

安全ネットについての研究

建築課 木下 鈞 一 小川 勝 教

On The Safety Conditions of Safety Net

By K. Kinoshita K. Ogawa

The number of fatal accidents by falling from high places while working occupies a large part of statistical data of fatal accidents in the construction work, until now as the method for prevention against fall safety line has been used and today a safety net is beginning to be used for that purpose at the sites of dockyard and building construction yard.

So we made following test to obtain the data for safety conditions which safety net should have. As a dummy for the test, we made a sand-bag (90kg in weight) in which a columnar iron block (10 cm in diameter and 35cm in length) was set, and made it fall from various height on the several sorts of nets which were set in rigid steel frame, and then we took the photographs of the motion of the falling body by a high speed camera and got the deceleration acting on it, while we measured tension working in the twines of some parts of a net by 6 load-cells in which electric wire strain gages were applied. As the result of the test safety conditions of the net confirmed as follows;

1. Breaking strength of a knotted twine of the net is necessary more than 312kg (10cm in mesh), 210kg (7.5cm in mesh), and 156kg (5cm in mesh).
2. The breaking strength of the rope to support a net is approximately necessary to be 1.7ton.
3. Maximun height from which workers can leap down safely on the safety net is 5-6m in consideration of shock to human body.

1. 研究の目的

昭和39年における建築事業の墜落災害は、6,000件(休業8日以上)で、そのうち死亡は142件で同事業における全死亡災害の41%を占めている。

このことから如何に墜落災害が問題視すべきものであるかが判る。もちろん、以前からも墜落防止のために、各種の施策がなされてきてはいるが、近來セイフティ、ネットを用い、更に墜落災害を阻止しようとする機運が盛りあがっている。よってセイフティネットの設置方法および強度等について実験を行い、その安全度について確め、墜落防止のための用途に供されるセイフティネットの具備すべき性能についての資料を得ることが本研究の目的である。

2. 研究方針

A) ネットの大きさ、網目の形状とその大きさ、重量、

設置方法等について使用者の要望や意見、又製造業者側の研究資料を参考にして決める。

B) ネットの性能を決定する要素としてロープの強度、伸度があげられる。よって各種のロープについて強度、伸度を実験的に調べる。なお経年変化による強度低下が当然考えられるので、ウエザーメーターを用いて、ロープの諸性能の低下度を調べる。

C) 落下試験の試験条件については、製造業者、使用者、安全研究所側の三者の合議によって決める。

D) 落下実験により網ロープに作用する引張力の測定を行い所要なロープの強度を求める。

E) 人体に衝撃的に力が作用したとき、それに対する人体の限界について、他の分野で行なわれた研究結果を参考にし、実験に於て落下体に作用する減速度と比較する。

3. 網ロープの引張強度、伸度について

網ロープの引張強度、伸度の力学的な性質がネットの

安全性に対する性能を決定することは明らかである。よってこれらの点について実験を行った。又ネットの耐候性について検討するため、ウエザーメーターによる曝露を行った。試験体は0時間、100時間、200時間の3通りの曝露をうけたものを作り、各種のロープについてPhoto-1に見られるような試験体を用意した。実験は引張試験機(東洋測器製—テンシロン(Photo-2)、横浜繊維工業試験所)で引張試験を行い、Stress/Strain曲線を記録し伸度、破断強度、破断までのロープに加えられた

エネルギー量(数値記載は省略)を求めた。結果はFig-3^a~3f, Table-1に示す通りである。なお試験体はその材料が高分子化合物であるので、通常の引張試験方法では正確にその強度上の性質は求めることは出来ない(いわゆるチャック切れ等を起す)。故にロープの両端のつかみ部分をFig-1のようにエポキシ樹脂にてかため、これをつかんで引張力を加えた。

又試験体のロープはFig-2のように結び目のある場合、ない場合の2通り行い、有結節による強度低下の割

Fig-1 Test piece

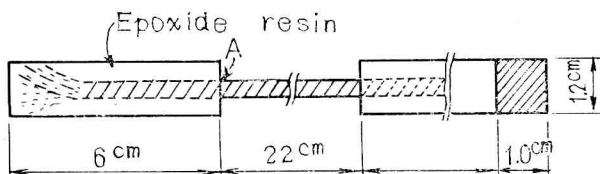
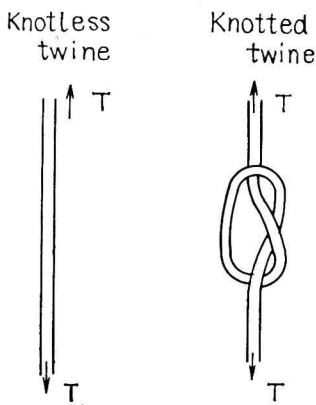


Fig-2



合を調べた。それを、強度比 α で表し

$$\alpha = \text{有結節強度} / \text{無結節強度}$$

とした。(Table-1参照)

又引張実験を行ってみると無結節ロープ引張の場合Fig-1のA点で大多数のロープは切断した。これはエポキシ樹脂にて固められていてロープの撚り角が固定された部分と自由にロープの撚り角が変り得る固められていない部分との境界においてせん断効果が現われるためと思われる。このため最大引張強度が幾分低下するが大体真の破断強度に近い値を示すものと思われる。現在のところこの種のロープの簡便な引張試験方法がなく、多数のテストピースを作らなければならない関係から本実験の如き方法を採用せざるを得ない又後に於て本実験の結果よりネットの強度を推定する。なお有結節の場合は全て節点で切断した。 Fig-3a—3f 中太い実線はウエザー

メーターによる曝露時間0時間、破線は100時間、200時間のS—S曲線である。又同図を見ると結節をつくることにより強度はポリエチレンロープでは63.2%~70.0%ポリプロピレンロープでは53.7%~59%位までに低下することがわかった。(ナイロンの場合には実験不能につき結論は出せない)。このことからポリエチレンロープの方がやや有利と思われる。更にFig-4に示すように曝露されたテストピースの強度の低下割合についてみると、A種のネットは他のものに比し低下割合は少い。残存率について見ると全体的に100時間の曝露で約90%、200時間のそれに対して80%位と見込まれる。この実験に用いたウエザーメーターのランプはカーボンアークで電流は15A、電圧は135Vであり、120分中紫外線照射、18分散水とした。ウエザーメーターによる曝露時間200時間が天然曝露口数1年分に相当するものと言われているがまだはっきりわかっていないので上記の事がらを断定は出来ない。

Photo-1 Test Pieces

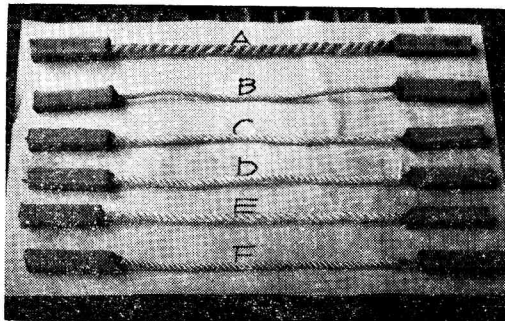


Fig-3a Stress-Strain Curve

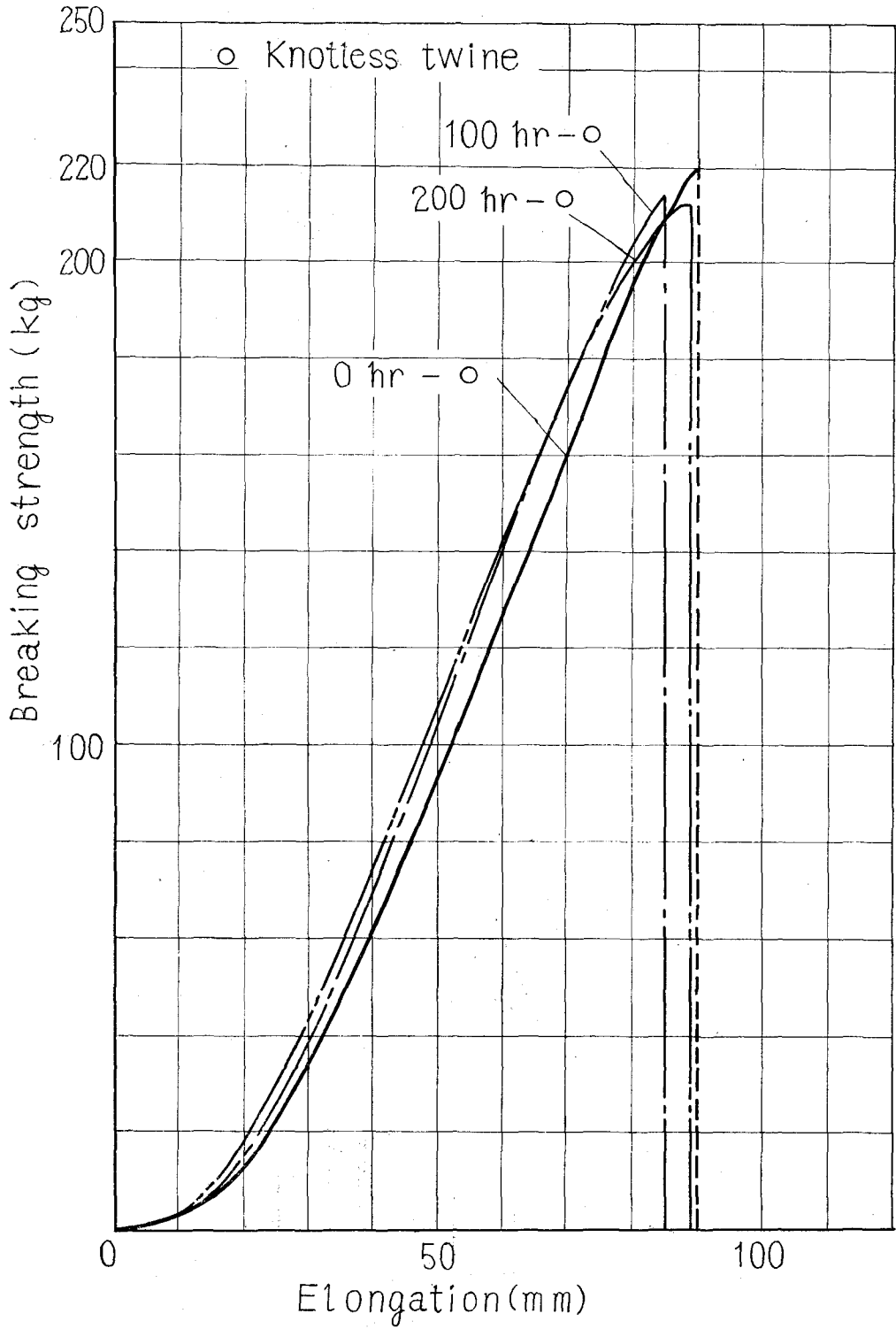


Photo-2 Instrument for test.

