

NOV. 1971

RIIS-RR-20-2

UDC 614.821 : 677.664

# 産業安全研究所研究報告

RESEARCH REPORT OF  
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

RR-20-2

## 安全ネットの性能向上

—安全ネットの特性について—

木 下 鈞 一  
小 川 勝 教

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

# 安全ネットの性能向上

## —安全ネットの特性について—

木 下 鈞 一  
小 川 勝 教

### Efficiency Improvement of the Safety Net

—about special character of the safety net—

by K.KINOSHITA  
K. OGAWA

The safety net has been used for the prevention of fall accidents in construction sites and others, while it is under the necessity of standardizing the specification of it. This report investigates experimentally into the dynamical characteristics of the safety net made of synthetics fiber for the above necessity.

In the experiment, fall impacts were made on the following conditions ;

- 1) The dummy in a hollow cylinder is made of iron, 90kg in weight, and 33cm in diameter.
- 2) The position to fall it is the center of a net.
- 3) The number of suspending points of a net is eight points.
- 4) The height of free fall is measured upward from the level where the weight of the dummy balances with the reactionary force of the net.

Then, the deceleration acting on the dummy, tensile forces in suspending points, and the distance of displacement of the dummy were measured.

From the experiment we get the following empirical equations among some variables and other results ;

- 1) In the first impact, relations between the maximum deceleration,  $D_1$  (9.8m/sec<sup>2</sup>) and the ratio the length of one side of a net,  $L$  (m) to the height of free fall,  $H$  (m) are found, without regard to the material of nets, as follows ;

$$D_1 = 6.50 \frac{L}{H} + 3.85 \dots \dots \dots 10 \text{ cm meshes}$$

$$D_1 = 7.79 \frac{L}{H} + 3.46 \dots \dots \dots 5 \text{ cm meshes}$$

- 2) When the fall-impact is repeated on the same conditions, the following equation is found,

$$D_N = a (1 - e^{-b(N-1)}) \frac{L}{H} + D_1$$

$a, b$  : Constant value due to the characteristics of nets,

$D_N$  : The maximum deceleration in the  $n$ th impact (9.8m/sec<sup>2</sup>).

- 3) In the penetrated cases by fall impacts, the relations between the average breaking strength of twines,  $T$  (kg) and the maximum deceleration,  $D_b$  (9.8m/sec<sup>2</sup>) is regarded as follows

$$D_b = 0.044 T + 6.4 \dots \dots \dots 10 \text{ cm meshes}$$

$$D_b = 0.112 T + 7.1 \dots \dots \dots 5 \text{ cm meshes}$$

- 4) The ratios of tensile forces in suspending points to the maximum impact load are estimated about 30~40%

- 5) With the distance of maximum displacement,  $S$  (m) from the level of initial sag, following empirical equations are found ;

$$S/L = 0.045 H/L + 0.44 \dots \dots \dots 10 \text{ cm meshes}$$

$$S/L = 0.070 H/L + 0.39 \dots \dots \dots 5 \text{ cm meshes}$$

- 6) It is confirmed that, in comparison with the value of maximum deceleration of each net, barely Nylon nets and Polypropylene nets are superior to vinylon nets in buffer effect but practically they have the same effect.

### 1. 緒 言

毎年、建設業における死亡災害のうち約半数ちかくは高所からの墜落によるものであり、墜落災害防止対策の急務が叫ばれて久しい。この対策の一つとして数年前から安全ネットが建設工事現場、造船所などで使われはじめた。そこで筆者らは、ネットの安全基準を定める目的で、小規模ながら実物大ネットを用いて実験を行ない、その結果を研究報告\*1とした。しかし、前報では供試用ネットの辺の寸法が3m×3mのもののみについて落下衝撃実験を行なっているの、安全ネットの大きさや緩衝効果の関係については確かめることができなかった。

耐候性の試験としてウェザーメーターによって網糸の曝露を行ない、破断強度をしらべているが、天然曝露については行なっていない。また、衝撃落下高さやネットに作用する衝撃荷重の関係などについても十分解明することができず、安全ネットの基準化には資料が不十分であった。よって本報では次の点に重点をおき、詳細に実験を行ない、落下衝撃を受けるネットの緩衝性その他の力学的な性状について解明を図った。

- 1) 各種網糸の耐候性について
- 2) 安全ネットの辺の寸法と落下体の受ける減速度との関係について
- 3) 落下高さや落下体の受ける減速度との関係について
- 4) 同一ネットに対する落下衝撃の繰り返し回数と落下体の受ける減速度との関係について
- 5) ネットを支持する支持点の数と、落下体の受ける減速度との関係について
- 6) ネットを支持する支持点反力の大きさについて
- 7) 落下衝撃時におけるネットの衝撃荷重作用点の垂直方向変位量について
- 8) 安全ネットの素材の違いによる緩衝効果の差について

以上の研究結果から特殊な寸法、使用条件のネットを除いて、現在広く使用されている一般的なネットの緩衝効果その他の問題点について実験的に解明できたので報告する。

### 2. 網糸の力学的性状

安全ネットの安全性を左右する主要な点は網糸の力学的性状であるので、網糸の破断強度、伸度について十分調べておく必要がある。このため、次のような点について明らかにするため、各材料から試料を作成し引張試験を行なった。

- 1) 後に記すように、結節のある網糸は、結節のない網糸に比較して破断強度が低下するので、新品の網糸、曝露済みの網糸、湿潤状態の網糸ごとにその低下の割合を明らかにする。
- 2) 安全ネットは屋外の使用がほとんどであるので、経時使用ネットの安全性を確認することが重要な問題となる。よって、新品の網糸の試験と同時に、天然曝露した網糸について試験を行ない、曝露による破断強度の低下をみる。また、そのときの試料は各材料ごとに作成して実験を行ない、ネットの材料の耐候性の比較をする。
- 3) また、安全ネットが屋外で使用されることを考慮に入れ、試験は乾燥した試料と湿潤試料(24時間浸水)の二通りの場合について行ない、両者の強度差を比較する。(ただし、この試験は新品の試料のみについて行なう。)

#### 2.1 網糸の試験方法

試験に用いた試料は、落下衝撃実験に供されるネットと同じ種類のネットから切り取った。

結節の有無による破断強度の低下の割合を調べるた

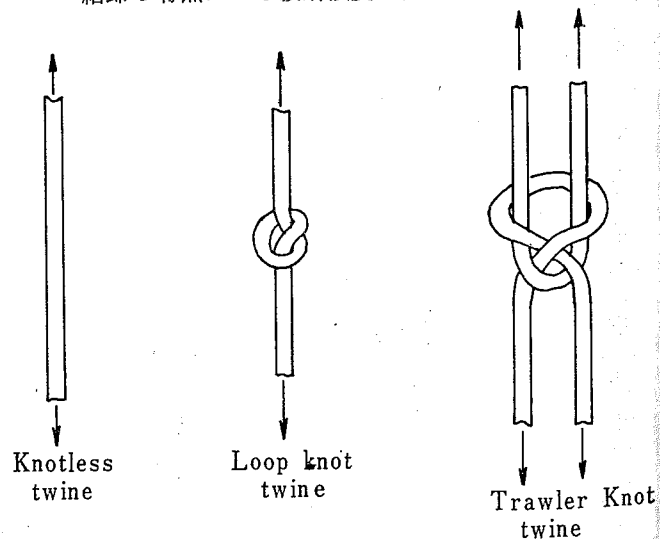


Fig. 1 Sort of the test piece of twine.

**Table 1** Breaking strength of various dry netting twines.  
各種網糸（乾燥）の破断強度

Material	Number of hank and yarn	Diameter of a twine	Knotless twine		Loop knot twine		Trawler knot twine	
			Breaking strength (kg)	Elongation (%)	Breaking strength (kg)	Elongation (%)	Breaking strength (kg)	Elongation (%)
Polypropylene	5 S 3/54	6	293	24.6	130.8	32.4	260	24
Vinylon (staple)	5 S 3/57	5	225.5	19	95.9	26.9	205.9	22.4
Vinylon (filament)	3000 d 3/21	4.5	262.7	24.7	137.2	28.5	277	24.3
Nylon (I)	840 d 3/66	4	356	25.3	177	29.6	379	27.8
Polyethylene	500 d 3/105	4	93	58.7	73.2	33.3	127.8	32.3
Nylon (II)	840 d 3/60	4	295.7	34	130	39.8	280	34

**Table 2** Breaking strength of various wet netting twines.  
各種網糸（湿潤）の破断強度

Material	Sort of test piece	Knotless twine		Loop knot twine	
		Breaking strength	Elongation	Breaking strength	Elongation
Polypropylene		268 (kg)	32.3 (%)	147.0 (kg)	35.8 (%)
Vinylon (staple)		140	26	75.7	29.2
Vinylon (filament)		241.7	28.3	124.3	35.0
Nylon (I)		342.3	26.7	163.3	31.8
Polyethylene		99.3	43.3	75.3	37

め、無結節の試料と、1本の網糸から最も簡単な結び目を作った試料（これをループ結節試料と呼び、後の蛙又結節試料と区別する。）および蛙又結節（ネットの一般的な結節法である。）試料の3種とした。

なお、引張力を加える方向は Fig. 1 のようにした。引張試験は万能引張試験機（東洋測器製 UTM-10 型）を用い、試料の伸びを正確に測定するため、前報<sup>\*1</sup>と同様に試験体の両端をエポキシ樹脂で固め、この部分を試験機のチャックでつかみ、引張速度を 30cm/min とする等速引張試験とした。なお、試料の長さは 20～30 cm とした。

## 2.2 試験の結果

新品の網糸についての試験結果を Table 1～2 に示す。なお、表中の値は各種類につき 5 本以上の試料の平均値を採っている。

無結節試料の破断荷重の値に対する結節試料の破断荷重の値の比を結節強度比と名づけ、その値を求める

と Table 3 となる。ただし無結節の場合、試料の端部をエポキシ樹脂で固めるため、いわゆるチャック切れを起こす（結節の場合はチャック切れを起こさず、結節点で切断する。）ので真の破断強度よりやや低くなっていると思われるが、これにかわる試験方法がないのでやむを得ずこの値を採っている。

ループ結節強度比は、ポリプロピレンで約45%、ビニロン（ステップル）で42%、ビニロン（フィラメント）で52%、ナイロン（I）で50%、ポリエチレンで79%となり、この比の値は各網糸の種類によってかなりの違いがあることがわかった。一方、蛙又結節の場合も、ループ結節強度比と同程度の値となっている。なお、蛙又結節の引張試験は、無結節およびループ結節の場合と異なり、同時に2本の試料を引張試験したことになるため、ループ結節強度比と比較するときは表中の蛙又の欄の値の1/2をとることが必要である。

乾燥試料と湿潤試料について、それらの破断強度を比較した結果を Table 4 に示す。ビニロン（ステッ

プル) は他の繊維に比べて湿潤試料の強度が著しく低くなり、ループ結節の試料では、乾燥試料に対する湿潤試料の破断強度は78.9%にも低下することがわかった。なお、ビニロン (フィラメント) でも90.5%とな

りビニロン繊維は水分を含んだとき破断強度の低下が大きい。その他の網糸については湿潤試料と乾燥試料との間にあまり大きな差は見られなかった。この結果から即断はできないが、ビニロンネットでは雨天時に屋外で使用されて十分に水分を含んだとき、その安全

**Table 3** Ratio of the breaking strength of Knotted twine to that of Knotless twine.  
網糸の結節強度比

Material	Dry twine		Wet twine
	Loop knot	Trawle knot	Loop knot
Polypropylene	44.6	88.7	54.8
Vinylon (staple)	42.5	91.3	54
Vinylon (filament)	52.2	105.4	51.4
Nylon (I)	49.7	106.4	47.7
Polyethylene	78.7	137.4	75.8
Nylon (II)	43.9	94.9	

**Table 4** Ratio of the breaking strength of wet twine to that of dry twine.  
網糸の乾燥試料の強度に対する湿潤試料の強度比

Material	Knotless twine	Knotted twine (loop)
Polypropylene	91.4	112
Vinylon (staple)	62	78.9
Vinylon (filament)	92.0	90.5
Nylon (I)	96.1	92.2
Polyethylene	107	103

