

腐食した上路式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

首都大学東京大学院 学生会員 ○松本 祥吾 (株)東京鐵骨橋梁 正会員 小峰 翔一
 首都大学東京大学院 フェロー 野上 邦栄 (株)東京鐵骨橋梁 正会員 細見 直史
 JFE エンジニアリング(株) 正会員 栗原 雅和 (株)東京鐵骨橋梁 フェロー 入部 孝夫
 首都大学東京大学院 正会員 岸 祐介

1. 目的

我が国における社会資本は、高度経済成長期に短期間に大量に整備されてきたため、全国的に更新期のピークが近づいている。そのような中、鋼橋における腐食および疲労劣化は、構造物の寿命を評価する上で決定的な要因の一つである。特に腐食に着目すると、環境条件により唯一無二の形態で出現することから、腐食が進行した構造物の残存耐荷力の評価は困難であり、現在に至るまで腐食損傷度評価の力学的根拠に基づいた定量的な評価方法は確立していない。

このような背景の下、本研究では腐食が進行した鋼桁を対象とし、特に桁端支点部に着目した腐食形状の詳細な計測、圧縮耐荷力試験及び有限要素解析を実施することで、腐食した桁端支点部の柱としての残存耐荷力特性を明らかにする。

2. 対象試験体

本研究で対象とした橋梁は、金杉橋（鉄道橋）と呼ばれる橋長 9.4m、単径間 2 主桁の上路式プレートガーダー橋であり、大正 10 年頃に竣工後、約 80 年供用され路線変更のために撤去された。設計荷重は Cooper's E45 と呼ばれる機関車荷重で、リベット接合による組立部材である。鋼材に関しては、試験片を 3 体採取して化学成分分析及び引張試験を行ったところ、SM400 相当の鋼材であることがわかった。

本研究では、支点部の圧縮耐力に着目するため、桁端部から桁中央方向へ約 2200mm（3 パネル分）まで切り出した試験体を用意し、腐食形態の計測は端部から 1430mm 位置までの 2 パネル分を対象とした。試験体寸法を図-1、部材諸元を表-1 に示す。また、試験片の化学成分分析及び引張試験結果を表-2 に示す。

3. 腐食形状

腐食形状計測には、本学で開発した図-2 に示すタワー型 3D 腐食表面形状計測装置を使用した。これはレーザ式変位計を搭載した 3 軸可動装置であり 2000mm(X)×2000mm(Y)×200mm(Z)×360°(θ)の計測範囲を有し、任意の 2 軸の計測面を設定して表面形状の計測を行うことが可能である。レーザ変位計の性能としては、基準距離 150mm、測定範囲±40mm、直線性が±0.04mm で、計測速度は 1mm 間隔の計測で約 0.45sec/data である。

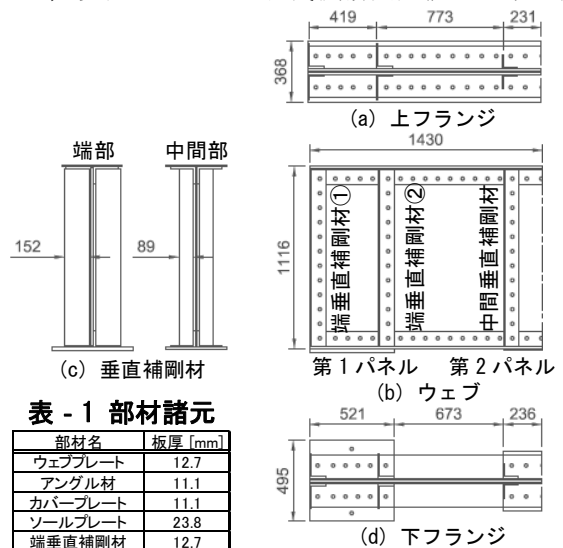


表 - 1 部材諸元

部材名	板厚 [mm]
ウェブプレート	12.7
アングル材	11.1
カバープレート	11.1
ソールプレート	23.8
端垂直補剛材	12.7
中間垂直補剛材	9.5

表 - 2 化学成分分析及び引張試験結果

化学成分										機械的性質			
C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	板厚 [mm]	降伏点 [N/mm ²]	引張強さ [N/mm ²]	伸び [%]	
0.14	<0.01	0.52	0.012	0.022	0.063	0.036	0.011	<0.005	12.87	245	433	39	

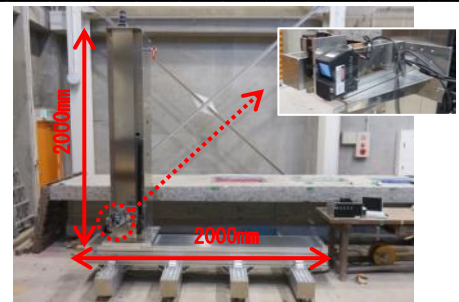


図 - 2 腐食形状計測装置

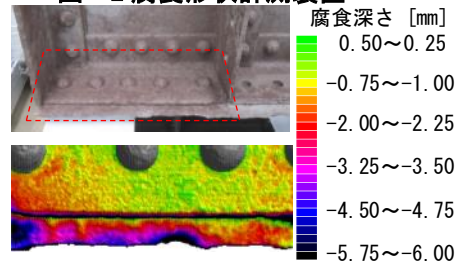


図 - 3 計測結果例

キーワード 上路プレートガーダー橋、桁端支点部、腐食形態、残存耐荷力、有限用法解析

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京大学院都市環境科学研究科 TEL. 042-677-2782

