

D. 考察

以上を総括すると、実際に手すり先行工法による組立てを行わせた結果、作業性に関しては抵抗を感じる作業員の割合が低下したものの、使用したいかどうかについては依然として約半数が使用したくないと回答していた。

昨年度は、作業員へのアンケート結果より、作業性等を考慮して、まずは作業員に使っていただくことを考えた改良が、手すり先行工法など新しい機材の普及に有益であることが明らかとなった。今年度は、実際に手すり先行工法を使用して足場の組立てを行わせたが、作業性に関しては抵抗感が薄れており、昨年度の結果が裏付けられたものと考えられる。

しかし、新しい機材の普及に関しては、作業性ととも作業員の意志として使用したいかが重要であり、これに関しては改良すべき点であると考えられる。

安全面に関しては、昨年度と同様、問題ないと考えられるが、一部の作業員より妻面にも最初から手すりがあった方が良いとの意見があった。これについては、作業の観察でも明らかとなり、特に手すり先行工法に不慣れな作業員にとっては危険と感じられる場面もあり、何らかの改善が必要である。なお、手すり先行工法等に関するガイドラインでは、手すりを先行して設置できない箇所においては、安全帯を使用することが規定されているが、不慣れな作業員にとっては安全帯取付設備の設置が容易ではないと考えられる。

E. 結論

今年度は、作業員に実際に手すり先行工法を使用して足場の組立てを行わせ、その後アンケート形式により意見聴取を行った。その結果、昨年度のアンケート結果同様に、作業性等を考慮して、まずは作業員に使っていただくことを考えた改良が、手すり先行工法など新しい機材の普及に有益であることが裏付けられた。

しかし、新しい機材の普及に関して重要である、使用したいかどうかについては、否定的な意見が多く、これに関しては改良

すべき点であると考えられる。

また、妻面への手すりの設置や、運搬を考慮してコンパクトにする、コストを抑える、取り付け時間を短縮するなど、作業員の意見から、新しい機材を開発する上で参考となる知見が得られた。

F. 研究発表

1. 書籍

①大幡勝利, 高梨成次, 日野泰道, 高橋弘樹: 足場作業の安全—労働安全衛生規則改正, 大成出版社, 2009.

G. 知的財産権の出願・登録状況

特になし。

厚生労働科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業）
分担研究報告書

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

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
主任研究者 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
分担研究者 高橋弘樹 独立行政法人労働安全衛生総合研究所研究員
分担研究者 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
分担研究者 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

研究要旨 昨年度は、足場からの墜落原因の一つとされる、メッシュシートと作業床との開口部に注目し、この開口部を塞ぐ機材として、付属のシートを使用した防護膜付メッシュシートを考案した。今年度は、開発した防護膜付メッシュシートによって、安定した災害防止効果を得るための検討を行った。その結果、防護膜とメッシュシートとの縫付方法の改良を行うことで、複数回の人体ダミーの墜落に対しても、それを防護することが可能となった。また足場との接合で用いる結束ロープについても、従来品を2本よりに改良して使用することで、大幅に性能が向上することが明らかとなった。

A. 研究目的

建設業では、高所作業中の労働者の墜落により、多くの死亡災害が発生している。

高所作業においては、労働者が墜落する危険を防止するため、開口部を塞ぐことが基本となる。その防止対策として、これまで足場先行工法や、手すり先行工法が開発され、死亡災害の減少に一定の効果上げてきた。さらに平成21年6月には、労働安全衛生規則が改正され、足場からの墜落を防止するための対策として、手すりの高さの変更と中さん等の設置が義務付けられた。

しかしながら、価格競争の激しい建築工事等では、建設コストを抑制する必要性から、現実としては、安全設備が十分に設置されない現場も多い。このようなことから、安全で普及しやすい墜落・転落防止のための新しい機材が求められている。

このような背景のもと、昨年度は、足場からの墜落原因の一つとされる、メッシュシートと作業床との開口部に注目し、この開口部を塞ぐ機材として、付属のシート（以下、防護膜）を使用した防護膜付メッシュシートを考案した（図1参照）。今年度においては、考案した防護膜付メッシュシートによる、安定した災害防止効果を得るため、当該シートの構造と作成方法について検討を行った。

B. 研究方法

B-1. 実験概要

防護膜付メッシュシートによる防護効果を調べるため、実物大足場に防護膜付シートを取付け、人体ダミーを落下させる衝撃試験を実施した。

B-2. 使用材料

(a) 足場、シートの基本構造

実験に使用する足場は、3層3スパンとし、その中央部（2層目の1スパン）に防護膜付シートを取り付けた。図2に、実験で用いた足場と取り付けたシートの位置を示す。

防護膜付メッシュシートは、広く一般に使用されているメッシュシートを本体とし、この一端に付属の防護膜（材質はメッシュシート本体と同じ）を縫い付けたものである。実験では、防護膜の縫付け箇所が、床付き布わく（以下、作業床）の床面高さになる位置に設置した。防護膜付メッシュシートを足場に設置したものを写真1に示す。

