

4. 垂直固定梯子の最適寸法

木 下 鈞 一*
河 尻 義 正*
永 田 久 雄*

Experimental Study on the Optimum Dimensions of Vertical Fixed Ladders

by K. Kinoshita*
Y. Kawajiri*
H. Nagata*

Vertical fixed ladders are commonly used at walls of buildings, chimnies, towers, etc. as a simple facility for elevation. Dimensions of vertical fixed ladders are empirically applied without any definite standards to date. This research is aimed at setting optimum dimensions of vertical fixed ladders through analyses of various experiments.

The research was accomplished by going through four processes, namely, a survey of ladder dimensions presently in use which were empirically established, preference questionnaires of ladder dimensions and kinesiological studies. The results of survey of presently employed dimensions of fixed ladders are acquired as in Fig. 4.2. The results of the preference questionnaires are shown in Fig. 4.4. These results are applied to determine the optimum dimensions of rung spacing and diameter. Ladder width, cage dimensions and clearance in back of ladder are computed from digitized data derived from motion pictures of human movement on a ladder as shown in Fig. 4.18 and Fig. 4.17. Various characteristic points related to the difference of rung spacing are derived from the joint angle, stride time, external work values, force exerted on the rung, and movement of each gravity point of individual segments of the body. Utilizing these data enable us to compare optimum rung spacing with other less things.

The following suggestions for ladder dimensions are made in this paper: (1) rung spacing-30 cm; (2) diameter of rung-22~25mm ϕ ; (3) width of rung-minimum 40 cm; (4) clearance in back of ladder-minimum 15cm; (5) cage dimensions-see Table 4.5.

*土木建築研究部 (Civil Engineering and Construction Research Division)

4.1 緒言

垂直固定梯子とは、簡易昇降設備としてさまざまなところに設けられている。昇降の高さは、低いものばかりでなく煙突、高層建物の屋階、建方中の鉄骨の柱など、墜落危険の大きいところにも広範に用いられている。

アメリカでは、こうした固定梯子と墜落防護設備についての寸法をOSHA¹⁾で詳細に規定している。しかし、我が国では、災害防止上、人間工学上からも研究対象として取り上げられた例はきわめて少なく、見るべく資料は乏しい。従って、現実には設計者の判断によって、適宜設計が行われている状態であると考えてよい。

本研究では、まず梯子に対する設計の現状を調べた。次に、感覚テストにより踏棧の間隔および太さの最適寸法を見出した。続いて、人体が梯子を昇降する時の動作の観察、四肢に作用する力などの測定などを含む実験から、最適寸法に対する人間工学的な考察を加えた。また、梯子のその他の部分の寸法や、ケージなど墜落防護設備の最適寸法などを求めた。

4.2 梯子の設計現況

4.2.1 調査の方法

調査は、東京都首都整備局に昭和44年度中に提出さ

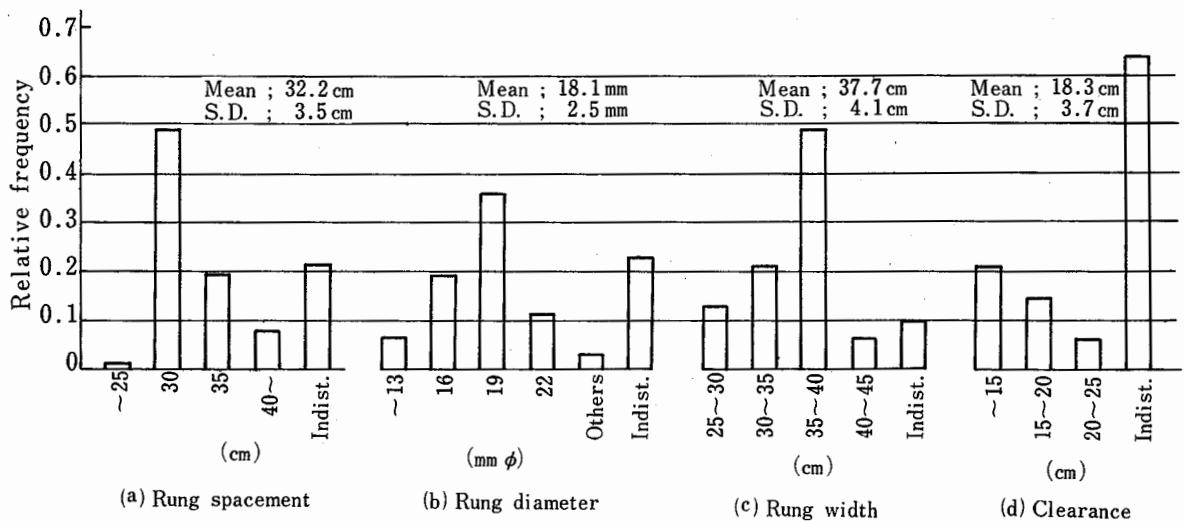


Fig. 4-2 Relative frequency distribution of ladder dimensions
梯子各部の寸法の度数分布

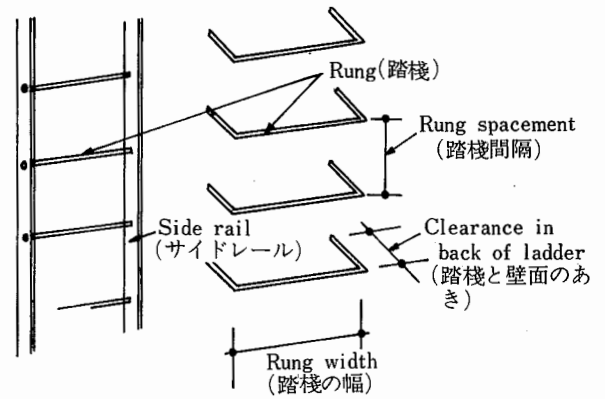


Fig. 4-1 Names of the parts of vertical fixed ladder
垂直固定梯子の各部名称

れた建築確認申請書に添付の設計図書 300 件のうち明確に寸法等が記載された61件の梯子を選び、踏棧の幅・踏棧の間隔・踏棧の太さ・壁（又は障害物）から踏棧芯までの距離などの主に寸法に関する項目について調査した。なお、今回対象とした梯子は、建築物や工作物に設けられている垂直固定梯子に限定した。

なお、本報で用いる梯子各部の名称は、Fig. 4-1のように呼ぶものとする。

4.2.2 調査結果

各項目別に度数分布を求めると、Fig. 4-2のようになった。同図より次のことがいえる。

1) 踏棧の幅は、Fig. 4-2(c)のように分布しており、平均値37.7cm、標準偏差4.1cmであった。また、不明の

件数の内訳も同じ度数で分布するものと考えると、約93%が40cm以下である。

2) 踏棧の間隔は、30、35、40cmときりのよい数値が多く中間値の例は僅少であった。頻度では30cmが最も多い。このことは、設計時に最適寸法を考慮せずきりのよい寸法で適当に割りつけていることの現れであろう。

3) 踏棧の太さは、今回調査対象とした梯子では、ほとんど丸鋼を使用しているので外径寸法で示しているが、半数以上は19mmφ以下の丸鋼で設計されている。これは経済性を考え細い材料で間に合せてしまうためであろう。

4) 壁等から踏棧芯までの水平距離については、不明のものが多かったが、分っているものの中では15cm以下が多い。

5) サイドレールを有する梯子と壁面に踏棧を埋めこむ型の梯子の割合は、前者は32.7%、後者は40.7%、不明は26.2%であった。

サイドレールには、L-45×45×5の山形鋼、L-100×50×20×3.2の軽量形鋼、32×6程度の平鋼が多く使われている。

4.3 梯子の感覚的最適寸法についての実験

4.3.1 実験方法

昇降しやすい梯子の寸法的条件を求める目的で行なった実験である。

実験は、梯子各部の寸法のうち、昇降しやすさに最も関連が深いと思われる踏棧の太さ及び、踏棧の間隔に関し、それぞれの寸法と昇降しやすさの関係を求める2種類の実験を行った。

1) 踏棧太さの実験

梯子の長さ2.2m、踏棧の幅30cm、踏棧間隔30cmで踏棧の太さのみが5種類(16、19、22、25、30mm)に異なる実験用梯子を製作した。なお、踏棧の太さは、前述の実状調査の結果から円形断面に限定し、市販の鋼材寸法に合せて決定した。

実験の方法は、被験者に上記の梯子を昇降させ被験者が感覚的に昇降しやすい踏棧の太さの順に順位をつけさせた。順位づけに際して被験者が迷うこともあったが、できるだけ順序づけをさせ、判断ができない場合のみ同順位として扱った。被験者は、43名で全員成

人男子であった。

2) 踏棧間隔の実験

実験は、梯子の長さ3.6m、踏棧の幅40cm、踏棧の太さ22mmφで、踏棧間隔のみが6種類(A=27.0、B=28.5、C=30.0、D=31.5、E=33.0、F=34.5cm)の梯子によって行った。

なお、踏棧間隔については、予備実験を行ない、踏棧間隔に対する弁別閾が1.5cm程度*1であること、及び30cm前後に最も昇降しやすい踏棧間隔があることを確かめたうえ、上記6種類に決定した。

実験の方法は、被験者に6種類の模擬梯子をそれぞれ昇降させ、被験者が感覚的に判断し、昇降しやすい踏棧間隔の順に順位をつけさせた。

また、実験では、試行順序による心理的、肉体的影響をさけるため、被験者を試行順序を変えた4グループ(I…A→B→C→D→E→F、II…F→E→D→C→B→A、III…C→D→E→F→B→A、IV…D→C→B→A→E→F)に分けて行った。

被験者は、当研究所構内に出入りした成人男子を対象にし、被験者の選定は無作為に行なった。被験者総数は398名である。また、被験者を職業層から大きく2グループ(B群…現場で肉体的な仕事に従事している人、W群…事務的な仕事に従事している人)に分けた。従って前述の試行順序別と合わせて被験者グループは、8グループとなる。被験者の年齢・身長・体重の分布はグループにより多少の差はあるが検定の結果、各グループ間に見られる値の差は5%水準で有意でないことが確かめられた。なお、年齢・身長・体重及び職業は、被験者の申告によるものである。

4.3.2 実験結果

1) 踏棧太さの実験

昇るときと降るときの最適太さ*2にほとんど差がみられなかったので一括して、昇降時の最適太さの度数をプロットするとFig.4-3に示すようになり、最適太さは平均25.3mmφとなった。同図には、最も昇降しにくいと答えた踏棧太さもプロットしたが、それによると実験した太さの範囲では最も不適当な太さは、16mmφであり、30mmφのように太いものよりむしろ好まし

*1 目かくしをした被験者に、踏棧間隔の異なる2本の梯子を昇降させ、両梯子の踏棧間隔の差を徐々に小さくしていき、知覚し得る最小の差をもって弁別閾とした。

*2 体重を支えながら昇降するときの最もつかみやすい踏棧太さをこのように呼ぶことにする。

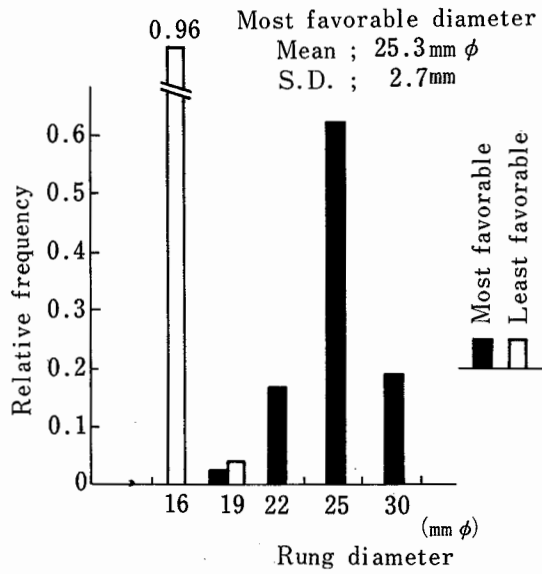


Fig. 4-3 Relative frequency distribution of the most and least favorable rung diameter
踏棧の太さによる昇降しやすさの分布

くないようである。

また、最適太さは、道具の把手などのつかみやすさの最適寸法に比べ少し小さい値になっているのはうなづけるものの、従来いわれている値に比べ多少低くなっている。^{*3} さらにこの値は、被験者の属性にほとんど無関係であった。実験中、踏棧の太さの違いに対し、16mmφのような細い場合は、「棧が手にくい込んで痛い」感じであり、反対に30mmφのような太い場合は、「手が棧から滑る(抜ける)」感じなど、人が踏棧をつかむときの手の感じ方が分った。

2) 踏棧間隔の実験

最適間隔^{*4}に関しては、被験者が、6種類の踏棧間隔のうち、最も昇降しやすいと答えた踏棧間隔をその被験者の最適間隔とした。このデータをもとに集計し、被験者のグループ別に最適間隔の度数分布を求めるとFig.4-4のようになる。Table 4-1は、各グループ毎の最適間隔の平均値・標準偏差である。Fig.4-4, Table 4-1によれば、グループにより平均値に多少の差が見られ、

