

免震建物の微小振幅時の振動特性

野 路 利 幸*・山 岸 邦 彰**

Dynamic Characteristics of Base-Isolated Building in Small Amplitude

Toshiyuki NOJI, Kuniaki YAMAGISHI

Measurements and analytical studies of vibration at a base-isolated building near to railway tracks were carried out in order to obtain the dynamic characteristics of base-isolated building in small amplitude. The results showed the dynamic characteristics of the building at high frequencies. Horizontal and vertical natural frequencies in high-order modes of the building were obtained. It was also shown that numerical analyses could explain some of the measurement results.

1. はじめに

免震構造の用途拡大に伴って、設計における要求機能はますます多様化している。これらの建物の性能設計を実現する上では、図1に示すように、地震を対象とした大振幅・低振動数域の振動特性のみならず、微小振幅・高振動数域の振動特性の評価が重要となってきた。特に、鉄道振動に対する固体伝達音評価、精密機械工場等における微振動制御を論じる上で、免震建物の高振動数域における微小振幅時の振動特性評価は不可欠である。

免震建物の微小振幅・高振動数域の振動に関する研究は、過去鉄道振動、特に地下鉄振動の固体伝搬音問題として、主に30～100Hz帯域を対象に、実測にもとづいた研究が行われている^{2)～8)}。

しかしながら、振動と音響の境界領域ともいえる

この振動数帯域における振動論的アプローチはほとんどなされていないのが現状である。

本研究は、こうした観点から鉄道軌道の近傍に建つ免震建物において常時微動および鉄道通過時の振動測定を行い、主に高振動数域における微小振幅時の建物の振動特性および鉄道振動の伝搬特性を検討するものである。これによって、免震建物の固体音に関する性能設計の基礎資料に資することを目的とする。

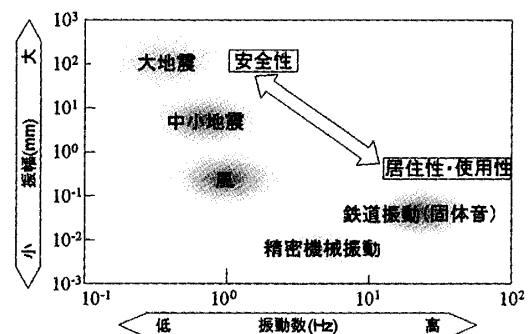


図1 免震建物の性能設計の対象領域

* 建設工学科建築学専攻 ** 三井住友建設(株)技術研究所

2. 建物および振動測定概要

図2に建物および鉄道軌道の配置図を示す。敷地境界線から2.5m離れたところに高架軌道が存在する。高架軌道の橋脚はRC造ラーメン形式である。高架軌道を通過する列車の速度は、ばらつきはあるが50~60km/h程度である。

建物は地上20階建て、軒高約59mのE型の平面形状をもつ鉄筋コンクリート造の集合住宅である。桁行方向はラーメン構造であり、張間方向は耐震壁が配置されている。免震構法は鉛プラグ入り積層ゴム(一部は直動転がり支承)を配置した基礎免震構法であり、基礎はGL-4.75mを床付けとする直接基礎である。

測定はサーボ型および圧電型加速度計を用いて行った。サンプリング周波数はサーボ型が1kHz、圧電型が1.28kHzである。サーボ型ピックアップの測定限界振動数は約100Hzである。また、各測定器は外部トリガーにより同期をとった。測定点は自由地盤(GL)、免震層(基礎)、1階、7階、14階、R階とした。

