

多自由度振動系の振動抑制制御のための 振動位相同相化フィルタの設計

Design of Adjusting Common Phase Filter for Vibration Suppression Control of Multi-degrees of Freedom System

正 浜松 弘 (北九州高専) ○ 立花 俊幸 (北九州高専 専攻科)
正 二見 茂 (システムの機能研究所)

Hiroshi HAMAMATSU, National Institute of Technology, Kitakyushu College, Kokuraminami-ku Kitakyushu
Toshiyuki TACHIBANA, National Institute of Technology, Kitakyushu College
Shigeru FUTAMI, Laboratory of System's Function Corp.

Key Words: Flexible Structure, Feedback Control, Vibration Suppression, Filter Design

1. 緒言

現在、多くの工場や倉庫などで荷物運搬のためにスタックークレーンが用いられている。スタックークレーンは設置に必要な床面積が小さく、工場などの環境に親和性が高いという利点がある。

スタックークレーンの高速化・高精度化は生産性向上のために重要であるが、その際にマスト部に生じる残留振動が問題となる。

本研究ではスタックークレーンを模した柔軟構造物を制御対象とし、クレーンの駆動部に加速度フィードバック制御を付加することで残留振動の抑制を目指す。柔軟構造物は位相の異なる振動モードを複数持っており、単純なフィードバック制御では振動抑制が難しい。本研究では、振動位相を同相化するフィルタを作成し、これを用いてフィードバック制御の効果を検証する。

2. 制御対象

Fig.1 に本研究で用いる柔軟構造物を示す。二枚の片持ち梁の先に質点が固定されている。サーボモータによってボールねじを回転させ、構造物を左右に移動させることができる。

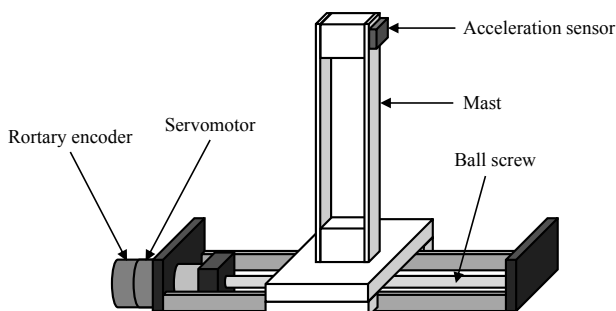


Fig.1 Flexible structure

3. 振動特性の測定

FFT アナライザを用いて、柔軟構造物の周波数応答を測定した。測定結果の周波数応答を Fig.2 に示す。サーボモータにランダム信号を入力し、梁の先端に設置した加速度センサの信号を出力とした。

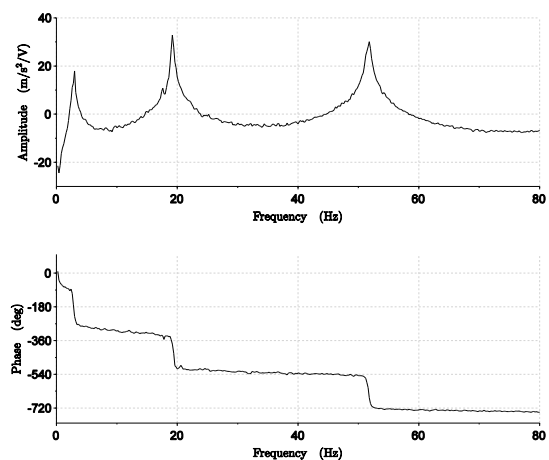


Fig.2 Frequency response

柔軟構造物は 3 つの振動モードを持ち、固有振動数は 1 次が 3Hz, 2 次が 19.2Hz, 3 次が 51.8Hz であることがわかる。また、1 次モードは入力信号と逆相に近く、2 次モードと 3 次モードは同相に近い。各モードにおける位相遅れを Fig.3 に示す。

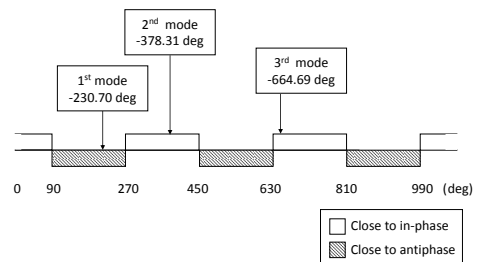


Fig.3 Phase lag of flexible structure

4. モデル化

制御系の解析のために、測定した周波数応答をもとに柔軟構造物の伝達関数を推定する。伝達関数 $G_s(s)$ を

$$G_s(s) = \frac{b_0 + b_1s + \dots + b_6s^6}{a_0 + a_1s + \dots + a_6s^6} \quad (1)$$

とおき、非線形最小二乗法を用いて測定した周波数応答から伝達関数を推定した。推定した伝達関数の周波数応答を実測の周波数応答と重ねて Fig.4 に示す。

6. 制御系設計

柔軟構造物の伝達関数を G_s 、フィルタの伝達関数を G_f 、フィードバックゲインを K としてフィードバック系を構成する。フィードバック系のブロック線図を Fig.8 に示す。

