

建築用ガラスの暴風時における飛来物衝突試験方法（JIS R 3109）について

On the test method of impact resistant performance of cladding to windborne debris

中尾 裕典 *1、完山 利行 *2

1. はじめに

平成12年建設省告示第1458号「屋根ふき材及び屋外に面する帳壁の風圧に対する構造耐力上の安全性を確かめるための構造計算の基準を定める件」や平成19年改正建築基準法によって、いわゆる4号建物以外では外装材の構造計算も確認申請図書に含まれることとなり、外装材等の構造設計は厳格化された。しかしながら、耐風設計が不十分であったり経年劣化した外装材を有する建築物は多数残っており、近年では2018年の台風21号は日本列島に甚大な被害を与えた。台風被害としては、外装材や屋根ふき材等が強風等により建築物より飛ばされる被害に加え、その飛ばされた外装材等が他の建築物に衝突する2次被害も発生する。また、強風等で飛ばされた外装材等が他の建築物の外装材やサッシを損壊すると、その建築物内部の圧力が増加して内部から外装材や構造体を破壊し、さらに破壊された外装材等が被害を招く、といった連鎖が起こる。

本報告では昨年度に日本工業規格（以後、JISと記す）で制定されたJIS R 3109「建築用ガラスの暴風時における飛来物衝突試験方法」の概要を説明するとともに、当法人で実施する場合の試験を紹介する。



写真-1 飛来物による被害状況

2. 規格制定の経緯

これまで日本では、ガラスの耐衝撃性能試験方法としては、JISによる鋼球の自由落下による落球試験や砂袋等の衝撃体を振り子式に自由落下させるショットバック試験が主であった。これらの試験は運搬時の衝撃や人体等の衝突が再現されたもので、台風等による飛来物の衝突を再現した試験方法ではなかった。アメリカ合衆国やオーストラリアでは、耐衝撃性能評価に関する基準やガイドラインが制定されており、アメリカ合衆国ではASCE 7-05「外装材の性能評価基準」¹⁾によりハリケーンを対象とした飛散物の衝突による外装材の性能基準が定められており、飛来物による対策が必要な建築物の外装材はASTM E1886-04「性能標準試験方法」²⁾に定められる試験を行い、ASTM E1996-04「耐衝撃性に関する標準仕様」³⁾を満足する必要がある。また、それらASTMの試験方法を基に国際標準化機構が定めたISO16932「ガラスの衝撃破壊性評価方法」⁴⁾による試験方法がある。我が国でも、2018年7月20日にISO16932を基にしたJIS R 3109「建築用ガラスの暴風時における飛来物衝突試験方法」⁵⁾が制定された。

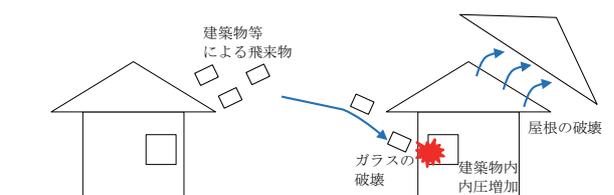


図-1 飛来物による被害の連鎖

*1 NAKAO Yasunori : (一財) 日本建築総合試験所 試験研究センター 環境部 耐風試験室 主査

*2 KANYAMA Toshiyuki : (一財) 日本建築総合試験所 試験研究センター 環境部 耐風試験室 上席調査役

3. 適用範囲

JIS R 3109「建築用ガラスの暴風時における飛来物衝突試験方法」（以後、本JISと記す）の適用範囲は、破壊的暴風事象による30m/s以上48m/s以下の基本風速で繰返し圧力差が与えられる建築用ガラスを対象としている。

すなわち、破壊的暴風事象による飛来物の脅威に対するガラスの耐力（強風の持続する間に建築物外装材内のガラスに開口が生じず、かつ、ガラスが貫通されない状態を維持できる能力とされている）を判定する。そのため、台風等で生じる基本風速30m/s以上の強風に対してガラスに開口が生じるかを判定するための試験条件が規定されている。試験は、飛来物を想定した加撃体による衝突試験およびそれに続く繰返し圧力荷重によって強風における飛来物の衝突および風圧力を模擬している。

