

博士論文審査報告書

論文題目

固体音領域における建物応答の評価と
躯体を利用した振動低減方法に関する研究

Building Response Evaluation and Vibration Reduction Method
Using Building Structures in Frequency Range
Related to the Structure-Borne Sound

申請者

山岸	邦彰
KUNIAKI	YAMAGISHI

--

2009年 2月

交通網が発達した市街地では、車両通過に伴う騒音・振動が住宅の居住性に影響を与える可能性が高い。特に地下鉄の通過にともない居室内に発生する固体音は建物竣工後にクレームの対象となる場合が多い。一方、固体音に関する不具合は建物の地下構造との関わりが強いために、一般的には事後対策が困難である。したがって、都市の高度化や居住者の建物への要求性能の多様化が進展する中で居住性を確保するためには、建築の企画・設計段階での精度の高い予測および対策立案を可能とする手法の開発が重要となる。

固体音を正確に予測するためには、加振源の特性のみならず音響放射特性も含めて種々の振動伝搬に関わる特性を適切に評価する必要がある。既に多くの評価方法が研究され実用化されているが、残された課題も多い。固体音の予測結果は、その後の建築計画に大きな影響を与えるため、時間が限られている建築企画の段階においては、精度良く、かつ短時間で予測することが特に必要である。そのために、建物の実況に適応した簡易なモデルによる評価手法を確立する必要があった。

一方、固体音の低減対策においては新たにデバイスを付加する事が必要な場合が多い。このことは建築費を高くするだけでなく、建物の一部で使用が制限される要因ともなるので、経済性と使用性を満足する対策が望まれている。そのような対策の一つとして免震構法が考えられる。免震構法は基礎からの外乱の作用に対してローパスフィルターの役割を持つため、高い振動数成分が支配的な固体音を低減する効果があるとされる。しかし、その振動低減のメカニズムは十分には定量的に把握されていない。一方、スラブの振動により一部の振動数領域の振動を低下できる性質を利用した対策工法も考えられる。このように、特殊なデバイスを設けるのではなく、免震部材やスラブなど躯体の特性を活用した対策工法が有効と考えられる。

以上より本論文では、まず固体音の予測法につき、その精度の向上と評価時間の短縮を目的として、簡易な評価モデルによる建物応答の計算方法の提案をしている。特に、これまで簡易な評価が困難であった基礎における入力損失および建物内の振動伝搬の各特性に着目した建物応答の計算方法について論じている。次に、経済的な固体音対策として、免震構法を有効に活用できる条件を解析的に明らかにしている。また、スラブ等の部材を TMD として利用する新しい対策工法を提案し、その効果を解析的に明らかにしている。

本論文は全 6 章で構成されている。

第 1 章では、まず固体音の予測と対策に関する社会的な背景と本研究の目的について記している。次にこの分野における既往の研究について述べ、最後に本論文の構成を示している。

第 2 章では、柔基礎の入力損失特性を簡易に評価する方法を提案している。はじめに埋込みのない剛基礎を仮定した既往の評価式を応用して、簡易評価

法を導いている。簡易評価法は、既往の評価式と比較して解析パラメータはやや増加するが、基礎板厚が変化することによる基礎剛性の変化や、入力変位の非一様性を考慮することができることを特徴としている。次に基礎の入力損失特性に関わる各種パラメータの影響を考慮して、剛基礎を仮定した既往の評価式と本論で提案する簡易評価法それぞれによる評価結果の差異について、実測結果との比較に基づいて述べている。簡易評価法の妥当性は、鉄道振動を受けている集合住宅3棟に対する実測結果と比較することにより評価している。地下鉄軌道の直上に建つ地盤振動の入射特性が不明な低層建物の場合は実測結果との整合性が低いですが、Rayleigh波の入射が推定される他の2棟の場合は一部の振動数領域を除くと実測結果との整合性が高いことが分かった。以上より、基礎の入力損失を評価するためには、基礎を柔基礎として扱うことが重要であることを明らかにしている。

第3章では、多質点系モデルを用いて建物内の振動伝搬特性を簡易に評価する方法を提案している。はじめに評価方法について述べ、次に提案方法と実測結果による伝達率の比較により提案する方法の精度について述べている。

