

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

正会員 ○ 高橋 亮一*1
同 川村 かおり*2
同 直井 英雄*3

■研究目的■

階段の昇降動作にとって最適とされる蹴上げ・踏面寸法の関係をあらわす式のひとつに $2R+T=S$ (R: 蹴上げ寸法 T: 踏面寸法 S: 自然歩幅) という式がある。この関係式はおそらく経験式であろうが、実際にこの式に従った階段では無理のない歩行感が得られることが多いため古くから広く用いられている。ただしどのような意味で昇降動作に最適なのかは、これまで必ずしも明らかにされてはいない。そこで本研究では、階段の昇降動作を解析し、この関係式と昇降動作形態、特に人体下肢の動作形態との対応関係を人間工学的に検討することにより、最適とされる意味を可能な限り明らかにすることを目的とする。

■実験方法■

①実験装置: 実際にとりうる階段寸法範囲を代表するモデル階段として、図1に示すような階段を、表1に示す設定寸法により、計9体製作した。ここで、 $2R+T$ の値については、最適とされる値が60~65cmであることから中間値の62.5cmを用い、これに歩行感にかなりの違いをもたらすであろう15cmの差をつけて47.5cm、62.5cm、77.5cmの3種類に設定し、また勾配については30度、45度、60度の3種類に設定した。なお、全ての階段に2cmの蹴込みを設けた。また、床面歩行実験については、自然歩行の他に、歩幅を47.5cm、62.5cm、77.5cmに設定し、床面にビニールテープを貼った。

②被験者: 本学の学生7人(男4人、女3人)を被験者とした。被験者の身長と歩幅を表2に示す。服装は通常のものとし、靴は同種類の運動靴とした。

③実験方法: 図2に示すように、被験者の頭頂、胸骨上縁、肩、肘、手、大転子、膝、足首、つま先の計16箇所を計測点として、床面を設定された歩幅で歩かせた後、モデル階段をそれぞれ3回ずつ昇降させた。床面歩行と昇降動作を、ビデオカメラで側面より毎秒30コマで撮影したのち、16箇所の計測点のうち、大転子、膝、足首、つま先の7箇所について2次元解析を行った。解析に際しては、下肢のなす角度を図3のように定義した。

■実験結果及び考察■

実験の結果及び考察を以下項目ごとに述べる。

①昇降動作形態そのものの特徴

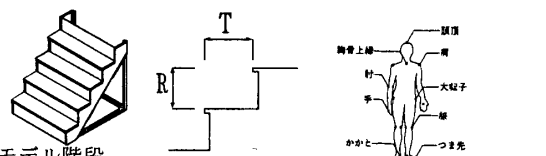


図1. モデル階段

表1. 階段設定寸法 (cm)

| R・Tの関係 | 勾配 | 30度 45度 60度 | | |
|-----------|-----|-------------|------|------|
| | | R | T | 2R+T |
| 2R+T=47.5 | 30度 | 12.7 | 15.8 | 18.4 |
| | 45度 | 22.0 | 15.8 | 10.6 |
| 2R+T=62.5 | 30度 | 16.7 | 20.8 | 24.2 |
| | 45度 | 29.0 | 20.8 | 14.0 |
| 2R+T=77.5 | 30度 | 20.8 | 25.8 | 30.1 |
| | 45度 | 36.0 | 25.8 | 17.4 |

図2. 人体計測点

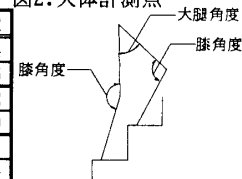


表2. 被験者の身長と自然歩幅 (cm)

| 項目 | A | B | C | D | E | F | G |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 性別 | 女 | 女 | 女 | 男 | 男 | 男 | 男 |
| 身長 | 145 | 155 | 158 | 165 | 170 | 175 | 180 |
| 自然歩幅 | 58 | 63 | 62 | 67 | 65 | 66 | 69 |

