シザーズ構造を応用した展開型橋梁の基本的力学特性

東北学院大学 正員 ○中沢正利
広島大学大学院 正員 有尾一郎
施工技術総合研究所 正員 谷倉 泉
施工技術総合研究所 正員 小野秀一

1. まえがき

ハサミ状に骨組みを組み合わせて構成されるシザーズ構造は、収納および展開が容易であるため、建築系の張弦構造、架設構造物などに対する応用例が数多く提案されている。シザーズ構造の基本は 2 本のストラットが X 形状に交差し、その交点で開閉可能に接続されている単位シザーズからなる。さらに隣接する単位シザーズの端部同士がジョイントによって接合されている。

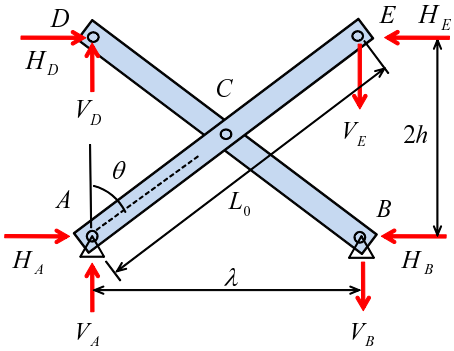
このような構造体を橋梁形式として応用する場合、単なるトラス構造としての軸力のみだけではなく、骨組み (ラーメン) 構造としての断面力も発生するため、基本的な力学特性の把握が必要になってくる。そこで本研究では、比較的単純なシザーズ構造を想定して発生断面力を算出し、基本的力学特性について報告する。

2. 1 格間シザーズ構造

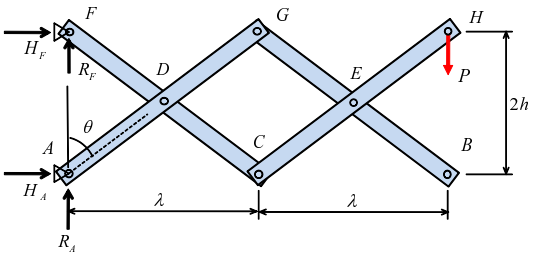
基本モデルを図 -1 に示す。X 形状の単位シザーズ構造をここでは格間とも呼び、ストラット長 L_0、配置傾斜角を θ とすると、格間長 λ および高さ $2h$ は $L_0 \sin\theta = \lambda$, $L_0 \cos\theta = 2h$ と表され、展開・収納状況は角度 θ で表現される。このラーメン構造は力のつりあい条件のみから解くことができ、単位シザーズ構造のつりあい式は、作用する種々の外力 $H_A, V_A \sim H_E, V_E$ に関するつりあい式 6 本、および個別部材のストラット交差部でのモーメント連続条件 2 本より

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda & 2h & 0 & -2h & \lambda \\ 0 & \lambda & 0 & 0 & 2h & \lambda & -2h & 0 \\ -2h & 0 & 2h & \lambda & 0 & 0 & 0 & \lambda \\ -2h & \lambda & 2h & 0 & 0 & \lambda & 0 & 0 \\ -h & \lambda/2 & 0 & 0 & 0 & 0 & -h & \lambda/2 \\ 0 & 0 & h & \lambda/2 & h & \lambda/2 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} H_A \\ V_A \\ H_B \\ V_B \\ H_D \\ V_D \\ H_E \\ V_E \end{Bmatrix} = \{\mathbf{0}\} \tag{1}$$