(b) 防護膜の構造

防護膜は、一端がメッシュシートに縫付けられ、他端にはハトメが4箇所取り付けられた構造となっている。このハトメを介して、作業床底面と繊維ロープ等で結合することにより、足場と作業床の間に生ずる開口部を塞ぐものである。

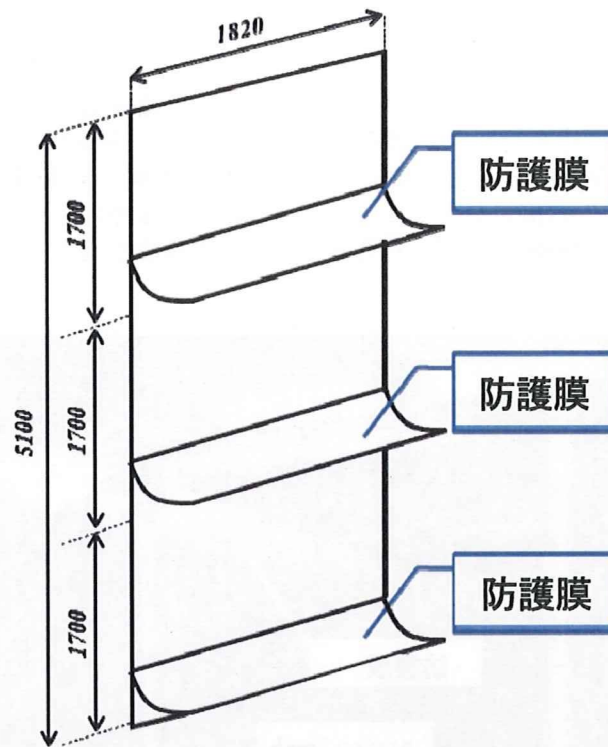


図1. 考案した防護膜付メッシュシート

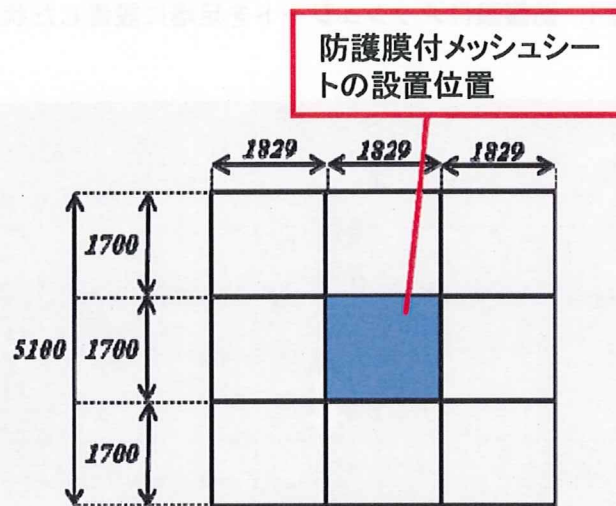


図2. 実験で使用した足場（3層3スパン）と取り付けたシートの位置

(c) 昨年度からの改良点

① 防護膜と作業床底面との接合方法

昨年度は、防護膜のハトメと作業床との接合に、繊維ロープを用いて実験を行ったが、多くの場合で破断が生じ、結果として落体の墜落防護ができなかった。そのため番線によりハトメの固定を行い、防護膜付メッシュシートの墜落防護効果を検討した。今年度においては、その接合材料として、“2本よりに加工した繊維ロープ”を使用

した。写真2に防護膜と作業床の固定に用いた“2本よりの繊維ロープ”を示す。

② 防護膜のハトメ

昨年度実施した実験では、防護膜と作業床底面との接合に番線を用いることにより、一定の墜落防護効果が確認されたが、防護膜のハトメ部分の強度に余裕がなく、ハトメが防護膜から脱落する場合も見られた(写真3参照)。そこで今年度は、ハトメ部分に改良を加えた。具体的には、防護膜の



写真1. 防護膜付メッシュシートを足場に設置した状況

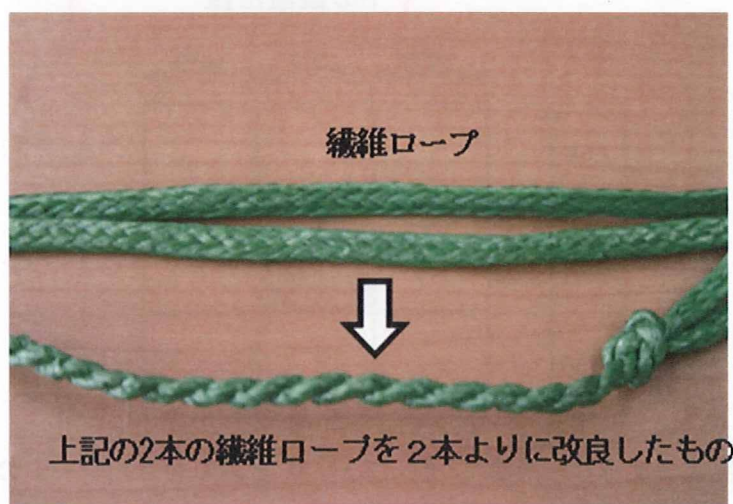


写真2. 2本よりに加工した繊維ロープ
(防護膜のハトメと作業床の固定用)