図3. 下肢のとる角度の定義

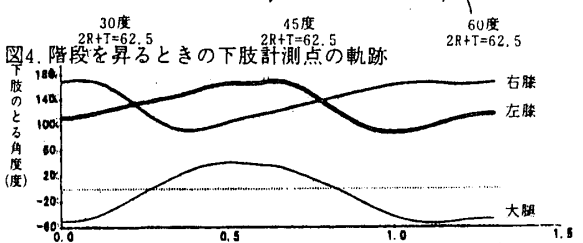
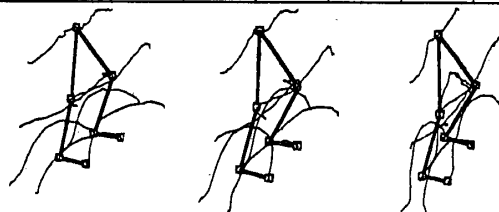


図4. 階段を昇るときの下肢計測点の軌跡

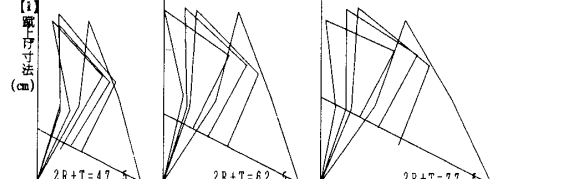


図5. 下肢のとる角度の時間変化

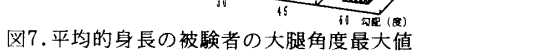
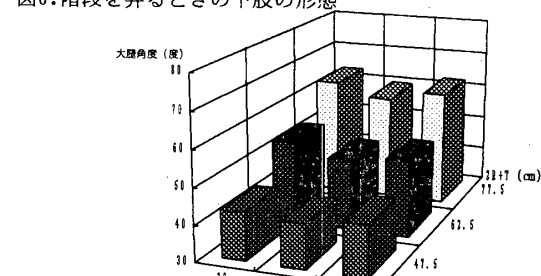


図7. 平均的身長の被験者の大腿角度最大値

Experimental study on relation between actual form of body motion in ascending and descending stairs and an equation on rise and tread which is accepted as most proper

Takahashi Ryoichi et al

図4は、平均的身長の被験者Cを例に、3種類の勾配ごとの階段（それぞれ、 $2R+T=62.5\text{ cm}$ ）における軌跡を示したものである。図4を見ると、階段の勾配が大きくなるにつれ、つま先部分のもどりが見られ、昇降動作は不自然になる。また、図5は下肢のとり角の時間変化を示した例であり、図6は、各 $2R+T$ の4種類ごとの勾配別に両下肢着地時の形態を示したものである。これを見ると、大腿角度については、大きな変化は見られず、この角度が勾配にかかわらず $2R+T$ の値によって決定され、一定に維持されるのではないかと推測が生まれる。

②平均的身長の被験者の下肢のとり角

図7は平均的身長の被験者Cの大腿角度の最大値を、図8は膝角度の最小値を示したものである。図7を見ると、 $2R+T$ の値が大きいほど大腿角度の最大値が大きくなるが、大腿角度の最大値と階段の勾配との間には関係が見られず、 $2R+T$ の値が一定なら、大腿角度の最大値もほぼ一定の値になる。図8の膝角度の最小値についても同様の傾向が見られるが、大腿角度ほどきれいな関係ではない。

③下肢のとり角の個人差

図9および図10は、 $2R+T=62.5\text{ cm}$ の階段において、下肢のとり角を被験者別に示したものである。これを見ると、身長が高いほど、大腿角度の最大値が小さく、膝角度の最小値が大きくなる傾向があるが、個人差が大きく、そうきれいな関係とはいえない。

④幾何学的モデルによる下肢のとり角の検討

図11に示すように、日本人の平均的人体寸法による下肢動作形態の単純化したモデル（1. 膝は下肢の midpoint 2. 下段にある下肢の膝は伸展 3. 大転子点は両下肢着地点の中央上方）を用い、設定された3種類の $2R+T$ の値を満たす階段について、それぞれ階段の勾配を変化させた場合の大腿角度と膝角度を求めたところ、図12が得られた。これを見ると、 $2R+T$ の値が大きいほど大腿角度は大きくなるが、勾配に関しては、床面歩行（勾配0度）および急勾配の範囲を除きほぼ一定に保たれることがわかる。これに対し、膝角度は両条件により値が変化する。

