

# 一般歩行と高齢者歩行に対する適正なすべり抵抗値について平坦部と勾配部における検証

鍋島 益弘<sup>1</sup> ・ 山田 優<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 大成ロテック株式会社 技術部 技術課長 (〒569-0039 大阪府高槻市大塚町4-23-1)

<sup>2</sup>正会員 大阪市立大学大学院 工学研究科 教授 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138)

我が国の福祉をめぐる現状としては、国内的には、かつて経験したことがない急速な高齢化社会が進行中であり、また国際的には、障害者が積極的に社会参加のできる環境を構築することが急務となってきている。

そのため本研究は、高齢者や障害者と共に生活する環境を整備するために、基本的な歩道環境の中から「歩道舗装面におけるすべり抵抗」を再検証し、

- ①最低限歩行に必要なすべり抵抗値についての適正な範囲
- ②歩きやすいすべり抵抗値についての適正な範囲
- ③道路勾配部の歩行に必要なすべり抵抗値についての適正な範囲

について、一般歩行と高齢者歩行の2つの立場から検討を行うものである。

**Key Word** : *Skid-resistance, Sidewalk pavement, BPST, SDFT, Vertical slope, Old age, Universal design*

## 1. はじめに

我が国の福祉をめぐる現状としては、国内的には、かつて経験したことがない急速な高齢化社会が進行中であり、また国際的には、障害者が積極的に社会参加のできる環境を構築することが急務となってきている。

そのため、歩道舗装の目的もこの要請に応えるべく、高齢者や障害者が安心して戸外に出かけられる環境を第一に考え、その前提に立って歩道環境の改善を図る必要がある。

本研究は、高齢者や障害者と共に生活する環境を整備するために、基本的な歩道環境の中から「歩道舗装面におけるすべり抵抗」を再検証し、その適正な範囲を検討するとともに、歩道の縦断勾配がすべり抵抗に及ぼす影響について検証を行い、縦断勾配ごとにおけるすべり抵抗の適正な範囲を決定しようとするものである。

## 2. 従来の研究と本研究の官能試験方法

### (1) 従来の研究

歩道舗装における適正なすべり抵抗値については、古くから研究が行われており、現在まで数多くの報告がなされている。

それらは、山田ら<sup>1)</sup>、牧ら<sup>2)</sup>、彌田ら<sup>3)</sup>、田中ら

<sup>4)</sup>の「最低限歩行に必要なすべり抵抗値の研究」と池田ら<sup>5)</sup>の「歩きやすい快適なすべり抵抗値の研究」の2つに大別される。

また、これらの研究は、いずれの場合においても、歩行官能試験を伴っており、その官能試験の方法は、多くの場合「被験者が路面の状態に合わせて自由に歩行したときのすべりに対する評価」である。

つまりタイル舗装やテラゾ舗装のようにすべりやすい材質の路面で官能試験を行った場合、被験者の自由裁量のもとで歩行を管理させたときの歩幅および速度は、被験者が本能的に安全な行動を選択することから、アスファルト舗装を歩行する場合と比較して小さく抑えられたものとなる。

このため、すべりやすい材質の路面においても、歩行に最低限必要なすべり抵抗値は低くなる結果となる場合が多い。

例えば、文献<sup>1)</sup>では、アスファルト舗装とすべりやすいテラゾ舗装を比較した場合、テラゾ舗装は歩幅を狭くして歩くと報告されている。この原因については、被験者が路面がすべりやすいと感じた場合、注意して歩くためであると考察している。

この報告による、アスファルト舗装とテラゾ舗装の最低限歩行に必要なすべり抵抗値を表-1に示す。

テラゾ舗装の場合、必要なすべり抵抗値がアスファルト舗装と比較して20%程度小さくなっていることが分かる。

表-1 最低限歩行に必要なすべり抵抗値(BPN)

歩道舗装の種類	最低限必要なすべり抵抗値 BPN
アスファルト舗装	44(湿潤)
テラゾ舗装	31(湿潤)