端部を二重に折り返し、ハトメ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4参照）。

③防護膜とメッシュシート本体との接合

ハトメ部分の改良を行った結果、防護膜はメッシュシート本体との接合部分において、相対的な強度不足が考えられた。そこでこの部分の縫込み方法を2本縫い1列か

ら2本縫い2列にしたシートを開発した（写真5参照）。

B-3. 人体ダミー

落体として用いた人体ダミーは、重さ85kgのものを使用した。人体ダミーの落下時の姿勢は、写真6に示す四つん這いであり、この時のひざ下から腰の中心までの距離は、約400mmになる。



写真3. 落体の墜落の衝撃で脱落したハトメ部分
（昨年度の実験結果）

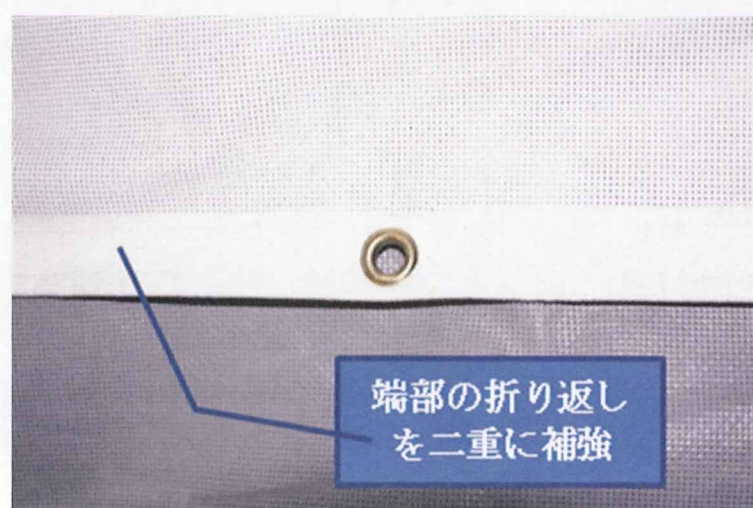
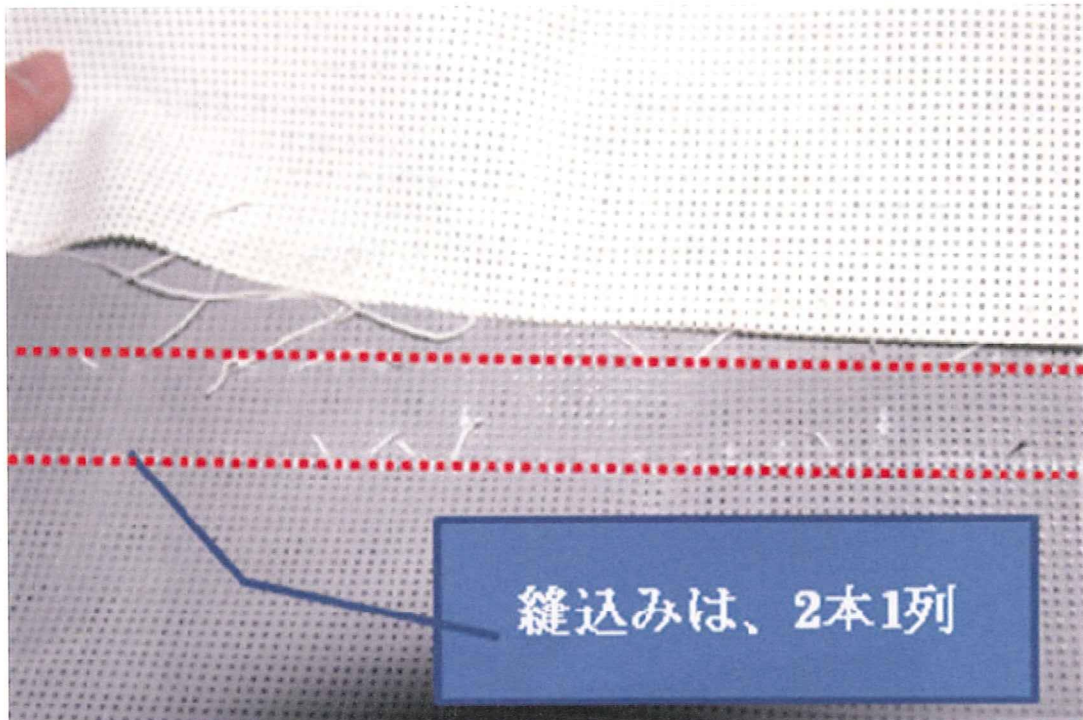
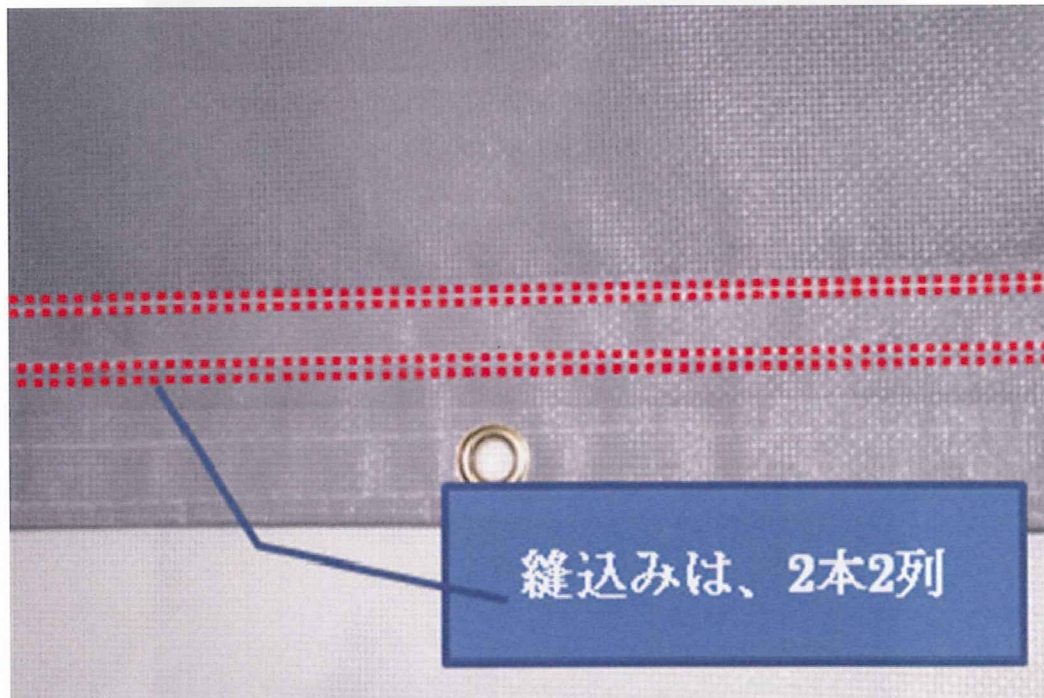


