

# 博士論文概要

## 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
Yamagishi	Kuniaki

--

2008年12月

高度な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。また、固体音の問題は事後対策が困難なことから、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が重要となる。都市の高度化や居住者の多様化が進展する中で居住性を確保するためには、固体音の予測および低減対策の必要性がますます高まっている。

固体音を正確に予測するためには、加振源から音響放射に至る種々の振動伝搬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。特に、評価精度の確保と評価時間の短縮との両立が課題である。一般的に、評価精度を上げるためには計算条件を詳細に設定して多くの演算を要し、評価時間が長くなる。一方、評価時間を短縮させるためには既往の評価式を適用する必要があるが、対象建物が評価式の適用条件を満足しない場合には評価精度が低下する。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も、精度良く、かつ短時間で予測する必要がある。そのためには、建物の実況に適応した簡易なモデルによる応答評価手法を確立する必要がある。

一方、固体音の低減対策に関する既往の研究や実施例も多い。しかし、多くの対策は新たにデバイスを付加する必要があるため、建築費が高くなるだけでなく、建物の一部で使用が制限される場合がある。そのため、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に免震構法がある。免震構法は副次的に固体音を低減する効果があるとされる。しかし、対策として免震構法を利用するには振動低減のメカニズムを定量的に把握する必要がある。また、スラブの振動により一部の振動数領域で振動が低下する性質があることから、スラブを利用した対策工法も考えられる。このように、特別なデバイスを設けるのではなく、免震構法やスラブなど躯体の特性を活用した対策工法が注目される。

以上より本論文では、まず固体音の予測法の改善を目的として、簡易な評価モデルによる建物応答の評価方法の提案を行う。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評価方法について論じる。次に、経済的な固体音対策の構築を目的として、免震構法による振動低減効果を解析的に明らかにする。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する。

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背景と本研究の目的について述べ、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記す。

第2章では、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、柔基礎の入力損失特性を簡易に評価する方法を提案する。はじめに簡易評価法の導出方法について述べ、次に簡易評価法に対する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簡易評価法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る。

提案する簡易評価法では、地盤バネにより支持され、弾性梁で接続されている離散化された剛基礎を基礎のモデルとする。まず離散化された剛基礎に対して既往の評価式により入力損失を評価する。次に各剛基礎における力の釣り合いを考え、剛基礎の相対変位を未知量とする連立方程式を解き、前述の入力損失特性を考慮することにより柔基礎の入力損失を評価する。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する。

簡易評価法の妥当性を、鉄道振動を受けている集合住宅3棟における上下振動成分の実測結果との比較により評価した。既往の評価式では基礎の入力損失を過大に評価する結果となった。しかし、簡易評価法では、地下鉄軌道の直上に建つ低層建物の場合は実測結果との整合性が低いが、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、および入力変位の位相特性を考慮することが極めて重要であることが明らかとなった。

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する。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同方法の精度について述べる。

建物内の振動伝搬特性の評価方法として、振動モデルを構築して振動現象を時間領域または周波数領域で再現する方法と、振動または音響エネルギーの平衡・拡散を評価する方法がある。前者の方法として有限要素法が多用されているが、同方法は多くのパラメータを必要とし、パラメータを設定するための情報収集や演算に多くの時間を必要とする難点がある。後者の方法として松田ら(1979)が実験に基づいて定めた評価式を利用する方法が多用されている。この方法は、ランダム性の強い高振動数領域では評価精度が高いが、振動モードの影響が強い数10Hzでは評価精度が低下する。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定式化することができ、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する。

本提案方法の妥当性を、低層、中層、高層建物の3棟の建物における上下振動成分の実測結果との比較により評価した。低層建物のみ第2章に示した建物と同一である。低層および高層建物の用途はそれぞれ住宅であり、中層建物の用途は事務所である。スラブ等の振動を無視した多質点系モデルを用いて計算した伝達率は実測結果との整合性が低いが、スラブ等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は高いことが分かった。しかし、本提案方法を適用した場合であっても中層建物および高層建物では高振動数領域において実測結

果との整合性がやや低くなることも明らかとなった。

以上より、スラブ等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が分かった。ただし、中層・高層建物の高振動数領域において評価精度の低い部分が見られるなど不十分な点も残ることも分かった。これは、高振動数領域では二重床や天井などの種々の仕上げ材の振動が影響しているものと考えられ、これらの影響を評価することのできるモデルを構築することが今後の課題である。

第4章では、固体音の低減対策として有効とされる免震構法について、その振動低減効果を解析的に明らかにする。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要因について述べる。

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。しかし、実測した建物では顕著な振動低減効果を確認することができなかった。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た結果、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が確認された。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た。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が明らかとなった。

第5章では、スラブ等の部材をTMDとして利用する新しい固体音の対策工法を提案し、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述べる。本論ではこのような部材をTMD部材と呼ぶ。

第3章に示した評価方法を適用して、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行った。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が分かった。

第6章に本研究の結論を記す。

以上