

要旨

走行クレーンの加速・減速時、慣性力により生じる運搬物の揺れを制御するために、ジャイロモーメントを利用した機構を考案した。2個のローターで構成されたジャイロ装置をロープと荷の間に取り付けられたクレーンモデルについて、運動方程式をたて数値計算によりその有効性を検討した。その結果、ジャイロ装置の制御により、荷の揺れの減衰を早めるのに効果がある結果が得られた。

1. 緒言

走行クレーンなどでロープに吊り下げられている運搬物には走行時に慣性力による揺れが生じ、作業能力を低下させ保安上の問題にもなる。

本研究ではクレーンにジャイロ装置を搭載し揺れを制御することを考え、クレーンに働くジャイロモーメントの効果を数値解析によって検討する。

2. ジャイロクレーンの運動解析

通常の走行クレーン及びジャイロクレーンの2次元モデルを図1に示す。ワイヤーロープの曲がりには少ないとしてジャイロ装置と一体の振り子(支点A)とおき、荷(支点B)を含めたクレーン全体で二重の物理振り子と考える。

ジャイロ装置は図2に示すような機構である。装置の支点A周りの揺れ角速度により生じるジャイロモーメントが作用し、ローターは歳差軸周りに回転する(角度 ϕ)。この歳差軸周りの角速度により、ジャイロモーメントがクレーン振動の減衰力及び揺れに対する抵抗力として働く。さらにモーターで歳差軸に装置の傾き角度に比例するトルクを加えることで、能動的な

揺れ制御を行う。また、装置はローターを2個持ち、互いに逆回転させることで装置をねじるモーメントを相殺する。この装置を2組直角に組合せると走行、横行両方向での揺れに対応する事も可能である。

このジャイロクレーンモデルの運動方程式を以下に示す(ロープ質量、空気抵抗は無視)。(1)、(2)はそれぞれクレーンの支点A、B周りの、(3)はローター歳差軸周りの運動である。

$$(I_1 + M_1 h_1^2 + M_2 h_1^2) \ddot{\theta}_1 + M_2 L_1 h_2 \ddot{\theta}_2 + (M_1 h_1 + M_2 L_1) g \theta_1 + c_1 \dot{\theta}_1 + 2C\omega \dot{\phi} \cos \phi = -(M_1 h_1 + M_2 L_1) \dot{V} \quad (1)$$

$$M_2 L_1 h_2 \ddot{\theta}_1 + (I_2 + M_2 h_2^2) \ddot{\theta}_2 + M_2 g h_2 \theta_2 - c_2 \dot{\theta}_1 + c_2 \dot{\theta}_2 = -M_2 h_2 \dot{V} \quad (2)$$

$$i \ddot{\phi} = -mgl \sin \phi - mlR \dot{\theta}_1^2 \sin \phi - \varepsilon \dot{\phi} + K \theta_1 + \dot{\theta}_1 \cos \phi \cdot C(\omega + \dot{\theta}_1 \sin \phi) - A \dot{\theta}_1^2 \sin \phi \cdot \cos \phi \quad (3)$$

L_1 :ロープ+ジャイロ装置長, $h_{1,2}$:支点から重心までの距離, $M_{1,2}$:各部質量, $I_{1,2}$:各重心周り慣性モーメント, $c_{1,2}$:支点周り減衰係数, g :重力加速度

(添字 X_1, X_2 はそれぞれ支点A, B周り)

m :ローター質量, C :ローターの回転軸まわり慣性モーメント, A :ローターの回転軸に垂直な軸まわり慣性モーメント, l :歳差軸からローター重心までの距離, i :ローターの歳差軸まわり慣性モーメント, R :支点Aからローター重心までの距離, ω :ローター回転角速度, ε :歳差軸周り減衰係数, K :歳差モータートルク係数

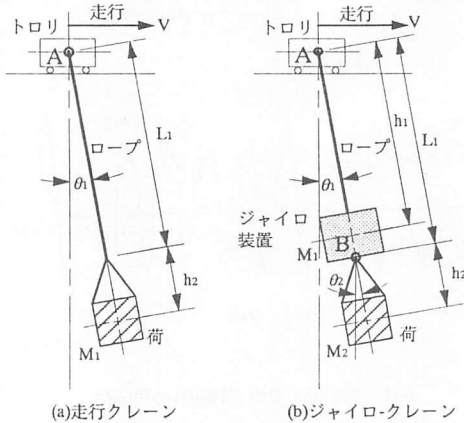


図1 ジャイロクレーンモデル

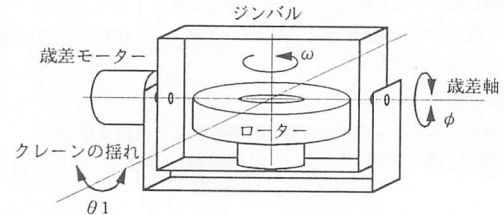
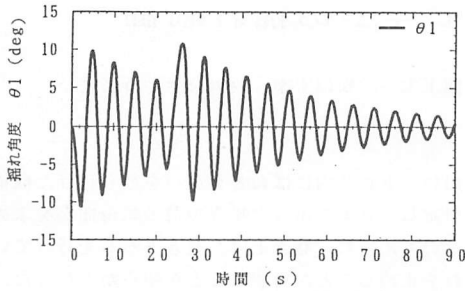
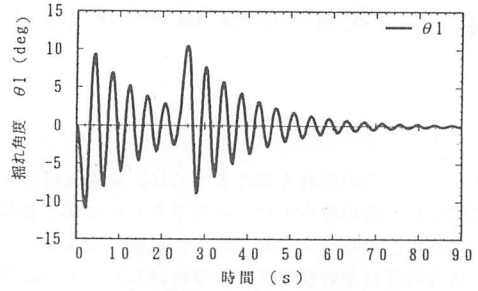


