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数値解析

			〇石川貫人	学生会員	首都大学東京
入部孝夫	フェロー会員	日本ファブテック(株)	村越潤	正会員	首都大学東京
細見直史	正会員	日本ファブテック(株)	野上邦栄	フェロー会員	首都大学東京
小峰翔一	正会員	日本ファブテック(株)	岸祐介	正会員	首都大学東京

## 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い る<sup>1),2)</sup>.ここでは,昨年度に実施した実験の継続研究としてFEM 解析による試験結果の再現性について検討した結果を報告する.

## 2. 試験体

対象橋梁は,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(幅員:4.56m,設計活荷重:T-18相当)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.桁から採 取した試験片の引張試験による材料強度(平均値)は,降伏点(補剛材: 290N/mm<sup>2</sup>,ウェブ:288N/mm<sup>2</sup>),弾性係数(補剛材:2.2×10<sup>5</sup>N/mm<sup>2</sup>, ウェブ:2.3×10<sup>5</sup>N/mm<sup>2</sup>)であり,SS400材相当のJIS 規格値を満足する ことを確認した.

試験前にレーザー変位計及びキャリパーにより桁表面の減肉状況及 び桁の初期不整を計測した.腐食は桁内面側が厳しく,特にフランジア ングル材とウェブ間の境界部や端横桁取付け部周辺の断面急変部など の滞水しやすい部位に著しい腐食が見られた.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<sup>3)</sup>を参考 に,端補剛材 ES2 の位置から 12*t*<sub>w</sub> (=120mm, *t*<sub>w</sub>: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.







載荷板のフランジ幅,その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, 降伏点を含む引張強度までの5点を結んだマルチリニア型を仮定した. また, 初期不整として, ES1 のとじ合わせ部下端(下フランジアングル

材境界位置)における桁内面側方向への面外変形を,高さ方向 に約 200mm の範囲に 1mm 振幅の正弦半波で与えた.また,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、柱としての有効長さの領域についてはキ ャリパーにて計測した残存板厚を 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.また、シェ ル要素でのモデル化を行っているため、一体モデルでは腐食減 肉の違いによる偏心の影響は考慮していないが、リベットモデ ルではとじ合わせ部における、桁内外の非対称性による偏心の 影響は考慮している.

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 はとじ合せ位置において,節点と節点を結ぶ剛性(軸方向: 4.4×10<sup>6</sup>N/mm, せん断方向:1.7×10<sup>6</sup>N/mm)を持つばね要素(弾 性ばね)によりモデル化した. リベット軸や孔まわりの変形, とじ合わせ部の鋼材面の摩擦は考慮していない. 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部材 厚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A1,A2それぞれの健全断面積及び最小断面積により算出した 降伏荷重を示す.

載荷試験では 1000kN 付近で ES1 桁内面側とじ合わせ下端に 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、荷重-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)は良い一致を示した.その上で、 荷重-変位関係が試験結果と相違した主な要因は、ES1桁内面側とじ合わせ下端の局部座屈、下フランジアングル 材とフィラーの不連続による挙動、材片間の摩擦、初期形状などを必ずしも適切に再現できていないことが考え られる.引き続き、残存耐荷力の実務的な評価手法の提案に向けて、腐食桁端部の限界状態と腐食性状の関係性 を検討していく予定である.

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:腐食した鋼道路橋桁端部の圧縮載荷試験,土木学会第73回年次学術講演会概要集,I-047, pp.93-94, 2018.8.
2)日本道路協会:道路橋示方書・同解説 Ⅱ鋼橋・鋼部材編, 2017.11.