

住宅階段の安全性に関する研究

宇野 英隆
遠藤 佳宏
古瀬 敏

目 次

0. はじめに
1. 階段における転落事故発生の現状—統計データによる検討
2. 階段での人の行動に関する動作分析
3. 踏面・蹴上の変化が人に与える影響の生理的検討
4. 階段下降時の足使いの検討
5. 階段下降時の踏面に与える接地圧の検討
6. 安全な階段設計の提案

0. はじめに

建築が原因で起こる日常災害のうちで、階段からの転落事故が占める割合は、その発生頻度または被害程度のいずれにおいても大きい。特に住宅のなかで起こる日常災害としては高齢者の被害が多いということからも問題である。したがって、階段の安全性を高めることは、居住環境の改善という点できわめて重要である。

このことを念頭に置き、本研究では、住宅の階段での転落事故を減らし、また事故による研究の進め方としては、まず事故の実態をできるかぎり定量的にとらえることを試み、次に階段を利用するときの人々の行動を知り、行動の状況から最低限安全を確保するための条件についての検討を行った。そして、これらの結果にもとずき、住宅階段の安全性向上のための具体的な提案をまとめてみた。

1. 階段における転落事故発生の現状—統計データによる検討

階段からの転落事故の実態について、定量的な観点から信頼できる情報は火災統計などとは比較にならぬほど少ない。火災統計が原則として全数を把握しているのに対して、階段での転落事故のような家庭内日常災害は、その発生を記録する方法が確立されていないからである。このため、定性的にも定量的にも信頼できるような統計データは、階段からの転落事故に関しては現在までのところ存在しない。

しかし、データの不在を理由にこの問題に手をつけずにおくことはできないので、関連資料その他の検討を行うことにより、事故実態の状況を把握した。以下にその

内容を示す。

1. 1 公的データによる事故実態の推定

上に述べたように、家庭内での階段からの転落事故に関しては、信頼できる統計資料はない。ただし、データの一部として階段事故の情報を含んでいるものはいくつかあり、これらをより詳しく検討すれば、事故実態の概略がとらえられる。

まず第一に、もしその事故の被害者が不幸にも死亡した場合には、厚生省によってまとめられている人口動態統計にそのデータとして記載される。この人口動態統計は、WHOの標準形式に沿うかたちでまとめられているため、事故の発生した場所がある程度特定されるようになっているが、階段からの転落事故の場合には、家庭の内外のどの階段であるかはわからない。このように、今回の目的にとってやや不十分ではあるが、すべての事例を把握しているという意味で貴重であり、ここでも利用することとした。

現在手元にあるうちで最新のものである昭和55年の人口動態統計によれば(表-1)、住宅で階段から転落して死亡した人は、371人であり、このうち203人が男、168人が女であった。階段からの転落全数に対する住宅での事故の割合は、約60%でこの比率はここしばらくほぼ変わっていない。

表-1 家庭での階段転落事故での死亡者数

	全事故死亡者数	うち墜落・転倒 などによる死者数	うち階段転落 事故死者数
総 数	12,254	3,419	648
内 訳	男	7,857	1,948
	女	4,397	1,471
うち家庭	6,438	1,732	371
内 訳	男	3,615	825
	女	2,823	907

(昭和55年厚生省人口動態統計より抜粋—従業員を除く)

死亡に至らない事故については、詳細を知ることのできるものはない。米国・英国の同様なシステムにならって国民生活センターが行っている病院危害情報は、比較的統計的に信頼のおけるものといえるが、これによれば、昭和56年度には、協力している全国9つの総合病院から寄せられた事故件数2877件のうち階段事故は205件で、件

数としては自転車に次いで第二位であった(表-2)。この順位は調査開始以来ずっと変わっていない。

表-2 危害情報収集(病院)による事故原因

	昭和56年度		累計(53年10月-57年3月)	
総数	2,877		12,128	
1位	自転車	306	自転車	1,122
2位	階段	205	階段	859
3位	化粧品	92	化粧品	413
4位	ドア	76	道路	303
5位	包丁	73	ドア	290

(昭和56年度危害情報報告書より抜粋)

1.2 アンケート調査による事故実態把握例の検討

既に著者らが昨年報告した階段転落事故調査報告においては(直井・丸田・宇野・遠藤, 1983), 発送した965通に対して348通の回答を得たものの, 住宅階段の性状と転落事故との因果関係については, 階段の勾配, 蹴上・踏面寸法, 手摺の有無いずれをとっても統計的に有意な差を見出すことができず, 明確な関係を示すことはできなかった。

