

|| 投稿論文 ||

建造物解体現場における高強度繊維織物を利用した飛散防止シートの開発

立山 耕平¹・清酒 芳夫²・上條 宏明³・山田 浩之⁴

¹ 立命館大学 助教 理工学部機械工学科 (〒525-8677 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

E-mail: koheit@fc.ritsume.ac.jp

² 株式会社 大林組 (〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 28F)

E-mail: seishu.yoshio@obayashi.co.jp

³ 株式会社 大林組 (〒573-1153 大阪府枚方市招堤大谷 1-1-1)

E-mail: kamijo.hiroaki@obayashi.co.jp

⁴ 防衛大学校 准教授 システム工学群機械工学科 (〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20)

E-mail: ymda@nda.ac.jp

建造物の解体工事において、作業時にコンクリートや締結ボルトが周囲に飛散することがある。この飛散物は場合によって高速で飛翔し、人に傷害を与える危険性を有する。しかし現在、解体工事において用いられている養生シートは、主に防音・防塵が目的であり、高速で飛散する飛散物の貫通防止が考慮されていない。そこで本論文では、高強度繊維織物を用いた飛散防止シートを開発するため、飛散する可能性のある締結ボルトを模擬した飛翔体を用いて高強度繊維織物の耐貫通性能を調査した。本研究で用いたアラミド繊維織物では、563～680 J 付近の運動エネルギーを持つ鋼球およびボルト付き六角ナットに対して一枚で飛翔体の貫通を防止することができた。また、ポリエステル繊維織物では、約600 J の運動エネルギーを持つ鋼球に対して二枚（厚－薄タイプ）で飛翔体の貫通を防止することができた。高強度繊維織物を重ねて使用する際は、二枚の繊維で効果的に衝撃エネルギーを吸収するためには、その重ね合わせ順序が重要となることがわかった。

キーワード: *high strength fiber fabric, scattering prevention, impact, collision, penetration*

1. 緒言

日本では、戦後の高度経済成長(1954年～1973年)に伴い鉄筋コンクリートを用いた建造物の建設が急速に進められてきた。この傾向は、家屋やビルといった建物だけに限らず、道路、空港、橋梁、公園や学校といったインフラについても同様であり、実に多くの建造物がこの時期に集中的に建設されている。そして、この高度経済成長期に建設された建造物は、今後一斉に高齢化することが懸念されている。例えば、今後15年で建設後50年以上経過する道路橋(橋長2m以上)の割合は約65%を上回るなど、建造物高齢化の割合は加速度的に増加することが予想されている¹⁾。このような建造物の高齢化に伴い、改築、増築および新築を行うための建造物解体工事が各地で盛んに行われている。

建造物解体工事に関わる法整備の観点からは、2016年6月1日(改正建設業法施行日)から、従来の建設業法では「とび・土工事業」に含まれている「工作物の解体」を独立させ、建設業許可に係る業種区分として新たに「解

体工事業」が追加された²⁾。この背景には、実際の解体現場において施工管理の不備等による事故が発生している等の状況に鑑み、「解体工事業」について、業種区分を新設することで当該工事に必要な技術が専門性を増し、専門工事業の地位の安定、技術の向上を図る目的がある。このように、今後大幅な増加が予想されている解体工事に備え、近隣への安全・安心に配慮した施工体制・現場環境を整えることは不可欠である。

建造物の解体工事では、鉄骨切断機、コンクリート圧碎機、解体用つかみ機といった解体用機械を使用し、この作業時にコンクリートや締結ボルトなどの金属片が周囲に飛散することがある。特に、締結ボルトが飛散する場合はコンクリート片等が飛散する場合と様相が異なり、締結ボルトには強い引張応力がかかっていることから飛散時に高速で飛翔することが多く、人に傷害を与える危険性を有する。解体工事に係る死傷災害の調査を行った研究報告³⁾によれば、2008年から2012年の4年間における休業4日以上死傷災害の割合として、その15%は材料、木材や砂、金属等の飛来・落下による災害

であることが報告されており、実際に解体工事に伴う飛散物の衝突による災害は十分に脅威であることがわかる。例えば、2016年に長野県の解体工事では、現場から約40mmの金属片が飛散、約40m離れた長野市役所の網入りガラスに衝突する事故が起こっている⁴⁾。この際、網入りガラスには数十mmの貫通穴が生じており、人体に衝突すれば重大な事故となり得た事例といえる。

しかし、新業種区分として「解体工事業」が追加された現在においても、解体現場での金属片等の飛散防止に関する法的な制限はない。多くの解体現場では、解体業者によって自主的に養生シート等が使用されているが、これは防音・防塵が目的であり、飛散物の貫通防止が考慮されたものではない⁵⁾。一部、飛散物の貫通防止を考慮したシートとして、ハイテンションボルト(締結ボルト)の飛散防止シートの使用について検討されているが、その耐貫通性能に具体的な根拠は示されておらず、経験則として使用されるにとどまっている⁵⁾。そこで本研究では、実際の現象に近い再現試験を行い、定量的に耐貫通性能を評価した飛散防止シートを開発することとした。

