

動的耐震性能計測器 DERIS

# 動的耐震診断システムによる調査報告書

## 高埜モデルルーム

計測日：2012年3月16日

計測地：秋田県能代市字高埜65

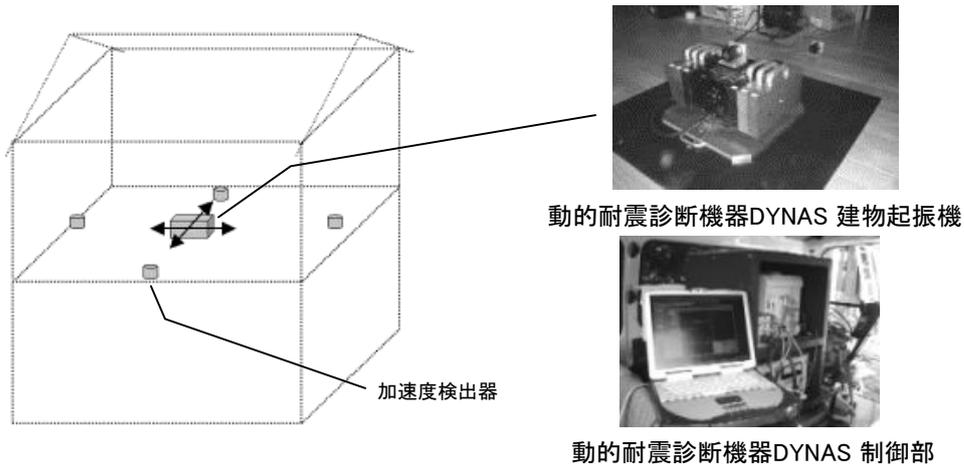
発注者：株式会社サンワ興建

計測担当：株式会社住宅地盤技術研究所

## 序. 動的耐震診断について

### 1) 計測の概要

動的耐震診断は、①診断機器を建物2階に設置して小さな地震を起こし、②そのときの建物1階の揺れを計測して、③建物が震度いくつの地震まで安全性が高いかを推測するシステムです。

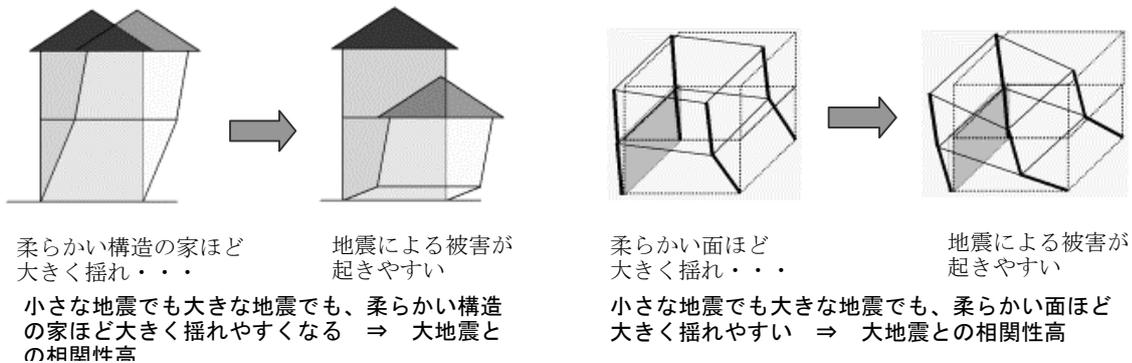


### 2) 調査内容

小さな地震で建物を揺らして計測する動的耐震診断でわかることは、木造住宅の耐震性を判断する上で、もっとも大切な、「建物全体の硬さ（揺れやすい建物かどうか）」と、「建物各部の硬さのバランス（揺れ方のバランス）」です。

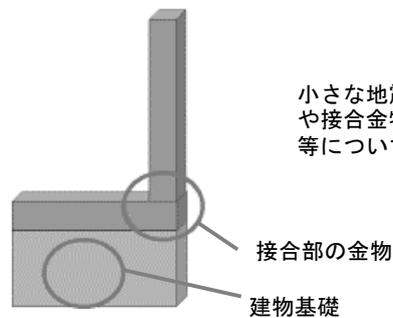
これらは、小さな地震にも大地震にも共通に現れる建物の特性です。

このデータをもとに、「震度いくつの地震まで安全性が高いか」を解析して数値で表しています。



一方で、柱や梁、壁などの構造部分が丈夫に緊結されているか（接合部の耐力）、基礎や土台が頑丈か、など、小さな地震ではわからないこともあります。

これらの点の検討が必要なこと、また、より多角的な検討を行うためにも、動的耐震診断は、簡易耐震診断・精密耐震診断で耐震補強が必要と判定されたときに利用されることをお奨めしています。



小さな地震から推測することが難しい、基礎や接合金物が大地震でも耐えられるかどうか等については、専門家が目で見て判断

### 3)本報告書について

#### <地震の大きさと建物の危険度>

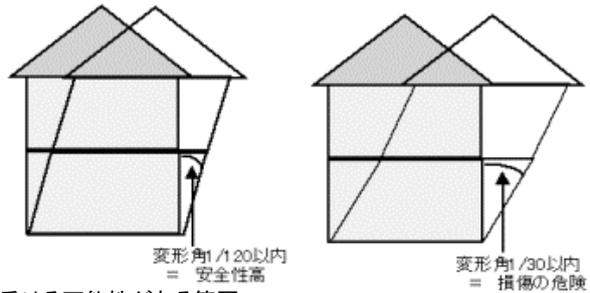
本報告書では、地震の大きさと建物の変位量の関係を推定し、ここから建物の危険度を判定しています。

報告書中、「安全性高」と表示している範囲は、建物の変形角が $1/120\text{rad}$ 以内(階高300cmのとき2.5cm)、「損傷の危険」と表示している範囲は建物の変形角が $1/30\text{rad}$ 以内(同10cm)、 $1/30\text{rad}$ を超えると「大損傷の危険」と表示しています。

