

安全帯の使用方法及びエアバッグの適用範囲に関する検討*

深谷 潔**

Study on Usage of Safety Belt and Scope of Airbag for Fall Protection*

by Kiyoshi FUKAYA**

Abstract: Two fall protection measures were studied. One is a fall arrest system by a safety belt, and another is an airbag system for fall protection which absorbs shock to a worker.

The study on the fall arrest system concerned the recommendations for use of safety belts. They are necessary because the recommendations for construction of safety belts require specific usages and the other usages may result in accidents. There are two important problems which must be considered in the recommendations for use, because the wrong uses resulted in accidents.

- 1) Ropes deteriorate more rapidly than the other parts and need daily checks. Some general construction companies checked safety belts in service and found that 2-4% of the safety belts deteriorated. Strength tests of some of these deteriorated ropes were carried out. The breaking strength of one third of them were under 7kN, which is the expectation value of impact load during fall arrest. In other words one third of deteriorated rope would be cut in case of fall accidents. There was no clear relation between the duration of service for safety belts and the strength. There was relation between the degree of deterioration and the strength.
- 2) Hooks are premised on the use in extension load only and the use in the other loads such as bending load or the load to locking keeper might result in an accident. The cross arm use of lanyard involves the possibility of improper usages. And the cross arm use without pad may cause contact to the sharp edge of steel beam which reduces the strength of lanyard.

The airbag is a shock absorption device in case of fall accidents and it is proved to have a shock absorbing function. In order to clarify its injury reduction ability, relation between degree of impact and degree of injury was investigated in literature search. The relation is probabilistic and the effect of airbag is probabilistic.

Fatal fall accidents data were analyzed. 60% of death resulted from head injuries. Therefore, the protection of heads is most important for shock absorption devices. There were fatal accidents in the accidents of fall height under 2m. Therefore fall protections are necessary even for work on height under 2m, and the airbag is more effective than safety belt in this range.

Fall tests of a dummy with/without airbag were carried out. The relation between the fall height and degree of shock was found. In a test without airbag first contact of shoulder to the ground reduced the shock compared to the first contact of head. Fall tests of standing posture were carried out and it was confirmed that the shock to the head was absorbed by the leg. These results support concentration of the protection by the airbag to the back and head.

In the results of tests in inclined posture airbag had shock absorption function in the range where the contact to the ground of airbag is earlier than that of head.

* 第42回日本人間工学会大会(2001)¹⁾で一部発表

** 境界領域・人間科学安全研究グループ, Interdisciplinary and Human Science Safety Research Group

These two measures were positioned in fall protection measurements. These two measures belong to measures of reducing injury, and effect of safety belt is deterministic and effect of airbag is probabilistic. Therefore safety belt is more important than airbag.

Keywords; Fall protection, Recommendation for use, Safety belt, Airbag

1. はじめに

種々の安全対策が行われているが、墜落・転落災害は、死傷者数でいえば建設業の災害の33%、全産業の災害の18%を占め、死亡者数でいえば建設業の災害の41%、全産業の災害の24%を占める²⁾。さらに、死傷者より死亡者の比率が高いことから明らかなように重篤度が高い災害である。

このような重大な災害である墜落災害を少しでも減らすために、2つの技術的検討を行った。1つは、安全帯の使用方法に関するものであり、他は、墜落防護用エアバッグに関するものである。以下にその結果について報告する。

2. 安全帯の使用方法に関する検討

2.1 安全帯の使用上の問題点

安全帯の使用上の問題点を検討するために、メーカー、ディーラー、ユーザにヒアリングを行った。その結果、いくつかの問題とすべき点が明らかになった。これらの問題点は既知の事実であるが、広く常識となっているとはいえず、作業現場では誤った使用方法がとられていることも少なくない。その中には、正しくない使用方法によって死亡災害につながった例もある。代表的なものとして、ランヤードが劣化している安全帯の落下阻止時の破断事故とフックの不適切な回し掛けによるフックの脱落事故がある。この2件に関連する使用上の問題点を以下にまとめた。また誤使用防止のための対策としての安全帯の使用指針の必要性とその内容についての検討結果を示す。

2.2 繊維ロープの劣化の問題点

安全帯のランヤード（フックとロープを組み合わせた安全帯の部品）には繊維ロープが使用されていることが多いが、繊維ロープは安全帯の中で最も劣化しやすい部品である。種々の物とこすれることによる機械的磨耗の他に、紫外線による劣化もある。そのため、この部分は日常点検が欠かせない。

建設事業者が実施した日常点検の事例として、実際に現場で使用している安全帯のチェックを行い、ロープが劣化していると見られるものの強度試験を行ない、

その結果を公表³⁾⁴⁾している。

ある事業者の例³⁾では、8939本の安全帯の目視検査を行い、361本が不良であった。このうち、143本の引張試験を行っている。その結果について、700kgfと1150kgfの2つの基準を設け強度の区分を行っている。この基準値は、それぞれ、75kgのものが1.5m落下したときの衝撃荷重、100kgのものが2.5m落下したときの衝撃荷重に対応し、後者は工具を装備し足下にフツ

Table 1 Strength of lanyard of used safety belts³⁾.
使用した安全帯のランヤードの強度

破断荷重区分	ロープ式	巻取り式
700kgf以下	24本 (26%)	23本 (45%)
700-1150kgf	34本 (37%)	14本 (27.5%)
1150kgf以上	34本 (37%)	14本 (27.5%)
試料数	92本	51本

