

K4-64 可変ピッチプロペラを利用した実大吊り荷振動システムの開発

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

渡辺研究室 ○鎌田 亘¹ 益戸 雅俊² 渡辺 亨³
 Watanabe Lab. Wataru Kamata Masatoshi Masuto Toru Watanabe

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 thrusts as control forces is presented. Thrusts of propellers are available because propellers can give a direction continuously thrust. We need to try experimentation by propellers to resemble life-size to aim the practical application. So we design propellers to try it.

1. 緒言

近年、流通の発展に伴う運搬の効率化や軽量化が社会的なニーズとして高まっている。クレーン運搬においても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。振り子の運動はクレーンの運動にも応用でき、荷振れは荷の加速度が大きいほど、ロープが長いほど振幅は大きく、振れの周期は長くなる。すなわち、高速運搬は難しい。だが、本研究では荷の付近に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。プロペラは回りだしてから推力が発生するまで遅れがあるが、一方向に連続的な力を与えられる。したがって、周期が長く振幅が大きい大型のクレーンに適した制振装置だと考えられる。⁽¹⁾⁽²⁾

2. プロペラ推力を利用したクレーン荷振れの制振

2.1. クレーンの荷振れと単振り子

Fig.2-1 に示すような単振り子の平面内運動の座標系を考える。ひもの重さはおもりの重さ $m[\text{kg}]$ に比べて軽いものとし、長さ $l[\text{m}]$ とするとおもりに働く力は、重力 $mg[\text{N}]$ とひもの張力 $S[\text{N}]$ である、おもりは Fig.2-1 のような平面内で運動するものとする、運動方程式は次のとおりである。

$$ml^2\ddot{\theta} = -mgl \sin \theta \quad [\text{N} \cdot \text{m}]$$

$$ml^2\ddot{\theta} + mgl \sin \theta = 0 \quad [\text{N} \cdot \text{m}]$$

$$\ddot{\theta} + \frac{g}{l} \sin \theta = 0 \quad [\text{rad}/\text{sec}^2]$$

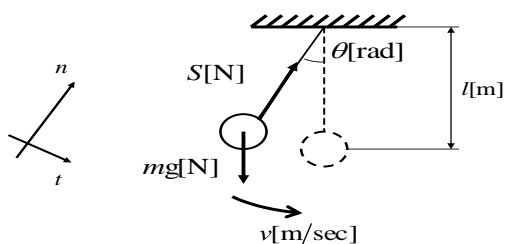


Fig.2-1 Motion of simple pendulum

$\sin \theta$ を含むため非線形の微分方程式であって、このま

までは

解くことができない。そこで $1[\text{rad}]$ 以下 ($\theta < 30^\circ$) 程度のとき $\sin \theta \approx \theta$ とおくことができることを用いて、次のように変形することができる。

$$ml^2\ddot{\theta} + mgl\theta = 0 \quad [\text{N} \cdot \text{m}]$$

$$\ddot{\theta} + \frac{g}{l}\theta = 0 \quad [\text{rad}/\text{sec}^2]$$

ここで $g/l = \omega_n^2$ とおくと次の微分方程式となる。

$$\ddot{\theta} + \omega_n^2\theta = 0 \quad [\text{rad}/\text{sec}^2]$$

したがってこの解は、

$$\theta = A \sin(\omega_n t + \phi) \quad [\text{rad}]$$

のように表され、固有円振動数 $\omega_n[\text{rad}/\text{sec}]$ 、固有振動数 $f_n[\text{Hz}]$ および固有周期 $T_n[\text{sec}]$ が次式であらわされる単振動であることがわかる。

固有円振動数：

$$\omega_n = \sqrt{\frac{g}{l}} \quad [\text{rad}/\text{sec}]$$

固有振動数：

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}} \quad [\text{Hz}] \quad (\because \omega_n = 2\pi f_n)$$

固有周期：

$$T_n = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad [\text{sec}] \quad (\because T_n = \frac{1}{f_n})$$

以上の関係から振り子の紐の長さが分かれば周期が、周期がわかれば紐の長さわかる。クレーンの荷振れ現象はこれに地切りの運動、運搬時の加速・並行・旋回運動、風の外乱などが加わるが、基本的な運動特性はこの振り子の運動とほぼ同様である。

2.2. プロペラ推力を利用したクレーンの荷振れの制振

クレーンのアーム部を制御する研究は多くなされてい

るが荷の部分の直接制御する研究は数が少ない。また、荷に直接制御力を与える方法については、振り子の腕が剛体であるものは研究がなされていて、風による動揺に対して、効果的な減衰を得ることに成功している。すなわち荷の部分の制御する方法は非常に有効な手段といえる。以上のことから数多くの研究機関が研究を続けているが、荷の部分の直接制御する方法は現在も研究の余地があると考えられる。