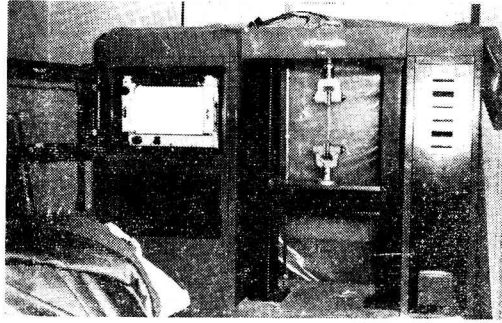


Fig-3b Stress-Strain Curve

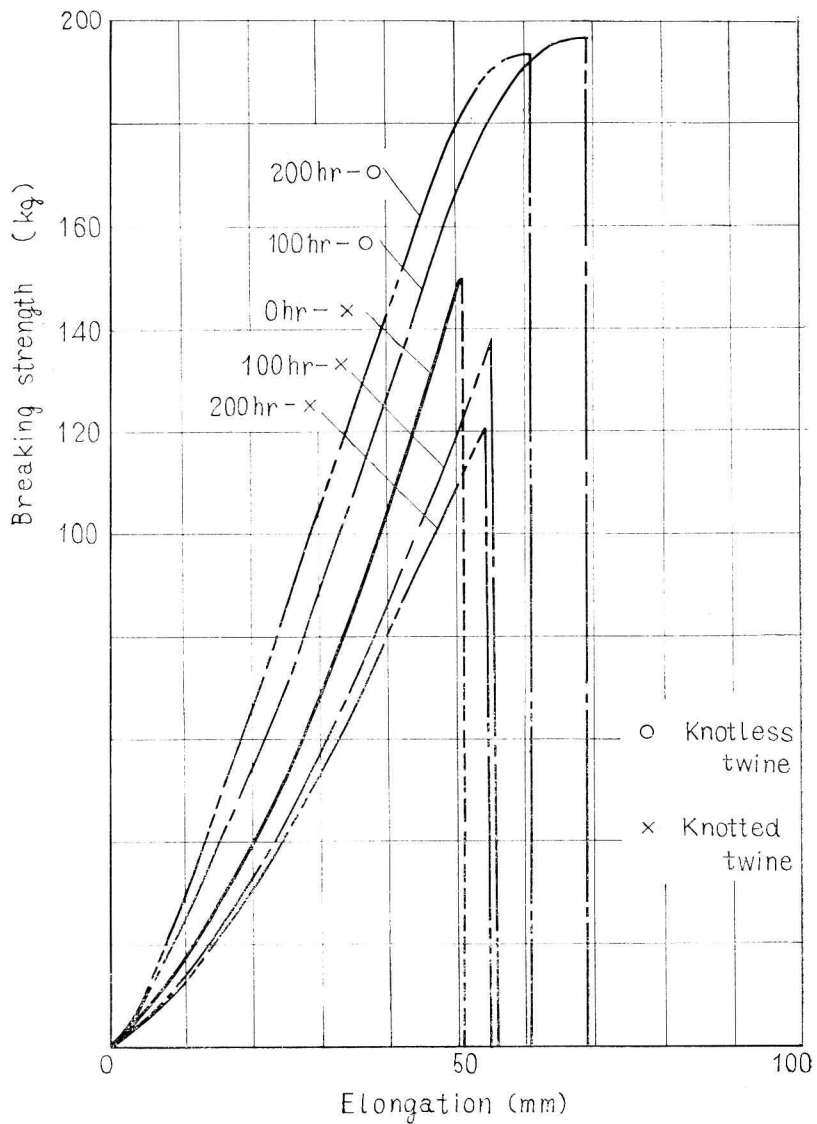


Fig-3c Stress-Strain Curve

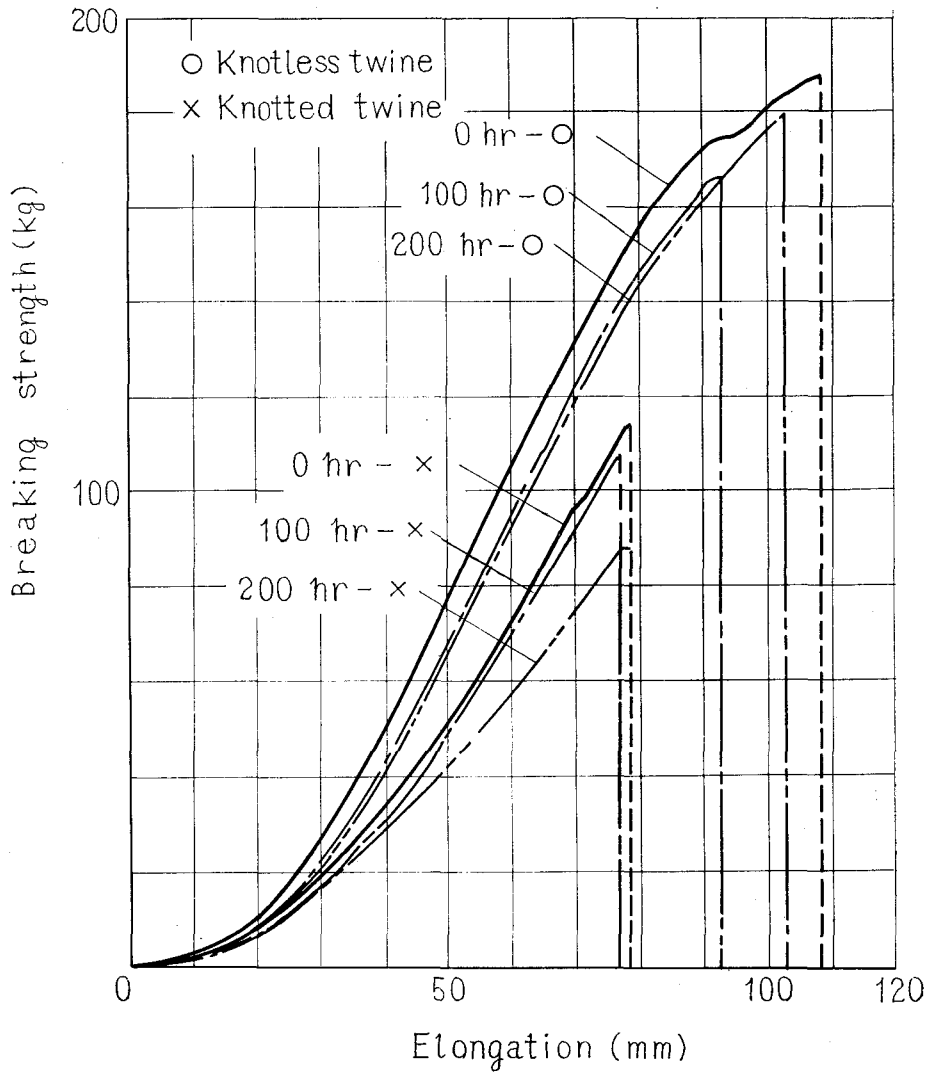


Fig-3d Stress-Strain Curve

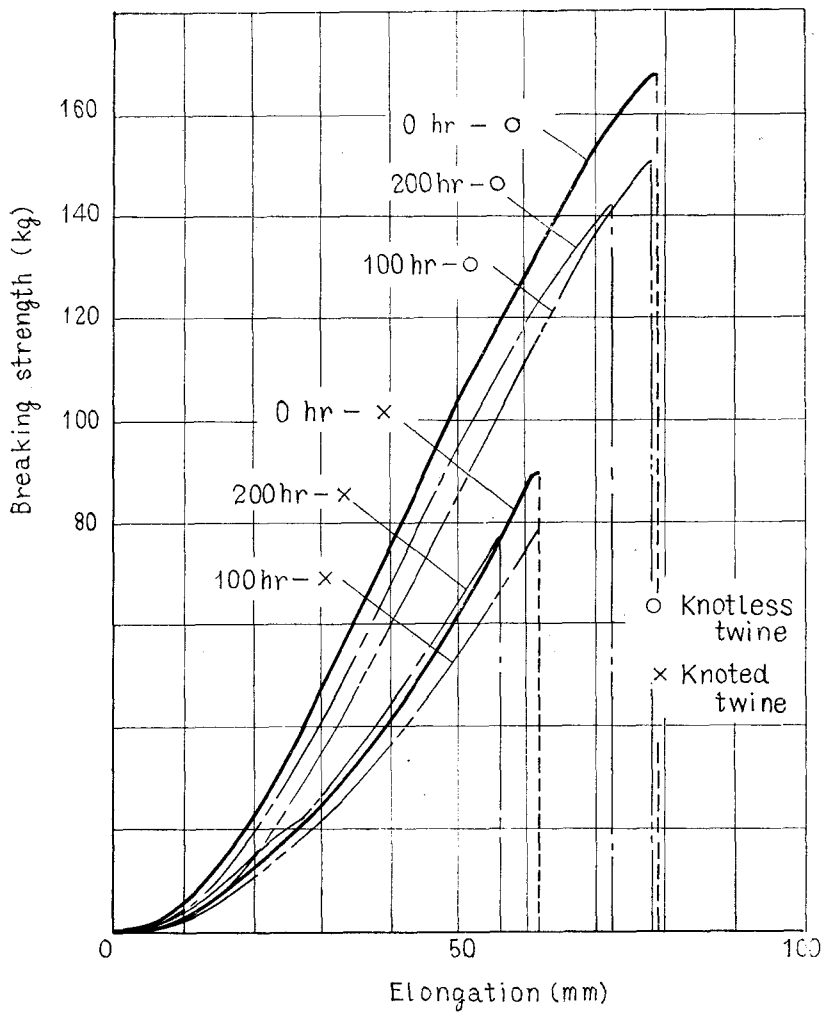


Fig-3e Stress-Strain Curve

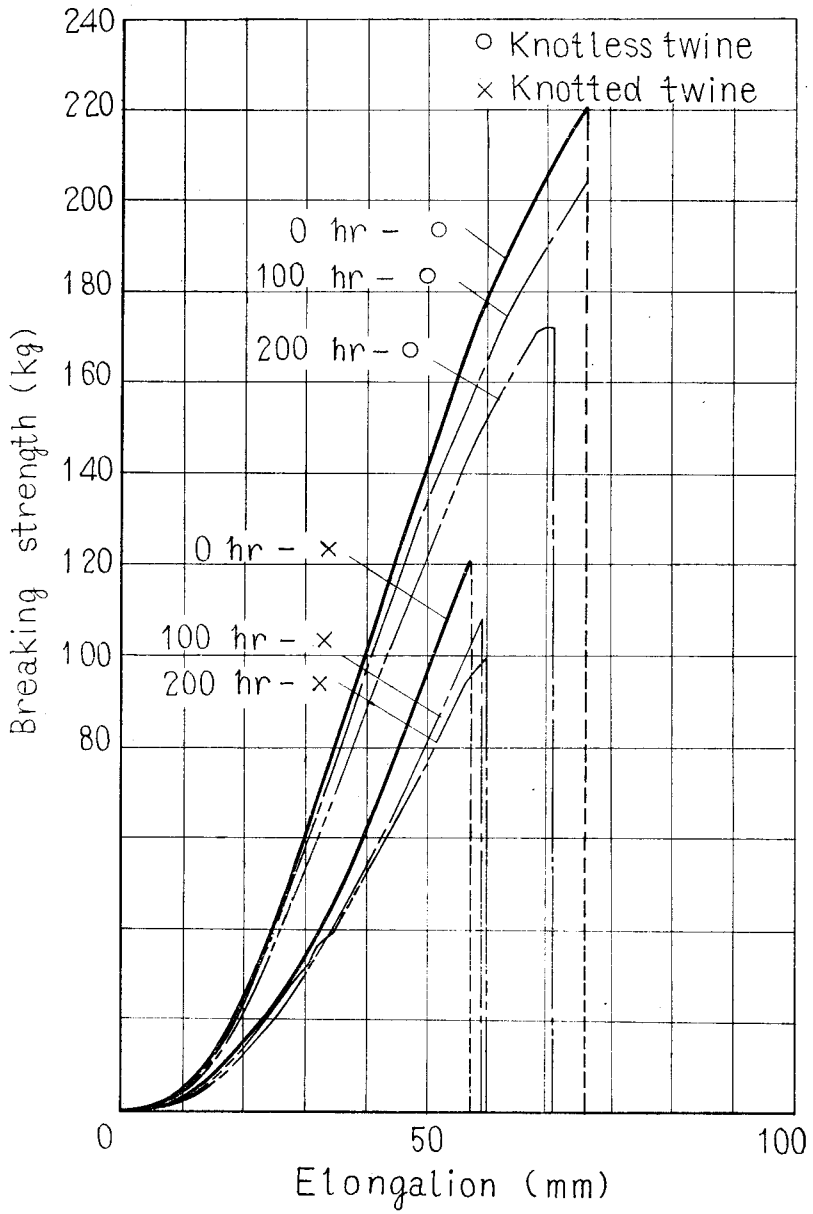


Fig-3f Stress-Strain Curve

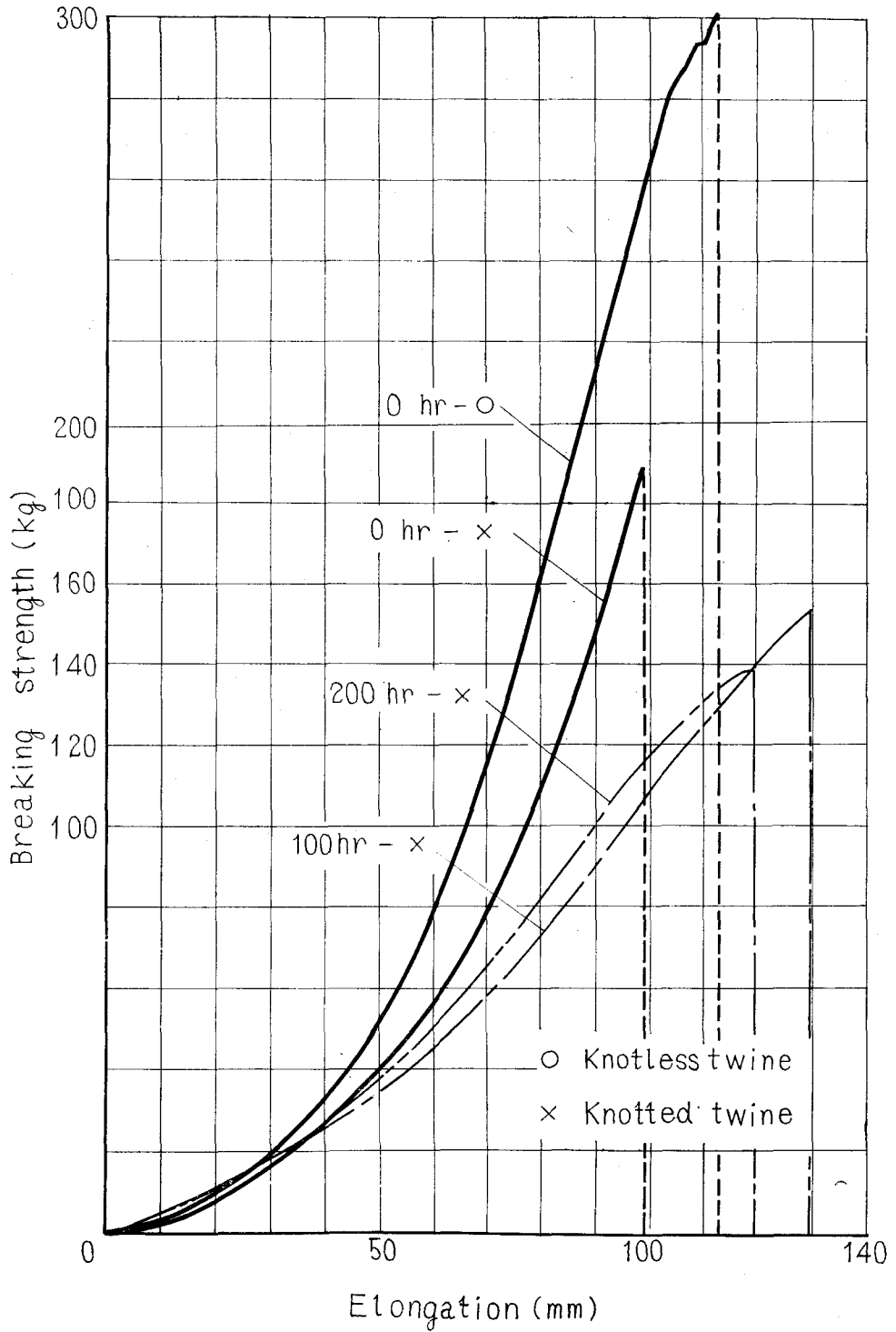


Fig-4a Relation between duration of exposure and the breaking strength of the twine

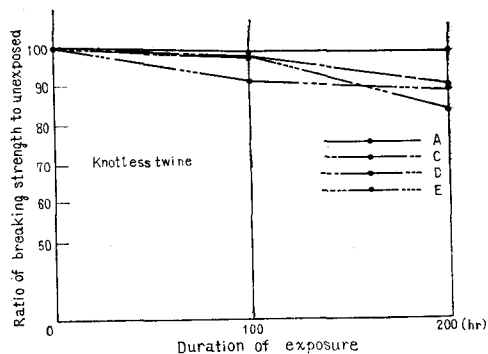


Fig-4b

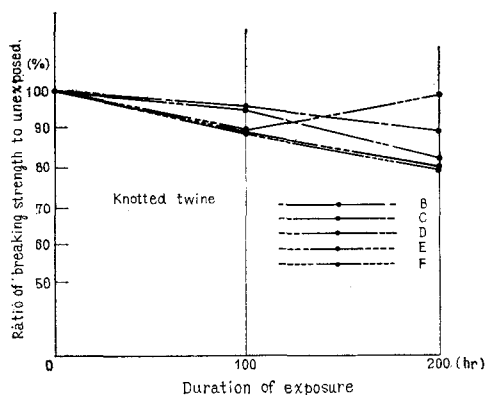


Table-1 Breaking strength and elongation of twines

ネットの種類 (略号)		A	B	C	D	E	F	
原 材 料		ポリプロピレン	ポリエチレン	ポリプロピレン	同 左	同 左	ナイロン	
ロープの構成		5's 2×3/11	3/48	5's 3/16	5's 3/13	5's 3/17	—	
ロープの径 (mm)		6	4	4.5	4	5	4	
曝露時間 0時間	無結節	破断強度 kg	221.0	—	185.0	165.0	206.7	300.0
		伸度 %	37.8	—	44.7	33.6	29.3	50.0
	有結節	破断強度 kg	—	143.0	111.0	89.0	121.1	174.0
		伸度 %	—	27.6	39.0	29.9	26.7	49.9
α	強度比%	—	—	60.0	53.9	58.6	58.0	
曝露時間 100時間	無結節	破断強度 kg	218.7	196.0	180.0	150.0	201.0	—
		伸度 %	36.9	31.0	44.9	33.3	32.8	—
	有結節	破断強度 kg	—	136.7	105.3	80.0	108.0	155.7
		伸度 %	—	30.8	39.6	32.4	30.4	68.9
α	強度比%	—	69.7	58.5	53.3	53.7	—	
曝露時間 200時間	無結節	破断強度 kg	216.7	192.0	166.0	146.0	172.0	—
