

微動計資料

松永ジオサーベイ株式会社

〒140-0014 東京都品川区大井1丁目23番1号

電話 : 03-3773-8411 FAX : 03-3773-8415

eメール : mgs@m-gs.co.jp

弊社の微動計

1 特徴

1.1 弊社における長周期計の歴史

平成2年（1990年）に速度型孔中10秒計（VSE355-Q）を2台購入して以来25年間、地表及び基盤深度における長周期微動測定を行って参りました。

その後2008年には速度型30秒計であるVSE311M（地表計）と、VSE355JEM（地中計）を導入し、2010年にはより小型で高性能の速度型孔中10秒計（VSE355D6M）を、2011年にはスタンドアロンタイプの地表用速度型10秒計のCV374AV3×4台を順次導入して参りました。2011年には東北大震災が発生し、長周期への関心が高まって、長周期までの測定のご要望も増えて参りました。

そして2015年には、長年切望し続けて来ました孔中固定式の10秒計がついに完成いたしました。

25年間に及ぶ長周期測定の実験と、積み上げられてきた様々なノウハウの蓄積で、これからもお客様のご要望にお応えすべく努力し続けて参ります。



VSE-355Q（旧型 10 秒計）



VSE-355JEM（地中 30 秒計）



VSE-311M（地表 30 秒計）



CV374AV3（可搬型地表 10 秒計）



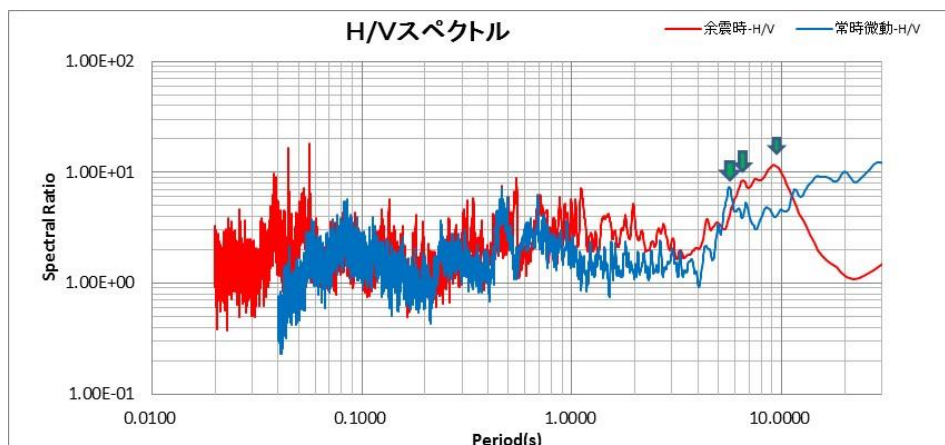
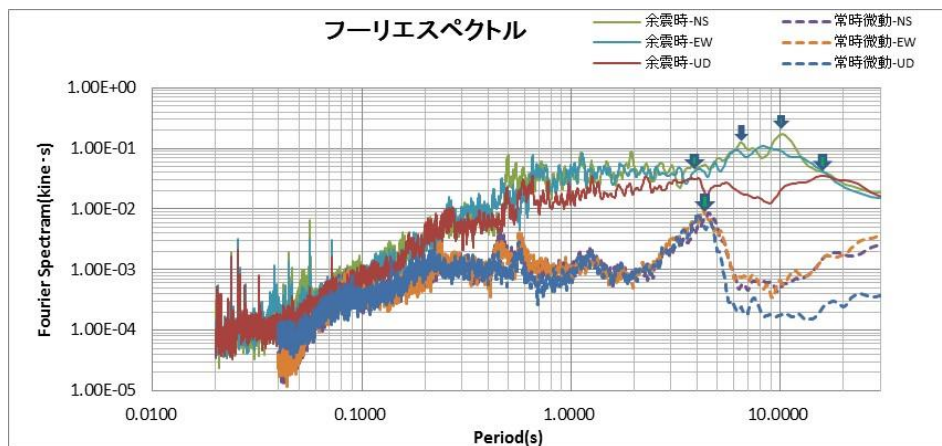
VSE355D6M（地中 10 秒計）

1.2 長周期微動測定の必要性

2011年の東北大震災以降、日本各地において、長周期振動に関する関心が高まっております。それというのも、2011年3月11日のあの地震の際に、首都圏をはじめとして、名古屋や大阪でも予想以上の大きさと長さで長周期振動が観測されました。一部の高層ビルでは、長時間続く長周期振動による共振現象で、ビルの最上階が1m近い変位で揺れた所もあり、長周期振動の脅威をまざまざと思い知らされました。

弊社では、3月11日当日の本震発生後約1～2時間あとの、午後4時過ぎに、会社の1階駐車場内にて、地表30秒計（VMS311M）を用いて余震を測定いたしました。多くの人が当日感じられたように、本震後も数時間に渡り、船に乗っているような、ゆったりとした長い周期の揺れを感じられたことと思います。実際のデータ解析結果でも、フーリエスペクトルの水平動成分において、10秒付近に顕著なピークが認められました。

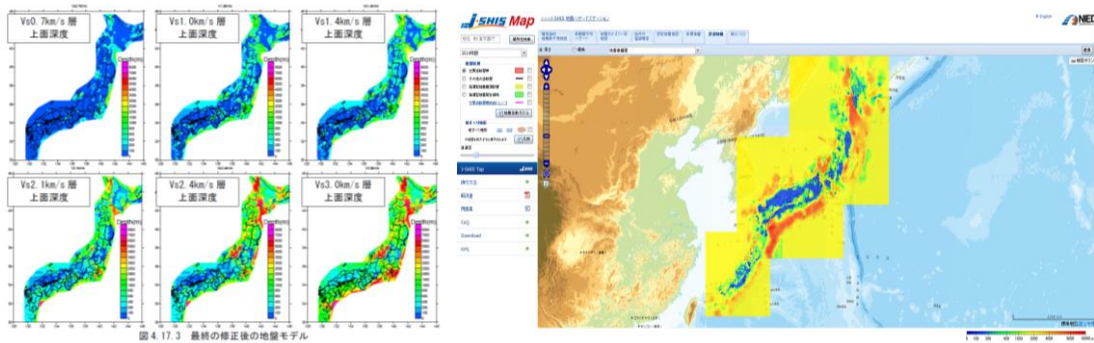
地震が起きる前に同じ場所で測定したデータ解析結果と比較すると、6秒以上のピーク周期を地震前のデータにも見ることが出来ます。このように長周期範囲を含む常時微動測定（特に10秒付近までの長周期範囲）を行うことは、有用であると言えます。



1.3 地震基盤からの地盤卓越周期の判定

深部地盤モデルを仮定するに当たって、Web 上にて『中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」(第 12 回)地震ワーキンググループ報告書(図表集)』や『防災科学技術研究所(NIED)の地震ハザードステーション J-SHIS』といったサイトにて、調査地毎の地震基盤までの深部地盤モデルを仮定することが出来ます。

