

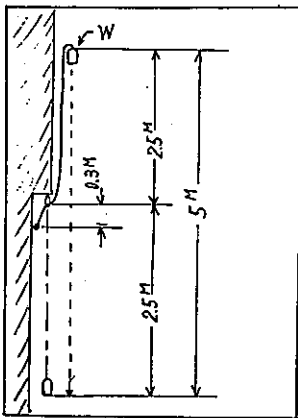
ザイルを中心にした登はん用具の性能と問題点

川原 崇

1. ザイルの性能

ザイルの性能は、リーダー（トップ）が墜落した場合に発生する衝撃力によって人体に致命的な損傷を受けずにすむように「最大衝撃応力値」を1,200kg以下としなければならないと、通産省やUIAAによって定められている。

図 1



落下衝撃試験 (UIAA)

使用ロープ長さ (L) = 2.8M

落下距離 (H) = 5.0M

落下係数 (fall factor)

$$f = \frac{H}{L} = \frac{5.0}{2.8} = 1.78$$

落下物体の重量 W

9mm以下の2本を別々に使用するロープ W = 55kg

9mm以下の2本同時に使用するロープ W = 80kg

9mm以上で1本で使用するロープ W = 80kg

衝撃応力 = 1,200kg以下であること。

※通常の試験—曲率半径R = 5mmの鋼棒（カラビナの使用として）にロープを掛けて行う。



※岩角の試験—エッジ角90°の金属ブロックのエッジ部曲率半径R = 0.75mmにロープを掛けて行う。
3回行っていずれも150kg以上であること。



実際にリーダーが墜落したとき受ける衝撃の大きさは、ザイルの編素（構成）形状と繊維密度、そして、使用されるナイロンの種別によって生みだされる伸度によっても異なるが、最も大きく変動するのは、落下係数（f）の大きさによってである。これは、墜落エネルギー（墜落距離×重量）が大きくなっても、繰りだされたザイルが長くなればザイルのエネルギー吸収部分が比例して大きくなり、落下重量以外の部分を相殺するからである。

しかし、墜落距離の長短は空中墜落でないかぎり、現実には岩壁におつかるなど、危険が大きい。そうした危険が大きい場合は墜落距離の長短を無視できなくなってくる。

表 1

落下係数 (f)	固 定 確 保			走過率 (30%) の制動確保		
	墜落者	ランナー	確保者	墜落者	ランナー	確保者
0.1	358	596	238	244	407	163
0.2	464	733	309	316	528	212
0.3	546	910	364	372	621	249
0.4	616	1,026	410	420	700	280
0.5	678	1,130	452	463	771	308
0.6	734	1,223	489	501	835	334
0.7	785	1,308	523	536	893	357
0.8	833	1,388	555	568	948	380
0.9	879	1,465	586	600	1,000	400
1.0	921	1,535	614	628	1,048	420
1.1	962	1,603	641	657	1,095	438
1.2	1,000	1,666	666	682	1,137	455
1.3	1,038	1,730	692	709	1,181	472
(1.33)	1,048	1,746	698	715	1,192	477
1.4	1,073	1,788	715	733	1,221	488
1.5	1,108	1,846	738	757	1,261	504
(1.53)	1,118	1,863	745	763	1,272	509
1.6	1,141	1,901	760	779	1,298	519
1.7	1,174	1,956	782	801	1,336	535
(1.73)	1,183	1,971	788	807	1,346	539
1.78	1,200	2,000	800	819	1,366	547
1.8	1,205	2,008	803	823	1,371	548
1.9	1,234	2,056	822	843	1,404	561
2.0	1,266	2,110	844	864	1,440	576

$$F = (a+W) + (a+W) \sqrt{\frac{2 \times f \times M}{a \times w}} = 1,200 \text{ kg f とし て 算 出 す る 。}$$

