

MEMS 地震計の性能検証と高密度地震観測網への利用に関する検討

名古屋大学 工学部 環境土木・建築学科
建築学コース 飛田研究室 斎藤侑賢

1. 研究の背景と目的

日本では、1995年兵庫県南部地震を契機として震度階級の改正、地震・震度観測網の高密度化が進んだ。地盤の地震観測の意義は耐震設計と被害分析による防災対応の強化という点にあり、より正確に地震動特性を把握するための観測網の高密度化は重要である。そこで、従来の地震計と比べ安価・小型な MEMS 地震計を利用することにより高密度な観測網を展開することを考える。本研究では MEMS 地震計の性能について加振実験を行うことで確認し、西三河地域を例としてより高密度な震度観測体制への利用について検討する。

2. 震度観測の現状

1995年兵庫県南部地震では震度の発表の問題、高密度観測網の重要性が認識された。震度は体感での決定から震度計での観測をもとにした計測震度の算出へと改正され、震度観測点は全国で急激に増加し強震観測網の整備が進むこととなった。図1に日本の震度観測点分布¹⁾の変遷を示す。

現在の全国の震度観測点は、気象庁が670個、地方公共団体が2911個、防災科学技術研究所が794個設置しており、計4375個である。これは国土の86 km²に1か所、観測点間の間隔は平均して約9.3 kmである。北海道、東京都、愛知県の観測点の間隔は15 km、4 km、6 kmとなっており、人口密度の高い都市部などで観測点密度の高い傾向がある。地方公共団体の観測点は各自治体に1か所を目安に決定されることが反映されており、観測点配置は人口や自治体の分布を基準として決まっている。

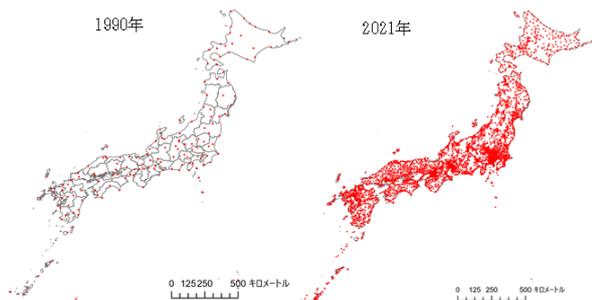


図1 震度観測点分布

3.1 MEMS 地震計の性能確認実験の概要

MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 地震計は半導体技術を利用したセンサであり、従来のサーボ型センサに比べ小型、低コストな地震計である。MEMS 地震計の性能をサーボ型と比較検証するため水平2軸振動台 BiCURI で加振実験を行った。表1に示すホワイトノイズと地震波の加振、及び地震波形状計測を行い、周波数特性・分解能の観点で比較する。

3.2 MEMS 地震計とサーボ型センサの観測記録の比較

MEMS 地震計とサーボ型センサの観測記録の加速度波形と加速度フーリエ振幅スペクトルの比較を図2, 3に示す。震度3相当、震度1相当のホワイトノイズと小千谷波のNS方向記録を

示しており、全体的に波形の形は一致するものの振幅の小さい波形では分解能の差により約0.1 gal以下の誤差が確認できる。また、この振幅の差は0~10 Hzでは周波数にかかわらずほぼ一定であることがわかる。

3.3 震度計測性能の検証

MEMS 地震計では毎秒算出する計測震度の最大値が地震波ごとに記録されている。「震度のリアルタイム演算法」²⁾を利用して MEMS, サーボ型センサの観測波形から震度を算出し、記録された最大震度と比較することで地震計の震度演算性能を確認する。震度7相当の小千谷波、震度1相当のホワイトノイズ(実効値0.3 gal)の記録の震度の比較を図4, 5に示す。震度階級は合致しているが震度1相当の波形ではセンサの計測震度の差は比較的大きい。以上の特性より MEMS 地震計の性能は震度1以上の地震については判別・記録が可能で、それより小さい振動の測定には性能が十分でないことを確認した。

