

簡易ひずみ観測装置の開発

石丸和宏* 春木康輔** 森本勇輝***

Development of a Simple Strain Measuring System

Kazuhiro ISHIMARU, Kosuke HARUKI, Yuuki MORIMOTO

ABSTRACT

In this paper, a simple strain measuring system to measure a dynamic strain of a structure under earthquake is developed. The system is composed of a handmade amplifier and a piezo-sensor due to the low-price and compactness. A beam bonded with two piezo-sensors and a strain gauge at the same position is vibrated to examine the effectiveness of the system, and the kinds of voltages from the piezo-sensors and the strain are compared. As a result, it is concluded that the system is effective as a strain measurement excluding high frequency waves.

KEY WORDS: measuring system, strain, piezo-sensor, earthquake, vibration

1. はじめに

地震で被害を受けた構造物の破壊原因を究明することは防災の観点から非常に重要である。しかしながら、現在においても、兵庫県南部地震、芸予地震、新潟県中部地震などの直下型地震で見られた構造物破壊の主要原因は未だ解明に至っていない。これは、シミュレーションや実験で用いられている地震計データは地盤の揺れであり、実際に構造物がどのように揺れ、どのような力を受けているのかわからないためである。

構造物の状態を調べるためには、構造物に直接計測装置を取り付けることが必要である。しかしながら、多くの構造物に計測装置を取り付けるには、高価格であるため土木建築構造物の数に合わせて計測装置を設置するに至っていない。

実構造物の状態を調べるために、計測装置を低価格、コンパクト化にするための研究として、亀田ら¹⁾は実構造物の健全性評価のため、高密度センサー網敷設を目的として大量製品民生品向けのデバイスを用い低価

格、小型かつ自立型の加速度装置の開発を行っている。また、上半ら²⁾は構造物の健全性監視を目的とした自然エネルギーで駆動するコンパクトな構造物振動の自動モニタリングシステムの開発を行っている。しかしながら、どちらも加速度計により振動を監視しているため、構造物の揺れは計測できるが、どのような力を受けているかまではわからない。

一方、構造物が受ける力(ひずみ)を計測するためには、ひずみゲージを直接貼り付けるのが一般的であるが、ゼロ点補正が必要でバランス面に不安があり、また、動ひずみ計から常にひずみゲージに電気を送り続けなければいけないため、低価格、コンパクト化することは難しく、長期計測には適しているとは言えない。

ひずみゲージに代わるひずみ計測のセンサーとして、圧電フィルムを用いたピエゾセンサーの利用が考えられる。ピエゾセンサーはひずみゲージに比べて応答性が良く、変形を受けるとフィルム自ら電荷を発生する仕組みになっている。その発生する電荷をアンプにより電圧に変換し、この電圧の大きさを計測することによってひずみの大きさがわかる。また、ゼロ点補

*都市システム工学科, **宮崎大学, ***大阪施設工業

正も必要ないのでバランス面の問題はなく、省電力でひずみゲージよりも正確なひずみ計測をすることができる。この piezo センサーの欠点は自ら発生する電荷の大きさはひずみの変化速度に比例するため、静ひずみを計測することが困難であり、また piezo 自体、温度依存性、周波数特性を有する。今回の観測は動ひずみのみに着目し、さらに、筆者ら³⁾は温度依存性、周波数特性を調べるため実験を行い、piezo センサーはひずみ計測に十分な機能を有することを確認した。

本研究では、簡易ひずみ計測装置の開発として自作のチャージアンプを低価格、コンパクト化のため電子パーツで作成し、piezo センサーの利点である省電力を利用して、電源も乾電池を使用する。チャージアンプの有効性を確かめるため、片持ちばりに貼り付けたひずみゲージおよび市販のチャージアンプから得られる波形の比較、検討を行う。

2. チャージアンプの作成

自作チャージアンプ(以後、自作アンプと呼ぶ)は振動・衝撃に対応し、2ch、1.5V 電源とし、オペアンプ、コンデンサ、抵抗等を用いて、図1に示す回路を作成した(写真1)。回路図において、R は抵抗、C はコンデンサである。この回路は基本的な積分回路と反転回路を組み合わせたものである。R₁、R₆ はそれぞれ入力

