

折り畳み式木製トラス橋の現場架設

平沢 秀之¹・菊池 幸恵²・戸沼 淳³

¹正会員 函館高専教授 社会基盤工学科 (〒042-8501 函館市戸倉町14番1号)
E-mail: hide@hakodate-ct.ac.jp

²正会員 函館高専准教授 社会基盤工学科 (〒042-8501 函館市戸倉町14番1号)
E-mail: kikuchi@hakodate-ct.ac.jp

³正会員 戸沼岩崎建設(株) 代表取締役 (〒042-0932 函館市湯川町2丁目21番2号)
E-mail: j-tonuma@tonuma.com

災害復旧用の緊急仮設橋として、短時間に架設が可能な折り畳み式木製トラス橋を開発し、実際に折り畳み状態から展開させて橋梁構造体を完成させる実験を行った。実験供試体は支間長6m、幅員0.6m、主構高1mのハウトラス橋である。トラスの格間長は1mであり、各格間ごとのトラスパネルは、上弦材・下弦材・垂直材・斜材から成る。これらのパネルが鋼製蝶番により連結され、折り畳みが可能となっている。折り畳むことにより、幅2.6m、長さ0.39mのサイズとなり、小型トラックに載せることができる。架設実験は函館高専内の敷地で実施し、トラックへの積み込み、屋外での展開及びクレーンによる一括架設を、災害時の状況を想定しながら行った。実験では、作業人数を6名とし、電動工具などを使用せず手作業で組み立て、トータル架設時間は85分であった。作業性も特に問題なく、災害時の適用性は高いと考えられる。

Key Words: emergency bridge, timber howe truss, folding bridge, erection test, field test

1. はじめに

我が国は毎年のように各地で自然災害に見舞われ、人的被害や社会インフラの破壊を受けている。令和元年も、8月26～28日に発生した九州北部豪雨や、10月11～12日に関東から東北を襲った台風19号など、大規模な自然災害が多発した¹⁾。ひとたびこうした災害が起きると交通路が分断され、物資輸送や人命救助に支障を来す場合がある。災害後の復旧において、交通路の確保は重要で優先度は高いと言える。

これまで著者らは、自然災害により集落が孤立し、人々の往来が遮断されたケースを想定し、素早く橋を架けて通路を確保する折り畳み式緊急仮設橋の開発を行ってきた^{2,3)}。昨年度は、2分の1スケールの折り畳み式ハウトラス橋を展開させた構造系で静的載荷実験を実施し、トラス橋としての性能を保持していることを確認した⁴⁾。本研究はこの供試体を用いて実施した屋外架設実験について報告するものである。既に実用化されている従来の緊急仮設橋⁵⁾は、実際に災害時に供用され実績があるが、架設時間は数日程度を要している。ここで報告する折り畳み式緊急仮設橋は、半日以下で架設が完了し、人命に関わるケースで72時間以内の救助が求められる際などにも適用できることを目指している。

2. 実験供試体と架設方法の概要

実験供試体は実験室に入る支間長6mの木製ハウトラス(図-1)で、トラス部材は60mm角の道南スギを使用している。幅1000mmのトラスパネルは上下弦材、斜材、左右の垂直材から構成される。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(写真-1)。このトラス橋の折り畳んだ状態から展開中の状態を表したものが図-2である。保管及び運搬時は図-2(a)のように極めてコンパクトなサイズになる。図-2(b)の展開は、図-2(c,d)のように架設専用の台を架設現場に置き、台の上で人力で折り畳み橋を展開する。

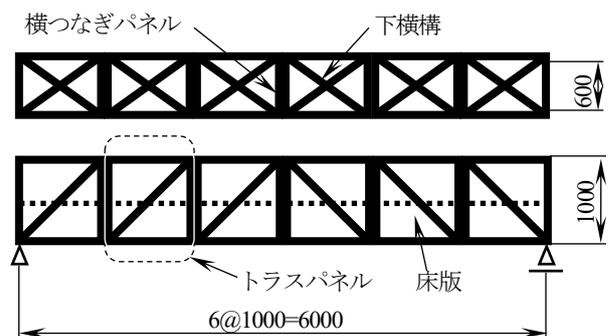


図-1 折り畳み式緊急仮設橋概略図(展開後)