上記1.1で述べた国民生活センターでは, この年度に起った階段転落事故のうち4月から10月の128件につき, 情報を提供してくれた病院の了解のうえ, 事故被害者本人の同意の得られた65件に対して, 事故発生現場での追跡調査を試みようとしたが, 最終的にサンプルできたのはわずかに11件にすぎず, 階段での転落事故の詳細な状況を把握して事故防止に役立てるための具体的な指針を得ようという目的を達することはできなかった。

米国においてやはり数年前に階段の安全性の研究が行われたとき, 住宅の居住者に対してアンケート調査が実施されたが, そのときにも階段の性状と階段での転落事故との間に有意な関係を見出すことはできなかった。

このような結果を考え合わせると, 階段での転落事故の実態をかたよりなくとらえることは, どのような方法を用いるにしてもはなはだ困難なように思われる。

2. 階段での人の行動に関する動作分析

階段を使う際の人の行動の特性は, 階段からの転落事故に至る要因の大きな部分を占めるものと考えられる。そこで, 著者らは人々がつね日頃どのように階段を使っているかを知るために, 多くの人が利用する階段を選び, 利用者の足の動きをビデオで撮影し, この解析を行って階段の上での人々の行動のパターンを求めてみた。

実測するにあたっては, 利用者の数がある程度多くなれば十分なデータが得られないことを考え, 国電の駅と病院の階段を選んだ。これらの階段の寸法は住宅のものとは大幅に異なっており, また, 他の利用者の存在によって行動が影響を受けたりするため, 必ずしも住宅階段の

利用性状がここで求められるとはいえない。したがって, これらの計測は, 一般的な階段利用の状況のデータを得るため, および実験室においての実験が現実の階段利用の性状を再現し得るかどうかの検証の基礎とするためである。

実測は, 国電の津田沼駅と新橋駅, ならびに都内のある総合病院で行った。それぞれの階段の寸法・仕上げその他については表-3に示す。

表-3 実測対象階段の特性

	蹴上	踏面	段数	踊場数	材質
津田沼駅	165mm	330mm	31段	1	花崗岩
新橋駅	135	330	40	2	〃
S病院	180	280	22	1	プレキャストコンクリート+プラスチックタイル

表-4 実測被験者総数(下降)

場所	性別	0-14才	15-44才	45-64才	65才-	計
津田沼駅	男	11	125	20	1	157
	女	10	107	21	0	138
新橋駅	男	1	57	17	11	86
	女	1	39	12	2	54
S病院	男	5	54	35	7	101
	女	2	74	29	9	114

ビデオカメラによって行った実測により, 表-4にあるような利用者が被験者としてビデオにおさめられた。これらのデータを解析して得られた結果はおおよそ次のようなものである。

- (1) 歩行速度は, 1段約0.5秒程度であるが, 場所によっては急ぎの用事のゆえか, 0.3秒以下の利用者もみられる。
- (2) 実測階段では, 踏面寸法に余裕があるせいか, 危険を伴うような利用状況は認められなかった。
- (3) 階段下降時には, 利用者の行動は一定の枠のなかに収まる傾向がみられたが, 上昇時には個人差が大きく, まとまった結果を得るに至らなかった。

3. 踏面・蹴上の変化が人に与える影響の生理学的検討

階段に関する過去の研究は, ほとんどのものが利用時の快適性・利便性を検討しており, その結果として30度前後の緩やかな階段を推奨している。一方, 先に述べた著者らによる階段転落事故のアンケート調査からも明らかであるが, 日本の住宅では, 階段の勾配は45度以上の急なものが多く, これをもっと緩い勾配に変更するのは住宅全体のスペースからみて不可能に近い。しかも, もしこの急な階段がいろいろな観点から不都合であるのな

らば、少なくともその改善を図ることがのぞまれる。このようなことから、ここでは、現在の住宅につけられているような階段が、生理学的にみて問題をかかえているかどうかについて検討を行った。

