

# 非線形有限要素解析による連続鋼トラス橋の冗長性に関する一考察

A Consideration on Redundancy of Continuous Steel Truss Bridges  
by Nonlinear Finite Element Analysis

福田 健\*

Ken FUKUDA

\*構造強度学研究室（研究指導教員：斉木 功 准教授）

連続トラス橋には、不静定構造であるために元々冗長性が備わっているが、破断や損傷が生じた際にどのように冗長性が発揮されるのか明確にされていない。この冗長性が発揮されるメカニズムを把握することは、橋梁の維持管理上、極めて重要である。そこで本研究では、連続鋼トラス橋を対象に、床版や床組、ガセットプレートに焦点を当て、冗長性がどのように発揮されるのかを評価した。

**Key Words** : redundancy, steel truss bridge, nonlinear finite element method, gusset plate

## 1. はじめに

近年、米国のミネソタ州の鋼トラス橋の崩壊事故をきっかけに、日本でもトラス橋の点検が各地で行われ、国内の鋼トラス橋において斜材破断が発見された。しかし、静定トラス橋において、1つの部材の破断が橋梁崩壊につながるおそれがあるが、崩壊が起きなかったことから、設計では考慮されていない冗長性が備わっていたと考えられる。また、連続トラス橋には、不静定構造であるために元々冗長性が備わっているが、破断や損傷が生じた際にどのように冗長性が発揮されるのか明確にされていない。そのため、これらの冗長性が発揮されるメカニズムを把握することは、橋梁の維持管理上、極めて重要である。これに関して、梁取ら<sup>1)</sup>は、連続トラス橋を対象に、石井ら<sup>2)</sup>は、事故の起きた木曾川大橋を対象に、部材に損傷を与え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、幾何学の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れら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、連続鋼トラス橋を対象に床版や床組、ガセットプレートに焦点を当てて、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検討する。

## 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。床版は平板要素、その他の部材はすべて梁要素を用いてモデル化した。引張りおよび圧縮斜材の断面は、それぞれ H 型および箱型とした。床版と床組間は、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、幾何学のおよび材料非線形性を考

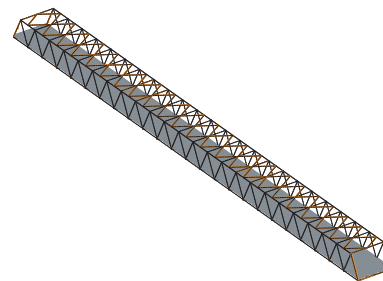


図-1 解析モデル

慮し、汎用有限要素解析ソフト NX NASTRAN を用いた。床版のコンクリートは弾性体とした。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  $315\text{N/mm}^2$ 、塑性係数を Young 率の  $10^{-2}$  倍とした。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<sup>3)</sup>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。

## 3. 部材損傷の影響

特定の引張り斜材に関して、斜材を取り去った破断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とする。断面の減少は、対象部材の断面積が  $1/2$  または  $1/4$  となる 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

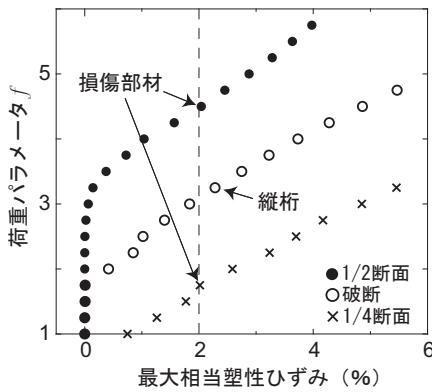


図-2 損傷時の相当塑性ひずみ

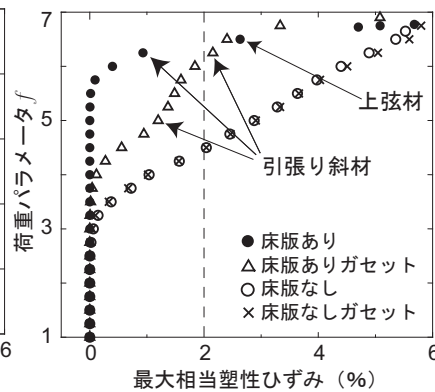


図-3 健全時の相当塑性ひずみ

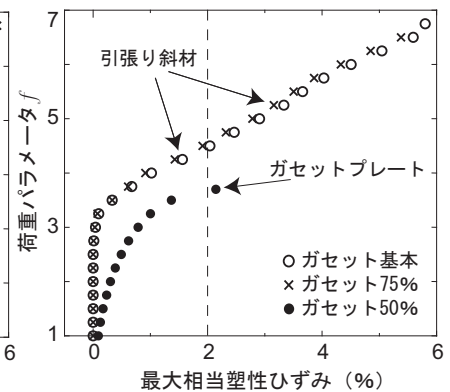


図-4 ガセット損傷時の相当塑性ひずみ

の小さ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、上弦材が座屈するには至らない。次に、断面減少モデルは、どちらも荷重が増加するにつれ、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だと考えられる。以上より、斜材の損傷程度が大きい場合、縦桁の曲げ抵抗により、冗長性が発揮され、橋梁全体は脆性的な崩壊は生じない。斜材の損傷程度が小さい場合、斜材の破断時の荷重は大きい、損傷部材の破断直後に縦桁に塑性ヒンジが形成されるため、冗長性は期待できない。

#### 4. 床版の有無による影響

実際の設計において、床版の作用は、荷重を床組に伝達することのみを想定し、床版の曲げ抵抗については考慮していない。そこで、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、荷重パラメータが 6.50 で上弦材が座屈するのに対し、床版なしモデルでは、荷重パラメータが 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斜材の軸力を低減したためである。

#### 5. ガセットプレート結合の影響

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<sup>4)</sup>とされることから、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、図-5 に示すように、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

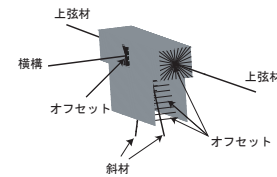


図-5 ガセットプレート拡大図

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。そして、弦材同士は断面の全節点と結合し、斜材は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のモデル化が全体の挙動に与え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、ガセットプレートをモデル化することにより、解析モデルにおいて斜材等の部材長を減少させるため、斜材等に曲げが作用し、塑性変形が生じやすくなるためである。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 パターン行った。図-4 より、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の塑性化が顕著に現れ、ガセットプレートの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評価, 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) NTSB: Highway Accident Report — Collapse of I-35W Highway Bridge Minneapolis, Minnesota August 1, 2007, pp.132-155, 2008

(2010 年 2 月 10 日 提出)