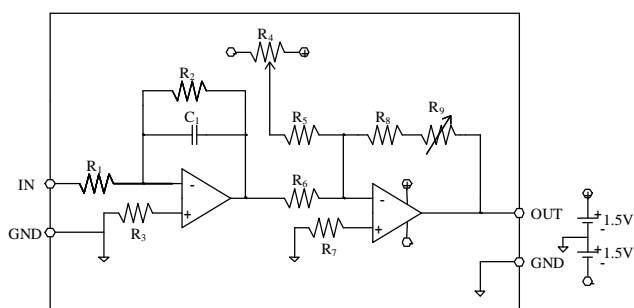


図1 自作アンプ回路図

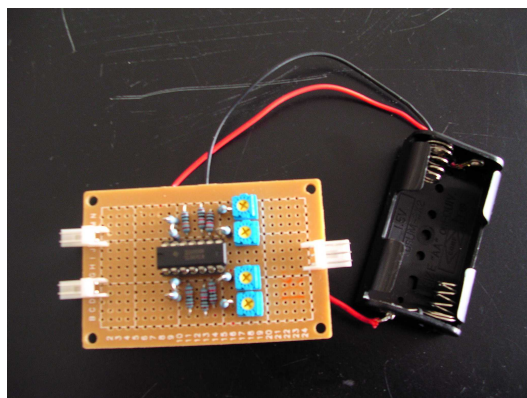


写真1 自作アンプ

抵抗である。C₁ は R₁ 抵抗を用いて積分定数 1/RC を構成するものである。コンデンサ C₁ は piezo フィルムが発生する電荷をチャージする役目があり、測定を続ける場合、電荷が徐々にたまり電圧 0V に戻らなくなるため、電荷を解放するためにディスチャージ用抵抗 R₂ を用いて電荷を解放し、0V に戻るようにする。R₈、R₉ はこのアンプの増幅度を決定する増幅度設定抵抗であり、今回は電源を 1.5V としているため、R₈ は約 10kΩ とし、微調整用に R₉ を設けた。R₄、R₅ は加算回路の原理で設けた抵抗である。積分回路において増幅度を上げようとする、積分定数 1/RC が小さくなるので出力電圧が減少する。そこで積分定数により減少したものを補うために、加算回路の原理より電源電圧で補いゼロ調整を行う。R₄ のみでは敏感すぎるため、ブレーキ用入力抵抗 R₅ を設けている。R₃、R₇ は OP アンプ内の回路の関係で R₁、R₆ を入れたとき抵抗値のバランスが崩れるため入力バランス抵抗として、それぞれの入力抵抗と同じ抵抗値を与える。

3. 実験概要

本実験は、電子パーツを用いて作製した自作チャージアンプの性能を確かめるため、ひずみゲージおよび piezo センサー 2 枚を貼り付けたはり振動させ、ひずみ波形および市販のチャージアンプから得られる振動波形と比べる。また自作アンプの周波数特性を調べる。

3.1 使用機器

自作アンプの性能を確かめるために、市販のチャージアンプとして NEC 三栄(株)製チャージアンプ(写真2)を用いた(以後、チャージアンプと呼ぶ)。ひずみゲージと接続するための動ひずみ計は写真3、また、周波数特性を調べるために用いた CR 発振機は写真4に示す。



写真2 市販チャージアンプ AG2101

許容入力電荷：10000pC
 センサー度：0.4～999pC/EU
 測定範囲
 ローパスフィルタ カットオフ周波数：W/B
 出力：±5V，±10mA(BNC コネクタ)



写真 3 動ひずみ計

適用ゲージ抵抗：60～1000Ω
 ゲージ率：2.00
 ブリッジ電源：2 または 0.5Vrms
 出力：±5V または ±30mA
 応答周波数範囲：DC～2.5kHz
 平衡調整範囲 ひずみ抵抗：±10000×10⁻⁶
 容量：5000pF
 測定範囲：±25000×10⁻⁶ひずみ，±0.2%FS



