

32. ジャイロモーメントを利用した 吊荷制御装置の開発

(株)大林組：井上 文宏・福田 一成
脇坂 達也

1. まえがき

建設工事におけるクレーンを用いた鉄骨梁や外壁PCa板などの揚重、取付けする作業では、資材の旋回を極力抑制し、さらに建込み易い位置で資材を受取ることが、作業効率や安全性の面で理想的と考えられる。しかし、超高層ビルや湾岸等に面した建設現場、荷取スペースが狭く広範囲に資材を回転移動させる建設現場では、強い風やクレーンの動きに伴う慣性等によって、資材の向きが頻繁に変化し、最悪では旋回し始めることもしばしば経験されている。

これまで吊荷旋回を制御する装置の開発には軸流ファンを用いた流体反力による手法が主に利用されているが、その応答性は緩慢であり、正確な位置決めはかなりの熟練を必要とする。また装置本体が大型、高重量となり、騒音発生の問題も残されている。

そこで、本研究開発では吊荷の正確な旋回位置決めと外力に対する姿勢保持を目的とし、自由空間でも高出力の旋回モーメントが得られるジャイロ効果

に着目して、吊荷制御装置への適用、開発を行った。本論文では装置の概要、ジャイロ効果を用いた旋回位置決めシミュレーションおよび実際の建築現場における適用試験の結果について記述する。

2. 吊荷制御装置の概要

2.1 装置の構成と仕様

開発した吊荷制御装置の外観写真を図1に、その標準仕様を表1に示す。本装置は吊桁の中央に固定し、装置内部で発生する垂直軸まわりのジャイロモーメントを吊桁に伝えることによって、吊荷の旋回と姿勢保持を制御する。装置の内部は中央にモーメントを発生させるアクチュエータ部、両側部に制御系、無線受信機および電源がそれぞれ装備されている。以下に本装置の特徴を示す。

(1) 吊荷定格と旋回速度 吊荷定格は形状と重量から定まる極慣性モーメントを基準とし、定格以下では、90度を15秒の速度で旋回するように設定されている。極慣性モーメントが定格を越える場合でも吊荷の旋回は可能であり、若干の速度低下が生じるのみである。

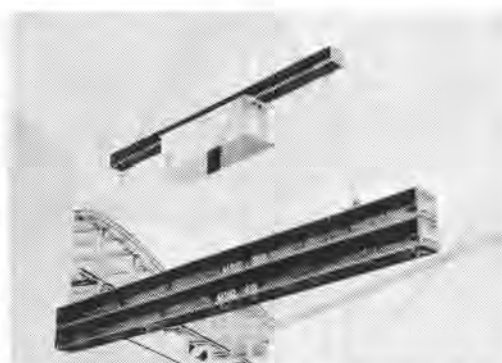


図1 ジャイロモーメント式吊荷制御装置の外観

表1 吊荷制御装置の仕様

寸法	法	(縦) 0.5m × (横) 1.4m × (高さ) 0.5m
自重	重量	400 kg (吊桁含まず)
駆動	方式	ジャイロモーメント方式
吊荷定格極慣性と旋回速度 (吊荷例)		6 ton m ² ; 90 [deg] / 15 [sec] パネル: (横幅) 3m, (重量) 8ton 鉄骨梁: (横幅) 6m, (重量) 2ton
操作	方式	回転: 無線方式, 静止: 自動方式
供給	電源	蓄電池 (DC 12V) 2台

(2) 操作方式 遠隔無線操縦により100m範囲内で制御することができる。通常、地上階と作業階の作業員が2つの操作器を持つ。入力信号は先行優先、再信号が入力されるまで現操作機能を維持する。

(3) 供給電源 蓄電池を使用し、連続8～10時間の連続運転が可能である。また、作業終了後の夜間充電により連日の使用が可能である。蓄電池を使用するため騒音は全く発生しない。

