

## 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

徳島大学 学生会員 ○八谷 実 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 下森 章弘  
 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。竜巻等による強風被害は主に風圧による建造物の破壊、ミサイル(飛散物)による被害等が挙げられる。ここで、ミサイルによる被害とは、竜巻等の強風によって建築物等の外壁や屋根、看板、木の枝等が飛散し、ほかの構造物などに衝突することである。その衝突により破壊され生じた物体がまた新たにミサイルとして飛散し、二次被害を発生させる。ミサイルによる被害を軽減するためには、実際にミサイル衝突実験を行い、ミサイルに対する構造物の安全性を検討することが必要である。そのためにミサイルの衝突を再現するミサイル発射装置を作成し、その性能照査を行った。

### 2. ミサイル発射装置作成

京都大学防災研究所のエアキャノン<sup>1)</sup>を参考にミサイル発射装置を作製した。ミサイル発射装置は、エアコンプレッサを用いてボンベ内に圧縮空気を充填し、弁を急速に開放することによってミサイルを撃ち出すという仕組みである。全体像を写真-1 に示す。ボンベ(写真-2)は圧縮空気を充填するため高い耐圧をもつ LP ガス容器を、砲身はミサイルに十分な加速をもたせるため全長 4m の塩化ビニールのパイプを使用した。ボンベと砲身のジョイント部(写真-3)はボンベの出口から形状の変化を小さくし、弁には開放時の圧力損失が小さいボール弁を使用した。エアコンプレッサについては 0.1~0.9MPa の範囲で空気を圧縮可能である。

### 3. 射出速度の試算

ミサイル発射装置(図-1)の主な寸法としては砲身の長さが 4m、内径 100mm、ボンベ容量 118ℓ、ボンベと砲身の接合部の内径 19mm である。はじめにこのミサイル発射装置の射出速度について試算する。

ここでボイルの法則より、砲身内でのミサイルの移動距離  $x(m)$  での圧力  $P(MPa)$  は次式で表される。

$$P = \frac{P_0 V_0}{V_0 + Ax} \quad (1)$$

ここで  $P_0$  は発射前のボンベ圧 ( $MPa$ )、 $V_0$  はボンベ容量 ( $L$ )、 $A$  は砲身の断面積 ( $m^2$ ) である。

運動方程式より、加速度  $a(m/s^2)$  を求めると、以下のように表すことができる。ここで、 $m$  はミサイルの質量であり本研究では 2.4kg とした。

$$a = \frac{F}{m} = \frac{PA}{m} = \frac{P_0 V_0}{V_0 + Ax} \times \frac{A}{m} \quad (2)$$

(2)式から数値積分により速度  $v_1(m/s)$  を求める際には入口損失、急拡損失等の管路形状の変化による圧力損失も考慮に入れ計算を行った。ミサイルとして使用する 2×4 材(写真-4)の尾部に摩擦の小さい材料で作製した円盤を取り付けているため砲身内での摩擦力は無視した。計算結果として求められた射出圧力と射出速度の関係は図-2 のようになった。ここで、射出圧力が射出速度にエネルギーとして変換されていることから基本的に射出圧力は射出速度の 2 乗に比例するはずであり、射出速度は射出圧力の平方根に比例すると考えられる。推定値はその性質に沿ったものといえる。

### 4. ミサイル発射装置性能実験

質量 2.4kg のミサイル(2×4 材)を様々な圧力で 34 回撃ち出し、高速度カメラによって速度を計測した。結果を推定値と比較すると図-3 のようになった。

この結果よりポンベ圧が大きくなるほど実験値が推定値の値を上回っていることがわかった。これは実験時に形状変化による損失が推定値より過小であったためであると思われる。実験結果を見ると高圧力になればなるほど実験値と推定値の差が大きくなっている。

## 5. おわりに

実験値は推定値に概ね近い曲線関係がとれており、目標の速度で射出することが可能である。今後は飛散物に対する建物外壁の強度実験等に利用できると考えられる。

日本でこれまでに観測された最大級の竜巻は記録上では F3 である。F とは藤田スケールのことであり竜巻等の突風強さのスケールである<sup>2)</sup>。F3 で定義されている風速は 70~92m/s 程度である。ミサイルはそれ以下の速度で飛んでいるが、今回作成したミサイル発射装置はその速度を満たしていない。そのため、圧力上昇と損失低減をはかり、速度を上げる必要がある。さらに、このミサイル発射装置では実際の竜巻等で多く飛ばされている板状のものを発射することができないので、様々なミサイル衝突実験を行うには改良の余地がある。



写真-1 ミサイル発射装置



写真-2 ポンベ



写真-3 ジョイント部

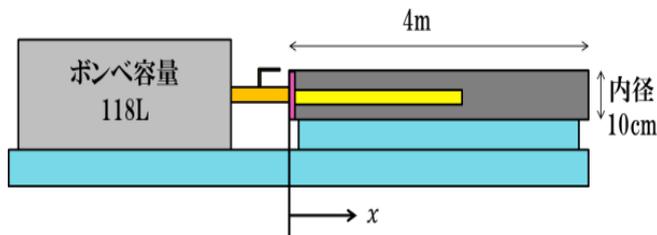


図-1 ミサイル発射装置模式図



写真-4 2×4材

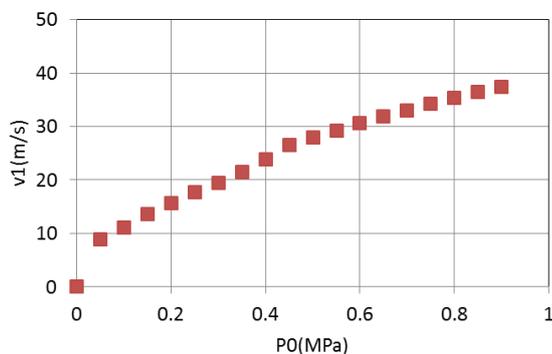


図-2 射出速度の理論値

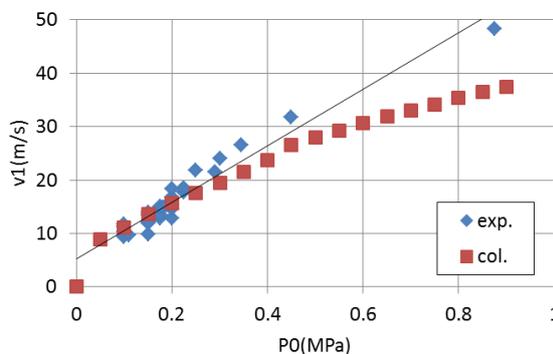


図-3 実験値と理論値の比較

### 参考文献

- 1) 丸山ほか, 「外装材耐衝撃性能試験用エアークャノン」, 日本風工学会論文集, Vol.34, pp.31-38, 2009.
- 2) T. Theodore Fujita, "Proposed Characterization of Tornadoes and Hurricanes by Area and Intensity", Satellite & Mesometeorology Research Project Paper, No. 91, (1971)