

屋根工事における軒先からの墜落防止に関する研究

日野泰道*

Study on Prevention Methods of Falling from the Eaves of the Roof

by Yasumichi HINO

Abstract; In Japan, there are about one hundred fatal falling accidents at construction sites of residential houses. Especially, about 20 to 30 of fatal falling accidents from roofs periodically happened over the last decade and the decreasing trend of the accidents has not been observed.

In recent years, construction work has changed from the construction of new houses to extensions or repair work. Extension or repair work in general has a short construction period and has small budgets. Therefore, countermeasures against falling accidents have been difficult. However, the effective and useful countermeasures against falling accidents from roof have not been explored.

In this study, causes of falling accidents and fundamental data for establishing countermeasures against falling accidents from roofs were analyzed from the accident data. Also, the requirements of prevention equipment against falling from eaves were discussed by the experimental results.

The major findings obtained in this study can be summarized as follows:

- 1) Most of the falling victims fell from eaves. But quite a few victims also fell from the verges. Therefore, the prevention equipment against falling from roof need to set up, not only at the eaves, but also at the verges.
- 2) The safety performance of the scaffold erected by the present scaffold installation method is not sufficient for prevention of falling from roof. Some falling accidents from roofs also occurred at the construction site, where it was used.
- 3) Characteristics of the actual falling mechanism of the victims can be reproduced by experimental studies. The results show that the prevention method by using a small number of guide rails is ineffective.
- 4) The effective assembly method of safety nets for prevention of fatal accidents due to falling from the eaves of roofs was investigated by experimental studies. From the results, the models of victims in some experimental tests had strong impact on their heads, because they rebounded back and bashed their heads against the roof surface after they hit the safety net. Therefore, it is necessary to prevent the rebound to the roof surface.
- 5) The safety net needs to be set up with a gentle descent for prevention of severe injuries by the rebound to the roof surface.

Keywords; Falling Accidents, Roofing Work, Falling Velocity, Impulse Acceleration, Wooden Structures, Safety Net, Precedent Scaffold Installation Method

* 建設安全研究グループ Construction Safety Research Group

1. はじめに

国際労働機構(ILO)によると、世界では約2億7千万件の労働災害、1億6千万件の職業病が毎年発生しており、これにより年間約200万人が死亡し、その経済的損失は世界の国内総生産(GDP)の4%に達していることを報告している¹⁾。我が国においても例外ではなく、多くの犠牲者と経済的損失が、年間行事のごとく定期的に発生している状況である(Table.1参照)。日本においては建設現場での労働・死亡災害が約4割を占め²⁾、特にこの業種における災害防止対策が急務である。しかしながら、これら労働災害を防止するための研究は、あまり活発に行われているとは言えない状況である。

そこで本報は、建設工事現場における労働災害のうち、特に災害発生件数の多い災害である墜落災害を対象とし、特に災害の減少傾向が見られない低層住宅工事における屋根からの墜落災害に焦点を絞って、その災害発生状況について分析を行った。そして、当該工事において使用される墜落防止設備の安全性について、実験的に検討を行った。

2. 事例データに基づく災害原因と問題点の分析

Fig.1に我が国における労働災害による死亡者数の年間推移を示す。労働安全衛生法が施行された1972年を契機として、大幅な減少傾向が見られるものの、1980年頃を境にして余り減少傾向が見られないことが分かる。なお、ここ数年において若干の減少傾向が見られるが、この期間に画期的な災害防止対策が開発され、それが現場に導入された事実がないことから、これは不況による工事数の減少によるものと見るのが妥当であると考えられる。建設業において最も大きな割合を占めるのが墜落災害である。ちなみに平成14年

における建設業(建築工事業、土木工事業、設備工事業を含めたもの)における墜落による死亡災害は262件³⁾であった。建設業における墜落・死亡災害の発生件数(図中の印)は、図中に併せて示した自然災害による死亡者数⁴⁾(印)と比較しても、経年に渡りそれを上回っており、その犠牲者数は極めて多いと言える。

Fig.2に研究の実施状況について、キーワード検索により調査した結果を示す。自然災害で特に犠牲者が多いのは「地震」によるものであり、その文献数をキー

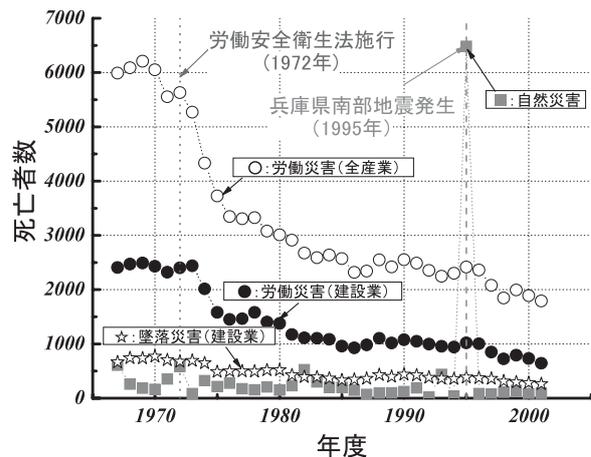


Fig.1 Fatalities due to accidents.
災害による犠牲者数の年間推移

文献のキーワード検索結果*	
地震	約70,000件
労働災害	約11,000件
墜落	約1,600件
建設 and 墜落	約140件

※科学技術振興機構の文献検索システム(JOIS EASY)の「カテゴリZ2」にて、平成15年4月8日に調査した。

Fig.2 The number of investigation on labour accidents.
研究の実施状況

Table.1 Human cost and economic loss.
人的被害と経済的損失

	世界の労働災害 (2001)	日本における労働災害 (2002)		兵庫県南部地震 (1995)	
	全体	全体	建設業全体	墜落災害 (建設業)	全体
死亡者数	2,000,000	1,658	607	256	5,502 ^{a)}
怪我・職業病	430,000,000	132,339	26,299	8,679	41,500 ^{a)}
経済的損失	世界の GDP の 約 4%に相当 ^{d)} (約 130 兆円 ^{e)})	約 8,000 億円 ^{c)} 以上	約 2,610 億円 ^{c)} 以上	—	9 兆 6,000 億円 ^{b)}

a) 消防庁資料(平成7年5月22日現在のデータ)、b) 1995年 国土庁調べ(住宅・工場・機械等の建築物、道路・港湾・鉄道等の交通基盤施設、電気・ガス・水道等のライフライン施設、その他)、
c) 労働者災害補償保険事業年報(2002)、d) ILO report(2002)、e) 1ドル105円換算値(1兆2500億ドル)

