

鋼橋りょうにおける腐食と支点ズレを考慮した耐荷力評価の検討

東日本旅客鉄道株式会社
東京工業大学

正会員 ○大上 貴 寛
正会員 佐々木 栄一

1. 背景と目的

鋼橋りょうは経年や環境の影響によって変状が生じるが、状態や程度によって健全性を定量的に評価するための評価基準¹⁾を設けていることで措置の要否を合理的に判断ができ、効率的な維持管理業務が可能となっている。一方で、同一場所で複数の変状が同時に生じているときに、現在の評価基準だけでは評価ができないものもある。その一例として、腐食と支点ズレが同時に生じたときがある。現在は腐食と支点ズレそれぞれに変状の状態と程度に応じた評価手法がある。しかし腐食と支点ズレが同時に生じていることに対する明確な評価基準は現在ない。そのため、変状が進行し措置の要否を判断する場面に至ったときは、応力測定などの詳細な検査を行うことで正確な評価は可能であるものの、詳細な検査には時間と労力を要することから効率化が必要となる。そこで本研究では、鋼橋りょうの維持管理のさらなる効率化を目的として、腐食と支点ズレが生じている鋼橋りょうを解析モデルで再現し耐荷力低下の原因分析を踏まえて、新たな評価手法を研究した。

2. 課題の整理

腐食の評価基準(図 1)と支点ズレの評価基準(図 2)は評価軸が異なるため、それぞれの評価結果の組み合わせでは耐荷力の評価ができないことが課題として挙げられる。さらに支点ズレの評価式に着目すると、評価方法が現地のズレ量と当該橋りょうのズレ許容範囲を比較するものであり、支点ズレが生じた状態での耐荷力を算出できる方法は明確になっていない。そこで本研究では、支点ズレの耐荷力算出方法を明らかにすることによって、腐食と支点ズレが同時に生じた状態の評価手法を作成することができると考え研究を行った。

3. 支点ズレによる耐荷力低下の仮説

支点ズレによる耐荷力低下は、端補剛材の耐荷力への寄与が低下するためであると考えた(図 3)。正常な支点位置のとき、反力位置に腹板と端補剛材があることで応力は腹板と端補剛材の両方に伝達され耐荷力を発揮する。一方、支点ズレが生じると反力位置の変化に伴って応力発生場所が変化し、端補剛材に伝達される応力が低下することで耐荷力への寄与が低下すると考えた。そこで上記の仮説を定量的に検証するため、本研究では解析モデルを用いて検証を行った。

4. 解析モデルの作成と再現性の検証

本研究の解析には汎用有限要素解析プログラム ABAQUS を用いた。解析モデル作成は過去に実施した模擬鉄道橋(桁長 3.0m、桁高 1.16m の溶接上路板桁)に支点ズレ 120mm を与えた静的載荷試験の試験データを活用した。静的載荷試験の試験体ならびに解析モデルの条件を表 1 に示す。静的載荷試験と解析結果の比較を図 4 に

