

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：50101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04596

研究課題名（和文）木材を利用した災害用緊急仮設橋の実用化に関する研究

研究課題名（英文）Research on application of emergency timber bridge for disaster

研究代表者

平沢 秀之（Hirasawa, Hideyuki）

函館工業高等専門学校・社会基盤工学科・教授

研究者番号：90238353

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000 円

研究成果の概要（和文）： 災害時の緊急仮設橋として木材を利用したトラス橋を開発する。2010年に開発した災害復旧用木製トラス橋は、半日以内に架設が完了するが、接合鋼板には溶接による熱ひずみが発生しその除去が困難であった。2019年に開発した2×8材を使用したトラス橋では、溶接を不要とする改良を行ったが、橋軸直角方向の剛性が低い欠点が明らかとなった。本研究では次の改良を行い欠点を改善した。(1)接合部には鋼板を2枚使用する、(2)橋門構を橋の端部と中間部に設置する、(3)溶接をせず、折り曲げ加工により部材連結を行う。その結果、剛性は向上し死荷重も軽減され、屋外架設実験では架設時間はわずか3時間8分であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

この研究で開発した木製トラス橋は、災害時を想定し電動工具類は使用せずスパナによるボルト締め作業のみで組み立て可能な優れた作業性、わずか3時間程度の急速施工で供用を可とする迅速性を有している。従来、橋は強度や耐久性を重視する設計思想で造られてきたが、災害復旧のための橋にはそれらとは異なる思想で考案する必要がある。特に、人命救助の観点から、被災後72時間以内の救出を果たすためには、被災地に関する情報収集の時間、被災地までの輸送時間、現地での架設時間を極力短縮しなければならない。この意味において、新しい思想を取り入れた学術的意義と架設時間の短縮化により迅速に復旧できる社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：The author develops a timber truss bridge as an emergency bridge for life saving and transportation of daily necessities. In the Warren truss bridge developed as emergency bridge in 2010, there was a problem of heat strain by welding in the steel connection plates. In another Warren truss bridge developed in 2019, the problem was removed without welded processing, however, deformation and vibration for the direction perpendicular to bridge axis occurred easily. To improve these problems, this study develops the bridge with the following characteristics; (1) Using two steel plates with 3.2mm thickness for the connection, (2) Attaching the portal members to the intermediate part of the bridge as well as the end part of the bridge. (3) Using connection plates with folding processing, not welding processing. As the results, the bridge developed here became light and simple, and the construction time was only 3 hours and 8 minutes.

研究分野：橋梁工学

キーワード：木橋 トラス橋 緊急仮設橋 架設実験 災害復旧

1. 研究開始当初の背景

緊急仮設橋とは災害時に早期かつ簡易に架設が可能な橋を意味する。土木学会内に設置された「災害時の緊急架設を目的とした緊急仮設橋に関する調査研究小委員会」(2020 年 10 月～2022 年 9 月)では、緊急仮設橋に適用できる材料の検討、架設事例について調査研究するほか、設計方法、要求性能の検討を行っている。実際の架設事例としては、東日本大震災で被災した気仙大橋の仮橋(鋼桁橋)や、2014 年の台風 8 号による土石流災害で被災した梨子沢橋の仮橋(鋼トラス橋)等、多数ある。

筆者はこうした災害時に架ける緊急仮設橋を木製トラスで実現する方法を研究中である。2010 年に函館高専内に完成させた木製ワーレントラス橋は、支間長を 10m とする歩道橋で、トラス部材には 120×120mm の断面を有するスプリース材を用い、接合部は 4.5mm 厚の鋼板を用いたボルト接合とした。屋外での架設実験も行い、作業は 4 時間半と短時間で架設できることが実証された。しかしながら、橋のパーツ重量が重く、人力での組み立て作業にやや難があること、接合用鋼板の製作の際、溶接による加工を行ったが熱ひずみが生じ、その除去に手間がかかったこと、更にトラス材には接合鋼板を挿入するためのスリット加工が必要など、加工作業に手間がかかったこと等の課題が残された。

