学校用強化ガラス破片の落下による人的影響に関する研究 —ブタ皮膚を用いた実験を通して—

A STUDY OF HUMAN INFLUENCE BY FALLING DEBRIS OF TEMPERED GLASS FOR SCHOOL

— Evaluation using pig skin experiment —

清家 剛 — * 1 菊地 哲 — * 2
高原正弘 — * 3 俵田忠明 — * 4
小林修一 — * 5

Tsuyoshi SEIKE — * 1 Satoshi KIKUCHI — * 2
Masahiro TAKAHARA — * 3 Tadaaki TAWARADA — * 4
Shuichi KOBAYASHI — * 5

キーワード：
強化ガラス, 破片, 落下実験, 落下速度, ブタ皮膚, 人的影響,
創測定

Keywords:
Tempered glass, Debris, Drop test, Fall velocity, Pig skin, Human
influence, Bruise depth measurement

The purpose of this study is to evaluate the human impact of falling debris of tempered glass for school. In this study, influence of glass debris on human was confirmed by experiment using pig skin. Glass debris of 3.35 to 8.0 mm in size were more than two-thirds of the total. As a result of dropping 100 cases on the pig's skin, 20 cases were found the scratches on the skin. The larger the weight and speed of the glass debris, the more the scratch tended to increase.

1. はじめに

強化ガラスは、耐衝撃性に優れており、万一割れても小さな粒状となり、普通の板ガラスのような鋭利な破片を生じない(写真1)。ゆえに、「ガラスを用いた開口部の安全設計指針」(財団法人日本建築防災協会)では安全なガラスとして推奨されている。一方で、強化ガラスは、ガラス中に含まれる不純物の体積膨張により、不意に破損する可能性があることが知られているが、学校の校舎や体育館には、人体衝撃(図1)やボール等の飛来物への対策を優先し、学校用強化ガラスが広く使用されている。

写真1 フロート板ガラスと強化ガラスの割れ方

図1 人体の衝撃によるガラスの破損率

本報では、高所に施工された学校用強化ガラスが割れて、その破片が落下した場合を想定し、ガラスの破片が高所から落下した場合の人的影響を確認することを目的とし、落下実験を実施した。

なお、この実験は、既報¹⁾で行なった実験を、学校用強化ガラスに置き換えて行ない、考察を加えたものである。

2. 実験方法

2.1 概要

学校用強化ガラスを強制破壊し、生成されるガラスの破片の大きさや重さを分析した。また、その破片を試験片として落下実験を行なった。被験体にはヒトの皮膚組織構造に近いとされるブタ皮膚を用い、試験片の重さや落下速度と被験体に生じるキズの程度の関係について考察した。

2.2 学校用強化ガラス

板硝子協会加盟3社が販売している学校用強化ガラスには呼び厚さで4ミリと5ミリの2種類あるが、今回は落下実験として条件の厳しい5ミリを使用し、販売実績から標準的なサイズ 800×1000mmのものを3枚用意した。事前に測定した表面圧縮応力を表1に示す。

表1 ガラスの表面圧縮応力 (単位 MPa)

ガラス No.	上辺	下辺	左辺	右辺
①	105	106	104	107
②	115	115	112	117
③	100	107	102	117

¹⁾ 東京大学大学院新領域創成科学研究科社会文化環境学専攻
准教授・博士(工学)
(〒277-8563 柏市柏の葉5-1-5)

²⁾ 板硝子協会 (AGC ㈱)

³⁾ 板硝子協会 (日本板硝子㈱)

⁴⁾ 板硝子協会 (セントラル硝子㈱)

⁵⁾ 板硝子協会

¹⁾ Assoc. Prof., Dept. of Socio-Cultural Environmental Studies, Graduate School of Frontier Sciences, The Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

²⁾ Flat Glass Manufacturers Association of Japan (AGC Inc.)

³⁾ Flat Glass Manufacturers Association of Japan (Nippon Sheet Glass Co., Ltd.)

⁴⁾ Flat Glass Manufacturers Association of Japan (Central Glass Co., Ltd.)

⁵⁾ Flat Glass Manufacturers Association of Japan

2.3 落下高さ

板硝子協会加盟3社では、地面から16m以下の部位に飛散防止処理せずに学校用強化ガラスを使用可能としている。従って、今回、試験片を16mの高さから被験体に落とした。なお、外的影響を受けずに安定した結果を得るために、落下経路に塩ビ製パイプを使用し、試験片は一粒ずつ落とした（図2）。

図2 試験装置

2.4 被験体

被験体としてブタ皮膚（厚さ5mm、寸法200×200mm程度（写真2））を使用した。頭など人体の硬い部分への落下を想定し、被験体を木板に固定した上、被験体と木板の間に裏打ち材としてセラミック板を挿入した（図3）。

写真2 ブタ皮膚

図3 被験体

3. 学校用強化ガラスの破片生成とその分析

3.1 破片生成

用意した学校用強化ガラスを平にした状態でポンチにより強制破壊した（写真3）

写真3 強制破壊の様子

強制破壊によって生成されたガラスの破片を篩にかけて寸法ごとに分別した。篩は5種類（目開き寸法1.0/3.35/5.6/8.0/11.2mm（写真4））で、目開き寸法の大きい篩から使用し、順次小さい篩にかけていった（写真5）。

写真4 篩の目開き寸法の違い

写真5 分別の様子

3.2 破片の分析

篩の目開き寸法から4種類のグレードに分別し（表2）、各破片の重さを測定した（図4）。また、寸法グレードごとにランダムに選んだ30個の重さを調べた（図5）。分別した破片は、寸法グレードごとに総重量を測定し、その構成比を調べた（図6、図7）。

