歩行者系舗装の歩きやすさの評価手法に関する研究

小森谷一志[1]・池田　拓哉[2]・谷口　　聡[3]

[1]正会員　建設省土木研究所　道路部舗装研究室研究員（〒305つくば市旭１番地）
[2]正会員　建設省土木研究所　道路部舗装研究室長　　（〒305つくば市旭１番地）
[3]正会員　建設省土木研究所　道路部舗装研究室研究員（〒305つくば市旭１番地）

歩道を舗装する場合の最近の傾向として、景観を考慮した新しい舗装材料が多用されているが、これらの材料の歩きやすさという観点からの評価手法は確立されていないのが現状である。

土木研究所構内に施工した歩行者系道路試験舗装工区において、被験者によるアンケート調査および物理性状測定を行った。アンケート調査および物理性状測定結果から各種物理性状に関する測定装置を選定し、良好な物理性状の範囲を示すことができた。また、歩行者系舗装の歩きやすさに関する評価式を作成し、評価方法を提案した。

Key Words: *discriminant analysis, sidewalk pavement, linear discriminant function, hardness, skid resistance, roughness*

１．はじめに

本格的な高齢社会が到来し、人に優しい社会資本の整備が求められてきており、道路の分野においては、歩きやすく、かつ景観に優れた快適な歩道づくりが重要な課題の一つとなっている。

歩道を舗装する場合の最近の傾向として、景観を考慮した新しい舗装材料が多用されているが、これらの材料の歩きやすさという観点からの評価手法は確立されていないのが現状である。

そこで、今回の研究では、以下のような項目を研究の目的とした。

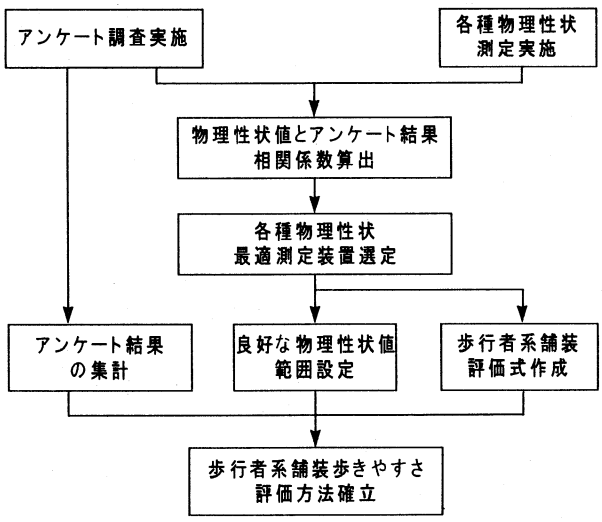
(1) 歩行者の感覚に最も適合した物理性状測定装置の選定
(2) 歩行者が快いと感じる良好な物理性状値の範囲の提示
(3) 歩行者系舗装の供用性評価のための歩きやすさの評価式の作成

２．歩行者系舗装評価の問題点

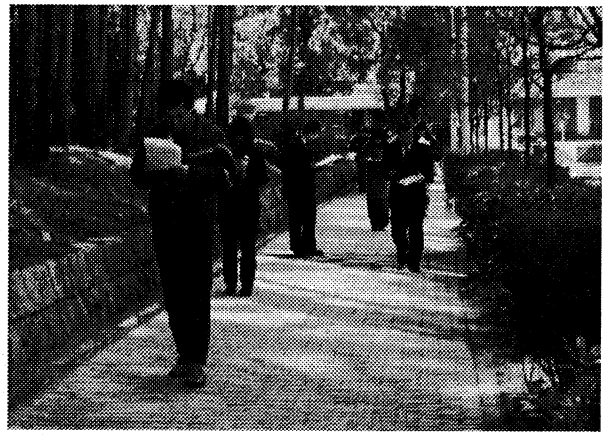
歩行者系舗装について検討すべき物理性状には、路面の硬さ、すべり抵抗性、平坦性があり、従来から、さまざまな歩行者系舗装の物理性状に関する測定装置が用いられてきた。しかし、どの測定装置が歩行者の感覚を十分に表現できるものであるか不明確であった。これらの物理性状に対して、今までに採用されてきた試験装置の問題点は以下のとおりである。

硬さに関する測定装置には、ゴルフボール（ＧＢ）、スチールボール（ＳＢ）による弾力性測定装置がある。これらは廉価な測定装置による簡易な測定方法が特徴であるが、自己記録装置を持たず、測定者の目視観察によって測定結果を得るので、測定誤差が生じる可能性がある。