Table 2 Breaking position of lanyard⁴⁾.
ランヤードの破断箇所

破断箇所	ロープ式		巻取り式	
	本数	平均強度	本数	平均強度
ロープ中央	19本	6.99kN	2本	
フックとロープの接合部	14本	11.76kN		
ロープの縫製部			24本	
ロープのフック寄り	8本	9.12kN	7本	9.7kN
その他	13本		12本	
試料数	54本		45本	

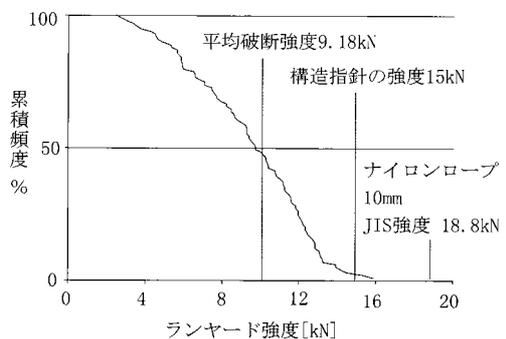


Fig. 1 Strength of lanyard of used safety belts.
使用した安全帯のランヤードの強度

クをかけた場合を想定している。その結果をTable 1に示す。落下阻止時の衝撃荷重を1150kgfと見て、この結果から目視検査で不良とされた安全帯の66%（全体の2.7%）は落下阻止時に破断すると判断している。

他の例⁴⁾では、協会会社による点検と現場での点検が行われた。前者では、11591本の安全帯の点検をして、432本が不良であり、後者では7969本のうち190本が不良であった。そのうち100本の強度試験を行って99本について強度データが得られている。公表されたデータ⁴⁾を元にして強度に対する累積頻度の図を作成した。これを、Fig. 1に示す。構造指針⁵⁾で要求している強度以上のものは約2%しかない。それどころか墜落阻止を行うために必要な強度にすら満たないものもある。前記の例のように700kgfと1150kgfを基準にとると、それを上回るものはそれぞれ74%と34%になり前述のデータと同程度の割合になっている。また、使用期間と強度との関係についても調べているが、明確な関係は見られないという結果を得ている。

さらに、引張試験における破断箇所についての記述があるが、それを整理したものをTable 2に示す。この結果を見ると、ロープ式のものにはロープ中央の破断が多く、巻き取り式のものにはロープの縫製部分の破断が多い。破断箇所は傷みが激しいと考えられるので、使用時の点検に当たって特にこれらの部分は入念に検査すべきであろう。

実際にロープの劣化のために墜落時にロープが破断して墜落阻止できなかった事例もある。そのユーザでは、その事故を契機に、その営業所にあった使用中および未使用の同種のロープ全数（207本）を引き上げ、メーカー（複数）において、目視検査により磨耗の程度を大、中、小と分けるとともに強度試験を行い、使用年数と強度の関係を調べた。提供を受けたそのデータをもとに、回帰分析を試みた。その結果をFig. 2に示す。

全データの回帰分析では、使用年数に伴う強度の低下傾向が見られるが顕著ではない（Fig. 2）。また、磨耗の程度ごとの強度と使用年数の回帰分析では、使用年月が長いからといって強度が低下しているとは限らない（Fig. 2）。強度は使用年数よりはむしろ目視検査による劣化の状況との間の関係が大きいように思える。

しかし最悪値（同じ使用年月で最も強度が低いもの）を見ると、使用年数に対して強度の低下の傾向は顕著であり、1年半使用すると、構造指針の強度を下回っている（Fig. 2参照）。最悪値をとった試料においても、強度が高いものは磨耗の程度が小さく、強度が低いものは磨耗の程度が中ないし大である。

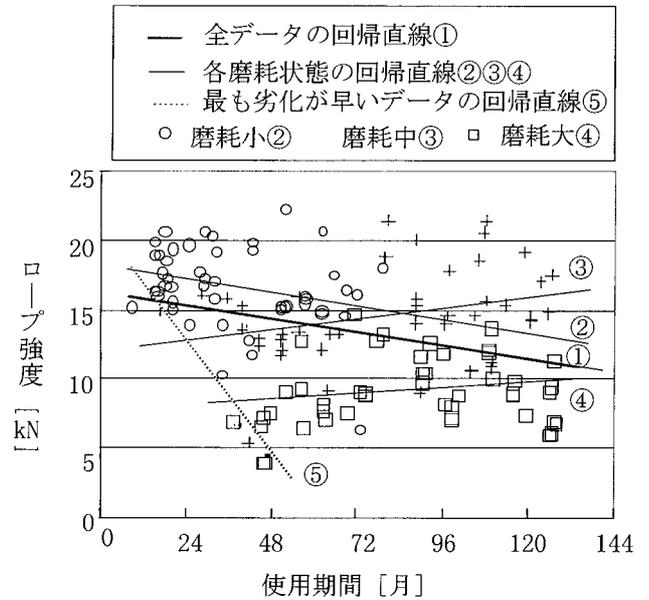


Fig. 2 Duration of service and strength of lanyard. 使用期間とランヤード強度

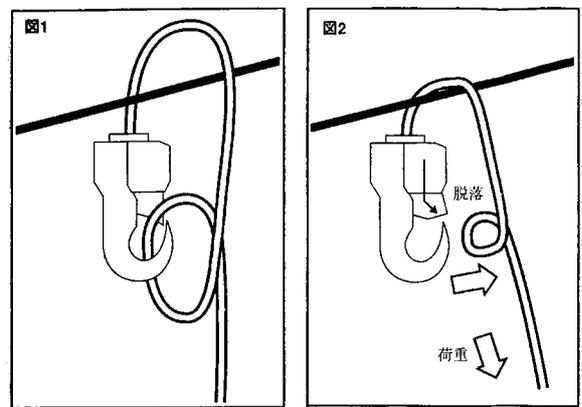


Fig. 3 Accidental drop-out of hook. フックからのロープの脱落事故

紫外線劣化は使用年数の影響を受けるが、紫外線を受けるためには外で使用することが必要であり、そのため同時に機械的損傷も生じていると考えられる。従って、目視検査によって劣化の判別ができると思われる。

