

移動はしごを用いた屋根作業における墜落防止対策の検討

日野 泰道*¹, 高橋 弘樹*¹, 大幢 勝利*¹

建設業における労働災害として屋根関連工事での墜落災害が数多く発生している。これらの工事の大半は、新築工事ではなく、改修工事や災害復旧工事などで発生している状況である。特に2011年の東日本大震災を契機に、災害復旧工事における建設業の労働災害防止対策、とりわけ高所からの墜落防止対策の重要性が認識されるようになってきている。つまり、短期間で工事が終了する屋根関連作業における簡易で安全性の高い対策が必要とされていると考えられる。そこで本研究では、住宅屋根工事において利用可能な安全対策として、主に「①移動はしご」、「②ショックアブソーバ付きの安全ブロック」、「③4本のナイロンロープ」、「④ハーネス型安全帯」および「⑤垂直親綱」を用いた新しい安全対策について検討を行った。

検討の結果、移動はしごの上端部と下端部を堅固な構造物とロープで連結固定し、ショックアブソーバ付きの安全ブロックをはしご上方部に設置した、墜落防止対策の土台となる部分を設置することにより、屋根高所作業の準備段階から片づけ作業に至る一連の工事における墜落防止対策が構築できることが実物大実験により明らかとなった。

本工法は、墜落防止対策の土台となる部分の組立・解体を地上にて行える点に特徴がある。また本研究で検討した新しい安全対策は、屋根上に垂直親綱を設置する作業における安全対策のみならず、単に移動はしごの昇降時の安全対策として利用できるものと考えられる。

キーワード：墜落防止対策、屋根作業、移動はしご、安全ブロック、短期間で行われる工事

1 はじめに

建設業における労働災害は、長期的には減少傾向にあるものの、依然として一日に一件程度の死亡災害が発生している。なかでも墜落に起因する労働災害が数多く発生している状況である。

墜落防止対策の基本は、安定した作業姿勢を確保するための作業床の確保(労働安全衛生規則第518条第1項)に加えて、当該作業床の端部からの墜落を防止するための囲い、手すり、覆い等の設置(労働安全衛生規則第519条第1項)を確実に行うことにある。

一方、建設現場で発生している災害は、新築工事というよりはむしろ、改修・解体工事などの短期間で作業が終了すると考えられる工事²⁾において数多く発生している。このような現場においても、仮設足場を設ける等の措置により、上記の基本となる対策を講じることが望ましいが、工期や現場状況などの制約条件に加え、仮設足場の組立・解体時における墜落災害の発生リスクを勘案した場合、簡易かつ災害発生リスクを低減できる工法を採用する方法も考えられる。この点、労働安全衛生規則では「足場等を用いた作業床の設置が困難な場合(第518条第2項)」や「囲い、手すり、覆い等の設置が困難な場合(第519条第2項)」の記述があり、安全帯等を用いた安全対策を講ずる必要性が明らかにされている。しかしながら、上記の安全帯等を用いた屋根作業における墜落防止対策については、具体的な対策として整理されていない状況にある。

本研究は、屋根作業における労働安全衛生規則第518

条第2項および同規則第519条第2項の具体的かつ新しい対策として、移動はしご³⁾を用いた墜落防止対策の可能性について、実験的に検討を行ったものである。

2 本研究で提案する工法

本研究で提案する工法を図1に示す。本工法は、移動はしごの昇降時の墜落防止対策として利用できるのみならず、足場を用いた囲い、手すり、覆い等の設置が困難な住宅屋根工事における安全対策を提供するものである。

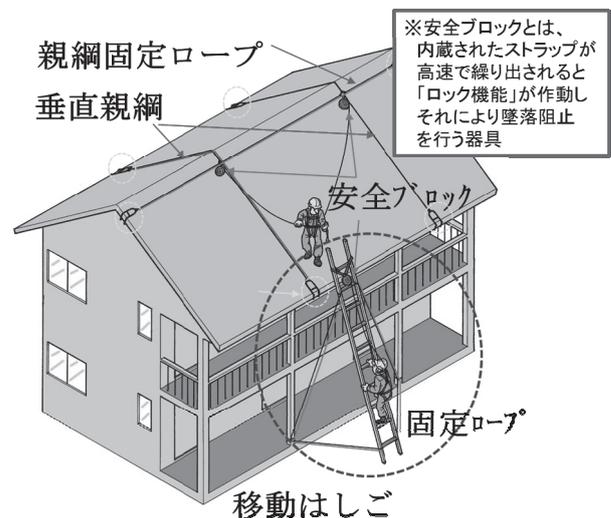


図1 本研究で提案する新しい工法
(はしご昇降および親綱設置時の安全対策)

