

常時微動観測による建物の同定問題

Identification Problem of Building by Microtremor Observation

秋元 一成¹⁾ 吉田 長行²⁾
 Kazunari Akimoto and Nagayuki yoshida

¹⁾ 法政大学大学院工学研究科建設工学

²⁾ 法政大学デザイン工学部建築学科

The vibrational characteristic of a building of three stories is investigated by both of observation and numerical analysis. Observation is performed by microtremometers with high sensitivity set on the floor in the building at midnight. The obtained data is analyzed through F.T.T. to evaluate the natural period and vibrational mode. On the other hand, structural model for F.E.M. analysis is made from design plan in detail on mass and rigidity of beams, columns and bearing walls. Finally numerical results of eigenvalue analysis for models are compared with those of F.T.T.

Keywords : Microtremor, Identification Problem, Vibration, F.F.T., F.E.M.

1. はじめに

本研究では、表層地盤と建物の振動特性を考慮して法政大学市ヶ谷田町キャンパス別館の同定問題を扱った。建物の固有周期に着目し、常時微動観測を行い数値解析の結果と比較・検討を行う。

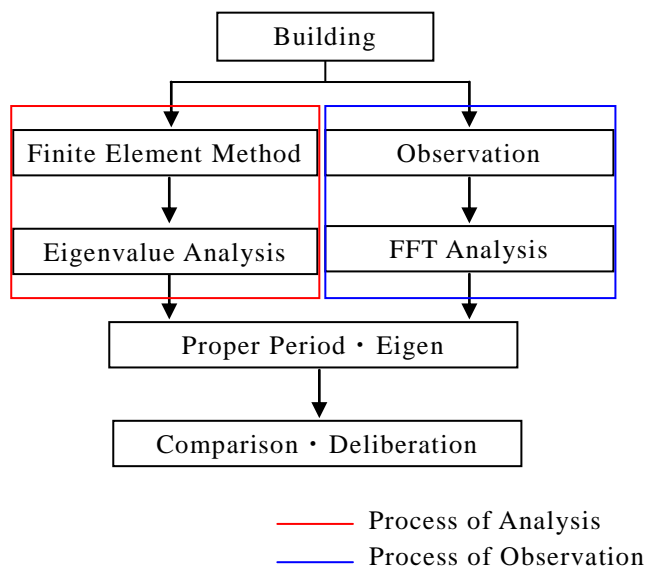


Fig.1 Process of Study

2. 対象建物・観測点

新宿区市ヶ谷田町に立地する RC 造 3 階建ての本校舎は 1962 年の竣工から築 47 年が経過している。建物は平面、断面共にほぼ左右対称である。桁行方向が 30m、梁間方向で 10m あり、各階 10~12 の部屋が軽量鉄骨間仕切壁によって分けられている。耐震壁は 1 階から 3 階の中央のコア部分と 2 階の 2 箇所に設けられている。構造体の主な寸法は、柱 350×350mm、梁 330×350mm、壁厚 120~150mm、スラブ厚 120mm となっている。



Photo1 Externals of Building for Observation

3. 骨組解析モデル

長手方向で4か所、短手方向で12か所の構面をモデル化した。質量等が各構面ごとにそれぞれ大きな違いが見られた。耐震壁はブレース置換を行う。

3.1 質量計算

建物の同定問題を研究するにあたり、法政大学田町校舎別館の建物の質量を測量した。手順としては、図面をCADで作成し、CADデータを基に面積・体積の算定を行った。その後、各材料の比重を掛け合わせることで質量を求めた。各材料の比重はTable 1のようにになっている。

