



Three-dimensional analysis for traffic-induced vibration of highway bridges and its applications

Kim, Chul Woo

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2003-09-19

(Date of Publication)

2014-06-27

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙2708

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2002708>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



【 3 3 1 】

氏 名・(本 籍)	金 哲 佑	(韓 国)
博士の専攻分野の名称	博士 (工学)	
学 位 記 番 号	博ろ第262号	
学位授与の 要 件	学位規則第4条第2項該当	
学位授与の 日 付	平成15年9月19日	

【 学位論文題目 】

Three-dimensional analysis for traffic-induced
vibration of highway bridges and its applications
(道路橋交通振動の三次元解析とその適用)

審 査 委 員

主 査	教 授	川 谷	充 郎
	教 授	北 村	泰 寿
	教 授	高 田	至 郎
	教 授	神 吉	博

(別紙様式 3)

論文内容の要旨

氏名 金 哲佑(Chul-Woo Kim)

論文題目 Three-dimensional analysis for traffic-induced vibration of highway bridges and its applications (道路橋交通振動の三次元解析とその適用)

近年の急速な都市開発および経済的な低成長の結果、橋工学の state-of-practice への新しい挑戦はより広く行われている。革新的なコンピュータモデリングおよび解析的なテクニックを使ってより安全かつ経済的な橋梁を建設するために数多くのエンジニアが挑戦している。一方、既存の橋の性能レベルを強化するために革新的なソリューションを発展させる問題にも直面している。

現代の橋梁設計は、強度および経済性だけでなく審美的な機能も必要とする。新しい素材および改善されたデザイン方法の採用は、より軽いおよびより柔軟な橋を結果として生じた。鋼桁橋をより経済的にする革新的なデザイン戦略では、簡素化された構造のシステムを持つ鋼 2 主桁橋がある。橋梁の受ける主なる荷重である車両重量はより重くなり、台数についても増大した。従って、道路橋は振動にますます影響され易くなる現状である。

しかしながら、インフラに関する使用者の期待感増加は逆に橋梁の振動に関して厳しくなっている。一方、これらの合理化概念から生じた鋼 2 主桁橋の設計、特に予想される振動に関する検討が十分とはいえない。すなわち、従来桁橋に比べ相対的に過大な床版の変形に伴う床版および桁のウェブプレートでの振動に対する検討の余地がある。これらの技術的な状況にもかかわらず、合理化鋼 2 主桁橋のウェブプレートの動的応答まで含んだ研究が進んでいるとはいえない。勿論、合理化鋼 2 主桁橋の振動に対する対策に関する研究も数少ない。

インフラに関するライフサイクルコストに基づいた設計および維持管理への関心の中で、RC 床版に関する厳密な性能レベルの評価が重要になり、RC 床版の劣化に関する多様な研究が成されている。一方、RC 床版が車両の動的荷重を直接受けている部材にもかかわらず、その動的な特性を現す衝撃係数に関する検討は主桁に比べてまだ十分ではない。特に、多様な不規則要因を考慮した

床版の衝撃係数に関する研究も進んでいるとはいえない。

以上に挙げられた問題点に対して、本論文は 2 つの主題を調査することにある：(1) 桁のウェブプレートおよびゴム支承の応答、(2) また橋の交通振動に関連した不規則要因の影響までシミュレーションできる一般三次元交通振動解析システムの開発と、従来形式および合理化鋼桁橋を対象にした交通振動の解析を行い、挙げられた問題に関して検討する。

最初の章は、橋梁交通振動に関する一般論および簡単なレビューを記述する。また、3 次元交通振動解析の必要性を述べる。

車両一路面凹凸一橋梁の連成システムの動的問題については、その複雑な動的なインタラクションシステムのため一般化することが簡単ではない。そこで、第 2 章に、橋の交通振動のための数値モデルを導くことにする。連成システムの動的問題の微分方程式は Lagrange 方程式によって得られる。路面凹凸を含む車両一橋インタラクション問題の数値モデリングを示す。また、直接積分法として Newmark's β 法を適用してシステムの連立微分方程式を解く。

