

ピロティ形式低層鉄骨構造物の振動特性について ～福山大学28号館の微動計測～

鎌田 輝男* 占部 順也**

Vibration Characteristics of a Low-rised Steel Structure with First Piloti Floor
-Microtremor Measurement of The 28th Building of Fukuyama University-

Teruo KAMADA and Junya URABE

ABSTRACT

The 28th building of Fukuyama University is a low-rised steel structure having first piloti floor and the ridge length of the building is much larger than span length, the ratio of which is about 12. Microtremor vibration measurements were taken place to obtain the vibration characteristics of the building. Natural frequencies and damping ratios of the structure are estimated from the spectral analysis of the measured wave forms.

キーワード : 常時微動計測、固有振動数、卓越振動数、自己相関関数、フーリエスペクトル、減衰比

Keywords : Microtremor measurement, Natural frequency, Predominant frequency, Auto-correlation function, Fourier spectrum, Damping ratio

1. はじめに

日本では、大地震が発生すると、揺れが地盤から建物に伝わり、多くの建物に地震被害が発生する。したがって、建物の耐震性能に関して、何らかの問題点があるのではないかと考えられ、早急な耐震安全性の検討が必要と思われる^[1]。

構造物の耐震安全性を評価するには、地震時における構造物の挙動を把握することが非常に重要であり、そのためには、構造物の振動特性を明らかにしなければならない。特に既存建物では、振動特性に関する実験的資料の蓄積に乏しいのが現状であり、構造形式、平面形状、規模などに地域性があり、従って構造物の振動特性についての地域性を明らかにすることが重要である。

我々は、2002年6月2日に、福山大学28号館において、光波測量ならびに振動計測を行なった。振動計測は、常時微動計測と人力加振による自由振動計測の2通りの実験を行なった。福山大学には、いくつかの建物が建っており、今回実験を行なった28号館は、他の建物に比べ、平面形状が極めて細長いという特徴を持っており、そのような特徴ある建物の調査をすることは、非常に重要なことである。本報は、光波測量により、建物の図面と実際に測量した結果とを比べ、沈下量を求め、どれだけの誤差があるかを調査し、また、振動計測により、28号館の固有振動数について考察したものである。

