

第 I 部門

腐食損傷鋼板桁橋の構造システム挙動を考慮し
補修対象主桁をパラメータとした耐荷性能の回復効果

大阪市立大学工学部 学生員 ○大浦 涼雅 (株) オリエンタルコンサルタンツ 正会員 有村 健太郎
大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司

1. はじめに

日本では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、これらの構造物の老朽化が大きな社会問題となっている。老朽化した鋼橋の劣化の要因は主に腐食と疲労であり¹⁾、予算や人手不足の深刻化が懸念されることから、迅速かつ合理的な補修法が求められている。また、橋梁の構成部材は、独立して挙動するのではなく、一つの構造システムとして相互に関係して挙動する（以下、構造システム挙動）。しかし、現行の補修設計では、部材を個別に取り扱うことが多い。

本研究では、桁端部に腐食損傷を有する鋼板桁橋の構造システム挙動を考慮した合理的な補修方法について、全橋 FEM 解析より解析的に検討した。

2. 解析モデル

対象橋梁は平成 6 年度版の土木構造物標準設計に記載される支間長 30m、幅員 9.5m の単純非合成鋼四主 I 桁橋である。解析モデルは図-1 に示すように汎用有限要素解析ソフト Abaqus/CAE2018 を使用した全橋 FEM 解析モデルである。床版及び主桁、横桁、補剛材、端対傾構上弦材は 4 節点低減積分シェル要素で、対傾構（端対傾構上弦材は除く）および横構は、はり要素で、ソールプレートは 8 節点ソリッド要素でそれぞれモデル化した。また、床版はその図心位置にシェル要素でモデル化した。なお、床版を除くシェル要素のサイズは 50mm×50mm を基本に分割をした。用いた材料構成則を表-1 に示す。

支承条件は、健全状態では可動および固定とするが、桁端部に腐食が見られる橋梁では支承部でも腐食が見られ、多くの場合、支承の機能が失われていることが多い²⁾。そこで、腐食状態ではピン支持（並進を固定）とし、境界条件をソールプレート下面に線状に与えた。想定する荷重は死荷重および B 活荷重（L 荷重）であり、死荷重は上部構造の全重量を床版全面に等分布荷重で、活荷重は G1 桁端に対して最も厳しくなるよう荷重分配係数

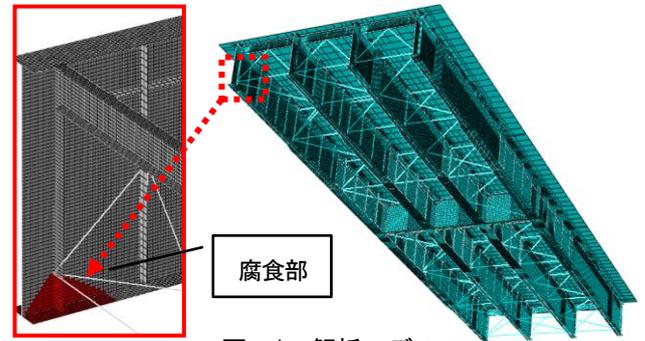
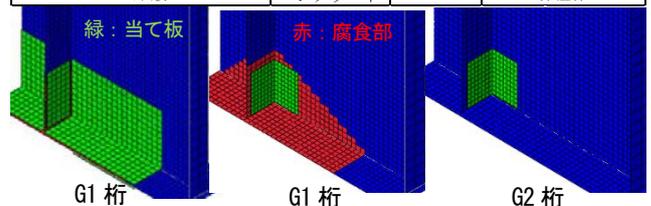


図-1 解析モデル

表-1 材料構成則

部位	材質	ヤング係数 E(GPa)	降伏点 σ_y (MPa)	ひずみ硬化 係数E'(MPa)
主桁ウェブ、フランジ及び当て板	SM490Y	200	355	E/100
ソールプレート	SS400	200		弾性体
その他の鋼部材	SS400	200	235	E/100
RC床版	コンクリート	25		弾性体



(a) 全面補修 (AR) (b) 部分補修 (PR-L-G1, PR-L-G1G2)

図-2 解析ケース

を算出し載荷範囲を決定した。

本解析では、設計荷重（死荷重+活荷重）に対する倍率によって耐荷性能を調べるため、設計荷重を弧長法で増分させた。設計荷重の増加量は荷重倍率 α を用いて表す。腐食桁は外桁（G1 桁）とし、腐食形状は文献 3) を参考に図-1 のような形状とし、減肉量は 50% とした。また、本研究では桁端部に腐食損傷を有する鋼板桁橋の補修方法による影響に着目するため、初期不整は考慮せずに検討した。

解析ケースは図-2 に示すように、腐食部全てを当て板補修した全面補修（AR）、腐食部の一部を補修した部分補修（PR-L-G1）、腐食桁と隣接する健全桁を補強した部分補修（PR-L-G1G2）の 3 ケースとした。部分補修に用いた山形鋼の断面は、支点上補剛材側の断面積が腐食により減少した支点上補剛材の断面以上となるよう 130×130×12mm の山形鋼とし、ウェブの両面に設置した。

3. 解析結果と考察

各ケースの最大荷重倍率を表-2 に示す。ここで、回復率は健全時の最大荷重倍率に対する割合とし、補修率は腐食面積に対する当て板接触面積の割合としている。表-2 の(c)より、隣接する健全桁を補強することで、27%の補修率で84%の回復率となった。AR では、腐食部全てを覆うよう補修したが、結果としてG2G3 桁の鉛直変位が大きくなり回復率は90%となった。すなわち、AR のように腐食桁を広範囲に補修するよりも、構造システム挙動を考慮することで、少ない補修量で最大耐力を回復できる可能性がある。

