

床段差歩行時の身体の負担感に関する実験研究

An experimental study on mentally-felt burden to body during walk over difference in floor level

矢島規雄*, 直井英雄**

Yajima Norio, Naoi Hideo

要旨

本研究は、建物内に設けられる単純段差およびまたぎ段差の2種の段差を対象に、それらを通過する際の身体の負担感を定量的に把握し、設計の基礎資料として提示することを目的としている。ここで、単純段差とは段差の一方が単純に下がっている段差を、またぎ段差とは段差箇所の境界に部分的に高くなつた枠等がある場合の段差をいい、また、負担感とは感覚的にとらえられた身体負担の度合をいう。実験および動作解析の結果、段差歩行時の負担感は主に床面の高低差に左右され、大腿角最大値は踏切側段差高さに左右されることなどの知見を得た。なお、研究当初に期待した大腿角最大値を負担感の代わりに用いることの可能性については、否定的結果であった。

キーワード: 床段差、単純段差、またぎ段差、負担感、大腿角最大値

Summary

The purpose of this study is to grasp mentally-felt burden to body during walk over difference in floor level with projected sill and with no projected sill. The result we grasped through the experiment and the motion analysis is as follows ; The degree of mentally-felt burden is influenced mainly by difference in floor level, and the maximum angle between two thighs was influenced mainly by sill height. And so the expected possibility to use the angle as the substitution of the burden is denied.

Keywords: difference in floor level, difference in floor level with no projected sill, difference in floor level with projected sill, mentally-felt burden to body, the maximum angle between two thighs

1. 研究目的

本研究^{文1)}は、床段差歩行時(以下、単に段差歩行時という)の身体の負担感を定量的にとらえ、設計の基礎資料として提示することを目的としている。具体的には、①段差歩行時の負担感を定量的に把握するとともに、これに加えて②もう一つの負担の指標になると考えられる大脚部のとる角度に着目して動作解析を行い、負担感の代用としてその大腿角を用いることができるか否かを検討した^{文1)}。なお、既往研究においては、種々の動作に関して筋電計等による身体への負担をとらえたものが多いが^{文2)}、本研究のように、段差歩行時の人間の身体負担を感覚的に評価する負担感として定量化した例はまだ見ない。なお、本研究において、大腿角とは、転子点と脛骨点のなす角とした(図-1)。

2. 実験方法

2-1. 実験装置

負担感の尺度として使うための単純段差と建物で現実的に考えられるまたぎ段差を木材を組み合わせて作り、寸法を変えられるようにした(図-2, 3)。なお、単純段差とは、段差の一方が単純に下がっている段差をいい、またぎ



図-1 大腿角の定義

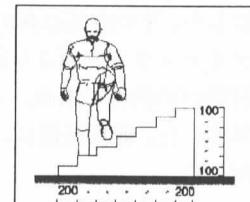


図-2 実験装置(1)

200—200—100の場合の例

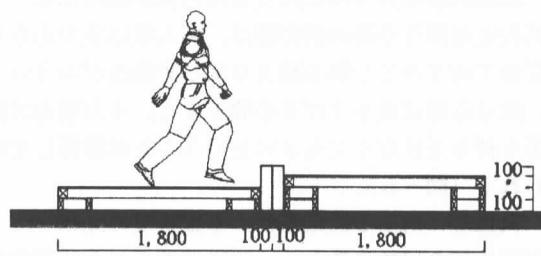


図-3 実験装置(2)

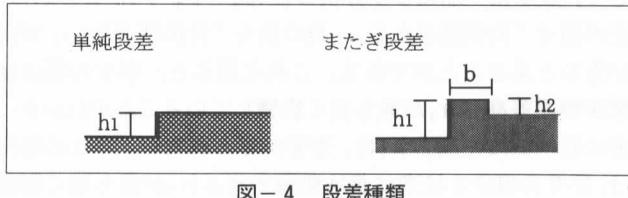


図-4 段差種類

段差とは、段差箇所の境界に部分的に高くなつた枠等がある場合の段差をいう^{#2)} (図-4)。

2-2. 段差の設定寸法

建物の中に通常設けられる段差の寸法範囲を考慮し、100mm単位で寸法を設定した(表-1)。以下、踏切側段差高さを h_1 、着地側段差高さを h_2 、またぎ幅を b とし、この組み合わせを $h_1 - b - h_2$ と表記する。床面の高低差が進行方向で正の時は昇り、負の時は降りとし、0の時は昇りと降りの両方で評価を求めることする。

