

ガラスの破壊に関する研究 (第1報)

宮島 敏光*, 長谷川 忠大*, 長倉 輝明*, 原 聡**

概要

建築物の低層階における防犯性について近年強く叫ばれ、窓ガラスが壊されにくくなる傾向にあることから、消防隊のガラス破壊時の安全化、効率化の知識の普及を目的とし、ガラス破壊実験を行った。その結果、次のことがわかった。1 ショットバック準用実験では、とび口では破壊できない。2 強化ガラスは、市販の脱出ハンマーで容易に破壊できる。3 フィルムを貼ったフロートガラスは、現有の破壊器具で破壊できる。

1 はじめに

(1) ガラスの分類

ガラスは、表1のような化学的組成をもち、また製法が異なることにより、さまざまな用途に使われている。

表1 ガラスの化学的組成

成分	組成 (%)
シリカ SiO ₂	70~73
アルミナ Al ₂ O ₃	1.0~1.8
酸化鉄 Fe ₂ O ₃	0.08~0.14
ライム CaO	7~12
マグネシア MgO	1.0~4.5
アルカリ Na ₂ O+K ₂ O	13~15

ガラスの製法で現在世界的にも主流となっているのが、

表2 板ガラスの分類

ガラス種類	性質等	用途
型板ガラス	無色、透明で採光性、透視性がよい。	住宅、一般建築の窓、家具などに使用されている。
フロートガラス	すぐれた平行面をもつ透明板ガラスである。	建築物の窓やショーウィンドをはじめ、自動車や鉄道車両の安全ガラスの材料など広範囲である。
強化ガラス	普通のガラスの3~5倍の強度を持ち、衝撃、圧力熱変化などに耐え破損しても破片が細粒状になる。	自動車等の車両の窓をはじめ、ビルなどの出入口のドアとして、また最近では、学校、一般住宅の窓にも使用されている。
合わせガラス	強い衝撃を受けても強靱な中間膜によって破片の飛散が防止される。また、貫通しにくい。	自動車のフロントガラスや超高層ビルの窓ガラスなど、安全性を要求されるところに使用されている。
網入りガラス	フロートガラスに金網や金属線を入れたもので、火災の際に熱で割れても破片が脱落しにくく延焼を防ぐ働きをする。	建築基準法で防火戸の使用が義務づけられている開口部に使用することができる。
複層ガラス	通常2枚の板ガラスの周囲を封着し、その間に乾燥空気を密封したもので普通ガラスの約2倍の断熱効果を発揮する。	用途も空調設備を有する建物はもちろんのこと一般住宅や鉄道車両など広範囲に及んでいる。
耐熱ガラス	膨張率を低く抑えることで、熱強度的に強くなっている。	ガラス防火戸等に利用されている。

* 第三研究室 ** 日野消防署

フロート法と呼ばれるもので、溶融した錫の上にガラスを浮かべて製造する方法である。このフロート法で作られたガラスがフロートガラスである。さらにこのフロートガラスを2枚合わせて、その間に中間膜を挟んだものが合わせガラスである。また、スペーサと呼ばれるアルミ製の枠によって空気層を挟みこんだガラスが複層ガラスである。

その他のガラスの製法として、溶解したガラスを2本の水冷ロールの間に通して作るロールアウト法があり、型板ガラス、網入りガラスがこの方法で作られている。

最後に強化加工と呼ばれるものがあり、板ガラスを軟化温度近くまで加熱したのち表面を均一に風冷する製法である。この製法で作られるガラスが強化ガラスである。さらに板ガラスは、表2のとおり分類される。

2 ガラス破壊実験

(1) 基礎実験

ア 目的

(7) 基本的な各種ガラスの破壊性状の検証

(4) とび口と小おのの破壊性状の検証

イ 実験日時等

平成14年9月13日、25日及び10月22日、
31日及び11月22日 東京消防庁消防科学研究所1階 総合実験室内

ウ 実験方法

(7) 実験装置は JIS R 3205 に規定されているガラスの破壊強度試験である「ショットバック試験」(以下「ショットバック試験」とする。)の試験体固定方法を準用した実験装置(図1参照)を使用した。

(4) ガラスの種類は、フロートガラス・強化ガラス・合わせガラス・網入り板ガラス・複層ガラス(表3参照)でガラス厚さは、現在、当庁における無窓階に関する取り扱いの基準で代替開口部として認定できるものである。また、ガラスの大きさは、「ショットバック試験」の供試体寸法(1930mm×864mm)を準用した。

