

歩行者系舗装のすべり抵抗性について(その1)

—既往研究および試験方法の調査—

からさわ
唐澤
あきひこ
明彦*

くまがい
熊谷
まさゆき
政行**

はしもと
橋本
まさゆき
真幸***

歩行者系舗装には、ユニバーサルデザインの思想に基づく様々な性能が求められる。それらの性能の中でも「すべり抵抗性」は、転倒自損事故の軽減や快適な歩行性の確保の面で重要な性能の一つである。歩行者系舗装の整備においては「すべりやすさ」をいかに定量的に評価し、舗装の性能として「すべり抵抗性」をいかに確保するかが重要な課題となる。土木学会舗装工学委員会 歩行者系舗装小委員会 すべり抵抗性評価分科会では、これまで歩行者系舗装のすべり抵抗性に関する調査および研究を行ってきた。今回、これらの活動を2回のシリーズに分けて紹介する。その1の本報では、歩行者系舗装における「すべり抵抗性に関する既往研究の調査結果」と「世界各国のすべり抵抗性試験方法の調査結果」について報告する。その2では「(独)都市再生機構 戸頭住宅構内に施工された、各種の舗装におけるすべり抵抗性測定結果と歩行者へのアンケート調査結果との関係性」ならびに「歩行者系舗装における各種すべり抵抗値の基準値の目安に関する考察」について報告する。

はじめに

我が国の舗装技術は、これまで車道舗装を中心に発達してきた。そして、車道舗装の計画、設計、施工、維持修繕、供用性評価等については「舗装管理システム」として体系化され、技術的に高い水準まで達している。一方、歩行者系舗装は、歩道、自転車道、公園道路、橋梁歩道部等が対象となり、その利用者は健常者だけでなく高齢者や視覚障害者、車いす利用者、場合によっては自転車が共用するなど幅広い。そのため、歩行者系舗装は、車道とは異なり、ユニバーサルデザインの思想に基づく様々な性能が求められる。「すべり抵抗性」は、それら歩行者系舗装に求められる重要な性能の一つである。歩行中のすべりによる転倒自損事故は、特に高齢者にとって大きな問題であり、死亡事故や事故が元で寝たきり状態に繋がるケースが相当数存在する。そのため、歩行者系舗装の整備においては「すべりやすさ」をいかに定量的に評価し、舗装の性能として「すべり抵抗性」をいかに確保するかが重要な課題となる。

土木学会舗装工学委員会 歩行者系舗装小委員会(委員長:竹内 康・東京農業大学教授)では、この研究課題に取り組むべく「すべり抵抗性評価分科会」を設置して、歩行者系舗装のすべり抵抗性に関する研究を行ってきた。

今回、これらの活動を2回のシリーズに分けて紹介する。その1の本報では、歩行者系舗装における「すべり抵抗性に関する既往研究の調査結果」と「世界各国のすべり抵抗性試験方法の調査結果」について報告する。

1. すべり抵抗性評価分科会

平成18年に設立された土木学会舗装工学委員会 歩行者系舗装小委員会では、平成22年に「すべり抵抗性評価分科会」「弾力性評価分科会」「平たん性評価分科会」の3つの分科会を設けて、それぞれの性能指標が歩行性に与える影響を定量的に評価するための研究を行ってきた。表-1に「すべり抵抗性評価分科会」の委員構成を紹介する。

2. 歩行者系舗装におけるすべり抵抗性に関する既往研究の調査

歩行者系舗装の整備においては「すべりやすさ」

* 土木学会舗装工学委員会 歩行者系舗装小委員会すべり抵抗性評価分科会 [エスピック(株)開発本部]
** (独)土木研究所寒地土木研究所
*** (太平洋セメント(株)中央研究所)

表-1 すべり抵抗性評価分科会の委員構成(順不同)

