

墜落阻止時の垂直親綱と安全ブロックの 伸びと衝撃荷重に関する基礎的研究

高橋 弘樹*1, 日野 泰道*1, 大幢 勝利*2

親綱・安全带等を用いた屋根上作業において、作業員が屋根から滑落后、親綱等により墜落阻止された場合、親綱に荷重が作用するとともに、親綱自体に伸びが生じる。しかし、親綱を地面に対して垂直方向に使用した場合（以下、垂直親綱とする）の伸びと衝撃荷重の関係は分かっていない。また、墜落阻止時に垂直親綱に生じる最大の伸び量も分かっておらず、伸びすぎて地面に墜落する可能性もある。本稿では、墜落阻止時の垂直親綱等に作用する衝撃荷重と伸びの関係を墜落実験により検討し、これらの結果をもとに、屋根上作業における垂直親綱等の使用基準について示した。

キーワード: 墜落災害, 屋根, 垂直親綱, 安全带, ショックアブソーバ, 衝撃荷重, 伸び

1 はじめに

屋根上作業をする場合、墜落防止対策として「労働安全衛生規則」に、作業床を設置すること（第518条第1項）や作業床の端等に囲い、手すり、覆い等を設置すること（第519条第1項）が定められている。ただし、震災の被災地のようにがれき等が散在して、作業床や囲い等の設置が困難な場合は、安全带等を用いた墜落防止対策が一つの選択肢となる（第518条2項及び第519条第2項）。この具体例に、垂直親綱と安全带を併用した対策がある。

垂直親綱・安全带を用いた屋根上作業において、作業員が屋根から滑落后、垂直親綱・安全带により墜落阻止された場合、どの程度垂直親綱が伸びるのかは分かっておらず、伸びすぎて地面に墜落する可能性もある。また、墜落阻止時に垂直親綱が伸びることで、垂直親綱に作用する衝撃荷重が小さくなると考えられるが、その伸びと衝撃荷重の関係も分かっていない。

小川ら¹⁾は足場の組立・解体作業に用いる水平親綱について衝撃荷重や伸びに関する計算式を示している。しかし、親綱を地面に対して水平に設置して、その水平親綱に安全带を取り付けた場合を対象としており、親綱を地面に対して垂直に設置した場合の計算式は示していない。また、屋根上作業の墜落防止器具の一つである安全ブロックを垂直親綱に連結した場合やショックアブソーバを使用した場合の検討もしていない。

本論では、屋根上作業における垂直親綱・安全带の使用基準の提案を目的として、墜落実験により墜落阻止時の垂直親綱に作用する衝撃荷重と伸びの関係を検討した。

2 実験概要

墜落防止器具である垂直親綱と安全ブロックに作用する

*1 労働安全衛生総合研究所 建設安全研究グループ

*2 労働安全衛生総合研究所 労働災害調査分析センター

連絡先: 〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6

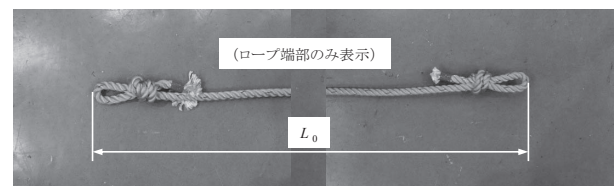
労働安全衛生総合研究所 建設安全研究グループ 高橋弘樹*1

E-mail: takahah@s.jniosh.go.jp

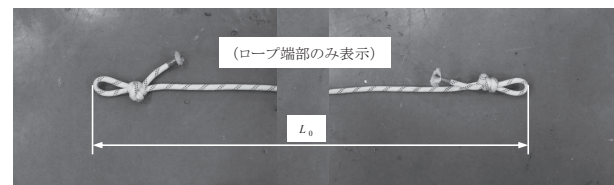
衝撃荷重と伸びの基本的な性能を検討するため、墜落実験を行った。実験では、自由落下させた落体を垂直親綱と安全ブロックにより墜落阻止させ、そのときの垂直親綱と安全ブロックに作用する衝撃荷重と伸びを調べた。実験に用いた垂直親綱、安全ブロック、ショックアブソーバを図1に、実験の状況を図2と図3に、垂直親綱の長さ等を示した実験条件を表1と表2に示す。

1) 実験に用いた垂直親綱等

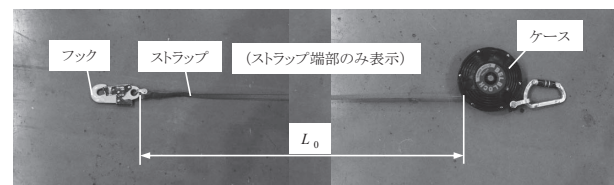
実験に用いた垂直親綱は、屋根上作業において一般的



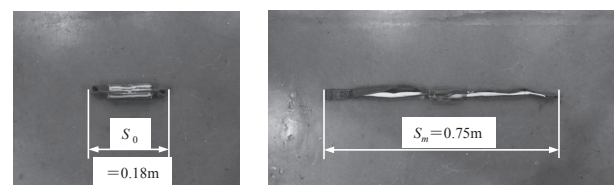
(a) 垂直親綱 (ナイロンロープ)



(b) 垂直親綱 (スタティックロープ)



(c) 安全ブロック

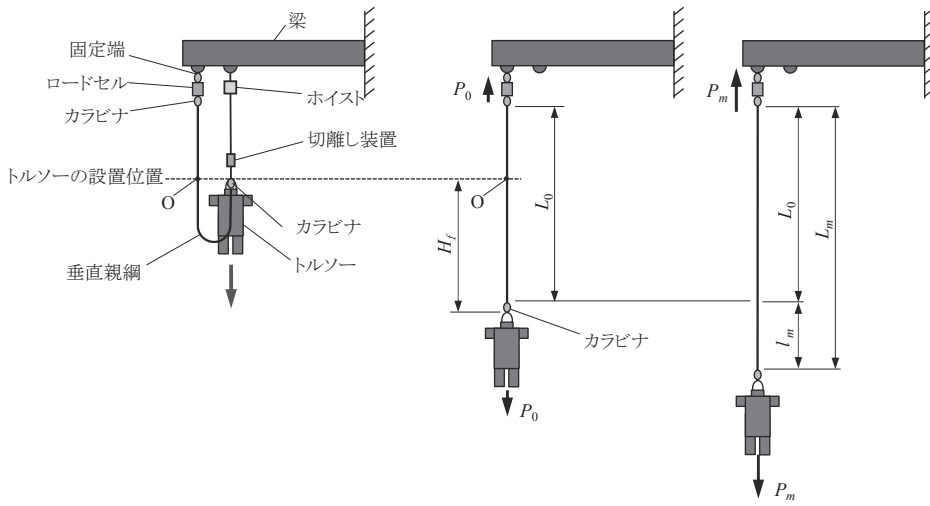


(i) 開く前の状態

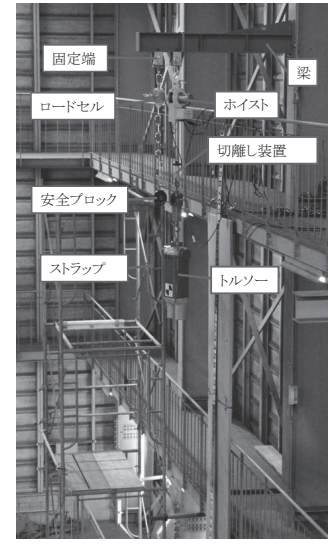
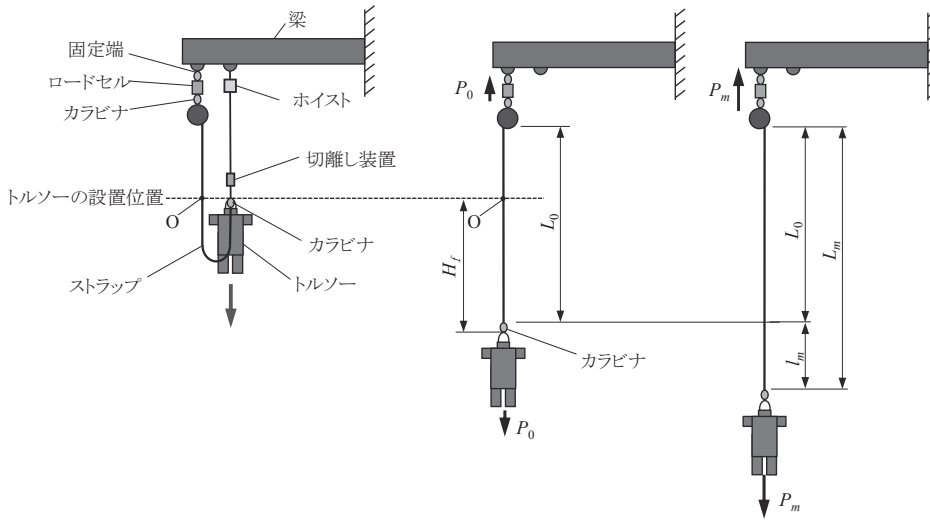
(ii) 開いた後の状態

