

高齢者の歩行特性とブロック系舗装の 目地部許容段差に関する考察

久下晴己¹・國府勝郎²・秋山哲男³

¹正会員 日本道路株式会社 品質システム部 (〒146-0095 東京都大田区多摩川二丁目11-20)

²フェロ 工博 東京都立大学教授 工学研究科土木工学専攻 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

³正会員 工博 東京都立大学助教授 工学研究科土木工学専攻 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

本研究は、高齢者が歩道においてつまずきによる自損事故を起こさないブロック系舗装の目地部段差を検討したものである。本研究では、高齢者の歩行特性を把握するための評価実験および目地部段差の測定を行い、これらの結果を基にして、高齢者が安全に歩くことのできる目地部許容段差を提案した。すなわち、つま先の歩行軌跡は4次曲線であるが、解析の都合上これを3次曲線で近似し、高齢者の都心地区における1回の歩行距離約250mの範囲で、つまずきを起こさないためのブロック系舗装の目地部段差の標準偏差は、2.4mm以下とすることが望ましいことを提案した。

Key Words: elderly people, walking property, accident owing to stumble, pavement structure, standard deviation of faults at joints

1. まえがき

わが国は他の先進諸国に比べ高齢化のスピードが極めて急激であり、道路の分野においても、高齢者に配慮した道路はいかにあるべきかについての検討が行われている。

このような観点に関する既往の研究としては、歩道路面の凹凸、すべり、硬さ、および歩道の幅員、縦横断勾配等、道路を構成する因子を対象とした実験や被験者による官能実験によって最適な特性値を見出そうとするものが多い。

高齢者の歩行中の自損事故は転倒によるものが多く、転倒の原因はほとんどがつまずきあるいはすべりである。本研究は、高齢者の歩行の安全の観点から、つまずきによる自損事故を低減することを目的とし、その物理的原因と考えられる歩道路面の凹凸、特に歩道用平板やブロックなどのプロファイルとしての目地部の段差について検討したものである。また、高齢者が歩いて困ることとしてあげている歩車道境界や横断歩道橋の階段の段差についても一部検討した。

つまずきは、歩行運動が凹凸などにより突然拘束されるために発生し、予測や意識していない状態で重心が変化するので、転倒するものと考えられる。高齢者の場合には、これが原因となって寝たきりになるなど、

重大な事故となる可能性が大きい。したがって、路面の凹凸の許容値を明らかにすることは、高齢者の歩行の安全確保において、さらに、ブロック類の敷設時の施工誤差、供用中のブロック系舗装におけるつまずきに着目した補修の要否の判断資料として重要と考えられる。屋内における転倒事故に関しても、その実態について調査されている¹⁾が、つまずきの観点から凹凸の許容値について研究した事例はない。

本研究は、高齢者の自損事故の実態を調査し、高齢者の歩行解析とブロック系舗装の目地部段差の実態調査結果に基づいて、つまずき確率から目地部許容段差を検討したものである。

2. 研究の背景

図-1に示した東京消防庁の交通事故以外の一般負傷者のデータ²⁾によると、転倒または転落に起因するものは、高齢者では83.7%であるのに対し、非高齢者は52%となっており、明らかに高齢者の転倒、転落事故が多い。なお、転落とは、横断歩道橋の階段などを踏み外すことによって発生するものである。また、図-2に示した交通統計³⁾によると、65歳を過ぎると歩行中の負傷者数の割合が急激に高くなっている。こ

高齢者（65歳以上）（サンプル数 8,902人）

転倒	転落	その他
69.4%	14.3%	16.3%

非高齢者（65歳未満）（サンプル数 34,052人）

転倒	転落	その他
39.2%	12.8%	52.1%

図-1 一般負傷者に対する転倒・転落者の割合（1年間）

表-1 高齢者の自損事故と怪我なし転倒の発生状況
単位：人（%）

	男性	女性	合計
自損事故	42(8.5)	73(13.8)	115(11.3)
怪我なし転倒	71(14.4)	84(15.6)	155(15.2)
その他	39(7.9)	50(9.4)	89(8.7)
無し	341(69.2)	527(60.7)	661(64.8)
合計	493(100)	527(100)	1020(100)

(負傷者/人口10万人)

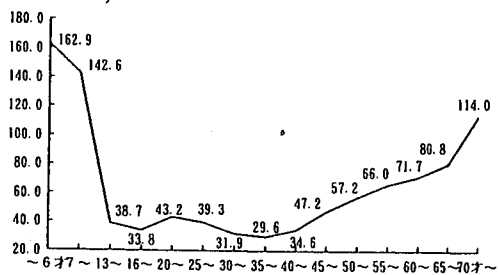


図-2 歩行中における年齢層別人口10万人
当たり負傷者数（1993年）

これらのことから、高齢者では歩行中の負傷が多く、負傷の原因は転倒および転落によるものが多いと考えられる。

屋外、特に道路・公共広場（駅前広場・バス停留所）等で発生した60歳以上を対象とした高齢者の「自損事故」、「怪我なし転倒」のアンケート調査結果⁴⁾では、つまずきおよびすべりに起因するものが多い。なお、「自損事故」は、高齢者自身が自ら転倒・転落等によって怪我をする事故、また、「怪我なし転倒」は、事故まで至らなかった怪我のない転倒・転落等と定義している。