**Table 5** Breaking strength and elongation of various 天然曝露した網糸

Material	Number of hank and yarn	Sort of testpiece	New twine		6 months	
			B. S. (kg)	E (%)	B. S. (kg)	E (%)
Polypropylene (I)	5 s 3/17	Knotless	206.7	29.3	99.6	20.3
		Loop knot	121.1	26.7	73.6	24.5
Polypropylene (II)	5 s 3/16	Knotless	185	44.7	101.8	26.4
		Loop knot	105.8	48.3	94	33.2
Polypropylene (III)	5 s 2×3/11	Knotless	221	37.8	190.4	29.1
		Loop knot	134.5	52.3	126.8	35.4
Polypropylene (IV)	5 s 2×3/11	Knotless			314	45.4
		Loop knot			152.2	41.6
Polyethylene (yellow)	3/48	Knotless	211	37.2	145.2	21.7
		Loop knot	143.7	32	99.2	23.5
Polyethylene (Black)	3/48	Knotless				
		Loop knot				
Vinylon (staple)	5 s 3/20	Knotless	177.5	37.5	157	38
		Loop knot	92	38.4	73.4	34.7
Nylon	—	Knotless	300	50	289.9	39.4
		Loop knot	174	49.9	164	44.7

B. S. denotes breaking strength

E denotes elongation

性が低下することを考慮する必要があるように思われる。

### 2.3 網糸の耐候性について

網糸の耐候性について調べるために、前報で使用した網糸について、昭和41年3月から、44年3月まで天然曝露を行なった。曝露台は当初埼玉県東松山市内に設け、南面向きで水平面に45°の角度で設置したが、1年後曝露台を東京都清瀬市の当研究所附属実験場内に移設し、同一試料の曝露を2年間、計3年間連続して行なった。試料の採取は曝露中の網糸から6か月ごとに切り取った。

引張試験の際の試料は無結節試料およびループ結節の2種類とし、蛙又結節の試験は試料の都合上行なわなかった。

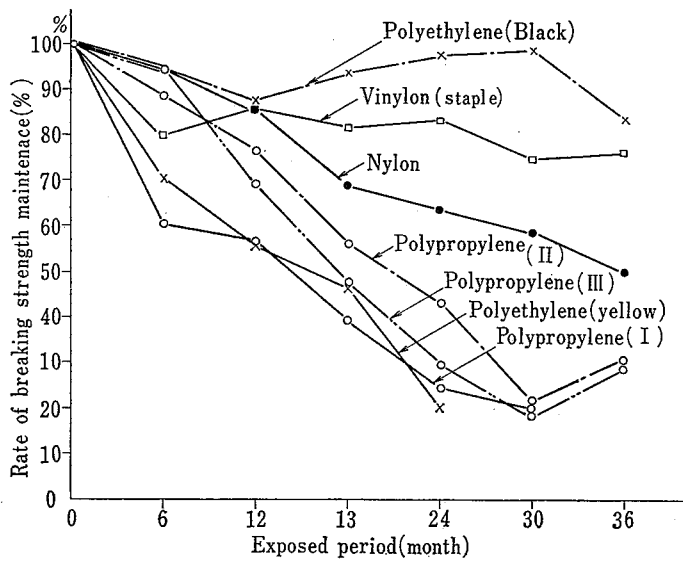
試験結果について Table 5 に示す。これより天然曝露による破断強度の低下率を求めて図に表わすと、Fig. 2 になる。

この図からわかるように、黒色に染色されたポリエチレンの網糸は強度の低下が他のものに比してきわめて少なく、同じ材質の黄色に染色された網糸はかなり低下がはげしい。そのほかの材料についてみると、ビニロンも割合に低下が少なく、ポリプロピレンと比較して耐候性にすぐれている。また、ナイロンも耐候性の良いほうに属する。とくに、はじめの1か年間の劣化は割合少なく、2年目から劣化が進む傾向を示した。試験した材料の中で、ポリプロピレンが最も耐候性に乏しく、ループ結節の試料では、曝露開始から12か月後で70%前後になり、さらに24か月後では約40%以下となった。

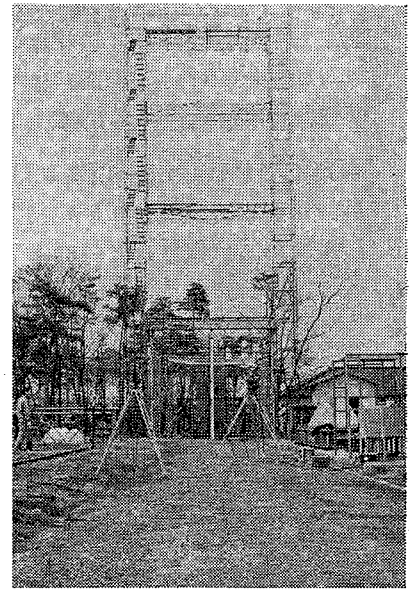
なお、ポリプロピレンの網糸の種類はI、II、III、IVの4種類あるが、ポリプロピレンIは、ポリプロピレンIIに比較してストランドのピンチが長いものであるが、いずれも白色である。ポリプロピレンIIIは黄色に染色した二つ撚りのもので、ストランドのピンチが長いものである。また、ポリプロピレンIVは、IIIの網

netting twines exposed to the sun light  
の破断強度と伸び

12 months		18 months		24 months		30 months		36 months	
S. (kg)	E (%)	B. S. (kg)	E (%)	B. S. (kg)	E (%)	B. S. (kg)	E (%)	B. S. (kg)	E (%)
72.2	19.4	52	20.1	30.4	13.6	13.3	11.1		
68.6	23	47.6	28.2	30	24.6	25.5			
101	24.4	53.8	23.4	42.1	22	38.1	21.7	30.9	23.4
81	31.1	59.5	36.1	45.7	38.7	22.8	29.5	32.2	37
115.8	29.1	76.6	24	53.4	23.6	34.3	19.8	34.2	24
93	38.2	64.3	38.9	39.8	36.8	24.8	37	39	41.8
222	39.8	202.4	41.2	178	38.6	167.3	36.2	171.1	33.6
145.6	40.6	126.3	47.4	119.2	51.5	114	45.8	121.3	42.8
124	19.6	74.3	13.8	34.9	14.7				
77.5	20	65.7	19.9	28.5	20				
212.6	27.1	214.4	29.2	205	29.7	205.3	29.8	191	28.4
120	23	128.7	26.7	134.3	31.6	135	32.6	114.6	29.7
174.7	50	151.4	48.5	152.8	47.5	142.4	50.4	135.2	46.4
79.4	43.8	75.4	44.2	76.9	49	68.7	42.9	70.5	43.1
278.4	47.1	230.6	37.4	178.4	36.5	154.4	32.5	149.2	34.3
149.2	43.3	119.8	38.1	110.8	41.4	102.3	42.7	87.3	38



**Fig. 2** Average decrease on the rate of breaking strength of various netting twines exposed to the sun light.  
天然曝露された網糸の引張強度



**Photo. 1** Tower for the fall impact test.  
落下衝撃実験塔

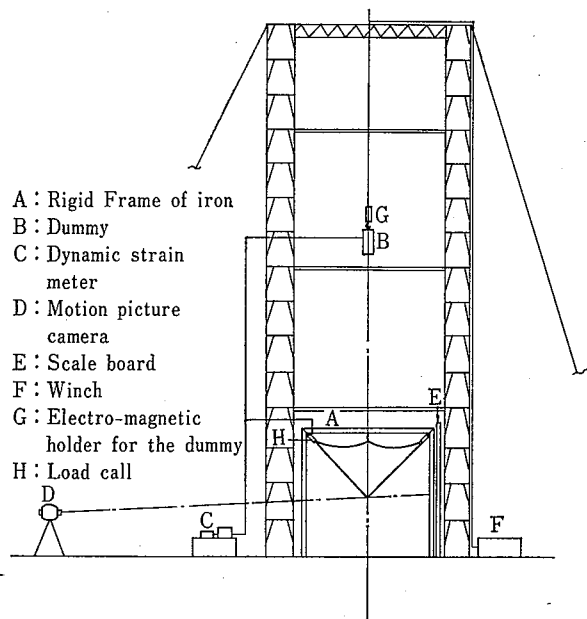
糸表面に樹脂加工をほどこしたもので、この網糸はネットの製品として市販されていないが、樹脂加工による耐候性がどの程度まで向上するかを調べるため、とくに特殊表面加工したものである。この網糸は表面加工した効果がかなり現われ、強度の低下が少なく、たいびニロンと同程度となった。

### 3. ネットの落下衝撃実験

#### 3.1 落下衝撃実験装置および測定装置

落下衝撃実験装置は **Photo. 1, Fig. 3** に見られるように、鋼製柱（柱組足場用）を用いて高さ24mの落下塔を組み立て、この落下塔最上部の梁の中央に滑車を取りつけ、落下体を電動ウインチでつり上げられるようにした。また、落下体をつるすフックの部分には地上からのスイッチ操作によって落下体を切り離すための電磁装置を取りつけ、落下体を所定の高さから落下させることができるようにした。この落下塔の下には、実験に予定している各種の大きさのネットを取りつけるための堅固なネット支持台を設置した。

測定装置は落下体を受ける減速度および、ネット支



**Fig. 3** Sketch of the apparatus for the fall impact test.

#### 落下衝撃実験装置の概略

持点反力を測定するため、動歪計、電磁オシログラフを使用した。またネットを支持台に取りつけた状態における衝撃荷重点の自然のたるみ、落下体を静かにネット上におろし、静的つり合いの状態となったときの同点のたわみ、および落下衝撃時の同点の変位量などを測定するため、64p/secの撮影速度を有する16mm撮影機を使用した。

### 3.2 落下実験条件

落下実験における実験条件を以下に示す。

#### 3.2.1 落下衝撃体の形状と重量

落下体の形状は Fig. 4 に示すものである。寸法は直径 33cm、高さ 60cm、重量 90kg で鉄製とした。この重量を 90kg とした理由は、British Standard<sup>3</sup> に落下体の重量を 200lbs とするように規定があり、この値を採用したものである。この落下体には重量の調整のためと、落下時の落下体の向きを安定させる目的で底部に取りはずし可能なウェイトを備えているが、

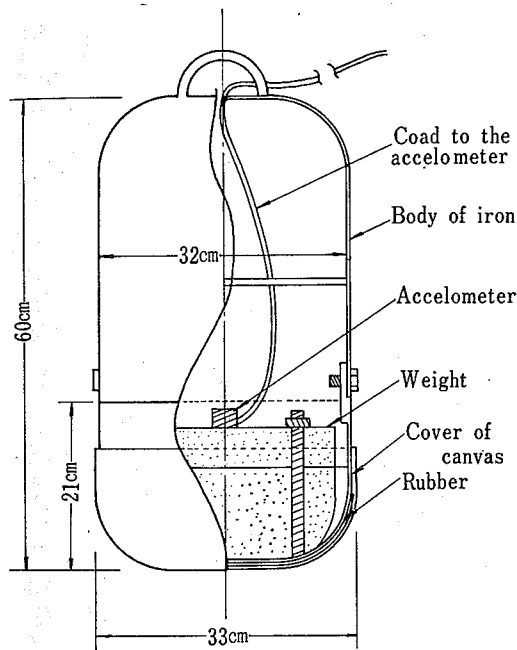


Fig. 4 Dummy for the fall impact test.  
落下衝撃体

そのウェイトには加速度計を取りつけた。また、落下体の底面には厚さ 10mm の硬質ゴムを張り、厚手のズック製のおおいをした。これは落下衝撃時において衝撃面がネットに弾力性をもって接するようにしたものである。

#### 3.2.2 ネットの支持点数等

ネットの支持点数は Fig. 5 に示すように、原則として 8 点支持とした。この理由は実際にネットが使用されている状況に近いからである。

ただし、支持点数と減速度および支点反力の関係を調べる目的の場合は、4 点～32 点支持とした。また、供試用ネットはあらかじめ各辺の寸法が所定の長さとなっていることを確かめた。縁綱と支持台の結合には

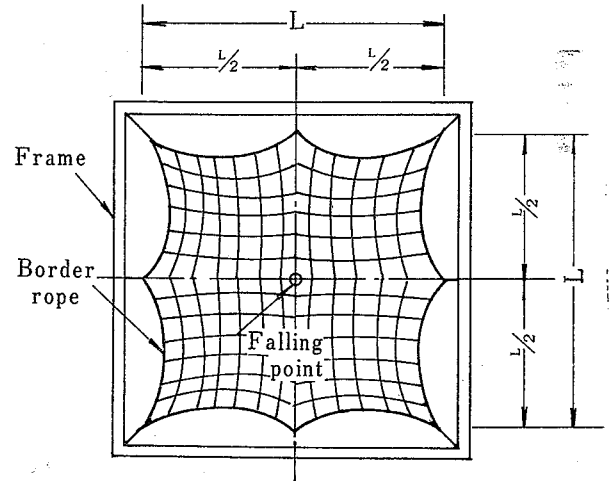


Fig. 5 Position of eight suspending points.  
ネットの 8 点支持法

鉄製金具（タンバックル）を使用し、供試用ネットの張りぐあいの調節、取りはずしの便を図った。

#### 3.2.3 落下荷重作用点位置

落下体は、ネットの周辺的位置よりも中心部に落下させたときに最も貫通しやすいことが、前回までの実験で判明しているので、落下体を落下せしめる位置はすべてネットの中心部とした。

