

特集：道路橋保全の新たな取組み ～臨床研究を中心として～

腐食劣化の生じた鋼トラス橋の現地載荷試験と耐荷性能評価

村越 潤* 遠山直樹** 澤田 守*** 有村健太郎****

1. はじめに

高度経済成長期に建設された膨大な道路橋ストックの高齢化が急速に進む中で、近年、鋼トラス橋において主構部材の重大損傷が報告されている。平成19年には直轄の鋼トラス橋において、コンクリート部材に埋込まれた鋼製の斜材が腐食により破断する事故が相次いで発生している。このようなトラスやアーチのような橋梁形式の場合、主構部材の損傷が橋全体系の安全性に与える影響は大きく、一部材の破断が落橋等の致命的な損傷につながるおそれがある。このため、このような損傷を有する橋梁の安全性を確保し、橋全体系の耐荷性能を適切に評価するための調査・診断技術が求められている。一方では、鋼橋に限らず、著しい劣化の生じた部材の残存耐荷性能やそれらを含む橋全体系の耐荷性能に関する調査研究事例は少ないのが実状である。

このような背景から、構造物メンテナンス研究センターでは、長期供用され劣化損傷の見られる実橋の状態を探る取組みを臨床研究と称して、撤去橋梁・部材を活用した各種の調査研究を進めている。こうした臨床研究の一環として、著しい腐食劣化の生じた鋼トラス橋を対象に、部材および構造全体系の耐荷性能評価手法について検討を行っている(図-1)。

本文では、平成21年度に撤去された鋼トラス

橋を対象として、撤去前に実施した現地載荷試験の結果と構造解析による耐荷性能の検討結果について報告する¹⁾。

2. 対象橋梁の概要

対象とした橋梁は、利根川河口部に架かる橋長約1.2kmの橋梁のうち、鋼5径間連続下路式トラス橋部分(橋長407m)であり、昭和37年に建設された(図-2, 図-4)。厳しい塩害環境に位置しており、床組、上下横構、トラス格点部周辺に著しい腐食欠損が生じ、過去に部材補強や横構の部材取替が行われたが、平成21年度に新橋の供用開始に合わせて撤去された。図-3にトラス格点部の外観を示す。超厚膜フッ素系塗装に塗替えられているため、外観では腐食程度は判断できないが、格点部のガセットと斜材の境界部等に局所的に腐食が進行している状況がうかがえる。トラス格点部は、構造的には主構部材と格点部間の二次応力や断面急変に伴う応力集中が発生する部位であるため、腐食欠損と相まって構造上の弱点となる可能性があり注意が必要と考えられる。

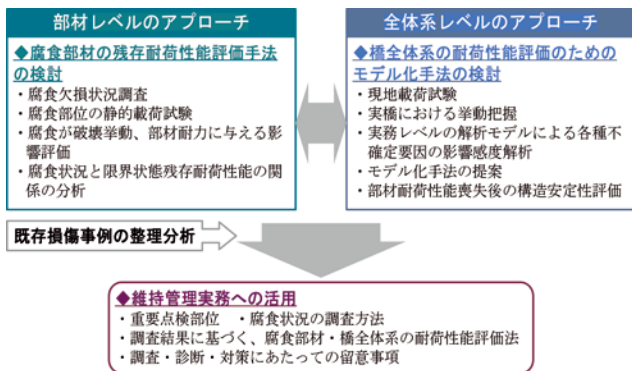


図-1 研究の概要



図-2 撤去前の対象橋梁(手前)と新橋(奥)



(a)上弦材格点部 (b)下弦材格点部

図-3 トラス格点部の腐食損傷

Field loading test and Loading-Capacity evaluation of a seriously corroded steel-truss bridge

