

5. 傾斜屋根面からの滑落特性

永田久雄*, 高梨成次*, 河尻義正*

5. Sliding Properties on Pitched Roofing Surfaces

by Hisao NAGATA*, Seiji TAKANASHI* and Yoshimasa KAWAJIRI*

Abstract: A lot of occupational accidents caused by falls are occurring especially in the construction industries. According to statistics of occupational accidents of the year 1998, 43% of fatal accidents in the construction industries in Japan are caused by falls from roofs, scaffolding, ladders, eaves, girders etc. The ratio of fatal falls has been gradually increasing year by year. The wooden house construction sectors have more accidents than other sectors.

In order to obtain safety data for preventing fatal falls from pitched roofs of wooden houses, sliding properties on various roofing materials are being studied by utilizing a suitably dressed dummy, shoes, tools and building materials on an adjustable pitched experimental roof. The five roofing materials are tested for sliding properties such as zinc galvanized steel sheet, plywood, Japanese tiled roof, slate shingle roof and bitumen felt. Sliding properties are three kinds of footwear such as sneaker, safety shoes and Japanese split-toes socks with rubber sole (*jikatabi*).

The results of experiments are summarized as follows:

- (1) There are no distinct differences among measured values of coefficient of dynamic sliding resistance of the dummy at different degrees of inclination of a roof.
- (2) When the dummy is sliding on a roof, the most slippery roof is covered with zinc galvanized steel sheet.
- (3) As for footwear, coefficients of dynamic sliding resistance between dry and wet surfaces show remarkably large differences.
- (4) The coefficient of sliding resistance of *jikatabi* largely decreases on wet surfaces of zinc galvanized steel sheet.
- (5) The coefficient of dynamic sliding resistance of *jikatabi* on wet surfaces shows 72% lower than one on dry surfaces. When it rains while working on a roof, the coefficient of sliding resistance can suddenly decrease and sometimes can trigger fatal accidents.
- (6) Sneakers show relatively higher frictional properties on wet surfaces than the other footwear such as safety shoes and *jikatabi*.

Keywords; Fall, Roof, Slip, Roofing work

1. はじめに

1998年度の労働災害の統計¹⁾²⁾によれば、建設工事における墜落災害の死亡者数は減少してきているが、墜落災害の占める割合は近年増加傾向が見られ、43%を

占めている。特に、建設工事のなかでもビル・住宅などの建築工事による墜落死亡者は全建設工事中の墜落死亡者の56%を占めている。建築工事の中でも木造建築工事での墜落災害が38%を占めており、多くは「梁、母屋」や「屋根など」からの墜落が多い。

* 建設安全研究部 Construction Safety Research Division

当研究所では木造建築工事での墜落災害を防止するために、小規模建築工事用ブラケット側足場³⁾、木造建築工事に関する墜落災害に関する調査⁴⁾、屋根作業時の親綱システムの具備条件に関する実験研究⁵⁾を行ってきた。本報では、屋根面上から滑り落ちる事故の防止を目的に、滑落特性の解明に関する研究を行った。晴天時・雨天時を想定したダミーの滑落時の滑り特性を実験的に求めるだけでなく、履物、工具、建築材料などの滑落特性も明らかにし、労働基準監督官、安全管理者、墜落防護設備メーカーなどに具体的な安全資料を提供することを主たる目的としている。ただし、屋根からの墜落には、バランスを崩して横転し、転がりながら落下する場合と、不意の滑りにより体のバランスを崩して滑り落ちる場合がある。転がり落下は、屋根面が滑りにくい状態でも起こる現象である。本研究では、転がり落下は扱わず、屋根面での滑落特性を研究対象とした。

2. 研究方法

2.1 測定の基本的な方法

屋根上での滑落災害は、滑らないと思って作業していたところ、不意に滑り出し体のバランスを取る間もなく、そのまま軒先まで滑落して地上に墜落するといった経過をたどる。その場合に、履物などと屋根面間の最大静止摩擦係数と動摩擦係数の差が大きいくほど危険性が高まると考えられる。不意の滑り抵抗の減少が体のバランスを崩す大きな原因となるためである。安全面から不意の滑りを評価するために、最大静止摩擦と動摩擦係数の差を問題にする必要がある。しかし、最大静止摩擦係数は、測定条件により計測値のバラツキが大きく同定がむずかしい。本報では、最大静止摩擦係数と動摩擦係数の差に関する検討は今後の課題とした。しかし、作業中に雨が降り出した場合を想定して、乾きの表面状態から濡れることにより突然に減少する摩擦係数については検討した。

通常は、動摩擦係数は最大静止摩擦係数より小さく、動摩擦係数が高いほど滑落速度は遅くなり、軒先から落下する迄に作業者が体勢を立て直しやすくなる。その意味で動摩擦係数が低くなるにつれて滑落による危険性が高まることになる。しかし、瓦屋根のように凹凸がある場合には飛び跳ねながら滑落する場合もあり、常に接触面が安定している物理学的な定義の動摩擦係数とは異なる。そこで、本報では、一般的に使用される「動摩擦」と若干異なることから、滑落中の屋根面との飛びはね効果も含めた全体的な滑り抵抗特性を表すために、「動摩擦係数」でなく「滑り抵抗係数」と称

して区別して用いることにした。

2.2 実規模屋根実験装置

通常の日家屋の住宅屋根の勾配は、4寸から7寸勾配が多い。神社仏閣の屋根では、10寸勾配(45度)以上となるところもある。建築分野では、屋根勾配を「寸」単位で表記するが、本文では「tan値」を用い、例えば、「6寸勾配(31度)」は、「0.6」と表記する。実験に用いた屋根面の広さは、長さ6.1m×幅3.1mで最大傾斜角は45度である。実験装置の全景をPhoto 1に示す。

屋根は、水平に並べた一文字葺きのカラー垂鉛引鉄板葺屋根(以下、トタン葺屋根と記す)、釉薬付き和風粘土瓦葺屋根(以下、瓦葺屋根と記す)、住宅用平板化粧スレート瓦葺屋根、アスファルトフェルト敷屋根(以下、防水シート敷屋根と記す)、野地板に合板を用いた屋根(以下、合板下地屋根と記す)を実験に使用した。なお、実験で用いた防水シートはアスファルトをしみこませた厚紙の表面に砂が吹き付けてある(JISA6005—厚さ1mm重さ1kg/m²)。ここで、滑りやすい合板下地屋根と滑りにくいスレート瓦葺屋根は、Photo 1に見られるように、同じ屋根面を2分して製作した。その他の屋根葺き材については、それぞれ長さ6.1m×幅3.1mの屋根パネルごとに製作した。

