

IV-9 都市内歩行者系道路舗装の総合評価に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平12～平14

担当チーム：舗装チーム

研究担当者：吉田 武、新田 弘之、
大橋 幸子

【要旨】

本研究では、歩行者系道路舗装を対象として適切な維持管理を可能とする総合評価方法に関する研究を行った。路面の客観的指標としては、すべり、硬さ、平坦性等の物理性状の測定を行い、それぞれの測定方法の相関関係を解析した。それらの物理試験方法を今後の実大実験に利用するため、特性に応じて数種類に系統化した。また歩きやすさの主観評価としては、平坦性について試験路面で徒歩、ベビーカー、車椅子を利用した官能試験を行い、人間の感覚の特性、および歩きやすさと平坦性評価方法の関係を解析した。その結果、徒歩の人間の感覚に寄与する平坦性性状はIRIでもっともよく表せることが分かった。

キーワード：歩行者系舗装、歩きやすさ、評価、すべり、硬さ、平坦性

1. はじめに

都市内の歩行の重要性が増す中、交通バリアフリー法の施行などにより、高齢者、障害者の移動に対する配慮も重要になってきている。そのため、歩行者系舗装に対しては、歩行者環境の改善や歩きやすさ（移動しやすい、安全である等）の向上が求められている。しかし、現在それらに対する定まった評価方法がなく、適切な維持管理に適用可能な評価方法の開発が望まれている。

2. 物理試験方法の検討

歩きやすさと路面性状の関係を把握するには、路面性状を数値として適切に測定できる物理試験方法の選定が必要である。そこで、歩きやすさに関係が深いと考えられる平坦性、すべり、硬さの3つの路面性状について、物理試験方法の検討を行った。舗

表1 物理試験を行った路面の種類

路面1	加熱アスファルト混合物舗装
路面2	透水性アスファルト混合物舗装
路面3	樹脂混合物舗装（玉砂利）
路面4	コンクリート平板舗装
路面5	インターロッキングブロック舗装
路面6	弾性ブロック舗装
路面7	天然石舗装（整形御影石）
路面8	タイル舗装（磁器質タイル）
路面9	セメントコンクリート舗装
路面10	クレイ舗装

装種類の異なる10路面を測定し、それぞれの測定結果の相関関係を分析し、物理試験方法を系統化した。

2.1 測定した路面の種類

測定した路面は、表1に示す10種類の舗装からなる路面である。各路面は、幅3m、延長10mである（図1）。



図1 物理試験を行った路面

2.2 物理試験

表2に示す方法で、路面性状を測定した。また、測定の様子を図2～6に示す。

表2 路面性状の測定方法

路面性状	測定方法	概要	評価値
すべり抵抗性	振り子式スキッドレジスタンステスト	ゴム製のスライダの縁が湿潤時の試験面を滑動するときの抵抗値を測定	BPN
	DFT	回転式の円盤を用いたすべり抵抗測定器により湿潤時の路面の動摩擦係数を測定	動摩擦係数
	SDFT	回転式の円盤を用いたすべり抵抗測定器により湿潤時の路面の動摩擦係数・静止摩擦係数を測定	動摩擦係数 静止摩擦係数
硬さ	GB	ゴルフボールを自然落下させ、反発係数を求める	GB係数(%)
	JIS硬さ試験	加速時計を内蔵した頭部モデルを自由落下させ、床への衝突時の加速度を測定	最大加速度 (m/s^2)
	DIN硬さ試験	重錘を自由落下させ、鋼製ばねを介して床に衝突させたときの床の最大衝撃力(荷重)を測定。鋼床との比較で衝撃応答性を評価	最大衝撃率
	JIS弾力性試験	おもりを自由落下させ、ゴムばねを介して床に衝突したときの弾力性値と緩衝効果値を算定	弾力性値(Y) 緩衝効果値(U)
	SB	スチールボールを自然落下させ、反発係数を求める	SB係数(%)
平坦性	3mプロフィールメータ	前後輪間隔3mの機器の中央部で、1.5m間隔の縦断凹凸量を測定	標準偏差
	小型プロファイラ	測定装置の車輪の変位、傾斜角から、路面のプロファイルを算定	標準偏差
	水系法	一定の高さを保った水系から、路面までの距離を測定	標準偏差



図2 3mプロフィールメータ



図3 小型プロファイラ

2.3 測定方法の系統化

それぞれの測定結果をもとに、測定方法の系統化を試みた。系統化は、それぞれの測定結果を相関分析することによって行った。

表3 すべり測定法の相関係数による系統化

	①	②
① ・ 振り子式スキッドレジスタンステスト ・ DFT (全速度) ・ SDFT (静止以外の速度)	0.85以上	
② ・ SDFT (静止)	0.30~0.70	1.00

