Mechanical property and asymmetricity of deformation of a double scissors structure

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2015-05-22 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 土田, 裕晃, 中沢, 正利 メールアドレス: 所属:
URL	https://tohoku-gakuin.repo.nii.ac.jp/records/355

研究論文

二重シザーズ構造の力学特性および変形の非対称性に関する研究

Mechanical property and asymmetricity of deformation of a double scissors structure

土田裕晃* 中沢正利**
Hiroaki TSUCHITA Masatoshi NAKAZAWA

Abstract: In this study, the mechanical properties of a double scissors structure are researched theoretically by a formulation based on matrix method. The static indeterminacy of the double scissors structure is investigated under the cantilevered and simply-supported boundary conditions. In addition, results of FE analysis indicate that the double scissors structure subjected to symmetric concentrated loading shows inconsistency between the deformation configuration and the eigenmode.

Keywords: double scissors structure, emergency bridge, mechanical property, statically indeterminancy, unsymmetric deformation

1 はじめに

シザーズ構造の特徴が生かされた例を挙げると、人間の手に近い動作をする玩具のマジックハンド，小さな球体が一瞬にして広がり変形する玩具のスフィアボール，楽器のアコーディオンのように伸縮して開閉するアコーディオンカーテン，昇降機として機能するシザーズジャッキ，伸縮する門扉，可動する屋根などを挙げる事ができ、幅広い分野で生かされていることが分かる。

橋梁の分野に至っては、山口県の錦帯橋がシザーズ構造を有しているが、伸縮性を持たないマジックハンドがアーチの形態を有するに留まっており、シザーズ構造の特性を生かすには至っていない。そこで、シザーズ構造の特性を橋梁に生かすことは、次世代の可動橋を生み出すことに繋がり、また、工期の短縮に繋がることを考えると、従来の応急橋[1, 2]の問題点を大幅に解決することも可能になる。

しかし、シザーズ構造の橋梁の開発には、構造体の力学特性を解明することが合理的な設計に繋がる。そのため、現実化に向けた研究を進める上でも、シザーズ構造の力学特性[3, 4]を理解する事が最優先となる。

ここで、シザーズ橋梁の研究事例を挙げると、一重シザーズ構造の応急橋の開発[5]が挙げられる。具体的には、2009年に長さ8mの人用，2012年に長さ10mの軽自動車用，2013年に長さ20mのタイプが開発されている。この長さ20mのタイプは、実験の結果、車両3台が同時に走行可能である事が実証されている。このように、一重シザーズ構造の応急橋の研究は、様々な条件で実験が繰り返されており、実際の災害現場で活躍する日も遠くはないであろう。また、一重シザーズ構造の力学特性も解明されており、ヒンジ部分の応力集中および耐久性に対する検討が待たれている。

そこで、シザーズ構造の中でも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に着目する。その上で、構造体に対して、静定不静定問題を解明する計算手法、外力モーメントの与え方、断面力を算出する計算手法、および実際の使用時における変形対称性の乱れ問題に関して検討する。

本研究では、シザーズ構造の最大の特徴である伸縮性を生かした応急橋の研究[6, 7]を目的とする。

*東北学院大学大学院 工学研究科 環境建設工学専攻 院生
**東北学院大学 工学部 環境建設工学科 教授

2　二重シザーズ構造のマトリックス解析

二重シザーズ構造とは、4本の真直棒部材をそれぞれ2本ずつ交差させ、その2つの構造体を上下端部で接続した後、交点，接続端部をジョイントで接合した構造をいう。

二重シザーズ構造の単体を一格間二重シザーズ構造，n格間が接続されたものをn格間二重シザーズ構造と呼び、図1に示す。

また、二重シザーズ構造を応急橋として考えた場合、収納時は片持支持境界条件で、展開時は横方向移動を拘束した単純支持境界条件になると仮定する。

2.1　片持支持境界条件

二重シザーズ構造を応急橋として考えた場合、収納時は図2に示すように、片持ち支持境界条件になると仮定する。ここで、図2の一格間あたりの高さは$2h$とし、長さはlとする。また、各荷重は水平方向の力をH，鉛直方向の力をVとし、各節点の添え字を付加させたものとする。この初期条件を元に計算を行うが、まず、未知数と式の本数が一致しているのか確認する。未知数となる反力成分は全部で6つであるのに対して、図2より見出せる式の本数は6つである。内訳は、水平および鉛直方向の力のつりあいを表す2つの式，一格間あたりの斜め部材の交点に関するモーメントのつりあいを表す4つの式である。ゆえに、未知数と式の本数が一致している事から、マトリックス法を用いた計算例を示す。

格間の接続を式で表現するために、図2の格間と格間を接続するジョイントを分解して、各格間を単体にすると図3のようになる。ここで、図3の格間と格間を繋ぐジョイント部の力のつりあいは、図4のようになる。この図を元にして、式をマトリックスで表現すると、次の様になる。