ワード検索すると約7万件が検索された。これに対し「墜落」をキーワードとした文献数は約0.2万件に過ぎず、またこれらの研究のほとんどは「航空機の墜落」をテーマにしたものであった。そして結局のところ、建設業での墜落を扱った研究(「建設and墜落」をキーワードとする研究)は約140件に過ぎないことが、この調査により明らかとなった。

3. 事例データに基づく災害原因と問題点の分析

3.1 建設現場における災害発生状況

Fig.3に建築工事における墜落災害発生状況について、労働安全衛生法が施行された年(昭和48年)の状況と比較して示す。なお図中の数値は建築工事全体における各作業場所での死亡災害の件数を示し、括弧内の数値はそのデータからビル建築工事のデータを差引いた数値(すなわち、低層住宅など規模の小さい建築工事のデータ)を示している。

図より全体の数で比較すると、422名から176名へ約60%の減少がみられるが、労災認定がなされた災害に対して給付される“労働者災害補償保険”の給付支払額5)は、建築工事業で年間約2千億円(約3.6倍)を超えており、極めて大きな経済的損失が生じていることが分かる。なお実際には、これに加えて被害者への損害賠償支払といった民事的責任や、刑事責任、行政責任、そして社会的責任という4つの責任を企業およびその関係者が負うことになるため、状況は更に深刻なものである。

次に作業場所ごとの災害発生件数について見てみ

ると、昭和48年当時では「足場」、「梁・母屋」からの墜落災害がその上位を占めていたが、近年ではむしろ「屋根」からの墜落災害が上位を占めるようになっている。これは、規模の比較的大きい現場であるビル建築工事と比較して、屋根からの墜落災害の多くを占める低層住宅など、規模の小さい建築工事での災害防止対策が余り進んでいないためと考えられる。実際のところ、この種の規模の小さな建築工事での災害の割合は、昭和48年当時は全体の4割に満たないもの(166人/422人)であったが、平成14年においては6割を超えるもの(110人/176人)となっていることが分かる。

以上のことから規模の小さな現場、とりわけ屋根からの墜落防止対策の検討が必要であるといえる。

3.2 低層住宅屋根工事における災害発生状況

本節では、低層住宅の屋根工事において発生した墜落災害の原因を明らかにするため、災害調査データ(平成元年から平成13年までの13年間に発生した墜落・死亡災害のデータ:計303件)を用いて、その災害発生状況について検討を行った。

Fig.4に、被災者の墜落方向および墜落姿勢について分類した結果を概念図とともに示す。なお、被災者の墜落方向は、「軒先方向」と「けらば方向」の2種類を想定し、具体的には被災者の墜落地点と、屋根形状との位置関係からこれを求めた。また墜落姿勢については、目撃者の証言や被災者の墜落直前の作業内容、作業位置などから、これを特定した。

