

K4-61

小型ながら長周期・大振幅を測定できる絶対変位計の開発 (3 次の位相遅れ補償器による測定帯域の拡大)

Development of Compact Absolute Displacement Sensor that is measurable Vibration Possessing Long Period and Large Amplitude
(Expansion of Dynamic Range by third order phase-lag compensator)

○小坂田真弘¹, 植田浩平¹, 原顕宏², 二井聡史², 原田功大², 渡辺亭³, 背戸一登⁴

*Mahiro Osakada¹, Kouhei Ueta¹, Akihiro Hara², Satoshi Futai², Koudai Harada², Toru Watanabe³, Kazuto Seto⁴

This paper proposes a new type of active seismometer in order to measure vibration with long period and wide dynamic range. In order to lower the natural frequency and expand the detectable amplitude, the sensor with the low natural frequency is realized by using feedback control. Moreover, to compensate phase-delay, third order phase-lag compensator is added to shape measured output. It has been demonstrated that the detectable frequency range of the sensor is extended from 4.1[Hz] to 0.15[Hz], while the dynamic range of that is expanded up to 43[dB].

1. 緒言

ビルの 1 次モードの固有振動数は 100 階建てで概ね 0.1Hz, 30 階建てで 0.2Hz 程度であり, 周期 5~6 秒の長周期の地震波により共振が発生する. このような揺れを速やかに止めるには, ビルの内部減衰を高める方法が必要になる. その方法の一つにアクティブ制振法がある. しかし, この方法では, ビルの状態量をセンサで検出する必要がある. 特に変位の測定では, 測定可能な振動の周波数がセンサの固有振動数以上に限られるため, 1Hz 以下の長周期の地震波を測定することが難しい. そこで筆者らはフィードバック理論を用いて 1mm の可動範囲を持つ絶対変位振動計で周波数 0.1Hz, 振幅 1m の揺れを測定可能な絶対変位計の開発を目指している. 本報では出力に位相補償器による補正を掛けることで計測可能な帯域の拡大を目指す.

2. 提案する絶対変位振動計

センサヘッドと制御回路, 位相遅れ補償器からなる提案する絶対変位振動計の基本構成を Figure 1 に示す.

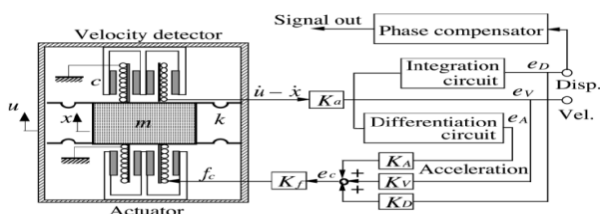


Figure 1. Structure of absolute displacement sensor

センサヘッド内は質量 m を有する可動部とそれを一方向に可動できるようにバネ定数 k のバネで支持され

ているバネ部からなるサイズモ型構造であり, 可動部はアクチュエータによって駆動される. その動きは速度検出器によってセンサヘッドの変位 u と可動部の変位 x 間の相対速度 $\dot{u} - \dot{x}$ に比例する相対速度信号電圧 e_v として検出される. 可動部の動きに伴い減衰係数 c を有する減衰力が発生する. 制御回路からの制御電圧 e_c によってアクチュエータには制御力 f_c が発生する. 制御回路内では相対速度信号電圧 e_v を積分回路に通す事によって相対変位信号電圧 e_D , 微分回路に通す事により, 相対加速度信号電圧 e_A を発生させる. これら 3 つの相対信号に各々変位フィードバックゲイン K_D , 速度フィードバックゲイン K_V , 加速度フィードバックゲイン K_A を掛けて, 更に 3 つの信号を合成することにより制御信号 e_c を得る. 制御力 f_c は制御信号 e_c に力係数 K_f を掛けて作られる.

制御回路により検出された相対変位信号電圧 e_D はフィードバックループの外にある位相遅れ補償器を通して絶対変位信号として出力される.

3. フィードバック制御時のセンサの周波数応答の測定結果

非制御時のセンサの周波数応答と, 全フィードバック制御を掛けた時の周波数応答の測定結果を Figure 2 に示す. Figure 2 に示すように, 全フィードバック制御を掛けることにより, ゲインを 43dB 低下させ, 可動範囲を 141 倍まで拡大させることができ, 固有振動数を 0.56Hz にまで下げることができる. しかし, 本研究では, 周波数 0.1Hz の揺れを測定することを目標にしている, 固有振動数をさらに下げる必要がある.

