

竜巻等のミサイルの衝突に対する外壁の安全性の評価

徳島大学 学生会員 ○下森 章弘 徳島大学 正会員 野田 稔 徳島大学 フェロー 長尾 文明
徳島大学 正会員 源 貴志 徳島大学 学生会員 八谷 実
徳島大学 岡村 宗一郎 上田 真佐志 末廣 聖志 西村 篤志 西村 公成 東條 一希

1. はじめに

現在、日本では竜巻の被害が多く発生している。気象庁では 2008 年に竜巻注意情報の発表を開始し、竜巻に対する警戒が強まっている。竜巻による強風被害は主に風圧による建造物の破壊、飛散物(ミサイル)による被害等である。ミサイルが建造物の外壁を貫通することにより、室内圧が上昇し屋根が吹き飛ぶなどの被害が発生し内部の人にも危険が及ぶため、ミサイルによる被害は無視することができない。建物内部の人を守るためには、ミサイルが貫通しない外壁あるいは、貫通しても内部への被害を軽減させることが要求される。ここではミサイル発射装置を用いてミサイルの衝突に対する外壁の安全性評価の基礎実験を行った。

2. 実験概要

外壁の安全性を評価することを想定してここではベニヤ板を外壁として用い、これにミサイル発射装置¹⁾で飛散物(2×4 材)を衝突させる実験を行った。ベニヤ板は表-1 に示す板厚、材質のもので 450mm×600mm のものを各 6 枚用意した。またミサイルとして質量を 2.4kg にそろえた 2×4 材を用意した。2×4 材を用いた理由はアメリカの飛散物試験でも用いられているためである²⁾。実験では各板の衝突直前と衝突直後の速度を高速度カメラで計測し、貫通した場合は貫通して停止するまでの長さを測定した。またベニヤ板の厚さを変化させ、板厚と限界速度・摩擦力・エネルギー消費率の関係性を調べた。ここで、限界速度とは貫通し始める衝突速度、摩擦力とは貫通した際の板と飛散物の間に働く力、エネルギー消費率とは衝突前の運動エネルギーに対する衝突時に飛散物が失ったエネルギーの比のことを指す。

表-1
ベニヤ板の板厚と種類

板厚(mm)	種類
5.5	ラワン材
9	ラワン材
9	針葉樹
12	針葉樹
15	ラワン材
24	針葉樹

3. 建物外壁の安全性に対する板厚の影響

はじめに板厚 $t(\text{mm})$ と限界速度の関係を検討する。図-1 に衝突直前速度 $v_0(\text{m/s})$ と衝突直後速度 $v_1(\text{m/s})$ の関係を示す。衝突直後の速度が負の値をとる点は跳ね返り時の速度である。衝突直後の速度が 0m/s になる点、つまり横軸と各曲線の交点が限界速度 $v_L(\text{m/s})$ となる。5.5mm 厚の板については実験において発射可能な最低速度でも貫通したため近似線から限界速度を外挿して求めた。板厚と限界速度の関係は表-2 となった。この関係を図示すると図-2 のようになり、限界速度が板厚と線形関係を有していることがわかった。

表-2 限界速度

板厚(mm)	限界速度(m/s)
5.5	5.44
9(ラワン材)	13.96
9(針葉樹)	13.07
12	14.65
15	14.95
24	18.72

次に板厚と摩擦力の関係について検討する。貫通した場合でも飛散物による建物内部の被害を小さくするには貫通後の消費エネルギー $E(\text{J})$ が大きくなればよい。ここで停止距離と貫通後の消費エネルギーの関係を図-3 に示す。貫通後の消費エネルギーとは板の摩擦力がした仕事であるから、板厚ごとに摩擦力が常に一定であるとすると近似線の傾きが各板厚の平均摩擦力を表していることになる。つまり、平均摩擦力 $F(\text{N})$ の式は

表-3 平均摩擦力

板厚 (mm)	平均摩擦力 F (N)
9	105.9
12	42.2
15	111.6
24	227.1

$$F = \frac{1}{2L}mv_1^2 \tag{1}$$

となる。ここで L は停止距離(m)、 m はミサイルの質量(kg)である。板厚ごとに計算した結果を表-3 に示す。

また板厚と平均摩擦力の関係は図-4 のようになり、平均摩擦力は板厚と線形関係にあることがわかった。

最後に飛散物が貫通した瞬間の板厚とエネルギー消費率 $e(\%)$ の関係について検討する。衝突直前の同速度の結果を比較することで板厚の違いによるエネルギー消費率の変化を確認できる。実験で得られた貫通時の結果の内、板厚 9, 12, 15mm における衝突速度 15m/s 付近の結果を用いてエネルギー消費率を求めると表-4 のようになった。この結果を図示すると図-5 のようになった。この図よりエネルギー消費率は板厚と線形関係にあることがわかった。

