

地震動による構造部材損傷をバイナリで判定するセンサの開発

東京理科大学 学生員 三村 真代

東京理科大学 正会員 佐伯 昌之

1.研究背景と目的

大地震発生直後、各地方自治体は余震等による被災建物の倒壊や付属設備の転倒による災害を防ぐため、応急危険度判定を行っている。応急危険度判定は有資格者らが各家を一軒ずつマニュアルに沿って三段階で判定していく作業であり、対象構造物が多いため、膨大な時間と労力を要している。そのため、詳細な調査が必要かどうかをバイナリ判定できる簡易なセンサがあれば、時間と労力を節約できるとともに、より迅速な震災対応が可能になると考えられる。

著者等は、震災時に構造部材の健全性をバイナリで判定する簡易なセンサの開発を試みている。このセンサは MEMS の加速度計とジャイロ計を用いて構造物の運動を計測し、健全性と関係のある指標を求め、その値を基に構造物が使用可能か要調査かを自動判定するものである。例えば、応急危険度判定で用いられる指標に層間変形角があり、木造構造の場合は $1/60$ (約 1 度) を越えると要調査と判定される。そのため、簡易センサにより層間変形角を 0.1 度の精度で推定できれば、自動判定に有効であると考えられる。

本研究では、安価な MEMS 加速度計とジャイロ計を搭載した簡易なセンサを試作するとともに、計測された角速度を用いて、層間変形角を推定できるかどうかを実験的に検証した。

2.センサの開発

センサの試作においては、以下の設計条件を設けた。
①単精度の演算機能をもつマイクロコントローラーを搭載する、②低コストの MEMS 加速度計と MEMS ジャイロセンサを搭載する、③地震による停電発生後もしばらく機能するように部品は低消費電力なものを使用し、小型バッテリーを内蔵する。

実際に試作したセンサの外観を図 1 に示す。この試作機では、家庭用コンセントに挿して使用することを想定している。また、加速度と角速度の 6 軸を 100Hz で 100 秒

間計測した場合に 8 波形まで保存できる不揮発性メモリを搭載している。使用した MEMS 加速度計は低消費電力なものであり、常時電源を供給し続けても、900mAh の小型電池で 1 週間程度動作し続ける事が可能である。一方で、MEMS ジャイロセンサは消費電力が大きいため、MEMS 加速度計で強い振動を感じた後のみ電源を供給するようになっている。



図 1 簡易センサの外観

3.振動実験の概要

簡易センサを棒に固定し、その棒の上端を手で持って左右に揺らし、地震応答を模した。本実験では、最大層間変形角が 5°程度、残留層間変形角が 1°程度、固有振動数が 1Hz程度になるように振動させた。

簡易センサによる角速度の計測では、100Hzで 60 秒間サンプリングした。ジャイロセンサは電力の消耗が激しいため、通常は加速度計で強い振動が感知された直後に、電源を投入する必要がある。しかし、本実験ではジャイロセンサの初期バイアスの安定性を確認するため、電源投入から 10 分経過

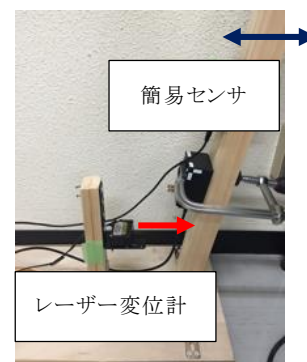


図 2 実験装置

キーワード 層間変形角 ジャイロセンサ 被害推定

連絡先 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学 TEL 04-7124-1501(代)

した後に上記振動実験を行った。

角速度から求める層間変形角が正確かを確認するために、レーザー変位計で水平変位も計測した。水平変位は回転中心を考慮した設置高さで除し、層間変形角に変換した。

4.層間変形角の推定と精度検証

簡易センサで得られた角速度データは時間で積分して、層間変形角に変換される。ただし、得られた角速度にはバイアスが含まれている。そのため、バイアスを全データから除した。バイアスは、層間変形角が振動終了後に一定となるように求めた。図3に求めた層間変形角の時系列を示す。横軸が時間[s]、縦軸が層間変形角[deg]である。また緑線がレーザー変位計による層間変形角、赤線が簡易センサによる層間変形角である。