#### 3.2.4 落下高さ

落下高さは、支持台上部のネットを支持しているレベルを基準にして決めると、現場で安全ネットを使用するとき、実験結果から直ちにネットの設置高さを定めることができるので便利である。しかし、ネットの製法、材料が各種まちまちであるため、ネットを支持台に取りつけたとき、ネットのたるみに差があり、このレベルを基準にすると正確に落下高さが定められない。

よって本実験では、支持台に取りつけられたネット上に落下体を静置させたときの位置を基準にとり、落下高さを定めることとした。実験はこの落下高さをネットの破れない範囲内で種々変えて行なった。

#### 3.2.5 落下衝撃の繰り返し回数

落下衝撃を受けたことのないネットは結節点が堅くしまっていないが、落下衝撃を受ける回数を重ねるにしたがい、結節点が固く締り、ネットの緩衝性がわるくなることが予想される。このことを明らかにする目的でネットが落下衝撃によって破断しなかった場合、同一ネットに同一条件をもってネットが破断するまで、落下衝撃を繰り返し、もし破断しない場合は 5 回まで



**Table 6** Specifecation and sort of the net used in the experiment.  
実験に使用したネットの種類とその仕様

Material	Number of hank and yarn		Shape of mesh	Size of mesh	Weight of net			
					6m×6m	5m×5m	4m×4m	3m×3m
Polypropylene	5 s	3/54	Square	10 cm 5	9.9 kg 21.7	7.3 kg 15.7	5.2 kg 10.3	3.4 kg 6.5
Vinyon (staple)	5 s	3/57	Square	10 5	10.8	8.3 15.5	5.9 10.4	4 6.4
Vinyon (filament)	3000 d	3/21	Square	10 5	11.2	8.2 17.7	6 11.6	3.9 7
Nylon (I)	840 d	3/66	Square	10	10.9	8.3	6.1	4.3
Polyethylene	500 d	3/105	Square	5	22.3			6.5
Nylon (II)	840 d	3/60	Diagonal	10	9.8	7.2	5.3	3.5
			Square	5	17.2	12.1	8.9	5.4

繰り返した。

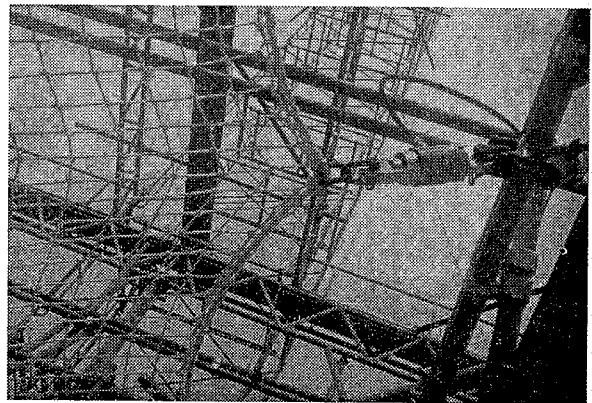
### 3.3 実験に使用したネットの種類

実験に使用したネットは、素材別にみると6種類である。現在、使用されている安全ネットはすべて合成繊維のものであるので、天然繊維のものは全く対称としなかった。また、供試用ネットの大きさは各種の素材について、正方形の一辺の長さが3m, 4m, 5m, 6mの4種類である。網目の寸法は5cm および10cm, 結節は蛙又結節である。網目の形は製品の都合上、大部分のネットが角目であるが、ナイロン(II)ネットは5cm 網目が角目、10cm 網目のものが菱目となっている。縁網は、12mm~15mmの太さで各ネットの網糸と同じ素材のロープが使用されている。ポリエチレンのネットは橙色、ナイロン(II)ネットは緑色に着色されたものであり、その他の種類のネットは無染色(白色)のものであった。Table 6に各ネットの種類とその重量を示す。

### 3.4 減速度、支持点反力、変位点の測定

#### 3.4.1 減速度および支持点反力の測定

落下体をネットに落下せしめたとき、落下体の受ける減速度を測定するため落下体内部に加速度検出器を装着した。加速度検出器は、非接着型抵抗線式のもので固有振動数575Hz, 最高50Gまで測定可能なものである。衝撃時に生ずる減速度をこの加速度検出器を



**Photo. 2** Load-cell for measuring the tensil force on a suspending point.  
落下衝撃時の引張力検出器

用い、動歪計および電磁オシログラフにて測定記録した。また、衝撃時におけるネットの支持点の反力測定は、Photo. 2に示すように縁網と支持台の間に抵抗歪線式引張計を取りつけ、その値を減速度といっしょに同一オシログラフ上に記録させた。

#### 3.4.2 変位測定方法

ネット中心部の自然のたるみ、および、静置させたときの荷重点のたわみは、スチールテープによる直接計測と撮影フィルムの解析の2法を併用して測定した。一方、衝撃時におけるネットの荷重点の変位量の測定は、撮影フィルム解析のみによって行なった。この場合、撮影画面の座標として幅2m 高さ5mのベニヤ

板製スクリーンに10cm目盛りの方眼をつけた目盛板を Fig. 3 に示す位置に設置した。

#### 4. 実験の結果と考察

##### 4.1 測定の結果

測定の結果はかなりの分量になるので、以下にその測定結果の一部を示すことにする。

まず、落下体の受ける減速度、およびネット支持点の反力を記録した一例を Fig. 6 に示す。Fig. 6 (a) は第1回目の落下衝撃で貫通しなかったもので、Fig.

6(b) は第1回目の落下衝撃で落下体が網を貫通したものである。A点は落下体が自由落下を開始しはじめる点、B点はネットからの反力を受けはじめる点、C点は静的なつり合いの点、D点は最大減速度を受ける点である。この波形から最大減速度の値、支持点反力、衝撃作用時間および衝撃が作用しはじめてから0.01 sec ごとの減速度の値が求められる。

次に16mm フィルムの撮影結果から求めた、落下衝撃体の変位量—時間線図の一例を Fig. 7 に示す。

以上の例にみられるような測定結果をもとに、減速度に対し支配的影響を与えるとみなされる落下高さ $H$ 、網の一辺の長さ $L$ 、落下衝撃回数 $N$ 、網の支持点の数

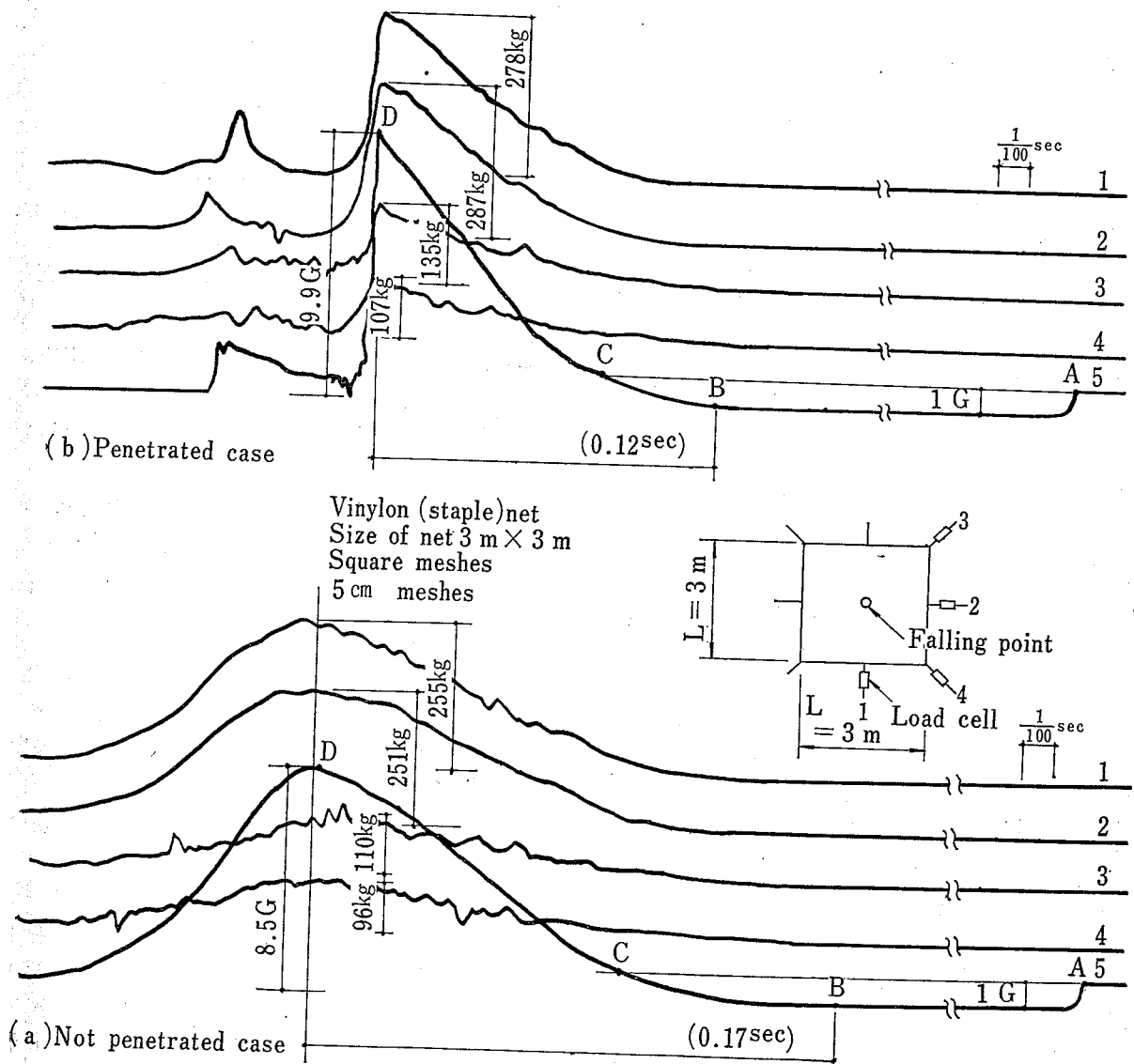


Fig. 6 Waves of deceleration and tensile forces recorded by oscillograph.

落下衝撃時のオシログラフの波形

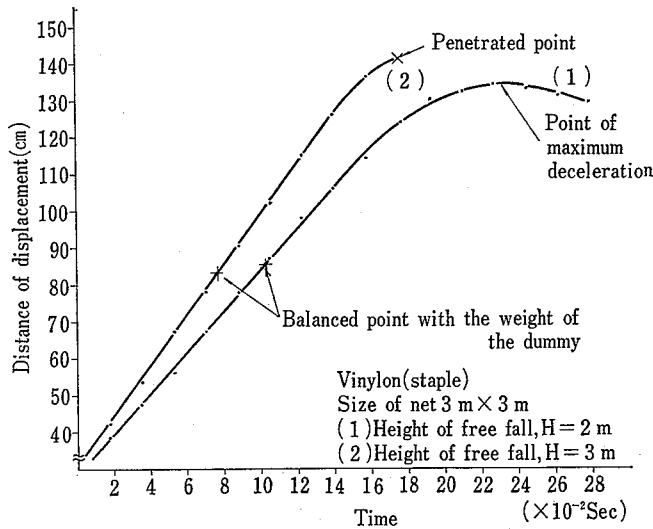


Fig. 7 Llis-tance of displacement from the level of initial sag (Example).  
落下衝撃時のネットの変位

かなどの変数を選び、その変数と減速度の値との関係、あるいは変数と落下衝撃時のネットの変位量の関係について考察した結果を以下に示す。

#### 4.2 最大減速度とその影響要素との関係について

##### 4.2.1 ネットの大きさおよび落下高さとの最大減速度について

ネットの大きさが大きくなると網糸の伸びが大きくなり、緩衝効果は増大する。ネットの大きさによるこの緩衝効果の差を調べるため種々の大きさのネットで落下衝撃実験をし、最大減速度を求め Fig. 8 に示すような結果を得た。ただし、この図はいずれも第1回目の落下衝撃の結果である。この図からネットの大きさと減速度の関係は同一落下高さの点を線で結ぶと、ネットの大きさが大きくなるにつれて最大減速度の値は減少し、両者の関係は、概略双曲線に似た関数関係となるように思われる。また、落下高さが高くなると最大減速度の値も比例的に増大する。よって、いま落下高さ  $H$  とネットの一辺の長さ  $L$  との比  $H/L$  が最大減速度に関係すると考え、その関係を Fig. 9 に表わしてみた。なお、同図はネットの素材による差をみるために、素材別に作図している。これらの図から、それぞれ各種の素材のネットについて最大減速度と  $H/L$  との間には、ネットの大きさに関係なくほぼ直線の関係があることが判明した。ただし、グラフの先端が少し折れ曲がっているが、この点については後に触れる。

