

3. 論文

確保技術 雪上の確保(その2)

松本憲親, 柳澤昭夫, 鈴木 漠,
渡邊雄二, 藤原 洋, 森田正人

1. はじめに

確保に関する何報かを本誌に掲載してもらっていますが, 山本一夫氏から松本の議論は分かりにくいとお叱りももらっています。今回は是非分かりやすい文章でとの注文付きで書かせてもらえることになりました。確保理論の常識化が合言葉になった今, より実践に即した議論の展開が待たれるものと理解いたしました。読者諸兄に確保技術を論理的に解説するには理論をよく理解して, できれば教師並の教授法を持つのが望ましいと思いますが, 筆者は数学や物理学が特に不得手ですので, 苦勞して書いているなどご理解ください, 意のあるところをご賢察ください。

2. Wexlerの式 (A.Wexler, Am.Alp.J., 1950, 379.) と雪上の制動確保について

スタンディングアックスビレイと問題点 (文献1; 登山研修, VOL.7, P5-10) および雪上における確保技術 (その1) (文献2; 登山研修VOL.12, P106~116) ではスタンディングアックスビレイ (SAB) の確保者に掛かる衝撃値を計算して, SABの限界について述べた。その時Wexlerの式を公式として証明なしに使ったが, 前報 (登山研修, VOL.13, P33~42) において当該制動確保時の衝撃値の計算式 (式1) を証明し, さらに雪上の制動確保には, 滑落者の体重 (W) に雪面の傾斜と摩擦係数から計算できる 体重減少した体重 (M₁) (kg) を用い, Hに確保ロウプに力が掛かり始めるまで 滑落した距離 (m), Lにその時繰り出されていたロウプ長さ (m), Sに 制動距離 (m) を式1に用いれば衝撃値が得られることを証明した。

$$P=W-Sk/L+W\sqrt{1+2kH/WL+(Sk/WL)^2} \quad (\text{式1})$$

ただし9mmナイロンロウプでW=60kg, H/L=0.52として実測した k=968kgF

(柳沢昭夫, 平成10年度文部省登山研修所友の会研究会講演より)

式1は上記文献で初めて登山者に知られるようになったもので, Wexlerは当該文献中で高校生でも解るように丁寧にエネルギー収支式を展開して式1を導いている。

「高みへのステップ」(文献3; 東洋館出版社, 昭和60年) 533頁に制動確保の解説があるが, ロウプの伸びによる墜落エネルギーの吸収が考えられていない式2が導かれている。

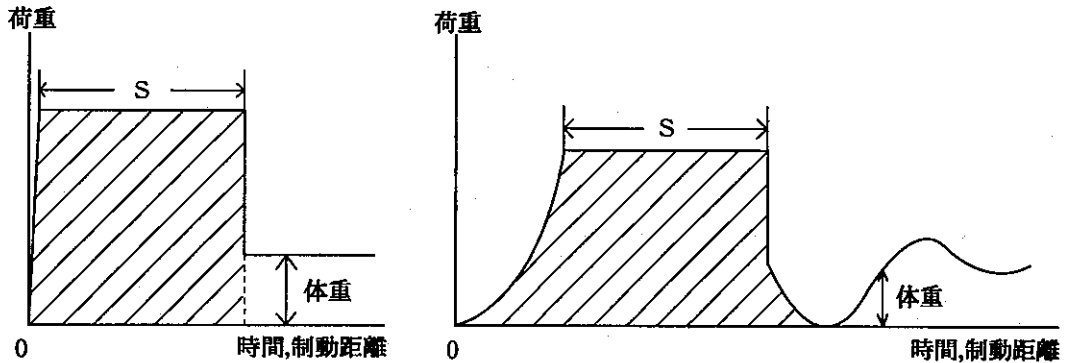
$$f=W(h/y+i) \quad (\text{式2})$$

式2はW (kg) の物体がh (m) 落下したのをf (kg) の制動をy (m) 行って停止させることを意味しており, 落下距離と制動距離の比で衝撃荷重が決まることを教えられたが, より実際的な確保のエネルギー収支は, ザイルに張力が掛り初めてから所定の制動力に達するまではロウプの伸びで墜落

