

Sensing System to Detect Center of Gravity of a Lifting Load for a Crane: Basic Concept and Model Experiment

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2018-06-15 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00050348

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



クレーン荷物吊り上げ時の偏心検出システム (第1報)

—基本構成とモデル実験—

金沢大学 ○村井祐貴, 関啓明 東芝ロジスティクス(株) 山口安昭, 李倍

Sensing System to Detect Center of Gravity of a Lifting Load for a Crane —Basic Concept and Model Experiment—

Kanazawa University Yuuki Murai, Hiroaki Seki Toshiba Logistics Corp. Yasuaki Yamaguchi, Bai Ri

When lifting a heavy load with a crane, the horizontal misalignment between the hook and the center of gravity (COG) sometimes causes accidents. In this paper, we propose a sensing system to detect COG of a load before rising from the ground. The system utilizes the relationship between the lifting force and side forces generated by the misalignment. Proposed system can be easily placed around the load and it will contribute to the safety of crane work by correcting the hook position after measuring COG. We have shown the possibility of the COG sensor system by static analysis and some model experiments.

1. 緒言

クレーンで重量物を吊り上げる際、荷物の重心とクレーンフックの位置がずれている(偏心)と荷物が回転・横ずれし、作業者を巻き込む事故が発生しやすい(Fig. 1)。傾斜センサを荷物に取り付けて危険を感知することはできるが、吊り上げてしまう前に偏心がどの程度かを検出することはできない。また、従来、荷物の下に敷いたセンサや、あるいは、荷物上部とフックの間に取り付けた複数の荷重計で荷重分布を測って重心を求めるシステム等も提案・開発されているが、一度荷物を吊り上げて置く必要があったり、大型の重量物に対応できるセンサは取付が面倒で大掛かりになったりする。そこで、本研究では、重量物を吊り上げてしまう直前に、その偏心を検出できる簡易なセンサシステムを開発する。

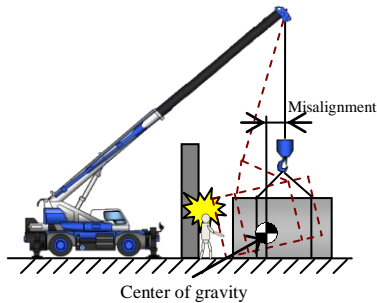


Fig. 1 Accident during crane work

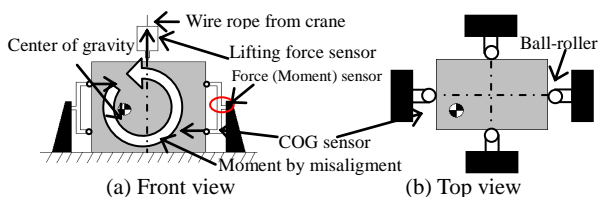


Fig. 2 Sensing system to detect center of gravity

2. 偏心検出センサの提案

Fig. 2のように、4台の偏心検出センサ(COG sensor)を荷物に押し付けて前後左右に配置し、接触点に加わる力を測ることで、荷物の重心を検出するシステムを提案する。接触点には、ローラをつけ摩擦力が働かないようにする。偏心している時には吊り上げる際に荷物が傾き、各センサの上下の接触点のどちらかに力が加わる。そこで、上下の接触点の中間部で、モーメントを計測すれば十分である。また、上下で接触させる方が、各側面の同じ高さ1点で接触させるより、荷物底面の摩擦が少ない時でも力が生じやすい上、上下どちらかの力が発生したかによって、重心が大まかに左右前後のどちらにずれているのかすぐ分かる。吊り上げる際にこれら4点の力とその時の吊り上げ力の関係より偏心を導出する(後述)。なお、荷物の重量は既知とする。吊り上げ力は、クレーンに

内蔵されている荷重センサを利用することもできる。このシステムでは、荷物の周囲に簡易なセンサを配置するだけで、完全に荷物が吊り上げる前に偏心を検出できる。また、荷物の横にかかる力は、荷物の重量に比べかなり小さいので、大型の荷重計を用意しなくてよい。

3. 偏心検出方法

荷物を吊り上げる際に発生する横方向の力から偏心を求める。この時の力の関係を Fig. 3 に示す。荷物は、直方体とみなし、質量 m 、吊り上げ力 T 、前後左右の重心(a_1, a_2)、横方向の力 $F_1 \sim F_4$ 、吊り上げる途中で偏心側の角に生じる垂直抗力 N (それ以前は底面のどこか)、摩擦力 F_{01}, F_{02} 、幾何学パラメータ b_1, b_2, c, c_1, c_2 とする。鉛直及び水平方向の力とモーメントの釣り合い式は下のように表示する。

