

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：50101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01267

研究課題名(和文) 短時間で架設できる災害時応急橋の開発

研究課題名(英文) Development of disaster emergency bridges instantly constructed

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) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)： 災害時に交通路が遮断された場合を想定し、人命救助や緊急物資輸送のための応急橋を開発した。入手が容易な木材を利用し、軽量で折り畳んでトラック輸送が可能となっている。試作した模型供試体の重量は85kgであり、折り畳んだ状態での橋軸方向長さは390mmと、コンパクトにすることができる。災害現場では、折り畳んだ状態から展開して橋梁構造体を完成させることができ、長時間の架設工事は不要である。展開作業には、大型重機等は不要で、人力で行うことができる。

研究成果の概要(英文)： A timber folding bridge is developed in order to keep the trafficability in isolated village in mountain area after natural disasters. This bridge is made of timber which is in market size, and can be transported by a truck because it is compact and light. The mechanical system to unfold the bridge is scissors structure (magic hand for toy or pantograph for rail way car etc.) consist of bars and hinges. To move the unfolding system by human-power, a gear box which can change the rotation movement to elongating movement is developed. It is possible to make the superstructure of the bridge to unfold by small power. And also, the model in the size that a person can walk is build and the connection of members and the unfolding movement are investigated.

研究分野：橋梁工学

キーワード：災害復旧 応急橋 木製トラス 折り畳み

## 1. 研究開始当初の背景

我が国は、東日本大震災のような未曾有の災害のほか、台風・地震・ゲリラ豪雨・土砂災害等の自然災害が毎年のように発生し、市民生活に多大な影響を与えている。これらの災害により、道路が分断され、山間部の村落・集落が孤立する状況がしばしば見られる。また、孤立は免れても交通路の途絶は市民の経済活動に深刻な事態をもたらす。

平成23年3月の東日本大震災では、多数の橋梁が被害を受けた。津波で橋桁が流出し、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ていた例もある。平成26年7月には、台風8号により長野県の南木曾町にある県道264号の橋梁が被害を受けた。大量の土石流により橋桁が損傷を受け、大量の土砂が桁上に堆積した。辛うじて落橋は免れたが使用不可となった。この橋梁も仮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、東日本大震災の後、岩手県大槌町では歩行者用に木製の仮橋が架設された。これは仮設住宅から外へのアクセスとして使用された。

写真-1は函館高専構内で研究代表者らが実施した「木材のカスケード利用とトラス橋による実証実験」の成果である。本橋は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。



写真-1 木製トラス橋(函館高専)

## 2. 研究の目的

本研究は、災害時においてより一層迅速に架設する全く新しい橋梁形式を開発する。すなわち折り畳みできる橋梁の開発である。これまでの災害復旧における橋梁架設は、重機を必要とする大掛かりなもので、完成までの時間も数日から数ヶ月を要していた。そこで、本研究では応急橋としてすばやく供用開始ができるよう、次のような条件を満たすことを目標とする。

[製作に関する条件]

(1) 材料は安く入手が容易な木材とし、断面寸法と長さも規格で規定された流通材とする。

(2) 材料の加工は極力少なくし、加工時間を短縮させる。

(3) 部材接合部は鋼板とボルトを使用し、応急橋として十分な強度を確保する。

(4) 応急橋であるため、供用期間は短いことを想定し、防腐剤等の腐朽防止策は省略する。[輸送・架設に関する条件]

(5) 運搬時は折りたたんで輸送する。架設時に展開する。

(6) 架設は短時間で行うことができる。

(7) 架設時に必要とする人員は極力少なくして済むようにする。

(8) 架設に要する機材として、重機は不要とし、その他特殊な機械、工具類も必要としない。

## 3. 研究の方法

橋梁の形式は木製折り畳み式トラス橋とする。この形式は、折り畳んだ状態で災害現場までトラック輸送し、骨組構造を展開させて橋梁構造物を形成させることができる。本体は保管場所でほぼ完成させた状態で折り畳み、現地での施工は展開作業だけとなる。これまでの研究で、折りたたむことによって大幅なコンパクト化と木材利用による軽量化が確認されている。

実際の災害現場では、対岸に渡ることができず、架設作業を両方の支点位置で行うことが不可能な場合も考えられる。折り畳み式の構造であれば、一方の支点側で展開作業を行い、橋の先端部を対岸へ到達させることができる。展開のための作業には特別な重機等を必要とせず、人力のみで行える方法を用いる。すなわち、シザーズ構造(マジックハンド、パンタグラフ)と歯車を組み合わせ、歯車の回転運動をシザーズの伸縮運動に変換するギヤボックスを開発する。歯車の直径と歯数を適切に選択して小さな人力で大きな伸縮力を発揮できるようにする。

