

外壁材の飛来物耐衝撃性試験

一般社団法人 日本鋼構造協会
一般社団法人 日本金属屋根協会

当協会では、一般社団法人日本鋼構造協会と共同で、鋼板製屋根・外壁の設計・施工並びに維持保全や改修に関する手引き書『鋼板製屋根・外壁の設計・施工・保全の手引き MSRW2014』（以下、MSRW2014）を作成し、独立行政法人（現・国立研究開発法人）建築研究所の監修を受けて発行しました。

MSRW2014 の作成に際して各種の確認試験を実施しました。そこで今回はその中から、外壁材の飛来物耐衝撃性試験を掲載いたします。MSRW2014 の詳しい内容は、2014 年 5 月号を参照下さい。

1. MSRW2014 で実施した試験

強風時に発生した飛来物が周辺の建築物に衝突すると、外壁材や開口部に破損、脱落や飛来物の貫通などの被害が生じ、建築物内の居住者への直接的な危害発生や開口部損傷によって室内圧力が上昇し屋根面など他の構造体に損傷を及ぼすことがある。これらの飛来物による損傷が警察署、消防署、避難所等の災害時に重要な機能をもつ施設に発生すると様々な活動に支障をきたすため、飛来物に対する安全基準整備の必要性も指摘されている。これらを背景に、開口部や住宅用途で用いられる窯業系や金属系サイディングに関しては飛来物に対する耐衝撃性確認試験例が報告されている¹⁾²⁾。今回、角波等の鋼板製外壁材に飛来物が衝突した場合、どのような破壊形態になるのか確認試験を行ったので以下に実施例を示す。

2. 試験体仕様及び試験方法

試験体は 2m×2m の鋼製枠に取り付けられた胴縁等に外壁材を留め付けたもので、外壁材には鋼板製外壁材のうち角波（重ね形接合）及びスパンドレル（差し込み形接合）、参考比較として金属製断熱サンドイッチパネルの合計 3 種類を設定した。以下に試験対象にした外壁材の概要と外観を図 1～3、写真 1 に示す。

(1) 角波（重ね形接合）

試験体は、長さ 2m の角波（働き幅：800mm、山間隔：133.3mm、山高：16mm）を間隔 606mm の横胴縁（C

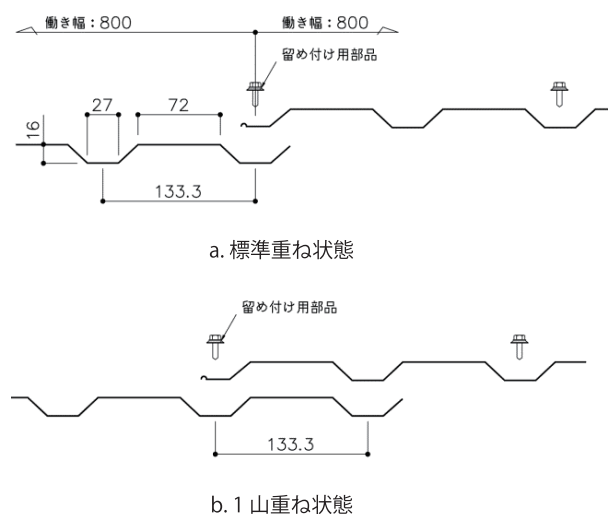


図 1 角波（重ね形接合）の概要

表 1 各種試験と MSRW2014 との対応関係

各種試験名	MSRW2014	機関誌
折板屋根の軒出長さにおける耐力比較試験（耐風圧性試験）	2.3～2.5 節	2014 年 12 月号
平板ぶき屋根の唐草つかみ込み耐力比較試験（線荷重載荷試験）	2.6～2.7 節	2014 年 6 月号
平板ぶき屋根の野地板直留め構法確認試験（温度伸縮繰返し試験、引張試験）	2.6～2.7 節	2015 年 7・8 月号
鋼製下地への留め付け方法確認試験（ねじ引張試験）	2.3～2.8 節	2014 年 7・8 月号
留め付けねじの端あき強度試験（せん断方向、引き上げ方向引張試験）	2.3～2.8 節	
外壁材の飛来物耐衝撃性試験	2.8 節	

-100×50×20×2.3) にパッキン付六角ねじ (φ5×16) で一谷おきに固定したものを標準とし、角波の板厚は 0.35、0.4、0.5、及び 0.6mm の 4 種類とした。板厚 0.35mm では全ての谷を胴縁に留め付けた全谷留め仕様と、角波相互の接合を通常より一山多く重ねた仕様を追加した。