図より、被災者の多くは軒先方向から墜落していること、そして割合としては少ないが、多くの被災者が

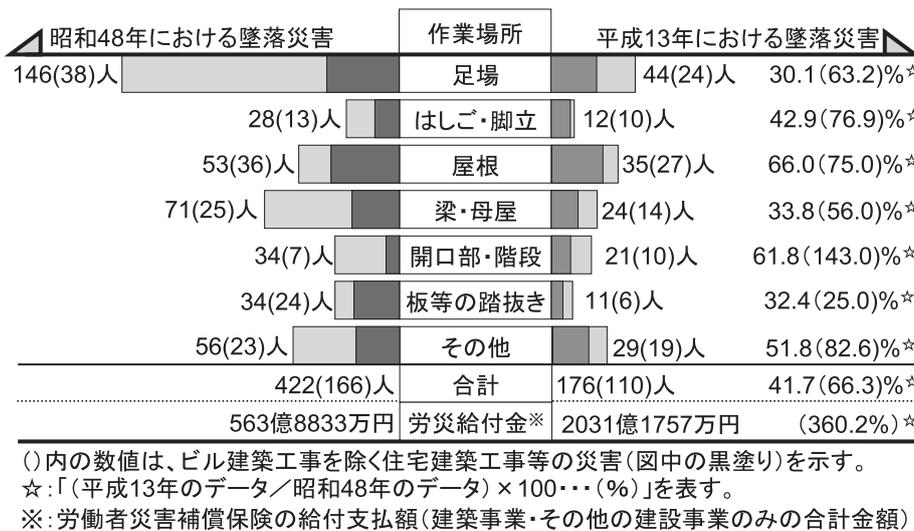


Fig.3 Number of fatal falls at the construction sites.
 建築工事における墜落災害発生状況の比較

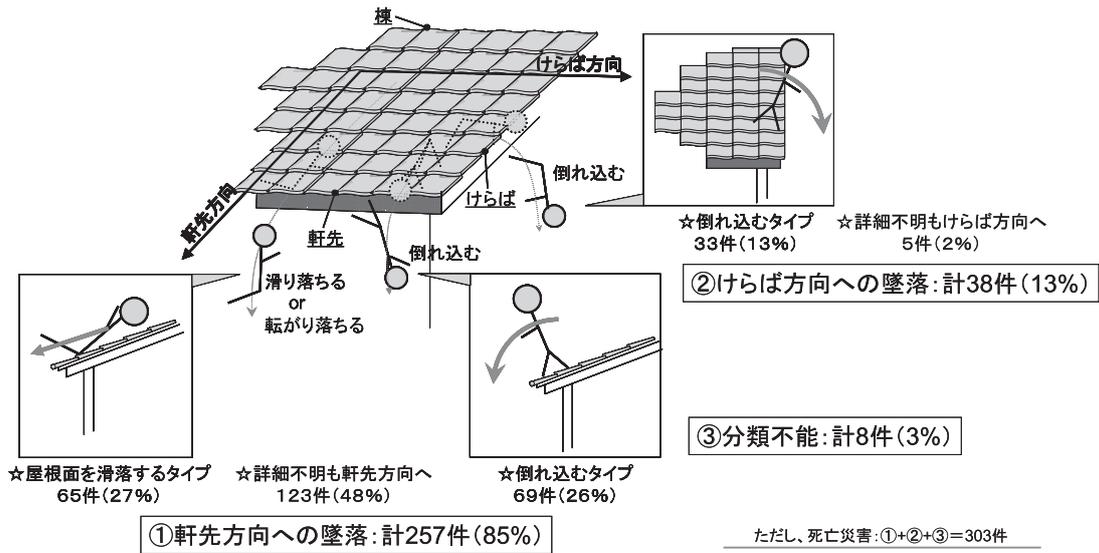


Fig.4 Illustration of falling direction and falling posture.
墜落方向と墜落姿勢

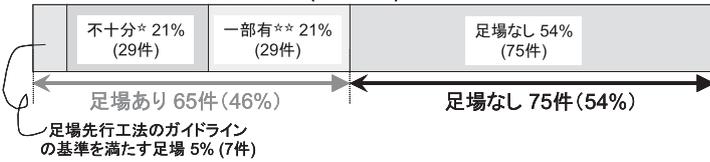
「けらば方向」からも墜落していることが分かる。このことは、軒先方向からの墜落防止対策を確実に行うとともに、けらば方向に対する墜落防止対策についても、併せて確実に行う必要があることを示している。

次に、被災者の墜落姿勢について検討する。これについては、詳細が不明で推定のできない事例を除き、目撃証言等を基に「屋根面を滑落するタイプ」と「倒れこむタイプ」の2種類に分類した。なおこの分類は、墜落姿勢の分類であると同時に、被災者の災害発生直前の作業位置をも示すものとなっている。すなわち「屋根面を滑落するタイプ」の災害では、被災者が少なくとも軒先より上方の位置において、作業を行っていたのに対し、「倒れ込むタイプ」の災害では、屋根端部で作業を行っていたことに対応するものである。このことは、屋根の端部での作業だけでなく、屋根面の中央など、屋根の全ての作業位置において、災害が発生する可能性があることを示している。なお、被災者の墜落開始の初期原因としては、例えば、前日の雨や朝方の霜の影響により、屋根面上が濡れて滑りやすくなっていたため、足を滑らせたケースも見受けられる。しかしこのような場合でも、作業当日が晴天であれば、作業が中止になることは考えにくく、この墜落のキッカケ自体を防止することは実質的に見て、不可能と思われる。したがって、墜落のキッカケとなる事象が発生しても、これを労働災害に発展させないための墜落防止対策が必要である。

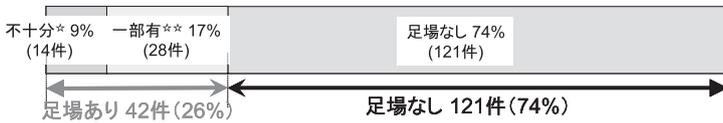
Fig.5に、災害発生現場における足場の設置状況について、工事種別ごと(新築工事または改修工事に分類)に調査した結果を示す。何らかの形で足場を使用していた現場は、改修工事のみならず新築工事にお

いても、全体の半数に満たないことが分かる。なお、足場を使用していた場合においても、本調査では「足場先行工法のガイドラインの基準(Fig.6参照)を満たす足場」^{6),7)}と「不十分な足場」、および「一部有」の3種類に分類を行っている。ちなみに「不十分な足場」とは、足場先行工法のガイドラインの基準をおおよそ満たすが、軒先より上に建地を突き出していない場合、軒先と建地の間隔が30cm以上ある場合、手すりが75cm未満の高さに設置されている場合、中棧の設置がない、といういずれかの場合に相当する足場を指すものである。また「一部有」とは、何らかの形で足場を使用しているに過ぎず、墜落防止設備としての機能をほとんど果たしていない足場を指すものである。図より、死亡災害の発生現場で、適切な足場が設置されていた現場は極めて少ないことが分かる。このことから、墜落による死亡災害を防止するためには、まずは適切な足場の設置が必要と考えられる。その一方で、足場先行工法のガイドラインの基準を満たす足場が設置された現場(新築工事における当該災害現場の5%)であっても、墜落死亡災害が発生している。このことは、同ガイドラインの基準を満たす場合であっても、屋根からの墜落防止対策が完全でないことを示している。そこで、このような現場における災害発生原因について分析を行い、同ガイドラインに補充すべき点について検討を行った。その結果、当該現場における災害とは、主に軒先と中棧の間隙から墜落したケースであり、その他「けらば方向」へ墜落したケースもあることが明らかとなった。ちなみに同ガイドラインでは、軒先と中棧の設置間隔については、具体的な数値基準が設けられておらず、また「けらば方向」

◇新築工事における足場の状況 (計140件)



◇改修工事における足場の状況 (計163件)



☆:「不十分」とは、足場先行工法のガイドラインの要件をおおよそ満たすが、以下の点で要件を満たさない足場を使用していた現場を指す
 ・軒先より上に建地が突き出していない場合
 ・軒先と建地の間隔が30cm以上
 ・手すりが75cm未満
 ・中さんの設置がない
 ☆☆:「一部有」とは、なんらかの形で足場を使用している現場をさすが、墜落防止設備としての機能はほとんど果たしていないものをさす。

Fig.5 Availability of temporary scaffolds.
足場の設置状況

◇安全帯の使用状況



◇安全帯取付設備の設置状況



Fig.7 The use rate of safety belt and its furniture.
安全帯と取付設備の使用状況

◇死因

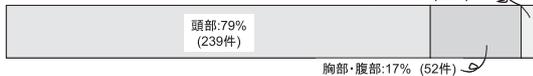


Fig.8 Cause of death of the worker.
被災者の死因

◇保護帽の使用状況



Fig.9 The use rate of the helmet.
保護帽の使用状況

に対する墜落防止対策についても何ら基準がない状況である。以上の点から、中棧の設置に関する具体的数値と、「けばら方向」に対する墜落防止対策を確立すること、が当該災害防止のため必要であるといえる。

Fig.7に、安全帯と取付設備の使用状況について調査した結果を示す。被災者の安全帯の使用状況は極めて悪く、安全帯を着用していたのは全体の10%未満であった。また、安全帯の取付設備も十分でなく、作業員が安全帯を着用しているのに取付設備がない現場も見受けられた。安全帯の取付設備がなければ安全帯を着用する意味はないし、また先に示したとおり、災害発生現場の多くは足場を使用していなかった。こ

