

シザーズ展開構造の橋設計研究

広島大学 学生会員 ○ 濱 優太
 広島大学 正会員 有尾 一郎
 広島大学 学生会員 安達 光太郎

1. はじめに

地震、洪水、地滑り、津波などの自然災害に伴う社会基盤構造物の損傷や分断は、被災地の住民にとって防災上深刻な問題である。災害後、橋のライフラインを復旧させるための応急組立橋が存在するが、被災地での人命救助のため迅速に架橋できるような緊急的な橋の設計思想ではない。一方、X形の骨組構造からなるシザーズ構造(以下、SCIと称す)を用いた、組み立てを排した展開可能な緊急橋モバイルブリッジ(以下、MBと称す)が実験的に試作されている¹⁾。また、既存の応急橋の中にはダブルワーレントラス構造(以下、DWTと称す)の仮橋が存在する。2つの工法では架橋プロセスは異なるがMBに補剛材を入れることで外見上似た構造体になる。そこで橋梁の設計に用いられる主構の影響線および設計荷重を用いて両者の部材力を比較し、SCIでも補剛材によりDWTと同等以上の耐力を発揮できるかを考究し、移動荷重に適する影響線を用いたMB設計法を構築が本研究の目的である。より軽量で想定荷重に対して十分な強度を持つ橋を目指し、DWTと比較した際の、SCIの緊急橋としての優位性についても検討する。

2. 主構造の影響線解析

SCIの設計およびSCIとDWTの比較を行うにあたり、それぞれの断面力を求める必要がある。既往のDWTの断面力の計算方法と今回提案するSCIの断面力の計算方法を以下に示す。

(1) DWTの影響線解析

SCIの類似形のトラス構造として、Fig.1のようなDWTを挙げ、その構造について述べる。DWTの形態としてはSCIに類似するが、構造力学的には異なる構

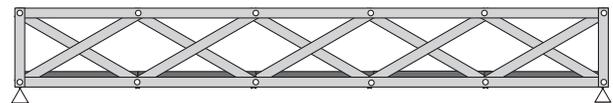


Fig. 1 n格間DWTモデル

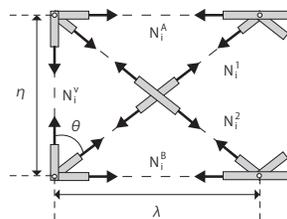


Fig. 2 断面力の定義 (DWT)

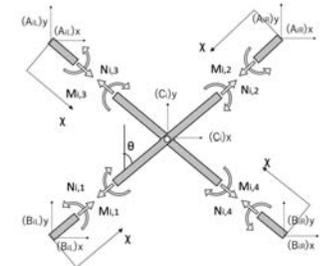


Fig. 3 断面力の定義 (SCI)

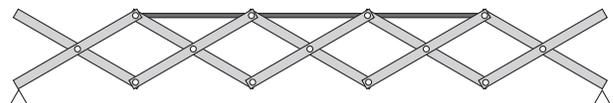


Fig. 4 SCIの補強パターンD

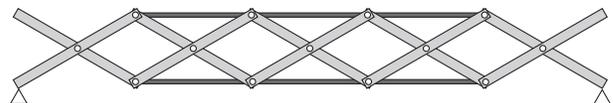


Fig. 5 SCIの補強パターンE

造要素である。DWTは構成する部材の断面力は、軸力のみで設計するのに対して、SCIは断面力は軸力、せん断力、曲げモーメントの骨組要素で設計される。この構造体は内的1次不静定構造である。不静定構造のトラスであるから節点法と単位荷重法を用いて断面力を算定する。各節点のうち、4隅に位置する節点の釣合式、中間に位置する節点の釣合式は

$$\begin{bmatrix} 1 & \cos \theta & 0 \\ 0 & \sin \theta & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} N_i^v \\ N_i^j \\ N_i^h \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} \pm (F_i)_y \\ (F_i)_x \end{Bmatrix} \quad (1)$$

キーワード モバイルブリッジ, ライフライン防災, 仮橋, 多重折畳み, 展開スマートブリッジ
 連絡先 〒739-8527 広島県市鏡山 1-4-1 広島大学大学院工学研究科 社会基盤環境工学専攻 事務室
 TEL: 082-424-78197828

$$\begin{bmatrix} \cos \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ -\sin \theta & \sin \theta & -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} N_{i-1}^j \\ N_i^j \\ N_{i-1}^h \\ N_i^h \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} \pm(F_i)_y \\ (F_i)_x \end{Bmatrix} \quad (2)$$