F = 衝撃応力 ----- kg f
 W = 落下重量 ----- 80 kg
 f = 落下係数 ----- 1.78

a = 最大応力時の伸度を加えた時の
 落下係数 (通常は 1.68 ~ 1.62 位)
 M = 最大応力時のロープ係数。

$$a = \frac{\text{落下距離 (5M)}}{2.5(1 + \frac{e}{100}) + 0.3(\frac{20}{100})} = 1.67$$

e = 最大応力時の伸度 ----- 17.14 %
 (通常は、19~23%位)

$$M = F \div \frac{e}{100} = 7,000 \text{ (通常は、5000前後位)}$$

表 2

$$V = \sqrt{3.6 \cdot 2gh} \quad g = 9.8$$

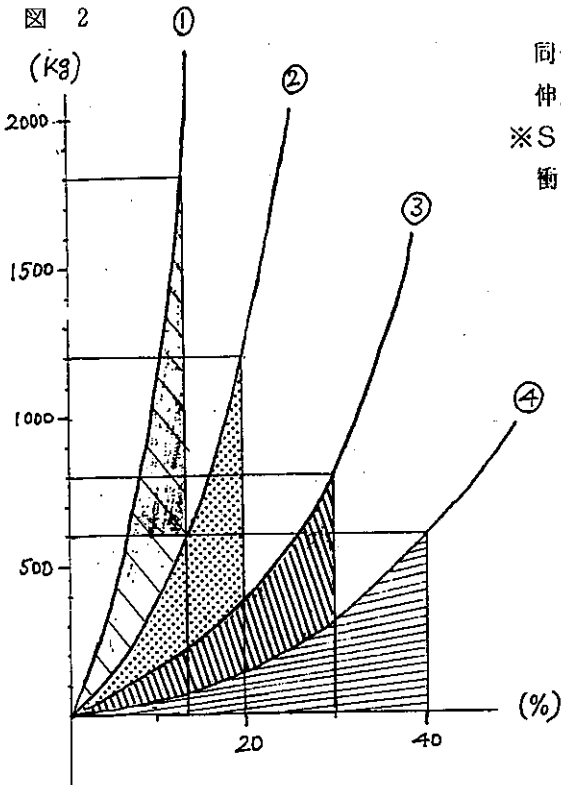
落下距離 (h)	速度 (V)
5m	35.6Km/h
10m	50.4Km/h
20m	71.3Km/h
30m	87.3Km/h
40m	100.8Km/h

2. 衝撃エネルギーの作用について

理論的には、リーダーが墜落した場合は、リーダーにかかる衝撃力の2倍の負荷がランナーにかかり、ビレイヤーにはリーダーと同等の衝撃力が加わることになる(理論上摩擦を無視すること)。

しかし、実際に発生したエネルギーの負荷分布は、ランニング・ビレイイングピンに掛けられたカラビナによって発生する加圧摩擦で30%前後エネルギーが減衰されて、ビレイヤーに負荷される。従って、ランニング・ビレイイングピンに加わる負荷荷重は墜落した側のエネルギーとビレイヤー側のエネルギーを積算したものになって来るわけである。

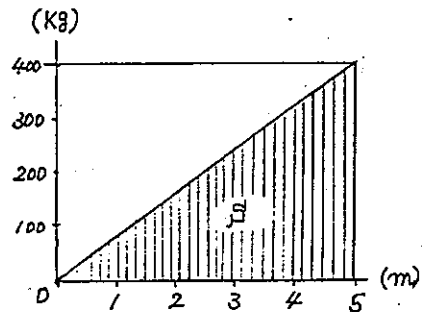
図 2



(f = 1.78) の弾性グラフ

同一墜落エネルギーの場合でも
伸度による吸収形態が異ってきます。

※S = ① = ② = ③ = ④であるから
衝撃応力の違いとなって現われる。



体重W = 80kgのクライマーが
落下距離H = 5mの墜落を
したときのエネルギー(平方根)

3. 衝撃力を緩和するには

墜落したリーダーを食い止めるには、ザイルの弾性を利用する固定確保（スタティック・ビレイイング）と、摩擦によって減衰させる制動確保（ダイナミック・ビレイイング）の二つがある。これは、表1及び図2を見ていただければ目安としての各落下係数における衝撃力の大きさの違いが理解出来ると思う。実際は、前述したように空中に放出された場合と岩壁に衝突するような場合とでは危険度などが異なって来るので確保方法を変えねばならない。固定確保の場合には落下係数（ f ）を小さくした方法で行うことが重要であるが、制動確保ではかなりの幅を持っている。これらは、いずれもビレイヤーが行う方法であるが、ソ連のアバラコフ氏が考案した墜落者側の自動ブレーキ（日本では、石岡繁雄氏が考案した自動制動確保器がある）のシステムは、ビレイヤーの対応はザイルを固定するだけと言う確保方法も生み出されてきている。