写真4. ハトメ部分の改良（昨年度からの改良点）



(a) 縫込み方法が2本1列の場合（写真は昨年の実験で破断したシート）



(b) 縫込み方法が2本2列の場合

写真5. 防護膜とメッシュシート本体との接合方法
（昨年度からの改良点）



写真 6. 実験に用いた人体ダミーの落下姿勢

B-4. 実験パラメータ

実験パラメータを、表 1 に示す。実験では、①防護膜のメッシュシート本体への縫い込み方法、②作業床の固定の有無、③防護膜の幅とした。

B-5. 実験の方法

実験は、人体ダミーを作業床面から高さ 1m の箇所まで吊り上げたのち、切り離し装置を用いて人体ダミーを自由落下させた。これにより、落下した人体ダミーは、作業床上に設置された角度 43°の滑り台に衝突し、その後メッシュシートと作業床との開口部へと滑落するしくみとなっている。

C. 研究結果

実験結果を表 2 に示す。また、実験前後の人体ダミー等の状況を、写真 7～写真 24 に示す。

防護膜とメッシュシート本体との固定の方法として、2 本縫い 1 列を採用した実験 1 から実験 4 の結果を見てみると、いずれの場合においても、一回目の人体ダミーの落下に対しては、各部材が破断することなく、その墜落を防護することができた。また昨年度の実験において破断がみられた部分（ハトメと作業床との固定部分に用いた紐）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、防護膜の幅や作業床の固定の違いによらず、観察された結果である。

一方、当該設備の耐久性を見るため、連続して落下試験を実施した実験 2 の結果をみると、防護膜がメッシュシートとの接合部で破断して剥がれ落ち、その結果、人体ダミーの墜落を防護することができなかった。このことから、防護膜のメッシュシート本体との接合方法については、もう少し強固にする必要が考えられた。

表 1. 実験パラメータ

実験番号	防護膜の縫い方	防護膜の幅	作業床	備考
1	2本縫い1列	250	固定	耐久性を見るため、シートを変えずに連続して落下試験を実施した。
2			可動	
3		150	固定	
4			可動	
5	2本縫い2列	250	固定	シートの耐久性を見るため、シートを変えずに各5回の連続落下試験を実施した。
6			可動	
7		150	固定	
8			可動	

表 2. 実験結果

実験番号	人体ダミー落下の有無	シートの異状の有無	紐の異状の有無	備考
1	無	無	無	1回のみの落下試験では、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回目の落下試験で観察された。
3	無	無	無	1回のみの落下試験では、破壊はみられなかった。
4	無	無	無	
5	無	無	無	5回の落下試験において、シート、紐等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回目の落下試験によって、ハトメとの結束部分の紐が、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結束紐が破断した。
8	無	無	無(1,2,5回目) 有(3~4回目)	3回目と4回目で結束紐の破断が観察された。

そこで防護膜とメッシュシート本体との固定の方法として、2本縫いを1列から2列に改良した。その実験シリーズである実験5から実験8では、同一のシートに対して連続して5回の落下試験を実施した。これは、その耐久性を確認するためである。

その結果、ハトメ部分での紐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護することができた。

以上から、防護膜とメッシュシート本体との接合方法については、2本縫い2列を採用することで、人体ダミーの高さ1mからの墜落に対して十分な防護性能が期待できると考えられる。



写真 7. 実験 1 の実験前の状況



写真 8. 実験 1 の実験後の状況



写真 9. 実験 2 の実験前の状況
(1 回目の落下試験)



