K4-44

可変ピッチプロペラによる空力制振システムの試作

Prototype of an Aerodynamic Vibration Control System utilizing varying pitch Propeller

○本橋達也[1]，宇田拓樹[2]，渡辺亨[3]
*Tatsuya Motohashi[1]，Hiroki Uda[2] ,Tooru Watanabe[3]

This paper deals with 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 possesses negative or positive. Changing the attack angle, the direction of thrust can be altered smoothly. Based on previous conceptual design, life-size experimental device was researched and developed. Its performance is investigated through control experiments.

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．大型実験装置の設計，製作

２．１．必要推力の計算

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．そこで装置を設計，製作し実験を行う．この際に想定する条件を **Table 1** に示す．

Table 1　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 A0 [m]	1
目標振動回数 k[回]	5

吊り荷を単振り子と考え，それにプロペラによる推力Ｆが加わっているとして運動方程式を立て，必要な推力Ｆを計算すると，次のように導ける．

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

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

$$F = 196[N] \qquad (3)$$

２．２．全体の設計

必要な推力Ｆを発生させられる性能を持った装置の設計を行った．１枚あたりの推力は，次の式(4)で計算される．

$$F_L = \int_{r_i}^{r_o} \frac{1}{2} C_L \rho (\frac{2\pi n}{60} r)^2 S \mathrm{d}r \qquad (4)$$

r_o，r_iは翼の内外径，C_Lは揚力係数，ρは空気密度，nは翼の回転数，Sは翼の代表面積である．**Figure 1** に設計した装置の全体図を示す．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．**Table 2** に装置の諸元を示す．

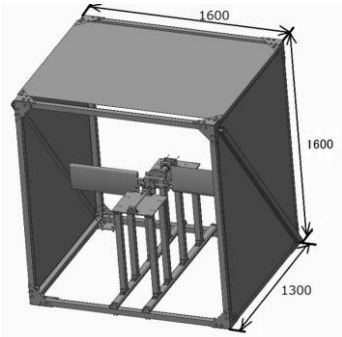

Figure 1　General view of the Vibration Control System using Variable Pitch Propeller

Table 2　Specifications of the system

総重量[kg]	150
外形寸法[mm]	1600×1300×1800
プロペラ直径[mm]	1300
最大推力[N]	404
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

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

３．実験

３．１．制振効果の確認

大型実験装置で，実際に制振効果が得られるかを確認する．装置本体を吊るし，装置本体を揺らし，その揺れをプロペラのピッチを変更することで揺れを止められるかを確かめる．

３．１．１．制振効果の確認方法

装置などの条件は次の **Table 3** に示す．

Table 3　Experimental condition

モーター回転数[rpm]	200
モーター出力[W]	40
翼可動範囲[deg]	±12
気圧[hPa]	1021
装置重量[kg]	116.5
装置重心距離[m]	6.7
初期変位[deg]	5

この条件で実験装置を静かに離し，プロペラピッチの変更をサーボモータで行い実験装置の振動が収まることを確認する。また，振動が収まるまでの振動回数を数えることで，おおよその推力を算出し，実験条件を(4)式に実験結果をあてはめて算出したプロペラの推力の理論値の 5.7[N]と比べる．

３．１．２．制振効果の確認結果

実験装置の振動は，振動回数４回で収まった．これにより，プロペラの大体の推力は，実験条件と振動回数を前述の運動方程式にあてはめ算出し，約 6[N]であることが確認できた．

３．２．推力の測定

プロペラにより吊荷を制振できることを確認したので，実際に設計した回転数での推力の大きさを測定し，計算値の推力と比較する．

３．２．１．実験方法

Table 4　Experimental condition

モーター回転数[rpm]	1500
モーター出力[W]	310
翼可動範囲[deg]	1・2・3・4
気圧[hPa]	1011
装置重量[kg]	116.5
装置重心距離[m]	6.7
バネ定数[N/mm]	4.14

Table 4 に示した条件で実験を行った．装置本体を吊るし，装置本体と地面に固定されたステーを２つのバネで結び，バネが少し伸びる状態になるようステーの位置を調整する．この時点のバネの伸びと，プロペラを回転させた時のバネの伸びを測定し，その差とバネ定数からプロペラの推力を測定する

３．２．２．実験結果

次の Figure 2 に実験結果を示す．

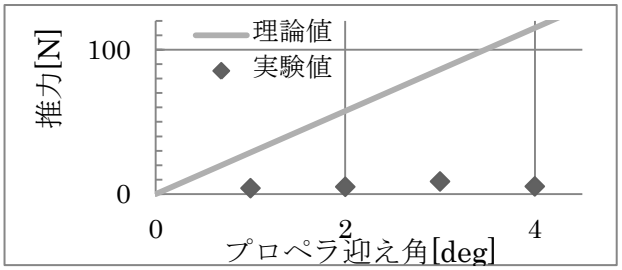

Figure 2　Results of experiment

Figure 2 から，1500[rpm]の回転速度では推力の理論値を大きく下回っていることがわかる．しかし，３．１で行った制振効果の確認では理論値と非常に近い結果が得られた．このことから，プロペラの回転数が大きくなると，理論値と実際の推力に差が生じることがわかる．これは，プロペラの回転数が大きくなると翼が変形したと考えられる．これにより実験値が理論値より非常に小さくなる結果となった．

４．結言

可変ピッチプロペラを用いた風力制振装置を提案し，実現可能であることを確認した．そして実際に使用できる実験装置を設計，製作し，制振効果があることを確認したものの，装置に改良が必要であることを確認した．

５．今後の展望

翼のねじれ剛性を高めた装置を設計し，製作する．推力が理論どおりに得られることを実験的に確認し，これを用いて，制御装置を設計し実用化を目指す．

６．参考文献

[1] 宇田拓樹：「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26年度
http://www.cst.nihon-u.ac.jp/research/gakujutu/58/pdf/K4-42.pdf