

JAN. 1977

RIIS-RR-25 3

UDC 69.028.8

産業安全研究所研究報告

RESEARCH REPORT OF
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

RR-25-3

仮設手摺の具備条件

—仮設手摺の必要高さと必要強度について—

小	川	勝	教
河	尻	義	正
堀	井	宣	幸

労働省産業安全研究所
MINISTRY OF LABOUR
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

仮設手摺の具備条件

—仮設手摺の必要高さと必要強度について—

小 川 勝 教*
河 尻 義 正*
堀 井 宣 幸*

On the required conditions for the temporary railing

—about necessary conditions in the height and the strength—

Katsunori Ogawa*
Yoshimasa Kawajiri*
Noriyuki Horii*

The temporary railing has been used for the prevention of fall accidents in construction sites and dockyards, while it is under the necessity of standardizing the specification of it. This report is the experimentally investigation about conditions the temporary railing must have, above all next two contents.

- (1) Necessary height of the railing for a man not to get over the railing while at work.
- (2) Necessary strength of the railing for working actions.

In the experiment about (1), actions against the railing were limited to 2 sorts (action 1 and action 2. Refer to Photo 1) and men and a dummy were employed as subjects. From the experiment the following empirical equations could be obtained among some variables concerning posture of subject.

Equation in the boundary whether feet of subject floats from floor surface or not.

$$H/L = \tan(-1.679 \cdot H_0 / \sqrt{H^2 + L^2} + 4.320) \dots \dots \dots \text{about action 1}$$

$$H/L = (H_0 / \sqrt{H^2 + L^2} - 1.300) \cdot \tan(0.00341V + 0.824) + 1.345 \dots \dots \dots \text{about action 2}$$

Equation in the boundary whether body of the subject gets over the railing or not.

$$H/L = \tan(-1.628 \cdot H_0 / \sqrt{H^2 + L^2} + 4.638) \dots \dots \dots \text{about action 1}$$

where

H : Distance between the floor surface and the center of the toprail

L : Horizontal distance between the toe or heel of subject and the center of the toprail

H_0 : Body height of subject

V : Truck speed or walking speed

Then we carried out the simulation using above equations and calculated the probabilities of getting-over and floating. An digital computer was used for the simulation.

* 土木建築研究部 Civil Engineering & Construction Research Division

About (2), first of all, we had to know the forces which act on the railing, so we performed the experiment to make clear the relation between working actions and the forces act on the railing. In the experiment, actions against the railing were limited and assumed to 8 sorts (4 static actions, 4 dynamic actions. Refer to Photo 2) and men or a dummy were employed as subjects.

As the results of the experiment, the following empirical equations could be obtained concerning the forces act on the railing for typical two actions (action S 4, action D 1)

$$F_{s2} = \alpha_1 \frac{W_0 H_0 L}{H^2 + L^2} + \alpha_2 \frac{W_1 H_0 L}{H^2 + L^2} \dots\dots\dots \text{about action S 4}$$

$$F_{max} = \alpha_1 \frac{W_0 H_0 L}{H^2 + L^2} \left\{ 1 + \sqrt{1 + A \frac{K(H^2 + L^2)^2 V^2}{W_0 H_0^2 L^2 g} + B \frac{K(H^2 + L^2)^{3/2}}{W_0 H_0 H}} \right\} \dots\dots\dots \text{about action D 1}$$

where

- F_{s2} : Force acts on the railing in action S 4
- E_{max} : Impact force acts on the railing in action D 1
- H, L, H_0, V : As above mentioned
- W_0 : Body weight of subject
- W_1 : Weight of the load in action S 4
- K : Spring constant of the railing
- g : Acceleration of gravity
- α_1, α_2, A, B : Experimental coefficients (Refer to Table 9, Table 10)

Then we carried out the computer simulation using above equations and calculated the forces act on the railing.

From the results of this experimental investigation we shall propose as follows.

1. The temporary railing shall be more than 95 cm in height.
2. The temporary railing shall be classified into two ranks (for light-work use and for heavy-work use) in the strength, according as the places where the railing is installed and the matter of work. The dimensions and members of each railing shall be such that the completed structure shall be capable of withstanding a load of at least follows applied in any direction at any point of the toprail.
 - (a) 36 kg/person for light-work use.
 - (b) 122 kg/person for heavy-work use.

1. 緒言

建設業、造船業などの業種において、現在最も問題になっている災害は、足場や開口部等からの墜落災害である。これらの業種は本質的に高所作業を併なうことから、墜落や落下物に対し宿命的関わりあいをもつものであることはうなづけるものの、これらの業種における墜落災害は、死亡災害の中の30~40%という大きな割合を占めており、かつ28件中1件の割合で死亡するという致死率の極めて高い災害である。

しかしこのように墜落災害が問題視されるようになったのは、何も今が初めてでなく、他災害に比べ一向に減少しないまま取残されているため、現在目につくようになったものと考えられる。

では何故減少しないのであろうかと考えてみると、これまでとられた防止対策、例えば安全带、安全ネットなどが、限られた場合にしか適用できず墜落災害防止にとって万能薬的・特効薬的なものが存在しないというところに根本的な理由があるように思われる。

したがって残された方法は、問題の基本に立戻って対策を考えること、即ち、高所の作業環境を本質的に墜落のおそれの無いものにするこゝで、これを具体的にいえば、高所の作業床の周辺及び開口部を保護することを意味し、そのためには手摺が重要な役割を果たすことになる。

ここでいう手摺とは、建設現場等で用いられる仮設的な手摺であり、一般の構造物等に設置する永久的な手摺と区別する意味で以後仮設手摺と呼ぶことにする。そこで、仮設手摺の実状をみてみると、ロープ、チェーンを用いたものから、単管等を用いて現場で組み立てるものまで種々あり、又最近では容易に設置可能な製品としての手摺も数多く開発され次第に普及しつつある状況であるが、中には性能面で検討を要するものも散見される。

他方、仮設手摺に関する法的規制は、労働安全衛生規則にその高さが規定されているのみで、構造上・強度上の具体的な規定は見うけられない。

そこで我々は、仮設手摺の安全基準を定めることを最終目標として、仮設手摺の具備条件を求めるための研究を進めてきた。即ち、まず仮設手摺の実状を把握するための実態調査を行ない、ついでその結果に基づき、仮設手摺の具備条件のうち特に重要な必要高さ・

必要強度に関する実験的研究を行ない、一応の結果を得ることができた。以下にその概要を報告する。

2. 仮設手摺の実態調査の概要

仮設手摺の実験的研究を開始するに当たって、実験条件を如何に設定するかが問題になるが、そのためには実際の現場でどのような構造を持った手摺が、どのような場所で、どのように使われているかなどの実態を把握する必要がある。

この目的の為に、あらかじめ調査する項目を検討整理し、その項目について調査者が自ら現場におもむいて調査を行なうこととし、さらに調査対象を建設工事現場と造船所に限定した。

さて調査の実施は、御本人の希望もあって、大阪産業安全技術館の鈴木康夫氏にお願いすることにしたがその結果は同氏によって既に発表されているので¹⁾、詳細は同発表に譲ることとして、ここには必要なものだけを簡単に紹介しておきたい。

- (1) 手摺の構造……Table 1 に示す。
- (2) 手摺の高さ……80~120cm に分布し、90cm が最も多い。
- (3) 東柱の間隔……支柱式足場に設置したものは180cm 前後、開口部に設置したものは100~400cm に分布、作業床端に設置したものは200cm 前後が多い。
- (4) 手摺に対する人間の作業動作……人間が手摺に対して特にどのような動作をしているのかについて観察し、さらに現場作業員及び関係者から聴取した結果を Table 2 に示す。

3. 実験

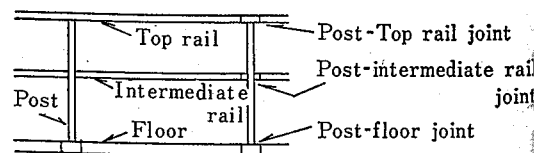
3.1 実験順序

本研究の主な目的は、仮設手摺として必要な高さ及び必要な強度・剛度を定めることにあるので、実験は先ず人間が作業中に誤って手摺を乗り越えることのないための手摺の高さを求める実験を行ない、ついで作業中に人体から手摺に与えられる荷重を求める実験を行なう。

Table 1 The places where railings are installed and materials of members composing the railing
手摺の設置場所と使用材料

Places		Material of members				
		Post	Post-Intermediate rail joint	Intermediate rail	Post-Top rail joint	Top rail
Scaffoldings	Frame pipe scaff.	open end frame exclusive railing*1	— pin	cross brace steel pipe	cramp pin	steel pipe steel pipe
	Single pipe scaff.	vertical pipe	—	—	cramp	steel pipe
	Wood (pole) scaff.	pole pole	— —	— —	wire wire	steel pipe log
	Hanging shelf scaff.	stanchion*2 chain	— —	— —	cramp tie or hang	steel pipe rope
	Bracket scaff. (in dockyard)	stanchion	—	—	wire	steel pipe
Steps	stanchion stanchion	cramp tie or hang	steel pipe rope	cramp tie or hang	steel pipe rope	
Ramps with crosspieces	open end frame vertical pipe	— —	cross brace —	— cramp	cross brace steel pipe	
Floor openings	stanchion	cramp	steel pipe	cramp	steel pipe	
	stanchion	tie or hang	rope	tie or hang	rope	
	steel pipe	—	—	cramp	steel pipe	
End of working platforms	stanchion stanchion	cramp tie or hang	steel pipe rope	cramp tie or hang	steel pipe rope	
Floor openings to carry in materials	stanchion stanchion steel pipe	— — —	— — —	cramp tie or hang tie or hang	steel pipe rope chain	

notes : Refer to next figure on the name of members composing the railing.



3.2 手摺の必要高さを求める実験

3.2.1 実験条件

実験に先立ち、実験条件を次のように設定した。

(1) 動作

実験で対象とする動作は次の点を考慮して決定した。

① 手摺に対する動作として確率が高いと思われる動作。

② 手摺を乗り越える危険性が高いと思われる動作。

さて、上記の観点からみた場合、対象として取上げる動作として最も適当なものは、前章 Table 2 の 3, 「よりかかる」動作であろうと思われる。その中でも、(2), (3), (4)はいずれも静的な同じ型に属する動作であるが、これらを1つ1つ取り上げるのは手間が

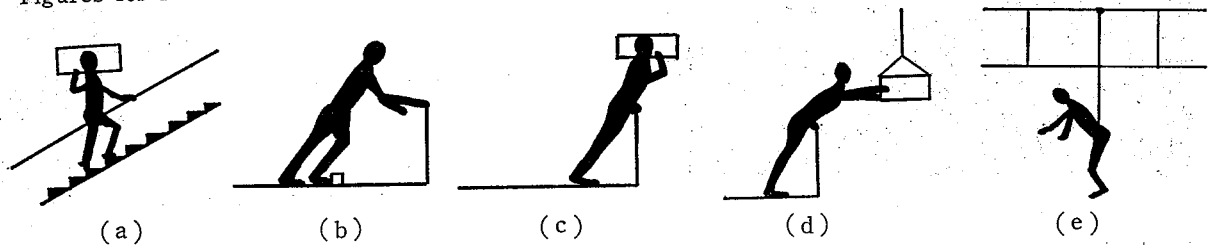
*1 枠組足場用専用手摺

*2 手摺用束柱の市販品

Table 2 Actions against the railing
手摺に対する動作

	Actions	Cases
1	Take hold of a top rail to help walking	(1) Walking or carrying the materials in steps, ramps, runways (Fig.a) (2) Walking along cat walks.
2	Take hold of a top rail not to fall down	(1) Carrying the materials in steps, ramps, runways. (2) Working in an unstable posture. (3) Stumbling, slipping, making a false step, losing balance with blast. (Fig.b) (4) Standing up after a stooping posture.
3	Lean on a top rail not to fall down with trunk	(1) Stumbling, slipping, making a false step, losing balance with blast. (2) Working in a unstable posture. (3) Taking a rest or making a sign. (Fig.c) (4) Pulling in the load which is lifted up. (Fig.d)
4	Hang down from a top rail by a life line	Falling from the floor (Fig.e) (Using the railing as the support of the end of the life line).

