

## 5-4 板ガラスの衝撃強度と安全性

板ガラスは透明性、耐候性、不燃性、耐擦傷性など非常に優れた材料ですが、特性上脆性破壊し、また衝撃荷重による破壊は通常避けられません。しかし衝撃データ (P66~67) で明らかのように、合わせガラスは耐貫通性に優れ、また強化ガラスは耐衝撃強度が高いので、人の衝突や衝撃物が予想される場所では、安全上なるべく合わせガラス・強化ガラスの特長を生かした使用をお勧めします。

### 1 板ガラスの衝撃破壊特性

#### 1 破壊のメカニズム

衝撃破壊の性状は、曲げによって衝撃反対面に引張り応力が働き破壊が始まる曲げ破壊と、小さな硬球体衝撃によって衝撃面に集中圧力が加わり円錐状の破面をなして始まるヘルツ破壊があります。

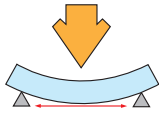
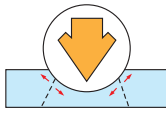
#### 2 板ガラスと衝撃強度

板ガラスの衝撃破壊強度は加撃物の材質、重量、衝撃速度、接触面形状によって複雑に影響を受け、さらに板ガラスの品種、厚さ、寸法、支持条件や衝撃位置によっても異なります。

#### 3 耐貫通性

- ・ 衝撃エネルギーが大きいほど、また加撃物が高密度なほど貫通しやすくなります。
- ・ 合わせガラスは耐貫通性に優れ、中間膜の厚さが増すほどさらに性能はアップします。

[表] 破壊のメカニズム

|          | 曲げ破壊  | ヘルツ破壊   |
|----------|---|---|
| 破壊のメカニズム |  |  |
| 加撃物      | 加撃物が大きく作用面積大。衝撃速度が遅いときに起こりやすい。(例) バレーボール  | 加撃物が小さく作用面積小。衝撃速度が速いときに起こりやすい。(例) ピストルの弾  |
| 被加撃物     | 一般に板厚に比べ面積大。剛性の小さいガラス。  | 板厚に比べ面積小。剛性の大きなガラス。6ミリ以上になるとヘルツコーンがでやすくなる。  |



曲げ破壊例  
加撃物：ゴム球1.3kg  
ガラス：フロート板ガラス5ミリ  
(飛散防止フィルム貼り)



ヘルツ破壊例  
加撃物：鋼球50g  
ガラス：フロート板ガラス5ミリ

## 2 ガラス品種と破壊特性

### 1 フロート板ガラス・型板ガラス

耐衝撃性能はあまり期待できず、厚板となると多少破損率は下がりますが、破損した際の危険性は大きくなります。

### 2 網入・線入板ガラス

フロート板ガラスと同様ですが、網入板ガラスは破片の飛散・脱落を減少させ、耐貫通性も若干向上します。

### 3 強化ガラス

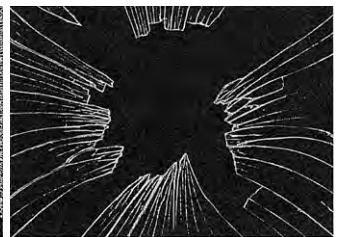
耐衝撃強度は最も優れているのでドア周辺などに適しています。また破損時には特性上瞬時に全面破碎し、粒状の破片となり、安全ですが、破片が脱落しやすいという面も持っています。

