

模擬微動を用いた建物の基本的動特性の抽出法

Extracting Method of Basic Dynamic Characteristics of the Building by Using Simulated Microtremor

鯉沼 優仁¹⁾ 中村 圭佑¹⁾ 吉田 長行²⁾

Masahito Koinuma, Keisuke Nakanura, and Nagayuki Yoshida

¹⁾ 法政大学大学院デザイン工学研究科建築学専攻

²⁾ 法政大学デザイン工学部建築学科

In recent years, construction-related laws and regulations of Japan have always been amended from the reason of falsification of earthquake-resistance data and a great earthquake disaster etc. Thus, people are interested in earthquake-proof by gradation. However, the evaluation of the seismic performance of buildings is expensive and takes much time. Therefore, the low cost evaluating method is needed. The purpose of this study is to investigate the validity of some kinds of methods which can obtain the basic structural information such as natural period and dumping factor from microtremor observation. As a result, the efficiency of random decrement (RD) method with a moving average is made clear.

Keywords : Natural period, Dumping factor, Simulated microtremor, RD method

1. はじめに

近年、日本では震災や耐震強度偽装事件などを背景に、建築関連法規の改正が行われている。1981年に行われた建築基準法改正で設けられた基準は新耐震基準、これ以前のは旧耐震基準と呼ばれる。1995年の阪神淡路大震災の際には、旧耐震基準のものが多くが倒壊し、新耐震基準のものは大きな被害を免れている。こうした経験から、法改正以前に建てられた既存の建物の耐震性の確保が大きな課題となっている。

建築物の耐震性能を評価する耐震診断には一次診断、二次診断、三次診断があり、各診断法で共通することは、設計図面が必要であることである。もし、設計図面を紛失した場合、復元する必要があるが、そのためには多大な時間と費用がかかることになる。これらの問題を解決するために、安価で簡易的に建物の構造概要を推定し、耐震診断の基礎資料を得る手法の確立が求められている。その手法の一

つとして建物の常時微動を観測することにより振動特性を把握する方法がある。

本研究の目的は、常時微動下の建物を観測し、そのデータを基に建物の振動特性を探り、構造諸量を同定するプロセスを構築することである。しかし、既往の分析手法により求めた固有周期、減衰定数には真の値と誤差が生じていた。そこで、その値がどの程度真の値を捉えているのかをあらかじめ評価しておく必要がある。さらには、より精度の高い推定法の開発も必要となる。本研究では、模擬微動を用いた既存の分析手法の性能評価及びその定性的傾向の把握とより精度の高い推定法の開発を行った。

2. 研究課程

- (1) 建物、地盤の加速度時刻歴波形を模擬微動で作成。
- (2) 建物、地盤の加速度時刻歴の差から建物の相

対応答を算出し、それに RD 法を施し固有周期、減衰定数を求める。

- (3) それぞれの加速度波形に移動加算平均高速フーリエ変換を施して周波数領域とし、その差を求め、それをフーリエ逆変換で時刻歴に戻し、RD 法を施して固有周期、減衰定数を求める。
 - (4) それぞれの結果を比較、考察し手法の適正を評価する。
- 研究課程のフローを図 1 に示す。

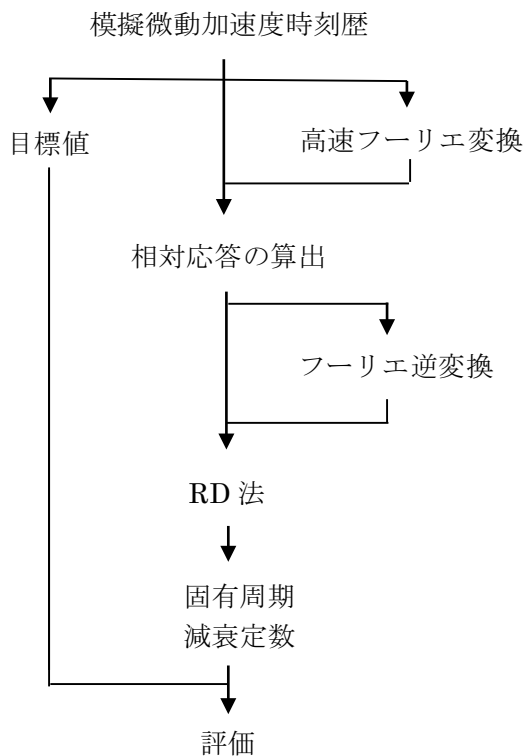


図 1 研究課程
Fig.1 Research Process

3. 移動加算平均 FFT

長時間の恒常的な時刻歴波形データが得られている場合、FFT(Fast Fourier Transform: 高速フーリエ変換)を全区間に適用しても、扱う周波数の上限が延びるだけで分析に必要な高い周波数領域の情報を無駄に得ることになる。それに加えて時刻歴波形に含まれるノイズを多量に取り込むためにピークの抽出を困難にする。これを避けるため、時刻歴データを小区間に分割し、これに FFT を適用して平均を取る方法が有効である。その際、その始点を半区間ずつずらす移動加算平均法が有効であるとされる。