(d) ショックアブソーバ

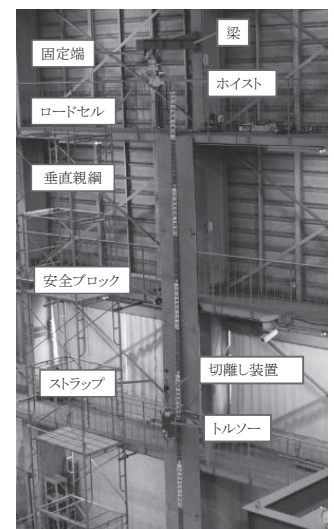
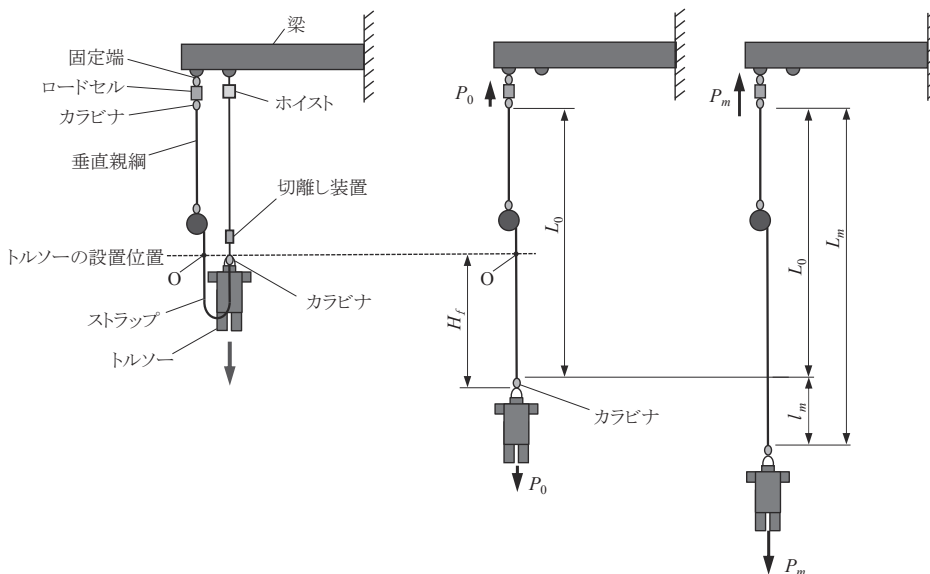
図1 実験に用いた垂直親綱等



(i) 垂直親綱等の設置状態 (ii) 自由落下終了時の状態 (iii) 垂直親綱の伸びが最大の状態
(a) 垂直親綱のみの場合

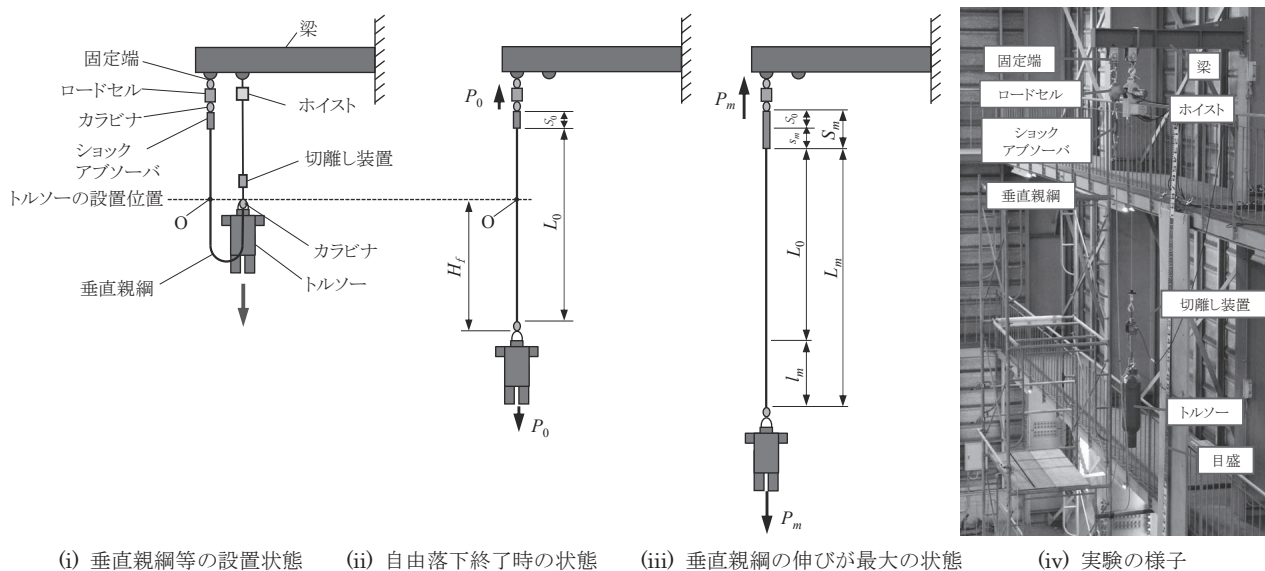


(i) 垂直親綱等の設置状態 (ii) 自由落下終了時の状態 (iii) ストラップの伸びが最大の状態
(b) 安全ブロックのみの場合

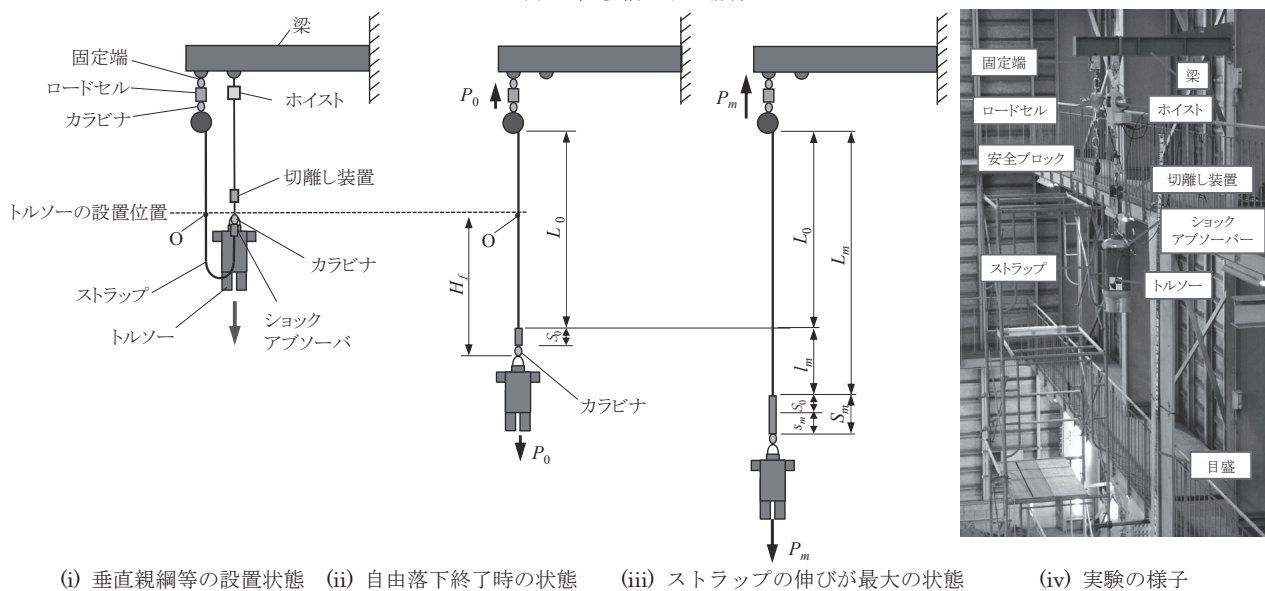


(i) 垂直親綱等の設置状態 (ii) 自由落下終了時の状態 (iii) 垂直親綱+ストラップの伸びが最大の状態 (iv) 実験の様子
(c) 垂直親綱と安全ブロックを連結した場合