### 4 合わせガラス

衝撃強度上は構成するガラスとほぼ同様ですが、耐貫通性や破片の脱落・飛散防止に最も優れているので破損時の安全性が高く、広範囲に使用できます。



強化ガラス



フロート板ガラス5ミリ



線入板ガラス6.8ミリ



合わせガラス6ミリ

3 板ガラスの強度と安全に係る規格・指針

[規格] JIS R 3205 合わせガラス

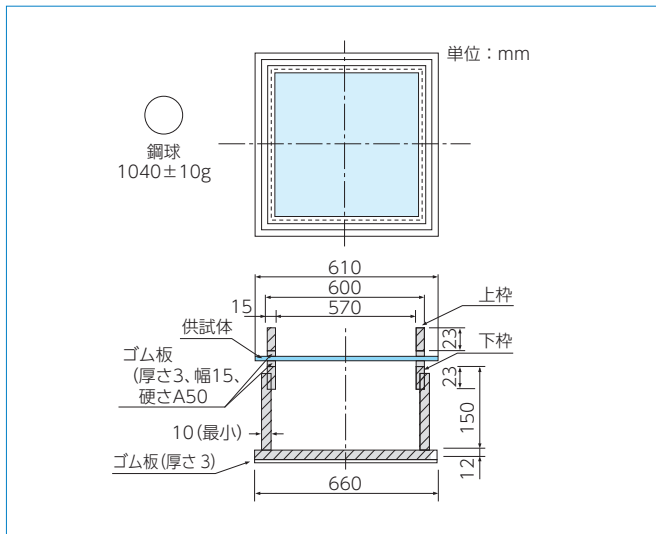
JIS R 3110 建築用ガラスの振り子衝撃試験方法

参考までに落球試験と振り子衝撃試験の試験方法を【図1】【図2】に示します。

※JIS R 3206 強化ガラスは従来、同規格内にショットバッグ試験法の規定がありました。2023年の改訂によりJIS R 3110の試験方法を参照することとされました。

[指針] 安全・安心ガラス設計施工指針 増補版  
(一般財団法人 日本建築防災協会)

【図1】落球試験法



板ガラスの防弾基準

日本国内には防弾ガラスに関する公的な規定や規格、指針はありません。海外にはISO16935やUL752などの規格がありますので、下表にUL752の一部の性能仕様とガラスの構成例を示します。

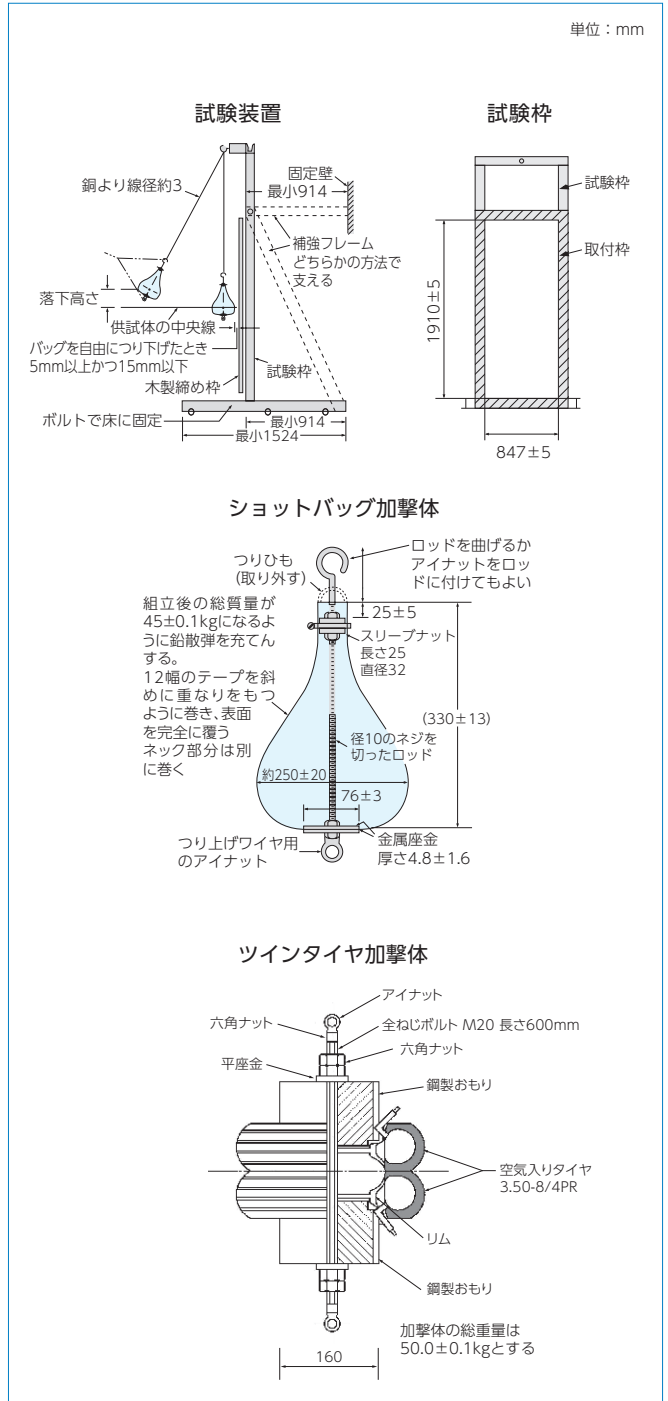
ガラスの構成例は試験の評価は受けていますが、認定品ではなくあくまで参考例です。認定品表示をするには個別に認定取得をする必要があります。

