

## 道路政策の質の向上に資する技術研究開発

## 【研究終了報告書】

①研究代表者	氏名 (ふりがな)		所属		役職
	大野 豊繁 (おおの とよしげ)		(一社) 日本橋梁建設協会		近畿統括部長
②研究 テーマ	名称	鋼橋の現位置改良工法の開発			
	政策 領域	[主領域] 道路資産の保全	公募 タイプ	タイプ I ハード分野	
		[副領域]			
③研究経費 (単位: 万円)	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	総合計
※端数切り捨て。 ※該当する研究期間のみご記入 下さい。		998	908	1,177	3,083
④研究者氏名	(研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)				
氏名	所属・役職 (※平成31年3月31日現在)				
春日井 俊博	(一社) 日本橋梁建設協会・技術委員会副幹事長				
三宅 隆文	(一社) 日本橋梁建設協会・設計小委員長				
稲田 育朗	(一社) 日本橋梁建設協会・保全委員会委員				
川東 龍則	(一社) 日本橋梁建設協会・WG委員				
前田 諭志	(一社) 日本橋梁建設協会・WG委員				
⑤研究の目的・目標	<p>本研究は、損傷した鋼橋を現在の位置で供用しながら、維持管理がより容易な新構造へと改良する新しい工法を開発するものであり、その特徴は既設主構造から新設主構造へと耐荷機能を移行することである。工法の適用性、安全性と実用性を実験と解析で検証した。</p> <p>(平成28年度) 提案する工法の実現可能性を明らかにすることを目標とした。</p> <p>(平成29年度) 既設部材が合成 I 桁で、新設部材が鋼 I 桁の場合で、両者が協働する構造の耐荷特性を明らかにすることを目標とした。</p> <p>(平成30年度) 既設部材と新設部材のいずれも鋼 I 桁の場合で、両者が協働する構造の耐荷特性、および既設鋼 I 桁の局部座屈に対する補強方法を明らかにすることを目標とした。</p>				

## ⑥これまでの研究経過・目的の達成状況

平成28年度から平成30年度までの研究で、目標とした成果は得られた。また、提案する工法の実現可能性が高いことを明らかにできており、研究の目的は達成できた。

各研究者の役割・責任分担と貢献を下図に示す。

研究者氏名	役割・責任分担	貢献
大野豊繁	総合企画、遂行管理、調査手法の決定、調査結果の評価、技術的判断	研究代表者として、役割を確実に実施するとともに、研究者全員を適切に統括して、研究に貢献した。
春日井俊博	検討対象の条件設定、要求性能の整理と有用性の検討、調査結果の分析	研究の詳細計画の担当として、年度ごとの成果とこれに対する指摘事項を踏まえて、研究の遂行を適切に行い、研究に貢献した。
三宅隆文	構造設計、構造特性の検討	設計の担当として、検討対象の選定から検討結果の構造特性の分析までを適切に行い、研究に貢献した。
稲田育朗	施工計画、施工性の検討、維持管理性の検討	施工の担当として、施工条件の設定から施工計画の詳細までを適切に行い、研究に貢献した。
川東龍則	実験的検討の詳細計画、試験体製作に関する外注管理、実験の実施に関する安全管理	解析と実験の担当として、詳細計画の立案から外注管理および安全管理までを適切に行い、研究に貢献した。
前田諭志	解析的検討の詳細計画、試験体の設計、解析と実験の実施	解析と実験の担当として、試験体の設計から解析と実験の実施までを適切に行い、研究に貢献した。