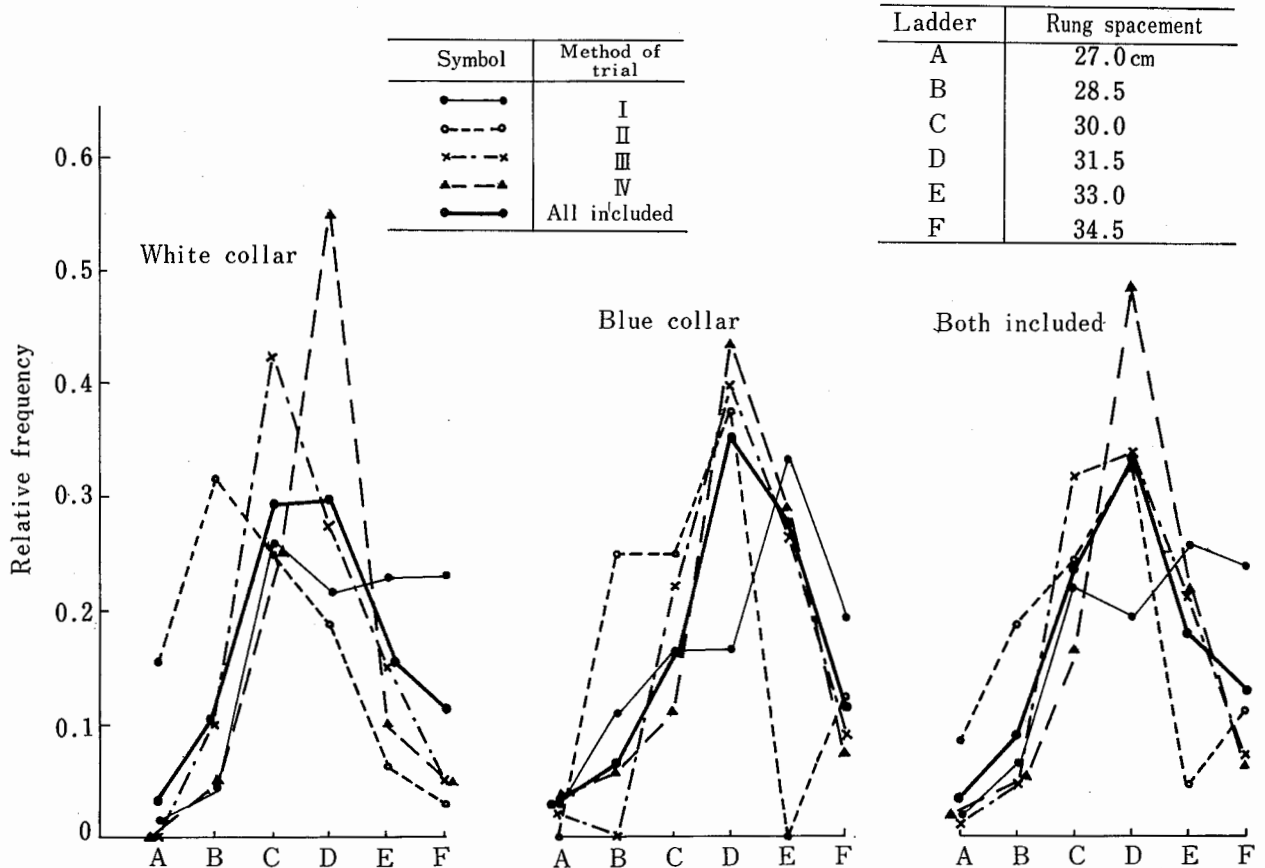


Fig. 4-4 Relative frequency distribution of the most favorable rung spaciment
最適踏棧間隔の度数分布

Table 4-1 Favorable dimensions of rung
spacing

最適踏棧間隔

The upper numeral: mean value
The lower numeral: standard deviation

Group Method	White collar	Blue collar	Both included
I	32.0 1.9	31.9 2.1	32.0 2.0
II	29.7 1.9	30.8 1.8	30.6 2.1
III	30.9 1.5	31.7 1.5	31.4 1.6
IV	31.3 1.3	31.7 1.7	31.5 1.5
All included	31.2 1.9	31.7 1.8	31.4 1.9

Table 4-2 Coefficients of correlation between properties of subjects and the most favorable dimension of rung spacing.

最適間隔と被験者の属性間の相関係数

Group		Age	Height	Weight
Class	Method			
White collar	I (69)	0.063	-0.110	-0.238*
	II (32)	-0.391	0.246	0.014
	III (40)	-0.104*	0.078	0.186
	IV (40)	-0.024	0.250	0.097
	All(181)	-0.072	-0.015	-0.073
Blue collar	I (37)	0.212	0.187	0.052
	II (8)	-0.680	0.659	-0.148
	III (45)	-0.444*	0.275*	-0.152
	IV (55)	0.036	0.110	0.086
	All(145)	-0.033	0.208*	-0.011
Both includ- ed	I (109)	0.095	0.017	-0.115
	II (107)	-0.247*	0.092	-0.082
	III (85)	-0.260*	0.159	0.001
	IV (97)	-0.018	0.148	0.099
	All(398)	-0.075	0.082	-0.043

(): number of subjects

* : significant data; significant at 5%
level*3 文献²⁾によると、把手の直径30mmの時に牽引力最大であるとされている。また、機械体操の鉄棒(38mm)、自転車のハンドル(33mm)、テニスのラケット(38mm)である。

*4 最も昇降しやすい踏棧間隔をこのように呼ぶことにする。

特に後に試行したものを昇り易いと感じる傾向があるが分散分析の結果、これらのグループ間の平均値の差は、5%水準で有意でないことが確かめられた。

次に、最適間隔と被験者の属性間の相関をみるため、最適間隔とそれぞれ年齢・身長・体重間の単相関係数をグループ別に求めると、Table 4-2のようになる。

表中、*印は、t検定の結果、5%の水準で有意なものであるが、全体的に非常に相関度が低く、同表から判断する限り、最適間隔と各属性との間に相関々係はないものとして差支えないであろう。

以上を総合すると、梯子の感覚的最適間隔の平均値は、31.4cmであり、今回対象とした被験者の範囲内では、年齢・身長・体重にほとんど関係のない結果となった。

4.4 梯子の昇降時における動作についての実験

4.4.1 実験の装置および方法

実験は次のような実験装置及び方法によって行った。

1) 模擬垂直固定梯子

実験に用いた模擬垂直固定梯子装置は鉄骨で剛な直方体状のやぐらを組み、その外周4面に踏棧を取りつけた。このやぐらの高さは5.6mで、直径97cmの環状のレールの上に架設してあり、電動モーターの動力によってやぐらの中心軸のまわりに廻転するようにした。実験においては実験の対象となる梯子面を後述のような昇降動作観測装置の正面にまで廻転させ、やぐらを固定した。

また、踏棧の間隔はなるべく実験結果に明瞭な差があらわれるように、やや大きな寸法差をとり、22.5cm(記号A)、30.0cm(記号B)、37.5cm(記号C)、45.0cm(記号D)の4種とし、これをやぐらの最上部まで同一寸法で取りつけた。なお、踏棧の幅は、70cmとした。

2) 踏棧に作用する荷重とその作用方向の検出装置

梯子を昇降するとき、その速さ、棧の間隔などにより棧に作用する荷重、作用方向もそれぞれ差があると思われる。これらの数値の大きさが昇降動作を解析するうえで重要であると考えられたので実測することにした。

測定方法は、Fig.4-5に示すように、やぐらの柱に踏

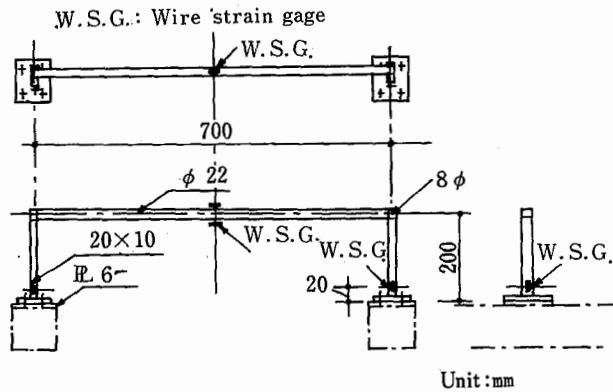


Fig. 4-5 Detail of the test rung pasted strain gages
 ストレインゲージを貼った踏棧の詳細

棧の受け材（長方形断面の突梁）を剛に接合し、左右2本の受け材の4周に、ワイヤーストレインゲージを貼った。また踏棧（円形断面）の中央部側面にも同ゲージを貼り、前記ゲージと合せて計12枚のゲージを利用して3組のブリッジ回路を構成した。これらを動歪計に接続し歪出力を検出し、荷重、作用方向、及び荷重の作用した踏棧上の位置を求められるようにした。個々の踏棧について歪量と荷重、作用方向および作用位置の関係は、特殊な載荷治具を用いて充分な較正を行って、歪量に対する荷重、作用方向及び、作用位置などの関係関数を表し、任意の出力歪量に対して容易に計算できるようにした。

実験では、このような踏棧を4種類の梯子に対しそれぞれ4本用意し、昇降時において、四肢の運動の1周期分のデータが得られるように適宜間隔を決めて配置した。

動歪計の出力は、デジタルデータ収録装置に接続し、AD変換の速さ400個/sec・chでデジタル化したうえ磁気テープに収録した。

3) 昇降動作の観測装置

人体の動作を解析するため、人体の各部の位置を求める必要がある。このため16mm撮影機を用い、約24フレーム/秒の速さで撮影した。

撮影に際し、まず被験者の手、肘、肩、腰、臀部、膝、くるぶし、などの関節を標点とし、その位置を示すため小さい白球を取りつけた。また、それらの標点で衣服のある部分には、ゴムバンドにより昇降動作時において着衣が大きくずれないようにゆるく締めつけた上で白球を取りつけた。

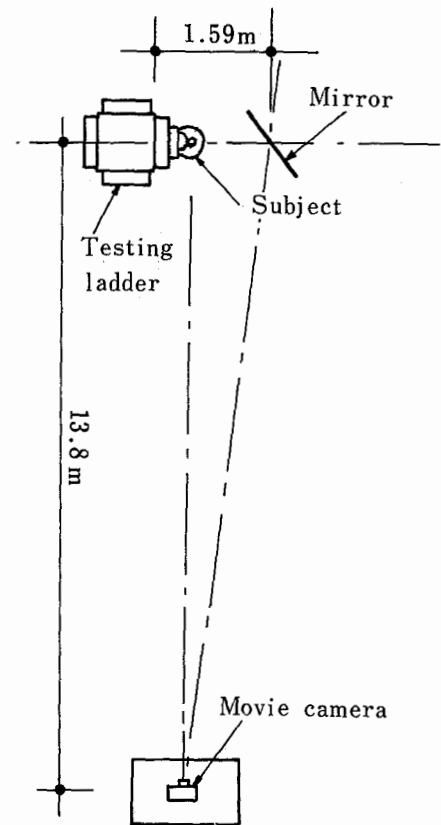


Fig. 4-6 Plan of the arrangement of the movie camera, mirror, testing ladder and subject

撮影機、鏡、梯子および被験者の位置関係

次にFig.4-6に示すように梯子を昇降する被験者を側面から撮影すると同時に、適当な角度に鏡を設置してその反射像を利用し、被験者の背面をも同一フィルム面に撮影した。

撮影されたフィルムからは、各フレーム毎に各標点の座標を数値化し、磁気テープに収録した。これより人体各部の位置、速度、加速度を求めた。

4) 昇降速度

昇降の速さは、個人差が著るしいので次のようにした。

- a) 被験者にとって最も適した速さで昇降する。(1回)
- b) 緊急避難を考えて最も速く昇降する。(1回)
- c) メトロノームの音のリズムに合わせて昇降させる。同一種類の梯子でTable 4-3に示す3段階の速さとした。

この段階の決定は、事前にわれわれが昇降を行ってみて極端に昇降のリズムが狂わない範囲を大づかみに決

Table 4-3 Degree of ascendant and descendent velocity on ladder A, B, C and D.

各種の梯子の昇降速度

	Degree of Velocity m/sec		
	1	2	3
Ladder A	0.27	0.33	0.42
B	0.39	0.47	0.61
C	0.44	0.54	0.69
D	0.45	0.53	0.65

定し、これより低速度、中速度、高速度に分けたものである。

5) 被験者について

本実験では、日常の作業で垂直固定梯子を主要な昇降路としている健康なケーソン作業員24名（男子、年齢20～56才）を被験者とした。

4.5 脚力*5 Rと股関節角度についての実験

4.5.1 実験目的

梯子を昇るとき、前脛骨筋、腓腹筋、大腿二頭筋、大腿直筋等の収縮によって、体重を押し上げる力が働く。このときFig.4-7で股関節角度 θ_1 、膝関節角度 θ_2 は、それぞれ大きくなる。この体重を押し上げる力を発揮するのに、筋肉に要求される筋力は、角度 θ_1 、 θ_2 によって変わるものと思われる。この実験では、 θ_1 、 θ_2 がある範囲の任意の角度のとき、前記の筋肉等の収縮によって出し得る踏棧を押し出す瞬間力を実験的に調べようとするものである。

4.5.2 実験の方法

実験の方法は、いろいろ考えられるが、梯子を昇るとき各部に作用する力について考察する必要から、実際に梯子を昇るときの状態に近い方法で実験した。

その方法は、下記の方法である。

- 1) 4.4.1, 1) で触れた模擬垂直固定梯子で、ある任意の踏棧を選び、前図に示すように被験者の背面に剛な支持板を設け、被験者は、この支持板に背中をつけ片方の下肢に力を入れ踏棧を瞬間にできるだけ強く押す。
- 2) このときの踏棧に作用する荷重の大きさ、荷重の作用方向を測定する。

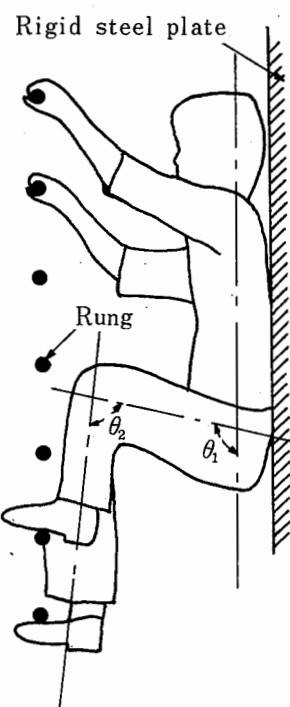


Fig. 4-7 Measuring method of the maximum instantaneous force acts on a rung when a subject steps on the rung as hard as possible
被験者ができるだけ強く踏棧を踏むときの瞬間的な力を測定する方法

- *3) またこのときの角度 θ_1 、 θ_2 を写真撮影によって測定する。

ただし、実際に梯子を昇降する状況をよく観察してみると、踏棧間隔によって少しづつ異なるが、側投影面で膝関節と踝のそれぞれの中心点を結ぶ線は、およそ垂直に近い。よってこの実験でも脚部をこのような状態として実験した。