滑落実験では人間の代わりにダミーを使用して実験を行った。屋根上部から、Photo 2に示すようにダミーを滑落させることができたようにした。ダミー頭部を



Photo 1 Adjustable pitched roof (pitch 0.6).
勾配可変型の屋根(設定勾配0.6)



Photo 2 The dummy on Japanese tiled roof.
瓦葺屋根上のダミー

電磁切り離し器を介して吊り上げている。ダミーの体型は体重 61 kg, 身長 167 cm (航空自衛隊パイロットの 50 パーセントタイル値) である。体内部の構造部には炭素鋼と一部アルミニウム合金を使用し, 体の表面は発砲ウレタンで覆っており, 関節部はボルトナットによる締め付けである。ダミーに作業服と安全靴, 安全帯を着用させた。小雨程度の濡れ状態をつくるために, 屋根上部より水道水をホースで霧状に噴霧させる方法をとった。

2.3 滑落時の滑り抵抗係数の測定法

1) 計測理論

屋根面を滑る物体の滑り抵抗係数 μ_k は下式により求められる。但し, 重力加速度 g (9.8 m/s), 屋根勾配 θ (度), 落下加速度 α (m/s²) とする。

$$\mu_k = \tan \theta - \frac{\alpha}{g \cdot \cos \theta} \quad (1)$$

滑落加速度の主な計測法は, 次の 4 通りがある。

- ① 速度を求めその測定値を微分して求める方法
- ② 加速度センサーから直接求める方法
- ③ ある滑落点での速度 V , そこからの滑落区間内の距離 d と落下時間 t から加速度は次式で求められる。

$$\alpha = \frac{2d}{t^2} \left(1 - \frac{Vt^2}{d} \right) \quad (2)$$

- ④ 滑落通過点 a, b, c で, 距離 $(a-b)$ 間を d_1 , 距離 $(b-c)$ 間を d_2 , それぞれの区間の通過時間を



Photo 3 Speed meter on an inclined roof.
傾斜屋根に接地した速度計

t_1 と t_2 として次式で加速度が求められる。

$$\alpha = \frac{2 \left(\frac{d_2}{t_2} - \frac{d_1}{t_1} \right)}{(t_1 + t_2)} \quad (3)$$

正確に滑り抵抗係数を求めるには, 滑落区間で等加速度で滑落していることが必要である。しかし, 最大静止摩擦力は動摩擦力より大きいために, 傾斜面に静止している物体を滑らせるために, 最初は後ろから力を加えて押し出すようにする。その時に滑り開始直後から等加速度運動に必ずしもならない場合がある。③, ④の方法は, 滑落区間を定めて測定するために, 等加速度運動であるかどうかの確認ができない。①, ②の方法は, 定常加速度範囲を求めて, 任意の滑落地点間での滑り抵抗係数が計測でき滑り抵抗係数の計測精度はより高まる。但し, ②の方法は, 加速度センサーは, 僅かな変位であっても衝撃や振動を計測するため, ノイズが大きい。例えば, 瓦葺屋根の滑落では, 飛び跳ねるように滑落するために, 小さな物ほど振動ノイズを多く拾うだけでなく, 飛びはねた際に加速度センサーの測定方向が大きく変化してしまい, 測定誤差が大きくなる。実験では, ①の方法により計測することにした。

2) 滑落加速度の計測法

Photo 3 に示す速度計は, 紐の伸びで速度を計測する方式である。パルスエンコーダー方式で巻き取りドラムが 1 回転すると 1000 パルスが発生する。サンプリング間隔は 2 msec である。測定精度 ± 2 mm となる。最大 50m までの運動を測定できる。紐を滑落する物体に取り付け, 滑落時の紐の伸びから滑落速度を測定し, その結果を実時間でパソコンに取り込みデジタルフィルターを使用してノイズを除去し, 実測結果から変動率 (dv/dt) を計算し加速度を求めた。速度計の測定値の校正は, レーザー速度計 (キーエンス社製 FC2000, FC2010) と当研究所で開発したりニアクセ

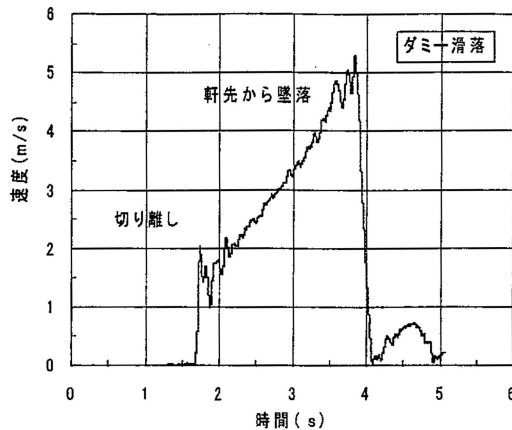


Fig. 1 Example of speed measurements.
速度の測定例

ラレーター（直線加速装置）⁶⁾を用いて行った。その結果、速度計の測定精度が高く信頼性があることが確認できた。

本測定器の欠点は、減速時に紐がゆるみ正確に計測できないことである。本報での利用は滑落時の加速状態のみであることから、紐のゆるみはほとんど見られない。但し、紐を本体に常に巻き戻す機構が働き、滑落を阻害するために、測定中は紐の巻き戻し用モーターの働きを停止させる改造を行った。速度計からの出力はA/D変換して、パソコンに取り込んでから光磁気ディスクに転送した。そのデータから等加速度範囲を確認してから、(1)式より滑り抵抗係数を算出した。ダミーの滑落時の速度の測定例を Fig. 1 に示す。

2.4 測定内容

1) 屋根の設定勾配とダミーの滑り抵抗係数

ダミーの滑落は、頭頂部を吊り上げ、電磁切り離し器を使用して切り離す方法を取った。ダミーの大腿部と体幹部の角度は約45度になるように屋根に設置し、速度計測用の紐を頭頂部に取り付けた。

設定勾配が測定値にどの程度影響を与えるのかを知るための実験を行った。トタン葺屋根と合板下地屋根に関して計測した。設定勾配は、0.45 (24.2度), 0.5 (26.6度), 0.6 (31.0度), 0.7 (35.0度), 0.8 (38.7度), 0.9 (42.0度) である。ただし、予備実験段階で滑落時にダミーが着用している安全靴と屋根面との接触により計測値が変動するために、本実験では安全靴のかわりに布製の作業靴下を履かせて滑落実験を行った。結果的には、より滑りやすい状況で計測したことになる。

