

RIIS-TN-81-3

UDC 614.821 : 677.718 : 677.72 : 69.057.6

# 産業安全研究所技術資料

TECHNICAL NOTE OF  
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

1982

## 足場の組立・解体作業時に用いる 水平親綱システムの安全性に関する研究

小川 勝 教  
森 宜 制

# 足場の組立、解体作業時に用いる 水平親綱システムの安全性に関する研究

小川 勝教\*  
森 宜制\*

## On the Safety of Horizontal Lifeline Employed in Assembling or Demolition of Scaffolding

by Katsunori OGAWA\*  
Yoshitada MORI \*

Dynamic characteristics of horizontal lifeline holding body with safety belt employed in assembling or demolition of frame scaffold which is applied with the aim of prevention of falling accidents were studied in this report.

Two kinds of experiments were undergone; one is to act a static load on the middle of the lifeline under various conditions, the other is to drop a sandbag connected to lifeline.

Experimental conditions are as follows :

- 1) Lifeline :  $\phi$ 9mm wire rope and  $\phi$ 16mm nylon rope.
- 2) Length of lifeline : 10, 15 and 20m
- 3) Weight of sandbag : 75kg
- 4) Safety belt is A type and 1.5m long lanyard

The results of the experiments are summarized as follows :

- 1) As the initial tensile force of the lifeline increases, the impact load of the falling body decreases.
- 2) In the lifeline of wire, the tensile force of lifeline becomes bigger, when the stiffness of the parts suspending the lifeline increases. However, the impact load of the falling body is not influenced.
- 3) In the lifeline of nylon, both the tensile force of lifeline and the impact load of the falling body are not influenced by the stiffness of that parts.
- 4) The descent distance of lifeline is about 8% of its length in wire and about 30% in nylon.

For the impact load of the falling body, the tensile force of the lifeline etc., the empirical formulae are shown in chapter 6

---

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

## 1. 緒 言

足場の組立・解体作業時に足場からの墜落による死亡災害が後をたたないが、これは同作業において墜落防止の措置がとられないまま作業が行われることが多いためである。

労働安全衛生規則によると、高さ2 m以上で作業を行なう場合は、当該作業位置に作業床を設け、且つ作業床周辺に手摺等を取付けることが規定されており、それらが困難である場合は、安全ネットを張るか、作業者に安全帯を使用させる等の墜落防止の措置を講じた後でなければ、作業させてはならないことになっている。しかし、足場の組立・解体の場合、安全ネットの使用が困難であるため、安全帯の使用以外に適当な墜落防止措置が考えられない。

一般的に安全帯の使用法としては、安全帯ロープを固定支点に取付ける場合と、作業者の移動に応じて自動的に移動する支点を用いる場合の2通りがある。足場の組立・解体作業では前者の方法は、同作業のように、作業者の移動が頻繁で、その範囲が広い場合、適当な方法とは言えない。そこで足場の組立・解体作業では、作業行動範囲を少しでも広くするために、安全帯ロープの支点として水平親綱を使用し、作業者の移動に応じて、安全帯ロープの支点を任意に移動させる方法がとられている。さらにこの場合、水平親綱を足場構成材に直接取付けることは、同部材が不安定な状態にあるため危険であるので、結局水平親綱の使用法としては、図1に示すように水平親綱を取付けるため

の仮設の支柱（親綱支柱と呼ぶ）を足場に設置する方法が、唯一の方法であると考えられる。

現在、既に親綱支柱として、種々のタイプの製品が開発され使用され始めているが、その安全性が十分に検討されているとは言い難い状況である。

さて、水平親綱にとって望ましい条件は、

- (1) 安全帯の衝撃荷重が小さいこと。
- (2) 水平親綱の支持点に作用する荷重が小さいこと。
- (3) 水平親綱の垂下量が小さいこと。

以上の3点が考えられるので、これらの条件を考慮した親綱支柱や水平親綱の設計及び使用がなされなければならない。そのため、このように水平親綱と支柱で構成されるシステムにおいて、次の諸点が明確にされなければならない

- (1) 親綱支柱の性能
- (2) 親綱支柱の設置高さ
- (3) 親綱支柱の設置間隔
- (4) 水平親綱の取付け高さ
- (5) 水平親綱の緊張の程度

よって、今回これらの点を解明し、基礎的な資料を得るために、水平親綱システムに関して一連の研究を行ったので、以降にその概要を報告する。

## 2. 研究 目 的

本研究の主な目的は、水平親綱システムに取付けた安全帯により落体の落下が阻止された場合における、安全帯ロープ支点に作用する衝撃荷重、親綱の張力、親綱及び落体の垂下量に関する計算式を求めることである。

実験は、水平親綱に静荷重を作用させる静荷重実験と、衝撃荷重を作用させる動荷重実験の2通りからなるが、静荷重実験は水平親綱に垂直方向の荷重が作用した場合における親綱の張力を求める計算式を、動荷重実験は落体がある高さより落下し、その運動が阻止された場合における安全帯ロープ支点に作用する衝撃荷重、親綱の張力、親綱の垂下量、落体の垂下量に関し相互した関係式を求めるためのものである。

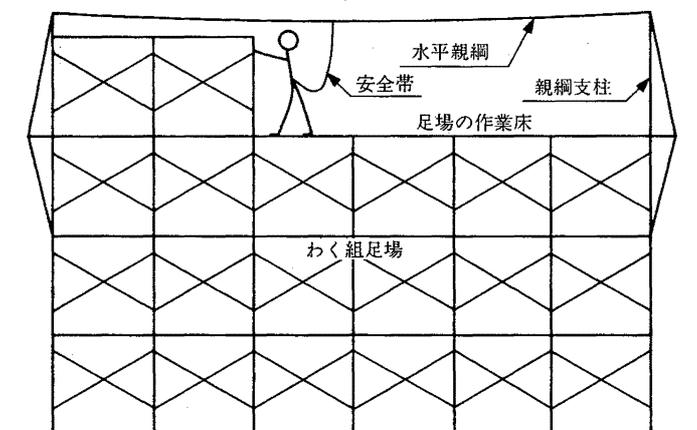


図1 水平親綱（親綱支柱併用）使用によるわく組足場組立・解体一例

### 3. 実験装置、条件等

#### 3・1 実験塔及び測定装置

水平親綱を支持する実験塔は、写真1に見られるように高さ15mの鋼製の固定された鉄塔と、他方は水平親綱の支持間隔を自由に変えるために鉄塔自身がレール上を移動する鋼製の移動鉄塔で、地上高さ10mの位置にそれぞれ水平親綱を取付けられるための支持点を備えたものである。

測定装置は、水平親綱に作用する荷重及び水平親綱の張力を測定するために、デジタル式静歪測定器及び動歪計—電磁オシログラフを使用した。また、水平親綱及び落体の垂下量を写真計測するために、64P/secの撮影速度を有する16mm撮影機及び30P/secの撮影速度を有するビデオカメラを使用した。

#### 3・2 実験条件

静荷重実験及び動荷重実験における実験条件を下記のように定めた。

##### 3・2・1 水平親綱の支持点

足場の組立・解体作業時に水平親綱が使用される場合、親綱の支持点となるものは仮設支柱である。その際、親綱の張力等が支柱の弾性に影響されるものと思われるので、実験では水平親綱の支持点の剛性を種々変えるため、水平親綱の支持点に表1に示す5種類のコイルバネを実験に応じ、それぞれ取付けることにした。

##### 3・2・2 水平親綱の緊張

水平親綱の緊張は、10kgから200kgの範囲内の初張力で行なうことにした。また緊張の方法は、水平親綱の1端が取付けられた移動鉄塔を移動することによった。

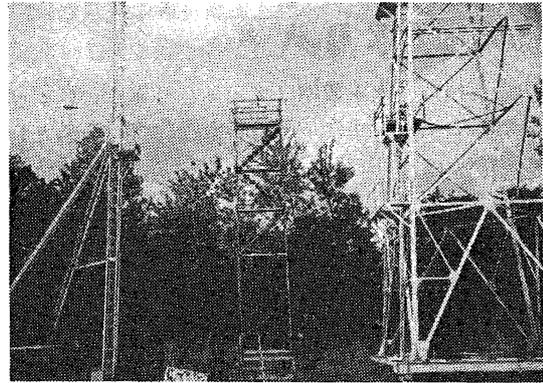


写真1 実験塔

##### 3・2・3 静荷重及び動荷重の作用点

水平親綱にとっては、その中点に荷重が作用した場合が、最大な垂下量や張力を与えるものと考えられるので、作用点は親綱の中点とした。

##### 3・2・4 落体の落下始点の高さ(x)

落体の落下始点の高さは、水平親綱の支持点を連ねる線を基準にとり、落体の重心位置までの高さで定めることとした。なお、実験では図2に示すように、親綱にロードセルを介して安全帯ロープを取付けているため、安全帯ロープ取付点に対する落下始点の高さ $x$ は、実際の使用の場合より275mm(ロードセルの長さ)だけ高さが高いことになる。

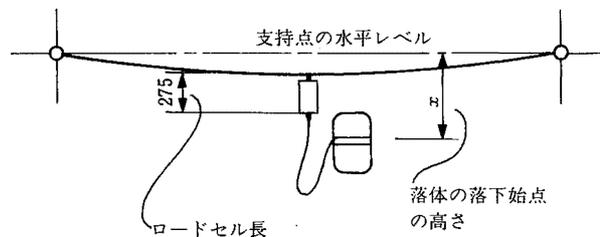


図2 落体の落下始点の高さ

表1 コイルバネの種類

公称バネ 定数kg/mm	材料径 mm	コイルバネ の中心径mm	有効巻数	バネ長 mm	重量kg	許容引張力 kg
5	φ12	φ68	12.5	288	2.5	490
10	φ16	φ84	10.5	330	5	980
25	φ20	φ89	8.5	338	7	1470
50	φ22	φ84	7.5	318	7	1980
75	φ25	φ91	6.5	322	8.5	2000

### 3・3 供試用親綱

実験に用いた水平親綱は実用面を考慮し、表2に示すワイヤロープとナイロンロープの材料のものとした。

親綱の長さは、ワイヤロープ製については10m、15m、20m、ナイロンロープ製については10mとした。また、親綱の末端は図3に示すようにアイ加工とした。なおアイ加工は、ワイヤロープ製については4個のワイヤクリップ止め、ナイロンロープについてはサツマ加工によった。

実験では、ワイヤロープ製親綱は同一親綱を繰返し使用し、ナイロンロープ製親綱は実験毎に新品のものを使用することにした。これは実際の場合、前者は過去に衝撃力を受けたものでも継続使用が許されるが、後者は許されるべきでないという考えにもとづいている。

### 3・4 作用荷重、親綱の張力及び垂下量等の測定方法

#### 3・4・1 作用荷重及び親綱の張力の測定

水平親綱に静荷重または動荷重が作用した場合の作用荷重の測定は、作用点に取付けられた最高1 tonまで

測定可能な抵抗歪線式引張計（ロードセル）により、静荷重実験ではデジタル式静歪測定器で直読、動荷重実験では動歪計—電磁オッシログラフを用い測定記録した。また、その時の親綱の張力の測定には、親綱の末端と支持点との間に3 tonまで測定可能なロードセルを使用し、静荷重実験ではデジタル式静歪測定器で直読、動荷重実験では作用荷重と一緒に同一オッシログラフ上に記録した。

#### 3・4・2 垂下量の測定

水平親綱の緊張時における親綱中点の垂下量および静荷重が作用した場合の同点の垂下量は、スチールテープによる直接計測とビデオカメラによるビデオ画像解析の2方法を併用して測定した。一方、動荷重実験における親綱および落体の垂下量は、16mmカメラ撮影による撮影フィルムの解析によって測定した。なお、この場合、撮影画面の座標として幅1.8m、高さ10mのキャンバス製スクリーン（10cm目盛りの方眼）を親綱の後方50cmの位置に設置した。

#### 3・4・3 水平親綱支持点間隔の測定

水平親綱の緊張時における親綱の支持点間隔は、スチールテープにより直接計測した。

表2 供試水平親綱の材料

親綱の材料	構成	公称径mm	破断強度kg
ワイヤロープ	6/24(G/0)	φ 9	3960
ナイロンロープ	1260D/210 4×3×22×3	φ16	5780

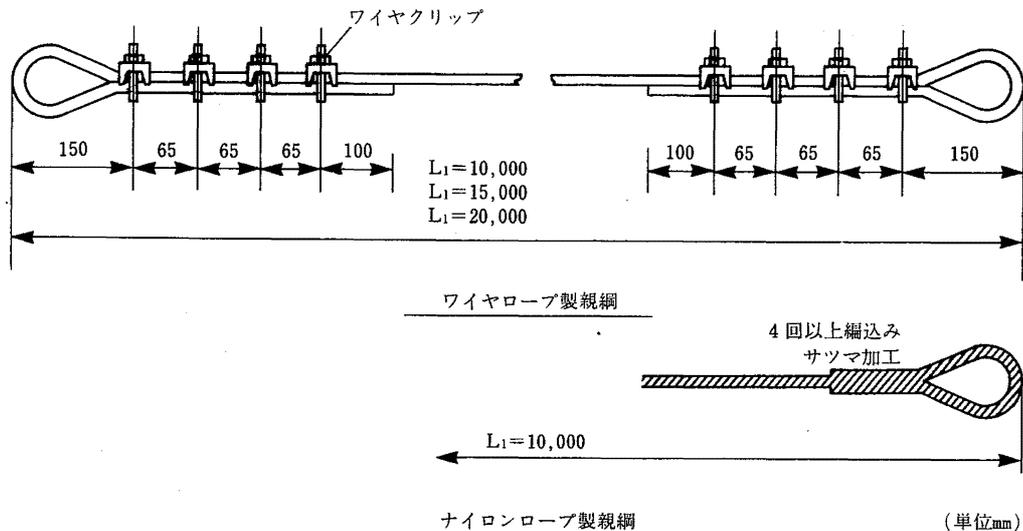


図3 供試水平親綱

## 4. 静荷重実験

### 4.1 実験方法

静荷重実験は、図4に示すように支持点間に所定の初張力で緊張された水平親綱の midpoint に静荷重を作用させ、その時の親綱の張力及び垂下量を測定することとした。

静荷重は、緊張された水平親綱の midpoint を手巻ウィンチで下方に垂直に引張ることによる一点集中の漸増荷重とした。なお荷重の計測は1tonロードセルによった。

静荷重に対する親綱の張力及び垂下量の測定は、荷重の値が50kg～200kgの間で50kg毎に、200kg以上で100kg毎に行なった。なお、垂下量の値は親綱の支持点の水平レベルを基準として表わした。

### 4.2 実験及び理論的検討

前述のように本実験の狙いは、 midpoint に荷重が作用する場合の親綱における、張力や垂下量を計算するための実験式を立てることである。ところが親綱にはいくつかの厄介な問題が存在し、それらを如何に扱うかが、本実験のポイントとなるので、あらかじめ、考え方を述べる。

#### (1) 親綱の自重の扱いについて

親綱は、その自重が無視できれば、支点と荷重点とを結ぶ線が直線となり、理論的な扱いが楽になるが、その釣り合い条件から初期張力を求めることができなくなる。しかし、親綱がナイロンロープの場合、同ロープが伸び易く軽い材料であるため、自重を無視し

て点と点を結ぶ線を直線と扱っても、余り大きな誤りではないものと思われるが、親綱がワイヤロープの場合は、もともと伸び難く剛い材料であるため、張力が小さい場合は、2点を結ぶ直線として扱うのは無理がある。そこでワイヤロープの場合は、次のような扱いをすることとする。