(2) 本研究における官能試験方法

前述のように、歩行者が路面をすべりやすいと感じた場合、歩幅を狭くする等注意して歩行を行うため、すべりやすい路面においても転倒の危険性は大きくないと考えられる。

ところが、通常の歩行中に、撒水による濡れや舗装材料の変化等により、急にすべりやすい路面が出現した場合、路面のすべりに合わせて歩幅および速度を急に調整することができず、思わず転倒するケースが考えられる。

このように、路面のすべり抵抗の急な変化に対しては、高齢化するほど反射神経が鈍くなる傾向にあると考えられるため、高齢者ほど転倒しやすいといえる。

この課題は、今回、歩道環境上の問題点についてのアンケート調査を行った中でも、調査対象の視覚障害者から指摘を受けていることであるが、特に弱視者にとっては、路面のすべり抵抗の急な変化には対応しにくく、すべりによる転倒の原因である。

つまり、弱視者のうち白杖を用いない者は、路面の状況を白杖により感知するのではなく目視で判断するため、路面がすべりやすいと判断することに遅れがちとなる結果、路面のすべりに合わせて注意して歩行することができず、転倒の原因となるからである。

このことは、視力が衰えがちな高齢者の場合にも同様であり、路面のすべり抵抗の急な変化が転倒の原因となる。

また、健常者においても、絶えず路面に注意しながら歩幅や速度を調整して歩行するのではなく、通常の歩幅や速度で歩行のできる路面の状態にすることが快適さに繋がると考えることができる。

これらの検討を踏まえ、本研究の歩行官能試験においては、各舗装材料を歩行するにあたり、各被験者が通常に歩いている歩幅および速度をなるべく保つようにして歩いて、すべりやすさを評価してもらった。

くつの種類については、各被験者の日常性を考慮し、屋外において最も使用頻度の高いものを履いてもらった。

また、調査中、自分の歩幅および速度に迷った場合は、随時、アスファルト舗装等に戻り調整してもらうことにした。

3. 最低限歩行に必要なすべり抵抗値

(1) 歩きやすさの官能試験結果

快適な歩行ができるということは、いかに歩きやすい路面を歩行するかということであると考えられるため、表-2のように8工法11種類の歩行者系舗装に対して歩行官能試験を行い、歩きやすさの調査を行った。

表-2 歩行者系舗装の工種

舗装の種類	規格・寸法
歩道アスファルト舗装	細粒度アスコン
インターロッキング	一般歩道用
平石張り舗装	①ジェットバーナー仕上げ
	②ビシャン仕上げ
	③サンドブラスト仕上げ
レンガ舗装	景観舗装用レンガ(輸入品)
弾性舗装	ウレタンチップ舗装
景観透水性樹脂舗装	淡路砂利
玉砂利洗い出し舗装	大磯砂利
タイル舗装	①磁器質タイル
	②セッ器質タイル

調査方法は、15才以上の100人の被験者が、湿潤状態の路面を歩行して最も歩きやすい歩道舗装材料を選定した。被験者の年齢層は、表-3に示すように15～30才、30～45才、45～60才、60才以上の4段階に分け、各クラスの人数は男女ほぼ同数の25人となるように調整した。

表-3 被験者の年齢層

区分	年齢の範囲	被験者の人数
I	15才以上30才未満	25人
II	30才以上45才未満	25人
III	45才以上60才未満	25人
IV	60才以上	25人
合	計	100人

評価方法は、歩行者系舗装の中では最も施工例の多い『細粒度アスコンを用いた歩道アスファルト舗装』を75点とし、これを基準として残りの舗装を評価した。評価点数は満点を100とし、被験者全員の平均点数により各舗装を評価した。

また、前述のように、被験者が通常に歩いている歩幅および速度をなるべく保つようにして歩いてもらった。

この結果を表-4に示す。

この中で最も評価の低かったタイル舗装について、

なぜ歩きにくいのかの調査を行った結果、表-5のように「すべりやすく、転倒等の不安」と「目地が広く（目地幅=8mm）歩き心地が悪い」の2つの要因によるところが大きいことが分かった。

表-4 歩きやすさの官能試験結果

順位	舗装の種類	歩きやすさの評価
1位	弾性舗装	87点
2位	レンガ舗装	82点
3位	景観透水性樹脂舗装	80点
4位	平石張り舗装	72~80点
5位	歩道アスファルト舗装	75点
6位	インターロッキング	70点
7位	玉砂利洗い出し舗装	63点
8位	タイル舗装	52~64点

