

UDC 687.17 : 531.44

安全帯のベルト脱落の可能性について*

深 谷 潔**

Study on the Possibility of Safety belt's Slipping out of Buckle*

by Kiyoshi FUKAYA**

There was an accident that a worker fell down from a ladder with leaving his wearing safety belt on it because the belt slipped out of the buckle. Similar accidents might occur if safety belts do not work well in the case like this. In this context an experimental study was conducted to investigate the cause of the accident.

Although the safety belt was later found to have some faults, they were not attributable to the cause of this accident. Because it could experimentally suspend a human dummy, it was suggested that the cause was related to the other facts such as a relative position of the buckle to the body, an angle between buckle and belt (draw angle) , etc.

First, draw angles were measured in the condition that a man actually wears the belt. It was found that the draw angle was greater in condition that the buckle is at the side of the body than in front of the body, and the value varied 27 degree to 35 degree.

Following this, the slip resistances which are the force needed to slip off belt out of buckle in a fixed draw angle were measured for various draw speeds. When the draw angle was decreased stepwise, the resistance increased suddenly at a certain draw angle. These angles (limit of draw angle) were between 30 and 60 degrees according to the belt.

In case of the same buckle as the type used in the accident case, the limit was not greater than that under actual wearing condition, but the slip resistance for the draw angle greater than the limit was 1 kgf at most. This result seems to be applied to the folding type buckle.

In conclusion the cause of the accident is presumed as follows: Something happened to touch the buckle, leading to the buckle in the put-up condition, i. e. its draw angle became greater than the limit. As the result, the victim fell down from the ladder while the buckle remained loose.

There is a possibility of belt slip-off accident regarding folding type buckles. Therefore some measures, such as the use of a loose stopper, are recommended.

Keywords: Accident analysis, Safety belt, Buckle, Slip

*昭和60年度安全工学シンポジウムにおいて発表

**機械研究部 Mechanical Safety Research Division

1. はじめに

ある土木工事の作業現場で、作業者が垂直はしご上での作業中に、はしごから落下し死亡した。被災者は、墜落防護用の安全帯を着用していたが、安全帯をはしご上に残して墜落した。事故の状況から、バックルが有効に機能せず、ベルトが抜けたものと推定される。

墜落防止のための有力な手段である安全帯が、いざというときに役に立たないとしたら、ことは重大である。被災者が使用していた安全帯がたまたま欠陥品であったのか、あるいは本質的な欠陥があったのか、事故の原因をさぐる必要がある。そのために、2、3の実験を行い、問題点を解明した。

2. 事故の概要

2.1 災害の発生状況

昭和57年1月27日に、奈良県の道路工事現場で工事完了直前に深礎内で墜落災害が発生した。

当日の午後1時過ぎに、被災者は共同作業者と共に、深礎内で、昇降はしごの背もたれの取外し作業を行っていた。被災者が背もたれを外し、共同作業者が外された背もたれをウインチで穴の外に引上げていた。

背もたれを外す順序は下からはじめてゆき、上から2番目の背もたれを外す作業に入った。このとき、被災者は背もたれより1段下の踏さんに安全帯の補助フックと主フックをかけていた (Fig. 1)。被害者は背もたれを固定していた番線を切断し、力を入れて背もたれを踏さんから外すとき、ちょうど背もたれを抱きかかえる格好で、そり身の感じで15m下の穴の底に墜落し死亡した。

被災者の使用していた安全帯は、ベルトが抜けた状態で、かけていた踏さんに引掛って残されていた。災害を直接視認した共同作業者によれば、「全く前ふれもなく、被災者のベルトが腰から抜けた。」ということである。

なお、被災者は、このとき、保護帽、安全帯、長靴という姿で、ラチェットスパナと番線を切るためのクリッパーを持っていた。

また、昇降はしごは、幅が40cm、踏さん間隔25cmであり、このはしごの踏さんの2段目ごとに背もたれが設けられていた。この背もたれは径12mmの鉄筋でできた直径60cmの円形をしたもので、2箇所踏さんにはめ込み、径3.5mmの番線ではしごに緊結してあった。