- (a) 荷重が在る場合は親綱の自重は無視する。
- (b) 荷重がない場合、即ち初期状態では、自重を考慮する。この時、親綱の形状は拋物線とみなすことになる。

以上の場合、(a)において荷重を0としたものと(b)とが一致しないことになるが、初期張力を大にして十分緊張させれば、両者の不一致は些少となり、実際上差支えないことになる。

#### (2) 親綱の荷重一伸びの非線型性とヒステリシスについて

一般に、ロープ類は、荷重一伸びの関係が非線型的で、特にナイロンロープではこの傾向が著しく、さらに、荷重履歴によって上記の関係が変動する。よって親綱がワイヤロープの場合は、

- a) 何度も荷重を受けた履歴のあるロープを対象とする。
- b) このようにすれば、荷重一伸びの関係も線型であるとみなすことができる状態になり、又その係数もほぼ一定の値に落ち着いているものと考えられる。
- c) さらにこのような扱いは、前節で述べた、荷重履歴があるものの再使用を認めると言う考えとも合致する。

又、ナイロンロープの場合は、線型とみなすことが無理であるため、曲線式で表わすこととし、さらに、荷重履歴のあるものの再使用を認めないと言う前節の立場から、新品のみを対象とすることにする。

#### (3) 高精度が期待できない測定値の扱いについて

本実験において、誤差が少ないと思われる測定値は、親綱の支点間隔の測定値位であって、他は、その測定法からみて、多少の誤差は覚悟しなければならないと考えられる。よって、測定値を計算式に代入するに当っては、生のままの値を使うのではなく、なるべく合理的に補正された値を使うことが望まれる。このた

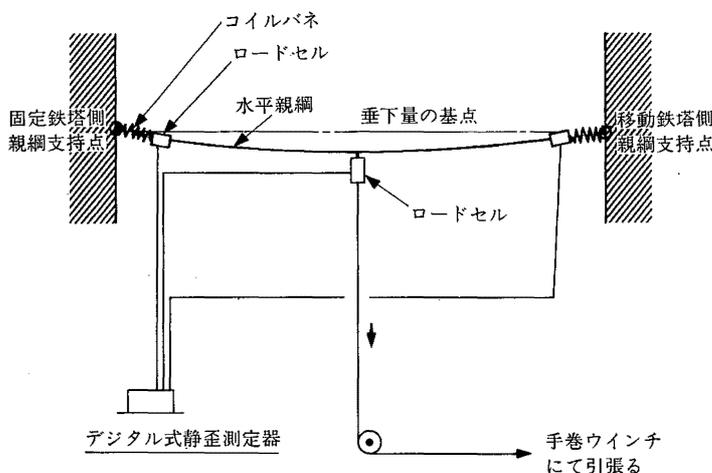


図4 静荷重実験概要図

め、複数の測定値の間に理論的な等式関係が存在する場合は、その等式関係が満足されるように、測定値を補正することにする。

(4) 実験においてコントロールの困難な要素の扱いについて

本実験では直接測定できないものがある。例えば、無張力時の親綱の真の長さなどがその例で、空中に張られた状態で既に初期たるみや初期張力が存在しているので、その値は、張力やたるみから推算する以外には方法がない。しかも初期張力の影響を考慮する場合には、これがかなり重要な要素となる。

また、ロードセルは親綱の受ける張力を測定するためには必要なものであるが、理論的な検討においては、その重量が無視できる程小でないために、親綱の垂下形状が複雑になり、厄介な存在になる。

以上のように本実験においては、その影響がかなり大であってしかも、直接測定やコントロールの不可能な要素が在るので、これらの影響を理論的に検討し、場合によっては補正することにする。

以上のような考えにもとずいて、本実験及び理論的検討は行われており、その結果、理論式を実験係数で補正するという形の実験式がいくつか得られている。したがって、これらの実験式は、この実験に近い条件に対してのみ適用できることを念のため指摘しておきたい。

4・2・1 親綱における力の釣合式

ある支持間隔L(mm)で水平かつ直線に張られた親綱(自重は無視)の中心に荷重P(kg)が作用し、親綱の垂下量u(mm)が生じた時、親綱の張力T(kg)とP・uの間には、力の釣合より次式が成立する。(図5)

$$\frac{P}{2T} = \frac{u}{\sqrt{\frac{L^2}{4} + u^2}} \quad \dots\dots(1)$$

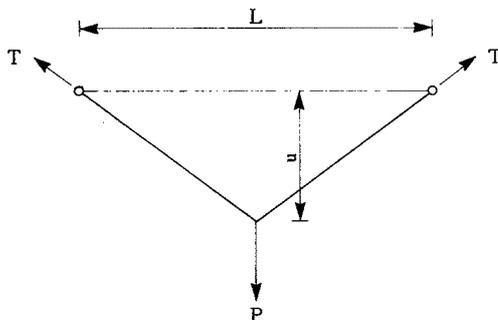


図5

4・2・2 実験値の修正

静荷重実験により測定したP, T, uの値について(1)式が成立するか否かを検討し、成立しない場合について、以下に述べる方法にて実験値を修正することにした。修正は実験データのうち測定値が正確に確認された支持間隔Lは無修正とし、比較的測定誤差が有ると思われるP, T, uの値について修正することとした。なお、修正は次に述べる方法によった。

$$\frac{P}{2T} = \frac{u}{\sqrt{\frac{L^2}{4} + u^2}} = r$$

としたとき、rを

$$r = \frac{1}{2} \left( \frac{P}{2T} + \frac{u}{\sqrt{\frac{L^2}{4} + u^2}} \right)$$

とし、P, T, uの測定値を次により修正することになる。

張力の修正値 $\bar{T}^*$

$$\bar{T} = \frac{T + 2rP}{1 + 4r^2}$$

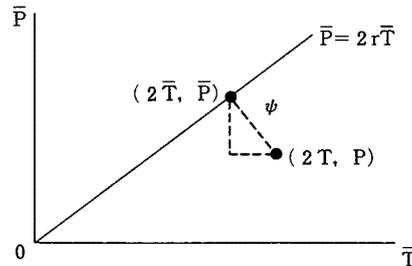
荷重の修正値 $\bar{P}$

$$\bar{P} = 2r\bar{T}$$

垂下量の修正値 $\bar{u}$

$$\bar{u} = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \times \frac{L}{2}$$

註) ※今、修正値 $\bar{P}$ ,  $\bar{T}$ の間に $\bar{P} = 2r\bar{T}$ の関係がある。P, Tの測定値を最小の修正により $\bar{P} = 2r\bar{T}$ になるように考え  
 $\psi = (\bar{T} - T)^2 + (2r\bar{T} - P)^2$        $\frac{\partial \psi}{\partial T} = 0$  より  
 $2(\bar{T} - T) + 4r(2r\bar{T} - P) = 0$   
 $\bar{T}(1 + 4r^2) = T + 2rP$   
 $\therefore \bar{T} = \frac{T + 2rP}{1 + 4r^2}$ となる。



4・2・3 親綱の張力とみかけ上の伸びの関係

荷重Pが作用した時、片半分の親綱のみかけ上の伸びを親綱支持点のバネの能力に応じ、荷重Pの値が表3に示す範囲内について求めた。なお片半分の親綱のみかけ上の伸び $\delta$ は、4・2・2により修正した親綱張力 $\bar{T}$ に対する親綱の垂下量 $\bar{u}$ の値を用い次式により求める。

$$\delta = \sqrt{\frac{L^2}{4} + u^2} - \frac{L}{2} \quad \dots\dots(2)$$

表3 作用荷重の範囲

支持点の コイルバネの種類	作用荷重 kg
5 kg/mm	55~200
16 "	100~400
25 "	200~600
50 "	300~700
75 "	300~600
コイルバネナシ	300~600

(1) ワイヤロープ製親綱について

(a) 親綱の張力と伸びの関係

図6はワイヤロープ製親綱について、親綱支持点のコイルバネの種類毎及び親綱の緊張時における初期張

力毎に親綱の張力 $\bar{T}$ と親綱の片半分のみかけ上の伸び $\delta$ の関係をプロットしたものである。その結果、ワイヤロープ製親綱（支持点を含む）は、ある荷重範囲内においては親綱の張力とみかけ上の伸びの関係が直線

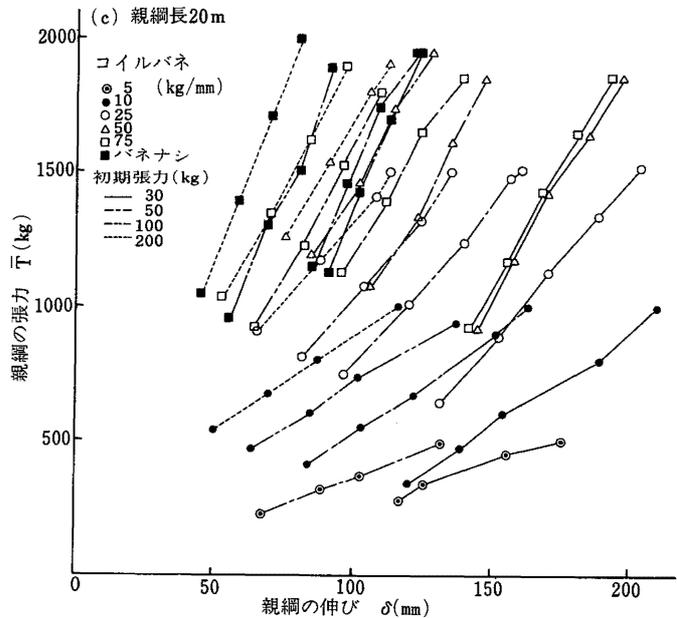
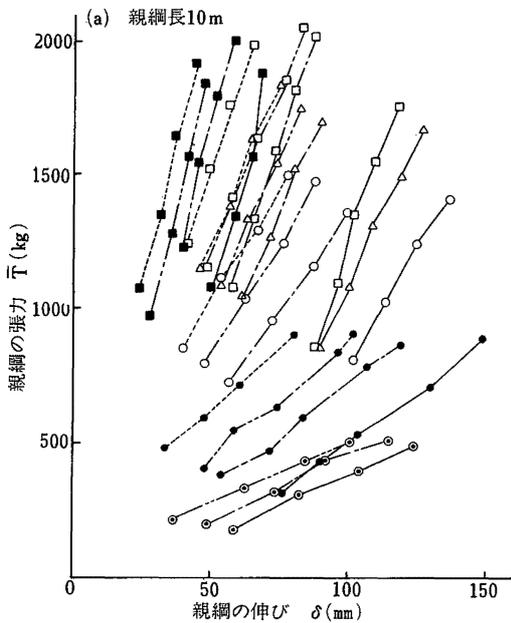
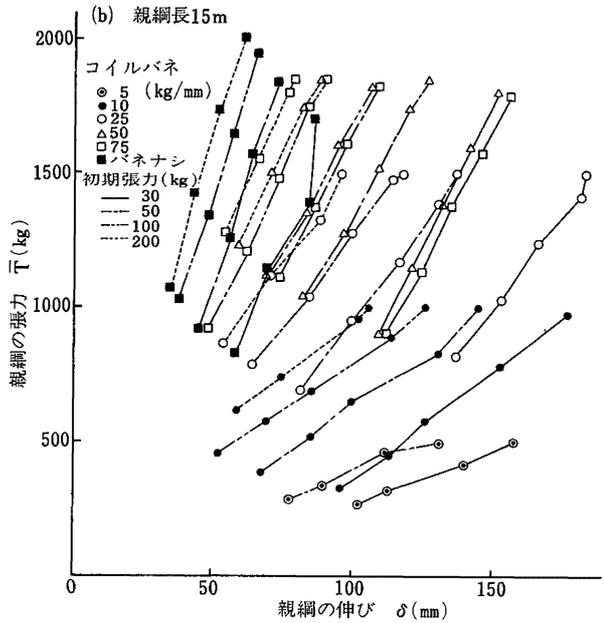


図6 静荷重実験におけるワイヤロープ製親綱(φ9mm)の張力と親綱の伸び

的であり線型弾性体と考えても差支えないものと思われる。よって親綱の張力と伸びの関係を次の直線関係式

$$\bar{T} = K \cdot \delta + D \quad \dots\dots\dots(3)$$

で表わすものとし、それぞれ実験結果を基に最小2乗法にて片半分の親綱（コイルバネ等を含む）のバネ定数Kの値を求めた。その結果を表4に示す。

表4 親綱のバネ定数K (kg/mm)

水平親綱の長さ L <sub>1</sub> mm	初期張力 T <sub>0</sub> kg	支持点のコイルバネの種類(公称) kg/mm					
		5	10	25	50	75	ナシ
10000	30	4.41	7.66	17.51	22.32	31.32	56.2
	50	4.21	7.99	17.15	23.57	30.70	
	60						40.71
	80			16.65			
	100	4.5	8.47	16.7	22.75	25.48	43.93
	平均	4.37	7.93	16.97	22.89	28.84	46.10
15000	30	4.04	8.02	13.63	21.50	21.83	29.50
	50	4.23	7.10	13.61	19.05	20.75	33.09
	100		6.99	14.17	19.32	23.75	32.93
	平均	4.13	7.35	13.82	19.87	22.17	31.79
20000	30	3.71	6.77	12.38	18.31	18.48	24.82
	50	4.04	7.16	12.08	18.86	17.23	21.88
	100		6.53	12.14	18.12	19.60	26.07
	平均	3.88	6.81	12.20	18.43	18.49	24.59

表5 親綱個々のバネ定数

支持点のコイルバネの種類 公称呼(kg/mm)	$\frac{L}{2\lambda}$	$\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}$	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>
5	0.00289	0.2113	4.73	∞
10	0.00207	0.1048	9.54	
25	0.00231	0.0396	25.25	
50	0.00209	0.0179	55.87	
75	0.00194	0.0131	76.33	
コイルバネ無し	0.0019	0		

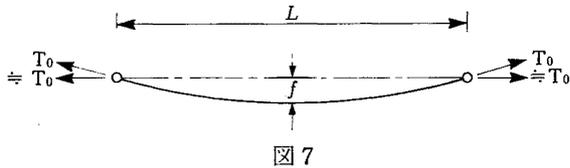
$$\frac{1}{K} = \frac{L}{2\lambda} + \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} \quad \dots\dots\dots(4)$$

但し λ：単位長さのワイヤロープのバネ定数(kg)  
 K<sub>1</sub>：コイルバネのバネ定数 kg/mm  
 K<sub>2</sub>：鉄塔のバネ剛性 kg/mm

同表より、コイルバネのバネ定数K<sub>1</sub>の値は呼称のバネ定数とは若干異なっており、ワイヤロープの親綱の片半分のバネ定数λの値は約238000kgであり、鉄塔のバネ剛性K<sub>2</sub>は無量大として取扱ってよいことなどが判明した。

(b) 緊張時における初期張力を考慮した場合の親綱の張力

今、図7に示すように支持間隔L間に親綱が張られた場合、親綱の自重W(kg)により親綱の垂下量f(mm)が生じる。その時、親綱の支持点には親綱と釣合う反力が生じ、これが親綱に対する初期張力となる。その初期