2) 屋根葺材料別のダミーの滑り抵抗係数

作業服を着用させた人体ダミーを屋根葺き材料別に滑落させる実験を行った。トタン葺屋根、瓦葺屋根、スレート瓦葺屋根、下地状態での摩擦特性を調べるため

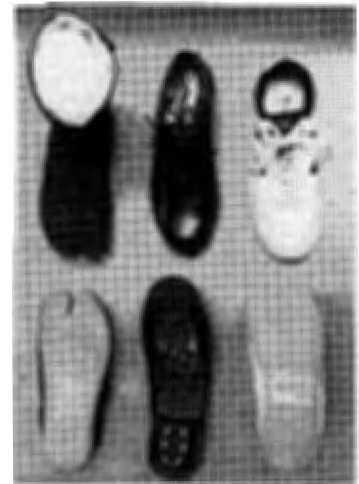


Photo 4 Testing shoes.
試験靴

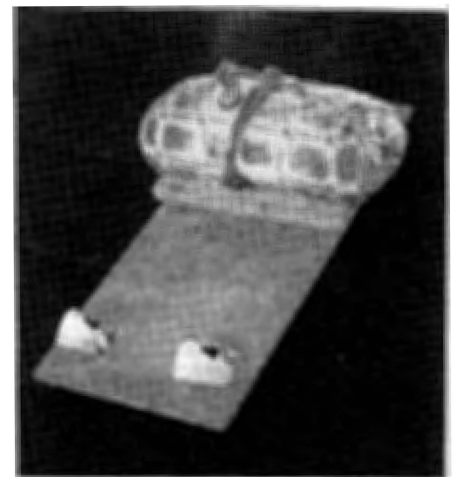


Photo 5 Sliding board fixed with testing shoes on zinc galvanized steel sheet.
トタン葺上の実験用履物の取付け板

に、防水シート敷屋根、合板下地屋根での滑落実験を行った。設定勾配はそれぞれ滑り抵抗係数の大きさに応じて計測した。

3) 履物別の滑り抵抗係数

履物は、Photo 4 に示すゴム底の地下足袋、ウレタン底の安全靴、ゴム底のスニーカーに関して計測した。地下足袋の靴底模様は、波状になっている、安全靴は星形のトレッドパターン、スニーカーは小さな長方形トレッドパターンであり、かつ、トレッドのエッジは丸みのない直角な作りになっている。このスニーカーは耐滑靴として市販されている。

滑りやすいトタン葺屋根と合板下地屋根について履物の滑り抵抗係数を測定した。但し、屋根傾斜面での作業を観察すると、必ず靴底前部（つま先部分）を接地させて体を支えている。このことから、測定では、靴底

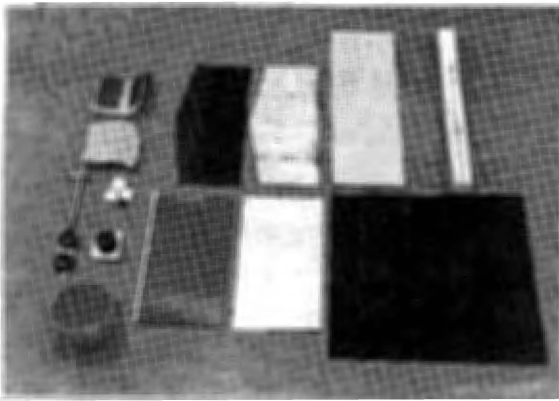


Photo 6 Tools and roofing materials for testing coefficient of sliding resistance on various roofs.
工具・屋根葺材料

Table 1 Sliding materials and their weights.
滑落材料と重さ

材料名	重り kg	総重量 kg
① 瓦材 (2枚使用)	0	5.6
② スレート瓦材 (2枚使用)	0	5.5
③ 合板 (1200 × 300 × 21 mm)	0	5.4
④ 角材 (1200 × 91 × 91 mm)	0	4.8
⑤ ハンマー	4	5.1
⑥ メジャー (3個使用)	4	5.1
⑦ ポリバケツ (8リットル)	5	5.3
⑧ トタン板 (795 × 430 mm)	4	5.1
⑨ 防水シート (1000 × 1000 × 1 mm)	4	5.0

前部が屋根材表面に接触するように履物を取り付けるための取付け板を製作した。Photo 5 に示すような板 (1200 × 525 × 21 mm) の山側と谷側に2カ所ずつ計4カ所の矩形の穴を開けて、そこに靴を入れて前足部のみが接地するようにした。写真では山側の靴は、砂袋の下に隠れている。靴の山と谷間の寸法は、940 mm、横方向の寸法は340 mmである。谷側と山側間の6:4の位置に75 kgの砂袋 (長さ約700 × 直径約250 mm) を載せて、板の中心より山側により近く載せて、傾斜面で谷側の履物を中心として砂袋が回転モーメントにより山側が浮き上がるのを防いだ。

4) 工具、材料の滑落特性

合板材、防水シート、スレート瓦材、瓦材のそれぞれの材質で葺かれた屋根上で、工具・材料を滑らせて滑り抵抗係数を求めた。工具・材料は、Photo 6 に示されているように、左上から右に①掛棧瓦 (表と裏)、②スレート瓦 (表と裏)、③合板、④角材である。左下か

ら右に⑤ハンマー (下に重り)、⑥メジャー3個 (下に重り)、⑦ポリバケツ、⑧トタン部材 (表と裏)、⑨防水シートの9種である。なお、掛棧瓦は、瓦葺屋根の内部に用いられる瓦で、端部用はけらば瓦、軒先部用は一文字瓦が使用される。速度計の紐を引き出すのに僅かな力 (0.9N) が必要である。そこで、紐を引き出す力を無視できるように、軽い場合には重りを載せて全体で約5~6 kg程度になるようにして、重さで紐の僅かな引き出し力の影響を取り除くようにした。Table 1 に滑落実験用の工具、材料の寸法と重さを示した。