Figures for referrence :



かかるので、危険性の高い1つものに整理する必要がある。又表中(1)は上記と型の違った動的な動作であるが、前向きでよりかかるのと後向きでよりかかるのでは、かなり様相を異にするので、突嗟の時に手摺をつかまえることのできる前向きよりそれができない後向きの方を選ぶべきであると考えられる。

以上のような考察の下に、次のような2つの動作を設定した。なお以下の記述において、動作1による実験を実験1と呼び、同じく2によるものを実験2と呼ぶことにする。

動作1：被験者が手摺によりかかって身を乗り出し、可能な限り体を曲げ、腕を真直ぐ下方に伸ばす動作。又その際、床面と履物間の摩擦を少なくするため故意に足を軽く浮かす。(Photo. 1(a) 参照)

動作2：被験者(人体ダミー)を後向きの直立姿勢

で乗せた台車を種々の速度でストッパーに衝突させ、その反動で被験者を手摺に倒れかからせる動作。Photo. 1(b) 参照)

(2) 被験者

この実験では、被験者の体格、特に身長による影響が大きいのと思われるので、実験1では被験者は身長に関し出来る限り広い範囲にわたって選定した。

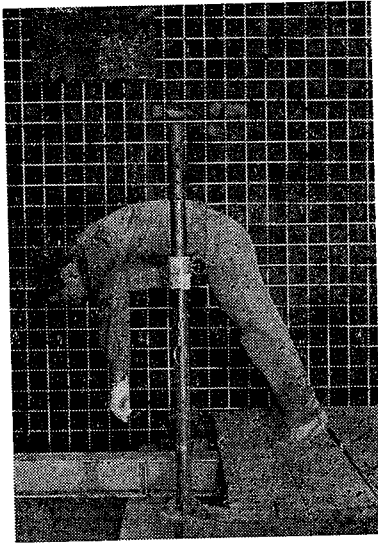
又、実験2では、危険防止のためやむを得ず衝突実験用人体ダミー(伊藤精機K.K.製)を用いた。被験者の身長、体重をTable 3に示す。

(3) 手摺の高さ(H)

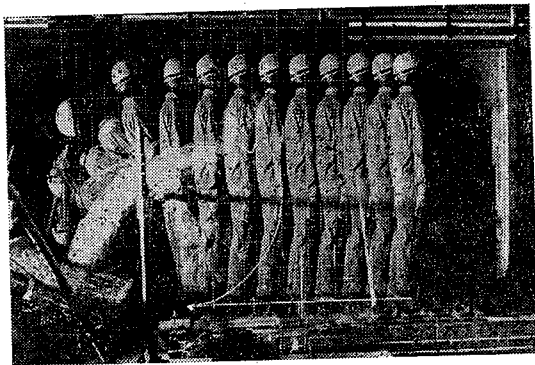
床面から手摺材の中心までの垂直距離をこのように呼び、労働安全衛生規則及び実態調査結果から75~105cmに設定した。

(4) 手摺から足までの水平距離(L)

手摺材の中心から被験者の足(動作1ではつま先、



(a) Action 1



(b) Action 2

Photo. 1 Actions adopted in the experiment
実験で採用した動作

Table 3 Body height and weight of the subjects
被験者の身長と体重

Subject	Height(cm)	Weight(kg)	
Man	A	163.0	57
	B	163.5	55
	C	165.0	63
	D	165.0	51
	E	168.5	57
	F	171.0	57
	G	177.5	61
	H	180.0	62
Dummy	166.7	63.6	

動作 2 ではかかと) までの水平距離をこのように呼び、仮設通路巾および通常の作業状態を考慮して 0~60cm に設定した。

(5) 実験用手摺の構造

手摺のたわみが、手摺の必要高さに及ぼす影響については無視できるものとし、次の構造の手摺 1 種類を実験用に選んだ。

- 手摺材・東柱 ……48.6mmφ 鋼管
- 手摺材と東柱の接合部 ……ピン接合
- 東柱の床への取付け部 ……ボルト接合
- 東柱のスパン ……180cm
- スパン数 ……1

3.2.2 実験方法

(1) 実験 1

実験台に取り付けた実験用手摺に対して、各手摺高さ(H)ごとにつま先から手摺までの距離(L)を変化させて被験者に動作 1 を行わせ、この時の被験者の姿勢を観察し、次に述べるような浮き限界及び乗り越え限界にあると思われるときの L を測定した。即ち姿勢は次の 3 段階 (Fig. 1 参照) が考えられるが、状態 1 から状態 2 へ移るときの境界を浮き限界、状態 2 から状態 3 へ移るときの境界を乗り越え限界と定義した。

状態 1 ; 足が床から浮かない。

状態 2 ; 足が床から浮いたままつりあう。又は浮いた後もとに戻る。

状態 3 ; 体が手摺材を乗り越える。

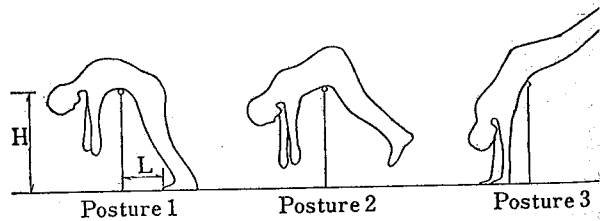


Fig. 1 Definition of posture (in action 1)
動作 1 における姿勢の判定

(2) 実験 2

人体ダミーを台車に乗せ、台車を電動ウインチにより一定速度(0, 100, 133, 184cm/sec の 4 段階)でけん引して、各水平距離に応じた位置に設置したストッパーで台車の運動を急激に阻止し、そのときの慣性で、人体ダミーが手摺に倒れかかるようにした。

実験は、かかとから手摺までの水平距離 (L) : 10~60cm まで 5cm 間隔で変え、各 L ごとに手摺高さ (H) を 75~105cm まで 5cm 間隔で変えるとき

実験1と同様に定義した (Fig.2 参照) 浮き限界および乗り越え限界と判断される時の H, L を測定した。
 なおこのときの姿勢の判断は、人体ダミーの足につけた豆電球の光跡を撮影した写真により行なった。

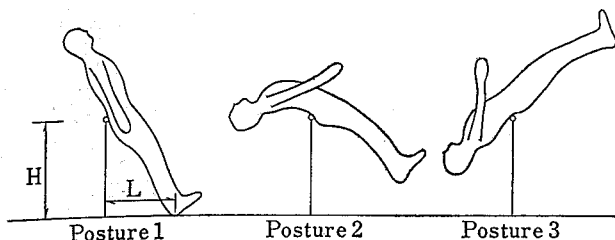


Fig. 2 Definition of posture (in action 2)
 動作2における姿勢の判定

3.2.3 実験結果および考察

(1) 実験1について

実験結果のうち、浮き限界又は乗り越え限界であると判断される時の H (手摺高さ) と L (水平距離) のみを取り出し、これを $\tan^{-1}(H/L)$ を縦軸とし $H_0/\sqrt{H^2+L^2}$ を横軸とする座標上 (但し H_0 は被験者の身長を表わす) にプロットすると、Fig.3 のようになる。なおこのように座標を選んだ理由は、浮くとか乗

り越えとかの現象は、手摺によりかかるときの体の傾角、および身長に対し体のどの位置に手摺が当るかによって相違するはずであり、前者は $\tan^{-1}(H/L)$ で近似され、後者は $H_0/\sqrt{H^2+L^2}$ で近似されるので、これらを指標として分析を行えばよい結果が得られるのではないかと考えたからである。

さて、Fig.3 から明らかなように、これらの限界における $\tan^{-1}(H/L)$ と $H_0/\sqrt{H^2+L^2}$ とはほぼ直線関係にあり、かつ両限界線はほぼ平行である。よってこれらを最小二乗法により直線に近似させると次式が得られる。

浮き限界；

$$\tan^{-1}(H/L) = -1.679 \cdot H_0/\sqrt{H^2+L^2} + 4.320$$

乗り越え限界；

$$\tan^{-1}(H/L) = -1.628 \cdot H_0/\sqrt{H^2+L^2} + 4.638$$

但し、 $\tan^{-1}(H/L)$ の単位はラジアンとする。

上式を変形すれば次式が得られるが、これが2つの限界を与える実験式である。

浮き限界；

$$H/L = \tan(-1.679 \cdot H_0/\sqrt{H^2+L^2} + 4.320)$$

.....(3-1)

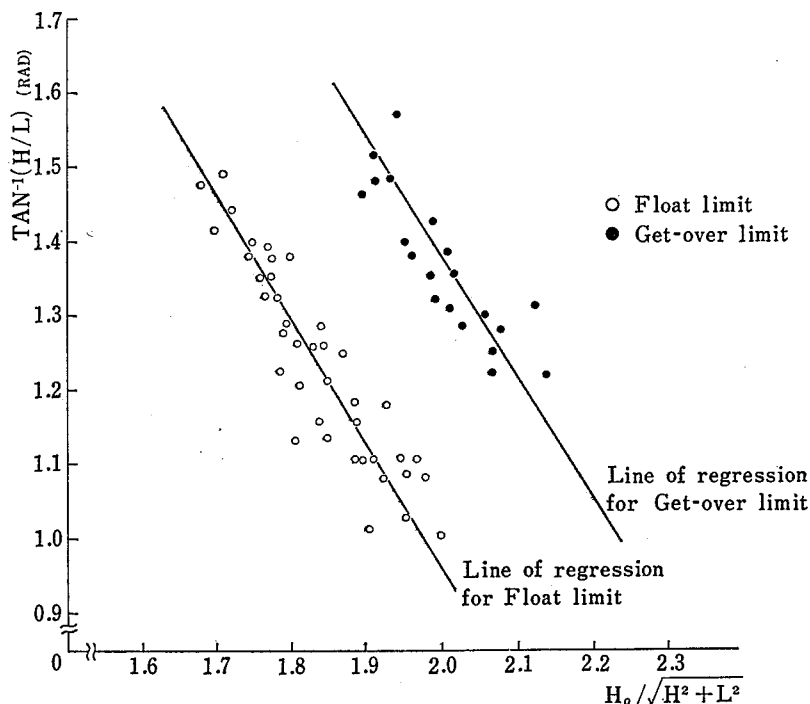


Fig. 3 Relation between $\tan^{-1}(H/L)$ and $H_0/\sqrt{H^2+L^2}$ on float limit or get-over limit (about action 1)
 動作1の場合の浮き限界又は乗り越え限界における H/L と $H_0/\sqrt{H^2+L^2}$ の関係

乗り越え限界；

$$H/L = \tan(-1.628 \cdot H_0/\sqrt{H^2+L^2} + 4.638) \dots\dots(3-2)$$

これらを Fig.3 に示したものが2本の直線であるが、両直線に挟まれる区間は足が浮くけれども乗り越えない領域を表わし、その左側および右側は、それぞれ足の浮かない領域および乗り越える領域を表わすことになる。

(2) 実験2について

本実験も2つの限界を求める目的で行なったのであるが、実際に行なってみると、現実に乗り越える例は少なく(台車速度が184cm/secで手摺高さが80cm以下の場合のみ)、他はすべて乗り越えかけても途中から戻ってしまう結果となった。

よって限界としては浮き限界のみを考え、同限界であると判断されるときデータのみにとりあげ、(1)と類似な見解に立ち、 H/L を縦軸とし $H_0/\sqrt{H^2+L^2}$ を横軸とする座標上にプロットすると、Fig.4のようになる。同図における点の印の相違は台車速度の相違を表わしているが、特に◎印は台車速度が184cm/secのときの乗り越え限界を表している。(本来、同図にプロットすべき性質のものでないが、少数例なので参考

として載せた)

さて Fig.4 において、同じ印の点に着目すると(台車速度を固定して考えると)、●印の例などはかなりバラツキがあるとはいうものの、ほぼ直線関係にあるので、これらを直線に近似させると次の4式が得られる。

