

著しく腐食した鋼リベット道路橋桁端部の圧縮耐荷力に関する検討

日本ファブテック(株) フェロー会員 入部孝夫
 日本ファブテック(株) 正会員 細見直史
 日本ファブテック(株) 正会員 小峰翔一

首都大学東京 学生会員 石川貴人
 首都大学東京 正会員 村越潤
 首都大学東京 フェロー会員 野上邦栄
 首都大学東京 正会員 岸祐介

1. はじめに

著者らは、著しい腐食欠損の生じた鋼リベット桁の桁端部を対象に圧縮載荷試験及びFEM解析を行い、腐食損傷が圧縮柱としての桁端部の耐荷機構に与える影響について検討を行っており^{1,2)}、引き続き解析的に検討した結果を報告する。

2. 試験体

対象橋梁は、1928年に竣工され約80年間供用後、撤去された鋼2主桁上路式プレートガーダー橋(支間:21.7m, 幅員:4.56m)で、リベット接合を適用している。試験体は、桁端部から3パネルからなる。図-1に試験体の寸法形状と載荷試験状況を示す。また、桁から採取した試験片の引張試験により、SS400材相当のJIS規格値を満足することを確認している(表-1参照)。

試験前にレーザー変位計及びキャリパーにより腐食減肉状況を計測した。図-2に桁高方向の圧縮柱としての各断面の有効断面積を示す。図では、道路橋示方書³⁾を参考に、端補剛材ES2の位置から $12t_w$ (=120mm, t_w :ウェブ厚)の範囲の断面積(有効断面積)を整理しており、2種類の断面を考慮した(図-3参照)。主にウェブと上下フランジ(アングル材)の境界部及び端横桁が設置されていた位置において、腐食欠損が著しいことがわかった。

3. 載荷試験と解析方法

載荷試験では、試験体の上下に90mm厚の載荷板(鋼板)を設置し、載荷能力5000kNの油圧万能試験機を用いて、桁端部に一様な圧縮力を加えた。載荷方法は変位制御とし、支承部は球座を用いたピン支持とし、支間中央側をローラー支持とした。載荷板の幅はフランジ幅、長さはウェブの有効幅の範囲(図-3参照)程度とした。

解析モデルは、接合部を同一部材として挙動すると仮定したモデル(一体モデル)と、とじ合わせ部をリベットを含めて模擬したモデル(リベットモデル)の2モデルとした。材料構成則は、引張試験結果を基に降伏点を含む引張強度までの5点を結んだマルチリア型を仮定した。また、初期不整を、ES1のとじ合わせ部下端に高さ方向に約200mmの範囲に1mm振幅の正弦半波で与えた。載荷点、支持点では球座を模擬した剛梁要素を設置している。腐食による減肉は、柱としての有効断面内については10mm間隔で計測した残存板厚を要素に導入し、それ以外の領域については、目視及び

表-1 使用鋼材の引張試験結果

部材	降伏点 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)
補剛材	290	223.2	447
ウェブ	288	229.2	423

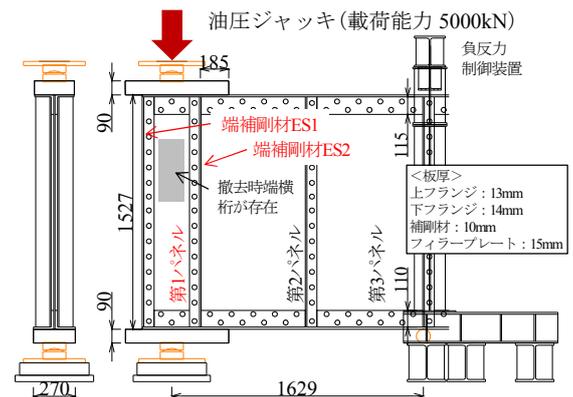


図-1 試験体の寸法形状、載荷方法

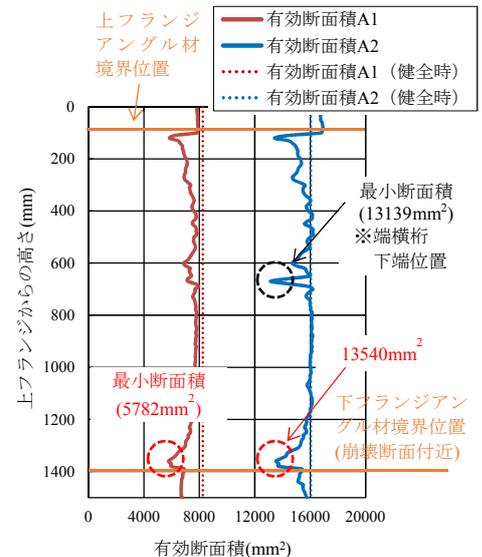


図-2 桁高方向の各断面の有効断面積

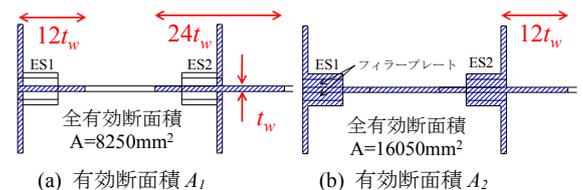


図-3 有効断面積の設定方法 ※有効断面: 斜線網掛け部

キーワード リベット桁, 著しい腐食, 桁端部, 載荷試験, 弾塑性有限変位解析
 連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 E-mail: ishikawa-kanto@ed.tmu.ac.jp

レーザー変位計のデータに基づき、孔食位置及び板厚が 1/2 以下となった位置のみ、それぞれ板厚 0mm, 1/2 板厚とした。図-4 に腐食を考慮したリベットモデルを示す。リベット継手はとじ合わせ位置において、節点と節点を結ぶ剛性を持つばね要素（弾性ばね）によりモデル化した。一体モデルについては、とじ合わせ部の鋼板の重なりを一枚の板としてシェル要素に反映した。

