

学位論文題名

薄肉プレートガーダー橋の性能照査に向けた
動的解析モデルの構築に関する研究

学位論文内容の要旨

自然環境と橋梁構造物との調和を意識した美観上の配慮や建設コスト縮減による合理化、省力化工法から、また材料および架設方法の進歩により広幅員の連続高架橋や斜角のきついラーメン橋、アーチ橋の施工例などが数多く見受けられるようになってきた。さらに、構造物の大型化、長大化、あるいは複合形式化につれて、その構造物自身の有する固有振動性状はますます複雑になってきている。特に、橋梁構造物が非対称でかつ、質量の中心が大きく偏心しているような場合には、固有値の接近が見られ、また、構造物の動的応答解析においても、その用いられる動的解析モデルおよび解析手法によっては動的応答値にかなりの差異を生ずるものと考えられる。

構造物の動的応答は、構造物に作用する外力の性質と構造物自身が有する固有振動性状に依存する。そのため、構造物の動的応答を調べる際に固有振動数ならびに固有振動モードを精度よく求めることと、適切な動的解析モデルの構築が重要となる。本研究で取り扱う2軸非対称合成2主げた橋のように、実際の橋梁構造物では薄肉構造部材を用いることが多く、その図心とせん断中心が必ずしも一致しない。図心とせん断中心との偏心がある場合には曲げ振動とねじり振動が連成することになる。したがって、薄肉プレートガーダー橋を三次元骨組構造として解析を行うにあたり、固有値の接近や固有振動モードの連成を明確にする必要がある。さらに、最近では性能照査型設計が着目され、橋自身の構造系の性能向上を目指した設計法に移行しつつある。具体的な要求性能として、耐震性能、交通振動、地盤振動、環境振動などの性能照査が求められる。その性能照査の評価手法は、限界状態変形や振動使用性能などが、しばしば用いられる。橋梁構造物の設計では、それらの性能照査を満足するために適切な動的解析モデルや解析手法の選定が重要と言える。さらに、振動使用性の観点からも設計された構造物は、設計計画どおりの挙動を示すか否かを橋梁振動モニタリングによって確認することも重要である。

以上のことから、本研究の目的は、薄肉プレートガーダー橋の性能照査に向けた動的解析モデルの構築を目指すものである。2軸非対称プレートガーダー橋を扱い、図心、重心およびせん断中心の偏心量を考慮することにより発生する水平および鉛直曲げ振動とねじり振動との三重連成振動問題について固有値の接近、固有振動モードの連成を明確にするとともに、動的解析モデル、固有振動解析手法、モード連成評価法などについて検討する。

第1章では、序論として研究の背景と目的、既往の研究および論文の内容について述べた。

第2章では、本研究で取り扱う薄肉プレートガーダー橋を用いながら動的解析モデルの構築、固有振動解析手法、連成振動問題などの係わりについて基本的な背景や考え方について述べた。

そこで、性能照査設計への取り組みとして、道路橋示方書の改定に関する背景、国際規格への対応、橋梁構造の多様化への対応、維持管理、耐久性の重視さらに建設コスト縮減などの背景について述べた。特に、振動使用性、耐震性能さらに維持管理とライフサイクルコストなどについては、既往の研究を用いながら動的解析モデルとの関係について説明した。動的解析モデルでは、シェル要素モデルとけた要素モデルにおける解析手法とそれらの適用について概説した。

第3章では、2軸対称断面モデルを取り扱い、けた要素モデルに関する固有振動解析として離散座標系と分布座標系に分類することを提示した。離散座標系による解では、剛性マトリックスおよび質量マトリックスを定式化し、軸変形、曲げ変形、ねじり変形を重ね合わせることで要素剛性マトリックスを誘導し振動数方程式へと導いた。分布座標系による解では、3次元はり要素の自由振動の基礎微分方程式から軸変形、曲げ変形、ねじり変形などに関する固有剛性マトリックスを誘導し振動数方程式を導いた。特に、そりねじり剛性を考慮したねじり変形に関する固有剛性マトリックスは、基礎微分方程式の一般解を用いることにより、新たに提示した。ここで、誘導した薄肉断面げたのねじり振動に関する固有剛性マトリックスの各要素を部材長に関してTaylor展開し、高次の係数マトリックスを導き異なる質量マトリックス法との数学的な特徴と位置関係について明らかにした。

第4章では、連続げたの曲げ振動とねじり振動に着目し、集中質量法、整合質量法および連続質量法により数値計算を行い、求められた固有値の精度について詳しく検討し、必要とする精度を満たす固有振動モード次数と近似解法の要素分割数の妥当性について明らかにした。さらに、薄肉プレートガーダー橋のねじり振動特性をねじり定数比 κ を用いて分類することを試み、その有用性を確かめた。

第5章では、2軸非対称薄肉断面を有する薄肉プレートガーダー橋の三重連成振動解析を行い、モード連成の割合について考察した。複雑な三重連成固有振動モードの中で、支配的な固有振動モードを判定する一つの指標としてモード連成比の算定式を提示した。このモード連成比の算定式を用いることにより、固有振動モードの連成の割合をある程度判別することが可能となり、その有効性を示した。

第6章では、変断面部材を変断面要素の集合体にモデル化し、新たに剛性マトリックスと整合質量マトリックスを導き、少ない要素分割数で固有値の精度と、その解の妥当性を明らかにした。長さ寸法に比較して断面寸法が大きなたを解析モデルとした場合、せん断変形の影響が大きくなり、せん断変形を考慮に入れた振動解析が必要となる。そこで、変断面部材におけるそりねじり変形を含めて拡張されたTimoshenkoはり理論を用い、せん断変形の影響を明らかにした。

