

Research Reports of the Research Institute
of Industrial Safety, RIIS-RR-93, 1994
UDC 159.938:614.821:69.026.1:69.009.182

階段下降時の心理的負担面から見た踏面・けあげの安全寸法*

永田久雄**

Safety Dimensions of Tread and Rise in Considering the Psychological Load while Descending Stairs*

by Hisao NAGATA**

Abstract; According to the author's analysis of occupational injury data related to falls while walking on stairs, pedestrians are liable to have accidents while descending stairs, and high-heels footwear is comparatively prone to incur more injuries. The accidental factors to trigger human erroneous motion in descending stairs should be considered for safety dimensions. A number of formula on tread and rise have been proposed. When designing stairs, architects applied the long-established formula; in other words the tread should be one step length in walking on a flat surface minus two times the height of risers. This popular formula originating in Europe is based on the physiological cost in ascending stairs, not in descending stairs. It is questionable in regard to safety on stairs that the formula produces narrower and more dangerous treads as the rise becomes greater. But the formula gives much influence on building regulations for stair dimensions not only in Europe but also in Japan.

The previous report on "Safety dimensions of tread and rise in considering visual perceptive errors" indicated the significant formula to decide required dimensions of tread. As the psychological load becomes smaller, the occurrence of erroneous step is considered to be decreased. The dimensions of tread and rise are considered to be evaluated by pedestrians themselves. Therefore, in this report, the psychological load while descending stairs was studied for obtaining optimum dimensions of tread and rise and a practical safety index for designing stair dimensions. The psychophysical tests in this paper put emphasis on a safe walk in descent, because most fall accidents occur while descending stairs. Ten young males (average age of 21.0), ten young females (average age of 19.7) and ten elderly subjects (average age of 71.2) assessed 42 combinations of tread and rise in descending stairs. The results of those judgements were analyzed by one of scaling methods, specifically by the method of successive category. The female group wore 4 different types of footwear, differing in the height of heels.

Dimensions of tread and rise with less difficulty in descending stairs existed in definite combinations, around 29~30 cm tread and 18 cm rise for lower heels, and around 30 cm tread and 15.5 cm rise for higher heels. The psychological load increased as measurements deviated from these combinations. Based on these psychophysical results, the practical formula for obtaining safety requirements for dimensions of tread and rise is provided.

Keywords; Stairs, Accidents, Stair dimensions, Footwear, Elderly people

*本論文は日本建築学会計画系論文報告集¹⁾に発表した内容に加筆したものである。

**土木建築研究部 Construction Safety Research Division

1. 緒 言

前報²⁾では、階段下降時の視覚判断エラーに着眼し、大腿部による踏面への視野の遮蔽率を用いて、急勾配の階段の危険性の評価法を提示し、踏面の見え幅から、踏面の死角部分の寸法、靴裏接地寸法を考慮した必要踏面寸法の算定式を提示した。本報では、歩行負担の少ない寸法ほど、踏み誤り（ヒューマンエラー）がより少なくなるといった考え方に基づいて、踏面（段の幅）とけあげ（段の高さ。以下、蹴上と記す。）の数多くの組合せ寸法に関して論じる。

既往の研究では、階段の昇降時の歩行速度差を生体のエネルギー消費量の測定から見出すことができることが報告されている³⁾⁴⁾。しかしながら、エネルギー消費量、心拍数変動などの生理量の測定値から寸法を評価すると、斜路より階段の方が効率的であると言った結果が得られることから⁵⁾、階段に潜在している踏み誤りによる転落事故の危険性を覆い隠してしまう欠点がある。また、通常の階段歩行速度の条件下では、踏面・蹴上の僅かな寸法差によるエネルギー消費量の差は、ほとんどみられないことが報告されている⁶⁾。そこで、本報では、僅かな寸法差を明確にすることに主眼を置いていることから、生体負担の測定値に基づく評価法でなく、被験者自身の判断による主観的な歩行負担の観点から踏面・蹴上寸法を評価する方法を用い、既に発表した結果⁷⁾とその後新たに実施した実験結果とを用いて、踏面・蹴上寸法の安全性に関して論じた。

2. 過去の研究と本研究の範囲

踏面・蹴上寸法のあり方については、欧米を中心として17世紀から現在まで引き続き議論されており⁸⁾、Fig. 1に示すような踏面・蹴上に関する多くの式が欧米の設計者により提案されてきた⁹⁾。日本においても、踏面・蹴上の関係式について多くの提案がなされた^{10)~14)}。しかし、提案式の多くは、個人的な経験に基づいたもので、実証的なデータに基づいたものではなかった。

一方、最近の踏面・蹴上の最適寸法に関する研究報告のなかには、主観的な評価法を用いた実験結果が報告されている。Ward (1967)ら¹⁵⁾は、12組の直階段を62歳以上78歳以下の高年齢被験者45人（男20人、女25人）に順位づけ法で「昇降するのに楽 (ease) で、快適 (comfort) で、安全 (safety) な

