

日常生活の中での人体による衝撃力と 板ガラス強度との関係

その 1 板ガラスの耐衝撃強度の測定

正 会 員	内	田	祥	哉*
正 会 員	直	井	英	雄**
正 会 員	前	田	拓	一***
正 会 員	小	林	勝	美****

はじめに

板ガラスは、われわれの住環境の中で最も身近な建材の一つであり、安全で快適な生活を維持するうえで果たす役割は極めて大きい。しかし、一般の住宅に使用されている板ガラスは、材料のもつ性質から、もともと割れやすく、割れば危険が生ずるという常識が先行し、人体の衝撃に対する安全性についての科学的な追求は必ずしも十分であったとはいえない。

既に、欧米先進国では、人命尊重の見地からこの問題についての研究が進められているが、わが国においても昨今ようやく建築物全般における安全性に対する関心が高まりつつあり、住宅に使用される板ガラスの安全性についても考究を極めることが重要な課題として認識されてきている。

しかしながら、このような課題に関連する基礎データはごく限られたものしかなく、例えば、人間の出す衝撃力に関しては、手、足などの衝撃力のデータ¹⁾はあるが日常生活において生ずる人体による一般的な衝撃力については未だ十分研究がなされていない。また、板ガラスの耐衝撃強度についても過去にいくつかの報告^{2)~6)}があるがそれらはどれも実際の人体の衝撃に対する強度を表わすものではないため、この目的に十分利用し得るデータではないと判断される。

本研究は、上述した課題に関する研究の第一歩として特に、日常生活上の人体による衝撃力と、それに対する板ガラスの耐衝撃強度との関係を明らかにすることを目的としている。具体的には、住宅に使用される代表的な板ガラスが人体によって衝撃をうけた場合の強度を実験で測定し、一方で、住宅内において生活上生ずる各種の人体衝撃力の程度を机上計算によって推定した。次いで

この両者の関係の妥当性を検討し、それによって、板ガラスの強度と人体による衝撃力との関係を把握した。もっとも、人体衝撃力と板ガラス強度との関係は、現実にはさまざまな因子によって左右され、高い精度を追求することは事実上困難であるから、本研究では、少なくとも計画上十分役立て得る程度の精度で把握することをねらいつつとした。

ところで、この研究に先立って、戸建・集合住宅における板ガラスによる日常の傷害事例⁷⁾ (95 例) を詳細に分析した。その結果、板ガラスによる傷害のうち、全体の 70% が小学生以下の幼児・児童によるものであり、そのうちのほぼ 60% が 0~3 才の乳幼児に発生しており、更に、加撃身体部位では、0~3 才児の約 70% が頭部である点を重視すべきこと、また、0~3 才以上の年齢層では、頭部の他に全身・手・足などによる衝撃も無視できないこと、などが明らかになった。

そこで、板ガラスの安全性を考慮するにあたっては、幼児・児童の出す衝撃力を重視するが、それ以外の衝撃力も含めて板ガラスの強度性能を知ることが先ず必要であると考え、第 1 報として、代表的な人体衝撃力に対する板ガラスの耐衝撃強度を測定した結果を報告する。第 2 報では、人体衝撃力を推定し、この推定衝撃力と板ガラスの耐衝撃強度の関係が実際の傷害事例にあてはまるかどうかについて検討した結果を述べる。

1. 測定の概要

1-1 測定の主旨

人体による衝撃力を想定した試験を行うにあたっては人体の質量、速度、加撃部位、衝突角度、あるいは被衝撃物である板ガラスの品種、厚さ、寸法、衝撃位置および支持状態などが複雑な要因となり、現状においては、板ガラスの耐衝撃強度を理論的に解析し、定量的に把握することは極めてむずかしい。また、経験的に衝撃力は衝撃エネルギーだけに注目するのでは不十分であり、何かどのような速さで、どんな状態のものに、いかに加撃

* 東京大学 教授・工博

** 東京理科大学 助教授・工博

*** 日本板硝子(株) 主席技師補

**** 板硝子協会 調査役

(昭和 55 年 3 月 31 日 日本稿受理・討論期限昭和 56 年 2 月末日)

されるかが重要な要素となることが知られている。

一方、板ガラスの衝撃破壊強度の評価法として、わが国では JIS による落球試験⁸⁾があるが、これは強化ガラスや合わせガラスの品質規格であって、住宅用板ガラスが実際に予想される衝撃力に対して耐えるか否かを類推することは不可能である。

以上のような背景を踏まえて、今回の衝撃試験では、先の傷害事例の解析結果をもとに、板ガラスは、戸建および集合住宅に一般的に使われている普通板ガラス 2 mm (S 2), 3 mm (S 3), 型板ガラス 4 mm (F 4), フロート板ガラス 5 mm (FL 5) および網入型板ガラス 6.8 mm (FW 6.8) の 5 品種を供試体とした。また、一般にあまり使われていないが、上記板ガラスと比較するために、従来から、安全ガラスと呼ばれている合わせガラス 6 mm (LS 6) および強化ガラス 3 mm (TS 3), 5 mm (TFL 5) の 3 品種も供試体とした。

次に、子供の全身を想定した加撃体は、米国規格協会の材料強度試験規格⁹⁾を参考とし、ショットバッグを使用した。なお、ショットバッグ重量は、13 才児の体重を想定した 45 kg, 6 才児を想定した 20 kg, および 3 才児を想定した 15 kg とした。また、0 ~ 3 才児に頭部傷害が多いという理由から、ISO 規格¹⁰⁾を参考に、3 才児を想定した 6 kg ヘッドフォームを設定した。

測定は次の項目について行った。

- (1) 一般のガラスの衝撃破壊強度測定
- (2) 強化ガラス、合わせガラスの衝撃破壊強度測定
- (3) 合わせガラスの耐貫通性測定
- (4) 強化ガラスおよび強化合わせガラスによる衝撃発生応力測定
- (5) サッシ入りガラスの衝撃破壊強度および発生応力測定