*建築学科教授・工博

**大学院工学研究科建築学専攻 修士課程2年

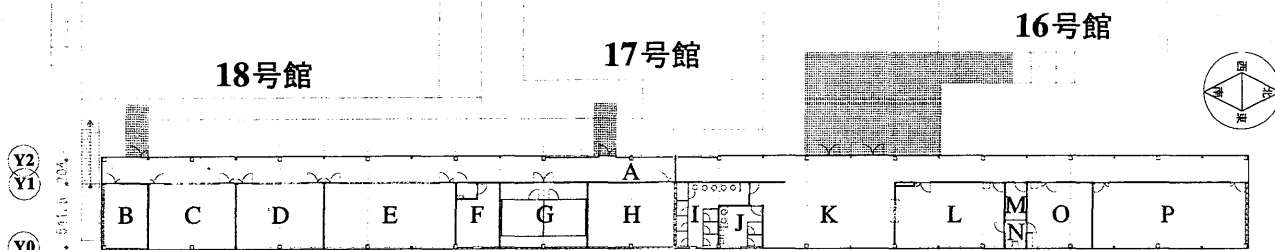


図-1 2階平面図

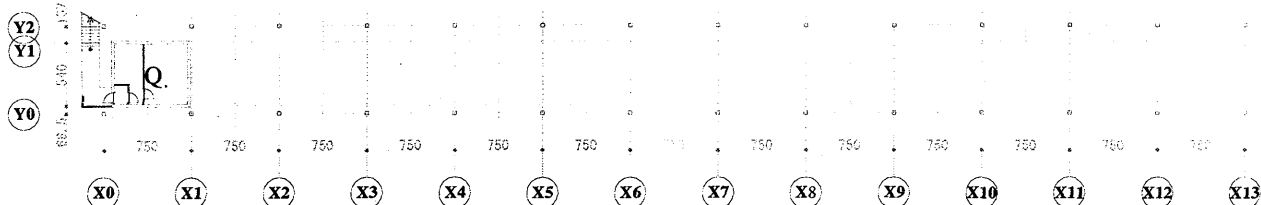


図-2 1階平面図

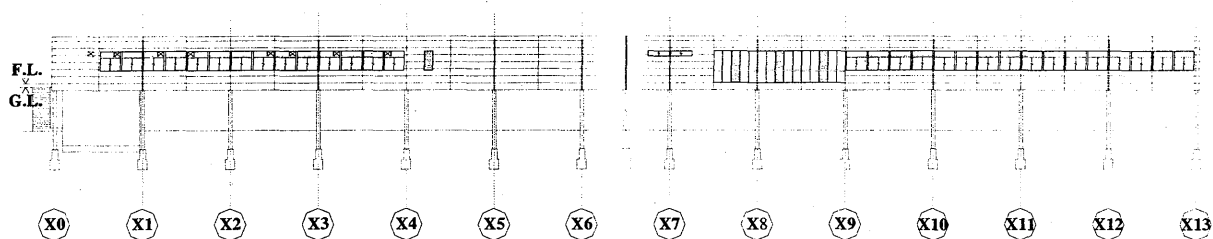


図-3 東立面図

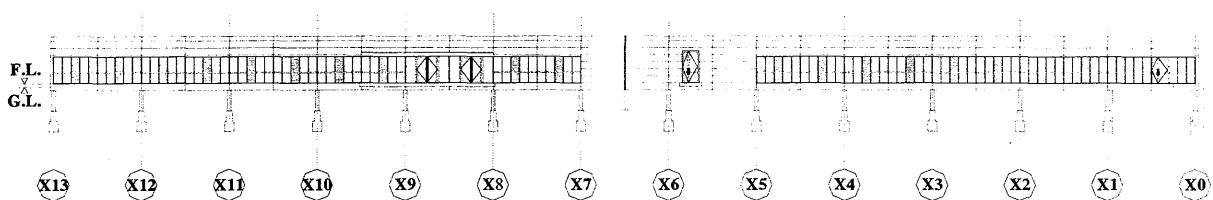


図-4 西立面図

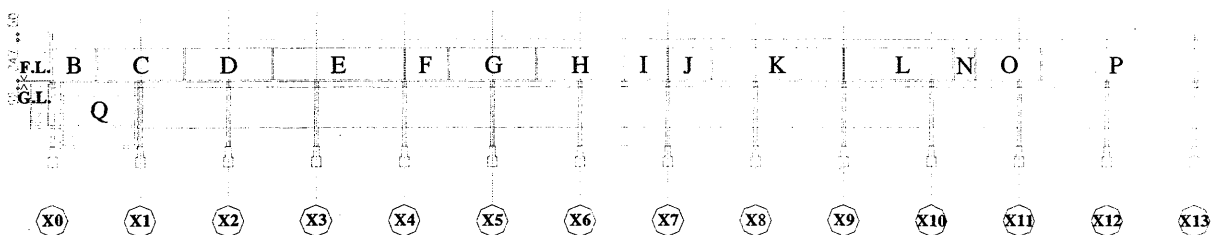


図-5 断面図

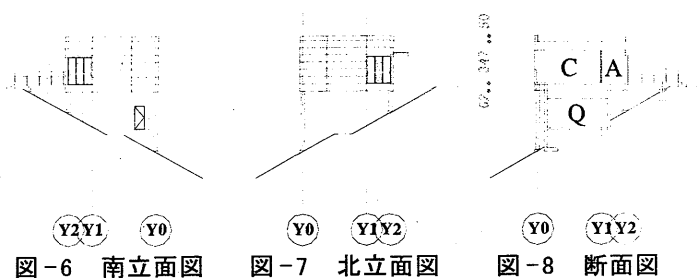


図-6 南立面図

図-7 北立面図

図-8 断面図

- | | |
|-------------|----------|
| A: 廊下 | J: 男子便所 |
| B: MMR | K: ホール |
| C: 分析機器室 | L: 事務室 |
| D: マススペクトル室 | M: 印刷室 |
| E: 遺伝子操作解析室 | N: 湯沸室 |
| F: 細胞操作解析室 | O: 学部長室 |
| G: 恒温室 | P: 会議室 |
| H: 電子顕微鏡室 | Q: 動物飼育室 |
| I: 女子便所 | |
- *長さの単位はcm*

2. 福山大学28号館概要

福山大学28号館は、福山大学敷地内の東側にあり、2階にピロティーを持ち、地上2階建ての低層鉄骨構造物であり、建物の概要は下記の通りである。

- ①構造…鉄骨造
- ②構造形式…ラーメン構造
- ③基礎形式…独立基礎
- ④杭形式…PC杭
- ⑤建築面積…824.06m²
- ⑥延床面積…806.22m²
- ⑦東西方向…7,905m
- ⑧南北方向…97,920m
- ⑨1階床面積…35.10m²
- ⑩2階床面積…771.12m²

図-1～8と写真-1に示すように、28号館は東西方向に短く、南北方向に長い。その他、写真-2に示すように、敷地が斜面になっている場所に建てられており、基礎の西側は短い、東側は長い。また、1階部分は建物の北側に動物飼育室があるだけで、後はすべてピロティーになっている。

3. 実測調査

2で述べたように、福山大学28号館は、建物の形状や基礎などが非常に特徴あり、南北に長い建物ある。したがって、床面が水平でなく、南北どちらかの方向に高くなっていることも考えられる。そこでこの章では、実測調査を行なうことで、床面が水平になっているかを調査したものを述べる。

まず、実測調査は、光波測量により、廊下の床面沈下量を測量した。光波測量は、図-9の2階中央部にある点0を基準とし、合計28点の測量を行なった。その結果は、図-9に示す。

図-9に示す通り、多少の誤差があったものの、平面方向については、ほぼ図面通りの結果になったと思える。上下方向について述べると、すべての点が、点0よりも高くなった。したがって、廊下中央部が西側に比べ低いか、もしくは、西側が中央部に比べ高いと考えられる。いずれにしても、中央と西側に約10m前後の高低差が発生した。特に点7において最大の17mmという高低差が発生した。今回の光波測量の結果は、南北どちらかの方向に高くまたは低くなっているという結果にはならず、ばらばらの高低差になった。

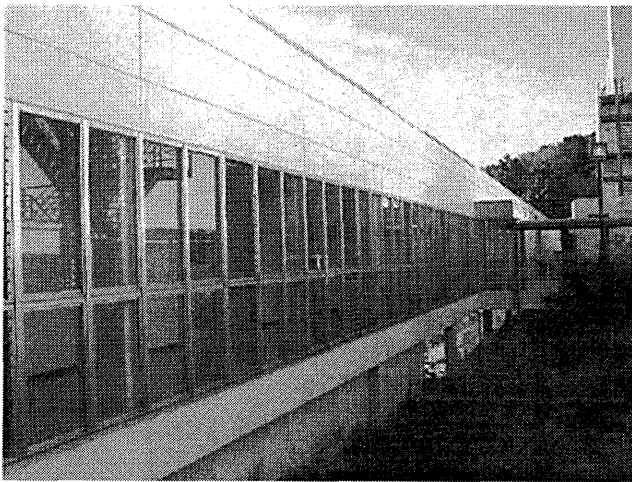


写真-1 28号館の外観

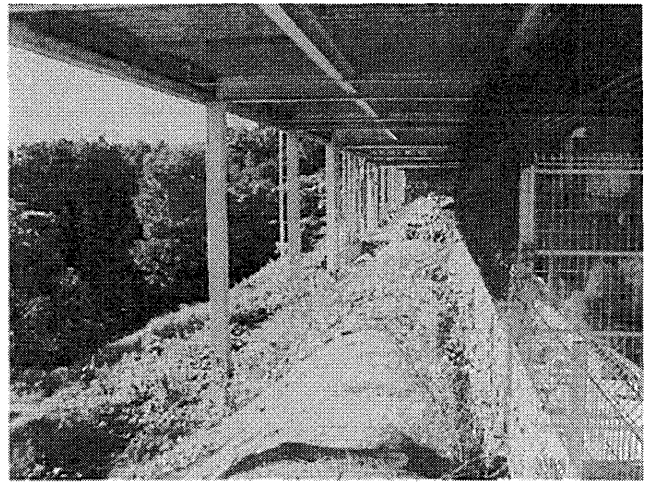


写真-2 28号館の基礎

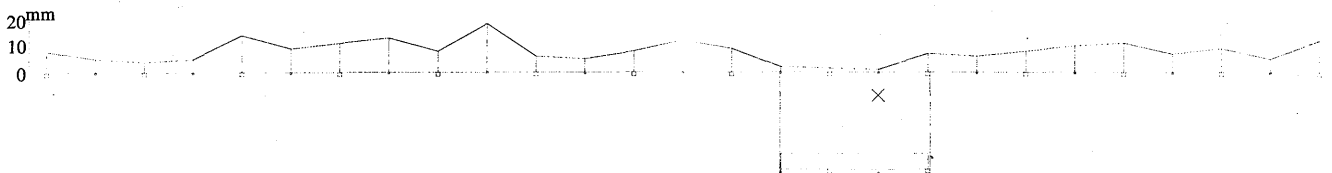
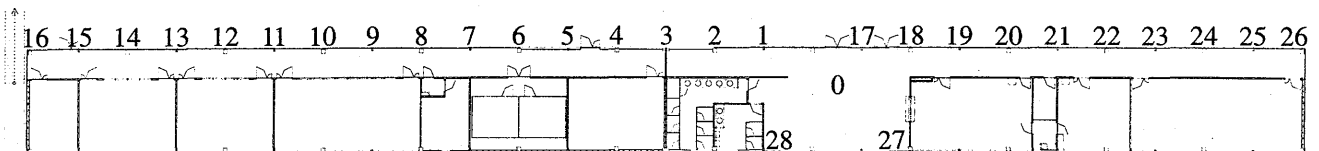