委員名	所 属
唐澤 明彦 (分科会長)	エスピック(株)開発本部
熊谷 政行	(独)土木研究所 寒地土木研究所
石田 樹	(元)(独)土木研究所 寒地土木研究所
川上 篤史	(独)土木研究所 つくば中央研究所
田中 輝栄	東京都土木技術支援・人材育成センター
上野 慎一郎	東京都土木技術支援・人材育成センター
柳沼 宏始	太平洋プレコン工業(株)開発部
橋本 真幸	太平洋セメント(株)中央研究所
深代 勝弘	日進化成(株)技術研究所

をいかに定量的に評価し、舗装の性能として「すべり抵抗性」をいかに確保するかが重要な課題となる。ここでは課題解決に向け参考となるデータの収集を目的として、「すべり抵抗性」に関する既往研究の調査を実施した。

2-1 調査方法

本調査では、「歩道」、「すべり」を検索キーワードとし、1974~2009年まで国内で公表された文献検索を実施し、両方のキーワードからヒットした495件の論文からすべり抵抗性に着目した歩行者系舗装の論文25件を抽出した。歩行者系舗装における「すべりにくさ」を定量的に評価するための方法および数多く提案されている各種すべり抵抗性の試験方法による測定結果の相関性に着目して取りまとめを行った。

2-2 調査結果

丸林ら¹⁾は、床・舗装路面で現在用いられているすべり抵抗性の試験器の特徴について調査をしている。試験器としては、振り子式スキッドレジスタンステスタ(BPT)、東工大式すべり試験器および歩道用DFテスタを取り上げている。試験方法によって様々な特徴があり、すべての舗装材料に適用できるものではないため、試験器をそれぞれの条件によって選択し測定することが必要になること、また、実際の歩行路面では、人間がすべりを感じる官能試験と併用して評価を行うことが必要になると報告している。

彌田ら²⁾は、歩行者系道路舗装のすべり抵抗基準を検討するために、振り子式スキッドレジスタンステスタにより舗装路面のすべり抵抗を調査し、次いで官能試験により「すべり抵抗値」と歩行者が持つ「すべりやすさ」に対するイメージ(感覚)との関係を把握している。官能試験の結果、図-1に示すようにすべりやすさに応じて5段階評価で得点(+2~-2)を与え、路面ごとに得点と評価した被験者の数を乗じ、その総和を全被験者数で除して加重平均値を求める。その値を各路面のBPNに対する被験者の評価を表す「評価値」とし、第一印象での評価値および乾燥時と湿潤時の総合評価の評価値を求めた。これを見ると、第一印象の評価と湿潤時の評価はかなり似通っており、BPN30~35のあたりで評価が「すべりやすい」から「すべりにくい」に移行している。乾燥時はすべて0以上の評価となっているため、湿潤時の評価に着目してすべりやすさの考察を行えば、乾燥時は特に考慮する必要がないと報告している。

横谷ら³⁾は、大阪市北区において、コンクリートブロックを中心とした歩行者系舗装材料のすべり抵抗値と歩行者が持つ「すべりやすさ」の感覚(官能試験)との関係を把握し、「すべり抵抗値」の定量的な考察を行っている。表-2は、官能試験の結果から属性別のY=0(すべりやすさでどちらともいえない)との交差範囲(BPN)を整理したものである。BPNで30~40の範囲で歩行者の判断が分かれてお

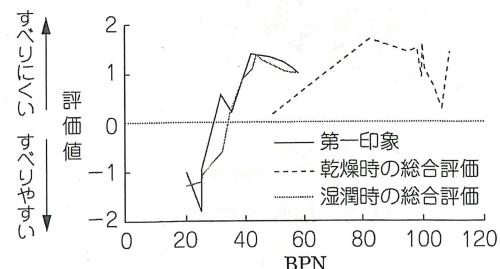


図-1 第一印象および乾湿時の総合評価の評価値

表-2 属性別のY=0のBPN

身長別	160 cm 未満	32	性 別	男 性	36	すべり止め	有 り	30
	160~170 cm	35		女 性	33		無 し	37
	170 cm 以上	40		革 靴	36		多 い	38
体重別	50 kg 未満	32	靴 別	ハイヒール	36	底の減り具合	普 通	34
	50~59 kg	34		ローヒール	32		少 な い	34
	60 kg 以上	36		革 底	38		平 均 値	35
年齢別	30歳以下	39	靴底別	樹 脂 底	35	範 囲	29~40	
	31~60歳	34		ゴ ム 底	34			
	61歳以上	29						

