

飛来物に対する外壁の耐衝撃性能

西村宏昭 一般財団法人日本建築総合試験所

中村 修 株式会社風工学研究所

1 はじめに

平成 22 年度では、強風時に発生する飛来物に対して窓の外側に設置される窓シャッターと雨戸の耐衝撃性能を調べた¹⁾。窓ガラスは飛来物に対して特に脆弱であることから、これらのデバイスによる防御が必要であると考えられたためであった。ASCE 7-05²⁾においても開口部は耐衝撃性能を有するガラスまたは耐衝撃性能を有する防御デバイス（シャッターやスクリーン）で開口部を防御することを要求している。

しかし、飛来物によって衝撃を受けるのは開口部だけでなく、外壁や屋根も強風中では同様の状況に置かれる。写真 1 は 2005 年の台風 14 号による宮崎県での被害、写真 2 は 2006 年の延岡竜巻時に飛来物によって被害を受けた住宅の様子である。これらの住宅の外壁には飛来物によって生じた多くの穴が見られ、衝撃の大きさを窺い知ることができる³⁾。竜巻時の飛散物被害が比較的狭い地理的範囲に集中するのに対し、台風時の飛来物範囲は広く分布し、したがって被害の総量は非常に大きい場合がある。強風被害の防止の観点から台風が竜巻と異なる特徴の一つは、事前に強風の発生が予測でき、これによってある程度の防御対策が可能なことであろう。つまり台風の接近は、2,3 日前から、より正確には数時間前から予測できるので、強風時に発生する飛来物に対して開口部を防御する準備、つまり窓シャッターや雨戸を閉めることができる。しかし、一般に外壁については、強風の発生が予測できる場合でも有効な防御の方法がない。外壁は、どのような飛来物が衝撃を与えると予測されても、強風が止むまでそのまま耐えるしかないのである。



写真 1 台風 0514 での飛来物による被害
(宮崎地方気象台提供)



写真 2 延岡竜巻での飛来物による被害
(延岡市役所提供)

外壁が飛来物の衝撃に耐える性能はすべての建築物に必要なが、特に消防署、警察署、病院、避難所などの緊急時に地域の安全を守る使命をもつ公共建築物は、強風時にそれらの施設の機能が損なわれてはならず、外壁についても飛来物に対して防御することが望ましい。しかし、外壁が飛来物の衝撃にどの程度耐えるかは明らかでないために、飛来物に対する防御が設計に考慮されることは少ない。

飛来物に対する防御を考える上で重要なことは飛来物に対して建物内の居住者の生命の安全と建物内装材や財産の著しい損傷を防ぐことである。したがって、外装仕上げ材自身の変形や部分的な損傷までも防ぐことは必ずしも必要ではない。本稿では、いくつかの外壁材を対象にして行った飛来物耐衝撃試験結果について述べる。一般に、外壁材は外装仕上げ材だけでなく下地や内装材からなる。飛来物に対する居住者と室内財産の防御を達成するクライテリアは、試験飛来物が内装材を越えて室内に入らないこととする。したがって、飛来物の衝突による内装材（ここでは石膏ボード）の軽微な変形までは許容できるとする。

2 試験体

飛来物耐衝撃試験に用いた試験体は市販の外壁パネルを用いて木製枠組みに組み立てられ、グラスウール断熱材を挿入して、室内側に石膏ボードがネジ留めされた、次に示す 2m×2m の 6 体の外壁である。

試験体 No.1：窯業系サイディング（厚さ 14mm，釘留め仕様）

試験体 No.2：窯業系サイディング（厚さ 18mm，金具留め仕様）

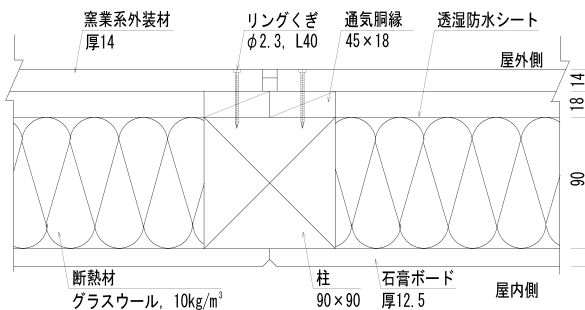
試験体 No.3：金属系サイディング（厚さ 16mm，硬質イソシアヌレートフォーム裏張り鋼）

