

# 建物の振動特性評価

浦壁浩司 (オンテック R&D)

## 1. はじめに

阪神大震災以後では一般家屋の倒壊による被害が極めて大きかったため<sup>(1)</sup>、家屋の耐震性に対する関心が急速に高まっている。また、建築学会から建物の耐震性を5段階に分けて評価することが提案されている(日経新聞1997年9月14日)。しかしながら、耐震性を評価する具体的で簡便な方法が確立されているかどうか、という問題がある。現在、耐震性を評価する方法としては、地盤・基礎、建物の形、壁の配置と割合、筋かいの有無、老朽度などから判定する方法がある<sup>(2)</sup>。この方法は比較的簡単に行えるため、数多くの一般家屋にも適用することができるが、建物の動的な振舞いを考慮する項目が欠けている。

また最近では、三階、四階建ての木造建築が作られ始めてきており、トラックの通過時などの振動により、快適な生活環境が脅かされるという問題も発生してきている。

そのように我々の生活環境が至便になる一方で不快な部分も発生するという裏腹な問題、特に振動についての問題を解決するのに、今回の発表で取り上げた「建物の振動特性評価」が役立てられればと思う。

すでに小野測器とオンテック R&D は住宅の振動特性評価装置を開発している。この装置は、常時微動と強制加振の2つの方法により建物の固有振動周期とその振動状態を測定し、建物の動的強度を評価するものである。固有周期は建物の質量と剛さの比の平方根に比例する。重く構造が柔らかい建物は固有周期が大きくなり、同じ建物の構造でも屋根を瓦に変えると重くなるために固有周期は大きくなる。同じ重さでも、壁や筋かいが十分であれば(硬さが増すことにより)固有周期が短くなる。固有周期が建物の耐震性に係わる重要な指標の一つであることは文献(3、4)にも述べられている。また、本装置は誰でも容易に使えるように設計されており、自治体や住宅メーカー、コンサルティング会社等により、住宅の振動特性を数多く測定することにより、通常の生活において住宅の外乱に対して有すべき振動特性と、さらに耐震性の定量的な評価に役立てることを目的としたものである。

ここでは、振動特性評価に必要な測定を本装置を使用して行なったので、その実例を示す。

## 2. 振動特性評価に必要な測定

### 2.1. 常時微動の測定

常時微動とは、人為的に建物を加振して起こる振動ではなく、常時存在する振動のことである。解析は加速度ピックアップとFFTアナライザがあれば可能であり、至ってシンプルな構成となる。しかし、(a)加振力に対する応答速度が求められない。(b)建物の等価質量や等価ばね定数が求められない。(c)振動が少ない場所や時間帯の場合には十分なS/N比を得にくい。等の

短所もある。

### 2.2. 強制加振による測定

機器構成は、加振力を求めるために力センサとそのアンプ系が追加となる。

この方法は、常時微動による測定の短所(a),(b),(c)を解決できる。

#### ①ハンマリング

ハンマリングとは、建物をハンマで加振して測定する方法。モード解析の測定と同じである。(住宅の振動特性評価装置はこの方法である)

#### ②加振器

加振器を使用した加振は、主に実験用住宅で見られる。建物の屋上に2台のスライド式振動発生装置を設置し、その駆動力で加振する方法などがある。

#### ③人力加振

ビルなど大きな加振力を必要とする場合に、十数人から数十人ぐらいの人によって加振する方法である。この場合リーダーの合図によって全員が同期して体重移動をする。ただし、この方法は加振力を求めることができない。

## 3. 建物の振動特性評価装置の開発

この装置は、評価に必要な建物の固有振動周期を常時微動と強制加振の2つの方法により測定し、建物の動的強度を評価するものである。

### 3.1. 装置の概要

本装置の外観および構成を図1および図2に示す。本装置は下記の3部からなっている。

#### (1) 加振部

6.5kgの鉄製のハンマーの先端に100mmのゴムのクッションを設け、柱または硬い壁の部分を衝撃加振することにより低周波振動を発生させる。加振力はハンマーの質量(6.5kg)と加速度の積から求める。弱い壁面を加振する際には板等をあてがうことにより、破損等の事故を防ぐ。(特許申請中)