一般に、常時微動データ解析結果の H/V スペクトルにおいて、最も長周期側に認められる 1 次ピークが、深部地盤による地盤卓越周期に対応すると考えられています。常時微動測定より求めたこの H/V スペクトルの 1 次ピーク周期と、深部地盤モデルから重複反射理論に基づいた地盤増幅特性を計算した結果とを比較することで、地震基盤からの長周期範囲の地盤卓越周期を推定します。長周期計で長い周期まで精度良く測定されたデータから、長周期ピークを精度良く求めることが可能です。

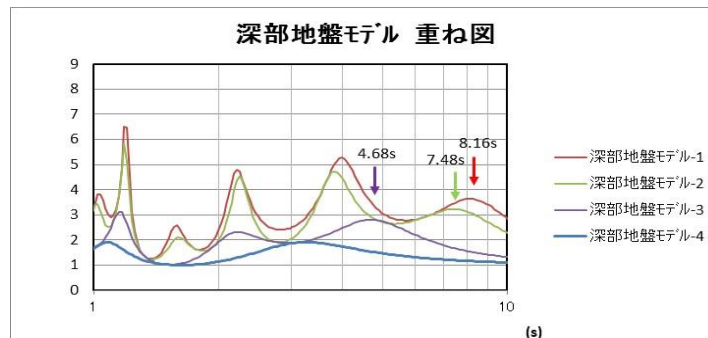


中央防災会議の深部地盤モデル

J-SHIS の深部地盤モデル

モデル地盤の諸定数

	深度 (m)	層厚 (m)	S 波速度 (m/s)	密度 (t/m ³)	減衰定数	モデル番号
第1層	0.00 ~ 443.00	443.00	550	1.90	0.0083	
第2層	443.00 ~ 1116.00	673.00	950	2.10	0.0225	モデル-4基盤
第3層	1116.00 ~ 3112.00	1996.00	1600	2.30	0.0134	モデル-3基盤
第4層	3112.00 ~ 5108.00	1996.00	2900	2.55	0.0074	モデル-2基盤
第5層	5108.00 ~ 9002.00	3894.00	3400	2.75	0.0063	モデル-1基盤



深部地盤モデル計算結果例

10 秒付近の長周期範囲まで精度良くピークを求めることが可能です。

1.4 第三種地盤における地盤卓越周期の判定

建築基準法による地盤種別判定表では、工学的基盤深度からの地盤卓越周期が 0.75 秒を超える場合、または道路橋示方書の地盤種別判定表では 0.60 秒以上の場合、第三種地盤であると判断されます。

基盤深度が深い場合、上部の軟弱層 S 波速度値が非常に遅い場合などは、地盤卓越周期が 1.0 秒を超えて長周期側に現れることもあります。また、地震基盤が比較的浅い場合などの条件が重なると、工学的基盤からの地盤卓越周期ピークの判別が難しくなる場合もあります。

そのような場合でも、長周期計で精度良く測定されたデータであれば、深部地盤からのピークも、工学的基盤深度からのピークも精度良く判定することが可能です。

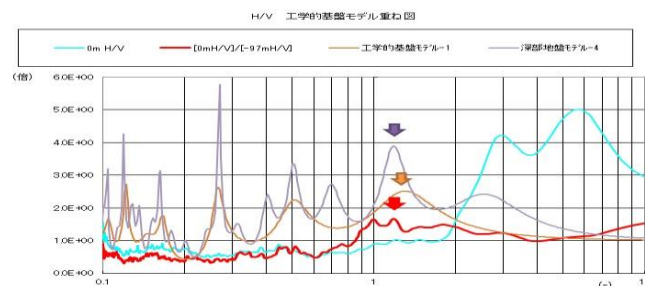
表 耐震設計上の地盤種別

地盤種別	地盤の特性値TG(s)
I 種	$TG < 0.2$
II 種	$0.2 \leq TG < 0.6$
III 種	$0.6 \leq TG$

(道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編 平成 14 年 3 月 社団法人 日本道路協会より)

地盤種別	判定基準	地盤周期 Tg(秒)
第 1 種地盤	岩盤、硬質砂れき層その他主として第 3 紀以前の地層によって構成されているもの又は地盤周期等についての調査若しくは研究の結果に基づき、これと同程度の地盤周期を有すると認められるもの	$Tg \leq 0.2$
第 2 種地盤	第 1 種地盤及び第 3 種地盤以外のもの	$0.2 < Tg \leq 0.75$
第 3 種地盤	腐植土、泥土その他これらに類するもので大部分が構成されている沖積層（盛土がある場合においてはこれを含む。）で、その深さがおおむね 30 メートル以上のもの、沼沢、泥海等を埋め立てた地盤の深さがおおむね 3 メートル以上であり、かつ、これらで埋め立てられてからおおむね 30 年経過していないもの又は地盤周期等についての調査若しくは研究の結果に基づき、これらと同程度の地盤を有すると認められるもの	$0.75 < Tg$

出典) 日本建築センター (1994) ; 建築物の構造規定—建築基準法施行令第 3 章の解説と運用—P112-113 の表を編集



モデル計算結果・スペクトル比重ね図例

モデル計算結果でもスペクトル比でも 1.2 秒付近にピークが認められます。

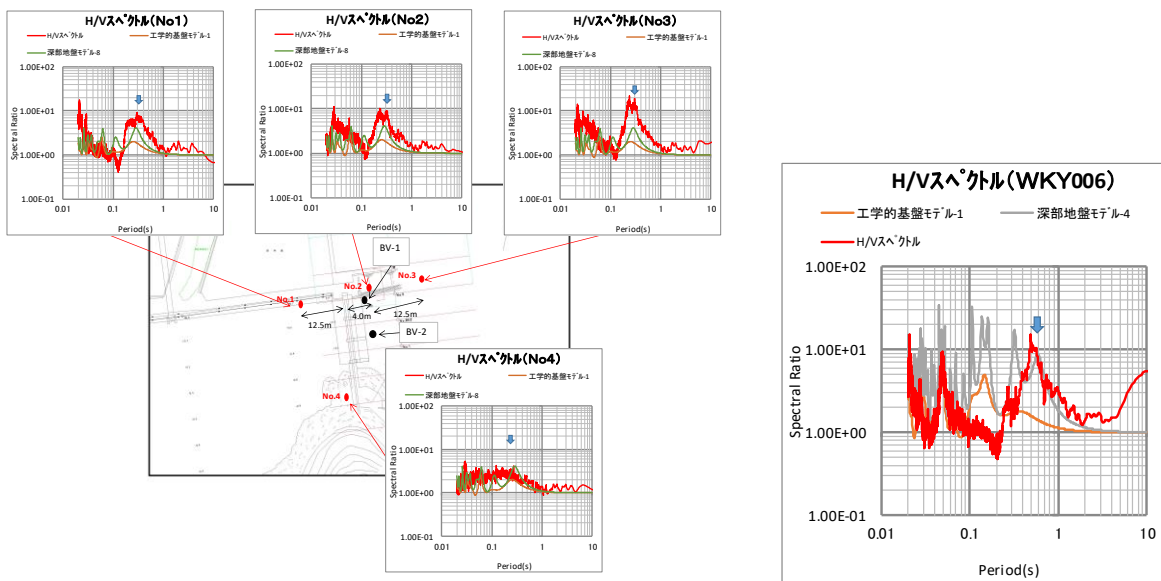
1.5 強震計との比較

常時微動測定のための目的の一つに、平常時にも大きな地震がきたら調査地がどのような揺れ方をするのかを予め検討するというものがあります。また、最近では港湾関係などの地震応答解析業務に付随して、調査地と近隣の強震観測点の2カ所で常時微動測定を行う機会が増えております。