張力を $T_0$ (kg)とすると、垂下量fが支持間隔Lに比べかなり小さい場合は親綱の垂下曲線は拋物線とみなすことができ、親綱の自重Wと初期張力 $T_0$ との間には次の釣合式が成立する。

$$\frac{W}{T_0} = \frac{4f}{L} \quad \dots\dots(5)$$

また、この時の曲線長の $\frac{1}{2}$ の長さは近似的に

$$\frac{L}{2} + \frac{4f^2}{3L} \quad \dots\dots(6)$$

で表わされ、親綱の無張力時の長さ $L_0$ からの伸びは、片半分の親綱に対して

$$\frac{L}{2} + \frac{4f^2}{3L} - \frac{L_0}{2} \quad \dots\dots(7)$$

となる。よって初期張力 $T_0$ とその時の親綱の伸びについては次式を得る。

$$T_0 = K \left( \frac{L}{2} + \frac{4f^2}{3L} - \frac{L_0}{2} \right) \quad \dots\dots(8)$$

一方、親綱の中央に荷重が作用した場合の親綱の張力Tと親綱の無張力時の長さ $L_0$ からの親綱の伸びとの

関係は、次式で表わされる。

$$T = K \left( \sqrt{\frac{L^2}{4} + u^2} - \frac{L_0}{2} \right) \quad \dots\dots(9)$$

よって、(5)、(8)、(9)式より初期張力を加味した親綱の張力に関して次式が得られる。

$$T = K \left( \sqrt{\frac{L^2}{4} + u^2} - \frac{L}{2} \right) + T_0 - \frac{KLW^2}{12T_0^2} \quad \dots\dots(10)$$

(c) 実験による(10)式の修正

(10)式の妥当性を検討するため、表5のKの値及び実験データ $\bar{u}$ (uの修正値)、 $T_0$ 、Lの値を(10)式に代入し、親綱の張力Tを求めた。図8は、初期張力と、実験値と計算値の比 $\bar{T}/T$ とをプロットしたものである。同図によれば、初期張力の大小によって、実験値と計算値にかなりの差がみられ、初期張力が小さいほどこの差が大きいが、初期張力 200kgでは実験値と計算値はほぼ一致している。したがって、親綱の初期張力の小さい範囲に対して、(10)式をそのままでは適用できないことは明らかである。なおこの主たる原因は、4・2で述べたように、親綱が十分に張られてない場合に2点を結ぶ線を直線とみなすこと及び弾性係数を一定値であるとみなすことの不自然さにあると思われる。

よって、小さな初期張力に対しても適用できるように(10)式を修正することにした。修正にあたって、30kg、50kg、100kgの初期張力で緊張された場合の各実験について(10)式を変形した式

$$\left[ K \left( \sqrt{\frac{L^2}{4} + u^2} - \frac{L}{2} \right) + T_0 - T \right] / (KLW^2 / 12T_0^2)$$

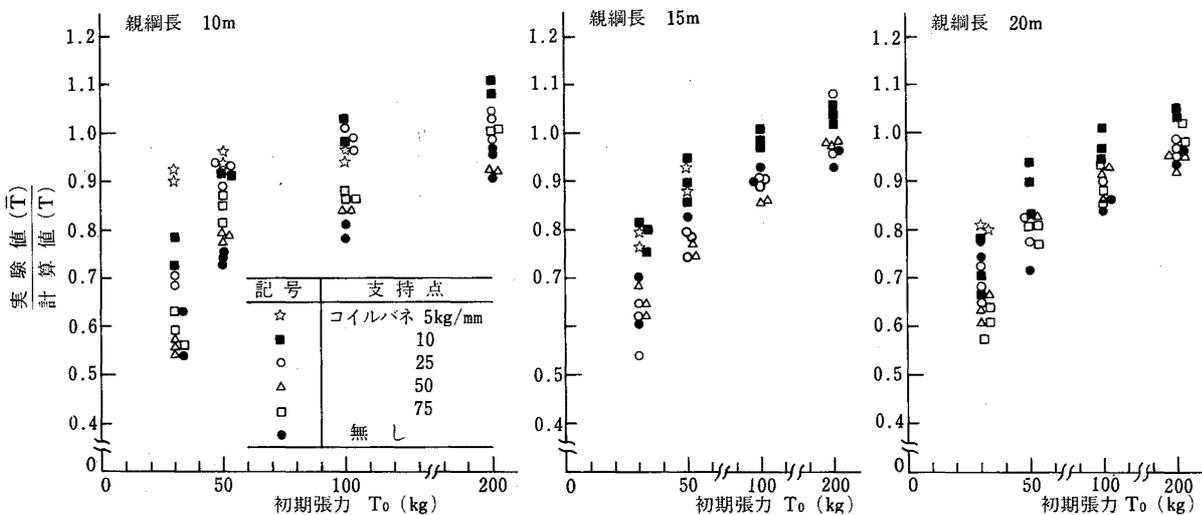


図8 ワイヤロープ製親綱の親綱張力に関する初期張力と実験値/計算値(無修正)

の値を求めた。表6に上記結果について初期張力毎に平均した値を示す。

表6  $\frac{K \left( \sqrt{\frac{L^2}{4} + u^2} - \frac{L}{2} \right) + T_0 - T}{KLW^2/12T_0^2}$  の値の平均値

支持点状態 初期張力 kg	コイルバネ 5kg/mm " 75kg/mm			コイルバネ 5kg/mm 無し		
	30	50	100	30	50	100
親綱長mm						
10,000	5.39	4.83	9.77	6.4	7.69	14.86
15,000	4.32	4.89	7.52	4.39	5.14	8.09
20,000	3.03	3.49	6.02	2.96	4.01	7.06

その結果

$$\left[ K \left( \sqrt{\frac{L^2}{4} + u^2} - \frac{L}{2} \right) + T_0 - T \right] / (KLW^2/12T_0^2)$$

の値は、親綱の長さが長くなる程減小し、また、初期張力が大きくなるほど増大する傾向にある。そこで  $KLW^2/12T_0^2$  の項について、親綱の長さおよび初期張力の影響を考慮した修正係数で修正することとし、種々試行錯誤の結果  $(6.5 - 0.0002L) + \frac{T_0}{40}$  の修正係数を乗ずることとした。よって(10)式の修正式は次の通りとなる。

$$T = K \left( \sqrt{\frac{L^2}{4} + u^2} - \frac{L}{2} \right) + T_0 - \left\{ (6.5 - 0.0002L) + \frac{T_0}{40} \right\} \frac{KLW^2}{12T_0^2} \quad (\text{kg}) \quad \dots(11)$$

図9は初期張力毎に、実験値  $\bar{T}$  を(11)式にて求めた計

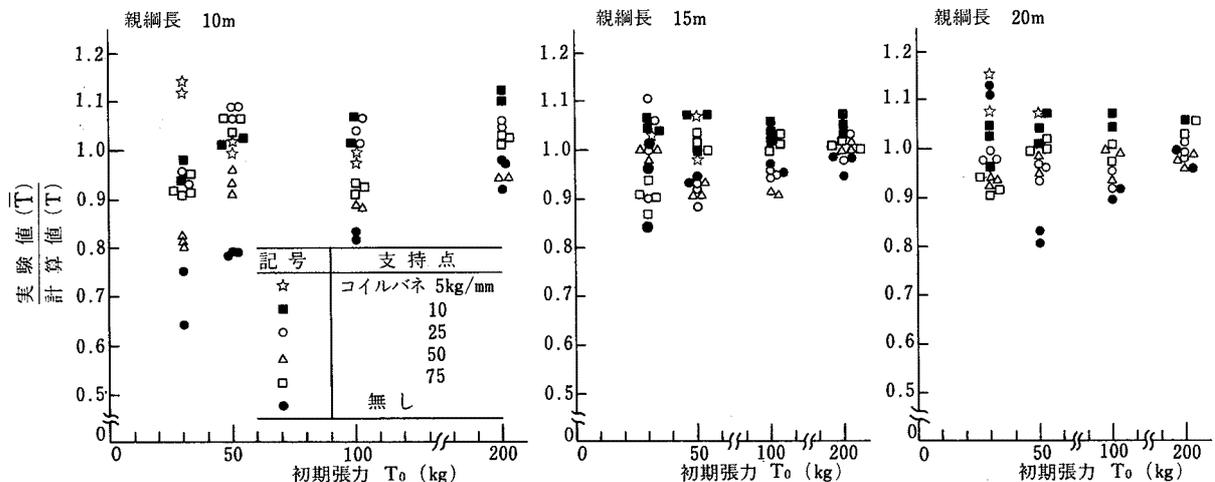


図9 ワイヤロープ製親綱の親綱張力に関する実験値/修正係数による計算値(修正)

算値  $T$  で除した値をプロットしたものである。その結果図8に比較し、 $\bar{T}/T$ の比が1の値付近に集り、実験値と計算値はかなり一致しているの、ワイヤロープ製親綱の張力式は(11)式で表わしてもよいものと思われる。

(2) ナイロンロープ製親綱

(a) 親綱の張力と伸びの関係

水平に緊張されたナイロンロープ製親綱の midpoint に荷重が作用した時の親綱の張力とみかけ上の伸びの関係をプロットしたものを図10に示す。同図よりナイロンロープの親綱は、ワイヤロープの親綱と同様な線型弾性体として取扱うことは少々無理がある。よって、別な観点から親綱の張力と伸びの関係を調べた。

(b) ナイロンロープの引張試験における張力と伸び

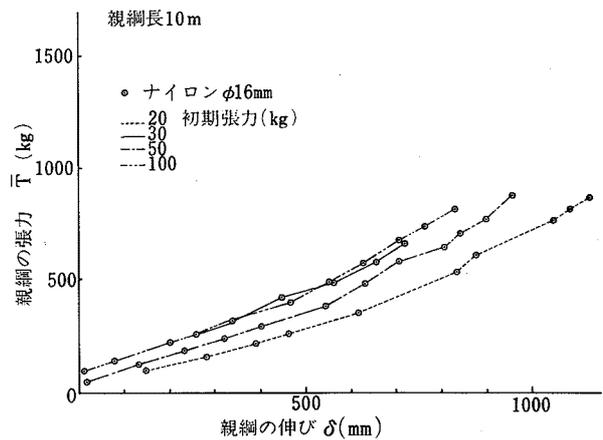


図10 ナイロンロープ製親綱の静荷実験における親綱の張力と親綱の伸び

親綱に使用されている同一のナイロンロープを横型引張試験機で引張試験を行い、その時の標点間50cmのロープの伸びを測定し、0～2000kgの荷重に対する荷重と伸びの関係について調べた。図11は3本の供試ロープの平均値について荷重と伸び率の関係をプロットしたものである。同図より、実際の親綱に作用すると考えられる250kg～750kgの範囲内の引張荷重と伸びとに合致するような近似曲線式を求めた結果、引張荷重 $T_s$ と伸び $\delta$ の関係について、次に示すようなべき函数式が得られた。

$$T_s = \alpha \left( \frac{\delta}{l_0} \right)^\beta \quad (\text{kg}) \quad \dots\dots\dots(12)$$

但し $\alpha, \beta$ はロープの種類によって定まる係数で  
 ナイロンロープ $\phi 16\text{mm}$ の場合  
 $\alpha = 10115 \text{ (kg)}$   
 $\beta = 1.625$   
 $l_0$ : 無張力時のロープの長さ (mm)  
 $\delta$ : 伸び (mm)

(c) 初期張力を考慮した親綱の張力  
 親綱の張力 $T$ は無張力時の親綱の長さ $L_0$ を基準にすると(12)式より、次式で表わされる。

$$T = \alpha \left( \frac{\delta}{L_0} \right)^\beta \quad \dots\dots\dots(13)$$

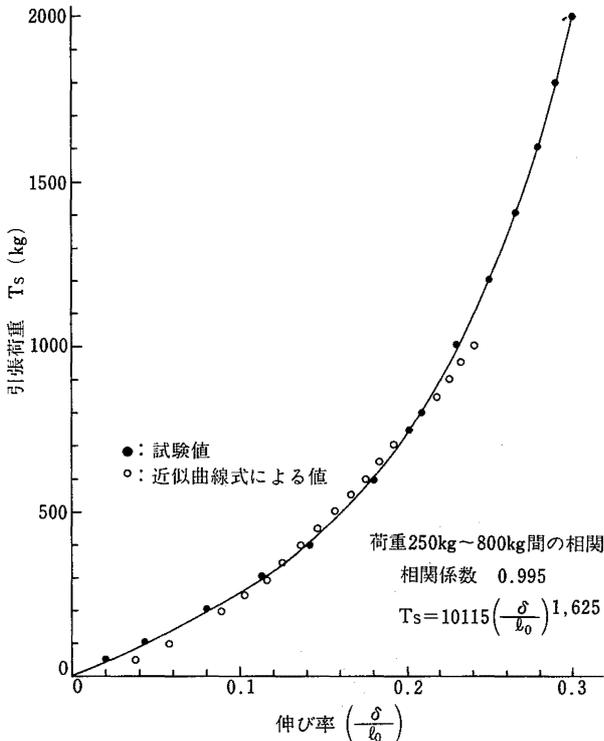


図11 ナイロンロープ製親綱( $\phi 16\text{mm}$ )の引張試験における荷重-伸び率

今、親綱が支持間隔 $L$ 、初期張力 $T_0$ で緊張されたとき、初期張力 $T_0$ による親綱の長さ $L$ は、ロープの自重を無視すると次式で表わされる。

$$L = L_0 + \delta_0 \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots(14)$$

但し $L_0$ : 無張力時の親綱の長さ(長さ不確定)

$\delta_0$ : 初期張力による親綱の伸び (mm)

なお、初期張力による親綱の伸び $\delta_0$ は(13)式より

$$\delta_0 = \left( \frac{T_0}{\alpha} \right)^{1/\beta} L_0 \quad \dots\dots\dots(15)$$

で表わされる。よって、無張力時の親綱の長さ $L_0$ に関して(14)、(15)式より次式が得られる。

$$L_0 = \frac{L}{1 + \left( \frac{T_0}{\alpha} \right)^{1/\beta}} \quad \dots\dots\dots(16)$$

図12のように $T_0$ の初期張力で親綱の midpoint に荷重 $P$ が

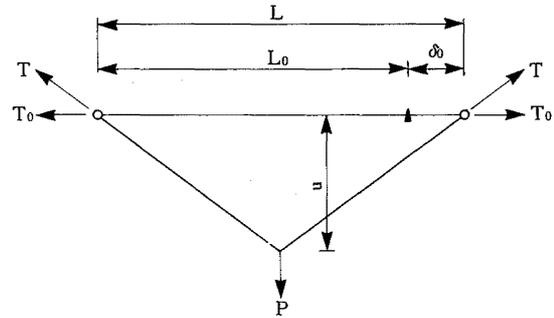


図12

作用し $u$ だけ親綱が垂下したとする。その時の親綱の伸び $\delta$ は

$$\delta = \sqrt{L^2 + 4u^2} - L_0 \quad \dots\dots\dots(17)$$

となり、(16)、(17)式より

$$\delta = \sqrt{L^2 + 4u^2} - \frac{L}{1 + \left( \frac{T_0}{\alpha} \right)^{1/\beta}} \quad \dots\dots\dots(18)$$

で表わされる。よって、(13)、(16)、(18)式より初期張力を含む親綱の張力に関して次式が得られる。

$$T = \alpha \left[ \frac{\sqrt{L^2 + 4u^2}}{L} \left\{ 1 + \left( \frac{T_0}{\alpha} \right)^{1/\beta} \right\} - 1 \right]^\beta \quad \dots\dots\dots(19)$$

なお、上記(19)式の妥当性を検討するため、実験データ $\bar{u}$ ( $u$ の修正値) $T_0, L$ の値を(19)式に代入し親綱の張力を求めた。

