

様 式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19（共通）

科学研究費助成事業 研究成果報告書



令和 3 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：2018～2020

課題番号：18K04673

研究課題名（和文）災害用折り畳みトラス橋の展開機構と耐荷力に関する研究

研究課題名（英文）Mechanical system and load carrying capacity of folding truss 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） 3,000,000 円

研究成果の概要（和文）： 自然災害により被害を被った地域の迅速な復旧のため、緊急仮設橋を開発した。材料は入手が容易で加工性に優れた木材を使用し、現地での架設時間が短縮できる折り畳み式の構造を考案した。2分の1スケールモデルを製作し、屋内での静的載荷実験及び屋外でのクレーン一括架設実験を行った。実物大スケールモデルも製作し、屋内架設実験も行った。それらの結果、以下の成果が得られた。(1)組み立ては、ボルトを手作業で締め付けるだけの優れた作業性を有する。(2)架設時間は2分の1スケールモデルでは約1時間半、実物大モデルでは約5時間半となり、迅速な復旧を可能とする。(3)十分な強度を有している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、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、わずか半日の急速施工で供用を可とする迅速性を達成させたことである。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 purpose of this study is to develop an emergency bridge for recovery from natural disaster. The material of the bridge is timber because of its easiness in manufacturing and getting from market. The special point of this bridge developed in this study is that the bridge can be folded before the construction. The experiments of construction using a half-scale model and full-scale model are executed. Using the half-scale model, loading experiments in-situ and crane construction experiment in the field are performed. Using full-scale model, construction experiment is performed in the school building. It is obtained after the experiments that (1) workability of the bridge is good, (2)construction time is one and a half hour for half-scale model, five and a half hour for full-scale model, (3)The strength of these bridge models is enough.

研究分野：橋梁工学

キーワード：木橋 トラス 緊急架設 災害復旧 折り畳み

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

日本政府の施策として掲げる「国土強靱化」の基本目標には、「迅速な復旧復興」が含まれる。これは、ひとたび災害に見舞われても、速やかに回復を図ることを意味する。災害により寸断された集落を如何に早く復旧させるかの課題を解決すべく本研究課題に取り組むものである。

平成23年3月の東日本大震災では、津波で橋桁が流出し主要交通路が遮断された地域があった。仮設橋による復旧がなされるまで、約70kmもの迂回を強いられることとなった。長野県の南木曾町では、平成26年7月の台風8号により県道264号の橋梁が大量の土石流により損傷を受け、使用不可となった。この橋梁も仮設橋による復旧工事が進められた。

これらのケースでは、仮設用の橋梁として、鋼材を用いたプレートガーダー橋及びトラス橋が採用されている。一方、岩手県大槌町では東日本大震災の後、仮設住宅から外へのアクセス用として使用するために木製歩道橋が建設された。

写真1は平成22年に函館高専構内で実施した木製トラス橋の架設実験の成果で、災害時の応急橋のほか、橋梁工事の仮設橋としての用途を想定し、使用後のカスケード利用（利用用途を変えながら複数回再利用）にも対応できる工夫がなされている。また、施工時間が4時間半と非常に短く、人力での組み立てが可能であり、災害時の技術者不足の状況でも有利である。このトラス橋は平成27年6月に北海道八雲町に移設され、人道橋として供用されている。

写真2は平成28年度に実施した5分の1スケールモデルによる折り畳み橋の展開実験の状況である。折り畳んだ状態では僅か200mm程度であるが、展開完了時には2400mmもの全長となる。これらの実験により実用化に向けた課題を明らかにした。