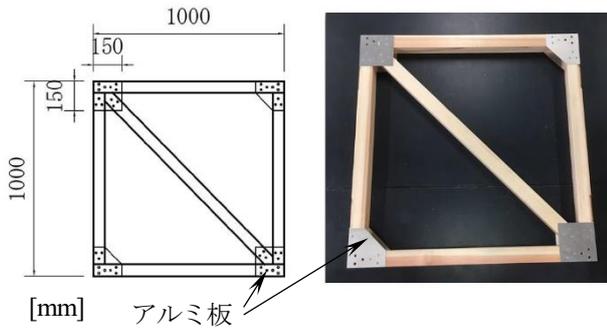
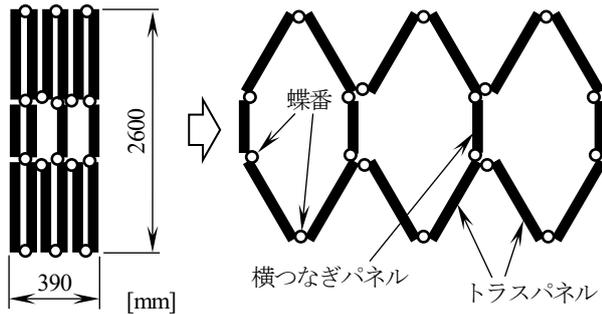
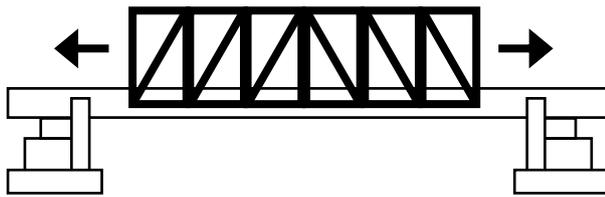


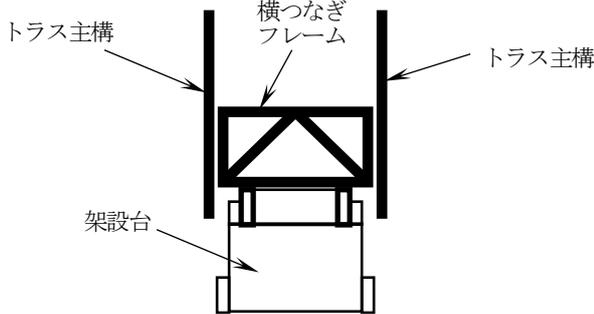
写真-1 トラスパネルの製作



(a) 折り畳み状態(平面図) (b) 展開中の状態(平面図)



(c) 架設台上での展開(側面図)



(d) 架設台上での展開(断面図)

図-2 折り畳み-展開のしくみ

架設台上では展開中に端部と中間部で本体が支持されるため、安定性が高く架設を安全に実施できる。展開完了後、上弦材同士、下弦材同士を鋼板を用いたボルト接合により連結する。ボルトはM10の六角普通ボルトを使用している。更に、格間ごとに下横構を下弦材同士を連結した鋼板にボルト接合する。床版は図-1の点線の箇所に横つなぎパネルの上に板材を敷き並べて設置する。

3. 架設実験

折り畳み式緊急仮設橋は、短時間に少人数で簡単な工具類のみで組み立て架設することができるよう考案したものである。これを実証するために、屋外架設実験を2019年9月18日に実施した。

架設場所は、函館高専内のグラウンドとし、折り畳み橋梁を保管している橋梁工学実験室からグラウンドまでトラックで運搬するものとする。グラウンドには、図-3のように架設地点及び展開作業を行う架設ヤードを想定したエリアを設けた。

架設は6名が担当し、以下の手順で行った。

- ①橋梁本体、架設資材等のトラックへの積み込み。
- ②トラックで移動。
- ③架設ヤードに架設台設置。資材等積み降ろし。
- ④橋梁本体を架設台上に設置。架設台上で橋梁本体を折り畳んだ状態から展開。
- ⑤連結金物をボルト接合。下横構をボルト接合。
- ⑥クレーン一括架設による架設地点への橋梁の設置。

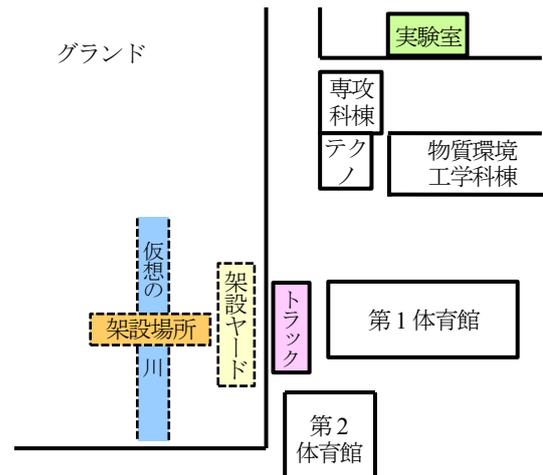


図-3 架設場所

(1) 小型トラックによる運搬

橋梁本体及び連結金物、ボルト・ナット、架設台等の資材を写真-2の3トン積みトラックで運搬する。折り畳んだ状態での橋梁本体(床版、下横構、連結金物、ボルト・ナットを除く)の重量は85kgfと軽量で、大きさも小さいため小型トラックで問題なく運搬できる。トラックには2.93トンクレーンが付いており、積み込みと積み降ろしが容易にできる。積み込みのための作業人員は6名(うち1名はトラックの運転とクレーン操作)であったが、3名程度でもそれほどの時間をかけずに積み込められると思われる。積み込み終了後、構内の通路を走行し架設地点へ向かう(写真-3)。