*¹ 労働安全衛生総合研究所 建設安全研究グループ。

連絡先：〒204-0024 東京都清瀬市梅園1-4-6

労働安全衛生総合研究所 建設安全研究グループ 日野泰道*¹

E-mail: hino@s.jniosh.go.jp

屋根作業時における安全対策としては、屋根上に垂直親綱を配置し、そこに安全ブロック^{4),5),6)}等を介してハーネス型安全帯を使用することにより、屋根からの墜落機会⁷⁾の低減と墜落時の地面への衝突回避を実現するものである。図のような垂直親綱等による安全対策を屋根上に

確立できれば、屋根作業時の墜落防止対策が確保できると考えられる。ここで問題となるのは、これらの安全対策をどのように安全に構築するかにある。

本研究で提案する工法の特徴は、高所作業を伴うことなく、昇降の前の段階において、地上にて墜落防止対策を講じることが可能となる点にある。具体的にはショックアブソーバ付きの安全ブロックを台付けロープを介して移動はしごの上端に取り付け、当該移動はしごと剛な構造物を連結して土台とした図2に示す構造のものを用いて、はしごの昇降および屋根上の一本目の垂直親綱の設置を行うものである。

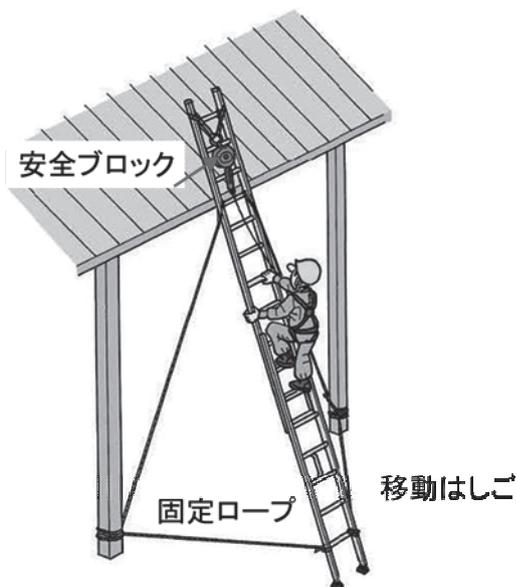


図2 墜落防止対策の土台となる部分

3 実験諸元

図3に実験概要を示す。実験では実物大屋根、移動はしご（JIS規格に適合するもの）等を使用した。図2に示すように、移動はしごの2本の支柱は、上端部および下端部の計4箇所をロープで剛な構造物側と固定した。その固定においては、緊張力を与え、たるみが生じないように設置した。そのロープの上端部は、屋根軒先下方の最も近い位置にある踏み栈のある箇所の支柱に固定した。またはしごには、台付けロープを介してショックアブソーバ付きの安全ブロックを取り付けた。台付けロープは、墜落阻止時に安全ブロックに作用する荷重がはしご踏み栈ではなく、2本のはしご支柱に力が流れるようにするための器具である。固定ロープを踏み栈ではなく、はしごの支柱に固定したのも同様の理由による。はしごの設置高さは、屋根軒先から60cm程度出る長さに調整した。

実験パラメータは、大きく分けて①労働者の主な作業内容（墜落開始位置）、②はしごを固定した下端ロープの固定位置、③安全ブロックのストラップの設置方法、④屋根勾配である。

労働者の作業内容としては、災害発生状況を勘案し、「はしご昇降時」、「はしごから屋根へ乗り移る時」、「屋根上での作業時」の3種類を設定した。

はしごを固定した下端ロープの固定位置としては、はしごを中心に一間程度の間隔（約1.8m）を持たせたもの（はしご中心からそれぞれ約0.9m）を基本とし、四間程度の間隔（約7.2m）を持たせたもの（はしご中心からそれぞれ約3.6m）についても検討を行った。

安全ブロックのストラップの設置方法としては、ストラップをはしご支柱の外側を通して、墜落阻止時の荷重が直接にはしご踏み栈に作用しないようにした場合（正しい工法）を基本とし、ストラップをはしご支柱の内側を通し、墜落阻止時にストラップがはしごの踏み栈に荷重が作用することとなる場合（誤った工法）についても実験を行った（図4参照）。

屋根勾配は、4寸勾配と6寸勾配の2種類を検討対象とした。4寸勾配は従来型の住宅屋根で数多く見られる勾配であり、一方6寸勾配は、近年増加傾向にある太陽光パネル設置型の住宅を想定したものである。これらの屋根勾配は、製作した実物大屋根に、角度変更機能を持たせることにより、調節を行った（図5、図6参照）。実験では、人体ダミーとしてHybrid III pedestrian 50%タイルモデル（身長：約175cm、体重：約75kg）を使用した。屋根軒先高さは約4mとした。実施した実験の一部では、安全ブロックおよび固定ロープに作用する荷重を計測するため、ロードセルをロープ端部に配置した。