写真 4 CR 発振機

3・2 振動実験

はりには縦 30cm，横 8cm，厚さ 0.2cm のアクリル板を用いる。アクリル板の端から 3cm のところを固定し，その逆から 10cm のところにひずみゲージとピエゾセンサー 2 枚を貼り付ける。

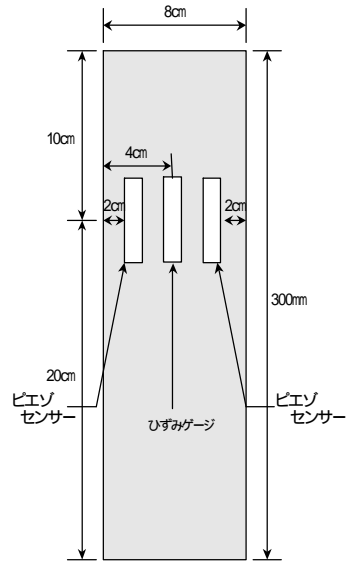


図 2 ピエゾセンサーおよびひずみゲージ位置

実験手順は次のようである。

アクリル板に張り付けたひずみゲージを SDA810C (東京計測器研究所)の動ひずみ計に接続し，動ひずみ計のケーブルをデータレコーダーに接続する。

ピエゾセンサーは，AG2101 (NEC 三栄(株))のチャージアンプと自作によるチャージアンプに接続し，データレコーダーにそれぞれ接続する。

アクリル板の片方を固定し，指で軽く振動を与え，その振動をデータレコーダーに記録する。データレコーダーに表示された波形を比較し，考察する。

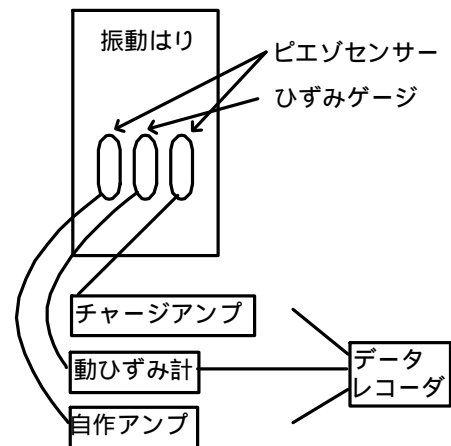


図 3 実験概要図

3・3 結果および考察

本研究では、ひずみゲージとピエゾセンサーを貼り付けたアクリル板の一端を机に固定し、他方は自由端の片持ちはりとし、自由端部を指で軽く弾く振動実験をすることによって、動ひずみ計や AG2101 (NEC 三栄(株))のチャージアンプと振動の波形を比較し、自作チャージアンプの性能を調べた。チャージアンプの設定範囲は $\pm 5V$ で、センサー感度は $500[pC/EU]$ 、ローパスフィルターはなしとし、サンプリング周波数は $1kHz$ で計測を行った。

図4は振動実験に使用したひずみゲージ、チャージアンプおよび自作アンプのひずみ波形である。横軸は時間[sec]、縦軸はひずみゲージより得たひずみ、およびチャージアンプと自作アンプより得た出力電圧[V]である。ひずみゲージとチャージアンプの波形を比較すると、波形はほぼ同じであり、第1波に見られる衝撃的な波形もほぼ同じであることが確認できる。ところが自作アンプの波形では、振動の前半はノイズが大きく、ひずみゲージやチャージアンプで見られる振動初期の細かな振動をとらえきれていないことがわかった。

図5は自作アンプと市販チャージアンプとの相関関係図であり、相関係数は $r=0.800$ 、図6に示す自作アンプとひずみでは $r=0.769$ であった。さらに図7のチ