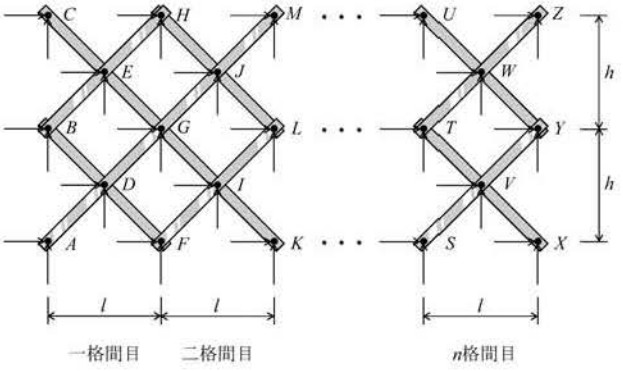


図 1: n 格間平面二重シザーズ構造

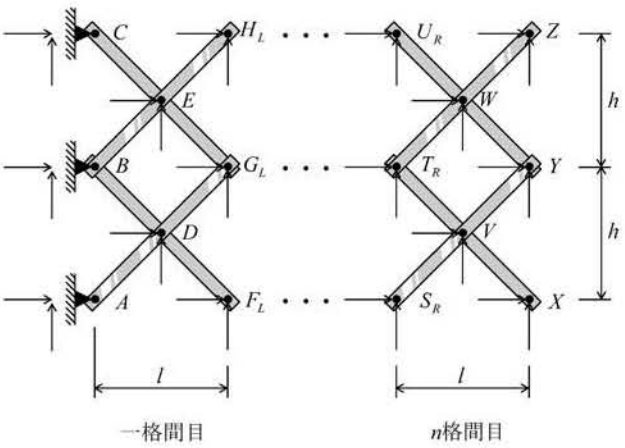


図 2: n 格間平面二重シザーズ構造 (片持支持境界条件)

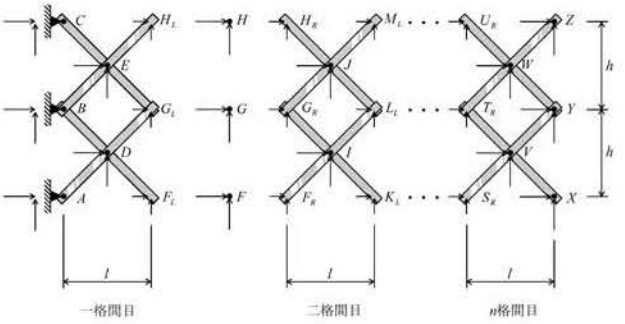


図 3: 格間接続用ジョイントの分解 (片持支持境界条件)

$$\begin{Bmatrix} H_F \\ V_F \\ H_G \\ V_G \\ H_H \\ V_H \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} H_{FL} \\ V_{FL} \\ H_{GL} \\ V_{GL} \\ H_{HL} \\ V_{HL} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} H_{FR} \\ V_{FR} \\ H_{GR} \\ V_{GR} \\ H_{HR} \\ V_{HR} \end{Bmatrix} \tag{1}$$

$$\begin{Bmatrix} H_K \\ V_K \\ H_L \\ V_L \\ H_M \\ V_M \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} H_{KL} \\ V_{KL} \\ H_{LL} \\ V_{LL} \\ H_{ML} \\ V_{ML} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} H_{KR} \\ V_{KR} \\ H_{LR} \\ V_{LR} \\ H_{MR} \\ V_{MR} \end{Bmatrix} \tag{2}$$

$$\vdots$$

$$\begin{Bmatrix} H_S \\ V_S \\ H_T \\ V_T \\ H_U \\ V_U \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} H_{SL} \\ V_{SL} \\ H_{TL} \\ V_{TL} \\ H_{UL} \\ V_{UL} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} H_{SR} \\ V_{SR} \\ H_{TR} \\ V_{TR} \\ H_{UR} \\ V_{UR} \end{Bmatrix} \tag{3}$$

式(1), (2),(3)は、格間と格間を繋ぐジョイント部の水平方向と鉛直方向の力を、それぞれマトリッ

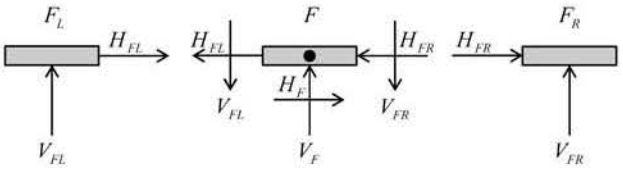


図 4: F 点のジョイント部

クスで表示した式である。この 3 つの式を記号で置き換えると、次の様になる。

$$\{F_1\} = \left\{F_1^L\right\} + \left\{F_1^R\right\} \tag{4}$$

$$\{F_2\} = \left\{F_2^L\right\} + \left\{F_2^R\right\} \tag{5}$$

$$\vdots$$

$$\{F_n\} = \left\{F_n^L\right\} + \left\{F_n^R\right\} \tag{6}$$

次に、図 3 の一格間目の力のつりあい式を考えると、水平方向と鉛直方向の力のつりあい式は、次の様になる。

[水平方向]

$$H_A+H_B+H_C = -H_D-H_E-H_{FL}-H_{GL}-H_{HL} \tag{7}$$

[鉛直方向]