写真 10. 実験 2 の実験後の状況
(1 回目の落下試験)



写真 11. 実験 2 の実験前の状況
(2 回目の落下試験)



写真 12. 実験 2 の実験後の状況
(2 回目の落下試験)



写真 13. 実験 3 の実験前の状況



写真 14. 実験 3 の実験後の状況



写真 15. 実験 4 の実験前の状況



写真 16. 実験 4 の実験後の状況



写真 17. 実験 5 の実験前の状況

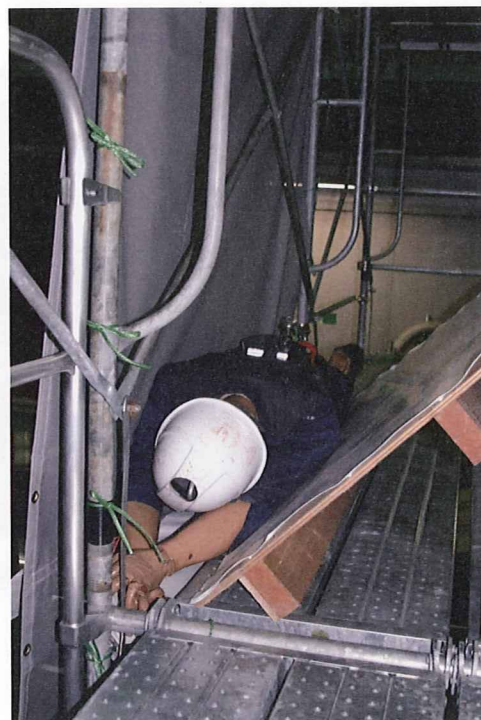


写真 18. 実験 5 の実験後の状況



写真 19. 実験 6 の実験前の状況



写真 20. 実験 6 の実験後の状況



写真 21. 実験 7 の実験前の状況



写真 22. 実験 7 の実験後の状況

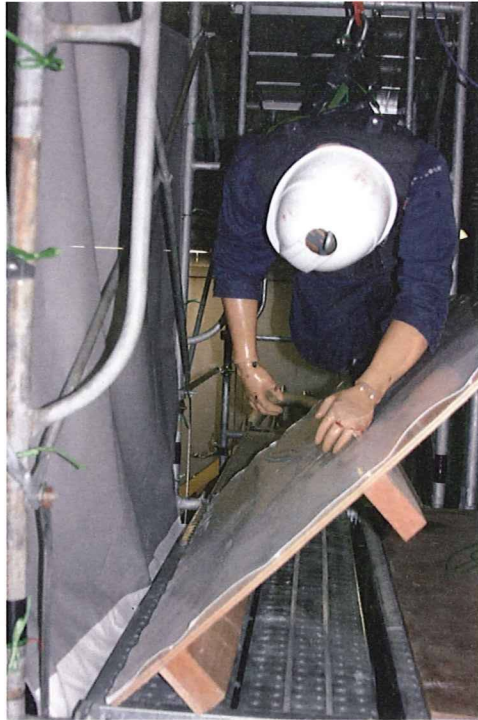


写真 23. 実験 8 の実験前の状況



写真 24. 実験 8 の実験後の状況

D. 考察

広く利用されているメッシュシートに防護膜を縫い付けて、これをメッシュシートと作業床の間の隙間を埋めるために利用する方法は、人体ダミーの墜落防護に対し、十分な効果があることが確認された。

一方、防護膜のハトメと作業床との接合で用いた”2本よりの繊維ロープ”については、比較的良好な性能を有していることが確認されたものの、防護膜の幅が小さいものでは、2本より繊維ロープの破断が少なからず見られた。このことから、人体ダミーの墜落により生ずる衝撃荷重に対しては、余裕があまりなく、もう少し強度特性の高い材質の紐の利用により、安全性が高まるものと考えられる。そのため、作業性を含めた更なる検討が必要である。

防護膜の幅についても、あまり狭くないものを用いた方が、繊維ロープに作用する衝撃荷重を小さくできる可能性があると考えられる。これについても検討の余地がある。

E. 結論

今年度検討した、防護膜によるメッシュシートと作業床のすき間を完全に塞ぐ方法は、改良を重ねたことにより安定的に墜落防護効果が期待できる可能性が見出された。また、作業者の墜落・転落のみならず、物体の落下防止効果も期待できると考えられる。

今後は、欧米および東南アジアにおける墜落防止措置の実態調査結果（分担研究報告書1参照）より、平成21年6月施行の改正労働安全衛生規則と同等以上の墜落防止性能を有する機材となることを目指す。また、新しい機材の普及を目指すため、手すり先行工法の評価結果（分担研究報告書2参照）より、作業性等を考慮して、まずは作業員に使っていただけることを考えた改良を実施する予定である。

F. 研究発表

1. 論文発表

- ①K.Ohdo, Y.Toyosawa, S.Takanashi, Y.Hino, H.Takahashi: Study on mitigation of fall risk from scaffolds in construction industry, Safety, Reliability and Risk of Structures, Infrastructures and Engineering Systems, 2010, (187-192).
- ②大幢勝利, 高梨成次, 日野泰道, 高橋弘樹, 豊澤康男: メッシュシートの改良による足場からの墜落防止に関する研究, 土木学会安全問題研究論文集, 2009, Vol.4 (191-196).