		伸度 %	39.9	30.0	37.4	29.1	29.2	—
	有結節	破断強度 kg	—	121.3	91.0	88.0	96.7	138.0
		伸度 %	—	31.1	41.6	35.4	31.2	29.9
α	強度比%	—	63.2	54.8	60.3	56.2	—	

4. 落下実験

1) 実験方法

落下実験を行うために Fig-5 Photo-3 に示すよう実験塔及びネットの支持台を製作し、落下衝撃体は手動ウインチにて吊り下げられるようにし、任意の高さに達したとき下から細いロープを引張ることによって衝撃体を吊っているフックの掛け金を外し衝撃体を落下せしめるよ

Fig-5 Experimental tower

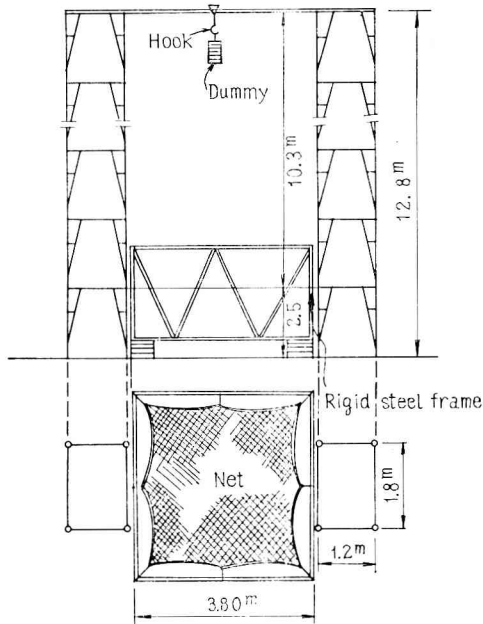


Photo-3 Experimental tower

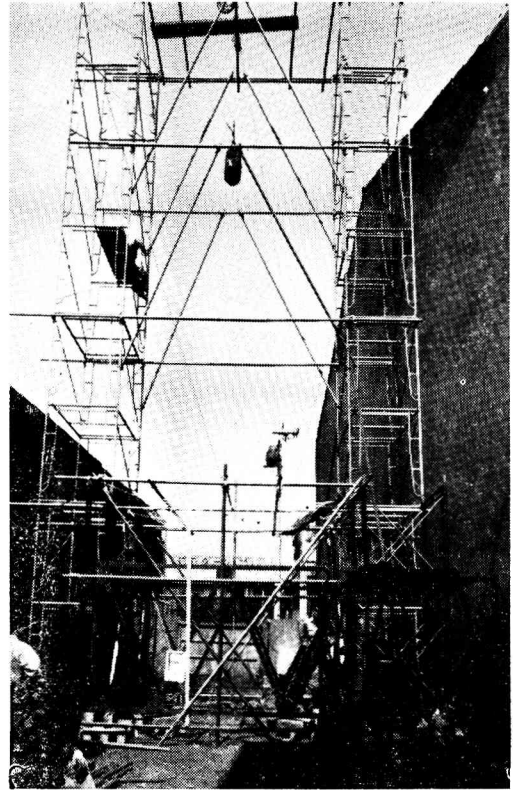


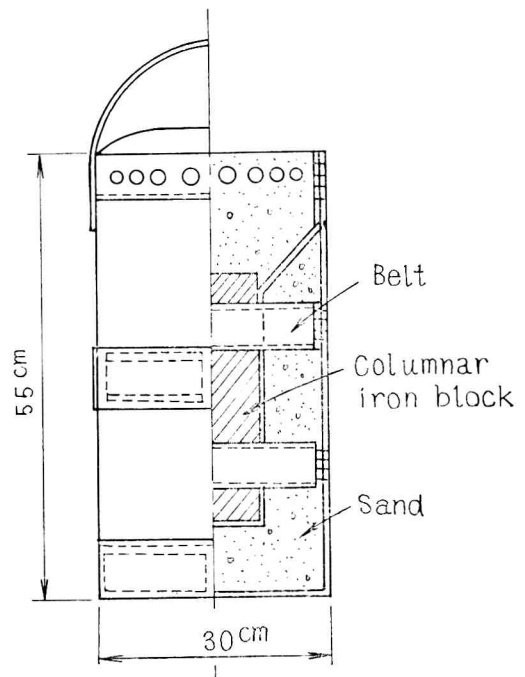
Fig-6 Dummy for the test

うにした。又落下実験の諸条件を決定するのに、使われ方の現況を参考にするため2月4日、18日の2回にわたり、使用者、製造業者各位の参集を得、協議し次の如き条件で実験を行うことに決定した。

i) 落下試験体の重量として人体相当のものをえらぶ。大体80kgを見込む(後に落下塔の高さの関係上90kgに変更した。

ii) その落下実験体は円筒形でズック製のサンドバックとする。Fig-6 Photo-4 にその外観と寸法を示す。このサンドバックは重さを調節するため、バックが折れ曲るのを防ぐために鉄芯(径10cm、長さ35cm、重さ約21.5kg)を入れる。

iii) 落下高さは4点支持の場合は最初10mとしたが、実験塔の最高限が9.0mであったので9.0mとした。従って衝撃速度は13.3m/sec、又8点支持の場合は落下高さを6.5mとする。衝撃速度は11.2m/secである。又場合によっては高さをいろいろ変えてみる。

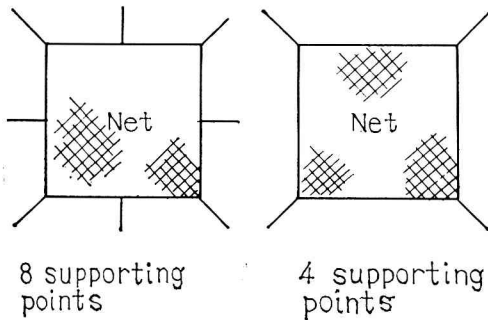


Photo—4 Dummy of sandbag



vi) ネットの支持方法として緑ロープを4点又は8点で吊る。吊り材料は緑ロープと同一のものとして支持台に固定する。

Fig—7



v) 落下点はネットの中心部及び中心部を外れた位置とする。それによってロープの応力その他の点について比較するのが目的である。

vi) ネットの網目の大きさを5.0×5.0cm, 10.0×10.0cmの2種類に限定する。特にA種のネットは7.5×7.5cmのものを採用する。又ネットの大きさを3.0×3.0mとしたがその理由は現在用いられているネットのうち、3.0×3.0mのものが最小であるのでこれを採用す