### ⑦中間・FS評価で指摘を受けた事項への対応状況

指摘事項への対応状況を下表に示す。

年度	指摘事項	対応状況
平成28年度 (FS) 着手時	・実験で何を明らかにするのか、研究計画を練り上げること。	・FSで研究計画を具体化し、平成29年度は本採択となった。
FS 評価	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 構造特性、維持管理性、施工性、LCCなどを勘案した総合的な有用性について評価する必要がある。</li> <li>2. 提案された構造の施工性及び施工過程の安全性等についても検討していただきたい。</li> <li>3. 検討対象の橋梁と交差する構造物（鉄道事業者や河川管理者等）が構造面や施工面で求める要求事項にも配慮して研究開発を進める必要がある。</li> <li>4. 維持管理の容易性に関する検討を行う必要がある。</li> <li>5. FSでの検討結果を踏まえ、実験・解析で検証が必要な項目と、その具体的な方法について明確にしたい。</li> </ol>	<p>平成29年度の研究で以下のとおり対応した。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 有用性について評価した。</li> <li>2. 施工手順を明記して、施工性と安全性に問題ないことを確認した。</li> <li>3. 跨線橋を検討対象としたため、交差する構造物として鉄道を想定した要求事項に配慮した。</li> <li>4. 維持管理の容易性を確認した。</li> <li>5. 実験と解析を実施し、検証項目と検証方法を明確にした。</li> </ol>
平成29年度 中間評価	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 成果としてどこまで汎用化、システム化、マニュアル化できるかを明らかにして取りまとめていただきたい。</li> </ol> <p>(次頁へつづく)</p>	<p>平成30年度の研究で以下の通り対応した。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 設計マニュアルとして取りまとめた。</li> </ol>

年度	指摘事項	対応状況
平成29年度中間評価	<p>(前頁からのつづき)</p> <p>2. 既設部材と新設部材が協働し、荷重分担が徐々に新設橋に移行するメカニズムを制御するにあたって、その前提条件を明らかにできるように、解析及び実験の計画を立案し、設計法を提案していただきたい。</p> <p>3. 旧構造物の劣化状況を前提として、新旧の剛性比率及びその後の荷重分担比率に関する設計指標をまとめていただきたい。</p> <p>4. 既設+新設部材の設計で満足させる要求性能と、新設部材のみの設計で満足させる要求性能は異なると考えられるので、試設計等により、どのレベルの性能になるかを明らかにしていただきたい。</p> <p>5. 供用しながら改良することから、改良中における検証を行う必要がある。</p>	<p>2. 既設が急激に耐荷力を失わない前提に必要な補剛材の追加を提案して、実験と解析で補剛効果を確認した。</p> <p>3. 新旧の剛性比率と荷重分担率に関する設計指標を明らかにした。また、新旧が協働するためには、劣化状況が評価できる最低限の断面修復措置が必要であることを示した。</p> <p>4. 既設が合成桁の場合と鋼桁の場合の試設計例を示し、性能評価の妥当性を実験と解析で検証した。</p> <p>5. 改良中の安全性と施工の留意点を示した。</p>

## ⑧研究成果

本研究で得られた知見を以下に示す。

### 1. 構造特性について

- ・既設部材に新設の補強部材を追加して協働させる構造に改良する工法について、既設主桁が合成桁でコンパクト断面の場合は、既設部材は降伏後も一定の耐荷力を保持することができ、荷重増分は新設部材が負担する耐荷機構を実験で確認した。
- ・既設主桁がノンコンパクト断面の鋼桁の場合は、既設主桁のフランジ降伏以降は荷点近傍の腹板の鉛直方向の座屈にともなって荷点直下のフランジが傾斜し終局状態となった。既設主桁の荷点近傍の局部座屈が進展して既設主桁の耐荷力が急激に低下する場合であっても、新設部材を協働させることで構造全体の耐荷性能と変形性能を向上させることができた。
- ・本研究の成果を実際の橋梁へ適用した場合は、既設主桁に損傷があってもその耐荷力の設計値と実際とに誤差があったとしても新設部材と協働する構造に改良しておけば、構造全体として安全性を確実に確保する設計が可能となる。
- ・本工法で、既設主桁そのものの耐荷性能や変形性能の改善が必要な場合の例として、せん断力が卓越する鋼桁の腹板の耐荷特性を検討した。補強部材を腹板パネルに追加することでせん断耐荷力と腹板の面外変形の挙動を制御できることがわかった。本研究により腹板の補強設計に必要な情報が得られた。
- ・既設主桁に新設の補強部材を追加して協働させる構造について、解析手法の妥当性を実験で検証した。既設主桁が合成桁の場合は、コンクリートの応力-ひずみ関係のモデル化について、床版のひび割れの発生によって床版の剛性が変化しはじめると誤差が大きくなることを確認した。この課題については、その後の検討でコンクリートの応力-ひずみ関係のモデル化の改善ができています。
- ・既設主桁が鋼桁の場合は、鋼材が降伏した後の局部座屈の進展もFEM解析により良く再現できることが確認できた。本研究の検討対象の範囲では、解析対象が鋼部材のみの場合で最大荷重に着目すると実験と解析の誤差は最大で13%であった。