もしも踏面・蹴上の寸法を変えることが階段の昇降の際の労働負荷に影響を与え、たとえば緩やかな階段は少ないエネルギーしか要求しないとすれば、勾配条件をきびしく規制するにあたっての有力な論拠となろう。逆に、エネルギー消費の観点からなんらかの決定的な理由が見出せないとすれば、階段の寸法は別の要因で定めなければならないことになる。このことを検証するため、今回は実験室に用意した階段を用い、その昇降を繰り返した際の労働負荷の変化から踏面・蹴上寸法の変化の影響を求めることにした。ただし、本来ならば、エネルギー消費量を厳密に知るためには呼気の採取による酸素消費の計測を行うのが望ましいが、人手と時間の関係から、今回は、階段昇降時の心拍数を指標として主に用い、酸素消費量と心拍数の関係を別にトレッドミルで明らかにしたものと比較した。心拍数が必ずしも労働負荷と一致しないことは周知の事実であるが、階段昇降による労働負荷は、日常生活の行為のうちでは大きいものに属していること、また計測に際しては、被験者に対する心理的な影響は与えないよう配慮したこと、さらに計測時間はこれらの外乱の影響を受けないように長くしたこと、データの安定性については問題がないと考えられる。

なお、一気に長い階段を上昇した際の心拍数の変化を知るため、ある超高層ビルの階段を使つての実測を加えた。

3. 1 トレッドミルによる酸素消費量と心拍数増加の関係の検討

トレッドミルを用いて酸素消費量と心拍数との関係を求める実験は、順天堂大学体育学研究室で実施した。100 m/分で動くトレッドミルの上を被験者に歩行させ、一方で段階的にトレッドミルの勾配を高くして行って、速度に追従できなくなるまで計測した。実験手順は、スポーツ医学の標準的なやりかたにならった。被験者は3名である。得られたデータから酸素消費量と心拍数の関係を求めた結果が図-1である。最大負荷の部分を除いてはほぼ線型の関係が成立しているが、個人ごとにわずかの差が認められる。労働負荷を一般に用いられている R. M. R. (エネルギー代謝率) によって比較するためにこれを算出してみると、R. M. R. と心拍数の関係は図-2のごとくなる。

3. 2 実験階段による心拍数変化の計測

実験階段は5台あり、それぞれ9段からなっているが、蹴上寸法が固定で、150mmから15mmきざみに210mmまでとなっている。踏面寸法は可変であつて、150mmから330mmまで変えることができる。今回の実験には、蹴上寸法は

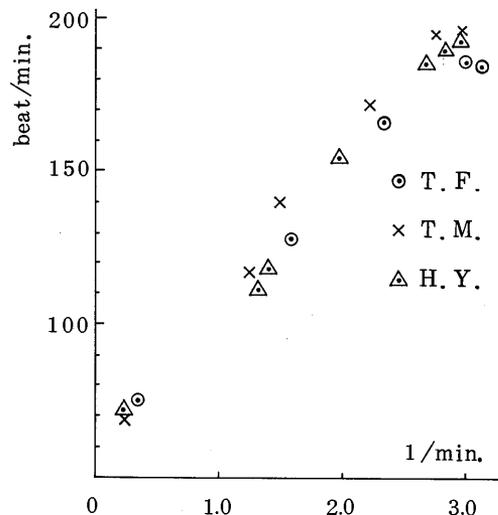


図-1 被験者の1分間あたり酸素消費量と心拍数との関係

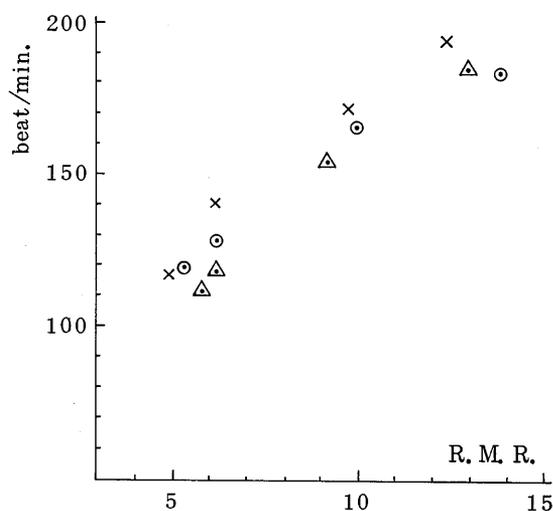


図-2 1分間あたり心拍数とエネルギー代謝率 (R. M. R.) との関係

150mm, 180mm, 210mmの3台を選び、踏面を180mm, 240mm, および300mmに設定しての組合せ計9種と、踏面150mm蹴上210mm, ならびに踏面330mm蹴上150mmの2つ、全部で11通りの条件で実験した。

歩行速度として、階段上における垂直移動速度を18m/分とした。これは、蹴上150mmの階段を1段0.5秒で歩くことに相当し、2. で述べたように標準的な速度とみなせる。労働負荷によって心拍数が一定になるまでの時間がある程度長いと推定されたので、各被験者は15分間にわたって実験階段昇降を行った。この結果、図-3に示すような変化のグラフが得られた。これから R. M. R. を計算してみると、その値はいずれの寸法条件においても5程度であつて、踏面・蹴上寸法との関係は認められなかった。

