

# 防災ガラスとしての「合わせガラス」に関する 技術的コンセンサス

2006年7月

板硝子協会 建築副委員会

## 監修にあたって

地震が起こると、しばしばガラスが割れる。10年あまり前の阪神・淡路大地震では、ビルの倒壊などそれ以上に重大な被害が起つたので、ガラスの被害は、その陰に隠れてしまった観があるが、実は非常に大量のガラスが割れている。これほど強い地震でなくても、ガラスが割れる被害は少なくない。

ただし幸い、はめ殺し窓でも、弾性シーリングによるとめつけが十分に普及したせいで、地震によって割れることは少なくなった。

しかし、主体構造の剛性が少ない場合などでは、過大な層間変位が生じてガラスが割れる危険性はあるし、また、地震以外にも、家具什器や人がぶつかることによって、ガラスが割れる可能性がある。

このようにガラスが割れることによって、その破片が飛散するおそれがあるが、合わせガラスならその飛散が最小限度に抑えられ、したがって安全性を高められる。特に、災害時の避難施設や幼稚園、病院などでは、その安全性に対する要求が強い。

本資料は、このような背景のもとに、板硝子協会（建築副委員会）が、会員各社の技術者、営業担当者等のために、「防災ガラス」としての「合わせガラス」の技術的特長を解説したものである。過去の被害状況と実験結果をもとに、合わせガラスの性能とその利用の有効性を説明しており、非常に説得力があると思う。

本資料によって、「合わせガラス」の効果的な使用が普及することを期待したい。

慶應義塾大学教授 坂本 功

## <目 次>

|  |    |
|--|----|
| 1. 開口部に関する災害の概要 -----                  | 1  |
| 1-1 災害タイプの分類 -----                     | 1  |
| 1-2 地震によるガラスの破損、飛散等の災害状況-----          | 2  |
| 1-3 地震によるガラス被害の調査結果例（1978年宮城沖地震） ----- | 4  |
| 2. 災害の基本的メカニズムと安全対策 -----              | 5  |
| 2-1 災害の定義 -----                        | 5  |
| 2-2 災害の要因と対策 -----                     | 5  |
| 3. 地震災害と開口部の安全対策 -----                 | 7  |
| 3-1 地震災害のメカニズム概要 -----                 | 7  |
| 3-2 安全対策 主要構造の剛性確保 -----               | 7  |
| 3-3 ガラスのとめつけ方 -----                    | 7  |
| 3-4 割れにくい、飛散しにくいガラスの選択 -----           | 8  |
| 4. ガラスの面内変形破壊実験の結果紹介 -----             | 9  |
| 4-1 日本建築防災協会の実験結果紹介 -----              | 9  |
| 1) 試験方法 -----                          | 9  |
| 2) 試験体 -----                           | 10 |
| 3) 各種ガラスの飛散防止性能試験結果の比較 -----           | 11 |
| 4) 合わせガラスの飛散防止性能の耐久性確認 -----           | 14 |
| 5) ガラス破壊時の破片飛散距離とガラス質量の関係 -----        | 16 |
| 6) 各ガラスの飛散防止効果（飛散率比較） -----            | 20 |
| 5. ガラスの持つべき安全性能まとめ -----               | 21 |

# 防災ガラスとしての「合わせガラス」に関する技術的コンセンサス

板硝子協会 建築副委員会

ガラスが破損する要因としては、地震、台風（強風）、爆発、火災などの災害があげられる。

これらの災害の中で、地震多発国であるわが国においては特に地震によるガラス破損災害に対する対策は重要な課題であると考える。

過去に発生した比較的規模の大きな地震において、ガラスに関する被害状況を見ると、そのほとんどは「はめ殺し窓のパテ止めタイプ」に限られており、最近のグレーディング方法である「弾性シーリング施工」におけるガラスの破損被害報告はあまり報告されていない。

しかしながら、万が一ガラスが破損した場合には、鋭利な形の破片が脱落して人体に危険な状態となってしまう。また、割れ落ちたガラス破片が散乱する事で、居住不可能となる例も多く見られる。

いつ襲ってくるか分からぬ地震に対して、より一層の安全を確保するためには、不特定多数の人が集まる建物や学校、公民館、福祉施設などの公共施設、特に災害時に避難場所となる施設においては、ガラスが破損した場合の安全対策が不可欠となる。

板硝子協会では、このようなガラス破損災害に対しては、「合わせガラス」が防災に最も適したガラスであると考えている。

本資料は、「合わせガラス」が「防災ガラス」としてどのような機能・効果があるかを示すデータとして、地震によりガラスが破損した場合のガラス破片飛散防止効果に関する資料をまとめたものである。

## 1. 開口部に関する災害の概要<sup>1)</sup>

### 1-1 災害タイプの分類

種々の要因により開口部ガラスが破損し、ガラス破片の飛散、落下によって人間が傷害を受ける災害のタイプは、図1-1に示す5タイプに分類できる。

これらのうち、ここでは、①の地震による災害を扱うこととした。

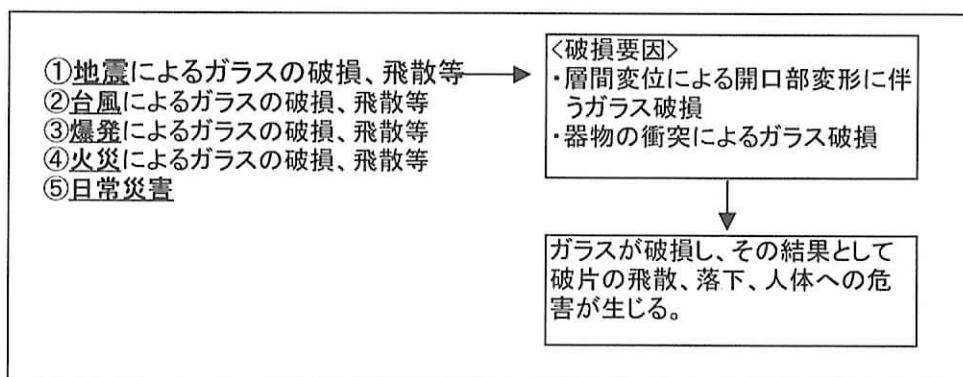


図1-1 災害タイプの分類と地震によるガラス破損要因

## 1-2 地震によるガラスの破損、飛散等の災害状況

日本では、過去にはマグニチュード（M）7 クラスの大規模地震が各地で発生しており、M8 クラスの巨大地震の発生も懸念されている。

1961 年(S 36)～2005 年(H17)に発生した規模の大きな地震とガラスの被害状況をまとめると以下の通りである。

表 1-1 わが国における過去の大きな地震発生状況（気象庁ホームページ等より）<sup>3)</sup>

| 地震名称<br>「」は気象庁命名        | 発生日               | 地震の規模<br>M(マグニチュード) |
|-------------------------|-------------------|---------------------|
| 日向灘地震                   | 昭和36年(1961/2/27)  | 7.5                 |
| 「新潟地震」                  | 昭和39年(1964/6/16)  | 7.5                 |
| 1965年静岡地震               | 昭和40年(1965/4/20)  | 6.2                 |
| 「1968年十勝沖地震」            | 昭和43年(1968/5/16)  | 7.9                 |
| 「1972年12月4日八丈島東方沖地震」    | 昭和47年(1972/12/4)  | 7.2                 |
| 「1978年伊豆大島近海の地震」        | 昭和53年(1978/1/14)  | 7.0                 |
| 宮城県沖地震                  | 昭和53年(1978/2/20)  | 6.8                 |
| 「1978年宮城県沖地震」           | 昭和53年(1978/6/12)  | 7.5                 |
| 「昭和58年日本海中部地震」          | 昭和58年(1983/5/26)  | 7.7                 |
| 「平成5年釧路沖地震」             | 平成5年(1993/1/15)   | 7.5                 |
| 「平成6年北海道東方沖地震」          | 平成6年(1994/10/4)   | 8.2                 |
| 「平成7年兵庫県南部地震」「阪神・淡路大地震」 | 平成7年(1995/1/17)   | 7.3                 |
| 「平成12年鳥取県西部地震」          | 平成12年(2000/10/6)  | 7.3                 |
| 宮城県北部地震                 | 平成15年(2003/7/26)  | 6.4                 |
| 「平成15年十勝沖地震」            | 平成15年(2003/9/26)  | 8.0                 |
| 「平成16年新潟県中越地震」          | 平成16年(2004/10/23) | 6.8                 |
| 釧路沖地震                   | 平成16年(2004/11/29) | 7.1                 |
| 福岡県西方沖地震                | 平成17年(2005/3/20)  | 7.0                 |
| 8.16宮城地震                | 平成17年(2005/8/16)  | 7.2                 |

