

非線形有限要素解析によるトラス格点の耐荷力に関する一考察

東北大学工学部	○学生員	川村 航太
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

2007年8月に米国で起きた鋼トラス橋の落橋事故を契機に、構造物全体の冗長性およびその評価に関する数値解析的な研究が行われるようになった¹⁾。米国の落橋事故は、格点部を起点として生じたと報告されている²⁾ことから、格点部の耐荷力を把握することは、構造物全体の冗長性を考える上で非常に重要である。格点部の耐荷力評価法の一つとして、骨組要素による全体構造の解析結果を、板要素により詳細にモデル化した格点部のみの有限要素モデルに適用するズーム解析が挙げられるが、そこで用いられる全体構造モデルは、格点部を剛結、あるいはピン結合としており、格点部の剛性が部材力に反映されていない。そこで本研究では、全体構造の格点部のみを詳細にモデル化したモデルの解析結果を用いた耐荷力評価法の提案を行い、従来のズーム解析と比較することでその妥当性を検証した。

2. 解析モデルおよび解析方法

全長 70.63 m、幅員 8.6 m、高さ 8.5 m の単径間鋼下路式ワーレントラス橋を解析対象とした。床版以外の全ての部材に骨組要素を用いたモデルを全体骨組モデルと呼び、**図-1**に示す。また、全体骨組モデルの格点部を板要素でモデル化したモデルを全体複合モデルと呼び、**図-2**に示す。さらに、**図-3**に示すように、全体複合モデルから格点部のみを取り出したモデルを局所モデルと呼ぶ。

有限要素解析には、幾何学および材料非線形性を考慮し、汎用ソフト NX NASTRAN を用いた。鋼材は全て SM400 を想定した弾塑性体として、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 235 MPa、硬化係数を Young 率の 10^{-2} 倍とした。荷重は、道路橋示方書³⁾に準じ、死荷重 (D) と活荷重 (L) を与える。この活荷重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 $D+fL$ とする。

まず、全体複合モデルに荷重を載荷し線形解析を行い、得られた部材力を局所モデルの各部材に作用させ、

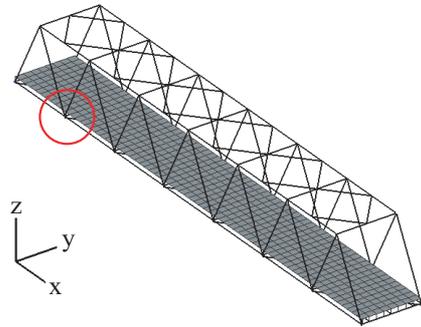


図-1 全体骨組モデル

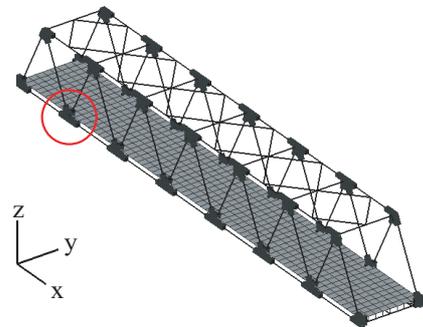


図-2 全体複合モデル

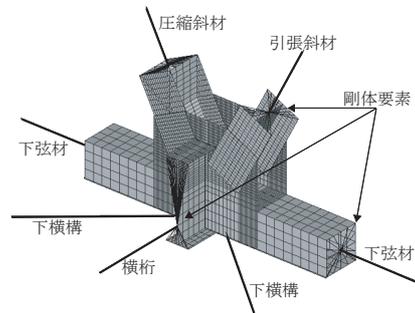


図-3 局所モデル

f をゼロから漸増させる。本研究ではこの解析を格点部の耐荷力評価手法として提案し、これを複合ズーム解析と呼ぶ。

次に、全体骨組モデルに荷重を載荷し線形解析を行い、得られた部材力を局所モデルの各部材に作用させ、 f をゼロから漸増させる。従来からのズーム解析として、これを標準ズーム解析と呼ぶ。