図-3 に支点反力/設計耐力と鉛直変位の関係を示す。ここで、設計耐力は道路橋示方書⁴⁾に従って、支点上補剛材とウェブからなる十字柱から算出される許容軸圧縮応力度に十字柱の断面積および安全率 1.7 を乗じて求めた。特性値は、降伏点の低い支点上補剛材 (SS400) の値を用いた。図-3 より AR では補修した G1 桁の支点反力が大きくなるが、G2G3 桁で最大耐力が決定されたことがわかる。一方、PR-L-G1G2 では健全桁である G2 桁を補強したことにより G2 桁の支点反力が上昇し、最大耐力が回復できることがわかる。また、部分補修ケースでは設計耐力に到達するまでに腐食桁の剛性が低下した。

崩壊プロセスを表-3 に示す。腐食桁である G1 桁において AR ではウェブのせん断座屈、PR ではどちらも十字柱下端部で局部座屈が発生している。このことから、下フランジも補修することで斜張力場の形成に貢献し、剛性が回復すると考えられる。

図-4 に最大荷重倍率時の桁端鉛直変位分布を示す。橋梁定期点検要領⁵⁾の路面凹凸の損傷評価基準において、5段階の中で最も低い評価となる 20mm を桁端上面鉛直変位の許容値とする。図-4 より、AR の G2G3 桁が許容値を超えている。これは、PR-L-G1 では AR ほどの鉛直変位差が発生しておらず、桁同士の剛性差に起因すると考えられる。PR-L-G1G2 は健全桁の変位分布と類似しており、G2 桁も補強し、剛性差を緩和することで健全時に近い鉛直変位分布となっている。

表-2 最大荷重倍率のまとめ

解析ケース	$\alpha(D+L)$ 4G		補修率(%)
	最大荷重倍率 α	回復率(%)	
I	3.26	-	-
D-G1 L-G1	1.88	58%	-
D-G1 L-G1 AR	2.93	90%	196%
D-G1 L-G1 PR-L-G1	2.50	77%	18%
D-G1 L-G1 PR-L-G1G2	2.74	84%	27%

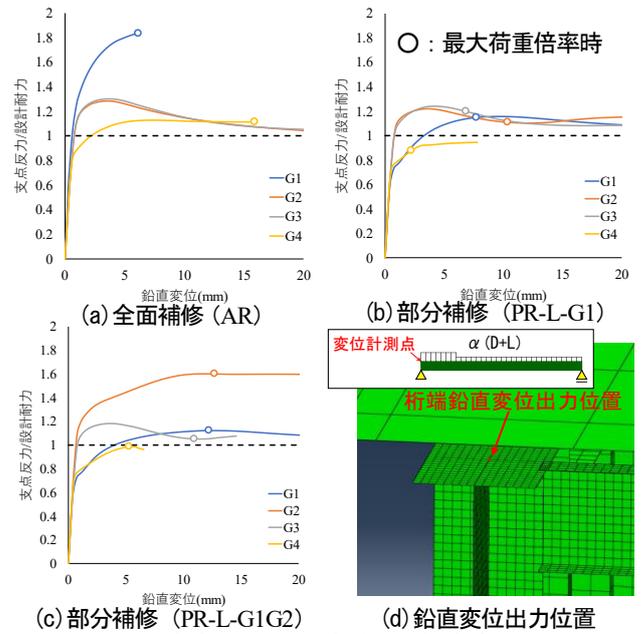


図-3 支点反力/設計耐力-鉛直変位関係

表-3 崩壊プロセス

解析ケース	桁	崩壊プロセス	崩壊モード
AR	G1	ウェブ-支点上補剛材→下フランジ	ウェブのせん断座屈
	G2G3		十字柱下端部の局部座屈
PR-L-G1	G1	下フランジ-ウェブ-支点上補剛材	十字柱下端部の局部座屈
	G2G3		
PR-L-G1G2	G1	下フランジ-ウェブ-支点上補剛材	十字柱下端部の局部座屈
	G2G3		

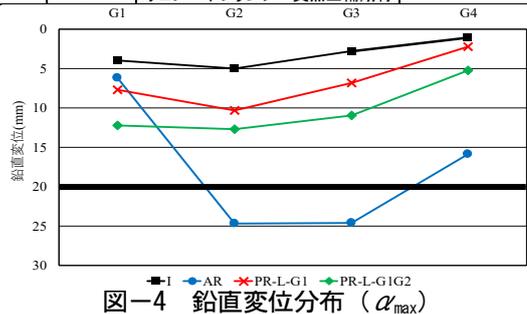


図-4 鉛直変位分布 (α_{max})

4. まとめ

本研究で得られた主な結果を以下に示す。

- 腐食桁と隣接する健全桁を部分補修することで、少ない補修量で最大耐力を回復させることができる。
- 崩壊プロセスは、補修対象桁によらず補修対象部位の違いによって異なる。
- 腐食桁を部分補修する他、隣接する健全桁も部分補修することで、健全時の桁端上面鉛直変位分布に近づく。

<参考文献>

- 玉越隆史, 大久保雅憲, 市川明広, 武田達也: 橋梁の架替に関する調査結果 (IV), 国土技術政策総合研究所資料, 第444号, 2008.4.
- 山村浩一, 出戸秀明, 岩崎正二: 支承機能低下が既設鋼合成I桁橋の応力に及ぼす影響度について, 構造工学論文集, Vol.56A, pp.701-709,2010.3.
- 玉越隆史, 中洲啓太, 石尾真理, 武田達也, 水津紀陽: 道路橋の局部腐食に関する調査研究, 国土技術政策総合研究所資料, 第294号, 2006.1.
- 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説II鋼橋編,2012.3
- 国土交通省道路局国道・防災課: 橋梁定期点検要領, 2014.6