図3 実験概要



図4 安全ブロックのストラップの設置方法

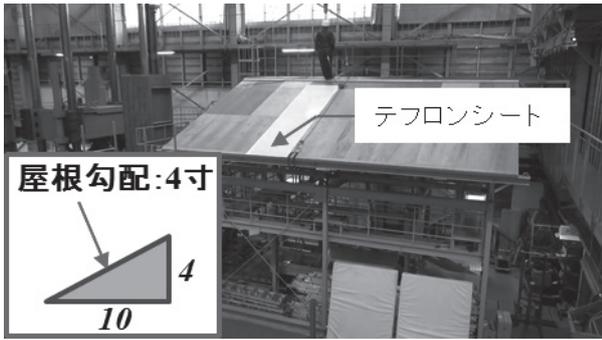


図5 製作した実物大実験屋根
(屋根勾配を4寸とした場合)

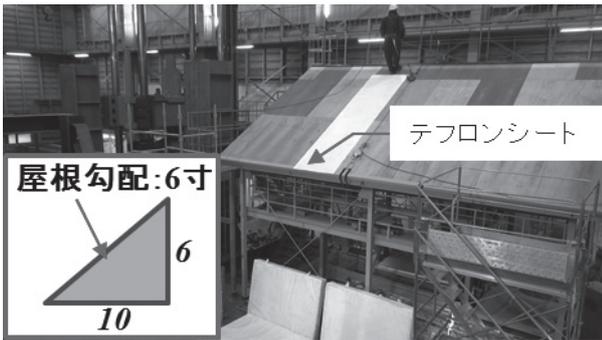


図6 製作した実物大実験屋根
(屋根勾配を6寸とした場合)

また墜落時の挙動を測定するため、高速度カメラを用いて撮影を行った。

4 実験結果

(1) はしご昇降時の墜落防止効果の検証

図7に、はしご昇降時に身体のバランスを崩した場合を想定した実験の連続写真を示す。

この実験は、地上から約1mの高さのはしご中心位置で身体のバランスを崩した場合を想定して実施した。人体ダミーは、墜落開始直後に脚をはしごの踏み棧にぶつけ、その後更に地面へ落下したものの、墜落防止対策の土台となる設備により、地面への衝突を防止することができた。合計3回の試験を同条件で実施したが同様の結果が得られた。

実験時にロードセルで計測した結果を表1に示す。また、このうちのひとつの実験で得られた荷重の時刻歴を図8に示す。本実験において安全ブロックに作用した荷重は平均で2.6kN程度(最大で3.1kN程度)であった。これは、使用した安全ブロックがショックアブソーバ付きのものであり、その設計荷重(ショックアブソーバが作動開始する荷重)は約2.8kNのものであったことによるものと考えられる。そしてこの荷重を支持するため、移動はしご、屋根軒先及び固定ロープに荷重が伝達されていると考えられる。この点、はしごを固定するロープに作用した引張荷重は最大で0.7kN程度であり、当該ロープを固定する構造物に必要とされる強度は、それほど必要ないことが分かる。

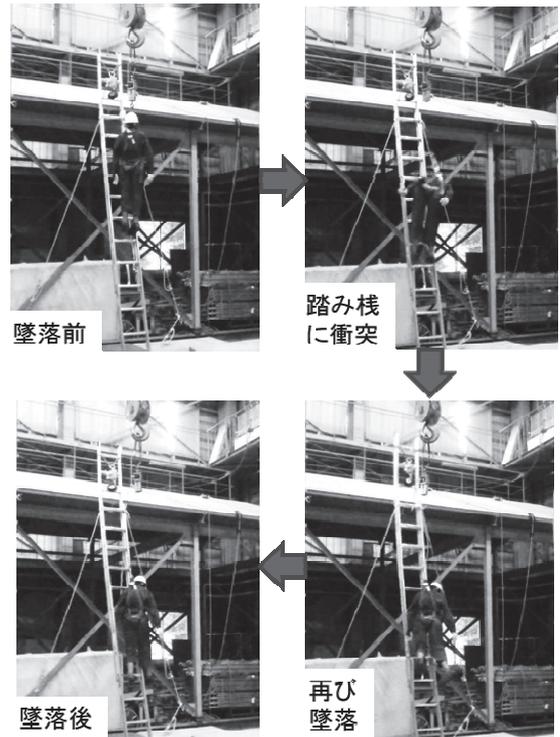


図7 はしご昇降時の墜落を想定した実験の連続写真

表1 はしご昇降時の墜落を想定した実験において安全ブロックおよび4本の固定ロープに作用した最大荷重 (kN)