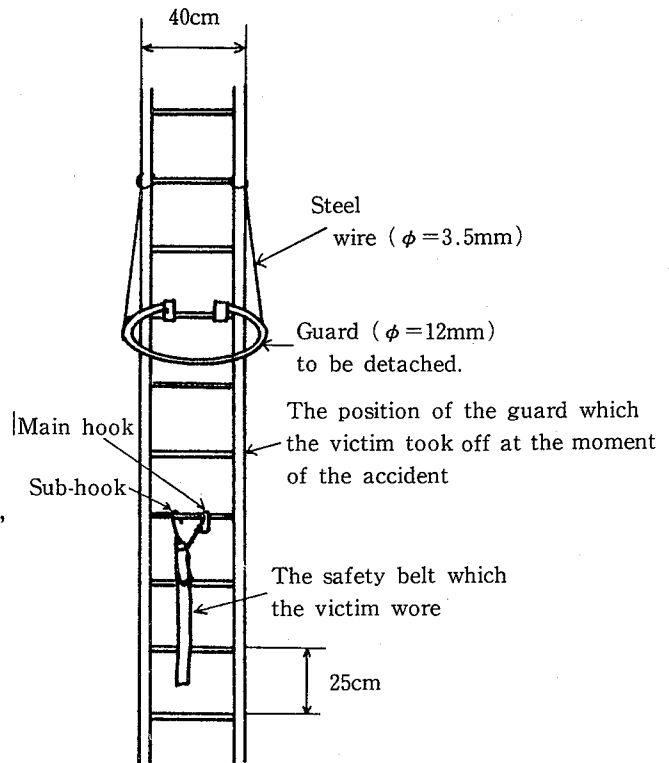


Fig. 1 Situation of causing the accident
事故現場の状況

2.2 被災者の使用していた安全帯について

被災者の使用していた安全帯は、昭和54年7月に製造された一本吊り用のA種安全帯で、バックルは折返し式のものである (Fig. 2)。全体的にかなり薄汚れているほかに、以下の特徴がある。(Fig. 3)