「安全性高」・・・構造体の損傷が開始する可能性が低い範囲

「損傷の危険」・・・構造体が損傷を受ける可能性が生じる範囲

「大損傷の危険」・・・構造体が、補修不能ほどの大きな損傷を受ける可能性がある範囲



なお、この判定結果は、起振機を用いた振動解析に基づく推測値であり、実際の大地震時の建物の安全性について保証するものではありません。

#### <参考 ～加速度と震度階級>

地震の揺れの強さを示すのに一般に使用されているものとして、気象庁が発表している「震度階級」があります。

しかし、これは診断結果として表示するには大きすぎること、また、約400gal以上のすべての地震が震度7と表示されることから、この報告書では、地震の揺れの強さ(加速度)を示すものとして、「gal( $\text{cm}/\text{s}^2$ )」を用いています。

以下に、加速度と震度階級との関係を表にしています。これを参考にしながら報告書をご覧ください。

また、地震の規模を表すのに、「マグニチュード」という語が使われます。「マグニチュード」は地震そのもののエネルギーの大きさを表すもので、「加速度」や「震度階級」は調査地での揺れの大きさを表すものです。

ちなみに、兵庫県南部地震(阪神大震災)の地震の規模はマグニチュード7.2、震源から約25km離れた神戸

加速度(gal)	震度階級	
～0.8	0	人は揺れを感じない
0.8～2.5	1	屋内にいる人の一部が、わずかな揺れを感じる
2.5～8.0	2	屋内にいる人の多くが、揺れを感じる。眠っている人の一部が目覚ます。
8.0～25	3	屋内にいる人のほとんどが揺れを感じる。恐怖感を覚える人もいる。
25～80	4	かなりの恐怖感があり、一部の人は身の安全を守ろうとする。眠っている人のほとんどが目覚ます。
80～250	5弱	多くの人が身の安全を図ろうとする。一部の人は行動に支障を感じる。
	5強	非常な恐怖感を感じる。多くの人が行動に支障を生じる。
250～400	6弱	立っていることが困難になる。
	6強	立っていることができず、はわないと動くことが出来ない。
400～	7	揺れにはほんろうされ、自分の意志で行動できない。

## 調査物件名： 高埦モデルルーム

診断結果：高い耐震性能を有している住宅と判断されます。

### 動的耐震診断所見

診断案件の高埦モデルルームは、動的耐震診断結果から建物自体の卓越周期は、X方向（東西方向）では0.15秒（6.7Hz）、Y方向（南北方向）では0.17秒（5.8Hz）を示し、高い剛性（硬い構造の建物）を示しており、同時に壁量（耐力壁）も充分満足していることが剛性要因と推測されます。

また同住宅における耐震性能は想定地震に陸羽地震（西暦1896/8/31）マグニチュード7.2（震度7）を想定して計算していますが、仮に同規模の地震（震源からの距離30km）発生に際しても、1階壁の変位量は最大で東側の0.70cm程度と、充分な弾性範囲内の数値を示し、建物は軽微な損傷にとどまる高い可能性と、あわせて充分な耐震性能を有していると判断されます。

今回、住宅を支える地盤の調査（表面波探査法）をあわせて実施したが、地盤の固有周期は調査結果より0.63秒（1.6Hz）となっており、第2種地盤と判定されます。結果より判断しても、大規模地震発生の際、最も懸念される現象、地盤と建物の共振現象は起こりにくいと推察されます。

表-1 < 品確法の耐震等級の目安 >

等級 1	数百年に一度発生する地震（東京では震度6強から震度7程度）の地震力に対して倒壊、崩壊せず、数十年に一度発生する地震（東京では震度5強程度250gal）の地震力に対して損壊しない程度。（建築基準法同等）
等級 2	等級1地震力の1.25倍の地震力に対抗できる。（500gal） 軸組工法では、等級2前後の耐震性を 持っている建物が多い。
等級 3	等級1地震力の1.5倍の地震力に対抗できる。（600gal） 2×4工法では、等級3前後の耐震性を 持っている建物が多い。

## 高埴モデルルーム 様邸

計測地：秋田県能代市字高埴65

計測日：2012年3月16日

計測担当：株式会社住宅地盤技術研究所 畠山 隆之

計測機器： ビック株式会社製 DYNASシステム

水平型起振機 MODEL G0-21 H50

本体・制御部 MODEL G0-21 M200

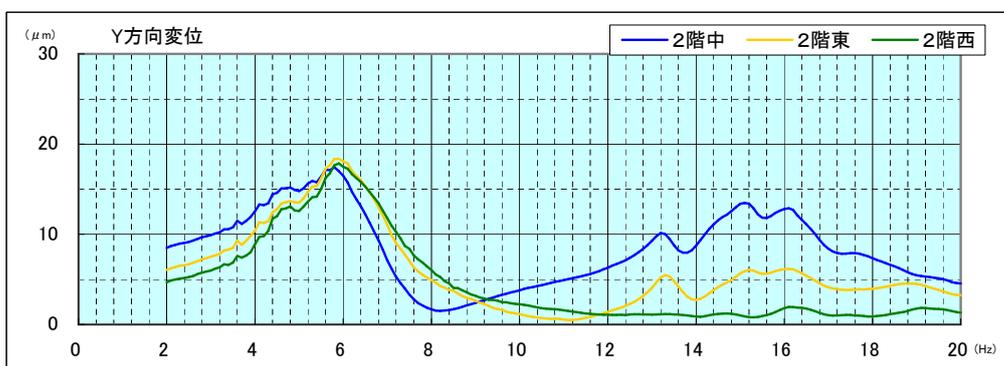
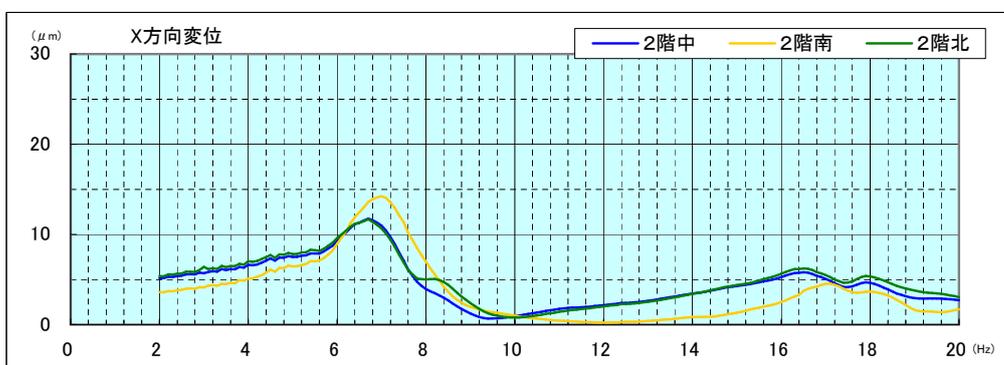
電力増幅器 MODEL G0-21 A300