2-3. 被験者および動作解析のための計測点

本学の学生12人(うち女性2人)、服装は普段通りのものとし、履物は靴とした。平均身長は168.6cmで、日本人成人集団として特に偏ったものではない^{#3)}。なお、本実験の主旨は身体負担を相対的にとらえることであつて、高齢者の限界等を求めるこではないので、この被験者で支障ないものと考えた。被験者には、動作解析の際の計測点として転子点、脛骨点、果点、踵点、足先点をとり、計9点を設けた(図-1)。

2-4. 実験種類と負担感の評価方法

実験の種類および内容を表-2に示す。

なお、実験2-1、2に共通して、評価基準が曖昧となるないように、図-2の階段状装置を基準尺度として常に使えるようにした。また、段差歩行の形態を一定にするため、またぎ段差の段部分には乗らないよう指示した。動作は、被験者各1回とし、疲労等の影響が出ないようにした。

2-5. 動作解析の方法

実験の際にとった動作解析に必要な記録を解析の対象とした。本解析ではまたぎ幅による著しい評価の違いが見られなかつたので、以下またぎ幅は200mmで統一し、被験者数を実験の際の11人からデータのとれる7人(うち女性1人)にした。平均身長は166.1cmであった。実験の際の動作をビデオカメラで側面より毎秒60コマで撮影した記録を用い、計測点の軌跡を求め、ここから図-1の大脚角の最大値を算出した。解析機器は、(株)DKH社のFrame-DIAS 2を使用した。

3. 段差歩行時の負担感に関する実験結果および考察

3-1. 単純段差を昇る時と降りる時の負担感の比較

単純段差を降りる時の負担感は、個人差はあるものの、評価平均でみると昇る時より少し評価値が小さい。これは、降りる時は足を上げる必要がなく、また重力に抗して体重も持ち上げなくてもよいといふことが影響していると思われる(図-5)。

3-2. 負担感に対する設定条件の影響程度の比較

評価平均値を目的変数とし、設定条件3つを説明変数として、数量化一類により分析した(図-6, 7)。この図は、正の値を「負担感がある」、負の値を「負担感がない」傾向があると見ることができる。これを見ると、昇りの場合は踏切側段差高さ h_1 が最も強く影響していることがわかる。逆に着地側段差高さ h_2 は、影響が見られない。降りの場合は、昇りの場合とは逆に着地側段差高さ h_2 が最も強く影響しているといえる。またぎ幅は今回設定した寸法では昇り

表-1 段差の設定寸法

部 位	寸 法 (mm)
踏切側段差高さ (h_1)	0,100,200,300,400
またぎ幅 (b)	0,100,200
着地側段差高さ (h_2)	0,100,200,300,400

表-2 実験の種類および内容

	実験の主旨	基準とした尺度	得ようとした評価
実験 1	単純段差を昇る時と降りる時の負担感の相対評価	単純段差を昇る時の負担感	単純段差を降りる時の負担感
実験 2-1	またぎ段差を昇る時と単純段差を昇る時の負担感の相対評価	単純段差を昇る時の負担感	またぎ段差を昇る時の負担感
実験 2-2	またぎ段差を降りる時と単純段差を降りる時の負担感の相対評価	単純段差を降りる時の負担感	またぎ段差を降りる時の負担感