なお、基本風速48m/sを超える暴風は一過性の竜巻等が対象となるが、竜巻の場合、風圧力の継続時間が短時間となり繰返し圧力荷重が適用されないため、適用範囲からは除外されている。

また、本JISは品質基準を規定しているものではなく試験方法を定めたものである。

4. 目的および試験条件

本JISの目的は、各種試験体（ガラス）の耐力の判定によって、破壊的暴風事象による強風が持続する間、飛来物により建築物の外装に用いるガラスに孔（開口）が生じない状態を維持できるか、及び飛来物が貫通しないかを判断し、建築物内部に対する破壊的暴風の損傷を最小化することにある。すなわち、暴風時等の飛来物に効果のあるガラスを普及させることにより、防災、復旧の拠点となる施設等の機能維持が図られ、防災、減災、人命保護等に役立てることである。

試験条件は、人命に対する潜在的危険性に基づいて決定され、建築物の防護レベル（レベル1～レベル4）、強風域区分（強風域1～強風域4）に対する基本風速および地表面からの開口部の設置高さにより選択される。

4.1 防護レベル

防護レベルを表-1に示す。防護レベルは、レベル1～レベル4の4段階で、数字が大きくなるほど求められる安全性が高くなるように設定されている。但し、本JISでは具体的な建築物までは規定されていないが、ISO16932では、「レベル1：農業施設等」、「レベル2：住宅等」、「レベル3：学校、ショッピングセンター等」、「レベル4：重要な国防機能をもつ施設、避難所に指定

されている建築物等」のように推奨例が示されている。

表-1 防護レベル

レベル1	レベル2
台風等強風発生時において、人命に対し危険性が低いと想定される建築物等	台風等強風発生時において、人命に対し中度の安全性が求められると想定される建築物等
レベル3	レベル4
台風等強風発生時において、人命に対し高度の安全性が求められると想定される建築物等	極めて高い安全性が求められる重要拠点施設

4.2 強風域区分

強風域区分及び繰返し圧力荷重試験に要求される最大圧力差 P を表-2に示す。強風域区分は基本風速により4段階に区分される。なお、基本風速は再現期間50年又は発生確率0.02となる値を基とした10分間平均風速で示されているが、瞬間最大風速（3秒ガスト風速）に変換することが本JISの附属書に示されている。また、強風域区分の4段階それぞれには、後述する繰返し圧力荷重に用いる最大圧力差が規定されている。

表-2 強風域区分及び繰返し圧力荷重試験に要求される最大圧力差 P

強風域区分	基本風速 V (m/s)	最大圧力差 P (Pa)
強風域1	$30 \leq V < 38$	2490
強風域2	$38 \leq V < 41$	2970
強風域3	$41 \leq V < 45$	3450
強風域4	$45 \leq V \leq 48$	3640

5. 試験装置

当法人では、「4.目的および試験条件」で示す試験条件が達成できる加撃体発射装置および繰返し圧力荷重試験用圧力箱を有しており、それらの詳細を以下に示す。

5.1 加撃体

5.1.1 加撃体の種類

飛来物衝撃試験に用いる飛来物を想定した加撃体の種類を表-3に、試験に用いる加撃体例を写真-2に示す。加撃体の種類は質量、材質および衝突速度が異なるA、B、C、JD、D、Eの6種類である。本JISはISO16932を基に制作されているが、この加撃体の種類及び衝突速度はASTM E1996-06を基に決められているので、ISO16932には示されていない加撃体種類もある。

表-3 加撃体の種類及び衝突速度

加撃体種類	加撃体		衝突速度	
	質量	材質	(m/s)	公差
A	2g±0.1g	鋼球	39.7	±1%
B	1kg±0.1kg	木材	15.3	±2%
C	2.05kg±0.1kg		12.2	±2%
JD	3.0kg±0.1kg		15.3	±2%
D	4.1kg±0.1kg		15.3	±2%
E	4.1kg±0.1kg		24.4	±1%