表-5 タイル舗装が歩きにくいと評価された要因

順位	歩きにくいと感じる要因	全体の割合
1位	すべりやすく転倒等の不安	71%
2位	目地が広く歩き心地が悪い	23%
3位	その他	6%

(2) 最低限歩行に必要なすべり抵抗値

以上の結果より、すべりやすさが歩きにくさの大きな要因となることが分かったため、さらに、この各舗装材料がどの程度すべりやすいかの官能評価を行った。

調査方法は、前述の11種類の舗装材料に、すべりやすいと評価されている次の2種類の舗装材料

- ①平石張本磨仕上げ
- ②市内において、すべりやすいと苦情の多い地区の舗装（以下、タイル舗装Cとする）

を加え、13種類の舗装を調査した。

評価方法は、「すべりやすい」、「ややすべる」、「問題がない」の3段階とし、同じ100人被験者による評価を行った。また、前回と同様に、被験者が通常歩いている歩幅および速度をなるべく保つようにして歩いてもらった。

すべり抵抗値の測定については、多くの調査結果があるB P S Tと牧<sup>6)</sup>の考案した「歩道用摩擦係数測定試験機(SDFT)」により調査を行った。

図-1は、このすべりやすさの評価結果とBPNの値である。さらに、この表中で「すべりやすい」と評価された割合(%)をすべりに対する危険度とし、BPN値で整理した結果を図-2に示す。