(2) スパンドレル (差し込み形接合)

試験体は、角波同様に長さ 2m のスパンドレル (働き幅：148mm、山高：19.5mm、板厚：0.5mm、角型形状) を間隔 606mm の横胴縁 (C-100×50×20×2.3) にドリル

ねじ (なべφ4×16) で固定したもので、外壁材相互の接合は留め付け部に隣のスパンドレルが差し込まれて固定されている。

(3) 金属製断熱サンドイッチパネル

試験体は、表裏面材共に板厚 0.5mm の鋼板の間にウレタンフォームの充填を施した長さ 2m の金属製断熱サンドイッチパネル (働き幅：910mm、厚さ：25mm) を間隔 1,200mm の縦胴縁 (C-100×50×20×2.3) に専用ドリルねじ (φ6×50) で横張り固定したもので、外壁材相互の接合は留め付けたパネルの端部に次のパネルが差し込みかん合されて固定されている。

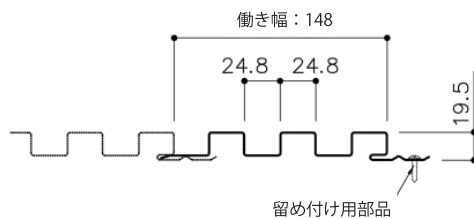


図2 スパンドレル (差し込み形) の概要

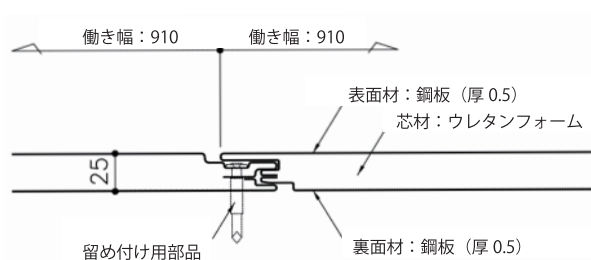
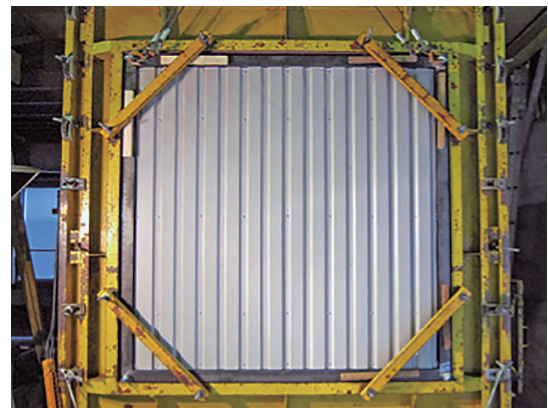
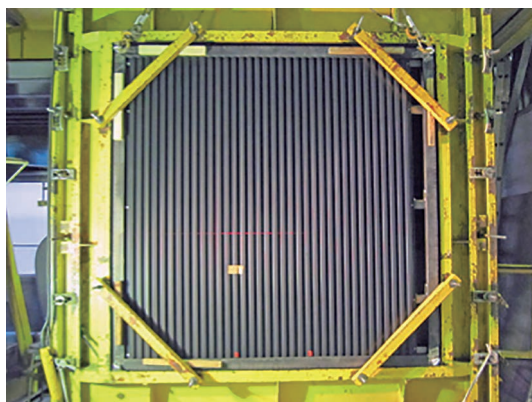


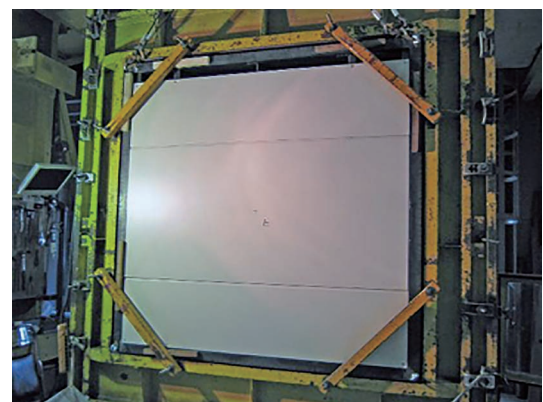
図3 金属製サンドイッチパネルの概要



a. 角波 (重ね形)



b. スパンドレル (差し込み形)



c. 金属製断熱サンドイッチパネル (25mm)