(4) 安全装置 吊荷の旋回中には警告ランプが点灯し、旋回方向を知ることができる。

2.2 ジャイロ効果と吊荷の旋回挙動

本装置で利用するジャイロ効果とは、図3(a)に示すように、水平軸(X軸)に置かれたフライホイールを高速に回転させ、ジンバルを介してY軸まわりに所定の角速度を与えることによって、鉛直軸(Z軸)まわりの旋回モーメントを得るものである。フライホイールの極慣性および角速度を IG 、 $\dot{\omega}$ 、Y軸まわりの角速度を $\dot{\theta}$ とすると、その出力モーメント M は、式(1)で示される。

$$M = IG \cdot \dot{\omega} \cdot \dot{\theta} \quad (1)$$

本研究では、まずジャイロ効果による吊荷の動きを把握するため、モデル試験機と数値解析によるシミュレーションを行い、実機吊荷制御装置に対する各種のパラメータを決定するデータとした。

(1) 吊荷の旋回位置決め 静止状態から、吊荷を旋回させ、所定の位置で停止させる挙動をシミュレーションによって明かにした。図2にジンバル(Y軸)および吊荷(Z軸)の角速度 $\dot{\theta}$ 、 $\dot{\phi}$ および変位角 θ 、 ϕ の関係を示す。また、図3に各状態のジンバルと吊荷の概略的な説明図を示しておく。

(a) 静止からの旋回開始 時刻A($t=0$)でジンバル軸のモータに入力トルク T を与えることにより、ジンバルは角速度 $\dot{\theta}$ で回転し、Z軸回りには式(1)に対応するモーメント M が発生する。これに伴い吊荷はその慣性によって瞬時に旋回を開始する。(図3(a))

(b) 等速旋回 その後時刻Bでジンバルがある角度で停止すると、吊荷は一定の角速度 $\dot{\phi}$ で旋回し始める。この時、モータの入力トルク T と吊荷(Z軸)の旋回に伴って発生するY軸回りのジャイロモーメント N とは釣合った状態にあり、したがって入力トルク T を調整することにより吊荷の旋回速度 $\dot{\phi}$ をある範囲で制御することができる。(図3(b))

(c) 旋回状態からの停止 時刻Cでジンバル軸に与えたモータの入力トルク T を0にする。Y軸におけるモーメントの釣合が崩れ、ジンバルは逆向きに回転する。これによって、式(1)で示した逆向きのモーメント $-M$ がZ軸まわりに作用して、吊荷は瞬時的に停止する(時刻D)。(図3(c))

このようにジャイロ効果を利用した場合には、旋回の開始および停止の応答性が鋭敏であり、入力トルクを微小時間間隔でオン・オフすることで高精度の位置決めが可能となる。また実機装置の挙動もシミュレーションの結果と同様であり、所定の能力が得られたことを確認した。