4.6 踏棧間隔と爪先の軌跡についての実験

4.6.1 実験の目的

梯子の踏棧の間隔を最適寸法*6より小さくし、昇降

*5 脚力とは膝を伸ばし踏棧を踏みこみながら体重を持ちあげるとき、足かた踏棧に作用させる力と定義する。

*6 4.3の実験で得た寸法

してみると、最適寸法とのずれが大きいほど昇降のリズムが狂うことが実験的にも観察できる。踏棧間隔が小さくなると、足を移動させるとき、爪先が中間の踏棧に引っかかりやすくなることは確かである。よって本実験では次の点についての傾向を確認しようとした。

- 1) 踏棧の間隔を小さくしても爪先を中間の踏棧に引っかけるおそれのない梯子 a, (踏棧を千鳥に取りつけたもの Fig.4-8, a)) と同寸法の踏棧間隔で爪先を引っかけるおそれのある梯子 b, (通常の梯子同図, b)) について、爪先の軌跡を比較し、差があるか否かをみる。
- 2) a の梯子は、間隔が小さくても昇りやすいか否か。

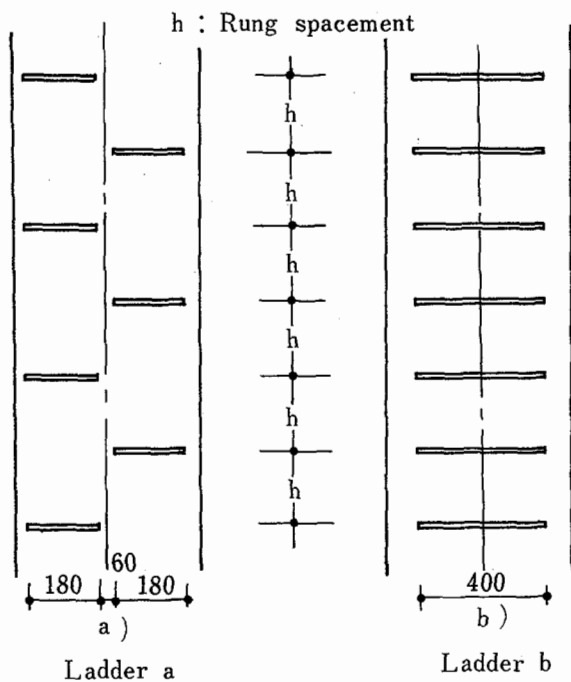


Fig. 4-8 Test ladders of two kinds of rung arrangement
実験用梯子

4.6.2 実験の方法

実験の方法は、前図で梯子 a, b を剛な支柱にとりつけ、被験者に両梯子を相ついで昇降させた。このとき、被験者には爪先と踵の部分に極小の豆電球をとりつけた靴をはかせ、昇降動作中の発光軌跡を写真撮影した。なお、昇降の歩調は、メトロノームの音のリズムに合わせ、昇降の速度は 3 段階とした。また踏棧の間隔は、22.5cm, 26.3cm, 30.0cm の 3 種類について行った。

4.7 実験結果

4.7.1 身体各部の運動について

1) 梯子昇降時の関節角度

16mm 撮影フィルムから得た人体各部の座標値から、関節角度、回転角を 3 次元的に計算して求めた。さらに得られた結果を、補間法、移動平均法などにより、昇降動作の 1 周期を 100 等分し、平滑化した。1 周期のとりかたは、昇るときが足が踏棧に触れるときからその足が次の踏棧に触れるまでとし、降りるときには、足が踏棧から離れるときからその足が次の踏棧で離れるまでとした。本報では、その間の時間をストライド時間と呼ぶことにする。

Fig.4-9 及び Fig.4-10 は、各被験者について速度区別に集計し、その平均値を求めたものである。Fig.4.9 から股関節角度 (θ_H) は、 $t=0.0$ のとき、梯子 A, B, C, D の順に約 10° ごと増加している。最小角度は、昇り約 40° であり、降り約 45° である。膝関節角度 (θ_K) では、最小角度が、昇り約 15° 、降り約 23° である。ただし、本報では θ_K を外角でとっている。股関節角度と同様に $t=0.0$ のときにそれぞれ梯子 A, B, C, D 順に約 10° の差がみられる。Fig.4-10 の鉛直方向からの脚部の回転角をみると、下腿部と足部の回転角の変動が似かよっている。足が踏棧に接触するときの角度 (θ_F) は、約 120° 前後となっている。昇るとき、足首関節角度 (θ_A) の変動は、踏棧間隔が増すほど大きくなっている。腕の動きは、片側の手足が同期して昇降する場合と、それぞれ違った側の手足が同期して昇降する場合の 2 つの型に類別できる。ここで、前者を並行型昇降、後者を対角型昇降と定義する。この 2 種の昇降方法は、ほぼ同じ割合でランダムに出現している。しかし、この区分にあてはまらない場合が梯子 D で多くみられた。肩関節角度は、約 $50^\circ \sim 120^\circ$ の範囲で変動しており、踏棧間隔が増すほど変動範囲が広がっている。

2) 梯子昇降時の重心点移動

1) と同様にして求めた各肢体部の重心位置を Fig.4-11, 4-12, 4-13 に示す。鉛直方向 (Y 軸) については、それぞれの部位の移動開始点からの変位量をとっている。水平方向 (X 軸) については、踏棧中心線からの距離をとっている。Fig.4-11 から踏棧間隔が増すにつれて各脚部の水平方向の重心点位置は、梯子から離れ

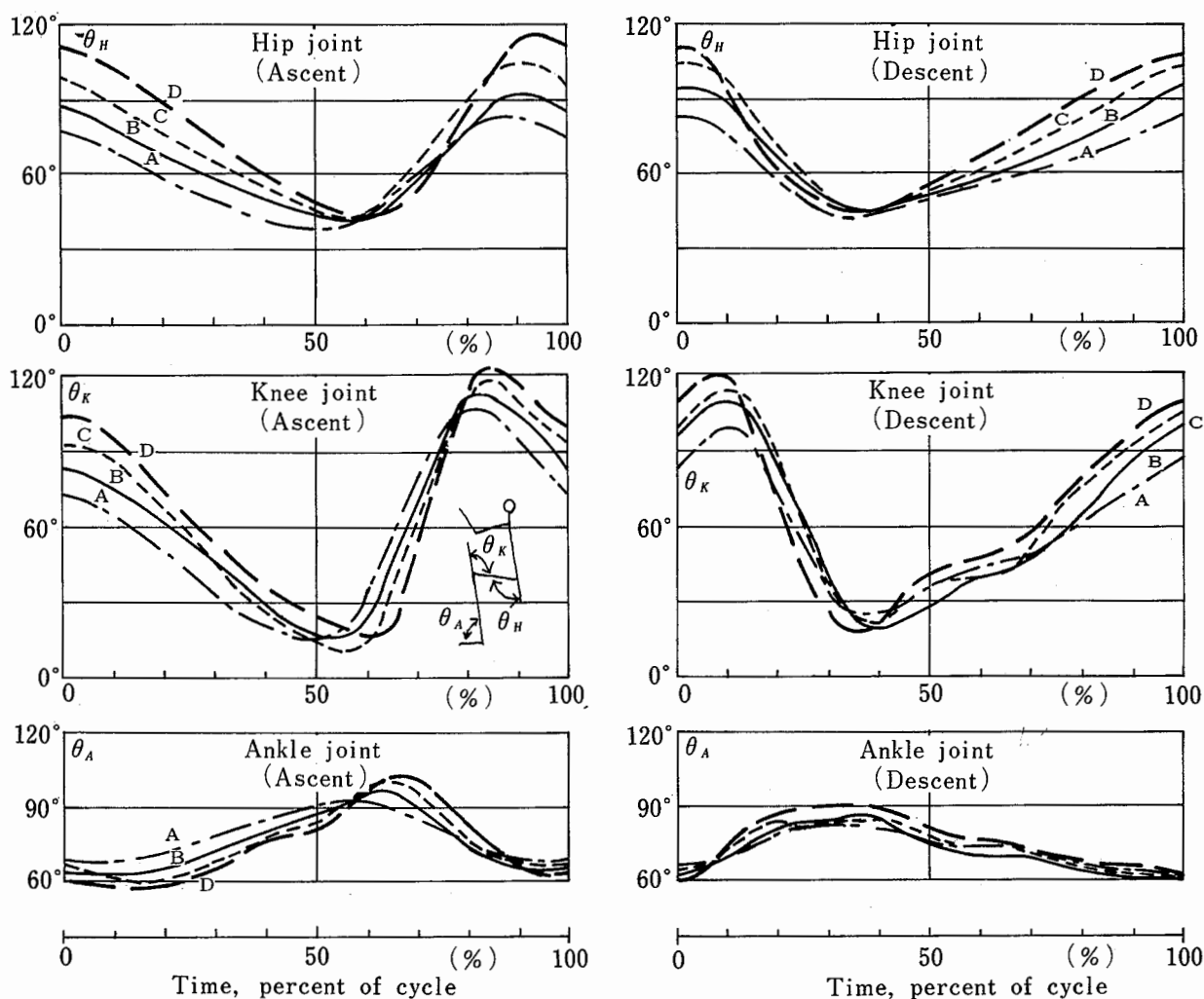


Fig. 4-9 Joint angles of the leg during one stride

脚部関節角度の動き

ている。昇るとき、梯子Aでの胴部重心位置が梯子側に若干近づいているのを除けば、水平方向の平均的な胴部重心位置は、約50cmとなることがわかった。Fig. 4-13に、背面からみた胴部重心点位置の動きを示す。なお、胴部重心点位置の計算には、頭、首を含んでいる。この図から対角型昇降の方が、横揺れが大きく、踏棧間隔が増すほど揺れの量が増加している。昇るときでは、揺れは足が踏棧に接触している方向へ現われる傾向がみられる。並行型昇降では、揺れがすくなく梯子別の差もそれほど顕著にみられない。

胴部重心位置からみた各肢部重心の重さをFig. 4-14に示す。ここで、Y方向の値は、鉛直方向の各肢部重心位置からその時の胴部重心位置を差し引いた値である。X方向の値は、踏棧中心線からの各肢部重心までの水平距離である。これら足部のサイクル軌跡のY方

向の長さを概略測定しその値を、1周期で移動する高さ、すなわち各梯子の踏棧間隔の2倍で除してみると、昇るときで、梯子Aが約70%、同B~Dが約60%であり、降りるときでは、梯子A~Dともに約60%である。梯子Aでの昇りでは、他の梯子と比較して脚部の鉛直方向の動作範囲が広がっている。梯子Bのみについて、1ストライド時間内の重心の移動速度と鉛直方向変位との関係を示すと、Fig. 4-15のようになった。図から、胴部は、1ストライド間隔のほぼ中間で一旦速度が落ち不連続状に速度変化することがわかった。大腿部重心点では、1ストライド間隔の約1/4位の点で同様な不連続な速度変化をすることが分った。Fig. 4-16は、重心の移動速度の時間的な動きを示している。

3) 踏棧の幅

梯子の踏棧に作用した手足の荷重点位置から、それ

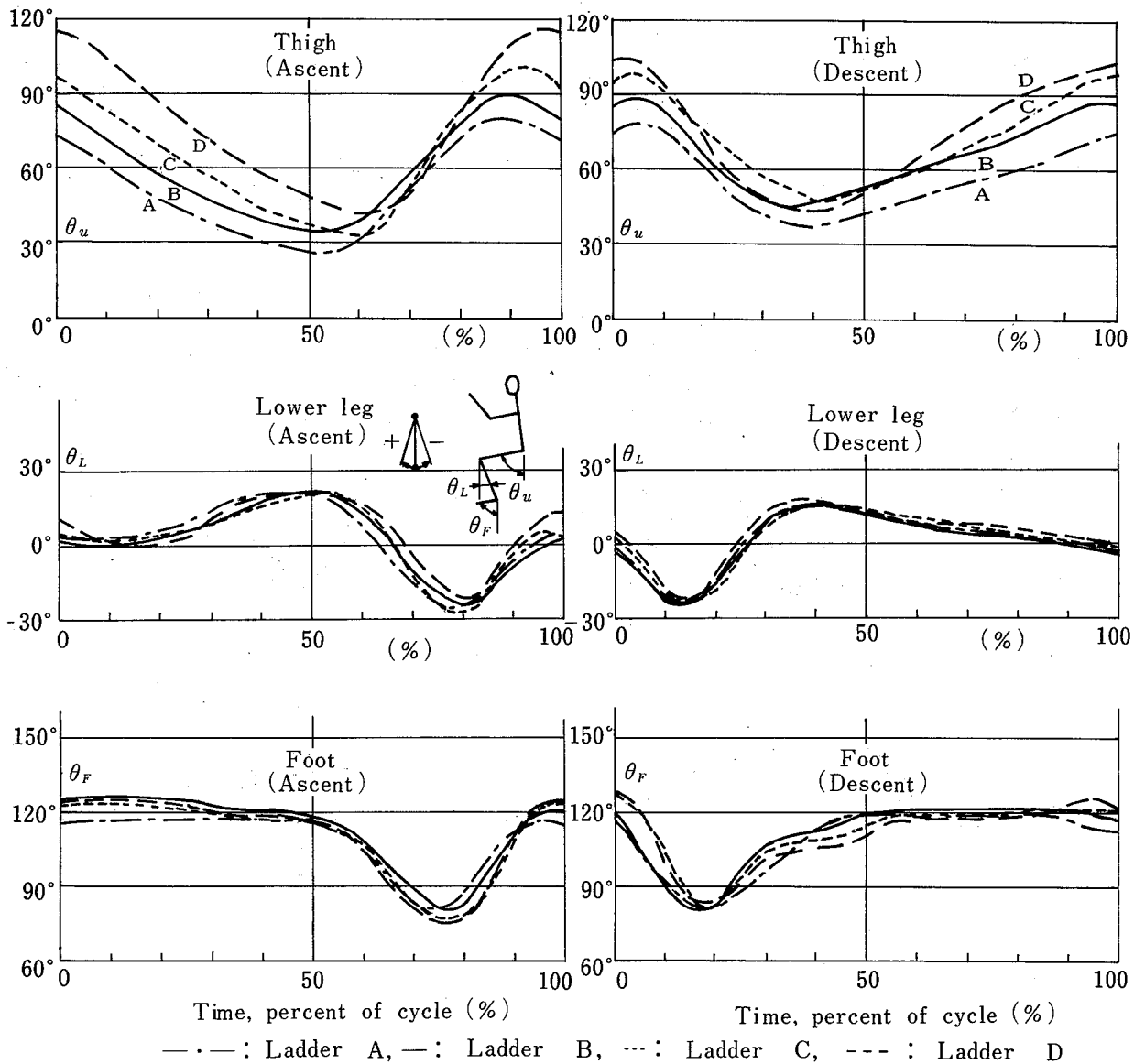


Fig. 4-10 Angles between the leg and the vertical line during one stride
脚部回転角度の動き