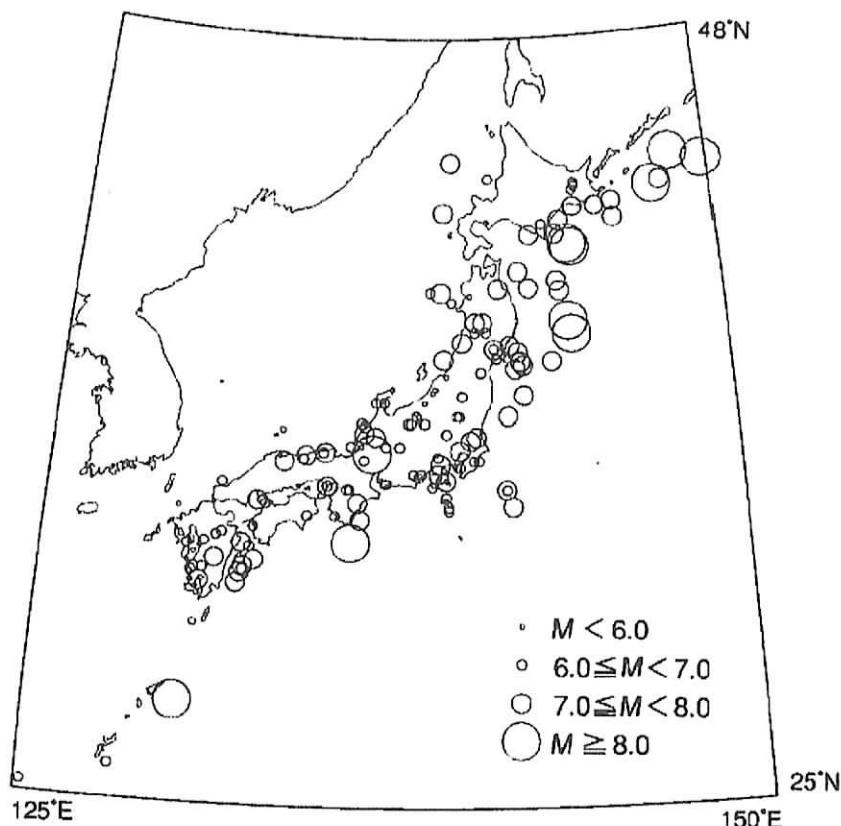


図 1-2 日本の主な被害地震の震央(1885 年以降) 平成 17 年理科年表より <sup>6)</sup>

ガラスの被害状況は以下の通りである。

- ・ ガラスに被害を生じたのは「はめ殺し窓バテ止めタイプ」に限られている。
- ・ 被害程度は、「ヒビ割れ」「破損落下」の2段階に大別できる。
- ・ 弾性シーリング施工では破損被害はほとんど報告なし。

新耐震基準による規制（S56年）以降の高層建物では、カーテンウォール工法により躯体とカーテンウォールとの間およびガラスと枠との間の逃げにより、建物の変形がガラスに伝わらないように配慮されているため、外観上は無傷であった。

しかし、古い鉄骨造、RC造建物の窓ガラスでは、特にはめ殺し窓での被害が大きく、また1階周りのショーウィンドなどのガラススクリーンは、主体構造の剛性が低いうえに大面積ガラスのはめ殺し窓でガラスが動きにくいくこと、等の理由から、ガラス破損被害が見られた。また、防煙区画に使用されているガラス防煙壁（防煙垂れ壁）は地震時での壁との取り合い部で動きを吸収する機構が耐震上必要とされているものの、このような耐震性能の不備が原因となって、ガラスが破損した被害も見られた。

### 1-3 地震によるガラス被害の調査結果例（1978年宮城沖地震）

被害状況は板硝子協会調査<sup>5)</sup>によると以下のようである。

#### <窓ガラスの被害状況>

- ・仙台市内（震度5）で、比較的ガラスの被害が大きかったビルについて調査を行った。
- ・可動窓、弹性シーリング施工の窓ガラスの破損はほとんどなく、パテ止め、はめ殺し窓のガラスに破損が多く見られた。
- ・破損が見られたガラスの品種は、普通板ガラス3~6ミリ、網入りガラスPW6.8、普通板複層ガラスである。

#### <1階周りのガラスファサードの被害状況>

- ・方立ガラスの破損比率が高いが、ヒビ割れが止まり、落下するケースは少ない。
- ・コーナーのガラス突合せ部分で破損率が高く、ガラス破損は落下しているものも散見された。
- ・フェースガラスの破損はほとんどない

#### <建物倒壊とガラス破損>

- ・仙台市内では、建物の倒壊被害はほとんどみられない。
- ・地盤が軟弱であり建物構造がピロティ形式のものは、相当件数倒壊した。
- ・主体構造そのものが塑性変形域まで達するような場合には、たとえ弹性シーリング施工で、適切なクリアランスを確保していても、ガラスの破損を防止することは難しい。
- ・したがって、破損しても落下させない工夫が必要であることが示された。

#### <破損ガラスの落下飛散距離>

- ・東北大学工学部校舎でのガラス飛散状況では、落下高さ7mに対し、飛散は壁面から約2.5mを中心分布。二次飛散を含めて最大約7mの範囲までの飛散が観察された。
- ・ガラスの飛散距離（L）≒落下高さ（H）／2という文献式にほぼ近似したものであった。  
(その後の調査によると、阪神淡路大地震のような強い直下型地震では、ガラス破片は「ガラス落下高さとほぼ同じくらいの距離」まで飛び散っている建物もあることが判明している。)

#### ○ガラス被害のまとめ

弹性シーリング施工の窓ガラスは、殆ど被害はなく、パテ留め・はめ殺し窓に被害が集中する。  
しかし、軟弱地盤等が原因で主体構造そのものが塑性変形域まで達するような場合は、ガラスの破損を防ぐのは難しい。