2.3 フックの使用法における問題点

安全帯のフックが意図せず外れることは非常に危険であるので、二重の外れ止めが設けられている。それにも拘らずフックの脱落事故が発生した。脱落した原因は、フックの回し掛けの方法が不適切であり、ロープが外れ止めにかみ、外れ止めに大きな荷重がかかったためである（Fig. 3）。ここでのポイントは2つ

ある。1つは、まわし掛けをした際にロープがねじれて外れ止めからみついたことである。ロープはひねりが加わるとひとりで輪になるが、外れ止めがその輪の中に入ったためと考えられる。もう1つのポイントは、外れ止めはそれほど強度を持たないということである。我が国では、外れ止めに荷重がかかるとは想定してはいず、安全帯の構造指針でも外れ止めの強度に対する要件はない。それどころか、フックそのものも横方向の曲げ荷重を想定していず、フックは両端を引っ張る荷重に対してしか強度の規定をしていない。そのため多くのフックは、長手方向の引張荷重しかかからない前提で作られている。しかしながら掛け方によっては、曲げ荷重がかかる場合がある (Fig. 4)。また、鉄骨等に回し掛けを行う場合があるが、この場合にも曲げ荷重がかかる場合がある (Fig. 5)。そのような場合には、フックの変形や外れ止めの機能の喪失及びそれらによるロープの脱落の可能性がある。

この対策は、フックをどのような使い方をしても問題とならないよう強度を上げるか、使用時に注意をすることであるが、前者を採用するとフックが重くなるので、一般的には後者が採用されることが多い。そのため、正しい使用方法を知らせることが必須となる。

なお、回し掛けには別の問題もある。フックを鉄骨等に回し掛けをするときには、ランヤードのロープ部分が鉄骨等の角に当たることになる。一方で、ロープは角に当たると破断強度が低下するので、鋭い角の場合にはロープが破断するおそれがある。そのため、回し掛けを行う場合には、単管パイプのような丸いものにかけるか養生をする等の配慮が必要である。鉄骨等に安全帯を取り付ける必要がある場所には、できるだけ、事前にクランプ等の取り付け器具を用意して、回し掛けを行わないで済むようにすることが望ましい。

2.4 安全帯の使用指針の必要性和検討事項

安全帯はどのような使い方をしても有効であるというものではなく、その性能要件は正しい使用法を前提としている。すなわち、構造要件を定めている構造指針と使用上の要件を定めている使用指針は、本来は独立に存在すべきものではなく、2つそろって一体として考えるべきであり、安全帯の構造要件が変わることに対応して使用指針も改訂する必要がある。しかし、社会情勢や技術の変革に対応するために安全帯の構造指針の改訂が急がれ、平成11年に構造指針のみ改訂された。

構造指針の改訂箇所に対応する使用指針の要件の検討が必要であることはいままでもないが、社会情勢の

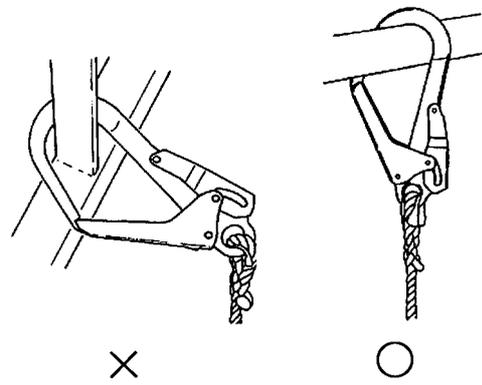


Fig. 4 Usage of hook (1)
フックの掛け方

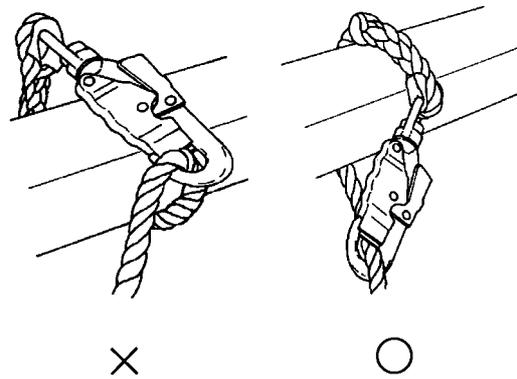


Fig. 5 Usage of hook (2)
回し掛けの方法

変化に伴って構造指針の改訂がない部分についても改訂が必要な箇所がある。

これらの改訂を検討すべき問題となる点の背景を以下に示す。

安全帯に限らないが一般に保護具は身体に着用して使用するものであるため、小型軽量であることが要求される。そのために、どうしても防護性能に限界がある。すなわち、万能な保護具はなく、用途に応じて必要な要件を持つ保護具を選定して使用することが必要となる。安全帯においても、事情は同じで、墜落防護といっても使用状況によって望ましい安全帯は異なってくる。特に、構造指針の改訂に伴いフルハーネス等の新しい形式の安全帯が導入されたので、選定の問題は必須となる。