BPNは、30~40の間にある。

り、歩行者系道路の舗装材として求められる「すべり抵抗値」の目安が得られたと報告している。

久下⁴⁾らは、14種類の舗装材料について、6種類の表面状態ですべり試験を行った。BPNとCSR、BPNと摩擦係数 μ 値の相関関係を図-2および図-3に示す。摩擦係数 μ 値、CSR(すべり抵抗係数)が0.5以上であれば問題ないものと思われ、これらはDFテスタ(DFT)による摩擦係数 μ 値、CSRの望ましい値に一致している。また、米国の研究資料においても、幾つかの機関、研究者が摩擦係数は0.5以上が望ましいとしている。歩行時のすべり抵抗性の評価に適するとしたO-Y·PSMによるCSR0.5以上を基準にすると、BPNは19以上となり、逆に、我が国で目安とされているBPN40以上を基準にすると、CSRは0.619以上となる。また、摩擦係数 μ 値の推奨値0.5以上を基準にすると、BPN49以上となり、逆に、BPN40以上を基準にすると、摩擦係数 μ 値は0.422以上となる。このように各種すべり試験法で推奨されているすべり試験値が対応していないが、これは、試験器の測定機構の違い、また、材料が14種類と限定されていること、さらに、BPNと摩擦係数 μ 値は湿潤状態で測定するのが標準であるためと思われる。なお、イギリスでは、歩行空間の湿潤状態にある場所で、BPN35~50が推

奨されていると報告している。

2-3 調査結果のまとめ

歩行者系舗装に求められる性能の一つである「すべり抵抗性」は、他の性能に比べて研究対象とされるウエイトが高く、多くの研究者が試験方法や各種舗装材に関して研究開発を進めていることが、調査結果から分かった。これらの既往研究の多くで、歩行者系舗装のすべり抵抗性を適正に評価するためには、試験器によるすべり抵抗値と歩行者の官能試験とを併用して評価する必要があることが指摘されている。また、各種試験器によるすべり抵抗値には、ある程度相関性が得られると報告されている。

3. 歩行者系舗装におけるすべり抵抗性に関する試験方法の調査

舗装と靴との間に生じるすべりは、歩行という複雑なメカニズムで成り立つ運動と路面状態との相互作用によるものであるため、これを正しく評価することは容易ではなく、世界基準となる試験方法はいまだ開発されていない。

3-1 試験法の分類

すべり抵抗性の試験方法には様々な方法が提案されており、例えばSwedish Council for Building Research(スウェーデン建築物研究委員会)では、摩擦係数の測定方法を表-3の9つのタイプに分類している⁵⁾。

3-2 調査結果

以下に、歩行者系舗装路面のすべり抵抗性評価に用いられる代表的な試験器・試験方法について、文献調査などから得られた結果を紹介する。

(1) 振り子式スキッドレジスタンステスター(British Pendulum Tester : BPT)⁵⁾

BPTは英国で開発されたポータブルな振り子式試験器(写真-1)で、1960年代初めから室内や現場で広く使用されており、日本にも早くから導入された。BPTはゴムスライダーが路面と規定の長さで接触するように高さを調整した振り子を振り下ろし、振り子が路面を擦った後振り上がる高さを読み取る方式である。この振り上がる高さはゴムスライダーが水で濡らされた路面を擦るときに、路面の摩擦によって失うエネルギーで決まる。このエネルギー損失量に対応して、振り子が振り上がる高さに