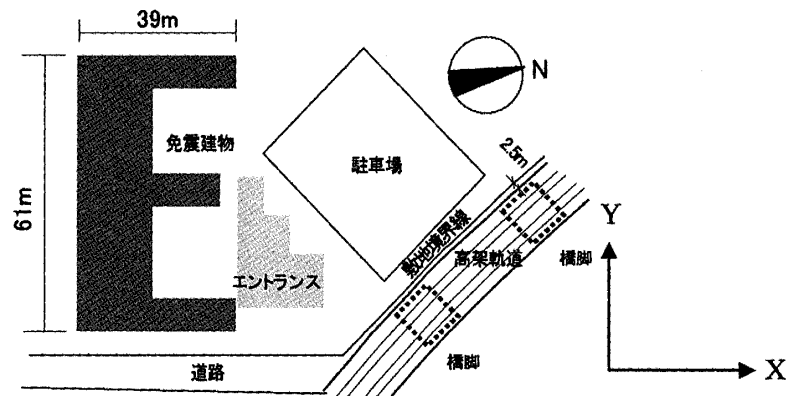


図2 配置図

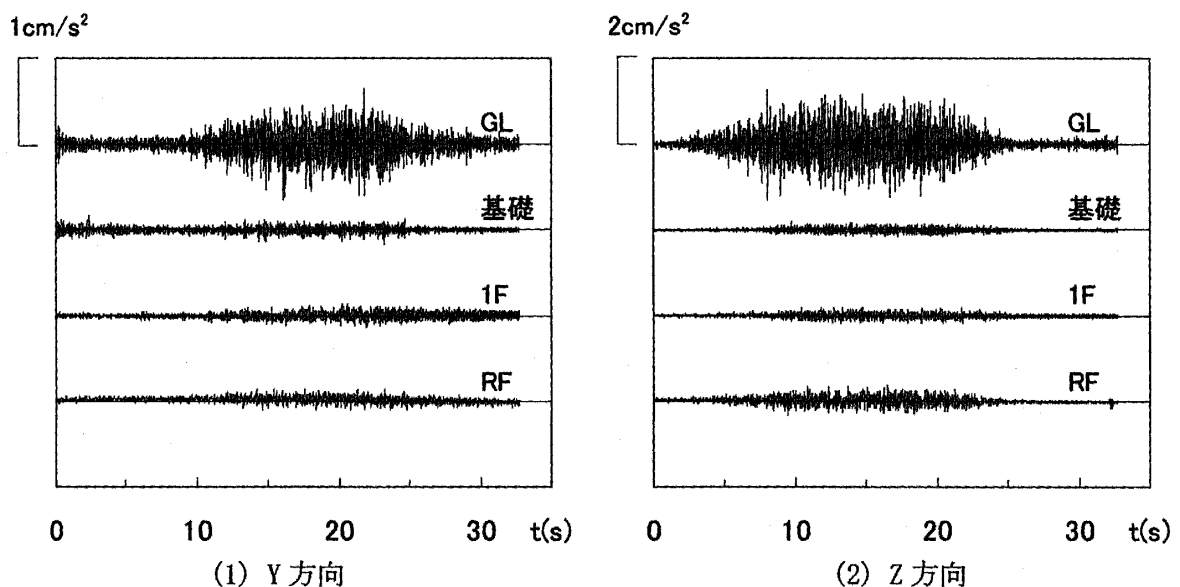


図3 加速度波形

3. 測定結果

図3に鉄道通過時の加速度波形の測定例を示す。加速度振幅はGLで最大であり、基礎では1/5程度に減少する。基礎に比べて1F、RFでは、水平(X、Y)方向はほぼ同程度であり、上下(Z)方向は1Fでやや減少し、RFで少し増幅される傾向にある。

図4～6に各方向の加速度波形のフーリエスペクトルを示す。FFT解析の条件は、 $N=32,768$ 、 $\Delta t=0.001$ 秒、 $T=32.768$ 秒、0.4Hz Parzen ウィンドウである。

解析結果から、鉄道振動は水平成分に比べて上下成分が卓越すること、GLでは高振動数成分が優勢であること、建物では高振動数成分の減衰が大きくこの傾向は上下方向が顕著であることがわかる。また、水平方向の1F、RFでは1～15Hzにかけて固有振動数成分と思われるいくつかの顕著なピークが認められるとともに、上下方向では7Hz付近に卓越成分がある。