1-2 供試体

表 1 に住宅用一般板ガラスを用いた破壊強度測定用供試体を示す。

表 2 に強化ガラス、合わせガラスを用いた破壊強度測定用供試体を示す。

表 3 に合わせガラスを用いた耐貫通性測定用供試体を示す。

表 4 に強化ガラスおよび強化合わせガラスを用いた衝撃発生応力測定用供試体を示す。

表 5 にサッシ入りガラスの破壊強度および発生応力測定に用いた供試体を示す。

1-3 試験装置

(1) 全身衝撃試験装置

図 1 に試験装置の概略を示し、図 2 に供試体取付枠断面を示す。

図 3 に加撃体として使用したショットバッグの例を示す。これは、標準皮使用であり、バッグの中に鉛製散弾

表 1 破壊強度測定用供試体

品種 板ガラス 寸法(mm)	S 2	S 3	FL 5	F 4	FW 6.8
900×1800			○		○
900×900		○	○	○	○
450×900	○	○		○	○
450×450	○	○		○	○

(注 1) 供試体数合計 9 枚/品種・寸法 14 種類×4 水準=504 枚

(注 2) 水準とは加撃体の種類をいう

(注 3) 品種記号と一般呼称の関係

S 2	普通板ガラス 2mm
S 3	普通板ガラス 3mm
FL 5	フロート板ガラス 5mm
F 4	型板ガラス 4mm
FW 6.8	網入型板ガラス 6.8mm

表 2 破壊強度測定用供試体

品種 板ガラス寸法(mm)	TS 3	TFL 5	LS 6
900×900	○	○	○

(注 1) 供試体数合計 9 枚/品種・寸法×3 種類×1 水準=27 枚

(注 2) 品種記号と一般呼称の関係

TS 3	強化ガラス 3mm
TFL 5	強化ガラス 5mm
LS 6	合わせガラス 6mm

表 3 耐貫通性測定用供試体

品種 板ガラス寸法(mm)	LS 6
900×900	○

(注) 供試体数 9 枚

表 4 発生応力測定用供試体

品種 板ガラス寸法(mm)	TS 3	TF 4	TFL 5	TFL 6	LTS 6
900×1800			○	○	
900×900	○	○	○	○	○
450×900	○	○		○	
450×450	○	○		○	

(注 1) 供試体数合計 3 枚/品種・寸法×13 種類×1 水準=39 枚

(注 2) 品種記号と一般呼称の関係

LTS 6: 強化合わせガラス

表 5 破壊強度及び発生応力測定用供試体

サッシ型式	品種 板ガラス寸法(mm)	S 3	TS 3
1818	794×762	○	○
1713	813×1267	○	○

(注 1) 供試体数合計 S 3 12 枚/寸法×2 種類=24 枚

TS 3 2 枚/寸法×2 種類=4 枚

(注 2) TS 3 は発生応力測定用

を詰めたものである。なお、ショットバッグ重量は、前述のとおり、45 kg, 20 kg, 15 kg の 3 種類とした。

(2) 頭部衝撃試験装置

ISO 規格では、成人男子の頭部で衝突した場合を仮定したヘッドフォームの重量を 10 kg と定めている。しかし、3 才児のヘッドフォーム重量については、具体的な

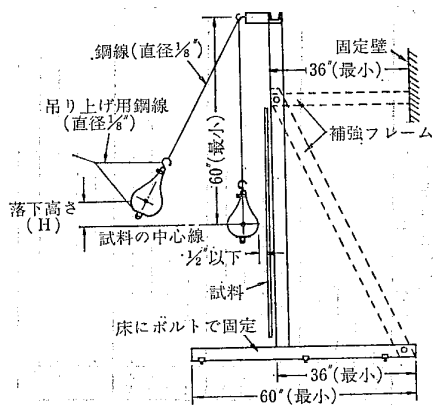


図1 衝撃試験装置断面図

資料がないので、頭重に比例するものと仮定して次式で求めた。

$$\begin{aligned} \frac{\text{3才児の平均頭重}}{\text{2才児の平均頭重}} &= \frac{\text{2才児の平均頭重}}{\text{2才児の平均頭重}} \times \left(\frac{\text{3才児の平均頭圍}^{12)} }{\text{2才児の平均頭圍}^{11)} } \right)^3 \\ \text{3才児のヘッドフォーム重量} &= \text{ドフォーム重量} \\ &\quad \times \frac{\text{3才児の平均頭重}}{\text{成人の平均頭重}^{13)}} \\ &= 10 \times \frac{2.5}{4.2} \approx 6.0 \text{ kg} \end{aligned}$$

図4に作成したヘッドフォーム断面を示す。

1-4 試験方法

(1) 全身衝撃試験方法

供試体をショットバックで加撃し、破壊時の落下高さを測定した。ショットバックの落下高さのステップは、連続ステップ上昇法によった。この方法は、供試体の平均破壊高さ (\bar{H}) をあらかじめ予想し、その \bar{H} 平方根の 1/10 のピッチで、落下高さを連続的に上昇していく方法であり、この方法によれば板ガラスに連続的な衝撃を与えても、疲労が残留しないと判断した。

本測定では、各供試体別の \bar{H} の予測が困難だったので、便宜的に、 $\bar{H} = (3^2), (6^2), (8^2), (10^2), (12^2), (15^2)$ cm を設定し、それぞれの \bar{H} に対する落下高さのピッチ ($\sqrt{H_i}$) は、

$$\begin{aligned} \sqrt{H_i} &= \sqrt{\bar{H}} \pm \sqrt{\bar{H}}/10 \times i \\ (i &= -5, -4, \dots, 0, \dots, 4, 5) \end{aligned}$$