解体工事において使用される防音シートのほとんどは、ポリエステル繊維織物にポリ塩化ビニル樹脂をコーティングしたターポリンと呼ばれる繊維織物であり、その引張強度は2000N/30mm程度である。本研究では、飛散防止シートを開発するにあたり既存のポリエステル繊維製防音シートと比較して引張強度が2~4倍である高強度繊維織物の使用を検討する。アラミド繊維織物に代表される高強度繊維織物は、重量に対する引張強度が非常に高く柔軟性を有することから様々な研究が報告されており、その利用法には大きく2種類の方向がある⁶⁾。一つは、コンクリートや樹脂等の各種材料との複合による材料の補強、一つは、繊維織物の単独使用および他繊維織物との複合による利用である。前者の例として、例えば鉄筋コンクリート構造物や樹脂材料の補強として使用することで、被補強材料の曲げ強度や靱性を大きく増加できることが報告されている⁷⁾⁻⁹⁾。しかし、上述のような材料の補強といった使用方法では軽量性が大きく利点となる反面、繊維織物の特徴である柔軟性は失われてしまう。そのため、本研究で開発する飛散防止シートへの応用には不向きである。後者の例としては、防弾チョッキ¹⁰⁾⁻¹³⁾や防刃スーツ¹⁴⁾⁻¹⁶⁾、スペースデブリバンパ¹⁷⁾⁻¹⁹⁾等が報告されているが、例えば防弾チョッキやスペースデブリバンパに関する研究では、飛翔体の速度が数百~数千m/sであり、解体現場を飛散する飛翔体速度としては現実的ではない。また、防刃スーツに関する研究では、貫通対象の先端が非常に鋭利なもののみを扱ってお

り、コンクリートや締結ボルト等の飛散物形状とは異なる。このため、これらの研究結果を飛散物防止シート開発へと拡張することは困難である。その他、複合膜の耐貫通特性として気球皮膜の貫通特性を総合的に調査した研究²⁰⁾が報告されているが、複合膜と繊維織物とでは貫通挙動が異なると考えられる。このように、高強度膜状体の耐貫通特性については多くの研究が行われているが、高強度繊維織物を単独で使用し、かつ解体現場において飛散する可能性のある速度域および対象物での研究はこれまでにほとんど報告がないといえる。

そこで本報告では、高強度繊維織物を用いた飛散防止シートの開発にあたり、飛散する可能性のある締結ボルト等の金属片を模擬した飛翔体を用いて、高強度繊維織物単体での耐貫通性能を調査した。

2. 試験方法

2.1 飛翔体

本研究で使用した飛翔体の外観を図-1に示す。飛翔体には、実際に解体工事現場において飛散する締結ボルトの模擬として、ボルト付き六角ナットを用意した。これは、接合部の破断によって飛散する締結ボルトを模擬するため、ボルトを六角ナットに締めこんだ後にボルト頭部を切断したものである(図-1(a))。図-1(a)はボルト付き六角ナットの衝突側の面を示しており、ネジ先端部が約5mm突出した状態となっている。ボルト切断面は裏面側である。ボルトの材質はSCM435(クロム・モリブデン鋼、密度約7800kg/m³)製であり、六角ナットは呼び径M22を使用した。比較のため、図-1(b)に示す鋼球を用意した。硬球は、凹凸部のない理想的な飛翔体であり、凹凸部が多く存在するボルト付き六角ナットと形状が大きく異なる。材質はSUJ2(高炭素クロム軸受鋼、密度約7800kg/m³)製であり、球直径はφ36.5mmである。ボルト付き六角ナットの質量は192.8g、鋼球の質量は199.1gであり、両者ともほぼ同様の質量を有している。

飛翔体は、後述するサボ分離付き高速投射型衝突破壊

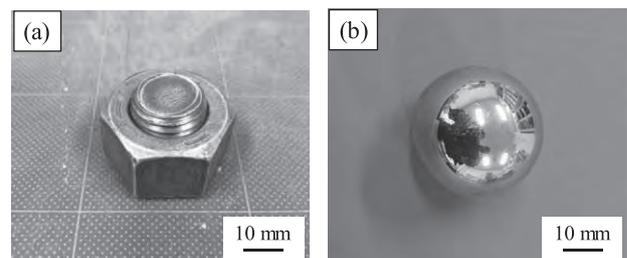


図-1 飛翔体の外観 (a: ボルト付き六角ナット, b: 鋼球)



