路協会) は、共通の指標である国際摩擦指標 (IFI) を推定するため PIARC モデルを開発した。IFI は摩擦ナンバー F60 と速度ナンバー Sp で構成され、IFI (F60, Sp) と表記される。本研究では、IFI の重要な要素である速度ナンバー Sp の算出のためのテクスチャー測定装置の性能および IFI との関係を求めることを目的とする。

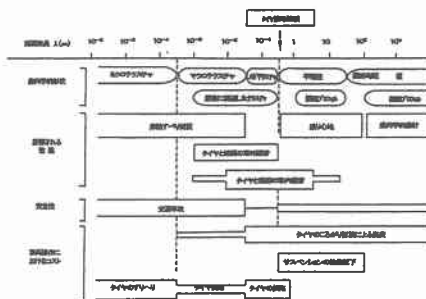


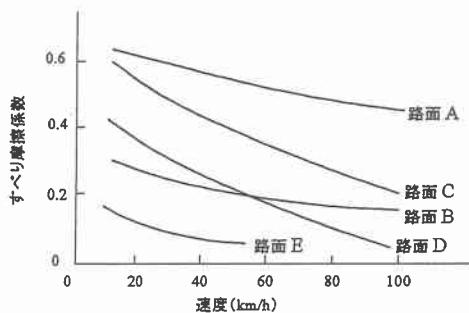
図-1 PIARC によるテクスチャー定義

分類	粗さの状態		表面波形
	マクロの粗さ	ミクロの粗さ	
A	粗	粗	
B	粗	平滑	
C	密	粗	
D	密	平滑	
E	平滑	平滑	

(a) 路面の粗さの分類

2. テクスチャーの定義

舗装路面は平滑ではなく凹凸があるが、あるサイズ以下の凹凸をテクスチャーと呼んでおり、図-1 に示すように路面とタイヤ間で発生する種々の問題に関係する重要な路面特性である。テクスチャーは PIARC の定義によると、骨材表面の凹凸などによって形成される 0.5mm 以下のサイズのマイクロテクスチャーと路面の骨材の配置、形状などによって形成される 0.5mm~50mm のサイズのマクロテクスチャーに分類される。湿潤路面ではタイヤと路面間に水



(b) 路面の粗さとすべり摩擦係数

図-2 路面の粗さとすべり摩擦係数の関係

Comparison of Portable Texture Meters and Calculation of International Friction Index
 By Kenji YAMAMOTO, Akinori TAMAI, Hironari ABE, Syuuiti KAMEYAMA and Kazuo SAITO

が介在するため、マクロテクスチャーはタイヤと路面の接触部に溝を形成し排水させる機能があり、高い速度範囲におけるすべり抵抗の確保に重要な役割を果たす。一方、マイクロテクスチャーはタイヤと路面の間の水膜を破り両者を接触させることから、低い速度でのすべり抵抗に重要な関係を持つ。

舗装表面のテクスチャー別に分類した5種類の異なるモデル路面とタイヤの影響をなくすため十分磨耗したタイヤを用いて、湿潤状態でどの程度すべり摩擦係数が異なるかを図-2に示す。路面Aは、マクロな粗さとマイクロな粗さを持っており、骨材表面が粗い路面。路面Bは、マイクロの粗さが平坦な路面。路面Cは、マイクロな粗さを有する、サンドペーパー上の路面。路面Dは、Cの骨材が磨耗した状態。路面Eは、マイクロな粗さを持たない氷のような路面である。図-2から、路面の粗さがすべり摩擦係数に与える影響は、湿潤時に顕著であり速度にも関係してくることがわかる。

3. テクスチャー測定装置

テクスチャーの測定方法は、プロフィロメータ法、容積法、アウトフロー法の3つに分類される。

一般にテクスチャー測定装置の大半は大型の車両走行タイプであるが、世界の任意の場所を測定することが困難であるなどの点から、簡易でポータブルなテクスチャー測定装置を対象として性能の比較を行う。その中で、今回はサンドパッチ法、砂拡大器、CTメーターと英国式ポータブルテスターについてテクスチャー測定装置の関係を調べることにする。

