

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2 人体による衝撃力の推定および衝撃破壊現象に 対する整合性の検討

正会員 内 田 祥 哉*
正会員 直 井 英 雄**
正会員 三 浦 武 広***
正会員 松 尾 幸 晴****

はじめに

先の第1報では、板ガラスの耐衝撃強度の測定結果について報告した。本報はこれに続く第2報として、先ず人体による衝撃力の推定を行い、これと前報の板ガラス強度測定結果との関係の妥当性を確かめるため、現実に発生した傷害事例にあてはめて、両者の関係が実際の衝撃破壊現象と整合しているかどうかを検討した結果について報告する。

1. 人体による衝撃力の推定

1-1 人体による衝撃の分類と衝撃力の推定方針

住宅における日常生活の中での人体による衝撃は数多くの要因が影響し合い、複雑多岐にわたっている。この衝撃力を推定するためには、さまざまな人体衝撃現象を先ず、いくつかの典型的なパターンに分類してとらえる必要がある。

そこで、前報「はじめに」で触れた傷害事例¹⁾の分析結果にもとづき、板ガラスへの人体の衝撃現象を加撃直前の動作と板ガラスを加撃した身体部位とに着目し、表-15に示すような7つのパターンに分類整理した。

次に、これらのパターンそれぞれの場合における人体衝撃力を把握したいのだが、このような現象の再現実験は極めてむずかしい。一方、板ガラスの強度自体のばらつきを考慮すると、衝撃力についてもあまり厳密に把えることは意味がなく、ここで求めようとしている強度と衝撃力の関係の必要精度から考えて、既存のデータから机上で推定することで十分であると考えた。なお、衝撃力はエネルギーよりも運動量として表現したものが破壊現象と高い相関関係をもつことがわかっている²⁾ので、ここでは参考文献から収集した衝撃質量と

表-15 人体衝撃パターンの分類

分類	衝撃パターンの内容	加撃身体部位	加撃直前の動作
パターン1	走って(歩いて)いる状態で板ガラスに全く気付かず全身でぶつかる	全身	走る…小走り…歩く
パターン2	走って(歩いて)いる状態で板ガラスに全く気付かず、頭のみでぶつかる	頭	走る…小走り…歩く
パターン3	走って(歩いて)いる状態で主としてつまづいて転倒し、頭でぶつかる	頭	走り(歩き)ながら転倒
パターン4	手でたたく	手	たたく
パターン5	走って(歩いて)いたり、よるけたりして手を突く	手	走る…小走り…歩く
パターン6	走って(歩いて)いる状態で主としてつまづいて転倒し、手を突く	手	走り(歩き)ながら転倒
パターン7	滑って転倒したり、何等かの動作によって足でける	足	ける

衝撃速度に関するデータを用いて運動量として求める方法をとった。

1-2 人体による衝撃力の推定方法

各パターンにおける人体衝撃力を運動量として推定するためには、それぞれの場合における衝撃質量 m と衝撃速度 v とがどのようなものであるかが明らかにならなければならない。そこで、以下にこれについての考察を加える。

パターン1：頭・手・足以外の部分の人体が全面的に板ガラスに接触するのではなく、人体の一部が接触した状態でも全体重が m として作用し、また、そのときの走る(歩く)動作による人体の動く速度が v であると考えられる。

パターン2：頭のみで板ガラスに接触する場合には、 m は頭部の重量そのものではなく、首から下の一部の重量も含めた衝撃相当質量と考えなければならない。 v は走る(歩く)動作による人体の動く速度であると考えられる。

パターン3：頭で加撃するが、身体が倒れた状態で板

* 東京大学 教授・工博

** 東京理科大学 助教授・工博

*** 旭硝子(株)研究所 主席研究員

**** セントラル硝子(株) 主席技術員

(昭和55年3月31日日本稿受理・討論期限昭和56年7月末日)

ガラスに突っ込むことになるので m としては全体重が作用すると考える。 v は走る(歩く)動作による速度に、更に転倒する動作による速度が加わるものと考えられる。

パターン4： m は手の相当質量、 v は手の動く速度であると考えられるが、これらを組合わせた mv として示されているデータ³⁾ があるのでそれを利用する。

パターン5：パターン1と同様、 m は全体重であり、 v は人体の動く速度であると考えられる。

パターン6：パターン3と同様、 m は全体重、 v は人体の動く速度に転倒する動作で起こる速度が加わるものと考えられる。

パターン7：パターン4と同様、 m は足の相当質量、 v は足の動く速度であると考えられるが、やはり mv として示されたデータ³⁾ があるのでそれを利用する。

以上を一覧表にしたものが表-16である。

1-3 人体による衝撃力の推定のための基礎データ

表-16 に示した人体衝撃力の推定方法に必要な衝撃質量と衝撃速度に関する基礎データについて述べる。

(1) 年齢別の体重

図-15 に示す年齢別の体重は、既に求められている日本人の平均値と最大値^{4),5)} を用いた。

表-16 人体衝撃力の算定基礎

分類	人体衝撃力の推定に必要なデータ	
	衝撃質量 m (kg)	衝撃速度 v (m/s)
パターン1	年齢別の体重 (図-15)	年齢別の疾走速度 (図-17)
パターン2	年齢別の頭部相当質量 = 年齢別の体重(図-15) × 年齢別の頭部相当質量係数(図-16)	年齢別の疾走速度 (図-17)
パターン3	年齢別の体重 (図-15)	年齢別の疾走速度(図-17) + 年齢別の転倒する速度 (図-18)
パターン4	年齢別の衝撃運動量	
パターン5	年齢別の体重 (図-15)	年齢別の疾走速度 (図-17)
パターン6	年齢別の体重 (図-15)	年齢別の疾走速度(図-17) + 年齢別の転倒する速度 (図-18)
パターン7	年齢別の衝撃運動量	

