

K4-69

制御理論の活用により長周期・大振幅振動を測定可能とする絶対変位センサの開発

Development of Absolute Displacement Sensor for measuring a Long Period and Large Amplitude of Vibrations by utilizing control theory

○宮内新平¹, 背戸一登², 渡辺亨³, 石川弘二⁴, 渡部瞭⁴, 司馬満天¹,
*Shinpei Miyauchi¹, Kazuto Seto², Toru Watanabe³, Koji Ishikawa⁴, Ryo Watanabe⁴, Michitaka Shiba¹

This paper reports new result of developing absolute displacement sensor in order to measure a long period and large magnitude. The absolute displacement sensor is necessary that own natural frequency is lower than the dominant frequency of the object. Therefore, it is difficult to measure a low frequency vibration below 1 Hz using conventional displacement sensors. In order to be lower the natural frequency, the sensor with the low natural frequency is realized by using feedback control. It has been demonstrated that a developed sensor has a detecting range from about 0.2 Hz to 10Hz for absolute displacement. In addition, the measurement displacement amplitude has been expanded to about 100 times. Finally, the experiment result shows that near to result of simulation, cause of removing effect by magnetism of shaker in altering measurement system.

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とされており, 周期5~6秒の長周期の地震波により共振を起こしてしまう. 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何らかの方策が必要である.

一方, 多くのビルには風による揺れ対策にAMD制振装置を備えているが^{(1), (2)}, 制御範囲は小振幅である. この装置では主に加速度センサが使用されており, 検出された信号を2回積分し変位を得るため, 誤差が発生する. それを除去するためにハイパスフィルタが必要となる.

本研究ではハイパスフィルタを使用せず, フィードバック理論及び, 2次遅れ補償器を用いて周期 0.1Hz, 振幅 1m の揺れを測定する絶対変位計の開発を目指し, 現状の報告をする.

2. 提案する絶対変位振動計の構成

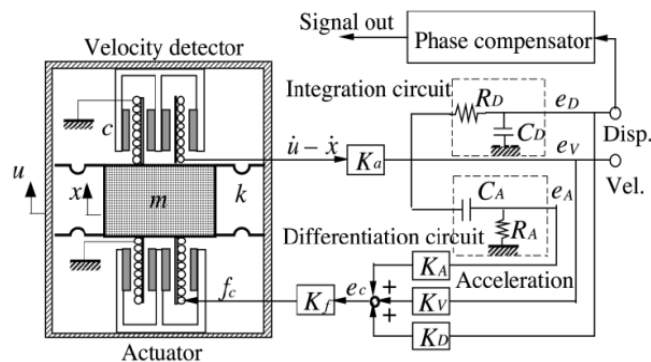


Figure 1. Structure of absolute displacement sensor

センサボディと制御回路, 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 Figure1 に示す.

ここに, C_D, R_D は積分回路のコンデンサと抵抗(時定数 $T_D = C_D R_D$), C_A, R_A は微分回路のコンデンサと抵抗(時定数 $T_A = C_A R_A$), K_a は変換係数, K_A は加速度フィードバック, K_V は速度フィードバック, K_D は変位フィードバック, K_f は力係数を表す

3. シミュレーション

実験に用いたセンサボディの諸元は以下のようになっている.

$$m = 25.2[g], c = 5.23[Ns/m], k = 30.1[N/m]$$

Figure 2 は青い線が非制御時の周波数応答, 緑の線が主に加速度フィードバックを与えた時の周波数応答特性のシミュレーション結果である. この結果では, フィードバック制御によって, 元の固有振動数 5.5Hz が 0.53Hz に低下できて, 閉ループゲインが -40dB に低下できる事が分かった. しかし, 周期 5~6 秒程度の長周期の地震波の測定には不十分である. そこで伝達関数が式(1)で表される 2 次の位相遅れ系を用いることで更なる固有振動数の低下を試みた. これを 2 次の位相遅れ補償器と呼ぶことにする.

$$G_C(s) = \frac{s^2 + 2\zeta_n \omega_n s + \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta_d \omega_d s + \omega_d^2} \quad (1)$$

$$\omega_n = 0.53 \times (2\pi)[rad/s], \zeta_n = 0.4,$$

$$\omega_d = 0.09 \times (2\pi)[rad/s], \zeta_d = 1.0$$

Figure 2 の赤い線がフィードバック制御にさらに、2 次の位相遅れ系を追加したときの周波数応答特性のシミュレーション結果である。これより 2 次の位相遅れ補償器により固有振動数は、更に 0.09Hz に低下している事が分かる。閉ループゲインの低下は -40 dB に維持されており、原理的には 100 倍の変位振幅が測定できることが分かる。

