

# あらゆる揺れから生活を守る 住宅の耐震性能実測

株式会社Be-Do 代表取締役社長

株式会社KULOCO 取締役

戸成 大地

株式会社Be-Do（ビードウ 以下、当社）は、関係機関・企業と連携し、「**微動探査**」という技術を用いて災害で悲しむ人を減らすべく、地盤・住宅を中心とした地震防災を成し遂げるため、正義を示して（Be）、自ら主体的に行動し（Do）、「防災」を軸に人命と財産を守ることを目的に、世のため人の為を第一に考え実現することを全社員の理念とします。

- ・ 人命・財産を守るため = Be-Do（微動探査を普及し標準化することを遂行する）

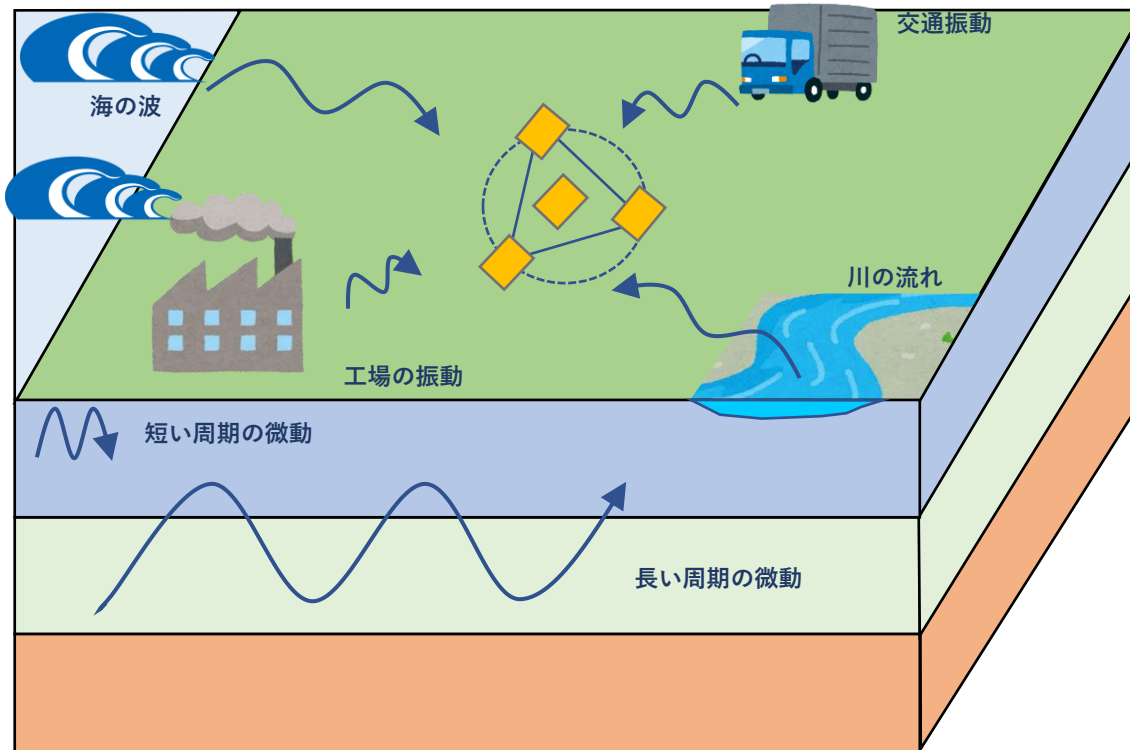
当社では、当経営理念に基づき、「3つの柱」をもとに国の研究機関や住宅地盤業界、民間シンクタンク、産学官連携で活躍してきた専門スタッフが、全国の登録企業とともに、微動探査の推進、標準化、データ収集、各地の関心のある企業様の支援や、ソリューション開発を行っております



# 微動探査とは

我々が住んでいる地球は、道路交通や、海の波、川の流れ、工場などにより、人が感じない僅かな揺れ（微動）が常に発生しています。

その微動を基に、地盤の揺れ方の特徴や硬さ、住宅の耐震性能を調べるものです。



「微動探査」の仕組み

# 微動探査に用いる機材（微動計）

計測には、食パンより一回り大きいくらいの小型軽量の微動計を4台用います。微動計の操作はボタン1つで非常に簡単。右写真のようなタイヤ付きの専用収納ケースで収納・充電可能。軽自動車にも載り、飛行機（預け入れ）や電車などでの持ち運びも可能です。



## 【主要仕様】

- (1) AD変換器：24ビット
- (2) サンプリング：250/500Hz
- (3) データ保存：内部メモリ 8GB
- (4) 動作時間：連続観測で約24時間
- (5) 充電電源：100V AC 50/60 Hz
- (6) 動作温度：-20～55℃
- (7) 防塵・防水性能：IP54相当以上
- (8) 寸法：180 x 180 x 130mm
- (9) 重量：約2.5kg
- (10) 製造元：応用地震計測株式会社