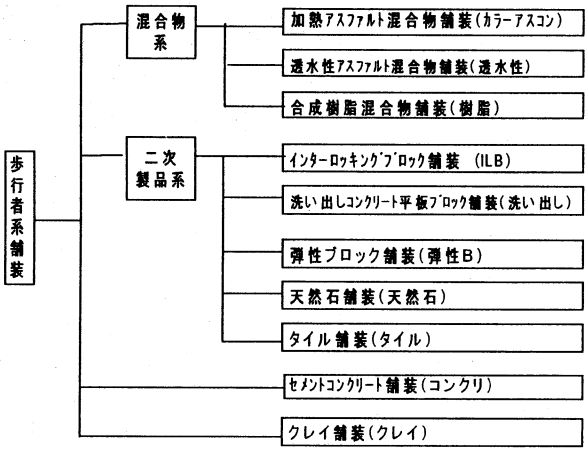
すべり抵抗性に関して従来から使用されている試験装置には、振子式スキッドレジスタンステス



図－１　歩きやすさの評価のフロー



写真－1　歩行者系舗装試験施工工区



図－2　試験舗装工区の舗装種類

タ（振子式テスタ）がある。運搬および測定が簡易で、多くの研究機関が所有し、測定実績が豊富であるが、これは摩擦係数のような物理性状値を求められず、動的な摩擦抵抗の大小を評価できるのみである。歩行者が舗装の上を歩行する際の着地、体重移動、蹴り上げにおいてすべりを抑制する力は、静止摩擦力であり、この動的なすべりを評価する装置で歩行者系舗装のすべりを正しく評価することができない可能性がある。

歩行者系舗装に関する平坦性測定装置は、標準的なものとして定まったものがない。そのため、車道のすべりに関する測定のサンドパッチング方法、砂拡大器、ミクロテクスチャメータ（MTM）によるきめ深さ測定を平坦性測定に流用する方法がある。ところが、これらの測定方法は、靴底を介した人間の足では、知覚しにくい小さな凹凸を測定することになる。また、車道用の平坦性測定装置である３mプロフィルメータおよび横断プロフィルメータは、路面に接触するソリッドタイヤの直径がそれぞれ15cm，４cmと大きく幅１cm

表－1　物理性状測定と測定装置

物理性状測定	使用測定装置名
硬さ測定	ゴルフボール(GB)
	スチールボール(SB)
	JIS A 6519 床の弾力性測定装置
	JIS A 6519 床の硬さ測定装置
	DIN硬さ測定装置
すべり抵抗性測定	振子式スキッドレジスタンステスタ
	ダイナミックフリクションテスタ (DFT)
	SDフリクションテスタ (SDFT) [1]
平坦性測定	ミクロテクスチャメータ (MTM)
	面の平坦性測定装置 [1]

の二次製品系舗装（工場製作のブロック等）の目地部を平坦と認識してしまう可能性がある。さらに、いずれのプロフィルメータも全長が長く歩道の幅員に適さない。

従来の評価方法は、個別の物理性状に基づく評価を行うのみで、歩きやすさの総合的な評価では歩行者系舗装の硬さ、すべり抵抗性、平坦性を考慮した総合的な評価式の作成を試みることとした。

３．研究の概要

歩きやすさの評価のフローを図－１に示す。

土木研究所構内に施工した歩行者系道路試験舗装工区（写真－１、以下、試験舗装工区という）において、アンケート調査および物理性状測定を行い、その結果を用いて、歩行者系舗装の歩きやすさに関する評価方法を提案した。

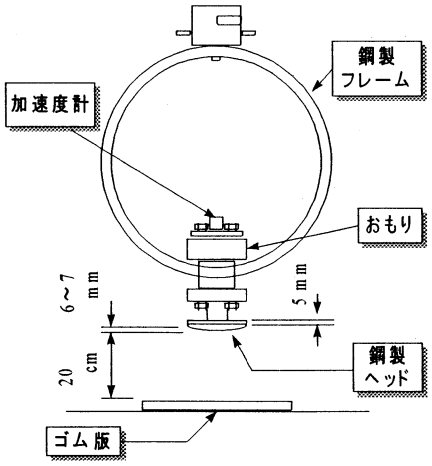
４．調査方法

(1) 調査実施箇所

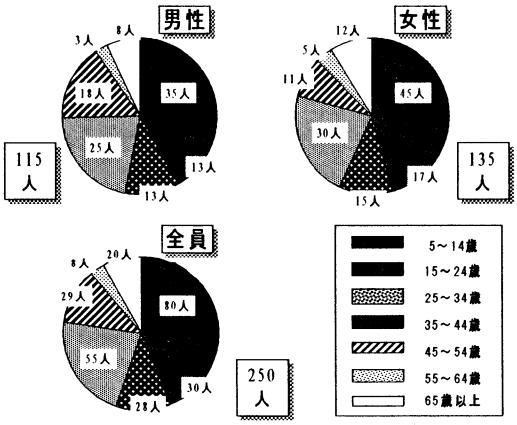
歩行者系舗装全体を網羅した調査が行えるように、使用する材料の形態および施工方法を参考に舗装種類（図－２）を選定し、10工区の試験舗装工区を施工した。試験舗装各工区の延長は10m、全長は100 mである。