3. 論文

エネルギーの一部が吸収され、所定の制動力に達した後、その制動力でロウプが繰り出されて、位置エネルギーと、ロウプの伸びと制動によるエネルギーが釣り合った所で停止する、と書ける。式2は、制動の部分だけを表しているようだ。同534頁には、式2で体重70kg、制動係数 (h/y) が2とすれば、 $f=210\text{kg}$ とある。仮にリーダーの墜落時繰り出されていたロウプの長さが10m、落下距離が2mなら落下率0.2、これを1mの制動で止めたなら、 h/y が2となる。 $K=4000$ (kg)として式1で計算すると、 $P=196\text{kgF}$ となる。 210kgF と比べて7%程の違いだから問題ないとお考えなら、 $K=1900$ というような現代的なロウプ係数を用いると、 $P=187\text{kgF}$ となり、9mmシングルロウプの $K=1000$ (kg)では、 $P=177\text{kgF}$ となり、16%の誤差となる。今日の確保ではロウプの伸びを無視できなくなっている。もっともこのときのロウプが $K=50000$ (kg)のワイヤーロウプであったなら、 $P=209\text{kgF}$ となり、 210kgF に近似してくる。すなわち、この部分の記述は伸びを無視した議論であったのだ。そしてこの稿から筆者は伸びを含めた議論を読み取ることができない。よって本稿でも式1を用いて議論を進めることにする (図1参照)。

A,Bの斜線部の面積は一緒になる。



A 伸びの少ないロウプでの制動確保

B よく伸びるロウプでの制動確保

図1

さて、体重減少の程度は前報で述べたように、斜度と雪質とによって決まる。雪質により摩擦係数 μ の値が違い、その値を知るために、オイラーの方法 [曾田範宗「摩擦の話」P.39 (文献4; 岩波新書)] を使った筆者の昔の実験を紹介する。

雪の動摩擦係数を測定する実験

1983年5月30日 14:00、天候晴れ、剣御前下の39度の斜面 (スランートルールで精密に測定) の最大傾斜線10m (巻き尺で精密に測定) を滑り初めから滑り終わる迄の時間をストップウォッチで精密に測定して、表1の結果を得た。堅い雪の上に湿った軟雪が乗った雪面の同一箇所を3回滑ったところ、1回毎に上部の柔らかい雪が除かれて、3回目は半ば氷化した堅い雪面を滑ることとなった。な

3. 論文

お、雪の動摩擦係数の計算は式3によった。

$$\mu_k = \tan \theta - (2s/gt^2 \cos \theta) \quad (\text{式3})$$

ただし、 μ_k : 動摩擦係数, θ : 傾斜角, s : 滑る距離 (m), t : 所要時間,

g : 重力加速度 (9.8m/sec)

この結果, あまり滑らない 表1 雪の摩擦係数; ハーネス無しで計測

Run	距離(m)	斜度(度)	所要時間(秒)	動摩擦係数(μ_k)
1	10	39	2.7	0.45(あまり滑らぬ雪)
2	10	39	2.2	0.27(すこし滑る雪)
3	10	39	2.1	0.21(かなりよく滑る雪)

にして得た動摩擦係数をこれまで用いて来たのであるが, 前報(文献2)で述べた, バネ秤を用いる方法で得られる静摩擦係数 μ_s より小さいとされている(文献4)。大きすぎる係数を用いて計算すると衝撃値を小さく見積もってしまう危険がある。

そこで, この雪の動摩擦係数を用いて減少した体重を計算して表2を得た(ただし, 動摩擦係数 $\mu_k=0.45, 0.3, 0.2$ とした)。

表2 傾斜角45度の種々の雪質による落ちようとする力 (kgF)