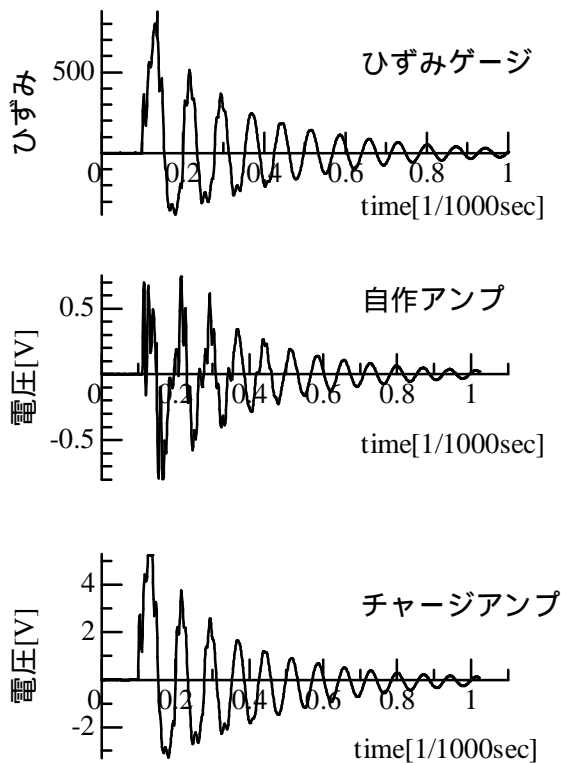


図4 振動波形図

ャージアンプとひずみの相関係数は $r=0.985$ とかなりの相関が見られることから、ピエゾセンサーからひずみゲージとほぼ同じ波形を得ることができるが、自作アンプでは細かな振動や位相のずれなどがあることがわかった。しかし、位相を調整し、初期の衝撃的な振動を取り除いた後半部分のデータをまとめると図8のようになった。波形の図は、図4のひずみゲージと自作アンプの6回目の振動以降の波形を使用し、位相を調整したものである。チャージアンプの波形は、図7の相関関係図でひずみゲージとの相関関係あるとわかったのでこの図ではひずみゲージと自作アンプを比較し