図-2 飛翔体（鋼球）が埋め込まれたサボの外観

試験装置によって射出するため、サボに埋め込まれた状態で試験装置に設置される。図-2に、飛翔体（鋼球）が埋め込まれたサボの外観を示す。ボルト付き六角ナットを試験装置に埋め込む際、ボルトの切断面とは逆側のネジ先端部が約5 mm 突出した面が先頭になるように埋め込んでいる。サボには直径98 mm、高さ170 mmの発泡スチロール製の円筒を用いた。サボの中心部に飛翔体直径と同じ直径の穴をあけて飛翔体を埋め込むことで、サボ付き飛翔体とした。

2.2 ターゲット

ターゲットに用いる試験体には、アラミド繊維織物とポリエステル繊維織物の二種類の高強度繊維織物を用いた。今回使用したアラミド繊維織物には、火山の水蒸気噴火で飛散する噴石による建物被害を防ぐために開発されたアラミド繊維織物（東レ製：屋根補強用ケブラー[®]製織物、FS3300）を用いた²¹⁾。ポリエステル繊維織物には、熱や水による劣化がほとんどなく、乾湿による影響を受けない材料として産業用に広く用いられているポリエステル製繊維織物を2種類（東レ製：トレシート、500T および 800T）用意した。織り方はすべて平織りである。試験体の外観および飛翔体とのサイズの比較を図-3に、試験体の基礎物性を表-1に示す。一番繊維径の大きい800Tにおいても、飛翔体のサイズに対して経糸および緯糸が15本以上配置されていることが確認できる。

この試験体を外径550 mm × 550 mm、内径450 mm × 450 mmの固定用鉄枠治具に弛まないように挟みこみ、四方をそれぞれ四つの万力を用いて締付けトルク5 N・mの拘束条件で固定したものをターゲットとした（図-4）。実際にアラミド繊維織物を飛散防止シートとして使用する場合、湿気および紫外線対策のため防水シートなどで包む必要がある^{22), 23)}。そのため本研究では、実使用環

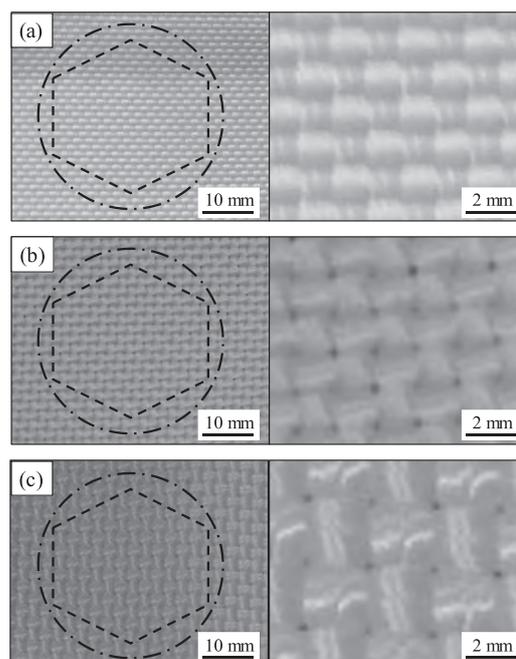


図-3 試験体の外観 (a: アラミド繊維織物 [FS3300], b: ポリエステル繊維織物 [500T], c: ポリエステル繊維織物 [800T]) および飛翔体の投影面積 (破線: ボルト付き六角ナット, 一点鎖線: 鋼球)

表-1 試験体の基礎物性

Type of fiber fabrics	Aramid	Polyester	
Model number	FS3300	500T	800T
Thickness [mm]	0.6	0.9	1.2
Mass [kg/m ²]	0.45	0.55	0.86
Tensile strength [N/30 mm]	9000	5600	8500

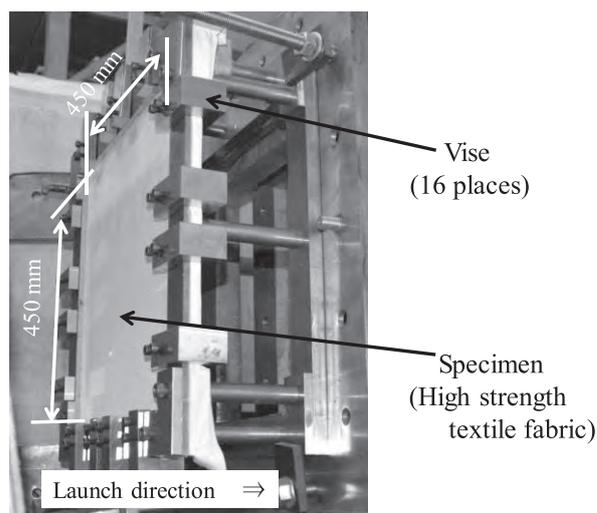


図-4 固定用鉄枠治具に挟み込んだターゲットの一例（ポリエステル製繊維織物）

境を想定し、アラミド繊維織物を使用する場合に限り、両面に防水シートを一緒に挟み込んでいる。この防水シートにはほとんど強度はなく、試験結果に影響を及ぼ

さないことを確認している。

2.3 サボ分離式高速投射型衝突破壊試験装置

図-5 にサボ分離式高速投射型衝突破壊試験装置の概略を示す。装置は発射部、サボ分離部およびターゲット台で構成されている。圧力タンクに圧縮空気が貯められた状態で発射針により隔膜を破裂させると、圧縮空気が発射管に放出される。飛翔体が埋め込まれたサボは放出された圧縮空気によって加速し、発射管内を 6000 mm 走行した後、発射管から発射されサボ分離部に衝突する。サボ分離部には図-6 に示すように直径 40 mm の通過口を設けてあり、サボが通過口の内径に衝突することで飛翔体のみが通過口を通過してターゲットに衝突する構造となっている。