3. 3 超高層ビルの階段連続上昇による心拍数増加

東京都内のある超高層ビルの階段を利用して、104m

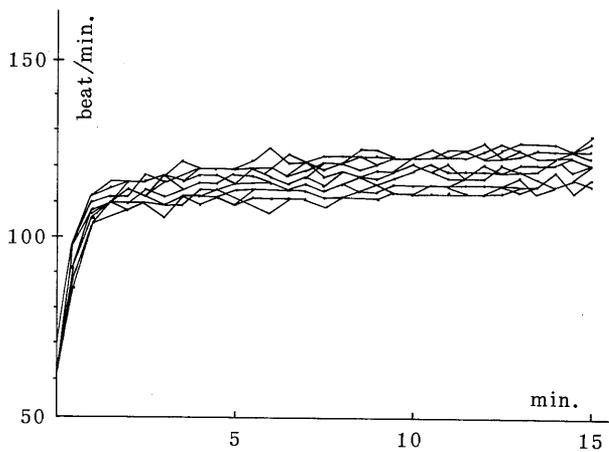


図-3 実験階段昇降の際の心拍数の変化と踏面・蹴上寸法の11通りの組み合わせとの関係の例 (被験者 T.F.)

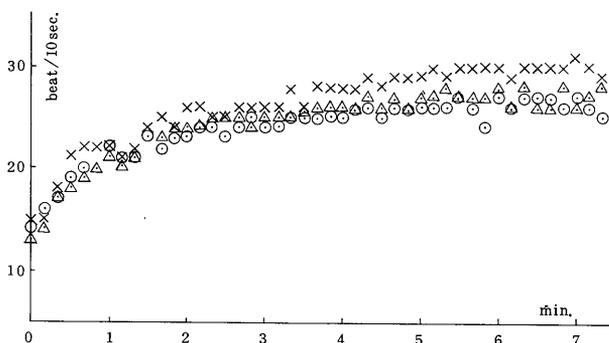


図-4 超高層ビル階段連続上昇の際の被験者の心拍数の変化 (10秒心拍数)

の高度差を休みなしに昇った場合の心拍数変化の状況を調べた。この階段は、踏面260mm、蹴上170mmである。踊り場を除いた階段部分での垂直上昇速度は、実験室と同じく18m/分とした。それぞれの被験者は、この階段を6分40秒でのぼった。この場合の各被験者の心拍数増加の状況を図-4に示す。昇降の繰り返しに比べると、増加が大きいことがわかる。

3. 4 生理学的にみた踏面・蹴上の必要寸法について

以上の結果をまとめると、階段の勾配は昇降の際のエネルギー消費に対して影響を持たないようである。したがって、生理学的観点からは、住宅で使われる望ましい階段の寸法は決定されない。単純に、階段が長ければ全負荷は大きく、住宅の階段のようにごく短いもの場合には、全体としての負荷が小さいことになる。このことから、公共の場の長い階段では他の利用者の速度との関係から一定の規制を設ける必要が認められるが、住宅階段ではそのようなことはなく、踏面・蹴上寸法は他の要因に依存するといえる。

4. 階段下降時の足使いの検討

階段の事故の原因は、大きく3つに分けることができる。即ち、

- (1)踏面ですべる。
- (2)段鼻ですべる。
- (3)踏みはずす。

このいずれも人の足使いを解析することによって事故の動機を知ることが出来る。昇降のどちらに事故が多いかは明らかな文献はないとしても、昇る場合にはあおむけに倒れることは考えられず。降下時の事故が問題となると考えられる。また、2.での実地観察でも降下時に一定のまとまりを示していることから前述の実験階段で踏面・蹴上寸法を変化させて足使いを分析した。

4. 1 階段による足使いの測定

実験用階段は3. 2で使用した5台である。今回実験に使用した踏面・蹴上の寸法は

踏面 180, 210, 240, 270, 300, 330mmの6種

蹴上 150, 165, 180, 195, 210mmの5種

で、各組合せにより30種類である。

被験者は健康な男子4名で、その下降状態はビデオカメラによって記録した。

測定した被験者のひざ、くるぶし、かかと、第1中足骨小頭、つま先の5点のステックピクチャーの1例を図5に示す。これらの測定点のうち、第1中足骨小頭(図6)の接地位置(図7)との関係は図8の様になり、その二次回帰曲線は図9の様になる。第1中足骨小頭と蹴上の関係は図10のごとくである。