台車速度=0cm/sec；

$$H/L = 1.086 \cdot H_0/\sqrt{H^2+L^2} + 0.0181$$

台車速度=100cm/sec；

$$H/L = 2.403 \cdot H_0/\sqrt{H^2+L^2} - 1.930$$

台車速度=133cm/sec；

$$H/L = 3.025 \cdot H_0/\sqrt{H^2+L^2} - 2.482$$

台車速度=184cm/sec；

$$H/L = 9.934 \cdot H_0/\sqrt{H^2+L^2} - 12.099$$

Fig.4 にはこれら4本の直線も示してあるが、各直線の上側が足が浮かない領域を表わし、下側は足が浮く領域(台車速度が184cm/secの場合は、乗り越える領域も含まれる)を表わすことになる。

さて上記4式は、台車速度によってそれぞれ方向係数及び定数項の値を異にする一群の式である。よってこれらの方向係数及び定数項が、台車速度で表現できれば、4式を総括することができるわけで、そのため

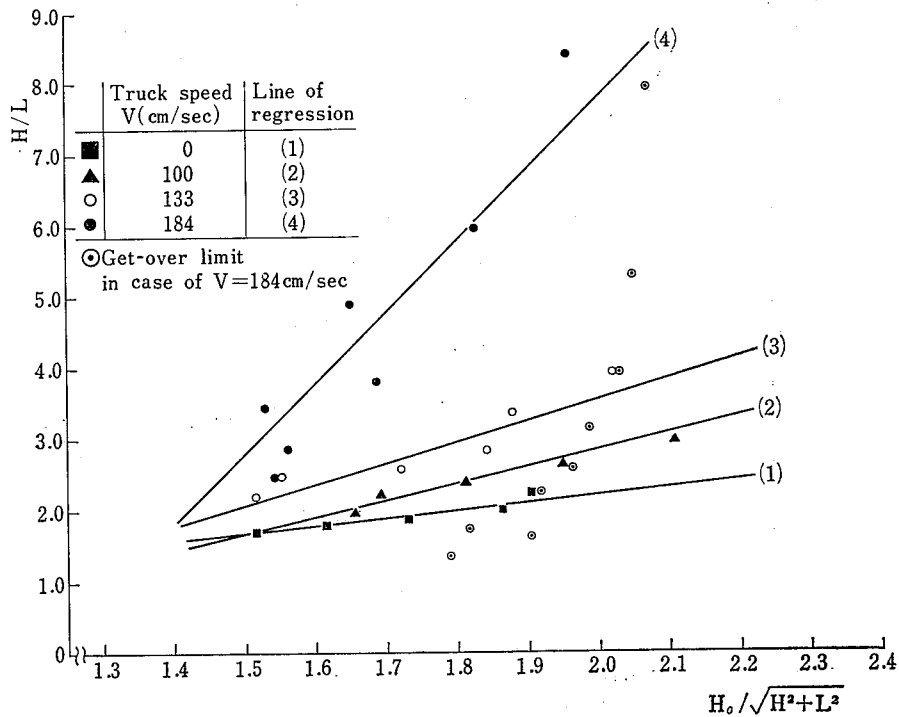


Fig. 4 Relation between H/L and $H_0/\sqrt{H^2+L^2}$ on float limit (about action 2)
 動作2の場合の浮き限界における H/L と $H_0/\sqrt{H^2+L^2}$ の関係

種々試行錯誤を重ねた末一応成功したので以下に述べる。

まず、台車速度を V とし、上記4式の方向係数を $\tan\theta$ とし、 θ と V の関係を図示すると Fig. 5 のようになる。同図から明らかなように、 θ と V は直線関係にあると考えてよいので、これを式で表わすと次のようになる。

$$\theta = 0.00341V + 0.824 \dots \dots \dots (3-3)$$

但し θ の単位はラジアン、 V の単位は cm/sec とする。

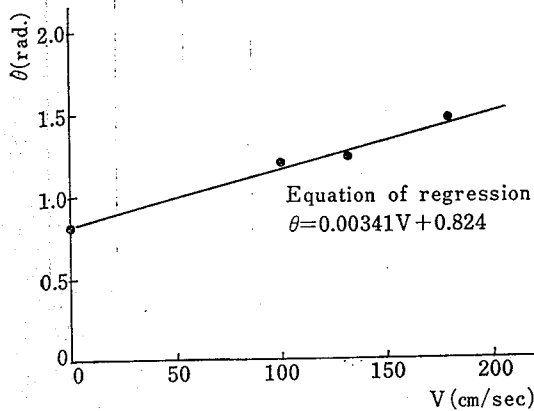


Fig. 5 Relation between θ and V
 θ と V の関係

次に、定数項であるが、これを C とし、 C と $\tan\theta$ の関係を図示すると Fig. 6 のようになる。同図から明らかなように、 C と $\tan\theta$ も直線関係にあると考えてよさそうなので、これを式で表わすと次のようになる。

$$C = -1.300 \tan\theta + 1.345 \dots \dots \dots (3-4)$$

以上の式 (3-3) 及び (3-4) を前記限界式の方向係

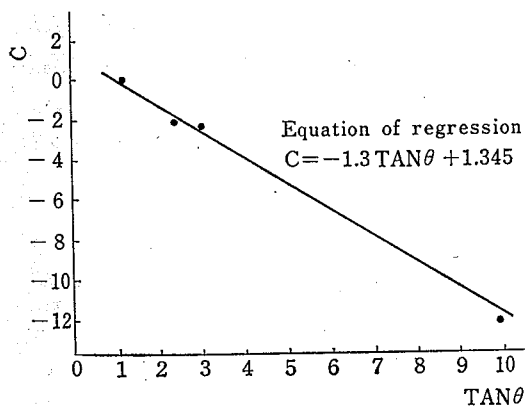


Fig. 6 Relation between C and $\tan\theta$
 C と $\tan\theta$ の関係

数及び定数項に代入し整理すると、限界式は次のように総括される。これが V を含んだ浮き限界の実験式である。

$$H/L = (H_0/\sqrt{H^2 + L^2} - 1.300) \cdot \tan(0.00341V + 0.824) + 1.345 \dots \dots \dots (3-5)$$

但し V の単位は cm/sec とする。

なお、上式は被験者（人体ダミー）の身長 H_0 が 1 例に限定されたデータに基いていること、さらに同式の各実験係数を求めるのにかなり間接的な方法を繰返しているなどの理由により、式の持つ信頼性は、前記の式 (3-1) 及び (3-2) に比べて劣ることは否めないものと考えられる。

(3) シミュレーションによる検討

手摺は、本来、不特定多数の人間の不特定多様な動作を対象とするものである。したがって手摺の高さを論ずる場合、上記のような不特定条件に対して足の浮き又は体の乗り越えについての安全性を評価する必要がある。そのため次のような条件のもとにデジタルコンピュータを用いてシミュレーションを行なった。

- (a) 作業動作は、本節の冒頭に述べた理由により動作 1 と動作 2 に限定する。
- (b) 動作 1 に対しては、実験式 (3-1) 及び (3-2) により、動作 2 に対しては、実験式 (3-5) により安全性を判定する。
- (c) 人間の身長 H_0 は、人体計測値データ²⁾より平均値 165.91 cm とし標準偏差 5.23 cm とするような正規分布をする確率変数とする。
- (d) 水平距離 L は 0~30 cm の範囲に一様分布する確率変数とする。
- (e) 台車速度（人間がバランスを崩したときの速度に相当） V は作業中に後退していつまづくような場合を想定して、0~100 cm/sec の範囲に一様分布する確率変数とする。

以上の条件のもとに種々の手摺高さに対し、動作 1 によるシミュレーションを行なった結果を Fig. 7 に、同じく動作 2 による結果を Fig. 8 に示す。

さて、Fig. 7 によって、手摺高さが 75 cm の場合と 95 cm の場合を検討してみたい。まず 75 cm の場合は、乗り越えない確率がほぼ 20% 以下で、浮かない確率も 0% であり、現行法規の 75 cm というのは再考を要する値であることがわかる。一方 95 cm の場合は、乗り越えない確率が 100% で、浮かない確率も 55% 程度であり、相当安全性が高いことがわかる。さらにこの 95

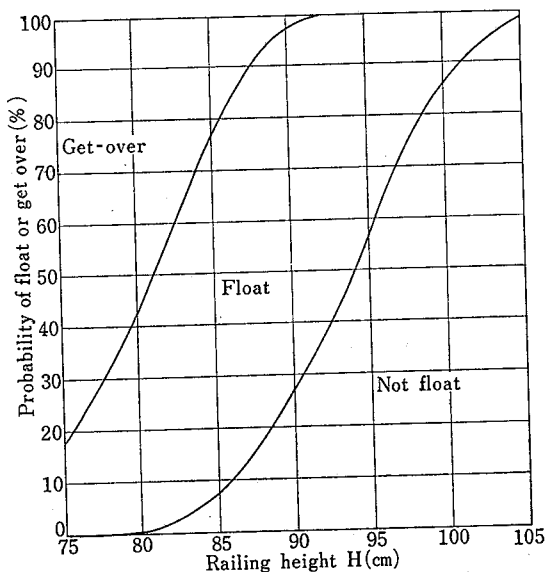


Fig. 7 Probability of float and get-over against railing height (action 1)
手摺の高さに対する足の浮き又は体の乗り越えの安全性 (動作1)

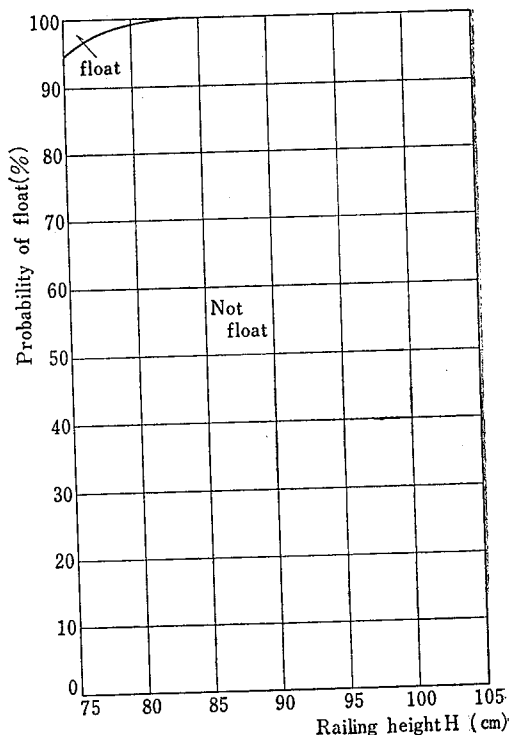


Fig. 8 Probability of float against railing height (action 2)
手摺の高さに対する足の浮きの安全性 (動作2)

cm を Fig. 8 によって検討してみると、浮かない確率が100%であり、結局以上を総合すると、「仮設手摺の高さは、95cm 以上にすべきである」ということを結論としてよいように思われる。

3.3 手摺の作用荷重を求める実験

3.3.1 実験条件

手摺に対する動作と作用荷重の関係を求める実験に先だち、実験条件を次のように設定した。

(1) 実験用手摺の構造及び剛性

実態調査の結果、仮設手摺の構造は Table 1 に見られるように多種多様にわたっていることがわかった。そこで本実験では、手摺の剛性が作用荷重に及ぼす影響を考慮して実際の仮設手摺の中から比較的剛性が高いものと低いものの2種類を選び、これらを手摺A、Bと名付け、実験に供することにした。手摺A、Bの構造

