

腐食減肉の生じた桁端部を有する鋼リベット橋の横荷重作用時の挙動に関する実験的検討

東京都立大学 学生会員 ○金子 優作 和田 聡一郎

東京都立大学 正会員 村越 潤 岸 祐介 フェロー会員 野上 邦栄 日本ファブテック(株) 正会員 小峰 翔一

1. はじめに

鋼橋桁端部は、橋の構造部位の中でも厳しい腐食環境に置かれており、これまでも耐荷性能の観点から措置を必要とする局部腐食事例が多数報告されている。本稿では、腐食リベット桁端部の地震時水平耐力に着目し、桁端部試験体の横荷重載荷試験を行い、腐食減肉が終局挙動及び耐荷力に与える影響について検討した結果を報告する。

2. 桁端部試験体と腐食状況

試験体は約 80 年間供用後に撤去された RC 床版を有する鋼リベット 2 主桁橋（支間：21.7m，幅員：4.56m）の桁端部から、垂直補剛材で仕切られた 2 パネル分を切り出したものである（図-1 参照）。試験前にブラスト処理を行うとともに、端横桁とその接合部を取り外した上で試験体各部の板厚を計測した。レーザー変位計によりウェブを 5mm ピッチで計測し、キャリパーゲージにより端補剛材下端側と下フランジを 10mm ピッチで計測した。図-2 に試験体各部の減肉量分布（元板厚と計測板厚の差）を示す。ウェブ、下フランジの断面欠損部もしくはリベット頭部（凸部）は白抜きで示している。局所的な腐食部位は、伸縮装置部分からの浸入水等の影響により、溶接桁の場合と比較的類似の部位である。また、リベット特有の部位として下フランジアンクル材とじ合わせ部縁端の水平面と接するウェブに局所的な減肉がみられた。さらに、横荷重時の耐荷力に影響する部位として端横桁下フランジと主桁の接合部近傍の端補剛材（桁内面側）において局所的な腐食がみられた。

3. 試験方法と解析方法

橋軸・橋軸直角の 2 方向のうち耐荷力の小さい、橋軸直角方向地震力作用時を想定し、対象橋のプッシュオーバー解析による桁端部の終局挙動（端横桁下フランジ付近での主桁の面外曲げ挙動）を概略再現できるように載荷方法を決定した。図-3 に、試験体と、試験治具、載荷ジャッキ等からなる試験装置の概要を示す。試験体を横置きし、RC 床版や端横桁位置での境界条件を踏まえ、治具により上フランジを固定し、端横桁接合部を治具で支持した状態で、下フランジ（支承部）に横荷重を載荷した。試験では、下フランジに 36mm 厚の載荷板を設置し、柱としての有効断面内（桁端から 495mm の範囲）に設置し、同載荷板端部に対して変位制御により一方向に載荷した。

また、解析ソフト MSC.Marc.2018 を用いて、載荷試験に対する弾塑性有限変位解析を行った。解析は減肉状況を考慮した場合（腐食モデル）と、健全時の元板厚を想定した場合（健全モデル）に対して実施した。材料構成則は、残パネル部から切り出した材料試験片の引張試験結果（平均値を基に 5 点を結んだマルチリニア型モデルを仮定した。

キーワード リベット桁、腐食、横荷重、耐荷力

連絡先〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 東京都立大学 TEL042-677-2782 E-mail:kaneko-yusaku@ed.tmu.ac.jp

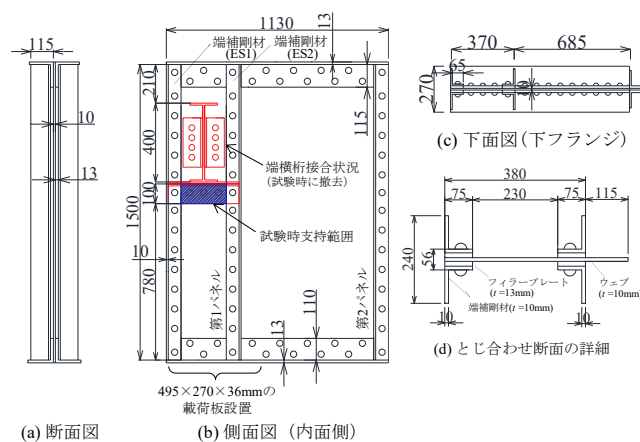


図-1 桁端部試験体の寸法形状(単位: mm)