加速度検出器 MODEL G0-21 PU-L

その他ケーブル・計測用製PCなど

発注者：株式会社サンワ興建

## 高埴モデルルーム 様邸 計測データ



※1 各検出器の設置位置は、8ページに記載しております。

※2 変位量は、加速度検出器が検出した加速度から計算しています。

## 1. 高埧モデルルーム 様邸 分析結果

想定地震：陸羽地震(秋田県想定) (マグニチュード7.2)  
震源からの距離 30km  
地表面での揺れ 338.5gal  
震度階級 6強  
想定地震の大きさ

X方向 (短辺・東西方向) 卓越振動数 6.7Hz

損傷限界 (建物損傷の危険)  
建物南側 1496.7gal 7  
建物中央 1500gal以上 7  
建物北側 1500gal以上 7  
安全限界 (建物の重大な損傷あるいは倒壊の危険)  
建物南側 1500gal以上 7  
建物中央 1500gal以上 7  
建物北側 1500gal以上 7

Y方向 (長辺・南北方向) 卓越振動数 5.8Hz

損傷限界 (建物損傷の危険)  
建物東側 1196.7gal 7  
建物中央 1261.2gal 7  
建物西側 1235.8gal 7  
安全限界 (建物の重大な損傷あるいは倒壊の危険)  
建物東側 1500gal以上 7  
建物中央 1500gal以上 7  
建物西側 1500gal以上 7

## 2. 建物の分析

X方向 (短辺・東西方向)

卓越振動数 6.7Hz (0.15秒)

	地震動の増幅率	減衰定数	ばね定数	想定地震における変位量
建物南側	3.19倍	15.68%	168.5kN/cm	0.56cm
建物中央	2.41倍	20.74%	204.0kN/cm	0.46cm
建物北側	2.40倍	20.84%	205.0kN/cm	0.46cm

Y方向 (長辺・南北方向)

卓越振動数 5.8Hz (0.17秒)

	地震動の増幅率	減衰定数	ばね定数	想定地震における変位量
建物東側	2.83倍	17.65%	134.7kN/cm	0.70cm
建物中央	2.60倍	19.25%	142.0kN/cm	0.66cm
建物西側	2.74倍	18.23%	139.1kN/cm	0.68cm

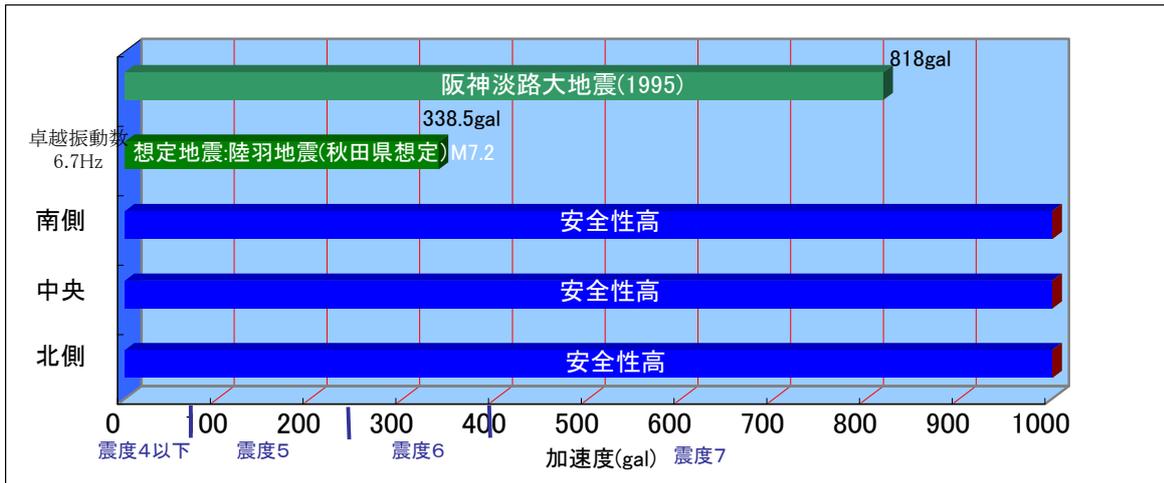
## 3. 地盤の分析

固有周期 0.63秒 (1.6Hz)  
地震動の増幅率 1.58倍  
地盤種別 第2種地盤

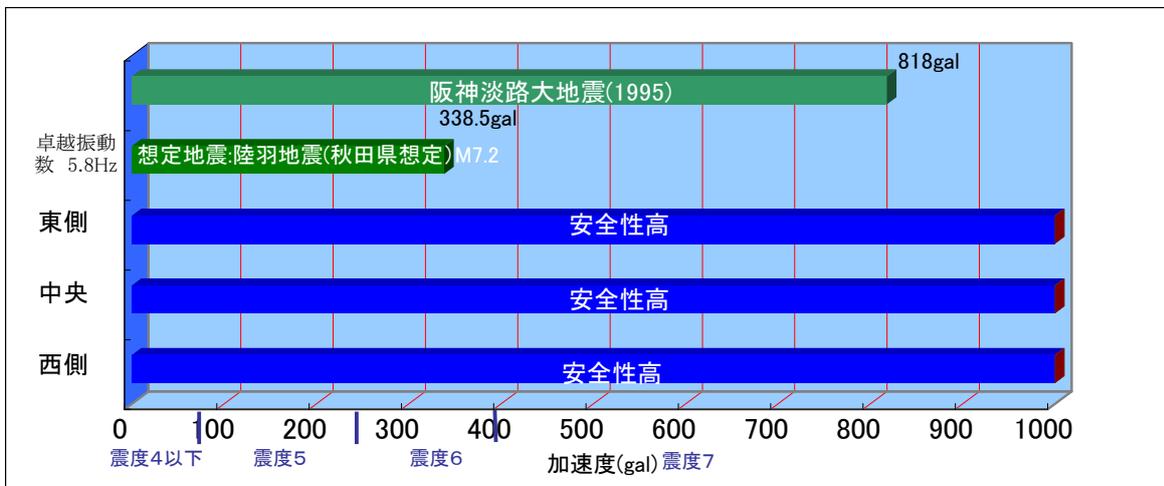
## ＜ 診断結果グラフ ＞

想定地震における地表面の揺れの大きさと、建物の耐震性能を比較したグラフです。

### X 方向（短辺・東西方向）



### Y 方向（長辺・南北方向）



※ 本解析結果は、起振機を用いた振動解析に基づく推測値であり、実際の大地震時の建物の安全性を保証するものではありません。加速度値と実際の地震の震度とは、地震の継続時間等諸条件により一致しない場合があります。