図13は親綱の張力について、実験値を縦軸に計算値を横軸に取り、各々プロットしたものである。その結果、実験値と計算値は45°の線上にありほぼ一致する。

よって、(19)式はナイロンロープ製親綱の張力に関する式として表わしても良いものと思われる。

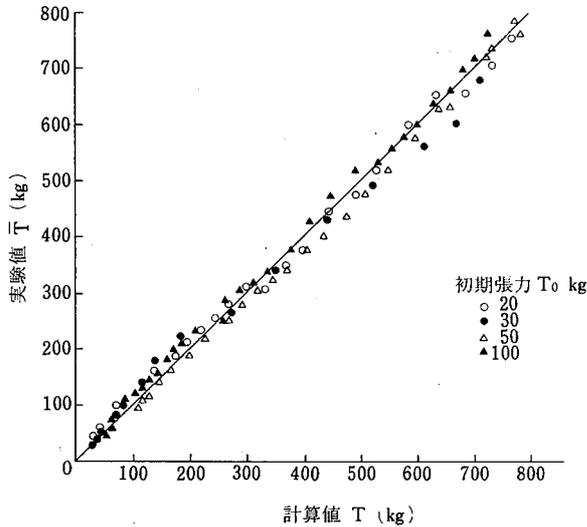


図13 ナイロンロープ製親綱の張力に関する計算値と実験値の比較

### 5. 動荷重実験

#### 5.1 実験方法

動荷重実験は、図14に示すように支持点間に緊張された水平親綱の midpoint を安全带ロープの支点とし、安全带を装着した落体を所定の高さより落下し、落体の落下を阻止した場合における安全带ロープ支点に作用する衝撃荷重、親綱の張力、親綱の垂下量及び落体の垂下量を測定することとした。

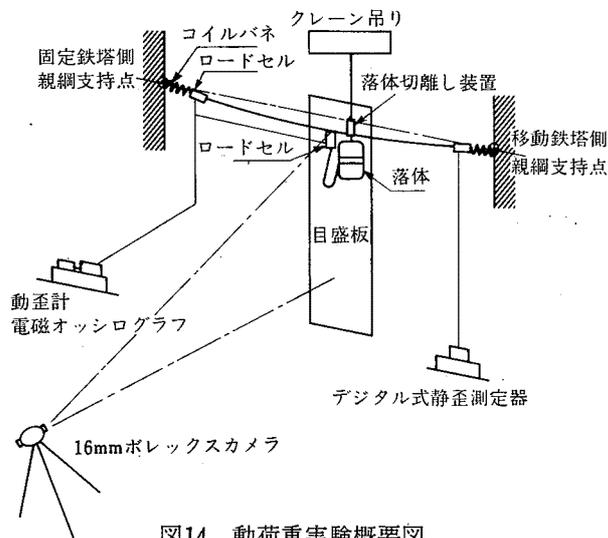


図14 動荷重実験概要図

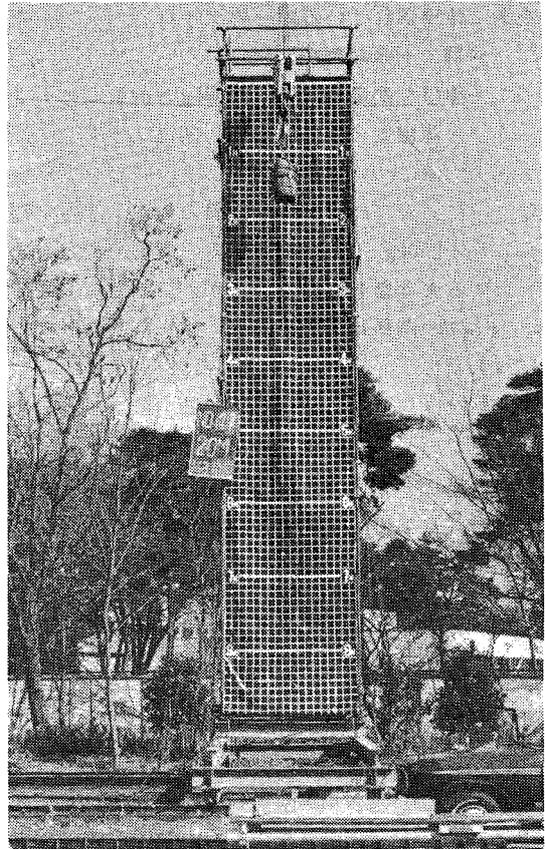


写真2 動荷重実験状況

落体の落下は、落体をクレーンにて所定の高さに吊り上げ、電磁石を利用した落体切り離し装置により落下させた。その時の落下衝撃荷重の測定は、安全带ロープ支点に取付けた1 tonロードセル（ロードセルの長さ275mm）により行なった。

落体は、写真3に示すように径30cm、高さ50cm、重さ75kgの皮製のサンドバッグとし、落体の重心位置に安全带を装着した。

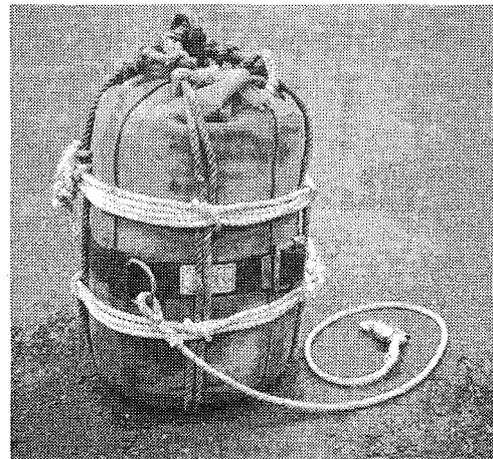


写真3 落体

安全帯は、安全帯のロープがナイロン製で径10mm、長さ1.5mであるA種のものとした。なお、安全帯は、実験毎に安全帯のロープを取替え、安全帯のベルトを締め直した。

衝撃荷重、親綱の張力、親綱の垂下量及び落体の垂下量の測定は3・4の方法によった。

## 5・2 実験の結果と考察

### 5・2・1 親綱の初期張力の影響

様々な初期張力で緊張された親綱に同一の高さより落体が落下して衝撃荷重が作用した場合、親綱の垂下量や張力は初期張力により異なるものと思われる。

図15に同一高さから落体が落下し、親綱に衝撃荷重が作用した場合の初期張力と親綱の衝撃時の張力の関係を示したものである。その結果、初期張力が大きくなるほど衝撃時の親綱の張力は増大する。特にワイヤロープ製親綱は、初期張力50kgまでは親綱の張力が急激に増大するが、それ以上の初期張力では緩やかな増大である。ナイロンロープ製親綱の場合、初期張力の増大に伴う親綱の張力の増大が緩やかで、初期張力200kgの時、初期張力20kgの場合に比較し80kg程度の親綱の張力の増大であった。

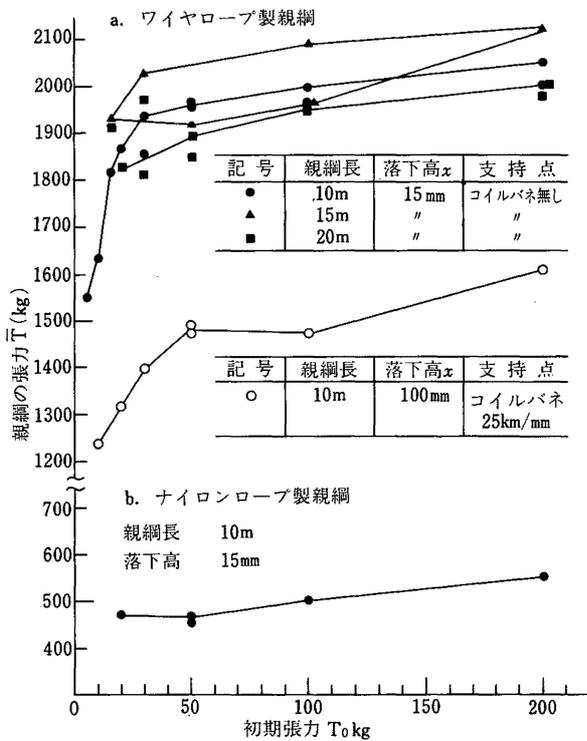


図15 衝撃時における親綱の張力と初期張力の関係

図16は初期張力と衝撃荷重の関係を示したものである。衝撃荷重は初期張力が小さく、ゆるく緊張される程増大するが、これは衝撃時の親綱の張力と逆である。特にワイヤロープ製親綱は20kg以下の初期張力の場合、衝撃荷重は急激に増大する。これは、親綱が弛るんでいると、ピンと張るまでの落下距離が大きくなるためによるものと思われる。なお、20kg以上の初期張力では、衝撃荷重は僅かに減少するが、ほぼ横這いである。

図17は初期張力に対する親綱の垂下量の関係を示したものである。なお、垂下量は親綱取付点の水平レベルを基準とした垂下量を親綱の支持間隔で除した値で表わした。その結果、落体の衝撃時における親綱の垂下量は、初期張力が大きくなるにしたがい、少なくなっていく。ワイヤロープ製親綱の場合20kg以上の初期張力で緊張された場合は垂下量の値は余り変わらず、ほぼ一定とみなして良いものと思われ、親綱支持間隔長の約8%程度の垂下量である。ナイロンロープ製親綱は初期張力が大きくなるに従い親綱の垂下量は直線的に減少していき、初期張力50kgの場合、親綱支持間隔長の約24%の垂下量でありワイヤロープ製親綱に比べ約3倍もの大きな垂下量であった。

落体の垂下量は、親綱の垂下量に安全帯のロープ長と衝撃による安全帯ロープの伸び等（ほぼ一定の値）を加算したものであるが、これと初期張力の関係は、親綱の垂下量の場合と同じ傾向であった。なお、衝撃時における安全帯の長さ（安全帯ロープ支点より落体

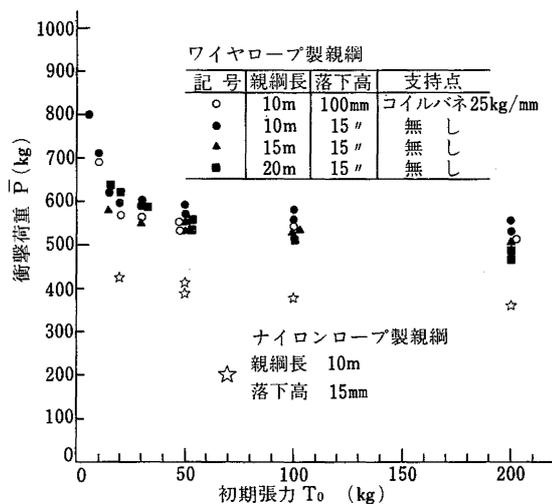


図16 衝撃時における衝撃荷重と初期張力の関係

重心までの長さ)について調べた結果を表7に示す。

表7 衝撃時における安全帯長

記号	親綱種類	親綱長	落下高さ	支持点
○	ワイヤ	10m	100mm	コイルバネ25kg/mm
●	ロープ	10	15	無し
▲		15	15	"
■		20	15	"
☆	ナイロンロープ	10	15	"

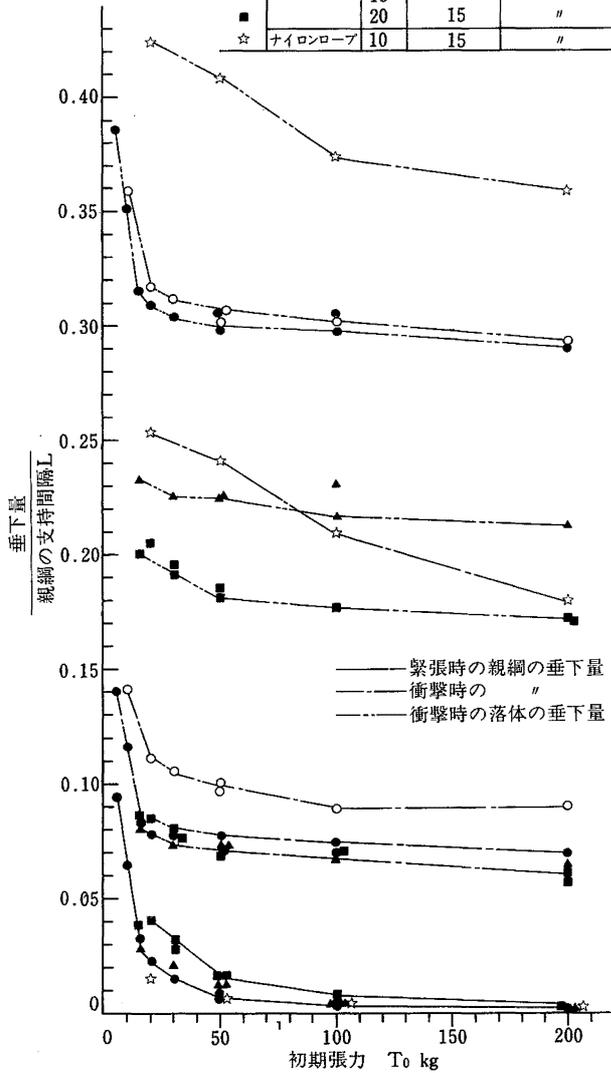


図17 垂下量と初期張力の関係

5・2・2 支支点の剛性による影響

親綱の支持点の剛性が親綱に与える影響を調べるため、支持点にコイルバネを使用した。一般に、支持点にコイルバネを使用することは、剛な支持点に比べより以上の緩衝効果が現われることが予想される。

図18は、支持点にコイルバネを用いたワイヤロープ製親綱について、同一落下高さより落体を落下した場合における衝撃荷重及び親綱の張力を調べたものである。その結果、支持点に取付けたコイルバネのバネ定数が高いほど、衝撃荷重、親綱の張力は大きくなった。

初期張力 To kg	安全帯長 mm			
	親綱長(ワイヤロープ製親綱)			ナイロンロープ製
	10m	15m	20m	
10	2,505			
	2,435			
	2,425	2,355	2,365	
20	2,425			2,215
30				
	2,385	2,375	2,395	
	2,385	2,355	2,365	
50	2,405	2,385	2,355	
	2,385	2,355	2,355	2,245
100	2,435	2,355		
	2,405	2,325	2,285	2,295
200	2,375			
	2,335	2,315	2,265	2,285
平均	2,410	2,352	2,345	2,260
総平均	2,374			

(注) 安全帯長には落体重心までを含む

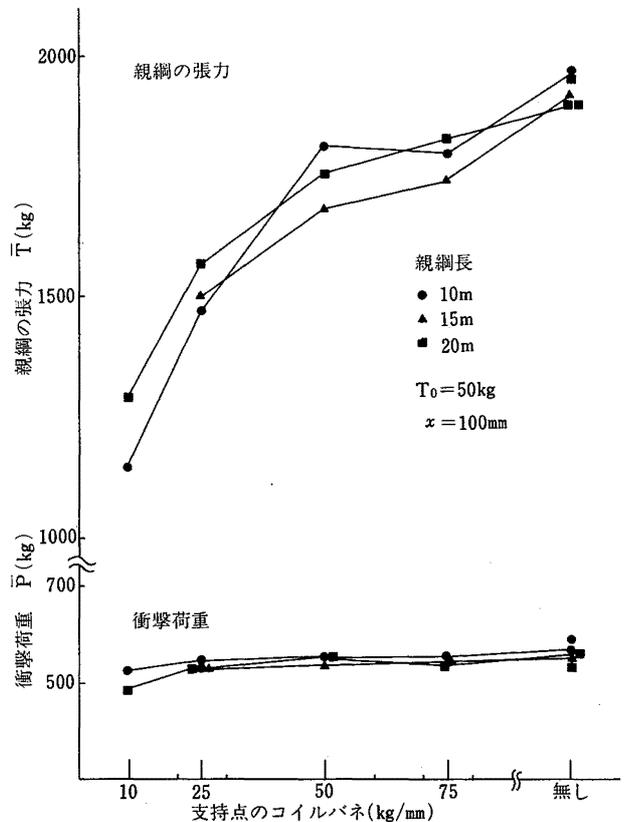


図18 ワイヤロープ製親綱に関する支持点の剛性による影響

しかし、衝撃荷重に関しては、10kg/mmのコイルバネと支持点にコイルバネを用いない剛な場合でも約50kgの差であり、支持点の剛性に余り影響されないと言うことができる。