加撃体の種類Aでは直径8mm、質量2g±0.1gの鋼球で、加撃体の種類A以外では、2×4木材(38mm×89mm)が使用される。なお、2×4木材の質量は規定されているが長さは規定されていない。2×4木材の密度は約0.48g/cm³であり、加撃体の種類DやEの場合、長さが約253cmになり、当法人の試験装置の関係上許容できない長さとなってしまう。そのような場合、本JISでは、「衝撃力が等しいと示された場合は、衝突端から30cmを除いた部分で、形状及び材質を変更した加撃体を用いることもできる。」という規定があり、当法人では写真-2(c)に示すような鋼板を取り付けて質量の調整を行っている。また、写真-2(d)に示すように木材の加撃体端部に白色円盤が取り付けられている。これは、加撃体を発射装置で射出するときに必要な治具(後述、5.3 加撃体発射装置参照)である。

5.1.2 加撃体の選定

飛来物衝撃試験に用いる加撃体の選定方法は、防護レベル及び強風域区分によって推奨される加撃体より決められる(表-4参照)。すなわち、防護レベル(表-1参照)、強風域区分(表-2参照)および建築物開口部設置高さにより選定され、強風域、防護レベルの数値が大きくなる程、また、開口部設置高さが10m以上になると、高い性能が要求される。

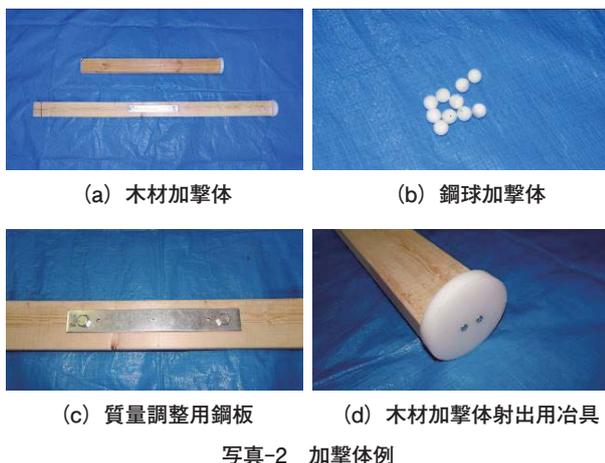


表-4 防護レベル及び強風域区分と推奨される加撃体

強風域区分	防護レベル							
	レベル1		レベル2		レベル3		レベル4	
	開口部設置高さ (m)		開口部設置高さ (m)		開口部設置高さ (m)		開口部設置高さ (m)	
	>10	≤10	>10	≤10	>10	≤10	>10	≤10
強風域1	N	N	A	B	B	JD	C	D
強風域2	N	N	A	B	B	JD	C	D
強風域3	N	N	A	JD	B	D	D	E
強風域4	N	N	A	JD	B	D	D	E

注) 表中のA, B, C, JD, D, Eは加撃体の種類である。また、Nは試験が不要であることを示す。

5.1.3 加撃体の経緯

加撃体は、衝突時の運動エネルギー等により材質、質量および衝突速度が表-3のように決められていると推察される。詳細は不明であるが、いくつか分かっている事項を次に記す⁶⁾。

加撃体の種類Aの鋼球はアメリカ合衆国の建築物屋上防水層の断熱板の押さえに用いられる小石が模擬されている。加撃体の種類A以外の木材は、アメリカ合衆国の住宅では枠組壁工法の住宅が多く、その住宅では2×4規格の木材が多く用いられている。その住宅が強風等により破壊された場合に2×4材が飛来物となりガラスを破壊する被害事例を模擬している。なお、加撃体の種類JDはASTM E1996-06でもISO16932にも制定されておらず、本JISのオリジナルで、日本の住宅に多く用いられる瓦を想定して制定された。

