

博士学位論文

(内容の要旨及び論文審査の結果の要旨)

氏名	Yasuyuki Sano 佐野 泰之
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	博 乙 第 21 号
学位授与	平成20年10月23日
学位授与条件	学位規程第3条第4項該当
論文題目	RC建築構造体における振動伝搬性状にモーダル解析を適用した実験的研究 — 模型実験による構造部材追加の検討とその検証 — (Application of Modal analysis to experimental study on vibration characteristics of RC buildings — Effect of building elements on vibration characteristics of model structure)
論文審査委員	(主査) 教授 成瀬治興 ¹ 教授 比嘉俊太郎 ¹ 教授 小池幸男 ¹ 教授 安田仁彦 ² 教授 久野和宏 ³

論文内容の要旨

RC建築構造体における振動伝搬性状にモーダル解析を適用した実験的研究—模型実験による構造部材追加の検討とその検証—
(Application of Modal analysis to experimental study on vibration characteristics of RC buildings — Effect of building elements on vibration characteristics of model structure)

RC建築構造体内における振動問題の大半は、床などの部材が共振することにより生じている。共振問題に対しては、実構造体やその模型構造体について実験的に検討する方法と、有限要素法（以下FEMとする）などにより解析的に検討する方法がある。本論文では、RC建築構造体の模型構造体を作成し、実験的モーダル解析を適用した模型実験を行うことにより、RC建築構造体内の振動伝搬性状について解明することを目的としている。

振動伝搬性状のメカニズムを解明するためには、実構造体での振動測定の結果について検討することが最も望ましいものと考えられる。しかし、柱、梁、壁面などの構造部材追加により振動伝搬性状を検討するためには、実構造体で実験を行うことは膨大な労力と費用が必要となる。本論文では模型実験により、構造部材追加による検討を行っている。模型実験による検討は、その結果を検証する必要があり、本論文では、模型と実構造体との実験結果の比較や、FEMによる解析結果との比較などにより検証している。

1章「序論」では、環境振動の現状を概観すると共に、建築構造体内の振動伝搬性状に関する既往の研究をレビューしている。

2章「実構造体実験」では、実構造体に対して実験的モーダル解析を適用するための検討を行っている。実構造体に対する加振実験は、構造体を起振する加振力が限られていることから、まず加振点を選定する必要がある。加振点の位置は、梁が主に振動伝搬に関係すると考え、梁上を採用する場合と、振動しやすい床版が主に関係すると考え、非梁上を採用する場合があげられる。これらの位置において、実際に加振実験を行い、加振点として望ましい位置を検討している。また、実験装置や解析方法についても検討し、モーダル解析により、振動伝搬性状を把握することが可能であることを示している。さらに、モーダル解析により得られた結果について検討し、モードシェイプと振動伝搬の関係など、種々考察している。

3章「実構造体実験と模型実験の対応」では、アクリル材により1/50縮尺の模型を作製し、実験的モーダル解析を行い、模型と実構造体との対応について検討している。その結果、模型実験により、実構造体の振動伝搬性状を再現することが可能であることを示している。また、理論上、固有振動数に対する相似比は約30倍となり、FRF(周波数応答関数:加速度/力)については、 2.5×10^5 倍程度となることを示し、実験結果も同様であることを確認している。アクリル模型の実験では、重力と減衰による相似比については相似則を緩和することになる。重力については、構造体内の振動伝搬に関係しないこと、減衰については、実験結果を補正することが可能であることを示している。また、基礎地盤構造についても簡略化を行っているため、その影響についても考察している。

4章「プロトタイプ模型による構造部材追加と振動

1 愛知工業大学 工学部 都市環境学科 (豊田市)
2 愛知工業大学 工学部 機械学科 (豊田市)
3 愛知工業大学 工学部 電気学科 (豊田市)

伝搬性状」では、実構造体の構造を単純化した1/50縮尺の模型（以下プロトタイプ模型とする）を作製している。プロトタイプ模型は完成型が4層3スパンの模型であり、その作製の過程において実験が行われ、梁や壁面などの構造部材追加の影響を把握できるようにしている。構造部材追加による振動低減量を定量的に明らかにした結果、壁面追加による効果が最も大きいことなどを示している。また、構造部材追加による振動低減量は加振点（加振室）と受振点の位置関係により異なり、加振室（加振点を含む床面）ではあまり認められず、加振室から離れるほど大きくなる傾向が認められている。これは、振動低減量が評価する位置により異なることを示しており、振動低減量を定量的に把握する上で、評価方法を統一する必要があることを示すものである。

構造部材追加による振動低減の考察から、振動低減量は、モードシェイプと構造部材を追加する位置とに関係があり、振動の節の位置に構造部材を追加してもあまり低減しない傾向が認められている。感度解析の結果、質量付加による対策については、モードの腹となる場所に、剛性付加（バネ付加）については、モードシェイプの傾きが大きくなる場所に対しての効果が大きくなっている。また、振動を低減させたい位置の近傍を対策するよりも、モードシェイプに着目した対策が有効である結果も得られている。このように振動モードが振動伝搬性状に関わることが明らかになっている。この他にも、構造部材追加によるモードシェイプの変化と、固有振動数、減衰比などについての関係を明らかにし、振動伝搬性状について考察している。