2019 年にはこれらの課題を改善した木製ワーレントラス橋を開発した(写真-1)。トラス部材には建築用流通材の 2×8 材(樹種:SPF)を 2 枚重ねで使用し、接合鋼板はその 2 枚の間に挟んで使用することで、スリット加工を不要とした。接合鋼板には溶接箇所を設けず、橋軸直角方向部材の連結には既製アングル材を用いた。また、パーツ重量は軽量化され、橋全体の重量(死荷重)は 2010 年のトラス橋と比較して 79%に軽減できた。一方、架設時間に関しては、屋外での架設実験により 4 時間半と計測され、同程度の架設時間となった。また、2×8 材は扁平な断面形状を有していることに起因して、橋の橋軸直角方向の剛性が低くなり振動が生じやすい欠点が見明らかとなった。



写真-1 2×8材を用いたトラス橋(2019年)

2. 研究の目的

これまでの研究から得られた課題を解決させるため、本研究では次のような改良を加えた木製ワーレントラス橋を開発する。

- (1) トラス部材の接合は、厚さ 3.2mm の平鋼板 2 枚でトラス部材を挟みボルトにより接合する形式を用いる。
- (2) 橋門構を橋の両端部に設置するほか、中間部にも設置する。
- (3) 橋軸直角方向の横梁とトラス部材との接合は、接合鋼板(平鋼板)を折り曲げた箇所に横梁を重ね、ボルト接合する方法を用いた。

ここで、(1)、(2)により橋軸直角方向の橋全体の振動を抑えると共に、(1)により木材にスリット加工を行わないため部材加工時の省力化も果たす。(3)は形鋼を用いた接合を行わないため接合部が簡素化でき、パーツ重量の軽量化も果たす。更に溶接箇所もないため、熱ひずみの課題も回避できる。

橋本体の組み立てにおいて、2010 年及び 2019 年のトラス橋の組み立て時と同様に、工具はスパナのみとし電動工具類は使用しないこととした。組み立て場所も同様に屋内実験では函館高専体育館を利用、屋外実験では函館高専構内の敷地を利用した。屋外実験では、架設場所付近のヤードと想定する平坦な地面で組み立て作業を行い、完成したトラス橋本体をクレーンを用いて一括架設により橋台上に設置した。本研究は、この新たに改良を加えた木製トラス橋の組み立て・架設の作業性、及び組み立て開始から架設完了までの時間を明らかにする。

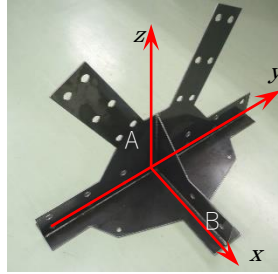
3. 研究の方法

(1) トラス部材の接合

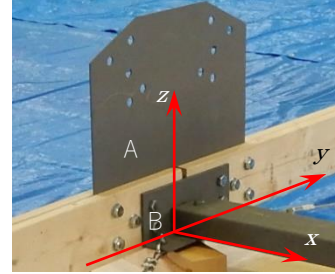
トラス部材の接合には中間部用の接合鋼板と上端部及び下端部用の接合鋼板を用い、鋼種は SS400、板厚は 3.2mm とする。この接合鋼板を写真-2 のように 2 枚使用してトラス材を挟み、ボルト接合する。ボルトは M16 を使用し、ボルト孔は直径を 18mm とする。



写真-2 中間部のトラス部材接合部



(a) 2010年トラス橋



(b) 2019年トラス橋

写真-3 既往の研究における横梁の接合法

(2) 横梁の接合

写真-3は2010年及び2019年のトラス橋開発時に採用した横梁を接合するための格点部構造である。橋軸直角方向を x 軸、橋軸方向を y 軸としている。トラス部材(上弦材、下弦材、斜材)は2010年、2019年両者とも、 y - z 平面内に配置された鋼板 A により接合される。2010年のトラス橋において横梁は x 軸方向に沿って配置された鋼板 B によって接合される。鋼板 A と鋼板 B はあらかじめ溶接により一体化されている。この接合具は溶接による熱ひずみのため所定の形状に仕上げるのが困難であったこと、重量が 19kgf もあり、橋の組み立て作業にやや難があったとの課題点が挙げられた。

