

令和 3 年 6 月 23 日現在

機関番号：13601

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13818

研究課題名（和文）トラス化を意識したシザーズ型緊急橋の補強対策が耐震性能向上に与える影響

研究課題名（英文）Influence on seismic performance improvement of trussed scissors-type emergency bridge

研究代表者

近広 雄希（CHIKAHIRO, Yuki）

信州大学・学術研究院工学系・助教

研究者番号：10778905

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、トラス化を意識したシザーズ型緊急橋の補強手法を提案し、それらが力学特性や耐震性能の変化に及ぼす影響を明らかとすることにある。この補強は架橋後の後付けを想定しており、床版の設置位置に応じた最適な部材剛性や補強レイアウトを数値最適化により提案した。適切に補強することで、シザーズ型緊急橋の性能を大きく向上させることができると解析と実験により明らかとした。また、地震応答解析でも無補強状態からの耐震安全性の向上を確認できた。すなわち、被災現場でシザーズ型緊急橋に補強材を施すことにより、その安全性を保障できることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の意義は、簡易な補強により柔軟で揺れやすいシザーズ型緊急橋の剛性を高め、現場安全性を向上させることにある。適切な補強を施すことにより、スパンや耐荷重を向上させ、緊急仮設橋としての適用範囲を広げられる可能性を持つ。また、より軽量の補強部材を用いて最大限の補強効果を得ることは、コストの低減だけでなく現場での作業性を高めることができ、緊急仮設橋の利便向上にも繋がる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to propose a reinforcing method for scissors-type emergency bridges based on the truss structure, and to clarify the effects of these methods on changes in mechanical properties and seismic performance. The reinforcement is designed to apply after the bridge is erected, and the optimum stiffness and reinforcement layout according to the location of the decks are proposed by numerical optimization. The numerical and experimental results show that the performance of the scissors-type emergency bridge can be significantly improved by appropriate reinforcement. The seismic response analysis also confirmed the improvement of seismic safety from the unreinforced condition. In other words, the safety of the scissors-type emergency bridge can be ensured by applying reinforcement to the bridge at the disaster site.

研究分野：構造工学・橋梁工学

キーワード：緊急橋 シザーズ橋 補強最適化 耐震性能

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災(2011.3)をはじめ、災害によって交通ネットワークが麻痺してしまうと、救援活動や早期復旧作業が困難になる事例を多く経験してきた。その中でも河川や山間を跨ぐ橋は、交通の要であり、その復旧時間が、救命・救援・避難など「一刻を争う」問題に直結する。そこで写真-1のように、災害後の緊急復旧活動を支援する折畳めるシザーズ型の緊急仮設橋(シザーズ橋)の開発研究を行っている。ここで、緊急仮設橋とは、現行の道路橋示方書等の基準までは要求せず、緊急時には早期かつ簡易に仮設が可能な橋のことを指す。橋と展開構造物が組合わされることにより、1: 完成した橋全体が折畳まれ、一括して現場まで運べる、2: 広い仮設ヤードを必要としない、3: 重機による現場組立てが極力不要などの利点を持ち、既存の仮設橋や応急組立橋よりも短く、人命救助の目安となる72時間以内での早期施工が可能となる(図-1参照)。

既往の研究では、シザーズ橋の補強手法と耐震性について個々に検討をしてきた。前者では、架橋後に上・下弦材やケーブル材を補強材としてシザーズ橋に組み込むことによって、橋全体の剛性を向上させることに成功した。他方、後者では規模の異なる種々の地震波をシザーズ橋に対して解析的に与えることによって、地震下での挙動や応力状態などを明らかとし、設計上の安全率などを論じた。一方で、通常の橋構造物と比べシザーズ橋の剛性が低いこともあり、橋全体が吊橋のように大きく揺れる現象も見られた。特に被災現場での使用を考えた時、揺れやすいという特徴のある程度軽減させなければならない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、72時間以内での迅速架橋を目標としたシザーズ橋を対象に、図-2のような既存のトラス橋の形を意識した後補強が動力学特性に及ぼす影響を明らかとし、さらに、余震などを想定した激しい揺れに対する耐震性能の向上を明らかとすることにある。本研究の遂行によって、被災現場におけるシザーズ橋の補強効果や安全性向上を設計思想へと還元でき、その実用化を大きく促すことが期待される。さらに本申請課題では、展開構造物、アルミニウム合金材料といった、これまで橋に応用した例の未だ少ないものを扱っている。そのため、シザーズ橋を通じた動的特性や耐震性といった基礎研究は、土木分野における貴重な基礎資料になり得る。