	実験1	実験2	実験3	平均
固定ロープ(左上)	0.30	0.05	0.57	0.30
固定ロープ(右上)	0.25	0.13	0.68	0.35
固定ロープ(左下)	0.22	0.05	0.31	0.19
固定ロープ(左上)	0.25	0.16	0.45	0.29
安全ブロック	2.29	2.55	3.08	2.64

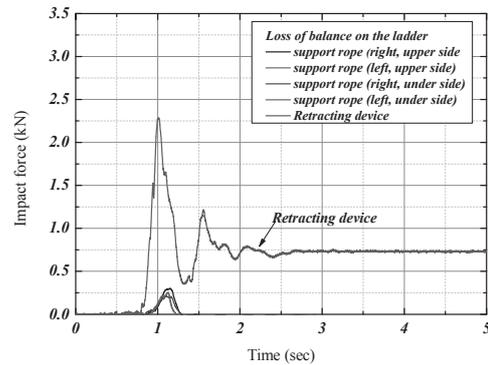


図8 はしご昇降時の墜落を想定した実験において安全ブロックおよび4本の固定ロープに作用した荷重の時刻歴

(2) はしごから屋根へ乗り移る際の墜落防止効果の検証

図9に、移動はしごから屋根への乗り移りを想定した実験の連続写真を示す。軒先の高さは地上から約4mで

あり、身長約 175cm の人体ダミーの足裏部分を軒先と同じ高さから落下させた。なお、人体ダミーと屋根軒先との間隔は、人体ダミーが屋根軒先にぶつからない程度の間隔を持たせ、屋根・はしごに向かって右側から落下させた。地面への衝突阻止時において、移動はしごが大きく曲げ荷重を受け、はしごが右側に向かって湾曲したものの、墜落防止対策の土台となる設備によって、すべての実験において地面への衝突を防止することができた。その際に得られた計測結果を表 2 に示す。またこのうちのひとつの実験で得られた荷重の時刻歴を図 10 に示す。本実験において安全ブロックに作用した荷重は、平均で 2.95kN 程度（最大で 3.2kN 程度）であり、おおよそ移動はしごからの墜落を想定した実験結果と同程度の荷重となった。これは、先に説明したとおり、安全ブロックのショックアブソーバの設計荷重が約 2.8kN であったため

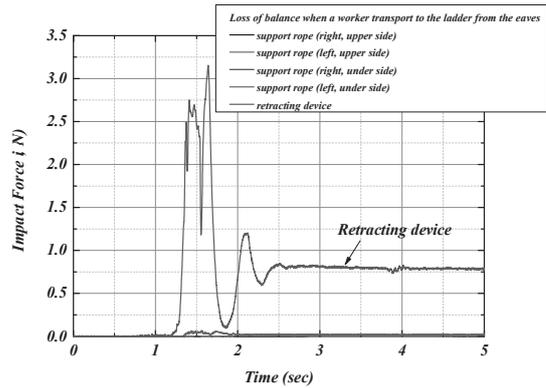


図 10 はしごから屋根軒先へ乗り移る際の墜落を模擬した実験において安全ブロックおよび移動はしごの 4 本の固定ロープに作用した荷重の時刻歴

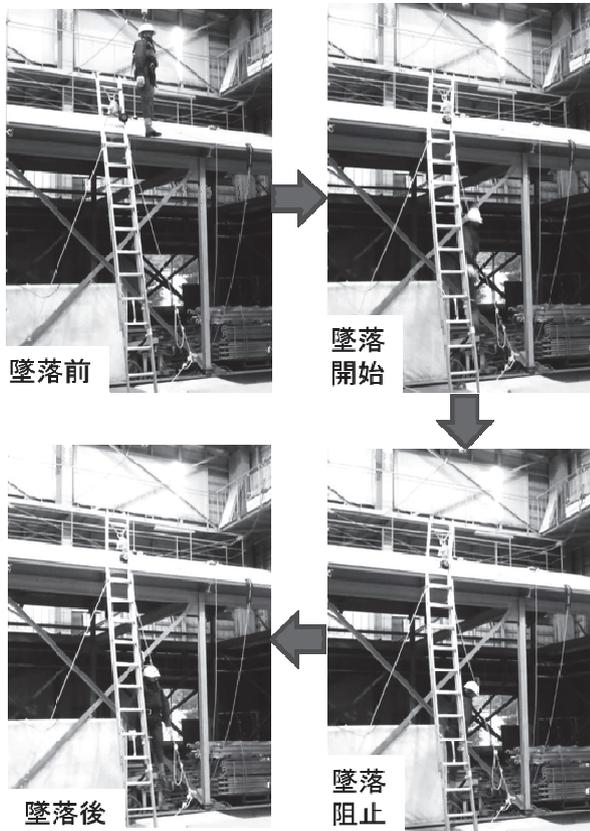


図 9 はしごから屋根軒先へ乗り移る際の墜落を模擬した実験の連続写真

表 2 はしごから屋根軒先へ乗り移る際の墜落を模擬した実験において安全ブロックおよび 4 本の移動はしごの固定ロープに作用した最大荷重 (kN)