3. 測定結果

3.1 実験屋根の設定勾配とダミーの滑り抵抗係数

各5回の計測結果の滑り抵抗係数の平均値を Fig. 2 に示す。図から、測定時の設定勾配に大きな影響を受けることなく、滑り抵抗係数がほぼ一定となる。これは、Fig. 3 から分かるように、落下速度が増大しても滑り抵抗係数はほぼ一定となる。5回の計測値の変動係数 (標準偏差/平均値 × 100) は、1.7~3.8%の範囲であるが、スレート瓦葺屋根の設定勾配を0.9に設定した時のみ、6.1%となる。それでも変動係数は小さいことから、実験では特に共通した屋根勾配でなく、材料などの滑り抵抗係数に応じた勾配を適宜決めて行うことにした。実測では測定対象物の滑り抵抗係数より幾分大きな屋根勾配に設定することにした。5回の計測による変動係数が低いことから、計測回数も5回から3回に減じて大きな誤差は生じないと判断した。なお、Fig. 2 のスレート瓦葺屋根では、設定勾配が0.7以下では滑らないために滑り抵抗係数の計測は不能となっている。

実測ではダミーの吊り上げ位置は固定されているため、急勾配になるにつれて、滑落開始点から軒先までの滑落距離が長くなる。実験で使用したダミーの軒先からの飛出し速度は、合板下地屋根で屋根勾配ごとに Fig. 3 のようになった。屋根勾配にほぼ比例して増大している。このことは、滑り抵抗係数が設定角度にかかわらず一定であるから滑落速度に関連なく一定値を示すことを意味している。

3.2 屋根葺材料別のダミーの滑り抵抗係数

屋根葺材料別にダミーを滑落させた時の滑り抵抗係数を各3回計測した。計測時の設定勾配を0.8に設定したのは、乾燥時の防水シート敷屋根とスレート葺屋根である。設定勾配を0.6に設定したのは、濡れ状態の合板下地屋根、トタン葺屋根のみで、それ以外の計測は全て設定勾配を0.7に設定した。

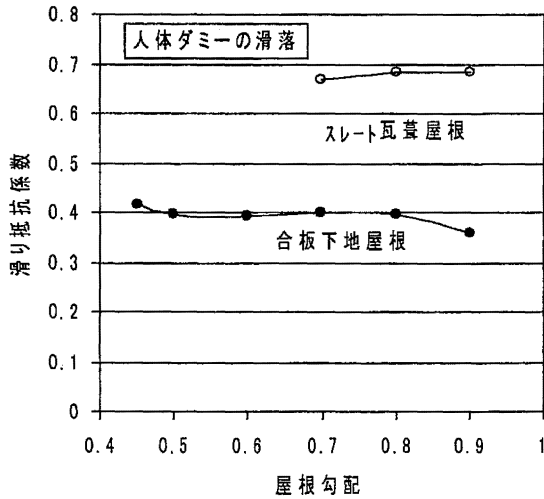


Fig. 2 Coefficient of sliding resistance of the dummy by degrees of inclination on an experimental roof.
屋根勾配と滑り抵抗係数

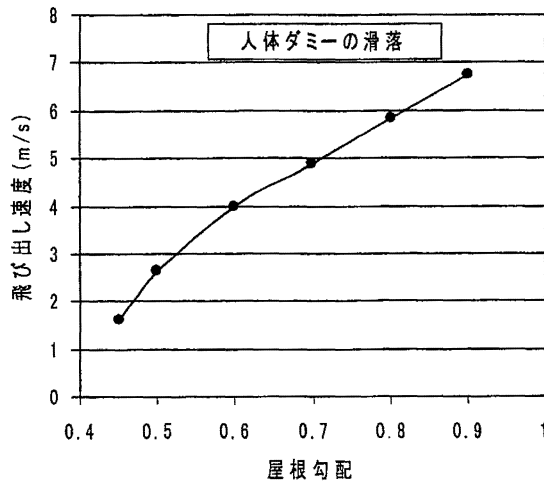


Fig. 3 Falling speed of the dummy at the eaves of the roof.
軒先での飛び出し速度と屋根勾配

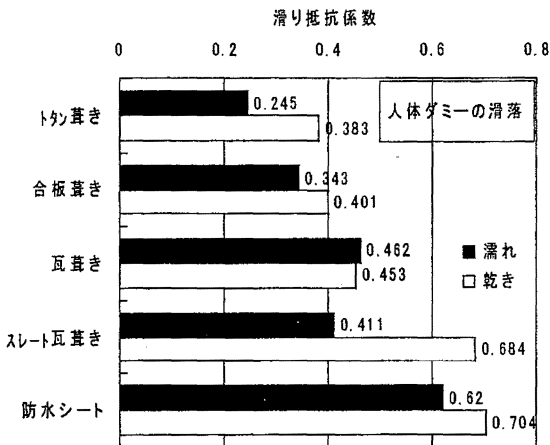


Fig. 4 Coefficient of sliding resistance of the dummy on roofing surface materials.
ダミーの屋根葺材質別の滑り抵抗係数

Table 2 Decreased ratio of coefficient of sliding resistance on wet roof surfaces.
濡れた屋根面での屋根材の滑り抵抗低減率

屋根葺材	低減率 (%)
トタン	36
合板	14
瓦	—
スレート	40
防水シート	12

乾き濡れ共に、最も低い滑り抵抗係数となったのはトタン葺屋根である。最も高いのが防水シート敷屋根で、次いでスレート瓦葺屋根である。乾きと濡れ別の滑り抵抗係数差を見てみると、スレート瓦葺屋根は乾き状態の時は、0.684 と高いが、濡れ状態では 0.411 となり、Table 2 に示すように、40%ほどの低減率となっている。この低減率は濡れることによる乾いた状態からの滑り抵抗係数の減少値をその時の乾いた状態での滑り抵抗係数値で除して百分率で表示した値である。以下、この割合を滑り抵抗低減率あるいは低減率と記す。トタン葺屋根は、0.383 から 0.245 と 36%減じている。瓦葺屋根では、乾き、濡れ別の滑り抵抗係数の差がほとんどない。瓦葺屋根からの滑落では、瓦の凹凸により、ダミーが波打つように滑落する状態が観察された。

3.3 履物別の滑り抵抗係数

滑り抵抗係数の比較的低いトタン葺屋根と合板下地屋根について、靴底材別に滑り抵抗係数を計測した結果を Fig. 5 に示す。屋根表面が濡れた状態では、設定勾配 0.6、乾燥状態では設定勾配 0.9 で計測した。乾きでは滑り抵抗係数にほとんど履物差は見られない。いずれも滑り抵抗係数は 0.774 から 0.840 までの高い範囲内にある。しかし、濡れると滑り抵抗係数が大幅に減じている。合板下地屋根よりトタン葺屋根の方が全体的に滑りやすい。特に、トタン葺屋根では地下足袋で最も滑りやすく、スニーカーで最も高い値となっている。滑り抵抗低減率を Table 3 に示す。滑り抵抗低減率の大きいのはトタン葺屋根で、地下足袋、安全靴、スニーカーの順となっている。地下足袋、安全靴は特に高い値を示している。合板下地屋根では、滑り抵抗低減率は約 56~64%の範囲内で、大きい方から安全靴、スニーカー、地下足袋の順となっている。