(7) 破壊器具は、とび口と小おのを使用した。(図2参照)

(エ) 打撃方法は、実験装置に取り付けた破壊器具を振り子のように落下させて行った。

(オ) 打撃高さは、参考文献(3)より地上での消防隊の打撃力を装置の振り子の高さに換算し、105cmとした。

(カ) 打撃位置は試験体の中心から上部の角を結ぶ線上で1/3の距離とした。(昭和55年に当庁が実施した研究等より効果的で安全であると特定している打撃位置である。)記録は、ガラスの破壊状況及び飛散方向と飛散距離等の状況を映像、画像等により撮影した。

(キ) ガラスを貫通する穴が設定できた時点を破壊可能とした。

表3 ガラスの種類

ガラスの種類	厚さ (mm)
フロートガラス	6
強化ガラス	5
合わせガラス	3+(15ミル)+3
網入りガラス	6.8
複層ガラス	3+Air+3

* 1 ミル = 1/1000 インチ (0.25 mm)

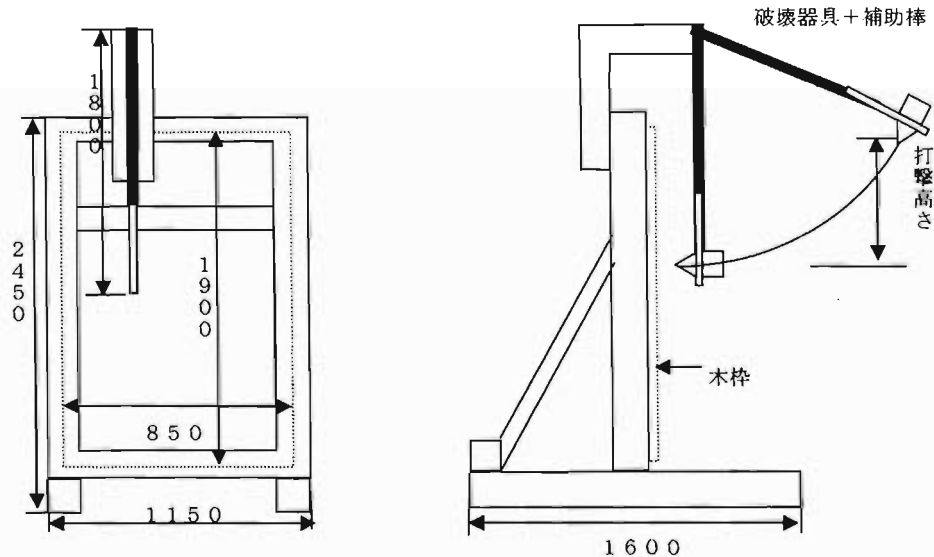
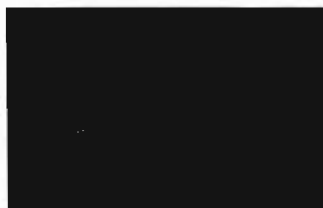


図1 実験装置



小おの

全長 470 mm 質量 2.7 kg



とび口

全長 1800 mm 質量 1.5 kg

図2 破壊器具





エ 結果

破壊器具のガラス破壊時の留意点を言えば、小おのは、強化ガラス破壊の時、ピッケル部の形状から必ずしも1回で破壊することはできない。

また、とび口は、刃先が、先端の形状の丸みからガラス表面を滑ってしまう場合がある。

その他、ガラスの割れ方、飛散、開口部設定に関しては、表4のとおりである。

表4 各種ガラスの破壊性状について(割れた場合:○、割れない場合:×、条件付きで割れる場合:△)