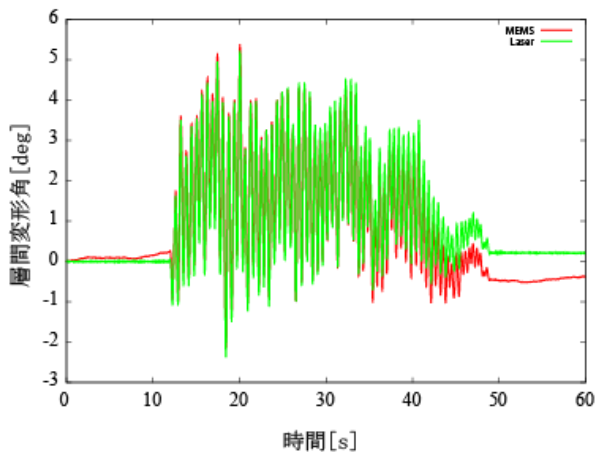


図3 推定された層間変形角の時間変化

図3からわかるように、2つの波形は最初一致しているが、時間の経過とともにズレは大きくなっていく。そして、 0.1° 以上の残留層間変形角の差が残っている。また補正を行ったにもかかわらず、電源投入直後の静止状態における簡易センサの波形は傾きを持ってしまっている。このことから、バイアス成分は時間の経過とともに変化していることがわかる。この原因を明らかにする為、層間変形角の応答波形に対しフーリエ変換を行った。その結果が図4である。横軸が周波数[Hz]、縦軸がスペクトル強度[deg]であり、赤が簡易センサ、緑色がレーザー変位計である。図4から読み取れるように低周波成分においてグラフが一致していないことがわかる。また、角速度の波形データをフーリエ変換したものが図5である。凡例は図4と同様である。図5では高周波成分が一致しておらず、層間変形角での変換結果と特徴が異なること

がわかる。角速度と層間変形角において一致しない周波数帯が異なる事と残留変形角が残ってしまう事との関連性はまだ明らかにできていない。

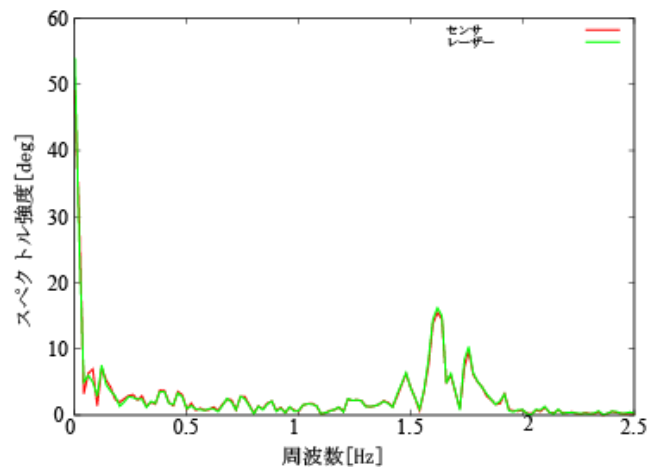


図4 層間変形角の応答波形のフーリエ変換

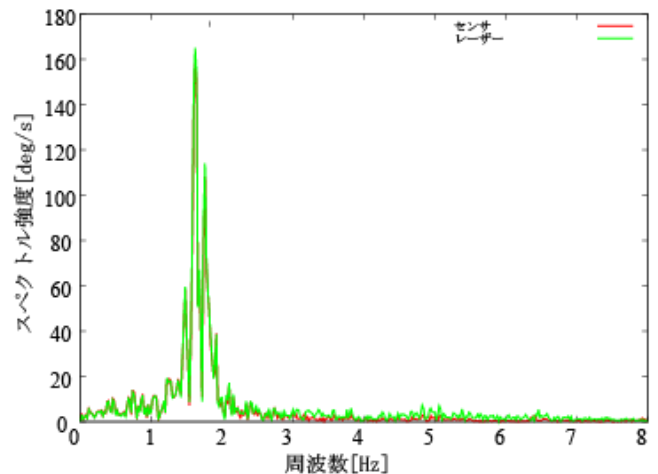


図5 角速度の応答波形のフーリエ変換

5.本研究のまとめと今後の展望

本実験では、振動終了後の静止状態の層間変形角が変化しないようにバイアスを除去する補正法を行った。この補正法を行った結果、残留層間変形角が 0.1° 以上残ってしまうことがわかった。その原因を探るため、角速度と層間変形角のそれぞれの応答波形に対しフーリエ変換を行った。その結果、角速度と層間変形角とで、センサとレーザー変位計の結果が一致しない周波数帯が異なることがわかった。今後の課題として、残留変形角がレーザーと簡易センサで異なる事とフーリエ変換の不一致との関連性を判明させ、残留変形角を一致させることが挙げられる。