$$V_A+V_B+V_C = -V_D-V_E-V_{FL}-V_{GL}-V_{HL} \tag{8}$$

また、図 5 と図 6 を元にして、CG_L 部材，BH_L 部材，BF_L 部材，AG_L 部材に関して、モーメントのつりあい式を立てると、次の様になる。

$$[CG_L \text{ 部材}] \quad hH_C + lV_C = hH_{GL} + lV_{GL} \tag{9}$$

$$[BH_L \text{ 部材}] \quad -hH_B + lV_B = -hH_{HL} + lV_{HL} \tag{10}$$

$$[BF_L \text{ 部材}] \quad hH_B + lV_B = hH_{FL} + lV_{FL} \tag{11}$$

$$[AG_L \text{ 部材}] \quad -hH_A + lV_A = -hH_{GL} + lV_{GL} \tag{12}$$

一格間目の力のつりあいである式 (7) から式 (12) をマトリックスで表示すると、次の様になる。

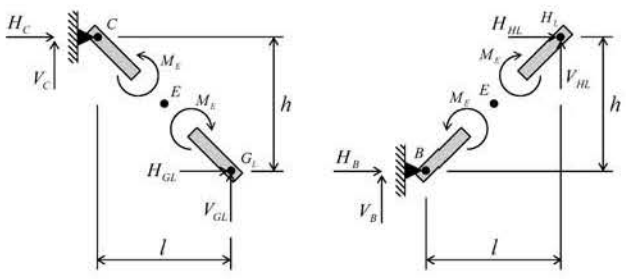


図 5: CG_L 部材と BH_L 部材

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h & l \\ 0 & 0 & -h & l & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h & l & 0 & 0 \\ -h & l & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} H_A \\ V_A \\ H_B \\ V_B \\ H_C \\ V_C \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} H_D \\ V_D \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$- \begin{Bmatrix} H_E \\ V_E \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -h & -l & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h & -l \\ -h & -l & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h & -l & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} H_{FL} \\ V_{FL} \\ H_{GL} \\ V_{GL} \\ H_{HL} \\ V_{HL} \end{Bmatrix} \tag{13}$$

一格間目と同様の方法で、二格間目以降の力のつりあいをマトリックスで表示すると、次の様になる。

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h & l \\ 0 & 0 & -h & l & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h & l & 0 & 0 \\ -h & l & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} H_{FR} \\ V_{FR} \\ H_{GR} \\ V_{GR} \\ H_{HR} \\ V_{HR} \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} H_I \\ V_I \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$- \begin{Bmatrix} H_J \\ V_J \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -h & -l & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h & -l \\ -h & -l & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h & -l & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} H_{KL} \\ V_{KL} \\ H_{LL} \\ V_{LL} \\ H_{ML} \\ V_{ML} \end{Bmatrix} \tag{14}$$

$$\vdots$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h & l \\ 0 & 0 & -h & l & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h & l & 0 & 0 \\ -h & l & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} H_{SR} \\ V_{SR} \\ H_{TR} \\ V_{TR} \\ H_{UR} \\ V_{UR} \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} H_V \\ V_V \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$- \begin{Bmatrix} H_W \\ V_W \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -h & -l & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h & l \\ -h & -l & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h & -l & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} H_X \\ V_X \\ H_Y \\ V_Y \\ H_Z \\ V_Z \end{Bmatrix} \tag{15}$$

式 (13),(14),(15) は、一格間から 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 3 つの式を記号で置き換えると、次の様になる。

$$[X_1]\{R\} = -\left\{F_D^C\right\} - \left\{F_E^C\right\} - [X_2]\left\{F_1^L\right\} \tag{16}$$

$$[X_1]\left\{F_1^R\right\} = -\left\{F_I^C\right\} - \left\{F_J^C\right\} - [X_2]\left\{F_2^L\right\} \tag{17}$$

$$\vdots$$

$$[X_1]\left\{F_n^R\right\} = -\left\{F_V^C\right\} - \left\{F_W^C\right\} - [X_2]\left\{F_{n+1}^L\right\} \tag{18}$$

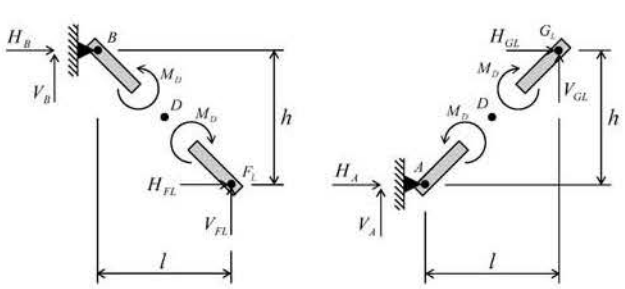


図 6: BF_L 部材と AG_L 部材

ここで、置き換えた記号は、式 (13) と式 (16) が式順に対応し、式 (14) と式 (17) が式順に対応し、式 (15) と式 (18) が式順に対応している。次に、式 (16), 式 (17), 式 (18) および途中省略の一部を、$\{F^L\}$ と $\{F^R\}$ を求める形に変形すると、次の様になる。

$$\begin{aligned}\{F_1^L\} &= -[X_2]^{-1}\{F_D^C\} - [X_2]^{-1}\{F_E^C\} \\ &\quad -[X_2]^{-1}[X_1]\{R\} \qquad (19)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\{F_1^R\} &= -[X_1]^{-1}\{F_I^C\} - [X_1]^{-1}\{F_J^C\} \\ &\quad -[X_1]^{-1}[X_2]\{F_2^L\} \qquad (20)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\{F_2^R\} &= -[X_1]^{-1}\{F_N^C\} - [X_1]^{-1}\{F_O^C\} \\ &\quad -[X_1]^{-1}[X_2]\{F_3^L\} \qquad (21)\end{aligned}$$

$$\vdots$$

$$\begin{aligned}\{F_n^R\} &= -[X_1]^{-1}\{F_V^C\} - [X_1]^{-1}\{F_W^C\} \\ &\quad -[X_1]^{-1}[X_2]\{F_{n+1}^L\} \qquad (22)\end{aligned}$$