とした。即ち、 \bar{H} をはさんで高低5段階のピッチを考え、 $i = -5$ から順次加撃し、破壊しない場合は、更に1

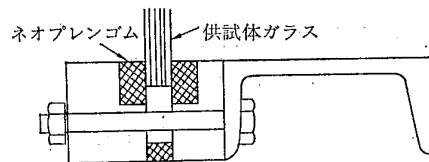


図2 供試体取付棒断面図

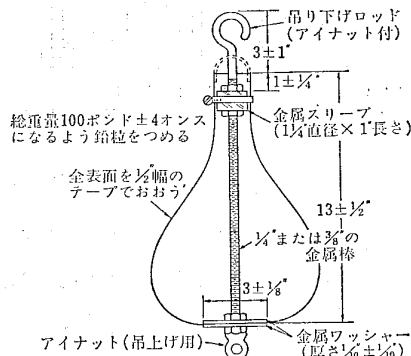


図3 ショットバッグ断面図

ランク上の \bar{H} にステップアップする方法をとった。表6にその一覧表を示す。

(2) 頭部衝撃試験方法

ISO規格を参考にして作成したヘッドフォームを、マグネット装置を利用した支持棒から垂直落下させ、各供試体に衝突させ、その破壊高さを求めた。なお、供試体は水平に固定された木枠に四辺単純支持され、ヘッドフォームが板ガラス中央に衝突するようになっている。また、落下高さは表6に従った。

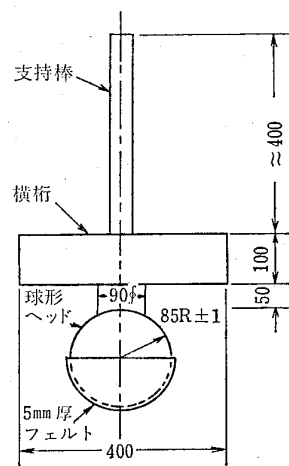


図4 ベットフォーム (重量 6kg)

(3) 耐貫通性試験方法

合わせガラスは、2枚の板ガラスの間にポリビニールブチラール接着材を用いて、高温・高圧で張り合わせたものである。このため、板ガラスが割れても飛散しにくく、また加撃体があたっても貫通しにくい性能を有している。今回の測定では、衝撃力レベルとして6才児の全身衝突の最大値を想定し、20kg ショットバックで落下高さ 118 cm、また、3才児の最大速度での頭部衝突の最

表6 連続ステップ上昇法による落下高さ一覧表

\bar{H} (cm)	$\sqrt{\bar{H}}$	$\sqrt{\bar{H}}/10$	$\sqrt{H_i} (i = -5, -4, \dots, 0, \dots, 4, 5)$										
			-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
9	3	0.3	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5
36	6	0.6	—	—	—	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2	7.8	8.4	9.0
64	8	0.8	—	—	—	—	—	—	—	9.6	10.4	11.2	12.0
100	10	1.0	—	—	—	—	—	—	—	—	13.0	14.0	15.0
144	12	1.2	—	—	—	—	—	—	—	—	15.6	16.8	18.0
225	15	1.5	—	—	—	—	—	—	—	—	19.5	21.0	22.5

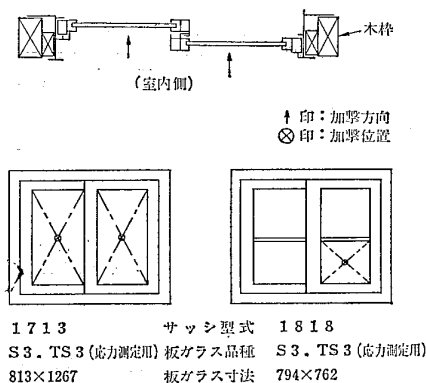


図5 サッシ取付図および加撃位置と加撃方向

大値を想定した 6 kg ヘッドフォームで落下高さ 31.9 cm の 2 レベルを設定した。測定はこのレベルに相当する落下高さから供試体を 1 回だけ加撃し、その貫通穴の有無を目視により観察した。なお、加撃体の落下方法は前述の (1), (2) と同様である。

(4) 衝撃による板ガラスの発生応力測定方法

供試体の加撃反対面中央に、ストレングージを貼りつけ、各加撃体の衝撃によって生ずる引張歪を測定し、応力値に換算した。各加撃体の落下高さは、各供試体とも少なくとも 5 点以上とし、その相当高さは表 6 によった。

なお、普通板ガラス 3 mm (S3), 型板ガラス 4 mm (F4), フロート板ガラス 5 mm (FL5), 網入型板ガラス 6.8 mm (FW 6.8) など一般の板ガラスは、破壊時の歪が測定できなくなるので、供試体は強化ガラスとし、また、合わせガラスについては強化合わせガラス 6 mm (TLS6) を使って応力測定を行った。しかし、網入型板ガラス 6.8 mm (FW 6.8) は強化ガラスにできないので、強化ガラス 6 mm (TFL6) を代用した。なお強化ガラスは普通の板ガラスと比較して、その面強度は約 3 倍程度あるが、力学的特性は変わらないものである。

(5) サッシ入りガラスの衝撃試験方法

今回の衝撃試験における板ガラスの支持状態と、実際の住宅に使用されているサッシにはめ込まれた状態との比較検討を行うため、一般の住宅用アルミサッシにはめ込んだ板ガラスについても同様の試験を行った。試験は住宅にとりつけられるのと同様に、図 5 に示すように供試体を外枠にとりつけた。加撃体は 20 kg ショットバッグを使用し、衝撃の方法は、図 1 に示す加撃体の落下方法をとった。また、発生応力測定も行ったが、そのときの板ガラスは強化ガラス 3 mm (TS3) を用いた。