鉄筋を曲げ、合せ目を溶接して作った補助フックが取付けられていた。元請の調査では、これは被災者が自分

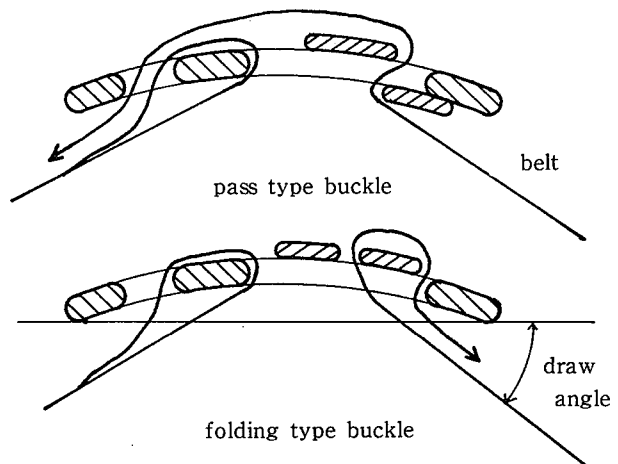


Fig. 2 Kinds of buckle
バックルの形式

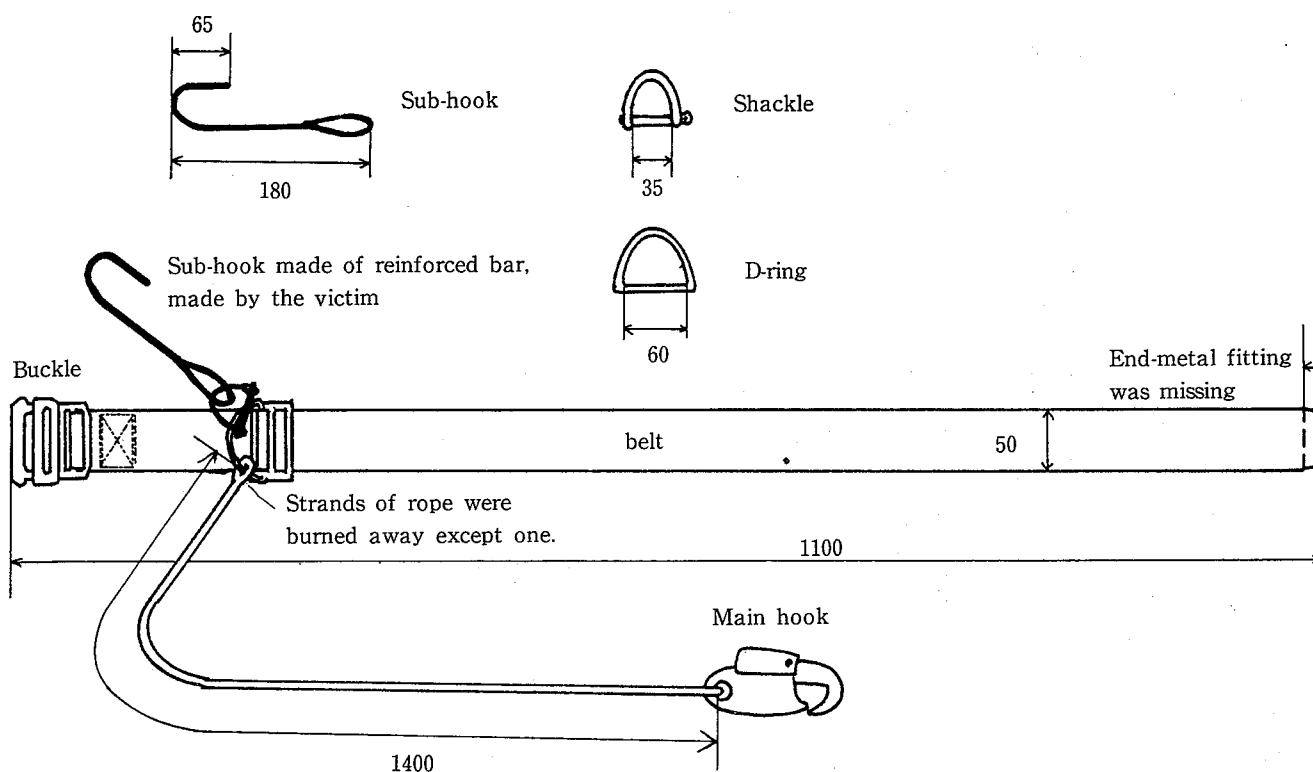


Fig. 3 The safety belt which the victim wove.
被災者が着用していたA種安全帯

で加工したということである。

ロープのアイの部分に焦げて、3本のストランドのうち1本を除き切れている。しかしながら、D環との接続部の摩擦防止のためのシンプルの中におさまっていたため、ストランドが切断していることは目視のみでは明らかでない。そのため、被災者は、切断に気付いてなかったと思われる。なお、切断の原因は、被災者が前述の溶接を行った際に、火花がロープに飛んだためと思われる。

ベルトの先端の端止め金具がとれていた。これは、災害発生以前からそうになっていたと推定される。その根拠として、検査のため清掃されていた穴の底部に端止め金具が落ちていなかったことが挙げられる。

2.3 被災者について

被災者は、深礎作業の経験もあり、特に56年8月から3箇所の現場で、世話役代理をしていた。従って、安全帯の正しい着用方法は心得ていたと思われる。

なお、被災者の身長は173.1cm、体重は82kgである。胴回りは不明であるが、特別な肥満体ではない。

3. 災害原因の推定に必要な実験の検討

3.1 災害原因の仮説

ベルトがバックルより抜けるという事故の原因としていくつかの可能性が考えられる。それらを列挙すると、

- (仮説1) 安全帯の着用方法の誤り
- (仮説2) 事故品のバックルの不良（故障又は製造時の不良品）
- (仮説3) バックルの設計上の欠陥

などが挙げられる。また、これらを複合した場合も考えられる。災害の原因が、仮説1又は仮説2によるものであれば、災害は偶発的なものであり、同種の災害が発生するとは限らないが、仮説3によるものであると、同種の災害が発生する可能性は高いので、その影響は重大である。

