

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 3 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350502

研究課題名(和文) 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

研究課題名(英文) Development of upgrade timber emergency bridge kits corresponding to reconstruction road map

研究代表者

後藤 文彦 (GOTOU, Humihiko)

秋田大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：10261596

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：アップグレード型木製応急橋の研究結果が採用され、秋田県自然保護課の発注で、平成25年度から平成27年度まで、太平山や森吉山の豪雪地帯に、既存の老朽化した木歩道橋をアップグレードして架け替える形で、鋼板タイプのプレストレス木箱桁橋2橋を架設した。定点カメラの画像を解析したところ、豪雪の影響によるたわみが残留することがわかったので、補剛材の固定方法や設置方法を改善し、豪雪山間部の厳しい自然環境にも適用できる実用性を確認した。

研究成果の概要(英文)：We installed two timber stress-laminated box-beam bridges ordered by Akita Prefecture in 2013 and 2015 so that the dilapidated existing bridges in heavy snowfall mountains were upgraded. Since the restrained deflection due to heavy snowfall was recognized from the fixed point camera images, we improved the fixing and setting methods of the stiffeners and confirmed the practicality of the bridges which are applicable to unforgiving environments like heavy snowfall mountains.

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 角材橋 雪荷重 豪雪地帯

1. 研究開始当初の背景

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た。仮設橋が整備されるまでの間、避難や物資輸送、ライフラインの整備等は困難を極め、被災地復興には、流失橋梁の復旧が復興ロードマップの中で重要な位置づけにあることが再認識された。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、土囊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、当時研究中だったオンサイト木橋が、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いついた。



写真1 オンサイト木橋試験体

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でいたもので、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削減しようとするものである。例えば、鋼棒を通す孔をあけた角材を写真1のように上下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固定する新しい形式の橋を提案した。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、実験室レベルの載荷試験では、14tトラック相当の荷重にも耐えられることを確認できている。2012年7月には東日本大震災被災地の岩手県大槌町の仮設住宅団地と駐車場間に架設し(写真2)、住民から生活支障が改善されたと好評を得た。

木材の代表的長所は、軽量の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、木材が腐るほどの長期間の利用は想定しないという意味で、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。しかし、このような緊急性に特化した応急橋は、剛性・強度性能は高くできないと思われるので、復興段階に応じて、状態の悪い部材の交換や、より剛性・強度性能の高い構造への変更を可能にするなど、応急橋が復興ロードマップの各ステージごとに異なっ

てくる要求性能に対応してアップグレードできるようなシステムになれば、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2 施工例 (岩手県大槌町架設住宅前)

2. 研究の目的

本提案では、上述したような背景のもと、平成24年度現在まで取り組んできているオンサイト木橋の技術を基盤にして、大規模災害時などの緊急時に対応できるように簡易かつ省力的であることに加え、復興ロードマップの各ステージに応じ、部材や構造、耐力などをアップグレードできる設計を組み込んだ応急架橋システムを創出することを最終目的に、以下に示すような具体的研究を計画している。

災害直後の応急橋としては、伐採防潮林や間伐材等の丸太の積層構造や木質瓦礫を利用した単純な構造をいくつか創案しているが、これらについては材料のばらつきが特に大きくなるため、実験による性能評価を行う。



写真3 合板を用いた応急橋

復興中期の応急橋としては、上述したオンサイト木橋の構造を基盤にし、調達・搬入や人力での運搬が困難な鋼板を使わずに、写真3のように2段に並べた角材と角材の間に合板を挿入してプレストレス鋼棒で締めつけて固定する構造を検討している。この際、軽量な特徴を生かし、橋台も木質瓦礫等を利用した杭基礎を基本構造とすることを想定している。この応急橋については、規格品サイズの角材や合板からなる部品をキット形式で橋長方向も幅員方向も調節可能になる構造を検討しており、この形式特有の複雑な応力の伝達などの諸挙動については、試験体による実験的解析と有限要素シミュレーションによる数値的解析とから剛性や強度等の理論的な評価方法を確認する一方、試験施工(写真4)による経過観察から耐久性等の実

戦的データを収集し、更なる合理化・改良を進める。



写真4 施工例（秋田県森吉町）

また現状のオンサイト木橋は、復興段階ごとにアップグレードする最終ステージの応急橋に適していると考えられるが、鋼部材の局部座屈の問題、合成断面としての剛性評価の問題など、まだ未解決の問題が残っている。これについては、載荷試験による実験的解析と有限要素シミュレーションによる数値的解析とから検討を行い、早期の解決を図る。これら個別の検討結果については、最終的に試験施工を行って、時間・コストなどの部掛かり要素も含めてその有効性を評価する。

