

瓦による合わせガラスの耐衝撃破壊特性

丸山 敬・河井宏允・加茂正人・西村宏昭⁽¹⁾

(1) 日本建築総合試験所

要 旨

本研究では、強風による飛散物に対する外装材の耐衝撃性能の試験・評価方法を策定する資料とするため、日本における代表的な飛散物である和瓦を加撃体として用いた試験を行い、ISO 16932に規定された評価方法に準じて合わせガラスの耐衝撃破壊特性を明らかにした。さらに、瓦の衝撃力を不貫通速度の大きさとして評価するとともに、ISO 16932に規定された加撃体に対して瓦の衝撃力と等価な衝突速度を求め、瓦の衝撃力を評価できるようにISO規格と整合性のとれた標準加撃体を提案した。

キーワード: 瓦, 耐衝撃試験, 合わせガラス, 飛散物, ISO 16932, 標準加撃体

1. はじめに

日本においては、外装材の耐風性能はこれまで、強風による耐風圧性能に関してのみ評価されており、建築基準法・同施行令や建築物荷重指針・同解説でも、耐えるべき風圧力の算定方法のみが示されているだけで、飛散物に対する破壊についての耐風性能の評価方法がないのが現状である。そこで筆者らはガラスの飛散物に対する耐衝撃性能を明らかにするためにISO 16932（以下ISO規格と略記する）に従った試験装置を開発し、衝撃試験を行って種々のガラスの耐衝撃性能を明らかにしてきた（丸山ら,2011）。

日本における強風時の飛散物による建物被害をみると、種々の飛散物が原因となっていることがわかるが、なかでも瓦等の屋根葺材の飛散による被害が多くみられる。ところで、ISO規格による耐衝撃性能試験では木片や小さな飛散物を模擬した鋼球を加撃体とした試験が行われるが、瓦等の屋根葺材を加撃体とした試験には対応できないという問題点がある。そこで筆者らは、加撃体として瓦を用いた衝撃試験を行うことができる装置を開発し、瓦を加撃体として用いた場合の合わせガラスの耐衝撃破壊特性を明らかにする実験を行った。また、ISO規格で用いられる加撃体による結果とも照らし合わせ、瓦の衝撃力と等価な衝突速度を求め、瓦の衝撃力を評価できるようにISO規格と整合性のとれた標準加撃体の検討を行った。

2. 試験の概要

2.1 試験装置

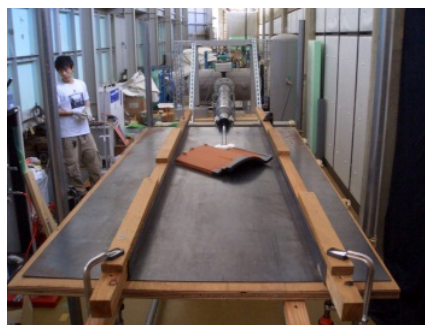
本研究で用いた射出装置はISO規格に準じた衝撃試験用射出装置（丸山ら,2009）を改良して瓦を射出できるようにしたものである。瓦はエアータンクに接続された塩ビパイプの砲身の前方に設けられたガイドに装填され（Photo 1a）、砲身内に仕組まれたステンレスパイプのアームの先端で押し出される（Photo 1d）。助走路にはガイドが設けられ（Photo 1b,c）、試験体の指定された衝撃位置に向けて射出することができる。砲身の先端部にはスプリングによる押し戻しと、圧縮空気の逃げ穴を設けて指定速度以上の加速が行われないような機構を設け、瓦を押し出すアームが瓦とともに飛び出さないようにしてある。加撃速度は試験体の衝撃位置付近を高速カメラにより毎秒5000コマのスピードで撮影して算出した（Photo 2）。今回の実験では瓦の衝突速度は最高で31m/sまで出せることを確認した。