試験体 No.4：金属系サイディング（厚さ 21mm，硬質イソシアヌレートフォーム裏張り鋼）

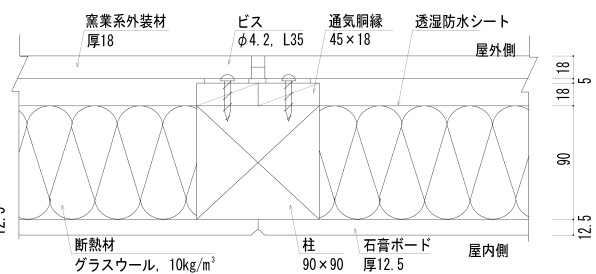
試験体 No.5：ラスモルタル塗壁（厚さ 15mm，プレミックスモルタル）

試験体 No.6：住宅用 ALC パネル（厚さ 37mm，ラス補強）

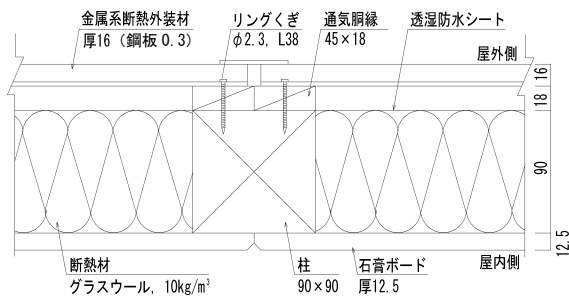
木製枠組みは 90cm 間隔の木製柱（9cm×9cm）とその間の 45cm 間隔の間柱で構成され、それぞれの外壁パネルがそれぞれの製品の仕様書に従って木製枠組みの屋外側に固定された（図 1 参照）。試験体 No.1 と 2 はサイディングの厚さと固定の仕様，試験体 No.3 と 4 はサイディングの厚さのみが異なっている。