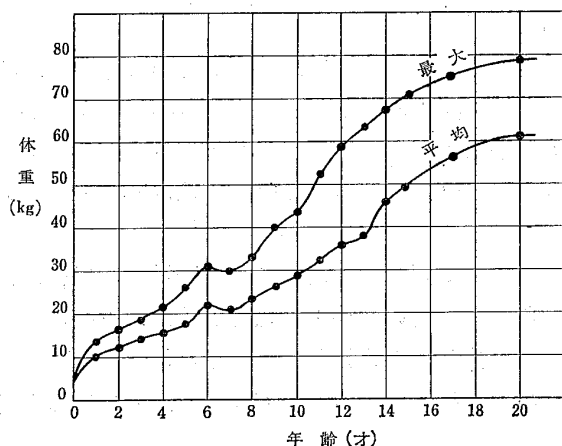


図-15 日本人の年齢別体重

(2) 年齢別の頭部相当質量

頭部の衝撃における相当質量は、年齢別の頭重を求め頭部衝撃を想定した試験に関して規定した ISO 規格⁶⁾ を参考にし次式で推定した。

年齢別頭部相当質量

$$= \text{ISO規格のヘッドフォーム重量 (10 kg)}^{6)} \times \frac{\text{年齢別の平均頭重}}{\text{成人の平均頭重 (4.2 kg)}^{5)}$$

年齢別の平均頭重の中で、6才児までの頭重は頭の大きさに比例するものと仮定して、2才児の平均頭重から次式で求めた。

$$3, 6 \text{ 才児の平均頭重} = 2 \text{ 才児の平均頭重 (2.35 kg)}^{7)} \times \left(\frac{3, 6 \text{ 才児の平均頭囲}^4)}{2 \text{ 才児の平均頭囲 (48.6 cm)}^{7)} \right)$$

また、7才以上の頭重にほぼ身長に比例するものと仮定して、成人の平均頭重から次式で求めた。

$$7 \text{ 才以上の平均頭重} = \text{成人の平均頭重 (4.2 kg)}^{5)} \times \frac{\text{年齢別の平均身長}^5)}{\text{成人の平均身長 (166.9 cm)}^{5)}$$

なお、これら計算の結果を一般化していろいろな年齢別体重に適用できるようにするため、次式に示す年齢別頭部相当質量係数を考え 図-16 にまとめた。

$$\text{年齢別頭部相当質量係数} = \frac{\text{年齢別頭部相当質量}}{\text{年齢別平均体重}^{5)}$$

(3) 年齢別の疾走最高速度

屋内で走るときの最高速度は疾走距離の拘束をうけるので、屋外での全力疾走には及ばない。せいぜい 3~4 m 程度の距離しか走れないと考えるのが妥当と思われるが、既に得られているデータ⁸⁾ によれば疾走距離 3~4 m

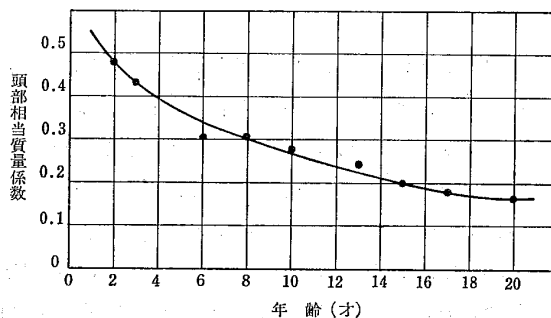


図-16 年齢別頭部相当質量係数

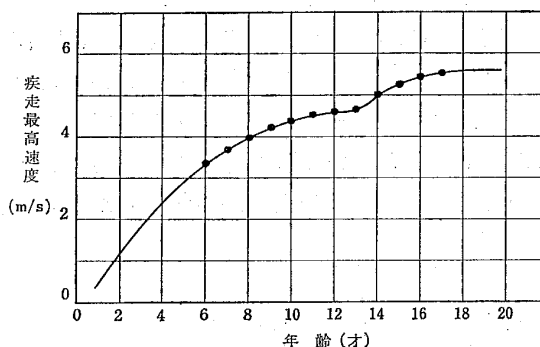


図-17 年齢別の疾走最高速度(屋内)