2. 口頭発表

- ①K.Ohdo, S.Takanashi, Y.Hino, H.Takahashi, Y.Toyosawa: Fundamental study on fall protection from scaffolds by plastic sheets, Proceedings of Asia Pacific Symposium on Safety (APSS2009), Osaka, Japan, 2009, (125-128).
- ②大幢勝利, 豊澤康男, 高梨成次, 日野泰道, 高橋弘樹: 足場からの墜落防止に対するメッシュシートの機能に関する基礎的研究, 安全工学シンポジウム2009, 東京, 2009.
- ③大幢勝利, 高梨成次, 日野泰道, 高橋弘樹, 豊澤康男: メッシュシートによる足場からの墜落危険性の低減方法に関する基礎的研究, 第64回土木学会年次学術講演会, 福岡, 2009.

G. 知的財産権の出願・登録状況

特になし。

III. 研究成果の刊行に関する一覧表

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
K.Ohdo, Y.Toyosawa, S.Takanashi, Y.Hino, and H.Takahashi	Study on mitigation of fall risk from scaffolds in construction industry	Safety, Reliability and Risk of Structures, Infrastructures and Engineering Systems		pp.187-192	2010
大幢勝利, 高梨成次, 日野泰道, 高橋弘樹, 豊澤康男	メッシュシートによる足場からの墜落防止に関する研究	土木学会安全問題研究論文集	Vol. 4	pp.191-196	2009
Y. Hino, K. Ohdo, S. Takanashi, and H. Takahashi	Safety Management Systems on Construction Site of Foreign Countries	Proceedings of the Asia Pacific Symposium on Safety 2009		pp.135-138	2009
K.Ohdo, S.Takanashi, Y.Hino, H.Takahashi, and Y.Toyosawa	Fundamental Study on Fall Protection from Scaffolds by Plastic Sheets	Proceedings of the Asia Pacific Symposium on Safety 2009		pp.125-128	2009
大幢勝利, 豊澤康男, 高梨成次, 日野泰道, 高橋弘樹	足場からの墜落防止に対するメッシュシートの機能に関する基礎的研究	安全工学シンポジウム2009講演予稿集		pp.402-405	2009
日野泰道	ドイツの建設業における労働安全管理体制の概要	安全工学シンポジウム2009講演予稿集		pp.406-407	2009
日野泰道, 大幢勝利, 高梨成次, 高橋弘樹	海外における建設現場の安全衛生管理体制に関する調査研究—その1 ドイツにおける現地調査結果	2009年度日本建築学会大会学術講演会, 学術講演梗概集		pp.985-986	2009
大幢勝利, 高梨成次, 日野泰道, 高橋弘樹	海外における建設現場の安全衛生管理体制に関する調査研究—その2 イギリスにおける現地調査結果	2009年度日本建築学会大会学術講演会, 学術講演梗概集		pp.987-988	2009
大幢勝利, 高梨成次, 日野泰道, 高橋弘樹, 豊澤康男	メッシュシートによる足場からの墜落危険性の低減方法に関する基礎的研究	第64回土木学会年次学術講演会, 講演概要集		pp.357-358	2009

Study on mitigation of fall risk from scaffolds in construction industry

K. Ohdo, Y. Toyosawa, S. Takanashi, Y. Hino & H. Takahashi

National Institute of Occupational Safety and Health, Kiyose, Japan

ABSTRACT: In Japan, protective measures to reduce falls from scaffolds have been strictly applied within industry safety guidelines, and such measures have significantly decreased fatal accidents due to falls from scaffolds. However, the rate of fatal accidents from falls is still high in the construction industries. In order to examine further countermeasures to reduce such falls, the Japanese Ministry of Health, Labour and Welfare established a committee in our institute. That committee's work experimentally confirmed the effectiveness of using plastic sheets as a covering around scaffolds to protect against falls (a method widely used in Japan). Based on those results, this study developed and tested easy and effective methods for installing the plastic sheets. It was found that the plastic sheets, so installed, reduced the fall risk from the scaffolds with these proposed methods.

1 INTRODUCTION

Fall accidents are a serious problem in the construction industry in Japan, and approximately 40% of fatal accidents during construction are caused by workers' falls. Therefore, Japan has introduced countermeasures to reduce falls from scaffolds, and strictly enforced these with various safety guidelines. These countermeasures have led to a reduction in the rate of fatal accidents caused by falling from scaffolds.

However, the rate of fatal accidents from falls is still high in the construction industries, and possible countermeasures became the main issue of the 11th Labour Accidents Prevention Plan in Japan. In order to examine further countermeasures to reduce such falls, the Japanese Ministry of Health, Labour and Welfare established a committee in our institute to conduct an investigation into the regulations that exist in overseas countries and to evaluate various construction methods according to present safety guidelines.

The committee's work experimentally confirmed the effectiveness of using plastic sheets as a covering around scaffolds to protect against falls (a method widely used in Japan, as shown in Photo 1). From the results of the experiments, it was found that the plastic sheets were effective for fall protection when perfectly installed, but it was difficult to accomplish this at all construction sites.