表4 硬さ測定法の相関係数による系統化

	①	②	③
① ・ GB ・ JIS硬さ試験 ・ DIN硬さ試験	0.69~0.96		
② ・ JIS弾力性試験 (弾力性値 Y) ・ JIS弾力性試験 (緩衝効果値 U)	0.03~0.12	0.99以上	
③ ・ SB	0.08~0.30	0.19	1.00

表5 平坦性測定法の相関係数による系統化

	①	②	③	④
① ・ 3mプロファイルメータ(標準偏差) ・ 小型プロファイラ(前後輪間隔 3m モデル・標準偏差)	0.61 以上			
② ・ 小型プロファイラ(前後輪間隔 2~0.5m モデル・標準偏差)	0.14~ 0.93	0.76 以上		
③ ・ 小型プロファイラ(1cmごと標準測定・標準偏差)	0.09~ 0.37	0.00~ 0.13	1.00	
④ ・ 水系法(10cmごと)	0.42~ 0.68	0.09~ 0.13	0.38~ 0.39	1.00

振り子式スキッドレジスタンステスト、DFT(全速度)、SDFT(静止以外の速度)、それぞれの試験結果の相関を取ると0.85以上と高く同じ系統と考えられたが、SDFT(静止)と他の試験結果は0.31~0.70とあまり高くなく、この方法だけは別の系統と考えられた。従って、2つのグループとした。硬さ測定、平坦性測定についても同様の分析を行い、グループを分けた。結果を表3~5に示す。なお、小型プロファイラ(前後輪モデル)については、今回の測定条件では3つの系統に分かれたが、測定条件を変えると結果が徐々に変わるため、必ずしもこの系統になるとは限らないと考えられた。

測定方法の系統化により、同系統の中から測定が容易なもの、安価な測定器のものを選定することで、効率的な調査が可能となった。

3. 歩きやすさの評価に関する検討

すべり、硬さ、平坦性の3つの路面性状のうち、すべり、硬さについては測定値がそのまま評価値となり得るが、平坦性についてはプロファイル測定しているため、プロファイルをどのような評価値で表現するとよいかを検討する必要がある。

その評価値を検討するため、試験路面を利用した官能試験により人間の感覚を調査し、人間の感覚を数値化したものと平坦性評価値を分析した。

3.1 研究方法

1) 官能試験を行った路面

平坦性の測定値の評価方法を検討するため、平坦性が異なる8種類の路面について官能試験を行い、測定値の評価方法と人間の感覚の関係を分析した。

使用した路面は、図7、図8、表4に示す8種類の平坦性からなるインターロッキングブロック舗装である。なお、路面②~④の“うねり”とは、図8のように路面がゆるやかな波状となるようにしたものである。

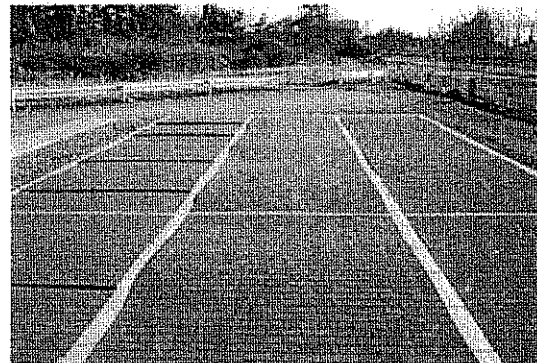


図4 官能試験を行った路面

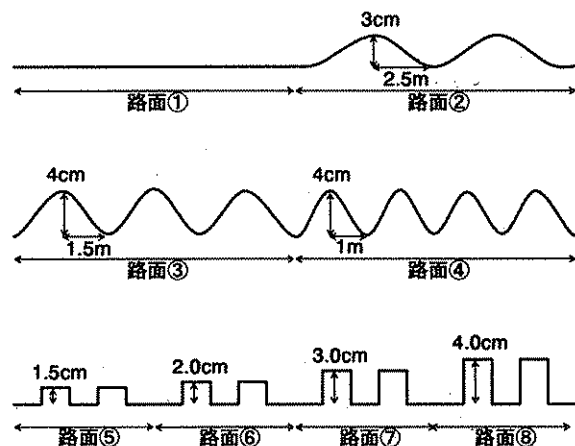


図5 路面形状の概要

表6 官能試験を行った路面

路面①	平坦
路面②	うねり(小)
路面③	うねり(中)
路面④	うねり(大)
路面⑤	段差(1.5cm)
路面⑥	段差(2.0cm)
路面⑦	段差(3.0cm)
路面⑧	段差(4.0cm)