制動確保の方法は、図3、図4、表3を見れば理解されると思うがザイルを制動（ブレーキング）することにより、瞬間的なエネルギーを時間的に長くしてピーク時のエネルギーを小さく分散することを目的としている。これらには、ボディ・ビレイと言われているビレイヤーの体にザイルをまわした方法や器具（エイト環、バンケル・プレート、HMS・カラビナ等）にセットして行う方法がある。いずれにしろ、表2のように早い速度で走っているザイルをコントロールするのであるから、ボディ・ビレイはボディ・ハーネスのベルトなどを溶断してしまう危険がある。器具を使った制動確保にはそうしたトラブルが少なくなります。

注1：ボディ・ビレイの方が制動力をコントロールしやすいという意見もある。

注2：HMS法は、UIAA認定技術である。

注3：制動力の大きい確保法はランナーに大きな負担をかけるので、ランナーの強度との関係に配慮が必要である。

図 3

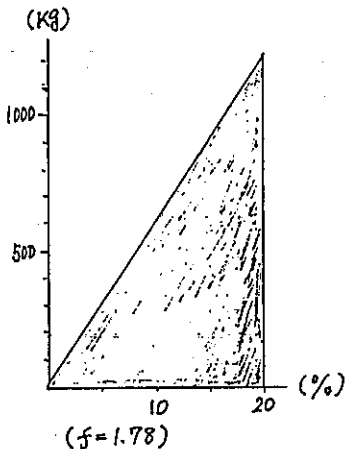


図 4

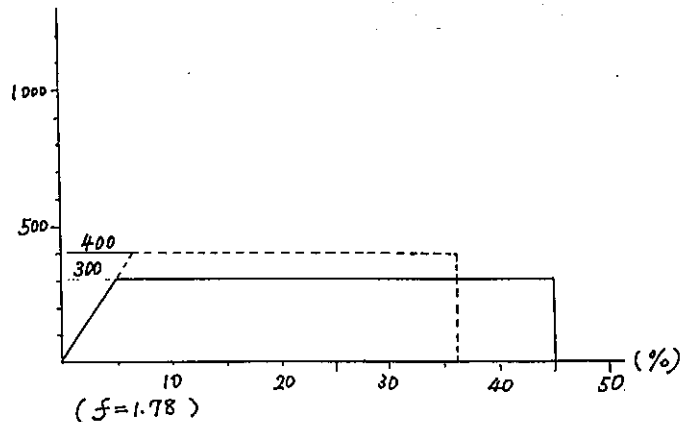
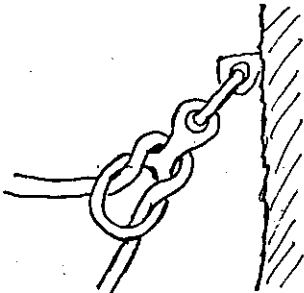
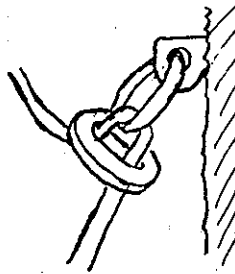
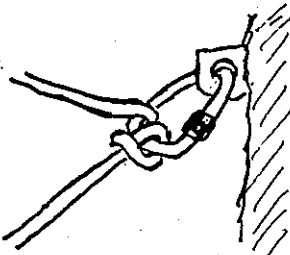


表 3

落下係数 (f) = 1.78 に於いて、走過率=30%での使用可能ロープ長。	
40	$40 - 1.5 = 38.5m$ (クライミング・ハーネスへの結束分 — 2ヶ所) $38.5 \div 1.3 = 29.6m$ (クライミングに使用するロープの長さ) m $29.6 \times 1.78 = 52.6m$ (落下距離) \square $52.6 \div 2 = 26.3m$ (ランニングピレイニングピンからリーダーまでの距離) $ $ $29.6 - (52.6 \div 2) = 3.3m$ (ランニングピレイニングピンからピレイヤーまでの距離) フ $29.6 \times 0.3 = \underline{8.8m}$ (制動確保をするロープの長さ)
約30m	
45	$45 - 1.5 = 43.5m$ $43.5 \div 1.3 = 33.4m$ m $33.4 \times 1.78 = 59.4m$ \square $59.4 \div 2 = 29.7m$ $ $ $33.4 - (59.4 \div 2) = 3.6m$ フ $33.4 \times 0.3 = \underline{10m}$
約33m	
50	$50 - 1.5 = 48.5m$ $48.5 \div 1.3 = 37.3m$ m $37.3 \times 1.78 = 66.4m$ \square $66.4 \div 2 = 33.2m$ $ $ $37.3 - (66.4 \div 2) = 4.1m$ フ $37.3 \times 0.3 = \underline{11.2m}$
約37m	