写真-2 トラックへの積み込み



写真-3 架設地点へ移動

(2) 現場架設

図-3の架設ヤードを想定した場所の側方にトラックを停車させ、橋梁本体と架設資材等をトラックから降ろす。架設ヤード内にまず架設台を設置する。架設台とは、折り畳み橋を展開させるために一時的に橋を載せる台である。架設台を設置した状況を写真-4に示す。架設台は桁と支点から成り、桁は2本のツーバイフォー材を使用して

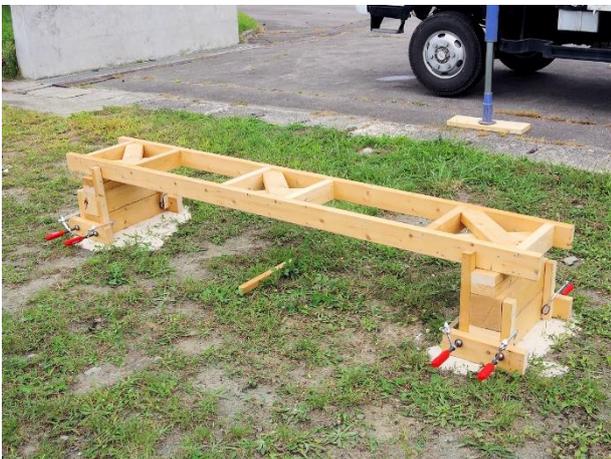


写真-4 架設台

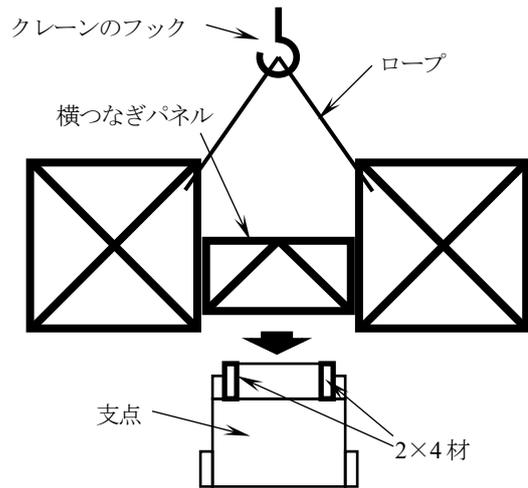


図-4 折り畳み橋の架設台への設置

おり、その全長は2450mmである。架設台と折り畳み橋の断面を図-4に示す。

折り畳まれた状態で橋を架設台上へクレーンで降ろす。ツーバイフォー材の支間中央部に橋の横つなぎパネルを着地させ、クレーンのフックを外す。このときの状況を写真-5に示す。架設台は勾配が生じないように、水平に設置しておく必要がある。

架設台上に橋を置いた後、両端部のトラスパネルを橋軸方向に引っ張りながら展開させる。架設台の桁(ツーバイフォー材)の上面には、あらかじめシリコンスプレーを塗布しておき、滑りやすくしている。橋の展開は、架設台の桁上を横つなぎ材の下弦材が滑りながら行われる。このとき、架設台の桁上で木材同士の摩擦力が生じているが、この摩擦力は小さく、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同程度の移動量となるように注意しながら、且つ、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-6に示す。



写真-5 折り畳み橋を架設台へ設置



写真-6 架設台上で橋を展開

展開後の支間長は、幅1000mmのトラスパネルが橋軸方向に6枚つながり、6000mmとなる。このとき、各トラスパネルは鋼製の蝶番のみで連結されている。このため、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。上弦材には160×60×3.2mmの鋼板を2枚用いてM10のボルトを使用し、下弦材には同じ寸法の平鋼板とL-4×60×60mmのアンクル材(長さ=160mm)をセットで用いてM10のボルト接合とした。アンクル材のフランジ部には下横構の端部がボルト接合される。写真-7はスパナを用いたボルト締めめの状況を示している。作業は6名で行い、30分で完了した。



