

大阪市立大学工学部 学生員 ○尾葉石 海渡

大阪市立大学大学院 正会員 林 巖

大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司

1. はじめに

既往研究¹⁾では、桁端部腐食の当て板補修の際、図-1に示す桁端部の十字柱断面内（支点上補剛材およびウェブのうち補剛材取付部から両側に $12t$ (t は板厚) の断面積となるよう、欠損部を補修設計している。一方、欠損部以外の健全部や、十字柱断面範囲外の欠損部の補修に着目した研究は少ない。本研究では、桁端側ウェブ全欠損を対象に、損傷時の最大耐力時の崩壊モードから、補修方法を決定し、それぞれの当て板補修効果を検討する。当て板の補修位置、補修面数の違いが桁端部腐食部の耐力および剛性に及ぼす影響を検討する。

2. 解析モデル

解析には、汎用有限要素解析ソフト Abaqus/CAE2020を用いた。解析モデルを図-2、材料構成則を表-1に示す。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。使用要素は、8節点ソリッド要素である。要素サイズは $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ を基本に、各部材の板厚方向には4分割した。载荷条件は、死荷重 (0.01MPa) を上フランジ上面に均一に与え、活荷重を載荷板の上から、線状に鉛直下向きに強制変位 (20mm) を与えた。境界条件は、ソールプレート下面に線状にピン支持とした。なお、初期不整は考慮していない。

当て板のモデル化手法を図-3に示す。当て板と腹板の拘束はボルト孔回りの接触圧影響範囲のみ節点共有し、当て板と下フランジに接触条件を導入した。当て板の断面積は十字柱断面範囲における欠損分のみとし、板厚はウェブ厚と同厚とした。

3. 損傷ケースの崩壊モードおよび当て板補修ケース

当て板の補修位置、補修高さを決定するため、損傷ケースの解析を行った。図-4に最大耐力時の崩壊モードを示す。損傷時の崩壊プロセスとして、支承が回転し、欠損部には下フランジの浮き上がりが生じる。支点上補剛材の下フランジ上端から 100mm 付近、径間側ウェブ下端部で同時に面外変形が発生し、局部座屈が生じる。これが進行することによって最大耐力に達する。また、最大耐力時の降伏範囲は下フランジから 200mm であった。

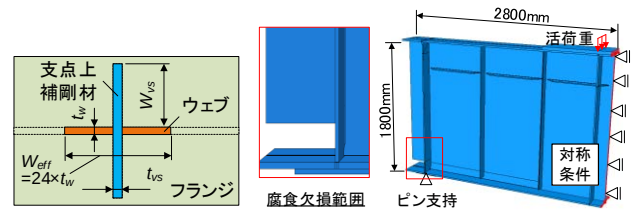


図-1 十字柱断面

図-2 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 係数E'
主桁ウェブ、フランジおよび当て板	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

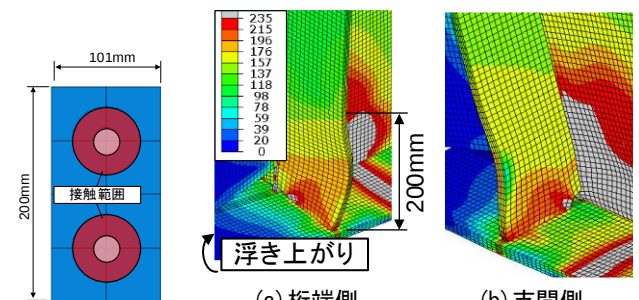
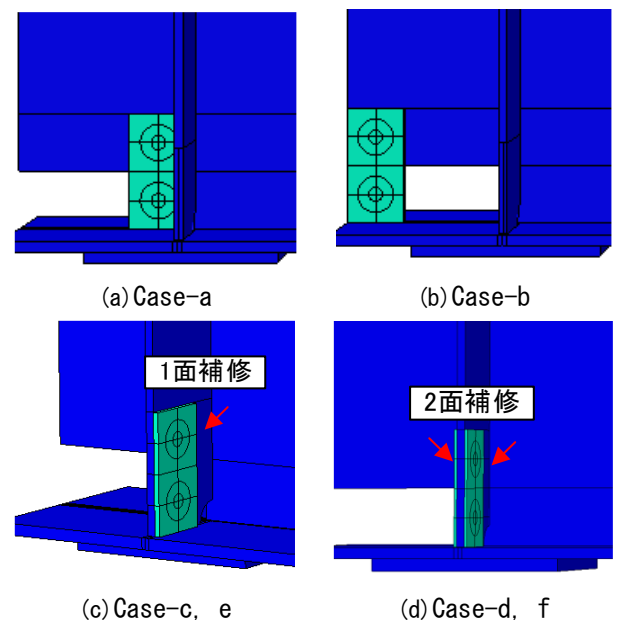


図-3 当て板

図-4 (a) 桁端側

(b) 支間側

図-4 崩壊モード (Mises 応力)



(a) Case-a

(b) Case-b

(c) Case-c, e

(d) Case-d, f

図-5 解析ケース

以上を踏まえ、当て板高さは 200mm とした。当て板補修の解析ケースを図-5に示す。Case-a は、損傷部の十字柱断面内1面補修、Case-b は、損傷部の桁端に1面補修、Case-c と Case-d は、座屈発生部材の剛性を上げるた

めに、支点上補剛材の端部に1面補修および2面補修とし、Case-eとCase-fは、当て板の支圧力の影響を検討するために、Case-cとCase-dのケースに対して、当て板と下フランジの接触条件を導入しないケースとした。いずれの補修ケースも当て板の総体積および総断面積は一定とした。Case-aを基本補修ケースとし、他の補修ケースの耐力および剛性を比較する。

