

アクティブ絶対変位計への現代制御理論適用に向けたシステムの改良 System Modification of Active Absolute Displacement Sensor to Apply Modern Control Theory

○渡辺涼¹, 成瀬友裕², 渡辺亭³, 背戸一登⁴

*Ryo Watanabe¹, Tomohiro Naruse², Toru Watanabe³, Kazuto Seto⁴

This study proposes a new type of active Vibrometer measuring vibration possessing 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. A digital feedback controller using classical control theory in previous study had problems such as limitation of measurement range and mismatch of the measurement signal in large amplitude vibration. In order to improve measurement performance more, we aim to introduce the controller with modern control theory. In this report, to measure the relative displacement of the sensor in order to realize multiple-input multiple-output (MIMO) control system based on modern control theory, a photo-reflector is introduced and its property is examined.

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ている.

先行研究では古典制御理論を用いたが, 性能の向上を目指して今後は現代制御理論の導入を目指す. そのため本年度は, センサヘッドの内部質量の相対変位を計測する手段の検討と相対変位を計測するための実験を行った. 本報ではこの実験の結果および今後の展望について報告する.

2. 提案している古典制御による絶対変位センサ

センサヘッドと古典制御による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.

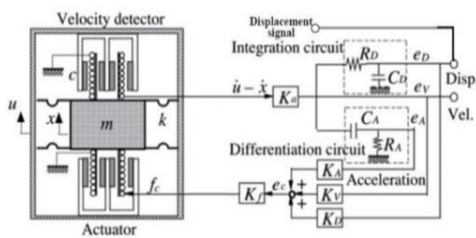


Figure 1. Structure of absolute displacement sensor

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. 古典制御による絶対変位センサの計測性能

3.1. 実験装置

先行研究の古典制御理論を用いたデジタルコントローラの計測性能確認の際に使用した実験装置の構成図を Figure 2 に示す.

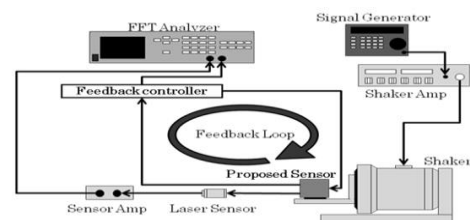


Figure 2. Measurement system of frequency response for the sensor

3.2. 実験結果

絶対変位センサの周波数応答特性を Figure 3 に示す。

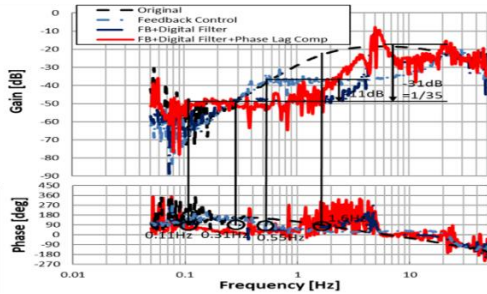


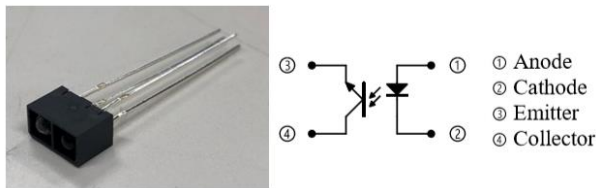
Figure 3. Measurement frequency response of digitally-controlled sensor

Figure 3 に示した結果より、先行研究のコントローラでは、変位の計測に用いる振幅倍率が平坦となる部分がおよそ 0.1Hz~1.0Hz 程度に限定されてしまうことや、大振幅の揺れにおいて計測信号が実際の揺れと一致していないことなどの問題点が確認できる。これらの問題点の改善のため、コントローラを現代制御理論によって再設計し、更なる計測性能の向上を試みる。

4. 相対変位計測のためのフォトリフレクタ導入

4.1 フォトリフレクタ

現代制御理論を導入するにあたり、状態フィードバック制御を実現するため、センサヘッド内部質量の相対変位を計測するセンサを新たに導入する。導入するフォトリフレクタ“LBR-127HLD”の外観と構成を Figure 4 (a), (b) に示す。



a) Appearance (b) Composition

Figure 4. Photo-reflector “LBR-127HLD”

“LBR-127HLD”はフォトランジスタとLEDを組み合わせたセンサであり、前面の発光部から出る光を物体に反射させて受光部で受信することにより出力電圧が変化し、物体を検知することができる。

4.2 相対変位の計測

フォトリフレクタをセンサヘッドに取り付け、加振したときに得られる出力電圧からセンサヘッド内

部質量の相対変位を求める。

このとき、フォトリフレクタによって相対変位を求めることはできたが、元出力電圧が小さいため、得られる相対変位がノイズの影響を受けていることが確認できた。そこで、オペアンプによる非反転増幅回路を用いて出力電圧を増幅し、ノイズの影響を減らすことを試みた。この回路を用いて導出した相対変位を Figure 5 に示す。

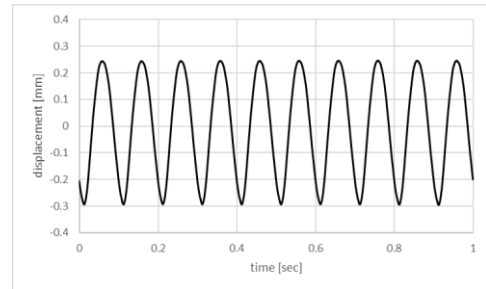


Figure 5. Relative displacement derived from output voltage of photo-reflector with non-inverting amplifier circuit

出力電圧を増幅したことで、Figure 5 に示すようにノイズが含まれない相対変位を得ることができるようになった。

5. 結言

本研究では、長周期大振幅の地震動を直接計測できる絶対変位計の開発を目指している。本年度は、計測性能を向上させるための手段として現代制御理論を適用するにあたり、センサヘッド内部質量の相対変位をフォトリフレクタによる出力電圧から求めることを企図した。実験装置にフォトリフレクタを装備し、出力電圧を非反転増幅回路で増幅することでノイズの影響を除去できることが確認できた。今後の研究ではこのフォトリフレクタによる相対変位を用いて現代制御理論による多入力多出力コントローラ的设计を行い、絶対変位計の更なる性能向上を目指す。

参考文献

- [1]日本大学理工学部機械工学科,「電気の基礎」テキスト
- [2]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
- [3]成瀬 友裕,「アクティブ絶対変位計の現代制御理論適用に向けたシステムの改良」,平成三十年度卒業論文