

3. 安全でかつ普及しやすい墜落・転落防止のための新たな機材の開発

研究代表者 大嶋勝利 独立行政法人労働安全衛生総合研究所上席研究員

研究要旨 本研究は、諸外国の墜落防止措置に関する規制状況や、すでに開発された工法の評価を通じ、安全性と普及しやすさの両方を考慮して、墜落・転落災害を防止するための新たな機材の開発を目指すものである。このため、足場からの墜落について、メッシュシートと作業床のすき間からの墜落する問題に着目し、そのすき間を完全に塞ぐ新たな墜落防止機材として、防護膜付メッシュシートを考案した。その安全性を確認するため、考案した機材と、墜落防止のため最低限必要な措置として諸外国の調査より明らかとなった、平成21年に改正された労働安全衛生規則による墜落防止措置について、両者の安全性を人体ダミーを用いた実験により比較した。その結果、安全面から考案した機材の優位性を確認することができた。また、手すり先行工法などの工法を普及させるための改善点の検討結果より、まずは作業員に使うて頂く事を考えた改良が、新しい機材の普及に有益であることが明らかとなった。そこで、作業員が簡単に使用できるように、考案した機材を、足場にワンタッチで取付できるフックを考案し、人体ダミーを用いた実験によりその墜落防止性能を確認することができた。さらに、手すり先行工法の評価結果を参考に、わく組足場の妻面に使用するタイプの先行手すり機材を試作した。

分担研究者

日野泰道・独立行政法人労働安全衛生総合研究所主任研究員

高橋弘樹・独立行政法人労働安全衛生総合研究所研究員

高梨成次・独立行政法人労働安全衛生総合研究所主任研究員

豊澤康男・独立行政法人労働安全衛生総合研究所研究企画調整部長

研究協力者

清水尚憲・独立行政法人労働安全衛生総合研究所上席研究員

の発生割合を鑑みると、さらなる対策が必要であり、そのためには墜落防止機材の普及しやすさや安全性の点でいくつかの課題が残されている。

これまで実施された仮設機材に関する研究は、機材の安全性についての研究が多く、新しい機材の普及を目指したものは国内外でほとんど行われていない。そこで、本研究では、これまでに行われてきた仮設機材の安全性や墜落防止措置に関する研究の知見、諸外国の墜落防止措置に関する規制状況調査や、すでに開発された工法の評価を通じ、安全でかつ普及しやすい墜落・転落防止のための新たな機材の開発を目的とする。

本研究の成果より、安全な新しい機材が幅広く普及する可能性があり、墜落・転落災害の大幅な減少が期待できる。特に本研究では、手すりからの墜落防止機材の開発に絞っているが、その成果を応用し、スレート屋根からの墜落防止機材に関しても別の研究で検討している。また、落下するという点で共通する飛来・落下災害なども多発しているため、本研究の成果を応用することにより、墜落・転落防止に加え飛来・落下などを防止する安全で普及しやすい機材の開発にも発展できると考える。

なお、第11次労働災害防止計画において

A. 研究目的

建設業における労働災害による死亡者数は、墜落によるものが最も多く平成20年は172人、平成21年は147人が死亡している。このような状況の中、各種ガイドライン制定など墜落防止対策が順次強化され一定の効果を上げているが、墜落による死亡災害の発生割合は依然として大きくなっている。このため、当研究所においても墜落災害防止に関する研究などを実施しており、各種ガイドライン制定に寄与するなどの成果を上げている。しかし、墜落による死亡災害

も、重点対策及びその目標として、建築物における作業などについて必要な措置を講じることにより、墜落・転落災害の更なる減少を図ることが掲げられている。また、同計画では、労働災害多発業種対策の建設業対策の中で、手すり先行工法の普及やスレート屋根などからの墜落・転落災害防止対策の強化が掲げられており、手すり先行工法などの評価や新たな機材の開発など、墜落防止措置について研究することは、同計画を推進する効果が高いと考える。

さらに、平成 21 年の改正労働安全衛生規則(以下、改正規則)により足場等からの墜落防止措置が強化されているが、本研究成果はそれを補うことを目指しており、さらなる墜落災害の防止に寄与できると考える。

B. 研究方法

本研究では、諸外国の規制状況やすでに開発された工法の評価を通じ、安全性と普及しやすさの両方の向上を考慮して、墜落・転落防止のための新たな機材を開発することを目指す。

このため、従来から課題とされているメッシュシートを用いた墜落防止の補助効果¹⁾について着目し、メッシュシートを改良した新たな機材を開発することとした。その際、諸外国の規制状況調査結果を加味した安全性の評価や、手すり先行工法等の工法の評価結果より、普及のため使用しやすさに着目したさらなる改良を行った。

また、手すり先行工法等の工法の評価結

果より、「妻面にも最初から手すりがあればよい」等の意見が得られている。そこで、新たな墜落防止機材として、わく組足場の妻面に使用するタイプの先行手すり機材を試作した。

以上の目的を達成するため、以下の項目について検討を行った。

1) メッシュシートと作業床のすき間を低減する方法

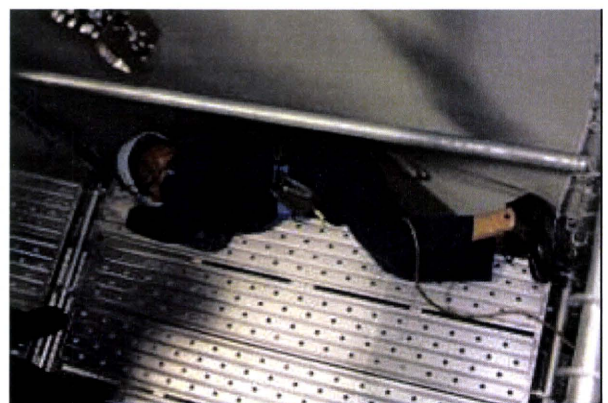
写真 1 は、典型的なわく組足場と単管足場にメッシュシートを法規どおり(平成 20 年現在)に取り付けた場合において、作業員が転んで交さ筋かいの下や手すりの下に潜り込んだ状態を、人体ダミーにより表したものである。写真 1 のように、交さ筋かいや手すりの下のわずかな空間において、人体が作業床とメッシュシートの間に倒れこんだ場合、両者の間のすき間が広がり墜落する恐れがある。

これらは、作業床と同じ水平レベル面で、倒れこんだ作業員による水平方向の荷重により、メッシュシートと作業床とのすき間が広がるためであり、その広がり方により墜落を誘発する恐れがあると考えられる。そこで、以下に示すように、作業床と同じ水平レベル面で、各種条件で張ったメッシュシートを水平方向に引っ張ることにより、その水平荷重とメッシュシートの水平移動量の関係を調べた。

図 1 に示すように、わく組足場の床付き布わくと同じ水平レベル面において、メッシュシートを滑車を介して錘により水平方



(a) わく組足場の場合



(b) 単管足場の場合

写真 1 作業員が転んで交さ筋かいの下や手すりの下に潜り込んだ状態

向に引っ張ることにより、その時の錘の重量（水平荷重）とメッシュシートの水平移動量の関係をワイヤロープ式変位変換器により調べた。その時の状況を、写真 2 に示す。水平荷重は、50Nから 400Nとした。

実験では、建わくの脚注に、メッシュシートを繊維ロープにより通常の使用状態で取り付けた場合を基本として、まずこの状態での水平荷重と水平変位量の関係を調べた。次に、床付き布わくのレベルにおいて、メッシュシートを写真 3 に示すように両サイドで金具により強力に固定した場合や、

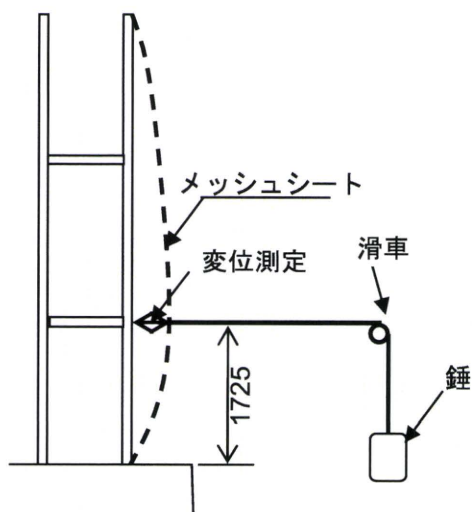


図 1 実験概要

写真 4 に示すようにメッシュシートを 2 枚重ねにして伸びを抑えた場合など、メッシュシートの張り方を試行錯誤しながらその水平移動量を抑える方策を模索した。

2) メッシュシートと作業床のすき間を完全に塞ぐ新たな墜落防止機材の考案と試作

1) では、メッシュシートと作業床のすき間を低減する方法について検討したが、ここではさらなる安全性の向上を目指し、そのすき間を完全に塞ぐ新たな墜落防止機材の考案と試作を行った。