2. 測定結果

2-1 住宅用一般ガラスの衝撃破壊強度測定結果

図 6 ~ 図 9 は供試体を品種別、寸法別、更に加撃体別に区分して、衝撃破壊運動量を示した図である。図中○印は平均破壊運動量を示し、棒線の長さは衝撃破壊運動

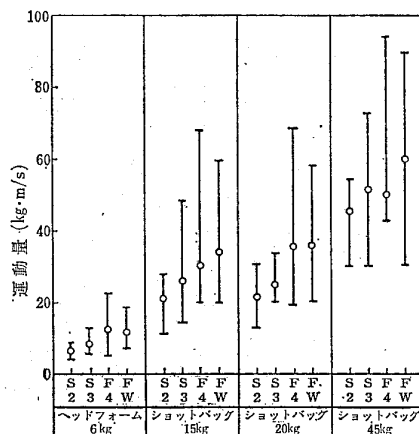


図6 供試体寸法 450×450 の衝撃破壊運動量

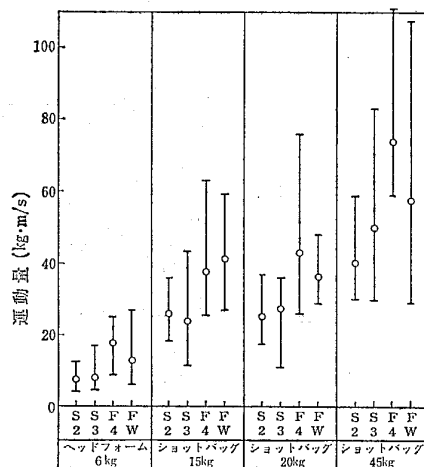


図7 供試体寸法 900×450 の衝撃破壊運動量

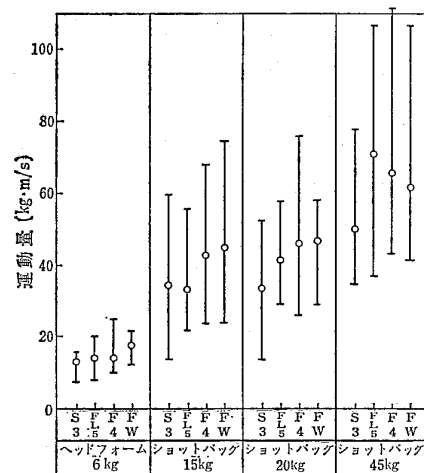


図8 供試体寸法 900×900 の衝撃破壊運動量

量の最大と最低を結んだものである。なお、板ガラスの衝撃破壊運動量は、加撃体が供試体に衝突する時の速度 $v = \sqrt{2gH}$ と加撃体質量 m の積 mv で表わした。

2-2 強化ガラス・合わせガラスの衝撃破壊強度測定結果

一般の板ガラスの場合は、ショットバッグ 15 kg, 20 kg, 45 kg およびヘッドフォーム 6 kg の全てを加撃体として使い、衝撃破壊落下高さを求めたが、強化ガラスについては、45 kg ショットバッグとヘッドフォームの

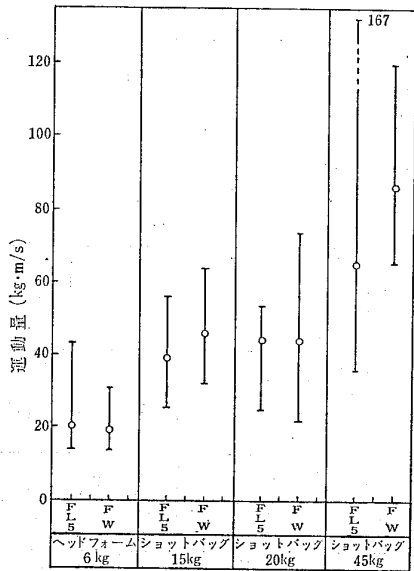


図9 供試体寸法 1800×900 の衝撃破壊運動量

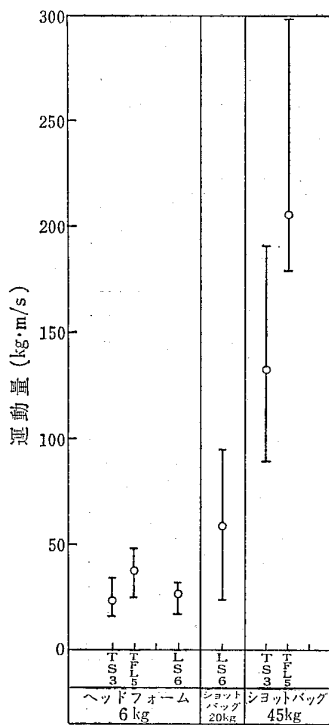


図10 強化および合わせガラスの衝撃破壊運動量

みを用い、また、合わせガラスについては、20 kg ショットバッグとヘッドフォームのみを用いた。

図10に供試体の品種と加撃体の関係を示した衝撃破壊運動量を示す。各棒線にある○印は平均破壊運動量を示し、棒線はデータ中の最大および最小破壊運動量を結んだものである。

2-3 合わせガラスの耐貫通性測定結果
表7の衝撃レベルを想定し、合わせガラス6 mm (LS6) の耐貫通性を測定した。結果を表8に示す。この場合6才

児の最大速度¹⁴⁾による全身衝突を想定したショットバッグ衝撃では、8枚の試料が割れ、このうち、1枚に40 mmφの貫通穴を生じた。また3才児の推定最大速度¹⁴⁾による頭部衝突の想定では破壊も生じなかった。

2-4 発生応力測定結果

図11~図14に加撃体の落下高さとの発生応力の関係を示した代表的な測定結果を示す。

表7 耐貫通性測定衝撃レベル

衝撃レベル	最大速度 (m/s)	加撃体	相当落下高さ (cm)	衝撃運動量 (kg·m/s)
6才児全身衝突	4.8	SB (20 kg)	118.0	96.2
3才児頭部衝突	2.5	HF	31.9	15.0