表1 加振実験で入力した波形

入力した波形	長さ
ホワイトノイズ(実効値100, 30, 10, 3, 1, 0.3 gal)	650 秒
兵庫県南部地震の鷹取野強震記録	30 秒
新潟中越地震の小千谷観測点での強震記録	60 秒
熊本地震の益城町での強震記録	110 秒
名古屋三の丸波	240 秒

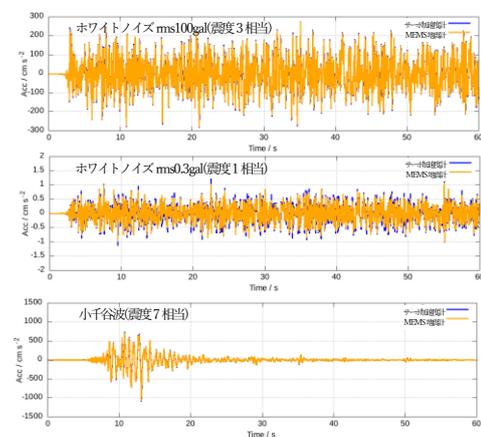


図2 MEMS, サーボ型センサの加速度波形の比較

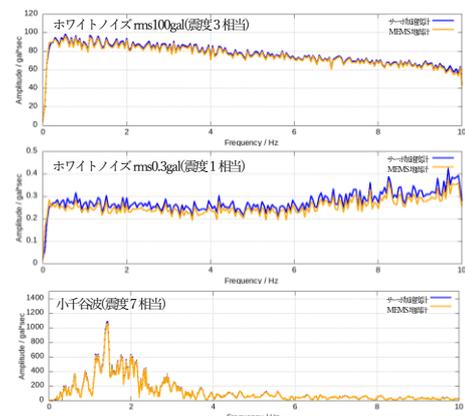


図3 MEMS, サーボ型センサのフーリエスペクトルの比較

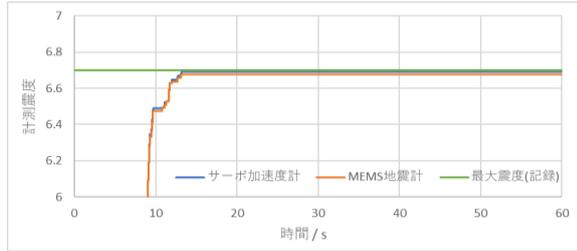


図4 小千谷波加振記録の計測震度比較

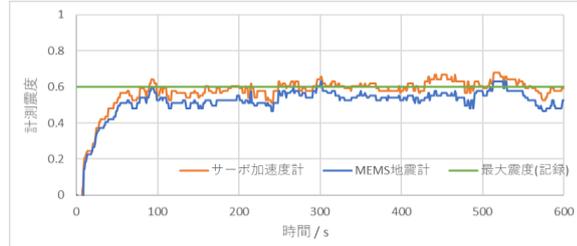


図5 ホワイトノイズ (rms0.3 gal) 加振記録の計測震度比較

4. 地域の地震観測網の高密度展開の検討

愛知県の観測点分布を地震被害の大きさに影響する地盤増幅率³⁾の分布と共に図6に示す。破線で囲った地域は地盤増幅率が特に高いが観測点密度が低い地域を示しており、観測点配置が地盤条件とは対応していないことがわかる。地震観測は地盤条件と地震動特性の把握を目的としており、現状の震度観測点配置では図に示した西三河、三河湾のような地域において地盤特性を正確に把握するには不十分である。地震観測で使用する地震計は高額であるため、高密度化にはコストがかかる。このような地域での観測網の高密度化へのMEMS地震計の利用を検討するため西三河地域を対象にMEMS地震計による地震観測網の展開を行った。西三河では中央部を流れる矢作川と付近の後背湿地を中心に多様な地盤条件が分布している。図7に西三河でのMEMS地震計の設置計画と既存の地震観測点の分布を示す。MEMS地震計は観測点のない場所を補完しつつ全体的に異なる地盤特性を横切る東西方向の測線で配置した。

2021年12月3日9時28分ごろの紀伊水道の地震(M5.4)について図7の地点A、BのMEMS地震計の観測記録を図8に示す。2地点の距離は5kmであるが地震動特性の相違は大きく、このような地域での高密度化による地震観測への効果を確認した。