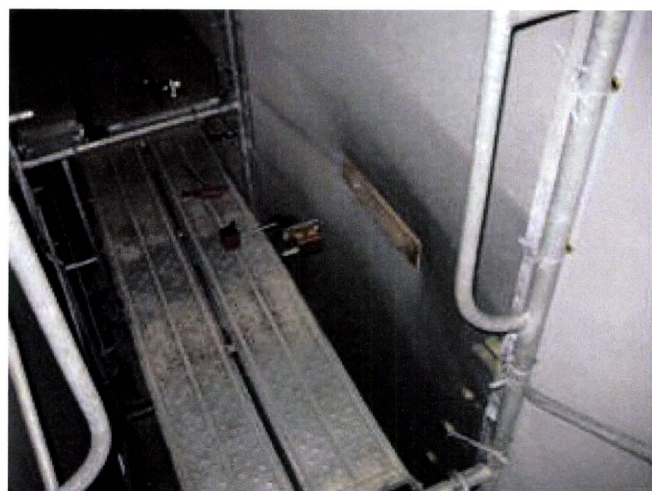


写真 2 メッシュシートの水平移動量の測定

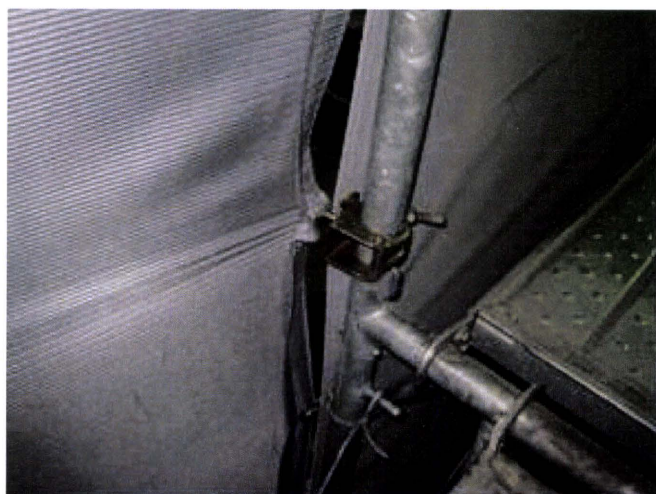


写真 3 両サイドで金具により強力に固定した場合

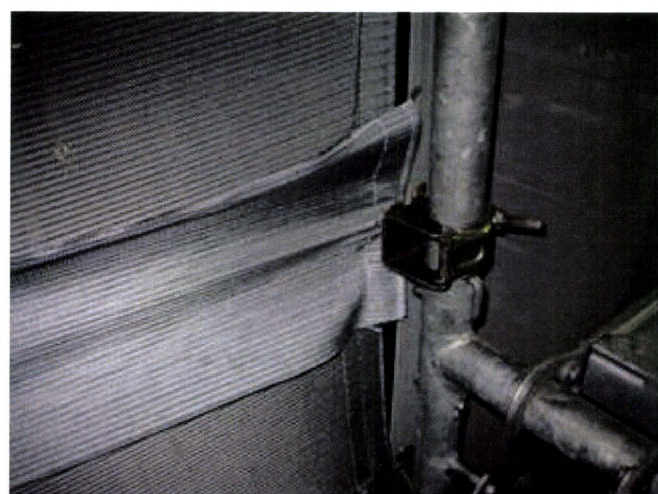


写真 4 メッシュシートを 2 枚重ねにして伸びを抑えた場合（金具併用）

このため、図 2 に示すようにメッシュシートを改良し、新たな墜落防止機材として防護膜付メッシュシートを考案し、その効果を検証するための実験を、落体としてサンドバッグと人体ダミーとを用いて行った。

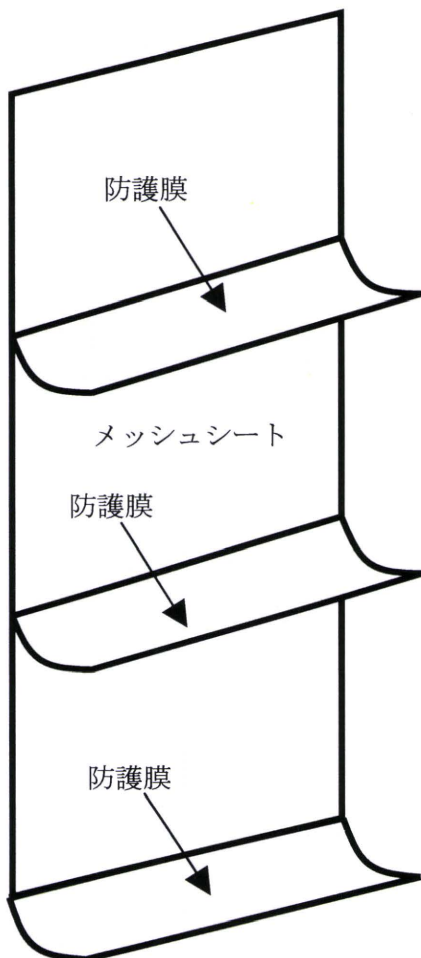


図 2 考案した防護膜付メッシュシート

考案した防護膜付メッシュシートは、通常の3層1スパンのメッシュシートに写真5に示すような防護膜を、作業床となる床付き布わくの位置において取り付けられたものである。防護膜は、通常のメッシュシートに縫って取り付けられた縫込み式と、写真6に示すようにアタッチメントで差し込んだ差し込み式の2種類を試作した。メッシュシートに取り付けた防護膜と床付き布わくとの固定方法は、防護膜の端に取り付けた4箇所のはとめを利用し、メッシュシートを足場に取り付けるための通常の繊維ロープなど、種々の材料を用いて試行した。

実験では、わく組み足場を使用し、滑り台を用いて落体を落下させた。その際、滑り台角度を43°とした。落体には質量75kgのサンドバッグ、又は四つん這いとした質量75kgの人体ダミーを用いた。人体ダミーを四つん這いとした時の床付き布わくから腰の中心までの高さは、写真7に示すように約400mmとした。落体の落下高さは当初640mmとした。これらの条件は、既往の検討例¹⁾において、最も人体ダミーが落下しやすい条件と整合性を合わせるために設定した。さらなる安全性を確認するため、落下高さを極端に高くして、1000mmとした実験も行った。

3) 考案した墜落防止機材の安全性の評価

諸外国の墜落防止措置に関する規制状況調査より、改正規則による墜落防止措置が、新たな墜落防止機材を開発する上で最低限必要な措置であることが明らかとなっている。

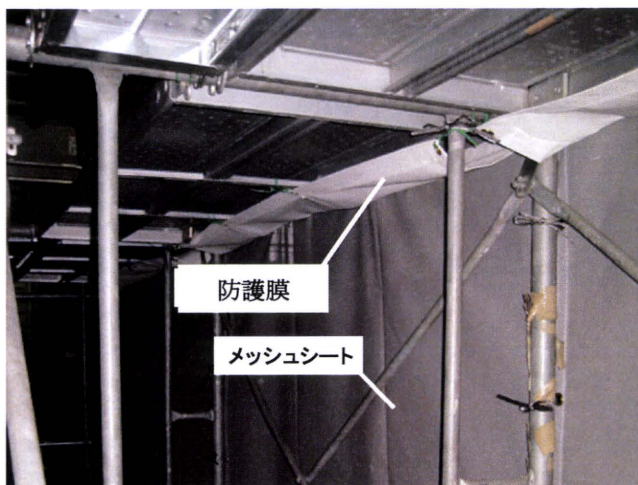


写真5 メッシュシートに取り付けた防護膜

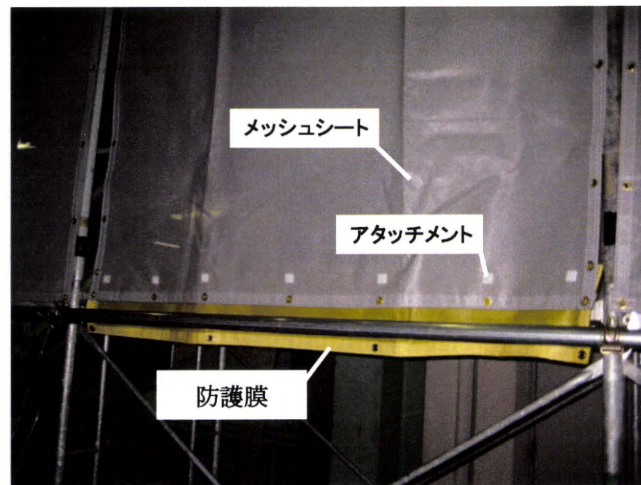


写真6 差し込み式の防護膜付メッシュシート



写真7 実験に用いた人体ダミーの落下姿勢



写真8 錘を取り付け 100kg とした人体ダミー

そこで、本研究では、考案した墜落防止機材である防護膜付メッシュシートについて改良を重ね、安全性を高めていくこととした。最終的には、その安全性と改正規則による墜落防止措置の安全性を、人体ダミーを用いた墜落実験により比較し、今後の普及を目指し安全面からその優位性について検討した。

実験方法は、2)の方法と同じとし、安全性を高めていくため人体ダミーの質量、錘を取り付け 85kg、100kg (写真8 参照) と高めていった。また、落下高さについては、写真9に示すように 1000mm とした。

4) 考案した墜落防止機材の使用しやすさに着目した改良

手すり先行工法などの工法を普及させるための改善点の検討結果より、まずは作業員に使っていただくことを考えた改良が、新しい墜落防止機材の普及に有益であることが明らかとなっている。