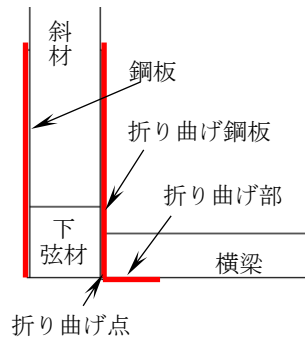


図-1 本研究で考案した横梁の接合



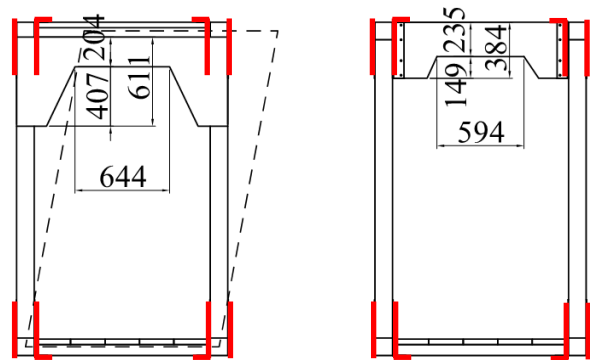
これを改善するために、2019年のトラス橋では横梁と接合させる鋼板 B を鋼板 A と溶接せず、ボルトでトラス材に固定させた。鋼板 B は既製形鋼の不等辺山形鋼であり、短辺の上面に横梁を載せてボルトで固定する仕組みとなっている。組み立ての際は、鋼板 A、B は別々に持ち運べるため軽量で作業性が向上したが、パーツ個数は増大した。また、鋼板 B の形鋼は既製品のため適切な板厚の不等辺山形鋼がなく、オーバースペックの接合具となった。

横梁の接合に関し、より一層の軽量化と合理化を図るため、本研究では図-1 のような鋼板を折り曲げて横梁を載せる接合方法を考案した。2 枚のトラス部材接合用鋼板のうち、内側(図-1の赤色部材の右側)の鋼板の下部に折り曲げ部を設ける。

(3) 橋門構の接合

橋門構は図-2(a)の点線のような断面変形を防止する目的で、通常、橋の両端部に設置されるが、本研究で開発するトラス橋では、中間部にも小型の橋門構を設置する。これらの橋門構と、トラス材の接合鋼板を接合部 1 か所につき 2 枚用いる(図-2の赤線部)ことで、2019年に開発したトラス橋の課題であった橋軸直角方向の剛性向上を果たす。

端部及び中間部の橋門構にも床版と同じ道南スギによる 2×10 材を使用した。橋門構の高さ方向の寸法が 2×10 材の幅 235mm より大きいため、 2×10 材を 2~3 枚接着して所定の寸法とした。接着剤にはエポキシ樹脂接着剤を使用した。



(a) 端部橋門構

(b) 中間橋門構

図-2 橋軸直角方向の剛性向上策

4. 研究成果

(1) 屋内架設実験

橋梁本体の架設をスムーズに行えるかは、各部材の寸法精度やボルト孔の位置の精度に依存する。このため屋外での架設に先立ち、トラス橋を確実に組み立てられることを検証する屋内架設実験を、2022年10月に函館高専体育館において実施した。架設作業は学生9名、技術職員2名、教員1名の計12名で行い、うち2名は監督役として作業には従事せず、10名が実際の作業に当たった。

本橋梁を災害現場で架設するための工程は、図-3のフロー図のようになる。このうち、今回

の屋内架設実験では「土台設置・下弦材のボルト接合」から「床版の設置」までの工程を検証する。橋のパーツや工具はあらかじめ体育館内に材料置場を設けて運び終えておく。災害現場では架設ヤードを設け、その中に材料等を置くスペースと橋本体を組み立てるスペースを設定すると想定し、それを体育館内で再現した。

橋の組み立ては、まず下弦材の接合を全長に渡って行い、その後支間中央部の斜材、中間橋門構、上弦材の順に接合する。作業者 10 名を 5 人ずつの 2 班に分け、2 班がそれぞれ支間中央部から支点側へ向かってトラス材を接合していく。作業状況を写真-4 に示す。ボルト締めは仮止めとし、全ての部材を接合した後、ボルトの本締めを行う。横構は、上横構、下横構とも格点同士をワイヤーロープでつなぐものとしている。ロープの両端は留め具によりリング状になっており、一方はシャックルを介して接合鋼板の折り曲げ部につなげられ、他方はターンバックルでつなげられる。ターンバックルの本締めはボルトの本締めと同じタイミングで行う。