サンドパッチ法は、よく乾燥した粒径0.3~0.15mmまたは0.15~0.074mmの砂を路面の粗さに応じて50cm³または10cm³メスシリンダで測って路面にあげ、直径約5cmのゴム板のついたコテでできるだけ広い円形に敷き広げる。2方向で測った円の直径の平均値からその面積を計算し、砂の容積を円形に広げられた面積で除すことにより、砂層の平均深さ(MID:Mean Texture Depth)を測定する方法。

(写真-1)

砂拡大器は、日本独自の測定方法であり、スプレッター(砂拡大器)を用いて砂を幅5cmの長方形上に広げ、その面積から砂層の平均深さ(きめ深さ)を測定する方法。(写真-2)

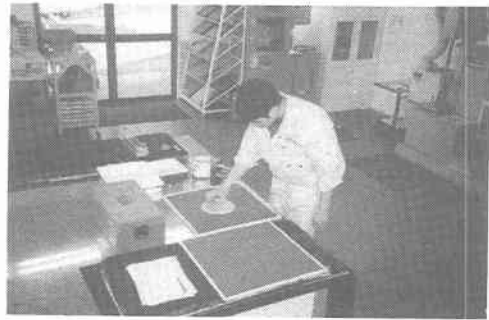


写真-1 サンドパッチ法

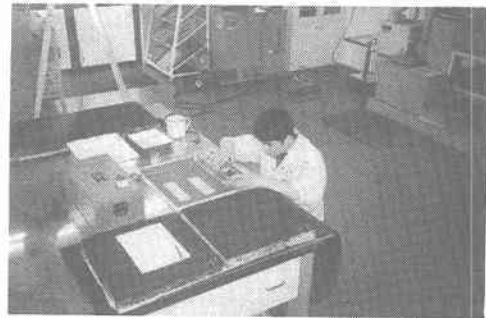


写真-2 砂拡大器

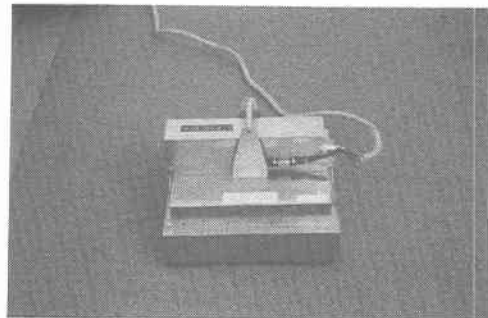


写真-3 CTメーター

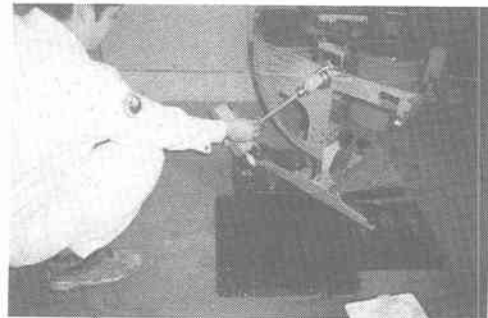


写真-4 BPN

CTメーターは半径142mmの円状を回転するアームに CCD レーザ変位センサを取り付けたものであり、道路の横断勾配やわだちぼれの影響を提言するために、測定されたプロファイルを8等分し、それぞれのプロファイルにおいて平均プロファイル深さ(MPD)を算出する。MPDはプロファイルの回帰直線とピーク高さとの差で表される。(写真-3)

英国式振子試験機(BPT)は、振子の先端のゴムスライダーが規定の接地圧で規定の接地長の試験面を活動するとき生ずるエネルギー損失を指標に表し、これを測定値BPNとする。この方法による接触スピードは低い(およそ時速11km)ため、マイクロテクスチャーの影響を評価することができる。そのため、低速度の状況においてのすべり抵抗値を測定するものであるが、現在ではテクスチャー測定装置としても使用されている。(写真-4)

本研究では、CTメーター測定値は8分割されたプロファイル(プロファイル長さ111.5mm)から得られるMPD#1~MPD#8の平均値を測定プロファイルのMPDとした。また、各舗装において、CTM、サンドパッチ、砂拡大器、BPTによる測定を同数回おこない、その平均値を解析に用いた。