そこで、考案した新しい墜落防止機材の普及を促進する目的で、防護膜付メッシュシートの簡易な取付金具について検討を行い、その安全性を人体ダミーを用いた墜落実験により確認した。

実験方法については、2)の方法と同じとし、人体ダミーの質量と落下高さについては3)と同様とした。

5) わく組足場の妻面に使用するタイプの先行手すり機材の試作

手すり先行工法等の工法の評価結果より、「妻面にも最初から手すりがあればよい」等の意見が得られている。そこで、新たな墜落防止機材として、わく組足場の妻面に使用するタイプの先行手すり機材を試作した。



写真9 人体ダミーの落下高さ (1000mm)

C. 研究結果

1) メッシュシートと作業床のすき間を低減する方法

メッシュシートの張り方を試行錯誤した実験結果として、メッシュシートに作用する水平荷重とメッシュシートの水平移動量の関係を図 3 に示す。また、その時の条件を表 1 に示す。

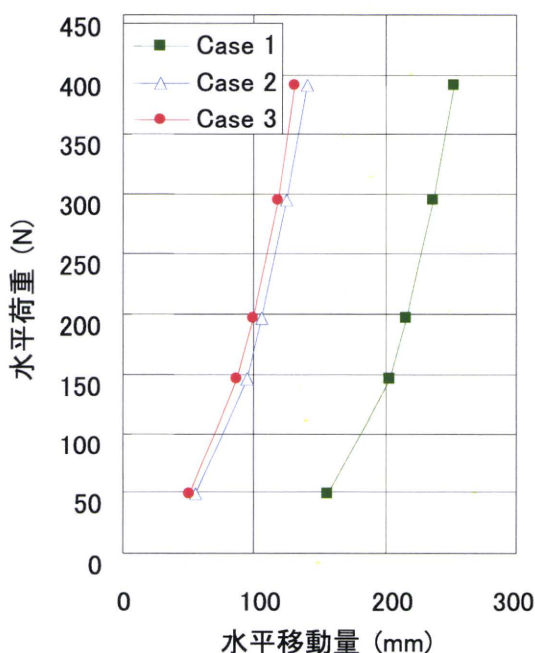


図 3 メッシュシートに作用する水平荷重とメッシュシートの水平移動量の関係

表 1 実験条件

実験ケース	条件
Case 1	通常の使用状態のように繊維ロープで取り付けられた場合
Case 2	金具を用いて取り付けられた場合
Case 3	金具を用いる+メッシュシートを 2 枚重ねた場合

Case 1 は、メッシュシートを通常の使用状態のように繊維ロープで取り付けられた場合、Case 2 は、金具を用いて取り付けられた場合、Case 3 は、金具+メッシュシートを 2 枚重ねた場合を表す。

ただし、メッシュシートには様々な種類があり、本研究ではその張り方や実現可能な方法について定量化できなかったため、水平移動量のある程度抑えることが可能である一例としてのみ示した。

図 3 より、メッシュシートを金具により強力に張った場合は、作業床とメッシュシートとのすき間の広がり（図 3 の水平移動量）を大幅に押さえることが可能となることが確認できた。また、メッシュシートを 2 枚重ねた場合には、作業床とメッシュシートとのすき間の広がりをわずかししか抑えることができなかった。

2) メッシュシートと作業床のすき間を完全に塞ぐ新たな墜落防止機材の考案と試作

新たな墜落防止機材として考案・試作した、防護膜付メッシュシートの効果を確認するための実験条件と実験結果を、それぞれ表 2、表 3 に示す。メッシュシートに取り付けた防護膜と床付き布わくの固定方法は、メッシュシートを足場に取り付けるための通常の繊維ロープ、直径 1mm の細い鋼線、2.3mm の太い鋼線と、徐々に強度の高い材料に変化させた。メッシュシートと床付き布わくの間隔 160mm は、本研究で使用した足場の最大間隔であり、最も墜落しやすい状況を再現したものである。

防護膜の種類を縫込み式とし、落体にサンドバッグを使用した場合、防護膜を床付き布わくに固定する材料として繊維ロープを使った実験①（写真 10、11 参照）、細い鋼線を使った実験②では、繊維ロープ又は細い鋼線が切れてサンドバッグが墜落した。太い鋼線を使った実験③（写真 12、13 参照）では、防護膜のはとめが 1 箇所切れたが、サンドバッグは墜落しなかった。これらのことから、太い鋼線以外では 75kg の落体を支えることができないと考えられたので、実験④以降の実験では防護膜を固定する材料を太い鋼線とした。

防護膜の種類を縫込み式とし、落体に人体ダミーを使用した場合、落体の落下高さ

を 640mm、1000mm とした場合においても、共に防護膜及び太い鋼線に異常はなく、人体ダミーは墜落しなかった(それぞれ実験④、実験⑤(写真 14、15 参照))。一方、防護膜を床付き布わくに固定しなかった実験⑥(写真 16、17 参照)では、人体ダミーが床付き布わくとメッシュシートの間から抜けるように墜落した。これらより、防護膜の種類を縫込み式とし、床付き布わくに一定太い鋼線で固定することで、人の墜落・転落を防ぐ可能性を高められることが確認できた。

防護膜の種類を差込み式とし、落体にサンドバッグを使用した実験⑦では、防護膜

を留めていたアタッチメントが外れてサンドバッグが墜落した。今回のアタッチメントを使った場合では、75kg の落体を支えることができないことがわかった。

表 2 実験条件

実験名	防護膜の種類	防護膜を固定した材料	シートと床付き布わくの間隔	滑り台角度	落下高さ	落体
実験①	縫込み式	繊維ロープ	160mm	43°	640mm	75kg のサンドバッグ
実験②	縫込み式	細い鋼線(直径 1mm)	160mm	43°	640mm	75kg のサンドバッグ
実験③	縫込み式	太い鋼線(直径 2.3mm)	160mm	43°	640mm	75kg のサンドバッグ
実験④	縫込み式	太い鋼線(直径 2.3mm)	160mm	43°	640mm	75kg の人体ダミー
実験⑤	縫込み式	太い鋼線(直径 2.3mm)	160mm	43°	1000mm	75kg の人体ダミー
実験⑥	縫込み式	なし	160mm	43°	640mm	75kg の人体ダミー
実験⑦	差込み式	太い鋼線(直径 2.3mm)	160mm	43°	640mm	75kg のサンドバッグ

表 3 実験結果

実験名	墜落の有無	防護膜の状態	防護膜を固定した材料の状態
実験①	墜落した	異常なし	ロープが切れた
実験②	墜落した	異常なし	鋼線が切れた
実験③	墜落せず	はとめが1箇所切れた	異常なし
実験④	墜落せず	異常なし	異常なし
実験⑤	墜落せず	異常なし	異常なし
実験⑥	墜落した	異常なし	—
実験⑦	墜落した	アタッチメントが外れた	異常なし