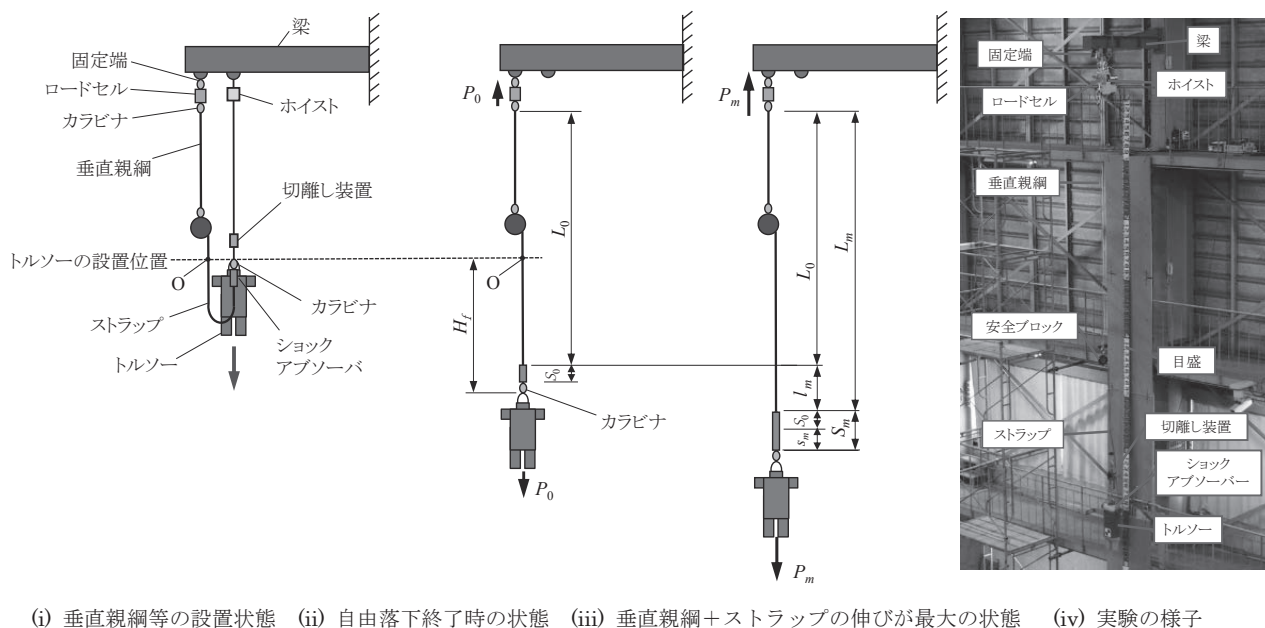
図2 実験の状況 (ショックアブソーバなし)



(a) 垂直親網のみの場合



(b) 安全ブロックのみの場合



(c) 垂直親網と安全ブロックを連結した場合

図3 実験の状況 (ショックアブソーバあり)

に使用されているナイロン製の直径 12mm の三つ打ちロープと消防の救助等で使われている直径 11mm のスタティックロープである。スタティックロープは墜落阻止時の伸びがナイロンロープよりも小さい。さらに、ナイロンロープのようにより合わせたロープでないため、墜落阻止されてロープに張力が作用した後も、よりの解放による回転がないという特徴がある。本研究では、ナイロンロープについて検討するとともに、スタティックロープについても、屋根上作業において垂直親綱として有効に使用できるか併せて検討した。なお、垂直親綱の端部は、落体等と接続するため、図 1 に示すように、もやい結びとした。

実験に用いた安全ブロックは、図 2(c) に示すように、主にフック、帯ロープであるストラップ(最大長さ 5.5m)、ストラップを収納するケースにより構成された市販品である。墜落阻止時にストラップが高速で引き出されると、ストラップにロックがかかり、墜落を防止する機構となっている。本稿では、ストラップの長さ等について以下のように定義した。

- ・墜落阻止前にケースから引き出されているストラップの長さ：ストラップの長さ
- ・墜落阻止時にストラップが高速で引き出されてから、ロックがかかるまでのストラップの長さ：ストラップの送り出し長さ
- ・ロックがかかった後、衝撃荷重によりストラップが伸びた長さ：ストラップの伸び

実験に用いたショックアブソーバは、「安全帯の構造規格」に適合した市販品である。ショックアブソーバについては、質量 85kg のトルソー(胴体型の落体)に安全帯を装着して、トルソーをランヤードの最大長さである 1.7m の距離から自由落下させた場合、ランヤード(ナイロン製の三つ打ちロープ)に作用する衝撃荷重が 4kN 以下で、伸びが 0.57mm 以下になるものを使用した。実験に用いたショックアブソーバの元の長さは 0.18m であり、アブソーバが完全に開くと 0.75m になる。

2) 垂直親綱等の設置概要

実験は、垂直親綱のみの場合、安全ブロックのみの場合、垂直親綱と安全ブロックを連結した場合の 3 パターンについて行った。また、それぞれのパターンにおいて、ショックアブソーバがある場合とない場合について実験を行った。図 2 に

はショックアブソーバなしの場合の実験の状況を示し、図 3 にはショックアブソーバありの場合の実験状況を示す。図の (i) はトルソー落下前の垂直親綱等の設置状況を示し、(ii) はトルソーの自由落下が終了して、垂直親綱等に荷重が作用し始めるときの状況を示し、(iii) は垂直親綱等の伸びが最大のときの状況を示す。表 1 にはショックアブソーバなしの場合の実験条件を示し、表 2 にはショックアブソーバありの場合の実験条件を示す。

実験では、図 2(i) および図 3(i) に示すように、垂直親綱または安全ブロックの端部を剛な梁に固定し、他端部を落体の頂部に接続した。落体には、安全帯の耐衝撃性の落下試

表 1 ショックアブソーバなしの場合の実験の条件と結果

(a) 垂直親綱のみの場合

実験条件			実験結果	
垂直親綱の種類	トルソーの自由落下距離 H_f (m)	垂直親綱の長さ L_0 (m)	垂直親綱の最大伸び l_m (m)	最大衝撃荷重 P_m (kN)
ナイロンロープ	1.7	1.82	0.74	6.97
		3.81	1.17	4.98
		5.87	1.27	3.90
		7.80	1.44	3.47
		9.78	1.49	3.07
	3.4	3.83	1.28	7.38
		5.70	1.64	5.59
		7.70	1.76	4.78
		9.75	1.91	4.24
		1.79	0.36	12.2
スタティックロープ	1.7	3.71	0.57	9.44
		5.85	0.63	7.87
		7.64	0.76	6.70
		9.82	0.81	5.86
		3.74	0.73	13.9
	3.4	5.67	0.80	11.6
		7.62	0.83	9.95
		9.61	1.02	9.02