その場合、地盤種別判定に必要な0.1~1.0秒の周期範囲のみならず、1.0~10.0秒の長周期範囲も精度の良いデータが求められております。



調査地及び強震観測地点での常時微動測定状況例



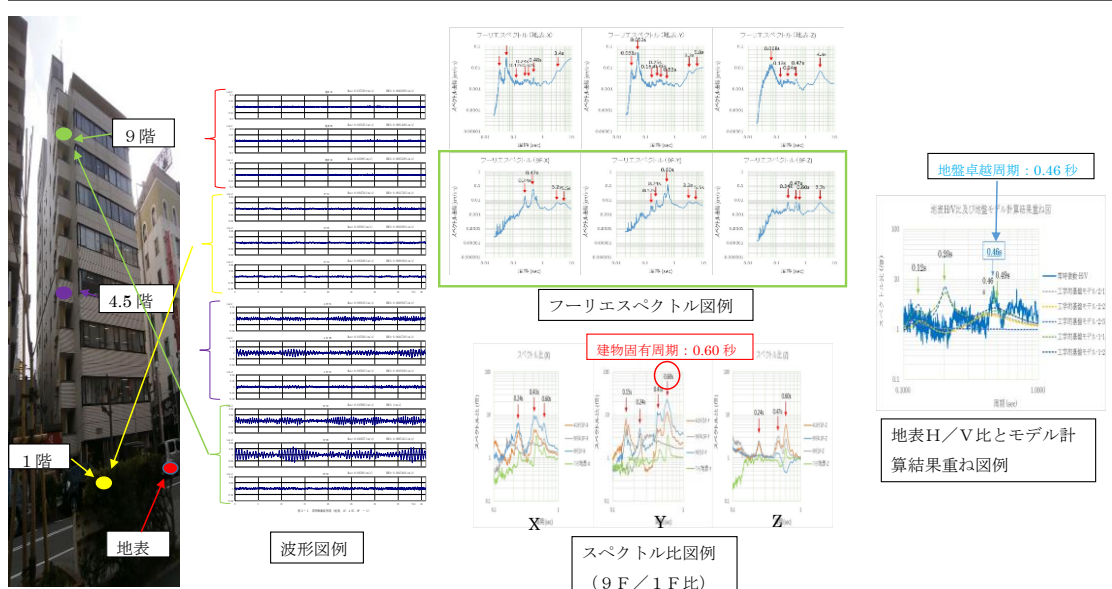
調査地及び強震観測地点での H/V スペクトル及び地盤モデル計算結果重ね図例

1.6 短周期範囲における建物固有周期測定

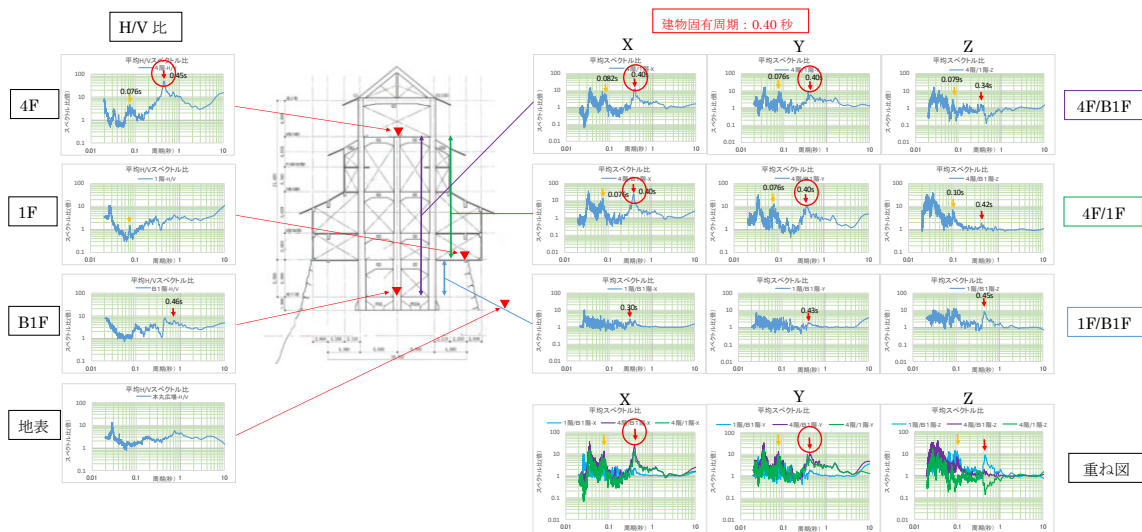
弊社が所有する長周期計は周期 0.014~10.0 又は 30.0 秒の周期範囲 (0.1 または 0.033~70Hz) で、0.1~0.00001cm/s(=kine)の振幅の微動を精度良く測定することが可能です。

ですから 1.0 秒以上の長周期微動のみならず、0.1 秒以下の短周期微動も測定することが出来るため、既存建物の固有周期測定に利用されることがあります。RC 造や S 造のビルや、木造の一戸建て、お城、上水道のタンクなど最近適用範囲も広がっております。

建物での微動測定は通常、入力振動に相当する地盤での測定と、建物基礎に近い地下又は 1 階、及び最上階の 3 地点で同時に測定を行います。



RC 造ビルの例



お城の例

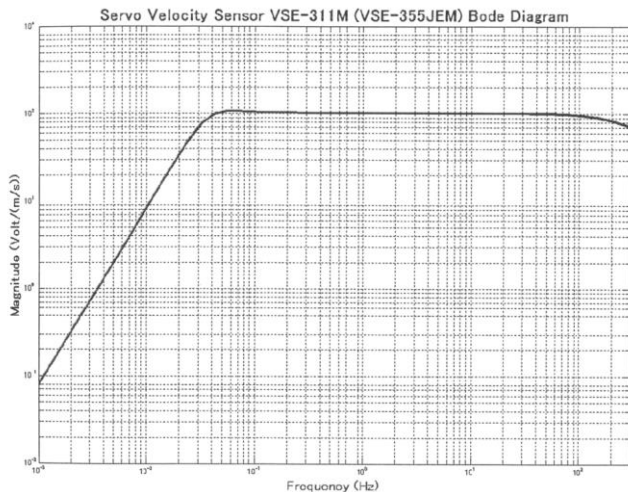
2 地表長周期計

2.1 弊社所有微動計

弊社が所有する地表長周期計は周期 0.014~30.0 秒の周期範囲（0.033~70Hz）で、0.1~0.00001cm/s(=kine)の振幅の微動を精度良く測定することが可能な東京測振製【VSE311M】です。