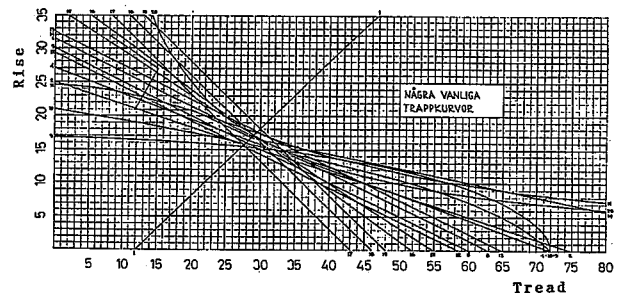


Fig. 1 Proposed formulas for dimensions of tread and rise⁹⁾.
踏面と蹴上寸法の提案式⁹⁾

階段」を評価させた。Irvine (1990)ら¹⁶⁾は、踏面・蹴上寸法を「好ましい (preferred) 寸法」、「容認できる (acceptable) 寸法」について昇降別に19~69歳の被験者66人（男26人、女40人）に評価させた。しかし、いずれの研究報告においても、実験寸法範囲が狭いために関係式を導出するほど全体的な傾向を十分に把握できていない。また、女子のハイヒール着用時の転落事故が多いことから¹⁷⁾、履物のヒール高さ別の特性について論じる必要があるが、過去の論文には見あたらない。

以上より、本報では幅広い範囲の実験寸法を取り、女子の履物のヒールの高さを含めて踏面・蹴上寸法のあり方について論じることとする。ただし、狭い踏面・高い蹴上や、ヒールの高い歩きにくい履物がどの程度までの歩行負担を強いているかに焦点をあてているために、「快適性」「歩きやすさ」を問題とするのではなく、「歩きづらさ」に焦点を絞っている。なお、階段事故のほとんどが下降中に発生していることから^{17)~19)}、本報では、階段の下降時の歩行のみについて論じている。また、各段の踏面・蹴上寸法が一定の直階段を対象とし、寸法の不規則な階段、らせん階段などは研究対象外としている。

3. 実験方法

(1) 踏面・蹴上寸法

本報においても、前報²⁾と同様に、電動ジャッキ（最大出力2トン）の駆動力により踏面・蹴上寸法を自在に設定できる階段装置（段数6段、階段幅90cm）を使用した。本装置を用いたのは、2, 3分で所要の踏面・蹴上寸法を設定できる利点があることから、性別、履物別、年齢別の数多くの組合せ寸法についての検査を比較的容易に実施することができるため

ある。そこで、本装置を用いて 42 組の踏面・蹴上の組合せ寸法について実験した。実験時の蹴上寸法は 7 種 (14.0, 15.5, 17.0, 18.5, 20.0, 21.5, 23.0 cm) で、各蹴上ごとに 6 種の踏面寸法をとった。その踏面寸法は階段装置の構造上から、各踏面寸法 (T) は、蹴上寸法 (R) と、 $j = 1 \sim 6$ の組み合わせにより下式のように決定される。

$$T = 3.0 \cdot j + \sqrt{33^2 - R^2} - 11.7 \quad (\text{cm}) \quad (1)$$

実験に用いた踏面寸法は 15.0 から 36.2 cm の範囲の 42 組となる。実験は、踏面寸法を決定してから、次に無作為に蹴上寸法を変えて行った。床仕上材は、白色系アスタイルで、段鼻用すべり止め材は取付けていない。

(2) 実験方法

被験者は、男子学生 10 名、男子高齢者 10 名、女子学生 10 名の計 30 名である。Table 1 に被験者グループのリストを示す。高齢者としては、65 歳以上 76 歳以下の男子成人を対象としたが、日常生活において歩行に障害をきたしていないことを条件とした。なお、男子の履物は被験者が日常生活で使用している革靴を使用した。女子の履物は、靴種ごとにヒール高さを統一するために、スリッパと、サイズ 24.5 cm のローヒール (ヒール高さ 1 cm)、中ヒール (ヒール高さ 4.5 cm)、ハイヒール (ヒール高さ 9 cm) の 4 種類の履物を実験者側で用意した。

平均体重、平均身長、男子の平均靴長、女子の平均靴サイズを Table 1 に示す。ここで、女子 10 名の靴サイズは 22.5 cm から 24.0 cm の範囲内であり、実験用靴サイズ (24.5 cm) は被験者にとってやや大きめとなっているが、同じサイズの靴であっても足に合わないといったことや、小さな靴を無理に履かせるといったことを避けることができる。また、靴ずれなどを避けるために、実験にあたって、長時間にわたって履き続ける状況を作り出さないように配慮した。また、女子被験者には、スカートなどによる足もとへの視野の遮蔽効果を除くために、トレーニングウェアを着用させた。実験は 5 名単位に被験者層別に 2 グループに分けて行い、被験者は実験室外に待機させ 1 人ずつ室内に入れて実験を行い、下降時の「歩きづらさ」を 42 組の踏面・蹴上寸法について、Table 2 の用語により評価させた。

Table 1 List of each subject group.
被験者グループのリスト

Item	Male		Female
	Young	Elderly	Young
No. of subject	10	10	10
Age	21.0	71.2	19.7
Stature (cm)	171	161	157
Body weight (kg)	60.2	56.0	48.3
Shoe length (cm)	28.1	27.4	23.3 ^{a)}

a): shoe size (cm)

Table 2 Verbal scale for psychophysical tests.
心理検査で用いた言語尺度

Symbol	Term	用語	Score
C ₀	Not at all	なんともない	1
C ₁	Slightly difficult	すこし歩きづらい	2
C ₂	Difficult	歩きづらい	3
C ₃	Considerably difficult	かなり歩きづらい	4
C ₄	Very difficult	非常に歩きづらい	5