●UL規格の防弾性能仕様とガラス構成の例

| ULグレード  | 弾丸重量(g) | 弾丸スピード(m/s) | ショット数 | ガラス厚の目安 | ガラス構成の例                               |
|---------|---------|-------------|-------|---------|---------------------------------------|
| Level 1 | 8       | 358         | 3     | 31 ㎜    | FL6+FL10+FL10+FL5                     |
| Level 2 | 10.2    | 381         | 3     | 41 ㎜    | FL6+FL10+FL10+FL10+FL5                |
| Level 3 | 15.6    | 411         | 3     | 54 ㎜    | FL6+FL10+FL10+FL10+FL10+FL5+FL3       |
| Level 4 | 11.7    | 774         | 1     | 59 ㎜    | FL6+FL10+FL10+FL10+FL10+FL5+FL5 + FL3 |

\* ガラス構成の例は中間膜を使用した合わせガラスの構成例であり、参考値です。

【図2】振り子衝撃試験法



4 各種板ガラスの衝撃強度および耐貫通性能データ

人体衝突、飛来物、地震時の破損に対する安全性の確保には、原則合わせガラスを使用することを推奨します。

飛来物・石・バット等の加撃による破損は、衝突物の硬さ・形状・

重量・衝突スピード・角度及びガラスの支持条件で大きく変わります。

下記に示す図表はある条件下で得られた試験結果であり、参考データとしてご参照ください。

1 各種加撃物による衝撃強度

参考データ

|        | ガラス品種・呼び厚さ                         |             |       |        | 加撃物によるガラス破損率 |      |      |      |       |            |      |       |      |      |               |                | 単位：% |
|--------|------------------------------------|-------------|-------|--------|--------------|------|------|------|-------|------------|------|-------|------|------|---------------|----------------|------|
|        | 加撃物                                | 動作          | 質量 kg | 速度 m/s | フロート板ガラス     |      |      |      | 型板ガラス | 網入・線入磨板ガラス |      | 強化ガラス |      |      | 合わせガラス        |                |      |
|        |                                    |             |       |        | 3ミリ          | 5ミリ  | 8ミリ  | 12ミリ | 4ミリ   | 6.8ミリ      | 10ミリ | 5ミリ   | 8ミリ  | 12ミリ | 6ミリ (FL3+FL3) | 10ミリ (FL5+FL5) |      |
| 物<br>体 | 小石                                 | 成年男子力投      | 0.073 | 26     | 100          | 100  | 100  | 100  | 100   | 100        | 100  | 100   | 40   | 20   | 20            | 100            | 100  |
|        | モルタル・ブロック片                         | 成年男子力投      | 1.0   | 12     | 100          | 100  | 100  | 80   | 100   | 100        | 100  | 30    | 10   | 0    | 100           | 100            |      |
|        | ジュース瓶                              | 成年男子力投      | 0.5   | 15     | 100          | 100  | 90   | 50   | 100   | 100        | 100  | 10    | 0    | 0    | 100           | 100            |      |
|        | ビール瓶                               | 成年男子力投      | 0.8   | 15     | 100          | 100  | 100  | 80   | 100   | 100        | 100  | 30    | 0    | 0    | 100           | 100            |      |
|        | 野球ボール(硬球)                          | 成年男子力投      | 0.15  | 26     | 100          | 100  | 60   | 20   | 100   | 100        | 80   | 0     | 0    | 0    | 100           | 80             |      |
