

建築構造体における環境振動の伝搬性状に関する研究

4層3スパンRC構造物模型における振動伝搬性状

Study on Vibration Propagation Characteristics of Environmental Vibration in the Building Construction

成瀬 治興*, 北島 弘基**, 林 健太郎**, 佐野 泰之***
Haruoki NARUSE, Hiroki KITABATAKE, Kentarou HAYASHI, Yasuyuki SANO

Abstract This paper describes vibration propagation characteristics in the RC building construction by using 4 stories 3 spans prototype model of acrylic resin. We obtain some results of the attenuation of vibration acceleration level from the driving point and distribution of vibration acceleration level in the rooms next door to each other on the upper stories and the same story.

We suppose it is important to consider the vibration mode shape of natural frequencies to obtain the attenuation in distance and distribution of vibration acceleration level near by natural frequencies.

On the other hand, it is propriety to obtain the attenuation in distance of vibration acceleration level from a viewpoint of energy flow far from natural frequencies.

1. はじめに

建築物内外の振動源によって、建築物が起振され、建築構造体の共振などによって振動が増幅することにより、問題になることがある。環境振動で取り扱う範疇の振動は、比較的短周期で振幅の小さいものであり、地震のように長周期で建物を破壊に導くような振幅の大きいものではないが、居住者や振動を嫌う精密機械などに影響を与えることがある。従って、建築構造体の振動伝搬性状を把握し、振動防止及び振動低減対策を講じることが、我々が快適に生活する上で重要なことであると考えられる。

鉄筋コンクリート造の建物の振動に関する研究は、現在までに多くの報告がある。その内容は、主に床面の振動性状及びその防振対策についての報告がもっとも多く、FEM(有限要素法)を用いた理論的解析によるもの¹⁾や、実験的モーダル解析を用いて床面の振動性状を解析する手法²⁾などがその代表的なものである。

また、実際の建築構造体の壁面や、床面の周辺の固定条件は、施工方法により異なるものと考えられ、理論的解析以上に実験的な検討が必要であると考えられる。

しかしながら、壁面を含め構造物全般の振動伝搬性状についてまで検討しているものは、既往の研究にも例がなく、既報³⁾では実在の建築構造体

について実験的モーダル解析を適用し、その床面及び壁面についての振動性状及び振動伝搬性状を考察している。本報では、壁面まで含めた建築構造体の振動伝搬性状を解明するために、4層3スパンプロトタイプ模型を用いて、上階及び同階他室での振動加速度レベル分布及び振動源からの振動加速度レベルの距離減衰を求めている。

2. 模型の相似則

模型実験では、実構造物とその模型との間での相似則を満足させることが必要であると考えられる。構造体の振動に関する相似則は次のようになる。

$$f_m = n k f_r$$

$$k = ((E_m/E_r) \times (\rho_r/\rho_m))^{1/2}$$

f : 振動数 (Hz) E : ヤング率 (N/m²)

ρ : 密度 (kg/m³) n : 縮尺比

m : 模型材料 r : 実物材料

今回の実験では、模型材料として、アクリル材を使用している。実構造物の主材料であるコンクリートと模型の材料であるアクリルの物性値の比較を表1に示す。模型の縮尺比を1/50とした場合、模型と実物の振動数の相似比は29.3倍となる。

3. 実構造物加振実験と模型実験との対応

実験の対象となる実構造物は愛知工業大学7号館である。測定範囲は2階部分の203・204教室床面としている。測定範囲の梁伏図を図1に

* 愛知工業大学建築学科 (豊田市)

** 愛知工業大学大学院 (豊田市)

*** アクト音響振動調査事務所 (名古屋市)

示す。なお、加振点は図中に示す黒丸とし、受振点は既報³⁾に示す格子状の交点である。

模型はアクリル材を使用しており、縮尺比は1/50である。

解析の結果得られた(1, 2)モードでの床面のモードシェイプの一例を図2に示す。実物と模型との間で同様のモードシェイプを示していることが認められる。また、模型と実物の振動数の相似比は約2.9倍となっており、振動数においても良い対応を示していると考えられる。