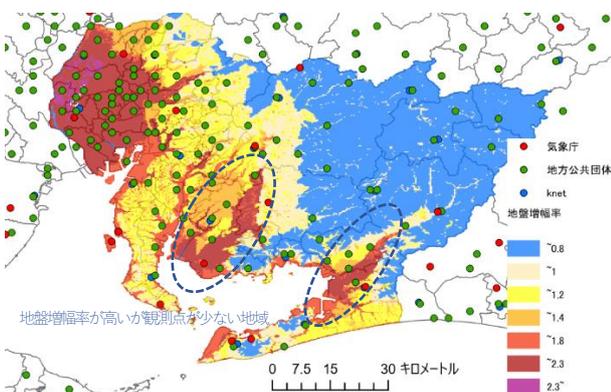


図6 愛知県の震度観測点と地盤増幅率の分布

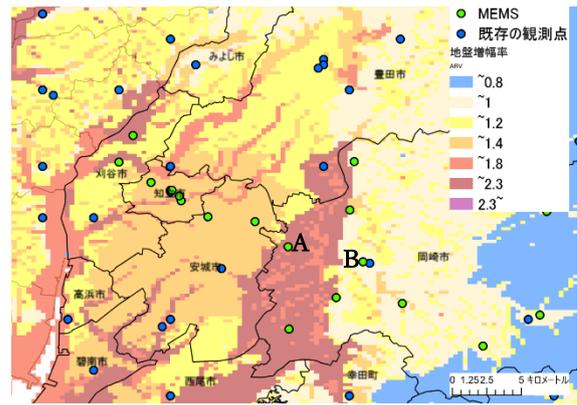
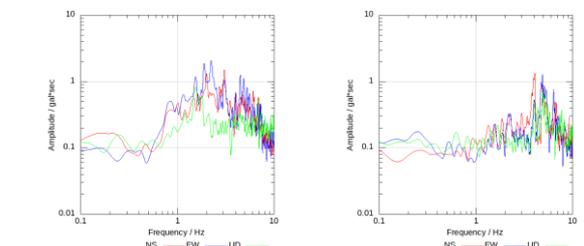
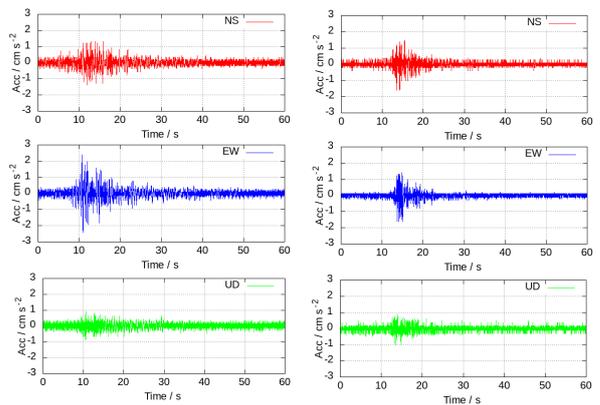


図7 西三河地域のMEMS地震計設置場所



地点A

地点B

2021/12/3 9時28分 紀伊水道(M5.4)

図8 地点A、Bでの加速度波形・フーリエスペクトル

5. まとめ

本研究では、MEMS地震計の地震観測性能を確認し地盤の地震観測網の高密度化への利用を検討した。MEMS地震計の性能は地震の測定には十分であるが小さい振動の測定では精度が十分でないこと、高密度の観測点設置で数キロの範囲の地盤条件の変化による地震動特性の相違が観測できたことを示した。今後はMEMS地震計のように多数設置できる地震計と従来の高精度の地震計を組み合わせ高密度観測網の展開が期待でき、地盤条件に応じて2つの地震計を適切に使い分け配置を検討する必要がある。

参考文献

1) 気象庁: 震度観測点 (参照 2022-1-10)

<https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/intens-st/index.html>

2) 功刀卓・青井真・中村洋光・藤原広行・森川信之: 震度のリアルタイム演算法 2008年

3) 防災科学技術研究所: J-SHIS Map <https://www.j-shis.bosai.go.jp/map/> (参照 2021-12-14)