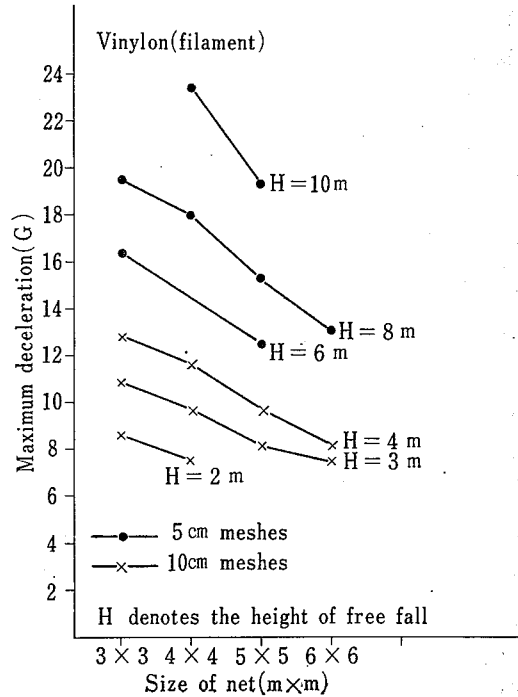


Fig. 8 Relation of maximum decelerations to the size of net.  
ネットの大きさと最大減速度との関係

この関係をネットの素材について比較してみると、この関数関係が素材の種類によって大差ないことが確かめられた。よって Fig. 9 を同一図上に重ね合わせた結果 Fig. 10 が得られた。

この図について、回帰線の方程式はそれぞれ

$$\left. \begin{aligned} D_1 &= 6.50 \left( \frac{H}{L} \right) + 3.85 \quad (5 \text{ cm 網目の場合}) \\ D_1 &= 7.79 \left( \frac{H}{L} \right) + 3.46 \quad (10 \text{ cm 網目の場合}) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

となる。(1)式から 5 cm の網目のほうが直線の勾配が小さいことがわかる。これは 10 cm の網目のネットに比し結節点の数が多しことなど、緩衝効果が高いことによるものと考えられる。ただし、(1)式は  $H/L$  の値が 0.3 以下の場合、あるいは極端に大きい場合については実験を行っていないので、適用しないものとする。

また、あとに触れるように、落下衝撃が繰り返されるにつれて、減速度の値が変化し、しかもネットの素材によってその変化の程度に差があることが実験的に確かめられているので、(1)式は第1回目の落下衝撃を与えたときのみ適用するものとする。

##### 4.2.2 ネットの大きさ、落下高さおよび落下衝撃

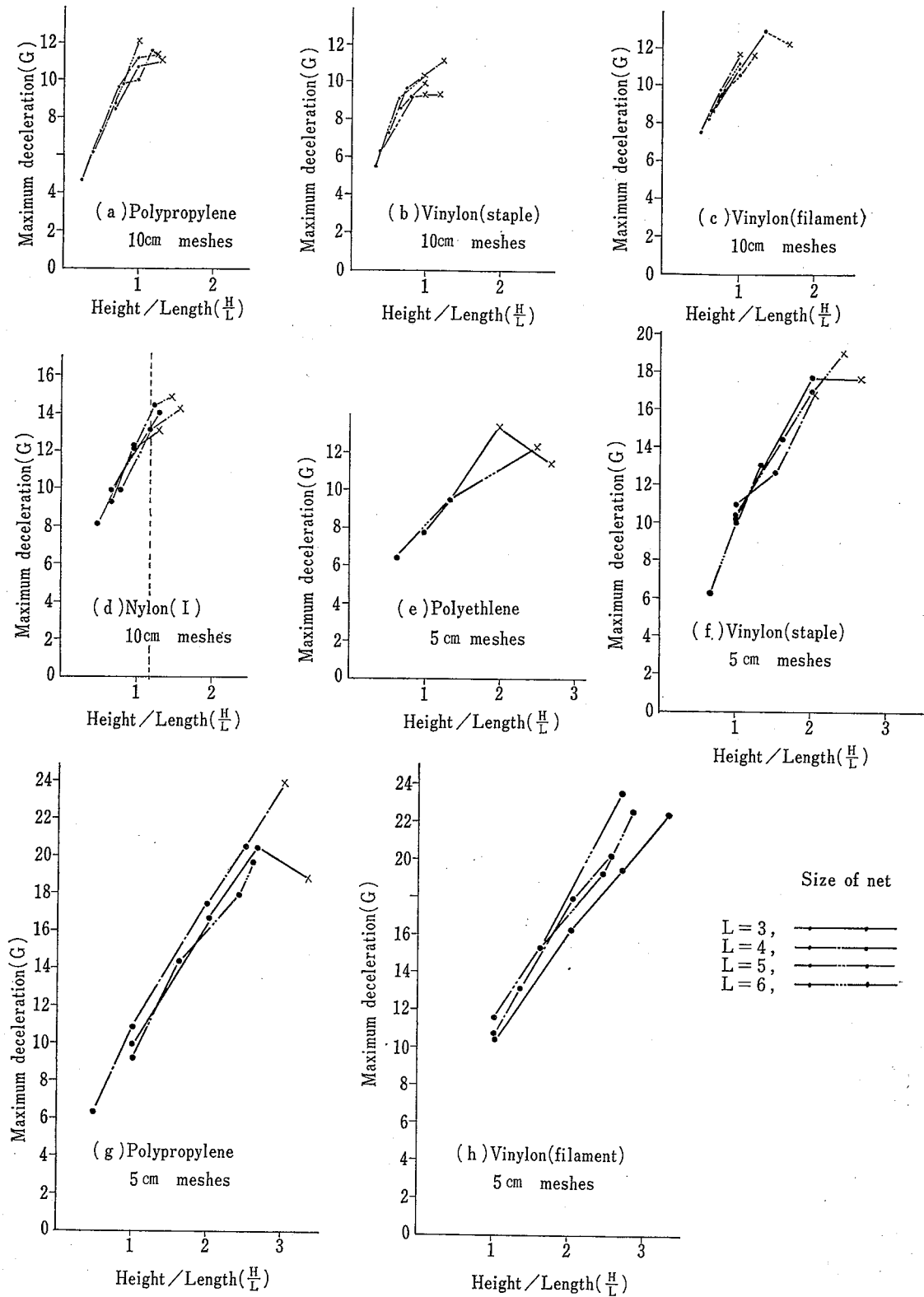


Fig. 9 Relations between the maximum deceleration and the ratio,  $H/L$ .  
 ネット一辺の長さに対する落下衝撃高さと最大減速度の関係

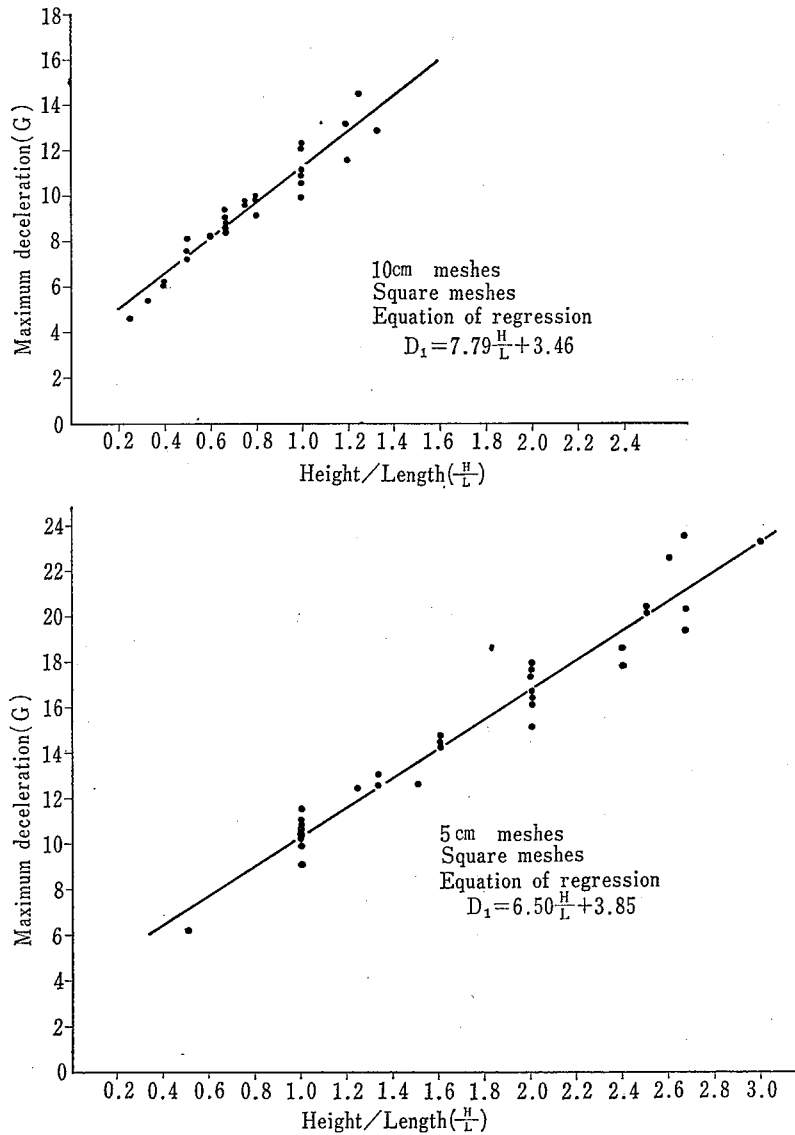


Fig. 10 Relations of maximum decelerations to the ratio,  $H/L$ .  
 ネット一辺の長さに対する落下衝撃高さと最大減速度の関係

回数と最大減速度

結節が締まっていくことと、網糸自身も弾力性を失っていくことなどのため、落下衝撃を繰り返すと、ネットは次第に緩衝性を失い減速度の大きさは増大しつつ、ある有限の値に近づくものと予想される。よって、落下衝撃回数と最大減速度の関係を知るため、本実験では、初回の落下衝撃で貫通しなかったネットについては同一高さから落下衝撃を貫通するまで繰り返した。その結果は Fig. 11 に示すようになった。

この結果から、 $H/L$  の値が一定のとき繰り返し落下衝撃を与えたとき、最大減速度の値は指数関数的に増大することがわかった。よって、各種の素材および

網目の寸法ごとにネットの大きさ、落下高さおよび落下衝撃回数と最大減速度との関係を示す実験式として、次式を得た。

$$D_N = a(1 - e^{-b(N-1)}) \frac{H}{L} + D_1 \quad (2)$$

ただし、 $D_N$  は第  $N$  回目の落下衝撃時の最大減速度である。 $a$ 、 $b$  はネットの固有の特性値と考えられる値で、実験データから統計的に決定される。 $N$  は落下衝撃回数、 $D_1$  は第 1 回目の落下衝撃時の最大減速度で、前述の (1) 式で与えられる。