ナイロンロープ製親綱の支持点にコイルバネを用いた落下衝撃実験結果は表8に示す。その結果、ナイロ

とになる。次に落体の垂下量について検討してみると、落体の垂下量は、衝撃時の親綱の垂下量に表8に示された安全帯の長さ（ほぼ一定の長さである）が加算されるため、その分だけ大きくなる。

以上のことより、親綱の長さは、衝撃荷重や親綱の張力よりは垂下量について大きな影響を与えることに注意する必要がある。

表8 支持点にコイルバネを使用したナイロンロープ製親綱の落下衝撃実験結果

支持点のコイルバネの種類 公称呼 (kg/mm)	支持点の間隔 L(mm)	初期張力 T <sub>0</sub> (kg)	落体の落下位置の高さ x(mm)	衝撃荷重 P(kg)	親綱の張力 T(kg)	親綱の垂下量 u(mm)
5	11,595	50	15	394	444	2,910
10	11,455			384	485	2,490
25	11,585			404	470	2,810
コイルバネ無し	10,895			409	465	2,630

### 5・2・4 落下始点の高さによる影響

図21に落体の落下始点の高さに対する衝撃荷重および親綱の張力の関係を示す。親綱の張力および衝撃荷重は落下始点の高さに対し直線的に比例し、高さが高くなる程、それらの値は増大した。特にワイヤロープ製親綱の場合、高さが2m違うことにより、親綱の張力で700kg、衝撃荷重で350kgの違いがあった。なお

ンロープ製親綱の張力に関しては、ワイヤロープ製親綱のようなコイルバネの影響は余りなかった。また、衝撃荷重についても同様な結果である。これは、支持点に使用したコイルバネのバネ剛性に比較し、ナイロンロープ製親綱の剛性が相当に低いため、支持点のコイルバネの剛性の影響は無視できることを意味しているものと思われる。

### 5・2・3 親綱の長さによる影響

図19に親綱の長さに対する衝撃荷重及び親綱の張力の関係を示す。

親綱の張力は、支持点が剛な場合、親綱の長さの増大に応じて減少し、支持点が弾性的な場合は逆に増大しているようであるが、その増減の程度は少なく、実質的には親綱の長さによる影響は考えなくても良いものと思われる。また、衝撃荷重についても、図19に示す通り、親綱の長さによる影響は、それほどないと考えられる。ただし、これは親綱の長さが10m~20mの場合に対して言えることであり、親綱の長さがかなり短くなると大きな影響が現われてくるかもしれない。

図20に親綱の長さで親綱及び落体の垂下量を親綱の支持間隔で除した値との関係を示す。その結果、親綱の支持間隔に対する親綱の垂下量の比(垂下量比)は、初期状態では親綱の長さの増大に応じて増加し、衝撃時では逆に減少しているようであるが、しかしその差は少ないので親綱の長さに関係なく垂下量比はほぼ一定であるとみなしてよいものと思われる。よって、衝撃時の親綱の垂下量は、親綱の長さにはほぼ比例するこ

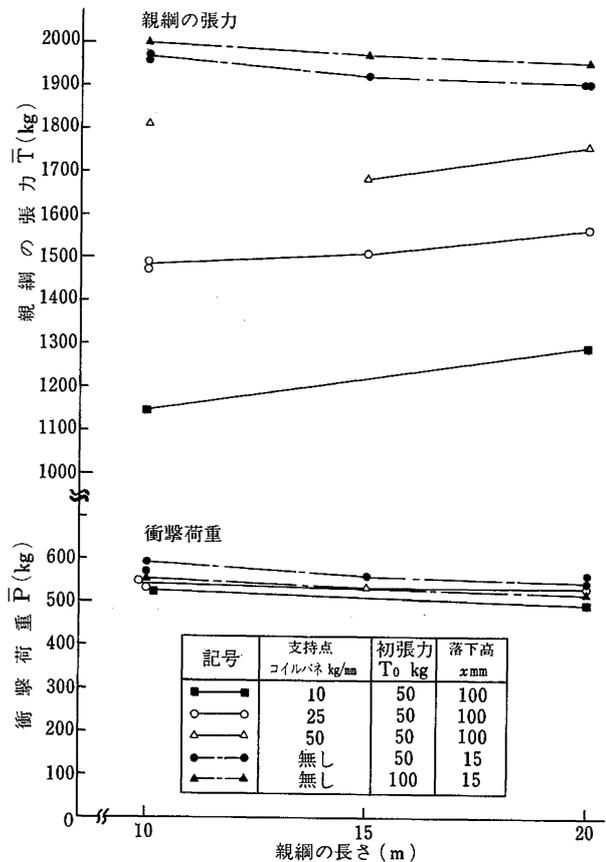


図19 ワイヤロープ製親綱に関する親綱の長さ  
と衝撃荷重・親綱の張力の関係

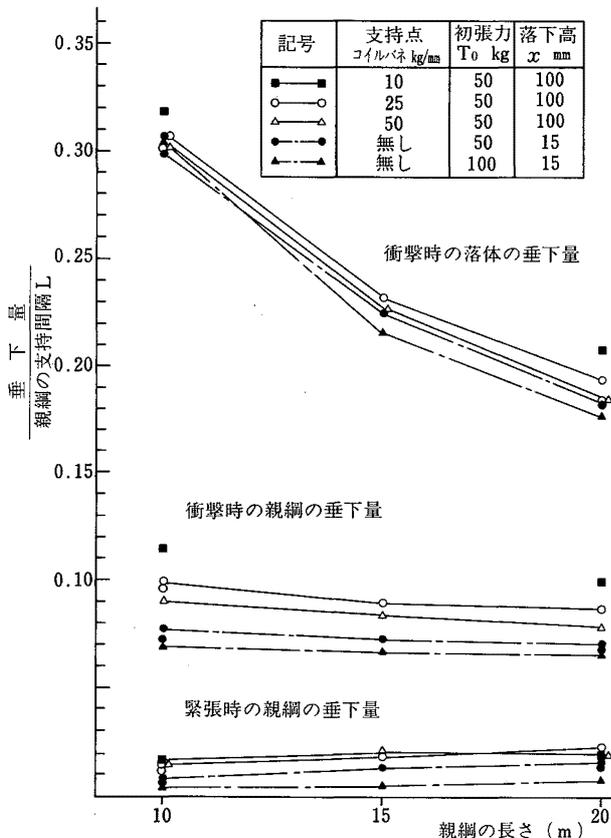


図20 ワイヤロープ製親綱に関する親綱の長さ  
と垂下量の関係

ナイロンロープ製親綱の場合は親綱の張力で 160kg、  
衝撃荷重で 140kgの違いであった。

また、ワイヤロープ製親綱について、支持点にコイ  
ルバネ(25kg/mm)を使用した場合の落下始点の高さ  
による影響を調べてみた(図21参照)。その結果支持点  
が剛の場合に比較し、落下始点の高さによる親綱の張力  
や衝撃荷重への影響は少なかった。

よって、親綱の張力や衝撃荷重は、支持点の剛性の  
低いもの、親綱の緩衝効果の良いもの程、落下高さ  
による影響が少なくなるものと思われる。

5・2・5 安全帯ロープ支点の位置による影響

親綱に対する安全帯ロープ支点の位置の影響につ  
いてワイヤロープ製親綱の長さ10mのものによって調べ  
た。結果は表9に示す。その結果、親綱の張力は安全  
帯ロープの支点が親綱の midpoint もしくは親綱支持点より  
支持間隔の1/2の点にある場合が大きく、それより親綱  
の支持点に近づく程親綱の張力は小さくなった。衝撃  
荷重は親綱の張力とは逆に、安全帯ロープの支点が親  
綱の支持点に近い場合(支持点より50cm)が他の場合  
に比べ大きな値となっているが、他の点の場合の衝撃

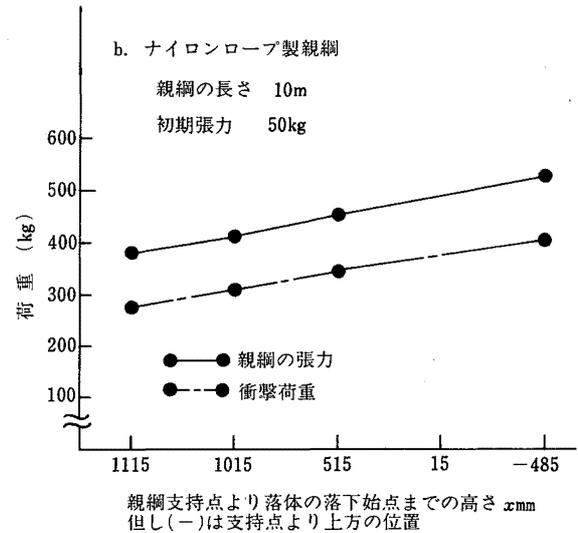
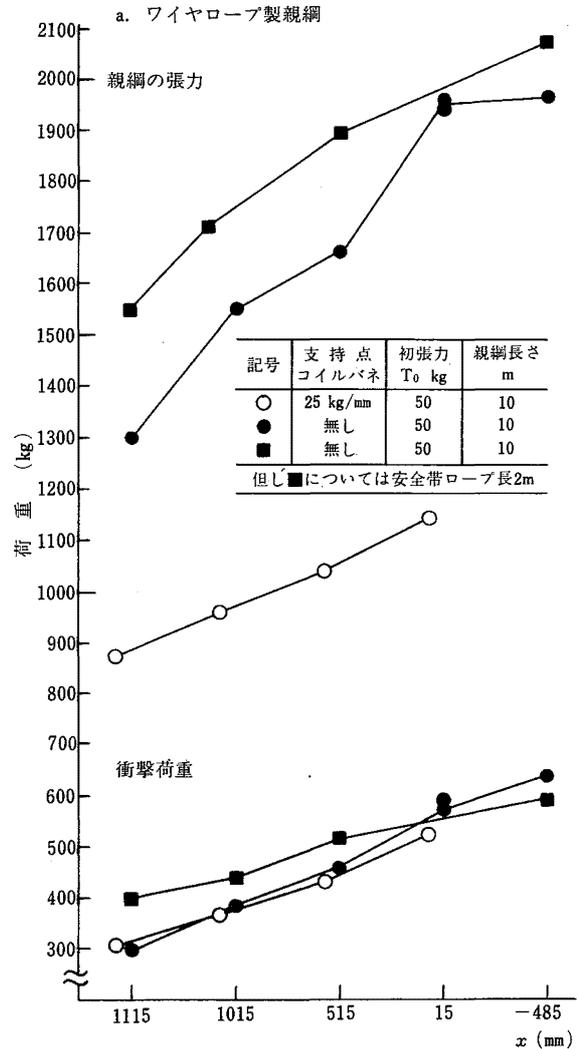


図21 落体の落下始点の高さと衝撃荷重・親綱  
の張力の関係

表9 落下位置による実験結果

	落下位置(支持点より)			
	$\frac{L}{2}$	$\frac{L}{3}$	$\frac{L}{5}$	50cm
衝撃荷重 P kg	455	455	455	480
親綱の張力 T kg	1,660	1,740	1,500	1,230
親綱の垂下量 u mm	700	700	560	310
実験条件	$T_0=50\text{kg}$ $\alpha=515\text{mm}$ 水平親綱の長さ10m $M=75\text{kg}$			

荷重に比べてそれ程大きな値ではない。

また、親綱の垂下量は安全带ロープの支点が親綱の支持点に近づく程少なくなった。

以上のことを総合すると、安全带ロープの支点を親綱の中心に選べば他の点の場合は安全側になるものと考えられる。

### 5・3 衝撃荷重が作用した場合の親綱の張力に関する式の検討

静荷重実験により求めた親綱の張力に関する式(11)(19)が、親綱に衝撃荷重が作用した場合にも適用出来るかを検討した。検討に先立ち、動荷重実験5・2における衝撃荷重P、親綱の張力T、親綱の垂下量uの値を4・2・2で述べた方法により修正し、 $\bar{P}$ 、 $\bar{T}$ 及び $\bar{u}$ を求めそのうちの $\bar{u}$ 、親綱の支持間隔L、及び初期張力 $T_0$ を(11)式、あるいは(19)式に代入して親綱の張力を求め、このTと上記 $\bar{T}$ とを比較した。

図22はワイヤロープ製親綱について実験値( $\bar{T}$ )を計算値(T)で除した値を縦軸に取り、横軸に初期張力 $T_0$ を取りそれぞれプロットしたものである。その結果、ワイヤロープの親綱は静荷重実験の場合ほど実験値と計算値が合致しなかった。特に親綱の初期張力の小さい20kg以下の場合には、計算値に比べ実験値がかなり大きくなり、このような場合には(11)式は不相当であると思われる。初期張力30kg以上の場合には、実験値と計算値の差はかなり小さい。以上のことより、初期張力を30kg以上と定める場合は、ワイヤロープ製親綱の張力に関する式(11)は衝撃荷重の場合にも適用しても

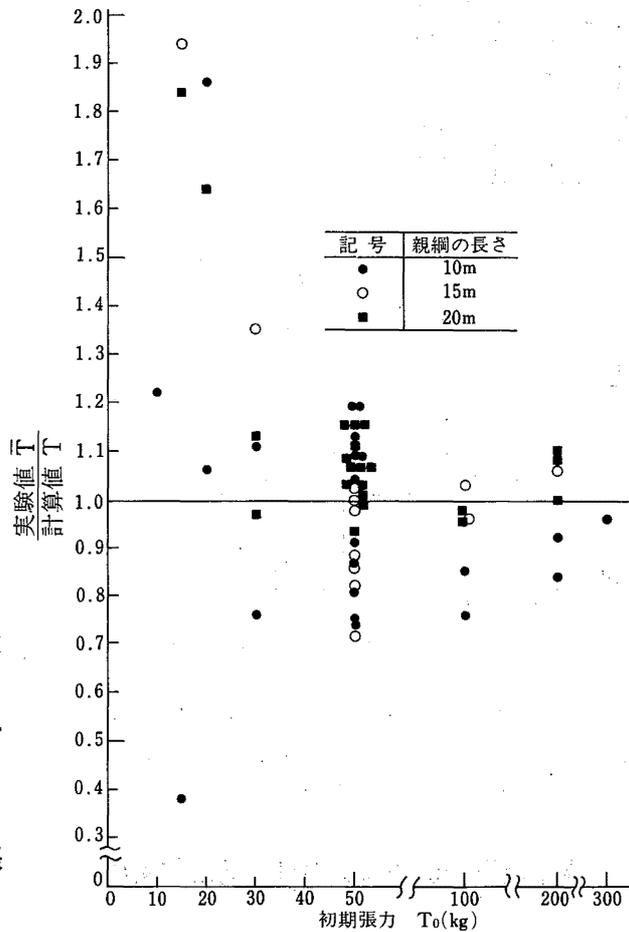


図22 衝撃実験における親綱の張力に関する実験値と(11)式による計算値の比

よいものと思われる。

また、ナイロンロープ製親綱は、ワイヤロープ製親綱に比較しデータが少ないのであるが、一応(19)式により検討を行った。図23(a)に親綱の張力に関し、縦軸に実験値を横軸に計算値を取り、それぞれプロットしたものである。その結果、(19)式による計算値は、初期張力100kg、200kgと大きな初期張力で緊張された場合、実験値とかなりの差があった。これはナイロンロープ製親綱が大きな初期張力で緊張されても、落体の落下前の時間の経過に伴い一旦緊張されていた親綱が伸び、設定時の初期張力が低下することによるものと思われる。そこで(19)式を次のように修正することにした。

$$T = \alpha \left[ \frac{\sqrt{L^2 + 4u^2}}{L} \left\{ 1 + \left( \frac{T_0}{\alpha} \right)^{1/\beta} \right\} - 1 \right] + \frac{T_0}{2} \quad \dots\dots(20)$$

