

投稿論文(和文報告)

**TECHNICAL
REPORT**

歩行者系道路舗装のすべり抵抗基準に関する研究

彌田和夫¹・村井哲夫²・立間康裕³・山田 優⁴

¹正会員 工修 大阪市建設局道路建設課長 (大阪市北区梅田1丁目2番2号)

²大阪市建設局施設整備部長 (大阪市北区梅田1丁目2番2号)

³湊町開発センター企画部次長 (大阪市浪速区湊町1丁目4番1号)

⁴正会員 工博 大阪市立大学教授 土木工学科 (大阪市住吉区杉本3丁目3番138号)

都市や道路の快適性を向上させるため、歩道や歩行者専用道路などの歩行者系道路にデザインや材質に工夫を凝らした新しい舗装材料が導入されてきている。これらの材料の中には、景観設計上の配慮から表面を研磨したものも多く、歩行時のすべり抵抗に問題のある舗装も見られる。これは設計に用いるすべり抵抗値が確立していなかったことに最大の原因がある。このため、歩行者系道路舗装のすべり抵抗値について研究を行った。まず、すべり抵抗試験機 BPST 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歩行者のすべりやすさの感覚を把握した。これらをもとに、舗装材料のすべり抵抗値について検討を加え、望ましいすべり抵抗値を示した。

Key Words : slip-resistance, pedestrian road, pavement, BPST

1. まえがき

歩行者系道路は当初地区交通計画において歩行者が車よりも優先する道路の名称として用いられた¹⁾。その後、その定義は徐々に拡張され、今日では遊歩道、歩行者専用道路など、歩行者のための専用道路や、歩行者に配慮した設計がなされた幹線道路の歩道など、歩行者の快適性、安全性、利便性などに着目して整備された道路を指す名称として使用されている²⁾。歩行者系道路では、緑化や無電柱化などの手法が導入され、個性的で特徴のある道路の整備が進められている。舗装にも様々な意匠をこらしたものが導入されるようになり、タイルやれんが、自然石や人造石などの舗装も増加してきている。

しかし、歩行者系道路の整備を進めるにともない、道路における景観設計手法や空間設計手法、あるいは舗装の設計基準や緑化基準など検討すべき課題も顕在化してきている。舗装路面のすべり抵抗もアスファルト舗装やコンクリート舗装の歩道では従来あまり注目されなかった問題であるが、新たな舗装材料の導入にともない検討すべき課題となってきた。歩行にともなうすべり抵抗には2つの側面があり、すべり抵抗が小さいとすべりやすく、大きいとつまづきやすくなる。しかし、現状を見るとまず「すべりやすさ」についての研究を行うことが求められている。

そのため、東京都や大阪市などで各種の調査が行われ、それらの結果をもとに1992年に改訂されたアスファルト舗装要綱³⁾において、望まれるすべり抵抗の下限値が

示された。以下では、主に大阪市において実施された調査データをもとに、歩行者系道路舗装のすべり抵抗について考察した結果を述べる。

2. 本研究の背景と目的

既往の研究では摩擦の力学からのアプローチと歩行者の感覚値からのアプローチの2種類の研究が行われている。

前者の場合、摩擦に関するクーロンの法則が適用される。この法則は固体間でかつ乾燥状態のときに一意的に摩擦係数が求められるとする法則である。この法則にもとづく摩擦係数を求めるには歩行者が履物の底を介して路面に加える力を求める必要がある。山田ら⁴⁾は合板に垂直バネと水平バネを取り付けた路面反力測定装置を用いた歩行実験を行い、歩行者が装置の上を歩いた時の水平分力と垂直分力を求め、摩擦係数を求めている。その結果、湿潤時におけるすべり摩擦係数で0.34、BPNで31以上を確保すべきことを提案している。しかし、黒田ら⁵⁾は舗装材料で斜面を作り、その上に履物底を載せ、これに載荷した状態で履物底と舗装材料間の摩擦係数を求め、載荷重を変化させると摩擦係数が0.1~0.2程度変化するとの結果を、また矢野ら⁶⁾も履物底の材料が変われば、摩擦係数が0.1~0.3程度変化するとの結果を得ており、歩行者や履物の多様性を考えれば、摩擦力学から必要とするすべり抵抗値を決定することは困難であると考えられる。

