

シザーズ構造橋の二段モデル化の検討

広島大学大学院	正会員	有尾 一郎
東北学院大学	正会員	中沢 正利
宮崎大学	正会員	森田 千尋
施工技術総合研究所	正会員	小野 秀一

1. はじめに

地震，洪水，地すべり，津波等の自然災害に伴う社会基盤の損傷や分断は，人々にとっては生命線の切断となるため，社会基盤の脆弱性を補う，物理的で迅速な応急・復旧対応システムは重要な課題である。九州北部豪雨被害(2017.7)では，流橋の発生や道路の陥没で生活道路の一部が寸断して，多くの被災地が孤立化した。しかし，その復旧法は通常の施工法の中で復旧対応がなされるだけで，対応手段が限られている。そこで，プレアッセンブル方式のシザーズ機構の採用によって，従来の復旧工事より迅速に安全に架橋・施工を目指し，スマートな架橋・構造最適化の研究開発を目的としている。

ハサミのように複数の部材がピンによって回転するシザーズ構造は，展開や折畳んだりすることができる有用な可動構造体である。主な用途として，門扉やリフターなどに利用され，最近橋にもインスパイアされている¹⁾。この構造体はそれらだけに限らず，その構造の周期モジュール構成や環状構造のMFM研究²⁾から，フラレンやナノチューブ，ポーラス・ハニカムなどの微視構造・材料から軽量構造物や展開構造物までの最適な周期骨格構造の(非)平衡力学にも応用(モデル化)できるとともに，現実のフルサイズの橋の運搬から架橋・撤収までプレアッセンブル方式の架橋一括機械化施工が可能となり，迅速で高度な建設技術を飛躍的に高められる³⁾。

また，鋼橋の技術変遷の中で，Lattice trussなどのX型のトラスが存在し，主として木材が使用され，施工が容易で軽量であるとともに強固である。日本では山口線徳佐川橋梁や山陰本線竹野川橋梁でいくつか採



写真-1 Lattice truss

用され，海外ではトラス発展時期に英国を中心に造られた(Fig.1)。本稿では，シザーズ構造の剛性向上とそのロバスト性を高めるために，土田・中沢⁴⁾による二段シザーズ構造の平衡力学を一般化させ，その一部を紹介したい。さらに，これに並設や弦材等で補強することによって，恒常的な仕様変更も可能となる。

2. 節点列の定義と節点力

シザーズを2段として，下段から上段へ，左側から右側へ(i 列)の格子間隔(η, λ)に接続節点を，

$$\{\cdots, O_{ik}, \cdots\}, k = 1, 2, 3; \quad i = 1, \cdots, n + 1$$

と定義する。その格間長さと段の高さの中央に位置するピボットを，

$$\{\cdots, C_{ik}, \cdots\}, k = 1, 2; \quad i = 1, \cdots, n$$

とおく。各節点力ならびにピボットの節点力を， x, y 方向に表すと，それぞれ次式で定義する。

$$(O_{ik}) = \{(O_{ik})_x, (O_{ik})_y\}^T,$$

$$(C_{ik}) = \{(C_{ik})_x, (C_{ik})_y\}^T, k = 1, 2, 3; i = 1, \cdots, n$$

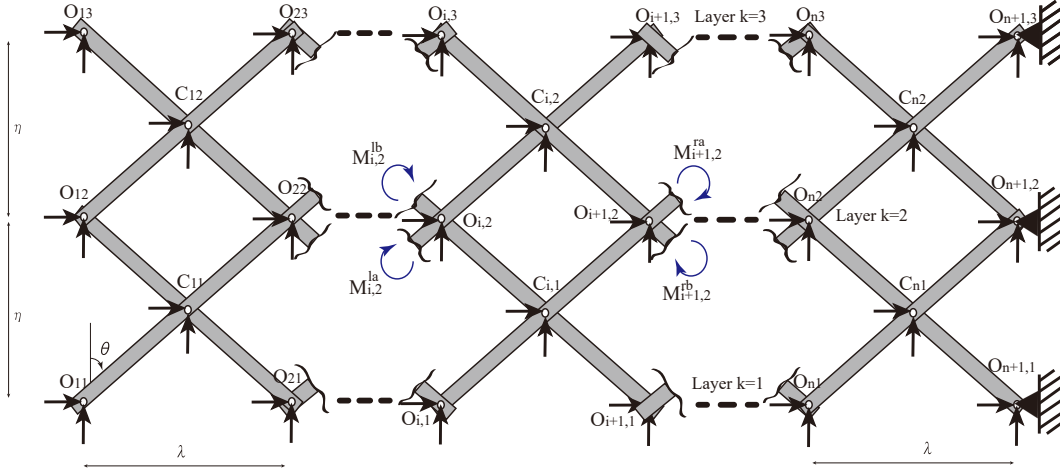


Fig. 1 片持ち2段シザーズの構成

3. 片持ち支持の平衡方程式

Fig.1 のように片持ち支持された二段シザーズ構造上の i 格間目と k 段目の格子状の節点 O_{ik} 並びにピボット C_{ik} からなる, 二段シザーズ構造を示す。ここで, Fig.1 の1格間あたりの高さは 2η であり, 部材長さは L とする。