それぞれの作用点間の水平距離をもとめFig.4-17に示した。手の荷重点の水平距離には、昇降別による顕著な差が見られないために、昇降別区分をせずに度数分布図を描いた。図から手の場合の方が足より平均値、標準偏差ともにいくらか大きい。足は、昇るときより降りるときに広がる傾向がみられる。踏棧の必要幅は、いま手足の力の作用点がそれぞれ手足の中心であるとみなすと、手及び足の作用点間隔に、手の場合8.4cm、足の場合10.1³⁾cmを加算して得られる。ここで手及び足の作用点間隔として、それぞれ平均値に標準偏差の1.645倍の値(データの95%包含値)を加算したものをとることとする。この計算の結果、必要幅は、39.2

cmとなった。この値は、平均的な男子成人の肩幅にほぼ等しい。以上のことから、梯子の有効幅を40cm以上にすればほとんどの人が不自由を感じないで、梯子を昇降できる。

4) 最大動作領域及びケージ寸法

Fig.4-22に示した各標点の位置から昇降時の最大動作領域を求めた。これは、梯子の種類別に10名の被験者についてまとめた。Fig.4-18にその結果を示す。この図は、Fig.4.22に示された身体各部の標点位置を極座標系にまとめ、勾配1°間隔ごとに極座標データを集計し、その区間に含まれるデータ数の99%を包含する極座標値から得られたものである。

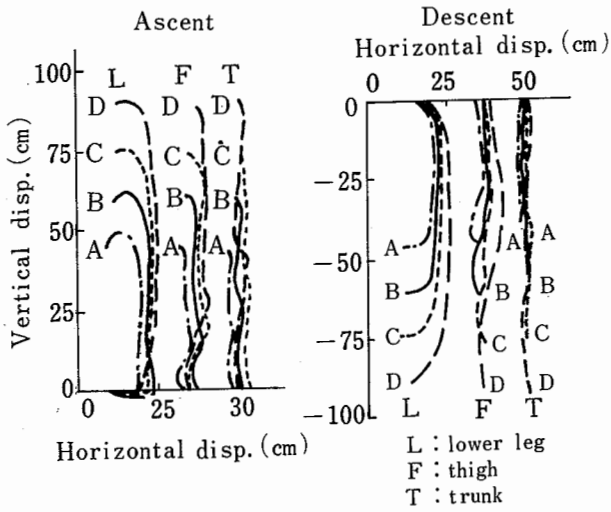


Fig. 4-11 Movement of the gravity points of the leg, relative to its position at the beginning of the stride viewed from the left side of the body
脚部重心点の移動軌跡

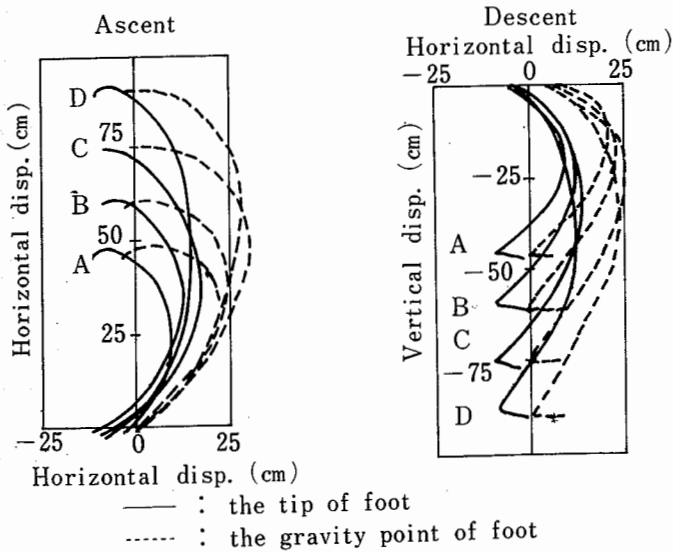


Fig. 4-12 Movement of the tip of foot and its gravity point
足先端部および重心点の軌跡

動作範囲は、棧間隔が増すにつれて広がってくる傾向がみられる。降りる時より、昇る時の方が動作範囲は広がっている。墜落防護を目的としたケージは、体の平衡を失ってもすぐにその体を支持できる位置に設置しなければならない。そのために、動作を阻害しない条件で、なるべく、その昇降動作範囲に近づくべきである。特別に大きな値を除いた99%包含値は、

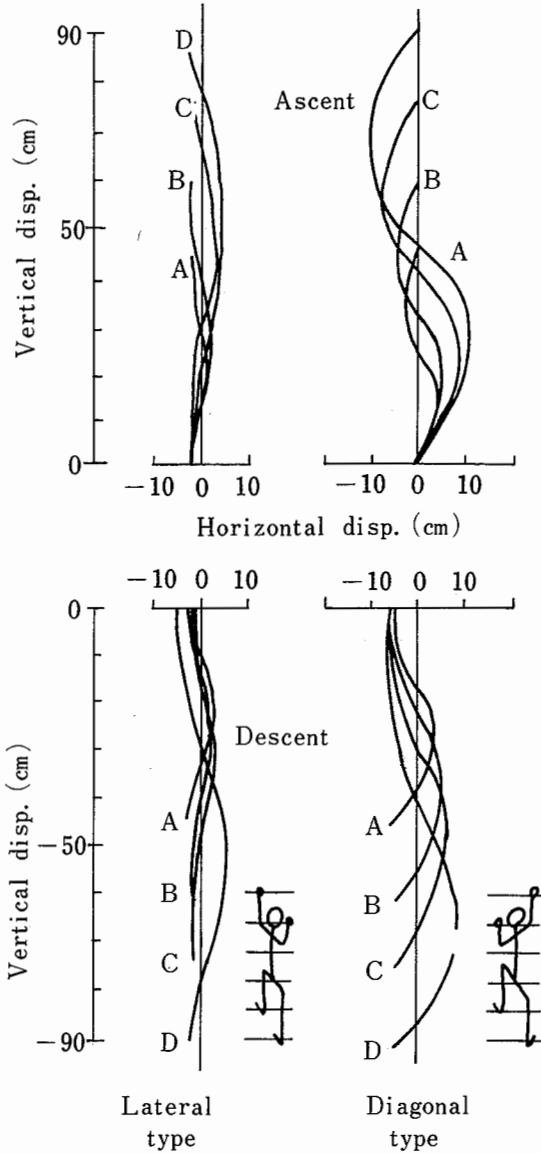


Fig. 4-13 Movement of the gravity point of the trunk viewed from the rear of body
脚部重心点の体重心点からみた動き

この条件を満足させる最適な境界値と考えられる。

5) 壁から踏棧までの距離

各昇降での足の踏棧中心からの突出し長さの最大値を集計した。その平均値は、11.0cmであり、最大値13.9cmであった。以上から壁から踏棧中心までの距離は、約1cmの余裕をみて15cm以上にとれば、足先端を壁に打ちつけることなく昇降することができる。

4.7.2 踏棧に作用する荷重について

1) 荷重の時間的変化

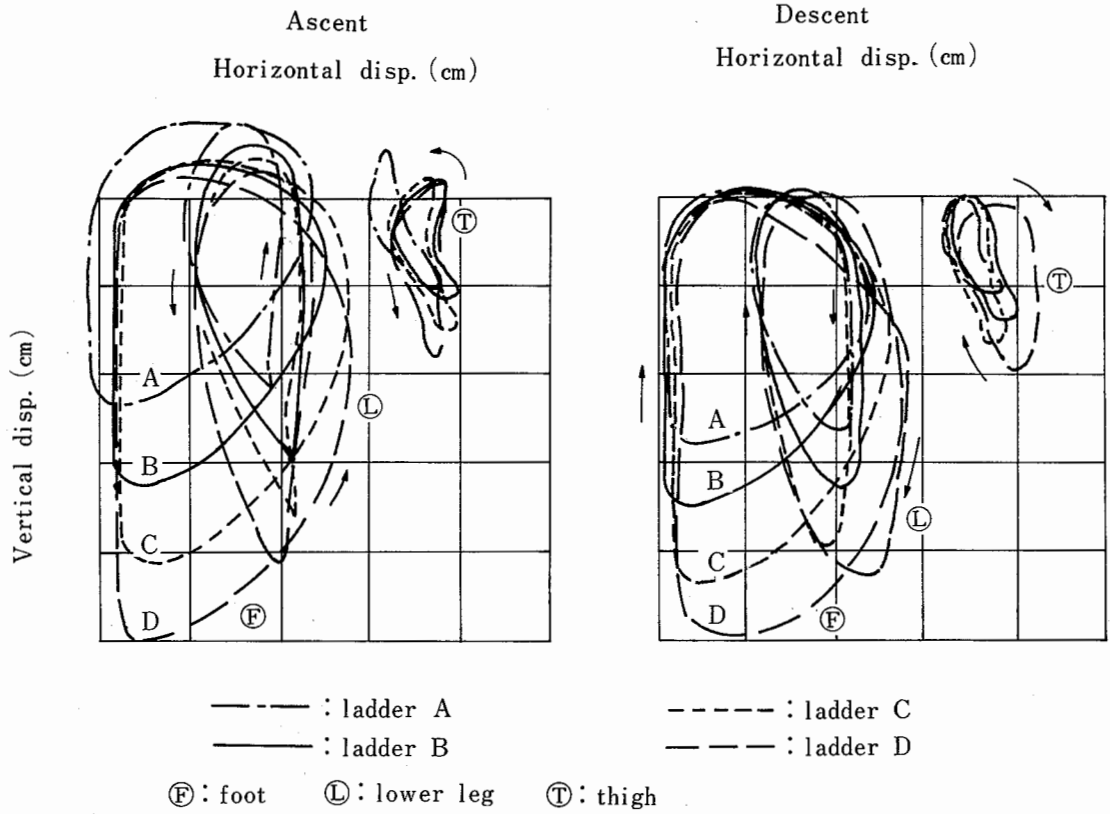


Fig. 4-14 Displacement of gravity points of the leg relative to that of trunk
脚部重心点の体重心点からみた動き

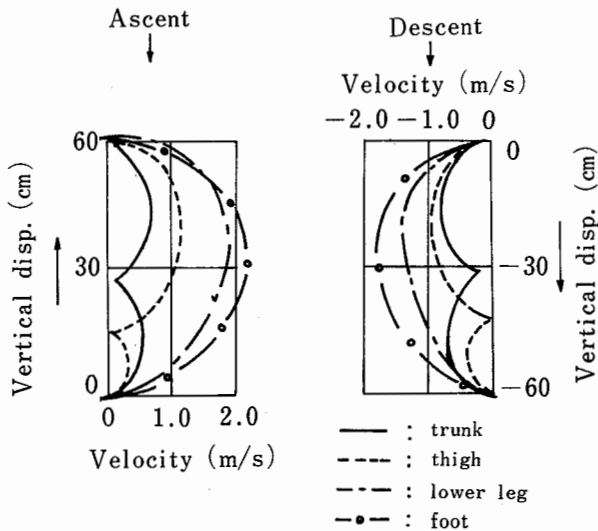


Fig. 4-15 Relation between vertical velocity and displacement of the gravity point of the leg on ladder B
B梯子での脚部の鉛直方向速度

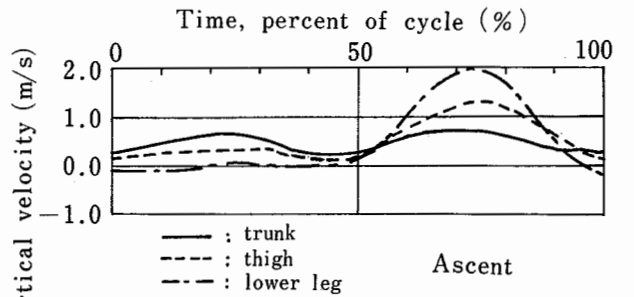


Fig. 4-16 Example of the vertical velocity distribution gravity points of the leg on ladder B
B梯子での各肢部の鉛直方向速度

1昇降動作間の踏棧作用荷重は、昇降方向・昇降速度・踏棧間隔・被験者により多少異なるが、合力・水平分力・垂直分力および作用方向は大略Fig.4-19に示すような時間的变化を示す。同図は、足及び手による荷重をそれぞれ単独に示したもので、平均昇降速度における梯子の種類別の波形で、縦軸の荷重値は、体重で

(cm)			
	Direction	Mean value	Standard deviation
Hand	All included	21.8	5.5
Foot	Ascent	18.7	4.1
	Descent	21.2	4.3

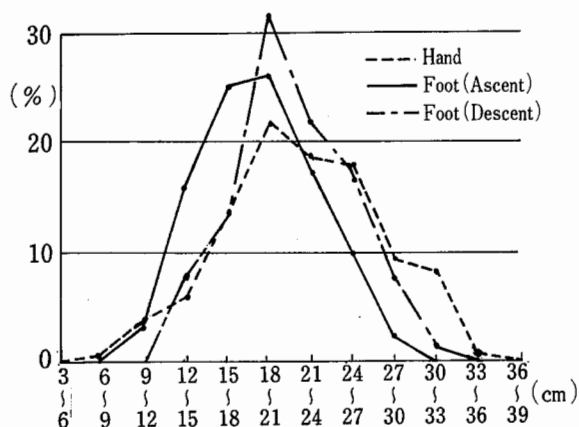


Fig. 4-17 Frequency distribution of the horizontal spacing between the load point on a rung by both hands or feet
作用点位置の水平距離分布

