

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360246

研究課題名(和文) 強風による飛来物に対する板ガラスの耐衝撃安全性能評価に関する研究

研究課題名(英文) Impact resistant performance of glasses against wind born debris

研究代表者

河井 宏允 (Kawai, Hiromasa)

東京電機大学・理工学部・教授

研究者番号：60027282

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 16,000,000円、(間接経費) 4,800,000円

研究成果の概要(和文)：強風下における飛散物の衝突を模擬できる耐衝撃試験装置を作成し、ISOおよびASTM規格の耐衝撃性能評価法に従った試験が実行可能であることを確認するとともに、日本における代表的な飛散物である和瓦を射出できる装置を開発した。開発した試験装置を用い、種々の板ガラスの耐衝撃性能を、ISO規格等に基づき明らかにした。さらに、和瓦の衝撃力をISO規格等で採用されている2x4木材の衝撃力で評価し、ISOおよびASTM規格と整合性がとれ、かつ、日本における強風災害の特性が反映された板ガラスの耐衝撃性能評価方法を提案した。得られた成果は、学会誌や協会機関紙、研究発表会やシンポジウムにおいて広く一般に公開した。

研究成果の概要(英文)：We referred some specifications for glazing performance under impact from windborne debris such as ISO 16932 and ASTM E1996, E1886 and examined the specifications for impact resistant test in Japan, including the impact performance of roof tiles, representative windborne debris in Japan, in order to make domestic standards. We made a new designed air cannon which can propel not only the standard missiles of ISO or ASCE but also a roof tile as missile. A series of impact resistant tests based on ISO and ASCE was conducted on various kinds of glasses such as float, tempered, wired, and laminated glass. Impact resistant and fracture characteristics of the glasses against standard missiles and a roof tile were investigated. The impact performance and proposed standard missiles which include a lumber missile with equivalent to a roof tile in destructive power were proposed. These results were published by papers and commentaries of journal or presented at symposiums and lecture meetings.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築構造・材料

キーワード：耐衝撃試験 強風災害 飛散物 板ガラス ISO ASTM

## 1. 研究開始当初の背景

1990年以降、日本への台風の上陸件数が増加するとともに強風災害も増え続けている。特に、2004年には観測史上最大の10個の台風が上陸し、全国的に多くの強風災害が発生した。また、2006年には、9月に宮崎県延岡市で竜巻による死者3名、列車の転覆事故を含む多大の被害が生じ、11月には北海道佐呂間地区で竜巻による死者9名、負傷者26名という被害が発生した。最近では、2010年10月に竜巻が新潟県胎内市11kmにわたって襲い、広範囲の被害をもたらした。これら近年の強風災害をみると、建物自体の耐風性能の向上によって全壊率は減少する傾向にあるものの、屋根や外壁材などの破壊や剥離と、それに伴う飛来物による2次被害には減少する傾向が見られないのが実情である。

これまで本研究グループが強風被害調査を行い、飛来物による外壁材の被害状況に関して蓄積してきた資料によると、飛来物による外壁材の破壊が強風被害全体に占める割合は極めて大きく、特に開口部のガラスの破壊によって、室内圧が上昇し屋根が破壊するなど建物の重大な被害に繋がる原因ともなっている。また、人的被害に関してみると、その大多数はガラス片による怪我で、強風による飛来物によって割れた窓ガラスによるものである。対して、近年の日本では、生活様式の変化やデザイン上の理由で、雨戸を付けない建物が増えており、飛来物に対する窓ガラスの防備は低く、それがガラスに当たる飛来物を防ぐことができない主な理由と考えられる。さらに、体育館や公民館などの公共施設や病院、消防署などの窓ガラスの被害は、避難場所の確保や怪我人の治療、避難、救助、復旧活動などに支障をきたすので、飛来物に対する防御性能を強化する必要があり、そのためには板ガラスの耐衝撃性能評価方法を確立することが急務である。

## 2. 研究の目的

台風や竜巻に伴う強風による建物や人的被害のなかで、飛来物による外壁材の破壊が強風被害全体に占める割合は極めて大きく、特に開口部のガラスの破壊は建物の重大な被害に繋がる原因ともなっている。本研究では、建物などの飛来物に対する防御性能の向上