その結果、図23(b)でも判るように、(19)式による計算

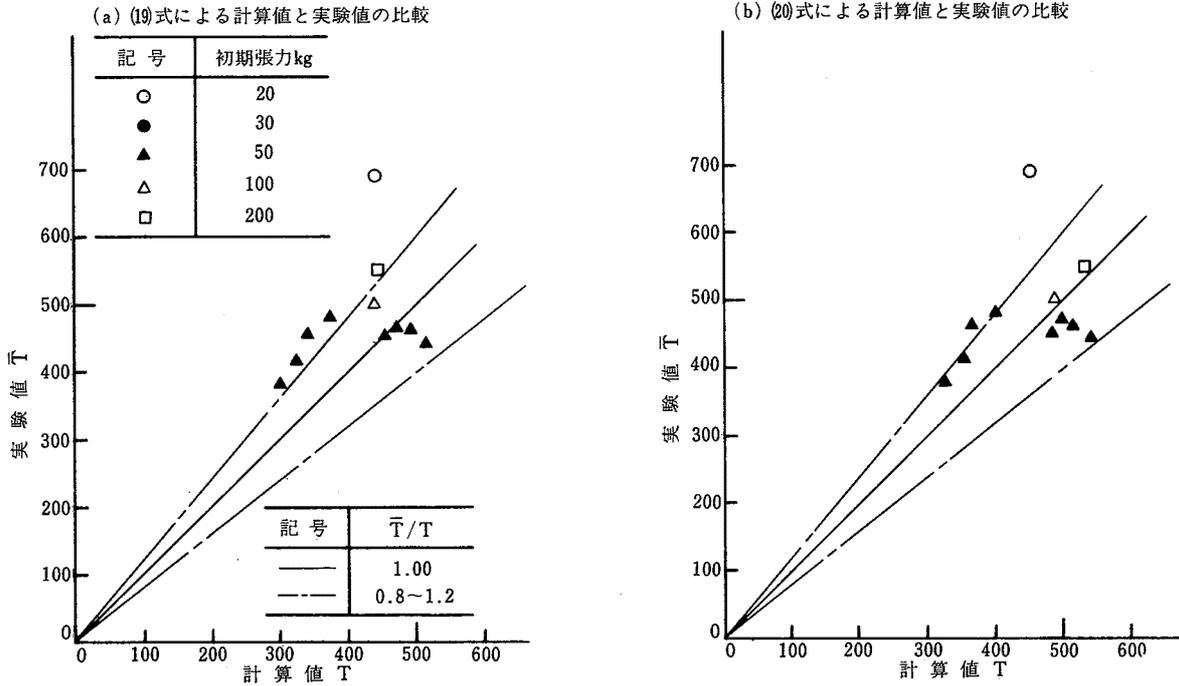


図23 ナイロンロープ製親綱の衝撃時における親綱の張力に関する実験値と計算値の比較

値よりも(20)式による計算値の方が実験値との差が少なくなった。よってナイロンロープ製親綱の張力に関する式は(20)式を適用することにした。

## 6. 水平親綱の衝撃時における理論的考察

### 6.1 力学的特性

ある支持間隔L間にある初期張力 $T_0$ で緊張された親綱の中心に衝撃荷重Pが作用し、垂下量u及び親綱の張力Tが生じた場合、親綱の張力Tは次式より計算できる。

ワイヤロープ製親綱の場合

$$T = K \left( \sqrt{\frac{L^2 + u^2}{4}} - \frac{L}{2} \right) + T_0 - \left[ (6.5 - 0.0002L) + \frac{T_0}{40} \right] \frac{KLW^2}{12T_0^2}$$

ナイロンロープ製親綱の場合

$$T = \alpha \left[ \frac{\sqrt{L^2 + 4u^2}}{L} \left\{ 1 + \left( \frac{T_0}{\alpha} \right)^{1/\beta} \right\} - 1 \right] + \frac{T_0}{2}$$

また、力の釣合より親綱の張力T、衝撃荷重P、垂下量uの間に 次式が得られる。

$$P = 2T \frac{u}{\sqrt{\frac{L^2}{4} + u^2}} = T \frac{u}{\sqrt{L^2 + 4u^2}}$$

### 6.2 落体の落下阻止時の衝撃

親綱の中点を安全带ロープの支点として、安全带を装着した重量M(kg)の落体が、親綱の下方x(mm)の位置より自由落下し、親綱がu(mm)だけ垂下した図24の状態では落下を阻止されたとすると、エネルギーに関して次式が得られる。

$$M(u + \ell + \varepsilon - x) = E_1 + E_2 \quad \dots\dots(21)$$

- 但し、 $\ell$  : 安全带の無荷重時の長さ (mm)
- $\varepsilon$  : 衝撃による安全带の伸び (mm)
- $E_1$  : 安全带の弾性エネルギー (kg・mm)
- $E_2$  : 親綱の弾性エネルギー (kg・mm)

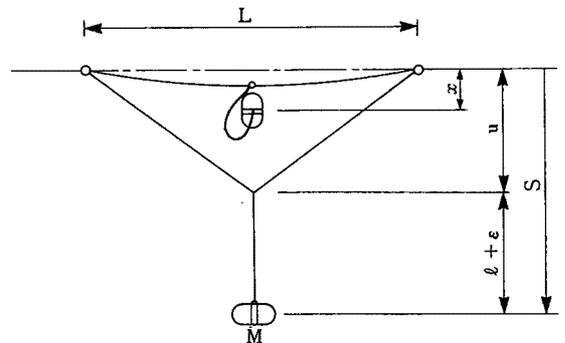


図24

なお、(2)式は衝撃時にエネルギーの損失がない場合であり、もし衝撃時にエネルギーの損失があれば、(2)式の右辺 ( $E_1 + E_2$ ) に  $\eta$  なる補正係数を乗ずる必要が生じる。そこで(2)式の左辺を右辺で除した  $M(u + l + \epsilon - x) / (E_1 + E_2)$  の値を  $\eta$  とし動荷重実験の結果より、それぞれの実験における  $\eta$  の値を求め、(2)式に補正係数を乗ずる必要があるかどうかについて調べた。

$\eta$  の値を求めるために、安全帯の伸び  $\epsilon$ 、安全帯の弾性エネルギー  $E_1$ 、親綱の弾性エネルギー  $E_2$  の値を求める必要がある。よって、それらの値を求めるに当たっては次に示す方法によった。

(1) 安全帯の伸び及び弾性エネルギーについて

安全帯の伸び及び弾性エネルギーは安全帯の引張試験により求めた。引張試験は直径26cmの鉄製ドラムに安全ベルトを締め付けた状態で安全帯ロープを構型引張試験により引張った。その時の荷重と伸びを測定した。その結果を25図に示す。

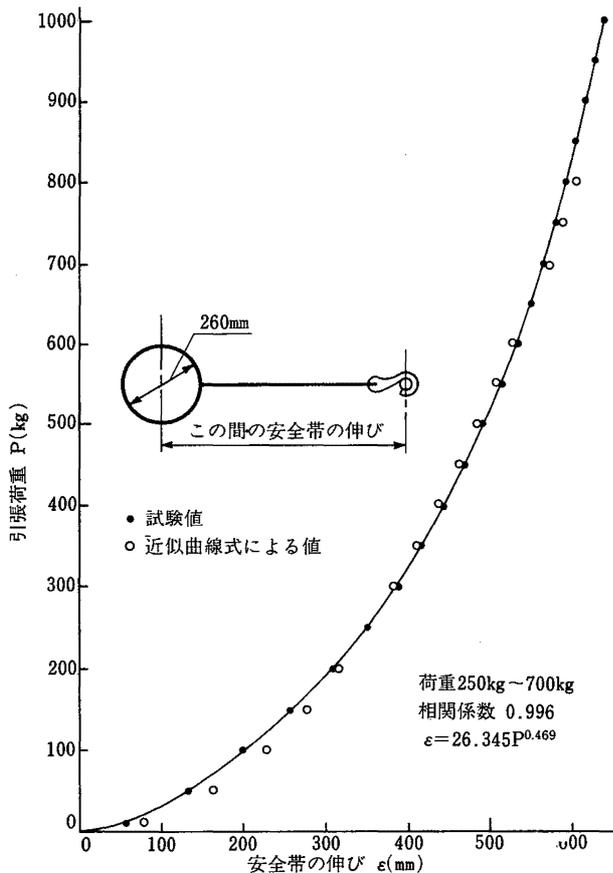


図25 安全帯の引張試験における荷重-伸び

(a) 安全帯の伸び

安全帯の伸び  $\epsilon$  は引張試験の結果より、落体の落下阻止時における衝撃荷重の作用範囲と思われる 250kg から 650kg 間の荷重に対し、近似する荷重-伸び曲線を求め、次式のようなべき関数で表わした。

$$\epsilon = ap^b \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots(22)$$

但し、A種安全帯で安全帯ロープの長さ 1.5m の場合

$$a : 26.3448$$

$$b : 0.4689$$

(b) 安全帯の弾性エネルギー

安全帯の弾性エネルギー  $E_1$  は、図25において、図形を積分することによって求めた。図26に荷重に対する弾性エネルギーの関係を示す。その結果、安全帯の弾性エネルギー  $E_1$  は、次式のようなべき関数で近似化される。

$$E_1 = cp^d \text{ (kg} \cdot \text{mm)} \quad \dots\dots\dots(23)$$

但し、A種安全帯で安全ロープの長さ 1.5m の場合

$$c : 15.845$$

$$d : 1.3773$$

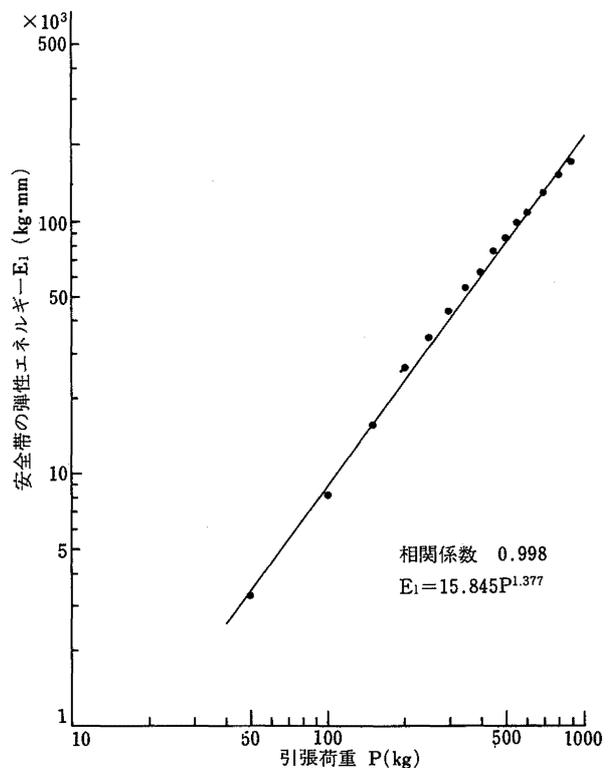


図26 安全帯の弾性エネルギーと荷重の関係

(2) 水平親綱の弾性エネルギー

(a) ワイヤロープ製親綱の弾性エネルギー

ワイヤロープ製親綱は、親綱の張力と伸びの関係を線型の弾性体として取扱った。よって、親綱の弾性エネルギーE<sub>2</sub>は次式によって表わされる。

E<sub>2</sub> = T<sup>2</sup> / K (kg・mm) .....(24)

なお、衝撃荷重の作用のみによる親綱の弾性エネルギーE<sub>2</sub>は次式によって表わされる。

E<sub>2</sub> = (T<sup>2</sup> - T<sub>0</sub><sup>2</sup>) / K (kg・mm) .....(25)

(b) ナイロンロープ製親綱の弾性エネルギー

ナイロンロープ製親綱は親綱の張力と伸びの関係を非線型の弾性体として取扱った。そこで、ナイロンロープ製親綱の弾性エネルギーE<sub>2</sub>は、親綱の引張試験による引張荷重-伸び率を表わした図11(4・2・3(2)(b))において図形を積分することによって求めた。図27に引張荷重に対する弾性エネルギーの関係を示す。その結果、親綱の単位長さに対する弾性エネルギーξT<sup>ν</sup>(kg・mm)のようなべき関数で近似化されるので、親綱の無張力時の長さをL<sub>0</sub>(mm)とすると、親綱の弾

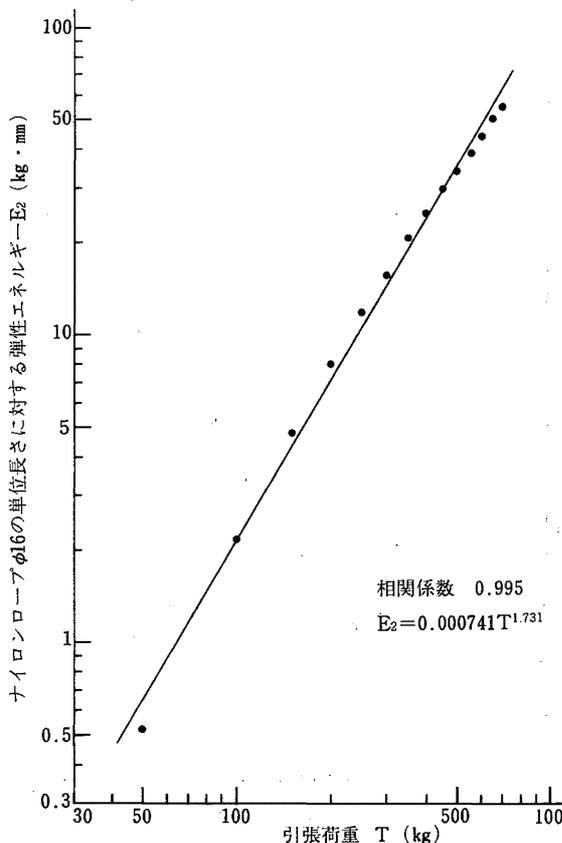


図27 ナイロンロープ製親綱(φ16mm)の弾性エネルギーと荷重の関係

性エネルギーE<sub>2</sub>は

E<sub>2</sub> = ξT<sup>ν</sup>L<sub>0</sub>(kg・mm) .....(26)

となり、(16)式より次式が得られる。

E<sub>2</sub> = ξT<sup>ν</sup> \* L / (1 + (T<sub>0</sub>/α)<sup>1/β</sup>) (kg・mm) .....(27)