表-1は、1年間の「自損事故」と「怪我なし転倒」の発生状況を示している⁴⁾。「自損事故」を起こした人はアンケート回答者の11.3%、「怪我なし転倒」は回答者の15.2%と約3割の人が何らかの転倒等の経験者である。「自損事故」の発生場所は道路上が57%、階段が22%、その他が20%であり、「怪我なし転倒」の発生場所は、道路上67%、階段12%、その他12%であった。表-2は事故形態別に自損事故と怪我なし転倒の割合を示したものである⁴⁾。この表から、「自損事故」ではつまずきによる転倒が全体の64%、すべりによる転倒が全体の20%であり、この2つで8割以上を占めている。「怪我なし転倒」では、つまずきによる転倒が70%、すべりによる転倒が28%であり、この2つでほとんどを占めている。

表-2 原因別自損事故・怪我なし転倒の発生状況
単位：人（%）

発生原因	自損事故			怪我なし転倒 合計
	男性	女性	合計	
転落	5(13)	3(4)	8(7)	-
つまずき転倒	21(57)	46(68)	67(64)	94(70)
すべり転倒	6(16)	15(22)	21(20)	37(28)
衝突	4(11)	2(3)	6(6)	2(2)
その他	1(3)	2(3)	3(3)	-
合計	37(100)	68(100)	105(100)	133(100)

なお、屋内における自損事故でも、転倒が60歳台で31%、70歳台で49%、80歳台で66%と発生原因の1位を占めているとともに、高齢化するほど転倒の割合が増大している¹⁾。

高齢者では、歩行中のつまずきやすべりに起因する自損事故が多いことから、高齢者が自損事故を起こさないような路面特性を検討するために、高齢者の歩行特性を調査するとともに、東京都内のブロック系舗装の歩道の目地部段差を実測した。また、多くの高齢者が歩いて困ることとして、歩車道境界における段差および横断歩道橋の昇り降りをあげている⁵⁾ことから、歩行特性の調査の中に階段の昇り降りを含めた。なお、本研究では、歩車道境界および横断歩道橋などの段差を階段、ブロック系舗装の目地部段差を段差と呼んで区別している。

3. 高齢者の歩行特性

(1) 歩行解析方法

歩行解析の実験装置には、3次元運動解析装置 ELITE および歪ゲージ式3分力床反力計測装置を用い

た。3次元運動解析装置は被験者に取り付けた赤外線反射マーカの動きを4台の赤外線発光カメラで捕らえ、3次元空間位置を算出するものであり、歩行時のつま先高さ、ストライド長を計測した。なお、遊脚期における片足の進行方向の水平移動距離をストライド長と定義する。また、3分力床反力計測装置によって、歩行時に足が床に及ぼす鉛直力 F_y 、進行方向の水平力 F_x 、進行直交方向の水平力 F_z を計測した(図-3参照)。本研究では、 F_x を F_y で除した値を摩擦係数と定義する。なお、3次元運動解析装置、3分力床反力計測装置によって計測できる進行方向の長さは2.4mである。また、床反力計測装置の床面は硬質ゴムである。

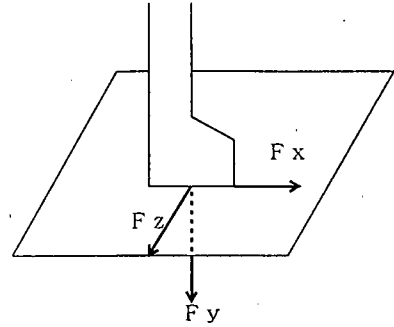


図-3 床反力計測装置によって計測される3分力の構成

(2) 実験条件

a) 実験の要因、水準

実験の要因は、歩行路の縦断勾配、階段の昇降高さとし、その水準は、縦断勾配を0%、5%、8%、13%、階段高さを5cm、10cm、15cm、20cm、25cmとした。歩行路の縦断勾配および階段高さは、所定の大きさになるよう木材で製作した。

b) 被験者

被験者は、60歳台の男女各10名、および比較として20歳台の男女各5名とした。高齢者は65歳以上と定義されており、さらに加齢した者の挙動の把握も重要であるが、調査の都合上60歳台とした。60歳台の男女の人数を10名ずつとしたのは、男女差を見るためには最低必要な数と考えたことによる。

被験者の平均年齢、平均身長および握力の範囲を表-3に示す。古名等は、都市部の65~69歳の平均握力は、男性で36kgf、女性で21kgfであると報告しており⁹⁾、握力は高齢者の体力と相関があると言われていたことから、本実験の被験者は、都市部の高齢者の平均的な体力を有しているものと考えられる。

c) 靴の種類

本実験における被験者の靴はスニーカーとした。スニーカーを選んだのは、高齢者では革靴よりスニーカーをはく機会が多いと考えられたこと、またスニーカーの方が同じ靴の種類でサイズの範囲が大きく、すべての被験者の条件を同一とすることができるからである。靴底の材質は、天然ゴム50、合成ゴム50からなっている。

なお、革靴またはスニーカーをはいた場合のつま先高さは、高齢者および青年とも、革靴の方が20%高くなるとの報告がある⁷⁾。

表-3 被験者の特性

被験者		特性	平均年齢 (歳)	平均身長 (cm)	握力 (kgf)
60歳台	男性 10名		66.2	64.2	21~45 (平均35)
	20名	女性 10名	62.2		
20歳台	男性 5名		24.4	24.3	—
	10名	女性 5名	24.2		