に呈するために、日本における強風災害の特性が反映された状況下における試験方法を確立し、板ガラスの破壊性状を明らかにして、耐衝撃破壊性能を評価する資料を得、ガラスの耐衝撃性能評価方法の試案を作成することを目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究では上記目的を達成するために、1. 強風下における飛散物の衝突を模擬できる耐衝撃試験装置を作成し、2. 既存の耐衝撃性能評価試験法の調査と評価を行い、3. 各種板ガラスの衝撃破壊性状を明らかにして、4. 日本における強風災害の特性が反映されたガラスの耐衝撃性能評価方法の試案を提案する。以下にその概要をまとめる。

### 3.1 耐衝撃性能試験装置の作成

強風下と同じ状態の風圧力を試験体(板ガラス)に加えた状態で飛来物を模擬した加撃体を衝突させ、その破壊性状を記録・解析する装置と、加撃体を所定の速度で射出する試験装置を作成した。具体的には加撃体の射出装置、変動風圧力を載荷することのできる加減圧チャンバーを作成した(図1)。

### 3.2 既存の耐衝撃性能評価法の調査

これまでに提案されている強風に伴う飛散物による外装材の耐衝撃性能評価法の調査を行い、それらの特徴と日本において適用する際の問題点を抽出・検討した。

### 3.3 各種板ガラスの耐衝撃性能

本研究で作成した耐衝撃性能試験装置を用いて、フロートガラス、網入りガラス、強化ガラス、合わせガラス、フィルム貼りガラス等、一般に使われている板ガラスを用いた試験を行い、耐衝撃性能を明らかにした。

### 3.4 ガラスの耐衝撃性能評価方法の提案

過去の被害事例を調べると、日本における飛散物による被害の原因としては屋根ふき材、とくに、和瓦が代表的な飛散物を考えられる。そこで、瓦によるガラスの破壊性状を明らかにするために、瓦の射出装置を作成し、合わせガラスを用いた耐衝撃性能試験を実施した。また、既存の耐衝撃性能評価方法で

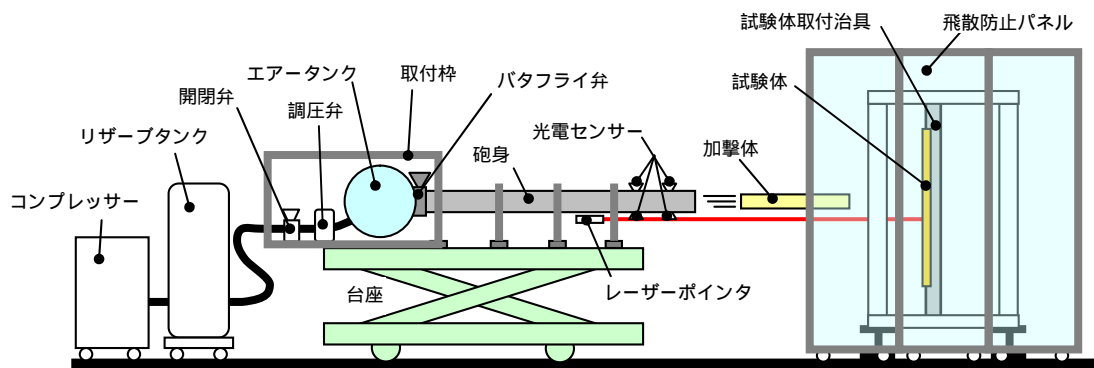


図1 耐衝撃性能試験装置の概要

用いられる加撃体との比較を行って、瓦の衝撃力を既存の加撃体（2×4木片）で評価した。これにより、瓦の衝突に相当する衝撃力を既存の耐衝撃性能評価方法の枠組みの中で評価するための方法を検討した。

#### 4. 研究成果

得られた成果の概要を以下にまとめる。

作成した耐衝撃性能試験装置の性能検定を行い、ISO 16932 や ASTM E1996、E1886 など、既存の耐衝撃性能評価方法に従った試験が実行可能であることを確かめた。