4. 階段下降時の評価結果

(1) 男子若年者層

実験結果の概要を知るために、各寸法ごとの男子被験者全員の範ちゅう判断結果に含まれる、歩きづらさを感じている範ちゅう (C₁, C₂, C₃, C₄) の構成割合 (%) を円の大きさを示し、その分布図を Fig. 2(a) に示す。ここで、数値が小さいほど歩きづらさが少なくなることを意味する。この図から、歩きづらさが最小になる領域が、踏面寸法 30 cm、蹴上寸法 18 cm を中心とした範囲にわたって存在している。

正規偏差量を基に尺度化する系列範ちゅう法²⁰⁾を用いて判断結果の分析を行った。尺度化された評価値から分散分析を行った結果を Table 3 に示す。寸法差、個人差のいずれにも有意差が見られる。全分散への寄与率は寸法差の 66.4% に対して、個人差の占める寄与率は、6.2% である。寸法差に対する個人差の割合が少ないことから、踏面・蹴上寸法差を比較検討するには充分であると判断した。そこで、電子計算機 (ソフトは、Visual Numerics 社製の PV-WAVE を使用した。) を用いて等値線図を描かせたのが Fig. 3(a) である。

踏面・蹴上寸法面上で歩きづらさが最小となる領域が存在する。ただし、図中の分布線のうち破線で示すのは、各範ちゅうの尺度値を表している。Fig.

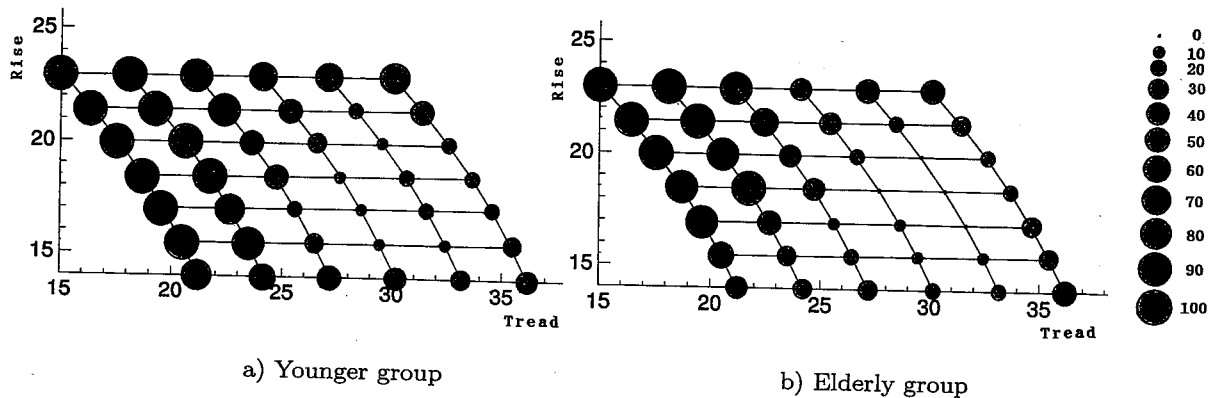


Fig. 2 Distribution of the circles indicating the percentile ratio of the sum of C_1 , C_2 , C_3 and C_4 judgments to all of the judgments at each combination of tread and rise.
 踏面・蹴上寸法の評価結果に含まれる C_1 , C_2 , C_3 , C_4 の構成割合 (%) を表した円の分布図

Table 3 Analysis of variance for young male subjects assessments.
 男子若年者の評価結果の分散分析

Factor	Degree of freedom	Unbiased variance	Variance ratio	Contribution ratio (%)
Main effect	41	15.25	25.8	66.4
Individual effect	9	6.82	11.5	6.2
Error	369	0.591		

Table 4 Analysis of variance for elderly male subjects' assessments.
 男子高齢者の評価結果の分散分析

Factor	Degree of freedom	Unbiased variance	Variance ratio	Contribution ratio (%)
Main effect	41	15.25	24.3	64.2
Individual effect	9	7.18	13.7	7.6
Error	369	0.524		

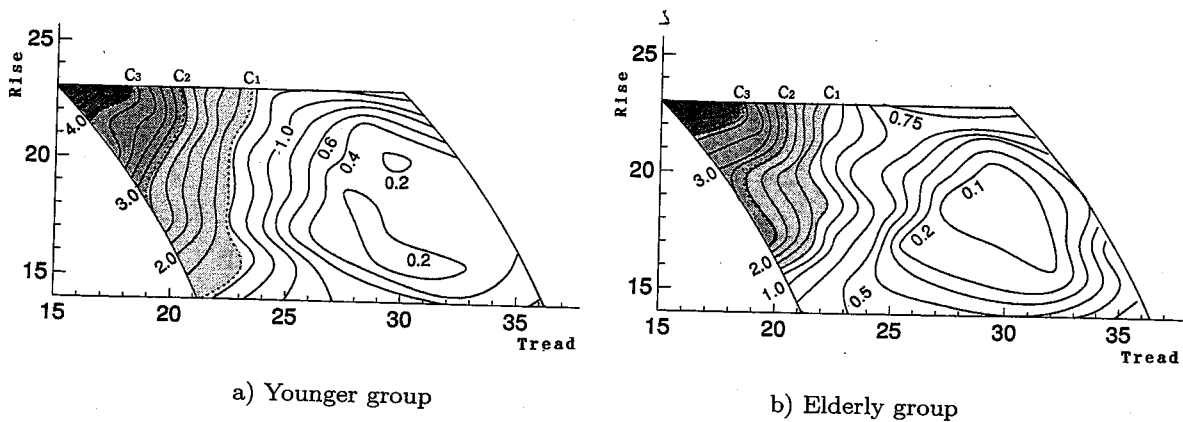


Fig. 3 Contours of values obtained by the method of successive categories.
 系列範ちゅう法から求めた評価値の等値線図