4. 試験及び解析結果

図-5に荷重と鉛直変位の関係を示す。ここで、鉛直方向変位は ES1 の位置での上下フランジ間の距離とした。また、図-6に試験終了後の試験体の変形状況を示す。図中には、参考として図-2 の A_1 , A_2 それぞれの健全断面積及び最小断面積により算出した降伏荷重 ($\sigma_y=289\text{N/mm}^2$) を示している。

荷重試験では 1000kN 付近で ES1 桁内面側ととじ合わせ下端にて降伏が生じ始め、2000kN 付近でウェブ全体の面外変形や、ES1 (桁内面側) ととじ合わせ下端の局部座屈が発生した。その後、図-6 に示す下フランジアングル材境界位置において変形が集中し最大荷重 (2862kN) を迎えた。

解析結果に関して、一体モデル(腐食)では最大荷重(3275kN)は試験値に対し 14.4%高いものの、変位挙動は類似の傾向を示した。一方、リベットモデル(腐食)では、最大荷重時の変位は一致していないが、初期勾配付近から試験値に近づき、最大荷重(2681kN)は試験値に対し 6.3%低くなり比較的近い値となった。また、両モデルとも崩壊時の変形モード(図-6 の下フランジアングル材-ウェブの境界部での変形)は試験値と良い一致を示し、試験値は両結果の中間的な挙動となることが確認された。

図-7に最大断面欠損率 R_d と圧縮耐力比 P_u/P_y の関係を示す。ここで、 P_u は試験または解析による最大荷重、 P_y は健全時の有効断面積に材料試験より得られた降伏強度を乗じることによって求めた降伏耐力である。図中には、同じ 2 補剛材タイプであるが、構造諸元の異なる一体モデルの解析結果⁴⁾も合わせて示す。文献4)の試験体では R_d に対して緩やかに荷重が低下する傾向があるのに対し、今回の試験結果では、急激な荷重低下がみられた。これは、文献4)では断面の降伏により最大荷重を迎えることとなったが、本試験体では、降伏が先行する前に下フランジアングル材-ウェブの境界部における局部座屈が発生し、最大荷重に達したことが一因として考えられる。

本研究の一部は、(一社)日本鉄鋼連盟からの受託研究(2018 年度)として実施した。ここに記して、深謝の意を表する。

参考文献

- 1) 中田, 野上ほか: 鉄道リベット桁橋桁端部の応力性状と有効断面評価に関する一考察, 日本鋼構造協会, 第 25 回鋼構造年次論文報告集, Vol.25, No.9, pp.449-456, 2017.11.
- 2) 石川, 村越ほか: 腐食した鋼道橋桁端部の圧縮荷重試験, 土木学会第 73 回年次学術講演会概要集, I-047, pp.93-94, 2018.8.
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋・鋼部材編, 2017.11.
- 4) 中田, 野上ほか: 腐食の生じた鉄道リベット桁橋桁端部の圧縮耐力評価に関する実験的および解析的検討, 構造工学論文集, Vol.65A, pp.452-465, 2019.3.

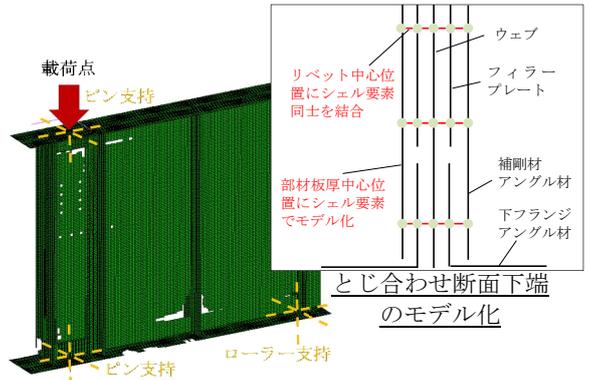


図-4 解析モデル (リベットモデルの場合)

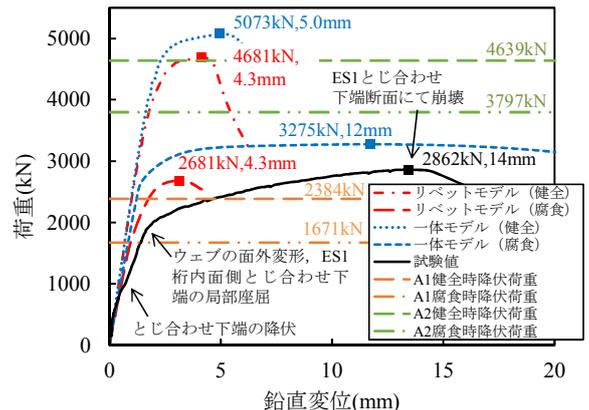


図-5 荷重-鉛直方向変位関係



図-6 荷重試験後の ES1 周辺の変形状況

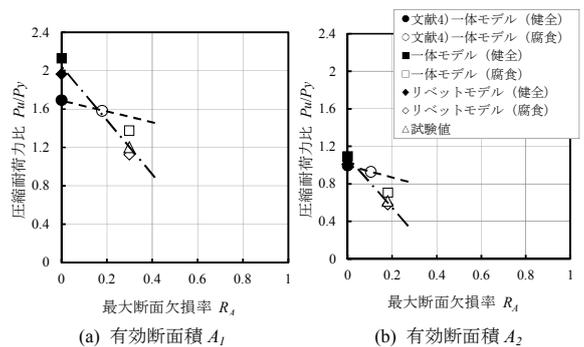


図-7 断面欠損率と圧縮耐力比の関係