



中日本建設コンサルタント株式会社

性能が異なる各種センサの 地盤常時微動計測への適用性検討

- 永坂 英明(中日本建設コンサルタント株式会社)
- 坪井 誠治(東海テクノセンター株式会社)
- 吉川 高広(岐阜大学)
- 沢田 和秀(岐阜大学)

2026年6月5日

地盤工学会中部支部「第35回調査・設計・施工技術報告会」

目的

常時微動計測の現状

常時微動計測の簡便性から広範囲な対象構造物の振動特性把握に利用
地盤に関しても、簡単に卓越振動数が得られるため、非常によく用いられている。

計測用センサ

常時微動計測に用いられるセンサは、バネによる機械式慣性センサからサーボ型加速度計へと変化し、現状ではクォーツ加速度計やMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 加速度計に展開、クォーツ加速度計やMEMS加速度計の小型化や低コスト化から利用範囲が拡大、更なる地盤常時微動計測の利便性向上が見込まれる。

ただし、地盤常時微動の応答レベルは非常に微弱なため、収録可能なセンサは限定的
各種センサの地盤常時微動への適用性評価を実施した例がない。

地盤常時微動を精度よく収録可能なセンサ性能を評価
簡便で正確な地盤常時微動計測を実現し、更なる適用展開を拡大

地盤常時微動計測

地盤の常時微動計測は、地表面に設置したセンサで計測

加振を行う必要がなく、地盤を掘削することも必要としない非破壊計測であるため、手軽に実施可能

計測機器



計測状況

短時間(数分)計測



地盤常時微動の利活用その1

地盤の常時微動計測を利用する簡便な方法

同時計測した水平動成分のフーリエ振幅スペクトルを上
下動成分のフーリエ振幅スペクトルで除する

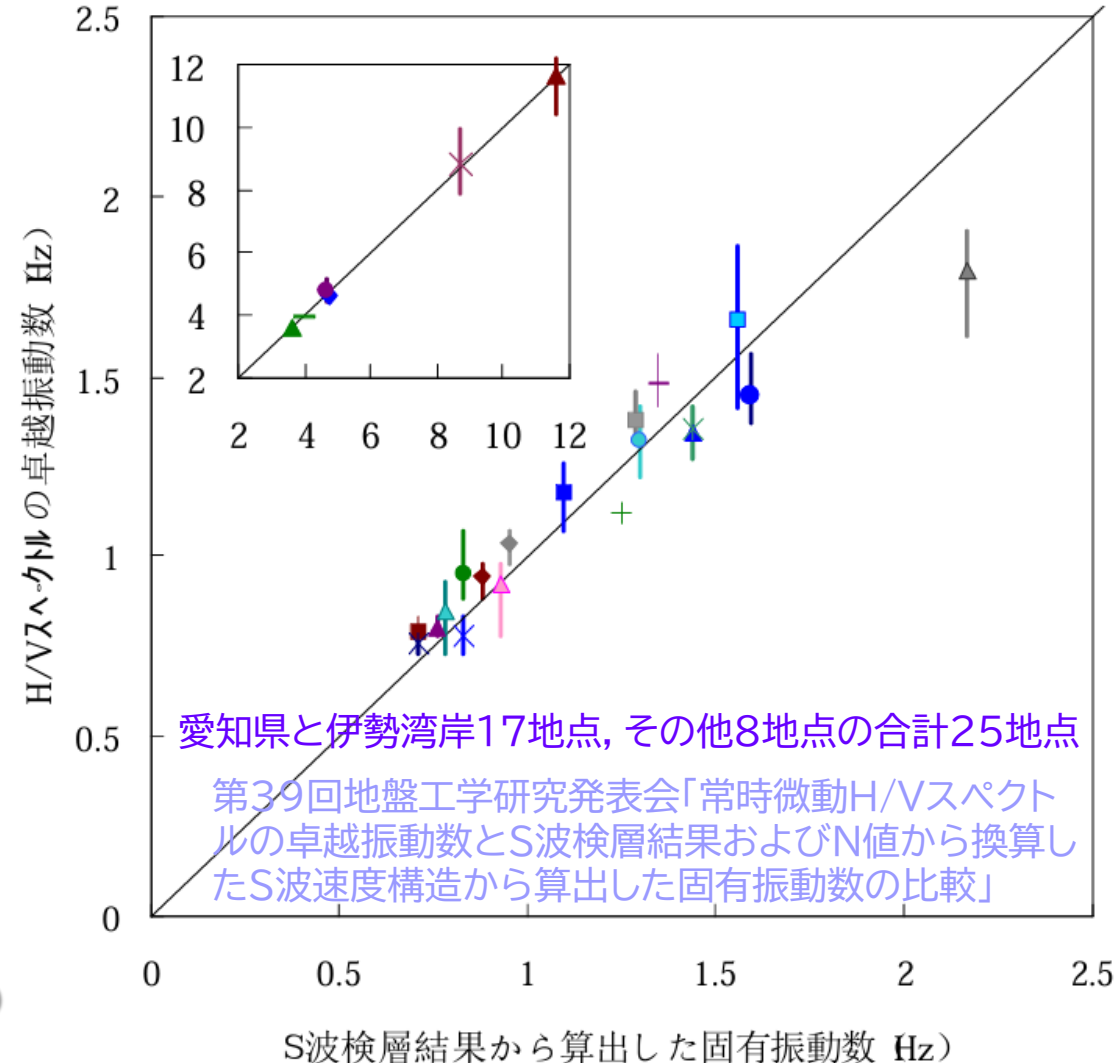
H/Vスペクトルを用いて表層地盤の卓越振動数
やS波速度構造を推定

地震時の増幅特性推定による地震被害想定や
耐震設計の精度向上に利用

地盤常時微動H/Vスペクトルが地盤特性を的確 に再現していることを確認

PS検層によるS波速度構造から求めた卓越振
動数と比較し, H/VスペクトルがPS検層による
S波速度構造から求めた卓越振動数と概ね一致