	実験 1	実験 2	実験 3	平均
固定ロープ (左上)	-0.01	0.15	0.12	0.08
固定ロープ (右上)	0.07	0.00	0.06	0.04
固定ロープ (左下)	0.03	0.10	0.09	0.07
固定ロープ (右上)	0.07	0.01	0.07	0.05
安全ブロック	3.15	2.98	2.72	2.95

と考えられる。

注目すべきは固定ロープに作用した荷重である。いずれの結果においても、非常に小さな値を示している。このことから、垂直落下に近い挙動を示す墜落においては、固定ロープに要求される強度は非常に小さいと言える。なお、一部において荷重がマイナスとなる箇所があるが、これは固定ロープを移動はしごに連結する際にあらかじめ付加されていた張力が抜けたことによるものである。

(3) 屋根上からの墜落防止効果の検証

本実験では、屋根表面にテフロンシートを貼り付けて実験を行った (図 5、図 6 の屋根表面の白い部分)。これは、人体ダミーが屋根滑落時に受ける屋根表面からの摩擦の影響を最小限とし、その落下速度を現実の現場で想定される以上の速度を確保することで、最も厳しい条件での実験結果を得るためである。実験条件としては、屋根勾配を 4 寸とし、安全ブロックのストラップをはしご支柱の外側に通して、移動はしごの固定ロープ (下端部) の間隔を一間 (1.8 m) としたものを基本として検討を行った。なお人体ダミーは、はしごに向かって 50cm 程度右側を滑落するように設定した。

本研究で提案する工法は、図 2 に示した墜落防止対策の基本となる土台を用いて、屋根上に最初の一本目の垂直親綱を設置するものである。垂直親綱を設置する過程において、屋根滑落のリスクが最も高いと考えられるのが、はしごを昇降したのち「屋根軒先から屋根棟に向かって移動して、屋根棟を超える直前に身体のバランスを崩す場合」である。屋根軒先から屋根棟を超えるまでに要する時間は、実質的には数秒程度と推測され、このような場面で屋根滑落が発生する可能性は低いものと推測されるが、ここでは上記のリスクの高さを勘案して、屋根棟付近で身体のバランスを崩した場面を想定した実験を行った。

図 11 に、屋根棟付近で身体のバランスを崩し、軒先から転落するまでの過程を連続写真で示す。このような場

面を想定した合計3回の試験において、いずれにおいても人体ダミーの地面への衝突を防ぐことが確認された。

表3に移動はしご固定ロープと安全ブロックに作用した荷重の最大値を示す。また図12には、各ロードセルで測定された荷重の時刻歴を示す。安全ブロックに作用した荷重は平均で2.6kN程度（最大で2.9kN程度）であった。また、移動はしごの固定ロープに作用した最大荷重は、固定ロープに作用する荷重（右上）で平均1.1kN程度であった。この荷重と固定ロープに作用する荷重（左上）を合わせた荷重が、はしごに曲げモーメントを生じさせていると考えられる。また固定ロープの下端部においては、0.3kN程度の荷重が負荷されていたことが分かる。固定ロープに作用する荷重としては、これまでの3種類の実験で最も大きな値となっているが、安全ブロックに作用する荷重と比較すると上端部ではその半分程度、下端部ではその1/10程度であることが分かる。安全ブ