なお、平坦性と段差は車道では別々の性状として扱われているが、どちらも路面の性状であり、同じ測定方法で計測できる可能性が高かったため、今回は同じ測定方法で計測するとともに、その後の検討でも区別せずに行った。また、このインターロッキングブロック舗装のその他の性状は、表5のとおりである。

表7 官能試験を行った路面の性状

すべり	SDFT 10km/h 動摩擦係数	0.80
	SDFT 静止摩擦係数	1.03
硬さ	GB係数	67
	SB係数	10

2) アンケート

回答者はそれぞれ、徒歩、ベビーカーを押しての歩行、車椅子での走行のいずれかの手段で、路面①から順に路面⑧まで進みながらアンケートに回答した。

アンケートの内容は、各主体に対してそれぞれ表6のとおりである。

表8 アンケートの内容

質問1：歩きやすいですか？（徒歩）				
歩きにくい	やや歩きにくい	どちらでもない	やや歩きやすい	歩きやすい
質問1：押しやすいですか？（ベビーカー）				
押しにくい	やや押しにくい	どちらでもない	やや押しやすい	押しやすい
質問1：進みやすいですか？（車椅子）				
進みにくい	やや進みにくい	どちらでもない	やや進みやすい	進みやすい
質問2：負担に感じますか？（共通）				
負担に感じる	やや負担に感じる	どちらでもない	あまり負担に感じない	負担に感じない
質問3：危険に感じますか？（共通）				
危険を感じる	やや危険を感じる	どちらでもない	あまり危険を感じない	危険を感じない

アンケートの結果を表7に示すとおり-2~2の整数に数値化した。

表9 アンケート結果の数値化

歩きにくい	やや歩きにくい	どちらでもない	やや歩きやすい	歩きやすい
-2	-1	0	1	2

3) 回答者

20代から70代以上までの男女から、回答を得た。回答者の内訳を表8に示す。

表10 アンケートの回答者数

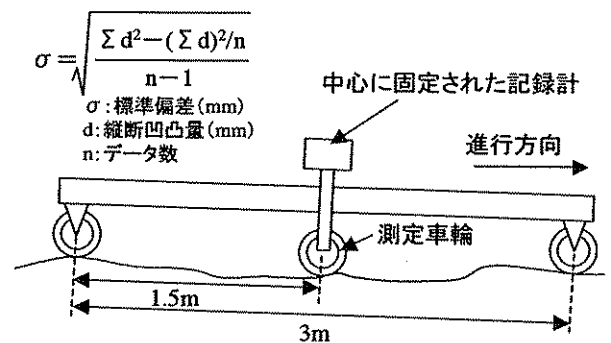
年齢	徒歩		ベビーカー		車椅子		総計
	男	女	男	女	男	女	
20代	6	5	1	2	4		18
30代	25	39	6	13		2	85
40代	26	12	7	3	2	2	52
50代	8	3					11
60代以上	7	3			1		11
総計	72	62	14	18	7	4	177

4) 平坦性測定の評価方法

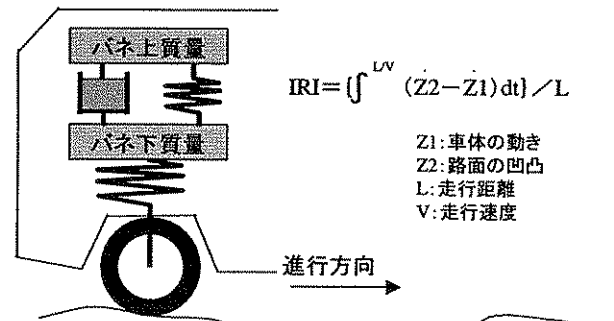
試験路面の平坦性性状の評価は、表9に示す6種類で、小型プロファイラ、水系法によって行い、標

準偏差、IRI（国際ラフネス指数）で評価した。ここで、3mプロファイルメータの測定と、IRIの概念を図9に示す。3mプロファイルメータは、図のような計測器の中心の測定車輪の変位を1.5m毎に記録し、変位量の標準偏差によって評価するものである。一方、IRIは全く異なり、プロファイルを測定し、その上に車が走行した（通常80km/hと仮定）場合の車両の上下方向変位をシミュレーションにより求め、ある区間の変位の累積値を走行距離で割ったものである。