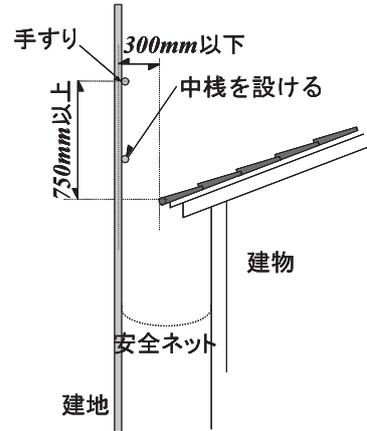


Fig.6 The scaffolds based on the precedent scaffold installation method.
足場先行工法のガイドライン(設置例)

これらのことを踏まえると、安全帯の取付設備の設置は、墜落災害防止のため、特に重要であるといえる。とはいえ、屋根工事における親綱等、安全帯取付設備の確固たる設置基準が存在しないことも事実である。したがって、屋根工事における墜落防止のための安全帯取付設備の設置基準を確立する必要がある。

Fig.8に被災者の死因を示す。死亡災害の8割が頭部損傷(頭蓋骨骨折を伴う脳挫傷が主因)を死因としていることが分かる。このことから、墜落による死亡災害を防止するためには、頭部の保護が重要であるといえる。ちなみに被災者の保護帽の使用状況について調査した結果をFig.9に示す。保護帽を着用していた被災者は少なからず存在していたが、それでも死亡災害を防止することができないケースも多いことがこの図から分かる。なお、地面の衝突した瞬間に受ける衝撃力の大きさは、その落下距離が長ければ(衝突時の速度が速ければ)それだけ大きくなる。そして人頭は、高さ1mの位置から自由落下して地面に衝突すると、頭蓋骨骨折が生じる恐れがあることが既往の研究により明らかにされている⁹⁾。よって死亡災害の防止には、少なくとも地面に衝突する前に被災者を防護する必要があると考えられる。

3.3 災害発生時における被災者の墜落速度

本節では、被災者が災害発生時にどの程度の速度で地面に衝突したかについて推定を行うとともに、被災者の防護設備の設置が考えられる軒先位置において、どの程度の速度を有していたのかについて分析を行った。これは、災害防止対策を検討する上において、軒先位置での被災者の速度を知っておく必要が

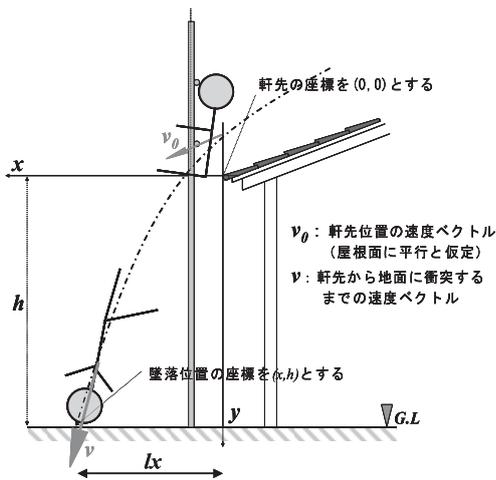


Fig.10 Falling velocity estimation.
墜落速度の推定方法⁹⁾

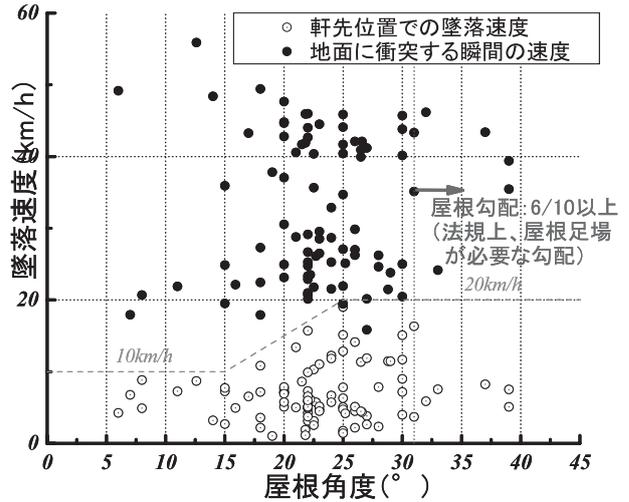


Fig.11 Falling velocity of the worker.
被災者の墜落速度の推定結果

あると考えたためである。そこで被災者の墜落速度の推定にあたり、災害発生件数の多数を占める軒先方向への墜落災害のみを検討対象とし、多様な被災者の墜落形態を単純なモデルで表現するため、その重心位置に質量を集中させた1質点モデルに置換できるものと仮定した。そして被災者は軒先位置で屋根面と平行な速度を重心位置で有し、かつ軒先位置を原点として斜方投射の放物運動をするものと仮定した (Fig.10参照)。なお軒先位置における被災者の重心高さは、調査結果からデータが得られないため屋根面 (すなわちゼロ) として扱った。ちなみに軒先位置における被災者の実際の重心高さは、寝転んだ状態での重心位置 (人の幅の半分: 約120mm)¹⁰⁾ から直立した状態での重心位置 (足から臍までの距離: 約1000mm)¹⁰⁾ 程度までの範囲内にあると考えられるが、このばらつきにより発生する推定速度の誤差は、検討した範囲では最大約2割程度であり、この仮定が以下で示す推定結果に対して本質的な違いを生じさせないことを予め確認している。以下に、具体的な被災者の速度の推定方法を示す。

まず、水平方向の速度、変位はそれぞれ、

$$v_x = v_0 \cdot \cos \theta \quad \dots(1)$$

$$x = v_0 \cdot \cos \theta \cdot t \quad \dots(2)$$

である。一方鉛直方向には下向きの一定の加速度 (重力加速度) が作用し等加速度直線運動をするので、

$$v_y = v_0 \cdot \sin \theta + g \cdot t \quad \dots(3)$$

$$y = v_0 \cdot \sin \theta \cdot t + \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \quad \dots(4)$$