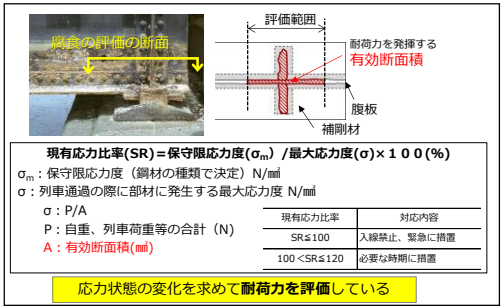


図 1 腐食の評価基準

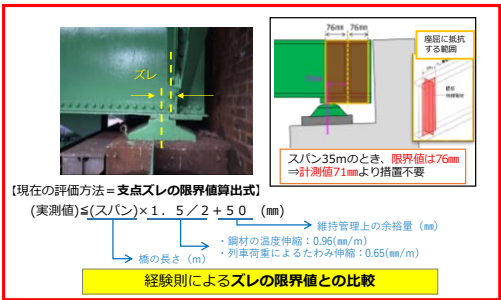


図 2 支点ズレの評価基準

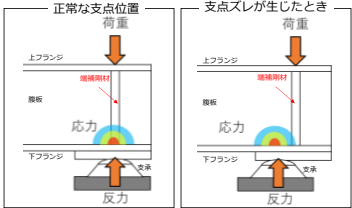


図 3 発生応力のイメージ

表 1 モデル作成条件

項目	載荷試験体	解析モデル	解析モデルの特記事項
橋梁形式	上路板桁	上路板桁	
主桁本数	1主桁	1主桁	
橋立形式	溶接橋立	溶接橋立を模擬	固定ヒートは省略
材料特性	SM400	SM400の特性値	・密度: 7.8×10^{-7} ton/mm ³ ・ヤング係数: 2.05×10^5 N/mm ² ・ポアソン比: 0.3 ・降伏応力: 235N/mm ²
支保	鋼製円柱 (可動部を模擬)	境界条件の設定によって再現	・橋軸方向: 拘束なし ・横断方向: 移動拘束、回転拘束なし ・垂直方向: 完全拘束
その他		解析メッシュサイズ ・支点部付近=5mm ・その他=25mm	

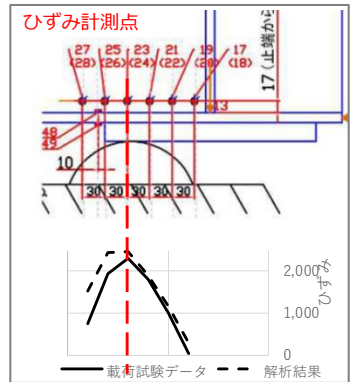


図 4 再現性の確認

キーワード 鋼橋りょう, 腐食, 支点ズレ, 端補剛材, 耐荷力

連絡先 〒114-8550 東京都北区東田端二丁目 20 番 68 号 東日本旅客鉄道株式会社 首都圏本部 設備ユニット(土木) TEL03-5692-6139

示す。同一荷重でのひずみピーク位置とひずみ分布がほぼ一致し解析モデルの再現性を検証できたため、本モデルを使用して以降の研究を進めた。

5. 支点ズレによる耐力低下の分析

耐力低下の原因を腹板と端補剛材の発生応力に着目して分析した。腹板は支点ズレの有無によらず発生応力の範囲に変化は見られなかった(図5)。端補剛材の発生応力は、支点ズレの増加と共に端補剛材の発生応力は反比例する傾向が見られ、支点ズレが120mmを超えると腹板の応力分析で用いた耐力に寄与する応力下限値(本研究の場合70MPa)以下となることが分かった(図6)。よって、支点ズレによって端補剛材が耐力に寄与する状態は120mmまでの反比例「1(100%)—(ズレ量ℓ(mm)/120mm)」となる。上記の結果を踏まえ、支点ズレによる耐力低下を計算によって求める方法を検討した。そこで、支点ズレによる端補剛材の応力変化を端補剛材の断面積計算に組み合わせることで、耐力算出が可能であると考えた。その結果、断面積の減少に対して耐力の減少傾向を捉えられた(図7)。よって支点ズレに伴う耐力の低下は、端補剛材の断面積に支点ズレに伴う応力低下率をかけることによって、表現が可能であることが分かった。

6. 腐食と支点ズレが生じた状態の解析結果と評価手法の提案

上記を踏まえ、腐食と支点ズレが生じた鋼橋りょうの耐力算出方法を検討した。腐食による残存板厚の減少と支点ズレをパラメータに、解析モデルによる耐力解析ならびに断面計算の概念図(図8)をもとに算出した。表2に解析結果と計算断面積を示すとともに比較検証を行うために、健全時からの耐力減少率および計算断面積の減少率を示す。解析の耐力減少率と計算の断面積減少率を比較したところ、10%程度の差であった。よって、腐食と支点ズレの生じた鋼橋りょうの耐力は計算によって求めることができ、図9に示す現有応力比率の計算によって推定することが可能になる。

7. 研究成果と今後の課題

腐食と支点ズレが生じている鋼橋りょうの耐力算出を研究し、支点ズレの耐力低下原因と耐力算出方法を明らかにした。本研究では1種類の鋼橋りょうの実験データ、ならびに解析モデルを用いた傾向分析であったため、評価手法を一般化するためには、本研究で用いた鋼橋りょうと異なる構造(リベット構造、桁長、桁高など)の検証を行う必要があると考えている。

参考文献

- 1) 鉄道構造物等維持管理標準・同解説 鋼・合成構造物-平成29年付属資料改訂版- 鉄道総合研究所 編, 2017
- 2) 井上ほか: 線支承の支点移動がリベット桁端部の耐力性状に及ぼす影響, 構造工学論文集 Vol. 66A, 2020