飛翔体の速度は、発射管の先端 2 箇所に 50 mm の間隔で設置したレーザーおよび受光部を用いて測定を行う。飛翔体がレーザーを通過し、受光部への照射を遮ると受光部から出力される電圧が低下し、飛翔体が通過し終わると再度受光部にレーザーが照射され、電圧が増加する。この電圧低下点および電圧上昇点の時間差を利用して衝突速度を測定した。この際、ハイスピードカメラ（ナックイメージテクノロジー製：HX-3）によって撮影された画像から算出した飛翔体速度とレーザーより得られた飛翔体速度の比較を行い、両者がよく一致している

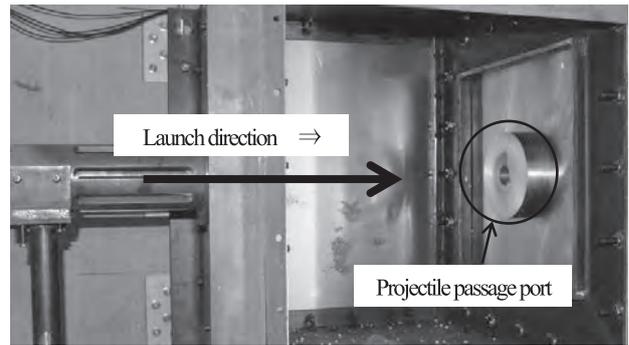


図-6 サボ分離部の外観図

ことを確認している。本研究では、サボ分離後の飛翔体の速度は約 60 m/s ~ 130 m/s の範囲で行った。

3. 衝突試験結果および考察

3.1 アラミド繊維織物の耐貫通特性

アラミド繊維織物に対して行った衝突試験での試験条件を表-2 に示す。また、各飛翔体における耐貫通エネルギー特性を図-7 に、衝突試験後のターゲットの外観の一例を図-8 にそれぞれ示す。この際、飛翔体の持つ運動エネルギーを衝突エネルギーとし、衝突エネルギー量と飛翔体の貫通の有無に着目して各試験の評価を行った。ボルト付き六角ナットでは、貫通境界エネルギーが

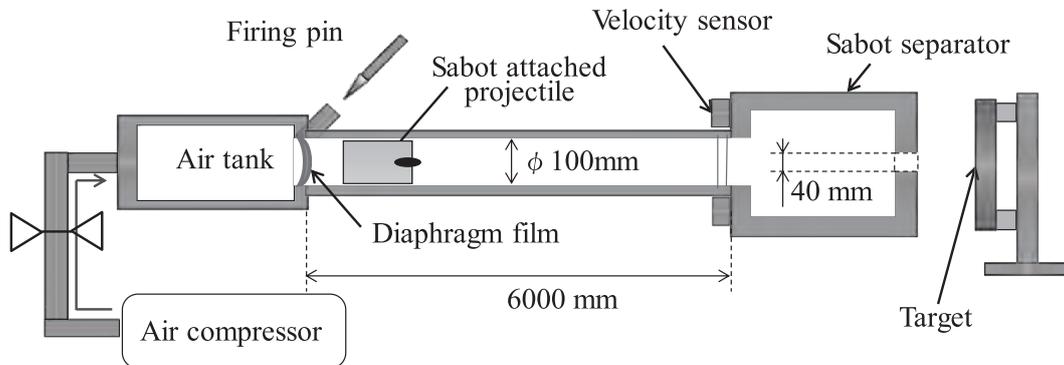


図-5 サボ分離式高速投射型衝突破壊試験装置の概略図

表-2 アラミド繊維織物に対して行った衝突試験の試験条件

Projectile	Projectile mass [g]	Velocity [m/s]	Impact energy [J]	Penetration
Hex. nut with bolt	193	128	1579	Penetrated
		103	1023	Penetrated
		84	680	Penetrated
		76	563	None
		74	528	None
		58	324	None
Steel ball	199	82	669	None
		79	621	None

