

MEMS チップによる地盤震動観測の実証実験

東電設計(株) 正会員 ○栗田 哲史

1. はじめに

MEMS チップは、自動車のエアバッグ、携帯電話、ゲーム機等で加速度センサーとして既に実用化されており、その有用性は広く認識されているところである。地震工学の分野でも構造物のモニタリングなどを目的として使用されている例は多い。著者は、稠密な地震動観測を実現することを目的として、小型かつ安価な MEMS チップによる地盤震動観測について検討している。本研究は、実際の地盤に MEMS チップと従来からある地震計を同時に設置して、MEMS チップによる地盤震動観測の実現性について実証実験を行うものである。

2. 実証実験の概要

実証実験を行った場所は図-1に示す那珂川沿いの東茨城台地である。地震観測は2017年10月から開始した。観測実験は、図-2の通り2種類のセンサーを同じ場所に設置して、1つの収録装置で記録するシステムで行った。これにより、得られた各センサーの観測記録の差異は純粋にセンサーに起因するものだけとなる。センサーの設置状況は図-3の通りであり、MEMS 加速度計とサーボ型加速度計を同一コンクリート床版に取り付け、地盤上に設置した。使用した MEMS チップはアナログ・デバイセズ社製の ADXL-354 である。一方、サーボ型加速度計は勝島製作所製の AccuSEIS 103 (フルスケール: $\pm 2000\text{cm/s}^2$)、収録装置も同社製の AccuSEIS Omni である。観測記録のサンプリング周波数は 100Hz で、収録装置内で 30Hz のローパス・フィルター処理を施している。

3. 観測記録の分析

2017年12月までに観測された地震記録一覧を表-1および表-2に示す。両表を比較すると、サーボ型加速度計と MEMS チップとの最大値に関する差異は 1cm/s^2 以下と十分小さいことが分かる。

次に、得られた記録の中で振幅が大きい EQ.002 を対象として、成分 (X, Y, Z) ごとにセンサー間の相互相関係数を求めた。図-4に示す通り、いずれの成分も時間ずれ 0.0 秒でピークを生じていることから、各センサー間に時間ずれは生じていないことが確認された。また、その時の相互相関係数は 0.997~0.999 の間にあり、ほぼ完全相関に近いと言える。

最大加速度が 10cm/s^2 以下の EQ.001 と最大加速度が 40cm/s^2 以上を生じている EQ.002 について、フーリエスペクトルの比較を行い、センサー間の周波数特性について分析した (図-5および図-6)。両図より、全てのチャンネルで MEMS チップの観測記録には、ある一定レベル ($0.5\sim 3\text{cm/s}^2\cdot\text{s}$ 程度) のノイズが長周期側に混入していることが分かる。高周波数側については、収録装置で自動的にフィルター処理が行われるため、ノイズの有無は確認できない。地盤の強震動において重要となる水平動の 1Hz を中心とした周波数帯では、ノイズの影響は認められない。また、加速度レベルの大きい EQ.002 の場合の方が、相対的にノイズの影響が小さくなっている。従って、MEMS チップの記録に見られるノイズは、入力信号のレベルに大きく依存するものではなく、ある一定レベルの振幅を有するものと推察される。

4. まとめ

MEMS チップによる地盤震動観測の実現性を検証するために、サーボ型加速度計との同時観測によって比較検討を行った。検討の結果、MEMS チップによる観測記録には低周波数側に一定レベルのノイズが混入していることが分かった。しかし、ある程度以上の加速度レベルが重要となる強震動を対象とした工学的な利用においては、大きな問題とならないものと考えられる。

謝辞 本研究を実施するにあたり東電ケンプランニング(株)及び(株)勝島製作所のご協力を得ました。ここに謝意を表します。

キーワード MEMS, 地震観測, 地盤震動, サーボ型センサー, 実証実験

連絡先 〒135-0062 東京都江東区東雲 1-7-12 KDX 豊洲グランドスクエア 9F 東電設計(株)技術開発部 TEL 03-6372-5111



(地図：国土地理院 地理院地図 (電子国土 Web))

