

高齢化した鋼プラットラス橋の実橋載荷試験と橋梁全体の FEM 解析

愛媛大学大学院

学生会員 ○山根 達郎

株式会社横河ブリッジ

正会員

福田 洋顕

徳山工業高等専門学校

正会員

海田 辰将

広島大学大学院

フェロー会員

藤井 堅

1. はじめに

高齢化した鋼トラス橋では、格点部や部材どうしの接合部等に深刻な腐食が発生しやすく、損傷状況や耐用年数、および実際の交通状況等に応じて、合理的な維持管理を行うことが求められる。また、維持管理のために FEM を用いて耐荷力評価を行う場合には、部材レベルで強度を評価するよりも、橋梁全体で耐荷力を評価する方が合理的と考えられ、定期点検や詳細調査を行う際の重点項目の選定や補修すべき部材の優先順位や補修レベルの判断等にも有用な情報を与える。

一方、鋼トラス橋の全橋解析モデルでは、格点部を剛結した骨組モデルが多く用いられているが、腐食表面形状や減肉の影響をある程度考慮できるようになかたちで、全橋解析モデルを構築した研究事例は乏しい¹⁾。また、解析方法や腐食損傷のモデル化には多くの仮定が導入されるため、載荷試験との比較により解析結果の妥当性を検証し、解析上の仮定を踏まえた結果の信頼性について、基礎データを蓄積することが望ましい。

そこで、本研究では橋齢 97 年の鋼プラットラス橋の全橋解析モデルを構築するとともに、本橋の実橋載荷試験を行い、主構に生じる活荷重応力およびたわみについて両結果を比較することで、解析モデルの妥当性を検証する。

2. 対象橋梁の概要

本解析で対象とする鋼プラットラス橋(主径間)を写真-1 に示す。本橋は広島県内の山間部で供用中の鋼 2 径間単純曲弦プラットラス橋であり、主径間は、径間長 51.00m、支間長 50.19m、有効幅員 5.5m である。主構の構成部材は主に溝形鋼 2 本の両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。



写真-1 対象橋梁の概観

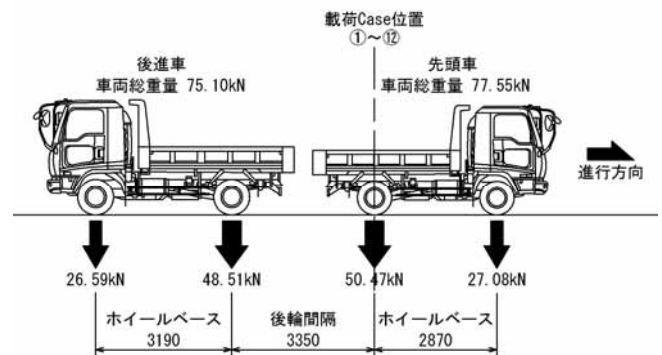


図-2 トラックの軸重と配置状況

3. 実橋載荷試験

本研究では、軸重調整を行った試験車両を用いて静的載荷試験を実施し、主構および床組部材のひずみと下弦材付近格点部での鉛直たわみを計測した。実橋載荷試験における荷重条件を図-2 に示す。載荷には、車両総重量をおよそ 80kN に調整したダンプトラックを 2 台使用し、軸重の大きい後輪同士を直列に向かい合わせて載荷することで、より集中的に大きな負荷がかかるように配置した。荷重位置は、先頭車両の後輪を基準として図-3 に示すように鉛直材がある格点部 1~12 である。

本実験では V9 付近の部材に着目してひずみゲージを設置しているため、格点部 7~10 の間ではその中間位置にも車両を静止させ、細かいピッチで計測を

キーワード プラットラス, 腐食, 耐荷力, FEM, 実橋載荷試験

連絡先 〒745-8585 山口県周南市学園台 徳山高専土木建築工学科

T E L 0834-29-6331

行った。試験車両は、下流側の V9 に腐食損傷が集中していることから、下流側の車線に偏載荷した。

図-4 に、ひずみと鉛直たわみの計測位置を示す。ひずみゲージは、図-5 に示すように、1 つの断面につき 4 箇所（上弦材のみ 3 箇所）に貼り付け、補修部位については当て板に生じるひずみも計測した。鉛直たわみについては、鉛直材下部の格点部付近にターゲットを貼り付け、載荷前後における鉛直方向の変位量を本橋に隣接している歩道橋からトータルステーションで計測する方法によって求めた。