図-9 光波測量結果(上段: 測量結果、下段: 参考2階平面図)



4. 振動計測

4.1 計測方法

振動計測は、携帯型地震計を使用し、短辺(東西)、長辺(南北)、上下方向の3成分について行なった。本報では、短辺、長辺方向について述べる。

計測点は、基礎と2階、屋上の3ヶ所で行ない、1つの建物の固有振動数を推定できるように、いくつかの場所を計測した。建物内での地震計設置場所は、図-10に示すように①～⑥の場所で、柱付近の床面である。

自由振動波形を計測するためには、建物全体を引っ張ることによって、建物に強制変位を与え解放する自由振動実験が望ましい。しかし、建物にそのような力を加えることは難しいので、今回の実験では、屋上に人が上がり短辺、長辺方向に向かって同時に跳ぶことで、建物全体に振動が発生するように行なった。

常時微動波形と自由振動波形を図-11と12に示す。各図とも計測点①～③の短辺方向の波形で、ここでは、任意で選んだ4秒間の波形を示している。各図の波形を比べると、図-11に比べ図-12では、各計測点の波形の中央部付近の振幅が、何倍も大きくなっていることがわかる。これは、上記のように人力による加振を行なったためである。

計測方法は、1秒間の計測数100個(100Hz)で、計測

時間300秒、データ総数30,000個であり、それを波形にして解析を行なう。

4.2 解析方法

計測された振動データから構造物の振動特性を推定するためにスペクトル解析^{[2][3]}を行なった。本報では、計測された振動データを高速フーリエ変換(FFT)を行ない、建物の固有振動数を推定した。ここでは、フーリエスペクトラムから1次、2次の固有振動数を推定した。また、フーリエ変換の際、建物の固有振動数域をはずれる成分を除外するために、1～10Hzのバンドパスフィルター処理を行ない、雑振動成分を除去した。

固有振動数の他に減衰比を(1)式で推定した。減衰比は、縦軸に自己相関係数、横軸に時間のずれをとった自己相関関数を描き、 n 回の振動の繰り返しで、振幅が x_0 から x_n に減少したときの極大振幅の比から、対数減衰率によって減衰比を推定した。ここで、 n 回の繰り返し振動が少ないと誤差が大きくなるため、任意に設置できる n 回の繰り返し振動数をなるべく多くしなければならない。

$$h = \frac{1}{2\pi n} \log_e \left(\frac{x_0}{x_n} \right) \dots \dots \dots (1)$$