と表される。図 -1 において片持ちモデルの場合を考え、$H_B = V_B = 0$, $H_E = 0$, 集中荷重 $V_E = P$ とおいて解くと、反力 $V_A = 0$, $V_D = P$, $H_A = -H_D = P\tan\theta$, AE 部材の $M_C = -P(\lambda/2) = -PL_0 \sin\theta/2$, AC 区間のせん断力 $S_{AC} = -P\sin\theta$, CE 区間のせん断力 $S_{CE} = P\sin\theta$ と求まる。すなわち、発生するモーメントの値は格間長のみに比例し、せん断力は荷重の大きさ P を超えない。また、各節点での力のつりあいより求めた発生軸力は、$N_{AC} = -P\tan\theta\sin\theta$, $N_{CE} = -P\cos\theta$, $N_{DC} = P/\cos\theta$, $N_{CB} = 0$ となり、外力 P を超える大きさとなる場合がある。以上より、シザーズ構造はトラスとしての軸力と、はりとしての曲げモーメントの両者に注意を払う必要がある。



図–1 X 形状の単位シザーズ構造

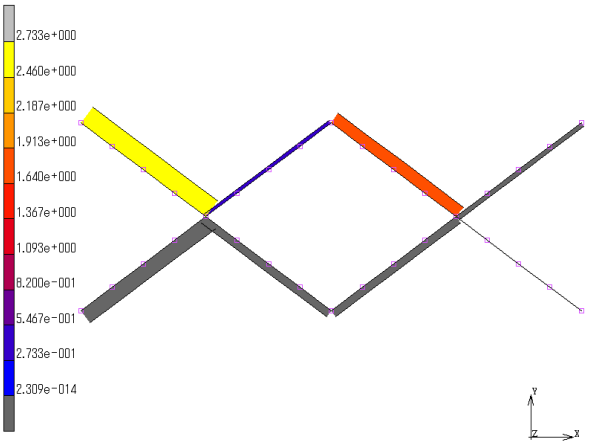


図–2 片持ち 2 格間モデル

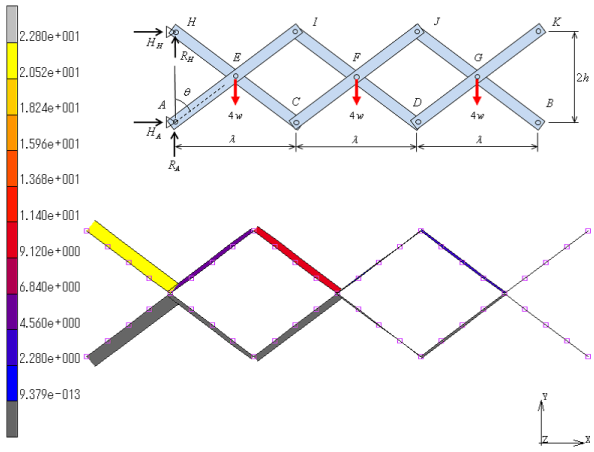
3. 2 格間シザーズ構造

片持ち 2 格間モデルを図 -2 に示す。左右の 1 格間ごとに式 (1) を適用して効率よく解くことができる。この結果、反力 $R_A = 0$, $R_F = P$, $H_A = -H_F = 2P\tan\theta$ と求まり、AG 部材の $M_D = -P\lambda = -PL_0 \sin\theta$, AD 区間のせん断力 $S_{AD} = -2P\sin\theta$, DG 区間のせん断力 $S_{DG} = 2P\sin\theta$ と求まる。また、FC 部材の $M_D = P(\lambda/2) = PL_0 \sin\theta/2$, FD 区間のせん断力 $S_{FD} = P\sin\theta$,

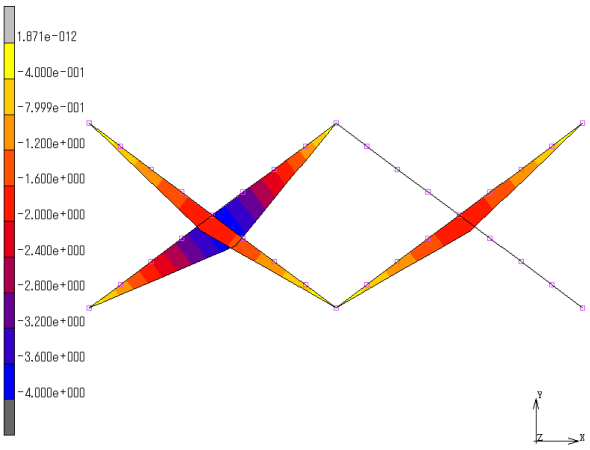
Key Words: *Scissors Structures, Mechanical Chacteristics, Deployable Bridge*
〒985-8537 多賀城市中央一丁目 13-1・TEL 022-368-7444・FAX 022-368-7070