(3) 実験結果

a) 歩容

被験者の歩行中の肩、腰、膝、くるぶしおよびつま先高さの変化(歩容)の一例を図-4に示す。遊脚期のつま先高さの変化を模式的に示したのが図-5であり、つま先高さの変化は2つの極大値と1つの極小値を有する4次曲線となる。図-5の点Sから点Hまでにおいて、特につま先高さが小さいのはSの直後とLの前後であるが、Sの直後は体重の重心がもう一方の足に移行する過程であり、Lの前後は体重の重心をこれから支えようとしているため、Lの前後がより危険であり、Lに特に注目して最低つま先高さとして定義する。

b) ストライド長

被験者グループごとのストライド長の平均を図-6に示す。平均ストライド長は、高齢者より青年の方が大きく、高齢者では女性より男性の方が大きい。青年では、男性の平均身長は女性より大きいにもかかわらず、本実験の範囲では、男性の平均ストライド長は女性より小さくなっている。

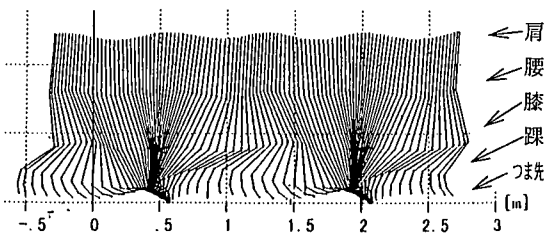


図-4 歩行時のスティック図

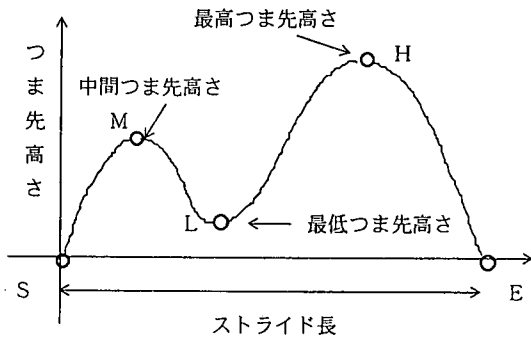


図-5 つま先高さの変化の模式図

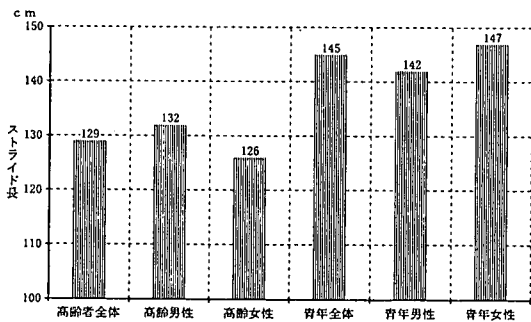


図-6 被験者グループごとのストライド長

表-4 被験者グループごとの最低つま先高さ

被験者グループ	平均値 (mm)	標準偏差 (mm)	
高齢者	全体	2.2	6
	男性	2.2	7
	女性	2.1	5
青年	全体	3.0	7
	男性	2.7	8
	女性	3.3	4

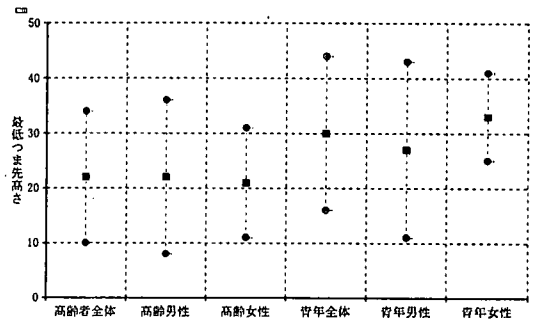


図-7 被験者グループごとの最低つま先高さ (平均値と±2σの範囲)

超えるとならずき易くなることが考えられる。高齢者では、10mmの路面凹凸があった場合、2.3%の人がつまづくことになる。なお、イギリスにおいては、障害者 (disabled people) の歩行安全性を考慮して、不陸の大きさは10mm以下にすべきであると報告されている⁸⁾。

縦断勾配0%、5%、8%、13%における最低つま先高さを図-8に示す。高齢者、青年とも、勾配のあるところでは最低つま先高さが勾配のないところより大きくなり、その傾向は、縦断勾配が大きくなるほど大きい。また、最低つま先高さは、勾配の上りより下りの方が大きくなる。

これらの傾向は、長さ2.4mの歩行路を歩いたときのものであり、長距離を歩いたときには異なる傾向を示す可能性もある。しかし、3次元運動解析装置の制約上長距離での測定は不可能なため、この傾向を基にして以後の解析を行うこととした。

d) 階段を降りるときの鉛直力

高さ5cm、10cm、15cm、20cm、25cm、奥行き130cm、幅90cmの1段の階段を1回の歩行で昇り、向こう側へ降りたときに、足が床に及ぼす鉛直力の体重に対する割合を図-9に示す。水平面を歩くときでも体重の約120%の鉛直力を床に及ぼしているが、階段の高さが大きくなるにしたがって鉛直力は増大する傾向があ

c) 最低つま先高さ

被験者グループごとの最低つま先高さの平均値と標準偏差(σ)を表-4、最低つま先高さの平均値と±2σの範囲を図-7に示す。2σを採用したのは、歩行時の安全を考えると、できるだけ路面の凹凸を小さくするために3σを採用する必要があるが、路面の凹凸をほとんど許さない施工はできないからである。

