

鋼トラス橋の非線形挙動に関する数値的検討

東北大学工学部	○学生員	福田 健
東北大学大学院工学研究科	正 員	斉木 功
東北大学大学院工学研究科	正 員	岩熊 哲夫
東北大学大学院工学研究科	正 員	山田 真幸

1. まえがき

近年、国内における鋼トラス橋の一部材に破断が発見されたが、設計では考慮されていない何らかの冗長性が働き、橋梁全体の崩壊に至らなかった。しかし、冗長性が発揮されるメカニズムは、明らかではない。これに関し、梁取ら¹⁾は、連続トラス橋を対象に、石井ら²⁾は、事故の起きた木曽川大橋を対象に、部材破断したモデルの有限要素解析を行い、全体系への影響を評価した。しかし、幾何学および材料非線形を考慮しておらず、格点部を剛結やピン結合とするこの解析にはさらなる検討が必要である。そこで本研究では、非線形有限要素解析により、鋼トラス橋を対象にガセットプレートや床版に焦点を当てて、健全な場合および部材に損傷や破断のある場合が橋梁全体に与える影響を評価する。

2. 解析モデル

秋田県の本荘大橋を参考に、全長 199.2m (66.4m×3 径間)、幅員 13.4m、高さ 8.5m の下路式連続鋼トラス橋(図-1)を解析対象とした。床版を平板要素、その他の部材にはすべて梁要素を用いてモデル化した。斜材断面は、引張りが H 型、圧縮が箱型とした。部材間の結合は、床版と床組間に並進運動のみを伝えるオフセット要素を用いて結合させ、残りの全結合点は剛結とした。

数値解析には、幾何学および材料非線形性を考慮し、汎用有限要素解析ソフト NX NASTRAN を用いた。鋼材はすべて SM490 を用いた弾塑性体として、von Mises の降伏条件、線形等方硬化則を用いて、初期降伏応力を 315N/m^2 、塑性係数を Young 率の 10^{-2} 倍とし、床版のコンクリートは弾性体とした。荷重については、死荷重 (D) および活荷重 (L) を解析モデルに載荷する。活荷重 (L) は、道路橋示方書³⁾に準じ、規定の荷重 (p_1 荷重 $=12000\text{N/m}^2$, p_2 荷重 $=3500\text{N/m}^2$) を床版上に圧力として載荷した。この活荷重 (L) に対する倍率で荷重パラメータ f を定義し、荷重の大きさを $D+fL$ とし、D を先行して載荷した後、 f をゼロから漸増させた。

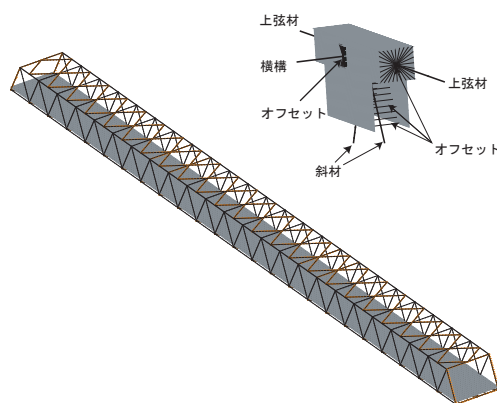


図-1 解析モデルおよびガセットプレートの拡大図

3. 部材損傷による影響

特定の引張り斜材に関して、取り去ったモデルおよび断面を減少させたモデルを検討する。共に損傷部材位置は同じである。断面減少は、対象部材の断面積の $1/2$ 断面と $1/4$ 断面の 2 パターン行った。図-2 に、荷重パラメータとモデル中の相当塑性ひずみの最大値の関係を示す。なお、部材の破断は、最大相当塑性ひずみが 2% を超えた場合と定義する。

まず、破断モデルについて検討する。この場合、荷重の低い段階から縦桁に塑性ひずみを生じ、縦桁の破断となる。これは、本来なら斜材が受け持つべき抵抗を縦桁が曲げによって補っているためだと考えられる。さらに、上弦材および下弦材にも塑性ひずみが生じる。しかしこの場合、斜材がないことで上弦材の圧縮力が低下しているため、上弦材が座屈するほど塑性ひずみは増加しない。次に、断面減少モデルは、どちらも荷重が増加するにつれ、