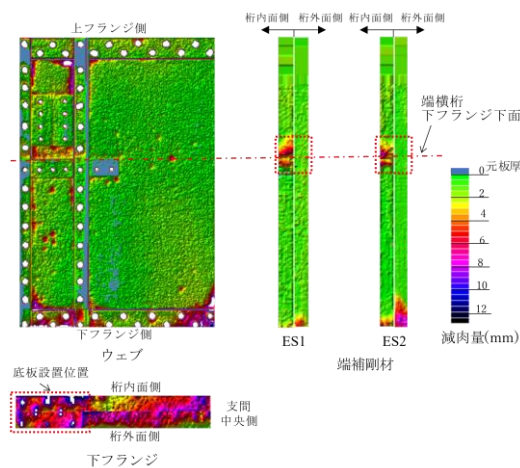


図-2 各部位の減肉状況

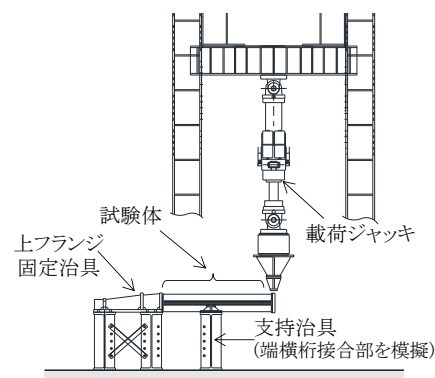


図-3 試験体及び試験装置

鋼材は JIS SS400 材相当であり、降伏強度 273N/mm²、引張強度 441N/mm²、弾性係数 2.02×10^5 N/mm² とし、ポアソン比は 0.3 とした。腐食モデルでは、桁端の柱有効断面内では 10mm 間隔で計測した各部材の残存板厚を精度 1mm で上下フランジ、端補剛材(上端から 250mm までは 50mm 間隔で計測した値を使用)、ウェブに導入した。それ以外の部位では、上下フランジには同様に残存板厚を、ウェブには残存板厚の平均値 9mm を導入した。リベット構造特有の留意点として、設計上断面として考慮しないリベットによるとじ合わせ部断面の扱いが挙げられる。腐食状況や構造諸元によっては、とじ合わせ部も実質的に耐荷力に寄与しており、これらを含めた残存耐荷力の評価が重要と考えられる。本解析では、先行研究²⁾を参考にリベット接合によるとじ合わせ部(鋼材の重ね合わせ部分)では接合部が一体挙動していると考え、一枚の板としてシェル要素に反映した。

4. 試験結果

荷重試験と腐食・健全モデルによる解析に関して、図-4 に横荷重と桁の面外方向変位の関係を、図-5 に ES1 の内面側の変形が大きく生じた位置での横荷重とひずみの関係(解析値は腐食モデルによる)を示す。ここで面外方向変位とは、図-3 の下フランジ位置での鉛直方向変位を指す。図中の初期降伏とは、試験では面外曲げ変形が進行した部位近傍の ES1 の計測ひずみ(図-5 参照)が桁内外面ともにおおむね降伏ひずみ(=1350×10⁻⁶)に、解析では一要素が降伏ひずみ(支持範囲の桁高方向中央で縁端から 40mm 位置)に達した時点を示す。荷重載荷後、約 71.5kN で治具支持部付近の ES1 の内面側(曲げ圧縮側)で降伏が生じた。その後、同部位において塑性化が進行し面外方向変位が増加し、最大荷重に達する前に、漸増状態のまま、荷重装置の制約等により試験を終了した。解析値と試験値を比較すると、荷重初期の剛性に差がみられるものの、初期降伏の荷重は概ね近い値である。試験終了時の最大荷重(135kN)は腐食モデルの解析値(最大荷重 151kN)の約 89%である。また、腐食モデルでは、健全モデルと比較して最大荷重は約 22%低下しており、面外曲げ変形の進行した ES1, ES2 の断面減肉の影響を表しているものと考えられる。図-6 に試験終了後の試験体の破壊状況を示す。破壊位置や破壊モードに関しては、橋全体系の解析結果¹⁾と同様に端横桁下端での状況を概ね再現できた。同部位は図-2 に示すとおり局部的に減肉しており、曲げ圧縮を受ける桁内面側の ES2 では、試験終了後の目視観察において減肉部での局部的な曲げ変形の進行に伴いき裂の発生がみられた。試験終了時の ES1 の面外変形の位置は、解析結果と概ね一致しており、腐食モデルの終局挙動評価への適用性を概略確認できた。