|        | 野球ボール(軟球)                          | 成年男子力投      | 0.135 | 26     | 80           | 40   | 0    | 0    | 100   | 40         | 10   | 0     | 0    | 0    | 80            | 20             |      |
|        | バレーボール                             | 一般スバイク      | 0.26  | 18     | 40           | 0    | 0    | 0    | —     | 10         | —    | 0     | 0    | 0    | 0             | 0              |      |
|        | バット                                | 成年男子打撃      | 1.0   | 15     | 100          | 100  | 100  | 90   | 100   | 100        | 100  | 60    | 0    | 0    | 100           | 100            |      |
| 人<br>体 | 上股                                 | 成年男子拳打ち     | 2.2   | 6      | 100          | 80   | 20   | 5    | 100   | 100        | 70   | 0     | 0    | 0    | 100           | 60             |      |
|        | 下股                                 | 成年男子スック靴前蹴り | 1.0   | 11     | 100          | 90   | 30   | 5    | 100   | 100        | 70   | 0     | 0    | 0    | 100           | 70             |      |
|        | 頭部                                 | 3才児転倒       | 5.7   | 2.1    | 60           | 10   | 0    | 0    | 70    | 10         | 0    | 0     | 0    | 0    | 10            | 0              |      |
|        | 全身                                 | 3才児こぼしり     | 15.0  | 0.8    | 10           | 5    | 0    | 0    | 5     | 5          | 0    | 0     | 0    | 0    | 10            | 0              |      |
|        | 全身                                 | 13才児こぼしり    | 45.0  | 2.2    | 100          | 100  | 100  | 70   | 100   | 100        | 70   | 0     | 0    | 0    | 60            | —              |      |
| 鋼球     | JIS R 3206-1979に準ずる。(質量227gの鋼球を落下) |             |       |        | 落球による平均破壊高さ  |      |      |      |       |            |      |       |      |      |               |                | 単位：m |
|        |                                    |             |       |        | ◎0.6         | △1.3 | ○1.2 | ○1.0 | △0.3  | △0.5       | ○0.5 | ○0.5  | ○0.5 | ○0.5 | ○0.5          | ○0.5           | ○0.5 |

注：衝撃強度・耐貫通性試験条件  
 ・データは初期強度品によるので、使用による強度低下は含まれません。  
 ・ガラスは四辺支持で、その寸法はそれぞれ全身衝撃180cm×90cm、頭部衝撃90cm×90cm、野球ボール・バレーボール90cm×60cm、その他は30cm×30cmとします。  
 ・ジュース瓶、ビール瓶は瓶内に液体が約半分残った状態とします。  
 ・人体衝撃はゴム球(上股・下股)、木製ヘッドフォーム(頭部)、ショットバグ(全身)によって代用します。  
 ・人間の動作に関する質量は相当質量を示します。

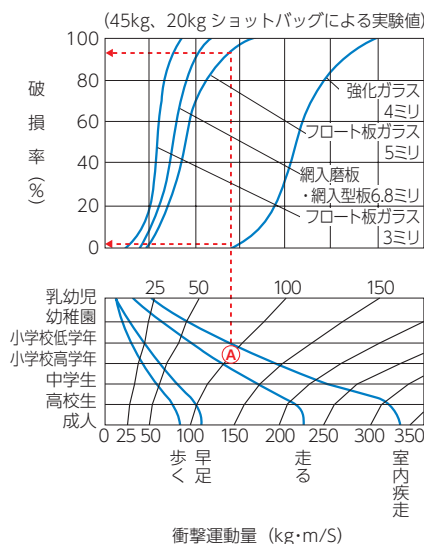
注：衝撃強度について  
 ・色塗範囲はガラス破損率を示すので、使用場所、用途によりなるべく白地部のガラス品種、厚さを選定してください。  
 ・落球試験においては、目視可能なクラック以上を破壊と判定します。  
 ◎：曲げ破壊 ○：ヘルツ破壊 △：どちらもありうる  
 ・型板ガラスは滑面衝撃によるものとします。