Therefore, in this study, easy and effective installation methods of the plastic sheets for fall protec-

tion were also examined experimentally. The results of the experiments were compared with Japanese body size data, and the probability of the mitigation of fall risk from scaffolds by the proposed installation methods was examined



Photo 1 Scaffolds covered with mesh sheet.

2 LABOR ACCIDENTS FROM FALLS

Figure 1 shows the number of accidental deaths in the Japanese construction industry in 2004. Approximately 40% of fatal accidents during construction are caused by workers' falls, and some of these involve falls from scaffolds.

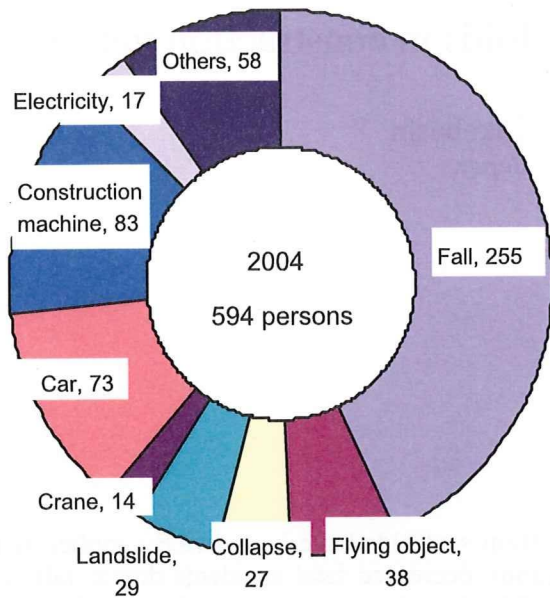


Figure 1. Number of fatal accidents in the Japanese construction industry in 2004.

3 EFFECTIVENESS OF PLASTIC SHEETS FOR FALL PROTECTION

3.1 Experimental method

Photo 2 shows the typical pipe scaffolds and prefabricated scaffolds used in Japan. In the case of pipe scaffolds, the workers sometimes fell from the space between the handrail and the work platform, and they also fell from the space between the braces and the work platform in the case of the prefabricated scaffolds, as shown in Photo 2.

The plastic sheets, which envelop the scaffolds, are able to protect the workers from falling, but their effectiveness was not clear. Therefore, their effectiveness was examined experimentally using a human dummy.

Figure 2 shows the structures of the scaffolds and plastic sheets for the experiment. The plastic sheets were the standard size: 5.1 m high (the same as three-storey scaffolding) and 1.8 m wide (the same as 1 bay of scaffolding). The plastic sheet was bound to the scaffold pipes with fiber ropes as tightly as possible. The work platform was set as close alongside the pipes as possible, as shown in Figure 3. This followed the ideal installation method for the plastic sheets.

The human dummy weighed 700 N, the average body size of Japanese males.

Table 1 shows the experimental cases. These cases were the same as those considered in earlier studies (Japan Construction ... 2003). An experiment with a used plastic sheet (Case 8) was carried out to determine the strength of a deteriorated sheet.

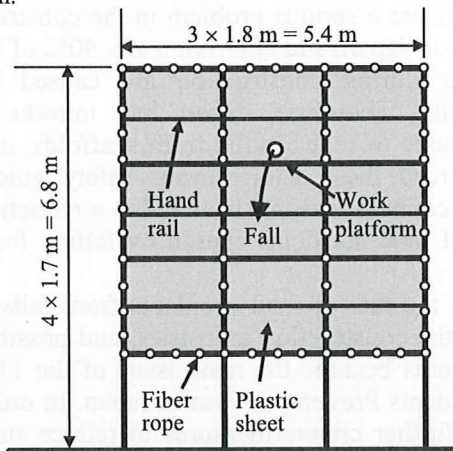


(a) Pipe scaffolds.

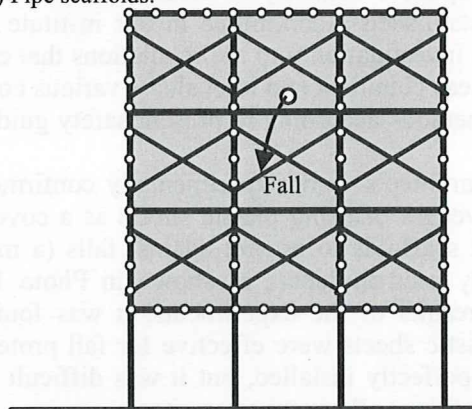


(b) Prefabricated scaffolds.

Photo 2. Typical pipe and prefabricated scaffolds used in Japan.



(a) Pipe scaffolds.



(b) Prefabricated scaffolds.

Figure 2. Structure of the scaffolding and plastic sheets for the experiment.