一方、後者は路面のすべりやすさに対する歩行者の感覚からすべり抵抗基準を求めようとするもので、歩行者の感覚を求めるために官能試験が行われる。東京都⁹⁾では、被験者が実際に歩いた時のすべりやすさの程度を5段階の尺度で評価させ、すべりやすさの目安としてBPN 40以下はすべりやすく、BPN 50以上はすべりにくいとの結論を得ている。また、建築における分野では小野ら⁷⁾が建物の床のすべり抵抗基準を求めている。小野らが新たに開発したすべり抵抗試験機(O-Y・PSM)により床のすべり抵抗係数C.S.Rを測定し、これと被験者を歩かせた時のすべりやすさの感覚を比較し、すべり抵抗係数には安全性と快適性からみた最適値と許容値があることを示している。例えば住宅床の場合、すべり抵抗係数C.S.Rの最適値として0.36~0.42、許容値として0.30~0.46を提案している。このように下限値のみでなく、最適値や許容値を領域で示しているが、この基準を道路上に用いるにはすべり抵抗試験機の取り扱いや湿潤状態での調査など研究の余地が残されている。

本研究では、歩行者、履物、舗装のそれぞれの多様性から見て、現段階で複雑な歩行者-履物-舗装路面系の評価を力学からアプローチすることは困難と考え、歩行者を被験者とする官能試験を行い、路面のすべり抵抗と歩行者のすべりやすさの感覚との関係を調査し、すべり抵抗基準の検討を行った。

3. 歩行者系道路舗装のすべり抵抗値

歩行者系道路舗装には多様な舗装材料が使用されており、まずそれらのすべり抵抗値を調査した。

(1) すべり抵抗試験機

路面のすべり抵抗基準を求めるには試験機を定める必要がある。現在我が国において一般的に使用されている試験機は4種類あり、JIS-A 1407による振り子型試験機、同じく振り子型であるが英国製のBPST、円盤が回転するDFテスター、東京工業大学が開発した牽引式のO-Y・PSMがある。本研究では実際の道路上ですべり抵抗を簡易に測定できるBPST(British Portable Skid Resistance Tester)をすべり抵抗試験機として調査を行う。この試験機による測定値は試験機の日盛りで表し、BPN(British Portable Number)と称される。

(2) 舗装材料のすべり抵抗値

すべり抵抗試験機BPSTを用いて、東京都^{9),10)}と大阪市^{9),10)}で測定した歩行者系道路舗装材料のすべり抵抗値BPN(湿潤時)をとりまとめてみると図-1のようになる。この図を見ると、現在使用されている舗装材料のBPNは15~90程度の範囲にあり、かなり広くすべり抵

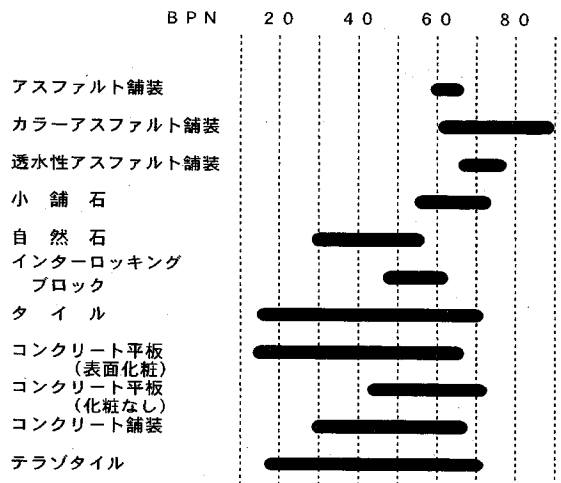


図-1 各種舗装材料のBPN(湿潤時)

表-1 道路上のBPN(湿潤時)の分布

路線名	大阪生駒線		本庄西天満線		扇 町 線	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
全測定点	58.1	2.6	54.8	3.9	52.5	2.7
車道側	58.4	2.4	55.2	4.9	52.8	2.2
歩道中央	59.3	2.2	55.2	3.4	52.4	2.6
民地側	56.7	2.6	54.0	3.0	52.2	3.2

抗値が分布していることが分かる。また、BPN 20~30のあたりに位置するすべり抵抗の小さい材料に自然石、タイル、表面化粧コンクリート平板、コンクリート舗装、テラゾタイル(JIS-A 5415参照)があり、表面仕上の自由度の大きい材料に小さいBPNのものがあることが分かる。