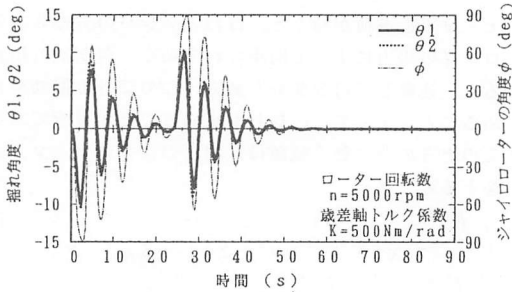
図2 ジャイロ装置の機構



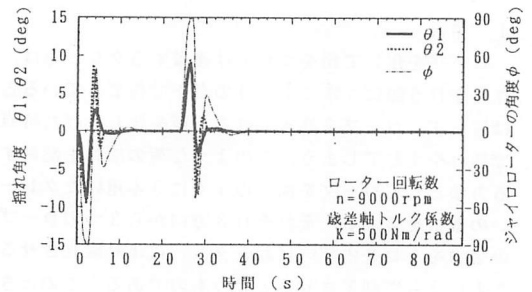
(a) クレーンの揺れ角度(ジャイロ無し)



(a) クレーンの揺れ角度(ジャイロ無し)



(b) クレーンの揺れ角度(ジャイロ有り)



(b) クレーンの揺れ角度(ジャイロ有り)

図4 ジャイロクレーンの揺れ①

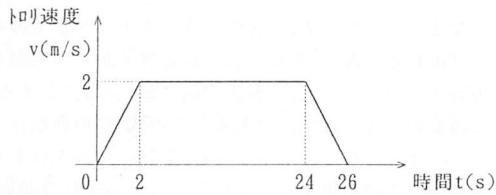


図3 クレーンの走行パターン

図5 ジャイロクレーンの揺れ②

4. 結果及び考察

図4, 5は計算結果を表し, (a)に通常のクレーンの揺れ角度 θ_1 , (b)にジャイロクレーンの揺れ角度 θ_1 , θ_2 , 及びローター揺れ角 ϕ を示す.

①の計算結果(図4)より, ジャイロ装置を取り付けることで揺れの減衰を早めることが出来る.

②(図5)は①の状態よりロープを短くし(系全体の慣性モーメント減少), ローター回転数を上げることで, ジャイロ装置の出力を相対的に増加させた結果である. 慣性モーメントの減少によりクレーンそのものの揺れ減衰も早まっているが, ジャイロモーメントが荷に対して大きくなり, 素早い揺れの減衰が可能になっている. また, 加減速により生じる最大揺れ角度も少なくなっている. 以上からジャイロクレーンを有効に働かせるにはある程度のローター(ジャイロ装置)の大きさが必要になることが判る.

3. 数値解析

式(1), (2), (3)の運動方程式をニューマーク β 法で計算した.

ローターは外径0.488m, 内径0.412m, 高さ0.206m, 質量 $m=69.1$ kgの鋼製中空とした. ジャイロ装置の寸法は幅1.37m \times 1.37m, 高さ1.08m, 質量 $M_1=1000$ kgである. 以下に, 計算に用いた諸数値を示す.

$I_1=253.6$ kgm 2 , $C=3.43$ kgm 2 , $A=1.96$ kgm 2 , $J=0.103$ m, $i=2.69$ kgm 2 , $R=4.46$ m, $g=9.8$ m/s 2 , $c_1, c_2=10000$ Nms/rad, $\varepsilon=100$ Nms/rad, $M_2=4000$ kg, $h_2=1.167$ m,

トロリの走行パターンは図3に示す通り, 時間 $t=0$ から2秒間で速度 $v=2$ m/sまで加速, 等速で走行後 $t=24$ sから2秒間で速度 $v=0$ に減速する(26秒で48m走行).

計算結果は次の2種類の例を載せる.

① $L_1=5$ m($h_1=4.46$ m), $\omega=523.8$ rad/s($n=5000$ rpm)

② $L_1=3$ m($h_1=2.46$ m), $\omega=942.5$ rad/s($n=9000$ rpm)

歳差軸トルク係数はいずれも $K=500$ Nm/radである.

5. 結言

ジャイロクレーンの運動特性について数値計算を行なった結果, ジャイロモーメントの作用によりトロリ走行時の揺れを抑え, また揺れ減衰を早める効果があることが確認された.

○参考文献

谷口 修:改著 機械力学 I 機構と運動, 養賢堂(1984)