更に本研究では、人が歩行できる規模の模型を製作し、折り畳みによるコンパクト化、展開動作の確認を行う。トラス部材の接合部にはアルミ板木ねじ接合と鋼板ボルト接合を併用する方法を採用する。

## 4. 研究成果

### (1) 折り畳み式ハウトラス橋試作モデル

図-1は本研究で試作した5分の1スケールの模型概略図である。橋梁本体は24mm角の製材を用いたハウトラス構造であり、左端部は固定端を形成するため大型の三角形フレームとカウンターウエイト(16kgfの重り)から成る。三角フレームとトラス橋本体はボルト接合され、容易に取り外すことができる。トラスは上弦材・下弦材・垂直材・斜材から構成される1パネル(縦400mm、横400mm)が、橋軸方向に6パネル連結される。これらのパネルどうしは金属製の蝶番(縦76×横41×板厚1mm)で連結されており、折り畳むことができる。図中の◎印が蝶番の取り付け箇所である。

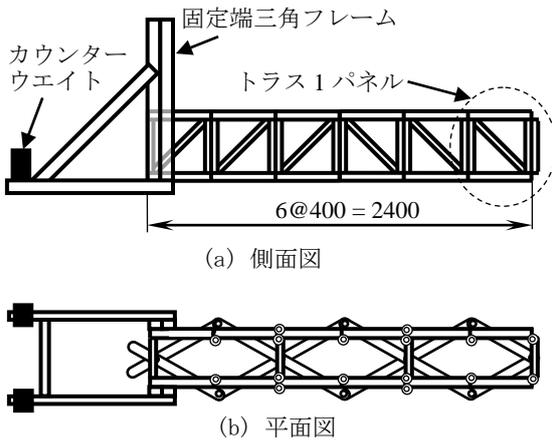


図-1 折り畳み式応急橋の模型概略図

図-1の側面図は展開後の状態を示したもので、左端が固定端、右端が自由端となる片持ち状態になっている。架設時はこの状態の後に地面に接地させ、両端が支持される。ハウトラス形式は、片持ちの状態では適した構造ではないが、両端支持の木製トラス橋には適した構造である。

### (2) 展開機構

図-1の平面図に示すように、下弦材の下部にはシザーズ構造(マジックハンド、パンタグラフ)が取り付けられ、左端部の操作により伸縮動作を行うことができる。シザーズの棒の端部どうしはピン結合されている。シザーズの棒の中央部および両端部はピン結合されていると同時にトラス橋の横梁ともピン結合されている。したがって、トラスの伸縮動作は、シザーズから横梁を通じて橋軸方向の力が伝達されてなされる仕組みとなっている。

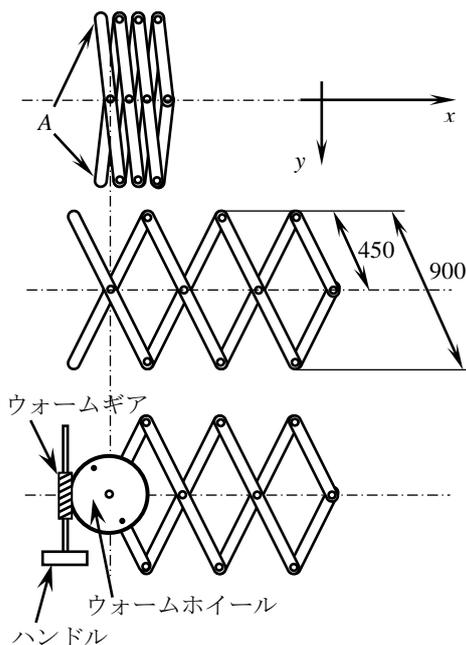


図-2 シザーズ構造

このシザーズ構造の詳細図を図-2に示す。端部Aをy軸方向に回転運動させると、容易にx方向に伸びていく。これまでの実験で、手で端部Aを操作することによりトラス構造の伸縮が可能であることが実証されている。しかし実物大スケールでは、一人の力でこの操作することは困難であると想定される。そこで本研究では、歯車を組み合わせてギヤボックスを構成し、回転運動をギヤに与えてその動きをシザーズの伸縮に利用することを考案した。