2.2 特性



VSE-311M 周波数特性図

型 式	V S E - 3 5 5 J E M
測定周波数	0.03 Hz ~ 70
測定方向	3成分
測定レンジ	最大0.4 Kine (0
感 度	5.0 V / Kine
傾斜角信号	3.5 V / 度
最大出力電圧	± 2.0 V
直 線 性	0.03 % / Full
分 解 能	約 1° gal
ダイナミックレンジ	約 140 dB
ダンピング係数	h = 約 1.00
検 定 コ イ ル	35 ~ μ4A0 / gal
供 給 電 源	± 15 v
消 費 電 流	約 100 mA
横 感 度	0.03 G / G
感度の温度係数	0.01 % / °C
零点移動の温度係数	0.05 % / °C
使用温度範囲	- 20 °C ~ 50 °C
使用信号ケーブル	複合14芯専用ケ-
許容最大衝撃	30 G (100 msec)
外形寸法	φ80 × 91.2

使用機器仕様一覧表

2.3 利用例

主に建築、土木などの常時微動測定など。最も測定件数の多い微動計。

3 孔内長周期微動計

3.1 弊社所有微動計

弊社が所有する孔内長周期計は東京測振製孔底設置型 30 秒計の【VSE355JEM】および孔中固定型 10 秒計【VSE355D6-S1】です。



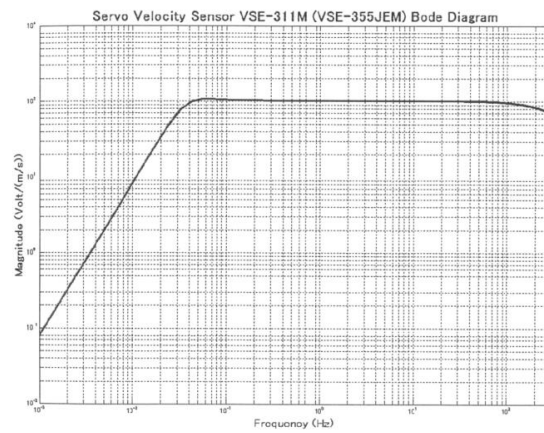
【VSE355JEM】



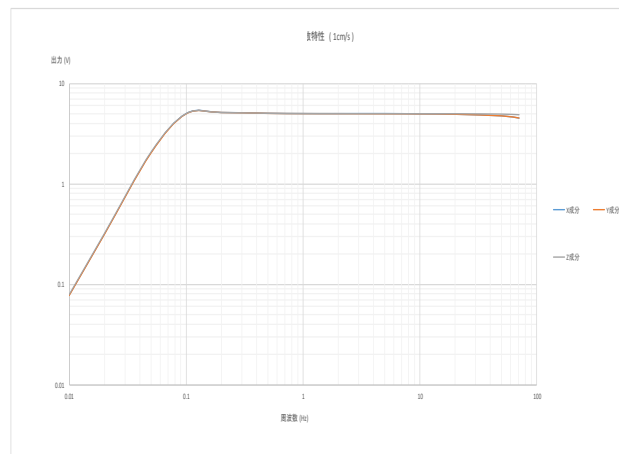
【VSE355D6M】

3.2 特性

型式	VSE-355JEM 埋設タイプ	型式	VSE-355D6M 埋設タイプ	VSE-355D6M-S1 孔壁固定タイプ
測定周波数	0.03Hz~70Hz	測定周波数	0.1Hz~70Hz	0.1Hz~70Hz
測定方向	3成分	測定方向	3成分	3成分
測定レンジ	最大0.4Kine(0.004m/s)	測定レンジ	最大10Kine(0.1m/s)	最大10Kine(0.1m/s)
感度	50V/Kine	感度	10V/Kine	10V/Kine
傾斜角信号	3.5V/度	傾斜角信号	0.73V/度	0.73V/度
最大出力電圧	±20V	最大出力電圧	±11V	±11V
直線性	0.03%/Full Scale	直線性	0.05%/Full Scale	0.05%/Full Scale
分解能	約 10 ⁻⁵ gal	分解能	100μ kine以下	100μ kine以下
ダイナミックレンジ	約 140dB	ダイナミックレンジ	約 140dB	約 140dB
ダンピング係数	h=約 100	ダンピング係数	h=約 100	h=約 100
検定コイル	35~40μ A/gal	検定コイル	6μ A/gal	6μ A/gal
供給電源	±15v	供給電源	±15v	±15v
消費電流	約 100mA	消費電流	約 15mA	約 15mA
横感度	0.03G/G	横感度	0.03G/G	0.03G/G
感度の温度係数	0.01%/°C	感度の温度係数	0.01%/°C	0.01%/°C
零点移動の温度係数	0.05%/°C	零点移動の温度係数	0.05%/°C	0.05%/°C
使用温度範囲	-20°C~50°C	使用温度範囲	-10°C~50°C	-10°C~50°C
使用信号ケーブル	複合14芯専用ケーブル	使用信号ケーブル	シールド付8芯耐燃リケーブル	シールド付8芯耐燃リケーブル
許容最大衝撃	30G(100msec以下)	許容最大衝撃	30G(100msec以下)	30G(100msec以下)
外形寸法	φ 80 × 912	外形寸法	φ 57 × 591	φ 70 × 1354



VSE355JEM 周波数特性図



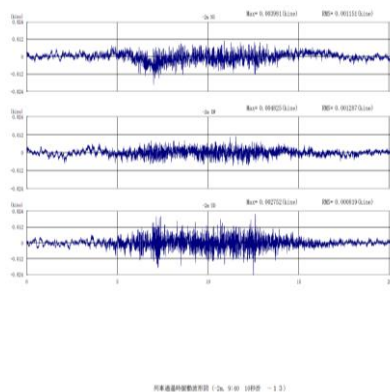
VSE355D6M-S1 周波数特性図

3.3 利用例

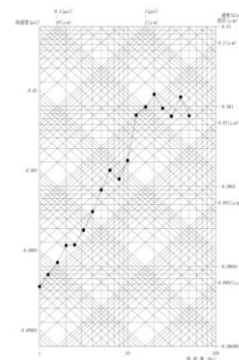
主に建築、土木などの常時微動測定など。その他には、交通振動測定や電車振動測定、地中への減衰測定など幅広い分野への応用がなされています。



測定現場状況例



波形図例



結果図例 (トリパート図)

