

第 I 部門

鋼 I 桁端部ウェブの腐食範囲が当て板補修効果に及ぼす影響

大阪公立大学大学院 学生会員 ○井上 太詞

長岡技術科学大学大学院 正会員 林 巖

大阪公立大学大学院 正会員 山口 隆司

1. 研究背景および目的

鋼桁の腐食損傷のうち、桁端部の腐食の割合が多く、その補修方法として、高力ボルト摩擦当て板補修が広く用いられている。筆者らの研究グループでは、当て板補修の省力化を目指し、桁端の各部位に腐食が生じた場合の研究を進めてきた。本研究では、腐食形態に着目して、当て板補修効果への影響を解析的に検討する。具体的には、耐力低下が大きい腐食形態を対象に、同一形状の当て板補修を行った際の補修効果、崩壊プロセスを、弾塑性有限変位解析により比較する。

2. 研究手法

図-1 に示す、平成 6 年度版の土木構造物標準設計²⁾に記載されている単純プレートガーター橋を対象とする。解析には Abaqus/ Standard2023 を用いる。

解析モデルは、対称性を考慮し、支間中央までの 1/2 モデルとした。使用材料、材料構成則を表-1 に示す。使用要素は、8 節ソリッド要素とし、要素サイズは 20×20 mm を基本に、遷移区間を設けて、局部座屈が発生する桁端部下部は 3×3 mm とした。载荷条件は上フランジ上面に死荷重を均一に与えた後、載荷板上面に鉛直下向きに強制変位 25 mm を与えた。既往研究¹⁾より、腐食範囲が桁端まで及ぶ場合、耐荷性能が大きく低下することが報告されている。そこで本研究では、図-2 に示す、支点上補剛材両側と桁端側ウェブが腐食したケース(DMG1)と、支点上補剛材両側と両側のウェブが腐食したケース(DMG2)について検討を行う。腐食の進展が激しい状況を想定して、完全欠損とした。健全時と腐食時の最大荷重、降伏耐力、設計耐力を図-3 に示す。

3. 解析条件

図-4 に当て板の寸法、図-5 に当て板設置位置をそれぞれ示す。当て板補修は、施工性を考慮し、片側補修とし、径間側ウェブ、桁端側ウェブ、支点上補剛材を主に補修対象とした 3 ケースとした。また、補修モデルの接触条件は、当て板とウェブ、支点上補剛材、下フランジ、ワッシャーの境界面にそれぞれ導入し、摩擦係数はそれぞれ $\mu=0.5, 0.1, 0.1, 0.1$ と変化させた。ボルトは F10T, M22 を使用し、ボルト軸力は M22 高力ボルトの設計軸力である 205 kN を導入した。設計ボルト本数は、最大荷重の低下量が大きい DMG1 における十字柱断面内の有効断面の欠損量を基準に、当て板の断面

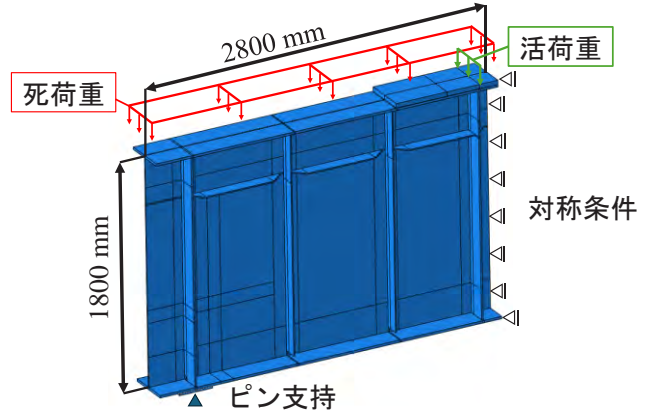


図-1 解析モデル

表-1 材料構成則

部位	材質	ヤング率 E(GPa)	降伏点 σ_y (MPa)	ひずみ硬化係数
ウェブ、フランジ、当て板	SM490Y	200	355	E/100
ソールプレート、載荷板	SS400	200		弾性体
その他の鋼部材	SS400	200	235	E/100