ガラス種類	破壊試験結果		ガラスの割れ方	破壊時の写真	破片の飛散に関して	開口部設定に関して
	小おの	とび口				
フロートガラス	○	×	ガラスの破片、開口部ともに形状が鋭利である。		飛散量は、少ないが形状が鋭利なので注意が必要である。	必要最小限度の開口部をいかに開けるかが問題となってくる。
強化ガラス	△	×	割れると、ガラス全体にクラックが入り部分的に脱落する。細かいクラックの入った状態で残存し、手で触れる等で脱着しやすい。		破壊されたガラスは、約1cm ² 大の破片が広範囲に飛散する。	破壊するには、刃先がワンポイントに集中するように何度も打撃する必要がある。
合わせガラス	○	×	中間に存在するフィルムによって、飛散せずに割れたガラスが付着した状態である。		粉末状のガラスが舞うが、飛散はほとんどしない。	中間フィルムを貫通した穴をいくつか設定するか、またはその穴を拡大させていくことがポイントとなる。
複層ガラス	○	○	前面のガラスは、割れてしまうが後面のガラスは、割れていない。		前面ガラスの飛散の危険性を注意を払う必要がある。	後面ガラスが割れづらく、また前面ガラスの飛散に考慮しながら開口部設定の必要がある。
網入りガラス	○	×	打撃点の部分だけ穴が空いた状態である。		中の網が飛散を防止させる働きがあった。破片も小さく危険性は少ない。	中の網を切断すれば容易に開口部設定できる。

(2) 強化ガラス及びフィルムを貼ったフロートガラスの破壊実験

ア 目的

(ア) 強化ガラスに対する各破壊器具の破壊性状の検証

(イ) フィルムを貼ったフロートガラスに対する各破壊器具の破壊性状の検証

イ 実験日時等

平成15年2月12日 東京消防庁消防科学研究所

1階 総合実験室内

ウ 実験対象となる板ガラス、フィルム、使用破壊器具

(ア) 対象板ガラス

表5 対象板ガラス

対象板ガラス	大きさ (縦×横×厚さ ・単位はmm)
強化ガラス	1930×864×5
フロートガラス	1930×864×6

(イ) 使用するフィルム

表6 フィルム






フィルム種類	フィルム厚さ	フィルム材質
A	182μm	ポリエステル
B	370μm	ポリエステル

*今回使用するフィルムは、現在の販売のシェアと家庭・事業所等の使用目的から代表的な2種類を選定した。

なお、フィルムAは平成8年に実施済みで、フィルムBは今回初めて行われた。

(ウ) 使用破壊器具

表7 使用破壊器具

破壊器具種類	用途	寸法(mm) 重量(kg)	写真
破壊器具①	防災破壊器具	335×155 0.9	
破壊器具②	自動車の側面 ガラス破壊	170 0.26	
破壊器具③	消防隊 破壊器具(小おの)	470 2.7	
破壊器具④	自動車の側面 ガラス破壊	φ16×129 0.055	
破壊器具⑤	消防隊 破壊器具(とび口)	1800 1.5	

エ 実験内容

(ア) 強化ガラス破壊実験方法

a 表7の破壊器具①～④を用いて破壊した。

b 破壊装置(図1参照)にガラスを設置し、消防隊員が通常の活動で破壊器具を用いて破壊する方法を行った。

c 打撃回数は割れるまでとし、最大10回とした。

d 打撃位置については、任意とした。

(イ) フィルムを貼ったフロートガラスの破壊実験方法

a 破壊装置(図1参照)にガラスを設置し、消防隊員の通常の活動を想定し、破壊器具②、③、⑤を用いて破壊した。

b フィルムを貼ったフロートガラスを各破壊器具で破壊し、その状況を把握した。

表8 フィルムを貼ったフロートガラスの破壊実験の内容

ガラス種類	大きさ (縦×横×厚さ ・単位はmm)	貼付 フィルム	破壊器具
フロート ガラス	1930×864×6	A	破壊 器具②
		B	
		A	破壊 器具③
		B	
A	破壊 器具⑤		
B			

オ 実験結果

(ア) フィルムを貼ったフロートガラス破壊実験の結果及び考察(表9・図3参照)

使用した破壊器具②、③、⑤すべてで破壊可能であった。全般は、貼付されたフィルムの性質からガラス全体の破壊は、非常に困難であった。従って、最小限度に破壊する方法でなくてはいけなく、具体的には、①:小さな開口部を小破壊によって必要な数だけ開ける②:フィルムから割れたガラスを剥がす破壊方法が適している。

表9 フィルムを貼ったフロートガラスの破壊実験結果

ガラス種類	貼付 フィルム	破壊試験 結果	破壊器具
フロート ガラス (6mm)	A	○	破壊 器具②
	B	○	
	A	○	破壊 器具③
	B	○	
	A	○	破壊 器具⑤
	B	○	