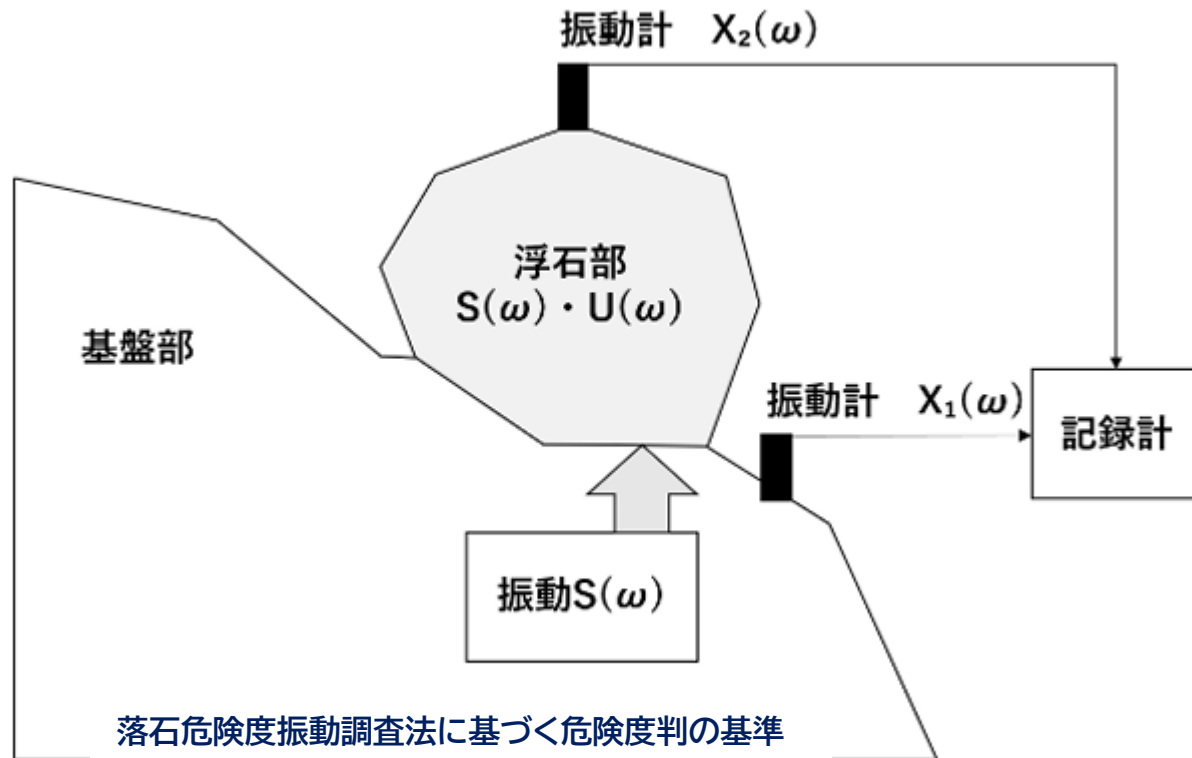
誤差平均は5%



地盤常時微動の利活用その2

落石危険度振動調査法

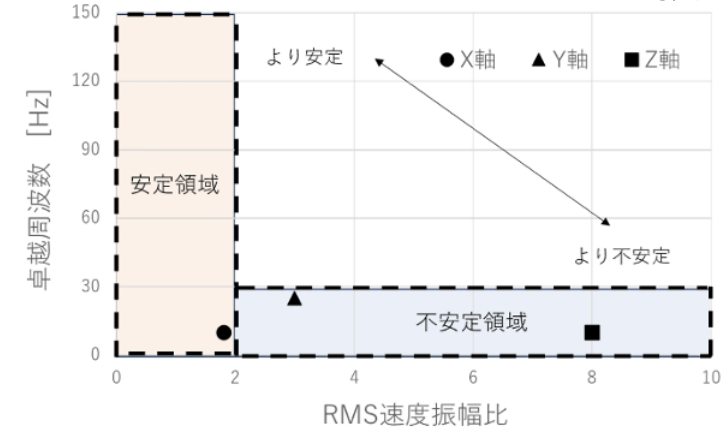
緒方健治ら, 土木学会論文集「振動特性を利用した落石危険度の判定」



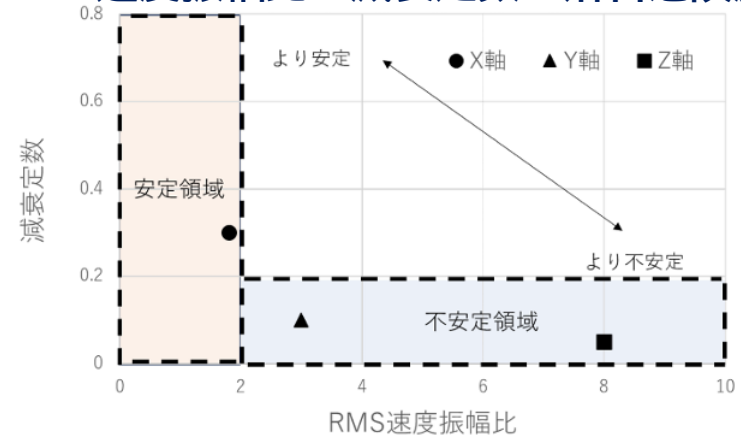
落石危険度振動調査法に基づく危険度判の基準

RMS 速度振幅比	2.0 以上
卓越周波数[Hz]	30 以下
減衰定数	0.2 以下

RMS速度振幅比と卓越振動数の落石危険度判定図



RMS速度振幅比と減衰定数の落石危険度判定図



検討対象センサ

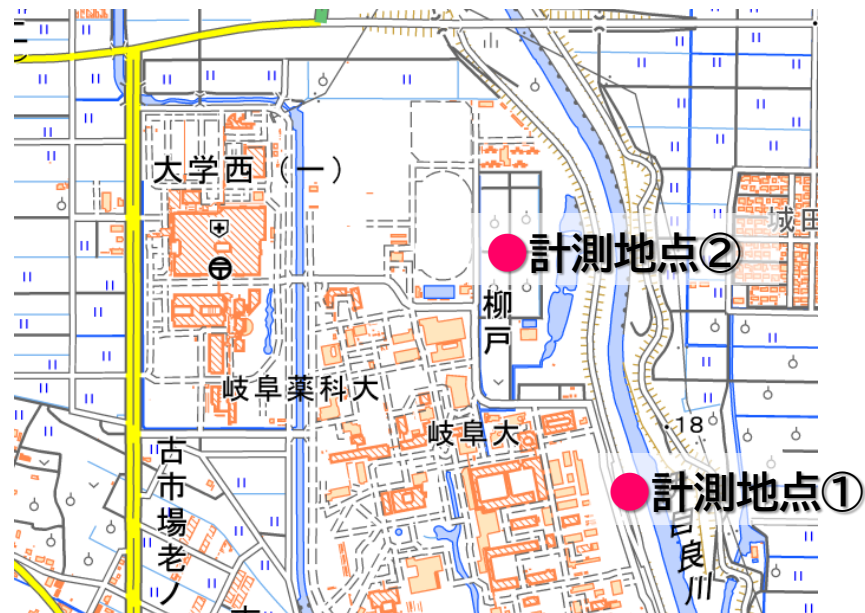
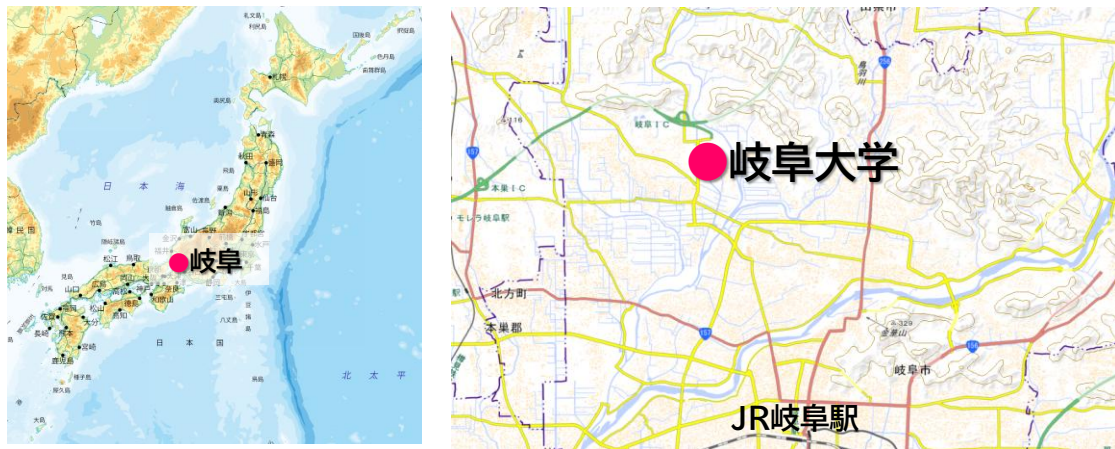
3方向成分を収録, 収録時間刻み1/500sec

販売会社:名称	ノイズ密度	呼称
ソナス社 x04 Pro Portable	$0.02\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	Pro
ソナス社 x04 QC Portable	$0.2\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	QC
ロジカルプロダクト WS92-EACS01-2	$0.2\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	LP1
ロジカルプロダクト WS92-EACS01-2	$0.2\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	LP2
A社B機種	$25\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	MEMS



検討対象地点

背景図：国土地理院（電子Web）

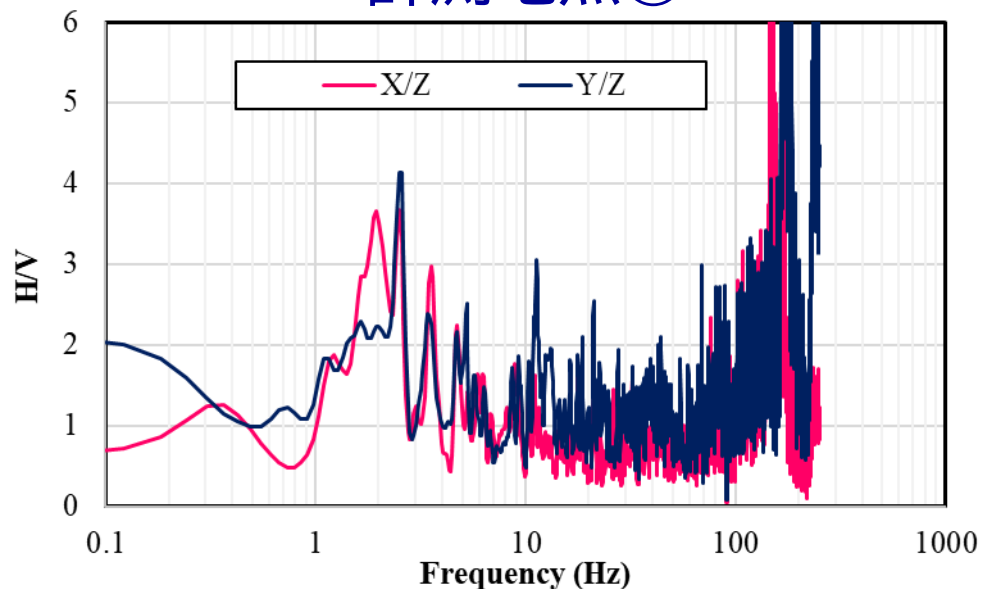


参考：計測地点の卓越振動数

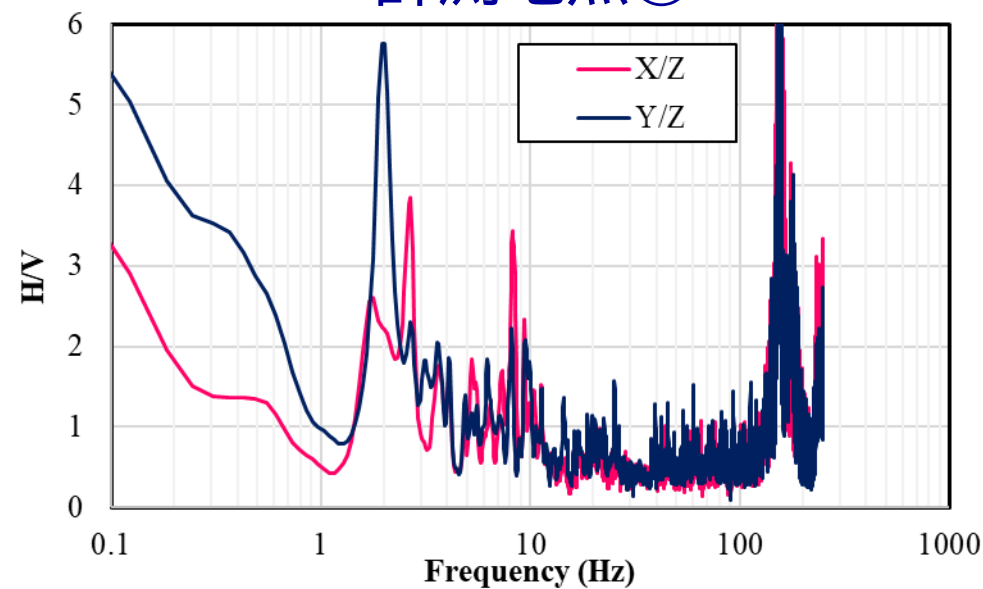
各地点のH/Vスペクトルによる卓越振動数算定(Pro)