次に  $a$ 、 $b$  の求め方について述べる。まず、 $D'_N$  を次のようにおき

**Table 7** Values of  $(a)$ ,  $(b)$  in the equation (2) 各種のネットについての(2)式中の $a$ ,  $b$ の値

Sort of net	$L$	$H$	$a$	$-b$
	(m)	(m)	(G)	
Polypropylene	4	1	10.00	0.58
	4	2	10.70	0.56
	4	3	6.94	0.66
	5	2	8.89	0.60
Average			9.13	0.60
Vinylon (staple)	4	2	11.30	0.62
	5	2	11.50	0.69
	6	2	11.09	0.62
Average			11.30	0.64
Vinylon (filament)	4	2	13.20	0.61
	5	3	9.88	0.78
	6	3	11.36	0.58
Average			11.48	0.66
Nylon (I)	3	2	3.04	1.17
	3	3	2.82	1.24
	4	2	5.00	1.14
	5	4	3.30	1.27
Average			3.54	1.21
Polypropylene	3	3	9.71	0.42
	4	2	8.72	0.49
	4	4	9.71	0.42
	5	5	9.71	0.42
	6	8	7.88	0.49
Average			9.15	0.45
Vinylon (staple)	3	3	9.75	0.64
	4	4	9.05	0.55
	6	6	10.00	0.69
Average			9.60	0.63
Vinylon (filament)	3	3	8.3	0.76
	4	4	10.49	0.72
	5	5	9.71	0.72
	5	6	10.00	0.69
Average			9.63	0.72

$$D'_N = D_N - D_1 = a(1 - e^{-b(N-1)}) \frac{H}{L} \quad (3)$$

$D'_{N+1}$  と  $D'_N$  と関係を示すと次式となる。

**Table 8** Values of the maximum deceleration calculated from the empirical equation.

実験式より求めた最大減速度の値

Sort of net	Size of mesh	$\frac{H}{L}$	$D_N$ (G)		
			$N=1$	$N=2$	$N=4$
Polypropylene	10	0.5	7.3 (7.2)	9.4 (9.5)	11.1 (11.2)
			7.3 (7.2)	10.0 (9.8)	12.1 (12.1)
Vinylon (staple)	10	0.5	7.3 (7.2)	10.0 (9.8)	12.1 (12.1)
			7.3 (7.5)	10.1 (10.3)	12.3 (12.9)
Nylon (I)	10	0.5	7.3 (8.1)	8.5 (9.8)	9.0 (10.6)
			7.1 (6.2)	8.8 (7.9)	10.5 (9.5)
Polypropylene	5	0.5	7.1 (6.2)	8.8 (7.9)	10.5 (9.5)
			7.1 (—)	9.3 (—)	11.2 (—)
Vinylon (staple)	5	0.5	7.1 (—)	9.3 (—)	11.2 (—)
			7.1 (—)	9.6 (—)	11.4 (—)
Vinylon (filament)	5	0.5	7.1 (—)	9.6 (—)	11.4 (—)
			7.1 (—)	9.6 (—)	11.4 (—)

$$D'_{N+1} = e^{-b} D'_N + a(1 - e^{-b}) \frac{H}{L} \quad (4)$$

もし、式中の  $a$ ,  $b$  および  $H/L$  が定数であれば、上式は  $D'_{N+1}$  と  $D'_N$  の直線関係を表わす式となる。

したがって、横軸に  $D'_N$ , 縦軸に  $D'_{N+1}$  をとり、同座標上に点  $(D'_N, D'_{N+1})$  ( $N=1, 2, 3, \dots$ ) をプロットし、各点がほぼある直線上にあることがわかれば、その直線の勾配  $A$ , 縦軸の截切長  $B$  から、 $a$ ,  $b$  を求めることができることになる。

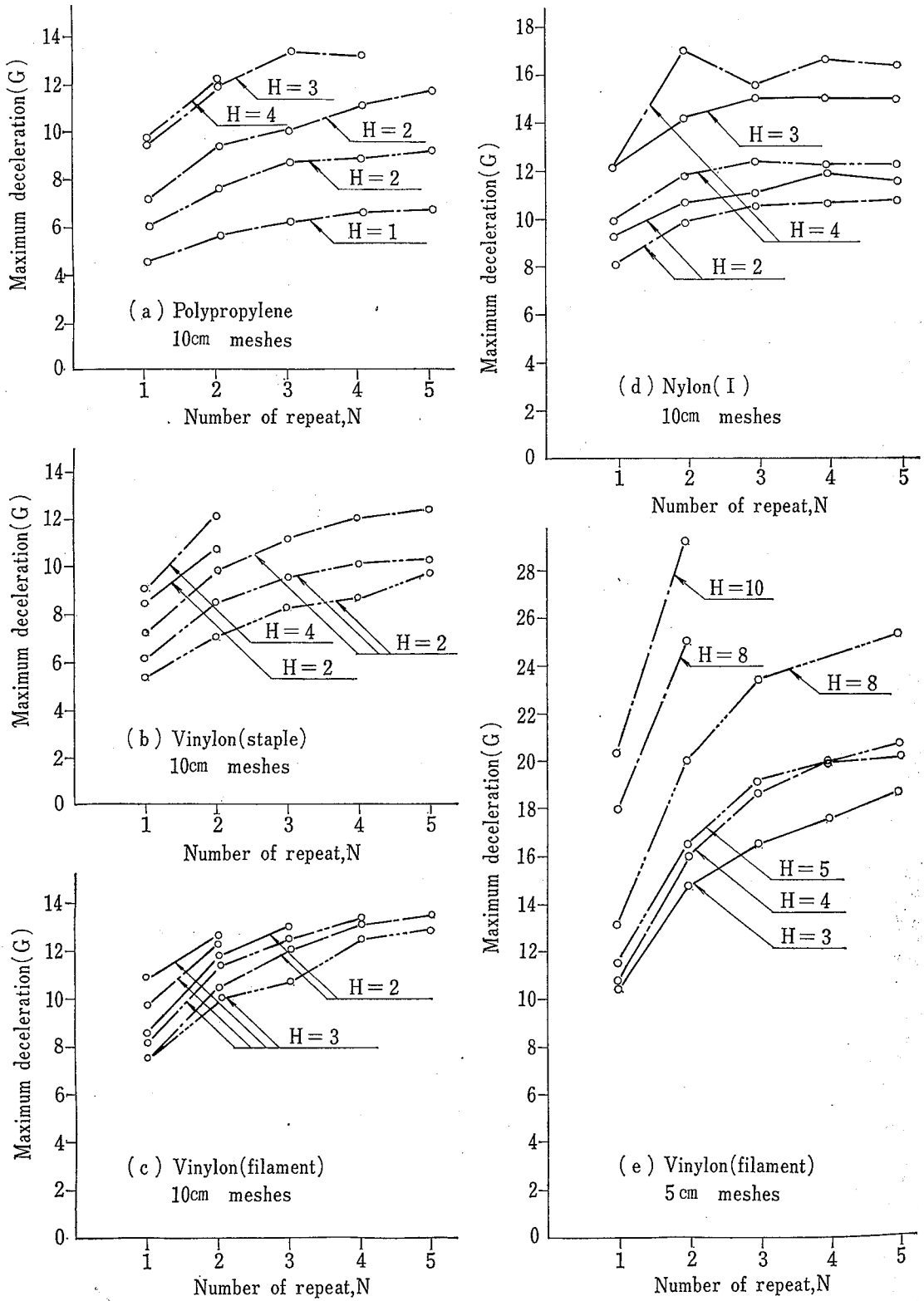
$$A = e^{-b} \quad (5)$$

$$B = a(1 - e^{-b}) \frac{H}{L} \quad (6)$$

以上の方法により、ネットの素材ごとに、 $L$  および  $H$  に対して  $a$ ,  $b$  を求めた結果が **Table 7** である。

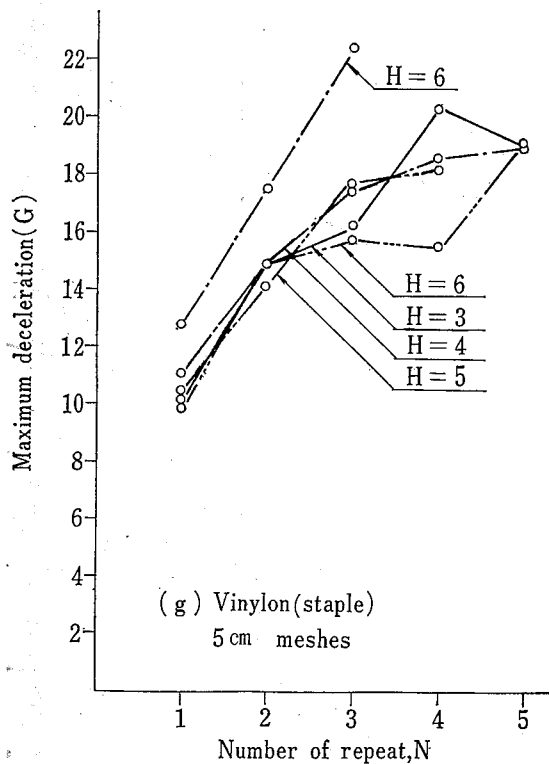
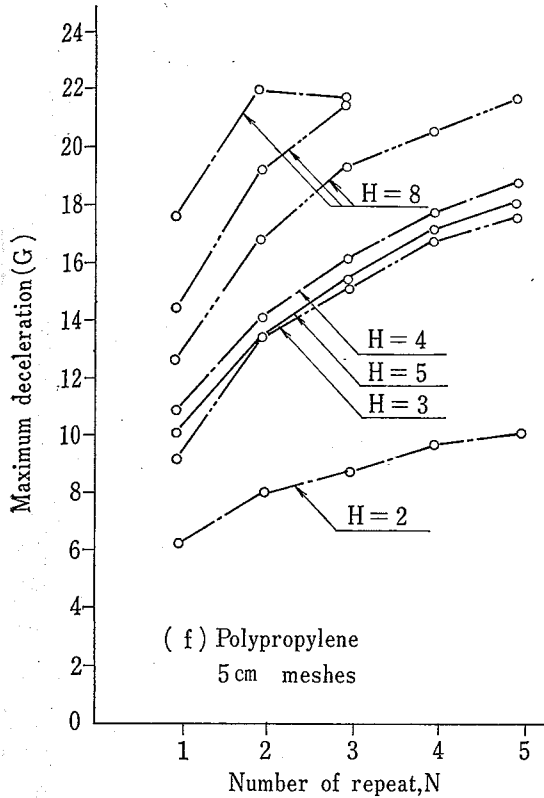
なお、この  $a$ ,  $b$  の値についてみると、同一素材ではほぼ一定の値となり、他の素材と比較すると明白な差があることがわかる。とくに、10cm 網目の場合、ナイロンの  $a$  の値がきわめて小さく、 $b$  の値が大きい。これは **Fig. 11** からわかるように落下衝撃を繰り返しても最大減速度が余り増大しないことを示している。

また、ポリプロピレン、ビニロン (フィラメント)、ビニロン (ステップル) の3種の  $a$ ,  $b$  の値を比較すると、三者とも大きな差はなく同程度の値となった。



H denotes the height of free fall, and the distinction of the lines denote the size  
 —●— 3 m × 3 m, —●— 4 m × 4 m, —●— 5 m × 5 m,

Fig. 11 Curves of the maximum deceleration in  
 くり返し落下衝撃時の



of net as follows.

—•—•— 6 m × 6 m,

repeated fall impact in a various nets.

最大減速度の値

また、同一素材について 5 cm の網目のネットと 10 cm の網目のネットを比較してみると、ビニロンネットを除きほぼ同一の値となることがわかった。ただし、同表には、5 cm の網目のナイロンネットについては実験できなかったのが記載してない。また、ポリエチレンネットは、繰り返し落下衝撃を与えると 2 回目、または 3 回目でネットが貫通し、良好なデータを得ることができず、 $a$ 、 $b$  の値を定めることができなかったのが記載してない。

上記の結果を利用し、各種のネットの緩衝性能について比較してみる。

いま、一例として  $H/L=0.5$ 、 $N=1$ 、 $N=2$ 、および  $N=4$  のときの  $D$  の値を各種のネットの場合について計算してみた結果 Table 8 のような表になる。

参考のため同表のかわりに実験値を記入しておく。この表からポリプロピレンネットおよびナイロンネットはビニロンネットよりやや緩衝性が高いが、大差はないことがわかる。ただし、落下回数を繰り返すとナイロンネットが最も有利であるという結果となる。

次に、網目の寸法について緩衝効果を比較すると、同表から 5 cm 網目のネットのほうが 10 cm 網目のネットに比較してややすぐれているものと判断される。

ここで、(2)式において

$$D_N = 0.95 D_0 \quad (7)$$

なる関係に達するときの落下回数  $N$  を求めてみると、次式となる。

$$N = 1 - \frac{1}{b} \ln \left[ \frac{0.05 \left( \frac{aH}{L} + D_1 \right)}{\frac{aH}{L}} \right] \quad (8)$$

一例として、 $b$  の値が最も大きいナイロンネットの場合 ( $b=1.21$ 、網目寸法 10 cm、 $H/L=1$ ) と最も小さいポリプロピレンネット ( $b=0.45$ 、網目寸法 5 cm、 $H/L=1$ ) の場合について  $N$  の値を求めると

ナイロン  $N \approx 2.3$  回

ポリプロピレン  $N \approx 5.9$  回

となり、他のネットはこの両者の中間の回数となる。

#### 4.2.3 支持点数と減速度

ネットの周辺の支持点数が減速度におよぼす影響を調べるため、とくに、ナイロン(II)ネットを供試用ネットとし、ネット周辺の支持点数を 4、8、12、16、20、28、32 点と変化させ落下衝撃実験を行なってみた。その結果の一例を Fig. 12 に示す。