除した値であり、横軸は、一昇降動作時間で規準化した時間である。なお、荷重値は、手の場合、踏棧を引く力を、足の場合、踏棧を押す力を正としている。また作用角度は、踏棧後方水平線から反時計回りの角度である。

a) 昇りの場合

足による荷重をみると、合力・垂直分力・水平分力共に2つの極大値をもつ。第1極大値は、踏棧に足がかかった後体を押し上げる動作によるものであり、第2極大値は、足が踏棧を離れる直前の足の持ち上げのための蹴りの動作によるものである。

次に、踏棧間隔による波形の違いをみると、水平分力の第1極大値は、梯子による差はほとんど見られないが、第2極大値は、踏棧間隔が増すにつれ（梯子A, B, C, Dの順に）大きくなっている。垂直分力の第1極大値は踏棧間隔が増すにつれ小さくなるのは、踏棧間隔が増すほど足による押し上げから手による引き上げに移行していくことを示している。垂直分力の第2極大値が踏棧間隔の増加と共に増すのは、水

平分力の場合と同じ理由によるものである。

手による荷重は、踏棧間隔が増すにつれ増加するが特に水平分力は、その傾向が強い。

b) 降りの場合

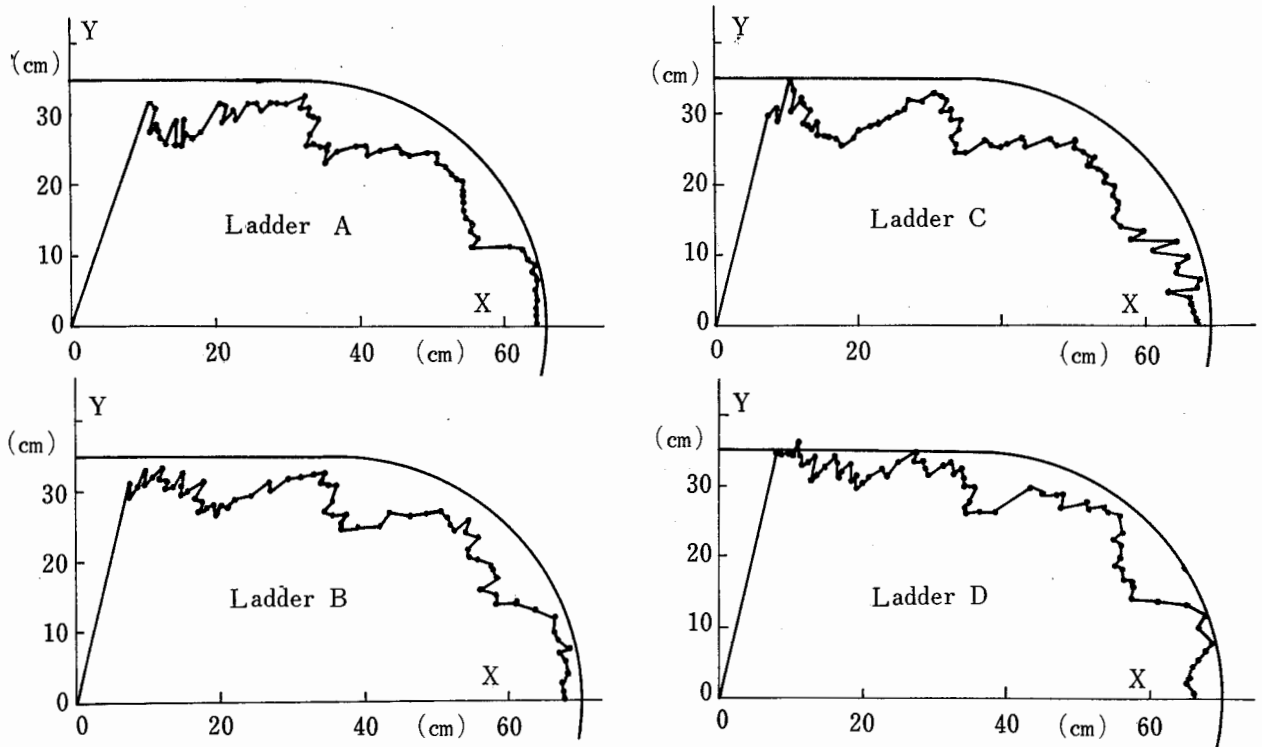
足による荷重についてみると、合力、水平分力・垂直分力共昇り同様、2つの極大値がみられる。第1極大値は、足を踏棧にかけたときの衝撃によるものであり、踏棧間隔が増すほど大きく出ている。

2) 荷重の大きさ

荷重は前述のように時間的に変化するが、梯子の種類別に足、又は、手が踏棧に接している間の荷重の平均値（以下、平均荷重）を求め、縦軸に荷重値/体重を、横軸に昇降速度をとった座標上にプロットするとFig. 4-20のようになる。同図は昇りの場合について示したが降りの場合も似た傾向を示す。それによると昇降速度が増加すると足の平均荷重は、ほぼ横ばいか、減少するが、梯子C, Dの場合、昇降速度がさらに増すと逆に平均荷重は増加する傾向がある。一方、手の平均荷重は、昇りの場合、手の引上げ動作を要するために増加する。降りの場合も同様に増加するが、これは速度が増すと、被験者が危険を感じて、手に頼る割合が増すためと思われる。しかし、全般的にみて平均荷重は昇降速度によってそれほど大きく変らない。そこで、昇降速度に無関係に手または足が踏棧に接している間の荷重の最大値（以下最大荷重）と平均荷重をプロットしたのがFig. 4-21である。データは、昇降速度、被験者により変動があるので、平均値及び最大・最小値の幅で示した。同図によれば、昇りの場合、手による荷重は、最大値・平均値共、踏棧間隔の増加（梯子A, B, C, Dの順）に伴って増加する。また、足による荷重の最大値が梯子Bで最小となるのは、Fig. 4-19より梯子別に第1・第2極大値を比較すると、梯子Aでは、第1極大値が梯子Bより大きく、梯子C, Dでは、第2極大値が梯子Bより大きくなるためと思われる。次に、降りの場合、手による荷重は昇りと同様の傾向を示すが、足による荷重の最大値は、踏棧間隔が増すにつれ（梯子A, B, C, Dの順に）踏棧に足が着く時の衝撃が増すために大きくなる。また、Fig. 4-21によれば、踏棧の作用荷重は、標準的な梯子Bの場合、最大1.2（/体重）で体重66kgとすれば約80kgとなり、踏棧断面の設計資料として利用できる。

3) 荷重の作用角度

荷重の作用方向は、手又は、足が踏棧に接している



Y axis : distance from the centre of human motion during one stride
 X axis : distance from the centre of rung

ケージの設計寸法は99%包含値を下まわらない範囲で、X軸に平行な直線と、X軸上に中心をもつ半円で示される図より決定した。

Fig. 4-18 Overview of maximum range of human motion and safety enclosure
 最大動作領域

間の平均角度をみると、梯子の種類、昇降速度、昇降方向によらずほぼ一定で、手で平均143.7°（標準偏差5.9°）足で平均65.9°（標準偏差2.5°）となることがわかった。

4.8 踏機間隔の適正值についての考察

4.8.1 踏機間隔と外的仕事量

ある運動をするのに消費するエネルギー量を考えるときに、生体内部で消費する代謝量と、外部へ現われる生体の機械の仕事量との2つに分けて考えることができる。筋肉は、物体を加速するときも、減速するときにもエネルギーを消費しているので、単なる機械の仕事量を以ってしては、筋肉のエネルギー消費を表わすことができない。また直接筋肉のエネルギー消費を測ることも困難である。よってこれに代るものとして、身体各部位の機械の仕事の僅少時間（1ストライド時

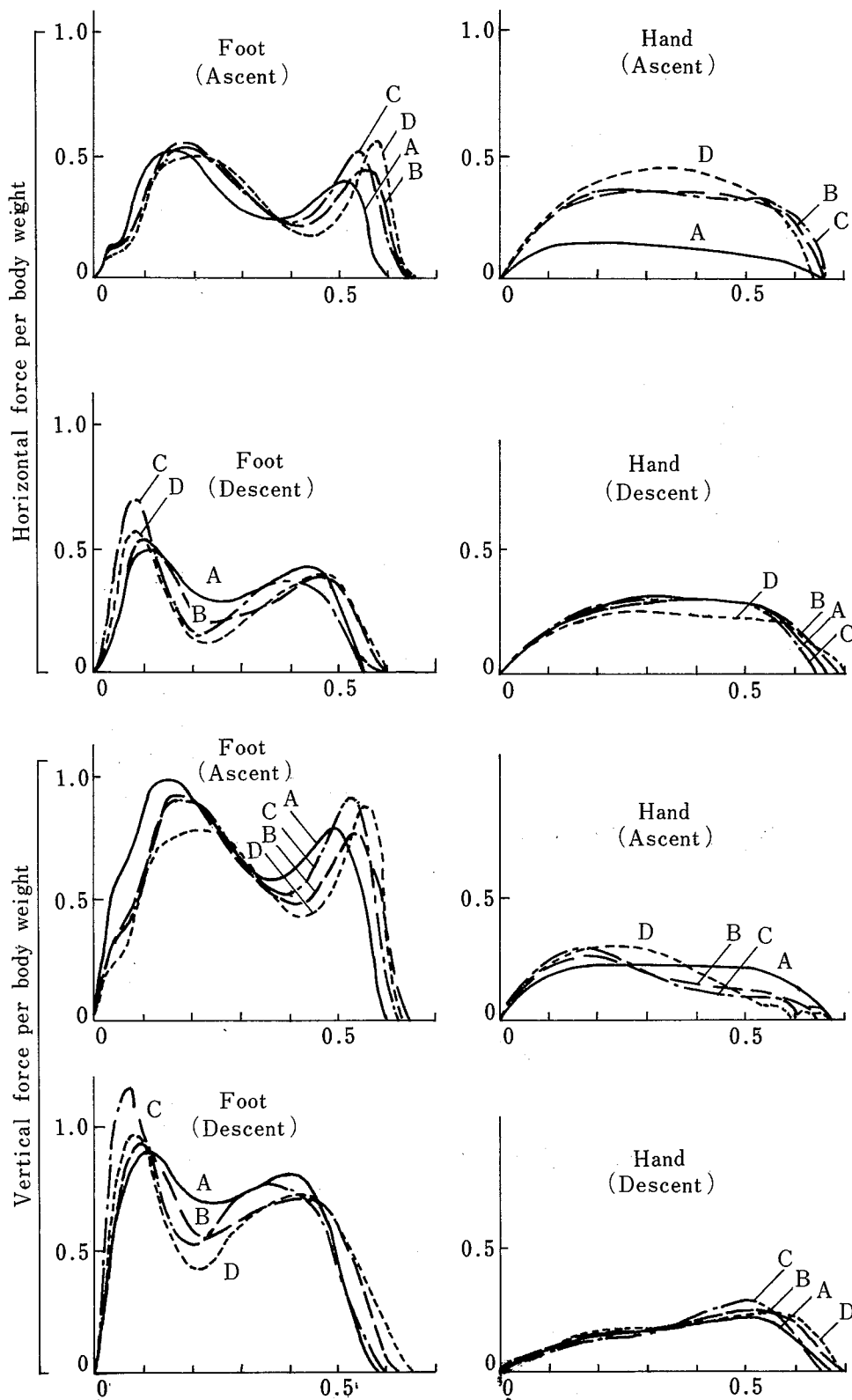
間の1/100)に対する変化量を加速，減速の如何にかかわらず常に正とみなして，その時間的な総和を求め，これを総外的仕事量と名付け筋肉のエネルギー消費の代用とした。ただし，垂直方向運動の場合は，重力加速度による影響があるために，位置エネルギーと垂直方向運動エネルギーの和の変化量をもとめている。また，Z方向の仕事量（横揺れによる）は微少なので無視している。

$$\begin{aligned}
 W_t &= c \cdot \sum_{i=1}^{11} \sum_{j=1}^{100} W_{i,j} \\
 &= c \cdot \sum_{i=1}^{11} \sum_{j=1}^{100} (|R_{i,j}| + |H_{i,j}| + |P_{i,j}| + V_{i,j})
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

i : 身体各部位を示す。

j : 1ストライドのj番目の分割点を示す。

W_t : 総外的仕事量 (cal)



