人の上り、下り時の負担からみた段差と斜路の比較

EXAMINATION ON COMPARISON OF PHYSIOLOGICAL LOAD BETWEEN THE ONE STEP STAIR AND THE SLOPE IN GOING UP AND DOWN

小野 英哲*
Hidenori ONO

It is necessary to solve the problem of a level difference on floors from the viewpoint where it walks safely and comfortably in buildings.

The one step stair and the slope are general methods of solving a level difference greatly not large. In this research, physiological loads in the one step stairs and the slopes were compared. The results are as follows.

- The one step stairs and the slopes to give an equivalent physiological load, by the same height difference, exist in the range of level difference of 25 cm or less.
- When it is examined that the height of the one step stairs and the slopes length, physically handicapped passengers abilities should be assumed to be the main index.

Keywords: level difference, one step stair, slope, comparison, physiological load, physically handicapped passenger
高低差, 段差, 斜路, 比較, 生理的負担, 身体的弱者

1. 序

建築物内外には、同一階あるいは同一地面（以降、一括して同一階と呼ぶ）において床あるいは路面（以降、一括して床と呼ぶ）に高低差が存在する場合がある。

一方、高齢者を代表とする身体的弱者がさらに増加すると想定される今後は、健常者を含め、歩行者の負担の観点からできるだけ高低差を設けないことが望ましいと考えるが、さまざまな理由から高低差を設けざるを得ない場合も発生する。

同一階において、高低差がある床を歩行に供する代表的手段として、段差と斜路の設置があげられる。

ここで、段差と斜路のどちらが望ましいかに関してはさまざまな観点から検討すべきであるが、いずれにせよ明確な指針がないのが現状といえる。

本論文は、不特定多数の人間が歩行に供する高低差のある床において、段差と斜路のどちらか一方を選択しなければならない状況下における選択指針を設定する際のひとつの基礎的知見を負担の観点から考察した結果を述べるものである。

2. 目的と範囲

本研究の目的は、同一の高低差をもつ床において1段からなる段差および一定の勾配で連続するひとつの斜路をそれぞれ1度、上り、下りする時、どちらが負担が少ないかを比較検討することにある。

なお、数段で構成される階段や踊り場がある斜路などの場合は本研究の範囲外とし、今後の課題とする。

ここで、歩行時の負担からみて段差と斜路を比較検討すると研究方法を設定する理由は、段差や斜路それぞれに関し、負担の大小および上り、下り出来るかなどの絶対的評価には身体的健康度などから、個人差が非常に大きいと想定されることによる。それ故、本研究で対象とする歩行者は段差や斜路を自力で歩行でき、かつ杖などの補助具さらには荷物等を持たない状況とし、他の場合は今後の課題とする。

また、本研究での負担とは、歩行者が、“上りやすい、下りやすい”などと表現する内容を包括するものと定義するが主に生理的負担を意味する。

さらに、負担は人間の判断によることとする。ここで、人間の判断によるとしたのは著者らが、段差での負担やキャスターの走行のさせやすさ、^{2), 3)}などの本研究と類似する研究で人間の判断の有効性を実証していることによる。

なお、段差や斜路での上り、下りにおいて特に問題となるすべりに関しては、すでにその測定、評価方法を提示しているので、^{4), 5), 6), 7)}すべりからみた安全性は確保されている条件で本研究を進めることとする。

* 東北工業大学工学部建築学科 教授・工博

Prof., Dept. of Architecture and Building Engineering, Faculty of Engineering, Tohoku Institute of Technology, Dr. Eng.

3. 既往の研究

負担の観点から、段差と斜路を比較検討した研究例は、著者の検索の範囲では国内外で見当たらない。一方、段差、階段、斜路それぞれについては段差高さ、階段寸法、斜路勾配、などに関しおもに安全性の観点から国内外で多くの貴重な研究がなされているが、これらの研究に関しては、著者らの論文^{1), 4), 8), 9), 10)}に要約検討しているので本論文では割愛する。

つぎに、本研究に密接なかかわりを持つと考えられる研究成果として、宇野、古瀬は、住宅階段利用時のエネルギー負担に関し、心拍数をもとに算出したR.M.R（エネルギー代謝率）を媒体として実験検討し、R.M.Rは階段寸法に依存せず、昇降時の速度に依存するという貴重な成果を発表している。¹¹⁾

さらに、著者らは、段差を下る時の負担を検討し、心理反応（判断）を基礎的資料として求めた負担と生理的指標である大腿直筋の筋放電量が段差高さを媒体として比例関係にあることを究明している。¹⁾