加撃体種類Eでは、1974年にオーストラリアのダーウインを襲ったサイクロン「トレーシー」による被害より制定されたダーウイン地区建築マニュアルに採用された試験用加撃体とほぼ同じである。ただし、その後の調査により2×4材が20m/s以上の速度で建築物に衝突するには相当の距離を飛ぶ必要があり、現実的でないために15m/sに変更されている。また、本JISには採用されていないが、ISO16932に記載される質量6.8±0.1kg、衝突速度22.4m/sのタイプEという加撃体がある。その加撃体は、アメリカ・エネルギー省が原子力発電所のような巨大エネルギー貯蔵施設等に採用されたものであるが、巨大トルネードでしか生じ得ない飛来物に対応する加撃体であるため、わが国では採用されなかったと推測される。

5.2 試験体および加撃位置

試験体は、鉛直棒に取り付けられたガラスとし、寸法は1100±5mm×900±5mmとする。試験体数は、木材加撃体、鋼球加撃体それぞれについて3枚ずつ必要となる。これは衝突位置が異なるためである。

5.2.1 木材加撃体の場合

図-2に示すように、各試験体に1回ずつ衝突させる。

- ・1枚目：試験体中央に加撃体を衝突させる。
- ・2枚目：コーナーから水平及び鉛直方向にそれぞれ150mmの位置に衝突させる。
- ・3枚目：2枚目の対角側コーナーから水平及び鉛直方向にそれぞれ150mmの位置に衝突させる。

なお、衝突位置は半径65mmの円内とする。

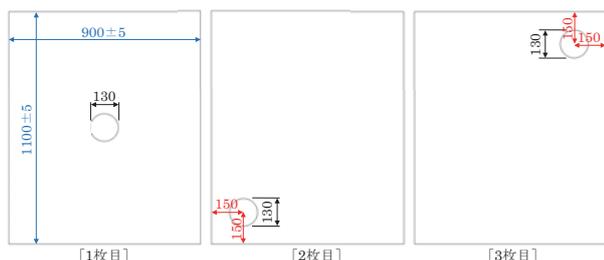


図-2 木材加撃体の加撃位置 (寸法単位: mm)

5.2.2 鋼球加撃体の場合

図-3に示すように、各試験体に3回ずつ、1回につき鋼球加撃体を10個衝突 (合計30個) させる。ただし、10個同時に射出する必要はない。

- ・1枚目：上下コーナーから水平及び鉛直方向にそれぞれ275mmの位置及び鉛直方向中央部で縦辺から275mmの位置に衝突させる。
- ・2枚目：1枚目の逆対象位置に衝突させる。
- ・3枚目：試験体中央及び鉛直方向中心線上の上端及び下端より275mmの位置に衝突させる。

なお、衝突位置は半径250mmの円内とする。

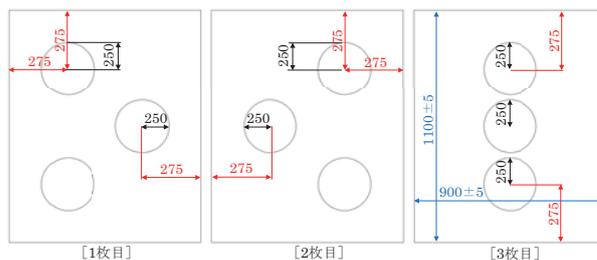


図-3 鋼球加撃体の加撃位置 (寸法単位: mm)

5.3 加撃体発射装置

加撃体発射装置を図-4および写真-3に示す。加撃体発射装置は、コンプレッサー、開閉弁、調圧弁、エアータンク、バタフライ弁、砲身 (内径100mm) および台座等から構成される。コンプレッサーで加圧された圧縮空気は、開閉弁を開き調圧弁により所定の圧力でエアータンクに供給され、バタフライ弁を開いて砲身内を加圧し、砲身に充填された加撃体を試験体に向けて射出する機構となっている。また、試験体の加撃位置の調整は加撃体発射装置構成部材を乗せた台座を移動することで調整する。加撃体の速度はエアータンクに貯えられる空気圧で調整する。