μ_k 体重(kg)	μ_k		
	0.2	0.3	0.45
40	23	20	16
65	38	32	25
85	48	42	33

表2の数値と上記のロウプ係数: $K=968$ を使って, 落下係数 $H/L=2.0$, 雪の動摩擦係数 $\mu_k=0.2$ を一定にして, S/L , 体重を変えた場合の雪上の確保の衝撃値を計算して図2を得た。

図2から $K=968$ というような今日使われるロウプが, $K=2056$ の一昔前のロウプに比べて衝撃吸収において優れていることが分かる。しかし, $H/L=2.0$ では傾斜角45度というような比較的緩い斜面での確保においてさえ, 弾性確保が不適切なことが分かる。また通常の見安とされている $H/S=2.0$ (落下距離の1/2の長さの制動) では体重85kgのリーダーの墜落を確保したときの衝撃を150kgF以下に押さえ得ることが分かる。後述のように, この程度の衝撃ならスノーバー2本でのアンカーで耐えることができると言える。なお $H/L=2.0$ ($S/L=1.0$) の制動確保では, $K=2056$ のロウプを使ったなら衝撃値が1%強増加するだけで, 大きな違いは無い。ところが落下率が小さい場合は衝撃値に差

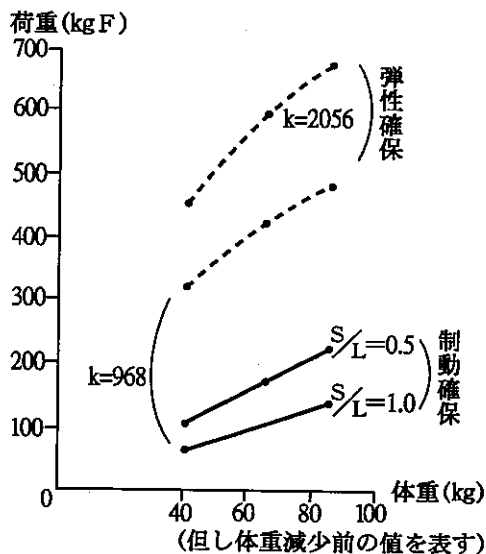


図2

(傾斜角45度
 $\mu_k=0.2, H/L=2.0$)

が出る（体重：85kgの空中落で、 h/y を2.0に固定して、 H/L を0.2, 0.5, 1.0, 2.0の4段階変えて、 $K:2056$ と $K:1000$ の場合の衝撃値を計算すると、それぞれ7%, 5%, 3%, 2%の差がでたことで確かめられた）。傾斜角60度での計算結果を図3に示したが、この場合も確保可能と言えるであろう。しかし、確保に失敗して、ロープがジャミングしたり、ロープを放してしまって、弾性確保となり、大きな衝撃荷重が確保者に掛かるときにアンカーが破壊されない程度の強度を持っていなければならないということを忘れてはならない。では最大でどれくらいかを計算で求めると、傾斜角60度、動摩擦係数0.2、減少前の体重85kg、 H/L を2.0とするなら571kgFとなる（図3参照）。この角度を超える所では、氷や岩が使えるので、強固なアンカーが構築可能であろう。

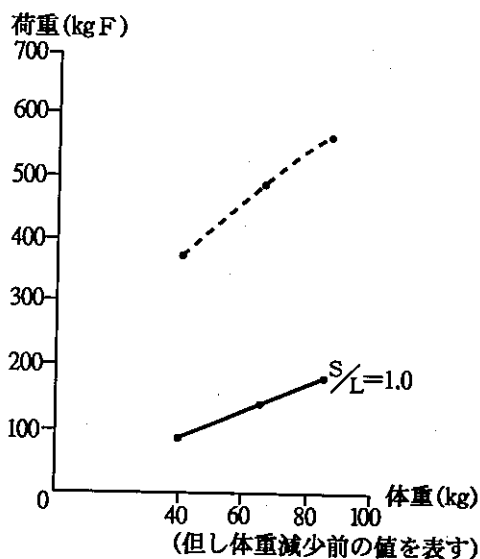


図3

（傾斜角60度
 $\mu_s=0.2, H/L=2.0$ ）

3. 雪上のアンカーの強度について

雪上のアンカーの強度測定は何人もの研究者によって何度も行われているので、軟雪に丁寧に施した幅広スノーバーや大型フルークの強度を300kgFと見積もることができる（文献2, 文献5：文部省登山研修所, 登山研修VOL.13, 30 (1998), 文献6：西山年秋, 登山研修VOL.13, 43）。これを2本使えば600kgFとなるので辛うじて必要強度に達する。ここで議論したいのは、2本のピンの繋ぎ方である。