## ＜ グラフのみかた ＞

### 算出周波数

建物の最も弱点となる周波数を基準としています。同じ建物でも、X方向とY方向では弱点となる周波数は異なります。

### 安全性高

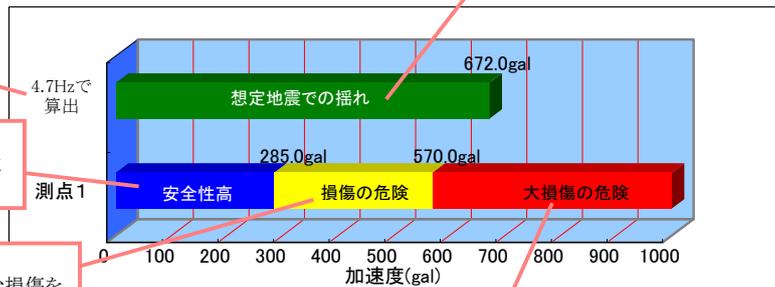
建物が軽微な損傷にとどまる可能性の高い範囲を示しています。

### 損傷の危険

当該周波数において、建物が大きな損傷を受ける可能性はあるものの、倒壊の可能性は低いと考えられる範囲を示しています。

### 想定地震での揺れ

算出周波数における調査地地表面での揺れの大きさを示しています。揺れの大きさは、調査地の地盤状況や、算出する周波数により異なります。

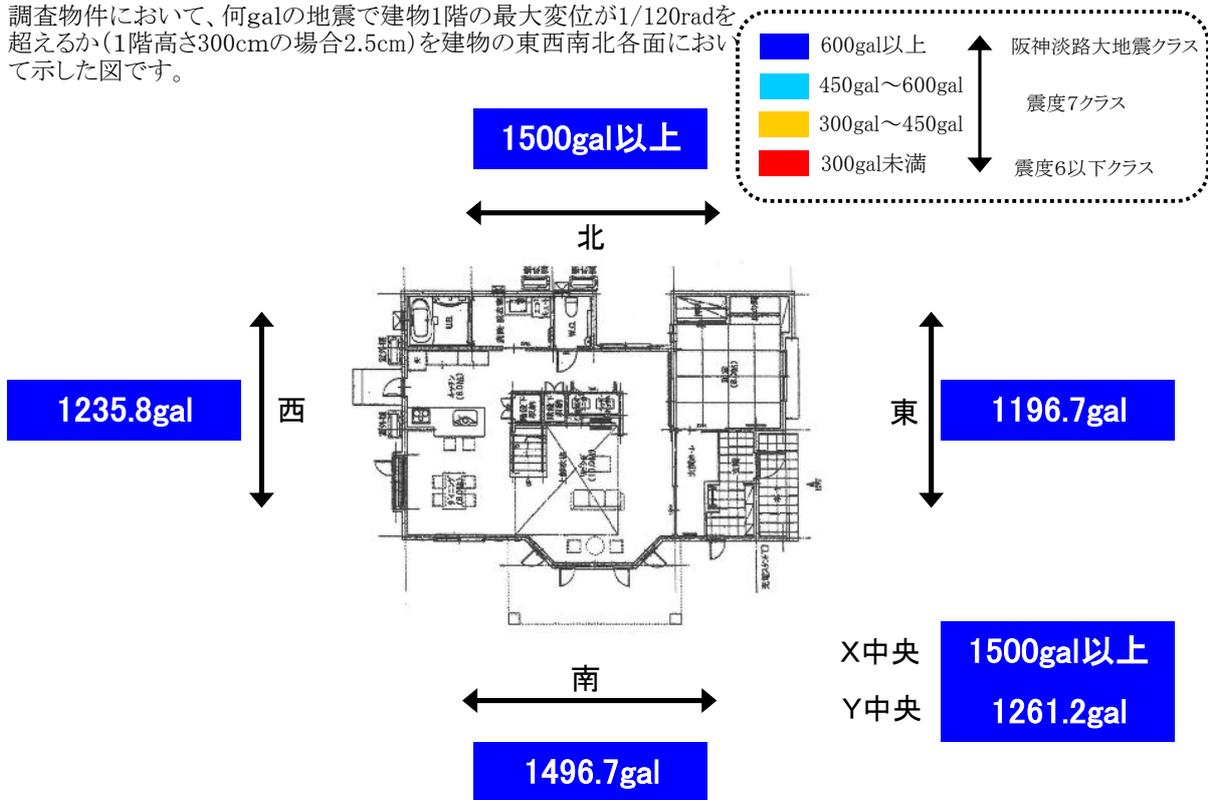


### 大損傷の危険

当該周波数において、建物が重大な損傷を受ける危険、あるいは倒壊に至る危険が生じる範囲を示しています。

## 建物各面の耐震性能

調査物件において、何galの地震で建物1階の最大変位が1/120radを超えるか(1階高さ300cmの場合2.5cm)を建物の東西南北各面において示した図です。

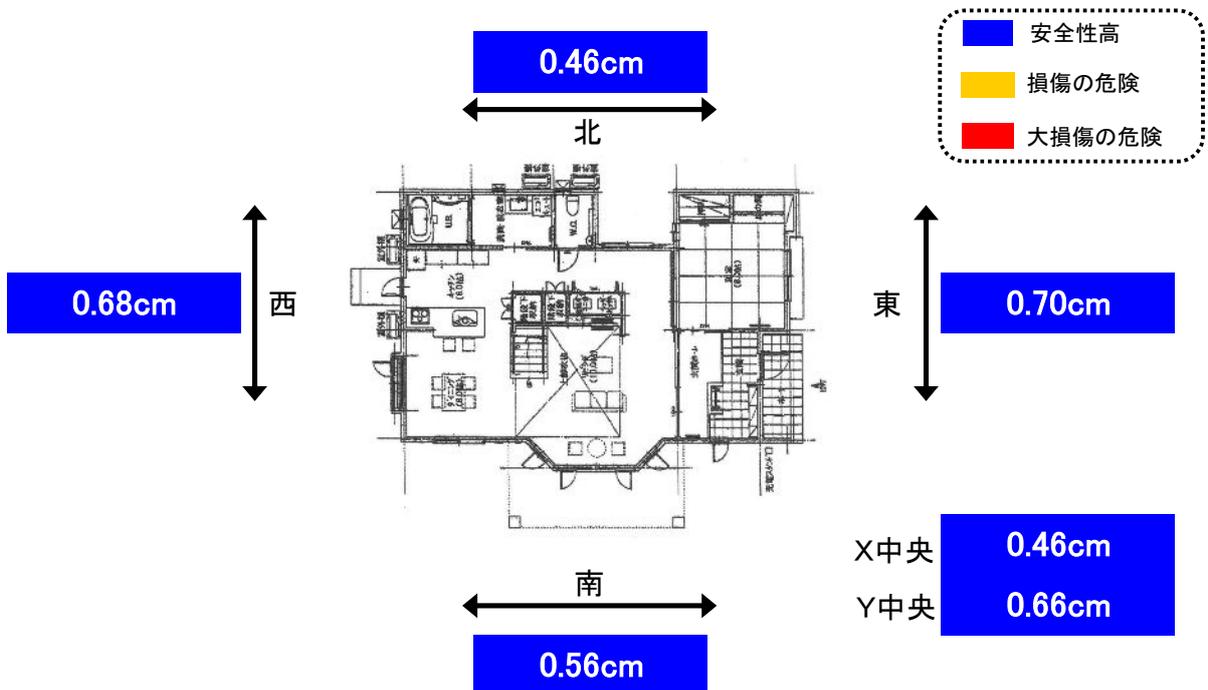


※ 本解析結果は、起振機を用いた振動解析に基づく推測値であり、実際の大地震時の建物の安全性を保証するものではありません。加速度値と実際の地震の震度とは、地震の継続時間等諸条件により一致しない場合があります。

## 想定地震における1階壁の最大ひずみ量

各地域における想定地震が仮に想定どおりに起きた場合の、建物1階部の最大変位量を表した図です。1階高さの1/120の変位(1階高さ300cmの場合2.5cm)を超えると損傷の危険が発生すると考えられます。