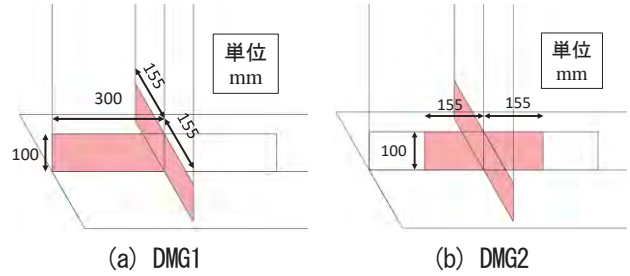


図-2 桁端部の腐食形態

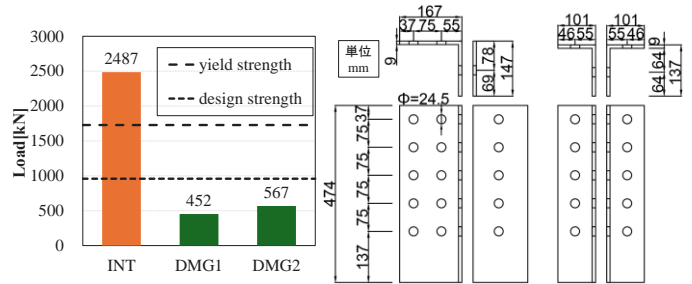


図-3 腐食時最大荷重

図-4 当て板寸法

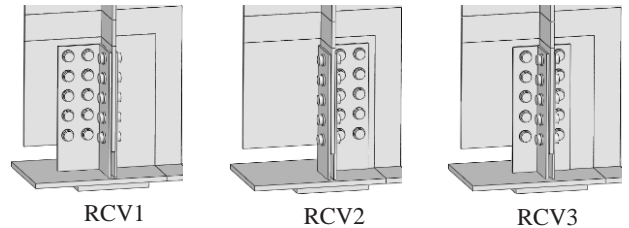


図-5 当て板箇所

積で荷重分担すると仮定して算出し、15 本とした。

4. 解析結果

図-6 に荷重-変位関係、図-7 に補修ケースの健全時に

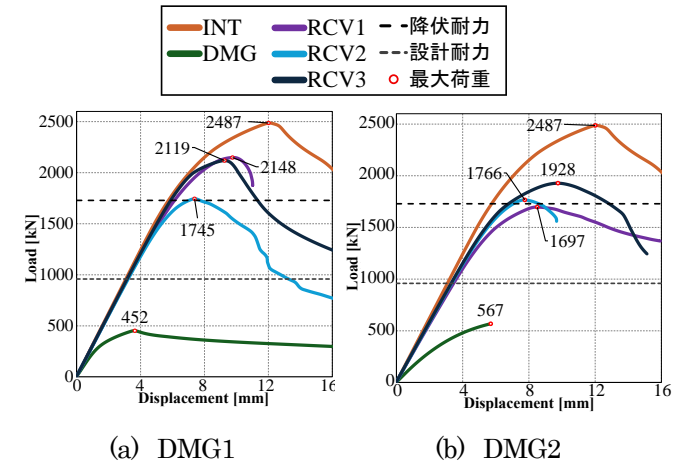
に対する補修時の最大荷重の回復率，図-9 に最大荷重時の Mises 応力コンター図を示す。

DMG1 に当て板補修を行ったケースの回復率は，70%～86%であり，RCV1 が最も補修効果が高かった。これは RCV2, RCV3 では，補修位置の違いから図心が橋軸方向に支承中心とずれることで曲げが付加され，桁端まで腐食範囲が広がっていることで図-8 に示すように下フランジの浮き上がりが発生し，当て板が局部座屈したためと考えられる。よって，浮き上がりが生じる桁端まで腐食が進行した場合には，橋軸方向の十字柱図心位置を支承位置と一致させる補修方法が有効と考えられる。崩壊プロセスは全ての DMG1 補修ケースで概ね同様であり，母材のウェブ-支点上補剛材交差部，当て板のアンクル材隅角部の順に降伏が開始し，RCV1 では径間側ウェブの局部座屈，RCV2, 3 では径間側ウェブのせん断座屈が生じ，その後，ウェブの十字柱の有効全断面降伏，当て板の純断面降伏が生じ，当て板の座屈を経て，最大荷重に至っていた。