4 今後の展開

4.1 可搬式地表計の利用展開

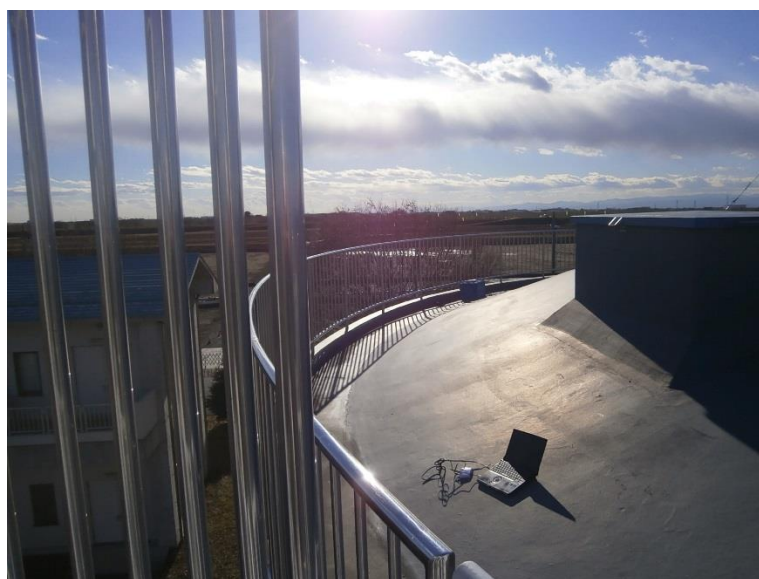
4.1.1 建物振動の測定

東日本大震災以降に耐震性能評価という観点から、既存建物に対する常時微動測定というニーズが広まりつつあります。手軽に振動特性を把握できる点や、調査地自体の振動特性把握にも繋がり、費用対効果の大きな種目といえます。

一般の既存建物だけでなく、上水道施設のタンクやその他一般工場内のタンクや塔、橋桁やダムのかげりなどへの応用も広がっています。



農業用ダム堤体上での常時微動測定例



上水道タンク上での常時微動測定例

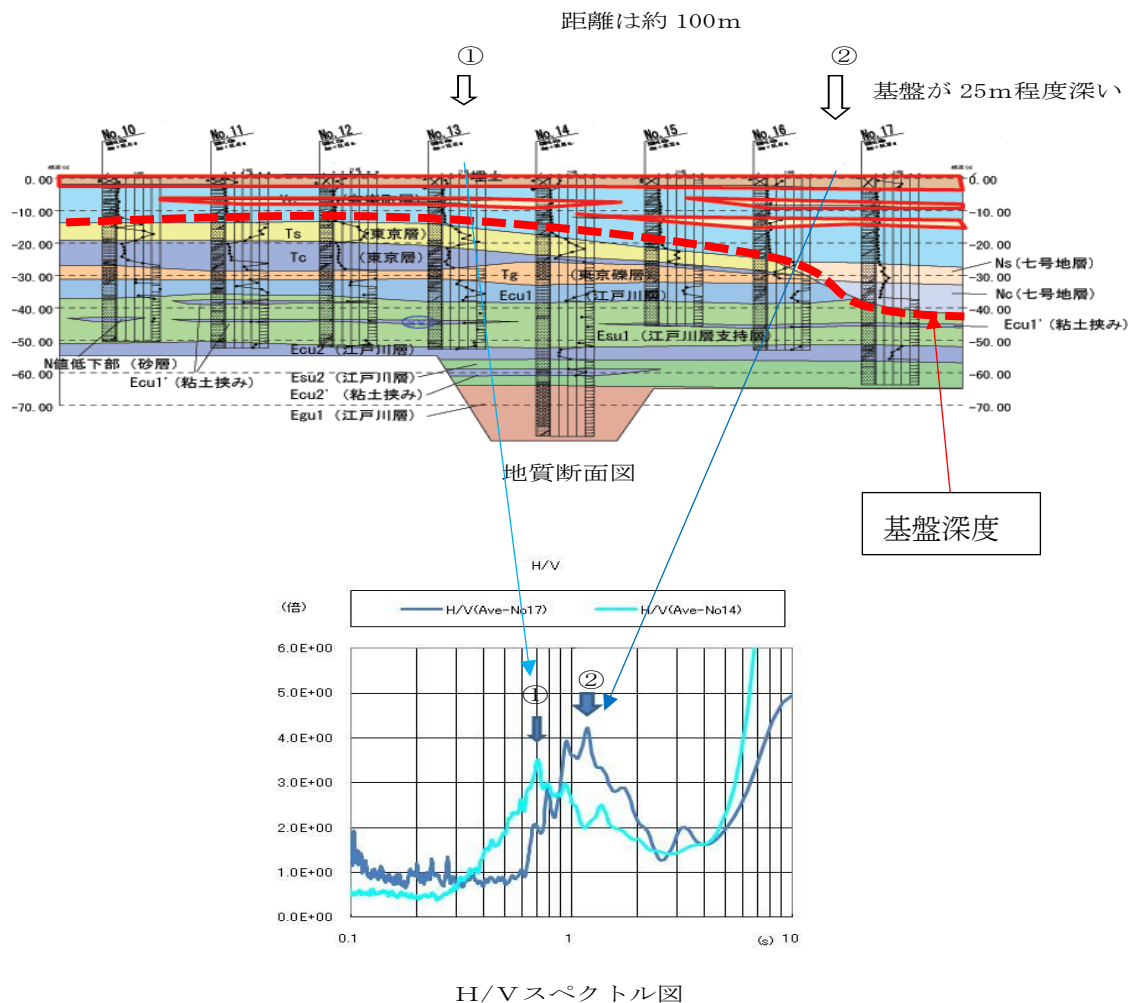
4.1.2 盛土健全性測定のための微動測定

一般道や高速道路では、道路橋示方書の基準に従って盛土をつくり、その上に道路を作ったりしています。その場合、盛土の健全性測定のために、盛土上とその直下にて常時微動測定が行われます。一地点で盛土の上と下の2カ所同時測定を行い、道路延長分の距離間である間隔で複数箇所の測定となります。効率よくかつ、精度良く測定するためにも、弊社では可搬性に優れた【CV374AV3】×4台をフル活用して測定を行います。

4.1.3 敷地基盤深度調査

建築基準法では、調査敷地内の工学的基盤深度の傾斜角が5度以内である必要があるとしております。また、水道施設での常時微動測定では、調査地内での基盤の不整形の有無を調べることが仕様書に明記されるようになってきました。

常時微動測定から得られるH/Vスペクトルのピーク周期に注目することで、基盤深度の変化を推定することが出来ます。



5 微動計資料集

5.1 地表計 (VSE311M)



測定時状況

使用機器仕様一覧表

型 式	VSE-311M 地上タイプ
測定周波数	0.03Hz~70Hz
測定方向	3成分
測定レンジ	最大0.4Kine(0.004m/s)
感 度	50V/Kine
傾斜角信号	6.6V/度
最大出力電圧	±20V
直線性	0.03%/Full Scale
分解能	約 10 ⁻⁵ gal
ダイナミックレンジ	約 140dB
ダンピング係数	h=約 100
検定コイル	35~40μ A/gal
供給電源	±15v
消費電流	約 100mA
横 感 度	0.03G/G
感度の温度係数	0.01%/°C
零点移動の温度係数	0.05%/°C
使用温度範囲	-20°C~50°C
使用信号ケーブル	複合14芯専用ケーブル
許容最大衝撃	30G(100msec以下)
外形寸法	φ 200×169