4．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 6.14-5 を用いて、シェル要素により本橋の橋梁全体の解析モデルを構築し、複合非線形解析を実施した。図-6 に解析モデルを示す。ここで、溝状腐食や断面欠損、孔食などの腐食形態の特徴や部材の局部座屈を表現可能にするために、要素分割は 50mm~100mm 程度で部位ごとに設定した。また、本橋鋼材の材料特性は不明であるため、弾性係数 $E=210[\text{GPa}]$ 、降伏応力 $\sigma_y=245[\text{MPa}]$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ を仮定し、応力 - ひずみ関係は完全弾塑性とした。本解析モデルの境界条件は、支承部は単純支持とし、縦桁の端部は両端ともに回転を固定している。

本橋の部材は複数の形鋼をレーシングバーやタイプレートを通してリベット接合することで構成されているが、これらのリベット 1 つ 1 つを解析モデル上で表現することは困難であるため、リベット接合されている部分については、接合面の節点同士の自由度を互いに拘束することで表現した。

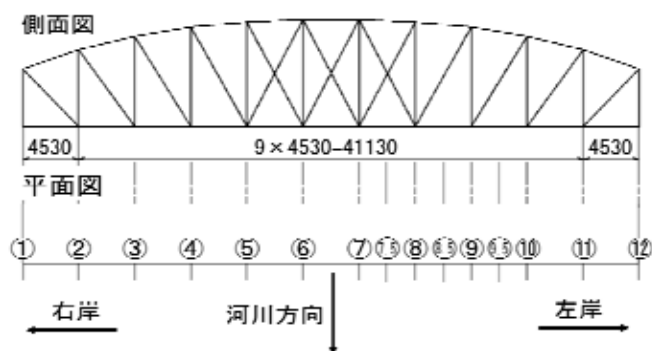


図-3 荷重載荷位置

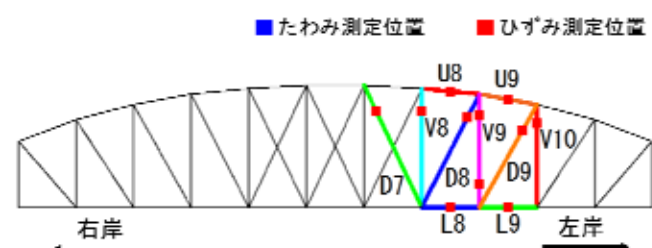