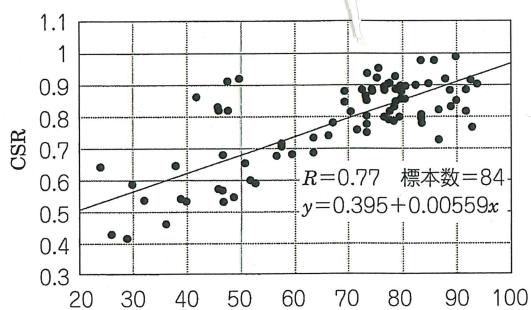


図-2 BPNとCSRの関係

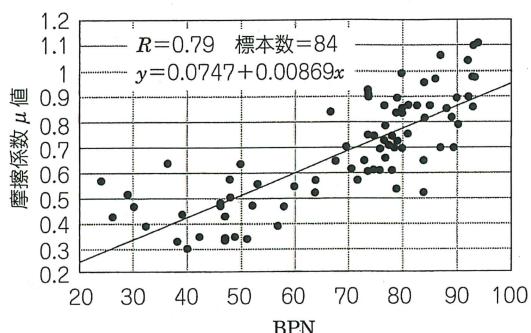


図-3 BPNと摩擦係数 μ 値の関係

表-3 すべり抵抗性評価に用いられる試験方法

分類	説明	例
斜面法	平面をテストピースがすべり出すまで徐々に傾斜させ、その角度から静止摩擦係数を求める方法。	
すべり角測定法	水平方向の力とすべり出す瞬間の押す力が作用する棒の傾きで最大静止摩擦係数を求める方法。	(6) TL501 (7) PIAST, Brungraber Mark II (8) VIT, English XL
振り子式試験器	テストピースに重りを付け、振り子状にして一定の高さから床面に振り落とし、テストピースが床面をすべるときの摩擦で失ったエネルギーを求める方法。	(1) 振り子式スキッドレジスタンステスタ
牽引力メータ	重りを付けた靴などをモータで一定の速度で牽引して摩擦力を測定する方法。	(2) 東工大式すべり試験器 (9) STM 603 (10) HPS
摩擦小円盤を用いた測定装置	小型円盤を使って摩擦係数を測定する方法。	(3) DF テスター
摩擦ホイール装置	テストピースで摩擦ホイールにブレーキをかけ、発生する回転モーメントと摩擦力から摩擦係数を求める方法。	(5) PFT
正弦動摩擦力測定装置	重りを付けた滑体を平面上で速度を変えながらサインカーブ状に運動させて摩擦力を測定する方法。	フランス国立安全調査研究所のサイン動摩擦力測定装置
スリップスライダ	扇形をした摩擦ホイールの一部が速度を変えて摩擦台の上を移動しすべりを測定する方法。	ドイツの靴製造検査・開発研究所の摩擦力測定装置
歩行イミテータ	人が歩行するときの力の移動の仕方や移動方向が考慮された試験機による方法。	ボーネフェルトの歩行イミテーター

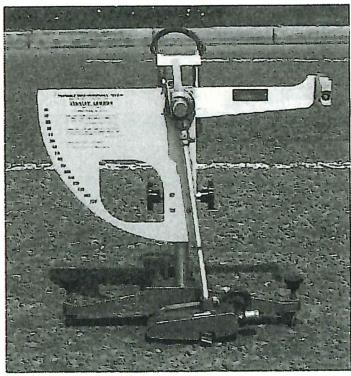


写真-1 振り子式スキッドレジスタンステスター

摩擦の程度を示す数値(British Pendulum Number : BPN)が0~140の範囲で刻まれている。BPTのゴムスライダーは感温性が高いため温度補正をする必要がある。

アメリカではBPTのスライダーのすべり速度が非常に低速で、BPNは路面のマイクロテクスチャに依存しているとの考えから、BPNはマイクロテクスチャの評価指標として有用であるとしている。

(2) 東工大式すべり試験器(O-Y·PSM, ONO·PPSM)⁹⁾
O-Y·PSM(Ono-Yoshioka·Pull Slip Meter)は引

張式のすべり試験機である。なお、O-Y·PSMは高さ約800 mm、長さ約1,500 mmと大きいため、図-4に示すO-Y·PSMと同じ原理の携帯型すべり試験器(ONO·PPSM)が開発されている。

