

計測自動制御学会東北支部 第 269 回研究集会 (2011. 12. 12)

資料番号 269-6

構造ヘルスマモニタリングに用いる変位計測センサの設計と性能試験

Design and performance test of the displacement measurement sensor used
for structural health monitoring

○水越誠, 石井雅樹, 小野隆嗣, 下井信浩

○Makoto Mizukoshi, Masaki Ishii, Takatsugu Ono, Nobuhiro Shimoi

秋田県立大学

Akita Prefectural University

キーワード：構造ヘルスマモニタリング (Structural health monitoring), 変位計測センサ (Displacement measurement sensor), ピエゾケーブル (Piezo cable), 特性評価試験 (Characteristic evaluation test)

連絡先：〒015-0055 秋田県由利本荘市土谷字海老ノ口 84-4

秋田県立大学 システム科学技術学部 機械知能システム学科

石井雅樹, Tel.: (0184)27-2220, Fax.: (0184)27-2188, E-mail:ishii@akita-pu.ac.jp

1. 緒言

大規模な震災が起こった際、家屋などの木造建築物が破損する。このような場合、内閣府から発行されている『災害に係る住家の被害認定基準運用指針』¹⁾を用い、震災後に検査官が建築物の破損判定を行う。しかし、この判定方法は外観目視調査のみであり、壁面内部や屋根裏などの目視できない部分に関しては被害状況を調べることができない。また、広範囲の震災の場合には、多くの建築物が被災するため、検査員の不足が懸念される。

本研究では、建築物の破損判定を行うための簡易的な構造ヘルスマモニタリングシス

テムの開発を目的としている。このシステムは、建築物の締結部や主要な柱の破損状況を定量的に計測し、その情報を無線通信により外部の被害判定用 PC に送信し、破損判定を行う。

本稿では、建築物の締結部における破損状況を計測するための変位計測センサの設計と評価試験を実施した。具体的には、木造建築物の締結部に使用されるドリフトピンと同形状の変位計測センサを設計、製作した。また、変位計測センサの基本特性を調べるために評価試験を行い、出力電圧と変位、周波数の関係を定量化した。

2. 構造ヘルスマニタリング

震災後の建築物の被害判定は、『災害に係る住家の被害認定基準』¹⁾により行われる。判定は2段階に分かれており、第1判定では外見による目視調査を行い、第2判定では内部調査を行う。第2判定は、初めに建築物の4隅柱において斜度判定を行い、全壊と半壊の判定を行う。半壊の場合は内部調査を行い、建築物の各部位の被害判定を行う。この際、柱と梁の締結部の損傷度合いが一定以上であった場合は全壊と判断される。

本研究で提案する構造ヘルスマニタリングシステムは、三軸加速度センサ、変位計測センサ、無線通信ユニット、情報集積用PCにより構成され、三軸加速度センサの情報から建築物の締結部の軌跡を求め、斜度判定を行う。また、柱と梁の締結部の変位を変位計測センサによって計測することにより破損度判定を行う。

本稿では、柱と梁の変位を定量的に計測する変位計測センサの設計と特性評価試験について述べる。

3. 変位計測センサ

3.1 変位計測センサ

本研究では木造建築物の柱と梁の締結に使用されるドリフトピンに着目し、同様の形状の変位計測センサを製作した。このセンサは、締結部において使用していないドリフトピン用の穴に挿入するため、センサを設置する際、特別な作業を必要としないといった利点を有している。ドリフトピンの外観を Fig.1 に示す。また、変位計測センサの外観と構造を Fig.2 に示す。

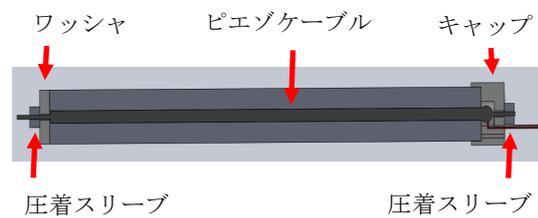
変位を計測するセンサ材には piezoelectric ケーブル(東京センサ, AWG#20WP)を使用した。



Fig. 1 ドリフトピン(長さ 120mm)



(a) 外形



(b) 構造

Fig. 2 変位計測センサ

Table 1 外装材

材質	引張り強さ [N/mm ²]	伸び[%]
ウレタン (シヨア硬さ 90)	44.6	530

また、締結部の変位を計測しやすい材料として、センサの外装材には Table.1 に示すウレタンを使用した。なお、piezoelectric ケーブルとウレタンの動作を同期させるため、Fig.2(b)に示すように圧着スリーブとキャップ、ワッシャを用いて両端を固定している。

