

第 I 部門

図式力学的表現を活用した連続トラス橋の危機耐性構造計画に関する一考察

京都大学工学部 学生員 ○野村 一貴

京都大学大学院工学研究科 正会員 植村 佳大

京都大学大学院工学研究科 正会員 高橋 良和

1. 目的

東北地方太平洋沖地震以降、危機耐性という概念が提唱されている。現行の設計体系では、危機耐性についての検討は構造計画段階で行うことが理想とされているが、未だ定まった手法は存在しない。そこで本研究では、構造計画における不静定トラス構造の危機耐性構造計画手法を提案する。本提案手法では、荷重と構造形態の関係を視覚的に把握することが可能な図式力学に着目し、図式力学における力線図が示す力の流れと構造形態の関係を活用する手法を考える。

2. 図式力学

(1)従来利用方法

図式力学とは、構造物に作用する荷重と構造形態の関係をベクトルにより図式化することで幾何学的に厳密解を算出する手法である。図-1 に図式力学を構成する 2 つの図を示す。形状図上の線分は部材を、矢印は外力の作用位置と作用方向を示す。一方、力線図上の線分は部材や外力の大きさを示す。形状図の情報を元に力線図を描き、力線図上の線分の長さや角度に注目することで、特定の部材の力学的性状を把握することができる。また、形状図上で記号が割り振られている各領域は、力線図上では点に対応する。

(2)図式力学の利点

現代ではコンピュータによる構造計算が主流である一方で、近年、図式力学を用いた設計手法の提案が盛んに行われている。これらの手法では、力線図により荷重と構造形態の関係を可視化できることに注目している。本研究でもこの利点を活用し、図式力学を危機

耐性構造計画へ適用することを試みる。

3. 危機耐性構造計画

(1)提案手法の目的

通常の橋梁は、死荷重と活荷重に対して耐荷性能が照査されるが、部材や支承部が損傷した時の耐荷性能は照査されない。そこで、本提案手法では、不静定トラス橋梁が部材や支承部に損傷を受けた際も落橋に至らないことを目的とする。その際、損傷のある橋梁は通常通り利用されないことを考慮し、損傷時には死荷重のみに対して耐荷性能を満足すれば良いと考える。

(2)提案手法の手順

提案手法の具体的な手順を示す。まず、構成要素のうち最重要の要素(キーエレメント)を特定し、その要素が欠落した構造に対して、死荷重作用下の力線図を描く。その後、キーエレメントが欠落した構造における耐荷メカニズムに対して影響の大きい部材の集合である「力学的骨格」を特定し、その構成部材の応力と許容応力度を比較し、それに応じた対策を講じる。

(3)キーエレメントの特定

例として、部材損傷を想定した 2 つの単径間複斜材トラス(図-2(a)(b))の力線図(図-2(c)(d))を示す。両トラスの荷重条件は同一で、違いは鉛直材の有無のみである。まず、両トラスの健全時の力線図は類似しているが、これは両トラスの耐荷メカニズムの類似性が高いことを意味する。

次に、中央付近の下弦材の 1 つ(赤で示す部材)が損傷した場合の両トラスの力線図(図-2(e)(f))を描く。ここで、部材の損傷は部材を消失させることで表現する。図より、部材損傷前後で力線図の面積増大を確認できるが、特に中央鉛直材なしの構造では力線図の面積変化がより大きいことが確認できる。これは、両トラスで損傷した下弦材が持つ耐荷メカニズムへの影響力が異なるためである。そこで、力線図の面積変化を用い

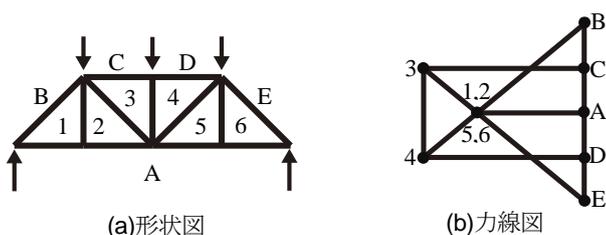


図-1 図式力学

Kazuki NOMURA, Keita UEMURA, Yoshikazu TAKAHASHI

nomura.kazuki.35n@st.kyoto-u.ac.jp

たロバストネスインデックスを次のように提案する。

$$\rho_A = \frac{A_0}{A_1} \quad (1)$$

ここに、 A_0 は健全時の力線図の面積、 A_1 は損傷時の力線図の面積である。 ρ_A が小さい部材や支承ほど耐荷メカニズムへの影響が大きいことを示す。本研究では、 ρ_A が最小となる要素をキーエレメントと特定する。

(4)力学的骨格の特定

耐荷メカニズムに対して影響の大きい部材の集合を「力学的骨格」と定義する。力学的骨格の構成部材の損傷は耐荷メカニズムへ大きな影響を与えるため、力線図の面積変化も大きくなる。一方、力学的骨格でない部材は消失しても耐荷メカニズムへ大きな影響を与えず、消失時の力線図の面積変化は小さい。この特性