*基準とした尺度は昇り・降り共に100mmを1、200mmを2、以下同様に700mmを7とした

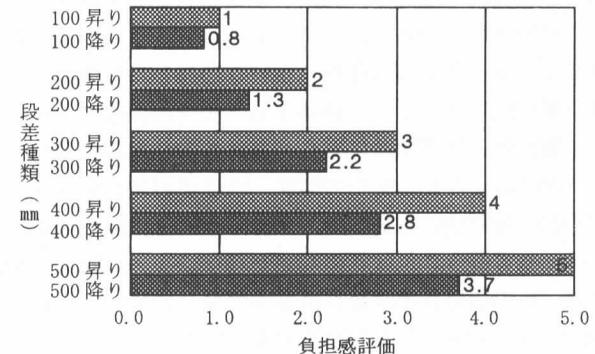


図-5 単純段差の昇りと降りの負担感の比較

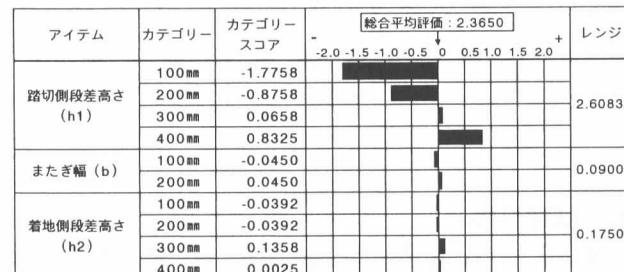


図-6 負担感に対する設定条件の影響程度の比較
(昇り)

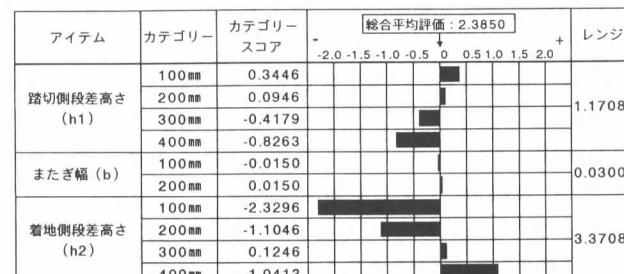


図-7 負担感に対する設定条件の影響程度の比較
(降り)

の場合も降りの場合も影響は見られなかったことから、建築で通常出てくるまたぎ段差のまたぎ幅に関してはあまり問題にならないといえる。

3-3. 段差歩行時の負担感の比較

$b = 200\text{mm}$ の場合を例に、またぎ段差の負担感の評価値を基準尺度である単純段差の評価値と比較した(図-8, 9)。

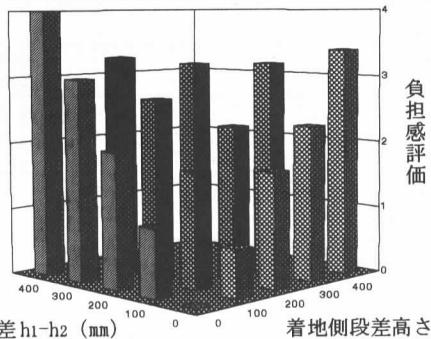


図-8 段差歩行時の負担感の比較
(昇り, またぎ幅200mm)

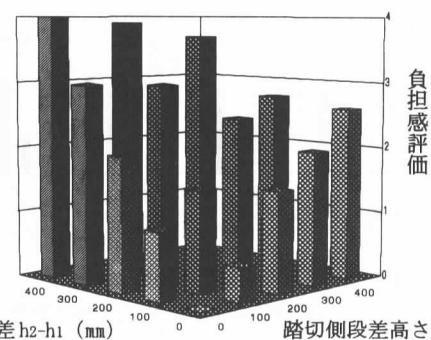


図-9 段差歩行時の負担感の比較
(降り, またぎ幅200mm)

昇りの場合は、床面の高低差 $h_1 - h_2$ が一定の場合は、単純段差の評価値が最も小さく、着地側段差高さ h_2 が大きくなるとともに評価値が大きくなる傾向にある。また、単純段差（着地側段差高さ $h_2 = 0$ ）の評価値と、踏切側段差高さ h_1 が等しくなるまたぎ段差（着地側段差高さ $h_2 \neq 0$ ）の評価値とを比べると、またぎ段差の評価値の方が単純段差の評価値より若干だが小さくなる。

降りの場合は、床面の高低差 $h_2 - h_1$ が一定の場合は、単純段差の評価値が最も小さく、踏切側段差高さ h_1 が大きくなるとともに評価値が大きくなる傾向にある。また、単純段差（踏切側段差高さ $h_1 = 0$ ）の評価値と、着地側段差高さ h_2 が等しくなるまたぎ段差（踏切側段差高さ $h_1 \neq 0$ ）の評価値とを比べると、踏切側段差高さ $h_1 = 0$ の単純段差の評価値が最も大きく、 h_1 が大きくなるとともに評価値が小さくなる。