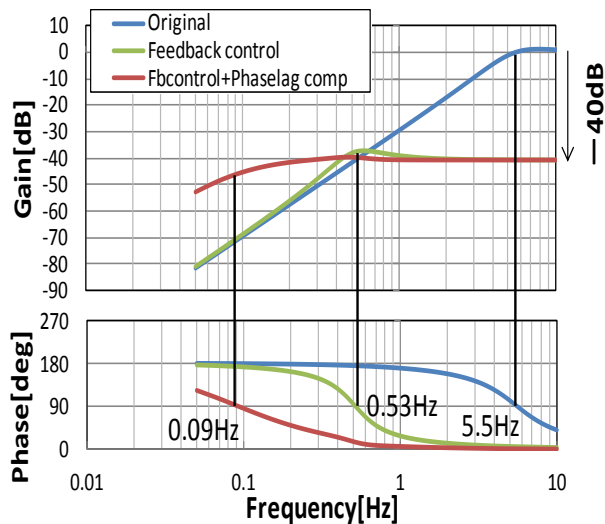


Figure 2. Simulated frequency response of sensor with phase lag compensation

4. 実験

4. 1. 実験装置

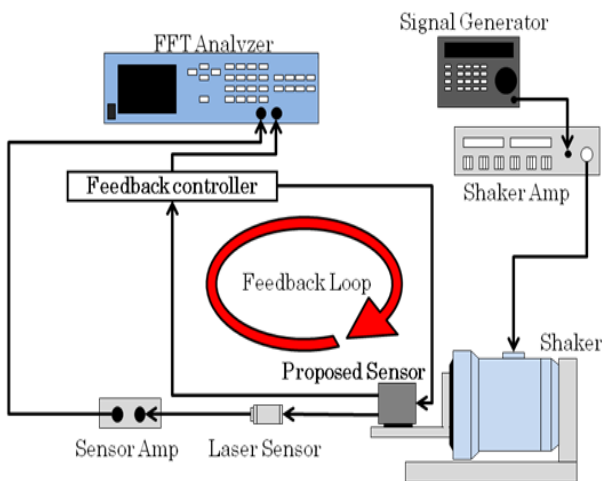


Figure 3. Measurement system of frequency response for the sensor

Figure 3 はシミュレーションで示した周波数応答特性の実証のために構成した実験装置である。

4. 2. 実験結果

Figure 4 に、青い線がフィードバックを掛けた時のシミュレーションの結果、緑の線がフィードバックを掛けた時の実験結果を示す。

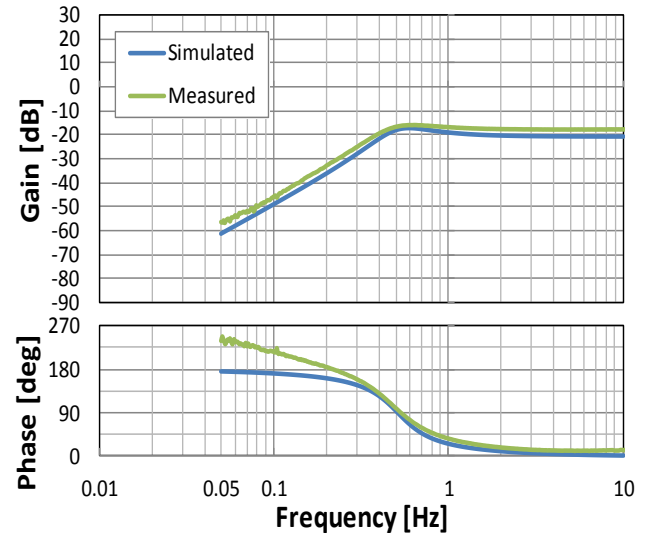


Figure 4. Comparison of result of simulation and practice

図より、シミュレーションの結果に近い実験結果が得られている事が分かる。以前は、0.5Hz より低い周波数領域で加振機の磁気の影響が顕著に表れていたが、実験装置の構造を変え、センサの位置を加振機から遠ざけた事によりシミュレーション結果に近い実験結果が得られるようになった。

5. 結論と考察

実験装置の構成の変更により、シミュレーション結果により近い実験結果が得られるようになった。

今後、2 次位相遅れ補償器をフィードバックコントローラに加え、更なるゲインや固有振動数の低下、測定範囲の拡張を目指していきたい。

6. 参考文献

[1] Spencer, B.F. and Sain, M.K., 1997, "Controlling Buildings: A new frontier of feedback", *IEEE ControlSystem*, vol.17, No.6, pp.19-35.
 [2] Preumont, A. and Seto, K., 2008. *Active Control of Structures*, Wiley, Chap. 4, pp. 148-158.