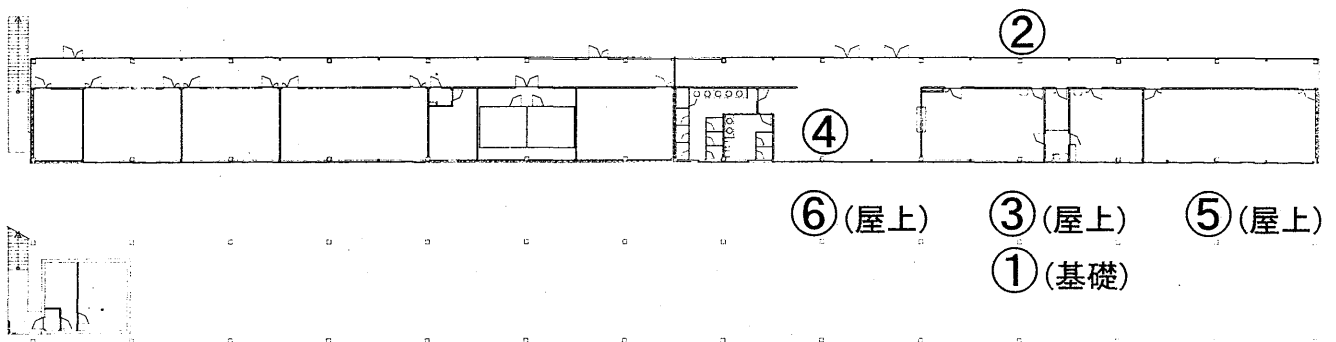


図-10 微動計測場所

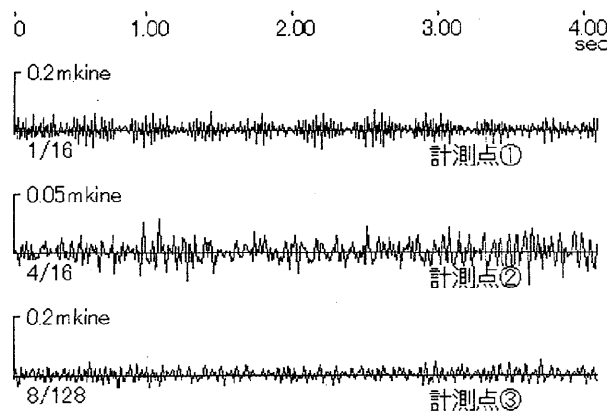


図-11 常時微動計測波形

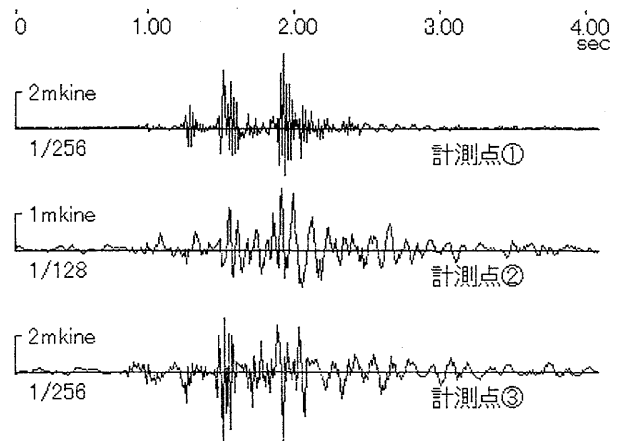


図-12 自由振動計測波形

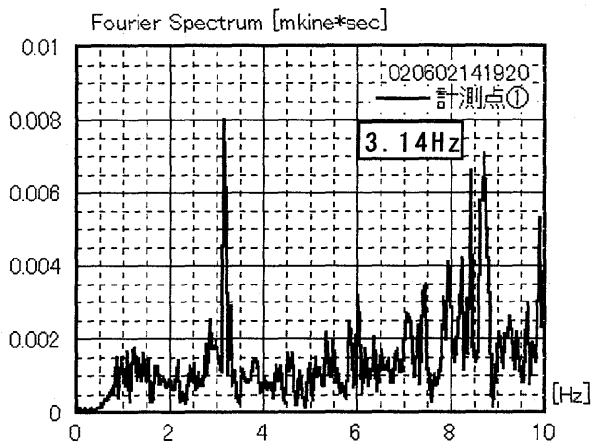


図-13 計測点①, 短辺方向,
常時微動波形のフーリエスペクトラム

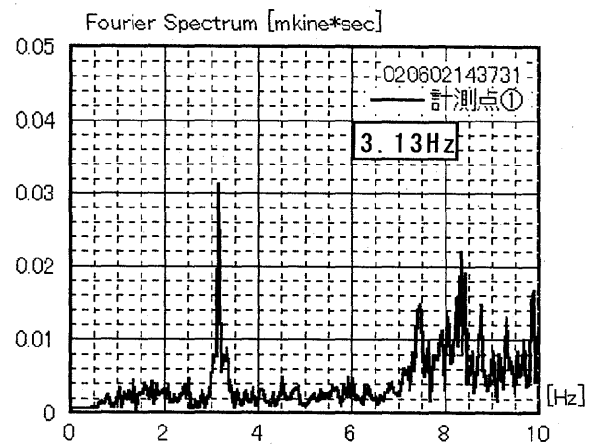


図-14 計測点①, 短辺方向,
自由振動波形のフーリエスペクトラム

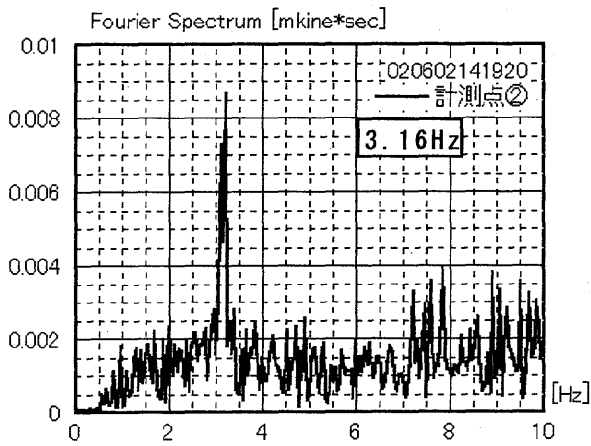


図-15 計測点②, 短辺方向,
常時微動波形のフーリエスペクトラム

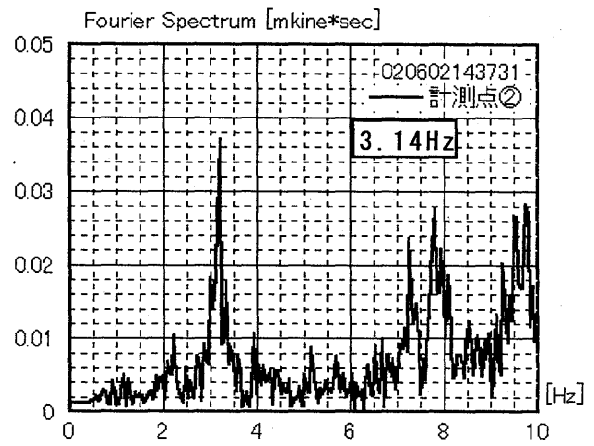


図-16 計測点②, 短辺方向,
自由振動波形のフーリエスペクトラム

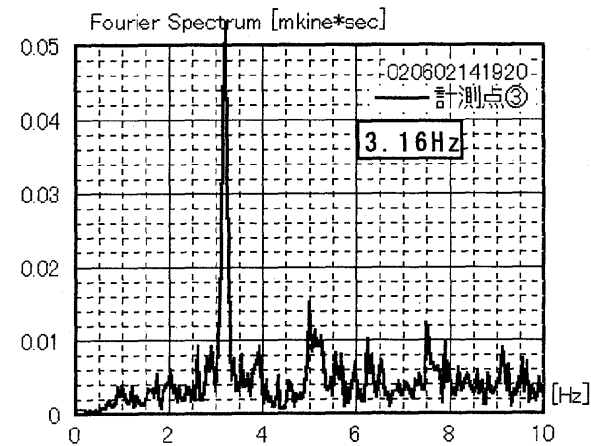


図-17 計測点③, 短辺方向,
常時微動波形のフーリエスペクトラム

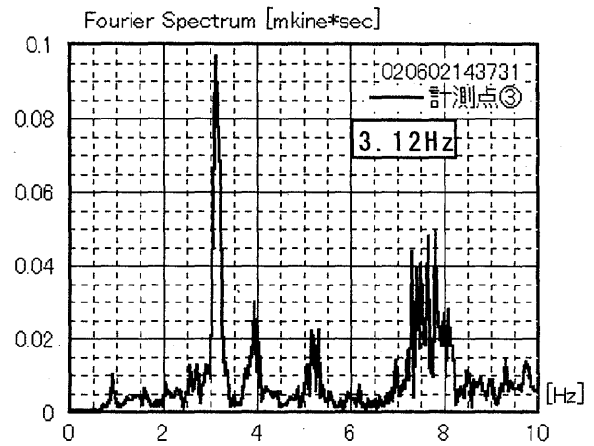


図-18 計測点③, 短辺方向,
自由振動波形のフーリエスペクトラム

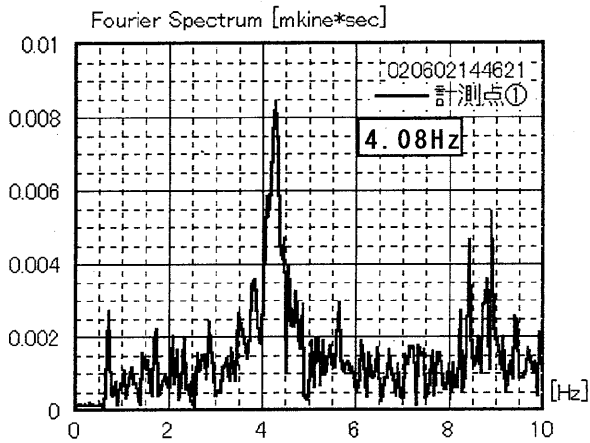