#### (2) 振動計測部

高感度の3軸センサを用いて応答振動を測定する。

#### (3) 信号処理部

4chA/D変換とパソコンを用いて解析を行う。

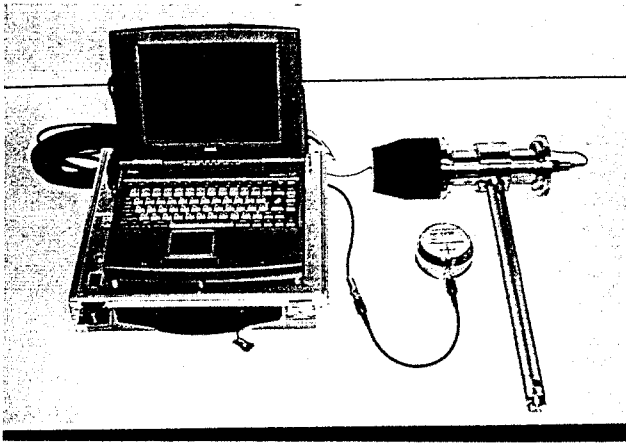


図1 振動特性測定装置外観図

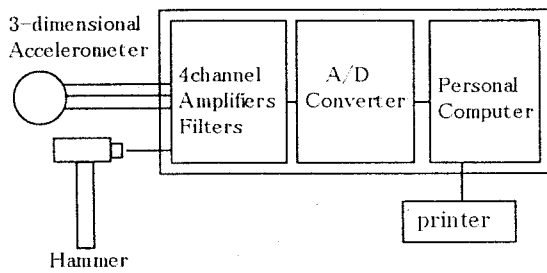


図2 振動特性測定装置の構成図

### 3. 2. 特徴

本装置は下記の特徴を備えている。

- (1) 建物の振動特性を表現する固有周期と動き易さが求められる。固有周期は強制加振と常時微動の2つの方法で求めることができ、常時微動による固有周期が求めにくい場合に強制加振方法は有力となる。
- (2) 共振モードの振動の様子を静止画を用いて分かり易く表示する。
- (3) 使用法が簡便で、携帯に便利な設計になっている(車で移動)。

### 3. 3. 加振方法

本装置の特徴の1つは加振方法にあるので、多少詳しく説明する。通常、実験モード解析で用いるインパルスハンマーはその先端に力センサを設けて、直接加振力を測定する(直接法)。今回は、家屋を低周波で加振させるため大きなハンマーを使用する必要があることや、センサの先端に適当な弾性を持ったものを取り付ける必要があることなどのため、先端に力センサを付けるとなると設計の自由度が制限される。そこで、今回は加速度センサをハンマーの後部に取り付ける方法を用いることにした(間接法)。 $F=MA$  ( $F$ : 力、 $M$ : ハンマー質量、 $A$ : ハンマー加速度) から力を求める方法である。

図3は今回の方法で加振力が正しく求められるかどうかを確認するための実験装置の構成である。校正された力センサを床

の上に置き、その上からハンマーで加振する。ハンマーには加速度センサがつけられており、力の信号と加速度信号を2チャンネルのFFTアナライザに入力する。力のチャンネルは電圧を力に換算する感度値を入力する。加速度のチャンネルには電圧を加速度に変換する係数とハンマーの質量を掛けて力の単位が得られるように感度値を設定する。

図4は図3のセットアップで得られた実験結果を示す。上の図は力センサの出力のスペクトル、下は加速度センサから求めた力である。家屋の振動特性を評価するために必要な20Hzまでは極めてよい対応を示している。低域(5Hz以下)で多少波打っているので、装置においてはその領域で5Hzから10Hzまでの領域の平均値を求め、その値を一定値として入力している。ハンマーを振り下ろす力を変えて検討した結果でも十分な直線性があることが確認された。