(注) SB: ショットバック
HF: ヘッドフォーム

表8 合わせガラス 6 mm の耐貫通性測定結果

6才児全身衝突 衝撃運動量: 96.2 kg·m/s				3才児頭部衝突 衝撃運動量: 15.0 kg·m/s			
供試体 No.	板ガラス厚さ (mm)	破壊の有無	貫通の有無	供試体 No.	板ガラス厚さ (mm)	破壊の有無	貫通の有無
1	5.91	無	無	1	5.93	無	無
2	6.36	有	無	2	5.93	無	無
3	5.88	無	無	3	6.34	無	無
4	5.82	無	無	4	5.83	無	無
5	5.82	無	有	5	5.83	無	無
6	5.82	無	無	6	5.84	無	無
7	6.18	無	無	7	6.17	無	無
8	6.13	無	無	8	6.17	無	無
9	6.18	無	無	9	6.22	無	無

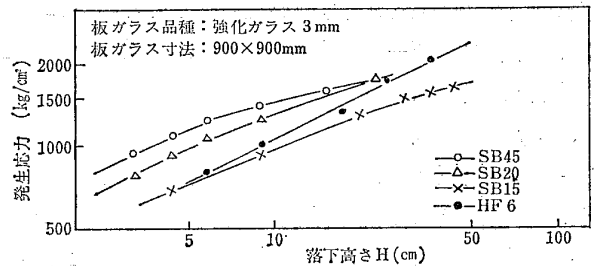


図11 3 mm 厚ガラスの衝撃発生応力

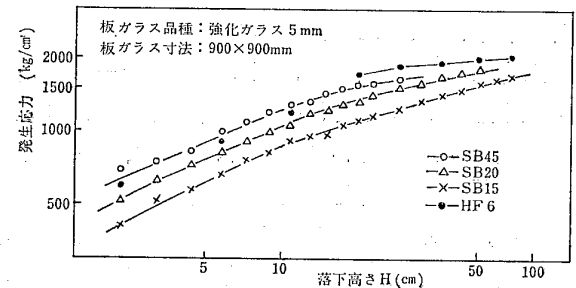


図12 5 mm 厚ガラスの衝撃発生応力

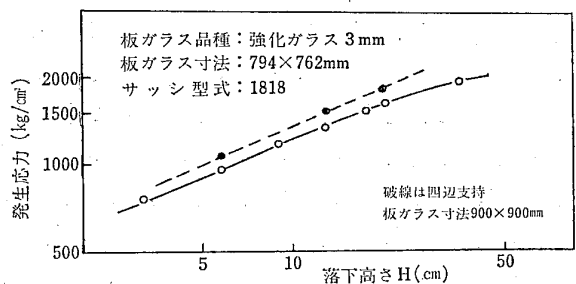


図13 サッシ入りガラスの衝撃発生応力

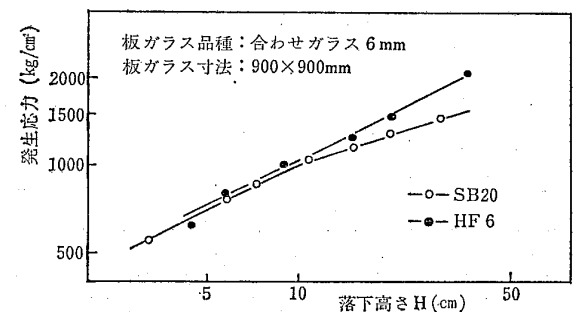


図14 合わせガラスの衝撃発生応力

表 9 サッシ入りガラスの衝撃破壊強度

サッシ型式	1713		1818
板ガラス寸法 (mm)	813×1267		794×762
加撃位置	左障子	右障子	右障子
供試体数 (枚)	12	12	12
平均破壊高さ (cm)	23.2	24.6	12.2
平均破壊運動量 (kg・m/s)	42.6	43.9	30.9

人体のような軟質体の衝撃による板ガラスの破壊は、衝撃によって発生する撓みで、衝撃反対面に生ずる引張応力によって起こる。従って、衝撃によって発生する応力を知ることは、板ガラスの破壊に関する種々の比較検討において重要な役割をもっている。

2-5 サッシ入りガラスの衝撃破壊強度測定結果

表 9 に測定結果を示す。なお結果をまとめるにあたっては、衝撃破壊データが対数正規分布に従うものとして¹⁵⁾統計処理した。

3. 考 察

3-1 一般板ガラスの衝撃破壊強度

(1) 板ガラスの衝撃強度と破損確率の関係について一般に板ガラスにどれ位の衝撃力が加わったとき、どの程度の破損確率となるかを各種板ガラスの衝撃破壊高さの実測データを衝撃運動量に換算し、衝撃運動量と破損確率の関係を求めた。表 10 に結果を示す。

一般に板ガラスの強度は、個々の破壊データの対数値をとって統計処理すると、その強度の分布はほぼ正規分布することが知られている¹⁵⁾ので、本報でも対数正規分布するものとして統計処理を行った。

表 10 中、板ガラスの各品種毎の区分 μ や $\mu+\sigma$ などは正規分布函数曲線の横軸に一致している。例えば、普通板ガラス 3 mm (S3) の寸法 900×900 mm にショットバッグ 15 kg の加撃体を板ガラスのほぼ中央に衝突させたと想定すると、平均破壊運動量 μ は 34.5 kg・m/s であり、 $\mu-3\sigma$ が 8.1 kg・m/s、一方、 $\mu+3\sigma$ では 147 kg・m/s となる。これを上の正規分布函数曲線に対応させると破損確率はそれぞれ 50%、0.1% および 99.9% となる。従って、ここで板ガラスの品種、寸法が既知で、一方、人体の全身または頭部の衝突時の運動量が推定できれば、それを正規分布函数曲線にあてはめ、およその破損確率が類推できる。

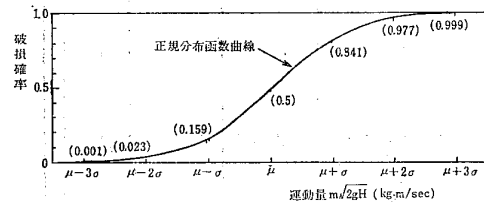
以上の事由により、今後人体による身体部位別の衝撃力が解析できれば、表 10 との対応だけによって板ガラスの安全性の評価ができるものと考えられる。