これより支持点数が多くなるにつれて減速度の値は



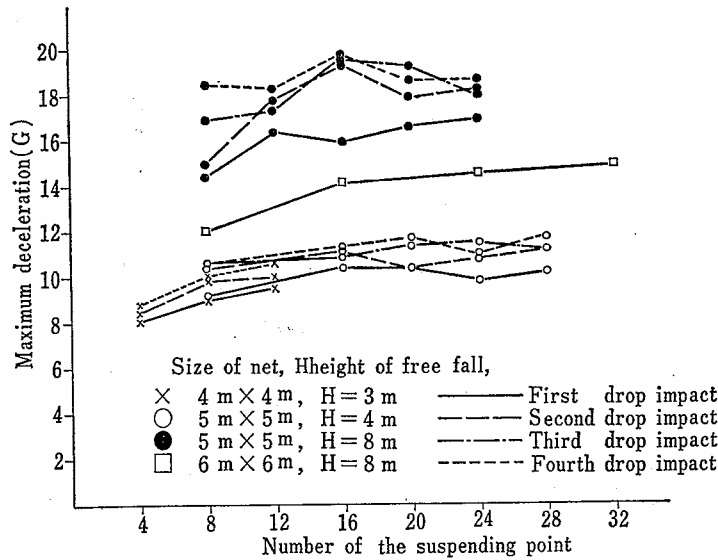


Fig. 12 Relations between the maximum deceleration and the number of the suspending points.  
 ネット支持点数と最大減速度との関係

増大するが、支持点数が12点以上になるとあまり増大しなくなり、一定値に近づくものとみてよい。

このことから、できるだけ支持点数の少ないほうが緩衝性が良いことと推察されるが、ネットの大きさから考えて実際には、8点支持以上とせざるを得ないように思われる。

ここで前節と同様な手法で、支持点数8点を基準にとり、支持点数を8点以上に増加させたときの最大減速度の増分を実験データから求め、これを(2)式に補追すればネットの大きさ $L$ 、落下高さ $H$ 、落下衝撃回数 $N$ 、およびネット支持点数 $q$ の四つの変数を含む総合的実験式として次式が得られる。

$$D = q(1 - e^{-r(p-8)}) + a(1 - e^{-b(N-1)}) \frac{H}{L} + D_1 \quad (9)$$

ただし、 $q$ 、 $r$ の値は、第1回目の落下衝撃実験で得られたデータから決定される定数で、次の値となる。

$$q = 2.0 \sim 2.9$$

$$r = 0.60 \sim 0.71$$

なお、実験はナイロン(II)ネットのみについて行なったので上記の $q$ 、 $r$ の値はネットの素材別、網目の寸法別に明示できな

かった。しかし、他の素材のネットについても支持点数の変化が最大減速度にそれほど大きな影響を与えるとは考えられないので、上記の実験式で概略の傾向を

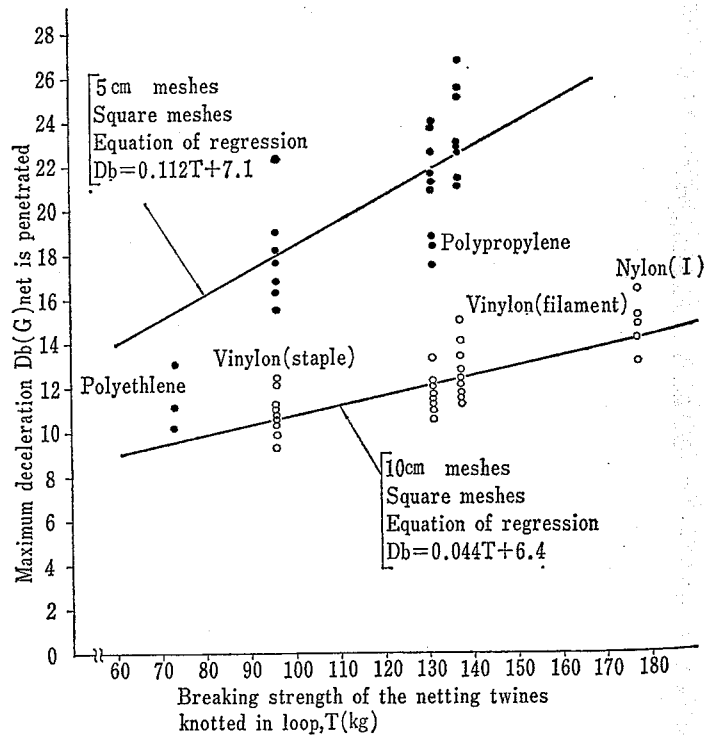


Fig. 13 Relations of maximum decelerations to the breaking strength of the netting twines knotted in a loop.  
 結節された網糸の破断強度と最大減速度(貫通時)の関係

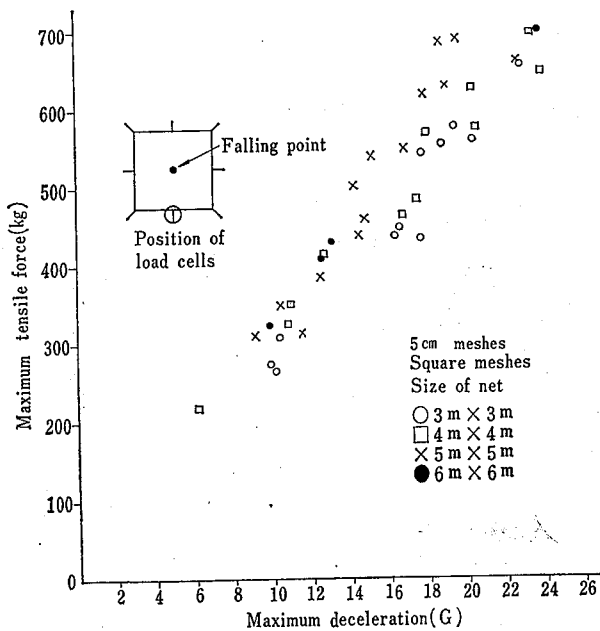
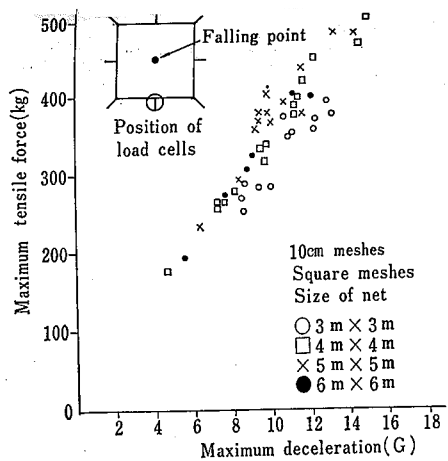


Fig. 14 Maximum tensile force acted in a suspending point of the center of side to the maximum deceleration.

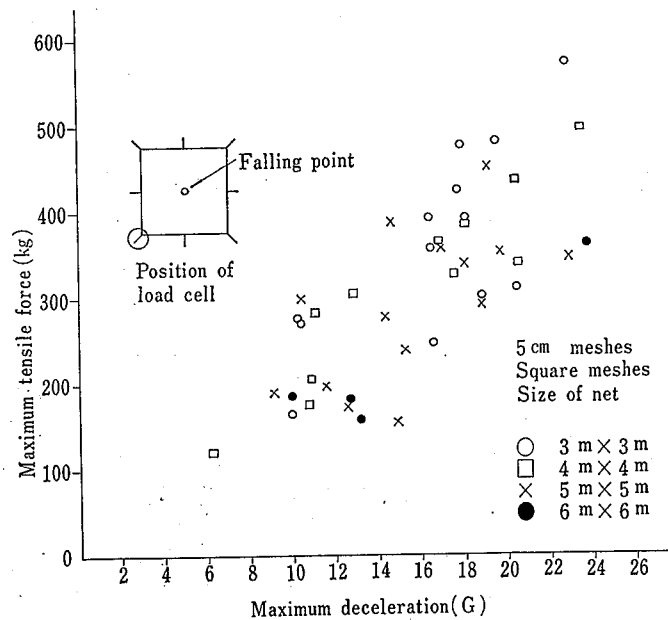
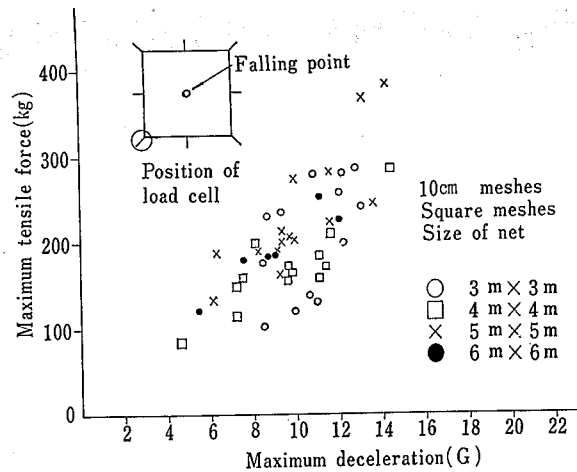


Fig. 15 Maximum tensile force acted in a suspending point of the maximum deceleration.  
最大減速度とネット支持点（隅角部）の反力

把握することはできるように思われる。

#### 4.2.4 ネット貫通時の最大減速度と網糸の破断強度の関係について

前に掲げた Fig. 9 ではグラフの上端が折れ曲がっているが、これはネットが貫通したため最大減速度が上昇しなかったことを意味している。このグラフが折れ曲がらなると仮定したときの最大減速度の値と、貫通時の最大減速度の値の差をみると、約1~2Gほどとなる。同図は第1回目の落下衝撃実験のデータのみを記したものであるが、繰り返し落下衝撃によってネットが貫通したときの最大減速度の値も、ほぼ同程度の値となるものと考えられる。

次に、ネットを貫通したときの最大減速度を縦軸にとり、網糸のループ結節強度を横軸にとって全実験データをプロットした図が Fig. 13 である。

この図から、網糸の破断強度とネット貫通時の最大減速度との関係は概略直線的な関係になるものと推察される。よって、その回帰線の方程式を求めると次式となる。

$$\left. \begin{aligned} D_b &= 0.112 T + 7.1 && 5 \text{ cm 網目の場合} \\ D_b &= 0.044 T + 6.4 && 10 \text{ cm 網目の場合} \end{aligned} \right\} (10)$$

ただし、 $D_b$  はネット貫通時の最大減速度の値 (G)  
 $T$  は網糸の引張強度 (kg) である。

#### 4.2.5 最大減速度と支持点反力との関係について

8点支持された角目のネットにおける、ネット辺中

央部の支持点反力と最大減速度との関係、ネット隅角部の支持点反力と最大減速度との関係をそれぞれ Fig. 14, Fig. 15 に示す。これらの図から、支持点反力と最大減速度とはほぼ比例することがわかる。いま、最大減速度を最大衝撃荷重に換算してその比を求めると、辺中央部の支持点反力は  $P_{max}$  の約30~40%、隅角部の支持点反力は  $P_{max}$  の約20~30%となる。また、このことから、辺中央部は隅角部の約1.5倍の反力を負担していることがわかる。

一方、菱目のネットの場合は、支持点反力が最大減速度にほぼ比例することは角目の場合と同様であるが、辺中央部と隅角部の反力の比較では、角目の場合と逆に、辺中央部が  $P_{max}$  の約20~30%、隅角部が  $P_{max}$  の約35~45%となる。

次に、(支持点反力)/ $P_{max}$  が支持点数  $\rho$  とどのような関係にあるかを、ナイロンネットについて示したのが Fig. 16 である。ただし同図では角目が5cm網目、菱目が10cm網目とならざるを得なかったが、角目と菱目の比較は一応可能と思われる。さて同図から、 $\rho$  が16以上になると、特定の支持点(角目ネットにおける辺中央部、菱目ネットにおける隅角部)におもな反力が作用し、他の支持点には均等な小反力しか作用していないことがわかる。このことは衝撃荷重の大部分が、ある特定の網糸(落下体底面と接触している網糸で角目ネットにおける中線的網糸、菱目ネットにお

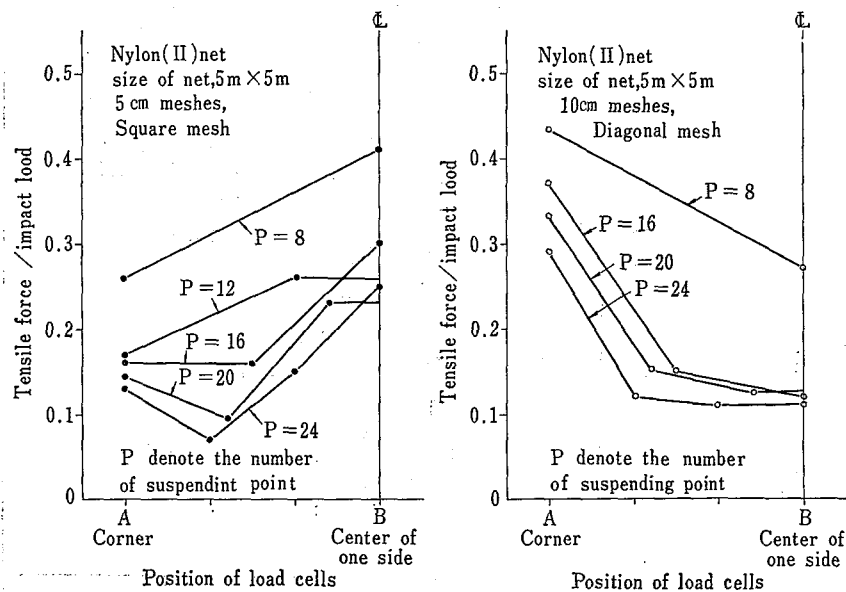


Fig. 16 Ratio of the tensile force to the fall impact load in the various number of suspending points.