4. 2 足使いから見た踏面・蹴上寸法

歩行者の足が踏面上に接地した時の体重の移動を考えると第1中足骨小頭が踏面からはみだすと足の調整が出来ないので、安全な範囲はこの小頭が踏面内に接地できることである。この限界を踏面の安全な寸法と見なしてもよからう。図10で見ると踏面180mmでは、蹴上寸法に関係なくすべて踏面から接地位置がはみ出している。したがって今回の実験からは、踏面は210mm以上である。しかし、図9の二次回帰曲線の接地位置が60mm位に収斂していることを考えると心理的な効果を加味して踏面を決めれば、300mm位が理想である。

5. 階段下降時の踏面に与える接地圧の検討

階段の踏面・蹴上の変化による階段下降時の歩行形態の変化を踏面に加わる接地圧の面から検討する。

5. 1 踏面に与える接地圧の測定

実験階段は、階段の下から4段目に接地圧を測定するフォースプレート(キスラー社・基本固有振動数>800Hz)を設置したほかは、4. 1とまったく同様である。被験者、実験方法、踏面と蹴上の組合せも同様である。

測定結果の1例を図11に示す。足の接地圧と踏面の関係を図12に、接地圧と蹴上の関係を図13に、その回帰直線を図14に示す。接地圧は被験者の体重に対する百分率である。