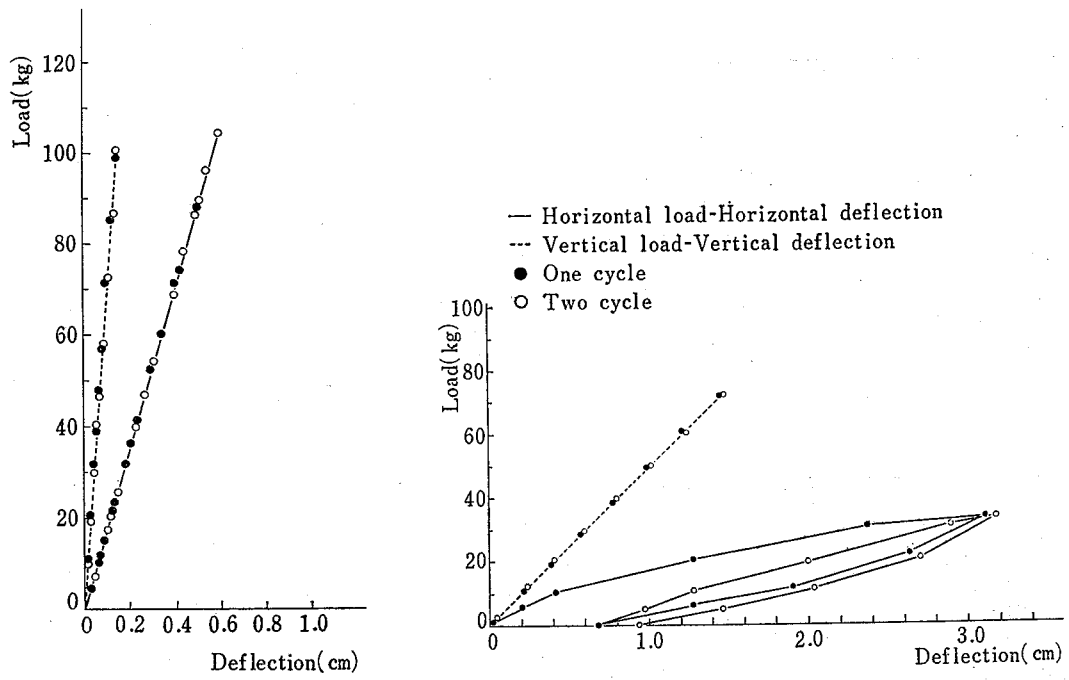
を Table 4 示す。

さて、本実験に先だち、手摺A、Bの剛性を調べるための実験を行なった。その方法は、手摺高さ、75、90、105cmの場合について手摺材中点に水平(手摺材の材軸に直角方向の)又は垂直荷重を加え、そのときの荷重方向のたわみを測定するもので、その結果の一例として手摺高さ75cmの場合について縦軸に荷重を横軸にたわみをとる座標にプロットすると Fig. 9 のようになる。図から明らかなように、手摺Aが剛性が高く、弾性域が高いのに比べて、手摺Bは剛性が低い。え特に水平荷重に対して塑性的傾向が強い。

また、3.3.4で作用荷重のシミュレーションを行な

Table 4 Construction of the railings used in the experiment
実験に用いた手摺の構造

	Toprail	Post	Post-toprail joint	Post-floor joint	Span of posts	Number of span
Model A	Steel pipe 48.6mmφ	Steel pipe 48.6mmφ	Pin joint	Bolt joint	90cm	1
Model B	Steel pipe 48.6mmφ	Stanchion*2 (42.7mmφ)	Pin joint	Exclusive cramp	180cm	1



(a) Model A (H=75cm) (b) Model B (H=75cm)

Fig. 9 Load-deflection curve of the railing model A and B
手摺AおよびBの荷重-撓み曲線

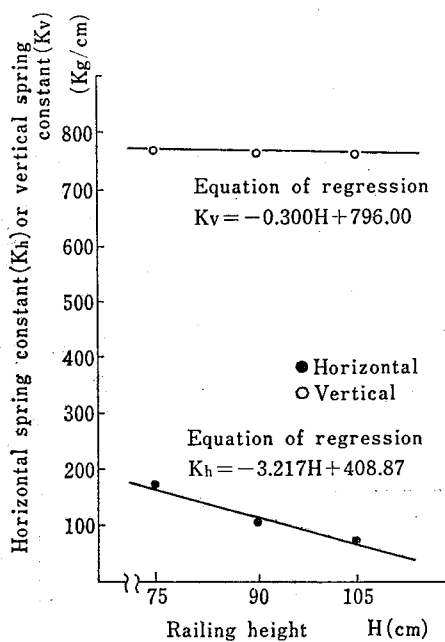


Fig. 10 Relation between spring constant and the railing height
バネ定数と手摺高さの関係

う際に必要となるA手摺のバネ定数 (Fig.9 における近似直線の傾きをバネ定数と定義する) を求めるため、種々の手摺高さに対するバネ定数の値を最小二乗

法により求め、その結果を座標上にプロットすると Fig. 10 に示すようにほぼ直線上に乗ることがわかった。そこで最小二乗法により近似直線を求めると次のようになる。

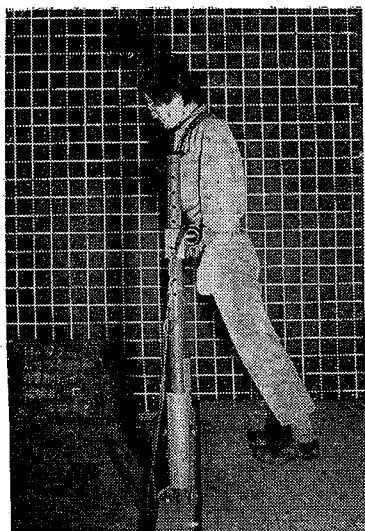
$$\left. \begin{aligned} \text{水平方向バネ定数;} \\ K_h = -3.217H + 408.87 \\ \text{垂直方向バネ定数;} \\ K_v = -0.300H + 796.00 \end{aligned} \right\} \dots\dots(3-6)$$

(単位 K_h, K_v ; kg/cm, H ; cm)

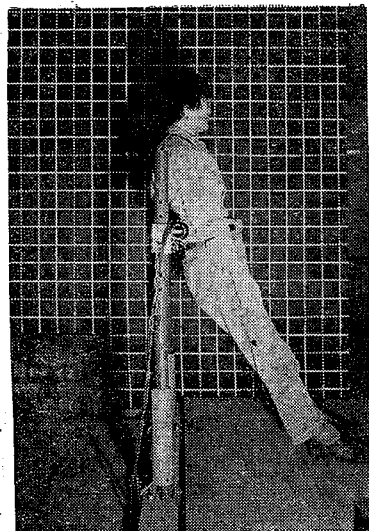
上式が、手摺Aの任意の高さにおけるバネ定数を与えるものである。

(2) 動作

動作としては、実態調査結果の Table 2 のうちで確率が高く、作用荷重も比較的大きくしかも仮設手摺として当然考慮しなければならないと思われるものとして、静的動作4種類、動的動作4種類の合わせて8種類を選定した。Table 5 及び Photo. 2 に実験で採用した動作を示す。動作 D1, D2 については、危険を伴なうことから被験者として人体ダミーを併用した。このとき被験者が人間の場合は歩行速度 0cm/sec に限定して行ない、被験者がダミーの場合は、前節の動作2の場合と同様の要領で、ダミーを乗せた台車を電動ウインチにて種々の速度でけん引し、一定位置に設



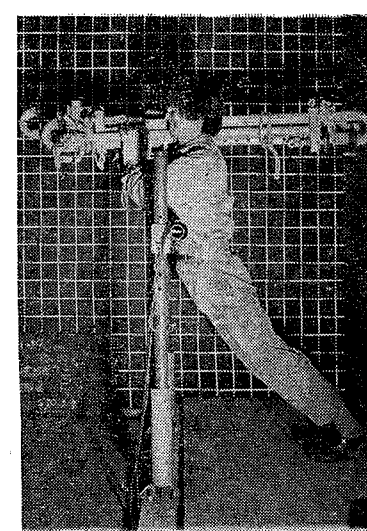
(a) S1



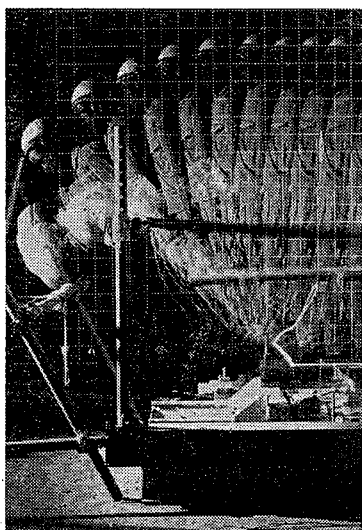
(b) S2



(c) S3



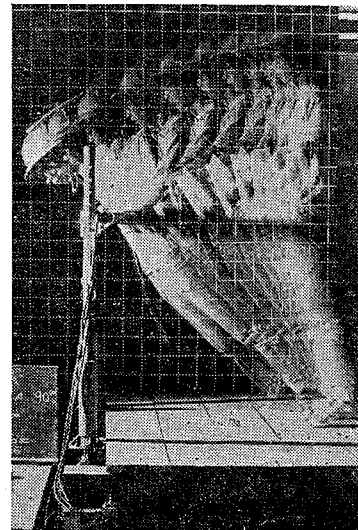
(d) S4



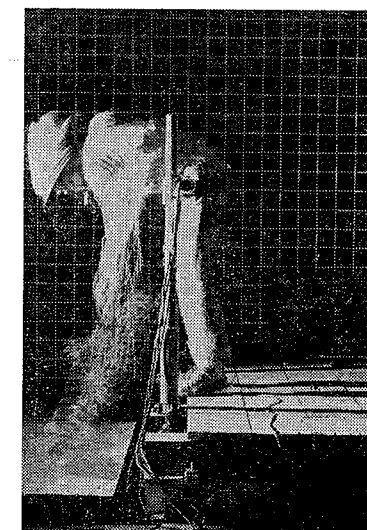
(e) D1 (dummy)



(f) D2 (dummy)



(g) D3



(h) D4

Photo.2 Actions adopted in the experiment
実験で採用した動作

Table 5 Actions adopted in the experiment
実験で採用した動作

Static action		
S1	Lean upon the railing	with abdomen
S2		with back
S3		with hands
S4	Lean upon the railing with load on shoulder	with abdomen
Dynamic action		
D1	Stumble and fall on the railing	with abdomen
D2		with back
D3		with hands
D4	Lean out the railing and pull up the load	with abdomen

置したストッパーに衝突させて、その反動でダミーが手摺に倒れかかるようにした。台車速度は人間の歩行速度³⁾に置き換えられるものと仮定し、0~150 cm/secの範囲で変化させた。動作 S4 および D4 における荷物の重量は人間が運搬可能な範囲内で妥当と思われる 30 kg を上限に種々変えて行なった。また、Table 2 の動作のうち、手摺を命綱の支点として使用する場合には、作用荷重は大きい、仮設手摺の本来の目的から外れているのでここでは除外することにした。

(3) 手摺高さ (H)

実験 3.2.1 の (3) と同じ理由で 75 cm~105 cm に設定した。

(4) 手摺から足までの水平距離 (L)

手摺材の中心から被験者の足 (動作 S1, S3, S4, D1, D3 ではつま先、動作 S2, D2 ではかかと) までの水平距離をいい、実験 3.2.1 の (4) と同じ理由で 5~65 cm に設定した。

(5) 被験者

本実験では、身長、体重による影響が大きいと思われるので、被験者は少人数で有効なデータを得るため特に典型的な体型の者を含め、又仮設手摺を対象としていることから、男性のみに限定し13人で行なった。又動作 S1, S2, D1, D2 では無意識な調節動作が入らないようにするため、危険防止の考えからやむをえず衝突実験用人体ダミー (前節の実験で用いたものと同じ) を用いた。被験者の身長、体重を Table 6 に示す。

Table 6 Body height and weight of the subjects
被験者の身長と体重

Subject	Height (cm)	Weight (kg)	
Man	A	163.0	56
	B	165.0	51
	C	165.5	63
	D	165.5	67
	E	166.0	51
	F	168.5	56
	G	170.0	56
	H	170.5	64
	I	175.0	68
	J	175.5	93
	K	176.0	89
	L	177.5	55
	M	180.0	74
Dummy	166.7	60.6	

3.3.2 実験方法

(1) 静的動作の場合

人間及び人体ダミーを被験者として実験台上で静的動作を行わせ、この時手摺に作用する荷重を測定した。又同時に被験者の姿勢を観察するための写真撮影を行なった。荷重の測定方法は、実験用手摺の手摺材に抵抗線歪みゲージを貼ったもの (荷重の水平成分^{*3}、垂直成分を別々に検出できるような貼り方とした) を荷重計とし、これを用いて検出した。検出した歪は、動歪計にて増巾しその出力をデータロガーにより AD 変換して磁気テープに集録すると同時に、モニター用の電磁オシログラフに記録させた。データのサンプリング間隔は 1/150 sec で、1 回の実験におけるデータ数は水平、垂直各方向について 250 点の連続サンプリングで、サンプリング時間は 1.89 sec である。又実験に先だち、荷重測定用手摺材に対し荷重-歪み間の較正を行ない、荷重計として十分信頼できるものであることを確認した。