## ■ 微動探査による調査方法は2つ

### ① 地盤の微動探査

地盤の揺れ方の特徴や地盤の硬さを調べ、地震があった時に地盤がどのように揺れるかを調査。

### ② 家屋の微動探査

住宅の耐震性能の評価。

設計通りの耐震性能を確保しているかのチェック。

耐震補強工事前後の比較で、耐震補強ができたかの確認。

経年劣化によるもの、もしくは地震後の耐震性能低下の具合も測定。

# ①地盤の微動探査

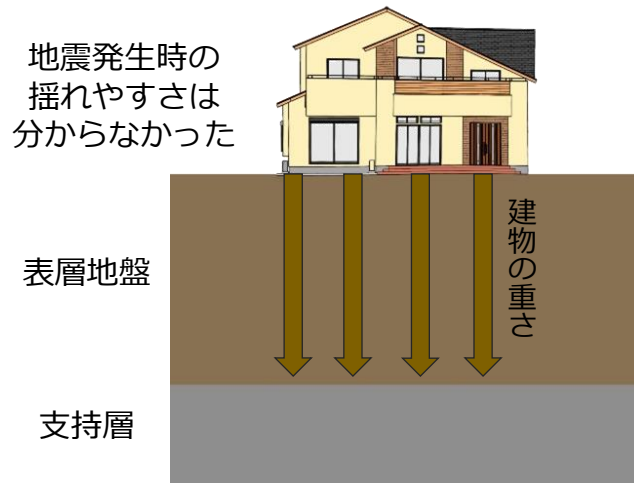
# ①地盤の微動探査

地面に微動計（高精度の地震計）を置いて微動を観測することで、地盤の揺れ方の特徴や地盤の硬さを調べ、地震があった時に地盤がどのように揺れるかを把握し、地震に強い建物を計画していくための調査。

SWS試験・ボーリング調査で得られる情報とは別で、地盤に穴を開けることなく、非破壊で実施可能。

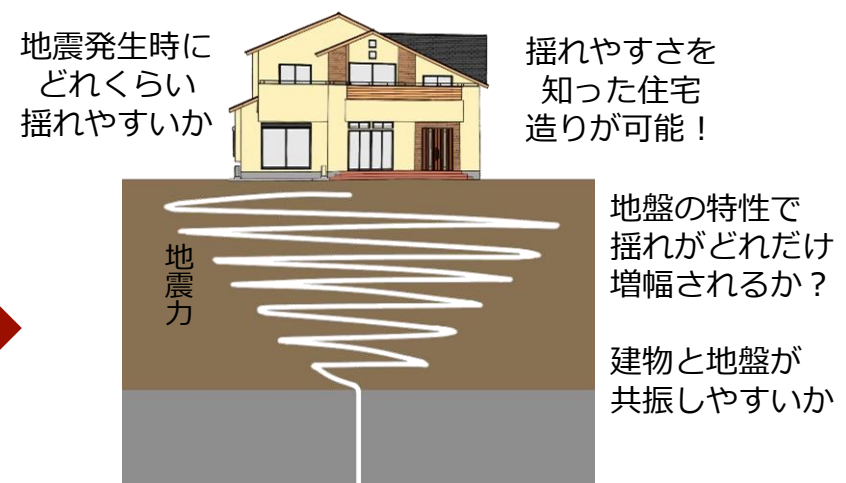
## 【SWS試験・ボーリング調査など】

地盤が建物の重量に耐えられるか  
調べるための調査方法



## 【微動探査】

地盤の地震時の特性を調べるための  
新たな調査方法



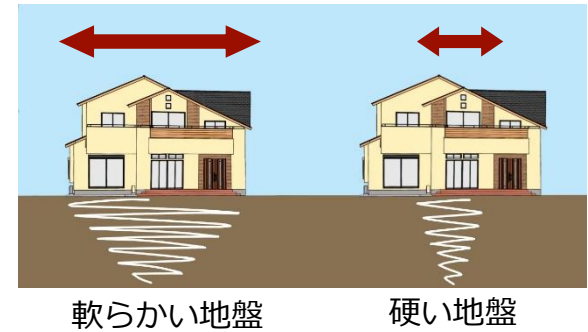
イメージ図



## ■ 地震時の地盤の揺れやすさ（表層地盤増幅率）

同じ場所に建っている家屋でも直下の地盤が軟らかければ、地震時の揺れは大きくなります。

イメージ図



## ■ 地盤の卓越周期

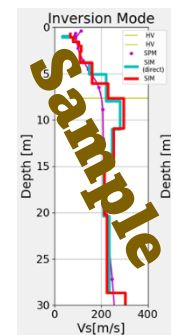
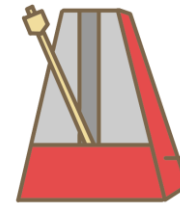
家屋の固有周期と地盤の卓越周期が一致すると「共振」という建物の被害を大きく及ぼす現象が発生します。