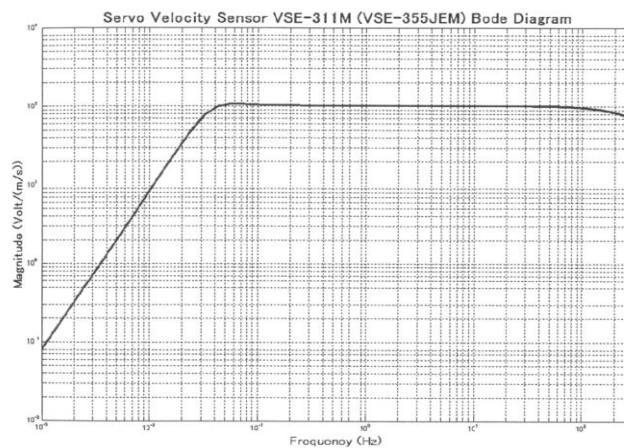
5.2 地中計－1 (VSE355JEM)



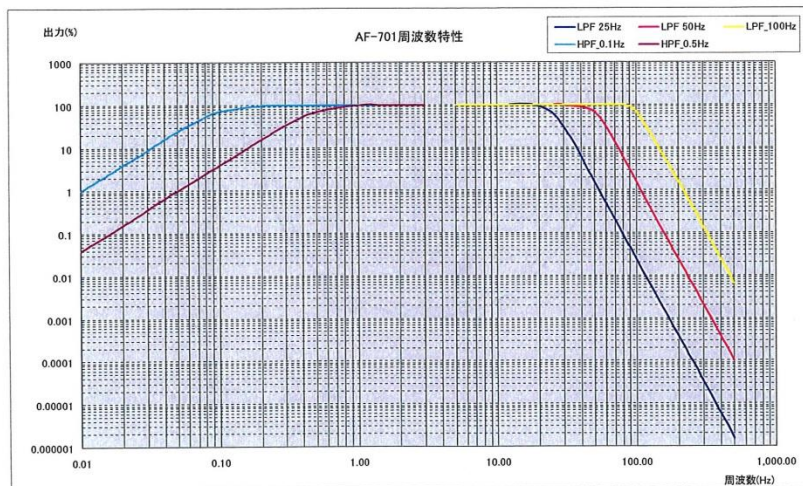
測定状況

使用機器仕様一覧表

型 式	VSE-355JEM 埋設タイプ
測定周波数	0.03Hz～70Hz
測定方向	3成分
測定レンジ	最大0.4Kine(0.004m/s)
感 度	50V/Kine
傾斜角信号	3.5V/度
最大出力電圧	±20V
直 線 性	0.03%/Full Scale
分 解 能	約 10 ⁻⁵ gal
ダイナミックレンジ	約 140dB
ダンピング係数	h=約 100
検 定 コ イ ル	35～40μ A/gal
供 給 電 源	±15v
消 費 電 流	約 100mA
横 感 度	0.03G/G
感度の温度係数	0.01%/°C
零点移動の温度係数	0.05%/°C
使用温度範囲	-20°C～50°C
使用信号ケーブル	複合14芯専用ケーブル
許容最大衝撃	30G(100msec以下)
外形寸法	φ 80×912



VSE-311M 及び VSE-355JEM 周波数特性図



AF-701（専用アンプ）周波数特性図

フィルター付きアンプ仕様

型式	AF-701	
成分数	6チャンネル	
直 流 増 幅 部	入力回路	平衡入力
	入力抵抗	100kΩ
	増幅度	(×1、×2、×5、×10) & (×1、×10、×100) = ×1～×1000の10通り
	最大出力電圧	±10V(R _L 10kΩ以上)、不平衡出力
フ ィ ル タ ー 部	特性切替	ハイパス・ローパス・バンドパス・フィルター無しの切替
	ローパスフィルター	カットオフ 25Hz, 50Hz, 100Hz(-36dB/oct) 3段切替
	ハイパスフィルター	カットオフ 0.1Hz, 0.5Hz(-12dB/oct) 2段切替
センサー用電源	±15V 約0.3A	
電源電圧	AC-100V(±20%) DC-12V	
外形寸法	480×350×149	

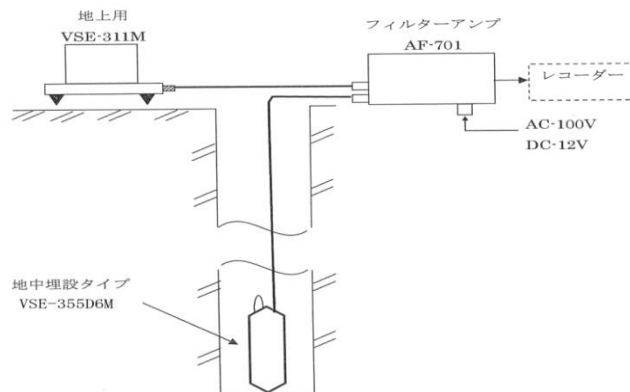
5.3 地中計-2 (VSE355D6M)



測定状況

使用機器仕様一覧表

型 式	VSE-355D6M 埋設タイプ
測定周波数	0.1Hz~70Hz
測定方向	3成分
測定レンジ	最大10Kine(0.1m/s)
感 度	10V/Kine
傾斜角信号	0.73V/度
最大出力電圧	±11V
直線性	0.05%/Full Scale
分解能	100μ kine以下
ダイナミックレンジ	約 140dB
ダンピング係数	h=約 100
検定コイル	6μ A/gal
供給電源	±15v
消費電流	約 15mA
横 感 度	0.03G/G
感度の温度係数	0.01%/°C
零点移動の温度係数	0.05%/°C
使用温度範囲	-10°C~50°C
使用信号ケーブル	シールド付8芯耐燃りケーブル
許容最大衝撃	30G(100msec以下)
外形寸法	φ 57 × 591



測定システム概念図

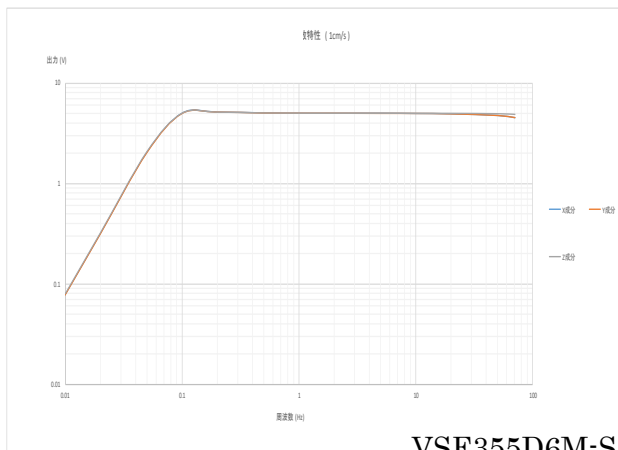
5.4 地中計－3 (VSE355D6M-S1)