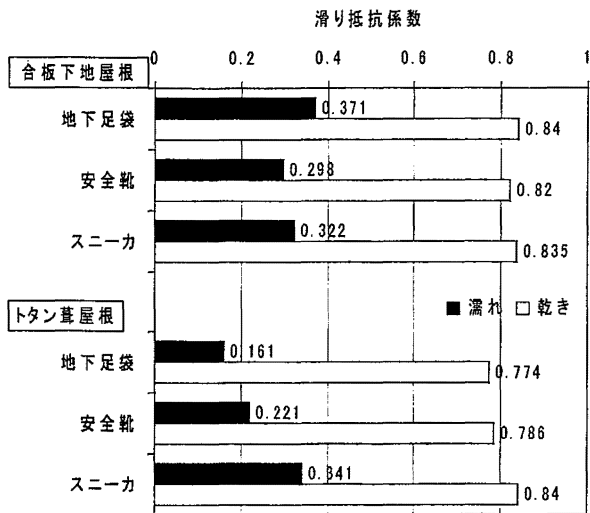


Fig. 5 Coefficient of sliding resistance between shoe sole and roofing materials.
履物の靴底材別の滑り抵抗係数

Table 3 Decreased ratio of coefficient of sliding resistance of footwear on wet roof surfaces.
濡れた屋根面での履物の滑り抵抗低減率

履物	屋根葺材	低減率 (%)
地下足袋	トタン葺屋根	79
	合板下地屋根	56
安全靴	トタン葺屋根	72
	合板下地屋根	64
運動靴	トタン葺屋根	59
	合板下地屋根	61

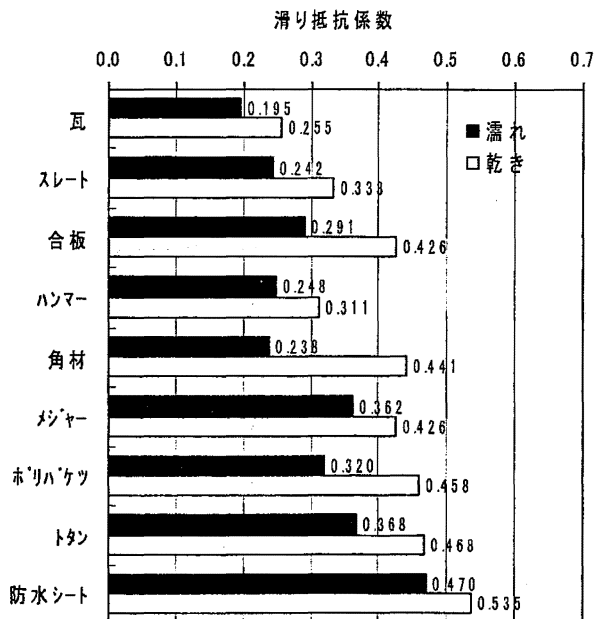


Fig. 6 Coefficient of sliding resistance of various materials on galvanized iron sheet.
トタン葺屋根からの滑落時の滑り抵抗係数

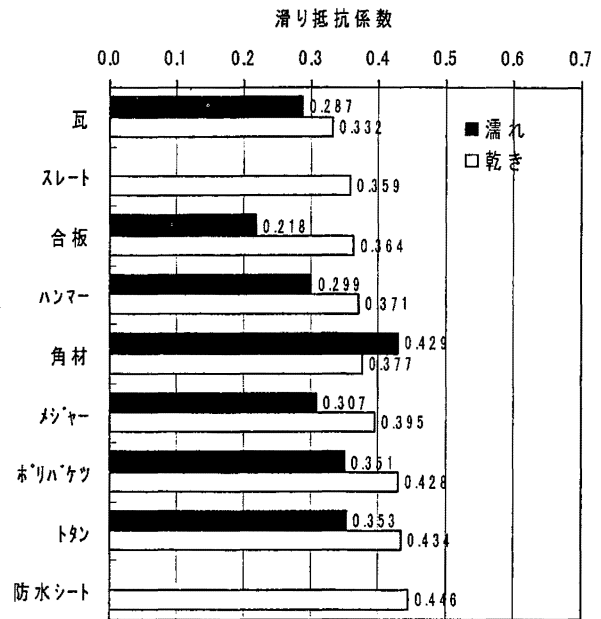


Fig. 7 Coefficient of sliding resistance of various materials on a plywood roofing materials.
合板下地屋根からの滑落時の滑り抵抗係数

3.4 工具、材料の滑落特性

1) トタン葺屋根からの滑落

実験時の屋根勾配は0.6に設定した。トタン葺屋根での工具・材料の滑り抵抗係数の測定結果を Fig. 6 に示す。乾き、濡れ共に最も低い滑り抵抗係数を示したのは、瓦である。次いで低いのが、乾きではハンマー、スレート瓦と続き、濡れでは、角材、スレート瓦材、ハンマー、合板となっている。表面がなめらかな材料・工具が低くなる傾向がある。逆に、乾き、濡れ共に滑り抵抗係数が非常に高い材料は、砂状の荒い表面を有する防水シートである。

トタン葺屋根が濡れると、滑り抵抗係数が全ての材料で減少するが、その中でも、滑り抵抗低減率が最も大きいのが角材(46%)で、次いで、合板(32%)、ポリバケツ(30%)、スレート瓦(27%)、瓦(24%)となる。逆に、滑り抵抗低減率が最も低いのが、防水シート(12%)である。いずれも、滑り抵抗低減率が大きくなるのは平滑な表面を有する材料である。

2) 合板下地屋根からの滑落

屋根の設定勾配は乾きで0.7、濡れで0.6である。合板下地屋根面での測定結果を Fig. 7 に示す。濡れると防水シート、スレート瓦が合板下地屋根の表面に貼りつき、押し止まり滑落が発生しない現象が見られた。角材も濡れている方が滑り抵抗係数が高い。このように、屋根面と平滑な表面との密着度が関連している。乾きでは、滑り抵抗係数が0.32~0.45の狭い範囲

内に収束している。濡れによる滑り抵抗低減率は、合板 (40%) が格段に大きく、次いで、メジャー (22%)、ハンマー (19%)、トタン (19%)、ポリバケツ (18%) である。