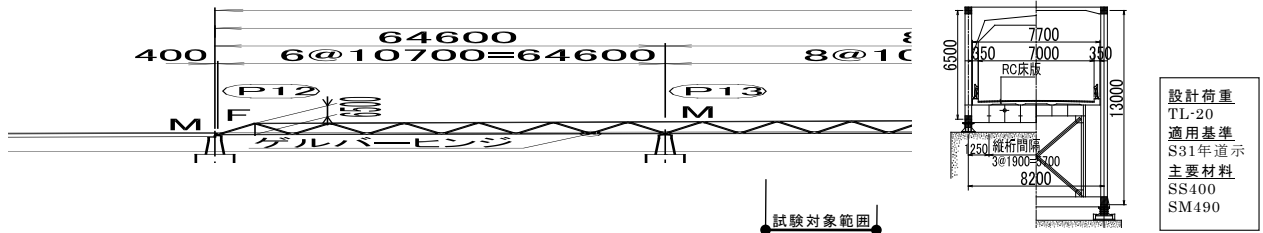


図-4 全体一般図



図-5 荷重車載荷の状況

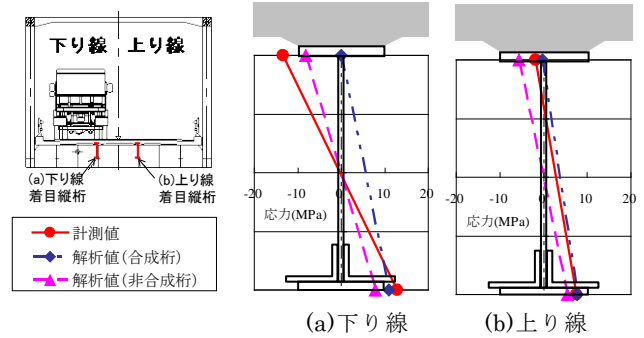


図-6 縦桁フランジ応力の比較

3. 載荷試験

3.1 試験方法

主にP16～P17 径間（ゲルバー径間）において、荷重車による載荷試験を実施した。載荷試験では、全体挙動を把握する観点から主構部材、床組のひずみ、変位の計測を、構造上弱点となる可能性のあるトラス格点部の挙動を把握する観点から、ガセット及び斜材取付け部のひずみの計測（計測箇所は計356箇所）を行った。総重量20tonfに調整したダンプトラックを用いて、着目主構格点位置に直列2台、並列2台載荷する格点載荷（図-5）と、各車線上に1mピッチで荷重車1台を移動させながら載荷する影響線載荷を実施した。

3.2 FEMによる再現解析

載荷試験と併せて、弾性3次元FEM解析による再現解析を行い実測値との比較を行った。弾性微小変形解析とし、解析モデルは主構、床組及び横構にはり要素を、床版にシェル要素を用いた立体解析モデルとした。トラス格点部については主構面内・面外ともに剛結合とした。なお、部材の補修履歴は解析モデルに反映したが、腐食欠損の影響は考慮していない。

3.3 試験結果

3.3.1 床組の挙動

図-6 に下り車線の影響線載荷時における、支間中央付近の縦桁の応力について実測値と解析値（床版と縦桁間を合成または非合成と仮定）の比

較結果を示す。床版と縦桁間はスラブ止め鉄筋で接合されており、既設橋では一般に合成挙動を示す事例も多いが、下り線側においては合成と非合成の中間的な挙動が見られた。本橋撤去後の調査によれば、ほとんどの縦桁で上フランジ全面に腐食劣化が見られており、床版コンクリートとの付着が喪失された状態であったものと推測される。

なお、詳細は省略するが、主構部材が未破断の状況では、合成または非合成の仮定による各主構部材の断面力の違いは小さく、床版の接合条件が全体挙動に与える影響は小さかった。

3.3.2 主構部材の挙動

図-7 に下り車線の影響線載荷時における、3主構部材（上弦材、斜材、下弦材）の軸方向応力について計測値と解析値（床版と縦桁間を非合成と仮定）の比較結果を示す。計測値と解析値は比較的良く一致している。また、図-8に格点載荷ケースに対する主構部材の軸方向応力の計測値と解析値の関係を示すが、概ね一致しており、トラス主構部材の主たる断面力である軸方向力に対しては、前述の解析モデルにより活荷重載荷時の応答を適切に再現できることがわかる。なお、斜材については、軸方向応力の他にトラス格点部取付け部の面内・面外曲げ応力の計測を行っており、軸方向応力に対して面内で約10%、面外で約30%（車線側が引張）の曲げ応力が発生している。当該部位が腐食欠損の著しい部位であることを踏まえると、耐荷性能の評価に際して、これらの二次応力

や腐食欠損に伴う応力集中といった不確実な要因を適切に考慮することが重要と考えられる。

4. 橋全体系の耐荷性能に関する検討

主構部材に著しい断面欠損及び破断が生じた状態を想定して、それらの事象が構造全体系の耐荷性能に与える影響について、前章で示した弾性3次元FEM解析（ただし、床版と縦桁間の接合は合成と仮定）により検討した。

4.1 主構部材の断面欠損が耐荷性能に与える影響

解析ケースは、①健全時、②1斜材のみ腐食した場合（腐食大、腐食小の2ケース）、③斜材の片側主構が全て腐食した場合、④斜材の両側主構が全て腐食した場合の5ケースとした。腐食は着目斜材が全長にわたり一様に断面減少するものと仮定した。図-9に健全時に対する部材の応答値を示す。いずれの腐食パターンについても軸方向力の变化は小さく、腐食による断面欠損が各主構部材の断面力分担に与える影響は小さいと言える。一方、応力については当然ながら断面積の減少に応じた増加が生じており、不均一な腐食による応力集中の影響を含め、格点部及びその周辺の限界状態、残存耐荷性能を検討していく必要がある。

