

簡易ひずみ計測のためのチャージアンプ作成に関する一研究

石丸 和宏* 椿本 博久** 石原 俊佑*** 橋本 拓也****

A Study of the Development of a Charge Amplifier for Simple Strain Measuring

Kazuhiro ISHIMARU, Hirohisa TSUBAKIMOTO, Syunsuke ISHIHARA, Takuya HASHIMOTO

ABSTRACT

In this paper, a charge amplifier is developed for measuring the strain of a structure under earthquake stresses. In general, the amplifier is devised to measure the amount of electric charge emitted from material, and can be characterized by its very low input impedance. The amplifier is designed for a frequency range from 0.3 Hz to 50 kHz. In this study, a dynamic test for an acrylic plate was conducted on a specimen bonded with a piezosensor and a wire strain gauge at the same position. As a result, the amplifier exhibited excellent performance for the dynamic test.

KEY WORDS: charge amplifier, strain, piezosensor, earthquake, frequency

1. はじめに

兵庫県南部地震では、大都市部で発生した直下型地震であり、これまでの海洋型地震で見られなかった鋼製柱の脆性破壊、RC 高架橋の水平輪切りひび割れなどが確認された。地震発生当初、縦揺れにより被害が大きくなったとされていたが、観測された地震データは従来の海洋型地震と同様な傾向を持っていたため、結局、被害の多くは横揺れであり、縦揺れの影響はほとんどなかったとされている。しかしながら、多くの研究者により兵庫県南部地震で記録されたデータを元にした実験では、上記のような様々な破壊形式を説明するには至っておらず 明確な結論が得られていない。これは同じ地震動であっても構造物と地盤の接触条件などにより、構造物が受ける力が異なるためであり、構造物の破壊原因を解明するためには、構造物や地盤の振動だけでなく構造物が受ける力(ひずみ)を常時観測することが重要であると考えられる。

これまで、構造物や地盤の挙動を常時観測するため

に筑波大学亀田ら¹⁾は地盤の振動、東京大学目黒ら²⁾は構造物の振動を観測するための常時観測システムの研究を行っている。これらの研究はいずれも自立した観測システムを普及させるため、安価で小型なシステムを製作している。しかしながら、いずれの研究も構造物・地盤の挙動の観測であり、構造物が受ける力(ひずみ)を直接計測するシステムとは異なっている。

構造物の部材のひずみを計測する場合、ひずみゲージの使用が一般的であるが、ひずみ観測システムを考える場合、電源の確保・感度の問題や、普及させるためのコストの点から改善の必要があると考えられる。 piezosensor は機械ひずみを自ら電荷に変換するため、この電荷を増幅させるだけの簡単な機構でひずみを計測することができ、これにより電気を多く必要としないため、安価、小型、普及型の観測システムが可能となる。また piezosensor は応答周期の非常に短いひずみ波を捉えることが可能であり、それにより今までの地震動では捉えられていない衝撃的なひずみ計測が可能であると思われる。

これまで、石丸ら^{3),4),5)}は piezosensor の振動、衝

*都市システム工学科,**電気情報工学科,***岡山大学,****岐阜大学

撃，温度特性を調べ，このセンサーの有効性を示すとともに，簡単なチャージアンプの作成を行い，小さな太陽パネルもしくは1.5 V 乾電池2個程度で駆動可能な小型・安価にひずみ計測できることを確認している．

本研究では， piezoelectric sensor を用いたひずみ観測システムを構築するために，振動だけでなく衝撃的なひずみを計測できるチャージアンプの作成を目的とする．本研究で開発するアンプの利用によりひずみゲージに代わる，非常に安価で精度の良いひずみ観測システムが構築できると思われる．

2. 作製回路

図1は今回作製するシステムの回路(チャージアンプ)である．回路は大きく4つに分かれており 積分回路，反転加算回路，ハイパスフィルタ (HPF) とローパスフィルタ (LPF) を応用し，順次つなぎ合わせた構成になっている． piezoelectric sensor が圧電効果によって電荷 Q を発生すると，チャージアンプの回路内で Q の変化を計測するための演算が行われる．回路においてバランス調整を不要にするため，可変抵抗を用い反転加算回路によりゼロ点補正を可能にしている．また，ノイズなどの微弱な周波数を遮断するため，回路にハイパスフィルタ，ローパスフィルタを設ける．これらは設定周波数の範囲外の周波数を遮断するための回路である．一般的な地震計のローパスフィルタは 30 Hz であるが，本研究では，衝撃的な力も計測できるようにハイパスフィルタを 0.3 Hz，ローパスフィルタを 50 kHz と設定した．