2(a) で得られたのと同様に踏面寸法が約 25 cm 以下の範囲では、等値線が立ち上がり傾向を示しており、蹴上寸法の高低にかかわらず踏面寸法が狭くなるほど歩きづらさが増加している。Fig. 3(a) で歩きづらさが小さい領域は、Fig. 2(a) の分布図における最小領域とほぼ一致している。

(2) 高齢者層

若年者層と同様にして、評価結果の概要を知るた

めに、実験寸法ごとに、歩きづらさを感じている範ちゅうの構成割合を Fig. 2(b) に示す。この図から、歩きづらさが最小となる領域が、踏面寸法 30 cm、蹴上寸法 18 cm を中心とした範囲にわたって存在している。

系列範ちゅう法により求めた各寸法の判断の尺度値から分散分布を行った結果を Table 4 に示す。寸法差、個人差のいずれにも有意差が見られるが、全

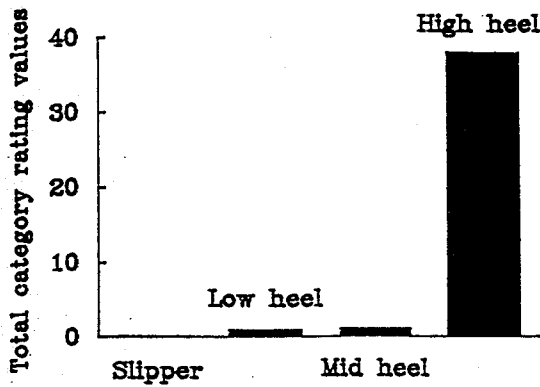


Fig. 4 Differences between total values of differing heel-heights and that of slippers.
スリッパの総計値と各履物の総計値との差

分散への寄与率は寸法差の 64.2% に対して、個人差の占める寄与率は、7.6% である。Fig. 3(b) の分布図では、若年者層の結果と同様に、踏面・蹴上寸法面上で歩行負担が最小となる領域が存在し、踏面寸法が狭い範囲では、等値線が立ち上がり、蹴上寸法の高低にかかわらず踏面寸法が狭くなるにつれて歩きづらさが増している。Fig. 3(b) で歩きづらさが小さい

領域は、Fig. 2(b) の構成割合の分布図の最小領域とほぼ一致している。

(3) 女子若年者層

女子被験者全員について、下降時の各寸法の歩きづらさに関する履物別尺度値の実験寸法全体の総和差を Fig. 4 に示す。図の縦軸は、スリッパ着用時の 42 組の寸法評価値の総和を基準にして、そこから差によって描いている。ハイヒール歩行の評価値の総和差が、他の履物と比較して明らかに大きい。そこで、ハイヒールを除いた他の履物間については、実験寸法ごとの評価値を用いて分散分析を試みると、履物間に有意差があるとは認められない (F 値: $0.33 < F(2.82; 0.001)$)。そこで、履物別の尺度値をハイヒールとそれ以外の履物に二分して論じることにする。履物のヒール高さの違いをみるために、ローヒールとハイヒール着用時の評価判断値のうち、歩きづらさを感じている範ちゅうの構成割合 (%) を基にして分布図を描き、Fig. 5 に示す。この図から、狭い踏面寸法領域では、蹴上寸法にかかわらず、歩きづらさが増している。歩きづらさが最小になる領域が、ローヒールではおおよそ踏面寸法 29 cm、蹴上寸法 18 cm の

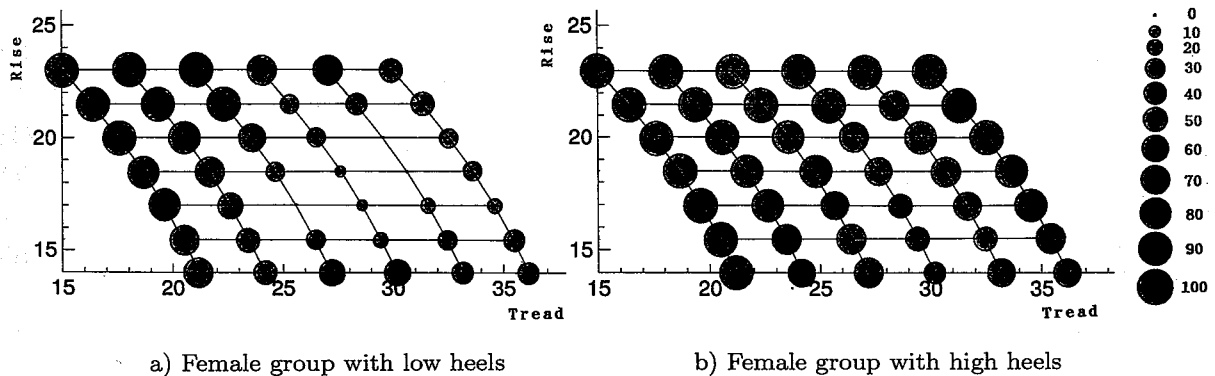


Fig. 5 Distribution of the circles indicating the percentile ratio of the sum of C_1, C_2, C_3 and C_4 judgments to all of the judgments at each combination of tread and rise.
踏面・蹴上寸法の評価結果に含まれる C_1, C_2, C_3, C_4 の構成割合 (%) を表した円の分布図