式 (4) に式 (19), 式 (20) を代入すると、次の様になる。

$$\begin{aligned}\{F_1\} = &- [X_2]^{-1}\{F_D^C\} - [X_2]^{-1}\{F_E^C\} \\ &- [X_2]^{-1}[X_1]\{R\} - [X_1]^{-1}\{F_I^C\} \\ &- [X_1]^{-1}\{F_J^C\} \\ &- [X_1]^{-1}[X_2]\{F_2^L\} \qquad (23)\end{aligned}$$

式 (23) より、一格間と二格間の間に生じる $\{F_1^L\}$ と $\{F_1^R\}$ が相殺されている。しかし、二格間と三格間に生じる $\{F_2^L\}$ が混入しているため、相殺する必要がある。そこで、式 (5) より $\{F_2^L\}$ を求める形にすると、次の様になる。

$$\left\{F_2^L\right\} = \{F_2\} - \left\{F_2^R\right\} \qquad (24)$$

式 (23) に式 (24) を代入すると、次の様になる。

$$\begin{aligned}\{F_1\} = &- [X_2]^{-1}\{F_D^C\} - [X_2]^{-1}\{F_E^C\} \\ &- [X_2]^{-1}[X_1]\{R\} - [X_1]^{-1}\{F_I^C\} \\ &- [X_1]^{-1}\{F_J^C\} - [X_1]^{-1}[X_2]\{F_2\} \\ &+ [X_1]^{-1}[X_2]\{F_2^R\} \qquad (25)\end{aligned}$$

次に、式 (25) の二格間と三格間の間に生じる $\{F_2^R\}$ を相殺する必要がある。そこで、式 (25) に式 (21) を代入すると、次の様になる。

$$\begin{aligned}\{F_1\} = &- [X_2]^{-1}\{F_D^C\} - [X_2]^{-1}\{F_E^C\} \\ &- [X_2]^{-1}[X_1]\{R\} - [X_1]^{-1}\{F_I^C\} \\ &- [X_1]^{-1}\{F_J^C\} - [X_1]^{-1}[X_2]\{F_2\} \\ &- [X_1]^{-1}[X_2][X_1]^{-1}[X_2]\{F_3^L\} \\ &- [X_1]^{-1}[X_2][X_1]^{-1}\{F_N^C\} \\ &- [X_1]^{-1}[X_2][X_1]^{-1}\{F_O^C\} \qquad (26)\end{aligned}$$

式 (26) には、$\{F_3^L\}$ が生じているため、再び相殺する必要がある。そして、この作業を $n+1$ 回繰り返し行う事で、既知の $\{F_{n+1}^L\}$ が生じる。また、反力 $\{R\}$ の項は、$[X_2]^{-1}[X_1]\{R\}$ のままであり、両辺に $-[X_2]$ を掛けて、反力 $\{R\}$ を求める形にすると、次の様になる。

$$\begin{aligned}[X_1]\{R\} = &- [X_2]^{-1}\{F_1\} - [X_2][X_2]^{-1}\{F_D^C\} \\ &- [X_2][X_2]^{-1}\{F_E^C\} - [X_2][X_1]^{-1}[X_2]\{F_2\} \\ &- [X_2][X_1]^{-1}[X_2][X_1]^{-1}[X_2]\{F_3\} - \cdots \\ &- [X_2][X_1]^{-1}\cdots[X_1]^{-1}[X_2]\{F_n\} \\ &- [X_1]^{-1}[X_2]\cdots[X_1]^{-1}[X_2]\{F_{n+1}^L\} \\ &- [X_2][X_1]^{-1}[X_2][X_1]^{-1}\{F_O^C\} - \cdots \\ &- [X_2][X_1]^{-1}[X_2][X_1]^{-1}[X_2][X_1]^{-1}\{F_W^C\} \\ &- [X_2][X_1]^{-1}\{F_I^C\} \\ &- [X_2][X_1]^{-1}\{F_J^C\} \qquad (27)\end{aligned}$$

式 (27) において、両辺に $[X_1]^{-1}$ を掛ける事で、右辺に既知数がまとまり、左辺に未知数の $\{R\}$ がまとまる。ゆえに、片持支持境界条件時の n 格間平面二重シザーズ構造は静定構造物であり、手計算で算出する事も可能である事が証明できた。また、片持支持境界条件時の n 格間平面二重シザーズ構造の静定・不静定性は、$det[X_1]$ の値を判別すればよいことが分かる。

