

1 2 建造物の近接目視検査用 CFRP 保護フレーム付ラジコンヘリの開発

小玉龍, 井鷲洋介, 末村紘志

Development of radio-controlled model helicopter using carbon fiber reinforced plastic frame for proximity visual inspection of constructions

KODAMA Ryu, ISAGI Yosuke and SUEMURA Hiroshi

Constructions such as bridges should be inspected for maintenance. However, assembling scaffolding is costly to visual inspection. Therefore, this study focuses on image diagnosis using radio-controlled(RC) helicopter for safety and cost reduction for periodic check of constructions. RC helicopter has possibility of crash by hitting. In this study, to prevent RC helicopter from crashing, we attached frame of carbon fiber reinforced plastic (CFRP) to it.

キーワード: 炭素繊維複合材料, オートクレーブ, リモートセンシング

1 結 言

近年, 高度経済成長期からバブル期に作られた橋梁等, 多くの建造物の老朽化が進んでいる。そのような建造物は今後急速に増加し, 10 年後には建設後 50 年経過する橋梁が 4 割以上になると見込まれ, このままでは橋梁の崩壊などの重大な事故につながりかねない。

老朽化による事故を未然に防ぐためには, 定期的な点検で破損部分を見つけなければならない。点検方法には遠望目視によるものが多く, 点検の質に関して問題が指摘され, 橋梁, トンネル等については近接目視による点検作業が義務化された¹⁾。

このような背景により, 近接目視検査が必要になる機会が増えることが予想されるが, 現状の方法では足場の構築を伴うため多大な費用がかかる。そこで, より簡単かつ低予算な点検方法が求められている。

その一つの方法として, 近年ラジコンヘリを使った画像撮影による検査方法が注目されており, 低予算かつ迅速な検査方法として期待されている。

安全にラジコンヘリを活用するためには操縦技術やホバリング等飛行性能の向上に加え, ヘリの破損防止も大きな課題の一つである。建造物に接触した場合, ラジコンヘリのローター部分等が破損すれば, ラジコンヘリは墜落してしまう。

そこで本研究では, ラジコンヘリを点検業務に導入することを見据えて, 高強度で軽量化を実現できる炭素繊維複合材料(CFRP)を用いて, ヘリの保護フレームを開発し, 飛行実験を行った。また, 推力増強のためのローターの検討やブレードの製作も行ったので, 併せて報告する。

2 設計方針

2.1 試作機製作の方針

本研究で試作するラジコンヘリは, 市販の安価なラジコンヘリの機体, 動力部分を利用して, これに小型のカメラと保護フレームを取り付けた構成とした。

市販機の最大推力を測定して, 追加可能重量を決定した。これにより保護フレームの試作重量を割り出した。また不足する推力を補うため, ローターの径を検討した。市販機の仕様やカメラ重量, 要求仕様を表 1 にまとめる。

表 1 市販機の仕様及び要求仕様

主な仕様項目	内容
・駆動機構	同軸反転4枚羽
・機体重量	180g
・ローター半径	170mm
・最大推力(測定値)	290g
・推力の余力 (最大推力-機体重量)	110g (290-180)
要求仕様	内容
・カメラ重量	20g
・フレーム重量	50g以下
・増強時の最大推力	450g
・推力の余力 (最大推力-機体重量)	200g (450-180)
-フレーム重量-カメラ重量)	-50-20)

推力は, 空中に固定したラジコンヘリの真下に秤を置き, ローターを回したときに, 秤が示す数値が安定したところで最大値を求めた。

表 1 の通り, 保護フレーム重量の目標値を 50g 以下, また増強後の最大推力の目標値を 450g に設定した。

図 1 に完成イメージを示す。ローター全体を保護フレームで囲うような構造とした。フレームの形状は, 本体の衝突や落下による衝撃の軽減を考えれば, できるだけ球体であるほうが望ましいが, CFRP の加工性の制約から

図のような円筒状の形状とした。

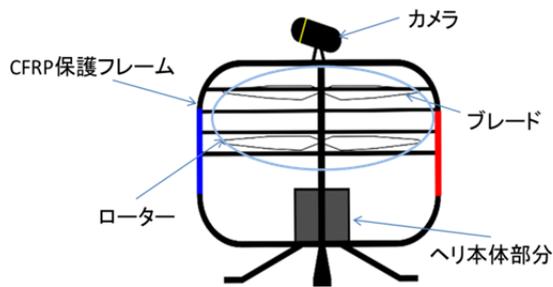


図1 完成イメージ図

2.2 増強推力の検討

CFRP 保護フレームを装着し、小型カメラを搭載することで、機体の重量は重くなる。そこで、飛行性能を上げるために推力の増強を検討した。以下の式より、ローター直径を大きくすることができれば最大推力を上げることができる²⁾。推力Tは、Dをローター直径とすれば

$$T = C_T \rho n^2 D^4 \quad (1)$$

となる。ここで、 C_T は係数、 ρ と n はそれぞれ空気の密度と回転速度であり、まとめて定数とした。本研究で得られる推力とローター半径の関係を図2に示す。ローターの回転速度を上げても推力を増加させることができるが、ここでは半径のみを検討対象とした。

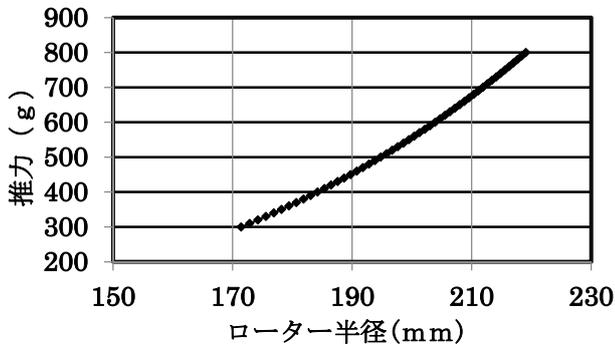


図2 推力とローター半径の関係

グラフから、要求仕様の増強推力 450g を得るためにローター半径を 190mm に拡大する。ブレードは軽量化と剛性を確保するため CFRP で製作することとした。