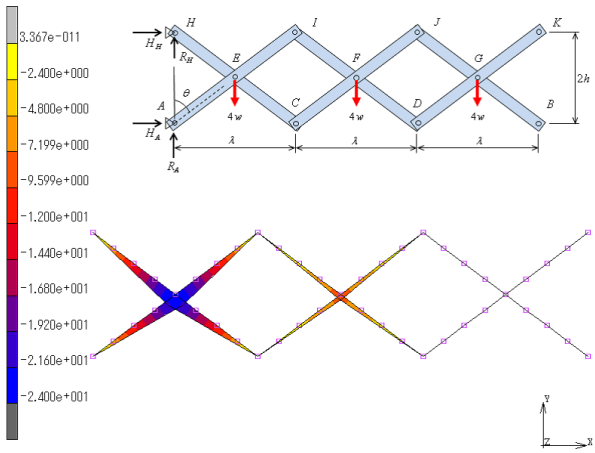
図–3 片持ち 2 格間モデルの軸力分布



図–5 片持ち 3 格間モデルの軸力分布



図–4 片持ち 2 格間モデルの曲げモーメント分布



図–6 片持ち 3 格間モデルの曲げモーメント分布

DC 区間のせん断力 $S_{DC}=-P\sin\theta$, CH 部材の $M_E=-P(\lambda/2)=-PL_0\sin\theta/2$, CE 区間のせん断力 $S_{CE}=-P\sin\theta$, EH 区間のせん断力 $S_{EH}=P\sin\theta$ と求まる。発生する軸力分布を図 -3 に、曲げモーメント分布を図 -4 に示す。

4. 3 格間シザーズ構造

格間 (X 形状単位シザーズ構造) が増えても基本的には力のつりあい条件から全ての断面力を解くことができるが、FEM の二次元骨組構造解析も容易に適用できる。ストラット同士を繋ぐジョイント部分については、仮想の要素を付加してその曲げ剛性のみを可能な限り小さな値に設定すれば一般的な FEM で近似計算することが可能である。ここでは、自重を受ける場合の 3 格間シザーズ構造について、片持ち状態に対する FEM 解析結果の軸力分布を図 -5 に、曲げモーメント分布を図 -6 に示す。ここで、w はストラット一本の重量を模擬している。

この結果、発生する断面力が局所的に集中することはなく、このシザーズ構造は発生断面力を分散させる効果がある。また、曲げモーメントと軸力が主に発生するが、ラーメン部材のジョイントは断面中立軸付近に配置されるので曲げ応力の影響は小さいと予想される。今後はジョイント部分の耐力を調べるためにジョイントまわりの局所応力発生状況と強度照査が必要である。

参考文献

1) 有尾一郎, 谷倉　泉, 中沢正利：構造最適化と折畳み構造に基づくモバイルブリッジの創造, 平成 21 年度全国年次学術研究講演会, I-434, 2009.
2) 中沢正利, 有尾一郎, 谷倉泉, 小野秀一：MFM 概念とそれを応用したモバイルブリッジの研究開発, 平成 21 年度全国年次学術研究講演会, I-435, 2009.
3) 有尾一郎, 田中義和, 中沢正利, 古川祐輔, 近広雄希：最適化構造概念に基づく新しい応急仮設橋のプロトタイプ技術開発, 土木学会構造工学論文集, Vol.56A, 2010.