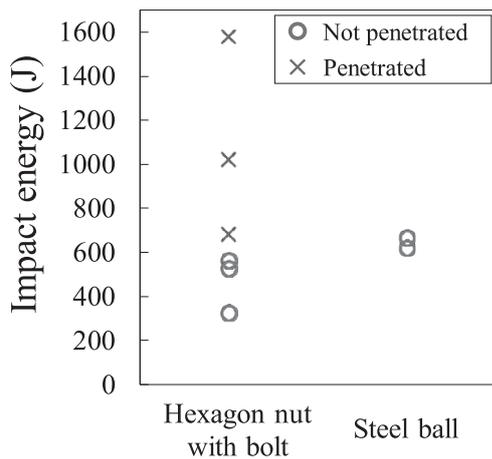


図-7 各飛翔体における耐貫通エネルギー特性 (アラミド繊維織物)

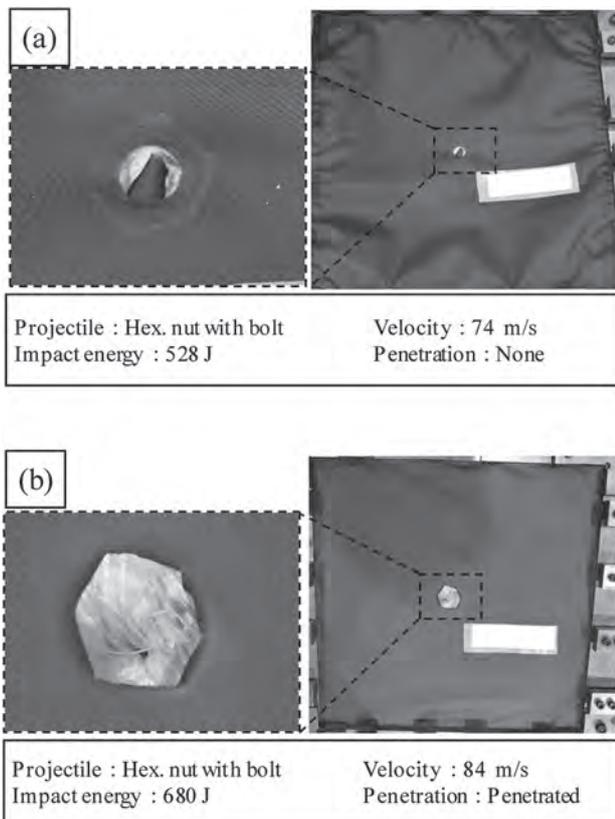


図-8 衝突試験後のターゲットの外観の一例 (a:非貫通, b:貫通)

563 ~ 680 J 付近であることが確認できた。一方、鋼球を衝突させた際の結果についてはボルト付き六角ナットの結果との比較を優先したため貫通する結果を得ることができていないが、少なくとも 669 J においても貫通しないことがわかった。衝突エネルギー約 670 J の結果に注目すると、ボルト付き六角ナットでは 680 J において貫通が確認されたのに対し、鋼球では 669 J においても貫通しなかった。これより、飛翔体速度が 60 ~ 130 m/s の範囲において、飛翔体形状が繊維織物の耐貫通特性に

影響を及ぼすことが試験的に示された。

繊維織物の耐貫通特性に及ぼす飛翔体形状の影響については過去にも報告されている。Lim ら¹⁴⁾は、繊維織物の耐貫通特性に及ぼす飛翔体先端形状の影響を調査しており、先端形状が球面の場合と平面の場合では、平面形状の方が繊維の伸びが減少し、耐貫通特性が低くなることを示している。Lim らの研究では、飛翔体が小さく(約 10 mm)速度も高速(100 ~ 600 m/s)であるが、本研究においても同様の傾向が得られた。これは、図-9 のようにボルト付き六角ナットでは鋼球と比較して角部が存在することで衝突された繊維にせん断力が作用したためと推察される。繊維織物は引張強度と比較してせん断強度が低い²⁴⁾ため、ボルト付き六角ナットの角部において繊維の破断が早期に生じたものと考えられる。

ここで、飛翔体がボルト付きナットの場合における飛翔体の衝突角度を確認するため、図-8の衝突点に注目した。図-8(a)では、防水シートの下層に見える黄色部分が貫通されなかったアラミド繊維織物である。図-8(b)では、アラミド繊維も破断して飛翔体は貫通したが、貫通後に破断した繊維が元に戻って開口部を塞いでいる。貫通・非貫通にかかわらず衝突点には六角形の衝突痕(図-8(b)ではシート破断痕)が残っており、飛翔体はサボ分離後に正面から衝突していることがわかる。図-8(a)の防水シートに生じた円形の穴は、ボルト付き六角ナットのボルト部分が防水シートのみを切断したもので、飛翔体は貫通していない。本研究では、ボルト付き六角ナットの試験結果すべてにおいてこの六角形の衝突痕を確認できたため、飛翔体の衝突角度はほぼ一定であり、衝突角度の影響はなかったと考えられる。