(b) 安全ブロックのみの場合

実験条件				実験結果		
墜落防止器具の種類	トルソーの自由落下距離 H_f (m)	ストラップの長さ L_0 (m)	ストラップの送り出し長さ+最大伸び l_m (m)	ストラップの送り出し長さ l_{ms} (m)	ストラップの最大伸び l_{mm} (m)	最大荷重 P_m (kN)
安全ブロック	1.7	2	0.71	0.62	0.09	11.8
		4	0.46	0.11	0.35	14.1
		5.5	0.34	0.03	0.31	15.4

(c) 垂直親綱と安全ブロックを連結した場合

実験条件					実験結果			
墜落防止用具の種類	トルソーの自由落下距離 H_f (m)	垂直親綱の長さ L_0 (m)	ストラップの長さ L_{0s} (m)	垂直親綱とストラップの長さ L_0 (m)	ストラップの送り出し長さ+垂直親綱とストラップの最大伸び l_m (m)	ストラップの送り出し長さ l_{ms} (m)	垂直親綱とストラップの最大伸び l_{mm} (m)	最大荷重 P_m (kN)
ナイロンロープ+安全ブロック	1.7	3.92	4	7.92	0.87	0.14	0.73	4.50
スタティックロープ+安全ブロック		3.92	4	7.92	0.54	0.08	0.46	7.84

表 2 ショックアブソーバありの場合の実験の条件と結果

(a) 垂直親綱のみの場合

実験条件					実験結果			
垂直親綱の種類	トルソーの自由落下距離 H_f (m)	垂直親綱の長さ L_0 (m)	ショックアブソーバの長さ S_0 (m)	垂直親綱とショックアブソーバの長さ $L_0 + S_0$ (m)	垂直親綱+ショックアブソーバの最大伸び $l_m + s_m$ (m)	垂直親綱の最大伸び l_m (m)	ショックアブソーバの最大伸び s_m (m)	最大荷重 P_m (kN)
ナイロンロープ	1.7	1.80	0.18	1.98	1.03	0.66	0.37	3.99
		3.80	0.18	3.98	1.28	1.00	0.28	3.41
		5.86	0.18	6.04	1.57	1.44	0.14	3.58
		7.92	0.18	8.10	1.77	1.76	0.01	3.47
	3.4	3.77	0.18	3.95	1.79	1.22	0.57	4.20
		5.73	0.18	5.91	2.01	1.46	0.55	3.79
		7.78	0.18	7.96	2.15	1.97	0.19	3.97
スタティックロープ	1.7	1.80	0.18	1.98	0.97	0.40	0.57	3.70
		3.84	0.18	4.02	1.06	0.59	0.48	3.51
		5.92	0.18	6.10	1.10	0.66	0.45	3.77
		7.82	0.18	8.00	1.28	0.84	0.44	3.76
		9.90	0.18	10.1	1.31	0.89	0.42	3.61
	3.4	3.75	0.18	3.93	1.46	0.89	0.57	8.40
		5.64	0.18	5.82	1.63	1.06	0.57	6.74
		7.60	0.18	7.78	1.93	1.36	0.57	6.10
		9.62	0.18	9.80	1.92	1.35	0.57	5.78

(b) 安全ブロックのみの場合

実験条件					実験結果				
墜落防止用具の種類	トルソーの自由落下距離 H_f (m)	ストラップの長さ L_0 (m)	ショックアブソーバの長さ S_0 (m)	ストラップとショックアブソーバの長さ $L_0 + S_0$ (m)	ストラップの送出し長さ + ストラップとショックアブソーバの最大伸び $l_m + s_m$ (m)	ストラップの送出し長さ l_{m0} (m)	ストラップの最大伸び l_{mm} (m)	ショックアブソーバの最大伸び s_m (m)	最大荷重 P_m (kN)
安全ブロック	1.7	2	0.18	2.18	0.86	0.09	0.20	0.57	5.10
		4	0.18	4.18	1.00	0.08	0.35	0.57	4.30
		5.5	0.18	5.68	0.86	0.09	0.29	0.48	4.15

(c) 垂直親綱と安全ブロックを連結した場合

実験条件					実験結果					
墜落防止用具の種類	トルソーの自由落下距離 H_f (m)	垂直親綱の長さ L_0 (m)	ストラップの長さ L_{0s} (m)	ショックアブソーバの長さ S_0 (m)	垂直親綱とストラップとショックアブソーバの長さ $L_0(m) + S_0(m)$	ストラップの送出し長さ + 垂直親綱とストラップとショックアブソーバの最大伸び $l_m + s_m$ (m)	ストラップの送出し長さ l_{m0} (m)	垂直親綱とストラップの最大伸び l_{mm} (m)	ショックアブソーバの最大伸び s_m (m)	最大荷重 P_m (kN)
ナイロンロープ + 安全ブロック	1.7	3.92	4	0.18	8.10	0.83	0.04	0.62	0.17	4.28
スタティックロープ + 安全ブロック		3.92	4	0.18	8.10	0.93	0.17	0.37	0.39	4.28

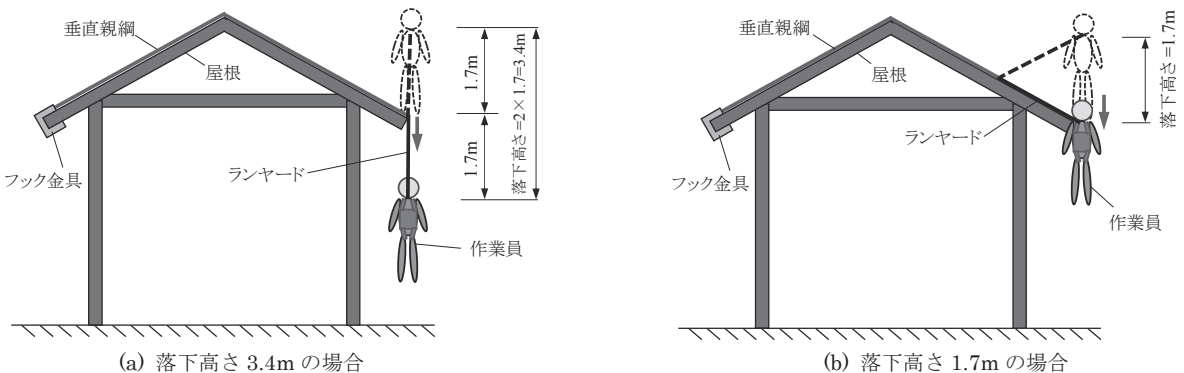


図 4 作業員が屋根上から落下した時の落下高さの例

験（安全帯の構造規格第 7 条）等）に使用する質量 85kg のトルソーを用いた。トルソーが自由落下できるように、梁に切離し装置を取り付け、この切離し装置にトルソーを

設置した。

市販されている安全帯のランヤード長さは通常 1.7m である。この 1.7m を基準にすると、軒先から滑落

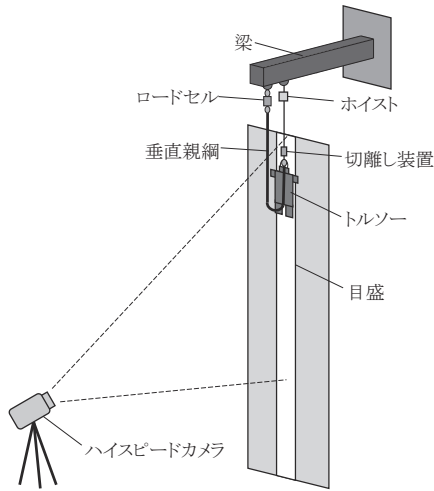


図5 実験概要

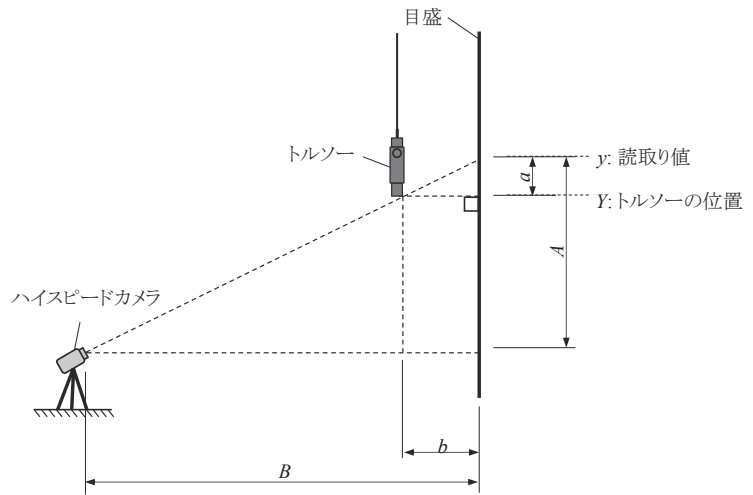


図6 トルソー、ハイスピードカメラ、目盛の位置関係

した場合、墜落阻止されるまでの最大の落下高さは図4(a)に示すように、ランヤード長さの2倍の約3.4mになる。本研究では、この3.4mを参考にして、実験におけるトルソーの自由落下距離 H_f を3.4mとして設定した。一方、ランヤード長さの1.7mについても、図4(b)に示すように、屋根からの落下高さとして想定されるので、1.7mもトルソーの自由落下距離 H_f として設定した。

