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. Maximum height from which workers can leap down safely on the safety net is 5-6m in consideration of shock to human body.

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。

このことからも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,近来セイフティ, 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、ウェ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(東洋測器製ーテンシロン(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, Tabbe-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の部分をFig-1のようにエボキシン樹脂にてかため、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





合を調べた。それを,強度比αで表し α=有結節強度/無結節強度

とした。(Table—1参照)

又引張実験を行つ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 中太い実線はウェザー

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 天然曝露日数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。











Fig-3b Stress-Strain Curve



- 4 ---







Fig-3d Stress-Strain Curve

- 6 -



- 7 ---



Fig-3f Stress-Strain Curve

- 8 --



Table—1	Breaking	strength	and	elongation	of	twines
---------	----------	----------	-----	------------	----	--------

 م	ット	の 種 類 (略号)	A	В	с	D	E	F
原	原 材 料		ポリプロプレン	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		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)		プの径 (mm)	6	4	4.5	4	5	4
	無	破断強度 kg	221.0		185. 0	165. 0	206. 7	300. 0
曝露	節	伸度 %	37. 8		44. 7	33. 6	29. 3	50. 0
時 間	有	破断強度 kg	-	143. 0	111.0	89. C	121. 1	174. 0
0 時	節	伸度 %		27.6	39. 0	29. 9	26. 7	49. 9
間	α	強度比%			60. 0	53.9	58.6	58.0
	無	破断強度 kg	218. 7	218. 7 196. 0		150.0	201. 0	
曝露	節	伸度 %	36. 9	31.0	44. 9	33. 3	32.8	
時 間	有	破断強度 kg		136. 7	105. 3	80.0	108.0	155. 7
100 時	節	伸度 %		30. 8	39. 6	32. 4	30. 4	68. 9
間	α	強度比%		69.7	58. 5	53. 3	53. 7	
	無	破断強度 kg	216. 7	192. 0	166. 0	146. 0	• 172.0	
曝露	節	伸度 %	39.9	30. 0	37.4	29. 1	29. 2	
時間	有	破断強度 kg		121. 3	91.0	88.0	96. 7	138.0
200 時	節	伸度 %		31. 1	41.6	35. 4	31. 2	29. 9
間	α	強度比%	-	63. 2	54.8	60. 3	56. 2	

- 9 -

.

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つて衝撃体を吊 つ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

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。このサンドバッグは重さを調節するため、バッグ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。衝撃速さは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-3 Experimental tower



Fig-6 Dummy for the test



- 10 -

Photo-4 Dummy of sandbag



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



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, 10.0×10.0 cmの2種類に限定する。特にA種のネットは7.5×7.5 cm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 ることにする。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採つたわけ 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		網日	重さ	網の	種類
東三	京 菱 レ	製 イ:	綱コン	A	cm 7.5 10.0	kg 4. 0 3. 5	菱目,	無結節
日鐘	木	漁	網紡	B (b)	5. 0 10. 0 10. 0	6. 0 3. 5 5. 5	菱目	有結節
東東	山	産	業レ	C	5. 0 10. 0	5. 0 3. 0	角目	有結節
昭東	和	綱	業紡	D	5.0 10.0	5. 0 2. 5	角目	有結節
安東	永	産	業レ	E	5. 0 10. 0	6. 0 4. 0	菱目	有結節
藤日	拤	電	エ レ	F	5. 0 10. 0	7.5 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の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少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

 $X=Asin\omega t$, $\dot{X}=Awcos\omega t$ $\ddot{X}=Aw^2sin\omega t$ 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



- 11 -

A, ωの決定は Fig-8 のように落下体とスケールを側 面から高速度撮影し,ある時間に対する運動位置を測定 して,変位の補正を行つた。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 物体が当つ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。

Xmax(t'=t) = A



- 12 -



- 13 -



Time (sec)



Fig—9f



$$\dot{X}_{(t'=0)} = A\omega_1$$
$$\dot{X}_{(t'=t)} = 0 \therefore \quad \omega_2 = -\frac{\pi}{2t}$$

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ω₁とω₂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 X_(t'=0)=Aω₁=Vo=10.4m/sec (グラフの直線部 分の勾配)

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

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

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=0.47m ω =22.1rad/sec

よって X=0.47sin 22.1t'

 \ddot{X} max = -0. 47 × 22. 1² = -230m/sec² = -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=Asinot 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ほぼ一致した。実験では物

ネット	(cm) 網日	古技占数	·	(m)	(m/sec) Aw	(m) 4	(rad/sec)	(g) 最士減	(kg/cm)	(m) h	最大	减速度	(m=	70kg)
の種類	1113	又村品奴		1	or Vo	Α	w	速度	к ×10 ⁸	11	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
В	10	4		1. 54	13. 3	0. 78	17.1	23. 3	26. 3	9. 0	15.1	21. 4	26. 4	30. 3
С	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. C	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

Table-3 Magnitude of accelerations

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

体の振動は一種の減衰振動であるが、微少な時間内では 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称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 のものの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やその他ネ 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体推定出来よう。





- 17 -

 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=70kg, h=3m, 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。 木実験では 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) から切り出して作つた。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。



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ケ所のみ 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つて十字状に、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 も、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ブのうち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の大きさの応力は生 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		5. 001	r 7. 5cm m	i in lesh	- 10cr	n in m	esh		5. 0cm	or 7.5c	m in n	nesh	10. C)cm in m	esh
No.		(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	<u> 1</u>
5		—	68	· —	_ 35	110	40		—	_			30	20	_
6		255	390	346	264	440	260		255	276	565	418	120	285	
			h=9m		h=2.5	h=5m	h=5.0			h=2.5	h=7.5	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