したがって、ガラスが破損しても落下させない工夫が必要となる、

## 2. 開口部の災害の基本的メカニズムと安全対策<sup>1)</sup>

### 2-1 開口部の災害の定義

前章で述べたように、ここでは自然災害のうち、特に地震を対象として定義付けを行うと図1-3のようである。

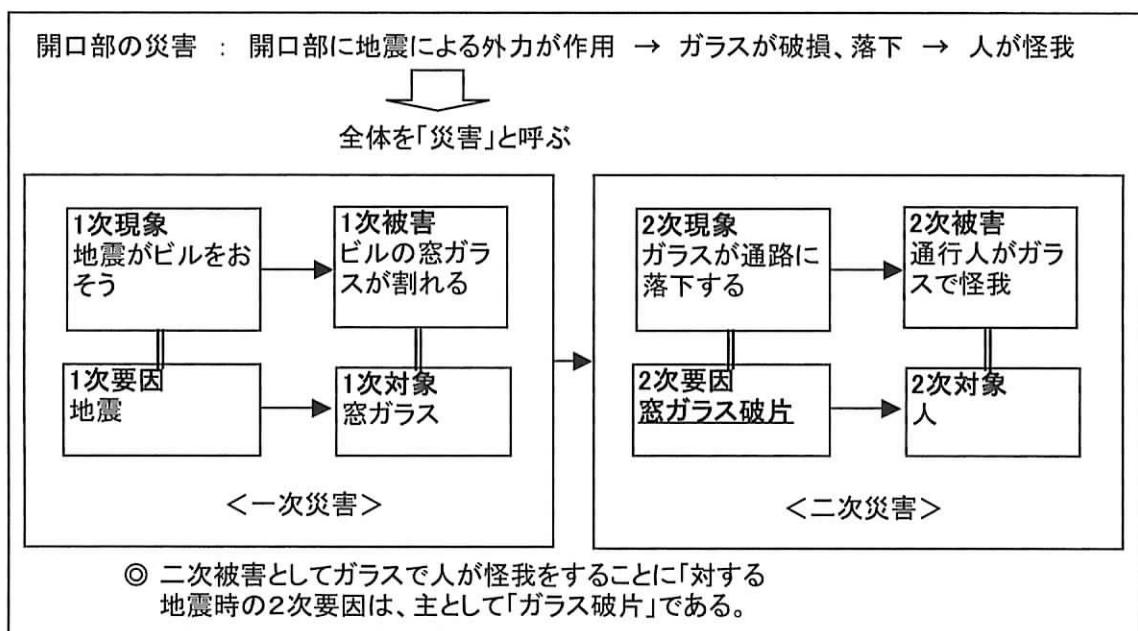


図2-1 地震を対象とした開口部の災害の定義

### 2-2 開口部の災害の要因と対策

<開口部の安全> : 要因(地震)によって開口部がその機能を失う事を防ぐこと。  
開口部、開口部材によって人間が被害を受ける事を防ぐこと。

<対象となる開口部> :

|      |   |                          |
|------|---|--------------------------|
| 建物高さ | … | 高層、中層、低層                 |
| 建物用途 | … | ホテル、学校、オフィス、住宅、公会堂等      |
| 室用途  | … | 浴室、子供室、体育館等              |
| 窓位置  | … | テラス窓、天窓etc               |
| 窓構造  | … | はめ殺し、可動窓、ガラスリブ、ガラススクリーン等 |

### <災害機構と対策の関係>

現象と被害という観点から開口部の災害をとらえると、以下に示すフローとなる。

1次現象としての地震が発生した場合に、1次被害（ガラス破損）が出ないようにすることが一次改良（サッシとガラス間に逃げを取る等）であり、1次被害（ガラス破損）が生じた場合に2次現象（ガラス破片の落下）が出ないようにすることが二次予防（割れても飛散しないガラスとする）である。

更には、2次現象（ガラス破片の落下）が生じた場合には2次被害（人が怪我）が出ないようにするのが二次改良（安全な破片：合せガラスは大きな破片が飛散しない）ということになる。

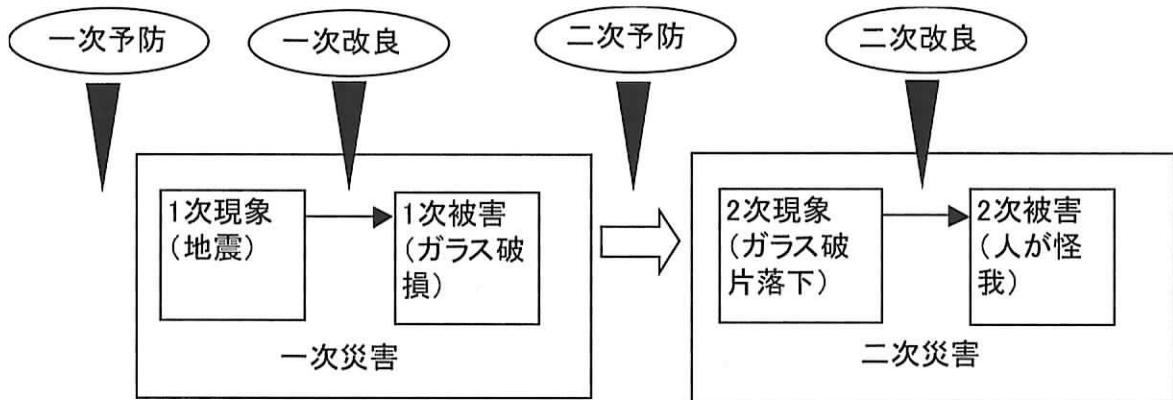


図 2-2 災害の機構と対策の関係

上記フローに従うと、地震による被害をなくす対策の考え方は、以下の4つに集約できる。

|      |                                       |
|------|---------------------------------------|
| 一次予防 | ： —— (地震をなくすことは出来ない)                  |
| 一次改良 | ： 建物が揺れないようにする。サッシとガラスに逃げをとる。         |
| 二次予防 | ： <u>割れても飛散しないガラス</u> 。破片を途中で受けとめる構造。 |
| 二次改良 | ： 人に当たっても安全な破片。                       |

}

合わせガラス

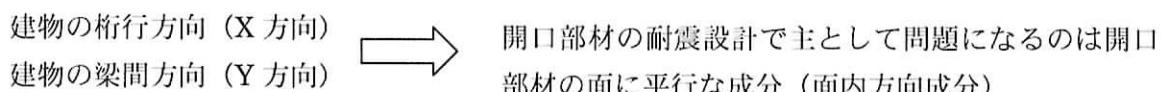
### 3. 地震災害と開口部の安全対策<sup>1)</sup>

地震によって窓ガラスが受ける1次的な災害の起因（1次現象）と破損（1次被害）には、2つのケースがある。ひとつは地震による建物の変形に伴う層間変位によって、ガラスが強制変形を受けることによる破壊。もうひとつは、室内家具等の移動や転倒による衝撃力による破壊である。

以下に、そのメカニズムの概要と安全対策について述べる。

#### 3-1 地震災害のメカニズム概要

- 地震によって生じる層間変位：水平2方向 成分がある。



- 地震は正負繰り返しであるので、開口部の挙動や破壊状況は静荷重時とは異なるため 層間変位の最大値のみで耐震設計するのは、やや危険側である。

- 室内家具等の移動、転倒による開口部材の被害も、耐震設計上は配慮すべきである。

- ガラスの破片は、建物内外に散乱・落下して人体を直撃することもあり、また、その上を素足で歩く時に傷つけるということもある。

#### 3-2 安全対策 主要構造の剛性確保

- 建設省告示109号（昭和46年、その後数回改訂されている）では、H30mを越える建物の帳壁では、1/150の層間変位で脱落してはいけない。

告示では、層間変位1/150を限度とした建物剛性が要求されている。

- 新耐震設計法（S56年施行）では、中地震に対する主体構造の層間変位は1/200以下を義務づけている。

- 日本建築学会の高層建築技術指針（昭和39年、その後数回改訂されている）では、きわめてまれに起きる地震時に主体構造に生じる層間変位として、1/150を与えている。