(3) 道路におけるすべり抵抗値の分布

舗装が同一種類の供用中の3路線において歩道のすべり抵抗値を測定した。舗装材料はいずれの路線も表面化粧コンクリート平板である。道路の縦断方向に約2mごとに30の横断面をとり、1断面ごとに歩道中心、車道側、建物側の3箇所測定し、1路線につき90箇所の測定値を求めた。歩道中心は植樹帯を除いた歩道の中央で、車道側と建物側はそれぞれ植樹帯端と道路と民地の境界から50~60cmの位置で測定した。3路線の測定結果を表-1、図-2に示す。これらを見ると、いずれの路線も標準偏差は2~4の間にある。横断位置別の平均値、標準偏差はいずれの路線でも大きな差は見られず、測定位置により測定値が大きく変わることはないと考えられる。

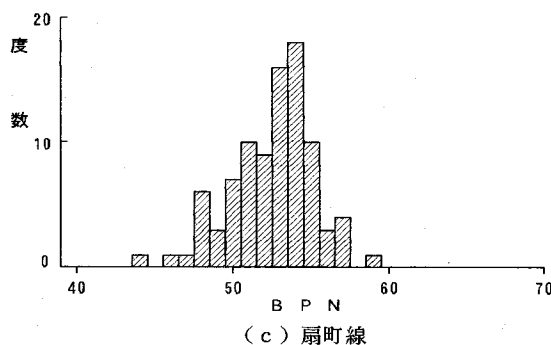
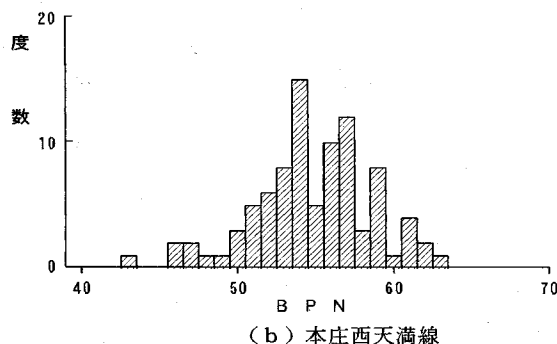
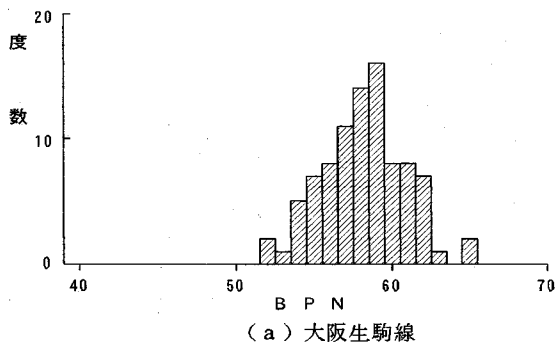


図-2 道路上のBPN (湿潤時) の分布

4. 歩行者のすべり感覚をもとめる官能試験

(1) 官能試験計画

歩行者のすべり感覚を求めするために、試験舗装路において被験者を用いた官能試験を次のように行った。

a) 試験舗装路

官能試験を行う舗装路のBPNは20~60の間で設定する。設定した試験舗装路は表-2に示すように路上7カ所、路外4カ所、計11カ所とした。

b) 被験者の構成

被験者は性別、年齢別を考慮して選定した。その結果

表-2 官能試験に用いた舗装路

番号	箇所	BPN		舗装の種類
		湿潤	乾燥	
1	梅田	20	107	Pタイル
2	西梅田	25	101	塗布式樹脂舗装
3	梅田	25	49	テラゾタイル
4	中崎町	32	100	磁器タイル
5	西梅田	35	95	塗布式樹脂舗装
6	〃	39	98	塗布式樹脂舗装
7	中崎町	40	94	テラゾタイル
8	西梅田	42	100	塗布式樹脂舗装
9	芝田町	43	83	グラニット・タイル
10	扇町	51	93	コンクリート平板
11	西天満	58	109	搬石カラー平板

表-3 官能試験の被験者の構成

年齢	男性	女性	合計	割合(%)
19才以下	1	5	6	4.4
20~29才	14	21	35	25.7
30~39才	12	14	26	19.1
40~49才	12	6	18	13.2
50~59才	7	6	13	9.6
60~69才	24	2	26	19.1
70~79才	0	9	9	6.6
80才以上	0	3	3	2.2
合計	70	66	136	100.0