(2) 動的動作の場合

被験者が人間の場合、又は人体ダミーの場合に応じて 3.3.1(2) で述べたような要領で動的動作を行なわせ、手摺に作用する荷重を測定した。荷重の測定方法は (1) の場合と全く同様である。又被験者の姿勢と

*3 手摺材に直角方向の水平成分をさす。手摺材に平行な水平成分については選定した動作から他の成分に比べて小さいものと考えられるので今回は特に測定対象から除外した。

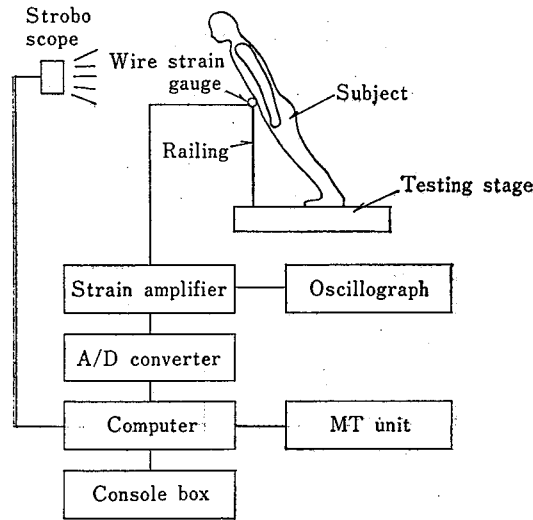


Fig. 11 Block-diagram of the measuring apparatus
測定装置のブロック図

台車速度を観察、測定するため、ストロボスコープを1/10sec 間隔で発光させ、写真を撮影した。ストロボスコープの発光と荷重データの集録はコンピューター

によってオンライン制御した。Fig. 11 は実験装置のブロックダイアグラムである。

3.3.3 実験結果

(1) 静的動作

データを解析した結果、手摺に作用する水平、垂直およびそれらの合力の大きさと方向は、手摺 A, B 間にはほとんど相違は見られず Table 7 のようになった。データが広く分布しているのは、身長、体重および動作のバラツキによるものと思われる。

(a) 荷重の大きさ

各動作による作用荷重(合力)の最大値及び最小値と手摺から足までの水平距離 L 又は手摺高さ H との関係を見るために、実験結果を荷重 - L 座標上にプロットすると Fig. 12 のようになる。これによると、 L が増すほど、 H が低くなるほど荷重値は増加している。

(b) 荷重の方向

荷重の作用方向と L, H との関係を見るために実験結果を φ - θ 座標上(但し φ は鉛直線と合力の作用線の

Table 7 Magnitude and direction of the forces act on the railing (in static action)
静的動作における作用荷重の大きさと方向

Action	Model	H (cm)	L (cm)	Force*4			
				Magnitude(kg)			Direction of resultant φ (deg.)*5
				Horizontal	Vertical	Resultant	
	A, B	75	10 } 60	4~28 18	1~29 12	4~42 22	40~82 65
		90		2~27 14	0~18 7	2~30 15	37~90 65
		105		3~19 11	0~20 7	3~28 13	45~98 67
	A, B	75	10 } 60	2~28 17	1~27 11	2~37 19	45~87 65
		90		7~27 14	0~23 9	7~32 15	30~90 65
		105		3~17 9	1~24 9	3~28 11	38~101 59
	A, B	75	30 } 60	1~19 11	10~33 21	14~44 25	2~47 25
		90		9~21 15	6~23 12	12~31 19	40~71 50
		105		8~21 13	1~15 6	9~25 16	46~85 66
	A, B	75	10 } 30	14~38 24	3~24 11	14~40 25	57~82 70
		90		9~37 24	0~31 11	10~44 27	42~89 69
		105		7~33 21	0~21 7	8~39 22	56~94 72

*4 各欄の上段は最小値~最大値を、下段は平均値を表わす。

*5 φ は鉛直下方に対する角度を表わす。

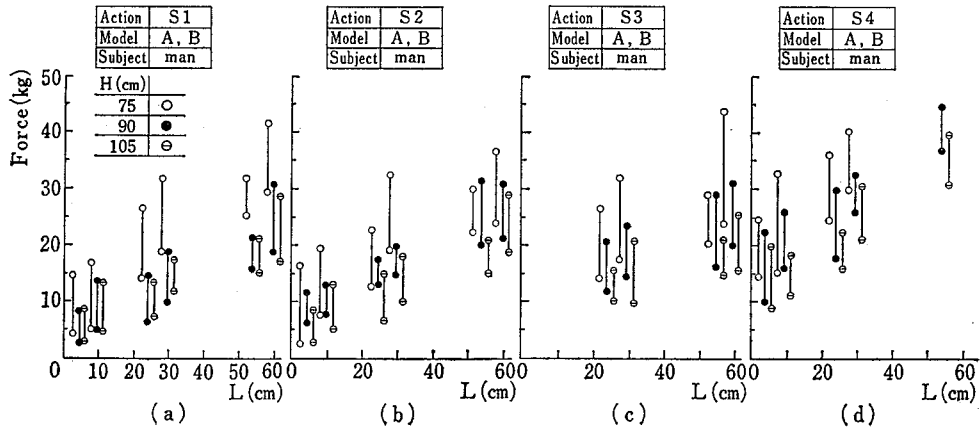


Fig. 12 Relations between the forces act on the railing and L (in static action)
 L と作用荷重の関係 (静的動作)

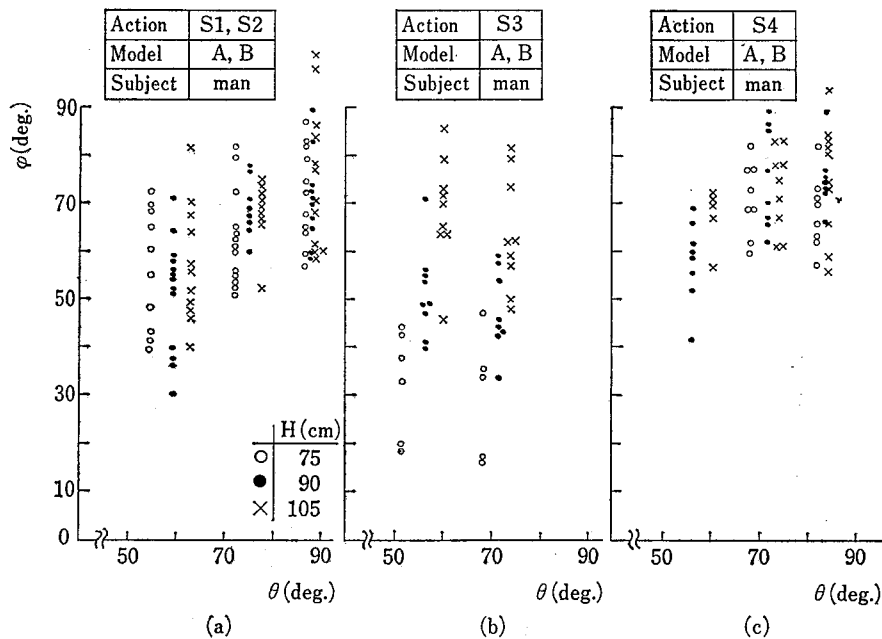


Fig. 13 Relation between φ and θ (in static action)
 静的動作における φ と θ の関係

なす角度、 $\theta = \tan^{-1}(H/L)$ 、単位は φ, θ 共度) にプロットすると Fig. 13 に示すようになる。図から明らかのように動作 S1, S2, S4 はほぼ同じような傾向を示し、 θ の増加と共に φ も直線的に増加するのに対し動作 S3 では H の増加と共に φ も増加するようである。

(2) 動的動作

(a) 荷重の時間的変化について

動作 D1, D2, D3 の場合について、荷重の時間的変化の典型的な状況を示したのが Fig. 14 である。同図は縦軸に作用荷重 (水平成分, 垂直成分, 合力) 又は荷重の作用方向を、横軸に時間をとって実験結果をプ

ロットしたものである。それによると、動作 D1, D2 で被験者がダミーの場合についてみると、波形から2つのパターンにわけられる。1つは最初の衝突時に荷重の水平・垂直成分、合力共最大値をとる場合で比較的手摺高さが高い場合にみられる (Fig. 14 の実線の波形)。他の1つは、衝突後被験者の上体が最も深く曲る時に荷重の垂直成分と合力が最大値をとる場合で、比較的手摺高さが低い場合にみられる (Fig. 14 の点線の波形)。次に動作 D1, D2 で被験者が人間の場合、危険防止のため $V=0$ で L が 30 cm までの範囲しか実験していないが、動作 D1 では、被験者がダミーの

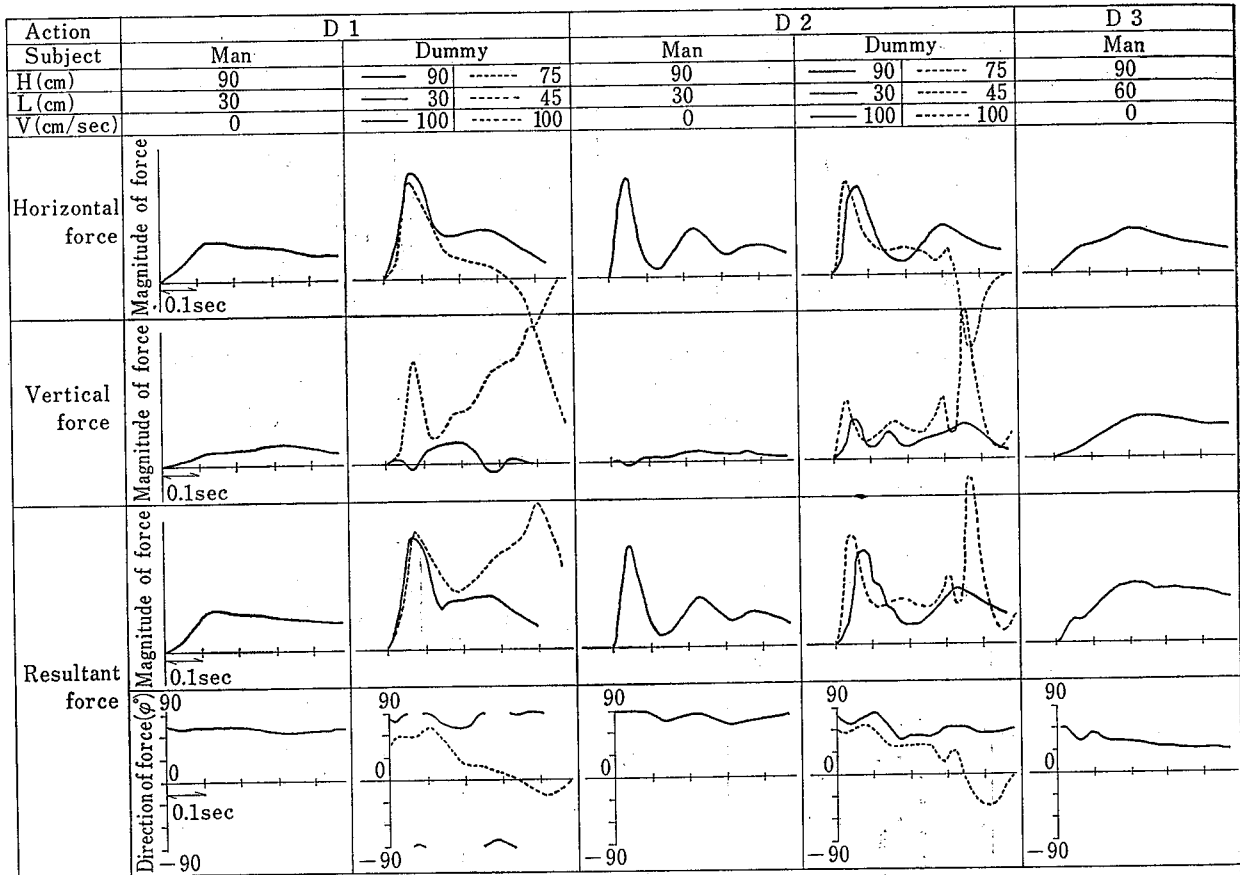


Fig. 14 Variations with time of the magnitude and the direction of the forces
荷重の大きさと方向の時間的変化