4. 試験の概要

測定地点は1998年と1999年に行われたNASAの実験データ、そして1999年に金亀建設(株)で行われたデータを用いた。

試験路面はアスファルト舗装(AC)18箇所、コンクリート舗装(CC)25箇所、エポキシ樹脂パネル(EP)10箇所、表面処理(ST)6箇所、メタルパネル(P)10箇所で行われた。

アスファルト舗装は密粒度アスファルト混合物、密粒ギャップアスファルト混合物、細粒度アスファルト混合物、粗粒度アスファルト混合物、透水性舗装およびグルーピング処理をおこなった舗装などで行われた。コンクリート舗装は表面が粗い舗装や滑らかな舗装のほかにグルーピング処理された舗装などで行われた。エポキシ樹脂パネルや表面処理工法においても、表面の粗いものから滑らかなものまでさまざまなもので行われた。メタルパネルには、アルミパネルなどの特殊素材吹付パネルで行われた。

表-1 1999年に金亀建設で行われたデータ

type	CTM	サンドパッチ	砂拡大器	BPN
0-1 epoxy resin panel	0.024		0.04	13
0-2 epoxy resin panel	0.041		0.07	13
3-1 epoxy resin panel	0.995	0.84	1.43	60
3-2 epoxy resin panel	0.765	0.77	1.31	56
4-1 epoxy resin panel	0.912	0.66	1.03	62
4-2 epoxy resin panel	0.801	0.67	1.03	62
5-1 epoxy resin panel	0.384	0.38	0.5	70
5-2 epoxy resin panel	0.322	0.37	0.57	60
6-1 epoxy resin panel	0.276	0.31	0.44	76
6-2 epoxy resin panel	0.255	0.29	0.41	73
S11 fine-graded asc	0.174	0.27	0.31	65
M1 dense-graded asc	0.503	0.42	0.69	65
M2 dense-graded asc	0.255	0.33	0.37	67
S1 coarse-graded asc	0.624	0.56	0.85	77
G1 dense gap-graded asc	0.901	0.77	1.23	80
G2 dense gap-graded asc	0.537	0.49	0.68	72
H11 porous(open) graded Asc	1.632			62
H12 porous(open) graded Asc	1.493			57
A dense-graded Asc	0.549	0.45	0.67	69
B coarse-graded Asc	1.533	1.33	1.71	78
C RUBIT pavement	0.935	0.69	1.03	73
D concrete pavement (very rough)	2.729	2.76	5.3	
E concrete pavement (rough)	1.779	1.34	2.73	83
F concrete pavement (fine)	0.175	0.21	0.51	72