3.2 piezoelectric ケーブル

piezoelectric ケーブルの外観と構造を Fig.3 に示す。また、変位計測センサとして使用の際の仕様を Table.2 に示す。

piezoelectric ケーブルは芯線と編み線の間の絶

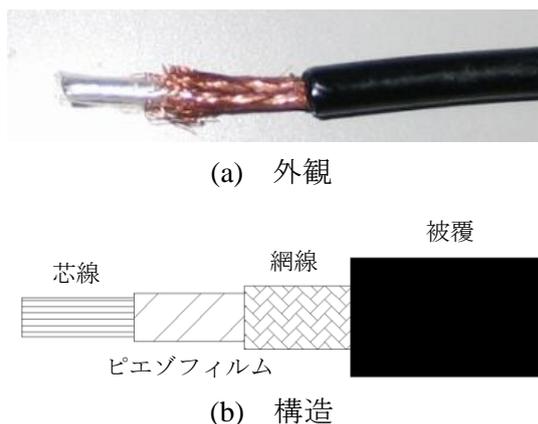


Fig. 3 ピエゾケーブル

Table 2 ピエゾケーブル(AWG#20WP)仕様

ケーブル長さ(mm)	130	
静電容量 (pF/m)	980	
寸法 (mm)	芯線	1.0
	外径	3.0

縁体にピエゾフィルムを使用し、外被はポリエチレンで被覆されている。ケーブルに衝撃や引張力が加わった場合、芯線と編み線の間力の大きさに比例した電圧が発生する特性を有している²⁾。本研究ではこの特性を利用して締結部の変位を計測する。

3.3 使用環境

Fig.4 に示すように変位計測センサはドリフトピンが挿入される部分に挿入される。変位計測センサを挿入した場合の締結部分の平面図と正面図を Fig.5 に示す。同図より、柱と梁に地震の加力による負荷がかかった場合、ドリフトピンには主にせん断力がかかると考えられる。

4. 特性評価試験

せん断力により生じる変位とセンサの出力電圧の関係を定量化するため、以下に示

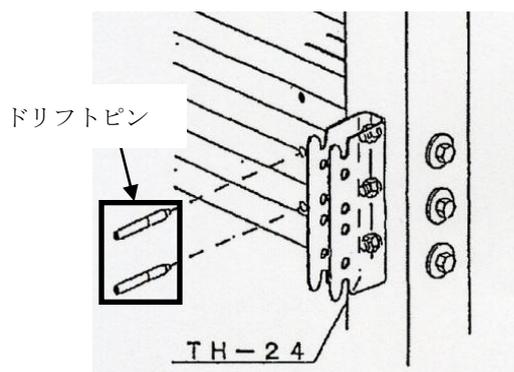


Fig. 4 締結部取付図³⁾

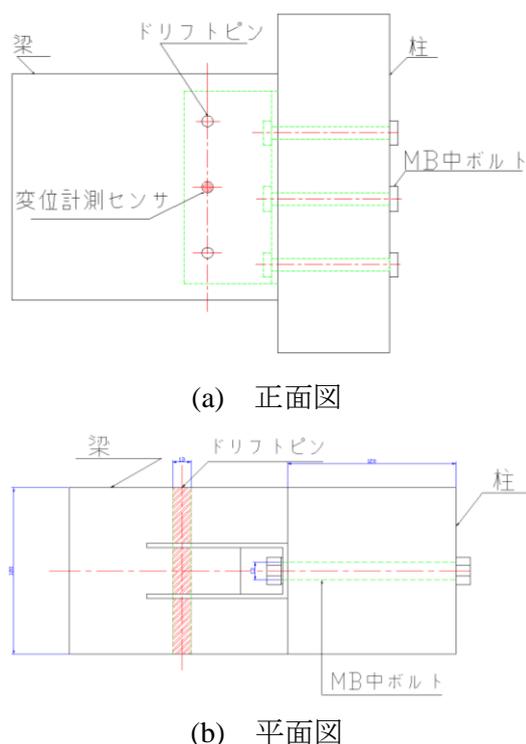
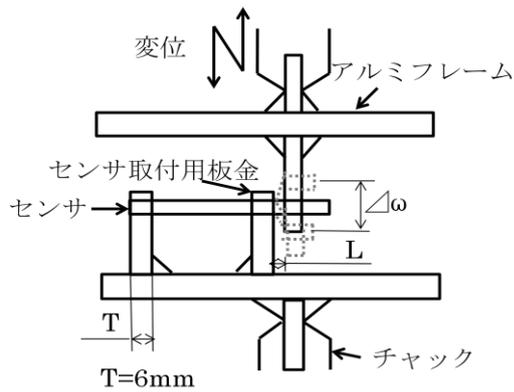