宇野、古瀬の研究¹¹⁾から、負担として生理的指標を適用しても本研究で対象とする1回の上り、下りを行う場合の段差と斜路の間に明確な差異はでない可能性が高いこと、著者らの研究¹⁾からは、測定などに非常に困難を伴う生理的指標を用いなくとも、人間の判断をもとに負担を検討することが可能と想定されることから、人間の判断を基礎的資料として本研究を遂行することの有効性をあらためて主張できる。

4. 研究方法の概要

段差と斜路の負担を人間（検査員）の判断を用いる検査（官能検査）結果により比較検討する本研究では、人間、動作、段差および斜路に関し、大きくつぎのような前提を設定する。

○検査員は健康な成人男女とする。ここで、実際の場面では、高齢者などの身体的弱者も重要な対象となるが、研究の遂行において安全性の確保が困難となるのが明らかに予想できるため、健康な成人男女の判断を用いることとする。

なお、身体的弱者に近似した状況での判断を得るため、健康者の身体を拘束することによって肉体の老化を模擬体験する老化模

擬体検査具（以降、老化装具と呼ぶ）¹²⁾を装着する場合の検討を行う。

○動作は、検査員ごとに自由な速度、形態での上り、下りで原則として各判断ごとに1回の動作とする。なお、履物も要因として取り入れる。

○段差高さおよび斜路の勾配（本研究では斜路長さで表示）はそれぞれ、法令を含む実情を包含するものとする。

5. 段差と斜路の負担の比較に関する官能検査

5.1 官能検査手法

設定する高低差に対応する段差と斜路を原則としてそれぞれ1回上り、下りした時の負担の比較判断から負担比較尺度を構成する官能検査の概要を表1に示す。ここで、負担とは主に生理的観点からの上り、下りのしやすさの意味であることを検査員に教示することとした。

5.2 試料

検査試料となる一対の段差および斜路（以降単に試料と呼ぶ）を図1、写真1のように設計・試作した。

表1 官能検査の概要

構成する尺度負担尺度	負担比較尺度												
尺度構成手法	比較判断による系列範ちゅう法												
質問と判断範ちゅう及び評点	<p>段差と斜路を上る（下りる）場合の負担を比較した場合、段差と比較して斜路の負担が、</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>判断範ちゅう</th><th>評点</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>①非常に小さい</td><td>(-2)</td></tr> <tr> <td>②やや小さい</td><td>(-1)</td></tr> <tr> <td>③どちらともいえない</td><td>(0)</td></tr> <tr> <td>④やや大きい</td><td>(+1)</td></tr> <tr> <td>⑤非常に大きい</td><td>(+2)</td></tr> </tbody> </table>	判断範ちゅう	評点	①非常に小さい	(-2)	②やや小さい	(-1)	③どちらともいえない	(0)	④やや大きい	(+1)	⑤非常に大きい	(+2)
判断範ちゅう	評点												
①非常に小さい	(-2)												
②やや小さい	(-1)												
③どちらともいえない	(0)												
④やや大きい	(+1)												
⑤非常に大きい	(+2)												
検査員	成年男子 9人（21～23歳） 成人女子 10人（18～22歳）												
履物	男子：紳士靴・スリッパ・学童シューズ・老化装具* 女子：中ヒール・スリッパ・学童シューズ・老化装具*												
動作	普段どおりの上り、下り												

*老化装具：老化模擬体験装具

図1 試料（段差、斜路の概要） 単位：mm

試料は、段差と斜路を並設したもので、段差は発泡スチロール板を増減することにより所定の高さに調節できるようになっている。斜路は段差高さごとに数段階の長さを設定し、所定の勾配を具現できるようにしている。

段差高さと斜路長さの組み合わせは表2の通りで30組つまり比較判断する一対からなる試料数は30で、試作後の斜路の勾配の実測値とともに示している。

表2に示した試料の寸法仕様は段差高さおよび斜路勾配の法的規制および実態調査をもとに実情を包含するように設定している。

なお歩行および上り、下りに供する試料表面（合板）のすべり抵抗（C.S.R）は著者が開発したすべり試験機（ONO・PPS M）で、0.65～0.75で本検査を遂行するのにさしさわりのないことを確認している。¹³⁾ また、表2において段差高さが20 cm、25 cmで斜路長さが30 cmの試料において上り、下りが困難な場合は、実際の動作を完遂せずに判断してもよいこととした。