### 2. 明らかにした構造特性についての学内外等へのインパクトについて

- ・本研究では、既設の部材と新設の部材とを協働させて、構造全体として必要な安全性を確保するという新しい設計法を提案した。提案する工法は、既存の技術で対応可能な実用的なものである。本研究の成果は、鋼構造物の技術の発展の契機となり得る大きなインパクトを与えるものと考えている。

### 3. 施工の留意点について

- ・検討した跨線橋について、施工計画より本工法の施工は既存の技術により対応可能であることがわかった。施工における留意点として、下記があげられる。
- ・施工前には、既設部材の損傷部の断面修復やバイパス材の設置など構造の安全性確保に必要な措置がなされていること。

## ⑧研究成果（つづき）

- ・ 施工中に既設部材に仮設部材や新設部材の重量を負担させる場合には、必要な安全率が確保できるように計画し、既設部材の施工中の補強などの必要な措置を実施する。
- ・ 施工中に既設部材から新設の補強部材へと荷重支持機能を移行する際には、必要に応じて荷重や変位またはひずみのモニタリングを行い、設計の前提条件が満足されていることを確認する。
- ・ 施工中の荷重や変位またはひずみのモニタリング結果から異常が認められた際には、ただちに施工を中断して、安全を確保する措置を実施するとともに、必要な施工計画の見直しを行う。
- ・ 施工中に設計の前提条件が満足されていないことが判明した場合には、ただちに施工を中断して、安全を確保する措置を実施するとともに、原因の特定と対策を行う。
- ・ 既存構造の改造にともなう路面高さの計画値の設定と精度管理の実施を行う。
- ・ 補強部材の接合部における施工誤差の調整量の計画値の設定と精度管理の実施を行う。

### 4. 提案する工法の効果について

- ・ 跨線橋を対象とした検討事例の範囲では、提案する構造の改良により以下のように維持管理性が向上させられることがわかった。
- ・ 鉄道との離隔1.2mを確保することで、き電停止以外でも足場などの点検設備から構造物の点検、補修ができる。
- ・ 橋台の天端を拡幅し、桁端を切り欠き加工することで、桁端の点検、補修、桁内への近接が容易となる。
- ・ 桁間を底パネル（外套材）で覆うことで、支間部の点検に足場が不要で、点検が容易となる。
- ・ 桁間を底パネル（外套材）で覆うことで、桁間への腐食因子の浸入を防止することができ、鋼桁の防食機能の耐久性が向上し、維持管理性が向上する。
- ・ 改良工事の実構造の防食機能の状態を評価して、環境条件に適した防錆仕様に変更することができ、防食機能の高耐久化により維持管理性が向上する。

### 5. 維持管理の留意点について

- ・ 改良前の既設の損傷原因が改良後の状況において除去されていることを確認する。
- ・ 改良後の防錆仕様などが改良後の環境条件に適合していることを確認する。
- ・ 改良後の維持管理性の向上対策が有効に機能していることを確認する。
- ・ 既設部材の損傷部は、損傷や劣化が進展しないような対策をとることが基本であるが、損傷の進展があった場合でも、変状を早期に発見できるよう損傷部位の点検性を確保する。

## ⑨研究成果の発表状況

(発表済のもの)

1. 春日井俊博、川東龍則、前田諭志：構造を改良した跨線橋の耐荷特性の検討、土木学会第73回年次学術講演会講演概要集I-261、2018.
2. 前田諭志、春日井俊博、川東龍則：鋼桁で補強した合成桁の載荷実験、土木学会第73回年次学術講演会講演概要集I-262、2018.