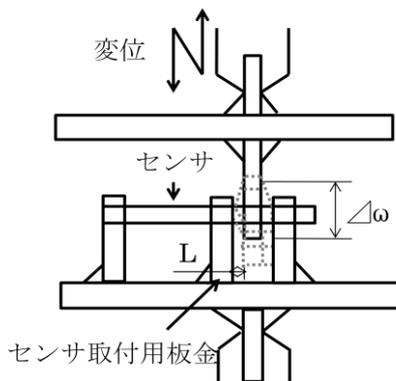
Fig. 5 変位計測センサの設置例

す2種類の実験条件で計測を行った。センサに印加する変位の計測は疲労試験機 (INSTRON 社, 8871 油圧サーボ試験システム) で行い、出力電圧の計測はデータロガー (グラフテック社, Midi LOGGER GL900) で行った。なお、変位は一つの実験条件につき10回与えた。

- 1) Fig.6(a)に示す治具を疲労試験機に取り付け、片端支持による評価試験を行った。変位 $\Delta\omega$ は1~13mmまで1mm



(a) 片端支持



(b) 両端支持

Fig. 6 特性評価試験

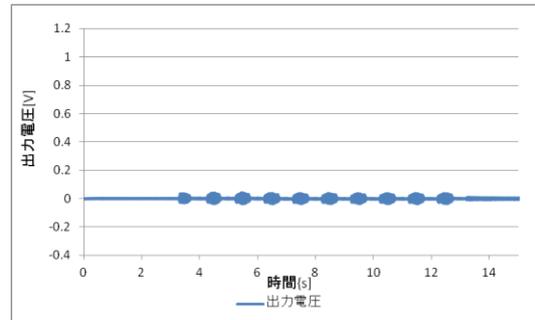
刻みで変形させ、周波数は 1~3Hz まで 1Hz 刻みで変化させた。初めに周波数を固定し、次に変位を固定して実験を行った。なお、センサ取付用板金と動作する板金間の距離 L は 0mm とした。これは、実際の締結部において梁と金具は密着しているためである。

- 2) Fig.6(b)に示す治具を用いて両端支持による評価実験を行った。実験条件は上述の①と同様とした。

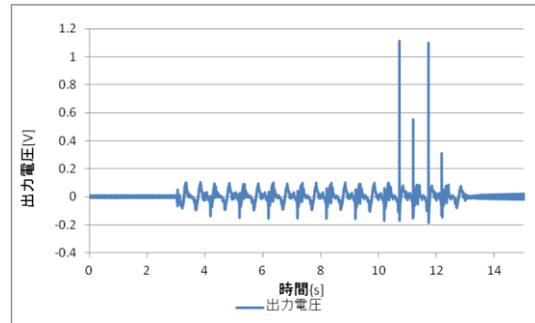
5. 試験結果及び考察

5.1 片端支持

変位 $\Delta\omega$ 1mm, 周波数 1Hz の場合の出力電圧と変位 $\Delta\omega$ 13mm, 周波数 1Hz の場合



(a) $\Delta\omega$ 1mm, 周波数 1Hz



(b) $\Delta\omega$ 13mm, 周波数 1Hz

Fig. 7 変位計測センサの出力電圧 (片端支持)

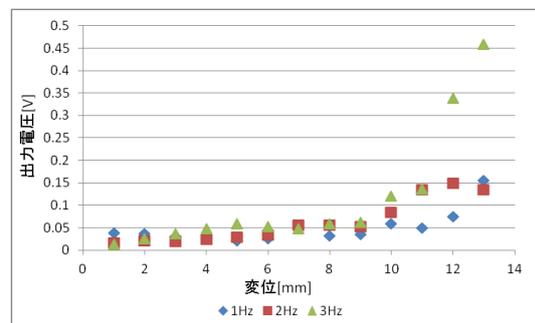
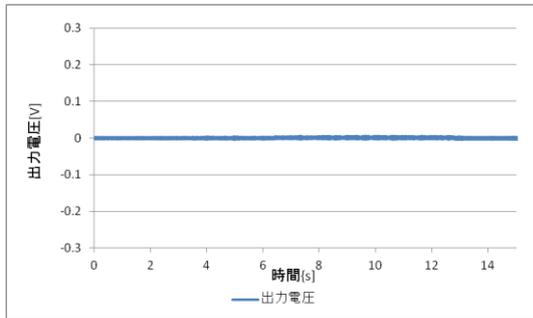


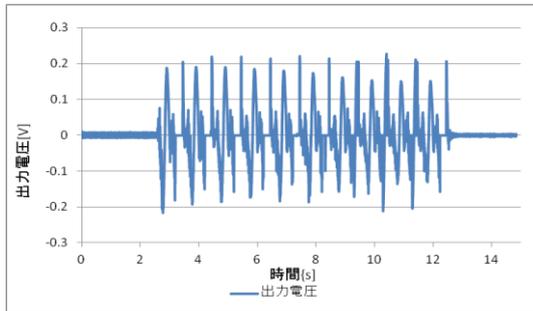
Fig. 8 変位と最大出力電圧の関係 (10 サイクル平均, 片端支持)

