11 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、P.45〜P.46衝撃データで明らかなように、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ところでは、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薦めします。

11-1 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

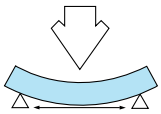
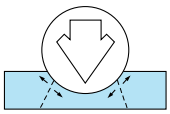
板ガラスの衝撃破壊強度は加撃物の材質、重量、衝撃速度、接触面形状によって複雑に影響を受け、さらに板ガラスの品種、厚さ、寸法、支持条件や衝撃位置によっても異なります。

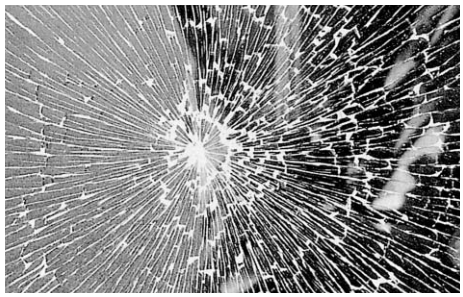
3 耐貫通性

・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。

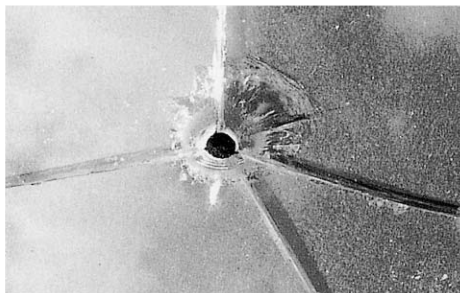
・合わせガラスは耐貫通性に優れ、中間膜の厚さが増すほどさらに性能はアップします。

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きやすくなる。



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

11-2 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

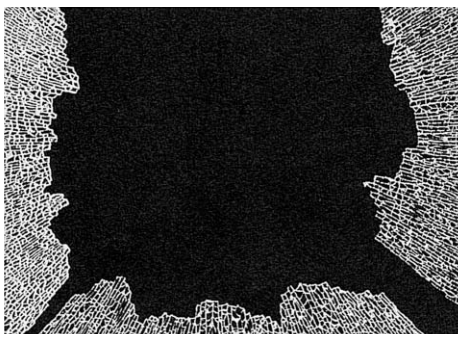
フロート板ガラスと同様ですが、網入板ガラスは破片の飛散・脱落を減少させ、耐貫通性も若干向上します。

3 強化ガラス

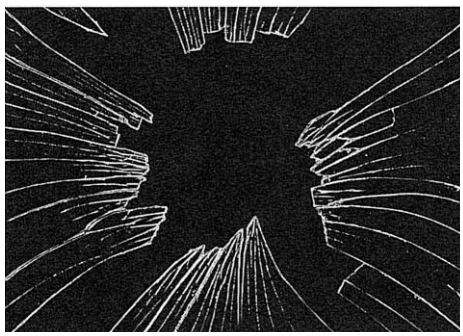
耐衝撃強度は最も優れているのでドア周辺などに適しています。また破損時には特性上瞬時に全面破砕し、粒状の破片となり、安全ですが、破片が脱落しやすいという面も持っています。

4 合わせガラス

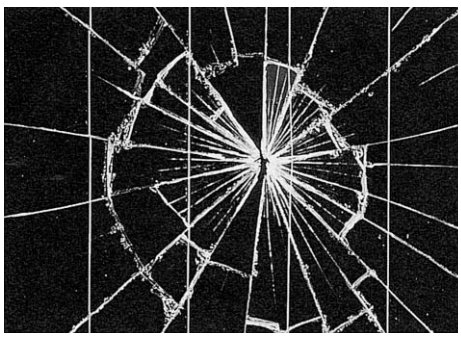
衝撃強度上は構成するガラスとほぼ同様ですが、耐貫通性や破片の脱落・飛散防止に最も優れているので破損時の安全性が高く、広範囲に使用できます。