計測結果の一例として、上フランジ内面、桁端垂直補剛材間の腐食深さコンター図を図-3に示す。腐食形状計測より、ウェブでは主に初期変形が確認できたが、目立った腐食は無かった。一方、上フランジでは、枕木の設置個所に激しい腐食が集中している他、端部では断面の欠損および変形が発生していた。また、下フランジでは、ソールプレートからアングル材への断面変化部に顕著に腐食が見られた他、ソールプレート端部に広範囲に腐食が見られた。さらに、端垂直補剛材においては、断面欠損を伴う激しい腐食が下フランジ付近に確認できた。中間垂直補剛材には初期変形が確認できた。

4. 圧縮耐荷力試験

桁端支点部の耐荷性能を評価するため、最大荷重 5000kN の油圧式万能試験機を使用し、端垂直補剛材間に圧縮力を加えた。荷重環境として、端垂直補剛材間に載荷板および支持板を設置し、球座を設けることでピン支持とした。さらに、中間垂直補剛材直下にローラー支持を設けた。荷重は変位制御とした。境界条件、計測箇所をまとめたものを図-4に示す。

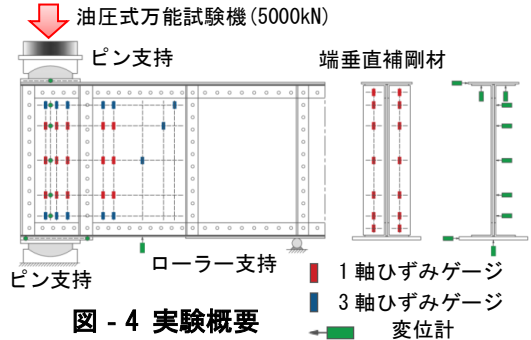


図-4 実験概要

5. 弾塑性有限要素解析

解析には、汎用有限要素解析ソフトウェア MARC2014 を用いた。解析条件を表-3に示す。非線形解析には弧長増分法を適用した。境界条件としては、桁端垂直補剛材間の上下フランジ中央部をピン支持、中間補剛材直下はローラー支持とし、上フランジ側から強制変位を与えた。解析では残留応力は考慮せず、ウェブに対してのみ初期たわみ（ウェブ高の1/250）を仮定した。端部の荷重点及び支点部の境界条件を図-5に示す。また、解析では幾何学的条件に対して、腐食形状計測の結果をもとに、部位ごとに健全時板厚から平均腐食深さを引いた板厚を導入することにより、健全時のモデルとは別に簡易腐食モデルを作成した。腐食が局部的に激しい箇所や欠損位置に関しては個別に対応した。

表-3 解析条件

部位名	試験体	載荷板	剛板	剛棒
要素	シェル	シェル	シェル	ビーム
構成則	バイリニア	バイリニア	線形弾性	線形弾性
一次剛性 E [N/mm ²]	124544	109630	1.00 × 10 ¹⁰	1.00 × 10 ¹⁰
降伏応力 σ _y [N/mm ²]	240.7	592.0	-	-
二次剛性 E' [N/mm ²]	1084	1232	-	-
硬化係数 E/E'	115	89	-	-
ポアソン比 ν	0.3	0.3	0.3	0.3

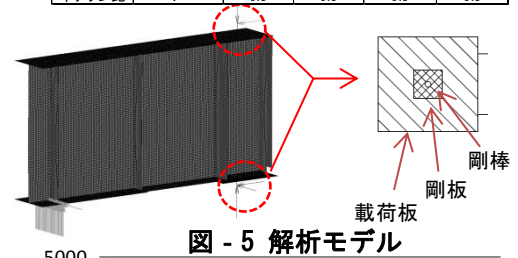


図-5 解析モデル

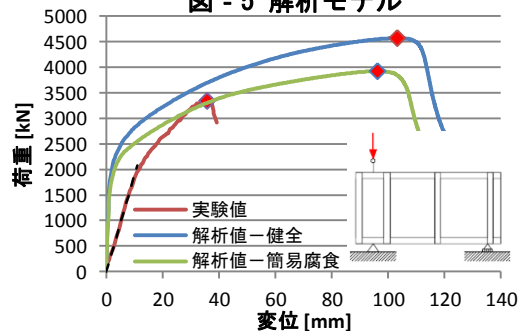


図-6 荷重 - 変位関係

6. 実験結果及び解析結果との比較

実験結果及び解析結果の荷重-変位曲線をまとめたものを図-6に示す。荷重実験（赤色曲線）では荷重の初期段階から載荷板の変形が進行し、桁端垂直補剛材間にかけての一様分布荷重載荷から端垂直補剛材間中央のウェブに対する集中荷重載荷状態に変化した。3290kN時点で、ウェブには上下フランジ近傍に正弦半波の局部座屈が発生し、3342kNにて最大荷重に達し、その後荷重の低下とともに上フランジの傾斜によって載荷板が滑り出して実験が終了した。

実験結果と解析結果との比較を行うと最大荷重は、実験値が健全モデルの解析値と比べて37%、簡易腐食モデルと比べて17%低い値となった。変位に着目すると、最大荷重時の値はいずれのモデルも実験値よりも60mmほど大きくなった。また、両モデルともに最大荷重時には実験と同様にウェブの上下フランジ近傍に正弦半波の局部座屈が発生し、端垂直補剛材には正弦波形の変形が生じた。

7. 結論

本研究によって得られた結論を以下に述べる。① 腐食は上下フランジ表面の腐食が激しく、ウェブ、垂直補剛材では桁端に近くかつ支点部に近いほど、腐食が進行している。② 荷重試験における最大荷重は3341kNであり、この時ウェブの上下フランジ近傍に正弦半波の局部座屈が発生した。③ 簡易腐食モデルのFEM解析結果は実験結果と同様な傾向を示した。しかし、最大荷重時の変位には相違が生じた。