

シザーズ機構を用いた災害用折畳みパネル橋の最適パネル形態に関する研究

信州大学 ○近広雄希 1*

緊急仮設橋 シザーズ機構 折畳みパネル橋
軽量構造物 パネルレイアウト 部分試作

1. 研究の目的

近年、自然災害の激甚化に伴い、従来の応急仮設橋よりも迅速に架橋できる「緊急仮設橋」と呼ばれる新しい橋の必要性が提唱されている。本研究では、補強された状態でも折畳みができるシザーズ橋として折畳みパネル橋を提案する。この折畳みパネル橋の基礎研究として、パネルレイアウト、ならびに、部材剛性が力学特性に与える影響を明らかにし、最適なパネルレイアウトを考案することを本研究の目的とする。

2. 研究の内容

2. 1. 折り畳みパネル構造

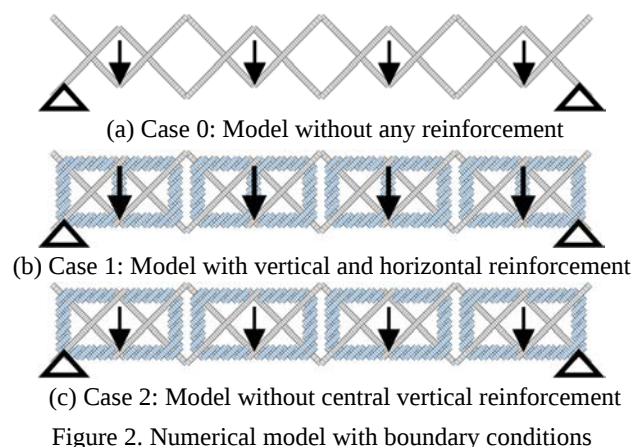
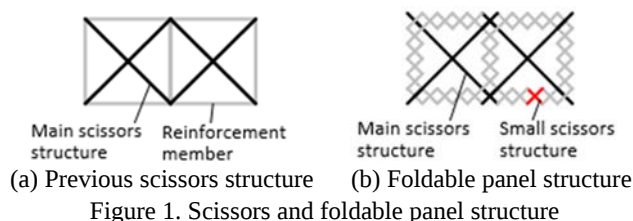
Figure 1(a)に示す従来のシザーズ構造は、これまでに橋の主構造にも応用研究がされており、折畳まれた構造を災害現場などで展開することによって施工時間を短縮できる利点がある。さらに、シザーズ構造のヒンジ間に補強材を設置することで、ピボット部の負荷を減らし、剛性を向上させた補剛シザーズ構造が提案されてきた。一方、補強材を導入するためには現場作業が必要となるため、従来のシザーズ構造と比べて施工性はやや劣る。そこで本研究では、補強された状態でも折畳みができる Figure 1(b)のような折畳みパネル構造を提案する。補剛シザーズ構造の補強材もシザーズ構造とすることで、パネル全体の伸縮を可能としている。ここで、補剛シザーズ構造の主構造にあたる斜材群を主シザーズ、水平・鉛直補強材にあたる斜材群を小型シザーズと便宜上呼ぶ。

2. 2. 数値解析の概要

本研究では、非線形有限要素法解析ソフトウェア Marc 2021を解析に用いた。折畳みパネル構造を橋軸方向に4枚連結した数値解析モデルを Figure 2 に示す。ケース0は小型シザーズのない主シザーズのみモデル、ケース1は上下ヒンジ間に小型シザーズを設置した基本モデル、ケース2はパネル中央の鉛直補強材を抜いた比較モデルである。各モデルの支間長は6,505 mm、上下ヒンジ間の距離は990 mmである。部材はすべて矩形断面であり、Figure 3 のように主シザーズは高さ 70α mm、幅 30α mm、板厚 2α mm、小型シザーズは高さ $70\alpha_0$ mm、幅 $30\alpha_0$ mm、板厚 $2\alpha_0$ mmとした。ここで、 α と α_0 は主シザーズと小型シザーズの部材寸法に関する係数である。主シザーズの部材寸法に関する係数は $\alpha = 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75$ と0.25刻みで変化させ、基準となる $\alpha = \alpha_0 = 1.0$ におけるモデル質

量 92.4 kg に揃うように各ケースの小型シザーズの部材寸法に関する係数 α_0 を定めた。

部材はすべてアルミニウム合金 A6063T 材を想定し、密度 $\rho = 2.7 \times 10^{-9}$ ton/mm³、弾性係数 $E = 61.0$ GPa、ポアソン比 $\nu = 0.31$ 、降伏応力 $\sigma_y = 180.0$ MPa とした。境界条件は、両端支持された解析モデルに対して、パネルシザーズ橋上の床板から荷重が伝達すると考え、各パネル中央下側のヒンジ部に荷重を与えた。各ピボット部では、仮想剛体で節点をつなぐ MPC 機能を用いて橋軸直角方向の回転のみを許容させたピン接合を再現した。また、パネル連結部はパネル端の4部材を延長し、ピボット部と同様に MPC 機能によりピン接合とした。