4. 水平方向の振動特性

図7、8にフーリエスペクトルの振幅比から求めた水平方向のスペクトル比を示す。これらの結果から、建物内では10Hz以上の高振動数成分の減衰が大きいことがわかる。

固有振動数に着目すると、RF/GLでは、X方向においては1.3、4.5、6.8、9.6Hzに、Y方向においては0.95、2.9、4.8、6.9、9.0、11.3Hzに顕著なピークが見られる。このピークは地盤を含めた全体系の固有振動数である。RF/基礎でもほぼ同じ振動数でピークが認められ、基礎を固定とした時の免震層－上部構造系の固有振動数を示している。他方、RF/1Fでは、X方向においては1.3、6.1、11.5、14.8Hzに、Y方向においては1.5、3.1、5.4、7.8、10.3、12.8Hzにピークが認められる。このピークは、1Fを固定とした時の上部構造の固有振動数と推測される。表1に水平方向の固有振動数一覧を示す。なお、鉄道振動と常時微動で有意な差は認められない。

表1 固有振動数(Hz)

| 方向 | 1次 | 2次 | 3次 | 4次 | 5次 | 6次 |
|----|------|-----|-----|-----|-----|------|
| X | 1.3 | 4.5 | 6.8 | 9.6 | --- | --- |
| Y | 0.95 | 2.9 | 4.8 | 6.9 | 9.0 | 11.3 |

5. 上下方向の振動特性

図9に上下方向のスペクトル比を示す。これらの結果から、GLに比べて基礎では7～8Hz以上が減衰しているが、特に20～30Hz以上の高振動数で入力損失効果が大きいことがわかる。

固有振動数に着目すると、RF/GLでは約7Hzと18Hzに卓越成分が認められる。このピークは地盤を含めた全体系の1次、2次固有振動数である。他方、RF/基礎では、7.2Hz付近にピークが現れている。このピークは基礎を固定とした時の免震層－上部構造系の1次固有振動数である。また、18Hz付近にもピークが認められ、2次固有振動数を示している。

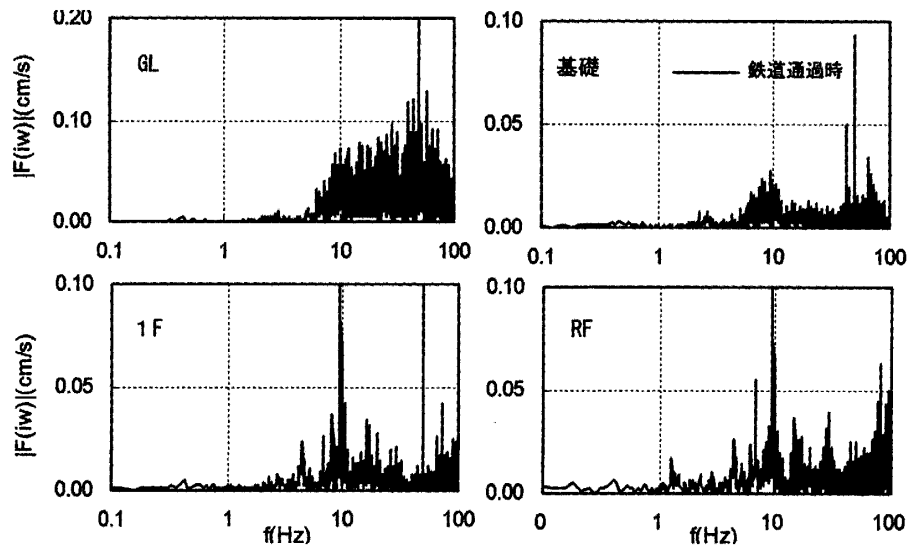


図4 フーリエスペクトル (X方向)