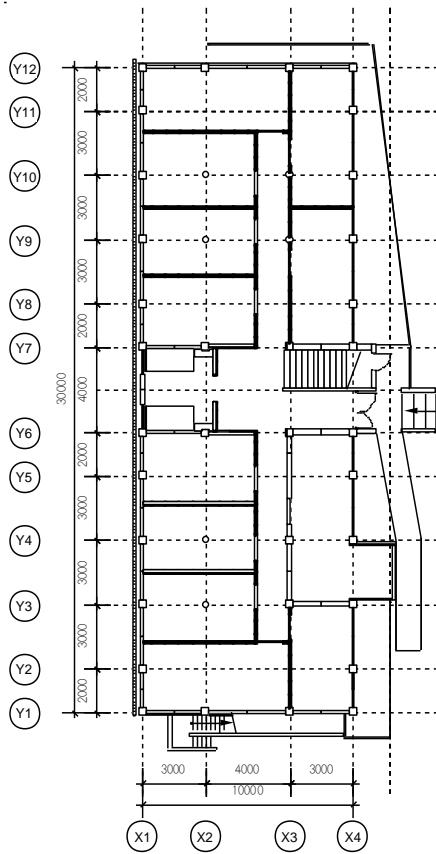


Fig.2 1F plan

Table 1 Specific Gravity of Building Materials

使用材料	比重
鉄筋コンクリート	2.4
鉄骨	7.8
石膏ボード	0.75
ステンレス	7.82
アルミ	2.68
ガラス	2.48

以上の方法により算定した建物の質量をTable 2とTable 3に示す。

Table 2 Total Weight of Each Floor

躯体質量		
1F	298.4553	t
2F	287.0674	t
3F	231.8021	t
合計	817.3248	t

Table 3 Other Weights

その他		
スチール手摺	4.6650	t
ステンレスサッシ	8.2638	t
アルミサッシ	7.5973	t
アルミパネル	0.7357	t
アルミルーバー	0.8315	t
ガラス	2.7410	t

3.2 耐震壁のブレース置換

ブレース置換法^[2]は、壁を一組のブレースに置き換える方法で、ブレース軸力の水平方向成分が耐震壁の負担水平力をあらわすと考え、図のように置換する。

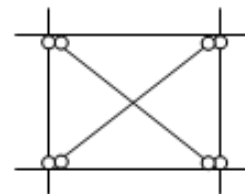


Fig. 3 Brace Model for Resistance Wall

4. 常時微動観測

地盤や構造物はごくわずかではあるが常に振動している。この微少な振動のことを常時微動と呼ぶ。常時微動の発生原因は風、波浪といった自然現象や、交通機関や工場など各種の人間活動によるものであり、それらが複雑に混ざり合っているため発生源を特定することが難しい振動である。それゆえに、様々な振動数帯域の振動成分を含んでおり、常時微動を適切に計測して分析することにより、地盤や構造物の振動性状(剛性、減衰特性など)を抽出することができる。振動の周期としては、0.1秒から数秒程度のものが常時微動の対象である。

4. 1 測定機器

常時微動観測には低周波の微振動を測定できる、微小振動測定用機器、3軸微振動検出器を使用した。本器は3方向のサーボ型加速度計を用いて建物のX、Y、Z方向の微振動(DC加速度/AC加速度/VEL速度/DISP変位切り換え付)を検出し、その波形を3チャンネルレコーダに取り込んだ後CFメモリを使用してパソコンにデータを転送する事が可能なシステム(昭和測器)である。



Photo 2 Three Axis Vibrograph

Table 4 Specification of Equipment

形式	MODEL-2205
検出部	3方向サーボ型加速度計 加速度出力感度 : 2V/(9.8 m/s ²) 加速度分解能 : 5×10 ⁻⁶ G(5 μG)以下
出力方式 (3軸共)	加速度モード(AC&DC) : 5V(10 m/s ²) 速度モード : 5V/10mm/s 変位モード:5V/100 μ mp-p
周波数範囲 (3軸共)	DC加速度モード : DC~100Hz(±10%) AC加速度モード : 0.5~100Hz(±10%) 速度モード : 1~100Hz(±10%) 変位モード : 1~100Hz(±10%)
出力端子	R01型6ピンコネクタ
ACノイズ	10-3m/s ² 以下
DCオフセット	±5mV以下
対衝撃	1000 m/s ² (5ms)

4. 2 観測条件

常時微動観測は9月3日、10月7日、10月17日に行った。各日とも観測は深夜0時を過ぎ

て外部の交通量が少なくなる時間帯で行った。

常時微動による建物の共振は、100Hz以下の範囲で卓越すると考えられるので、サンプリング周波数は100Hzに設定した。また建物の西側に位置する道路は昼間から深夜遅くにかけて交通量が多く、交通による人工加震の影響が少なからず出ていると考えられる。

4. 3 観測点

振動計はY軸の鉛直構面で質点系を考えたY3通りからY10通りの8箇所と、X軸の鉛直構面で質点系を考えたX2通り、X3通りの2箇所、計10箇所に設置した。Y軸通り芯上では、振動計は通路に設置した。測定に用いた振動計は3個で、各観測点で1F、2F、3Fの3箇所に設置し、X方向、Y方向の2方向でデータを同時に取った。観測点をFig.4に示す。

