

学位論文題名

常時微動観測法による吊り構造橋の  
健全度評価に関する研究

学位論文内容の要旨

本研究は、現況の橋梁の点検調査及び補修・補強の研究の現状と課題を踏まえた中で、比較的長大橋となる吊り構造橋の効率的な健全度評価法を確立することを目的としたものである。本論文は、斜張橋形式の石狩河口橋と吊り橋形式の白鳥大橋を対象として強制加振実験並びに常時微動観測を実施し、橋梁全体系に関する固有振動性状を評価することにより、常時微動観測法を取り入れた長大橋の実用的・定量的調査点検手法を提案したもので、全8章から構成されている。以下、各章毎にその概要を述べる。

第1章では、橋梁の維持管理の現状と課題および研究の目的を述べている。ここでは、特に、既往の橋梁に関する点検調査法を長大橋に適用した場合について言及し、1) 既往の点検調査法は、長大橋梁の全体構造系の劣化損傷度を評価し難いこと、2) 既往の点検調査法が客観性に乏しい面があることから、長大橋に関する補修補強計画の作成が難しいこと、3) 供用中の橋梁においては、主塔や吊材の点検調査が物理的に難しいこと、4) 長期的な追跡調査の実施が必要であるものの、既往の点検調査法は、客観性を備えかつ簡便な手法となっていないこと、等を指摘し、長大橋を対象とした実用的・定量的調査点検手法の確立が望まれていることを述べている。

第2章では、既存の調査法と補修・補強対策の実例として、三径間連続斜張橋である石狩河口橋の場合について述べている。本橋は昭和47年7月の供用以来、10年後に3年間の目視点検調査を実施し、その結果をもとに補修・補強の計画を作成し、約15年かけて補修・補強を実施してきたものである。論文では、鋼床版の疲労寿命を50年程度に延ばす補強工法として縦リブ添接と横リブ添加の2種類の補強工法を開発し、縦リブ添接工法が経済的に優れていることを示している。

第3章では、石狩河口橋の補修・補強の実施に伴う全体構造系の健全度を検証することを目的に、強制加振実験を実施し全体構造系の固有振動数および固有振動モードに関する照査を試みている。すなわち、設計当時の解析や補修・補強後の三次元有限要素法による固有値解析と実験結果を比較し、その健全度を確認している。また、強制加振実験により低次固有振動数および固有振動モードをフーリエスペクトルおよび位相スペクトルを用いて適切に評価可能であることを明らかにしている。

第4章では、常時微動観測法による吊り構造橋の固有振動特性評価の妥当性を検討するために、

石狩河口橋を対象として常時微動観測を実施し、強制加振実験結果や三次元有限要素法に基づいた固有値解析結果との比較を行っている。本手法は、モードが卓越する測点の観測加速度波形のフーリエスペクトルから卓越振動数を抽出して橋梁全体系の 1/2 振幅毎のモード分布を求め、連成の有無を確認して固有振動数、固有振動モードを決定する手法である。検討結果、本手法によって斜張橋の低次固有振動数、固有振動モードを精度よく評価可能であることを明らかにしている。

第 5 章では、常時微動観測法の汎用性を検討するために、平成 10 年に完成した三径間 2 ヒンジ吊り橋である白鳥大橋についても常時微動観測を試み、供用開始前に実施した強制加振実験結果や数値解析結果と比較する形で検討を行っている。長大吊り構造橋の場合には、風速によっても固有振動特性が変化する可能性があることにより、風速を 5 m/s, 10 m/s, 15 m/s の 3 段階に分けてデータ処理を行っている。検討結果、1) 常時微動観測法は、振幅が小さい場合においても比較的容易に固有振動モードの特定が可能であること、2) 強制加振実験結果と最大誤差 6 % の範囲でよく対応していること、3) 強制加振実験では特定困難な比較的高次の固有振動数も評価可能であること、等が明らかになり、本手法の長大吊り構造橋への妥当性を検証している。

第 6 章では、固有振動特性評価の一つである減衰定数を評価するために、常時微動観測法にランダムデクリメント (RD) 法を併用して評価する方法を提案し、石狩河口橋および白鳥大橋を対象として検討を行っている。強制加振実験時に求められている値と比較することにより、提案の手法はいずれの場合も類似の評価を与えることを示し、実用的に十分適用可能であることを明らかにしている。

第 7 章では、これまでの検討結果を踏まえ、かつ吊り構造橋の供用後の維持管理における耐風・耐震安定性については全体構造系の動的特性を把握して総合的健全度評価を行う必要があることを前提に、従来までの点検調査項目に、さらに常時微動観測法に基づいた低次固有振動数、固有振動モードおよび対応する減衰定数を調査する、新しい橋梁カルテの作成を提案している。また、提案の点検調査要領に基づいた総合的な診断法を、昭和 37 年に石狩川に架設された二径間連続斜張橋である神納橋に適用し、三次元有限要素法に基づいた固有値解析結果と比較することにより、全体構造系としては未だ十分健全であることを明らかにしている。

