K4-60

可変推力プロペラシステムの推力向上に関する実験的研究

Experimental Study to Boost Thrust Force of the Variable Thrust Propeller System

○深谷晃次[1]，宇田拓樹[2]，渡辺亨[3]

*Kouji Fukaya[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. In this paper, improvement of the system to boost thrust force is dealt with.

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)]．先行研究で装置を製作し推力を測定していたが，理論を大きく下回る結果となった．本報ではその改良について報告する．

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，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 **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．翼 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．

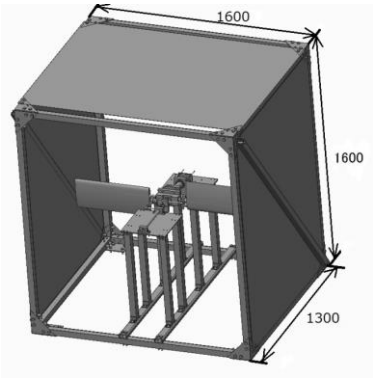

Figure 1　General view of the Vibration Control System using Variable Pitch Propeller

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

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

３．実験

３．１．前年度までの結果

前年度までの実験で制振効果はあるが推力が理論値よりも大幅に下回っている事が確認できた．推力が出ない原因としてプロペラ翼の剛性が低く変形し力を伝えきれていない可能性があると考えた．

３．２．翼剛性の増大

翼の剛性を高めるために翼にガーゼを巻き、エポキシ樹脂を塗り固めた．また翼が変形していないか確かめるためにハイスピードカメラを用いた．　1500[rpm]のモーターで回転させているところを撮影し確認したところ，変形は見られなかったが推力にも変化はなかった．

３．３．回転数の測定

モーターが理論通りの回転数に達しているかを調べる．ハイスピードカメラで撮った写真から各ピッチ角度での回転数を計算する．

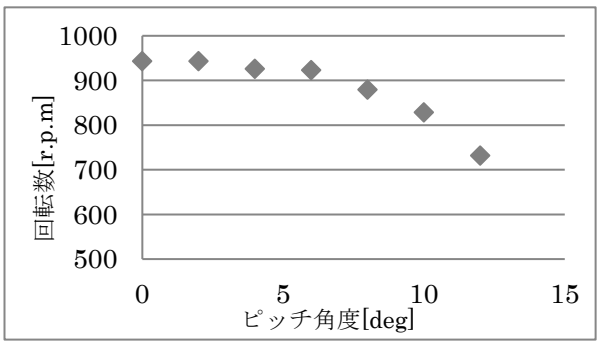

Figure 3　Results of experiment

Figure 3から，想定していた回転数である1500[rpm]が出ていないことが分かる．また，ピッチ角が大きくなるほど回転数が落ちているので翼の抵抗によりモーターの本来の回転数が出せていないと考えられる．ここでもう一度理論式を見直したところ推力の計算に不備があり，明らかに過小な入力トルクが前提とされていることがわかった．

３．４．流れ場の影響

1500[rpm]の場合と計測した回転数の場合での推力を（４）式より算出する．これを実際に測定した推力と共にまとめたものを **Figure 4** に示す．

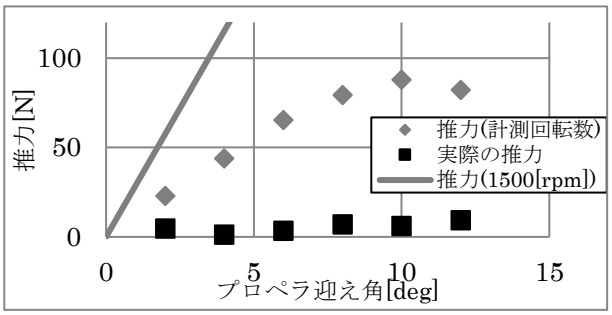

Figure 4　Results of experiment

翼の変形はなくしたが，実際の推力と計算推力では大きく差が開いている．これより推力低下の原因は回転数の不足だけではないことが示された．装置の形状が四角なので流れの乱れが生じ，損失が起こっている可能性がある．そこでプロペラの周囲に導流板を設置し，迎え角 12[deg]で推力を計測したところ推力が 30%向上した．これより流れ場にも原因があると判明した．

４．結言

可変ピッチプロペラを用いた風力制振装置を製作し，推力不足の原因を検討した．その結果以下の結論を得た．

①プロペラ翼の変形はなくなった．

②馬力不足により回転数が不足している．

③流れ場における損失が大きい．

この改良が今後の課題となる．

５．今後の展望

モーター出力が足りないことが分かったのでより出力の高いエンジンなどをつけられるように再設計を行う。また，空気の流れが影響していると考えられるので改良し、推力の向上を目指す．

６．参考文献

1）本橋達也：「可変ピッチプロペラによる空力制振システムの試作」平成27年度
http://www.cst.nihon-u.ac.jp/research/gakujutu/59/pdf/K4-44.pdf