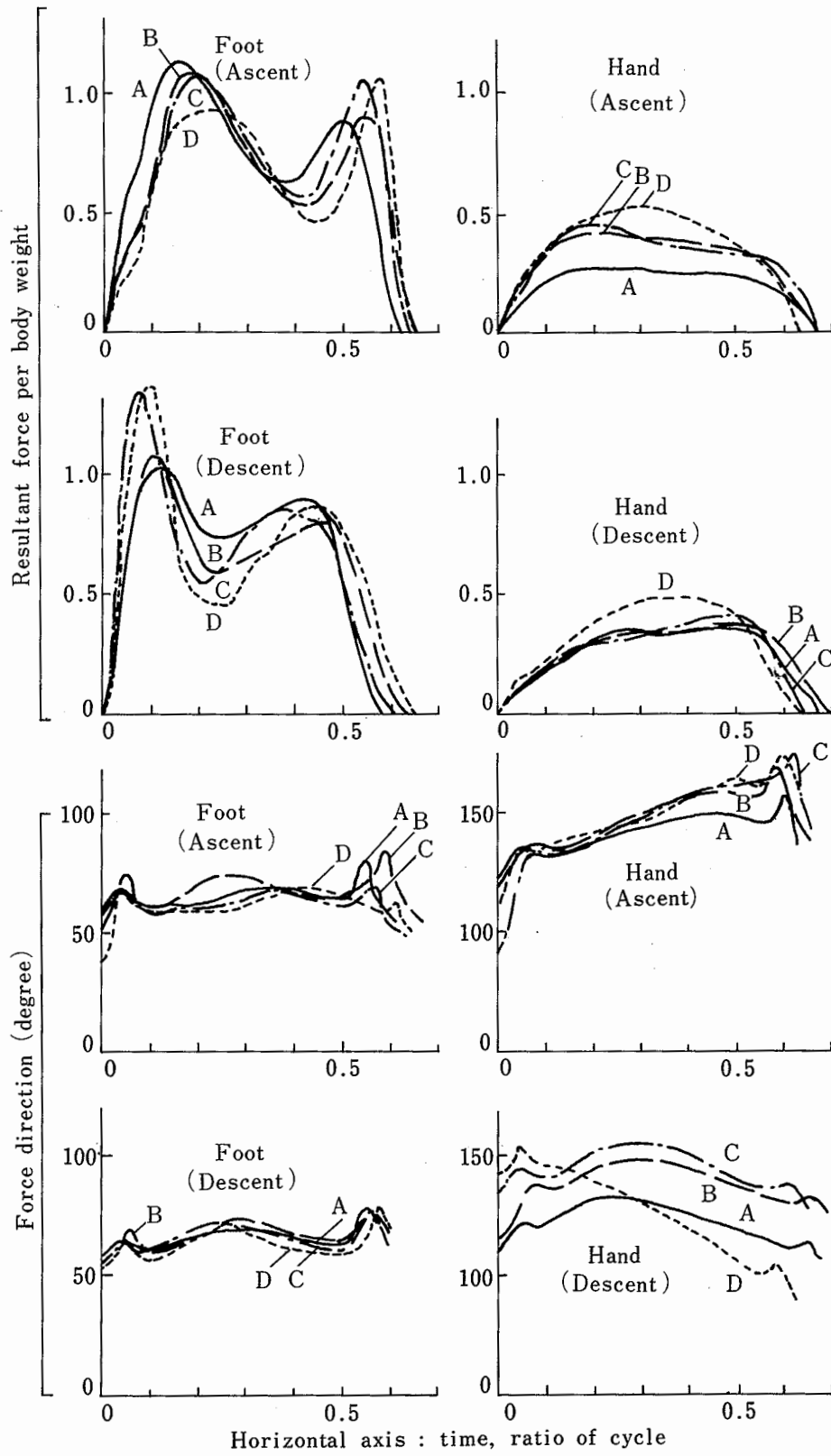


Fig. 4-19 Magnitude and direction of force acting on rung
 踏棧作用荷重の大きさと方向

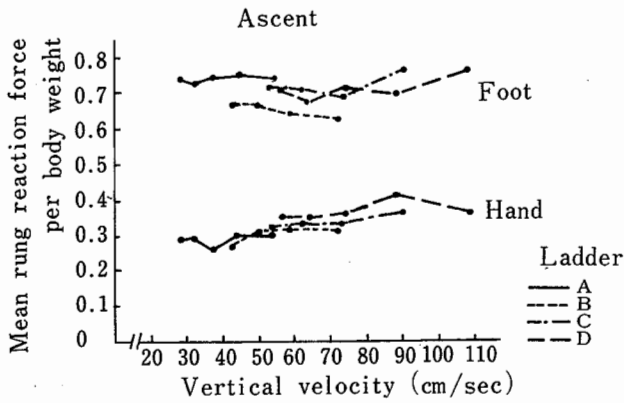


Fig. 4-20 Relation between mean reaction force and vertical velocity in ascent
平均踏棧荷重と昇降速度の関係

$W_{i,j}$: 各部位(i), 各分割点(j)での外的仕事量 (kgf·m)

$R_{i,j}$: 回転運動エネルギーの変化量 (kgf·m)

$H_{i,j}$: 水平方向運動エネルギーの変化量 (kgf·m)

$V_{i,j}$: 鉛直方向運動エネルギーの変化量 (kgf·m)

$P_{i,j}$: 位置エネルギーの変化量 (kgf·m)

c : 2.343 (cal/kgf·m)

ここで、人体は、Fig.4-22 のように11に分割して計算している。前腕部、上腕部、大腿部、下腿部、足部それぞれの左右と胸部である。さらに、それぞれの運動エネルギーと位置エネルギーの変化量を(4.2)式に示す。

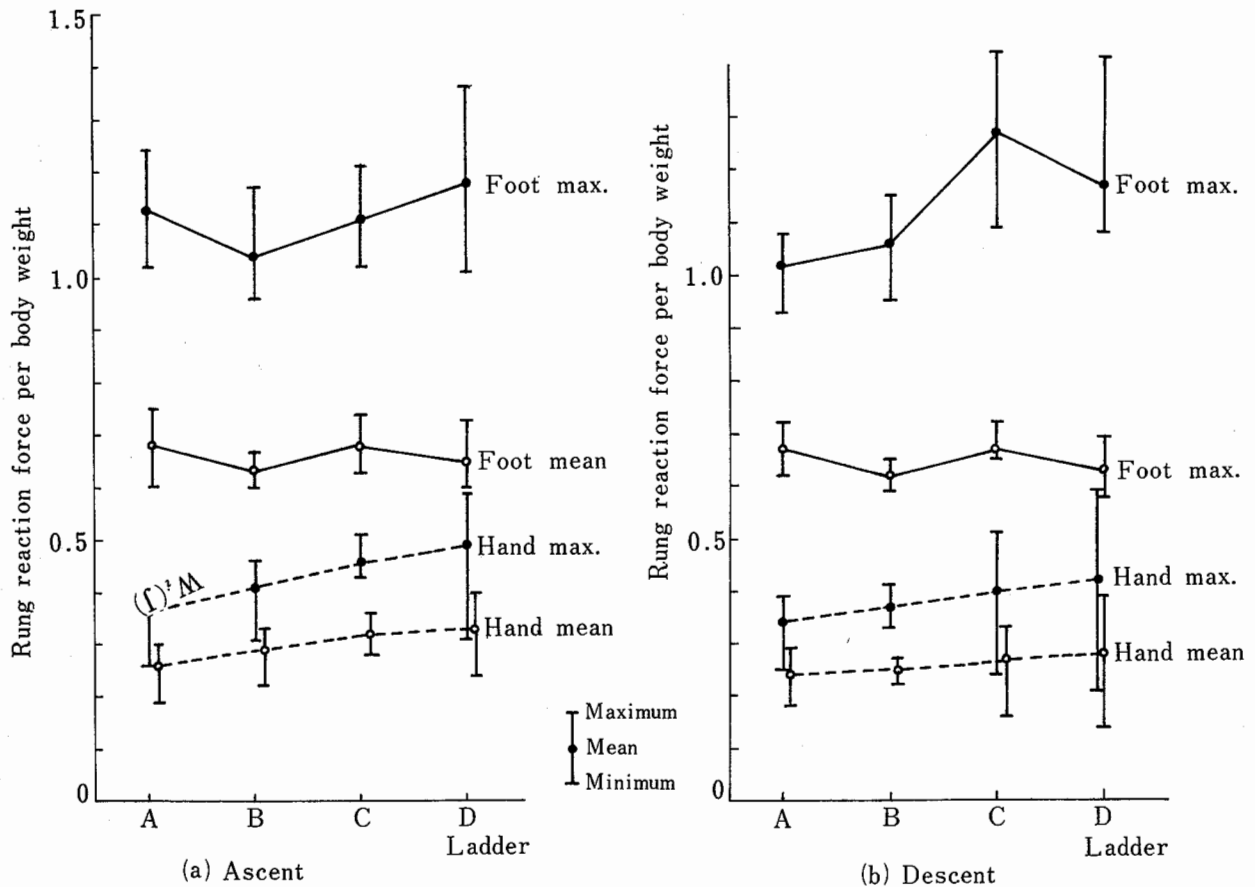


Fig. 4-21 Reaction force acting on rung of ladder
踏棧荷重の平均値・最大値

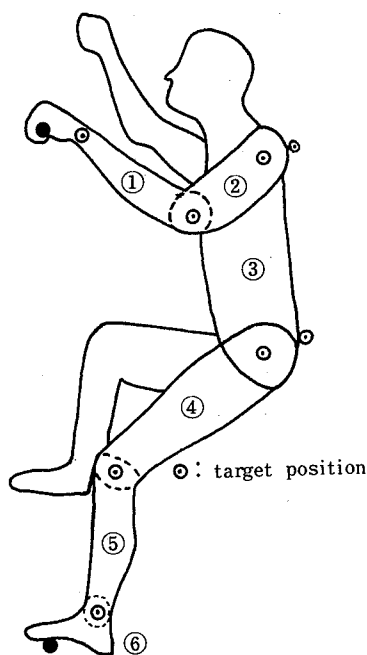


Fig. 4-22 Target positions and kinesiological division of the body
標点の位置と各部位

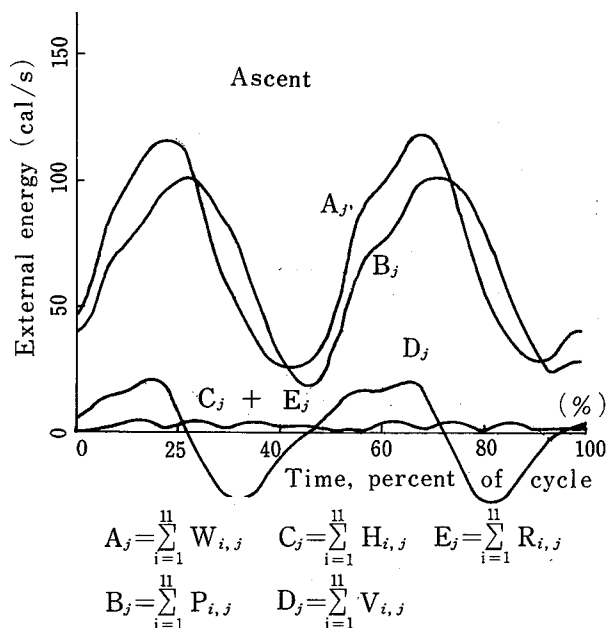


Fig. 4-23 Example of energy distribution including all parts of the body during one stride on ladder B
各外的仕事量成分の時間的分布

$$\left. \begin{aligned} R_{i,j} &= 1/2 \cdot I_i \cdot (\dot{\theta}_{i,j+1}^2 - \dot{\theta}_{i,j}^2) \\ H_{i,j} &= 1/2 \cdot M_i \cdot (\dot{X}_{i,j+1}^2 - \dot{X}_{i,j}^2) \\ V_{i,j} &= 1/2 \cdot M_i \cdot (\dot{Y}_{i,j+1}^2 - \dot{Y}_{i,j}^2) \\ P_{i,j} &= M_i \cdot g \cdot (Y_{i,j+1} - Y_{i,j}) \end{aligned} \right\} \dots (4.2)$$

M_i : 身体部位(i)の質量 (kg)
 I_i : 身体部位(i)の慣性モーメント ($m^2 \cdot kg$)
 $\dot{\theta}_{i,j}$: 角速度 (rad/s)
 $\dot{X}_{i,j}$: 水平方向速度 (m/s)
 $\dot{Y}_{i,j}$: 鉛直方向速度 (m/s)
 $Y_{i,j}$: 鉛直方向位置 (m)
 g : 重力加速度, 9.807 (m/s^2)

以上の式から体全体の外的仕事量を計算する。ただし、上式に与える各部位の変位、速度のデータは、片側の各肢体部位のみについてしか取っていないため、反対側の肢体部のそれらは、半周期の遅れで同じ運動をしていると仮定している。以上の式をもとにして、各外的エネルギー成分ごとに計算した1例をFig. 4-23に示す。計算の結果、回転エネルギーは、僅少であり、外的仕事量の内訳は、大部分が位置エネルギー量であった。Fig. 4-24, 25の縦軸は、被験者による体重差をとるために、計算された仕事量をそれぞれ体重で除した値である。1周期での外的仕事量は、梯子Dが最大

で梯子Aが最小である。昇るときは、速度が増加するにつれて外的仕事量は、2次曲線的に増加している。降りるときは、その増加率が少である。また、一方昇降距離1mあたりの外的仕事量でみると、梯子Dが最も効率が良いことがわかった。梯子A, Bでは、速度が減少するとかえって外的仕事量は、増加している。梯子Aでは、昇降速度約30cm/s、梯子Bで、昇降速度約45cm/sのとき最小となっている。以上のことから、エネルギー効率から判断すると梯子Dがあげられ、1ストライド間での最少エネルギー消費から判断すると梯子Aがあげられる。

4.8.2 適正関節角度

関節が生体角のとき最大筋力を発揮できるとされており⁴⁾、股関節角度 θ_H については、約 90° であり、膝関節角度 θ_K は、 80° 前後である。⁵⁾梯子ごとの股関節角度と膝関節角度との関係をグラフにしたのがFig. 4-26である。梯子Bの昇りでは、 $\theta_K=82^\circ$ 、 $\theta_H=87^\circ$ となっている。踏棧反力に極大値が現われるには、Fig. 4.19から足が接触してからストライド時間の約18%である。そのために、極大値が現われた時の θ_H 、 θ_K は、約 $10^\circ \sim 15^\circ$ 程度減少している。梯子Bのときに、ほぼ生体角に近い関節角度で踏棧に足が接触し、関節角度 θ_H 、 θ_K が 10°

