

災害用係留型気球の係留手法における安定性評価シミュレーション

北海道大学 ○伴丈 遼一, 小野里 雅彦, 田中 文基

要旨

風の影響による係留気球の位置や姿勢の変化は係留手法によって異なる。本研究では、風が吹いた時の係留気球の上空での位置や姿勢の挙動変化をシミュレータにより求め、係留固定点の位置や余剰浮力条件ごとの気球の安定性を評価し、風の影響を受けにくい係留気球の開発に役立てる。

1. 結論

地震などの災害時における被災地の人々のための情報収集・伝達機能の構築を目指す災害用係留型情報気球 InfoBalloon の開発が進められている[1]。係留気球を用いて被災地の支援を行うためには、安定した気球の係留が不可欠である。しかし、係留気球は運用するにあたり風の影響を受けやすく、風に流されることで気球の位置・高さ・姿勢が変化してしまう。気球に搭載された機材で被災地の映像を収集したり、無線中継をしたりするためには、これらの変化が小さいことが重要である。係留中における気球の位置・高さ・姿勢は、風向・風速と、気球形状、係留方法によって異なる。そこで、著者らの研究グループでは気球形状の数値流体解析と運動方程式を用いて気球の挙動が確認可能なシミュレータを開発した。また、このシミュレータを用いて係留固定点が気球外周よりも内部にある係留法の有効性を示した[2]。本研究では縮小係留ベース法における係留固定点の位置や余剰浮力の条件を考慮に入れ、風の影響を受けた時の気球の挙動を評価する。

2. 気球の安定化手法と揚抗比

InfoBalloon は図 1 のように横からの風に対して気球の下部を向け、風に対する正の迎え角 θ をとることで、翼効果によって発生する鉛直上向きの揚力を利用し、安定化を図っている。ここで、係留中の気球に働く力が釣り合う時、揚力と風下に流される向きに働く抗力の比である揚抗比が係留中の気球の位置に影響を与える。揚抗比が高くなる迎え角 θ をとると、鉛直上向き成分の力の割合が大きくなるので、気球は係留固定点中心の真上に近い位置つまり傾斜角 α が小さくなるような係留が可能となる。

3. 係留固定点位置と余剰浮力条件による気球の姿勢変化

3.1 気球形状と空力学的特性

シミュレーションで使用する InfoBalloon の空力学的特性は数値流体解析ソフト OpenFOAM[3]を用いて求め、その際の流れ場は標準大気圧、気温 10[°C]の空気とした。想定する気球の形状は半径 2.0[m]、高さ 2.3[m]の扁平球に搭載物形状として半径 0.5[m] 高さ 0.25[m]の扁平球を気球下部に埋め込むように付加したものとする。解析は迎え角を 10[deg]ごとに -10~50[deg]の範囲で行い、最小二乗法を用いて迎え角 θ についての 6 次の近似式を作成する。この近似式は揚力や抗力、空力モーメントといった空力学的特性をシミュレーションに反映させるために用いる。これより、気球が最大揚抗比をとるときの迎え角 θ は近似式より 27.0[deg]であることがわかった。このときの迎え角を θ_{LD} とする。

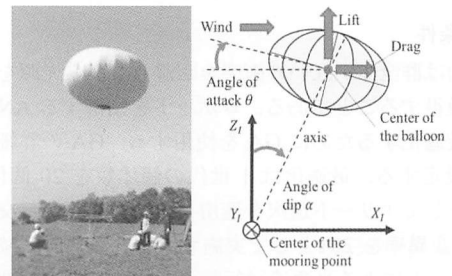


Fig.1 InfoBalloon and Lift generation

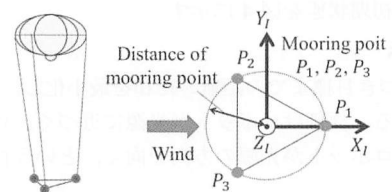


Fig.2 Shrunken mooring base method

3.2 縮小係留ベース法と係留固定点

現在、InfoBalloon の係留は図 2 に示すように、3本の係留ロープを係留固定点中心から気球半径以内の距離にある地面に固定する縮小係留ベース法が採用されている。本手法では、迎え角 θ と傾斜角 α の関係は、係留固定点の位置によって異なり、係留固定点の位置を適切に定めることで安定した係留が可能であると考えられる。