4.2 主構部材の破断が耐荷性能に与える影響

鋼トラス橋の斜材破断を例に、死荷重時を想定して、一主構部材が破断した場合のその他の主構部材の状態について検討した。弾性解析を適用しているため、塑性後の剛性変化による断面力再分配や、他部材の連鎖的な破壊などの挙動は評価困難であるが、変形が微小な場合には、各部の状態の相対的な厳しさは表現できるものと考えた。

図-10に解析結果を示す。横軸は、色分けした各主構部材の健全時における許容値に対する設計応力の比率を示している。縦軸は、各主構部材が破断した場合の、他の主構部材における許容値に対する作用応力の比率を示している。例えば、本橋の場合、支間中央付近の斜材では健全時に負担している断面力が小さく、下弦材では床版・縦桁が断面力を負担するため、仮に破断しても他部材が断面力を負担しつつ不安定な状態には至らないことを示している。一方、上弦材や支点付近の斜材が破断した場合には、近接する他部材の断面力が著しく増加し、構造として成立しない状態になることを表している。ただし、あくまでも弾性解

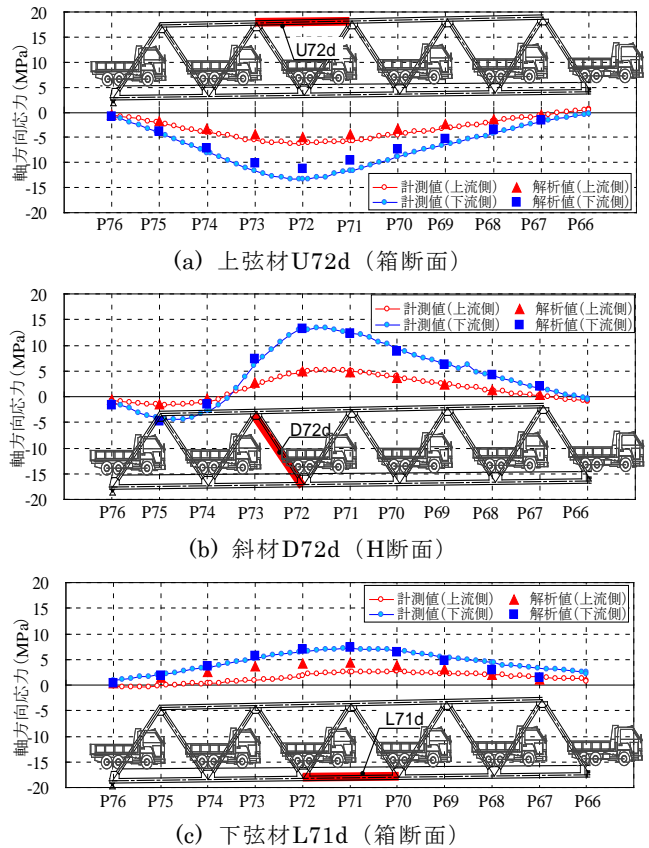


図-7 荷重車影響線載荷時の主構部材の応力

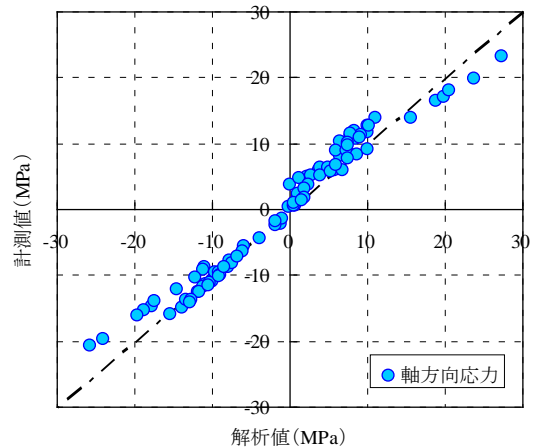


図-8 軸方向応力の解析値と実測値の関係

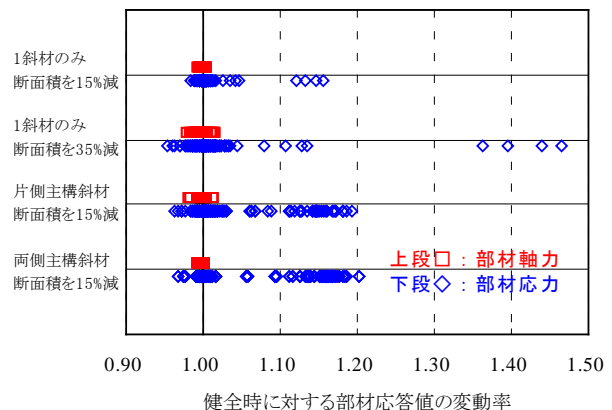


図-9 部材の腐食の影響

析であり、本橋（ゲルバー径間部）のように、静定トラスとして設計している場合、実務的にはいずれの主構部材の破断も致命的な状態に至る可能性があると考えて対応することが必要であるが、各主構部材の構造的な余裕を把握する上で参考になるものと考えられる。なお、健全時に許容値を超過し、その度合いにもばらつきが生じることは、建設当時に比べ設計活荷重が増大している一方で、部材毎に断面力の負担が異なるためである。