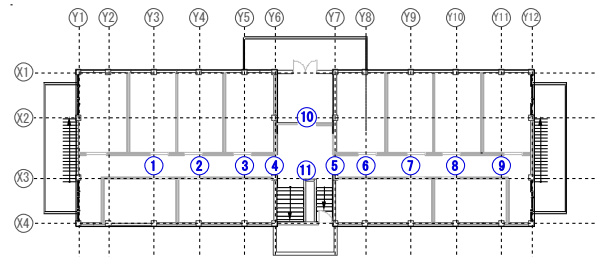


Fig. 4 Observation point

5. 解析・観測結果

5.1 概要

プログラムによる2次元骨組解析^[1]の結果を以下に示す。長手方向で4か所、短手方向で12か所の骨組での解析と各方向それぞれの剛性マトリックス質量マトリックスの総和の解析を行った。インプットデータはTable 5に示す。なお、Tばり係数は $\phi=2$ ^[2]とした。

Table 5 Material Data of Building

2次元平面骨組特性	
柱	ヤング率: $E=2.06 \times 10^3 \text{ kN/cm}^2$ 断面積: $A=1225 \text{ cm}^2$
梁	断面2次モーメント: $I=125052 \text{ cm}^4$ ヤング率: $E=2.06 \times 10^3 \text{ kN/cm}^2$ 断面積: $A=1155 \text{ cm}^2$
耐震壁	断面2次モーメント: $I=104816 \text{ cm}^4$ ヤング率: $E=2.06 \times 10^3 \text{ kN/cm}^2$ 壁厚: $t=15 \text{ cm}$ ポアソン比: $\gamma=0.25$

5.1.1 各構面別骨組解析

各構面別に解析した結果を示す。構面ごとにモデル化を行うと、それぞれ特徴が大きく異なっており、その点が解析結果にも顕著に現れている。

Table 6 Proper Period & frequency X1

X1	period	frequency
1st mode	0.3702	2.7015
2nd mode	0.1023	9.7760
3rd mode	0.0513	19.4976

Table 7 Proper Period & frequency X2

X2	period	frequency
1st mode	1.1823	0.8458
2nd mode	0.4387	2.2795
3rd mode	0.4382	2.2822

Table 8 Proper Period & frequency Y1

Y1	period	frequency
1st mode	0.0676	14.7838
2nd mode	0.0284	35.2051
3rd mode	0.0222	45.0993

Table 9 Proper Period & frequency Y2

Y2	period	frequency
1st mode	0.8605	1.1621
2nd mode	0.2551	3.9196
3rd mode	0.1386	7.2133

Table 10 Proper Period & frequency Y3

Y3	period	frequency
1st mode	0.4245	2.3557
2nd mode	0.2217	4.5108
3rd mode	0.0599	16.7057

Table 11 Proper Period & frequency Y6

Y6	period	frequency
1st mode	0.1355	7.3778
2nd mode	0.0391	25.5894
3rd mode	0.0317	31.5616

5.1.2 各構面総和骨組解析

各構面における質量マトリックス、剛性マトリックスの総和を解析した結果を示す。構面ごとにモデル化を行うと、それぞれ特徴が大きく異なる。そのため、各構面のマトリックスの総和を行うことで、複数のモデルが集約される。

Table 12 Proper Period & frequency Σ X

Σ X	period	frequency
1st mode	0.3628	2.7558
2nd mode	0.0532	18.7622
3rd mode	0.0461	21.6513

Table 13 Proper Period & frequency Σ Y

Σ Y	period	frequency
1st mode	0.1187	8.4241
2nd mode	0.0515	19.4054
3rd mode	0.0497	20.0981

5.1.3 考察

各構面特徴が大きく異なるため、その影響が解析結果にも顕著に見られた。Y1, Y6, Y7, Y12のような耐震壁が含まれる構面では固有周期が低い。これは耐震壁のブレース置換の影響と思われる。各構面の総和によって求めた固有周期では、X方向, Y方向ともに妥当な結果を得ることができた。

5.2 観測結果

観測結果を分析, 考察した。記録の分析は人や交通振動等のノイズ部分を避けて、時系列の良好な記録部分を選び出して行った。

5.2.1 常時微動観測結果

スペクトルのピークが色の付いたポイントで表され、数値を読み取ることができる。観測結果は①~⑩の観測点でほぼ同様なピークを確認することができた。そのため、Y6構面におけるX方向, Y方向の波形データをフーリエ変換(FFT法)して得たフーリエスペクトルを示す。以下のグラフは横軸, 縦軸共に1目盛で5Hz刻みとなっている。