3.3 シミュレーション条件

本研究で想定する気球システムの全体質量 m_t は 16.56[kg] であり、その内、搭載機材の質量 m_p を 3.80[kg] とする。浮揚ガス浮力と気球システム全体の自重の差である余剰浮力 F_s は 57.68[N] である。また、係留ロープの長さは 100[m] とした。この条件下でシミュレーション開始 5[s] 後に図 2 の X_1 軸方向、風速 10, 15, 20[m] のステップ状に変化する風を流す。

まず、係留固定点の位置による気球の安定性を評価するため、係留固定点中心から気球の半径である 2.0[m] までを 8 等分し、それぞれの係留固定点位置で係留シミュレーションを行う。ここで、係留固定点中心から各係留固定点までの距離と気球半径との比を μ とする。

また、余剰浮力が係留に及ぼす影響を調査するため余剰浮力 F_s を 40.00[N] 減少させ、17.68[N] となるように搭載機材の質量を 7.88[kg] とし、風速 20[m/s] でのシミュレーションを行う。

3.4 シミュレーション結果

(a) 係留固定点位置における迎え角と傾斜角

図 3 に気球の姿勢変化が収束した後の迎え角 θ 、傾斜角 α を示す。これより、 μ が 0 に近づくほど迎え角 θ が大きくなり、

傾斜角 α が小さくなる。つまり、本条件下で迎え角 θ が最大になるように係留固定点を配置することで、気球を高い位置に保つことが可能となることがわかる。また風速が15mと20mでは安定後の傾斜角 α に大きな差が見られない。これは μ が0に近い程顕著であるといえる。以上より係留固定点を係留固定点中心に配置することにより、気球は高い位置で安定し、風速の増大にも影響を受けにくいことがわかった。

(b) 係留固定点位置ごとの気球に生じる揚抗比

ここで、迎え角 θ の時間変化によって気球に生じる揚力と抗力の関係を調べる。図4に解析によって得られた風速20[m/s]における迎え角10[deg]ごとの揚抗比とその近似式、そしてシミュレーションで得られた気球の迎え角 θ を示す。図4より μ が0に近づくほど高い揚抗比をとる迎え角をもって気球が安定することがわかる。また、傾斜角 α が最も小さくなる $\mu=0$ での迎え角は27.10[deg]であり θ_{LD} とほぼ同等の値となった。このことから $\mu=0$ にすることで、高い揚抗比をとる迎え角 θ を発生させることで小さな傾斜角 α での係留が可能であることがわかる。

(c) 迎え角増大による揚抗比の時間変化

次に、迎え角 θ が増大することで揚抗比が減少し、それによって傾斜角 α が増大していく危険性について、図5に最も迎え角 θ が大きくなる $\mu=0$ における傾斜角 α 、迎え角 θ 、迎え角 θ によって得られる揚抗比の時間変化を示す。図5より迎え角 θ の増大により、揚抗比が減少している時間帯があることがわかる。その時間帯を矢印で示す。これより、本条件下でのInfoBalloonの係留では、風の影響によって一時的に迎え角 θ_{LD} を超えても、そのまま揚抗比が減少していくこと無く、一定の揚抗比をとる迎え角 θ に収束していくことがわかる。

(d) 余剰浮力減少時の迎え角増大による揚抗比の時間変化

また、図6に余剰浮力 $F_s=17.68[N]$ に減少させた条件において、迎え角 θ が最も大きくなる $\mu=0$ における傾斜角 α 、迎え角 θ 、その迎え角 θ によって得られる揚抗比の時間変化を示す。これより、 $F_s=57.68[N]$ の時と比べて気球の姿勢変化が収束するまで時間がかかることがわかる。しかし、余剰浮力を減少させた場合でもInfoBalloonの係留では、風の影響によって揚抗比が減少するような大きな迎え角をとることはあっても、そのまま揚抗比が減少していくこと無く、一定の揚抗比をとる迎え角に収束していくことがわかる。