第 3 章は、第 2 章において誘導された Algorithm を使って求めた車両の動的応答の検証を行う。実験データとの比較によって、解析による車両の動的接地力の妥当性を確認した。また、動的接地力の卓越振動数および車両の Bouncing はお互いに強い相関があることを示した。

第 4 章において、動的接地力と橋梁の関係を調べるため、その有効性が実験によって検証された従来形式鋼桁橋の交通振動解析を行うことにした。静的接地力に対する動的接地力の実効値との比を表す接地力の動的増幅係数 DF (Dynamic Factor) と橋の最大静的応答に対する最大静的応答を含む 1 サイクル中の動的成分の最大値との比になる橋の動的増幅係数 DIF (Dynamic Increment Factor) を用いて相互関係を調べた結果、DF と DIF 値の強い相互関係が分かる。DF と DIF 値は、橋との共振の心配がない車両走行条件の下ではお互いに 1 対 1 の対応をしている。一方では、橋との共振の心配がある車両走行条件の下では DF と DIF 値の強い相互関係はまだ存在するけれども、DF に対する DIF の増加率は急勾配であることが分かる。したがって、もし DF と DIF の関係式の提案するならば、共振という因子をどのような形で考慮するかを検討を必ず行う必要があると考えられる。

また、RC 床版は車両の動的荷重を直接受ける部材であり、他の構造部材に比べて損傷を受け易い。従って、RC 床版の性能レベルの合理的な規準の設定は、ライフサイクルコスト(LCC)に基づく既存の鋼桁橋の検査、補修、アップグレードと関連した意思決定に有益な評価ツールを提供する。それで、鋼桁橋の床版の設計基準に規定している衝撃係数をモンテカルロシミュレーション方法に基づく確率論手法により評価

をする。床版の衝撃係数は伸縮ジョイント部近くに位置した床版の衝撃係数によって代表されることが分かる。

合理的で経済的な橋へさらに、ゴム支承の採用は付加的な振動問題の発生を引き起こす。それで、第 5 章は、PC 床版とゴム支承を持つ 2 スパン連続鋼 2 主桁橋の三次元の解析を行い、その結果を示す。また、桁のウェブプレートとの動的応答調査により、橋の疲労と低周波音に対する有益な情報が与えられる。2 主桁橋のウェブプレートの動的応答についての検討も行うことにした。

三次元解析方法の有効性は、実験結果との比較検討によって確認される。また、より簡便な 3-D 平面モデルも橋の交通振動解析に効果的に使用できることを示す。連行する車両が橋に進入する瞬間の床版の加速度応答は、床版の曲げだけでなくすでに進入している先行車両によるゴム支承の弾性変形により拡大される傾向があることが分かる。

2 主桁橋の長スパン床版に起こる大きい変形がウェブプレートの面外挙動に影響を与えることが観察される。

第 6 章において、桁端補強による橋の交通振動の低減について検討を行った。桁端補強以外に、ジョイント部段差の橋梁振動への影響に着目し、ジョイント部段差改良による振動低減効果についても検討した。