2.2 横方向移動を拘束した単純支持境界条件

二重シザーズ構造を応急橋として考えた場合、展開時は図7に示すように、横方向移動を拘束した単純支持境界条件になると仮定する。図7の格間と格間を接続するジョイントを分解して、各格間を単体にすると図8のようになる。まず、未知

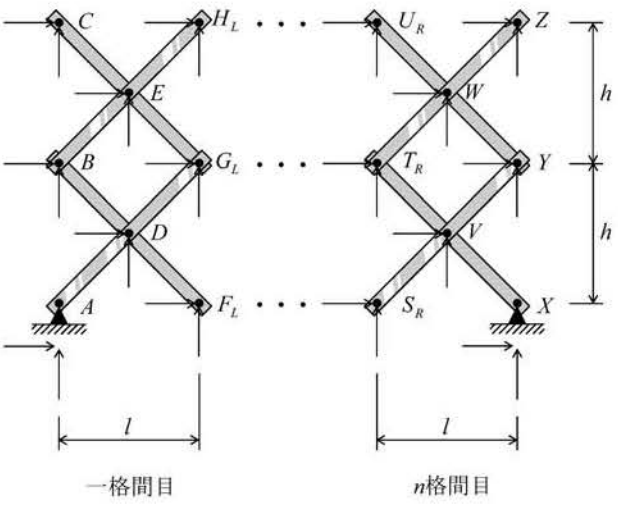


図 7: n 格間平面二重シザーズ構造 (横方向移動を拘束した単純支持境界条件)

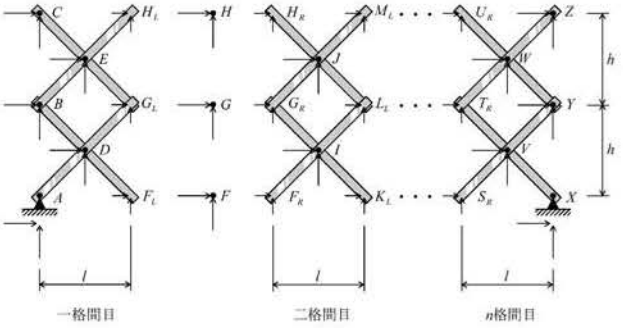


図 8: 格間接続用ジョイントの分解 (横方向移動を拘束した単純支持境界条件)

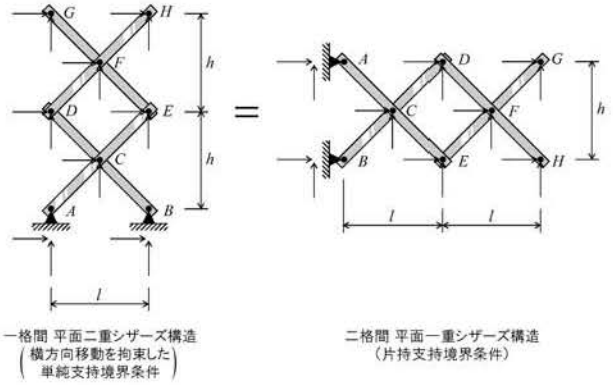


図 9: 一格間平面二重シザーズ構造 (横方向移動を拘束した単純支持境界条件)

数と式の本数が一致しているかを確認すると、未知数は 4 つである。それに対して式の本数は、水平および鉛直方向の力のつりあいを表す 2 つの式, 一格間あたりの斜め部材の交点に関するモーメントのつりあいを表す 4 つの式で、合計 6 本の式となる。ゆえに、両者が一致していないため、不静定構造となることが容易に分かる。

ここで、一格間平面二重シザーズ構造だけは見方を変える事により、図 9 のように、片持支持境界条件の二格間平面一重シザーズ構造として扱う事ができる。ここでは、片持支持境界条件の二格間平面一重シザーズ構造の計算の導出過程は省略するが、結果的に静定構造物となる。以上より、一格間以外は、手計算で計算することはできない不静定構造物となる。

2.3 外力モーメントの与え方

図 10 左の重なり合うジョイント部 B 点に外力モーメント M を作用させる場合、そのモーメント M は図 10 右のように BH 部材と BF 部材に分配され、M=M_{BH}+M_{BF}, M_{BH}=αM, M_{BF}=βM, α+β=1.0 と表される。ここで、BH, BF 部材への分配率をそれぞれ α, β と置いた。

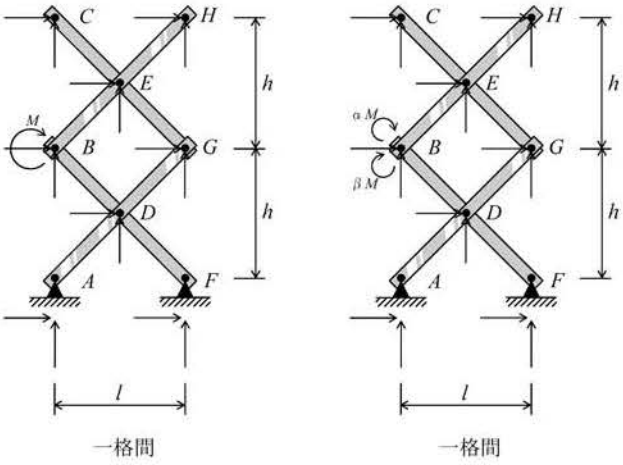


図 10: 外力モーメントの分割により生じる割合

この時、単に外力モーメント M を与えるだけでは、α, β に任意性があるので、外力条件は確定しない。よって、各部材ごとに α, β の分配率を決めて、節点外力モーメント M_{BH}, M_{BF} を与え、その結果、外力合モーメント M=M_{BH}+M_{BF} になると解釈すべきである。