実験における垂直親網のみの場合の垂直親網の長さについては、トルソーの自由落下距離が1.7mの場合は、2mから10mの範囲で約2mごとに設定し、トルソーの自由落下距離が3.4mの場合は、4mから10mの範囲で約2mごとに設定した。安全ブロックのみの場合のストラップの長さについては、2m、4mおよび5.5mの3パターンを設定し、トルソーの自由落下距離は1.7mのみ行った。垂直親網と安全ブロックを連結した場合には、垂直親網の長さを約4m、ストラップの長さを4mに設定し、トルソーの自由落下距離は1.7mのみ行った。

3) 衝撃荷重と伸びの計測方法

実験では、トルソーを切離し装置により切り離して自由落下させた。自由落下が終了すると、図2(ii)、図3(ii)に示すように、トルソーから梁まで垂直親網等の高さ方向に軸力が作用する。このときの力の作用点はトルソーであり、反力点(支持点)は梁である。垂直親網は一直線であるため、力の釣り合いより、トルソー(力の作用点)と梁(反力点)に作用する衝撃荷重の大きさは同じになる。これらより、ロードセルを梁と垂直親網の接合部に設置し、このロードセルにより計測された値を、トルソーに作用した衝撃荷重とした。また、垂直親網のみの場合はショックアブソーバを梁付近に取り付け、安全ブロックのみの場合と親網と安全ブロックを連結した場合はショックアブソーバをトルソー付近に取り付けた。トルソーと梁に作用する衝撃荷重の大きさは同じであるため、ショックアブソーバの取付け位置の違いにより、トルソーに作用する衝撃荷重に関する実験結果に影響を及ぼすことはないと考えられる。

実験では、図5に示すように、切り離した後のトルソーの状況をハイスピードカメラで撮影した。トルソーの位置は、ハイスピードカメラの映像を用いて、トルソーの近くに設置した目盛の値を目視により読んで計測した。目盛の値はトルソーの足元の値を読んだ。トルソー、ハイスピードカメラ、目盛の位置関係を示すと図6のようになり、ハイスピードカメラによる目盛の読取り値は、図6に示す y の位置になると考えられる。しかし、実際のトルソーの位置は、トルソーの足元の地面に対して水平の位置になり、図6に示す Y の位置になると考えられる。図6に示す Y の位置と y の位置の差を a とすると、 a は次式のようになる。

$$a = \frac{Ab}{B} \quad (1)$$

(1)式の a を用いて、 $Y = y + a$ の計算を行い、トルソーの位置を補正した。

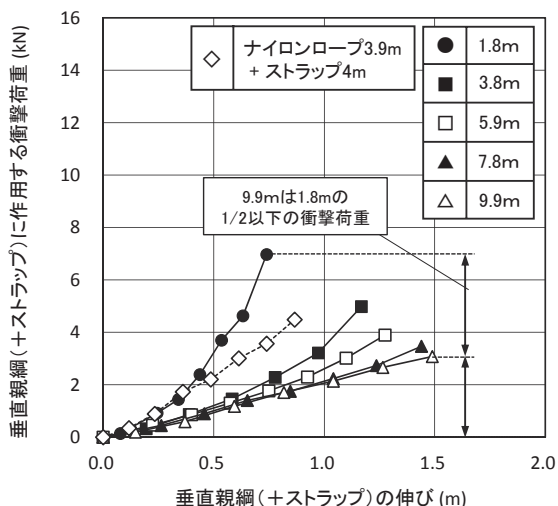
3 実験結果(垂直親網等に作用する衝撃荷重と伸び)

1) ショックアブソーバなしの場合

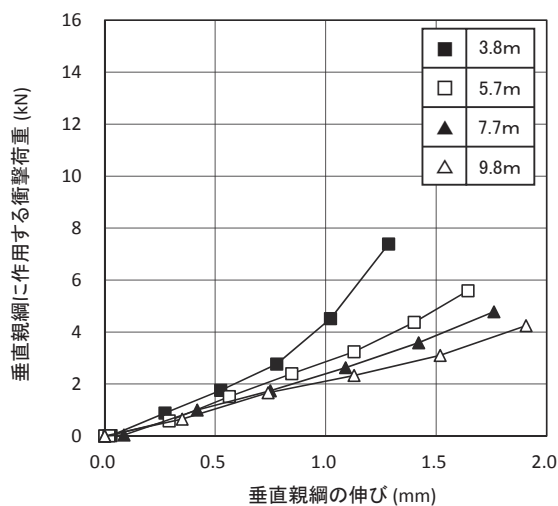
ショックアブソーバなしの場合における実験結果を表1に、垂直親網とストラップに作用する衝撃荷重と伸びの関係を図7に示す。図中の点の実験結果であり、トルソーの自由落下後、垂直親網とストラップに荷重が作用し始めたとき(図2(ii)の状態)から、垂直親網とストラップの伸びが最大になるとき(図2(iii)の状態)までの垂直親網とストラップに作用する衝撃荷重と伸びの関係を示した。図中の各点は、ハイスピードカメラにより撮影されたトルソーの位置と時間の関係と、ロードセルにより計測された荷重と時間の関係より計算して示した。

図7(a)および(b)には、垂直親網と安全ブロックを連結した結果についても併せて示した。垂直親網と安全ブロックを連結した結果については、図の縦軸に、垂直親網とストラップに作用した衝撃荷重を示し、横軸に、垂直親網とストラップの合計の伸びを示した。

