

確保実習（肩がらみでの確保）における 事故の発生と今後の対策について

文部科学省登山研修所（柳澤昭夫，北村憲彦，渡邊雄二，森田正人）

1. はじめに

平成11年7月29日～8月2日に35人（男性20人，女性15人）が参加して開催した「平成11年度岩登り講習会」において，タイヤ落としによる確保実習中，事故が発生し2名の講習生が怪我をされた。

本報告では，事故の状況及び原因について考察するとともに，お二人の講習生が怪我をされたことを教訓に，登山研修所として同様の事故の再発を防止するための確保実技講習の在り方や指導法及び安全対策に関する考え方を述べたい。

2. 事故の状況 【図1参照】

第1日午前の「確保理論」の講義をふまえ，実習は，登山研修所のロッククライミング訓練施設を使用して行った。その際，講師や職員が実演を示すとともに，確保の姿勢や制動のかけ方，アンカーの取り方，制動手や誘導手の使い方について説明し，手袋や着衣等細部にも注意を払い実施した。

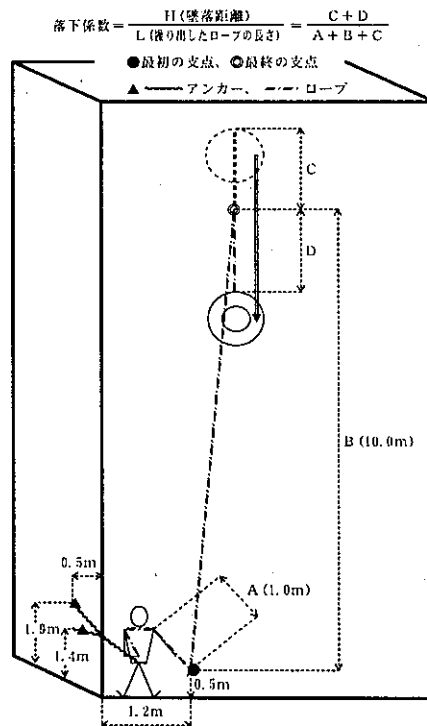


図1

① Aさん（女性，45歳）の場合

- ・肩がらみでの確保の実習中
- ・落下物（タイヤ）の重量 60kg
- ・この時の落下係数＝墜落距離／繰り出したロープの長さ＝5 m／13.5m＝0.37

タイヤの落下衝撃により、足元にある最初の支点へ引き込まれて確保体勢を崩し、地面に倒れ込み左膝の靭帯を損傷した。

直ちに患部を氷で冷やし安静を保った後、接骨院で診察治療を受けた。講習を受けることが困難な状況であったことから自宅に戻った。帰宅後、病院での診察の結果、左膝の内側側副靭帯及び半月板を損傷しており、手術及び入院治療となった。

② Bさん（女性，30歳）の場合

- ・肩がらみでの確保の実習中
- ・落下物（タイヤ）の重量 60kg
- ・この時の落下係数＝墜落距離／繰り出したロープの長さ＝3 m／12.5m＝0.24

上記Aさんの負傷により、女性の確保実習の落下係数を0.24に変更するとともに、器具（ATC）を使用した実習を先に行い実習に慣れるよう配慮した。器具（ATC）による実習は順調に行えたが、肩がらみ確保の実習時にはAさんと同様に落下衝撃により確保体勢を崩し、地面に倒れ込み左膝の靭帯を損傷した。

直ちに患部を氷で冷やし安静を保った後、接骨院で診察治療を受けた。講習を受けることが困難な状況であったことから自宅に戻った。帰宅後、病院での診察の結果、左膝の前十字靭帯が断裂しており、靭帯再建手術及び入院治療となった。

2. 負傷の原因

負傷の直接的な原因は、タイヤが落下し衝撃荷重がかかった瞬間に、誘導手（左手）の方でロープを握ってしまい、足元にある最初の支点（左脚側）の方向に引き込まれて体勢を崩したことにより、左膝がX脚に捻れて（内転）しまったためと思われる。人体は一般的に横方向へ引かれる力や回転のトルクを支えるのは弱いと言われるが、肩がらみによる確保では、肩にかかった力が弱くても、回転の支点となる膝や腰からの距離があるために曲げモーメントが発生し、今回は特にその多くが膝に作用したものと考えられる。

