

学 位 論 文 題 名

鋼橋架設時の橋体照査に関する研究

学位論文内容の要旨

昭和40年代前半からの経済の急速な発展とともに、橋梁の大型化・長支間化の要請も強くなり高度な架橋技術が求められ、従来からの経験と勘に頼る体制からの脱皮が迫られてきた。また、社会構造の輻湊化、環境問題への関心の高まりとともに生じる時間的・空間的な制約条件への対応からも計画段階において、安全に対する力学的視点からの照査と現場における施工との一貫性のある対応ができる総合技術が強く要請されてきた。

道路形状、構造形式、鋼種の多様化により設計の自由度は広がったが、一方架橋条件は厳しくなり架設工法を配慮した計画・設計・製作が要求されてきた。計画・設計の段階において、製作工場での組立から完成するまでの構造系の変化を綿密に追跡し、変形・応力・座屈面で問題がないかの照査が必要な場合が多くなってきた。設計で適用する示方書・基準類は、理想的な構造詳細、支持条件を前提としているので架設時には、そのまま適用できないことが多い。わが国の土木学会にも架設設計に関する『鋼構造架設設計指針（土木学会編、昭和53年5月発行）』がある。しかし架設中の仮支持点近傍の応力分布と座屈照査、あるいは断面諸元が長手方向に変化する柱・桁の座屈照査——部材の曲げ座屈照査、桁の横倒れ座屈照査、板の座屈照査——には、本指針をそのまま適用できない場合がしばしばある。

本論文は、鋼橋の架設計画段階で行う3つの照査——橋体照査、仮設構造物の照査、架設機材の照査——のうち、特に橋体照査に焦点を当てて、施工上必要となる最小限の補強・補剛を命題として、理論的究明と実用的な近似式の提案および実際施工への適用を重点に置きまとめている。特に、既存の初期不整の影響を考慮した基準耐荷力曲線式を用いることにより、理論的裏付けをもって安全に施工できることを具体的事例を基に説明している。なお、本論文は7章から構成されるが、各章の内容を以下に概説する。

第1章では、橋体照査の重要性と現状および本研究の概要について述べている。

第2章では、海外・国内の事故原因の分析を基に橋体照査時に配慮すべき具体的事項を取り挙げている。計画・設計時に考慮して置かなければならない架設上の問題点も取り挙げているが、なかでも構造系の変化に対応した変形、応力および座屈照査の重要性を強調している。

また、架設中の事故例（海外23件、国内125件）を分析し、『照査ミス』の占める割合が65～75%もあることを指摘している。特に、計画段階における構造系の変化に対する対応の不備が原因で発生した事故（国内で発生した125件中の18件）を力学的視点から分類して事故防止策を提案している。

第3章では、両端単純支持され、軸方向圧縮力を受ける2軸対称な柱の長手方向に階段状に変化した断面諸元を Fourier級数、変位関数を三角級数で表し、Galerkin法を適用して弾性座屈荷重を算定している。弾性曲げ座屈荷重では、Fourier級数、変位関数とも展開項の第一項のみで工学上必要な精度が得られることを汎用プログラム NASTRAN による数値計算で確認し、実用的な近似式を誘導している。また、この近似式を中心圧縮柱に関する Euler座屈荷重へ置換して得られる『等価換算細長比式』を提案している。この細長比を日本道路協会の『道路橋示方書・同解説、Ⅱ鋼橋編』の基準耐力曲線式に用いて求めた耐力荷重を施工時の安全性の判定基準としている。

なお、トラスド・ランガー橋の一括架設時に圧縮力を受ける耐風対策上必要となった箱断面の4面に一定間隔で孔が明けられた斜材（最大孔数25個/1斜材）の座屈照査に、本章の考え方を適用し計画通りの安全性をもって現場施工を行い、その有効性を明らかにした。

第4章では、開閉混成断面桁の弾性横倒れ座屈荷重が、変位関数を一次の正弦関数で仮定し連成微分方程式にGalerkin法を適用し、その積分過程から得られた『等価換算断面諸元』を等断面桁の式に用いて得られることを示している。この弾性横倒れ座屈荷重を中心圧縮柱に関する Euler座屈荷重へ置換して得られる『等価換算細長比式』を日本道路協会の『道路橋示方書・同解説、Ⅱ鋼橋編』の基準耐力曲線式に用いて求めた耐力横倒れ座屈荷重を施工時の安全性の判定基準としている。また、弾性横倒れ座屈荷重に対しては汎用プログラム NASTRAN と、耐力横倒れ座屈荷重に対しては DIN 18800 Teil 2 と対比し非常に良く一致することを確認している。

なお、（支間/主桁間隔）比が、ほぼ20の鋼1形単純活荷重合成2主桁橋における床版の分割施工時に開閉混成断面となる桁の横倒れ座屈照査に、本章の考え方を適用し計画通りの安全性をもって現場施工を行い、その有効性を明らかにした。これは、わが国では初めての試みである。

5章では、腹板の補強・補剛量を最小にするために、フランジを伸び剛性のみを有する棒、腹板を等方性板として Airy の応力関数による応力分布を基に、選点での座屈条件式に4辺単純支持の条件を満足する変位関数を2重三角級数の和で仮定し、この

式にGalerkin法を適用して近似座屈係数を求めている。この応力による応力照査と近似座屈係数を基に日本道路協会の『道路橋示方書・同解説、Ⅱ鋼橋編』の無補剛板に対する基準耐荷力曲線式から求めた耐荷応力による座屈照査を施工時の安全性の判定基準としている。応力の分布が等分布あるいは直線分布の場合には、座屈係数が容易に得られ、また既往文献による値と照合して高精度で一致することを確認している。本方法は、4辺単純支持板であれば、あらゆる応力状態に対しても座屈照査ができ、さらに入力データの簡易化が計れるという特徴がある。