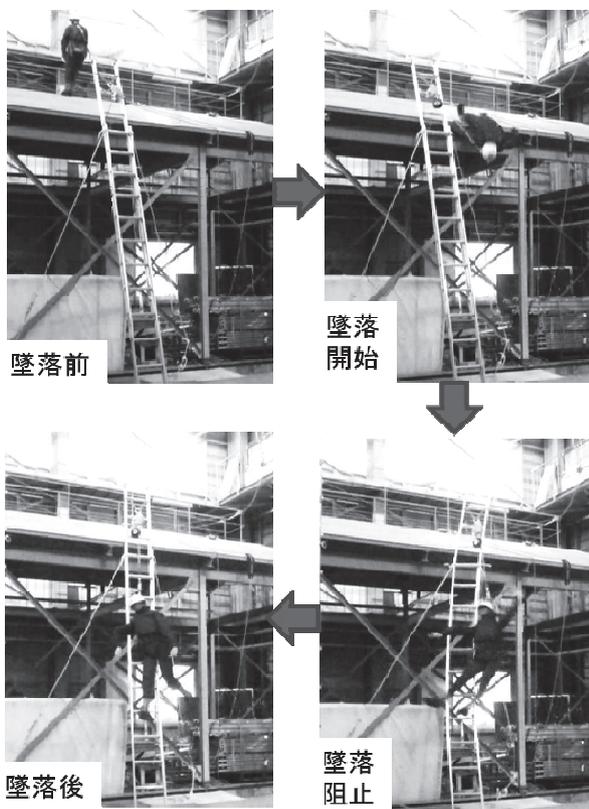


図11 屋根棟付近で身体のバランスを崩して滑落する状況を模擬した実験の連続写真

表3 屋根棟付近で身体のバランスを崩し滑落する状況を模擬した実験において安全ブロックおよび4本の固定ロープに作用した最大荷重 (kN)

	実験1	実験2	実験3	平均
固定ロープ(左上)	0.06	0.13	0.18	0.12
固定ロープ(右上)	0.71	1.12	1.32	1.05
固定ロープ(左下)	0.00	0.09	0.12	0.07
固定ロープ(右上)	0.13	0.21	0.23	0.19
安全ブロック	2.73	2.23	2.86	2.61

ックに作用する荷重は、ショックアブソーバを用いることで、おおよそ同程度の値になることが想定されるため、これら固定ロープに作用する荷重としても、この程度になることが推測される。

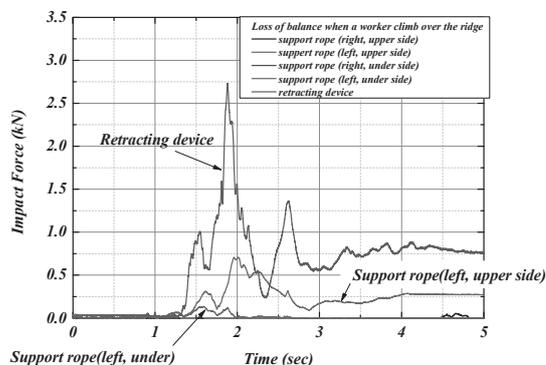


図12 屋根棟付近で身体のバランスを崩して滑落する状況を模擬した実験において安全ブロックおよび4本の固定ロープに作用した荷重の時刻歴

(4)その他実験条件を変化させた場合の実験結果

これまでの実験結果に加えて、「安全ブロックのストラップの設置方法の違いの影響」、「屋根勾配の違いによる影響」および「ロープ下端の固定位置の幅が異なる場合の影響」について実験を行った。それぞれの実験結果を図13、図14、図15に示す。

安全ブロックのストラップの設置方法の違いとして、ストラップをはしご支柱の内側を通した実験では、はしご踏み棧に落下時の荷重が負荷され、踏み棧がはしご支柱から抜け出して、移動はしごが倒壊した(図13)。2本のはしご支柱に開けた穴を通し、折り曲げて定着させた踏み棧などでは、衝撃力に対する耐力が比較的小さいものが含まれているものと推測される。また本実験のような使用条件下では、踏み棧に均等な荷重が作用しないと推測され、これが踏み棧の抜け出す要因として考えられる。

屋根勾配を4寸から6寸に変えた実験では、4寸の場合と同様、落体の地面への衝突を防ぐことが確認できた(図14参照)。また下端部の固定ロープの設置幅については、移動はしごを拘束した際の剛性を確保し、墜落阻止時の移動はしごの移動を拘束する意味では一間程度が望ましいと考えられるが、一間から四間に変えた試験においても、落体の地面への衝突を防ぐことが確認できた(図15参照)。

5 実験結果の考察

(1)本工法で使用する移動はしごの必要性

労働者の作業内容として、「はしご昇降時」、「はしごから屋根へ乗り移る時」、「屋根上での作業時」の3種類をパラメータとして実験を行った結果、安全ブロックに作用する荷重は、ショックアブソーバの設計荷重に近い値(2.8kN程度)となること、そしてこの程度の荷重を移



図 13 安全ブロックのストラップをはしご支柱の内側を通した場合の実験結果



図 14 屋根勾配を 6 寸とした場合の実験結果

動はしごが受ける場合は、はしご支柱に残留変位は生じる場合も見られるものの、破壊に至らないことが分かった。この点、JIS 規格に定められた移動はしごの性能は、図 16 の通りである。JIS 規格に適合する移動はしごは、軸方向の性能として、軽作業用で 2kN、業務用では 2.6kN の鉛直荷重をバランス良く踏み棧に載荷し、除荷した際に異常がない事が確かめられている。また曲げに対する性能としては、軽作業用で 1kN、業務用で 1.3kN の荷重