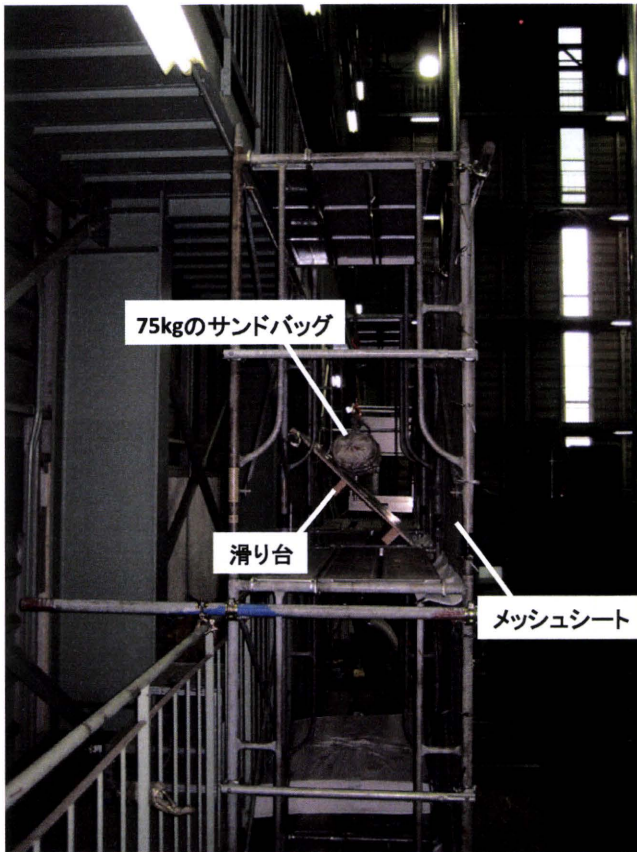


写真 10 実験①の実験前の状況

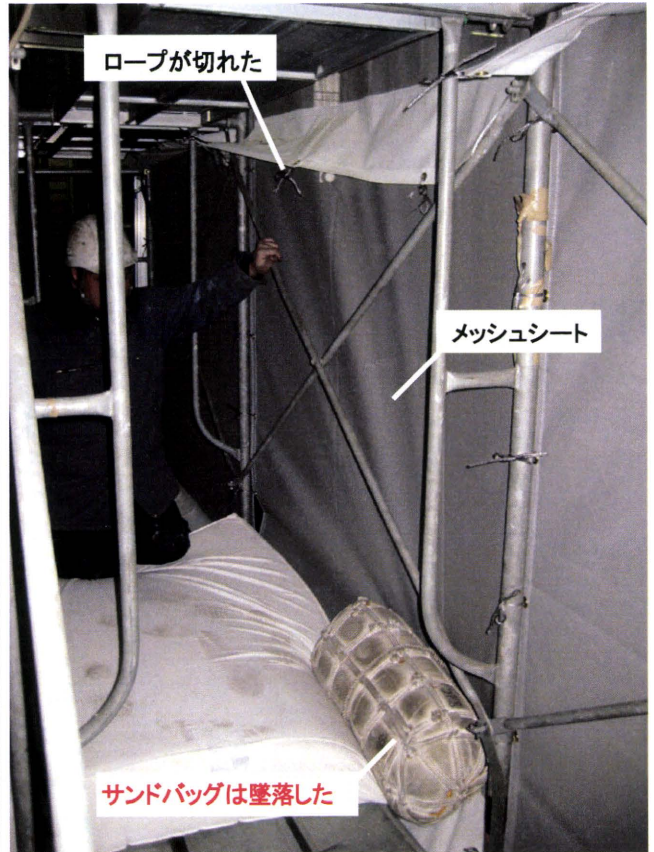


写真 11 実験①の実験後の状況

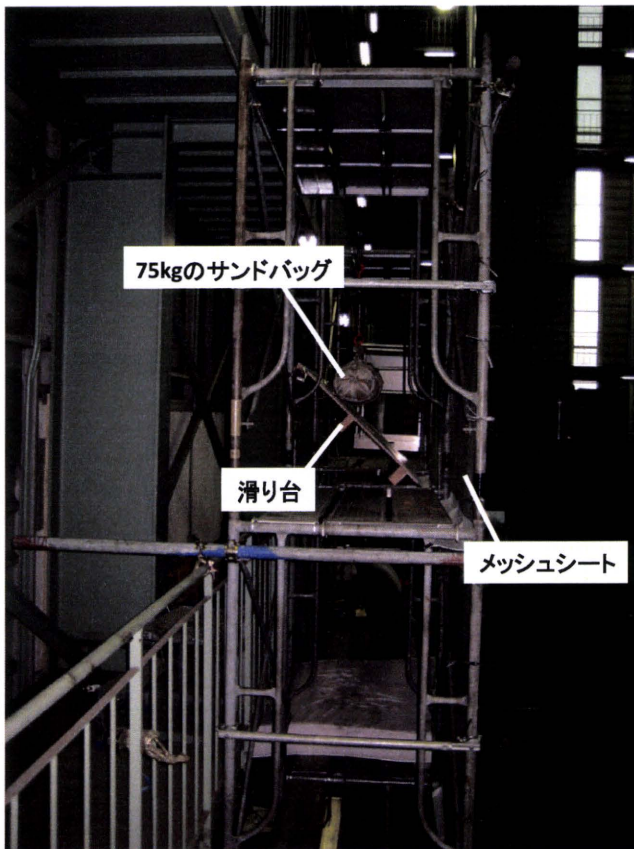


写真 12 実験③の実験前の状況

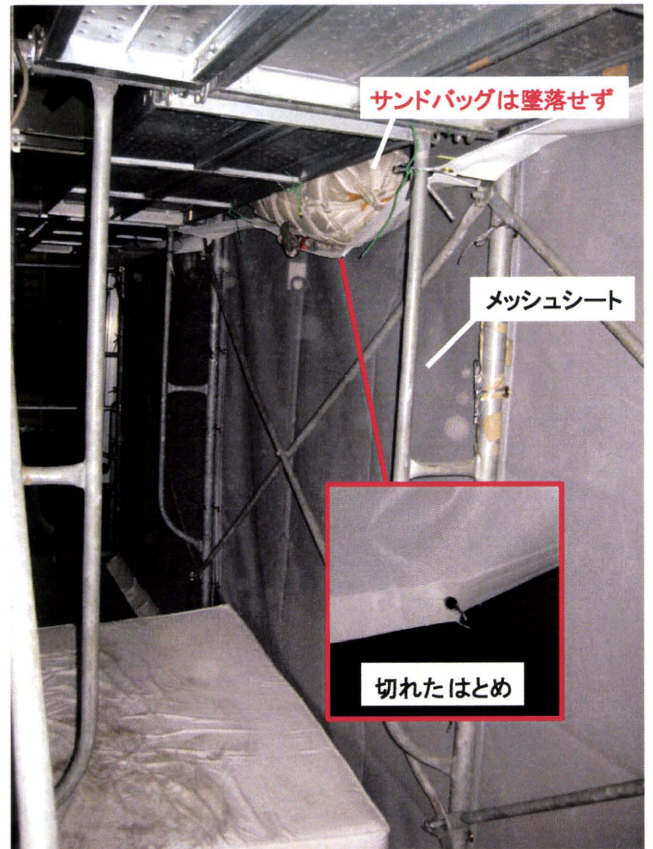


写真 13 実験③の実験後の状況

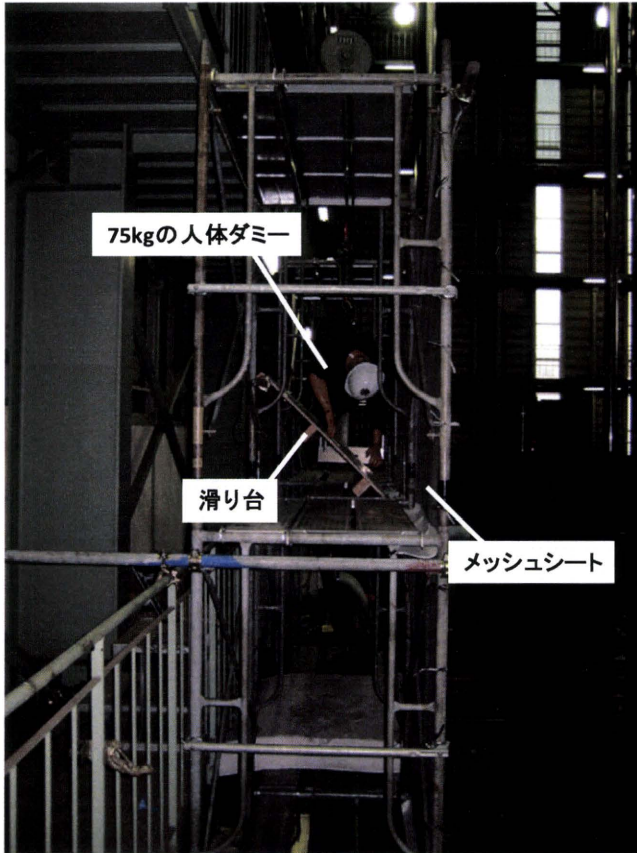


写真 14 実験⑤の実験前の状況

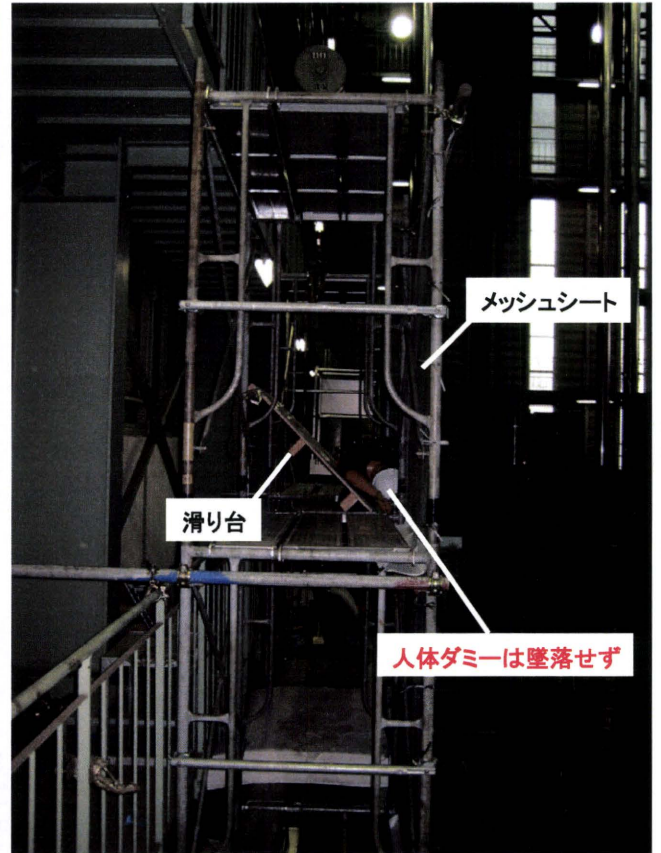


写真 15 実験⑤の実験後の状況

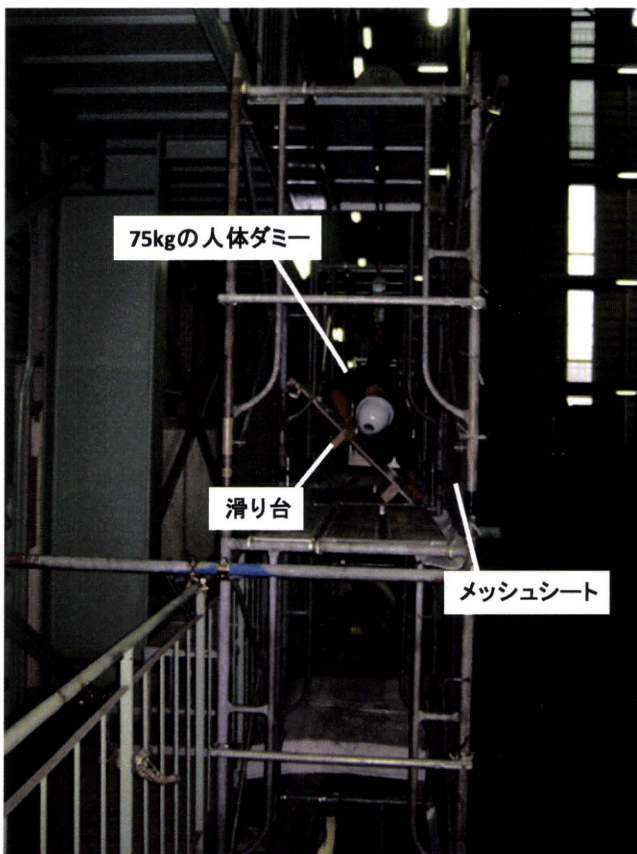


写真 16 実験⑥の実験前の状況

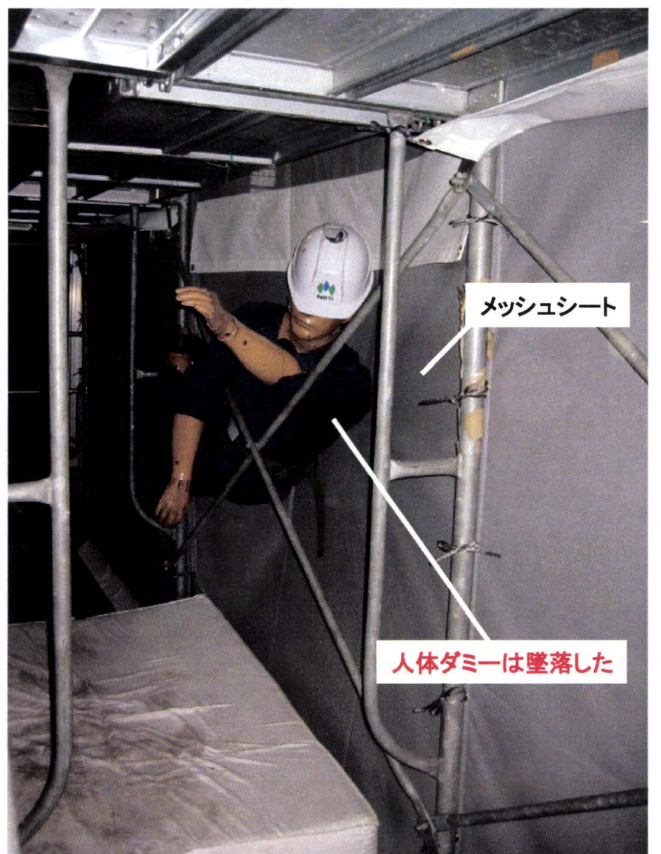


写真 17 実験⑥の実験後の状況

3) 考案した墜落防止機材の安全性の評価

2) で考案・試作した防護膜付メッシュシートは、墜落実験により一定の墜落防止効果が確認された。ここでは、防護膜付メッシュシートの安全性を高めるため、さらなる改良を加えた。最終的にはその安全性と改正規則による墜落防止措置の安全性を、人体ダミーを用いた墜落実験により比較し、今後の普及を目指し安全面からその優位性について検討した。

まず、2) の実験では、防護膜のはとめ部分の強度に余裕がなく、はとめが防護膜から脱落する場合も見られた(写真18参照)。そこで、はとめ部分に改良を加えた。具体的には、防護膜の端部を二重に折り返し、

はとめを固定する部分の防護膜を厚くすることで、強度の確保を行った(写真19参照)。

また、2) のように防護膜のはとめと床付き布わくを、2.3mm の太い鋼線により固定した場合、工具が必要となるなど作業性の低下が予想される。そこで、その固定材料として、“2本よりに加工した繊維ロープ”を使用した。写真20に防護膜と床付き布わくの固定に用いた“2本よりの繊維ロープ”を示す。