最後に、全体複合モデルに荷重を載荷し、非線形解析を行う。本研究では、この解析により得られた結果を参照解とする。

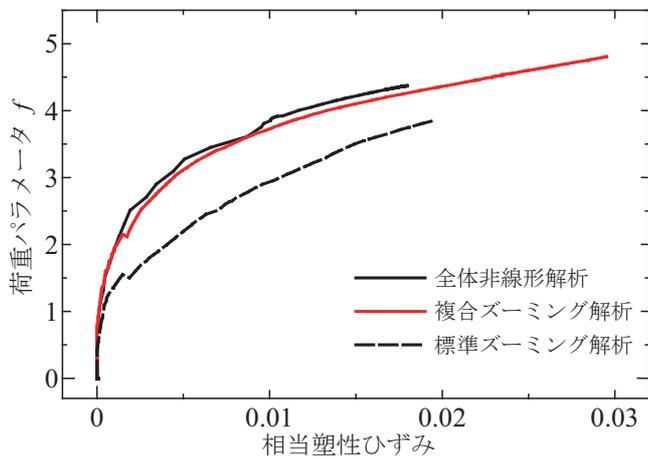


図-4 荷重-相当塑性ひずみ関係

3. 解析結果

ここでは、 p_1 荷重をスパン中央部に載荷し、図-1および図-2において、丸い印が付いた格点部に注目する。このときの荷重パラメータ f とモデル中で最大となる点の相当塑性ひずみの関係を図-4に示す。全体非線形解析と複合ズーム解析の荷重-相当塑性ひずみ関係はよく一致しているのに対し、標準ズーム解析の相当塑性ひずみの最大値は、全体非線形解析および複合ズーム解析のそれよりも常に大きかった。次に、全体非線形解析、複合ズーム解析、標準ズーム解析における相当塑性ひずみ分布をそれぞれ図-5、6、7に示す。図-5、6に示したように、全体非線形解析と複合ズーム解析では、主に引張斜材とガセットプレートの接合部で塑性変形が生じた。一方で、標準ズーム解析では、横桁の下フランジと下弦材の接合部付近で大きな塑性変形が生じていることが図-7より確認できる。

4. まとめ

全体骨組モデルの部材力を局所モデルに適用した場合の破壊箇所および破壊荷重は、全体非線形解析のそれとは異なる場合があることから、格点構造の耐荷力および破壊モードを正確に評価できない可能性がある。

一方で、全体複合モデルの部材力を局所モデルに適用した場合の破壊箇所および破壊荷重は、全体非線形解析のそれとよく一致していることから、格点部の耐荷力評価を行う際は複合ズーム解析が適しているといえる。

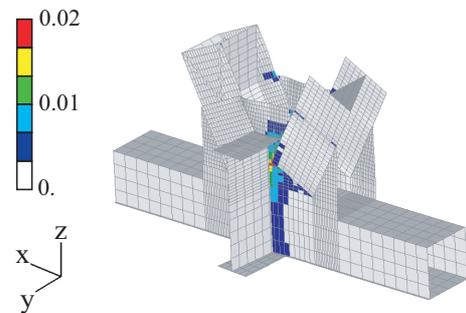


図-5 全体非線形解析：全体複合モデル格点部の相当塑性ひずみ分布 ($f = 4.37$, 変形 10 倍)

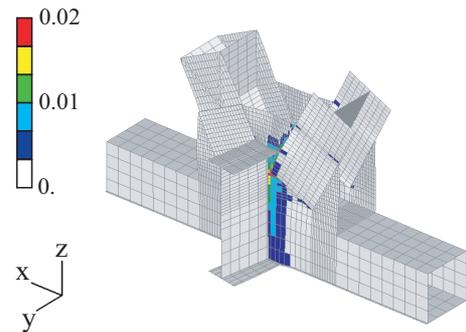


図-6 複合ズーム解析：局所モデル相当塑性ひずみ分布 ($f = 4.37$, 変形 10 倍)

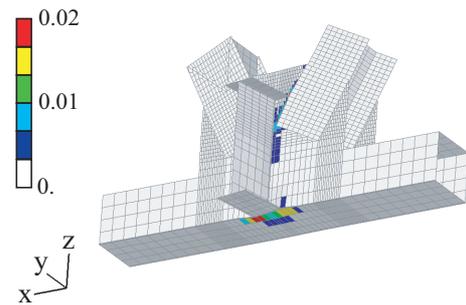


図-7 標準ズーム解析：局所モデル相当塑性ひずみ分布 ($f = 3.84$, 変形 10 倍)

参考文献

- 1) 永谷秀樹, 赤石直光, 松田岳憲, 安田昌宏, 石井博典, 宮森雅之, 小幡泰弘, 平山 博, 奥井義昭: 我国の鋼トラス橋を対象としたリダンダンシー解析の検討, 土木学会論文集 A, Vol.65, No.2, pp.410-425, 2009.
- 2) 笠野英行, 依田照彦: 米国ミネアポリス I-35W 橋の崩壊メカニズムと格点部の損傷評価, 土木学会論文集 A, Vol.66, No.2, 312-323 2010.6.
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 I 共通編 II 鋼橋編, 2012.3.