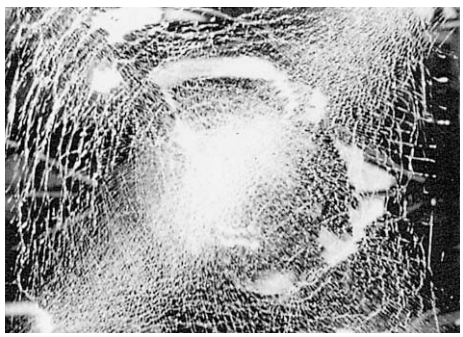
強化ガラス



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

11-3 建築用安全ガラスの条件

現在、我国では建築用安全ガラスの明確な定義はありませんが、世界的に最も権威あるアメリカの安全規格団体ANSIが定める基準によると右上表のとおりに定義されています。傷害事例を見るとサッシの中に残存する鋭利な破片によって裂傷を受けたり、飛散･脱落した破片との接触によって発生する場合が多くあります。このため安全性の高いガラスとは、衝突などによって破損した場合でも、人体に及ぼす損傷を最小限にとどめるような破片状態であることが必要です。これらをまとめたのが右表です。

建築用安全ガラスの定義

ANSI Z97. 1-1975 （American National Standards Institute）	・安全窓ガラス材（safety glazing materials）とは人体と接触して破損した場合、それによって切傷や刺傷が発生する可能性を最少限に減じるよう製造し処理し、又は他の材料と組み合わせた窓ガラス材である。

建築用安全ガラスの条件

建築用安全ガラス → 破損しても安全性が高い →

分　類	安全機能	必要条件	該当品種
タイプⅠ	ガラス破片と接触しても大きな傷害となりにくい	・小さな破片となる ・鈍角の破片となる	強化ガラス
タイプⅡ	破損してもガラスエッジと接触しにくい	・耐貫通性が優れている ・破片が飛散・脱落しない	合わせガラス

11-4 今後の建築用板ガラスの安全化

我国では安全ガラスの使用について規制はありませんが、アメリカでは1977年連邦規制として公布されたCPSC（Consumer Product Safety Commission）の罰則を伴う基準があり、ヨーロッパ諸国でも法的拘束力はないが使用基準が守られています。これらの国々では右表に示す部位に強化ガラスや合わせガラスを使用するように定められています。建築様式によって多少ガラスの使用状況は異なりますが、国内でもこういった部位には安全ガラスの使用が必要と思われます。

安全ガラスの使用基準部位＜欧米の例＞

使用分類	具体的適用部位
ⓐ人体と接触する頻度の多い個所	・各種ドアや引違い戸などに使われるガラス ・各種ドアや引違い戸に隣接するガラス窓 ・住宅などで床に近い部分に使われるガラス
ⓑ人体と接触した場合危険性大な個所	・浴室やシャワー室のガラス ・てすり、階段、踊場、バルコニーなど高低差のある場所に使われるガラス
ⓒ用途上ガラスの破損頻度の高い個所	・学校の階段、教室、教員室、休養室などで床上1.7m以下に使われるガラス ・ボールゲームやスポーツの行われる室のガラス

11-5 衝撃に関する基準

1 米国の板ガラスに関する試験方法および安全基準

	ANSI Z97. 1-1984 American-National-Standards-Institute	CPSC Consumer-Product-Safety-Commission カテゴリーⅠ	CPSC Consumer-Product-Safety-Commission カテゴリーⅡ
安全規制の対象部位 対象商品	・試験方法・判定基準を定めたもので規制なし	・一般ドア entrance and exit door ・防風ドア storm doors and combination doors ・グレイジングパネル（はめころし窓）注1 glazed panel ①上記でガラス表面積9平方フィート（0.84m²）未満のもの	①上記でガラス表面積9平方フィート（0.84m²）以上のもの ②シャワー室 shower doors and enclosures ③浴室 bathtub doors and enclosures ④引違い戸　注2 sliding doors（patio-type）
加撃するエネルギーレベル	・第1ステップ100フィートポンド 100ポンド（45.4kg）×落下高さ1フィート（30.5cm） ・第2ステップ150フィートポンド 100ポンド×落下高さ1.5フィート（45.7cm） ・第3ステップ400フィートポンド 100ポンド×落下高さ4フィート（121.9cm）	・150フィートポンド 100ポンド（45.4kg）× 落下高さ1.5フィート（45.7cm）	・400フィートポンド 100ポンド（45.4kg）× 落下高さ4フィート（121.9cm）
試料の大きさ	実物大　または34インチ×76インチ（86.4cm×193cm）		
試験法	フレームと加撃体　次頁のとおり		
安全材料としての判定基準	・4枚の試料ともつぎの判定基準のいずれかに合格すること。 ①破壊時直径3インチ（7.6cm）の鋼球が自由に通過する穴があかないこと。〔合わせガラスなど〕 ②破壊より5分経過後、最も大きい10個のひびのない破片を選び、その量がもとの試料の10平方インチ（64.5cm²）の量を超えていないこと。〔強化ガラス〕 ③第3ステップの加撃で、枠からはずれてもよいが、破壊しないこと。	・対象部位、寸法によって定まるカテゴリーⅠまたはⅡによる加撃でつぎの判断基準のいずれかに合格すること。 ①破壊時直径3インチ（7.6cm）、重さ4ポンド（1.8kg）の鋼球を試料の上に1秒間のせても通過する穴が生じないこと。〔合わせガラスなど〕 ②破壊より5分経過後、最も大きい10個のひびのない破片を選び、その重量がもとの試料の10平方インチ（64.5cm²）の重量を超えていないこと。〔強化ガラス〕 ③150または400フィートポンドの加撃で、枠からはずれてもよいが、破壊しないこと。	