Table-4 Stress that acted in several parts of net

Load		5. 0 c	or7. 5cm m	n in Iesh	1001	m in m	esh		5. 0cm	n or 7.5c	m in n	nesh	10. ()cm in m	esh
No.		(1)	(2)	()	(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	316	500	330	255			525				341	270	210
		(4)	h=2.5			h=2.5			h=9.0m					h=2. 5m	h=1.5m
		(2)	(2)	(2)	(2)	(2)			(2)				(2)	(2)	(2)
									1						
1	С	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	630	525					315	445	408			478	342
			h = 7.0	h=5.0						h=7.5m	h=5.0			h=9. 0m	h=2.5m
		(1')	(6)	(6)	-				(2)	(2)	(2)		(2)	(2)	(2)





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 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, Xmax=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。





又ローブの支持本数 n についてみ る と、10 cm 網 日 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るみによるロープ の繰り出し長さが、0.5 cm~2.0 cm, 落下点の局部的な 伸度を20~25%位見込めば, 落下点下では,約 6~7.5 cm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。結節部のゆる 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0.5 cm位, C, Dのネット で1.0~1.5 cm, E, Fのネットで約1.5~2.5 cm 位であ った。同様にして 7.5 cm 網目の場合は n =12~16 本, 5 cm網目の場合は n =16~20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、

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

T'=221×0.8(推定)=176kg

$$T' > T = T_{No.2}$$

- $(B_1), m = 10 \text{cm}, \dot{X} \text{max} = 23.3 \text{g}$
- M=90000, \therefore F=2100kg, n=12
- $T = 2100/12 = 175 kg, T_{No.2} = 180 kg$

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

- 21 -

(C), m=5cm
$$\ddot{X}max=26.2g$$

M=90000, $\therefore F=2350kg$, n=20
T=2350/20=117kg, T_{No.1}=75kg
T'=111kg T'=T(貫通する限界,実験では破れず)。
(D)m=5cm, $\ddot{X}man=12.5g$
M=90000, $\therefore F=1125kg$, n=20
T=1125/20=56.5kg, T_{No.1}=60kg
T'=89kg, T'>T=T_{No.1}
(F) m=5cm, $\ddot{X}max=15g$
M=90000, $\therefore F=1450kg$, n=16
T=1450/16=92kg, T_{No.2}=70kg
T'=174kg, 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 streatched 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=10cm 8点支持 h=6.5m n=8

 \dot{X} max=27.6g, M=90000, \therefore F=2480kg T=2480/12=207kg, T'=221×0.8=176kg T>T'

2. A m=10cm 8点支持 h=5.0m

n = 8Xmax=22.0g, M=90000, \therefore F=1980kg

T=1980/12=165kg, T'=176kg
 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 =5.0m 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-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 600kg~860kg、8点支持の場合は 255kg~660kg 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。

— 22 —



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

	number of supporting points	5cm or 7.5cm in mesh	10cm in mesh	
	4	653kg 750	600kg 600(h=5m)	
A	8	255 390	•346 264(h=2.5m) •440(h=5.0m) 260(h=5.0m)	
	4	860	• 480 645	
В	8	330 316(h=2.5m) 500(h=5.0m)	• 330 • 255	
	4	675 540(h=3.0m)	°495	
С	8	$\underbrace{\overset{255}{\underline{630}(h=7.0)}}_{\underline{525}(h=5.0)}$	e.	
D	8	255 276(h=2.5m) 565(h=5.0m) •418(h=7.5m)	•120 285(h=2.5m)	
	4	674, 805	•460	
Е	8	525	*341 270(h=2.5m) 210(h=1.5m)	
	4	552 415(h=5.0m)	660 630(h=7.5m)	
F	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×<u>100</u>=1.72ton 位 の強度が必要となろう。本実験中に於て,このロープが 切断するということは起らなかったが,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 Photo-10 Load-cell



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	cas	ses		D.	
impact point	male	female	total	Ratio	
feet	57	21	78	61.0%	
head	19	2	21	16.4	
buttocks	6	4	10	7.8	
prome	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

ft cases 20'-6	ft cases
33'-4	
35'-4	
40′ 4	
48'-3	
50'9	
	ft cases 20'6 33'4 35'4 40'4 48'3 50'9

Table—7

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





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

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

 Table--8
 Necessary strength of a knotted twine.

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 ギル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 下げるような事があるが,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ので注意を要する。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。

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げら れることは言うまでもない。しかし使用状況によって 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 ネットがある程度携んだ後、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、緑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本切断してしまった。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った。 しかしネットの大きさが大きくなったとき、必要となろ 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 をとったが、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、研究の余地があろう。

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 った水産大学、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
- "Safety Nets" Engineering News Record March
 19. 1964
- 4) A, Martin Eiband; Human Tolerance to Rapidly Accelerations.

		Natianal Aeronautics and		33 No. 11
		Space Administration, June	6)	Richard. G. Snyder; Human Survivability of
		1959.		Extreme Impacts in Free-
5)	A. B. Jhompson;	A Proposed New Concept		Fall.
		for Estimating the Limit of		Civil Aeromedical Research
		Human Tolerance to Impact		Institute August 1963.
		Acceleration, Aerospace Me-	7)	西本秀雄;繊維製品の物理的性質 高分子学会
		dicine November 1962. Vol	8)	合繊の産業用資材(生産技術の製品,用途編)