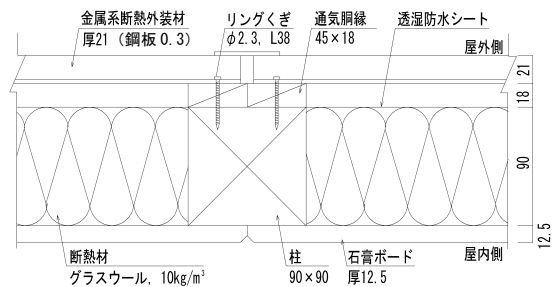
(1) 試験体 No.1（窯業系サイディング厚さ 14mm）



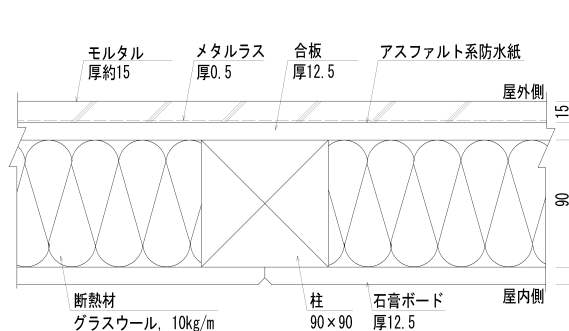
(2) 試験体 No.2（窯業系サイディング厚さ 18mm）



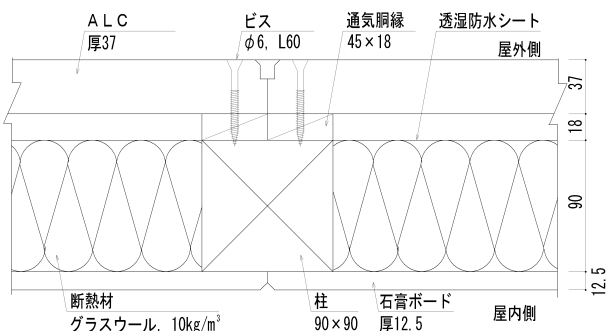
(3) 試験体 No.3（金属系サイディング厚さ 16mm）



(4) 試験体 No.4（金属系サイディング厚さ 21mm）



(5) 試験体 No.5（ラスモルタル塗壁）



(6) 試験体 No.6 ALC パネル

図 1 飛来物耐衝撃試験の試験体断面図

3 試験方法

試験は、ASTM E 1996⁴⁾「ハリケーン中の飛来物によって衝撃を受ける屋外窓、カーテンウォール、ドア、および衝撃防御システムの性能の標準仕様書」に準じて行った。すなわち、所定の質量と速度で発射された2×4木材ミサイルを外壁に衝突させ、外装パネルと内装材（石膏ボード）の損傷を調べた。使用したミサイルの質量と衝突速度は次のとおりで、ミサイルをB→C→Dの順番で試験体に対して、クライテリアを超えた（つまり不合格の）時点で試験を終了した。

ミサイルB；質量910g，衝突速度15.2m/s

ミサイルC；質量2.1kg，衝突速度12.2m/s

ミサイルD；質量4.1kg，衝突速度15.2m/s

ミサイルE；質量4.1kg，衝突速度24.4m/s

試験体表面上のミサイル加撃位置は、ミサイルの衝突に対して最も弱い箇所として柱と間柱の中央位置とし、前のミサイル衝突の影響が少ない箇所を選択した。試験体 No.1 および試験体 No.2（窯業系サイディング）の加撃位置は、各ミサイルのそれぞれのタイプでサイディングの働き幅の中央（一般部）とサイディング相互の嵌合部の2種類とした。ミサイルの衝突速度については、エアータンク内の圧力と高速度ビデオカメラの画像から推定した速度との関係を事前に求めておき、タンク内の圧力を調整することによって、所定の速度を再現した。なお、ASTM E 1996の試験手順では、ミサイル衝突後の試験体に所定の繰り返し圧力を载荷するが、本試験では圧力载荷を行わなかった。試験装置の概略を図2に、試験体上の加撃位置の例を図3に示す。

