

小型 MEMS センサーを用いた伝統木造建物への振動計測器の試み

金沢大学学部生 学生会員 ○米田 涼華
 金沢大学地球社会基盤学系 正会員 池本 敏和
 金沢大学総合技術部 正会員 小川 福嗣
 金沢大学大学院生 学生会員 石倉 昇
 金沢大学地球社会基盤学系 正会員 宮島 昌克

1. はじめに

1995年に発生した兵庫県南部地震では、死者約6,000人、倒壊家屋約10万7,000棟の被害が発生した。特に木造建物では、在来構法に多く被害が生じ、木造建物の被害軽減のための耐震性の評価が必要とされた。そのためには、まず木造建物の減衰定数や固有振動数の評価が重要である。そこで本研究では、手軽に扱える小型MEMSを用い、従来から使われているサーボ型SPC-51Aと比較、検討することで、今後の常時微動観測の簡略化を図ることを目的とする。

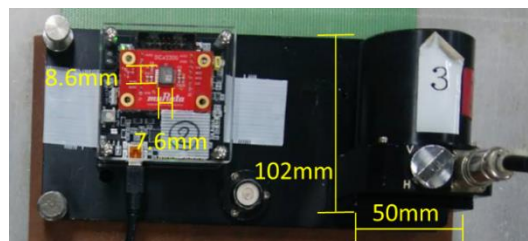


写真-1 MEMSセンサーとSPC-51A

表-1 SCL3300-D01とSPC-51Aの特性^{1),2)}

	MEMS	SPC-51A	
サイズ	7.6×8.6×3.3	50×102×50	(mm)
質量	-	450	(g)
検出範囲	±0.9	±3	(G)
感度	1200(LSB/g)	200(Gal/V)	
分解能	83	0.1	(μG/LSB)
ノイズ密度	15	-	(μG/√Hz)
フィルタ帯域幅(-3dB)	10	-	(Hz)
電源電圧	3.3	15	(V)

2. 木造建物の常時微動観測

木造建物を対象とした常時微動観測にはいくつかの問題がある。その主な要因は、振動計が高価であること、準備に手間を要することである。そこで本研究では、半導体の技術により制作された小型のMEMSセンサーを用いることで、振動計の低コスト化、小型化を図るとともに、伝統木造建物の測定に際して十分な性能を有しているかを実験的に検討する。

本研究では村田製作所社製のMEMSセンサー「SCL3300-D01」と、比較のために東京測振社製のSPC-51Aを使用する(写真-1参照)。両機器の特性を表-1に掲載する。

3. 1自由度系モデルを用いた常時微動振動測定の結果

(1)測定条件

1自由度系ラーメン模型の上・下部にSCL3300-D01とSPC-51Aを設置し、サンプリング周波数を100Hz、測定時間を20分とし、常時微動振動測定を行った。解析には波形が安定している10区間2048点(20.48sec)を抽出し、スペクトル領域において平均化した。それぞれ測定した波形の一例を図-1に示す。

(2)解析方法

加速度波形からフーリエスペクトルを求めた。このとき、フーリエスペクトルにバンド幅0.4HzのParzen windowを施すことによってスペクトルの平滑化を行った。模型上部で求めたフーリエスペクトルを模型下部で求めたフーリエスペクトルで除して求めた伝達関数を図-2に示す。伝達関数の最大値は異なるものの固有振動数は等しく4.0Hz

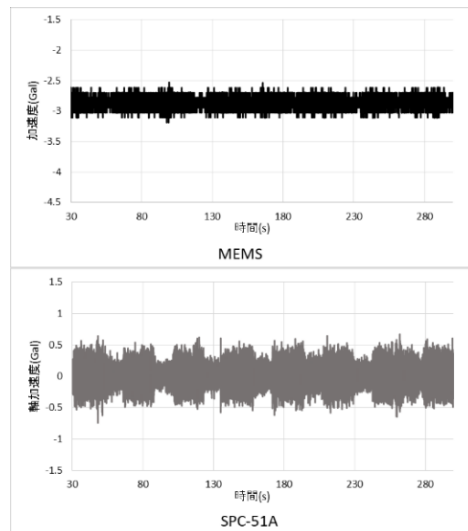


図-1 加速度波形(模型上部)