ることとする。一般に大きさが小さくなればなる程、エネルギー吸収量も小さくなり従って破れ易くなるので、試験条件としては最も破れ易いものを探つたわけである。

これらの条件に従い落下実験を行った。なお使用したネットの種類とその重量をTable—2に掲げた。以後ネットの種類を示すのにABC……の略号を用いる。

Table—2 Sort of nets and their weights

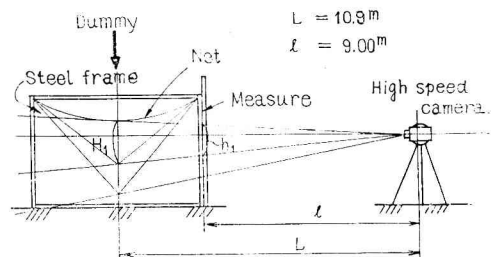
製造業者		網目	重さ	網の種類
東京製綱 三菱レイヨン	A	cm	kg	菱目, 無結節
		7.5	4.0	
		10.0	3.5	
日鐘 本漁網紡	B (b)	5.0	6.0	菱目 有結節
		10.0	3.5	
		10.0	5.5	
東山産業 東レ	C	5.0	5.0	角目 有結節
		10.0	3.0	
昭和网络 東洋紡	D	5.0	5.0	角目 有結節
		10.0	2.5	
安永産業 東レ	E	5.0	6.0	菱目 有結節
		10.0	4.0	
藤井電工 日レ	F	5.0	7.5	"
		10.0	4.0	

2) 測定と実験結果

a) 減速度について

落下物体をネットでうけとめるとき物体の運動について考察すると衝撃体がネットに当ってから停止するまでの微小な時間の範囲ではネットを弾性係数Kなるバネと同様な効果があるものとみなし、落下物体をこのバネでうけとめるものと仮定すれば落下体の重量と釣合の位置を原点として運動の位置、速度、加速度は周知の如く $X = A \sin \omega t$, $\dot{X} = A \omega \cos \omega t$, $\ddot{X} = -A \omega^2 \sin \omega t$ となる。今実験よりA, ω が決定できれば加速度は求められる。

Fig—8



A, ω の決定は Fig-8 のように落下体とスケールを側面から高速撮影し、ある時間に対する運動位置を測定して、変位の補正を行った。時間と変位の関係を図にしたのが Fig-9a~9f である。この図を見ると、ネットに物体が当たってからある時間内は物体にネットからの反力

がかかっていないものとみられる。これは結節部や、ネットのたるみ支点のゆるみ等のためと思われる。よって A, ω を決定するのに図上のグラフを利用し次の境界条件より求めた。