平滑化: ハニング法5サイクル

計測地点①



計測地点②



計測地点	卓越振動数 (Hz)			地盤種別
	X/Z	Y/Z	平均値	
①	2.502	1.953	2.228	第1種地盤
②	2.014	2.686	2.350	第1種地盤

地盤常時微動収録結果の加速度時刻歴波形 計測地点① X方向成分

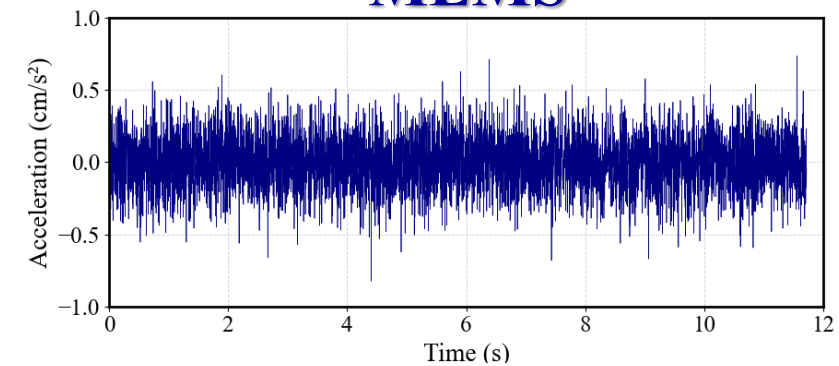
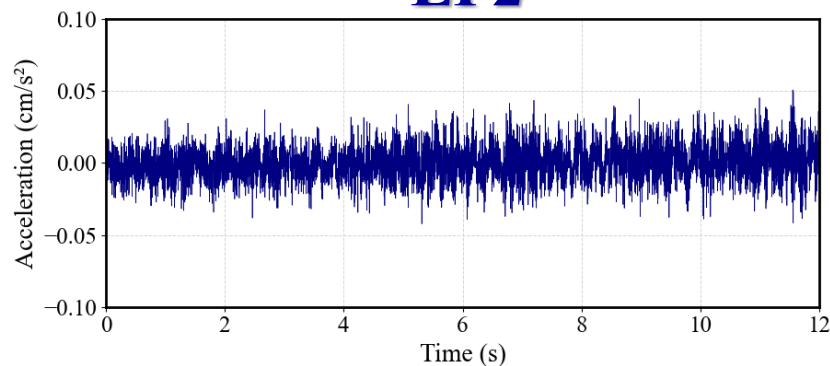
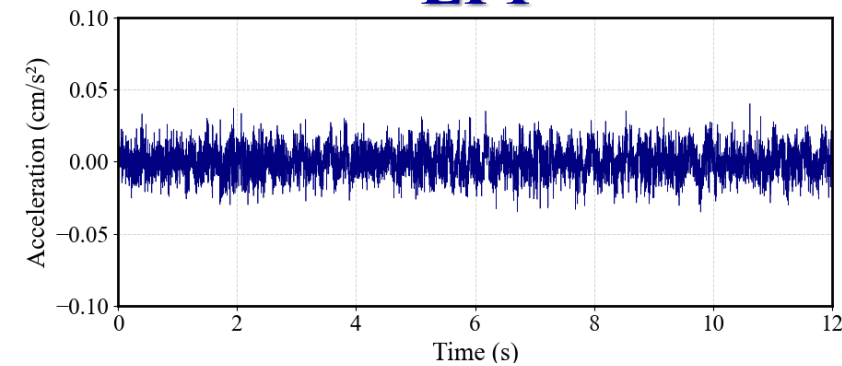
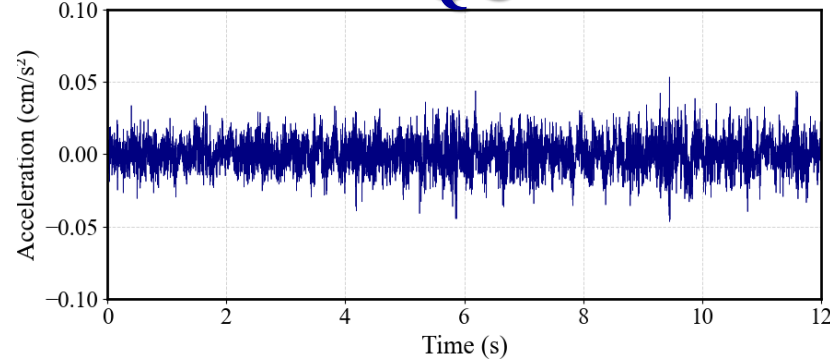
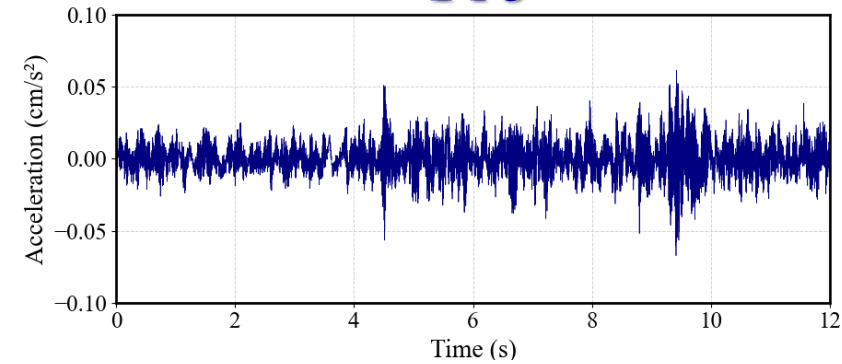
Pro