また、これらの新しい形式の安全帯についての使用方法についての注意が必要である。例えば、最近落下傘型のフルボディハーネスが用いられるようになってきたが、数カ所にバックルがあるためバックルの接続を間違えて装着する可能性がある。構造指針では、誤装着でも機能を失ってはいけないことになっているが、

現実にはバックルの取り扱いを誤ると墜落時に抜けることもある。

技術革新に伴い次々に新しい材料が開発されていることもあり、最近の規格類の一般的な傾向として材料に対する規定をなくし、性能についての規定に変えている。強度については定量的な性能要件として定めていることが多く、この場合は材料の規定を廃止しても問題ないが、劣化については「耐久性を有すること」という程度の要件しかなく、耐久試験等に基づく定量的な性能要件を盛り込むことは少ない。一般に劣化に関する試験は、時間のかかる試験であり、規格に性能要件として取り入れることは容易ではない。したがって、材料の耐久性の問題が使用上の問題点としてより重要となってきた。すなわち、材料が規定されていれば、その部品の劣化の程度については、ある程度決まってくる。しかし、種々の材料が用いられる場合には、その劣化の程度も様々である。構造指針も安全帯の材料についての規定をなくして、かつそれに替わる耐久試験を定めていないので、保守点検が今まで以上に重要となった。

構造指針の改訂に際して、安全帯だけではなく親網式スライドヤリトラクタ式墜落阻止器具等の安全帯関連器具も構造指針に取り入れられた。これには、墜落阻止のための対策は安全帯単体で考えることができず、より広く墜落防護システムとして捉えていかねばならないという背景がある。実際、安全帯を使用するためには親網等の安全帯取付設備が必要であり、移動時の安全帯の使用のためには水平親網のみならず垂直親網等が必要となる。また、欧米の安全帯の規格も安全帯単体に止まらず、安全帯関連器具や安全帯取付設備を含む方向にある。これらのことを考えると使用指針においても安全帯関連器具を取り入れることが必要である。

構造指針の改訂とは直接関係はないが、従来は常識として通用したことが必ずしも常識ではなくなりつつあり、使用指針として明文化が必要なものもある。また、製造者が考える使用方法とユーザが考える使用方法が乖離していることもある。そのため、不適切な使用方法をとって安全帯が機能しないこともあり得る。このような例として既に述べたフックの使用方法に関する問題がある。

また、ユーザが自分勝手な判断で改造することがある。その場合、強度や緩衝性の検討が十分なされていないとは考えられないので、必要な性能を有さないものが使用されるおそれもある。特に、ユーザによる改造の可能性が高いものとして2丁掛けの安全帯がある。すなわち、従来の一本吊り用の安全帯にもう一本のラ

ンヤードを取り付けることがある。安全帯の業者がオプションとしてランヤードを出している場合はよいが、安全帯とランヤードの業者が違うことも少なくない。機械的な強度等が問題となることは現実には多くないと思われるが、問題がないという保証は得られない。また、個々の部品の強度は問題ないとしてもユーザによる取付け方が不適切である可能性もある。その実例として、強度を有しないD環止めのみをベルトに通してD環をベルトに通さないという例も仄聞した。2丁掛けの安全帯は安全性が高いので、その使用は大いに勧めるが、そのための勝手な改造は勧められない。

以上のようなことを配慮して、安全帯の使用指針のすみやかな改訂が望まれる。

3. 墜落防護用エアバッグの適用範囲に関する検討

3.1 エアバッグの研究について

墜落災害における被害を少しでも減らしたいという立場から、あるユーザと協力して墜落防護用エアバッグの開発を行ってきた。これは、常時エアバッグを内蔵したベストを着用して、墜落時にはそれを検出してエアバッグを展開して、地面との衝突の衝撃を緩和するものである。常時着用するために、その重さと大きさには限界があり、防護能力にも限界がある。そのため、防護箇所を最も重要と思われる頭部と最も不利と思われる背面に集中している。なお、エアバッグの基本コンセプトは、「死亡を重傷に、重傷を軽症に、軽症を無傷に」ということであり、防護性能に限界があり、傷害を受けることがあることは最初から想定している。

既に、このエアバッグについて緩衝性を評価するための研究を行った⁶⁾。そこでは、背面からの落下試験を行い、その結果の衝撃加速度とそれから計算したHIC (Head Injury Criteria) でエアバッグの緩衝性の評価を行っている。HICで傷害をうける可能性が低いとされている判定値は1000であるが、落下高さが2.5m以下ではほぼその範囲におさまっている。

今回、エアバッグの開発において自明としてきた頭部保護の重要性や防護箇所を背面に限定していること妥当性を再確認し、その有効範囲を検討するために、背面水平落下以外の落下試験や死亡災害の分析等を行った。

3.2 墜落事故の傷害部位とエアバッグの性能

平成9年と平成10年の墜落災害による死亡事故の災害調査資料356件を元に集計を行った。

この調査では、傷害部位として、頭蓋骨骨折、脳挫傷、肺挫傷、心破裂等の記述があるが、これを頭部、頸部、胸部等に分類した。傷害部位として「頭蓋骨骨折、肋骨骨折、骨盤骨折」等の複数の箇所を含むものは複合に分類し、「全身打撲」、「多発外傷」とあるものは全身に、「出血性ショック」とあるものは不明に分類した。これを割合で表したものをFig. 6に示す。これらの件数の中には、鉄筋が刺さる等の事例を含むが、大部分は落下衝撃によるものである。このうち、60%は頭部の傷害で亡くなっている。