耐震設計時の層間変位としては、1/150という値がかなり一般性を持った値となっている。

#### 3-3 ガラスのとめつけ方

- 構法的にクリアランスを持たせること、材料的に弾性支持とすること。

- Bauwkampの式は、基本的にはサッシとガラスの幾何学的な位置関係に基づいている。

- ガラスとサッシの溝の底の間にクリアランスが存在することにより、ガラスはサッシ内で水平移動と回転する事を考慮している。

- 従って、ガラスの耐震設計を確保するためには、構法的にはクリアランスの確保、

材料的には、ガラスの移動を妨害しないようにガラスを弾性支持すること。

- 過去の地震で割れたガラスの大部分→嵌め殺し窓で、硬化性バテ止めであったため、上記のクリアランスがなく、弹性支持にもなっていなかった。
- アルミサッシの普及に伴い、とめつけも弹性支持となつたため、地震時にガラスの割れる危険性は減少した。
- 引き違い窓では、障子と枠の間に、すでにかなりのクリアランスがあるが、問題はそのクリアランスがないはめ殺し窓である。
- アルミサッシは、材料的に剛性・強度ともスチールサッシよりも劣るため、おのずから断面が大きくなり、ガラスの溝も深くなるので、クリアランスがとりやすい。
- 弹性シーリング材としては、次の2つの型のものがある。
  - 成型品：ビード（塩ビ製ガスケット）、構造ガスケット（ネオプレンゴム等）
  - 不成型品：ポリサルファイド（チオコール）、シリコーン

#### 3-4 割れにくい、飛散しにくいガラスの選択

- 開口部のガラスは、層間変位による対角線圧縮を受けて割れる場合、加わる力はいくらでも大きくなるので、ガラスの強度を上げても耐震性（割れにくさ）にはほとんど関係がない。
- ガラスが割れた後の飛散防止という観点からは、合わせガラス、網入りガラスが有効であり、実験的にも確認されている。
- 飛散防止フィルム貼りも効果はあるが、フィルムの材質、厚さ、耐久性に注意を要する。

#### 4. ガラスの面内変形破壊実験の結果紹介<sup>2)</sup>

窓ガラスの地震被害に関しては、主としてガラスの破損・落下による二次災害事故に問題がある。地震により建物が変形し、窓枠に許容層間変位を越える変形が加わった場合、ガラスは対角線方向の急激な圧縮力を受けて破損する。破損したガラス破片は、飛散・落下して付近にいる人命に甚大な影響を及ぼすおそれがあり、これが地震被害を拡大させる一因となる。

また、防災上重要な建築物（避難施設）や避難路に面した建築物の開口部のガラス破片飛散防止性能を向上させることで、地震災害発生時の避難経路の確保および避難施設内部の空間確保に重要な役割を担うこととなる。

ここで紹介する「ガラスの面内変形破壊実験」は、ガラスの面内方向に強制的に外力を与えることでガラスを破損させ、破損したガラス破片の飛散に関する検討を行ったものである。

##### 4-1 日本建築防災協会の実験結果

###### 1) 試験方法

図4-1のように、試験体ガラスを試験装置(仮想躯体)に取り付け、地震を想定した面内方向の変形を強制的にガラスに加えてガラスを破損させ、ガラス破片の飛散量や大きさを測定することにより、合わせガラスの飛散防止性能の確認を行う。この試験では、ガラスを取り付けた試験装置に与える強制変形として、変形角(rad)を以下のように制御している。

- 第1ステップ：変形角 0→破壊または+1/60→破壊しない場合は破壊する迄→0に戻す→-1/60→0に戻す
- 第2ステップ：変形角 0→+1/30→0に戻す→-1/30→0に戻す

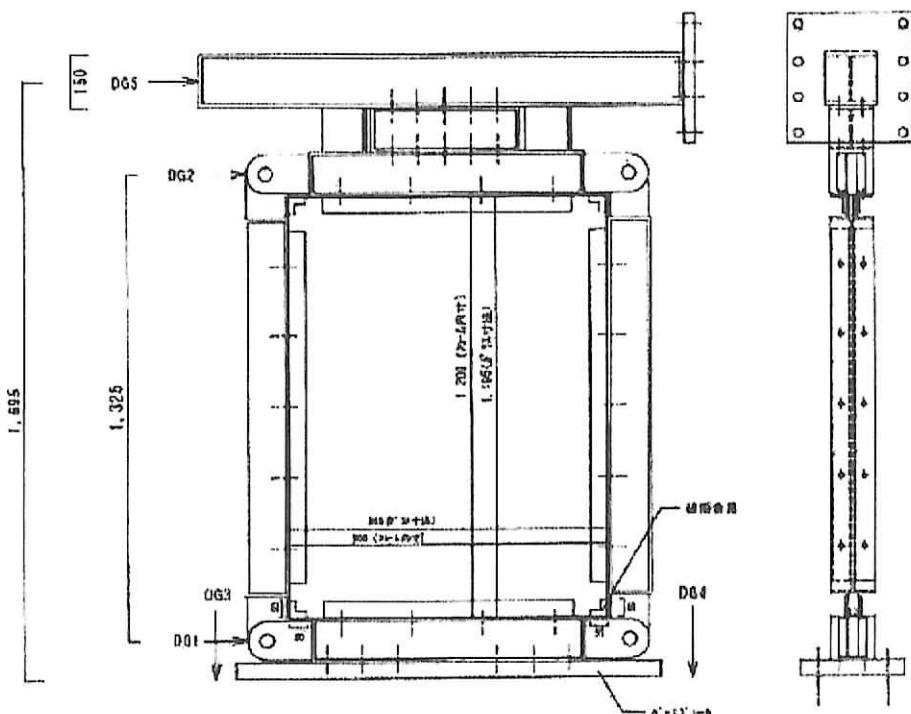


図4-1 ガラス飛散防止性能検討の試験装置

## 2) 試験体

合わせガラスの試験体は、中小ビルで最も標準的に使用されている呼び厚さ 8 ミリのフロート板ガラスと同程度の耐風圧性能を持つ、5 ミリ+5 ミリの合わせガラスとしている。

比較用として、網入りガラスやフィルム貼りガラス等の試験を実施した。試験体は各 4 体実施である。

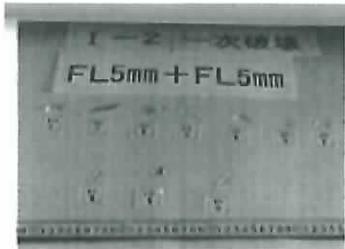
3) 各種ガラスの飛散防止性能試験結果の比較

I 合わせガラス (FL5+FL5)

$$(*) \text{ 飛散率} = \frac{\text{飛散した試験体の質量(g)}}{\text{試験前の試験体の質量(g)}} \times 100 \text{ (%)}$$



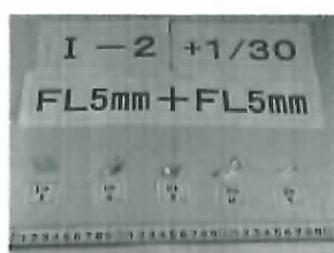
1次破壊



1次破壊ガラス破片



+1/30 加力後



+1/30ガラス破片

図 4-2 合わせガラス (FL5+FL5) の破壊状況

破壊状況 :

対角状のクラックが発生する。  
大きな破片が飛散する事はない。

1次破壊時の大型破片 :

最大質量 20.4 g  
最大飛散距離 4.0m

試験後の状況 (4 試験体の平均)

総飛散質量 564 g  
ガラス飛散率 (\*) 2.1%

II 網入り合わせガラス (FL6+PW6.8) PW6.8 は室内側



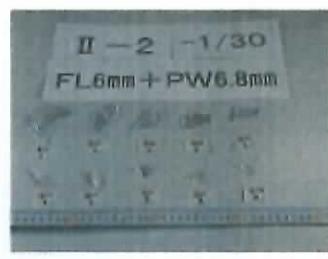
1次破壊



1次破壊ガラス破片



+1/30 加力後



-1/30ガラス破片

破壊状況 :