表2 破片の大きさ

寸法グレード	破片の様子 ※輪郭を黒線で示す
① $1.0 \leq L < 3.35(\text{mm})$	
② $3.35 \leq L < 5.6(\text{mm})$	
③ $5.6 \leq L < 8.0(\text{mm})$	
④ $8.0 \leq L < 11.2(\text{mm})$

図4 各破片の重さ

図5 ランダムに選んだ破片30個の重さ

図6 破片の総重量

図7 破片の構成比

図7から、寸法グレード 3.35～5.6mm の破片が全体の43%、寸法グレード 5.6～8.0mm の破片が全体の25%となり、両方で全体の3分の2以上占める結果となった。

今回、平にした状態で強制破壊したため、破壊直後に最も目の粗いふるい（目開き寸法 11.2mm）を通さない塊状のものもあったが、その後の取り扱いで粉々に崩れてしまうものも多く、それらを統計に含めることができなかった。強制破壊の方法も含めて今後の課題としたい。

4. 落下実験

4.1 落下破片および測定項目

今回の落下実験には、重量の大きい寸法グレード 8.0mm～11.2mm からランダムに100個選んだ(写真6)。破片の重さ（最小、最大、平均）を表3に示す。なお、前出の破片30個とは関係しない。

写真6 落下破片

表3 落下実験用破片（100個）

寸法グレード	最小	最大	平均
8.0 ≤ L < 11.2(mm)	0.59 g	2.32 g	1.26 g

今回の測定項目を表4に示す。破片が落下中に経路のパイプと衝突すると落下速度に影響することが考えられるため、衝突回数を確認した。破片の落下速度は被験体へのキズの程度に影響するため、高速度カメラ撮影による厳密な測定を行なった(写真7)。

表4 測定項目

対象	測定項目	方法
落下破片 (ガラス)	重さ	計量
	経路衝突の有無	耳聴
	落下速度	高速度撮影
被験体 (ブタ皮膚)	キズの有無	目視
	キズの程度	目視

写真7 落下地点の様子

4.2 落下衝突の様子

破片が被験体に衝突する様子を連続写真で示す（写真8）。

写真8 衝突の様子

4.3 被験体のキズ

被験体にできるキズの程度を、①変化なし、②窪み、③表面キズ、④浅いキズの4段階で集計した（表5）。

破片の落下100回に対し、80件は被験体に変化が見られず、20件被験体に変化が見られた。20件の内訳は、痕跡が時間とともに消える窪みが15件、表面キズが3件、浅いキズが2件であった。なお、ブタ皮膚を突き抜ける深刻なキズは見られなかった。

形状は線状のものと三ツ矢状のものがあつた（表6）。

表5 被験体のキズ集計結果

程度	件数	写真（一部）		
①変化なし	80	—		
②窪み ※痕跡が時間とともに消失	15
③表面キズ ※表面のごく浅いキズ （長さ3～5mm程度）	3
④浅いキズ ※深さ1～2mm程度の浅いキズ （長さ3～5mm程度）	2

表6 キズの形状の代表例

線状のキズ	三ツ矢状のキズ

4.4 破片の重さと被験体のキズの関係

破片の重さに対する被験体のキズの関係を図8に、また破片の落下速度と被験体のキズの関係を図9に示す。全体的な傾向として、破片の重さや落下速度が大きいほど、被験体へのキズの程度が大き

くなる傾向が見られた。

図8 重さとキズの関係

図9 落下速度とキズの関係

なお、重さや落下速度が大きくても全く変化のない例もあった。例えば、No. 34 は最も重い 2.32g の破片だが、被験体に変化がなかった一方で、No. 60 は 1.96g だが、浅いキズを生じた（写真9）。このことから、破片の当たり方すなわち面があたるか、カドが当たるかでキズの程度は大きく影響する可能性が考えられる。

写真9 当たり方による違い

また、キズの形状として線状のものや三ツ矢状のものが見られたが（表6）、破片の重さや当たり方との因果関係は不明である。

5. 結び

本研究は、学校用強化ガラスの破片が 1.6 m の高所から落下した場合の人的影響を確認することを目的とし、被験体としてブタ皮膚を用いて、破片落下実験を行なった。結果を以下に示す。

- 1) 破片の大きさは、3.35～5.6mm が全体の 4.3%、5.6～8.0mm が全体の 2.5% となり、両者で全体の 3 分の 2 以上占める結果となった。
- 2) 破片の落下 100 回に対し、被験体に何らかの変化が見られたのは 20 件で、残り 80 件は変化が見られなかった。
- 3) 全体的な傾向として、破片の重さや落下速度が大きいほど、被験体のキズの程度が大きくなる傾向があった。ただし、当たる瞬間、面があたるか、カドが当たるか、でキズの程度は変わってくる可能性もある。
- 4) 破片の大きさが 11.2mm 以下の場合、ブタ皮膚を突き抜ける深刻なキズは見られなかった。

参考文献

- 1) 清家剛，中崎邦夫，藤野陽三，久田隆司，吉崎歩：ガラス破片の落下による人的影響に関する研究－ブタ皮膚を用いた実験を通して－，日本建築学会技術報告集，第25巻，第59号，p39～p44，2019.2

謝辞

本研究において、多大なるご指導並びにご協力を賜りました日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS17 ガラス工事」改定小委員会メンバーに心から感謝の気持ちと御礼を申し上げたく、謝辞に変えさせていただきます。

〔2018 年 10 月 1 日原稿受理 2018 年 12 月 7 日採用決定〕