図 5

	方 法	制 動 力
エ イ ト リ ン グ		1 1 0 kg (クロスにすると) 2 1 5 kg
バ ン ケ ル プ レ ー ト		2 2 0 kg (カラビナ2枚で) 行くと4 0 0 kg
H M S カ ラ ビ ナ		2 0 0 ~ 3 0 0 kg

(注) この場合の制動力とは、各器具にセットしたザイルを何kgの力で引いたら滑りだすか、その最初に滑りだした数値のことをいう。

表 4

国名	ロープ名称	ロープ太さ	各エッジ部曲率半径による 耐切断回数						IMPACT-FW (衝撃応力)	耐切断 回数
			0.75	1	2	3	4	5		
ドイツ	DYNALOC	11							80(995Kp)	11~13
	"	10.5							80(980Kp)	7~9
	DUPLEX-XLDry	8.5	0	1	6	13	17	26	80(1,050Kp)	26~29
	CLASSIC	9							55(710Kp)	9~14
オーストリア	STRATOS	11	1						80(900Kp)	5~7
	ULTRALIGHT	10.5							80(900Kp)	6
	STRATOS	8.8	1	3	7	12	18	25	80(1,040Kp)	25~30
	EXTREM	9							55(675Kp)	8~11
スイス	ARO-flex	11							80(940daN)	9~11
	" -pro	10.5							80(940daN)	7~9
	" -twin	8.5	0	1	6	9	13	20	80(1,050daN)	20~22
	" -mezzo	9							55(680daN)	10~12
フランス	COUSIN	11							80(7.8KN)	7~8
	"	10.5							80(7.8KN)	7~8
	"	8.5	0	1	7	12	16	25	80(9.7KN)	
	"	"							55(6.2KN)	7~8
アメリカ	CHOUINARD	11							80(940kg)	9
	"	10.5							80(880kg)	5
	"	8.8	0	1	7	13	16	25	80(1,090kg)	25
	"	"							55(700kg)	7
日本	11mm、編み	11							80(920kgf)	2以上
	9mm、編み	9							80(1,070kgf)	2以上

↑ 各三段目は、TWIN rope (2本、同一) でのテストデータです。
 ※単位— 1,000kg=1,000daN=10KN= 1,000kgf です。

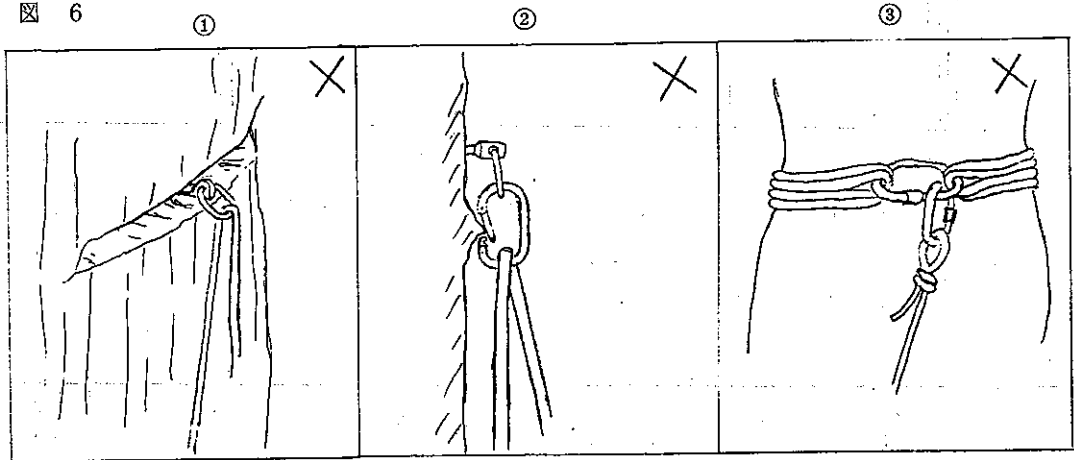
シングル・ロープ 10~12mm
 ダブル・ロープ 9~ 9.4mm
 ツイン・ロープ 8.5~ 8.8mm