注1：ドアや床面の近くにあるはめころし窓が対象とされるが、1981年8月より州法（local Code）へ委譲されている。　注2：我国のテラス戸などがこれに相当する。

2 合わせガラスのJIS 規格

・合わせガラスは衝撃試験、ショットバック試験に合格しなければならない。

JIS R 3205

衝撃試験・61cm×61cm角の試料ガラス（周辺支持）の中心点から25mm以内の位置に質量約1040g、直径63.5mmの鋼球を120cm、150cm、190cm、240cm、300cm、380cm、480cmの高さから順次落下させ、1枚以上破壊したときの状態をみる。

・この結果、6枚中5枚以上の供試体の中間膜に切断または、ガラスの欠落による露出部分がないこと。

ショットバック試験・86.4cm×193cmの試料ガラス（周辺支持）に45kgのショットバックを落下させてガラスの中心点付近に加撃する。

・I 類は規定なし。

・II－1類は120cmの高さから、II－2類は75cmの高さからショットバックを落下させ、4枚中4枚が次のいずれかに適合しなければならない。

（1）ガラスが破壊した場合、破壊部分に直径75mmの球が自由に通過する開口を生じないこと。

（2）ガラスが破壊しないこと。

・III類は供試体4枚について30cmの高さからショットバックを落下させ、合わせガラスを構成するガラス板を2枚とも破壊し、破壊部分に直径75mmの球が自由に通過する開口を生じてはならない。