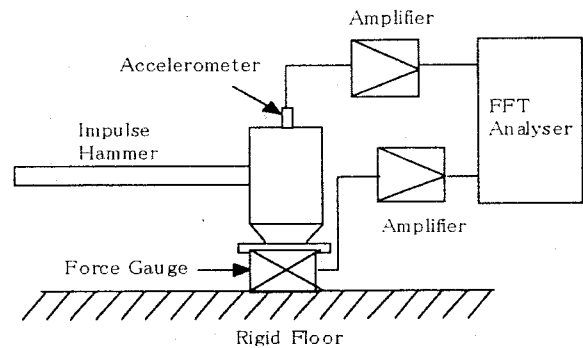


図3 加振力実験構成図

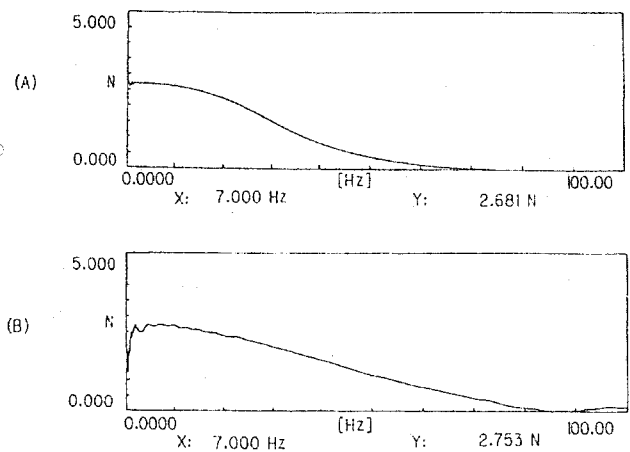


図4 加振力実験結果

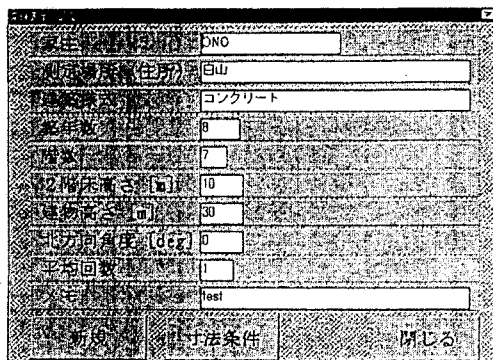
### 3. 4. 信号処理

信号処理部の仕様は下記のようにになっている。

- 1) 分解能: 16ビット
- 2) サンプリング周波数: 48kHzでオーバーサンプリングを行い51.2Hzにダウンサンプリング。
- 3) サンプリング点数: 256点(トリガー入力前20点)
- 4) 取り込み時間(窓長): 5s
- 5) 周波数分解能: 0.2Hz
- 6) 演算(FFT)処理: パソコンのCPU上で行う。

### 3. 5. 測定条件設定と測定項目

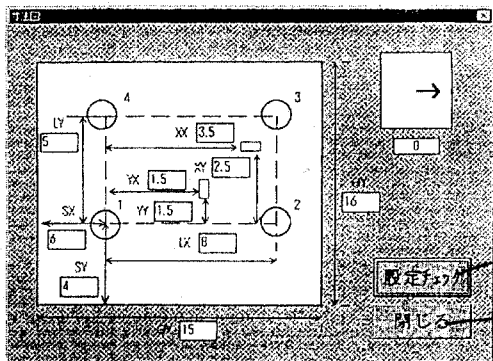
ここでは建物の諸元を図5に基づいて入力するとともに、図6の寸法設定画面により、2階(または3階)の床面をほぼ矩形で近似し、その大きさ、加振位置および応答計測位置の座標等を入力する。加振方向は横(X)および奥行き(Y)方向で行うものとし、加振位置は平面のなるべく中央付近に選ぶようにする。あるいは、特に振り振動を見たいときには中心から外れた位置で加振することも可能である。振動の応答は矩形の4隅となる4点で測定する。



家主  
測定場所、  
建築様式、  
階数  
2階高の  
建物高さ  
北方向度  
平均回数  
メモ

新規 寸法条件

図5 諸元入力画面



設定完了  
閉じる

図6 寸法設定画面

#### 3. 5. 1. 周波数応答関数の測定

予備測定で加振力および振動応答が測定できることを確認後、本測定に入る。測定でS/N比がよくない場合は平均回数を大きくとる必要がある(通常5回から10回)。ハンマー加振が正常に行われなかった場合には「やり直し」を選定し、平均に加えないようにすることができる。