図-19 計測点①，長辺方向，
常時微動波形のフーリエスペクトラム

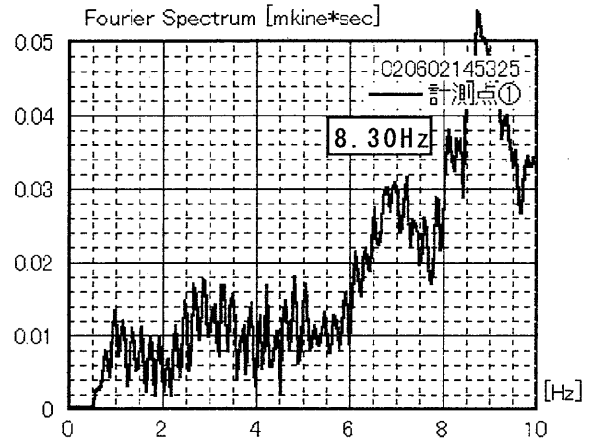


図-20 計測点①，長辺方向，
自由振動波形のフーリエスペクトラム

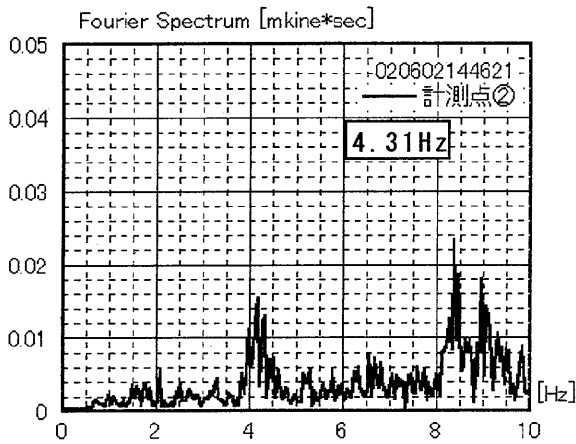


図-21 計測点②，長辺方向，
常時微動波形のフーリエスペクトラム

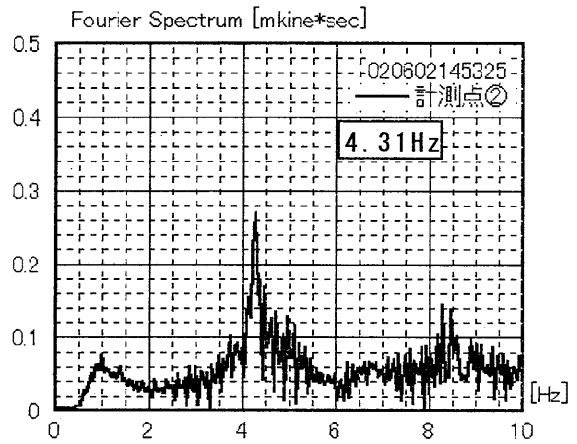


図-22 計測点②，長辺方向，
自由振動波形のフーリエスペクトラム

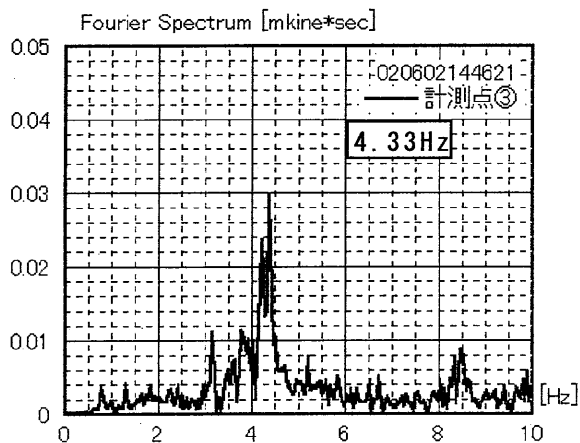


図-23 計測点③，長辺方向，
常時微動波形のフーリエスペクトラム

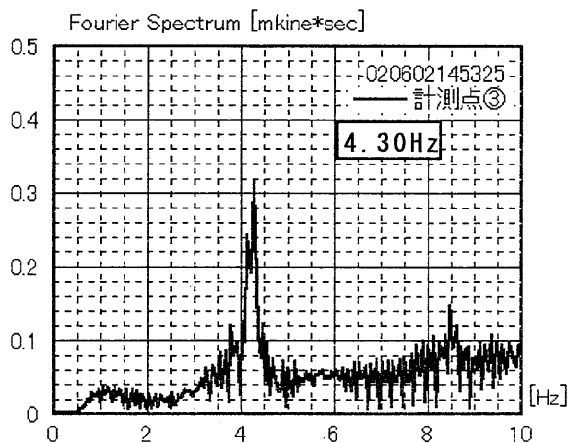


図-24 計測点③，長辺方向，
自由振動波形のフーリエスペクトラム

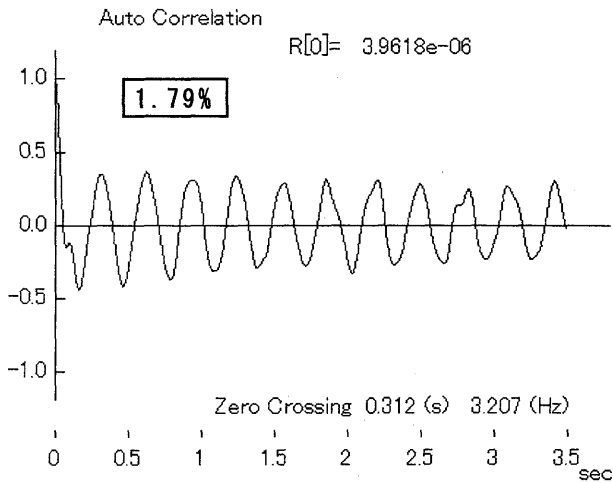


図-25 計測点①, 短辺方向,
常時微動波形の自己相関関数

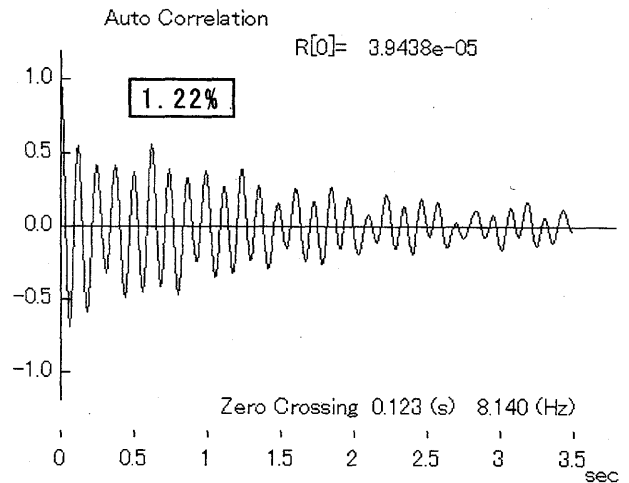


図-26 計測点①, 短辺方向,
自由振動波形の自己相関関数

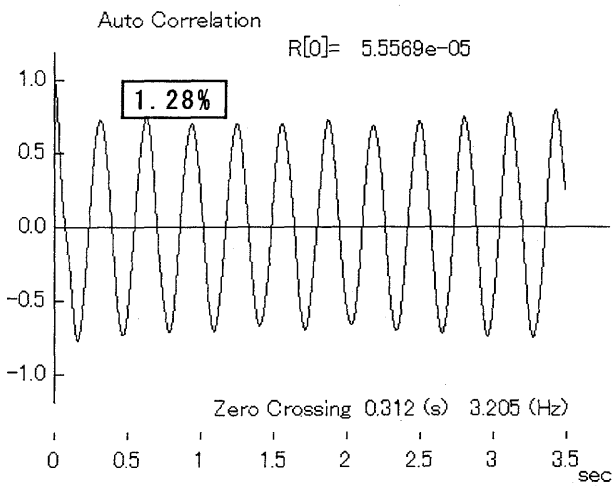


図-27 計測点②, 短辺方向,
常時微動波形の自己相関関数