O-Y·PSMの測定機構は、70×80 mmの試験片に784N(80 kgf)の鉛直荷重を作成させ、これを傾斜角度18°、引張荷重速度784 N/sで引っ張ったときの最大荷重Pmaxを計測し、すべり抵抗係数C.S.R(Coefficient of Slip Resistance)=P_max/784を求めるものである。

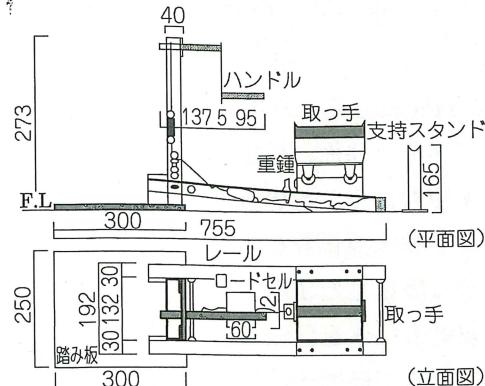


図-4 ONO·PPSMの構造

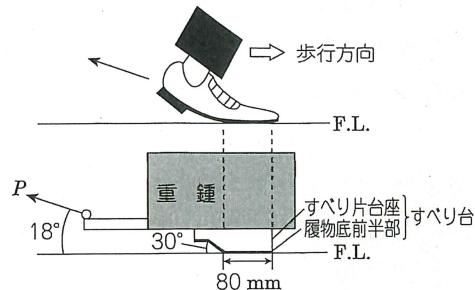
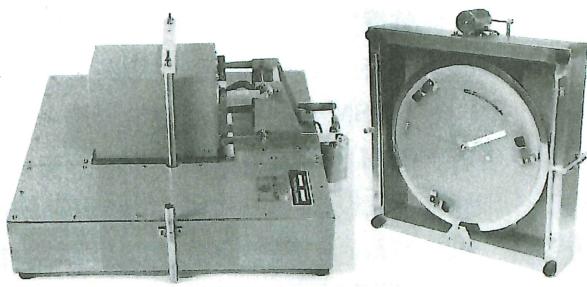


図-5 歩行動作の模式化(C.S.R.測定の原理)

(3) DF テスター⁵⁾, 歩道用 DF テスター¹⁰⁾

従来の測定装置と全く異なる方法の測定装置として日本で開発され、1998年にASTM標準試験方法E1911として規格化された。写真-2に示すように、半径350 mmの円盤に取り付けられた3個のゴムスライダーを有しています。円盤およびゴムスライダーを最初は路面に接触していない状態で回転させ、回転が所定の速度に達した時点での円盤を下降させてゴムスライダーを測定路面に接触させる。円盤の回転速度が摩擦によるエネルギー損失によって低下し、最後に停止するまでの摩擦力の変化をすべり摩擦係数に変換するものである。DFテスターの特徴は、1回の測定で0~90 km/hの範囲におけるすべり抵抗の変化を連続的に得られることにある。散水装置が



付属しており湿潤状態での測定も可能である。

歩道用 DF テスターは、DF テスターをベースとした摩擦ホイール型の測定装置である。半径70 mm の円盤にゴムスライダーが2か所取り付けられ、接地圧が123 kPa になるよう上部から荷重をかける。

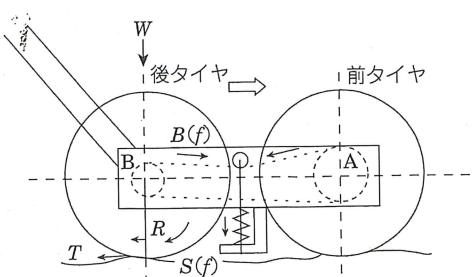
スライダーが路面に接触しながら回転するときに生じる摩擦力から、回転速度0~15 km/h の範囲で静止および動摩擦係数を求めることができる。静止摩擦係数は静止した状態でスライダーを舗装面上に置き、駆動モータを回転させて動き出す瞬間の摩擦係数を求める。動摩擦係数はスライダーが舗装面に接触していない状態で円盤を回転させ、必要速度に達したら円盤を舗装面に落下させ、回転させながら摩擦係数を求める。