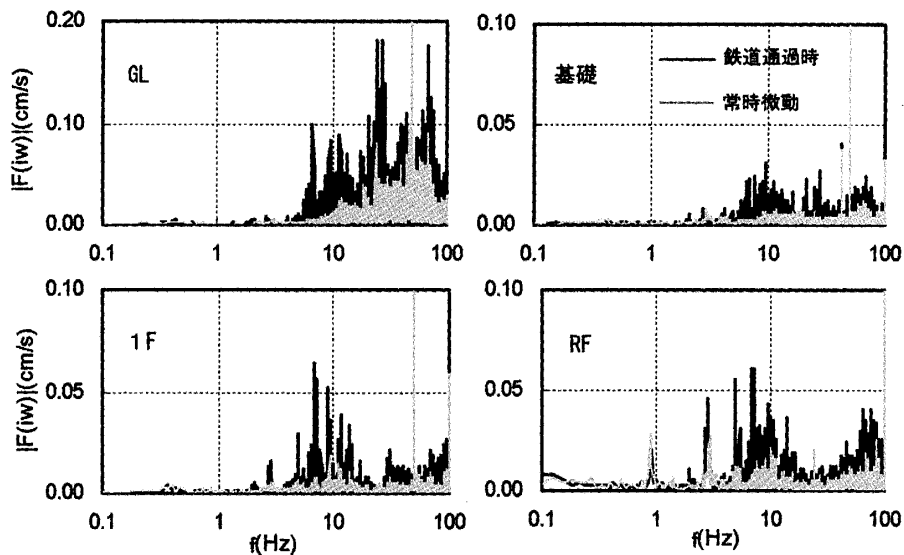


図5 フーリエスペクトル (Y方向)

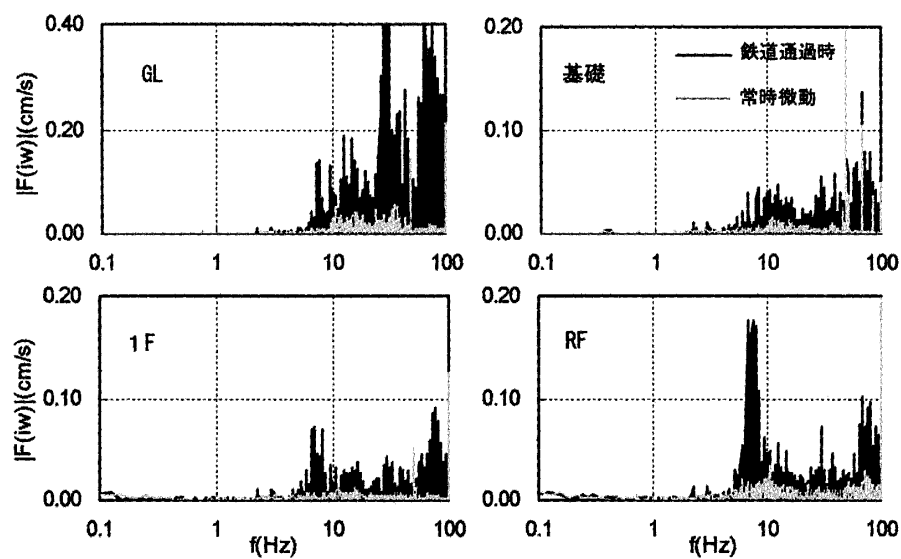


図6 フーリエスペクトル (Z方向)