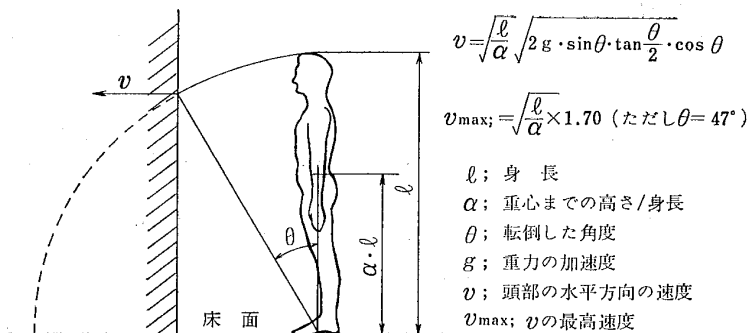


図-18 人体が転倒して床面に鉛直な平面に衝突したときの頭部の最高水平速度

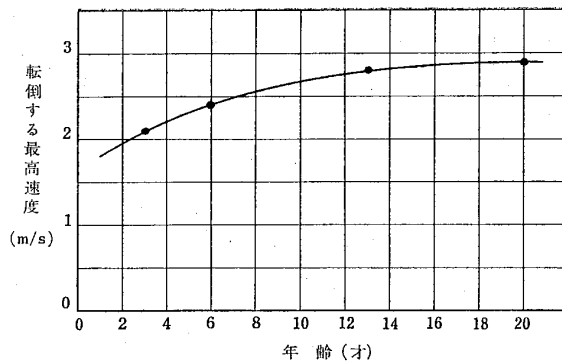


図-19 年齢別の転倒する最高速度

においては屋外での疾走最高速度の7割程度までしか出ないことがわかる。

そこで、屋内における疾走最高速度は屋外での疾走最高速度⁹⁾の7割と仮定し、図-17にこの値を示した。ただし6才未満および18才以上は推定である。

(4) 転倒する最高速度

人体がまっすぐ立っている状態から足もとを支点にして前方へ転倒して、床面に鉛直な平面に衝突するときの最高速度は図-18に示す略算方法を仮定すれば図-19

のように求められる。

1-4 人体による衝撃力の推定結果

以上に述べてきた人体衝撃力の算定基礎に従って、各パターンにおける衝撃力を計算した結果を図-20に示す。

2. 板ガラス破損事例のシミュレーションとその整合性

2-1 シミュレーションの方法

前報および本報の1においてそれぞれ板ガラスの耐衝撃強度の測定と人体衝撃力の推定を行なったが、ここではこれらのデータの組み合わせで現実の破損事例の発生が矛盾なく説明できるかどうかを確かめてみる。

先ずはじめに、破損事例にみられる複雑な人体による衝撃現象を衝撃力の強さのグレードに分類する必要があるが、これは表において想定したパターンを適用した。衝撃力の強さのレベルについては、最大値は図-20の値(最大値の平均)をとることとし、これに対し2/3, 1/3, 1/4の軽減率を設定した。即ち、衝撃力を表-17のように分類し、28種とした。以降これを①~⑳の番号で表示することにする。なお、走りながら倒れるという場合の速度は走る速度と倒れる速度の和になるが、前者についてのみ軽減率をとった。

次に、表-17にもとづき、調査資料¹⁾にある傷害事例の行動記述を28種の衝撃力の何れかにあてはめた。調査資料の記述は何れもかなり主観的なものであるため、衝撃パターンと強さの推定の精度を少しでもあげるために5人で評価し、その最大公約数により衝撃力番号を決め

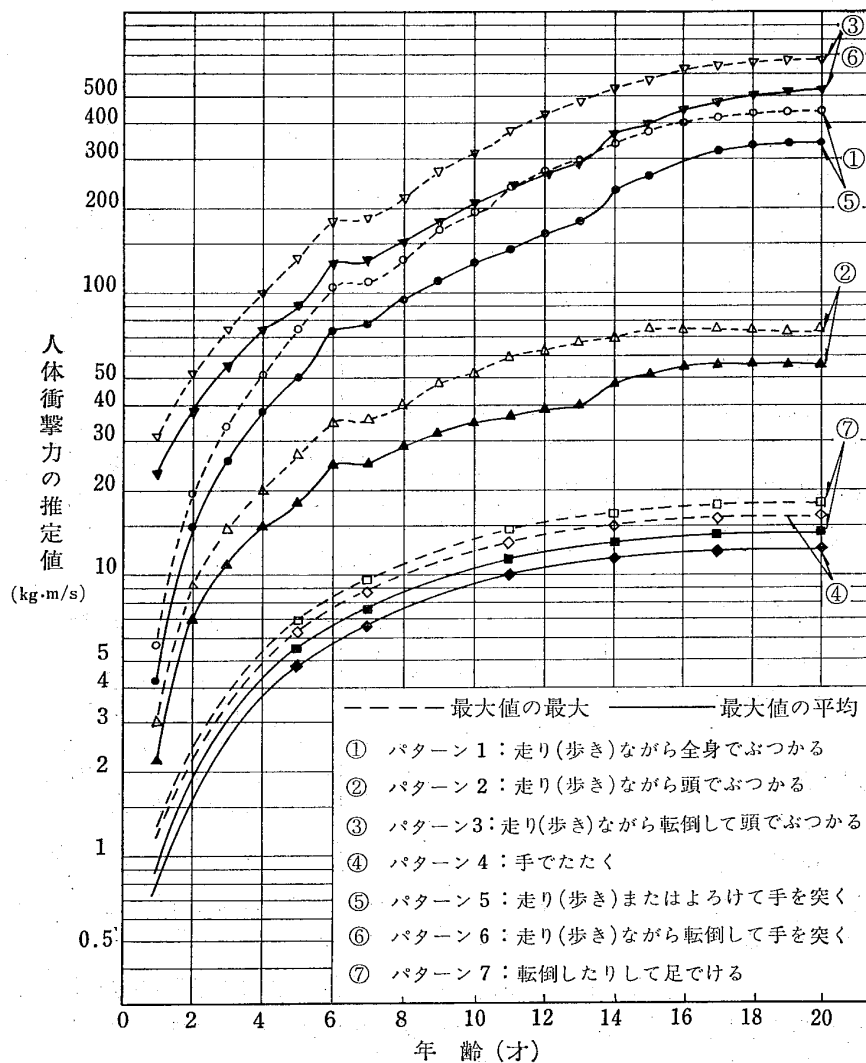


図-20 年齢別の人体衝撃力の推定値

表-17 人体による衝撃力の分類

加撃身体部位	加撃直前の動作	衝撃の強さのレベル (速度)				備考
		v_{max}	$\frac{2}{3} v_{max}$	$\frac{1}{3} v_{max}$	$\frac{1}{4} v_{max}$	
全身	走る……小走り……歩く	①	②	③	④	SB (ショットバック) による破壊強度データ
頭	走る……小走り……歩く	⑤	⑥	⑦	⑧	HF (ヘッドフォーム) による破壊強度データ
	走り (歩き) ながら転倒	⑨	⑩	⑪	⑫	
手	たたく	⑬	⑭	⑮	⑯	既測定データ
	走る……小走り……歩く	⑰	⑱	⑲	⑳	SB (ショットバック) による破壊強度データ
	走り (歩き) ながら転倒	㉑	㉒	㉓	㉔	
足	ける	㉕	㉖	㉗	㉘	既測定データ