以上の傾向は、 $b = 100\text{mm}$ の場合も同じように見られた。この理由については、4. の結論もあわせて考察する必要がある。

これらをまとめると、段差歩行時の負担感は、床面の高低差が決まっている場合は、単純段差にした方が負担感が小さくなり、高い方の立ち上がり寸法が決まっている場合は、単純段差にするよりもまたぎ段差にする方が負担感が小さくなるという結果に集約される（図-10, 11）。

4. 段差歩行時の大腿角に関する解析結果および考察

4-1. 動作解析結果の一例

段差歩行時の動作解析結果の一例を示す。（図-12）上段

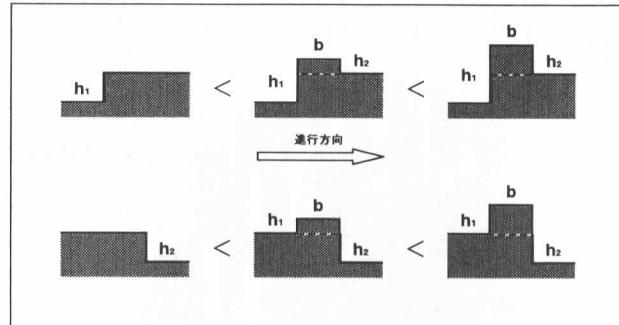


図-10 床面の高低差が決まっている場合の負担感の大小関係

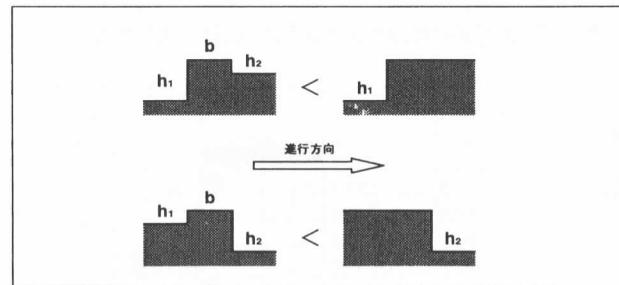


図-11 高い方の立ち上がり寸法が決まっている場合の負担感の大小関係

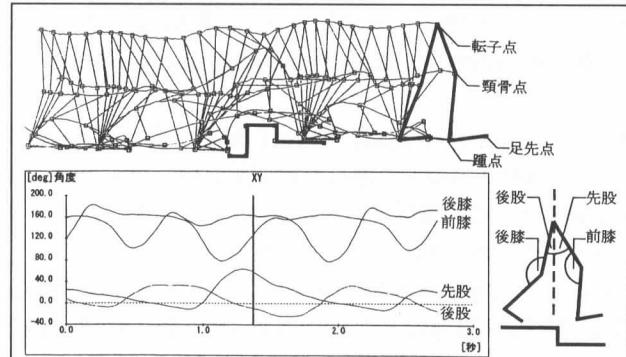


図-12 動作解析結果の一例（200-200-100の場合）

は計測点の軌跡、下段は、ここから算定した大腿角の時間変化である。

4-2. 段差歩行時の大腿角最大値の比較

各被験者の大腿角最大値を平均化した値を用い、踏切側および着地側段差高さの影響の違いを見た（図-13）。これを見ると、踏切側段差高さ h_1 の違いに大きく左右されていることがわかる。これは段をまたぐときは必ずその分だけ足を持ち上げなければならないということが影響しているといえる。

4-3. 大腿角最大値に対する設定条件の影響程度の比較

各被験者段差歩行時の大腿角最大値の平均値を目的変数とし、設定条件 2 つを説明変数として、数量化一類で分析した（図-14）。この図は、正の値を「大腿角度が大きくなる傾向がある」、負の値を「大腿角度が小さくなる傾向がある」と見ることができる。これを見ると、踏切側段差高さ h_1 が強く影響しており、着地側段差高さ h_2 はこれに比べれば影響が少ないといえる。

