

# 二重シザーズ構造橋梁の力学特性

東北学院大学工学部 学生員 土田裕晃  
東北学院大学工学部 正員 中沢正利

## 1. まえがき

現存する架設橋は、架設するのに時間がかかるという問題があるため、現在は迅速展開可能な橋の開発が行われている。その中で注目されているのがシザーズ構造であり、実用化に向けた研究も進んでいる。そこで本研究では架設橋の研究の一端としてシザーズ構造の力学特性に着目し、特に力学特性がそれほど検討されていない「二重シザーズ構造」を対象とする。最初に検討すべきは、二重シザーズ構造の静定・不静定の判別である。まず、片持ち支持境界条件と単純支持境界条件の一径間～三径間までの二重シザーズ構造の静定・不静定を判別する。水平方向、鉛直方向、各部材より算出されたつりあい式をマトリクス表現し、最終的に支点反力についてまとめた力のつりあい方程式の行列式が0か否かで、静定・不静定を判別する。次に、単純支持境界条件の一径間～七径間の二重シザーズ構造に対称な荷重を作用させた時、非対称な変形が発生することが予想されるため、構造安定性の解析も行った。

## 2. 二重シザーズ構造

二重シザーズ構造とは、図-1のような2本の部材をX形状に重ね合わせ、その交点を回転自由なピボットやジョイントで接続した一重シザーズ構造を、2つ上下に重ね合わせた構造をいう。これを一径間の単体と考え、横に径間数を増やしていく事で、二径間、三径間の二重シザーズ構造を作成する事ができる。

## 3. 二重シザーズ構造のつりあい式

片持ち支持境界条件の一径間二重シザーズ構造を例に挙げ、静定・不静定を判別する。図-1に関して、径間長を $\lambda$ 、高さを一重シザーズ構造で $2h$ とする。また、支点A, B, Cに作用する力を反力、その他の点に作用する力を外力として計算を行う。ここで、点Gの外力モーメントは、任意の $\alpha M_G$ の割合で分割される。はじめに、水平方向と鉛直方向に関して、つりあい式を立てる。

[水平方向]

$$H_A + H_B + H_C = -H_D - H_E - H_F - H_G - H_H \quad (1)$$

[鉛直方向]

$$V_A + V_B + V_C = -V_D - V_E - V_F - V_G - V_H \quad (2)$$

次に、CG部材, BH部材, BF部材, AG部材に関して、つりあい式を立てる。 $M_E=M_E$ ,  $M_D=M_D$ のモーメントの

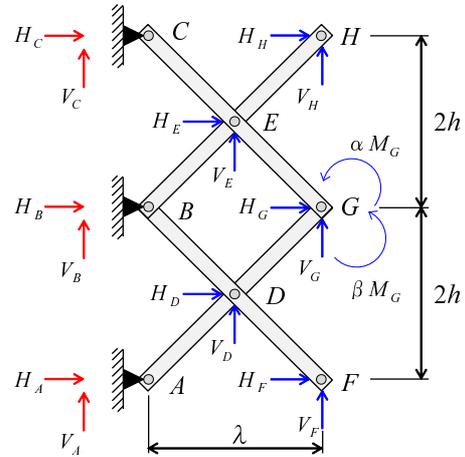


図-1 片持ち支持境界条件の一径間二重シザーズ構造

つりあいより、

$$[CG \text{ 部材}] \quad 2hH_C + \lambda V_C = 2hH_G + \lambda V_G + 2\beta M_G \quad (3)$$

$$[BH \text{ 部材}] \quad -2hH_B + \lambda V_B = -2hH_H + \lambda V_H \quad (4)$$

$$[BF \text{ 部材}] \quad 2hH_B + \lambda V_B = 2hH_F + \lambda V_F \quad (5)$$

$$[AG \text{ 部材}] \quad -2hH_A + \lambda V_A = -2hH_G + \lambda V_G + 2\alpha M_G \quad (6)$$

さらに、水平方向、鉛直方向、CG部材, BH部材, BF部材, AG部材の力のつりあい式を、マトリクス表示する。

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2h & \lambda \\ 0 & 0 & -2h & \lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2h & \lambda & 0 & 0 \\ -2h & \lambda & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} H_A \\ V_A \\ H_B \\ V_B \\ H_C \\ V_C \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -2h & -\lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2h & -\lambda \\ -2h & -\lambda & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2h & -\lambda & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} H_F \\ V_F \\ H_G \\ V_G \\ H_H \\ V_H \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} H_D \\ V_D \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} H_E \\ V_E \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 2\beta M_G \\ 0 \\ 0 \\ 2\alpha M_G \end{Bmatrix} \quad (7)$$