今後、上記に示した飛翔体先端形状および衝突角度の及ぼす影響については、高速度カメラでの撮影等によって正確に評価する必要がある。このように、飛翔体形状が高強度繊維織物の耐貫通特性に大きく影響することが明らかになったが、解体現場のように飛散する飛翔体形状が未知の場合、一般的に行われるような球体を用いた衝突試験ではなく、実際に飛翔する可能性のある形状の

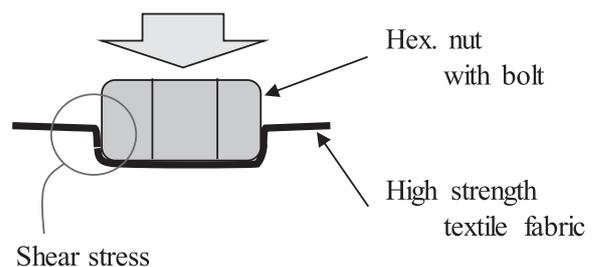


図-9 ボルト付き六角ナットが繊維織物に衝突した際に生じるせん断力のイメージ図

飛翔体を用いて衝突試験をしなければ精確な評価ができないといえる。

3.2 ポリエステル繊維織物の耐貫通特性

ポリエステル繊維織物についてもアラミド繊維織物と同様に試験を行ったが、飛翔体に鋼球を用いて飛翔体速度 67 ~ 77 m/s(衝突エネルギー約 450 ~ 590 J)で試験したところ、ポリエステル繊維織物一枚のみではすべての条件で貫通することがわかった。そこで、ポリエステル繊維織物でも不貫通の結果を得るために、厚みの異なるポリエステル繊維織物を二種類重ね合わせた試験体を作製した。重ね合わせ条件は、衝突面から 500T, 800T の順で重ねた厚-薄タイプ, 800T, 500T の順で重ねた厚-薄タイプの二種類を用意した。表-3 に試験条件および結果を、図-10 に二種類の重ね合わせ条件で行った試験体の衝突試験後の様子を示す。この際、ポリエステル繊維織物に対する試験で用いた飛翔体は鋼球のみであり、ボルト付き六角ナットでの試験は実施していない。試験の結果、二種類の試験片に対してほぼ同一の衝突エネルギーを与えたにもかかわらず、厚-薄タイプでは貫通したのに対し、厚-薄タイプでは貫通しないことがわかった。このとき、治具平面から中心までの凹み量を測定すると、厚-薄タイプでは約 55 mm の凹み量に対して厚-薄タイプでは約 80 mm の凹み量であり、厚-薄タイプの方が繊維織物の伸びが大きく効果的に衝突エネルギーを吸収していることを示している。これは、図-11 に示すように厚-薄タイプでは前面の繊維織物の強度が高いため、前面の繊維織物が破断するまで裏面の繊維織物が補強となり二枚の繊維織物に荷重が分散する効果が生じたと推察される。しかし、厚-薄タイプでは前面の繊維織物の強度が低いため、前面の破断が早期に生じ、二枚重ねの荷重分散効果が生じなかったと考えられる。

これらの結果から、高強度繊維織物を重ねて衝突エネルギーを受ける際は、その重ね合わせ順序によって耐貫通特性が異なることがわかった。今後、ボルト付き六角ナット等の先端形状が異なる飛翔体を用いて同様の試験を行い、重ね合わせた高強度繊維織物の貫通メカニズムを解明することで、より効果的な耐貫通特性を有する耐飛散防止シートの開発が可能になると考えられる。

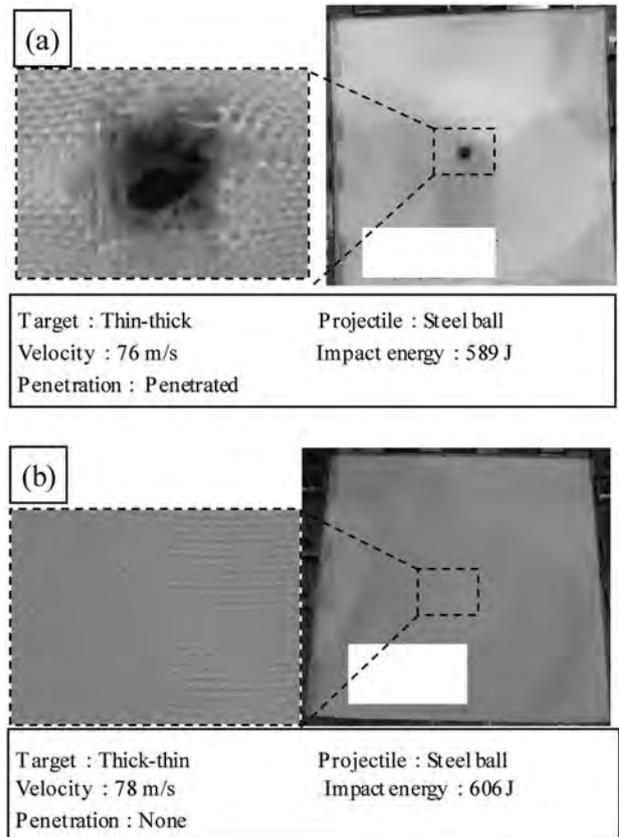


図-10 二枚重ねのターゲットに対する衝突試験後のターゲットの外観の一例 (a: 薄-厚タイプ, b: 厚-薄タイプ)