次に、振動加速度レベルの距離減衰で実物と模型について比較して図3に示す。これは実構造物、模型それぞれの測定データの1/3オクターブバンド周波数分析結果である。なお、図の横軸は無次元距離としている。また、比較のため、模型実験結果を10dB程度上げて示している。実物、模型両者の振動加速度レベルの距離減衰は同様の傾向を示している。

以上から、実物と模型の間で十分な対応関係が得られているので、模型で得られた結果が実際の建築物に応用できるものと考え、以下の模型実験を行っている。

4. 4層3スパン模型加振実験

実験の対象となる4層3スパンプロトタイプ模型を図4に示す。模型はアクリル材を使用しており、床面、壁面、柱、梁の各部材をアクリルボンドで剛に接合している。

4. 1 実験及び解析方法

図4に示した模型に対し、加振実験を行った。模型実験のブロックダイヤグラムを図5に示す。

加振はバーストランダム信号を10~2048Hzの範囲で10回行い、得られた振動加速度レベルを加速度ピックアップで測定し、加振力と合わせてDATに同時記録している。

DATに記録されたデータをリアルタイム周波数分析器(HP-3569A)に取り込む。その際、信号の最大値を5回平均したものをデータとして採用している。得られたデータをもとに、振動加速度レベルの距離減衰及び振動加速度レベル分布を求めている。

5. 解析結果及び考察

5. 1 振動加速度レベル分布

4層3スパンプロトタイプ模型についてモーダル解析を適用した結果得られた周波数応答関数を

表1 材料物性値の比較

	実構造物	模型
材質名	コンクリート	アクリル
ヤング率 (N/m ²)	2.3×10 ¹⁰	3.4×10 ⁹
密度 (kg/m ³)	2300	1170
縮尺比	1	1/50

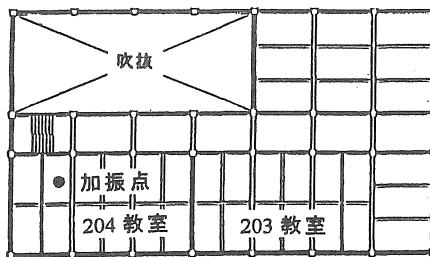
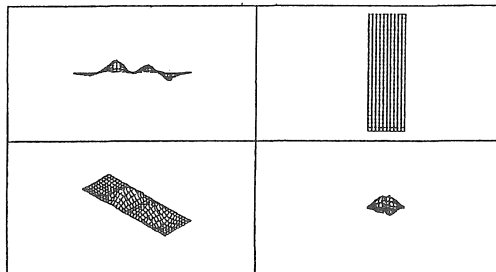
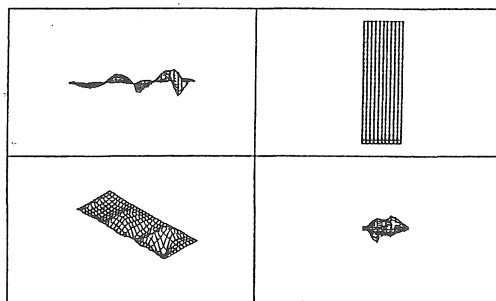


図1 実構造物の測定範囲



実物 21.37 Hz



模型 621.33 Hz

図2 モードシェイプによる比較

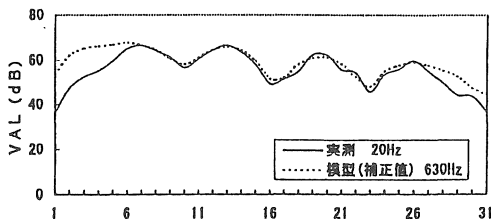


図3 振動加速度レベルの距離減衰

図6に示す。なお、図中に1/3オクターブバンドの遮断周波数を示している。模型実験で得られた振動加速度レベルをもとに、模型床面における振動加速度レベル分布を求めている。

各階床面の振動加速度レベル分布を図7に示す。図7から、200Hzにおいては、加振源から徐々に振動加速度レベルが減衰しているが、400Hzでは床面の各スパン中央に他の部分と比較して大きい振動加速度レベルが集中している。

5.2 振動加速度レベルの距離減衰

2階床面の200Hz、400Hzについての振動加速度レベルの散布図を図8に示す。図8から、固有振動数近傍と考えられる400Hzにおいては振動加速度レベルの分布にばらつきが認められる。