4. 登はん用具の支持力について

1) カラビナ

ザイルとアンカー、ランナーとの接続点となるカラビナは種々の改良を加えられ、UIAAの規定に合致するようになってきた。(UIAA-2,200kgと刻印が打たれている)通産省の規定については、文部省登山指導者研修会テキストのP199の表1に記されている。なお、図6①～②のような使用の仕方は有効な耐力を発揮しないのでスリングで連結する。図6の③の場合は、ループ部に直接ザイルを結ぶことが望ましい。

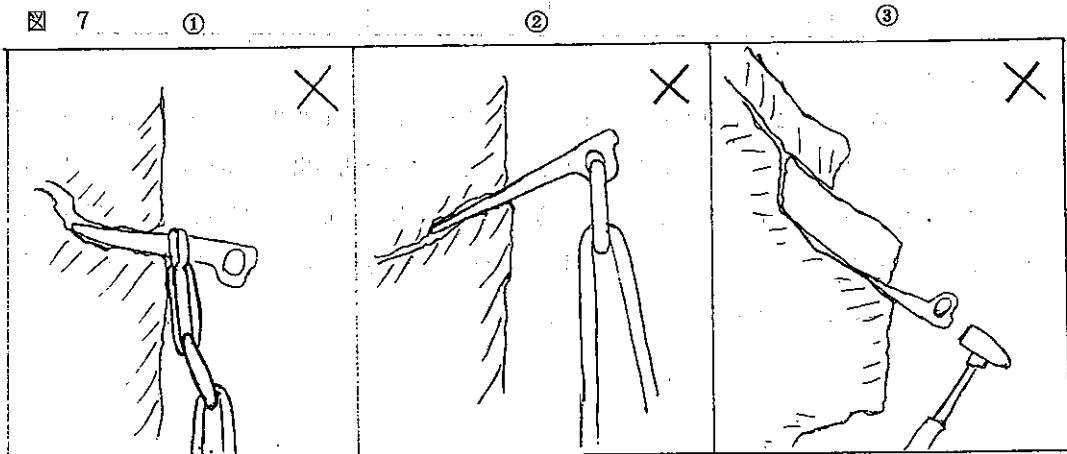
図 6

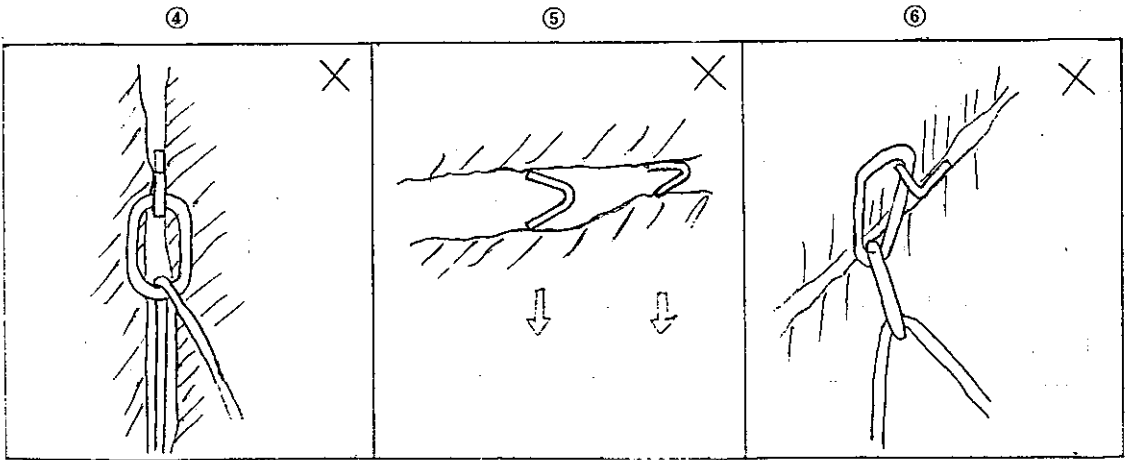


2) ハーケン

岩壁の割れ目の大小によって使用するためにその耐力に大きな差があり、また、材質的に見てもその差は大きい。しかし、正しく岩質を見て打ち込めば十分に耐力を発揮してくれる。一応通産省でその製法、材質による耐力を規定しているので、前述の文部省テキストのP202～5を参照されれば最低強度を理解できると思うが機械的測定なので実際に使用する場合は条件によりもっと低くなることを考慮していただきたい。