想定地震:陸羽地震(秋田県想定)  
地震の規模 マグニチュード7.2  
震源からの距離30km

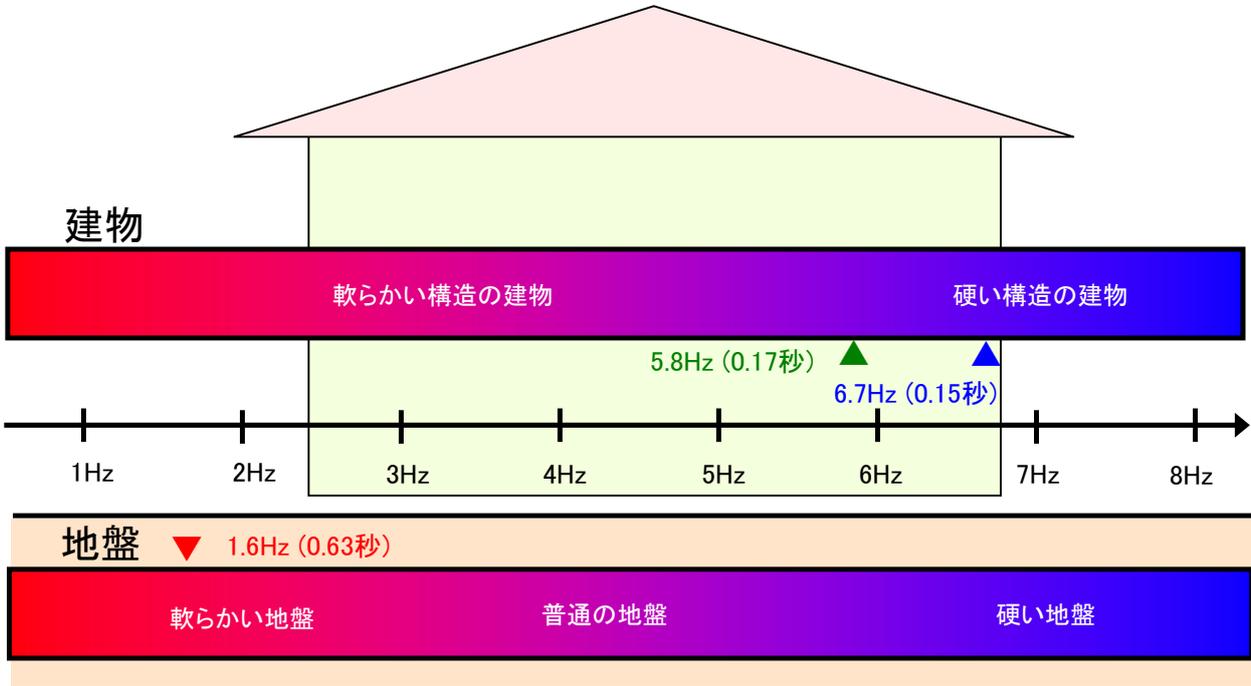


※ 本解析結果は、起振機を用いた振動解析に基づく推測値であり、実際の大地震時の建物の安全性を保証するものではありません。

## 地盤と建物の卓越周波数比較

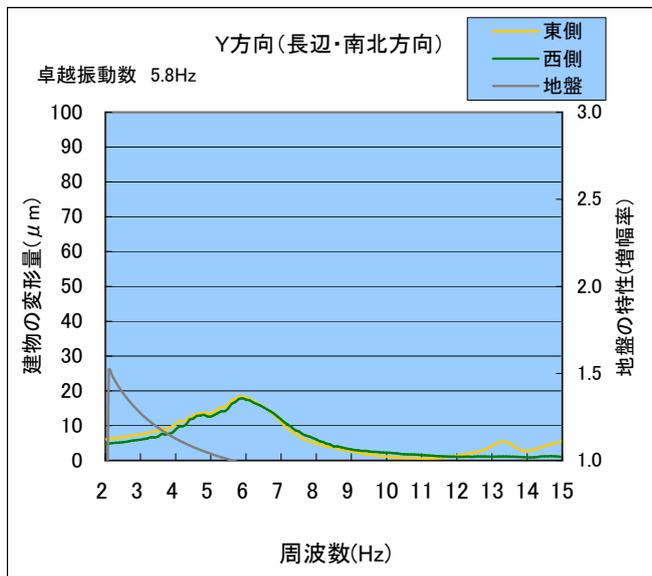
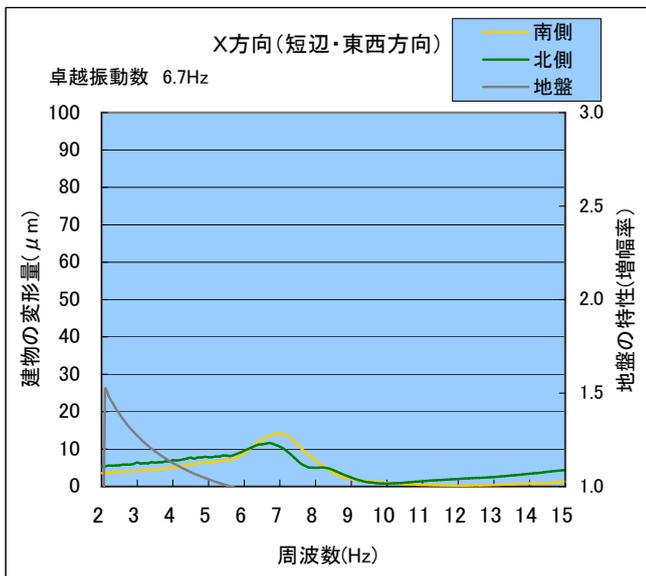
地盤と建物のもっとも揺れやすい周波数をあらわした図です。  