Table 5 Analysis of variance for female subjects' assessments with low heels.
ローヒールを履いた女子若年者の評価結果の分散分析

Factor	Degree of freedom	Unbiased variance	Variance ratio	Contribution ratio (%)
Main effect	41	11.18	21.8	61.1
Individual effect	9	7.68	15.0	9.0
Error	369	0.512		

Table 6 Analysis of variance for female subjects' assessments with high heels.
ハイヒールを履いた女子若年者の評価結果の分散分析

Factor	Degree of freedom	Unbiased variance	Variance ratio	Contribution ratio (%)
Main effect	41	10.70	16.2	54.3
Individual effect	9	8.47	12.8	9.3
Error	369	0.660		

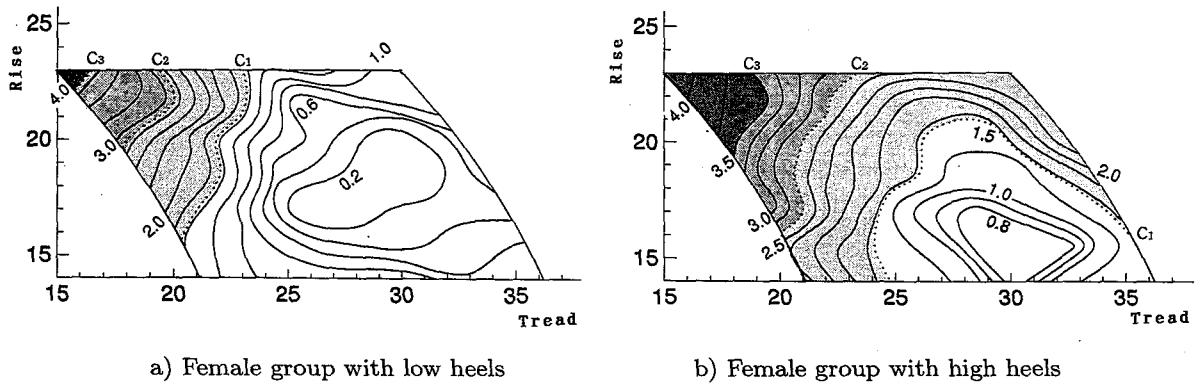


Fig. 6 Contours of values obtained by the method of successive categories.
系列範ちゅう法から求めた評価値の等値線図

近傍を中心としており、ハイヒール歩行では、踏面寸法 30 cm, 蹴上寸法 15.5 cm の近傍を中心として存在することが分かる。

各寸法の評価値から分散分析を行った結果を Table 5 及び 6 に示す。寸法差, 個人差のいずれにも有意差が見られるが, 全分散への寄与率は, 寸法差のローヒールの 61.1%, ハイヒールの 54.3% に対して, 個人差は, ローヒール, ハイヒールともに約 9% である。Fig. 5 の分布図では, いずれの場合においても, 踏面・蹴上寸法面上で歩きづらさが最小となる領域が存在し, 踏面・蹴上寸法が狭い範囲では, 等値線が立ち上がり, 蹴上寸法の高低にかかわらずに踏面寸法が狭くなるほど歩きづらさが増加している。Fig. 5 で歩きづらさが小さい領域は, Fig. 6 の最小領域とほぼ一致している。

ハイヒール着用時の階段下降歩行では, 他の履物での歩行と比較して, いずれの踏面・蹴上寸法であっても, 歩きづらさの度合いが増している。ハイヒールとローヒールに分けて, 歩きづらさを感じている範ちゅうの構成割合を基にして描いた Fig. 5, 6 の分布曲線から判断すると, 歩きづらさが最小となる寸法領域は, 踏面寸法 30 cm でハイヒール着用時の方が蹴上が約 2.5 cm ほど低い約 15.5 cm を中心に分布している。

5. 論 考

(1) 他の研究者の推奨寸法と実験結果との比較

Table 7 に示されている主観的判断に基づく過去の代表的な推奨寸法と比較すると, ハイヒール歩行時の場合を除いて, 本実験によって得られた階段下

Table 7 Recommended dimensions by other researchers.
他の研究者による推奨値

Researcher	Number of dimensions	Number of subjects	Tread (cm)	Rise (cm)
Ward (1967)	12	20 elderly males	29.2	17.8
		25 elderly females	26.7	17.8
Irvine (1990)	19	26 males	27.9	18.3
		& 40 females	-30.5	

降時の歩きづらさの最小寸法領域に, 他の研究者が提唱した最適踏面と蹴上寸法が包含されている。Templer ら²¹⁾は, 業務用の階段事故に限っているが, ビデオ撮影に 98 にのぼるニアミスを含む階段事故を分析し, その結果から, 安全寸法としては踏面寸法 27.9 cm, 蹴上寸法 15.2 cm を推奨している。この推奨値は, 本実験で得られたハイヒール歩行時の値とほぼ一致する。ハイヒール歩行時の歩行負担の最小となる寸法領域は, 踏面寸法は約 30 cm, 蹴上寸法は約 15.5 cm である。この寸法はいわゆる最適寸法と言われているものである。この寸法は若年者, 高年齢者及び女子においても, Fig. 3 と Fig. 6 の結果から範ちゅう C₁ 「少し歩きづらい」と範ちゅう C₀ 「なんともない」によって構成される範囲内に存在する。このことから, 一般の階段の踏面・蹴上寸法を安全の観点から設計するには, 足回転が制約され, 不安定で最も危険性の高いハイヒール歩行に焦点を合わせて考えるべきであろう。