5. テクスチャー測定装置間の関係

それぞれのテクスチャー測定装置の相関関係を求めた結果、次の図のような関係が得られた。

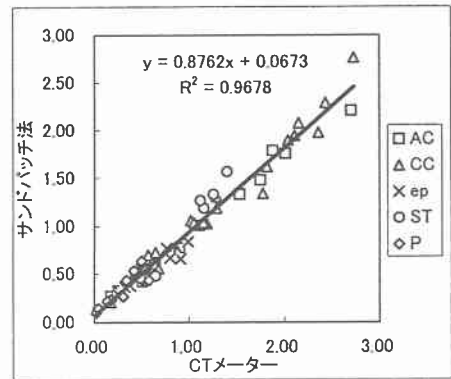


図-3 CTメーターとサンドパッチ法の関係

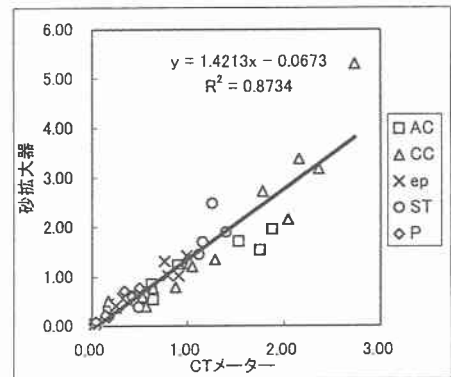


図-4 砂拡大器とサンドパッチ法の関係

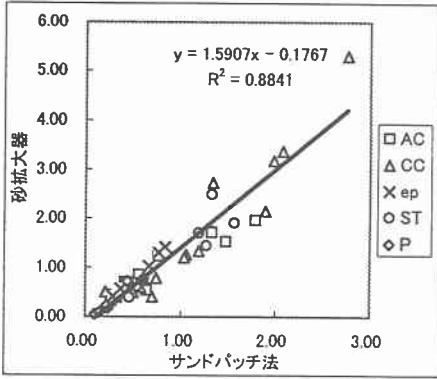


図-5 CTメーターと砂拡大器の関係

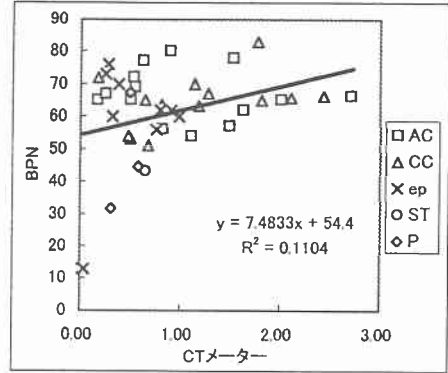


図-7 CTメーターとBPNの関係

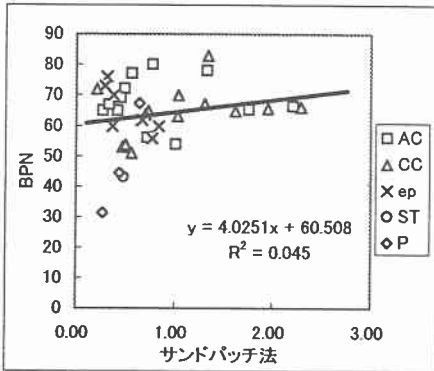


図-6 サンドパッチ法とBPNの関係

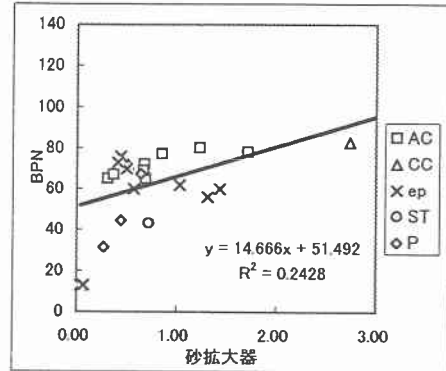


図-8 砂拡大器とBPNの関係

この結果、CTM とサンドパッチ法と砂拡大器の相関関係はいずれも 0.9 以上と非常に高い関係が得られた。一方、BPT との相関は、いずれも 0.5 以下の低い関係だった。この結果は、BPT がマクロテクスチャーを評価することができなかったことを意味する。

このことから、CTM とサンドパッチ法と砂拡大器の 3 つの装置間の互換性は高く、代用可能であるといえる。一方で、BPT と他の装置との互換性は低く、そのままでは代用は不可能であるといえる。

6. 国際摩擦指標 (IFI)

国際摩擦指標 (IFI) は、F60 と Sp の 2 つの指標を用いて IFI (F60, Sp) と表される。前者は任意の測定装置と速度ですべり抵抗値に変化した摩擦定数 (Friction Number)、後者はすべり抵抗の速度依存性を左右する路面のマクロテクスチャーから求められ

る速度定数 (Speed Constant) である。この 2 つの指標を Penn State モデルに組み込んだモデルを PIARC モデルと呼んでいる。(図-9)

このモデルは任意の測定速度 S における普遍化されたすべり抵抗値を表す曲線 (ゴールド曲線) の推定値を求める曲線となるので、個々のすべり抵抗測定装置の F60 と Sp が与えられれば、このモデルから統一した指標値が得られる。