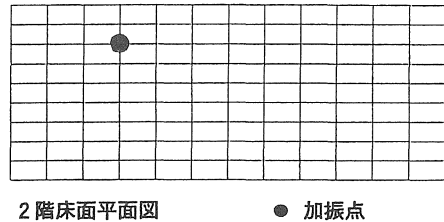
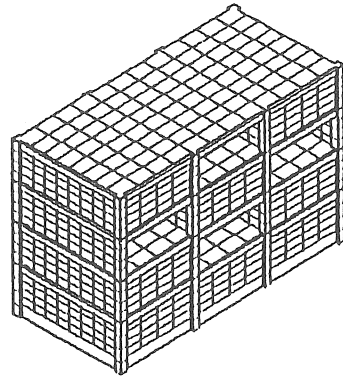
次に、床面の固有振動モードに着目し、モードの腹のラインの振動加速度レベルを用いて距離減衰を求めたものと、モードの節にあたるラインの振動加速度レベルを用いて距離減衰を求めたものを比較して図9に示す。ライン及び室名については図10に示す。なお、振動加速度レベルの距離減衰における距離は、A室床面と外壁1との接線上からの距離としている。図9から、固有振動数近傍と考えられる振動数領域においては、グラフの形状に大きな差が認められる。

5.3 最小二乗法による直線近似

各階床面について振動加速度レベルの距離減衰を求め、最小二乗法による直線近似を行った。図11にこれらの一例を示す。これによると固有振動数近傍と考えられる振動数では距離を置いてもMAXの最小二乗近似直線とMINの最小二乗近似直線及び全体の最小二乗近似直線の間隔が狭まらないことが示されている。固有振動数近傍においては、モードの腹のラインと節のラインで大きな差が認められることから、モードの腹のラインで振動加速度レベルの距離減衰を検討する事が重要であると考えられる。

5.4 各階床面の振動加速度レベルの距離減衰

各階の床面についてモードとなる場合にはモードの腹のラインの振動加速度レベルを採用して距離減衰を示したものの一例を図12に示す。なお、モードとならない場合の振動数については床面中央ラインのものを採用している。図12から、2階床面とそれ以外の床面とは違いが認めら



2階床面平面図 ● 加振点

図4 4層3スパンプロトタイプ模型

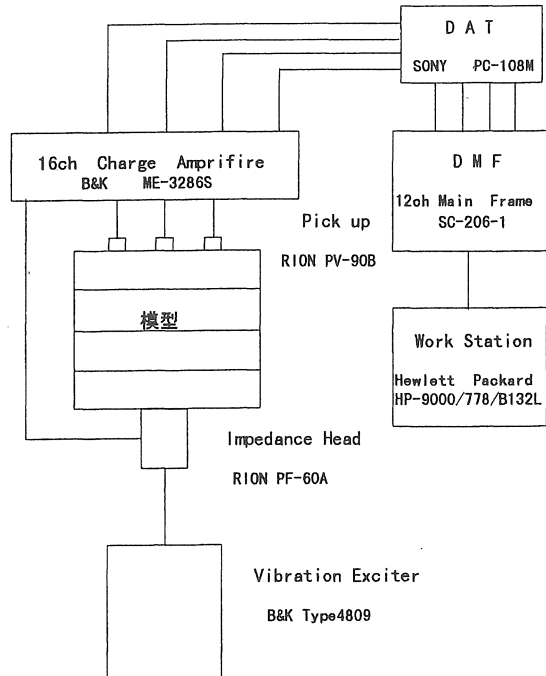


図5 測定系のブロックダイアグラム

れ、2階床面が独自の傾向を示している。3, 4, 5階については同様の振動加速度レベル分布を示しており、振動加速度レベルも同様の値を示している。2階床面が他の床面と比較して大