このことから、墜落事故において死亡災害を防止するためには、頭部の防護が最も重要であるといえる。頭部が最も重要な器官であることから、エアバッグの防護対象として頭部を重視することは妥当である。さらに、「死亡災害を減らす」という目的に特化すれば、頭部の防護性能を向上させるために他の身体部位の防護を削って防護範囲を頭部に限定するという選択もありえる。

落下高さについて記載のあるものについて分布を調べた。落下高さが15m以下の範囲では、小数点以下を繰り上げて1m毎の範囲で区切り、15mを超えたものについては、20m以下と20mを超えたものに分けて件数を集計した。そのヒストグラムをFig. 7に示す。累積すると6m以下の高さからの墜落が約半分を占める。また、2m以下の墜落でも死亡災害があることは注目される。

3.3 エアバッグの落下実験

3.3.1 実験装置及び実験方法

主に水平落下以外の姿勢におけるエアバッグの緩衝性能を測定するために、落下実験を行った。落下実験では、直立姿勢のダミーにエアバッグを装着した状態及び装着しない状態で各種の姿勢（落下角度）・各種の高さから落下させて、床（コンクリート仕上げの上にベニヤ板を敷いたもの）との衝突時の衝撃加速度を測定した。なお、エアバッグには、コンプレッサーから空気を供給して、空気弁を閉じてから約3秒後に落下させた。

実験には、2種類のダミーを用いた。

ダミーAは、救助訓練用ダミー（体重76kg、身長163cm）のものに、重り付加して85kgにしたものである。ピエゾ式3軸加速度計を顔面（鼻の下）と腹部に貼付けて使用した。このダミーは以前の研究でも使用している。

ダミーAは、手足がありその角度が変わるため、直立した落下姿勢をとらせることが困難であり、また落

下時の身体の角度の変更が困難であった。そのため、前回の研究では水平に近い範囲の落下角度でしか落下実験を行えなかった。落下実験で落下時の身体の角度を自由に変えるために、手足のないトルソのダミーBを開発した。このダミーの胴体は3本の鉄パイプからなる型のフレームに鉄板を張ったもので、胴体内部に重りを入れて、全体の質量を85kgにするとともに、重心位置を人体と同等になるようにしている。頭部は5kgのアルミの半円柱で、首は大きな荷重が掛かった場合には曲がるようになっている。また、周りには、厚さ1cmのスポンジを緩衝材として巻いている。衝撃の測定には、2つの歪ゲージ式3軸加速度計を使用し、一つを顔面し固定し、他の一つを腹部に内蔵した。

落下実験のデータとしては、3軸加速度計による衝撃加速度の測定のほか、エアバッグ内部の空気圧力の測定を行い、20kHzでA/D変換を行って、計算機に取り込んでいる。空気圧センサーは、エアバッグに空気を供給する空気配管のエアバッグの直前に取り付けられた。以前の測定では、空気圧センサーは使用していないが、これによってエアバッグが圧縮されるタイミングが分かるので、衝撃加速度のデータの解釈がやりやすくなった。また、ビデオ式高速度カメラ（毎秒200コマ）による撮影を行っている。

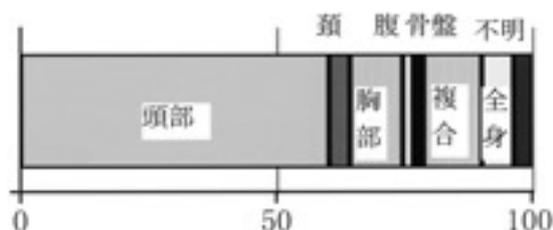


Fig. 6 Rate of site of the wound. 傷害部位の割合

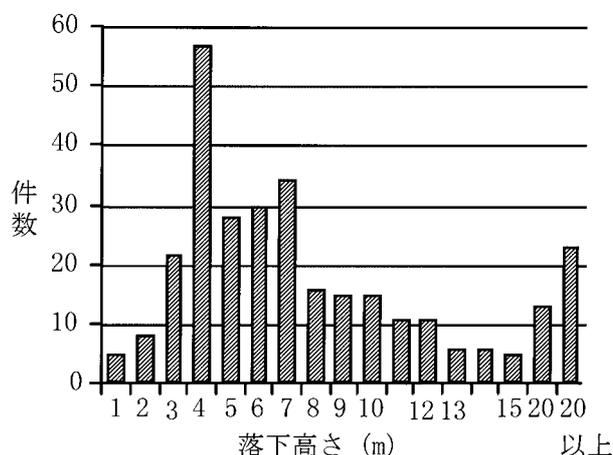


Fig. 7 Number of fall accident on fall height basis. 落下高さごとの墜落件数

3.3.2 実験内容

2種類の実験を行った。

実験1では、落下高さや衝撃加速度の関係を調べるために、エアバッグを着けた状態及び着けない状態で、各種の高さからダミーAを落下させて、衝撃加速度を測定した。このときの姿勢は水平であり、エアバッグを用いる場合は、落下直前にコンプレッサーより空気を送って膨らませておいた。今回に実験ではダミーの姿勢を整えるためにハンモックを用いた。すなわち、プラスチックのパイプのフレームにハンモックを張り、これにダミーを乗せてフレームを持ち上げた。これにより、ダミーの姿勢のばらつきが少なくなった。

実験2では、落下姿勢の影響を検討するために、1 mの高さからエアバッグを着用したダミーBを各種の角度で落下させて、衝撃加速度を測定した。落下時の角度は、水平を中心にして、頭が下の場合と頭が上の場合についてそれぞれ10度ずつ傾斜を変えて40度まで傾斜させた。