QC

LP1

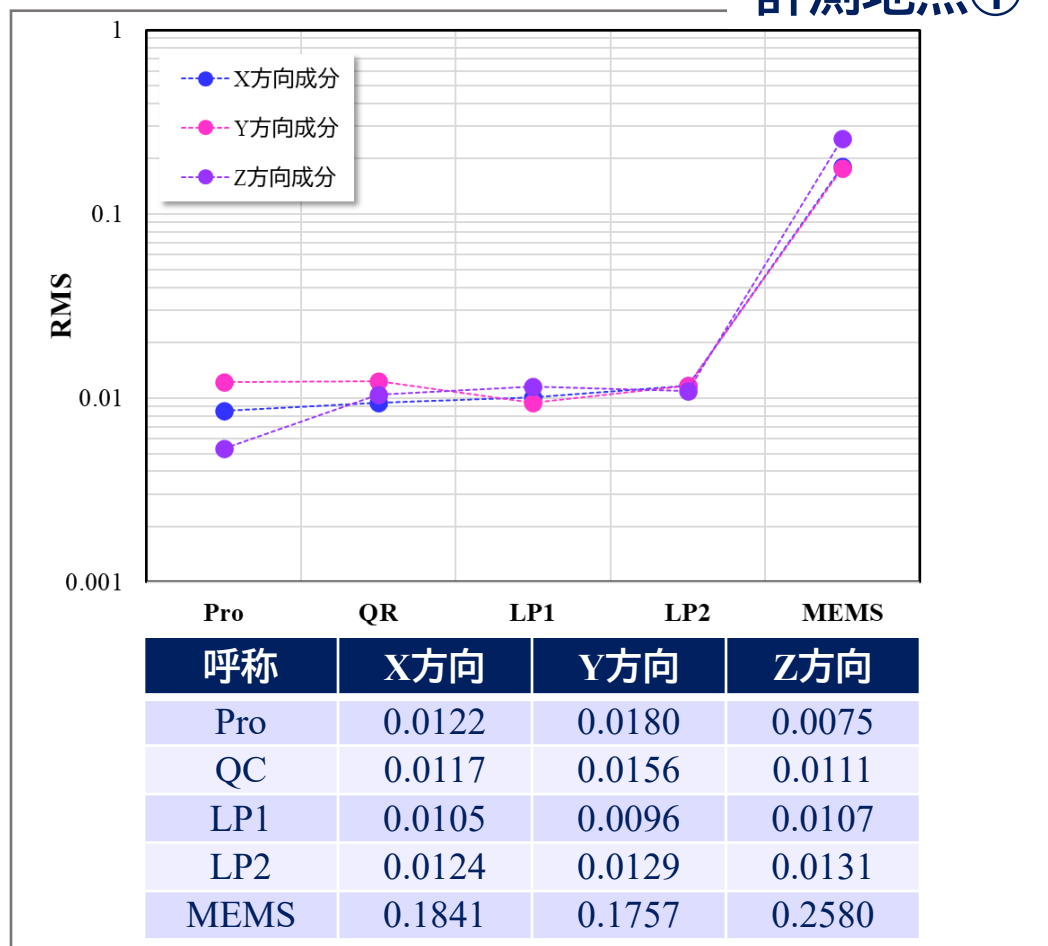
LP2

MEMS

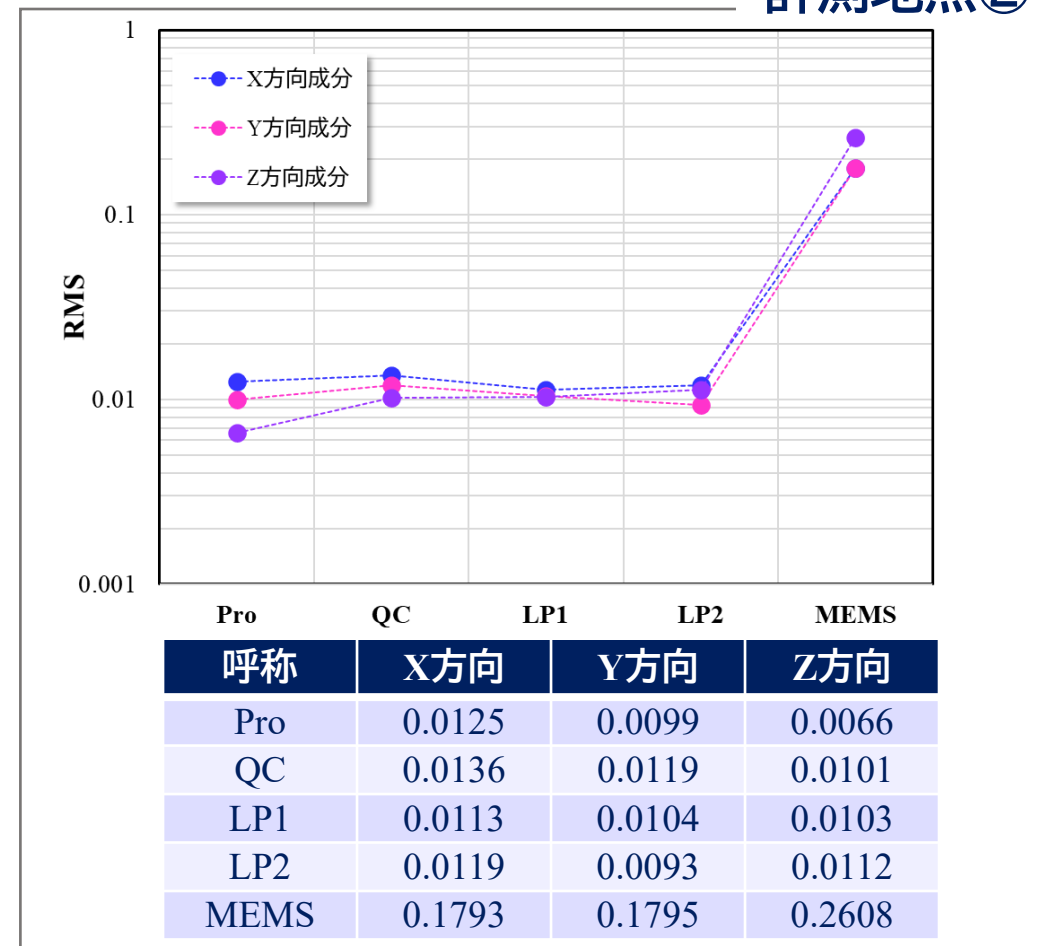


$$\text{RMS (Root Mean Square): 実効値} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n}}$$

計測地点①



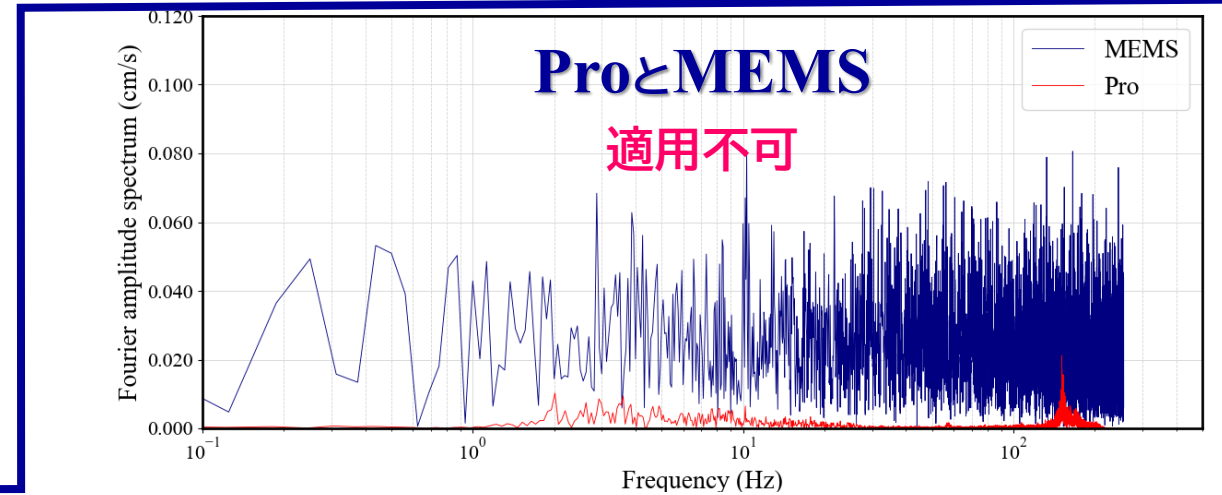
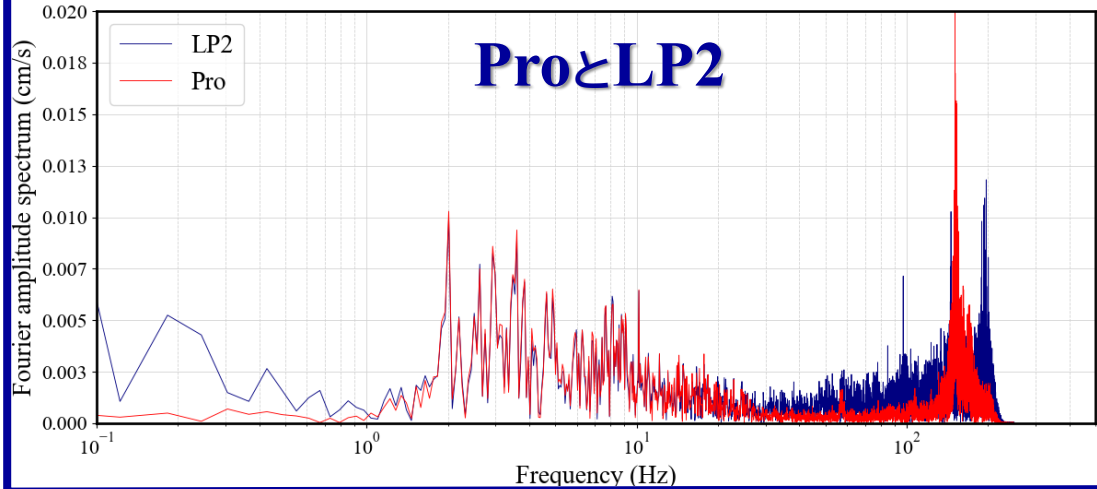
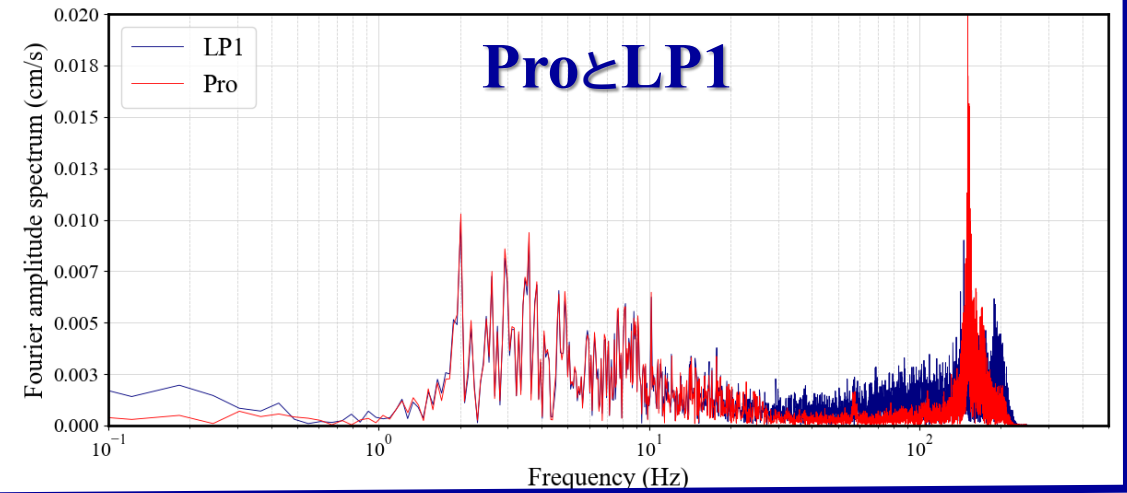
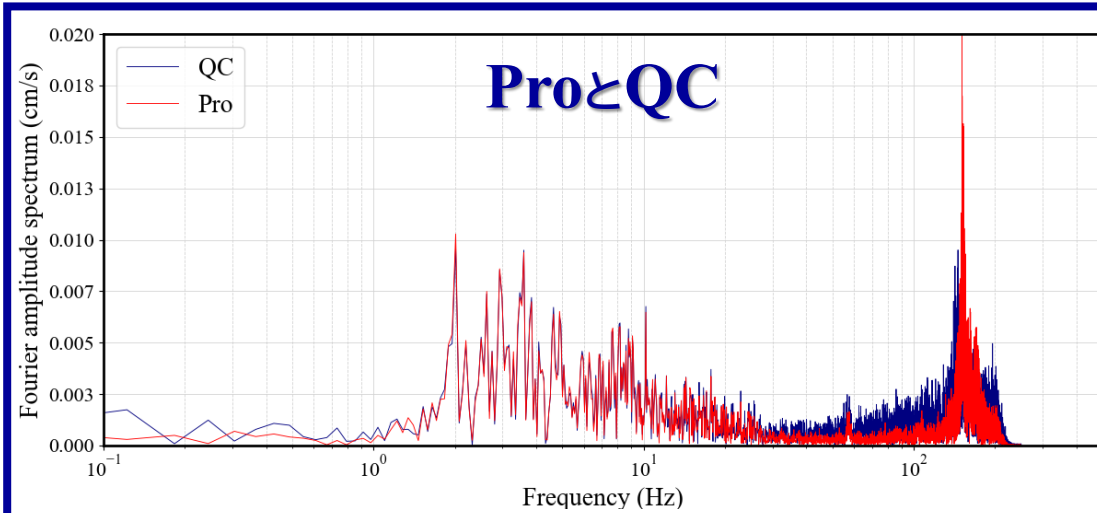
計測地点②