写真1 各試験体の外観 (屋外側)

試験方法は、ハリケーン中の飛来物によって衝撃を受ける屋外窓、カーテンウォールなど開口部の標準試験方法を定めた ASTM E 1886³⁾、1996⁴⁾ に準じた。これらの試験方法では、ミサイルの衝撃を加えた後、圧力载荷を行ってダメージを受けた外装材が枠から脱落しないことを確認する手順が含まれているが、今回は鋼板製外壁材に飛来物が衝突した場合の破壊形態の把握を目的としたので、圧力载荷試験手順は省略した。同試験方法では試験体数は3体と決められているが、本試験では各1体とした。衝撃を与えるミサイルは、ASTM E 1996 で衝撃力に応じて種類、重量および衝突速度が定められている。これを表2に示す。試験では、(一財)日本建築総合試験所所有の飛来物発射

装置を用いて所定のミサイルを順次発射し、外壁材に衝撃を加えた。外壁材へのミサイル加撃位置は、最も弱いと考えられる胴縁(支持)間の中央位置とし、低いレベルのミサイルから始めて前のミサイルの衝突の影響が少ない位置に衝撃を加えた。角波、スパンドレル及び金属製断熱サンドイッチパネルでは外壁材相互のかん合部への加撃も行った。本試験の合格判定基準は、上記標準試験方法での評価とは異なるが、室内居住者への直接的な危害発生の有無を想定して、ミサイルの貫通・突き刺さりがないこと及び大きい開口(φ76mm以上)が生じないこととした。試験装置の概略及び全景を図4、写真2に、各外壁材の仕様及び加撃位置を表3に示す。

表2 飛来物耐衝撃用ミサイル仕様 (ASTM E 1996)

ミサイルのレベル	ミサイルの材質	ミサイルの質量	衝突速度 (m/s)
A	鋼球、10 個	2g±5% /個	39.62
B	木材(2×4) L 52.5cm±100mm	910g±100g	15.25
C	木材(2×4) L 1.2m±100mm	2,050g±100g	12.19
D	木材(2×4) L 2.4m±100mm	4,100g±100g	15.25
E			24.38