(2) 物理性状測定

実施した物理性状測定を表－１に示した。今回の検討で選定した各物理性状に関する最適な物理



図－3　JIS A 6519 床の硬さ測定装置



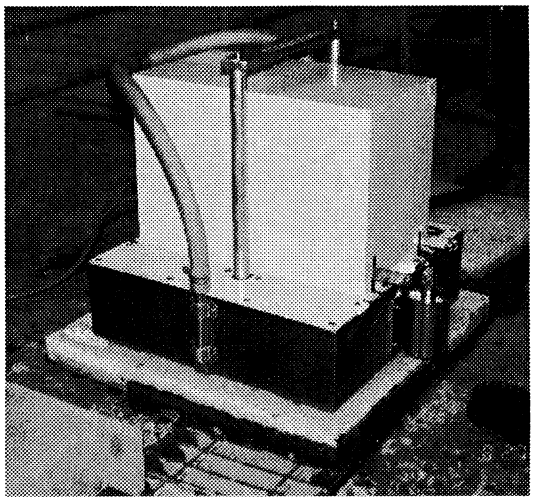
図－4　被験者の年齢構成

性状測定装置の説明を以下に示す。

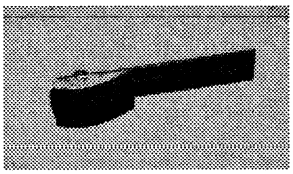
硬さに関する最適な物理性状測定装置は、「JIS A 6519　床の硬さ試験（図－3）」である。この装置は、ゴム板（厚さ8mm）が置かれた測定点に高さ20cmから質量3.85kgのヘッドモデル（人間の頭蓋骨を横に切った構造を模したもの）を自然落下させ、床に衝突したときの加速度を測定し、転倒時の硬さを求める装置である。自動記録装置を装備し、測定者の違いによる測定結果の誤差がない。

すべり抵抗性に関する最適な測定装置は、「SDフリクションテスタ（SDFT）（写真－2）」である。この装置は、2つのゴム片（写真－3）のついた回転円盤（写真－4）の質量とその円盤が回転を始めるのに必要なトルクの大きさから静止摩擦係数を求めることができる。なお、ゴム片には、ASTM E 303 の基準ゴムを用いている。

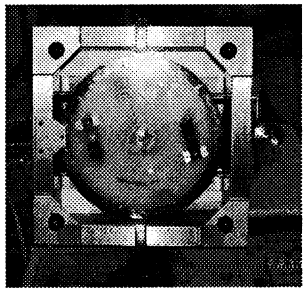
平坦性に関する最適な測定装置は、「面の平坦性測定装置（写真－5）」である。この測定装置



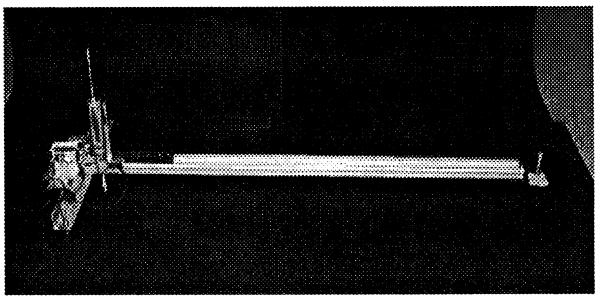
写真－2　SDフリクションテスタ



写真－3　SDFTのゴム片



写真－4　SDFTの回転円盤



写真－5　面の平坦性測定装置

は、変位計の先端に直径8mmのソリッドタイヤを設置し、長さ1mのスケールに沿って変位計をスライドさせ、転がるソリッドタイヤの上下動をその変位計で測定する装置である。測定方法は、測定点1箇所につき縦断方向、横断方向、縦断方向に対して斜め45度の3方向の範囲1mの舗装材の凹凸、目地の幅、舗装材の段差を測定する。測定結果は、3方向それぞれについて測定装置の全長方向に沿って1cmごとに、変位量を1mm単位で読みとる。得られたすべての測定値の標準偏差を求め、その舗装の平坦性に関する物理性状値とした。

各物理性状に関するアンケート調査の結果と、表－1の測定装置による測定結果の相関係数を求め、歩行者が歩行者系舗装から受ける感覚を正確

表－2　アンケート項目

	アンケート項目
①	路面の硬さ
②	路面のすべり抵抗性
③	路面の平坦性
④	①～③までを総合した歩きやすさ

表－3　アンケートの評価得点

歩きやすさの評価	評価点
歩きやすい	3
ふ　つ　う	2
歩きにくい	1

に測定することができる装置を最適な物理性状測定装置として選定した。また、この最適な物理性状測定装置を用いた場合の良好な物理性状値の範囲を設定した。

(3) 歩行者によるアンケート調査

写真－１のように歩行者が舗装から受ける感覚を測定するため、湿潤状態の試験舗装工区を被験者に歩行してもらい、アンケート調査を行った。被験者の年齢構成は、図－４のとおりであり、アンケート項目は、表－２のとおりである。

調査の開始にあたっては、隣接した車道用アスファルト舗装を歩いてもらい、それを「ふつう」と評価することとし、表－３に示した車道用アスファルト舗装を基準とした３段階の評価を行った。調査中、評価に迷った場合には、随時アスファルト舗装の感触を確認に戻ってもよいこととした。