その効果を確認するために行った実験条件とその結果を、表4、表5に示す。実験では、人体ダミーの落下高さを1000mmとし、質量は85kgと増加させた。メッシュシートと床付き布わくの間隔については、本研究



写真18 落体の墜落の衝撃で脱落したはとめ部分

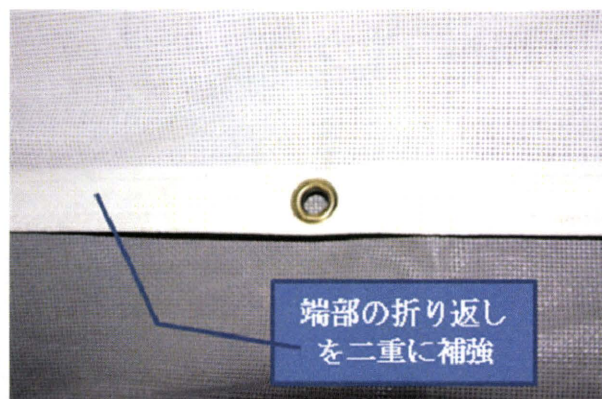


写真19 はとめ部分の改良

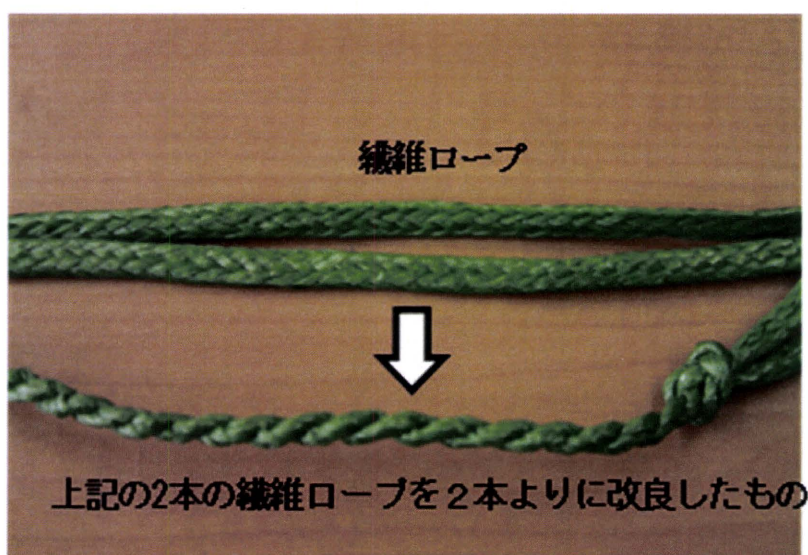


写真20 2本よりの繊維ロープ

で使用した足場の最大間隔である160mmとした。

防護膜の幅は、上記160mmの間隔に対し余裕のある250mmと、余裕のない150mmの2種類とした。また、床付き布わくは隣のスパンのつかみ金具との関係より、人体ダミー落下時に水平方向に動かず固定されている場合と、可動する場合があるため、その両者について実験を行った。

防護膜とメッシュシート本体との接合方法として、2本縫い1列(写真21(a)参照)を採用した実験1から実験4の結果を見ると、いずれの場合においても、1回目の人体ダミーの墜落に対しては、各部材が破

断することなく、その墜落を防止することができた。また2)の実験において破断がみられた繊維ロープについても、2本よりに加工を施すことにより、破断を防止することができた。このことは、防護膜の幅や床付き布わくの固定、可動の違いによらず、観察された結果である。

一方、防護膜付メッシュシートの耐久性を見るため、連続して墜落実験を実施した実験2の結果をみると、防護膜がメッシュシートとの接合部分で破断して剥がれ落ち、その結果、人体ダミーの墜落を防止することができなかった。このことから、防護膜とメッシュシート本体との接合方法については、もう少

表4 実験条件

実験番号	防護膜の縫い方	防護膜の幅	床付き布わく	備考
1	2本縫い1列	250mm	固定	耐久性を見るため、シートを変えずに連続して墜落実験を実施した。
2			可動	
3		150mm	固定	
4			可動	
5	2本縫い2列	250mm	固定	シートの耐久性を見るため、シートを変えずに各5回の連続墜落実験を実施した。
6			可動	
7		150mm	固定	
8			可動	