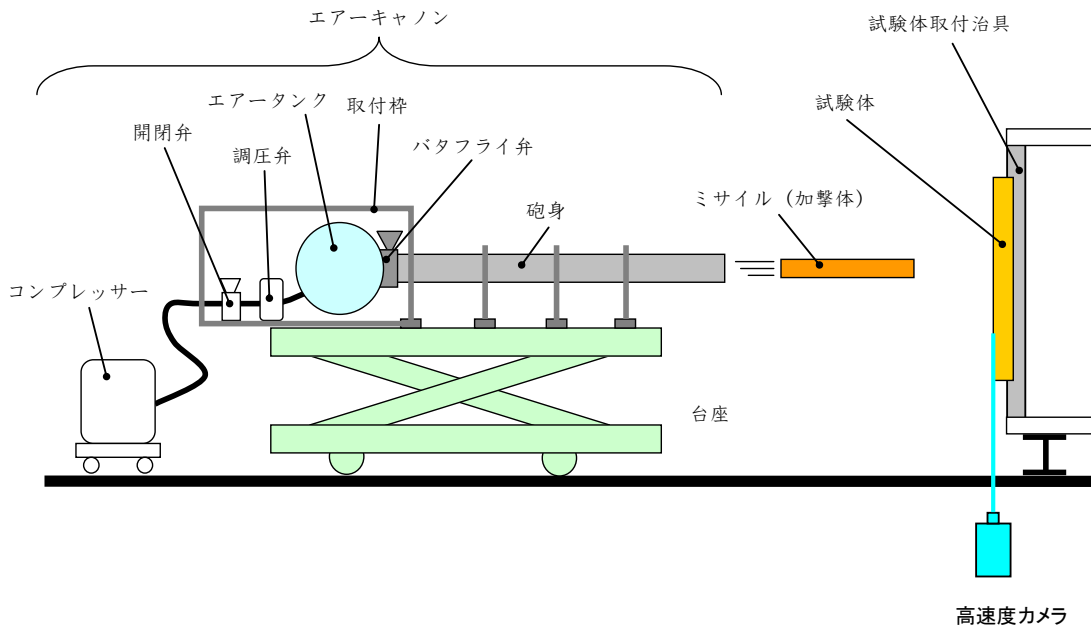


図2 飛来物耐衝撃試験装置概略図

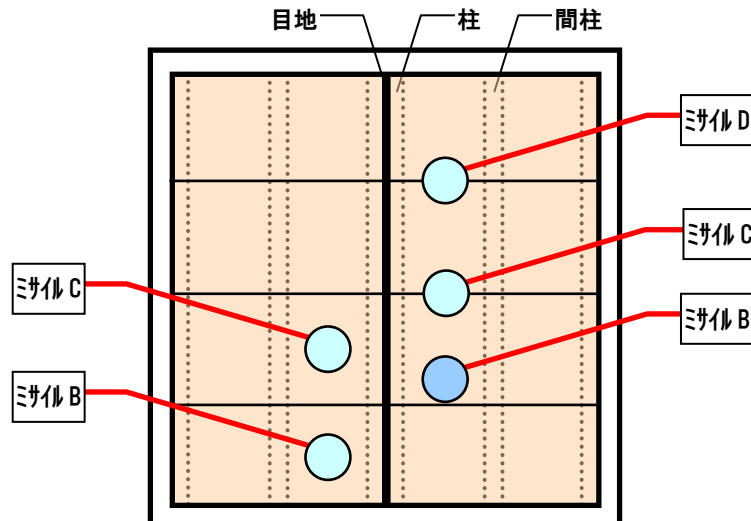


図3 試験体屋外面のミサイル加撃位置（試験体 No.1）

4 試験結果

窯業系サイディングは、パネルの厚さ（試験体 No.1 と No.2）と加撃位置（一般部と嵌合部）に関係なく、ミサイル B の衝突で外装パネルを破損したが、内装材を貫通しなかった。ミサイル C の衝突では、2 体のうち 1 体では内装材の貫通までには至らず、他の 1 体ではパネルと内装材を貫通した。したがって、窯業系サイディングはミサイル B で試験に合格したが、ミサイル C では不合格と判定した。

金属系サイディングは、パネルの厚さ（試験体 No.3 と No.4）に関係なく、ミサイル B、C および D の衝突で外装パネルに凹みを与えるが内装材にダメージを与えなかった。パネルのくぼみの程度はミサイルの衝突エネルギーが大きくなるにつれて増加し、ミサイル B→C→D のときに試験体 No.3（厚さ 16mm）では 30→45→205mm、試験体 No.4（厚さ 21mm）では 30→55→140mm であった。しかし、ミサイル E の衝突では外装パネルを内側に大きく変形させ、内装材を貫通した。このとき、パネルを固定する釘頭から外装金属板が抜け出した。これより、金属系サイディングはミサイル B、C および D の試験に合格したが、ミサイル E では不合格であった。

ラスモルタル塗壁は、ミサイル B と C の衝突では外壁表面にわずかな凹み（それぞれ 3mm と 6mm）が見られたが、内装材にダメージを与えなかった。しかし、ミサイル D の衝突では外壁に加えて内装材も貫通した。これより、ラスモルタル塗壁はミサイル B と C の試験に合格したが、ミサイル D の試験に不合格であった。

ALC パネルは、ミサイル B と C の衝突では外壁表面に凹み（それぞれ 20mm と 90mm）が見られたが、内装材にダメージを与えなかった。しかし、ミサイル D の衝突では外壁に加えて内装材も貫通した。これより、ALC パネルはミサイル B と C の試験に合格したが、ミサイル D の試験に不合格であった。