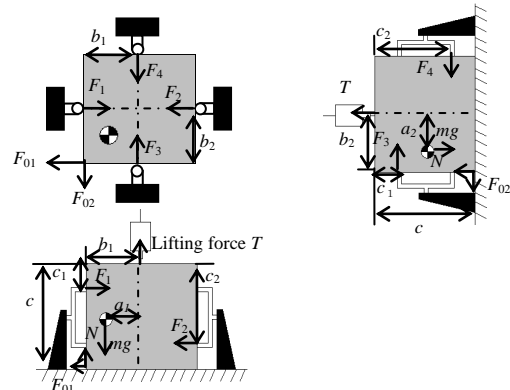


Fig. 3 Static model of a lifting load and sensors

$$\begin{cases} T = mg - N \\ F_1 = F_2 + F_{01}, F_3 = F_4 + F_{02} \\ a_1 mg + c_1 F_1 = c_2 F_2 + c F_{01} + b_1 N \\ a_2 mg + c_1 F_3 = c_2 F_4 + c F_{02} + b_2 N \end{cases} \quad (1)$$

最初は荷物の底面全体が接地しているが、仮に $a_1/b_1 > a_2/b_2$ とすると、少し吊り上げれば左側の底辺のみ接地する。この時、左右方向の力 F_1, F_2 について考えてみると、 N を消去して、

$$F_1 = \frac{b_1 T - (b_1 - a_1) mg - (c - c_2) F_{01}}{c_2 - c_1} \quad (2)$$

$$F_2 = \frac{b_1 T - (b_1 - a_1) mg - (c - c_1) F_{01}}{c_2 - c_1} \quad (3)$$

となる。底面の摩擦係数を μ とすると $0 \leq F_{01} \leq \mu N$ より、 F_1, F_2 は $F_{01} = 0$ のとき最大値、 $F_{01} = \mu N$ のとき最小値をとる。 F_{01} を消去しての偏心について求めると

$$a_1 = \frac{(c-c_1)F_1 - (c-c_2)F_2 + b_1(mg-T)}{mg} \quad (4)$$

となり、 m が分かっている場合には、 F_1, F_2, T を測定することで、 a_1 が求められることが分かる。

左右の荷重が、どれ位の吊り上げ力 T になったときに発生するのかわかる。 T が小さい程、早目に偏心を検出できる。式(2)において $F_1 \geq 0$ とし、 $0 \leq F_{01} \leq \mu N$ を考慮すれば、

$$mg \left(1 - \frac{a_1}{b_1}\right) \leq T \leq mg \left(1 - \frac{a_1}{b_1 + (c-c_2)\mu}\right) \quad (5)$$

の間で F_1 が生じ始める。式(3)の F_2 についても同様 ($c_1 \rightarrow c_2$) であり、 $c_2 > c_1$ より、 F_2 より F_1 が先に発生する。さらに吊り上げると、荷物の底面の角 1 点で接地する。この場合でも、前後方向 F_3, F_4, a について左右方向と同様の解析ができる (a_2 も求まる)。ただし、1 点接地で前後左右全ての横に力が加わっている時は、水平面のモーメントの釣り合い

$$b_2 F_1 + b_1 F_4 = b_2 F_2 + b_1 F_3 \quad (6)$$

という関係が成立し、底辺で接地している時とは摩擦も変化する、1 点接地の摩擦係数を μ' とすると、 $\sqrt{F_{01}^2 + F_{02}^2} \leq \mu' N$ である。式(6)は式(1)より $b_2 F_{01} = b_1 F_{02}$ と表されることから、摩擦力の条件は、次のようになる。

$$0 \leq F_{01} \leq \mu' N / \sqrt{1 + (b_2/b_1)^2}, 0 \leq F_{02} \leq \mu' N / \sqrt{1 + (b_1/b_2)^2} \quad (7)$$

4. 実験装置

約 10kg 程度の荷物に対して、モデル実験を行って、偏心検出の可能性を探ることとした。実験装置を Fig. 4 に示す。偏心検出センサは、コの字型にし、上下の接触点のどちらに力が加わっても、根元の板部 (アルミ製、厚 2mm、長 21mm、幅 40mm) が変形するようにし、そこにひずみゲージを張ることで、接触力によるモーメントを検出する構造とした。接触点のボールローラの径は 5mm である。センサの台は滑らないようにゴムマットを貼り付けた。なお、荷物のモデルは立方体の鉄の重りを中に取り付けて、偏心の量を変更できるようにした。寸法は、幅 34.5cm、奥行 14.6cm、高さ 40cm、質量は、12.3Kg である。