(4) 連続式すべり測定器¹¹⁾

サーフテクノ・ラボ社と北海道工業大学が開発した測定器である。同径のゴムタイヤ2個をタンデム配置してタイヤと一体化させた歯数の異なる歯車A, Bに少し長めの伸びないタイミングベルトをかけ、ベルトの中央をばね付きアイドラーで張る構造となっている。測定器を押し進めると2個のタイヤは同じく回転するが、歯車の歯数差によって上方のベルト長が短くなることで、ベルトを張るばねと上方のベルトの張力が増加する。ベルト張力($B(f)$)は、歯車Bを $B(f) \cdot r$ で回転させようし、このときタイヤを回転させる力($T(f)$)= $B(f) \cdot r/R$ である。この力は、移動とともに大きくなり、いずれ路面との間ですべりを発生させる。このときの $T(f)$ を摩擦力とすれば、クローンの法則が成立し、 $\mu = T(f)/W$ (ただし、摩擦係数: μ , 重量: W , 摩擦力: $T(f)$)となるので、「すべり」発生時の摩擦力= $T(f)$ をばねの伸び量から求めることができれば、 μ が算出できる機構が成立する。

(5) VTI Portable Friction Tester (PFT)¹²⁾

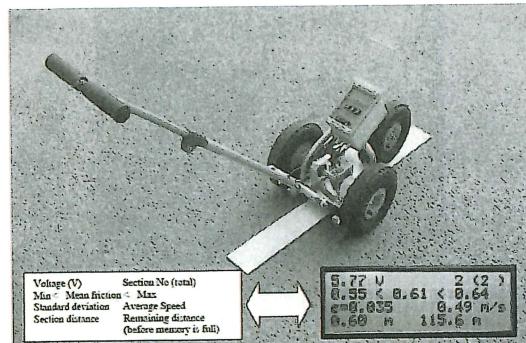
PFTはVTI(スウェーデン王立道路交通研究所)



R: 後タイヤの外径 r: 小歯車の外径

図-6 測定原理

が開発した連続すべり測定試験機である。路面標示材料のすべり評価のために開発されたものであるが、歩道路面や床材の評価にも用いられている。輪荷重は125 N、標準的な測定速度は0.5±0.1 m/s、最小測定距離0.1 m で、縦方向のスリップ率がフリクションナンバー(摩擦力/輪荷重)により求められる。



(6) 靴・床すべり静止摩擦測定器(TL501)¹³⁾

(株)トリニティラボと東北大学との共同研究により開発された測定器である。床面との接触子(履物)と加圧シャフトが首振り機構を介して連結された構造をもつ。測定対象面に荷重を加え、加圧シャフトを徐々に傾けて接触子(接触面積250×100 mm)がすべりはじめたときの角度θを計測し、静止摩擦係数($\mu = F_h/F_n = \tan\theta$)を求める。



写真-5 靴・床すべり静止摩擦測定器(TL501)

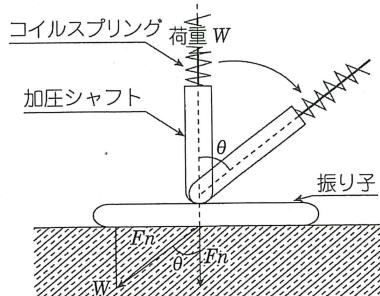


図-7 測定原理

(7) Portable Inclineable Articulated Strut Slip Tester(PIAST, Brungraber Mark II)¹⁴⁾