卓越周期（ビルは長周期・戸建て住宅は短周期の揺れで共振）

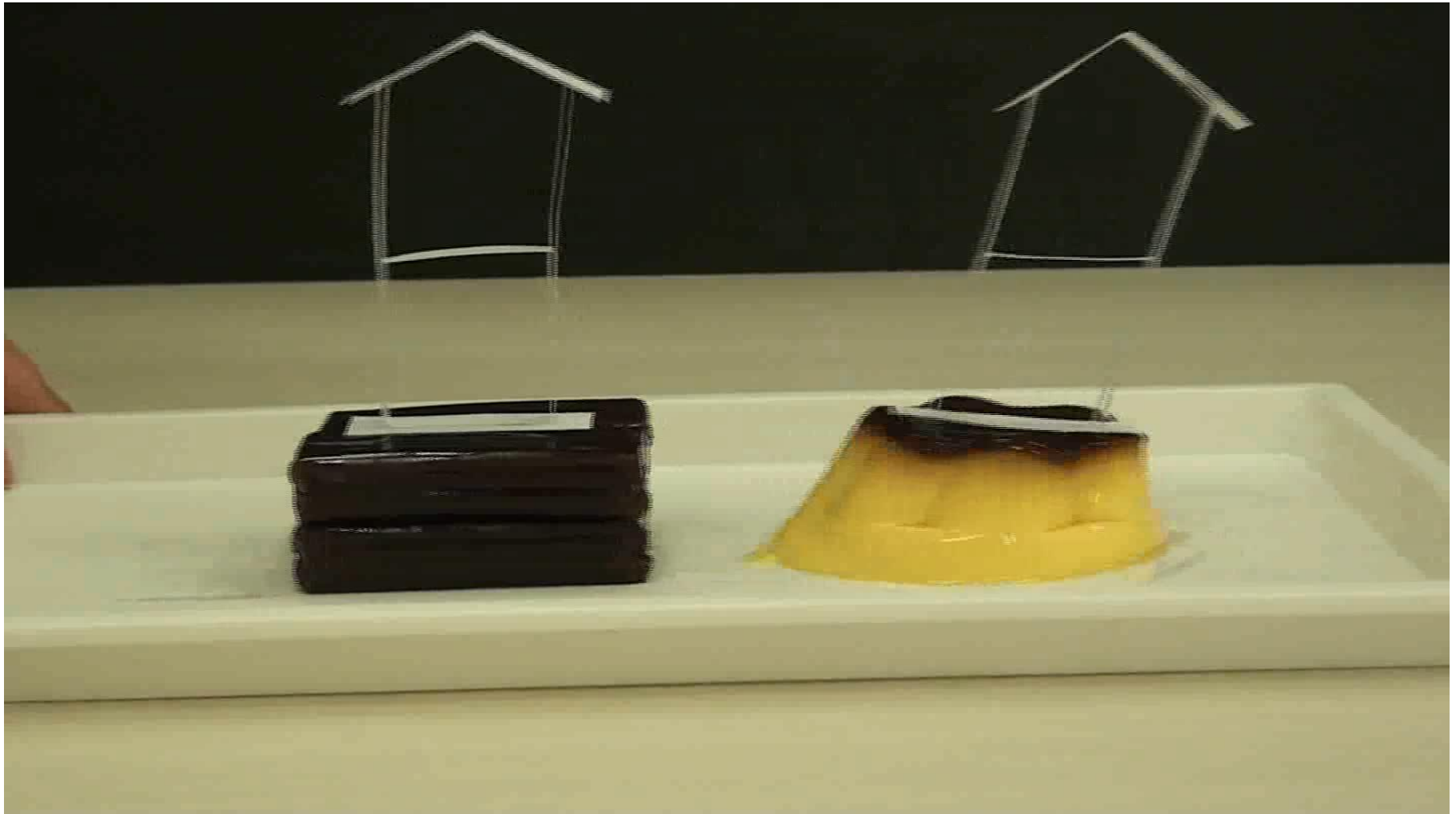
## ■ S波速度構造（層構造の計測）

地盤の硬軟によって振動が伝わる速度が変わります。深度約30mまでの地盤の硬軟を計測する事が可能です。



地盤の層構造（層の変わり目、固い地盤の深さなどがわかります）

地盤が揺れやすいと地震時の建物の揺れが増幅

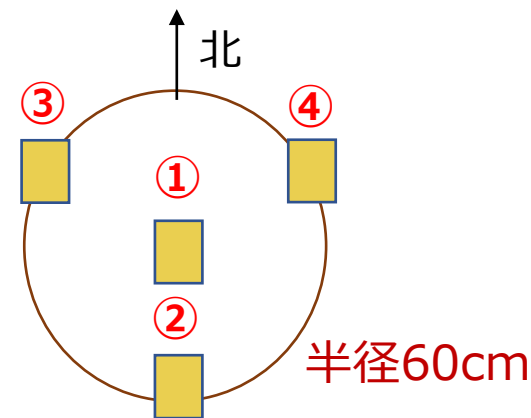


微動探査は、1宅地あたり次の2種類の方法を実施します。観測時間はそれぞれ約16分ずつ、準備など含めて1時間ほどで現地での作業を終えることが可能。

## ①「極小アレイ」観測法

右図の通り微動計4台を北向きに、60cm半径の距離で、ジグ（治具：正確に位置を取る道具）を用いて配置。若い番号順に、中心、下、左上、右上、の順に、微動計のボタン等が手前側（南側）に来るように配置。

1.2m四方ほどのスペースで調査可能。



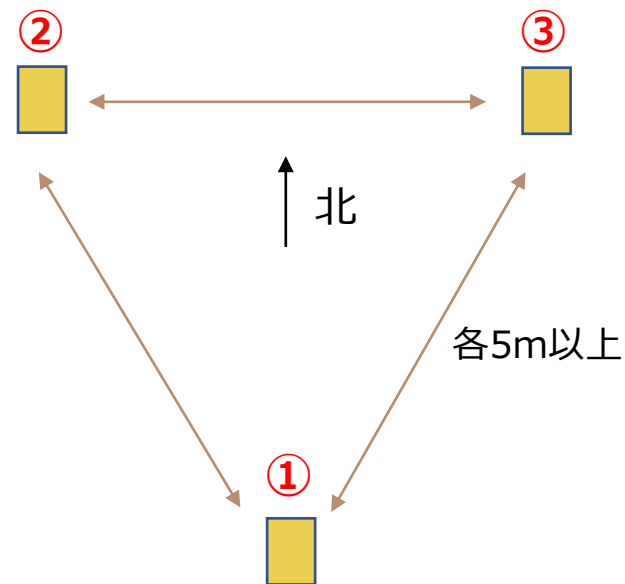
## ②「不規則アレイ」観測法

右図の通り微動計3台を北向きに、5～15mの距離で配置。微動計の番号が若い順から、下、左上、右上の順に配置する。

（極小アレイで用いた4台目は使用しない）各微動計を北向きに、間隔を5m以上、理想的には10mほど離して配置。

各距離は同じである必要や、角度は正三角形の必要はない。

住宅を挟んで調査できるので玄関先と庭、ガレージ等で可。



# 地盤の微動探査結果レポート

微動探査の調査結果は文部科学省所管の防災科学技術研究所が解析し、その結果を下図のように株式会社KULOCOよりレポート化。（レポート作成は、株式会社KULOCOの指定代理店である株式会社Be-Doが実施）