1 区間を N 個とし、L 回繰り返した移動加算平均の結果は式(1)となる[4]。

$$X(\omega_i) = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L X(\omega_i) \quad (i=1,2, \dots, N) \quad (1)$$

4. RD 法

本研究では、対象建物の減衰定数並びに固有周期を算出する際に RD 法を用いる。

建物頂部における常時微動の応答 $X(t)$ を建物の自由振動 $D(t)$ とランダムな外力 $F(t)$ による強制振動 $R(t)$ との和で表現できると仮定した場合、応答 $X(t)$ の時系列波形を $t=0$ に極大値となるように並べ時刻歴を重ね合わせると $\sum Xi(t)$ のうちランダムな極大値 Pi の和 $\sum Pi(t)$ を初期振幅する自由振動波形となり式(2)で表せる[1] [2]。それによって、図 2 のような波形を図 3 のように変換できる。

$$\sum Di(t) = (\sum Pi) \exp(-h\omega t_0) \cdot \cos \sqrt{(1-h^2)\omega t_0} \quad (2)$$

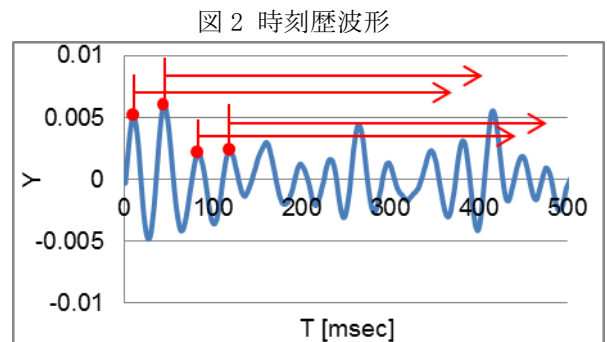


Fig.2 Time History Waveform

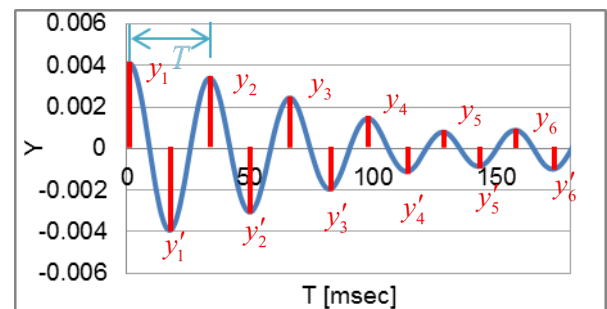


図 3 RD 法による時刻歴波形
Fig.3 Time History Waveform by RD Method

振幅比 d と減衰定数 h との関係は式(3)(4)のように

表される。 $\ln d$ は対数減衰率と呼ばれる。固有周期 T は、各極大値から極大値までの1周期となる。

$$d = \frac{y_1}{y_2} = \frac{y_2}{y_3} = \dots \quad (\text{片振幅})$$

$$= \frac{y_1 + y_1'}{y_2 + y_2'} = \frac{y_2 + y_2'}{y_3 + y_3'} = \dots \quad (\text{全振幅}) \quad (3)$$

$$= e^{h\omega T} = e^{2\pi\omega/\sqrt{1-h^2}}$$

$$h \approx \frac{\ln d}{2\pi} \quad (4)$$

5. 解析結果

ここでは実際に作成した模擬微動を用いて解析を行う。時間領域で作成された地盤の微動は減衰定数 0.05 であり、固有周期が 0.3S、0.4S、0.5S の3種類の波形を作成し、それぞれ A 波、B 波、C 波とし、それが加わった建物を図4の1質点系モデルと仮定し、その地震応答波形の減衰定数を 0.05、固有周期を 0.3S として作成した。表1を解析結果の目的関数とし、解析を行う[3][4]。