図-1 地震観測地点

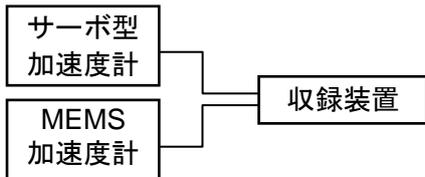


図-2 観測システムの概要

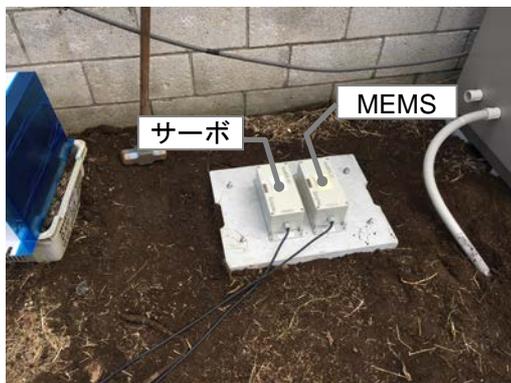


図-3 センサーの設置状況

表-1 サーボ型加速度計の観測記録一覧

EQ.	記録開始時刻						サーボ型 最大値 (cm/s ²)		
	年	月	日	時	分	秒	X	Y	Z
001	2017	10	06	17	00	11.5	9.75	6.71	5.69
002	2017	10	06	23	56	38.5	44.47	28.95	21.97
003	2017	10	15	19	42	58.0	23.02	33.55	16.18
004	2017	10	19	00	08	25.4	10.06	12.20	9.36
005	2017	10	19	21	50	33.4	7.10	8.40	6.42
006	2017	11	02	22	31	01.4	20.69	13.22	9.23
007	2017	11	03	21	37	55.5	46.77	24.08	21.08
008	2017	11	05	16	30	01.0	10.15	13.87	12.75
009	2017	11	21	09	25	07.2	27.60	17.49	11.39
010	2017	12	02	00	12	30.6	18.51	19.92	8.89
011	2017	12	06	00	22	00.3	10.21	10.28	8.23
012	2017	12	23	21	54	00.6	12.22	7.19	6.09

表-2 MEMS チップの観測記録一覧

EQ.	記録開始時刻						MEMS 最大値 (cm/s ²)		
	年	月	日	時	分	秒	X	Y	Z
001	2017	10	06	17	00	11.5	9.52	6.81	5.45
002	2017	10	06	23	56	38.5	44.18	29.79	21.05
003	2017	10	15	19	42	58.0	22.68	34.41	15.49
004	2017	10	19	00	08	25.4	10.30	12.50	9.48
005	2017	10	19	21	50	33.4	7.01	8.01	6.46
006	2017	11	02	22	31	01.4	20.70	12.93	9.10
007	2017	11	03	21	37	55.5	46.14	24.38	20.35
008	2017	11	05	16	30	01.0	10.06	13.60	12.38
009	2017	11	21	09	25	07.2	27.15	17.81	11.29
010	2017	12	02	00	12	30.6	17.96	19.87	8.37
011	2017	12	06	00	22	00.3	9.96	10.09	8.02
012	2017	12	23	21	54	00.6	12.20	7.41	6.21