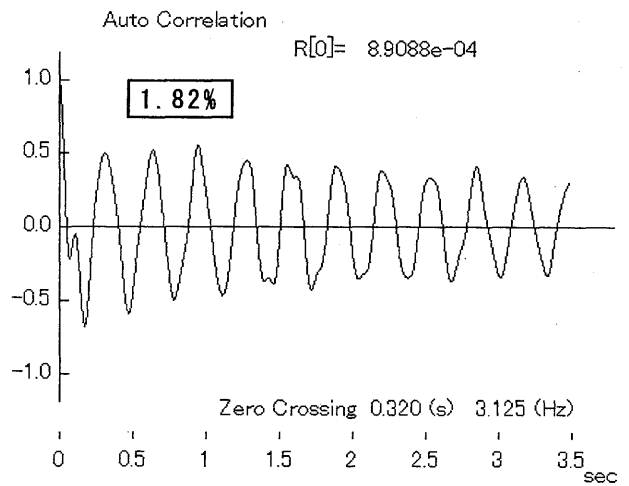


図-28 計測点②, 短辺方向,
自由振動波形の自己相関関数

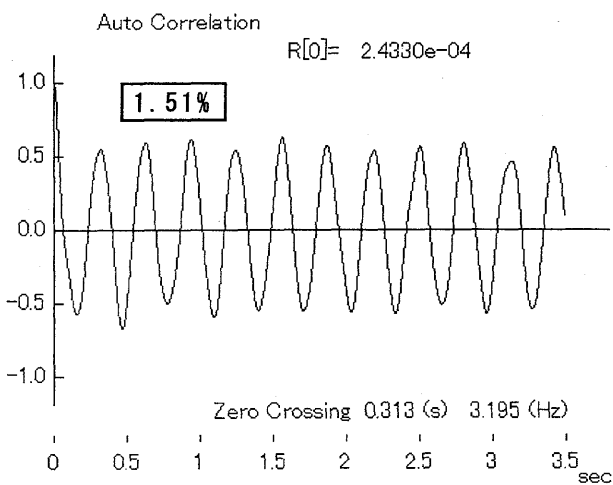


図-29 計測点③, 短辺方向,
常時微動波形の自己相関関数

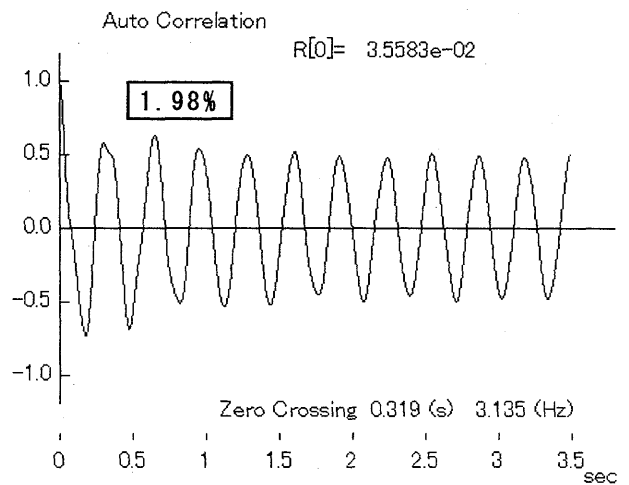


図-30 計測点③, 短辺方向,
自由振動波形の自己相関関数

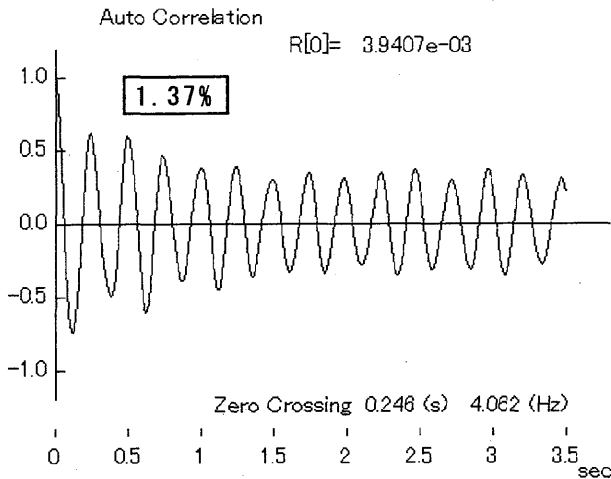


図-31 計測点①, 長辺方向,
常時微動波形の自己相関関数

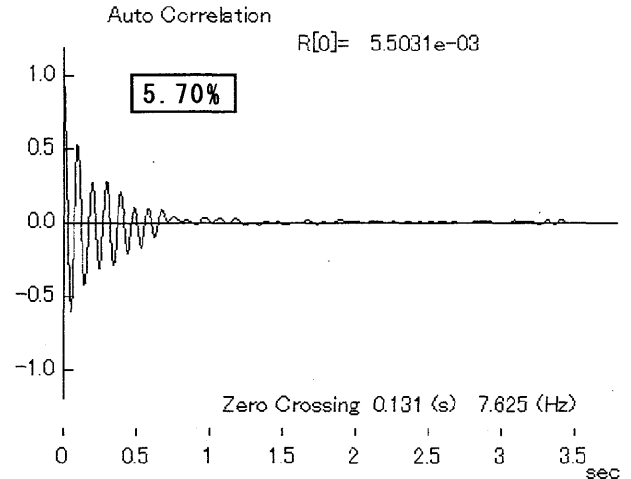


図-34 計測点①, 長辺方向,
自由振動波形の自己相関関数

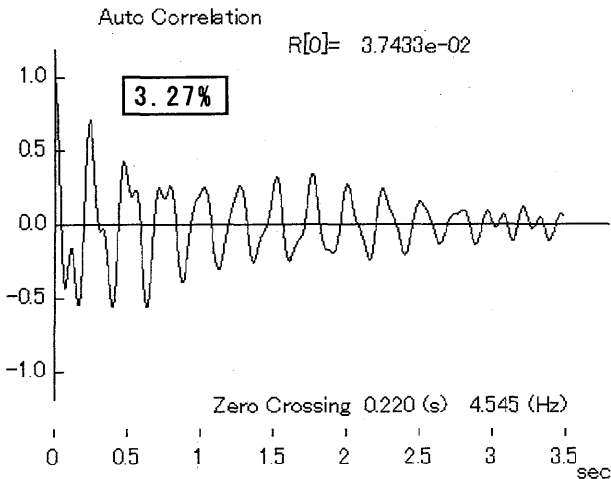


図-32 計測点②, 長辺方向,
常時微動波形の自己相関関数

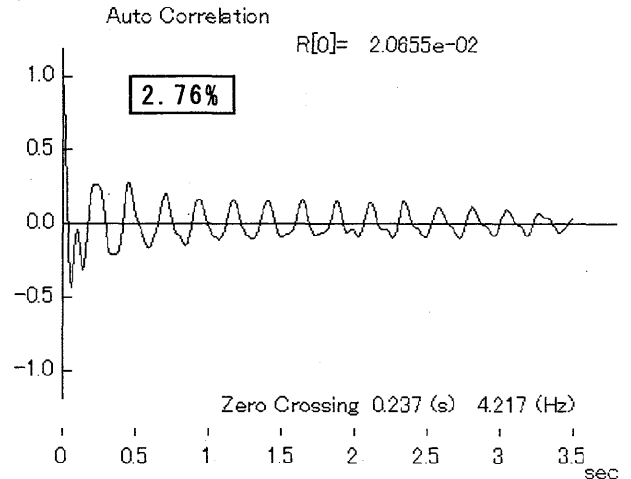


図-35 計測点②, 長辺方向,
自由振動波形の自己相関関数

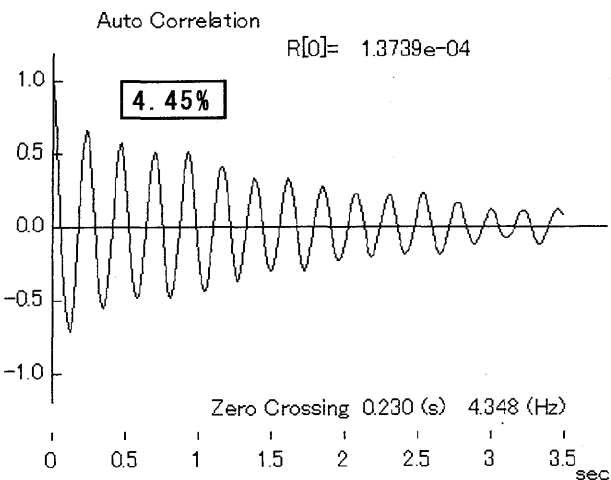


図-33 計測点③, 長辺方向,
常時微動波形の自己相関関数

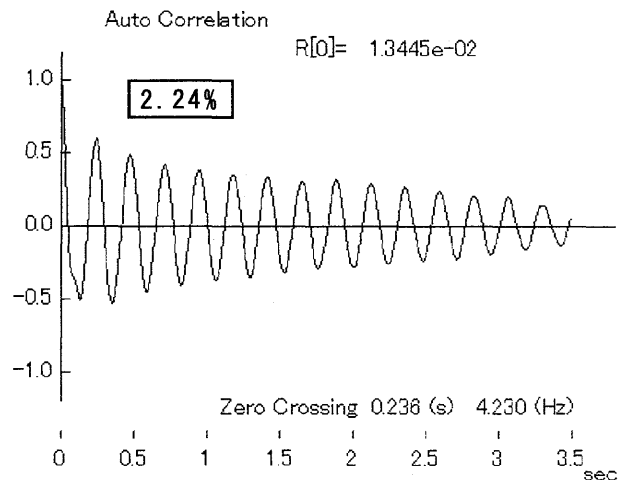


図-36 計測点③, 長辺方向,
自由振動波形の自己相関関数

4.3 解析結果