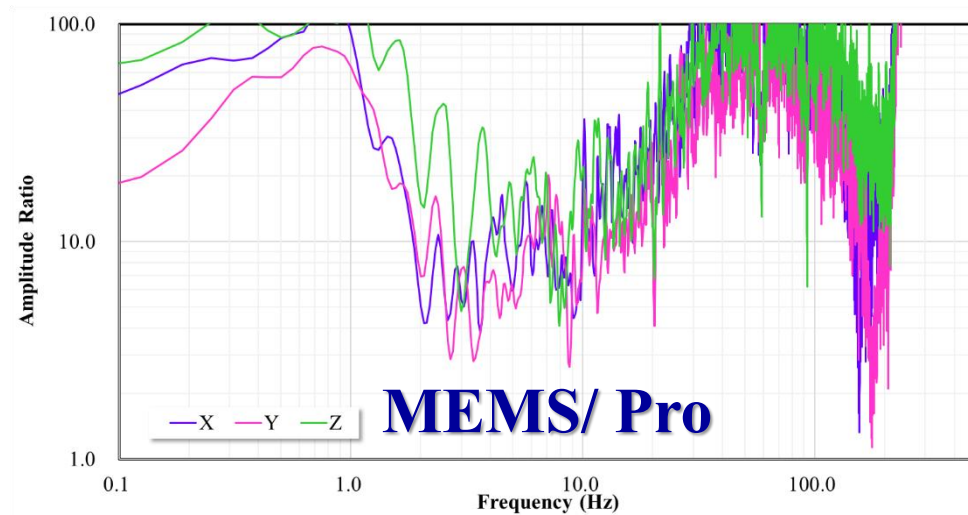
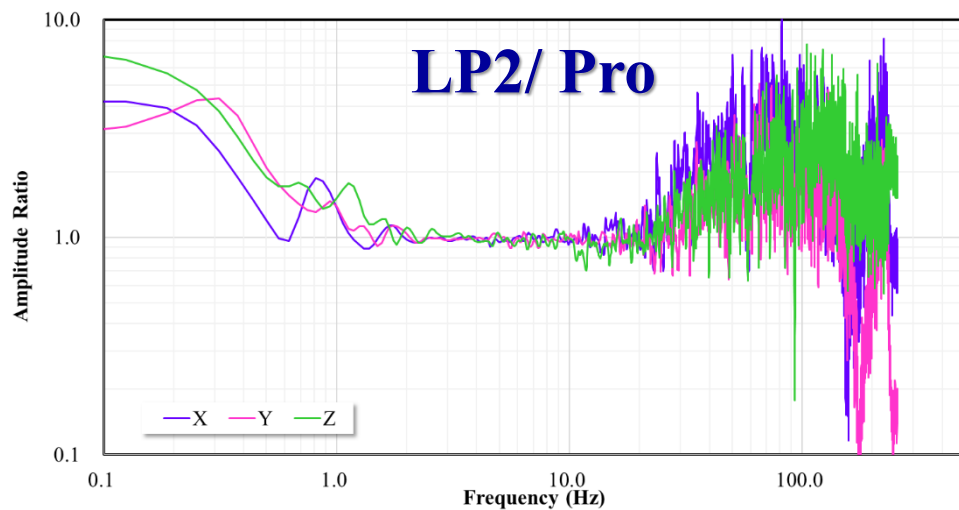
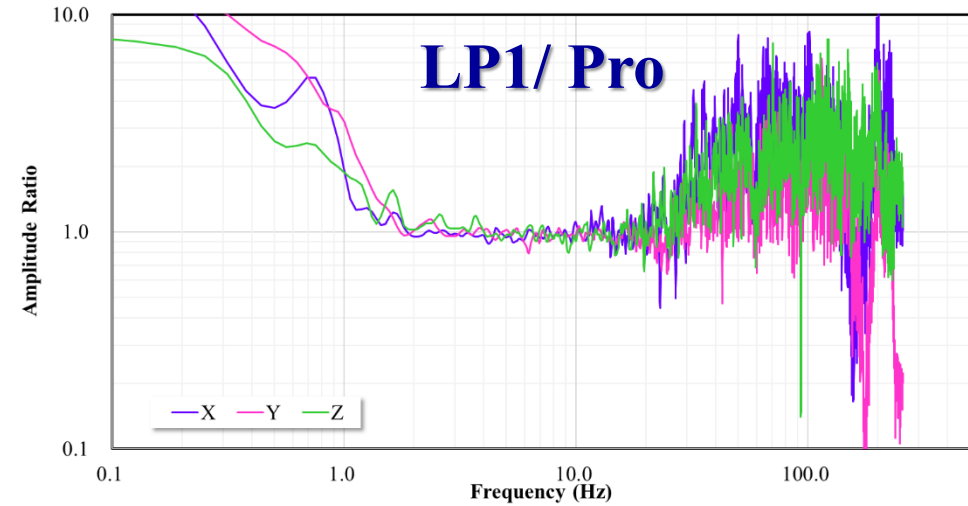
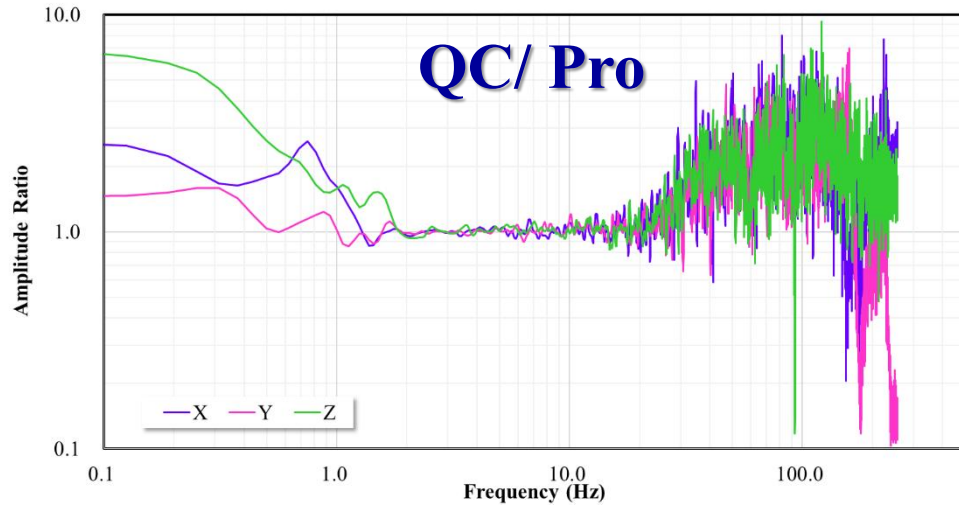
フーリエ振幅スペクトル比較