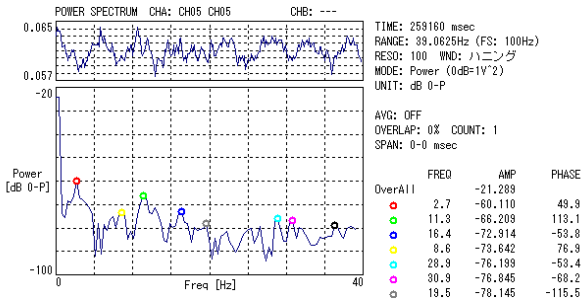


Fig. 5 Observation Point④ Y6line Direction-X 3F

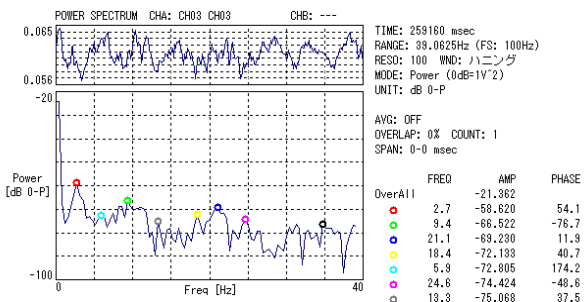


Fig. 6 Observation Point④ Y6line Direction-X 2F

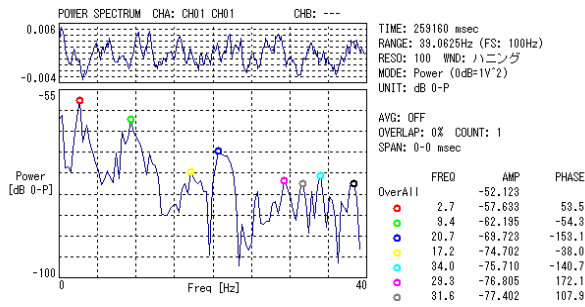


Fig. 7 Observation Point④ Y6line Direction-X 1F

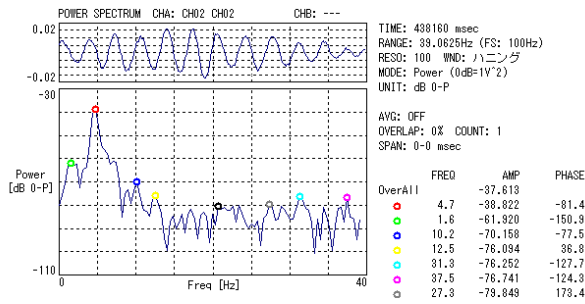


Fig. 8 Observation Point④ Y6line Direction-Y 3F

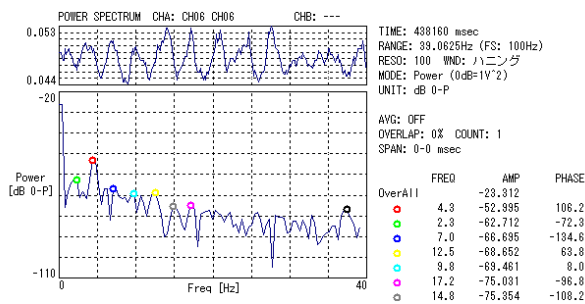


Fig. 9 Observation Point④ Y6line Direction-Y 2F

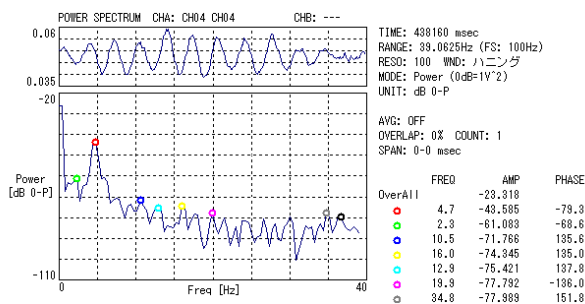


Fig. 10 Observation Point④ Y6line Direction-Y 1F

5.2.2 考察

X方向では1次ピークは2.7Hzから3.1Hzに顕著に見ることができる。2次ピークには多少のばらつきが見られるが、9.4Hzから10.2Hzの付近で卓越している。1次ピークは4.7Hzに顕著に現れている。2次ピークは9.8Hzから10.2Hzの付近に見られる。X方向、Y方向の波形を比較すると、X方向の固有周期がY方向より長いことが

明らかである。これは建物のX方向のスペンが長く、柱の本数が少ないことから、建物X方向が軟らかいことがよくわかる。

5.3 解析・観測結果総合評価

実測によって得られたデータと解析によって得られたデータを比較する。対象は固有振動数と固有周期で3次まで、固有モードで1次までの検討を行った。各観測点で顕著な卓越振動数を確認することができ、またその値も類似していた。そのため以下に表示するグラフはX構面、Y構面それぞれ代表的な観測点でのフーリエスペクトルである。解析結果は構面によって値の差が大きくなっているため、特徴的な構面を表に示す。