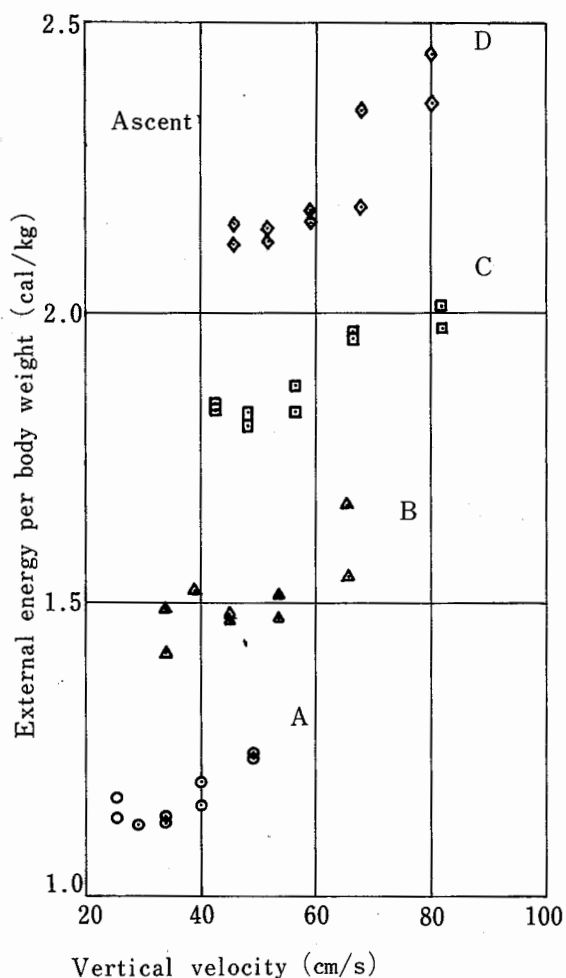


Fig. 4-24 Evaluation of external work during one stride
1 ストライドでの外的仕事量

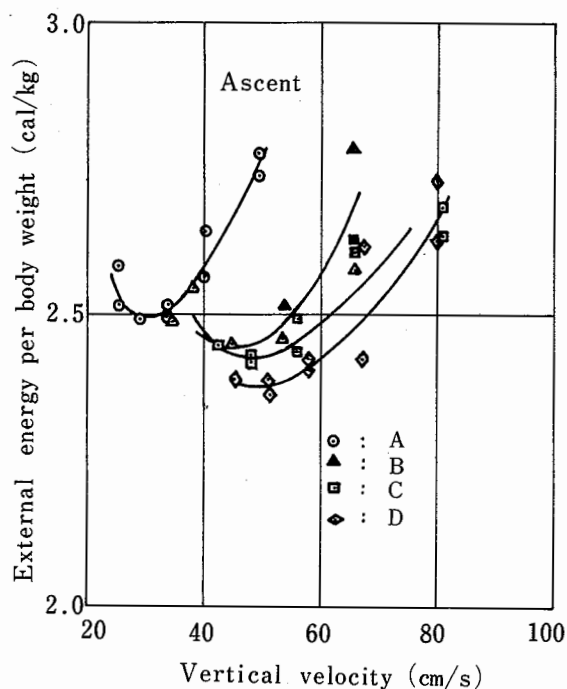


Fig. 4-25 Evaluation of external work for one unit meter rise
1 m 昇降高さ当りの外的仕事量

15°の移動して踏棧反力が極大値をとっている。梯子Bは、感覚的判断では昇降しやすいと答えた被験者が大多数いたことから、昇降しやすいと生体角とは、密接な関係があるのでないかと考えられる。

4.8.3 昇降時における踏棧反力と脚力Rとの関係について

4.5の実験の結果、脚力Rは、股関節角度によって

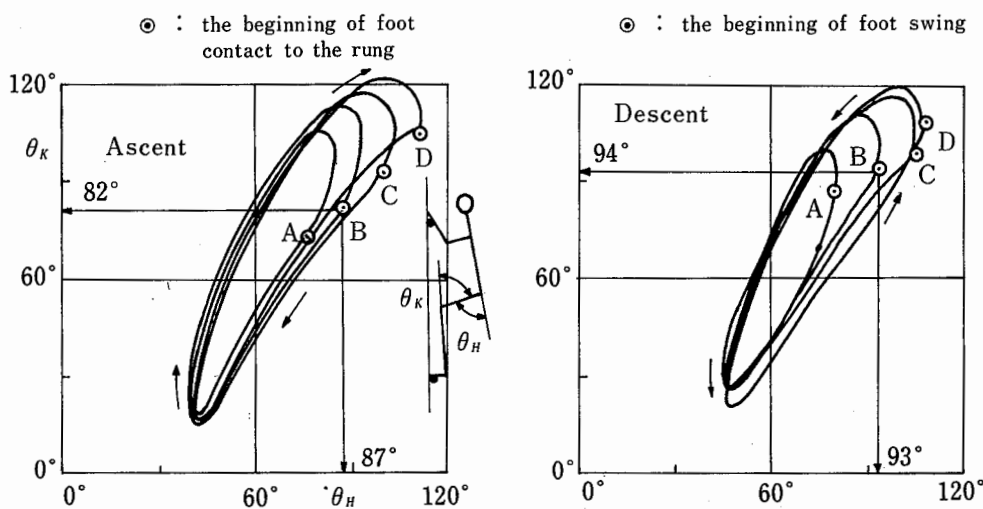


Fig. 4-26 Relation between knee and hip angle
膝関節と股関節角度の関係

Fig. 4-27のように変化する。分布状況より直線で近似させると近似直線式は

$$R = -0.0106 \cdot \theta_1 + 2.139 \dots\dots\dots (4.3)$$

ただし、R：脚力、 θ_1 ：股関節角度(degree)

なお、上式でRは実験値を被験者毎にあらかじめ測定済みの股関節伸展力*8で割って無次元した値である。

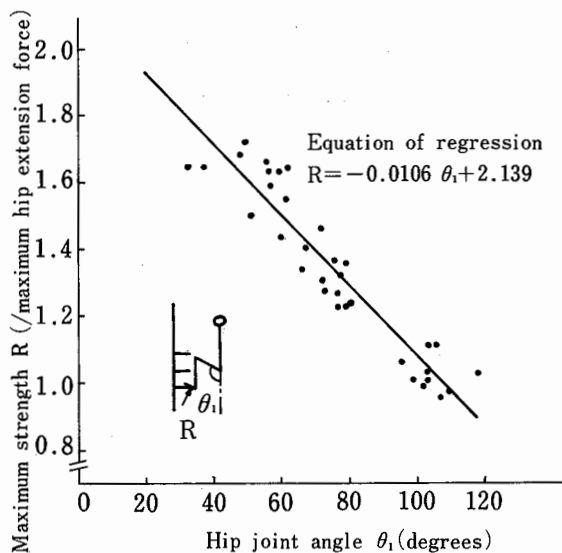


Fig. 4-27 Relation between maximum strength of muscle groups of leg and hip joint angle
最大脚力と股関節角度との関係

ここで、脚部が踏棧から受ける力 F_2 (=踏棧反力)による筋負担は、 F_2 の第1極大値 F_1 とRとの比

$$K = F_1 / R \dots\dots\dots (4.4)$$

によって決まるものと仮定し、踏棧間隔毎にKの値を求めてみる。

なお、上式で F_1 は、実験値を体重で割って無次元化した値を用いた。式(4.3)に、踏棧反力が第1極大値

Table 4-4 Value of θ_1 , R, F_1 and K

θ_1 , R, F_1 , Kの値

Ladder	A	B	C	D
θ_1 (degree)	64	70	78	89
R	1.46	1.40	1.31	1.20
F_1	1.13	1.09	1.06	0.93
K	0.77	0.78	0.81	0.78

*8 被験者が、片足で立ち他方の足の大腿を水平にし、下腿を鉛直に垂らした状態で張力計を介しワイヤを連結したベルトを膝内側に巻く。被験者は、最大努力で股を伸展し、ワイヤを牽引する。この時の最大牽引力を股関節伸展力といい、脚力評価の目安として用いられる。

をとる時の股関節角度をFig.4.9より求めて代入すると、Rが求められ、R、 F_1 を式(4.4)に代入することにより、Kが求められる。Table 4-4に踏棧間隔毎の θ_1 , R, F_1 , Kを示す。同表によれば、Kの値は梯子Aで多少小さく、梯子Cで少し大きくなるが、ほぼ0.8で一定であり、これより人間は、無意識に脚力の80%程度になるよう筋肉を制御するものと思われる。

4.8.4 昇降のしかたによる踏棧間隔の比較

1) 昇降速度

被験者が自由な速度で昇降している時のストライド時間を梯子の種類別に求めると、Fig.4-28に示すようになる。Fig.4-29は、ストライド時間をもとに梯子の種類別に垂直方向の昇降速度を求めたものである。Fig

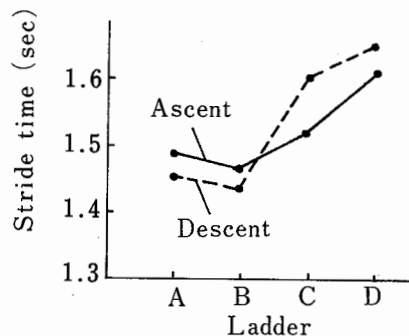


Fig. 4-28 Stride time at subjects' own paces
自由昇降におけるスライド時間

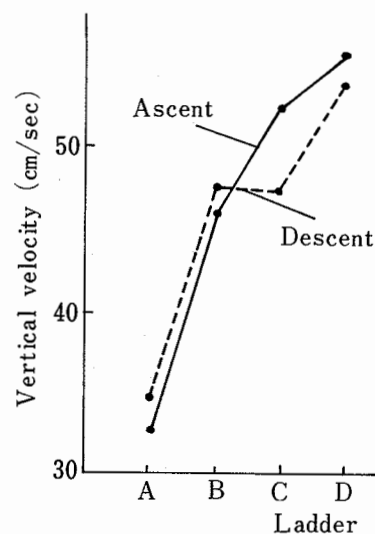


Fig. 4-29 Vertical velocity at subjects' own paces
自由昇降における垂直方向昇降速度

4.28により、ストライド時間は、踏棧間隔によらずほぼ一定であり、1.5sec程度のリズムで昇降しようとする事、及び、その結果、Fig.4-29で梯子Dの昇降速度が梯子Aの昇降速度の2倍近くになっていることが分かる。一方、わずかの差ではあるが、梯子Bのときストライド時間が最小となることは、他の梯子に比べ、昇降動作がスムーズで、梯子Bが昇降しやすいことの現れとみることが出来る。

2) 体の支持状態からみた比較

梯子昇降時は、手足によって体の支持を行っているが、この支持状態を支持点数から分けると、通常の昇降では、2点支持、3点支持、4点支持の3つの場合がある。

2点支持状態は、体の昇降が活発に行われる最も動的で身体各部の筋負担も大きい状態であり、4点支持状態は、筋力負担も少なく、最も動きの少ない状態であるといえる。そこで、梯子種類別に、支持点数別の時間割合を求めてみるとFig.4-30のようになる。同図

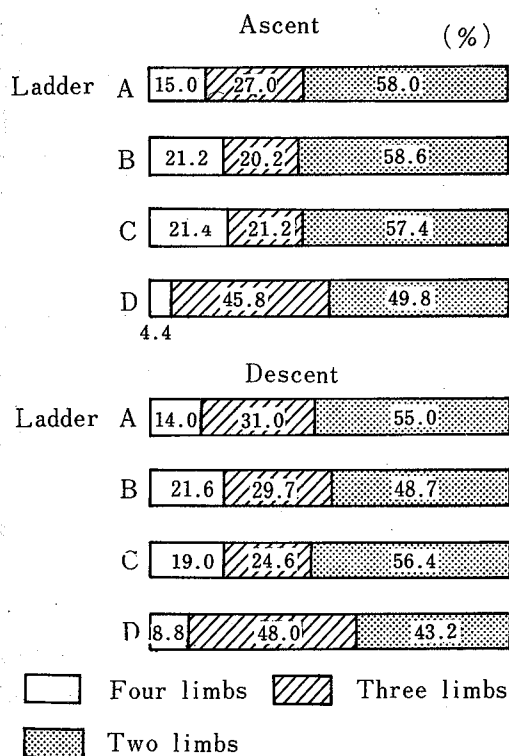


Fig. 4-30 Time ratio of three stages included one stride in climbing ladder ; using 2 hands and 2 feet, 2 hands and 1 foot, 1 hand and 2 feet, 1 hand and 1 foot
 支持点数別の時間割合

によれば、昇り降り共、梯子Dを除いて2点支持が6割程度でほぼ一定であるが、4点支持は、昇降とも梯子B、Cの場合に多く、このことが昇りやすさを決定する大きな要因となっているものと思われる。

3) 手と踏棧の位置関係による比較

手と踏棧の位置から昇り易さを比較してみる。

梯子を昇る時の姿勢を模式的にFig.4-31に表わす。同図は、片方の足が伸びて他方の足が1段上の踏棧にかかった時点の状態、この姿勢の後、手足を用いて体を押し上げるのである。

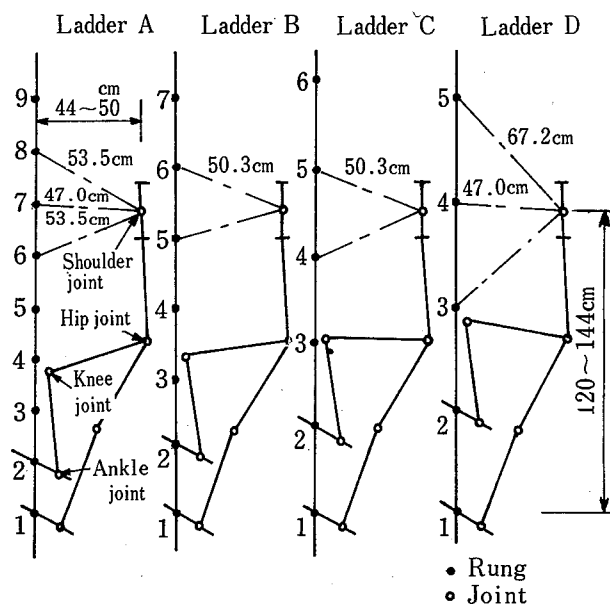


Fig. 4-31 Schematic diagram of human body
 梯子を昇るときの人体の模式図

実験結果から、踏棧芯から肩関節までの距離は、梯子の種類に無関係に44~50cm (平均47cm), Fig.4-31における1の踏棧から、肩関節までの垂直距離は、120~144cm (平均132cm) であることがわかっているので、肩関節から、各踏棧までの直線距離を求めると図に記した値となる。

一方、肘関節屈曲力*9と筋力との関係は、範肉が縮みながら、力を発揮する場合、*10肘関節角度がほぼ115°~125° (平均120°) のとき、最も大きい力がでることが分かっており、このことから逆に、肘関