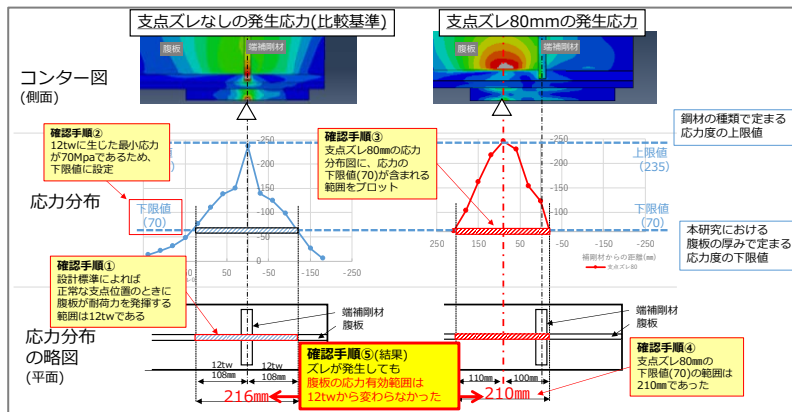


図5 腹板の発生応力分析

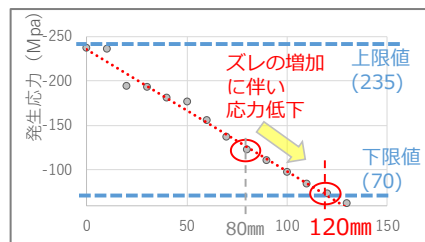


図6 端補剛材の発生応力傾向

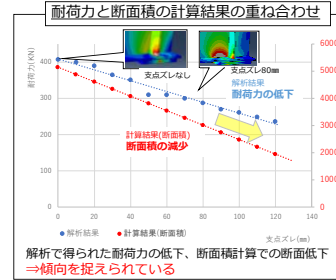


図7 結果の比較

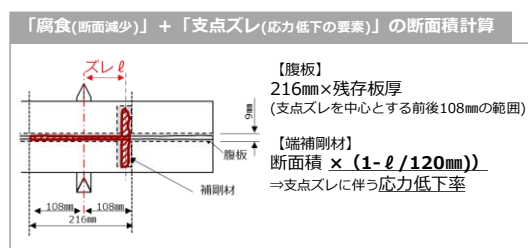


図8 腐食と支点ズレの概念図

表2 解析結果と断面計算の比較表

ケース	残存板厚	腐食高さ	支点位置ズレ量	耐力(KN)	耐力低下率	断面積(mm ²)	断面積減少率	差	備考
(0)	100%	0	0	408	(0%)	5,144	(0%)	0%	10%程度の差
(30)			50	116	(72%)	1,465	(72%)	0%	
(31)	40%		100	101	(75%)	872	(83%)	8%	
(32)			120	104	(75%)	778	(85%)	10%	
(33)	60%		50	136	(67%)	2,198	(57%)	-9%	IV.腐食あり、支点ズレあり状態
(34)			50	98	(76%)	733	(86%)	10%	
(35)	60%		100	112	(73%)	1,309	(75%)	2%	
(36)	20%		100	79	(81%)	436	(92%)	11%	

腐食と支点ズレが生じているときの評価方法

現有応力比率(SR)=保守限応力度(σ_m) / 最大応力度(σ) × 100 (%)

σ_m : 保守限応力度 (鋼材の種類で決定) N/mm²

σ : 列車通過の際に部材に発生する最大応力度 N/mm²

$\sigma = P / A_e$

P: 自重、列車荷重等の合計 (N)

A_e : 腐食と支点ズレを考慮した有効断面積

$A_e = \text{腹板の断面積} + \text{端補剛材の断面積} \times (1 - \ell / 120\text{mm})$

支点ズレに伴う応力低下率

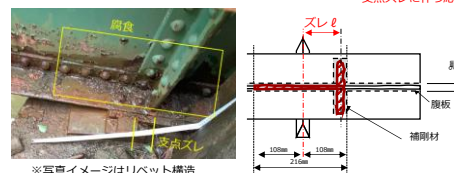


図9 腐食と支点ズレの評価方法