図 7

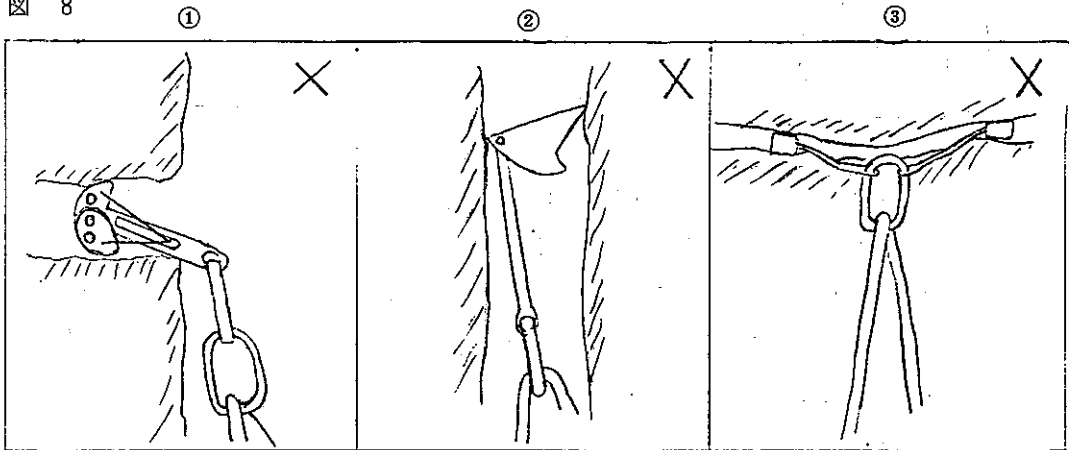




3) チョック (カム, ロックス)

ハーケン類と同様に耐力の差は大きい。下はプラスと言われラープ (ハーケンの一種) と同じく体重を支えるだけのものから、カラビナの強度を越えるものまでであるが、セッティングが正しく行われればハーケンより確実性が高い。

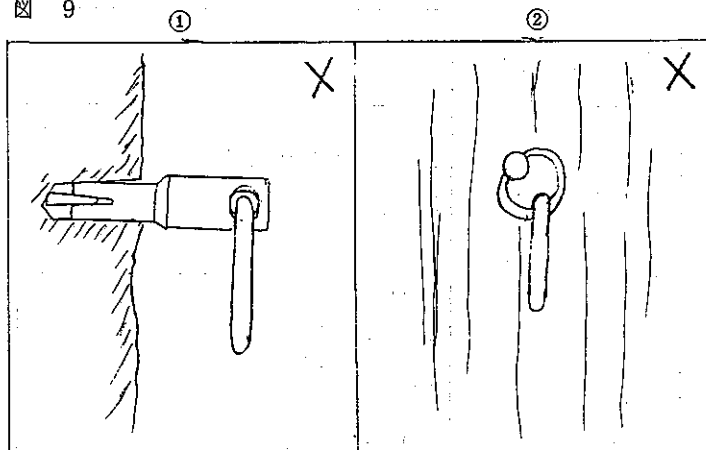
図 8



4) 埋込ボルト

一枚岩に支点を得ることが出来る唯一の手段となるボルトは、ドリリングの仕方によって支持力に大きな差が出てくる。ドリリングの仕方が悪いと先細りの孔が出来てボルトの先端部しか圧着しないので低い支持力しか発揮しない (合金鋼製ならばもう少し高くなる)。一応垂壁用 (RCC壁, プレート型) とオーバー・ハング用 (リング型) に分れているが、リングの切断が400kg程度で起きることがある。