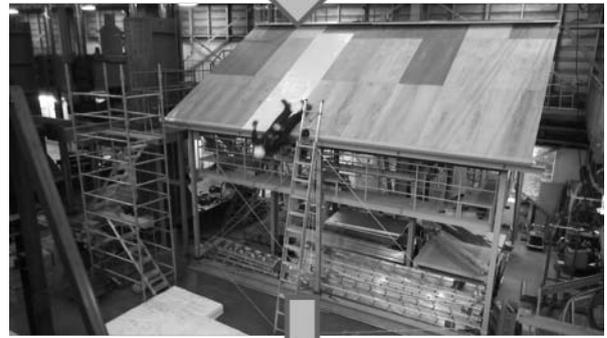


図 15 固定ロープ下端部の設置間隔を四間とした場合の実験結果

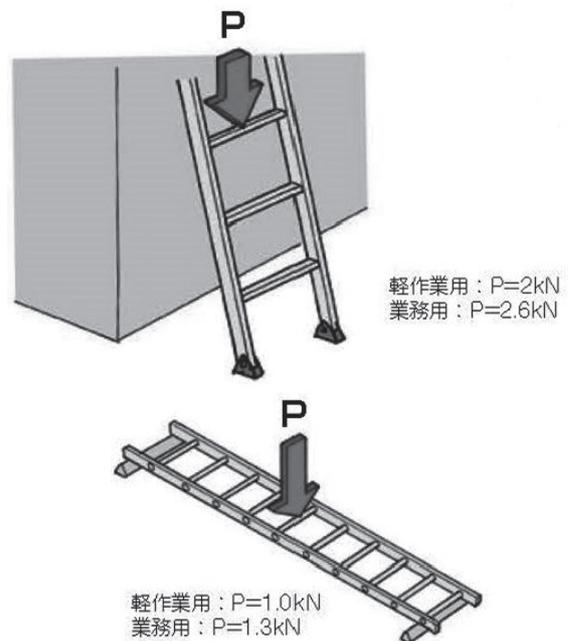


図 16 JIS 規格に規定する荷重試験

を図のように載荷し、除荷した際に異常がないことが確かめられている。

一方、本研究で提案する工法において、例えば屋根棟から屋根面を滑落する場合を考えてみる。図 17 のように、安全ブロックに作用する荷重 F は、おおよそ移動はしごに軸力として作用する荷重と曲げモーメントを生じさせる荷重として作用する。つまり、安全ブロックに作用する荷重が移動はしごの軸方向に平行に近くなるほど、移動はしごに作用する軸力は大きくなり、曲げ荷重は反対に小さくなる関係となる。

ここで、図 17 に示すように移動はしごの設置角度 75° に対し、落体が屋根勾配（4 寸勾配の場合は約 22° ）と平行方向に落下し、安全ブロックに作用する荷重 F が 2.8kN 程度である、といったおおまかな仮定をすると、移動はしごには、 1.7kN ($F_2 = F \cdot \cos 53^\circ$) 程度の軸力が作用することになる。この荷重は、JIS 規格で規定する検定荷重よりも小さな値となっている。一方、移動はしごに作用する曲げモーメントは、おおよそ 2.2kN ($F_1 = F \cdot \sin 53^\circ$) 程度の荷重に腕の長さ（固定ロープの上端部の取付箇所と安全ブロックの台付けロープ取付箇所までの距離）を乗じたモーメントが生ずると考えられる。この腕の長さは、屋根軒先からの移動はしごの突き出し長さを約 60cm と仮定すれば、 0.7m 程度（踏み棧で 3 本分程度）と考えられる。この場合、移動はしごに作用するモーメントは $1.54\text{kN} \cdot \text{m}$ ($= 2.2\text{kN} \times 0.7\text{m}$) となる。この点、軒先 4m の屋根では全長として 6m 程度以上の二段はしごが用いられることが考えられるため、例えば JIS 規格に適合する全長 6m の二段はしごを用いた場合、軽作業用の移動はしごでは $1.5\text{kN} \cdot \text{m}$ ($= 1\text{kN} \times 6\text{m} \div 4$)、業務用のものでは $1.95\text{kN} \cdot \text{m}$ ($= 1.3\text{kN} \times 6\text{m} \div 4$) のモーメントに対して弾性範囲内にとどまる性能を有している。この点、JIS 規格に適合する移動はしごに検定用荷重を載荷した際の曲げモーメントの大きさと、上記仮定により算出した曲げモーメントを比較すると、軽作業用においては若干上回るものの、ほぼ等しい値となっている。JIS の検定用荷重は、移動はしごが弾性範囲内に収まることを確認するためのものである。また使用材料であるアルミニウム合金は塑性変形後の靱性能に優れており、そしてこの程度の荷重に対して倒壊しないことが本実験により示された。これらを勘案すれば、JIS 規格に適合する移動はしごを利用すれば、墜落阻止時に移動はしごに残留変位を残す可能性はあるものの、適切な使用条件のもとで利用可能と考えられる。