4. 解析結果と考察

図-6に健全時、損傷時およびCase-a~dの荷重-変位関係を示す。損傷時は800kN付近で剛性低下が生じていたが、補修ケースではいずれも設計耐力より高い荷重において剛性低下が発生している。

図-7に各補修ケースの最大耐力を示す。Case-a,bの場合は、図-8に示すように桁端側ウェブの当て板によって下フランジの浮き上がりが抑制され、支点上補剛材の面外変形が小さくなり、最大耐力が増加した。Case-c,dの場合は、図-9に示すように、支圧面積が増えることで、剛性低下の原因である径間側ウェブ下端の降伏を抑制でき、耐力が増加したと考えられる。

当て板補修ケース間での最大耐力を比較する。図-10に当て板が分担する最大軸力を示す。図-7, 10より、Case-bの最大軸力はCase-aの半分程度であるが、最大耐力に大きな差は見られない。これは、図-11に示す下フランジの応力分布から、当て板配置位置によって下フランジの荷重分担範囲が増加したためと考えられる。補修面数を変えたケースであるCase-c,dは、基本補修ケースCase-aに比べて、最大耐力が低下した。これは、欠損部以外を補修することで、下フランジの浮き上がりが抑制できなかったためである。

しかし、Case-aに対するCase-dの最大耐力の低下率は2%と小さい。これは、図-12に示す支点上補剛材の面外変位、図-13に示す当て板下端の接触圧より、2面補修にすることによって、付加曲げの影響がなく面外変形および当て板と下フランジ間の支圧力を増加させることができ、下フランジの荷重分担範囲が増加したため考えられる。しかし、Case-e, cおよびCase-c,fの最大耐力差に着目すると、当て板と下フランジの接触条件の有無が最大耐力に及ぼす影響は補修面数に影響を受けにくいと考えられる。

5. まとめ

本研究では、十字柱断面範囲内の欠損部以外に補修しても、支点上補剛材の面外変形や下フランジの浮き上が

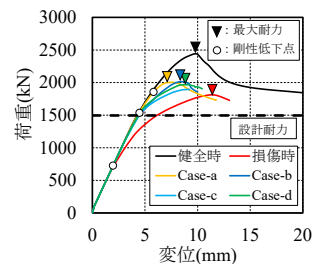


図-6 荷重-変位関係

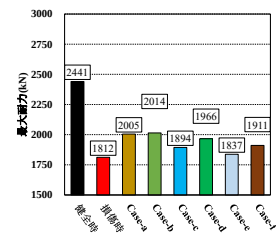
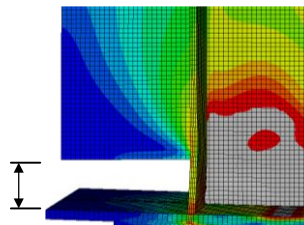
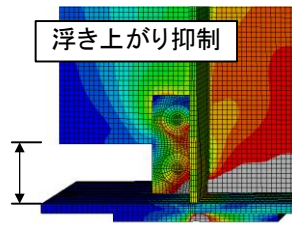


図-7 最大耐力

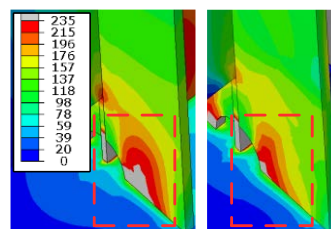


(a) 損傷時

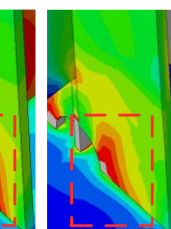


(b) Case-a

図-8 応力分布 (変形倍率: 1 倍, 荷重 1800kN)



(a) 損傷



(b) Case-c

図-9 応力分布 (荷重 1050kN)

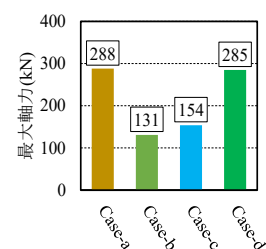
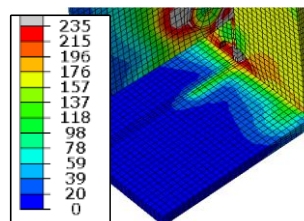
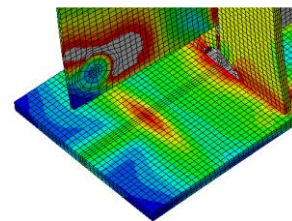


図-10 当て板の最大軸力



(a) Case-a



(b) Case-b

図-11 下フランジの応力分布 (Mises 応力)

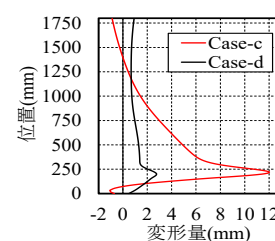


図-12 支点上補剛材の面外変形 (荷重 1900kN)

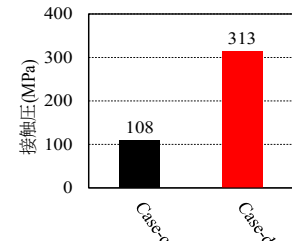


図-13 当て板下端の接触圧 (荷重 1900kN)

りを抑制されることによって、支点上補剛材に1面補修するケース以外の最大耐力は同程度であった。支点上補剛材補修は、1面補修にすることで、偏心曲げが発生し局部座屈が起こるため、損傷時から1%程度しか耐力上昇しない。

<謝辞> 本研究は日本鉄鋼連盟鋼構造研究・教育助成事業(2021年度)として助成を受けたものです。ここに記して感謝申し上げます。

<参考文献> 郎宇: 腐食した桁端部の高力ボルト摩擦接合片面当て板補修に関する施工ステップを考慮した詳細力学メカニズムとその最小補修に関する研究, 鉄連報告書, 2020.