【VSE355D6M-S1】測定状況例

使用機器仕様一覧表

型 式	VSE-355D6M 埋設タイプ	VSE-355D6M-S1 孔壁固定タイプ
測定周波数	0.1Hz~70Hz	0.1Hz~70Hz
測定方向	3成分	3成分
測定レンジ	最大10Kine(0.1m/s)	最大10Kine(0.1m/s)
感 度	10V/Kine	10V/Kine
傾斜角信号	0.73V/度	0.73V/度
最大出力電圧	±11V	±11V
直線性	0.05%/Full Scale	0.05%/Full Scale
分解能	100μ kine以下	100μ kine以下
ダイナミックレンジ	約 140dB	約 140dB
ダンピング係数	h=約 100	h=約 100
検定コイル	6μ A/gal	6μ A/gal
供給電源	±15v	±15v
消費電流	約 15mA	約 15mA
横 感 度	0.03G/G	0.03G/G
感度の温度係数	0.01%/°C	0.01%/°C
零点移動の温度係数	0.05%/°C	0.05%/°C
使用温度範囲	-10°C~50°C	-10°C~50°C
使用信号ケーブル	シールド付8芯耐燃リケーブル	シールド付8芯耐燃リケーブル
許容最大衝撃	30G(100msec以下)	30G(100msec以下)
外形寸法	φ 57 × 591	φ 70 × 1354



VSE355D6M-S1 周波数特性図

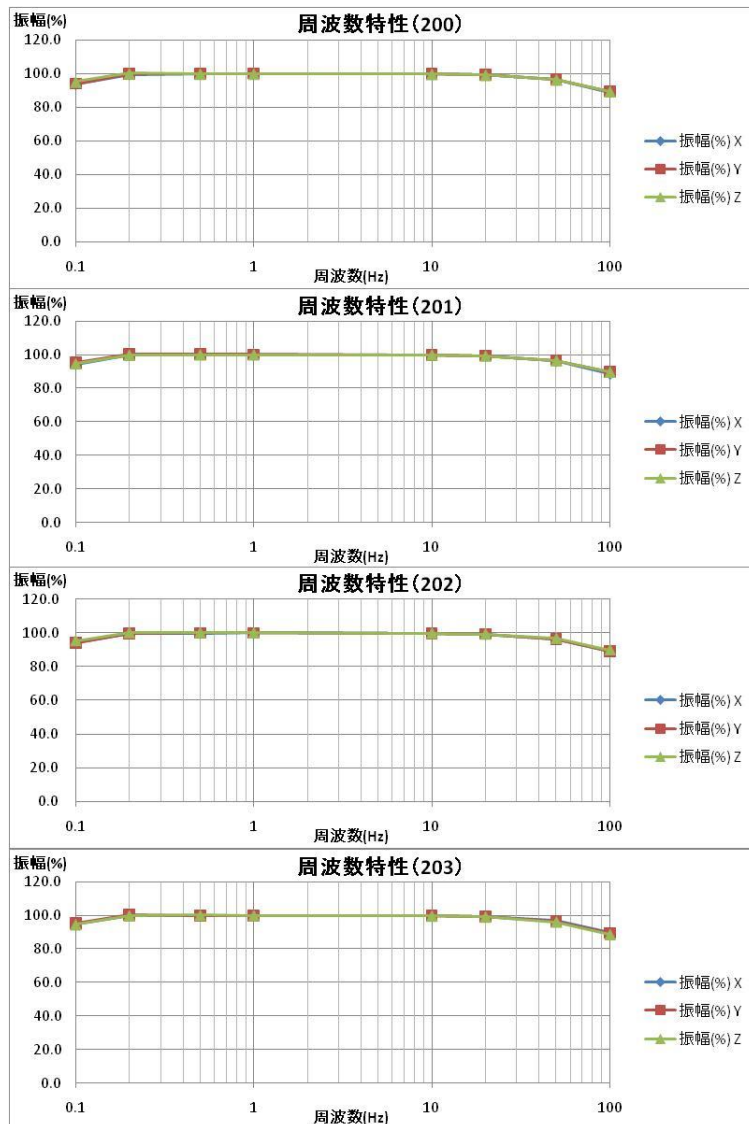
5.5 可搬式地表計 (CV374AV3)



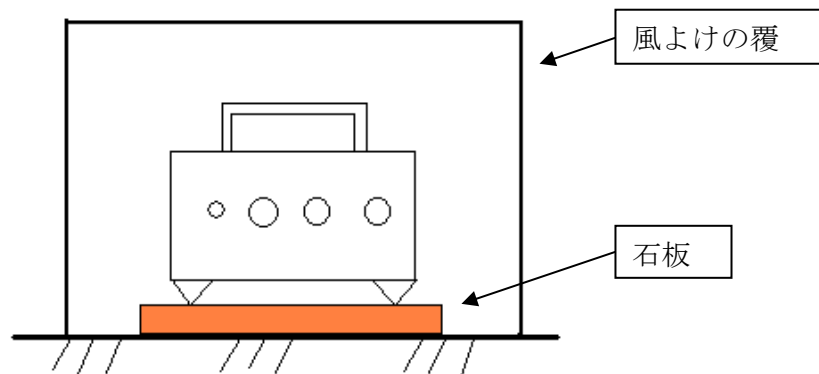
微動計 (東京測振 : CV374AV3)

使用機器仕様一覧表

アナログ部	入力最大電圧	±4.0V
	サンプリング周波数	100,200,500,1KHz
	AD分解能	24bit
センサ	分解能	25μ kine (sf=100Hz、fs時)
	内部速度計	小型サーボ型速度計 (VSE-14C)
	成分数	3軸 (3成分)
	測定範囲	±2kine
記録部	周波数特性	0.1~100Hz
	記録時間	1分単位、可変長、最大10分
	記録媒体	CFカード、最大2GB、FAT32フォーマット
	波形フォーマット	WIN32、東京測振フォーマット
クロック部	連続記録	10分ファイルで最大30日 (2GBカード使用時)
	原発振周波数	24.576MHz
	水晶温度特性	±2.5ppm以内、-30°C~+75°C
	時刻修正	GPS
	時刻同期	±0.62ppm以内 (GPSに対して)
通信部	時計機能	年~秒 (万年時計)
	バックアップ	内蔵ボタン電池 (CR1220)
	イーサネット	10base-T及び100base-TX、自動切換え
電源部	ポート数	1ポート
	対応プロトコル	telnet, FTP, TCP/IPソケット
	入力電圧	DC-12V (10~24V)
	消費電力	最大3.6VA (GPS動作)
環境	内蔵バッテリー	リチウム電池、7.2V、2.76A
	停電補償時間	4時間以上
その他	使用温度範囲	0°C~+50°C
	寸法	200mm(W) × 200mm(D) × 130mm(H)、突起物を除く
	重量	6kg以下
	コネクタ	防水コネクタ使用