ときに比べ、波形の立ち上がりがゆるやかで最大値も小さい。これに反して動作 D2 の場合は、波形の立ち上がり時間・波形共ダミーのときによく似ている。動作 D3 では腕が緩衝材の役割を果すため、動作 D1, D2 に比べて波形の立ち上がりはゆるやかである。

(b) 荷重の大きさ

前述のように作用荷重の大きさは時間的に大きく変化するが、ここで問題とするのはその最大値である。よって荷重の最大値に着目してデータをみることにする。(以下、動的動作の場合に「作用荷重」と表現するときは「作用荷重の最大値」をさすものとする)

動作 D1, D2, D3 について縦軸に作用荷重を、横軸に水平距離 L をとる座標上に実験データを図示したものが Fig. 15(a)~(f) である。又動作 D4 は動作の性質上 L を変えて行なう必要がないので縦軸に作用荷重を横軸に手摺高さ H をとる座標上にプロットした (Fig. 15(g))。なお動作 D1, D2 で被験者がダミーの場合および動作 D3 の場合、作用荷重は台車速度や歩

行速度によって相違するものであるが、同図 (a)~(f) では速度による区別を行なっていない。又各図共作用荷重は最大値と最小値の範囲で一括して示し、動作 D1, D2 で被験者が人間の場合に限り平均荷重値で示した。

さて同図によると、動作 D1, D2 では L の増加に対し荷重値も増加しているが、ダミーでは手摺高さ H に対する変化はあまり見られないのに対して、人間の場合には H の増加と共に荷重値が低下する傾向がみられる。次に動作 D3 では、 L の増加及び H の低下に対し荷重値は増大している。又この動作では荷重値のバラツキが大きいが、それは腕で支えるときの支え方に大きな個人差があるためと思われる。動作 D4 では、 H の増加と共に荷重値は低下する。

(c) 荷重の作用方向

動作 D1, D2, D3 の場合、荷重の作用方向は手摺高さ H と水平距離 L に関係するものと思われる。そこで荷重が最大となるときの荷重方向と H, L の関連を

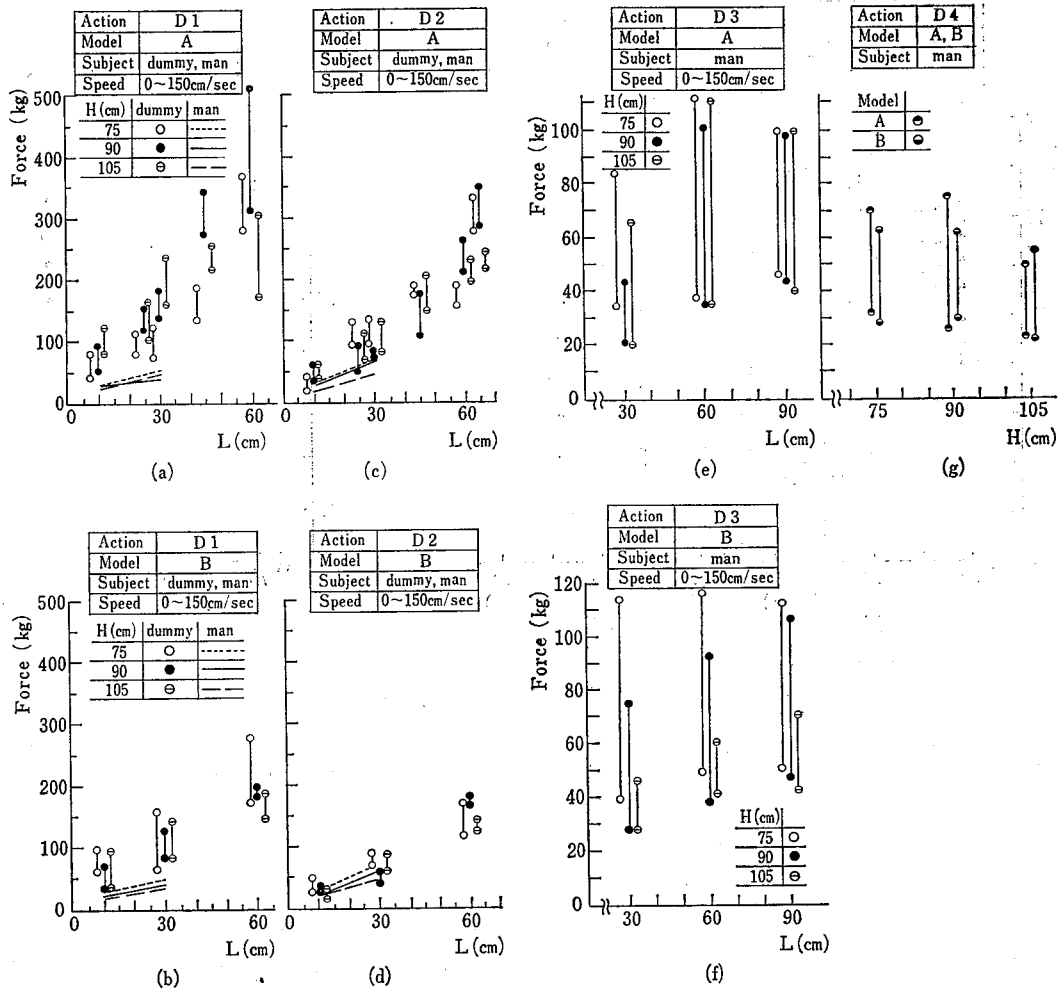


Fig. 15 Relation between the maximum forces act on the railing and L (or H) (in dynamic action)
L (又は H) と作用荷重の関係 (動的動作)

るため、実験結果を φ - θ 座標上 (但し、 φ は鉛直線と荷重の作用線のなす角度、 $\theta = \tan^{-1}(H/L)$ 、単位は共に度) にプロットすると、Fig. 16 (a), (b) のようになる。図中○印は $H=75$ cm, ●印は 90 cm, ×印は 105 cm の場合を表わしている。図から明らかなように動作 D1, D2 については θ の増加に対し φ もほぼ直線的に増加しているが、動作 D3 では θ と φ 間に明確な関係はみられない。動作 D3 の場合 H についてみると、 H の増加と共に φ も増加するようである。次に、動作 D4 では、 L は被験者が最も楽に動作できる位置ということで被験者の判断にまかせ特に指定はしなかった。そこで荷重方向と H の関連をみるため、実験結果を φ - H 座標上にプロットすると Fig. 16 (c) のようになった。それによると H の増加に対し φ は減

少する。

(d) 手摺 A, B による相違

Fig. 15 から明らかなように、動的動作 D1, D2 の場合、荷重値で 20~40% A より B が低くなる。

(e) 人間とダミーによる相違

Fig. 15 で被験者が人間の場合と人体ダミーの場合について荷重値を比較してみると (人間の場合は歩行速度を 0 cm/sec に限定しているの、ダミーの場合も台車速度が 0 cm/sec のときのデータについて比較しなければならないが、ここでは、近似的にダミーの場合の最低荷重値と比較した)、(a) でも述べたように動作 D1 では両者の相違は大きい、動作 D2 ではその差はほとんどない。これは動作 D1 の場合は無意識に衝突時の衝撃緩和を行なうために、人間の方が人

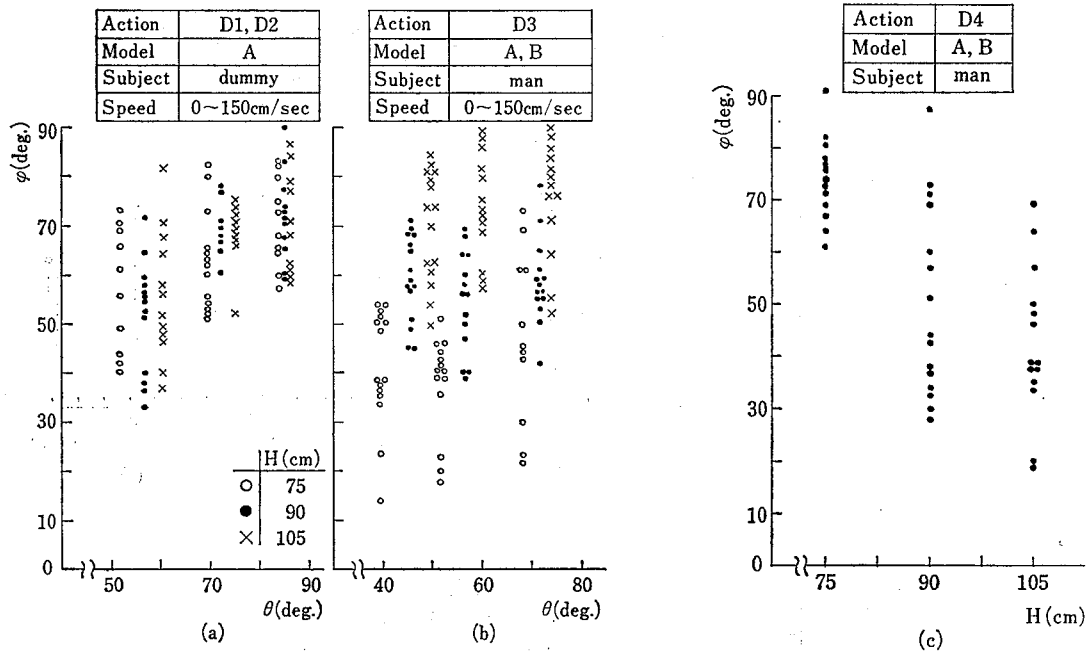


Fig. 16 Relation between φ and θ (or H) in dynamic action
動的動作における φ と θ (又は H) の関係

体ダミーに比して荷重が小さいが、動作 D2 の場合には後向き姿勢のため、それができないので両者にほとんど差がなかったものと思われる。なお Table 8 には各動的動作に対する作用荷重の大きさ、方向を示す。

3.3.4 シミュレーションによる検討

(1) 動作及び手摺の整理

手摺高さの検討のところで述べたのと同様に、作用荷重の場合も不特定多様な条件に対してシミュレーションによる検討を行なう必要がある。そのため、先ず対象とする動作を次の理由から、動作 S4 と動作 D1 の 2 つに限定した。即ち全ての手摺に対し常に安全側になるように一律に設計用荷重を決定することは、多くの手摺に不経済を強いることになりかねなく、しかしそうかといって余り多くの種類の設計用荷重を決定することも実用的であるとは思えないので、荷重の大きさから静的動作と動的動作に二大別し、それぞれのうちで荷重値が最大となるものを選定したわけである。このように決定すると、手摺は比較的荷重が小さいと思われる場合と、比較的大きいと思われる場合に区別され、その扱いがかなり合理的になるように思われる。

次いで対象とする手摺は、剛性の高い手摺 A を選んだ。その理由は、静的動作では手摺 A, B 共作用荷重

に差はなく、動的動作の場合は B より A が 2 ~ 4 割高くなることから、A を対象にすれば安全であると考えたからである。

(2) シミュレーションに用いる作用荷重式

(1) の整理に基づき、シミュレーションに使用するための作用荷重に関する計算式を求めてみる。

(a) 動作 S4 に関する式

問題を簡単にするため次の仮定を設ける。

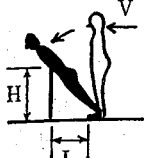
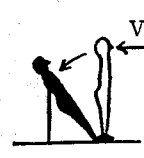
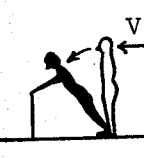
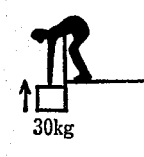
- (i) 人体を剛体の棒とする。
- (ii) 人体の重心位置及び荷物の重心位置から人体の床側支点までの長さは身長に比例するものとする。
- (iii) 人体の手摺側支点には摩擦はないものとする (即ち、反力方向は人体の傾きに垂直とする)。
- (iv) 人体の床側支点は回転端とする。