(注) v_{max} : 平均最高速度

た。

一方、板ガラスの破損を推定するときの板ガラス強度は、表-17の備考欄に示したように、衝撃の動作に最もよく対応するものを選択することとした。即ち、全身衝突(①~④)に対しては、ショットバック 45 kg, 20 kg, 15 kg のうち実際の体重が最も近いものについての板ガラス強度をとった。頭の衝突(⑤~⑫)については、硬さ、作用面積とも年齢による差はあまりないと思われること、事例も3才前後が圧倒的に多いこと、などを考慮して、ヘッドフォームに対する板ガラス強度をとることとした。

(⑨~⑫)の場合重量が異なるが、衝撃力は運動量にほぼ比例するから、加撃体の重量が異なる破壊強度を用いても運動量として衝撃力をとらえている限り大きな矛盾はないと判断した。手・足でたたいたり、けったりする⑬~⑯、㉕~㉘の衝撃力に対応する板ガラスの強度は、既に測定されているデータ^{2), 10)}を用いることとした。このデータでは、破壊衝撃力が質量と速度ではなく、運動量としてのみ与えられている。⑰~⑳は、手を介している点で全身衝突とは異なる。しかし、板ガラスに加わる衝撃力としては、極めて類似していると思われる。異なる点は作用面積であろうが、両手で板ガラスを押す状態を想定すれば、全身衝突と同じようにショットバックで衝撃力を仮想することは、それ程無理がないと考えた。従って、これについては全身衝突と同じように取扱い、板ガラスの強度はショットバックに対する強度をとることとした。

ところで、板ガラスの破壊強度は一般に対数正規分布するとみなされており、また、そのときの分散は普通の板ガラスであれば品種によらず同じとされている¹¹⁾。そこで、前報で示した品種毎の衝撃破壊運動量 (mv) の対数値の分散を同一母集団に属するとして全品種に共通の分散 S^2 を推定したところ、 $S^2 = (0.29)^2$ となった。これを破損確率分布曲線として表わすと 図-21 のようになる。即ち平均値に対し8または1/8倍の運動量で、破損確率はそれぞれ99.9%または0.1%になる。この曲

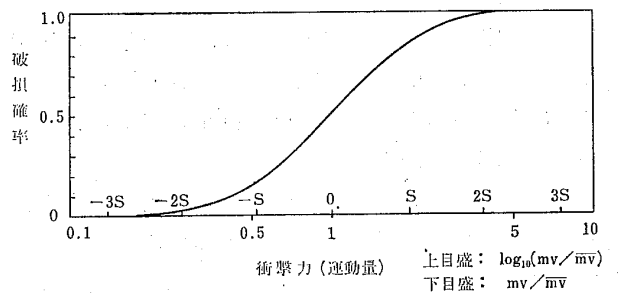


図-21 板ガラスの破損確率曲線

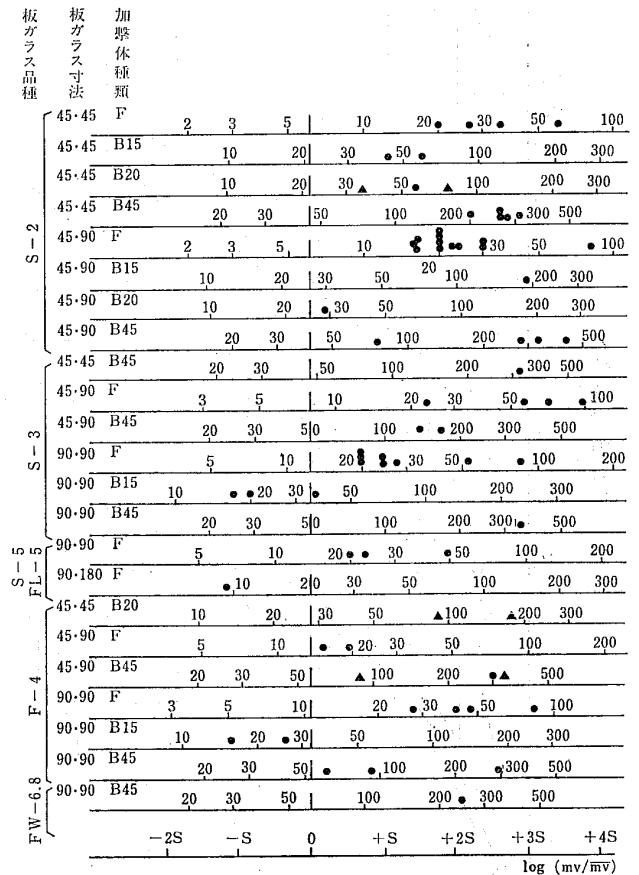


図-22 板ガラスの衝撃破壊運動量 mv ($kg \cdot m/s$) と破損事例における推定衝撃運動量のプロット

線を用い各品種・加撃条件毎に平均衝撃破壊運動量を曲線上の mv に合うようにすれば、その品種・加撃条件での破損確率を読み取ることができる。図-22は、具体的に図-21の横軸に相当する各品種・加撃条件毎の衝