3. 研究の方法

従来、剛性の少ないシザーズ構造を主構造に用いているため、シザーズ橋は揺れやすい性質をもっている。これを架橋後にトラス橋を意識した補強材の追加によって抑制するのが本研究の狙いである。災害現場での使用を想定すると、以下のような具体的な課題がある。

- Q1. 補剛材の配置・強度によってシザーズ橋の振動特性がどのように変わるのか?
- Q2. 種々の規模の地震下での補強したシザーズ橋の挙動や部材の安全性はどうなるのか?
- Q3. シザーズ橋の設計にどのようにフィードバックしていくのか?

これらの課題に対して、次の方法によって明らかとしていく。

- A1. 数値最適化と実証実験による最適レイアウトの検討
- A2. 補剛材剛性と格間数に着目したパラメトリック解析
- A3. 補剛材を含む地震応答解析

まず A1 では、既往の実験橋をベースとした骨組モデルを解析的に構築し、補強の配置や剛性による力学特性の変化を明らかとするとともに、最適な補強レイアウトを提案する。さらには、補強効果を検証す



写真-1 提案するシザーズ橋

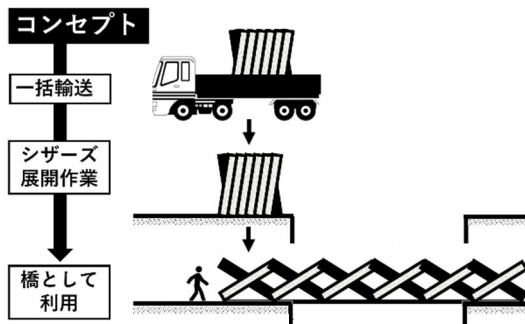


図-1 シザーズ橋の輸送～架橋までの流れ

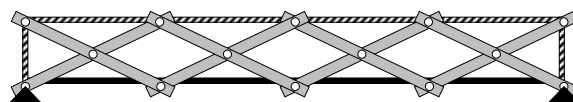


図-2 トラス化したシザーズ橋のイメージ

るために実験橋を用いた実証実験を行う。A3では、補強の有無によるシザース橋の地震時挙動について明らかとする。また地震時におけるシザース橋の応力や変位の予測をするために、動的増幅係数（=地震応答解析による解/静解析による解）を定義し、設計パラメータや地震波の影響による違いを明らかにする。

#### 4. 研究成果

項目A1では、これまでに試作された歩行者用の実験橋を対象に補剛材の有無に応じた载荷実験を行った。この実験では、設計荷重を想定した人1人程度の静荷重を与え、補強材として上弦材を設置した。補強材の有無によりシザース型緊急橋のたわみが最大50%ほど低減し、補剛材の効果に加えて、床版が補剛材としても効果を発揮することが明らかとなった。さらに、水平材と鉛直材によって補強されたシザース橋の部材寸法最適化を実施した。図-3に3~5格間において、下部のヒンジ部に活荷重が生じた場合の結果を示す。これらの結果より、上弦材による補強効果の影響が強く、支点部からのアーチアクションによって荷重に抵抗している機構が分かる。また、格間数が増えると支点近傍の鉛直材も向上し、上弦材の負荷を分散させようとする変化が見られた。

項目A2では、実証実験をもとに解析モデルの妥当性を再確認し、支承の拘束条件や補強材の部材剛度、格間数などの設計パラメータに着目したパラメトリック解析を実施し、補強による耐力向上を定量的に確認した(図-4参照)。支承部をピン支持とすることによって60%以上のたわみ低減効果を期待できることが分かった。他方、シザース型緊急橋の展開角が大きくなるにつれて格間長も増えるため、上弦材のように圧縮力が作用する部材は座屈に注意しなければならないことも分かった。

項目A3では、種々の補強パターンを想定した地震応答解析を行い、地震下における安定性を検討した。実験橋をベースに入力地震波・床版設置位置・格間数をパラメータとして解析を行った。図-5は、実験橋に対して種々の境界条件(図中左から架橋時を想定した片持ち状態、架橋後を想定した単純支持状態、架橋後に活荷重が作用した供用状態)で静解析と地震応答解析を行った際に得られた最大曲げ応力を示す。この結果では、静解析と地震応答解析のどちらも架橋時の応力が最も大きく、動的増幅係数は最大で約2.2倍であった。図-5に加えて入力地震波・床版設置位置・格間数を変化させると、動的増幅係数は曲げモーメントに対して1.0~3.0倍の間で、軸力は1.5倍~5.5倍の間で変化した。また、これらの解では材料降伏や座屈等の現象は生じず、適切に補強材の部材寸法を与えることによって安全性を向上できることが分かった。