高齢者全体の最低つま先高さの平均は、青年全体より小さい。また、高齢者では男女間の差が小さく、青年では男性より女性の方が大きい。

高齢者全体では、最低つま先高さの平均値-2σが10mmであり、青年全体では16mmとなっている。すなわち、高齢者では、路面の凹凸の大きさが10mmを

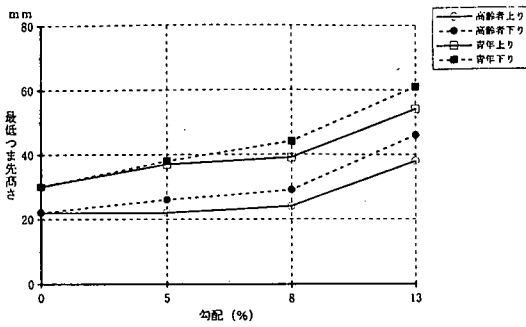


図-8 勾配歩行路における最低つま先高さ

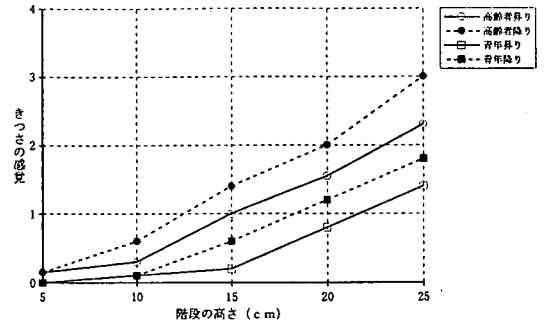


図-10 階段を昇降するときのきつさの程度

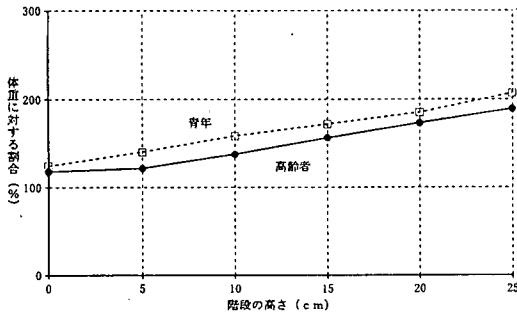


図-9 階段を降りる時の鉛直力

り、階段の高さが 25cm では体重の約 2 倍の鉛直力となる。

階段を昇るとき、降りるときにきつさの程度を、非常にきつい (4 点) から、きつくない (0 点) の 5 段階評価でアンケート調査した結果を図-10 に示す。高齢者は青年より階段の昇降に負担を感じており、高齢者、青年とも階段の昇りより降りるに負担を感じる傾向が認められる。高齢者は、15cm 降りるを少しきつく、20cm 降りるを比較的きつく、25cm 降りるをかなりきつく感じている。したがって、階段の高さは、15cm あるいは 20cm が限界と考えられる。図-9 より、階段 15cm 以上の降りでは、高齢者でも体重の 1.5 倍以上の鉛直反力を足が受けることになるため、これが負担を感じさせているものと思われる。このアンケート調査結果は、1 段だけの階段の昇り、降りるを繰り返したときのものであるが、歩道橋のように階段を連続して歩行する場合には、さらに負担を感じるものと思われる。

なお、古瀬は大学生を被験者として実験を行い、安全性の点から、階段の高さは 18cm 以下が望ましいと報告している⁹⁾。また、立体横断施設技術基準・解説では、階段の高さは 15cm を標準とし、やむを得ない場合 18cm 以下を取ることができるとしている¹⁰⁾。

e) 摩擦力

被験者グループごとの摩擦力比の平均値と標準偏差を表-5 に示す。一般に、推進時の摩擦力比は、制動時より大きい結果となっている。また、高齢者の摩擦力比の平均値は、制動時、推進時とも青年より小さい。したがって、工学的には青年の方がすべりやすいことになるが、事故にはなっていない。高齢者で事故となるのは、体力や俊敏性の欠如に起因するものと考えられる。

本実験に用いた床反力計測装置の床面および被験者の靴底の材質はともにゴムであり、歩行中のすべりは生じないので、水平力はロスなく測定されていると考えられる。路面の摩擦係数がこの歩行解析から得られた摩擦力比より大きな値であれば、すべりは発生しないといえる。したがって、路面に必要な摩擦係数は、推進時の値を考慮すればよいと考えられる。高齢者は路面ですべりによる事故を起こす可能性が非常に高いことから、摩擦係数は、安全を考慮して平均 + 3σ で考えると、0.42 以上の値が必要となる。ちなみに青年に対しては、0.43 以上の値が必要となる。

4. 歩道の目地部段差

(1) 目的

平板舗装、ブロック舗装の目地部段差は、施工時の平板、ブロックの敷設精度、施工後の経時変化によって異なり、段差が歩行時の快適性、歩きやすさにどのような影響を及ぼすかについていくつかの報告が行われている^{11), 12), 13), 14), 15)}。