3. 研究の方法

復興ステージの各段階に対応した応急ガレキ橋形式 1)災害直後の丸太積層構造の応急橋、2)復興中期の角材と合板によるキット形式の応急橋、3)復興後期のオンサイト木橋を提案し、実験的解析・数値的解析の両面から各形式の性能評価を行う。

本研究は、災害時の中山間地や中小地方都市における復興までのステージと、そこで要求されるタスクに応じた機能を提供するアップグレード型応急橋システムの構築を目的とする（図1参照）。



図1 復興ステージ

被災構造物の現状復帰を原則としてしまうと、大規模災害により被害が広範囲に及んだ場合には、住民にとってライフラインとなる中小の道路や橋梁の復旧には遅れが生じ、長期にわたる生活支障を強いかねない。本研究では、被災者の生活再建や地域再生をより早く進めるため、各ステージの社会的タスクと橋梁に要求される機能を以下のように分類し（表1）、現場ごとに橋長や幅員を自由に調整して組み立てられるキット型の橋梁形式を開発する。本研究は、災害前の平時シ

テム（既提案のオンサイト生産システム）と発災後のシステム（本提案のアップグレード型木製応急ガレキ橋システム）を一システムとすることで、災害に対する回復力の高い地域社会の実現を目指している。

表1 各ステージに要求される橋梁機能

ステージ	社会的タスク
発災直後（ゼロ）	（組織的対応は不可能に近く、人材の養成や資機材の用意など発災前の平時システムの成熟度が問われる。）
緊急対応期	・ 命を守ること ・ いかに早く初動体制を整えることができるか
応急対応期	・ ライフラインなど社会的フローの復旧 ・ 被災者に対する代替サービスの提供
復旧対応期	人生や地域の再建 社会ストック回復のための制度開設
復興対応期	人生や地域の再建 社会ストック回復のための制度運用

応急橋の新たな形式の開発が当初計画どおりに進まない場合、既提案形式の問題を解決して既提案形式に対する設計指針や施工ノウハウを提案することを優先する。既提案のオンサイト木橋形式や合板を利用した応急橋でも、それぞれ復興対応期の長期利用、復旧対応期の応急性にそれなりに応える応急橋としての改良利用は可能であり、これを確実にすることが優先される。被災地に試験施工候補地が選定できない場合は、被災地ではないものの秋田県内の山林や農地に候補地があるので、秋田県内で試験施工し、被災地調査と合わせて被災現場での施工ノウハウについて検討する。

4. 研究成果

平成25年度は、これまで一定の施工性・強度性能を確認しているプレストレス木箱桁タイプの応急橋の鋼板部に継手を設けることで、更に応急橋キットとしての施工性の向上を目指した改良タイプの開発を行った。その研究成果が採用され、秋田県自然保護課の発注で太平山の登山道に歩道橋として架設された。豪雪地帯であるため、積雪3mで1平方メートル当たり10.5kNという大きな設計荷重で設計した。雪解け後に特に損傷は認められず、豪雪地帯での使用にも耐えることを確認した。

今回の改良タイプは、山間部への搬入を考慮して部材重量を軽くするため、鋼板部の三角孔が、従来タイプよりもやや大きくなっているが、こうした三角孔の拡張が、曲げ剛性にはほとんど影響しないものの、せん断剛性には有意な影響を与え得ることを有限要素法により確認した。また、山間部等でのプレストレス緊張作業を簡易化するために、油圧ジャッキを用いずにトルクレンチを用いて緊張力を導入する方法を検討するための実験も行った。その結果、レンチによるトルクは、摩擦力だけではなく、PC鋼棒のねじれ変

形によっても消費されている可能性があり、トルクレンチによるトルク制御では、所定の軸力を導入できない可能性が示唆された。

平成 24 年に森吉の豪雪山間部に、部材搬入・施工性に特化した合板タイプの応急橋が架設されたが、このタイプ特有の形状変化や劣化度についても調査を行った。

以上のように、アップグレード型木製応急橋キットの性能向上に対して、新たな技術的・理論的な進展が得られた。実橋架設の可能性についても、山形県金山町、山形県鶴岡市あつみ温泉地区、岩手県大槌町にて現地ヒアリングを実施した。