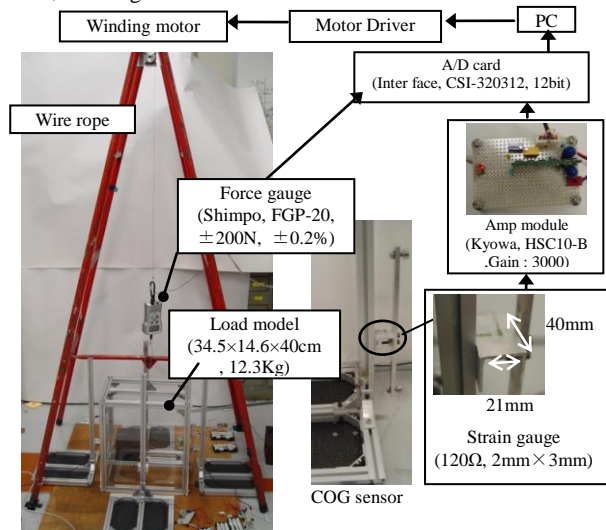


Fig. 4 Experimental set-up of COG sensing system

5. 検出実験

モータでゆっくりワイヤロープを巻き上げ、吊り上げ力 T をと偏心センサに加わる力 F_1, F_2, F_3, F_4 の変化を 0.05 秒間隔で計測した。偏心は、センサに加わる力が 0.15[N] 以上になった時に計算した。各パラメータを $m=12.3$ [kg], $a_1=5$ [cm], $a_2=3$ [cm], $b_1=17.3$ [cm], $b_2=12.3$ [cm], $c=40$ [cm], $c_1=10$ [cm], $c_2=20$ [cm], $\mu=0.71$, $\mu'=1.10$ (μ, μ' は予め測定) として実験を行った結果を Fig. 5 に示す。

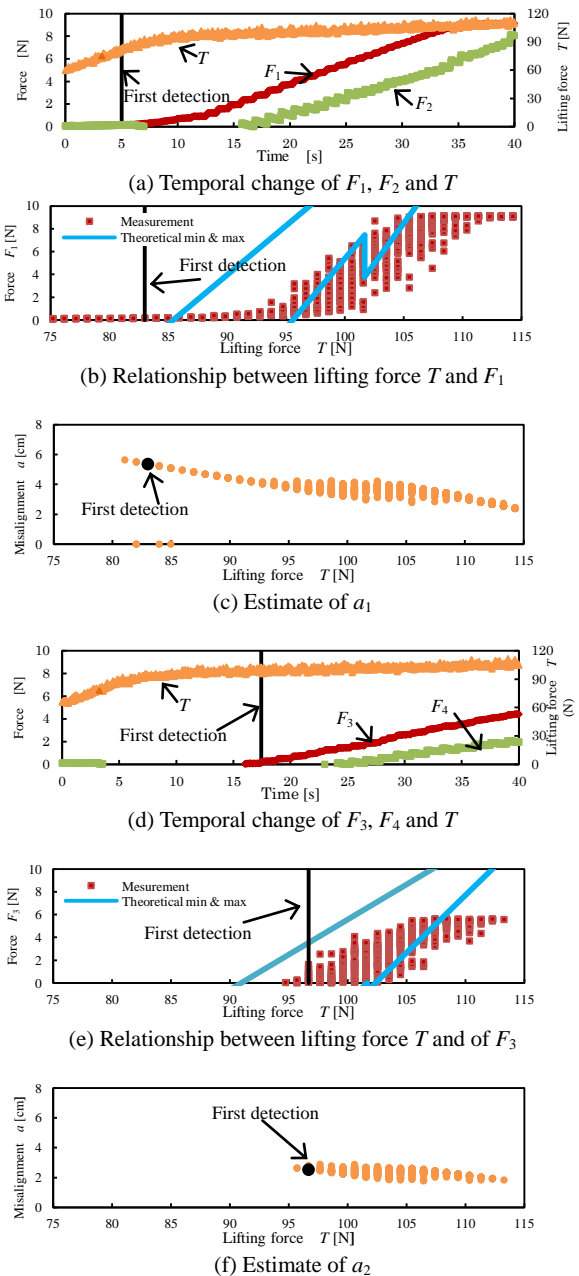


Fig. 5 Experimental result of detecting COG

センサに力が加わり始めた付近では、偏心が上手く測定できている。さらに吊り上げると偏心が小さく推定されているがこれは、荷物が傾いていくためと考えられる。Table. 1 に、偏心の量をいくつか変えて推定した結果を示す。吊り上げ始めて最初に検出された推定値を用い各 3 回の実験の平均をとっている。概ね正しく検出できている。

Table. 1 Estimation of misalignment a_1, a_2 (unit : [cm])

No.	Real (a_1, a_2)	Estimation (a_1, a_2)
1	(5, 3)	(5.53, 2.40)
2	(5, 1)	(5.28, 1.10)
3	(3, 3)	(2.28, 2.66)
4	(3, 1)	(3.42, 0.96)
5	(1, 3)	(1.03, 3.15)
6	(1, 1)	(1.13, 1.31)

6. 結言

クレーンで荷物を吊り上げてしまう直前に検出できる簡易な偏心検出センサを提案し、力学解析とモデル実験により実現の可能性を示した。今後の課題は荷物の重量が未知の時の検討や実際のクレーンでの実験等である。