 地盤と建物のもっとも揺れやすい周波数が近いと、地震時に共振現象により建物が大きく揺れやすくなります。  
 共振のおそれがある場合、耐震改修の必要性がより高いと考えられます。

- ▼ 地盤の卓越周波数
- ▲ 建物X方向の卓越周波数
- ▲ 建物Y方向の卓越周波数



※ 本解析結果は、起振機を用いた振動解析に基づくものであり、実際の大地震時の建物の卓越振動数とは異なる場合があります。

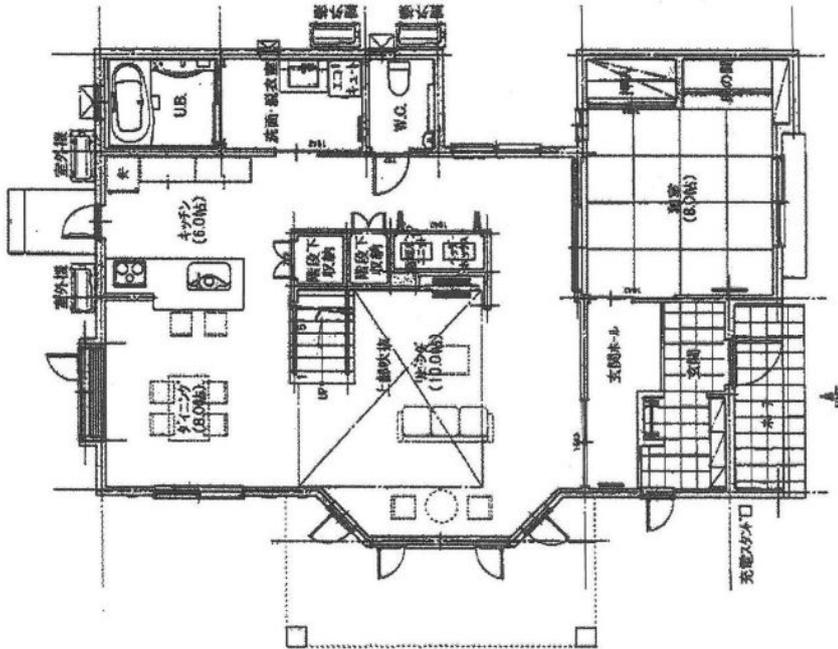
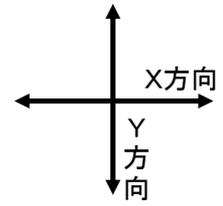
### <解析資料> 建物と地盤の周波数特性