試験結果を表 1 にまとめた。試験体 No.3～No.6 の合格した試験で、ミサイル衝突による外装パネルの変形の程度を示す凹み深さの測定値も示した。試験によってダメージを受けた試験体の様子を写真 3(1)～(18)に示す。

表 1 飛来物耐衝撃試験結果

試験体 No.	種類	厚さ (mm)	衝撃位置	合否				不合格結果の観察
				B	C	D	E	
1	窯業系サイディング	14	一般部	○	×	—	—	ミサイルの突き刺さり
			嵌合部	○*	○	×	—	
2		18	一般部	○	○	×	—	ミサイルの突き刺さり
			嵌合部	○	×*	×	—	
3	金属系サイディング	16	一般部	○ 凹み 30mm	○ 凹み 45mm	○ 凹み 205mm	×	内装材に大きい開口が生じた
4		21		○ 凹み 30mm	○ 凹み 55mm	○ 凹み 140mm	×	内装材に大きい開口が生じた
5	ラスモルタル	15	一般部	○ 凹み 3mm	○ 凹み 6mm	×	—	ミサイルの突き刺さり
6	ALC	37	一般部	○ 凹み 20mm	○ 凹み 90mm	×	—	ミサイルの突き刺さり

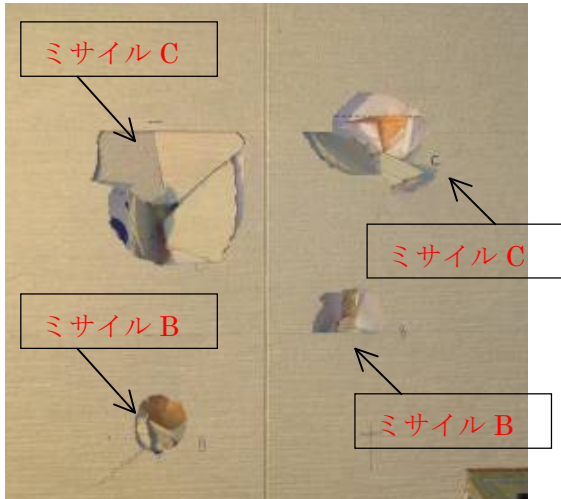
○；合格， ×；不合格， —；未実施

*：ミサイルの加撃位置が目標から外れた。

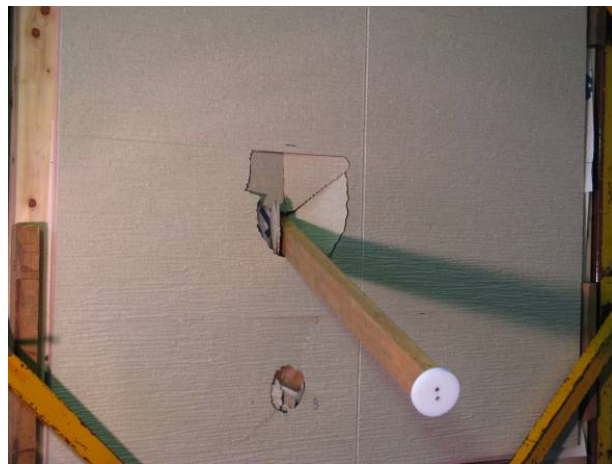
5 まとめ

わが国で一般に使われる市販の外壁材について、ASTM E 1996 に基づく飛来物耐衝撃試験を行った。試験体は 2 体の窯業系サイディング、2 体の金属系サイディング、1 体のラスモルタル塗壁、および 1 体の ALC パネルを外装仕上げ材とする計 6 体の外壁パネルであった。窯業系サイディング外壁は ASTM E 1996 で決められたミサイル B（質量 910g，衝突速度 15.2m/s）に合格したが、ミサイル C（質量 2.1kg，衝突速度 12.2m/s）で不合格であった。その他の種類の外壁材はミサイル C に合格した。最も性能が良かったのは金属系サイディング外壁で、ミサイル D（質量 4.1kg，衝突速度 15.2m/s）に合格した。