５．調査結果

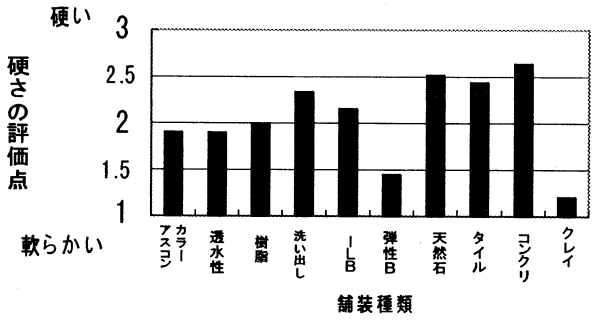
(1) アンケート調査の結果

各アンケート調査項目について、被験者から得られたデータの平均値を、各種舗装ごとに図－５～８に示す。これらの図より歩きやすさについて、以下のような相対的な比較結果が得られた。

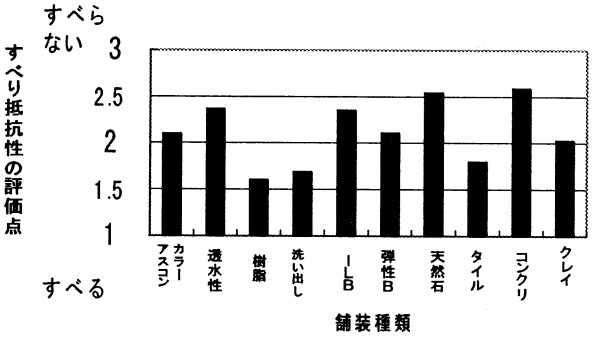
- クレイ舗装および弾性ブロック舗装は、軟らかい舗装である。
- 樹脂混合物舗装、洗い出しコンクリート平板ブロック舗装およびタイル舗装は、すべりやすい舗装である。
- クレイ舗装および洗い出しコンクリート平板ブロック舗装は、凸凹な舗装である。
- 弾性ブロック舗装および混合物系舗装は、歩きやすい舗装である。
- 弾性ブロック舗装を除く二次製品系舗装は、歩きにくい舗装である。

(2) 物理性状測定の結果

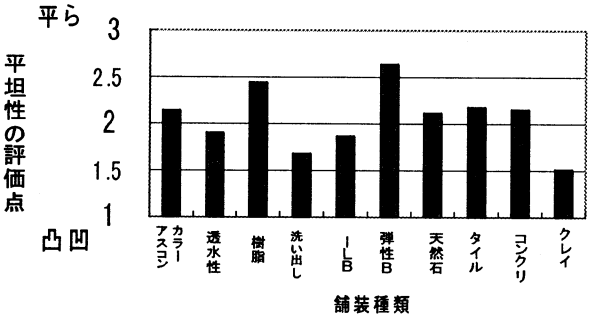
図－９～11に各物理性状測定の結果を、加熱アスファルト混合物舗装の測定結果に対する各種舗