計測地点① X方向成分

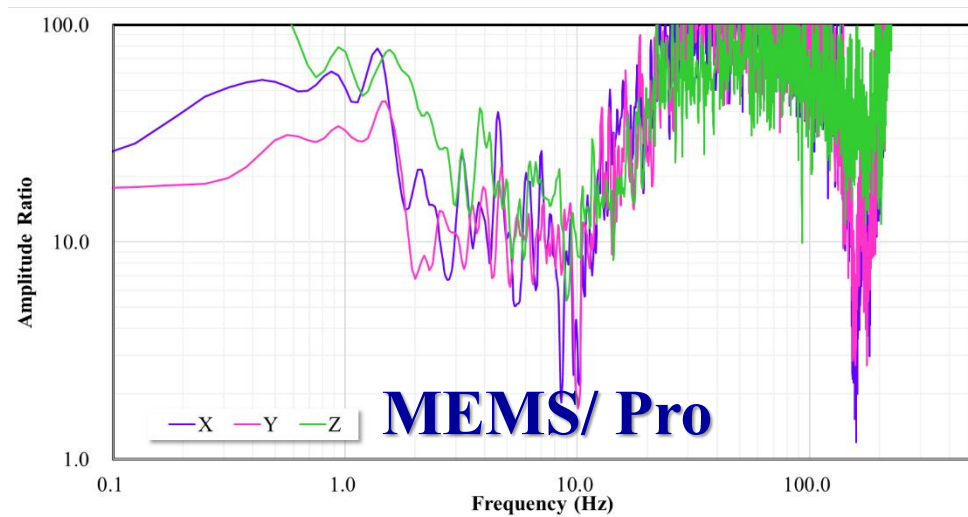
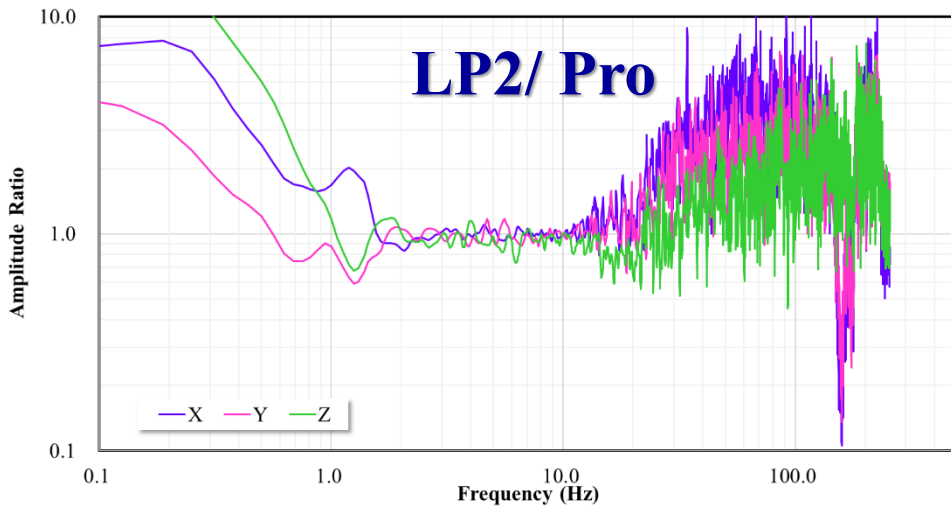
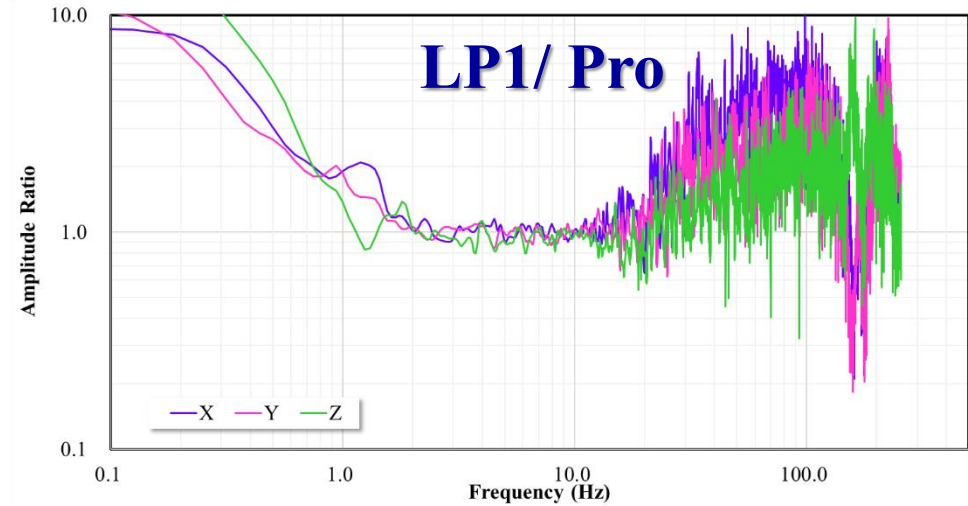
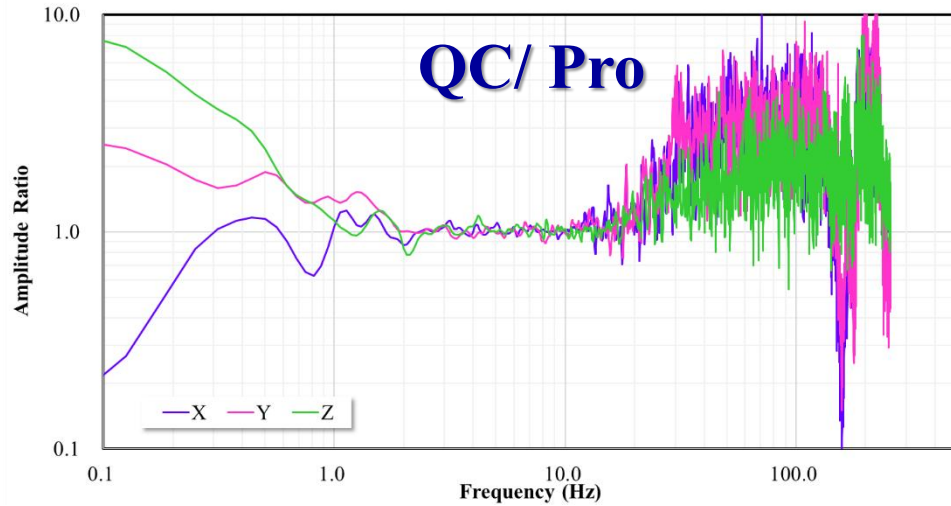
クォーツ加速度計
振幅比0.5~2.0程度の範囲を含めると1.0Hz~30.0Hz範囲で一致



フーリエ振幅スペクトル比:計測地点①



フーリエ振幅スペクトル比:計測地点②



フーリエ振幅スペクトル比:結果

各センサのフーリエ振幅スペクトル／Proフーリエ振幅スペクトル

1.0近傍であれば両結果は一致していることになるため、1.0近傍となる振動数帯域を確認

クォーツ加速度計QC, LP1, LP2

振幅比1.0近傍範囲

2.0Hz～20.0Hz:高性能クォーツ加速度計と同程度の性能

振幅比0.5～2.0程度の範囲(若干性能低下)

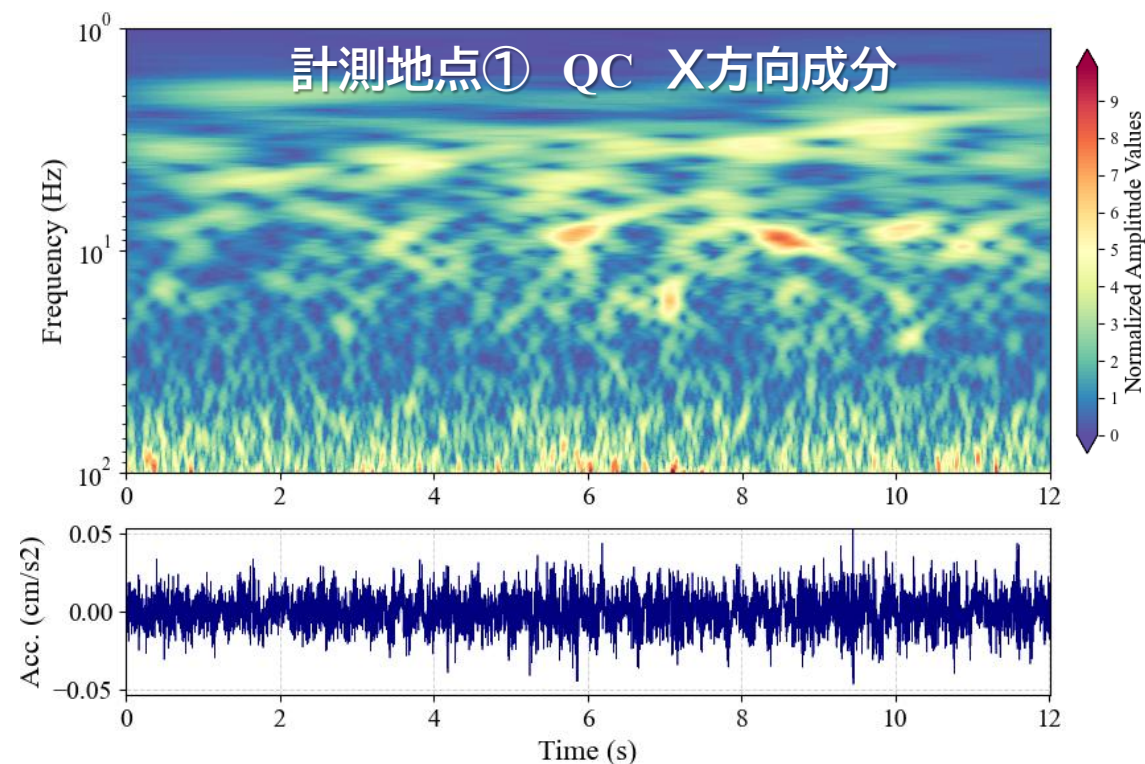
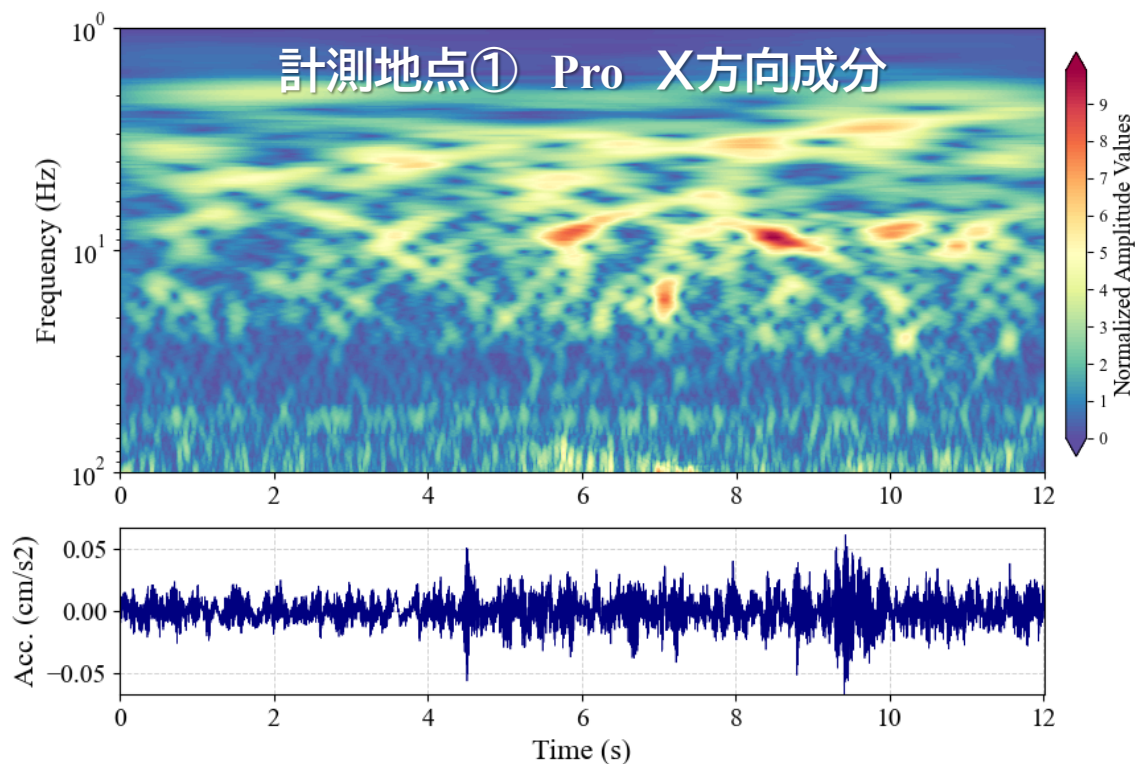
1.0Hz～30.0Hz:地盤常時微動計測に対応可能