但し、16mmナイロンロープ製親綱の場合

ξ: 0.000741

ν: 1.731

なお、(27)式の弾性エネルギーE<sub>2</sub>は、親綱の無張力時の長さよりのものである。よって初期張力T<sub>0</sub>で緊張された親綱に衝撃荷重のみが作用したことによる親綱の弾性エネルギーE<sub>2</sub>は次式によって表わされる。

E<sub>2</sub> = ξ(T<sup>ν</sup> - T<sub>0</sub><sup>ν</sup>) \* L / (1 + (T<sub>0</sub>/α)<sup>1/β</sup>) .....(28)

6・2・2 エネルギーの補正

動荷重実験結果より、各々の実験について、補正係数ηの値を求めた結果を表10に示す。その結果ワイヤロープ製親綱の実験については、ηの値が1.52~1.02の範囲にあり、平均1.24の値であった。また、ナイロンロープ製親綱の場合は、ηの値が1.20~0.87の範囲にあり平均1.0の値であった。ナイロンロープ製親綱の場合、緩衝性が良く、衝撃荷重をふんわりと受けるため、エネルギーの損失が殆んどないものと思われる。

よって、ワイヤロープ製親綱については、(21)式の右辺にη=1.24の補正係数を乗ずることにした。

ワイヤロープ製親綱の場合

M(u + l + ε - x) = 1.24(E<sub>1</sub> + E<sub>2</sub>) .....(29)

ナイロンロープ製親綱の場合

M(u + l + ε - x) = E<sub>1</sub> + E<sub>2</sub> .....(30)

6・3 計算式の妥当性の検討

落体が親綱の下方xから落下した場合における安全帯の衝撃荷重P、親綱の垂下量u、落体の垂下量Sの値を計算式により求め、実験値と比較を行い計算式の妥当性について検討した。なお、比較検討の対象としたのは初期張力30kg以上である。

計算式は次に示す順序で行った。

- 1) uの値を仮定する。
2) ワイヤロープ製親綱は(1)式と(11)式、ナイロンロープ製親綱は(1)式と(20)式よりTの値を求める。
3) 1)と2)の結果に基づき(1)式よりPの値を求める。

- 4) 以上の結果に基づきワイヤロープ製親綱は(29)式、ナイロンロープ製親綱は(30)式より $x$ の値を求める。  
5)  $x$ の値が実験における $x$ の値に一致するまで1)~4)を繰り返す。一致した時のT, P, u, Sの値が計算値である。

図28の(a)~(d)はP, T, u, Sの値について縦軸に計算値を横軸に実験値を取り各々プロットしたものである。又、実験値を計算値で除した値について表11に示す。その結果、T, P, u, Sについて実験値と計算値の比が0.9~1.1の範囲、即ち、実験値に対する計算値と実験値の差が10%以内であるものが、ワイヤロープ製親綱で実験数51件中の約90%、ナイロンロープ製親綱で実験数12件中の100%を占めている。よって、初期張力30kg以上で緊張された親綱に関しては、これまで述べた計算式は妥当なものと思われる。

#### 6・4 計算式の応用例

これまで述べてきた計算式による計算例として、実際に近いと思われる次の条件を考慮した計算を行い、実際の場合に参考にしたい。

- イ) 親綱は $\phi 9$ mmのワイヤロープ又は $\phi 16$ mmのナイロンロープ  
ロ) 支柱のバネ剛性10kg/mm  
ハ) 安全帯はA種で安全帯ロープはナイロン $\phi 10$ mm、長さ1500mm。  
ニ) 落体の重量75kg  
ホ) 落体の重心位置は作業床上900mm

以上の結果として、親綱の張力、衝撃荷重、親綱の垂下量及び落体の垂下量に関して完末の参考表1, 2が得られた。

表10 エネルギーの補正係数  $\eta$  の値

親綱の種類		支持点のコイル バネの種類 公称呼(kg/mm)	$\eta$ の 値	回数
材 料	長さ(mm)			
ワイヤ ロープ $\phi 9$ mm	10,000	10	1.09~1.14	4
		25	1.05~1.38	8
		50	1.07	1
		75	1.17	1
		無	1.28~1.52	18
	15,000	25	1.14	1
		50	1.18	1
		75	1.18	1
		無	1.13~1.52	9
	20,000	10	1.03	1
		25	1.08	1
		50	1.02~1.09	2
		75	1.07	1
		無	1.14~1.30	11
	平均		1.24	
ナイロン ロープ $\phi 16$ mm	10,000	5	1.2	1
		10	0.98	1
		25	1.06	1
		無	0.87~1.10	8
	平均		1.00	

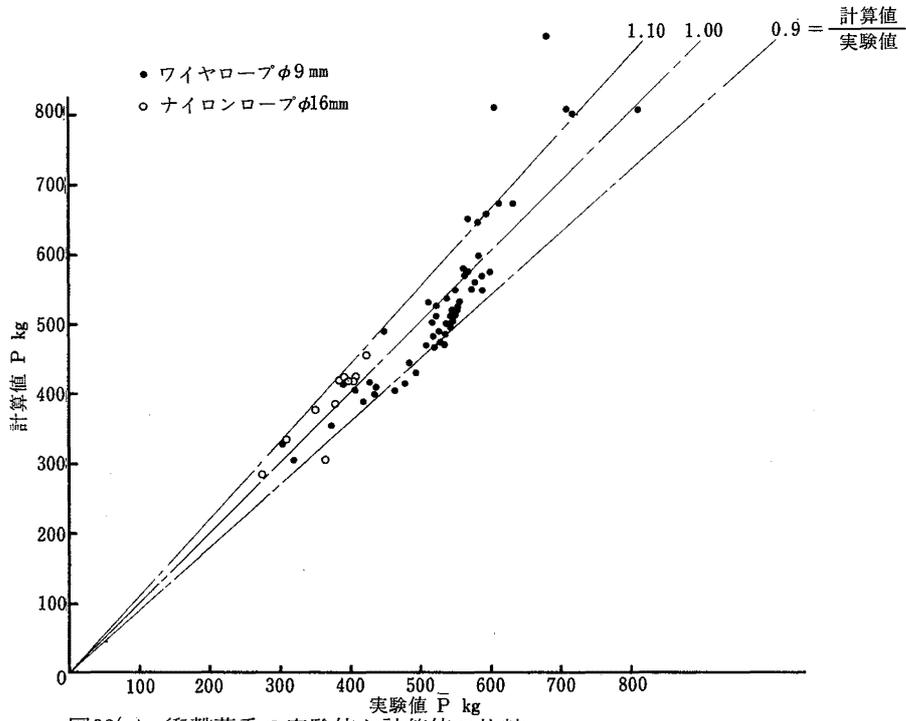


図28(a) 衝撃荷重の実験値と計算値の比較

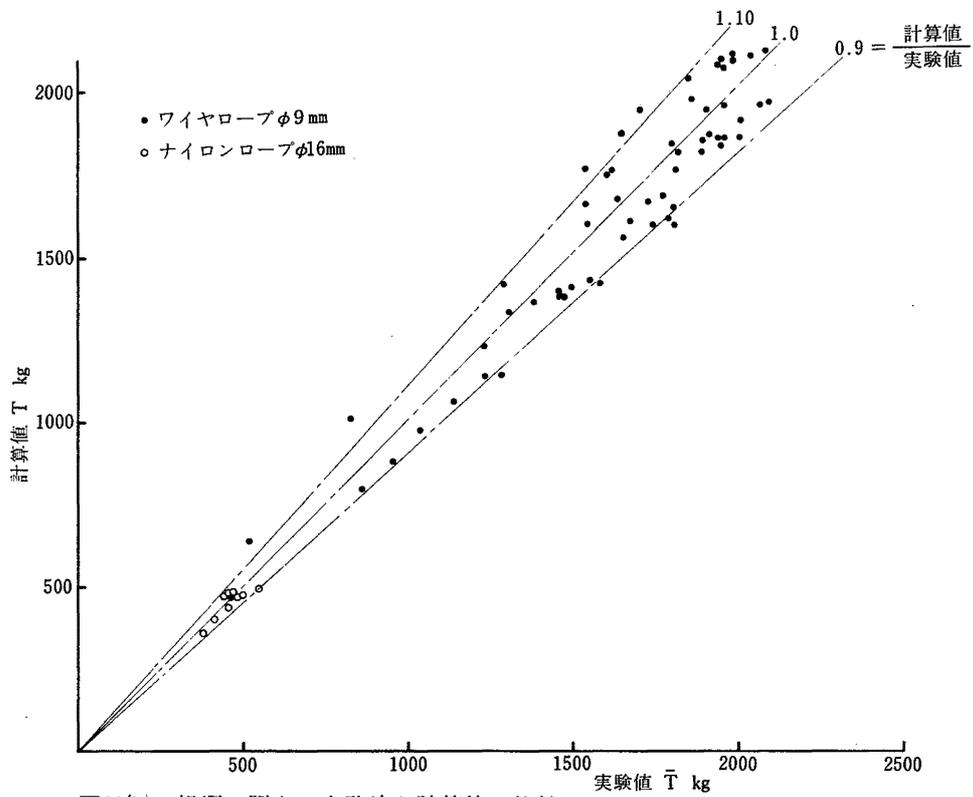


図28(b) 親網の張力の実験値と計算値の比較

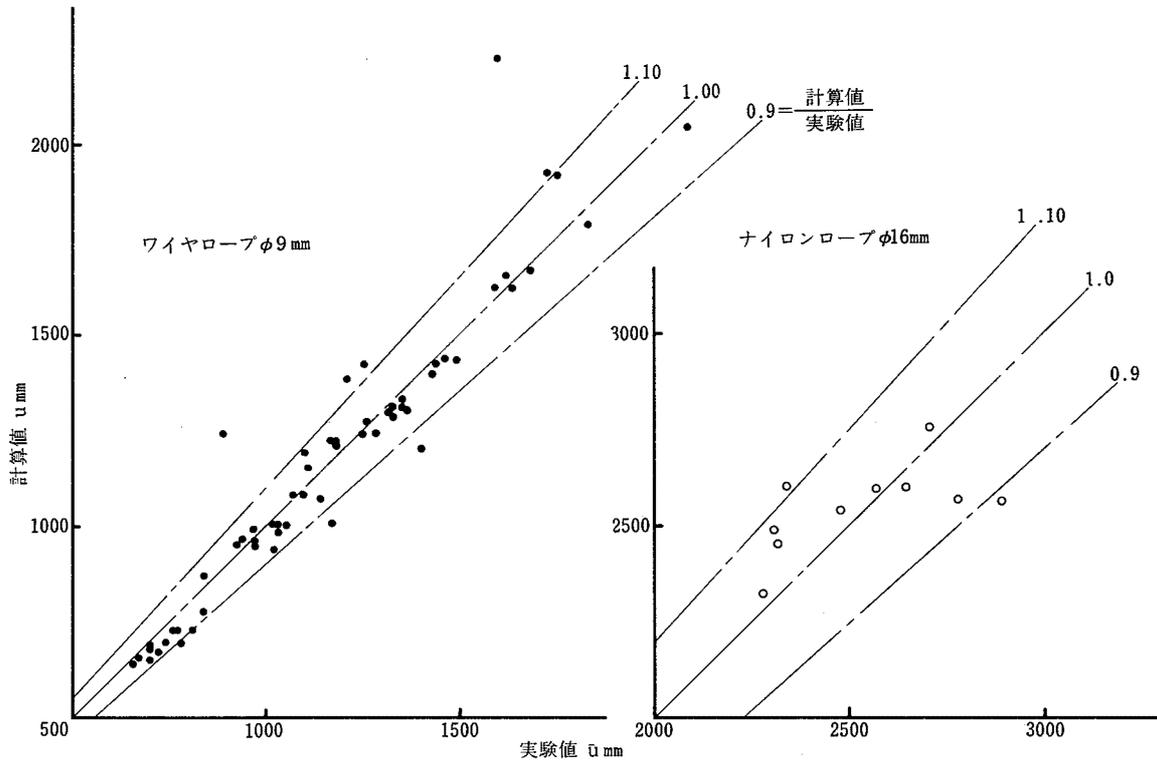


図28(c) 親綱の垂下量の実験値と計算値の比較

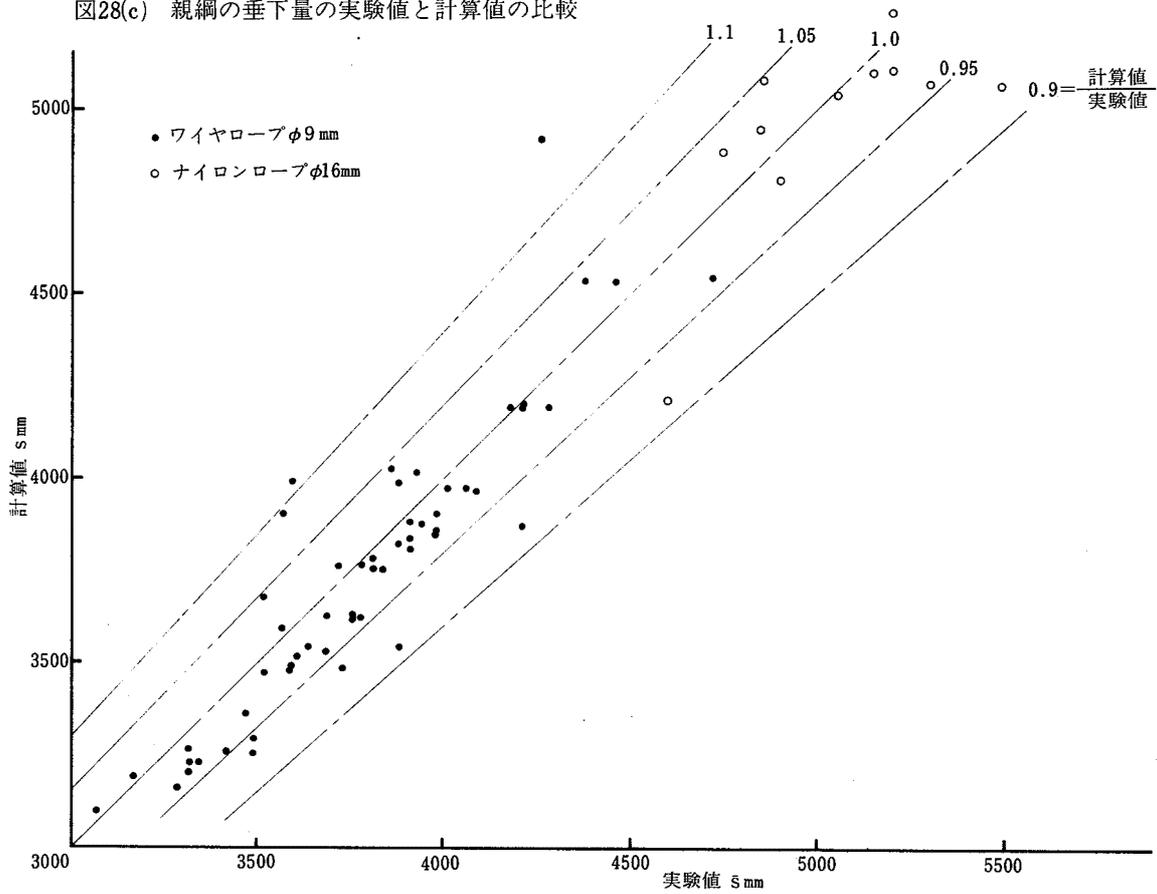


図28(d) 落体重心の垂下量の実験値と計算値の比較

表11 落下衝撃実験における実験値について  
計算値

親綱の 種類	比較対称 の種類		実験値/計算値				計	
			0.9未満	0.9~1.0未満	1.0~1.1未満	1.1以上		
ワイヤロープ 製親綱	衝撃荷重 P	実験数	2	14	30	5	51	
		割合	0.039	0.275	0.588	0.098	1.0	
	親綱張力 T	実験数	2	18	27	4	51	
		割合	0.039	0.353	0.529	0.079	1.0	
	親綱垂下量 u	実験数	1	17	32	1	51	
		割合	0.02	0.333	0.627	0.02	1.0	
	落体垂下量 S	実験数		11	40		51	
		割合		0.216	0.784		1.0	
	ナイロンロープ 製親綱	衝撃荷重 P	実験数		7	5		12
			割合		0.583	0.417		1.0
親綱張力 T		実験数		4	8		12	
		割合		0.333	0.667		1.0	
親綱垂下量		実験数	2	3	7		12	
		割合	0.17	0.25	0.58		1.0	
落体垂下量		実験数		10	2		12	
		割合		0.83	0.17		1.0	

