曲線2主桁橋の性能向上と実用化への 適用性に関する研究

学位論文内容の要旨

公共工事のコスト縮減への強い要求や、景気低迷及び最近の行財政改革による新設橋梁の発注減少等により、鋼橋を取り巻く環境は非常に厳しくなっている。また供用開始後50年以上経つ橋梁が今後急速に増加し、本格的な維持補修の時代が到来する。このような社会的情勢の下、経済性と耐久性に優れるとされる2主桁橋が、今後建設される橋梁の中で有力な構造形式であると注目されている。この2主桁橋に関する研究報告及び施工事例は、直線橋あるいは曲率半径の非常に大きな曲線橋に限られており、曲率半径の小さい本格的な曲線橋には適用されていない。しかしながら、曲線橋は都市内高架橋や山岳橋梁に多用されるため、今後建設コスト縮減の要求が益々高まれば、曲線橋にも2主桁形式が採用されてゆくものと予想される。そのためには曲線橋としての構造力学的特性や耐荷力、供用時における使用性等の性能をあらかじめ十分に検討する必要がある。

そこで本研究では、現在のところほとんど実例がない曲率の大きい曲線2主桁橋を対象とし、その力学特性を明らかにして実用へ向けての適用性を探ることを目的としている。具体的には曲線2主桁橋の架設時及び完成時の構造系に着目して、静的立体挙動、終局強度特性、ねじり変形に対する効果的補剛方法を究明し、曲線橋として中心角がどの程度の規模まで設計可能かを明らかにする。そして本形式橋梁の合理的な設計及び施工法の確立に向けての有益な資料を提供しようとするものである。

本論文はこのような背景の下、目的を果たすべく遂行された研究の成果を取りまとめたものである。本論文は以下に示すように全7章から構成されており、曲線2主桁橋の省力化検討、曲線格子桁橋の終局挙動特性、各種補剛形式の提案、架設時の安定性、2主桁橋の曲線橋への適用限界について記述されている。

第1章では、本研究の背景と既往の研究、2主桁橋の実例について説明している。更に2主桁橋を曲線橋に適用するに当たっての諸問題に対処すべく設定した研究目的を明確にし、研究の概要を説明している。

第2章では、曲線2主桁橋に対する本格的な研究を進める前に、まず曲線橋においても2主桁橋が直線橋と同様に経済性に優れているかを検討している。比較検討する項目は鋼重、材片数、溶接延長及び全体製作工数とし、曲線橋の試設計により決定された断面寸法から集計して検討項目の算定を行っている。試設計による比較に先立ち、死荷重と活荷重による必要鋼桁断面積を経済的桁高算定式から理論的に求め、2主桁橋の優位性を示している。対象とする橋梁は中心角が20°までの曲線橋とし、形式は従来型の非合成多主桁橋と、非合

成2主桁橋、合成多主桁橋及び合成2主桁橋としている。各検討項目における比較の結果、合成2主桁橋が最も経済性に優れた形式であることを明らかにしている。

第3章では、骨組構造物の塑性解析にしばしば用いられる塑性ヒンジ法を改良して塑性域の広がりを考慮できる新たな手法を提示し、曲線桁及び曲線格子桁構造へ応用した内容について詳述している。この方法は、曲げモーメントとそりモーメントを同時に受けるI形断面部材に用いることができ、断面を細かく要素分割しなくても簡便に塑性域の広がりを考慮できる利点を有している。この方法による解析結果の妥当性は、H形鋼供試体を用いた載荷実験により検証している。解析では、I形断面曲線桁の終局挙動が示され、塑性崩壊に及ぼすそりモーメントの影響が大きいことを示している。

第4章では、曲線2主桁橋のねじり剛性を高めるための4つの補剛方法を提案している。まず第一に、2主桁橋の通常形式、すなわち2本の主桁と既製H形鋼を使用した複数本の横桁から成る構造とし、横桁の上下方向の配置と橋軸方向の間隔を様々に変化させて、ねじり剛性が高まる効果的な横桁配置を検討している。第二の方法は、曲線2主桁橋に上下横構を設置する補剛方法である。これは従来から行われている方法であるが、通常2次的な部材として考えられている横構を、ここでは鉛直荷重にも抵抗する1次部材として設計することにより、主桁剛性の大幅な低減が可能となることを明らかにしている。第三に、曲線2主桁橋に一定の間隔でニーブレースを設置する方法について検討している。この方法は横桁を上段配置して床版を支持し、横桁の下方にニーブレースを設置するというものであるため、活荷重による床版への負担が軽減され、同時に主桁の断面変形を拘束する2つの効果が期待できる。そして第四の方法として、横桁を下段に斜め配置させる新しい方法を提案している。これは2主桁に合成断面として設計された床版と、斜めに配置された横桁を併せて疑似箱形断面と見なせる効果を有するため、ねじり剛性が非常に高められる方法である。

第5章では、曲線2主桁橋に送り出し工法を用いたときの架設時構造系を対象として、静的挙動と反力特性を実験と解析により明らかにしている。実験では支点位置におけるジャッキアップダウン操作を再現させ、左右の主桁に相対鉛直変位が生じたと仮定したケースを検討している。その際、ジャッキアップダウンさせた支点では水平力が生じ、この力が水平反力(摩擦力)を越えると橋梁本体が水平移動を起こす可能性があることを示している。また架設時に設置される仮横構の効果に関する実験では、少ない本数でも効果的な配置方法が存在することを明らかにしている。解析ではパラメータとして中心角の他、張り出し長、ジャッキアップダウン量を用いて架設時の様々な状況を再現し、3次元立体挙動特性を詳述している。更に、FEMによる弾塑性有限変位解析により、終局時の挙動として全体横倒れ座屈と前方支点付近の降伏の発生が示されている。