実際に IFI (F60, Sp) を算出する方法は以下のような手順となっている。

1. テクスチャーの測定結果から、式 (1) によって Sp を算出する。

$$Sp = a + b \times TX \quad (1)$$

ここで、a, b : テクスチャーに固有の定数

TX : テクスチャー測定から得られる指標

2. スリップ速度 S における摩擦測定値 FRS を式 (2) によってスリップ速度 60km/h の摩擦係数 FR60

に変換する。

$$FR60 = FRS e^{(S-60)Sp} \quad (2)$$

ここで、

S : スリップ速度

FRS : スリップ速度 S における摩擦測定値

3. 式 (3) によって摩擦ナンバ F60 を求める。

$$F60 = A + B \times FR60 \quad (3)$$

ここで、

A, B : 摩擦測定装置に固有の定数

IFI が求まると、任意のスリップ速度におけるゴールデン摩擦値 GF (S) の推定値を式 (4) によって計算できる。

$$F(S) = F60 e^{(60-S)Sp} \quad (4)$$

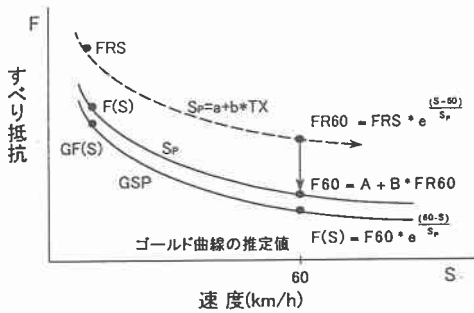


図-9 PIARC モデルによる IFI の推定手順

7. CTM、砂拡大器による速度定数 Sp の算出

現在の ASTM の規格では、1992 年の国際共同実験で行われた結果を基にして、速度定数 Sp の算出には以下のテクスチャー測定装置による算出が可能になっている。

表-2 速度定数 Sp を推定するための a, b の値

テクスチャー測定装置名	a	b
スウェーデン式テクスチャー装置	14.2	89.7
サンドパッチ法	-11.6	113.6

この中のサンドパッチ法と、CTM や砂拡大器の相関関係は非常に高いことが先ほど示されたことにより、1992 年の共同実験に参加しなかった CTM や砂拡大器での速度定数 Sp の算出が可能であるといえる。

具体的には、サンドパッチ法による速度定数の算出の式は式 (1) から、次のように表される。

$$Sp = -11.6 + 113.6 \times MTD \quad (5)$$

次にサンドパッチ法によって得られた速度定数 Sp と CTM および砂拡大器の関係を図-10, 11 に示す。Sp と CTM、砂拡大器の回帰直線は式 (6)、(7) となり、これらの式を用いることによって CTM と砂拡大器から速度定数 Sp を算出することが可能であることが示された。

$$Sp = -4.8183 + 100.11 \times CTM \quad (6)$$

$$Sp = 10.886 + 62.915 \times \text{砂拡大器} \quad (7)$$

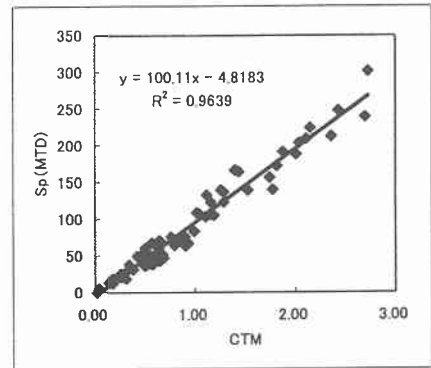


図-10 CTM と Sp (MTD) の関係

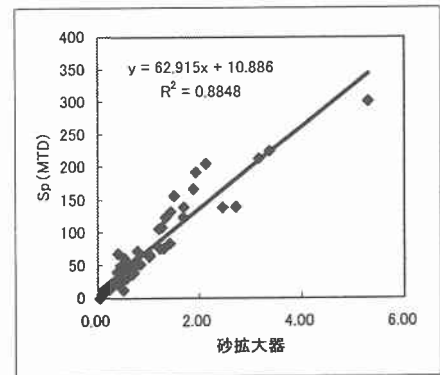


図-11 砂拡大器と Sp (MTD) の関係

8. IFI を利用した舗装マネジメントへの応用

上述したポータブルなテクスチャー測定装置と 1998 年に ASTM Standard に認定されたわが国のポータブルすべり抵抗測定装置である DF テスターを用いることによって、世界の任意の場所の IFI (F60, Sp)