2.2 試験方法

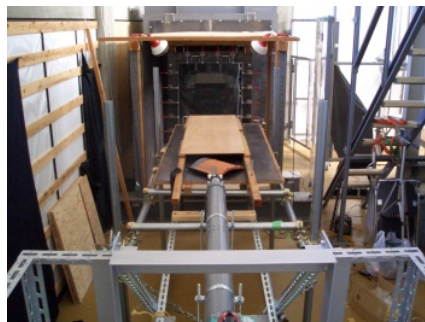
本研究では瓦の衝撃力を評価するために、合わせガラスを試験体として用いる。ここで用いた合わせガラスに関しては、ISO規格に準じた衝撃試験が既に行われており、その耐衝撃性能が明らかになっている（丸山ら,2011）。したがって、ISO規格で用いられる加撃体による衝撃力と瓦による衝撃力の比較を



a. Over view



b. Guide without cover panel



c. Guide with cover panel



d. Pushing rod

Photo 1 Air cannon to propel missile

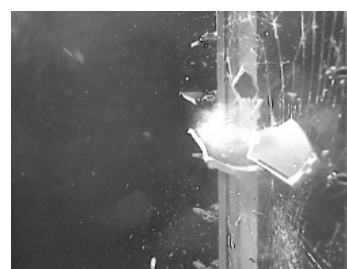


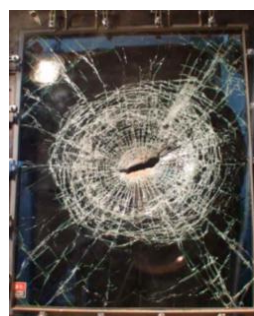
Photo 2 Instantaneous pictures of roof tile impact recorded by high-speed video camera

行うことができるため、瓦の衝撃力を評価するための試験体として用いた。瓦による衝撃力はISO規格に従い、所定以上の開口や亀裂が生じるかどうかで判断した。すなわち、Photo 3 に示すように合わせガラスの試験体に瓦を衝突させた時に、瓦が貫通するか、直径76mmの硬い球が通過する開口より大きな開口、あるいは125mm以上の亀裂が見られた場合に瓦がその合わせガラスを破壊する衝撃力を持つものとする。ISO規格で用いられる加撃体についても同様に、所定以上の開口や亀裂が生じる場合にその合わせガラスを破壊する衝撃力を持つものとする。以下、衝撃力は加撃体が上記の開口や亀裂が生じる最低の速度（以下貫通速度と呼ぶ）で評価する。

瓦の衝撃力の評価に先立ち、合わせガラスの瓦による破壊性状を瓦の種類による違い、衝突位置による違い、および、加撃位置による違いについて調べた。

2.3 加撃位置による違い

屋根瓦には種々の種類があるが、ここでは住宅の



Enlarged view

Photo 3 Opening on laminated glass

屋根に一般的に用いられるJIS規格のJ型を加撃体として用いた。強風によって瓦が飛散する際、割れた破片が飛散する場合も考えられるが、割れずに衝突する場合が最も危険と考えられるので、ここでは、一枚を健全な形で衝突させて衝撃特性を求めた。また、瓦がどのような姿勢で衝突するかによっても衝撃力は変化すると考えられるので、衝突の姿勢と、衝突する位置を変化させて貫通速度を調べた。瓦の形状はPhoto 4に示すように対称形ではなく、加撃す

るときに試験体に衝突する瓦の部位（以後、加撃位置と呼ぶ）によって衝撃力も異なると考えられるので、加撃位置の違いによる貫通速度の変化を調べた。加撃位置はPhoto 4のように四通りに変化させ、ガラス厚さ5mm、中間膜の厚さ30mil（1milは0.025mm）の合わせガラス（以降合わせガラスの種類はガラス厚+中間膜の厚：5mm+30milのように表記）を試験体として中央に加撃した。貫通速度が最も低くなる加撃位置は、図中欠き込みの有るNo2であったので、以下の試験ではこの加撃位置で衝突させることにした。なお、角以外の辺での衝突や面での衝突による貫通速度は、上記の角部による衝突速度よりも大きくなり、衝撃力は小さくなった。