5章「FEMによる構造変更と振動性状の検証」では、まずFEMの解析モデルについての考察している。次に、模型実験の結果を検証するために、FEMによる解析結果と模型実験の結果を比較している。その結果、構造部材追加による振動低減などの傾向については、両者同様となることが確認できている。しかしながら、FEMと模型実験で異なる点も認められている。この原因については、FEM解析では材質が均質である理想条件による計算結果であるのに対し、模型実験では、材厚や物性値が必ずしも均一ではないことなどがあげられる。このように、FEMを適用する際に生じる差の原因についても考察している。

6章「結論」では、本論文を総括し、建築構造体内の振動伝搬性状についての考察や、研究課題、今後の展望について述べている。

論文審査結果の要旨

佐野泰之氏提出の本論文は、建築物内部に設備機器などの振動源がある場合に、その室や他の室あるいは他の階の室にその振動が伝搬するメカニズムの解明と、その振動低減方法について提案することを目的としている。そのため、RC建築構造体の振動伝搬性状を対象として実験的モーダル解析を適用し、実際の建物での実物実験と、その模型による模型実験、有限要素法による数値解析を行って確認を行ったものである。

本論文は、6章で構成されており、

1章「序論」では、環境振動の現状を概観すると共に、建築構造体内の振動伝搬性状に関する既往の研究

をレビューしている。

2章「実構造体実験」では、規模の大きい実構造体に対して実験的モーダル解析を適用するための検討を行っている。実構造体に対する加振実験は、構造体を起振する加振力が限られていることから、まず加振点を選定する必要がある。加振点の位置は、梁が主に振動伝搬に関係すると考え、梁上を採用する場合と、振動しやすい床版が主に関係すると考え、非梁上を採用する場合がある。これらの位置において、実際に加振実験を行い、加振点として望ましい位置を検討している。また、実験装置や解析方法についても検討し、モーダル解析により、振動伝搬性状を把握することが可能であることを示している。さらに、モーダル解析により得られた結果について検討し種々考察している。

3章「実構造体実験と模型実験の対応」では、アクリル材により1/50縮尺の模型を作製し、実験的モーダル解析を行い、模型と実構造体との対応について検討している。その結果、模型実験により、実構造体の振動伝搬性状を再現することが可能であることを示している。また、理論上、固有振動数に対する相似比は約30倍となり、FRF(周波数応答関数：加速度/力)については、 2.5×10^5 倍程度となることを示し、実験結果も同様であることを確認している。アクリル模型の実験では、重力と減衰による相似比については相似則の緩和を行った上で、減衰については、実験結果を補正することが可能であることを示している。また、基礎地盤構造についても簡略化を行っているため、その影響についても考察している。

4章「プロトタイプ模型による構造部材追加と振動伝搬性状」では、実構造体の構造を単純化した1/50縮尺の模型（以下プロトタイプ模型とする）を作製している。プロトタイプ模型は完成型が4層3スパンの模型であり、その作成過程についての実験から、梁や壁面などの構造部材追加の影響を把握できるようにしている。構造部材追加による振動低減量を定量的に明らかにした結果、壁面追加による効果が最も大きいことを示している。また、構造部材追加による振動低減量は加振点（加振室）と受振点の位置関係により異なり、加振室（加振点を含む床面）では振動低減はあまり認められず、加振室から離れるほど振動低減が大きくなる傾向が認められている。これは、振動低減量が評価する位置により異なることを示しており、振動低減量を定量的に把握する上で、評価方法を統一する必要があることを示すものである。

構造部材追加による振動低減の考察から、振動低減量は、モードシェイプと構造部材を追加する位置に関係しており、振動の節の位置に構造部材を追加してもあまり振動低減効果が認められない結果が得られている。感度解析の結果、質量付加による対策については、モードの腹となる場所に、剛性付加（バネ付加）については、モードシェイプの傾きが大きくなる場所に対しての効果が大きくなっている。また、振動を低減させたい位置の近傍を対策するよりも、モードシェイプに着目した対策が有効である結果も得られている。このように振動モードが振動伝搬性状に関わることが明らかになっている。この他にも、構造部材追加によるモードシェイプの変化と、固有振動数、減衰比などについての関係を明らかにし、振動伝搬性状につい

て考察している。

5章「FEMによる構造変更と振動性状の検証」では、まずFEMの解析モデルについて考察を行っている。次に、模型実験の結果を検証するために、FEMによる解析結果と模型実験結果との比較を行っている。その結果、構造部材追加による振動低減などの傾向については、両者同様となることが確認できているが、FEMと模型実験で異なる点も認められている。この原因については、FEM解析では材質が均質である理想条件による計算結果であるのに対し、模型実験では、材厚や物性値が必ずしも均一ではないことなどがあげられる。このように、FEMを適用する際に生じる差の原因についても考察を行っている。

6章「結論」では、本論文を総括し、建築構造体内の振動伝搬性状についての考察や、研究課題、今後の展望について述べている。

このように、本論文は、RC建築構造体における振動伝搬性状を解明するためには、模型実験が有用であることを明らかにしたものであり、構造部材追加による感度解析の結果から、質量付加と剛性付加の振動低減効果については、モードシェイプに着目した対策が有効であることを明らかにし提案するなど、新しい知見も得られていることから、博士論文として十分価値があるものと認める。

(受理 平成21年3月19日)