

Title	動的相互作用を考慮した鉄道高架橋システムの設計手法の開発
Author(s)	徳永, 宗正
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	https://doi.org/10.18910/59589
DOI	10.18910/59589
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/repo/ouka/all/>

論文内容の要旨

氏 名 (徳永 宗正)

論文題名 動的相互作用を考慮した鉄道高架橋システムの設計手法の開発

論文内容の要旨

本論文では、従来未検討で設計では考慮されてこなかった鉄道高架橋と走行列車、防音壁といった鉄道システム構成要素間に発生する動的相互作用に焦点をあて、これらの影響を考慮した高架橋の動的設計法の開発を行うことを目的に、実構造物の各種計測と、動的相互作用を考慮した精緻な数値解析を併用して検討を行ったものであり、6章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究を取りまとめる背景および目的を明らかにした。特に、鉄道高架橋の動的相互作用に関する課題を設計・維持管理の実務視点から俯瞰し、本研究の目的を明確にした。その上で、本研究の構成と各章の関係について整理した。

第2章では、構造物と隣接構造物の常時微動下の動的相互作用の影響を明らかにした上で、常時微動測定により同定した鉄道高架橋の弾性固有周期をもとに、等価固有周期を推定する手法を提案した。具体的には、鉄道構造物で一般的な構造形式であるRCラーメン高架橋130基とRC橋脚86基を対象に、有限要素モデルを用いた線形応答解析および静的非線形解析を実施し、高架橋群の振動モード形状の特徴を利用して、固有振動モードを効果的に同定する手法を提案し、ラーメン高架橋の弾性固有周期を5%以内の誤差で同定できることを示した。さらに、ラーメン高架橋の弾性固有周期／等価固有周期の比が構造形式に応じてほぼ一定値となることを示し、この関係を利用した換算法により10%程度の誤差で常時微動測定から等価固有周期を推定できることを示した。一方、桁式高架橋等で用いられる橋脚に対しては、隣接構造物との連成や地盤条件のばらつき等の影響を受け易い構造物であることから、誤差が大きくなることを明らかにした。

第3章では、構造物と鉄道走行車両の地震時の動的相互作用の影響を考慮した鉄道構造物の耐震設計法を提案した。鉄道車両を31自由度のマルチボディシステム、車輪/レール間の接触をHertzの接触ばね、クリープ力、フランジ圧、構造物を1自由度の非線形トリリニアモデルで表現した数値モデルにより、車両系の動的効果により、地震動の周波数特性、構造物の塑性化の程度、構造物の降伏振動数に依存して応答塑性率は最大で-50～+20%の間で変化すること、列車の集中荷重効果により、列車重量を等分布で想定するよりも構造物の地震時応答は大きくなることを明らかにした。加えて、耐震性能評価における列車重量の簡易モデル化手法として、動的解析の場合には等価重量率を用いて車両系の動的効果を評価する等価重量法、静的解析の場合には等価慣性力法を提案した。

第4章では、構造物と防音壁の列車通過時の動的相互作用の影響を明らかにした上で、防音壁の列車通過時の動的設計法の提案を行った。実測により妥当性を検証した詳細な動的相互作用解析から、列車通過時の防音壁の応答において、列車速度が200km/h以下の場合には列車荷重による構造物・防音壁間の動的相互作用に起因する応答が支配的となる一方、200km/h以上の場合には列車風圧による応答が90%以上を占め、設計においては列車風圧のみを考慮すればよいこと、列車風圧による防音壁の応答は、列車風圧パルスと固有振動モードによる共振効果、後尾部パルスの重量効果により増幅されること等を解明した。さらに、列車通過時の防音壁の動的応答を一般化し、防音壁の設計法として、シミュレーションによる手法と簡易法を提案した。

第5章では、構造物と防音壁の地震時の動的相互作用の影響を明らかにした上で、防音壁の地震時の動的設計法の提案を行った。有限要素法による非線形静的解析を実施し、防音壁の耐震性能や破壊形態を把握した上で、非線形動的解析により、弾性固有周期の影響や構造物の天端回転、防音壁/構造物間の動的相互作用等の影響を定量化し、防音壁の地震時応答を評価した。さらに、設計応答震度の設計式を提案するとともに、対象とした半雪覆型防音壁への適用例を示し、従来から用いられている設計風荷重および4章で提案した列車風圧荷重との関係を整理した。

第6章では、本論文で提案した鉄道高架橋と各構成要素間の動的相互作用を考慮した動的設計法を取りまとめ、今後の展望とともに結論とした。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (徳 永 宗 正)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	准教授	貝戸 清之
	副 査	教授	奈良 敬
	副 査	教授	鎌田 敏郎
	副 査	教授	小野 潔 (早稲田大学創造理工学部社会環境工学科)