支持点数を変えた場合における衝撃荷重に対する支持点反力の比

る対角線的網系)を通じて直接支持点に伝えられていることを示す証拠である。

### 4.3 落下衝撃荷重を受けるネットの荷重点の変位

以下にネットを支持台に取りつけたときの自然のたるみの位置(ネットの支持レベルからの距離)、落下体をネット上に静置したときのたわみ(ネットの支持レベルからの距離)および落下衝撃時の変位量について考察する。

#### 4.3.1 ネットの自然のたるみおよび落下体静置時の荷重点(ネットの中央)のたわみ

Fig. 17 に示すように、ネット支持台のネットを支持している点、この高さを基準としてネットを取りつけたときのたるみ  $S_1$  および落下体静置時のネット中央の部分のたわみ  $S_2$  の測定結果を Table 9 に示す。

ネットを支持台に取りつけたときのネットの自然たるみは、各ネットの種類、ネットの大きさによってかなり差があるが、平均するとネットの一辺の長さに対して、10cm 網目で約10%程度、5cm 網目のもの

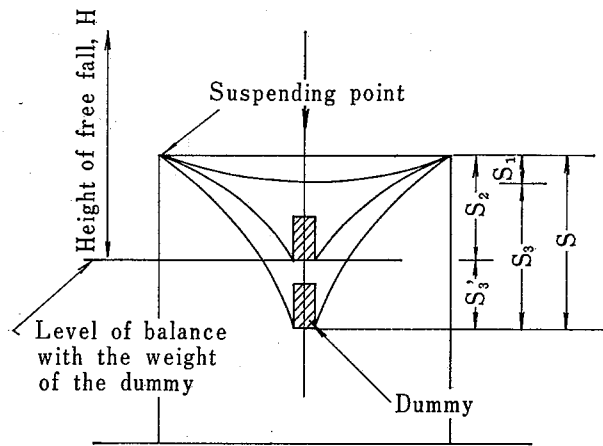


Fig. 17

で15~20%である。

落下体静置時におけるたわみは、ネットの一辺の長さに対して10cm 網目で30~40%、5cm 網目で35~45%程度であり、落下体静置時で、すでにかなり大き

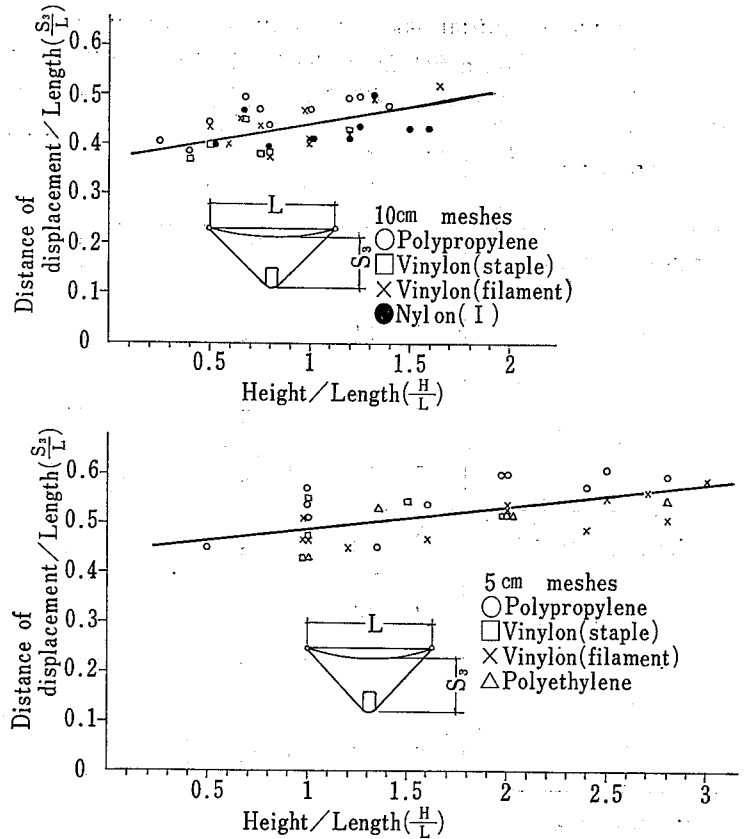


Fig. 18 Llistance of maximum displacement from the level of the initial sag to the ratio,  $H/L$ .  $H/L$  の比に対する自然のたるみの位置からの最大変位量

な変位をする。また、5cm 網目のネットは10cm 網目のネットに比べて約5%程度大きくたわむが、これは結節数が10cm 網目に比べて多いためと思われる。

#### 4.3.2 落下衝撃時の最大変位量

衝撃時の最大変位量は、ネットを設置して自然にたるんだ位置を基準とし、その基準をもとに測定した結果を Fig. 18 に示す。同図は、縦軸にネットの一辺の長さ  $L$  に対する最大変位量  $S_3$  の比、 $S_3/L$  をとり、横軸にネットの一辺の長さに対する落下高さ  $H$  の比、 $H/L$  をとり、それを図上にプロットしたものである。

実験を行なった範囲で最大変位量の平均値を求めると、5cm 網目のとき約  $S_3=0.65L$ 、10cm 網目では約  $S_3=0.55L$  であった。この値を、落下体静置時のつり合いの位置を基準にして求めてみると、5cm 網目で  $S_3' \approx 0.35L$ 、10cm 網目では  $S_3' \approx 0.25L$  程度となり、落下体静置によるたわみ(ネットの取付レベルを基準にした。)と同程度の変位量となることがわかった。なお、図中の回帰線の方程式は次式となる。

**Table 9** Initial sag and the distance of displacement caused by putting the dummy on a net from the level of suspending points.

ネット支持点からの自然たるみの位置および落下体静置時の変位置

Material	Size of net (Lm × Lm)	mesh cm	Initial sag		Displacement	
			Distance (S <sub>1</sub> ) mm	S <sub>1</sub> /L	Distance (S <sub>2</sub> ) mm	S <sub>2</sub> /L
Polypropylene	3 × 3	10	198	0.066	1,050	0.35
		5	530	0.177	1,573	0.524
	4 × 4	10	227	0.057	1,352	0.338
		5	361	0.09	1,470	0.368
5 × 5	10	245	0.049	1,508	0.302	
	5	554	0.111	1,938	0.388	
6 × 6	10	575	0.096	2,085	0.348	
	5	1,100	0.183	2,410	0.402	
Vinylon (staple)	3 × 3	10	450	0.15	1,315	0.438
		5	480	0.16	1,400	0.467
	4 × 4	10	510	0.128	1,535	0.384
		5	337	0.084	1,373	0.377
5 × 5	10	521	0.104	1,664	0.333	
	5					
6 × 6	10	943	0.157	2,098	0.35	
	5	1,023	0.171	2,345	0.391	
Vinylon (filament)	3 × 3	10	320	0.107	1,223	0.408
		5	330	0.11	1,250	0.417
	4 × 4	10	322	0.08	1,443	0.361
		5	610	0.153	1,738	0.435
5 × 5	10	410	0.082	1,608	0.322	
	5					
6 × 6	10	745	0.124	2,143	0.357	
	5	1,220	0.203	2,740	0.457	
Nylon (I)	3 × 3	10	370	0.123	1,218	0.406
		5				
	4 × 4	10	388	0.097	1,325	0.331
		5				
5 × 5	10	407	0.081	1,403	0.281	
	5					
6 × 6	10			1,742	0.29	
	5					
Polyethylene	3 × 3	10				
		5	129	0.043	830	0.277
	4 × 4	10				
		5				
5 × 5	10					
	5					
6 × 6	10					
	5			1,798	0.3	

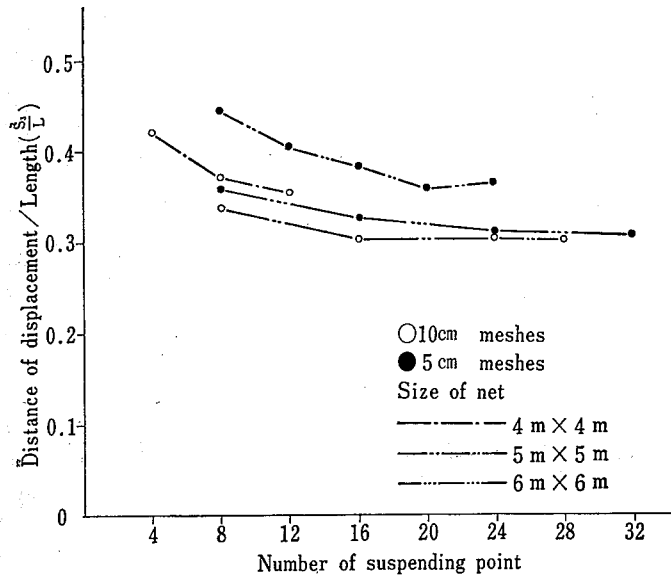


Fig. 19 Relation of the ratio,  $L/H$  to the number of suspending points.

ネット一辺に対する荷重作用点の変位とネット支持点数との関係

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{S_3}{L}\right) &= 0.07\left(\frac{H}{L}\right) + 0.37 \dots\dots \\ &\text{5 cm の網目の場合} \\ \left(\frac{S_3}{L}\right) &= 0.045\left(\frac{H}{L}\right) + 0.44 \dots\dots \\ &\text{10 cm の網目の場合} \end{aligned} \right\} (11)$$

上記の実験は、いずれも 8 点支持で行なって得た結果であるが、支持点数を変えて変位量を調べた結果を Fig. 19 に示す。

支持点数を増すことによって、ネットの拘束度が高くなるので、変位量は少なくなるが、支持点数が 16 点以上になると変位量はそれほど少なくならず、ある一定の値に近づく傾向を示した。

また、各材料による変位量の差についてみると、ポリプロピレンのネットが他のネットに比較してやや大きい値となることがわかったが、他の種のネットについてはほぼ同程度となった。

#### 4.4 ネットの衝撃荷重と変位の関係

網目が 10cm で落下高さが 4m、網目が 5cm で落下高さが 8m の場合について、オシログラフから求めた衝撃荷重(落下体の質量と減速度の積)と、16mm フィルムから求めた変位量との関係を、ネットの素材別に図示したのが Fig. 20 である。ただし、同図は第 1 回目の落下衝撃を対象としており、かつ、横軸に

$x/L$  をとっている。さて同図から、同一素材については、衝撃荷重と変位との間に、他の条件いかにかわらず、一つの関係式で表わす関係が成り立つように思われる。よって、衝撃荷重  $P$  と変位  $x$  について次の実験式を得た。

$$P = \alpha \left(\frac{x}{L}\right) \exp\left(\beta \cdot \frac{x}{L}\right) \quad (12)$$

ただし、 $\alpha$ 、 $\beta$  はネットの素材に関する定数で、実験データから定めることができる。Table 10 に各素材に対する  $\alpha$ 、 $\beta$  の値を示す。同表からポリプロピレン、ナイロン、ビニロンの順に変位が大きくなる表われることがわかる。

次に、繰り返し落下衝撃を加えた場合の衝撃荷重と変位との関係を Fig. 21 に示す。同図は 10cm 網目のナイロンネットについての結果であるが、第 2 回目以降は第 1 回目

