

ストラット補強によるシザーズ構造の力学特性

広島大学大学院 学生会員 ○安達光太郎
広島大学大学院 正会員 有尾 一郎
信州大学 正会員 近広雄希

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ライフラインの切断となる深刻な問題である。交通路が遮断されることで被災地での人命救助や復旧活動などに時間がかかるため、災害後、迅速にライフラインを迅速復旧させる構造物が必要となる。そこで、シザーズ構造を用いた、可搬、展開、収納が可能な緊急橋モバイルブリッジ(以下、MB と称す)が提案されている¹⁾。

例えば、図-1 は5 格間シザーズ構造体と呼ばれ、通常のトラス構造とは異なり弦材が存在しない。そのため部材内に軸力の他に曲げモーメントも生じる^{2),3)}。またピン結合のために、シザーズ構造が連鎖するMB は、たわみやすく、揺れやすいなどの問題を抱える。本研究は、MB の剛度をさらに高めるために展開後のMB に対してストラット補強を提案し、その基礎的な力学特性を理論的に分析する。

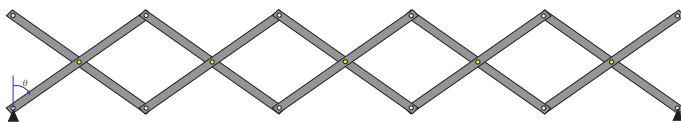


図- 1 5 格間シザーズ構造体

2. 補強に伴う不静定シザーズ問題

本研究では、単位シザーズ構造を対象に、ストラット補強による断面力の変化を解析的に検討した。図-2 に、今回の解析モデルを示しており、荷重 P が作用した片持ちモデルで解析を行った。

図-2 の構造体に対し補強材を導入させ、補強効果の検証を行った。補強材を加えることにより不静定構造物へと変化させる。図-2 に生じる断面力は、軸応力よりも曲げ応力の方が大きな値を示す。さらに、曲げ応力は荷重のかかっている片方の部材のみに力が働く。そこで補強材による各断面力の変化を検証した。不静定力 X を単位荷重法より、

$$X = - \frac{\sum \int \frac{M_0 M_1}{EI} + \sum \frac{\ell_0}{2} \frac{N_0 N_1}{EA}}{\sum \int \frac{M_1 M_1}{EI} + \sum \frac{\ell_0}{2} \frac{N_1 N_1}{EA} + \sum \frac{\ell_0}{2} \frac{N_1 N_1}{EB}}$$

と求められた。ここで、 P : 荷重、 E : ヤング係数、 A : シザーズ部材の断面積、 I : 断面二次モーメント、 L : 部材長さ、 θ : 展開角、 B : ストラット部材の断面積、 N_0 : 静定基本系の軸力、 M_0 : 曲げモーメント、 N_1 : 第一系の軸力、 M_1 : 曲げモーメントをそれぞれ示す。最終的にその不静定力を用いてストラット補強のシザーズ構造の各断面応力を求めた。