人力による自由振動計測を行なうと、加力点に近い場所に最初に大きな波が伝わる。今回の計測においてもそれが現れ、図-12を見ると、屋上で計測した計測点③にまず最初に大きな波が発生し、次に計測点②、最後に計測点①の順番で、計測点が上から下になるに伴って波が伝わっていることがわかる。

4.3.1 固有振動数

振動計測を行なうと図-11と12のような波形が得られ、その波形にバンドパスフィルターをかけ、フーリエスペクトラムで表したものが、図-13～24である。

今回の計測では、フーリエスペクトルの最初のピークを1次卓越振動数とし、次のピークを2次卓越振動数とした。各計測点での卓越振動数は、表-1に示す。1次卓越振動数については、計測点⑤と⑥は長辺方向の計測を行なわなかったが、計測した計測点①～④では、短辺方向に比べ、長辺方向の方が高振動数になった。その平均的な数値は、短辺方向は約3.14Hz、長辺方向は約4.30Hzになっており、1Hz以上高くなっている。2次卓越振動数についても、短辺方向に比べ、長辺方向の方が高振動数になった。その平均的な数値は、短辺方向は約8.08Hz、長辺方向は約8.86Hzになっており、その差は

1Hz未満で、1次ほど高くはない。

屋上に設置した計測点③、⑤、⑥について、これらの計測点は短辺、長辺方向それぞれにおいて、ほぼ同じ振動数になっていることが望ましい。しかし、計測点③と⑤は1次、2次卓越振動数ともほぼ同じになったが、計測点⑥は1次卓越振動数において、計測点③、⑤より1Hz未満ではあるが、高振動数になった。