乾きで最も低い滑り抵抗係数を示したのが、瓦材である。逆に、最も高いのが、防水シートである。濡れでは合板材が最も低い。

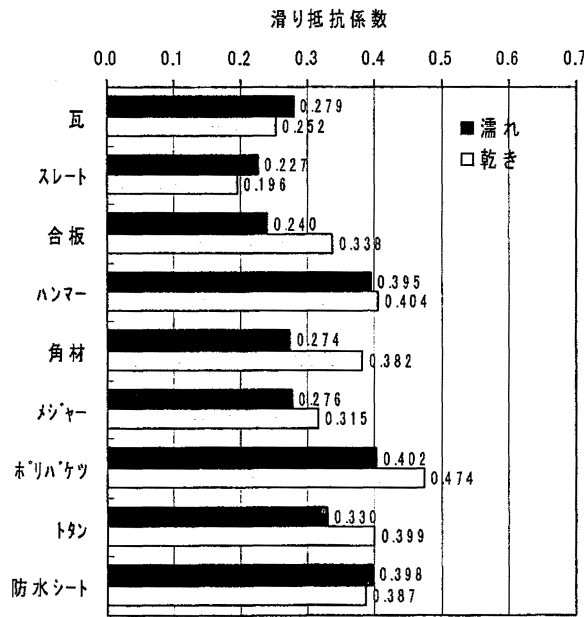


Fig. 8 Coefficient of sliding resistance of various materials on the Japanese tiled roof.
瓦葺屋根からの滑落時の滑り抵抗係数

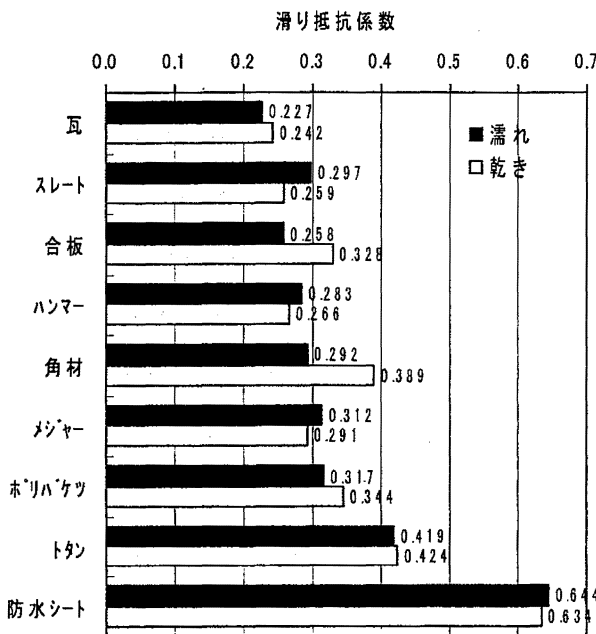


Fig. 9 Coefficient of sliding resistance of various materials on the slate shingle roof.
スレート瓦葺屋根からの滑落時の滑り抵抗係数

3) 瓦葺屋根からの滑落

屋根の設定勾配は0.7とした。測定結果を Fig. 8 に示す。乾き、濡れとの滑り抵抗係数の差が比較的小さい傾向が見られるのが特徴的であるが、角材や合板のように1200 mmの長さがある材料のみが、乾き、濡れの差が大きくなる。ハンマーのように大きく飛び跳ねながら滑落する場合は、滑り抵抗係数が大きくなると同時に、乾き、濡れの差が少ない。乾き濡れにかかわらず、最も低い滑り抵抗係数は、スレート瓦である。次いで、乾きで瓦、濡れで合板である。逆に、乾き、濡れそれぞれで滑り抵抗係数が最も高いのは、ポリバケツである。

濡れによる滑り抵抗低減率は、合板 (29%) が最も高く、次いで、角材 (28%)、トタン (17%)、その他ポリバケツ (15%)、メジャー (12%) となる。濡れで滑り抵抗係数が逆に高くなるのがスレート瓦、瓦、防水シートである。

4) スレート瓦葺き屋根からの滑落

屋根の設定勾配は0.7とした。測定結果を Fig. 9 に示す。防水シートの滑り抵抗係数が突出して大きい。これは、スレート瓦の砂状の表面と防水シートの砂状の面とが接触して摩擦が大きくなるためである。トタンも全体の傾向から見ると滑り抵抗係数が高い。これは、トタン板とこすれ合うためである。

一方、乾きで最も低い滑り抵抗係数を示したのが、瓦材である。濡れによる滑り抵抗係数低減率が高い滑落

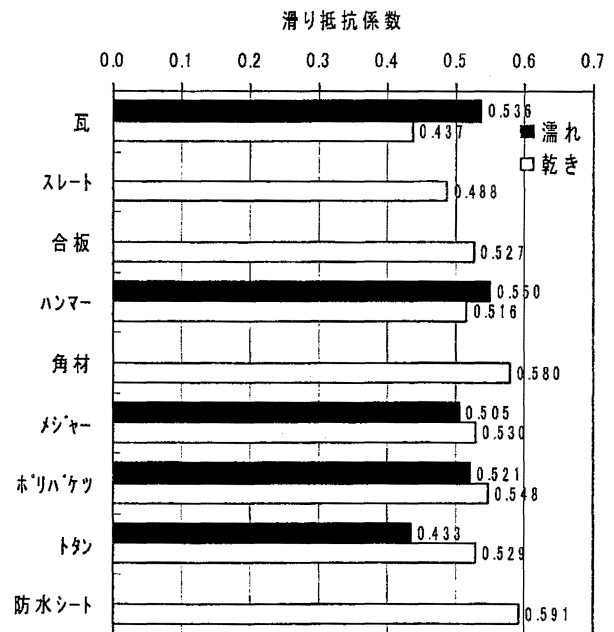


Fig. 10 Coefficient of sliding resistance of various materials on the roof covered with bitumen felt materials.
防水シート敷屋根からの滑落時の滑り抵抗係数

材料は、角材（25%）、合板（21%）である。濡れの方が逆に滑りにくいのが、スレート瓦、メジャー、ハンマー、防水シートである。

5) 防水シート敷屋根

屋根の設定勾配は0.7とした。防水シート敷屋根での測定結果を Fig. 10 に示す。滑り抵抗係数は他の屋根材と比較すると全体的に高く、かつ、屋根面に貼りついたのがスレート瓦、合板、角材、防水シートと多く、滑落が発生しても高い滑り抵抗係数となるのが瓦、ハンマーである。乾きで、最も低い滑り抵抗係数を示したのは瓦材、逆に、最も高いのが、防水シートである。滑り抵抗係数低減率が最も高いのがトタン材（18%）であるが、トタン材を除いて、濡れても滑り抵抗係数は大きく変化しないのが特徴である。比較的滑落する危険の少ない屋根面である。

