

エア遊具が飛翔する限界風速の推定

Estimation of Critical Wind Speed at which an Inflatable flies

○濱田翔吾¹, 長谷部寛²

*Shogo Hamada¹, Hiroshi Hasebe²

Abstract: Strong wind disasters cause damage to structures and people due to flying objects dispersed by the wind. Since inflatables are easily blown away by the wind, evaluating the wind speed at the time of flying can contribute to disaster management. In order to understand the wind speed at which the inflatable flies, we focused on the pre-flight phenomenon, and estimated the wind speed at which the inflatable slides and falls over by the numerical simulation. As a result, the inflatable slides when the wind speed exceeds 9 m/s and falls over when the wind speed exceeds 15 m/s.

1. はじめに

強風災害は、風で飛散した飛来物による間接的な被害が発生する。イベントなどで見かけるエア遊具は風によって飛ばされないように注意が必要である。

吉田らにより、エア遊具の安全性を確保するために、縮尺模型を用いた風洞実験が実施され、滑動および転倒が発生する限界風速の推定が行われた[1]。その結果を踏まえ近年、屋外設置のエア遊具は、風で飛ばされないように杭またはウェイト（重り）による対策や運営を中断する風速基準が定められている[2]。しかし、杭の本数やウェイトの重量は明確に定められていないため、万が一飛ばされたときの被害範囲の予測は重要な課題である。

本研究は、エア遊具が風で飛ばされた時の飛翔挙動や衝撃力の評価を数値解析により検討することを最終的なゴールとしている。そのため、実験ではなく解析で飛翔時の風速データを取得するために、飛翔前のプロセスにおいて、滑動および転倒する限界風速を数値解析により推定した。

2. 検討方法

本研究では、今後流体構造連成解析を実施するための初期検討として、風荷重を外力として与える構造解析に基づいて検討を進めた。解析には汎用有限要素解析ソフト Marc を用いた。自重を W 、ウェイトを P とした時、以下に示す 2 ケースにおいて滑動および転倒する最大風速とウェイトの評価を試みた。

- Case1: 自重 W のみ
- Case2: 自重 W + ウェイト P

一般に、杭による固定はメーカーによって任意であるが、ウェイトの使用は必須であるため、今回はウェイトによる風対策を採用した。

3. 解析方法

解析条件、風圧力の定義、滑動および転倒の条件を(1)~(4)に示す。

(1) 解析条件

要素タイプはシェル要素を用いた。Table 1 に示すように、実際のエア遊具の形状と材料を参考にした[3]。境界条件を Figure 1 に示す。底面を拘束し、1m ピッチの高さで x 方向に風圧力 p_i を与えた。

Table 1. Shape and Material Specifications

重さ	厚さ	ヤング率	ポアソン比
180 kg	0.650 mm	3 GN/m ²	0.38

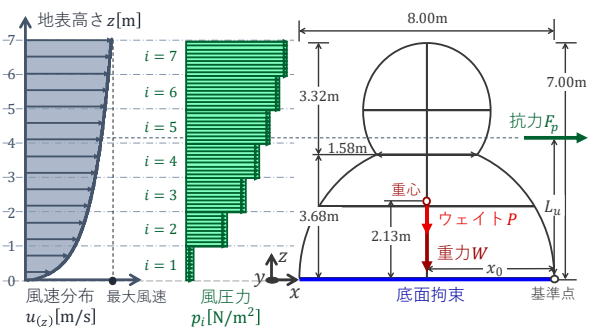


Figure 1. Boundary Conditions

(2) 風圧力の定義

風速分布 $u(z)$ は地表面からの高さを z とし、風速分布係数を $A(u_{max})$ 、草地での粗度を $z_0 (\cong 0.1)$ とし、式(1)に示す対数則と仮定した。要素ごとに外力として加える風圧力 p_i は、簡便に 1m ピッチの高さで変化させ、1m 内の領域にある要素に与えた。領域を $i (i=1\sim7)$ と定義し式(2)で算出した。領域の平均風速を $u(z_i)$ 、空気密度を ρ 、風圧係数を C_p とする。

1: 日大理工・院 (前)・土木 2: 日大理工・教員・土木

$$u(z) = A(u_{max}) \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (1)$$

$$p_i = \frac{1}{2} \rho u(z_i)^2 C_p \quad (2)$$

ただし、風速分布係数 $A(u_{max})$ は最大風速 u_{max} によって決定し、また、風圧係数 C_p は文献の平均抗力係数($C_D = 0.4$)を採用した[1].