(2) 踏面・蹴上寸法の評価式の提案

階段歩行中の足関節の回転が制約され, バランスを失いやすい危険なハイヒール歩行に焦点を合わせ

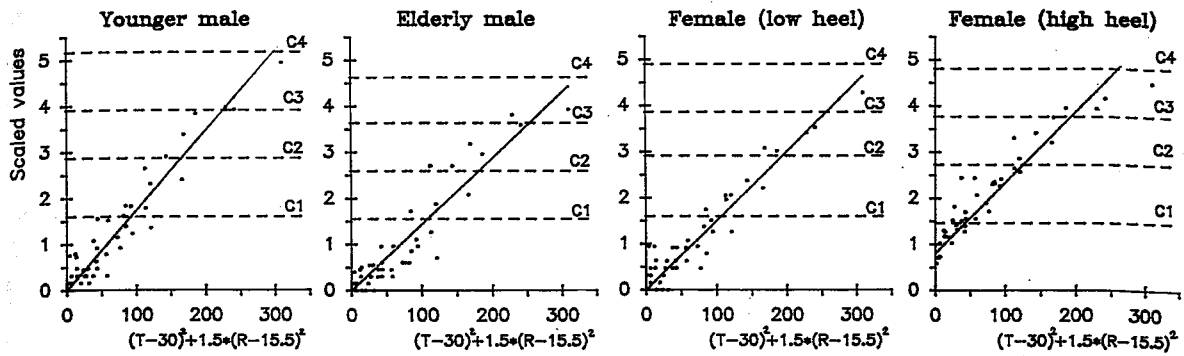


Fig. 7 Relations between scaled values and the value indices (D_c) for dimensions of tread and rise.
踏面・蹴上寸法に対する尺度値と指標値 (D_c) との関連

て、評価図を求めてみる。ハイヒール歩行時の歩きづらさの最小領域の中心が踏面寸法 30 cm, 蹴上寸法 15.5 cm であったことから、それぞれの踏面と蹴上寸法との差 ($R-15.5$) と ($T-30$) の自乗値を説明変数とし、寸法の評価値を目的変数 y として重回帰式を求めると、下式になる。

$$y = 0.0140 \cdot (T - 30)^2 + 0.0191 \cdot (R - 15.5)^2 + 1.05 \quad (2)$$

重相関係数 0.947 (F 値: $168.1 > F(2,39; 0.001)$) であり、相関が高度に認められかつ、それぞれの回帰係数 (t 値: (踏面部 13.9, 蹴上部 6.7) $> t(39; 0.001)$) は、意味のある係数であることが確認できる。そこでこの式から指標値を求めるために回帰係数の比を求めてみると、 $0.0140:0.0191 \approx 1.0:1.364$ となる。(2) 式を書き改めて、指標値を求めると下式となる。

$$D_c = (T - 30)^2 + 1.364 \cdot (R - 15.5)^2 \quad (3)$$

踏面と蹴上寸法の結合値 (D_c 値) は、評価値と対応する指標となりうるものである。ただし、ここで、設計家の実用に供するために、係数を簡略化して下記のように決定した。

$$D_c = (T - 30)^2 + 1.5 \cdot (R - 15.5)^2 \quad (4)$$

式 (3) と式 (4) で係数を 1.5 と丸めたことによる D_c 値の差は、代表的な急階段と緩やかな階段で下記のようになる。

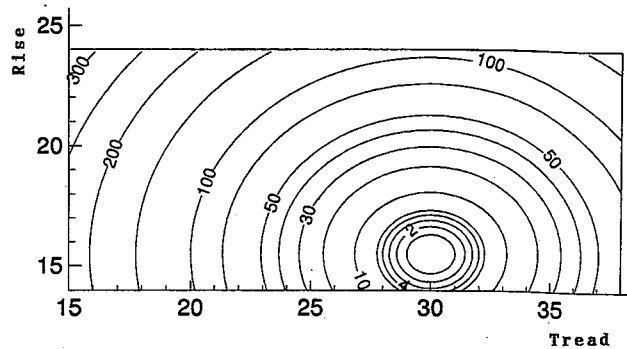


Fig. 8 Contours of the value indices (D_c).
指標値 (D_c) の等値線図

$T = 15$ cm $R = 23$ cm の時:

$D_c =$ 式 (3) で 302, 式 (4) で 309

$T = 30$ cm $R = 18$ cm の時:

$D_c =$ 式 (3) で 8.5, 式 (4) で 9.4

使用されている階段寸法の多くは、この値の範囲内に入ることから、係数を丸めたことによる誤差は、無視できると考えられる。

次に、式 (4) から得た指標値と評価値との対応を Fig. 7 に示す。図から、男子若年者、男子高齢者、女子若年者のいずれにおいても、 D_c 値が高くなると、評価値も直線的に増加する対応関係が見られる。このことから式 (4) によって得られる D_c 値を用いて、ハイヒール以外の他の履物、他の被験者に対する階段寸法の評価が可能である。