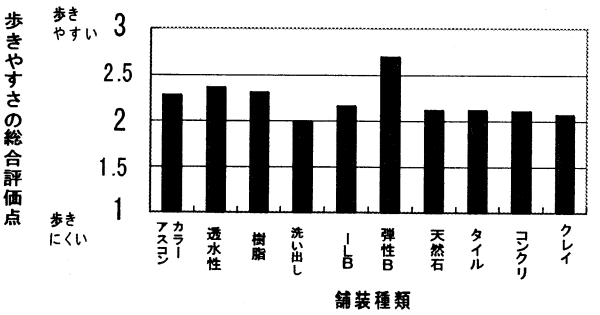
図－５　各種舗装の硬さの評価点



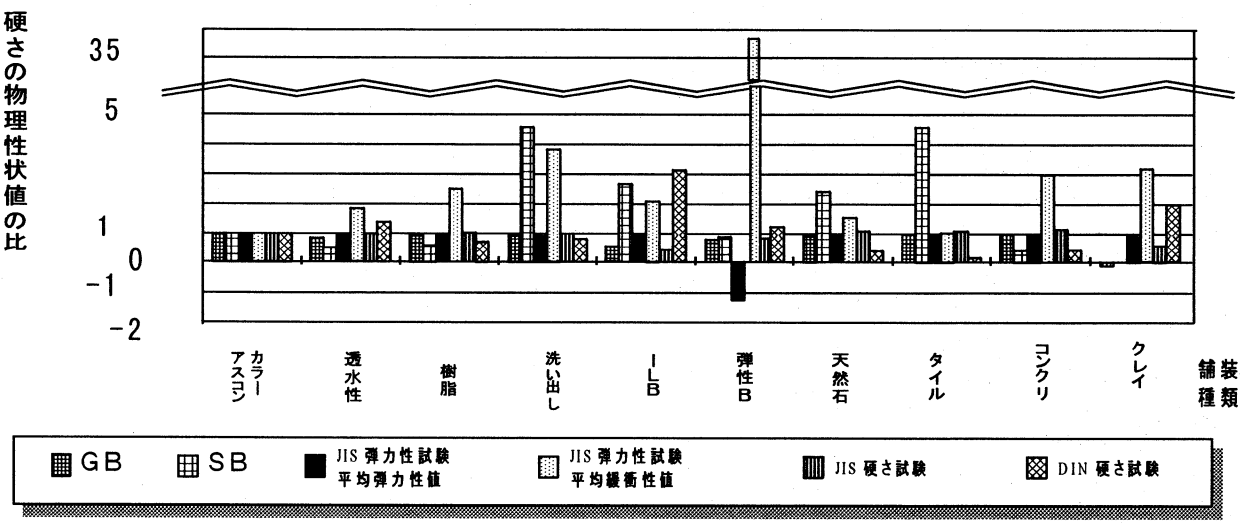
図－６　各種舗装のすべり抵抗性の評価点



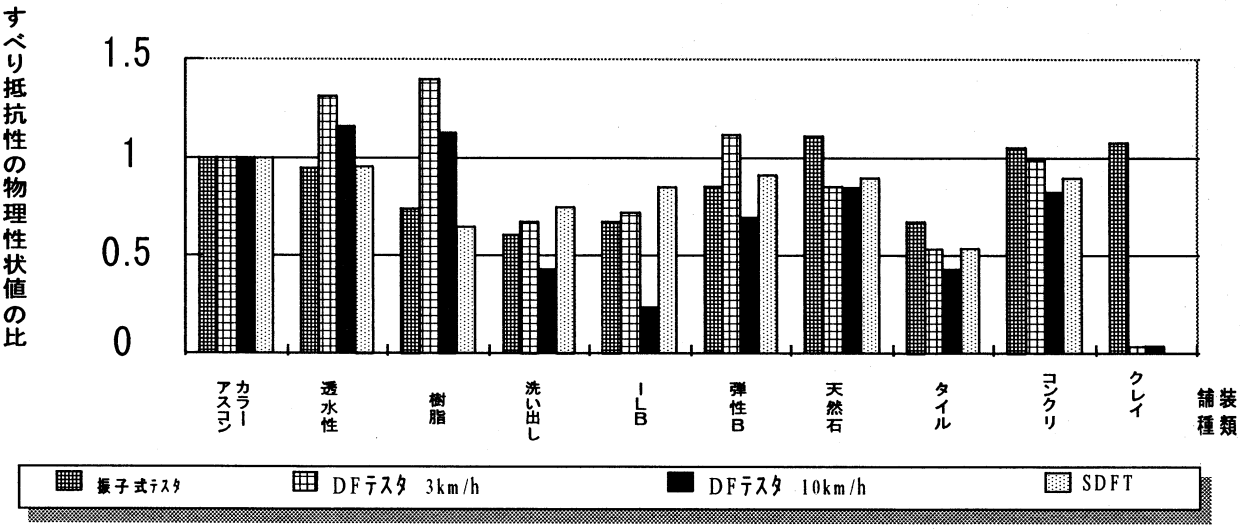
図－７　各種舗装の平坦性の評価点



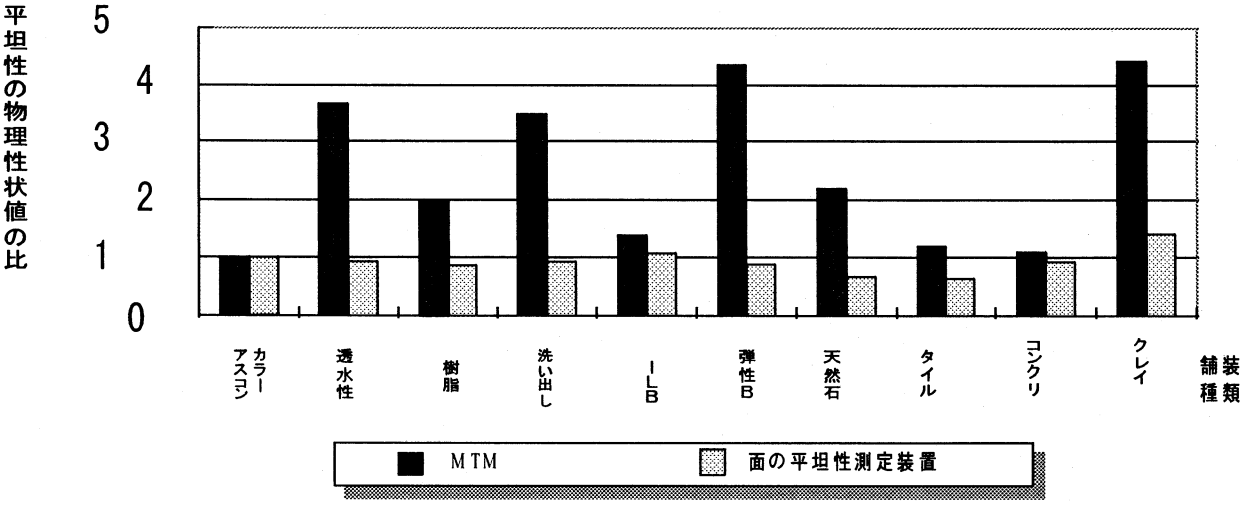
図－８　各種舗装の歩きやすさの総合評価点



図－9 各種舗装の加熱アスファルト混合物舗装に対する硬さの物理性状値の比



図－10 各種舗装の加熱アスファルト混合物舗装に対するすべり抵抗性の物理性状値の比



図－11 各種舗装の加熱アスファルト混合物舗装に対する平坦性の物理性状値の比

表－4　各物理性状に関するアンケート調査と舗装の物理性状値の相関関係

物理性状	試験名	測定値	相関係数
硬さ	GB試験	反発高さ(cm)	0.67
	SB試験	反発高さ(cm)	0.55
	JIS 弾力性試験	弾力性値	-0.47
		緩衝性値	-0.47
	JIS 硬さ試験	最大加速度(m/s2)	0.85
	DIN 硬さ試験	最大衝撃率(%)	-0.49
すべり抵抗性	振子式テスタ	BPN	0.65
	DFT	3km／h時動摩擦係数	0.10
		10km／h時動摩擦係数	0.14
	SDFT	静止摩擦係数	0.71
平坦性	MTM	平均きめ深さ(mm)	-0.23
