

3次元飛散物の6自由度軌道予測に関する研究

徳島大学大学院 学生員 ○藤本 崇志 徳島大学 正員 長尾 文明
 徳島大学 正員 野田 稔 徳島大学 正員 宗田 和之

1. はじめに

台風や竜巻などの強風時には物体は風に飛ばされ飛散物となる。この時飛散物は周りの構造物や外壁に衝突し、その破壊により生じた飛散物の一部がまた別の構造物に衝突するという破壊の連鎖が発生する。

そこで飛散物による被害を軽減するために、事前の飛散物の軌道予測により対策を立てる必要がある。従来の飛散物の軌道予測の研究は、2次元物体における3自由度軌道予測が主なものであった¹⁾が、それでは2次元での飛散物の運動しかわからず限界があった。しかし、現実には飛散するのは3次元物体であり、運動も6自由度である。そこで本研究ではより現実的な飛散物の運動を知るために、まず風洞実験を通して3次元飛散物の空力特性を知り、飛散物の6自由度軌道予測をするプログラムを開発する。

2. 模型および実験器具

飛散物の形状は色々あるが、球状モデルに比べ平板モデルの方が複雑な挙動を示し、実際の被害として平板状の物が多いことなどから本研究では基本形状として辺長比の異なる平板を用いて風洞実験によりその空力特性を計測した。モデルの寸法は幅 B と高さ H 厚さ D の寸法がそれぞれ (a) $300\text{mm} \times 300\text{mm} \times 2\text{mm}$, (b) $300\text{mm} \times 150\text{mm} \times 2\text{mm}$, (c) $300\text{mm} \times 30\text{mm} \times 2\text{mm}$ で材質はいずれもステンレスである。図-1 に風洞実験で用いた3種類の平板モデルの形状を示す。

モデルは水平角と迎角が任意に変更できるようになっている。図-2 と図-3 に力と水平角の定義および迎角の定義を示す。

3. 実験概要および飛散物の運動シミュレーション

使用した風洞装置は、徳島大学工学部の室内還流式風洞実験装置で、測定胴部の寸法は幅 1.5m × 高さ 1.5m × 長さ 10.7m である。風洞実験の方法は、風速 12m/s に設定し、 $0 \sim 90^\circ$ まで 5° ピッチ、 $-10 \sim -90^\circ$ まで 10° ピッチで水平角を回転させ測定を行い、この測定を迎角が $0 \sim 90^\circ$ まで 10° ピッチで行う。それぞれの角度の静的空気力は、六分力計により計測され、サンプリング周波数 1kHz 、サンプル数 20000 個、評価時間 20 秒で平均空気力を求めた。モデルを取り付けた状態の風洞内の写真を写真-1 に、実験装置設置状況を図-4 に示す。

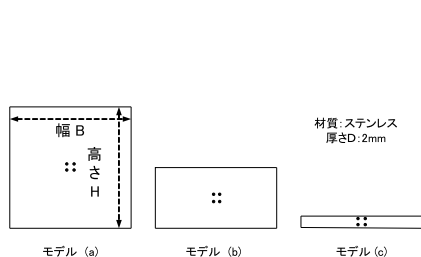


図-1 各モデルの形状



写真-1 風洞内部(上流側から見た状況)

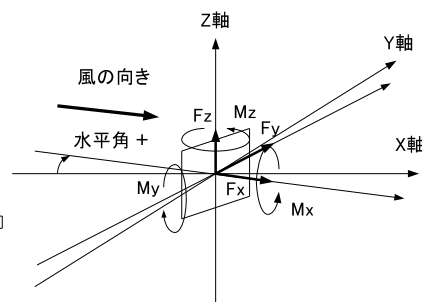


図-2 水平角と力の定義

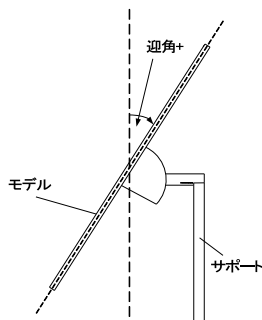


図-3 迎角定義

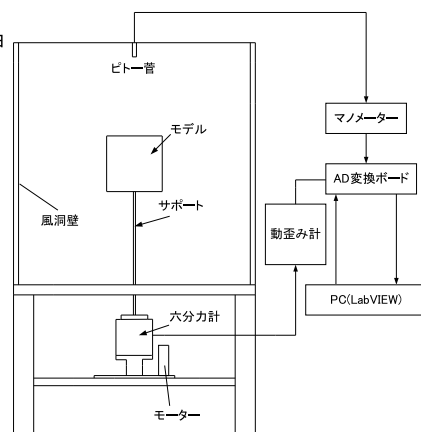


図-4 実験装置設置状況

また本研究では3次元の空気力係数を定義するにあたり、モーメントの代表長 L を全てのモーメントで統一することが困難なため、空力モーメントを算出する際の代表面積と代表長さの積をモデルの体積 V 、空気力係数を算出する際の代表面積を $V^{\frac{2}{3}}$ として計算した。式-(1)に空気力係数、空力モーメント係数の定義式をそれぞれ示す。六分力計の軸（構造軸）は、モデルの角度を変える際に六分力計も同時に回転するので、構造軸の空気力係数を風の流れの軸の空気力係数に変換した。飛散物の軌道を求めるには一般座標での飛散物に働く力を求める必要があるため、飛散物から見た相対速度から一般座標系での飛散物に働く力を求め、ルンゲクッタ法により微分方程式を積分し飛散軌道を求めた。次にその軌道計算例を示す。

$$C_{F_a} = \frac{F_a}{(1/2)\rho U^2 A} \quad C_{M_a} = \frac{M_a}{(1/2)\rho U^2 AL} \quad (1)$$