3.2 仮説の検討

まず、仮説1について検討する。このバックルは折返し式であり、日常生活で使用するベルトのバックルとはベルトの通し方が異なる。そのため、初めてこの安全帯

を使用する者が、着用の仕方にまごつくことは十分考えられる。しかしながら、被災者は、この種の作業に十分な経験があり、バックルの着用方法を心得ていたものと思われる。また、着用方法を誤って使用していた場合には、背もたれ取外し作業においては安全帯に体を預けることも多いので、作業の開始直後にベルト脱落事故が発生するものと思われるが、実際には、作業終了近くになって事故が発生している。これらのことを考え合わせると、仮説1は誤っていると思われる。

次に仮説2について検討する。事故品のバックルに外観上の異常は認められなかった。しかし、その機能についての異常の有無を確認する必要がある。そのために、被験者に事故品の安全帯を着用させ、事故時と同様にD環部をフックで支持して、安全帯に体を預けさせた。体重68kgの被験者と、80kgの被験者で試したが、特に異常もなく、全体重を支えることを確認した。このことから、事故品のバックルには特に異常はなかったものと思われる。

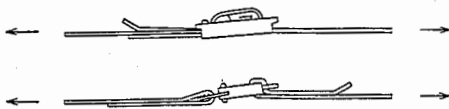
最後に、仮説3について検討する。この型式の安全帯は、労働省の構造規格に適合している。従って、構造規格に定められたバックルの性能^{*1}を満たすはずである。ベルトがバックルより滑って抜けることがあるとしたら、この性能試験とは別の荷重条件であったはずである。被災時の使用状態の荷重条件が、試験時の条件と異なる点をあげると、

- a. ベルトが胴体に沿って引張られるため、バックル面とベルトの引張方向とのなす角度（以後、「引張角」という。）が0でない。(Fig.2参照)
- b. ベルトと胴体との間に摩擦力が働く。
- c. 引張荷重値が小さい。
- d. バックルに物が引掛るなど、ベルトを介さない力が働く可能性がある。

などがある。このうち、b及びcは、ベルトの脱落に関しては性能試験時より条件は緩和されるとと思われる。a及

* 1 構造規格に基づく、当研究所の「安全帯構造指針」より抜粋。

8.8 バックルによる連結部の強さ試験 図Aに示すようにバックルを正規にかけた連結状態でベルトの全幅をチャック又はその他の方法でつかみ、引張試験機により引張荷重を加え、7.8の規定に適合するかどうかを調べる。



図A バックルによる連結部の強さ試験

びdについては、安全帯を着脱するときにはバックルを起こすということを考えれば、厳しい条件であることがわかる。ことに、被災者はD環が体の正面にくるようにして安全帯を着用していたため、バックルの位置が体の側面になり、そのため、バックルが体の正面にある場合より引張角が大きくなっていったと思われる。この引張角の影響を調べるために

- ・人体着用時の引張角の測定
- ・引張角を変えた時のバックルの滑り抵抗の測定を行うこととした。

4. 人体着用時の引張角の測定

4.1 引張角の測定方法

バックルが体の正面又は側面にくるようにして、被験者に安全帯を着用させ、引張角を分度器で測定した。

また、D環を5 kgfの力で側方に引張った時の引張角を、同様の方法で測定した。なお、引張力はバネばかりで測定した。

4.2 引張角の測定結果

測定の結果をTable 1に示す。これによると、分度器のあて方で、2、3度の誤差はあると思われるが、バックルが体の正面にあるときより、側面にあるときの方が引張角が大きくなることが確認された。

Table 1 Draw Angle under wearing condition
人体着用状態における引張角

Load condition	Without load		With load		Waist [cm]	
	Body front	Body side	Body front	Body side		
Subject	A	22°	35°	18°	30°	76°
	B	23°	31°	21°	26°	76°
	C	19°	27°	16°	23°	83°