建物の同じ柱で、計測点①は基礎、計測点②は2階床、計測点③は屋上に計測器を設置したが、その1次固有振動数はほぼ同じ値になった。

常時微動計測と自由振動計測の違いについては、今回の実験では、両者とも元の計測波形では、振幅に大きな違いが現れているが、フーリエスペクトラムにより固有振動数を求めても、常時微動計測に比べ大きく異なる点は、計測点②～④には見られなかった。しかし、計測点①では、長辺方向の1次固有振動数について、他の計測点、計測方法と比べ、8.3Hzという高振動数になった。その原因は、はっきりとはわからないが、この波形をフーリエスペクトラムで表した場合、グラフの縦軸にとったフーリエスペクトルに大きなピークが現れなかった。もう1度計測を行なう必要がある。

今回の実験により、福山大学28号館の固有振動数を

表-1 各計測点の1次、2次卓越振動数

	計測点①		計測点②		計測点③		計測点④		計測点⑤		計測点⑥	
	1次	2次	1次	2次	1次	2次	1次	2次	1次	2次	1次	2次
常時微動(短辺方向)	3.14	8.29	3.16	8.50	3.16	7.50	2.01	5.08	3.13	7.49	3.92	5.28
自由振動(短辺方向)	3.13	8.30	3.14	8.71	3.12	7.40	3.93	7.89	3.11	7.28	3.89	7.86
常時微動(長辺方向)	4.08	8.91	4.31	8.52	4.33	9.70	2.01	8.52				
自由振動(長辺方向)	8.30	9.68	4.31	8.51	4.30	8.50	4.29	8.51				

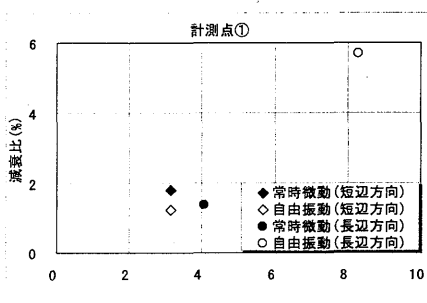


図-37 計測点①の卓越振動数と減衰比

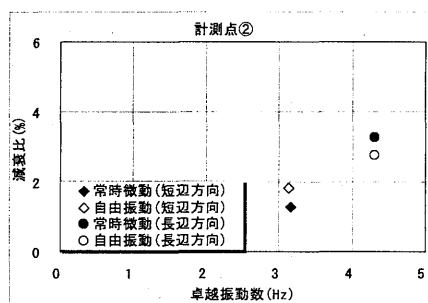


図-38 計測点②の卓越振動数と減衰比

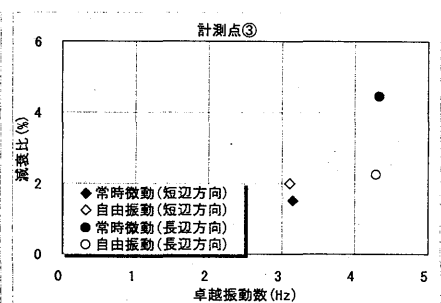


図-39 計測点③の卓越振動数と減衰比

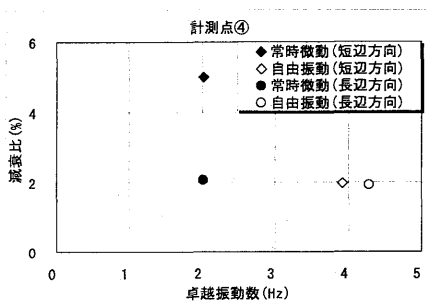


図-40 計測点④の卓越振動数と減衰比

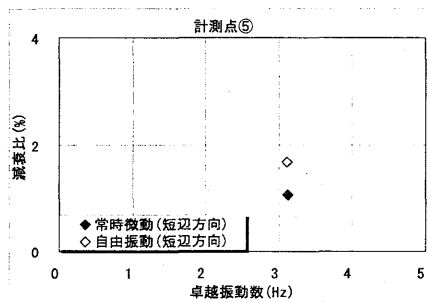


図-41 計測点⑤の卓越振動数と減衰比

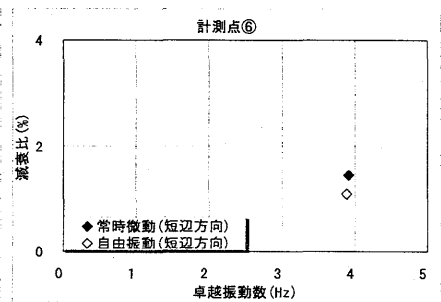


図-42 計測点⑥の卓越振動数と減衰比

各計測点での卓越振動数の平均により求めると、短辺方向の1次固有振動数は3.1Hz, 2次は7.9Hzであり、長辺方向の1次固有振動数は4.3Hz, 2次は8.9Hzと推定した。

4.3.2 減衰比

波形から減衰比を求めるための自己相関関数は、図-25～36である。また、求めた各計測点での減衰比は、図37～42に示す。

短辺、長辺方向の両方とも計測した計測点①～④において、1次固有振動数は短辺方向は約1.5%、長辺方向は約3.0%であり、短辺方向に比べ長辺方向の方が高減衰比であり、約2倍の減衰比になった。また、固有振動数と同様に、同じ柱で計測器の設置層が違う計測点①～③の減衰比は、各層約1.5%であった。

5. まとめ

今回は、測量と振動計測を大学の休校日に行なったため、振動計測において、波形に雑振動があまり含まれず、1次固有振動数だけでなく、2次固有振動数まで求めることができた。その結果、短辺、長辺方向の固有振動数と減衰比の違いを求めることができた。しかし、微動計測は毎回同じ波形が得られるわけではなく、そのときの環境によって左右されることがある。したがって、より正確なデータを得るためには、引き続き計測を続ける必要がある。また人力加振は、人が跳ぶことで加振を行なったが、これは毎回同じように跳ぶことはできない。したがって、波形の振幅が跳ぶたびに異なってしまう問題点が発生してしまった。計測場所について、今回は振動計測を建物の北側しか行なっていないため、南側も同様に行なう必要がある。今後は、得られた結果と理論値とを比較していかなければならない。

終わりに、光波測量にご協力頂いた㈱三谷産業の方々と実験を担当した福山大学鎌田研究室4年次生と3年次生の諸君に感謝したい。

参考文献

- [1] 日本建築学会: 2000年鳥取県西部地震災害調査報告・2001年芸予地震災害調査報告, 丸善株式会社, 2001
- [2] 日本建築学会: 建築構造物の振動実験, 丸善株式会社, 1978
- [3] 大崎順彦: 地振動のスペクトル解析入門, 鹿島出版会, 1983