4. 考 察

4.1 屋根作業中の雨

屋根面での作業で滑落を防止する上で大きな役割になっているのが履物である。Fig. 5 に図示したように、滑りやすいと言われるトタン葺屋根、合板下地屋根でも、乾きでは0.8前後の高い滑り抵抗係数となる。しかし、屋根面が濡れるとその摩擦抵抗は急速に失われてしまい、Table 3 に示されるように、滑り抵抗低減率が全て50%以上となっている。つまり、乾き、濡れ間での履物の滑り抵抗係数の差が非常に大きい。特に、トタン葺屋根上での地下足袋の滑り抵抗低減率が79%と最も大きく、濡れでは滑り抵抗係数は0.161と非常に低いのである。濡れたトタン上で作業することは非常に危険であるが、現在市販されている地下足袋では時に滑落の危険性が高い。

作業服を着せたダミーの滑落实験結果（Fig. 4）からも雨が降り出した場合に、滑りやすくなる最も危険な屋根は、トタン葺屋根であった。しかし、濡れていなくとも体のバランスを崩して横転すると、衣服の滑り抵抗が低いために滑落する危険がある。この意味で屋根作業では履物が重要な役割を担っている。

4.2 靴底材の模様特性

実験で用いた履物別の結果は、靴種が問題なのでなく、靴底のトレッドのデザインが問題となる。既に、筆者が行った履物の滑りの研究結果⁷⁾から、水などがある平滑な床面では次のような靴底のデザインの場合に耐滑性能が一般的に高まる。

- ・靴底面に水の逃げ道があること
- ・トレッドの角部が水の膜を切るために角ばっている

こと

- ・靴底面は面接触となり、点あるいは線接触とならないこと
- ・靴底が船底のように丸くなく平らであること
- ・トレッドの溝が深く、摩耗に対しても配慮されていること

地下足袋の底模様は Photo 4 に見られるように山形状になっている。これは、平らな屋根面と接触する場合に線接触となり、平滑面のトタン葺屋根では滑り抵抗係数が低くなる。一方、波状であっても表面に僅かな粗い面があるとそこで波状の先端が引っかかり滑落を止めることができ、滑り抵抗係数が高まる。そのために、Fig. 5 に示されるように合板下地屋根で高めの滑り抵抗係数が示されている。スニーカーのトレッドパターンは、平らな面を有し、水の流れを助ける溝があり、かつトレッドのエッジ部が鋭く、水の膜を切り素地にトレッド面を密着させることができる。そのために、トタン葺き屋根のような平滑面を有する材料でも摩擦抵抗が高くなる。本実験で使用した安全靴の底材のトレッドは星形であり、合板下地屋根でも接触面が点接触となり高い摩擦抵抗が出ない。このように地下足袋や安全靴の全ての耐滑性能が劣るわけではなく、底材の靴のトレッドのデザインが問題となるのである。

4.3 濡れ状態での材料と屋根面での貼り付き現象

屋根面が濡れると、トタン葺屋根を除いて材料が乾いている状態より滑り抵抗係数が高くなる場合が見られた。また、Fig. 7、Fig. 10 に見られるように濡れて材料が貼りつき滑り抵抗係数が測定ができない材料がある。材料が屋根面に貼りつく現象が防水シート敷屋根と合板下地屋根面に見られた。防水シート敷屋根では、スレート材（裏面は滑らかである）、合板材、角材、防水シート材は屋根面に貼りつき測定不能になった。合板下地屋根では、スレート瓦材、防水シート材が測定不能となった。いずれも貼りつく材料の全てが広い接触面を有している。貼りつく現象は、表面に砂状の滑り止め材が塗布されているスレート瓦葺屋根、段差の大きい瓦葺屋根、継ぎ目のあるトタンでは見られない。このことから、濡れると貼りつくのは、双方が滑らかな面を有しているために、水の表面張力の働きで強く引きつけられるためであると推察される。

4.4 瓦葺屋根上などの凹凸面での滑落現象

瓦葺屋根では、ダミーの滑落实験結果（Fig. 4）でも表面の乾き、濡れにかかわらずほとんど滑り抵抗係数に差が見られない。工具や材料の実験結果（Fig. 8）でも、接触面の広い合板、角材、トタン材などを除い

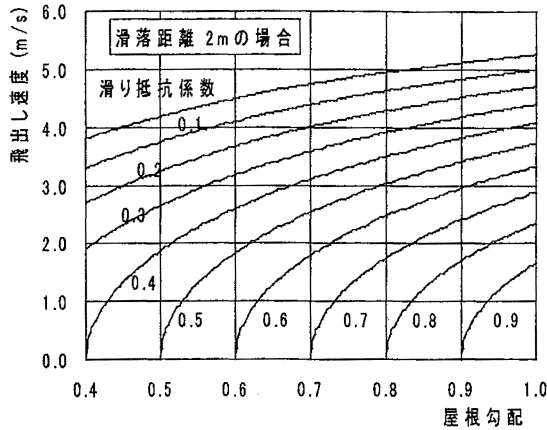


Fig. 11 Calculated falling velocities at the eaves of the roof by degrees of inclination of an experimental roof.
屋根勾配と軒先からの飛出し速度

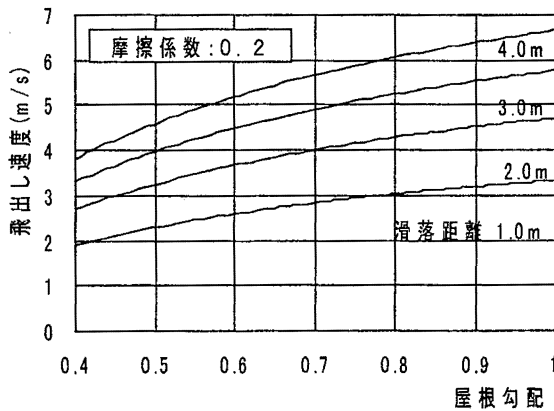


Fig. 12 Calculated falling velocities at the eaves by degrees of inclination of an experimental roof.
屋根勾配と軒先からの飛出し速度