なお、型板ガラス 4 mm (F4) の強度は供試体中に極端に強度の大きいものがあり、統計処理の結果全体に衝撃強度は大きくなった。このため、既存のデータと比較検討した結果、この数値の利用にあたっては、およそ約 30% 減の運動量としてみるのが妥当と考えられる。

(2) 板ガラスの面積と衝撃強度との関係

一般に、人体の各部位が板ガラスに衝突したときの板

表 10 各種板ガラスの衝撃強度と破損確率の関係



板ガラス品種	板ガラス寸法	加撃体	運動量 μ (kg・m/sec)						
			$\mu-3\sigma$	$\mu-2\sigma$	$\mu-\sigma$	μ	$\mu+\sigma$	$\mu+2\sigma$	$\mu+3\sigma$
普通板ガラス 2 ミリ	450 × 450	SB15	10.5	13.4	16.7	21.0	26.4	33.3	41.9
		SB20	8.8	11.2	15.8	21.4	28.4	37.8	50.4
	450 × 900	SB45	27.5	32.0	38.3	45.5	54.0	64.4	76.5
		HF6	3.3	4.1	5.1	6.3	7.9	9.8	12.2
		SB15	17.1	18.6	22.1	25.8	30.3	35.7	41.9
		SB20	12.6	15.8	19.8	24.8	31.4	39.6	49.8
普通板ガラス 3 ミリ	450 × 450	SB45	20.7	26.1	32.0	40.5	50.0	62.3	77.4
		HF6	1.3	2.2	3.7	6.3	10.7	18.1	30.6
	450 × 900	SB15	7.2	11.1	17.1	26.1	40.1	61.2	93.8
		SB20	15.4	18.2	21.4	24.8	29.4	34.4	40.4
		SB45	18.0	24.3	33.8	46.8	64.4	89.1	122.9
		HF6	3.8	4.8	6.2	7.8	9.9	12.7	16.1
フロート板ガラス 5 ミリ	450 × 900	SB15	7.8	11.3	16.2	23.6	34.1	49.2	71.1
		SB20	8.8	12.8	18.8	27.2	40.0	58.6	85.6
	900 × 900	SB45	16.7	24.3	35.1	50.0	71.6	102.2	145.8
		HF6	2.3	3.4	5.1	7.7	11.7	17.7	26.7
		SB15	8.1	13.1	21.2	34.5	56.0	90.6	147.0
		SB20	8.4	13.2	21.0	33.2	52.8	83.6	132.4
型板ガラス 4 ミリ	900 × 900	SB45	25.2	31.5	40.1	50.0	63.0	79.2	99.9
		HF6	4.8	6.5	8.7	11.8	15.9	21.5	29.0
	900 × 1800	SB15	14.0	18.3	24.2	31.8	41.9	55.2	72.8
		SB20	19.4	24.8	32.2	41.6	53.4	68.8	88.6
		SB45	17.1	27.5	44.1	70.7	113.4	181.8	291.2
		HF6	5.6	7.5	9.9	13.2	17.7	23.5	31.4
網入型板ガラス 6 ミリ	450 × 450	SB15	17.9	23.3	30.3	39.3	51.6	67.2	87.6
		SB20	14.0	20.6	30.0	44.0	64.2	89.8	137.2
	900 × 900	SB45	18.0	26.6	41.9	64.4	99.9	154.8	239.4
		HF6	8.0	10.8	14.5	19.6	26.4	35.6	48.1
		SB15	9.5	14.0	20.4	30.3	44.9	66.5	98.3
		SB20	10.4	16.0	24.4	36.8	55.8	84.6	128.0
強化 3 ミリ	450 × 900	SB45	18.9	26.1	36.0	50.0	68.9	95.4	131.9
		HF6	3.5	5.0	7.8	12.3	17.8	27.4	41.9
	900 × 900	SB15	12.5	17.9	25.8	37.5	54.0	78.0	112.8
		SB20	13.8	20.0	29.4	42.8	62.6	91.6	134.0
		SB45	40.5	48.6	59.4	72.5	87.8	107.1	130.1
		HF6	5.7	8.4	11.8	17.5	23.5	33.3	47.0
強化 5 ミリ	900 × 900	SB15	12.3	18.6	28.1	42.5	64.2	97.1	147.0
		SB20	15.4	22.0	31.8	45.8	66.4	96.0	138.8
	1800	SB45	23.4	33.3	46.8	65.3	90.9	126.9	177.3
		HF6	6.3	8.0	10.0	14.1	17.3	22.2	28.6
		SB15	12.9	17.9	24.6	34.1	47.0	65.0	89.6
		SB20	12.6	18.0	25.2	35.8	50.4	71.2	100.4
強化 6 ミリ	450 × 900	SB45	18.0	26.1	31.1	54.9	80.1	117.5	171.5
		HF6	4.2	5.9	8.2	11.3	15.6	21.5	29.6
	900 × 900	SB15	19.2	24.6	31.8	41.1	52.8	68.0	87.6
		SB20	21.0	25.2	30.2	36.2	43.8	52.8	63.4
		SB45	15.3	23.4	36.9	57.2	87.8	136.4	211.1
		HF6	2.7	4.5	7.5	12.2	20.1	32.9	54.0
強化 5 ミリ	900 × 900	SB15	13.5	20.1	30.0	45.0	67.2	100.5	150.5
		SB20	23.6	29.6	37.4	46.8	59.2	74.6	93.8
	1800	SB45	23.4	32.9	44.6	61.2	83.3	113.4	154.8
		HF6	10.0	12.0	14.2	16.9	20.1	23.8	28.3
		SB15	25.4	30.8	37.4	45.6	55.2	67.2	81.8
		SB20	14.0	20.6	30.0	44.0	64.2	93.8	137.2
強化 6 ミリ	900 × 900	SB45	47.7	58.1	70.7	86.0	104.4	126.9	154.8
		HF6	9.3	11.7	14.7	18.5	23.3	29.3	36.7
	1800	SB45	54.1	73.1	98.8	133.4	180.3	243.7	329.3
		HF6	11.1	14.2	18.0	22.9	29.2	37.1	47.2
		SB45	128.1	150.8	176.5	206.5	241.7	282.8	331.0
		HF6	18.3	23.1	29.2	37.0	46.8	59.2	74.8
含まれず	900 × 900	SB20	14.9	23.5					
		HF6	14.9	17.9	21.5	25.8		37.2	44.7