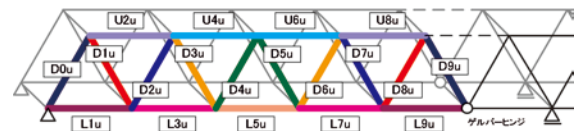
5. まとめ

著しい腐食劣化の生じた既設鋼トラス橋を対象として、現地載荷試験による挙動計測を行うとともに構造解析による耐荷性能の検討を実施した。

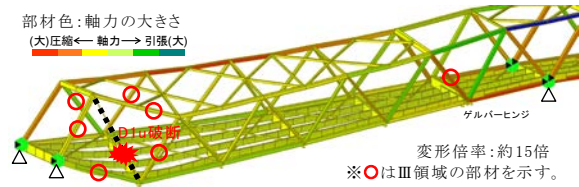
主構部材の軸方向応力による挙動に関しては、はり要素を主体とした弾性3次元FEM解析により概ね再現できること、主構部材が破断していない状況では、腐食欠損の状況が各主構部材の断面力分担に及ぼす影響は小さいことがわかった。また、トラス格点部斜材取付け部では、活荷重載荷時に主構部材に面内・面外曲げ応力が発生しており、かつ腐食劣化の厳しい状況であることから、これらの部位の残存耐荷性能の評価にあたっては、二次応力や腐食損傷の影響を適切に評価することが重要と考えられる。

現在、撤去されたトラス格点部を対象とした耐荷力試験を準備中であり、同部位の限界状態や残存耐荷性能について引き続き検討していく予定である。

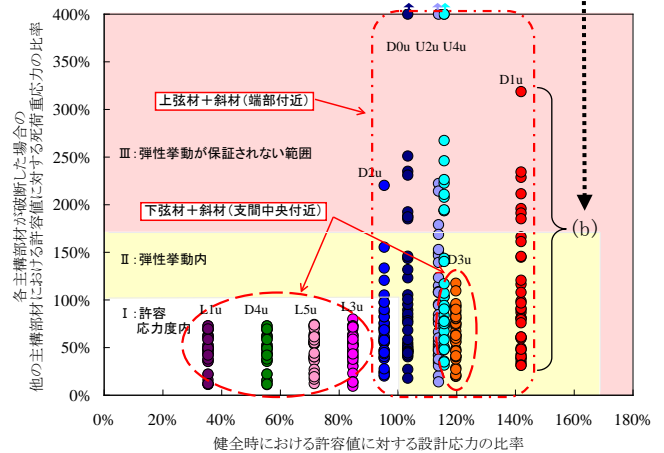
なお、本研究では早稲田大学（依田照彦教授）、首都大学東京（野上邦栄教授）と、共同研究「腐食劣化の生じた橋梁部材の耐荷性能の評価手法に関する研究」（平成21年度～）を実施している。



(a) 破断させる部材



(b) D1u破断時の変形状況の例



(c) 主構部材破断時の応力状態の評価結果

図-10 各主構部材の状態の評価例

謝 辞

現地載荷試験に協力頂いた千葉県銚子整備事務所には深くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 有村健太郎、村越潤、梁取直樹、澤田守、前田和裕、依田照彦、笠野英行、野上邦栄：腐食損傷の著しい鋼トラス橋における活荷重載荷時の挙動計測、土木学会第65回年次学術講演会講演概要集、pp.1067～1068、2010

村越 潤*



独立行政法人土木研究所
構造物メンテナンス研究
センター橋梁構造研究
グループ 上席研究員
Jun MURAKOSHI

遠山直樹**



独立行政法人土木研究所
構造物メンテナンス研究
センター橋梁構造研究
グループ 主任研究員
Naoki TOYAMA

澤田 守***



独立行政法人土木研究所
構造物メンテナンス研究
センター橋梁構造研究
グループ 研究員
Mamoru SAWADA

有村健太郎****



独立行政法人土木研究所
構造物メンテナンス研究
センター橋梁構造研究
グループ 交流研究員
Kentaro ARIMURA