## 【表】

Solution by Microtremor Measurement KULOCO

### 微動探査によるソリューションレポート

調査日: 2019年□□月□□日      発行日: 2019年□□月□□日  
 観測点名: kuloco\_□□\_□□□□  
 調査地住所: ○○県△△市□□町□□□□□□      物件名: □□ □□棟

**地盤の揺れやすさ (表層地盤増幅率) 1.50 増幅特性C**  
**地盤の卓越周期 0.20秒 振幅特性b**

#### 家屋の対策に係るマトリックス

微動探査の結果

1. 増幅特性	A		B		C		D		E	
	低め	やや低め	やや低め	中程度	やや高め	やや高め	高め	高め	高め	
表層地盤増幅率 (値が大きいほど地震時に揺れやすい地盤)	1.0未満	1.0以上	1.4未満	1.4以上	1.6未満	1.6以上	2.0未満	2.0以上	2.0以上	
震度の目安	震度5強	5強~6弱	6弱	6弱~6強	6強~7	6強~7	6強~7	6強~7	6強~7	
2. 振幅特性	a. 低い    b. ある    c. 高い		a. 低い    b. ある    c. 高い		a. 低い    b. ある    c. 高い		a. 低い    b. ある    c. 高い		a. 低い    b. ある    c. 高い	
共振する可能性 (建物と地盤が共振して揺れが非常に大きくなる)	低い	ある	高い	低い	ある	高い	低い	ある	高い	

#### 家屋側の対策と推奨ランク (ソリューション)

等級1 (令46条)	A		B		C		D		E	
上記一般制振部材	△	△	×	△	△	×	×	×	×	×
上記優れた制振部材	○	○	○	○	○	△	△	×	×	×
等級2 (許容応力度)	○	○	○	○	○	△	△	×	×	×
等級2 (品種法設計)	○	○	○	○	○	○	△	△	△	×
上記一般制振部材	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△
上記優れた制振部材	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△
等級3 (許容応力度)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
等級3 (品種法設計)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
上記一般制振部材	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
上記優れた制振部材	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

**所見 1.44**

表層地盤増幅率は1.50であり、地震力の増幅率は「中程度」といえます。  
 地盤の卓越周期は0.20秒であり、地震時に建物と共振する可能性があります。  
 上記マトリックスで「○」、「◎」で示した建築計画とすることをお勧めいたします。

※1 建物の固有周期は耐震の本設軸組構造を例としております。建物の設計条件は20変動動しますので参考値としてお読み下さい。  
 建物ごとの正確な固有周期、既設建物や中層建物の場合には、震度を計測する事でより正確な評価をご提供させていただきます。

Ver.1.00 ©2019 KULOCO Co., Ltd.

## 【裏】

Solution by Microtremor Measurement KULOCO

**30m平均S波速度 300m/s**

#### H/Vスペクトル表 (地盤の固有周期)

#### S波速度構造

#### 調査地点 (J-SHS)

#### 調査写真

**周辺の地盤の揺れやすさ (表層地盤増幅率) 1.70 ※J-SHSからの参考値**

**今後30年間に震度6強以上の揺れに見舞われる確率 30.0% ※J-SHSからの参考値**

**用語の説明 44**

表層地盤増幅率…地表付近に地層した地層の地震時の揺れの大きさを倍率で数値化したもので、30m平均S波速度から計算されます。数値が大きいほど地盤は軟弱で地震時の揺れが大きくなります。  
 地盤の卓越周期…地震の揺れが一往復する時間で、軟弱な地盤であるほどその時間は長くなります。また建物ごとの固有周期と一致すると共振現象が起こり、建物の揺れが大きくなります。  
 30m平均S波速度 (AVS30)…地表から深さ30mまでの平均S波速度のことです。この数値が大きいほど硬く、地震時に揺れにくい地盤であるといえます。  
 H/Vスペクトル表…微動探査による水平方向と垂直方向のスペクトル比を示した地盤の卓越周期を把握できる表で、一般的にグラフのピークがある箇所は卓越周期があると書かれています。  
 S波速度構造…縦軸に地盤からの深さ、横軸にS波速度が表されています。S波速度が大きいほど地盤は硬くなりますので、地盤の硬さを示す目安となります。

©2019 KULOCO Co., Ltd.

## 家屋の対策に係るマトリックス

微動探査の結果															
1. 増幅特性 表層地盤増幅度 (値が大きいほど地震時に揺れやすい地盤)	A 低め			B やや低め			C 中程度			D やや高め			E 高め		
	1.0未満			1.0以上 1.4未満			1.4以上 1.6未満			1.6以上 2.0未満			2.0以上		
2. 振幅特性 共振する可能性 (建物と地盤が共振すると揺れが非常に大きくなる)	a. 低い	b. ある	c. 高い	a. 低い	b. ある	c. 高い	a. 低い	b. ある	c. 高い	a. 低い	b. ある	c. 高い	a. 低い	b. ある	c. 高い
等級1 (令46条)	△	△	×	△	△	×	△	×	×	×	×	×	×	×	×
上記+一般制振部材	△	△	△	△	△	△	△	△	×	△	×	×	×	×	×
上記+優れた制振部材	○	○	○	○	○	△	○	△	△	△	△	×	×	×	×
等級1 (許容応力度) 等級2 (品確法設計)	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	△	△	△	×	×
上記+一般制振部材	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△	△	×
上記+優れた制振部材	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△	△
等級2 (許容応力度) 等級3 (品確法設計)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△
上記+一般制振部材	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△
上記+優れた制振部材	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△
等級3 (許容応力度計算)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
上記+一般制振部材	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
上記+優れた制振部材	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎

# 限界耐力計算への活用

地盤の微動探査で得られる「表層地盤増幅率」は限界耐力計算に活用することができ、正確な評点を出すことができます。

<b>A</b> 低め	<b>B</b> やや低め	<b>C</b> 中程度	<b>D</b> やや高め	<b>E</b> 高め
1.0未満	1.0以上 1.4未満	1.4以上 1.6未満	1.6以上 2.0未満	2.0以上