IRIについては、本来車の走行性に関する評価である。しかしIRIの計算手法を工夫することによって歩行者の歩きやすさの評価に応用できる可能性もあるため、今回、延長方向にプロファイルを引き延ばし、IRIを仮想的に算定した。IRIは車のホイールベース幅を元にしていて、プロファイルの引き延ばし方法としては、車のホイールベースと歩行者の歩幅の関係を考慮して、ここでは10倍および25倍に引き延ばした場合のIRIを算定し、人間の感覚との関係を分析した。



a) 3mプロファイルメータの測定概念図



b) IRIの測定概念図

図6 平坦性の計測方法

表 1 平坦性性状の評価方法

	測定法	データ収集方法	評価値
評価方法 1	小型プロファイラ	前後輪差 3m、データ収集間隔 1.5m	標準偏差
評価方法 2	小型プロファイラ	前後輪差 0.5m、データ収集間隔 0.25m	標準偏差
評価方法 3	小型プロファイラ	1cm ごと	標準偏差
評価方法 4	水系法	10cm ごと	標準偏差
評価方法 5	小型プロファイラ	実際の延長を 10 倍	IRI
評価方法 6	小型プロファイラ	実際の延長を 25 倍	IRI

3.2 歩きやすさに関する実験結果

1) 視点による評価の違い

アンケートでは、徒歩、ベビーカー、車椅子の回答者に対して「歩きやすいか、押しやすいか、進みやすいか」、「負担を感じるか」「危険を感じるか」の3つの設問をした。これは回答者の「快適性」「負担感」「危険性」について質問したものである。

それぞれのアンケート結果を数値化して平均し、各主体について快適性、負担感、危険性の回答の相関を分析した。すべての組み合わせで相関係数が 0.98 を超える高い相関があることが分かった。

この結果から、平坦性については、徒歩、ベビーカー、車椅子とも「快適性」「負担感」「危険性」にかかわる人間の感覚はほぼ同じ傾向であった。この結果は、今回の路面性状の場合についてのみの傾向である可能性もあるが、本検討の中では以後1つにしばって整理した。

2) 平坦性評価値と感覚の関係

今回の検討においては、感覚を最もよく表現する平坦性評価値の検討を行った。「快適性」「負担感」「危険性」の感覚が同様の傾向を見せることがわかったので、アンケート結果を「快適性」に関する質問に代表させ分析した。また、「ベビーカー」「車椅子」については、回答数がそれぞれ 32 人、11 人と少なかったため、今回は徒歩の歩行者を対象として検討した。

また、これらの相関係数を表 13 にまとめた。各評価方法の平坦性評価値と間隔の傾向の関係を図 9～14 に示す。

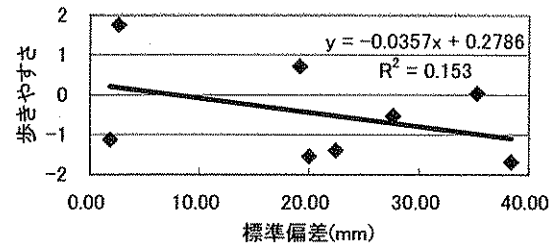


図 7 路面性状と歩行者の感覚 (評価方法 1)

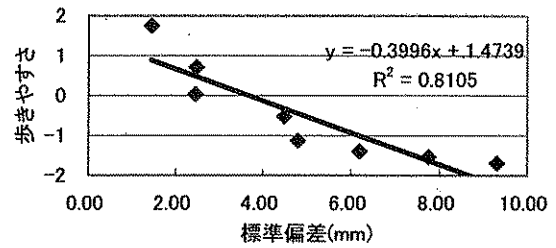


図 8 路面性状と歩行者の感覚 (評価方法 2)

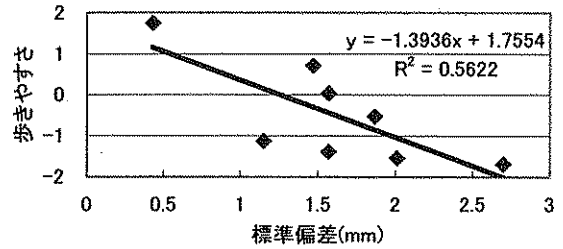


図 9 路面性状と歩行者の感覚 (評価方法 3)

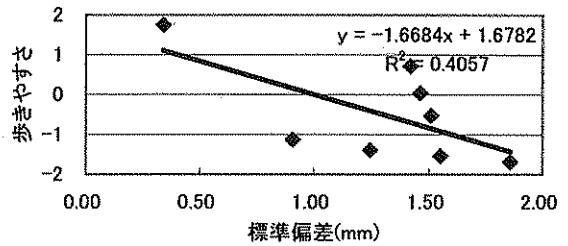


図 10 路面性状と歩行者の感覚 (評価方法 4)