DMG2 に当て板補修を行ったケースの回復率は，68%～78%であり，RCV3 が最も補修効果が高かった。これは DMG1 と同様に，RCV1, 2 では，橋軸方向の偏心が生じ，付加曲げの影響で RCV3 と比較し，最大荷重が低下したと考えられる。しかし，RCV1 と RCV2 を比較すると偏心量は同量であるにもかかわらず，RCV2 ではより高い回復効果が得られ，桁端側と径間側で荷重分担分布の差が影響していると考えられる。そのため，ウェブ腐食の範囲に応じて，橋軸方向の図心位置と反力が作用する支承線の位置を近づけるような当て板補修方法が効果的である。崩壊プロセスは，RCV1 では DMG1 補修ケースと概ね同様であり，ウェブの局部座屈は確認されなかった。RCV2, 3 では DMG1 補修ケースにおける崩壊プロセスに加え，当て板の純断面降伏前に径間側ウェブに設置された当て板の座屈が生じた。また，当て板補修により，桁の鉛直変形に対して支承近傍の当て板が抵抗し，結果として DMG1 補修ケースと比較して低い荷重レベルで当て板が座屈することになり，最大荷重が低下したと考えられる。また，DMG2 補修ケースでは DMG1 補修ケースに比べ，荷重に抵抗する十字柱の有効断面がより大きく欠損しているため，剛性が低下しており，同一荷重レベルにおける変形が大きくなっている。

5. まとめ

本研究では，鋼 I 桁端部の腐食損傷に対して当て板補修を行った際の腐食形態が耐荷性能，崩壊プロセスに及ぼす影響を解析的に検討した。得られた主な知見を以下に示す。



(a) DMG1 (b) DMG2

図-6 荷重-変位関係

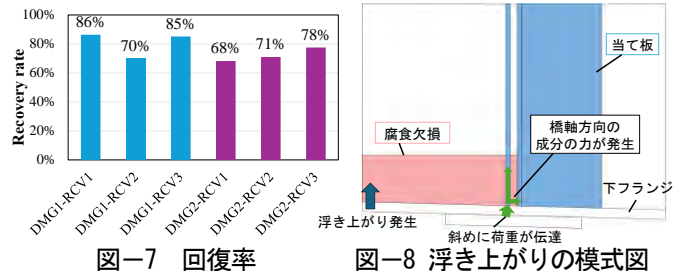


図-7 回復率

図-8 浮き上がりの模式図

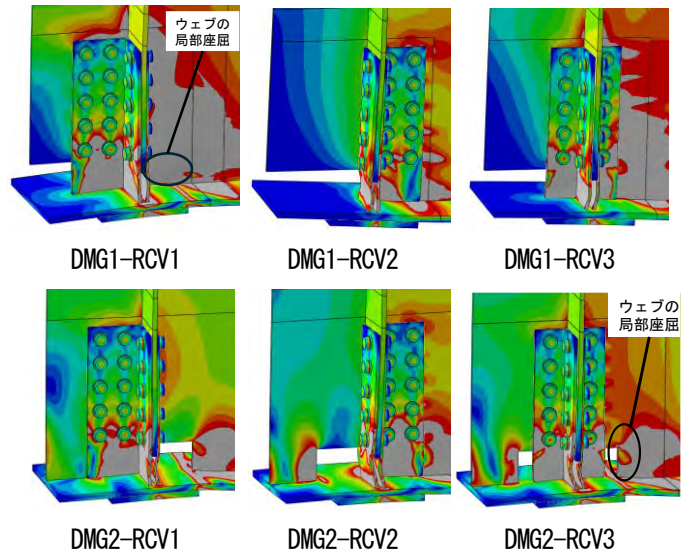
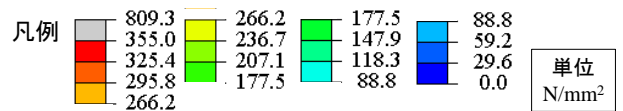


図-9 最大荷重時 Mises 応力コンター図(変形倍率 3 倍)

- 1) DMG2 補修では支承近傍の当て板に荷重が集中し，DMG1 より低い荷重レベルで座屈が生じるため，最大荷重が低下したと考えられる。
- 2) ウェブの腐食幅に応じて，偏心による付加曲げが生じないように，橋軸方向の図心位置を支承位置と一致させる補修方法が望ましい。

<参考文献>

- 1) 井上太詞，林嶽，山口隆司：鋼 I 桁端部の複数部位の腐食に対する当て板補修位置に関する研究，土木学会全国大会第 80 回年次学術講演会
- 2) 建設省，土木構造物標準設計，全日本建設技術協会，1994.
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅱ鋼橋編，2012.3