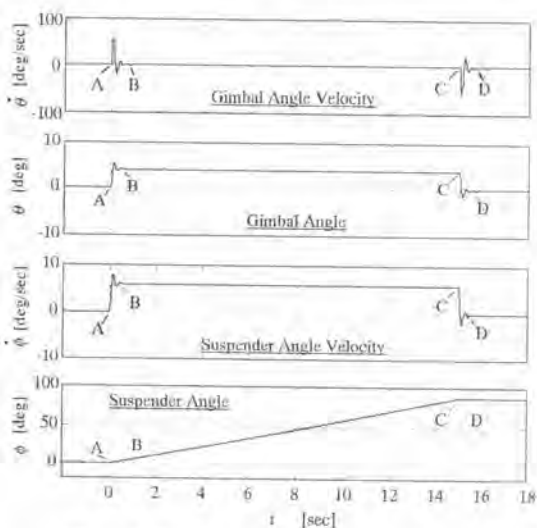


図2 旋回位置決めシミュレーション

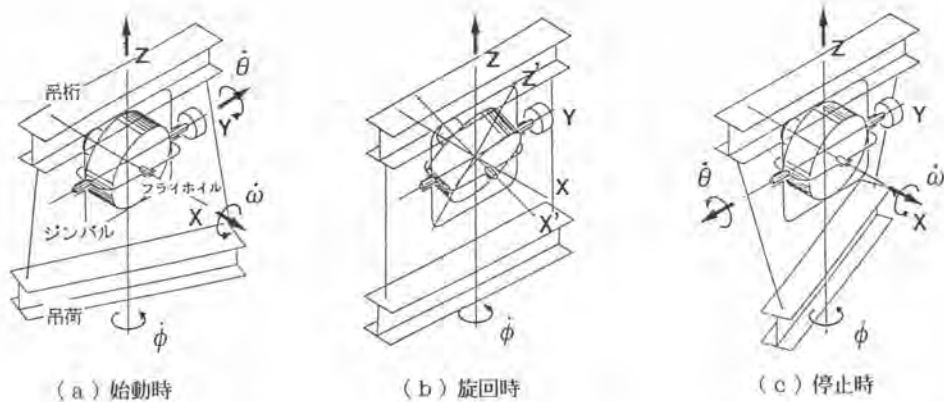


図3 ジャイロ効果を利用した吊荷の旋回位置決め挙動説明図

(2) 姿勢保持 ジンバル軸に入力トルクが作用しない状態では吊荷は静止状態を維持しようとする。これは風などの外乱によって、吊荷に瞬時的な入力モーメント M_z が作用すると、ジャイロ効果によりジンバルが回転させられ、これによって発生するZ軸まわりのモーメントが吊荷の入力モーメントに対し逆向きに作用するためである。したがって二つのモーメントは相殺され、吊荷は静止状態を保つことができる。抵抗力は加えられる外力の早さと大きさに比例する。

(3) 旋回フリー ジンバル軸を強制的に拘束することで、ジャイロモーメントの発生を抑える。制御装置のない通常の状態となり、手で吊荷を旋回することができる。

3. 吊荷制御装置の現場適用

開発した吊荷制御装置は既に数カ所の建設現場に導入され、実際の揚重、取付け作業に適用されている。ここでは超高層ビル建築現場におけるアルミカーテンウォールの取付け作業に適用した一例について報告する。本現場では強い風により吊荷が回転し、取付けが困難となるため、本装置の導入を行った。