5. 滑り抵抗の測定

5.1 滑り抵抗の測定方法

ベルトとバックルとの角度を同一に保持したまま一定速度でベルトを引張り、そのときの引張力と滑り量を測

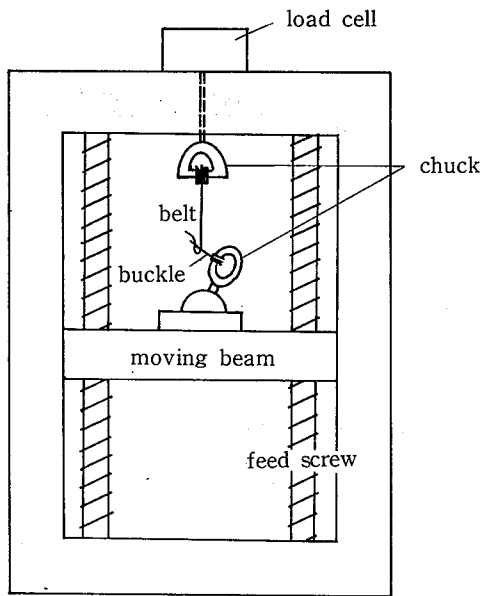


Fig. 4 Measurement of slip resistance
滑り抵抗の測定



Photo. 1 Tension testing equipment.
引張試験機

定した (Fig. 4, Photo 1)。

バックルの固定には、方向自在バイスを用いて引張角が可変になるようにした。バイスの引張試験機の移動梁への固定には、吸着力75kgfのマグネットベースを2台用いた。これは、引張角を変えたときにベルトが鉛直になるようにバイスの位置を変更する必要があるが、この調整を容易に行うためである。

引張力の検出には、容量100kgfのロードセルを用いた。これは、ベルトが脱げる際の力は、たかだか体重を考慮すれば良いためである。また、引張力が数十kgfになったときには、バックルがベルトをかみこんだものと解釈して、引張を中止した。

多少ベルトに張力がかかった状態でバックルの側方から写真を撮って、写真上で引張角を測定した。

引張速度は、10mm/分~500mm/分まで変えて行った。

実験に使用した試料を Table 2 に示す。

5.2 滑り抵抗の測定結果

測定データの例を Fig. 5, Fig 6 に示す。Fig. 5 は、ほとんど滑らずバックルが締ったものの例である。Fig. 6 は、バックルが締らず、ズルズルとベルトが滑っていくものの典型的な例である。なお、図の横軸の滑り量は、移動梁の降下量で、正確には、ベルトの伸びとベルトの滑りを加えたものである。

Fig. 7 に、滑り抵抗を同一の条件 (引張速度50mm/分、引張角50度) で測定を行ったときの3回のデータを重ねて示す。多少のバラツキはあるが、だいたい同様な曲線を示している。

これらの測定データを次のようにまとめた。

バックルが締って、引張力が数十kgfに達したものはロック状態になったものと解釈した。ロックしないで滑

Table 2 Samples for measurement of slip resistance
滑り抵抗測定の試料

Sample	Kind of buckle	Belt width	Maker	Remarks
No. 1	folding type	50cm	A	The same type as the one victim used
No. 2	pass type	45cm	B	with spring
No. 3	pass type	50cm	B	with spring
No. 4	pass type	50cm	C	
No. 5	pass type	50cm	C	The same as sample No.4 buckle