鋼球加撃体の場合、写真-3(e) に示すような、砲身の先端に金属製パイプ10本を束ねた専用の砲身を取り付けて鋼球加撃体を発射する。木材加撃体の場合、前述したように、木材加撃体端部 (エアータンク側) に樹脂製の円盤を取り付け (写真-2(d) 参照)、砲身との隙間を少なくすることにより高速で発射することができる。

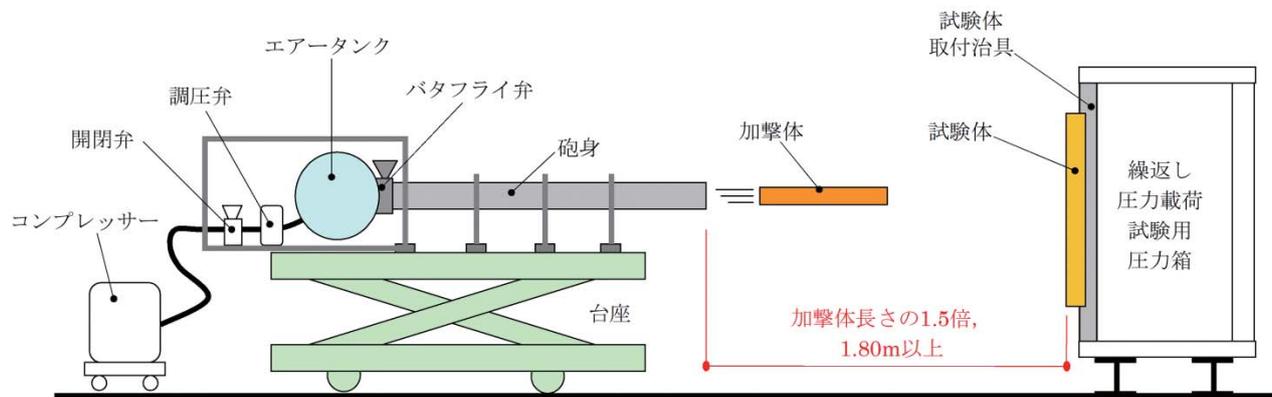


図-4 加撃体発射装置および繰返し圧力载荷試験用圧力箱



(a) 全景

(b) コンプレッサー



(c) エアタンクおよび
バタフライ弁

(d) 木材加撃体用砲身



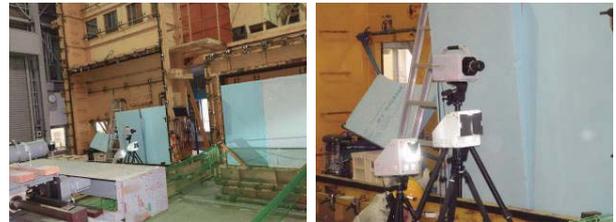
(e) 鋼球加撃体用砲身

写真-3 加撃体発射装置

5.4 加撃体の速度校正

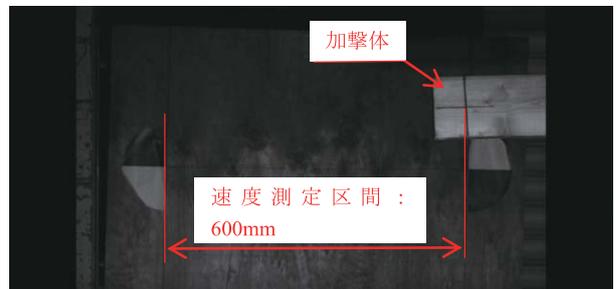
加撃体の衝突速度は、加撃体種類ごとに表-3に示される速度および公差が規定されている。本JISで規定される衝突速度測定方法は、「ストロボスコープ及びカメラによる写真撮影を用いる方法」、「フレームレートが毎秒500こまを超えて鮮明な画像が得られ、かつ、単こま表示ができる高速度撮影カメラ又はビデオカメラによる写真撮影を用いる方法」、「空気抵抗を無視できる自由落下物体を重力加速させ、計時システム通過時間の実測値と理論値との比較を用いる方法」、「その他の校正済みで公差1%の速度測定システムを用いる方法」の4方法が記載されている。当法人では高速度撮影カメラを用いた速度検定を実施している。写真-4に当法人での速度校正状況を示す。砲身から発射された加撃体が試験体の600mm前から毎秒5000こま～10000こまを高速度撮影カメラで写真撮影し、試験体に衝突するときの衝突速度を測定する方法により行っている。また、同時に撮影された写真より衝突時の加撃体の角度の確認を行って