増幅特性	1.0	1.4	1.6	2.0																																																												
	1.37	0.97	0.85	0.68																																																												
	<table border="1" style="width: 100%; font-size: small;"> <thead> <tr> <th>上部構造評点の25乗との積</th> <th>評点</th> <th>判定</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.5以上</td> <td>○</td> <td>影響しない</td> </tr> <tr style="background-color: #ADD8E6;"> <td>1.0以上～1.5未満</td> <td>○</td> <td>一部影響しない</td> </tr> <tr> <td>0.7以上～1.0未満</td> <td>△</td> <td>影響する可能性がある</td> </tr> <tr> <td>0.7未満</td> <td>+</td> <td>影響する可能性が高い</td> </tr> </tbody> </table>	上部構造評点の25乗との積	評点	判定	1.5以上	○	影響しない	1.0以上～1.5未満	○	一部影響しない	0.7以上～1.0未満	△	影響する可能性がある	0.7未満	+	影響する可能性が高い	<table border="1" style="width: 100%; font-size: small;"> <thead> <tr> <th>上部構造評点の25乗との積</th> <th>評点</th> <th>判定</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.5以上</td> <td>○</td> <td>影響しない</td> </tr> <tr> <td>1.0以上～1.5未満</td> <td>○</td> <td>一部影響しない</td> </tr> <tr style="background-color: #ADD8E6;"> <td>0.7以上～1.0未満</td> <td>△</td> <td>影響する可能性がある</td> </tr> <tr> <td>0.7未満</td> <td>+</td> <td>影響する可能性が高い</td> </tr> </tbody> </table>	上部構造評点の25乗との積	評点	判定	1.5以上	○	影響しない	1.0以上～1.5未満	○	一部影響しない	0.7以上～1.0未満	△	影響する可能性がある	0.7未満	+	影響する可能性が高い	<table border="1" style="width: 100%; font-size: small;"> <thead> <tr> <th>上部構造評点の25乗との積</th> <th>評点</th> <th>判定</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.5以上</td> <td>○</td> <td>影響しない</td> </tr> <tr> <td>1.0以上～1.5未満</td> <td>○</td> <td>一部影響しない</td> </tr> <tr style="background-color: #ADD8E6;"> <td>0.7以上～1.0未満</td> <td>△</td> <td>影響する可能性がある</td> </tr> <tr> <td>0.7未満</td> <td>+</td> <td>影響する可能性が高い</td> </tr> </tbody> </table>	上部構造評点の25乗との積	評点	判定	1.5以上	○	影響しない	1.0以上～1.5未満	○	一部影響しない	0.7以上～1.0未満	△	影響する可能性がある	0.7未満	+	影響する可能性が高い	<table border="1" style="width: 100%; font-size: small;"> <thead> <tr> <th>上部構造評点の25乗との積</th> <th>評点</th> <th>判定</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.5以上</td> <td>○</td> <td>影響しない</td> </tr> <tr> <td>1.0以上～1.5未満</td> <td>○</td> <td>一部影響しない</td> </tr> <tr style="background-color: #ADD8E6;"> <td>0.7以上～1.0未満</td> <td>△</td> <td>影響する可能性がある</td> </tr> <tr> <td>0.7未満</td> <td>+</td> <td>影響する可能性が高い</td> </tr> </tbody> </table>	上部構造評点の25乗との積	評点	判定	1.5以上	○	影響しない	1.0以上～1.5未満	○	一部影響しない	0.7以上～1.0未満	△	影響する可能性がある	0.7未満	+	影響する可能性が高い
上部構造評点の25乗との積	評点	判定																																																														
1.5以上	○	影響しない																																																														
1.0以上～1.5未満	○	一部影響しない																																																														
0.7以上～1.0未満	△	影響する可能性がある																																																														
0.7未満	+	影響する可能性が高い																																																														
上部構造評点の25乗との積	評点	判定																																																														
1.5以上	○	影響しない																																																														
1.0以上～1.5未満	○	一部影響しない																																																														
0.7以上～1.0未満	△	影響する可能性がある																																																														
0.7未満	+	影響する可能性が高い																																																														
上部構造評点の25乗との積	評点	判定																																																														
1.5以上	○	影響しない																																																														
1.0以上～1.5未満	○	一部影響しない																																																														
0.7以上～1.0未満	△	影響する可能性がある																																																														
0.7未満	+	影響する可能性が高い																																																														
上部構造評点の25乗との積	評点	判定																																																														
1.5以上	○	影響しない																																																														
1.0以上～1.5未満	○	一部影響しない																																																														
0.7以上～1.0未満	△	影響する可能性がある																																																														
0.7未満	+	影響する可能性が高い																																																														