#### 3. 5. 2. 常時微動の測定

常時微動は1点ずつ、3点まで測定することができる。3点の選択は例えば屋外の地表面、1階、および2階などである。表示は時間波形で見ることができ、周波数スペクトルで観測することもできる。ゲインの調整機能もあり、適切なレベルで表示することができる。

### 3. 6. 測定結果の例(住宅の振動特性)

本装置を用いて実際に住宅の振動特性を測定した結果について述べる。

#### 3. 6. 1. 周波数応答関数

図7は2階建て木造住宅の2階中央部において横(X)方向および縦(Y)方向にハンマーで柱を加振したときの加振力に対する応答加速度の大きさ(絶対値)を示したものである。横方向加振では6.6Hz、縦方向加振では3.6Hzという固有振動周波数を示している。このように、方向により共振周波数が異なる場合でも、強制加振の場合には明瞭に分離して測定することができる。横方向の加振時でも奥行き(Y)方向や上下(Z)方向にも小さな応答が発生する。水平面で加振方向に直角の応答が発生する場合は建物が非対象で、振り振動が生じやすいことを示しており、次節の静止画の表示でそれを可視化することができる。

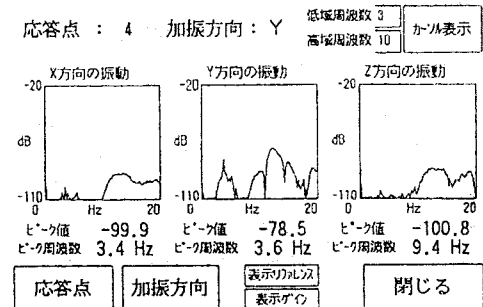
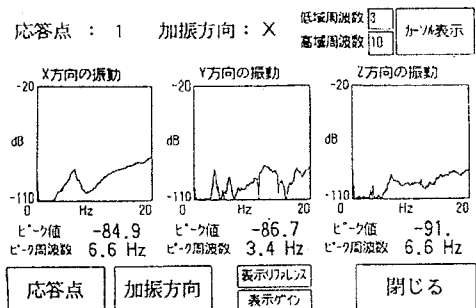


図7 木造住宅における周波数応答関数測定結果

#### 3. 6. 2. 振動のアニメーション(静止画)表示

図8は横(X)方向および奥行き(Y)方向に加振したときの建物の変形状態を示したものである。左側が横方向加振、右側が奥行き方向加振時の変形状態である。細線が静止時、太線が加振時の変位状態を示す。変位は相対的なもので、最大変位を応答の測定点で決められる矩形の長辺の1/10になるように表現している。四角は水平面上の変位、右および下の直線は右側および下の辺の変位を示す。この住宅の場合は奥行き方向での共振周波数が低いこと、横方向の加振でも奥行き方向にかなり振動することが分かる。これらの情報は耐震工事を行う上で貴重な資料となる。

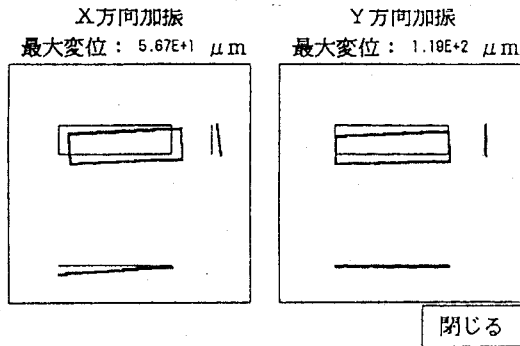


図8 基本周波数の振動モード解析結果0

### 3.6.3. 常時微動の測定

図9は図7および図8で示したものと同一住宅の常時微動による加速度振動スペクトルの例を示したものである。この例では強制加振とほぼ同じ周波数に固有振動のピークが観測されている。