	面の平坦性測定	路面凹凸の標準偏差	-0.60

表－5　最適な物理性状測定

物理性状測定	最適な測定装置
硬さ測定	JIS A 6519 床の硬さ測定装置
すべり抵抗性測定	SDﾌﾘｸｼｮﾝﾃｽﾀ(SDFT)
平坦性測定	面の平坦性測定装置

装の物理性状値の比によって示す。これらの図から以下のような結果が得られた。

- 「JIS 弾力性試験」以外の硬さの測定結果は、同様の傾向を示した。
- 「振子式テスタ」と「ＳＤＦＴ」の測定結果は、同様の傾向を示した。
- 「ＭＴＭ」と「面の平坦性測定装置」の測定結果は、異なる傾向を示した。

(3) 最適な測定装置の選定

各物理性状に関するアンケート調査と舗装の物理性状値との相関関係は、表－４のとおりである。各物理性状に関して最も相関の高い装置を、最適な物理性状測定装置として表－５に示した。

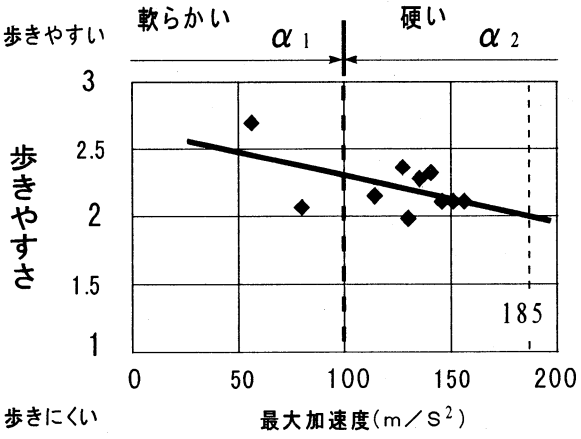
(4) 良好な物理性状値の範囲

各物理性状測定の結果と硬さ、すべり抵抗性、平坦性についてのアンケート調査の結果の散布図とその近似曲線を図－12～14に示した。縦軸は各工区の歩きやすさの総合評価に関するアンケート調査結果の平均値であり、横軸は各工区の各物理性状測定結果である。

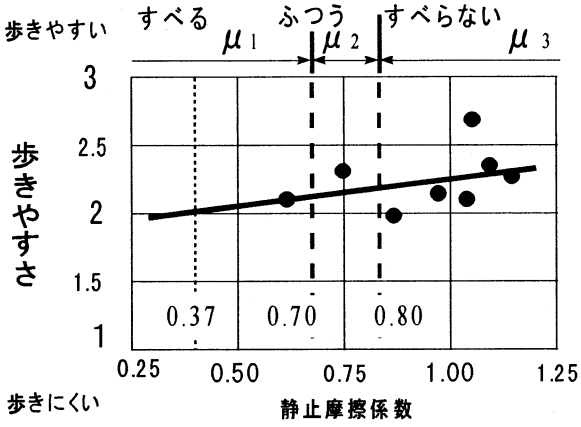
アンケート調査の結果が２以上を良好な物理性状値として許容される範囲とした場合の各物理性状値の良好な範囲を表－６に示した。