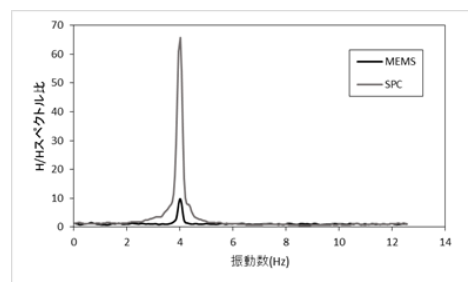


図-2 1自由度系模型の伝達関数

である。SPC-51A に比べ MEMS センサーの最大値が小さいのは、計測機器の感度の違いであり、MEMS センサーでは振動を十分な感度で測定できていないものの、何とかピーク値を把握することが可能であった。次に、伝達関数の形状から、ハーフパワー法³⁾を用いて減衰定数を求めると、MEMS センサーは 1.79%、SPC-51A は 2.00% であり、概ね一致した。また、1 自由度系模型を自由減衰させて求めた減衰定数は、MEMS センサーは 1.84%、SPC-51A は 1.82% であり、この値とも概ね一致した。

以上のことから、固有振動数は MEMS センサーで評価可能であり、減衰定数もほぼ評価が可能であった。このことから、比較的周期の長い伝統木造建物への MEMS センサーの適応は可能ではないかと考えられる。

4. 伝統木造建物への適応

(1)測定条件

対象とした伝統木造建物は、富山県高岡市の飛鳥山善興寺³⁾である。1 階床と 1 階の天井(地上 6.8m)に SCL3300-D01 と比較のために SPC-51A を設置し、サンプリング周波数を 100Hz、測定時間を 40 分とし常時微動測定を行った。解析には「2048 点(20.48sec)、10 区間」では明瞭なピークが認められなかったため、「4096 点(40.96sec)、10 区間」を抽出し、スペクトル領域において平均化した。

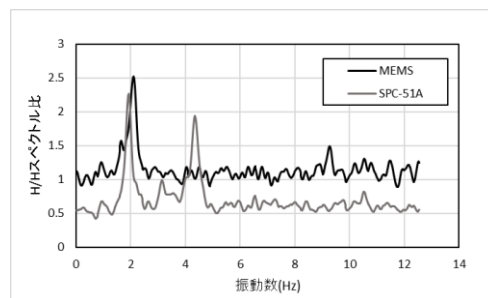


図-3 伝統木造の伝達関数

(2)測定結果と考察

1 階天井で求めたフーリエスペクトルを 1 階床で求めたフーリエスペクトルで除して伝達関数を求めた結果を図-3 に示す。MEMS の固有振動数は 2.1Hz、サーボ型速度計のそれは 1.9Hz と概ね一致した。MEMS の減衰定数は 6.88%、SPC-51A のそれは 5.09% であった。SPC-51A で求まるスペクトルのピークが明瞭に現れ、減衰定数を求めるときの周波数幅が狭くなるため、減衰定数が小さくなったと考えられる。

5. まとめ

安価で小型な MEMS センサーの性能を検証するため、1 自由度系模型と伝統木造建物における常時微動測定を行った。固有振動数や減衰定数の結果から、MEMS センサーと SPC-51A は固有振動数が概ね一致したため、建物の固有振動数を評価する上で MEMS センサーは有用であると考えられる。一方、減衰定数の評価には、ハーフパワー法におけるピークの形状が結果に影響するために、Window のバンド幅を検討することが課題であると考えられる。

謝辞

善興寺での測定において、坂井建築事務所・坂井修一氏、本学大学院生・東澤航平氏、住職にご協力頂きました。ここに記して謝意を表します。本研究の一部は科研費(18H01677-02)の援助をいただいた。

参考文献

- 1)村田製作所ホームページ：傾斜センサーSCL3300 シリーズ，<https://www.murata.com/ja-jp/products/sensor/inclinometer/scl3300>，2020/9/4 閲覧
- 2)東京測振ホームページ：<http://www.to-soku.co.jp/>，2020/9/4 閲覧
- 3)日本建築学会：建築物の減衰，pp.103-106，日本建築学会，2000.10.
- 4)金沢大学理工学域環境デザイン学系地震工学研究室，飛鳥山善興寺の振動特性に関する報告書，2020.3.18.