

K4-67

可変ピッチプロペラを用いる実用的な吊り荷制振システムの開発

Development of a Vibration Control System using Variable Pitch Propeller for Life Size Suspended Load

杉本純一¹, ○栗城航汰², 渡辺亨³

Junichi Sugimoto¹, Kota Kuriki², Toru Watanabe³

This paper deals with a study on a vibration control system using propellers for crane load. Vibration suppression of crane load suspended by hoisting rope is an important issue to speed-up crane operation. In this study, a novel vibration control system using propeller thrust as control forces is presented. The pitch of the propeller can be varied so that the attack angle of the propeller blade possess negative or positive. Changing the attack angle, the direction of thrust can be altered smoothly. The fundamental property of the system is discussed and conceptual design is developed.

1. 緒言

クレーン運搬において作業の効率化が求められており、その際の荷振れは問題となっている。そこで本研究では荷の付近に可変ピッチプロペラを取り付け、荷振れをプロペラ推力によって制御する方法を考案した。

可変ピッチプロペラとはプロペラ翼の角度を変えることによって推力の向きや大きさを操作するプロペラのことである。これを採用することにより、効率よく推力を操作し吊り荷を制御できる。^[1]

2. 可変ピッチプロペラを利用した実大吊り荷制振システムの設計

2. 1. 可変ピッチプロペラを利用した実大吊り荷制振システムの設計の目的

すでに小型の模型で実験を行い、その制振効果を確認できた。さらに実用化に向けて実物大サイズに近づけて実験を試みる必要がある。そこで、10トンの吊り荷を制振できる装置を設計、製作し実験を行う。この際に想定する条件を **Table1** に示す。

Table1.The conditions to assume

想定制御荷重 m [kg]	10000
ワイヤー長さ l [m]	25
初期振幅 A_0 [m]	1
目標振動回数 k [回]	5

2. 2. 必要推力の算出

吊り荷を単振り子と考え、それにプロペラによる推力 F が加わっているとすると、**Figure1** のように表せ、運動方程式と解は次のようになる。

$$ml^2\ddot{\theta} - (mg \sin \theta \pm F)l = 0 \dots\dots(1)$$

$$\theta = A \sin(\omega_n t + \varphi) \pm \frac{F}{mg} \dots\dots(2)$$

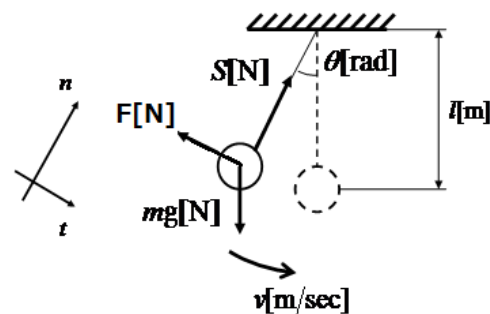


Figure1. The simple pendulum in which thrust was added. 定常解が $\pm F/mg$ となるので、推力が常に振動を妨げる方向にはたらくとすると、推力によって1周期ごとに減少する角度 $\Delta\theta$ [rad] は初期角度 θ_0 [rad] として、

$$\Delta\theta = 2 \frac{F}{mg} \rightarrow F = \frac{\theta_0 mg}{2k} \dots\dots(2)$$

となる。ワイヤー長さ l と初期振幅から $\theta_0 = 0.0400$ [rad] となり式(2)を計算すると、目標振動回数までに静止させるために必要な推力 $F = 245$ [N] と導ける。

2. 3. プロペラの設計

算出した必要推力 F を満たすプロペラを設計する。プロペラの揚力 F_L は次式で表せる。

$$F_L = \int_{r_i}^{r_o} \frac{1}{2} C_L \rho \left(\frac{2\pi n}{60} r \right)^2 S dr [N] \dots\dots(3)$$

C_L : 揚力係数[-], ρ : 流体の密度 [kg/m^3]
 n : 回転数 [rpm], S : 翼の代表面積 [m^2]
 r_o : 翼の外径 [m], r_i : 翼の内径 [m]

ρ は空気の密度だが、 r_o, r_i, C_L, n, S は機械的な制約から設計する。

まず翼型を選択し C_L を決める。この装置では翼の角度を操作し前後に推力を発生させるため、迎え角の正負によって C_L が変化しない対象翼が望ましい。よって

1 : 日大理工・院 (前)・機械 2 : 日大理工・学部・機械 3 : 日大理工・教員・機械

対象翼 NACA0012 を採用し，失速しないよう余裕を持って $C_L=1.2$ となる $\pm 12[\text{deg}]$ の角度で使用する．またこの翼型の厚みは翼弦長 c の 12% となるので，翼を支えるだけの軸を通すために $c=0.200[\text{m}]$ とする．^[2]