図-4 ひずみと鉛直たわみの計測位置（下流側断面）

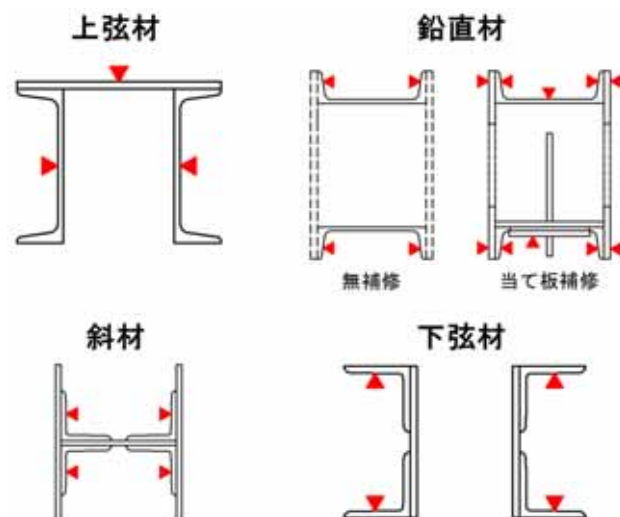


図-5 主構部材ひずみ計測位置

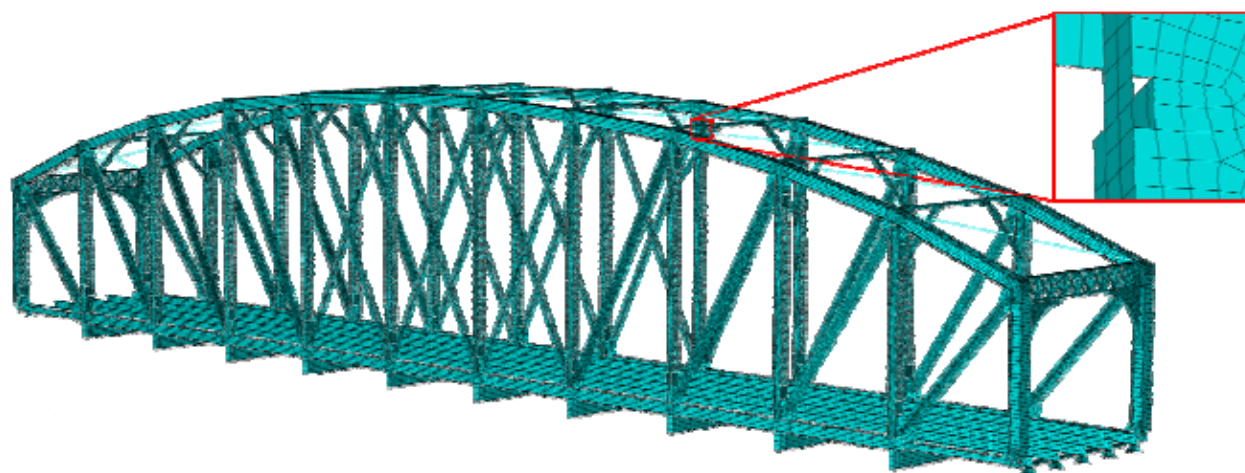


図-6 解析モデル

腐食損傷については、欠損箇所は図-6 に示すようにその部分の要素を消去することで、減肉箇所はその部分の要素の板厚を減らすことでモデル化した。また、減肉箇所については、その箇所の最小板厚をその範囲全体に適用した。ここで、幾つかの鉛直材には過去に当て板補修が施されているが、活荷重に対しては有効に働くと想定し、補修部を無視して健全な断面のままモデル化している。

RC 床版は、本来トラス橋の主構造部材ではないことや、鉄筋量や縦桁との合成などの不明な点が多いため、RC 床版の耐荷力に期待することは危険側の判断となりうることから、モデル化はしていない。

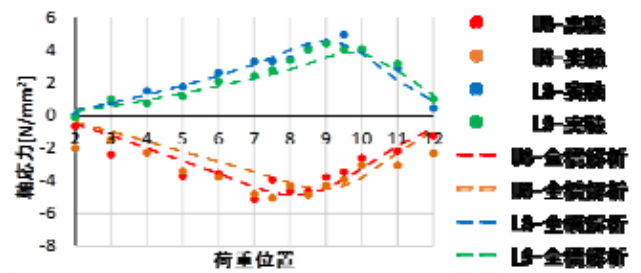
作用させる活荷重については、実橋載荷試験と同様に 8t 車×2 台を想定し、実橋載荷試験に用いた実際の車両の軸重と橋面上の車両位置に基づき、その軸重を縦桁の反力の影響線を用いて縦桁上に作用させた。また、実橋載荷試験では活荷重のみを計測しているため、本解析では死荷重を考慮していない。