論文審査の結果の要旨

本論文では、従来未検討で設計では考慮されてこなかった鉄道高架橋と走行列車、防音壁といった鉄道システム構成要素間に発生する動的相互作用に焦点をあて、これらの影響を考慮した高架橋の動的設計手法の開発を行うことを目的に、実構造物の各種計測と、動的相互作用を考慮した精緻な数値解析を併用して検討を行ったものであり、6章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究を取りまとめる背景および目的を明らかにしている。特に、鉄道高架橋の動的相互作用に関する課題を設計・維持管理の実務視点から俯瞰し、本研究の目的を明確にしている。その上で、本研究の構成と各章の関係について整理している。

第2章では、構造物と隣接構造物の常時微動下の動的相互作用の影響を明らかにした上で、常時微動測定により同定した鉄道高架橋の弾性固有周期をもとに、構造物の初降伏時剛性に対応する等価固有周期を推定する手法を提案している。具体的には、鉄道構造物で一般的な構造形式である RC ラーメン高架橋 130 基と RC 橋脚 86 基を対象に、有限要素モデルを用いた線形応答解析および静的非線形解析を実施し、高架橋群の振動モード形状の特徴を利用して、固有振動モードを効果的に同定する手法を提案し、ラーメン高架橋の弾性固有周期を 5%以内の誤差で同定できることを示している。さらに、ラーメン高架橋の弾性固有周期/等価固有周期の比が構造形式に応じてほぼ一定値となることを示し、この関係を利用した換算法により 10%程度の誤差で常時微動測定から等価固有周期を推定できることを示している。一方、桁式高架橋等で用いられる橋脚に対しては、隣接構造物との連成や地盤条件のばらつき等の影響を受け易い構造物であることから、誤差が大きくなることを明らかにしている。

第3章では、構造物と鉄道走行車両の地震時の動的相互作用の影響を考慮した鉄道構造物の耐震設計法を提案している。鉄道車両を 31 自由度のマルチボディシステム、車輪/レール間の接触を Hertz の接触ばね、クリープ力、フランジ圧、構造物を 1 自由度の非線形トリリニアモデルで表現した数値モデルにより、車両系の動的効果により、地震動の周波数特性、構造物の塑性化の程度、構造物の降伏振動数に依存して応答塑性率は最大で-50~+20%の間で変化すること、列車の集中荷重効果により、列車重量を等分布で想定するよりも構造物の地震時応答は大きくなることを明らかにしている。加えて、耐震性能評価における列車重量の簡易モデル化手法として、動的解析の場合には等価重量率を用いて車両系の動的効果を評価する等価重量法、静的解析の場合には等価慣性力法を提案している。

第4章では、構造物と防音壁の列車通過時の動的相互作用の影響を明らかにした上で、防音壁の列車通過時の動的設計手法の提案を行っている。実測により妥当性を検証した詳細な動的相互作用解析から、列車通過時の防音壁の応答において、列車速度が 200km/h 以下の場合には列車荷重による構造物・防音壁間の動的相互作用に起因する応答が支配的となる一方、200km/h 以上の場合には列車風圧による応答が 90%以上を占め、設計においては列車風圧のみを考慮すればよいこと、列車風圧による防音壁の応答は、列車風圧パルスと固有振動モードによる共振効果、後尾部パルスの重畳効果により増幅されること等を解明した。さらに、列車通過時の防音壁の動的応答を一般化し、防音壁の設計手法として、シミュレーションによる手法と簡易法を提案している。

第5章では、構造物と防音壁の地震時の動的相互作用の影響を明らかにした上で、防音壁の地震時の動的設計手法

の提案を行っている。有限要素法による非線形静的解析を実施し、防音壁の耐震性能や破壊形態を把握した上で、非線形動的解析により、弾性固有周期の影響や構造物の天端回転、防音壁/構造物間の動的相互作用等の影響を定量化し、防音壁の地震時応答を評価している。さらに、設計応答震度の設計式を提案するとともに、対象とした半雪覆型防音壁への適用例を示し、従来から用いられている設計風荷重および4章で提案した列車風圧荷重との関係を整理している。

第6章では、本論文で提案した鉄道高架橋と各構成要素間の動的相互作用を考慮した動的設計手法を取りまとめ、今後の展望とともに結論としている。

以上のように、本論文は、列車の高速化が進む中で重要性が増している鉄道高架橋と走行列車、防音壁といった鉄道システム構成要素間に発生する動的相互作用に着目し、その影響について実験的、解析的に考察を行っており、動的相互作用を考慮した鉄道高架橋システムの設計手法に大きく寄与する研究であると判断できる。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。