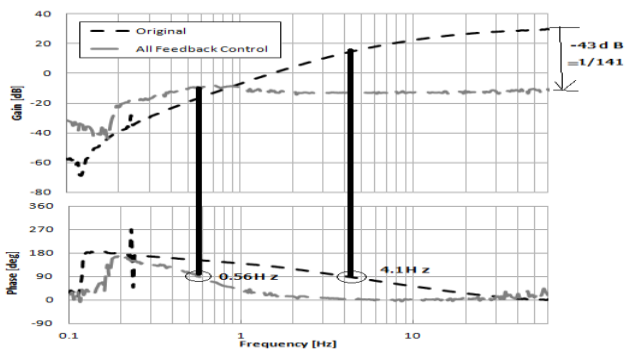


Figure 2. Measured frequency response of sensor

4. 3 次の位相遅れ補償器

全フィードバック制御時に、3 次の位相遅れ補償器をセンサに直列接続することにより、低周波での位相曲線を遅らせ、測定帯域の拡大を試みた。3 次の位相遅れ補償器は2次と1次の位相遅れ補償器を組み合わせることで設計できる。この補償器の回路図を Figure 3 に示す。また、3 次の位相遅れ補償器の周波数応答の測定結果を Figure 4 に示す。

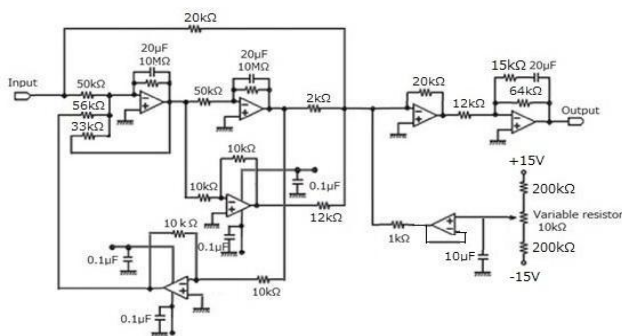


Figure 3. third order phase-lag compensator

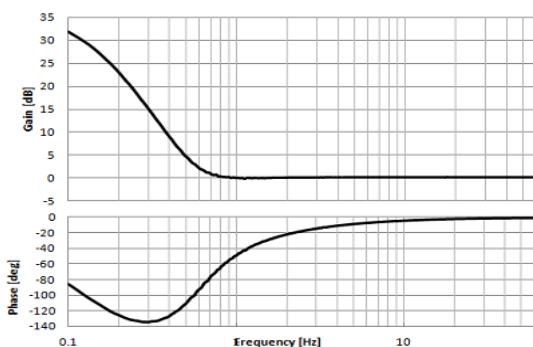


Figure 4. Measured frequency response of third order phase-lag compensation

5. 3 次の位相遅れ補償器をセンサに直列接続した時の周波数応答の測定結果

センサに3 次の位相遅れ補償器を直列接続した時の周波数応答の測定結果を Figure 5 に示す。

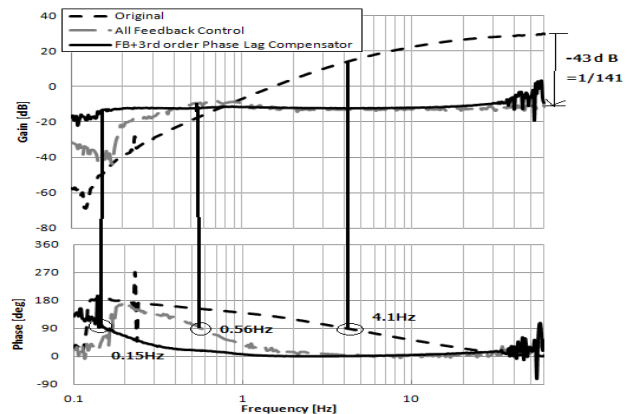


Figure 5. Measured frequency response of sensor with third order phase-lag compensation in addition to feedback control approach

Figure 5 に示すように、Figure 3 に示す3 次の位相遅れ補償器による出力整形を全フィードバック制御に追加することで、測定帯域を 0.56Hz 以上の帯域から、0.15Hz 以上の帯域にまで拡大した。しかし、周波数応答において、0.15Hz 以下の低周波帯域でノイズが発生し、30Hz 以上の高周波帯域で振幅倍率が増幅する応答が発生した。

6. 結言

センサに全フィードバック制御と3 次の位相遅れ補償器の出力整形を掛けることで、測定帯域を 0.15Hz 以上の帯域にまで拡大することを、実験で確認することができた。しかし 0.15Hz 以下の低周波帯域にノイズが、30Hz 以上の高周波帯域に振幅倍率の増幅が発生した。

今後の研究は、低周波帯域でセンサが対応可能なのかを確かめるために、より大きな振幅の加振を行える加振器へ変更して実験を行うことと、高周波帯域で発生する振幅倍率の増幅の原因を特定し、その対策を行うことを目標とする。

7. 参考文献

- [1] 背戸 一登, 渡辺 亨:「フィードバック制御の基礎と応用」, コロナ社, (2013)
- [2] 原田 功大, 渡辺 亨, 背戸 一登:「フィードバック制御を用いる絶対変位計に対する出力整形による計測帯域の拡大」, Dynamics and Design Conference 2016, 一般社団法人日本機械学会 機械力学・計測制御部門, pp87, (2016)