2.4 断面力の与え方

平面二重シザーズ構造の断面力を計算する上で、図 11 左のように垂直線から時計回りを正とした角度 θ を与える。一例として、図 11 右の BH 部材の BE 区間の断面力 (軸力, せん断力, 曲げモーメント力) を求める式を導出する。まず、BH 部材を E 点で切断すると、BE 区間の断面力は、図 12 左のようになる。この図を元にすると、水平方向と鉛直方向とモーメントの力のつり合い式は、次の様に表せる。

$$[\text{水平方向}] \quad N_B \sin\theta + S_B \cos\theta = -H_B \tag{28}$$

$$[\text{鉛直方向}] \quad N_B \cos\theta - S_B \sin\theta = -V_B \tag{29}$$

$$[\text{モーメント}] \quad M_B = \beta M + S_B x \tag{30}$$

式 (28) と式 (29) をマトリックスで表示すると、次の様になる。

$$\begin{bmatrix} \sin\theta & \cos\theta \\ \cos\theta & -\sin\theta \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} N_B \\ S_B \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} H_B \\ V_B \end{Bmatrix} \tag{31}$$

ここで、軸力とせん断力を求めるために、係数行列の逆行列を求めると、次の様になる。

$$\begin{bmatrix} \sin\theta & \cos\theta \\ \cos\theta & -\sin\theta \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} \sin\theta & \cos\theta \\ \cos\theta & -\sin\theta \end{bmatrix} \tag{32}$$

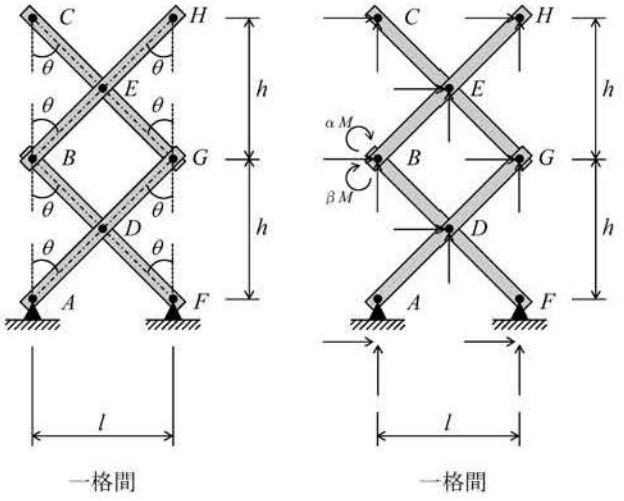


図 11: 角度 θ を与える位置

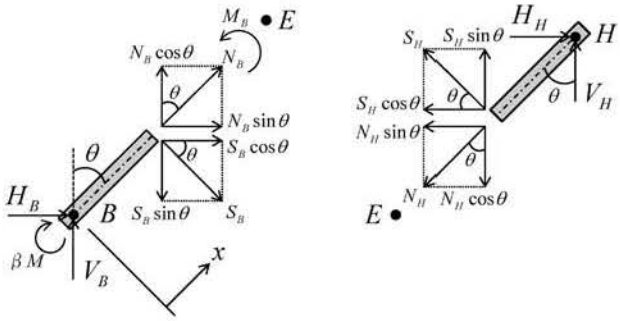


図 12: BE 区間と EH 区間に生じる断面力

ゆえに、式 (32) を考慮すると、次の様に表現される。

$$\begin{Bmatrix} N_B \\ S_B \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin\theta & \cos\theta \\ \cos\theta & -\sin\theta \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -H_B \\ -V_B \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -H_B\sin\theta - V_B\cos\theta \\ -H_B\cos\theta + V_B\sin\theta \end{bmatrix} \quad (33)$$