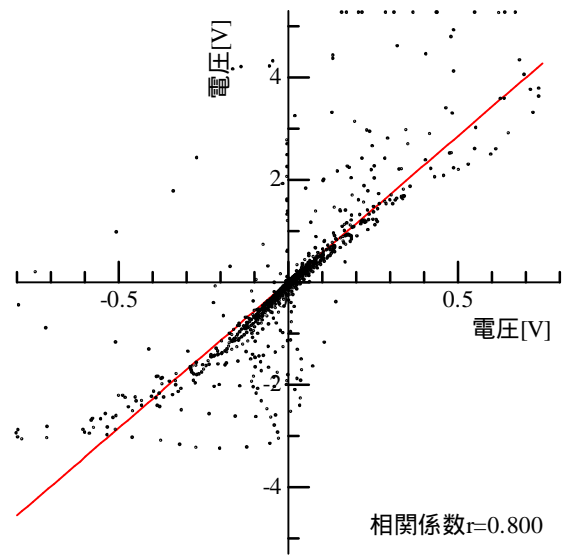


図5 自作アンプとチャージアンプの相関関係図

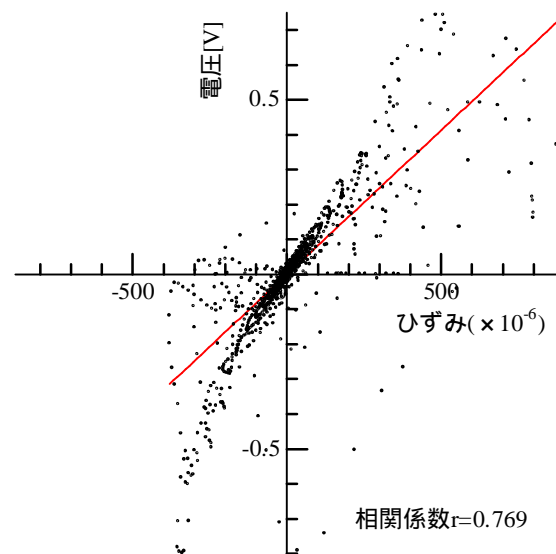


図6 自作アンプとひずみの相関関係図

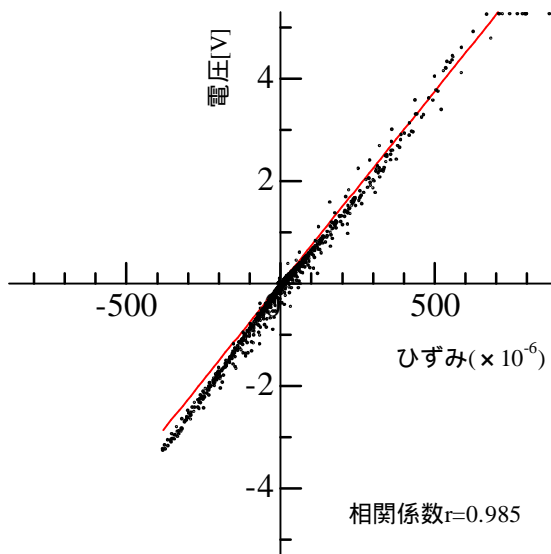


図 7 チャージアンプとひずみの相関関係図

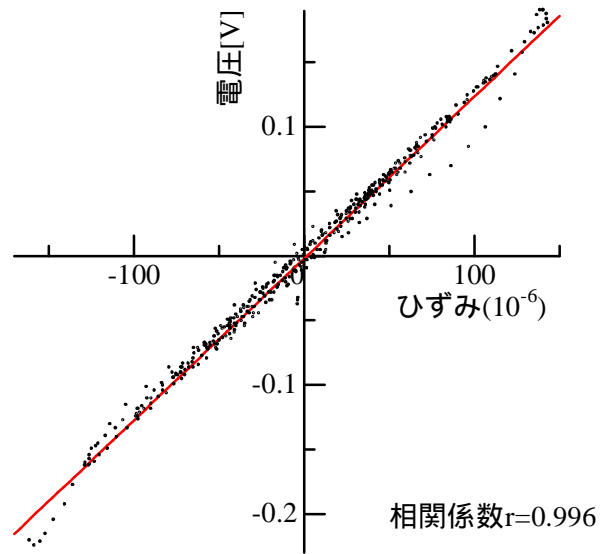


図 9 補正後の相関関係図

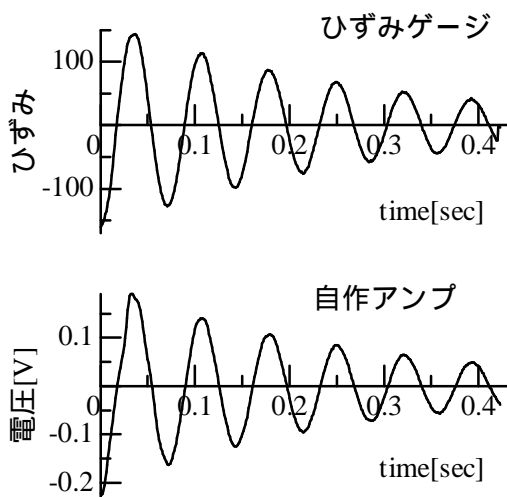


図 8 補正後の振動波形

ている。波形の図を見ると、ひずみゲージと自作チャージアンプの波形はほぼ同じであり、相関図でも相関係数は 0.996 で相関関係はあると考えられる。

このように、ひずみゲージとチャージアンプおよび自作アンプを比較したが、現段階では自作アンプは今回の実験の 20Hz の振動の計測には対応しているが、それより大きな周波数の計測には対応していないことがわかった。これはコンデンサの容量不足、オペアンプの性能不足によるものと考えられるが、それらを単純に交換すればよい問題ではなく、それに対応した電圧、抵抗など回路全体の見直しが必要である。しかしながら、圧電センサーを利用したひずみ観測装置の可能性を見いだすことができた。