以上の結果より、補強材を用いた補剛シザース構造とすることによって、シザース型緊急橋の力学特性を大幅に向上させることができ、耐震安全性も確認することができた。すなわち、被災現場で適切な補強をすることによりシザース型緊急橋の安全性を担保でき、その実用化を大きく促すことを期待できる。また今後の課題として、実施した解析は梁要素による骨組モデルであったため、補強の有無に応じたピン接合部の応力集中の影響を明らかとする必要がある。

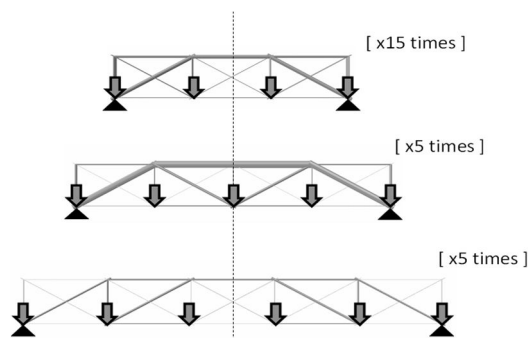


図-3 格間数に応じた部材剛性

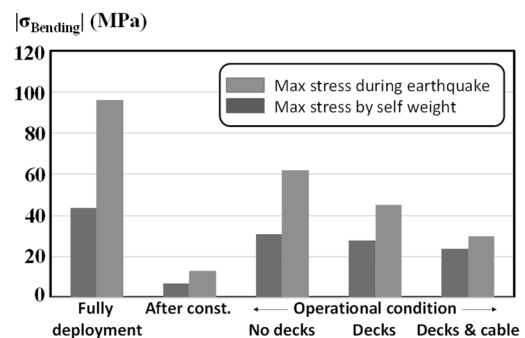


図-5 境界条件に応じた動的増幅係数

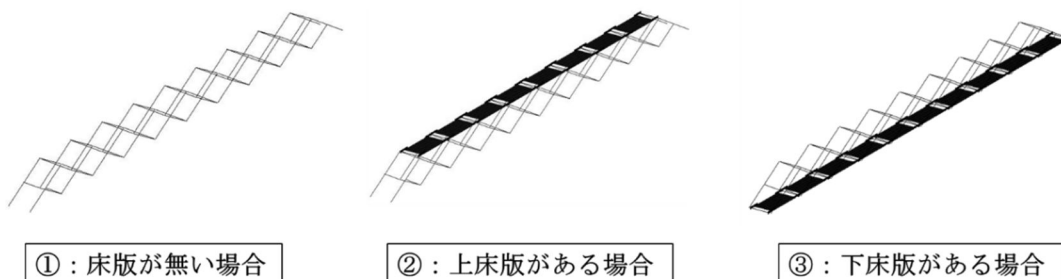


図-4 解析モデルの一例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 西部真生, 久保田圭介, 近広雄希
2. 発表標題 曲げを受ける有孔アルミニウム合金部材の円孔近傍に生じる応力集中の推定
3. 学会等名 令和2年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Chikahiro, Y., Zenzai, S., Shimizu, S., Ario, I., & Nakazawa, M.
2. 発表標題 Seismic performance of robotic bridge using scissors system
3. 学会等名 9th ECCOMAS Thematic Conference on Smart Structures and Materials (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 米谷智仁, 村山明鴻, 近広雄希
2. 発表標題 パラメトリック解析によるシザーズ橋の床版特性が補強効果に与える影響.
3. 学会等名 令和元年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Chikahiro, I. Ario, P. Pawlowski, C. Graczykowski, S. Shimizu
2. 発表標題 Numerical optimization of deployable scissors structure with reinforcing chord members
3. 学会等名 Solid Mechanics 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Chikahiro, S. Zenzai, S. Shimizu, I. Ario
2. 発表標題 Dynamic analysis of scissors-type deployable pedestrian bridge under earthquake
3. 学会等名 9th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 平井康祐, 近広雄希, 善財聖也
2. 発表標題 ケーブル材を利用したシザーズ橋の補強効果の検討
3. 学会等名 平成30年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2019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