(3) 滑動条件

最大静止摩擦力を F_{max} 、静止摩擦係数を μ 、Case1,2の垂直抗力を N_1, N_2 とした時の関係式を式(3)に示す。また、 x 方向の抗力を F_p としたときの滑動条件を式(4)に示す。ただし、静止摩擦係数 $\mu(= 0.35)$ は文献値を採用した[1].

$$F_{max} = \mu N_i \begin{cases} N_1 = W \\ N_2 = W + P \end{cases} \quad (3)$$

$$|F_{max}| \leq |F_p| \quad (4)$$

(4) 転倒条件

時計回りのモーメントを正としたとき、抗力モーメントを M_p 、抗力の作用位置を L_u とした時の関係式を式(5)に示す。また、重心位置を x_0 、荷重モーメントを M_i とし、Case1,2の荷重モーメントを M_1, M_2 としたときの転倒条件を式(6)に示す。

$$M_p = F_p \cdot L_u \quad (5)$$

$$|M_i| \leq |M_p| \begin{cases} M_1 = W \cdot x_0 \\ M_2 = (W + P) \cdot x_0 \end{cases} \quad (6)$$

ただし、実際のエア遊具の風圧係数は形状により変化すると考えられるため、抗力の作用位置は風速分布 $u(z)$ の図心と仮定し、抗力モーメント M_p を算定した。

4. 滑動および転倒する限界風速の推定結果

エア遊具に風速 10 m/s の風圧力を与えた時の合成変位の大きさを **Figure 2** に示す。変位は胴体部より頭部の方が卓越していることがわかる。

限界風速と抗力、抗力モーメントの関係を **Table 2** に示す。また、ウェイトと最大静止摩擦力、荷重モーメントの関係を **Table 3** に示す。**Table 2** と **Table 3** より、Case1($P = 0$)のとき風速 9~10 m/s で抗力 F_p が最大静止摩擦力 F_{max} を上回るため滑動し、風速 15~16 m/s で抗力モーメント M_p が荷重モーメント M_i を上回るため転倒することがわかる。Case2($P > 0$)ではウェイト $P = 400$ Nを載荷した場合、風速 10 m/s 時の抗力 F_p が最大

静止摩擦力 F_{max} を超えないため滑動しないことがわかる。

以上より、ウェイトを用いないと風速 10 m/s 以上で飛翔する可能性があり、400 Nのウェイトを用いると、風速 10 m/s において飛翔を低減できると推定できた。

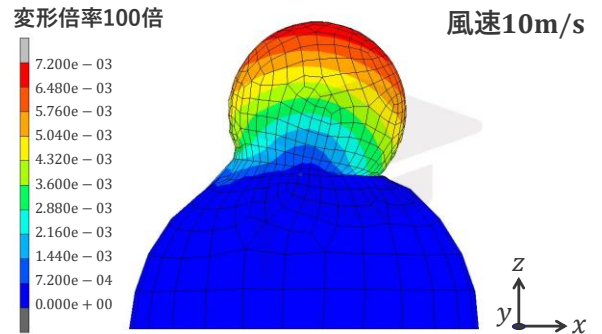


Figure 2. Magnitude of Displacement Vector

Table 2. The Relationship Between Wind Speed, Forces and Moments

u_{max} [m/s]	9	10	-	15	16
F_p [N]	606	748	-	1682	1914
M_p [N·m]	2452	3027	-	6812	7750

Table 3. The Relationship Between Weight, Frictional Force and Moments

P [N]	0	-	300	400
F_{max} [N]	-617	-	-722	-757
M_i [N·m]	-7056	-	-8256	-8656

5. まとめ

飛翔前のプロセスにおいて、滑動および転倒に関する限界風速を評価した。飛翔リスクがある風速と飛翔リスクを低減できるウェイトの推定を行った。今後は今回得られた限界風速を参考に、エア遊具が飛翔した時の飛翔挙動や衝撃力の評価について検討する。

6. 参考文献

[1] 吉田昭仁, 田村幸雄, 栗橋寿, 佐々木信一: エア遊具の風力特性および限界風速の推定, 平成 21 年度日本風工学会年次研究発表会・梗概集, pp.143-144, 2009.
 [2] 一般社団法人日本エア遊具安全普及協会 HP : <https://www.jipsa.org/>, (閲覧日 2023.09.26).
 [3] 株式会社アールイーナンバー HP : <https://airyugu.com/>, (閲覧日 2023.09.26).