対角線状のクラックが発生する。  
隅角部に圧壊が生じる。  
大きな破片が飛散する事はない。

1次破壊時の大型破片 :

最大質量 14.0 g  
最大飛散距離 2.4m

試験後の状況 (4 試験体の平均)

総飛散質量 602 g  
ガラス飛散率 1.8%

図 4-3 網入り合わせガラス (FL6+PW6.8) の破壊状況

### III 単板ガラス (FL8)



1次破壊



1次破壊ガラス破片



+1/30加力後



+1/30ガラス破片

(注意) 他の品種の破片写真とは表示スケールが違う。

#### 破壊状況 :

1次破壊で大破する。  
大きな破片は直下に落下する。  
細粒は遠方まで飛散する。

#### 1次破壊時の大型破片 :

最大質量 506.0 g  
最大飛散距離 0.6m

#### 試験後の状況 (4 試験体の平均)

総飛散質量 13658 g  
ガラス飛散率 63.8%

図 4-4 単板ガラス (F L 8) の破壊状況

### IV 網入り単板ガラス (PW6.8)



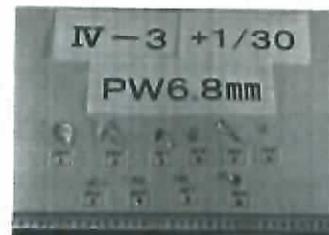
1次破壊



1次破壊ガラス破片



+1/30加力後



+1/30ガラス破片

#### 破壊状況 :

ワイヤーは切断され、X 状の割れ目や複雑な形状の穴ができる。  
ガラスの飛散量は少ない。

#### 1次破壊時の大型破片 :

最大質量 13.3 g  
最大飛散距離 3.2m

#### 試験後の状況 (4 試験体の平均)

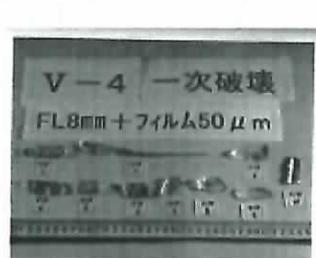
総飛散質量 304 g  
ガラス飛散率 1.7%

図 4-5 網入り単板ガラス (PW6.8) の破壊状況

## V 飛散防止フィルム貼りガラス (FL8+フィルム 50 μm)



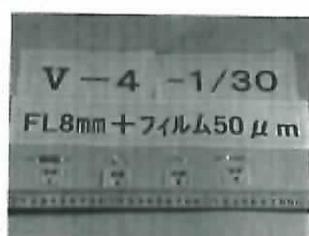
1次破壊



1次破壊ガラス破片



+1/30 加力後



+1/30ガラス破片

### 破壊状況：

亀甲状のクラックが発生し、隅角部が圧壊する。破片はフィルム切断により剥がれ落ちたり、フィルムごと試験体に垂れ下がる。

### 1次破壊時の大型破片：

最大質量 19.5 g  
最大飛散距離 4.8m

### 試験後の状況 (4 試験体の平均)

総飛散質量 1110 g  
ガラス飛散率 5.2%

図 4-6 飛散防止フィルム貼りガラス (FL8+フィルム) の破壊状況

表4-1 各種ガラスの飛散防止性能試験結果のまとめ

|                                     | 1次破壊時の大型破片   |               | 試験後の状況       |               | 飛散防止性能 |
|-------------------------------------|--|---------------|--------------|---------------|--------|
|                                     | 最大質量<br>(g)  | 最大飛散距離<br>(m) | 総飛散質量<br>(g) | ガラス飛散率<br>(%) |        |
| I 合わせガラス<br>(FL5+FL5)               | 20.4   | 4.0           | 564          | 2.1           | ◎      |
|                                     | 大きな破片が飛散することではなく、隅角部が最も破損し、飛散は主に隅角部から発生する。<br>遠方への飛散は0.1g以下の小片であり、大きな破片は近傍に飛散する。   |               |              |               |        |
| II 網入り合わせガラス<br>(FL6+PW6.8)         | 14   | 2.4           | 602          | 1.8           | ◎      |
|                                     | 破損状況は、上記合わせガラスの試験結果とほぼ同じ傾向である。   |               |              |               |        |
| III 単板ガラス<br>(FL8)                  | 506  | 0.6           | 13658        | 63.8          | ×      |
|                                     | 1次破壊で大破し、クラックがはいると同時に破壊し、ガラスが一斉に飛散。ガラスの約60%が飛散する。  |               |              |               |        |
| IV 網入り単板ガラス<br>(PW6.8)              | 13.3   | 3.2           | 304          | 1.7           | ○      |
|                                     | ワイヤーの切断を伴う破断が発生し、開口が生じる。<br>1次破壊後の加力ステップで飛散量は徐々に増加する。<br>飛散率、破片質量、飛散距離では、合わせガラスと同じ程度の飛散防止性能であるが、開口が生じる等、不安全感は免れない。         |               |              |               |        |
| V 飛散防止フィルム貼りガラス<br>(FL8+フィルム 50 μm) | 19.5   | 4.8           | 1110         | 5.2           | ○      |
|                                     | 1次破壊時の飛散量が多く、以後の加力ステップでも僅かずつ増加。フィルム破断による開口が生じる。<br>飛散する破片は、面積的には大きくないが厚みがある。<br>ガラス飛散率は、合わせガラスよりも大きいが、フィルム貼り面の飛散抑制効果は見られる。 |               |              |               |        |

#### 4) 合わせガラスの飛散防止性能の耐久性確認

実建物に施工されて 14 年経過した合わせガラスについて、飛散性能の耐久性を確認するために、試験体としている。これについては、入手可能な 3 ミリ+3 ミリの合わせガラスを用いている。

#### VI 新規合わせガラス (FL3+FL3) 耐久性比較用試験体



1次破壊



1次破壊ガラス破片



+1/30 加力後



+1/30ガラス破片

##### 破壊状況：

対角線状のクラックが発生し、隅角部に圧壊が生じる。  
破片の飛散は少ない。

##### 1次破壊時の大型破片：

最大質量 7.4 g  
最大飛散距離 2.7 m

##### 試験後の状況（4 試験体の平均）

総飛散質量 147 g  
ガラス飛散率 1.0%

図 4-7 新規合わせガラス (F L 3+F L 3) の破壊状況

## VII 14年経過合わせガラス (FL3+FL3) 耐久性比較用試験体



1次破壊



1次破壊ガラス破片



+1/30加力後



-1/30ガラス破片

### 破壊状況：

対角線状のクラックが発生し、中央部分に細かく枝別れしたクラックが発生する。破片は隅角部からの飛散が主である。

### 1次破壊時の大型破片：

最大質量 6.2 g  
最大飛散距離 2.7m

### 試験後の状況（4試験体の平均）

総飛散質量 172 g  
ガラス飛散率 1.2%  
14年経過による飛散防止性能の低下は見られない。

図 4-8 14年経過合わせガラス (FL3+FL3) の破壊状況

表4-2 14年経過 合わせガラスの飛散防止性能耐久性確認試験結果のまとめ

|                              |  |     |     |     |   |
|------------------------------|--|-----|-----|-----|---|
| VI 新規合わせガラス<br>(FL3+FL3)     | 7.4  | 2.7 | 147 | 1.0 | ◎ |
|                              | 中間膜の破断ではなく、クラック発生、隅角部の圧壊という破壊状況。飛散率も1%と小さい。              |     |     |     |   |
| VII 14年経過合わせガラス<br>(FL3+FL3) | 6.2  | 2.7 | 172 | 1.2 | ◎ |
|                              | 上記の新規品と、ほぼ同じ破壊性状を示し、飛散率も1.2%と小さく、経年変化による飛散防止性能の低下は見られない。 |     |     |     |   |