設計家の実用に供するために、式 (4) から得られる D_c 値による踏面・蹴上寸法の評価図を Fig. 8 に示す。この値は、階段の危険指数となるものであるが、安全上からは、少なくとも 30 以下の範囲内におさまるように踏面・蹴上げ寸法を設計すべきであろう。

(3) 従来の経験則について

本実験から得られた階段踏面・蹴上寸法の評価結果から判断すると、最小となる歩行負担はある特定の寸法領域に収束する傾向がある。このことは、Fig. 1 に示した多くの提案式⁹⁾のなかで扱われている踏面・蹴上寸法の考え方と対峙するものである。その中で、特に、欧米で古くから支持されている「蹴上を1 cm 高くするごとに、踏面寸法を歩幅から2 cm 引いた長さにする。」という設計思想においては、蹴上を高くすると踏面を狭くすることになり、階段下降時の安全性確保の観点からは、妥当な関係式とは言い難い。本経験則の欠点は、下降より昇りの歩行を重視していること、梯子段と階段の歩行時の姿勢に違いがあるにもかかわらず、適用を区別していないことなどが挙げられる。このように、本経験則は、階段の下降時の安全性という観点からは、明らかに適切とは言えない。

(4) 「歩きづらさ」と「視野」とに基づく結果の比較

前報²⁾の視野研究では、急勾配の階段を改善する場合は、蹴上を低くするより、踏面を広げる方が、階段踏面への視野がより広がることを理論的に検証したが、歩行時の心理的負担の観点においても、踏面が25 cm 以下となる寸法範囲では、等値線が立ち上がる傾向を示しており蹴上寸法にかかわらず歩行負担が大きくなっている。つまり、主観的評価に基づく結果においても、踏面が25 cm 以下となる範囲内では、蹴上を低くすることより踏面寸法を広げるほうが、歩きづらさを減じる効果が大きくなるのである。

視野及び落下衝撃エネルギーの観点からは、緩やかな階段勾配の方がより安全と考えられるが、Fig. 8 の分布図に明示されているように、歩行負担が最小となる寸法領域が存在し、その寸法領域から外れるほど、心理的な歩行負担が増していると考えられる。

(5) 踏面の最小寸法

古瀬ら²²⁾は、踏面寸法を少なくとも21 cm 以上にすべきであると提案している。Irvine ら¹⁶⁾は、踏面寸法を25.4 cm 以下にすべきでないと提唱している。立位姿勢保持の観点からは、最小の踏面寸法は若年男子の場合で靴長の約75%以上が必要であり、女子では約90%となる²³⁾。高齢者では、階段途中での立ち止まり、休息時の足場を確保することを考慮に入れて100%必要であろう。更に、視野の観点からは、死角を考慮に入れる必要がある。いずれにしても、歩きづらさを尺度として得られた評価は歩行者の受ける

歩行負担の総合的なものと考えられるから、最終的には歩きづらさによって得られた D_c 値と Fig. 7 の等値線図から階段寸法を評価することが可能である。

(6) 踏面・蹴上の法的規制寸法値の検討

階段の踏面は21 cm 以上、蹴上は22 cm 以下とするように労働基準法の事業所附属寄宿舎規程第17条及び建設業附属寄宿舎規程第13条により規制されている ($D_c = 144$)。なおかつ、事業所附属寄宿舎規程では階段勾配を40度以下となるように規制している。この寸法範囲内では、踏面21 cm・蹴上17.6 cm で最大値 ($D_c = 88$) をとる。このように、階段角度を制限することにより、危険指数を表す D_c 値を大幅に減少させることができる。

一般の建築物の階段については、建築基準法施行規則第23条により、住宅 (蹴上 ≤ 23 cm, 踏面 ≥ 15 cm: $D_c = 309$)、小学校 (蹴上 ≤ 16 cm, 踏面 ≥ 26 cm: $D_c = 16$)、中高等学校・映画館・劇場・百貨店 (蹴上 ≤ 18 cm, 踏面 ≥ 26 cm: $D_c = 25$)、直上階の居室の床面積200 m²以上 (蹴上 ≤ 20 cm, 踏面 ≥ 24 cm: $D_c = 66$)、その他 (蹴上 ≤ 22 cm, 踏面 ≥ 21 cm: $D_c = 144$) のように建物の種類別に規制している。

住宅などの規制寸法については、多くの研究者によってその問題点が議論されてきた。本実験から得られた階段踏面・蹴上寸法の評価結果から判断しても、住宅階段の法的規制限界値の D_c 値が309となり、極端に高くなっている。また、最小となる歩行負担はある特定の寸法領域に収束する傾向があり、建物種別に最小踏面寸法、最大蹴上寸法のみを規制する方法には、検討の余地が残されている。

(7) 安全確保の限界と手摺の有用性

既報²³⁾において、急階段においてハイヒール歩行時のつまずきの危険性を歩行軌跡から検証したが、Fig. 6(b) のハイヒール歩行の分布図においては、 D_c 値が零となる寸法であっても比較的大きな歩行負担を感じており、階段下降中のハイヒール歩行の危険性を指摘せざるをえない。また、緩やかな階段と急階段での立位姿勢保持の実験結果によれば²³⁾、階段の踏面・蹴上の寸法差よりも、年齢層別間の差の方がはるかに大きい。ハイヒールによる転落事故や、高齢者の階段事故を減少させるためには、踏面・蹴上の組合せ寸法だけに依存する安全対策には限界がある。一方、手摺の立位姿勢保持の効果は非常に大きいことから²³⁾、階段からの転落の危険を回避するために