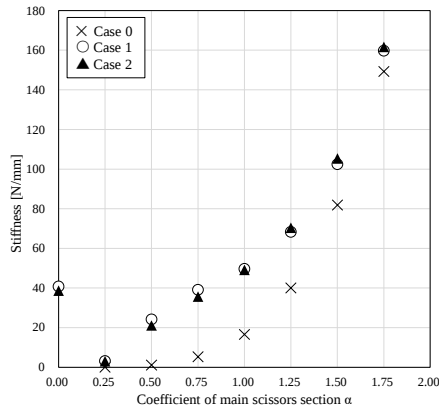


Figure 4. Comparison of reinforcing effect among Case 0, Case 1, and, Case 2

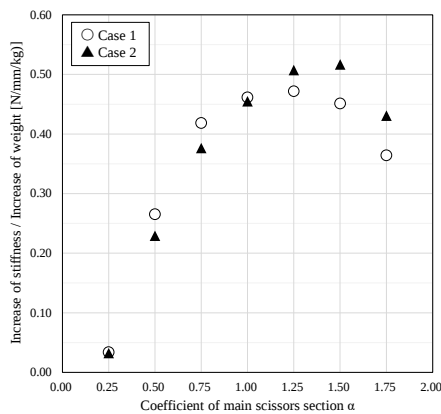


Figure 5. Comparison of reinforcing effect between Case 1 and Case 2

2. 3. 数値解析の結果と最適パネルレイアウトの考察

Figure 4 は折畳みパネル橋の弾性域における剛性を示す。図中の×, ○, ▲印は, Case 0, Case 1, Case 2 の荷重-変位曲線の剛性をそれぞれ表す。Case 0 の状態から小型シザーズを設置することによって, Case 1, Case 2 ともに剛性は向上したが, α が大きくなるにつれて補強効果は小さくなった。これは, 小型シザーズの断面剛性が小さく, 主に主シザーズで荷重を分担しているためだと考えられる。なお, $\alpha = 0.00$ の場合は小型シザーズのみのモデルであるため, Case 1 の結果がないことに注意されたい。 $\alpha = 0.00$ の結果より, 小型シザーズのみの場合でも, $\alpha = 0.75$ 程度の剛性があることが分かる。また, Case 1, Case 2 の剛性は概ね似た傾向にあった。

Figure 5 は小型シザーズを設置したことによる剛性の上昇率を考察するために, Case 0 からの剛性の上昇率を Case



Photo 1. Basic panel of prototype foldable panel bridge

0 からの質量増加率で除したものである。Case 1 では $\alpha = 1.25$ 近傍で, Case 2 では $\alpha = 1.50$ 近傍で, 効果的に剛性を向上できていることが分かった。このとき, $\alpha = 1.25$ における Case 1 では Case 0 から 1.7 倍ほど, $\alpha = 1.50$ における Case 2 では Case 0 から 1.3 倍ほど剛性が増加した。

なお, ページ制限から詳細は発表時に譲るが, 1 格間の小型シザーズ数を 6 つから 8 つに増加させたとき, 6 つの場合の方が効果的に剛性を向上できていた。

2. 4. 折畳みパネル橋の部分試作

部分的に試作した折畳みパネル橋を Photo 1 に示す。この部分試作は折畳みパネル橋の基本系を想定し, 2 格間の主シザーズ, 6 格間の小型シザーズからなる。主シザーズ, 小型シザーズは, 断面係数 $\alpha, \alpha_0 = 1.00$ とした高さ 70 mm, 幅 30 mm, 板厚 2 mm の中空部材を採用した。この部分試作の質量は 62.8 kg であり, 人力での運搬, 展開/収納をさせることができた。なお, 部分試作に対する数値解析, 基礎実験などの結果は発表時に譲る。

3. 研究の成果、新発見

本研究では, 補強材を組み込んだ状態でも展開/収納可能な折畳みパネル橋を新しく提案し, その基礎研究として, パネルレイアウト, ならびに, 主シザーズと小型シザーズ間の部材剛性の関係などが, 力学特性に与える影響を解析的に明らかとした。今回検討した範囲では, パネルレイアウトは若干ながらパネル中央部に鉛直材がない Case 2 の場合が, 小型シザーズの個数は 6 個の場合の方が剛性に優れる結果となった。さらに, 折畳みパネル橋の部分試作を行い, 展開/収納動作の確認や解析結果との比較検証, 製作時の問題点の抽出などを行った。

4. 今後の予定

今後は Case 1 だけでなく, Case 0 の水平・鉛直補強材がない場合, Case 2 のように鉛直補強材がない場合など, 部分試作を用いた実験検証を引き続き行うとともに, 実用化に向けた改良について検討する予定である。