Key Words: 鋼トラス橋、非線形有限要素解析、冗長性、ガセットプレート

〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 構造強度学研究室

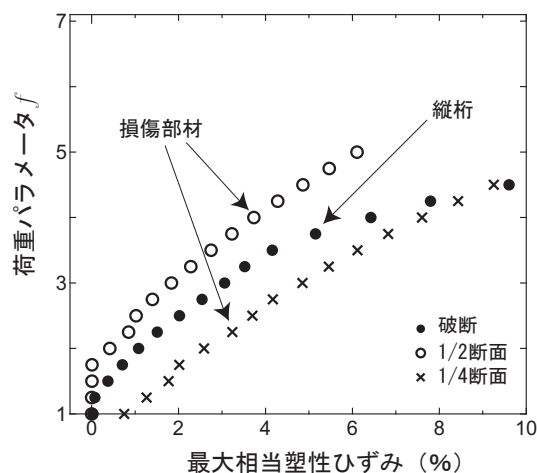


図-2 損傷時の最大相当塑性ひずみ

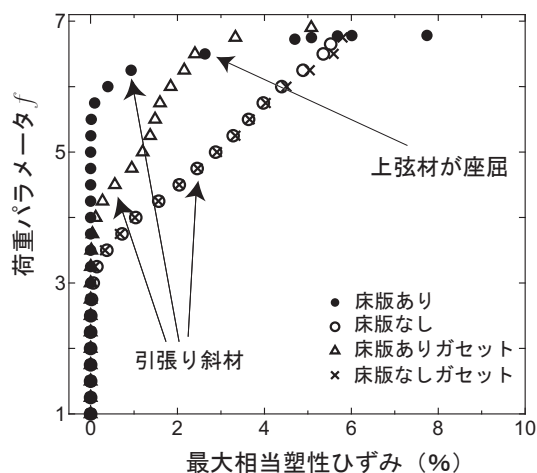


図-3 健全時の最大相当塑性ひずみ

損傷部材の塑性ひずみが大きくなり、斜材の破断へと至る。その際、どちらも下弦材との結合部から塑性化することから、引張り斜材に曲げが生じたためと考えられる。よって、斜材が1/4断面の場合、損傷部材が壊れた後に、縦桁へと破壊モードが変わり、斜材が1/2断面の場合、損傷部材と同時に縦桁が破壊すると考えられる。

4. 床版の有無による影響

コンクリートの Young 率を 10^{-2} 倍にすることで床版の曲げ抵抗を擬似的に軽減させたモデルを床版なしモデルとした。図-3 より、床版ありモデルでは、荷重パラメータ 6.50 で上弦材が座屈するのに対し、床版なしモデルでは、荷重パラメータ 4.50 で引張り斜材が破断する。これは、床版が面内曲げに対して抵抗することで塑性ひずみの増加を抑制したためである。また、斜材が損傷している場合、塑性ひずみの増加率が床版のある方が小さく、これも床版の抵抗による影響である。しかし、斜材が破断している場合、床版の有無が全体の挙動に及ぼす影響は少ない。

5. ガセットプレート結合による影響

一般に、ガセットプレートによる結合は、格点が剛結に比べて柔な結合とされている。また、米国ミネソタ州で起きた鋼トラス橋の崩壊事故は、ガセットプレートの設計に原因があった⁴⁾とされ、ガセットプレートが橋梁全体へ影響を及ぼすことが考えられる。そこで、斜材の格点で平板要素を用いたガセットプレートのモデル化を行った。梁要素と平板要素との結合には、並進運動のみを伝えるオフセット要素を用いた。図-1 のように、弦材同士は断面の全接点と結合し、斜材をガセットプレートの両側の 8 点と結合させた。図-3 より、床版なしモデルの場合、ガセットプレート結合による影響は少ないことがわかる。しかし、床版ありモデルに対し床版ありガセット結合モデルでは、引張り斜材が早く破断する。これは、剛結の場合と比べ、ガセットプレートと斜材との結合が多くなることで斜材の部材長が短くなるため、曲げの影響を大きく受け塑性変形しやすくなるからである。次に、ガセットプレートの板厚を変化させたモデルを検討する。ガセット結合モデルの板厚が 75% および 50% となる 2 パターンを行った。塑性ひずみを比べてみると、75% の板厚の場合、基本のガセット結合モデルとの変化は見られなかった。しかし、50% の板厚の場合、トラス部材への影響は少なかったが、ガセットプレート自体は、塑性化が著しく、破断に至ると予想される。

参考文献

- 1) 梁取直樹, 村越潤, 前田和裕: 下路鋼トラス橋の部材破断時の全体挙動に関する影響解析, 第 64 回年次学術講演会, 土木学会, 2009.9.
- 2) 石井他: 鋼トラス橋のリダンダンシー評価手法の検討(その1), 第 63 回年次学術講演会, 土木学会, 2008.9.
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説Ⅰ共通編Ⅱ鋼橋編, 2002.3.
- 4) 井上雅夫, 藤野陽三: 米国ミネソタ州での落橋事故の社会的影響, 土木学会論文集, Vol.66, No.1, pp.14-26, 2010.1.