

全橋解析モデルを用いた既設鋼トラス橋の耐荷力推定に関する基礎的検討

徳山工業高等専門学校 学生会員 ○山根 達郎
徳山工業高等専門学校 正会員 海田 辰将
広島大学大学院工学研究院 正会員 藤井 堅

1. はじめに

米国におけるI-35W橋の崩落など、鋼材の腐食が主原因の重大事故が相次いだことから、我が国でも腐食劣化した鋼橋の耐荷力や安全性に対する関心が高まっている。

部材レベルでは、従来から腐食などを考慮した様々な残存強度評価法が提案されているが、部材ごとに評価された応力と橋梁全体で評価した場合の実応力は異なる。

このことから、腐食等の経年劣化に対する橋梁全体の残存耐荷力を議論するためには、まずは新設時の橋梁全体の崩壊に対する耐荷力面での余裕分を推定する必要がある。この考えに基づき、佐竹ら¹⁾は、合成桁橋の耐荷力を全橋解析モデルによるFEM解析から求めており、L荷重を想定した際の新設時の耐荷力は現行B活荷重の3~4倍に達することを指摘している。

そこで、本研究では現存する鋼トラス橋について、シェル要素を用いた全橋解析モデルを作成し、引張部材に着目したの橋梁全体の耐荷力推定を試みると共に、モデル化についての基礎的な検討を行う。

2. 解析対象の鋼トラス橋

本研究で解析対象とした鋼トラス橋は、1921年に安佐北区可部の大田川に架設された後、1959年に広島県三次市の江の川に移設された転用橋であり、架設当初から数えると橋齢は95年である。

本橋主径間の構造形式は単純曲弦プラットトラスであり、径間長51m、支間長50.19m、有効幅員は5.5mである。主構の構成部材は主に2つの溝形鋼の両側面をレーシングバーで接合した組合せ部材であり、格点部はガセットを介した総リベット橋である。

3. 全橋解析モデルと解析条件

本研究では、汎用有限要素解析ソフトABAQUSを用いて図-1に示す全橋解析モデルを構築して、死荷重のほか現行B活荷重や設計当時の推定活荷重を載荷し、弾塑性非線形解析を行った。以下に荷重条件と解析モデルの概要、および解析条件を示す。

3.1 主荷重の算定および載荷方法

本橋の死荷重については、本橋の全重量を橋面の面積で除した死荷重強度 w を、縦桁の反力の影響線を用いて荷重分配し、外力として作用させた。ここで、材料の単位体積重量は、鋼材：77kN/m³、RC：24.5kN/m³としている。

設計当時の推定活荷重については、明治~大正初期の道路橋の設計基準を参考に、橋上全面に400貫/坪(450kg/m²)の活荷重を作用させた。

一方、本橋の車道幅員は5.5mの片側1車線であり、大型車の通行も可能なことと、交通状況を鑑みて、上記の荷重のほかに、現行の道路橋示方書に規定されているB活荷重橋を想定して解析を行った。

B活荷重 $p1, p2$ は、死荷重と同様に縦桁の反力の影響線を用いて荷重分配した。なお、衝撃係数については、B活荷重にのみ考慮している。また、B活荷重については、活荷重倍率 α を1~5倍まで変化させた。これらの算定結果を表-1にまとめて示す。次に、本橋のようなプラットトラスの斜材では、引張応力が支配的となることから腐食による断面欠損の影響が大きいと考えられる。そこで、本研究では端斜材の部材力の影響線を用いて、端斜材に最も不利になるように主荷重強度 $p1^*, p2^*, w^*$ を載荷した。

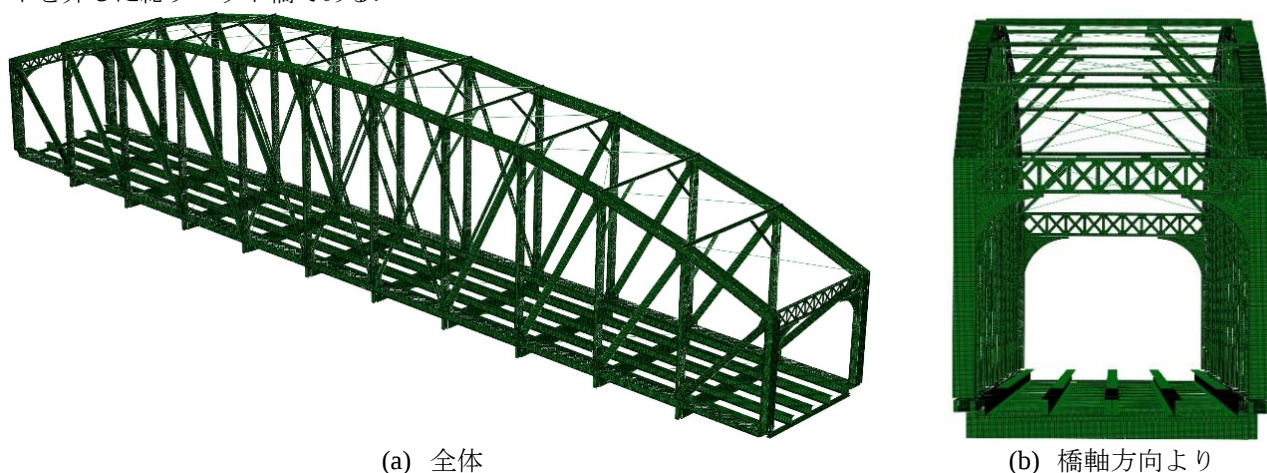


図-1 全橋解析モデル

3.2 解析モデルと解析条件

本解析モデルでは、タイロッド以外の構造部材全てに4節点シェル要素を用いており、各シェル要素の寸法は最大で50mm×50mmである。また、タイロッドは2節点はり要素を用いており、1要素の長さは100mmとした。