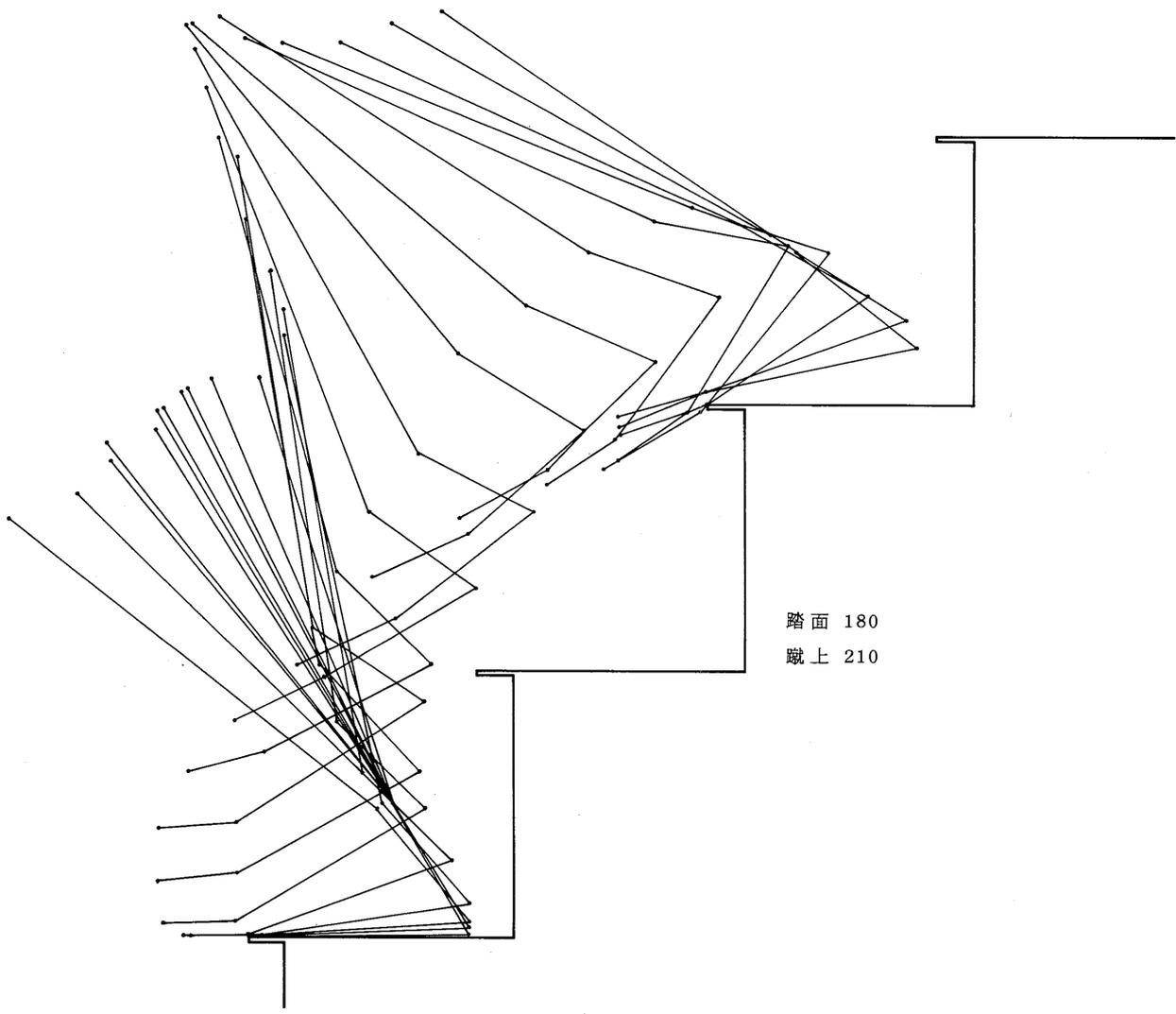


図-5 階段下降時のスティックチャー



図-6 足裏の名称

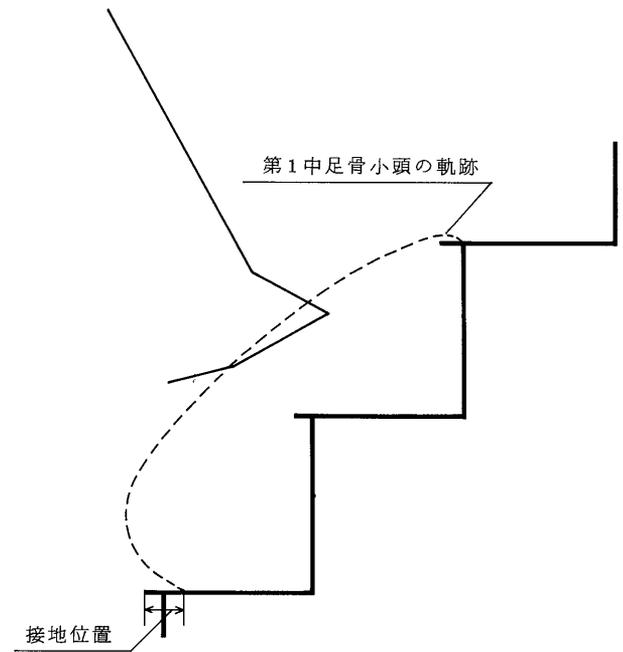


図-7 第1中足骨小頭の接地位置

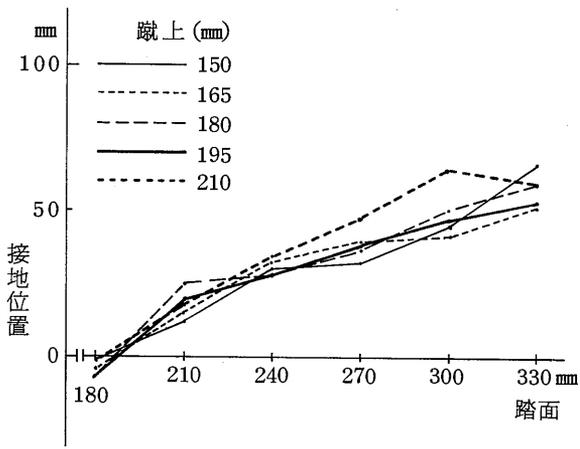


図-8 第1中足骨小頭の接地位置と踏面

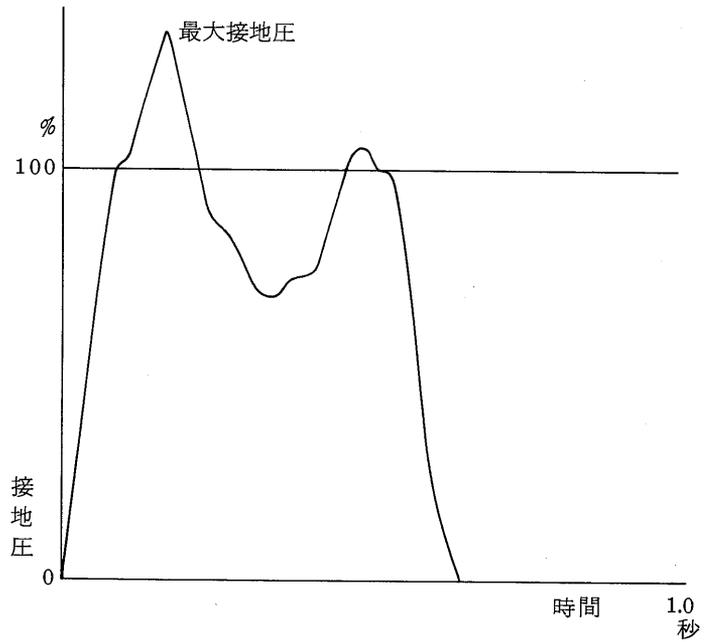


図-11 足の接地圧 (降り)