となる。ここに、 i : 格間目、 v : 鉛直材、 h : 弦材、 j : 斜材、 F : 節点外力である。影響線を算定する際は B-Line の節点外力に単位荷重 ($(F_i)_y = -1$) を作用させ、算出した断面力を影響線の縦距とする。単位荷重を格間毎に移動させて繰り返し計算を行うことで各断面力の影響線の算出を行った。

3. SCI の影響線

i 格間目のシザーズ機構において Fig.3 のように節点力を定義し、以下の節点力の釣り合い式と、各シザーズ機構の結合部の条件式を以下に示す。

$$Lb_i^L + Rb_i^R + b_i^C = \mathbf{0}, \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$b_i^R + b_{i+1}^L = P_i \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに、

$$L = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ -\eta & \lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \eta & \lambda \end{bmatrix}, R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & \eta & -\lambda \\ -\eta & -\lambda & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$b_i^\bullet = \{(B_i^\bullet)_x, (B_i^\bullet)_y, (A_i^\bullet)_x, (A_i^\bullet)_y\}^T,$$

$$\bullet \in \langle L, R, C \rangle,$$

$$b_i^C = \{(C_i)_x, (C_i)_y, 0, 0\}^T,$$

$$P_i = \{(P_i^B)_x, (P_i^B)_y, (P_i^A)_x, (P_i^A)_y\}^T$$

である。式 (3) と (4) を全格間 $i = 1, \dots, n$ の釣り合い式より、全体の節点力を求める。求めた節点力を Fig.3 のように部材の展開角度による座標変換することにより部材断面力 (軸力、せん断力、曲げモーメント) と求まる。DWT と同様に下路床版を仮定し、B-Line の節点外力に単位荷重 ($(P_i^B)_y = -1$) を作用させ、算出した断面力を影響線の縦距とする。単位荷重を格間毎に移動させて繰り返し計算を行うことで各断面力の影響線の算出を行った。

4. SCI 補強方法の検討

補強 SCI に関しては昨年、安達ら²⁾によりストラット補強の補強効果が検討されている。本研究では影響線を用いた実際の主構設計の応力計算により、合理的な補強効果について検討する。展開後のシザーズの部分補強を目的に、部分的な格間内の水平補強弦材をいくつか配置と組合せパターンを考える。荷重条件は死荷重と活荷重として人荷重を作用させる。このとき SCI

の全体系の中央格間の部材が最大縁応力を持つことがわかっている。このことから、5 格間モデルの中央格間に補強材を施す。下弦材のみのパターンでは補強効果はほとんど見られないが、上弦材のみ、上下弦材を挿入した場合は中央格間の最大合成応力に大幅に減少することが明らかになった。このことから、同様の補強を最大曲げ応力が発生する 2~4 格間目に施すことで SCI 全体の応力緩和が可能であることがわかる。Fig.4 に示す 2~4 格間目に上弦材を挿入した場合をパターン D、Fig.5 に示す上弦材、下弦材を挿入した場合をパターン E と称す。無補強 SCI での最大縁応力は 132MPa であったが、パターン D では中央格間では 30MPa、2、4 格間目でも 31MPa と、77 部材 1 本あたりの主構造の縁応力の減少量から、この補強パターンが最も効率的な補強パターンであると提案する。パターン E では最大縁応力は中央格間で 2.3MPa、その他の格間は 4.7MPa と 96 % 低減することができた。パターン E が最も効果が大きい補強パターンである。

5. 結語

車両や人の移動荷重を想定したシザーズ構造を持つ SCI 設計のために、工学的に初めてシザーズ構造に影響線を導入し、SCI 設計の基礎を明らかにできた事が、本研究の最大の成果である。以下に、本研究により明らかになった点をまとめる。

- シザーズ構造体の平衡方程式と変位適合条件式をもとに、多格間シザーズ構造の不静定問題の影響線プログラムを構築した。
- 構築した影響線プログラムで格間数、展開角による SCI の応力の変化、合理的な補強方法について分析を行い、プログラムの検証と効率的な SCI 設計の基礎について示した。
- DWT とパターン E の SCI の応力の比較により、SCI は補強によって DWT 以上の耐力を持ち得ることを明らかにし、緊急橋としての優位性を示した。

参考文献

- 1) I. Ario, M. Nakazawa, Y. Tanaka, I. Tanikura, S. Ono: DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE DEPLOYABLE BRIDGE BASED ON ORIGAMI SKILL, Automation in Construction, Vol. 32, July 2013, 104-111.
- 2) K. Adachi, I. Ario, Y. Chikahiro: SCISSORSING ORIGAMI INSPIRED DEPLOYABLE BRIDGE FOR A DISASTER, ASEA-SEC-3, 2016