2 強化ガラス4ミリ(タフライト、スクールタフライト)の各種衝撃強度

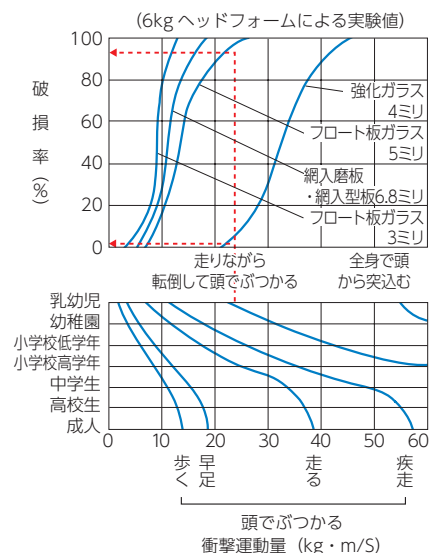
人が全身でぶつかった場合のグラフを例にとりますと、小学校低学年の児童が室内疾走した場合、その交点Aより上へ垂直に

直線を立上げ、各々のガラスの破損率曲線との交点より破損率を知ることができます。この場合はフロート板ガラス5ミリで約95%、強化ガラス4ミリで2~3%になります。

【図1-1】人が全身でぶつかった場合



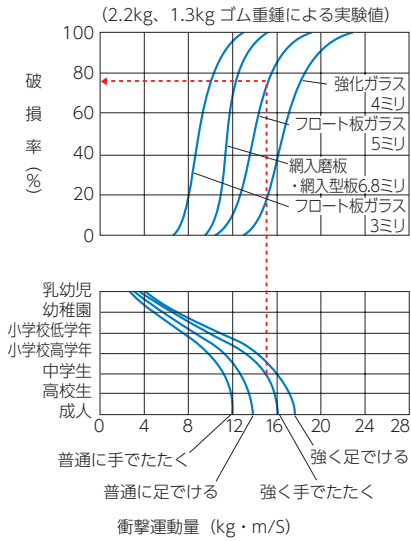
【図1-2】頭がぶつかった場合



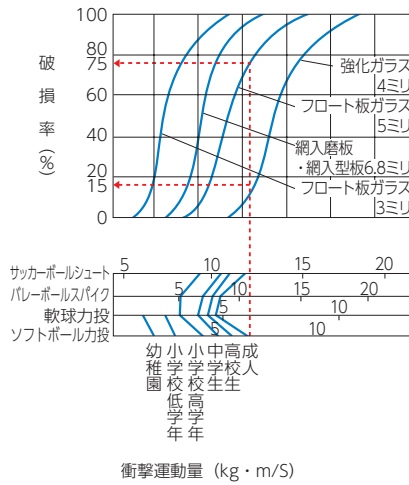
参考データ

参考データ

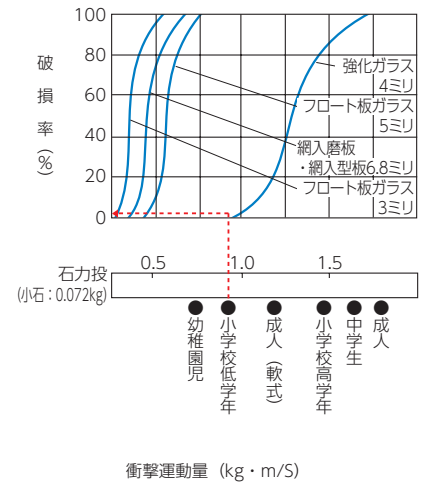
【図1-3】手足がぶつかった場合



【図1-4】ボールがぶつかった場合



【図1-5】石が投げられた場合



3 各種加撃物による耐貫通性

参考データ

| ガラス品種・呼び厚さ |                                   |                 |        |               | 加撃物による耐貫通性    |               |       |                |       |                          |                            |   |
|------------|-----------------------------------|-----------------|--------|---------------|---------------|---------------|-------|----------------|-------|--------------------------|----------------------------|---|
| 加撃物        | 動作                                | 質量 kg           | 速度 m/s | 線入磨板ガラス 6.8ミリ | 網入磨板ガラス 6.8ミリ | 合わせガラス        |       |                |       | (強化)                     | (3層)                       |   |
|            |                                   |                 |        |               |               | 6ミリ (FL3+FL3) |       | 10ミリ (FL5+FL5) |       | 20ミリ (TP8+FL12) (FL12加撃) | 19ミリ (FL3+FL6+FL10) (FL加撃) |   |
|            |                                   |                 |        |               |               | 中間膜1枚         | 中間膜2枚 | 中間膜1枚          | 中間膜2枚 |                          |                            |   |
| 物<br>体     | 小 石                               | 成年男子力投          | 0.073  | 26            | ×             | ×             | ×     | △              | △     | △                        | □                          | △ |
|            | モ ル タ ル ・<br>ブ ロ ッ ク 片            | 成年男子力投          | 1.0    | 12            | ×             | ×             | ×     | △              | △     | △                        | □                          | △ |
|            | ジ ュ ー ス 瓶                         | 成年男子力投          | 0.5    | 15            | ×             | ×             | △     | △              | △     | △                        | □                          | △ |
|            | 野 球 ボ ー ル<br>(硬 球)                | 成年男子力投          | 0.15   | 26            | ×             | ×             | △     | △              | △     | △                        | □                          | △ |