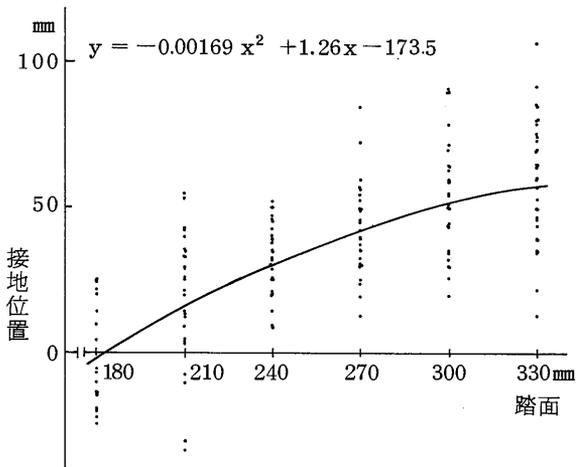


図-9 第1中足骨小頭の接地位置の2次回帰曲線

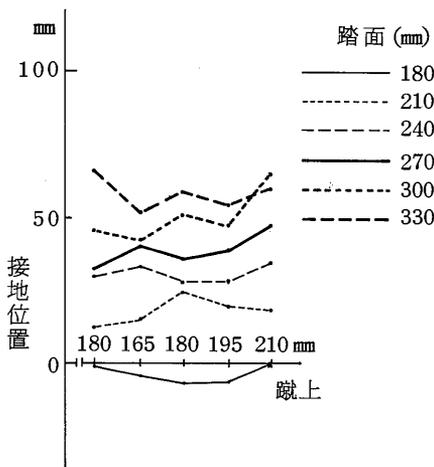


図-10 第1中足骨小頭の接地位置と蹴上

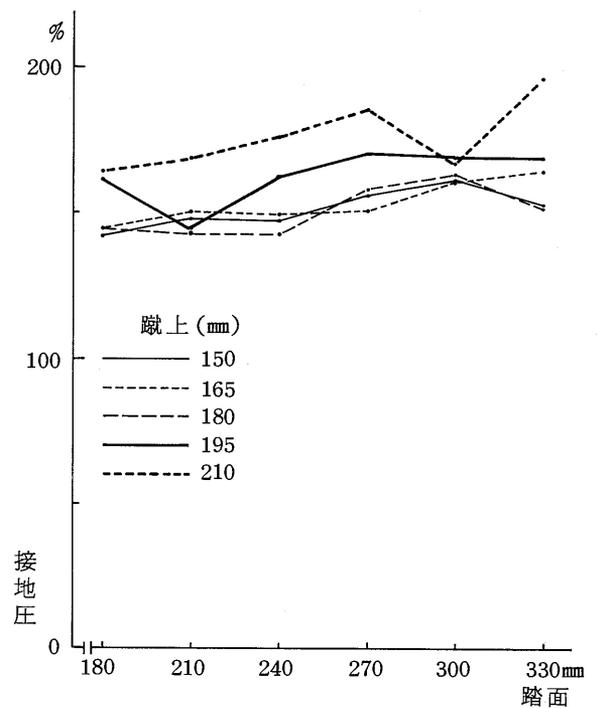


図-12 足の接地圧と踏面

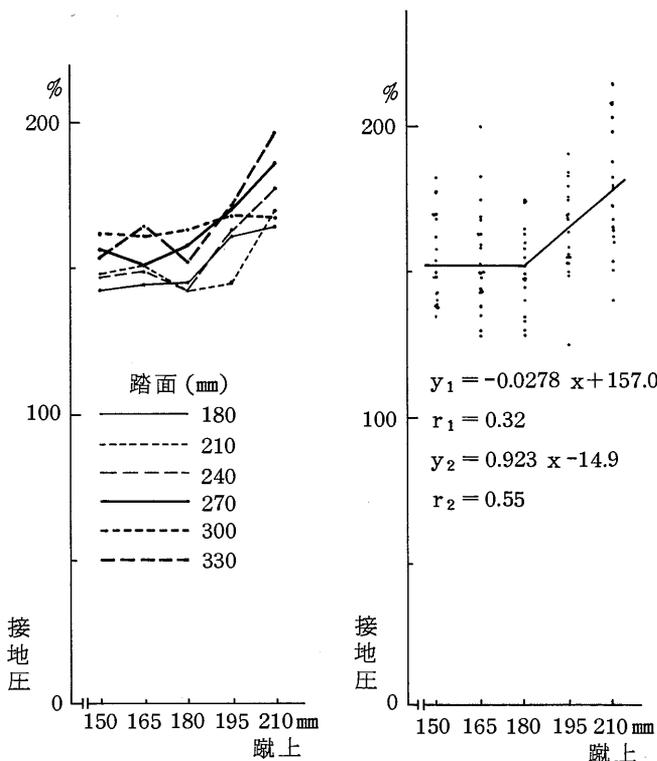


図-13 足の接地圧と蹴上

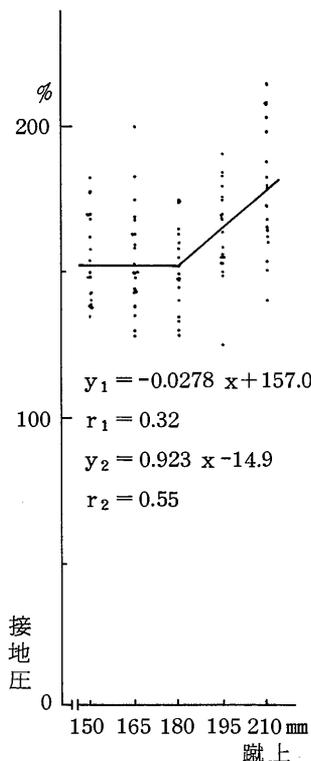


図-14 足の接地面と蹴上の回帰直線

5. 2 接地圧の変化より見た踏面・蹴上寸法

踏面が大きくなると接地圧は多少増加する傾向が見えるが今回の実験範囲では変化があるとは言えない。(図12)

蹴上が180mmまでの間では、接地圧に変化が見られないが、それを超えると接地圧が急激に増加する。(図13・14)したがって蹴上180~195mmの間で歩行形態に変化が起きるものと思われる。これは、今まで体重を支えていた足が蹴上寸法が高くなったために体重を支えきれず、もう片方の足に体重を移動してしまう結果生ずる現象であると解釈できる。この状態はふみ出した場合に体を支えることが不可能となり、また、段鼻でのすべりも生じ易いと考えてよい。

したがって、今回の接地圧の測定実験では、蹴上寸法を接地圧に変化のおきる180mm位以下とすることが安全であると思われる。

6. 安全な階段設計の提案

住宅における階段は勾配、すなわち踏面・蹴上の寸法の相異によって人体の疲労は変化しないと考えるとよいことが判明した。したがって、多くの事故者を出していることにかんがみて住宅の階段は安全性を優先して造ることが必要であると言える。