表5 実験結果

実験番号	人体ダミー墜落の有無	防護膜の異状の有無	ロープの異状の有無	備考
1	無	無	無	1回のみの墜落実験では、破壊はみられなかった。
2	無(1回目) 有(2回目)	無(1回目) 有(2回目)	無(1回目) 有(2回目)	防護膜のメッシュシート本体との縫い目部分で顕著な破壊が2回目の墜落実験で観察された。
3	無	無	無	1回のみの墜落実験では、破壊はみられなかった。
4	無	無	無	
5	無	無	無	5回の墜落実験において、防護膜、ロープの破壊は観察されなかった。
6	無	無	無(1~4回目) 有(5回目)	5回目の墜落実験によって、はとめとの結束部分のロープが、破断した(4本のうち1本のみ)。
7	無	無	有	1回目から5回目まで実験ごとにロープが破断した。
8	無	無	無(1,2,5回目) 有(3~4回目)	3回目と4回目でロープの破断が観察された。

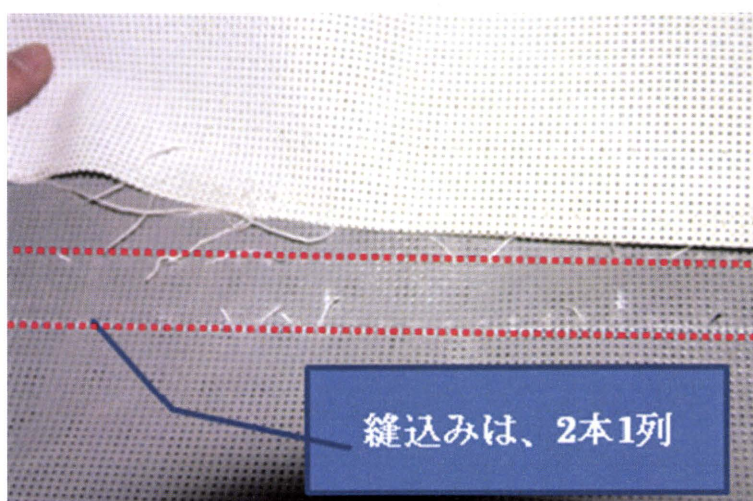
し強固にする必要が考えられた。

そこで、防護膜とメッシュシート本体との接合方法として、この部分の縫込み方法 2 本縫いを 1 列から 2 列（写真 21(b)参照）に改良した。その実験シリーズである実験 5 から実験 8 では、同一の防護膜付メッシュシートに対して連続して 5 回の墜落実験を実施した。これは、その耐久性を確認するためである。

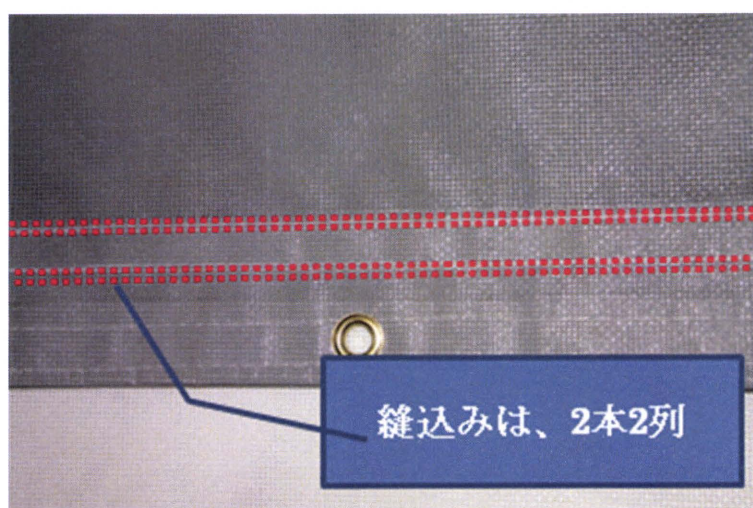
その結果、はとめ部分での 2 本よりの繊維ロープの切断が若干見られたものの、すべての実験で防護膜とメッシュシート本体との接合部分で破断することは観察されなかった。さらに、すべての実験において、

人体ダミーの墜落を防止することができた。

これらを総括すると、防護膜とメッシュシート本体との接合方法については、2 本縫い 2 列を採用することで、人体ダミーの高さ 1000mm からの落下に対して十分な墜落防止性能が期待できると考えられる。また、防護膜の幅については、取り付けやすさから 250mm が適していると考えられるため、以降の実験では全て 250mm とした。床付き布わくの固定、可動については現場でコントロールできないため、実験 6、実験 8（写真 22、写真 23 参照）のように繊維ロープが切れた不利な条件である、可動にして以降の実験を行った。



(a) 縫込み方法が 2 本 1 列の場合



(b) 縫込み方法が 2 本 2 列の場合

写真 21 防護膜とメッシュシート本体との接合方法



写真 22 実験 8 の実験前の状況



写真 23 実験 8 の実験後の状況
(床付き布わくが可動)

以上の実験結果より、考案した防護膜付メッシュシートの安全性はかなり高められたと考えられる。そこで、最終的な安全性の確認として、諸外国の墜落防止措置に関する規制状況調査より明らかとなった、新たな墜落防止機材を開発する上で最低限必要な措置である、改正規則による墜落防止措置の安全性と、考案した防護膜付メッシュシートの安全性を比較することとした。

改正規則によるわく組足場の墜落防止措置は、交さ筋かいに加え、高さ 150mm から 400mm の間に下さんを設置すること、または高さ 150mm 以上の幅木を設置することとされている。

そこで、改正規則による墜落防止措置としては、わく組足場の下さんまたは幅木として開発されている、代表的な専用機材を設置した場合を対象とした。

一方、防護膜付メッシュシートについては、上記実験結果より、防護膜の縫込み方法は 2 本 2 列、防護膜と床付き布わくの固定は 2 本よりの繊維ロープにより行った。また、人体ダミーの落下高さは 1000mm とし、さらなる安全性について評価するため、

その質量を 85kg から 100kg に増加した。

安全性の評価項目は、以下の通りとした。

- ①墜落の有無
- ②機材の損傷の有無
- ③墜落防止時に人体が受ける衝撃荷重
- ④足場の動揺

③の衝撃荷重の測定は、写真 24 に示すように、人体ダミーを落下させる床付き布わくの後方、両端に設置した鋼管による控えに、ひずみゲージを貼り付けて測定した。④の足場の動揺は、写真 25 に示すように、人体ダミーを落下させる床付き布わくの後方最下部の両端の脚柱に、変位計を設置して測定した。

実験条件とその結果を表 6 に示す。

改正規則による墜落措置としては、交さ筋かいを取り付ける下端のピンに設置するタイプの直径 27.2mm の鋼製の下さん、床付き布わくの端に設置するタイプの鋼製の幅木 A、および建わくの横架材に設置するタイプの鋼製の幅木 B の 3 種類とした。

表 6 に示すように、改正規則による墜落措置については、それぞれ 3 回ずつの墜落実験を行った。ただし、幅木 B のみ幅木 A の結果を受け 1 回のみの墜落実験とした。

また、防護膜付メッシュシートの場合には、メッシュシートと床付き布わくの間隔を、0mm と最も間隔の広い 160mm の 3 回ずつ実験を行った。改正規則による墜落措置については、脚柱と床付き布わくの間隔を 0mm とした。なお、それぞれの機材に関しては、大きな損傷が認められない場合には、交換することなく連続して実験を行った。

実験前後の人体ダミー等の状況を、写真 26～写真 35 に示す。

表 6 より、全てのケースについて人体ダミーは墜落することがなかった。しかし、下さんは 2 回目、幅木は A、B とも 1 回目の墜落で変形したにもかかわらず、防護膜

付メッシュシートの場合には 5 回目の墜落（メッシュシートと床付き布わくの間隔が 0mm で 3 回+160mm で 2 回目）でようやく繊維ロープが切れた。この間、防護膜付メッシュシートおよび繊維ロープは交換していなかったが、何ら損傷は見られなかった。

このことから、防護膜付メッシュシートは、下さんおよび幅木に比べ、耐久性が高いことが明らかとなった。

また、メッシュシートと床付き布わくの間隔が 160mm の場合でも墜落しなかったことから、防護膜により墜落防止に加え、このすき間からの飛来落下の防止にも寄与できると考えられる。