写真1 函館高専 木製トラス橋

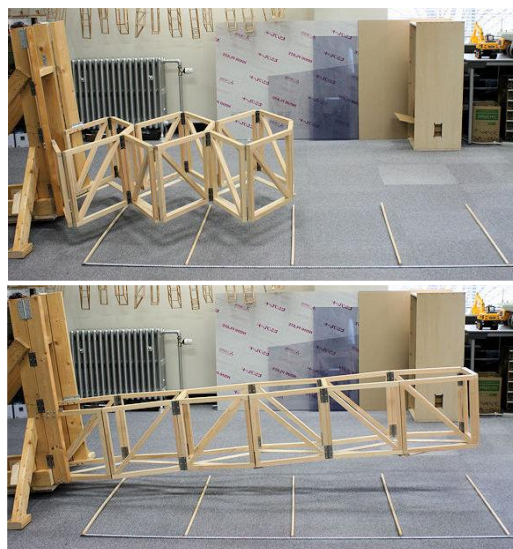


写真2 折り畳み橋模型

2. 研究の目的

災害時は人命救助や緊急物資輸送など、迅速な活動が求められる。そこで本研究の目的は、急速施工を可能とする展開機構を有する折り畳み式木製トラス橋を開発すること、また、その構造体の耐荷力を求めることとする。

これを達成させるため、橋の構造形式は図1のようなハウトラスを基本とし、折り畳みができるよう鋼製の蝶番を取り付ける。架設現場では、人力

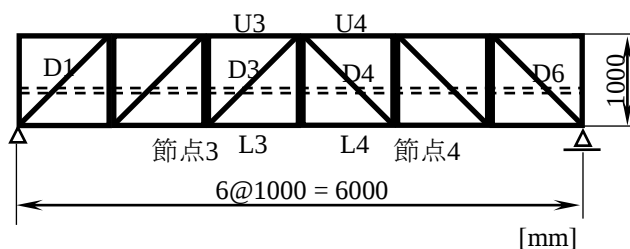


図1 2分の1模型概略図

により、折り畳まれた状態からわずかな時間で展開させる。本研究で開発する木製トラス橋は次のような特徴を有する。(1)既に実用化されている従来型の応急橋は、部材を現場で連結する作業を伴い、架設時間も数日程度要するが、本研究で開発する応急橋は、現場では短時間の展開作業等で完了する。(2)従来型は材料として鋼材が使用されているが、本研究では軽量な木材を使用する。一時的な使用を想定しているため、腐朽劣化を考慮しなくて良い。(3)研究段階にある応急橋には、モバイルブリッジ(広島大・有尾氏ら)があり、国内唯一の実物大折り畳み橋梁であるが、本研究の折り畳み橋は、折り畳み方法を改良し、折り畳みによるコンパクト化に成功している。(4)展開させるための動力が不要で、人力のみで折り畳み状態から展開させることができる。

3. 研究の方法

写真2に示したモデルは、5分の1スケールモデルで屋内実験用として製作した。本研究ではまず耐荷力の検討のため、図1のような屋内で実験できる2分の1スケールモデルを製作する。静的載荷実験を行い、荷重変位関係を明らかにしてトラス橋としての性能確認を行う。また屋外で折り畳み-展開実験を行い、実際の災害現場での架設作業を想定して架設時間と作業性を検証する。