写真 5 施工例（秋田県秋田市仁別）

平成 25 年度には積雪 3m の豪雪地帯に対応するために 1 平方メートル当たり 10.5kN という大きな設計荷重を適用したタイプの歩道橋を秋田市仁別の太平山旭又の登山道に架設し、一冬を経過した雪解け後の状態をチェックし、豪雪地帯での使用にも耐えることを確認してきたが、こうしたプレストレス木箱桁タイプの剛性を数値的に評価する手法等に一定の成果が得られたため、平成 26 年度は、8 月に研究代表者と 2 人の研究分担者がカナダケベックシティで開催された木質構造に関する国際会議(WCTE2014)に参加し、成果発表を行うとともに、近年の木質構造技術に関する情報交換を行った。



写真 6 施工例（秋田県森吉町）

一方、平成 24 年に森吉の豪雪山間部に、部材搬入・施工性に特化して鋼板の代わりに合板を用いた応急橋を架設し、平成 25 年度から、このタイプ特有の形状変化や劣化度についても調査を行ってきた。その結果、豪雪山間部での雪荷重に耐えるには、鋼板タイプの方が適していることがわかったため、平成 26 年度は、鋼板に継手を設けて分割することで、山間部への搬入に適した設計を適用し、架け替えを行った。積雪 3m といった過大な

雪荷重に対応するため、平成 25 年度に得られたノウハウを活かし、鋼板部に水平補剛材を設置するなどの改善も行った。更に、降雪量の測定のためのカメラを設置した。

以上のように、アップグレード型木製応急橋キットの性能向上に対して、一定の技術的・理論的な進展が得られたため、それを成果報告するとともに、豪雪地帯での実用化に向けて更に改善を行った。

平成 27 年度は、アップグレード型木製応急橋を豪雪地帯に適用するための改善方法を検討するとともに、施工時のプレストレス緊張の簡易化についても検討し、アップグレード型木製応急橋の適用性を拡大した。平成 24 年度に森吉の山間部に架設した合板を用いたタイプの応急橋は、平成 26 年度により剛性の高い鋼板を用いたタイプにアップグレードを適用して架け替えを行ったが、一冬を越した平成 27 年 3 月に、たわみが残留しているのが確認された。定点観測カメラの画像で解析したところ、床版から上に 2m 程度、桁側面から側方に 1m 程度、桁下面から下に 1m 程度の雪が箱桁を覆うように貼り付いていたことが確認され、幅員×3m の想定荷重の倍以上の雪荷重が載荷されたものと考えられる。こうした過大な雪荷重にも耐えられるように、補剛材の固定方法や設置方法を見直し、より剛性の高い補剛方法を考案して補修によるアップグレードを行った。



写真 7 雪に覆われた橋（秋田県森吉町）



写真 8 補修例（秋田県森吉町）

また、プレストレス鋼棒の緊張にトルクレンチを用いる方法についても検討し、ねじれ変形により消費されるトルクを適切に見積ることで、トルクレンチを利用した簡易な現場緊張力制御の可能性を示した。

以上のように、アップグレード型木製応急橋を実際に山間部豪雪地帯等の厳しい自然環境の現場に架設・アップグレードすることで、本応急橋システムの実用性を確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 11 件)

①後藤 文彦, 河原 萌, 石坂 晃太郎, 佐々木 貴信, 野田 龍: トルクレンチを用いたプレストレス木箱桁橋の緊張力制御, 構造工学論文集, 査読有, Vol. 62A, (CD-ROM), pp.1300-1306, 2016/3.

②野田 龍, 佐々木 貴信, 千田 知弘, 中田 裕治, 後藤 文彦: 災害時の応急構造物としての木製治山ダムの可能性, 構造工学論文集, 査読有, Vol. 62A, (CD-ROM), pp.1282-1289, 2016/3.

③後藤 文彦, 尾山 龍之介, 齊藤 輝, 佐々木 貴信: プレストレス木箱桁橋の数値モデル化と剛性評価, 構造工学論文集, 査読有, Vol. 61A, (CD-ROM), pp.570-577, 2015.

④河原 萌, 石坂 晃太郎, 後藤 文彦, 佐々木 貴信: トルクレンチによるプレストレス木箱桁橋の緊張力制御, 木材利用研究論文報告集 14, 査読無, pp. 41-42, 2015.

⑤齊藤 輝, 後藤 文彦, 佐々木 貴信: プレストレス木箱桁橋の鋼板部の座屈挙動, 木材利用研究論文報告集 14, 査読無, pp. 43-44, 2015.

⑥尾山 龍之介, 上村 哲範, 滝田 拓史, 後藤 文彦: プレストレス木箱桁橋の数値モデル, 木材利用研究論文報告集 13, 査読無, pp. 40-41, 2014.