4. 実験結果及び軌道計算結果

図-5に計測された空気力係数の一例として $H/B=0.5$ の抗力 C_D 、揚力 C_L 、ピッチングモーメント C_P を示す。モデルの姿勢角と空気力係数との関係に特に矛盾はなく、精度よく計測できている。また図-6に6自由度運動シミュレーションの結果の一例として、図-5の空気力係数を使った $H/B=0.5$ のベニヤ板を飛散させたときの軌道予測の結果を示す。

条件としては風速 30m/s の中にモデルの初期姿勢を y, z 軸周りにそれぞれ 45° 回転させた高さ 2m、幅 1m、厚さ 0.002m、質量 2.2kg のベニヤ板を飛ばした。図-6(a)~(d)を見ると、モデルが回転しながら y 方向に移動し、円弧を描きながら落ちていくのがわかる。また図-6(e), (f)に示す速度の時刻歴から4秒後で風速と同程度の速度となっており、回転については複雑な変化を示している。

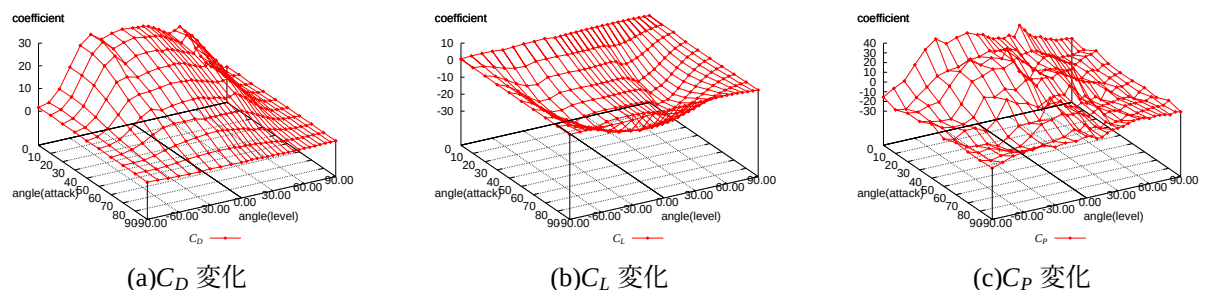


図-5 姿勢角と空気力係数の関係

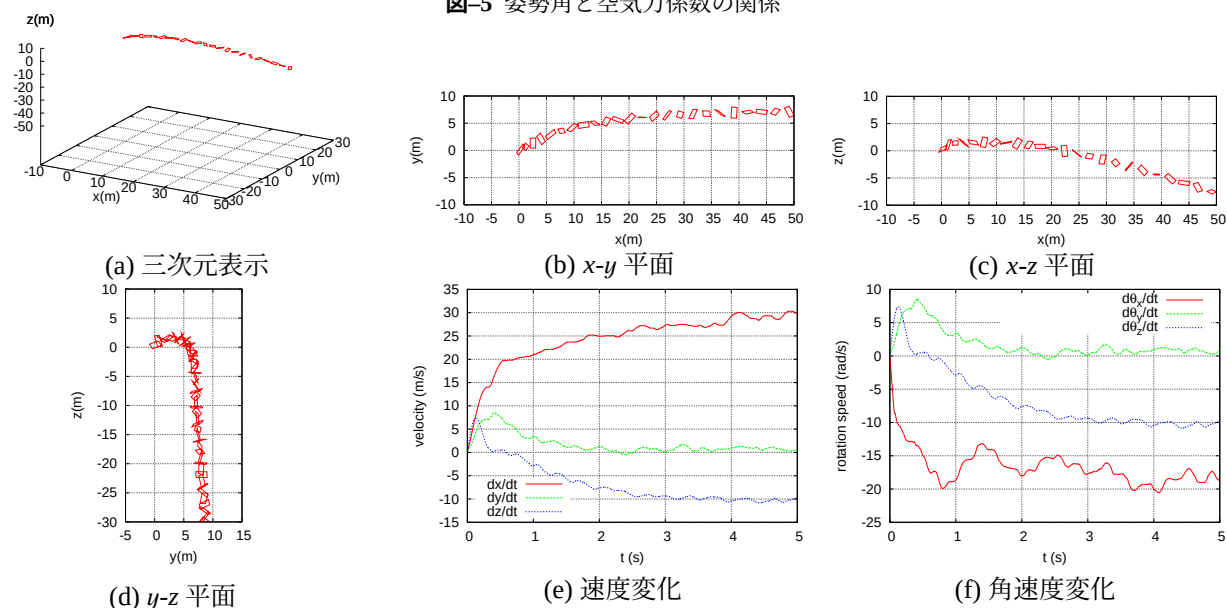


図-6 軌道計算例 (ベニヤ板, $B=2\text{m}$, $H=1\text{m}$, $t=0.002\text{m}$, $m=2.2\text{kg}$, $\theta_y=\theta_z=45^\circ$, $U=30\text{m/s}$)

5. おわりに

風洞実験によりアスペクト比の異なる平板モデルの姿勢角を変化させながら空気力係数を測定し、姿勢角に対して矛盾のない値を得ることができた。さらにその結果を用いて飛散物の6自由度運動シミュレーションプログラムを開発し、3次元での運動も求めることができた。しかし飛散物の運動シミュレーションについてはプログラムが適切な結果が示しているかを検証できていない。今後は飛散物の6自由度の運動をシミュレートするプログラムの解析精度を検証し、様々な条件下で3次元飛散物の軌道を求め、飛散物が引き起こす構造物の被災の連鎖について検討していく。

参考文献

- 1) 森本康幸, 前田潤滋: 強風の風速変動が球状落下物の飛散距離に及ぼす影響, 日本風工学会誌, 第32巻第2号, 2007, pp.237-238