揺れにくい地盤

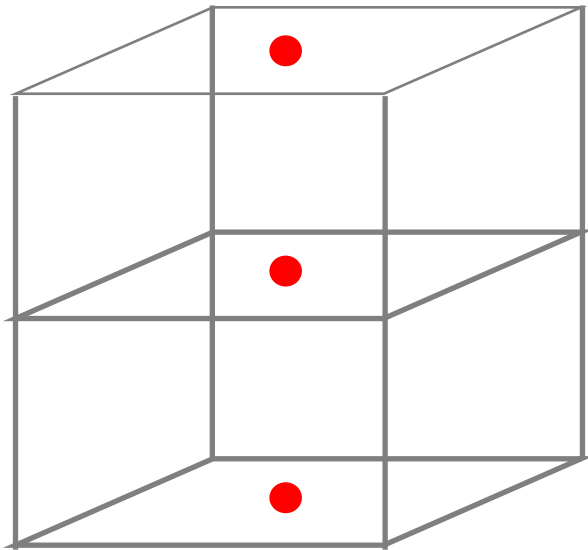
揺れやすい地盤

## ②家屋の微動探査

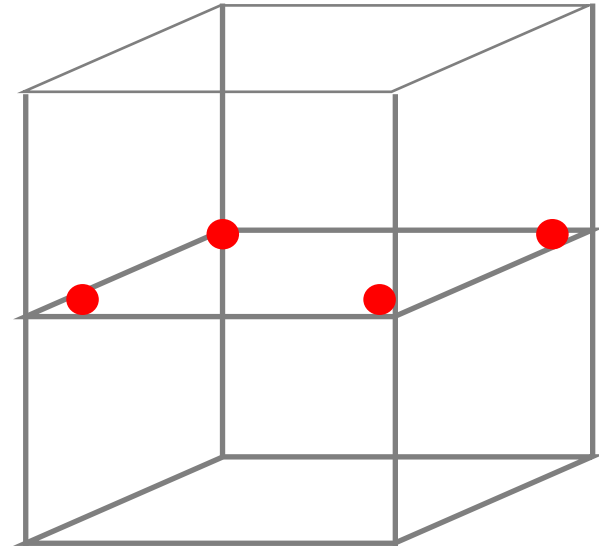
家屋の微動探査でわかることは3つ

- ① 建物、地盤の固有周期（建物の耐震性能の確認、地盤種別の判断）
- ② 共振の可能性想定
- ③ 建物のバランス（建物の重心、剛心の確認）

家屋に以下のように微動計を配置し、調査時間は約1時間。



●  
地盤と建物の  
「固有周期」測定



建物の「剛心」測定  
(水平力に抵抗する部分の中心位置)



# 家屋計測結果

■地盤の卓越周期（固有周期）から地盤種別を判断。

## ■地盤の固有周期

0.15（秒）（卓越周波数6.44Hz）



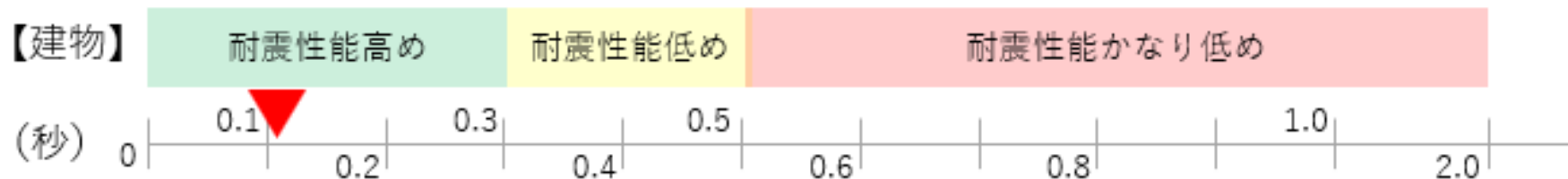
地盤種別	固有周期（秒）
第一種地盤	0.4
第二種地盤	0.6
第三種地盤	0.8

引用：昭和55年建設省告示第 1793号

- 建物の固有周期から耐震性能を評価。

## ■ 建物の固有周期

0.11 (秒) (卓越周波数8.71Hz) ※1



### 【建物の固有周期の目安】

0.3秒未満・・・耐震性能高め（新築木造戸建住宅の平均的な固有周期）

0.3秒～0.5秒未満・・・耐震性能低め（既存木造戸建住宅の平均的な固有周期）

0.5秒以上・・・耐震性能かなり低め

※1：2000年5月以前（建築基準法改正前）に建てられた住宅は、建物の固有周期の安全率を見込み評価しております。

- 地盤の卓越周期（固有周期）と耐震性能から地震時の建物の影響を想定。

## 【評価ランク】

建物	固有周期（秒）	0.3未満	0.3～0.5未満	0.5～
地盤	第一種地盤	○	△	×
	第二種地盤	○	×	×
	第三種地盤	○	×	×

## 【ランクの説明】

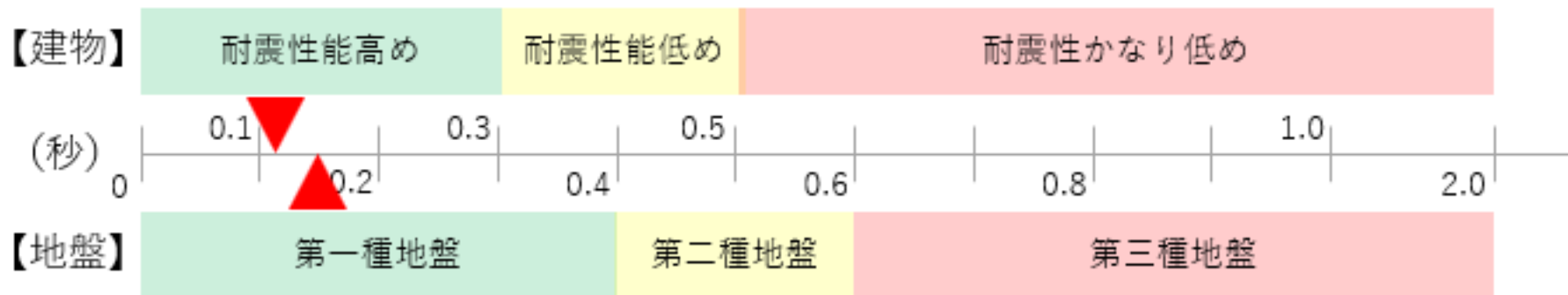
○	建物の固有周期が0.3秒未満となり、耐震性能が高いと考えられ、どの地盤種別でも地震時における建物への影響が少ないと考えられます。
△	建物の固有周期が0.3～0.5秒未満となり、耐震性能は低いと考えられ、第一種地盤であっても地震時における建物への影響があると考えられます。
×	建物の固有周期が0.5秒以上となり、耐震性能は非常に低いと考えられ、どの地盤種別でも地震時における建物への影響が大きく、倒壊に繋がることと考えられます。