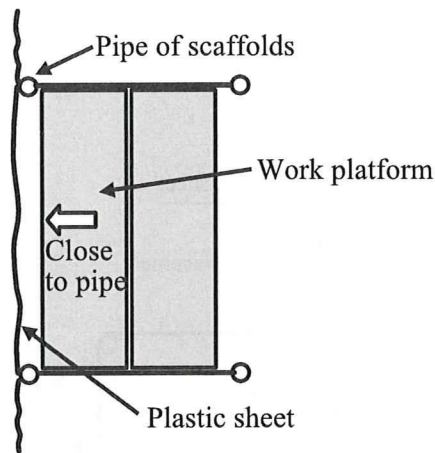


Figure 3. The work platform set as close as possible alongside the scaffold pipes.

3.2 Results of experiments

In all of the experimental cases, the human dummy did not fall from the scaffolds, and it was found that the plastic sheets were effective for fall protection, given a perfectly installed sheet. However, in some cases, the dummy almost fell from the scaffolds. Photo 3 shows the result in Case 10. The space between the plastic sheet and the work platform was spread widely, and the dummy almost fell from the space.

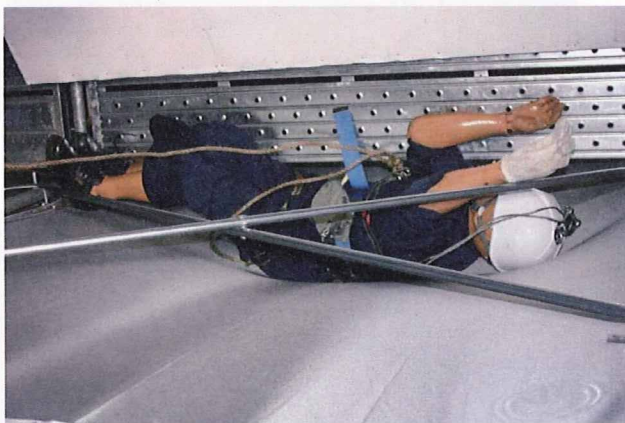


Photo 3. In Case 10, the dummy almost fell from the space between the plastic sheet and the work platform.

The ideal sheet installation method is difficult to apply at all construction sites. The falling space in the case of typical installations is larger than that in the case of an ideal installation. This is because the plastic sheets are usually difficult to bind as perfectly tight as an ideal installation requires. Therefore, the risk of falling into the space is not small, when the typical installation method of the sheet is used. In reality, workers occasionally fall into the space between the work platform and the plastic sheets.

Table 1. Experimental cases.

Case	Posture	Type of scaffolds	Photos
1	Standing	Prefabricated	
2	Crawl on hands and knees	Prefabricated	
3	Sitting and fall from back	Prefabricated	
4	Standing	Pipe	
5	Crawl on hands and knees	Pipe	
6	Sitting and fall from back	Pipe	
7	Sitting and fall to 1 m using slide	Prefabricated	
8	Sitting and fall to 1 m using slide	Prefabricated Used sheet	
9	Sitting and fall to 1 m using slide	Pipe	
10	Crawl on hands and knees, and fall to 0.2 m using slide	Prefabricated	
11	Sitting and fall from front	Prefabricated	

To prevent workers from falling into spaces, the spaces have to be made narrow. Therefore, in this study, we examined installation methods for the plastic sheets that could prevent the spreading open of the space between the work platform and the plastic sheets.

The plastic sheets are usually bound to the pipes of the scaffolds by fiber ropes. However, the ropes often loosen, creating a space that tends to be spread open by the worker's weight. Alternatively, the plastic sheets are occasionally bound to the scaffold pipes by a special coupler, as shown in Photo 4. This method appears to make it possible easily to reduce the opening of the space, but the effect has not yet been fully explored.

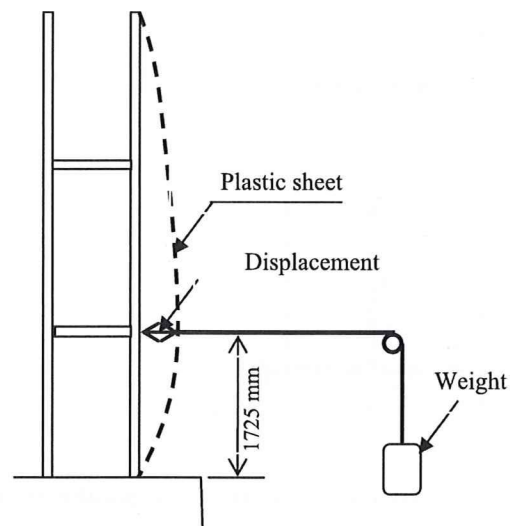


Figure 4. Experimental method.



Photo 4. The plastic sheets bound to the pipe of the scaffolds with a special coupler.



Photo 5. Experimental method (fiber rope).

4 EFFECTIVE INSTALLATION METHOD FOR PLASTIC SHEETS

4.1 Experimental method

This study sought to confirm experimentally the effectiveness of the special coupler in preventing the space from spreading open easily. Figure 4 and Photo 5 show the experimental method. The weight in Figure 4 was changed from 50 N to 400 N, and the corresponding displacement was measured by the displacement transducer, as shown in Photo 6. In the experiment, the strengthening effect of the plastic sheets was also confirmed, and a small piece of sheeting was piled with the plastic sheets to add strength, as shown in Photo 7. Table 2 shows the experimental cases in this study.



Photo 6. Measurement of displacement by displacement transducer.