第6章では、曲線2主桁橋の適用限界となる中心角が算定されている。初めに死荷重及び活荷重載荷状態で転倒しない、すなわち曲線橋として自立しうる限界となる支間長-中心角関係を求めている。次にフランジに用いられる鋼板の板厚を道路橋示方書に規定される100[mm]以下とする条件の下で、種々の鋼種を用いて許容応力度法による断面算定を行い、限界中心角を求めている。橋梁の形式は第4章で採用した4つの形式とし、それぞれ共通の設計条件を与えて算出した結果、横構を設置したモデルの適用限界が最も大きく、次いで横桁を斜め配置したモデルが優れていることを示している。

第7章では、各章で明らかとなった知見を総括し結論としている。また曲線2主桁橋の適用性に関する今後の研究課題を示している。

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

曲線2主桁橋の性能向上と実用化への 適用性に関する研究

我が国の鋼橋における合理化・省力化の取り組みは、近年公共工事のコスト縮減への強い要求の中、避けられない重要課題となっている。鋼材の最小重量設計に基づいたこれまでの薄肉多補剛構造に変わり、合理化・省力化の達成を念頭に置いたシンプルな構造、すなわち少数主桁特に2主桁形式を開発する試みが行われている。2主桁橋の施工事例は徐々に増加しているが、しかしながら、中規模程度の直線橋或いは曲率の小さい曲線橋に限られているのが現状である。この2主桁橋の適用範囲を曲率の大きな曲線橋にも広げれば、コストダウンに大きく寄与できると考えられる。曲線橋に2主桁形式を適用するに当たっては、構造力学的特性や耐荷力、供用時における使用性等の性能をあらかじめ十分に検討する必要があるが、このような検討報告は殆どなされていない。

本論文はこのような背景のもと、現在のところ施工事例のない曲率の大きい曲線2主桁橋を対象とし、その力学特性を明らかにして実用へ向けての適用性を探ることを目的としている。具体的には曲線2主桁橋の架設時及び完成時の構造系に着目して、静的立体挙動、終局強度特性、ねじり変形に対する効果的補剛方法を究明し、曲線橋として中心角がどの程度の規模まで設計可能かを明らかにしている。

本論文は7章から構成されている。

第1章では、研究背景と既往の研究及び研究目的について述べている。

第2章では、鋼重、材片数、溶接延長及び全体製作工数を検討項目とし、対象とする橋梁形式は非合成多主桁橋、非合成2主桁橋、合成多主桁橋及び合成2主桁橋の4種類で、比較検討の結果、合成2主桁橋が最も経済性に優れていることを明らかにしている。このことは直線2主桁橋と同様に曲線橋においても2主桁橋が経済性に優れていることを示している。

第3章では、耐荷力算定のための、塑性域の広がりを考慮できる新たな手法を提示し、曲線桁及び曲線格子桁へ応用した内容について詳述している。この方法は曲げとそりを同時に受ける部材に用いることができ、断面を細かく要素分割しなくても簡便に塑性域の広がりを考慮できる利点を有している。

第4章では、曲線2主桁橋のねじり剛性を高めるための4つの補剛方法を提案している。第

一は、横桁の上下方向配置と橋軸方向間隔を変化させて、効果的な横桁配置を検討している。第二は、横構を設置する補剛方法である。ここでは鉛直荷重にも抵抗する1次部材として設計することにより、主桁剛性の大幅な低減が可能となることを明らかにしている。第三は、ニーブレースを設置する方法を検討している。この方法は横桁で床版を支持し、横桁の下方にニーブレースを設置するため、活荷重による床版への負担が軽減され、同時に主桁の断面変形を拘束する効果が期待できる。第四は、横桁を下段に斜め配置させる新しい方法を提案している。これは床版と斜めに配置された横桁を併せて疑似箱形断面と見なせる効果を有するため、ねじり剛性が非常に高められる方法である。

第5章では、送り出し架設構造系を対象として、静的挙動と反力特性を実験と解析により求めている。実験では支点位置におけるジャッキアップダウン操作をし、左右の主桁に相対鉛直変位が生じたケースを検討している。その場合、支点到水平力が生じ、この力が摩擦力を越えると橋梁本体が水平移動を起こす可能性があることを示している。また架設時における仮横構の効果に関する実験では、少ない本数でも効果的な配置方法が存在することを示している。更に、FEM解析により全体横倒れ座屈と前方支点付近の降伏の発生が示されている。

第6章では、曲線2主桁橋の適用限界となる中心角を算定算定している。最初に死・活荷重載荷状態で転倒しないための限界となる支間長—中心角関係を求めている。次にフランジに用いられる鋼板厚を100[mm]以下とする条件の下で、種々の鋼種を用いて許容応力度法による断面算定を行い、限界中心角を求めている。前述の4つの形式に対して同じ設計条件を与えて算出した結果、横構を設置したモデルの適用限界が最も大きく、次いで横桁を斜め配置したモデルが優れていることを示している。

第7章では、各章で明らかと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、著者は曲線橋に2主桁形式を適用することを目的に、曲線合成2主桁橋が省力化構造であることを明らかにした上で、曲線格子桁橋の終局挙動特性、架設時の安定性を究明し、各種補剛形式を提案すると共に、2主桁橋の適用限界を明らかにしたものであり、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。