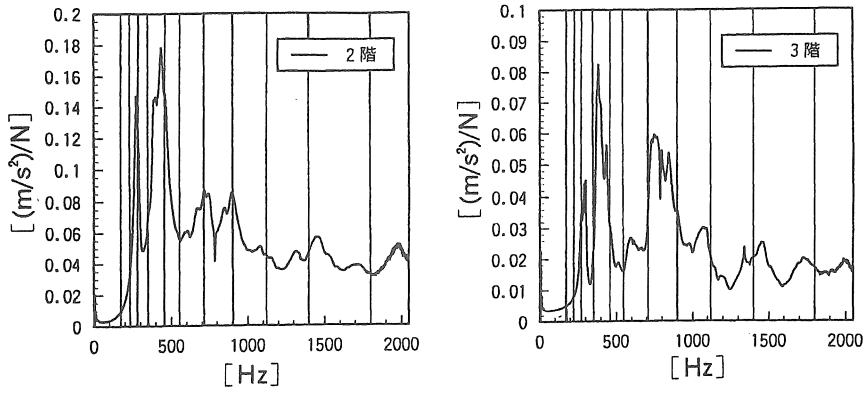


図6 周波数応答関数

VAL (dB) 200Hz

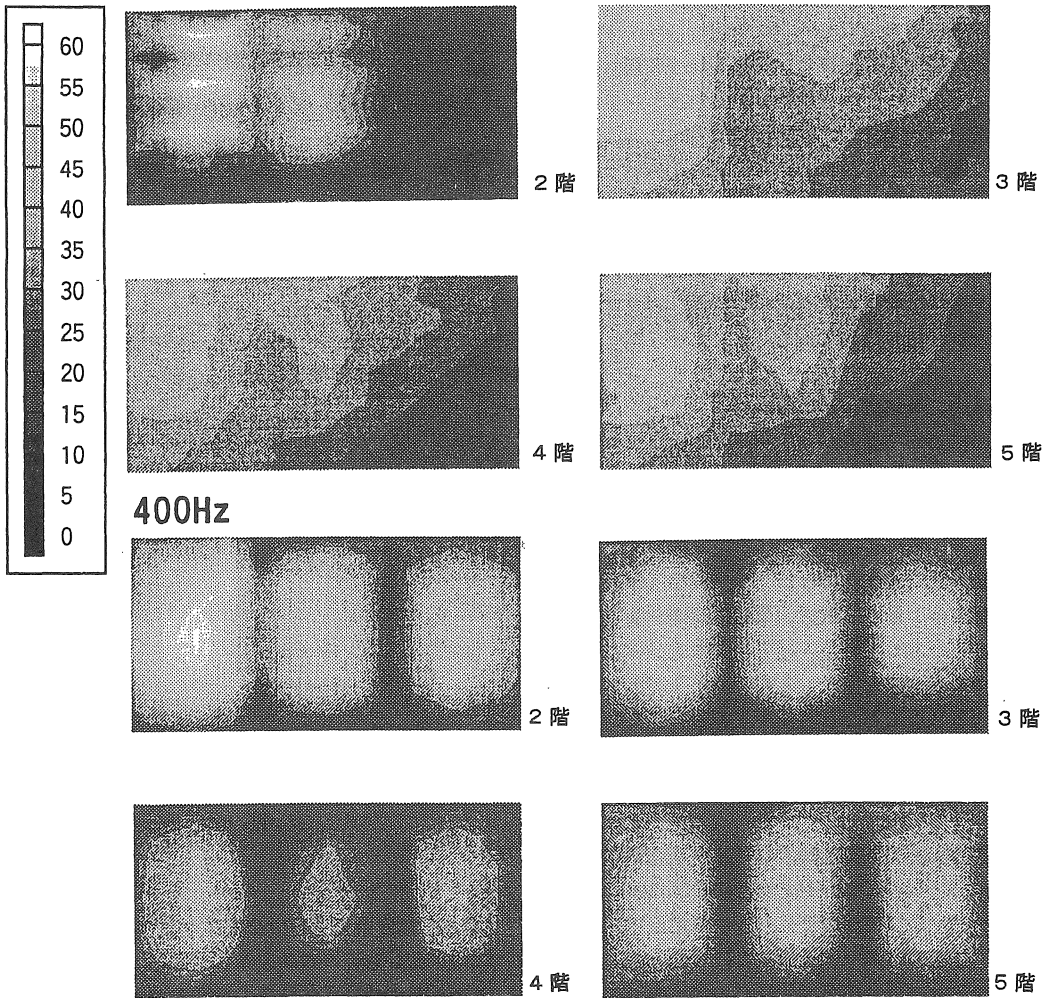


図7 振動加速度レベル分布の一例

きい振動加速度レベルを示すことは、2階床面が加振点であることと、2階床面と3、4、5階床面との拘束条件の違いによるものであると考えられる。

5.5 スパン平均

各階床面についてスパン単位でエネルギー平均し、振動加速度レベルの距離減衰を求めたものの一例を図13に示す。固有振動数近傍以外と考えられる200Hzなどの振動数域では、ほぼA、B、C室の順に振動加速度レベルは減少している。このことから、床面内において振動加速度レベルの分布にまとまりのないこれらの振動数域では、スパン単位でエネルギー平均して振動加速度レベルの距離減衰を検討することが、平均的な値が求められ、妥当であると考えられる。