屋内での一連の作業について時間計測を行った(表-1)。作業完了(床版設置完了時)までの時間は 2 時間 21 分であった。表には 2019 年に実施した 2×8 材を用いたトラス橋の屋外架設の時間も併記している。ただし、個々の作業時間は計測していない。2019 年の実験では、架設時間は 4 時間であったことから、本研究は大幅な時間短縮となった。時間短縮の要因は、本実験ではパーツ重量が軽減され持ち運びやボルト孔の位置合わせが容易であったこと、上横構として 2019 年の実験では木材を使用しボルト締めにかなりの時間を費やしたが、本研究ではワイヤーロープを使用して短時間で締め付けができたことが挙げられる。

作業性については、部材のボルト孔への位置合わせとボルト締めがほとんどの単純作業であり、パーツの種類も少ないため、未経験者でも容易に組み立てられる。ボルト締めは電動工具を使用せず、スパナにより行うが、本締めではナットとボルトが供回りするため、両手で締め付けるか 2 人がかりで締め付ける必要がある。

(2)屋外架設実験

函館高専構内に災害地を想定した架設地点及びヤードを設定し、架設実験を 2023 年 9 月に実施した。架設地点は正面玄関前の草地とし、ヤードは草地に隣接するアスファルト舗装路面とした。図-4 にそれらの位置関係を示す。ヤードとした路面は白線が引かれた導流帯と、一部は車が通行可能な車線が含まれているが、実験中は通行止めの規制を行い車の侵入を防いだ。架設工程は図-3 に示した「屋外架設実験の工程」の通りとした。

組み立てに携わった人員は、屋内架設実験と同様に学生 9 名教職員 3 名の計 12 名とした。うち 2 名は監督役となり 10 名

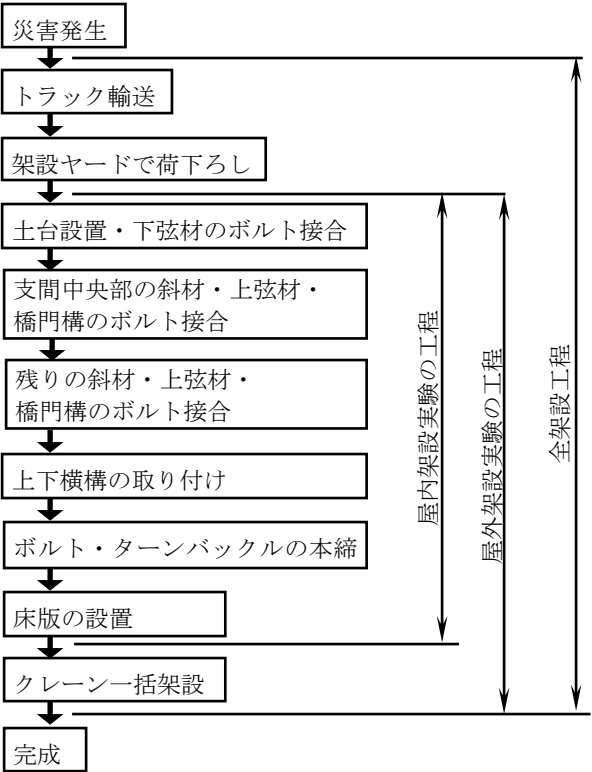


図-3 架設工程



写真-4 屋内での組み立て作業

表-1 架設時間

作業内容	2019年	本研究	本研究
	屋外実験	屋内実験	屋外実験
土台設置	—	1分	1分
下弦材のボルト接合	—	32分	49分
斜材・上弦材・橋門構のボルト接合	—	81分	65分
ボルトの本締め・横構取り付け	—	24分	53分
床版の設置	—	3分	5分
小計時間	4時間	2時間21分	2時間53分
クレーン一括架設	30分	—	15分
合計時間	4時間30分	—	3時間8分