表-18 傷害事例における衝撃運動量の推定

事例 No.	場所	板ガラス		年齢 (才)	衝撃パターンと強さの評価 (衝撃の番号)	指定衝撃運動量 (kg・m/s)	事例 No.	場所	板ガラス		年齢 (才)	衝撃パターンと強さの評価 (衝撃力番号)	推定衝撃運動量 (kg・m/s)
		品 種	寸 法						品 種	寸 法			
1	玄 関	S 3	900×450	13	⑮	162.9	57	浴 室	F 4	900×900	38	④	910.0
2	"	摺 2	450×450	3	⑳	43.4	58	廊 下	"	900×450	5	㉔	3.3
3	"	"	450×450	36	㉓	312.0	59	脱 衣 場	"	900×450	50	⑦	15.0
4	"	"	450×450	5	⑮または㉔	34.8, 75.6	60	応 接 間	S 5	900×900	1	⑪	19.7
5	"	F 4	450×450	12	⑮または㉔	90.0, 174.0	61	寝 室	S 2	900×450	1	⑪	19.7
6	"	摺 3	900×450	4	⑩	70.3	62	玄 関	熱吸 5	1800×900	9	㉔	5.1
7	廊 下	S 3	900×450	8	㉔	2.3	63	"	F 2	900×450	15	⑮	4.4
8	"	S 2	900×450	8	㉔	2.3	64	"	S 5	1800×900	4	⑥	9.3
9	"	"	900×450	2	⑪	29.9	65	"	FL 8	1800×900	25	④	84.0
10	"	F 2	900×450	1	⑪	19.7	66	居 間	S 3	900×900	17	㉔	339.2
11	"	摺 2	900×450	55	⑥	16.1	67	"	摺 3	—	8	—	—
12	"	F 4	900×900	13	④	59.9	68	"	"	900×900	38	㉔	9.5
13	居 間	S 3	900×900	4	㉔	1.2	69	屋 外 間	F 2	450×450	13	⑤	65.4
14	"	F 4	900×900	29	㉔	288.0	70	居 間	S 3	950×450	11	㉔	134.4
15	廊 下	摺 2	900×450	3	㉔	1.5	71	"	摺 3	900×900	34	㉔	9.5
16	居 間	S 2	900×450	1	⑪	15.8	72	"	"	900×900	5	⑩	84.0
17	"	F 2	900×900	4	⑮	1.3	73	"	"	450×450	3	⑮	2.5
18	"	"	450×450	3	⑪	26.7	74	"	F 4	900×900	3	⑩	46.2
19	"	"	—	5	—	—	75	"	"	900×900	7	⑪	81.4
20	"	"	900×450	2	⑩	29.7	76	"	摺 3	900×900	1	⑪	19.7
21	"	F 4	900×900	4	⑮	15.3	77	"	"	900×450	4	⑩	55.0
22	"	S 3	—	4	—	—	78	"	"	450×900	2	㉔	35.1
23	"	F 2	900×450	7	⑮	3.5	79	"	"	—	1	—	—
24	"	S 5	900×900	2	⑪	23.0	80	"	摺 2	450×450	2	⑩	35.1
25	"	摺 2	900×450	8	④	28.5	81	"	"	450×450	4	㉔	60.0
26	"	F 2	900×450	1	⑪	19.7	82	"	F 2	900×450	12	㉔	193.5
27	"	摺 2	900×450	2	⑪	23.0	83	"	"	900×900	30	⑮	3.1
28	"	S 2	—	1	—	—	84	"	S 3	900×450	30	㉔	14.2
29	"	S 3	900×900	10	⑥	19.3	85	"	"	900×450	1	⑨	23.0
30	"	F 2	900×450	1	⑪	23.6	86	"	F 4	900×900	2	⑩	27.0
31	"	F 4	900×450	12	㉔	3.8	87	"	"	900×450	11	⑮	3.5
32	"	S 3	450×450	78	⑪	312.0	88	"	摺 2	900×450	3	⑮	2.5
33	"	S 2	—	1	—	—	89	"	F 2	900×450	73	⑪	268.8
34	"	"	450×450	23	⑮	3.1	90	"	摺 3	900×900	1	⑪	23.6
35	"	摺 2	900×450	1	⑪	19.7	91	"	摺 5	900×900	3	⑩	48.5
36	"	"	900×450	1	⑪	15.8	92	"	摺 3	900×900	3	②	17.0
37	"	"	—	30	—	—	93	"	"	900×900	1	④	1.4
38	"	F 2	450×450	18	㉔	267.9	94	"	"	900×900	1	⑦または⑪	23.6, 23.6
39	"	"	900×450	3	㉔	3.0	95	"	"	900×900	1	⑪	19.7
40	"	"	900×450	8	㉔	4.5	96	"	"	900×900	2	⑩	27.0
41	台 所	F 4	—	50	—	—	97	"	"	900×900	3	⑩	51.7
42	"	摺 2	900×450	23	㉔	279.5	98	"	"	900×900	1	③	19.7
43	"	S 5	—	34	—	—	99	"	S 3	900×900	5	㉔	3.3
44	"	S 3	—	40	—	—	100	"	"	900×900	1	⑮	1.2
45	"	摺 2	450×450	30	㉔	264.0	101	"	F 4	900×900	3	①	25.5
46	"	S 5	900×450	12	⑮または㉔	88.0, 324.5	102	浴 室	"	900×450	10	㉔	6.1
47	食 堂	S 3	900×450	9	㉔	5.1	103	食 堂	F 2	—	2	—	—
48	"	摺 2	900×450	7	⑪	96.2	104	浴 室	"	900×450	35	㉔	9.7
49	"	F 4	900×450	2	⑥	5.2	105	台 所	"	900×450	22	④	75.6
50	"	F 2	450×450	1	⑪	19.7	106	浴 室	"	—	27	—	—
51	浴 室	F 4	900×450	15	㉔	295.0	107	倉 庫	FW 6-8	900×900	65	㉔	240.0
52	"	F 2	450×450	34	㉔	258.5	108	台 所	F 4	900×450	28	㉔	9.7
53	"	"	900×450	43	㉔	422.5	109	"	摺 3	—	42	—	—
54	"	摺 2	900×450	49	㉔	329.0	110	食 堂	F 4	900×900	2	⑩	40.5
55	脱 衣 場	F 2	450×450	77	㉔	197.4	111	寝 室	"	900×450	1	⑩	19.2
56	廊 下	摺 2	450×450	7	⑮	55.2							