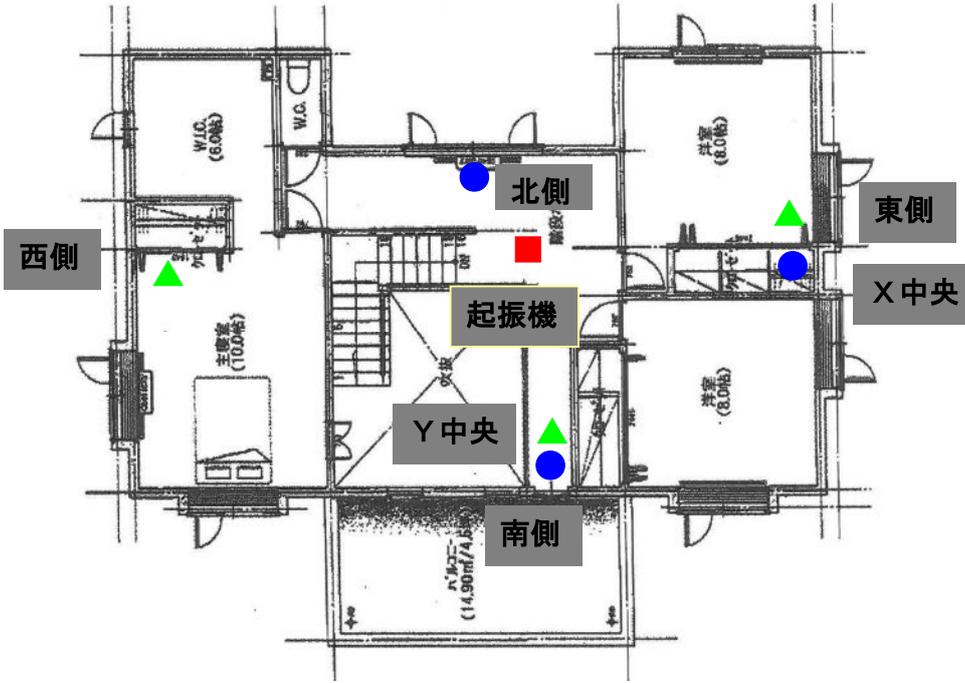
※1 各検出器の設置位置は、8ページに記載しております。

※2 変形量は、加速度検出器が検出した加速度から計算しています。

# 計測位置



1階平面図



2階平面図

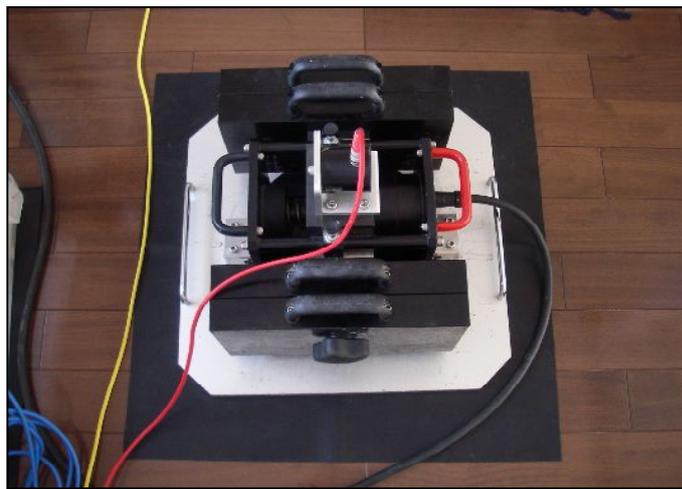
## 凡例

- 起振機設置箇所
- X方向検出器設置箇所
- ▲ Y方向検出器設置箇所

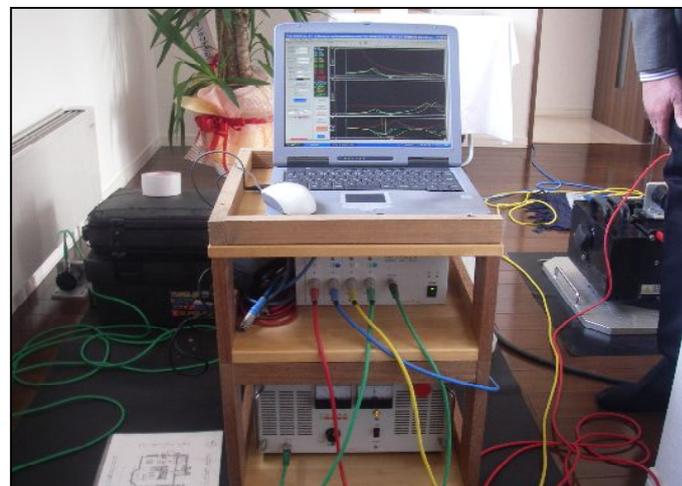
# 計測物件



# 計測機器



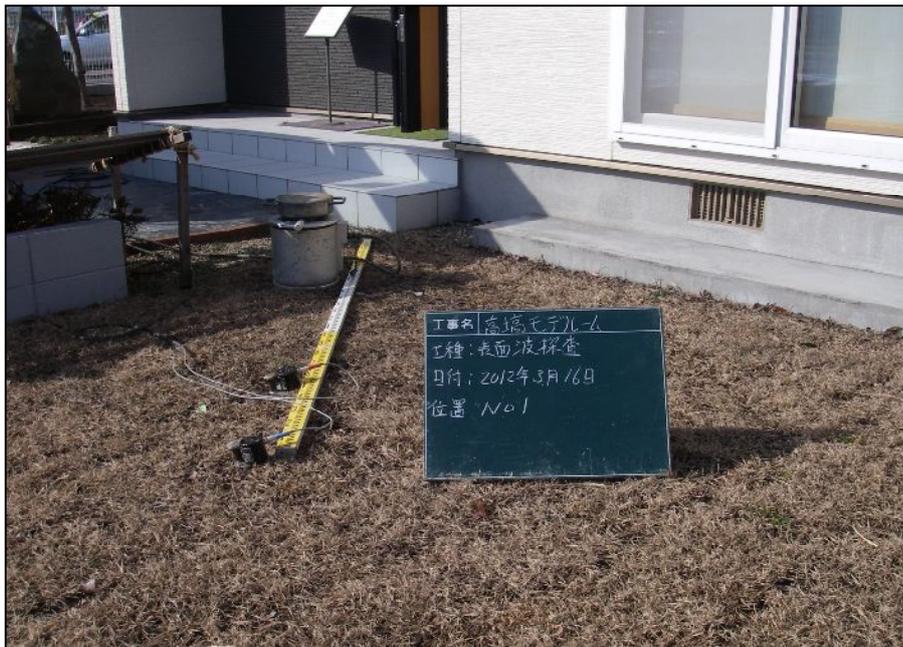
# 計測状況



## 調査状況



## 地盤固有周期測定中



## 建物の計測・解析について

### 計測の概要

水平型起振機を計測対象階(通常は1階)の上階(通常は2階)に設置し、X方向・Y方向それぞれに、20Hzから2Hzまで、0.1Hzステップでサイン波による強制起振計測(ステップサイン計測)を行った。水平型起振機の起振部質量は、105kgである。

また、加速度検出器は、1計測につき、起振機上に1点、対象建物に3点の計4点設置して計測した。

以上から、当該建物のX方向・Y方向それぞれの卓越振動数、および各加速度検出器の周波数毎の加速度を得る計測を行った。

### 動的解析における計算手法

構造物における起振機による変位共振曲線と地表面の振動による構造物の変位共振曲線では、卓越周期における振幅の近似が認められる(耐震工学入門 平井一男・水田洋司 森北出版刊)。