る。試験体と衝突するときの角度は、木材加撃体では、衝突時の加撃体長手軸と試験体に垂直な線との角度が 5° を、また、鋼球加撃体では、衝突時の加撃体の運動ベクトルの方向と試験体に垂直な線との角度が 5° を超えてはならないと規定されている。

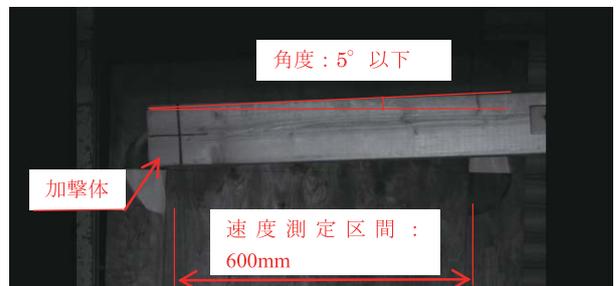


(a) 全景

(b) 高速度撮影カメラ



(c) 高速度撮影カメラ撮影画像 [測定開始時]



(d) 高速度撮影カメラ撮影画像 [測定終了時]

写真-4 加撃体の速度校正状況

5.5 繰返し圧力载荷試験用圧力箱および加圧システム

繰返し圧力载荷試験用圧力箱を図-5および写真-5に示す。図-5のように、圧力箱本体、送風装置（制御式送風機）等から構成され、加圧システムはコンピューター制御サーボ駆動弁で圧力制御を行っている。また、この圧力箱に試験体を固定し加撃体を衝突させ、衝突試験後の繰返し圧力载荷（5.6 繰返し圧力载荷試験参照）を行う。試験体の固定方法は、圧力箱にクランプを用いて固定された試験体取付治具に、試験体取付棒を介して固定される。