撃破壊運動量を目盛ったものである。ただし、型板ガラス 4 mm (F 4) は前報で述べた理由により実測値の 70% の強度としている。

なお、傷害事例での板ガラスの品種・寸法は必ずしも板ガラス強度の測定条件と一致していない。そこで、寸法については一般に面積が最も近いもの場合の板ガラ

ス強度をとった。また、板ガラス強度として測定値の得られていない摺りガラス 2 mm, 3 mm, 5 mm および型板ガラス 2 mm については、同厚の普通板ガラス強度とみなした。前者については、前報の測定によってあまり面積効果がないことがわかっているので問題はないと思われる。後者については、やや板ガラスの強度を強く見

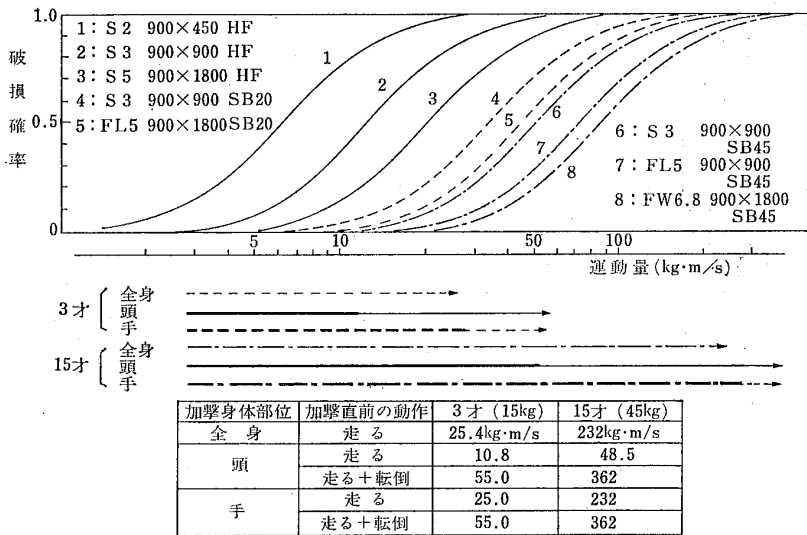


図-23 人体による衝撃力の分布範囲

すぎる傾向になるが、板ガラスのパラッキ、本研究の全体の精度からみてあまり問題にする必要はないと考えた。

2-2 破損事例のシミュレーション結果とその整合性

2-1 で述べた方法により、戸建・集合住宅の傷害事例 111 ケースについて分析し、個々の場合に生じたと考えられる衝撃運動量を推定した結果を表-18 に示す。事例の中にはわれわれの設定した衝撃力 28 種に含まれないものが若干あったが、これは省くことにした。また、衝撃力が強さのレベルのみでなく、衝撃パターン(7種)にまで評価のパラッキが出て、見解に大きな隔りの生じたときは、それぞれの衝撃パターンを同等に認めることとした。

表-18 の結果をわかりやすくするために、図-22 中に・または▲印でプロットして示した。▲印は評価が分かれたもので、▲が2つで丁度1個の事例に相当する。

この図において、衝撃運動量の発生確率が横軸(対数目盛)に均一に分布するとすれば、破損事例の出現頻度率(出現の頻度を相対度数であらわしたもの)は板ガラスの破損確率の曲線に一致するはずである。従って、この両者がよく一致していることが確かめられれば、われわれの設定した衝撃破壊モデルが実際の破損事例と整合しているといえる。なお、破損事例での衝撃運動量の分布をみると、図-23 にみられるように、最大衝撃運動量における板ガラスの破損確率は1に近いので、対数目盛上に均一に分布するという仮定は受容し得ると思われる。

このような検証を図-21、図-22 によって各品種毎に行うにはそれぞれのロットの数が少なすぎるので、ここでは全品種を総合的に同一ロットとして整合性の評価を試みた。

まず、図-22 に示すように各品種毎に横軸を破損確率曲線が同じになるように目盛り、その目盛りをS/2で

区分した。次に、その区分における破損事例の出現度数を求め、3個ずつの移動平均を最大値で規準化した。この出現頻度率を板ガラスの破損確率曲線と重ねて図-24 に示した。

図-24 をみると、板ガラス強度の破損確率と破損事例の出現頻度率の分布とは比較的よい一致を示しており、これまでに述べた人体衝撃力と板ガラス強度の関係を示すモデルは、全体として、実際の破損事例とよく整合することがわかった。

破損事例のうち、今回の測定値は適用できないが、過去において測定されているデータ^{2),10)}が適用できるものについても、同様に整合性を検討してみた。そこで用いら

れた測定方法は、今回行った測定の方法とは基本的に異なるが、板ガラスの強度そのものは同じ結果が得られていると考えられる。ただ、衝撃運動量と破損確率の関係は、破損確率の高いところのみデータが示されているので全体的な破損確率の曲線を板ガラス強度の分散は今回の測定値と同じとして、破損確率が0.8のところまで一致するように設定した(図-25)。こうして得た品種毎の破損確率曲線の横軸に、前と同じように破損事例毎の推定衝撃運動量をプロットし、全品種について総合し、傷害事例の出現頻度率を求めた結果を図-26 に示した。

これをみると、板ガラスの破損確率分布曲線と破損事例の出現頻度率の分布の間には、かなりのずれが認めら

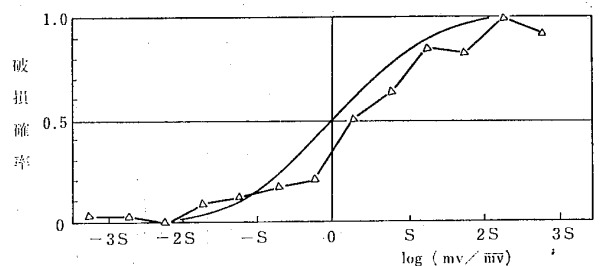


図-24 板ガラスの破損確率曲線と傷害事例の出現頻度率(ショットバッグ・ヘッドフォーム衝撃に相当する事例)