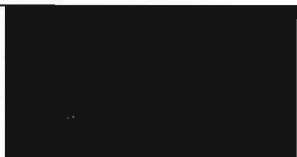
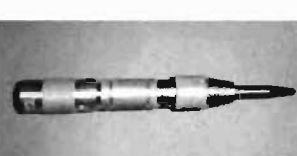


図3 フィルムを貼ったフロートガラスの破壊状況

(イ) 強化ガラス破壊実験の結果及び考察(表10参照)

実験結果及び考察は基本的に強化ガラスは内部に掛かっている応力のバランスが崩れることで破壊するため、破壊器具を使用する場合はワンポイントに集中させて傷を深く付けることが重要である。なお、容易に破壊できた場合は、◎印、破壊できた場合は、○印破壊できなかった場合は、×印、条件付きで破壊できた場合は、△とした。

表10 強化ガラス破壊実験の結果及び考察について

対象 ガラス	破壊器具名称		結果	器具の強化ガラス破壊適応性
強化ガラス (厚さ5mm)	破壊器具①		○	数回の打撃で、ガラス表面の同じポイントを打撃しないと破壊できないといった面があるが、その一方で破壊器具③と比べ軽量であるため、同じポイントに当てやすく扱いやすい一面もある。
	破壊器具②		◎	刃先の適度な重さと先端の円錐状の形状がガラス表面の強化層を垂直に非常にとらえやすく、また消防隊が、非常に小さな力で破壊することができ、活動スペースは、狭くても可能であった。 開口部に関しても、打撃1回目でガラス全面に細かなクラックが広がる結果となる。いったん割れてしまえば、軽くスナップをきかせながら、周辺のガラスを落としていくことで、開口部を拡大し、進入までのプロセスまでは、容易と考えられる。
	破壊器具③		△	重量のある器具のため同じポイントに打撃させづらいことから、ガラスにクラックが入りにくく割れにくい。しかしながら、活動スペースと内部の状況を判断してかなりの力を込めて打撃することで破壊は可能である。
	破壊器具④		○	確実にガラス面と垂直に接することができ、かつ1点に荷重をかけることができるので、小さな開口部を設定することができる。しかし、器具が小さく荷重をかけるに際して、力を必要とするところがある。ガラス破壊直後、破壊器具にかけた力によりひじ位まで破壊面に入ってしまう。ガラスの飛散に関して開口部が小さいため、飛散するガラスも量も少なく安全性は、あると考えられる。

(3) 結論

ア ショットバック準用実験では、とび口では、破壊できない。
イ 強化ガラスは、市販の脱出ハンマーで容易に破壊できる。

ウ フィルムを貼ったフロートガラスは、現有の破壊器具で破壊できる。

その他、各種ガラスの適性な破壊器具及び破壊方法について詳細は、表11のとおりである。

表11 各種ガラスの適性な破壊器具および破壊方法について

各種 ガラス	破壊器具					破壊方法
	破壊器具①	破壊器具②	破壊器具③	破壊器具④	破壊器具⑤	
フロート ガラス	○	○	○	△	△	飛散するガラスの破片の危険性から最小限度の開口部を小おの等で破壊する。例えば、窓ならクレセントまわりなどである。
強化 ガラス	△	○	△	○	×	破壊器具②のような先端の形状の破壊器具を選定し破壊する。細かい破片が飛散するので、打撃位置周辺をガムテープで固定するなどの飛散防止策も有効である。
合わせ ガラス	○	○	○	△	○	小おの、とび口で小さい開口部をいくつも開けて開口部を設定する。この時、ガラスの隅に三角形を作るようにして、最後に手足で返すようにすると容易である。
複層 ガラス	○	○	○	△	△	基本的には、フロートと同じであるが、特に2枚目は破壊しづらいので、その破壊には注意することが必要である。

凡例：○は、適性である。×は、そうでない。△は、どちらでもない。

3 ガラス破壊に関するアンケート

(1) 目的

ガラスの破壊性状及び破壊要領に関して現場の意見をもとに消防隊員の教養資料作成の参考にすること。

(2) アンケート日時等

平成15年2月27日から3月4日までの1週間

(3) 実施対象

第三方面救助機動部隊 43名

(4) 実施結果

以下の表のとおりとなった。

ア 設問1 あなたの知っているガラスを選んで下さい。
(複数回答可)

回答①フロートガラス・②強化ガラス・③合わせガラス・④網入りガラス・⑤複層ガラス・⑥その他

ガラス種類	延べ人数 (%)
フロートガラス	15 (35)
強化ガラス	42 (42)
合わせガラス	39 (91)
網入りガラス	42 (98)
複層ガラス	18 (42)
その他	6 (14)