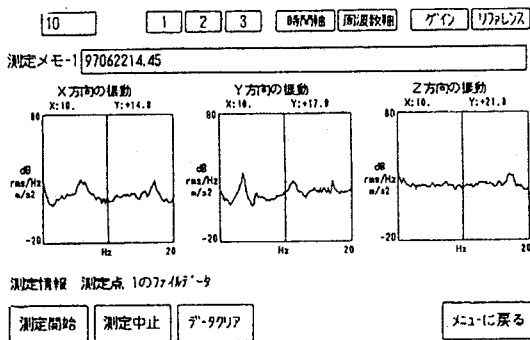


図9 常時微動による加速度振動スペクトル

### 4. 測定結果の例 (小学校校舎の振動特性)

ある公立小学校の常時微動測定を、耐震強化工事の前後で行ない、その固有周期の測定結果から工事の効果を評価した。

#### 4.1. 測定器材

測定に使用した器材は次の通りである。

- ①振動レベル計 VR5100 3台
- ②FFTアナライザ CF6400 1台
- ③DATレコーダ PC208A 1台

#### 4.2. 常時微動の測定

図10と図11に、耐震強化工事の前後で測定した固有振動数の周波数スペクトルの一例を示す。その結果からは、耐震強化工事の前後で固有振動数に変化(固有周波数が高くなる=固有周期が小さくなる)が見られ、工事の効果を確認することができた。

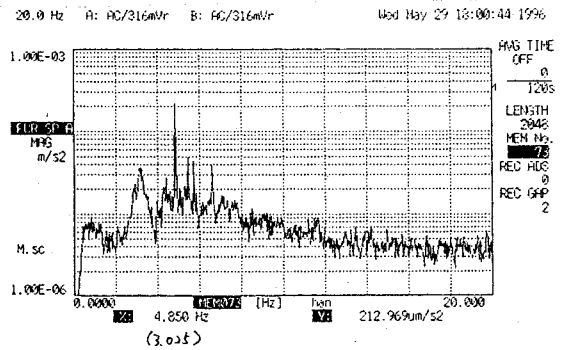


図10 耐震強化工事前の常時微動のスペクトル

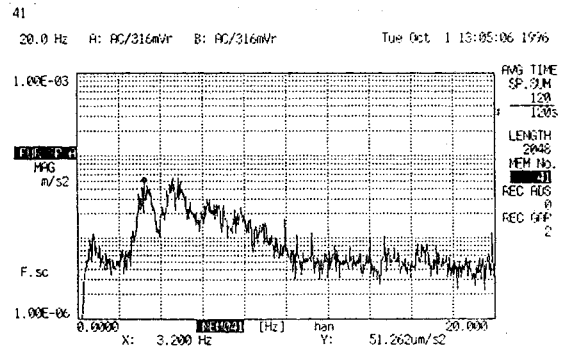


図11 耐震強化工事後の常時微動のスペクトル

## 5. まとめ

我々をとりまく生活環境の中で、特に住宅については生活に密着しているだけに、振動公害が発生すると深刻な問題である。

それら外部からの振動に対して、住宅がどのような振動特性を持っているのか、あるいは揺れ易さはどうなのかを評価する指標として、固有周期の測定が有効な手段の一つとわかった。

ここで紹介した「建物の振動特性測定装置」は、その固有周期を測定し、古い住宅の耐震性の診断、新規建設時の振動特性の評価、さらに地盤振動の大きい地点での住宅の振動の大きさの評価などを、現場において簡易に行える装置である。このような装置を用いて現場での住宅の振動特性を大量に収集し、そのデータの統計的な処理により、耐震性を振動特性の面から評価する方法も可能になってくるものと思われる。

## 文献

- (1) 坂本功監修、阪神大震災に見る木造住宅と地震、鹿島出版会、1997.
- (2) 建設省住宅局監修、木造住宅の耐震精密診断と補修方法、日本建築防災協会、1995.
- (3) 小原勝彦、宮澤健二、木造住宅の壁量、地震被害と固有周期について、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、1997.9.
- (4) 下郷太郎、鈴木英男、ハンマリングによる木造家屋の耐震性評価、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)、22115、227-228、1998.9.