以上の結果から、消防署、警察署、病院、避難所などの緊急時に地域の安全を守る使命をもつ公共建築物では、金属系サイディングかこれ以上の耐衝撃性能をもつ外壁を使用することが望ましい。



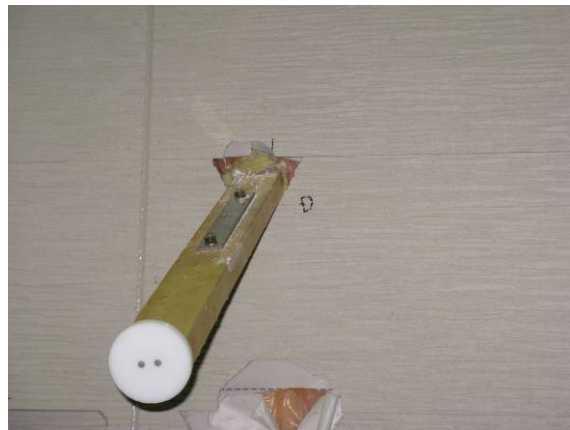
(1) 試験体 No.1



(2) 試験体 No.1, ミサイル C の突き刺さり



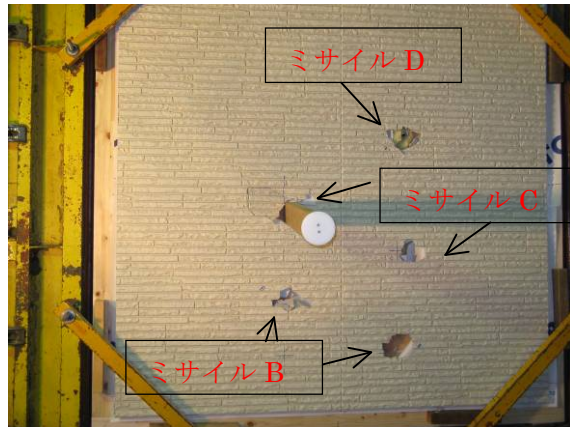
(3) 内装材への貫通 (試験体 No.1)



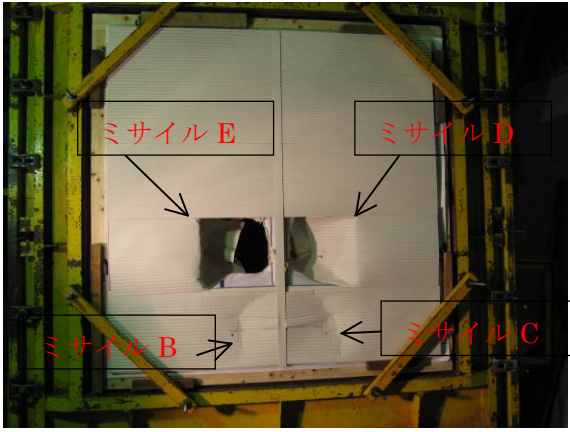
(4) 試験体 No.1, ミサイル D の突き刺さり



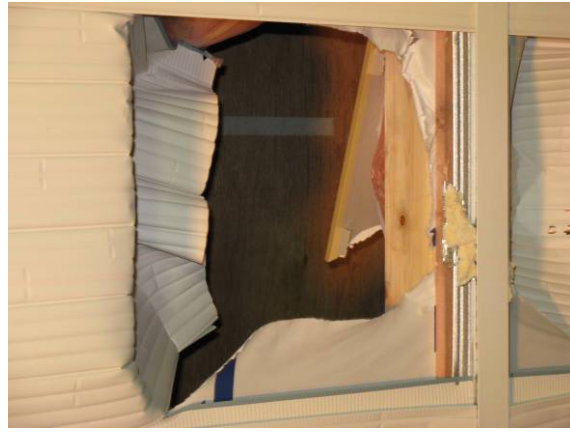
(5) ミサイル B によるパネルの破損 (試験体 No.2)