SB: ショットバッグ μ : 平均値
 HF: ヘッドフォーム σ : 標準偏差

表 11 ショットバッグによる板ガラス面積別の平均破壊運動量比較 (kg・m/s)

板ガラス寸法(mm) ショットバッグ重量(kg)	板ガラス寸法(mm)			
	450×450	450×900	900×900	900×1800
S 2	15	21.0	25.8	—
	45	45.5	40.5	—
S 3	15	26.1	23.6	34.5
	45	46.8	50.0	50.0
F 4	15	30.3	37.5	42.5
	45	50.0	72.5	65.3
FL 5	15	—	—	31.8
	45	—	—	70.7
FW 6.8	15	34.1	41.1	45.0
	45	54.9	57.2	61.2

表 12 ヘッドフォームによる板ガラス面積別の平均破壊運動量比較 (kg・m/s)

板ガラス寸法 品種 (mm)	板ガラス寸法 (mm)			
	450×450	450×900	900×900	900×1800
S 2	6.3	6.3	—	—
S 3	7.8	7.7	11.8	—
F 4	12.3	17.5	14.1	—
FL 5	—	—	13.2	19.6
FW 6.8	11.3	12.2	16.9	18.5

表 13 一般の板ガラスと強化ガラスの強度比較

種類	板ガラス寸法 (mm)	加撃体	板ガラスの厚さ (mm)	平均破壊運動量 (kg・m/s)	倍率
一般の板ガラス	900×900	ショットバック (45kg)	3	50	1
			5	70.7	1
		ヘッドフォーム	3	11.8	1
			5	13.2	1
強化ガラス	900×900	ショットバック (45kg)	3	133.4	2.7
			5	206.5	2.9
		ヘッドフォーム	3	22.9	2.2
			5	37.0	2.8

ど変わらないとみるのが妥当と思われる。

3-3 合わせガラスの耐貫通性について

合わせガラス 6 mm (LS 6) の衝撃強度は、一般の板ガラスを大きく上廻るものではないが、その特長はなんといってもその耐貫通性にある。網入り、線入り板ガラスを除く一般の板ガラスにおいては、破壊がほとんどの場合貫通を意味するが、図 11 および図 12 の結果でもわかるように、合わせガラスでは人体が衝突し破壊しても貫通することは稀であり、従って、傷害の程度も少ないと考えられる。

3-4 衝撃による発生応力について

衝撃による発生応力に影響する要因としては、加撃物の重量、密度、硬さ、落下高さ、板ガラスの厚さおよび面積などが考えられる。板ガラスが人体などによる衝撃を受けた場合、衝撃反対面に生ずる引張応力によって破壊するのであるが、今回の試験の結果、発生応力と衝撃諸条件の間に次のような関係があることが明らかになった。

(1) 発生応力 (σ) と加撃物落下高さ (H) の間には、

$$\sigma = AH^{0.4 \sim 0.5}$$

なる関係がある。ここで、 A は加撃物の重量、密度、硬さ、板ガラスの厚さおよび面積などに依存する因子である。

(2) 加撃物の落下高さが一定の条件下では次のことがいえる。

i) 図 13 から加撃体重量が増せば、一般に発生応力は大きくなる。しかし、軽量のヘッドフォームの発生応力が割合大きいことから、加撃体の硬さの影響が大きい。

ii) 図 11~図 14 より板ガラスの厚さが増せば、発生応力は小さくなり、その効果はかなり大きい。

iii) 板ガラスの面積が大きいと、発生応力は減少するがその効果は小さい。

3-5 サッシ入りガラスの衝撃強度について

表 14 に示すように、ANSI に準じた板ガラス四辺支持とサッシ入りガラスの衝撃破壊強度の差について比較すると、サッシ入りガラスの衝撃強度が若干大きい結果

ガラスの衝撃破壊は、そのほとんどが曲げ破壊である。この場合、板ガラス非衝撃面側の衝撃位置近傍に生じた引張応力によって破損する。ここで、同じ衝撃力を受けた同厚の板ガラスが面積によってその衝撃強度はどう変わるかをみると、表 10 より、加撃体がショットバッグの場合は表 11 のように整理される。この場合各品種とも板ガラスの面積が大になれば、その衝撃強度はやや増大する傾向があるものの、特に顕著という程ではない。また、辺比も 1:1~1:2 の範囲では衝撃強度が大きく変動する要因にはなっていないと思われる。

次に、ヘッドフォームについてみると、同様に表 10 から表 12 のように整理される。この場合も、ショットバッグと同じように、同品種で面積が大になれば若干強度が増大する傾向がある。しかし、前者程顕著ではなく、また衝撃破壊運動量も小さい。これはヘッドフォームの硬さおよび作用面積によるもので、ショットバッグに比較して応力集中型のためと思われる。

3-2 強化ガラス・合わせガラスの衝撃破壊強度

表 13 に示すように、強化ガラスの衝撃破壊強度は、一般の板ガラスと比較して、衝撃力でおおよそ同寸法および同厚の比較で 2.2~2.9 倍程度強いことがわかった。しかし、衝撃強度は加撃体の質量や硬さによってもかなり結果が異なってくるので、一般的にはおおよそ 2.5 倍程度強いとみてよいと思われる。

合わせガラスについては、合わせガラス 6 mm (LS 6) で測定を行い、フロート板ガラス 6 mm (FL 6) は測定を行わなかったので比較ができなかった。しかし、今回の測定結果全体からみて、両者の衝撃強度自体はほとん