ここで、 (lx, h) : 墜落位置 (軒先を原点とする)

v_0 : 軒先位置における被災者の重心位置の速度

v_x, v_y : 被災者の速度成分

v : 被災者の重心位置の速度

t : 軒先から地面に衝突するまでの時間

となる。従って軒先位置における被災者の速度は、

$$v_0 = \sqrt{\frac{g \cdot lx^2}{2 \cdot \cos^2 \theta \cdot (h - \tan \theta \cdot lx)}} \quad \dots(5)$$

となる。一方、地面に衝突するまでの速度は、各方向の速度成分の和として下式により得られる。

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad \dots(6)$$

3.4 被災者の墜落速度の推定結果

実際の災害における墜落位置 (x, h) および屋根角度のデータを代入し、(5)式または(6)式から得られた速度 (軒先位置および地面に衝突する瞬間の被災者の速度) と屋根角度の関係を Fig.11 に示す。なおこの結果は、数値データが明確で、かつ墜落時に足場等への接触がない災害 (計95件) を対象としている。

まず地面に衝突した瞬間の被災者の速度 (図中の印) について見てみると、屋根角度の違いによる影響は全く見られないこと、そしてその墜落速度は全ての災害で15km/hを越え、最大で約50km/hに達していることが分かる。この速度は自動車の衝突安全性を検討する実験¹¹⁾において、自動車に設定する速度とほ

ぼ等しく、極めて大きな速度であると言える。一方、軒先位置での被災者の速度(図中の白抜き: 印)について見てみると、その墜落速度は10km/h程度を平均として、3km/h~20km/hの範囲にあることが分かる。ちなみに、頭蓋骨骨折の発生可能性が指摘される高さ1mからの自由落下では、地面に衝突する瞬間の速度は15.94km/hである(速度 = $\sqrt{2 \cdot g \cdot h}$:ただし、gは重力加速度、hは落下高さを示す)から、災害発生時における被災者の軒先位置での速度は、この速度を上回っていたケースがあることがこの図から分かる。このことから、被災者の墜落防護が軒先に設置された墜落防止設備によって実現できたとしても、当該設備が鋼材等の硬い材質で構成されている場合には、設備との衝突によって、重大な損傷を被災者が受ける可能性が考えられる。したがって、軒先位置に設置する墜落防護設備は、衝突によって受ける衝撃力を小さくするための配慮が必要である。

なお、屋根角度が15°以下の災害では、墜落速度と屋根角度との間に関連性が見られないが、これは、比較的早い墜落速度が想定される「屋根面上を滑落するタイプ」の災害が存在せず、「倒れ込むタイプ」の災害のみが発生しているためである。すなわち屋根角度が小さい場合では、被災者へ大きな摩擦抵抗力が作用するため、滑落が成立しないことがその原因と推測される。また、屋根角度が30°を越える急勾配の現場における災害が少ないことが図より分かる。これは、屋根角度の大きい現場が少ない事に加え、このような現場では、屋根用足場の設置が義務付けられているためと考えられる。

以上の検討を踏まえると、被災者の軒先位置における墜落速度の最大値は、屋根角度に応じて表2のように数式化することができると考えられる。

4. 軒先位置に設置する墜落防止設備の安全性に関する実験的検討

4.1 足場到手摺・中棧を設置した設備の墜落防護性能

災害事例を分析結果より、足場先行工法のガイドラインの基準を満たす足場が設置された現場においても、墜落死亡災害が発生していたことが明らかとなったため、まずは手摺および中棧の適切な設置位置について、実験的に検討を行った。

4.1.1 実験諸元

Fig.12に実験装置および実験方法、Table.3に実験で用いた人体ダミーの構造諸元を示す。実験は、ワイヤ

Table.2 Maximum velocity at the eaves of the roof.
軒先位置での最大速度と屋根角度の関係

屋根角度 θ (°)	速度 v (km/h)
$0^\circ < \theta < 15^\circ$	$v = 10$
$15^\circ < \theta < 25^\circ$	$v = 10 + (\theta - 15)$
$\theta \geq 25^\circ$	$v = 20$

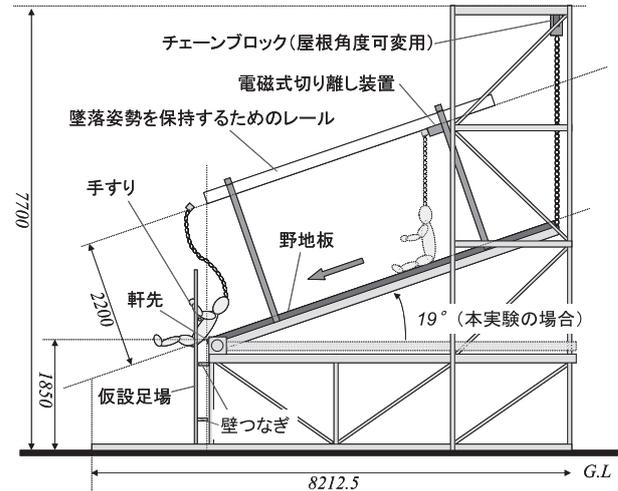
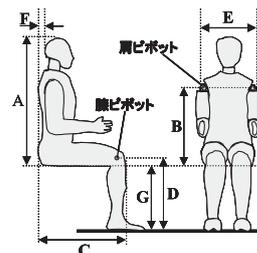


Fig.12 Experimental methods.
実験装置および実験方法

Table.3 Dimensions of Hybrid-3 and dummy.
Hybrid¹⁾と製作ダミー(dummy)の構造

寸法	H-3	dummy	dummy/H-3
A 着座高さ	884mm	940mm	1.06
B 肩ピボット高さ	519mm	580mm	1.13
C 尻-膝	592mm	555mm	0.94
D 膝ピボット高さ	493mm	565mm	1.15
E 肩幅	429mm	350mm	0.82
F 後頭部-背面板	403mm	45mm	1.05
G 着座面-足裏	442mm	520mm	1.18
重量	H-3	dummy	dummy/H-3
頭部	4.52kgf		
首部	1.56kgf	48kgf	1.04
上部胴体部	17.06kgf		
下部胴体部	22.93kgf		
上腕(片腕)	2.02kgf	3kgf	1.48
下腕及び手(片腕)	2.30kgf	2kgf	0.87
大腿部(片足)	5.99kgf	6kgf	1.00
下肢及び足(片足)	5.67kgf	5kgf	0.88
全重量	78.04kgf	80kgf	1.03