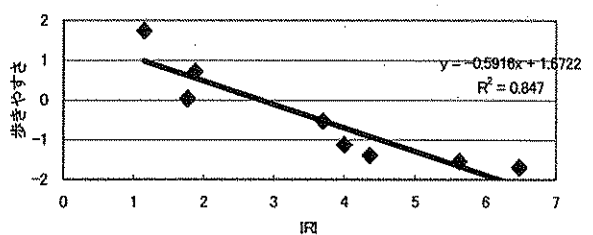


図 11 路面性状と歩行者の感覚 (評価方法 5)

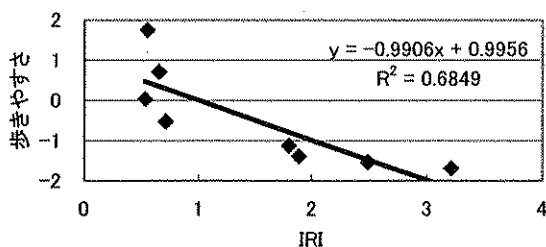


図 12 路面性状と歩行者の感覚（評価方法 6）

表 1 2 平坦性評価値と歩きやすさへ相関

	歩きやすさとの相関係数
評価方法 1	0.15
評価方法 2	0.81
評価方法 3	0.56
評価方法 4	0.41
評価方法 5	0.85
評価方法 6	0.68

このように、本研究で検討した平坦性評価値の中では、小型プロファイラによりプロファイルを実際の 10 倍に引き延ばして算定した I R I（評価方法 5）が、歩きやすさとの相関が 0.85 と最も高く、歩きやすさを最も適切に表現していたといえる。ついで高かったのが、前後輪差 0.5m、測定間隔 0.25m とした小型プロファイラの標準偏差（評価方法 2）であった。

また、3m プロフィルメータと同じ前後輪差 3m、測定間隔 1.5m とした小型プロファイラによる標準偏差（評価方法 1）は、歩きやすさとの相関が 0.15 と非常に低いことが分かった。このため、3m プロフィルメータによる標準偏差は、平坦性に対する歩きやすさの傾向を評価するのに適切でないと考えられた。

4. まとめ

本研究では、まず、歩行者系道路舗装の歩きやすさに関する物理試験方法の選定について検討を行った。その結果、以下のことが分かった。

- ・ すべり抵抗性の測定については、「振り子式スキッドレジスタンステスト、DFT（全速度）、SDFT（静止以外の速度）」と「SDFT（静止）」の 3 つ系統に分けられる。
- ・ 硬さの測定については、「GB、J I S 硬さ試験、D I N 硬さ試験」、「J I S 弾力性試験、J I S 弾力性試験（平均緩衝性値）」、「S B」の 3 つの

系統に分けられる。

- ・ 標準偏差による平坦性の測定については、「3m プロフィルメータタイプ」、「小型プロファイラ（前後輪モデル）」「小型プロファイラ」「水系法」の 4 つの系統に分けられる。

今後は、これらの系統の中から汎用性・信頼性の高いものを代表的な物理試験方法として決定し、実大実験を行うことで、路面性状に関して人間の感覚を評価するために適切な物理試験方法を特定することができる。

また本研究では、平坦性に関する歩行者系道路舗装の評価に関する検討も行った。その結果、以下のことが分かった。

- ・ 小型プロファイラによりプロファイルを実際の 10 倍に引き延ばして算定した I R I が、平坦性に対する歩きやすさの傾向を評価するのに適していた。
- ・ 3m プロフィルメータによる標準偏差は、平坦性に対する歩きやすさの傾向を評価するのに適切でなかった。

ただし、I R I 算定時にプロファイルを何倍に引き延ばすのが最も適当かは、さらなる検討が必要である。

今後は、すべり、硬さといった路面性能についても、歩きやすさを適切に表現できる評価方法を検討していく。また、ベビーカーや車椅子などの主体についても、人間の感覚を適切に表現できる評価方法を検討していく。

また、今回歩きやすさを評価するのに最も適切であった方法を用いて、歩きやすさの基準値の設定に関して検討する。

参考文献

- 1) 小森谷一志、池田拓哉、谷口聡：「歩行者系舗装の歩きやすさの評価手法に関する研究」、第 2 回舗装工学講演会講演論文集、1997