

令和元年6月12日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01324

研究課題名(和文) 多様な自然・気候環境に対応した汎用型木製応急橋の開発

研究課題名(英文) Development of general-purpose emergency bridges adapted for diverse nature and climate environment

研究代表者

後藤 文彦 (GOTOU, Humihiko)

秋田大学・理工学研究科・教授

研究者番号：10261596

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：既に実用化されているオンサイト木橋のコンセプトを拡張し、山間部の豪雪地帯等、多様な自然・気候環境に対応できる汎用型木製応急橋を開発するため、スパン10m以上に対応できるようにフランジを設けた継ぎ手の検討を行った。また、長スパン化に伴い積雪3m以上の雪荷重を受けた場合の局部座屈が懸念されるため、様々なケースの諸元に対して、積雪深に換算した座屈荷重がどの程度になるかを桁高や橋長を変えながらしらみ潰しに数値解析し、照査を支援する図を提案した。これによると、橋長21mの最も座屈しやすいモデルでも座屈が生じるには幅員幅の積雪深で13m程度が必要であり、実際にはほとんど座屈の心配はないことが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

豪雪山間部では、登山道に架かる橋として、森林景観に馴染む木橋のニーズが高いが、こうした豪雪環境では、過剰な雪荷重を受けるため、通常の木橋の架設は困難である。本研究では、積雪3m級の豪雪地帯にも比較的容易に架設できる汎用型木製応急橋を提案した。この木橋は、角材と鋼部材をPC鋼棒で連結して箱桁を形成するタイプのものであるが、最大積雪時に鋼部材部に局部座屈が発生しないことを確認する必要があるため、橋長や桁高の各種の組み合わせに対して、それぞれどれだけ座屈の危険があるかをしらみ潰しに数値解析し、照査を支援する図を提案した。

研究成果の概要(英文)：Extending the concept of the on-site timber bridge, which has been in practical use, we proposed a new type bridge with flanges in joint parts, which enable spans longer than 10m.

It is important to clarify the local buckling behavior, which can occur in longer and slender members under snow load height over 3m.

We made 3D models for the bridges and analyzed local buckling behavior under the snow load. We proposed the diagrams, which help to check the risk of buckling and showed that local buckling does not occur for the span length of 21m (longest case).

研究分野：構造工学

キーワード：オンサイト木橋 プレストレス木箱桁橋 応急橋 緊急架設橋 豪雪地帯 雪荷重

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では、津波により多くの道路や橋梁が流失し、仮設橋が整備されるまでの間、ライフラインの整備は困難を極めた。研究代表者・研究分担者らは、4 月中旬のまだ仮設橋が整備されていない段階から被災地の橋梁被害状況を調査し、土嚢と暗渠による応急的な道路の復旧状況を観察していく中で、当時開発中のオンサイト木橋が、このような災害時におけるスパン 10m 以下程度の応急橋の技術として有効であると思に至った。

(2) オンサイト木橋とは、研究代表者、研究分担者らが平成 21～23 年度に、農林水産省の事業として取り組んだ成果の一つで、伐採地で製材加工を行い、それを伐採地に近い農地等で橋梁等の木製構造物のオンサイト施工に利用することにより、木橋構築時の材料製造や運搬のコストを大幅に縮減しようとするものである。

基本構造は、鋼棒を通す孔をあけた角材を写真 1 のように 2 段に並べ、両脇から鋼板で挟んでプレストレス鋼棒で締めて固定する形式の橋である。組み立てが簡単で、部材のそろった状態から現地で 1 日程度で組み立てることができ、載荷試験では、14t トラック相当の荷重にも耐えることを確認している。木材の代表的長所は、軽量な割には強度が高いということであり、代表的短所は、雨ざらし環境での長期耐久性が低いということである。一方で、災害時の応急橋は、重機が使えなくても人力だけでもとにかく橋をかけることが急務で、オンサイト木橋の合理性を更に極端に推し進めた緊急時特有の発想で設計されるべきものである。災害直後や中期には、現地で調達できる軽量の木製資材を用い、現地で使える小型の機材で簡単に架設できる架橋形式が有効であるが、このような緊急性に特化した応急橋は、剛性や強度を高くできないので、復興段階に応じて、状態の悪い部材の交換や、より剛性や強度の高い構造へ変更するなど、応急橋が復興ロードマップの各ステージごとに異なる要求性能に対応してアップグレードできるシステムになれば、重複する投資を必要とせず、復旧・復興を円滑に進める一助となり得る。