しかし、目地部段差が歩行時の安全性にどのような影響を及ぼすかについて調べた例はなく、安全上の許容段差を明らかにするために、平板舗装、ブロック舗装の段差を測定した。なお、平板、ブロックは必ずし

表-5 摩擦力比の測定結果

被験者 グループ		摩擦力比		
		平均値	標準偏差	
制 動 時	高齢者	全体	0.204	0.025
		男性	0.213	0.023
		女性	0.195	0.023
	青年	全体	0.231	0.015
		男性	0.235	0.018
		女性	0.226	0.008
推 進 時	高齢者	全体	0.306	0.038
		男性	0.304	0.036
		女性	0.308	0.040
	青年	全体	0.340	0.028
		男性	0.327	0.022
		女性	0.354	0.026

も水平に設置されているとは限らず、目地部付近がせり上がっている場合は、目地部で段差が無くとも、歩行時の安全性に影響を及ぼす可能性があるが、極端に傾いて設置されていることは少ないことから、本研究では目地部段差に着目した。

(2) 対象歩道

段差の測定は、東京都内の道路の歩道に敷設されたコンクリート平板舗装およびインターロッキングブロック舗装の2箇所で行った。コンクリート平板舗装は、寸法 30 × 30cm の平板を延長 150m にわたって敷設されたもので、供用年数 8 年を経過したものである。インターロッキングブロック舗装は、寸法 10 × 20cm のブロックを延長 100m にわたって敷設されたもので、供用年数 6 年を経過したものである。

(3) 測定方法

歩道の目地部段差の測定は、路面に直線の測線 20m を設定し、測線が目地と交差するすべての箇所で行った。すなわち、測定間隔は、平板舗装で 30cm、ブロック舗装で約 10cm となる。段差の測定方法は、インターロッキングブロック舗装の段差試験方法¹⁶⁾に準拠し、ノギスで平板あるいはブロック間の高さの差を、0.05mm まで測定した。なお、測定の進行方向で凸の段差を正、凹の段差を負として区別して表した。既往の研究における段差は、一般に平坦性を対象にしていることが多いので符号の区別を行う必要はないと思われるが、本研究のようにつまずきを対象とする場合には、歩行の進行方向で凸であるか凹であるかの段差の形状は重要となるので、両者を区別して表した。

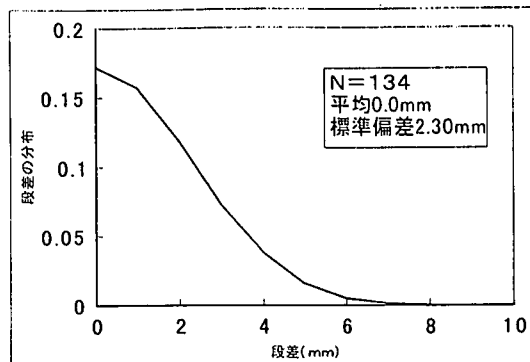


図-11 平板舗装における段差の分布

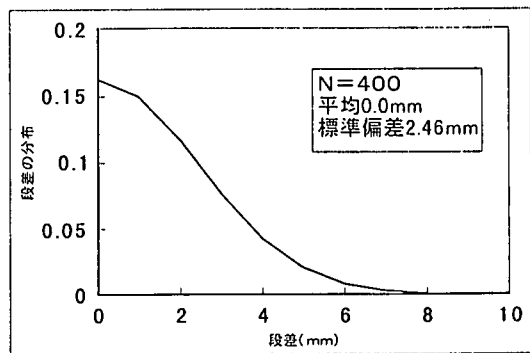


図-12 ブロック舗装における段差の分布

(4) 結果および考察

平板舗装およびブロック舗装の目地部段差の分布をそれぞれ図-11および図-12に示す。それぞれの舗装における正および負の段差分布はほとんど差違が認められず、平均値 0 mm とみなすことができることから、これらの図は正および負の段差の絶対値を平均して表されている。段差の標準偏差は平板舗装で 2.30mm、ブロック舗装で 2.46mm であった。これらの結果は、既往の研究における値とほぼ同等であり^{11), 12)}、ブロック系舗装の一般的な凹凸形状を表しているともみなすことができる。例えば図-11では、高さ 1.5 ~ 2.5mm の目地部段差の分布は、約 10% となる。

5. 目地部許容段差

(1) 検討の概要

つまずきは、歩行中につま先が定常運動をしているとき、つま先の軌跡内に目地部段差などの歩行障害物が位置し、意志に反して突然に歩行運動を行えなくなる状態といえる。ここでは、舗装工学の立場から、歩

行ルートに目地部段差などの路面凹凸がある場合、つま先高さが凹凸の高さより小さいときにつまずくと仮定し、高齢者の歩行特性評価結果および目地部段差測定結果に基づき、高齢者がつまずきにくい目地部許容段差を推定した。

路面凹凸の典型として、意匠を目的とした凹凸、誘導ブロックの凹凸、目地部の段差などがある。しかし、意図的に凹凸を設ける場合には、つまずきに対する配慮から、凹凸の境界は面取りなどがなされており、つまずきの危険性は小さいと考えることができる。一方、舗装用平板やブロックなどは面取りされていない場合もあるが、目地部における段差は路面に対して垂直であることが多く、歩行障害物になりやすい。このようなことから、この研究においては、つまずきの原因となる歩道路面の凹凸としてブロック系舗装の目地部段差に注目した。