MEMS

全帯域10倍以上のため、地盤の常時微動計測に利用不可

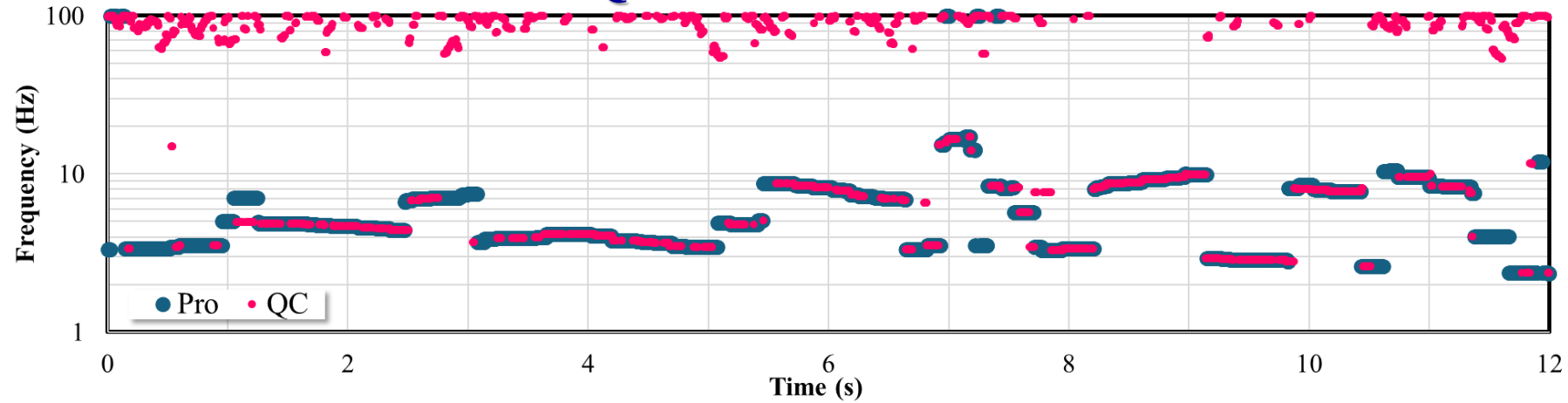
非定常振幅スペクトル

地盤常時微動の振動源は位置や成分が特定されないため、時間方向に非定常性を有する。この波形に対するフーリエ振幅スペクトルの分析は、収録波形全体の評価となり、経過時間毎の特性変化を評価できない。そこで、非定常振幅スペクトルを用いて地盤常時微動の時間変動を含めた評価を実施する。

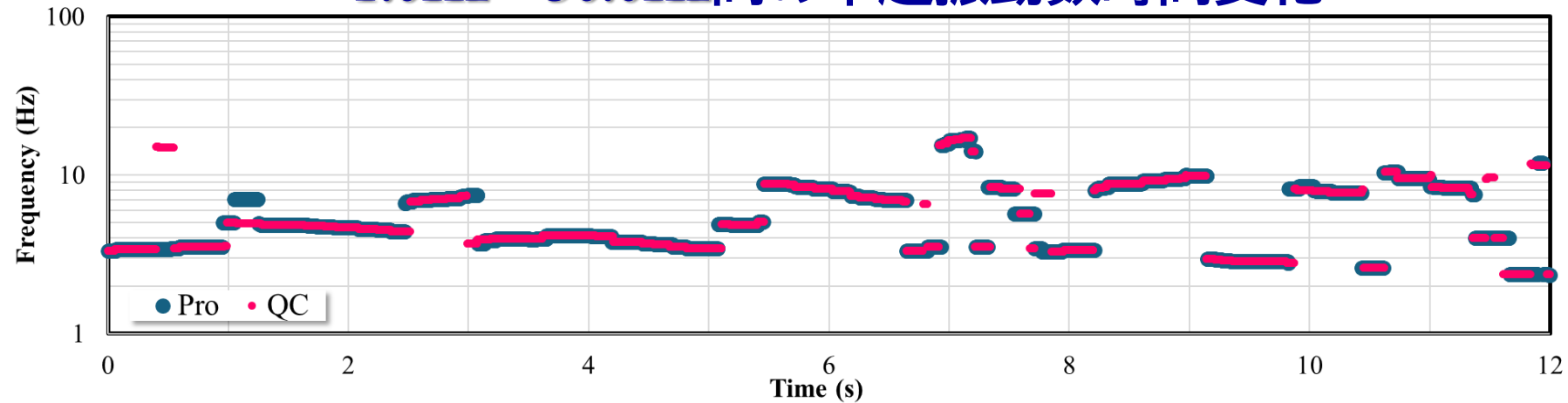


卓越振動数時間変化の評価

ProとQCの卓越振動数時間変化



1.0Hz~30.0Hz間の卓越振動数時間変化



卓越振動数一致度評価

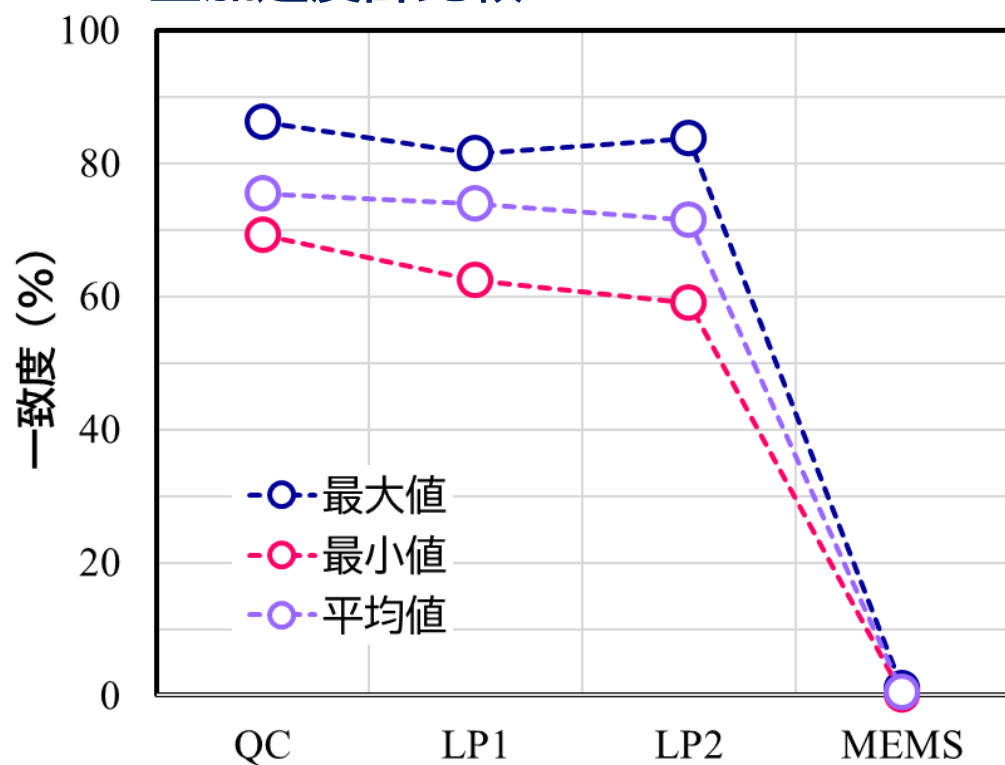
各センサの時間毎卓越振動数が、それと対応するProの卓越振動数との差異が0.1Hz以下となると個数の全体個数との割合