5. 実験結果と解析結果の比較

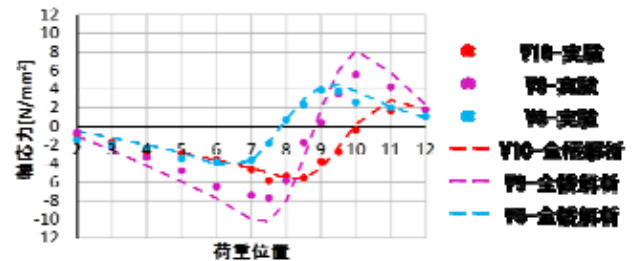
図-7 に、弦材および腹材に発生した軸応力について、実験結果と解析結果を併せて示す。実験結果の軸応力は、同一断面におけるひずみの平均値から求めた。解析結果もこれに併せて求めた軸応力（活荷重応力のみ）の平均値である。図から、各部材の応力状態は、実験値と解析値の差異が概ね $\pm 1\text{MPa}$ 程度であり、よく一致しており、補修部についても健全な断面を仮定してモデル化しても概ね問題ないように思われる。また、8t 車×2 台の活荷重によって部材に生じる活荷重応力は最大でも $\pm 10\text{MPa}$ 程度であった。なお、死荷重のみを考慮した解析からは、本橋の最大死荷重応力はおよそ -40MPa （スパン中央上弦材）と推定され、活荷重応力と合算しても部材の作用圧縮応力としては最大 50MPa 程度と推定される。

各載荷位置における格点部のたわみの推移を図-8 に示す。図中のたわみは、プロットが計測した実験値、実線が解析によって求めた格点部のたわみである。実験結果については、支承直上においてわずかに鉛直変位が生じていたため、これを測定誤差と考え、この鉛直変位を支承位置からの距離に応じてそれぞれの鉛直変位に比例配分することで補正した。

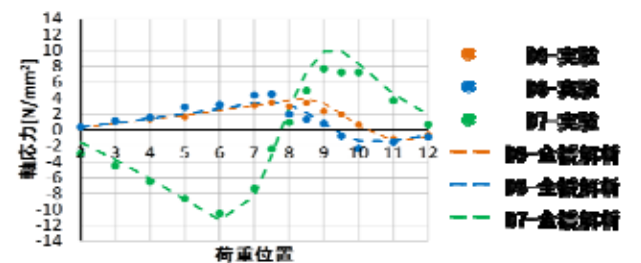
図-8 より、全体的に橋端付近では実験結果と解析



(a)上下弦材



(b)鉛直材



(c)斜材

図-7 主構部材の軸応力-載荷位置

結果は比較的よく一致しているものの、スパン中央付近の格点 6~10 の間では、実験値よりも解析値の方が 1mm 程度大きくなっていることが分かる。これは、解析モデルでは支承部の回転を自由に行っていることに対し、実際の橋梁では長年の供用に伴い支承部が固着し回転しにくくなっていたことが考えられるほか、トータルステーションを設置していた歩道橋の揺れが測定誤差として影響したためと考えられる。

しかし、たわみの全体的な傾向としては概ね実験値と解析値が対応していると判断できる。ここで、全体的な荷重 - たわみ曲線が両端固定に近い挙動を示しており、実際も縦桁の端部が橋脚に固定されていることから、支承部の境界条件としては単純支持よりも固定支持に近い状態であると推定される。