写真 1: オンサイト木橋試験体

(3) そこで研究代表者らは、平成 25～27 年度に、科研費基盤研究(C)の助成を受け、「復興ロードマップに対応したアップグレード型木製応急橋キットの開発」を行なった。その中で、合板タイプの応急橋から鋼板タイプのオンサイト木橋へのアップグレードなど、一定の成果は得られてはいるが、山間部の豪雪地帯に架設したオンサイト木橋において雪荷重によるたわみが残存してしまうなど新たな課題が見つかった。大型重機の入れない山間部での架設の場合、部材の運搬性・施工性を高めるため、一つ一つの部材寸法は 3m 以下程度に抑えざるを得ず、どうしても継手構造が増えてしまう。現行のオンサイト木橋では、継手部の構造が複雑になるのを避けて簡単に現地で連結できることを優先しているが、その結果、継手部の剛性が低くなる



写真 2: 橋に貼りつく雪

ことが課題である。一方、秋田県森吉町の豪雪地帯に架設したオンサイト木橋の積雪状況を定点カメラで観測したところ、橋桁の両脇に 1m 程度の幅で雪が付着し、幅員の 3 倍程度の幅で、橋桁上面に 2m 程度、橋桁下面に 1m 程度の雪が完全に橋桁を覆うように貼り付いていて(写真 2)、幅員 1m の想定雪荷重の 3 倍程度の荷重が作用したことがわかった。

### 2. 研究の目的

(1) 本研究では、重機の入れない豪雪地帯に代表されるような過酷な自然環境にも適用できる運搬容易な軽量な部材で構成され、継手部も含めて過大な雪荷重にも対応できる剛性を確保できるような新しいタイプの木製応急橋を開発する。このため、従来タイプのオンサイト木橋の構造や組立形式を見直し、なるべく構造を複雑化させずに剛性を確保した継手構造および組立形式を開発する。新たに考案した構造形式の剛性評価は、主に有限要素法による数値解析でチェックし、必要に応じて実試験体による実験で確認することで、従来型のオンサイト木橋から、どれだけ剛性の改善が期待できるかを明らかにする。また、地方自治体等の発注により新しいタイプのオンサイト木橋の架設が可能となった場合には、より厳しい環境での実用性がどれだけ改善されているかを実橋の架設により確かめ、実施工時の課題や豪雪地帯での供用中の問題等を定点カメラにより抽出する。



### 3. 研究の方法

(1) 平成 26 年に合板タイプ(写真 3)から鋼板タイプ(写真 4)にアップグレードされたものの、想定外の雪荷重(写真 2)の影響により、継手部に変形を生じた秋田県森吉町のオンサイト木橋について、定点カメラ映像による雪荷重の分析により実際に載荷された荷重を算定し、そうした過大な荷重が載荷された場合の継手部の挙動等、最も厳しい自然条件で想定される荷重の範囲や重機の入れない厳しい施工環境で要求される一部材あたりに許容される重量やサイズといった制約条件を検討する。

(2) その上で、継手部等を改良した各種の新しい構造モデルを 3D モデル化し、有限要素シミュレーションにより、性能評価を行う。継手部等の詳細構造をモデル化するには膨大なメッシュ分割を要し、特に座屈解析のような非線形計算では相当の計算容量を必要とするが、Salome-Meca や CalculiX といったオープンソースの 3D プリ・ポストプロセッサ、ソルバー各種を駆使して、可能な限り精度の高い解析を行う。



写真 3: 合板タイプ



写真 4: 鋼板タイプ

### 4. 研究成果

(1) 平成 28 年度に、豪雪による雪荷重を受けた際、これまでの旧タイプのオンサイト木橋での弱点であった継手部の改良案を提案した。そうした研究成果が採用され、青森県深浦町にある東北電力(株)が保有する大池第一発電所の管理橋等への適用が計画されることとなった。この橋梁は、従来タイプよりもスパンや幅員が大きく、そこに雪荷重を受けるため、従来タイプよりも桁高を増やし、チャンネル材型のフランジ部を有する鋼部材でより高い剛性を確保する設計案を提案した。継手部は、フランジ部もボルト接合することで、断面全体の剛性が確保できるようにしている(写真 5)。従来タイプとは形状が変わってきているため、局部座屈の検討も必要になるが、有限要素法による数値解析(図 1)により、鋼部材の三角孔の拡大率と座屈荷重の減少とが線形関係になることなども確認できた。



写真 5: 継手部

(2) また、平成 30 年度は、秋田県森吉町に架設された旧タイプのオンサイト木橋の継手部の補剛の検討も行った。森吉町の旧タイプのオンサイト木橋では、L 型の補剛材を継手部で連結できない構造のため、豪雪時の剛性の確保が十分ではない状態であった。こうした影響もあり、定点カメラで豪雪が観測された年の雪解け時に、桁にたわみが残っていることがあったため、検討の結果、L 型の補剛材が連結されていない継手部において、下部補剛材のフランジ部を I 形鋼で、上部補剛材のフランジ部を平鋼で、継手部をまたいで連結し補剛することとした。