なお、つまずきの原因となる目地部段差を検討するにあたっては、目地の開き、あるいはブロック類の表面の傾斜も関係してくるが、本研究では対象としていない。また、図-8より坂道では最低つま先高さは平地より大きくなるので、平地を対象として検討した。

(2) つま先軌跡曲線

歩行時のつま先の軌跡曲線は、図-5に示すように3つの極値を有するので、4次関数で近似できるものと考え、最低つま先高さ(L)、中間つま先高さ(M)、最高つま先高さ(H)、始点(S)および終点(E)を通り、点LおよびMにおいて極値を持つような関数表示を検討したが、整数のべき乗では表現し得ないことがわかった。しかしながら、歩行時のつまずきの検討において重要な点は、最低つま先高さL点である。また、つま先軌跡曲線の点Hから点Eでは、図-13に示すようにつま先の進行方向への移動速度はかなり小さいので、運動が拘束されても転倒することは少ないと考えられる。そこで、つま先軌跡曲線の点Sから点Hまでを3次曲線で近似することとする。高齢者、青年の3次曲線で近似した平均つま先軌跡曲線を図-14、図-15に示す。高齢者、青年とも、つま先軌跡曲線の点Sから図中に示した位置まで、近似曲線はつま先高さにはほぼ一致しており、つまずきの検討の目的には3次曲線で近似して問題ないものと思われる。

高齢者、青年のつま先軌跡曲線の近似式は、次のように表わされる。

$$\text{高齢者 } Y=8.30 \times 10^{-4} X^3 - 1.13 \times 10^{-3} X^2 + 4.15 \times 10^{-1} X \quad (1)$$

$$\text{青年 } Y=5.66 \times 10^{-4} X^3 - 9.64 \times 10^{-5} X^2 + 4.47 \times 10^{-1} X \quad (2)$$

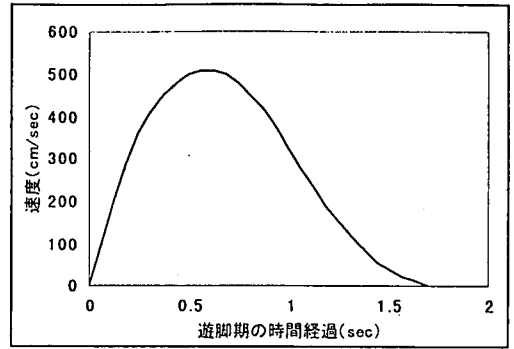


図-13 歩行中のつま先の速度変化の例

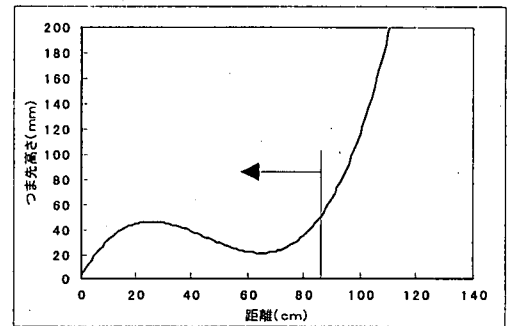


図-14 高齢者の平均つま先軌跡曲線

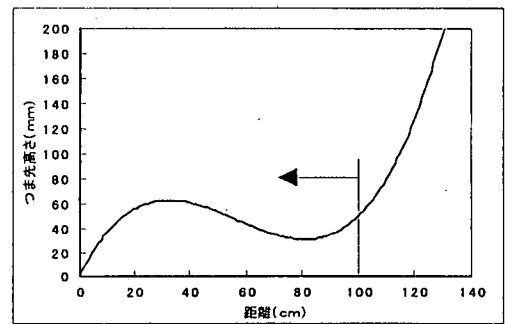


図-15 青年の平均つま先軌跡曲線

ここに、Y：つま先高さ(cm)

X：足が地面を離れてからの進行方向の距離(cm)

(3) ストライド長のつまずき確率

ストライド長区間の目地部段差におけるつまずき確率(P_s)を式(3)のように求めることとする。式において $\times 2$ となっているのは、あるストライド長の区間を、位相差はあるが左右の両脚が移動するためである。

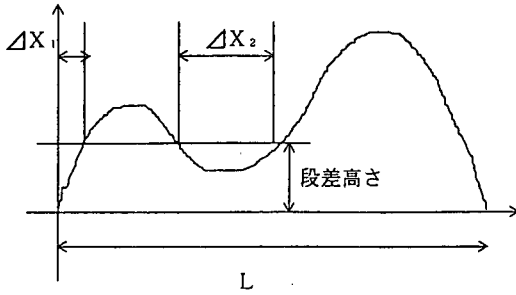


図-16 ストライド長におけるつまずき発生範囲の仮定

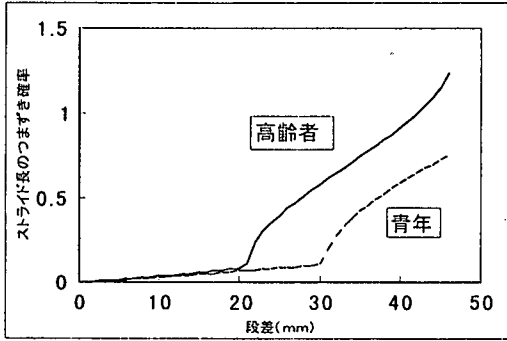


図-17 ストライド長におけるつまずき確率

$$P_s = \frac{\Delta X_1 + \Delta X_2}{L} \times 2 \quad (3)$$

ここに、 P_s : ストライド長のおつまずき確率

$\Delta X_1, \Delta X_2$: 図-16に示されるつま先軌跡曲線が任意の凹凸高さよりも小さくなる範囲の水平距離 (cm)