4-4. 大腿角最大値と踏切側段差高さとの関係に着目した分析

単純段差を降りる場合以外では、踏切側段差高さ h_1 の影

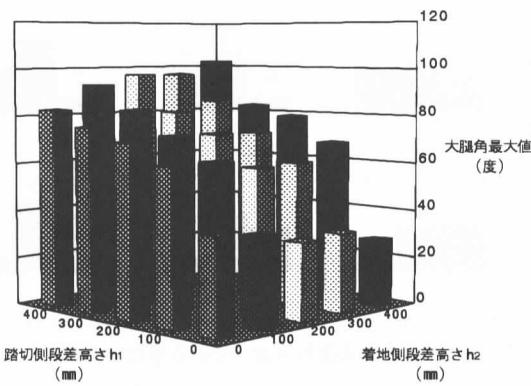


図-13 段差歩行時の大腿角最大値の比較（またぎ幅200mm）

アイテム	カテゴリー	カテゴリースコア	総合平均評価 : 70.4750						レンジ
			-30	-20	-10	0	10	20	
踏切側段差高さ(h ₁)	0mm	-39.0469							62.9612
	100mm	-7.3256							
	200mm	3.2144							
	300mm	11.4344							
	400mm	23.9144							
着地側段差高さ(h ₂)	0mm	-4.7344							7.6612
	100mm	0.7069							
	200mm	-0.4531							
	300mm	0.6069							
	400mm	2.9269							

図-14 大腿角最大値に対する設定条件の影響程度の比較

響が大きく、着地側段差高さ h_2 の影響が小さいという結果から、単純段差の降りを除いた踏切側の100, 200, 300, 400 mmの数値と全ての被験者の大腿角最大値の平均とばらつきを表示した（図-15）。

このグラフを見ると直線に近いことから、試みに直線回帰した結果、大腿角最大値 $\theta = 0.1h_1 + 53.1$ という式が得られた。この式は、 $h_1 = 0$ のとき $\theta = 53.1$ となるが、これは自然歩行のときの大腿角よりやや大きい値となっており、歩行形態が同一でないことが伺える。

5. 段差歩行時の負担感と大腿角最大値の関係

5-1. 比較のためのデータの補正

負担感の評価においては、単純段差の評価値を基準としているが、昇りと降りとで基準が異なっている。すなわち、単純段差の昇りを評価基準としてまたぎ段差の昇りを、同様に単純段差の降りを評価基準としてまたぎ段差の降りを評価している。この両者を同一線上で比較できるようにするため、すべて単純段差の昇りの場合の評価基準の数値に補正した。この補正には、図-5に示した単純段差の昇りと降りの関係を用いた。

5-2. 段差種類別にみた負担感と大腿角最大値の比較

補正したデータを踏切側段差高さ h_1 で比較できるようにした（図-16）。着地側段差高さ h_2 が一定の場合、踏切側段差高さ h_1 が大きくなると大腿角最大値も大きくなる傾向がみられる。負担感の評価値は図の左の方、すなわち段を昇る場合が多い集合では同じような傾向がみられるが、図の右の方、すなわち段を降りる場合が多い集合ではそのような傾向は見られない。

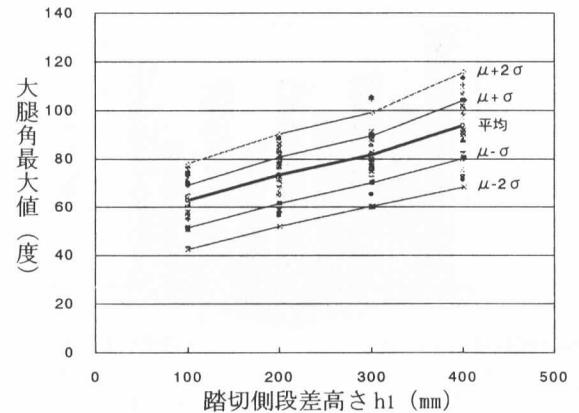


図-15 大腿角最大値と踏切側段差高さの関係

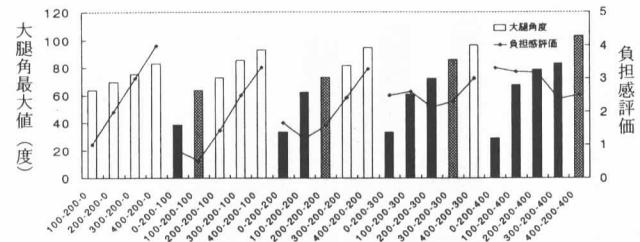


図-16 段差種類別にみた比較
(横軸には $h_1 - b - h_2$ の数値を表示)