の出力電圧を Fig.7 に示す。同図(b)より 1 周期に 2 つの波形が出力されていることが分かる。これは、変位が最大に達した際、すなわち変位が上端部に達した際と下端部に達した際に電圧が出力されるためである。

Fig.8 に変位と最大出力電圧の関係を示す。同図より変位 8mm までは出力電圧が約 0.05V で推移し、変位 8mm 以降から出力電圧が増加することが分かった。また、



(a) $\Delta\omega$ 1mm, 周波数 1Hz



(b) $\Delta\omega$ 13mm, 周波数 1Hz

Fig. 9 変位計測センサの出力電圧
(両端支持)

出力電圧は周波数が高いほど増加傾向にあることが分かった。

従来研究において、ドリフトピンが破損し、締結部に緩みが生じる場合、変位は 8mm 以上であることが報告されている⁴⁾。このことより、製作した変位計測センサは締結部の破損度判定を行う上で有効と考えられる。

なお、Fig.7(b)に示すように変位 8mm 以上の試験において出力電圧が安定しない場合を認めた。これはセンサ取付用板金と変位計測センサに滑り現象が発生し、変位を与える位置がずれたためと考えられる。

5.2 両端支持

変位 $\Delta\omega$ 1mm, 周波数 1Hz の場合の出力電圧と変位 $\Delta\omega$ 13mm, 周波数 1Hz の場合の出力電圧を Fig.9 に示す。同図(b)より片端支持の結果と同様、1 周期に 2 つの波形

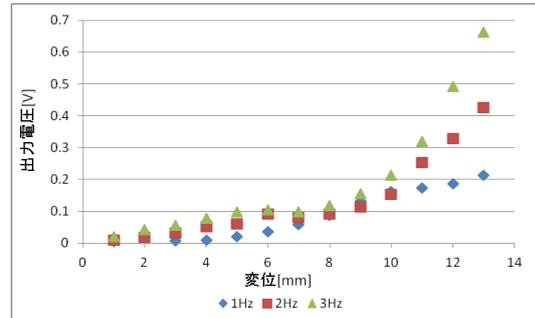


Fig.10 変位と最大出力電圧の関係
(10 サイクル平均, 両端支持)

が出力されていることが分かる。

Fig.10 に変位と最大電圧の関係を示す。同図より変位 8mm までの出力電圧は片端支持の場合と同様の結果を示しており、約 0.1V で推移している。また、片端子時の結果(Fig.8)と比較すると出力電圧は約 2 倍の値を示している。これは、変位を加える点が 2 点に増えたためと考えられる。

なお、両端支持では滑り現象による影響が少ないため、変位 10mm 以降では、変位と出力電圧が比例し、周波数の増加に伴い比例定数が大きくなる傾向が認められた。

締結部の振動の周波数は三軸加速度センサにより計測が可能である。したがって、周波数と出力電圧の関係から締結部に生じた変位を定量化することが可能と考えられる。

6. 結言

本稿では、構造ヘルスマモニタリングに用いる変位計測センサを設計し、基本特性の評価試験を行った。

具体的には、実際の柱と梁の締結部を想定し、センサ取付用板金と動作する板金間の距離 L を 0mm とし、片端支持と両端支持の場合における周波数及び変位と出力電圧の関係を調査した。その結果、変位計測センサの出力電圧は、変位 8mm までは片

端支持では約 0.05V, 両端支持では約 0.1V で推移し, それ以降は変位と周波数の増加に伴い出力電圧も増加することが分かった. 特に両端支持の場合, 変位と出力電圧には明確な比例関係があり, 周波数の増加に伴い比例定数が大きくなる傾向が認められた. 以上の結果から, 製作した変位計測センサは締結部の破損度判定を行う上で有効と考えられる.

今後は, 更に大きな変位を与えた場合, 及び変位を与える位置 (距離 L) を変化させた場合について評価試験を行う. また, 締結部の縮小モデルを対象とした評価試験を実施する予定である.

参考文献

- 1) 内閣府: 「災害に係る住家の被害認定基準運用指針」(2001)
- 2) 株式会社東京センサ: 「PIEZO FILM Technical Manual(日本語版)V1.0 R1」 pp.17 - 18, (2001)
- 3) 株式会社タツミ: 「S マーク: 性能認定書—認定品の形状・寸法とその使用例」
- 4) 蒲池 健, 稲山 正弘, 安藤 直人: 「鋼板挿入式ボルト・ドリフトピン接合部における荷重—すべり特性の評価法」日本建築学会構造系論文集 第 73 巻 第 627 号 pp.795-802, (2008)