そこで本研究では、プロペラ推力を利用したクレーンの荷振れの制振方法を考案した。これはプロペラを荷の付近に設置し、その推力によって荷振れを抑制しようという装置である。プロペラによる推力は、プロペラが回りだしてから最大出力が発生するまで遅れが生じて特性を持っているが、一方に連続的な力を与えられることができる。従って、長周期の振り子である大型のクレーンの吊り荷に対しては、その一周の間に同一方向に長く制御力を与えられるためクレーンの荷振れ制御に適したものであるということに注目したものである。

3. 可変ピッチプロペラを利用した実大吊り荷振動システムの設計

3.1. 可変ピッチプロペラを利用した実大吊り荷振動システムの設計の目的

昨年までは $0.34[m] \times 0.20[m]$ 、腕の長さ $1.7[m]$ の模型サイズで実験を行った。

しかし、実用化、すなわち大型クレーンの荷振れやヘリコプターによる人命救助の際の振動現象などの振動制御を目指すのならば、より実物大サイズに近づけての実験を試みる必要がある。

そこで、人が実際に乗るブランコ程の大きさのものの振動制御を試みるため、そのためのプロペラ設計、製作を行う。

3.2 プロペラの設計

固定ピッチではなく可変ピッチを採用した理由は、プロペラ推力の立ち上がり遅れをできるだけ無くし、より効率良く振動制御するためであり、ピッチの変更はプロペラの主軸内部で行うと決めた。モーターによる回転運動を直線運動に変換し、ピッチを変更する。

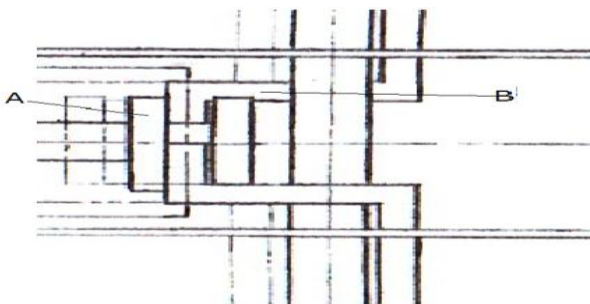


Fig.3-1 Mechanism for variable pitch

Fig.3-1 は主軸の内部にあるピッチ変更機構である。A は回転せず、直線運動する。B はペラとつながっていて、常に回転している。A が軸方向に行ったり来たりすることにより、B が回転しながら動かされ、結果回転しながらピッチを変更できることになる。

しかし摩耗や潤滑の問題から、B の部分の形状を再検討し、Fig.3-2 のように変更した。

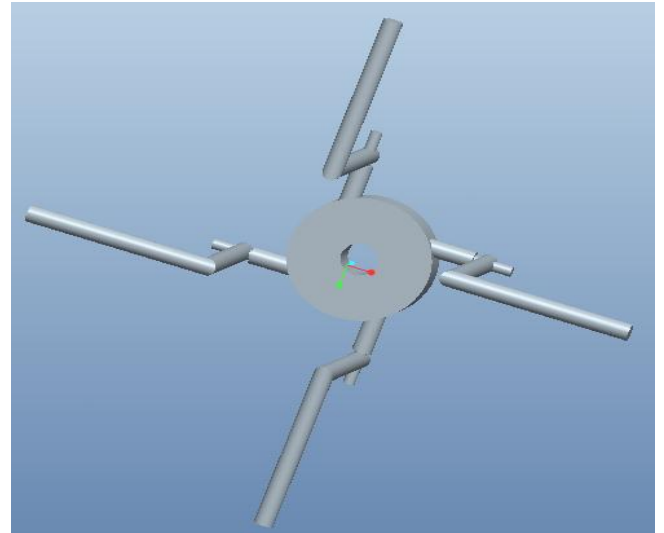


Fig.3-2 Improved mechanism for variable pitch

4. 結言

クレーン吊り荷の振動を制御するために、プロペラを用いた制振装置を提案し、可変ピッチプロペラの機構を設計した。

5. 今後の展望

設計の大部分は完了しているので、再度日本大学理工学部船橋校舎に行き、作成した図面を見ながらディスカッション、必要な改善を施し詳細部の設計の後、発注及び製作に取り掛かる。

6. 参考文献

- 1) 背戸一登, 丸山晃市, 『振動工学』, 森北出版, (2002.10)
- 2) 長尾弘, 岡野道治, 『振動工学』, 理工図書, (1991.4)
- 3) 小林慎平, 渡辺亨, 背戸一登, 『プロペラ推力を用いたクレーン吊り荷の振動制御に関する基礎研究』, 日本大学修士論文, (2008.3)