なお、5径間連続箱桁橋の『送り出し架設』時に、桁作用と縁荷重とを受ける腹板の応力および座屈照査に、本章の考え方を適用し従来から用いられてきた方法——応力分布とモデル化を安全側に仮定——よりも、補強・補剛量を約40%も節減して、しかも計画通りの安全性をもって現場施工を行い、その有効性を明らかにした。

第6章では、橋体の全体地組立て後、大型揚重機による一括吊上げ、あるいはデッキバージへの積載・曳航する場合の特徴、問題点および照査事項を中心に述べている。また、支間約173m、鋼重約3200tの単弦補剛アーチ橋の一括架設時における橋体の補強・補剛と、デッキバージ上の仮支持点付近の応力を施工中における安全の確認とShear-Lag現象把握のために実施した応力測定についても述べている。

なお、補強・補剛の基礎とした立体骨組構造解析系に与えた剛性と応力算定に用いたフランジ有効幅規定の妥当性を、実測値と『直交異方性シャイベ理論』による計算値とから明らかにしている。

第7章では、以上の結果をまとめ本論文の成果とするとともに、今後の検討課題を挙げている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 芳 村 仁

副 査 教 授 角 田 與史雄

副 査 教 授 佐 藤 浩 一

副 査 教 授 岸 田 路 也

学 位 論 文 題 名

鋼橋架設時の橋体照査に関する研究

社会構造の輻湊化、環境問題への関心の高まりとともに生じる時間的・空間的制約条件への対応から架設計画段階において、安全に対する力学的視点からの照査が強く要請されてきた。計画・設計段階において、製作工場での組立から完成までの構造系の変化を綿密に追跡し、変形・応力・座屈面で問題がないかの照査が必要な場合が多くなってきた。現行の示方書・基準類は、完成した構造系を前提としているので架設時には、そのまま適用できないことがある。

本論文は、鋼橋の架設計画段階で行う3つの照査——橋体照査、仮設構造物の照査、架設機材の照査——のうち、橋体照査に焦点を当てて、架設上必要となる費用の最小限化を命題として、理論的究明と実用近似式の提案および架設工事への適用を重点にまとめている。

第1章では、研究の背景と目的および本論文の概要について述べている。

第2章では、海外・国内の架設中の事故原因の分析から、照査不備の占める割合が65～75%もあることを明らかにしている。

第3章では、両端単純支持された、軸方向圧縮力を受ける2軸対称な柱の長手方向に階段状に変化した断面諸元を Fourier級数、Galerkin法を適用して弾性座屈荷重を算定している。この近似式と Euler座屈荷重から求めた等価換算細長比を日本道路協会の道路橋示方書の基準耐荷力曲線に代入して求めた耐荷荷重を施工時の安全性の判定基準として、提案している。つぎに、トラスト・ランガー橋の一括架設時に圧縮力を受ける耐風対策上必要となった箱断面の4面に一定間隔で孔が明けられた斜材の座屈照査に適用し計画通りの安全性をもって架設工事が完了し、その有効性を明らかにしている。

第4章では、開閉混成断面桁の弾性横倒れ座屈荷重が、連成微分方程式に Galerkin法を適用し、その積分過程から求めた等価換算諸元を等断面桁の式に代入して得られることを示している。この弾性横倒れ座屈荷重と Euler座屈荷重から求めた等価換算細長比を道路橋示方書の基準耐荷力曲線に代入して得られた耐荷横倒れ座屈荷重を施工時の安全性の判定基準として提案している。また、(支間/主桁間隔)比が、ほぼ20の鋼I形単純活荷重合成2主桁橋における床版の分割施工時に開閉混成断面となる桁の横倒れ座屈照査に適用し計画通りの安全性をもって現場施工を行い、その有効性を明らかにしている。これ

は、わが国では初めての試みである。

第5章では、腹板の補強・補剛量を最小にするために、フランジを伸び剛性のみを有する棒、腹板を等方性板としてAiryの応力関数による応力を基に、4辺単純支持板の条件を満足する変位関数を選点での座屈条件式に代入して、Galerkin法を適用して近似座屈係数を求めている。この応力による応力照査と近似座屈係数を基に道路橋示方書の無補剛板に対する基準耐荷力曲線から求めた耐荷応力による座屈照査を架設時の安全性の判定基準として提案している。そして、これを、5径間連続箱桁橋の『送り出し架設』時に、桁作用と縁荷重とを受ける腹板の応力および座屈照査に適用し、従来から用いられてきた方法よりも、補強・補剛量を約40%も節減して、しかも計画通りの安全性をもって架設工事を行い、手法の有効性を立証している。

第6章では、支間173m、鋼重約3200tの単弦補剛アーチ橋の一括架設時における橋体の補強・補剛、および架設中における安全の確認とShear-Lag現象把握のために実施した仮支持点付近の応力測定結果について検討を加え、補強・補剛の基礎とした立体骨組構造解析系に与えた剛性と応力算定に用いた有効幅規定の妥当性を、実測値と直交異方性シャイべ理論による計算値から明らかにしている。

第7章では、各章で得られた成果をとりまとめている。

これを要するに、著者は、鋼橋架設時の橋体照査に関する理論式と実用近似式を示し実際の架設工事に適用し、その有効性を明らかにするなど多くの新知見を与えるとともに新たな照査法を提案したものであり、橋梁工学の発展および鋼橋架設時の経済性、安全性の向上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。