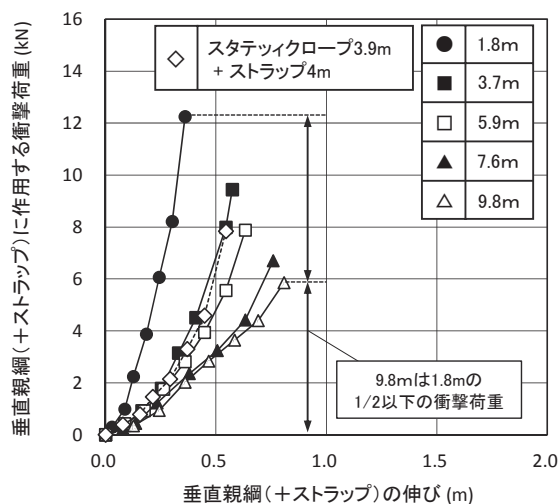
図7(a)、(b)、(c)および(d)より、ナイロンロープとスタ



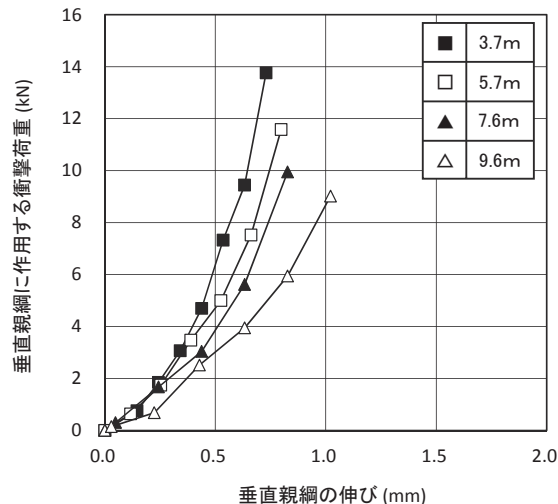
(a) ナイロンロープ, トルソー自由落下距離 1.7m



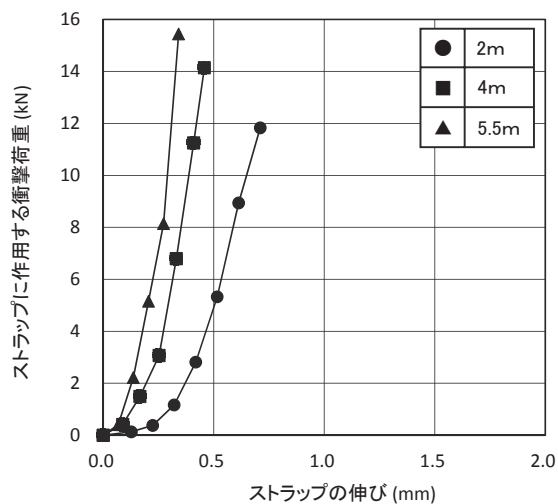
(b) ナイロンロープ, トルソー自由落下距離 3.4m



(c) スタティックロープ, トルソー自由落下距離 1.7m



(d) スタティックロープ, トルソー自由落下距離 3.4m



(e) 安全ブロック, トルソー自由落下距離 1.7m

図7 垂直親綱等に作用した衝撃荷重と伸びの関係

ティックロープについては、垂直親綱の長さが長いほど、垂直親綱の伸びの最大値は大きくなり、衝撃荷重の最大値は小さくなった。スタティックロープはナイロンロープに比べて、垂直親綱の伸びの最大値は小さくなり、衝撃荷重の最大値は大きくなった。

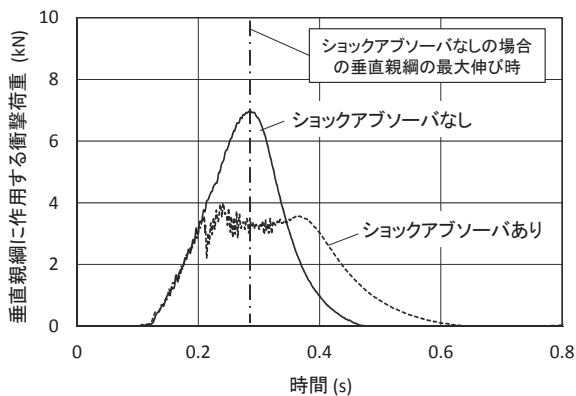
図7(a)より、ナイロンロープ9.9mの場合には、ナイロンロープ1.8mの場合に比べて、垂直親綱に作用する衝撃荷重の最大値が1/2以下になった。また、図7(c)より、スタティックロープ9.8mの場合には、スタティックロープ1.8mの場合に比べて、垂直親綱の衝撃荷重の最大値が1/2以下になった。

図7(e)より、安全ブロックについては、ストラップの長さが短いほど、ストラップの送出し長さが長くなり、ストラップの伸びの最大値が大きくなった。ストラップの伸びの最大値が大きくなったため、ストラップの長さが短いほど、衝撃荷重の最大値は小さくなった。また、安全ブロックのストラップは、ほぼ同じ長さのナイロンロープとスタティックロープに比べると、墜落阻止時の

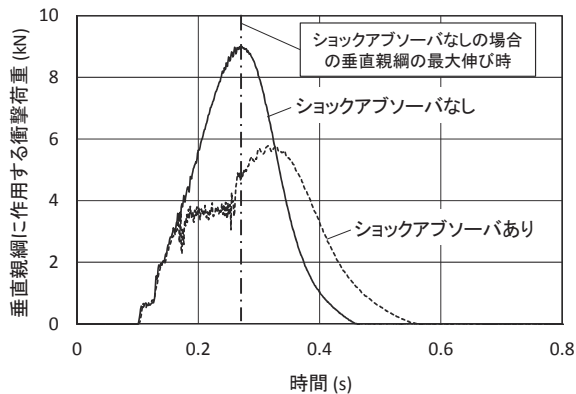
伸びの最大値が小さく、衝撃荷重の最大値は大きかった。

図 7(a)より、ナイロンロープ 3.9m+安全ブロックのストラップ 4m の場合とナイロンロープ 3.8m のみの場合を比べると、ナイロンロープ 3.9m+安全ブロックのストラップ 4m の場合の垂直親綱+ストラップに作用する衝撃荷重と伸びの最大値は、ナイロンロープ 3.8m のみの場合の垂直親綱に作用する衝撃荷重と伸びの最大値よりも小さかった。一方、図 7(c)より、スタティックロープ 3.9m+安全ブロックのストラップ 4m の場合とスタティックロープ 3.7m のみの場合を比べると、垂直親綱 (+ストラップ) に作用する衝撃荷重と伸びの関係の傾きはほぼ一致した。また、スタティックロープ 3.9m+安全ブロックのストラップ 4m の場合の垂直親綱+ストラップに作用する衝撃荷重と伸びの最大値は、スタティックロープ 3.7m のみの場合の垂直親綱に作用する衝撃荷重と伸びの最大値よりも小さくなった。

これらより、例えば、長さ約 4m の垂直親綱とストラップの長さ 4m の安全ブロックを連結した場合の墜落阻止時の垂直親綱+ストラップに作用する衝撃荷重と伸びは、約 4m (垂直親綱と安全ブロックを連結した場合の垂直親綱と同じ長さ) の垂直親綱のみの場合の墜落阻止時の垂直親綱に作用する衝撃荷重と伸びよりも小さくなると考えられる。



(a) ナイロンロープ 1.8m, トルソー自由落下距離 1.7m



(b) スタティックロープ 9.6m, 落体自由落下距離 3.4m

図 8 垂直親綱に作用した荷重と実験時間の関係

2) ショックアブソーバありの場合

ショックアブソーバありの場合の実験結果を表 2 に、垂直親綱に作用する衝撃荷重と実験時間の関係を図 8 に示す。図 8 には、ショックアブソーバがある場合とない場合の結果を示した。図 8(a)は、ナイロンロープ長さ約 1.8m, トルソーの自由落下高さ 1.7m の結果であり、図 8(b)は、スタティックロープ長さ約 9.6m, トルソーの自由落下高さ 3.4m の結果である。

ショックアブソーバありの場合、通常であれば図 8(a)のショックアブソーバありのように、垂直親綱に作用する衝撃荷重が 4kN 以下になる。しかし、表 2(a)に示すスタティックロープのトルソーの落下距離が 3.4m の場合や、表 2(b)に示す安全ブロックの場合では、図 8(b)のショックアブソーバありのように、最大衝撃荷重が 4kN を超える結果になった。本実験で使用したショックアブソーバは、ナイロン製のランヤードを用いてトルソーを 1.7m 自由落下させた場合に、衝撃荷重が 4kN 以下になる仕様であった。本実験では、スタティックロープを用いてトルソーを 1.7m 以上自由落下させる等、ショックアブソーバの仕様外の使用をしたため、最大衝撃荷重が 4kN を超える結果になったと考えられる。