は表-3のとおり136名となった。

c) 被験者の履物

試験に用いる履物を選定するに際して予備調査を行ったが、その結果路上における履物の分布は図-3に示すとおりであり、またすべりやすさについての履物間の相関も調査してみたが、その結果は表-4に示すように革靴、サンダル、運動靴の間に相関が認められたことから、官能試験では表-5に示すように男性は革靴、女性はハイヒールとローヒールを用いた。

d) 被験者の動作と評価方法

試験舗装路における被験者の動作は「歩行」、「駆け足」、「駆け足後の急停止」の3動作とし、次のように評価を行った。

被験者はまず路面を見たときの印象(第一印象)を調査表に記入し、次に路面が乾燥状態の時に「歩行」、「駆け足」、「駆け足後の急停止」の3動作を行い、それぞれの動作ごとの評価と3動作を総合した「総合評価」を行う。続いて湿潤状態でも同様に3動作の評価と総合評価を行う。評価はいずれも次に示すような5段階の尺度を示し、該当する感覚に○を付ける方法による。

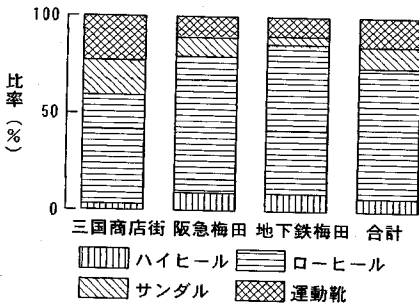
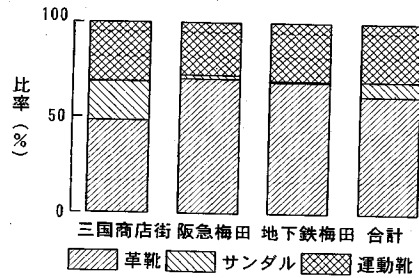


図-3 路上観察による履物の種類と比率の実態調査

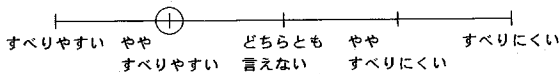
表-4 予備調査におけるすべり感覚の履物間の相関係数

地点	革靴・サンダル	革靴・運動靴	サンダル・運動靴
1	0.90	0.88	0.83
2	0.69	0.73	0.79
3	0.69	0.82	0.87
4	0.91	0.99	0.94

表-5 官能試験の被験者の履物分布

単位：人

	革靴	ハイヒール	ローヒール	その他	計
男性	70	—	—	—	70
女性	—	17	45	4	66



(2) 試験結果と考察

官能試験に用いた舗装路の BPN (湿潤時) を縦軸に、湿潤時の総合評価を横軸にとり、被験者全員の評価の分布を示したのが図-4 である。図中の円の大きさは記入した被験者の実数を表している。この図から次のことが分かる。

① BPN が増大するにともない被験者の評価もすべりや

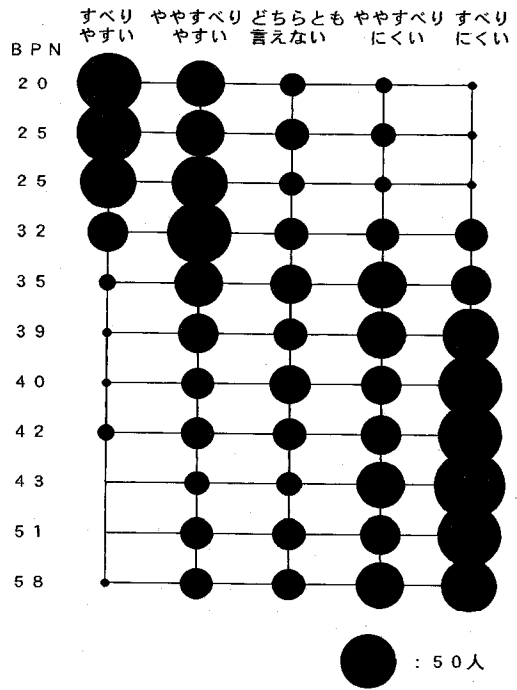


図-4 被験者の評価の分布 (湿潤時, 総合評価)