次に実物大モデルの設計、製作を行い、屋内架設実験を実施する。寸法形状は図2の通りとし、トラスパネル、横パネルを蝶番またはボルト接合する。

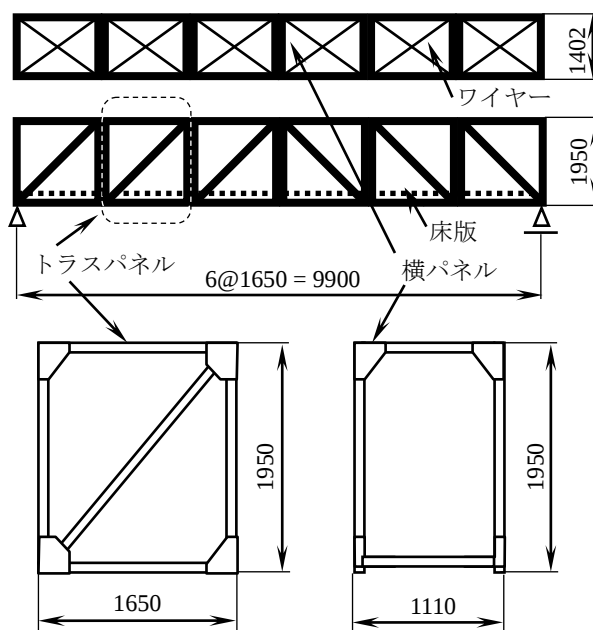


図2 実物大モデル概略図

4. 研究成果

(1) 2分の1スケールモデルの載荷実験

載荷点は支間長の3分の1、支間中央、支間長の3分の2の3か所とし、それぞれの点において床版上に1列に4個並べて1段(80kgf = 784N)とし、5段(400kgf = 3920N)まで積み上げる。ひずみとたわみは1段荷重を載せ終わるごとに測定した。写真3は支間中央部に重りを5段載荷させた状況を表したものである。



写真3 載荷実験の状況

図3(a)は支間中央部に載荷したときのたわみの実験結果(▲、●)及び理論値(—)である。ここで、節点3、節点4とは、図1に示す下弦材の節点である。また、理論値はトラス要素を用いた自前で開発したプログラムによる平面骨組構造解析から得た計算値である。解析モデルは図1の通りで、節点数を14、要素数を25とし格点部をピン結合としたハウトラス構造としている。解析に用いた材料定数(弾性係数)は、曲げ試験から得られた $E = 5980\text{N/mm}^2$ とし、すべてのトラス部材に適用した。

実験供試体は対称構造を有するが、対称位置にて測定した節点3と節点4では、たわみがほぼ等しい値となり、対称的にたわんでいることが分かる。また、構造解析から算出した理論値と実験値は非常に良く整合している。荷重－たわみの線形関係が明確に表れている。実験値と理論値とのわずかな相違は、蝶番の軸部のがたつき、すなわち回転軸の僅かな遊間が影響した可能性が考えられる。

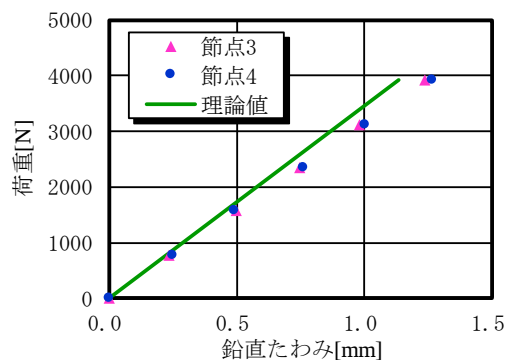
図3(b)は、節点4上の床版に載荷させたときの節点3のたわみ(▲)と、節点3上の床版に載荷させたときの節点4のたわみ(●)である。両者は非常に良く整合し、相反定理の成立が実験で再現できたと言える。図3より、本供試体は左右対称構造のハウトラスとして妥当な力学的挙動を示していると言える。

(2) 2分の1スケールモデルの屋外架設実験

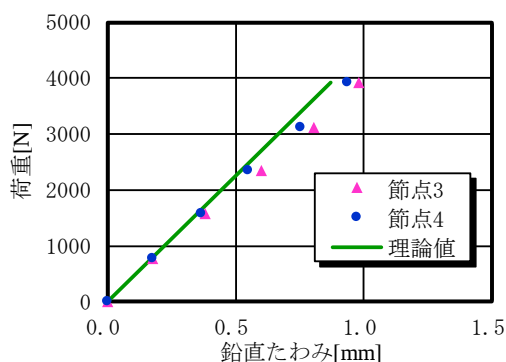
5分の1スケールモデルは軽量なため写真2のようなカンチレバーによる展開動作が可能である。2分の1スケールモデルにおいても、当初この工法を採用する計画であったが、重量が大きく材料強度及び安全性の面から、工法を再検討した。新たに考案した展開工法を図4に示す。折り畳み状態から展開させる際、構造体を架設台上で支持し、カンチレバーのように固定端部に自重の影響が集中するのを防ぐ。架設台上では、横パネルの下弦材が滑りながらトラスパネルが蝶番を軸にして橋軸方向に角度を変化させる。架設台はシリコンスプレーを塗布し表面を滑らかにする。