アスファルト舗装要綱に歩道のすべり抵抗値として望ましいと記載されているBPNが40の場合には、すべりに対する危険度は約30%となり、同じ危険度

における高齢者の場合、BPNは44となった。

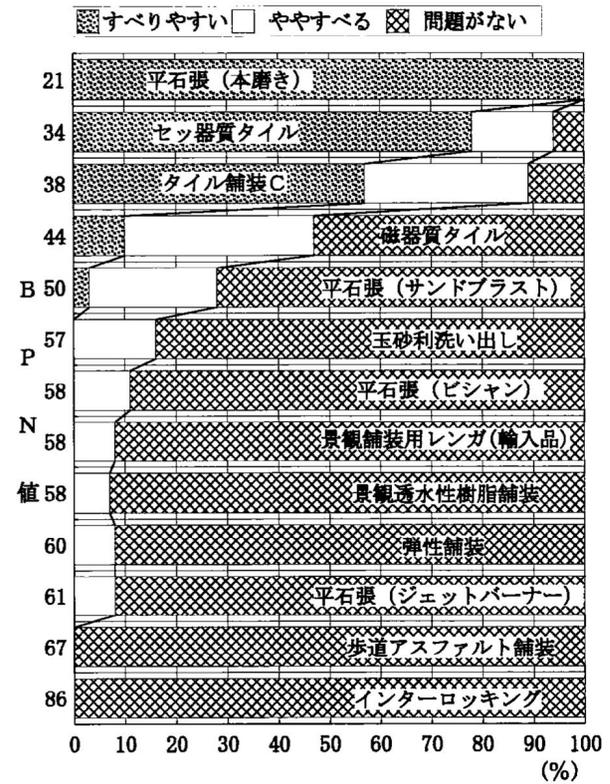


図-1 すべりやすさの評価結果とBPN値

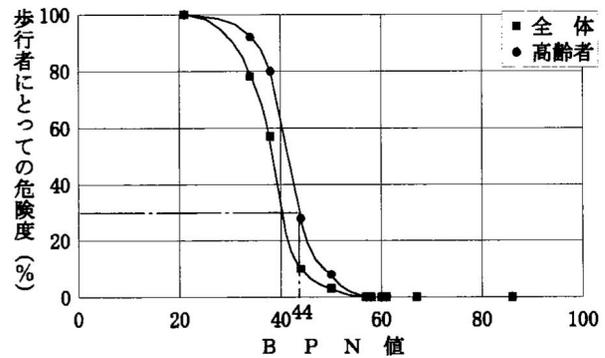


図-2 歩行者にとっての危険度とBPN値

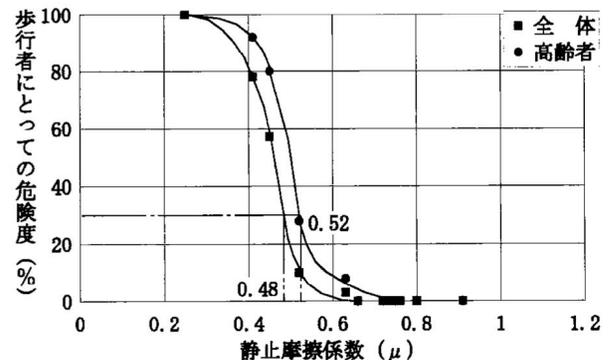


図-3 歩行者にとっての危険度と静止摩擦係数

この場合の高齢者とは、表-3における区分Ⅳの60才以上の25人の被験者とする。

また、図-3は、すべりに対する危険度をSDF Tの測定値により整理した結果である。

すべりに対する危険度を約30%としたときのSDF Tにおける静止摩擦係数は、全被験者で $\mu=0.48$ 、高齢者の場合 $\mu=0.52$ となった。

#### 4. 歩きやすい快適なすべり抵抗値

##### (1) 各舗装材料による歩きやすさとBPN値

図-4は、歩きやすさの評価点数を、BPN値で整理した結果である。

調査方法は、表-2の歩きやすさの調査結果における11種類の舗装材料に、3.(2)のすべりやすいと評価されている2種類の舗装材料を加え、13種類の舗装を調査した。

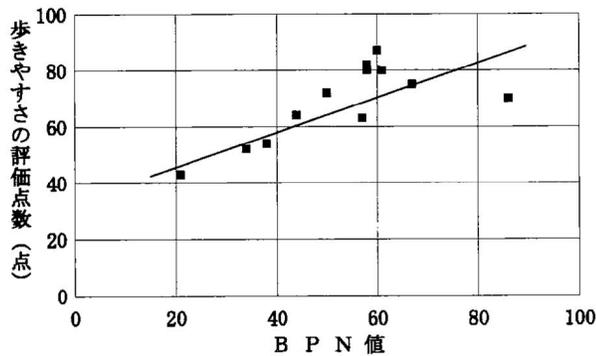


図-4 歩きやすさの評価点数とBPN値

この結果、歩きやすさの評価点数とBPN値との重相関係数( $R^2$ )が0.525となり、歩きやすさとすべりにはある程度の相関関係があることが分かった。

また、3.(1)のタイル舗装やインターロッキング舗装のように目地が広い舗装材料は、歩き心地が悪く、逆に、弾性舗装のように転倒時に安全感がある舗装材料は、歩きやすく感じられる<sup>7)</sup>。

このように、歩きやすさと相関する路面の要因は、すべりだけではなく、目地の有無、平坦性、柔らかさ等が影響していると考えられる。

##### (2) 単一材料による歩きやすさとすべり抵抗値

そこで、歩きやすさに影響するすべり以外の要因を除外し、歩きやすさとすべりの関係だけ进行评估するため、表-6のように表面仕上げの方法を変えた単一舗装材料(白御影平石張舗装)において歩行官能試験を行った。目地幅は、凹凸の影響を少なくするため、2~3mm幅の砂目地とした。

調査方法は、3.(1)と同様に、100人の被験者

が、湿潤状態の路面を歩行して最も歩きやすい表面仕上げの方法を選定した。

評価方法は、前回と同様に、歩道アスファルト舗装を75点とし、これを基準として評価した。評価点数は満点を100とし、被験者全員の平均点数により各舗装を評価した。

また、前述のように、被験者が通常に歩いている歩幅および速度をなるべく保つようにして歩いてもらった。

表-6 平石張舗装の仕上方法とすべり抵抗値

平石張舗装(白御影)の表面仕上げ方法	すべり抵抗値	
	BPN	静止摩擦係数( $\mu$ )
本磨き仕上げ	21	0.25
ジェットバーナー仕上げ +エポキシ樹脂塗布	44	0.52
サンドブラスト仕上げ	50	0.63
ジェットバーナー仕上げ	61	0.75