以下に挙げる既存の耐衝撃性能評価法を収集・和訳し、それぞれの特徴、差異を明らかにした。また、下記の評価法の和訳の資料集を作成した。

- ・ ISO/DIS 16932 : 建築物のガラス - 破壊的暴風に耐える安全ガラス - 試験と分類
- ・ ASTM E1886-04 : 飛散物と繰り返し圧力差を受ける屋外窓、カーテンウォール、ドア、および衝撃防御システムの性能標準試験方法
- ・ ASTM E 1996-04 : ハリケーンの飛散物が衝突する屋外窓、カーテンウォール、ドアおよび衝撃防御システムの性能における標準仕様書
- ・ トルネード避難所の国家性能基準: 連邦緊急管理庁防災理事会
- ・ ストームシェルター選択設計基準 FEMA : FEMA DR 1679 RA2
- ・ ICC 500-2008
- ・ DOE standard 1020-2002 : DOE 施設の飛散ミサイルクライテリアの合理性
- ・ FEMA P-361, Second Edition / August 2008 : コミュニティ・セーフルームの設計と建設ガイダンス
- ・ ASCE/SEI 7-05 : ASCE 基準 建物および他の構造物に対する最低設計荷重

日本において飛来物を発生させる強風としては、台風時の強風が主なものとして挙げられるので、試験体は衝撃後の継続的な風圧にも耐え、被害の拡大を防ぐために大きな開口が開かないことを確認することが必要となる。したがって、ISO 16932 と同じように加撃体を試験体に衝突させた後に繰り返し圧力載荷試験を行い、基準以上の亀裂や開口が生じないことを確認するのが妥当と考えられる。したがって、上記に挙げた耐衝撃性能評価方法のうち、国際的な試験および性能評価方法と整合性のとれたものとするためには、ASTM E1996、E1886 を基に制定された ISO 16932 の評価方法に準ずることが好ましいと判断した。

本研究で作成した耐衝撃性能試験装置を用いて、フロートガラス、網入りガラス、強化ガラス、合わせガラス（図 2, 3）、フィル

ム貼りガラス等、一般に使われている板ガラスを用いた試験を行い、ISO 16932 および、その基となる ASTM E1996、E1886 などの評価方法に基づいて耐衝撃性能を明らかにした。



図 2 ISO 16932 に準じた合わせガラスに対する加撃試験結果の例



図 3 ISO 16932 に準じた合わせガラスに対する加撃試験結果の例

さらに、日本における強風時の代表的な飛来物の一つとして、瓦のように木片に比べて硬く、かつ、ISO 16932 で用いられる 2g の鋼球より重い飛来物が挙げられる。したがって、それらの衝撃力を模擬する加撃体の提案を検討するために、既存の耐衝撃性能評価方法で規定されていない和瓦を用いた試験を行うことのできる試験装置（図 4）を開発し、和瓦に対する合わせガラスの耐衝撃性能を明らかにした（図 5）。これにより、日本における代表的な飛散物である和瓦と同等な衝撃力をもつ ASTM や ISO 規格で採用されている 2×4 木材を用いた加撃体を新しく提案した。

ガラスの耐衝撃性能評価方法を提案するにあたり、ASTM および ISO 規格と整合性のとれたものとし、瓦の衝撃を評価できるような加撃体を追加することとした。すなわち、7 種類の標準加撃体を提案した（表 1）。



図 4 瓦の射出装置

表1 新しく提案する耐衝撃試験用の標準加撃体の種類

種類	質量 (誤差), 材質	衝突速度 (誤差)	参考
I	2g (±0.1g/個), 鋼球 10 個	39.7m/s (±1%)	ISO 加撃体 a, ATSM 加撃体 A に相当
II	0.9kg (±0.1kg), 2×4 木片	15.3m/s (±2%)	ATSM 加撃体 B に相当
III	2.1 kg (±0.1kg), 2×4 木片	12.2m/s (±2%)	ISO 加撃体 b, ATSM 加撃体 C に相当
IV	3.0 kg (±0.1kg), 2×4 木片	15.3m/s (±2%)	衝突速度 20.5m/s の瓦に相当
V	4.1 kg (±0.1kg), 2×4 木片	15.3m/s (±2%)	ISO 加撃体 c, ATSM 加撃体 D に相当
VI	4.1 kg (±0.1kg), 2×4 木片	24.4m/s (±1%)	ISO 加撃体 d, ATSM 加撃体 E に相当
VII	6.8 kg (±0.1kg), 2×4 木片	22.4m/s (±2%)	ISO 加撃体 e に相当