ここで、式(7)を、次のように表記する。

$$[X_R] \{R\} = -[X_F] \{F_1\} - \{F_2\} - \{F_3\} + \{F_M\} \quad (8)$$

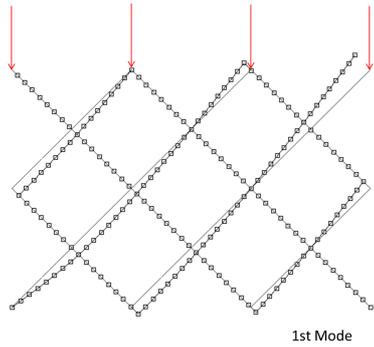


図-2 単純支持条件下の三径間二重シザーズ構造の1,2次モード

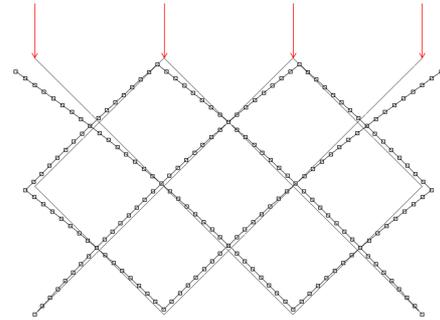


図-4 対称変形を示す単純支持条件下の三径間二重シザーズ構造 (上端の各節点に単位荷重を載荷した場合)

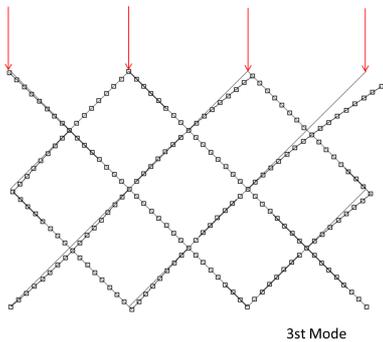


図-3 単純支持条件下の三径間二重シザーズ構造の3,4次モード

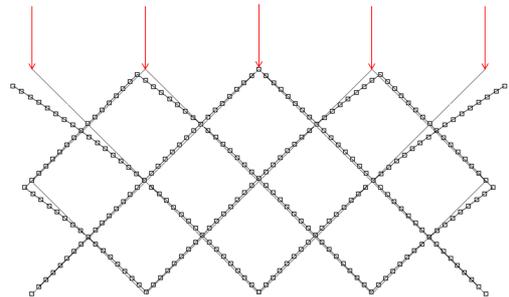


図-5 非対称変形を示す単純支持条件下の四径間二重シザーズ構造

従って、 $[X_R]$  の行列式は、次の値で算出される。

$$\det(X_R) = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2h & \lambda \\ 0 & 0 & -2h & \lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2h & \lambda & 0 & 0 \\ -2h & \lambda & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} = 16h^2\lambda^2 \quad (9)$$

以上より、式(8)における反力 $\{R\}$ を算出する事ができるので、片持ち支持境界条件の一径間二重シザーズ構造は、静定構造と言える。

#### 4. 計算結果

片持ち支持境界条件の二径間以上は同様の手順を踏むことで、 $n$ 径間まで同様の行列式を得る結果となった。また、単純支持境界条件は一径間も見方次第で二径間一重シザーズ構造となるため、静定構造と判別できる。さらに、二径間以上についてもマトリクス形式の検討を行ったが、つり合い式の行列式が0となることより、不静定構造物であるという結果が得られた。

#### 5. 二重シザーズ構造の安定性

単純支持境界条件の一径間～七径間の二重シザーズ構造を、汎用構造解析ソフト(Marc)を用いて、変形の安定性に関して解析した。

(1) 各部材を8分割する。

(2) 上端の各節点に対称な単位荷重を作用させる。

(3) ヤング係数:69000(N/mm<sup>2</sup>), 断面積:300(mm<sup>2</sup>), 断面二次モーメント:22500(mm<sup>4</sup>)とする。

#### 6. 解析結果

まず、単純支持境界条件下での二径間二重シザーズ構造の座屈解析結果を1,2次モード(図-2)、3,4次モード(図-3)に示すが、いずれも非対称なモードが低次から現れている。次に、上端の各節点に単位荷重を載荷した場合のつりあい変形図を三径間(図-4)、四径間(図-5)に示す。単純支持境界条件の一径間～三径間まで二重シザーズ構造は対称の変形を示していたが、単純支持境界条件の四径間～七径間二重シザーズ構造は微小な非対称の変形を示す結果となった。ゆえに、単純支持境界条件の四径間以上の場合には、非対称な変形が発生することにも注意を払う必要がある。

#### 7. 結論

- (1) 二重シザーズ構造の片持ち支持境界条件下の一径間～三径間および単純支持境界条件の一径間は静定構造で、二重シザーズ構造の単純支持境界条件の二径間以降は不静定構造になることをマトリクスを用いた方法により明らかにした。
- (2) 単純支持境界条件下の二重シザーズ構造の変形特性を調べた結果、一径間～三径間は対称な変形を示し、四径間以上では非対称な挙動をする事例を見出した。