基準寸法図



製作ダミー (dummy)

ロープを介して人体ダミーをレールから吊下げて切離装置と固定し、切離装置のロックを解除することにより人体ダミーの滑落運動が開始する仕組みである。軒先位置での墜落速度は、災害データに基づく推定速度の最大値に近い値として約15km/hを設定し、この速度になるよう屋根角度・切離装置の設置位置を調整した。実験で用いた人体ダミーは、自動車の衝突安全実験で一般的に用いられるHybrid-11(以下、H-3)を参考に、寸法と重量分布を一致させたもの(FRP, 鉛, 砂等で製作: 以下, dummy)を使用した。墜落防止用として設置した足場は、いずれも足場先行工法のガイドラインの基準を満たすものとした。具体的には、建地(柱材:2本)と手すり(1本),中棧(1本),および壁つなぎ(4本)で構成したものとし、壁つなぎは軒先より200mm下の位置で建物と強固に固定した。実験パラメータは、中棧の設置高さであり、計5種類(軒先から50mm,150mm,250mm,500mm,750mmの高さにそれぞれ設置した)について実験を行った。なお、軒先と中棧の間隔は一定(120mm)とし、軒先から高さ900mmの位置に手摺を設置した。またdummyの墜落姿勢は、中棧の影響に注目するため、前向きの中腰姿勢とした。

4.1.2 実験結果

本実験で設置した中棧の設置位置と、そのときのdummyが墜落しない確率をFig.13に示す。この墜落しない確率は、同じ設置高さの5回の実験(50mmでは4回)の結果により求めたものである。図より、足場先行工法のガイドラインの基準を満たす足場であっても、中棧の設置高さの違いによって、墜落防護性能に差があることが分かる。このことは、現実の死亡災害事例において見られた現象と一致するものである。

次に具体的な墜落防護性能について見てみると、中棧の設置高さを低くするほど墜落を防護できる確率が高くなるが、低くしすぎると逆に防護できなくなること、そして設置高さが150mmの時、5回すべての実験で墜落防護できたことが図から分かる。このことから、前向きの中腰姿勢でdummyを墜落させた本実験の範囲では、中棧を150mmの高さに設置することが適切であったと言える。なお設置高さが250mm以上の実験で墜落防護ができなかったケースは、dummy胴体と衝突後、いずれも中棧と屋根面の隙間を通り抜けて墜落した。また設置高さ50mmの場合で墜落したケースでは、dummyの足裏と衝突後、いずれも中棧を乗り越えて墜落に至ったものである。

これらの現象については、図中に示したdummyの胴体幅から求まる最大設置幅(屋根面からの距離がちょうどdummyの胴体幅になる位置を示すもの)を用

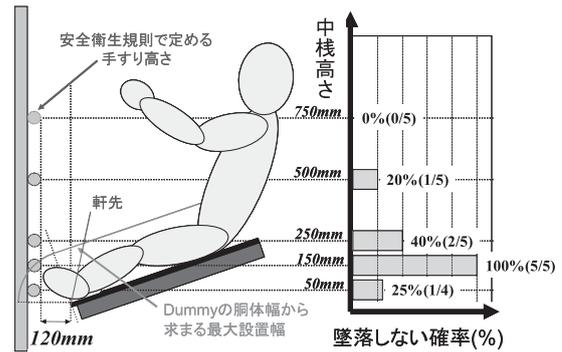


Fig.13 The effect for prevention of falling by the guardrail. 中棧の設置位置と墜落の有無の関係

いて説明が可能である。すなわち、中棧が250mm以上の高さに設置されている場合で墜落防護性能が思わしくないのは、軒先と中棧との間隔が胴体幅より大きくなっており、その隙間へ墜落できる余地があったこと、加えて中棧との衝突位置が、中腰姿勢のdummyの重心位置より高い位置にあるため、衝突により偶力が中棧と軒先の隙間へ墜落する方向に生じたこと、がその原因として挙げられる。対して150mmの高さに中棧を設置した場合では、その隙間が胴体幅より小さくなる為、dummyが墜落できる余地がなかったこと、加えて中棧との衝突位置とdummyの重心位置がほぼ同じ高さであったことから、衝突により生じる偶力の大きさが小さかったことが、全5回の実験でdummyを墜落防護できた理由であると考えられる。そして50mmの高さに設置した場合では、250mm以上の高さに中棧を設置した場合とは反対に、偶力が手摺と中棧の隙間の方向へ生じる結果となったため、中棧を乗り越えるケースがあったと考えられる。

このように、中棧の適切な設置高さは、墜落する被災者の墜落姿勢(重心位置の高さ等)との相対的な関係から決まることになる。そして本実験から分かることは、やはり墜落防護の基本とは、墜落する隙間を作らないことである。そして被災者の墜落姿勢は、多種多様なケースが考えられることを踏まえれば、限られた本数の手摺・中棧のみによって、これを完全に防護することはやはりできないと見るべきである。

以上のことから、屋根からの墜落災害を防止するためには、足場に手摺・中棧を設置する方法ではなく、安全ネット等¹¹⁾により墜落する隙間を作らない防護方法が必要であると考えられる。