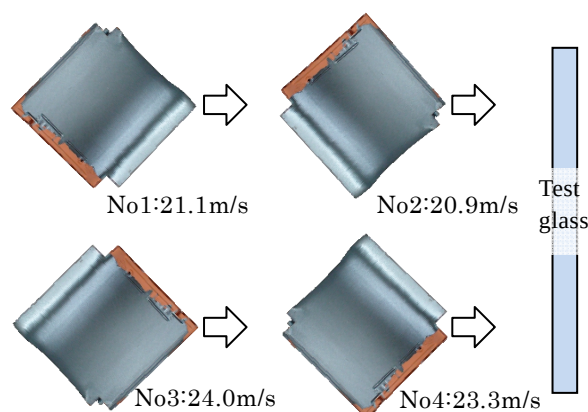


Photo 4 Variation of penetrating speed with direction of impact

2.4 瓦の種類による違い

瓦の種類による貫通速度の変化を、5mm+30milの合わせガラスを試験体として調べた。瓦は試験体の中央に衝突させ、Photo 5に示した釉薬瓦2種類（艶あり、艶なし）と、いぶし瓦1種類を用いたが、貫通速度はそれぞれ、21.7、20.9、20.9m/sとなり、違いはほとんど見られなかった。

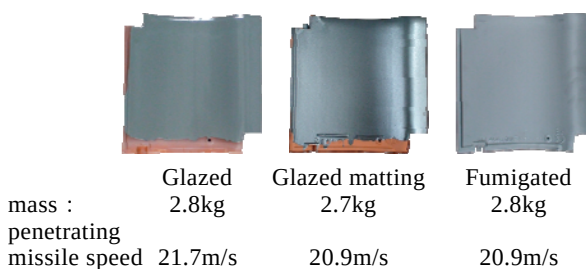
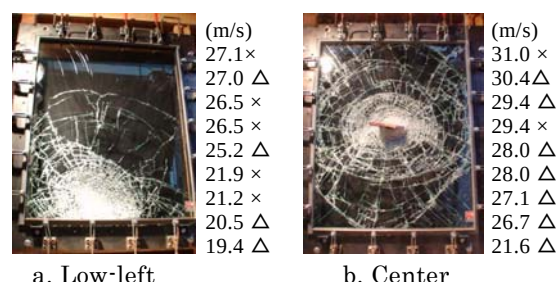


Photo 5 Roof tiles (JIS,J-type)

2.5 衝突位置による違い

Photo 6に示すように、瓦が試験体に衝突する位置による貫通速度の違いを5mm+60milの合わせガラスを用い、釉薬瓦（艶なし）を加撃して調べた。図中に数字で示すように瓦を衝突させる速度を少しずつ変化させて、ISO規格の判定に不合格となる衝突速度（図中×で表示）を求めた。その結果、衝突位置が中央の場合貫通速度は29.4m/s、左下の場合21.2m/sとなり、左下の方が中央よりも貫通速度は低くなり、瓦に対する耐衝撃性能は弱くなることが判った。



a. Low-left

b. Center

Photo 6 Variation of penetrating speed with impacting location

3. ISO規格との比較

ISO規格で用いられる加撃体(Table 1)がもつ衝撃力と、瓦による衝撃力の比較を行うために釉薬瓦(艶なし)を衝突させて、合わせガラスの種類（ガラスの厚さと中間膜の厚さ）による耐衝撃性能の違いを調べた。ここでは規定以上の亀裂や開口が生じず、ISO規格の判定に合格する最大速度を“不貫通速度”と呼ぶことにし、この速度までは耐衝撃性能を有すると判定する。結果はTable 2に示すように、衝突位置が中央の方が左下よりも不貫通速度は大きくなった。また、ガラス厚および中間膜厚がそれぞれ厚くなるほど不貫通速度は大きくなることがわかった。表中にはISO規格に規定された木材を用いた場合の対応する不貫通速度も示す。表の値より瓦の衝撃力と等価な衝撃力をもつ他の加撃体の速度を求めることが