なお、30cmの落下高さで破壊しない場合は所定のスラップにしたがって高さを変えて加撃を行う。

3 強化ガラスのJIS 規格

・強化ガラスは衝撃試験、破砕試験、ショットバック試験に合格しなければならない。

JIS R 3206

衝撃試験・合わせガラスの衝撃試験と同様にして鋼球を 100cmの高さから落下させる。

・この結果、6枚中2枚以上破壊してはならない。なお、破壊が2枚の場合は6枚追加試験し、6枚とも破壊してはならない。

破砕試験（1）強化ガラス4ミリ

・合わせガラスの衝撃試験と同様にして鋼球を150cmの高さから落下させる。（破壊しない場合は落下高さを50cmずつ上げる。）

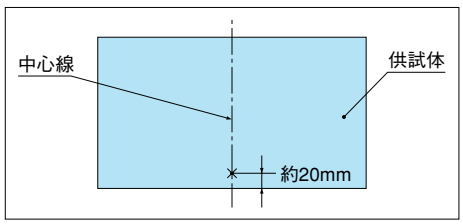
・この結果、5枚中5枚とも最大破片の質量が15g以下であること。

（2）強化ガラス5ミリ以上

・長辺側の中心で端から約20mmの位置にハンマーまたは、ポンチで加撃する。

・この結果、破片の大きさが最も粗な部分を選び50×50mmの枠内の破片数が40個以上であること。

・供試体衝撃位置



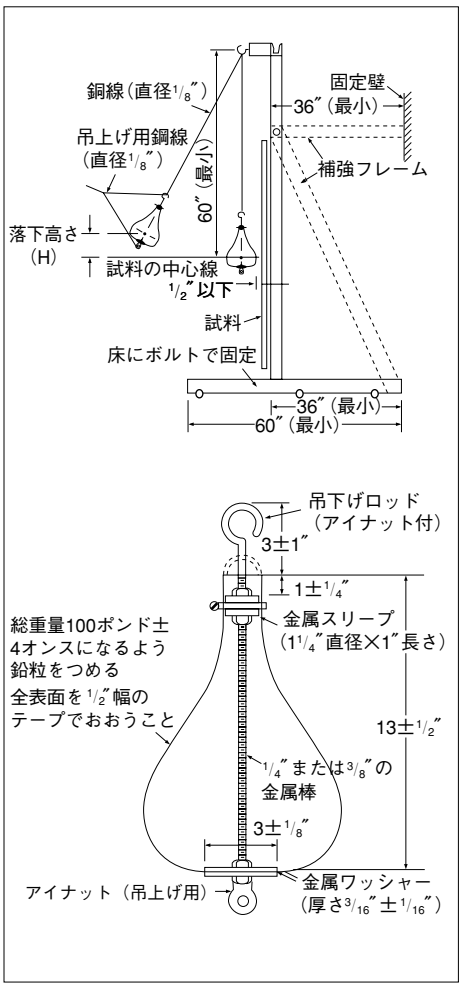
ショットバック試験

・合わせガラスのショットバック試験と同様にして30cm、75cm、120cm の落下高さで順次加撃し、次のいずれかに適合しなければならない。

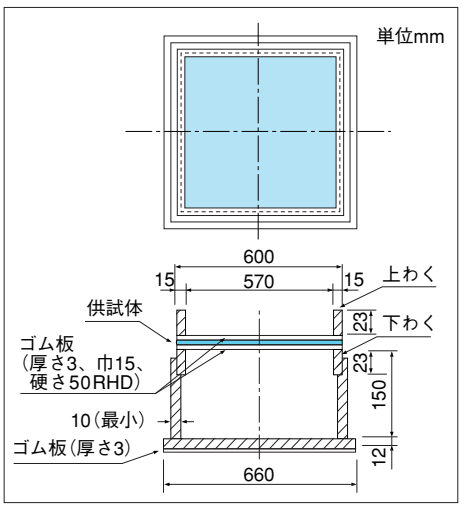
・落下高さ120cmでガラスが破壊しないこと。

・破壊した場合、破壊後5分以内の最も大きい10個の破片の質量の合計が試料ガラスの65cm²の面積に相当する質量を超えてはならない。

・ショットバック試験法（フレームと加撃法）



・衝撃試験の供試体支持枠



11-6 各種板ガラスの衝撃強度および耐貫通性能データ

1 各種加撃物による衝撃強度

ガラス品種・呼び厚さ					加撃物によるガラス破損率 単位：%											
					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	
	加撃物	動作	質量 kg	速度 m/s	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)
物体	小石	成年男子力投	0.073	26	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	一般スパイク	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	成年男子ズック靴前蹴り	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才児こばしり	15.0	0.8	10	5	0	0	5	5	0	0	0	0	10	0
	全身	13才児こばしり	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	○8.5	○8.5	○9.0	△0.8	○1.1

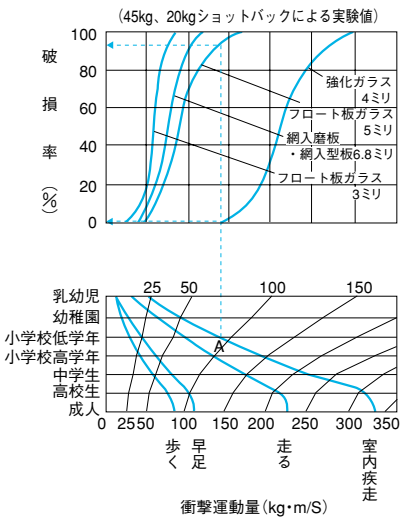
注：衝撃強度・耐貫通性試験条件
・データは初期強度品によるので、使用による強度低下は含みません。
・ガラスは四辺支持で、その寸法はそれぞれ全身衝撃180cm×90cm、頭部衝撃90cm×90cm、野球ボール・バレーボール90cm×60cm、その他は30cm×30cmとします。
・ジュース瓶、ビール瓶は瓶内に液体が約半分残った状態とします。
・人体衝撃はゴム球（上股・下股）、木製ヘッドフォーム（頭部）、ショットバック（全身）によって代用します。
・人間の動作に関する質量は相当質量を示します。

