腐食した鋼鉄道リベット桁支点部の載荷試験と残存耐力評価

首都大学東京 学生会員 〇中田祐利花 (株)東京鐵骨橋梁 正会員 細見直史

首都大学東京 フェロー会員 野上邦栄 (株)東京鐵骨橋梁 フェロー会員 入部孝夫

首都大学東京 学生会員 松本祥吾 首都大学東京 正会員 岸祐介

1. 目的

我が国には約10万の鉄道橋が存在する.これらの建設時期は戦前(~1941年)と高度経済成長期(1955~1973年)の2期間に集中しており、戦前に建設されたものに関しては経年が70~100年を超え、老朽化する橋梁の維持管理が現在大きな課題となっている.鋼橋の耐荷力に影響する劣化損傷の一つとして腐食が挙げられるが、腐食状況は各橋梁の使用環境によって様々である上に、腐食した実橋梁に対する耐荷力試験の実績も少ない.そのため現時点で腐食が耐荷力に与える影響を定量的に評価する手法は確立していない.

本研究は、鉄道橋の代表的橋梁である上路プレートガーダー橋を対象として、その桁端支点部の腐食状況を計測するとともに、圧縮耐荷力試験を実施することで桁端部の柱部材としての腐食と耐荷力の関係を評価する上で重要なデータの蓄積とその分析を行うものである 10 .

2. 試験体

路線変更のために架け替えとなった図-1の上路式プレートガーダー橋の桁端部を試験体とし、柱としての圧縮耐荷力を評価する.リベット接合試験体の概要および断面寸法を各々表-1および図-2に示す.使用鋼材がドイツ製であり、材料特性を明らかとするために引張試験とスパーク放電発光分光分析法による化学成分分析を行った結果、

SM400 材相当の強度を持つ材料であることが分かった.

表-1 試験体概要

橋梁名	金杉橋
橋種	鉄道橋
所在地	JR 東海道線浜松町駅から南へ 200m
形式	2 主桁上路式プレートガーダー橋
橋長 (支間長)	10.1m(8.7m)
竣工年	大正 10 年頃
設計荷重	Cooper's E 45
接合方法	リベット接合
鋼材	ドイツ輸入鋼材(SM400 材相当)



図-1 試験体撤去時

表-2 設計板厚

部材名	板厚[mm]
垂直補剛材	12.70
フランジ(アングル材)	11.11
フランジ(カバープレート)	11.11
ソールプレート	23.81
ウェブ	12.70

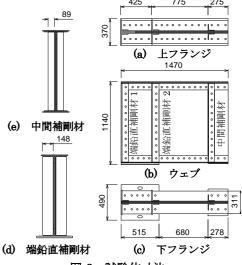


図-2 試験体寸法

3. 腐食計測

3.1 計測装置 (タワー型 3D 腐食表面形状計測装置)

腐食形状の計測には、首都大学東京で開発したタワー型 3D 腐食表面形状計測装置を用いた. 架台上へ試験体を固定し、計測装置のレーザー照射口から試験体表面までの距離を計測する. 本装置の計測範囲は、 X,Y 軸面内に2000×2000mmであり、web、フランジ、鉛直補剛材の計測を行った. なお、計測ピッチは腐食の少ない箇所が 5mm、激しい腐食領域は 1mm ピッチで設定した.

3.2 計測結果

腐食量計測の結果、以下のような傾向がみられた.

- (1) ほこりなどの堆積しやすく、構造が複雑なウェブ・端鉛直補剛材と下フランジとの角部にみられる腐食が、上フランジとのそれに比べて顕著である.図-2の端鉛直補剛材2は腐食により断面が欠損し、下フランジと不連続であった.
- (2) 端鉛直補剛材1についても下フランジ近傍の腐食が激しい.また,リベット接合による組立式の桁であるため,フランジ・補剛材間に隙間がみられる.
- (3) 桁の外側と比較して海から飛来した塩分が洗い流されることのない桁の内側の腐食が激しい²⁾.
- (4) 枕木の設置されていた上フランジにおいて腐食が激しい.

キーワード 腐食, リベット桁, 残存耐力

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL. 042-677-2782 内線(4564) Email:nakata-yurika@ed.tmu.ac.jp

4. 圧縮耐荷力試験

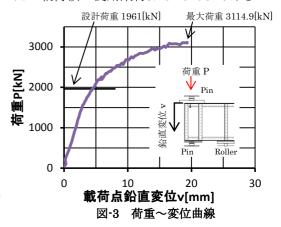
図-3 のように最大荷重 5000kN の油圧式万能試験機を用いて桁端部に圧縮力を加えた. 載荷方法はジャッキストローク量を利用した変位制御法である. 桁端部の柱としての圧縮耐荷力を評価するために境界条件は上下ピン支持とした. また, 載荷板を介して端鉛直補剛材 1,2 に一様な圧縮力を加えるために載荷パネルに対して一回り大きな載荷板を用い,また載荷板の板厚を 90mm 確保し,その変形をも防いだ. 載荷板の使用鋼材は SM520C である.