桁端補強はゴム支承を持つ 2 主桁橋の衝動的な振動を低減するのに効果的であるけれども、ジョイント部段差改良と併用による方法が推奨される。

また、連続橋の場合、桁端補強だけではなく、中間支点部横桁を含む補強はさらに RC および PC 床版の寿命を伸ばすことが予想できる。

広い張り出し床版を持つ 2 主桁橋では、ブラケットを含む補強が効果的であることが分かる。

端部補強、段差改良を他の振動制御と併用することによってさらに効果的な橋梁の環境振動の低減が期待できる。

第 7 章は結論として本論文を総括的にまとめることにした。

氏名	金 哲佑 (KIM, Chul-Woo)		
論文題目	Three-dimensional analysis for traffic-induced vibration of highway bridges and its applications (道路橋交通振動の三次元解析とその適用)		
審査委員	区 分	職 名	氏 名
	主 査	教授	川谷 充郎
	副 査	教授	北村 泰寿
	副 査	教授	高田 至郎
	副 査	教授	神吉 博
要 旨			
<p>近年の急速な都市開発および経済的な低成長の結果、橋工学の state-of-practice への新しい挑戦はより広く行われている。革新的なコンピュータモデリングおよび解析的なテクニックを使ってより安全かつ経済的な橋梁を建設するために数多くのエンジニアが挑戦している。一方、既存の橋の性能レベルを強化するために革新的なソリューションを発生させる問題にも直面している。</p> <p>現在の橋梁設計は、強度および経済性だけではなく審美的な機能も必要とする。新しい素材および改善されたデザイン方法の採用は、結果としてより堅いおよびより柔軟な橋を生んだ。鋼桁橋をより経済的にする革新的なデザイン戦略では、簡素化された構造のシステムを持つ鋼 2 主桁橋がある。橋梁の受ける主な荷重である車両重量はより重くなり、台数についても増大した。従って、道路橋は振動にますます影響され易くなる現状である。</p> <p>しかしながら、インフラに関する使用者の期待感の増加は逆に橋梁の振動に関して厳しくなっている。一方、これらの合理化概念から生じた鋼 2 主桁橋の設計、特に予想される振動に関する検討が十分とはいえない。すなわち、従来桁橋に比べ相対的に過大な床版の変形に伴う床版および桁のウェブプレートの振動に対する検討の余地がある。これらの技術的な状況にもかかわらず、合理化鋼 2 主桁橋のウェブプレートの動的応答まで含んだ研究が進んでいるとはいえない。勿論、合理化鋼 2 主桁橋の振動に対する対策に関する研究も数少ない。</p> <p>インフラに関するライフサイクルコストに基づいた設計および維持管理への関心が集まる中で、RC 床版に関する厳密な性能レベルの評価が重要になり、RC 床版の劣化に関する多様な研究がなされている。一方、RC 床版は車両の動的荷重を直接受けている部材にもかかわらず、その動的な特性を現す衝撃係数に関する検討は主桁に比べてまだ十分ではない。特に、多様な不規則要因を考慮した床版の衝撃係数に関する研究も進んでいるとはいえない。</p> <p>以上に挙げられた問題点に対して、本論文は 2 つの主題を調査することにある：(1) 桁のウェブプレートおよびゴム支承の応答、(2) また橋の交通振動に関連した不規則要因の影響までシミュレーションできる一般三次元交通振動解析システムの開発と、従来形式および合理化鋼桁橋を対象にした交通振動の解析を行い、挙げられた問題に関して検討する。</p> <p>最初の章は、橋梁交通振動に関する一般論および簡単なレビューを記述する。また、3 次元交通振動解析の必要性を述べる。</p> <p>車両一路面凹凸—橋梁の連成システムの動的問題については、その複雑な動的なインタラクションシステムのため一般化することが簡単ではない。そこで、第 2 章において、橋の交通振動のための数値モデルを導くことにする。連成システムの動的問題の微分方程式は Lagrange 方程式によって得られる。路面凹凸を含む車両—橋インタラクション問題の数値モデリングを示す。また、直接積分法として Newmark's β 法を適用してシステムの連立微分方程式を解く。</p> <p>第 3 章は、第 2 章において誘導された Algorithm を使って求めた車両の動的応答の検証を行う。実験データとの比較によって、解析による車両の動的接地力の妥当性を確認した。また、動的接地力の卓越振動数および車両の Bouncing は互いに強い相関があることを示した。</p>			

氏名 金 哲佑 (KIM, Chul-Woo)