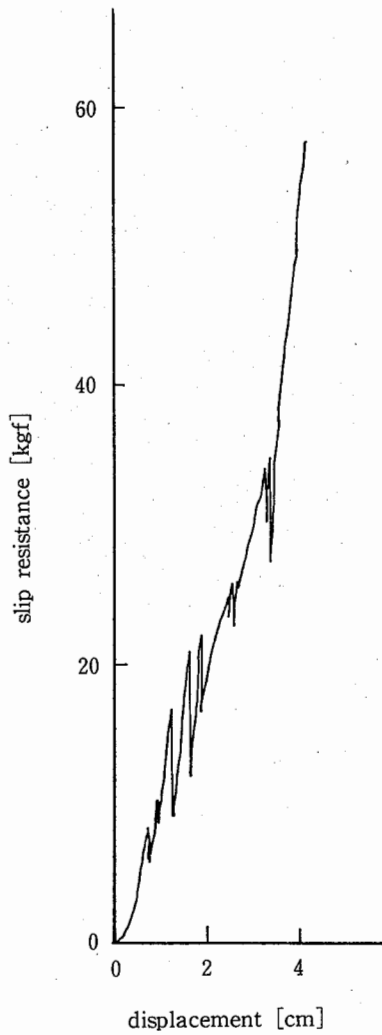


Fig. 5 Example of measurement of slip resistance
滑り抵抗の測定データの一例

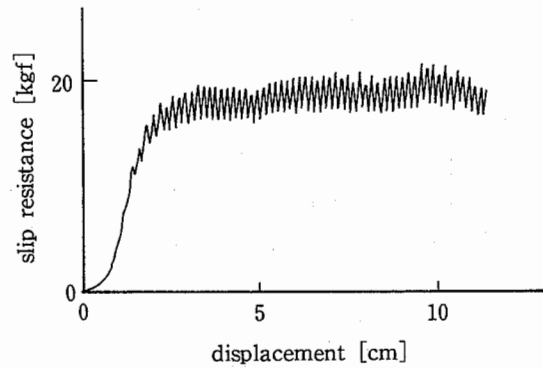


Fig. 6 Example of measurement of slip resistance
滑り抵抗の測定データの一例

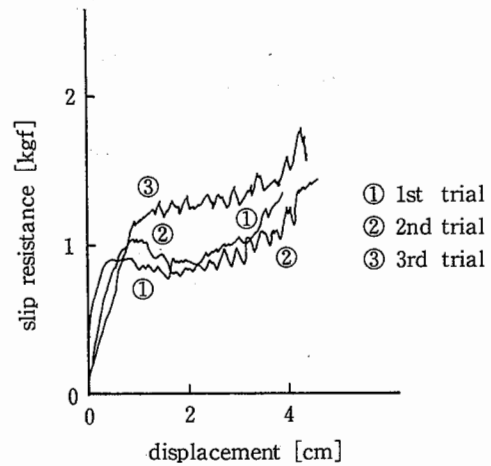


Fig. 7 Reproducibility of slip resistance
滑り抵抗測定値の再現性

る場合は、引張ってから滑り始め(滑り量約20mm)のところの引張力を、その引張角に対する滑り抵抗の値として採用した。それらを Fig. 8, Fig. 9 に示す。

Fig. 8 に見られるように、今回の実験の範囲内では、滑り抵抗は引張速度によらないと思われる。

Fig. 9 に見られるように、引張角が小さくなると、急に滑り抵抗が増加し、ある引張角以下では、ロック状態になる。このときの引張角を限界引張角と呼ぶとすると、各試料の限界引張角は、Table 3 のようになる。