$$X_{\max}(t'=t)=A$$

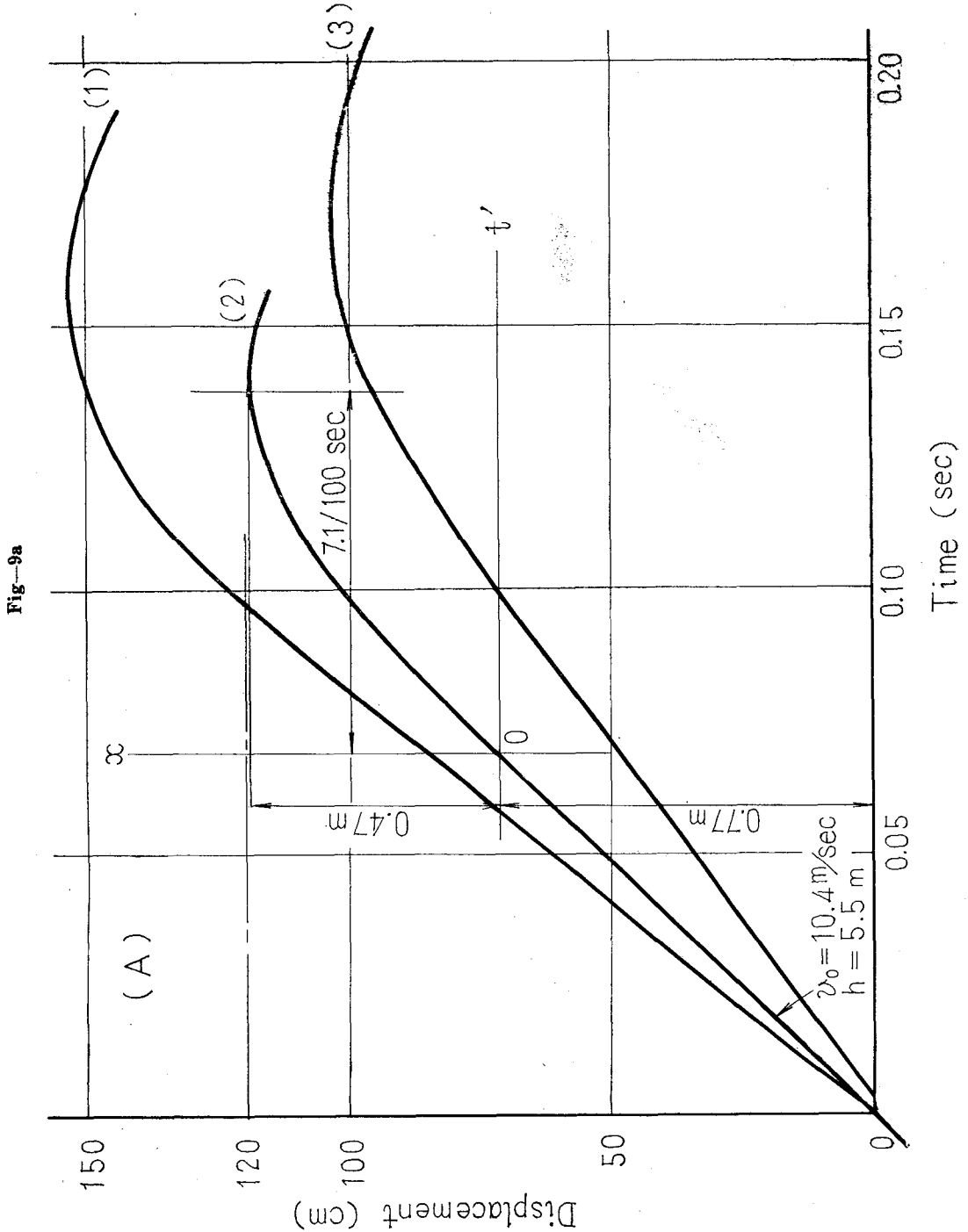


Fig-9b

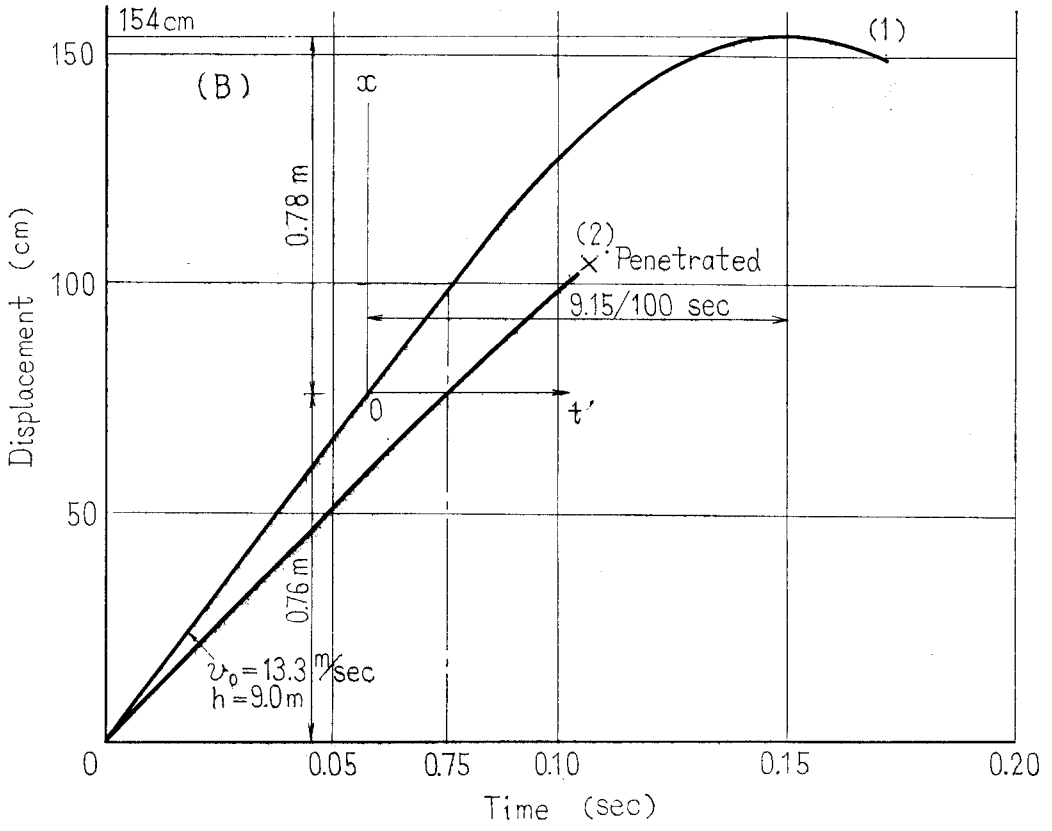


Fig-9c

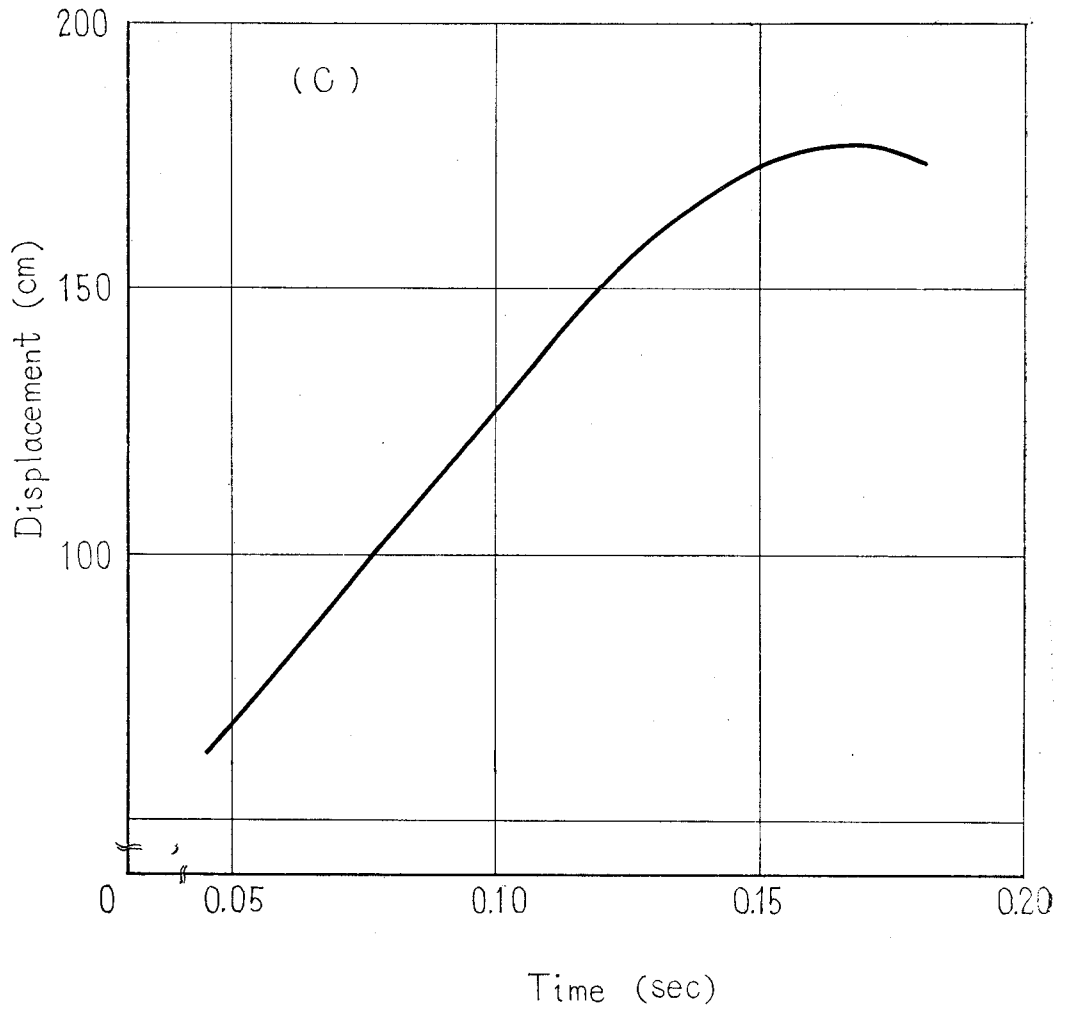


Fig-9d

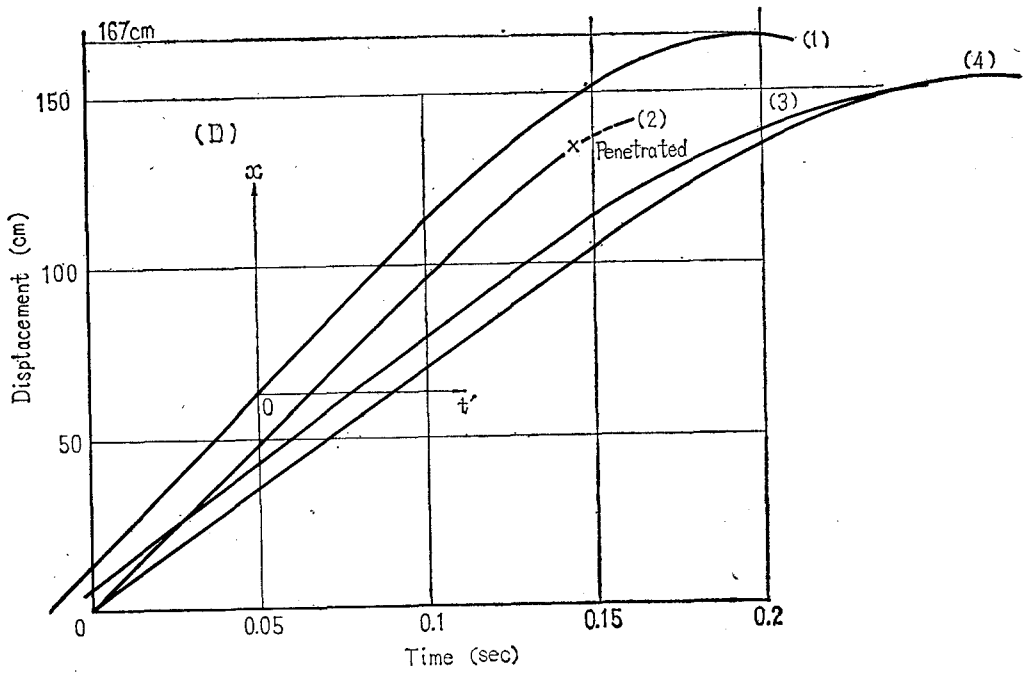
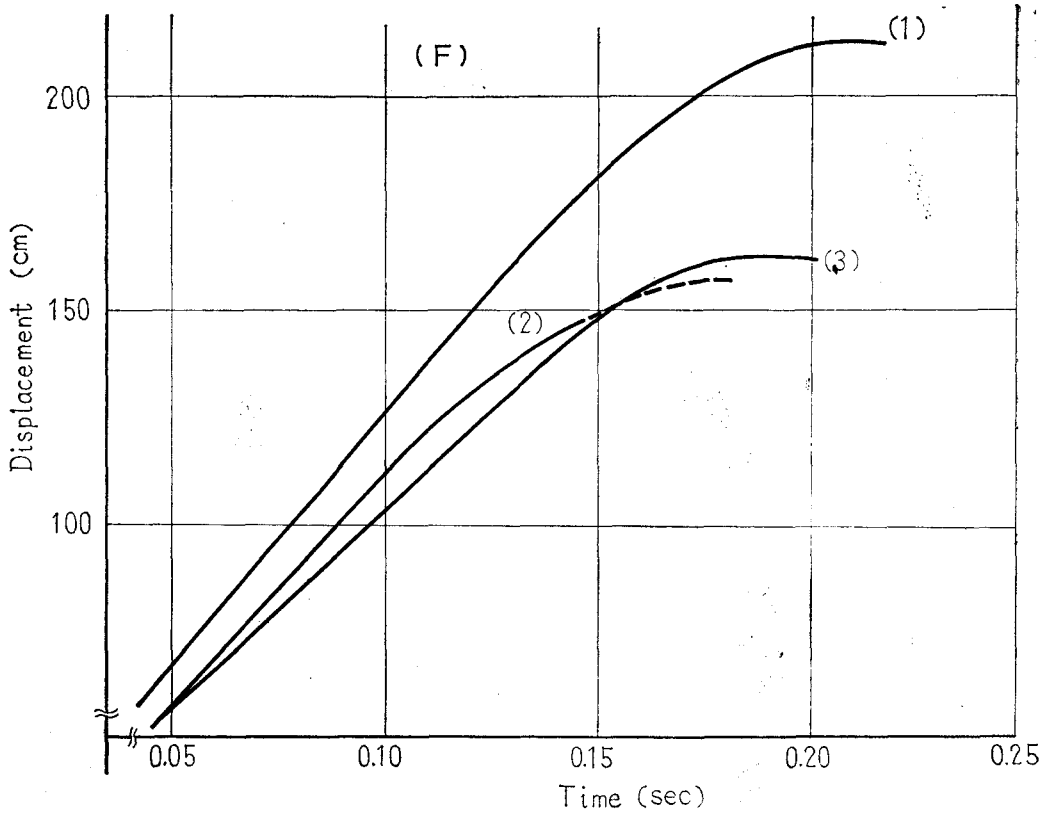


Fig-9f



$$\dot{X}(t'=0) = A\omega_1$$

$$\dot{X}(t'=t) = 0 \therefore \omega_2 = \frac{\pi}{2t}$$

但し、 $t'=0$ なる点はグラフの直線上の任意の一点にとる。

これにより ω_1 と ω_2 が等しくなるように A, ω を決定した。

1 例として Fig-9a を参照して(2)のグラフをみれば $\dot{X}(t'=0) = A\omega_1 = V_0 = 10.4 \text{ m/sec}$ (グラフの直線部分の勾配)

$$\dot{X}(t'=t) = 0 \therefore \omega_2 t = \frac{\pi}{2}$$

$$X(t'=t) = A$$

以上の条件を満足するように任意の t 及び A を取り $\omega_1 = \omega_2$ となるように決めれば

$$A = 0.47 \text{ m} \quad \omega = 22.1 \text{ rad/sec}$$

$$\text{よって } X = 0.47 \sin 22.1 t'$$

$$\ddot{X}_{\max} = -0.47 \times 22.1^2 = -230 \text{ m/sec}^2 \\ = -23.4g$$

となる。

これをまとめたのが Table-3 である。なおこうして決められた値を $X = A \sin \omega t$ に代入してそのグラフを描けば測定によつて得たグラフとはほぼ一致した。実験では物

Table-3 Magnitude of accelerations

ネットの種類	(cm) 網目	支持点数	(m)	(m/sec) $A\omega$ or V_0	(m) A	(rad/sec) ω	(g) 最大減速度	(kg/cm) $k \times 10^8$	(m) h	最大減速度 (m=70kg)			
										h=3m のとき	h=6m のとき	h=9m のとき	h=12m のとき
A(1)	7.5	8	1.54	12.1	0.70	17.5	21.1	27.5	7.5	(g) 15.4	(g) 21.9	(g) 26.9	(g) 31.0
A(2)	10	8	1.19	10.4	0.47	22.1	23.4	43.8	5.5	19.5	27.6	34.0	39.0
A(3)	10	8	1.06	7.3	0.33	22.1	16.4	43.8	2.7	19.5	27.6	34.0	39.0
B	10	4	1.54	13.3	0.78	17.1	23.3	26.3	9.0	15.1	21.4	26.4	30.3
C	5	8	1.65	12.7	0.63	20.2	26.2	36.7	8.2	15.4	21.8	26.8	31.0
D(1)	5	8	1.54	11.4	1.05	10.8	12.5	10.5	5.1	9.6	13.6	16.7	19.1
D(4)	5	8	1.54	7.0	0.58	12.1	8.7	13.2	2.5	11.5	16.2	20.0	23.0
F(1)	10	4	2.06	11.8	0.75	15.9	19.4	20.2	7.1	13.2	18.7	23.1	26.5
F(2)	5	8	1.56	10.5	0.75	14.0	15.0	17.6	6.1	12.3	17.4	21.5	24.7
F(3)	10	8	1.54	9.6	0.49	15.6	12.0	21.8	4.7	13.7	19.4	24.0	27.5

$$\ddot{X}_{\max} = \frac{k}{m} A = \omega \sqrt{2gh}$$

体の振動は一種の減衰振動であるが、微小な時間内では上記の如き単純振動の方程式を利用してよい。よってネットの緩衝性はバネ係数と同様な扱いで求めたの値によって推定しても大差はないものと思われるので Table-3 に記した。この表の中で 5cm 網目のものが 10cm 網目のネットより緩衝性に富むものと思われる。即ち結節数が多いため衝撃をうけたとき、節点が締ってくり出すロープの長さが長くなるからであろう。又無結節のネット

についてみると有結節のものと比較してみると、無結節のものゝ緩衝効果は有結節のものより幾分劣る。繊維の種類について言へば、ナイロンロープのように伸度の大きいものほどよいと言うことは当然のことであろう。今回の実験では結節点の結び方にもゆるいものや熱処理して固めたものがあつたり又ロープ径のちがいがやその他のネットの種類による条件差があり一概にその緩衝性について断定はできないが大體推定出来よう。