(投稿中のもの)

3. 川東龍則、春日井俊博、前田諭志：鋼桁で補強した鋼桁の載荷実験、土木学会第74回年次学術講演会講演概要集、2019.
4. 前田諭志、春日井俊博、川東龍則：水平補剛材を追加した鋼桁のせん断載荷実験、土木学会第74回年次学術講演会講演概要集、2019.
5. 春日井俊博、川東龍則、前田諭志：鋼橋の補強工法の提案、第33回日本道路会議

## ⑩研究成果の社会への情報発信

論文発表以外は、特になし

## ⑪研究の今後の課題・展望等

今後の課題と展望等は、下記のように評価した。

- ・既設の鋼部材の局部座屈が最大強度点となって、本工法の適用のためには変形性能の改善が望ましいとされる場合に、局部座屈を効果的に制御できる補強方法の検討。補強方法は各種考えられるが、本研究では腹板の補強方法の提案とその効果の検証を行った。本研究で提示した実験的および解析的検討手法を用いて各種補強方法の検討を行えば、既存の部材を最大限活用できる補強工法の実現に資する大きな成果が得られると考えられる。
- ・既設と新設とが協働する構造全体の耐荷力および変形性能が確保される限界状態の基準とする耐荷力および変形量の制限値の設定。部分係数の具体的設定に関するものであり、継続した研究が必要である。
- ・既設と新設とを連結する横つなぎ材の必要な剛性および配置間隔の決定方法の検討。本研究では十分な剛性の横繋ぎ材としたが、より合理的な設計を行うためには、継続した研究が望ましい。
- ・損傷を含む既設の弾塑性挙動が推定できるようにするための断面補修または補強方法の検討。既存の補強方法の効果を確認するものであり、別途の共同研究で実施中である。

## ⑫研究成果の道路行政への反映

本研究では、既設の部材と新設の部材とを協働させて、構造全体として必要な安全性を確保するという新しい設計法を提案した。提案する工法は、既存の技術で対応可能な実用的なものである。本研究の成果は、鋼構造物の技術の発展の契機となり得る大きなインパクトを与えるものとする。



### ⑬自己評価

本研究は、損傷した鋼橋を現在の位置で供用しながら、維持管理性がより容易な新構造へと改良する新しい工法を開発したものである。平成28年度のFSと平成29年度の本採択での研究でFEM解析による耐荷特性の評価手法および実験方法の妥当性が検証できた。平成29年度の研究では、既設の合成I桁を新設の鋼桁で補強する改良構造の実験を行い、改良構造の耐荷特性を確認した。平成30年度の研究では、目的の異なる2種類の実験を行った。ひとつは、既設の鋼桁を新設の鋼桁で補強する改良構造の実験であり、平成29年度に実施した既設桁がコンパクト断面の合成I桁との比較で、既設桁を鋼桁へ変更して局部座屈が発生する板厚構成としたものである。既設鋼桁の耐荷力が断面の局部座屈で決定される場合に、新設の補強部材を協働させる改良後の限界状態を確認した。もうひとつの実験は、既設鋼I桁で腹板の局部座屈の発生を許容しても、後座屈挙動で耐荷力が一定の値を保ちつつ、変形性能を確保する構造が実現できるかを検討した。

これらの実験および実験を再現する解析の結果から、本工法の適用に必要な設計情報を取得することができ、あわせて本工法の効果が明らかにできた。本研究で提案する工法は、損傷した鋼橋の耐荷特性を適切に改善、向上させることが実用的に可能であり、今後の道路資産の保全に関する設計技術の発展、施工技術の発展に大きな貢献ができるものと自己評価している。

以上のことから、本研究の目的は達成されたものと評価でき、研究費の投資価値も高いものであったと考えられる。