また、純粋に負担の比較判断がなされるよう、手摺は設定しないこととした。

試料は温度20℃±5℃、湿度50%±10%RH、試料面照度234～379 lxの環境条件を保ちかつ本検査を遂行するのに十分な広さをもつ実験室に設置した。

写真1 試料全景

5.3 検査員

負担を比較判断する検査員は18才から23才の健常な成人男女で、身体的弱者は、4.述べた理由から選定しないこととした。

5.4 動作

動作は開眼で、0～1, 2歩の歩行で基板上に立位し、基盤から段差、斜路各々を上り、下りする極く日常的な動作とした。

なお速度、利き足、段差と斜路での動作順等の規制は判断の自由度の制約、動作の不自然さの導入に結びつくと考え、行わないこととした。

5.5 履物

日常生活における一般的な履物を選定した。なお、老化装具は、学童シューズを履いた状態にそれぞれを装着することとした。写真2に履物および老化装具を示す。

(イ) 紳士靴

(ロ) 中ヒール

(ハ) スリッパ

(ニ) 学童シューズ

(ホ) 老化装具

写真2 履き物

5.6 官能検査経過、結果および負担比較尺度の構成

5.1～5.5の条件で官能検査を行い基礎資料を得た。具体的には表2に示した30組の試料ごとに、段差と斜路のどちらの負担が小さいかを表1に示す判断範ちゅうで返答してもらい基礎資料とした。

表2 試料の段差高さ、斜路の長さおよび勾配（実測値）の関係

		段差高さ (cm)				
		5	10	15	20	25
斜路長さ (cm)	30	9.0	18.5	28.0	42.0	56.5
	60	5.5	10.5	15.0	21.0	25.0
	90	3.5	7.0	10.0	13.0	16.0
	135	2.5	5.0	6.5	9.0	11.0
	180	2.0	3.5	5.0	7.0	8.0
	235	2.0	3.0	4.0	5.0	6.5

単位 (度)

なお、段差高さが20cm、25cmで斜路長さが30cmの試料の場合ほとんどの検査員が斜路での動作がしづらいため、完全に上り、下りの動作をせずに足が触れる程度で瞬間的に非常に動作しづらい(範ちゅう⑤)の判断を下していた。なお、他の組合せの試料の場合はすべて完全に動作をして判断していた。

検査には検査員1名当たり正味約4時間必要としたが、疲労による判断の乱れが生じないよう、1日約2時間とし、2日に分けて検査を実施した。

検査において、検査員から段差や斜路の負担の識別が困難、すべりすぎるあるいはすべらなさすぎる、疲れて判断ができない、などの問題の提起はなく検査を終了した。得られた基礎資料を用いて検査および構成される負担比較尺度の有効性を検証するため行った分散分析結果を表3に示す。

ここで、性、履物、動作の要因をすべて組み合わせると計78組となる。しかし、ここで、性に関し男女で異なるのは履物(紳士靴と中ヒール)であるが、ヒールの高さが同一で35mmであるので本研究の観点からはほぼ同一の履物とみなせること、男女を分けて論ずることに大きな意味はないことから、本論文ではすべての場合につき男女を一緒にした尺度を用いて考察することとし、尺度の要因の組合せを8組((性別:1)×(履物:4)×(動作:2))にすることとした。

表には、尺度の要因の全組合せにつき、それぞれ主効果(試料)、個人差の分散比、寄与率を示している。

表3から、いずれにおいても主効果の分散比が高度に有意で、検査が有効であること、個人差の分散比も全て高度に有意であるが、主効果の寄与率が個人差の場合と比べ非常に大きいことから、構成される負担比較尺度は個人差を内包するものの十分有効といえる。

以上の検討ののち、尺度構成理論¹⁴⁾に従って表3に示す8つの負担比較尺度を構成した。尺度の詳細は紙面の都合上割愛する。

表3 官能検査の分散分析結果

負担比較尺度	履物	動作	分散比		寄与率(%)	
			主効果	個人差	主効果	個人差
1	紳士靴 (男) 中ヒール (女)	上り	45.9	5.1	66.9	3.8
2		下り	37.4	4.2	62.7	3.4
3	スリッパ (男・女)	上り	45.9	5.2	66.8	3.9
4		下り	45.3	5.3	66.5	4.0
5	学童シューズ (男・女)	上り	56.4	5.9	66.6	4.5
6		下り	47.4	4.2	68.2	2.9
7	老化装具 (男・女)	上り	56.9	7.2	70.4	4.0
8		下り	44.7	17.4	59.4	13.8