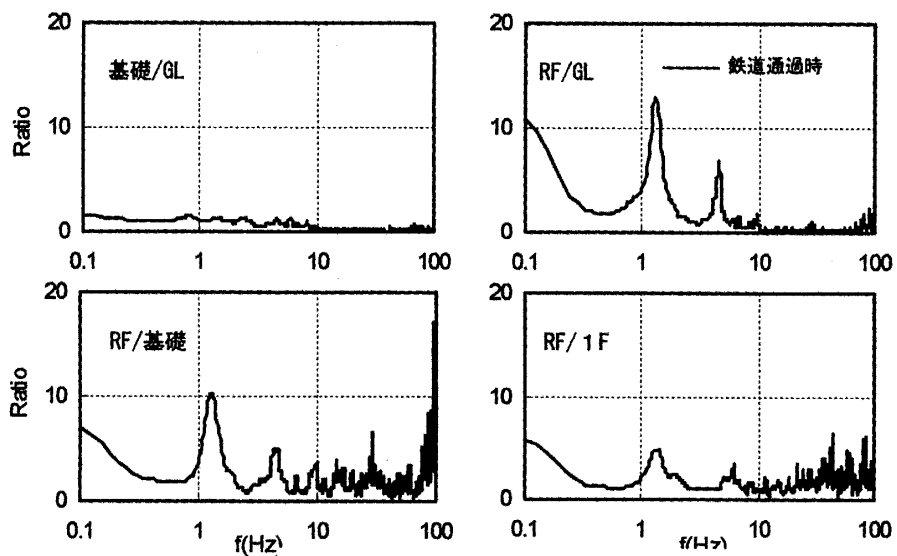


図7 スペクトル比(X方向)

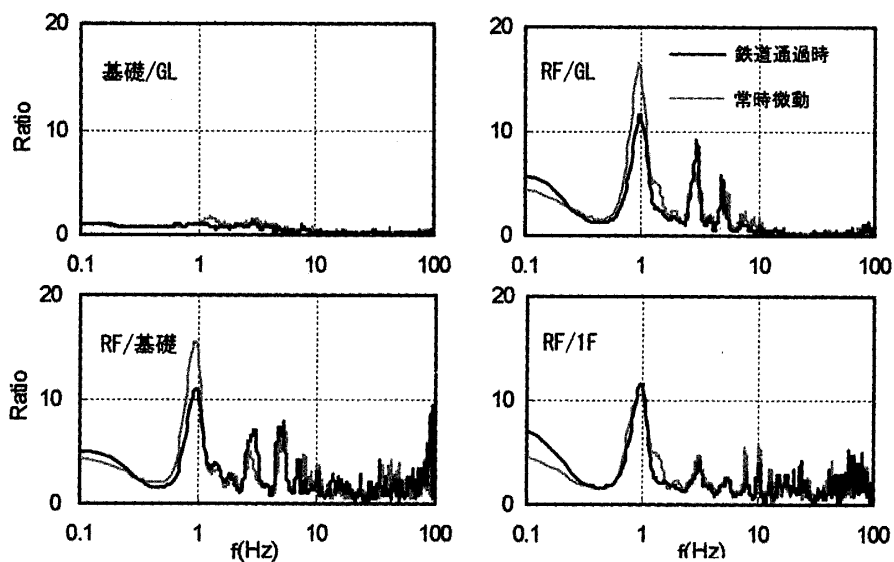


図8 スペクトル比(Y方向)

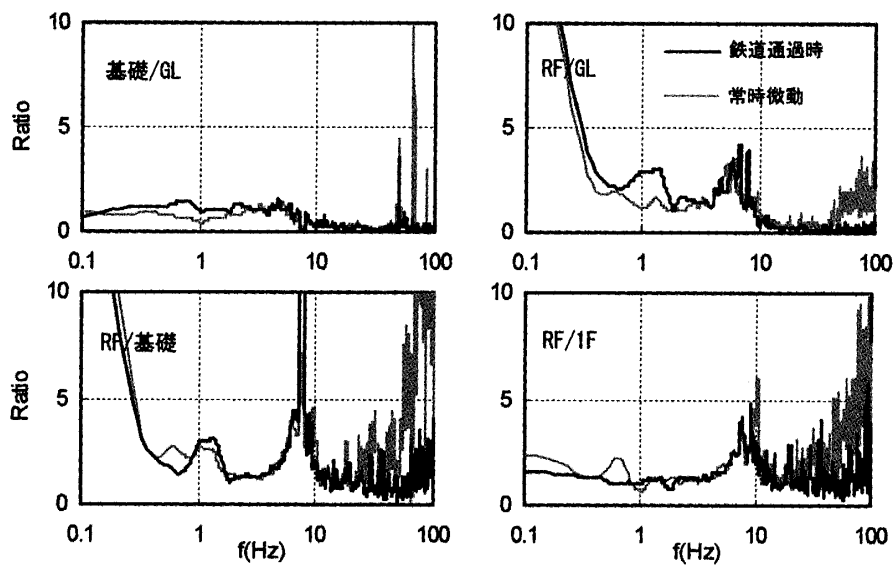


図9 スペクトル比(Z方向)