L : ストライド長 (cm)

図-14, 図-15に基づいて, 式(3)によって凹凸の高さに対する高齢者および青年のストライド長のおつまずき確率を求めた結果を図-17に示す。つまずき確率は, 高齢者, 青年ともそれぞれ, 最低つま先高さ22mm, 30mm以上の段差で急激に増大することになる。

(4) 歩行のおつまずき確率

図-11に示す段差の標準偏差が2.30mmの平板舗装において, 高齢者, 青年が歩行中に段差の凹凸におつまずき確率を計算したのが図-18である。長距離を歩くと, ストライド長におけるつまずき確率が累積されることになる。したがって, 図-18は, 図-11の段差の分布と図-17のストライド長におけるつまずき確率との積で表わされている。図-11は凸の段差の分布を表

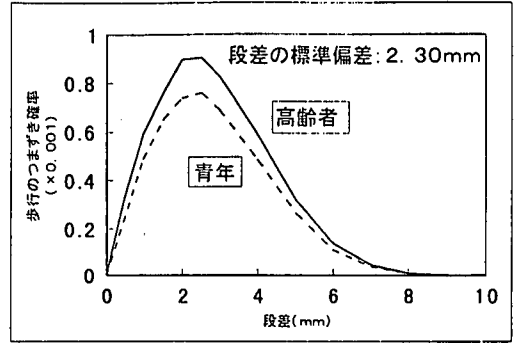


図-18 歩行のおつまずき確率

していたことから, 図-18の歩行中のつまずき確率図の面積は, 段差でおつまずき危険のある確率を表す。段差でおつまずき危険のある確率をおつまずき危険確率と定義する。段差の標準偏差2.30mmの舗装における高齢者のつまずき危険確率は0.0034となる。すなわち本実験の高齢者は, 段差に300回遭遇するうちに1回つまずきことになる。1辺30cmの平板舗装で考えると, 約100m(=0.3m×300)歩くうちに1回つまずきことになる。

段差の標準偏差とおつまずき危険確率の関係を図-19に示す。図-19は, 高齢者と青年について, 段差の分布程度とおつまずきの危険の程度の間接的な関係を表している。正規分布において偏差が3σ以上の範囲は事象が現れないものと考え, このときの危険確率が0.0013以下とすると, 1辺30cmの平板舗装を230m(=1÷0.0013×0.3m)歩く間はつまずきが発生しないことになる。高齢者の都心地区における行動特性を調べた結果では, 1回の連続歩行距離は248mと報告されており¹⁷⁾, おつまずき危険確率が0.0013以下の場合にはほとんどつまずきが発生しないことになる。この場合, 図-19より凹凸の標準偏差は1.2mm以下が必要となる。一方, 日本道路協会では, 街路の建設時の縦断凹凸および一般道路の縦断凹凸の基準値として, 3mプロフィールメータによるσでそれぞれ3.7mm以下および2.4mm以下を提案している¹⁸⁾。平板舗装, ブロック舗装において, 平板あるいはブロック間の高さの差を凸を正, 凹を負として測定して求めた凹凸の標準偏差と3mプロフィールメータによるσは同じ性質のものである。σが3.7mm以下または2.4mm以下の場合, 図-19よりつまずき危険確率はそれぞれ0.006または0.004となり, 248m歩いた場合, 5回あるいは3回のおつまずきが発生するおそれがある。凹凸の標準偏差が1.2mm以下となるようなブロック類の敷設は一般に困難であるが,

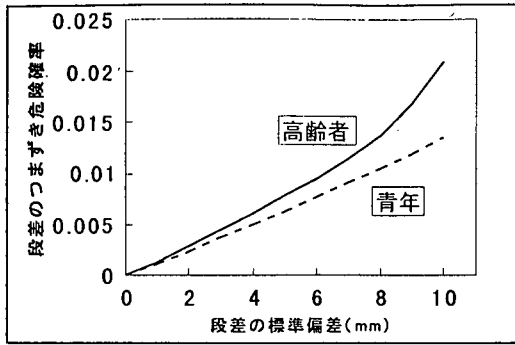


図-19 段差の分布程度によるつまずき危険確率の推定

2.4mm 程度であれば、入念な施工によって達成可能と考えられる。

段差におけるつまずきを考えるときには、平板あるいはブロックの寸法が関係しており、つまずきを発生しにくい平板の寸法は1辺 20cm との報告がある⁹⁾。平板あるいはブロックの寸法が大きい方がつまずく頻度は少なくなるが、平板あるいはブロックの敷設精度、施工後の経年変化によって目地部の段差は大きくなりやすく、寸法を考慮したつまずきの検討については今後の課題である。

6. 結論

本研究は、高齢者の自損事故の実態を調査し、高齢者の歩行解析とブロック系舗装の段差実態の調査結果に基づいて、高齢者がブロック系舗装上でつまずきによる自損事故を起こさない目地部許容段差を検討した。この研究によって得られた結論は以下のとおりである。