が求めることができ、これを舗装路面のマネージメントに利用することができる。

舗装管理者が IFI のある水準、 IFI^* ($F60^*, Sp^*$) を確立しようとする場合、対象路面の路面のすべり抵抗測定値とテクスチャー測定値を用いて確保すべき最小のすべり抵抗値 FRS_{min} とテクスチャー最小値 TX_{min} を次式で求めることができる。

$$FRS_{min} = \{(F60^* - A)/B\} e^{(60 - Sp^*)(a + b TX)} \quad (8)$$

$$TX_{min} = (Sp^* - a)/b \quad (9)$$

ここで、 a 、 b 、 A 、 B はテクスチャー測定装置、すべり抵抗測定装置に固有の値である。

いま、 IFI^* [$F60^*=0.3$, $Sp^*=100\text{km/h}$] に対する例として、 20km/h における DF テスター測定値と CT メータ測定値による MPD の最小値 (管理限界) を求めると次のようになる。

$$FR20_{min} = 0.28 e^{40(-4.8183 + 100.11 MPD)}$$

$$MPD_{min} = 1.047$$

この結果をプロットすると図-12 のようになる。すなわち、管理対象とする路面の 2 つの測定値 ($F60, Sp$) が得られると、その値を図中にプロットすることにより、路面性状を改善する指針が得られることになる。具体的には、マイクロテクスチャーの改善には表面の粗い骨材を使用し、マクロテクスチャーの改善にはグルーピングや排水性舗装の施工などが考えられる。

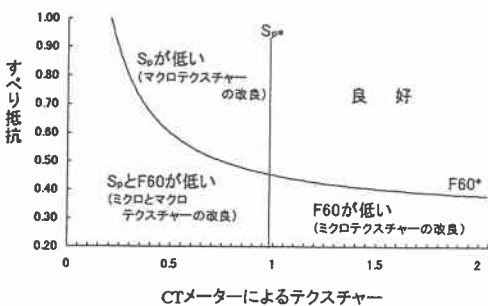


図-12 IFI を使用した舗装マネージメント

9. まとめ

本研究では、ポータブルなテクスチャー測定装置の関係性を求め、その互換性の有無を調べた。その結果、ASTM の規格であるサンドパッチ法と、新たに

開発された CT メーターや砂拡大器による互換性が高いことが示された。このことから、1992 年の共同実験に参加していないテクスチャー装置による IFI の算出の可能性が示された。なお、今後これらの装置に対する実験をさらに行うことにより、より正確にそれらの装置の有効性を検討することが必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 市原薫、小野田光之：路面のすべりとその対策、技術書院、1997
- 2) Kazuo Saito and J.J. Henry : Development of Models for Relating Pavement Texture to Skid Resistance and Their Use for Pavement Management Systems, Proc. The International Conference on Roads and Road Transport Problems, 1988, pp.36-43.
- 3) 斎藤和夫・J.J.HENRY : 舗装路面の粗さとすべり抵抗に関する研究、交通工学、Vol. 23, No.4、1988、pp.19-27.
- 4) PIARC : Report of International Experiment to Compare and Harmonize Texture and Skid Resistance Measurements, 1995.
- 5) 斎藤和夫 : 国際摩擦指標 (IFI) の開発—すべり抵抗測定装置の基準化への挑戦—、土木学会誌、Vol.83, March、1998、pp.27-28.
- 6) 斎藤和夫・安部裕也・笠原篤・堀口敬：路面のすべり抵抗と速度依存性を測定するポータブルテスターの開発、土木学会北海道支部論文報告集、第 52 号 (B)、1996、pp.530-535.
- 7) K.SAITO, A.KASAHARA, H.HABE and J.J.HENRY : Development of Portable Tester for Measuring Skid Resistance and Its Speed Dependency on Pavement Surfaces, TRR 1536, 1996, pp.45-51.
- 8) ASTM STANDARDIZATION NEWS, Society News, Dec. 1998, pp.58.
- 9) R.R.HEGMON : Tire - Pavement Interaction, PUBLIC ROADS, Vol.51, No.1, 1987, pp.5-11.
- 10) 安部・斎藤・笠原・川村・Henry : 路面のすべり抵抗値と国際フリクションインデックス (IFI) の関係、土木学会北海道支部論文報告集第 54 号 (B)、1998、pp.512-517.