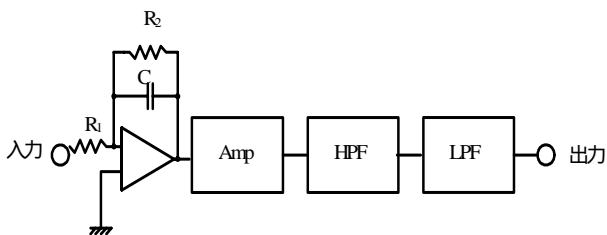


図1 回路図

3. 振動・衝撃実験

3.1 実験方法

振動，衝撃に対応したアンプを作成するため，振動・衝撃実験を行い，ひずみゲージより得られるひずみと自作チャージアンプから得られる電圧を比較することで，チャージアンプ部(図1参照)を構成する最適なコンデンサ容量 C ，抵抗 R_1 ， R_2 を決定する．チャージアンプが機能する範囲は下限では C と R_1 ，上限では C と R_2 で決まる．チャージアンプの周波数特性を検討し

た結果，機能する周波数の上限を 53 kHz に固定し，最適なコンデンサ容量 C を決定するため，表1に示す3ケースの組合せでチャージアンプを作成した．

表1 各値の組み合わせ

	$C[\mu\text{F}]$	$R_1[\Omega]$	$R_2[\Omega]$	計測範囲[Hz]
Case1	0.01	300	10M	1.59 ~ 53 kHz
Case2	0.03	100	10M	0.53 ~ 53 kHz
Case3	0.1	30	10M	0.16 ~ 53 kHz

本実験では，図2に示す縦 25 cm，横 8 cm，厚さ 0.5 cm のアクリル板を用い，アクリル板の端から 3 cm のところを固定し，センサーの貼り付けを自由端から 12.5 cm とした．振動，衝撃を与えるために，供試体の一端を固定し，自由端をペンで軽く打撃を与え，その衝撃によるデータを記録用パソコンに記録する．データ収集では，衝撃的なひずみを計測するため，動ひずみ計のローパスフィルタを 10 kHz，サンプリング周波数を 10 kHz とする．

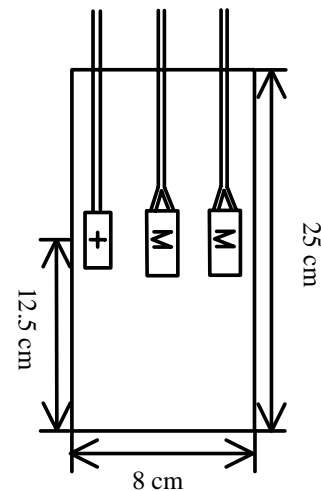


図2 piezoelectric sensor とひずみゲージの貼付け

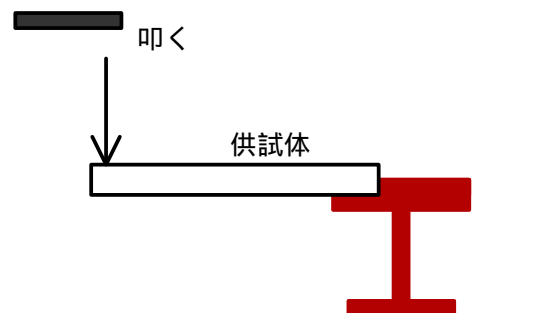


図3 衝撃実験

3・2 実験結果及び考察

アクリル板の先端を叩くとその応力波(衝撃)はアクリル板内を進行し,その後,アクリル板が振動状態となる.本実験の結果は,その応力波によるひずみの初期振動を示している.以下に示す図においてひずみゲージによるひずみ波形は図中に動ひずみ計とした.図4は Case1 のコンデンサ容量 $C=0.01[\mu\text{F}]$ とした場合の振動・衝撃実験の結果である.自作チャージアンプと動ひずみ計の波形を比べると,自作チャージアンプは $0.04[\text{sec}]$ と $0.09[\text{sec}]$ 付近で x 軸と交わっているのに対し,動ひずみ計では同じ箇所では交わっていないなど値

が異なる箇所が見られる.

図5は図4の自作チャージアンプと動ひずみ計の同時刻におけるひずみと自作チャージアンプから得られる電圧との相関図である.縦軸にひずみ,横軸に電圧[V]をとり,原点を通る直線は最小二乗法により求めた直線である.図より,自作チャージアンプの電圧とひずみはばらつきが目立っている.相関係数は 0.93 であった.これは先ほど述べた図4に見られる波形のずれによるものと思われる.