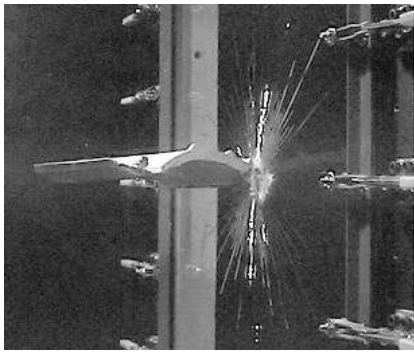


図5 瓦を用いた合わせガラスの耐衝撃試験

成果の還元・波及効果および社会への貢献については、得られた成果を強風による飛散物による板ガラスの被害の低減や防止、また、板ガラスの耐衝撃性能の評価に役立てるために、学会誌や協会機関紙、研究発表会やシンポジウムにおいて、板ガラスの耐衝撃性能試験・評価方法や試験・評価結果に関する解説を掲載し、広く一般に公開した。また、京都大学防災研究所において研究会や、実験施設の一般公開・見学会を行った。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計(6)件 うち査読付論文計(3)件

丸山敬、河井宏允、西村宏昭、花谷真由子、種々の加撃体を用いた合わせガラスの耐衝撃試験と標準加撃体の提案、日本風工学会論文集、査読有、Vol. 39 No. 1 [No. 138]、2014、pp.1-12

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jwe/39/1/39\\_1/\\_article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jwe/39/1/39_1/_article/-char/ja/)

Takashi Maruyama, Hiromasa Kawai, Hiroaki Nishimura and Mayuko Hanatani, Missile Impact Resistant Test of Glasses according to ISO 16932, Journal of Disaster Research, 査読有、Vol.8 No.6、2013、pp.1114-1119

<http://www.fujipress.jp/JDR/DSSTR00080006.html>

丸山敬、河井宏允、加茂正人、西村宏昭、瓦に対する合わせガラスの耐衝撃特性、第22回風工学シンポジウム論文集、査読有、2012.12、pp.109-114

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/kazekosymp/22/0/22\\_109/\\_article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/kazekosymp/22/0/22_109/_article/-char/ja/)

丸山敬、河井宏允、加茂正人、西村宏昭、瓦による合わせガラスの耐衝撃破壊特性、京都大学防災研究所年報、査読無、第55号B、2012.6、pp.299-304

[http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/nenpo/no55/content\\_menu.htm#Btop](http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/nenpo/no55/content_menu.htm#Btop)

山敬、河井宏允、西村宏昭、加茂正人、前田豊、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、査読無、第54号B.2011.6、pp.347-360

[http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/nenpo/no54/content\\_menu.htm#Btop](http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/nenpo/no54/content_menu.htm#Btop)

加茂正人、丸山敬、河井宏允、西村宏昭、加撃体として瓦を用いた衝撃試験装置の開発、日本風工学会誌、査読無、Vol.36、2011.4、pp.117-118

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jaweam/2011/0/2011\\_0\\_117/\\_article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jaweam/2011/0/2011_0_117/_article/-char/ja/)

〔学会発表〕(計2件)

加茂正人、丸山敬、河井宏允、西村宏昭、瓦を用いたガラスの耐衝撃試験 その1 試験装置、建築学会年次大会梗概集 B-1 構造 I、早稲田大学早稲田キャンパス、2011.8.23、pp.19-20.

丸山敬、加茂正人、河井宏允、西村宏昭、瓦を用いたガラスの耐衝撃試験 その2 試験結果と標準加撃体の提案、建築学会年次大会梗概集 B-1 構造 I、早稲田大学早稲田キャンパス、2011.8.23、pp.21-22

〔図書〕(計1件)

丸山敬、見えない現象「風」に挑む耐風設計、飛来物による外装被害と対策、建築技術、(株)建築技術 2012年12月号(分担執筆) pp.100-101

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

・研究集会：外装材の耐衝撃試験に関する研究会、京都大学防災研究所、2012.6.22-23

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

河井 宏允 (KAWAI, Hiromasa)

東京電機大学・理工学部・教授  
研究者番号：60027282

(2)研究分担者

丸山 敬 (MARUYAMA, Takashi)  
京都大学・防災研究所・教授  
研究者番号：00190570

(3)連携研究者

なし