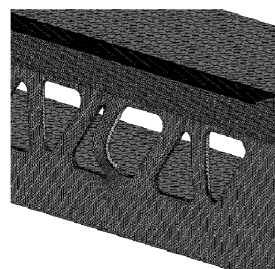


図 1: 座屈解析

(3) 一方、こうした点を改良して平成 30 年度に架設された大池第一発電所の管理橋に適用された新タイプでは、従来タイプとは構造が変わり、継ぎ手部にもフランジを設けて、継手部の剛性を確保した状態で接合できる新しい構造になっているため、16m 程度のより長いスパンにも対応できるようになった。この架設地点の場合、想定積雪深は 2m 程度で、積雪による局部座屈が特に心配されるケースではないが、今後、同タイプの長スパンモデルが豪雪地帯に架設されることを想定した場合、局部座屈の発生が懸念される。そこで、様々なケースの諸元に対して、積雪深に換算した座屈荷重がどの程度になるかを桁高や橋長を変えながらしらみ潰しに数値

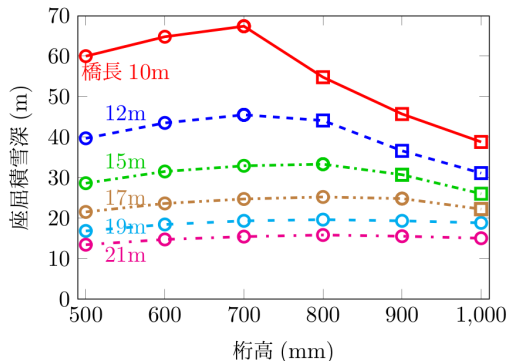


図 2: 桁高と座屈積雪深の関係

解析し、照査を支援する図を提案した(図2)。これによると、橋長21mの最も座屈しやすいモデルでも座屈が生じるには幅員幅の積雪深で13m程度が必要であり、実際にはほとんど座屈の心配はないことが示された。

## 5. 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計2件)

有山 裕亮, 近藤 高誉, 後藤 文彦, 野田 龍, 佐々木 貴信: 雪荷重を受けるプレストレス木箱桁橋の局部座屈, 木材利用研究論文報告集 17, p.31-38, 2018.

近藤 高誉, 堅固山 衛, 藤田 智郁, 後藤 文彦, 野田 龍, 佐々木 貴信: プレストレス木箱桁橋鋼板部の座屈解析, 木材利用研究論文報告集 16, p.9-16, 2017.

### 〔学会発表〕(計7件)

Tomohumi Huzita, Humihiko Gotou, Takanobu Sasaki, Ryu Noda: Construction Examples of On-Site Timber Stress-Laminated Box-Beam Bridges, World Conference on Timber Engineering (WCTE2018, SEOUL), 2018.

近藤 高誉, 後藤 文彦, 野田 龍, 佐々木 貴信, 有山 裕亮: 雪荷重を受けるプレストレス木箱桁橋の局部座屈, 木材利用研究発表会講演概要集 17, p.48-54, 2018.

川村 日菜子, 後藤 文彦, 海老 拓紀, 近藤 高誉, 佐々木 貴信: プレストレス木箱桁橋ボルト接合部の数値モデル化, 平成 29 年度 土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集 (CD-ROM), 1-12, 2018.

近藤 高誉, 後藤 文彦, 野田 龍, 佐々木 貴信: プレストレス木箱桁橋の座屈挙動, 平成 29 年度 土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集 (CD-ROM), 1-14, 2018.

近藤 高誉, 堅固山 衛, 藤田 智郁, 後藤 文彦, 野田 龍, 佐々木 貴信: プレストレス木箱桁橋鋼板部の座屈解析, 木材利用研究発表会講演概要集 16, pp.19-25, 2017.

海老 拓紀, 藤田 智郁, 後藤 文彦, 野田 龍, 佐々木 貴信: プレストレス木箱桁橋の構造詳細の数値モデル化, 木材利用研究発表会講演概要集 16, pp.26-31, 2017.

海老 拓紀, 後藤 文彦, 野田 龍, 佐々木 貴信, 河原 萌: プレストレス木箱桁橋における材料間滑りの影響, 平成 28 年度 土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集 (CD-ROM), 1-2, 2017.

## 6. 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名: 佐々木 貴信

ローマ字氏名: SASAKI Takanobu

所属研究機関名: 秋田県立大学

部局名: 木材高度加工研究所

職名: 教授

研究者番号(8桁): 00279514

研究分担者氏名: 野田 龍

ローマ字氏名: NODA Ryu

所属研究機関名: 秋田大学大学院

部局名: 理工学研究科

職名: 講師

研究者番号(8桁): 00626955

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。