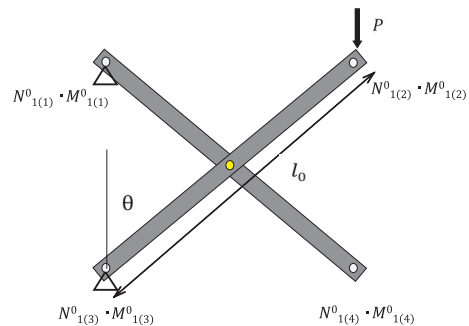


図- 2 片側支持された単位シザーズ構造のモデル

3. 鉛直材の補強効果

図-2 に鉛直材を導入した図-3 のモデルで解析を行った。まず補強材に働く不静定力を求めた。静定基本系と第一系の軸力、曲げモーメントよ

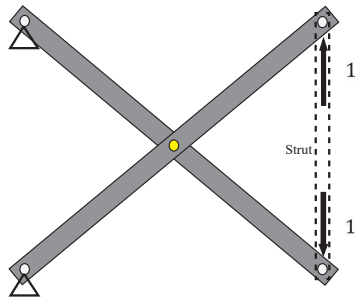


図-3 鉛直材導入モデル

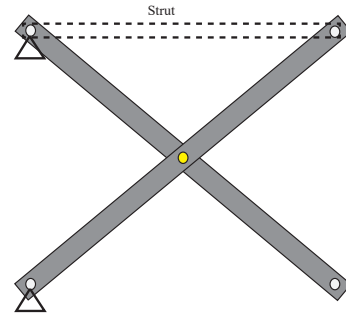


図-4 単位シザーズの上弦部材導入

り鉛直材に生じる不静定力 X は

$$X = \frac{P}{2} \left[\frac{1}{1 + \frac{\alpha}{\cos \theta} \left\{ 1 + \beta + (1 - \beta) \cos \frac{\theta}{2} \right\}} - 1 \right]$$

と求められる．ここで， $\alpha = \frac{(E)B}{(E)A}$ とし，断面剛比パラメータと呼び， $\beta = A\ell_0^2/(12I)$ である．補強材に働く不静定力は，主部材だけでなく補強材の断面剛性に依存する．不静定力を用いストラット補強されたシザーズ構造体の各断面力は，以下の重ね合わせにより，

$$N_{i(k)} = N_{i(k)}^0 + N_{i(k)}^1 \cdot X_1$$

$$M_{i(k)}(\chi) = M_{i(k)}^0(\chi) + M_{i(k)}^1(\chi) \cdot X_1$$

と求めることができた．この断面力と補強部材を加える前の断面力を比較することにより補強効果を検証した．展開角 60° における，シザーズ部材に対する補強材の剛比パラメータと，シザーズ部材の最大曲げ応力との関係は，剛比パラメータが増加するにつれて荷重が载荷されていた1本のシザーズ部材に働いていた曲げモーメントが補強材を介し，1組のシザーズ部材で分担し低減した．数値結果は当日発表する．

4. 上弦材補強の効果

上弦材を導入した図-4のモデルで効果の検証を行った．境界条件や荷重条件は鉛直材導入時と同じとした．鉛直材の時と同じ様に補強部材に働く不静定力を求め，最終的に重ね合わせの原理を用いて，不静定力よりストラット補強のシザーズ構造の各断面応力を求めた．

上弦材を加えることにより，作用していた曲げ応力がほぼ無くなった．これは，補強材を導入することにより，補強材を介し断面力が支点部に伝播したためと考えられる．

また，展開角 60° における，シザーズ部材に対する補強材の剛比パラメータ α と曲げ応力との関係は，剛比パラメータの増加とともに，曲げ応力が減少し負担が低減できた．つまり，補強材を導入することで，曲げ応力による負担を少なくできるので，最も効率のよい部材断面積にすることができる．あるいは，ストラット補強により耐力を増加できる．数値結果は当日発表する．

5. 結語

展開角 60° において，1 格間シザーズ構造体にストラット部材を鉛直方向に導入することにより，ピボット部の最大縁曲げ応力を半減できることが判明した．さらに，上弦材でも曲げモーメントの低減効果を確認でき，鉛直材よりも効果は大きかった．

参考文献

- 1) Ario, I., Nakazawa, M., Tanaka, Y., Tanikura, I. and Ono, S., Development of a prototype deployable bridge based on origami skill, Autom. Constr., 32 (2013) 104-111.
- 2) Ario, I., Tanaka, Y., Nakazawa, M., Furukawa, Y. and Chikahiro, Y., Development of the prototype of a new emergency bridge based on the concept of optimized structure, J. Struct. Eng., JSCE, 64A (2010) 1-12 (in Japanese)
- 3) Chikahiro, Y., Ario, I. and Nakazawa, M. (2016). Theory and Design Study of a Full-Scale Scissors-Type Bridge, J. of Bridge Eng. ASCE, 12 (2016) .