

論文の内容の要旨

論文題目「吊り形式橋梁の静的・耐震特性および耐久性に関する研究」

学位申請者 岡本 裕

キーワード：吊り形式橋梁 多径間連続斜張橋 腐食ケーブル 疲労 アーチ橋

吊り形式橋梁とは、吊橋、斜張橋およびニールセン橋に代表される、ケーブルによって主桁を支える橋梁形式を言う。吊り形式は長スパン化を可能とし、景観にも優れるため、極めて魅力的な構造である。現在の世界最長スパンを誇る橋梁は、兵庫県にある吊橋の明石海峡大橋である。国内の長大橋の建設は、本州四国連絡橋以降は減少しているが、国外も含め今後、全長が数キロを越える長大橋の建設プロジェクトが計画されている。実際に数キロを結ぶプロジェクトとなる場合、海上に建設されることが予想される。とくに吊り形式橋梁の場合、桁を支える命綱といふべきケーブルの耐久性確保が重要となってくる。しかし、近年、国内外でケーブルの腐食・破断事例が報告されており、耐久性の低下に繋がる腐食への対策が必要となっている。また、1995年の兵庫県南部地震以降、非常に大きな地震が続いており、国内における橋梁建設には、耐震対策が必要不可欠である。さらに、吊り形式橋梁は、ケーブルの張り方や塔の形状などの選択が可能で、設計自由度の高い橋梁形式であることから、奇抜なデザインの新形式橋梁がしばしば建設されてきた。しかし、新形式橋梁は、過去の研究がほとんどないこともあり、危険をはらんでいることもある。実際に、ロンドンのミレニアム橋では歩行者によって過度な水平振動が生じ、一時的に閉鎖されたことがある。そのため、構造物の全体座屈強度あるいは終局強度を把握することが極めて重要である。

これらの背景から、本研究では長大橋の建設プロジェクトを見据えて、新形式である多径間連続斜張橋を研究対象とし、その静的および耐震特性を研究する。次に、長大橋の多くは腐食環境の厳しい海上で架設されるため、吊り形式橋梁の主要部材である橋梁ケーブルに着目し、腐食した亜鉛めっき鋼線の疲労強度を明確にする。さらに、新しい構造形式である部分補剛アーチ橋を対象にその終局強度を研究する。これら3つの研究は、吊り形式橋梁を将来にわたり健全かつ安全に長期間供用するための重要な研究課題であり、本研究の目的とした。本論文は、全5章で構成されている。

第1章では、本研究の背景および吊り形式橋梁の概説について説明し、本研究の目的を示した。

第2章では、新しく開発した合成主塔を用いた多径間連続斜張橋の静的および耐震挙動に関する研究を詳述した。多径間連続斜張橋に関する研究は非常に少なく、未知な部分が多い。とくに耐震性について検討された研究は殆どない。本章では、新たに提案した鋼とコンクリートの合成主塔を、多径間連続斜張橋に適用し、合成主塔が鋼板の座屈の抑制、外側鋼管の拘束によるコンクリート強度の増加、高いエネルギー減衰性能が期待できる優れた特性を持った合理的な構造であることを解析的に示した。すなわち、交互スパンに活荷重を載荷した方が、全スパンに活荷重を載荷したものに比べ、塔頂変位および主塔基部の曲げモーメントともに大きいことを見出した。

さらに、合成主塔の地震応答を桁と主塔の水平支持に着目し、全可動支承、リニア・バネ支承、バイリニア・バネ支承の3ケースを比較した結果、主塔頂部の応答変位と主塔基部の曲げモーメントは全可動支承が最も大きく、バイリニア・バネ支承が最も小さいことを見出した。また、設計地震波、支承のせん断剛性および降伏点を変化させることによる応答値の影響についてのパラメトリック・スタディーによっても、バイリニア・バネ支承は本形式にとって高い制震効果がある可能性が高いことを見出した。以上より、提案した合成主塔は多径間連続斜張橋に適用可能であり、バイリニア・バネ支承と組み合わせれば地震に対する抵抗力も高まることを新たに示した。

第3章では、腐食した橋梁用亜鉛めっき鋼線の疲労強度に関する研究成果を詳述した。吊り形式橋梁、とくに吊橋は建設されて50年以上経過するものが非常に多い。そのため橋梁ケーブルが腐食した事例が世界的に数多く報告されている。本章では、亜鉛めっき鋼線を腐食促進させ、その腐食した鋼線の疲労試験を行い、腐食度が大きいほど疲労強度が低いことを定量的に見出した。さらに、試験鋼線の腐食形状を計測し3種類の形状（丸、三角、ノッチ付き三角）に分類し、これらの形状の人工ピットを鋼線に付け、疲労試験を実施した。その結果、丸形ピットの応力集中度は低いため疲労強度が最も高いこと、三角形ピットは丸形ピットより応力集中度は高いこと、その応力集中度は三角形ピットが短いほど疲労強度が低いこと、ノッチ入り三角形ピットの応力集中はピット角部のノッチに依存するため亜鉛めっき鋼線の疲労強度はピット長さに関わらず一定となること、およびノッチ入り三角形ピット付き亜鉛めっき鋼線の疲労強度が最も低いこと等を新たに見出した。また、三角形ピット付き亜鉛めっき鋼線およびノッチ入り三角形ピット付き亜鉛めっき鋼線試験体の疲労強度は、腐食亜鉛めっき鋼線の疲労強度の延長上にあり、人工ピット付き試験体の疲労試験結果は妥当であること、さらに腐食亜鉛めっき鋼線の疲労強度の低下の主要因は腐食による表面凹凸であることを明確にした。

第4章では、新形式である部分補剛アーチ橋の構造特性および終局強度に関する研究成果を詳述した。鋼橋を構成する部材は、薄い鋼板を溶接して製作されるため座屈しやすく、構造物の全体座屈強度あるいは終局強度を把握することは極めて重要である。しかも、従来には実績が乏しい新しい橋梁形式に関しては注意を有する。研究対象の部分補剛アーチ橋は新形式のアーチ橋であり、一見通常のアーチ橋に見えるが、基本は桁橋であり、曲げモーメントが卓越する支間中央付近を部分的にアーチで補剛した新形式橋梁である。従来の箱桁橋と比べて桁高を低くすることができ、またアーチライズを比較的強く抑えることにより、周辺へ圧迫感を与えることなく、景観にも優れる。しかし、その全体座屈強度は未知であり、構造物全体の崩壊が懸念される。そこで、構造部材をファイバー要素に分割したうえで、全体構造の大変形弾塑性解析を実施し、全体座屈強度に関し検討した。その結果、アーチ径間が短いほど桁に作用する曲げモーメントおよび軸力が大きいことを見出した。また、アーチライズの変化により曲げモーメントにはほとんど影響は見られないが、軸力はアーチライズが高くなるほどアーチリブによる補剛効果が高くなり、最大で30%程度減少することを見出した。さらに、基本ケースおよび初期不整を有する3ケースについて弾塑性有限変位解析により全体座屈強度を検討した。その結果、両者ともにアーチリブが面外座屈することにより終局状態に達するが、アーチリブに初期不整がある場合は、初期不整がない場合より小さい荷重で全体座屈が生じることを見出した。第5章は結論であり、各章で得られた知見をまとめた。さらに、吊り形式橋梁に関する今後の課題と展望についても述べた。

以上のように、本研究では吊り形式橋梁の静的・耐震特性および耐久性について明らかにし、吊り形式橋梁の合理的設計および長寿命化の分野に貢献できると確信している。