2.3 CFRP 保護フレーム断面形状の考察

保護フレームの断面形状は、成形の容易さと剛性の強さを考慮し、図3(b)のような半円のパイプ型を採用することとした。剛性を検討するために、断面二次モーメントを求める。一般的に断面二次モーメントは図心から離れた位置に質量がどれだけあるかで決まる³⁾。そのた

め断面を図3(a)のような長方形よりも半円のパイプ型にすることによって断面二次モーメントは大きくなり、フレームの剛性は高くなる。この形であれば質量を保ったまま剛性を上げることができる。紙面上の左右方向の断面二次モーメントIはそれぞれ以下の式で求まる。

$$(a) \quad I_a = \frac{hw^3}{12} \quad (2)$$

$$(b) \quad I_b = \frac{9\pi^2 - 64}{72\pi} (R^4 - r^4) - \frac{8}{9\pi} \frac{R^2 r^2 (R-r)}{R+r} \quad (3)$$

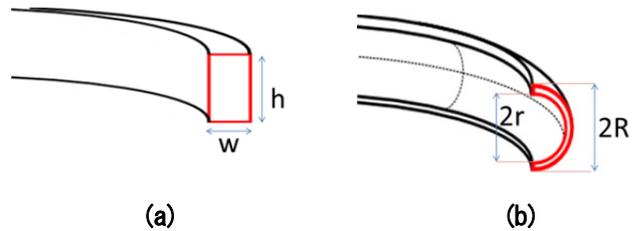


図3 CFRP 保護フレーム断面形状

仮に $h=1.5\text{mm}$, $w=1.24\text{mm}$, $R=3\text{mm}$, $r=2.9\text{mm}$ に設定すると、断面積はほぼ等しいが、断面二次モーメントはそれぞれ 0.24 mm^4 と 3.24 mm^4 となり、長方形と比較して半円のパイプ型の剛性が高くなることが確認できる。

3 試作機の製作

3.1 保護フレームの断面形状の考察

保護フレームは、円筒状の型を用い、CFRP プリプレグを巻きつけ(図4)、オートクレーブで、次のように成形加工した。

1. 90°Cまで加熱。60分間保持。
2. 135°Cに昇温し、120分間保持。
3. 90°Cに達した30分後から0.2MPaの圧力を150分間保持。

この方法によって製作した保護フレームが図5である。

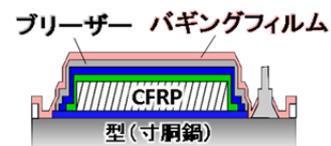


図4 保護フレーム製作方法



図5 CFRPで製作した保護フレーム

3.2 ブレード製作

ブレードはリバースエンジニアリングにより、3次元形状データを取得後、推力増強のため拡大して、その金型モデルを製作した(図6)。図7は製作した金型であり、これを使用しブレードの製作を行った。CFRPをこの金型に積層しオートクレーブによってブレードの形に成形加工した。しかし、製作したブレードは軸側の端部分に仕上がりができずブレードとして使用できなかった。これは既存ブレードの形状データを取る際に、完全なデータを取ることができず、欠損部分ができてしまったためと考えられる。そのため、金型の形状は厳密にはブレードの形とは異なるものとなった。

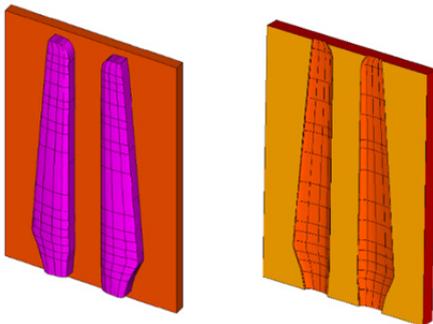


図6 ブレード金型の3次元形状データ



図7 製作したブレード金型

4 飛行実験

拡大したブレードを製作したが、飛行には使用できな

かったため、飛行実験には市販機の備え付けのブレードをそのまま使用した。製作した保護フレームをラジコンヘリに装着し、カメラは未搭載で飛行実験を行った(図8)。壁に衝突したがローター部分は破損せず、飛行が可能であった。

次に小型カメラを、図1のイメージ図に示すようにラジコンヘリの上方に設置し、飛行実験を行った。その結果、飛行が安定せず、さらに飛行高度も低下してしまった。原因はカメラを取り付けたことによる重心の変化および重量の増加によるものと考えられる。今後カメラを搭載した機体を飛行させるには、カメラの設置位置の調整や、カメラを含めた重量の軽量化、または推力の増強が課題である。



図8 保護フレームを取り付けた飛行実験

5 結 言

本研究では、点検作業用のラジコンヘリのローター径の検討、CFRP 保護フレームの剛性の検討、及び保護フレームで覆った機体の製作を試みた。飛行実験の結果をまとめる。

- (1) 保護フレームのみを取り付けた機体は、壁などに接触してもブレードが破損することなく、飛行可能であった。
- (2) カメラを搭載した場合、飛行が不安定となり、十分な高度まで飛行できなかった。

今後、重心位置を考慮したカメラの設置場所の調整や、さらなる軽量化、推力の向上を検討し、安定した飛行による画像撮影に取り組む。

文 献

- 1) 道路法施行規則の一部を改正する省令(平成 26 年国土交通省令第 39 号)
- 2) 小池：流体機械工学，コロナ社(2009)，57
- 3) 湯浅：材料力学公式集，コロナ社(1960)，49