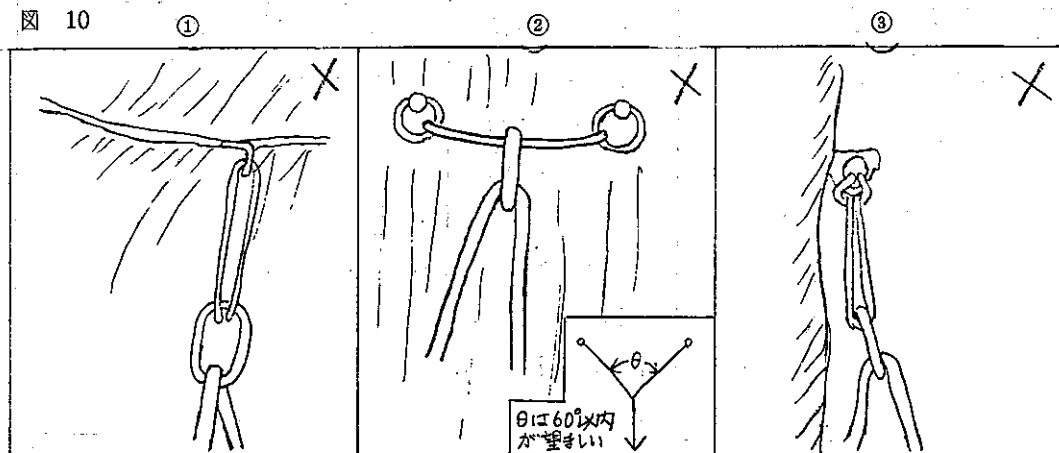
図 9



5) スリング (ロープウェービング)

不利な条件のアンカーを構成するときや、支点におけるザイルの流れを良くするために使用されるスリングは、一般にリング状になっていて太さ（ウェービングの場合は、巾×厚さ）がまちまちである。例えば、ノットィング・スリングの場合、その素材の切断荷重の1.8倍位と考えておくことが望ましい。また、ソウィング・スリング（ウェービングをミシンで縫ったもの）は、引張り試験のデータが出されている物が望ましい。なお、ノットィング・スリングの結び方は、リング・バンド（テープ結び）、ダブル・フィッシャーマン結び。スリングとスリングの連結は、カラビナを使用するか、または、シート・バンドで行い、グース・フット（ラーク・フット、または、シングル・プルーゾック結びとも言われる）では行わないほうが賢明である。

図 10



用具の耐力に関する目安とする表を見て対応するとよい。

表 5

用具名	形 状	耐力 (支持力) Kg	条 件
カラビナ	アルミ合金O型 新D型 変D型	2,000~ 2,250 2,200~ 3,000 2,200~ 2,900	静的引張り試験機による。 縦方向
ロック ハーケン	軟 鋼 製 " " 合 金 鋼 製	200~ 1,000 500~ 1,200 300~ 1,000~	縦リス 横リス 縦リス 横リス } 油圧機及び テンションメーター 90° 方向
アイス ハーケン	打込み式 " パイプ スクリュー式 " パイプ	100~ 820 500~ 2,000 300~ 1,100 600~ 2,100	20cm 25cm 20cm 20cm } "
チョック (アルミ 合金製)	スト ッ パ ー " " " " カ ム ウイングカム	250~ 820 360~ 1,300 1,000~ 1,500 900~ 2,250 1,200~ 1,700	ワイヤーを差込み、溶接 ワイヤーループをスエージング加工 8mm ナイロンロープ ナイロンテープ
スリング (ナイロン 製)	ロープ 5mm " 6" " 7 " 8 ウェーピング 15mm/φ チューブ 20mm/φ " 25mm/φ " 30mm/φ "	530~ 710 730~ 940 1,100~ 1,200 1,500~ 1,600 500~ 1,000 710~ 1,200 1,300~ 1,900 1,700~ 2,200	静的引張り試験機により シングル・ロープ シングル・ウェーピング
ソウイング スリング	16mm/φ チューブ 25mm/φ ソリッド 25mm/φ チューブ 30mm/φ "	1,700 1,300~ 2,600 2,300~ 3,200 3,200	"

5. 新しいザイルの使用法について

1) シングル・ロープ

80kgの重量を負荷したとき、その直径が10～12mm φの太さのもの。

2) ダブル・ロープ

前項と同様に負荷を掛け、その直径が9～9.4mm φの太さのもの。

ロープのセットは、個々のカラビナに1本ずつ掛ける（55kgで落下テスト）。

3) ツイン・ロープ

一項と同様に負荷を掛け、その直径が8.5～8.8mm φの太さのもの。

ロープのセットは、個々のカラビナに2本同時に掛ける（80kgで2本の状態で落下テストを行う）。その強度については表4を参照してほしい。