4 屋根上作業における垂直親綱の使用基準の検討

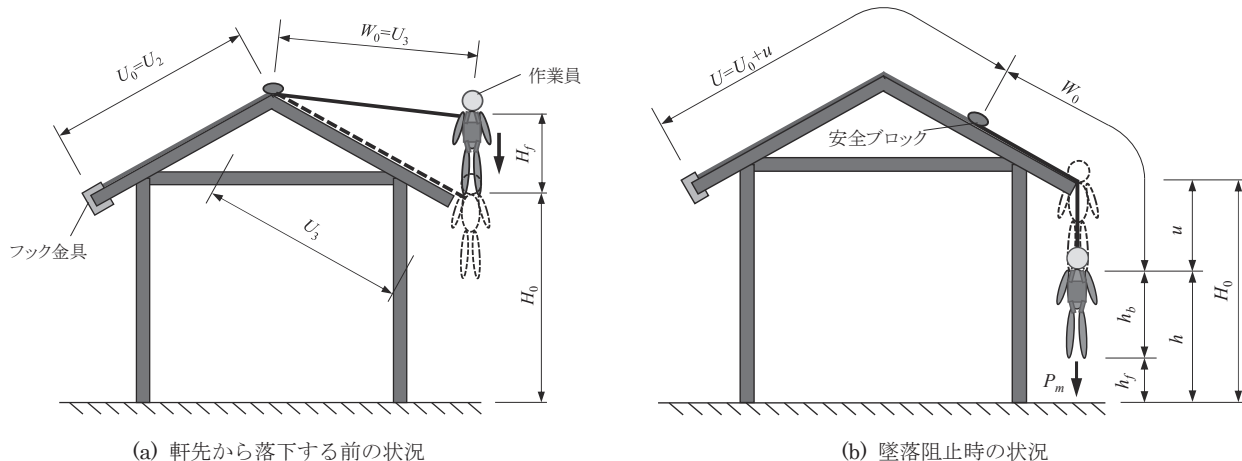
1) 垂直親綱等の設置方法と伸びについて

本章では、垂直親綱の種類とトルソーの自由落下距離別に、屋根上作業をする際の一般的な垂直親綱の使用法である垂直親綱と安全ブロックを用いた場合の垂直親綱の設置長さについて検討した。

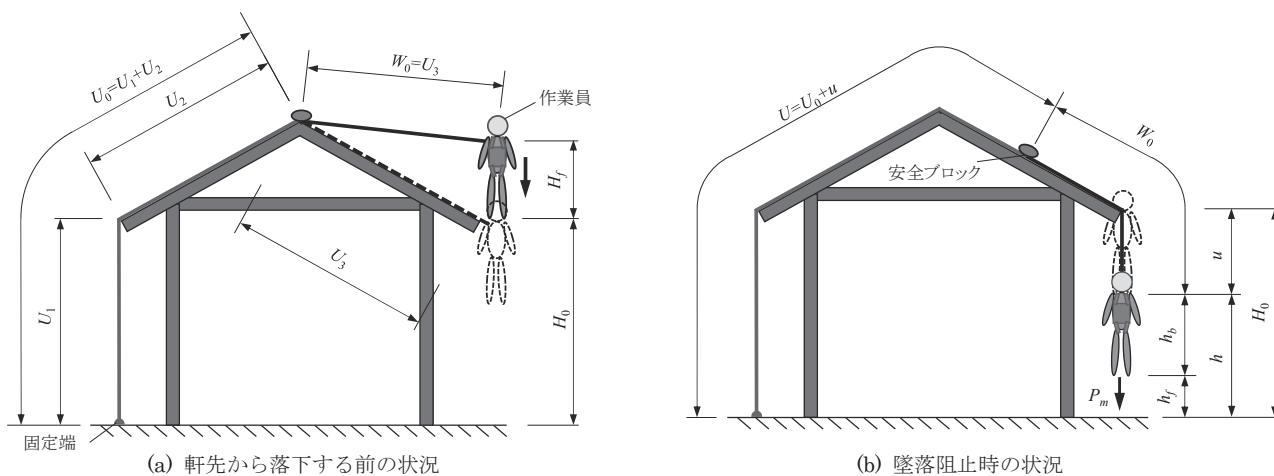
親綱と安全ブロックを屋根に設置して、作業員が屋根上から落下した状況を図 9 および 10 に示す。図 9 はフック金具を用いて垂直親綱を設置した場合を示し、図 10 は地面に垂直親綱を固定した場合を示す。(a)は作業員が軒先から墜落する直前の状態を示し、(b)は墜落阻止時の状況を示す。

(a)の状況における、垂直親綱の長さ U_0 と安全ブロックのストラップの長さ W_0 を、墜落直前の基準の長さとして仮定した。図 9(a)のように、フック金具を使用した場合の垂直親綱の長さ U_0 は、フック金具を設置した側の屋根面の長さ U_2 と仮定した。図 10(a)のように、垂直親綱を地面に固定した場合の垂直親綱の長さ U_0 は、地面から軒先までの高さ U_1 と垂直親綱を固定した側の屋根面の長さ U_2 を足した長さとして仮定した。安全ブロックのストラップの長さについては、作業員がいる側の屋根面の長さ U_3 と同じと仮定した。図中の H_f は作業員の自由落下距離である。(b)に示す墜落阻止時に、垂直親綱に作用する衝撃荷重と伸びが最大になる。

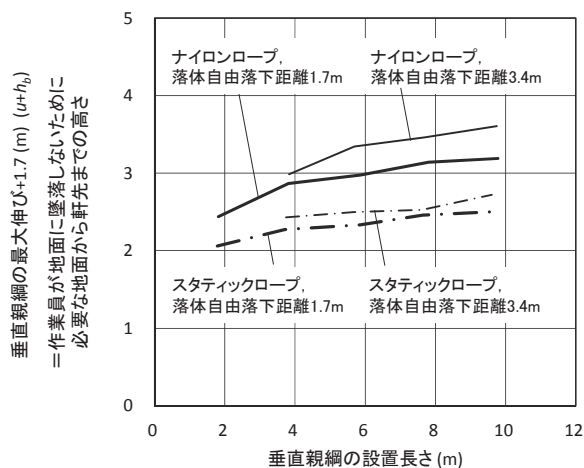
図 7(a) および(c)より、長さ約 4m の垂直親綱とストラップの長さ 4m の安全ブロックを連結した場合の墜落阻止時の垂直親綱+ストラップの衝撃荷重と伸びは、垂直親綱と安全ブロックを連結した場合の垂直親綱の長さと同じ長さの約 4m の垂直親綱のみの場合の墜落阻止時の垂直親綱の衝撃荷重と伸びよりも、小さくなる結果が



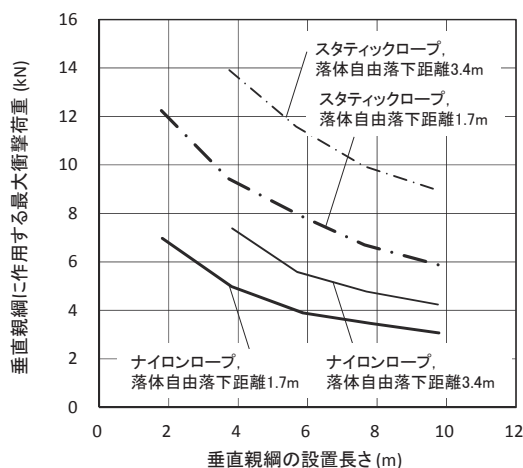
(a) 軒先から落下する前の状況 (b) 墜落阻止時の状況
 図9 垂直親網と安全ブロックを用いて作業員が屋根から滑落するときの状況 (フック金具を用いた場合)



(a) 軒先から落下する前の状況 (b) 墜落阻止時の状況
 図10 垂直親網と安全ブロックを用いて作業員が屋根から滑落するときの状況 (親網を地面に固定した場合)



(a) 垂直親網の最大伸び+1.7mと親網の設置長さの関係



(b) 垂直親網に作用する最大衝撃荷重と親網の設置長さの関係

図11 墜落阻止時の垂直親網の伸びと衝撃荷重 (ショックアブソーバなしの場合)

得られた. ここでは, 評価方法を簡単にするために, 垂直親網と安全ブロックを連結した場合の垂直親網とストラップの伸びは, 垂直親網の伸びと同じになると仮定して検討した.