* 9 肘関節を90°から肩に向って最大努力で屈曲するときの力で、肘関節力評価法の一つとして種々の測定方法が考えられている。

*10 関節を通して筋力を発揮するには、筋の長さが変わらないで力を発揮する場合、筋が短縮しながら力を発揮する場合、筋が伸長しながら力を発揮する場合の3つの場合があるが、ここでは昇りの動作を対象としているので短縮しながら力を発揮する場合に相当する。

筋角度が 120° 近辺のときに、最も力を出しやすいということが出来る。人間が踏棧を握ったときの踏棧から肘関節、肘関節から肩関節までの距離は、日本人の場合、実測値及び文献³⁾から、それぞれ平均値で29cm、29.5cmであり、従って肘関節角度が 120° のときの踏棧から肩関節までの距離を求めると、50.6cmとなり(Fig. 4-32参照)、この状態のとき最も力を出しやすく負担が少ない、といえる。この値を先に求めた、肩関節から踏棧までの距離と比較すると、梯子B、Cの場合がこれに該当する。

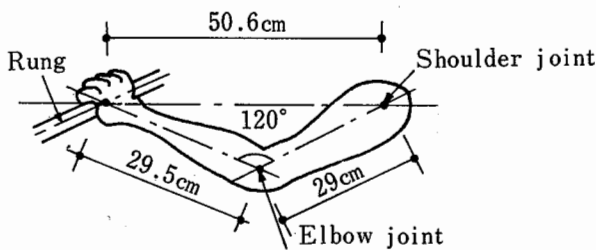


Fig. 4-32 Distance between the center of rung and shoulder joint
踏棧から肩関節までの距離

次に、昇る姿勢を観察してみると、通常、肩関節が踏棧の中間位置にきた時、下方の手をはなすが、梯子B、Cでは、丁度体を押し上げる時点(Fig.4-31の状態)で、肩関節が踏棧の中間付近にあるため、押し上げと同時に下方の足及び手がはなれるため、手足のスタンス^{*11}スイング^{*12}の位相が一致して昇り易い。

又、手を伸ばして手の届く範囲は、文献³⁾によれば、日本人男子の場合、肩関節からほぼ65cmであるが、完全に握って体重を持ち上げるような場合は、約58cm程度になる。そこで、Fig.4-31においてこの数値を各梯子にあてはめてみると、梯子Dでは、身長の高い一部の人で、踏棧5に手が届くが、大部分の人では4の踏棧しか握ることが出来ない。身体を押し上げ、最も力を必要とする時に、手による支持が1本のみで、しかも、ほとんど肩と水平位置にあるため、体を引き上げるための鉛直反力を期待できず、それだけ足の負担を大きくしている。又、身長の高い人でも図中5の踏棧にやっと手が届く程度であるため、肘関節角度が大きくなり肘部の負担が大きくなり昇りづらい。

次に、梯子Aの場合は、手のとどく踏棧としては、

6、7、8があるが、特に急いで昇り降りするときに、選択を迷ったり、一つおきに踏棧を握ったり、手と足のリズムが合わずに昇りと降りて、握る踏棧が異なったりし、それが昇りにくさとなって現れたものと思われる。梯子B、Cの場合は、距離的にも、手の届く踏棧の個数からいっても、良い条件にあり、昇りやすいといえる。

4.8.5 爪先の軌跡についての実験結果

4.6で示したような方法で実験し、写真撮影したもののうち数例をFig.4-33に示す。同写真 a)は、Fig.4-8において梯子a、写真 b)は、同図で梯子bの場合である。この写真で、爪先の軌跡と中間の踏棧との水平距離(梯子aのときは、中間の踏棧は存在しないので、他方の足の踏棧の位置で代用する)に注目すれば、昇りのとき、梯子aでは個人差もあるが、約3~6cm、梯子bでは、6~8cm程度となり、写真でも分かる通り明らかに差がある。

一方降りるときは、さらに差が大きくなることが分かった。梯子aの軌跡を見ると、下腿部の動きを少くし、爪先の軌跡が短い径路を通るように筋肉作用が制御されるものとみられる。これに対し、梯子bの場合には中間の踏棧を避けるように迂回する傾向がはっきり観察できた。とくに降りるとき、この傾向は顕著である。このことは、踏棧間隔が小さい梯子を昇降するとき、爪先を中間の踏棧に引っかけないように、また踏み外さないように昇降しなければならないため、筋肉作用の不馴れな制御が必要となり、これが昇りにくさを感じさせる一因となっているのではないかと考える。

また、昇降速度が大きくなるにつれ、下肢の運動に対する筋肉作用の制御が乱れ、このために、昇降のリズムが狂いやすくなり、爪先を引っかけてしまう結果となるのではないかと考えられる。

つぎに、被験者の体験から梯子a、bの昇降しやすさの比較をすると、踏棧間隔が22.5cm、26.3cmのように最適間隔より小さい場合、やや梯子aの方が昇降しやすいが、やはり最適間隔の梯子の方が昇降しやすいという結果となった。なお、この実験は、3名の被験者のみについて実施したので、定量的な解析はせず、観察の結果、被験者に共通する一般的傾向を中心に考察した。

以上のように4.8で最適間隔が31cm程度になる理由について人間工学的に検討してみた結果、踏棧の間隔

*11 手足が踏棧に接している時

*12 手足が踏棧から離れている時

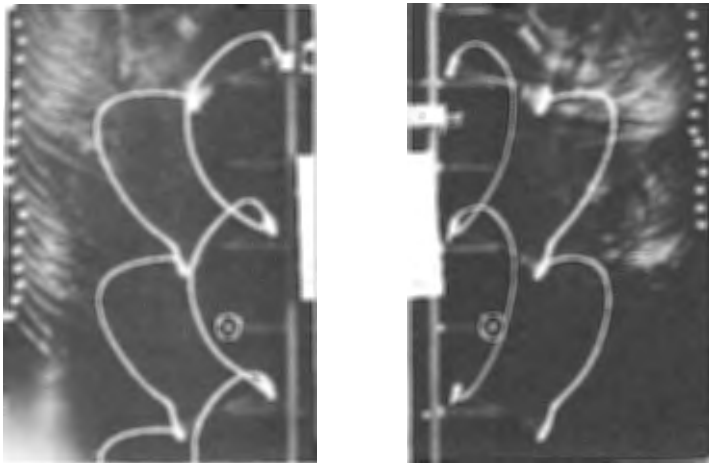
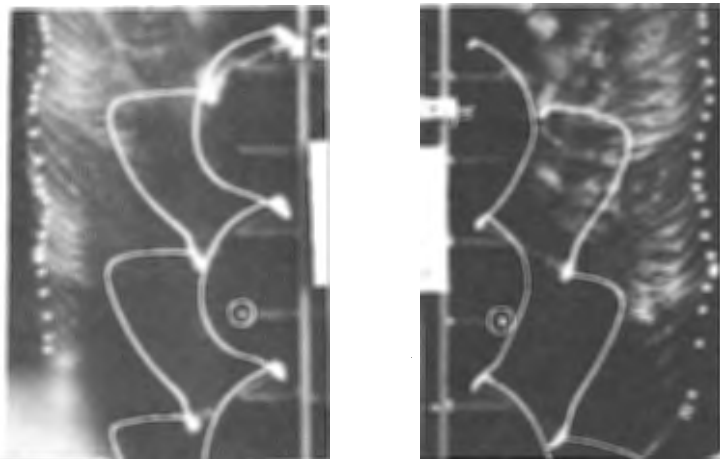


Fig. 4-33 Comparison of the cyclegrams of tiptoe in ladder a and b. (Notice the distance between cyclegram and the tip of mid rung marked as ⊙)

梯子 a と b における爪先の軌跡の比較 (⊙は踏棧の位置を示す)



Ladder a, descent
a)

Ladder b, descent
b)

と昇降しやすさとの関係は複雑な要素が絡み合っていて、これらが総合された結果、上記寸法近辺のとき昇降しやすさを感じるのでないかと考えられる。

4.9 本報で実験的に確認した各部分の最適寸法および踏棧に作用する荷重と OSHA で規定している寸法・設計荷重との比較

これまで最適寸法を調べてきたが、ここで OSHA で規定している寸法と比較してみると Table 4-5 のようになる。この結果についてみると、

1) 踏棧寸法については、平均身長で日本人よりはるかに高い米国人では、その最適間隔は本報の実験で得たそれより大きな寸法となるものと思われるが、同規定では、12" (30.5cm) におさえられている。

2) 踏棧の設計用荷重と太さ

OSHA では、踏棧の設計荷重が踏棧の中央部で 200lbs. (約 90kg) 以上としている。本報の実験では最大約 80kg が実測されたので、OSHA の規定値と同一にしておけば充分である。この設計荷重を用い、踏棧の幅を 40cm として踏棧を単純梁とみなすと、普通丸鋼を用いれば、約 19φ 以上の丸鋼で設計すればよいという結果となるが、本報において実施したような実験では 25φ が最適であるという結果と併せ考えると、OSHA では割合細い踏棧をも容認しているようである。

3) 踏棧と壁面とのあき

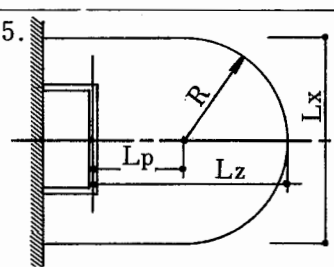
実験では 15cm 程度のあきがあれば充分であるという結果となったが OSHA では 7" (17.8cm) となっている。

4) 踏棧の幅、ケージ寸法

これらについては Table 4-5 のようにほぼ同一の寸

Table 4-5 Comparison of experimental results with the regulation of the OSHA in dimensions of a ladder and a cage.

梯子及びケージ寸法の実験結果とOSHAの規定との比較

Terms	Experimental results	OSHA												
1. Rung spacement	31cm	12" (\approx 30.5cm) >												
2. Rung diameter	25mm	3/4" (\approx 19mm) <												
3. Rung width	40cm	1'-4" (\approx 40.6cm) <												
4. Clearance in the back of ladder	15cm	7" (\approx 17.8cm) <												
5. 	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>L_Z</td> <td>69cm</td> <td>68.6~71.1cm</td> </tr> <tr> <td>L_P</td> <td>34cm</td> <td>34.3cm</td> </tr> <tr> <td>R</td> <td>35cm</td> <td>34.3~36.8cm</td> </tr> <tr> <td>L_X</td> <td>70cm</td> <td>68.6~73.6cm</td> </tr> </tbody> </table>	L _Z	69cm	68.6~71.1cm	L _P	34cm	34.3cm	R	35cm	34.3~36.8cm	L _X	70cm	68.6~73.6cm	
L _Z	69cm	68.6~71.1cm												
L _P	34cm	34.3cm												
R	35cm	34.3~36.8cm												
L _X	70cm	68.6~73.6cm												

法となることがわかった。

4.10 結 語

1) 梯子寸法の現況

踏棧間隔は、全体の約半数は30cmで設計されているが、35cm、40cmで設計されている例もかなりある。いずれも梯子の組立時の寸法の割り付けを容易にするためか上記のようにきりのよい寸法で設計される様子がうかがえる。

つぎに踏棧の太さは19φが全体の36%で、19φ以下合計すると62%位となって細い丸鋼が使用されていることがわかった。

また踏棧の幅は全体の約半数が35~40cmで設計されているが35cm以下のものも全体の34%もあり、幅のせまい設計例が多数あった。このように最適寸法よりかなりずれている寸法で設計されている例が多数あり、設計資料の乏しさが感じられた。

2) 実験による最適寸法の考察結果と設計寸法の提案

a) 踏棧間隔

4.3のような方法で実験し、各個人の最適寸法の平均値を最適間隔とすれば31.4cmが最適であることがわかった。また身長、体重、年齢と最適間隔との間に相関関係があるのではないかと期待されたが、いずれも統計上有意な関係は認められなかった。

設計用間隔は、実験結果からみて我が国成人男子を対象とするときは27cm以上、37cm以下とすることが

必要であり、OSHAの規定、その他の条件を考慮すれば30cmが最適であると考えられる。

b) 踏棧の設計用荷重

実験結果およびOSHAの規定を参考にし、踏棧の中央に90kg以上の荷重をかけたとき、踏棧が永久変形、または破損しないこととすることで充分であろう。

c) 踏棧の太さ

太さは前記b)の項の荷重に耐える太さであることが必要である。最適太さについての実験では25φが最適であるという結果となったが、梯子の組立の手間、経済性を考慮すれば適正な寸法は22~25φ(丸鋼の場合)で19φ以下は好ましくない。

d) 踏棧の幅(有効幅)

実験結果から40cm以上とすることが望ましく、35cm以下のとき昇降しにくくなり好ましくない。

e) 踏棧と壁面とのあき

踏棧に足をかけたとき踏棧の内側に出る爪先からの水平距離は実験では最大13.9cmであり踏棧と壁面とのあきは15cm以上とすることが望ましい。

f) ケージの寸法

多数の被験者の肩、肘、臀部などの最大動作範囲から決定した。設計用所要寸法はTable 4-5に示すものが望ましいことがわかった。

謝 辞

本実験を実施するに当って、昇降動作の測定のための被験者を快く派遣して下さった建設業各社、また梯子の寸法の感覚的実験に協力下さった方々に謝意を表

します。

附 記

本実験でデータ収録、演算処理には清瀬実験場データ収録装置（U-200システム）、および当研究所電子計算機システム（FACOM230/35）によった。

参考文献

- 1) Peter. S. Hopf Designers guide to OSHA, McGraw-Hill, p.70 (1975)
- 2) 日本造船学会, 造船設計委員会編 人間工学による船装設計基準, 海文堂, p.28 (1976)
- 3) 人間工学人体計測値編集委員会編 人体計測値図表, 人間と技術者, 1970
- 4) 真島英信 筋収縮の機序, 生体の運動機構とその制御, 杏林書院, 1974
- 5) 人間工学ハンドブック編集委員会編 人間工学ハンドブック, 金原出版社, 1976