

スライド支持を用いた非線形ばね機構

吉田 靖夫*

Nonlinear Spring Mechanism Using Sliding Supports

Yasuo YOSHIDA*

(Received February 13, 2016)

A nonlinear spring mechanism is studied using sliding supports. The device has two links that are connected in point receiving a force and other edges of the link are moved along the slide guide-rails which are connected with one spring. It is effective to use large slide angles on supports when a small reaction is needed for large displacement. If small slide angles are used as displacement becomes larger, the reaction force reaches its limit and decreases afterwards.

Keywords: Spring, Sliding support, Nonlinear, Mechanism, Displacement, Force

1. はじめに

通常のばねは、変位に応じて反力は大きくなる。しかしながら、大きな変位に対して反力は大きくならないほうが望ましい場合がある。新幹線のパンタグラフは常に電線に接触する必要があり、すり板の摩耗を避けるため接触反力が過大とならないよう工夫されている⁽¹⁾。また、スライダを用いた機構では、円運動に変換するスライダクランク機構や直線運動に変換するルーロー平行運動などがある⁽²⁾がスライド支持を用いたばね機構はあまり見受けられないようである。

ここでは、スライド支持を用いた非線形ばね機構を取り上げ、変位が大きくなるにつれて反力が頭打ちとなるような場合について検討した。

2. スライド支持ばね機構

図1にスライド支持を用いたばね機構を示す。OA, OBは長さ l のリンクであり、O点で回転結合している。リンクの他端AとBはスライド支持され、スライド溝はAA', BB'で水平と θ の角度で斜めに設置されている。さらにAとBは、ばね(ばね定数 k)で結合している。初期位置では、AB間の長さ b はばねの自然長、線分ABと結合点Oとの距離は a である。下方から力 p を受けると結合点Oは y 上昇しAとBはスライド溝をすべり、ばねの伸びは x となる。ばね伸びによる反力 R は常に力 p とつりあう。上昇変位 y に対して、力 P およびばね伸び x との関係を調べた。

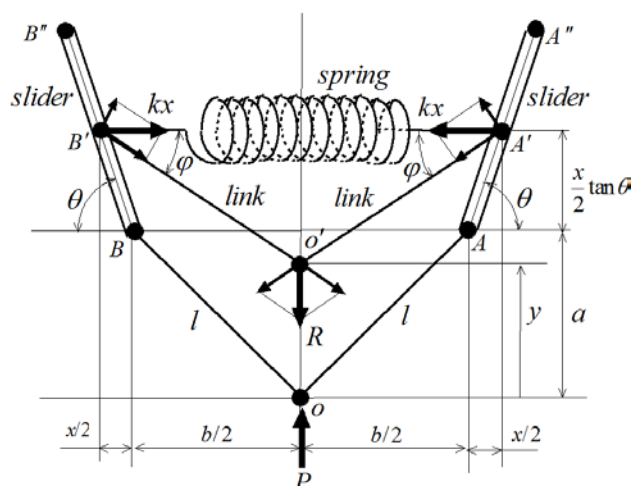


図1 スライド支持ばね機構モデル

3. 解析

上昇時の長さ l のリンクはO'A'位置である。O'はOから上に y 、A'はOから右へ $b/2 + x/2$ 、上に $a + x \tan \theta/2$ なのでリンク長さの関係は次式となる。

$$l^2 = a^2 + (b/2)^2 = (a - y + x \tan \theta/2)^2 + (b/2 + x/2)^2 \quad \dots (1)$$

(1)式から x が求まる。

$$\bar{x} = \frac{1}{1 + \zeta^2} \left(-\alpha + \sqrt{\alpha^2 + 4\lambda^2(1 + \zeta^2)(2 - \bar{y})\bar{y}} \right) \quad \dots (2)$$

*機械工学科 (Department of Mechanical Engineering)

ここで,

$$\bar{x} = \frac{x}{b}, \bar{y} = \frac{y}{a}, \lambda = \frac{a}{b}, \zeta = \tan \theta, \quad \alpha = 1 + 2\lambda\zeta(1 - \bar{y})$$

つぎに, ばね軸とリンク軸のなす角を φ とし, ばねが発生する下向き反力 R を求める。ばね力 kx のリンク軸成分の下向き成分が反力 R で力 p とつりあう。

$$R = p = 2kx \cos \varphi \sin \varphi \quad \dots(3)$$

$$= 2kx \cdot \frac{b+x}{2l} \cdot \frac{a+x(\tan \theta)/2 - y}{l}$$

(3)式から p が求まる。

$$\bar{p} = \frac{p}{kb} = (1 + \bar{x}) \left\{ \lambda(1 - \bar{y}) + \frac{1}{2} \zeta \bar{x} \right\} \frac{\bar{x}}{\lambda^2 + 0.25} \quad \dots(4)$$