## 5) ガラス破壊時の破片飛散距離とガラス質量の関係

試験による1次破壊時に、ガラス破片がどれだけの距離に飛散したか、また、飛散したガラス破片の質量（重量）はどの程度であるかを、試験体別に比較した結果を以下に示す。



↑ 縦軸は、飛散した各破片の質量を示す。

飛散距離(m)

試験体ガラスの下端＝床面 すなわち、

飛散距離はガラス下端からの床面レベルでの距離で示した。

I 合わせガラス(FL5+FL5)

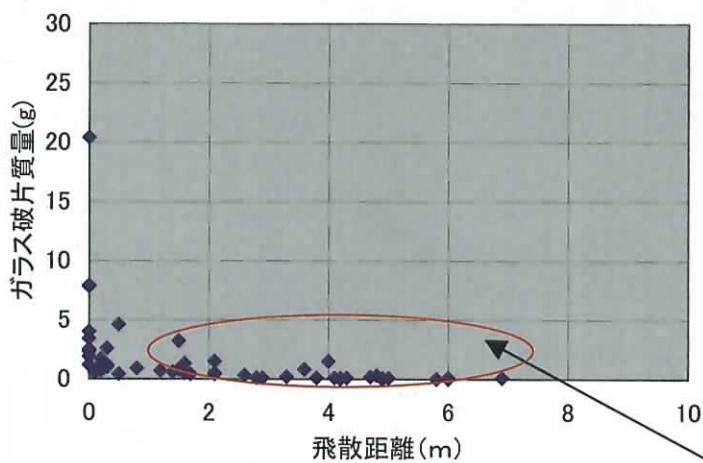
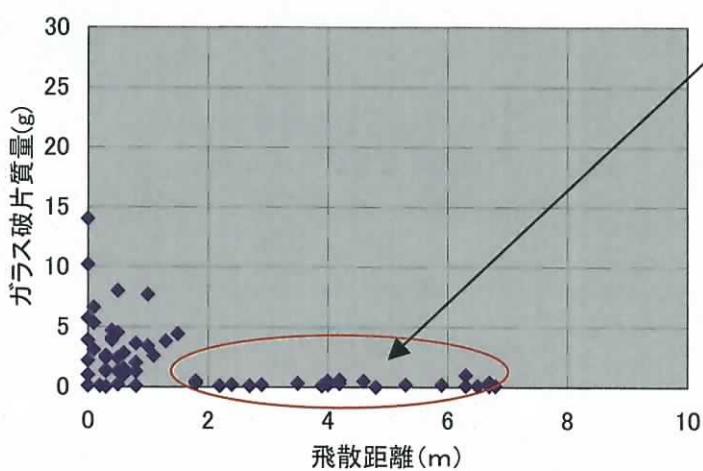


図 4-9 1次破壊時の飛散距離とガラス破片質量との関係

II 網入り合わせガラス(FL6+PW6.8)



小さい破片の飛散はあるものの、大きな破片は少なく、大怪我の原因となる事はないと考えられる。

図 4-10 1次破壊時の飛散距離とガラス破片質量との関係

質量が大きいため、他の図よりも大きなスケール軸となっている。

### III 単板ガラス(FL8)

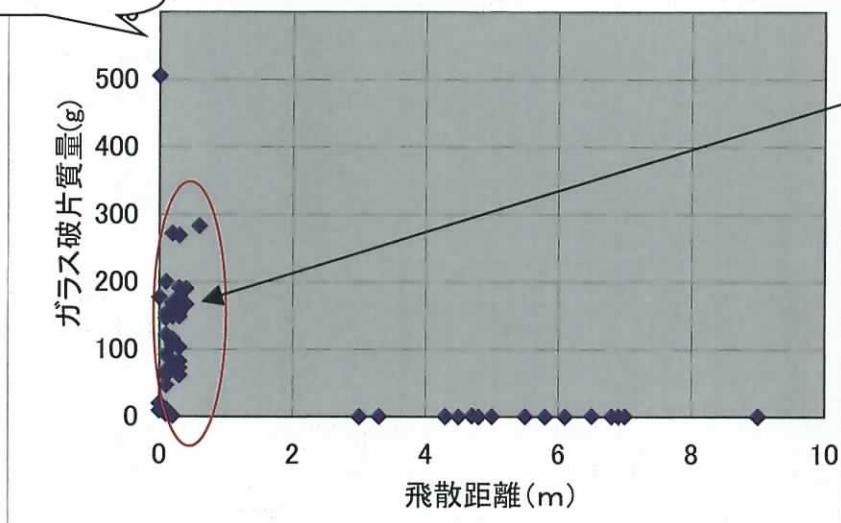
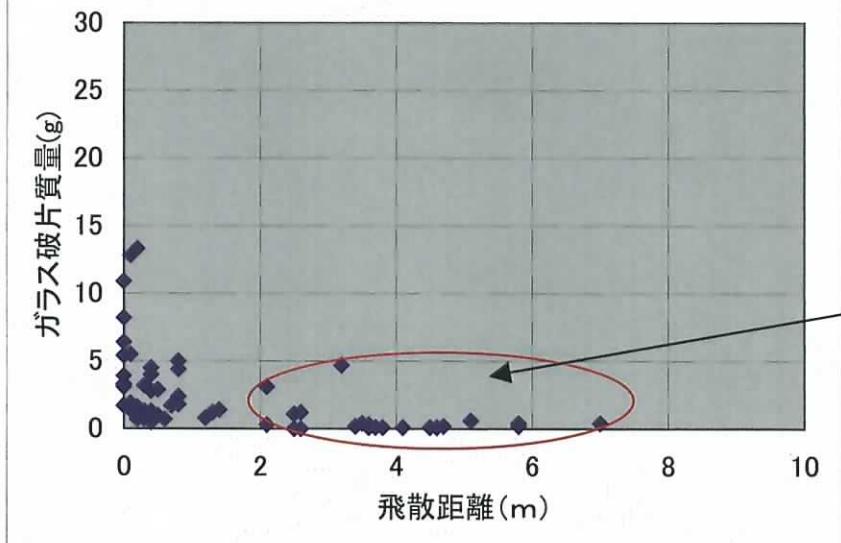