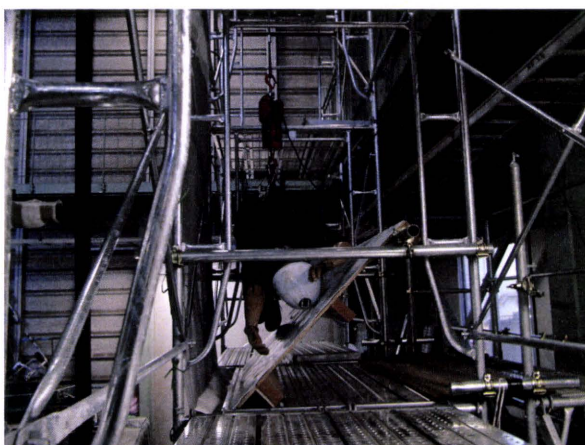


写真 24 衝撃荷重の測定

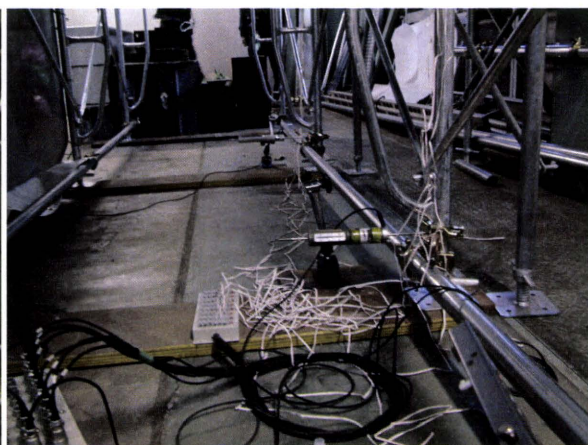


写真 25 足場の動揺の測定

表 6 実験条件と結果

実験番号	墜落防止方法	固定方法	メッシュシート(脚柱)と床付き布わくの間隔	人体ダミーの墜落の有無	実験後の状況
9	下さん	交さ筋かいピン	0mm	無	変形無
10	下さん	交さ筋かいピン	0mm	無	変形有・交換
11	下さん	交さ筋かいピン	0mm	無	変形無
12	幅木A	床付き布わくの端	0mm	無	変形有・交換
13	幅木A	床付き布わくの端	0mm	無	変形有・交換
14	幅木A	床付き布わくの端	0mm	無	変形有
15	幅木B	建わくの横架材	0mm	無	変形有
16	防護膜付メッシュシート	2本よりの繊維ロープ	0mm	無	損傷無
17	防護膜付メッシュシート	2本よりの繊維ロープ	0mm	無	損傷無
18	防護膜付メッシュシート	2本よりの繊維ロープ	0mm	無	損傷無
19	防護膜付メッシュシート	2本よりの繊維ロープ	160mm	無	損傷無
20	防護膜付メッシュシート	2本よりの繊維ロープ	160mm	無	損傷無・ロープ1本切断
21	防護膜付メッシュシート	2本よりの繊維ロープ	160mm	無	損傷無



写真 26 下さんの実験前の状況



写真 27 下さんの実験後の状況



写真 28 幅木 A の実験前の状況



写真 29 幅木 A の実験後の状況



写真 30 幅木 B の実験前の状況

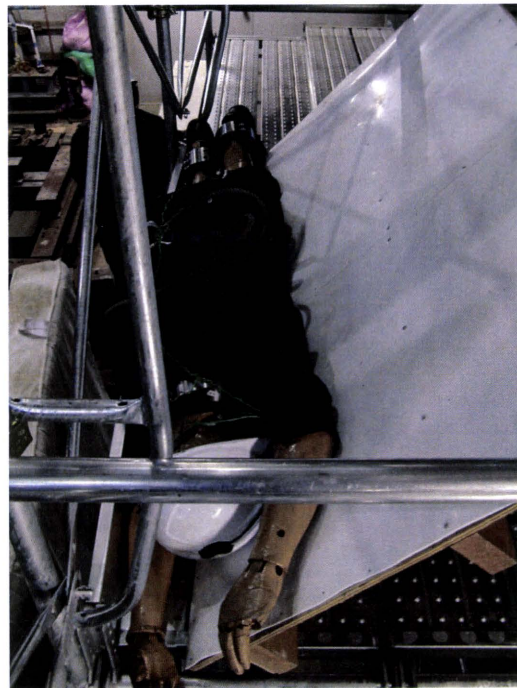


写真 31 幅木 B の実験後の状況

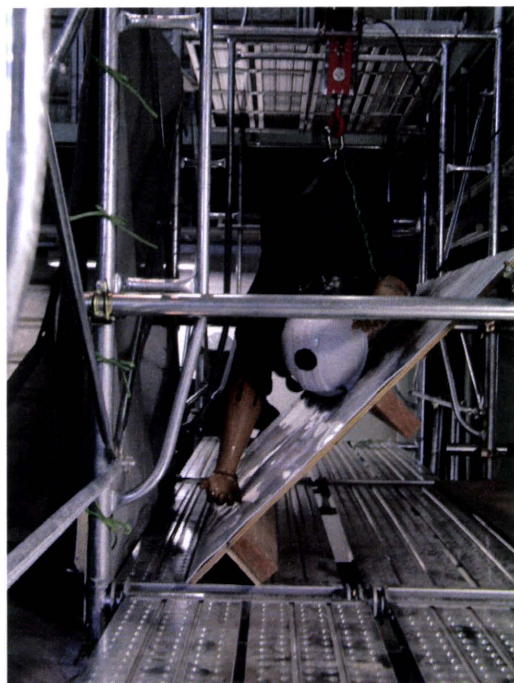


写真 32 防護膜付メッシュシート
(間隔 0mm) の実験前の状況

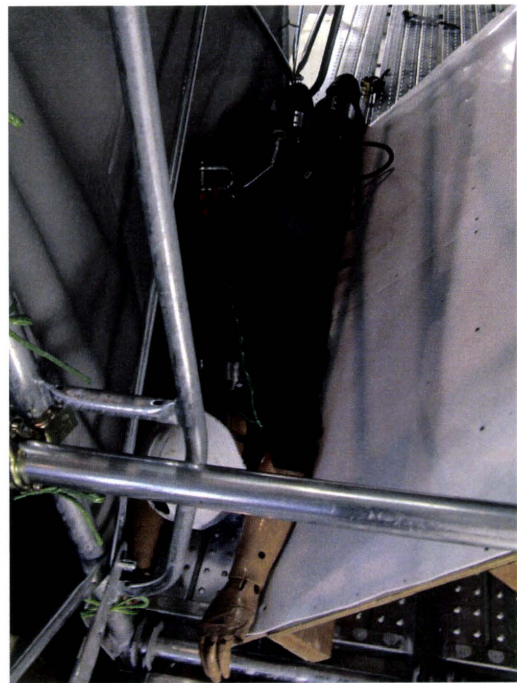


写真 33 防護膜付メッシュシート
(間隔 0mm) の実験後の状況



写真 34 防護膜付メッシュシート
(間隔 160mm) の実験前の状況

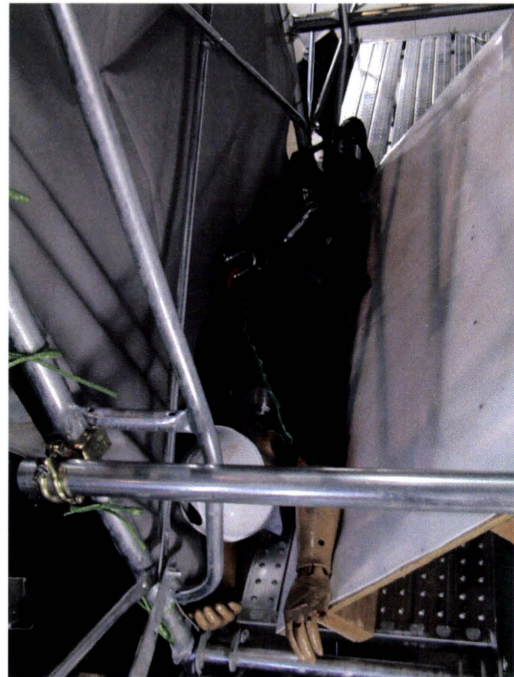


写真 35 防護膜付メッシュシート
(間隔 160mm) の実験後の状況

次に、図 4 は、床付き布わくの後方の両端の控えに作用した、人体ダミー墜落時における衝撃荷重の最大値を、墜落防止機材ごとに示したものである。衝撃荷重の最大値は、両端の控えの 2 本の平均値として示した。この控えは、墜落位置直近で墜落による水平方向の衝撃荷重を支える唯一の部材のため、控えに作用する衝撃荷重の大小は、墜落時に人体ダミーが受ける衝撃荷重の大小を定性的ではあるが、表しているものと考えられる。

図 4 より、防護膜付メッシュシートの方が、下さん、幅木に比べ明らかに小さく、墜落時に人体が受ける衝撃荷重を大幅に低減することが可能となることがわかった。さらに、図 4 には 2 本よりの繊維ロープに替え、次の 4) の実験で新たに考案した、ゴムを利用した専用取付金具使用時における衝撃荷重を示すが、ゴムを利用した取付金具により、さらなる衝撃荷重の緩和が期待できると考えられる。