写真-7 連結板の取り付け

連結板取り付け後、下横構の取り付けを行った。下横構は60×12mmの断面を有するスギ材で、図-1のように対角線状に配置する。架設台が下横構取り付けの妨げになるため、一旦、クレーンにより橋全体を持ち上げ、架設台を撤去し、両端部にH鋼を敷いてその上に橋を着地させた。クレーンによる上げ下げと下横構取り付けに21分を要した。



写真-8 一括架設



写真-9 架設完了

最後に、架設ヤードの位置から近接する架設地点へ、クレーン一括架設により橋梁の設置を行った(写真-8)。クレーンは運搬に使用したトラックに備えられたクレーンを使用した。このクレーンは、本来はトラックへ荷物を載せる、または降ろすためのものであり、橋の一括架設への使用は適切ではない。今回の実験では、橋が軽量で作業半径が小さく、クレーンの能力の範囲内であったため、一括架設にも使用した。支点位置にはあらかじめH鋼を設置しておき、災害時の簡易的な橋台として使用することを想定して、その上に橋を着地させた。一括架設に要した作業時間は5分であった。写真-9に架設が完了した状況を示す。

(3) 架設の所要時間と作業性

以上の架設工程のそれぞれの所要時間と作業性についてまとめると、表-1の通りとなる。ほとんどの工程は、時間間隔を置かず連続的に作業を行っているが、「3 架設台上に本体設置」の作業開始前は、20分間の空白がある。これは、報道機関による取材が行われたため作業を中断

表-1 架設の各工程における所要時間と作業性

作業工程	開始時刻	終了時刻	所要時間	作業性
1 積み込み・輸送	13:15	13:28	13分	クレーン使用.
2 架設台の設置	13:28	13:35	7分	
3 架設台上に本体設置	13:55	13:58	3分	クレーン使用.
4 架設台上で展開	13:58	14:02	4分	
5 後付け横桁設置	14:02	14:10	8分	
6 連結板ボルト締め	14:10	14:40	30分	貫通しにくいところあり.
7 下横構の取り付け	14:52	15:13	21分	貫通しにくいところあり.
8 床版の設置	15:13	15:20	7分	
9 クレーン一括架設	15:20	15:25	5分	クレーン使用.
合計作業時間			1時間38分	

したことによるものである。また、「7 下横構の取り付け」の作業開始前も12分の空白があるが、これは「6 連結板ボルト締め」の工程の後、作業者が集合して、作業に関するミーティングを実施したためである。所要時間には、これらの空白は除いている。

作業工程のうち、比較的時間を要した工程は「6 連結板ボルト締め」と「7 下横構の取り付け」であるが、これらはいずれもボルト締め作業に時間を要している。その原因は、ボルト本数が160本と多いこと、一部ボルトが貫通しにくい箇所があったことによる。連結板および下横構は、M10のボルトを使用しているが、ボルト孔の直径は12mmとしており、2mmの余裕を設けている。貫通しにくかった要因として以下の可能性が考えられる。①ボルト孔をあける際にズレが生じた可能性がある。②トラスパネルを蝶番で連結する際にズレが生じた可能性がある。③運搬中または架設中、橋梁本体にゆがみが生じた可能性がある。

これらの改善策として、作業人員を増やすこと、孔あけや構造体の製作の精度を極力上げることが考えられ、ボルトの貫通が容易になれば作業時間の短縮化を図ることができる。

その他の作業工程では、作業時間は短く、作業性が問題となるような箇所はなかった。折り畳んだ状態または展開した状態で橋梁本体を移動させる際は、クレーンを使用したため、短時間で容易に作業を進めることができた。

作業工程の「1 積み込み・輸送」を除き、トラックが架設ヤードに到着した時間から、一括架設が完了する時間までを計測した結果、85分となり、極めて短時間で架設が可能であると実証された。災害復旧において特に緊急性が高い場合は、折り畳み式の本橋梁が有効と考えられる。

4. 実用化に向けた課題

今回の架設実験で使用した供試体は、支間長6mの模型であるため、実物大モデルでの架設実験および構造性能を確認するための実験が必要である。構造的には、以下の検討を進める必要がある。

(1) 床版の設置位置：

歩行を容易にさせるため、床版の位置を下方にし、下路橋とする。今回の模型では、中路橋としており、実際の歩行を考えると1～2段の踏み台が必要であった。

(2) ストラット・上横構の設置：

ポニートラスを避けるため、図-5のように上弦材同士を連結するストラット及び上横構を設置する。ポニートラスにすると、橋が全体横倒れ座屈を引き起こす危険性がある。歩行空間を確保するため、成人の身長より高い位置にこれらの部材を取り付ける。これに合わせてトラス主構の高さも検討する必要がある。