⑦齊藤 輝, 滝田 拓史, 後藤 文彦, 佐々木 貴信: プレストレス木箱桁橋の剛性挙動, 木材利用研究論文報告集 13, 査読無, pp. 72-73, 2014.

⑧佐々木 貴信, 後藤 文彦, 安部 隆一, 熊谷 誠喜: 秋田スギの角材を利用した組立・解体が容易な木橋の開発, 秋田県立大学ウェブジャーナルA/2013, 査読無, Vol. 1, pp. 10-18, 2014. *

⑨滝田 拓史, 後藤 文彦, 佐々木 貴信, 清水 光弘, 安部 隆一: 角材を用いたオンサイト応急橋のせん断挙動, 木材利用研究論文報告集 12, 査読無, pp. 41-46, 2013.

⑩伊藤 亮太, 堀江 保, 佐々木 貴信, 野田 龍, 中嶋 学夫: 木製構造物の維持管理手法に関する研究, 木材利用研究論文報告集 12, 査読無, pp. 147-150, 2013.

⑪佐藤 裕太, 堀江 保, 佐々木 貴信, 米谷 裕: LVLプレストレス木床版の緊張力変化に関する研究, 木材利用研究論文報告集 12, 査読無, pp. 137-140, 2013.

〔学会発表〕(計 8 件)

①伊藤 孝基, 河原 萌, 齊藤 輝, 後藤 文彦, 平沢 秀之: 3Dプリンターを利用した木製応急トラス橋の模型試験, 平成 27 年度土木学会東北支部技術研究発表会, 岩手県盛岡市, 講演概要集(CD-ROM), I-12, 2016.

②菊地 浩貴, 後藤 文彦, 齊藤 輝, 河原 萌: 屋根部材も構造部材として寄与する屋根付き木橋の提案, 平成 27 年度土木学会東北支部技術研究発表会, 岩手県盛岡市, 講演概要集(CD-ROM), I-13, 2016.

③渡辺 千明, 佐々木 貴信: 東日本大震災被災地における木質資源の活用とその可能性～岩手県大槌町での取り組み～, 日本科学者会議, 第 25 回東北地区シンポジウム, 秋田県秋田市, 2016.

④藤村 政大, 尾山 龍之介, 後藤 文彦, 佐々木 貴信: 接触解析を用いないプレストレス木箱桁橋の数値モデル化, 平成 26 年度土木学会東北支部技術研究発表会, 宮城県多賀城市, 講演概要集(CD-ROM), I-16, 2015.

⑤Humihiko Gotou, Hiroshi Takita, Takanobu Sasaki, Yasushi Horie, Chiaki Watanabe: SHEAR BEHAVIOR OF ON-SITE TIMBER STRESS-LAMINATED BOX-BEAM BRIDGES, WCTE 2014, PROCEEDINGS, SESSION 4.8, TIMBER BRIDGES, ABS058, (USB Memory Stick). WCTE 2014, World Conference on Timber Engineering - Quebec City, Canada, 8/10-8/14, 2014.

⑥齊藤 輝, 滝田 拓史, 後藤 文彦, 佐々木 貴信: プレストレス木箱桁橋の剛性評価, 平成 25 年度土木学会東北支部技術研究発表会, 青森県八戸市, 講演概要集(CD-ROM), I-21, 2014.

⑦尾山 龍之介, 上村 哲範, 滝田 拓史, 後藤 文彦, 佐々木 貴信: プレストレス木箱桁橋の有限要素モデル化について, 平成 25 年度土木学会東北支部技術研究発表会, 青森県八戸市, 講演概要集(CD-ROM), I-22, 2014.

⑧渡辺 千明, 佐々木 貴信, 山内 秀文, 後藤 文彦, 安倍 隆一, 熊谷 誠喜: 岩手県大槌町における木質災害廃棄物と地域木材の活用による地域再生, 地域安全学会, 秋田県男鹿市, 2013.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

後藤 文彦 (GOTOU, Humihiko)
秋田大学・大学院工学資源学研究科・教授
研究者番号：1 0 2 6 1 5 9 6

(2) 研究分担者

佐々木 貴信 (SASAKI Takanobu)
秋田県立大学・木材高度加工研究所・
教授
研究者番号：0 0 2 7 9 5 1 4

(3) 研究分担者

渡辺 千明 (WATANABE Chiaki)
秋田県立大学・木材高度加工研究所・
准教授
研究者番号：5 0 3 6 3 7 4 2

(4) 研究分担者

堀江 保 (HORIE Yasushi)
秋田工業高等専門学校・その他部局等・
教授
研究者番号：7 0 1 1 3 3 9 7
備考：平成 25 年度、26 年度のみ