| 人<br>体     | 上 肢                               | 成年男子拳打ち         | 2.2    | 6             | ×             | ×             | △     | △              | △     | △                        | ◎                          | ◎ |
|            | 下 肢                               | 成年男子<br>ズック靴前蹴り | 1.0    | 11            | ×             | ×             | △     | △              | △     | △                        | ◎                          | ◎ |
|            | 頭 部                               | 3才児転倒           | 5.7    | 2.1           | ◎             | ◎             | ◎     | ◎              | ◎     | ◎                        | ◎                          | ◎ |
|            | 全 身                               | 3才児こぼしり         | 15.0   | 0.8           | ◎             | ◎             | ◎     | ◎              | ◎     | ◎                        | ◎                          | ◎ |
|            | 全 身                               | 13才児こぼしり        | 45.0   | 2.2           | ×             | ×             | △     | △              | △     | △                        | ◎                          | ◎ |
| 鋼<br>球     | JIS R 3205-1979に準ずる。(質量227g、高さ5m) |                 |        |               | ×             | △             | △     | △              | □     | □                        | □                          | □ |
|            | ANSI 226.1に準ずる。(質量2.26kg、高さ3.66m) |                 |        |               | ×             | ×             | ×     | △              | △     | △                        | □                          | △ |

※耐貫通性  
加撃物が抜けたものを貫通とするが、全身衝撃については直径3" (7.6cm) 以上の穴のあいたものとします。  
◎: ガラス破壊なし □: 合わせガラス1枚のみ破壊 △: 破壊するが、貫通なし (合わせガラスは全層とも破壊) ×: 破壊貫通

4 熱衝撃強度

参考データ

| ガラス品種・呼び厚さ       |         | 無破損限界温度差 単位: °C |     |     |     |                |                     |  |
|------------------|---------|-----------------|-----|-----|-----|----------------|---------------------|--|
| 熱衝撃の方法           |         | フロート板ガラス        |     |     |     | 網入・線入<br>磨板ガラス | 強化<br>ガラス           |  |
|                  |         | 2ミリ             | 3ミリ | 5ミリ | 6ミリ | 6.8・10ミリ       | 5・6・8・10<br>12・15ミリ |  |
| 全体加熱後20°Cの水中に投じる | 全 体 急 冷 | 105             | 80  | 60  | 60  | 60             | 180                 |  |
|                  | 部 分 急 冷 | —               | —   | 150 | —   | 130            | 250                 |  |

※熱衝撃強度試験条件  
ガラス寸法は10cm×10cm、ガラスエッジはカッターによりクリアカットしたものとします。