また、運用面において以下の課題を解決する必要がある。

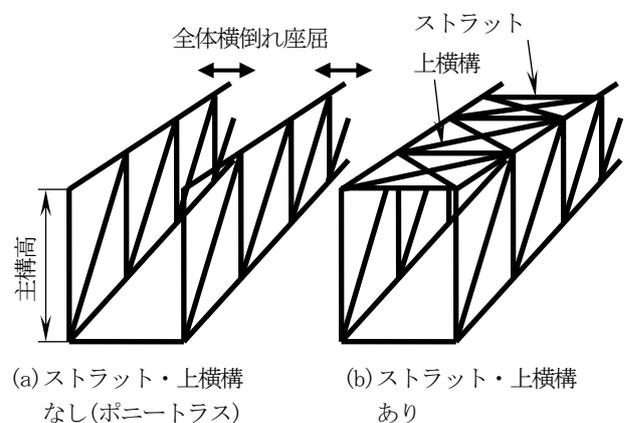


図-5 ストラット・上横構の設置

(3)緊急仮設橋の部材の保管場所と管理：

災害時に備えて、適切な場所で保管し、保管中に腐朽しないよう管理する。管理者(自治体または民間等への委託など)を定める必要もある。

(4)災害時の運搬と現場架設の体制の整備：

運搬のためのトラック、架設のためのクレーン、架設作業者の確保をどうするか。災害時の連絡体制もあらかじめ決定しておく。災害時の対応について、協定を結んでいる場合は、緊急仮設橋の扱いを盛り込んでおく。

(5)部材の使用履歴の管理：

緊急仮設橋として複数回使用すれば、部材は傷などの損傷を受け、再利用が困難になり得る。部材の使用履歴を記録して、必要に応じて部材を新規調達しておく必要がある。

5. おわりに

従来の応急橋より遥かに素早く架設できる折り畳み式トラス橋を開発し、架設実験を実施した。小型トラックを使用して実際に積み込む、降ろす作業も行った。架設時間を測定したところ、作業人数を6名として約1時間半で完成した。架設ヤードでの展開、組み立て作業はすべて手作業で行い、電動工具類は使用していない。橋梁部材や連結金物、その他架設資材は小さく軽量で持ち運びが容易である。ただし、折り畳み橋の本体のみ、クレー

ンを使用して上げ降ろしを行った。

実用化に向けた課題として、実物大モデルを製作する際の構造的な課題と、災害時に本橋梁を使用する場合の運用面での課題を示した。今後は実用レベルに近づけられるよう研究を進めていく予定である。

謝辞：本研究は日本学術振興会科研費(基盤研究C, 課題番号 18K04673)の助成を受けた。ここに謝意を表す次第である。

参考文献

- 1) 内閣府：防災情報のページ, <http://www.bousai.go.jp/index.html>
- 2) 平沢秀之, 佐藤香純: 折り畳み式応急橋における展開工法の開発, 木材利用研究論文報告集15, pp.46-48, 2016.
- 3) 平沢秀之・佐藤史織・戸沼 淳: 折り畳み構造を有する応急橋の模型試作, 木材利用研究論文報告集17, 77-82, 2018.
- 4) 佐藤史織・平沢秀之・小泉楓・戸沼 淳: 災害復旧用折り畳み橋の性能確認試験, 木材利用研究論文報告集18, 34-39, 2019.
- 5) 技術資料 仮橋のラインナップ, 橋梁と基礎Vol.46, 第8号, pp121-130, 2012.

(Received October 16, 2020)

(Accepted January 31, 2021)

FIELD ERECTION TEST OF FOLDING TIMBER TRUSS BRIDGE

Hideyuki HIRASAWA, Yukie KIKUCHI and Jun TONUMA

This study is on the on-site erection test of a folding timber truss bridge for emergency in natural disaster. Before the erection, the bridge is folded in compact size and after the unfolding, it becomes bridge structure with 6m span, 0.6m widths and 1m truss height. One truss panel is composed by upper chord, lower chord, vertical member and diagonal member. The whole bridge forms Howe truss with 6 panels. Each panel is connected together by metal hinges which can fold. The size of this bridge in folded condition is 2.6m wide and 0.39m long, therefore, it is possible to carry it by a small size track. Considering the condition of disaster, the tests of transportation and erection from folded structure to unfolded structure were carried out on the campus of Hakodate National College of Technology. As result of the tests, the total time of erection was 85 minutes with 6 workers not using electric tools. This bridge has good application to emergency situation.