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。

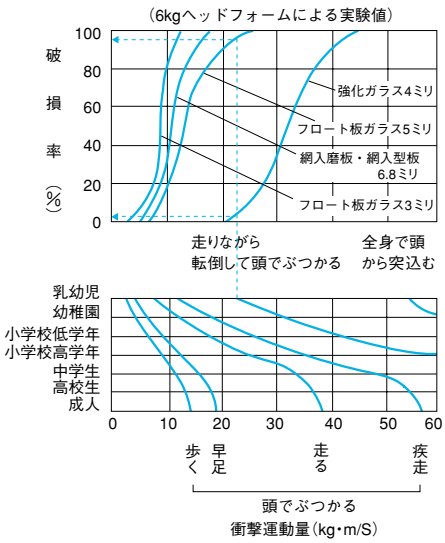
2 強化ガラス4ミリ（スクールタフライト・ホームタフライト）の各種衝撃強度

図の見方
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。

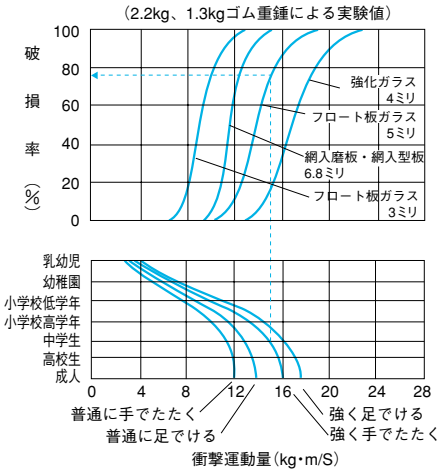
・人が全身でぶつかった場合



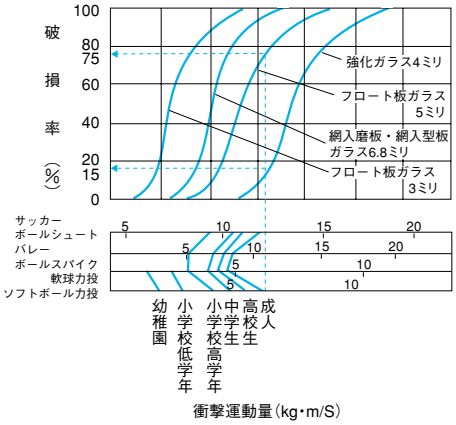
・頭がぶつかった場合



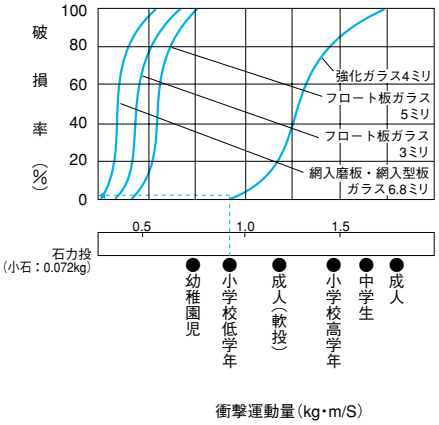
・手足がぶつかった場合



・ボールがぶつかった場合



・石が投げられた場合



3 各種加撃物による耐貫通性

注：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

ガラス品種・呼び厚さ					加撃物による耐貫通性							
					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)
加撃物		動作	質量 kg	速度 m/s			中間膜1枚	中間膜2枚	中間膜1枚	中間膜2枚		
物体	小石	成年男子力投	0.073	26	×	×	×	△	△	△	⊘	△
	モルタル・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(硬球)	成年男子力投	0.15	26	×	×	△	△	△	△	⊘	△
人体	上肢	成年男子拳打ち	2.2	6	×	×	△	△	△	△	◎	◎
	下肢	成年男子ズック靴前蹴り	1.0	11	×	×	△	△	△	△	◎	◎
	頭部	3才児転倒	5.7	2.1	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	全身	3才児こばしり	15.0	0.8	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	全身	13才児こばしり	45.0	2.2	×	×	△	△	△	△	◎	◎
鋼球	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)				×	×	×	△	△	△	⊘	△

4 熱衝撃強度

注：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ーカットしたものとします。

ガラス品種・呼び厚さ / 熱衝撃の方法		無破損限界温度差 単位：℃					
		フロート板ガラス				網入・線入磨板ガラス	強化ガラス
		2ミリ	3ミリ	5ミリ	6ミリ	6.8・10ミリ	5・6・8・10 12・15ミリ
全体加熱後20℃の水中に投じる	全体急冷	105	80	60	60	60	180
	部分急冷	—	—	150	—	130	250