5.6 壁面を含めた振動伝搬経路の検討

2階のA室床面中央部から壁面（界壁、外壁1など）を通り、3、4、5階のA、B、C室床面中央部への伝搬経路をそれぞれ挙げ、各階床面への伝搬経路についてどの経路が最も振動伝搬に関与しているか検討を行った。図14にそれらの一例として2階A室床面からその上階である3階A室床面への壁面を含めた振動加速度レベルの距離減衰を示す。但し、主に振動伝搬経路について検討しているため、到達点までの距離が異なるものも比較の対象とし、床面の固有振動モードに着目し、モードの中央からの伝搬経路としている。

また、固有振動数近傍以外と考えられる振動数については床面の中央からの伝搬経路としている。

400Hzの振動数では外壁1を伝搬経路としたものと、界壁1を経路としたもの、外壁4を経路としたものではそれほど差は認められない。

このように、上階への振動伝搬についても固有振動モードに着目することが重要であると考えられる。

6. まとめ

本研究の結果以下のようなことが示された。

1. 床面における上階及び同階他室への振動伝搬は固有振動数近傍の振動数領域についてはモードに着目して振動伝搬を捉えることが重要であると考えられる。
2. 固有振動数近傍以外の振動数領域においては、スパン別にエネルギー平均し、振動加速度レベルの距離減衰を捉えることが妥当であると考えられる。