6. バックルの緩み試験

6.1 実験の目的

事故品の同型式の試料 No. 1 のバックルの滑り抵抗は、

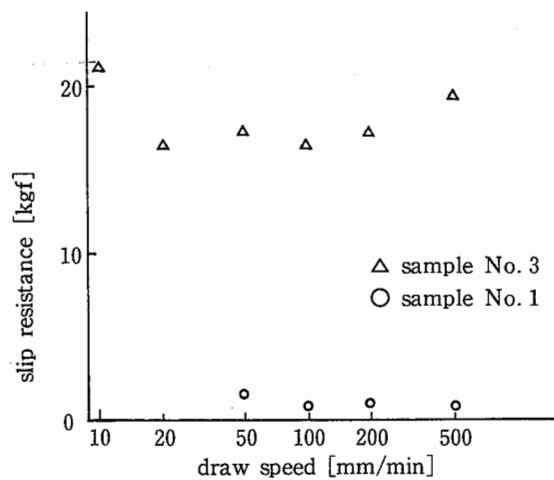


Fig. 8 Slip resistance vs. draw speed
滑り抵抗と引張速度の関係

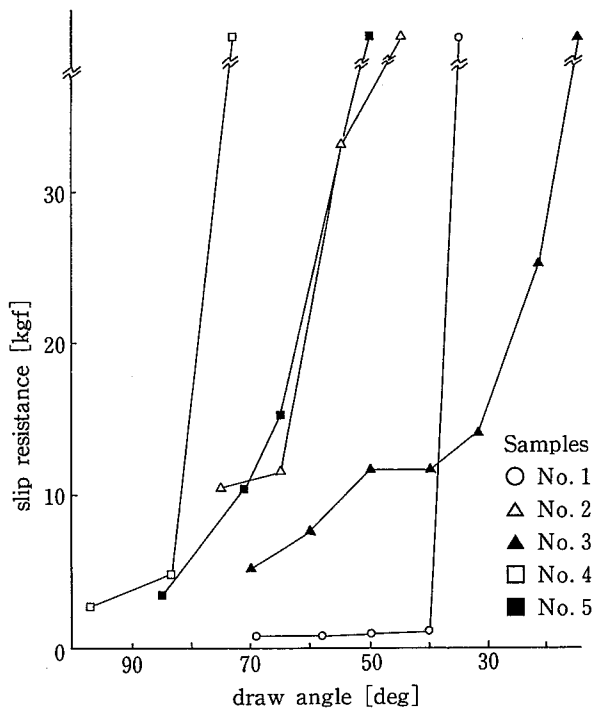


Fig. 9 Slip resistance vs. draw angle
滑り抵抗と引張角の関係

Table 3 Limit of draw angle
限界引張角

Sample	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
Limit of draw angle	35°	45°	15°	73°	50°

引張角40度、50度において、スライド式バックルの1/10以下であり、かつ、その絶対値も1 kgf前後と小さい。このことから、手などがバックルに接触した時に、バックルがゆるむ可能性があるとは推定される。この可能性について検討するため、バックルを緩ませる際に要する力を測定した。

6.2 人体着用時の緩み力

人体に安全帯を着用した状態で、バックルに鉤を引掛け、ロードセルを介して引張り、その際の荷重を測定した。その荷重の最大値を緩み力とした。また、試料には事故品の安全帯と同型式の安全帯を用いた。

7回測定を繰返したが、各回ともバックルが起きて鉤がはずれた。この際に、ベルトは約10cm程度緩みはしたが、バックルから脱けはしなかった。緩み力は、1.7~3.1kgfで、平均は2.2kgfであった。この値は、滑り抵抗の

約2倍である。

6.3 引起力の測定

滑り抵抗の測定に用いた試料をバックルにベルトを通した状態で上部を固定し、下部に錘を付けて釣り下げ、この状態のバックルに鉤を掛けてロードセルを介して水平方向に引張り、最大引張荷重（以後、引起力と呼ぶ。）を測定した。（Fig.10参照）

水平方向に引張ることによって引張角が増加し、ある引張角以上になるとベルトが滑り始め、ベルトの端止金具に引掛けて止った。若干の変動はあるが、ベルトが滑っている間の荷重値はほぼ一定であった。

錘の重さ（ベルト荷重）と引起力の関係を Table 4 に示す。ほぼ同程度の引張角で滑り始めているといえる。この最大引張角は、滑り抵抗の測定の際の限界引張角より大きい。同様の傾向は緩み力の測定の際にも見られた。これは、一旦バックルを締付けると、金具がベルトを強く押え付けた状態になるためと考えられる。

7. 災害原因の推定と対策

バックルが体の側面にあるときの引張角は、27~35度であり、これらの値は、被災者が用いていた安全帯と同型式のバックルの限界引張角36度に近い。しかし人体着用時は、ベルトが引張られると、バックルは向きを変え、引張角は減少する。また、引張角測定時に、5 kgf の力でD環を引張ったが、ベルトがバックルから抜けるということはなかった。これらのことを考え合せると、バ

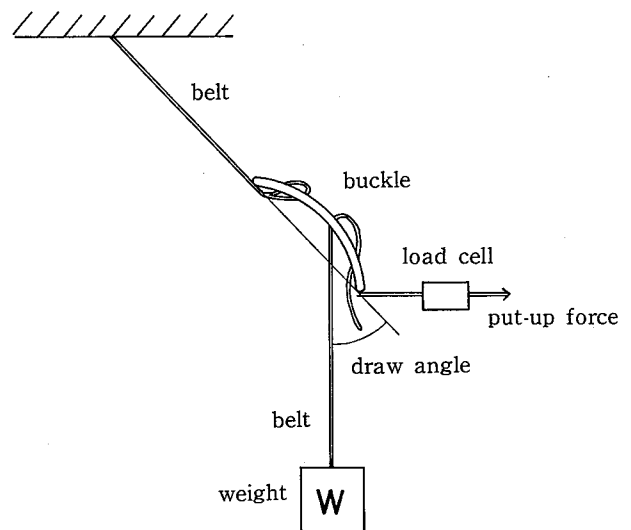


Fig.10 Measurement of put-up force of buckle
バックルの引起力の測定

Table 4 Relaxation test of buckle
バックルの緩み試験

Weight [kgf]	1.24	2.24	3.24	4.55	5.55	Mean
Put-up force [kgf]	1.1	2.4	2.6	5.8	6.2	
Tangent	0.89	1.07	0.80	1.27	1.12	1.03
Draw angle [degree]	41.6	47.0	38.5	51.9	48.2	45.5