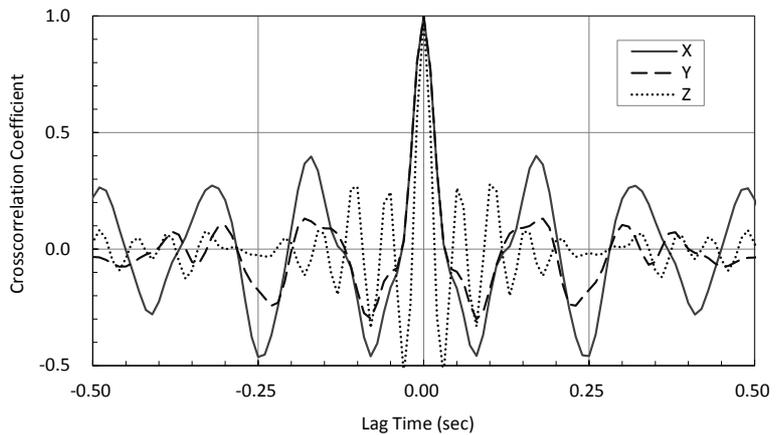
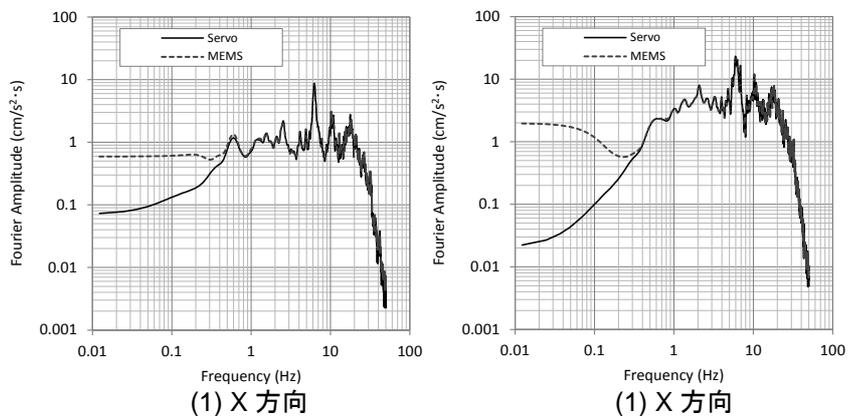
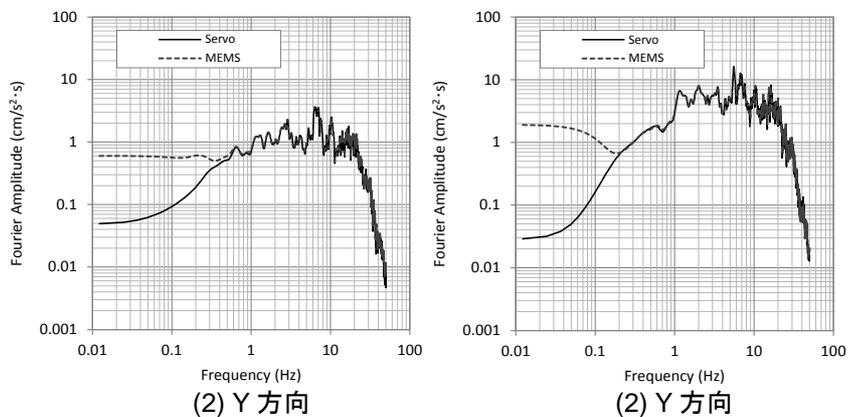


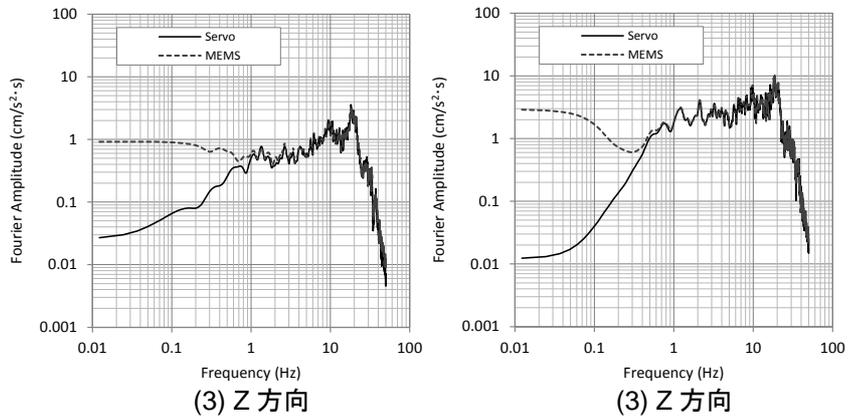
図-4 各成分のセンサー間の相互相関係数(EQ.002)



(1) X 方向



(2) Y 方向



(3) Z 方向

図-5 EQ.001 のフーリエスペクトル比較

図-6 EQ.002 のフーリエスペクトル比較