Table 1 Applicable missiles of ISO 16932

Type	Missile	Impact speed (tolerance)
A	2±0.1g (small steel ball)	39.7m/s (±1%)
B	2.05±0.1kg (2×4 lumber)	12.2m/s (±2%)
C	4.1±0.1kg (2×4 lumber)	15.3m/s (±2%)
D	4.1±0.1kg (2×4 lumber)	24.4m/s (±1%)
E	6.8±0.1kg (2×4 lumber)	22.4m/s (±2%)

できる。例えば、瓦による合わせガラス5mm+60milの不貫通速度は20.5m/sであり、等価な衝撃力をもつ加撃体は、ISO規格による加撃体ではBタイプで21.7m/s、Cタイプで14.4m/s、ツーバイフォー3kgの質量をもつ木材では16.3m/sとなった。

Table 2 Difference of un-penetrating missile speed with variation of tested laminated glasses

Type of laminated glass Thickness glass + laminate + glass	Location of impact		Missile of ISO Low-left
	Roof tile Low-left	Center	
5mm+30mil+5mm	16.1	20.8	—
6mm+30mil+6mm	16.8	19.0	B:14.1
3mm+60mil+3mm	13.4	—	—
5mm+60mil+5mm	20.5	28.0	B:21.7, 3kg:16.3, C:14.4
5mm+90mil+5mm	27.8<	—	—

Meaning of symbols

- : Not tested
 B, C : Missile type of ISO 16932
 3kg : 2×4 lumber

Table 3 Recommended reference missile for the standard impact test

Type	Equivalent ISO missile type	mass and speed
a	A (2g×10, 39.7m/s)	2g (Small steal ball) , 40m/s
b	Middle between A and B 【New】	1kg (2×4 lumber) , 15m/s
c	B (2.05kg, 12.2m/s)	2kg (2×4 lumber) , 13m/s
d	Middle between B and C 【New】 (Equivalent to roof tile with speed of 20m/s)	3kg (2×4 lumber) , 16m/s
e	C (4.10kg, 15.3m/s)	4kg (2×4 lumber) , 16m/s
f	D (4.10kg, 24.4m/s)	4kg (2×4 lumber) , 25m/s
g	E (6.80kg, 22.4m/s)	7kg (2×4 lumber) , 22m/s

4. 耐衝撃性能評価用標準加撃体の提案

前節の実験で明らかにした合わせガラスの耐衝撃性能の結果をふまえて、日本国内用の規準やガイドラインの作成に資するための標準加撃体を新たに提案する。

提案する耐衝撃性能評価試験方法は基本的にISO規格 (ISO 16932) と同様とする。ただし、建築物の防御レベル、強風ゾーン、载荷圧力の設定、圧力载荷順序に関しては改良が必要であるがここでは言及しない。用いる加撃体に関しては、以下の考察により、ISO規格による加撃体Bタイプと加撃体Cタイプの間に瓦の衝撃力を評価するための加撃体を新設する。すなわち、前節の結果から、速度20.5m/sの瓦がもつ衝撃力は、質量2.05kgのツーバイフォー木材 (ISO規格による加撃体Bタイプ) で速度21.7 m/sと、3kgの質量をもつツーバイフォー木材で速度16.3m/sと、質量4.1kgのツーバイフォー木材 (ISO規格による加撃体Cタイプ) で速度14.4m/sと等価な衝撃力をもつことがわかっている。これは、速度20.5m/sの瓦がもつ衝撃力がISO規格による加撃体Bタイプ (速度12.2m/s) のもつ衝撃力よりも大きく、加撃体Cタイプ (速度15.3m/s) のもつ衝撃力よりも小さいことを示しており、3kgの質量をもつツーバイフォー木材を