以上の仮定により動作 S4 のモデルは Fig. 17 に示され、同図で支点 B の反力を求めればこれが手摺の作用荷重となる。

先ず記号を次のように定める。

- F_s : 手摺作用力
- W_0 : 体重
- L : 手摺材より足 (つま先) までの水平距離
- H : 手摺高さ
- W_1 : 荷の重量
- a : AG_1 の長さ $= \rho_1 \cdot H_0$

Table 8 Magnitude and direction of the forces act on the railing (in dynamic action)
動的動作における作用荷重の大きさと方向

Action	Model	H (cm)	L (cm)	V* ⁶ (cm/sec)	Force* ⁷			
					Magnitude (KG)			Direction φ (deg.)* ⁸
					Maximum Horizontal	Maximum Vertical	Maximum resultant	
D1* ⁹ 	A	75	10 } 65	0 } 150	45~185 104	17~349 150	45~368 180	14~82 55
		90			51~372 178	27~445 178	60~512 238	2~66 45
		105			53~249 165	52~184 108	78~302 184	38~85 57
	B	75	10 } 65	0 } 150	45~134 98	34~270 136	62~277 150	7~173 69
		90			32~164 93	16~164 83	36~197 111	0~67 50
		105			39~145 93	31~142 72	40~184 128	46~69 58
D2* ⁹ 	A	75	10 } 65	0 } 150	18~249 124	1~208 112	18~328 154	44~91 67
		90			31~237 111	5~247 87	32~347 141	38~85 62
		105			32~249 121	6~172 81	33~239 137	37~80 61
	B	75	10 } 65	0 } 150	28~127 78	3~157 62	28~161 92	17~170 75
		90			24~130 64	72~147 51	26~178 85	33~87 64
		105			28~133 73	6~106 52	20~141 83	50~81 64
D3 	A	75	30 } 90	0 } 150	16~ 75 38	12~ 89 42	34~110 59	14~73 41
		90			17~ 78 43	8~ 62 27	21~100 51	39~78 57
		105			17~104 48	2~ 39 15	20~110 51	52~90 74
	B	75	30 } 90	0 } 150	18~ 83 41	7~ 83 46	39~116 63	17~69 40
		90			25~ 97 43	10~ 53 29	28~106 51	37~72 57
		105			26~ 97 44	2~ 32 16	28~ 99 49	50~89 72
D4 	A	75			33~ 88 45	5~ 21 11	32~ 70 47	61~97 76
		90			22~ 40 30	10~ 63 29	29~ 73 43	28~73 48
		105			18~ 32 24	13~ 37 24	23~ 49 34	20~64 42
	B	75			28~ 54 36	0~ 19 11	29~ 63 38	63~99 79
		90			22~ 46 33	9~ 40 24	29~ 61 41	32~87 57
		105			17~ 33 22	12~ 51 23	22~ 55 33	19~69 42

*⁶ 被験者が人間の場合には歩行速度を、ダミーの場合には台車速度を表わす。

*⁷ 最大瞬間値を表わし、上段は最小値~最大値を、下段は平均値を表わす。

*⁸ 鉛直下方に対する合力最大値の作用方向の角度を表わす。

*⁹ 被験者が人体ダミーの場合の値を表わす。

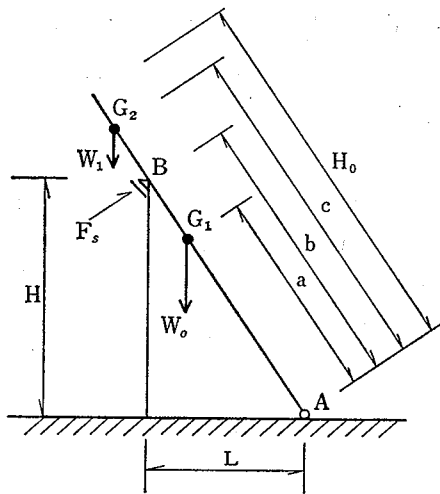


Fig. 17 Mathematical model for action S4
動作 S4 の数学的モデル

b : AG_2 の長さ $= \rho_2 \cdot H_0$

c : AB の長さ $= \sqrt{H^2 + L^2}$

ρ_1 : 人体の重心 (G_1) から床側支点 (A) までの距離 / 身長

ρ_2 : 荷の重心 (G_2) から床側支点までの距離 / 身長
さて、図でA点に関するモーメントのつりあいを考え、途中の式の変化を省略すると、次の結果を得る。

$$F_s = (\rho_1 \cdot W_0 + \rho_2 \cdot W_1) \cdot \frac{H_0 \cdot L}{H^2 + L^2} \dots (3-7)$$

上式が作用荷重を与える式であるが、これは前述のようにかなり大胆な仮定に基いているため、実際に比べかなりの誤差のあることが予想される。そこで ρ_1, ρ_2 の代りに係数 α_1, α_2 を用いて実験的に補正することになると次の実験式を得る。

$$F_s = \alpha_1 \cdot \frac{W_0 \cdot H_0 \cdot L}{H^2 + L^2} + \alpha_2 \cdot \frac{W_1 \cdot H_0 \cdot L}{H^2 + L^2} \dots (3-8)$$

さて、 α_1, α_2 を実験的に求める手順は、先ず $W_1 = 0$ の場合の実験データを式 (3-8) に代入して α_1 を求め、次いで $W_1 \neq 0$ の場合の実験データを式 (3-8) に代入して残りの α_2 を求めるというようにした。

次に、このような α_1, α_2 が他のパラメータとどのような関係にあるかをみると、 L/H などのパラメータに対してほぼ独立であるが定数ではない (即ち変動している) ことがわかった。一例として α_1 と L/H との関係を図示したものが Fig. 18 である。何故このように独立であり変動するかは不明であるが、とも角上述の結果を尊重し以後 α_1, α_2 は独立な変量として扱い、その分布状況より正規分布とみなし、さらに計算から得られた Table 9 に示す値をそれぞれの平均値

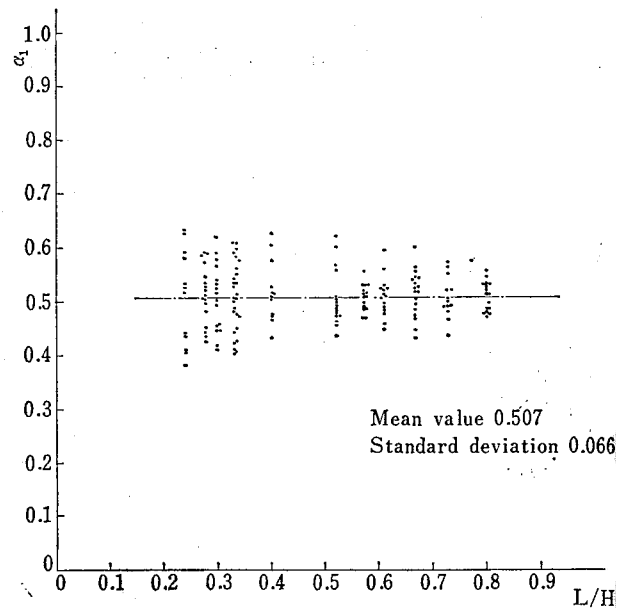


Fig. 18 Relation between α_1 and L/H
 α_1 と L/H の関係

Table 9 Mean value and standard deviation of α_1 and α_2
 α_1, α_2 の平均値および標準偏差

	α_1	α_2
M. V.	0.507	0.715
S. D.	0.066	0.059

及び標準偏差とすることにした。

(b) 動作 D1 に関する式

動作 D1 は次のような 3 つの段階の運動に分けられるが、求めようとする荷重は第 3 段階における衝撃力である。

(第 1 段階) 歩行中の床に沿った平行運動

(第 2 段階) つまづきの後、足を中心にした回転運動

(第 3 段階) 手摺に衝突後、手摺を中心にした回転運動

この衝撃力を求めるため次の仮定を設ける。

(i) 人体を剛体の棒とする

(ii) 人体の重心高さは身長に比例するものとする

(iii) 手摺はフックの法則に従うバネとみなす

(iv) 手摺のたわみは H, L に比べて小さいものとする

(v) 人体の手摺側支点には摩擦はないものとする (即ち手摺の作用力は人体の傾角に垂直とする)。また床側支点は回転端とする

- (vi) つまづきにおけるエネルギーの損失はないものとする
- (vii) 手摺に衝突した直後の運動エネルギーは衝突直前のエネルギーに比べ β 倍に低下するものとする。

以上より動作 D1 は Fig. 19 に示すようにモデル化され、同図で支点 B の衝撃力を求めればこれが手摺の作用荷重となる。

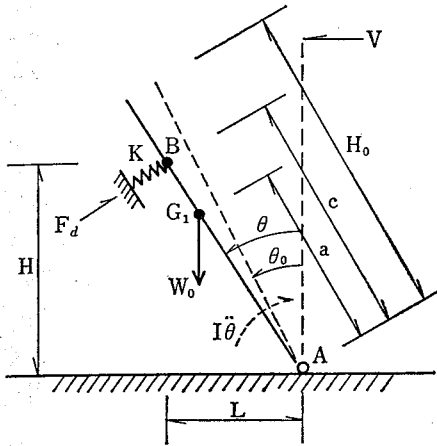


Fig. 19 Mathematical model for action D1
動作 D1 の数学的モデル

さて、記号を以下のように定める

- F_d : 手摺作用力
- H_0 : 身長
- W_0 : 体重
- L : 手摺材より足 (つま先) までの水平距離
- H : 手摺高さ
- I : A 点に関する人体の慣性モーメント
- K : 手摺のバネ定数
- V : 歩行速度
- a : AG_1 の長さ $= r \cdot H_0$
- c : AB の長さ
- θ : 人体の回転角度、図に示す角度で左まわりを正とする。
- θ_0 : 衝突時の θ の値、 $\theta_0 = \tan^{-1}(H/L)$

と、手摺に衝突後の人体の運動に関して次の方程式を得る。

$$\frac{I}{g} \cdot \ddot{\theta} + K \cdot c^2 \cdot (\theta - \theta_0) = W_0 \cdot a \cdot \sin \theta \doteq W_0 \cdot a \cdot \sin \theta_0$$

但し g : 重力の加速度

$$\ddot{\theta} := d^2\theta/dt^2$$

ここで $\mu^2 = K \cdot c^2 \cdot g/I$ とし、 θ_1, θ_2 を積分常数とすれ

ば、次の一般解を得る。

$$\theta = \theta_0 + \theta_1 \cdot \sin(\mu t) - \theta_2 \cdot \cos(\mu t) + \frac{W_0 \cdot a}{K \cdot c^2} \cdot \sin \theta_0$$

上式に初期条件

$t=0$, $\theta = \theta_0$ 及び $\dot{\theta} = \dot{\theta}_0$ を代入して θ_1 及び θ_2 を求め、さらに θ の最大値 θ_{\max} を求め、これを手摺作用力 F_d の最大値 F_{\max} を表わす式 $F_{\max} = K \cdot c \cdot (\theta_{\max} - \theta_0)$ に代入すると、最終的に F_{\max} に関して次式を得る。

$$F_{\max} = \sqrt{\frac{KI(\dot{\theta}_0)^2}{g} + \frac{W_0^2 a^2}{c^2} \cdot \sin^2 \theta_0 + \frac{W_0 a}{c} \cdot \sin \theta_0}$$

一方、衝突直前の運動エネルギーは

$$\frac{W_0}{2g} \cdot V^2 + W_0 a (1 - \cos \theta_0)$$

であるから、衝突直後の運動エネルギーについて次式を得る。

$$\frac{I}{2g} \cdot (\dot{\theta}_0)^2 = \beta \left[\frac{W_0}{2g} \cdot V^2 + W_0 a (1 - \cos \theta_0) \right]$$

これを F_{\max} に代入すると

$$F_{\max} = \sqrt{\beta K \left[\frac{W_0}{g} \cdot V^2 + 2 W_0 a (1 - \cos \theta_0) \right] + \frac{W_0^2 a^2}{c^2} \cdot \sin^2 \theta_0 + \frac{W_0 a}{c} \cdot \sin \theta_0}$$

