

氏 名	おお さこ かつ ひこ 大 迫 勝 彦
授 与 学 位	博士 (工学)
学位授与年月日	平成13年2月14日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第2項
最 終 学 歴	昭和53年3月 鹿児島大学大学院工学研究科建築学専攻 修了
学 位 論 文 題 目	鉄道高架下建築物の防振防音構工法に関する研究
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 山口 育雄 東北大学教授 山田 大彦 東北大学教授 井上 範夫

論 文 内 容 要 旨

鉄道高架下に建物を建設する際、厳しい騒音振動のため合理的な防振防音対策方法が求められている。そこで、高架橋内の振動伝搬予測と防振防音対策について、実験と解析により振動伝搬機構と室内発生騒音を検討し、簡便な振動伝搬予測法と効果の高い防振対策法を構築することが、本研究の目的である。

論文では、第1章において、本研究の背景と目的を述べ、既往の防振防音対策例および研究について整理する。第2章では、電車走行にともない発生する高架橋内振動伝搬および高架下建物内発生騒音の実態について調査を行い、検討を加える。第3章において、高架橋での振動調査結果を対象に、構造物内での振動伝搬について、既往の距離減衰を用いた伝搬予測法と伝達関数理論を用いて電車の等価加振力を求める予測手法を提案し、実測値との比較検討を行う。第4章では、建物内の仕上げ材と躯体間の振動伝搬および仕上げ材から発生する固体伝搬音について、実際の建物と実験室で測定を行い、その機構を明らかにする。第5章では、2章から4章までの研究結果を統合し、実際の建物で対策を行った結果を検証する。さらに、高架橋から建物を懸架する方法による防振防音を実大実験と解析により検証し、防振防音構工法を提案する。第6章では、本研究の結論を述べる。

以下、各章の概要を説明する。

第1章 序論

本研究の序論として、研究の背景と目的について述べ、既往の防振防音工法の事例を紹介し、それらの振動伝搬や騒音発生に関する既往の研究をまとめた章である。

高度化する社会のニーズに的確に対応するため、高速性や快適性、円滑な移動の確保など効率的な交通体系の構築が望まれている。その中で、鉄道の輸送量増強や新線建設に必要な用地確保が困難なため、鉄道軌道の高架化が進められている。その鉄道高架下スペースは、高い開発ポテンシャルの資産性を持っているものの、列車振動や騒音による劣悪な環境にあるため有効利用できずにいる。鉄道振動発生源側の対策として、車両や軌道路盤の開発が進められているが、受振側の対策を不要にする

に至っていない。振動伝搬経路や受振側の建物での対策として、地盤や基礎に防振材を挿入する工法や室内において浮き床や壁、天井の二重化を行う工法があるが、対策効果量が小さく室内環境は満足の結果となっていない。振動伝搬予測に関する既往の研究としては、波動法や有限要素法などを用いた解析法が提案されているが、計算の煩雑さや適用法の一般化、予測精度の検証が十分でない。音の放射と室内騒音の研究では、床スラブの振動解析など局所的な研究が多く、躯体内部振動伝搬予測や仕上げ材から発生する固体伝搬音についての研究事例は少ない。現状は、既往対策法を経験的に用いて防振防音対策を行っており、振動騒音予測には、より簡便で汎用的な予測手法と効率的で高品質な防振防音対策法が求められている。