以上より、BH 部材の BE 区間の軸力とせん断力を求める式は、次の様になる。

$$N_B = -H_B\sin\theta - V_B\cos\theta \quad (34)$$

$$S_B = -H_B\cos\theta + V_B\sin\theta \quad (35)$$

また、曲げモーメント力を求める式は、式 (30) に式 (35) を代入すると、次の様になる。

$$M_B = \beta M + (-H_B\cos\theta + V_B\sin\theta)x \quad (36)$$

3 二重シザーズ構造の変形の安定性

二重シザーズ構造の応急橋を実際の現場で使用する事を想定し、変形の安定性に関して考える。

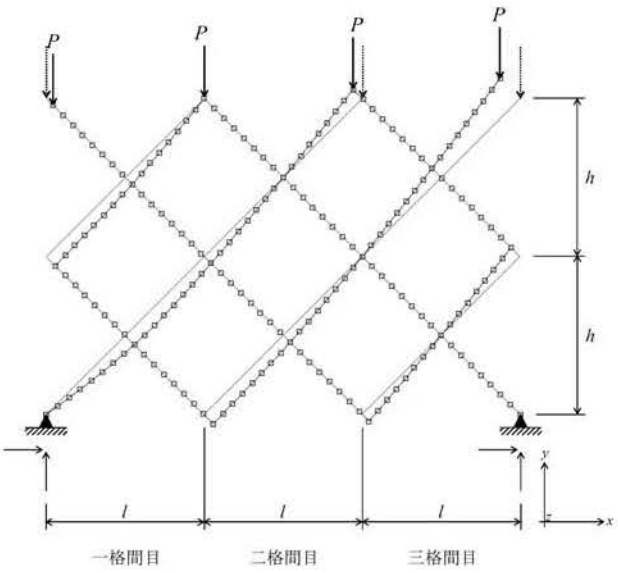


図 13: 三格間二重シザーズ構造の 1 次の座屈モード (横方向移動を拘束した単純支持境界条件)

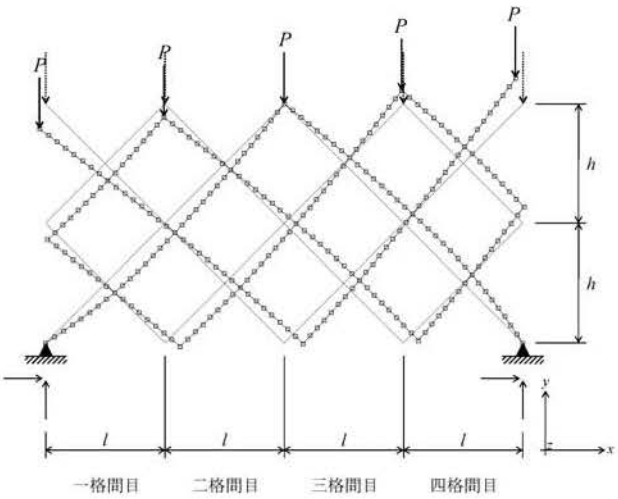


図 14: 四格間二重シザーズ構造の 1 次の座屈モード (横方向移動を拘束した単純支持境界条件)

二重シザーズ構造の構造諸元としては、次の様にする。まず、一格間あたりの長さを l=424.3(mm) とし、一重シザーズ構造の高さを h=424.3(mm) とする。断面幅は 30(mm)×10(mm) として、断面積は 300(mm^2)，x 軸方向に関する断面二次モーメントは 2500(mm^4)，y 軸方向に関する断面二次モーメントは 22500(mm^4) となる。その他の構造条件としては、各部材を 8 分割し、ヤング係数としてアルミ材の材料特性値である 69000(N/mm^2) を用いる。また、荷重は二重シザーズ構造の上部先端の 4 箇所に P=1(kN) の荷重を作用させ、境界条件は横方向移動を拘束した単純支持とする。

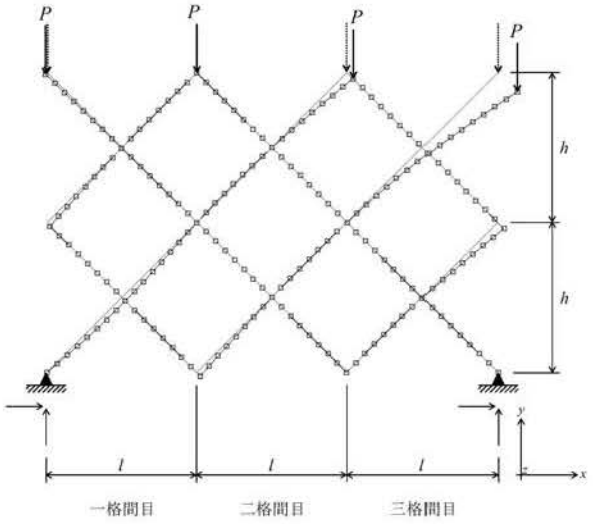


図 15: 三格間二重シザーズ構造の 2 次の座屈モード (横方向移動を拘束した単純支持境界条件)

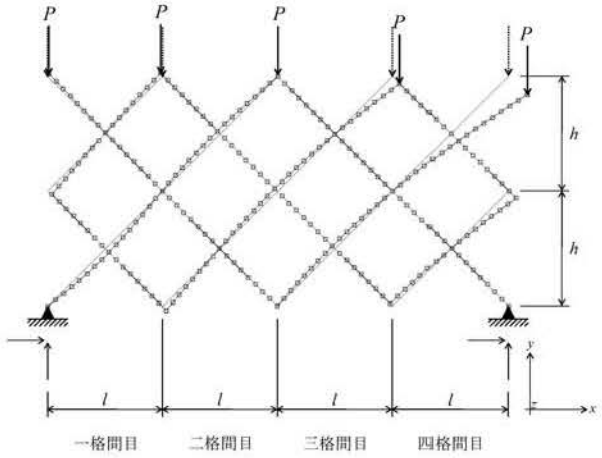


図 16: 四格間二重シザーズ構造の 2 次の座屈モード (横方向移動を拘束した単純支持境界条件)