5.3.1 X構面総合評価

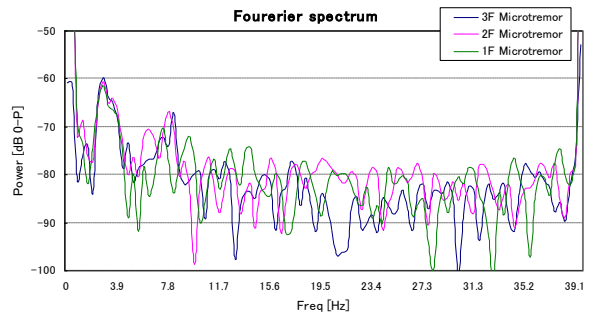


Fig. 11 Fourier Spectrum X

Table 14 Observation & Analysis X

	1st mode	2nd mode	3rd mode
frequency			
Observation	2.7	9.4	22.7
Analysis X1	2.7015	9.7760	19.4976
Analysis X2	0.8458	2.2795	2.2822
Analysis Σ X	2.7558	18.7622	21.6513
period			
Observation	0.3703	0.1064	0.0441
Analysis X1	0.3702	0.1023	0.0513
Analysis X2	1.1823	0.4387	0.4382
Analysis Σ X	0.3628	0.0532	0.0461

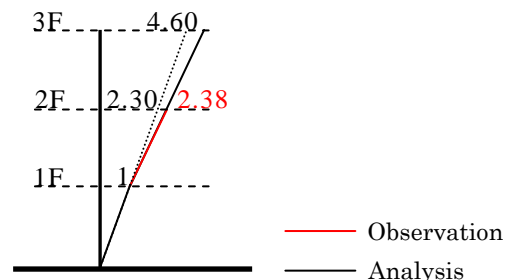


Fig. 12 Mode of Observation & Analysis Σ X

5.3.2 Y 構面総合評価

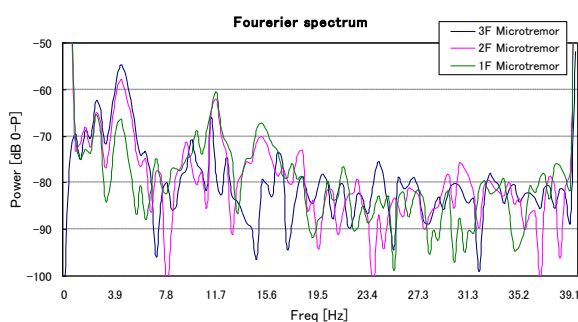


Fig. 13 Fourier Spectrum Y

Table 14 Observation & Analysis Y

	1st mode	2nd mode	3rd mode
frequency			
Observation	4.7	10.2	18.8
Analysis Y1	14.7838	35.2051	45.0993
Analysis Y2	1.1621	3.9196	7.2133
Analysis Y3	2.3557	4.5108	16.7057
Analysis Y6	7.3778	25.5894	31.5616
Analysis Σ Y	8.4241	19.4054	20.0981
period			
Observation	0.2127	0.0980	0.0532
Analysis Y1	0.0676	0.0284	0.0222
Analysis Y2	0.8605	0.2551	0.1386
Analysis Y3	0.4245	0.2217	0.0599
Analysis Y6	0.1355	0.0391	0.0317
Analysis Σ Y	0.1187	0.0515	0.0497

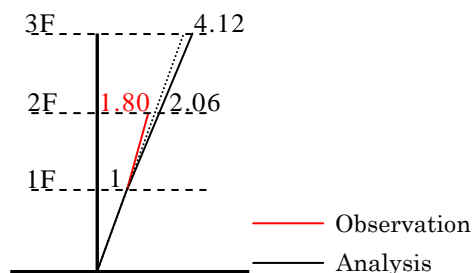


Fig. 15 Mode of Observation & Analysis Σ Y

5.3.3 考察

X 方向では 1 次について、X1 と Σ X は固有振動数、固有周期ともに観測結果と同様な結果が得られた。2 次では X1、3 次では Σ X が観測結果に近い値をとった。

Y 方向では 1 次について、Y3 が観測結果に最も近い値をとった。2 次、3 次ではともに Σ Y が観測結果に近い値をとった。しかし、全体的に解析結果と観測結果の差は大きく、今後は、より詳細な検討を行うため、3 次元骨組解析を行う必要がある。

参考文献

- [1] 戸川隼人著：“有限要素法による振動解析”，サイエンス社
- [2] 柴田明德著：“最新耐震構造解析 第 2 版”，森北出版株式会社