Photo-5 Load cell set in the net

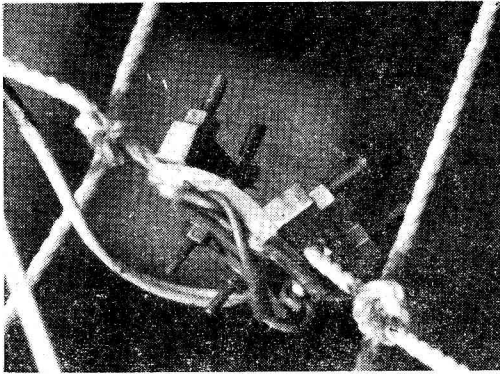


Fig-10 Load cell

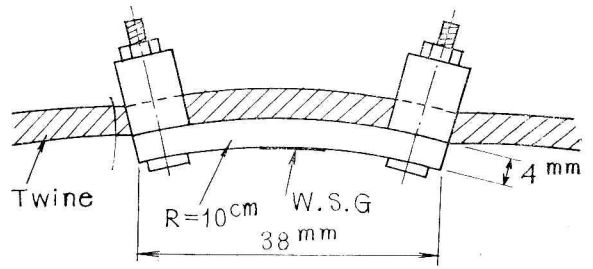
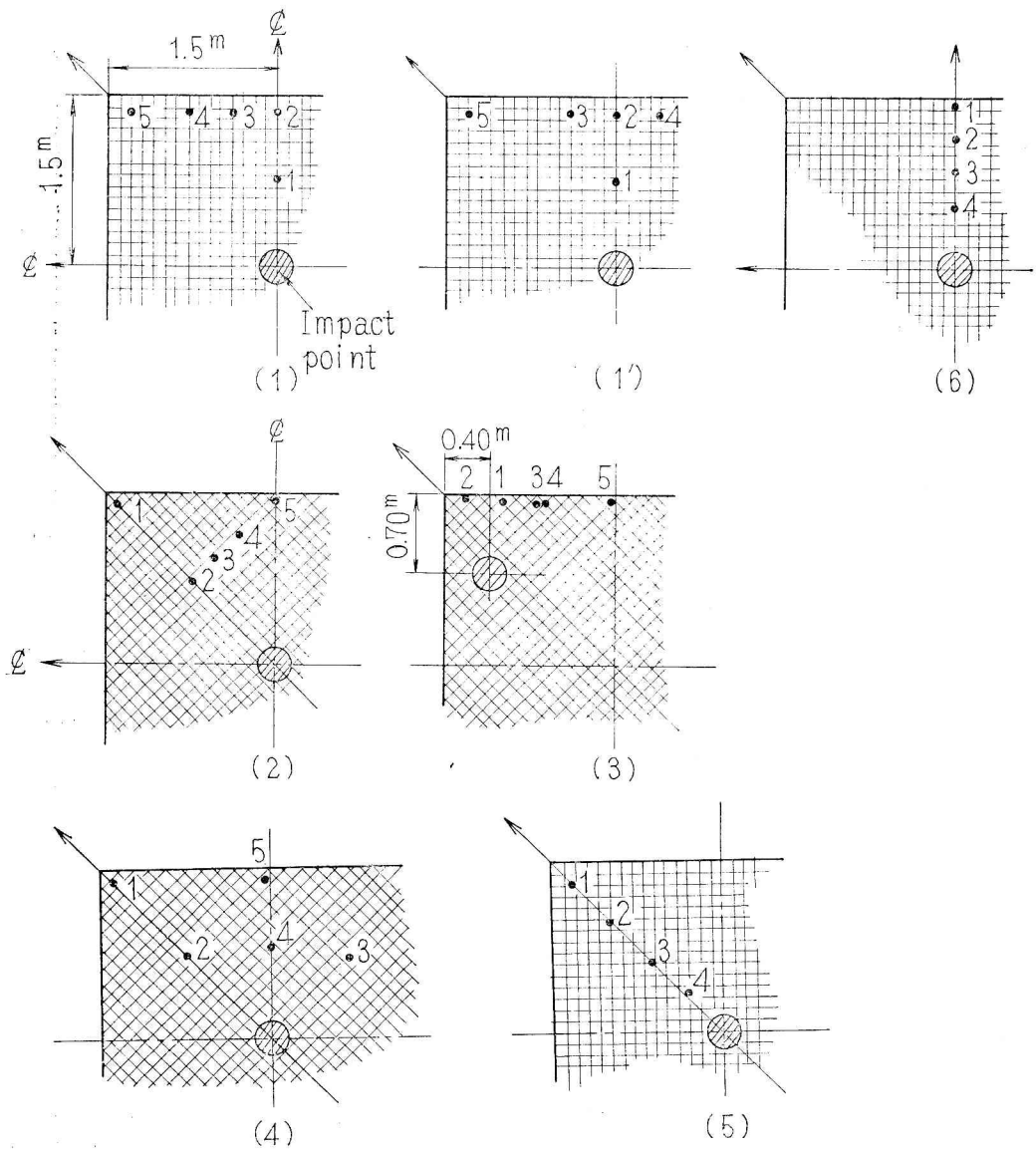


Fig-11 Situations of placed load-cells



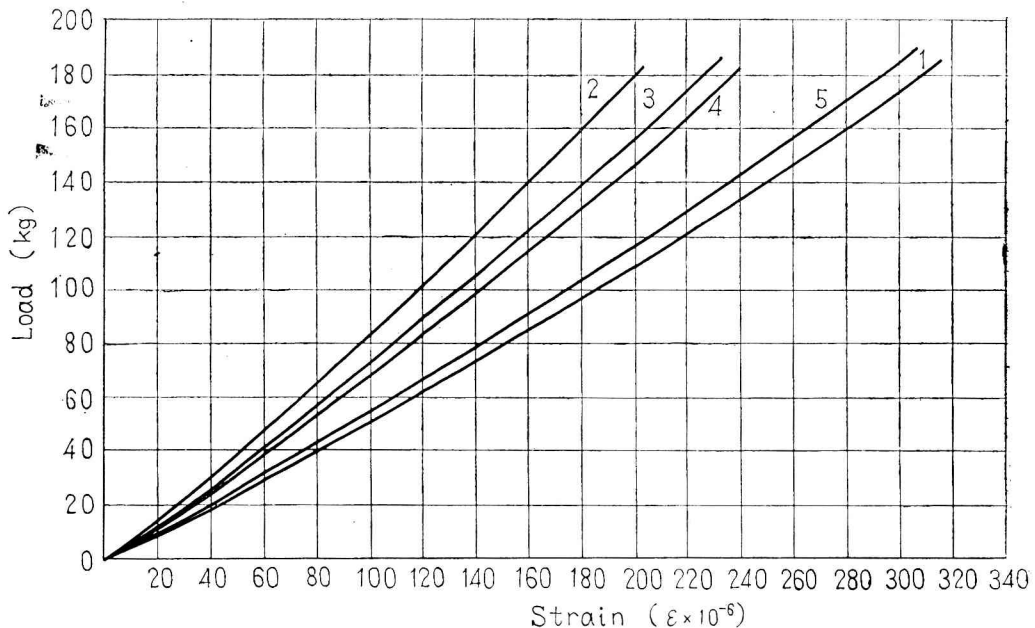
Table—3 に求めたKの値を利用し同一の落下高さ、同一の落下体の重量 ($M=70\text{kg}$, $h=3\text{m}$, 6m , 9m , 12m) の落下条件の場合の減速度を求めてみると同表のようになった。

b) 網のロープの衝撃時の応力について、

ネットの安全性を検討するには、衝撃力をうけた時の各種のロープに加わる応力について調べる必要がある。本実験では Fig—10 の如きロードセルを5個製作した。これはワイヤーストレインゲージを応用したもので、ロープのテンションを金属片の曲げ歪により応力を求めよ

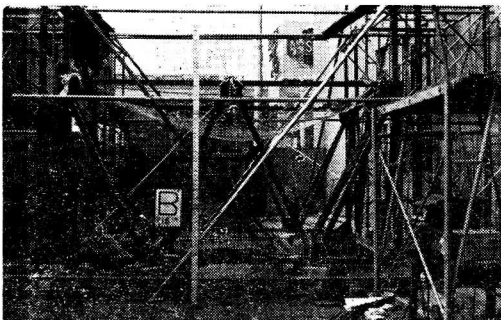
うとするものである。その取付は Photo—5 に見られるように、これをネットの各所に配置し、(Fig—11参照) 衝撃時の応力を動歪計、電磁オッシログラフにより測定した。なおロードセルの calibration curve を Fig—12 のように各種のロープについて実験により求めた。(Aのネットに適用するもののみ記載した) このロードセルは径10cm、肉厚4.0mmの真鍮のパイプ(引抜き成型)から切り出して作った。又、実験から真鍮の最大曲げ応力度が、その弾性限界に達する前にいずれのロープも切断することも併せて確かめておいた。

Fig—12 Calibration curves of the load-cells. (Twine-A)



又、ネットの、衝撃前の状態は Photo—6 に見られる通りである。

Photo—6



実験結果からオッシログラフによる歪量の波形は Fig—13a~13c に示すようになった。応力の大きさに換算した数値及び、落下条件を同図中に記入した。これを見

ると、ネットの応力の分布について測定点が5ヶ所のみであったので明白な分布図を示すことは出来ないが、最初の予想で縁ロープに沿って十字状に、応力が伝達されるものとした事が、ほぼ実験によって確かめられた。即ち、落下体が直接落下した面の下を通るロープに大きな荷重がかかる事が図の歪量から判る、又 Photo—7 から、実験後のネットを見ると、落下点を通る十字方向のロープの伸びが他のものに比して極めて大きいことから、も推定出来るよう。

なお、他の種類のネットについて得たネットのロープにかかる応力は Table—4 に記した。

この荷重点を通るロープのうち1本を取り出してみると、衝撃時にはこのロープには一様な大きさの応力は生ぜず近藤仁氏(東京水産大学、漁具研究室)の研究によれば、Fig—14 のようになる。即ち、四周を固定した網

Fig-13a Waves of strain of load-cells

Load-cell No. 1 - 210 μ - 115 kg
 2 - 145 - 130
 3 - 123 - 90
 4 - 60 - 40
 5 - 65 - 35
 6 - 264 - 264

H₁ = 2.5 m
 M = 90 kg
 mesh = 10 cm

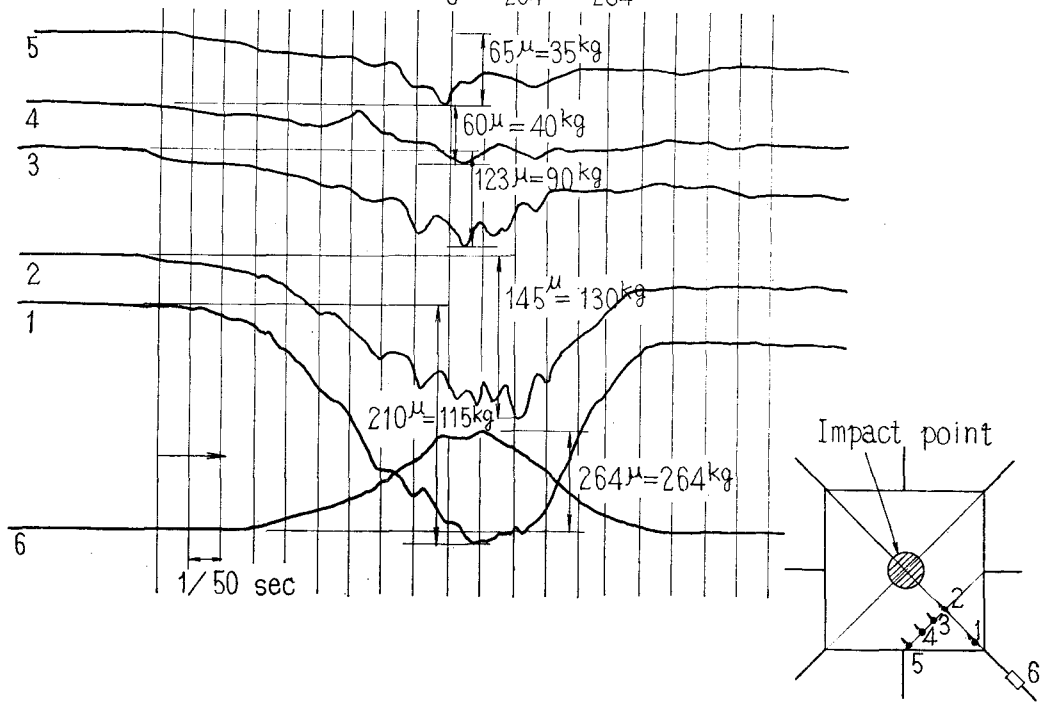


Table-4 Stress that acted in several parts of net

Load Cell No.		5.0 or 7.5cm in mesh			10cm in mesh				5.0cm or 7.5cm in mesh				10.0cm in mesh		
		(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)		(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)
1	A	—	138	140	115	138	20	D	100	46	60	70	100	75	—
2		110	122	—	130	165	140		105	50	63	85	85	70	—
3		—	110	—	90	90	16		40	32	40	35	75	40	—
4		—	75	—	40	85	15		45	30	—	60	60	33	—
5		—	68	—	35	110	40		—	—	—	—	30	20	—
6		255	390	346	264	440	260		255	276	565	418	120	285	—
		h=9m			h=2.5m h=5m h=5.0				h=2.5m h=7.5m h=7.5				h=2.5m		
		(2)	(2)				(辺心)	(1')	(1)	(1)	(1)	(1')	(1)		
							(3)								
1	B	36	58	—	90	70		E	65				85	73	50
2		—	70	—	65	80			105				50	70	70

Load Cell No.	5.0 or 7.5cm in mesh			10cm in mesh			5.0cm or 7.5cm in mesh				10.0cm in mesh		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)
3	—	60	—	15	95	—	—	—	—	—	60	35	45
4	—	—	—	55	40	—	—	—	—	—	30	20	43
5	—	—	—	70	—	—	—	—	—	—	40	30	55
6	330 (4) (2)	316 m h=2.5 (2)	500 (2)	330 (2)	255 m h=2.5 (2)	—	525 h=9.0m (2)	—	—	—	341 (2)	270 h=2.5m (2)	210 h=1.5m (2)
1	C	75	95	75	—	—	F	70	50	43	60	60	50
2	—	100	110	125	—	—	—	50	50	88	85	90	40
3	—	35	95	120	—	—	—	60	72	50	115	75	40
4	—	—	95	120	—	—	—	50	—	55	50	90	40
5	—	—	—	—	—	—	—	35	—	—	105	100	16
6	—	225 h=7.0m (1')	630 m h=5.0 (6)	525 m (6)	—	—	315 h=7.5m (2)	445 h=5.0 (2)	408 m (2)	—	478 h=9.0m (2)	342 h=2.5m (2)	