本試験は、東京都立大学と日本ファブテック(株)の共同研究(2021年度)の一環として実施した。また、本研究は、(一社)日本鉄鋼連盟からの助成を受けて実施した。ここに記して、深謝の意を表す。

参考文献

- 1) 和田聡一郎, 村越潤, 野上邦栄, 岸祐介: 腐食鋼リベット橋桁端部の横荷重作用時の挙動に関する解析的検討, 鋼構造年次論文報告集, Vol.29, pp.33-40, 2021.11.
- 2) 石川貫人, 村越潤, 野上邦栄, 岸祐介, 小峰翔一, 細見直史: 著しい腐食の生じたリベット桁端部の圧縮荷重試験, 鋼構造論文集, Vol.26, No.104, pp.37-49, 2019.12.

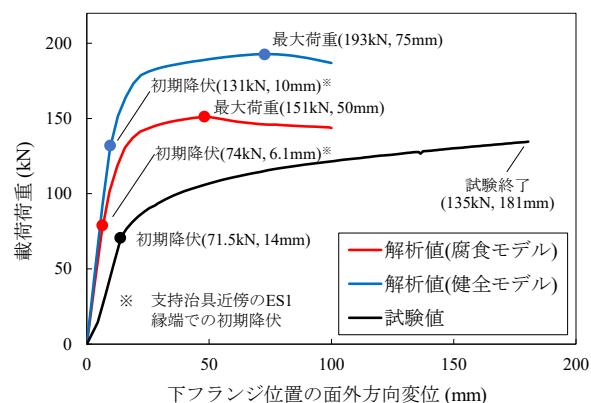


図-4 横荷重と面外方向変位の関係

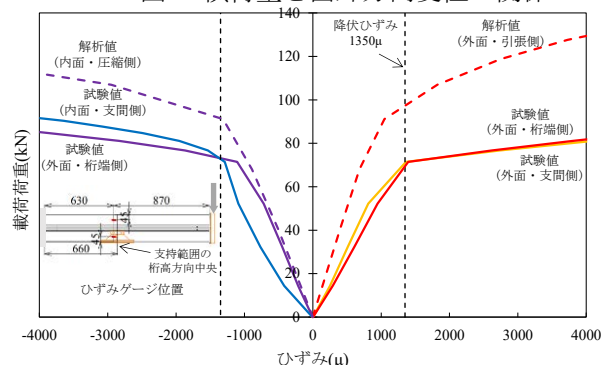


図-5 横荷重と端補剛材 ES1 のひずみの関係

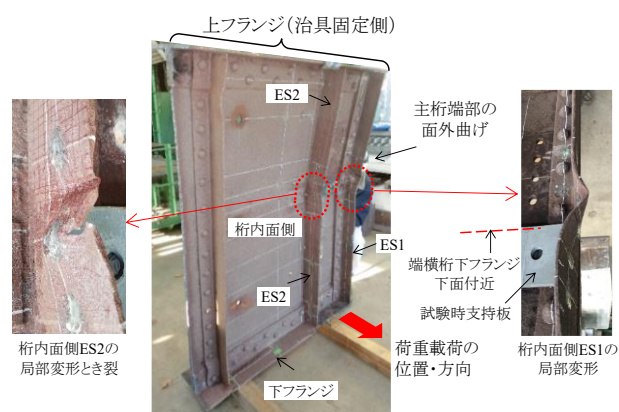


図-6 試験終了後の試験体の変形状況