この結果を、図-5、図-6に示す。

図-4とは異なり、歩きやすさに影響するすべり以外の要因を除外し、歩きやすさとすべりの関係だけ进行评估した場合、歩きやすさとすべり抵抗値には緊密な相関があることが分かった。

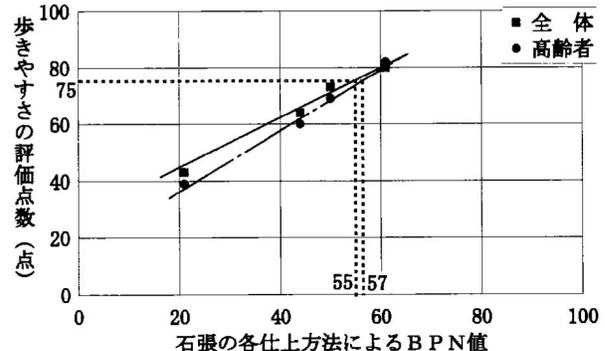


図-5 歩きやすさの評価点数とBPN値

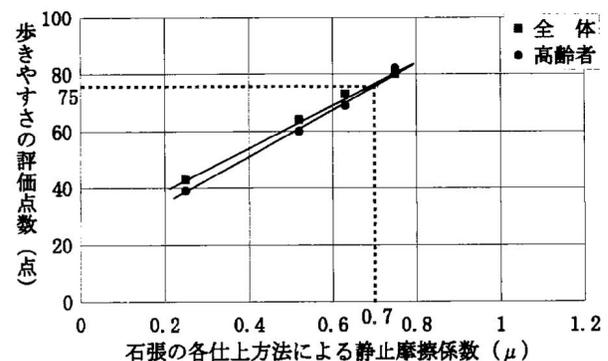


図-6 歩きやすさの評価点数と静止摩擦係数

以上の結果、図-5、図-6より歩きやすいすべり抵抗値は、次の範囲になることが分かった。

- 全被験者におけるBPN値 ----- 55以上
- 高齢者におけるBPN値 ----- 57以上
- 全被験者における静止摩擦係数 ---- 0.7以上
- 高齢者における静止摩擦係数 ---- 0.7以上

### 5. 道路勾配部におけるすべり抵抗値

#### (1) 勾配部において最低限必要なすべり抵抗値

前述の視覚障害者に対するアンケート調査の中で、「歩道の点字ブロック付近のすり付け勾配部が、降雨時に非常にすべりやすい」または、高齢者においては、「降雨時の急勾配部がすべりやすい」との意見があるため、勾配部における最低限必要なすべり抵抗値の検証を行った。

平坦部を歩行する場合、歩行者の荷重をNとすると、すべり抵抗力(F)は次式で表される。

$$F = \mu \cdot N \quad (1)$$

一方、図-7のような道路勾配部におけるすべり抵抗力(F)は、同様に次式で表される。

$$F = \mu \cdot N \cos \theta \quad (2)$$

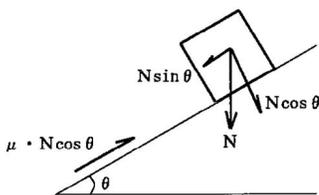


図-7 勾配部を歩行する場合のすべり抵抗力

ところが、道路勾配部を歩行する場合、歩行者の荷重による路面方向の分力(N sin theta)が、すべり抵抗力とは逆に働くため、実質のすべり抵抗力(F')は次式で表される。

$$F' = \mu \cdot N \cos \theta - N \sin \theta \quad (3)$$

式(3)を整理すると、

$$F' = (\cos \theta \cdot \mu - \sin \theta) N \quad (4)$$

$$= \mu' \cdot N$$

となり、mu'を見かけの静止摩擦係数とすると、

$$\mu' = \cos \theta \cdot \mu - \sin \theta \quad (5)$$

前述の3.(2)より、高齢者の歩行に最低限必

要な静止摩擦係数としてmu=0.52を得たが、これは平坦部での値であり、この値を基準として式(5)に従って道路勾配部における見かけの静止摩擦係数(mu')を求めた結果を表-7に示す。