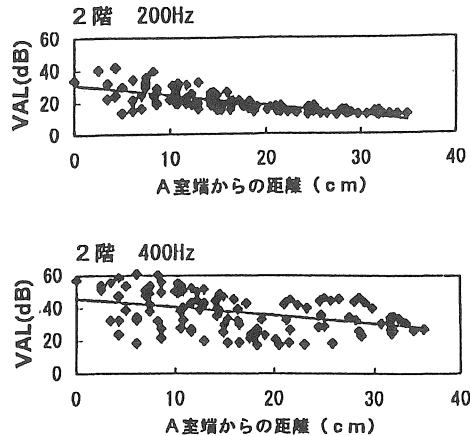


図8 振動加速度レベルの散布図の一例

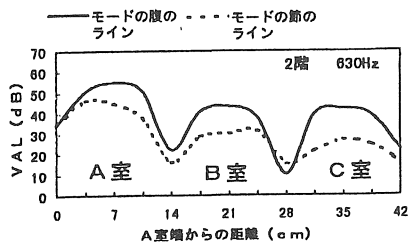


図9 選択ラインによる距離減衰の比較

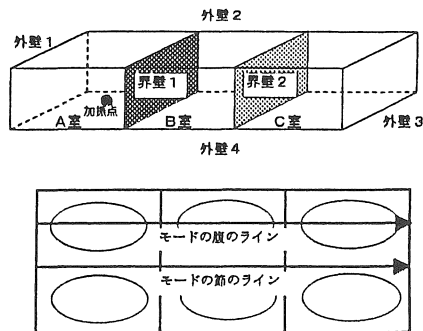


図10 室名及び選択ライン

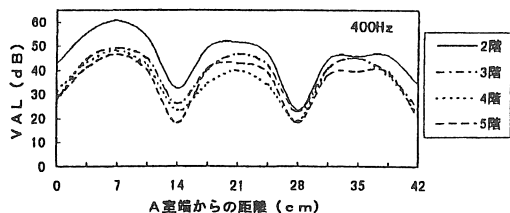


図11 各階床面の振動加速度レベルの距離減衰

7. おわりに

本報は、4層3スパンプロトタイプ模型を用いて床面についての振動加速度レベル分布、振動加速度レベルの距離減衰を求め、壁面を含め振動伝搬経路の検討も行ったものである。建物における振動加速度レベルの距離減衰は距離にのみによって決まるものではなく、固有振動数近傍の振動数においては振動モードに着目して振動加速度レベルの距離減衰を捉えることが重要であることを示し、固有振動数近傍以外の振動数においては床面のスパン別にエネルギー平均し、振動加速度レベルの距離減衰を求めることが妥当であることを示した。また、上階などへの振動伝搬も、床面及び壁面の固有振動モードと密接な関わりがあることが示された。本報で得られた結果をもとに、床面及び壁面における振動加速度レベルの予測が可能であると考えている。

参考文献

- 1) 荘 大作, 日高孝之, 増田定泰: 有限要素法による床スラブの振動解析と床衝撃音の計算, 建築音響研究会資料, AA87-22,1987.7
- 2) 鈴木裕久, 成瀬治興: 建築床構造のモーダル解析と模型実験, 日本音響学会騒音研究会資料, 1993.5
- 3) 成瀬治興, 佐野泰之, 北畠弘基: 建築構造体の振動性状に関する実験的モーダル解析, 愛知工業大学“研究報告”, No.31,1996

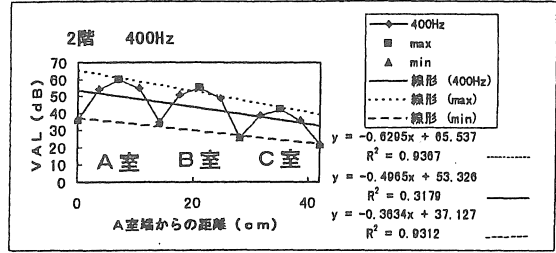


図12 最小二乗法による直線近似

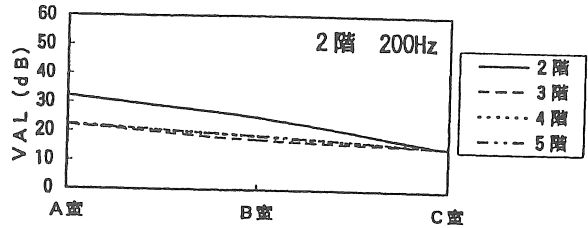


図13 スパン平均による距離減衰の比較

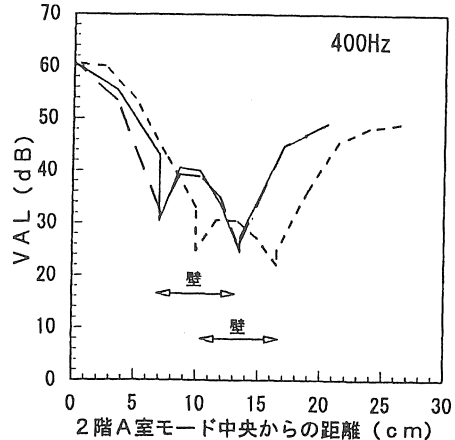
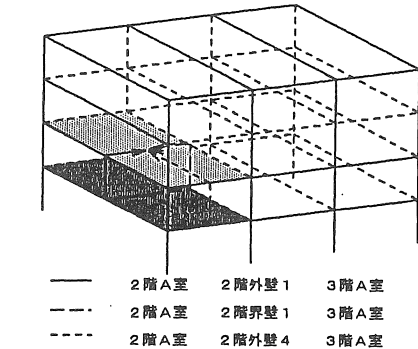
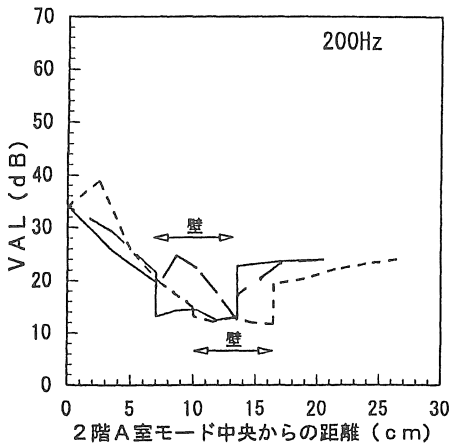


図14 2階A室から3階A室への振動加速度レベルの距離減衰

(受理 平成10年3月20日)