3.3.3 実験結果

実験1、実験2の結果を、それぞれFig. 8、Fig. 9に示す。

なお、Fig. 9では、頭が下の場合の角度を正としている。また、ダミーの剛性が高く高周波の振動を生じるので、20kHzでサンプリングしたデータを10個の移動平均をとることで平滑化した。

Fig. 8から、落下距離が増加するとともに最大衝撃加速度及びHICが増加する傾向が見られる。ここで注意すべきものは、落下高さ2 mのときのエアバッグなしの結果である。この実験は2回繰り返しているが、その結果は大きく異なる。衝撃が小さい場合の高速度カメラによる映像を分析すると、肩から落下していることが確認できた。このことは、頭部を一番に打たないような落下姿勢をとることで、頭部にかかる衝撃を低下できることを示しているものと思われる。

Fig. 9において、頭が下で10から30の範囲では、頭部に対する衝撃が角度の増加に伴う衝撃の増加は見られるもののその変化は小さい。それに対して、傾斜角が40になると衝撃が急に大きくなる。これは、この角度では頭部がエアバッグを介さず直接地面に当たるようになったためであり、エアバッグが頭部より先に地面に当たる範囲では頭部の緩衝効果が見られる。また、頭が上の場合には、一旦尻に当たって緩衝し、その後頭が当たるときに頭部に衝撃が加わるという2段階の衝撃が見られた。

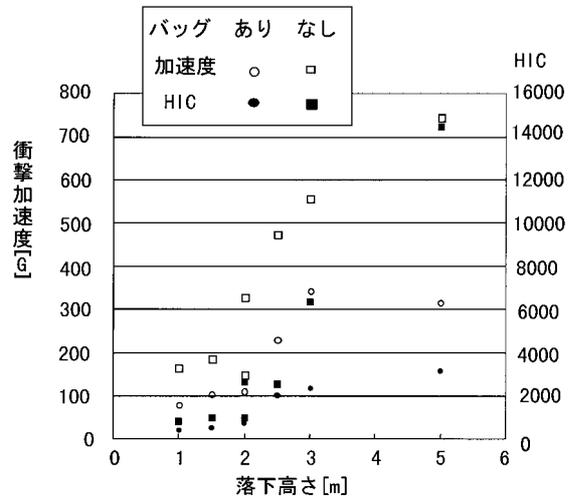


Fig. 8 Shock and fall height. 落下高さや衝撃の大きさ

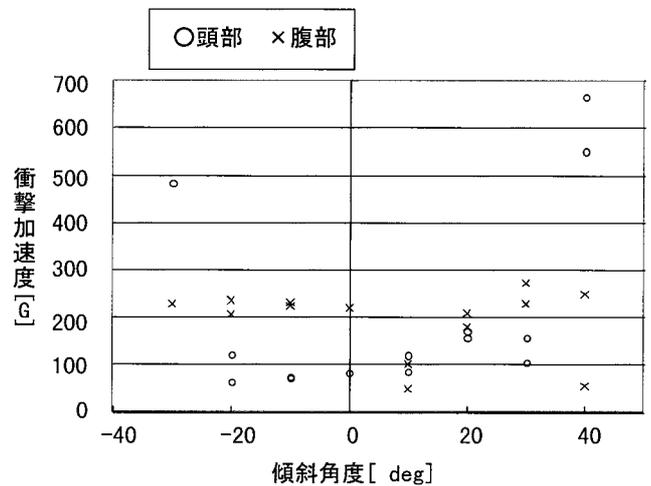


Fig. 9 Shock and fall posture. 落下姿勢や衝撃加速度

3.4 考察

3.4.1 衝撃と傷害の関係

エアバッグに緩衝効果があるということはエアバッグのあるときとないときの衝撃の大きさを比べれば明らかである。しかし、エアバッグの目的は傷害を低減することにあり緩衝効果はその手段に過ぎない。すなわち、エアバッグでは、衝撃の大きさと傷害の程度が正の相関を持つことを仮定している。これは、経験的には自明と思われるが、特に頭部の傷害についてHICを中心に衝撃と傷害の関係について検討した。

衝撃の大きさと傷害の関係については昔から自動車事故との関係で多くの研究がなされている。そこでは、

衝撃の大きさを示すために、平均加速度とパルス幅や、最大値とパルス幅が用いられている。また、これらに対して許容できる水準が決められている。

前述したHICは、自動車の衝突試験で用いられているが、平均加速度とパルス幅の関数である。その定義式と判断基準⁷⁾は、

$$HIC = \left\{ \int_{t_1}^{t_2} a dt (t_2 - t_1) \right\}^{2.5} \cdot (t_2 - t_1) < 1000 \quad (1)$$

(aは加速度波形で、時間軸上で t_1 と t_2 をHICが最大となるようにとる)

である。また、乗車用安全帽の評価⁸⁾には、最大値とパルス巾が用いられ、その基準は、

最大加速度 < 400G

200Gでのパルス巾 < 2 ms

150Gでのパルス巾 < 4 ms

である。

両者は厳しさが異なり、乗車用安全帽の評価基準ぎりぎりの三角波(最大値400G,パルス幅4ms)のHICを計算すると3155になり、自動車衝突試験の基準を満たさない。(三角波の加速度が286G以上の部分についてHICを計算すると3155になる。)