なお本実験は、業務用ではなく軽作業用の移動はしごを用いて検討を行ったものである。上記のおおまかな仮定に基づく計算結果によると、軽作業用を用いた場合には、移動はしごは、墜落阻止時に作用する荷重・曲げモーメントによって弾性範囲を超える可能性が示され、また実験結果においても、移動はしごが弾性範囲を超える場合が観察された。このことから、本工法の利用に際しては、JIS 規格でも業務用の移動はしごを利用することが推奨される。また、 2.8kN 程度以上の軸方向荷重に耐

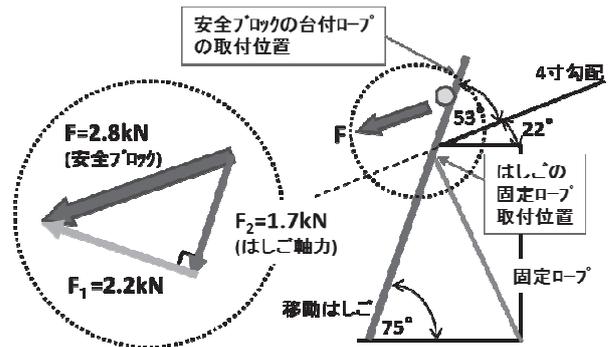


図 17 はしごに作用する荷重（屋根滑落時）

えうることが確認された製品の開発・流通・使用が本来的には望まれる。

(2)固定ロープの取付箇所に必要なとされる強度

表 1、表 2、表 3 の結果から、移動はしごを固定するロープの取付箇所に要求される強度はあまり大きいものではなく、 2kN 程度あれば十分なことが分かる。これは、墜落阻止時に固定ロープが伸びることにより、落下エネルギーを吸収しているためと考えられる。なお本実験では、固定ロープとして JIS 規格に適合する 12mm のナイロンロープを用いた。同規格で求められる性能 (19kN の引張荷重をかけた際に破断せず、かつある程度の伸びが期待できる) を有するナイロンロープを固定ロープに使用することが推奨される。

(3)地上にて移動はしごを人が支える対策について

移動はしごを昇降する際、“人が移動はしごを支える方法”が一般的に普及している。しかし、本研究の結果を踏まえると、移動はしごの上端部（地上から屋根軒先の高さ： 4m 程度以上）に 100 キロ～ 200 キロの荷重が作用することが想定されるが、これを地上にて人が転倒を防ぐことは原則として困難と考えられる。このことから、移動はしごを使用する際には、人が支えるのではなく、はしごを固定する措置が推奨される。また、災害発生事例を分析すると、屋根作業開始時には移動はしごを支える人がいるものの、作業中あるいは作業終了時では、転倒防止策がない状態で移動はしごを使用し墜落する事例が見うけられる。作業開始前から移動はしごを固定しておけば、それを支える人がいなくとも、移動はしごの移動・転倒に起因する災害発生リスクを低減できると考えられる。

6 まとめ

本研究は、東日本大震災に起因して、災害復旧工事等、短期間に終了する工事における新しい墜落防止対策について検討を行ったものである。本研究で提案した工法の墜落防止効果を実物大屋根と人体ダミーを用いて検討した結果、地面への衝突を防ぐことができることが確認された。ただし本実験で得られた成果は、限られた実験により得られたものであり、より広範な利用のためには更

なる検討が必要と考えられる。具体的な本工法の使用
方法・使用に際しての注意点等については、後述する「屋
根作業における新しい墜落防止対策の提案」を参照され
たい。

参 考 文 献

- 1) 建設業労働災害防止協会：建設業安全衛生年鑑，2013年10
月
- 2) 日野泰道，日本の災害復旧工事における主要な労働災害，安
全工学シンポジウム，p508-509，安全工学シンポジウム2012
講演予稿集，2012年7月
- 3) JIS規格：アルミニウム合金製脚立およびはしご，2013年3
月改正版
- 4) 労働省産業安全研究所：安全帯構造指針，産業安全研究所技
術指針，1999年3月
- 5) 一般社団法人全国建設業労災互助会，独立行政法人労働安全
衛生総合研究所：墜落災害防止のための安全帯の使用方法に
ついて(ハーネス型安全帯と胴ベルト型安全帯の比較等)，
2014年3月
- 6) Yasumichi HINO, Katsutoshi OHDO and Hiroki Takahashi,
Experimental study on fundamental performance of safety belts for
fall prevention, International conference on fall prevention and
protection, October, 2013, Tokyo, Japan