- 地盤の卓越周期（固有周期）と建物の耐震性能から共振の可能性を判断。

## 【共振の可能性】

### ■建物の固有周期

0.11（秒）（卓越周波数8.71Hz）<sup>※1</sup>

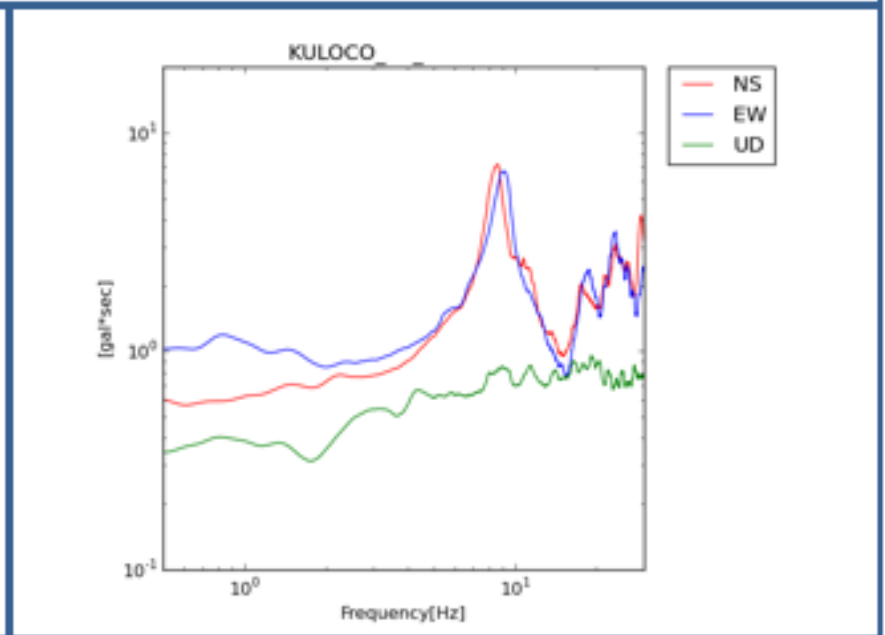
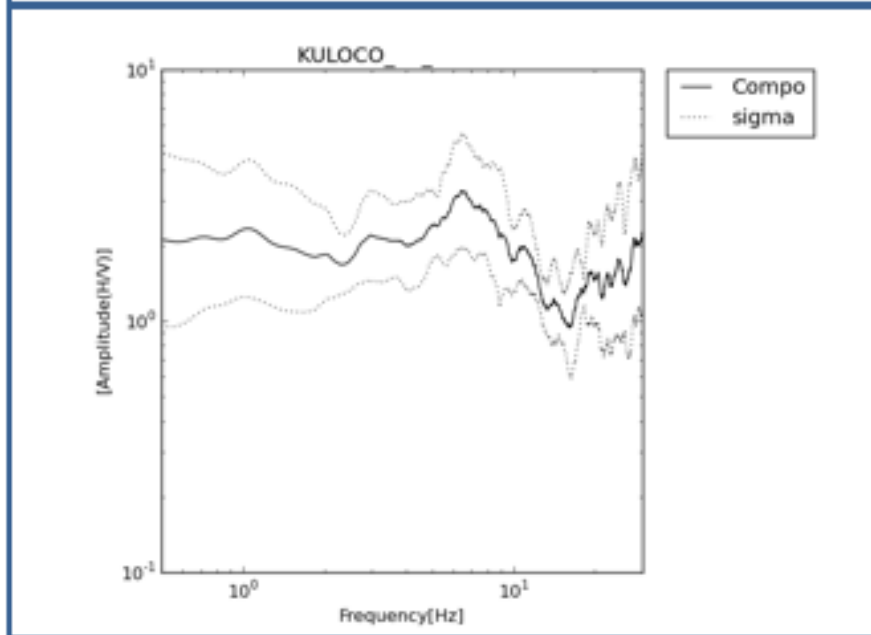