4. おわりに

板厚を増すと線形関係をもって限界速度・摩擦力・貫通時のエネルギー消費率が増加した。つまり、板厚を増せば安全性が向上するといえる。

本実験では板厚を変化させた場合を考えましたが、今後それ以外の方法で貫通しにくい壁を実現する方法について考えたい。また違う材料を用いることで、実際の竜巻による飛散物の被害を調査する際に利用できると考えられる。今後、建築基準等に則り、経済性と安全性を考慮した外壁を提案していきたい。

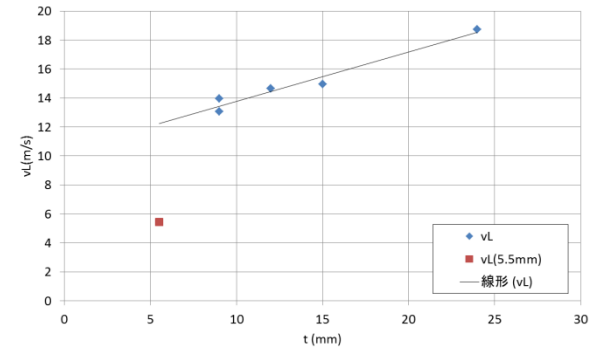


図-2 板厚と限界速度の関係

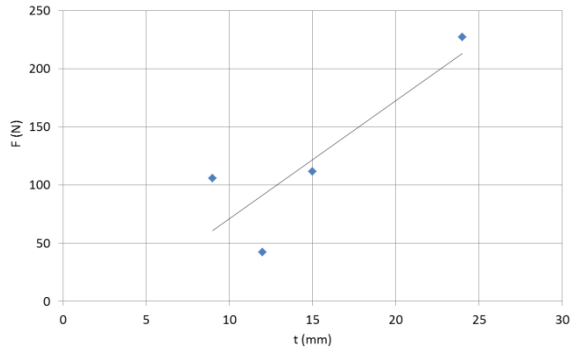


図-4 板厚と平均摩擦力の関係

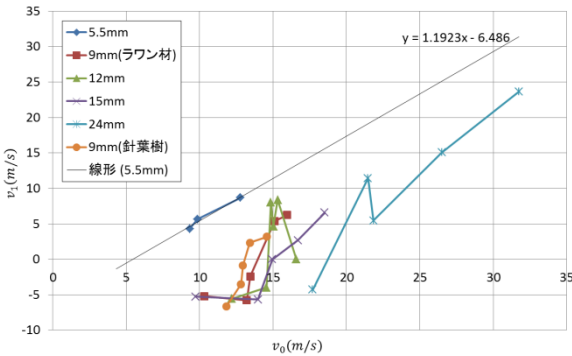


図-1 衝突直前直後のミサイルの速度

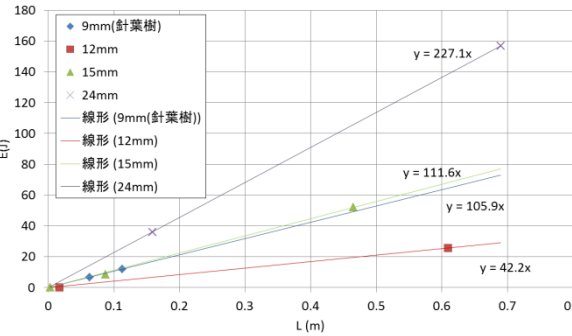


図-3 停止距離と消費エネルギー

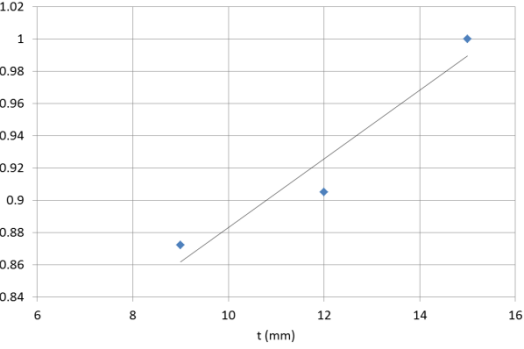


図-5 板厚とエネルギー消費率の関係

参考文献

- 1)野田ほか,「竜巻等の飛散物の衝突を再現するミサイル発射装置の性能」,
平成 26 年度四国支部技術研究発表会概要集, 2014
- 2) Federal Emergency Management Agency:FEMA361, Design and Construction Guidance for
Community Shelters, 2000.