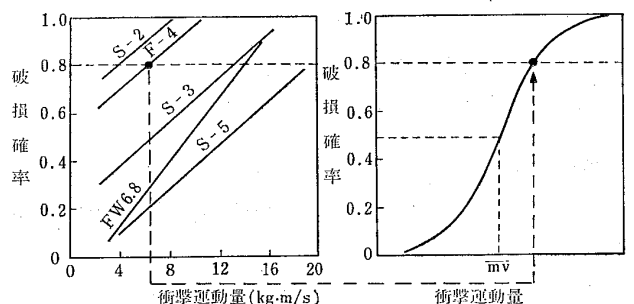


図-25 板ガラスの破損確率曲線の推定方法(手・足による衝撃)

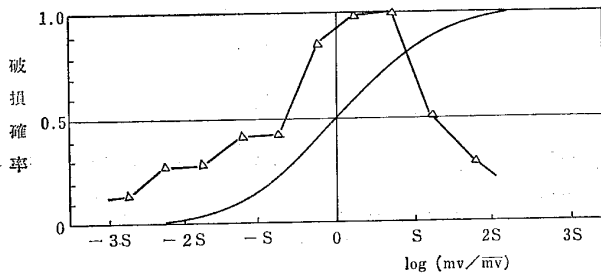


図-26 板ガラスの破損確率曲線と傷害事例の出現頻度率(手・足による衝撃の事例)

れる。この原因としては、衝撃運動量の見積り方が過少であったのか、板ガラス強度を強く見すぎたかの2つが考えられる。特に、後者についての推定にはやや無理があるので、板ガラス強度について更に実験によって精度をあげることが必要と思われる。仮に、現在得られている板ガラスの強度²⁾にもとづけば、板ガラス強度を60%位に低く見積ると整合性は比較的よいようである。

3. 人体による衝撃力と板ガラス強度との関係

図-27は、前報表-10に示した板ガラスの耐衝撃強度の測定結果(型板ガラス4mm(F4)については前報3での考察から強度70%の値をとった)を上段に、本報の図-20に示した人体衝撃力の推定結果を下段に配してひとつのグラフとしてまとめ、両者の関係を一望できるようにしたものである。本報の2で検討したとおり、この両者の関係は概ね妥当であると考えられるので、日常生活上生ずる人体衝撃力に対して、板ガラスがどの程度の耐衝撃強度をもつものがこれにより判断で

きる。なお、“手でたたく”“足でける”衝撃に対する板ガラスの耐衝撃強度は、本報の2での検討から、仮に既測定データの60%とするのが妥当であると考え、参考値として表示してある。グラフ作成にあたっての、その他の具体的な方針は次のとおりである。

測定結果のうち板ガラス寸法については900×900mmの場合のみを表示した。これは面積による強度の違いがそれほど大きくないこと、全ての寸法の強度を表示するとグラフとして読み取りにくくなること、各種の寸法のうちひとつを代表として表示する場合に、これからの住宅を考慮すれば上記の寸法あたりが適当と判断できること、などによる。

耐衝撃強度の測定結果のうち、加撃条件についてはショットバッグ15kgを省略した。これはショットバッグ20kgの場合と強度の差がそれほどないことを考慮し、グラフとして読み取りにくくなるのを避けたためである。

人体衝撃力の推定結果のうち、全ての衝撃パターンについて、3才、6才、成人(18才をとった)の3つの場合を表示した。この区切り方は、3才までの幼児が転倒事故を特に多く起こしており、また、危険に対する判断力もほとんど期待できない年齢と考えられること、6才までの幼児が事故の頻度も判断力もそれに準ずる年齢層と考えられること、6才を過ぎると事故を起こす例も少なくなり、判断力もある程度期待できるようになると考えられること、などによる。成人はいうまでもなく人体衝撃力については上限の意味である。