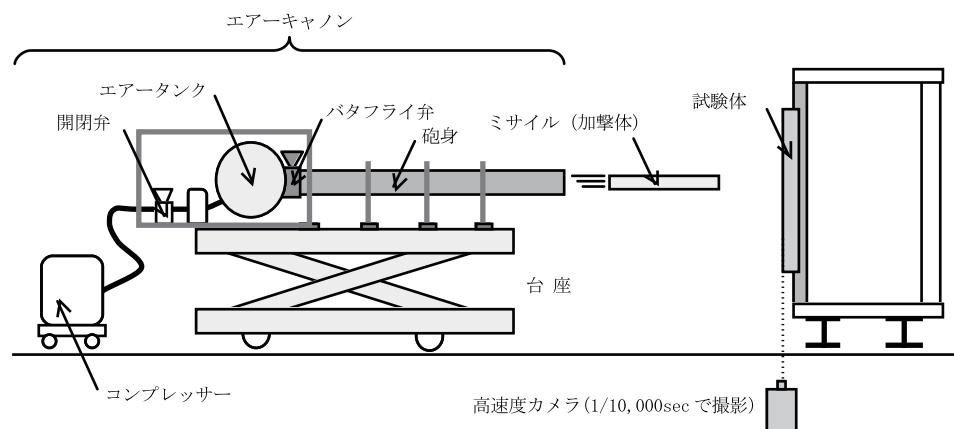


図4 飛来物発射試験装置概略図

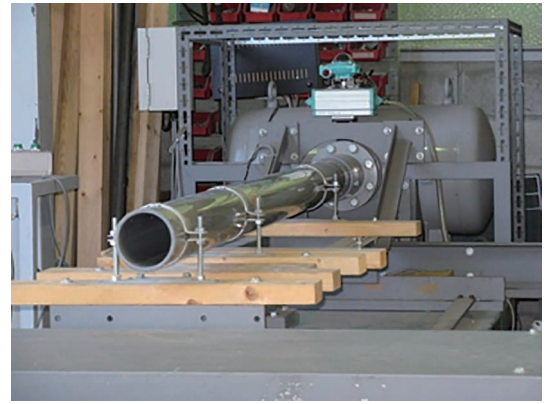


写真 2 飛来物発射試験装置全景

表 3 飛来物耐衝撃試験体の一覧

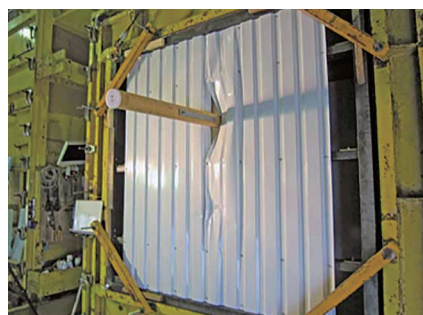
外壁材の種類	加撃位置	留め付け方法	板厚 (mm)	支持間隔 (mm)
角波（重ね形） (働き幅：800mm)	一般部	一谷おき留め	0.35	@606
			0.4	
			0.5	
			0.6	
		全谷留め	0.35	
	標準重ね部	一谷おき留め	0.35	
			0.4	
			0.5	
			0.6	
	一山重ね部		0.35	
スパンドレル（差し込み形） (働き幅：148mm)	一般部	1 辺固定他辺差込	0.5	
	差込部			
金属製断熱サンドイッチパネル (働き幅：910mm)	一般部	1 辺固定他辺差込	25	1,200
	差込部			

3. 試験結果

角波及びスパンドレル、参考比較として金属製断熱サンドイッチパネルについて飛来物が衝突した場合、どのような損傷が生じるのかを把握することを目的に耐衝撃性試験を行った。試験結果の概要を表4に、加撃を与えた試験体全景例と各試験体における代表的な損傷状態を写真3～9に示す。

外壁が鋼板製外壁材である角波の場合、一般部では全ての板厚において衝突による変形は生じるもののミサイルEの衝撃に耐えたが、標準重ね部では板厚0.6mmを除く試

験体でミサイルEが貫通した。そこで、相互の接合を一山多く重ねた角波（板厚0.35mm）の重ね部にミサイルEの衝撃を加えたが、この場合では貫通は生じなかった（写真4e）。一方、スパンドレルの場合、一般部及び差込部ではミサイルDの貫通が見られなかったが、ミサイルEが一般部で貫通した（写真8d）。鋼板製外壁材の比較として行った金属製断熱サンドイッチパネルにおいては、一般部及びかん合部ともにミサイルEの衝撃に耐え、かん合部の方が損傷の程度は小さかった。