いま、静的に手摺によりかかる場合 (動作 S1 に相当) の手摺への作用力を F_{S1} とすると

$$F_{S1} = \frac{W_0 a}{c} \cdot \sin \theta_0$$

であるから、これを上式に代入し、さらに

$$\sin^2 \theta_0 = L^2/c^2, \quad c^2 = L^2 + H^2$$

$2(1 - \cos \theta_0) \doteq L^2/(cH)$, $a = rH_0$ を代入すると次式となる。

$$F_{\max} = F_{S1} \times \sqrt{\frac{\beta \cdot K \cdot (H^2 + L^2)^2 \cdot V^2}{r^2 \cdot W_0 \cdot H_0^2 \cdot L^2 \cdot g} + \frac{\beta \cdot K \cdot (H^2 + L^2)^{3/2}}{r \cdot W_0 \cdot H_0 \cdot H} + 1 + F_{S1}}$$

上式が手摺に対する衝撃力を与える一応の理論式であるが、同式が大胆な仮定に基いているので実際との間に差があること、又同式に直接測定 of 困難な β 及び r が含まれていることなどを考えると、これらをすべてしわ寄せして一括補正のできる実験係数を導入することが望まれる。よって β/r^2 , β/r の代りに係数 A, B を使い、さらに F_{S1} が (3-8) 式において $W_1=0$ とおいたものに等しいことに着目すれば、結局、衝撃力に関して次の実験式を得ることになる。

$$F_{\max} = \alpha_1 \frac{W_0 \cdot H_0 \cdot L}{H^2 + L^2} \times \left\{ 1 + \sqrt{1 + A \cdot \frac{K(H^2 + L^2)^2 V^2}{W_0 H_0^2 L^2 g} + B \cdot \frac{K(H^2 + L^2)^{3/2}}{W_0 \cdot H_0 \cdot H}} \right\} \dots\dots(3-9)$$

さて、A, B を求める手順であるが、まず V=0 の場合の実験データより B を求め、次いで V≠0 の場合の実験データより残りの A を求めるようにした。

次にこの A, B がどのような状況になるかをみるため、一例として L/H との関係についてみると、A, B は変動幅は大きいが L/H に対してほぼ独立であることがわかった。よって前記の α₁, α₂ と同様 A, B も独立な変数として扱い、その分布は正規分布とみなし、その平均値及び標準偏差は計算から求められた Table 10 に示す値をとるものとする。

Table 10 Mean value and standard deviation of A and B
A, B の平均値および標準偏差

	A	B
M. V.	0.209	0.100
S. D.	0.083	0.053

(3) シミュレーションの条件

(a) 動作 S4 に対しては式 (3-8)、動作 D に対しては式 (3-9) を用いて作用荷重を求める。

(b) 身長 H₀ 及び体重 W₀ は二次元正規分布⁴⁾に従う確率変数とする。ただし人体計測データ²⁾より H₀ は平均値 165.91cm, 標準偏差 5.23cm の正規分布, W₀ は平均値 60.75kg, 標準偏差 6.51kg の正規分布, 又両者の相関係数は 0.509 とする。

(c) 水平距離 L は実際の作業現場あるいは作業中の動作を考慮して、次の範囲に一様分布する確立変数とみなす。

動作 S4 に対して 10~40cm

動作 D1 に対して 0~30cm

(d) 歩行速度 V は、人の通常の歩行速度³⁾ 116~166cm/sec を参考にしたらうえ、作業に併なり歩行であることや、足場や仮設通路での歩行を対象にしていることから、0~100cm/sec の範囲に一様分布する確立変数とした。

(e) バネ定数 K は、水平方向バネ定数 K_h, 垂直方向バネ定数 K_v 及び衝突時の人体の傾角 θ=tan⁻¹(H/L) を用いて

$$K = \sqrt{K_h^2 \cdot \sin^2 \theta + K_v^2 \cdot \cos^2 \theta}$$

と表わされる。K_h, K_v は式 (3-6) で与えるものとする。

(f) 動作 S4 の場合の荷物の重量 W₁ は、10~50kg の範囲に一様分布する確立変数とする。

(g) α₁, α₂, A, B は正規分布をする変数とし、その平均値および標準偏差は Table 9 および Table 10 の値とする。

以上の条件に基づき、手摺高さを 5cm 間隔で変えて、各手摺高さ毎にシミュレーションを行なった。シミュレーションにはデジタルコンピュータを用いた。

(4) シミュレーションの結果

シミュレーションの結果、得られた作用荷重のデータを、横軸に作用荷重を縦軸に相対度数をとった座標上にプロットすると Fig. 20 (動作 S4), Fig. 21 (動作 D1) のようになる。これによると、手摺高さが増加すると、荷重値、データのバラツキ共小さくなる傾向がある。また当然のことながら両動作共実験値によく一致した値を示している。

さて手摺の設計用に考慮する作用荷重は、次の理由

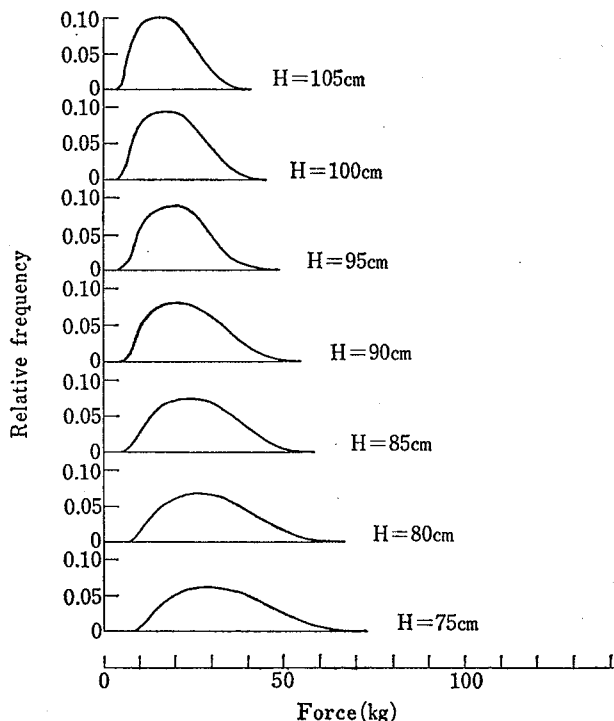


Fig. 20 The relative frequency distributions of the forces act on the railing (in action S4)
動作 S4 に対する作用荷重の相対度数分布

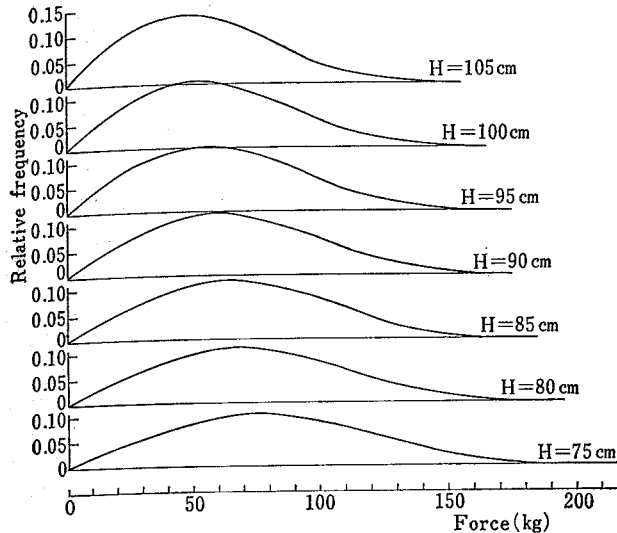


Fig. 21 Relative frequency distributions of the forces act on the railing (in action D1)
動作 D1 に対する作用荷重の相対度数分布

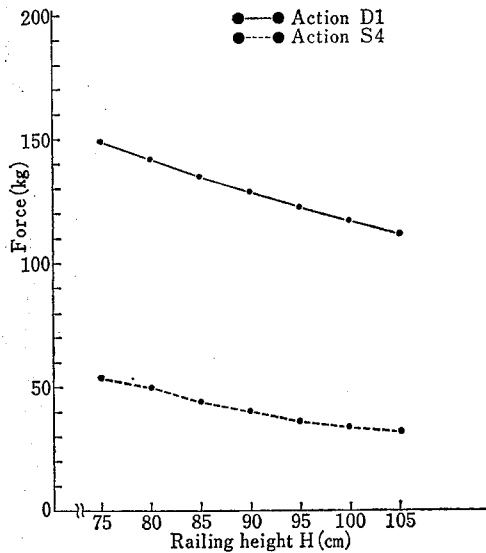


Fig. 22 Relation between the forces act on the railing when the cumulative frequency are 95% and the railing height
累積度数が95%のときの作用荷重と手摺高さの関係

により95%確率荷重値（その値を超えない確率が95%であるような荷重値）をもってあてるのが妥当であると思われる。それは、Fig. 20, Fig. 21 の分布からみて、最大荷重値を設計用作用荷重とするのは仮設設備にとって過大になり実用的ではないが、しかし墜落防止設備として低い値にするのも問題があることなどである。

そこで縦軸に95%確率荷重値、横軸に手摺高さをとった座標上にデータをプロットすると、Fig. 22 のようになる。前節で提案したように手摺高さを95cmとすれば、Fig. 22 から95%確率荷重値は動作 S4 の場合 36kg、動作 D1 の場合に 122kg となる。

4. 結 言

以上述べたように、ともすればこれまで経験的に莫然と処理されていた仮設手摺の高さ及び強度について、限られた数の実験のみに頼らず、実験結果から実験式を決定し、その実験式を用いてコンピューターによるシミュレーションを行なったことは、手摺のように不特定多様な要求に応え、しかも経済性を損わないようにしなければならない物にとって、かなりの合理性が与えられたものと思われる。とはいうものの、問題の整理・処理において独断的、性急的な面があったことも免がれず、大方の叱正を期待するものである。

又手摺の具備条件には、高さ及び強度にとどまらず撓度など未だいくつかの問題が残されているので、それらについては後日の研究に待ちたいと思う。

最後に、以上の研究の結果として、仮設手摺について次の提案をしてみずびとしたい。

- (1) 仮設手摺は、その高さを95cm以上とする。
- (2) 仮設手摺は、設置場所、附近の作業状況等に応じ、軽量及び重量級の2階級に分けるものとし、手摺材の任意の位置に、かつ任意の方向に軽量級に対しては36kg/人以上、重量級に対しては122kg/人以上の荷重に対して十分安全なものとする。
(昭和51年11月15日受理)

参 考 文 献

- 1) 鈴木康夫：“産業安全研究発表集（昭和48年度全国産業安全衛生大会）”中央労働災害防止協会—p. 217~219
- 2) 航空医学実験隊：“航空自衛隊員の身体計測値”—p. 129
- 3) 小原二郎、内田祥哉、宇野英隆：“建築・室内・人間工学”鹿島出版会—p. 175
- 4) 例えば、近藤良夫、舟阪 渡：“技術者のための統計的方法”共立出版—p. 411

産業安全研究所研究報告 RIIS-RR-25-3

昭和52年1月15日 発行

発行所 労働省産業安全研究所

〒108 東京都港区芝5丁目35番1号

電話 (03) 453-8441 (代)

印刷所 新日本印刷株式会社

UDC 69.028.8

仮設手摺の具備条件

——仮設手摺の必要高さと必要強度について——

小川勝教・河尻義正・堀井宣幸

産業安全研究所報告 RIIS-RR-25-3

墜落防止用仮設手摺の構造基準を定めるため、仮設手摺の具備条件に関する実験的研究を行なった。実験および実験式を用いたシミュレーションの結果、人が手摺を乗り越えないための仮設手摺の必要高さと必要強度を求めた。

(表 10, 図 22, 写真 2, 参 4)



UDC 69:028.8

On the required conditions for the temporary railing

——about necessary conditions in the height and the strength——

by Katsunori Ogawa, Yoshimasa Kawajiri, Noriyuki Horii

Research Report of the Research Institute of Industrial Safety RIIS-RR-25-3

For the purpose of standardizing the specification of the temporary railings which have been used for the prevention of fall accidents in construction sites and dockyards, we made experimental investigation concerning the conditions which the temporary railing had to possess.

From the results of experiment and simulation we could obtain the necessary height and the necessary strength of the temporary railing.

(10 Tables, 22 Figures, 2 Photographs, 4 References)