4. シミュレーション結果

着力点 O の変位 y に対する力 p およびばねの伸び x の変化を調べた。

4.1 スライド角 θ の影響

図2は力 p とばね伸び x に与えるスライド角 θ の影響を示す。 θ は $0^\circ \sim 80^\circ$ まで変化させ, リンクの初期姿勢は $a/b = 0.5$, $\angle AOB = 90^\circ$ とした。横軸に O 点変位 y/a , 縦軸に p/kb を太線で, x/b を細線で示す。ばねの伸び x/b はスライド角 θ の増加とともに減少する。これはスライド角 θ が大きくなるに従って変位 y/a を大きくしないとばねは伸びないからである。つぎに, 力 p/kb については, スライド角 θ が 70° 以上のときばねの伸び x/b と同様に減少する。従って大きな変位に対して小さな反力を必要とするときはスライド角 θ を大きくすれば良いことが分かる。一方, スライド角 θ が小さくなり変位 y/a が大きくなるにつれて, 力 p/kb はばねの伸び x/b の増加曲線と離れ低下していく。これはスライド角 θ が小さくなるとばねの伸び x/b と $\angle AOB$ が大きくなりリンク軸力による下向きの反力が小さくなるためである。力 p/kb はスライド角 θ が 45° のとき $y/a = 0.70$ 付近で, 20° 以下では $y/a = 0.45$ 付近で頭打ちが生じる。力の頭打ちの値はいずれの場合も $p/kb = 0.22$ でほぼ一定であり, 頭打ちのあと力は減少する。

4.2 初期姿勢 a/b の影響

図3は力 p とばね伸び x に与える初期姿勢 a/b の影響を示す。 a/b は $0.25 \sim 1.25$ まで変化させ, スライド角は影響が顕著な $\theta = 0^\circ$ とした。変位 y/a が大きくなるにつれてばねの伸び x/b も大きくなるが, 力 p/kb は $y/a = 0.45$ 付近で頭打ちが生じその後減少

し $y/a = 1.0$ にて力は消えてしまう。 a/b が増加すれば力 p/kb の頭打ちの値も増加する。これは a/b が大きくなると $\angle AOB$ が小さくなりリンク軸力による下向きの反力が大きくなるためである。

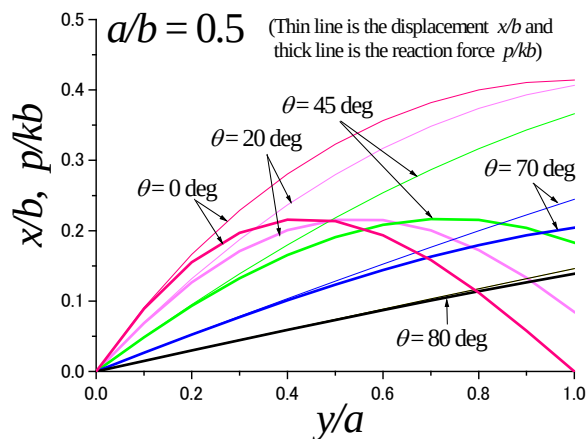


図2 力 p とばね伸び x に与えるスライド角 θ の影響

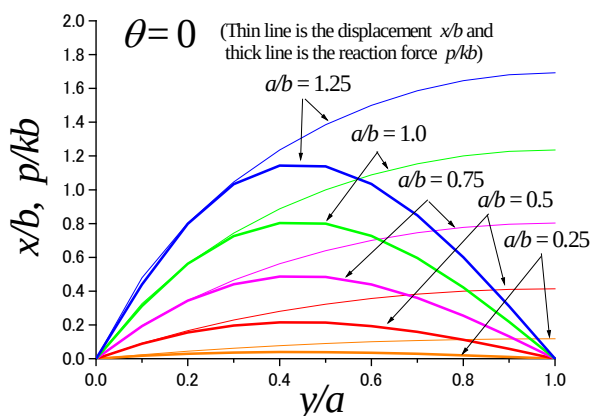


図3 スライド角 $\theta = 0$ のときの力 p とばね伸び x

5. まとめ

スライド支持を用いた非線形ばね機構に力が作用した場合の反力と変位について検討した。その結果, 大きな変位で小さな反力が必要なのはスライド角を大きくすれば良いこと, 反力を頭打ちの大きさに収めるにはスライド角を小さくすれば良いことを明らかにした。

参考文献

- 1) 伊藤茂: メカニズムの事典, pp43-47および p96, 1983, 理工学社
- 2) 國枝正春: 実用機械振動学, pp9-10, 1984, 理工学社