屋外架設実験は、函館高専のグラウンドで実施した。グラウンド内に運搬用のトラックの停車場所、架設ヤード、仮想の川を想定した。

写真4は、運搬した折り畳み橋を、トラックに備え付けのクレーンで、架設ヤードに置かれた架設台上に降ろす状況を示している。展開の際、架設台上で摩擦力が生じているが、人力で展開させる作業は容易であり、作業時間は4分であった。展開作業は、2名の作業者が橋の両端で引っ張り、もう1名の作業者が橋軸直角方向には大きく移動しないように監視しながら行われた。展開中の状況を写真5(a)に示す。

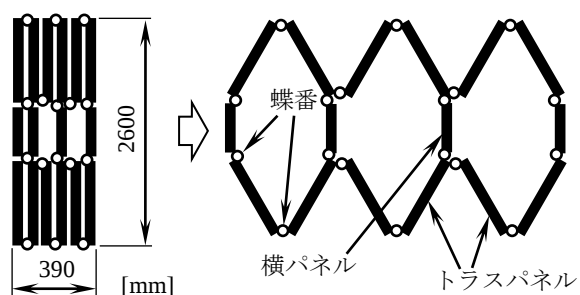


(a) 支間中央載荷 節点3、4のたわみ

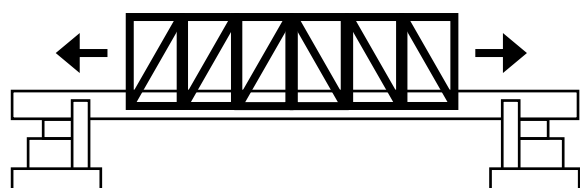


(b) 節点4載荷 節点3のたわみ及び
節点3載荷 節点4のたわみ

図3 たわみの理論値と実験値



(a) 折り畳み状態からの展開



(b) 架設台上での展開

図4 折り畳み－展開のしくみ



写真4 架設台への設置



(a) 展開作業



(b) 架設ヤードから河川上へ
写真 5 架設状況



(c) 架設完了

展開した後、連結部を強固に補強するために、鋼板を用いたボルト接合を行った。所要時間は30分であった。その後、下横構を配置しボルト接合する作業に21分を要した。最後に、架設ヤードの位置から近接する川を想定した架設地点へ、クレーン一括架設により橋梁の設置を行った(写真5(b、c))。架設に要した時間は1時間25分と極めて短時間であった。

(3) 実物大スケールモデルの屋内架設実験

図2の寸法を有する実物大モデルを105×105mmの断面を有するスギ材で製作した。使用した木材の重量は700kgf、鋼板・ボルト・ナット・座金・ワイヤー、ターンバックル外金物類の合計重量が571kgf、総重量は1271kgfとなった。図5は断面図及び使用した蝶番を示している。

写真6は函館高専の校舎内でトラスパネル同士及びトラスパネルと横パネルとの連結作業を行っている状況を表している。ここではスペースの関係で折り畳みー展開の動作を行うことができない。よって折り畳みー展開工法ではなく、パーツ連結による組立て工法での作業性、作業時間を検証する。連結作業は、幅105mmのスギ材の両側に板厚3.2mmの鋼板2枚をM16のボルトで連結する。蝶番による連結ではM10のボルトを使用する。連結作業はパネルを押さえる作業とボルトを貫通させ締め付ける作業である。作業性は一部の箇所ではボルト貫通が困難であったが、おおむね良好であった。写真7に完成時の状況を示す。

組立て作業は6名で行い、トラスパネル同士の連結作業に169分、トラスパネルー横パネルの連結に79分、それらの本締め作業に35分を費やした。更に横構のワイヤー、ターンバックルの取り付けに28分、床版設置に8分を加え、総組立て時間は5時間半となった。人数を増やせば、同時並行で作業できるため時間短縮が期待できる。