a. ミサイルの貫通例（屋外側）



b. ミサイルの貫通例（屋内側）



c. ミサイルの衝撃による変形例

写真3 加撃を与えた試験体全景例



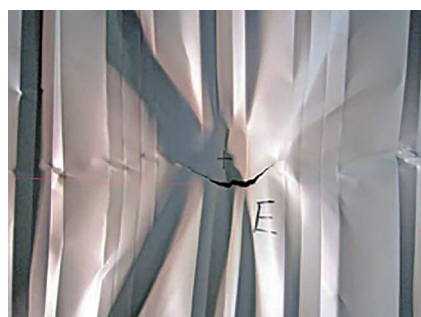
a. ミサイルA衝突痕（一般部、屋外側）



b. ミサイルEの衝撃による亀裂（一般部、屋外側）



c. ミサイルEの貫通（重ね部、屋外側）

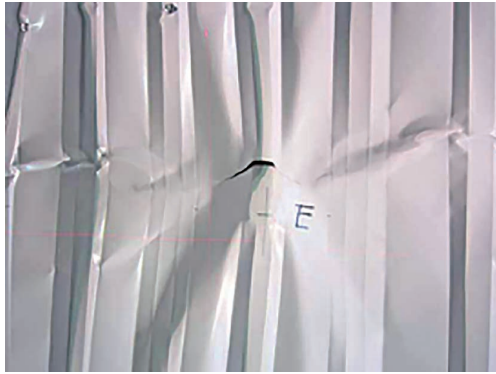


d. ミサイルEの衝撃による亀裂（全谷留め一般部、屋外側）



e. ミサイルEの衝撃痕（一山重ね部、屋外側）

写真4 角波（板厚0.35）試験後の状態



a. ミサイル E の衝撃による亀裂（一般部、屋外側）

b. ミサイル E の衝撃による開口（重ね部、屋外側）

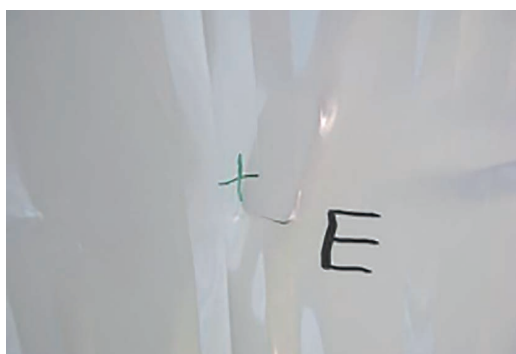
写真 5 角波（板厚 0.4）試験後の状態

表 4 外壁材の飛来物耐衝撃性試験結果の概要

外壁材	加 撃 位 置	留め付け 方法	板厚 (mm)	合否（凹み量：寸法 mm）					最大ミサイルにおける 結果の観察
				A	B	C	D	E	
角波 (重ね形)	一般部	一谷おき 留め	0.35	○	○(30)	○(30)	○(57)	○(94)	亀裂あり 長さ 60mm
			0.4	—	—	—	○(63)	○(81)	亀裂あり 長さ 110mm
			0.5	—	○(15)	○(24)	○(49)	○(67)	亀裂あり 長さ 35mm
			0.6	—	—	—	○(54)	○(58)	凹みあり
	標準重ね部	全谷留め	0.35	—	—	—	○	○	亀裂あり 長さ 200mm
		一谷おき 留め	0.35	—	—	—	○(100)	×	ミサイルの貫通
			0.4	—	—	—	○(57)	×	大開口が生じた 直径 100mm
			0.5	—	—	—	○(73)	×	ミサイルの貫通
			0.6	—	—	—	○(60)	○(85)	小開口が生じた 直径 10mm
	一山重ね部		0.35	—	—	—	—	○(73)	凹みあり
スパンドレル (差し込み形)	一般部	差し込み	0.5	○	○	○	○	×	ミサイルの貫通
	差込部			—	—	—	○	—	小開口が生じた 直径 60mm
金属製断熱 サンドイッ チパネル	一般部	差し込み かん合	25	—	—	—	○	○	裏面材に亀裂 長さ 60mm
	差込部			—	—	—	—	○	曲げ変形あり