前報（文献2）で触れたように、2本以上のピンを分散荷重する場合に、各ピンから力点までの距離が大きく異なるときは、使用するスリング類の材質によっては、均等荷重せず、アンカーの破壊を来す。前報（文献2）34頁、表1に、2本のスノーバーを同じ高さでそれぞれ垂直に埋めて、ナイロンスリングを60度の角度を成すように分散荷重して、衝撃を加えたところ482kgFで破壊されなかったが、スリング長さの比が4:1となるように高さを変えて（角度は60度）同様の衝撃を加えたところ、アンカーは破壊された、残念ながらこの時の衝撃値は測定できなかったが、スリング長さが不均等なために2本のスノーバーに均等荷重されなかったと考えられる。この根拠となるのは以下に示す実験の結果である。

3. 論文

高さの異なる支点到分散荷重するフィールドテスト——不動岩，タンツボコゾウにて——

1) ロードセルA, Bの検定

図4にロードセルの検定方法を示した。オウヴァーハンギング中程に打たれたボルトを支点に，カラビナで2本連結したロードセルA, Bをダイニーマスリング（52cm）を介してハーネスに繋ぎ，短く空中落下して衝撃荷重を測定し，表3に結果を示した。データ解析の結果ロードセルA, Bが良い相関を示したので（図5参照），以下の実験（図6参照）に使用した。

表3 ロードセルの検定

Run	A (kg F)*	B (kg F)*
1	170	160
2	230	235
3	255	270

* 未補正值

2) 岩壁の支点的分散荷重

1)と同じ場所で，右図5に示すようにはほぼ水平位置にある2本のボルトにスリング長さが左右不均等になるように素材が同じスリング同士2本を連結して，1)と同様の短い墜落を行い，2本のボルトそれぞれに掛かる衝撃値を測定した。スリングの素材はナイロンとダイニーマの2種を選び，結果を表4に示した。なおロードセルの表示値を，2)の結果によって補正した。

表4 岩場での分散荷重実験結果

a. ダイニーマスリング		b. ナイロンスリング	
A (kg F)	B (kg F)	A' (kg F)	B' (kg F)
170	155	175	134
170	155	180	180
170	130	135	160
		185	120
		170	130