第4章において、動的接地力と橋梁の関係を調べるため、その有効性が実験によって検証された従来形式鋼桁橋の交通振動解析を行うことにした。静的接地力に対する動的接地力の実効値との比を表す接地力の動的増幅係数 DLC (Dynamic Load Coefficient) と橋の最大静的応答に対する最大静的応答を含む1サイクル中の動的成分の最大値との比になる橋の動的増幅係数 DIF (Dynamic Increment Factor) を用いて相互関係を調べた結果、DLC と DIF 値の強い相互関係が分かる。DLC と DIF 値は、橋との共振の心配がない車両走行条件の下ではお互いに1対1の対応をしている。一方、橋との共振の心配がある車両走行条件の下では DLC と DIF 値の強い相互関係は存在するが、DLC に対する DIF の増加率は急勾配であることが分かる。したがって、DLC と DIF の関係式について共振という因子をどのように考慮するのか検討する必要がある。

また、RC 床版は車両の動的荷重を直接受ける部材であり、他の構造部材に比べて損傷を受け易い。従って、RC 床版の性能レベルの合理的な規準の設定は、ライフサイクルコスト(LCC)に基づく既存の鋼桁橋の検査、補修、アップグレードと関連した意思決定に有益な評価ツールを提供する。それで、鋼桁橋の床版の設計基準に規定している衝撃係数をモンテカルロシミュレーション方法に基づく確率論手法により評価を行う。床版の衝撃係数は伸縮ジョイント部近くに位置した床版の衝撃係数によって代表されることが分かる。

合理的で経済的な橋を構築するために近年、ゴム支承の採用が目されている。しかしゴム支承の採用は付加的な振動問題の発生を引き起こす可能性がある。そこで、第5章は、PC 床版とゴム支承を持つ2スパン連続鋼2主桁橋の三次元解析を行い、その結果を示す。また、桁のウェブプレートの動的応答調査により、橋の疲労と低周波音に対する有益な情報が与えられる2主桁橋のウェブプレートの動的応答についての検討も行うことにした。

三次元解析方法の有効性は、実験結果との比較検討によって確認した。また、より簡便な3-D 平面モデルも橋の交通振動解析に効果的に使用できることを示す。連行する車両が橋に進入する瞬間の床版の加速度応答は、床版の曲げだけでなくすでに進入している先行車両によるゴム支承の弾性変形により拡大される傾向のあることが分かる。

2主桁橋の長スパン床版に起こる大きい変形がウェブプレートの面外挙動に影響を与えることが観察される。

第6章において、桁端補強による橋の交通振動の低減について検討を行った。桁端補強以外に、ジョイント部段差の橋梁振動への影響に着目し、ジョイント部段差改良による振動低減効果についても検討した。桁端補強はゴム支承を持つ2主桁橋の衝動的な振動を低減するのに効果的であるが、ジョイント部段差改良と併用による方法が推奨される。

また、連続橋の場合、桁端補強だけではなく、中間支点部横桁を含む補強はさらに RC および PC 床版の寿命を伸ばすことが予想できる。

広い張り出し床版を持つ2主桁橋では、ブラケットを含む補強が効果的であることが分かる。端部補強、段差改良を他の振動制御と併用することによってさらに効果的な橋梁の環境振動の低減が期待できる。

第7章は結論として本論文を総括的にまとめることにした。

以上のように、本論文では桁のウェブプレートおよびゴム支承の応答および橋の交通振動に関連した不規則要因の影響までシミュレーションできる一般三次元交通振動解析システムの開発し、RC 床版の衝撃係数の確率論手法による評価を行った。また、合理化鋼2主桁橋を対象にした交通振動の解析を行い、その振動特性を明らかにした。さらに、明らかにした合理化鋼2主桁橋の振動を低減するための対策として桁端補強および段差改良を適用し、その有効性を示した。この論文は今後、橋梁構造物の振動使用性の検討、さらに各種新交通システムの構造物の振動および制振対策検討にも有用に適用でき、価値ある集積であると認める。よって、学位申請者 金 哲佑 (Kim, Chul-Woo) は博士(工学)の学位を得る資格があると認める。