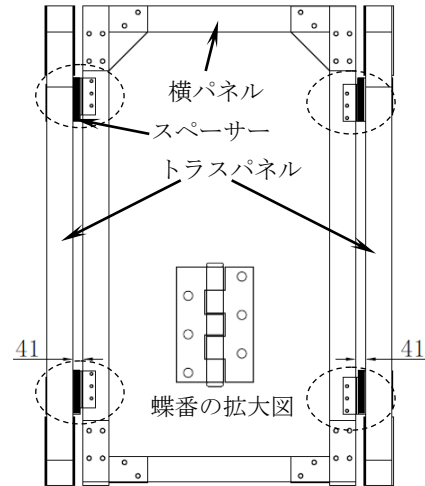


図5 実物大モデル断面図



写真6 手作業による組立て



写真 7 完成時の状況

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 佐藤 史織・平沢 秀之・小泉 楓・戸沼 淳	4. 巻 18
2. 論文標題 災害復旧用折り畳み橋の性能確認試験	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 木材利用研究論文報告集	6. 最初と最後の頁 34-39
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 平沢秀之・佐藤史織・戸沼 淳	4. 巻 17
2. 論文標題 折り畳み構造を有する応急橋の模型試作	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 木材利用研究論文報告集	6. 最初と最後の頁 77-82
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 平沢秀之，菊池幸恵，戸沼淳	4. 巻 19
2. 論文標題 折り畳み式木製トラス橋の現場架設	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 木材工学論文報告集	6. 最初と最後の頁 60-65
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 佐藤史織・平沢秀之・小泉楓・戸沼淳	
2. 発表標題 折り畳み式木製トラス橋の静的載荷実験	
3. 学会等名 第18回木材利用研究発表会	
4. 発表年 2019年	

1．発表者名 平沢秀之・佐藤史織・戸沼淳
2．発表標題 緊急仮設橋の要求性能と橋梁形式及び架設工法について
3．学会等名 令和元年度 土木学会年次学術講演会
4．発表年 2019年

1．発表者名 平沢秀之・小泉楓・菊池幸恵・戸沼淳・佐藤史織
2．発表標題 災害時の通路確保のための緊急仮設橋について
3．学会等名 令和元年度 土木学会北海道支部年次技術研究発表会
4．発表年 2020年

1．発表者名 平沢秀之，佐藤史織，戸沼淳
2．発表標題 木製折り畳み式橋梁の展開機構と模型試作
3．学会等名 木材利用研究発表会講演概要集
4．発表年 2018年

1．発表者名 佐藤史織，平沢秀之，戸沼淳
2．発表標題 コンパクトな折り畳み式木製歩道橋の提案
3．学会等名 土木学会第73回年次学術講演会講演概要集
4．発表年 2018年

1．発表者名 平沢秀之
2．発表標題 研究討論会「公共事業における木材利用」
3．学会等名 土木学会平成30年度全国大会（招待講演）
4．発表年 2018年

1．発表者名 Hirasawa, Hideyuki, Sato, Shiori and Tonuma, Jun
2．発表標題 DEVELOPMENT OF SHORT SPAN FOLDING TIMBER BRIDGE
3．学会等名 10th International Conference on Short and Medium Span Bridges（国際学会）
4．発表年 2018年

1．発表者名 関口拓哉，平沢秀之，関本颯土，村木元春，菊池幸恵
2．発表標題 組み立てが容易な木製ハウトラス橋の人力架設実験
3．学会等名 令和2年度 土木学会北海道支部年次技術研究発表会
4．発表年 2021年

1．発表者名 関本颯土，平沢秀之，関口拓哉，菊池幸恵
2．発表標題 災害復旧用木製ハウトラス橋の設計と製作
3．学会等名 令和2年度 土木学会北海道支部年次技術研究発表会
4．発表年 2021年

1．発表者名 梅田和輝，グエンアイ，後藤文彦，平沢秀之
2．発表標題 木製応急構造部材の展開時の力学挙動
3．学会等名 木材工学研究発表会講演概要集
4．発表年 2020年

1．発表者名 平沢秀之，菊池幸恵，戸沼 淳
2．発表標題 災害復旧用木製トラス橋の架設実験
3．学会等名 木材工学研究発表会講演概要集
4．発表年 2020年

1．発表者名 平沢秀之
2．発表標題 意外と知らない木のはなし
3．学会等名 キャンパスコンソーシアム函館 合同公開講座（招待講演）
4．発表年 2020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
---------	---------