6. 質点系モデルによる上下方向のシミュレーション解析

鉄道振動による固体音は一般に上下方向が卓越する。そこで、上下方向を対象に本測定で得られた結果に対してシミュレーション解析を行った。

図10に解析モデルを示す。モデルは建物高さ方向に質点と鉛直ばねを直列に繋げた多質点系モデルである。モデル化の範囲は測定点近傍の柱およびその周辺とした。鉛直ばねは、上部構造については柱および壁寸法、階高、その材料特性から、免震層については積層ゴムとその上下基礎の寸法および材料特性から算定した。減衰定数は、上部構造については $h=0.05$ および $h=0.10$ 、免震層は $h=0.005$ の各部別一定減衰とした。

図11、12に実測値およびシミュレーション解析による伝達関数と位相角を示す。図11の実測値のうち、上段は基礎に対する各測定点のフーリエスペクトル比であり、中・下段は(1)式より算出したものである。

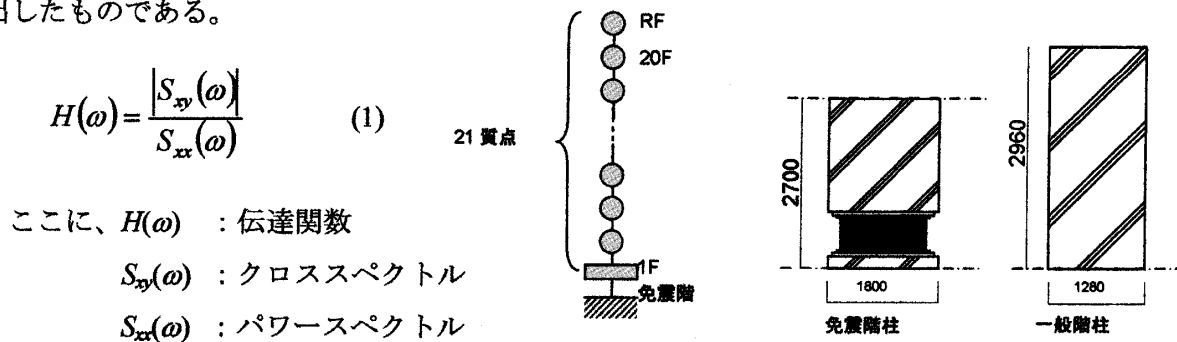


図10 解析モデル

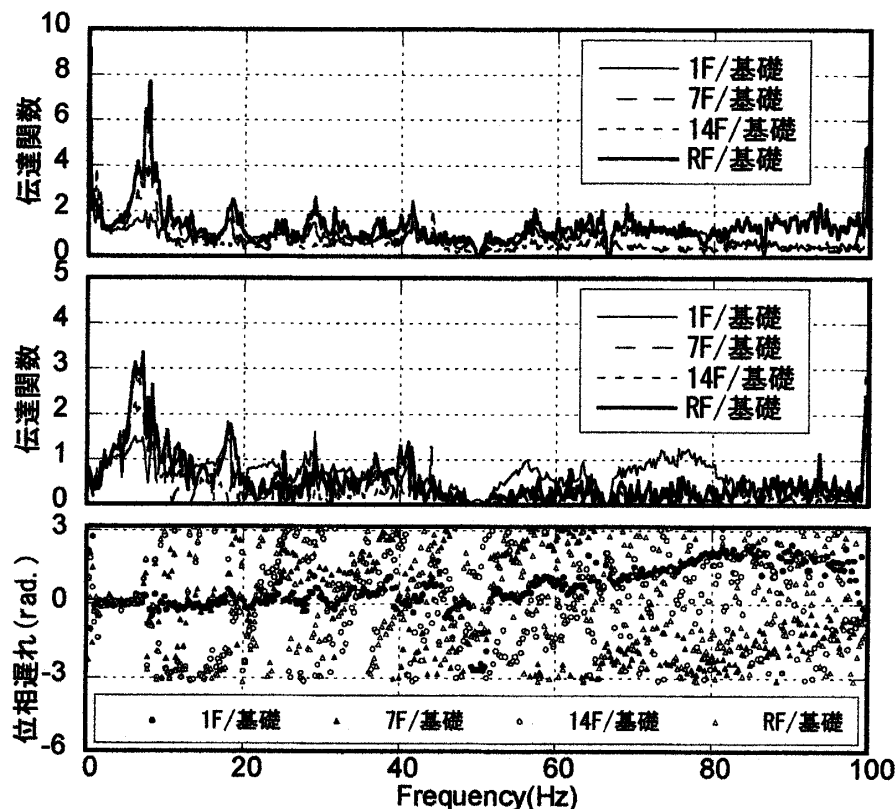
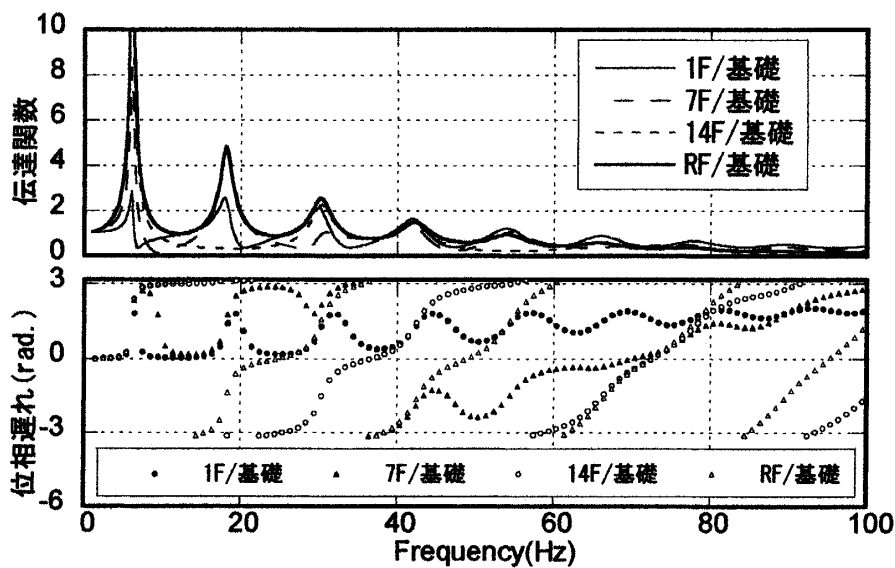


図11 実測値の伝達関数と位相遅れ (上: スペクトル比, 中・下: (1)式による)