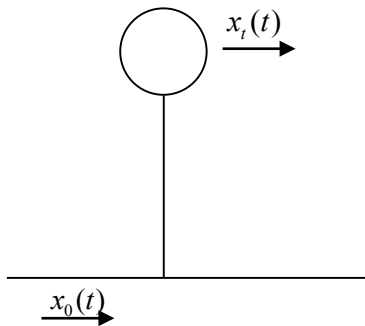


図4 1質点減衰モデル
Fig.4 Model of One Mass Damping System

表1 目的関数

Table.1 Objective Function

		A波	B波	C波
模擬微動 加速度	減衰定数	0.05	0.05	0.05
	固有周期	0.3	0.4	0.5
地震応答 加速度	減衰定数	0.05	0.05	0.05
	固有周期	0.3	0.3	0.3

5.1 相対応答 RD 法

抽出手順

- (1) 地盤と建物頂部それぞれの絶対加速度時刻歴の差を求める
- (2) RD法による重ね合わせによる自由振動解の抽出

RD法により重ね合わせた結果を図5~7に記す。表2がその結果である。

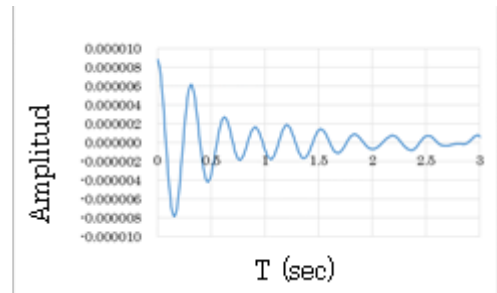


図5

A波のRD法による時刻歴波形

Fig.5 Time History Waveform A by RD Method

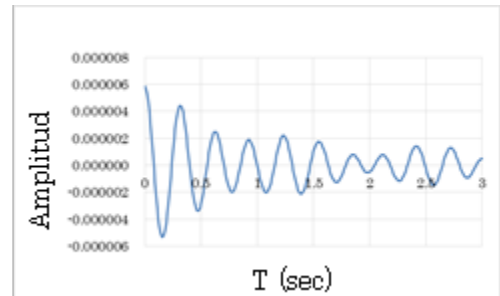


図6 B波のRD法による時刻歴波形

Fig.6 Time History Waveform B by RD Method

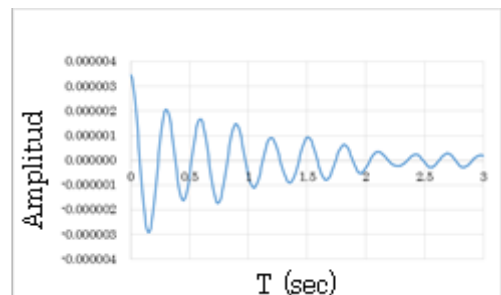


図7 C波のRD法による時刻歴波形

Fig.7 Time History Waveform C by RD Method

表 2 解析結果

Table.2 Analytical Result

		A 波	B 波	C 波
目標値	減衰定数	0.05	0.05	0.05
	固有周期	0.3	0.3	0.3
解析結果	減衰定数	0.06	0.058	0.055
	固有周期	0.313	0.303	0.299

5.2 移動加算平均 RD 法

抽出手順

- (1) 地盤の絶対加速度時刻歴の移動加算平均高速フーリエ変換
- (2) 建物頂部の絶対加速度時刻歴の移動加算平均高速フーリエ変換
- (3) 地盤と建物頂部それぞれの移動加算平均高速フーリエ変換結果の差を求める
- (4) フーリエ逆変換によって時刻歴波形に変換
- (5) RD 法による重ね合わせによる自由振動波形の抽出