○：合格、×：不合格、—：未実施

*試験実施：（一財）日本建築総合試験所

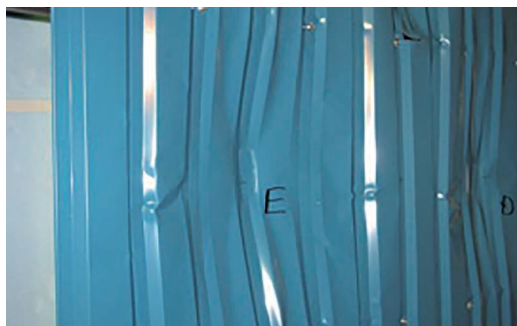


a. ミサイル E の衝撃による亀裂（一般部、屋外側）

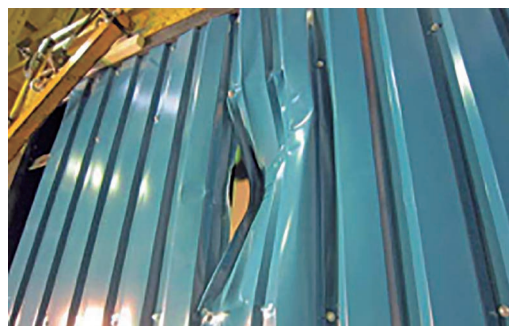


b. ミサイル E の貫通（重ね部、屋外側）

写真 6 角波（板厚 0.5）試験後の状態



a. ミサイル E の衝撃による亀裂（一般部、屋外側）

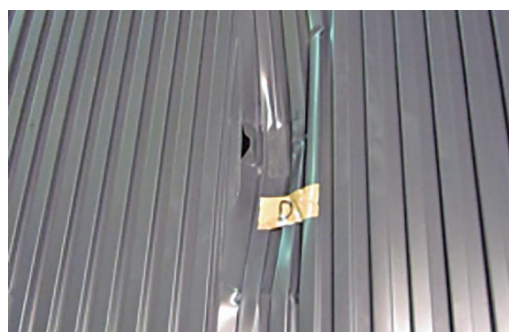


b. ミサイル E の衝撃による開口（重ね部、屋外側）

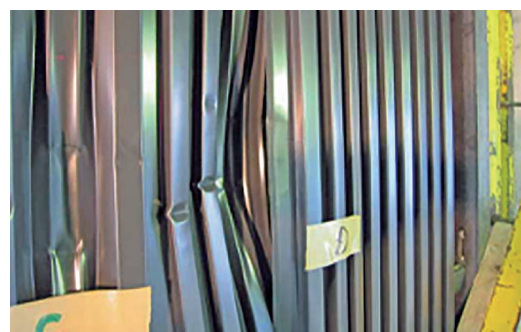
写真 7 角波（板厚 0.6）試験後の状態



a. ミサイル A 衝突痕（一般部、屋外側）



b. ミサイル D の衝撃による開口（一般部、屋外側）



c. ミサイル D の衝撃による開口（差込部、屋外側）

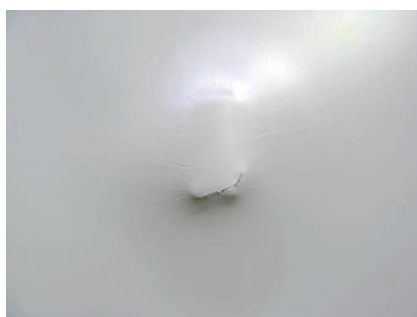


d. ミサイル E の衝撃による開口（一般部、屋外側）

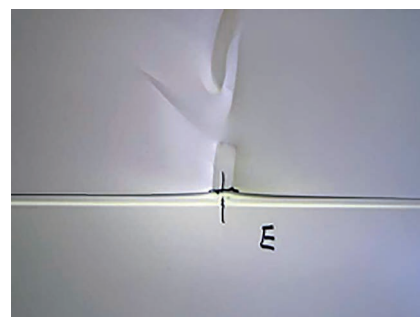
写真 8 スパンドレル 試験後の状態



a. ミサイル E 衝突痕（一般部、屋外側）



b. ミサイル E 衝突痕（一般部、屋内側）



c. ミサイル E 衝突痕（かん合部、屋外側）

写真 9 金属製断熱サンドイッチパネル 試験後

4. まとめ

強風時に発生する飛来物が衝突した場合、鋼板製外壁材にどのような損傷が生じるかを把握するために、合格判定基準としてミサイルの貫通・突刺さが無いこと、大きい開口（ $\phi 76\text{mm}$ 以上）が生じないことと設定して、耐衝撃性試験を実施した。その結果、鋼板製外壁材の角波（重ね形接合）では、全ての板厚に対して一般部は衝撃による変形は生じるものの、ミサイル E までの衝撃力に合格した。

一方、重ね部では板厚 0.6mm を除いてミサイル E で不合格となったが、標準より一山多く重ねた仕様においては板厚 0.35mm でもミサイル E に対して合格になった。このことより、角波では重ね部が脆弱となるが一山多く重ねることによってミサイル E までの衝撃力に対応できると考えられる。板厚 0.5mm のスパンドレル（差し込み形）においては、一般部、差込部ともにミサイル D の衝撃力に合格したが、ミサイル E では一般部で不合格となった。又、比較試験として行った金属製断熱サンドイッチパネル（厚さ 25mm 、表裏鋼板 0.5mm ）は一般部、かん合部ともにミサイル E の衝撃力に合格した。

アメリカではハリケーンを対象とした飛来物の衝突に対して地域や建築物用途（重要度）によって耐衝撃性能基準が ASTM E 1886、1996 において設けられている（今回は圧

力载荷を省略した）。例えば地域によって仮設建築物等の小規模なものを除く建築物においてはミサイル C もしくは D、警察署等の重要な施設においてはミサイル D もしくは E の耐衝撃性が要求されている。建築物を設計する際、これらの基準や本試験結果を参考にして、建築物の用途に応じた耐衝撃性能を設定することは強風時に発生する飛来物による被害の軽減に有効と考えられる。

参考文献

- 1) (株)風工学研究所:平成22年度建築基準整備促進事業 風圧力、耐風設計等に関する基準の合理化に資する検討報告書, 2011年
- 2) (株)風工学研究所: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, 2012年
- 3) ASTM E 1886: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, 2005.
- 4) ASTM E 1996:ASTM E1996: Standard Specification for Performance of Exterior Windows, Curtain Walls, Doors, and Impact Protective Systems Impacted by Windborne Debris in Hurricanes, 2005.