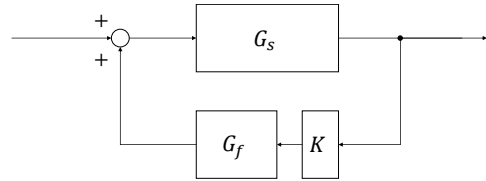


Fig.8 Feedback system

7. シミュレーションによる効果の検証

柔軟構造物に対してインパルス入力を加え、制御系の性能をシミュレーションで比較する。Fig.9 に制御を行わない場合、Fig.10 にフィルタを用いたフィードバック制御を行った場合のインパルス応答を示す。

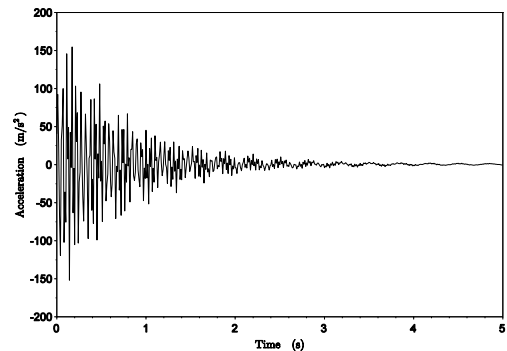


Fig.9 Impulse response

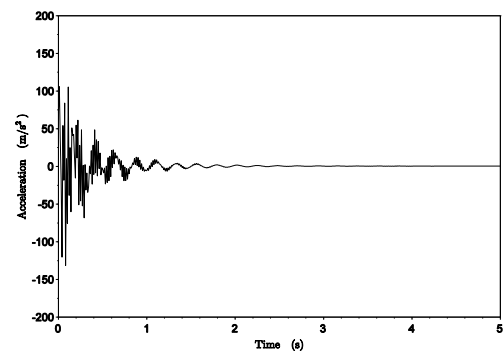


Fig.10 Impulse response with feedback control

8. 結言

本研究では同相化フィルタを設計し、1次モードと2次モードをともに逆相に設定することができた。これによって通常のフィードバック制御よりも高い振動の減衰性能を得ることをシミュレーションで確認した。

今後の展望として、3次モードも1次、2次と同じく逆相に近くなるよう調整することが挙げられる。また、シミュレーションした制御側を実際に柔軟構造物に適用し、実機での制御性能を検証する。

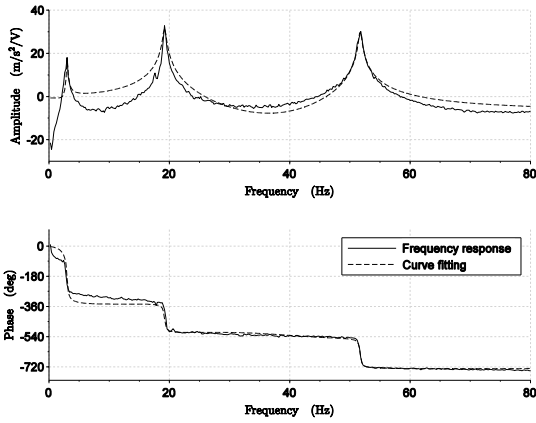


Fig.4 Frequency response of G_s

Fig.5 に、推定したモデルの各モードにおける位相遅れを示す。

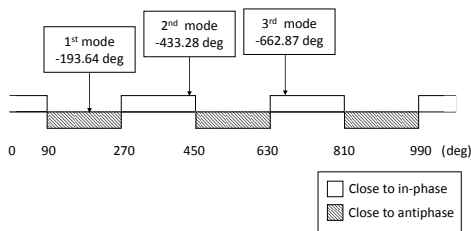


Fig.5 Phase lag of G_s

5. 同相化フィルタの設計

フィルタ回路 G_f を用いて、伝達関数 $G_s G_f$ の各モードにおける位相遅れを調整し、すべてのモードの位相遅れが入力と逆相になるように設計した。フィルタの回路図を Fig.6 に示す。

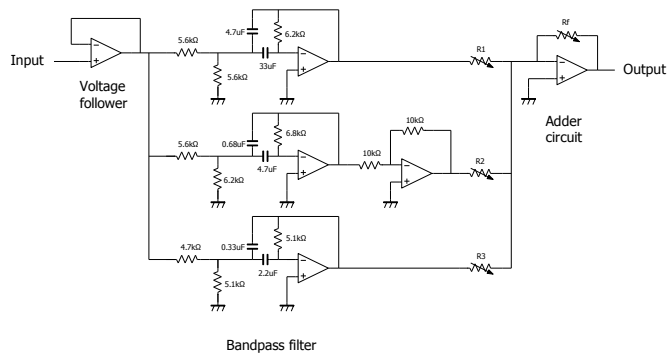


Fig.6 Filter circuit

フィルタは可変抵抗の値を変更することで特性を調整できるように設計した。 $R_f = 5.00 \text{ k}\Omega$, $R_1 = 3.84 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10.0 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 9.43 \text{ k}\Omega$ に設定した場合の伝達関数 $G_s G_f$ の各モードにおける位相遅れを Fig.7 に示す。1次モードと2次モードの両方が逆相に近くなっていることが分かる。

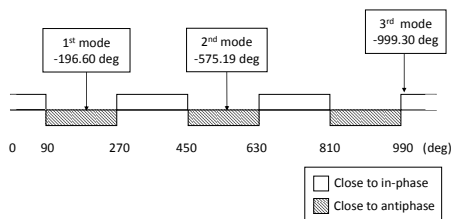


Fig.7 Phase lag of $G_s G_f$