安全な階段とするために、今回の調査、研究からは次ぎの事が言える。

- (1)踏面は最小210mm以上であること。理想的には心理的、習慣的影響を考えれば、300mm以上が望ましい。
- (2)蹴上は180mm以下であること。

以上が今回の実験から明らかになったことだが、更に階段の安全性に関して今まで行って来たことを述べると次ぎのごとくである。

- (1)手すりを設けること。老人・子供が握み易い太さ、直径約40~60mmの丸棒を壁から30mm以上はなして設ける。高さは800~900mm。階段巾は750mm必要(建築基準法施工例23条)だから、この巾の取れないときは壁の中に凹ませて設ける。
- (2)踏面はすべりにくい材料を選ぶ。
- (3)段鼻のすべり止めは、踏面の狭い場合は注意して設け、つまずきの生じない様に取り付ける。履物にスリッパを使う場合には特に注意が必要である。
- (4)明るい環境としておく。
- (5)転落したときに物に体をぶつけると事故が倍加するから、階段の近くには物を置かないこと。特にガラス窓などがあるときには、安全ガラスを使う。
- (6)その他

中高層アパートの階段について3. 3での超高層建物での階段の実験結果から、4. 5階で足の腓腹筋をはじめとする、足の筋肉がまず疲労する。それをすぎると15~16階で、はき気をもよおす。それ以上は気力で昇るといった5人の被験者の申告から、4. 5階のアパートでもエレベーターの無い場合にはすでに不快感は出ているものと考えてよい。

この研究の遂行にあたって御協力いただいた日本国有鉄道、病院、ビル管理の方々および実験を行なった千葉工業大学宇野研究室卒論生の諸君に謝意を表します。

<研究組織>

研究主査 宇野英隆 千葉工業大学教授
 委員 遠藤佳宏 千葉工業大学助手
 古瀬 敏 建設省建築研究所