表-6 評価への得点配分

評 価	得点
すべりやすい	- 2
ややすべりやすい	- 1
どちらとも言えない	0
ややすべりにくい	1
すべりにくい	2

すいからすべりにくいに移行しており、BPST による測定値 BPN は被験者のすべりやすさについての感覚を比較的よく表している。

② BPN 25 から 40 の間は評価が変動する領域であり、BPN 35 では評価はある程度一様に分布し、これを境にすべりに対する評価が逆転してくる。

③ BPN 25 以下と 40 以上では評価があまり大きく変動せず、BPN 40 以上にすべり抵抗性を大きくしてもすべりにくさの感覚はあまり変化しない。

次に、5段階の各評価に表-6 に示すような得点を与え、各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示したのが図-5 である。これを見

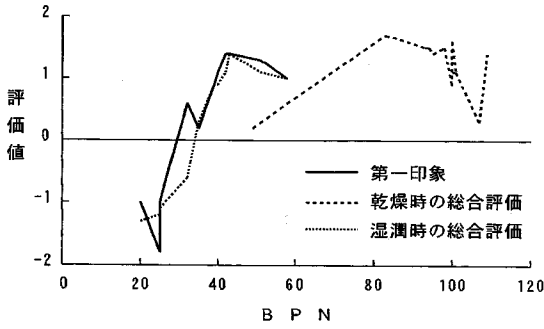
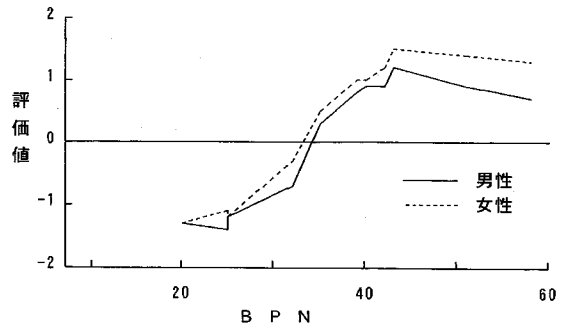


図-5 第一印象の評価値および乾燥時と湿潤時の総合評価の評価値



(a) 性別の評価値

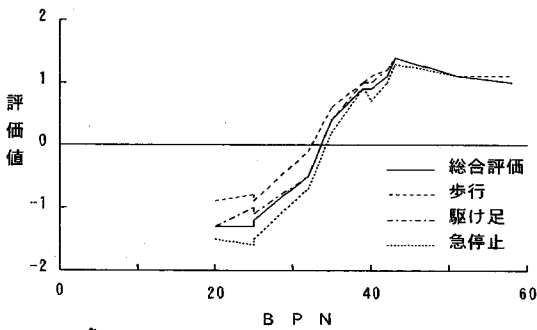


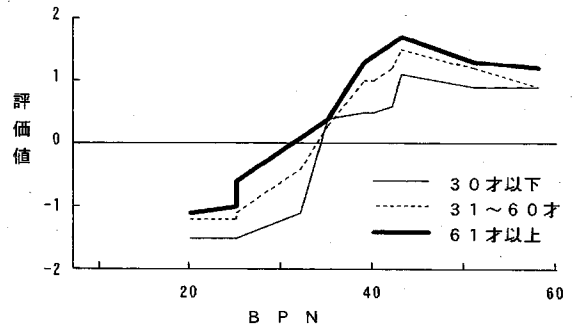
図-6 動作別の評価値 (湿潤時)

ると、まず第一印象の評価と湿潤時の評価はかなり似通っており、BPN 30~35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。

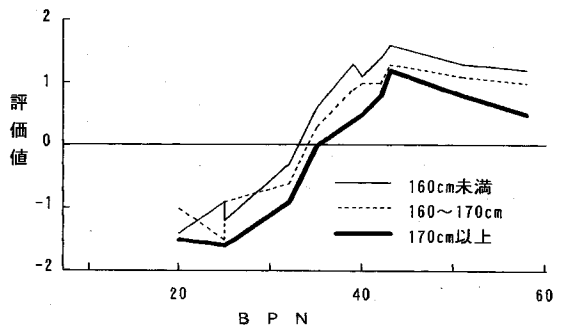
乾燥時はすべて0以上の評価値となっている。したがって、湿潤時の評価に着目してすべりやすさの考察を行えば、乾燥時は特に考慮する必要はないと考えられる。