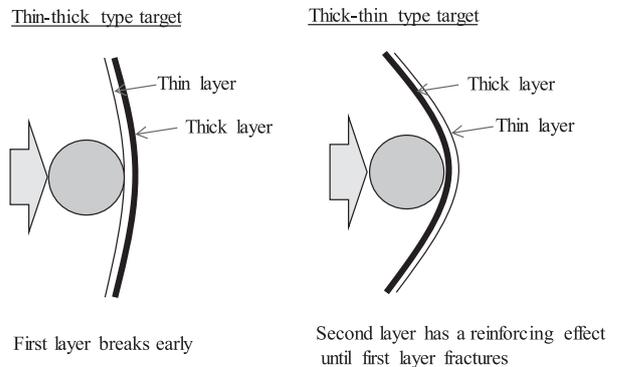


図-11 二枚重ねのターゲットの重ね合わせ順序による効果のイメージ図

4. 結 言

本研究では、高強度繊維織物を用いた飛散防止シートの開発にあたり、飛散する可能性のある締結ボルト等の金属片を模擬した飛翔体を用いて高強度繊維織物単体での耐貫通性能を調査することで、飛散防止シートの開発

表-3 ポリエステル繊維織物に対して行った衝突試験の試験条件および結果

Type	Target	Projectile mass [g]	Velocity [m/s]	Impact energy [J]	Penetration
(a)	Thin-thick	199	76	589	Penetrated
(b)	Thick-thin		78	605	None

指針を示した。以下に得られた結果を示す。

- (1) サボ分離式高速投射型衝突破壊試験装置を用いることで、直径 30 mm 程度の金属片を、形状にかかわらず衝突速度約 60 ~ 130 m/s の範囲で射出することができた。
- (2) アラミド繊維織物では、563 ~ 680 J 付近の運動エネルギーを持つ鋼球およびボルト付き六角ナットに対して一枚で、また、ポリエステル繊維織物では、約 600 J の運動エネルギーを持つ鋼球に対して二枚(厚-薄タイプ)で、それぞれ飛翔体の貫通を防止することができた。
- (3) 飛翔体形状が高強度繊維織物の耐貫通特性に影響を及ぼすことがわかった。飛翔体が球体に対して角部が多くなるほどせん断変形に起因する繊維の破断が早期に生じ、貫通特性は低下する。
- (4) 高強度繊維織物を重ねて使用する場合、二枚の繊維で効果的に衝撃エネルギーを吸収するためにはその重ね合わせ順序が重要である。

本研究結果より、飛散物の形状および飛散速度が重要であることが示唆された。今後、飛散防止シートの開発にあたっては、実際の解体現場における飛散物との関連性についてより詳細な調査が課題である。

謝辞：本研究の実施において、有限会社清和工業に多くのご協力を頂いた。また、アラミド繊維織物は東レ株式会社に、ポリエステル繊維織物は泉株式会社にご提供頂いた。ここに記して、謝意を表する。