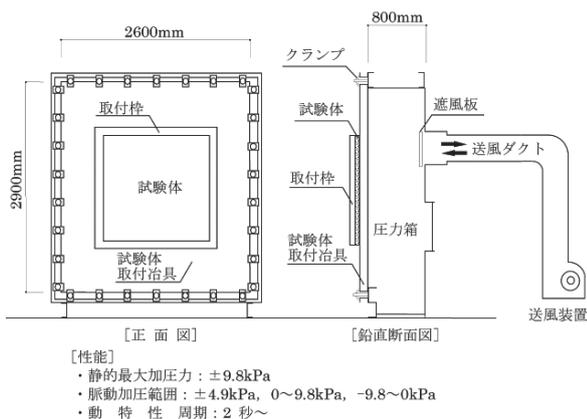


図-5 繰返し圧力载荷試験用圧力箱

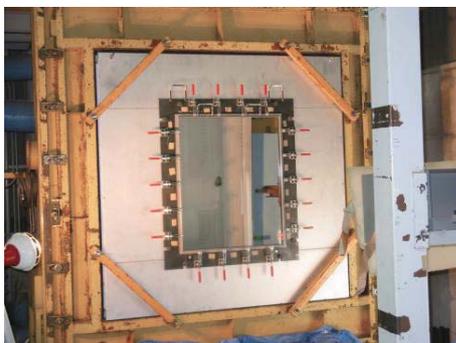


写真-5 繰返し圧力载荷試験用圧力箱

5.6 繰返し圧力载荷試験

繰返し圧力载荷の諸量を表-5に、载荷履歴を図-6に示す。繰返し圧力载荷は後述する「6.1 合格判定」で合格となった試験体についてのみ実施する。合格はしたが、表-5に示す圧力差に達しない場合（衝突試験で生じたひび割れや孔により漏気が大きい場合）は、必要に応じて漏気の生じる隙間等をテープで塞ぐことができる。なお、試験体が割れたときに隣接するガラス破片間の差動が大きく制限される時はテープを用いてはならない。テープが使用できない場合は、0.05mm以下の単層ポリエチレンフィルム又はその他の樹脂製フィルムで覆うことができる。但し、フィルムによって試験体に変形及び破損が妨げられないようにする必要がある。

繰返し圧力载荷の最大圧力差 P は依頼者により定められる。特に定めがない場合は表-2の圧力差を適用できる。また、圧力差サイクルの周期は1秒以上5秒以下と規定されており、当法人の圧力箱では2秒周期で繰返し圧力载荷を実施する（そのため、繰返し圧力载荷試験は試験開始から試験終了まで5時間必要となる）。なお、試験時間が長時間に及ぶことから、試験装置の保守点検を行うときにはサイクルを中断してもよいとされている。

表-5 繰返し圧力载荷の諸量

载荷順序	载荷の向き	圧力差	圧力繰返し回数
1	正	$0.2P \sim 0.5P$	3500
2	正	$0.0P \sim 0.6P$	300
3	正	$0.5P \sim 0.8P$	600
4	正	$0.3P \sim 1.0P$	100
5	負	$0.3P \sim 1.0P$	50
6	負	$0.5P \sim 0.8P$	1050
7	負	$0.0P \sim 0.6P$	50
8	負	$0.2P \sim 0.5P$	3350

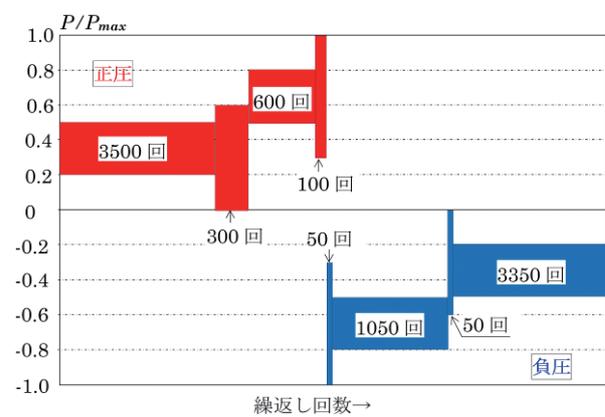


図-6 繰返し圧力载荷履歴

6. 試験の要求事項

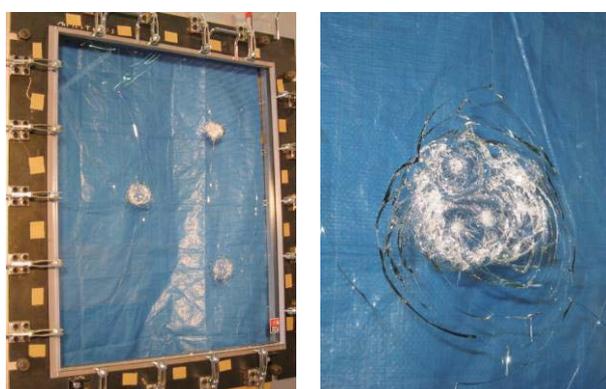
試験の要求事項として、合否判定、貫通、孔（開口）および再試験について規定されている。