さて、以上の結果とその前提条件とを同時に勘案すると、このような水平親綱システムの使用においては、次のような注意が必要であると考えられる。

- 1) 安全帯はロープ長 1.5m 程度のものを使用する。
- 2) 親綱は作業床上より 90cm 以上の位置に取付けるものとする。
- 3) 親綱はゆるみのないよう緊張すること。(初期張力 30kg~50kg)
- 4) 親綱がワイヤロープの場合、親綱支柱は 10kg/mm 程度のバネ剛性を有するものを設置する。
- 5) 親綱支柱は、表12に示す以下の設置間隔で設置する。
- 6) 親綱支柱は、表13に示す作用荷重に対し安全な

ものとする。

表13 親綱支柱に対する作用力

水平親綱 の種類	作用力 kg	
	鉛直力	水平力
ワイヤロープ	320-70h	1,250-150h
ナイロンロープ		530-80h

h: 作業床上より水平親綱取付点までの高さ(m) 0.9(m) ≤ h ≤ 2.0(m)

表12 親綱支柱の設置間隔

水平親綱 の種類	親綱支柱を設置した 作業床の地上よりの 高さ(単位、層)	親綱支柱の設置間隔 (単位スパン)
ワイヤロープ	2	4
	3以上	10
ナイロンロープ	2	1
	3	5
	4以上	8

## 7. むすび

以上、水平親綱について、静荷重実験および動荷重実験を行ない、水平親綱に関する力学的特性について調べ、又、水平親綱に関して衝撃荷重、親綱の張力、親綱の垂下量及び落体の垂下量に関する計算式を求めた。以下にその要点を述べる。

1) ワイヤロープ製親綱においては親綱の張力は、支持点の剛性が高くなるほど大きくなるが、衝撃荷重は余り支持点の剛性に影響されない。一方、ナイロンロープ製親綱においては、親綱の張力および衝撃荷重は支持点の剛性が変わってもほぼ一定の値である。

2) 水平親綱の緊張時の初期張力が大きい程、親綱の張力は増大するが、逆に衝撃荷重は減少する。特にワイヤロープ製親綱は、初期張力10kg~30kgの範囲で、その傾向が顕著である。

3) ワイヤロープ製親綱及びナイロンロープ製親綱について、落体の落下阻止時における安全带支点の衝撃荷重、親綱の張力、親綱の垂下量及び落体の垂下量は親綱の緊張時の初期張力30kg~200kgの範囲において、次によって求められる。

記号

L: 親綱の支持間隔長 (mm)

T: 親綱の張力 (kg)

P: 衝撃荷重 (kg)

T<sub>0</sub>: 親綱の初期張力 (kg)

M: 落体の重量 (kg)

x: 親綱設置線より落体重心までの距離(落下前の)(mm)

u: 親綱中点の垂下量 (mm)

S: 落体重心の垂下量 (mm)

ℓ: 安全带ロープのみかけの長さ(落体の重心より安全带支点までの長さ) (mm)

ε: 安全带ロープの伸び (mm)

E<sub>1</sub>: 安全带の弾性エネルギー(kg・mm)

E<sub>2</sub>: 親綱の弾性エネルギー(kg・mm)

イ) ワイヤロープ製親綱の場合

$$P=2T \frac{u}{\sqrt{\frac{L^2}{4}+u^2}}$$

$$T=K \left( \sqrt{\frac{L^2}{4}+u^2} - \frac{L}{2} \right) + T_0 - \left\{ (6.5-0.0002L) + \frac{T_0}{40} \right\} \frac{KLW}{12T_0^2}$$

$$W = \frac{wL}{2} \quad \frac{1}{K} = \frac{L}{2\lambda} + \frac{1}{K_1}$$

W: 片半分の親綱の重量 (kg)

但し w: ワイヤロープの単位長さの重量(kg/mm)  
(φ9mmワイヤロープの場合0.00027kg/mm)

K: 片半分の親綱のバネ定数 (kg・mm)

λ: ワイヤロープの単位長さのバネ定数(kg)  
(φ9mmワイヤロープの場合238000kg)

K<sub>1</sub>: 水平親綱支持点のバネ剛性(kg/mm)

$$M(u+\ell+\varepsilon-x)=1.24(E_1+E_2)$$

$$\varepsilon=ap^b \text{ (mm)}$$

$$a=26.3448 \left\{ \begin{array}{l} \text{A種安全帯の}\phi 10\text{mmナイロンロープ} \\ \text{一ブ長さ1.5mの場合} \end{array} \right.$$

$$b=0.4689$$

$$E_1=cp^d \text{ (kg}\cdot\text{mm)}$$

$$c=15.845 \left\{ \begin{array}{l} \text{A種安全帯の}\phi 10\text{mmナイロンロープ} \\ \text{一ブ長さ1.5mの場合} \end{array} \right.$$

$$d=1.3773$$

$$E_2 = \frac{T^2 - T_0^2}{K} \text{ (kg}\cdot\text{mm)}$$

ロ) ナイロンロープ製親綱の場合

$$P=2T \frac{u}{\sqrt{\frac{L^2}{4}+u^2}}$$

$$T = \alpha \left[ \frac{\sqrt{L^2+4u^2}}{L} \left\{ 1 + \left( \frac{T_0}{\alpha} \right)^{1/\beta} \right\} - 1 \right]^\beta + \frac{T_0}{2}$$

$$\alpha=4780 \text{ (kg)} \left\{ \begin{array}{l} \phi 16\text{mmナイロンロープ} \\ \text{ブ製水平親綱の場合} \end{array} \right.$$

$$\beta=1.227$$

$$M(u+\ell+\varepsilon-x)=E_1+E_2$$

$$\varepsilon=ap^b \text{ (mm)}$$

$$a=26.3448$$

$$b=0.4689$$

$$E_1=cp^d \text{ (kg}\cdot\text{mm)}$$

$$c=15.845$$

$$d=1.3773$$

$$E_2 = \xi(T^\nu - T_0^\nu) \frac{L}{1 + \left( \frac{T_0}{\alpha} \right)^{1/\beta}} \text{ (kg}\cdot\text{mm)}$$

$$\xi=0.000741 \left\{ \begin{array}{l} \phi 16\text{mmナイロンロープ製水平親} \\ \text{綱の場合} \end{array} \right.$$

$$\nu=1.731$$

最後に水平親綱の使用に当たっては、共づり防止のため、作業者1人に1本の水平親綱の使用が望ましいとされているが、足場の組立・解体作業に1人に1本の水平親綱の使用は実情にそぐわない。そのためには、1本の水平親綱に複数の作業者の使用が考えられるため、複数人の使用における共づり等に関する問題について検討する必要があるものと思われる。

## 謝 辞

本研究のために協力していただいた仮設工業会、藤井電工及びその他実験に協力していただいた方々に心から感謝いたします。

## 参 考 文 献

- 1) “安全帯構造指針，安全帯使用指針”産業安全研究所技術指針 RIIS-TR-76-3
- 2) “親綱支柱の構造等に関する技術基準”社団法人仮設工業会
- 3) “棹組足場の組立，解体作業時の命綱の安全性についての実験”技術研究所報№3 佐藤工業1976

(昭57.2.1 受付)

参考表1 φ9mmワイヤーロープ製水平親綱に関するP, T, u, Sの計算結果

親綱緊張時の張力 T <sub>0</sub> (kg)	親綱の床上よりの設置高さ h (cm)	区 分	親綱の支持間隔 L (m)							
			5.4	7.2	9.0	10.8	12.6	14.4	16.2	18.0
20	90	P kg	513	495	482	472	465	459	453	448
		T kg	938	985	1021	1049	1073	1093	1111	1126
		u cm	77	93	109	125	140	154	169	183
		S cm	303	319	335	350	364	379	393	406
	150	P kg	425	414	407	402	399	396	394	392
		T kg	825	872	908	938	964	987	1006	1024
		u cm	72	88	103	119	133	148	162	175
		S cm	295	310	325	340	354	369	383	396
	200	P kg	344	340	339	339	339	340	341	341
T kg		714	761	800	832	860	885	907	927	
u cm		67	83	98	112	127	141	155	168	
S cm		285	301	316	330	345	359	373	386	
50	90	P kg	501	478	461	446	435	425	416	408
		T kg	944	990	1025	1052	1074	1092	1107	1120
		u cm	74	90	104	117	130	143	155	167
		S cm	300	315	328	341	353	365	377	389
	150	P kg	413	397	386	376	369	362	357	352
		T kg	830	875	910	938	962	981	998	1013
		u cm	69	84	98	111	123	135	147	159
		S cm	291	305	318	331	343	355	366	377
	200	P kg	331	323	317	312	308	305	302	300
T kg		717	763	799	828	853	875	894	911	
u cm		64	78	91	104	116	127	139	150	
S cm		282	295	308	320	332	344	355	366	
100	90	P kg	491	468	449	434	422	411	402	394
		T kg	951	996	1029	1055	1076	1093	1108	1120
		u cm	72	87	101	114	126	138	149	161
		S cm	298	312	324	337	348	360	371	382
	150	P kg	404	387	375	364	356	349	342	337
		T kg	836	880	914	941	963	981	997	1011
		u cm	67	81	94	107	118	130	141	152
		S cm	289	302	314	326	337	348	359	370
	200	P kg	322	312	305	300	295	291	288	285
T kg		722	767	801	829	853	873	891	907	
u cm		62	75	87	99	111	122	133	143	
S cm		279	291	303	315	326	337	348	358	
200	90	P kg	477	453	434	418	406	395	385	377
		T kg	969	1012	1043	1068	1087	1103	1116	1127
		u cm	69	83	96	108	120	131	142	153
		S cm	294	307	319	330	341	352	362	373
	150	P kg	389	372	359	348	339	332	325	320
		T kg	854	896	928	952	973	990	1004	1017
		u cm	63	76	89	100	112	122	133	143
		S cm	284	296	308	319	330	340	350	360
	200	P kg	308	298	290	283	278	274	270	267
T kg		740	781	813	839	861	880	896	910	
u cm		57	70	81	93	103	114	124	134	
S cm		274	285	297	307	318	328	338	347	

参考表2 φ16mmナイロンロープ製水平親綱に関するP, T, u, Sの計算結果

親綱緊張時の張力 To (kg)	親綱の床上よりの設置高さ h (cm)	区 分	親綱の支持間隔 L (m)							
			5.4	7.2	9.0	10.8	12.6	14.4	16.2	18.0
20	90	P kg	512	474	447	426	410	398	387	378
		T kg	521	492	471	456	443	433	425	418
		u cm	152	198	242	286	329	372	415	457
		S cm	379	423	466	509	551	593	635	677
	150	P kg	436	409	391	377	366	357	350	344
		T kg	463	442	427	416	408	401	395	390
		u cm	144	188	231	274	316	358	400	442
		S cm	367	410	452	494	536	577	619	661
	200	P kg	366	351	340	332	326	321	317	314
		T kg	408	396	387	380	375	371	368	365
		u cm	136	178	220	262	304	345	387	428
		S cm	355	397	438	480	521	562	604	645
50	90	P kg	490	449	420	398	381	367	356	347
		T kg	524	493	471	454	440	429	420	412
		u cm	143	184	224	264	303	341	379	417
		S cm	368	408	447	485	523	561	598	635
	150	P kg	412	383	363	347	335	326	318	311
		T kg	465	442	425	413	403	395	388	383
		u cm	134	173	212	250	288	326	363	400
		S cm	356	394	432	469	506	543	580	616
	200	P kg	341	323	311	301	294	288	284	280
		T kg	408	393	383	375	369	364	360	356
		u cm	124	162	200	237	274	311	347	384
		S cm	342	380	416	453	489	526	562	598
100	90	P kg	459	414	382	358	339	324	311	301
		T kg	534	500	475	456	441	428	418	409
		u cm	128	164	198	231	263	294	325	356
		S cm	353	386	418	450	481	511	542	571
	150	P kg	379	346	323	305	291	280	270	263
		T kg	472	446	427	412	401	391	384	377
		u cm	112	144	175	205	235	264	293	322
		S cm	330	360	390	419	448	477	506	534
	200	P kg	305	283	267	255	246	239	233	228
		T kg	413	394	381	371	363	357	351	347
		u cm	107	138	169	198	227	256	284	313
		S cm	323	353	382	411	439	468	496	524
200	90	P kg	403	350	312	282	257	237	219	204
		T kg	567	528	499	476	457	441	427	415
		u cm	103	127	148	167	185	201	215	228
		S cm	324	345	365	382	398	412	425	437
	150	P kg	317	275	243	217	196	177	160	144
		T kg	503	470	446	426	410	395	382	370
		u cm	90	110	127	142	155	166	174	179
		S cm	307	324	340	353	364	373	380	383
	200	P kg	232	197	169	144	111			
		T kg	438	411	389	370	352			
		u cm	74	89	100	107	107			
		S cm	286	298	307	312	309			

産業安全研究所技術資料 RIIS-TN-81-3

---

昭和 57 年 6 月 21 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 番 (代)  
印刷所 有限会社三和プランニング

---

UDC 614.821 : 677.718 : 677.72 : 69.057.6

足場の組立・解体作業時に用いる水平親綱システムの安全性に関する研究

小川勝教 森 宜 制

産業安全研究所技術資料

RIIS-TN-81-3

枠組足場の組立・解体作業時に足場からの墜落防止のために安全帯が使用され、その支点として水平親綱が用いられる。その水平親綱の力学的な性状を解明すべく実験を行なった。

その結果より、水平親綱に関して、落体の落下阻止時における、落体の衝撃荷重、親綱の張力及び垂下量に関する計算式を導いた。

(図28, 表13, 写真3; 参考文献3)

UDC 614.821 : 677.718 : 677.72 : 69.057.6

**On the Safety of Horizontal Lifeline Employed in Assembling or Demolition of Scaffolding** by K. OGAWA, Y. MORI

**Technical Note of the Research Institute of Industrial Safety,**

**RIIS-TN-81-3**

Dynamic characteristics of horizontal lifeline holding body with safety belt employed in assembling or demolition of frame scaffold which is applied for the aim of prevention of falling accidents were studied.

As a result, the empirical formulae concerned with a impact load of the falling body, the tensile force of the lifeline, the descent distance of lifeline were evaluated in case that the falling body connected in the middle of the lifeline was dropped.

(28 figures, 13 tables, 3 photoes, 3 references)