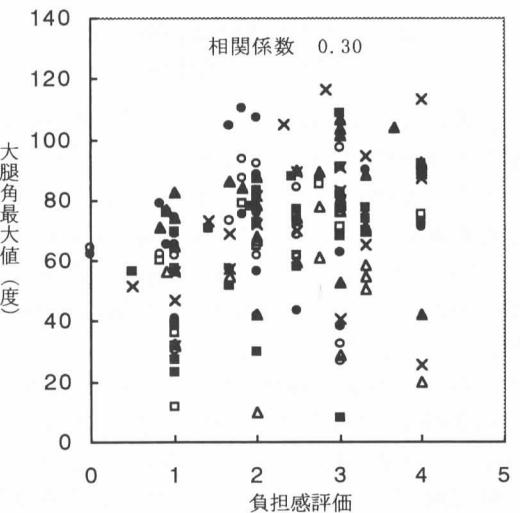


図-17 負担感と大腿角最大値の相関関係^{注4)}
(プロット記号は被験者の別を表す)

5-3. 負担感と大腿角最大値の相関関係

次にどの程度の強さの関係かをみるために全データで負担感と大腿角最大値の相関をとった（図-17）。相関係数は0.30になり、きわめて弱い相関しかないという結果であった。ここからも二つの指標の関係はあまりないといえる。

6. 結語

本研究により、以下の知見を得た。

- (1)単純段差歩行時の負担感は、同じ段差寸法の場合、昇りの方が降りよりも若干大きい。
- (2)またぎ段差歩行時の負担感は床面の高低差に大きく左右され、次に踏切側段差高さに左右される。
- (3)大腿角最大値は踏切側段差高さに大きく左右されるため、

上述の傾向を有する負担感の代用として用いることはできない。

なお、本研究に際し、平成12年度東京理科大学大学院生福田竜氏、卒研生宮田将史氏、秋元幸子氏の協力を得た。ここに記して謝意を表する。

【参考文献】

文1) 本研究は、次の論文をまとめたものである。

- ・福田竜、川村かおり、直井英雄；段差歩行の負担感に関する実験研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、2000年9月
- ・矢島規雄、直井英雄；床段差歩行時の身体負担に関する実験、日本インテリア学会大会研究発表梗概集、2001年10月

文2) 本学会の論文としては、例えば次のようなものがある。

- ・鈴木由美、上野義雪；洗髪洗面化粧台の機能条件に関する研究、日本インテリア学会大会研究発表梗概集、1990年11月
- ・浮貝明雄、上野義雪；ワークトップ高さの適合範囲 その1、2 日本インテリア学会大会研究発表梗概集、1991年11月

【注】

注1) 大腿角最大値を負担感の代用として用いる発想は、次の論文の延長上有ある。これらの論文は、階段において適切とされる蹴上げ・踏面寸法の関係式が大腿角最大値と関係づけられることを確かめたものである。

- ・高橋亮一、川村かおり、直井英雄；階段の“最適”な蹴上げ・踏面

寸法の関係式と昇降動作形態との対応に関する実験研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、1998年9月

- ・川村かおり、高橋亮一、直井英雄；昇降動作形態より見た階段・斜路の適切とされる寸法条件に関する検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、1999年9月

注2) これらの定義は次の文献によっている。

- ・建設省住宅局住宅整備課監修、財団法人高齢者住宅財団発行；長寿社会対応住宅設計マニュアル、1995年11月

注3) 実験の被験者の身長データを下表に示す。

被験者	身長(cm)
1	186
2	162
3	164
4	172
5	167
6	162
7	170
8	170
9	167
10	171
11	163
12	169
平均	168.6

注4) 本実験において、1～7の評価基準を設けたが、評価としては最大でも5以下であった。また、評価として0が存在しているが、これは最低基準の1よりも負担が小さいと感じられる場合を、被験者が0と評価したものである。

(2001年10月31日原稿受理、2002年3月4日採用決定)