図6は $C=0.03[\mu\text{F}]$ の場合の結果である.図より Case1の場合より波形全体の形は似ているが,動ひずみ計は

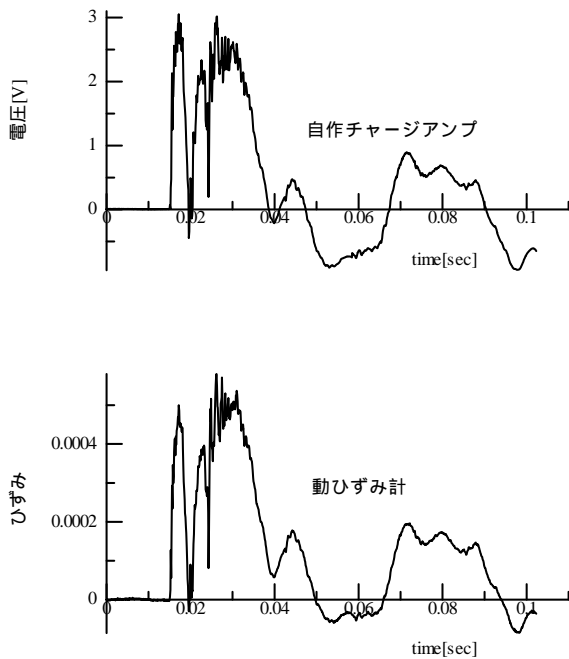


図4 Case1のひずみ応答($C: 0.01 \mu\text{F}$)

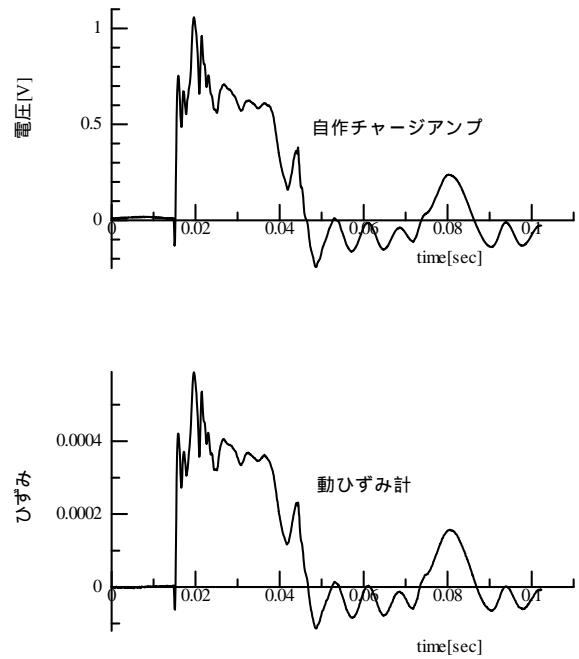


図6 Case2のひずみ応答($C: 0.03 \mu\text{F}$)

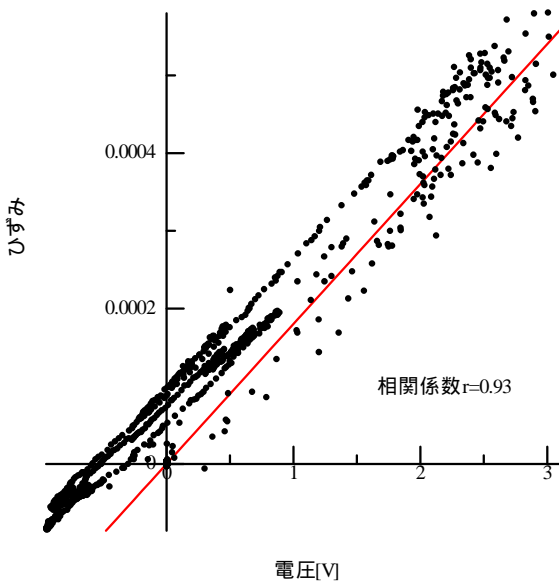


図5 ひずみ-電圧相関図($C: 0.01 \mu\text{F}$)