Fig-13b Waves of strain of load-cells

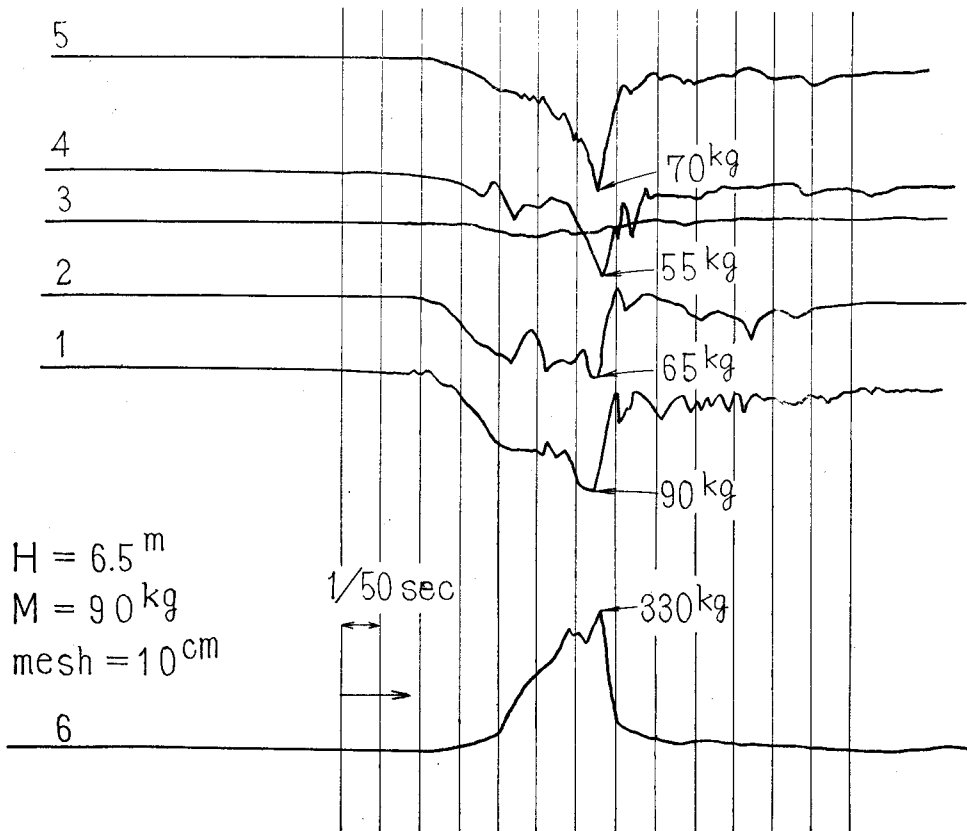
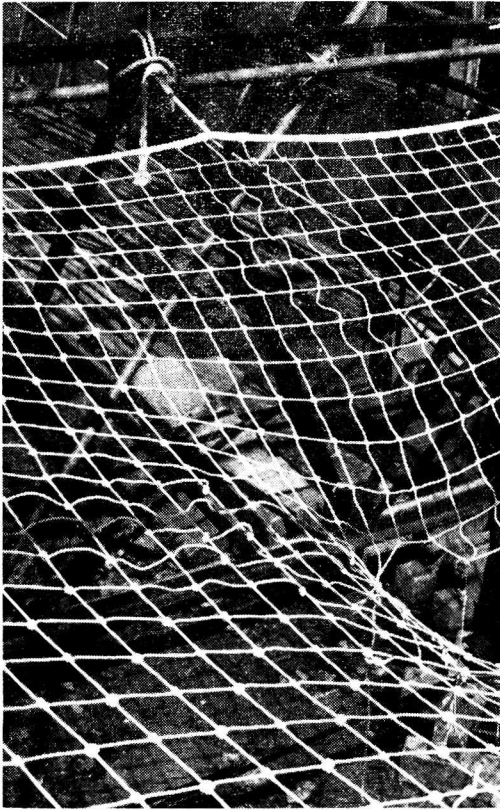
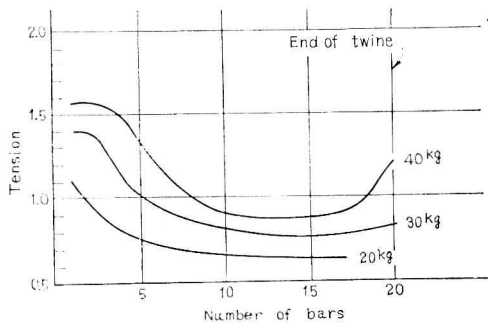


Photo-7 Penetrated net and its stretched twines



の場合落下点と、端部の支持点に到るに従い、応力が増大する。本実験でも Fig-14 に見られるような応力分布傾向は持っていると思われるが、ネットの支持条件が異なり、支持点が少く4点及び8点であるので、ロープに比較的均一に応力が作用して、荷重点と、支持点とに、中間部に比してわずかに大きな荷重が作用するものと思われる。

Fig-14 Relation between the magnitude of distributed loads and the tension of the main bar line.

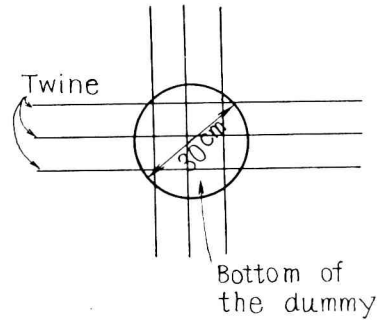


以下、実験値について比較してみると、高速度撮影によって求めた最大加速度（マイナス）を利用し、落下点のロープの最大応力、 T を求めると、

$$T = \frac{M\ddot{X}_{\max}}{n}$$

M = 質量 90,000, \ddot{X}_{\max} = 最大加速度（マイナスの） g 。 n = 落下体を支持するロープの本数 ネットの自重は無視する。

Fig-15 Number of twines which pass through under the bottom of the dummy.



又ロープの支持本数 n についてみると、10cm 網目の場合、落下体の底面が (Fig-15) 円とするとき、この下を通るロープの本数は縦、横6本で支持本数は $n = 12$ 本であるが荷重時には結節部のゆりみによるロープの繰り出し長さが、0.5cm~2.0cm、落下点の局所的な伸度を20~25%位見込めば、落下点下では、約6~7.5cm程度ロープが伸びる。よって、落下体を支持するロープの本数は縦、横合計8~12本となる。結節部のゆりみによるロープの繰り出し長さは無結節のネットA及び有結節のネットBの場合では0.5cm位、C、Dのネットで1.0~1.5cm、E、Fのネットで約1.5~2.5cm位であった。同様にして7.5cm網目の場合は $n = 12 \sim 16$ 本、5cm網目の場合は $n = 16 \sim 20$ 本となる。

又、ロープの単純引張実験結果より求めたロープの最大抗張力を T' として T と $T_{No.2}$ (Load cell で得た値) を比較するとネットが破れなかった場合には、

例, (A₃), $m = 10\text{cm}$, $\ddot{X}_{\max} = 16.4g$,

$M = 90000$, $\therefore F = 1470\text{kg}$, $n = 8 \sim 12$

特に $n = 12$ をとる。ロープの応力 T は

$T = 1470/12 = 122\text{kg}$, $T_{No.2} = 130\text{kg}$

$T' = 221 \times 0.8$ (推定) $= 176\text{kg}$

$T' > T \doteq T_{No.2}$

(B₁), $m = 10\text{cm}$, $\ddot{X}_{\max} = 23.3g$

$M = 90000$, $\therefore F = 2100\text{kg}$, $n = 12$

$T = 2100/12 = 175\text{kg}$, $T_{No.2} = 180\text{kg}$

$T' = 225\text{kg}$, $T' > T \doteq T_{No.2}$.

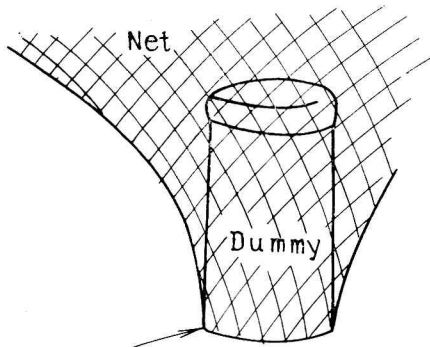
(C), $m=5\text{cm}$ $\ddot{X}_{\text{max}}=26.2\text{g}$
 $M=90000$, $\therefore F=2350\text{kg}$, $n=20$
 $T=2350/20=117\text{kg}$, $T_{\text{No.1}}=75\text{kg}$
 $T'=111\text{kg}$ $T' \cong T$ (貫通する限界, 実験では破れず)。

(D) $m=5\text{cm}$, $\ddot{X}_{\text{man}}=12.5\text{g}$
 $M=90000$, $\therefore F=1125\text{kg}$, $n=20$
 $T=1125/20=56.5\text{kg}$, $T_{\text{No.1}}=60\text{kg}$
 $T'=89\text{kg}$, $T' > T \cong T_{\text{No.1}}$

(F) $m=5\text{cm}$, $\ddot{X}_{\text{max}}=15\text{g}$
 $M=90000$, $\therefore F=1450\text{kg}$, $n=16$
 $T=1450/16=92\text{kg}$, $T_{\text{No.2}}=70\text{kg}$
 $T'=174\text{kg}$, $T' > T$

という結果から前に立てた仮定とよく合うことがわかった。

Fig-16



The twines of the net were perpendicularly stretched and broken at this point.

なお、マイナス加速度が最大に達したとき、落下点附近のロープの方向は Fig-16 のように、垂直方向になっているので、上記の如き計算をしても差支えないと考える。

又破れたネットの場合の物体のマイナスの加速度は測定出来なかったが、Table-3 から、落下高さを種々の高さに変えた場合に想定される加速度から推定し、前記の如き計算を行うと Table-1 のロープの引張実験結果からみて、当然破れるものと思われる。

例, 1. A $m=10\text{cm}$ 8点支持
 $h=6.5\text{m}$ $n=8$

$\ddot{X}_{\text{max}}=27.6\text{g}$, $M=90000$, $\therefore F=2480\text{kg}$
 $T=2480/12=207\text{kg}$, $T'=221 \times 0.8=176\text{kg}$
 $T > T'$

2. A $m=10\text{cm}$ 8点支持 $h=5.0\text{m}$

$n=8$

$\ddot{X}_{\text{max}}=22.0\text{g}$, $M=90000$, $\therefore F=1980\text{kg}$
 $T=1980/12=165\text{kg}$, $T'=176\text{kg}$

T, T' を比較すれば殆んど同じと見てよい。
 落下実験で観察したところでは $h=5.0\text{m}$ のとき、やっと落下物体が貫通するという状況であった事をみて、上記の張力の大きさを比べてみれば肯かれよう。

Photo-8 Penetrated net

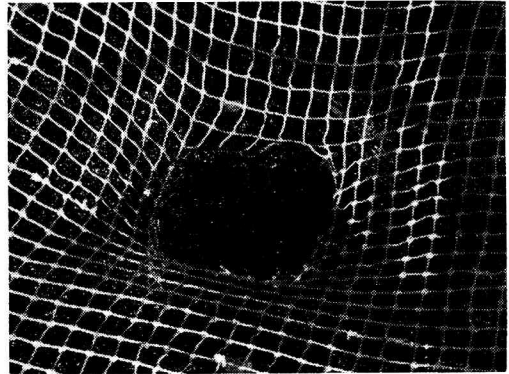


Photo-9 Broken net

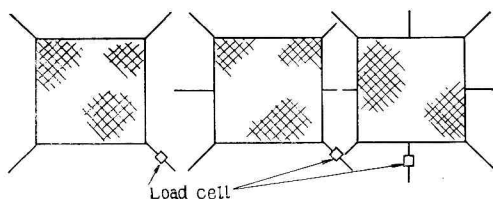


c) 支点反力

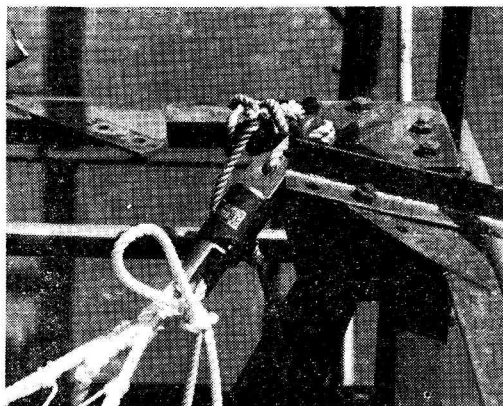
衝撃時に支点に生ずる反力を求め、ネットを設置する際の支点の吊り材料の所要強度を求めた。実験は Photo-10 Fig-17 のような位置に 4 点支持の場合は 4 隅のうちの 1 隅に、8 点支持の場合は 4 点支持の場合と同様の位置又は、中間部に、電気抵抗線を応用した荷重計を入れ、オッシログラフにて記録した。結果は Table-5 に示す。ここにはオッシログラフに描かれた波形のピークの大きさのみを力に換算した。これによると 4 点支持の場合は $600\text{kg} \sim 860\text{kg}$, 8 点支持の場合は $255\text{kg} \sim 660\text{kg}$ の範囲にあることがわかった。