表 14 支持条件が異なった場合の板ガラスの
衝撃破壊強度

品種	加撃体	支持条件	板ガラス寸法 (mm)	平均破壊高さ (cm)
S 3	ショットバック (20kg)	四辺支持	900×450	9.5
			900×900	14.1
		サッシ	794×762	12.2
			1267×813	23.9

となっている。これは、サッシと板ガラスの周辺拘束条件の違いと考えられる。この傾向は発生応力測定結果でも同様であり、従って、板ガラス四辺支持条件での測定値を使用すれば安全設計側になると考えられる。

4. 結 論

本研究の結果から次のような結論が得られた。

(1) 普通板ガラス 2mm (S2), 3mm (S3), 型板ガラス 4mm (F4), フロート板ガラス 5mm (FL5) および網入り型板ガラス 6.8mm (FW6.8) の各種板ガラス別の衝撃破壊運動量と破損確率の関係は表 10 のように把握できた。

(2) 強化ガラスの衝撃破壊運動量は、強化しない同厚同寸法の板ガラスの 2～3 倍程度であることが認められた。

(3) 合わせガラスの耐貫通性は非常に優れていることが認められた。

(4) 衝撃時の発生応力 (σ) と加撃体落下高さ (H) との間には $\sigma \propto AH^{0.4 \sim 0.5}$ の関係が認められ、衝撃発生応力がほぼ運動量に比例することが確かめられた。

(5) 表 10 から板ガラスの面積の影響をみると、同品種同厚さの板ガラスでは面積が増せば衝撃破壊運動量は増加し、衝撃発生応力は減少する傾向が認められたが、その割合は効果を認める程大きなものではなかった。

(6) 表 10 から板ガラスの厚さの影響をみると、同品種同寸法の板ガラスでは厚さが増せば衝撃破壊運動量は増加し、衝撃発生応力は減少する傾向が認められた。しかし、その関係を定量的に把握するにはいたらなかった。

(7) アルミサッシに支持された板ガラスと、剛な枠に支持された板ガラスの衝撃破壊運動量はほとんど変わらないことが認められた。

おわりに

本研究は、板硝子協会の建築委員会の研究として行われたものである。研究にあたっては、本研究グループの一員として旭硝子(株)研究所の三浦武広氏およびセントラル硝子(株)の松尾幸晴氏の協力を得るとともに、測定に際しては、旭硝子(株)研究所の守光正幸氏、日本板硝子(株)研究所の中井日出海氏、セントラル硝子(株)の田辺誠氏各位に多大の協力をいただいた。ここに深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 内田祥哉, 宇野英隆, 呉譲治, 山本公也: 人間動作の衝撃力に関する研究, 日本建築学会関東支部第 38 回研究発表会梗概集第 2 部, 昭和 42 年 8 月
- 2) 内田祥哉, 宇野英隆, 呉譲治, 山本公也: Buslding Element に加わる衝撃力とその衝撃性能(その 1 衝撃力の分析と被撃物の挙動), 日本建築学会論文報告集, 第 154 号, 昭和 43 年 12 月
- 3) 同上(その 2 建築の耐衝撃性能判定に対する提案)
- 4) 湯浅忠繁, 宮坂広志: 板ガラスの衝撃強度の研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和 45 年 9 月
- 5) 長倉康彦, 鈴木慶雄, 平尾玄雄, 三好俊二, 柿原 寛, 波佐間義治, 三浦武広, 西村正美: 学校における仮想衝撃力を用いた板ガラスの実験(その 1 破壊実験とその結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和 53 年 9 月
- 6) 長倉康彦, 鈴木慶雄, 平尾玄雄, 池田光治, 竹内嘉彦, 鈴木讓二, 松尾幸晴, 植村 隆: 学校における仮想衝撃力を用いた板ガラスの実験(その 2 主としてガラスの貫通率と運動量の関係), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和 53 年 9 月
- 7) 板硝子協会: 建物における板ガラスの安全使用(II), 昭和 52 年 4 月
- 8) JIS R 3205-1979 合わせガラス, JIS R 3206-1979 強化ガラス
- 9) American National Standard Z 97.1-1975
- 10) International Organization for Standardization: ISO 3537 Road vehicles-Safety glass-Test methods for mechanical properties (1975)
- 11) 製品安全協会: 乳母車の認定基準及び基準確認方法, 通産大臣承認 51 産第 7279 号, 昭和 51 年 11 月
- 12) 厚生省児童家庭局母子衛生課: 乳幼児身体発育値, 昭和 45 年乳幼児身体発育調査結果報告書
- 13) 小原二郎, 内田祥哉, 宇野英隆: 建築・室内・人間工学, 鹿島出版会, 昭和 44 年 5 月
- 14) 人間工学ハンドブック編集委員会: 人間工学ハンドブック, 金原出版, 昭和 41 年 9 月
- 15) 三好俊二: 板ガラスの耐風圧試験, 日本建築学会論文報告集, 第 100 号, 13, 昭和 39 年

SYNOPSIS

UDC : 691.6

STUDY ON CORRELATION BETWEEN THE STRENGTH OF HUMAN IMPACT AND THE STRENGTH OF FLAT GLASS DURING PRIVATE LIFE AT HOME

Part I Measurement of the Impact Strength of Flat Glass

by Dr. **YOSITIKA UTIDA**, Professor, University of Tokyo, Dr. **HIDEO NAOI**, Associate Professor, Science University of Tokyo, **TAKUICHI MAEDA**, Assistant Chief Engineer, Nippon Sheet Glass Co., Ltd., **KATSUMI KOBAYASHI**, Staff, Flat Glass Association, Members of A.I.J.

This is a basic study on how to prevent injuries related to flat glass, by clarifying the correlation between the strength of human impact and the strength of flat glass during private life at home.

The study consists of two parts.

This paper, as Part One of the study, deals with the impact strength of flat glass measured by experiment on glasses in actual use or in potential use at private houses.