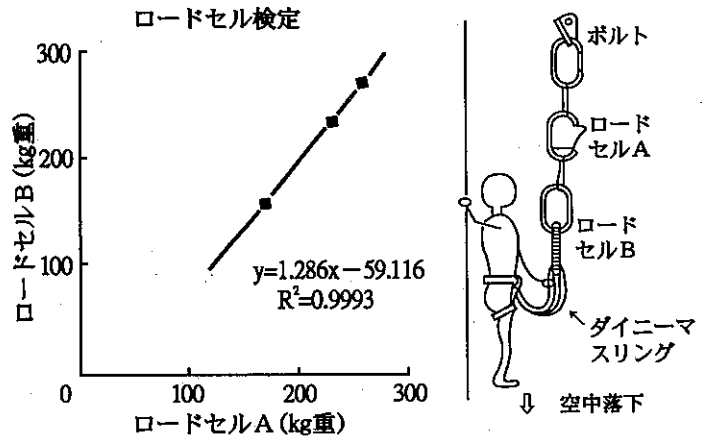


図4 ロードセルの検定

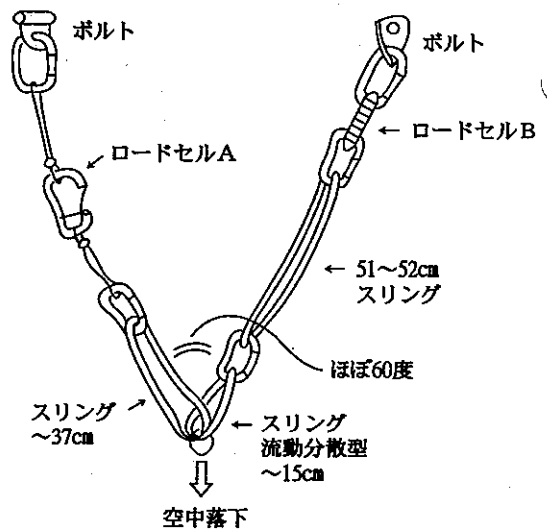


図5 分散荷重の実験

以上の結果を統計解析すると、A-B, A'-B'にはどちらも有意差は無かったが、A, A'VS.B, B' p=0.049であり、有意な差が(p<0.05)が認められた。すなわち、均等分散するのではなく、スリングの短い方に大きく加重されるのである。

3) 雪上の支点の分散荷重

1), 2)で使用したロードセルを用いて5月末の剣沢で、傾斜角30度ほどの雪の斜面に高さを違えて2本のスノーバーをそれぞれ垂直に埋めて、それぞれの頭部にロードセルAおよびBをカラビナを介して連結し、52cmのダイニーマスリング1本を用いて流動分散型に分散荷重して(図6参照)、約5mの9mmナイロンロウプでハーネスと連結し、約5m上部から走り降りて衝撃荷重を掛けた。このときの衝撃値を補正した値を表5に示す。

表5の結果はまだ統計解析できていないが、有意差が有るものと思われる。すなわち、スリング長さに大きな差があると、分散荷重ができない、と言える。ということは、2本のスノーバーは水平位置に打つ必要があるということになる。

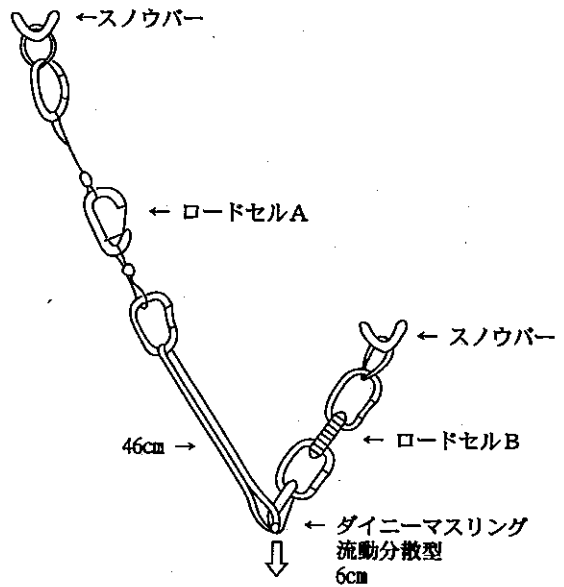


図6 雪上の支点の分散荷重

4. まとめ

雪上の制動確保の可能性と確保の限界について、実験を通して推論した。9mmのクライミングロウプを用い、S/L=0.5で制動するならば、傾斜角60度のかかなり良く滑る雪で85kgのリーダーのH/L=2.0の墜落を190kg F以下の制動力で確保できることを確認した。このとき確保に失敗して弾性確保になったときも、アンカーをうまく作っておけば、破滅に至らないことを確認した。しかし、この場合のピンが幅広スノーバーであれば2本でかつかつの強度しかなく、設置方法の誤りは破滅につながることも確認した。この後は、スピーディーで堅固なアンカーの構築に向けて調査・研究したい。

表5 雪上の分散荷重実験結果

Run	A (kg F)	B (kg F)
1	40	80
2	50	113
3	70	60
4	50	90
5	40	90
6	40	90

(文責 松本)