4.1 試験結果

載荷によって下フランジのソールパネルが変形を開始し、それに伴いウェブの下フランジ近傍に応力が集中し、座屈変形が生じた. 荷重の増加と共にローラー支承部が浮き上がり、支承部が外れ3114.9[kN]で載荷を終了した.その荷重~変位曲線を図-3に示す.

試験体の変形状況を確認したところ,ウェブは座屈のため 20mm の水平変位がみられた.端鉛直補剛材に目に見える座屈変形は確認されなかったが,端鉛直補剛材 1 と下フランジ間に隙間が存在し不連続であるためか,端鉛直補剛材 1 が桁端方向に飛び出すように変形した.

両端鉛直補剛材のひずみに関しては、端鉛直補剛材 1 は端鉛直補 剛材 2 よりも全体的にひずみが大きく、中でも桁高中央と下フラン



ジ近傍のひずみが大きくなった. 一方端鉛直補剛材 2 は上フランジに近いほどひずみが大きくなる傾向がみられた. この差は端鉛直補剛材と下フランジの連続性に起因すると考えられる. 端鉛直補剛材 1 は組立式の桁であるため, フランジとの間に約 2mm の空間が存在したが, 載荷によってこの隙間は潰され, 補剛材は圧縮力を伝える柱として機能する. 一方端鉛直補剛材 2 は, 腐食によって補剛材と下フランジ間に約 10mm の隙間が生じており, 下フランジ近傍ではフランジと補剛材が不連続であるため,変形が生じにくく,ひずみも小さくなったと考えられる.

5. 腐食量と残存耐力の関係

本研究と既往の研究結果 3 4 から,腐食量と桁端部圧縮耐力の関係を考察し,残存耐力の評価式を提案する。図-4 は,残存耐力と腐食による断面欠損量の関係である。両者には式(1)で与えられる線形相関がみられた。ここに,縦軸は式(2)で定義した圧縮耐力比 R_P ,横軸は式(3)で定義した最大断面欠損率 R_A である。なお,図中の金杉橋解析値の計算方法は紙面の都合で省略している。

したがって、式(1)により残存耐力を推定するには、最大断面欠損率 R_A と健全時(設計時)の圧縮耐力が必要となる.式(3)の最大断面欠損率は、鉄道構造物等設計標準に定義されている設計時の圧縮力を受ける柱としての有効断面積 A_0 とその有効断面積から腐食による最大欠損量を減じた最小断面積 A_{\min} により算出する.健全時の圧縮耐力は、鉄道橋維持管理標準 $^{3)}$ の保守限応力度により算出した保守限耐力 P_m を用いている.

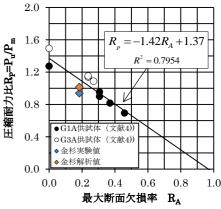


図-4 残存耐荷力~断面欠損量関係

6. 結論

- (1)対象とした鉄道リベット桁の詳細な腐食形状分布を明らかにした.
- (2)圧縮耐荷力試験結果は、設計荷重の約 1.7 倍の残存耐力 3114.9[kN]となることを明らかにした。また、崩壊形式は、下フランジ近傍のウェブに座屈が発生した。また、補剛材に目に見える座屈変形は見られなかった。これは補剛材の腐食により補剛材と下フランジが不連続となり、圧縮力が加わりにくいためである。
- (3)腐食による最大断面欠損率と圧縮耐力比の線形相関式である式(1)を提案した. 実際の健全度評価については,式(3),式(2-2)に示される最大断面欠損率と保守限耐力 Pmを用いて残存圧縮耐力を評価可能である.

参考文献

- 1) 松本祥吾,他:腐食した上路プレートガーダー橋の桁端支点部の腐食形態と残存耐荷力評価,全国大会,2015
- 2) 玉越隆史,他:道路橋の定期点検に関する参考資料(2013年版)ー橋梁損傷事例写真集ー,国土技術政策総合研究所資料,pp. 7, 14, 57, 2013.7
- 3) 鉄道総合技術研究所, 鉄道構造物等維持管理標準・同解説 (構造物編)鋼・合成構造物, pp. 57-58, 139-142, 166-167, 2007. 1
- 4) V.T.Hung,他:腐食が原因で取り替えられた実鋼橋支点部の載荷試験及び解析,土木学会論文集,No.710, 2002.7