湿潤時の評価値を動作別に示したのが図-6であるが、これを見ると「歩行」、「駆け足」、「駆け足後の急停止」の順に評価値が小さくなり、「総合評価」はそれらの中間の評価値となっている。

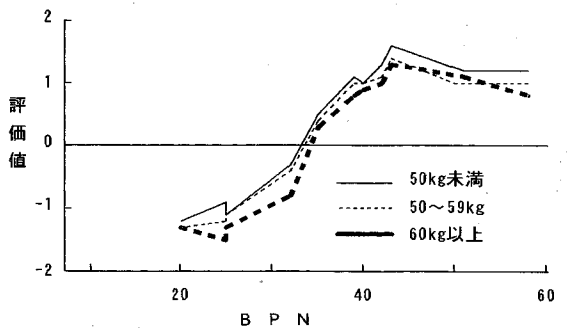
同じく、湿潤時の総合評価を性別、年齢別、身長別、体重別の評価値で示したのが図-7である。属性により評価値が少しずつ異なり、男性と女性では女性の方が評価値が高く、年齢別では61歳以上の年齢が最も高い評価値を示し、30歳以下が最も低い評価値を示している。年齢が高くなるにしたがって、路面がすべりにくくなると評価する傾向にある。身長別では、身長の低い方が高く、体重別では、体重の軽い方が高い評価値を示している。いずれの属性もBPN 30~35の間で評価値0と交わり、BPN 40を越えたあたりまでは評価値が増加し、その後はやや減少に転じる。図-4を見ると分かるように、



(b) 年齢別の評価値



(c) 身長別の評価値



(d) 体重別の評価値

図-7 属性別の評価値 (湿潤時)

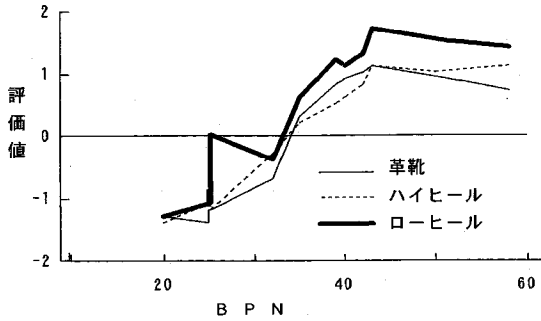


図-8 履物別の評価値

BPN が 40 を越えると被験者の評価の分布は大きく変化せず、評価値もあまり変化しない結果となっている。

履物別の評価も図-8 に示すように、ローヒールが最も高い評価値となっており、当初すべりやすいと考えていたハイヒールは革靴と大差ない評価となっている。また、動作別、属性別の評価値と同様にいずれの履物も BPN 30~35 の間で評価値 0 と交わり、40 を越えたあたりで評価値が最大となる。

以上のように、湿潤時の総合評価を用いて、道路上での動作別、被験者の属性別、履物別にすべりやすさの評価を行ったが、特にすべりやすいと感じるグループはなく、一般的な歩行者を対象としてすべり抵抗値を決定する場合には BPN 40 (湿潤時) を確保すればよいと考えられる。

(3) すべり抵抗の分布を考慮した評価

以上の検討に加えて、表-1 の道路上のすべり抵抗の分布と官能試験結果より得られたすべりやすさの分布を用いて、すべり抵抗値の検討を行った。検討の方法は次のとおりである。

設計すべり抵抗値 μ_c でもって整備された区間におけるすべり抵抗値 μ の分布を $P(\mu_c)$ とし、 μ に対するすべりやすさの評価を $\phi(\mu)$ とすれば、歩行者が整備区間全体に対して感じるすべりやすさの比率 $\Phi(\mu_c)$ は式(1) のように求められる。

$$\Phi(\mu_c) = \sum \phi(\mu) \cdot P(\mu_c) \cdot \Delta\mu \quad (1)$$

$\Phi(\mu_c)$ は整備区間全体のすべりやすさを表す値となることから、設計評価値と称することにする。

$\phi(\mu)$ には官能試験の結果を、 $P(\mu_c)$ には道路におけるすべり抵抗の調査結果を用いる。

官能試験の実施に際しては被験者に予めすべりやすさの試験であることを説明し、試験に臨ませている。その結果、試験の時は常に「すべるのではないか」との先入観をもって行動し、判断している可能性がある。したがって「どちらとも言えない」と感じた場合に「ややすべり