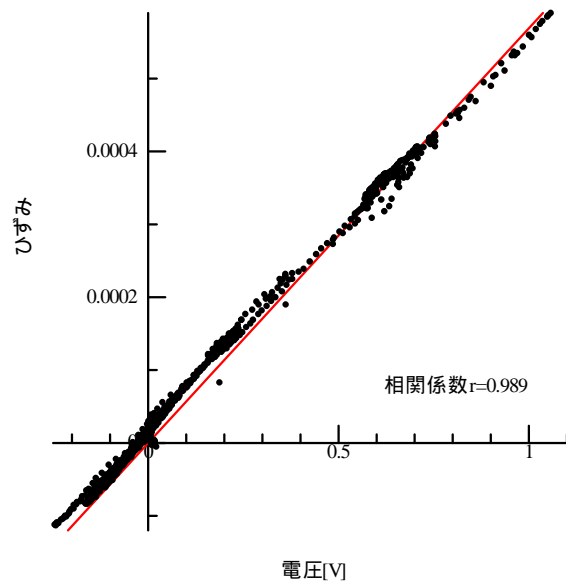


図7 ひずみ-電圧相関図($C: 0.03 \mu\text{F}$)

0.053[sec]や0.093[sec] 付近で x 軸と交わっているのに対し、自作チャージアンプでは交わっていないため、ずれが解消したとはいえない。

次に図7は先ほどと同様に図6における相関図を描いたものである。プロット点の集まりはややゼロ点を通っていないが、ばらつきについてはCase1より小さくなっていることがわかる。相関係数は0.989とCase1に比べ相関が高いことが分かる。

図8はC=0.1[μF]の場合のひずみ応答、図9はその

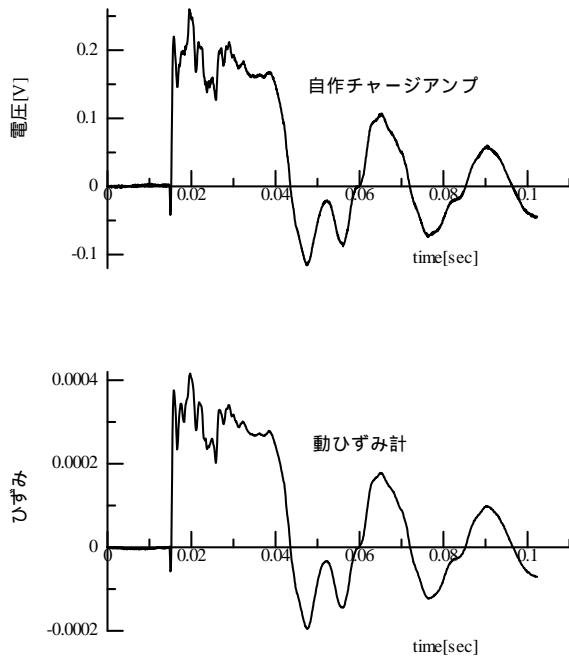


図8 Case3のひずみ応答(C : 0.1 μF)

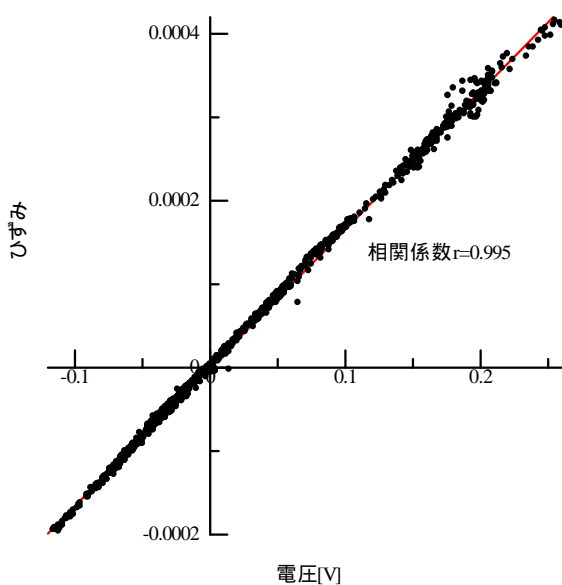


図9 ひずみ-電圧相関図(C : 0.1 μF)

相関図である。相関図の値のばらつきはさらに減り、相関係数も0.995と非常に高い値を得ることができた。

以上のことからCase3のC=0.1[μF]の場合が、相関係数をもっとも高く、波形のずれも最小限であることが分かった。



写真1 作成した回路

4. おわりに

本実験により、振動だけでなく衝撃においても計測できる安価かつ小型の自作チャージアンプが作成できた。今後は、自立型の観測システムとしてトリガの設定とデータの保存が行えるよう回路に改良を加え、また、コンクリート柱や構造物にピエゾセンサーを貼付し、振動、衝撃力を与えデータ計測の信頼性を確認する。

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.1487-1488, 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.1489-1490, 2003
- 3) 石丸和宏, 春木康輔, 森本勇輝: 簡易ひずみ観測装置の開発, 明石工業高等専門学校研究紀要, Vol.48, pp.58-62, 2005.
- 4) 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.
- 5) 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.