表-7 勾配部における見かけの静止摩擦係数(mu')

道路勾配 (%)	見かけの静止摩擦係数(mu')
2%	0.50
4%	0.48
6%	0.46
8%	0.44
10%	0.42
12%	0.40

次に、見かけの静止摩擦係数(mu')において、0.52を確保するために必要な静止摩擦係数(mu)を求めた結果を表-8に示す。

表-8 高齢者の歩行に最低限必要な静止摩擦係数(mu)

道路勾配 (%)	高齢者に必要な静止摩擦係数(mu)
0%	0.52
2%	0.54
4%	0.56
6%	0.58
8%	0.60
10%	0.62
12%	0.64

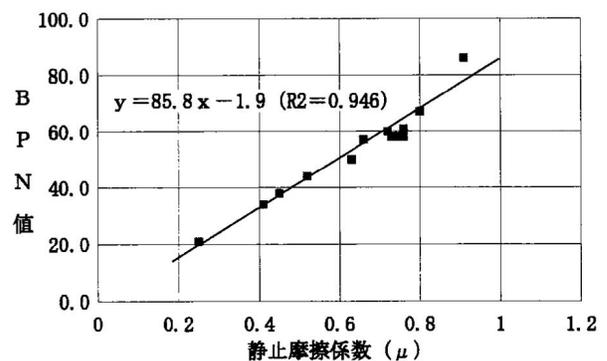


図-8 静止摩擦係数(mu)とBPN値との関係

表-9 高齢者の歩行に最低限必要なBPN値

道路勾配 (%)	高齢者の歩行に必要なBPN値
0%	44
2%	46
4%	47
6%	49
8%	51
10%	53
12%	54

図-8は、今回の実験に使用した13種類の舗装材料における静止摩擦係数とBPNの関係である。

また、表-9は、図-8の相関式に表-8の静止摩擦係数の値を代入し、前述の3. (2)より得た高齢者の歩行に最低限必要な平坦部でのBPN値を44としたときの道路勾配部での必要なBPN値である。

**(2) 勾配部における見かけのすべり抵抗値の測定**

道路勾配部における見かけの静止摩擦係数 ( $\mu'$ ) の測定については、SDF Tでは実測することができず、また、BPSTにおいても見かけのすべり抵抗値を実測することはできない。

そこで、BPSTの試験方法を工夫して、勾配部でのすべり抵抗値を測定する方法を考案した。以下がその手順である。

- ①BPSTを路面の勾配がレベルの状態に据え付けて0点調整を行う。
- ②路面の勾配(%)を小数第一位まで計測することのできる道路勾配定規を用いて測定する。
- ③BPSTの試験機を道路勾配定規を用いて路面勾配通りに据え付ける。この際、勾配と直角の方向についてはレベルに据え付ける。
- ④BPN値を測定する。
- ⑤試験機が傾いている分、目盛りがずれるため、ずれ分を計算し、BPN値に加えて見かけのすべり抵抗値(BPN'値)を求める。

この方法に基づき、アスファルト舗装について道路勾配と見かけのすべり抵抗値(BPN'値)についての関係を求めた。図-9にその結果を示す。

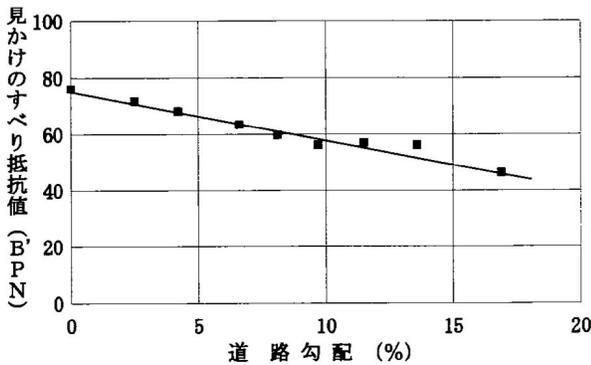


図-9 道路勾配と見かけのすべり抵抗値(BPN')