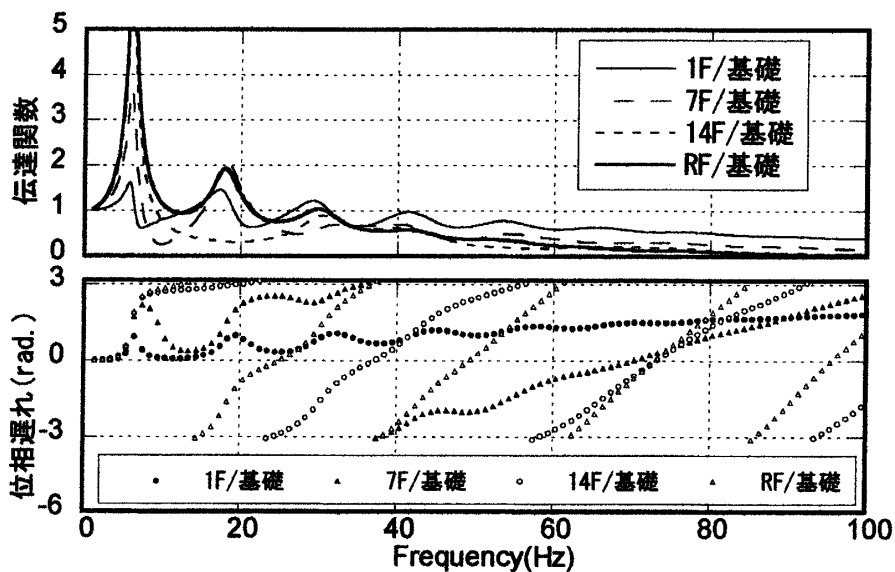
図 11 と 12 を比べると、ピーク形状は実測値の方がやや尖鋭となっているが、ピーク振動数は概ね整合している。ピーク値は、フーリエスペクトル比による結果は $h=0.05$ の場合、他方(1)式による結果は $h=0.10$ の場合と調和的である。このことから対象建物の上下方向の減衰定数は $h=0.05 \sim 0.10$ 程度であると考えられる。

7. むすび

鉄道軌道の近傍に建つ免震建物における振動測定から、建物の主に高振動数域における微小振幅時の振動特性および鉄道振動の伝搬特性を検討した。測定および解析結果から、以下のことが明らかになった。



(1) $h=0.05$



(2) $h=0.10$

図 12 解析による伝達関数と位相遅れ

- ①水平方向、上下方向とも、地盤に比べて基礎では 7~8Hz 以上の高振動数成分で入力損失による減衰が大きい。
- ②建物内では固有振動数成分で増幅されるが、10Hz 以上の高振動数成分では振動が減衰している。
- ③水平方向では 1 次~高次にわたって、上下方向では 1 次、2 次の固有振動数が把握された。
- ④上下方向を対象とした質点系モデルによる解析結果は実測値とほぼ整合し、建物の減衰定数は $h=0.05\sim0.10$ 程度であると推測される。

謝辞

本研究にあたり三井住友建設株式会社技術研究所および構造設計部の方々から多大な支援をいただきました。また、データ解析にあたり福井工業大学卒研究生上島了達・米林利高両君の協力を得ました。ここに記して深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 山岸邦彰、岩本毅、野路利幸他：鉄道軌道に近接する免震建物の振動伝搬特性（その 1）～（その 4）、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1, pp. 257-264, 2004
- 2) 阿部隆之、荘大作：免震構造による地下軌道からの固体音対策(集合住宅)、音響技術、pp. 16-19, 1996
- 3) 近藤誠一、大脇雅直：鉄道近接免震集合住宅への固体音の伝搬に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1, pp. 239-240, 1998
- 4) 中澤俊幸、山口昭一、蓮田常雄、藤井光次郎：地下鉄道近傍に立地する免震建物の振動伝搬特性(その 1) 工事進捗に伴う振動伝搬の実態、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1, pp. 241-242, 1998
- 5) 濱口雅義、武居泰、蓮田常雄、増子友介、藤井光次郎、柴田昭彦：地平および地下鉄道に近接する建物の振動伝搬特性一（その 2）免震建物の工事進捗に伴う振動伝搬の実態一、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1, pp. 271-272, 1999
- 6) 松岡明彦、渡辺秀夫、宮尾健一：免震構造の集合住宅における地下鉄からの固体音伝搬低減効果について、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1, pp. 275-276, 1999
- 7) 松岡明彦、渡辺秀夫、宮尾健一、土屋祐造：鉄道振動に対する免震構造集合住宅の固体音低減、日本音響学会講演論文集、pp. 873-874, 1999
- 8) 綿谷重規、須賀昌昭、大井尚志、唐木卓也：免震構造による地下鉄振動防止について、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-1, pp. 147-148, 2002

(平成17年11月29日受理)