参考文献

- 1) 国土交通省：インフラ長寿命化基本計画、インフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議、pp.1-20, 2013.
- 2) 国土交通省：解体工事業追加に係る制度について（施行：平成 28 年 6 月 1 日）、pp.1-40, 2016.
- 3) 高橋弘樹、堀智仁、大幡勝利、高梨成次：建築物の解体工事における死傷災害の調査・分析、平成 29 年解体工事に係る研究報告書梗概集、pp.1-11, 2017.
- 4) 信濃毎日新聞：金属片で長野市役所の窓ガラス割れる、信濃毎日新聞、11 月 22 日、pp. 2, 2016.
- 5) 河村広明：ハイテンションボルト飛散防止シートの開発および強度安全性研究、平成 27 年解体工事に係る研究報告書梗概集、pp.41-51, 2015.
- 6) 高田忠彦：スーパー繊維の用途、繊維機械学会誌、Vol.48, No.12, pp.455-461, 1995.
- 7) 伊藤嘉則、榎谷榮次、相場豊史、茂木順一：アラミド繊維と鋼板を併用して耐震補強した RC 造柱の構造特性—骨格曲線を用いた曲げ強度増大効果と靱性指標の実験的検証—、日本建築学会構造系論文集、Vol.77, No.671, pp.55-64, 2012.
- 8) 山野辺慎一、曾我部直樹、河野哲也：超高強度繊維補強コンクリートを用いた RC 橋脚の二方向地震動に対する耐震性能、土木学会論文集 A、Vol.66, No.3, pp.435-450, 2010.
- 9) 植村政彦：複合材料の歴史—釣竿から自動車まで—、繊維と工業、Vol.48, No.12, pp.636-642, 1992.
- 10) M.M. Moure, I. Rubio, J. Aranda-Ruiz, J.A. Loya, M. Rodriguez-Millan: Analysis of impact energy absorption by lightweight aramid structures, *Composite Structures*, Vol. 203, pp.917-926, 2018.
- 11) Antonio F. Avila, Aline M. de Oliveira, Suchilla G. Leao, Marina G. Martins: Aramid fabric/nano-size dual phase shear thickening fluid composites response to ballistic impact, *Composites Part A*, Vol. 112, pp.468-474, 2018.
- 12) Abhijit Majumdar, Animesh Laha, Debarati Bhattacharjee, Ipsita Biswas: Tuning the structure of 3D woven aramid fabrics reinforced with shear thickening fluid for developing soft body armour, *Composite Structures*, Vol. 178, pp.415-425, 2017.
- 13) C.T. Lim, V.B.C. Tan, C.H. Cheong: Perforation of high-strength double-ply fabric system by varying shaped projectiles, *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 27, pp.577-591, 2002.
- 14) M. Rodriguez-Millan, A. Diaz-Alvarez, J. Aranda-Ruiz, J. Diaz-Alvarez, J.A. Loya: Experimental analysis for stabbing resistance of different aramid composite architectures, *Composite Structures*, Vol. 208, pp. 525-534, 2019.
- 15) 榎本一郎、長尾架紗：高強度繊維不織布を用いた防護材料の開発、東京都立産業技術研究センター研究報告、Vol.11, pp.75-78, 2016.
- 16) 坂口明男、萩原秀成、木村裕和、鮑力民、森川英明：絡み織物の耐突刺し防護服素材としての特性、*Journal of Textile Engineering*, Vol.63, No.6, pp.159-163, 2017.
- 17) 東出真澄、小野瀬直美、仁田工美、松本晴久、長谷川直、松澤遼、竹場敦史、片山雅英：微小デブリ衝突に対するアラミド繊維織物の貫通限界、平成 25 年度スペースプラズマ研究会・講演集、2013.
- 18) J. Michael Pereira, Gary D. Roberts, and Duane M. Revilock: Elevated temperature ballistic impact testing of PBO and Kevlar fabrics for application in supersonic jet engine fan containment systems, *NASA Technical Memorandum 107532*, pp.1-5, 1997.
- 19) 東出真澄、小野瀬直美、黒崎裕久、長谷川直、松本晴久：微小粒子衝突に対する高強度繊維織物の防御性能評価、日本惑星科学会誌、Vol.24, No.3, pp.263-268, 2015.
- 20) 小川欽也：衝撃力を受ける気球被膜の貫通挙動、材料、Vol.54, No.11, pp.1166-1172, 2005.
- 21) Hiroyuki Yamada, Kohei Tateyama, Hisashi Sasaki, Shino Naruke, Hiroshi Kishimoto, Mitsuhiro Yoshimoto: Impact resistance to ballistic ejecta of wooden buildings and a simple reinforcement method using aramid fabric, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 359, pp.37-46, 2018.
- 22) 勝木太、魚本健人：アラミド繊維の耐アルカリ性および耐酸性の評価方法に関する一試案、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.17, No.1, pp.519-524, 1995.
- 23) 山口明伸、西村次男、魚本健人：紫外線による各種繊維の劣化現象の評価方法に関する基礎研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.18, No.1, pp.1161-1166, 1996.
- 24) 高田忠彦：アラミド繊維補強 FRP (ArFRP) の界面とその問題、複合材料と界面、Vol.44, No.2, pp.67-73, 1988.

(2019.4.9 受付, 2019.6.3 採用決定)

DEVELOPMENT OF SCATTERING PREVENTION SHEET USING HIGH STRENGTH FIBER FABRIC AT THE SITE OF CONSTRUCTION DEMOLITION

Kohei TATEYAMA¹, Yoshio SEISHU², Hiroaki KAMIJO² and
Hiroyuki YAMADA³

¹ Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Ritsumeikan University

² Member of OBAYASHI, OBAYASHI Corp.

³ Associate Professor, School of Systems Engineering, National Defense Academy

Concrete and metal pieces may be scattered during demolition work. This scattered material can sometimes fly at high speed, which creates the risk of personal injury. However, the curing sheets typically used in demolition work are mainly intended for soundproofing and dustproofing, and are not designed to prevent the penetration of scattering matter traveling at high speeds. To address this problem, we have developed a scattering prevention sheet that uses high-strength fiber fabric. First, the penetration resistance performance of high-strength fiber fabric was investigated using a projectile that simulates metal shrapnel. This test showed that the shape of the projectile influences the penetration resistance of the high-strength fiber fabric. In addition, the test clarified that the order in which layers are superposed is relevant when using high-strength fiber fabrics.