ここから、建物の1次卓越周波数における応答倍率Rは、起振力と建物の応答した力との比をとることにより求めることができる。

$$R = (W_h A_h) / (W_e A_e)$$

W<sub>h</sub>: 建物荷重

A<sub>h</sub>: 建物2階床で検出された加速度

W<sub>e</sub>: 起振機の荷重

A<sub>e</sub>: 起振機の加速度

また、建物固有の事情により、減衰性が特に高いと認められる場合、剛性算出にあたっては、平均減衰率を10%と仮定して応答倍率Rを算出する。

以上から、上記で得た応答倍率Rを用いて、建物1階の壁が1/120rad変位するときの地表面の加速度A<sub>g</sub>は、以下の通りである。

$$A_g = (2\pi f)^2 \cdot d / R$$

f: 建物の1次卓越周波数

d: 建物が1/120rad変位するときの1階壁の変位量(cm)

建物が1cm変位する時にかかる荷重K(kN)は、以下により求める。

$$K = ((2\pi f)^2 \cdot W_{dh}) / 980$$

$$W_{dh} = (A_g W_g) / A_h$$

## 地震の距離減衰と地盤固有周期の算出について

1. 想定条件で用いている地震の大きさに関しては以下の式を利用している。

司・翠川・松岡は、地盤特性の影響を定量的に評価し、震源特性を震源深さも考慮して評価し、震源近傍での記録を含む最新の日本の強震記録の回帰分析により、震源近傍にも適用できる地震動最大振幅の予測式を提案している。

距離減衰式を求めるために用いた回帰モデルを以下に示す。

$$\log A = b_i - \log(X + c_i) - kX$$

但し、Aは最大振幅値、Xは断面からの最短距離(km)、kは粘性減衰係数、b<sub>i</sub>、c<sub>i</sub>は地震に対して求まる回帰係数である。

次に、最大加速度の距離減衰式を地盤の影響を考慮せず求めた。c<sub>i</sub>とb<sub>i</sub>の結果は以下に示す。kは0.003に固定している。

$$c_i = 0.000493 \cdot 100.608 M_w$$

$$b_i = 0.495 M_w + AD + 0.479$$

ここで、M<sub>w</sub>はモーメントマグニチュード、ADは地震の震源深さが30km未満であれば0、30km以上60km未満ならば0.186、60km以上では0.554を与える。

(兵庫県南部地震を含む日本のデータに基づく最大地動加速度・速度の距離減衰式の予備的研究 司宏俊・翠川三郎・松岡昌志 1996)

2. 表層地盤の固有周期及び増幅度

1) 建設省告示第1457号によると表層地盤の一次卓越周期及び二次卓越周期は、それぞれ次に掲げる式によって計算する。

$$(1) T_1 = 4 \times (\sum H_i)^2 / (\sum ((G_i / \rho_i) \times H_i) \cdot 0.5)$$

$$(2) T_2 = T_1 / 3$$

これらの式において、T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、H<sub>i</sub>、G<sub>i</sub>及びρ<sub>i</sub>はそれぞれ次の値をあらわすものとする。

T<sub>1</sub> 表層地盤の一次卓越周期(単位 sec)

T<sub>2</sub> 表層地盤の二次卓越周期(単位 sec)

H<sub>i</sub> 地盤調査によって求められた地盤の各層の層厚(単位 m)

G<sub>i</sub> 地震時における地盤の各層のせん断剛性を表すものとして、地震時に生じる地盤のせん断ひずみに応じて土質ごとに別表第一に示される低減係数を次の式によって計算したG<sub>0i</sub>に乗じて得た数値

$$G_{0i} = \rho_i V_{Si}^2$$

この式においてV<sub>Si</sub>は、地盤調査によって求められた地盤の各層のせん断波速度(単位m/sec)を表すものとする。

ρ<sub>i</sub> 地盤調査によって求められた地盤の各層の密度(単位t/m<sup>3</sup>)

2) 表層地盤の一次卓越周期に対する増幅率GS1及び二次卓越周期に対する増幅率GS2は、それぞれ次に掲げる式によって計算するものとする。ただし、GS1について、建築物の損傷限界時における値が1.5を下回る場合には1.5と、建築物の安全限界時における値が1.2を下回る場合には1.2と、それぞれするものとする。

$$(1) GS1 = 1 / (1.57 \times h + \alpha)$$

$$(2) GS2 = 1 / (4.71 \times h + \alpha)$$

これらの式において、 $\alpha$ 及び $h$ は、それぞれ次の数値を表すものとする。

$\alpha$  次の式によって計算した波動インピーダンス比

$$\alpha = \sum ((G_i / \rho_i) 0.5 \times H_i) \times \sum (\rho_i \times H_i) / (\sum H_i)^2 \times (1 / (\rho_B \times V_B))$$

この式において、 $\rho_B$ 及び $V_B$ は、それぞれ次の数値を表すものとする。

$\rho_B$  地盤調査によって求められた工学的基盤の密度(単位t/m<sup>3</sup>)

$V_B$  地盤調査によって求められた工学的基盤のせん断波速度(単位m/sec)

$h$  地震時の表層地盤によるエネルギー吸収の程度を表すものとして次の式によって計算した数値(0.05未満となる場合には、0.05とする)

$$h = 0.8 \times (\sum (h_i \times W_i)) / \sum W_i$$

この式において、 $h_i$ 及び $W_i$ は、それぞれ次の数値を表すものとする。

$h_i$  地震時における表層地盤の各層の減衰定数を表すものとして地震時に生ずる表層地盤のせん断ひずみ及び土質に応じて別表第二に示される数値

$W_i$  地震時における表層地盤の各層の最大弾性ひずみエネルギーを表すものとして次の式によって計算した数値

$$W_i = (G_i / (2 \times H_i)) \times (u_i - u_{i-1})$$

この式において、 $u_i$ は、地震時における地盤の各層における最上部の工学的基盤からの相対変位(単位m)をあらわすものとする。