4.2 安全ネットによる墜落防護性能の検討

4.2.1 実験諸元

本節では、安全ネットを用いた屋根からの墜落防護

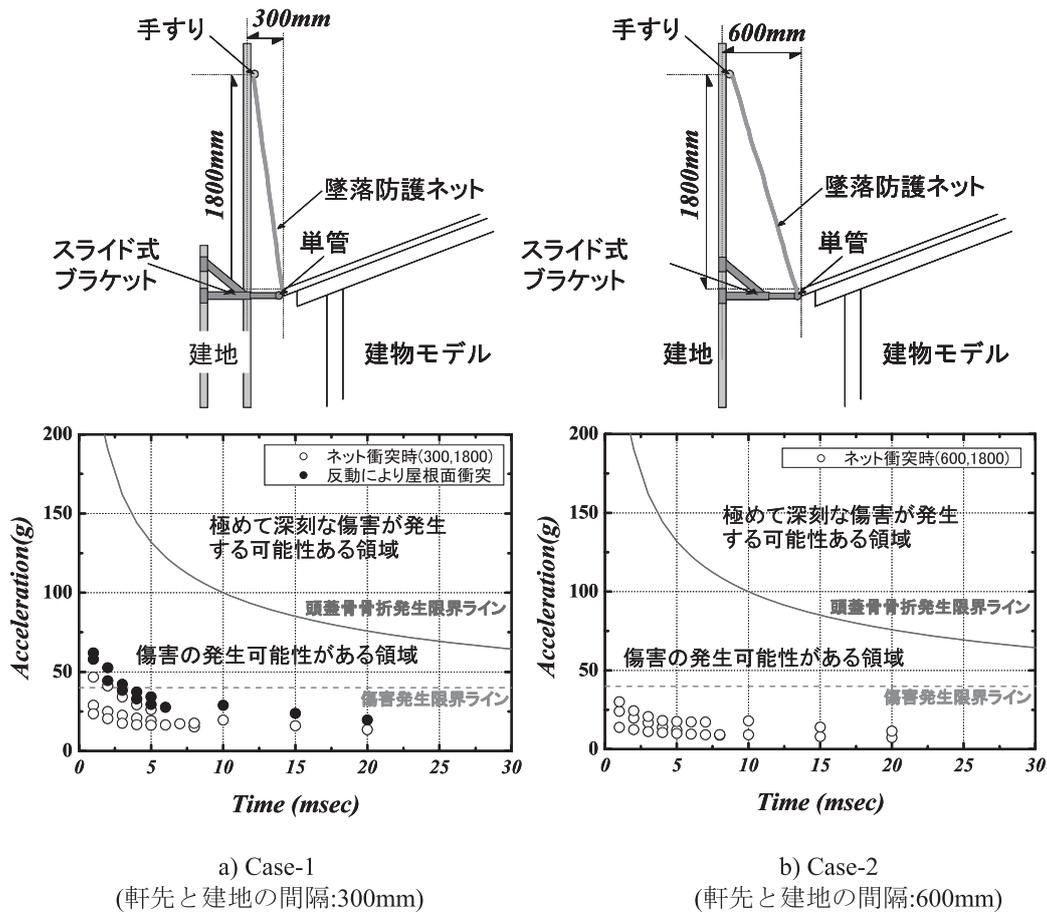


Fig.14 Impact acceleration due to crash.
衝突により生じた頭部加速度

設備の安全性を確保するため、どのような設置方法が妥当であるかについて実験的検討を行った。そこでこの検討では、安全ネットの設置勾配のみをパラメータとし、計2種類の墜落防護設備について実験を行った。具体的には安全ネットとして、網目1.5cmの墜落防止用ネットを使用し、高さ1800mmに設置した手摺と軒先近傍に設置した単管を用いて、たわみのないようネットを繊維ロープで固定した。なお軒先近傍に設置した単管パイプは、スライドブラケットを用いて、これを支持した。そしてネットの設置角度を変えるため、建地と軒先の間隔を2種類(軒先から300mm、および600mm)設定した。本実験に用いた実験装置、実験方法、墜落速度は前節と同じである。ただし実験に用いた人体ダミーについては、H-3(Hybrid-)を用いた。これは、墜落防護設備に衝突した際に発生する頭部衝撃力の大きさを計測し、人体に対する安全性をもって当該設備の安全性を評価するためである。そこで、この実験における墜落姿勢については、最も頭部への衝撃が大きくなると思われる、前向き直立姿勢とした。

4.2.2 実験結果

Fig.14に本実験で対象とした墜落防護設備、および安全ネットに衝突した瞬間の頭部加速度と衝突時間の関係(図中の白抜き印)をCaseごと示す。なお、図中の黒塗り印は、安全ネットに衝突後に跳ね返り、頭部を屋根面に強打させた際に発生した頭部加速度を示している。また図中に実線で示したのは、文献13でGADD氏が提案する頭部衝突に対する限界加速度の推定結果(頭蓋骨骨折発生限界ライン)を示すものであり、具体的には(7)式によるものである。

$$A = 15.85 \cdot T^{-0.4} \quad \dots(7)$$

ここで、A：頭部限界加速度 (g)

T：衝突時間 (sec)

この式は、Wayne State大学を中心として1960年代に欧米で行われた屍体を用いた頭部の強度に関する実験データ(衝撃加速度)を用いて、頭蓋骨骨折の有無を分ける境界線を求めた研究成果であり、頭部耐性を検

討する上で現在一般的に用いられているHIC値^{(11), (14)}の基となった式である。したがって、(7)式による推定結果より実験結果が大きい値を示す場合は、極めて深刻な傷害、場合によっては死亡災害に発展する可能性があることを示していることになる。一方、図中の点線で示したのは、多様な方向から衝撃力を受けた際に人間が受ける傷害程度について、3つのカテゴリーに分類したEiband氏による研究によるもの^{(15), (16)}(傷害発生限界ライン)であり、この点線より大きな値を示す場合には、傷害の発生可能性があることを示すものである。

いずれのCaseの頭部加速度も、頭蓋骨骨折発生限界ラインよりも小さな加速度にとどまっており、安全ネットによる墜落防護によれば、死亡災害の発生可能性は極めて低いと考えられる。その一方で、足場の建地と軒先の間隔が小さいCase-1の場合(300mmの場合)では、傷害発生限界ラインを越える加速度が頭部に生じているケースが見受けられる。そして特に加速度が大きいのは、安全ネットに衝突した場合というよりも、むしろ跳ね返りによって頭部を屋根面に強打したことが原因となっている。対してCase-2の場合(軒先と建地の間隔が600mmの場合)では、跳ね返りによる屋根面への衝突はみられず、またネットに衝突した際の頭部加速度も小さな値にとどまっている。

以上の結果から、屋根面からの墜落防止として安全ネットを使用する場合には、屋根面への跳ね返りを防止するため、一定限度でその設置勾配を緩やかにする必要性が明らかとなった。

5. まとめ

本研究で得られた成果をまとめると、以下のよう
に要約できる。

- 1) 屋根工事における墜落死亡災害は、軒先方向からの墜落が多数を占める。しかし、けらば方向からの墜落件数も少なくなく、いずれの方向に対しても安全であるよう墜落防護設備を適切に設置する必要がある。そしてこのような基準が存在しないことから、同基準の整備が必要である。
- 2) 足場先行工法のガイドラインの基準を満たす足場が設置された現場においても、墜落死亡災害が発生している。それらの災害は、主に中棧と屋根面の隙間から墜落していた。
- 3) 実験的検討により、被災者が中棧と屋根面の隙間から墜落する現象を再現することができた。そしてその結果、墜落防護を確実にを行うためには、限られた本数の手摺・中棧を使用する方法では極めて困難であることを明らかにした。