第 8 章では、各章で明らかになった事項を要約し、本論文を総括している。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 佐 藤 浩 一  
副 査 教 授 角 田 與史雄  
副 査 教 授 三 上 隆  
副 査 助教授 林 川 俊 郎

学 位 論 文 題 名

## 常時微動観測法による吊り構造橋の 健全度評価に関する研究

昭和30年代以降の高度経済成長期時代に橋梁が数多く架設された。当時は、新規の橋梁拡充を重要視し、維持管理(維持・補修)に十分な投資がなされなかったのも事実である。今後、成熟時代を迎え、既存ストックの維持・再生は益々重要となることは明らかであるが、未だ橋梁の維持・補修に関する合理的な点検方法や補修方法等の指針が確立されていないのが現状であり、大きな課題になっている。また、吊り構造橋(斜張橋や吊橋)を対象とした健全度総合診断手法の確立が望まれている。

本論文は、このような背景のもと、吊り構造橋の常時微動観測データより、固有振動数および固有振動モードを求め、強制加振実験結果や三次元有限要素法に基づいた数値解析結果と比較してその妥当性を明らかにし、また、常時微動観測データにRD法を併用して減衰定数の評価が実用的に十分可能であることも明らかにしている。その結果、常時微動観測法が全体構造系の健全度総合診断手法の確立に結びつくことを述べるとともにその手法のもとに橋梁カルテを作成することを提案している。

本論文は8章から構成されている。

第1章では、橋梁の維持管理の現状と課題および研究の目的について述べている。

第2章では、石狩河口橋を対象として、特に重車両の大量走行による鋼床版Uリブ継手の疲労損傷についての疲労寿命評価、補強工法の開発と経済性について述べている。疲労寿命を50年程度に延ばすことが可能な縦リブ添接と横リブ添接の2種類の補強工法を開発している。また、縦リブ添接がより経済的であることを明らかにしている。

第3章では、石狩河口橋の補修・補強による自重の増加および剛性の増大に伴う補修・補強前後の振動特性がどのように変化しているかを、特に固有振動数や固有振動モードについて検討するために強制加振実験を行っている。その結果、設計当時の数値解析や補修・補強後の三次元有限要素法に基づく固有値解析と強制加振実験結果とを比較し、補修・補強前後で特に問題となるほどの差異がなかったことを明らかにしている。

第4章では、吊り構造橋の効率的な維持管理のための全体構造系の総合診断手法の一つとして常時微動観測法を提案し、前章で強制加振実験結果が得られている石狩河口橋を対象にその妥当性を検討している。その結果、観測データから固有振動数、固有振動モードの決定法を示したが、最低次固有振動数は三次元有限要素法の解析結果と一致したほか、加振装置の質量を考慮した強制加振実験結果とは対称・逆対称・ねじり等すべての高次振動についても同程度の精度で評価可能であることを明らかにしている。

第5章では、白鳥大橋について強制加振実験によって設計との照査や建設完了時の橋梁カルテに資する初期データの把握を行ったほか、特に吊り構造橋の総合診断手法の確立を目指し提案した常時微動観測法の妥当性を検討している。その結果、比較的簡便に実施可能な常時微動観測のもとに求められた固有振動数や固有振動モードと数値解析結果との比較や、強制加振実験結果との比較により、白鳥大橋の場合にもその妥当性が明らかになり、常時微動観測法が吊り構造橋の振動特性の評価手法として有効であることが判明した。

第6章では、不規則な外力である風を考えた場合の実応力振幅は、振動特性に占める減衰定数のウェイトが高いことから、ここでは常時微動観測の波形データからRD法を用いて各固有振動成分に対する減衰定数を概略的に把握する手法を提案し、健全度評価の主要な指標とすることを試み、強制加振実験を行って、その適用性を検討した。その結果、減衰定数はバラツキを伴うものの本手法が十分適用可能であることを明らかにしている。

第7章では、吊り構造橋の全体構造系の健全度総合診断手法のもとに橋梁カルテを作成することを提案している。具体的には、従来からの目視調査、応力頻度調査のみに基づいたカルテ作成から離れ、加速度波形に関する常時微動観測を実施し、固有振動数や固有振動モードの決定、および減衰定数を把握し、設計時の数値計算結果と比較する形でカルテを作成する方法を提案している。評価事例として、神納橋に適用している。

第8章では、各章で明らかになった事項を要約し、本論文を総括している。

これを要するに、著者は、吊り構造橋の効率的な健全度評価を確立することを目的に、橋梁の点検調査法および補修・補強の研究の現状と課題を踏まえ、石狩河口橋、白鳥大橋および神納橋について強制加振実験や常時微動観測を実施し、吊り構造橋の健全度総合診断手法の開発に成功したものであり、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。