4. 結言

本研究では係留気球における係留固定点位置によって、気球を高く係留することが可能であることを示した。また、余剰浮力が係留に及ぼす影響を調査し、余剰浮力が減少しても、気球は一時的に揚抗比が減少するような迎え角を取り、一定の姿勢を保つことがわかった。今後の課題として、風速・風向の変化を考慮した評価を行う必要がある。

参考文献

[1] 小野里雅彦, "InfoBalloon~被災地を情報疎外から救う現代版火の見やぐらを目指して~", 電気学会誌, vol.132, No.3, pp160-163, 2012.
 [2] 伴丈遼一 他, "災害用係留型気球 InfoBalloon の係留シミュレーションに関する研究", (社) 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 2013(ROBOMEC2013)講演論文集 (DVD-ROM), 1P1-P07, 2013.
 [3] H.G.Weller and G.Tabor, H.Jasak, C.Fureby, "A tensorial approach to computational continuum mechanics using object-oriented techniques", Computers in Physics, Vol. 12, No. 6, pp 620- 631, 1998.

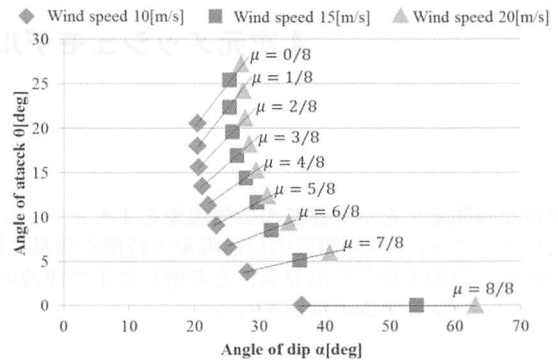


Fig.3 Angle of attack and angle of dip of the balloon by narrow mooring base system

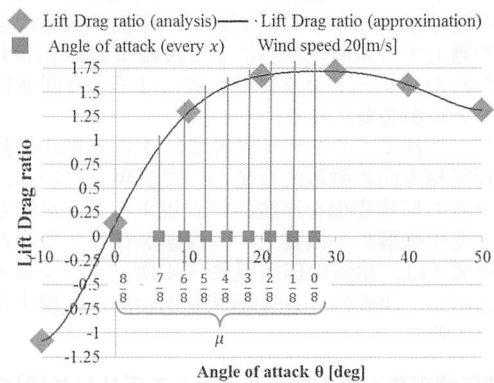


Fig.4 Lift Drag ratio of every angle of attack

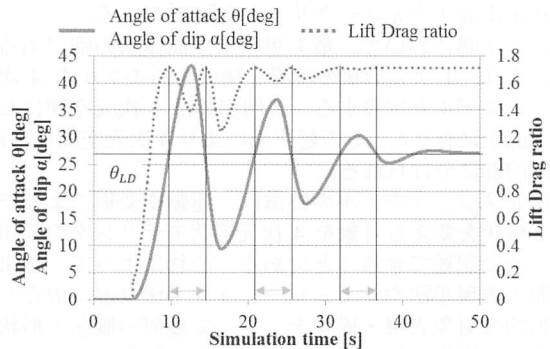


Fig.5 Temporal change of angle of attack and Lift Drag ratio ($F_s = 57.68[N]$)

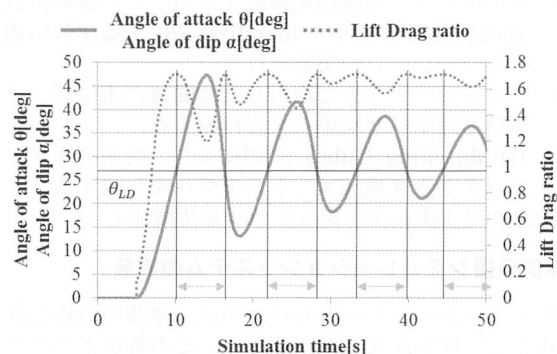


Fig.6 Temporal change of angle of attack and Lift Drag ratio ($F_s = 17.68[N]$)