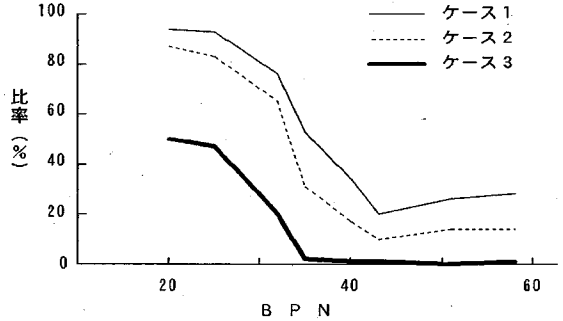


図-9 すべりやすいと評価した被験者の比率 $\phi(\mu)$ (湿潤時、総合評価)

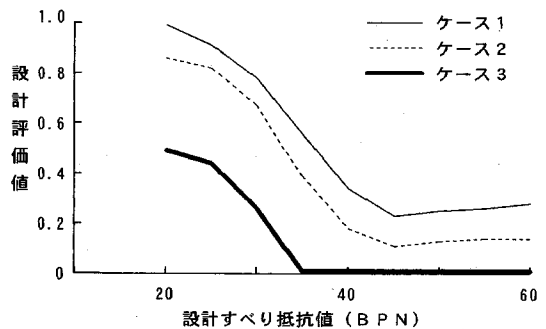


図-10 設計評価値 (湿潤時、総合評価)

やすい」と記入する可能性や、「ややすべりやすい」と感じた場合に「すべりやすい」と記入する可能性は否定できない。このことを考慮し、湿潤時の総合評価をもとにすべりやすさの感覚値の分布 $\phi(\mu)$ を次のように 3 ケース設定した。

ケース 1 : 「すべりやすい」, 「ややすべりやすい」, 「どちらとも言えない」の合計

ケース 2 : 「すべりやすい」, 「ややすべりやすい」の合計

ケース 3 : 「すべりやすい」のみ

このようにして求めた感覚値の分布を図-9 に示す。道路上におけるすべりの抵抗値の分布は正規分布とする。すべり抵抗値 μ_c は BPN 20~60 (湿潤時) の間で 5 BPN ごとに設定し、設定した BPN を分布の平均値とする。標準偏差は表-1 に示す 3 路線の調査結果を参考に $\sigma=3$ とする。計算の結果が図-10 である。なお、官能試験では 20 未満と 58 以上のすべり抵抗の感覚値は得られていないが、BPN 20 未満は 20 を、BPN 58 以上は 58 の値を用いる。

いずれのケースを見ても、全体の傾向は共通しており、BPN の小さいところでは設計すべり抵抗値が大きくなるに伴い設計評価値は減少して行く、すなわちすべりに

対する安全性は増加して行くが、BPNがある程度高くなると、設計評価値は最小値を示し、その後横ばいかやや上昇に転じる。BPN 40 ではいずれのケースも最小値に近い設計評価値であり、これ以上すべり抵抗を大きくしても評価はあまり変わらず、設計すべり抵抗値をBPN 40 にすれば、すべり抵抗は問題ないと判断される。BPN 30 では、ケース 1 では 80%強の人が、ケース 2 では 70%強の人が、ケース 3 では 30%弱の人がすべりに対して危険であると感じている。このように BPN 30 はケースにより判断の分かれるところである。BPN 20 ではすべてのケースについて 50%以上の人がすべりやすいと感じており、危険な値と判断される。この結果から見ても、BPN 40 が望ましいすべり抵抗値と判断される。

5. まとめ

歩行者系道路舗装のすべり抵抗基準を検討するために、BPST をすべり抵抗試験機に用い、舗装材料と道路上のすべり抵抗の分布を求めるとともに、官能試験を行い歩行者のすべりやすさの感覚値を求めた。これらをもとに、すべり抵抗基準について考察を行った。その結果を以下にまとめる。

(1) 現在使用されている材料の BPN は 15~90 の間に分布し、本研究の成果である望ましいすべり抵抗値 BPN 40 よりも小さいすべり抵抗の材料が使用されている。今後、これらの材料を使用する際にはそのすべり抵抗を慎重に検討する必要がある。