HICと傷害の関係を文献で調べた。死体を用いた衝撃試験でHICとAIS(傷害指数)の関係が得られている(Fig.10参照)。また、同様の試験によりHICと致命的な損傷の有無の結果が得られているが(Fig.11)、これを元に、傷害件数を累積することで、HICと傷害の確率の関係をj得ている(Fig.11)。この結果からは、HICが小さいからと言って傷害がないとも、HICが大きいから必ず致命傷になるとも言えないが、平均的にHICが大きいと傷害も大きいとは言える。

文献⁹⁾によるとHICが有効であるのは、パルス巾が15ms以下に限るとあるが、墜落防護用エアバッグでは、それより長くなる場合もある。また、乗車用安全帽の基準とかけはなれ過ぎる。さらに、自動車の場合は、体が前方にぶつかるが、墜落防護用エアバッグでは後方にぶつかる。墜落と自動車の正面衝突には以上のような違いがある。また本来、傷害には、並進加速度の要因以外に回転加速度の要因等多くの要因が関係しているが、HICが衝突時の並進加速度しか用いていないため、HICのみでは傷害の大きさを決定づけることはできない。以上のような問題点も多いが、HICに対する批判と別の指標の提案があるにもかかわらず使い続けられている。これは、並進加速度の測定のみで済ますという測定の簡便さという理由の他に、やはり並進加速度が衝撃の大きさを評価する大きな要因であるためであろう。そう解釈すれば、衝撃加速度を傷害の目安とすることは妥当と思われる。

3.4.2 エアバッグの防護範囲の検討

前回の実験では、エアバッグを着用しないダミーを、鉛直に直立した状態で0m、2.5および5m持ち上げ落下させて落下・転倒したときの衝撃加速度を測定した。この結果をFig.12に示す。落下高さが変わっても衝撃がそれほど変化していないことが分かる。これは足により衝撃が緩衝したためである。足を下にしての落下ならばそれほど防護を必要としないといえる。

また、真下への落下でなくても下半身からの落下は下半身での緩衝が見られる。これは、エアバッグがある時のデータであるが、Fig.9の下半身から落下したデータでは、下半身が地面に衝突して緩衝してから頭部が地面に当たるため、頭部の衝撃が小さくなってい

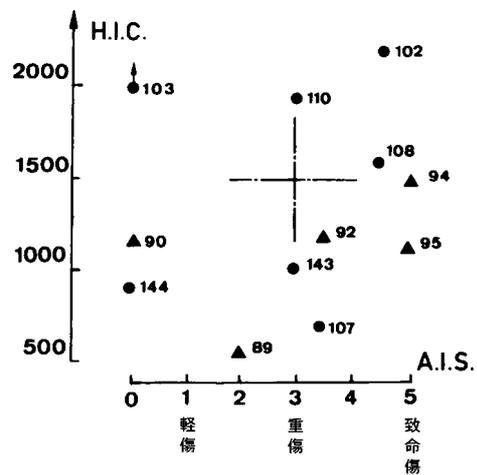


Fig. 10 Relation between AIS and HIC. AISとHICの関係⁹⁾

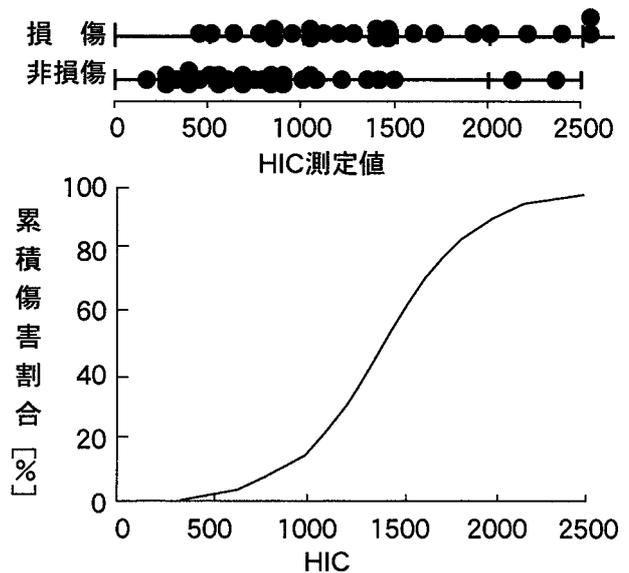


Fig. 11 HIC and Injury Rate. HICと傷害の可能性¹⁰⁾

る。

また、水平落下でも、体が左右に傾いて肩から落下した場合には、緩衝効果が見られる。

これらのことから、背面からの水平落下は、頭を下にする場合を除いて、最も厳しい落下姿勢であると考えられる。したがって、エアバッグで防護を後部からの落下に集中することは妥当である。

また、頭を下にした落下の場合も、エアバッグにより頭部が直接当たらない範囲であれば緩衝効果が見られている（Fig. 9）。猫のように墜落時に落下姿勢を制御して足から落ちることができれば、エアバッグはいらないかもしれないが、それは期待できない。ある意味で、エアバッグは人間に代わって受け身を取るものといえる。

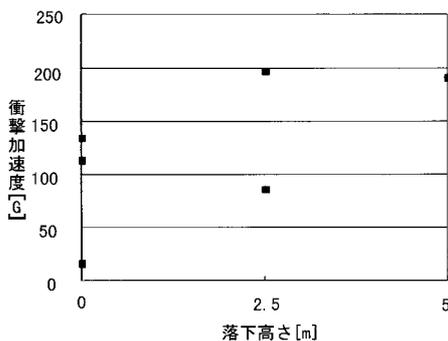


Fig. 12 Shock in standing posture.
立位落下時の衝撃加速度

4. 安全帯とエアバッグの墜落災害対策における位置付け

一般に災害の対策には、事故の発生を防止する事故対策と事故が発生したときにそれによる傷害を防止・低減する災害防止対策がある。もちろん、事故の発生を防止できればそれに超したことはない。