### (3) ギヤボックス

本研究では、使用するギアとしてウォームギヤとウォームホイールを採用する。図-2に示すシザーズ端部Aを短くカットし、回転の中心を一致させながら直径120mmのウォームホイールを取り付ける。このウォームホイールを回転させるためのウォームギヤを噛み合わせ、その回転軸の端部には手で回転させるためのハンドルを取り付ける。

ウォームホイールは2枚重ねて設置し、互いに逆回転できる仕組みとなっている。それぞれにシザーズの端部が固定される。写真-2にその状況を示す。ウォームギヤは2軸となっていて、平歯車を介して1軸を回転させると他方の軸が逆回転する。この回転がそれぞれのウォームホイールに伝達され、シザーズを伸縮させる。

ウォームギヤを回転させると、ウォームホイールに回転を生じさせる。しかしながら、ウォームホイールを回転させてウォームギヤに回転を伝達させることはギヤの構造上不可能である。このことは、トラス構造本体に外力(自重や風荷重など)が作用して勝手に伸縮しようとする動きを抑制する効果があり、安全な架設を行う上で有効である。



(a) 平面図



(b) 正面図

写真-2 ウォームギヤとウォームホイール



写真-3 ギヤの動きとシザーズの展開

#### (4) 展開実験

ウォームギヤ、ウォームホイール、平歯車、ハンドルから成るギヤボックスをトラス橋本体に取り付け、手動による回転を与えてトラス橋の展開動作の確認を行なった。写真-3は固定端側から自由端の方向へ見た状況を表している。手前側にギヤボックスがあり、ギヤボックスの右側に取り付けたハンドルを回すことにより、シザーズの角度が変化する。

写真-4は展開実験の状況を表したものである。写真の右側に固定端となる大型三角フレームが設置されている。シザーズはトラス橋下弦材の下部に取り付けられているが、下弦材と床の間は100mm程度の隙間があり、伸縮動作はスムーズである。

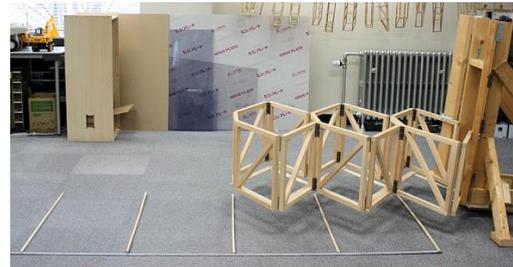
展開前は橋軸方向に約200mm程度のコンパクトな状態で折り畳まれている。この状態からハンドルを回転させる。「(b) 展開中」の写真はハウトラス構造の全長の1/2まで展開し

た状況である。この位置まで伸ばすにはハンドルを約8回転させる必要がある。「(c) 展開完了」にはハンドルを21回転して到達させることができた。

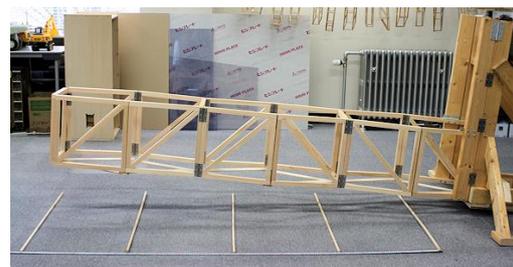
展開の方向は、写真の通りやや上向きとなっているため、自重のためハンドルを回すのに多少の力を要するが、休まず連続的に回し続けることができた。3回の展開実験で、展開時間は平均99秒となった。一方、完全に伸びた状態から折り畳む操作も3回実施し、完全に折り畳まれた状態に達するまでの時間を計測したところ、平均15秒となった。これは、展開時とは逆に自重による力が折り畳む方向に作用しているため、ハンドルを回す手の力が小さくて済んだためである。しかしながら、その自重による作用のみでトラス構造が折り畳むことはない。