(5) 歩行者系舗装の評価式

新材料の供用性能の予測、新設時および現状の



図－12 JIS 硬さ測定装置による硬さ測定結果と歩きやすさの関係



図－13 SDFTによるすべり抵抗測定結果と歩きやすさの関係

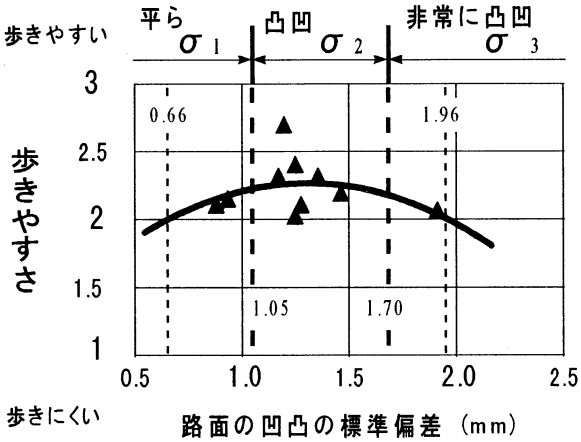


図 14 面の平坦性測定装置の測定結果と歩きやすさの関係

表－6　良好な物理性状測定値の範囲

測定装置	測定値	良好な範囲
JIS A 6519 床の硬さ試験	最大加速度 (m／s²)	～ 185
SDﾌﾘｸｼｮﾝﾃｽﾀ (SDFT)	湿潤路面の静止摩擦係数	0.37 ～
面の平坦性測定装置	路面の凹凸の標準偏差 (mm)	0.66 ～ 1.96

供用状態の把握など歩行者系舗装の歩きやすさに関する総合的な評価を可能にするために、歩行者系舗装の歩きやすさの評価式を調査対象舗装のアンケート調査と物理性状測定の結果を用いて、数量化Ⅰ類および判別分析により作成した。

a) 数量化理論による評価式

総合評価としての歩きやすさを目的変数、物理性状値を説明変数として多変量解析の数量化Ⅰ類で解析を行い、歩行者系舗装の歩きやすさの評価関数（以下、評価関数という）を求めた。その評価関数は、以下のとおりである。なお、関数中の各物理性状に関する変数のグループ分けに用いる境界値は、クラスター分析によって求めた。

$$y = 2.215 + 0.4112\alpha_1 - 0.1028\alpha_2 - 0.0124\mu_1 + 0.1116\mu_2 - 0.0124\mu_3 + 0.0102\sigma_1 + 0.0762\sigma_2 - 0.5538\sigma_3 \quad \cdots\cdots\cdots (1)$$

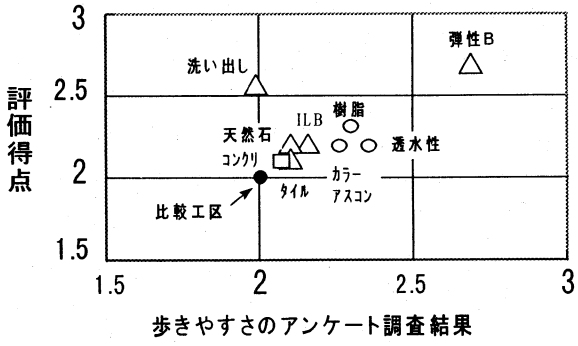
（実測値と計算値との相関係数 R = 0.504）

y ：歩きやすさの評価点
α_i：硬さの変数
μ_i：すべり抵抗性の変数
σ_i：平坦性の変数

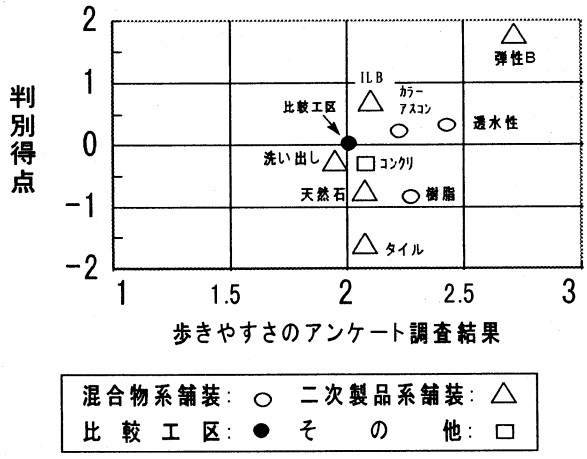
変数に代入する数を求めて、評価関数に代入し、「舗装の良し悪し」を評価する。なお、代入する数は、「1」か「0」のいずれかである。例えば、ある歩行者系舗装が、図－12～14のような分類で、硬さが「軟らか」く、すべり抵抗に関して「すべらない」、平坦性に関して「凸凹」な舗装ならば、「$\alpha_1 = 1$、$\alpha_2 = 0$」、「$\mu_1 = 0$、$\mu_2 = 0$、$\mu_3 = 1$」、「$\sigma_1 = 0$、$\sigma_2 = 1$、$\sigma_3 = 0$」である。これらの値を式－1に代入して得られた値が、各工区のアンケート結果の平均の 2.215 よりも大きなyなら、その舗装は良好な舗装とした。例にあげた舗装は、y=2.69 で良い舗装といえる。図－15にアンケート調査の結果と評価得点の散布図を示す。

b) 判別分析による評価式

数量化Ⅰ類と同様に、総合評価としての歩きやすさを目的変数、物理性状値を説明変数として、判別分析を行い、歩行者系舗装の歩きやすさの判別関数（以下、判別関数という）を求めた。判別関数とは、舗装の各種物理性状値を代入して得ら