* 主効果 $F(29, 0.01) = 1.84$

* 個人差 $F(29, 0.01) = 0.92$

6. 考察

6.1 負担比較尺度の相関について

5. で構成した8つの負担比較尺度に関して、尺度同志の単相関

係数を算出した結果を表4に示す。表から、いずれの負担比較尺度の組合せの相関も統計学的には高度に有意となった。

以上より、負担の観点から段差と斜路を比較する場合、履物、動作により負担の比較が相対的に大きくは異ならないといえる。

表4 負担比較尺度相互の単相関係数

尺度名	8	7	6	5	4	3	2
1	0.94	0.97	0.98	0.99	0.98	0.97	0.97
2	0.97	0.97	0.97	0.98	0.98	0.97	
3	0.97	0.97	0.98	0.98	0.98		
4	0.97	0.98	0.98	0.99			
5	0.96	0.98	0.99				
6	0.96	0.97					
7	0.96						

$r(6, 0.01) = 0.84$

6.2 負担からみた、段差高さや斜路長さの関係について

図2に負担からみた、段差高さや斜路長さの関係を示す。

図から、上り、下り、段差高さにかかわらず、斜路長さが大きくなるほど相対的に斜路での負担が小さくなることが明確である。

ここで、注目すべきは、図中↓印で示すように段差高さごとに負担がどちらともいえない(範ちゅう③)斜路長さが存在しており(以降、等価斜路長さと呼ぶ)、等価斜路長さより長い斜路長さの場合は斜路の方が負担が小さく、逆に短い場合は段差の方が負担が小さいことがわかる。つまり負担の観点から床の高低差ごとに段差と斜路のどちらが適切かを選択する指標を設定できる可能性があることを示している。

以上の結果を定性的ではあるが、身体脚部の動きに伴う筋活動の観点から、つぎのように推察できる。

上りの場合、段差、斜路ともに、おもに大腿四頭筋と下腿三頭筋に収縮、弛緩からなる筋活動が発生するが段差の場合は高さ、斜路の場合は短かさ(勾配)に比例して筋活動が増大し、筋活動の大小が負担の大小の反応として提示される。

下りの場合も同様におもに下腿三頭筋、前脛骨筋の筋活動の大小が負担の大小の反応として提示されると考えられる。

つまり、段差高さを一定とした場合段差での動作と同程度の筋活動が必要となる斜路長さが存在することから、範ちゅう③に該当する段差高さや斜路の長さの組合せが、段差高さごとに求め得ることになる。

なお、段差での一瞬の筋活動と斜路での連続する筋活動との本質的な差異、筋活動量の定義などに関しては、本研究の目的を達成する上で、必要不可欠とはいえずかつ述べる知見も持ち合わせていないので割愛する。

6.3 等価斜路長さについて

図3に図2に↓印で示した等価斜路長さを求めた結果を段差高さ、動作、履物ごとに示した。

全体として、いずれの場合も段差高さに比例して等価斜路長さが長くなるのがわかる。

図2 段差(高さ)に対する斜路(長さ)の負担(負担比較尺度)の関係

つまり、段差を上り、下りする負担と等価な負担の斜路にするには、段差高さに対応した等価斜路長さと等しい長さをもつ斜路にする必要があるといえる。

さらに、詳細に考察すると、まず、老化装具の場合に顕著な特色がみられる。

すなわち、他の履物の場合と比較し、同じ段差高さとした場合、負担が等価な斜路にするには下りの場合に相対的により長い斜路にする必要があること、同様に、上りの場合には相対的により短い斜路で等価な負担になることがわかる。

このことは、老化装具を装着した状況を高齢者を代表とする身体的弱者に近似した状況とすれば、身体的弱者の場合、下りの場合はより長いすなわち勾配の小さい斜路にする必要があること、つまり、前のめり状態になりやすい状況に対して安全性を確保する必要があること、上りの場合はもともと前のめりの状況の方が上りやすいと想定されることから相対的に他と比較して短い斜路つまり勾配の大きい斜路でもよいことを示していると考ええる。その他の場合は、上り、下りに大きな特徴は見られず等価斜路長さも、ほぼ老化装具の上り、下りの間に布置している。

ここで、図3を高低差のある床を上り、下りする場合、段差にするか、斜路にするかの間に答える指標とする場合、まず、段差高さ、動作、履物ごとに、等価斜路長さより傾斜長さが長くなれば(図中、等価斜路長さより右の斜路長さ)斜路の負担が小さく、かつ図2と合わせれば斜路長さに比例してより負担が小さくなるといえる。逆に等価斜路長さより斜路長さが短くなれば(図中、等価斜路長さより左の斜路長さ)段差の負担が小さくなるといえる。