- 4) これらの結果を踏まえ、墜落する隙間をなくす方法として安全ネットを用いた墜落防護設備を取り上げ、その適切な設置方法について実験的に検討を行った。その結果、ネットに衝突後の跳ね返りにより、被災者が頭部を屋根面に強打することで傷害の発生可能性がある衝撃力を受ける可能性があることが明らかとなった。
- 5) 屋根からの墜落防止用として安全ネットを設置する場合には、屋根面への跳ね返りを防止するため、一定限度でその設置勾配を緩やかにすることが明らかとなった。

参考文献

- 1) J. Tanaka, "Introductory Report: Decent Work - Safe Work", 16th World Congress on Safety and Health at Work, 2002.5
- 2) 産業安全技術総覧編集委員会, 「産業安全技術総覧」, 2000.12, 丸善
- 3) 建設業労働災害防止協会, 「建設業 安全衛生年鑑」, 2003.10
- 4) 消防庁, 「消防白書」
- 5) 労働省労働基準局, 「労働者災害補償保険事業年報」
- 6) 労働調査会, 「安衛法便覧 平成12年度版()」, 2001.5
- 7) 建設業労働災害防止協会「足場先行工法に関するガイドラインの解説」, 1996.11
- 8) 日本保安用具協会, やさしい保護具の知識, 2001.10
- 9) Yasumichi HINO, "Falling accident in the roofing work of residential houses", The Second International Structural Engineering and Construction Conference, 2003.9
- 10) 人間生活工学研究センター「日本人の人体計測データ」, 1997.10
- 11) 自動車認証制度委員会, 「新型自動車審査基準集」, 1999.3
- 12) 仮設工業会, 仮設機材認定基準とその解説, 2004.3
- 13) Charles W. Gadd, "Use of Weighted-Impulse Criterion for Estimating Injury Hazard", 10th Car Crash Conference, 1966, pp164-174
- 14) 日本自動車研究所, 平成6年度衝突試験用ダミーに関する調査研究報告書, 1996.3
- 15) Eiband, A.M.: "Human tolerance to rapidly applied accelerations - A summary of the literature". NASA Memo-5-19-59E, 1959.
- 16) 自動車技術会, 交通外傷バイオメカニクス, 2003.3
(平成18年1月12日受理)

屋根工事における軒先からの墜落防止に関する研究

日野泰道

本報は、低層住宅工事における屋根からの墜落災害に焦点を絞り、災害発生状況とその防止対策について検討を行ったものである。検討の結果、足場先行工法のガイドラインの基準を満たす足場が設置された現場でも、墜落死亡災害が発生している場合があることが分かった。また実験的検討により、墜落防護を完全に行うためには、限られた本数の手摺・中棧を使用する方法では難しいことを明らかにした。これらの結果を踏まえ、墜落防護方法としてネットを用いた方法を取り上げ、その適切な設置方法について実験的に検討を行った。その結果、ネットに衝突後の跳ね返りにより、被災者が頭部を屋根面に強打することで傷害の発生可能性があることが明らかとなった。そのため、屋根からの墜落防止用として安全ネットを設置する場合には、屋根面への跳ね返りを防止するための措置が必要であることが明らかとなった。（図14、表3、参考文献16）

RFIDを用いた広大空間における再起動防止に関する研究

深谷 潔

危険空間が広大になると、操作装置の位置から全体を見通すことができず、作業者がその空間内においても分からず誤って機械を起動し、事故となることがある。このような事故を防止するため、RFIDを用いて危険空間内部の作業者の位置を常時モニターするシステムを開発し、評価した。

格子状に設置したタグを作業者が所持するリーダーでその位置を読み取るシステムであるが、周りの物の配置により電波の受信距離が異なり遠くのタグを受信することもあり、位置計測の誤差となることがあった。実用化のためには、装置を小型化すると共に誤差を考慮したシステム設計が必要である。

（図5、表2、写真3、文献7）

着火性放電を抑制したノズル型除電器の除電特性

崔光石，山隈瑞樹，児玉勉，鈴木輝夫，最上智史
粉体輸送プロセスにおける静電気トラブルの発生を防止する方法として、粉体の帯電量を静電気トラブル発生レベル以下に制御できるノズル型除電器（コロナ式）を開発した。しかし、コロナ式除電器は、高電圧を利用しているために何等かの原因で異常作動すると、まれに着火性放電を起こし、爆発、火災を誘発する危険性がある。そこで著者らは開発したノズル型除電器の安全性を着火試験によって評価した。その結果、放電針と高電圧源の間に100Mの高抵抗（結合抵抗）を有する放電電極は、印加電圧が7kV以下（交流又は直流）であれば、放電針からの放電火花が最小着火エネルギー0.1mJ以上の可燃性雰囲気への着火源にならないことが判明した。また、このノズル型除電器を内蔵したフランジ型除電器を実規模大の粉体空気輸送帯電実験装置のサイロ内に設置して、実際に粉体を除電してその効果を調べた。その結果、上記の電圧範囲内で印加電圧を制御することによって粉体の帯電を効果的に除電できることが明らかになった。したがって、本除電器は、改良を加えることにより可燃性雰囲気を伴う粉体プロセスにおける静電気障災害の防止に十分寄与できると考えられる。（図9、参考文献8）

高強度アルミニウム合金重ね継手の疲労き裂モニタリングとその疲労破壊特性

佐々木哲也，本田 尚

高強度アルミニウム合金重ね継手の疲労破壊を防止するために、ボルト内に埋め込んだひずみゲージの出力で疲労き裂をモニタリングすることを試みた。実験の結果、ひずみゲージ出力の平均値よりも変動幅の方が疲労き裂進展に伴う変化の割合が大きく、疲労き裂モニタリングに適していることが明らかになった。なお、ボルト穴に初期切欠きのない重ね継手の疲労破壊位置は、大きく3箇所に分類できたが、いずれの場合も疲労寿命に大きな差はなかった。

（図6、写真1、表2、参考文献12）