図-9の回帰曲線の勾配=-1.65を用い、各道路勾配における見かけのすべり抵抗値(BPN')が44となるための0%勾配でのBPN値を求めた。

表-10がその結果である。

この結果に基づき、理論値から求めた表-9と実測値から求めた表-10の範囲を、道路勾配部において高齢者の歩行に最低限必要なすべり抵抗値とした。

また、同様にこの考えを静止摩擦係数にも適用し、

道路勾配におけるすべり抵抗値としてBPN値とともにまとめた結果を表-11に示す。

勾配部において高齢者の歩行に最低限必要なすべり抵抗値は、表に示すとおり、道路勾配が急になるに従って増加する。

表-10 BPN'を用いた場合の高齢者に必要なBPN値

道路勾配 (%)	高齢者の歩行に必要なBPN'値
0%	44
2%	47
4%	51
6%	54
8%	57
10%	61
12%	64

表-11 高齢者の歩行に最低限必要なすべり抵抗値

道路勾配 (%)	高齢者の歩行に必要なすべり抵抗値	
	BPN値	静止摩擦係数( $\mu'$ )
0%	44	0.52
2%	46~47	0.54~0.57
4%	47~51	0.56~0.62
6%	49~54	0.58~0.65
8%	51~57	0.60~0.69
10%	53~61	0.62~0.73
12%	54~64	0.64~0.77

**6. まとめ**

①最低限歩行に必要なすべり抵抗値は、次の範囲であることが分かった。

- 全被験者におけるBPN値 ----- 40以上
- 高齢者におけるBPN値 ----- 44以上
- 全被験者における静止摩擦係数 --- 0.48以上
- 高齢者における静止摩擦係数 --- 0.52以上

また、このときの危険度(全体に対してすべりやすいと評価された割合)は、30%であった。

②歩きやすさの官能試験の結果、歩きやすいすべり抵抗値は、次の範囲であることが分かった。

- 全被験者におけるBPN値 ----- 55以上
- 高齢者におけるBPN値 ----- 57以上
- 全被験者における静止摩擦係数 ---- 0.7以上
- 高齢者における静止摩擦係数 ---- 0.7以上

③道路勾配部における最低限必要なすべり抵抗値として、BPN値と静止摩擦係数における範囲を示すことができた。

## 参考文献

- 1)山田優、田辺佳彦、三瀬貞：歩道舗装路面の所要すべり抵抗に関する一研究、  
交通科学 Vol.18,No1、pp61-65、1988.
- 2)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.
- 3)彌田和夫、村井哲夫、立間康裕、山田優：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 No550/V-33、pp205-212、1996.11.
- 4)田中輝栄、内田喜太郎：歩行者系道路舗装のすべりやすさの評価、  
土木学会第44回年次学術講演会概要集、V-8、pp70-71、1989.
- 5)池田拓也、谷口聡、小森谷一志：歩行者系舗装の歩きやすさの評価手法に関する研究、  
土木学会舗装工学論文集、第2巻、1997.12.
- 6)牧恒雄：歩道用摩擦係数測定試験機に関する研究、  
土木学会第49回年次学術講演会概要集、V-3、pp6-7、1994
- 7)鍋島益弘、山田優：歩行者系弾性舗装における適正な硬さ範囲について、  
第23回日本道路会議、一般論文集 C、pp328~pp329、1999.10.

## VERIFICATION IN THE FLAT PART AND THE INCLINATION PART ABOUT THE SKID-RESISTANCE VALUE TO THE GENERAL WALKING AND THE AGED PEOPLE WALKING

Masuhiko NABESHIMA and Masaru YAMADA

As the present situation concerning the welfare in my country, domestically, the rapid aging society which has never been experienced is progressing, and also internationally, to build the environment that the disabled person can do social participation aggressively becomes urgent social request.

In this research, to service the environment to live with the aged people and the disabled person, we verify "the slip resistance in the aspect of the walkway pavement" from the inside of the basic walkway environment, and we verify about these from the viewpoint of two of the general walking and the aged people walking.

- ① The proper range about the slip resistance value which is necessary for the minimum walking
- ② The proper range about the slip resistance value which is easy to walk
- ③ The proper range about the slip resistance value which is necessary for the walking of the road inclination part