3. 負荷について

登山研修所では、研修会の確保実習時には最初と最終の支点にロードセルを設置し、支点に掛かる衝撃荷重を測定し、得られた数値から確保者や墜落者（タイヤ）に掛かる衝撃荷重を推計し把握することにより実際の岩登りの研修に生かしている。ただし、今回の場合、上部の最終支点に設置するロードセルは、修理中で計測していない。また、最初の支点に設置した簡易型ロードセルは、故障して

いたことが判明し、正確な値は計測できなかつた。これまでの測定データは計算値とほぼ一致していることから、参考までに今回の衝撃荷重を計算で求めてみた。その結果からは、今回の講習会での設定は過度な負荷ではなく、実際の墜落でも軽度な範囲と考えた。以下、若干長くなるが、計算による見積もりの過程を示してみる。

(1) 落下率と制動距離、ロープの弾性を含めた衝撃荷重量（ウェックスラーの式による計算）

ウェックスラーの式は制動確保の時に墜落者側にかかる最大張力を求める式で、固定確保理論に比べて、より現実に近い値が得られる。カラビナとの摩擦やロープばね定数に関する検討を加えることでより精度の高い実用的なものになると考えている。

① ウェックスラーの計算式

これは、確保者の発揮する制動力（摩擦力）が一定で、かつ途中のランナーなどのカラビナとの摩擦がないと仮定したときに、墜落者側のロープにかかる最大張力Fを求める式である。

$$F = W - \frac{S}{L} K + W \sqrt{1 + \frac{2KH}{WL} + \left(\frac{SK}{WL}\right)^2}$$

F：ザイルにかかる張力（墜落の衝撃は、ロープに張力として掛かる）

W：墜落者（タイヤ）の質量 今回は60kg

S：制動したロープの長さ

・ロープが流れ出した瞬間に制動をかけ、ロープに引き込まれたものと思われる。その間の制動力の変化については、現状では測定不可能であるが、タイヤが地面に着くまで手を離さず制動をかけていたものとする、図のように約6～8m制動をかけたことになる。また、比較として全く制動をかけずに止めた場合（制動距離0m、いわゆる固定確保）の値も示した。

H：制動をかけ始める直前までに墜落した高さ（Aさん=5m、Bさん=3m）

L：制動をかけ始める直前までに繰り出されたロープの長さ

（Aさん=13.5m、Bさん=12.5m）

K：ロープの係数 1000kg f

・9mmロープの係数は、800～1200kg fとされており、研修所で実際に確保したロープの係数を測定した数値は1000kg fであった。

② 各制動距離毎のロープにかかる張力（F）（ウェックスラーの計算式による）

制動距離	F：Aさんの場合	F：Bさんの場合
8 m	99kg f	85kg f
6 m	111kg f	93kg f
0 m	279kg f	240kg f

(2) カラビナの摩擦によるロープ張力の変化

墜落者側のロープにかかった張力 F は、幾つかのカラビナとの接触屈折摩擦により、減衰されて T となる。 F と T の関係はオイラー（1707-1783、スイス）のベルトの巻き付けの式によって、

$$F = Te^{\mu\theta} \text{ または } T = Fe^{-\mu\theta} \text{ となる。} (e^{\mu\theta} \text{ は増幅率, } e^{-\mu\theta} \text{ は減衰率)}$$

e : 定数 (2.71828...))

μ : 摩擦係数 (カラビナと9mmロープの摩擦係数を測定したら $\mu = 0.17$ であった。)

θ : 接触角 (ラジアンで表す。1° \approx 0.01745ラジアン。今回、接触角の合計は320°であるから $\theta \approx 5.585$) 【図2参照】

計算すると $e^{\mu\theta} \approx 2.58$ となる。実際にも摩擦抵抗分だけ張力(F)は減衰し、今回は1/2.58倍に小さくなる。ウェックスラーの式による計算からすると、今回およそ100~300kgfの張力で墜落者がロープを引いたとすれば、カラビナとの摩擦抵抗によって100/2.58~300/2.58、すなわち今回は39~116kgfの張力で確保者は引かれたことになる。もし、カラビナとの摩擦が極端に増えれば、ロープの流れがかなり妨げられるため、墜落者側のロープに生じる負荷が増加する。そのような場合には、墜落者に大きな負荷がかかり危険である。