手摺を設置することは安全上から不可欠である。

6. 結 言

42組の直階段の踏面・蹴上寸法の主観的評価の尺度化を系列範ちゅう法により行い、次のような研究成果を得ることができた。

- 1) 歩きづらさが最小となる寸法領域が男女若年者と男子高年齢者でほぼ類似していた。
- 2) 女子のヒールの高い履物での階段歩行においては、より低い蹴上寸法領域に「歩きづらさ」の最小領域が存在しており、他と異なった傾向を示した。
- 3) 階段からの転落事故の多い危険なハイヒール歩行に焦点を絞り、従来の提案式と全く異なった評価指標式(式4)と評価図(Fig. 8)を得ることができた。
- 4) 本評価法を使用して、現行の各階段踏面・蹴上寸法の法的規制限界値を安全性の面から検討し、安全確保の限界と手摺の有用性について言及した。
(平成6年3月31日受理)

参 考 文 献

- 1) 永田久雄：主観的な評価に基づく踏面・蹴上寸法の検討(階段の安全性からみた踏面・蹴上寸法の評価に関する研究 その3), 日本建築学会計画系論文報告集, 第456号, (1994), 145~152.
- 2) 永田久雄：視覚判断エラー面から見た階段踏面・けあげの安全寸法, 産業安全研究所研究報告, RR-92, (1993), 75~82.
- 3) Templer, J.A. and Corcoran, P.J.: Energy cost and stair design: a preliminary report, Proc. of Conference of Man Transportation Interface, USA, (1974), 67~86.
- 4) Ramanathan, N.L. and Kamon, E.: The Application of stair climbing to ergometry, Ergonomics, Vol. 17, (1974), 13~22.
- 5) Corlett, E.N., Hutcheson, C., DeLugan, M.A. and Rogozenski, J., Ramps or stairs - the choice using physiological and biomechanical criteria, Applied Ergonomics, Vol. 3, (1972), 195~201.
- 6) 宇野英隆・古瀬敏：住宅階段利用時のエネルギー負荷に関する検討, 日本建築学会論文報告集, 第345号, (1984), 115~121.
- 7) 永田久雄：階段寸法等に対する心理的評価(階段・通路の安全性に関する研究 第3報), 産業安全研究所研究報告, RR-29-2, (1981).
- 8) Fitch, J.M., Templer, J.A. and Corcoran, P.: The dimensions of stairs, Scientific American, Vol. 231, (1974), 82~90.
- 9) Eriksson, L.E.: Om Trapporors Bekvämlighet (comfortable light on stairs), Arkitektur, No. 7, (1964), 193~196.
- 10) 奥山美佐雄：階段に関する研究(其の1 好適なる階段構造に就いての諸考察), 労働科学研究, 第14巻, (1937), 179~194.
- 11) 内田祥哉：蹴上と踏面, 建築雑誌, 第72巻, 846号, (1957), 37~38.
- 12) 中村幸安：ディテール寸法決定の為の方法論の研究(第1報 傾斜路, 階段, 梯子), 日本建築学会論文報告集号外, 9月号, 第528号(1965).
- 13) 上田光雄：階段式及び算定尺について, 日本建築学会研究報告, 15巻, (1951), 211~214.
- 14) 山口静夫：階段蹴上げと踏み面について, 建築雑誌, 第72巻, 846号, (1957), 35~36.
- 15) Ward, J.S. and Randall, P.: Optimum dimensions for domestic stairways; a preliminary study, Architects J., Vol. 5, (1967), 29~34.
- 16) Irvine, C.H., Snook, S.H. and Sparshatt, J.H.: Stairway risers and treads: acceptable and preferred dimensions, Applied Ergonomics, Vol. 21, (1990), 215~225.
- 17) Nagata, H.: Occupational accidents while walking on stairways, Safety Science, Vol. 14, (1991), 199~211.
- 18) U.S. Department of Labor: Bureau of Labor Statistics: Injuries resulting from falls on stairs, Bulletin 2214, U.S. Government Printing Office, Washington D.C., (1984).
- 19) Hay, T.F. and Barkow, B.: A study of stair accidents, Proc. the International Conference on Building Use and Safety Technology (Los Angeles), (1985), 116~121.
- 20) J.P. Guildford (秋重義治監訳): 系列範ちゅう法, 精神測定法(13版), 培風館, (1976), 276~301.
- 21) Templer, J., Archea, J. and Cohen, H.:

- Study of factors associated with risk of work related stairway falls, J. Safety Research, Vol. 16, (1985), 183~196.
- 22) 古瀬敏・遠藤佳宏・宇野英隆：安全性より見た階段の踏面・蹴上の最低寸法について—階段利用時の安全性確保に関する研究，日本建築学会計画系論文報告集，第 356 号，(1985)，24~29.
- 23) 永田久雄：階段からの転落要因に関する基礎的な考察（階段の安全性からみた踏面・蹴上寸法の評価に関する研究 その 1），日本建築学会計画系論文報告集，第 439 号，(1992)，73~80.