第7章では、合成2主げた橋の三重連成振動解析として、図心と重心との偏心量を考慮し、断面内の座標変換を施すことにより、数値解析的に処理する方法を提案した。また、図心、重心およびせん断中心のずれが固有振動特性にどの程度影響するかを数値計算で明らかにした。さらに、合成2主げた橋における三重連成振動モードの連成の割合について数値計算により明らかにした。動的解析モデルの適用に関しては、三重連成振動問題を解決するためのけた要素モデルの有用性を示し、またシェル要素モデルにおいては、床版のような局部振動や、特殊なアーチ系、ラーメン系構造物などへの有効性を示した。

第8章では、本論文により得られ知見を結論として総括し、今後の動的連成振動問題の課題と展望について示した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 佐 藤 浩 一
副 査 教 授 角 田 興 史 雄
副 査 教 授 三 上 隆
副 査 助 教 授 林 川 俊 郎

学 位 論 文 題 名

薄肉プレートガーダー橋の性能照査に向けた 動的解析モデルの構築に関する研究

第二東名高速道路に代表されるように、わが国においても工場製作の簡素化や現場作業の省力化および建設コスト縮減を目指した少数主げた橋の建設事例が多くなる傾向にある。また、橋梁設計は従来の仕様規定から性能規定を基盤とした性能照査型設計へ移行しつつあり、その振動使用性、耐風安定性、耐震性などの性能照査が求められている。これら中小支間長を有する橋梁の性能照査を行うためには、橋梁自身の固有振動特性を適切に表現できる動的解析モデルの確立が必要とされている。

本研究は、薄肉プレートガーダー橋の性能照査に向けた動的解析モデルの構築を目指したものである。2軸非対称断面を有する薄肉プレートガーダー橋を対象として、図心、重心およびせん断中心の偏心量を考慮することにより、発生する水平および鉛直曲げ振動、ねじり振動との三重連成振動問題における固有値の接近、固有振動モードの連成を明らかにし、そのモード連成を評価する方法を提案している。

本論文は8章から構成されている。

第1章は、研究の背景と目的、既往の研究および論文の内容について述べている。

第2章は、薄肉プレートガーダー橋を対象として、道路橋示方書改訂に伴う性能照査型設計への取り組み、国際規格への対応、橋梁構造形式の多様化、維持管理、耐久性、建設コスト縮減の背景について述べている。

第3章は、2軸対称断面を有するけた部材要素を対象として、質量のモデル化により固有振動解析を離散座標系による解と分布座標系による解に分類することを提案している。分布座標系による解では、独立した3次元けた部材要素の自由振動に関する基礎微分方程式の一般解を用いて、固有剛性マトリックスを誘導している。ここで、新たに誘導したねじり変形に関する固有剛性マトリックスをけた要素の部材長について Taylor 展開し、離散座標系による解との数学的な位置関係を明らかにしている。

第4章は、集中質量法、整合質量法および連続質量法により、連続げたの曲げ振動とねじり振動について固有振動解析を行い、求められた固有値の精度について詳細に検討している。また、薄肉プレートガーダー橋のねじり振動におけるそりねじり剛性の影響を調べるために、

ねじり定数比を提示し、その有用性を確認している。

第5章は、図心とせん断中心との偏心量を、けた部材要素の両端断面内での座標変換により数値解析的に考慮し、2軸非対称断面を有する薄肉プレートガーダー橋の三重連成振動解析方法を提案している。複雑な三重連成固有振動モードの中から、支配的な固有振動モードを判定する一つの指標として、新たにモード連成比の算定式を提案している。この算定式を用いることにより、水平および鉛直曲げ振動、ねじり振動に伴う固有振動モードの連成度を評価することが可能となり、この種の連成振動問題に有用な知見を与えている。

第6章は、3次元変断面けた部材要素におけるせん断変形の影響を考慮し、整合質量法に基づいた固有振動解析を提示している。せん断変形の影響を従来の曲げ振動のみならず、ねじり振動に伴うそりねじり変形とともに考慮しており、その適用範囲は広いものと考えられる。 π 形断面を有するけた橋のねじり振動においては、高次振動モードになるにつれてせん断変形の影響が大きいことを指摘している。

第7章は、図心と重心との位置が異なる合成2主げた橋の固有振動特性について調べ、その偏心量の影響は比較的小さいことを指摘している。しかし、図心と重心との偏心量を考慮することにより、図心軸まわりの曲げ振動とせん断中心軸まわりのねじり振動が必ずしも独立した固有振動特性を示さないことを明らかにし、本研究で提示したモード連成比の有効性を確認している。合成2主げた橋の交通振動や振動使用性に向けたけた要素モデルの適用性、床版や腹板において発生する局部振動に対応したシェル要素モデルの有効性について述べている。

第8章は、本論文において得られた結論が述べられている。

これを要するに、著者は薄肉プレートガーダー橋の三重連成振動問題に対する詳細な固有振動解析を行い、その固有振動特性とモード連成度を明らかにし、同種橋梁の性能照査に向けた動的解析モデルの構築に関して新たな知見を得たものであり、橋梁工学、鋼構造学に貢献するところ大なるものがある。

よって、著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。