なお、床付き布わくの後方最下部の脚柱における足場の動揺は、人体ダミー墜落時において全て 1mm 未満であり、非常に小さなものであった。

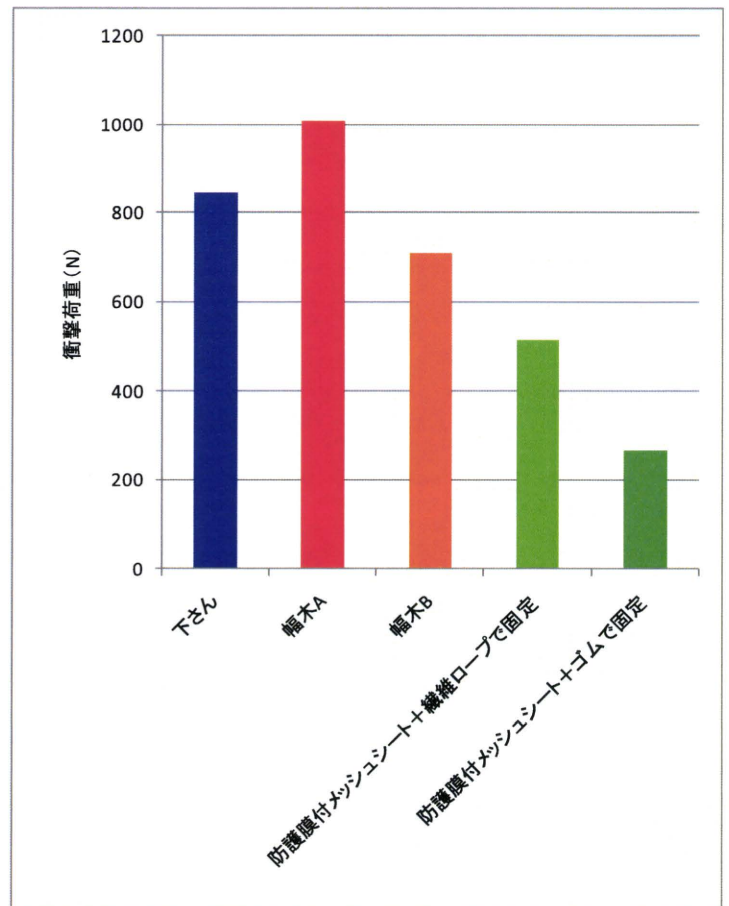


図 4 人体ダミー墜落時における衝撃荷重の最大値

4) 考案した墜落防止機材の使用しやすさに着目した改良

3) の実験では、防護膜のはとめと床付き布わくの固定に、“2本よりに加工した繊維ロープ”を使用した。手すり先行工法などの工法を普及させるための改善点の検討結果より、まずは作業員に使っていただくことを考えた改良が、新しい墜落防止機材の普及に有益であることが明らかとなっている。

そこで、作業員がより簡単に取付できるよう、考案した防護膜付シートをワンタッチで固定可能な2種類の取付金具を考案し、これを用いて固定を行った。考案した一つ目の取付金具（以下、Type-1モデル）を写真36、写真37に示す。Type-1モデルは、防護膜のはとめとの固定に使用するフック部材と、床付き布わく裏側の爪部分との固定に用いる金具、それらをつなげる紐、および長さ調整部品で構成される。



写真36 新たに考案した取付金具 (Type-1モデル)

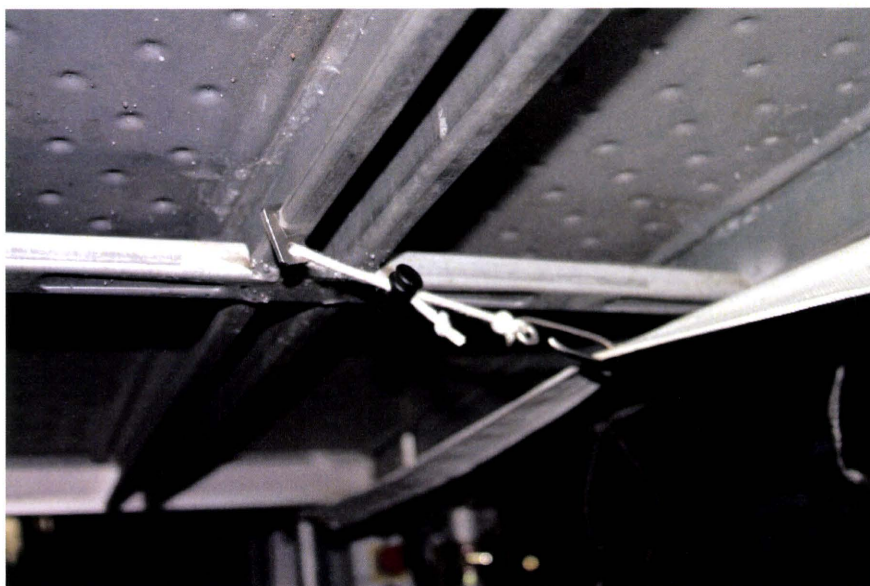


写真37 はとめと床付き布わくを固定するために考案した取付金具 (Type-1モデル)

もう一つの取付金具 (Type-2 モデル) は、“紐および長さ調整金具”をゴム素材 (厚み 2mm×幅 20mm) に変えたものである。Type-2 モデルを写真 38、写真 39 に示す。

実験条件を、表 7 に示す。実験条件は、①取付金具の種類、②人体ダミーの重量、③メッシュシート本体と足場との結束状況の違い、の 3 種類とした。人体ダミーの落



写真 38 新たに考案した取付金具 (Type-2 モデル)

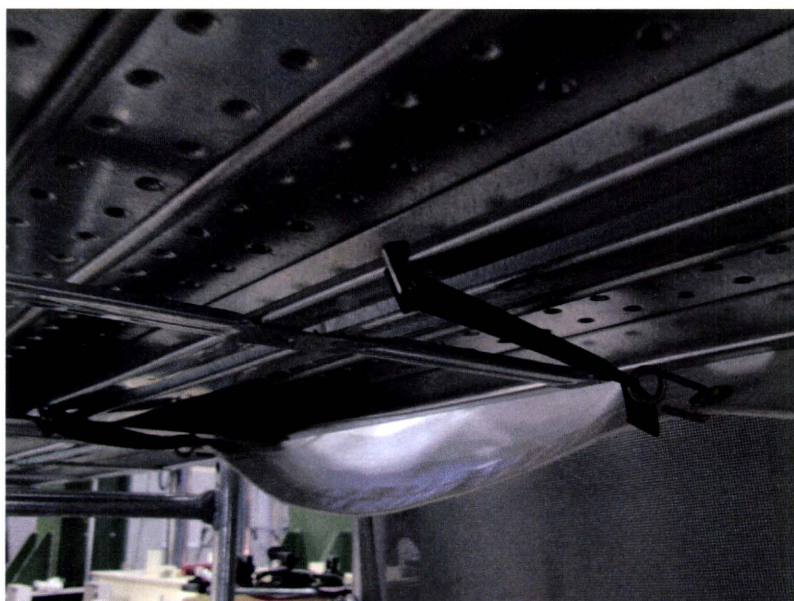


写真 39 はとめと床付き布わくを固定するために考案した取付金具 (Type-2 モデル)

表 7 実験条件

番号	取付金具の種類		人体ダミーの重さ	メッシュシートと足場との結束状況
a	Type-1 モデル	長さ：可変	85kg	全はとめを結束
b				
c	Type-2 モデル	長さ:200mm ゴム	100kg	
d		長さ:200mm、ゴム端部 2 つ折り		
e		長さ:250mm、ゴム 2 枚重ね		
f				
g	Type-0 モデル	長さ： 2 本よりの繊維ロープ	はとめを 1 つ置きに結束	
h				
i				

下高さは 1000mm とし、さらなる安全性について評価するため、その質量を 85kg から 100kg に増加していった。

実験結果を、表 8 に示す。Type-1 モデル（人体ダミーは 85kg）の墜落実験 a と b の結果を見てみると、2 本より繊維ロープを用いた結果と同様に、人体ダミーの墜落を防止することができた（写真 40、写真 41 参照）。しかしながら取付金具を構成する紐の部分の一部破断を生じた。

一方、Type-2 モデルを取付金具とし、かつ人体ダミーの重量を 100kg に変更して行った実験 c と d では、幅 20mm 厚み 2mm のゴム 1 本による固定では、いずれも人体ダミーの墜落を食い止めることはできなかった。そこで、ゴムを 2 本重ねにしたものへ改良を加え、新たに実験 e～実験 g を行ったところ、連続 3 回の実験で 2 回まで墜落を防止することができた（写真 42、写真 43 参照）。

この連続 3 回目の実験では、墜落防止ができなかったが、①1 回の墜落を経験した場合は、通常取付金具を交換すること、②一箇所において、何度も墜落が生ずる可能性が低いことなどを踏まえると、この取付金具は、人体ダミーの墜落を防止可能なものであると判断される。

次に、メッシュシートと足場の建わくとの結束条件を変えた実験を行った。その結

果、1 つ置きにはとめを結束した場合は、Type-2 モデル（実験 h）においても人体ダミーの墜落を防止することができなかった。これは、メッシュシートと建わくとの結束用繊維ロープが半減したことにより、水平強度および水平剛性が低下し、その結果ゴムを破断させ、人体ダミーが墜落に至った原因と考えられる。一方、2 本より繊維ロープを用いた実験 i では、一箇所でのロープの破断が生じたものの、人体ダミーの墜落を防止することができた。これは、2 本より繊維ロープによる結束により、水平強度・剛性が一定程度確保されたためと考えられる。

表 8 実験結果

番号	取付金具の種類		メッシュシートと足場との結束状況	人体ダミー墜落の有無	取付金具の状況
a	Type-1 モデル	長さ：可変	全はとめを結束	無	1 本破断
b				無	2 本破断
c	Type-2 モデル	長さ：200mm ゴム		有	4 本破断
d		長さ：200mm ゴム 端部 2 つ折り		有	2 本破断
e		長さ：250mm ゴム 2 本重ね		無	破断せず
f				無	破断せず
g				有	3 本破断
h				有	2 本破断
i	Type-0 モデル	長さ： 2 本よりの繊維ロープ	1 つ置きに はとめ結束	無	1 本破断