墜落事故を本質的になくす対策は、高所作業をなくすことであろう。これは建築工法の工夫で実現できる。例えば、組み立て・塗装などの作業を高所で行うのではなく、地上で作業を行い、それをクレーン等で高所に設置するという方法が考えられる。あるいは、リフトアップ工法では、最上階から1階分ずつ作り、順次上に押し上げていくことで、最大の落下距離を1階分に抑さえようというものもある。このように、高所作業をできる限り少なくすることが、墜落防止の基本であろう。

しかしながら、建設工事における作業をすべて地上で行うことは不可能であり、どうしても高所作業が残る。この場合の墜落を防止するための対策としては、

実質的に高所をなくす手段がある。すなわち、足場を整備することで、高所を高所（墜落の可能性がある高い場所）としない対策である。この場合に重要なのは、単に足場があるだけでなく、足場から落ちないように手すり等が整備されていることである。

現実には、整備された足場の上だけで作業ができるわけではなく、足場の端や足場と躯体の間隙からの落下、移動中の落下、足場の倒壊等により墜落事故が発生している。

そのため、墜落事故が発生した場合の災害防止対策が必要となる。安全帯や安全ネットは、これに該当する。両者とも落下距離を制限する機能と落下阻止時における緩衝機能を有し、落下を阻止するとともに、その際の衝撃を緩和し、傷害を防止するものである。

安全帯では墜落時に途中で落下阻止を行うが、このとき腰等に衝撃がかかる。このときの衝撃は一般には災害となるレベルのものではない。ランヤードの長さによって落下距離が決められるので、落下のエネルギーの上限は決まり、ランヤードの緩衝性を適切に設定しておけば人体にかかる負担の上限を決めることができる。したがって、確定的な防護効果が期待できる。

ただし、落下時の条件によっては体が振られて壁面に当たる等の二次的な事故もあるので、災害の可能性がないとは言い切れない。また、すでに述べたように誤った使用方法によって死亡災害となる例もある。このような不確定性を有するが、基本的には確定性の高い対策と考えられる。

現実には足場や安全帯を使用しているにも拘わらず墜落災害が発生している。そのための最後の防壁として、エアバッグがある。すでに述べたように緩衝効果とそれによる傷害の軽減効果が期待できる。

しかし、これは地面まで落下することを前提とするものであり、落下距離や落下姿勢を制御できないので、落下時の衝撃の大きさや衝撃箇所を限定できない。エアバッグは、頭を真下にした落下には防護効果がなく、防護効果があるかどうかは落下姿勢による。また、防護性能は限られているので、必ずしも傷害がないレベルまでの防護効果は保証できず、落下距離が大きい場合にはある程度の傷害は覚悟しなければならない。このように、エアバッグの効果が確率的なものであり、また、落下距離が大きくなることから傷害を受ける可能性が安全帯より高いものであるという点から、エアバッグを墜落防護対策の中心にすることはできない。あくまで安全帯等の墜落防護手段を補助するものと考えべきである。

2 m以下の高さでは墜落防護措置が義務付けられていないが、現実には2 m以下の墜落・転落事故での死亡

災害も発生していることを考慮すれば、この高さでも何らかの墜落防護が必要である。2 m以下の足場では手すりや水平親綱がないことが多く安全帯が使用できないし、足場が低い場合には、安全帯をしていても地面にぶつかるおそれもある。一方、エアバッグでも、2 m程度までの落下ならば重大な傷害とならないレベルまで緩衝できる可能性がある。このような落下高さが低い場合には必ずしも安全帯が有利とは言いきれず、エアバッグを活用する余地は十分にある。

5. おわりに

安全帯の使用方法について検討した。使用方法が悪いために死亡災害となった事例があり、また、劣化した安全帯を使用し続ける等の誤った使用方法が現在でも少なくないことを示し、使用指針の改訂を急ぐべきであることを論じた。

エアバッグの適用範囲についても検討した。エアバッグは緩衝効果があるが、その防護効果が安全帯に比べて確率的であり、2 m以上の高さにおいては、足場や安全帯の補助的手段と考えるべきである。しかし、2 m以下の落下高さの場合には、安全帯は必ずしも有効ではなく、エアバッグによる防護の活用が期待される。

参考文献

- 1) 深谷潔, 墜落防護用エアバッグの性能要件についての一考察, 日本人間工学会第42回大会, 2001.
- 2) 平成12年度産業安全衛生年鑑, 中災防
- 3) 前田建設, 使用中の安全帯の強度の実態, 建設の安全, No.356, pp12-13, 1999.
- 4) 久保英信, ロープの切断事故をきっかけに安全帯を点検, 日経コンストラクション, No.260, pp86-88, 2000.
- 5) 安全帯構造指針, NIIS-TR-No.35 (1999)
- 6) 深谷潔, 墜落防護用エアバッグの墜落防護性能の評価, NIIS-RR-98, pp.45-52, 1999.
- 7) FMVSS208 Occupant crash protection
- 8) JIS T8133-1997 乗車用安全帽
- 9) C. Got他: Result of experiment head impact on cadvers: The various data obtained and their relations to some measured physical parameters, SAE Ref.780887
- 10) P. Prasad, H. J. Mertz: The position of the united states deligation to ISO working group 6 on the use of HIC in the automotive environment, SAE Ref. 851246

(平成15年2月26日受理)