実験に用いられた吊り材料は、ネットと同じ種類の材料で出来たロープで、径は全て 12m/m のものとした。

Fig—17 Situation of a load-cell



Photo—10 Load-cell



Table—5 Stress that acted in the rope to support net

	number of supporting points	5cm or 7.5cm in mesh	10cm in mesh
A	4	653kg 750	600kg 600(h=5m)
	8	255 390	•346 264(h=2.5m) •440(h=5.0m) 260(h=5.0m)
B	4	860	•480 645
	8	330 316(h=2.5m) 500(h=5.0m)	•330 •255
C	4	675 540(h=3.0m)	•495
	8	255 630(h=7.0) 525(h=5.0)	
D	8	255 276(h=2.5m) 565(h=5.0m) •418(h=7.5m)	•120 285(h=2.5m)
E	4	674, 805	•460
	8	525	•341 270(h=2.5m) 210(h=1.5m)
F	4	552 415(h=5.0m)	660 630(h=7.5m)
	8	315 408(h=5.0m) 445(h=7.0m)	•478 660(h=7.5m) 342(h=2.5m)

吊り材料の所要強度として最大荷重 860kgに、経年変化による強度低下を50%見込めば $860 \times \frac{100}{50} = 1.72\text{ton}$ 位の強度が必要となろう。本実験中に於て、このロープが切断するという事は起らなかったが、ある種のロープについては、結びつける固定側が角のあるような物であるとき、多少ロープを構成するロープ表面の糸が摩擦により切断していた。12m/mのロープは大体どの種のも

のについても1.7ton前後の強度があるので、安全上充分である。

6. 墜落する人体について

強靱なネットであればそれだけ安全に救助網の効果を収めることが出来るのは当然である。墜落せる人が最悪の場合でもある程度の傷害だけで死亡に到らない程度のネットの強さが最少限必要であるが、又一方人体に加わるショックについても考える必要がある。そこで墜落して助かった人の墜落した方向、即ち衝撃方向についての調査や、人体に加速度が作用した場合、人体がたえ得る限度についての実験結果を参照すると、まず自由落下して助かった時の身体の方向は Table—6 で示すところによ

Table—6 Human survivability of extreme impacts in free-fall.

impact point	cases		total	Ratio
	male	female		
feet	57	21	78	61.0%
head	19	2	21	16.4
buttocks	6	4	10	7.8
prone	3	0	3	7.3
supine	3	0	3	2.3
hand & knee	3	2	5	3.9
side	8	0	8	6.3
total	99	29	128	

れば足から落ちる場合が61%で、次いで頭から落ちる場合が16.4%となり、その他の姿勢で落ちる場合は非常に少なくなっている。つまり人体は足から落ちた場合、一

番助かる確率が高いということになる。なお同資料から、落下高さについて記すと、4ft~273ftの間に一様に散ばっており、件数の多いものを記せば、Table-7の

Table-7

ft	cases	ft	cases	ft	cases
7'	—3	20'	—6	50'	—4
8'	—4	33'	—4		
11'	—4	35'	—4		
12'	—7	40'	—4		
15'	—6	48'	—3		
18'	—4	50'	—9		

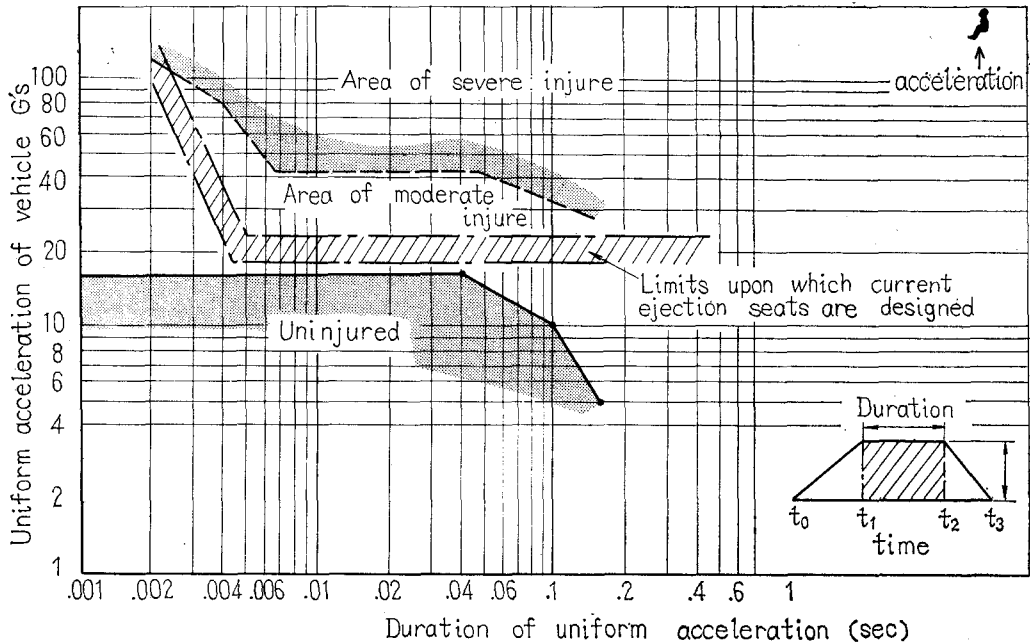
ような件数となっており、あと残りの全ては1~2件となっている。一方落下した地面はコンクリート、砂地、堅い土等である。

(註) この調査はアメリカで最近起った墜落事故のうち助かったもののみをまとめたもので、高所作業所からの作業員が、窓から子供が自殺を企てた人がといった種々の事故の場合をとりあげている。

よって万一墜落するような事があった際足又は臀部からネットに落ちることが一番被害が少ないと思われる。

次に人体に力が加わった場合、人体への影響についての研究は航空医学の分野で数多く行なわれているが、いずれも座席に着席している人体を対称としたものや、落下傘降下の際の衝撃等で、緩衝体上に人体が落ちた場合の人体の安全性に関する研究は行なわれていないし、又簡単に実験を行うわけにはいかない故に、上記の航空医学の分野で行なわれた結果を参考にして推定する他はない。Fig-18は着席した人体、動物に衝撃荷重を加え、人体が安全である加速度の大きさ、その継続時間、人体

Fig-18 Duration and magnitude of headward acceleration



への加力方向、についての結果を参考のために載せる。図のような場合、安全な加速度の大きさは17g位で継続時間が長くなれば、加速度の大きさは小さくなる。

今度の実験では、最大加速度に達するまでの時間は0.07~0.13sec位であるので、Fig-18から、ネットに対し、人体が安全であるため17g位、又中程度の傷害を許容すれば、25~30gの加速度(減速度)が加わっても破れないようにしておけば充分であろう。

結論

1. ロープの所要強度について

ネットに人体が落下したとき、落下面下のロープによって、その衝撃荷重を分担するものとし、最高25gのマイナスの加速度に耐えるものとすれば、人体の重量を70kgとしたとき、衝撃荷重70kg×25=1750kg、に充分抵抗できるロープの強度、本数があればよい。今落下面が本実験と同様径30cmの円とし、耐候性実験の結果から強度の低下を70%に見込めば、Table-8の右欄のように

Table—8 Necessary strength of a knotted twine.

mesh(cm)	number of twines to support a dummy	strength of a knotted twine
10	8~12	312~210kg
7.5	12~16	210~156kg
5.	16~20	151~126kg

各網目の大きさに対応するロープの所要結節強度を得るが、安全上、上限の数値をとるのが望ましい。

上で求めた結果は 3m×3m のネットについてであるが、ネットの大きさがこれより大きくなれば、当然エネルギー吸収量も大となる。よって逆に言えば、上記の設計衝撃荷重に対し、3m×3m の場合に求めたロープの所要結節強度を幾分低減しても差支えないと考えられるが、その割合は今回の実験では判明せず、この点、再実験してみる必要がある。

2. 支点の吊りロープ、及縁ロープ

縁ロープはその耐力(新品で) 1.7ton 以上のものが安全上望ましい。現場に於ては 8~10番線等で簡便に吊り下げようとする事があるが、これでは危険で、ネット本来の効果を期待することは出来ないで注意を要する。又経年変化や、使用頻度が多くなるにつれて、ロープの糸の一部が切断したりして、破断強度が1.0ton以下に低下したものは使用しない方がよい。

3. 支持点数について

8点支持にしたときより4点支持の方が衝撃は和らげられることは言うまでもない。しかし使用状況によつては、4点支持のとき、ネット周辺に大きなすき間が出来ることもあるので4m×4m以上の大きさのネットには2m毎に支持点を設ける必要があるのではないかと思われる。

4. 許容落下高さについて

ネットの中心部以外の点に落下したとき、本実験ではネットがある程度撓んだ後、ネットの中心部の方にすべり、又は転がり落ち、落下点附近のロープの応力、及び支点の測定値から見て、縁ロープに落下した場合の外は、中心部に落下したときの解析で充分である。

5. 結着について

ある一部のネットについて全く結着が施こされていないものがあり、衝撃荷重によりいずれも、支持点近くでロープが1~2本切断してしまつた。これは衝撃時に大き

な応力が急速に伝達されるため、結着がないときは、網ロープがずれ、ロープが切断すれば支持点の所に大きな穴が出来た。逆な考え方もすれば、落下点が貫通する前に支持点の方に逃げを取っておいた方が有利であるとも考えられないこともないが、出来ることなら結着を施して、貫通せず、なお安全である方が望ましい。

6. 結節点について

ある種のネットに於て、結節部の結び方に非常にゆるいものがあり、結節点が締ると、ロープの1方向に4cm以上もくり出されてくるものもあるが、緩衝効果の点からは、ある程度必要であるが、あまりゆるい場合には、撓みが大きくなり落下体が地面、その他に当たる場合もあるので注意を要する。本実験の場合、A、Bの型のネットを除いて、他の種のネットはこの傾向が著しい。

7. 力綱について

一般に、力綱を用いると、不安全な条件になる場合が多く、衝撃荷重は力綱を用いないネットのみで、受けとめるのが望ましいと考え実験は行なわなかつた。しかしネットの大きさが大きくなったとき、必要とならう。

8. その他

ネットの安全設計荷重として、繊維の種類、その伸度に無関係にM×25gをとつたが、実験にはロープの諸特性により、緩衝性が変わってくるので、ロープの種類毎に設計荷重は変わるはずである。又、ネットの大きさが変わると又当然緩衝性が変わってくる。この2点について今後、研究の余地があらう。

謝 辞

この研究を行うに際し、各種の研究資料、及び実験装置等の借用を得又、専門の立場から種々の指導をたまわつた水産大学、近藤仁氏、防衛庁技研、梶井直氏、航空医学実験隊、斎藤一郎氏、鉄道技研、小林隆氏、繊維工業試験所、大平氏等諸氏に深く感謝します。

参 考 文 献

- 1) 日本漁網船具株式会社資料
- 2) 近藤仁: 網地及び網漁具における張力分布に関する研究, 東京水産大学特別研究報告第5巻第2号
- 3) "Safety Nets" Engineering News Record March 19. 1964
- 4) A, Martin Eiband; Human Tolerance to Rapidly Accelerations.

National Aeronautics and
Space Administration, June
1959.

- 5) A. B. Jhompson ; A Proposed New Concept
for Estimating the Limit of
Human Tolerance to Impact
Acceleration, Aerospace Me-
dicine November 1962. Vol

33 No. 11

- 6) Richard. G. Snyder ; Human Survivability of
Extreme Impacts in Free-
Fall.
Civil Aeromedical Research
Institute August 1963.
- 7) 西本秀雄 ; 繊維製品の物理的性質 高分子学会
- 8) 合繊の産業用資材 (生産技術の製品, 用途編)