3・4 周波数特性

自作アンプの周波数特性を調べるため、以下のように計測を行った。

アンプの入力ラインに AG203 (KEBWOOD 社)の CR 発振機を接続し、出力ラインに SS-5703 (岩崎通信機)のオシロスコープを接続する。

CR 発振機より 10Hz の発振信号をアンプに入力し、オシロスコープ上で出力電圧を読み取る。

発振信号を 20Hz, 30Hz と順に上げて測定していき、出力電圧が低下してくるまで繰り返す。

出力電圧が低下し始める周波数をアンプの周波数特性とする。

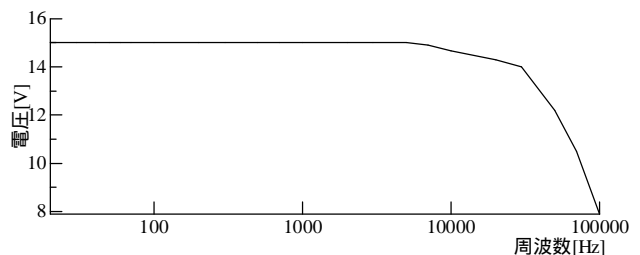


図 10 自作アンプの周波数特性

4. まとめ

本研究では、低価格、小型、自立型であるという 3 つの点を目的として自作アンプを作製し、実験により動ひずみ計や市販のチャージアンプと比較した。これにより得られた結論を以下にまとめる。

1 個 1000 円程度で低価格な自作アンプを作製

することが可能である。

高周波数に対応したオペアンプやコンデンサを使用し、さらなるノイズや衝撃的な波形に対する対策が必要である。

大量作製による多くのデータ収集が必要である。

謝辞

本研究は明石高専重点配分経費により行いました。アンプ作製については、電気情報工学科椿本博久先生にご指導を頂きました。ここに記して厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 赤上広生, 亀田敏弘: 高密度センサ網敷設を目的とした自立型加速度計測装置の開発, 土木学会第 59 回年次学術講演会(CD-ROM:DISC1), 土木学会, p.1487, 2003
- 2) 上半文昭, 目黒公郎: 自然エネルギーを利用した構造物振動の自動観測システム, 土木学会第 59 回年次学術講演会(CD-ROM:DISC1), 土木学会, p.1489, 2003
- 3) 石丸和宏, 加藤慎吾, 園田恵一郎, 納谷健一: ピエゾひずみセンサーの特性に関する一考察, 土木学会第 59 回年次学術講演会講演概要集(CD-ROM:DISC1), 土木学会, pp.1493-1494, 2004
- 4) 石丸和宏, 園田恵一郎, 内藤慶彦: 圧電フィルムを用いたひずみセンサーの開発に関する一考察, 土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集 1-B, 土木学会, pp.172-173, 2001
- 5) 石丸和宏: 圧電フィルムを用いたひずみセンサーの開発, 明石工業高等専門学校研究紀要, Vol. 44, pp.59-62, 2001
- 6) 園田恵一郎, 石丸和宏, 岩田節雄, 納谷健一: 圧電フィルムを用いたひずみセンサーの地震応力計への適応性, 構造工学論文集, Vol. 48A, pp. 1478-1484, 2002
- 7) 石丸和宏, 加藤慎吾: 圧電素子を用いたひずみセンサーの開発に関する研究, 明石工業高等専門学校研究紀要, Vol. 46, pp.101-106, 2003
- 8) 石丸和宏, 加藤慎吾, 園田恵一郎, 納谷健一: ピエゾフィルムを用いたひずみセンサーに関する一考察, 土木学会第 58 回年次学術講演会講演概要集(CD-ROM:DISC2), 土木学会, pp.109-110, 2003
- 9) 石丸和宏, 加藤慎吾: 圧電素子を用いたひずみセンサーの開発に関する研究, 明石工業高等専門学校研究紀要, Vol.46, pp.101-106, 2003
- 10) 吉田幸作: トランジスタ技術 special No.71, CQ 版社, pp.70-77, 2000