傾斜可能な連接構造試験脚を持つ、重力を利用したすべり角測定法による試験器である。湿潤面での測定が可能である。10ポンド(約4.5 kg)の重りを使用し、試験脚を試験面の上に載せ、スリップが生じるまで試験脚の角度を水平にしていく。



写真-6 Brungraber Mark II

(8) Variable Incidence Tribometer(VIT, English XL)¹⁵⁾

1990年初めに William English が開発したすべり角測定法による試験器である。English XL は重力を利用した同類の試験器と異なり、小型の二酸化炭素ボンベで駆動されるため、試験ごとに同じ力を再現できるほか、傾斜した面でも測定が可能である。

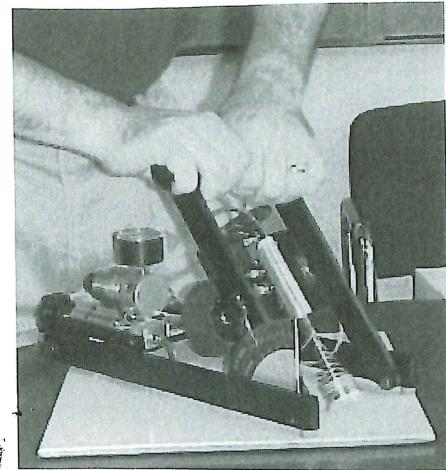


写真-7 English XL

(9) SATRA Slip Resistance Testing Machine (STM 603)¹⁶⁾

英 SATRA 社が開発した靴と床面のすべり評価試験器である。空気圧により靴を床に対し垂直方向に一定力で押しつけ、続いて床を水平方向にすべらせ、そのときにかかる水平方向の負荷を測定する方法である。測定条件(SATRA PM144: 1999)は、測定までの遅延時間0.2 s、鉛直加重400 N、すべり速度100 mm/s、すべり距離75 mm である。氷面上での試験を行うための氷作製装置も存在する。

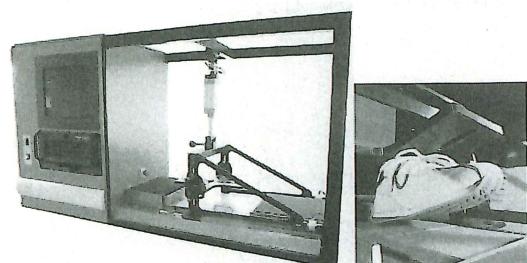


写真-8 SATRA Slip Resistance Testing Machine(STM 603)

(10) Horizontal Pull Slipmeter(HPS)¹⁷⁾

直径12.7 mm のテストピース3個をスチールブロックの下面に取り付け、スチールブロックとメタの自重によってテストピースを床面に押しつけながらパワーユニットで水平に引っ張ったときの力を

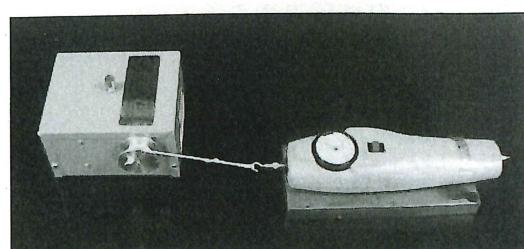


写真-9 Horizontal Pull Slipmeter(HPS)

測定する。スチールブロックとメータの重さは2,700±34 g、引張速度は3.5±0.5 in/minである。

(11) Griptester¹⁸⁾

英 Cranfield 大学が開発した測定装置である。1軸2輪の走行輪とスムーズタイヤを用いた1輪の試験輪で構成される装置を、車両で牽引または人力で手押しし、湿潤状態で縦スリップ率14.5%のすべり摩擦係数を測定する。測定速度は歩行速度から130 km/hまでで、車道、滑走路および歩道の評価に広く使用されている。



写真-10 Griptester の外観

3-3 まとめ

このほかにも多くの測定手法が提案されているが、日本国内では、「舗装性能評価法」¹⁹⁾において歩道のすべり抵抗値を測定する方法として振り子式スキッドレジスタンステスターによる測定手法が適用されているなど、同手法の適用事例が多い。その他、DFテスターが使用されている例も多い。