いま, 左端から $i = 1, \dots, n$ の格間番号とし, 格間毎に左接続と右接続を考え, 左接続の節点とピボットを与値とし, 右接続の節点と内部モーメントを未知と仮定する。Fig.1 のような任意の i 格間において各部材の平衡方程式と中間部のつり合い条件式を以下に示す。

$$\begin{Bmatrix} (O_{i,3})_x \\ (O_{i,3})_y \\ (O_{i,2})_x \\ (O_{i,2})_y \\ (O_{i,1})_x \\ (O_{i,1})_y \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} (O_{i-1,3})_x^L \\ (O_{i-1,3})_y^L \\ (O_{i-1,2})_x^L \\ (O_{i-1,2})_y^L \\ (O_{i-1,1})_x^L \\ (O_{i-1,1})_y^L \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} (O_{i,3})_x^R \\ (O_{i,3})_y^R \\ (O_{i,2})_x^R \\ (O_{i,2})_y^R \\ (O_{i,1})_x^R \\ (O_{i,1})_y^R \end{Bmatrix} \quad (1)$$

式 (1) は格間と格間を繋ぐジョイント部の節点力の水平方向と鉛直方向の条件をそれぞれマトリックスで表示した式である。この式を次式に置き換える。

$$\{ F_i \} = \{ F_{i-1}^L \} + \{ F_i^R \} \quad (2)$$

i 格間目の力のつり合い行列で正規表示すると,

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ \lambda - \eta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\eta - \lambda & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \eta & -\lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\eta - \lambda & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} (O_{i+1,3})_x^L \\ (O_{i+1,3})_y^L \\ (O_{i+1,2})_x^L \\ (O_{i+1,2})_y^L \\ (O_{i+1,1})_x^L \\ (O_{i+1,1})_y^L \end{Bmatrix} =$$

$$- \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -\eta & \lambda & 0 & 0 \\ \eta & \lambda & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\eta & \lambda \\ 0 & 0 & \eta & -\lambda & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} (O_{i,3})_x^R \\ (O_{i,3})_y^R \\ (O_{i,2})_x^R \\ (O_{i,2})_y^R \\ (O_{i,1})_x^R \\ (O_{i,1})_y^R \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} \sum_k (C_{i,k})_x \\ \sum_k (C_{i,k})_y \\ 2M_{i+1,2}^{lb} \\ 2M_{i+1,2}^{la} \\ 2M_{i+1,2}^{rb} \\ 2M_{i+1,2}^{ra} \end{Bmatrix} \quad (3)$$

となる。行列部を左から T_L と T_R として, 再表記すると

$$T_L \{ F_{i+1}^L \} = -T_R \{ F_i^R \} - \begin{Bmatrix} C_i \\ M_{i+1} \end{Bmatrix} \quad (4)$$

となる。式 (4) は1格間から n 格間までの各格間の部材に作用する力をまとめた式である。このときの解は,

$$\{ F_{i+1}^L \} = -T_L^{-1} \left[T_R \{ F_i^R \} + \begin{Bmatrix} C_i \\ M_{i+1} \end{Bmatrix} \right] \quad (5)$$

と求められる。片持ち支持であるので初期条件より $\{ F_1 \}$ は既知力, $M_{1,2}^{la}, M_{1,2}^{lb}$ は既知なモーメントだが, 式 (5) に代入すると未知力が6つ, 未知なモーメントが2つの合計8つの未知数に対してつり合い式は6つしかないため, 未知反力は求まらず不静定構造物となる。

2段シザーズ構造の平衡力学の考え方と可解モデルの理論解と数値解については, 当日発表する。

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, 104-111, 2013.
- 2) I. Ario, Multiple Duffing problem in a folding structure with hilltop bifurcation and possible imperfections, Meccanica, 49(8), 2014.
- 3) Y. Chikahiro, I. Ario, P. Pawlowski, C. Graczykowski, M. Nakazawa, JanHolnicki-Szulc, S. Ono, Dynamics of the scissors-type Mobile Bridge, Procedia Engineering, Vol.199, 2919-2924, 2017.
- 4) H.Tsuchida, M.Nakazawa, Mechanical property and asymmetry of deformation of a double scissors structure, Science and engineering reports of Tohoku Gakuin University 49(1), 9-16, 2015-02.