地盤の加速度波形に移動加算平均高速フーリエ変換を施した絶対値波形を図 8～10 に記す。

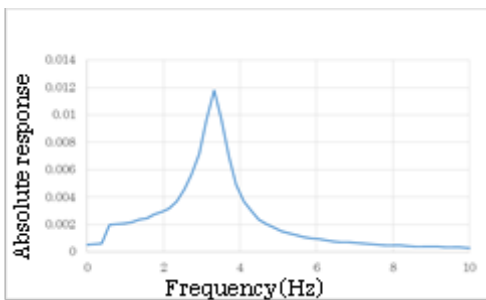


図 8 A 波の FFT による周波数波形
Fig.8 Frequency Waveform A by FFT

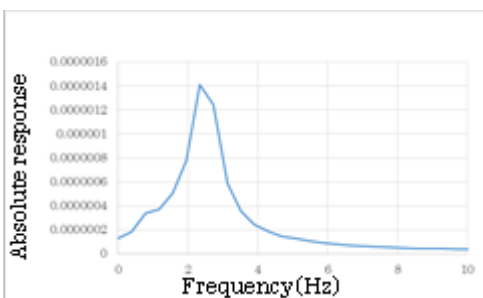


図 9 B 波の FFT による周波数波形
Fig.9 Frequency Waveform B by FFT

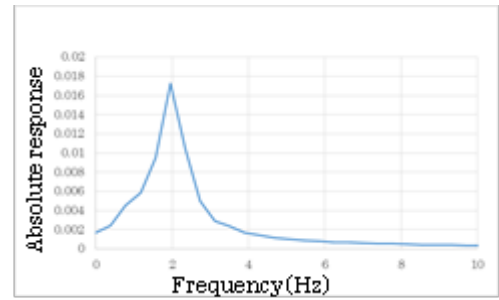


図 10 C 波の FFT による周波数波形
Fig.10 Frequency Waveform C by FFT

RD 法による自由振動波形の抽出結果を図 11～13 に記す。表 3 がその結果である。

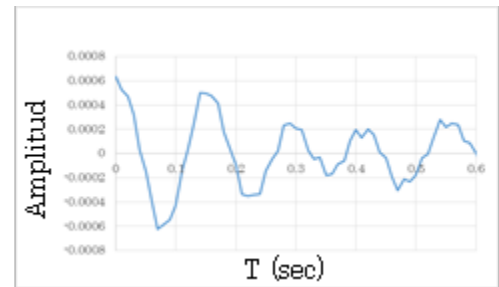


図 11 A 波の RD 法による時刻歴波形
Fig.11 Time History Waveform A by RD Method

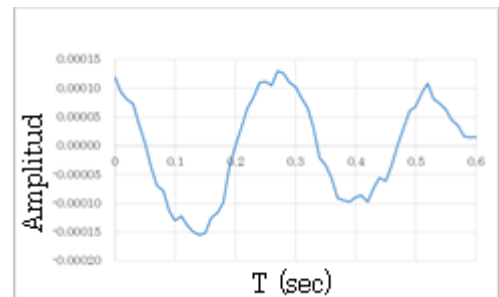


図 12 B 波の RD 法による時刻歴波形
Fig.12 Time History Waveform B by RD Method

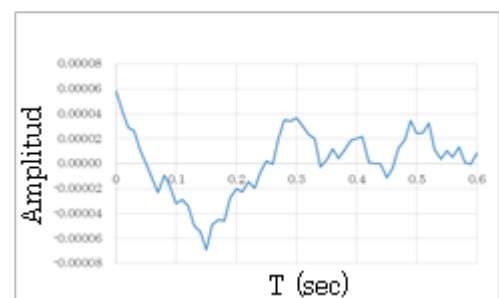


図 13 C 波の RD 法による時刻歴波形
Fig.13 Time History Waveform C by RD Method

表 3 解析結果

Table.3 Analytical Result

		A 波	B 波	C 波
目標値	減衰定数	0.05	0.05	0.05
	固有周期	0.3	0.3	0.3
解析結果	減衰定数	0.036	0.034	0.071
	固有周期	0.3	0.32	0.32

6. 結論

移動加算平均

移動加算平均を用いて高速フーリエ変換を行うことでより長い観測波形を変換しても波形が滑らかになったことから、本手法は固有周期の算出において十分有効であると言える。しかし、減衰定数算出に関しては良好な結果を得ることはできなかった。絶対値の波形から時刻歴波形を取り出す際の工夫を考案していく必要がある。

相対応答 RD 法

固有周期は概ね良好な結果を得ることができた。減衰定数については 10~20%という誤差の範囲を明確にすることができた。また、微動と建物の固有周期が離ればその誤差は小さくなる傾向であることも分かった。ノイズを含む実際の観測波形での検証が今後の課題である。

参考文献

- [1]田村幸、佐々木淳、塚越治夫著“RD 法による構造物のランダム振動時の減衰評価”、日本建築学会構造系論文報告集、第 454 号、pp。29-38、1993 年
- [2]柴田明徳、“最新耐震構造解析 第 2 版”、森北出版株式会社、1981 年
- [3]大崎順彦、“新・地震動のスペクトル解析入門”、鹿島出版会、1997 年
- [4] 島津奨、鈴木大樹、村田拓也“常時微動観測による建物の動的解析に関する研究—東京都武蔵野市聖徳学園 1 号館—”、法政大学デザイン工学部卒業論文、2016 年