(1) 歩行中の遊脚期におけるつま先高さの変化は2つの極大値と1つの極小値を有する4次曲線となり、極小値を最低つま先高さとして定義した。最低つま先高さの平均は、高齢者で 22mm、青年で 30mm であり、最低つま先高さの平均 - 2σ は、高齢者で 10mm、青年で 16mm であった。

(2) 歩行時の摩擦係数は、安全を考慮して平均 + 3σ で考えると、推進時において高齢者で 0.42、青年で 0.43 となり、すべりを発生しないための路面に求められる摩擦係数は、約 0.45 となる。

(3) 階段を降りるときに足が床に及ぼす鉛直力およびきつさの感覚を調べた結果から判断すると、高齢者

にとっての階段の限界高さは 15cm 程度となる。

(4) 平板舗装およびブロック舗装の目地部段差を測定した結果、段差の標準偏差はそれぞれ 2.3mm、2.5mm となった。

(5) つま先の軌跡内に目地部段差などの歩行障害物が入った場合につまずく確率と、実際の歩道における段差の分布から、高齢者が平板舗装またはブロック舗装を歩く時のつまずき危険確率を求める手法を提案した。

(6) 高齢者の都心地区における行動特性から考えると、平板舗装、ブロック舗装などの目地部段差の標準偏差は、1.2mm 以下が必要となるが、施工精度から考えると 2.4mm 以下が望ましい。

謝辞：歩行特性の評価実験にあたっては、神奈川県総合リハビリテーションセンター、リハビリテーション工学研究科、別府政敏氏他の御協力を得たことを記し、ここに厚く謝意を表すものである。

参考文献

- 1) 林 玉子, 高橋 徹: 高齢者における住宅内日常事故の様態と関連要因について, 日本建築学会大会研究協議会, 1987.
- 2) 東京消防庁: 老人の災害と防災環境の実態, 1986.
- 3) 警察庁交通局監修: 交通統計, 1993.
- 4) 秋山哲男, 福島達也, 久下晴己, 蝦名弘樹: 屋外歩行空間における高齢者の自損事故に関する研究, 第 16 回交通工学研究会, 1996.
- 5) 吉田あこ: 高齢化時代の道路と施設計画, 国際交通安全学会誌, Vol. 9, No. 5, pp.36 ~ 44, 1983.
- 6) 古名丈人, 長崎 浩, 伊東 元, 橋詰 謙, 衣笠 隆, 丸山仁史: 都市および農村地域における高齢者の運動能力, 体力科学, 第 44 巻, 第 3 号, pp.347 ~ 356, 1995.
- 7) 久下晴己, 国府勝郎, 秋山哲男: 高齢者の歩行特性に関する一検討, 第 51 回土木学会年次学術講演会講演集第 IV 部, pp.170 ~ 171, 1996.
- 8) The Institution of Highways and Transportation: *Reducing Mobility Handicaps -Towards a Barrier-Free Environment* pp.10-12, July, 1991.
- 9) 古瀬 敏: 階段使用時の安全性確保に関する研究 -特に住宅階段を対象として-, 建築研究報告, 第 109 号, pp.81 ~ 91, 1986.
- 10) 日本道路協会: 立体横断施設技術基準・同解説, 1979.
- 11) 彌田和夫, 稲葉慶成, 伊勢田要一: 官能試験によるブロック系舗装の歩きやすさの評価について, 第 2 回舗装工学講演会講演論文集, pp.189 ~ 196, 1997.

- 12) 彌田和夫, 山田 優: I L B 舗装の目地を歩きやすさの感覚から評価する手法に関する研究, 土木学会論文集, No 613, pp.263 ~ 268, 1999.
- 13) 寺本博明, 牧 恒雄, 村井哲夫, 今村美喜男: 歩行者系道路舗装材の快適性に関する検討 (その1) 凹凸の評価方法について, 第 49 回土木学会年次学術講演会講演集 第V部, pp.98 ~ 99, 1994.
- 14) 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, pp.181 ~ 188, 1997.
- 15) 牧 恒雄, 竹内 康, 松田 誠: 歩道の凹凸評価方法に関する研究, 第1回舗装工学講演会講演論文集, pp.151 ~ 158, 1996.
- 16) 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, p.58, 1996.
- 17) 本多義明, 村本清美: 高齢化社会における交通施設の改善に関する研究, 都市計画 142, pp.108 ~ 119, 1976.
- 18) 山海堂: 道路舗装に関する試験法, pp.540 ~ 543, 1980.

(1998. 8. 24受付)

STUDY ON WALKING PROPERTIES OF ELDERLY PEOPLE AND ALLOWABLE HEIGHT OF FAULT AT JOINTS OF BLOCK PAVEMENTS

Harumi KUGE, Katsuro KOKUBU and Tetsuo AKIYAMA

This study has been executed to find a pavement structure on which elderly people do not meet an accident owing to stumble. In this study, an experiment on walking properties of elderly people has been carried out, and faults at joints of block pavements have been measured. These results have been analyzed and an allowable height of faults over which elderly people can walk safely has been proposed.

We found that the standard deviation of faults at joints of block pavements should be less than 2.4mm when the locus of the tip of a toe is approximated by a cubic equation.