また、高低差のある床において段差と斜路について、等価斜路長さを目安にして検討する場合、履物、動作の条件をいかなる場合の等価斜路長さとするかが大きな問題となるが、少なくとも身体的弱者も利用することを前提とすれば、図3に示した老化装具の下りの場合の値をその目安にする必要があろう。

図3 段差高さと同価斜路長さの関係

7. 結

高低差のある床を人間が歩行する場合、段差と斜路のどちらが負担が大きいかに関し、人間の動作的判断をもとに考察し、設定した条件の範囲で以下の結論を得た。

- ・同一高低差に対し、等価な負担となる、段差高さと同価斜路長さの組合せが存在する。本研究ではこの斜路長さを等価斜路長さとして定義した。
- ・ある段差に対して等価斜路長さより長い斜路にすれば段差と比較してより負担が小さい斜路になる
- ・同一高低差に設置する段差と斜路の負担の大小を考察する際の利用者側の条件は、高齢者等の身体的弱者の下りの場合を中心に検討することが重要となる
- ・等価斜路長さの絶対値は、図3より求めることができる。

なお、本論文で用いた基礎データは、平成15年度東北工業大学建築学科小野研究室研修生、長崎隆志、三島良太の諸君によるものである。また、本論文の作成には工藤瑞美君(東北工業大学大学院)、劉敏永君(東京工業大学大学院)の協力を得たことを記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 小野英哲, 三上貴正, 猫本泰彦, 横山裕, 高橋宏樹: 安全性からみた段差の評価に関する研究 降りる時の負担の観点から, 日本建築学会構造系論文報告集 No. 432, pp. 19~27, 1992. 2
- 2) 小野英哲, 三上貴正, 高橋宏樹, 横山裕: 非駆動キャスターの直進走行性からみた床の相対的評価方法に関する研究 床のかたさの観点から, 日本建築学会構造系論文報告集 No. 449, pp. 47~53, 1993. 7
- 3) 小野英哲, 和田茂明, 高橋宏樹: 車椅子の直進走行性からみた建築物床および屋外舗装路の相対的評価方法に関する研究 かたさの観点から, 日本建築学会構造系論文報告集 No. 459, pp. 31~39, 1994. 5
- 4) 小野英哲, 須藤拓, 三上貴正: 安全性からみた階段のすべりの評価方法に関する基礎的考察 安全性からみた階段のすべりの評価方法に関する研究(その1), 日本建築学会構造系論文報告集 No. 362, pp. 1~10, 1986. 4
- 5) 小野英哲, 武田清, 永田久雄: 階段各部分のすべり抵抗の測定方法 安全性からみた階段のすべりの評価方法に関する研究(その2), 日本建築学会構造系論文報告集 No. 373, pp. 19~26, 1987. 3
- 6) 小野英哲, 武田清, 三上貴正, 大野隆造: 安全性からみた階段のすべりの評価方法の提示 安全性からみた階段のすべりの評価方法に関する研究(その3), 日本建築学会構造系論文報告集 No. 383, pp. 1~7, 1988. 1
- 7) 小野英哲, 北山大, 高橋宏樹: 安全性からみた斜路のすべりの評価方法に関する研究, 日本建築学会構造系論文報告集 No. 448, pp. 11~18, 1993. 6
- 8) 小野英哲: 横断時の斜路のすべりの考察および安全性からみた斜路のすべりの総括的評価方法の提示, 日本建築学会論文報告集 No. 562, pp. 21~26, 2002. 12
- 9) 小野英哲: 階段の寸法差と安全性の低下に関する基礎的考察, 日本建築学会論文報告集 No. 565, pp. 33~39, 2003. 3
- 10) 小野英哲: つまずき、からぶみからみた斜路の勾配に関する考察, 日本建築学会論文報告集 No. 572, pp. 25~29, 2003. 10
- 11) 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 No. 345, pp. 115~121, 1984. 11
- 12) 川村次郎, 溝淵隆, 後藤義明: 健康者がからだの不自由を体験する装具(体験装具), 第7回 日本義肢装具学会学術大会
- 13) 小野英哲: 携帯型床のすべり試験機(ONO・PPSM)の開発, 日本建築学会構造系論文報告集 No. 585, pp. 51~56, 2004. 11
- 14) J. P. ギルホード, 秋重義治監訳: 精神測定法, 倍風館, pp. 276~301, 1959

(2005年6月9日原稿受理, 2005年11月22日採用決定)