また、本解析では、RC床版のモデル化はしていない。これは、トラス橋のRC床版が元々主荷重を負担する部材ではないことに加え、一定間隔で設けられた目地によりRC床版が不連続となっていることによる。

本橋の部材はリベット接合によって構成されているが、橋梁全体のリベット1つ1つを表現することは困難である。そのため本解析モデルでは、リベット接合部の剛性が極めて高く、固定支持に近い挙動を示すことから、接合箇所に対してメッシュ結合拘束を適用して、組合せ部材や格点部でのガセット接合を表現した。

材料特性値として、弾性係数 $E=210$ [GPa]、降伏応力 $\sigma_y=245$ [MPa]、ポアソン比 $\nu=0.3$ を仮定した。応力-ひずみ関係は完全弾塑性である。本解析モデルの境界条件は単純支持としたが、縦桁両端部は橋脚に固定されているため、回転は許容していない。

4. 解析結果の考察とモデル化の課題

荷重条件に応じて端斜材に生じた最大Mises応力と、降伏安全率を表-2に示す。本結果から、本橋は耐力的な余裕分を十分にもって設計されていたことが分かる。

$\alpha=2, 3$ のモデルでは、主構部材の全断面降伏は確認できなかったが、 $\alpha=4, 5$ のモデルでは、部材の全断面降伏が生じた。 $\alpha=4, 5$ のモデルから、全断面降伏が生じたときの α を参照すると $\alpha=3.9$ 程度であった。しかし、今回の解析では、床桁の全断面降伏が先行し終局を迎えた。この理由として考えられる原因を以下に示す。

まず1つ目に、本解析モデルの床桁の強度や剛性が低かった可能性がある。本解析モデルを作成する上で、床組の断面寸法を記載した資料はほとんど無く、点検時に撮影された写真を基に推測した仮定値を用いている。このことから、全橋解析によって鋼トラス橋全体の耐荷力を精度良く推定するためには、主構造部材のみならず、床組などの2次部材についても、実測結果に基づき適切にモデル化することが望ましい。

2つ目の理由としては、死荷重を解析モデルに外力として作用させたために、床桁の負担が本来よりも大きくなっていることが考えられる。そのため、死荷重を外力として作用させた場合と、物体力として解析モデル全体に作用させた場合とで、終局状態にどの程度影響が出てくるか比較する必要がある。

3つ目の理由としては、腹材に生じた二次応力の存在が考えられる。床桁の変形に伴って腹材は下弦材を起点と

表-1 各縦桁に載荷した活荷重 (kN/m)

	w^*	設計当時の 推定活荷重	B活荷重	
			$p1^*$	$p2^*$
端縦桁	8.69	3.03	$10.13 \times \alpha$	$2.96 \times \alpha$
中間縦桁	12.96	6.06	$20.26 \times \alpha$	$5.91 \times \alpha$

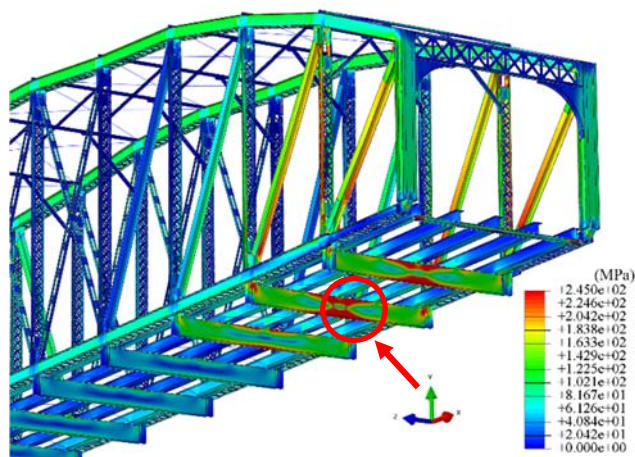


図-2 全断面降伏が生じた床桁

表-2 端斜材に生じた最大Mises応力(MPa)と降伏安全率

	死荷重 のみ	設計当時の 推定活荷重	B活荷重 ($\alpha=1$)
最大 Mises 応力	57	82	114
降伏安全率	4.3	3.0	2.1

した曲げを受けるため、腹材を構成している部材の外面に圧縮、内面に引張の二次応力が発生する。本橋において引張力を負担する斜材では、斜材外面に生じた圧縮力が引張力を減少させるため、降伏が遅れる。逆に鉛直材では、内面の圧縮力が減少する。

上記の3つの要因が、腹材ではなく床桁の降伏が先行して終局を迎えた原因であると考えられる。

5. おわりに

本解析の結果、本橋の端斜材における降伏安全率は、死荷重に対しては4.3、設計当時の推定活荷重に対しては3.0、現行B活荷重に対しては2.1と推定された。

端斜材に最も不利な状態で活荷重倍率 α を増加させた場合、 $\alpha=3.9$ で終局に至ったが、床桁の全断面降伏が先行して崩壊した。その原因として、床桁の断面寸法に関する資料が乏しく、実際よりも小さい断面諸量を仮定した可能性が高いこと、死荷重を外力として与えたため床桁の負担が大きくなったこと、腹材に生じた2次応力により腹材の全断面降伏が遅れたことが考えられる。

【参考文献】

- 1) 佐竹亮一, 井上太郎, 藤井堅: 構造全体からみた鋼橋の保有強度に関する一考察, 土木学会第69回年次学術講演会講演概要集, I-615, pp.1229-1230, 2014.6.