6.1 合否判定

合否判定の基準は、試験体3体すべてが、加撃体衝突試験及び繰返し圧力载荷試験の両方に合格した形式を合格の判定とする。加撃体衝突試験では試験体に貫通（定義を後述、6.2 貫通参照）又は孔（開口）（定義を後述、6.3 孔（開口）参照）が、繰返し圧力载荷試験では孔（開口）が生じた場合は不合格となる。すなわち、加撃体衝突試験において異なる加撃位置においても貫通又は孔（開口）がなく、繰返し圧力载荷試験においても孔（開口）が生じない試験体が合格となる。なお、加撃体の種類が同じであれば、繰返し圧力载荷試験において、合格した最大圧力差より小さな最大圧力差は結果として適用できる。

6.2 貫通

貫通とは、試験体の非加撃面に加撃体の一部でも突出することをいう（写真-6参照）。

(a) 木材加撃体貫通状況
[加撃面](b) 木材加撃体貫通状況
[非加撃面]

(c) 鋼球加撃体状況

(d) 鋼球加撃体状況

写真-6 試験時の状況

6.3 孔（開口）

試験後のガラスでは、直径76mmの球が通る孔（開口）があいてはならない。また、長さが125mmを超える裂け目が生じてはならない。すなわち、加撃体衝突試験で生じた孔（直径76mm未満）、また、長さ125mm以下の裂け目が繰返し圧力载荷で進展し、直径76mm以上の孔（開口）、あるいは、長さ125mmを超える裂け目になることを示す。

6.4 再試験

加撃体衝突試験の結果、試験体が避けることなく取付枠から外れた場合は、再度加撃体衝突試験を実施する。すなわち、ガラスの不合格品をやり直すのではなく、加撃体の衝突速度、衝突角度および衝突位置等が規定から外れた場合のみ適用される。また、再試験は全ての衝撃位置をやり直すわけではなく、規定から外れた衝撃位置のみ対象となる。

7. おわりに

JIS R 3109「建築用ガラスの暴風時における飛来物衝突試験方法」について概要を説明した。当法人では本

JISはもちろん、ASTM E1886-04およびISO16932に規定される衝撃試験も実施可能であり、さらに、加撃体発射装置を応用した特殊衝撃試験の実績もある。

「2. 規格制定の経緯」でも記したように、飛来物衝突試験はわが国では規定されていなかったが、ASTMやISOの飛来物衝突試験を基に本JISに導入された。そのためか、試験体（ガラス）の寸法が一定であることや繰返し圧力载荷試験における繰返し回数等、日本の建物の実状に合っていないと思われる点も多々見受けられる。しかしながら、今まで日本独自の規格が無かったことを考えれば、建築用ガラスの暴風時における飛来物衝突試験方法が制定されたことは減災等の観点から考えると前進したといえる。ただ、台風等の暴風時の飛来物の被害はガラスだけではなく、外装材やカーテンウォール等にも及ぶため、建築物の外装材等に関する飛来物衝突試験の規格を早急に制定すべきであると考えられる。

お問い合わせ先

試験研究センター 環境部 耐風試験室

TEL : 06-6834-7905 / FAX : 06-6834-0995

【参考文献】

- 1) ASCE 7-05 : Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures
- 2) ASTM E1886-04 : Standard Test Method for Performance of Exterior Windows, Curtain Walls, Doors, and Impact Protective Systems Impacted by Missile(s) and Exposed to Cyclic Pressure Differentials
- 3) ASTM E1996-04 : Standard Specification for Performance of Exterior Windows, Curtain Walls, Doors, and Impact Protective Systems Impacted by Windborne Debris in Hurricanes
- 4) ISO 16932 : Glass in building - Destructive-windstorm-resistant security glazing - Test and classification
- 5) 日本規格協会 : 建築用ガラスの暴風時における飛来物衝突試験方法 JIS R 3109 : 2018
- 6) 加茂正人, 丸山敬, 河井宏允, 前田豊, 西村宏昭 : 合わせガラスの耐飛散物衝撃試験 その1 衝撃試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-1, pp.127-128, 2009.8

【執筆者】

*1 中尾 裕典
(NAKAO Yasunori)*2 完山 利行
(KANYAMA Toshiyuki)