(a) 展開前



(b) 展開中



(c) 展開完了  
写真-4 展開実験

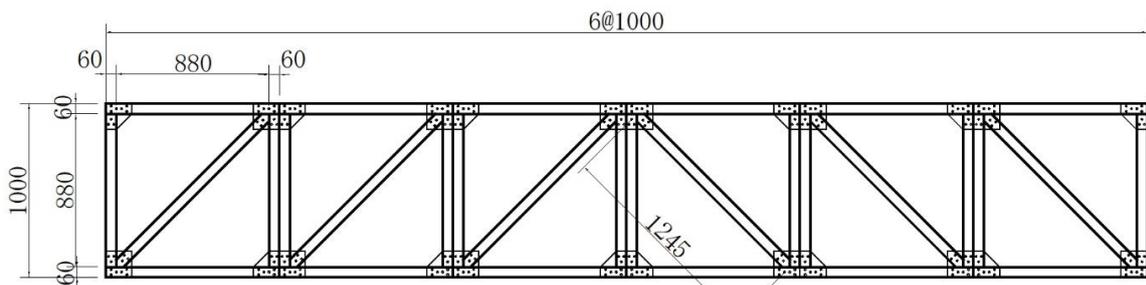


図-3 2分の1スケールモデル

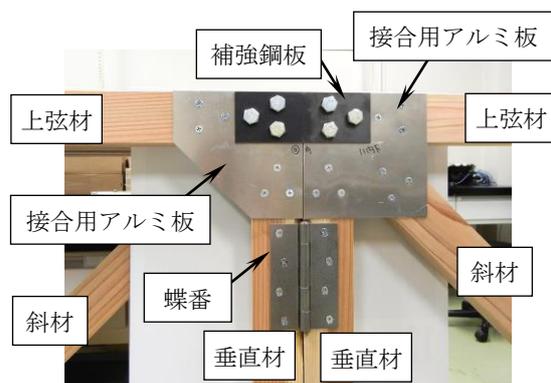


写真-4 部材接合部

#### (5) 2分の1スケールモデル

人が実際に歩行できるサイズで、且つ屋内で実験を行うことのできる2分の1スケールのモデルを試作した。図-3はその側面図を表している。格間長1000mm、支間長6000mmを有するハウトラスモデルであり、トラス部材は60mm角のスギを使用している。1トラスパネルは正方形パネルとなっており、部材接合部は木材同士を木工用接着剤で接着し、更に1.5mm厚のアルミ板を木ねじで固定している。

部材接合部の詳細を写真-4に示す。接合用アルミ板は、垂直材と上弦材または下弦材、及び斜材を接合するために使用している。トラスパネル同士の連結には、蝶番と補強鋼板を使用している。蝶番は垂直材の上下にそれぞれ1枚使用し、接合用アルミ板と重ならない位置に木ねじで固定している。固定端から3パネルまでの連結部には、縦126×横80×板厚2.0mmの蝶番を使用し、自由端から4パネルまでの連結部には、縦100×横70×板厚1.8mmの蝶番を使用している。なお、蝶番は横桁と主構を連結するためにも使用しており、縦100×横70×板厚1.8mmのサイズの蝶番を用いている。

補強鋼板は上弦材同士と下弦材同士を連結するために使用している。木部材を挟んで2枚の鋼板(縦60×横160×板厚3.2mm)によりボルト接合(M10)としている。トラス構造を展開する最中は、補強鋼板を使用せず、パネル同士は蝶番のみで連結されている。展開終了後に、連結部のアルミ板の上から補強鋼板をボルトで固定する(写真-4参照)。供用時には死荷重と活荷重による軸力が上下弦材に生じるが、補強鋼板がこれに円滑に抵抗する。

展開動作用のシザーズ及びギヤボックスを設置する前の半完成の状態で開催実験を行った。写真-5は展開前の完全に折り畳まれた状況を示す。折り畳みの際の部材同士の隙間はわずかであり、橋軸方向の厚さは約390mmであった。この長さの内訳は、(木部材の幅+蝶番の板厚)×格間数6+製作誤差などの隙間、となっている。

写真-6は平滑な床面上で展開し、全長6000mmのハウトラス構造を完成させた状態である。幅員は600mmを有し、横桁上に床版

を設置すれば人の歩行が可能である。構造全体の重量は約830Nと軽量である。本モデルによる展開動作に問題点はなかったため、今後は5分の1スケールモデルと同様に固定端フレームとシザーズ構造及びギヤボックスを設置し、人力による展開実験を実施する予定である。



写真-5 展開前



写真-6 展開後

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計3件)

①佐藤史織、平沢秀之、戸沼淳：コンパクトな折り畳み式木製歩道橋の提案、土木学会第73回年次学術講演会講演概要集(DVD-ROM)、(掲載予定)、2018。

②平沢秀之、安齋徳実、戸沼淳：折り畳み式小型軽量木製トラス橋の開発、土木学会第72回年次学術講演会講演概要集(DVD-ROM)、V-578、2017。

③Hirasawa, H.; Ansai, H.; Tonuma, J.: Folding System for Timber Truss Bridge, Conference proceedings, ICTB 2017, 3rd International Conference on Timber Bridges, June 26-29, 2017, Skellefteå, Sweden.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

○取得状況（計0件）

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 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

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者

### (4) 研究協力者