■まとめ■

以上、本研究により、 $2R+T$ の値が一定の階段では、勾配が変化しても大腿角度の最大値がある程度一定になることが実測値およびモデル検討により明らかになった。この値が床面歩行のときとかなり異なっていることについては、膝を曲げた形態か否かによる筋負担の違いなどが関係しているものと考えられるが、さらに検討が必要である。なお、本研究は平成9年度東京理科大学卒研究生、小松和真氏、江川敏史氏の協力を得た。ここに記して謝意を表する。

*1 東京理科大学大学院
*2 東京理科大学助手
*3 東京理科大学教授

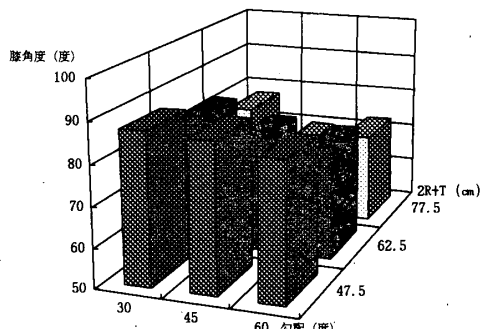


図8. 平均的身長の被験者の膝角度最小値

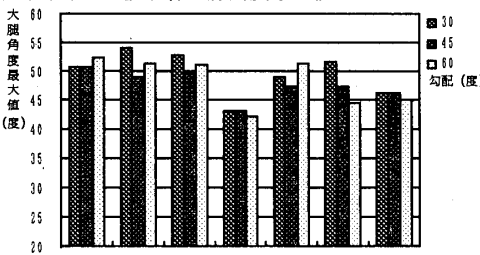


図9. 被験者の身長ごと的大腿角度最大値の比較

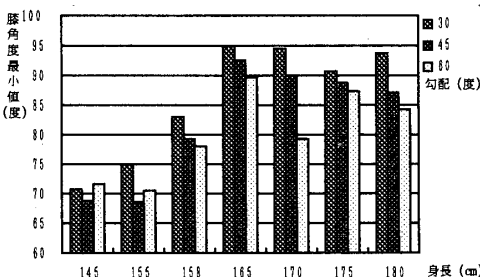


図10. 被験者の身長ごとの膝角度最小値の比較

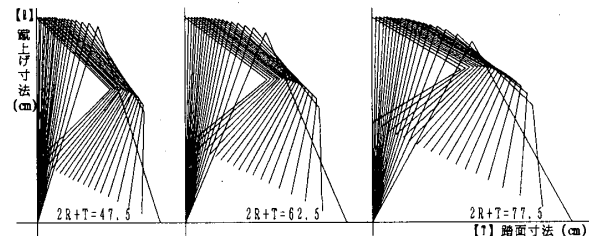


図11. 人体モデルによる検討

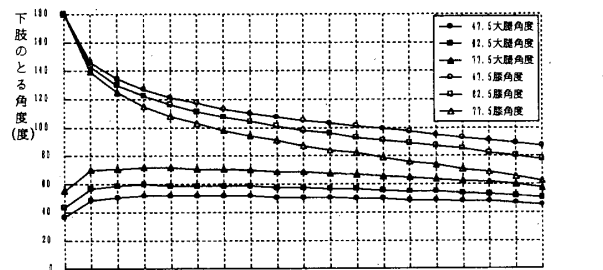


図12. 人体モデルの検討から得られた下肢のとり角

<参考文献(代表的なもの)>
 (1) 日本建築学会編：建築設計資料集【単位空間】
 (2) 木下鈞一・永田久雄ほか：階段・通路の安全性に関する研究（第1報）（日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和50年10月）
 (3) 大内一雄・若井正一・後藤謙：昇降のしやすさからみた階段の検討（日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和53年9月）
 (4) 古瀬敏・宇野英隆・遠藤佳宏：階段使用時の安全性確保に関する研究 その1（日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和55年9月）
 (5) 古瀬敏・宇野英隆・遠藤佳宏：階段使用時の安全性確保に関する研究 その2（日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和56年9月）

Graduate Student, Dept. of Architecture, Faculty of Eng, Science Univ. of Tokyo
 Research Assoc., Dept. of Architecture, Faculty of Eng, Science Univ. of Tokyo
 Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Eng, Science Univ. of Tokyo, Dr. Eng.