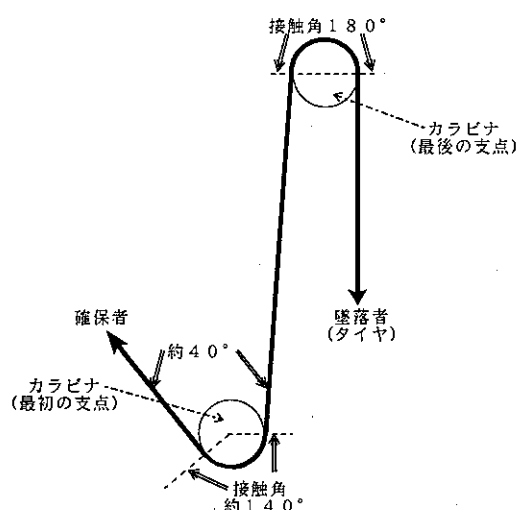


図2

今後は実際の場面設定で、制動のかけ方など条件による効果の違いを整理する必要に迫られている。そのためには、カラビナとの摩擦を考慮したさらに実際の制動確保の考え方を示すことが当面の課題である。

4. 肩がらみ確保の有効性について

登山研修所では、事故発生を踏まえて関係講師とも協議を重ねてきた結果、下記のような場合に肩がらみ確保は有効と考えている。

- ① 器具を使用した確保と比較して制動力が弱いためロープに過大な衝撃が生じにくく、スムーズな確保が行える。
- ② 巻き付け角度を増やす動作が明確で、制動力のコントロールがしやすい。
- ③ 制動感覚を身体で直に感じながらコントロールすることを覚えることは大切である。
- ④ ダブルロープでトップを確保する場合、トップの動きに合わせて左右2本のロープの個別の微妙な操作が比較的容易である。

- ⑤ 冬季登攀，スタンディングアックスビレイ，また器具を紛失したときなど特に有効性は高い。
- ⑥ 制動器具を使った確保は，制動力を強くすることが容易で，初心者にも簡単に墜落を止められる。しかし過大な制動力は，支点に強い荷重を掛けてしまい，支点が破壊されたり，確保者も引き込まれるという事態にもなりかねない。

しかし，肩がらみ確保は身体そのものが確保支点のひとつになるため，慣れていないと引き込まれて失敗することがあることを踏まえ，より細部に注意を払った上で実施していく必要がある。

5. 今後の確保実習を実施する上での安全上の措置について

これまでの研修会・講習会においても，訓練場所には主任講師，班の担当講師，研修所の職員が付き添い，常に講習生の安全確保のために適切な措置や指導・助言（アンカー，確保姿勢，衣服，装備等）を行っていた。しかし，今回残念なことに2名の負傷者が出たことから，その後の研修会等においても確保技術の指導方法及び安全対策について協議を重ねている。以下に主な改善点・注意点を記すが，今回，お二人が怪我されたことを教訓として，これからもあらゆる機会において講師や関係者でさらに検討を加えて，安全対策に万全を尽くして実施していきたい。

- ・各研修会・講習会において，講師や参加者に今回の事故の状況を説明するとともに，実習では始めに参加者各自の慣れた確保方法から行ったり，各自の経験や体格・体力に応じて落下係数を設定する。
- ・参加者の見かけの登山歴だけでなく，確保そのものの経験や肩がらみの経験などを事前に十分に聞いた上で，実習の意味や注意点などをより詳細に説明してから実施する。
- ・確保者には，引かれる方向への認識をより強く意識してもらうように指導する。
- ・導入として，互いにロープで引き合う練習も取り入れる。
- ・誘導手を強く握ってしまった場合，手を第一支点に巻き込まれないよう，巻き込み防止についても検討する。
- ・安全のため，確保者が接する壁面にはマットを設置する。
- ・さらに，実習は基本として弱→強，軽→重，低→高，遅→速の段階をふんだ順序立てたものに変えていくこととする。事故後，女性や確保実習の未経験者のために60kgのタイヤ以外に40kgのタイヤを用意し，落下係数も0.1レベルのごく小さい場合も既に実施している。