を利用し、対象構造における力学的骨格を特定する。

(5)本提案手法の適用例

適応対象の橋梁は、Mya らりが検討対象とした3径間複斜材トラス(図-3)とし、死荷重作用下の力線図を図-4に示す。ここで、各要素の ρ_A を算出した結果、部材に関しては側径間中央付近の弦材で ρ_A が小さくなる一方で、それ以上に、支承消失時の ρ_A が小さいことが確認できた。そこで、今回は左端の支承(E1)をキーエレメントと特定し、支承 E1 消失時の構造(図-5)の力学的骨格を特定した(図-5 赤線部)。図-6 より力学的骨格のみで死荷重に抵抗する際の力線図が元の構造の力線図と類似していることがわかる。そして、力学的骨格の構成部材についてのみ許容応力度を用いた比較を行った。結果、図-5 の青矢印で示す2つの下弦材で許容応力度の超過を確認したため、対策を講じることとなるが、本提案手法では計画段階で適用されることから、結果に応じて新たな構造形式の導入や支承位置の移動など、自由度の高い検討が可能である。

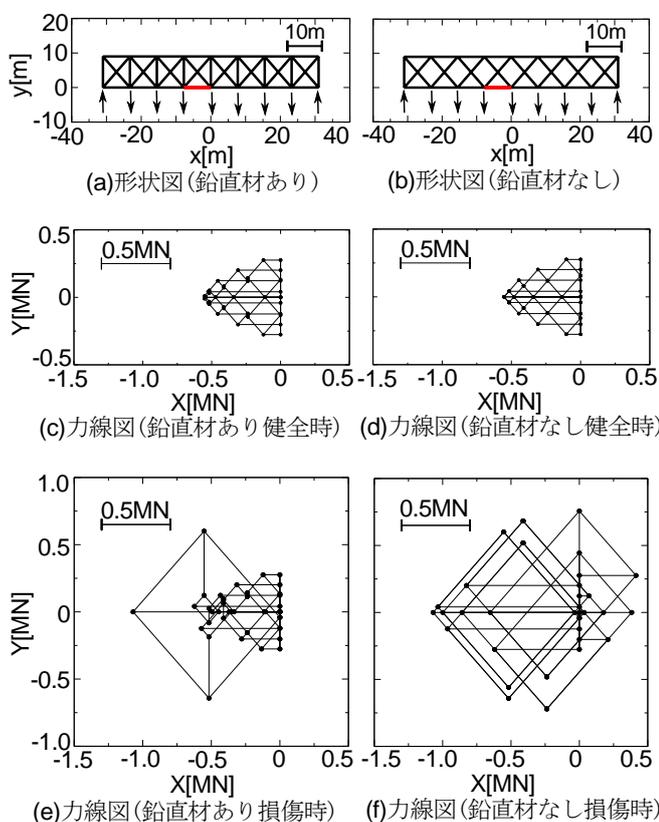


図-2 部材損傷を考慮した単径間複斜材トラス

4. まとめ

トラス構造を対象に図式力学を用いた危機耐性構造計画手法を提案した。本提案手法では、部材損傷による力線図の面積変化に着目してキーエレメントを特定し、それを消去した構造に死荷重が作用した際の力線図から力学的骨格を抽出した。そして、力学的骨格の構成部材のみに許容応力度を用いた照査を行うことで、トラス構造の危機耐性向上を図ることができた。

参考文献

- 1) Wai, M. S. and Takahashi, Y. : Robustness evaluation of double diagonal ten panel three span continuous air-raid proof bridge, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser A1, Vol.76,No.4,I_320-I336,2020.

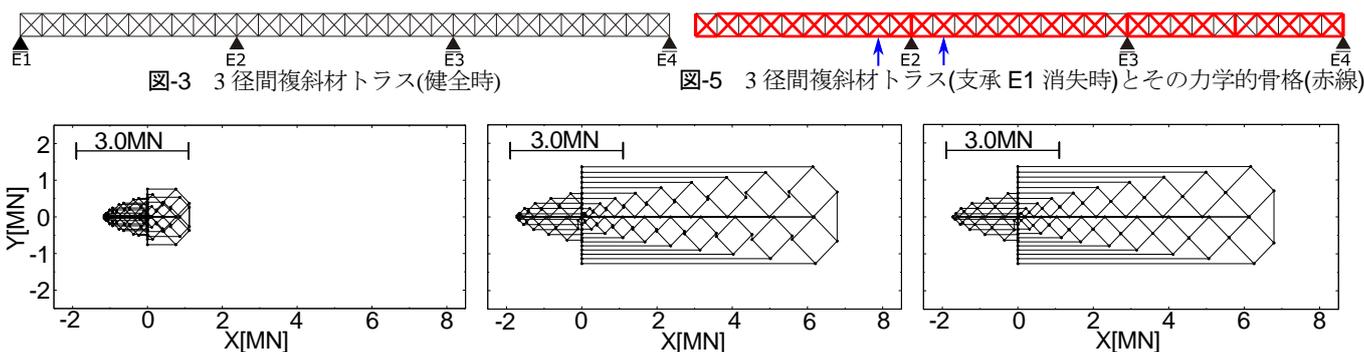


図-4 力線図(健全時・死荷重作用下)

(a) 支承 E1 消失時・死荷重作用下

(b) 力学的骨格・死荷重作用下

図-6 力線図