おわりに

歩行者系舗装において、人が安全かつ快適に歩行・走行できる舗装本来の目的にかなった設計を行うことが求められている。しかし、現在、設計を行うための指標および目標値が必ずしも明らかになっていない。すべり抵抗性評価分科会では、すべり抵抗性が重要な指標の一つであると判断し、「すべりにくさ」をいかに定量的に評価するかが歩道空間等整備の喫緊の課題であると考える。本文で述べた歩行者系舗装におけるすべり抵抗性に関する既往研究の調査からは、世界中の多くの研究者がすべり抵抗性の試験器および試験方法や各種舗装材のすべり抵抗性等に関して研究開発を進めていることが分かった。

歩行者系舗装小委員会ならびにすべり抵抗性評価

分科会では、本報の内容を含む研究成果を今後、舗装工学ライブラリーとして取りまとめ、歩行者系舗装に求められる性能指標およびその目標値の確立に向けた取組みを推進していく予定である。

問合わせ先

〒370-3101 群馬県高崎市箕郷町柏木沢250
エスピック(株)開発本部 開発部 唐澤 明彦
TEL: 027-371-7311 FAX: 027-371-7312
E-mail: a-karasawa@s-bic.co.jp

[参考文献]

- 1) 丸林良嗣、藤川貴朗、柴田周治:床・舗装路面におけるすべり防止技術および測定機器に関する調査、三重県科学技術振興センター工業研究部研究報告、No.31, pp.98~101(2007.10)
- 2) 彌田和夫:歩行者系道路舗装のすべり抵抗基準に関する研究、土木学会論文集、No.550, V-33, pp.205~212(1996.11)
- 3) 横谷富士男:歩道舗装材に求められる滑り抵抗値について、土木学会年次学術講演会講演概要集 第5部門、Vol.47, pp.88~89(1992.9)
- 4) 久下晴己、國府勝郎:歩道舗装材料のすべり抵抗性に関する研究、土木学会論文集、No.641, V-46, pp.15~28(2000.2)
- 5) 有限責任中間法人 日本アスファルト協会編: ASPHALT, 第46巻 第214号(2003)
- 6) Road Research Laboratory: Road Note 27, second edition, 1969.
- 7) (社)日本道路協会編: 舗装調査・試験法便覧〔第1分冊〕, p.96(2007.6)
- 8) (社)インターロッキングブロック舗装技術協会: インターロッキングブロック舗装設計施工要領(2007)
- 9) 小野英哲:携帯型床のすべり試験機(ONO・PPSM)の開発、日本建築学会構造系論文報告集、第585号, pp.51~56(2004)
- 10) 牧 恒雄、竹内 康、小梁川雅、安部裕也:歩道舗装材の摩擦係数測定試験機に関する研究、第2回舗装工学講演会論文集(1997.12)
- 11) 山内康嗣、龜山修一、社本和仁:歩道の聴診器・すべり測定器の開発、第27回日本道路会議論文集(2007)
- 12) VTI: www.vti.se/4542.epibrw, 2005.
- 13) (株)トリニティラボ: <http://www.trinity-lab.com/TL501.htm>
- 14) ASTM F1677-05 Standard Test Method for Using a Portable Inclineable Articulated Strut Slip Tester (PIAST) (Withdrawn 2006)
- 15) ASTM F1679-04el Standard Test Method for Using a Variable incidence Tribometer(VIT) (Withdrawn 2006)
- 16) SATRA Technology Centre: http://www.satra.co.uk/bulletin/article_view.php?id=454
- 17) ASTM F609-96 Standard Test Method for Using a Horizontal Pull Slipmeter(HPS)
- 18) BS 7941-2:2000: Methods for measuring the skid resistance of pavement surfaces. Test method for measurement of surface skid resistance using the GripTester braked wheel fixed slip device, 2000.
- 19) (社)日本道路協会編: 舗装性能評価法 別冊, p.193(2008.3)