図 4-11 1次破壊時の飛散距離とガラス破片質量との関係

大きな破片は、ガラス面直下に落下。500 g の破片も見られ大怪我の危険が高い。  
小片しか遠方には飛ばない。

### IV 網入り単板ガラス(PW6.8)



合わせガラスの飛散性状とほぼ同じ傾向。  
合わせに比べて若干、大きな破片が飛散している。

図 4-12 1次破壊時の飛散距離とガラス破片質量との関係

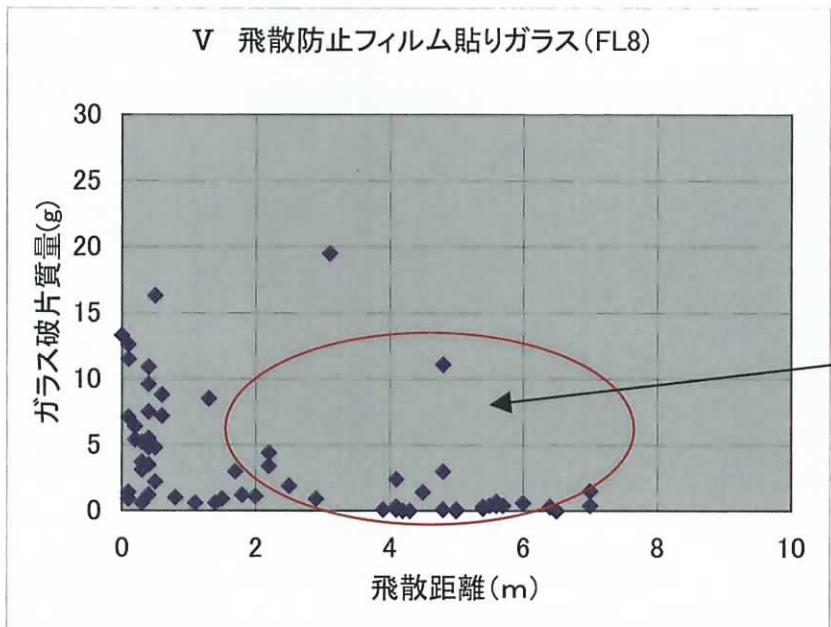


図 4-13 1 次破壊時の飛散距離とガラス破片質量との関係

合せガラスよりも大きな破片が 5m程度まで飛散する。  
合せガラスよりも破片による怪我に対する安全性は低いと考える。

#### ○ 合わせガラス I、網入り合わせガラス II

大きな破片でも、約 10 g 程度以下であり、ほとんどが 2m程度以内に飛散する。  
小片は、7m程度まで飛散する。

破片の飛散が全くないわけではないが、大きな破片は少なく、大きな怪我の原因となるようなことはないと考えられる。

#### ○ 網入り単板ガラス IV

合わせガラスの飛散性状とほぼ同じ傾向を示しており、大きな怪我に対する安全性は高いものと考えられる。

#### ○ 飛散防止フィルム貼りガラス V

合わせガラスの破片飛散よりも、大きな破片が 5m程度まで飛散している。  
合わせガラスに比べると、破片による怪我に対する安全性は低いものと考えられる。

#### ○ 単板ガラス III

大きい破片としては 500 g の破片も見られ、大きな破片は、ほとんどがガラス面直下に落下している。  
小片は 9mまでの飛散がみられた。大きな怪我の危険が高い。

## ■ 各ガラス仕様の飛散防止率（平均値）の比較

各ガラス仕様とも4試験体の平均値を用いて、ガラス飛散防止率としての評価尺度を求めた。

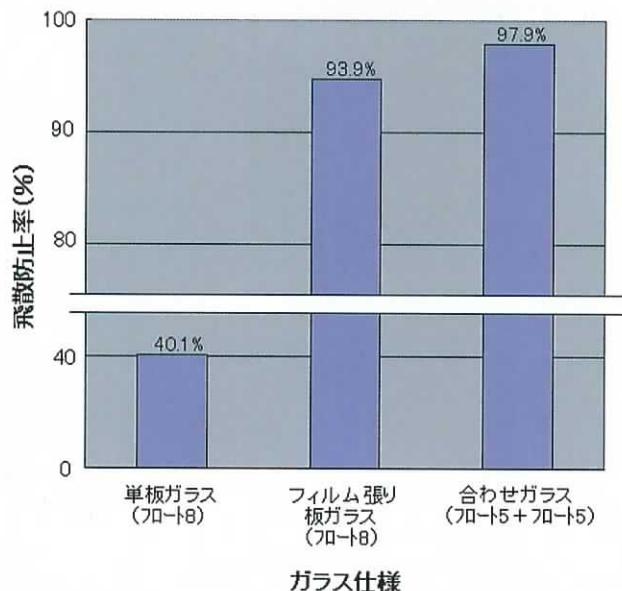


図 4-14 飛散防止率（平均値）の比較

ガラス飛散防止率 A(%)

$$A = \{1 - (W/W_0)\} \times 100$$

W<sub>0</sub> : 試験前の試験体質量 (g)

W : 飛散した試験体の質量 (g)

単純に、飛散防止率という値だけで比較すると、合わせガラスとフィルム貼りガラスは、ほぼ同じとなる。差は微小である。

## 6) 各ガラスの飛散防止効果 (飛散率比較)<sup>4)</sup>

合わせガラスの飛散防止効果として試験結果をまとめた資料は、「防災ガラスのすすめ」(板ガラス協会)として性能値が示されている。

図4-15は各ガラスの飛散率を、表4-3は各ガラスの最大破片重さを示したものである。

ここで飛散率とは、飛散した破片の重さをガラス全体の重さに対する百分率(%)で表したものである。

$$\text{飛散率} = \frac{\text{飛散した試験体の質量(g)}}{\text{試験前の試験体の質量(g)}} \times 100 \quad (\%)$$

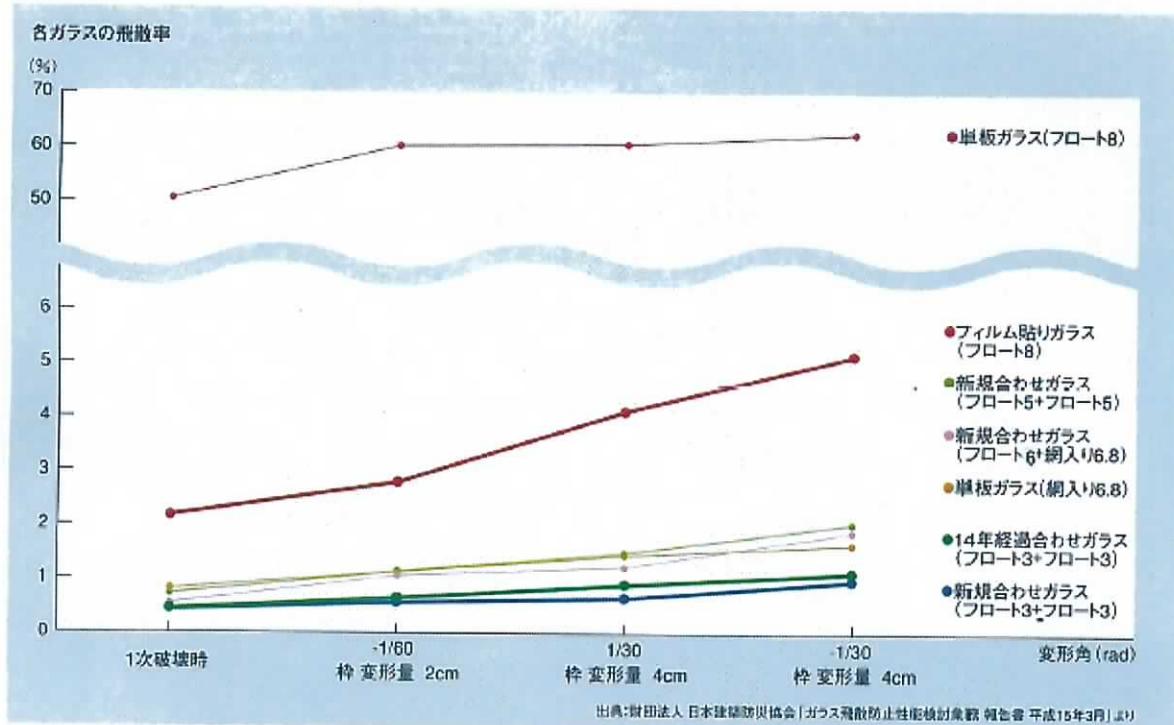


図4-15 各ガラスの飛散率 (板硝子協会「防災ガラスのすすめ」)