ックルが体の側面にあっても人体を保持できると思われる。

しかしながら、バックルが体の側面にあると、引張角が大きくなり、体の正面にあるときより何かに引掛りやすい状態と考えられる。

バックルに何かが引掛っても、働く力がそれだけならば、緩み力の測定の時のように、ベルトは緩むが抜けはしない。しかし、災害時には、背もたれをはずすため、安全帯に体を預けたと思われる。従って、ベルトを引張る力も同時に働いた。バックルが起きているときに、ベルトが引張られれば、ベルトは簡単に抜ける。滑り抵抗に抗してバックルを起こさせておくのに要する力は1 kgf以下なので、バックルに引掛る程度の力で十分と思われる。

バックルに引掛る可能性のあるものとしては、番線、クリッパー、クリッパーを釣るすひもなどが考えられる。背もたれを固定していた番線は直径が3.5mmもあり、太い。クリッパーで切断後、背もたれに巻付いたままだとすると、引掛る可能性は大きい。番線を切断したクリッパーは、両方の取手の間にひもが渡してあり、使用しない時は、肩から掛けていた。これも、肩から下げる位置によっては、バックルに引掛る可能性は十分あると思われる。

以上の検討をまとめると、災害の状況は次のように推定される。

何かがバックルに引掛り、そのためバックルが起き、滑り抵抗が著しく低下していた。その時に、被災者が、背もたれをはずすため、安全帯に体を預けた。背もたれがはずれて、安全帯が引張られて、ベルトが抜けてしまった。

また、この災害の原因としては、以下のようなことが考えられる。

1. 墜落時のみ働くように作られている一本吊用安全帯を作業用の安全帯に使用していた。

本来は、このような作業には、U字吊用安全帯を用

いるべきである。U字吊状態ならば、万一落下しても、バックルにほとんど引張力がかからないと思われる。また、一本吊専用の安全帯ではU字吊ができないので、D環のところの一箇所を体を支持しなくてはならず、そのため、D環が体の正面になり、バックルは体の側面にくることになる。

2. バックルが折返し式のものであった。

滑り抵抗のデータに見られるように、同一の引張角では折返し式のバックルの滑り抵抗は小さい。これは測定機を用いなくても試すことができる。折返し式バックルでは、手でバックルを持ってベルトを引張ると容易に引抜ける。それに対して、スライド式のバックルでは、引張角を90度近くにしないと容易には滑べらない。

また、スライド式バックルの方が限界引張角が大きい。これは、構造上のもと思われる。すなわち、バックルは、ベルトを引張る力の分力でベルトを締付けている。この方向の分力が働かなくなる引張角は、スライド式では、可動片の内側の端を結んだ方向であるが、折返し式では可動片に垂直な方向である。(Fig.2 参照)

さらに、折返し式のものでは、バックルが起きるとベルトが緩み、いっそうバックルが起きやすくなるのに対して、スライド式のものでは、バックルが起きると、体に接する側でベルトを締付けるので、それ以上は緩みにくいと言える。

今後の対策としては、「高所で体を支持する作業用の安全帯には、U字吊用のものを使用する。」「折返し式バックルのものは避ける。」などが考えられる。

折返し式バックルの中には、緩みやすいバックルがある。これは、バックルを持ってベルトを手で引張ると容易に滑るので判別できる。このようなバックルでは、何かの拍子にベルトが抜ける可能性がある。このようなバックルを出さないように、折返し式バックルには緩み止めを義務づける、構造規格に耐緩み性能を導入するな

どの対策も考慮する必要があると思われる。

(昭和61年2月1日受理)