図－15 各舗装の歩きやすさのアンケート調査結果と評価得点の関係



図－16 各舗装の歩きやすさのアンケート調査結果と判別得点の関係

れた判別得点が、正のときは歩きやすい舗装、負のときは歩きにくい舗装と判別する式のことをいう。その判別関数は、以下のとおりである。図－16にアンケート調査の結果と判別得点の散布図を示す。

$$y = -0.0242\alpha + 2.4585\mu + 0.7062\sigma - 0.1144 \quad \cdots\cdots\cdots (2)$$

（実測値と計算値との相関係数 R = 0.735）

y ：歩きやすさの判別得点
α ：硬さの測定値（最大加速度（m／s^2））
μ ：すべり抵抗性の測定値（湿潤路面の静止摩擦係数）
σ ：平坦性の測定値（路面の凹凸の標準偏差（mm））

c) 考察

数量化Ⅰ類および判別分析を用いて、歩行者系

舗装の歩きやすさの評価関数および判別関数を求めた。評価関数と比較して判別関数の方が実測値と計算値との相関が高いこと、判別関数は物理性状値をそのまま入力できるので計算が簡易であることから、評価式には判別関数を採用する方が適当と考えられる。

式－２より歩きやすい歩行者系舗装とは、どのような性状を有するべきかを考えると、感触が軟らかく、すべり抵抗性が高く、適度に凹凸といった物理性状を有する舗装であることが判明した。しかし、実際の舗装上の歩行に際して極端に軟らかい舗装、極端にすべりにくい舗装、非常に凹凸の大きい舗装は歩きにくいということは自明である。したがって、図－14に示したような適切な平坦性と同様に硬さ、すべり抵抗性についても適切な範囲が存在すると考えられる。

６．まとめ

本研究の成果は、以下のとおりである。

- 調査範囲内で、歩行者の歩きやすさに関する嗜好を把握することができた。
- 各種物理性状に関する測定装置を選定した。
- 調査範囲内で、良好な物理性状測定値の範囲を示した。硬さに関しては最大加速度185 (m/s^2) 以下、すべり抵抗性に関しては湿潤路面の静止摩擦係数0.37以上、平坦性に関しては路面の凹凸の標準偏差0.66～1.96(mm)であった。
- 歩行者系舗装の歩きやすさに関する評価式を提案した。

７．今後の課題

今回施工した試験施工工区は、極端に軟らかい材料や極端にすべり抵抗性の高い材料を使用しなかったので、軟らかい範囲の境界値とすべりにくい範囲の境界値を設定できなかった。今後は、これらの境界値を設定する必要がある。

また、今回の研究で得られた評価式の適用性について検討を行い、歩行者系舗装の歩きやすさの基準化に向けて、さらに検討を行う予定である。

さらに、歩きやすさの点でブロック系舗装の評価が高くならなかったが、ブロック系舗装は良好な景観の形成に優れており、景観も考慮した舗装の総合的な評価に関する検討も行う必要がある。

最後に、本研究を進めるにあたって、ご協力を賜りました東京農業大学の牧恒雄教授、小梁川雅講師、竹内康助手に深く謝意を表します。

参考文献

1)牧恒雄，竹内康：歩行者系道路舗装材の快適性に関する検討，舗装，第30巻6号，pp16-20，1995
2)木下栄蔵：わかりやすい数学モデルによる多変量解析入門，啓学出版，1987
3)達下文一，笹岡弘治，田中輝栄：歩行者系道路舗装の「歩きやすさ」の一考察，舗装，第22巻2号，pp10-15，1987
4)吉岡丹，小野英哲：体育館の床の弾力性に関する研究（その２），日本建築学会論文報告集第187号，pp27-34，1971
5)彌田和夫，村井哲夫，立間康裕，山田優：歩行者系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，pp205-212，1996
6)荒尾慶文，金沢円太郎：講座・舗装に関する新しい試験方法⑰　プレイグラウンドの舗装に関する試験，舗装，第31巻8号，pp22-26，1996
7)片倉弘美，岩崎尚義：歩行者系道路の歩きやすさに関するアンケート調査，第18回日本道路会議一般論文集，pp360-361，1989
8)池田拓哉，谷口聡，小森谷一志：歩行者系舗装の歩きやすさの評価について，第７回北陸道路舗装会議技術報文集，pp129-132，1997

STUDY ON EVALUATION OF WALKING COMFORTABILITY OF SIDEWALK PAVEMENTS

Kazushi KOMORIYA, Takuya IKEDA and Satoshi TANIGUCHI

When a highly aged society is expected, sidewalk pavements should be more human friendly than ever. This paper presents results of a study on relationship between physical properties and feeling of human being. A proposed formula enabled quantitative evaluation of walking comfortability of sidewalk pavements, based on hardness, skid resistance and roughness, measured by objective methods.