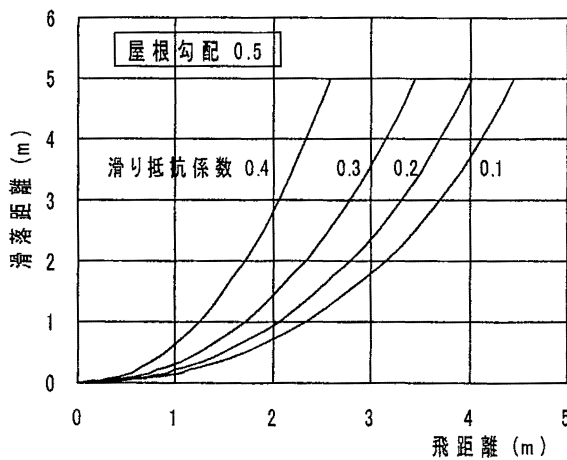


Fig. 13 Relations between sliding distance and horizontal distance from the eaves to point of fall.
滑落距離と飛距離の関係

て、滑落時にはねる場合は、大きな滑り抵抗係数差が見られない。これは、瓦の凹凸による飛びはね現象が強く働いているために表面状態の影響が少ないためと推察される。

4.5 屋根上からの工具・材料の滑落

実験結果から住宅の屋根勾配の 0.5 程度で作業する場合に、ほとんどの工具・材料は滑落すると考えられる。特に、瓦の滑り抵抗係数は低く、防水シート敷屋根以外のトタン葺屋根、瓦葺屋根、合板下地屋根、スレート瓦葺屋根上で、乾きで 0.242~0.332 の範囲、濡れで 0.195~0.287 の範囲である。当初、屋根上に滑らないように静かに置くことができても、僅かな衝撃で動き出して滑落する危険が高いことを意味している。

4.6 軒先からの飛出し速度

屋根周囲に取り付ける手摺などの墜落防止設備の強度試験は、滑落物の重量と衝突速度が決定要因となる。つまり、作業者が滑落する際の軒先部の飛出し速度が問題となる。設定勾配と飛出し速度の関係は、滑り抵抗係数と屋根勾配を下式に代入して求めることができる。ここで、飛出し速度 v (m/s)、軒先までの滑落距離を s (m) とする。

$$v = \sqrt{2gs(\sin \theta - \mu \cdot \cos \theta)} \quad (4)$$

滑落距離を 2m とした場合の滑り抵抗係数と屋根勾配ごとの飛出し速度は Fig. 11 のようになる。滑落距離が変化する場合を Fig. 12 に示す。ここでは、トタン葺屋根で濡れた状態では、ダミーの滑り抵抗係数は 0.245 であるので、更に低い滑り抵抗係数 0.2 として滑落速度を求めた。

資料⁸⁾によれば墜落防止設備の強度試験では勾配 0.6 の模擬屋根から滑落泊具 (直径 50 cm, 長さ 1m, 重さ 60 kg, 外被は帆布) を 2m 滑らせる方法が提案されている。しかし、屋根表面材質が明確に規定されていないために、衝撃力の大きさを決定する飛出し速度が一定であるかどうかの保証がされていない。つまり、強度試験では、飛び出し速度が一定となるよう試験条件を規定すべきであろう。

4.7 地上までの飛距離

事故分析の際に滑落による飛距離から、逆に、屋根面での作業位置 (滑落距離) を求めることができる。軒先高さ h (m) とすると、落下時間 t (s) と飛距離 d (m) は次式で求められる。

$$t = \frac{1}{g} \left(\sqrt{(v \cdot \sin \theta)^2 + 2gh} - v \cdot \sin \theta \right) \quad (5)$$

$$d = t \cdot v \cos \theta \quad (6)$$

(4) 式を用いて、滑落距離 s (m) から飛出し速度 v (m/s) が求められるから、ここで、二階建て住宅を想定して、屋根勾配 0.5, 軒先高さ $h = 6$ m とすると飛距離 d (m) と滑落距離 s (m) の関係は式 (5), (6) から Fig. 13 のように描くことができる。

5. おわりに

屋根面からの滑落特性に関する実験から以下のような結果が得られた。

- ・ダミーの滑落实験では、屋根の設定勾配にかかわらず滑り抵抗係数に大きな誤差が見られない。
- ・ダミーの滑落实験では乾き、濡れ共にトタン葺屋根が最も低い滑り抵抗係数となった。
- ・履物の滑落实験では、乾きでは滑り抵抗係数 0.8 前後と高いが、濡れている状態では 0.3 前後になり、特に、トタン葺屋根で低くなる。
- ・実験で用いたスニーカー、安全靴、地下足袋の中で、トタン葺、合板下地屋根のいずれの場合もスニーカーは滑り抵抗係数が高い。但し、靴種でなく靴底のトレッドパターンによる効果である。
- ・履物の滑り抵抗低減率は、トタン葺屋根では、59～79%の範囲であり、合板下地屋根では、56～64%の範囲となっている。特に、地下足袋はトタン葺屋根の滑り抵抗低減率が 72% とその割合が最も大きい。

参考文献

- 1) 中央労働災害防止協会, 安全衛生年鑑平成 11 年版 (1999).
- 2) 建設業労働災害防止協会, 建設業安全衛生年鑑平成 11 年版 (1999).
- 3) 永田久雄, 江川義之, 小規模建築工事用ブラケット — 側足場の昇降設備に関する人間工学的研究 — ステップ付き斜材の人間工学的な研究, 労働省産業安全研究所技術資料, RIIS-TN-84-1 (1995).
- 4) 豊澤康之, 永田久雄, ビル建設工事及び木造家屋建築工事における墜落災害の調査分析, 労働省産業安全研究所研究資料, RIIS-RR-87, pp. 57～68 (1988).
- 5) 小川勝教, 中屋敷勝也, 木造住宅屋根工事用の親綱システムの具備条件, 高年齢作業者の墜落・転落災害防止に関する特別研究, 労働省産業安全研究所特別研究報告, RIIS-SRR-87, pp. 43～56 (1988).
- 6) 永田久雄, 急加速刺激を加えた場合の立位姿勢の安定性評価装置の開発, 人間工学, 27(4), pp. 221～223 (1991).
- 7) 永田久雄, 靴のすべりに関する研究, 靴の医学, (日本靴医学会機関誌), pp. 135～138, Vol. 8 (1995).
- 8) 仮設工業会, 木造家屋建築用墜落防止設備の性能等に関する調査研究報告 (1998).

(平成 12 年 9 月 4 日受理)