N = 43

イ 設問2 あなたは、ガラスの種類を識別するシールの存在を知っていますか。

回答①知っている②知らない

回答	人数 (%)
知っている	7 (17)
知らない	36 (83)

N = 43

ウ 設問3 あなたは、ガラスの種類を識別する方法の必要性を感じますか。

回答①感じる②感じない

回答	人数 (%)
感じる	29 (67)
感じない	13 (31)
未回答	1 (2)

N = 43

理由	人数 (%)
事前知識	12 (41)
効率のよい破壊	14 (43)
なし	3 (11)

N = 29

エ 設問4 これまでのガラス破壊経験はありますか。

回答①ある②ない

回答	人数 (%)
ある	35 (81)
ない	8 (19)

N = 43

オ 設問5 設問4であると答えた方に質問します。使った破壊器具は何ですか。

回答①とび口②小おの③その他

回答	延べ人数 (%)
とび口	24 (69)
小おの	28 (80)
その他	18 (51)

N = 35

カ 設問6 設問4であると答えた方に質問します。割ったガラスの種別は何ですか (複数回答可)

ガラス種類	延べ人数 (%)
フロートガラス	11 (31)
強化ガラス	14 (40)
合わせガラス	20 (57)
網入りガラス	24 (69)
複層ガラス	4 (11)
その他	3 (9)

N = 35

(5) 考察

ア フロートガラスは、その名前が以外に知られていない。

イ 識別シールは、知られていない。

ウ シールの必要性は、事前知識および効率のよい破壊といった理由のため、感じている。

エ ガラスを割った人の約8割の人は、小おのを使用している。

(6) 結論

ア 将来的に識別を含めた破壊要領が必要である。

イ 小おのは、ガラス破壊の検証にあたってその破壊活動時の使用頻度から改良を含めた検討の対象となり得る。

(7) 識別シール等について (参考)

シールで識別とは、ガラスの中には、強化ガラス、合わせガラスのように表面に識別シールを張ってあるのを見て識別する。識別シールにあつては、図のとおりとなる。位置は、ガラス四隅のいずれかである。また、複層ガラスに関しては、ガラス間のスペーサと呼ばれる枠によって識別する。

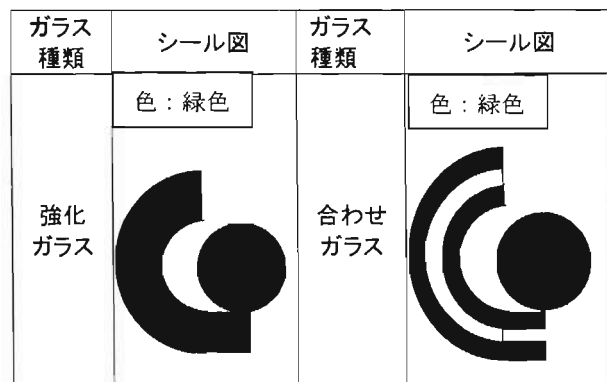


図4 ガラス判別シール

[参考文献]

- 1) 作花、境野、高橋：ガラスハンドブック、朝倉書店
- 2) 東京消防庁消防科学研究所：消防活動と窓ガラスに関する研究、昭和55年
- 3) 東京消防庁予防部：大規模建築物及び特異建築物等の消防対策に関する調査研究報告書、平成9年3月
- 4) 財団法人 日本建築防火協会 機能ガラス普及推進協議会：改訂版ガラスを用いた開口部の安全指針の手引、平成13年11月

RESEARCH ON THE BREAKING OF GLASS

(First Report)

Toshimitsu MIYAJIMA*, Tadahiro HASEGAWA*, Teruaki NAGAKURA*, Satoshi HARA**

Abstract

In response to strong demands in recent years for crime prevention features on the lower floors of buildings, there has been a trend toward glass windows that are difficult to break. We performed glass breaking experiments in order to increase our knowledge regarding safety and efficiency in glass breaking by firefighters. Our results include the followings: 1) in the lead shot bag experiments, the glass could not be broken by *tobiguchi* hatchets, 2) reinforced glass could be easily broken by commercial escape hammers, and 3) float glass with an adhesive film could be broken by the tools currently used for breaking glass.

*Third Laboratory **Hino Fire Station