(2) 性別、年齢別の属性を考慮した 136 名の被験者をもって、11 カ所の試験舗装路で官能試験を行った。試験舗装路では、被験者が路面を見た時の第一印象のすべりやすさの評価、路面乾燥時に試験路上で「歩行」、「駆け足」、「駆け足後の急停止」の 3 種類の動作を行った時のすべりやすさの評価とこの 3 種を総合した「総合評価」を 5 段階の尺度で求めた。同様に湿潤時のすべりやすさの評価も求めた。それらの結果を被験者数を考慮した加重平均値で検討したところ、第一印象の評価と路面湿潤時の評価はよく似通っており、いずれも BPN 30~35 の間で「すべりやすい」から「すべりにくい」に移行している。また、BPN 40 を越えたあたりで評価が最大となる。乾燥時は湿潤時よりも BPN が大きくなり、湿潤時のすべり抵抗を検討しておけば、乾燥時は特に検討する必要はない。

(3) 官能試験結果を、試験路上での動作別、被験者の属性別、履物別に評価したが、いずれの評価も BPN 30~35 の間で「すべりやすい」から「すべりにくい」

に移行し、また BPN 40 を越えたあたりで評価が最大となる。したがって、一般的な歩行者を対象とした場合、特にその動作、属性、履物を考慮する必要はない。

(4) 設計すべり抵抗値に対する整備区間全体のすべりやすさを、本研究でもとめた道路上でのすべり抵抗の分布とすべりやすさの感覚値の分布から評価した。その結果、BPN 40 以上に設計すべり抵抗値を大きくしても路面全体の評価はあまり変化せず、BPN 40 を設計すべり抵抗値として採用できる。また、BPN 30 は官能試験結果の解釈により安全か危険かの判断の分かれるところである。BPN 20 は危険であり設計すべり抵抗値として採用すべきでない。

6. おわりに

本研究は大阪市建設局が実施した調査をもとに筆者らが考察を加えまとめたものである。研究に際しては東京農業大学の牧恒雄教授の指導協力を得た。感謝の意を表す。また、官能試験の実施に際しては多くの市民の協力を得た。これらの方々にも感謝したい。

参考文献

- 1) 彌田和夫：歩行者系道路（コミュニティ道路）を設置して、道路セミナー、Vol. 13, No. 11, pp.26~33, 1980.11.
- 2) 日本道路協会：アスファルト舗装要綱、pp.172~175, 1992.
- 3) 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, No. 1, pp. 61~65, 1988.
- 4) 黒田 宏、巽 崇、佐々木三男：カラーコンクリート歩道平板の滑り抵抗試験について、舗装、Vol. 14, No. 4, pp.13-17, 1979.4.
- 5) 矢野俊男、美馬定男、坂部道宣：歩道における滑り抵抗について、大阪市土木局業務論文報告集第 2 巻、pp. 104~111, 1977.
- 6) 田中輝栄、内田喜太郎：歩行者系道路舗装における快適性と安全性の評価、東京都土木技術研究所年報、pp. 15~26, 1989.
- 7) 小野英雄、須藤 拓、武田 清：床のすべりの評価指標および評価方法の提示、日本建築学会構造系論文報告集 No. 356, pp.1~8, 1985.10.
- 8) 達下文一、笹岡弘治、田中輝栄：歩行者系道路舗装の総合評価、東京都土木技術研究所年報、pp.15~23, 1986.
- 9) 大阪市建設局：舗装のすべりに関する調査業務（室内試験）報告書、p.8, 1988.3.
- 10) 大阪市建設局：歩行者系道路舗装材の滑り抵抗調査報告書、p.27, 1992.3.

(1996.2.8 受付)

STUDY ON THE CRITERION OF SLIP-RESISTANCE FOR PEDESTRIAN ROAD PAVEMENT

Kazuo YADA, Tetsuo MURAI, Yasuhiro TATEMA
and Masaru YAMADA

Some of various materials for pavement are polished with their surface for better appearance, which causes a problem in slip-resistance. The biggest reason for this problem is placed on that a numerical standard of slip-resistance for design has not been established yet. In this study, we first investigated slip-resistance of existing roads with a test machine called BPST, and then, interviewed pedestrians on the walking condition and their feelings for different materials. Based on the above result, a discussion was made over the numerical standard of slip-resistance for pavement materials, and we came to show the minimum resistance.