### ■地盤の固有周期

0.15（秒）（卓越周波数6.44Hz）

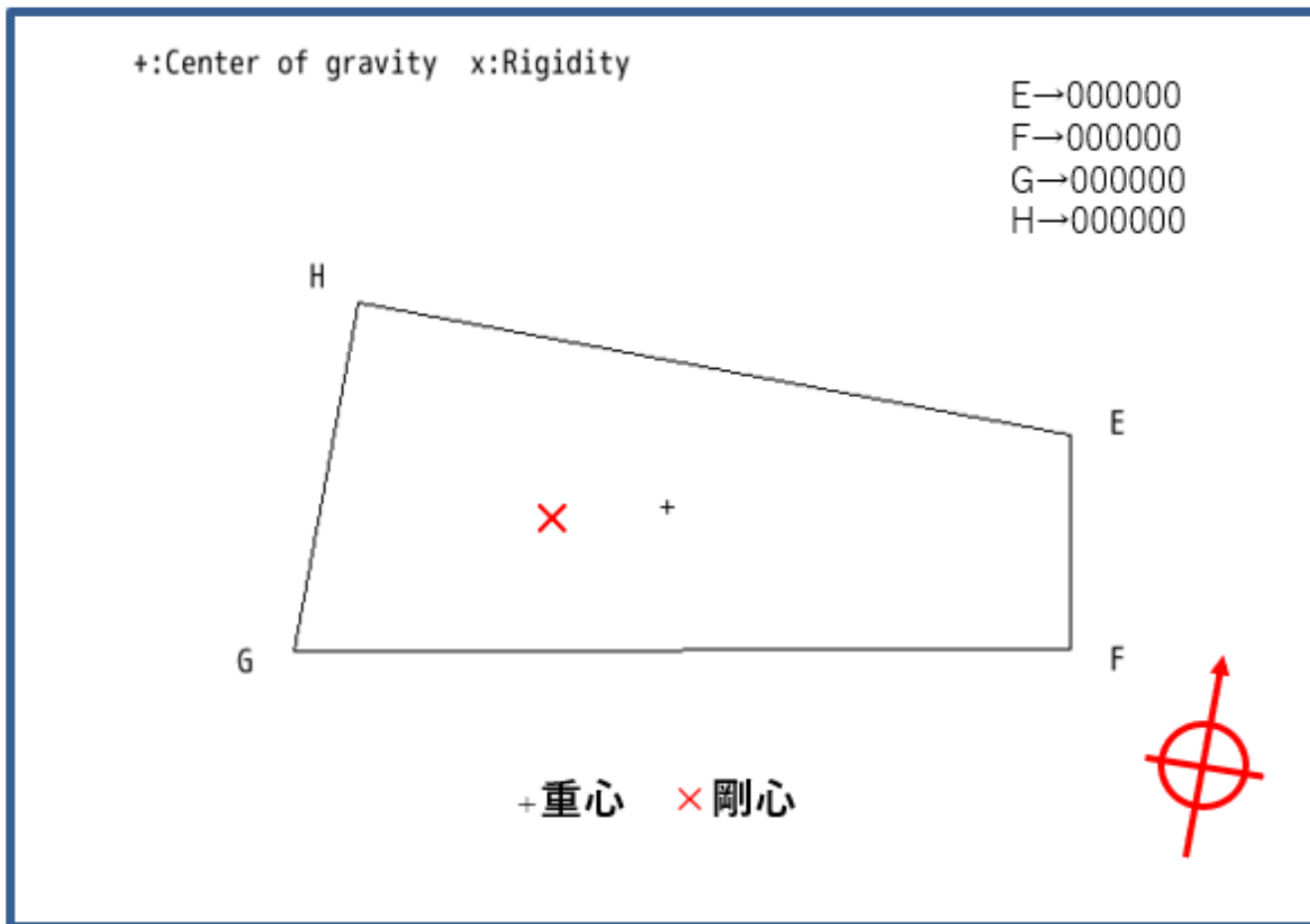
- 防災科学技術研究所の解析結果を添付。

卓越周波数[Hz] (1~10[Hz])		
H/V[地盤(A)]	2階(C)/1階(B)	
6.44	NS成分	8.64
	EW成分	9.09
	NS,EW平均	8.71



- 微動探査機の配置場所から建物の重心・剛心を把握。

## ■ 重心・剛心



- 重心・剛心を数字にて示し、建物のバランス、地震に影響を受ける場所を判断。

剛心座標NS方向	-0.1
剛心座標EW方向	-0.32

※重心を0として、最大値-1~1で示しております。

## ■ 結果

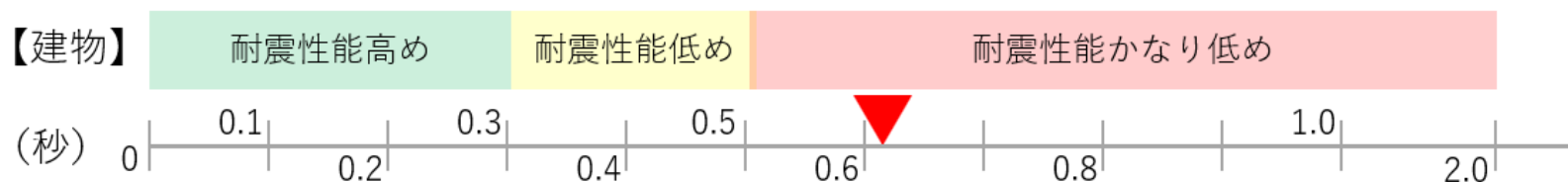
重心の位置から見て、西側に剛心の位置があることから、地震時における建物の被害は東側の壁に影響が出ることが考えられます。



## ◆耐震補強前

### ■建物の固有周期

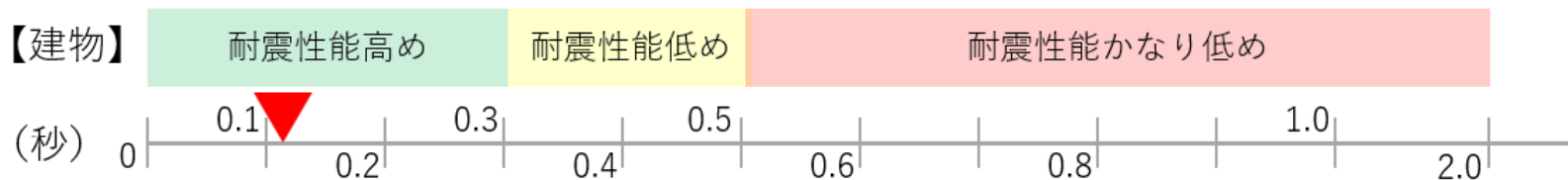
0.62 (秒) (卓越周波数1.61Hz) ※1



## ◆耐震補強後

### ■建物の固有周期

0.12 (秒) (卓越周波数7.97Hz) ※1



# 微振動対策

- 微動探査では交通振動、工事振動などの微振動に対して事前対策、原因を明確にできます。
  
- ◆ 地盤の卓越周期（固有周期）から事前に交通振動などの被害を予想し対策ができます。
  
- ◆ 交通振動、工事振動などによるもので建物に被害が出ているか、原因を明確にします。

日本は地震が多く発生し、いつ来るかわかりません。

地震に強い建物ができたことを実測で証明することでお客様により安心を届けることができます。

また、地震被害から人命を守るためにも是非ご活用いただければ幸いです。

ご清聴ありがとうございました。

*Be-Do*