加撃体として用いた場合には速度16.3m/sのもつ衝撃力と等価であることを意味している。また、瓦の衝撃力を評価するために用いた合わせガラス5mm+60mil+5mmは、一般に最もよく使われるグレードの合わせガラスの1つであるため、この合わせガラスが速度20m/sで飛来する瓦に対する耐衝撃防御を保証することができることを意味している。さらに、ISO規格の基となったASTM E1996-04では、Bタイプよりも衝撃力の小さな加撃体 (質量0.91kg, 速度15.2m/s) を規定しており、同様な衝撃力を評価することにより、より細かな防御性能を規定できるようにする。以上の考察から、耐衝撃性能評価用の標準加撃体を日本での運用に適するようにTable 3のように提案する。ここで、新しく提案する加撃体のタイプの作成に際しては、数値は小数点以下をまるめ、原則として衝撃力の大きなものほど数値が大きくなるように配慮した。

5. まとめ

本研究では、強風による飛散物に対する外装材の耐衝撃性能の試験・評価方法を策定するための資料とするために、日本における代表的な飛散物である和瓦を加撃体として用いた試験を行って、合わせガ

ラスの耐衝撃破壊特性を明らかにした。結果はISO 16932に規定された耐衝撃特性の評価方法に準じて評価し、合わせガラスの耐衝撃性能を求めて、瓦の衝撃力を不貫通速度の大きさとして評価した。それによると、合わせガラスはJIS規格のJ型瓦に対して、ある1つの角から瓦が衝突する場合に最も耐衝撃性能が弱く、また、試験体の中央部よりも縁に衝突する場合の方が弱いことが判かった。一方、瓦の種類に関してはほぼ同じ重さの瓦であれば、釉薬や粘土の質、焼成の違いによらず、ほぼ同じ耐衝撃性能を示すことが判った。これらの結果から、ISO 16932に規定された加撃体に対して瓦の衝撃力と等価な衝突速度を求め、瓦の衝撃力を評価できるようにISO規格と整合性のとれた標準加撃体を提案した。

謝 辞

本研究は科学研究費補助金基盤研究(B)一般の補助を受けて行われた。また、ガラス試験体は板硝子協会から提供していただいた。ここに記して謝意を

表します。

参考文献

- 丸山 敬・河井宏允・西村宏昭・加茂正人(2009) : 外装材耐衝撃性能試験用エアークannon, 日本風工学会誌, Vol.34, No.2 (No.119), pp.31-38.
- 丸山敬・河井宏允・西村宏昭・加茂正人・前田豊(2011) : ISO試験法に基づく板ガラスの耐衝撃破壊特性, 京都大学防災研究所年報, 第54号, pp.347-360.
- ISO 16932 : Glass in building – Destructive - windstorm - resistant security glazing – Test and classification.
- ASTM E1996-04 : Standard Specification for Performance of Exterior Windows, Curtain Walls, Doors, and Impact Protective Systems Impacted by Windborne Debris in Hurricanes, ASTM (American Society for Testing and Materials) Standard.

(論文受理日 : 2012年6月8日)

Resistant and Failure Characteristics of Laminated Glass Impacted by Roof Tile

Takashi MARUYAMA, Hiromasa KAWAI, Masato KAMO and Hiroaki NISHIMURA⁽¹⁾

(1) General Building Research Corporation of Japan

Synopsis

Impact resistant test of glazing was carried out by using a newly developed air-cannon, that is a missile-propulsion device. Resistant and failure characteristics of laminated glass were investigated by roof tile missile. A series of tests was carried out by varying the impact speed, the kind of roof tile, the impact location of roof tile and the location of the glass where impacted. The results were compared with the specification of ISO16932 and the reference missile for the standard impact test in Japan was proposed.

Keywords: roof tile, impact resistant test, laminated glass, flying debris, ISO 16932, reference missile