3.1 作業工程

カーテンウォール揚重、取付けの作業工程および吊荷制御装置の操作状態のフローシート図4に示す。吊荷装置の使用と操作方法は以下ようになる。

(a) 玉掛け作業前 地上階での無線操縦により、吊桁を旋回させ、玉掛け位置まで移動させる。

(b) 揚重時 無線操縦を解除し、吊荷制御装置を姿勢保持モードに設定する。風などの外乱に抵抗して旋回を抑制し、揚重の初期位置を極力保持させる。

(c) 建込み作業前および作業時 取付け階の無

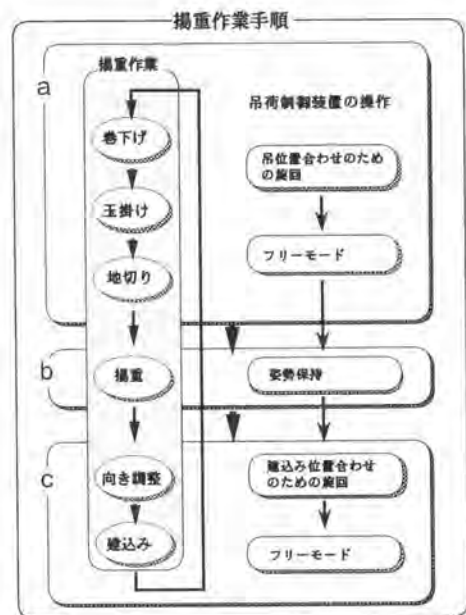


図4 作業工程のフローシート

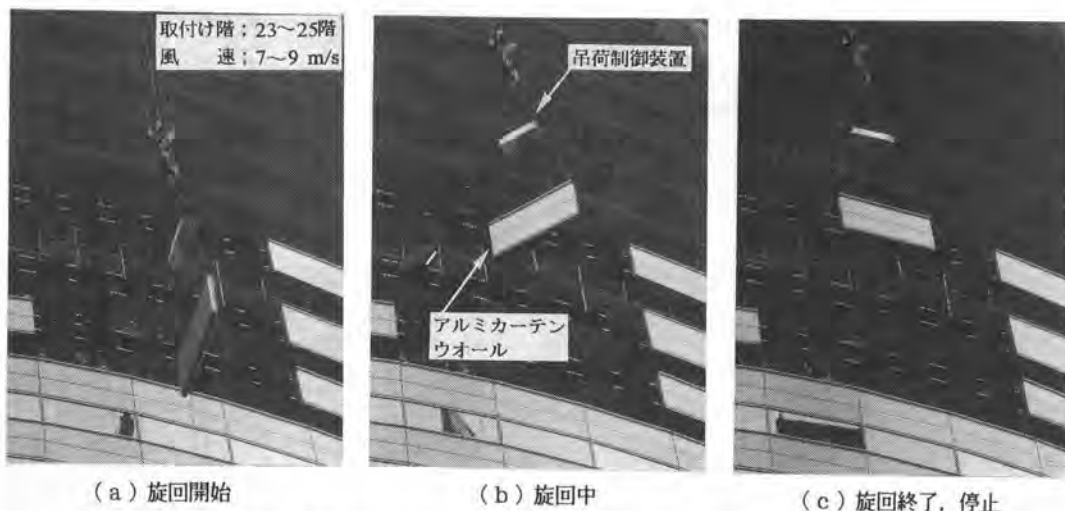


図5 吊荷制御装置を使用したカーテンウォールの旋回位置決め

線操作により、カーテンウォールを建込み合せ面位置まで旋回させ、停止させる。その後、旋回フリーモードにし、ジャイロ効果の機能を喪失させて、作業員による通常の建込み作業が行われる状態にする。

3. 2 装置性能と導入効果

(a) 装置の作動性能 図5に旋回作動中の吊荷装置と吊荷の連続写真を示す。取付け面と約90度の角度で姿勢保持されて取付け階まで揚重されたカーテンウォール(図5(a))が、吊荷制御装置に発生したジャイロモーメントによって、定格速度で徐々に旋回させられ(図5(b))、取り付け面とはほぼ平行となる旋回位置で停止し、姿勢保持することがわかる(図5(c))。かなりの強風にも係わらず旋回位置決め精度はかなり良好と言える。また、揚重中の吊荷は多少の旋回振れを生じるが、ほぼ静止状態を維持しており、本装置の各性能が十分機能していることを確認した。

(b) 作業効率と安全性 本装置の導入によって揚重作業における吊荷の旋回制御が可能となり、作業効率の向上が確認された。特に荷取り場における資材の荷降ろし向きを考慮せずに作業が進めることなどの利点がある。また、吊荷の旋回が防止されることで、作業員が行う危険作業(吊荷の旋回止め、不安定な位置での建込み)がかなり減少し、さらに資材の衝突や破損等を防止することができる点など、作業の安全性に大きく寄与できたものと考えられる。

4. あとがき

ジャイロモーメントを利用した吊荷制御装置の実用化、現場導入を行い、作動性能を確認した。本装置は比較的小型であるにも係わらず、ジャイロ効果による大きなモーメントが得られるため、反力のない自由空間での資材の旋回制御には非常に有効的である。今後、多くの建設現場に導入することにより、改善点を見だし、さらに作業効率の向上と安全性の高い装置の改良を進めていきたい。なお、本開発に対し三菱重工(株)高砂研究所、神吉室長、猫本研究員の協力を得た。記して謝意を表す。

参考文献

- (1) Kanki, H. et al., "Dev. of CMG Act. Vib. Cont. Dev. for Gondola", Int. Conf. Motion and Vibration Control, 1992, Sep., P.310.
- (2) 井上, 他3名, "ジャイロモーメント方式吊荷制御装置の開発(第1報)", 日本建築学会講演会, 1994, 9, P.1131.