が作業に従事した。

写真-5 はヤードと想定した路面上で組み立て作業を行っている状況を示している。作業中の天候は雨であった。雨天での作業は以下の点で作業効率が低下した。

- ・濡れた軍手でのスパナやボルトの手作業は滑りやすく作業時間に影響した。
- ・上弦材のボルト接合作業では、上を向くため顔に雨粒がかかり、視界が悪い中での作業となった。
- ・作業服がびしょ濡れになり、体を動かすににくく不快な状態で作業した。

路面上での土台設置から床版の設置までの合計作業時間は 2 時間 53 分となり屋内架設実験より約 30 分超過した。

ヤードでの組み立て後、25 トンクレーンを使用して一括架設を行った(写真-6)。吊り上げは、上弦材中間部の接合鋼板の下に角材を橋軸直角方向に通し、この角材に吊りロープを取り付けて行った。架設地点にはあらかじめ設置した RC 橋台があり、橋台に埋め込まれたアンカーボルトで固定されるようトラス橋を着地させる。橋台の上にはゴム支承を設置している。吊り上げ準備段階からクレーン架設後のアンカーボルト固定までの経過時間は 15 分であった。ヤードでの人力組み立てが 2 時間 53 分であったためトータルの架設時間は 3 時間 8 分である。架設完了後の状況を写真-7 に示す。クレーン一括架設は架設用の足場が不要で架設時間も短くて済むため緊急仮設橋の施工に適している。作業半径を短くできる状況であれば小回りの利く 13 トンラフテレーンクレーンを使用することもでき、災害現場までのルートが狭い場合等への適用性も向上する。

(3)まとめ

スギを利用した災害復旧用緊急仮設橋を開発し屋内及び屋外架設実験を実施した。トラス材には 120×120mm の製材を使用し、格点部には板厚 3.2mm の鋼板 2 枚と普通六角ボルトを使用して部材接合を行った。接合鋼板には溶接箇所を設けず、折り曲げ加工を施し、横梁との接合を可能にした。橋門構を端部の他中間部にも設置したことにより橋軸直角方向の剛性が向上した。人力で持ち運ぶためパーツ重量を低減させ、死荷重を $931\text{kgf} = 9.121\text{N}$ に抑えることができた。

屋内架設実験では、作業者は 10 名でスパナのみを用いた人力組み立てを行い、2 時間 21 分の短時間施工を達成した。一部ボルトの貫通が困難なトラス部材があり、材料の切断加工により寸法調整を行った。災害現場を想定した屋外架設実験では、屋内架設実験と条件を揃えて人力組み立てを行い、架設時間は 2 時間 53 分であった。屋内より約 30 分長くなったが、これは雨天による作業性の低下が原因であった。ヤードでの組み立て後、クレーンによる一括架設を実施し、15 分で完了した。トータル架設時間は 3 時間 8 分となり、災害現場で短期間で完成できることが実証された。

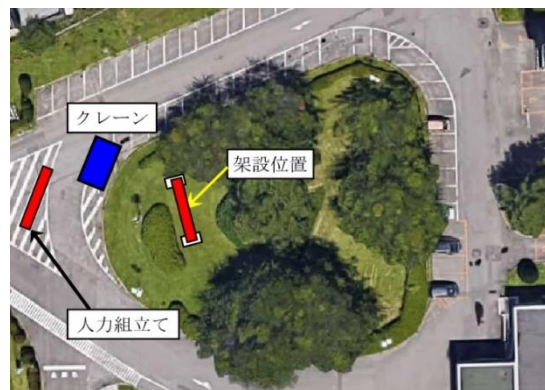


図-4 屋外架設実験の位置関係



写真-5 屋外での組み立て作業



写真-6 クレーン一括架設



写真-7 屋外での完成写真

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1．発表者名 平沢秀之，関本颯土，加藤真吾，菊池幸恵
2．発表標題 トラスのパネル化による緊急仮設橋の架設時間短縮
3．学会等名 土木学会北海道支部
4．発表年 2022年

1．発表者名 戸沼淳・平沢秀之・菊池幸恵・軽米晃汰
2．発表標題 軽量でシンプルな木製緊急仮設橋の開発
3．学会等名 木材工学研究発表会
4．発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6．研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7．科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8．本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------