目に比べて、 $P-(x/L)$  曲線の立ち上がり早く、かつ、急になるが、回数を重ねていくにしたがって、曲線の立ち上がりの変化が鈍り、終局的にはある一定の

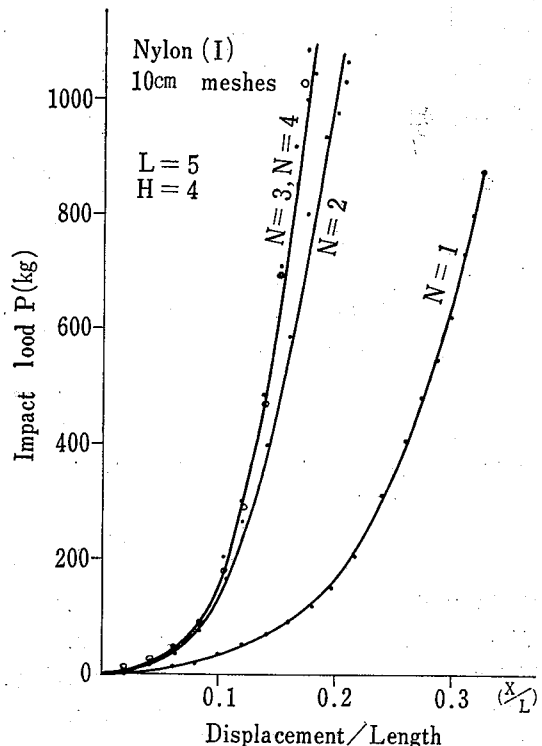


Fig. 21 Comparison of relation between impact load and displacement (in the repeated case)

くり返し衝撃による衝撃荷重——変位曲線

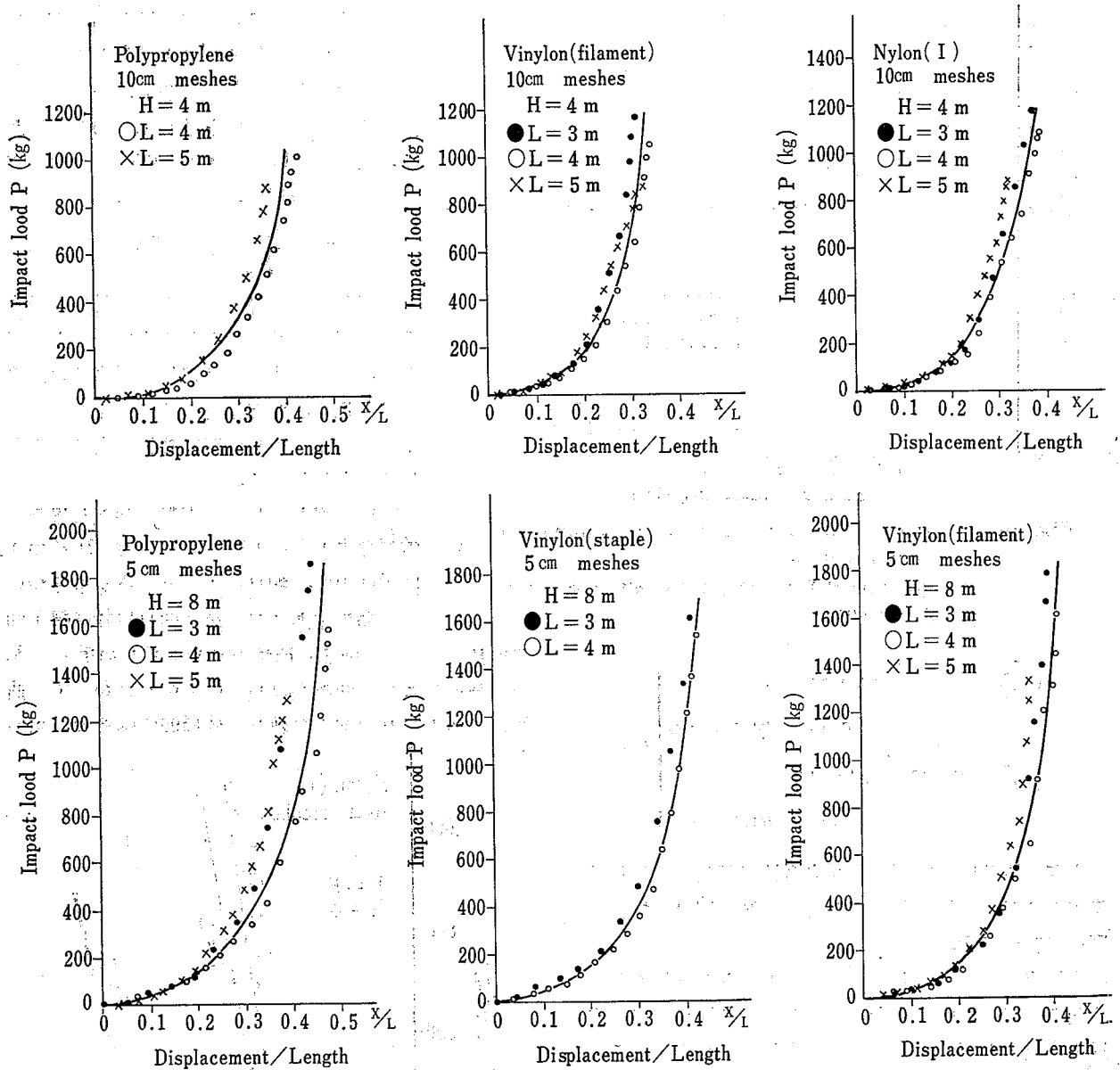


Fig. 20 Relations between impact load and displacement.  
各種のネットの衝撃荷重—変位曲線

Table 10 Values of  $\alpha, \beta$  in the equation (12)  
 $\alpha, \beta$  の値

	mesh	H	$\alpha$	$\beta$
Polypropylene	10	4	140.9	7.24
Vynilon filament	10	4	113.8	10.05
Nylon	10	4	151.6	7.99
Polypropylene	5	8	194.2	6.39
Vynilon staple	5	8	176.7	7.09
Vynilon filament	5	8	155.4	7.90

曲線に収斂するようになる。

### 5. 結 語

1. 結節強度比は素材によりいろいろ異なった値となる。最も高い比を示したのは、ポリエチレンで79%で、最も低い比を示したものは、ビニロン(ステップル)で42%となった。また、湿潤試料についてもほぼ同程度となった。結節を作ることによって破断強度の低下が著しいことがわかった。

2. 天然曝露を行ない耐候性の試験をした結果、黒

色に染色されたポリエチレンの網糸、およびビニロン（ステップル）の網糸が最も耐候性にすぐれていることがわかった。同一の材質でも黄色染色されたポリエチレンの網糸の耐候性は、黒色に比し劣化がはげしい。染色により差が大きくなったことは注目すべき点である。また、ポリプロピレンの網糸は、他の繊維に比し軽いため、ネットにしたとき扱いやすいという利点はあるが、経続天然曝露1年目で70%、2年目で40%に低下し、耐候性が他の繊維に比しきわめて劣っていることがわかった。

3. 湿潤した網糸と乾燥した網糸と破断強度の比較をすると、ビニロン（ステップル）、ビニロン（フィラメント）、ナイロンなどの湿潤した網糸は、乾燥した網糸に対しそれぞれ、約79%、90%、92%に低下することがわかった。また、ポリプロピレン、ポリエチレンの網糸の強度の低下は認められなかった。

4. 落下衝撃高さ $H$ 、ネットの一边の長さ $L$ 、落下衝撃回数 $N$ およびネット支持点数 $\rho$ と最大減速度 $D$ との関係は次の実験式で表わすことができる。

1) 第1回目の落下衝撃時で支持点数が8点のときは、ネットの素材に関係なく次式となる。

$$D_1 = 6.50 \left( \frac{H}{L} \right) + 3.85 \quad (5\text{cm 網目の場合})$$

$$D_1 = 7.79 \left( \frac{H}{L} \right) + 3.46 \quad (10\text{cm 網目の場合})$$

2) 落下衝撃回数が $N$ 回目のときは、次式となる。

$$D_N = a(1 - e^{-b(N-1)}) \frac{H}{L} + D_1$$

ただし、 $a$ 、 $b$ はネット固有の定数で実験結果から決定できる。

3) ネット支持点数が多いときは、次式となる。

$$D = q(1 - e^{-r(\rho-8)}) + a(1 - e^{-b(N-1)}) \frac{H}{L} + D_1$$

ただし、 $q$ 、 $r$ はネット固有の定数で、実験結果から求めることができる。

5. 上記のほか、さらにネットの緩衝効果について述べると、次のとおりである。

1) 一般に、ネットが大きくなるにつれて緩衝効果は増大するが、落下高さが低い場合にはネットの大きさを必要以上に大きくしても効果はあがらない。

2) 一般に、落下衝撃回数を繰り返すにしたがい、緩衝効果は低下するが、ナイロンネットでは2回、その他のネットでは4～6回以上繰り返して落下衝撃を与えると、緩衝効果は一定の値になる。

3) 一般に、ネット支持点数が増加すれば、緩衝効果は低下するが、12点以上になると緩衝効果は一定の値になる。

4) ネットの素材について緩衝効果を比較してみると、ナイロンネット、およびポリプロピレンネットはビニロンネットよりややすぐれているとみられる。なお、ナイロンネットは繰り返し衝撃荷重を受けたとき、他のネットに比較して有利である。

5) 網目の寸法が5cmの網目のネットと10cmの網目のネットと比較すると、5cmの網目のネットのほうがやや緩衝性が高い。

6. ネットを貫通する場合の最大減速度 $D_b$ と網糸の破断強度 $T$ との関係は、次の実験式で表わすことができる。

$$D_b = 0.112 T + 7.1 \quad (5\text{cm 網目の場合})$$

$$D_b = 0.044 T + 6.4 \quad (10\text{cm 網目の場合})$$

7. 落下衝撃時の支持点の反力は最大減速度の値にほぼ比例する。角目ネットでは、辺中央部の支持点反力、および隅角部支持点の反力はそれぞれ最大衝撃荷重（最大減速度と落下体質量の積）の約30～40%、および20～30%となる。

8. 菱目のネットと角目のネットについて最大減速度の値を比較すると、明確な差は認められなかったので、両者同等の緩衝効果をもつものであろうと考えられる。

9. 落下衝撃荷重を受けるネットの荷重点（ネットの中央）の変位 $S$ は、次の実験式で表わすことができる。

$$\left( \frac{S}{L} \right) = 0.07 \left( \frac{H}{L} \right) + 0.37 \quad (5\text{cm 網目の場合})$$

$$\left( \frac{S}{L} \right) = 0.045 \left( \frac{H}{L} \right) + 0.44 \quad (10\text{cm 網目の場合})$$

ただし、上式はネットの支持点数を8点とした場合である。支持点を多くすれば変位量は、漸次少なくなる傾向にあるが、16点以上になると変位はほぼ一定の値になる。

10. ネットの衝撃荷重——変位曲線は、衝撃荷重を $P$ 、変位を $x$ とすると、次の実験式であらわすことができる。

$$P = \alpha \cdot \frac{x}{L} \cdot \exp\left(\beta \cdot \frac{x}{L}\right)$$

ただし、 $\alpha$ 、 $\beta$ は定数で、実測値から求めることができる。



参 考 文 献

- 1) 木下鈞一, 小川勝教, 産業安全研究所研究報告, 14, (2), 1, 1965
- 2) 田代憲輝, “各種のロープの曝露試験に関する研究” 科学と工業, 37, 296, 1963, および, 38, 479, 1964
- 3) British Standard, Specification for industrial safety net, B.S. 3913, 1965
- 4) 増山元三郎 “実験公式の求め方” 竹内書店, 1965
- 5) 星野茂雄, 豊田実 “緩衝性包装設計ハンドブック” 日本生産性本部, p.123, 1969

[8月30日受理]

産業安全研究所研究報告 RIIS-RR-20-2

---

昭和 46 年 11 月 20 日発行

発行所 労働省産業安全研究所

東京都港区芝 5 丁目 35 番 1 号

電話 453-8441 番 (代)

印刷所 新日本印刷株式会社

---

郵便番号 108

UDC 614, 821 : 677, 664

安全ネットの性能向上

—安全ネットの特性について—

木下鈞一・小川勝教

産業安全研究所報告 RIIS-RR-20-2, 1~19 (1971)

墜落災害防止用ネットについての構造規準を定めるため、各種の合成繊維で製作された安全ネットに落下衝撃を加える実験を行なった。この実験の結果からネットに作用する最大衝撃荷重、衝撃荷重時のネットの最大変位量などを求める関係式を得た。またその他落下衝撃をうけるネットの力学的性状のいくつかの点について明らかにした。

(表10, 図21, 写真2, 参5)



~~UDC 614, 821 : 677, 664~~

**Efficiency improvement of the safety net**

**—about special character of the safety net—**

**K. Kinoshita, K. Ogawa**

**Research Report of the Research Institute of Industrial Safety**

**RIIS-RR-20-2, 1~19 (1971)**

For the purpose of standardizing the specification of the safety net which have been used for the prevention of fall accidents in construction sites and others, this report investigates into their dynamical characteristics by fall impact. From the results of experiment we get relative formulas to give the maximum deceleration and the distance of the maximum displacement of each net., and other relations with the characteristics of the net, in the case of fall-impact on it.

(10 Tables, 21 Figures, 2 Photographs, 5 References)