提案する簡易評価法は、固体音領域の振動に影響を及ぼすスラブ等を質点系モデルに置換することにより、建物の構造躯体をすべて多質点系モデルとして構築することができ、モデル化に必要な手続きおよび解析に係わる時間を大幅に低減することができることを特徴としている。

本提案方法の妥当性を、低・中・高層の3棟の建物における上下振動の応答解析結果と実測結果との比較により評価している。スラブの振動を無視した解析による伝達率は実測結果との整合性が低いですが、スラブの振動を考慮した本提案方法による伝達率は、実測結果との整合性が高いことが分かった。

以上より、スラブの振動を考慮することができる多質点系モデルにより建物内の振動伝搬特性を適切に評価することができることを明らかにしている。

第4章では、固体音の低減対策として有望視される免震構法について、その振動低減効果を解析的に検討している。はじめに実測データの蓄積を目的として、20階建て集合住宅に対して実施した振動測定の概要および結果について述べている。次に実測した建物を含む、階数の異なる免震建物の振動解析を実施して、上記実測結果との整合性、および振動低減に寄与する条件について述べている。

既往の研究によれば、免震構法の採用により高い振動低減効果が得られている事例があるが、実測した建物では顕著な振動低減効果が確認されていない。このことを検証するために、5～20階建ての免震集合住宅に対する多質点系モデルを構築して、免震部材の鉛直バネと免震層より上部の建物質量から計算される上下方向の固有振動数をパラメータとして伝達率を計算し、その結果、建物階数が多いほど、また免震層を含む建物全体の上下方向の固有

振動数が高いほど、振動低減効果が低くなることを確認している。また、20階建てモデルの解析結果と実測結果の振動低減効果はほぼ一致していることを確認している。以上より、固体音の低減を目的として免震構法を採用する場合、建物階数と建物全体の上下方向の固有振動数との特定の組み合わせの場合において一定の振動低減効果を期待できることを明らかにしている。

第5章では、スラブをTMDとして利用する固体音に関わる不具合への新しい対策工法を提案し、低層および高層建物に対してこの対策工法を適用した場合の振動低減効果について解析的に検討した結果を記している。本論ではこのような部材をTMD部材と呼んでいる。TMD部材を各階に配置した場合と建物頂部に集中的に配置した場合の応答比較を、第3章に示した評価方法を適用して行っている。その結果、TMD部材を各階に配置した場合は、低層・高層建物ともにTMD部材の固有振動数付近で振動低減効果が顕著となり、TMD部材の質量が大きいほどその効果が大きくなることが分かった。一方、TMD部材を建物頂部に配置した場合は、低層建物については各階に配置した場合と同様の傾向となったが、高層建物についてはほとんど効果がないことが分かった。以上より、固体音の主因である上下動を効果的に低減させるためには、TMD部材の質量を大きくし、建物の上下振動特性に応じてTMD部材を適切に配置させることが重要であることを明らかにしている。

第6章には本研究の結論が記されている。

本論文では、固体音の予測と固体音への対策とを論じている。予測については、これまで簡易でありかつ高い精度の予測が困難であった基礎の入力損失と建物内の振動伝搬の各特性を簡易に評価する方法が提示され、実測結果と比較することによりその妥当性を確認している。また、低減対策については、免震構法を採用した場合とスラブをTMD部材として利用した場合の振動低減効果について論じられ、実測結果や解析結果からそれらの構法や部材を適用した場合の振動低減効果が発現されるための条件を明らかにしている。以上を要するに、本論文に示した方法や結果は建物で発生する固体音障害の予防と対策に関する有益な解決方法を示すものである。よって、本論文は今後の建築構造学の発展に大きく寄与するものであり、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。

2009年2月

審査員（主査）	早稲田大学教授	工学博士（早大）	曾田五月也
	早稲田大学教授	Ph.D.(コロンビア大学)	西谷 章
		工学博士（早大）	
	早稲田大学教授	工学博士（早大）	山田 眞
	早稲田大学教授	博士（工学）（早大）	前田 寿朗