

K4-62

デジタル制御・周波数成形を用いて計測範囲を拡大するアクティブ振動計 Active Vibrometer using Digital Controller and Digital Shaping Filter to Expand Dynamic Range and Measuring Band

○成瀬友裕¹, 小坂田真拡², 渡辺亭³, 背戸一登⁴*Tomohiro Naruse¹, Mahiro Osakada², 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. Besides, analog feedback controller consisted of resistors, capacitors and operational amplifiers possess disturbance dependency, while digital feedback controller consisted of computer and digital signal processor is disturbance independent. In this report, a digital feedback controller is developed to avoid disturbance dependency. It has been demonstrated that the detectable frequency range and the dynamic range of that is expanded.

1. 緒言

高層ビルの固有振動数は概ね 0.1Hz, 周期は 5~6 秒の長周期の地震波により共振する. 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, ビルの変位をセンサで検出する必要があるが, 1Hz 以下の長周期の揺れ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センサで周波数 0.1Hz, 振幅 1m の揺れを測定可能な絶対変位センサの開発を目指した. 本年度は新たに 2 種類デジタルコントローラを開発し, さらにローパスフィルターによって安定限界値を増加させることで, より大きなフィードバックゲインを用いた制御を実現し, 計測可能な帯域と振幅範囲を同時に拡大させることを目指す.

2. 提案する絶対変位センサ

センサヘッドとコントローラからなる絶対変位センサの基本構成を Figure 1 に示す.

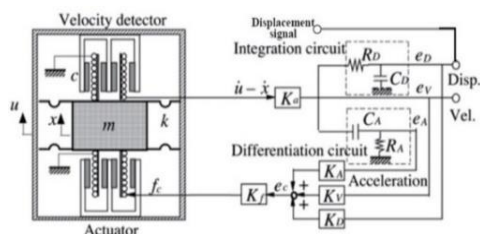


Figure 1. Structure of absolute displacement sensor

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.

3. デジタルフィードバックコントローラ

デジタルコントローラプラットフォームとして用いた National Instruments 製の “myRIO-1900” と MTT 製の “iBIS (DSP7101A)” の外観を Figure 2 (a), (b) に示す.



(a) “myRIO-1900”

(b) “iBIS(DSP7101A)”

Figure 2. The appearance of devices

4. 加振実験による周波数応答の計測実験

4.1. 実験装置

Figure 3 に実験装置の構成図を示す.

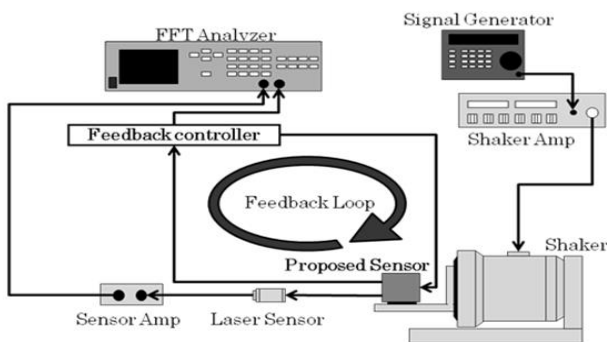


Figure 3. Measurement system of frequency response for the sensor

4.2. 実験結果

2 種類のデジタルフィードバックコントローラを用いた絶対変位計の周波数応答特性の結果を Figure 4 と Figure 5 にそれぞれ示す.

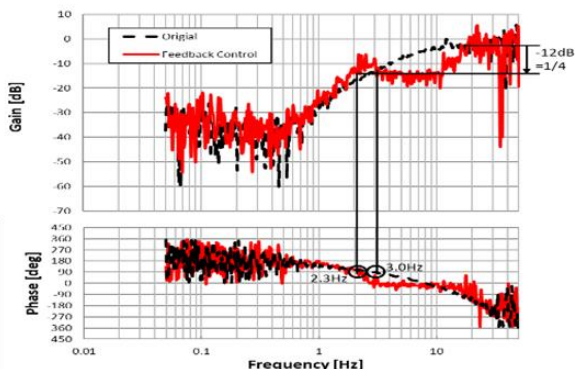


Figure 4. Measurement frequency response of digitally-controlled sensor with“myRIO”

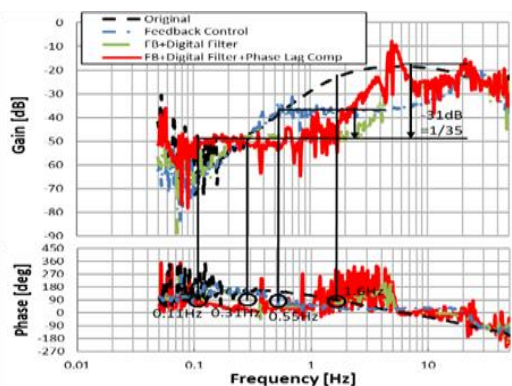


Figure 5. Measurement frequency response of digitally-controlled sensor with“iBIS”

Figure 4 に示すように, “ myRIO”での制御では全フィードバック制御時に固有振動数が 2.3Hz まで低下し,

測定可能な振幅範囲が 4 倍となった. また, Figure 5 に示すように, “iBIS”での制御では全フィードバック制御時に見かけ上の固有振動数が 0.1Hz まで低下し測定可能な振幅範囲が 35 倍となった.

5. 大型加振器を用いての計測結果

大振幅加振を加えた時の加振周波数が 0.2Hz, 0.1Hz の場合の“iBIS”の時刻歴応答を Figure 6 (a), (b)に示す.

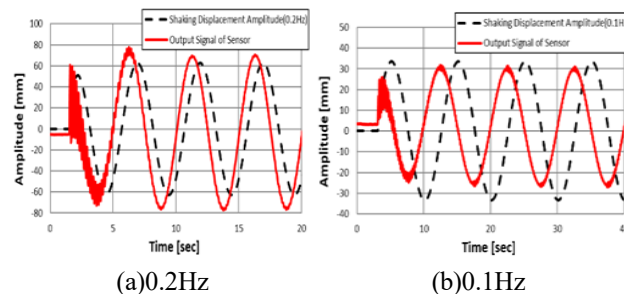


Figure 6. Measurement time history response of sensor

0.2Hz 以上の帯域では, 加振器の振幅と位相遅れ補償器を通した応答の位相のずれはほとんど見られず, 1.0Hz 以下の低周波数帯でもノイズなく測定が行えることが分かった. しかし, 0.1Hz 以下の帯域では位相遅れ補償器を通した応答に位相進みが発生し, 波形には乱れが生じた.

6. 結言

1.0Hz 以下の低周波帯域において, アナログ制御絶対変位計に近い計測帯域が, デジタル制御絶対変位計で実現可能であることが実験で確認できた. 今後の展望として, ローパスフィルターで過渡応答の高周波ノイズを取り除けるようにすること, 現代制御理論に基づいたデジタルコントローラを開発することによって, 更なる計測性能向上を目指す.

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
- (2) 二井 聡史, 「デジタル制御によりダイナミックレンジを拡大したスマート振動計の開発,平成 28 年度修士論文