以上のことから、本解析モデルの軸応力およびたわみの結果は概ね実現象に則しており、耐荷力評価を行う際の解析モデルとしての妥当性が確認できた。

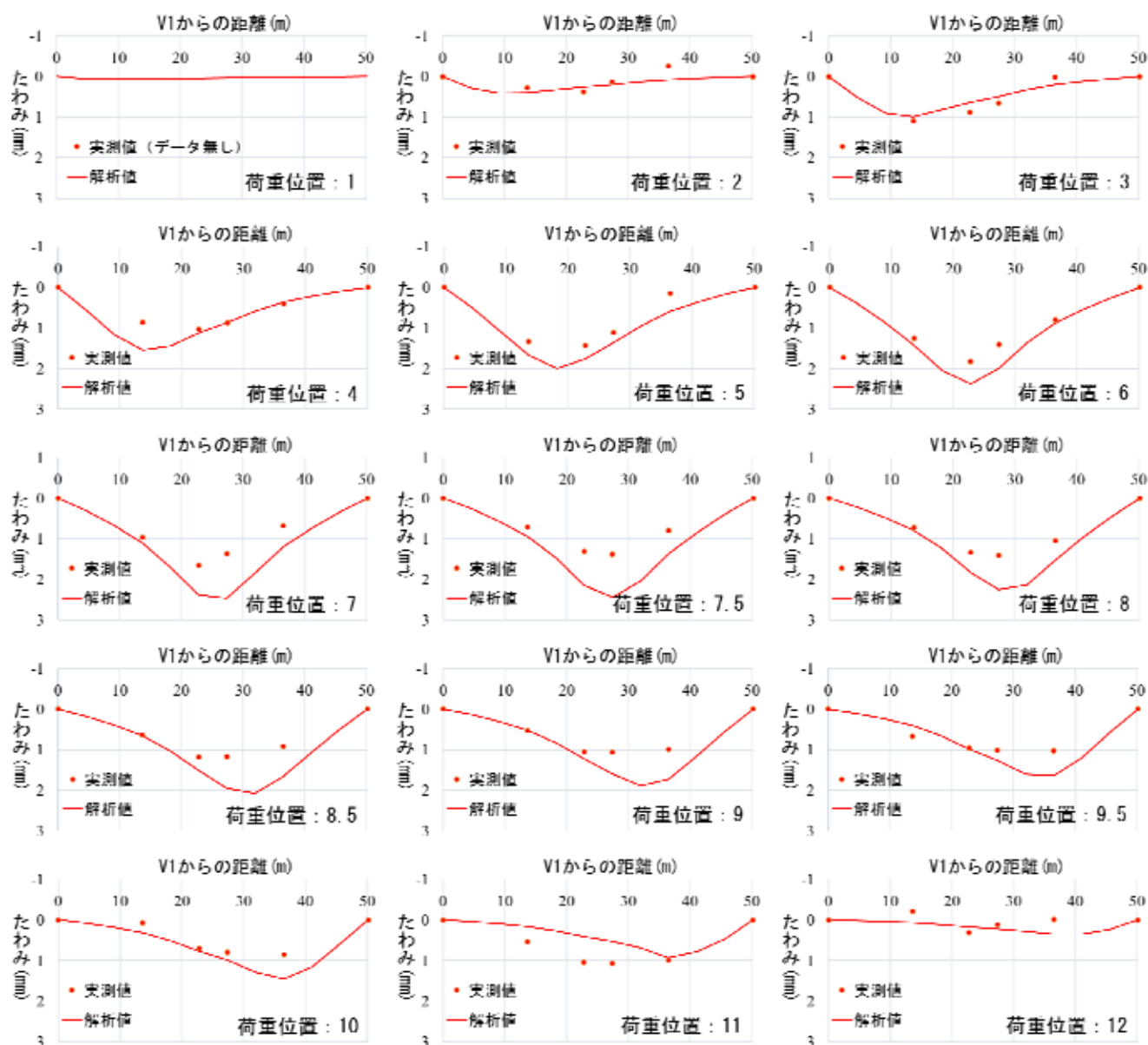


図-8 荷重位置ごとのたわみの推移

6. おわりに

本研究では、高齢化した鋼プラットラス橋の主構全体をシェル要素によってモデル化した。8t 車 2 台を用いた実橋載荷試験の結果との比較から、本解析モデルの軸応力およびたわみの結果は概ね実現象に則しており、解析モデルの妥当性が確認できた。

参考文献

- 1) 山根達郎，福田洋顕，原考志，佐竹亮一，海田辰将，藤井堅：高齢化した鋼プラットラス橋の橋梁全体の残存耐荷力に関する解析的研究，第69回土木学会中国支部研究発表会発表概要集，pp.29-30(I-16)，2017.5.

謝辞

本研究は、土木学会中国支部 高齢化したインフラ構造物の維持補修技術検討委員会および構造物の維持補修技術研究会（RAMS）を中心とした産官学連携による成果の一部であり、本橋の現地調査や設計図書については広島県から多くのご協力を頂いた。ここに記して関係各位に感謝致します。