図9(b)および図10(b)に示すように, 親網の伸び u は, 軒先から墜落阻止時の親網端部までの長さと同じになる. 地面から軒先までの高さ H_0 から u を引いた長さ h は親

網端部から地面までの距離である. D環(親網端部)から作業員の足元までの長さを h_b とすると, h から h_b を引いた長さ h_f は作業員の足元から地面までの距離である. すなわち, h_f は作業員が地面に墜落するまでの距離である.

図9(a)および10(a)に示すように安全ブロックを棟付近に設置した場合, 作業員が軒先から滑落した後, D環

の点が軒先まで落下したとき（図中の人型の点線の位置まで落下したとき）、作業員の自由落下が終わり、垂直親綱に荷重が作用し始めると考えられる。図 9(a)および図 10(a)に示す H_f は、作業員の自由落下距離になる。

2) 垂直親綱の設置長さの検討

(1) ショックアブソーバなしの場合

ここで参考例として、D 環から作業員の足元までの長さ h_b をランヤードの最大長さの 1.7m とした場合について検討する。図 7 に示す垂直親綱の伸びの最大値に 1.7m を足した値と垂直親綱の元の長さ（垂直親綱の設置長さ）の関係を図 11(a) に、垂直親綱に作用する衝撃荷重の最大値と垂直親綱の元の長さ（垂直親綱の設置長さ）の関係を図 11(b) に示す。図 11(a) および図 11(b) の横軸の値は、図 9(a) および図 10(a) の U_0 の値に相当する。図 11(a) の縦軸の値は、図 9(b) および図 10(b) の軒先から作業員の足元までの長さ $u + h_b$ の値を示す。地面から軒先までの高さ H_0 が、図 11(a) 中の曲線の縦軸の値より大きければ、作業員は屋根上から滑落しても墜落阻止時に地面までは墜落しないことを示す。従って、図 11(a) 中の曲線の縦軸の値は、作業員が地面に墜落しないために必要な地面から軒先までの高さを示す。図 11(b) の縦軸の値は、墜落阻止時の垂直親綱に作用する衝撃荷重の最大値を示す。

例えば、 $h_b = 1.7\text{m}$ の作業員で、垂直親綱（ナイロンロープ）の設置長さが約 8m、作業員の自由落下距離が 3.4m の場合、図 11(a) より、地面から軒先までの高さが 3.5m 以上あれば、墜落阻止時に作業員は地面まで墜落しないと考えられる。このときの垂直親綱に作用する衝撃荷重の最大値は、図 11(b) より、約 4.8kN である。

屋根上に障害物がなく、垂直親綱の伸びが期待できる場合における、墜落阻止時の衝撃荷重は、図 11(b) に示す値になると考えられる。ただし、「屋根上作業における垂直親綱・安全帯の使用法に関する検討」²⁾において、ランヤードのフックが軒先に当たる等して、垂直親綱の伸びが制限されてしまうような場合は、8kN を超える衝撃荷重が、トルソーに作用する可能性が示されている。屋根上で垂直親綱を用いる場合は、不測の事態に備え、ショックアブソーバ付きのランヤードを使用した方が良いと考えられる。

図 11(a) は、例として D 環から作業員の足元までの長さ h_b をランヤードの最大長さの 1.7m として示している。実際に屋根上作業をする場合は、作業員の身長を考慮して、図 11(a) の縦軸の値を調整して使用することで、垂直親綱の設置長さや墜落阻止時に地面に墜落しないために必要な地面から軒先までの高さを検討することができると考えられる。

(2) ショックアブソーバありの場合

ここでも参考例として、D 環から作業員の足元までの長さ h_b をランヤードの最大長さの 1.7m とした場合について検討する。表 2(a) に示す実験結果の垂直親綱の最大

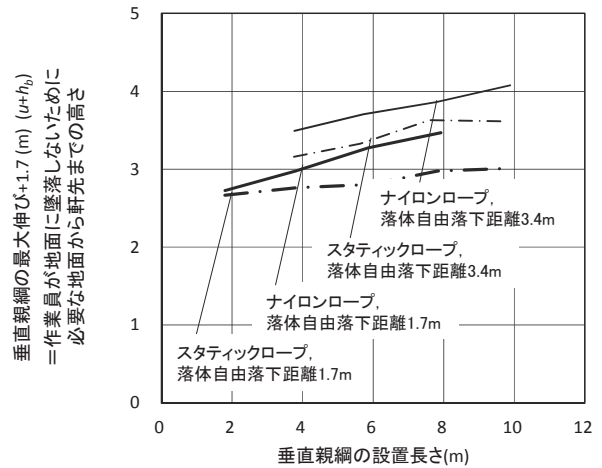


図 12 垂直親綱の最大伸び+1.7m と垂直親綱の設置長さの関係
(ショックアブソーバありの場合)

伸びの値に 1.7m を足した値と垂直親綱の設置長さの関係を図 12 に示す。図 12 の縦軸は表 2(a) に示す垂直親綱の最大伸びの結果に 1.7m を足した値であり、横軸は表 2(a) に示す垂直親綱の長さ（親綱の設置長さ）の値である。図 12 の縦軸の値は、図 9(b) および図 10(b) に示す軒先から作業員の足元までの長さ $u + h_b$ の値を示し、図 12 の横軸の値は、図 9(a) および図 10(a) に示す U_0 の値に相当する。地面から軒先までの高さ H_0 が、図 12 中の曲線の縦軸の値より大きければ、作業員は屋根上から滑落しても墜落阻止時に地面までは墜落しないことを示す。すなわち、図 12 の縦軸の値は、作業員が地面に墜落しないために必要な地面から軒先までの高さを示す。

図 11(a) と図 12 を比較すると、ショックアブソーバがある場合は、ない場合に比べて、図中の曲線の縦軸の値 ($u + h_b$ の値) が数十 cm 大きい。これは、墜落阻止時にショックアブソーバが開いて、落下距離が長くなったためである。ショックアブソーバを用いるとショックアブソーバがない場合よりも落下高さが数十 cm 長くなる。しかし、前述したが、垂直親綱の伸びが制限されてしまうような場合は、8kN を超える衝撃荷重が、トルソーに作用する可能性がある²⁾。屋根上で作業をする場合は、ショックアブソーバを使用したほうが良いと考えられる。

図 12 より、作業員の自由落下距離が 1.7m 程度の場合、垂直親綱の設置長さ U_0 が 8m であれば、スタティックロープを用いることでナイロンロープよりも垂直親綱の最大伸びを約 50cm 短くできる。地面から軒先までの高さが低い場合は、スタティックロープを用いることも有効な手段であると考えられる。

5 まとめ

本稿では、墜落阻止時の垂直親綱に作用する衝撃荷重と伸びの関係を実験により調べた。その結果をもとに、屋根上作業における垂直親綱・安全帯の使用基準について検討した。これらの結果をまとめると、以下ようになる。

- 1) D 環（首の根元）から足元までの長さが 1.7m で、ショックアブソーバを使用した場合、ナイロン製の垂直親綱の

設置長さが 8m 以下であれば、地面から軒先までの高さが 4m 以上の屋根で使用できる。

- 2) ナイロン製の垂直親綱の設置長さが 8m を超える場合は、軒先にフック金具を取り付けて垂直親綱を固定する等 8m 以下になるように計画することが望ましい。
- 3) 垂直親綱の設置長さが 2～8m の場合、スタティックロープはナイロンロープよりも墜落阻止時の親綱の伸びを数 cm～50cm 程度短くできる。
- 4) 垂直親綱の伸びが制限されてしまうような場合は、大きな衝撃荷重が、作業員に作用する可能性がある。

不測の事態に備え、屋根上で作業をする場合は、ショックアブソーバを用いることが望ましい。

参 考 文 献

- 1) 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, 産業安全研究所技術資料; 1982.
- 2) 高橋弘樹・日野泰道・大幡勝利, 屋根上作業における垂直親綱・安全帯の使用方法に関する検討, 労働安全衛生総合研究所特別研究報告; JNIOOSH-SRR-No.46; 2016, pp.97-105.