表4-3 各ガラスの最大破片重さ (板硝子協会「防災ガラスのすすめ」)

|                      | 新規合わせガラス<br>(フロート5+フロート5) | 新規合わせガラス<br>(フロート6+網入り6.8) | 単板ガラス<br>(網入り6.8) | 単板ガラス<br>(フロート8) | フィルム貼りガラス<br>(フロート8) | 新規合わせガラス<br>(フロート3+フロート3) | 14年経過合わせガラス<br>(フロート3+フロート3) |
|----------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------|------------------|----------------------|---------------------------|------------------------------|
| 4試験体のうち<br>最大片の重さ(g) | 25.2                      | 22.7                       | 13.3              | 1764.7           | 326.8                | 7.4                       | 6.2                          |

出典:財団法人日本建築防災協会「ガラス飛散防止性能検討委員会 報告書 平成15年3月」より

### ○合わせガラスの飛散防止性能

合わせガラスの場合、破壊後さらに変形を加えても、飛散率は2%を下回っており、最大破片の重さも25g以下と小さく、地震時の破壊や余震による揺れ戻しに対しても、他のガラスに比べると安全性が高いことが示されている。

また、比較対象とした網入りガラスも、飛散防止性能は高く、ほぼ合わせガラスと同等という結果が得られている。

一方、フィルム貼りガラスは、合わせガラスの2倍以上の破片が飛散し、最大破片の重さは合わせガラスに比較すると10倍以上の300gを超える重量となっている。

## ○合わせガラスの飛散防止経年変化

「新規品」と「14年経過品」とを比較すると、“飛散率”、“最大破片重さ”共にほとんど変わらないという結果が得られている。このように、合わせガラスの飛散防止性能は経年変化による劣化もないといふことが示された。

なお、フィルム貼りガラスのフィルムは、ここでは経年変化品の試験は実施していないので、フィルムの接着力の劣化については不明であるが、一般には劣化する可能性もあるといわれている。

## 5. ガラスの持つべき安全性能まとめ

地震等の自然災害に対して、ガラスが持つべき安全性能としては、以下の様に大別される。

- ① 破片が飛散しにくい事
- ② 破片が鋭利でなく、小片である事
- ③ 加撃物が貫通しにくい事

万が一、地震等によって破損した際の飛散防止には、合わせガラスが最も性能が高く、網入りガラスや飛散防止フィルム貼りガラスも有効であるといえる。

一方、破片が小片であるという点からは、合わせガラスと網入り単板ガラスが高い性能を有しており、フィルム貼りガラスの場合は前者に比べてやや大きな破片が飛散する。

ここでは比較対象としている品種で破片が小片となるガラスとしては強化ガラスも上げられるが、ガラス破片の飛散や耐貫通性という面から安全性能としては十分ではない。

地震時の破損では面内変形の他に人体や什器などの衝突による破損も考えられる。この場合、網入りガラスは耐貫通性能があまり高くなく、フィルム貼りガラスの場合には経年変化による接着力の低下の懸念があるので、やはり、合わせガラスが最も適したガラスであると言える。

表4-4に防災ガラスとしての適応性を比較した結果を示す。総合評価結果からグレード付けをすると、

グレード-II：最も適している→合わせガラス

グレード-I：適している →網入り単板ガラス、飛散防止フィルム貼りガラス

ということが言える。

表4-4 防災ガラスとしての適応性比較

| ガラス品種           | 飛散防止性能 | 最大破片重さ | 耐貫通性能 | 経年変化 | 総合評価 | グレード付け  |
|-----------------|--------|--------|-------|------|------|---------|
| 合わせガラス(含網入り合わせ) | ◎      | ◎      | ◎     | ◎    | ◎    | グレード-II |
| 網入り単板ガラス        | ○      | ◎      | ×     | ◎    | ○    | グレード-I  |
| 飛散防止フィルム貼りガラス   | ○      | ○      | ○     | 不明   | ○    | グレード-I  |

◎:大変優れている  
○:優れている

×:不適

グレード-II > グレード-I

防災ガラスとして最も優れている、グレード-IIの「合わせガラス」を推奨する建物を、表4-5にまとめた。

表4-5 「防災ガラス」としての機能の高いガラス（グレードII：合わせガラス）を推奨する建物

| 建物種類                                 | 開口部の安全を考えるポイント | ガラスの選定上のポイント  |
|--------------------------------------|----------------|---|
| 災害時に避難施設となる公共施設                      | 公民館・体育館        | 災害時の避難場所としての機能(安全に過ごせる)を、一定期間確保する必要あり。                                    |
|                                      | 小・中・高等学校       | 避難場所として指定される学校では同上(避難場所としての安全考慮が必要)、また地震直後の児童、子供達の集団の避難退路にガラスが散乱しない対策が必要。 |
| 幼い子供や老人等保護を必要とする者の建物                 | 保育園・幼稚園        | 子供の予期しない行動に対する安全対策が必要。  |
|                                      | 養老院・老人福祉施設     | 車椅子や杖は行動に対して大きなスペースが必要。避難通路確保のため破片の散乱は避けたい。                               |
|                                      | 病院・診療所         | 同上  |
| 不特定多数の集まる建物                          | 野球場、サッカーフィールド等 | 開催時には多くの観客が集まるため、避難退路にガラスが散乱しない対策が必要。                                     |
|                                      | アリーナ等のイベント会場   | 同上、また出入口周辺の比較的大きなガラスに対する安全確保も必要。  |
| 避難のための移動経路となる、指定避難道路である主要幹線道路に面する建物。 | 事務所ビル          | 外部に面したガラス窓が破損・落下する事で、避難経路となる通路での歩行障害とならないよう対策。什器類が貫通して落下する危険も考慮する。        |
|                                      | ホテル            | 同上  |
|                                      | 集合住宅           | 同上  |
| 災害時の緊急物資供給拠点                         | コンビニエンスストア     | 生活の基盤となる飲料水や食糧等を供給できるよう、店舗業務が稼働できるよう、ガラス破片の散乱を避けたい。                       |

本資料では、地震による窓ガラスの破損、破片の飛散によって引き起こされる人体傷害の防止、さらには避難場所としての公共建物に求められる安全性確保という観点から、「防災ガラス」として求められる機能を整理した。

従って、地震時のガラス破損要因としては、主として建物の揺れにより生じる層間変位をとりあげ、ガラスの面内変形による破壊と飛散防止性から評価検討を行ったものである。

地震災害によるガラス破損の他の起因としては、室内家具等の移動や転倒によって窓ガラスにぶつかり、その衝撃力によってガラスが破損・貫通するという場合もある。

このような衝撃力によるガラス破損および耐貫通性も、当然配慮しなければならない重要な課題である。

しかしながら、ガラスの衝撃破壊に関する実験的な検討課題は、加撃物の種類や形状の多様性、ぶつかる角度、加速度等の影響要因が大きく、また実験による再現性もあまり期待出来ないことから、まだ十分な検討事例がないのが実情である。今後は衝撃破壊という観点からも、防災ガラスとして求められる機能を明確にしていく事が必要と考える。

以上

#### <参考文献>

- 1) 「安全な開口部のための設計施工の考え方」(日本建築防災協会、S58年7月)
- 2) 「ガラス飛散防止性能検討業務報告書 報告書」(日本建築防災協会、H15年3月)
- 3) 気象庁ホームページ等「過去の地震被害」
- 4) 「防災ガラスのすすめ」(板硝子協会)
- 5) 「兵庫県南部地震における窓ガラスの被害状況調査報告書」(板硝子協会、H7年3月)
- 6) 「理科年表」(国立天文台編、丸善、平成17年)

板硝子協会建築副委員会 平成18年4月4日

副委員 寺山 哲夫 (旭硝子株式会社)

副委員 東 伸久 (日本板硝子株式会社)

副委員 淡谷 武司 (セントラル硝子株式会社)

事務局 師尾 元 (板硝子協会)