これらの条件を用いて、一格間から十格間二重シザーズ構造までの座屈解析と変形解析[8)]を行った結果、座屈解析結果では、20 次の座屈モードまでいずれも非対称な座屈モードが低次から現れた。それに対して変形解析結果では、一格間から三格間まで対称変形の挙動を示し、四格間から十格間までは非対称な挙動を示した。ここで、図 13 に三格間の 1 次の座屈モード，図 14 に四格間の 1 次の座屈モード，図 15 に三格間の 2 次の座屈モード，図 16 に四格間の 2 次の座屈モードを示す。また、図 17 に三格間の変形の結果を示し、図 18 に四格間の変形の結果を示す。この図 17 と図 18 の内、図 18 の四格間の変形は、左右で微小な値の非対称変形が生じている。

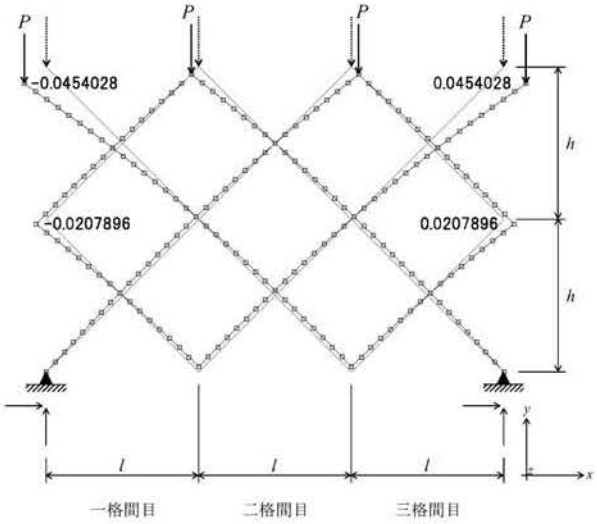


図 17: 三格間二重シザーズ構造の変形 (横方向移動を拘束した単純支持境界条件)

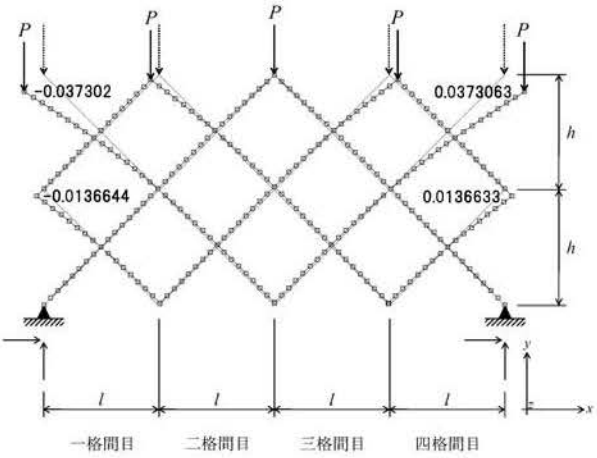


図 18: 四格間二重シザーズ構造の変形 (横方向移動を拘束した単純支持境界条件)

4 結論

(1) n 格間平面二重シザーズ構造の静定不静定の判定に関して、表 1 のような結果を得た。平面二重シザーズ構造の片持支持境界条件下の一格間から三格間，横方向移動を拘束した単純支持境界条件下の一格間は静定構造物で、平面二重シザーズ構造の横方向移

表 1: 平面二重シザーズ構造の静定不静定

	1 格間	2 格間	n 格間
片持支持境界条件	静定	静定	静定
単純支持境界条件	静定	不静定	不静定

動を拘束した単純支持境界条件下の二径間以降は不静定構造物になる事を、マトリックスを用いた方法により明らかにした。

(2) 横方向移動を拘束した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、座屈解析では非対称な座屈モードのみ示すのに対して、変形解析では一格間から三格間は対称な変形を示し、四格間以降は非対称な挙動をする事例を見出した。

参考文献

1) 中沢 正利, 有尾 一郎: “シザーズ構造を応用した応急展開橋の力学特性”, 土木学会安全問題研究論文集, Vol.5 (2010), p.133/p.138

2) M.Nakazawa, I.Ario: “Structural Characteristics of Scissors type-Emergency Bridges”, 5th Australian Small Bridges Conference, No.19-20 (2012), Surfers Paradise, Qld, Australia

3) 大内 直矢: “シザーズ構造はりの力学的解法に関する研究”, 東北学院大学工学部環境建設工学科, 平成23(2011)年度卒業論文

4) 加藤 崇: “シザーズ構造はりのマトリクス法による解析的解法”, 東北学院大学工学部環境建設工学科, 平成24(2012)年度卒業論文

5) 古川 祐輔, 有尾 一郎, 田中 義和, 近広 雄希, 作野 裕司, 椿 涼太: “シザーズ機構を持つ「モバイルブリッジ」の架設動的実験とその解析”, 広島大学大学院工学研究院研究報告, Vol.59, NO.1 (2010)

6) 近広 雄希, 有尾 一郎, 小野 秀一, 中沢 正利: “緊急小型車両の通行を想定した新しい緊急橋の実験的研究”, 平成25年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集, 日本建設機械施工協会 (2013), p.49/p.54

7) 高橋 直也: “シザーズ構造はりの補剛効果に関する数値解析的検討”, 東北学院大学工学部環境建設工学科, 平成24(2012)年度卒業論文

8) MSC.Marc, ユーザーズガイド, A編～E編, 2000.