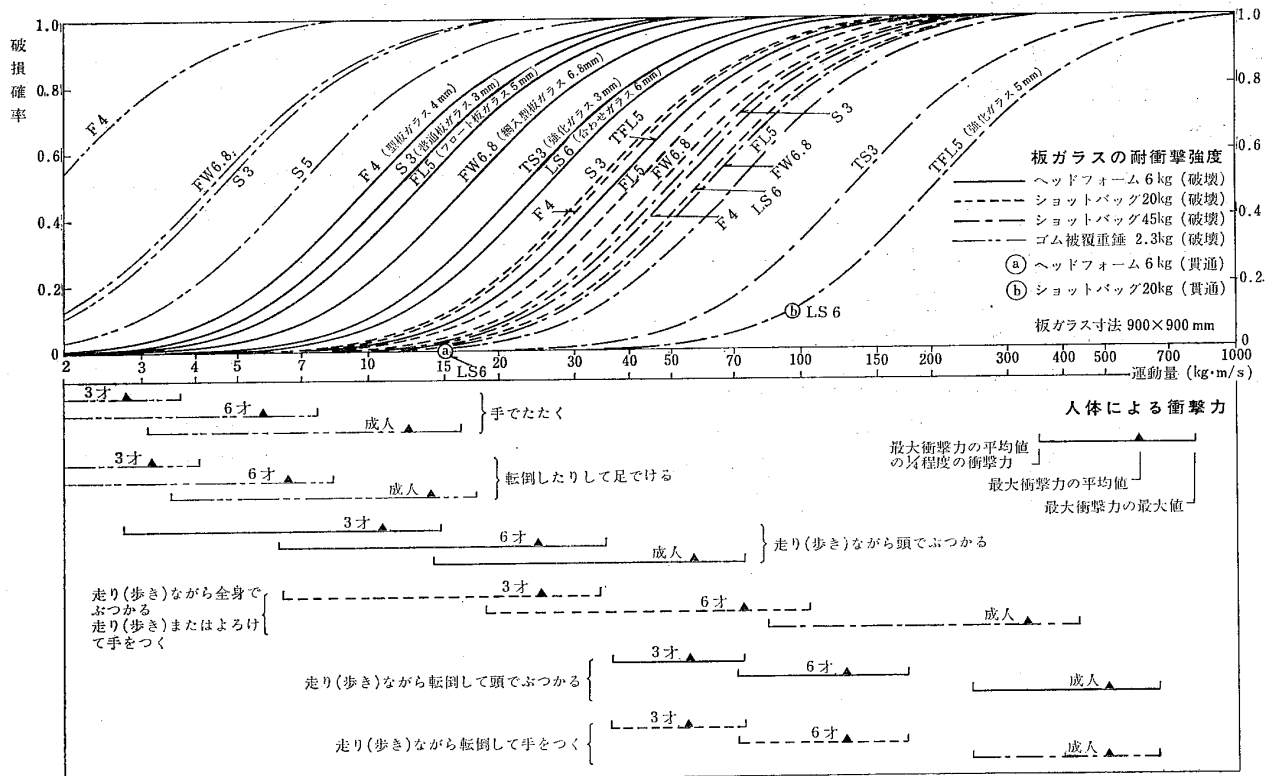


図-27 人体による衝撃力と板ガラス強度との関係

人体衝撃力については、最大衝撃力の平均値（最大衝撃速度の平均値と衝撃質量の平均値を掛け合わせたもの—▲印で示した）の両側に最大衝撃力の最大値（最大衝撃速度の平均値と質量の最大値を掛け合わせたもの）および最大衝撃力の平均値の1/4（ただし衝撃速度の転倒にかかわる成分については1/1とした）をとり、これを衝撃力の幅として示した。

板ガラスの耐衝撃強度を示す線（破壊確率曲線）と、人体衝撃力の幅を示す線とは、対応するもの同志が同種類の線となるよう表示した。

さて、このグラフから読み取れる主な内容は、およそ以下のようなことである。

住宅に通常使われている板ガラス（普通板ガラス 3 mm (S3)、フロート板ガラス 5 mm (FL5)、型板ガラス 4 mm (F4)、網入ガラス 6.8 mm (FW 6.8)) の範囲では十分低い破損確率（例えば0.1%程度の破損確率）におさえることはできない。

強化ガラス 3 mm (TS3)、5 mm (TFL 5) は、同じ厚さの普通板ガラス・フロート板ガラスに比べて2~3倍程度強く、破損確率は相当小さくなっているが、やはり十分低い破損確率とはならない。ただし、このガラスは、破損しても破片が粒状になるので、その意味では傷害の危険が相当少なくなると考えられる。

合わせガラス 6 mm (LS6) の強度は一般に同厚のフロート板ガラスとあまり変わらないといわれており（フロート板ガラス 5 mm よりやや強い程度）人体衝撃力に対してこれも十分低い破損確率にはならない。しかし、この板ガラスは貫通しにくい性質を持っているという意味で、危険は相当少なくなると考えられる。

以上から、人体衝撃力に対してほぼ安全な板ガラスといえるのは、強化ガラス、合わせガラス、あるいはそれと同等以上のものということになる。

4. 結 論

本研究における結論は以下のとおりである。

(1) 住宅における日常生活の中で生ずる人体による衝撃力が、図-20 に示すように推定できた。

(2) この衝撃力の推定値と、前報で報告した板ガラスの耐衝撃強度の測定値との関係を、実際の傷害事例における板ガラス破損現象にあてはめることによって検討した結果、全体として概ね整合していることが確かめられた。

(3) 以上から、日常生活の中での人体による衝撃力と板ガラスの耐衝撃強度とが、図に示すように関係づけられることが明らかとなった。

おわりに

本研究は、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を全体的に把握した最初の試みであるが、今後、人体による衝撃力についての机上推定を実験におきかえて測定することができればより正確な関係を把握することができよう。一方、この研究を基礎資料として、住宅のどの部分にどのような板ガラスを使用すればよいかという安全化のための具体的な指針に展開していくことも今後の重要な課題である。

なお、本研究は板硝子協会の建築委員会の場で板ガラスの安全問題に関する研究の一環として行なわれたものであり、研究にあたっては、本研究グループの一員として、日本板硝子（株）の前田拓一氏および板硝子協会的小林勝美氏の協力を得た。ここに深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 板硝子協会：建物における板ガラスの安全使用（Ⅲ），昭和53年12月
- 4) 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
- 5) 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
- 6) International Organization for Standardization: ISO 3537 Road vehicles-Safety glass-Test methods for mechanical properties (1975)
- 7) 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
- 8) 松井聖治：身体運動学入門，1基礎篇，体育の科学社，昭和54年4月
- 9) 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
- 10) 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
- 11) 三好俊二：板ガラスの耐風圧試験，日本建築学会論文報告書，第100号13，昭和39年

SYNOPSIS

UDC : 691.9

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

Part 2 Essay on Relation between the Estimated Strength of Human
Impact and Actual Cases of Flat Glass Breakage

by Dr. **YOSITIKA UTIDA**, Professor, University of Tokyo, Dr.
HIDEO NAOI, Associate Professor, Science University of Tokyo,
TAKEHIRO MIURA, Senior Researcher, Research Laboratory,
Asahi GlassCo., Ltd., **YUKIHARU MATSUO**, Senior Staff
Engineer, Central Glass Co., Ltd., 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 flat glass during private life at home.

The study consists of two parts.

This paper, as Part Two of the study, as Part Two of the study, deals with the strength of human impact estimated on existing data. It also proves that the correlation observed between the thus estimated human impact and the strength of flat glass obtained in Part One duly applies to the actual cases of flat glass breakage.