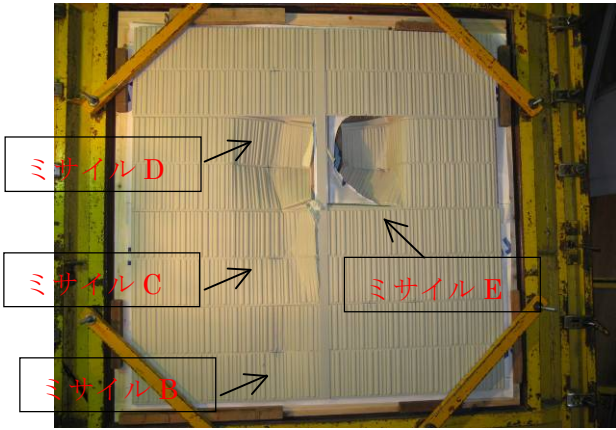
(6) 試験体 No.2, ミサイル C の突き刺さり



(7) 試験体 No.3



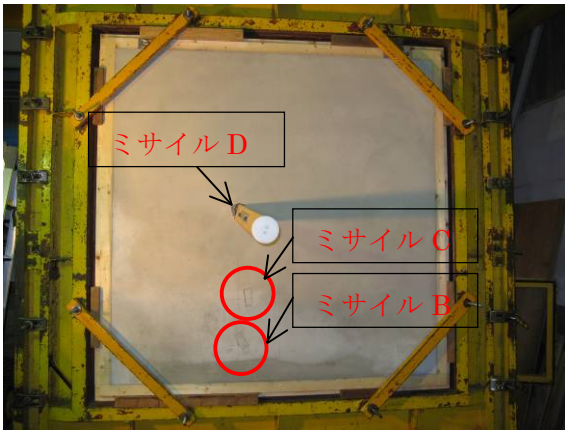
(8) 試験体 No.3 のミサイル E による貫通



(9) 試験体 No.4



(10) 試験体 No.4, 釘頭抜け



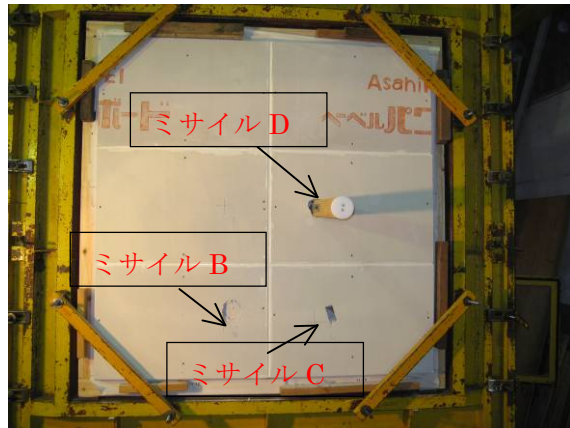
(11) 試験体 No.5, ミサイル D の突き刺さり



(12) 試験体 No.5, ミサイル C の衝突痕



(13) 試験体 No.5, ミサイル D の貫通痕



(14) 試験体 No.6, ミサイル D の突き刺さり



(15) 試験体 No.6, ミサイル B の衝突痕



(16) 試験体 No.6, ミサイル C の衝突痕



(17) 試験体 No.6, ミサイル D の貫通痕



(18) 試験体 No.6, ミサイル D の内装材貫通

写真 3 外壁の耐衝撃試験の様子

参考文献

- 1) 株式会社風工学研究所, 平成 22 年度建築基準整備促進事業, 風圧力, 耐風設計等の基準の合理化に関する調査報告書, 平成 23 年 3 月
- 2) American Society of Civil Engineers: ASCE 7-05, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.
- 3) 日本建築学会, 建築物の耐風設計資料・建築物外装材の耐風設計と耐風性能評価, 2008.11.
- 4) ASTM E 1996 : Standard Specification for Performance of Exterior Windows, Curtain Walls, Doors, and Impact Protective Systems Impacted by Windborne Debris in Hurricanes

本記事は、「平成 23 年度建築基準整備促進事業 風圧力, 耐風設計等に関する基準の合理化に資する検討報告書, 平成 24 年 3 月, 株式会社風工学研究所」から, 許可を得て転載した。