次に r_o, r_i, n を決定する．翼を大きくとれば推力が増すため，軸が耐えうる範囲で r_o を大きくとり $r_o=0.650[\text{m}]$ とする． r_i はピッチ変更機構が収まる範囲で小さくとり， $r_i=0.150[\text{m}]$ とする．回転数 n も軸が耐えられる範囲で大きくとり $n=1500[\text{rpm}]$ とする．

翼の寸法が決定したため代表面積 $S=0.1[\text{m}^2]$ となり，式(3)を計算すると $F_L=173[\text{N}]$ と導ける．プロペラは二枚翼なので推力 $F=346[\text{N}]$ となり，必要推力 245[N] を上回ることが確認できた．設計した翼の外観を Figure2 に示す．

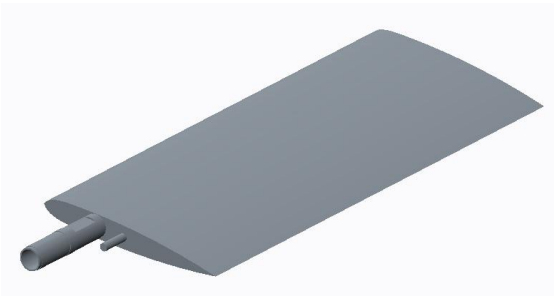


Figure2.Outlook of the wing

Figure3 はピッチ変更機構の部分を拡大した図である．プロペラは図の左下の軸だけで支持する構造になっており，この軸の先にモーターを接続しプロペラを回転させる．翼には回転させられる支持用の軸と，少しずらして取付けられた小さなピッチ操作用の軸があり，図の右上の軸を前後させることでピッチ操作用の軸を動かし，ピッチの操作が出来る構造になっている．

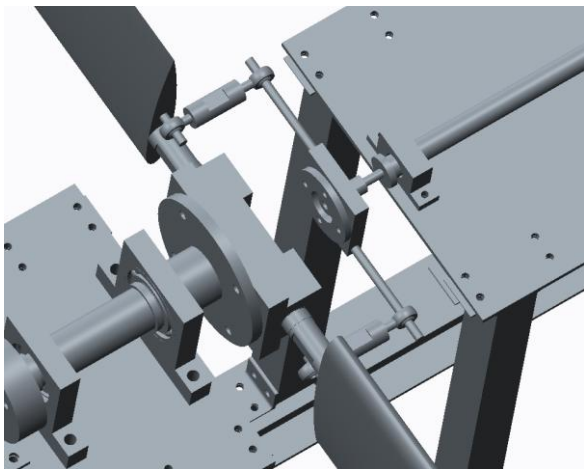


Figure3.Mechanism for variable pitch

2. 4. 全体の設計

Figure4 は設計した可変ピッチプロペラによる制振システムの全体図である．フレームを組みその内側にプロペラを配置して固定する構造になっている．

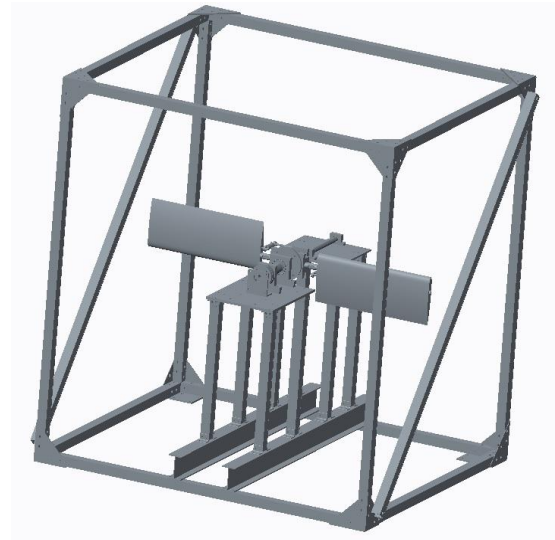


Figure4.General view of the Vibration Control System using Variable Pitch Propeller

3. 結言

可変ピッチプロペラを用いたクレーン吊り荷の振動制御を実現するために，実物大のサイズの実験装置を設計した．Table1 にその諸元を示す．

Table1. Specifications of the system

総重量[kg]	150
外形寸法[mm]	1565×1285×1593
プロペラ直径[mm]	1300
最大推力[N]	346
プロペラピッチ可動範囲[deg]	±12
翼回転数[rpm]	1500
モーター出力[W]	310

4. 現状と今後の展望

・現状

実物大の実験装置の設計はすべて完了し，部品を発注している．

・今後の展望

部品が完成しだい実験装置の組み立てを行い，安全性を確認しながら実験を行う．

5. 参考文献

[1] 杉本純一：「可変ピッチプロペラを用いる実用的な吊り荷制振システムの開発」平成 24 年度 <http://www.cst.nihon-u.ac.jp/research/gakujutu/56/pdf/K4-61.pdf>

[2] IRAH. ABBOTT: 「Theory of wing sections」 DOVER PUBLICATIONS INC. 1959