計測地点	方向成分	センサ名称	比率 (%)	方向成分	センサ名称	比率 (%)	方向成分	センサ名称	比率 (%)
①	X	QC	74.6	Y	QC	73.7	Z	QC	69.2
		LP1	76.6		LP1	81.4		LP1	70.4
		LP2	68.2		LP2	78.9		LP2	58.9
		MEMS	0.2		MEMS	1.0		MEMS	1.0
②	X	QC	86.1	Y	QC	78.9	Z	QC	69.7
		LP1	79.2		LP1	73.7		LP1	62.4
		LP2	83.8		LP2	73.5		LP2	65.0
		MEMS	0.1		MEMS	0.0		MEMS	0.1

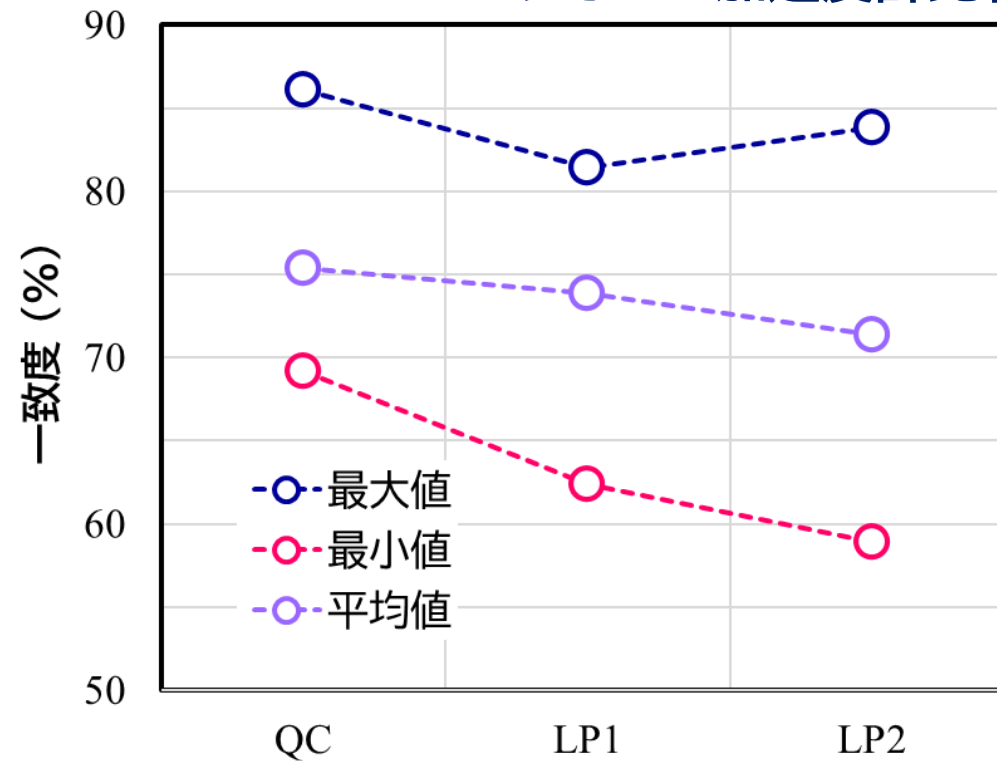
卓越振動数一致度評価：最大，最小，平均値

センサ名称	最大値(%)	最小値(%)	平均値(%)
QC	86.1	69.2	75.4
LP1	81.4	62.4	73.9
LP2	83.8	58.9	71.4
MEMS	1.0	0.0	0.4

全加速度計比較



クォーツ加速度計比較



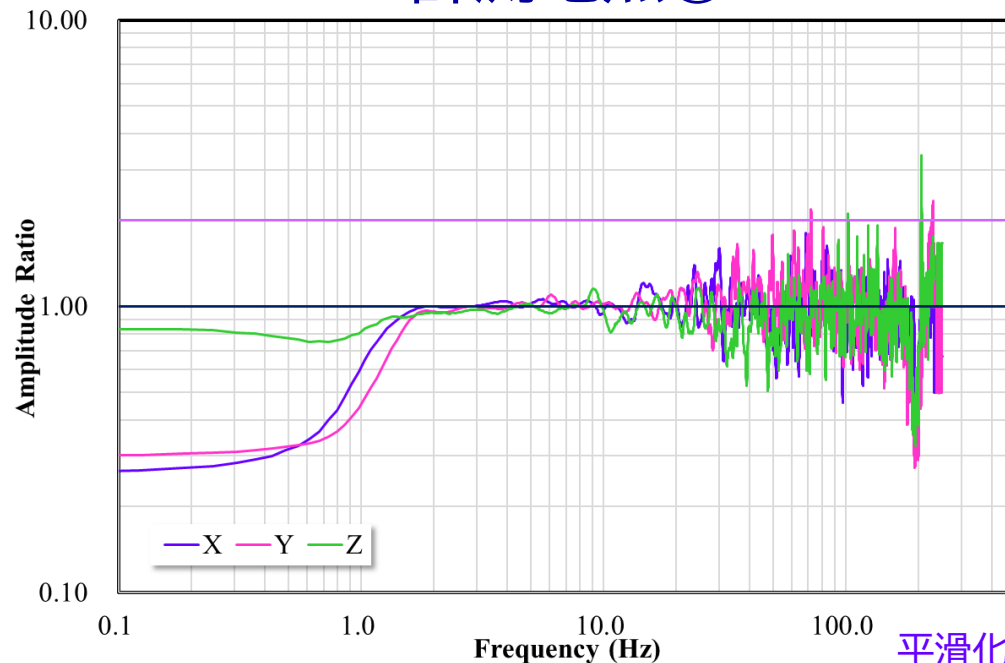
伝達関数評価

同一地点での同一性能センサでの伝達関数⇒全く同一データ収録のため、全振動数帯域で1.0
1.0以外の範囲はセンサ性能差

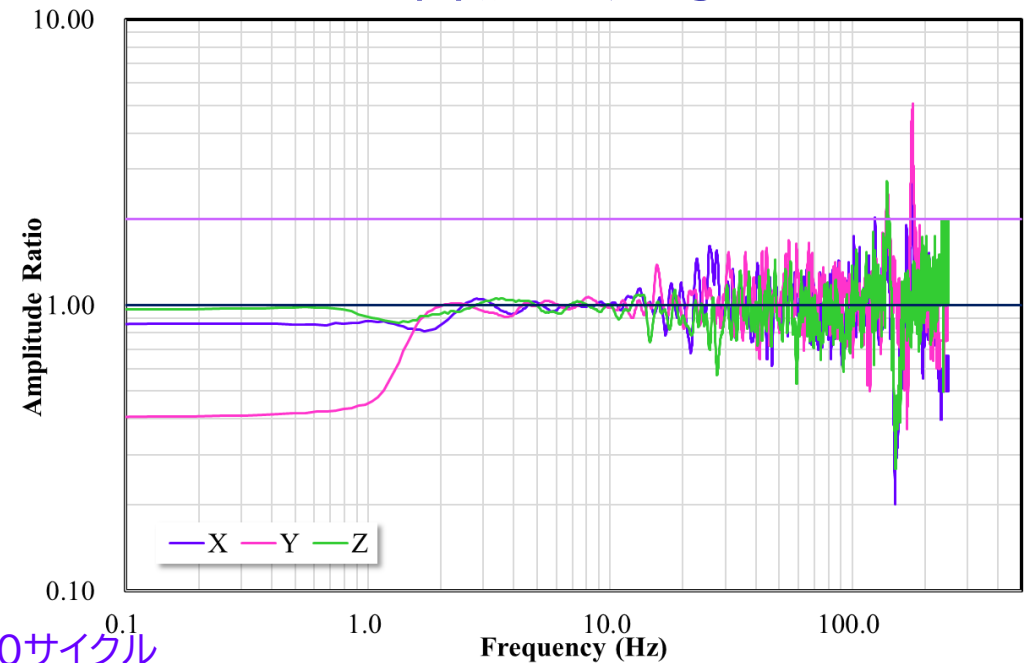
現場での対象構造物増幅率が2倍以下となる状態は概ねないと判断し、増幅率2倍以上となる高次振動数を確認

伝達関数評価であれば、60Hz程度まで利用可能

計測地点①



計測地点②



平滑化: ハニング法50サイクル

まとめ

- ① RMS値は, MEMS以外は概ね同程度の値を示した.
- ② クォーツ加速度計は, フーリエ振幅スペクトルとその比, 非定常振幅スペクトルからの卓越振動数時間変化によると1Hz~30Hz程度が地盤常時微動計測に利用可能な範囲である.
- ③ ノイズ密度が $20\sim 25\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ 程度のMEMS加速度計は, 地盤常時微動計測に適していない.
- ④ クォーツ加速度計で伝達関数評価を行う場合には, 現場の増幅応答レベルが2倍以上であれば60Hz程度まで利用できる.

地盤常時微動計測は, 電源・無線機能を搭載した小型クォーツ加速度計を用いて簡単に実施可能 ⇒ 地盤常時微動を利用した防災対策技術の更なる展開を期待



人・街・自然・いきいき

中日本建設コンサルタント株式会社