本研究の目的は、精度が高く簡便な高架橋内の振動伝搬と室内発生騒音の予測手法、および高品質な室内環境を実現できる防振防音構工法の確立を目的としたものである。

第2章 鉄道からの高架橋内振動伝搬および高架下室内騒音発生の実態

鉄道高架橋で行った測定事例をもとに、その振動伝搬特性と高架下室内での騒音発生の実態について分析・検討した章である。

軌道からの振動伝搬特性の特徴として、軌道面では高周波数域にかけてやや右肩上がりのなだらかな周波数特性を示している。高架橋柱脚位置では 63~100Hz 帯域にピークをもち、振動レベルで 60 dB 以上あり、高架下建物への影響が大きいことを示した。また、高架下の地盤上では 250Hz 帯域以上で減衰しているが、63Hz 帯域以下では高架橋柱脚に比べ増幅することを明らかにした。軌道構造の違いでみると、スラブ軌道はバラスト軌道に比べ、250Hz 帯域以上と 16Hz 帯域以下で防振効果がみられる。車両の違いでは、ばね下重量により周波数特性は変化し、重量依存性があることを明らかにした。速度差による比較では、63~100Hz 帯域において速度依存性があることを示した。高架下建物内の騒音は、低音域での減衰は小さいが、仕上げ材や躯体の透過損失の効果により高音域ほど減衰が大きくなっていることを明らかにした。鉄道振動は工場の機械や建設工事の連続的な振動と異なり、間欠的に繰り返し発生しており、列車の通過しない時と通過時のギャップが大きく、鉄道振動に起因した問題解決の必要性を提示した。また、室内では空気伝搬音の影響は小さく、振動から室内仕上げ材を励起して発生している固体伝搬音が卓越しており、床振動により室内騒音をおおよそ推定できることを明らかにした。

第3章 振動伝搬機構の解析的検討

高架橋の躯体内部の振動伝搬について、現状で検討されている予測法である距離減衰式による手法と加振点からの伝達関数を用いた手法の考察を行い、加振力の求め方と伝達理論について提案と検証を行った章である。

振動伝達機構を求める方法として、躯体内の距離減衰を用いた手法と実測値の比較を行った。その結果、重要なパラメータである幾何学的拡散減衰と内部減衰などを表す係数は解析精度に与える影響が大きく、この係数の設定の難しさを明らかにした。列車走行加振でなく躯体をハンマーで衝撃加振した振動伝搬特性では減衰が大きいことを示した。これは、衝撃加振は点加振であるのに対し、列車

加振は多点加振または線加振であるため、振動が順次入力して減衰しにくいと考えられることを示した。

また位相を考慮した共振や反射の影響や時間軸での検討はできないが、簡便さや対象周波数の広さから、平均減衰量の予測には十分適用できることを明らかにした。

次に、加振点からの伝達関数を用い振動予測する2つの手法について比較検討した。インパルスハンマーで軌道を加振して電車の等価加振力を求める方法では、軌道面を直接加振する必要があり、実験規模が大掛かりであり、その加振特性により伝達関数に変化して、振動伝達予測に誤差が出やすいことを明らかにした。また、インパルスハンマー加振は1点加振であるのに対して、列車加振は多点もしくは線加振であり、振動系において列車の荷重も考慮できないため、電車加振と異なることを示した。解析モデルにより電車の加振力を求める方法では、周波数領域で一定のスペクトルをもつ単位インパルス加振力を提案し、解析上でも安定した加振力を得ることができることを示した。また、簡便でありながら鉄道振動の特徴である63Hz帯域でインパルスハンマー加振より予測精度の高いことを明らかにし、振動伝搬予測法を導いた。

第4章 騒音発生機構の解析的検証

建物室内の床、壁、天井から発生する固体伝搬音について、鉄道近傍建物の室内や実験室において躯体と仕上げ材間の振動伝搬特性および発生騒音の関係を検討した章である。

線路近傍に建つ建物内での振動騒音測定結果から、室内仕上げ材では16~63Hz帯域の固体伝搬音発生領域で振動が増幅していることを明らかにした。また、50~100Hz帯域にピークをもつ鉄道振動に対して、一般建物の内装で多く用いられているGL工法壁は、鉄道振動に起因する固体伝搬音対策に適用できることがわかったが、250~500Hz帯域での共振に対して検討の必要があることを明らかにした。天井材は下地材とともに全周波数域に渡り、床スラブより増幅しており、対策の必要なことを示した。軽鉄下地の乾式壁では、壁の位置に関わらず同じ振動特性を示しているが、これは下地材と石膏ボードの固定度が低いためと考えられた。また低周波数域では壁全体が曲げ振動により共振している現象を確認し、下地材を含めた対策の必要性を提示した。躯体と仕上げ材間の振動伝搬について検討した室内実験の結果、内装壁からの音響放射量は全周波数領域で躯体より大きな値を示している。この結果より、仕上げ材の振動が室内騒音に影響を与えており、その音響特性の把握が重要であることを明らかにした。仕上げ材の各部位の振動と音響放射係数を用いて、線路近傍建物の室内騒音予測を行い、GL工法壁と天井材は室内騒音発生の寄与度が大きいことを明らかにした。また室内の騒音を推定する算定式は、実用の範囲内で十分適用できることを示した。

第5章 振動騒音低減方法の実証的検討

ここでは、前章までの成果である振動伝搬予測法や仕上げ材からの固体伝搬音発生の検証結果を用いて、実際の建物に適用した事例と既往の防振防音対策法より優れた構工法の提案を行い、実大試験体や解析によりその対策の検証を行った章である。