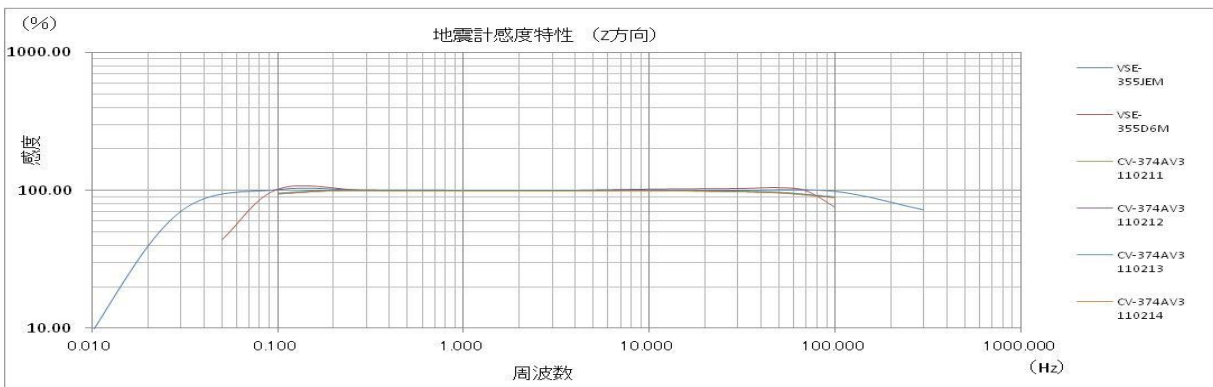
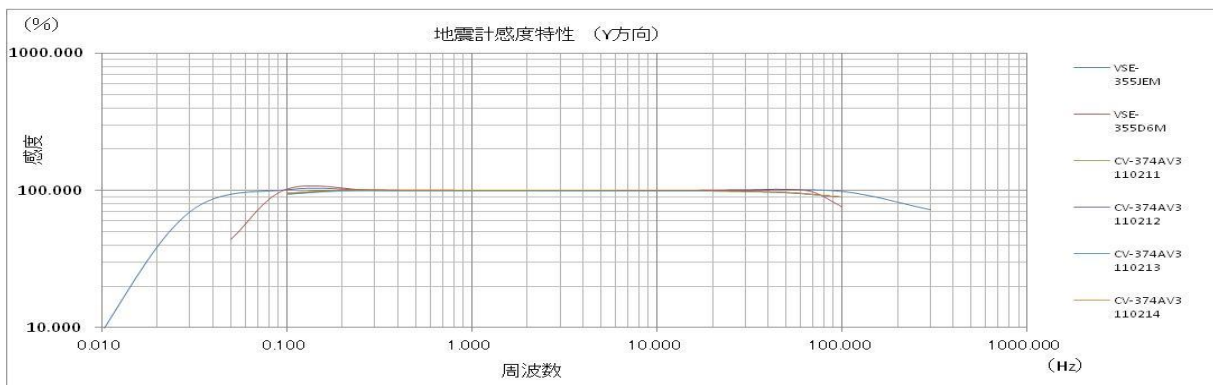
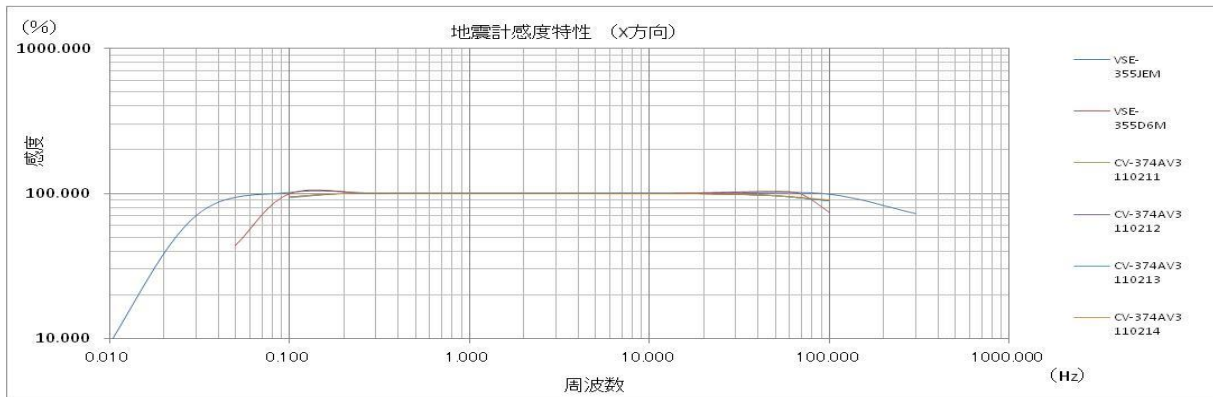


CV374AV3 周波数特性 (10 秒計)



測定システム概念図 (CV374AV3)

5.6 微動計振動特性比較



地震計感度特性重ね図

VSE 3 1 1 M	地表 3 0 秒計	}	内部センサーは同じ
VSE 3 5 5 JEM	地中 3 0 秒計		
VSE 3 5 5 D 6 M	地中 1 0 秒計	}	内部センサーは同じ
VSE 3 5 5 D 6 MS 1	地中 1 0 秒計		
CV 3 7 4 AV 3 - 2 0 0 ~ 2 0 3	地表 1 0 秒計		

0.1~100Hz (0.01~10 秒) 間でほぼフラット

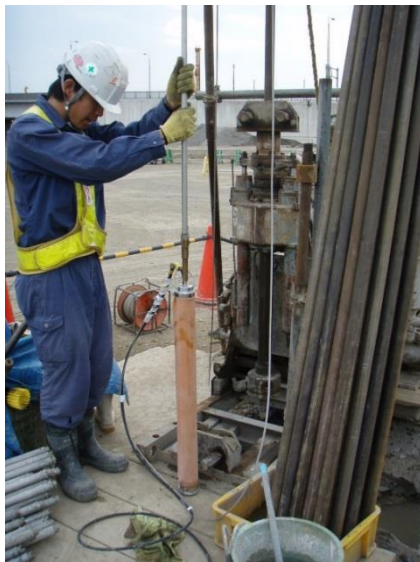
6 写真集



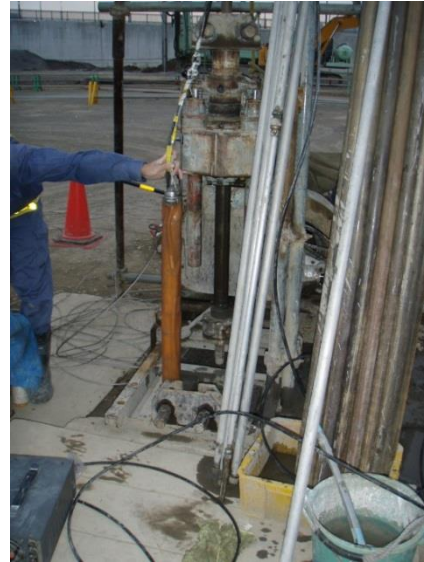
地中計挿入状況



方向制御用のアルミロット



挿入前



引き上げ後

【VSE355D6M-S1】固定試験状況



地表計(VSE311M)測定状況



地中計(VSE355D6M)測定状況

信号ケーブルと回収用ワイヤーが孔内から出ている



CV374AV3 ハドルテスト



CV374AV3 設置状況



CV374AV3 測定状況