高架下建物に、3章と4章の成果をもとに詳細な防振計画を行った結果、建築学会が提唱する騒音

評価指針で、今までの対策効果よりさらに高性能のN-50 という一般事務室並みの居住環境を実現した。高架橋躯体の振動測定結果から、建物内の仕上げ材の振動を予測し、室内の固体伝搬音の推定を行った結果、実測値と比較すると誤差が最大7 dBの範囲で予測できることを示した。しかし、既往の対策法は建物計画、構造、建設コストを考慮すると、この工法での限界と考えられた。このため次の目標として、ホテル客室並みのN-45 を実現することにし、新しい工法として、建物を高架橋に防振ゴム付きの吊り材で懸架して防振防音対策する手法を提案した。

実大実験や解析により、吊り架構は多質点系の振動特性となり、各吊り要素の軸方向剛性が支配的で振動特性に影響を与えていることがわかった。その振動特性には共振と反共振が現れ、これを利用して振動を制御できることを実大実験と解析により示した。また、質点系による動吸収機能を利用することで、防振ゴム上のわずかな質量変化により、伝搬特性を制御できることを解析や実験により確認するとともに、目標のN-45 を実現できた。

次に、3章で提案した伝達関数による振動伝搬予測式により、吊り架構による防振防音工法も予測が可能であることも示した。高架橋に懸架した実大試験体による自由振動実験や構造解析により、建物の吊り周期が高架橋の周期より長い場合、単独の振動特性をもち、これにより高架橋の構造安全性は確保されることを確認した。さらに高架下空間での施工や吊り架構による工事費について検討した結果、施工性や経済性の両面において十分実現性があり、無尽蔵ともいえる未利用地の活用が可能になり、高架下空間の付加価値を高めることができることを示した。

第6章 結論

本研究の結論であり、1章から5章までの成果をまとめている。

審査結果の要旨

鉄道高架下は一部、飲食店や駐車場として利用されているが、延べ数千 Km の長さにわたり殆ど未利用、未活用の状況である。この原因は、鉄道高架下に建物を建設する際には厳しい騒音と振動にたいして、十分な防振防音対策が求められるのに対し、今日までそれらを可能とする合理的な対策が確立していないためであると考えられる。

本研究は、高架橋内の振動伝搬予測と防振防音対策について、実験と解析により振動伝搬機構と室内発生騒音を検討し、簡便な振動伝搬予測法と効果の高い防振対策法を構築することを目的としており、全6章よりなる。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的を示し、既往の防振防音対策例および研究について整理している。

第2章では電車走行にともない発生する高架橋内の振動伝搬および高架下建物内の発生騒音の実態について調査、検討を加えている。すなわち、軌道からの振動伝搬特性として高架橋柱脚では63～100Hz帯域にピークがあることと車両の重量、速度依存性を示し、高架下建物内の騒音では低音、高音域での減衰性に差のあることを示している。

第3章では第2章での振動調査結果を対象に、既往の距離減衰による伝播予測法と伝達関数理論を用いて電車の等価加振力を求める予測手法を提案し、実測値と比較検討してその妥当性を示している。本手法は鉄道振動の特徴である63Hz帯域においてはインパルスハンマー加振によるものより予測精度が高いものである。

第4章では建物内の仕上げ材と躯体間の振動伝搬特性と仕上げ材から発生する固体伝搬音について、鉄道近傍建物の室内と実験室で測定し、その機構を明らかにしている。特に一般に用いられているGL工法壁は固体伝搬音対策として有効であるが、250～500Hz帯域での共振対策の必要性を示すとともに、仕上げ材の振動が室内騒音に与える影響は大きく、その音響特性の把握が重要であることを示している。

第5章では前章までの研究結果を統合し、詳細な防振防音対策で一般の事務所並みの居住環境を実現させている。さらに、ホテル客室並みの居住環境にするため、高架橋から建物を防振ゴム付きの吊り材で懸架する方法を考案し、実大実験と解析によって十分な性能を持つことを検証している。本考案は施工性、経済性の両面においても十分に実現性があり、今後、未利用地の活用法として大いに期待されるものである。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、鉄道高架下などでの建物建設に際し、厳しい騒音と振動に対してその伝搬機構を実験と解析で検討し、簡便な予測式と効果の高い対策法とを提案しており、当研究分野の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。